

**NB/T 47013**

# **《承压设备无损检测》 标准释义**

总策划：林树青 寿比南



新华出版社

**NB/T 47013**

**《承压设备无损检测》  
标准释义**

总策划：林树青 寿比南

新华出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

NB/T 47013《承压设备无损检测》标准释义 / 郑晖等编著.

--北京: 新华出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5166-3822-4

I. ①N… II. ①郑… III. ①压力容器—无损检验—行业标准—中国 IV. ①TH49-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 009259 号

## NB/T 47013《承压设备无损检测》标准释义

---

总 策 划: 林树青 寿比南

责任编辑: 沈文娟

特约编辑: 胡若莹 沈文华 叶翠芹

出版发行: 新华出版社

网 址: <http://www.xinhupub.com>

<http://press.xinhuanet.com>

地 址: 北京石景山区京原路 8 号

邮 编: 100043

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市庆全新光印刷有限公司

开 本: 880mm×1230mm 1/16

印 张: 23

字 数: 350 千字

版 次: 2018 年 7 月第一版

印 次: 2018 年 7 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5166-3822-4

定 价: 138.00 元

---

# 本书编委会

总策划：林树青 寿比南

编委会：(按姓氏笔画排序)

王笑梅 石 坤 关卫和 朱从斌 江雁山  
刘德宇 陈文虎 沈功田 范 宇 郑 晖  
武新军 郭伟灿 胡 斌 阎长周 梁丽红  
强天鹏 程华云



# 前 言

NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准作为我国承压设备标准体系中重要的检测标准被承压设备安全技术规范和产品标准引用，长期以来对承压设备的设计、制造、使用、检验和维修等起到了十分重要的作用。本系列标准的制修订工作汇集了国内无损检测方面权威的技术专家、学者和具有丰富经验的科研与工程技术人员，是工程经验、科研成果与智慧学识的结晶，不仅体现了承压设备行业无损检测技术的最新发展，同时将在一定程度上对国内外承压设备无损检测技术的发展和應用，以及国际贸易产生较大影响。

NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准规定了承压设备无损检测的基本方法和要求。分为如下 14 个部分：

- NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》；
- NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》；
- NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》；
- NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》；
- NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》；
- NB/T 47013.6—2015《承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测》；
- NB/T 47013.7—2012《承压设备无损检测 第 7 部分：目视检测》；
- NB/T 47013.8—2012《承压设备无损检测 第 8 部分：泄漏检测》；
- NB/T 47013.9—2012《承压设备无损检测 第 9 部分：声发射检测》；
- NB/T 47013.10—2015《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》；
- NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》；
- NB/T 47013.12—2015《承压设备无损检测 第 12 部分：漏磁检测》；
- NB/T 47013.13—2015《承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测》；
- NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》。

其中，NB/T 47013.1 ~ 47013.6—2015 和 NB/T 47013.10 ~ 47013.13—2015 由国家能源局 2015 年第 3 号公告批准发布，发布日期为 2015 年 4 月 2 日，实施日期为 2015 年 9 月 1 日。NB/T 47013.1 ~ 47013.6—2015 代替了 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005；NB/T 47013.10—

2015 代替了 NB/T 47013.10—2010 (JB/T 4730.10) ; NB/T 47013.11 ~ 47013.13—2015 为首次制定的标准。

NB/T 47013.7 ~ 47013.9—2012 由国家能源局 2012 年第 1 号公告批准发布, 发布日期为 2012 年 1 月 4 日, 实施日期为 2012 年 3 月 1 日, 为首次制定的标准。

NB/T 47013.14—2016 由国家能源局 2016 年第 6 号公告批准发布, 发布日期为 2016 年 8 月 16 日, 实施日期为 2016 年 12 月 1 日, 为首次制定的标准。

NB/T 47013.2—2015、NB/T 47013.3—2015、NB/T 47013.11—2015 的第 1 号修改单由国家能源局 2018 年第 7 号公告批准发布, 发布日期为 2018 年 5 月 14 日, 实施日期为 2018 年 7 月 1 日。

本释义将标准修订背景、检测方法的定义与原理、理论基础、实践经验、试验数据、条款含义及主要变化等内容进行整理和系统总结, 以便于标准使用者深入理解标准条文, 并正确使用。

本释义由林树青、寿比南担任总策划, 各章的主编人员分工如下: 编制说明由郑晖、王笑梅编写; NB/T 47013.1 释义由郑晖编写; NB/T 47013.2 释义由强天鹏、朱从斌编写; NB/T 47013.3 释义由阎长周、郑晖编写; NB/T 47013.4 释义由陈文虎、郭伟灿编写; NB/T 47013.5 释义由范宇、刘德宇编写; NB/T 47013.6 释义由关卫和、程华云编写; NB/T 47013.10 释义由郑晖、江雁山编写; NB/T 47013.11 释义由梁丽红、王笑梅编写; NB/T 47013.12 释义由沈功田、胡斌编写; NB/T 47013.13 释义由石坤、武新军编写; NB/T 47013.14 释义由梁丽红、强天鹏编写。

本释义未包含 NB/T 47013.7 ~ 47013.9—2012 的内容。

本释义难免存在疏漏、不足之处, 恳请读者谅解并予以批评、指正。

本释义仅为配合理解 NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准之用, 不可作为标准的替代文件, 亦不具有法律效力, 仅供读者参考。

本书编写组

2018 年 6 月

# 目 录

NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准编制说明	1
NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》标准释义	17
NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第2部分：射线检测》标准释义	33
NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》标准释义	113
NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》标准释义	191
NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》标准释义	217
NB/T 47013.6—2015《承压设备无损检测 第6部分：涡流检测》标准释义	231
NB/T 47013.10—2015《承压设备无损检测 第10部分： 衍射时差法超声检测》标准释义	253
NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分： X射线数字成像检测》标准释义	283
NB/T 47013.12—2015《承压设备无损检测 第12部分： 漏磁检测》标准释义	313
NB/T 47013.13—2015《承压设备无损检测 第13部分： 脉冲涡流检测》标准释义	329
NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第14部分： X射线计算机辅助成像检测》标准释义	341

**NB/T 47013**

**《承压设备无损检测》系列标准**

**编 制 说 明**

# NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准 编制说明

## 一、标准制修订背景

NB/T 47013《承压设备无损检测》系列标准历时二十余载，总体而言经历了三个阶段的变化。第一版 JB 4730—94《压力容器无损检测》于 1994 年由国家机械工业部、化学工业部、劳动部和中国石油化工总公司共同发布；第二版修订为系列标准 JB/T 4730.1—4730.6—2005《承压设备无损检测》，于 2005 年由国家发展和改革委员会发布；在随后的十年间，由于我国无损检测新技术的不断发展和应用，国家能源局陆续发布 NB/T 47013.10—2010（JB/T 4730.10）《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》、NB/T 47013.7—2012（JB/T 4730.7）《承压设备无损检测 第 7 部分：目视检测》、NB/T 47013.8—2012（JB/T 4730.8）《承压设备无损检测 第 8 部分：泄漏检测》、NB/T 47013.9—2012（JB/T 4730.9）《承压设备无损检测 第 9 部分：声发射检测》，并于 2015 年完成第三版标准和新标准的制修订工作，同年 4 月 2 日发布 NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》、NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》、NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》、NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》、NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》、NB/T 47013.6—2015《承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测》、NB/T 47013.10—2015《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》、NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》、NB/T 47013.12—2015《承压设备无损检测 第 12 部分：漏磁检测》、NB/T 47013.13—2015《承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测》。2016 年 8 月 16 日国家能源局发布 NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》。至此，NB/T 47013《承压设备无损检测》形成了由 14 个标准、13 种检测方法组成的大型系列标准。

### 1、JB 4730—94《压力容器无损检测》

20 世纪 80 年代末，我国制定了第一部压力容器标准，即 GB 150—89《钢制压力容器》。GB 150—89 有效解决了当时压力容器设计和制造的主要技术问题，但没有与之配套使用的无损检测标准。当时国内的射线检测标准有 GB 3323—87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》、GB/T 12605—90《钢管环缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级》等；超声检测标准有 GB 11345—89《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》、JB 1150—73《压力容器钢板超声波探伤》、GB 7734—87《复合钢板超声波探伤方法》JB 1151—73《高压无缝钢管超声波探伤》和 JB 1152—81《锅炉和钢制压力容器



对接焊缝超声波探伤》等；磁粉检测标准有 JB 3965—85《钢制压力容器磁粉探伤》、JB 4248—86《压力容器 锻件磁粉探伤》等；渗透检测标准较少，GB 150—89 为此专门编制了附录 H 作为渗透检测要求。这些检测标准距压力容器制造实际要求还相差甚远，如缺少奥氏体钢锻件超声检测、钢制螺栓超声检测、铝及铝合金焊缝超声与射线检测、管材涡流检测等内容。此外，有些标准多年未修订，而其他行业分别制定的同类标准条文不统一，给压力容器行业的设计、管理和检测人员执行标准带来很大困难，无法满足当时形势发展的需要。

另外，当时我国石油石化行业发展迅速，尤其是作为石油炼化装置中的核心装备——锻焊式结构加氢反应器的数量迅速增加。由于锻焊式结构加氢反应器的筒体壁厚往往在 100mm 以上，甚至超过 200mm，而当时的射线检测标准的最大适用范围仅为 120mm；加氢反应器的内壁通常采用不锈钢堆焊，而当时超声检测标准没有关于堆焊层超声检测的内容，也没有堆焊层的渗透检测标准等。因此，编制相应的无损检测标准已迫在眉睫。

基于上述原因，全国压力容器标准化技术委员会（以下简称“容标委”）组建了标准工作组，起草行业标准 JB 4730，并于 1994 年颁布实施。JB 4730—94《压力容器无损检测》为强制性行业标准，其内容包括总则、焊缝射线透照检测、超声检测和表面检测（磁粉、渗透、管材涡流检测），适用于压力容器制造和安装。

## 2、JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》系列标准

JB 4730—94 实施后，对于规范当时压力容器的管理，保障压力容器产品质量，提高压力容器行业设计、选材、制造水平，减少事故发生等方面起到了积极的作用。但随着标准的使用，逐渐发现存在不少问题。

首先，我国压力容器行业发展迅速，检测标准难以适应采用新材料、新结构建造或按 JB 4732—95《钢制压力容器 分析设计标准》进行设计建造的压力容器。如没有有色金属材料制压力容器的检测方法；环向对接接头的射线检测透照次数规定不尽合理；钢焊接接头超声检测未进行技术等级划分等内容。

其次，国内对 JB 4730 标准的定位发生了重大变化，即不应局限于作为压力容器建造的配套无损检测标准，而应适用于承压设备（锅炉、压力容器和压力管道）设计、制造和使用等各环节。锅炉、压力管道与压力容器具有很多共性，尤其是无损检测方法和技术，完全可以制定统一的无损检测标准，如美国 ASME 第 V 卷《无损检测》适用于锅炉、压力容器和压力管道。但当时我国各类承压设备均有各自的一套无损检测标准，且相互之间存在规定不一致的情况，不利于承压设备的统一管理。并且当时我国尚无在用承压设备无损检测标准，尤其是在 2000 年至 2004 年期间，国家特种设备安全监察部门相继发布的《锅炉定期检验规则》《工业管道定期检验规则》和《压力容器定期检验规则》中，安全评级均涉及缺陷性质和自身高度的测定，这在 JB 4730—94 和国内其他无损检测标准中都未提及。

考虑到 JB 4730—94 仅适用于压力容器制造和安装，技术规定也不够完善，难以满足对其定位变化的要求，容标委于 2000 年组建标准工作组着手 JB 4730—94 的修订工

作,并于2005年颁布实施推荐性行业标准JB/T 4730.1~4730.6—2005。包括JB/T 47013.1—2005《承压设备无损检测 第1部分:通用要求》、JB/T 47013.2—2005《承压设备无损检测 第2部分:射线检测》、JB/T 47013.3—2005《承压设备无损检测 第3部分:超声检测》、JB/T 47013.4—2005《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》、JB/T 47013.5—2005《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》、JB/T 47013.6—2005《承压设备无损检测 第6部分:涡流检测》,适用于锅炉、压力容器和压力管道的设计、制造和使用等各个环节。

### 3、NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》系列标准

JB/T 4730—2005 系列标准实施后,对于加强承压设备的管理,保障在制产品质量,提高在用承压设备安全运行的水平,降低使用单位运行成本,减少事故发生等方面起到了积极的作用。但随着国民经济的不断发展、技术进步和产业形势的变化,JB/T 4730—2005 系列标准修订的必要性日益凸显。

#### (1) 满足承压设备安全保障要求的需要

JB/T 4730—2005 实施以来,承压设备行业发生了巨大变化。产业向制造大型化、运行高参数方向发展趋势明显,在极端工况下使用的承压设备数量快速增加,如2 000t的加氢反应器、1万m<sup>3</sup>的高强钢球罐、深冷容器、超超临界锅炉日益增多。同时,设计原则发生较大变化,如压力容器规则设计抗拉强度的安全系数由3.0调整为2.7。另外,我国关于在用承压设备的检验也发生了明显变化,为提高运行效率、降低企业成本,引入了新的检验策略,如基于风险的检验等,较以往更加科学地确定运行周期。这些变化无疑对无损检测标准提出了更新、更高的要求。

#### (2) 适应无损检测技术发展的需要

近年来,我国无损检测技术水平有了明显提高。一是因检测设备器材的进步和检测技术的自身发展,促使原有无损检测方法和技术适用的对象或范围发生了较大变化。如管子-管板角焊缝的射线检测技术从以前试验试用到逐渐成熟,涡流检测适用范围不断扩大等;二是新的无损检测方法和技术不断推出和完善,如衍射时差法超声检测、数字射线检测、脉冲涡流检测技术等,从实验室逐渐走向工程实践。无损检测技术的发展对于扩大检测适用范围、提高缺陷检出率、评价准确度或者改变传统检测局限性等方面起到了积极的促进作用。经实践证明可行的新方法、新技术和新工艺纳入标准,既促进了标准本身的发展,也提高了标准所服务的对象——承压设备的本质安全水平。

#### (3) 与承压设备法规、标准的协调以及其他相关行业应用的需要

首先,JB/T 4730 系列标准作为承压设备无损检测标准,与相关法规、安全技术规范和产品标准具有协调性。近年来,TSG 21—2016《固定式压力容器安全监察规程》、TSG G0001—2012《锅炉安全技术监察规程》、TSG D0001—2009《压力管道安全技术监察规程——工业管道》、GB 150—2011《压力容器》等安全技术规范和产品标准不断修订完善,对于无损检测均提出了新的规定和要求。其次,随着本系列标准影响力的不断提升,也逐渐被国内其他行业所使用,尤其是钢结构建造方面应用较多,近年来这些行业也有较大的发展变化。因此,为适应相关变化,有必要对JB/T 4730 系列标准进行修



订和完善。

#### （4）与国际接轨，开展国际贸易的需要

近年来，随着我国经济持续快速增长以及国际贸易的开展，国产承压设备从主要用于国内市场到逐步出口国际市场，尤其是中东、非洲等发展中国家以及部分发达国家和地区，同时我国每年进口大量的承压设备。根据我国加入 WTO 的承诺和世界经济形势的发展，承压设备产品制造要求和制造标准必然会逐渐趋于一致。近年来，欧盟的无损检测标准发生了较大变化，美国 ASME 第 V 卷也修订了部分无损检测技术要求，而 JB/T 4730 系列标准以前主要着眼于国内需求，与国外主要标准之间的差异较大。为此，对标准进行必要修订以与国际接轨，有利于开展国际贸易。

#### （5）解决行业关注的突出问题的需要

JB/T 4730 系列标准自实施以来，逐渐发现存在不少问题。如球罐射线检测，因标准中缺少限制条件，现场常采用  $\gamma$  源检测，由于该方法的局限性可能造成一定的质量隐患；钢板超声检测的质量等级划分适应当时钢板生产企业状况，而目前钢厂制造水平明显提高，考虑到目前承压设备应用情况，标准中的钢板质量等级要求明显偏低，与目前国外相关标准规定也有一定差距；超声检测标准中缺少超声测厚内容；标准中关于无损检测设备器材的要求不够完善，有碍国产检测设备器材整体水平的提升等。这些问题已在行业中引起极大关注，迫切需要解决。

## 二、标准制修订过程

### 1、关于 JB/T 4730.1~4730.6—2005 和 NB/T 47013.10—2010（JB/T 4730.10）

根据全国锅炉压力容器标准化技术委员会（以下简称锅容标委）2012 年标准制修订计划的安排，锅容标委秘书处于 2012 年 1 月 12 日在北京组织召开修订工作启动会议。会议就 JB/T 4730.1~4730.6—2005 和 NB/T 47013.10—2010（JB/T 4730.10）修订的总体思路、编制原则和任务分工与进度安排进行明确；

2012 年 4 月 6 日在北京组织召开标准修订大纲讨论会，会议确定了各部分的修订大纲、标准的目录与格式要求等；

2012 年 10 月 12 日“国家能源局关于下达 2012 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知”（国能科技〔2012〕326 号）将 JB/T 4730.1~4730.6—2005 和 NB/T 47013.10—2010（JB/T 4730.10）列入修订计划；

2012 年 10 月 17 日在北京组织召开标准初稿讨论会，会后形成了各部分标准的征求意见稿初稿；

2012 年 11 月 30 日至 12 月 1 日在海口组织召开征求意见稿初稿讨论会，会后形成了各部分标准的征求意见稿；

2013 年 4 月 20 日至 5 月 31 日在锅容标委网站上对标准进行公开征求意见。为更广泛地收集各方意见，同时与锅容标委全体委员和各分会委员，以及行业内相关单位联系征求意见，并在中国特种设备检验协会举办的“2013 年无损检测 III 级人员换证考核班”上对征求意见稿进行交流讨论；

2013 年 6 月 14 日至 15 日在北京组织召开送审稿初稿讨论会，对各部分标准征求

意见处理情况进行汇报，会后形成了标准的送审稿；

2013年8月12日至9月20日提请锅容标委委员对标准送审稿进行审查；

2013年10月16日至17日在北京组织召开报批稿初稿讨论会，对锅容标委委员审查意见的处理情况进行汇报，会后经多次修改完善，形成标准报批稿；

2014年10月履行报批手续。

## 2、关于 NB/T 47013.7~47013.9—2012（JB/T 4730.7~4730.9）

2008年4月国家发展和改革委员会下达“2008年行业标准计划”（发改办工业〔2008〕1242号）将 NB/T 47013.7~47013.9 列入制定计划；

根据全国锅炉压力容器标准化技术委员会 2009 年标准制修订计划的安排，分别于 2009 年 10 月 9 日至 11 日在南京组织召开 NB/T 47013.7 和 NB/T 47013.8 启动会，2009 年 10 月 24 日至 25 日在合肥组织召开 NB/T 47013.9 启动会。会议对标准初稿进行讨论，会后形成征求意见稿；

2009 年 10 月 28 日至 11 月 29 日、2009 年 11 月 11 日至 12 月 12 日在锅容标委网站上分别对 NB/T 47013.7、NB/T 47013.8 和 NB/T 47013.9 进行征求意见，同时向有关单位征求意见；

2009 年 12 月 23 日至 26 日在南京组织召开 NB/T 47013.7~47013.9 送审稿初稿讨论会，对各部分征求意见处理情况进行汇报，会后经多次修改，形成了标准送审稿；

2010 年 9 月 15 日至 10 月 20 日提请锅容标委委员对标准送审稿进行审查；

2011 年 4 月根据锅容标委委员审查意见形成报批稿；

2011 年 6 月履行报批手续。

## 3、关于 NB/T 47013.11—2015

2008 年 4 月国家发展与改革委员会下达的“2008 年行业标准计划”（发改办工业〔2008〕1242 号），将 NB/T 47013.11 列入制定计划；

根据锅容标委 2009 年标准制修订计划的安排，于 2009 年 6 月 14 日至 15 日在北京组织召开标准启动会，对标准初稿进行讨论，确定任务分工与进度安排；

2009 年 7 月 27 日至 29 日在丹东组织召开征求意见稿初稿讨论会，会后形成征求意见稿；

2009 年 9 月 7 日至 10 月 15 日在锅容标委网站上进行公开征求意见，同时向有关单位征求意见；

2009 年 11 月 9 日至 11 日在成都组织召开会议，对征求意见处理情况进行汇总处理，对送审初稿进行讨论。针对部分征求意见，于会后多次进行补充验证性试验，并聘请专家进行专题讨论，形成标准送审稿；

2011 年 10 月 27 日至 11 月 30 日由锅容标委固定式压力容器分技术委员会组织标准审查工作；

2012 年 6 月 19 日、2012 年 11 月 21 日至 22 日分别在北京、成都组织召开会议，针对审查意见进行汇总处理，对报批稿初稿进行讨论；

2012 年 12 月形成标准报批稿；

鉴于其他部分标准已启动制修订工作,为保持系列标准的协调一致,后续对标准的体例结构进行调整,于2014年10月履行报批手续。

#### 4、关于 NB/T 47013.12~47013.13—2015

2012年3月12日“国家能源局关于下达2012年第一批能源领域行业标准制修订计划的通知”(国能科技〔2012〕83号)将NB/T 47013.12~47013.13列入制定计划;

根据锅容标委2012年标准制修订计划的安排,于2012年12月3日在海口组织召开启动会,会议对标准初稿进行讨论,对任务分工与进度安排进行明确;

2013年3月14日至15日在厦门组织召开征求意见初稿讨论会,会后形成标准征求意见稿;

2013年4月20日至5月31日与JB/T 4730.1~4730.6—2005和NB/T 47013.10—2010(JB/T 4730.10)标准一起进行征求意见;

2013年6月14日至15日在北京组织召开送审稿初稿讨论会,对各部分征求意见处理情况进行汇报,会后形成了标准送审稿;

2013年8月12日至9月20日提请锅容标委委员对标准送审稿进行审查;

2013年10月16日至17日在北京组织召开报批稿初稿讨论会,并对锅容标委委员的审查意见处理情况进行汇报,会后经多次修改完善,形成标准报批稿;

2014年10月履行报批手续。

#### 5、关于 NB/T 47013.14—2016

2013年12月25日“国家能源局关于下达2013年第二批能源领域行业标准制(修)订计划的通知”(国能科技〔2013〕526号)将NB/T 47013.14列入制定计划;

根据锅容标委2014年标准制修订计划的安排,于2014年5月13日在北京组织召开标准预备会议,会议听取业内人士对标准的编制原则、拟采用的技术路线,以及对标准编制的建议与意见;

2014年8月29日在无锡组织召开标准启动会,对标准初稿进行讨论,确定任务分工与进度安排;

2014年11月4日至5日在上海组织召开征求意见初稿讨论会,会后形成标准征求意见稿;

2014年11月27日至2015年1月15日在锅容标委网站上进行公开征求意见,同时向有关单位征求意见;

2015年1月30日在西安组织召开会议,对标准在征求意见阶段收集到的意见进行充分讨论,形成处理意见,明确了下一阶段的工作任务分工和进度安排;

2015年3月25日至26日在深圳组织召开送审稿初稿讨论会,会后形成标准送审稿;

2015年4月17日至6月16日提请锅容标委委员对标准送审稿进行审查;

2015年9月8日至9日在青海召开报批稿初稿讨论会,对审查意见进行汇总处理,会后形成报批稿;

2015年12月履行报批手续。

### 三、标准制修订原则

#### 1、与安全技术规范协调一致的原则

我国 2003 年颁布的《特种设备安全监察条例》和 2013 年颁布的《特种设备安全法》，均明确了特种设备安全技术规范的法律地位，安全技术规范具有强制约束力。技术标准应在遵循安全技术规范的基础上，与之相辅相成、协调一致。因此，NB/T 47013 系列标准作为技术标准，应与承压设备安全技术规范保持协调一致。NB/T 47013 系列标准中的各无损检测方法要求和质量级别应符合安全技术规范确立的各项基本原则，满足承压设备安全、质量要求，用以规范承压设备设计、制造、检验检测等过程。

#### 2、标准各部分协调一致的原则

在 NB/T 47013 系列标准中，NB/T 47013.1 为通用要求，规定承压设备无损检测的一般要求和使用原则，其他各部分标准为不同无损检测方法在遵循 NB/T 47013.1 确立的基本原则下，规定各自具体的技术要求与质量级别等；NB/T 47013 作为系列标准，其各部分标准相互之间在体例结构方面应保持基本一致，体现系列标准的一致性；另外，在各无损检测方法的选用、应用要求和质量级别等方面，各部分标准应保持技术的协调一致性。

#### 3、采用成熟科技成果的原则

随着科技的发展和技术的进步，国际上承压设备法规和标准都在不断发展变化。NB/T 47013 系列标准采纳了我国近年来承压设备无损检测的成熟研究成果，借鉴了先进工业国家或地区的具有成功使用经验的检测技术内容。这些成熟科技成果的应用推动了我国无损检测技术的发展进步，同时为我国承压设备在设计、制造、安装、使用等环节采用无损检测技术提供了更多选择。

#### 4、技术指标与国际接轨的原则

标准在国际贸易中占有举足轻重的地位，标准的技术指标体现了标准的技术水平。技术指标与国际接轨对促进国际贸易，特别是满足我国日益扩大的国际交流和产品互通，将起到积极的推动作用，同时有利于增加我国标准在国际上的话语权，为我国标准走向世界、实现标准的国际互认奠定基础。

#### 5、保持中国标准特色的原则

JB 4730 从 1994 年颁布实施以来，对保证我国承压设备安全起到了十分重要的作用。因此，在标准制修订过程中，对于经过长期工业实践证明是行之有效的工程经验，以及采纳我国成熟科研成果的技术内容，应该保持其连续性，标准的技术内容应体现中国自主知识产权。

#### 6、各相关方参与的原则

标准是产业技术进步的体现，同时也是各贸易方统一的技术平台。因此标准的技术内容应该在设计单位、制造单位、用户、检验机构和国家安全监察管理机构等各相关方充分协商一致的基础上进行编制，充分考虑各相关方的利益。标准工作组的组成不仅要充分考虑各相关方专家人员的比例，在编制过程中的征求意见和审查过程也应考虑各相关方的参与，做到标准编制过程的公开、公正和透明。



#### 四、标准的结构

NB/T 47013 系列标准规定了承压设备无损检测的基本方法和要求。标准分为 14 个部分：

- NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》；
- NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》；
- NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》；
- NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》；
- NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》；
- NB/T 47013.6—2015《承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测》；
- NB/T 47013.7—2012《承压设备无损检测 第 7 部分：目视检测》；
- NB/T 47013.8—2012《承压设备无损检测 第 8 部分：泄漏检测》；
- NB/T 47013.9—2012《承压设备无损检测 第 9 部分：声发射检测》；
- NB/T 47013.10—2015《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》；
- NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》；
- NB/T 47013.12—2015《承压设备无损检测 第 12 部分：漏磁检测》；
- NB/T 47013.13—2015《承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测》；
- NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》。

##### 1、NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》

本部分由前言、7 章正文和 1 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、总体要求、各无损检测方法的使用原则、无损检测质量管理和安全防护、无损检测资料和档案。附录为附录 A（资料性附录）各无损检测方法通常能检测的一般缺陷。

本部分规定了射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测、目视检测、泄漏检测、声发射检测、衍射时差法超声检测、X 射线数字成像检测、漏磁检测、脉冲涡流检测等无损检测方法的一般要求和使用原则。

##### 2、NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》

本部分由前言、8 章正文和 12 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测工艺及其选择、承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级、承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级、检测记录和报告。附录分别为：

- 附录 A（资料性附录） 管子-管板角焊缝射线照相技术要求
- 附录 B（规范性附录） 工业射线胶片系统的特征指标
- 附录 C（资料性附录） 黑度计（光学密度计）定期核查方法
- 附录 D（资料性附录） 暗室安全照射时间确定
- 附录 E（资料性附录） 典型透照方式示意图
- 附录 F（资料性附录） 环向对接焊缝透照次数确定方法

附录 G (规范性附录)	焦点尺寸计算方法
附录 H (规范性附录)	几何不清晰度 ( $U_g$ ) 计算方法
附录 I (资料性附录)	滤光板
附录 J (规范性附录)	定位标记的放置原则
附录 K (资料性附录)	底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法
附录 L (规范性附录)	对比试块的型式和规格

本部分规定了承压设备金属熔化焊焊接接头 X 射线和  $\gamma$  射线检测技术和质量分级要求。

### 3、NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》

本部分由前言、9 章正文和 20 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、承压设备用原材料或零部件的超声检测方法和质量分级、承压设备焊接接头超声检测方法和质量分级、承压设备厚度的超声测量方法、在用承压设备超声检测方法、超声检测记录和报告。附录分别为：

附录 A (规范性附录)	超声检测仪电气性能指标要求
附录 B (规范性附录)	超声检测用探头性能指标要求
附录 C (规范性附录)	双晶直探头性能要求
附录 D (规范性附录)	承压设备用板材超声斜探头检测方法和验收标准
附录 E (规范性附录)	承压设备用钢锻件超声斜探头检测方法和质量分级
附录 F (规范性附录)	承压设备用奥氏体钢锻件超声斜探头检测方法
附录 G (规范性附录)	承压设备堆焊层超声检测方法和质量分级
附录 H (规范性附录)	铝和铝合金制及钛制承压设备对接接头超声检测方法和质量分级
附录 I (资料性附录)	奥氏体不锈钢对接接头超声检测方法和质量分级
附录 J (规范性附录)	承压设备曲面纵向对接接头的超声检测方法
附录 K (规范性附录)	承压设备曲面环向对接接头的超声检测方法
附录 L (规范性附录)	承压设备接管与筒体（或封头）角接接头超声检测方法
附录 M (规范性附录)	T 型焊接接头超声检测方法
附录 N (规范性附录)	不同类型焊接接头超声检测的具体要求
附录 O (规范性附录)	CSK-IIIA 试块
附录 P (规范性附录)	声能传输损耗差的测定
附录 Q (规范性附录)	回波动态波形模式
附录 R (规范性附录)	缺陷测高方法（一）端点衍射波法测定缺陷自身高度
附录 S (规范性附录)	缺陷测高方法（二）端部最大回波法测定缺陷自身高度
附录 T (规范性附录)	缺陷测高方法（三）-6dB 法测定缺陷自身高度

本部分规定了承压设备采用 A 型脉冲反射式超声检测仪检测工件缺陷的超声检测方法和质量分级要求。

#### 4、NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》

本部分由前言、11章正文和2个附录构成。正文分别为范围，规范性引用文件，术语和定义，一般要求，检测方法，磁痕显示的分类、观察和记录，复验，退磁，质量分级，在用承压设备的磁粉检测，检测记录和报告。附录分别为：

附录A（资料性附录） 各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系

附录B（资料性附录） 各类焊接接头的典型磁化方法

本部分规定了承压设备及其机加工部件磁粉检测方法及其质量分级要求。

#### 5、NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》

本部分由前言、9章正文和2个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、渗透检测基本程序、渗透检测操作方法、在用承压设备的渗透检测、检测结果评定和质量分级、检测记录和报告。附录分别为：

附录A（规范性附录） 荧光和着色渗透检测工艺程序示意图

附录B（规范性附录） 用于非标准温度的检测方法

本部分规定了承压设备的液体渗透检测方法和质量分级。

#### 6、NB/T 47013.6—2015《承压设备无损检测 第6部分：涡流检测》

本部分由前言、13章正文和2个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、铁磁性管材涡流检测、非铁磁性金属管材涡流检测、在用铁磁性换热管的远场涡流检测、在用非铁磁性换热管的涡流检测、放置式线圈零部件涡流检测、放置式线圈焊缝涡流检测、覆盖层厚度测量、检测结果评定、检测记录和报告。附录分别为：

附录A（规范性附录） 在用承压设备用铁磁性管涡流检测缺陷特征对比试样

附录B（规范性附录） 在用承压设备用非铁磁性管涡流检测III型对比试样

本部分规定了承压设备涡流检测方法及其质量分级要求。

#### 7、NB/T 47013.7—2012《承压设备无损检测 第7部分：目视检测》

本部分由前言、7章正文构成。正文分别是范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测方法和技术、结果评价、记录和报告。

本部分规定了承压设备的目视检测方法。

#### 8、NB/T 47013.8—2012《承压设备无损检测 第8部分：泄漏检测》

本部分由前言、7章正文和11个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测、结果评价、记录和报告。附录分别为：

附录A（规范性附录） 气泡泄漏检测——直接加压技术

附录B（规范性附录） 气泡泄漏检测——真空罩技术

附录C（规范性附录） 卤素二极管泄漏检测技术

附录D（规范性附录） 氦质谱仪泄漏检测——吸枪技术

附录E（规范性附录） 氦质谱仪泄漏检测——示踪探头技术

附录F（规范性附录） 氦质谱仪泄漏检测——护罩技术

附录G（规范性附录） 氨泄漏检测技术



附录 H（规范性附录） 管道声波泄漏检测技术

附录 I（规范性附录） 压力变化泄漏检测技术

附录 J（规范性附录） 热导泄漏检测技术

附录 K（规范性附录） 超声泄漏检测技术

本部分规定了承压设备的泄漏检测方法。

#### 9、NB/T 47013.9—2012《承压设备无损检测 第 9 部分：声发射检测》

本部分由前言、引言、8 章正文和 2 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测方法、结果评价与分级、声发射定位源的验证、记录和报告。附录分别为：

附录 A（规范性附录） 声发射系统性能要求

附录 B（资料性附录） 传感器布置示意图

本部分规定了金属材料承压设备的声发射检测方法和结果分级与评价。

#### 10、NB/T 47013.10—2015《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》

本部分由前言、9 章正文和 5 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测工艺参数的选择和设置、检测、检测数据的分析和解释、缺陷评定与质量分级、检测记录和报告。附录分别为：

附录 A（资料性附录） 不等厚工件的检测

附录 B（规范性附录） TOFD 检测仪器和探头性能指标要求

附录 C（资料性附录） 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法

附录 D（规范性附录） 其他结构形式的对比试块

附录 E（资料性附录） 典型 TOFD 图像

本部分规定了承压设备采用衍射时差法超声检测的方法和质量分级要求。

#### 11、NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》

本部分由前言、9 章正文和 5 个附录构成。正文分别是范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测方法、图像质量及评定、检测结果评定和质量分级（验收）、图像保存与存储、检测记录和报告。附录分别为：

附录 A（规范性附录） 系统分辨率核查方法

附录 B（资料性附录） 典型透照方式

附录 C（规范性附录） 双线型像质计的识别

附录 D（规范性附录） 归一化信噪比测试方法

附录 E（资料性附录） 检测报告格式

本部分规定了承压设备金属材料受压元件的熔化焊焊接接头的 X 射线数字成像检测技术和质量分级要求。

#### 12、NB/T 47013.12—2015《承压设备无损检测 第 12 部分：漏磁检测》

本部分由前言、8 章正文和 2 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、在制钢管元件漏磁检测、在用承压设备漏磁外检测、在用压力管道漏磁内检测、检测记录和报告。附录分别为：

附录 A（规范性附录） 在用承压设备漏磁外检测试件

附录 B（规范性附录） 在用压力管道漏磁内检测对比试件

本部分规定了铁磁性材料制承压设备、无缝钢管和焊管（埋弧焊除外）的漏磁检测及结果评价方法。

13、NB/T 47013.13—2015《承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测》

本部分由前言、7 章正文和 2 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测程序、检测结果评定与处理、检测记录和报告。附录分别为：

附录 A（资料性附录） 推荐的检测点标定示例图

附录 B（资料性附录） 推荐的部分检测结果修正关系

本部分规定了在不拆除覆盖层的情况下对在用承压设备用碳钢、低合金钢等铁磁性材料由于腐蚀、冲蚀或机械损伤造成的均匀壁厚减薄的检测方法及其评价准则。

14、NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》

本部分由前言、7 章正文和 3 个附录构成。正文分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测工艺及其选择、检测结果评定和质量分级、检测记录和报告。附录分别为：

附录 A（资料性附录） 最小灰度值测试方法

附录 B（规范性附录） 空间分辨率的测定

附录 C（规范性附录） 归一化信噪比的测定

本部分规定了承压设备金属材料受压元件的熔化焊焊接接头采用 450kV 以下 X 射线计算机辅助成像检测技术和质量分级要求。

## 五、标准制修订的主要内容

NB/T 47013 系列标准是在充分考虑国内无损检测技术的发展现状，采纳了我国近年来承压设备无损检测的成熟研究成果，借鉴先进工业国家或地区具有成功使用经验的检测技术的基础上开展标准制修订工作的。主要内容详见各部分的释义。

## 六、标准的技术发展方向

1、对目前的无损检测方法和技术标准应按照原理相似性进行适度的整合

NB/T 47013 系列标准未对各无损检测方法和技术根据原理归类，每一种方法或技术均作为一个独立标准出现，现已发布标准共 14 个部分，与国际通行原则不尽相同。今后应根据原理相似性进行适度的整合，如将 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 和 NB/T 47013.14 整合为一个射线检测标准；将 NB/T 47013.3、NB/T 47013.10 整合为一个超声检测标准等。

2、应更加注重工艺控制、加强工艺验证的要求

考虑到无损检测的操作特点，应着力提高检测有效性和可重复性，如建立检测工艺验证的结果评价方式，提高检测工艺的可靠性；在具体实施环节，加强检测工艺的文件化、检测参数的具体化，以加强检测工艺执行的一致性。

### 3、加强质量分级和设计所需要的等级匹配性

现有 NB/T 47013 系列标准的质量分级原则未统一。如对于 NB/T 47013.2—2015，在制造安装阶段以“质量控制”原则为中心，使用环节未明确；对于 NB/T 47013.3—2015，在制造安装阶段以“质量控制”原则为中心，使用环节规定了定性和尺寸测量方法，再根据承压设备定期检验规则进行“合于使用”原则的质量评价；对于 NB/T 47013.10—2015，则是以“合于使用”原则为基础，贯穿于制造安装和使用环节。由于各检测方法和技术的特点不一，给出的缺陷信息并不统一。因此，在实践中往往造成采用一种方法评价合格而采用另一种方法评价可能出现不合格的情况，这在一定程度上造成标准使用方尤其是设计人员的迷惑。因此，有必要研究与材料、结构有关的统一的允许缺陷安全裕度，建立不同检测方法和技术下的统一表征量，力求各质量分级指标的一致性，以及与设计所需要的等级匹配性。

### 4、不断吸纳新的成熟方法和技术，不断提高无损检测技术的可信度、精度或效率

标准的制定应该基于成熟的方法和技术。目前国内蓬勃发展的一些其他新技术并未纳入 NB/T 47013 系列标准中，如相控阵、导波、电磁超声、磁记忆等，主要是考虑到目前这些技术还在继续研究和试用中，尚未取得较为成熟的应用经验，相信随着技术的进一步发展可望逐渐纳入本标准中，标准也需要不断吸纳新鲜血液，从而不断提高无损检测技术的可信度、精度或效率，实现标准进步。

### 5、无损检测方法技术的多样化综合应用原则

每一种无损检测方法均有其能力范围和局限性。目前的技术还未发展到可对每一种检测方法的能力范围达到穷尽了解和精确定量分析的程度。因此，有必要在以后的研究和工作实践中，掌握每一种检测方法和技术的真正能力范围，从而科学合理地界定其各自适用的边界条件，并在此基础上根据实际工作中的具体需求，综合应用各项无损检测方法和技术，以实现最佳效果。

**NB/T 47013.1—2015**

**《承压设备无损检测  
第1部分：通用要求》**

**标 准 释 义**

# 引 言

## 1、无损检测的定义

无损检测是在不损坏检测对象的前提下，以物理或化学方法为手段，借助相应的设备器材，按照规定的技术要求，对检测对象的内部及表面的结构、性质或状态进行检查和测试，并对结果进行分析和评价。无损检测既是产品制造中控制质量、节约原材料、改进工艺、提高劳动生产率的重要技术措施，也是产品使用和维护中保障安全不可或缺的手段。无损检测在我国已广泛应用于经济建设的各个领域，如特种设备、机械、冶金、石油天然气、化工、航空航天、船舶、铁道、电力、核工业、兵器、煤炭、有色金属和建筑等行业，特别是对于锅炉、压力容器和压力管道等承压设备，无损检测尤其重要。

一般而言，承压设备无损检测方法包括射线、超声、磁粉、渗透、涡流、目视、泄漏、声发射、衍射时差法超声、X射线数字成像、漏磁、脉冲涡流和X射线计算机辅助成像检测等。由于不同的无损检测方法所依据的物理或化学原理不同，从而决定了每一种无损检测方法都有其自身的特点和局限性，因此在应用时应结合检测目的和需求选择最适宜的一种或综合采用多种适宜的无损检测方法。

无损检测应用的可靠性既有赖于无损检测方法选择的正确性，也和检测结果的可靠性息息相关。影响检测结果的可靠性有主观因素和客观因素，主观因素包括检测人员的技术水平、操作技能和知识水准等，检测人员的责任心，检测人员在检测实施期间的心理和生理状况等；客观因素包括检测设备器材性能的影响，检测环境条件的影响，不同无损检测工艺的影响，结果评价准则的影响等。

为充分发挥无损检测的作用，规范无损检测的实施，保障无损检测应用的可靠性，将质量水平控制在适合使用性能要求的范围，应针对各无损检测方法建立统一的无损检测标准，规范检测人员、检测设备器材、检测环境条件、检测工艺和缺陷质量分级等要求。本系列标准规定了承压设备各无损检测方法的基本要求。

## 2、国内、外相关检测标准与本部分的对比

(1) 国内主要相关检测标准和本部分的对比

本部分本次修订后与国内相关标准对比见表1。



表 1 本部分与国内相关标准对比

本 部 分	规定了承压设备无损检测的一般要求和使用原则。适用于在制和在用承压设备的无损检测，检测方法包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测、目视检测、泄漏检测、声发射检测、衍射时差法超声检测、X 射线数字成像检测、漏磁检测、脉冲涡流检测和 X 射线计算机辅助成像检测 <sup>a</sup> 等
GB/T 5616—2014 无损检测 应用导则	规定了应用无损检测时应遵循的基本原则，其对象为任何材料或工件。其内容主要包括人员要求，设备和设施要求，检测文件和记录及常规无损检测方法的适用性和局限性
NB/T 20003.1—2010 核电厂核岛机械设备无损检测 第 1 部分：通用要求	规定了核电厂核岛机械设备无损检测的一般要求和使用原则。适用于核电厂核岛机械设备制造和安装过程中的无损检测，检测方法包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、管材制品涡流检测、目视检测和泄漏检测
<sup>a</sup> NB/T 47013.14—2016《承压设备无损检测 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》于 2016 年 8 月 16 日由国家能源局发布，NB/T 47013.1—2015 于 2015 年 4 月 2 日由国家能源局发布。为保证释义的完整性，方便读者使用，在编写本部分释义时，包含了 NB/T 47013.14 的有关内容。	

(2) 国外相关主要检测标准和本部分的对比

本部分在承压设备标准体系中属于通用基础标准中的检验检测标准，且为所有无损检测方法标准的通用要求，本次修订后的 NB/T 47013.1—2015，其架构形式主要参考 ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷，具体内容的修订主要参考国内相关法规和标准内容。因此，本部分既体现了我国特色，又与国际先进标准水平相当。

3、修订概况

(1) 历次制修订过程

1994 年由国家机械工业部、化学工业部、劳动部和中国石油化工总公司发布了强制性标准 JB 4730—94《压力容器无损检测》，其中第 1 篇为《总则》。后修订为 JB/T 4730.1—2005《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》，于 2005 年由国家发展和改革委员会发布。

(2) 本次修订的必要性

近十年来，为满足人民生活和国民经济发展的需要，我国承压设备的设计、制造和使用不断向高参数、大型化、极端工况方向发展，且承压设备在役检验的模式发生了一系列较大变化，如长周期检验、RBI、在线检测等，对无损检测技术的需求提到了一个新的高度；同时，这些年国内外无损检测技术有了长足的进步，如衍射时差法超声检测、声发射检测、漏磁检测、射线数字成像检测和脉冲涡流检测等新技术逐渐发展和成熟起来；ISO、EN、ASME、ASTM、JIS 等国际或发达国家标准化组织也在陆续对各自的标准进行制修订。为适应当前承压设备制造、使用及安全管理的技术发展和应用需求，提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力，有必要对本部分进行修订，吸收和参考国内外无损检测的新标准、新技术和新成果，不断发展完善本部分的主要内容，以满足和适应承压设备无损检测的要求。

### (3) 本次修订的原则

- a) 总则里增加 NB/T 47013.7~47013.14 的相关技术内容,并规定每种方法的适用范围;
- b) 适应新法规、标准的要求,同时参考其他相关标准;
- c) 增加无损检测质量控制要求,以规范无损检测行为;
- d) 原有第4章与第5章内容进行互换,更有逻辑性;
- e) 补充本系列标准新增部分的术语和定义;
- f) 体现基于失效模式检验的思想;
- g) 按 GB/T 1.1《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写》对文字进行修改和规范。

### (4) 本次修订的主要技术变化

NB/T 47013.1—2015《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》代替 JB/T 4730.1—2005《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》。

本部分在依据 JB/T 4730.1—2005 的基础上,结合 JB/T 4730.1—2005 实施以来,国内外承压设备无损检测的技术发展、应用成果以及管理要求,特别是国内的经验,并参考美国 ASME、欧盟 EN 和国际标准化组织 ISO 等相关标准,对 JB/T 4730.1—2005 进行了修订。

与 JB/T 4730.1—2005 相比,主要技术内容变化如下:

——本部分第1章对应于 JB/T 4730.1—2005 第1章,主要内容变化为:

修改了范围,从原来的5种无损检测方法扩充到了13种。

——本部分第2章对应于 JB/T 4730.1—2005 第2章,主要内容变化为:

增加了规范性引用文件 GB/T 20737《无损检测 通用术语和定义》。

——本部分第3章对应于 JB/T 4730.1—2005 第3章,主要内容变化为:

a) 增加了有关缺陷的定义;

b) 将与各具体无损检测方法相关的名词术语取消,分别放到各方法标准中。

——本部分第4章对应于 JB/T 4730.1—2005 第5章,主要内容变化为:

a) 将检测人员、设备和器材、检测方法和工艺、检测场所和环境整合成总体要求,组成本章内容;

b) 根据 TSG 28001—2013《特种设备无损检测人员考核规则》修改了无损检测人员要求;

c) 增加了无损检测设备器材的质量要求,以及校准、核查、运行核查和检查的管理要求;

d) 增加了对无损检测方法和工艺的技术要求,包括工艺规程相关因素、操作指导书首次验证等;

e) 增加了检测程序。

——本部分第5章对应于 JB/T 4730.1—2005 第4章,主要内容变化为:

a) 根据技术发展现状修改了无损检测方法的能力范围和局限性;



- b) 增加了目视检测、泄漏检测、声发射检测、衍射时差法超声检测、X 射线数字成像检测、漏磁检测、脉冲涡流检测和 X 射线计算机辅助成像检测的能力范围和局限性。
- 本部分第 6 章对应于 JB/T 4730.1—2005 为新增加，主要内容变化为：  
增加了无损检测质量管理和安全防护内容。
- 本部分第 7 章对应于 JB/T 4730.1—2005 第 5 章，主要内容变化为：
  - a) 增加了无损检测资料和档案的要求；
  - b) 考虑到对无损检测机构的要求应是法规的内容，本部分取消了相关内容。
- 本部分还取消了 JB/T 4730.1—2005 中的资料性附录 A“承压设备无损检测相关标准及文件目录”，增加了资料性附录 A“各无损检测方法通常能检测的一般缺陷”。

## 第 1 章 范 围

### 【NB/T 47013.1】【1 范围】释义

本部分涵盖射线、超声、磁粉、渗透、涡流、目视、泄漏、声发射、衍射时差法超声、X 射线数字成像、漏磁、脉冲涡流和 X 射线计算机辅助成像检测共 13 种无损检测方法和技术。

本系列标准中 NB/T 47013.2 规定的是射线胶片照相检测技术，NB/T 47013.11 规定的是基于数字探测器的射线检测技术（以下简称 DR），NB/T 47013.14 规定的是基于成像板的射线检测技术（以下简称 CR），三者可统称为射线类检测方法；NB/T 47013.3 规定的是脉冲反射法超声检测技术，NB/T 47013.10 规定的是衍射时差法超声检测技术（以下简称 TOFD），两者可统称为超声类检测方法。上述 13 种无损检测方法和技术按照其物理或化学原理有所不同，各有自身特点，既可独立使用，也可根据需要结合使用。其中，表面检测方法有磁粉、渗透、涡流、目视和漏磁（仅能检测表面开口缺陷的方法为渗透和目视；可检测表面开口与近表面缺陷的方法为磁粉、漏磁和涡流）；可同时检测表面和埋藏缺陷的方法有射线类和超声类检测方法（射线类和超声类检测方法可统称为体积检测方法，以示与表面检测方法的区别，但值得注意的是，体积检测方法对表面缺陷检测能力一般弱于表面检测方法）；检测活性缺陷的方法为声发射检测；检测整体致密性的方法为泄漏检测；能检测非铁磁性覆盖层下金属壁厚的腐蚀或其他壁厚减薄缺陷的方法为脉冲涡流检测。

另外，本部分适用于在制和在用金属材料制承压设备的无损检测，包含三层含义：首先，材料方面仅限金属材料，不适用于非金属材料；其次，承压设备包括锅炉、压力容器和压力管道等三类，除非相关法规或产品标准特别规定，这三类承压设备制造、安

装、维修、在用检验等环节采用的无损检测方法和技术要求均应满足本标准规定；最后，考虑到承压设备制造会大量采用原材料制造各种受压元件，如板材、管材、锻件等，其中有一个与其他行业标准衔接的问题，如冶金标准等，总体原则是，当这些原材料用于承压设备时，除非产品标准另有规定，本系列标准应作为这些原材料或受压元件入厂检验或验收的无损检测技术要求。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.1】【2 规范性引用文件】释义

增加了规范性引用文件 GB/T 20737《无损检测 通用术语和定义》。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.1】【3 术语和定义】释义

本部分只规定各无损检测方法标准共同的、基础的术语，与具体方法有关的术语都放到相应的方法标准中。

本章的16个术语和定义均为本次修订增加，主要包括无损检测、各种缺陷定义、公称厚度以及与检测可靠性概念相关的2个术语（即检测灵敏度和缺陷检出率）。

考虑到行业内对各种缺陷定义认识的不一致性，本部分统一了各种不同缺陷的准确定义。

## 第4章 总体要求

### 【NB/T 47013.1】【4 总体要求】释义

本章按人、机、料、法、环的顺序编排，并通过“4.5 无损检测的一般程序”将本部分各个要素有机地联系起来形成一个统一的整体。

### 【NB/T 47013.1】【4.1 检测人员】释义

无损检测人员需要经专业培训和考核，取得相应的无损检测资格和级别，持证上岗，

且只能从事与资格级别相应的无损检测工作，这既是我国各行业一直以来的要求，也是国际通行原则。本标准规定了 13 种无损检测方法和技术，而 TSG Z8001—2013《特种设备无损检测人员考核规则》中仅规定了 9 种人员资格项目，因此，对于未设人员资格且和现有无损检测人员资格无任何技术关联的，如目视和泄漏检测，暂不要求人员资格，或由检测单位自行规定；对于脉冲涡流检测，考虑到其原理类似于涡流检测方法，应具备涡流检测人员资格。

#### 【NB/T 47013.1】【4.2 检测设备和器材】释义

本条较 JB/T 4730.1—2005 有较大变化。主要考虑到无损检测必须借助相应的检测设备器材进行，检测有效性较大程度上依赖于设备器材，而以前由于缺乏明确要求和专业评测手段，一些设备器材的出厂质量管理基本属于不受控状态，且在设备器材使用过程中，也因缺乏具体的管理要求，其稳定性和准确性状态不明确。具体的修改原因及变化体现在以下两方面：

首先，以前在检测设备器材的制造环节存在以下几个问题：一是设备器材研制定型后，其具体性能指标和功能是否能够真正满足标准规定；二是设备器材出厂时的质量状态和具体性能指标均由制造商自己测试和标识，可能存在设备参数作假，甚至有不合格品充作合格品的情况，造成检测质量隐患；三是由于检测设备器材评测的专业性，一般检测人员难以分辨产品优劣，往往成本低廉的劣质产品占据市场主流，不能体现优胜劣汰的价值导向，一定程度上阻碍了我国检测设备器材整体水平的提升。为此，本条对检测设备器材的制造质量进行了规定，要求检测设备和主要器材出厂时应提供两份质量证明文件：一是对应于该产品型号，其所有性能和功能指标应符合本标准 NB/T 47013.2～47013.14 中规定的要求，并提供相应的质量证明文件，考虑到社会公信力，宜由第三方独立有资质的机构出具；二是对于每一台产品，出厂时应提供符合本标准 NB/T 47013.2～47013.14 中规定的出厂质量合格证明文件，质量合格证明文件中主要包括该产品型号质量证明文件中的主要性能指标实测值，一般由设备器材制造商测试和出具。

其次，以前在检测设备器材的使用阶段，也因缺乏有效的管理方式，稳定性和准确性难以保证，可能造成无损检测有效性降低和质量失控。为此，本条对于可反复使用的无损检测设备和灵敏度相关器材也进行了规定，为确保其工作性能持续符合本标准各部分的有关要求，承担无损检测的单位应根据使用时间的长短，采取如下三种管理方式：

1、使用较长时间后，如每年或更长周期，应定期进行检定、校准或核查，并在检测单位的工艺规程中予以规定。

(1) 检定与校准或核查是有严格区分的，检定属于 1985 年《中华人民共和国计量法》中计量管理范畴的执法行为，具有法定性，检定的目的是对测量器具的计量特征及技术要求的全面评价，这种全面评定属于量值统一的范畴，是自上而下的量值传递过程。凡列入《中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录》（原国家计量局〔1987〕量局法字第 188 号，后经国家质检总局先后三次颁布国家强制检定目录〔1991〕374 号、〔1999〕15 号、〔2001〕162 号共计相数 61 相、种数 118 种）的，并直接用于贸易结算、

安全防护、医疗卫生、环境监测的检测仪器设备必须严格依法定点、定期送有资格的法定计量检定机构和授权计量检定机构进行强制检定，检定合格的发“检定合格证书”。涉及无损检测的设备器材需要进行检定的有：射线监测仪、照射量率仪、放射性表面污染仪和个人剂量计。

(2) 对于其他设备和器材，可以不进行检定，但应根据标准的要求进行校准或核查。对于可进行量值溯源的无损检测设备和灵敏度相关器材，应定期进行校准；对于无法进行量值溯源的无损检测设备和灵敏度相关器材，应定期进行核查。所谓量值溯源，指标准中有明确的测量值要求。首先，关于校准，校准不具有法定性，是检验机构自愿溯源行为，校准的目的是对照计量标准，评定测量装置的示值误差，确保量值准确，属于自下而上量值溯源的一组操作，校准的结论不具备法律效力，给出的“校准证书”只是标明量值误差；校准的实施方式包括外部校准和内部校准，内部校准要求具备相应的校准能力，包括测试仪器、工艺文件和测试人员等；其次，关于核查，对一些非强制检定的、无法进行量值溯源的无损检测设备和器材，为了证明设备和器材的状态是良好的、验证设备和器材是满足检测标准要求的，需要定期对无损检测设备和器材进行核查，以证实无损检测设备和器材能够满足检测标准的要求；核查的方式一般是根据标准要求自行开展。

2、使用一段时间后，如1个月、3个月或半年，应开展运行核查，并在检测单位的工艺规程中予以规定。这种方式系指在定期的检定/校准/核查周期内所进行的核查，用以确保设备器材状态的可信度。运行核查不是“再校准”，校准是解决仪器设备“准不准”的问题，而运行核查是解决设备器材“稳（定）不稳（定）”的问题。运行核查的方式一般为自行开展。

3、每次使用前，应按标准要求进行检查，并在检测单位的操作指导书中予以规定。每次使用前，应该检查的是容易产生变化且与检测有效性相关的性能项目，如超声检测斜探头的参数[前沿距离（入射点）； $K$ 值（折射角 $\beta$ ）]；磁粉检测设备和磁悬液的综合性能（系统灵敏度）等。

值得注意的是，本条规定的仅是原则，使用阶段中具体应采取哪些管理方式，应根据其相应的方法标准中的内容实施。

### 【NB/T 47013.1】【4.3 检测方法和工艺】释义

#### 1、关于无损检测方法的选用（4.3.1）

首先明确了可选择并可直接应用的范围，即本系列标准所包含的13种无损检测方法和技术。其中，若选用射线检测、超声检测、TOFD、DR或CR等方法检测对接焊接接头时，还应明确检测技术等级。技术等级的差异主要体现在技术工艺要求和设备器材条件的不同以及检测灵敏度或缺陷检出率的区别。

其次，本条给出了选择无损检测方法和技术的的基本原则。在制造环节，无损检测方法技术的选择是由设计人员在设计文件中规定的，而在使用环节，无损检测选择则往往由检验人员确定。由于设计人员和检验人员对无损检测技术往往不是很熟悉，因此有必



要描述选择的一些基本原则：

(1) 根据承压设备的材质、结构、制造方法、工作介质、使用条件和失效模式预计可能产生的缺陷种类、形状、部位和方向。

(2) 根据承压设备安全技术规范和相关产品标准及有关技术文件规定（可选择的无损检测方法及技术质量要求）。

(3) 按本节和第5章内容以及 NB/T 47013.2~47013.14 的规定，选择一种或多种适宜的无损检测方法（一种最优方法或组合检测）。

(4) 确定其检测技术等级、检测比例、质量要求和合格级别等，形成明确的检测要求，并体现于设计文件或检验方案。

最后，关于新方法、新技术和新工艺的应用。新方法和新技术指未列入本标准的无损检测方法和技术，如目前采用相控阵检测、导波检测或磁记忆检测技术等；新工艺指该无损检测方法已列入本标准，但适用范围超出了本标准的规定或者实施达不到标准规定的条件，如采用超声检测异种钢焊接接头或者 80mm 以上厚度的奥氏体不锈钢对接接头，射线检测插入式管座角焊缝采用源在内单壁中心透照方式时  $f$  值减小到规定值的 50% 以下，等等。在承压设备制造、安装、检修与使用阶段，可能会出现各种情况，如某些承压设备因结构原因无法按设计条件实施检测、工期原因、现场条件限制、安全因素等，还有可能为促进技术进步而开展的示范工程，均可能涉及新方法、新技术和新工艺的应用。为此，本条规定了相应的技术要求：检测人员需具备相应能力，设备器材应满足要求，检测工艺文件应经现场试验和技术验证达到检测要求并形成企业标准，该企业标准一般应通过全国锅炉压力容器标准化技术委员会评审备案方为有效。另外，在制造和安装环节，还应根据承压设备的具体类别，按相关法规和安全技术监察规程的规定进行，如对于在制压力容器对接接头的无损检测新方法、新技术或新工艺使用，首先应按本条要求形成企业标准，再按《固定式压力容器安全技术监察规程》的要求，向国家质检总局申报，总局批准后方可投入生产、使用。对相关法规和安全技术监察规程中未明确规定无损检测方法和技术的，如压力容器接管角接接头，其埋藏缺陷检测采用新方法、新技术和新工艺时，其企业标准一般应通过全国锅炉压力容器标准化技术委员会评审备案即为有效。

## 2、关于无损检测工艺文件（4.3.2）

本条较 JB/T 4730.1—2005 有较大变化。

首先，JB/T 4730.1—2005 为：检测工艺规程包括通用工艺规程和工艺卡，现为：检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

其次，明确了检测单位应制定检测工艺文件，以及工艺文件应包含的两类文件：工艺规程和操作指导书。

制订工艺规程的要求：

(1) 编制依据，是相关法规、产品标准、有关的技术文件和本标准的要求，并针对本检测单位的特点和技术条件，其重点一是要覆盖检测单位的检测对象，二是要结合单位实际情况编制，不应简单地抄标准法规，要有针对性。

(2) 工艺规程的内容，本部分第7章及NB/T 47013.2~47013.14的相应内容。

(3) 参考ASME第V卷，在工艺规程中要求明确相关因素，相关因素即工艺规程适用范围的边界条件，当相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

制订操作指导书的要求：

(1) 编制依据，是工艺规程并结合检测对象的具体检测要求，检测对象的具体检测要求来自于本部分4.3.1.3中所要求的设计文件（在制）或检验方案（在用）。

(2) 操作指导书的内容，一要完整，即应包含本部分第7章及NB/T 47013.2~47013.14的相应内容，二要明确和具体，即其中的每一项内容均应意义清晰，检测工艺的每一个参数不应为某个范围，而应为一个具体值，例如，超声操作指导书中探头K值应明确，不应写成2~3，而应为一个确定值，如K2。

(3) 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，若检测对象和检测工艺相对简单，可采用对比试块或在实际工件上进行验证；若对象结构、材料或检测工艺相对复杂时，应在模拟试块上进行。值得注意的是，本条规定的是一个基本原则，在具体对象、具体方法应用时应按照相应的方法标准规定实施。还有一点，“首次应用”意指工艺规程相关因素未变化的情况下编制的操作指导书，在第一次使用该操作指导书进行检测时应做工艺验证，只要工艺规程的相关因素未变化，日后采用该操作指导书进行检测时，无需再做工艺验证，但第一次验证的相关数据应保存备查。

#### 【NB/T 47013.1】【4.4 检测场所和环境】释义

本条为新增内容，主要参考ISO-IEC 17025《检测和校准实验室认可准则》对检测场所和环境进行了规定和要求。

无损检测需在具体的场所和环境里实施，因此场所和环境条件对检测实施和检测质量的影响不容忽视。场所和环境包括但不限于能源、照明和环境条件，主要通过三个方面影响检测质量：一是影响检测人员的身体和情绪乃至判断力，如高低温、尖锐噪声、光亮度过低或过高等；二是影响检测设备器材的性能，如电噪声、雨水等；三是影响检测条件，如施加渗透检测剂时的强烈侧风、射线检测时的检测对象震动等。

另外，当两种及以上的活动共处于同一场所和环境中的相互影响，当一种活动对另一种活动造成较大影响时称为不相容活动，如焊接与检测不可同时进行、清洗与表面检测不可同时进行等。

#### 【NB/T 47013.1】【4.5 无损检测的一般程序】释义

本条为新增内容，描述了无损检测准备、实施、报告的完整全过程，通过本条所述的各个环节将本部分规定的各个要素有机地联系起来，形成一个统一的整体。

## 第5章 各无损检测方法的使用原则

### 【NB/T 47013.1】【5.1 通用原则】释义

每一种无损检测方法都有其能力范围和局限性，为便于设计人员、检验人员、安全监察人员和无损检测人员等承压设备相关人员加强对标准的理解和应用，本条对所涉及的各项无损检测方法的应用提出了一些原则性要求。

#### 1、按不同方法的检测能力分类。

(1) 按检测不同位置缺陷的能力分为：

- a) 仅表面开口缺陷，包括渗透和目视检测；
- b) 可检测表面开口与近表面缺陷，包括磁粉、漏磁和涡流检测；
- c) 可同时检测表面开口、近表面和埋藏缺陷，包括射线、超声、TOFD、DR 和 CR 检测，需要注意的是射线类(射线胶片、DR 和 CR)和超声类(超声和 TOFD)检测方法对于表面开口缺陷或近表面缺陷的检测能力一般不如表面检测方法。

(2) 按检测缺陷活性的能力分为声发射检测、其他检测方法。

(3) 按整体致密性检测的能力分为泄漏检测、其他检测方法。

2、对于铁磁性材料的表面检测，应优先采用磁粉检测方法，确因结构形状等原因不能采用磁粉检测时方可采用其他无损检测方法（如渗透或涡流检测）。这样规定主要是考虑一是磁粉检测的灵敏度高、成本低且检测速度快，二是磁粉检测可同时检测表面和近表面缺陷。

#### 3、对承压设备的同一部位进行检测的评级问题进行了明确。

(1) 若采用一种无损检测方法不同检测工艺分别进行检测时，如果检测结果不一致，应以危险度大的评定级别为准，如超声检测分别采用 K1、K2 斜探头检测时，以评定级别低的为准。

(2) 采用两种或两种以上的检测方法，应按各自的方法评定级别，如分别采用射线和超声检测，按各自方法评定级别和验收。

### 【NB/T 47013.1】【5.2 各无损检测方法的能力范围和局限性】释义

本条对原有的 5 种无损检测方法，即射线、超声、磁粉、渗透和涡流检测，根据当前技术发展状况进行了适当修改；另新增其他 8 种无损检测方法和技术的能力范围和局限性描述。

对于埋藏缺陷检测，本标准包含 2 类共 5 种技术，即射线类（胶片照相、DR、CR）和超声类（脉冲反射法、TOFD）。具体如何选用，应根据相关法规和产品标准并结合各检测方法特点，但一般应考虑以下因素：

1、射线类三种技术中，DR 相对胶片照相和 CR 而言，一般具有更快的成像速度、



更高的检测速度、厚度宽容度和检测灵敏度，且不需洗片直接成像；但 DR 的成像器件不能折弯，检测小径承压设备的成像变形较大，同时系统组成单元多，不利于现场携带，且对射线源有更高的要求；CR 和胶片的可弯曲性、检测速度和成像质量类似，但减少了胶片的暗室处理环节。

2、超声类两种技术中，首先两者对于缺陷检出的原理不一样，脉冲反射法是根据缺陷反射回波检测与定量，TOFD 主要是根据缺陷衍射波检测与定量；其次，脉冲反射法通常使用单探头，TOFD 使用双探头组；再次，脉冲反射法为波形显示，TOFD 为成像显示，较直观；最后，脉冲反射法无记录，TOFD 有记录。总体而言，对于两者均适用的焊接接头，TOFD 的缺陷检出率、检测灵敏度和缺陷定量精度相对更高一些；对于复杂结构，脉冲反射法的可实施性更好一些。

3、射线类检测和超声类检测相比较：三种射线检测技术的结果均有直接记录（底片或图像），可以获得缺陷的投影图像，缺陷定性、长度测量比较直观和准确，对体积型缺陷和薄壁工件中的缺陷检出率较高；其缺点是厚壁工件的缺陷检出率偏低，缺陷在工件中厚度方向的深度位置难以确定，自身高度难以测量，对面积型缺陷的检出受到多种因素影响，有时会漏检，射线对人体和环境有害，防护成本、检测成本较高而且射线检测速度较慢等。两种超声检测技术均对面积型缺陷的检出率较高，穿透能力强，适合于厚壁工件，缺陷定位准确，可以测量缺陷自身高度，尤其是 TOFD 测高精度较好；超声对人体和环境无害，检测成本较低且检测速度较快等；其缺点是缺陷定性有一定困难，长度测量精度不高；脉冲反射法超声检测结果无直接见证记录，无缺陷直观图像；另外，采用超声检测，一般需要对探头扫查面进行打磨处理，增加了工作量等。

## 第6章 无损检测质量管理和安全防护

### 【NB/T 47013.1】【6.1 检测单位应建立无损检测质量管理制度，加强无损检测质量控制】释义

本条强调质量管理的必要性和重要性。质量管理系指确定质量方针、目标和职责，并通过质量体系中的质量策划、质量控制、质量保证和质量改进来使其实现的所有管理职能的全部活动。无损检测质量管理制度的内容包括：

- （1）质量管理文件及控制。
- （2）管理职责。
- （3）资源配置、管理及技术支持。
- （4）检测实施。
- （5）分析及改进。

质量控制是指通过监视质量形成过程，消除质量环上所有阶段引起不合格或不满意

效果的因素以达到质量要求而采用的各种质量作业技术和活动。

无损检测过程存在的一系列影响检测质量因素，可以归纳为人员、设备器材、技术文件、操作过程和环境几方面。应加强对所有这些影响因素的分析并研究如何进行有效的规范与控制。

### 【NB/T 47013.10】【6.2 无损检测质量管理和安全防护】释义

本条明确了无损检测质量管理的内容：

(1) 无损检测人员。人员是实施无损检测的主体，其素质和技术水平对无损检测工作的质量影响极大，管理内容具体包括资格级别管理、培训教育管理、人员技术档案建立与管理、工资薪酬管理等。

(2) 无损检测设备器材。设备器材是无损检测实施的基本工具，采购控制（质量证明书，标准符合性证明，验收）；特殊需求的提出与性能检查；操作文件；定期检定、校准和核查；运行核查和检查；修理更换后的验证等。

(3) 无损检测工艺文件。工艺文件包括工艺规程和操作指导书。本标准所涉及方法的工艺规程：按相应内容，由III级人员编制和审核；如采用新方法新技术，应经客户同意，参照 4.3.1.4。操作指导书在首次应用前需工艺验证。

(4) 无损检测资料和档案。资料和档案包括检测记录和报告等。具体内容见本部分第 7 章。

(5) 无损检测场所和环境。应注意以下几点：

- a) 形成检测设施和环境条件的管理规定[包括各类特种设备现场检测环境条件要求(如磁粉检测工件表面观察亮度要求)和设施条件要求(如评片室亮度要求)等方面的控制要求]；
- b) 形成检测设施与环境条件的检查记录（如渗透检测时的环境温度）；
- c) 具有特殊检测设备（如 $\gamma$ 射线源）、特定检测场所（如射线曝光室）的资质证明。

### 【NB/T 47013.1】【6.3 安全防护措施至少应考虑如下因素】释义

本条总结了无损检测实施中可能存在的危险源，对相关安全防护作出了规定：一是提示无损检测人员，二是督促相关单位形成安全防护的有关规定。

部分无损检测方法会产生或附带产生放射性辐射、电磁辐射、紫外辐射、有毒物质、易燃或易挥发物质、粉尘等。这些物质对人体会有不同程度的损害。在实施无损检测时，应根据可能产生的有害物质的种类，按有关法规或标准的要求进行必要的防护和监测，对相关的无损检测人员应采取必要的劳动保护措施。比如，射线曝光室通风要求；封闭空间内实施渗透检测的安全注意事项；“三废”（气体废物、液体废物、固体废物）排放规定等。

在封闭空间内进行操作时，应考虑氧气含量等相应因素，并采取必要的保护措施。因此事前、事中均需进行氧气含量测定，如不合格，则不得进入。

在进行高空操作时，应考虑人员、检测设备器材坠落等因素，并采取必要的保护措施。

施。比如考虑脚手架、平台等高空操作风险。

在极端环境条件下进行操作前，如深冷、高温等条件下，应考虑冻伤、中暑等因素，并采取必要的保护措施。如接触液氮、冷库等低温检测危险和电力锅炉等高温检测危险。

另外，对存在有毒有害气体或其他可能损害人体的各种环境因素，在实施无损检测前，应仔细加以辨识，并采取必要的保护措施。如石化现场经常可碰到的可燃气体超标等风险。

## 第7章 无损检测资料和档案

### 【NB/T 47013.1】【7.1 无损检测档案】释义

本条规定了档案应包含的内容，同时规定检测单位应建立档案管理制度。档案保存不善，等于没有档案。

### 【NB/T 47013.1】【7.2 无损检测工艺文件】释义

本条规定了工艺文件及其具体内容要求。工艺文件应包括工艺规程和操作指导书。工艺规程即 JB/T 4730.1—2005 中的通用工艺规程，操作指导书包含但不仅限于 JB/T 4730.1—2005 中的工艺卡。

对 JB/T 4730.1—2005 中的工艺规程内容进行了修改与完善，主要是根据本次修改的变化新增了 e)、f) 和 g) 条要求：

- e) 检测设备和器材，以及检定、校准或核查的要求及运行核查的项目、周期和性能指标；
- f) 工艺规程涉及的相关因素项目及其范围；
- g) 不同检测对象的检测技术和检测工艺选择，以及对操作指导书的要求。

对 JB/T 4730.1—2005 中的操作指导书，也进行了相应修改。

### 【NB/T 47013.1】【7.3 无损检测记录】释义

本次修订强调了记录的内容和要求，第一，明确了记录的内容；第二，强调记录应当在检测时同步完成，不得事后追记；第三，无损检测记录应真实、准确、完整、有效，并经相应责任人员签字认可；第四，关于记录的保存期，应符合相关法规标准的要求且不得少于 7 年，7 年后，若用户需要，可将原始检测数据转交用户保管，7 年是最低要求，当其他法规或产品标准要求更长时，应按更长时间规定，记录的存储条件需要特别规定。

## 【NB/T 47013.1】【7.4 无损检测报告】释义

本条规定了报告的内容和要求，考虑到检测对象和检测方法千差万别，本部分不对报告的格式作统一规定，只对报告的内容作了明确要求。

### 附录 A（资料性附录） 各无损检测方法通常能检测的一般缺陷

根据 GB/T 1.1—2009，标准的附录分为规范性附录和资料性附录。两者的性质是不一样的：规范性附录给出标准正文的附加或补充条款，资料性附录给出有助于理解或使用标准的附加信息。另外，声明符合标准时，应符合该标准规范性附录的要求，资料性附录作为参考。

本部分的附录 A 为资料性附录。

## 【NB/T 47013.1】【附录 A 各无损检测方法通常能检测的一般缺陷】释义

每一种无损检测方法都有其能力范围和局限性。为便于设计人员、检验人员、安全监察人员和无损检测人员等与承压设备相关人员加强对标准的理解和应用，本标准对所涉及的各无损检测方法的典型对象和典型检测能力提出了一些原则性要求。

对于成品成型、焊接与使用阶段产生的表面开口、近表面或埋藏缺陷，本条给出了各主要无损检测方法对各缺陷检出难易程度的一般总结，可作为无损检测方法初步选择的参考。



**NB/T 47013.2—2015**

**《承压设备无损检测  
第2部分：射线检测》**

**标 准 释 义**

# 引言

## 1、射线检测的定义与原理

本部分所述的射线检测指用 X 射线或  $\gamma$  射线穿透工件，用胶片作为信息载体，对结构或材料进行检测，发现其内部或表面宏观缺陷并确定其性质、尺寸、数量、位置的无损检测技术。

射线在穿透物体过程中会与试件发生相互作用，因吸收和散射而使其强度减弱。强度衰减程度取决于物质的衰减系数和射线在试件中穿越的厚度。如果被透照试件的局部存在缺陷，且构成缺陷的物质的衰减系数不同于试件的衰减系数，该局部区域的透过射线强度就会与周围产生差异。把胶片放在适当位置使其在透过射线的作用下感光，经暗室处理后得到底片，底片上各点的黑化程度取决于射线量（又称曝光量，等于射线强度  $\times$  照射时间），由于缺陷部位和完好部位的透射射线强度不同，底片上相应部位就会出现黑度差异。底片上相邻区域的黑度差定义为“对比度”。把底片放在观片灯上借助透过光线进行观察，可以看到由相邻区域的黑度差构成的不同形状的影子，评片人员据此判断缺陷情况并评价试件质量。射线检测的基本原理见图 1（以 X 射线为例）。

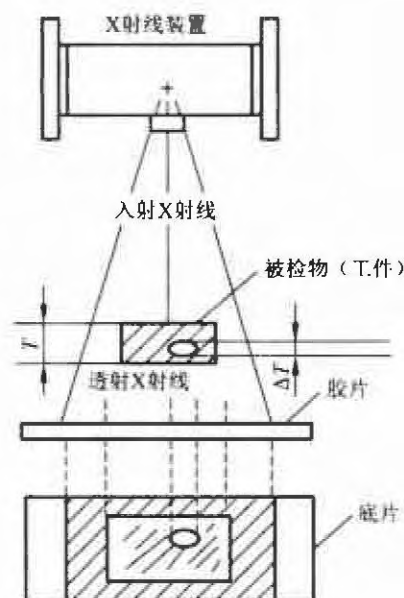


图 1 射线检测基本原理

射线检测方法在承压设备制造检验和在用检验中得到广泛的应用，它的检测对象一般是各种熔化焊接方法的焊接接头和铸钢件，不适宜钢板、钢管等压延件的检测。射线检测使用底片作为记录介质，可以得到缺陷的直观图像，能确定缺陷平面投影的位置、大小以及缺陷的性质，且可以长期保存，但较难确定缺陷的深度和自身高度。

射线检测方法能检测出焊接接头中存在的未焊透、气孔、夹渣、裂纹和坡口未熔合等缺陷，铸件中存在的裂纹、缩孔、缩松、疏松、夹杂和气孔等缺陷。

射线检测方法较难检测出厚锻件、管材和棒材中存在的缺陷、T型焊接接头和堆焊层中存在的缺陷、焊缝中存在的细小裂纹和层间未熔合等缺陷。

## 2、射线检测技术国内、外发展现状

随着更多的金属材料（比如一些承压设备用新型合金钢）和焊接结构型式（比如管座角焊缝、管子-管板角焊缝等）射线检测的逐步开展，JB/T 4730.2—2005 已经不适应目前承压设备射线检测的应用。目前国外射线检测在胶片分类、胶片透照技术、特殊结构焊缝（比如管座角焊缝、管子-管板角焊缝等）检测、散射线屏蔽和过滤、暗室处理等方面有了较大的发展。有必要结合国内射线检测的实际状况和接轨国外射线检测技术的发展，对 JB/T 4730.2—2005 进行修订。

本部分主要修订内容与国际或国外先进标准以及工程建设实践经验的参考对应情况见表 1。

表 1 主要修订内容对应的标准或实际经验

序号	主要修订内容	参 考 标 准
1	管座角焊缝检测要求	GB/T 3323《金属熔化焊焊接接头射线照相》 ISO 17636-1《焊缝无损检测-熔化焊焊缝射线检测》 EN 1435《无损检测-焊缝射线检测》 RCC-M《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》 ASME BPVC.5《无损检测》
2	孔型像质计的选择和使用	
3	Yb169 和 Tm170 射线源的应用	
4	透照工艺	
5	标准密度片黑度范围和黑度基准	
6	胶片分类	GB/T 19348.1 (ISO 11699-1)《无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线照相胶片系统的分类》
7	暗室安全照明时间的确定	GB/T 6846《摄影 ISO 安全灯条件的确定》 ISO 8374《ISO 安全灯条件的确定》 ASME BPVC.5《无损检测》
8	双胶片透照技术、滤光板、胶片暗室处理试剂选用原则、胶片处理延迟时间及其底片质量检验的内容、底片黑度提高和双胶片透照技术的黑度要求、底片的储存要求、γ射线源透照时间的限制	主要参考了 RCC-M《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》在核电建设中的实践经验，并对国内承压设备检测的质量要求和特点做了适当修订
9	管子-管板角焊缝射线检测技术要求	主要参考和结合了国内外换热器管子-管板角焊缝射线检测的工程规范及核电蒸汽发生器管子-管板焊缝的射线检测实践经验
10	电渣焊检测区宽度范围	主要参考了焊接手册及相关文献，提出了由制造商根据自身的焊接工艺进行确定或合同双方商定的原则要求



### 3、国内、外相关射线检测标准与本部分的对比

本部分的修订是在吸收国内外先进技术的基础上，顺应国际无损检测技术的发展方向、与国际接轨及与国家相关的规范标准进一步衔接的需要，广泛征求国内同行及使用单位的意见，并充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，作为修订本部分的技术依据。修订本部分时结合工程实践经验和我国承压设备检测的现实情况，补充、细化和明确相关检测技术参数和概念，同时兼顾实用性、可操作性、生产效率和检测成本等问题，力求使技术要求与国外先进技术相近。

国内、外相关射线检测标准与本部分主要技术内容的对比情况见表2。

表2 国内、外相关射线检测标准与本部分主要技术内容对比

序号	主要技术内容	国内、外相关射线检测标准对比				
		NB/T 47013.2	GB/T 3323	RCC-M	ISO 17636-1	ASME BPVC.5
1	管座角焊缝检测	给出了具体的检测技术要求	仅给出透照示意图	给出了基本的检测技术要求	仅给出透照示意图	—
2	孔型像质计	允许使用（阶梯孔型）	允许使用（阶梯孔型）	允许使用（阶梯孔型）	允许使用（阶梯孔型）	允许使用（平板孔型）
3	Yb169 和 Tm170	允许使用	允许使用	只允许使用 Tm170	允许使用	不限使用
4	胶片类型的选择依据	射线源、被检工件材料、检测技术等级	射线源、被检工件材料和厚度、检测技术等级	射线源、被检工件厚度、焊缝规范等级	射线源、被检工件材料和厚度、检测技术等级	不限制，工业胶片即可
5	暗室安全照射时间确定	给出了一种确定安全照射时间的方法	—	—	—	SE-94 提及安全灯测试，没有详细描述
6	双胶片透照技术	根据特定条件选择使用并给出了具体的技术要求	—	根据特定条件选择使用并给出了具体的技术要求	—	允许使用，但没有具体的技术要求
7	滤光板	允许使用，推荐按照厚度选择滤光板厚度	允许使用，与厚度对应关系不明确	允许使用，推荐按照厚度选择滤光板厚度	允许使用，只给出了推荐的滤光板厚度范围	允许使用，但没有提出具体要求
8	底片处理质量的检验	给出了具体的技术要求	—	给出了具体的技术要求	—	—
9	管子-管板角焊缝射线检测技术	给出推荐性的技术要求	—	—	—	—
10	电渣焊检测区宽度范围	给出了原则性要求	—	—	—	—



## 4、修订概况

### (1) 历次制修订过程

JB 4730—94《压力容器无损检测》于1994年发布实施，其中第二篇为射线检测，后修订为JB/T 4730.2—2005《承压设备无损检测 第2部分：射线检测》。

全国锅炉压力容器标准化技术委员会依据《国家能源局关于下达2012年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2012〕326号），于2012年1月组建了涵盖承压设备、核电、石油化工和无损检测等各个行业专家组成的标准工作组，启动标准修订的各项准备工作，并正式开展标准修订工作。2015年4月2日发布NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第2部分：射线检测》，2015年9月1日正式实施。

在本次修订过程中，除了参编单位，烟台台海玛努尔核电设备有限公司、立信染整机械（深圳）有限公司、江苏标新久保田工业有限公司、贵州燃气集团贵州安发工程检测有限公司、中广核检测技术有限公司和浙江省缙云像质计厂等单位积极配合，给予了一些试验验证的技术支持。

### (2) 本次修订的必要性

JB/T 4730.2—2005实施以来，对规范承压设备的管理，保障设备产品质量，提高设计、选材、制造、使用、检验水平以及减少安全事故等方面起到了积极作用。随着我国承压设备建造和管理水平的逐步提高，以及国内外射线检测在胶片分类、胶片透照技术、特殊结构焊缝检测、散射线屏蔽和过滤、暗室处理等方面的技术发展，为了与承压设备安全技术规范和标准进行有效衔接，落实标准执行过程中的经验反馈，有必要结合国内射线检测的实际状况对JB/T 4730.2—2005进行修订，使标准既充分反映行业的无损检测技术和管理水平，又与国际接轨，进一步推动行业的技术进步。

### (3) 本次修订的原则

- a) 以JB/T 4730.2—2005为基础，主要参考GB/T 3323、ISO 17636-1、EN 1435、RCC-M标准和ASME BPVC.5等；
- b) 依据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定和NB/T 47013标准修订组的统一要求，对原标准格式进行调整，统一原标准中的名词、术语等；
- c) 针对承压设备制造、安装及使用过程中的特点，详细规定了射线检测工艺文件、检测报告和记录的内容；
- d) 对JB/T 4730.2—2005中不妥之处进行适应性修改。

### (4) 本次修订的主要技术变化

与JB/T 4730.2—2005相比，本部分的主要技术内容变化如下：

——第1章对应于JB/T 4730.2—2005第1章，主要内容变化为：

扩大了标准的适用范围，增加插入式管座角接头对接焊缝、安放式管座角接头对接焊缝和管子-管板角焊缝的X射线及 $\gamma$ 射线检测技术和质量分级要求，取消了钢的分类。

——第2章对应于JB/T 4730.2—2005第2章，主要内容变化为：

修改和增加了部分规范性引用文件。

——第3章对应于JB/T 4730.2—2005第3章，主要内容变化为：

在本章体现射线检测专用术语和定义的内容，并增加了一次透照长度和双胶片透照技术。

——第4章对应于JB/T 4730.2—2005第3章，主要内容变化为：

- a) 增加Yb169和Tm170射线源应用的规定；
- b) 修改了工业射线胶片系统分类，将胶片分为C1、C2、C3、C4、C5和C6六类。胶片类型的选择按照新的分类标准重新进行修订，同时补充了胶片灰雾度测量的相关要求；
- c) 修改了黑度计校验时机内容；
- d) 增加了标准密度片的黑度范围和测量点数目的相关规定；
- e) 增加了增感屏质量及使用要求、中屏材料及厚度范围、Yb169和Tm170两种 $\gamma$ 射线增感屏材料及厚度范围，并明确了增感屏制造标准；
- f) 增加了孔型像质计应用的内容，并修订了不同材料的像质计适用的工件材料范围及像质计使用和放置原则；
- g) 增加了暗室安全照明时间确定的内容；
- h) 增加了射线检测工艺文件的基本要求和验证的相关规定；
- i) 修改了特殊条件下射线检测技术等级允许放宽原则。

——第5章对应于JB/T 4730.2—2005第4章，主要内容变化为：

- a) 修改了检测时机要求，明确检测时机应满足相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求；
- b) 同时应满足合同双方商定的其他技术要求；
- c) 增加了焊接接头检测区宽度范围确定的内容；
- d) 增加了胶片透照技术和底片观察技术应用的内容；
- e) 增加了确定管座角焊缝、椭圆形封头和蝶形封头小 $r$ 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝一次透照长度的原则；
- f) 增加了内偏心透照( $F < D_0/2$ )时透照次数的计算公式；
- g) 增加了有效评定区搭接的技术要求；
- h) 修改了结构限制特殊情况下小径管的透照原则；
- i) 增加了安放式和插入式管座角焊缝采用源在内透照方式时 $f$ 值放宽的原则；
- j) 增加了胶片与被检工件之间距离的放置原则；
- k) 增加了限制 $\gamma$ 射线源曝光时间和使用多源捆绑曝光的规定，同时提出球罐全景曝光像质计摆放要求；
- l) 增加了滤光板应用的推荐技术要求；
- m) 修改了定位标记和识别标记的放置原则；
- n) 增加了胶片暗室处理试剂选用原则、胶片处理延迟时间及其底片处理质量检验的内容；

- o) 修改了底片质量要求的内容,增加了底片保存的内容;
- p) 修改了不同透照厚度应达到的像质计灵敏度,对应的材料厚度范围有所扩大,并增加了孔型像质计的灵敏度要求。
- 第6章和第7章对应于JB/T 4730.2—2005第5章和第6章,主要内容变化为:焊接接头射线检测结果评定和质量分级部分增加了适用的焊接结构型式。
- 本部分第8章对应于JB/T 4730.2—2005第7章,主要内容变化为:增加和修订了射线检测记录和报告的内容。
- 附录对应于JB/T 4730.2—2005附录,主要内容变化为:
  - a) 删除了JB/T 4730.2—2005附录F专用像质计的型式和规格的内容;
  - b) 增加了管子-管板角焊缝射线照相技术要求的内容(附录A);
  - c) 修改了JB/T 4730.2—2005附录A工业射线胶片系统的特性指标的内容(附录B);
  - d) 增加了暗室安全照射时间确定的内容(附录D);
  - e) 增加了典型透照方式示意图关于管座角焊缝透照的内容(附录E);
  - f) 增加了几何不清晰度( $U_g$ )计算方法的内容(附录H);
  - g) 增加了滤光板的内容(附录I);
  - h) 增加了定位标记的放置原则关于管座角焊缝放置原则的内容(附录J);
  - i) 增加了底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法的内容(附录K);
  - j) 修改了JB/T 4730.2—2005附录H对比试块的型式和规格的内容(附录L)。

本部分释义均在每个章标题下以表格的形式简要梳理了本部分和JB/T 4730.2—2005之间主要技术内容及其差异性对比,为使用者快速索引新旧标准的技术内容差异提供参考。

第1章 范 围

【NB/T 47013.2】【1 范围】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
范围	1	1) 适用于对接接头对接焊缝; 2) 针对钢材类型,适用于碳钢、低合金钢和不锈钢三类; 3) 检测技术等级分为A、AB和B三级	1	1) 除了对接接头对接焊缝,增加了管座角焊缝和管子-管板角焊缝的射线检测; 2) 取消了钢的分类; 3) 检测技术等级分类没有变化,在4.3“检测技术等级”中阐述; 4) 增加了“承压设备其他金属材料焊接接头的射线检测也可参照使用”的规定
附录	附录C	典型透照方式示意图	附录E	典型透照方式示意图



## 1、关于适用范围

(1) 相比 JB/T 4730.2—2005，本部分适用的承压设备用钢和焊接接头型式范围有所扩大。

(2) 本部分明确了适用的材料，包括承压设备用钢、镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金，本部分没有规定的其他金属材料焊接接头的射线检测允许参照使用，为承压设备其他金属材料焊缝的射线检测提供标准或参考依据。比如承压设备用锆材，可以结合近似等效系数并参考本部分进行检测。部分金属材料相比钢的射线照相近似等效系数如表 3 所示。

表 3 部分金属材料相比钢的射线照相近似等效系数

金属	射 线 能 量									
	100kV	150kV	220kV	250kV	400kV	1MeV	2MeV	4MeV~ 25MeV	Ir192	Co60
锆	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0
铝	0.08	0.12	0.18	—	—	—	—	—	0.35	0.35
铝合金	0.10	0.14	0.18	—	—	—	—	—	0.35	0.35
钛	—	0.54	0.54	—	0.71	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
铜	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
黄铜	—	1.4	1.3	—	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0
Inconel 合金	—	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Monel 合金	1.7	—	1.2	—	—	—	—	—	—	—

(3) 针对“检测技术”，本部分没有限定适用的材料厚度范围。

(4) 针对“射线检测结果评定和质量分级”，本部分限定了适用的材料厚度范围、焊接接头型式或类型。

- a) 第 6 章适用于“承压设备双面焊对接焊缝、相当于双面焊对接焊缝以及带垫板的单面焊对接焊缝”。
  - 钢、镍及镍合金 ( $\leq 400\text{mm}$ );
  - 铜及铜合金 ( $\leq 80\text{mm}$ );
  - 铝及铝合金 ( $2\text{mm} \sim 80\text{mm}$ );
  - 钛及钛合金 ( $2\text{mm} \sim 50\text{mm}$ )。
- b) 第 7 章适用于“承压设备管子或压力管道带垫板或不带垫板的单面焊环向对接焊缝”。钢、镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金 ( $\geq 2\text{mm}$ )。
- c) 关于承压设备管子以及压力管道熔化焊对接纵向焊接接头(包括螺旋焊)射线检测结果评定和质量分级,在第 7 章中增加“对于熔化焊对接纵向焊接接头(包括螺旋焊)按照第 6 章的规定执行”的规定,见 NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》第 1 号修改单(国家能源局 2018 年第 7 号公告)。



(5) 承压设备的设计是由业主、制造方或委托第三方进行的，无论承压设备由合同哪一方进行设计（或委托设计），“合同双方商定”应考虑设计方的意见。

## 2、关于本部分取消钢的分类的理解

JB/T 4730.2—2005 规定适用的材料范围是：碳素钢、低合金钢和不锈钢，但随着一些承压设备合金含量较高的新型钢材的推广应用，例如电站锅炉普遍使用的材料 P91 和 P92，均不属于碳素钢、低合金钢或不锈钢的范畴，超出了 JB/T 4730.2—2005 材料适用的范围。因此，本部分参考 GB/T 13304.1 和 GB/T 13304.2，结合 GB/T 150 等规范和标准，取消了承压设备用碳素钢、低合金钢、不锈钢的分类，修改为承压设备用钢，扩大了标准的适用范围。

# 第 2 章 规范性引用文件

## 【NB/T 47013.2】【2 规范性引用文件】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
规范性引用文件	2	JB/T 4730.2—2005 中被替代、引用有误或不再使用的标准如下： GB 16357—1996《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》 GB 18465—2001《工业 γ 射线探伤放射卫生防护要求》 GB 18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 GB/T 19384.1—2003《无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线胶片系统的分类》 GB/T 19384.2—2003《无损检测 工业射线照相胶片 第 2 部分：用参考值方法控制胶片处理》 HB 7684—2000《射线照相用线型像质计》 JB 4730.1—2005《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》 JB/T 7902—1999《线型像质计》 JB/T 7903—1999《工业射线照相底片观片灯》	2	引用标准（包括增加的标准）如下： GBZ 117《工业 X 射线探伤放射防护要求》 GBZ 132《工业 γ 射线探伤放射防护标准》 GB/T 19348.1《无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线照相胶片的分类》 GB/T 19348.2《无损检测 工业射线照相胶片 第 2 部分：用参考值方法控制胶片处理》 GB/T 19802《无损检测 工业射线照相观片灯最低要求》 GB/T 23901.2《无损检测 射线照相底片像质 第 2 部分：阶梯孔型像质计像质指数的测定》 NB/T 47013.1《承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求》 JB/T 5075《无损检测 射线照相检测用金属增感屏》（GB/T 23910—2009） JB/T 7902《射线照相用线型像质计》
观片灯	3.3	观片灯的主要性能应符合 JB/T 7903 的有关规定；观片灯的最大亮度应能满足评片的要求	4.2.3	观片灯的主要性能应符合 GB/T 19802 的有关规定，最大亮度应能满足评片的要求
辐射安全防护	3.9.2	X 射线检测应按 GB 16357 的规定	4.5.2	X 射线检测时应按 GBZ 117 的规定
	3.9.3	γ 射线检测应按 GB 18465 的规定	4.5.3	γ 射线检测应按 GBZ 132 的规定
附录	附录 F	专用像质计的型式和规格	—	删除

JB/T 4730.2—2005 引用的部分文件已经作废或修订，针对规范性引用文件，本部分主要变化如下：

(1) 取消了引用文件的版本号，实际检测时使用相关引用文件的最新版本。

(2) JB/T 4730.2—2005 中引用的“GB/T 19384.1”和“GB/T 19384.2”标准编号错误，应为 GB/T 19348.1 和 GB/T 19348.2。

(3) GB/T 19348.1—2003 已经废止，现行版本是 GB/T 19348.1—2014。GB/T 19348.2—2003 是现行版本。

(4) 本部分取消 HB 7684—2000 的引用，仅引用 JB/T 7902 标准。

a) JB/T 4730.2—2005 引用的是 JB/T 7902—1999，其最细的线径为 0.100mm (16 号)，不能满足各种透照工艺条件下 AB 和 B 级像质计灵敏度 $\leq 0.100\text{mm}$ 的需要，因此引入了 HB 7684—2000，为 $\leq 0.100\text{mm}$ 像质计使用提供标准依据；

b) 修订 JB/T 4730.2—2005 时对应的 JB/T 7902—2006，以及目前现行的 JB/T 7902—2015，其线径包含了 3.20mm~0.05mm (1 号~19 号) 的范围，满足 A、AB 和 B 级各种透照条件下像质计灵敏度的需要，因此本部分取消了“HB 7684—2000《射线照相用线型像质计》”的引用。

(5) JB/T 7903—1999 已经废止，本部分修订观片灯的适用标准为 GB/T 19802。针对底片黑度的观片灯亮度，5.15.3 的要求与 GB/T 19802 的要求一致。

(6) GB 16357—1996 和 GB 18465—2001 已经废止，针对工业 X 射线和  $\gamma$  射线检测，引用对应的替代辐射防护标准 GBZ 117 和 GBZ 132。

(7) 修订 JB/T 4730.2—2005 时对应的 JB/T 7902—2006，以及目前现行的 JB/T 7902—2015，均包含小径管用等径专用像质计，本部分不再使用 JB/T 4730.2—2005 附录 F 中提及的等径专用像质计。

(8) JB/T 5075—2004 已经废止，被目前现行的标准 GB/T 23910—2009 所涵盖。关于金属增感屏标准，本部分第 2 章和 4.2.6.1 中修改 JB/T 5075 为 GB/T 23910，见 NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第2部分：射线检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

## 第 3 章 术语和定义

### 【NB/T 47013.2】【3 术语和定义】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
术语	—	射线检测专用术语在 JB/T 4730.1—2005 第 3 章中阐述	3	射线检测专用术语移到本部分第 3 章中阐述，并增加了术语“双胶片透照技术”和“一次透照长度”的技术描述



射线检测专用术语移到第3章射线检测“术语和定义”阐述，与NB/T 47013其他部分的格式统一。除了增加了“一次透照长度”和“双胶片透照技术”，其他术语和定义与JB/T 4730.1—2005相比没有变化。

### 1、关于一次透照长度（3.9）

（1）除特殊检测情况外，本部分所述的“一次透照长度”或“透照次数”是考虑横向裂纹检出角因素，基于允许的 $K$ 值最大值来确定的，应理解为在焊缝长度方向上满足 $K$ 值要求的单次曝光对应着的“最大的”有效检测长度。

（2）对于小径管环向焊缝、管子-管板角焊缝、管座角焊缝、椭圆形封头拼接焊缝、碟形封头拼接焊缝小 $r$ 区，以及其他曲率连续变化的焊缝检测，属于“特殊检测情况”，允许以黑度确定单次曝光对应的最大有效检测长度，黑度满足要求的长度即为对应的有效检测长度或范围。

（3）本部分所述“一次透照长度”与使用的胶片规格无直接关系，辐射场足够的情况下，根据实际情况采用单张胶片一次透照或多张不同规格的胶片分段进行透照等，由检测方自行决定，实际检测的“一次透照长度”可能会小于本部分规定的“一次透照长度”的尺寸。

（4）管子-管板角焊缝整圈焊缝在底片上出现，与“一次透照长度”对应的名词为“一次透照有效区域”，并规定以黑度来确定这个区域的范围。如图2所示，两条同心圆粗虚线之间是焊缝的投影区域，即检测评定区域，但该区域黑度并不均匀，左边箭头所指区域黑度符合标准，右边箭头所指区域黑度小于1.5，不符合标准。显然，按照黑度符合标准规定的区域为“一次透照有效区域”的定义，该底片的“一次透照有效区域”没有完全覆盖检测评定区域，此时应考虑对该焊缝进行补充透照。

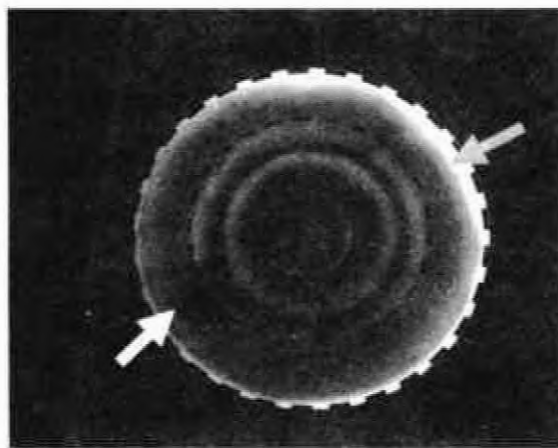


图2 管子-管板角焊缝的评定区和一次透照有效区域示例

### 2、关于双胶片透照技术（3.12）

（1）“双胶片透照技术”指暗盒内装两张胶片和三片增感屏（前、中、后屏）进行曝光（见图3示例），除允许单片评定的特殊区域外，在观片灯上采用双片叠加方式进行底片观察的透照技术，双片叠加后的黑度范围应达到本部分中5.16.1.2( $2.7 \leq D \leq 4.5$ )的要求。

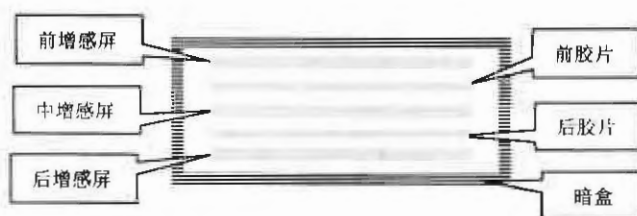


图3 双胶片透照技术暗盒组成示例

(2) 使用双胶片透照技术时，双片叠加黑度超过 4.5 的局部区域即为 1) 中所指的特殊区域，该特殊区域允许单底片评定。

(3) 本部分的“双胶片透照技术”是对应着“底片观察技术”而言的，即双胶片透照技术双底片叠加观察评定（特殊区域除外），与暗盒内放置的胶片数量无直接对应关系。以 AB 级检测技术等级为例，以下情况虽然暗盒内放置了两张胶片，但应属于本部分规定的“单胶片透照技术”的范畴。

- a) 暗盒内放置两张分类相同的胶片进行曝光，任一单张底片的黑度满足 5.16.1.1 单胶片透照技术 2.0~4.5 的黑度要求，整个评定区只采用任一单张底片进行观察评定，一张底片存档，另一张底片提交客户；
- b) 暗盒内放置两张分类不同的胶片对厚度变化较大的部位进行曝光，高级别胶片对应着较薄部位，低级别胶片对应着较厚部位，相应部位黑度满足 5.16.1.1 单胶片透照技术 2.0~4.5 的黑度要求，两张底片分别对应着评定区不同部位进行单底片观察评定。

(4) 双胶片透照技术应使用两张分类等级相同或相近的胶片，上述 3) 的 b) 中暗盒内放置的分类不同的胶片不受“相近”的限制，宜按照厚度的变化情况进行选择。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.2】【4.1 检测人员】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测人员	3.1	射线检测人员安全和视力要求	4.1	1) 在 JB/T 4730.2 “射线检测人员安全和视力要求”基础上增加了“从事射线检测的人员应满足 NB/T 47013.1 的有关规定”； 2) 修改 JB/T 4730.2 中的“放射工作人员证”为“按照有关法规的要求取得相应证书”

本部分强调射线检测人员应同时满足 NB/T 47013.1 中 4.1 的要求，射线检测应取得的相关证书或取证要求（比如射线检测等级证书、辐射防护相关证书），应符合相应法规的规定。

针对辐射安全，本部分修改 JB/T 4730.2—2005 中的“放射工作人员证”为“按照有关法规的要求取得相应证书”，说法更为严谨。



【NB/T 47013.2】【4.2 检测设备和器材】释义

1、关于射线装置（4.2.1）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
射线源种类	表1 表4	表1和表4间接地描述了适用的射线源类型	4.2.1	1) 明确本部分适用的射线源类型，增加了Yb169和Tm170射线源； 2) 射线源按照有效能量由大到小进行排列； 3) 提出了使用其他新型射线源的原则性要求
增感屏	表1	包括12MeV以上X射线	表1	取消了12MeV以上X射线
射线能量	表4	1MeV~12MeV及以上X射线	表4	取消了12MeV以上X射线

NB/T 47013.2—2015 明确了允许使用的  $\gamma$  射线源，相比 JB/T 4730.2—2005，参考 ISO 17636-1 和 EN 1435 标准，增加了 Yb169 和 Tm170 射线源的使用，扩大了标准的应用范围，为薄板和轻金属射线检测时选择 Yb169 和 Tm170 射线源提供标准依据，与国际接轨。Tm170 和 Yb169 射线源相关技术参数见表 4。

表 4 Tm170 和 Yb169 技术参数

技术参数	Tm170	Yb169
平均能量	0.072MeV	0.156MeV
半衰期	127 天	32 天

Tm170 衰变过程：用热中子照射稳定同位素 Tm169，就形成人工放射性同位素 Tm170，在蜕变时约有 76% 的 Tm170 的核放射出最大能量为 0.968MeV 的  $\beta$  粒子而形成稳定的同位素 Yb170(没有  $\gamma$  射线)，约有 24% 的 Tm170 核放射出最大能量为 0.886MeV 的  $\beta$  粒子(没有  $\gamma$  射线)而形成处于受激状态的 Yb170。在转变到稳定状态时，约有 3% 放出能量为 0.084MeV 的  $\gamma$  射线，约有 5% 通过内转换发射 K 层轨道电子，随后发生电子跃迁发射出 52keV 的特征 X 射线，衰变过程见图 4。

Yb169 能谱：Yb169  $\gamma$  射线辐射强度最大的部分在 49keV~59keV，此外在 63keV~308keV 有强度较小的  $\gamma$  射线辐射，如图 5 所示。

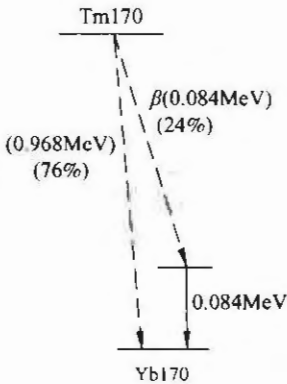


图 4 Tm170 衰变过程

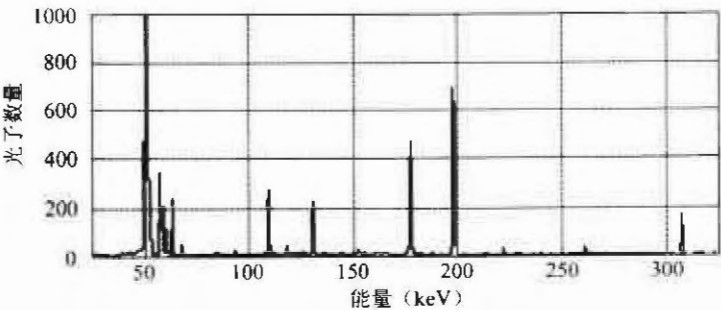


图 5 Yb169 能谱分析图

本部分不限制超出本部分的新型射线源的使用，在“合同双方商定”和“检测技术要求参照本部分”的条件下允许选择使用其他新型射线源。

根据目前承压设备实际使用的射线能量范围，12MeV 以上 X 射线照相透照技术和工艺实践经验少，本部分取消了大于 12MeV 高能 X 射线使用的要求。对于大于 12MeV 射线的使用“按照超出标准范围的新型射线源来控制”更为合理和恰当，应按照 4.2.1.2 的要求，经合同双方商定，检测参数参照本部分并通过检测试验确定，包括增感屏的选择和使用、对应的透照厚度等。

## 2、关于射线胶片（4.2.2 和附录 B）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
胶片分类	3.2.1	胶片按照 GB/T 19348.1—2003 分类为 T1~T4 四个等级	4.2.2	胶片分类按照 GB/T 19348.1—2014 修订为 C1~C6 六个等级
	附录 A	工业射线胶片系统的特性指标 T1~T4	附录 B	工业射线胶片系统的特征指标 C1~C6

JB/T 4730.2—2005 引用的胶片分类标准是 GB/T 19348.1—2003（等同采用 ISO 11699-1: 1998），胶片分为 T1~T4 四个等级；ISO 11699-1: 2008 胶片系统的分类修改为 C1~C6 六个等级，GB/T 19348.1—2014 修改采用 ISO 11699-1: 2008，也对应地进行了修改。因此，本部分胶片按照 C1~C6 六个等级进行分类。

胶片系统分类的主要特征指标项目没有改变，即  $D=2.0$  和  $D=4.0$  梯度最小值 ( $G_{\min}$ )、颗粒度最大值 ( $\sigma_D$ )<sub>max</sub> 和 (梯度/颗粒度) 最小值 ( $G/\sigma_D$ )<sub>min</sub> 四项指标。

本部分指出：胶片制造商应组织开展对所生产的胶片的系统性能测试，提供第三方的测试报告，出具标明其产品类别的质量证明文件。

JB/T 4730.2—2005 与本部分胶片分类等级对照以及常用胶片的分类等级示例见表 5，具体的胶片分类及相关参数以胶片制造商提供的数据为准。

表 5 新、旧标准胶片分类等级对照和常用胶片分类等级

胶片系统类别对照		常用胶片的牌号型号对应的类别		
NB/T 47013.2—2015	JB/T 4730.2—2005	FUJI	AGFA	KODAK
C1	T1	IX25	D2	DR50
C2		—	D3	M100
C3	T2	IX50	D4	MX125
C4		IX80	D5	T200
C5	T3	IX100	D7	AA400
C6	T4	IX150	D8	CX

本部分只允许 C5 或 C5 等级以上的胶片可以使用。

胶片选择非常重要，可以从“胶片选择对缺陷检出的影响”和“噪声对缺陷识别的影响”两个方面来举例说明胶片选择的重要性，详见表 6、表 7 和图 6。



表 6 胶片选择对缺陷检出的影响

胶片型号 (类别)	管电压/kV	底片黑度	像质计线径/mm	裂纹的识别/条			
				清晰	一般	不清晰	无法辨别
IX50 (C3)	220	2.04	0.20	14	7	5	0
IX80 (C4)	212	2.08	0.20	12	6	5	3
IX100 (C5)	182	2.03	0.20	9	8	6	3
IX150 (C6)	160	2.04	0.25	7	7	5	7

注：数据来源——日本无损检测学会《射线探伤 B》。

表 7 射线源-胶片选择对缺陷的影响

缺陷类型长度 mm	射线源	胶片型号 (类别)	像质计线径 mm	底片上缺陷影像尺寸 mm	与实际尺寸偏差 mm
未熔合 20.0	X 射线	IX50 (C3)	0.25	5.0	-15.0
	X 射线	IX80 (C4)	0.25	5.0	-15.0
	X 射线	IX100 (C5)	0.32	3.0	-17.0
	Ir192	IX50 (C3)	0.40	1.0	-19.0
	Ir192	IX100 (C5)	0.50	0	-20.0

注：数据来源——日本无损检测学会《射线探伤 B》。

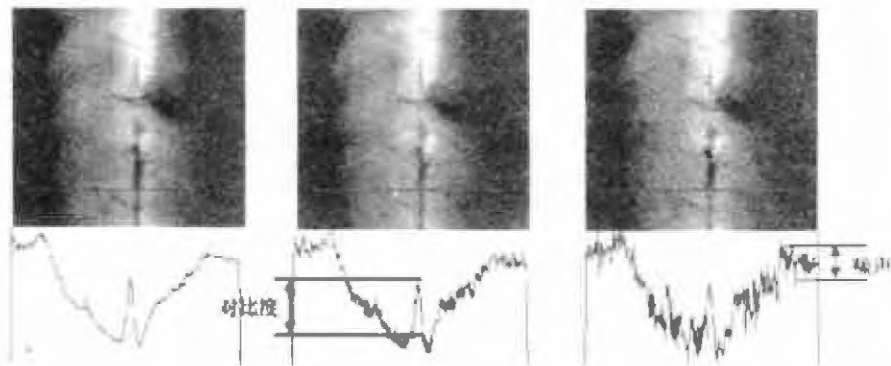


图 6 噪声对裂纹识别的影响图示

3、关于黑度计（4.2.4 和附录 C）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
黑 度 计	3.4.2	黑度计至少每6个月校验一次	4.2.4.2	正文“黑度计首次使用前应进行核查，以后至少每 6 个月应进行一次核查。核查方法可参照附录 C 的规定进行，每次核查后应填写核查记录。在工作开始时或连续工作超过 8h 后应在拟测量黑度范围内选择至少两点进行检查”。增加了黑度计使用前和使用中核查以及记录要求
	附录 B	黑度计(光学密度计)定期校验方法	附录 C	黑度计（光学密度计）定期核查方法。 删除了“标准密度片校准周期的规定”。移到了 NB/T 47013.2—2015 中 4.2.5

为了监控黑度计在使用过程中测量不会出现较大偏差,本部分增加了黑度计核查和检查的具体要求,“首次使用”及“以后每6个月”均需要进行核查并形成核查记录。制造厂使用标准密度片自己完成黑度计的核查即可。

在工作开始时或连续工作超过8h后应在拟测量黑度范围内选择至少两点进行检查,这符合NB/T 47013.1中4.2.5“检查”的要求。

检测过程中的黑度计常规检查,对标准密度片上的黑度基准选择没有强制要求,但尽可能选择更多的点(标准要求至少两点),且在拟测定的黑度范围内应有代表性,例如:

(1) 工作开始前,在底片黑度不确定的情况下,可选择标准密度片接近2.0、3.0、4.5(或更多黑度值)的黑度进行检查。

(2) 实际工作过程中,底片的黑度比较稳定地控制在3.0~4.0,此时的检查可以选择标准密度片接近3.0、3.5、4.0(或更多黑度值)的黑度进行检查,黑度计的核查不需要形成记录。

把JB/T 4730.2—2005附录B中“标准密度片校准周期的规定”移到了本部分的4.2.5,标准密度片的校准属于本部分的强制要求。

本部分附录C的黑度计核查方法与JB/T 4730.2—2005附录B的核查方法一致。

#### 4、关于标准密度片(4.2.5)

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
标 准 密 度 片	B.2.6	所使用的标准密度片至少应每2年送计量单位检定一次	4.2.5	正文“标准密度片应至少有8个有一定间隔的黑度基准,且能覆盖0.3~4.5黑度范围,应至少每2年校准一次。必须特别注意标准密度片的保存和使用条件”。 增加了标准密度片的黑度范围和测量点数目的相关规定,修改“检定”为“校准”

至少取8有个一定间隔的黑度基准来核查黑度计偏差,确保偏差数据分布的合理性和覆盖性,保证黑度计在底片整个有效黑度范围内的测量精度。

“覆盖0.3~4.5黑度范围”是为确保黑度计在较大黑度范围内(标准最大黑度值提高到了4.5)和低黑度范围(例如双胶片透照技术单片黑度在1.3以上、胶片灰雾度小于0.3)测量偏差的符合性(-0.05~+0.05)。

选择标准密度片时,本部分要求“一定间隔”,强调标准密度片黑度基准间隔要尽量均匀。

标准密度片不属于检定的范畴,应属于校准的范畴,因此同时取消了JB/T 4730.2—2005中“送法定计量单位”的规定,由使用单位按照自身的具体情况送检或自行校准。

标准密度片要求“覆盖0.3~4.5黑度范围”,不是要求在“0.3~4.5”范围内有8个黑度基准,而是保证一个黑度基准小于0.3,一个黑度基准大于4.5,限定0.3和4.5这个黑度范围是基于标准对灰雾度的要求是小于0.3,允许的最高黑度提高到4.5而得出的。从标准实际应用的角度,如果底片的最大黑度均在4.0之下,使用只覆盖0.3~4.0的8个黑度基准的标准密度片进行黑度计核查从技术角度也是允许的,也是符合标准初



衷的；同理，如果观片灯亮度足够，底片最大黑度提高到了 5.0，那么应采用覆盖 0.3～5.0 的 8 个黑度基准的标准密度片进行黑度计核查。

黑度计与标准密度片关系如图 7 所示。

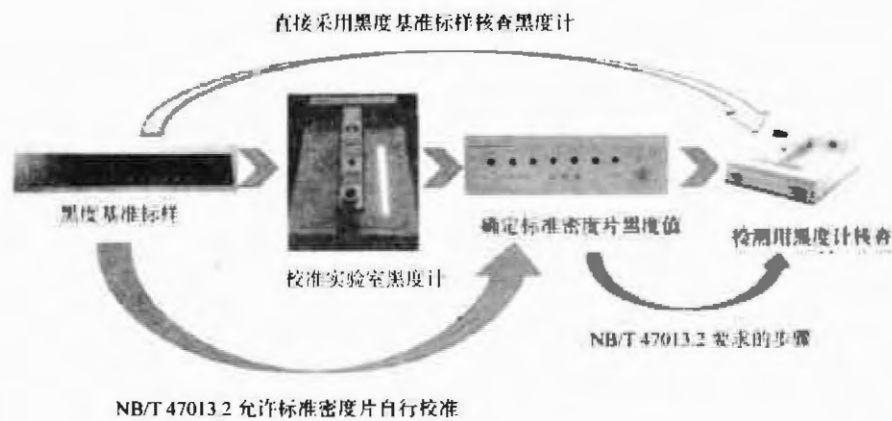


图 7 黑度计与标准密度片关系

5、关于增感屏（4.2.6）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
增感屏	3.5	射线检测一般应使用金属增感屏或不用增感屏	4.2.6	正文“射线检测一般应使用金属增感屏或不用增感屏，金属增感屏应满足 JB/T 5075（应为 GB/T 23910）的要求，增感屏应完全干净、抛光和无纹道。使用增感屏时，胶片和增感屏之间应接触良好”。 增加了增感屏制造标准、表面质量以及增感屏与胶片位置关系的技术要求
	表 1	1) 规定了前、后增感屏材料类型和厚度的使用原则； 2) 4.11.2 可以间接得出 A 级可以采用双胶片透照技术，但没有给出中增感屏的选择原则	表 1	1) 前、中、后增感屏材料类型和厚度选用原则，增加了双胶片透照技术中增感屏的使用原则和技术要求； 2) 增加了“采用 Co60 射线源透照有延迟裂纹倾向或标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 材料时，AB 级和 B 级应采用钢或铜增感屏”的技术要求； 3) 表 1 取消了 12MeV 以上 X 射线增感屏的要求

本部分增加了增感屏制造标准 JB/T 5075(已被 GB/T 23910 代替)和表面质量要求，主要是为了规范增感屏制造质量和使用时的表面质量，尽可能地避免增感屏本身质量对底片质量的影响，比如增感屏造成伪缺陷等。检测方应购买和使用满足相关标准要求的金属增感屏。

本部分增加了“使用增感屏时，胶片和增感屏之间应接触良好”增感屏与胶片位置关系的技术要求，尽量减小屏片结合不充分造成的不清晰度对底片质量的影响。

本部分允许使用“单胶片透照技术”和“双胶片透照技术”，双胶片透照技术应考虑使用中增感屏，因此有必要对表 1 涉及的前、中、后增感屏材质和厚度的选择重新作

出规定，理解如下：

(1) 以 JB/T 4730.2—2005 为基础，本部分参考了 RCC-M 标准在核机械设备制造过程中双胶片透照技术的实践经验，在进行了充分试验和验证的基础上，结合不同的胶片透照技术修订了表 1 “增感屏的材料和厚度”的内容。

(2) 单胶片透照技术前、后屏的选择，以及双胶片透照技术前、中和后屏的选择均按照本部分中表 1 的规定执行。

(3) 中增感屏需要双面增感，其使用方法以本部分规定的铅中增感屏“ $2 \times 0.01\text{mm}$ ”和钢（或铜）中增感屏“ $0.25\text{mm}$ ”为例进行说明：

- a) 本部分规定厚度范围内的铅箔（比如  $0.01\text{mm}$ ）质地较软，不能单独作为增感屏使用，需要采用纸基或其他材料作为支撑。从标准的宗旨和实际操作的角度，可以采用“相同支撑双面粘贴  $0.01\text{mm}$  铅箔”或“不同支撑单面  $0.01\text{mm}$  铅箔，支撑背对背形成双面增感”两种方式，但要确保支撑体不要太厚，尽量减小支撑体前后两张底片  $U_g$  值的影响；
- b) 钢或铜增感屏质地较硬，可以单独作为中增感屏使用，从标准角度只允许采用  $0.25\text{mm}$  厚度的钢或铜屏双面抛光双面增感使用；
- c) 金属中增感屏照片如图 8 所示，为便于看清，图中增感屏的双面铅箔被撕开。

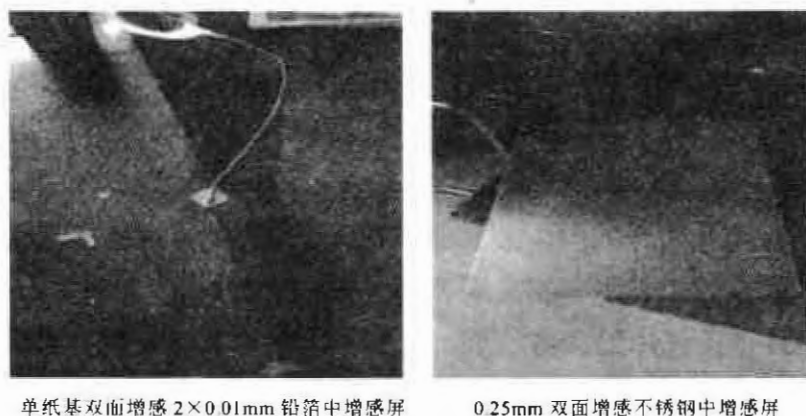


图 8 典型金属增感屏示例

(4) 大量的检测试验和实践证明：采用钢或铜增感屏比采用铅增感屏像质计灵敏度可以提高 1 个或 2 个等级以上。因此，为了提高  $\text{Co60}$  射线源对裂纹等危害性缺陷的检出率，本部分增加了“采用  $\text{Co60}$  射线源透照有延迟裂纹倾向或标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  材料时，AB 级和 B 级应采用钢或铜增感屏”的强制要求。根据目前承压设备主要用钢的类型，有延迟裂纹倾向的材料主要包括标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  各种高强度钢，其强度级别大，合金元素含量高，淬硬倾向大，因此发生延迟裂纹的倾向也大，比如  $18\text{MnMoNbR}$ 、 $13\text{MnNiMoR}$ 、 $07\text{MnMoVR}$ 、 $07\text{MnNiVDR}$  等。还有一些耐热钢，比如  $15\text{CrMoR}$ 、 $14\text{Cr1MoR}$ 、 $12\text{Cr1MoVR}$ 、 $12\text{Cr2Mo1R}$  等，以及一些马氏体不锈钢，比如  $12\text{Cr13}$ 、 $20\text{Cr13}$ 、 $40\text{Cr13}$  等。

(5)  $\text{Co60}$  或  $1\text{MeV}$  以上高能 X 射线使用钢或铜增感屏，有利于改善底片清晰度和对比度，提高底片灵敏度，但钢或铜增感屏增感系数小于铅增感屏，曝光时间前者明显



长于后者（约 2 倍）。

6、关于像质计（4.2.7）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015													
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容												
像 质 计	表 2	<table><tr><td>像质计材料 代号</td><td>Fe</td></tr><tr><td>像质计材料</td><td>碳钢或奥氏体不 锈钢</td></tr><tr><td>适用材料 范围</td><td>碳钢、低合金钢、 不锈钢</td></tr></table>	像质计材料 代号	Fe	像质计材料	碳钢或奥氏体不 锈钢	适用材料 范围	碳钢、低合金钢、 不锈钢	表 2	<table><tr><td>像质计材料代号</td><td>Fe</td></tr><tr><td>像质计材料</td><td>碳素钢</td></tr><tr><td>适用材料范围</td><td>钢</td></tr></table> <p>透照钢工件时，像质计材料和对应的工件材料范围进行了修订，与修订后 4.2.7 的要求相对应</p>	像质计材料代号	Fe	像质计材料	碳素钢	适用材料范围	钢
	像质计材料 代号	Fe														
像质计材料	碳钢或奥氏体不 锈钢															
适用材料 范围	碳钢、低合金钢、 不锈钢															
像质计材料代号	Fe															
像质计材料	碳素钢															
适用材料范围	钢															
	3.6	底片影像质量采用线型像质计测定。线型像质计的型号和规格应符合 JB/T 7902 的规定，JB/T 7902 中未包含的线径、线号等内容应符合 HB 7684 的有关规定；像质计的材料、材料代号和不同材料的像质计适用的工件材料范围应符合表 2 的规定	4.2.7	<p>正文“底片影像质量采用线型像质计或孔型像质计测定。通用线型像质计和等径线型像质计的型号和规格应符合 JB/T 7902 的规定，孔型像质计型号和规格应满足 GB/T 23901.2 的规定”。</p> <p>“像质计的材料代号、材料和不同材料的像质计适用的工件材料范围可按表 2 的规定执行，像质计材料的吸收系数应尽可能地接近或等同于被检材料的吸收系数，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数”。</p> <p>增加了孔型像质计的应用及其标准，删除了“符合 HB 7684”的描述</p>												

本部分增加了孔型像质计的应用及其引用标准，为合同方或设计要求使用孔型像质计提供标准依据。孔型像质计的使用主要参考了 RCC-M、ISO 17636-1.1 和 EN 1435 标准，结合其在核电建造中使用的实践经验，进行了大量的灵敏度试验验证，按照本部分的工艺参数执行射线检测，底片孔型像质计灵敏度能够达到 5.16.2 中表 6、表 8 和表 10 的要求。

HB 7684 标准不再使用，本部分删除了“符合 HB 7684”的描述。

本部分允许使用线型像质计或孔型像质计，像质计类型的选用与检测技术等级、透照方式、材料或焊缝类型、结构、尺寸等无关，但在实际的检测过程中，需要检测方根据实际的检测工件状况及灵敏度的可达情况进行合理选择。

本部分仅指“型号和规格”按照引用的 JB/T 7902 或 GB/T 23901.2 来执行，像质计的材料选择与本部分引用的 JB/T 7902 或 GB/T 23901.2 中的像质计材料无关。像质计材料必须满足“像质计材料的吸收系数应尽可能地接近或等同于被检材料的吸收系数，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数”的原则性要求，同时可以参考标准中表 2 推荐的对应关系来选择像质计材料。

像质计识别标记(identification marking)应满足 JB/T 7902 或 GB/T 23901.2 的要求。典型的通用线型（6 FE JB）、等径线型（FE 12 JB）和阶梯孔型像质计（H13 FE GB）识别标记如图 9 所示。



图9 像质计识别标记示例

在检测记录或报告中描述所使用的像质计类型时，往往使用像质计的“书面名称（written designation）”来表示，其表达方式不同于识别标记。比如阶梯孔型像质计名称示例“IQI GB/T 23901.2-H5 FE”，通用线型像质计名称示例“JB/T 7902-6-FE-50”。

对“像质计材料的吸收系数应尽可能地接近或等同于被检材料的吸收系数，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数”技术要求的理解如下：

（1）本部分要求像质计的材料尽可能与被检工件材料“相同”或“接近”，但“接近”只能是像质计材料的衰减系数小于被检工件；如果像质计材料衰减系数大于被检工件，则不允许使用。

（2）像质计材料的衰减系数明显低于被检工件衰减系数时（例如透照铜工件，采用钢像质计），只要标准所要求的对应的线径能够识别，从技术角度应该可以采用。但材质衰减差异过大会造成底片上像质计显示困难，增加操作难度和检测成本，因此标准并不推荐采用比被检工件衰减系数低很多的像质计，而是强调“应尽可能地与被检工件材料相同或接近”。

像质计与被检工件材料衰减差异较大时，由于影响像质计灵敏度的因素比较复杂，标准不认可采用透照系数换算，以及采用不同材料像质计进行对比试验的方法来确定像质计灵敏度，只能按照4.2.7的原则或参考表2（推荐）进行确定。

## 7、关于暗室安全照射时间确定（4.2.8和附录D）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
暗室安全照射时间	—	—	4.2.8	胶片应在胶片制造商所推荐的安全灯光条件下进行暗室处理，暗室安全照射时间的确定方法可参考附录D进行。增加了“安全照射时间”的内容，JB/T 4730.2—2005没有提及
确定	—	没有明确要求	附录D	暗室安全照射时间确定

本部分增加了“安全照射时间”的内容，胶片应在胶片制造商所推荐的安全光照条件下进行暗室处理。

目前国内暗室红灯的制造水平参差不齐，实际射线照相时对暗室红灯安全性及与胶



片的匹配性重视程度不够。为了控制由不合格安全灯及过长的暗室处理时间光照产生的灰雾对底片对比度的影响，应确定暗室安全的照射时间，确保暗室处理在安全的红灯照射时间内完成，保证底片质量。

较大的暗室白光照射度产生的灰雾对底片对比度也产生了较大影响，尤其是现场检测条件异常简陋的状况下，控制“安全照射时间”实际上也间接地控制了暗室的白光照射度要在尽可能低的范围内。

潮湿胶片曝光后照射试验确定安全时间  $t_3$  时，显影时间是试验用的显影时间，由检测单位根据实际试验情况自行确定，不是指实际产品底片的显影时间，试验用的显影时间可能会大大长于实际产品的胶片显影时间。

本部分附录 D “暗室安全照射时间确定方法”是资料性附录，具体的测试过程（比如红灯曝光时间步进、测试频度、测试方案等）可根据具体情况进行调整和修改。根据工程实际测试的实践经验，虽然  $t_1$ 、 $t_2$  和  $t_3$  稍有差异，如果在某一情况下（例如进行了曝光前照射试验）测试的安全照射时间  $t_1$  足够长，不同测试情况下获得的安全照射时间的差异已经不那么重要，可以不再考虑，即可以考虑不再进行其他情况的测试。

推荐采用胶片制造商提供的与胶片特性匹配的暗室红灯。

【NB/T 47013.2】【4.3 检测技术等级】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测技术等级	3.8	“经检测方技术负责人批准”	4.3	修改为“经合同双方商定”。 修订了技术等级条件让步的批准方式

1、关于检测技术等级涉及的技术参数或内容

- (1) 增感屏的选择（表 1）。
- (2) 胶片系统等级的选择（5.4）。
- (3) 一次透照长度或  $K$  值的确定及透照次数（5.5.4）。
- (4)  $\gamma$  射线源最小透照厚度让步的要求（5.6.5）。
- (5)  $\gamma$  射线和 1MeV 以上 X 射线透照厚度范围（表 4）。
- (6) 射线源至工件表面的最小距离（5.7.1）。
- (7) X 射线照相曝光量（5.9.1）。
- (8) 底片黑度的确定（5.16.1）。
- (9) X 射线透照时黑度让步要求（5.16.1.3）。
- (10) 像质计灵敏度的确定（5.16.2）。

(11) 管子-管板角焊缝照相时焦点尺寸的选择、胶片类型、透照方式、灵敏度鉴定试验小孔尺寸、黑度等。

2、关于检测技术等级有条件让步的批准方式

- (1) JB/T 4730—2005 和 NB/T 47013—2015 均提出了“当检测中某些条件不能满

足 AB 级（或 B 级）射线检测技术的要求时，在采取有效补偿措施（例如选用更高类别的胶片）的前提下，若底片的像质计灵敏度达到了 AB 级（或 B 级）射线检测技术的规定，则可认为按 AB 级（或 B 级）射线检测技术进行了检测”，即所谓“让步-补偿规定”。

（2）这里需要注意，“让步”是有前提的，即“检测中某些条件不能满足”。实际工作中，如果发生检测条件不能满足的情况，只有两种选择：一是取消射线检测，改用其他方法检测或者不检测；二是作出“让步”，仍然使用射线检测。大多数情况下，理智的选择应该是后者，因为选择前者，不一定能够找到合适的替代方法，至于不检测，则更不合理。

（3）强调“合同双方商定”原则。这里商定的内容包括让步项目和补偿措施的认定。由“合同双方商定”既可以限制制造方推出让步项目的随意性，又可以保证补偿措施的有效性，还能体现责任共担原则。

（4）“选用更高类别的胶片”是补偿措施之一，在此标准只是提供一个方向性示例，标准正文中不可能列举更多，实际上还有更多的补偿措施可供选择，常用的“有效补偿措施”示例如下：

- a) 选用更高类别的胶片；
- b) 适当提高曝光量或适当提高底片的黑度；
- c) 使用更小焦点的射线源；
- d) 使用成像质量更好的射线源，例如，透照 20mm 工件用 Se75 替换 Ir192；
- e) 改变透照布置，比如增大焦距、外透法改为内透法；
- f) 采取减少散射线的措施，比如使用滤光板、焊缝余高磨平、保留加工余量消除边蚀；
- g) 选择更佳的增感屏，比如钢或铜增感屏替代铅增感屏。

#### 【NB/T 47013.2】【4.4 检测工艺文件】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测工艺文件	—	JB/T 4730.1 中 5.2 给出了“检测工艺规程”的通用要求	4.4.1	修改“无损检测工艺规程（包括通用工艺规程和工艺卡）”为“检测工艺文件”
			4.4.2	工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的通用要求外，根据射线检测的特点，增加了需要重新编制或修订工艺规程的相关因素
			4.4.3	根据射线检测的特点，补充了操作指导书的内容
			4.4.4	增加了操作指导书的工艺验证要求

NB/T 47013.1 给出了各种检测方法检测工艺文件的通用要求，本部分根据射线检测方法的特点，进行了针对性的补充，要求更加明确和完善，尤其是操作指导书的工艺验证要求是标准的进步，确保检测工艺的可操作性和检测质量的符合性。

（1）工艺规程编制的原则要求

- a) 工艺规程应涵盖本单位的检测范围，包括材料、工件或零部件类型、焊缝类型



等；超出标准范围的事项也应作出相应规定。比如管座角焊缝，超出了本部分验收标准的范围，应按照业主方和设计的要求在规程中作出规定；

- b) 工艺规程应按照本单位的设备仪器和产品的结构特点来编制，不能照抄标准。例如本单位只有 X 射线机，就不要考虑把  $\gamma$  射线源和加速器统统放入规程，如有新的射线源使用，再考虑修订工艺规程。本单位只涉及对接焊缝的透照，就不要把管座角焊缝和管子-管板焊缝的检测要求放入规程，以后如有需要，可考虑修订工艺规程。如只考虑使用线型像质计，就不要把孔型像质计的内容放入工艺规程等；
- c) 工艺规程是在充分理解法规、标准、合同和设计文件的基础上，对应着本单位涉及的产品而编制的，相关的检测要求要具体化；
- d) “相关因素”应重点描述和规定。

(2) 操作指导书编制和使用的原则要求

- a) 操作指导书是针对某一个（或某一类）具体检测对象的操作指导性文件；
- b) 操作指导书的工艺验证要求要具体化（包括“相关因素”调整时应考虑操作指导书重新进行工艺适用性验证等）；
- c) 本部分对操作指导书的格式不作强制要求，但内容应符合标准规定；
- d) 操作指导书的检测要求要细化，检测人员按照操作指导书不仅能完成检测，而且不同的检测人员在使用中也不会出现较大的检测质量偏差。例如针对某一容器，工艺规程允许单壁内透照或单壁外透照两种方式，编制操作指导书时应针对具体的检测对象确定透照方式，同时应该对如何划线、胶片位置、标记的具体摆放、透照参数等作出具体的规定。

第 5 章 检测工艺及其选择

【NB/T 47013.2】【5.1 检测时机】释义

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
检 测 时 机	3.7.2	除非另有规定，射线检测应在焊后进行。对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行射线检测	5.1	在 JB/T 4730.2—2005 基础上， 1) 增加了“检测时机应满足相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。”的内容； 2) “除非另有规定，……后进行。对有延迟裂纹倾向的材料……”，把“进行。”修改为“进行，”

本部分增加了检测时机选择的总体原则性要求，主要基于本部分是检测方法标准，实际上不宜也不可能对所有适用的承压设备射线检测时机给出具体和详细的规定。检测时机首先应满足相关法规、标准、设计技术文件和合同的要求，这是前提。补充这个原

则性要求也与“除非另有规定”相对应。

有再热裂纹倾向材料的检测时机是在焊后进行一次，热处理后再进行一次，还是在最终热处理后进行检测，以及是否补充其他无损检测方法，应在满足相关法规和标准的基础上由设计技术文件或合同作出具体规定。日本的 CF62 和我国的 07MnMoVR、07MnNiVDR 和 07MnNiMoDR 有一定的再热倾向，18MnMoNbR 有轻微的敏感性，Q245R 和 Q345R 等钢种对再热裂纹不敏感。

本部分修改 JB/T 4730.2—2005 的“在焊后进行。”后面的“。”为“，”的理由如下：

(1) 对有延迟裂纹倾向的并不是都要求在 24h 以后，甚至更长，比如标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  材料的球罐就是要求焊后 36h 以后才能进行检测。

(2) 改成逗号“，”，整句话才能受“除非另有规定”的制约，才能适应不同相关承压设备法规和标准的检测时机要求。

## 【NB/T 47013.2】【5.2 检测区】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测区宽度	—	没有明确的要求，只是在“4.8.4 标记一般应放置在距焊缝边缘至少 5mm 以外的部位”的要求中可以间接推论“检测区包括焊缝及其边缘至少 5mm 的区域”的结论	5.2.1	非电渣焊，增加了“对接焊缝和管座角焊缝”检测区宽度的一般要求，并给出了“应满足相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求”的原则性要求
			5.2.2	针对电渣焊，增加了“检测区宽度可通过实际测量热影响区确定，或由合同双方商定”的原则性要求
底片评定范围	4.10.4	底片评定范围的宽度一般为焊缝本身及焊缝两侧 5mm 宽的区域	5.15	删除了此项要求

本部分明确了不同焊接方法和接头型式的检测区宽度，不再产生歧义，便于操作。检测区宽度指焊缝接头宽度方向的有效尺寸范围；一次透照长度可以理解为焊接接头长度方向上的有效检测区尺寸。

### 1、关于非电渣焊焊接接头检测区

#### (1) 对接焊缝检测区宽度

- a) 本部分针对对接焊缝明确了“检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少为 5mm 的相邻母材区域”的要求，此要求不受坡口型式、材料、焊接方法和检测技术等级影响而改变。承压设备常用的几种焊接方法，其焊接热影响区中力学性能劣化的过热区或粗晶区的宽度范围均小于 5mm，截至目前尚未发现由于“控制 5mm 热影响区”产生重大质量问题反馈。实际上 JB/T 4730.2—2005 针对对接焊缝检测区宽度的要求也是这样的；
- b) 关于检测区宽度增大对检测成本的影响，射线检测和超声检测差异很大：对超声检测来说，检测区宽度增大仅需增大锯齿扫查距离即可，成本的增加微乎其微；而对射线检测来说，检测区宽度增大将使影响检测成本的最主要因素——



胶片用量增加，从经济上考虑难以接受；

c) 有关文献针对不同焊接方法研究的不易淬火钢热影响区范围示例见表 8；

表 8 不同焊接方法研究的不易淬火钢热影响区参考范围

焊接方式	各区平均尺寸/mm			热影响区总宽度/mm
	过 热	相变重结晶	不完全重结晶	—
手工电弧焊	2.2~3.0	1.5~2.5	2.2~3.0	6.0~8.5
埋弧自动焊	0.8~1.2	0.8~1.7	0.7~1.0	2.3~4.0
真空离子束焊	—	—	—	0.05~0.75
电渣焊	18~20	5.0~7.0	2.0~3.0	25~30

d) “检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少为 5mm 的相邻母材区域”应理解为“检测区宽度范围包括焊缝金属及相对于实际坡口距离至少为 5mm 的相邻母材区域”，如图 10 所示。

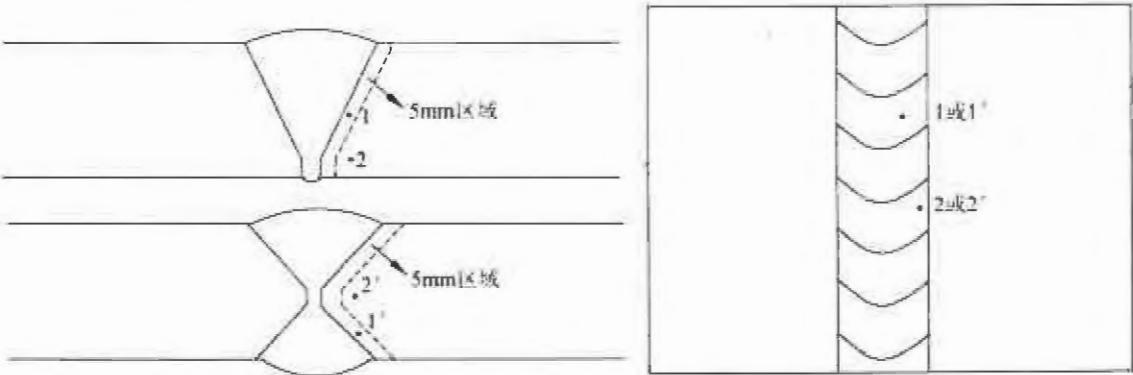


图 10 检测区范围确定示例

(2) 管座角焊缝检测区宽度

本部分针对安放式管座角焊缝检测区宽度只描述了焊缝及其支管侧焊缝边缘 5mm 的母材区域，插入式管座角焊缝只描述了焊缝及其母管侧焊缝边缘 5mm 的母材区域，并且要求不论何种透照方式，检测区宽度方向上的定位标记均要求放置于管座角焊缝外部（定位标记放置见图 11），主要是考虑以下几个方面：

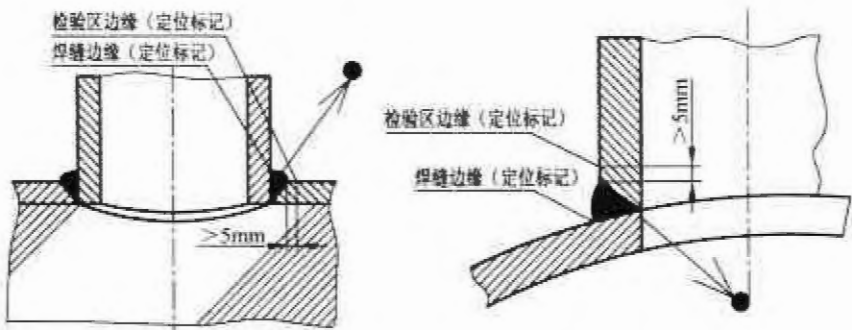


图 11 检测区宽度方向定位标记的放置

- a) 焊缝热影响区范围主要是坡口面对应的一定深度的母材区域；
- b) 定位标记放置于外部，便于操作和放置；放置于内部，定位标记在底片上的投

影根本无法实现准确确定和标识有效评定区的位置和范围；

- c) 管座角焊缝一般内表面的焊缝宽度较窄，外表面较宽。以插入式接管角焊缝为例，不论外透照还是内透照（见图 12 和图 13），管座角焊缝不开坡口部位（指支管部位），即使定位标记放置于外部且在焊缝边缘，不开坡口部位的热影响区均基本投影在定位标记在底片上投影的范围内；开坡口部位（母管部位），定位标记放置于外部且距离焊缝边缘 5mm，更不会影响到热影响区在底片上的投影和评定。因此，不论外透照还是内透照，定位标记放置于外部，标记在底片上的投影之间的宽度即为管座角焊缝的有效评定区域，安放式管座角焊缝亦然；

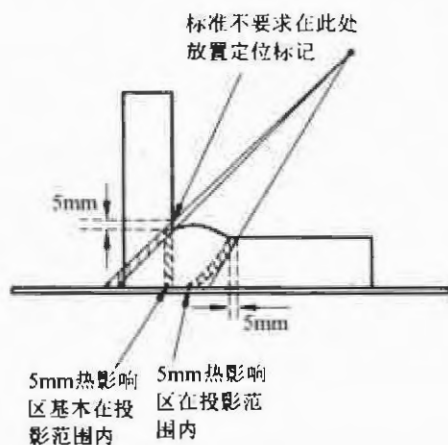


图 12 插入式接管角焊缝外透照示例

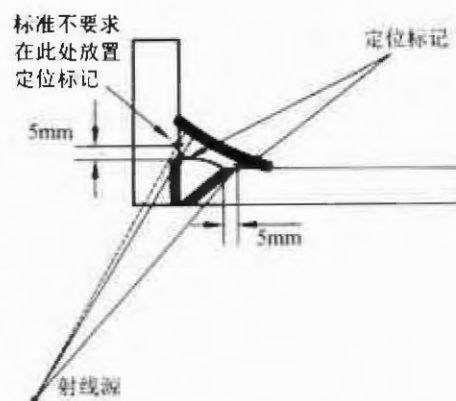


图 13 插入式接管角焊缝内透照示例

- d) 如把不开坡口部位的定位标记放置焊缝边缘 5mm，更多非检测部位也投影在定位标记所标识的有效评定区内，影像畸变更大，实际意义不大，放置于焊缝边缘即可满足检测需要；
- e) 本部分针对安放式管座角焊缝检测区宽度只描述焊缝及其支管侧焊缝边缘 5mm 的母材区域，插入式管座角焊缝只描述焊缝及其母管侧焊缝边缘 5mm 的母材区域更多的是基于定位标记的放置而言的，从实际的检测结果分析，管座角焊缝基本包括了焊缝及其焊缝边缘至少 5mm 的母材区域的检测和评定，与对接焊缝是一致的。

### (3) 补焊区的有效检测区范围

如存在返修，有效检测区应为“补焊区及其相对于实际挖补坑边缘距离至少为 5mm 的区域”，见图 14。

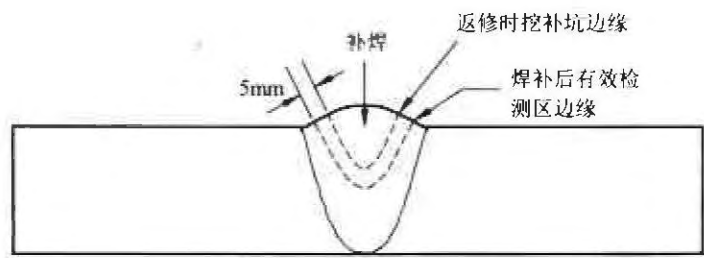


图 14 补焊区有效检测区示例

2、关于电渣焊焊接接头检测区

电渣焊焊缝，热影响区远超过 5mm（参见表 8），且不同的焊接工艺和参数对应的热影响区的宽度范围差异也较大，因此本部分规定电渣焊焊缝是以焊缝加上实际测量的热影响区宽度来确定有效检测区的宽度，或由合同双方商定。常用的测定热影响区范围的方法为硬度法和金相法，具体的测量方法可由设计技术文件规定或合同双方商定。

【NB/T 47013.2】【5.3 表面要求】释义

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
表 面 要 求	3.7.1	在射线检测之前，对接焊接接头的表面应经外观检测并合格。表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整	5.3	在射线检测之前，对接焊接接头的表面应经目视检测并合格。表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整。 修改“外观检测”为“目视检测”，修改“对接焊接接头”为“焊接接头”

1、关于修改“外观检测”为“目视检测”

射线检测之前，除了检查表面的不规则状态之外，还应重点观测表面存在的缺陷。

2、关于修改“对接焊接接头”为“焊接接头”

为了与扩大的适用范围相对应，修改“对接焊接接头”为“焊接接头”。这里的焊接接头包括对接接头对接焊缝（简称“对接焊缝”）和角接头对接焊缝（简称“管座角焊缝”）两大类，本标准增加的管座角焊缝的检测，即属于角接头对接焊缝的范畴。



## 【NB/T 47013.2】【5.4 胶片选择】释义

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
胶 片 选 择	3.2.2	A 级和 AB 级射线检测技术应采用 T3 类或更高类别的胶片，B 级射线检测技术应采用 T2 类或更高类别的胶片	5.4.1	A 级和 AB 级射线检测技术应采用 C5 类或更高类别的胶片，B 级射线检测技术应采用 C4 类或更高类别的胶片
	3.2.3	采用 $\gamma$ 射线对裂纹敏感性大的材料进行射线检测时，应采用 T2 类或更高类别的胶片	5.4.2	采用 $\gamma$ 射线和高能 X 射线进行射线检测时，以及对标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 高强度材料射线检测时，应采用 C4 类或更高类别的胶片
	4730.1 中 4.2.4	当采用 $\gamma$ 射线照相时，宜采用高梯度噪声比（T1 和 T2）胶片；当应用高能 X 射线照相时，应采用高梯度噪声比的胶片；对于 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的高强度材料对接焊接接头射线检测，也应采用高梯度噪声比的胶片		

## 1、关于检测技术等级对应的胶片类型选择

A 级和 AB 级射线检测技术应采用 C5（T3）类或更高类别的胶片，B 级射线检测技术应采用 C4（T2）类或更高类别的胶片，本部分与 JB/T 4730.2—2005 保持一致，检测技术等级对应选用胶片类型没有变化，针对一些特定的射线源或材料，胶片等级选择有特殊要求，此时与检测技术等级无关。

## 2、关于 X 射线机对应的胶片类型选择

一般情况下应采用 C5（T3）类或以上胶片，标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  高强度材料射线检测应采用 C4（T2）类或以上胶片，同时要遵循检测技术等级对应的胶片类型选择的要求。针对 X 射线，本部分与 JB/T 4730.2—2005 要求保持一致。

## 3、关于高能 X 射线对应的胶片类型选择

应采用 C4（T2）类或以上胶片，与检测技术等级、能量范围和材料类型无关。本部分与 JB/T 4730.2—2005 要求保持一致。

4、关于  $\gamma$  射线对应的胶片类型选择

JB/T 4730.2—2005 对一般材料，规定“宜采用”C4（T2）类或以上胶片，对裂纹敏感性大的材料规定“应采用”C4（T2）类或以上胶片；本部分将“宜采用”改为“应采用”，具有强制采用的意思。只要是  $\gamma$  射线就要采用 C4（T2）类或以上胶片，与材料类型、检测技术等级和  $\gamma$  射线源类型无关。



【NB/T 47013.2】【5.5 透照布置】释义

1、关于胶片透照技术（5.5.1）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
胶 片 透 照 技 术	4.11.2	1)AB 和 B 级检测技术使用单胶片透照技术; 2)从“采用多胶片方法时,单片观察的黑度应符合以上要求。双片叠加观察仅限于 A 级,叠加观察时,单片的黑度应不低于 1.3”可以间接推论 A 级可以采用双胶片透照技术,但具体要求不明确	5.5.1	允许采用单胶片和双胶片透照技术,与检测技术级别无关
				X 射线(≤100kV)和 Tm170 射线源强制采用单胶片透照技术
				明确双胶片技术可以使用两张分类等级相同或相近的胶片

(1) 对本部分“胶片透照技术选择要求”的理解:

- a) X 射线(≤100kV)和 Tm170 射线源,射线能量较低,一般用于薄板和轻金属的射线照相,采用双胶片透照技术(使用中增感屏)时,前后底片的黑度差范围较大,影响前后底片影像细节的一致性,不利于底片的分析和评定。从实际的试验结果来看,采用单胶片透照单片评定比双胶片透照双片叠加评定(无论是否使用中增感屏)像质计灵敏度具有非常明显的优势。因此,本部分采用 X 射线(≤100kV)和 Tm170 射线源时,只允许采用单胶片透照技术,其他射线能量(或射线源)允许采用单胶片和双胶片两种胶片透照技术;
- b) 胶片透照技术的选择与检测技术等级无关,不同于 JB/T 4730.2—2005 只限定于 A 级检测技术的要求;
- c) 胶片透照技术的选择与被检工件的材质、结构和尺寸、类型、透照方式等无关,例如等厚度焊缝同样允许采用双胶片透照技术;
- d) 双胶片透照技术应使用两张相同分类或分类相近的胶片,例如不能将 C3 和 C5 类胶片放置于一个暗盒进行双胶片透照,主要是为了尽量减小前后底片等级差异大造成的黑度差大,影像细节差异等;
- e) X 射线透照时,为了防止相同分类的前后底片的黑度差异较大,应控制中增感屏的厚度,每层中增感屏应不大于前屏的厚度。例如,如果前、后增感屏选择 0.03mm 铅箔,中增感屏只能选择 2×(≤0.03)mm 的铅箔增感屏,例如 2×0.01mm;
- f) 选择相同分类还是分类相近的胶片组合,根据具体情况由检测方自行决定,标准没有强制要求。但根据双胶片透照技术工程运用的实践经验,可能的情况下,尽量选择使用相同分类等级的胶片,避免前后底片黑度差偏大,细节影像差异大。把分类相近的不同等级胶片放于同一暗盒中(为减小中屏吸收带来的影响,不使用中增感屏)进行曝光试验,在相同的暗室条件处理后的底片黑度差异见表 9;

表9 分类相近胶片同时曝光黑度差异示例

胶片组合	射线源（透照厚度）及对应的底片黑度			
	加速器（70mm）	Co60（70mm）	Ir192（30mm）	X射线（30mm）
M100（C2）	2.89	2.93	2.78	3.14
MX125（C3）	4.00	4.04	3.90	4.10
MX125（C3）	3.17	3.01	2.85	2.90
T200（C4）	4.08	4.11	3.92	4.09
T200（C4）	2.90	2.81	2.65	2.72
AA400（C5）	4.10	4.02	3.90	4.10

注1：C4+C5底片黑度差异最大，C4+C3或C2+C3底片黑度差异变小，相近分类等级胶片黑度差异越大，越不宜组合用于双胶片透照技术；

注2：使用分类相近的胶片组合作为双胶片透照技术使用时，应尽可能地把高等级胶片靠近射线源前置放置。

g) 当把不同分类的胶片放置于同一暗盒时，不同胶片分别评定不同厚度的对应区域的单胶片透照技术是最恰当的。标准没有禁止分类不同的胶片组合作为双胶片透照技术使用，就是为了在某些适当的情况下与这类单胶片透照技术配合使用。以C2+C3组合为例，在极端厚度变化范围情况下，相同的检测区可能存在C2评定区域，C3评定区域，以及C2+C3叠加评定区域的情况，从而增大透照厚度宽容度范围；

h) 使用双胶片透照技术时，为了减小前后底片的黑度差异，可适当调整前后底片的暗室处理参数。

#### （2）双胶片透照技术及双片叠加评定的优势：

- a) 采用双胶片透照技术，单胶片获得适当曝光量的情况下，双片叠加就能得到较高底片黑度值；
- b) 获得相同的黑度值，双片叠加与单片技术相比，减少了曝光时间，但是双胶片透照技术不是以牺牲曝光量为目的的，因为本部分已经规定了双底片叠加要求黑度至少2.7以上，单片黑度至少也要1.3以上。以某种类型的C5和C3类胶片为例，从胶片特征曲线可以看出，黑度1.3已经位于胶片特种曲线的陡峭区（胶片特征曲线示例见图15），双胶片透照技术是在保证单张胶片满足一定最小曝光量或黑度的基础上使用的；

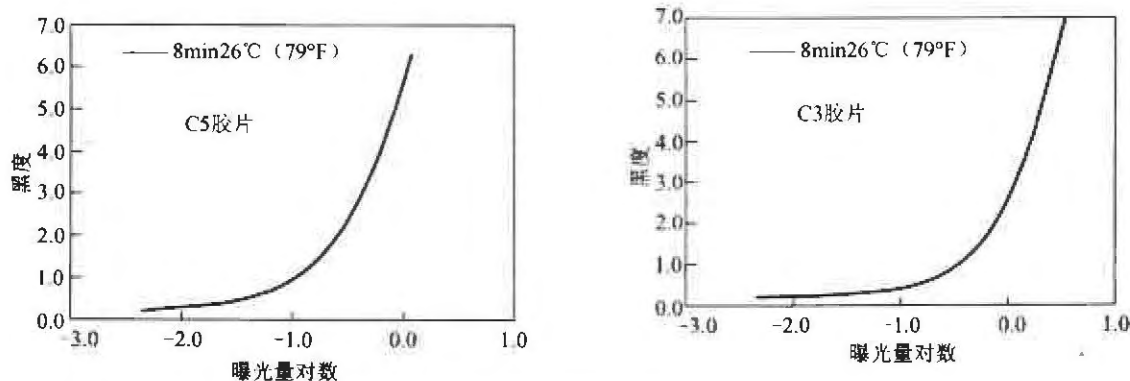


图15 胶片特征曲线示例



- c) 获得相同的黑度值，双片叠加与单片技术相比，减少了曝光时间，减少了长时间曝光（尤其超长时间曝光）时散射线对底片的影响，一定程度上弥补了双胶片技术胶片梯度小和双片叠加本底灰雾度增加对对比度产生的影响；
  - d) 相比单胶片透照技术，双胶片透照技术单底片满足一定曝光量，双底片叠加满足最小黑度的情况下提高了效率，这是双胶片透照技术的优势，与 ISO 17636-1-1 中 7.1.1 “不可采用双片技术用来缩短曝光时间”的要求并不矛盾，因为本部分规定了单底片的最小黑度，是以单片必须满足一定曝光量为前提的；
  - e) 双胶片透照技术叠加评定，且同时分析和评估每一单张底片，在某些条件下双胶片叠加反而有利于细节影像的分析、评估和判断；
  - f) 采用双胶片透照技术有利于不同类型伪缺陷的解释和评定；
  - g) 双片叠加和单片评定工件不同的区域，获得较大底片宽容度范围（例如管座角焊缝透照应用）；
  - h) 双胶片透照技术是设备在役检测常用的胶片透照技术，能有效保证透照质量和效率，减小因底片本身质量重新透照的几率。制造阶段如采用双胶片透照技术，与役前和在役保持一致，有利于底片评定的一致性和缺陷的跟踪控制；
  - i) 本部分中 5.16.3 允许双底片叠加观察评定时，如果其中一张底片存在轻微伪缺陷或划伤，在能够识别和不妨碍底片评定的情况下，可以接受该底片，减小了由于底片本身质量原因而导致的重新透照，在不影响缺陷评定的基础上允许适当让步是合理和恰当的。
- (3) 单胶片透照技术相比双胶片透照技术像质计灵敏度对比试验结果：
- a) Ir192 射线源，单胶片透照技术像质计灵敏度比双胶片透照技术有优势，但双胶片透照技术同样能达到 AB 级或 B 级检测要求；
  - b) 加速器透照，胶片等级越低，单胶片透照技术像质计灵敏度比双胶片透照技术越有优势，但双胶片技术同样达到 AB 级或 B 级检测要求；
  - c) Co60 透照，铅增感屏，单胶片透照技术像质计与双胶片透照技术像质计灵敏度基本一致，均能达到 AB 级或 B 级检测要求；
  - d) Co60 透照，不锈钢增感屏，单胶片透照技术像质计灵敏度比双胶片透照技术有优势，但双胶片技术同样能达到 AB 级或 B 级检测要求。

2、关于透照方式（5.5.2、附录 A 和附录 E）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
透 照 方 式	4.1.1、 附录 C	典型透照方式见附录 C，只适用于对接接头对接焊缝	5.5.2.1	典型的透照方式参见附录 E，增进了管座角焊缝的典型透照方式
			5.5.2.2	增加了“安放式和插入式管座角焊缝应优先选择源在外透照方式。插入式管座角焊缝源在内透照方式时，应优先选择射线源放置在支管轴线上的透照布置”的原则性要求
			附录 A	给出了管子-管板角焊缝的典型透照方式
			附录 E	增加了管座角焊缝的典型透照方式



本部分针对管座角焊缝的检测，强调应优先选择源在外的透照方式，相比源在内的透照方式，其优、缺点如下：

- a) 相比源在内的透照方式，射线源种类选择可以不受结构和尺寸的限制，射线源布置也更方便；
- b) 相比源在内的透照方式，源在外单壁透照，焦距可以根据实际情况灵活调整。必要时，透照方向也可以根据实际坡口情况进行调整；
- c) 源在外的透照方式，胶片放置于焊缝内侧，基本能够实现胶片与工件紧贴放置，优于胶片放置于外侧的情况；胶片放置于工件外侧时，鉴于焊缝是马鞍形，支管与母管成垂直的角度，而且胶片有一定的长度，导致胶片不能紧贴焊缝，“ $b$ ”值变大；
- d) 源在外的透照方式一般只能进行单次透照，源在内透照一次透照长度会更大，尤其射线源中心放置类似于环向焊缝的中心曝光，可以多个暗盒同时曝光，这样源在内透照的工作效率更高。

本部分针对插入式管座角焊缝源在内透照方式，强调应优先选择射线源放置在支管轴线上的透照布置，主要是考虑这种透照方式类似于射线源在中心的周向曝光，底片灵敏度高，横向裂纹检出率高。针对安放式管座角焊缝，在  $U_g$  满足要求的前提下，从标准本义和实际应用的角度也应优先选择射线源放置在支管轴线上的透照布置，鉴于采用安放式结构的支管的管径一般相对较小，采用偏心透照的可能性大，因此，本部分只提及插入式管座角焊缝。

本部分对于管座角焊缝射线检测时透照角度的规定，主要是为了更有利于检测出未熔合和未焊透缺陷。

### 3、关于透照方向（5.5.3）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
透 照 方 向	4.1.2	透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照	5.5.3	透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，并应与工件表面法线重合，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。 增加了“并应与工件表面法线重合”的要求

本部分增加“并应与工件表面法线重合”的要求，保证和强调“从空间上垂直指向透照区中心”，但针对一些需要检测特定缺陷的情况，可以不受这个条件的制约。例如检测异种钢焊接接头的过渡层（隔离层）与基材间的未熔合缺陷，射线源应放置于过渡层（隔离层）与基材交界面的延伸面上进行透照，见图 16。

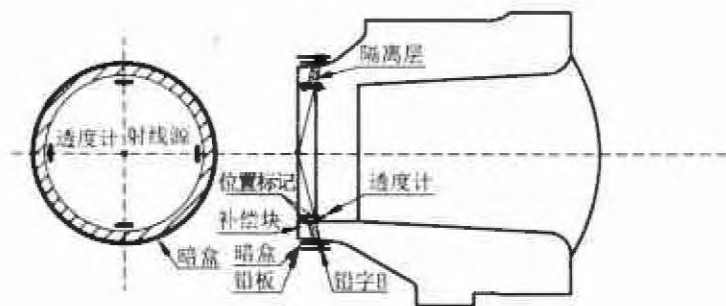


图 16 有利于发现缺陷的特殊透照方向示例

4、关于一次透照长度（5.5.4）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
一 次 透 照 长 度	4.1.3	给出了确定一次透照长度的原则，即 $K$ 值控制、 $K$ 值的选择要求和透照次数曲线（附录 D），缺点在于： 1）不能确定源在内偏心透照（ $F < D_0/2$ ）时的透照次数； 2）对难以用 $K$ 值来确定一次透照长度的特殊部位（管座角焊缝、椭圆形封头、碟形封头小 $r$ 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝）也没有作出规定	5.5.4.1 a)	透照次数曲线见附录 F
			5.5.4.1 b)	增加了射线源在内偏心透照（ $F < D_0/2$ ）时透照次数计算方法
			5.5.4.1 c)	增加了特殊部位（管座角焊缝、椭圆形封头、碟形封头小 $r$ 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝）允许用黑度范围来确定一次透照长度的原则要求，正常情况下的 $K$ 值选择原则没有改变

（1）环焊缝单壁内透（ $F < D_0/2$ ）的一次透照长度和透照次数计算公式

JB/T 4730.2—2005 没有给出环焊缝单壁内透（ $F < D_0/2$ ，即  $F < R$ ）的透照次数，欧洲标准 EN 1435 和国际标准 ISO 17636-1.1 同样也没有给出。上述标准之所以不给出，是因为该类透照用公式计算得到的一次透照长度往往大于射线机照射场范围，不能应用，透照次数也就无法算出。

实际工作中可采用一种简便处理方法：由于在相同焦距和  $K$  值要求的情况下，单壁内透（ $F < R$ ）环焊缝公式计算得出的一次透照长度始终大于平板焊缝的一次透照长度，因此用平板透照的一次透照长度（AB 级，一次透照长度为焦距的 1/2；B 级，一次透照长度为焦距的 1/3）作为环焊缝单壁内透（ $F < R$ ）的一次透照长度，肯定能保证满足标准的  $K$  值要求。同理，一次透照长度解决了，环焊缝的透照次数也就可以求出了。

标准附录 F 中给出了单壁内透（ $F < R$ ）时环向焊接接头透照次数的计算公式，是为了满足一些可能需要计算值的特殊应用。比如使用周向机进行单壁内透（ $F < R$ ）时。附加屏蔽铅板调节有用辐射场范围，作为定向机使用，在不大于按照公式计算的一次透照长度且底片黑度满足标准要求的情况下，尽可能提高实际的一次透照长度，可以有效提高检测效率。需要注意的是，周向机无用辐射场窗口位置应进行充分屏蔽，有用辐射场窗口位置宜使用适当厚度的滤光板消除软射线。



计算公式的来源和推导可查阅有关技术资料。

(2) 以黑度确定一次透照长度的特殊情况

——本部分 5.5.4 c) 规定管座角焊缝、椭圆形封头拼接焊缝、碟形封头拼接焊缝小  $r$  区, 以及其他曲率连续变化的焊缝不再强制采用  $K$  值控制一次透照长度, 允许以黑度来确定一次透照长度, 主要是考虑:

- a) 曲率连续变化的焊缝  $K$  值计算非常困难, 实际透照时可操作性差;
- b) 对于小  $r$  区的检测, 采用  $K$  值计算一次透照长度效率较低;
- c) 根据目前裂纹检测的研究成果, 倾斜角已不认为是最关键的参数, 裂纹的宽度是最为重要和关键的参数, 控制裂纹检出角 (即控制  $K$  值) 的重要性有所下降;
- d) 国外一些射线检测标准 (比如 ASME BPVC.5 和 RCC-M 标准) 并不要求采用  $K$  值进行控制一次透照长度, 也尚无由于  $K$  值适当让步造成安全事故的经验反馈, 包括核电建设项目;
- e) 在实际透照时, 应根据检测工艺选择优化的射线源与工件之间的距离  $f$ , 确定适当的一次透照长度。

——本部分不对小径管环向焊接接头透照时的  $K$  值作规定, 以黑度确定一次透照长度和评定范围。

——管子-管板角焊缝射线检测时, 射线穿透的厚度是变化的, 不使用也无法使用  $K$  值控制一次透照有效区域, 以黑度确定相关的有效评定范围。

## 5、关于有效评定区搭接 (5.5.5)

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
有效评定区搭接	—	没有明确要求	5.5.5	增加了“焊缝进行全部射线检测时, 采取的曝光次数和有效评定区的重叠应能保证检测到被检测区的整个体积范围”的规定
				增加了“如果采用暗盒直接搭接透照的方式, 也应保证整个有效评定区的底片黑度满足 5.16.1 的要求”的规定

“全部射线检测”即 100% 检测, 与 GB/T 150 和相应承压设备法规的描述保持一致。

100% 照相时, 除 5.5.4.1 c) 规定的特殊情况除外, 应按照  $K$  值确定曝光次数, 底片相邻的有效评定区应能重叠。

以环焊缝为例, 经计算或图表查得透照次数超过 7 次的直线, 选择的透照次数应是 8 次或以上, 从透照次数选择上要保证有效评定区重叠; 从评定区域上, 相邻两张底片搭接标记位置附近的区域应同时分析和观察, 实际评定时也应部分重叠。

“暗盒直接搭接透照 (胶片搭接)” 和 “有效评定区搭接” 不是同一概念。暗盒直接搭接透照时, 前面底片搭接部位黑度正常, 由于射线要经过前面暗盒的增感屏, 后面



底片搭接部位黑度降低。从检测的实践经验来看，后面底片搭接部位黑度降低区的长度范围不可能完全与前面底片搭接部位黑度正常区的长度一致，往往更大一些。因此，即使对前面底片搭接部位黑度正常区进行了评定，仍然需要对后面底片搭接部位的部分黑度降低区进行补充评定，否则就不能保证对焊缝进行了 100%的观察和评定，这就要求在暗盒直接搭接透照的情况下，后面底片搭接部位黑度降低区的黑度也应同时满足标准要求。因此，本部分补充了“如果采用暗盒直接搭接透照的方式，也应保证整个有效评定区的底片黑度满足 5.16.1 的要求”的规定。否则，应避免暗盒的直接搭接透照，比如可以采取奇、偶部位分别布置胶片分别透照的方式。

6、关于小径管透照（5.5.6）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
小径管透照次数	4.1.5	给出了小径管透照次数	5.5.6.2	在 JB/T 4730.2—2005 的基础上，增加了“小径管多次透照时，底片上被检测区黑度满足 5.16.1 的区域为有效评定区，相邻底片的有效评定区的重叠应保证覆盖被检测区的整个体积范围，如最少曝光次数不能满足 100%覆盖要求，则应增加曝光次数”的规定
		由于结构原因不能进行多次透照时，可采用椭圆成像或重叠成像方式透照一次。鉴于透照一次不能实现焊缝全长的 100%检测，此时应采取有效措施尽量扩大缺陷可检出范围，并保证底片评定范围内黑度和灵敏度满足要求	5.5.6.3	正文“由于结构原因不能按 5.5.6.2 的规定的间隔角度多次透照时，经合同双方商定，可不再强制限制 5.5.6.2 规定的间隔角度，但应采取有效措施尽量扩大缺陷可检出范围，同时应保证底片评定范围内黑度和灵敏度满足要求，并在检测报告中对有关情况进行说明”。增加了“经合同双方商定”，并修改了相关描述

（一）小径管透照次数

（1）本部分规定的小径管透照次数是指小径管环向焊缝双壁双影 100%透照时的最少透照次数，与 JB/T 4730.2—2005 相比，透照次数的原则要求没有改变。

（2）本部分规定的双壁双影最少透照次数是以能够保证环向焊缝 100%透照为前提的，也就意味着应首先按照 4.4 的要求进行小径管检测工艺验证，有效评定区的范围足以保证在标准规定的最小透照次数情况下能够实现环向焊缝 100%检测时，可以按照标准确定的最少次数进行检测。如果由于结构或检测条件限制，透照 2 张或 3 张时，相邻底片的有效评定区不能充分搭接保证环向焊缝 100%检测时，则应考虑采取如下措施：

- a) 减小间隔角度并增加曝光次数，保证相邻底片有效评定区的充分搭接；
- b) 优化检测工艺或参数，提高每张底片的有效评定区范围。

(3) 以上规定小径管双壁双影透照 2 次或 3 次是针对环向焊缝全长 100% 检测而提出的, 如果不要求 100% 检测, 就可以不执行透照 2 次或 3 次的规定。

(4) 不要认为本部分针对小径管环向焊缝的透照只允许双壁双影, 实际上小径管也可以选择单壁或双壁单影透照, 图 17 是小径管环向焊缝  $\gamma$  射线源双壁单影透照示例。相对于小径管焊缝单壁透照或双壁单影透照的底片质量而言, 小径管双壁双影透照实际上是标准允许的一种质量对成本和效率的让步。

(5) 小径管环向焊缝采用单壁透照或双壁单影进行 100% 透照时, 也是以黑度确定一次透照长度, 具体的透照次数按照实际情况确定, 也应保证相邻底片有效评定区的充分搭接。

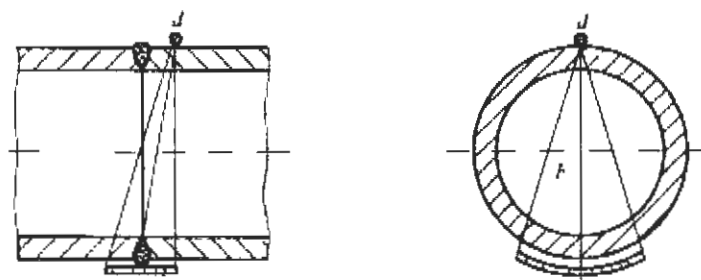


图 17 小径管环向焊缝  $\gamma$  射线源双壁单影透照

## (二) 小径管透照的“特殊情况”

(1) 本部分提及的“特殊情况”是指“由于结构原因, 无法按照 5.5.6.2 规定的间隔角度进行双壁双影多次透照, 以及可能无法实现环向焊缝 100% 透照的情况”。

(2) 把 JB/T 4730.2—2005 的“可采用椭圆成像或重叠成像方式透照一次”修改为“经合同双方商定, 可不再强制限制 5.5.6.2 规定的间隔角度”, 是基于本部分是检测方法标准, 不应对特殊情况下的处理措施直接作出规定, 应由业主(包括设计方)和检测方共同来商定, 同时要符合相应法规的规定。

(3) 以本部分小径管“间隔  $60^\circ$  透照 3 次”为例, “不再强制采用标准要求的间隔角度”, 并不是强调“采用其他的间隔角度必须透照 3 次”, 标准的本意只是说明“不再强制间隔  $60^\circ$  透照 3 次”, 至于采取“透照 1 次”“减小间隔角度透照 3 次”或“适当间隔角度下透照 2 次”等的哪些放宽方式, 应根据实际的检测情况由“合同双方商定”。相比 JB/T 4730.2—2005 的规定, 该规定并没有更加严格, 只是确定特殊情况下处理措施的主体改变了, 由“检测方确定”修改为“合同双方商定”。

(4) 无论采取哪种方式, 强调“采取有效措施尽量扩大缺陷可检出范围”, 达到或尽可能地接近 100% 检测, “有效措施”也属于合同双方商定的范畴, 是允许放宽的前提。

(5) 强调“特殊情况的透照”应在报告中说明。

(6) 对于结构特殊, 比如排管的射线检测, 实际上无法按照标准规定的角度和次数进行双壁双影透照时, 如果业主或设计方仍坚持要求 100% 检测, 可采取的措施包括:

- a) 修改工件结构, 把间距增大;
- b) 采用其他检测方法取代射线检测;
- c) 采用其他检测方法作为射线检测的补充检测;



d) 采用其他类型的射线检测设备和/或工艺来保证 100%透照。

其中措施 a)、b) 和 c) 可能需要业主或设计方的批准, 措施 d) 是否需要业主或设计方的批准, 应具体情况具体分析, 比如  $\gamma$  射线源紧贴小径管表面的双壁单影透照是标准允许的常规透照工艺, 既不需要业主或设计方的批准, 也不属于需要合同双方商定的“特殊情况”, 可能是解决这个问题最方便、最实用和最具可操作性的方法。

(7) 针对不要求 100%检测的小径管环向焊缝, 补充新条文 5.5.6.4 规定其透照次数由合同双方商定, 见 NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第 2 部分: 射线检测》第 1 号修改单(国家能源局 2018 年第 7 号公告)。这就意味着小径管环向焊缝局部检测以及受现场条件限制情况下的透照次数, 或焊缝的有效检测长度占环向焊缝总长的百分率应满足业主或设计方的要求。

### 【NB/T 47013.2】【5.6 射线能量】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
射线能量	4.2.1	X 射线照相应尽量选用较低的管电压。在采用较高管电压时, 应保证适当的曝光量。图 1 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压	5.6.1	正文“在保证穿透力的前提下, X 射线照相应选用较低的管电压。在采用较高管电压时, 应保证适当的曝光量。图 1 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压”。增加了“在保证穿透力的前提下”的原则性要求
		对钢、铜及铜合金材料, 管电压增量不应超过 50kV	5.6.2	正文“对钢、铜及铜合金、镍及镍合金材料, 管电压增量不应超过 50kV”。增加了“镍及镍合金材料”
	表 4	1MeV~12MeV 及以上 X 射线、Co60、Ir192 和 Se75 适用的透照厚度范围	表 4	增加了 Tm170 和 Yb169 适用的透照厚度范围, 取消了 12MeV 的 X 射线
	图 1	说明: 1——铜及铜合金	图 1	正文“说明: 1——铜及铜合金, 镍及镍合金”。增加了“镍及镍合金”
	—	JB/T 4730.1—2005 表 1 给出了 X 射线机、常用 $\gamma$ 射线源和高能 X 射线 AB 级检测技术最大透照厚度范围	—	NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.2—2015 均取消了 JB/T 4730.1—2005 表 1 中对于 X 射线机透照范围的限制, 常用 $\gamma$ 射线源和高能 X 射线 AB 级检测技术最大透照厚度范围没有改变, 详见 NB/T 47013.2—2015 表 4

NB/T 47013.2—2015 中 5.6.1 增加了“在保证穿透力的前提下”的原则性要求, X 射线机管电压的选择应按照实际制作的曝光曲线来合理选择, 避免射线能量选择不当曝光时间过长。

考虑铜与镍及其合金的透照特性基本一致, 5.6.2 和图 1 增加了“镍及镍合金材料”, 为“镍及镍合金材料”的 X 射线照相时管电压增量提供了标准依据, 实际上, JB/T 4730.2—2005 漏掉了“镍及镍合金材料”相关的规定。

对取消 JB/T 4730.1—2005 表 1 确定的 X 射线透照厚度范围的理解如下:



射线源	透照厚度 $W$ (AB级)/mm	射线源	透照厚度 $W$ (AB级)/mm
X 射线 (300kV)	$\leq 40$	Co60	40~200
X 射线 (420kV)	$\leq 80$	X 射线 (1MeV~4MeV)	30~200
Se75	10~40	X 射线 (>4MeV~12MeV)	50~400
Ir192	20~100	X 射线 (>12MeV)	$\geq 80$

(1) 随着 X 射线机制造技术的发展,尤其是恒压 X 射线机设备的研发和运用,其穿透厚度大大增加,JB/T 4730.1—2005 中表 1 确定的厚度范围已经不能与设备的发展相适应。

(2) X 射线机制造商均给出了穿透厚度的试验数值,由使用方根据实际的设备选型和试验数据,并结合本部分 5.10 要求的曝光曲线自行确定适用的厚度范围更趋于合理,方便操作。

### 【NB/T 47013.2】【5.7 射线源至工件表面的最小距离】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
射线源至工件表面的最小距离	4.3	适用于对接接头对接焊缝纵向和环向焊缝 $f$ 的确定要求	5.7.4	增加了安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁中心透照方式 $f$ 值可以让步 50% 的原则
			5.7.5	增加了安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁偏心透照方式 $f$ 值可以让步 20% 的原则
			5.7.6	增加了相关法规、规范、标准、设计技术文件或合同双方商定规定了允许的几何不清晰度 ( $U_g$ ) 最大值时,几何不清晰度 ( $U_g$ ) 值应按照附录 H 进行计算的要求
附录	附录 D	环向对接焊接接头透照次数确定方法	附录 F	环向对接焊缝透照次数确定方法
	—	没有明确要求	附录 H	几何不清晰度 ( $U_g$ ) 计算方法

#### 1、关于管座角焊缝 $f$ 让步

安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁中心和偏心透照方式,相当于对接焊缝的源在中心和偏心透照方式,因此,本部分提出了管座角焊缝  $f$  让步的要求。

#### 2、关于 $U_g$ 计算公式

(1) 为相关法规、规范、标准、设计技术文件或合同双方商定规定了允许的几何不清晰度 ( $U_g$ ) 最大值时提供计算依据。

(2)  $U_g$  值计算时,尤其是环向焊缝,  $U_g$  值是变化的,计算非常复杂,可操作性不强,本部分不考虑  $U_g$  在不同位置的变化,均以指向于被检区中心和声束中心的壁厚方向上的相关参数进行计算。

(3) 纵向焊缝透照时,被检区长度方向上  $U_g$  值相同;单壁外透和内偏心 ( $F < R$ ) 透照时,中心部位  $U_g$  值最小,向外逐步变大;双壁单影和内偏心 ( $F > R$ ) 透照时,中

心部位最大，向外缓慢减小，如图 18 所示。

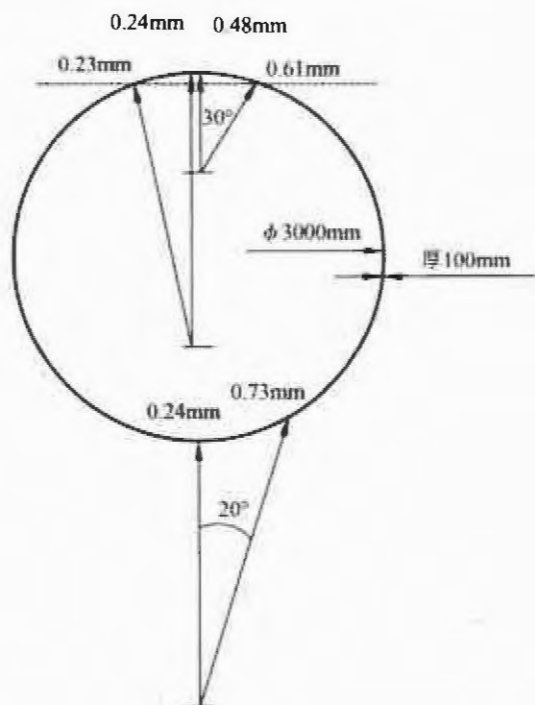


图 18 不同透照方式  $U_g$  值的变化示意图

【NB/T 47013.2】【5.8 胶片与被检工件之间的距离】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
胶片与被检工件之间的距离	—	没有明确规定	5.8	增加了“曝光期间，胶片应紧贴于工件，除非有特殊规定或透照布置能使被检区域得到更好的透照影像。管座角焊缝源在内透照时，胶片应尽可能地靠近被检工件焊缝”的原则性要求

本部分增加这个规定，实际上是要求检测时要尽可能减小“ $b$ ”值，尽可能减小  $U_g$  对底片的影响。

【NB/T 47013.2】【5.9 曝光量】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
曝光量	4.4	给出了 X 射线检测曝光量的推荐性要求， $\gamma$ 射线源曝光时间的原则性要求	5.9	5.9.2 在 JB/T 4730.2—2005 的基础上增加了“采用 Co60 $\gamma$ 射线源透照时，曝光时间不应超过 12h；采用 Ir192 $\gamma$ 射线源透照时，曝光时间不应超过 8h，且不得采用多个射线源捆绑方式进行透照”的规定

1、关于曝光量

与 JB/T 4730.2—2005 相比，X 射线检测曝光量的推荐性要求及  $\gamma$  射线源曝光时间



的原则性要求（10 倍）没有变化。X 射线曝光量值不是强制要求，可根据实际工件的检测情况进行调整。实际上，从标准的角度表达了射线照相要选择适当的焦距和适当的曝光量这两层含义。

## 2、关于 Co60 和 Ir192 使用限定条件

限定 Co60 和 Ir192 的最长曝光时间及多源捆绑透照。实际上间接地限定了 Co60 和 Ir192 的使用条件，要综合考虑射线源类型、焦距、厚度等因素，必要时选用其他检测方法。比如球罐常采用的源在中心，多源捆绑，长时间透照的方式，底片灵敏度低，危害性缺陷的检出率低。随着 TOFD 等新技术的发展和逐步成熟的实践应用，相关法规和 GB/T 150 等也已经明确了 TOFD 技术的应用。在此背景下，JB/T 4730.2—2005 间接地限制这种不合理的射线透照方式，鼓励采用 TOFD 对裂纹敏感的新技术，保证承压设备的安全运行。

## 3、关于球罐全景透照技术

（1）20 世纪 80 年代的法规规定：球罐对接焊缝不允许使用超声波检测，必须进行 100% 射线检测。而当时的国产 X 射线机质量很差，穿透力不足，不能胜任。为满足球罐射线照相需求，不得不大量进口日本 X 射线机。在此背景下，发明了球罐  $\gamma$  射线全景曝光技术，由于其检测速度快，效率高，成本低，因此很快在国内推广应用，见图 19 示例。

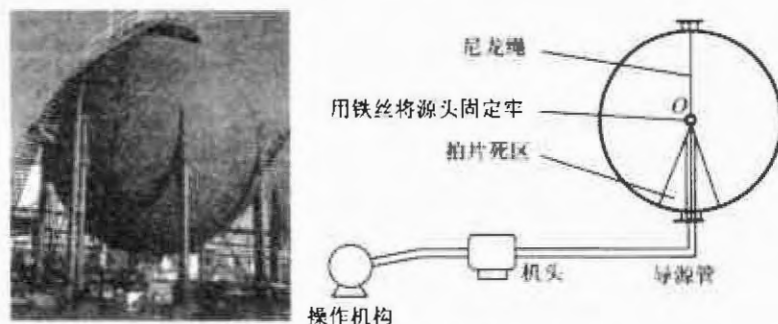


图 19 球罐  $\gamma$  射线全景曝光示意图

（2）球罐  $\gamma$  射线全景曝光是一项先天不足的技术发明，该技术的照相灵敏度极低，缺陷漏检严重。造成该技术灵敏度极低的原因，除了  $\gamma$  射线属线状谱射线、能量高、线质硬、照相对比度低、固有不清晰度大、颗粒度大以外，更重要的是球罐全景曝光焦距过大，曝光时间过长，透过射线少，散射线多，散射比很大，且  $\gamma$  射线源在  $360^\circ$  立体角的不同方向上辐射强度不一样。

（3）关于焦距与散射比的关系可进一步说明如下：

如果通常射线检测的焦距是 600mm，则直径 12m 的球罐采用全景曝光的焦距是 6m（6 000mm），后者焦距比前者大 10 倍，由平方反比定律可知，后者的透过射线的强度仅仅是前者的 1%。另一方面，平方反比定律只适用于点源，散射线不是点源，其强度衰减并不遵守平方反比定律，因此后者的散射线强度就不是前者的 1%，而是一个较大的数字，例如 1/10，按此推算，后者的散射比将比前者大 10 倍，所以球罐  $\gamma$  射线全景曝光技术灵敏度极低。

（4）实际工作中的球罐全景曝光，都是把像质计放置在胶片侧，因为放置在射源



侧的操作比较困难。但是必须认识到，像质计放置在胶片侧得到的灵敏度显示是虚假的，因为散射线对放置在胶片侧的像质计灵敏度影响甚微，而对放置在射源侧的像质计灵敏度影响颇大，所以本部分中 5.12.1 规定：球罐全景曝光，像质计不允许放置在胶片侧。

(5)  $\gamma$  射线源在 360° 立体角的不同方向上辐射强度是不一样的，球罐  $\gamma$  射线全景曝光时，其上下方位，即指向上下极板处的透过射线强度更低，因此上下极板焊缝的照相灵敏度更差。所以本部分中 5.12.2 规定：全景曝光时，在上极和下极焊缝的每张底片上都应放置像质计。

(6) GB/T 12337—2014《钢制球形储罐》中 8.6.1.1 无损检测方法选择中包括射线检测（X 射线定向曝光、 $\gamma$  射线周向曝光、 $\gamma$  射线全景曝光技术）、超声检测〔衍射时差法超声检测（TOFD）、可记录的脉冲反射法检测、不可记录的脉冲反射法检测〕、磁粉检测、渗透检测。其中 8.6.1.4 规定：“不宜采用  $\gamma$  射线全景曝光技术”。

(7) 鼓励采用先进检测技术替代球罐的射线全景曝光。例如衍射时差法超声检测技术（TOFD），检测速度快、效率高、成本低、无辐射、无污染，可全过程记录检测信息，检测结果能够成像，灵敏度高，可靠性好，检测示例参见图 20。

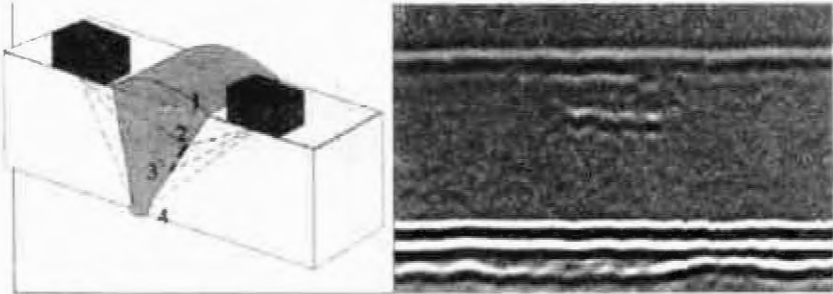


图 20 TOFD 检测典型图像

【NB/T 47013.2】【5.10 曝光曲线】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
曝光曲线	4.5	要求射线设备均应制作曝光曲线	5.10.4	针对 $\gamma$ 射线源，增加了“采用 $\gamma$ 射线源时，可采用曝光尺等方式计算曝光时间”的要求

针对  $\gamma$  射线源，不强制使用曝光曲线确定曝光参数，允许“采用曝光尺等方式”计算曝光时间，适应实际生产检测的需要，可执行性更强。

【NB/T 47013.2】【5.11 无用射线和散射线屏蔽】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
无用射线和散射线屏蔽	4.6	无用射线和背散射屏蔽的方向性要求及背散射屏蔽的验证原则	5.11	在 JB/T 4730.2—2005 的基础上： 1) 增加了钢制承压设备滤光板使用的推荐技术要求（附录 I）； 2) 增加了“在背散射轻微或后增感屏足以屏蔽背散射线的情况下，可不使用背散射防护铅板”的规定
附录	—	没有明确要求	附录 I	滤光板

1、本部分提及了钢制承压设备射线检测时滤光板使用的技术要求，主要从以下几个方面进行理解：

(1) 推荐 $\gamma$ 射线源使用滤光板，滤光板的相关规定见资料性附录1。

(2) 滤光板位置：放置于工件和暗盒之间（ $\gamma$ 射线检测时，滤光板放置于射线源和工件中间没有意义），放置位置见图21。

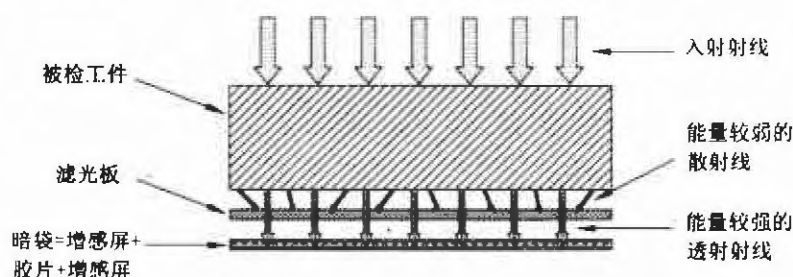


图21 滤光板放置示意图

(3) 滤光板适用的射线能量：低能射线一般不采用，主要应用于中等能量的线状谱 $\gamma$ 射线，例如Ir192、Co60等，尤其是厚板且透照时间较长时建议使用滤光板。

(4) 滤光板作用：减少康普顿效应的散射线，降低散射比。暗盒中的铅箔厚度一般较薄，能够有效阻挡光电效应等的低能散射线，但对阻挡康普顿效应的中等能量散射线不够有效；选择滤光板厚度0.5mm~2mm，对阻挡康普顿效应的散射线比较有效，提高底片灵敏度，试验结果见表10。

表10 滤光板使用透照试验

$\gamma$ 射线种类	胶片类别	透照厚度/mm	铅滤光板厚度/mm	滤光板位置	像质计灵敏度/mm
Ir192	C2	20	0.5	工件与暗盒之间	0.20
				射线机窗口	0.32
			不使用滤光板		0.25
	C4	70	2.0	工件与暗盒之间	0.40
				射线机窗口	0.50
			不使用滤光板		0.50
Co60	C4	70	2.0	工件与暗盒之间	0.50
				射线机窗口	0.63
			不使用滤光板		0.63

(5) 对于连续谱X射线，试验结果显示，适当厚度的滤光板同样能提高底片的对比灵敏度。

(6) EN 1435—1997和ISO 17636-1.1:2010标准对滤光板的使用也作出了规定：在使用Ir192和Co60放射源时，或在有边缘散射的情况下，可以用铅板插在工件和暗盒之间，作为低能量散射过滤器，根据透照厚度的不同，该铅板厚度为0.5mm~2mm。

2、后增感屏除了增感作用外，还有吸收和屏蔽背散射线的的作用。在后增感屏足以屏蔽背散射线的情况下，仍使用背散射防护铅板，背散射铅板与前面射线的作用下可能



会对胶片产生附加增感，例如在暗盒直接搭接透照时，在搭接部位靠近工件胶片的黑度比本张底片非搭接部位的黑度稍大就是这个原因(见图 22)，这反而对底片灵敏度不利。因此，在验证后增感屏足以保证屏蔽散射线的前提下，推荐不再使用背散射防护铅板。



注：透照参数：中心曝光，焦距 300mm，80kV，30s。

图 22 后增感屏散射提高搭接部位黑度示意图

3、后增感屏不足以屏蔽背散射线时，需要附加一定厚度的铅质背散射防护铅板。

(1) 当背散射线被完全屏蔽时，放置于暗盒后面的铅字“B”与后增感屏接触，根据使用的射线能量的大小，附加增感可能穿透后增感屏对胶片增感或被后增感屏吸收，因此在底片上形成黑色的“B”字影像或没有“B”字影像；铅板后面“B”字附加增感不能穿透铅板，不会在底片上产生影像；

(2) 当背散射较强，附加的铅板仍不足以屏蔽时，受背散射的影响，铅字“B”同时放置于暗盒后面和铅板后面均在底片上形成了白色影像，但放置于铅板后面“B”的影像比放置于暗盒后面的“B”影像黑度大，说明铅字“B”放置于暗盒后面更有利于评估背散射铅板的防护效果，在使用背散射屏蔽铅板的情况下，铅字“B”仍放置于暗盒后面更合理一些。

【NB/T 47013.2】【5.12 像质计使用】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
像质计的使用	4.7	“金属丝”和“丝”	5.12	修改为“金属线”和“线”
	4.7.1	适用于线型像质计的放置原则	5.12.1	在线型像质计的放置原则基础上，增加了孔型像质计的放置原则
	4.7.2	单壁透照中，如果像质计无法放置在源侧，允许放置在胶片侧	5.12.1	正文“单壁透照中，如果像质计无法放置在射线源侧，允许放置在胶片侧（球罐全景曝光除外）”，增加了“球罐全景曝光除外”
	4.7.3	球罐对接焊接接头采用源置于球心的全景曝光时，至少在北极区、赤道区、南极区附近的焊缝上沿纬度等间隔地各放置 3 个像质计，在南、北极的极板拼缝上各放置 1 个像质计	5.12.2	正文“球罐焊接接头采用源置于球心的全景曝光时，在上极和下极焊缝的每张底片上都应放置像质计，且在每带的纵缝和环缝上等间隔至少放置 3 个像质计”，修改了球罐像质计的放置要求



续表

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
像 质 计 的 使 用	4.7.4	小径管可选用通用线型像质计或附录 F（规范性附录）规定的专用（等径金属丝）像质计	5.12.3	小径管使用通用线型和专用等径线型像质计
	—	没有明确要求	5.12.4	针对不等厚或不同种类材料之间对接焊缝，增加了“如果焊接接头的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部位应分别采用与被检材料厚度或类型相匹配的像质计，并分别放置在焊接接头相对应部位”的规定
	—	没有明确要求	5.12.5	管座角焊缝。增加了“推荐采用线型像质计，根据像质计能够投影到被检测区的位置而放置。如果允许，像质计尽可能置于黑度最小的区域”的规定
	4.7.5	如底片黑度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）能够清晰地看到长度不小于 10mm 的连续金属丝影像时，则认为该丝是可识别的。专用像质计至少应能识别两根金属丝	5.12.6	正文“使用线型像质计时，底片上能够识别的最细金属线的编号即为像质计灵敏度值。如底片黑度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）能够清晰地看到长度不小于 10mm 的连续金属线影像时，则认为该金属线是可识别的。专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线”。“使用阶梯孔型像质计时，底片上能够识别的最小孔的编号即为像质计灵敏度值，当同一阶梯上含有两个孔时，则两个孔都应在底片上可识别”。增加了像质计灵敏度定义及孔型像质计的识别要求

本部分引用的 JB/T 7902（目前最新的是 2006 版本）已经包含了通用线型和等径专用线型像质计，JB/T 4730.2—2005 中附录 F 的等径像质计不再使用；修改“金属丝”和“丝”为“金属线”和“线”，与 JB/T 7902 的说法保持一致；同时，本部分也明确了像质计灵敏度的定义，统一说法，消除标准歧义。

相比 JB/T 4730.2—2005，线型像质计放置和识别的总体原则没有变化，孔型像质计的放置原则和识别主要是参考 RCC-M、ASME BPVC.5、ISO 17636-1 和 EN 1435 标准，需要重点关注以下几个方面的内容：

（1）本部分针对有余高的焊缝，使用线型像质计时，是以母材金属区能够清晰识别长度不小于 10mm 金属线影像来评价像质计灵敏度。这样规定主要是基于：

- 母材金属区黑度均匀，金属线影像不会受到放置于焊缝部位表面状态的影响，对金属线“连续”或“清晰”比较有利，同时以母材公称厚度或透照厚度来确定像质计灵敏度，对应的厚度值更加准确；
- 热影响区是焊接接头的有效评定区，也是焊接接头最薄弱的环节，以母材区厚度来确定底片像质计灵敏度更有利；
- 本部分确定像质计灵敏度是与厚度相对应的，已经从总体方向上考虑了焊缝余

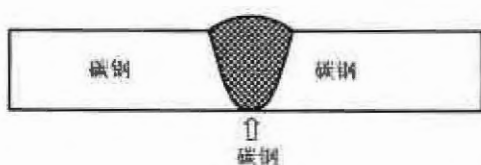
高引起的厚度变化对像质计灵敏度的影响；

- d) 相关规范、标准或设计文件对焊缝余高的大小是有控制要求的，在焊缝部位的黑度满足标准要求的情况下，母材金属区部位的像质计灵敏度满足要求，焊缝部位的像质计灵敏度也是有保证的。

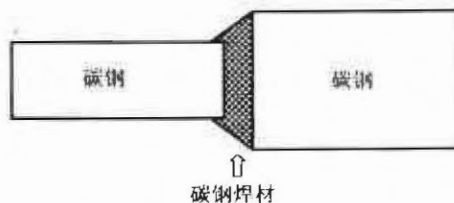
(2) 本部分针对余高磨平的焊缝，使用线型像质计时，要求线型像质计横跨焊缝放置，焊缝熔敷金属区也是黑度均匀区，是允许以焊缝部位能够清晰识别长度不小于10mm金属线影像来评价像质计灵敏度的；针对孔型像质计，原则上应放置于热影响区之外，不得放置于焊缝部位。

(3) 厚度不同或材料类型不同的部位，应分别采用与被检材料厚度或类型相匹配的像质计，并分别放置在焊接接头相对应部位，明确了厚度不同或材料类型不同特殊情况下的像质计选择和像质计灵敏度评价准则，避免产生歧义。理解如下：

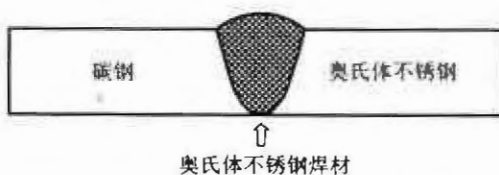
- a) 厚度或/和材料不同，透照时均对应着同一射线能量或射线源，这就存在不同部位对应着不同散射比、材料类型、厚度与射线能量（或射线源）的匹配性、底片不同部位的黑度差异性问题，采用各自适用的像质计分别评价像质计灵敏度更为合理。见图 23 的示例和说明；



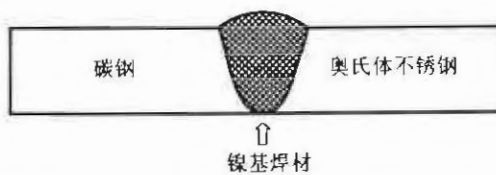
注：同材质同厚度放置一个像质计即可。



注：同材质不同厚度应考虑不同厚度分别放置两个像质计分别评定厚度不同的区域，即使要求识别的线径相同，也应考虑放置两个像质计。



注：不同材质相同厚度应考虑分别放置两个像质计，不同材质不同厚度更是如此；即使使用相同材质的像质计（如两边均使用碳钢像质计），也应考虑使用两个像质计。



注：不同材质相同厚度，而且熔敷金属材料与焊缝两边均不同，此时情况比较特殊，应考虑放置三个像质计，分别评价不同区域，不同材质不同厚度更是如此；即使焊缝两边和镍基部位使用相同材质的像质计（如使用碳钢像质计），也应考虑分别放置像质计评价不同的区域（镍基焊缝部位的像质计灵敏度应考虑单独评价）；在实际制造过程中，此种情况下焊缝余高往往是要求磨平的。

图 23 厚度或/和材料不同像质计放置示例

- b) 厚度或/和材料不同，焊接接头有效评定区的底片黑度均应满足标准的要求。使用与被检材料厚度或类型相匹配的像质计，对应部位的像质计灵敏度比较容易达到，更符合检测实际；
- c) 评定记录和报告中应记录不同材质或/和厚度时使用的像质计类型和不同部位



对应的像质计灵敏度；

- d) 实际检测时，如果不等厚或材质不同的焊缝宽度较小，像质计线长可以完全横跨焊缝，焊缝两边均能够有效识别不少于 10mm 金属线，且所选择的像质计型号能够覆盖到不同厚度要求识别的线径范围，能够实现使用两个（或三个）像质计相同的目的，从检测技术的角度允许使用一个像质计，符合标准制定 5.12.4 这个要求的初衷。

（4）管座角焊缝不同于对接焊缝，管座角焊缝结构复杂，射线的穿透厚度是变化的，其像质计的选择和放置应重点关注以下几个方面：

- a) 从放置方便性及评估整个检测区像质计灵敏度的角度，使用线型像质计更为合理，本部分推荐使用线型像质计，但不是强制要求。
- b) 管座角焊缝的像质计灵敏度是以支管（安放式）或母管（插入式）的母材区可识别的线径或孔径来确定。
- c) “如果允许，像质计尽可能置于黑度最小的区域”，主要是考虑管座角焊缝检测区厚度变化大，黑度和几何不清晰度的变化大，像质计的放置要求适当让步是符合检测实际的。在允许情况下，“尽可能”（非强制要求）的放置原则如下：
- 在焊缝长度方向上，尽可能放置于 1/4 处；
  - 在焊缝宽度方向上，像质计尽可能覆盖到厚度最大（黑度最小）的区域，间接反映整个检测区像质计灵敏度的变化，必要时可通过检测区像质计灵敏度的变化对管座角焊缝透照工艺的适用性进行技术评估。

（5）单壁透照时，像质计无法放置于射线源侧时（例如爬行器透照长输管道环焊缝）允许放置于胶片侧，但应进行像质计放置于源侧和胶片侧的对比试验，不能简单提高一个等级来确定胶片侧应达到的像质计灵敏度，应遵循以下原则：

- a) 可通过模拟实际的透照环境，像质计同时放置于同一张胶片的源侧和胶片侧进行对比试验；
- b) 首先，底片上源侧像质计灵敏度应满足标准要求，否则应调整透照参数重新试验；
- c) 在确认底片上源侧像质计灵敏度满足标准要求的条件下，才能评价胶片侧的像质计灵敏度，以实际可达的胶片侧像质计灵敏度作为对比试验确定的像质计灵敏度来评价产品底片；
- d) 实际检测时的透照参数应与试验的透照参数保持一致。实际透照参数如有调整，必须重新进行对比试验。

（6）像质计放置于射线源侧和胶片侧时的显示差异影响因素如下：

- a) 几何条件改变对几何不清晰度的影响；
- b) 几何条件改变对细金属线或孔影像对比度的影响；
- c) 散射线的影晌；
- d) 几何放大的影响。

（7）本部分禁止球罐全景单壁曝光像质计放置于胶片侧，也不允许通过对比试验来让步放置于胶片侧，其他类型承压设备像质计放置原则与 JB/T 4730.2—2005 相比没有变化。



## 【NB/T 47013.2】【5.13 标记】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
标记	4.8.1	透照部位的标记由识别标记和定位标记组成。标记一般由适当尺寸的铅（或其他适宜的重金属）制数字、拼音字母和符号等构成	5.13.1	在 JB/T 4730.2—2005 基础上，增加了“底片标记应能清晰显示且不至于对底片的评定带来影响，标记的材料和厚度应根据被检工件厚度来选择，应能保证标记影像不模糊，也不至于产生眩光”的原则性要求
	4.8.3	规定了定位标记（中心标记和搭接标记）的表示方法和使用用途	5.13.3	除了“中心标记”和“搭接标记”，增加了“检测区标记”的表示方法和使用用途
	—	没有明确要求	5.13.4	针对当焊缝内外余高均磨平的焊缝，从底片上不能确定检测区位置和宽度时，增加了“应采用适当的定位标记（如采用铅质窄条）进行标识”的规定
	—	没有明确要求	5.13.5	增加了“允许采用预曝光方式获得相关识别标记”的规定
	4.8.4	标记一般应放置在距焊缝边缘至少 5mm 以外的部位，搭接标记放置的部位还应符合附录 G（规范性附录）的规定。所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像	5.13.6	定位标记应放在工件上，其摆放应符合附录 J 的规定。所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像。当由于结构原因，应放置于射线源侧的定位标记需要放置于胶片侧时，检测记录和报告应标注实际的评定范围。 删除了“距焊缝边缘至少 5mm 以外的部位”的说法
	—	没有明确要求	5.13.7	增加了“识别标记允许放置于射线源侧或胶片侧，所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像”的规定
	—	仅在第 7 章“射线检测报告”中提及了“布片草图”	5.13.8	增加了“为了能精确地辨别底片位置，应以被检工件上永久标识或部位特征作为参考点；如果因材料性质和使用条件而不能进行永久标识时，应采用其他方法（如布片图）确定底片位置”的规定
附录	附录 G	搭接标记的摆放位置	附录 J	定位标记的放置原则

与 JB/T 4730.2—2005 相比，针对标记类型和材料的要求没有本质变化，本部分关注标记影像本身质量和影像透光率对底片评定的影响，要求根据具体的透照情况选择合适的标记材料（一般采用铅或其他金属材料）或尺寸。

（1）搭接标记可以认为是检测区长度方向的定位标记。当焊缝余高磨平在底片上不能显示焊缝影像时，本部分要求检测区宽度应采用定位标记确定，因此增加了“检测区标记”的表示方法和使用用途。检测区标记没有固定的型式，实际操作时可以采取以下两种方法：

- a) 采用独立的铅质标记(如铅质窄条)放置于适当位置标记有效评定区宽度范围;
- b) 以焊缝两侧搭接标记之间的宽度来确定有效评定区宽度范围,这时搭接标记又成了确定检测区宽度方向上的定位标记,见图24示例。实际检测时,标准也没有限制搭接标记的型式,可以用箭头,也可以用数字等,由检测方自行确定。

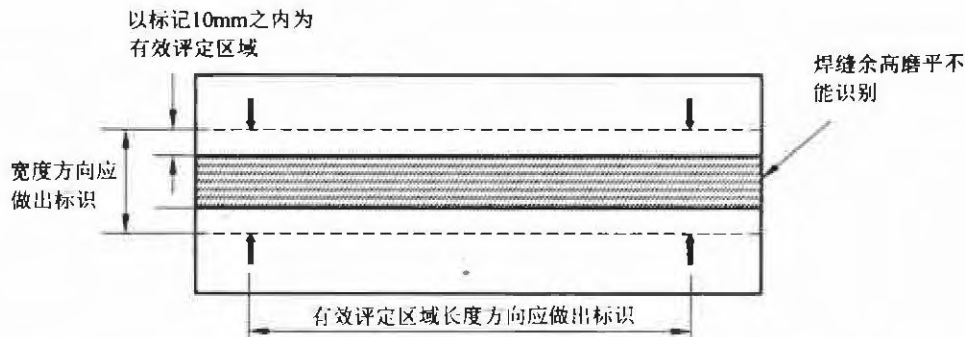


图24 以搭接标记确定检测区宽度示例

- (2) 实际检测过程中,需要理解和重视检测区宽度方向上定位标记放置的特殊情况:
  - a) 环向焊缝透照时,检测区宽度定位标记的放置相当于是纵缝的单壁透照,原则上应放置于射线源侧;
  - b) 纵向焊缝透照时,检测区宽度定位标记应根据具体的透照方式放置。单壁外透照时和单壁内透照( $F < R$ )时,原则上应放置于射线源侧;单壁内透照( $F > R$ )时,原则上应放置于胶片侧;单壁内透照( $F = R$ )时,射线源侧或胶片侧均可。

(3) 按照本部分 5.13.6 的规定,定位标记原则上应按照附录 J 的要求进行放置。但对于“原则上应放置于射线源侧”的定位标记,本部分也允许放置于胶片侧,但要求检测记录和报告应标注实际的评定范围。通常的做法是:

- a) 在焊缝宽度方向上,只能采取“增大胶片侧定位标记的距离”的方式,如果放置于胶片侧对应的划线标识位置,定位标记影像会落到焊缝投影上,影响底片评定,见图25;

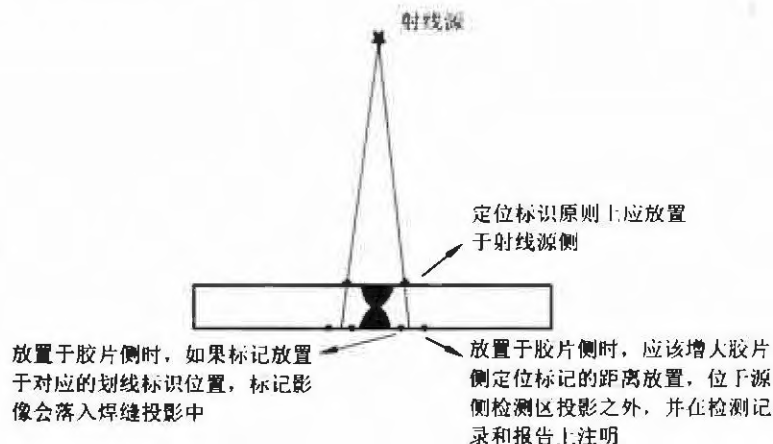


图25 焊缝宽度方向上定位标记放置于胶片侧示例



- b) 在焊缝长度方向上，可以适当增大胶片侧定位标记的距离，以标记影像之间的范围作为有效评定区；或者定位标记放置于胶片侧对应的划线标识位置，以标记影像之间的范围附加一定的长度  $\Delta L$  作为有效评定区，见图 26 示例；

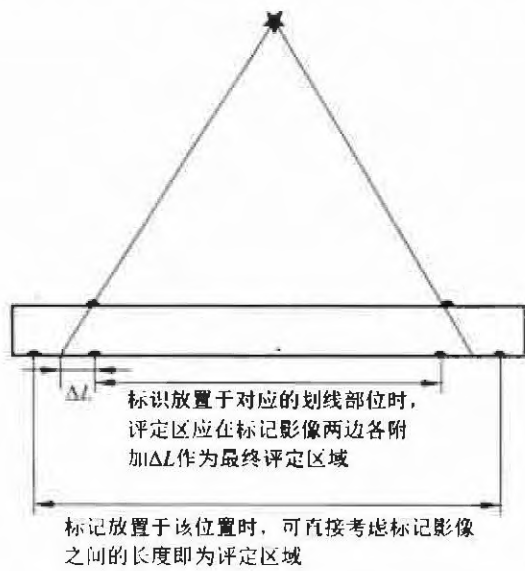


图 26 焊缝长度方向上定位标记放置于胶片侧示例

- c) 需要注意的是：长度方向上的定位标识放置在胶片侧时，在焊缝宽度方向上的相对位置要满足上述 a) 的要求。
- (4) 管座角焊缝射线检测时，检测区长度方向定位标记的放置应注意以下几个问题：
- a) 同检测区宽度方向上的定位标记一样，应考虑放置于工件外侧；
- b) 管座角焊缝是马鞍形，不论外透照还是内透照，不同透照方向上对应的曲率和形状不同，尤其是肩部与腹部差异最大，不同部位对应的实际一次透照长度建议进行适当调整，保证底片黑度满足要求且做到相邻底片有效评定区的充分搭接，不建议等分透照；
- c) 管座角焊缝是以黑度确定一次透照长度，长度方向上定位标记的主要功能是确定底片位置，确定一次透照长度的功能已经减弱，因此，不要再纠结定位标记放置与透照方式的对应关系。底片评定时，不论外透照还是内透照，黑度符合要求的区域即可作为有效评定区，标记影像之外黑度符合的区域也要尽可能地评定，保证相邻底片有效评定区的充分搭接，所以本部分附录中 J 并没有对管座角焊缝长度方向定位标记的放置作出明确规定，意义不大。

(5) 本部分对识别标记的摆放位置不作强制要求，但其影像不得进入底片的有效评定区，影响底片的评定，这个要求对定位标记也同样适用。

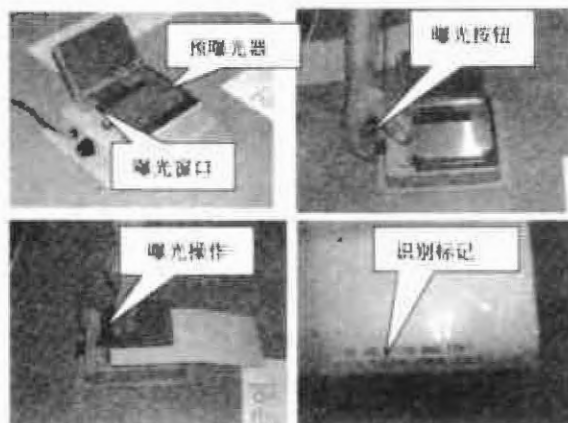
(6) 针对识别标记，不强制使用“铅或其他重金属”的型式，允许在暗室内预先使用“预曝光”方式制作识别标记。

- a) 用黑纸打码制作镂空的识别标记，或者用白纸打印制作，非标记部位打印成黑色，标记处为原始白色；
- b) 把识别标记放在曝光窗口。曝光时，要确保只有标记处漏光，必要时周围部位



使用黑纸遮挡，进一步调节窗口大小；

- c) 把胶片的一角放在识别标记位置，按下曝光按钮进行曝光；
- d) 预曝光完成后，将胶片放入具有对应标识的暗盒后进行射线检测，暗室处理后就会在底片上显示预曝光识别标记。这是由于标记处多经受了一次白光曝光，所以黑度比周围的要大，形成可识别的标记。识别标记制作示意图见图 27 示例。



注：暗盒应进行充分标识，以便使预曝光的胶片对应地放入标识的暗盒中，避免混淆。

图 27 预曝光识别标记制作示例

## 【NB/T 47013.2】【5.14 胶片处理和底片质量检测】释义

### 1、关于胶片处理（5.14.1）

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
胶 片 处 理	4.9	可采用自动冲洗或手工冲洗方式处理，推荐采用自动冲洗方式处理。 胶片处理一般应按胶片使用说明书的规定进行	5.14.1	在 JB/T 4730.2—2005 的基础上，增加了“原则上应采用胶片厂家生产或推荐的冲洗配方或药剂，并按照 GB/T 19348.2 附录 A 的规定，经比较试验证明的条件下，也可以使用其他厂家的配方或药剂”和“手工冲洗和自动冲洗胶片宜在曝光后 8h 之内完成，最长不得超过 24h”的规定

不同牌号胶片的分类等级是采用与其匹配的药液反应进行评价的，即胶片的分类等级与采用的药液相关，药液的改变可能导致胶片特性相关指标的改变。比如，AGFA 胶片应采用胶片制造商推荐的与其匹配的药液进行暗室处理。

本部分也允许在按照 GB/T 19348.2 附录 A 经比较试验证明的条件下，可以使用其他厂家的配方或药剂，这就需要使用胶片制造商提供的预曝光胶片和其他厂家的药液组合进行暗室处理和比较试验。

增加“手工冲洗和自动冲洗胶片宜在曝光后 8h 之内完成，最长不得超过 24h”的规定是敦促曝光后的胶片尽快暗室处理，控制和减小潜影衰退和灰雾增加带来的底片质量影响。

预曝光胶片的用途主要有三个方面：

- (1) 验证胶片分类的符合性。
- (2) 监控胶片处理系统的连续性能，确保获得一致的胶片处理质量。
- (3) 发生偏差时实施纠正措施。

按照 GB/T 19348.2 附录 A 进行比较试验的方法如下：

- (1) 选择拟使用的药液组合，按照实际产品的胶片处理参数对预曝光胶片进行处理。
- (2) 处理完毕后，测量预曝光胶片（处理后的预曝光胶片示例见图 28）阶梯 0（未曝光区域）、阶梯  $X$ （黑度接近于 2.0 的阶梯）和阶梯  $X+4$  的黑度，得出  $D_0$ 、 $S_x$  和  $C_x$  的值。

$$C_x = (D_{X+4} - D_x) S_r / S_x$$

式中：

$D_x$ ——阶梯  $X$  的黑度（2.0 左右）；

$D_{X+4}$ ——阶梯  $X+4$  的黑度；

$S_x$ ——速度系数  $D_x - D_0$ ；

$D_0$ ——阶梯 0 的黑度（灰雾度）。

$C_x$ ——对比度系数；

$S_r$ ——预曝光胶片鉴定证书获得的参考速度系数。

- (3) 将计算获得的  $S_x$  和  $C_x$  与胶片制造商提供的预曝光胶片鉴定证书上给出的  $S_r$ （参考速度系数）和  $C_r$ （参考对比度系数）值进行对比。

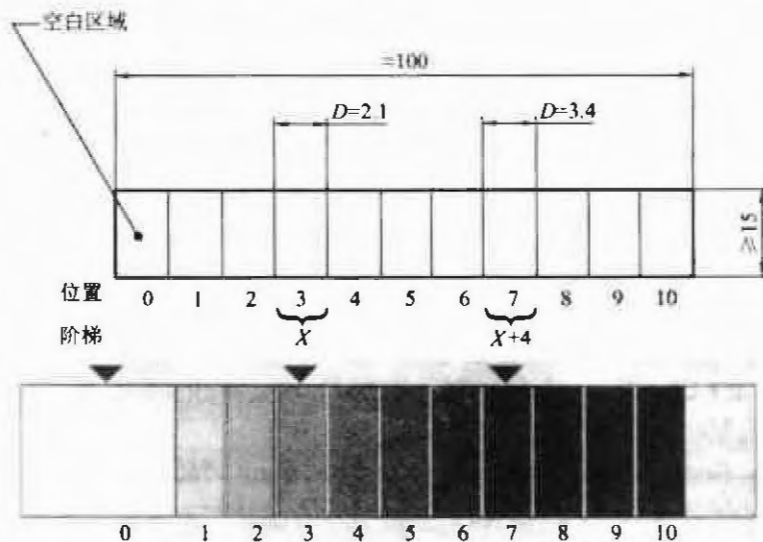


图 28 处理后的预曝光胶片示例

- (4) 对比试验的测试结果如果满足下面三个条件，则处理系统是满足要求的，否则应采用胶片厂家生产或推荐的冲洗配方或药剂，或更换其他经过比较试验满足要求的药液。

- a) 阶梯 0 的黑度  $D_0$ （即灰雾度）不应超过 0.3；
- b) 速度系数指示值  $S_x$  与鉴定证书确立的参考速度系数值  $S_r$  进行比较。确定处理过程质量时，最大允许偏差为  $\pm 0.3$ ，确定胶片系统一致性时，偏差范围应在



±10%以内；

- c) 所得到的对比度系数  $C_x$  与鉴定证书确立的参考对比度系数  $C_r$  相比，偏差范围应在-10%~+15%以内。

(5) 使用非胶片厂家生产或推荐的冲洗配方或药剂进行胶片处理时，本部分没有强制规定比较试验的频度和试验时机，由检测方根据实际情况自行确定。胶片批次或药液批次发生改变时宜考虑进行比较试验。鉴于药液活性的重大改变（意味着处理参数也会发生改变）会影响胶片处理质量，宜考虑在药液活性的不同阶段进行比较试验，这种试验不需要每次更换药液时都做，可以考虑针对某一牌号的药液在活性的不同阶段进行型式上的比较试验即可。胶片制造商一般会给出建议的试验频度。

## 2、关于底片质量检验（5.14.2）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
底片质量检验	—	没有明确要求	5.14.2	增加了“底片质量检验”和“纠正措施”的要求
附录	—	没有明确要求	附录 K	本附录增加了“底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法”

底片的保存寿命直接与底片上残存的硫代硫酸盐离子的含量有关，控制底片上硫代硫酸盐离子的残留浓度是为了保证底片能长时间地保存而不至于发黄从而影响随后底片的评定和跟踪。

ASME SE—94 中提出了测定要求，RCC-M 标准给出了较为详细的测定方法和后续处理的规定。本部分是在参考了 RCC-M 标准的实践经验，调研了不同胶片制造商硫代硫酸盐离子测定和图谱准备情况，增加了“底片质量检验”的相关技术要求。

底片质量检验主要是控制定影和底片的水洗环节，与显影环节没有关系，在定影液老化程度、定影时间和水洗时间已经按照本部分中 4.4.4 的要求经过工艺验证，底片硫代硫酸盐离子残留浓度满足要求的情况下，只要检测过程中的定影液老化程度不大于工艺验证时定影液的老化程度，以及定影和/或水洗时间没有减小，可以不再考虑进行底片质量检验，因此本部分没有强制规定底片质量检验的频率，由检测方自行确定。

操作指导书应对定影和水洗工序的工艺验证和底片质量检验的要求作出明确规定。

对于硫代硫酸盐离子的残留浓度不符合的情况，本部分给出了具体的纠正措施，尤其要关注有缺陷底片的必须重新定影和/或水洗的强制要求。

胶片制造商提供相关的化学药液、测量方法和代表硫代硫酸根离子含量的有关对比颜色图谱。

以下是某胶片制造商提供的硫代硫酸盐离子的残留浓度检验方法的示例。

(1) 在工件胶片未曝光部分（即本底黑度部分），或单独取一张未曝光的胶片，使用与工件检测相同的暗室处理工艺进行处理，尤其是定影和水洗工序。

(2) 处理完毕后，在底片未曝光或单独底片的某一部位采用胶片制造商提供的化



学药液进行滴落浸蚀。双面药膜的胶片，腐蚀应快速在同一位置双面进行。

(3) 腐蚀 2min 之后用纸巾吸干化学药液（不同牌号的胶片类型要求的腐蚀时间可能会不同）。

(4) 将化学药液浸蚀区域与胶片制造商提供的“对比颜色色卡（或图谱）”进行比对，便可得出底片残留的硫代硫酸盐离子的浓度。化学药液、对比颜色图谱及其对应的硫代硫酸盐离子浓度量值示例见图 29。

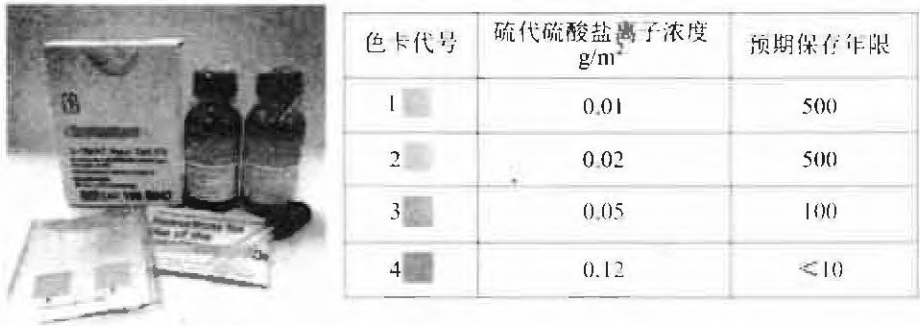


图 29 硫代硫酸盐离子测量药液和图谱示例

(5) 图 29 示意的底片预期保存年限对应着某胶片制造商推荐的底片储存条件，因此应按照胶片制造商推荐的条件保存底片，这也是本部分中 5.17 的要求。

3、关于灰雾度测量（5.14.3）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
灰雾度测量	3.2.2	胶片的本底灰雾度应不大于 0.3	5.14.3	增加了胶片“灰雾度测量周期和时机”的规定

胶片灰雾度限值没有变化。本部分增加胶片“灰雾度测量周期和时机”的规定主要是监控和控制胶片供应商与胶片使用方的储存条件。

本部分灰雾度测量提及的胶片“批”应作如下理解：

(1) 从同一胶片供应商同一时间采购的胶片作为一批，不分胶片规格抽样测量；如果不是同一时间购进，应作为不同批次抽样检测。

(2) 从不同胶片供应商同一时间采购的胶片，应作为不同批次抽样检测。

## 【NB/T 47013.2】【5.16 底片质量】释义

## 1、关于底片黑度 (5.16.1)

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
底 片 黑 度	4.11.2	评定范围内的黑度 $D$ 应符合下列规定： A 级： $1.5 \leq D \leq 4.0$ ； AB 级： $2.0 \leq D \leq 4.0$ ； B 级： $2.3 \leq D \leq 4.0$	5.16.1.1	单胶片透照技术，单底片观察评定，底片黑度范围： A 级： $1.5 \leq D \leq 4.5$ ； AB 级： $2.0 \leq D \leq 4.5$ ； B 级： $2.3 \leq D \leq 4.5$
	4.11.2	采用多胶片方法时，单片观察的黑度应符合以上要求。双片叠加观察仅限于 A 级，叠加观察时，单片的黑度应不低于 1.3。 本部分只是提及了黑度要求，对底片单片或叠加评定没有具体要求	5.16.1.2	双胶片透照技术，双底片叠加观察评定，评定范围内的黑度 $D$ 应符合 $2.7 \leq D \leq 4.5$ 的规定。 注 1：双底片叠加评定时，黑度范围超过 4.5 的局部区域，如果单底片黑度范围符合 5.16.1.1 的规定时，可以对该区域进行单底片评定。 注 2：采用分类相同的胶片时，在有效评定区内每张底片上相同点测量的黑度的差应不超过 0.5。 注 3：用于双底片叠加评定的任何单底片的黑度应不低于 1.3。 注 4：应同时观察、分析和保存每张底片
		没有明确要求	5.16.1.4	对检测区进行评定时，对应着不同的胶片透照技术或不同的底片观察技术区域的黑度范围应分别在检测报告中进行标识
		对评定范围内的黑度 $D > 4.0$ 的底片，如有计量检定报告证明底片评定范围内的亮度能够满足 4.10.3 的要求，允许进行评定	5.16.1.5	评定区的最大黑度限值允许提高，但观片灯应经过校验，观片灯亮度应保证在底片最高黑度评定范围内的亮度能够满足 5.15.3 的要求

本部分规定了单胶片透照技术和双胶片透照技术允许的底片黑度范围。双胶片透照技术要求的黑度范围 2.7~4.5 与检测技术等级无关；单胶片透照技术要求的黑度范围与检测技术等级有关，不同检测技术等级对应着的黑度范围不同。

随着目前工业观片灯技术的进步，已经满足了本部分中 5.15.3 规定的底片黑度 4.5 的亮度要求，黑度的适当增大有利于提高底片对比度，底片最大黑度限值由 JB/T 4730.2—2005 的 4.0 提高到目前的 4.5；在更高黑度下，观片灯亮度如仍能满足 5.15.3 规定的亮度要求，本部分允许底片最大黑度限值在 4.5 的基础上继续提高；观片灯的亮度是否满足 5.15.3 的规定应进行亮度校验，其并不属于检定的范畴，观片灯的亮度核查的方式和频次由单位自行规定，因此本部分取消了观片灯亮度强制进行“计量检定”的规定。

底片评定时，本部分要求“对应着不同的胶片透照技术或不同的底片观察技术区域的黑度范围应分别在检测报告中进行标识”，对此规定说明如下（以 AB 级检测技术为例）：

(1) 当某一位置厚度差异较大，采用“双胶片透照技术透照一次”的方法时：

- a) 同一位置，双底片叠加黑度满足 2.7~4.5 的区域双底片叠加观察评定，超过 4.5 的特殊局部区域单底片观察评定。标准以 4.5 黑度为界，是基于标准的最



高黑度提高到了 4.5 而言的。实际操作时，这个特殊局部区域允许单底片评定的黑度界限可以适当降低，这是因为本部分中 5.16.1.1 要求的单片黑度范围就是 2.0~4.5，实际操作时，只要该局部区域任一单底片的黑度满足 2.0~4.5 的要求，该局部区域就可以进行单底片评定（比如双底片叠加黑度 $>4.0$ 的局部区域，只要任一单张底片满足 2.0~4.5，该区域就可以单底片评定），这样就保证了双底片叠加评定的区域（2.7~4.5）与单底片评定的特殊局部区域有了充分的重叠，这种操作方式也是满足标准要求的，因为本部分 5.16.1.1 要求的单片黑度范围本身就是 2.0~4.5，见图 30；

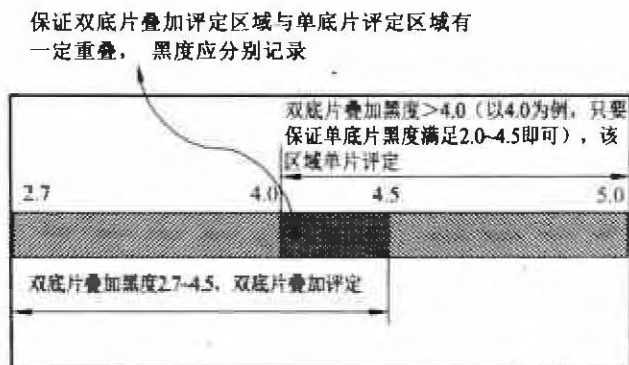


图 30 双胶片透照技术的不同底片观察技术评定区搭接示例

- b) 按照本部分的要求，用适当的方式在底片上标识出这两个区域，黑度应分别测量和记录，原始记录和报告上要体现胶片透照技术、双底片叠加观察评定区和单底片观察评定区分别对应的黑度范围。

(2) 当某一位置厚度差异较大，采用“暗盒内放置一张胶片，同一位置单胶片透照技术透照两次”的方法时：

- a) 单胶片透照技术透照一次，底片有效黑度不能覆盖到整个检测区时，可以采取“同一位置单胶片透照技术透照两次”的方法。两次透照参数不同，两张底片分别评定不同的区域并有效重叠，各自的有效评定区要采用适当的方式作出标识，黑度应分别测量和记录；
- b) 原始记录和报告上要体现胶片透照技术、不同底片有效评定区对应的黑度范围，方式同图 30。

(3) 当某一位置厚度差异较大，采用“暗盒内放置不同分类等级的两张胶片，同一位置单胶片透照技术透照一次”的方法时：

- a) 暗盒内放置两张分类不同的胶片同时进行曝光，高级别胶片对应着较薄部位，低级别胶片对应着较厚部位，两张底片分别对应着评定区不同部位进行单底片观察评定并有效重叠。各自的有效评定区要采用适当的方式作出标识，黑度应分别测量和记录；
- b) 原始记录和报告上要体现胶片透照技术、不同底片有效评定区对应的黑度范围，方式同图 30。



## 2、关于底片的像质计灵敏度（5.16.2）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
底片的像质计灵敏度	4.11.3	适用于线型像质计灵敏度的确定原则	5.16.2	适用于线型和孔型像质计灵敏度的确定原则
	表 5	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 2.0mm; B 级 $\leq$ 2.5mm)	表 5	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 1.2mm; B 级 $\leq$ 1.5mm)
	—	没有明确要求	表 6	适用于孔型像质计
	表 6	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 2.0mm; B 级 $\leq$ 2.5mm)	表 7	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 1.2mm; B 级 $\leq$ 1.5mm), 并参考 ISO 17636-1 标准对相应厚度所能达到的像质计灵敏度进行了适当修订
	—	没有明确要求	表 8	适用于孔型像质计
	表 7	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 2.0mm; B 级 $\leq$ 2.5mm)	表 9	适用于线型像质计, 最小厚度范围 (AB 级 $\leq$ 1.2mm; B 级 $\leq$ 1.5mm), 并参考 ISO 17636-1 标准对相应厚度所能达到的像质计灵敏度进行了适当修订
	—	没有明确要求	表 10	适用于孔型像质计
	—	没有明确要求	表 5 和表 6	管或支管外径 $\leq$ 120mm 时, 管座角焊缝的像质计灵敏度值可降低一个等级

本部分给出了各种透照方式应达到的像质计灵敏度。线型像质计灵敏度的确定主要参考了 ISO 17636-1、EN 1435 和 RCC-M 标准, 并经试验验证, 透照工艺满足本部分相关参数的前提下, 规定的线型像质计灵敏度是可以达到的; 孔型像质计灵敏度的确定主要参考 ISO 17636-1、EN 1435 和 RCC-M 标准, 并经试验验证, 透照工艺满足本部分相关参数的前提下, 规定的孔型像质计灵敏度同样可以达到。与像质计灵敏度相关的参数是透照方式、检测技术等级、厚度 (公称厚度或透照厚度)、焊缝型式 (比如管座角焊缝像质计灵敏度的放宽条件)、像质计类型、像质计位置 (源侧或胶片侧)。

针对线型像质计, 在 JB/T 4730.2—2005 的基础上, 本部分对低厚度 (主要是 2.5mm 以下) 重新进行了划分, 并对应地规定了像质计灵敏度要求, 见表 11。

表 11 新、旧标准低厚度灵敏度对比示例

应识别线号 线径/mm	公称厚度 (T) 范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
NB/T 47013.2—2015			
19 (0.050)	—	—	≤1.5
18 (0.063)	—	≤1.2	>1.5~2.5
17 (0.080)	≤1.2	>1.2~2.0	>2.5~4.0
16 (0.100)	≤1.2~2.0	>2.0~3.5	>4.0~6.0
15 (0.125)	>2.0~3.5	>3.5~5.0	>6.0~8.0
JB/T 4730.2—2005			
18 (0.063)	—	—	≤2.5
17 (0.080)	—	≤2.0	>2.5~4.0

相同的透照条件，线与孔相比，线型像质计要求显示的尺寸更小。线型像质计主要反映的是对比度灵敏度，孔型像质计受不清晰度的影响更大，同样透照条件下，识别相同尺寸的孔比金属线更为困难。本部分针对相同厚度对应的可识别的线或孔径是不同的，这样规定更符合检测实际，见表 12。

表 12 同一厚度范围要求识别的孔径和线径对比示例

应识别孔/线号 (孔/线径) /mm	公称厚度 (T) 范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
孔型像质计灵敏度值，单壁透照、像质计置于射线源侧			
H2 (0.160)	—	—	≤2.5
H3 (0.200)	—	≤2.0	>2.5~4.0
H4 (0.250)	≤2.0	>2.0~3.5	>4.0~8.0
H5 (0.320)	>2.0~3.5	>3.5~6.0	>8.0~12
线型像质计灵敏度值，单壁透照、像质计置于射线源侧			
17 (0.080)	≤1.2	>1.2~2.0	>2.5~4.0
16 (0.100)	≤1.2~2.0	>2.0~3.5	>4.0~6.0
15 (0.125)	>2.0~3.5	>3.5~5.0	>6.0~8.0
14 (0.160)	>3.5~5.0	>5.0~7.0	>8.0~12

相对于对接焊缝，管座角焊缝透照结构复杂，厚度差变化大，底片质量较难保证，尤其是针对尺寸相对较小的管座角焊缝，胶片与工件难以贴紧。根据以往的工程实践验证，在不较大幅度地降低底片质量的情况下，允许管或支管外径≤120mm 时，管座角焊缝的像质计灵敏度值可降低一个等级。像质计灵敏度适当降低符合检测实际，也更有利于操作。

本部分对底片像质计灵敏度的要求是基于 ISO 和 EN 标准体系。对于带垫板焊缝或夹套焊缝等特殊情况，确定像质计灵敏度时应考虑总的穿透厚度的影响，即采用穿透厚



度来确定灵敏度更符合检测实际，尤其是薄板焊缝带垫板的情况。

基材与垫板的材质不同（比如铝合金焊缝使用不锈钢或碳钢垫板）时，在实际检测应用中，可以参考本释义表2按照射线照相等效系数对透照厚度进行粗略换算，通过换算的透照厚度来近似确定或评估底片的像质计灵敏度。

参考射线照相等效系数进行透照厚度换算与不同材料像质计线径的换算不同，像质计灵敏度受几何条件、散射线以及几何放大等参数的影响，不能简单地利用等效系数对线径进行换算。例如铅相对于钢等效系数为2.0，不能换算认为1.0mm的钢线与0.5mm的铅线代表的像质计灵敏度等同。

### 3、关于其他要求（5.16.3）

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
底片质量 其他要求	4.11.4	底片评定范围内不应存在干扰缺陷影像识别的水迹、划痕、斑纹等伪缺陷影像	5.16.3	正文“底片评定范围内不应存在影响影像观察的灰雾，干扰缺陷影像识别的水迹、划痕、显影条纹、静电斑纹、压痕等伪缺陷影像，以及增感屏缺陷带来的各种伪影像”。 本部分增加了伪缺陷的类型，更加完善
				正文“在采用双胶片叠加观察评定时，如果其中一张底片存在轻微伪缺陷或划伤，在能够识别和不妨碍底片评定的情况下，可以接受该底片”，这也是双胶片透照技术的优势

增加了伪缺陷类型的描述。实际检测时需要从各个环节控制底片质量，包括灰雾及增感屏的影响等。

针对双胶片透照技术，在不影响缺陷评定的基础上允许适当让步是合理和恰当的，这是双胶片透照技术的优势。

### 【NB/T 47013.2】【5.17 底片保存】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
底片保存	—	没有明确要求	5.17	底片保存条件至少应符合按档案文件管理的有关规定，并应满足胶片制造商的建议和要求

本部分给出了底片保存的原则性要求，胶片使用方应获取胶片制造商对底片保存的建议和要求。结合工程实践，推荐的底片封装和储存的条件补充如下。

#### （1）底片封装

- a) 冲洗后的底片建议放置于纸片夹或折叠纸片夹之间，底片连同其纸片夹建议放置于纸质或皮质封套内，封套本身最好放在纸板箱内；
- b) 建议尽量少使用黏胶，并且黏胶绝不可以与底片接触；
- c) 用于保存底片的封套和/或纸板箱应竖直放置，以避免底片因堆积受压；



- d) 封套和纸板箱建议保存于专用的档案柜内，档案柜应可以防火，并应不散发可能损害被保存文档的气体。
- (2) 储存条件
- a) 保存温度一般不应超过 21℃。允许温度偶尔上升到 24℃，以及在短时间内温度最高可到 32℃；
- b) 推荐相对湿度 30%~50%，但在短时间内可偶尔上升到 60%；
- c) 底片应避免光照，不用的底片尽量避免用手触摸。

第 6 章 承压设备熔化焊焊接接头射线检测  
结果评定和质量分级

【NB/T 47013.2】【6 承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级】释义

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技 术 内 容	章节	技 术 内 容
验收标准	5.1.1	本条规定适用于厚度为 2mm~400mm，材质为碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍及镍合金制承压设备，以及厚度为 2mm~80mm 的铜及铜合金制承压设备的熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级	6.1.1	本条规定适用于厚度≤400mm，材质为钢、镍及镍合金，以及厚度≤80mm，材质为铜及铜合金的承压设备焊接接头的射线检测结果评定和质量分级。适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。 本部分取消了钢的分类，变更了厚度适用范围，为 2mm 以下钢的透照提供标准依据，明确了适用的焊接接头型式
	5.1.4.4	当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别	6.1.4.4	除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。本部分明确“除综合评级外”，消除标准歧义
	5.2.1	本条规定适用于厚度为 2mm~80mm 的铝及铝合金制承压设备的熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级	6.2.1	本条规定适用于厚度为 2mm~80mm 材质为铝及铝合金的承压设备焊接接头的射线检测的结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。本部分补充明确了适用的焊接接头型式，其他要求一致

续表

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
验 收 标 准	5.2.4.4	当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别	6.2.4.4	除综合评级外,当各类缺陷评定的质量级别不同时,应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。 本部分明确“除综合评级外”,消除标准歧义
	5.3.1	本条规定适用于厚度为2mm~50mm,材质为钛及钛合金的熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级	6.3.1	本条规定适用于厚度为2mm~50mm钛及钛合金制承压设备的焊接接头射线检测的射线检测结果评定和质量分级,适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝,以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。 本部分补充明确了适用的焊接接头型式,其他要求一致
	5.3.4.4	当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别	6.3.4.4	除综合评级外,当各类缺陷评定的质量级别不同时,应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。 本部分明确“除综合评级外”,消除标准歧义

### 1、关于深孔缺陷的定量评价准则

深孔或针孔影响焊接接头的致密性,尤其是薄板焊缝。存在这类缺陷的设备因腐蚀而泄漏的可能性增大,甚至在水压时即发生泄漏,不能以简单的直径换算点数来控制。

深孔缺陷的判定有检测方底片评定人员确认,应考虑相应的判定准则。在实际检测过程中,通常以焊接结构中某一特征量为参照依据,比如对薄板有余高的焊缝,以母材黑度为基准,当圆形缺陷的黑度大于母材时可定性为深孔缺陷。由于是直观的目视黑度对比,也只能是大致对比。

### 2、关于管座角焊缝质量验收的“ $T$ ”值的确定

(1) 焊接接头射线检测是以“ $T$ ”值来确定缺陷验收标准。

(2) 安放式管座角焊缝,支管开坡口进行焊接,焊缝填充金属的厚度与支管的厚度基本一致,主要考虑的是支管的强度,以支管公称厚度作为“ $T$ ”值来确定缺陷验收标准;相同的,插入式管座角焊缝,母管或封头开坡口进行焊接,焊缝填充金属的厚度与母管或封头的厚度基本一致,主要考虑的是母管或封头的强度,以母管或封头公称厚度作为“ $T$ ”值来确定缺陷验收标准,如图31所示。



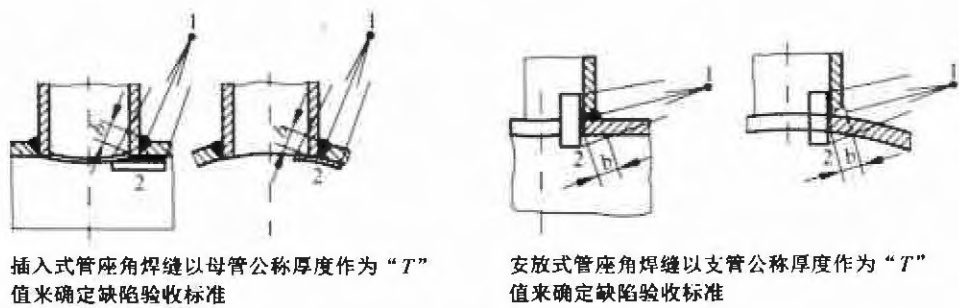


图 31 管座角焊缝“T”值确定

3、关于“进行返修可能会产生不利后果的焊接接头”的理解

本部分所指的“进行返修可能会产生不利后果的焊接接头”，主要从以下几个方面进行考虑：

- (1) 返修可能造成材料性能变差。
- (2) 返修可能造成焊接裂纹倾向增大。
- (3) 返修可能造成抗腐蚀性能下降。
- (4) 返修可能产生很大的残余应力，增大裂纹发生倾向和应力腐蚀倾向。
- (5) 返修可能不能保证返修质量的结构（例如施焊难度大、高空焊接等）。

第 7 章 承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头  
射线检测结果评定和质量分级

【NB/T 47013.2】【7 承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级】释义

内 容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章 节	技 术 内 容	章 节	技 术 内 容
验 收 标 准	6.1.1	本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 的碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍及镍合金、铜及铜合金制承压设备管子及压力管道的熔化焊环向对接焊接接头射线检测的质量分级	7.1.1	本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ，材质为钢、镍及镍合金、铜及铜合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。 本部分取消了钢的分类，明确了适用的焊接接头型式
	6.1.4.4	当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量最差的	7.1.4.4	除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，
	6.2.4.4	级别作为对接焊接接头的	7.2.4.4	应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。
	6.3.4.4	质量级别	7.3.4.4	本部分明确“除综合评级外”，消除标准歧义



续表

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
验收标准		针对不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定,管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子未焊透深度可采用附录 H 规定的一般对比试块(Ⅱ型)进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的未焊透深度可采用附录 H 规定的小径管专用对比试块(ⅠA或ⅠB型)进行测定		针对不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定,管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子未焊透深度可采用附录 L 规定的通用槽型对比试块(Ⅱ型)进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的未焊透深度可采用附录 L 规定的小径管环焊缝专用对比试块(Ⅰ型)进行测定。 本部分对比试块附录 H 变更为附录 L,小径管专用对比试块由(ⅠA或ⅠB)变更为Ⅰ型
		测定时,对比试块置于管的射线源侧表面、靠近被测根部未焊透缺陷附近部位		测定时,对比试块置于靠近被测未焊透缺陷附近部位。 本部分取消了“对比试块置于管的射线源侧表面”,对比试块放置位置要根据实际的透照情况来确定
	6.1.7 6.2.7 6.3.7	针对根部内凹和根部咬边的分级评定,管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子和容器根部内凹和根部咬边深度可采用附录 H 规定的一般对比试块(Ⅱ型)进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的根部内凹和根部咬边深度可采用附录 H 规定的小径管专用对比试块(ⅠA或ⅠB型)进行测定	7.1.7 7.2.7 7.3.7	管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子和容器根部内凹和根部咬边深度可采用附录 L 规定的通用槽型对比试块(Ⅱ型)进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的根部内凹和根部咬边深度可采用附录 L 规定的小径管环焊缝专用对比试块(Ⅰ型)进行测定。测定时,对比试块置于被测根部内凹和根部咬边缺陷部位。 本部分对比试块附录 H 变更为附录 L,小径管专用对比试块由(ⅠA或ⅠB)变更为Ⅰ型,测定时,取消“对比试块置于管的射线源侧表面”的要求
		测定时,对比试块置于管的射线源侧表面、靠近被测根部内凹和根部咬边缺陷附近部位		测定时,对比试块置于靠近被测未焊透缺陷附近部位。 本部分取消了“对比试块置于管的射线源侧表面”,对比试块放置位置要根据实际的透照情况来确定
		本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 铝及铝合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接接头射线检测的质量分级		本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ,材质为铝及铝合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级,适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。 本部分明确了适用的焊接接头型式
		本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 钛及钛合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测的质量分级		本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ,材质为钛及钛基合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级,适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。 本部分明确了适用的焊接接头型式

1、关于对比试块的放置原则

对比试块的使用，并不是每次检测时的常规动作，而是在管子或压力管道焊缝发现未焊透、内凹或咬边时才使用。把对比试块放置于缺陷部位重新透照一次，通过对比试块上的已知深度的人工模拟缺陷和实际缺陷的黑度来大致比较实际缺陷的深度。

对比试块放置于射线源侧或胶片侧与使用的透照技术和工艺有关，JB/T 4730.2—2005要求放置于“射线源侧”是不恰当的，本部分删除了“对比试块置于管的射线源侧表面”的规定，应根据实际的检测情况放置。例如：

（1）双壁单影透照时，对比试块应放置于胶片侧。

（2）双壁双影透照时，当胶片侧焊缝发现未焊透，对比试块应放置于胶片侧；当源侧焊缝发现未焊透，对比试块应放置于源侧。当然也可以旋转射线源角度，把未焊透调整到胶片侧焊缝，此时对比试块放置于胶片侧，但对于现场检测一些高空位置且空间狭小的焊缝，不可能按照角度透照多次时，源侧焊缝存在未焊透时，对比试块只能放置于源侧进行评估。

（3）对于管径较大的预制管道焊缝，可能会采取单壁透照验证未焊透深度，例如外透法单壁透照时，对比试块应放置于源侧。

2、关于其他相关事项

针对“深孔”“管座角焊缝 T 值”和“进行返修可能会产生不利后果的焊接接头”见【NB/T 47013.2】【6 承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级】释义。

第 8 章 检测记录和报告

【NB/T 47013.2】【8.1 检测记录】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测记录	—	在 JB/T 4730.1 中 5.1 只是给出了检测记录内容要完整准确的要求，对记录的实际内容无明确规定	8.1	应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。射线检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，给出了检测记录应包括的最少内容

NB/T 47013.1 给出了各种无损检测方法检测记录的通用要求，本部分中 8.1 根据射线检测的特点，在 NB/T 47013.1 基础上对射线检测记录进行相关内容的补充。

NB/T 47013.2 本部分明确应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据，保证检测数据的可追溯性，检测原始记录是强制要求。

检测记录没有格式的强制要求，但记录的最少内容应满足 NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.2 的相关规定。



**【NB/T 47013.2】【8.2 检测报告】释义**

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
检测报告	7	规定了检测报告应包括的最少内容	8.2	应依据检测记录出具检测报告。射线检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外,给出了检测报告的最少内容

NB/T 47013.1 给出了各种无损检测方法检测报告的通用要求,本部分中 8.2 根据射线检测的特点,在 NB/T 47013.1 基础上对射线检测报告进行内容的补充。

检测报告是强制要求,检测报告要求的信息和内容比 JB/T 4730.2—2005 更加全面(尤其是增加了“布片图”的要求,便于跟踪),强调了“应依据检测记录出具检测报告”,检测报告的数据来源于检测记录,保证了报告更加全面和真实地反映检测结果。

检测报告没有格式的强制要求,但报告的最少内容应满足 NB/T 47013.1 和本部分的相关规定。

**附 录**

**【NB/T 47013.2】【附录 A 管子-管板角焊缝射线照相技术要求】释义**

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
附录	—	没有明确要求	附录 A	管子-管板角焊缝射线照相技术要求

**1、关于管子-管板角焊缝射线检测技术特点**

管子-管板角焊缝是列管式热交换器和反应器设备的薄弱环节,经常发生泄漏。管子-管板角焊缝严重泄漏会影响热交换器的正常运行,导致意外停车,造成重大经济损失,同时对产品质量、环境和生产安全也会带来影响。以往缺少对管子-管板角焊缝的有效检测手段,随着检测技术的进步和发展,采用特殊的射线源、工装和工艺,可有效检出管子-管板角焊缝中的各种缺陷,技术可靠、检测速度快、效率高、缺陷定性定量准确。图 32 和图 33 是管子-管板角焊缝射线检测带有气孔缺陷及裂纹缺陷的底片。



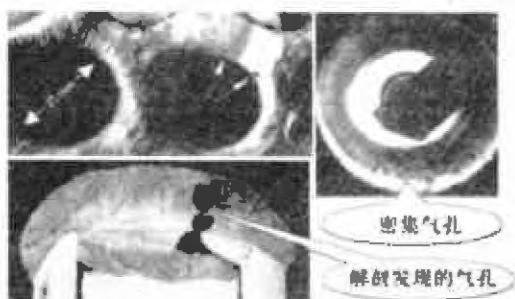


图 32 管子-管板角焊缝气孔缺陷底片及解剖

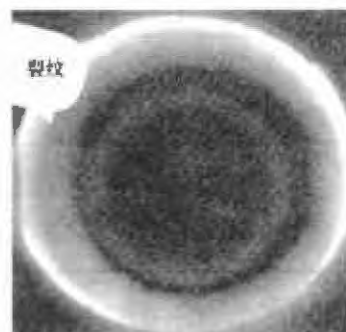


图 33 管子-管板角焊缝裂纹缺陷底片

目前管子-管板角焊缝的射线检测技术已经相对成熟，广泛用于化工、核电、火电等行业，能有效降低热交换器类设备的泄漏率，见图 34。

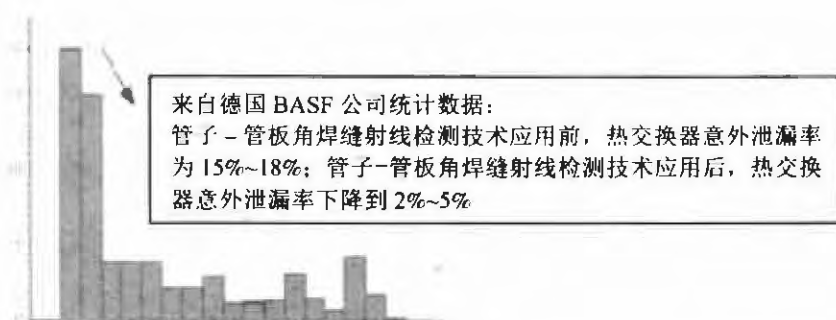


图 34 实施管子-管板角焊缝射线检测前后换热器泄漏率变化

## 2、关于射线源类型选择和典型透照方式

(1) 管子-管板角焊缝的射线检测一般采用微焦点棒阳极 X 射线机和 Ir192  $\gamma$  射线源，如图 35 和图 36 所示。

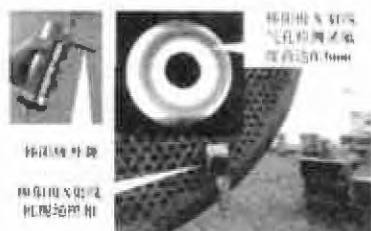
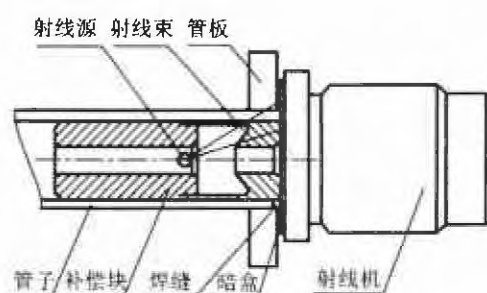
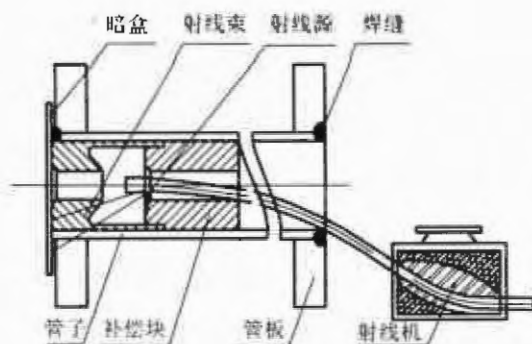


图 35 微焦点棒阳极 X 射线机向后透照示意图

图 36 微焦点 Ir192  $\gamma$  射线源向后透照示意图

(2) 采用微焦点 Ir192  $\gamma$  射线源也可以采用向前透照方式（仅适用于 A 级检测技术），如图 37 所示。

图 37 微焦点 Ir192  $\gamma$  射线源向前透照示意图

### 3、关于管子-管板角焊缝密封焊和强度焊结构设计

(1) 本部分与 GB/T 151 关于密封焊和强度焊的定义有所不同，本部分的密封焊结构是指管子与管板基本齐平（伸出长度小于 1.5mm），以管子与管板的胀接保证强度，用熔化焊保证密封性的角焊缝，以及不胀或采用贴胀，采用不太深的坡口和较小的焊喉尺寸（一般等于或稍大于管壁厚度）的熔化焊来兼顾强度和密封性的角焊缝。强度焊结构则指为确保强度，采用管子伸出管板较长（大于 1.5mm），坡口很深（大于 1.5 倍管壁厚度），焊喉较大尺寸的角焊缝。

(2) 密封焊角焊缝的管子-管板连接多采用胀接加焊接形式，胀接可以消除管子与管板孔间的缝隙腐蚀，焊接增强了接头的密封性和连接强度。该类结构有利于降低焊接残余应力和减小应力集中，可减少焊缝区应力腐蚀裂纹发生，以及疲劳裂纹产生。但密封焊结构焊喉尺寸较小，如果焊缝中存在气孔缺陷容易导致泄漏。这种结构非常有利射线检测。典型密封焊角焊缝见图 38。

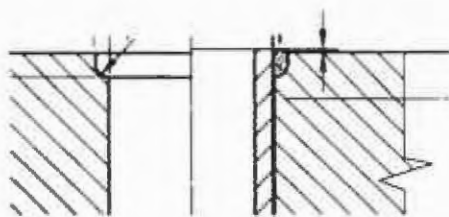


图 38 密封焊角焊缝结构示意图

(3) 强度焊结构通过开很深的坡口，或把管子伸出管板较长来获得较大的焊喉尺寸，由于其焊肉厚，因气孔导致的泄漏情况有所减少，但会带来另外的问题：一是管板上管子位置布置困难，二是坡口过深经常会焊不透，三是焊接残余应力大，导致应力腐蚀裂纹和疲劳裂纹的发生倾向增加。典型强度焊角焊缝结构见图 39。强度焊角焊缝的未焊透缺陷底片见图 40。



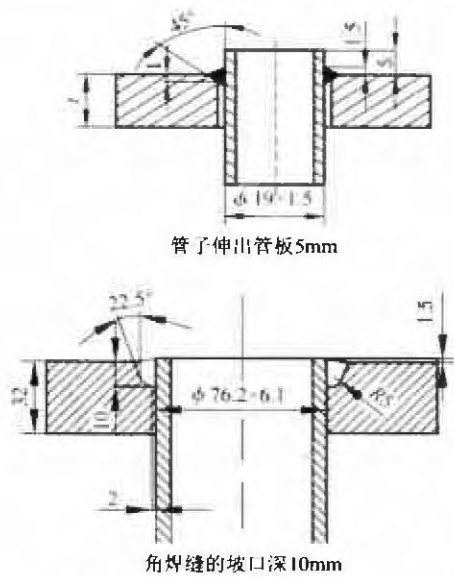


图 39 强度焊角焊缝结构示意图

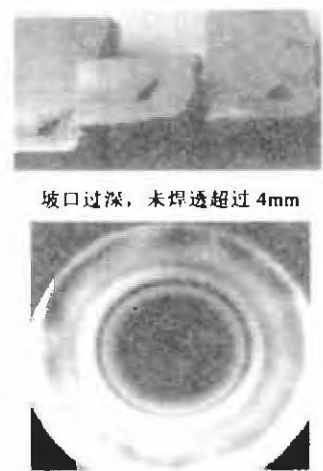


图 40 管子-管板角焊缝未焊透缺陷

(4) 强度焊角焊缝的检测难度比密封焊角焊缝大得多。对强度焊结构进行射线检测，补偿器结构和透照参数都要作相应改变，图像质量才能达到标准的要求。试验证明，管子伸出管板长度和焊缝坡口深度均对射线检测技术应用产生影响：管子伸出管板越长，检测技术难度越大，影像灵敏度越差；焊缝坡口深度越大，检测技术难度也越大，影像灵敏度也越差。

(5) 标准的评级规定是针对密封焊结构制订的，由于密封焊焊肉较薄，所以允许存在的气孔尺寸较小。这个规定应用于强度焊角焊缝显得偏严，会导致不合格和返修增多。因此标准规定，对焊肉较厚、焊喉尺寸较大的强度焊角焊缝进行射线检测，其灵敏度要求、质量验收条件可不按标准规定而允许适当放宽，其放宽尺度可由合同双方商定。

4、关于本部分与德国工程规范适用范围的技术比较

本部分与德国工程规范的主要差异见表 13。

表 13 NB/T 47013.2 与德国工程规范适用范围的主要差异

项目	德国工程规范	NB/T 47013.2 —2015 附录 A	备 注
管内径 范围	12.5mm~50mm	12.5mm~80mm	国内的应用经验表明，只要工装和工艺恰当，对内径 80mm 甚至更大的管子-管板角焊缝也可以实施射线照相，取得良好的影像质量。 管内径更小的管子-管板角焊缝射线检测也可参照本附录，但需要使用更小的源棒尺寸。目前应用 Ir192 放射源检测的最小内径是 10.5mm，应用棒阳极 X 射线检测的最小内径已经减小到 8.5mm
检测技术 等级	—	A、AB 和 B 三级	本部分将管子-管板射线照相技术分为 A、AB 和 B 三级是为了适应不同等级和质量要求的产品
适用的 结构 设计	适用于管子低于管板，或与管板齐平，焊接坡口等于或略大于管子 1 壁厚的密封焊角焊缝	适用于密封焊角焊缝，强度焊角焊缝也可以参考执行	只要工装和工艺恰当，即使管子伸出管板较长、坡口很深，也可以实施射线照相，并取得良好的影像质量，但与密封焊结构相比，强度焊结构的管头伸出管板，坡口深，焊喉尺寸大，对照相灵敏度不利，所以照相灵敏度应适当让步，此外，由于焊喉尺寸较大，缺陷评级也可适当放宽



## 5、关于钛材管子-管板角焊缝的射线检测

管子-管板角焊缝射线检测的试验表明：Ir192  $\gamma$  射线可适用于钢、镍及镍合金、锆及锆合金，但不适用于钛及钛合金，棒阳极 X 射线则可适用于各种材质。

钛对射线的吸收系数小，如果采用 Ir192  $\gamma$  射线进行检测，底片对比度太低，缺陷将不能有效检出。因此，针对钛材管子-管板角焊缝的射线检测，本部分本附录规定不能采用微焦点 Ir192  $\gamma$  射线透照，只能采用微焦点棒阳极 X 射线机。

Ir192  $\gamma$  射线和棒阳极 X 射线底片灵敏度差异见图 41。

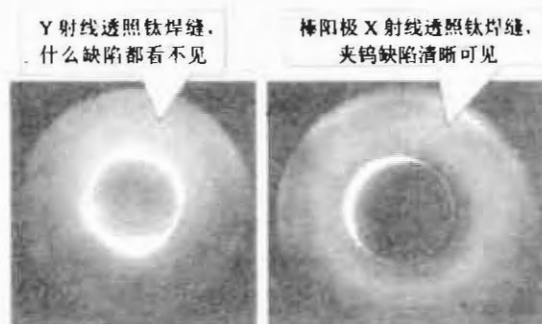


图 41 钛材管子-管板焊缝 X 射线和  $\gamma$  射线底片灵敏度比较

## 6、关于灵敏度鉴定试验

(1) 本部分不强制使用像质计来确定底片的灵敏度，要求通过灵敏度鉴定试验来验证检测灵敏度的符合性，主要基于以下考虑：

- a) 使用像质计增大了胶片与焊缝的距离；
- b) 通用型像质计（线型或孔型）无法在管子-管板角焊缝射线检测中使用；
- c) 管子-管板角焊缝透照厚度渐变，难以设计出既能够摆放在工件上不影响照相质量，又能等同于焊缝中缺陷显示灵敏度的理想的专用像质计。

(2) 管子-管板角焊缝的焊接工艺规定了坡口型式和深度，以及管子伸出长度，按照同一工艺焊接的完工焊缝，其熔深或焊喉尺寸差异不大，因此通过灵敏度鉴定试验确定射线检测工艺的有效性是可行的。

(3) 对于管子内径小于 20mm 的密封焊角焊缝，灵敏度比较容易达到要求。在此范围可以不对每一种规格尺寸进行灵敏度鉴定试验，只要选择 2 种~3 种内径尺寸，试验合格的检测工艺可以覆盖内径 20mm 以下范围；对管子内径大于 20mm 以上的密封焊角焊缝，应对每一种规格尺寸进行灵敏度鉴定试验，因为管径越大，灵敏度越难以达到，通过试验验证灵敏度是必要的。

(4) 对于强度焊角焊缝，管子伸出越长，坡口越深，其灵敏度越难以达到。因此对于管子伸出管板长度大于 3mm、坡口大于 1.5 倍壁厚的任何直径的强度焊角焊缝，都应进行灵敏度鉴定试验。

(5) 灵敏度验证试验需要制作模拟试块。试块的外形应模拟实际管子-管板角焊缝结构。应在试块中的焊缝位置设置若干人工缺陷，人工缺陷的形状可以是孔（模拟气孔类缺陷），也可以是槽（模拟线性缺陷）。人工缺陷应该有多个尺寸，以表征不同的灵敏

度等级。

a) 德国曾经提出过多种管子-管板角焊缝射线检测的灵敏度试件。

图 42 是德国拜耳提出的一种像质计与补偿器合一的灵敏度试片。该试片的最重要问题是人工缺陷位置不在焊缝区，而在管子里面，所以显示的灵敏度不能代表焊缝区的检测灵敏度，误差很大。另一个问题是人工缺陷与补偿器结构设计有矛盾，补偿效果较差，进而影响检测质量。虽然该试片无需事先进行灵敏度鉴定试验，可以在实际工件检测时从底片上获得灵敏度显示，但 NB/T 47013 没有采用该型灵敏度试片。

图 43 为德国巴斯夫提出的一种管子-管板角焊缝灵敏度鉴定试验试件组合。该试件包括模拟管子-管板和灵敏度试片，灵敏度鉴定试验必须在检测前进行。该方案的优点是：

- 人工缺陷位于焊缝区，因此灵敏度显示比拜耳试片准确；
- 补偿器结构设计不受影响。

该方案的不足是：

- 只适用于管子与管板齐平的管头结构，对管子伸出管板的强度焊结构不适用；
- 试片设计未考虑人工缺陷参数多样性，例如缺陷种类，缺陷在焊缝的深度位置，缺陷在焊缝坡口位置等。



直径和深度相等的分别为 0.5mm、1mm、1.5mm 和 2mm 的平底孔；槽深和宽度相等的分别为 0.5mm、1mm、1.5mm 和 2mm 的刻槽

图 42 德国拜耳提出的一种管子-管板角焊缝射线检测像质计

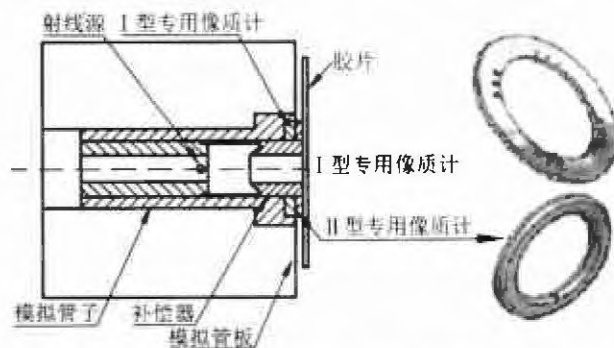


图 43 德国巴斯夫提出的管子-管板角焊缝射线检测灵敏度鉴定试块

b) 中国 2016 年提出一种新的管子-管板角焊缝射线检测灵敏度试块方案——高仿型模拟试块，图 44 和图 45 分别是该试块结构和使用的示意图，其具有以下优点：

- 结构外形与真实工件高度接近。由于结构外形决定了管子-管板角焊缝射线检测的透照厚度差和散射线，因此用该试件做灵敏度试验与真实工件照相的灵敏度非常接近，误差极小；
- 可以把各种人工缺陷设计在对应于工件焊缝的不同位置。例如焊缝根部（未焊透）、坡口边缘（未熔合）、焊缝中部（气孔）等，这只要通过改变机加工尺寸即可；
- 既适用于密封焊，也适用于强度焊；既适用于小直径管头，也适用于大直径管头；
- 可以不采用焊接，直接用机加工完成，灵敏度试验的效果与焊接结构试件相同。



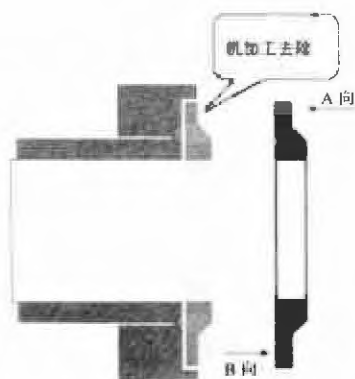


图 44 高仿型模拟试块结构示意图

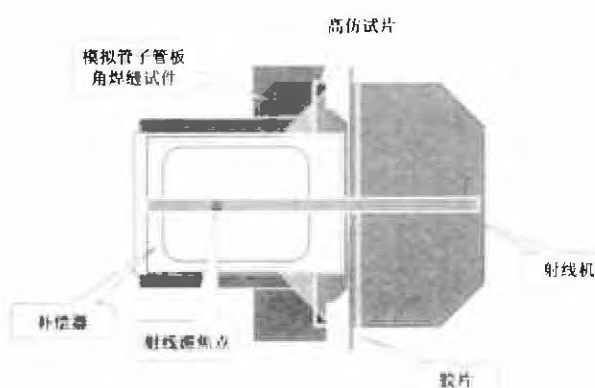


图 45 高仿型模拟试块使用示意图

## 7、关于不同检测技术等级推荐使用的射线源和胶片种类

本部分表 A.1 给出了不同照相技术等级推荐使用的射线源的有效焦点尺寸和射线胶片种类。

表 A.1 不同照相技术等级推荐使用的射线源的有效焦点尺寸和射线胶片种类

照相技术级别	A 级		AB 级	B 级
源的种类及有效焦点尺寸 $d_f/\text{mm}$	X 射线	$\gamma$ 射线	X 射线 <sup>a</sup>	X 射线
	$d_f<1.5$	$d_f<1$	$d_f\leq 1$	$d_f\leq 0.7$
使用射线胶片种类	C5	C4	C4	C3
透照方式	向后透照或向前透照		向后透照	向后透照
<sup>a</sup> 管内径大于 50mm 且壁厚大于 3mm 的管子-管板角焊缝，如无适用的 X 射线设备，允许用 $\gamma$ 射线源代替；其他规格的管子-管板角焊缝，如果需要用 $\gamma$ 射线代替 X 射线，必须经业主和设计单位同意。				

(1) 按照表 A.1 的规定： $\gamma$  射线只能用于 A 级、AB 级和 B 级均采用 X 射线。Ir192  $\gamma$  射线的能量高，线质硬，照相对比度低，固有不清晰度大，颗粒度大；X 射线能量可调，线质软，照相灵敏度对比度高，不清晰度小，颗粒度小，灵敏度高。但由于棒阳极 X 射线设备价格较高，其照相成本比  $\gamma$  射线高，在价格竞争方面处于不利地位。从提高检测质量和缺陷检出率角度出发，应该支持棒阳极 X 射线技术得到更多应用，所以标准作出上述规定。

(2) 表 A.1 中角注“<sup>a</sup>”规定：对管内径大于 50mm 且壁厚大于 3mm 的管子-管板角焊缝，允许用  $\gamma$  射线源代替。之所以这样规定，是因为目前国内外管子-管板角焊缝专用棒阳极 X 射线机的焦距都小于 40mm。采用这个焦距值对管子内径大于 50mm 的强度焊管子-管板角焊缝（或内径大于 60mm 的密封焊管子-管板角焊缝）进行透照，投影角度很大，焊缝影像畸变严重，成像质量和灵敏度均不理想，不适合应用。管子-管板角焊缝射线检测专用的  $\gamma$  射线机的焦距可以达到 100mm，能够透照管子内径 120mm 以下的管子-管板角焊缝。因此，针对管子内径 50mm 以上的管子-管板角焊缝，AB 级照



相允许用  $\gamma$  射线代替 X 射线。

(3) 表 A.1 中角注 “a” 规定：其他规格的管子-管板角焊缝，如果需要用  $\gamma$  射线代替 X 射线，必须经业主和设计单位同意。这主要是考虑在某些特殊情况下确实需要用  $\gamma$  射线代替 X 射线，其决定权应该交给业主和设计单位，而不能由制造单位自行确定，因为制造单位有可能在有更高灵敏度检测方法选择的情况下，更多地考虑成本因素，减少扩探，选择灵敏度较低的检测方法。

8、关于附录 A 定位与执行

附录 A 是资料性附录，为管子-管板角焊缝的射线检测提供标准或参考依据。经过合同双方商定，可以根据实际产品的状况进行调整，包括检测工艺、灵敏度验证和验收标准等。本部分其他资料性附录的定位与执行与本附录一致。

9、关于  $\gamma$  射线源透照黑度的确定

本部分附录表 A.1 中，AB 级检测技术，透照内径大于 50mm，且壁厚大于 3mm 的管子-管板角焊缝时，如无适用的 X 射线设备，允许用  $\gamma$  射线源代替。A.5.2.2 没有规定对应的黑度范围，在实际操作时，可由合同双方来商定或由设计方确定。结合管子-管板角焊缝  $\gamma$  射线检测工程实践经验，可按照  $\gamma$  射线的下限黑度要求比 X 射线提高一级来类推，即管子-管板角焊缝 AB 级  $\gamma$  射线照相，其黑度可取 X 射线的 B 级黑度要求，即  $D=1.8\sim4.5$ 。

10、关于验收标准调整的建议

(1) 本部分表 A.4 给出了推荐的缺陷最大限制尺寸和允许的数量要求。表 A.4 是基于焊喉尺寸较小、焊肉厚度较薄的薄壁管密封焊角焊缝制订，其允许的点状缺陷的单个尺寸和数量的限制比较严。

表 A.4 气孔、夹渣和氧化物夹杂最大允许尺寸、数量和间距

管径 $\leq 20\text{mm}$			管径 $> 20\text{mm}$		
缺陷长径 $d_p$	数 量	间 距	缺陷长径 $d_p$	数 量	间 距
$\leq 0.5t^a$ , 最大 1mm	3	$\geq 2d_p^b$	$\leq 0.5t^a$ , 最大 1mm	3	$\geq 2d_p^b$
				5	$\geq 5d_p^b$
<sup>a</sup> $t$ =管壁厚度; <sup>b</sup> $d_p$ =缺陷长径。					

(2) 对焊喉尺寸较大、焊肉较厚的厚壁管强度焊角焊缝，表 A.4 的规定偏严。如果规定过严带来返修增多，反而影响产品质量。因此实际检测时，合同双方可根据设备的具体情况（设备的重要性、运行工况的严苛性、泄漏造成后果的严重性等），以及焊缝具体情况（焊喉尺寸、焊肉厚度等），对允许的缺陷尺寸和数量适当放宽。

(3) 不在泄漏通道上的缺陷可以适当放宽控制。

(4) 由于棒阳极 X 射线的照相灵敏度明显高于 Ir192  $\gamma$  射线，因此对棒阳极 X 射线检出的小于 0.5mm 的气孔，允许数量可以适当放宽。

(5) CPR1000 核电项目蒸汽发生器管子-管板角焊缝在工程检测实践中就结合发生泄漏的经验反馈对验收标准进行了适当调整, 既保证焊缝质量, 又兼顾了经济性和生产效率, 见表 14。

表 14 CPR1000 核电项目蒸汽发生器管子-管板角焊缝

验收标准	设计文件要求	调整后的验收标准
记录条件	所有自然缺陷, 无论它们的类型和尺寸大小都应记录。体积缺陷分两类: 1) 底片上最大尺寸 $\leq 1.2\text{mm}$ 的缺陷, 只记录数量; 2) 底片上最大尺寸 $> 1.2\text{mm}$ 的缺陷, 应记录其准确尺寸和时钟位置	记录所有缺陷的准确尺寸和时钟位置, 进行进一步分析和评估, 尤其是位于泄漏通道的缺陷
返修条件	已检验的焊缝上尺寸 $\geq 3\text{mm}$ 的所有缺陷应全部返修, 管板堆焊层上的固有缺陷可不考虑	位于泄漏通道区域的最大尺寸 $> 1.0\text{mm}$ 的缺陷就考虑进行返修处理

### 【NB/T 47013.2】【附录 E 典型透照方式示意图】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
附录	附录 C	典型透照方式示意图	附录 E	典型透照方式示意图

#### 1、关于管座角焊缝的结构特点

(1) 按母管和支管的位置关系以及焊接结构, 管座角焊缝分为插入式(左)和安放式(右)两种, 见图 46。

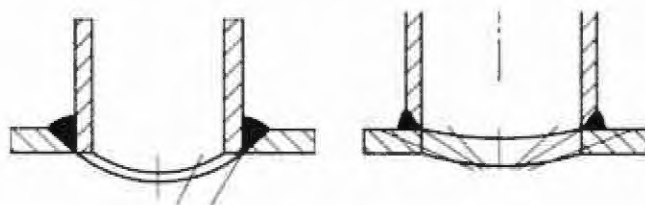


图 46 管座角焊缝类型

(2) 从相互垂直的两个方向看, 管座角焊缝结构的形状是变化的, 以肩部和腹部的结构形状为例, 见图 47。

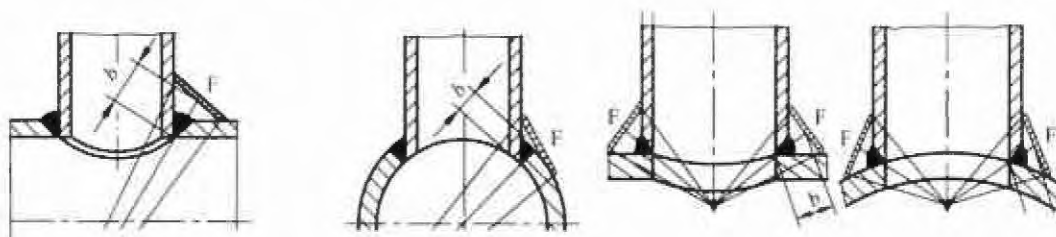


图 47 管座角焊缝结构变化示意图



(3) 管座角焊缝弯曲程度与支管和母管的直径差有关。支管直径大大小于母管直径时, 焊缝接近处于平面上, 比如大直径容器上的小接管; 支管直径与母管直径相近, 焊缝处于曲面上; 支管直径与母管直径越接近, 焊缝所处的曲面曲率越大, 如图 48 所示。

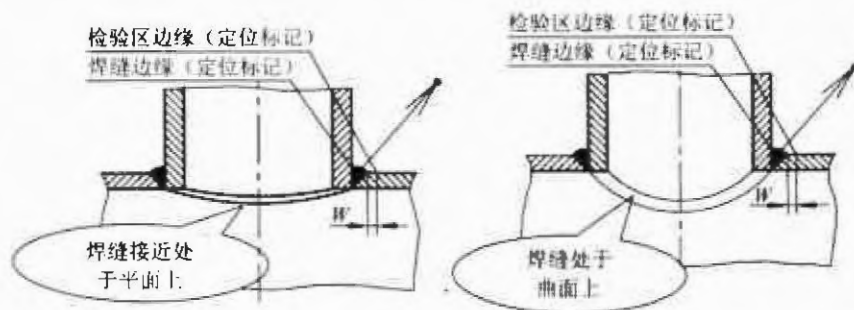


图 48 管座角焊缝弯曲程度示意图

(4) 检测区母材部分底片的实际黑度范围与透照角度相关。

## 2、关于管座角焊缝检测特点

(1) 管座角焊缝常规超声波检测的局限性如下:

- a) 超声耦合效果差, 尤其从内壁扫查时;
- b) 声束覆盖难度大, 一种探头或扫查方向难以实现整个焊缝体积的覆盖;
- c) 焊缝轮廓属于马鞍形, 探头在不同位置声程变化复杂, 信号识别和定位困难;
- d) 检测信号不能成像, 检测结果无直接见证, 无过程记录。

(2) 管座角焊缝射线检测的局限性如下:

- a) 透照布置 (射线机放置和对焦) 实施较难;
- b) 透照厚度变化大, 透照参数选择较难;
- c) 焊缝曲率大, 角接结构导致胶片布置较难;
- d)  $K$  值变化复杂, 一次透照长度计算较难;
- e) 底片黑度和像质计灵敏度控制较难。

(3) 为了适应目前承压设备制造检测要求的需要, 可以将射线与超声两种技术配合应用于管座角焊缝检测。这需要设计方来确定, 并符合相关法规和标准的要求, 比如:

- a) 厚度 25mm 以下: 射线为主 (X 射线, 或  $\text{Se75 } \gamma$  射线), 也可进行超声检测;
- b) 厚度 25mm~70mm: 可以射线检测 ( $\text{Ir192 } \gamma$  射线), 也可进行超声检测;
- c) 厚度 70mm~110mm: 超声检测为主, 也可  $\text{Co60 } \gamma$  射线检测;
- d) 大于 110mm, 超声检测。

## 3、关于不能有效进行无损检测特殊情况下的处理措施

有些管座角焊缝的尺寸较小, 采用射线检测和超声波检测比较困难, 底片质量不高。在这种情况下, 可以采取焊接过程控制的方法对焊接质量进行控制, 例如坡口和根部打底或封底焊道进行渗透检测, 之后每焊接一层或每几层进行一次渗透检测或磁粉检测的方式进行过程控制。



4、关于管座角焊缝射线检测质量结果评定和质量分级

本部分第6章和第7章适用于对接接头对接焊缝（简称“对接焊缝”）的射线检测质量结果评定和质量分级。

管座角焊缝射线检测时，不论源在外还是源在内透照，由于是射线源倾斜透照，且焊接接头为角接结构，焊缝在底片上的投影畸变大。尤其是源在内透照时，胶片不能完全紧贴工件，焊缝影像畸变更大，缺陷影像的畸变也较大，完全按照对接焊缝的验证标准进行验收是不合理的，也是不符合检测实际的。

在相关法规和标准没有明确管座角焊缝射线检测质量结果评定和质量分级的情况下，可以考虑在参考本部分第6章和第7章的基础上，由合同双方商定进行适当调整，或者根据缺陷的实际性质、位置和畸变影像大小进行相应的技术评估等措施。

【NB/T 47013.2】【附录G 焦点尺寸计算方法】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
附录	附录E	焦点尺寸计算方法	附录G	焦点尺寸计算方法

本附录针对射线源有效焦点尺寸的计算方法与 JB/T 4730.2—2005 保持一致，没有修订，按照不同形状的焦点及其尺寸通过附录G的公式计算获得。

针对X射线管有效焦点尺寸的测量，由于不同标准在测量条件、焦点影像的黑度范围、影像边界框的界定和尺寸确定方法等方面存在差异，相同的X射线管按照不同标准测量出的有效焦点尺寸也会存在差异，以常用的针孔法测量方法为例进行说明如下：

（1）EN 12543-2 标准适用于管电压 $\leq 500\text{kV}$ ，焦点尺寸 $\geq 0.2\text{mm}$ 的工业X射线机的焦点测量。通过测量可见的投影矩形的最大长度和宽度，以其中的最大值来确定焦点尺寸，如图49所示。

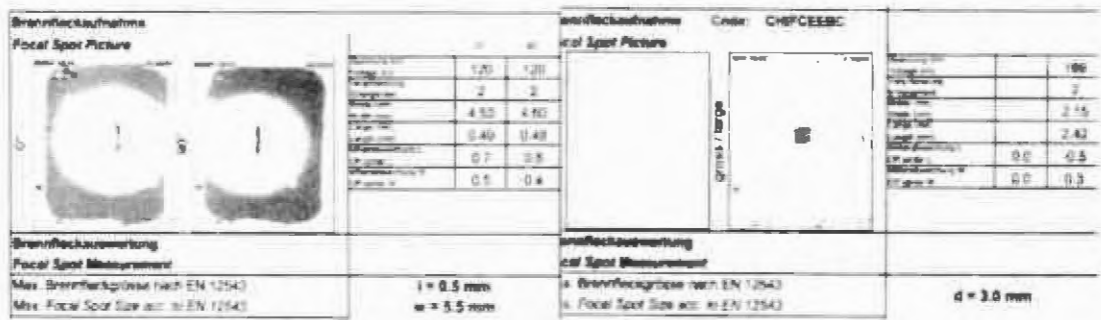


图 49 EN 12543-2 标准焦点示意图

（2）ASTM E 1165 标准适用于焦点尺寸 $\geq 0.3\text{mm}$ 的工业X射线机线状焦点尺寸测量。通过测量可见的影像轮廓，长度方向数据再乘以 0.7 系数修正为最终长度方向尺寸，最终给出矩形焦点尺寸的长 $\times$ 宽，如图50所示。

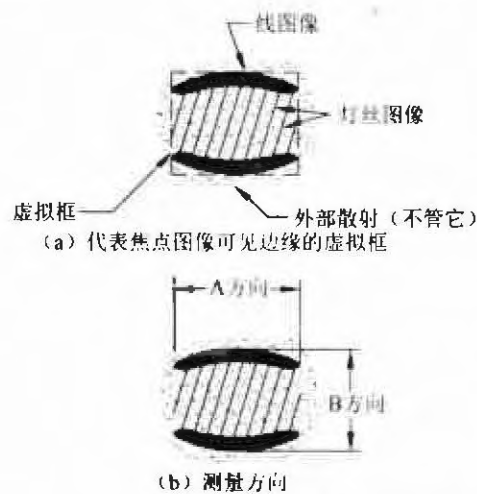


图 50 ASTM E 1165 标准焦点示意图

A 方向——平行于管的轴线。  
B 方向——垂直于管的轴线。

把测量到的“A”方向尺寸乘以一个修正因数 0.7 来确定实际的“A”尺寸。测量到的“B”方向尺寸即是其实际尺寸。

为了校准测量到的图像长度，需要乘以一个 0.7 的小数，是因为线焦点管焦点的能量的纵向分布在中心趋向于峰值且在两端逐渐趋于 0。因此有效长度（即射线照相的分辨率和胶片黑度分布的合成作用）不可能和测量到的长度相等。

如果采用图像放大技术，则“A”和“B”方向的测量值除以一个恰当的放大系数以获得实际焦点尺寸。

(3) JB/T 9402—1999 适用于工业 X 射线机性能测试方法，其附录 B 给出了焦点尺寸的具体测量方法。通过测量可见的影像轮廓，最终给出矩形焦点尺寸的长×宽。B.2.4.2 规定的测量方法是：背景照度 215lx（最低值），用 5 倍～10 倍，内分有 0.1mm 刻度的放大镜测量肉眼看得见的边缘尺寸，对非矩形焦点应取最小外接矩形进行测量。

(4) 不同标准均是按照规定的测量方法得到焦点投影的矩形图像，以矩形尺寸或最大边长尺寸作为 X 射线管的有效焦点尺寸，仪器制造商设备说明书提供的焦点尺寸就是按照相关标准测量出的有效焦点尺寸，但不是本部分附录 G 提及的焦点尺寸。实际检测时，本部分提及的焦点尺寸是按照附录 G 再次进行计算的结果。

本部分不考虑“射线源焦点尺寸来源及验证”，由设备制造商来控制 and 提供相关数据，检测方根据设备制造商提供的实际测量结果按照本部分附录 G 计算或直接选用较大值（按照附录 G 计算的焦点尺寸不会大于设备制造商提供的焦点尺寸最大值）即可，同时也不考虑使用过程中 X 射线机焦点的变化。

本部分作为检测方法标准，不考虑各标准“测量条件、焦点影像的黑度范围、影像边界框的界定”带来的焦点尺寸测量偏差及使用过程中的焦点尺寸变化，更符合检测实际，可操作性更高。一般情况下，实际焦距的选择（比如常用的 700mm）已经使这种差异引起的影响变得很小。

引起 X 射线管焦点尺寸变化的主要有两个方面的因素：

- (1) X 射线管阴极灯丝形状及聚焦性能是决定焦点尺寸的主要参数之一，阴极灯丝形状及聚焦性能发生变化，电子束流在阳极靶上撞击区域发生变化，导致焦点尺寸发生变化。
- (2) 随着 X 射线管的使用时间增长，阳极靶受损程度增大，阳极面变得凸凹不平，导致散乱射线增加，从而导致实际使用或测量中焦点尺寸发生变化。

【NB/T 47013.2】【附录 L 对比试块的型式和规格】释义

内容	JB/T 4730.2—2005		NB/T 47013.2—2015	
	章节	技术内容	章节	技术内容
附录	附录 H	对比试块的型式和规格	附录 L	对比试块的型式和规格



1、关于 I 型和 II 型专用对比试块

(1) JB/T 4730.2—2005 的小径管 I 型专用对比试块设计错误，无法使用，本部分重新进行了设计，如图 51 所示。从图中可以看出：

- a) 试块是圆弧状的，试块内径就是管子的外径；
- b) 试块的厚度对应着管子环向焊接接头的外表面余高；
- c) 试块的刻槽对应着管子环向焊接接头的根部未焊透(或根部内凹、根部咬边)。

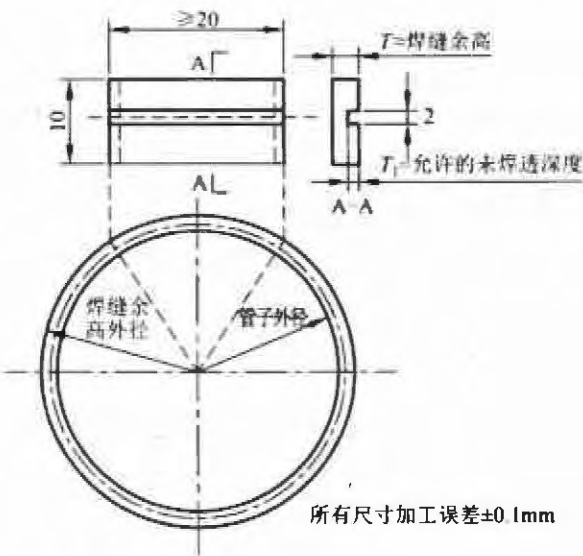
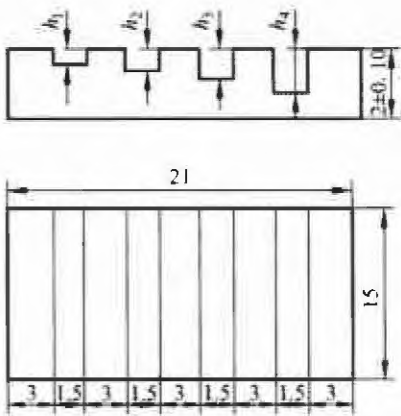


图 51 I 型小径管专用对比试块

(2) 结合管径  $D_o > 100\text{mm}$  焊接接头主要的余高厚度 (2mm 左右) 和验收标准 II 级允许的最大未焊透 (1.0mm) 或内凹 (1.5mm) 值，本部分重新规划和简化了 II 型试块结构，只设计一种 2mm 厚度规格，如图 52 所示。



II 型对比试块

II 型对比试块的尺寸 单位为 mm

$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	尺寸偏差
0.3	0.5	1.0	1.5	$\pm 0.05$

图 52  $D_o > 100\text{mm}$  管道 II 对比试块



2、关于未焊透或内凹深度的确定和评估

(1) 本部分仍然沿用了 JB/T 4730.2—2005 使用对比试块对“未焊透或内凹”的深度进行确定和评估的方式。

(2) ASME B 31.3 是通过未焊透或内凹区域的黑度与母材黑度的测量或直接观察对比确定，即如果保证未焊透或内凹区域的实际厚度不低于母材就认为合格。问题是未焊透区域可能无法进行黑度测量，如果采用直接目视，由于未焊透区域的面积大小与母材区域面积差异较大，直接目视观察的黑度会产生较大的视觉偏差，不利于控制；同时母材处与未焊透或内凹处的散射比差异大，也是造成未焊透或内凹实际深度评估偏差较大的重要原因。

(3) 本部分对允许的未焊透或内凹的深度给出了具体的验收标准，仍需要大致确定和评估未焊透和内凹的实际深度后才能进行验收。

(4) 虽然同是黑度的目视大致对比，但与 ASME B 31.3 的要求相比，以对比试块刻槽处的黑度与未焊透或内凹部位的黑度进行对比应更趋于合理。

3、关于对比试块的使用

本部分重新设计的对比试块的使用方法见图 53 示例。试块应紧贴工件放置，通过对比刻槽和未焊透处的影像黑度，大致评估焊缝未焊透深度（评定根部内凹和根部咬边的原理相同）。

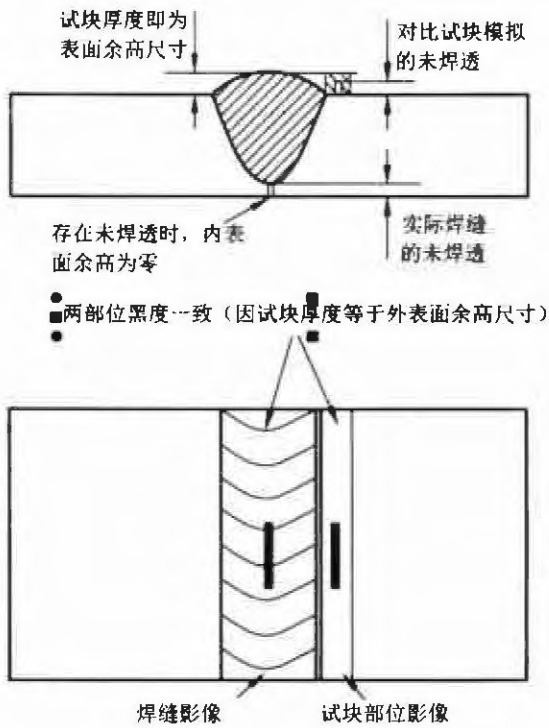


图 53 对比试块使用方法示例

## 后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的共同努力，综合考虑国际和国内射线检测技术进步和管理要求的提高，结合国内承压设备检测的实际特点和经验反馈，优化射线检测技术参数，加强射线检测过程控制和管理，对 JB/T 4730.2—2005 内容进行适应性补充和修订，一些新技术和新规定需要在今后的标准使用过程中逐步去积累数据、总结经验和进一步实验验证，一些模糊的描述需要明确化，主要体现在以下几个方面。

### 1、双胶片透照技术中增感屏的使用

目前本部分规定双胶片透照技术应使用中增感屏，中增感屏材料和厚度的选择来自大量的工程实践和充分的试验验证。为了简化双胶片透照技术的操作，提高该技术使用的方便性，可以进一步考虑进行“不使用中增感屏”和“使用中增感屏”两种情况下的底片裂纹检出率以及前后底片裂纹细节识别差异的对比性试验，在长时间的工程实践和试验跟踪验证的基础上，确认不使用中增感屏对底片裂纹检出灵敏度的影响，再讨论不使用中增感屏的可行性。

### 2、管子-管板角焊缝射线检测

管子-管板角焊缝射线检测的验收标准只给出适用于小直径管子密封焊的缺陷尺寸评定规定，对大直径管子和坡口较深、焊喉较大的强度焊角焊缝，按规定的缺陷数量和单个缺陷尺寸验收显得偏严，因此需要积累经验，并开展相应试验，制定更合理的验收标准。

### 3、管座角焊缝射线检测

针对管座角焊缝的射线检测，插入式和安放式管座角焊缝验收时对应的“ $T$ ”值是有区别的。鉴于本部分第6章和第7章不包含管座角焊缝的验收标准，因此在标准正文中对此并没有明确说明，但为了避免标准使用者对“ $T$ ”值选择产生不同的理解，放在“【NB/T 47013.2】【7 承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级】释义”中进行了解释和说明。

随着本部分的广泛使用，可能会有更多的由于标准原因导致的实际检测质量问题的暴露，标准需要在总结中不断进步，标准编写组会认真整理和对待相关问题，逐步完善，提高标准的可操作性和实用性。

**NB/T 47013.3—2015**

**《承压设备无损检测》  
第3部分：超声检测》**

**标 准 释 义**



# 引言

## 1、超声检测的定义与原理

超声检测指采用 A 型脉冲反射式超声检测仪对工件进行检测的一种无损检测方法。

超声检测即通过超声波与被检工件相互作用，利用其反射、透射、散射及波形转换等声波特性对被检工件不连续性的检测、几何特性的测量、组织结构或力学性能变化的测定和表征，进而对其特定应用性进行评价的技术。作为常用的无损检测方法之一，超声检测是目前国内外应用最广泛、使用频率最高且发展较快的一种无损检测技术。超声检测是制造过程中实现控制产品质量、节省设备用材、改进制造工艺、提高劳动生产率等的重要手段。

对于钢等金属材料的检测，所使用的声波频率通常在  $0.5\text{MHz}\sim 10\text{MHz}$ ，该频段声波具有指向性好、能量高、穿透力强等特点。

超声检测的一般原理就是利用声源产生超声波，并以一定的方式使声波进入工件，如用直探头（见图 1）或斜探头（见图 2）对工件进行检测。声波在工件中传播并与工件材料本身及工件中的缺陷相互作用，使其传播方向或特征被改变，改变后的声波通过检测设备接收，并对其处理和分析，进而评估工件内部是否存在缺陷、缺陷大小是否允许以及缺陷类型或性质如何等。

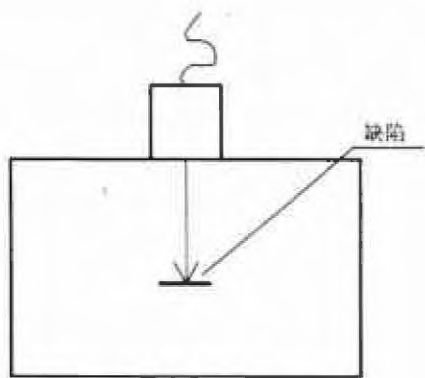


图 1 直探头检测

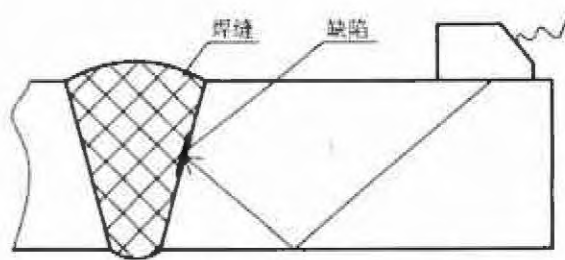


图 2 斜探头检测

超声检测可以确定缺陷的位置、相对尺寸及当量大小，通常适用于板材、复合板材、锻件、管材、棒材等承压设备用原材料和零部件的检测，也适用于承压设备对接焊接接头、T 型焊接接头、角接头以及堆焊层等的检测。

## 2、超声检测技术国内、外发展现状

自 20 世纪 70 年代以来，超声检测的数字化、自动化、智能化和图像化成为超声无损检测技术研究的热点。特别是随着计算机技术的发展，现代超声检测技术已经进入以

计算机控制为主的信息处理时代，如对计算机仿真技术的研究和应用，可以不通过制作模拟试件（预埋有各种自然或人工缺陷）而获得各种缺陷信号的特征。

超声成像技术的发展和應用給超声检测带来了重大变革，超声图像可以提供直观和大量的信息，它是计算机技术、信号采集技术和图像处理技术相结合的产物。数据采集技术、图像重建技术、自动化和智能化技术以及超声成像系统的性能价格比等发展直接影响超声检测图像化的进程。总之，超声成像技术克服了传统超声检测不直观、记录性差、难以判别缺陷类型或性质等缺点，减少了检测过程中的人为因素，有效地提高了缺陷定量的准确性和检测结果的可靠性，是定量超声检测的重要工具。

常用的超声检测方法除常规超声检测外还有相控阵技术、超声导波技术等，另外非接触式超声检测技术有电磁超声、激光超声、空气耦合超声等。

相控阵技术能够通过图像的形式直观地显示缺陷，并通过 D 扫描图像或扇扫描（S 扫）图像显示检测区域范围内的缺陷，有利于对缺陷的评价。早在 1977 年人们就提出了相控阵超声成像的概念，但直到 1999 年相控阵超声检测才被真正地接受和应用。相控阵超声的基本概念来自于相控阵雷达，其使用若干压电阵元组成阵列换能器，实现声束的相控发射和接收。近年来国内外对相控超声检测技术的研究非常活跃，例如在核工业、航空工业等质量要求较高的行业，已经引入相控阵超声技术进行缺陷检测和评价；对传统的超声检测效果不太理想的奥氏体钢焊缝、混凝土和复合材料等领域，也进行了相控阵超声检测的研究和应用。如今二维阵列相控阵超声检测系统用于复杂形状零件检测方面的检测研究和应用已经非常广泛。从应用效果来看，使用相控阵检测焊接接头、原材料包括复合材料能大大地提高检测效率和检测准确性。

超声导波检测技术主要用于管道检测，能检测出管道中内外部腐蚀或冲蚀、环向裂纹、焊缝错边、疲劳裂纹等缺陷。超声导波的优点是传播长距离而衰减很小，在一个位置固定脉冲回波阵列就可以一次性对管壁进行长距离大范围的快速检测。

20 世纪 60 年代末电磁超声换能器（EMAT）的出现，使得无损检测能够在高温、快速、非接触等状况下得以实现。其原理是当高频电流流过靠近金属表面的电感线圈时，线圈将产生一个交变磁场，该磁场周围会激发涡流电场。另外，磁铁在金属表面提供一个外部静磁场，涡流在外磁场作用下便会产生一个与涡流频率相同的洛伦兹力，金属原子在洛伦兹力作用下产生往复振动，从而在工件中产生超声波。脉冲电流产生的脉冲磁场与外加磁场作用会产生磁致伸缩效应，使试件产生与交变磁场频率相同的机械振动，可产生不同波形的电磁超声。由于电磁超声只能在导电介质中产生，因此电磁超声检测主要应用于金属材料的检测。与传统的超声检测技术相比，电磁超声具有不需要耦合剂、可产生不同波形的电磁超声、声波传播距离远、检测速度快等优点，在管道检测、焊缝检测、铁路钢轨在线检测等众多领域得到了很好的应用。总之，电磁超声技术扩展了超声检测的应用范围。

20 世纪 70 年代，激光超声检测技术开始应用于无损检测领域，目前已被广泛应用于材料的力学、光学特性测试及其内部缺陷的检测。激光超声就是脉冲激光在介质中所产生超声波的一种物理过程，可以在固体中产生超声波，也可以在气体和液体中产生超声波。激光超声检测在无损检测中具有抗干扰能力强、高时空分辨率及恶劣环

境下在线检测等优点，使得该技术在材料无损检测方面有广阔的应用前景。但是其本身也有一定的局限性，例如光声能量的转换效率低、检测灵敏度较低、检测系统昂贵等。因此目前激光超声检测技术并不能完全取代常规超声技术，而是在某些常规技术不适用的领域发挥优势。

空气耦合超声检测是一种直接用空气作为耦合介质的检测方法，其进展得益于空气耦合理论、新型换能器及信号处理技术的不断进展。传统的超声检测方法需要用水、化学耦合剂或机油等作为耦合剂，以减小声波在空气中传播的损失，但这些耦合剂会使被检试件（如复合材料）受到侵蚀等，有时甚至会沿表面缺陷渗入工件内部，影响试件的力学性能、机械性能等。因此在传统超声检测技术不适用的领域，如食品、药品、木制品及陶瓷、蜂窝夹芯、泡沫夹芯等多孔渗水类材料的检测，非接触空气耦合超声检测技术的出现很好地填补了这方面的不足。另外，以空气作为检测耦合剂的空气耦合超声检测技术，能够很好地摆脱材料和环境的限制，实现完全非接触的超声检测，对气孔、分层、疏松、脱胶、纤维断裂等缺陷和损伤的检测有较好的检测效果，尤其是能够实现在线快速扫查这一特点，将使空气耦合超声检测技术在航空航天领域中复合材料的检测有着更为广泛的应用。

### 3、国、内外相关超声检测标准与本部分的对比

(1) 国内相关超声检测主要标准有：

- a) 板材超声检测标准有 GB/T 2970—2004《厚钢板超声波检验方法》，该标准在适用范围、探头选用、对比试块、检测方法、质量验收等基本上与 JB/T 4730.3—2005 中钢板超声检测相关内容一致；
- b) 钢锻件超声检测标准有 GB/T 6402—2008《钢锻件超声波检测方法》，该标准主要参照欧盟标准 EN 10228-3：1998《铁素体或马氏体钢锻件超声检测》和 EN 10228-4：1999《奥氏体和奥-铁素体不锈钢锻件超声检测》制定；
- c) 钢管超声检测标准有 GB/T 5777—2008《无缝钢管超声波探伤检验方法》，该标准主要参照 ISO 标准 ISO 9303：1989（E）（MOD.）《承压无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管纵向缺陷的周向超声检测》制定；
- d) 焊接接头超声检测标准有 GB/T 11345—2013《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》，该标准主要参照（基本上等同采用）同名标准 EN 17640：2010（MOD.）制定。

(2) 国外相关超声检测主要标准有：

- a) 美国 ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷《无损检测》（2013 版）A 分篇第 4 章、第 5 章和 B 分篇的第 23 章；
- b) 日本相关标准有 JIS G 0801：2008《压力容器钢板超声检测》、JIS Z 3060：2002《铁素体钢焊缝超声检测方法》；
- c) 近年来，国内诸多行业标准的制修订愈来愈多地参考欧盟相关标准，而国际标准化组织 ISO 的许多超声检测标准是从欧盟标准转化而来或由欧盟标准化委员会起草。本部分主要参考的欧盟超声检测标准和 ISO 相关标准，具体见表 1。



表 1 欧盟和 ISO 等相关超声检测标准

序号	标准编号	标准名称（中文）
1	EN 583-4: 2002/A1: 2003	无损检测 超声检测 第 4 部分：垂直于表面缺陷的检测
2	EN 10160: 1999	厚度≥6mm 钢板超声检测
3	ISO 17577: 2006	厚度≥6mm 钢板超声检测
4	EN 10228-3: 1998	铁素体或马氏体钢锻件超声检测
5	EN 10228-4: 1999	奥氏体和奥-铁素体不锈钢锻件超声检测
6	ISO 9303: 1989	承压无缝和焊接（埋弧焊焊除外）钢管纵向缺陷的全周向超声检测
7	EN 11666: 2010	焊缝无损检测 焊接接头超声检测 质量验收等级
8	EN 23279: 2010	焊缝无损检测 超声检测 焊缝缺陷显示特征
9	EN 17640: 2010	焊缝无损检测 焊接接头 超声检测
10	EN 17635: 2010	焊缝无损检测 金属材料焊缝检测的通用规则
11	EN 5817: 2007	焊接 碳素钢和合金钢、镍及镍合金、钛及钛合金焊接接头缺陷质量分级

（3）国内、外相关超声检测主要标准与本部分主要内容对比

本部分的修订是在吸收国内外先进技术的基础上，力求与国际标准接轨，并满足与国家相关的规范标准进一步衔接的需要，广泛征求国内同行及使用单位的意见，并充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势。本部分修订时着力结合超声实践经验和我国承压设备超声检测的现实情况，补充、细化和明确相关超声检测技术参数和概念，同时又尽量兼顾实用性、可操作性、生产效率和检测成本等方面。

国内、外相关标准与本部分主要技术内容的对比见表 2～表 4。

表2 国内、外相关板材超声检测标准与本部分主要技术内容的对比

主要技术内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.3—2015
范围	1) GB/T 2970 适用于厚度不小于6mm的锅炉、压力容器、桥梁、建筑、造船、钢结构等钢板的超声波检验，奥氏体不锈钢板也可参照该标准； 2) EN 10160 及 ISO 17577 适用6mm~200mm合金或非合金板材，在一定条件下也适用于厚度超出规定范围板材及奥氏体钢或奥氏体-铁素体钢板材的超声检测； 3) JIS G 0801 适用于6mm~300mm锅炉、压力容器、核容器等用碳素钢、低合金钢钢板的超声检测，不包括奥氏体钢板的超声检测； 4) ASME 第V卷 SA-578《特殊用途的普通钢板和复合钢板直射波超声检验》适用于厚度 $\geq 10\text{mm}$ 的普通轧制碳钢和合金钢钢板及复合钢板	1) 适用于板厚6mm~250mm的碳素钢、低合金钢制承压设备用板材的超声检测方法和质量分级； 2) 适用于铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材和铜及铜合金板材的超声检测； 3) 适用于奥氏体不锈钢和奥氏体-铁素体双相不锈钢板材超声检测
探头选用	1) GB/T 2970 规定：板厚6mm~13mm用双晶直探头； $> 13\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 用双晶直探头或单晶直探头； $> 60\text{mm}$ 用单晶直探头； 2) EN 10160 和 ISO 17577 规定：6mm~60mm用双晶直探头； $> 60\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 用双晶直探头或单晶直探头； 3) JIS G 0801 的规定与 GB/T 2970 相同； 4) SA-578 没有规定，只明确了探头尺寸和标称频率	1) 6mm~20mm用双晶直探头； $> 20\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 用双晶直探头或单晶直探头； $> 60\text{mm}$ 用单晶直探头； 2) 另外还规定：直探头选用一般应按本部分表3的规定进行。在满足本部分5.3条规定的灵敏度及缺陷判定的基础上，也可以选用其他型式的探头，如双晶直探头或多晶直探头（含板材厚度 $> 60\text{mm}$ 时）
对比试块	1) GB/T 2970 规定：双晶直探头用阶梯试块；单晶直探头用单个 $\phi 5\text{mm}$ 平底孔试块； 2) EN 10160 和 ISO 17577 分别以 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 11\text{mm}$ 平底孔试块制作距离-波幅曲线； 3) JIS G 0801 根据检测厚度选用 STB-N1 和 STB-G 系列试块； 4) SA-578 规定使用无缺陷部位底波的75% $\pm$ 5%高度作为评定缺陷尺寸灵敏度	1) 用双晶直探头检测厚度不大于20mm的板材时，可以采用阶梯平底试块； 2) 检测厚度大于20mm的板材时，对比试块形状和尺寸应符合本部分表4和图2的规定
缺陷判定	1) GB/T 2970 规定：在检测过程中，发现下列情况之一者即作为缺陷处理：a) 缺陷第一次反射波波高大于或等于满刻度的40%；b) 缺陷第一次反射波波高低于满刻度的40%，同时，缺陷第一次反射波波高与底面第一次反射波波高之比 $\geq 100\%$ ；c) 当底面第一次反射波波高低于满刻度的50%。 2) EN 10160 和 ISO 17577 分别以 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 11\text{mm}$ 平底孔做距离-波幅曲线，根据验收等级的不同选择距离-波幅不同曲线确定缺陷的大小。 3) JIS G 0801 根据反射波的高低把缺陷分为3种不同的严重程度类型，分别或综合加以评定。 4) SA-578 规定使用无缺陷部位底波的75% $\pm$ 5%高度来评定缺陷尺寸	在检测基准灵敏度条件下，发现下列两种情况之一即作为缺陷： 1) 缺陷第一次反射波（F1）波幅高于距离-波幅曲线，或用双晶探头检测板厚小于20mm板材时，缺陷第一次反射波（F1）波幅大于或等于显示屏满刻度的50%； 2) 底面第一次反射波（B1）波幅低于显示屏满刻度的50%，即 $B1 < 50\%$
质量验收	1) GB/T 2970 按缺陷长度、面积及任意 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 检验面积内不允许存在的缺陷面积百分比； 2) EN 10160 和 ISO 17577 按双晶直探头和单晶直探头分别对板材边缘区域和中部区域按缺陷波幅、长度、面积及一定范围内缺陷数量等指标进行质量分级，验收指标较严； 3) JIS G 0801 按不同缺陷严重程度类型及缺陷长度转换成相对数量，最终以折算数量、缺陷长度和密集程度等指标进行质量分级； 4) SA-578 规定不同验收等级（标准）要求分别按缺陷大小（最大直径）及密集程度等进行验收	按双晶直探头和单晶直探头分别对板材边缘区域和中部区域按缺陷波幅、长度、面积及一定范围内缺陷数量等指标进行质量分级，主要参考 EN 10160 和 ISO 17577



表3 国内、外相关钢锻件超声检测标准与本部分主要技术内容的对比

主要技术内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.3—2015
范围	1) GB/T 6402 适用于铁素体和马氏体钢锻件超声检测, 也适用于奥氏体和奥氏体-铁素体不锈钢锻件超声检测; 2) EN 10228-3 适用于铁素体和马氏体钢锻件超声检测; EN 10228-4 适用于奥氏体和奥氏体-铁素体不锈钢锻件超声检测; 3) ASME 第V卷 SA-388《大型钢锻件超声检测方法》适用于钢锻件超声检测; 4) ASME 第V卷 SA-745《奥氏体钢锻件超声检测方法》适用于奥氏体钢锻件直入射波和斜入射波超声检测	1) 5.5 条适用于承压设备用碳钢和低合金钢锻件的超声检测方法和质量分级; 2) 5.6 条适用于直径大于或者等于 M36 承压设备用碳钢和低合金钢螺栓坯件的超声检测方法和质量分级; 3) 5.7 条承压设备适用奥氏体钢锻件及奥氏体-铁素体双相不锈钢锻件的超声检测方法和质量分级
对比试块	1) GB/T 6402 没有具体规定对比试块的形状和尺寸, 但按质量等级要求检测时应制作系列平底孔试块和横孔试块; 2) EN 10228-3、EN10228-4 与 GB/T 6402 的规定相同; 3) ASME 第V卷 SA-388 规定: 直探头检测时, 使用平底孔; 斜探头检测时, 使用 V 型槽或矩形槽; 4) ASME 第V卷 SA-745 规定: 直探头检测时, 根据锻件厚度选择不同直径大小的平底孔; 斜探头检测时, 使用 V 型槽或矩形槽	1) 5.5 条使用 CS-2 或 CS-3 试块; 2) 5.6 条使用 CS-2 或 CS-3 试块, 当螺栓曲率半径小于 100mm 时, 使用专用试块进行径向检测; 3) 5.7 条根据锻件厚度选择不同直径的平底孔制作距离-波幅曲线, 斜探头使用 V 型槽或矩形槽
灵敏度	1) GB/T 6402 规定: 灵敏度应足以保证检测到质量等级记录水平所要求的最小不连续尺寸; 2) EN 10228-3 和 EN 10228-4 和 GB/T 6402 规定相同; 3) ASME 第V卷 SA-388 规定: 直探头检测时, 使用平底孔制作距离-波幅曲线; 斜探头检测时, 使用 V 型槽或矩形槽反射达到一定波幅作为扫查灵敏度; 4) ASME 第V卷 SA-745 规定: 直探头检测时, 根据锻件厚度选择不同直径的平底孔制作距离-波幅曲线; 斜探头检测时, 使用 V 型槽或矩形槽反射达到一定波幅作为扫查灵敏度	1) 5.5 条使用 CS-2 或 CS-3 试块 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔距离波幅曲线; 2) 5.6 条使用 CS-2 或 CS-3 试块, 当螺栓曲率半径小于 100mm 时, 使用专用试块进行径向检测, $\phi 2\text{mm}$ 平底孔制作距离-波幅曲线; 3) 5.7 条根据锻件厚度选择不同直径的平底孔制作距离-波幅曲线; 斜探头使用 V 型槽或矩形槽反射达到一定波幅作为扫查灵敏度
质量验收	1) GB/T 6402 规定: 对于铁素体或马氏体钢锻件, 直探头检测时, 按单个点状缺陷当量平底孔直径、长条或密集缺陷当量平底孔直径分别进行质量分级; 对于斜探头检测, 按单个点状缺陷 DAC、条状或密集缺陷 DAC 分别进行质量分级。对于奥氏体或奥氏体-铁素体不锈钢锻件, 直探头检测时, 按单个点状缺陷当量平底孔直径、长条或密集缺陷当量平底孔直径或底波降低量 (厚度 $>400\text{mm}$ 或 $600\text{mm}$ ) 分别进行质量分级; 斜探头检测时, 按单个点状缺陷 DAC、条状或密集缺陷 DAC 分别进行质量分级; 2) EN 10228-3、EN 10228-4 与 GB/T 6402 规定相同; 3) ASME 第V卷 SA-388 规定: 直探头检测时, 按缺陷与底波幅度比、缺陷 DAC 波幅或底波降低量等进行质量分级; 斜探头检测时, 按缺陷波幅与人工槽波幅的百分比进行质量分级; 4) ASME 第V卷 SA-745 规定: 直探头检测时, 按缺陷 DAC 波幅、或底波降低量 (厚度 $>600\text{mm}$ ) 进行质量分级; 斜探头检测时, 按缺陷波幅与人工槽波幅的百分比进行质量分级	1) 5.5 条规定: 直探头检测时, 按单个缺陷当量平底孔直径、由缺陷引起的底波降低量、密集区缺陷当量直径、密集区缺陷面积占检测总面积的百分比等进行质量分级; 斜探头检测时, 按人工槽波幅的百分比进行质量分级; 2) 5.6 条规定使用按单个缺陷当量平底孔直径、由缺陷引起的底波降低量等进行质量分级; 3) 5.7 条规定: 直探头检测时, 按缺陷 DAC 或底波降低量 (厚度 $>600\text{mm}$ ) 进行质量分级; 斜探头检测时, 按人工槽波幅的百分比进行质量分级



表4 国内、外相关焊接接头超声检测标准与本部分主要技术内容的对比

主要技术内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.3—2015
范围	1) GB/T 11345 适用于母材厚度不小于 8mm 的低超声衰减（特别是散射衰减减小）金属材料熔化焊焊接接头手工超声波检测技术； 2) EN 17640 适用于母材厚度不小于 8mm 的金属材（散射衰减减小）全熔透焊缝脉冲反射法手工超声波检测方法； 3) ASME 第 V 卷第 4 章《焊缝超声波检验方法》规定了焊缝检验的要求或供焊缝检验参照的要求，包括粗晶材料专项条款、计算机成像技术专项条款、用于 TOFD 技术的强制性附录 III、用于相控阵手工扫查技术的强制性附录 IV； 4) JIS Z 3060 适用于厚度 $\geq 6\text{mm}$ 的全熔透铁素体钢焊缝脉冲反射法手工超声波缺陷检测、定位及定量方法	1) 规定了铁素体钢制承压设备焊接接头的超声检测方法和质量分级； 2) 对于其他细晶各向同性和低声衰减金属材料，可参照本章的规定进行，但应考虑材料声学特性的变化
检测技术等级	1) GB/T 11345 规定了 4 个检测技术等级，即 A、B、C、D 级，一般使用 A、B、C 级，特殊场合下使用 D 级； 2) EN 17640 与 GB/T 11345 的规定相同； 3) ASME 第 V 卷第 4 章没有明确检测技术等级要求； 4) JIS Z 3060 没有明确检测技术等级要求	6.3.2 条规定：超声检测技术等级分为 A、B、C 级
对比试块	1) GB/T 11345 按检测技术确定对比试块类型； 2) EN 17640 按检测灵敏度要求确定对比试块类型，试块制作满足 EN 583-2 的要求； 3) ASME 第 V 卷第 4 章适用长横孔试块；曲率半径小于 500mm 时，焊接接头检测使用曲面长横孔试块； 4) JIS Z 3060 使用 STB 系列试块，人工缺陷类型主要为长横孔	1) 6.3 条采用的对比试块为 CSK-II A、CSK-III A、CSK-IV A； 2) 6.4 条采用的对比试块为 GS 试块； 3) 曲率半径小于 500mm 时，纵环焊接接头检测使用 RB-L 和 RB-C 试块
灵敏度	1) GB/T 11345 规定：灵敏度参考水平选用下列方法之一设定。方法 1： $\phi 3\text{mm}$ 横孔距离-波幅曲线（DAC 曲线）；方法 2：给定平底孔尺寸 DGS 曲线；方法 3：1mm 宽和 1mm 深的矩形槽，该技术仅适用于应用折射角 $\geq 70^\circ$ 斜探头检测厚度在 8mm~15mm 的焊缝；方法 4：串联检测，参考反射体为 $\phi 6\text{mm}$ 平底孔，适合所有厚度焊缝检测； 2) EN 17640 与 GB/T 11345 的规定相同； 3) ASME 第 V 卷第 4 章用长横孔试块制作距离-波幅曲线；曲率半径小于 500mm 时，焊接接头检测使用曲面长横孔试块制作距离-波幅曲线； 4) JIS Z 3060 使用 STB 系列试块的横孔制作距离-波幅曲线	1) 6.3 条采用对比试块 CSK-II A 或 CSK-III A 或 CSK-IV A 制作距离-波幅曲线； 2) 6.4 条采用 GS 试块制作距离-波幅曲线； 3) 曲率半径小于 500mm 时，纵环焊接接头检测采用 RB-L 和 RB-C 试块制作距离-波幅曲线
缺陷评定	1) GB/T 11345 规定：所有大于或者等于下列的指示波幅应予以评定。方法 1 和 3：参考水平-12dB；方法 2：参考水平-6dB，分别按其表 3 和表 4 要求；方法 4：串联扫查， $\phi 6\text{mm}$ 平底孔水平。记录缺陷的最大波幅、指示长度、指示高度及缺陷特征； 2) EN 17640 与 GB/T 11345 的规定相同； 3) ASME 第 V 卷第 4 章规定：按距离-波幅法时，所有波幅超过 20% 基准线的信号均应记录，以能对这些缺陷信号按该《规范》有关卷的验收标准进一步评定；按非距离-波幅法时，所有长度超过缺陷拒收尺寸 40% 的信号均应记录，以能对这些缺陷信号按该《规范》有关卷的验收标准进一步评定； 4) JIS Z 3060 按距离-波幅曲线评价水平记录缺陷波幅、位置、长度等信息，以便按相关产品标准的规定进行验收	1) 对发现的缺陷波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其位置、波幅和指示长度等； 2) 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷特征，如有怀疑时，应采取改变探头折射角（K 值）、增加检测面、观察动态波形并结合结构工艺特征作判定，如对波形不能判断时，应辅以其他检测方法作综合判定

## 4、修订概况

### (1) 历次制修订过程

20 世纪 70 年代初, 国内锅炉压力容器行业开始制定原材料(包括钢板、钢管、钢锻件等)和焊接接头等超声检测标准: JB 1150—73《压力容器钢板超声波探伤》、JB 1151—73《高压无缝钢管超声波探伤》、JB 1152—73《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》以及 JB 755—73《压力容器锻件技术条件》附录中相关无损检测的内容。

1994 年发布了综合性标准 JB 4730—94《压力容器无损检测》, 其中第 3 篇为超声检测, 后修订为 JB/T 4730.3—2005《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》。

全国锅炉压力容器标准化技术委员会于 2012 年 1 月组建涵盖特种设备制造安装、研究机构、检验检测等各个行业的专家和代表的《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》标准修订工作组。工作组以 JB/T 4730.3—2005 为基础, 经过大量试验和调研, 并参考了美国 ASME、欧盟 CEN、国际标准化组织 ISO 及日本 JIS 等国外标准及国内相关超声检测标准, 分阶段形成征求意见稿、送审稿和报批稿, 最终形成了 NB/T 47013.3—2015。另外, 镇海石化建安工程有限公司、上海森松压力容器有限公司、青岛兰石重型机械设备有限公司也为本部分的修订提供了相关试验数据。

### (2) 修订的必要性

近十年来, 国内外超声检测新技术发展尤其迅速, 如衍射时差法超声检测(TOFD)、相控阵超声检测、超声导波检测等。这些新技术的不断应用, 又促进了常规超声检测技术的进一步发展。随着超声检测技术的不断进步, 国际或发达国家标准化组织也不间断地对各自标准进行了制修订。JB/T 4730.3—2005 自实施以来, 在承压设备设计、制造、安装、改造、维修、检验检测等方面得到了广泛应用, 为保障承压设备安全运行起到了积极作用, 但在应用过程中也存在诸多问题, 如板材质量要求偏低、不同类型焊接接头超声检测技术等级要求不明确等。因此, 为适应当前承压设备生产及超声检测本身的技术发展和应用需要, 为提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力, 有必要对 JB/T 4730.3—2005 进行修订, 以吸收和参考国内外超声检测方面的新标准、新技术和新成果, 不断发展完善本部分的主要内容, 满足和适应国内承压设备超声检测的要求。

### (3) 修订的原则

- a) 以 JB/T 4730.3—2005 为基础, 主要参考标准包括美国 ASME、国际标准化组织 ISO、欧盟 EN、日本 JIS 等标准;
- b) 依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分: 标准的结构和编写》的规定和 NB/T 47013 系列标准制修订工作的统一要求, 对原标准格式进行调整, 统一原标准中的名词、术语等;
- c) 主要针对制造安装过程所产生的缺陷进行检测和评价;
- d) 在用承压设备按合于使用的原则进行缺陷检测和评价;
- e) 针对承压设备制造、安装及使用过程等特点, 加强超声检测工艺规程等书面文件制定的要求;
- f) 对原标准中不妥之处进行了修改。



#### (4) 修订的主要技术变化

- 第1章对应于JB/T 4730.3—2005第1章，主要内容变化为：  
根据承压设备检验检测工作的需要，本部分增加了第7章“承压设备厚度的超声测量方法”。
- 第2章对应于JB/T 4730.3—2005第2章，主要内容变化为：
  - a) 用GB/T 27664.1《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》替代了JB/T 10061《A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》；
  - b) 用GB/T 27664.2《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》部分替代了JB/T 10062《超声探伤用探头性能测试方法》。
- 增加了第3章“术语和定义”，即把JB/T 4730.1—2005中的有关超声检测的术语和定义单独在本部分成章，并增加了部分术语和定义。
- 第4章对应于JB/T 4730.3—2005第3章，主要内容变化为：
  - a) 增加了超声检测仪和探头的具体性能指标要求；
  - b) 增加了超声检测仪和探头校准、核查、运行核查和检查的要求；
  - c) 增加了“安全要求”；
  - d) 增加了工艺文件的要求，并列出了制定工艺规程的相关因素；
  - e) 重新对本部分所用试块的类型（标准试块和对比试块）进行了划分，主要按国内相关通用标准的规定进行划分，而不是在本部分自行划定标准试块和对比试块的类型。
- 第5章对应于JB/T 4730.3—2005第4章，主要内容变化为：
  - a) 调整了“承压设备用原材料或零部件的超声检测方法和质量分级”内容的顺序，按板材、复合板、碳钢和低合金钢锻件、钢螺栓坯件、奥氏体钢锻件、无缝钢管等进行编写；
  - b) 合并了碳素钢和低合金钢钢板、铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材、奥氏体不锈钢及双相不锈钢钢板等超声检测方法和质量分级；重新设计了对比试块；检测灵敏度主要以对比试块平底孔距离-波幅曲线来确定；修改了质量等级要求。
- 第6章对应于JB/T 4730.3—2005第5章和第6章，主要内容变化为：
  - a) 整合了JB/T 4730.3—2005中“承压设备对接接头超声检测和质量分级”和“承压设备管子、压力管道环向对接接头超声检测和质量分级”两章内容。按焊接接头类型、工件厚度适用范围及检测面曲率大小适用范围等内容进行分类；
  - b) 调整了涉及焊接接头超声检测的整体编制结构。把接管与筒体（或封头）角接接头超声检测方法、T型焊接接头超声检测方法、承压设备堆焊层超声检测方法和质量分级等放入了附录；
  - c) 对承压设备超声检测Ⅰ型焊接接头工件厚度的适用范围从8mm~400mm扩大到了6mm~500mm；
  - d) 重新设计了CSK-II A和CSK-IV A试块，包括试块的尺寸、形状及人工反



- 射体的位置和数量。这样既保证检测区域覆盖范围，又适用于斜探头和直探头基准距离-波幅曲线灵敏度的调节；
- e) 细化了不同类型焊接接头超声检测要求。涉及内容包括平板对接接头、T型焊接接头、插入式接管与筒体（或封头）角接头、L型焊接接头、安放式接管与筒体（或封头）角接头、十字焊接接头、嵌入式接管与筒体（或封头）对接接头等的超声检测要求；
  - f) 重新设计了超声检测Ⅱ型焊接接头用对比试块（GS试块），增加了圆弧反射面等，主要利于弧面探头的时基线调整；
  - g) 对焊接接头质量等级中Ⅰ区非裂纹类缺陷的长度给出了限制。
- 根据实际检验检测需要，增加了第7章“承压设备厚度的超声测量方法”，包括堆焊层厚度的测量方法。
- 第8章对应于JB/T 4730.3—2005第7章，主要内容变化为：
- a) 对在用承压设备进行超声检测时，增加了根据使用过程中可能造成主体材料、零部件或焊接接头的失效模式，或者利用风险评估（又称基于风险的检验，即RBI）的分析结果等选择超声检测技术、检测部位和检测比例；
  - b) 根据在用承压设备检验检测的需要，增加了缺陷类型确定的内容。
- 第9章对应于JB/T 4730.3—2005第8章，主要内容变化为：
- 增加超声检测记录内容的要求，强调记录的重要性。

# 第1章 范 围

## 【NB/T 47013.3】【1 范围】释义

### 1、关于检测仪器（1.1）

本部分采用A型脉冲反射式超声检测仪对工件进行检测。

### 2、关于被检工件材料（1.2）

本部分适用于金属材料制承压设备用原材料或零部件和焊接接头的超声检测，也适用于金属材料制在用承压设备的超声检测。具体见表5～表8。

表5 承压设备用原材料或零部件超声检测适用范围

检测范围	适用金属材料	工件厚度 t/mm	检测面直径/mm	检 测 方 法
板材	碳素钢、低合金钢	≥6~250	—	5.3、附录C及附录D
	铝及铝合金		—	5.3、附录C及附录D
	钛及钛合金		—	5.3、附录C及附录D
	镍及镍合金		—	5.3、附录C及附录D

表 5 (续)

检测范围	适用金属材料	工件厚度 <i>t</i> /mm	检测面直径/mm	检测方法
板材	铜及铜合金	$\geq 6 \sim 250$	—	5.3、附录 C 及附录 D
	奥氏体不锈钢、 奥氏体-铁素体双相不锈钢		—	5.3、附录 C 及附录 D
复合板	不锈钢-钢、钛-钢、铝-钢、 镍-钢及铜-钢等	$\geq 6$	—	5.4
锻件	碳钢、低合金钢	—	环形或筒形锻件外壁斜探头 检测：内、外径之比 $\geq 0.65$	5.5 和附录 E
	碳钢、低合金钢螺栓坯件及奥 氏体不锈钢螺栓坯件	—	$\geq M36$	5.6
	奥氏体钢、奥氏体-铁素体不 锈钢及镍合金	—	环形或筒形锻件外壁斜探头 检测：内、外径之比 $\geq 0.65$	5.7 和附录 F
钢管	碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢 及奥氏体-铁素体双相不锈钢	—	$\geq 12$	5.8

表 6 钢制承压设备焊接接头超声检测适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度 <i>t</i> /mm	检测面直径/mm	检测方法
锅炉、 压力容器	筒体(或封头) 对接接头	$\geq 6 \sim 500$	$\geq 500$ (包括纵向对接接头, 内、外径比 $\geq 70\%$ )	6.3
			$\geq 100 \sim 500$ 的纵向对接接头且内、外径比 $\geq 70\%$	附录 J
			$\geq 159 \sim 500$ 的环向对接接头	附录 K
	接管与筒体 (或封头)角 对接接头		插入式: 筒体(或封头) $\geq 500$ 且内、外径比 $\geq 70\%$ , 接管公称直径 $\geq 80$ ; 安放式: 筒体(或封头) $\geq 300$ 且接管公称直径 $\geq 100$	附录 L
	T 型焊接接头	$\geq 6 \sim 300$	—	附录 M
	堆焊层	—	—	附录 G
	奥氏体不锈钢 对接接头	$\geq 10 \sim 80$	$\geq 500$ , 纵向对接接头时, 内、外径比 $\geq 70\%$	附录 I
			$\geq 159 \sim 500$ 的环向对接接头	附录 I 并参考附录 K
	管子环向对接 接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 500$	6.3
			外径 $\geq 159 \sim 500$	附录 K
		$\geq 6 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$	6.4
		$\geq 4 \sim 6$	外径 $\geq 32$	6.4
	管子纵向对接 接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 500$ , 内、外径比 $\geq 70\%$	6.3
			外径 $\geq 100 \sim 500$ , 内、外径比 $\geq 70\%$	附录 J
压力 管道	环向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 500$	6.3
			外径 $\geq 159 \sim 500$	附录 K
		$\geq 6 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$	6.4
		$\geq 4 \sim 6$	外径 $\geq 32$	6.4
	纵向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 500$ , 内、外径比 $\geq 70\%$	6.3



表 7 铝及铝合金制承压设备焊接接头超声检测适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度 t/mm	检测面直径/mm	检测方法
铝及铝合金制锅炉、压力容器	筒体（或封头）对接接头	≥8～80	≥500 的纵向对接接头时，内、外径比 ≥70%	附录 H
			≥159～500 的环向对接接头	附录 H 并参考附录 K
	管子环向对接接头	≥8～50	外径 ≥500	附录 H
			外径 ≥159～500	附录 H 并参考附录 K
		≥6～50	外径 ≥32～159	6.4
		≥4～6	外径 ≥32	6.4
	管子纵向对接接头	≥8～50	外径 ≥500，内、外径比 ≥70%	附录 H
铝及铝合金制压力管道	环向对接接头	≥8～50	外径 ≥500	附录 H
			外径 ≥159～500	附录 H 并参考附录 K
		≥6～50	外径 ≥32～159	6.4
		≥4～6	外径 ≥32	6.4
	纵向对接接头	≥8～50	外径 ≥500，内、外径比 ≥70%	附录 H

表 8 钛及钛合金制承压设备焊接接头超声检测适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度 t/mm	检测面直径/mm	检测方法
钛及钛合金制锅炉、压力容器	筒体（或封头）对接接头	≥8～80	≥500 的纵向对接接头时，内、外径比 ≥70%	附录 H
			≥159～500 的环向对接接头	附录 H 并参考附录 K
	管子环向对接接头	≥8～50	外径 ≥500	附录 H
			外径 ≥159～500	附录 H 并参考附录 K
	管子纵向对接接头	≥8～50	外径 ≥500，内、外径比 ≥70%	附录 H

3、关于承压设备厚度的测量（1.3）

厚度测量作为一项检测技术，特别是使用超声回波法进行设备厚度的测量技术，应从适用范围、仪器、探头、试块、仪器校准及复核等方面给予规定。另外，承压设备检验检测也需要从技术上规范承压设备厚度的测量。因此，本部分增加了承压设备厚度的超声测量方法。

4、关于支承件和结构件的超声检测（1.4）

与承压设备有关的支承件和结构件的超声检测，也可参照本部分使用。

5、关于未列入本部分规定或超出本部分适用范围工件的超声检测

对未列入本部分规定或超出本部分适用范围的工件进行超声检测时，按 NB/T 47013.1 的相关规定执行。



## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.3】【2 规范性引用文件】释义

#### 1、关于规范性引用文件变化的对比（见表9）

表9 规范性引用文件变化的对比

JB/T 4730.3—2005	NB/T 47013.3—2015	说 明
JB/T 4730.1 承压设备无损检测 第1部分：通用要求	NB/T 47013.1—2015 承压设备无损检测 第1部分：通用要求	修订并替代
JB/T 7913—1995 超声波检测用钢制对比试块的制作与校验方法	GB/T 11259—2008 无损检测 超声检测用钢参考试块的制作与检验方法	修订并替代
JB/T 9214—1999 A型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法	JB/T 9214—2010 无损检测 A型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法	修订并替代
JB/T 10061—1999 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件	GB/T 27664.1—2011 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器	更改引用标准
JB/T 10062—1999 超声探伤用探头性能测试方法	GB/T 27664.2—2011 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头	更改引用标准
	JB/T 10062—1999 超声探伤用探头性能测试方法	仅用于仪器和探头组合频率测试
JB/T 10063—1999 超声探伤用1号标准试块技术条件	JB/T 8428—2015 无损检测 超声试块通用规范	修订并替代
—	GB/T 12604.1—2005 无损检测 术语 超声检测	本部分新引用

#### 2、关于 GB/T 27664.1 和 GB/T 27664.2 标准

(1) 用 GB/T 27664.1《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》替代了 JB/T 10061《A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》。在结构和内容上，GB/T 27664.1 与欧盟标准 EN 12668-1: 2000《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》基本一致。

(2) 用 GB/T 27664.2《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》部分替代了 JB/T 10062《超声探伤用探头性能测试方法》。同样在结构和内容上，GB/T 27664.2 与欧盟标准 EN 12668-2: 2000《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》基本一致。

(3) 本部分规定仪器和探头组合频率的测试方法仍按 JB/T 10062 的规定进行，其他组合性能的测试方法参照 JB/T 9214 的规定。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.3】【3 术语和定义】释义

本章为新增章节，JB/T 4730.3—2005 涉及的术语和定义是放在 JB/T 4730.1—2005 中的，本次修订把有关超声检测的术语和定义在本部分列出，对 JB/T 4730.1—2005 涉及本部分的术语和定义，如超声标准试块、超声对比试块、聚焦探头、端点衍射、端点最大回波等，因在规范性引用文件 GB/T 12604.1 中已有解释，故不再列入。

#### 1、关于底波降低量和密集区缺陷（3.1、3.2）

明确“底波降低量”和“密集区缺陷”为用于锻件检测时确定缺陷的术语。

#### 2、关于基准灵敏度（3.3）

基准灵敏度指将对比试块人工反射体回波高度或被检工件底面回波高度调整到某一基准时的灵敏度。实际检测时，应考虑耦合补偿、衰减补偿或曲面补偿等对基准灵敏度的影响。

#### 3、关于扫查灵敏度（3.4）

扫查灵敏度在基准灵敏度基础上，根据表面状况、扫查速度、动态波形观察、检测缺陷要求及探头类型等适当提高 dB 数（增益）进行实际检测的灵敏度。

#### 4、关于工件厚度（3.7）

根据需要，增加了术语“工件厚度”，即把“工件厚度”作为确定对比试块类型、检测灵敏度大小及质量分级厚度范围等被检工件参数予以固定下来，工件厚度定义如下：

（1）对于平板对接接头，焊缝两侧母材厚度相等时，工件厚度  $t$  为母材公称厚度；焊缝两侧母材厚度不等时，工件厚度  $t$  为薄侧母材公称厚度。

（2）对于插入式接管角接接头，工件厚度  $t$  为筒体或封头公称厚度；安放式接管与筒体（或封头）角接接头，工件厚度  $t$  为接管公称厚度。

（3）对于 T 型焊接接头，工件厚度  $t$  为腹板公称厚度。

对于上述 a) 所规定的工件厚度，JB/T 4730.3—2005 已明确；b) 所规定的工件厚度，JB/T 4730.3—2005 并没有明确，故其在实施过程中时有争议；c) 所规定的工件厚度，适用于直探头和斜探头检测，而 JB/T 4730.3—2005 在确定检测灵敏度时规定：“用斜探头探测时，距离-波幅曲线灵敏度应以腹板厚度确定；用直探头探测时，距离-波幅曲线灵敏度应以翼板厚度确定”，但在进行焊接接头质量分级时没有明确工件厚度是按翼板厚度还是按腹板厚度确定。考虑到焊接接头厚度主要与腹板厚度相关，故对于 T 型焊接接头，工件厚度  $t$  均以腹板公称厚度为准。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.3】【4.1 检测人员】释义

本条对超声检测人员提出了具体要求，即除应符合 NB/T 47013.1 的规定取得超声检测人员资格、按所取得的资格级别从事相应的超声检测工作外，根据超声检测的特点，如主要针对埋藏缺陷检测、检测过程靠主观判断的情况较多等，还规定超声检测人员应具有一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，应熟悉被检工件的材质、几何尺寸及透声性等，以便对检测中出现的问题作出分析、判断和处理。

### 【NB/T 47013.3】【4.2 检测设备和器材】释义

#### 1、关于仪器和探头产品合格证明（4.2.1）

JB/T 4730.3—2005 只是泛泛地规定了“超声检测设备均应具有产品质量合格证或合格的证明文件”，但没有明确仪器和探头制造商在合格证或证明文件中至少应包括哪些参数或性能指标，给仪器或探头使用者带来不便。因此本条明确：超声检测仪器产品质量合格证中至少应给出预热时间、低电压报警或低电压自动关机电压、发射脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、发射脉冲上升时间、发射脉冲宽度（采用方波脉冲作为发射脉冲的）以及接收电路频带等主要性能参数；探头应给出中心频率、带宽、电阻抗或静电容、相对脉冲回波灵敏度以及斜探头声束性能[包括探头前沿距离（入射点）、 $K$ 值（折射角 $\beta$ ）等]等主要参数。

#### 2、关于检测仪器、探头和组合性能（4.2.2）

本部分对仪器性能、探头性能及仪器与探头组合性能的技术要求变化也是比较大的。JB/T 4730.3—2005 标准对检测设备性能的要求往往只是少数几个参数或性能指标。在中国特种设备检测研究院对设备性能指标测试和合理性评估的基础上，对仪器性能、探头性能及仪器与探头组合性能指标提出了较为全面的规定。

##### （1）检测仪器性能

- a) 虽然工作频率范围均规定为 0.5MHz~10MHz，但本条明确了其工作频率是按 -3dB 测量所得；
- b) 把水平线性、垂直线性归于仪器与探头组合性能中；
- c) 仪器性能其他要求在附录 A 中。附录 A 从仪器稳定性能、发射性能和接收性能等出发，在 19 个方面对仪器电气性能等提出了要求，给出了测试条件和具体指标，对仪器性能要求更加科学、全面。



(2) 探头性能

本条给出了探头本身性能的基本要求,即单斜探头声束轴线水平偏离角不应大于 2°,主声束垂直方向不应有明显的双峰。对探头性能指标的具体要求放到了本部分附录 B 中,附录 B 给出的探头性能要求包括了基本性能、单晶直探头性能、单晶斜探头性能、双晶直探头性能、双晶斜探头性能、液浸探头声束性能、聚焦探头声束性能及宽带窄脉冲探头声束性能等,基本覆盖了承压设备常用探头的性能要求。

(3) 仪器和探头的组合性能

与 JB/T 4730.3—2005 相比,组合性能具体指标要求变化见表 10。

表 10 组合性能具体指标要求对比

组合性能	JB/T 4730.3—2005	NB/T 47013.3—2015	对比说明
水平线性	1% (列在仪器性能中)	1%	指标要求未变
垂直线性	5% (列在仪器性能中)	5%	指标要求未变
组合频率	组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于±10%	组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于±10%	指标要求未变
远场分辨力	直探头的远场分辨力应不小于 30dB	直探头远场分辨力不小于 20dB	实际测试, JB/T 4730.3—2005 指标要求偏高
	斜探头的远场分辨力应不小于 6dB	斜探头远场分辨力不小于 12dB	实际测试, JB/T 4730.3—2005 指标要求偏低
盲区 (仅限直探头)	始脉冲宽度 (基准灵敏度下): 频率为 5MHz 的探头, 宽度不大于 10mm; 频率为 2.5MHz 的探头, 宽度不大于 15mm	基准灵敏度下, 标称频率 5MHz 的探头, 盲区不大于 10mm; 标称频率 2.5MHz 的探头, 盲区不大于 15mm	指标要求未变, 只是改变了术语名称
灵敏度余量	在达到所探工件的最大检测声程时, 其有效灵敏度余量应不小于 10dB	仪器-直探头组合灵敏度余量应不小于 32dB; 仪器-斜探头组合灵敏度余量应不小于 42dB; 在达到所探工件的最大检测声程时, 其有效灵敏度余量应不小于 10dB	JB/T 4730.3—2005 指标要求是一个可变的量, 很难准确测试

3、关于超声检测用标准试块和对比试块 (4.2.3)

JB/T 4730.3—2005 把用于仪器探头系统性能校准和检测校准的试块, 包括钢板检测用试块 CB I、CB II, 锻件检测用试块 CS I、CS II、CSIII和焊接接头检测用试块 CSK-I A、CSK-II A、CSK-IIIA、CSK-IVA, 均规定为标准试块。

实际上, 按照 GB/T 12604.1 对标准试块的定义: 标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块, 用于评定和校准超声检测设备, 即用于仪器探头系统性能校准的试块。因此, 本部分采用的标准试块修改为 CSK-I A、DZ-I 和 DB-P Z20-2, 并把其他用于调节超声检测设备幅度和 (或) 声程, 以将所检出的缺陷信号与已知反射体所产生的信号相比较的试块均列为对比试块。

#### 4、关于耦合剂（4.2.4）

本条增加了对耦合剂污染物含量控制的规定，即镍基合金上使用的耦合剂含硫量不应大于 250mg/L，奥氏体不锈钢或钛材上使用的耦合剂卤素（氯和氟）的总含量不应大于 250mg/L。主要目的是避免因使用不当耦合剂，对焊接接头或母材造成应力腐蚀等。

#### 5、关于超声检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求（4.2.5）

超声检测设备和器材使用单位应自行或委托其他机构进行校准或核查；在校准或核查期间，应进行运行核查；在每次使用前，应对仪器和探头进行检查。通过以上校准、核查，以保证检测设备处于有效状态。

与 JB/T 4730.3—2005 相比，超声检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查相关要求变化见表 11。

表 11 超声检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求对比

要 求	JB/T 4730.3—2005	NB/T 47013.3—2015
校准或核查		每年至少对超声仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性、组合频率、盲区（仅限直探头）、灵敏度余量、分辨力以及仪器的衰减器精度进行一次校准并记录。 每年至少对标准试块与对比试块的表面腐蚀与机械损伤进行一次核查
运行核查	每隔 3 个月至少对仪器的水平线性和垂直线性进行一次测定	模拟超声检测仪每 3 个月或数字超声检测仪每 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性和垂直线性进行一次运行核查并记录。 每 3 个月至少对盲区（仅限直探头）、灵敏度余量和分辨力进行一次运行核查并记录
检查	使用仪器-斜探头系统，检测前应测定前沿距离、K 值和主声束偏离，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度。 使用仪器-直探头系统，检测前应测定始脉冲宽度、灵敏度余量和分辨力，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度	每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。 使用斜探头时，检测前应测定入射点（前沿距离）和折射角（K 值）

### 【NB/T 47013.3】【4.3 检测工艺文件】释义

检测工艺文件为新增条款，JB/T 4730.3—2005 的相关内容是在 JB/T 4730.1 中规定的。本条给出了编制工艺文件，即工艺规程和操作指导书所涉及内容的一般要求，具体编制时还应包括相关章节所列因素的具体范围或要求。

本条还规定：操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，验证方式可在相关对比试块上进行，验证内容包括检测范围内灵敏度、信噪比等是否满足检测要求。考虑到本部分对承压设备用原材料、零部件或焊接接头的超声检测方法相对比较成熟，另外也为了节约检测成本，因此没有规定操作指导书的工艺验证必须在模拟试块或其他诸如自然试件上进行。



### 【NB/T 47013.3】【4.4 安全要求】释义

检测场所、环境及安全防护应符合 NB/T 47013.1—2015 的规定。

### 【NB/T 47013.3】【4.5 检测实施】释义

#### 关于扫查覆盖（4.5.2）

为确保检测时超声声束能扫查到工件的整个被检区域，探头的每次扫查覆盖应大于探头晶片直径或晶片宽度的 15%，或优先满足相应章节的检测覆盖要求。

## 第 5 章 承压设备用原材料或零部件的 超声检测方法和质量分级

### 【NB/T 47013.3】【5.1 范围】释义

调整了“承压设备用原材料或零部件的超声检测方法和质量分级”内容的顺序，按板材、复合板、碳钢和低合金钢锻件、钢螺栓坯件、奥氏体钢锻件、无缝钢管等顺序进行编写。

### 【NB/T 47013.3】【5.2 承压设备用原材料或零部件的超声检测工艺文件】释义

在制定原材料或零部件的超声检测工艺文件时，除应满足 4.3 条的要求外，还应列入待检原材料或零部件所涉及的相关因素，如产品形式（板材、管材、锻件等）、检测时机（如热处理前或后等）、检测范围、质量验收等级等。

### 【NB/T 47013.3】【5.3 承压设备用板材超声检测方法和质量分级】释义

#### 1、关于范围（5.3.1）

（1）合并了碳素钢和低合金钢钢板、铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材和铜及铜合金板材，以及奥氏体不锈钢及双相不锈钢钢板等超声检测方法和质量分级。

（2）对于碳素钢、低合金钢制承压设备用板材，其适用于板厚 6mm～250mm。

（3）对于铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材和铜及铜合金板材，其适用于板厚 $\geq 6\text{mm}$ ，对比试块的声学特性应与被检板材相同或相近。

（4）对于奥氏体不锈钢和奥氏体-铁素体双相不锈钢板材，其适用于板厚 6mm～250mm，除要求对比试块的声学特性应与被检钢板相同或相近外，还应考虑声波衰减对检测结果的影响。原则上其他种类不锈钢板材也可参照本条进行检测和质量分级。



## 2、关于探头选用（5.3.3）

（1）考虑国内钢板生产厂及承压设备制造厂关于板材超声检测实际情况，拟将 5.3.3.1.1 改用新条文，即“直探头选用一般应按本部分表 3 的规定进行。在满足本部分 5.3 规定的灵敏度及缺陷判定的基础上，也可以选用其他型式的探头，如双晶直探头或多晶直探头（含板材厚度 $>60\text{mm}$ 时）”，见 NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》第 1 号修改单（国家能源局于 2018 年第 7 号公告）。

（2）一般情况下，单晶直探头检测面盲区应不大于板厚的 15%或 15mm（取较小者），当被检板材厚度小于 10mm 时，其检测面盲区应不大于 1.5mm；双晶直探头的声束汇聚区应根据被检板材厚度确定。

## 3、关于对比试块（5.3.4）

对于厚度大于 20mm 的板材检测，本条规定了对比试块的形状和尺寸，主要目的是用不同深度的  $\phi 5\text{mm}$  平底孔距离波幅曲线确定基准灵敏度，JB/T 4730.3—2005 用单一平底孔来确定灵敏度。当然也可以用已有且满足 JB/T 4730.3—2005 要求的不同厚度  $\phi 5\text{mm}$  平底孔试块来制作距离-波幅曲线。

关于板材超声检测用试块，从 JB 1150—73 一直到 JB/T 4730.3—2005，所用试块均为单一平底孔试块，即只用一个深度平底孔（ $\phi 5\text{mm}$ ）进行灵敏度调节，并检测厚度与之对应的板材整个厚度范围内的缺陷，这样就会出现检测同一板材时，不同检测深度的灵敏度是不一致的，甚至差别很大。因此就会造成因缺陷深度位置不同或者说同一缺陷在钢板两不同轧制面进行检测时，测得的缺陷尺寸是不同的。

## 4、关于灵敏度的确定（5.3.5）

（1）板厚小于等于 20mm 时，用本部分图 1 所示阶梯平底试块调节，也可用被检板材无缺陷完好部位调节，即用与试块等厚部位或被检板材的第一次底波调整到满刻度的 50%，再提高 10dB 作为基准灵敏度。用阶梯试块调节时，基准灵敏度应包括耦合补偿等。

（2）板厚大于 20mm 时，按所用探头和仪器在  $\phi 5\text{mm}$  平底孔试块上绘制距离-波幅曲线，并以此曲线作为基准灵敏度。此时基准灵敏度应包括耦合补偿、衰减补偿等，并且被检深度范围内最大声程处距离-波幅曲线高度一般应达到显示屏满刻度的 20%。

（3）如能确定板材底面回波与不同深度  $\phi 5\text{mm}$  平底孔反射波幅度之间的关系，则可采用板材完好部位第一次底波来调节基准灵敏度。对板厚大于 20mm 时，特别是板厚大于或者等于探头 3 倍近场区时，如用底波调节灵敏度，应保证整个板厚范围内的灵敏度和试块调节的一致（包括灵敏度补偿）。但一般只是检测距离（深度）大于探头  $3N$  时，底面反射波波幅和  $\phi 5\text{mm}$  平底孔反射波波幅之间有较强的对应关系，也就是说此对应关系仅适用于 3 倍近场区之外的区域，并不适用整个板厚的检测，因此本部分规定了 5.3.5.3 条。

## 5、关于检测（5.3.6）

（1）板材边缘或剖口预定线两侧 100%扫查区域宽度

JB/T 4730.3—2005 的规定是：在剖口预定线两侧各 50mm（当板厚超过 100mm 时，

以板厚的一半为准)内应作 100%扫查;而本条规定在板材边缘或剖口预定线两侧范围内应作 100%扫查,扫查区域宽度按本部分表 5。这里有两个变化:其一是 100%扫查区域宽度,其二是增加了板材边缘的 100%扫查。

## (2) 板材中部区域的扫查

JB/T 4730.3—2005 的规定是:扫查按间距不大于 100mm 的平行线进行;而本条规定扫查按间距不大于 50mm 的平行线,或间距不大于 100mm 格子线进行。主要考虑相比 JB/T 4730.3—2005,本部分关于板材检测的各个质量等级对最大允许缺陷尺寸的要求都变严了,考虑到其质量等级 T I 级和 I 级对最大允许缺陷尺寸的要求较严,故当板材超声检测质量要求较高时,如按等级 T I 级和或 I 级进行验收,此时对板材中部区域应尽可能进行 100%扫查。

## 6、关于缺陷的判定和定量 (5.3.7)

### (1) 缺陷的判定

关于缺陷的判定,本条删去了 JB/T 4730.3—2005 的 4.1.6.1 b) 的规定:“当底面第一次反射波 ( $B_1$ ) 波高未达到满刻度,此时,缺陷第一次反射波 ( $F_1$ ) 波高与底面第一次反射波 ( $B_1$ ) 波高之比大于或等于 50%,即  $B_1 < 100\%$ ,而  $F_1/B_1 \geq 50\%$ 。”其实对板材常见缺陷分层来说,无论大小由 JB/T 4730.3—2005 中 4.1.6.1 a) 来判定均可,而 4.1.6.1 b) 主要针对钢板中密集类缺陷,考虑到此种情况出现较少,故本条只保留了用 JB/T 4730.3—2005 的 4.1.6.1 a) 和 c)。

对板材进行检测时,一般采用 5.3.7.1 a) 对缺陷进行判断和测量。如发现由于缺陷的存在而导致底波明显降低时,即 5.3.7.1 b) 的情况,则应在基准灵敏度下(考虑耦合补偿等),调节距离-波幅曲线使得板材最大厚度处的曲线高度升高或降低至荧光屏满刻度的 50%,然后用底波的高低对该缺陷进行判断和定量。例如,板厚为 200mm,检测时发现由于缺陷存在而导致底波明显降低,此时可调节 200mm 深度处的距离-波幅曲线至 50%荧光屏满刻度,对缺陷进行判断和定量。

### (2) 缺陷的定量

关于缺陷的定量,本条的相关内容和 JB/T 4730.3—2005 基本一致。考虑到质量等级 T I 级和 I 级允许的单个缺陷面积较小,用单晶直探头测量面积或尺寸偏差大且困难,故规定使用单晶直探头除按 5.3.7.2.1 c)、d)、e) 的方法对缺陷进行定量外,还应记录缺陷反射波幅或当量平底孔直径,即此时以缺陷的波幅或当量平底孔直径进行评级。

## 7、关于缺陷尺寸的评定方法 (5.3.8)

### (1) 单个缺陷指示长度的评定规则

关于缺陷指示长度的评定规则,JB/T 4730.3—2005 规定:“一个缺陷按其指示的最大长度作为该缺陷的指示长度,若单个缺陷的指示长度小于 25mm 时,可不作记录。”而本条规定:“用平行于板材压延方向矩形框包围缺陷,其长边作为该缺陷的指示长度。”

### (2) 单个缺陷指示面积的评定规则

JB/T 4730.3—2005 规定:“a) 一个缺陷按其指示的最大面积作为该缺陷的单个指示面积;b) 多个缺陷其相邻间距小于相邻较小缺陷的指示长度(取其较大值)时,以

各缺陷面积之和作为单个缺陷指示面积；c) 指示面积不计的单个缺陷见表 9。”

而本条规定：“a) 一个缺陷按其指示的矩形面积作为该缺陷的单个指示面积；b) 多个缺陷其相邻间距小于相邻较小缺陷的指示长度时，按单个缺陷处理，缺陷指示面积为各缺陷面积之和。”

与 JB/T 4730.3—2005 相比，对于同一缺陷，按 NB/T 47013.3—2015 测得的缺陷指示面积会比后者略大，这样规定主要方便缺陷指示面积的确定。另外，反射波幅满足 5.3.7.1 条的缺陷均应记录，并参与评级。

## 8、关于板材质量分级（5.3.9）

### （1）JB/T 4730.3—2005 板材质量分级的现状

从 JB 1150—73、ZBJ 74003—88、JB 4730—94 到 JB/T 4730.3—2005，对板材的超声检测质量验收允许的尺寸（单个缺陷指示面积、单个缺陷指示长度、在任一  $1\text{m}\times 1\text{m}$  检测面积内存在的缺陷面积百分比）基本上没有变化。与此同时，国内承压设备的设计、制造对板材各项性能指标要求越来越高，钢厂也在不断提高板材的质量。而按 JB/T 4730.3—2005 进行板材超声检测和验收，显然无法控制板材的质量要求。另外，JB/T 4730.3—2005 质量分级允许的缺陷尺寸也很大，单个缺陷尺寸指标数倍甚至数十倍于欧盟标准 EN 10160 的允许量（见表 12）。这样既无法控制钢板质量，又使标准很难进行国际交流。近年来，国内中石油、中石化几家较大的设计院（工程公司）在设计承压设备时，对国产板材（如 06Ni9 钢）按欧盟标准 EN 10160 进行超声检测和质量验收。

对于多个相邻缺陷，JB/T 4730.3—2005 规定：对这类小分层缺陷，在用缺陷面积百分比进行评定分级或多个相邻缺陷进行叠加时，为统一起见，一律不予考虑。即先按 JB/T 4730.3—2005 的表 3 来判断“单个缺陷指示面积”是否大于或等于“单个缺陷不计的指示面积”，如果单个缺陷指示面积小于单个缺陷不计的指示面积，即不再考虑累加。这样一来，一方面钢厂生产的钢板质量在提高，大面积分层类缺陷很少或几乎没有；另一方面标准对缺陷进行评定多个相邻缺陷时，先单独考虑其缺陷指示面积大小再相累加。另外，JB/T 4730.3—2005 质量分级表中关于“单个指示面积不计的缺陷”尺寸本身就已经相当大了，比如一般常用验收等级为 II 级的钢板，不予参加评级的单个缺陷指示面积最大为  $15\text{cm}^2$  ( $1\,500\text{mm}^2$ )。按照 JB/T 4730.3—2005，如果整张钢板中部密布单个指示面积  $14\text{cm}^2$  ( $1\,400\text{mm}^2$ ) 的分层类缺陷，即使缺陷间距很小 [小于 100mm 或间距小于相邻较小缺陷的指示长度（取其较大值）] 也都可不计，钢板 II 级合格。

JB/T 4730.3—2005 与欧盟标准 EN 10160 标准质量分级对比见表 12（使用双晶探头检测板材中部区域时）。



表 12 JB/T 4730.3—2005 与 EN 10160 质量分级对比

等级	评 定 项	允 许 指 标	
		JB/T 4730.3—2005	EN 10160 标准
I	单个缺陷指示长度 $L$	$<80\text{mm}$	—
	单个缺陷指示面积 $S$	$<2\,500\text{mm}^2$	$\leq 50\text{mm}^2$
	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内存在的缺陷面积百分比	$\leq 3\%$	单个缺陷指示面积在 $20\text{mm}^2 < S \leq 50\text{mm}^2$ 间的个数 $\leq 10$ (注: 相当于面积最大百分比 $\leq 0.05\%$ )
	以下单个缺陷指示面积不计	$<900\text{mm}^2$ (注: 累加前)	$\leq 20\text{mm}^2$ (注: 累加后)
II	单个缺陷指示长度 $L$	$<100\text{mm}$	—
	单个缺陷指示面积 $S$	$<5\,000\text{mm}^2$	$\leq 100\text{mm}^2$
	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内存在的缺陷面积百分比	$\leq 5\%$	单个缺陷指示面积在 $50\text{mm}^2 < S \leq 100\text{mm}^2$ 间的个数 $\leq 10$ (注: 相当于面积最大百分比 $\leq 0.1\%$ )
	以下单个缺陷指示面积不计	$<1\,500\text{mm}^2$ (注: 累加前)	$\leq 50\text{mm}^2$ (注: 累加后)
III	单个缺陷指示长度 $L$	$<120\text{mm}$	—
	单个缺陷指示面积 $S$	$<10\,000\text{mm}^2$	$\leq 1\,000\text{mm}^2$
	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内存在的缺陷面积百分比	$\leq 10\%$	单个缺陷指示面积在 $100\text{mm}^2 < S \leq 1\,000\text{mm}^2$ 间的个数 $\leq 15$ (注: 相当于面积最大百分比 $\leq 1.5\%$ )
	以下单个缺陷指示面积不计	$<2\,500\text{mm}^2$ (注: 累加前)	$\leq 100\text{mm}^2$ (注: 累加后)
IV	单个缺陷指示长度	$<150\text{mm}$	—
	单个缺陷指示面积 $S$	$<10\,000\text{mm}^2$	$\leq 5\,000\text{mm}^2$
	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内存在的缺陷面积百分比	$\leq 10\%$	单个缺陷指示面积在 $1\,000\text{mm}^2 < S \leq 5\,000\text{mm}^2$ 间的个数 $\leq 20$ (注: 相当于面积最大百分比 $\leq 10\%$ )
	以下单个缺陷指示面积不计	$<2\,500\text{mm}^2$ (注: 累加前)	$\leq 1\,000\text{mm}^2$ (注: 累加后)
V	超过IV级者		

## (2) 板材质量分级

本条关于板材的质量分级主要参考 EN 10160: 1999 “厚度大于或者等于 6mm 钢板的超声检测” 和同名标准 ISO 17577: 2006。总体上看, NB/T 47013.3—2015 各质量等级验收指标要比 JB/T 4730.3—2005 至少高 2 个等级, 因此为既保证对承压设备用板材质量要求的提高, 又保证一定的经济性, 同时为避免由于本部分的质量分级验收指标的变化而造成引用本标准的规范、标准 (如 TSG 21、GB/T 150 等) 对板材超声检测质量等级 (合格等级) 要求的修改, 拟将质量等级由 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级修改为 T I 级、I 级、II 级、III 级及 IV 级, 见 NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》第 1 号修改单 (国家能源局于 2018 年第 7 号公告)。具体修改后板材质量分级见表 13 和表 14。另外, 为方便板材质量等级要求的书写, 本释义增加了等级代号。

表 13 承压设备用板材中部检测区域质量分级

等级	等级代号	最大允许单个缺陷指示面积 $S$ 或当量平底孔直径 $D$	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内缺陷最大允许个数	
			单个缺陷指示面积或当量平底孔直径评定范围	最大允许个数
T I	Z0	双晶直探头检测时： $S\leq 50\text{mm}^2$	双晶直探头检测时： $20\text{mm}^2<S\leq 50\text{mm}^2$	10
		单晶直探头检测时： $D\leq \phi 5\text{mm}+8\text{dB}$	单晶直探头检测时： $\phi 5\text{mm}<D\leq \phi 5\text{mm}+8\text{dB}$	
I	Z1	双晶直探头检测时： $S\leq 100\text{mm}^2$	双晶直探头检测时： $50\text{mm}^2<S\leq 100\text{mm}^2$	10
		单晶直探头检测时： $D\leq \phi 5\text{mm}+14\text{dB}$	单晶直探头检测时： $\phi 5\text{mm}+8\text{dB}<D\leq \phi 5\text{mm}+14\text{dB}$	
II	Z2	$S\leq 1\,000\text{mm}^2$	$100\text{mm}^2<S\leq 1\,000\text{mm}^2$	15
III	Z3	$S\leq 5\,000\text{mm}^2$	$1\,000\text{mm}^2<S\leq 5\,000\text{mm}^2$	20
IV	Z4	超过III级者		

注：使用单晶直探头检测并确定 5.3.7.1 b) 所示缺陷的质量分级（T I 级和 I 级）时，与双晶直探头要求相同。

表 14 承压设备用板材边缘或剖口预定线两侧检测区域质量分级

等级	等级代号	最大允许单个缺陷指示长度 $L_{\max}$	最大允许单个缺陷指示面积 $S$ 或当量平底孔直径 $D$	在任一 $1\text{m}$ 检测长度内最大允许缺陷个数	
				单个缺陷指示长度 $L$ 或当量平底孔直径评定范围	最大允许个数
T I	B0	$\leq 20\text{mm}$	双晶直探头检测时： $S\leq 50\text{mm}^2$	双晶直探头检测时： $10\text{mm}<L\leq 20\text{mm}$	2
			单晶直探头检测时： $D\leq \phi 5\text{mm}+8\text{dB}$	单晶直探头检测时： $\phi 5\text{mm}<D\leq \phi 5\text{mm}+8\text{dB}$	
I	B1	$\leq 30\text{mm}$	双晶直探头检测时： $S\leq 100\text{mm}^2$	双晶直探头检测时： $15\text{mm}<L\leq 30\text{mm}$	3
			单晶直探头检测时： $D\leq \phi 5\text{mm}+14\text{dB}$	单晶直探头检测时： $\phi 5\text{mm}+8\text{dB}<D\leq \phi 5\text{mm}+14\text{dB}$	
II	B2	$\leq 50\text{mm}$	$S\leq 1\,000\text{mm}^2$	$25\text{mm}<L\leq 50\text{mm}$	5
III	B3	$\leq 100\text{mm}$	$S\leq 2\,000\text{mm}^2$	$50\text{mm}<L\leq 100\text{mm}$	6
IV	B4	超过III级者			

注：使用单晶直探头检测并确定 5.3.7.1 b) 所示缺陷的质量分级（T I 级和 I 级）时，与双晶直探头要求相同。

## (3) 缺陷最大允许个数可按比例折算

5.3.9.3 条规定“在板材中部检测区域，按最大允许单个缺陷指示面积和任一  $1\text{m}\times 1\text{m}$  检测面积内缺陷最大允许个数确定质量等级。如整张板材中部检测面积小于  $1\text{m}\times 1\text{m}$ ，缺陷最大允许个数可按比例折算。”在实际检测中如折算后的个数为非整数，应按四舍五入的原则进行取整。以上原则同样适用于 5.3.9.4 条。



【NB/T 47013.3】【5.4 承压设备用复合板超声检测方法和质量分级】释义

1、关于范围（5.4.1）

本条适用于基材厚度大于或等于 6mm 的承压设备用不锈钢-钢、钛-钢、铝-钢、镍-钢及铜-钢复合板的超声检测。对于承压设备用双金属复合管（如爆炸复合形式等）的超声检测方法也可参考本条执行，其质量验收要求或等级按相关技术文件。

本条规定的检测方法及其质量分级仅适用于复合板（管）未结合类缺陷的检测和评定。

2、关于探头选用（5.4.3）

JB/T 4730.3—2005 探头选用的规定见表 15。由于本条主要用于复合板基材与覆材界面结合状态的超声检测，复合板的超声检测主要检测未结合类缺陷，而板材检测是针对整个厚度范围的缺陷检测，故探头的选择是不一样的。

检测可从基材侧进行，也可选择从覆材侧进行，如从覆材侧进行检测，一般应选用双晶直探头。对于双金属复合管一般应从外壁进行检测，根据曲率大小选择合适晶片尺寸的探头。

同样原因，JB/T 4730.3—2005 规定双晶直探头性能要求应符合其附录 A 的要求也是不合适的。

表 15 JB/T 4730.3—2005 承压设备用板材（复合板）超声检测探头选用

板厚/mm	采用探头	公称频率	探头晶片尺寸
6~20	双晶直探头	5MHz	晶片面积不小于 150mm <sup>2</sup>
>20~40	单晶直探头	5MHz	φ14mm~φ20mm
>40~250	单晶直探头	2.5MHz	φ20mm~φ25mm

3、关于未结合的评定方法（5.4.7）

和板材缺陷的评定方法类似，对未结合指示长度和指示面积的确定是：未结合边界范围确定后，用一边平行于板材压延方向矩形框包围该未结合，长边作为其指示长度。按其指示的矩形面积作为其单个未结合面积。

【NB/T 47013.3】【5.5 承压设备用碳钢和低合金钢锻件超声检测方法和质量分级】释义

1、关于范围（5.5.1）

把环形和筒形锻件直接接触法周向横波检测时的内外径之比由大于或等于 80%修改为大于或等于 65%，基于以下主要原因：

（1）检测用斜探头的选用

JB/T 4730.3—2005 及其之前的相关标准对环形和筒形锻件从外壁进行周向检测，要求其内、外径之比应大于或等于 80%，主要是当时斜探头的折射角为 45°（即 K 值为 1.0），



其主声束扫过内壁时的内、外径之比为 71%，再考虑到影响定位、定量等因素，故给出了内、外径之比应大于或等于 80% 的规定。现在检测时使用的斜探头折射角可以达到 37°，其主声束正好扫过内壁时的内、外径之比为 60%，同样考虑到相关影响因素，给出了内、外径之比应大于或等于 65% 的规定。

#### (2) 锻件生产和检测需要

JB/T 4730.3—2005 适用于内、外径之比大于或等于 80% 的环形和筒形锻件周向检测，实际情况是很多此类锻件的内、外径之比小于 80%，因此势必要扩大标准适用范围。

### 2、关于对比试块 (5.5.4)

本条规定的对比试块和 JB/T 4730.3—2005 基本是一致的，但按照 JB/T 8428 对试块编号进行了重新规定。

### 3、关于基准灵敏度的确定 (5.5.5)

(1) 本条明确无论用单晶直探头还是双晶直探头，应用  $\phi 2\text{mm}$  平底孔距离-波幅曲线确定基准灵敏度。当然如果被检部位的厚度大于或等于探头的 3 倍近场区长度，且检测面与底面平行时，也可以采用底波计算法确定基准灵敏度，此时确定的基准灵敏度严格来说只适用于检测深度范围探头 3 倍近场区以外的区域，对于探头 3 倍近场区以内区域的灵敏度确定，仍应用对比试块进行实测，基准灵敏度应包括灵敏度补偿。检测时，一般应使被检深度范围内最大声程处距离-波幅曲线高度达到显示屏满刻度的 20%。

(2) 本条规定工件检测面曲率半径小于或等于 250mm 时，应采用曲面对比试块（试块曲率半径在工件曲率半径的 0.7 倍~1.1 倍范围内）调节基准灵敏度，或采用 CS-4 对比试块（其形状和尺寸按本部分图 6 所示）来测定由于曲率不同而引起的声能损失，但如工件曲率半径较小，此试块有可能不成立，故也可以使用其他满足一定条件的曲率对比试块测定由于曲率不同而引起的声能损失。

(3) 对于检测面曲率半径大于 250mm 的工件检测，必要时，也可采用曲面对比试块（试块曲率半径在工件曲率半径的 0.7 倍~1.1 倍范围内）或直接采用由被检工件余料制作的对比试块来调节灵敏度。

### 4、关于质量分级等级评定 (5.5.8)

本条与 JB/T 4730.3—2005 相比，有以下几点不同：

(1) 单个缺陷当量平底孔直径质量分级的差异见表 16。

(2) 由缺陷引起底波降低量质量分级的差异见表 17。

(3) 针对近年来行业上的争议，问题集中在“密集区缺陷占检测面积百分比合格，但密集区缺陷的当量直径较大（反射波幅高）”。一般来说，对于密集区缺陷，仅控制“密集区缺陷占检测面积百分比”一个指标是不能完全控制锻件质量的。因此增加了“密集区缺陷当量平底孔直径”的质量分级要求（见表 18）。

(4) 本条明确密集区缺陷面积指反射波幅大于或者等于  $\phi 2\text{mm}$  当量平底孔直径的密集区缺陷。也就是说，在确定密集区缺陷面积时，不论“密集区缺陷当量平底孔直径”

要求的质量等级如何，反射波幅大于或者等于  $\phi 2\text{mm}$  当量平底孔直径的密集区缺陷的面积均计入“密集区缺陷面积”，并以此来计算“密集区缺陷面积占检测总面积的百分比”。

表 16 单个缺陷当量平底孔直径质量分级的差异

标 准	质 量 分 级				
	I	II	III	IV	V
JB/T 4730.3—2005	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}+8\text{dB}$	$\leq \phi 4\text{mm}+12\text{dB}$	$\leq \phi 4\text{mm}+16\text{dB}$	$> \phi 4\text{mm}+16\text{dB}$
NB/T 47013.3—2015	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}+6\text{dB}$	$\leq \phi 4\text{mm}+12\text{dB}$	$\leq \phi 4\text{mm}+18\text{dB}$	$> \phi 4\text{mm}+18\text{dB}$

表 17 由缺陷引起底波降低量质量分级的差异

标 准	质 量 分 级				
	I	II	III	IV	V
JB/T 4730.3—2005	$\leq 8\text{dB}$	$\leq 14\text{dB}$	$\leq 20\text{dB}$	$\leq 26\text{dB}$	$> 26\text{dB}$
NB/T47013.3—2015	$\leq 6\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 18\text{dB}$	$\leq 24\text{dB}$	$> 24\text{dB}$

表 18 密集区缺陷当量平底孔直径质量分级

标 准	质 量 分 级				
	I	II	III	IV	V
JB/T 4730.3—2005	—	—	—	—	—
NB/T 47013.3—2015	$\leq \phi 2\text{mm}$	$\leq \phi 3\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}+4\text{dB}$	$> \phi 4\text{mm}+4\text{dB}$

【NB/T 47013.3】【5.6 承压设备用钢螺栓坯件的超声检测方法和质量分级】释义

1、关于范围（5.6.1）

本条适用于直径大于或等于 M36 承压设备用碳钢和低合金钢螺栓坯件的超声检测方法和质量分级，并规定奥氏体不锈钢螺栓坯件的超声检测可参照本条执行，质量分级按本条。但在具体检测时，对比试块应使用声学特性相同或相近的材料制成。

2、关于对比试块（5.6.4）

一般情况下，单晶直探头检测时，对比试块的尺寸和形状应符合 5.5.4.3 条的规定；双晶直探头检测时，对比试块的尺寸和形状应符合 5.5.4.4 条的规定。本条标准正文规定有误，不应仅对轴向检测，也应包括径向检测，其对比试块应符合相关规定。

另外径向检测，当螺栓坯件曲率半径小于 100mm 时，所用对比试块形状和尺寸分别见本部分图 8 和表 12。

### 3、关于基准灵敏度的确定（5.6.5）

用 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔距离-波幅曲线确定基准灵敏度。检测时，一般应使被检深度范围内最大声程处距离-波幅曲线高度达到显示屏满刻度的20%。

### 4、关于质量分级（5.6.8）

本条与JB/T 4730.3—2005相比，有以下几点不同：

- （1）单个缺陷当量平底孔直径质量分级的差异见表19。
- （2）由缺陷引起底波降低量质量分级的差异见表20。

表19 单个缺陷当量平底孔直径质量分级的差异

标 准	质 量 分 级				
	I	II	III	IV	V
JB/T 4730.3—2005	$\leq \phi 2\text{mm}$	$\leq \phi 3\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 5\text{mm}$	$> \phi 5\text{mm}$
NB/T 47013.3—2015	$\leq \phi 2\text{mm}$	$\leq \phi 3\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}+6\text{dB}$	$> \phi 4\text{mm}+6\text{dB}$

表20 由缺陷引起底波降低量质量分级的差异

标 准	质 量 分 级				
	I	II	III	IV	V
JB/T 4730.3—2005	$\leq 8\text{dB}$	$\leq 14\text{dB}$	$\leq 20\text{dB}$	$\leq 26\text{dB}$	$> 26\text{dB}$
NB/T 47013.3—2015	$\leq 6\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 18\text{dB}$	$\leq 24\text{dB}$	$> 24\text{dB}$

## 【NB/T 47013.3】【5.7 承压设备用奥氏体钢锻件超声检测方法和质量分级】释义

### 1、关于范围（5.7.1）

对于承压设备用镍合金锻件，本条规定其超声检测方法和质量分级可参照本条执行。具体检测时，对比试块应使用声学特性相同或相近的材料制成。

### 2、关于工件厚度（5.7.8）

本条规定“工件厚度主要指承压方向上的尺寸：对于筒形或环形锻件，工件厚度为筒体厚度；对于饼形或类似锻件，工件厚度为其最小厚度。”其目的是对同一锻件从不同检测面或不同检测方向进行检测和评定时，其质量验收等级或具体允许缺陷的大小是相同的。

## 【NB/T 47013.3】【5.8 承压设备用无缝钢管超声检测方法和质量分级】释义

### 1、关于范围（5.8.1）

- （1）与碳钢、低合金钢筒形或环形锻件周向检测类似，本条把钢管周向直接接触



法斜探头检测时的内、外径之比由大于或等于 80%扩大到了大于或等于 65%，增加了标准的适用范围。

(2) 对于钢管周向液浸法横波检测，明确了该方法适用于钢管的内、外径之比应大于或等于 60%。

## 2、关于对比试块 (5.8.4)

本条增加了人工反射体类型，即矩形槽。矩形槽此前一直没有被本标准采用，主要原因是：

(1) 矩形槽虽然对声束存在边角效应，但与管材缺陷更能相对应，另外本部分明确要检测的缺陷为非分层类缺陷。

(2) EN 10246-6 使用矩形槽，ISO 9303 使用 V 型槽和矩形槽，GB/T 5777 使用 V 型槽和矩形槽。

(3) 由于不同类型人工反射体超声反射特征是有差异的，故检测和验收时，应使用同种类型的人工反射体试块进行。

## 3、关于灵敏度的确定 (5.8.5)

### (1) 直接接触法

直接接触法检测时，可直接在对比试块上将内壁人工反射体的回波幅度调到显示屏满刻度的 80%（回波幅度也可由检测人员自行确定），再移动探头，找出外壁人工反射体的最大回波，在显示屏上标出，连接两点即为距离-波幅曲线，作为基准灵敏度。由于管径的原因，对比试块上无内壁人工反射体时，可用外壁人工反射体的一次回波和二次回波制作距离-波幅曲线。

### (2) 液浸法

液浸法基准灵敏度按下述方法确定：

- a) 水层距离应根据聚焦探头的焦距来确定；
- b) 调整时，一边以适当的速度转动管子，一边将探头慢慢偏心，使对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度均达到显示屏满刻度的 50%，并以此作为基准灵敏度；
- c) 当内、外壁人工反射体信号使用同一个报警闸门时，检测仪的报警灵敏度应按照内、外壁的信号中以及周向不同位置的信号中较低幅度的信号进行设定。当内、外壁人工反射体信号使用两个不同的报警闸门时，检测仪的报警灵敏度应按照内、外壁人工反射体在周向不同位置中较低幅度的信号分别进行设定。同时，两个闸门的宽度应满足管壁内各部位缺陷信号的报警要求。

## 4、关于质量分级 (5.8.8)

(1) 无缝钢管质量分级应符合本部分表 19 的规定。

(2) 不合格品允许重新处理，处理后仍按本条进行检测和质量等级评定。

(3) 使用液浸法检测时，因某种原因（如厚度较大）不能调节对比试块内外表面

人工反射体所产生的回波幅度达到同一高度，也可以用对比试块内、外表面人工反射体所产生回波幅度的连线作为 DAC 曲线。因此对无缝钢管进行检测和质量分级时，本部分表 19 中液浸法的回波幅度  $H_r$  即为 DAC 曲线。

## 第 6 章 承压设备焊接接头超声检测方法和质量分级

### 【NB/T 47013.3】【6.1 范围】释义

(1) 本章对 JB/T 4730.3—2005 “承压设备对接接头超声检测和质量分级”和“承压设备管子、压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级”的内容进行了修订和合并，按承压设备类别、焊接接头类型、工件厚度、工件曲率大小及检测方法等进行分类。本章主要内容包括 I 型焊接接头超声检测方法、II 型焊接接头超声检测方法、焊接接头质量分级等。

(2) 对“承压设备堆焊层超声检测和质量分级”进行了修订并作为本部分附录 G。

(3) 对“铝及铝合金制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级”和“钛制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级”进行了修订和合并，并作为本部分附录 H“铝和铝合金制及钛制承压设备对接接头超声检测方法和质量分级”。

(4) 本章适当扩大了工件厚度、曲率等适用范围。

### 【NB/T 47013.3】【6.2 承压设备焊接接头超声检测工艺文件】释义

在制定焊接接头超声检测工艺文件时，除应满足 4.3 条的要求外，还应列入焊接接头超声检测所涉及的相关因素，如焊接接头类型和几何形状（包括工件规格、厚度、尺寸和产品形式）、焊接方法和焊接工艺、检测技术等级、检测时机、检测区、质量验收等级等。

### 【NB/T 47013.3】【6.3 承压设备 I 型焊接接头超声检测方法】释义

#### 1、关于范围（6.3.1）

(1) 所谓 I 型焊接接头，是指符合本部分表 22 的钢制承压设备焊接接头，不是焊接专业术语。JB/T 4730.3—2005 的“承压设备”指的是锅炉和压力容器，但承压设备还应包括压力管道等，其第 5 章规定了“承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级”，第 6 章规定了“承压设备管子、压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级”，把“压力管道”与“承压设备”人为割裂开来，实际上这两章内容针对的就是承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级。

(2) 调整了焊接接头超声检测的整体编制结构，把接管与筒体（或封头）角接接头超声检测、T 型焊接接头超声检测、堆焊层超声检测、铝及铝合金焊接接头超声检测

等放入了附录。

(3) 扩大了焊接接头超声检测的适用范围(工件厚度、检测面曲率等):

- a) 对于筒体(或封头)对接接头超声检测,其工件厚度的适用范围从 6mm~400mm 扩大到了 6mm~500mm;把 JB/T 4730.3—2005 适用于内、外径之比大于等于 80%的纵向对接接头检测修改为内、外径之比大于或等于 70%;
- b) 对于接管与筒体(封头)角接头超声检测,本部分规定其适用范围为:插入式:筒体(或封头)检测面曲率半径大于或等于 250mm 且内、外径比大于或等于 70%,且接管公称直径大于或等于 80mm;安放式:筒体(或封头)检测面曲率半径大于或等于 150mm,且接管公称直径大于或等于 100mm。而 JB/T 4730.3—2005 的适用范围为接管公称直径大于或等于 250mm 且内径大于 200mm 的管座角焊缝的超声检测;
- c) T 型接头适用工件厚度范围从 6mm~50mm 扩大到了 6mm~300mm。

## 2、关于超声检测技术等级(6.3.2)

### (1) 超声检测技术等级的选择

超声检测技术等级的选择应符合制造、安装等有关规范、标准及设计图样的规定。承压设备焊接接头的制造、安装时的超声检测,一般应采用不低于 B 级的超声检测技术等级进行检测。对重要设备的焊接接头,可采用 C 级超声检测技术等级进行检测。

当标准或实际检测中未明确检测技术等级要求时,一般应采用不低于 B 级的超声检测技术等级进行检测。

### (2) 不同检测技术等级的一般要求

关于焊接接头不同检测技术等级一般要求,本条与 JB/T 4730.3—2005 的对比见表 21。

针对不同类型焊接接头(本部分附录 N),按不同检测技术等级的要求,从工件厚度、纵向缺陷检测(斜探头和直探头)、横向缺陷检测及相应检测技术的探头数量、检测面(侧)、探头移动区宽度、探头检测位置等均作出了规定,因此对编制检测工艺文件、探头选择、检测面(侧)选择到具体实施检测等尽可能给予明确规定。

本条规定当检测技术等级为 B 级或 C 级时,对于按附录 N 要求进行双面双侧检测的焊接接头,如受几何条件限制或由于堆焊层(或复合层)的存在而选择单面双侧检测,还应补充斜探头作近表面缺陷检测,此时一般可选用大  $K$  值( $K \geq 2.0$ )单斜探头或双晶斜探头进行。如对该焊接接头检测时已按规定选用了大  $K$  值( $K \geq 2.0$ )斜探头,并进行了近表面缺陷检测,则可不再使用大  $K$  值斜探头作补充检测。



表 21 本部分和 JB/T 4730.3—2005 关于焊接接头不同检测技术等级要求的比较

检测技术等级		A	B	C	说 明
适用工 件厚度 范围	JB/T 4730.3 —2005	8mm~ 46mm	8mm~400mm	8mm~400mm	检测技术等级 B 级适用范围太大
	NB/T 47013.3 —2015	6mm~ 40mm	6mm~200mm	6mm~500mm	参考 EN 17640
检测面 (侧)	JB/T 4730.3 —2005	单面单侧 (优先)	单面双侧或双面双侧	单面双侧或双面 双侧	—
	NB/T 47013.3 —2015	单面双侧 (优先)	单面双侧或双面双侧	单面双侧或双面 双侧	超声检测速度较 快、成本低, A 级应优先单面双 侧检测
直探头 检测	JB/T 4730.3 —2005	—	—	—	角接接头检测中 使用, 但此类接 头检测没有检测 技术等级要求
	NB/T 47013.3 —2015	—	—	工件厚度大于 40mm 的对接接 头, 增加直探头 检测	参考 EN 17640
焊接接 头类型 范围	JB/T 4730.3 —2005	平板对接接头			检测技术等级的 要求仅适用于平 板对接接头的检 测显然不够
	NB/T 47013.3 —2015	平板对接接头、T 型焊接接头、插入式接管与筒体(或封头)角接接头、L 型焊接接头、安放式接管与筒体(或封头)角接接头、十字焊接接头、嵌入式接管与筒体(或封头)对接接头等			参考 EN 17640
其他	JB/T 4730.3 —2005	—	母材厚度 > 46mm ~ 120mm 时, 一般用一 种 K 值探头采用直射 波法在焊接接头的双 面双侧进行检测, 如受 几何条件限制, 也可在 焊接接头的双面单侧 或单面双侧采用两种 K 值探头进行检测	—	—
	NB/T 47013.3 —2015	—	对于按附录 N 要求进 行双面双侧检测的焊 接接头, 如受几何条件 限制或由于堆焊层(或 复合层)的存在而选择 单面双侧检测时, 还应 补充斜探头作近表面 缺陷检测	工件厚度 > 15mm 的焊接接头一般 应在双面双侧进 行检测, 如受几何 条件限制或由于 堆焊层(或复合 层)的存在而选 择单面双侧检测 时, 还应补充斜 探头作近表面缺 陷检测	参考 EN 17640 并结合国内实际

3、关于对比试块（6.3.3）

（1）CSK-II A 和 CSK-IV A 试块

JB/T 4730.3—2005 所用 CSK-II A 和 CSK-IV A 试块的人工反射体为长横孔，分别与 EN 标准和 ASME 规范第 V 卷第 4 章焊接接头检测所用试块人工反射体类型相同。但 CSK-II A 试块和 CSK-IV A 试块上人工反射体即横孔深度位置规定在  $0.25T$  ( $0.75T$ ) 和  $0.5T$ ，显然试块上人工反射体设置的数量不足，比如对 200mm 厚的工件，可调人工反射体位置在 50mm、100mm 和 150mm，如需要用大角度探头进行近表面缺陷的检测，灵敏度就难以调节，或不得不借用其他种类试块进行调节。对于大厚度工件检测时，两种试块的人工反射体长度及 CSK-II A 宽度也不能满足要求。

本部分使用的 CSK-II A 和 CSK-IV A 试块，重新布置人工反射体位置：在厚度方向上，根据检测厚度范围的不同，规定了其第一个横孔的位置离表面的距离（5mm 或 10mm）；长度方向上尽可能兼顾直探头和斜探头灵敏度调节的需要。新 CSK-II A 试块适用工件厚度范围为 6mm~200mm，主要参考欧盟（EN）和日本（JIS）标准；新 CSK-IV A 试块适用工件厚度范围为 >200mm~500mm，主要在参考美国 ASME 规范的基础上进行了改进，试块人工反射体直径为  $\phi 6\text{mm}$ 。

（2）CSK-III A 试块

CSK-III A 试块自 JB 1152—81 标准采用以来，是锅炉、压力容器行业焊接接头超声检测的主要对比试块：试块人工反射体即短横孔在远场区反射规律与平底孔相近；试块人工反射体设置比较合理，具有中国特色。因此，本部分对工件厚度范围 8mm~120mm 焊接接头检测仍保留使用该试块并放入附录 O。CSK-II A 试块人工反射体为长横孔，和 CSK-III A 试块上的短横孔的反射规律是不同的。另外，该试块的适用工件厚度范围为 6mm~200mm。因此 CSK-II A 试块与 CSK-III A 试块的工件厚度适用范围是有重叠的。对同一被检工件来说，如果分别使用 CSK-II A 试块和 CSK-III A 试块调节灵敏度进行检测，可能会造成不同的检测结果，或者说，对同一缺陷，测得的尺寸和波幅会有所不同，进而影响质量等级的评定。因此本条规定，检测时灵敏度的确定以 CSK-II A 试块为准。如使用 CSK-III A 试块，需与 CSK-II A 试块灵敏度相对比。

对于检测技术等级为 C 级且工件厚度大于 40mm 的对接接头超声检测，以及 T 型接头、角接接头的超声检测都要用到直探头，在对其进行灵敏度调节时，是无法使用 CSK-III A 试块的。

（3）CSK-II A、CSK-III A 及 CSK-IV A 试块的适用工件厚度范围

CSK-II A、CSK-III A 及 CSK-IV A 试块适用工件厚度范围的比较见表 22。

表 22 CSK-II A、CSK-III A 及 CSK-IV A 试块适用工件厚度范围的比较

试块类型	JB/T 4730.3—2005		NB/T 47013.3—2015	
	适用范围	适用探头	适用范围	适用探头
CSK-II A	$\geq 8\text{mm} \sim 400\text{mm}$	斜探头	$\geq 6\text{mm} \sim 200\text{mm}$	直探头、斜探头
CSK-III A	$\geq 8\text{mm} \sim 120\text{mm}$	斜探头	$\geq 8\text{mm} \sim 120\text{mm}$	斜探头
CSK-IV A	$> 120\text{mm} \sim 400\text{mm}$	斜探头	$> 200\text{mm} \sim 500\text{mm}$	直探头、斜探头

## (4) CSK-II A 试块的形状和尺寸

- a) 试块的设计和使用主要考虑两个方面，一是斜探头和直探头灵敏度的调节，二是斜探头和直探头的检测范围覆盖；
- b) 为兼顾斜探头和直探头的调节，本部分的 CSK-II A-1、CSK-II A-2、CSK-II A-3 试块 [图 14 a)、b)、c)] 的尺寸可按图 3~图 5 进行设计、制作。CSK-II A-2、CSK-II A-3 试块的斜边主要是为直探头灵敏度调节所用。

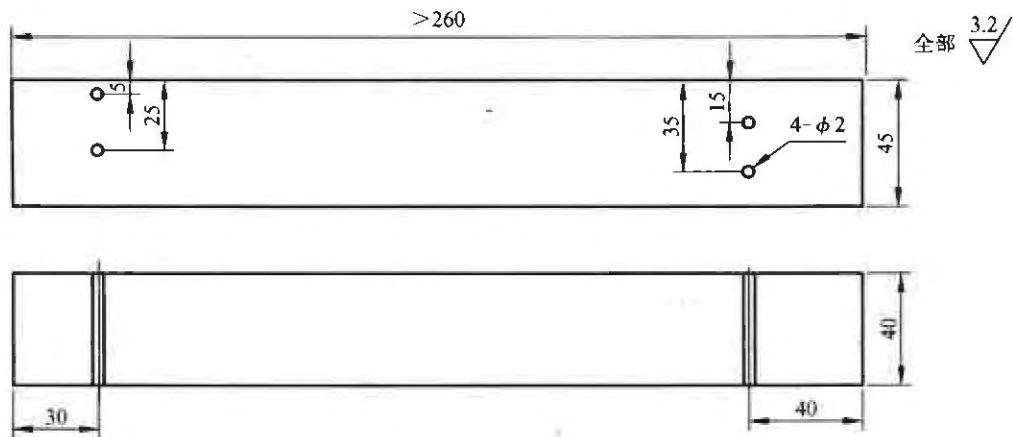


图 3 CSK-II A-1 试块

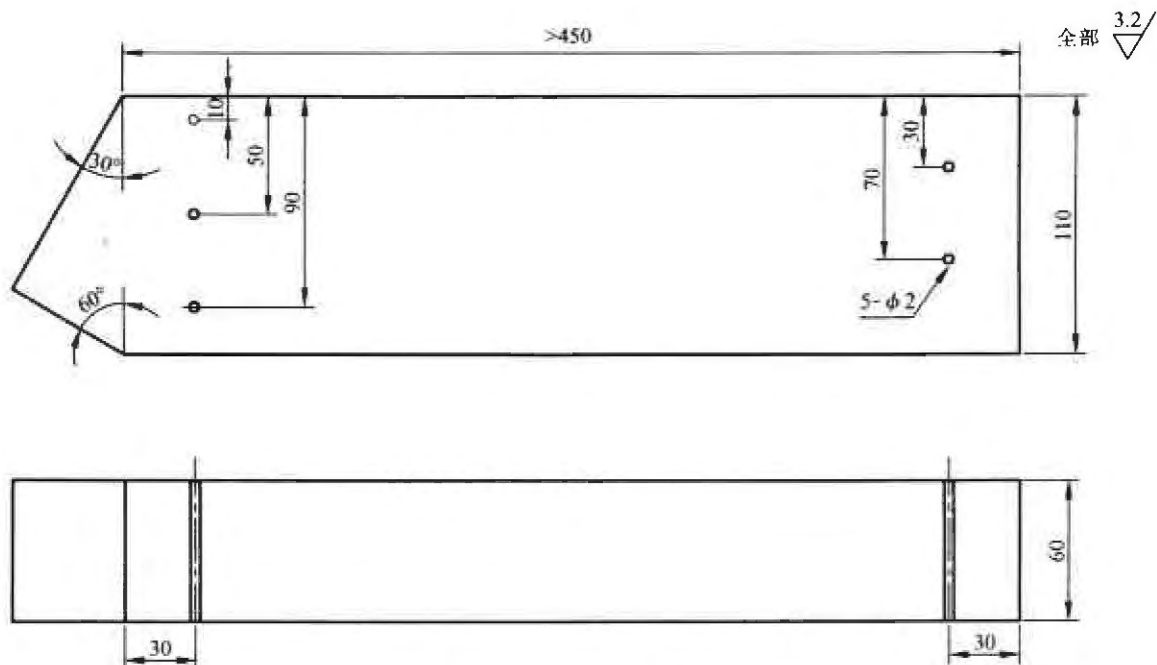


图 4 CSK-II A-2 试块



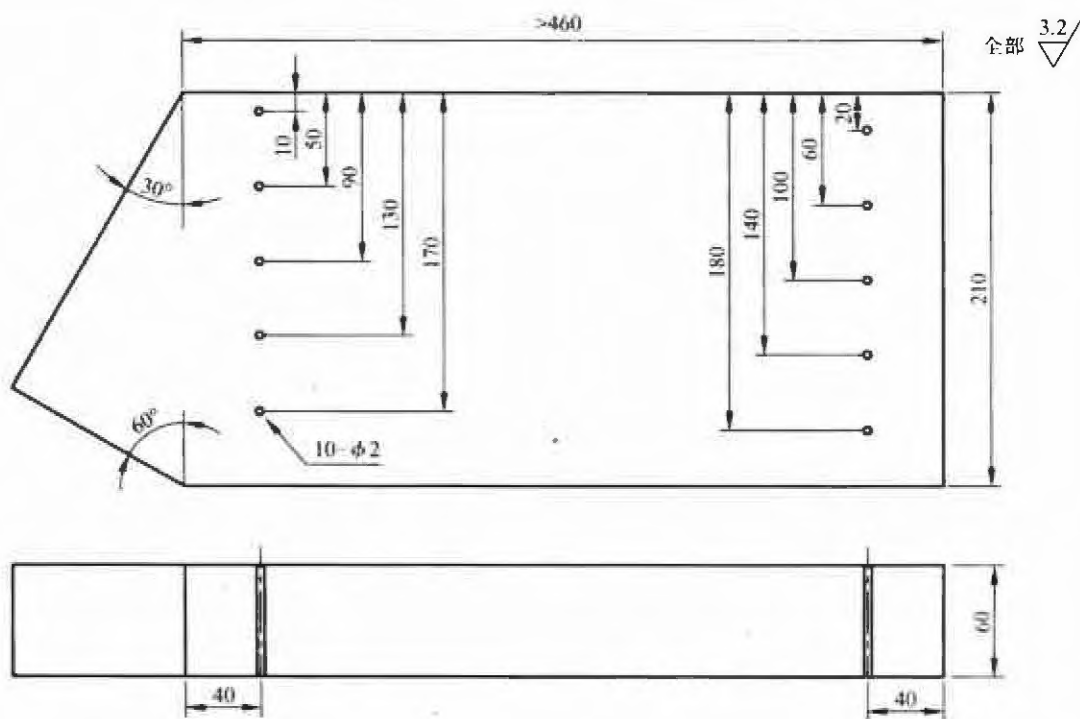


图 5 CSK-II A-3 试块

CSK-II A-1、CSK-II A-2、CSK-II A-3 试块斜探头和直探头可供调节人工反射体深度位置见表 23。

表 23 CSK-II A 系列试块斜探头和直探头可供调节人工反射体深度位置 单位为 mm

试块编号	适用工件厚度范围	斜探头可调人工反射体深度	直探头可调人工反射体深度
CSK-II A-1	≥6~40	5、10、15、20、25、30、35、40、50、60、70、80 等	5、10、15、20、30、40
CSK-II A-2	>40~100	10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、120、130 等	10、20、30、40、50.98、70.98、101.60
CSK-II A-3	>40~200	10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、170、180、190、200 等	10、20、30、40、59.64、79.64、99.64、119.64、123.92、158.56、193.21

(5) CSK-IVA 系列试块的形状和尺寸

对于 CSK-IVA-1、CSK-IVA-2、CSK-IVA-3 试块，由于试块厚度较大，再加上人工反射体数量较多，故只有分别加大人工反射体在试块长度方向和深度方向上的间距才能避免相互影响。

如 CSK-IVA-1 试块，要避免不同深度的人工反射体加工的相互影响，试块就要做得很大，其试块的长度要超过 4m。

本部分给出了 CSK-IVA 试块推荐示意图，具体制作可按参考图 6~图 8 进行。另外，为减轻重量和使用方便，也可以把图 6~图 8 所示试块从正中间分开，利用端面反射对仪器和探头进行调试。

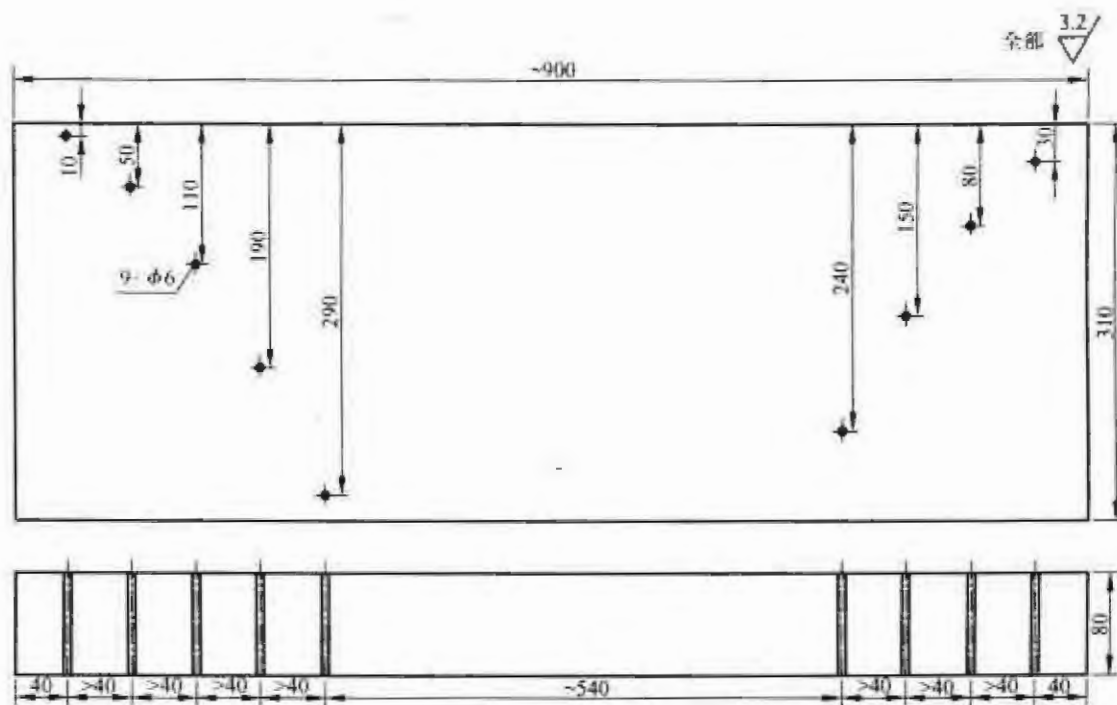


图 6 CSK-IVA-1 试块

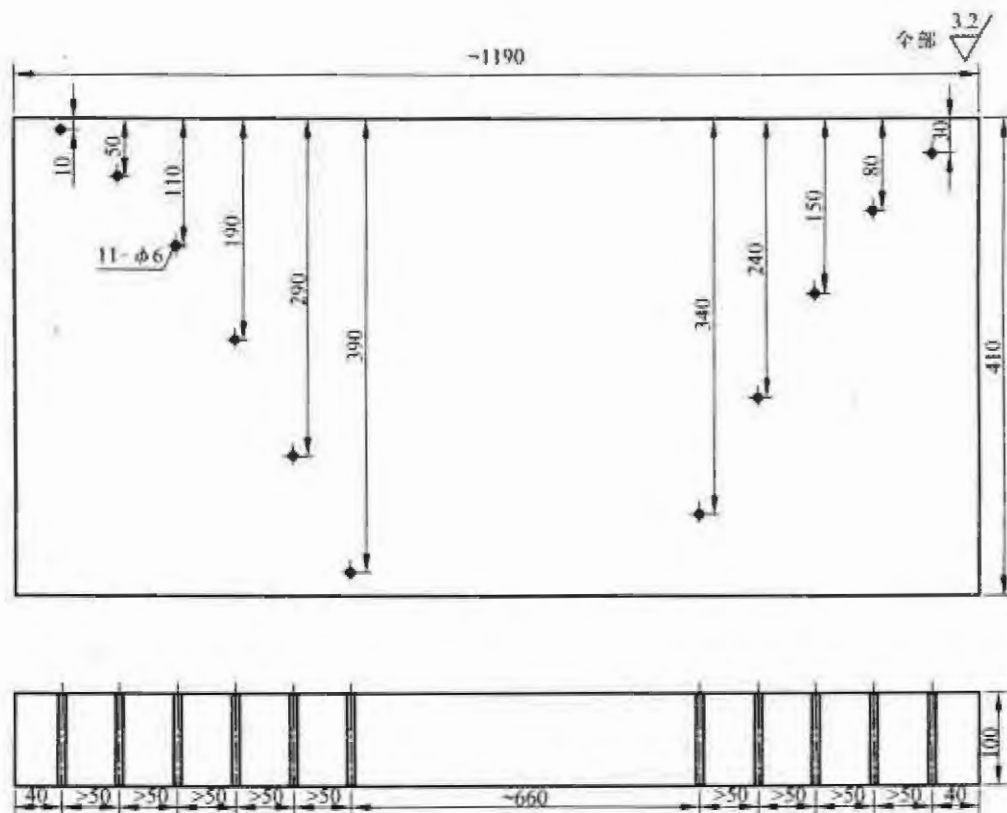


图 7 CSK-ⅣA-2 试块

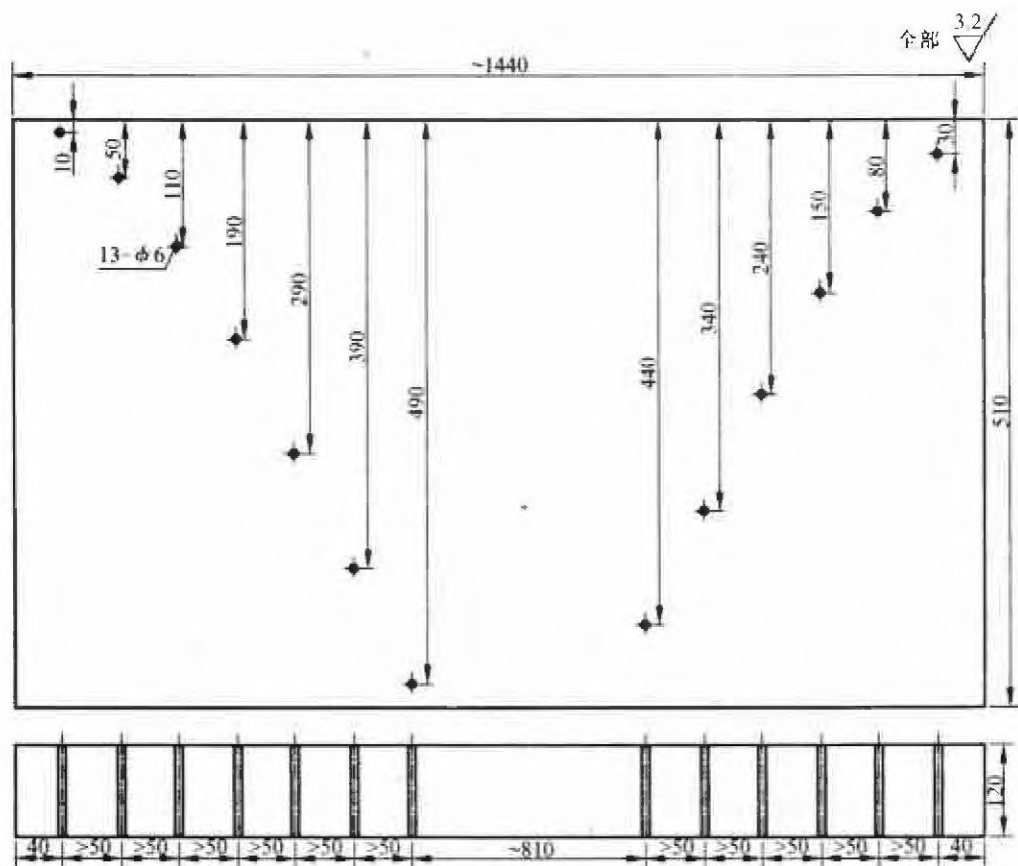


图 8 CSK-IVA-3 试块

CSK-IVA-1、CSK-IVA-2、CSK-IVA-3 试块斜探头和直探头可供调节人工反射体深度位置见表 24。

表 24 CSK-IVA 系列试块斜探头和直探头可供调节人工反射体深度位置 单位为 mm

试块编号	适用范围	斜探头可调人工反射体深度	直探头可调人工反射体深度
CSK-IVA-1	>200~300	10、20、30、40、50、70、80、110、150、190、240、290 等	10、20、30、40、50、70、80、110、120、150、160、190、200、230、240、260、280、290、300 等
CSK-IVA-2	>300~400	10、20、30、40、50、70、80、110、150、190、240、260、290、340、390 等	10、20、30、40、50、70、80、110、120、150、170、190、220、240、260、290、300、330、340、360、380、390、400 等
CSK-IVA-3	>400~500	10、20、30、40、50、70、80、110、120、150、190、240、290、340、390、440、490 等	10、20、30、40、50、70、80、110、120、150、170、190、220、240、260、270、290、320、340、360、390、400、430、440、460、480、490、500 等

4、关于检测区（6.3.4）

明确检测区由焊接接头宽度和焊接接头厚度表征，并规定检测区宽度应是焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm，检测区厚度应为工件厚度加上焊缝余高。超声检测应覆盖整个检测区，若增加检测探头数量或增加检测面（侧）还不能完全覆盖，应增加辅助检测，包括采用其他无损检测方法。



## 5、关于检测面（6.3.5）

### （1）探头移动区宽度

规定采用一次反射法检测时，探头移动区宽度应大于或等于  $1.25P$ ；采用直射法检测时，探头移动区宽度应大于或等于  $0.75P$ 。但适用的厚度范围是不同的，JB/T 4730.3—2005 对于工件厚度大于 46mm 的对接接头采用直射波法（一次波法），而本条则规定对接接头工件厚度大于 100mm 时采用直射波法。显然对于工件厚度大于 46mm～100mm 的对接接头，按本部分进行检测的探头移动区宽度要比 JB/T 4730.3—2005 要大很多。该条内容主要参考欧盟标准 EN 17640。

对于焊缝余高磨平的对接接头，移动区宽度最好在本条规定的基础上再包括检测面的焊缝宽度，以利于坡口未熔合等缺陷的检出，具体见图 9。

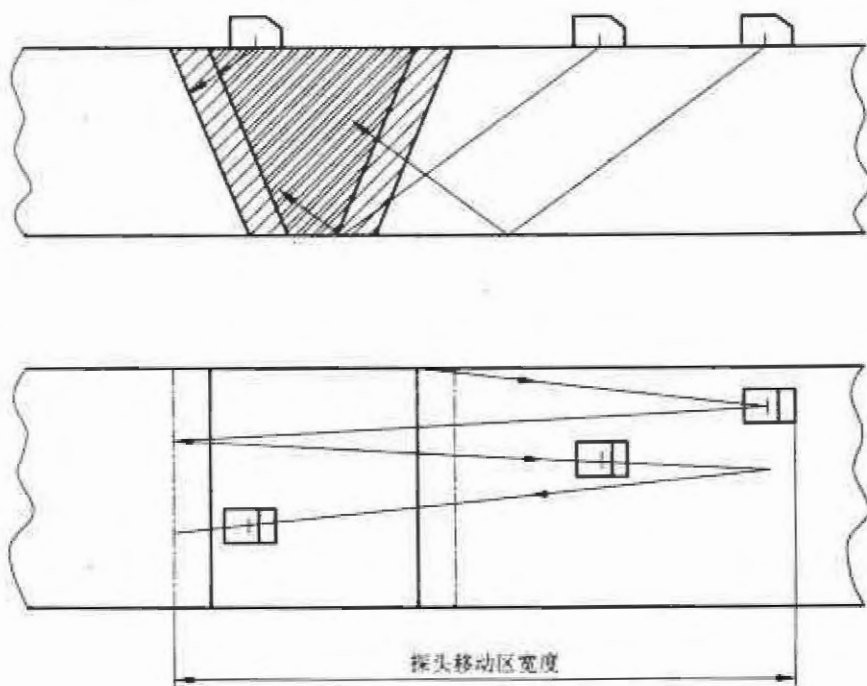


图 9 焊缝磨平时的探头移动区宽度示意图

### （2）检测面的要求

JB/T 4730.3—2005 规定“检测表面应平整，便于探头的扫查，其表面粗糙度  $R_a$  值应小于或等于  $6.3\mu\text{m}$ ，一般应进行打磨”。由于对焊接接头检测面表面粗糙度的要求太高，实际检测又很难达到这一要求，故本条规定“检测面应平整，检测面与探头楔块底面或保护膜间的间隙不应大于  $0.5\text{mm}$ ，其表面粗糙度  $R_a$  值应小于或等于  $25\mu\text{m}$ 。检测面一般应进行打磨”。

## 6、关于探头折射角（ $K$ 值）、标称频率（6.3.6）

不同工件厚度选用探头折射角大小的规定（推荐）基本上和 JB/T 4730.3—2005 一致，但本部分为和相关探头标准一致，即以角度优先。另外，当工件厚度很大时，如需要也可以使用探头折射角小于  $45^\circ$  的探头。探头标称频率一般为  $2\text{MHz}\sim 5\text{MHz}$ 。

本条还规定：采用一次反射法检测时，斜探头折射角（ $K$ 值）的选取应尽可能使主

声束与检测面相对的底面法线夹角在 35°~70°之间，当使用两种或两种以上折射角（K 值）探头检测时，应至少有一种折射角（K 值）的探头满足这一要求。主要是考虑到选用探头折射角角度较大时，反射后波束扩散很大，定位准确度下降；而当探头折射角角度较小时，会出现变型波，增加检测和缺陷判定难度。

7、关于仪器调节（6.3.8）

（1）距离-波幅曲线的灵敏度选择

本条规定用 CSK-II A 和 CSK-IV A 试块时，斜探头和直探头检测距离-波幅曲线的灵敏度是一样的。对于工件厚度  $t$  为 8mm~120mm 的焊接接头用斜探头检测时，用 CSK-IIIA 试块制作的距离-波幅曲线灵敏度按附录 O 的规定。

（2）CSK-II A 与 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度的比较（仅供参考）

测试用仪器：国产超声检测仪；

测试用探头：国产探头 2.5P13×13K2。

表 25 和表 26 为用 K2 探头在 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块测得不同深度人工反射体的回波幅度。

表 25 K2 探头在 CSK-II A 试块测得不同深度人工反射体的回波幅度

人工反射体 深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	53.3	50.2	46.5	42.1	38.7	35.6	34.0	32.3	30.7	29.0	27.0	25.5

表 26 K2 探头在 CSK-IIIA 试块测得不同深度人工反射体的回波幅度

人工反射体 深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	45.3	43.1	39.0	35.3	32.9	30.0	26.2	23.2	21.3	18.4	16.0	13.4

a) 当工件厚度  $t \geq 8\text{mm} \sim 15\text{mm}$  时，用 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度分别见表 27 和表 28，注意此时仪器调节的深度范围应为 0mm~30mm，灵敏度比较见图 10。由图 10 可以看到在检测厚度范围内，用 CSK-IIIA 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度比 CSK-II A 试块要高 2dB 左右，具体数字与探头折射角（K 值）、晶片尺寸、标称频率等有关；

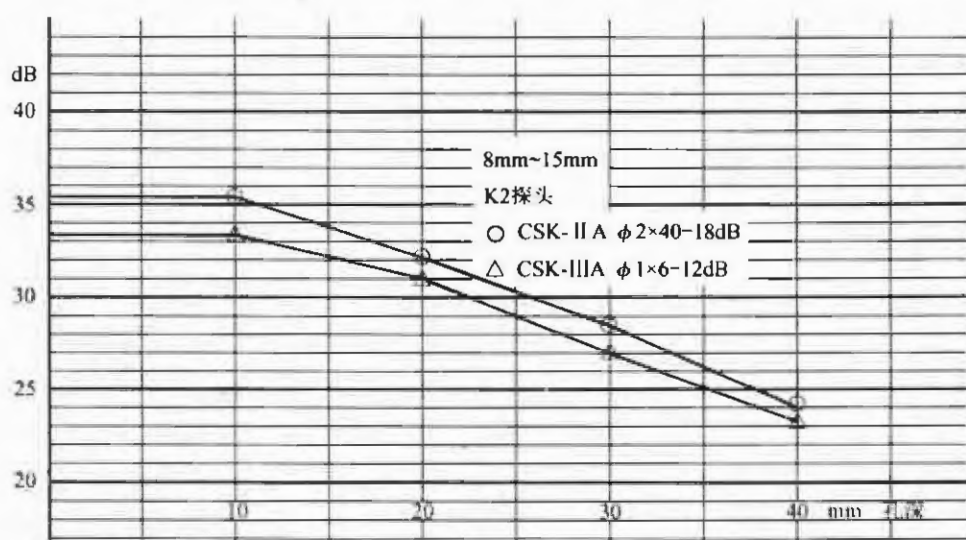
表 27 K2 探头在 CSK-II A 试块测得距离-波幅曲线灵敏度（ $t \geq 8\text{mm} \sim 15\text{mm}$ ）

人工反射体 深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	53.3	50.2	46.5	42.1	38.7	35.6	34.0	32.3	30.7	29.0	27.0	25.5
$\phi 2 \times 40-18\text{dB}$	35.3	32.2	28.5	24.1	20.7	17.6	16.0	14.3	12.7	11.0	9.0	7.5

表 28 K2 探头在 CSK-IIIA 试块测得距离-波幅曲线灵敏度（ $t \geq 8\text{mm} \sim 15\text{mm}$ ）

人工反射体 深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	45.3	43.1	39.0	35.3	32.9	30.0	26.2	23.2	21.3	18.4	16.0	13.4
$\phi 1 \times 6-12\text{dB}$	33.3	31.1	27.0	23.3	20.9	18.0	14.2	11.2	9.3	6.4	4.0	1.4

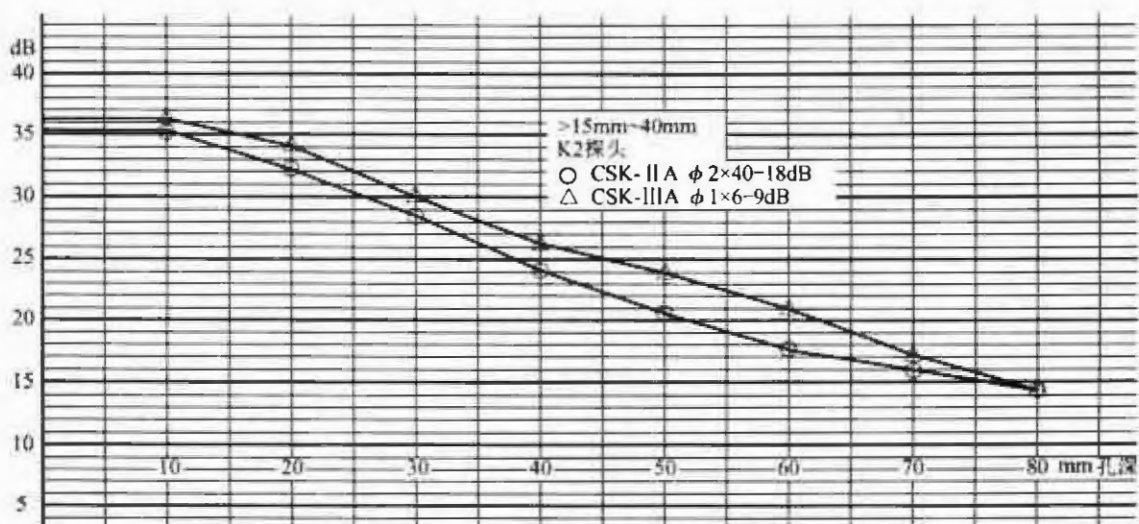


图 10  $t \geq 8\text{mm} \sim 15\text{mm}$  时 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度比较图

- b) 当工件厚度  $t > 15\text{mm} \sim 40\text{mm}$  时, 用 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度分别见表 27 和表 29, 此时仪器调节的深度范围应为  $0\text{mm} \sim 80\text{mm}$ , 灵敏度比较见图 11。由图 11 可以看到, 在检测厚度范围内, 用 CSK-II A 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度比 CSK-IIIA 试块要高  $0\text{dB} \sim 3.5\text{dB}$ ;

表 29 K2 探头在 CSK-IIIA 试块测得距离-波幅曲线灵敏度 ( $t > 15\text{mm} \sim 40\text{mm}$ )

人工反射体深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	45.3	43.1	39.0	35.3	32.9	30.0	26.2	23.2	21.3	18.4	16.0	13.4
$\phi 1 \times 6-9\text{dB}$	36.3	34.1	30.0	26.3	23.9	21.0	17.2	14.2	12.3	9.4	7.0	4.4

图 11  $t > 15\text{mm} \sim 40\text{mm}$  时 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度比较图

- c) 当工件厚度  $t > 40\text{mm} \sim 100\text{mm}$  时, 用 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块测得的距离-



波幅曲线灵敏度分别见表 30 和表 31。按本部分的规定，此时仪器调节的深度范围应为 0mm~200mm，而 CSK-IIIA 试块人工反射体最大深度为 140mm，也就是说，此时用该试块可检测工件厚度最大为 70mm 的焊接接头，实际上，对于深度为 120mm 及以上的横孔在 CSK-IIIA 试块上已很难测出。灵敏度比较见图 12。由图 12 可以看到在检测厚度范围内，在人工反射体深度 0mm~70mm 之间，用 CSK-II A 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度，比 CSK-IIIA 试块要高 0dB~2.5dB；在孔深大于 70mm~120mm 时，用 CSK-II A 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度，比 CSK-IIIA 试块要低 0dB~4.1dB。此外由于人工反射体类型的不同，随人工反射体深度增大，两种试块灵敏度相差数值也在增大，即 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度相对越来越高；

表 30 K2 探头在 CSK-II A 试块测得距离-波幅曲线灵敏度（ $t>40\text{mm}\sim100\text{mm}$ ）

人工反射体深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	53.3	50.2	46.5	42.1	38.7	35.6	34.0	32.3	30.7	29.0	27.0	25.5
$\phi 2\times 40-14\text{dB}$	39.3	36.2	32.5	28.1	24.7	21.6	20.0	18.3	16.7	15.0	13.0	11.5

表 31 K2 探头在 CSK-IIIA 试块测得距离-波幅曲线灵敏度（ $t>40\text{mm}\sim100\text{mm}$ ）

人工反射体深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	45.3	43.1	39.0	35.3	32.9	30.0	26.2	23.2	21.3	18.4	16.0	13.4
$\phi 1\times 6-6\text{dB}$	39.3	37.1	33.0	29.3	26.9	24.0	20.2	17.2	15.3	12.4	10.0	7.4

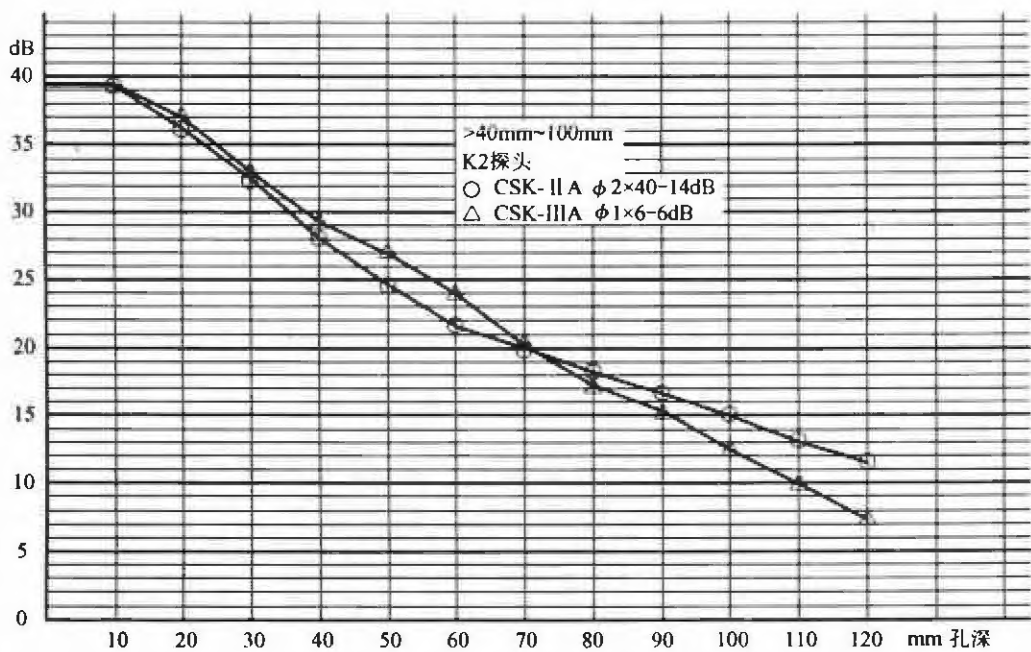


图 12  $t>40\text{mm}\sim100\text{mm}$  时 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度比较图

d) 当工件厚度  $t>100\text{mm}\sim120\text{mm}$  时，用 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块测得的距离-

波幅曲线灵敏度分别见表 32 和表 31，此时仪器调节的深度范围应为 0mm~120mm。灵敏度比较见图 13。由图 13 可以看到在检测厚度范围内，用 CSK-II A 试块测得的距离-波幅曲线灵敏度，比 CSK-IIIA 试块要低 1.6dB~7.1dB，并且随人工反射体深度增大，两种试块灵敏度相差数值也越大。

表 32 K2 探头在 CSK-II A 试块测得距离-波幅曲线灵敏度 ( $t > 100\text{mm} \sim 120\text{mm}$ )

人工反射体 深度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
回波幅度/dB	53.3	50.2	46.5	42.1	38.7	35.6	34.0	32.3	30.7	29.0	27.0	25.5
$\phi$ 2×40-10dB	43.3	40.2	36.5	32.1	28.7	25.6	24.0	22.3	20.7	19.0	17.0	14.5

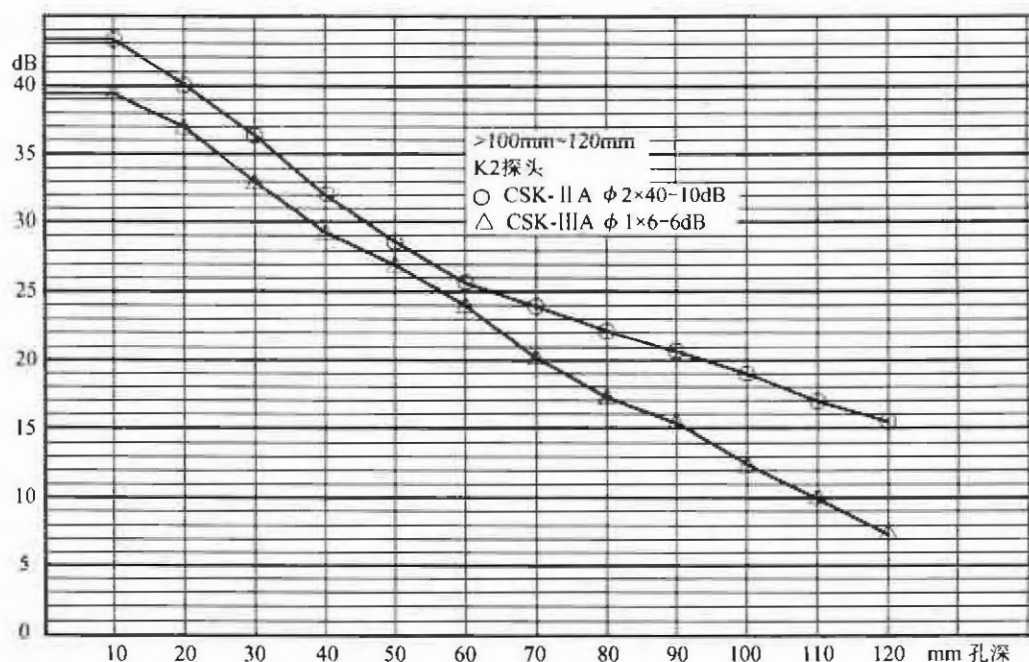


图 13 工件厚度  $t > 100\text{mm} \sim 120\text{mm}$  时 CSK-II A 和 CSK-IIIA 试块距离-波幅曲线灵敏度比较图

### (3) 扫查灵敏度

JB/T 4730.3—2005 规定“扫查灵敏度不低于最大声程处的评定线灵敏度”，对于现在使用的数字超声仪或者在仪器上作面板曲线的检测情况，评定线灵敏度在检测范围内各个声程处是一样的。因此，本条规定了扫查灵敏度不低于评定线灵敏度。另外，为了使缺陷波高度不至于太低而造成漏检，还规定在检测范围内最大声程处评定线的高度不应低于荧光屏满刻度的 20%。

### (4) 横向缺陷的检测

JB/T 4730.3—2005 规定检测横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB，但没有明确对横向缺陷评定时的灵敏度是否提高 6dB。因此，本条规定检测和评定横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB。



## 8、关于检测面曲率半径小于 250mm 对接接头的超声检测（6.3.10）

### （1）采用与检测面曲率相同对比试块调节灵敏度

检测曲面工件时，如检测面曲率半径  $R \leq W^2/4$  时（ $W$  为探头接触面宽度，环缝检测时  $W$  为探头宽度，纵缝检测时  $W$  为探头长度），应采用与检测面曲率相同的对比试块，反射孔的位置可参照对比试块确定。因此，对于曲面工件曲率半径较小时，应尽可能选用尺寸较小的探头，以避免出现检测面曲率半径  $R \leq W^2/4$  的情况，否则会增加对比试块的数量。

### （2）曲面纵向对接接头检测

JB/T 4730.3—2005 只给出了曲面纵向对接接头检测的原则要求，本条除原则要求外还增加了具体检测要求，即附录 J “承压设备曲面纵向对接接头的超声检测方法”。

### （3）曲面环向对接接头检测

JB/T 4730.3—2005 只给出了曲面纵向对接接头检测的原则要求，本条除原则要求外还增加了具体检测要求，即附录 K “承压设备曲面环向对接接头的超声检测方法”。

## 9、关于接管与筒体（或封头）角接接头超声检测方法（6.3.11）

### （1）JB/T 4730.3—2005 存在的不足：

- a) 适用范围小，仅适用于大口径（内径  $>200\text{mm}$ ）管座角焊缝的超声检测；
- b) 规定检测方式的选择由合同双方商定，执行起来是有困难的，也存在一定的随意性；
- c) 没有检测技术等级的要求，即应该针对不同技术等级有不同的检测方式组合；
- d) 没有横向缺陷检测的要求；
- e) 没有明确规定检测灵敏度所依据的工件厚度，同样也没有明确检测质量等级所依据的工件厚度。

### （2）针对 JB/T 4730.3—2005 存在的以上问题，本部分进行了修订，并作为附录 L。

## 10、关于 T 型焊接接头超声检测方法（6.3.12）

### （1）JB/T 4730.3—2005 存在的不足：

- a) 适用范围小，规定仅适用于厚度  $6\text{mm} \sim 50\text{mm}$  的锅炉、压力容器全熔化焊 T 型焊接接头的超声检测；
- b) 规定检测方式的选择应由合同双方商定，执行起来是有困难的，也存在一定的随意性；
- c) 没有检测技术等级的要求，即应该针对不同技术等级有不同的检测方式组合；
- d) 没有横向缺陷检测的要求。

### （2）针对 JB/T 4730.3—2005 存在的以上问题，本部分进行了修订，并作为附录 M。

## 11、关于缺陷定量（6.3.13）

本条规定当缺陷波幅达到或超过评定线时，应确定其位置、波幅和指示长度等。不同于 JB/T 4730.3—2005，后者规定对所有反射波幅达到或超过定量线的缺陷，均应确定



其位置、最大反射波幅和缺陷当量。

## 12、关于缺陷评定（6.3.14）

本条对相邻缺陷的评定规则是沿缺陷长度方向相邻的两缺陷，其长度方向间距小于其中较小的缺陷长度且两缺陷在与缺陷长度相垂直方向的间距小于 5mm 时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其指示长度（间距计入）。如果两缺陷在长度方向投影有重叠，则以两缺陷在长度方向上投影的左、右端点间距离作为其指示长度。

而 JB/T 4730.3—2005 对相邻缺陷的评定规则是相邻两缺陷在一直线上，其间距小于其中较小的缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其指示长度（间距不计入缺陷长度）。即本条规定相邻缺陷如果满足作为一条缺陷处理的条件，其相邻间距也应计入总长度，不然对相邻缺陷评判意义不大，国外相关标准如欧盟 EN 11666: 2010、日本 JIS Z 3060: 2002 都规定间距计入总长。

另外，对一条直线上相邻缺陷的空间距离给出了规定。JB 1152—81 标准对相邻缺陷规定为：相邻两缺陷各向间距小于 8mm 时，两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度；欧盟 EN 11666: 2010 规定相邻缺陷的空间距离达到工件厚度的一半但最大不超过 10mm 时，两缺陷指示长度之和再加上间距作为单个缺陷的指示长度。

## 【NB/T 47013.3】【6.4 承压设备 II 型焊接接头超声检测方法】释义

### 1、关于范围（6.4.1）

（1）所谓 II 型焊接接头，是指符合本部分表 29 的钢制承压设备焊接接头，主要内容基本上与 JB/T 4730.3—2005 第 6 章“承压设备管子、压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级”一致。

（2）对于工件厚度、检测面直径符合本部分表 29 范围内的铝及铝合金制承压设备管子和压力管道环向对接接头超声检测方法和质量分级可参照本条执行。

（3）本条不适用于奥氏体不锈钢及奥氏体-铁素体双相不锈钢压力管道环向对接接头的超声检测。对于外径  $\geq 159\text{mm}$  的奥氏体不锈钢或奥氏体-铁素体双相不锈钢制承压设备环向对接焊接接头的超声检测可参照附录 I “奥氏体不锈钢对接接头超声检测方法和质量分级”执行。

### 2、关于对比试块（6.4.2）

（1）和 JB/T 4730.3—2005 所用 GS 试块相比，增加了 R25 和 R50 两个圆弧反射面。

可以较准确地获得弧面探头-仪器零点或探头的前沿距离，进而可以精确测得探头的折射角（K 值）。

（2）如实际检测工作需要，可添加适用不同曲率和厚度范围的试块。

### 3、关于缺陷定量（6.4.7）

由于本部分规定了反射波幅 I 区的缺陷也需进行质量评级，因此缺陷波幅达到或超过评定线的缺陷应进行定量。

#### 4、关于缺陷评定（6.4.8）

与 JB/T 4730.3—2005 不同，本条规定相邻两缺陷在一直线上，其间距小于其中较小的缺陷指示长度时，应作为一条缺陷处理，此时以两缺陷指示长度之和再加上缺陷间距作为其单个缺陷的指示长度。

### 【NB/T 47013.3】【6.5 质量分级】释义

#### 1、关于焊接接头质量分级原则

与 JB/T 4730.3—2005 不同，本条关于焊接接头的质量分级分为三个部分，即锅炉及压力容器本体焊接接头质量分级、锅炉和压力容器管子环向或纵向焊接接头质量分级、压力管道环向或纵向焊接接头质量分级等，把锅炉和压力容器管子环向或纵向焊接接头超声检测的质量分级单独出来，主要考虑到管子环向或纵向焊接接头的超声检测及质量等级要求应尽可能和其所在的锅炉或压力容器的焊接接头超声检测质量分级相接近。

#### 2、关于锅炉、压力容器本体焊接接头的质量分级（6.5.1）

与 JB/T 4730.3—2005 相比较，本部分关于锅炉及压力容器焊接接头质量分级的主要变化：

（1）反射波幅在Ⅰ区的非危害性缺陷参与了质量分级，即在各个质量等级中对其允许的最大指示长度给予了规定。

随着各种检测技术的不断发展和应用，焊接接头中缺陷的检出能力和检出率有了很大的提高。从实际情况来看，对同一个缺陷用不同检测方法或检测技术进行检测，缺陷是否能被检出或被检出的尺寸会存在一定差别，有时甚至会差异很大。就不同检测方法或检测技术本身来说，这些差异是正常的，因为不同的检测方法或检测技术对缺陷的定量方法是有区别的，如射线检测能确定缺陷的长度或数量等，常规超声检测能确定缺陷的反射波幅、长度、深度位置、自身高度等，TOFD 检测能确定缺陷的长度、数量、深度位置、自身高度等。为尽可能使缺陷定量尺寸的评判与其他检测方法或技术接近，故本条对反射波幅在Ⅰ区的缺陷也要求参与评定，并对其尺寸大小给予了适当限制。

（2）本条规定评定线以下的缺陷均评为Ⅰ级，主要基于以下理由：

- a) 反射波幅较低（各个方向），一定程度上表示缺陷尺寸较小；
- b) 反射波幅较低（各个方向），一般很难对缺陷类型或性质进行判断；
- c) 本部分已经规定在检测和评定横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB，也在一定程度上考虑到了横向缺陷检出的重要性。

#### 3、关于锅炉、压力容器管子环向或纵向焊接接头的质量分级（6.5.2）

（1）锅炉、压力容器管子环向或纵向焊接接头质量分级为新增内容。

（2）反射波幅在Ⅰ区的非危害性缺陷参与了质量分级，即在各个质量等级中对其允许的最大指示长度给予了规定。

（3）本部分质量分级（见本部分表 34）中没有多个缺陷累计长度最大值的要求，

主要是已经规定：相邻两缺陷在一直线上，其间距小于其中较小的缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其单个缺陷指示长度，间距计入缺陷总长度。

#### 4、关于压力管道环向或纵向焊接接头质量分级（6.5.3）

（1）明确压力管道纵向焊接接头不允许存在裂纹、未熔合和未焊透等缺陷。

（2）反射波幅在Ⅰ区的焊接接头内部缺陷参与了质量分级，即在各个质量等级中对其允许的最大指示长度给予了规定。

## 第7章 承压设备厚度的超声测量方法

### 【NB/T 47013.3】【7.1 范围】释义

（1）本章主要参考 JB 4730—94 “压力容器无损检测”、GB/T 11344—2008《无损检测 接触式超声脉冲回波法测厚方法》和 EN 14127: 2004《无损检测 测厚方法》等制订。

（2）本章还规定了堆焊层厚度的测量方法。

### 【NB/T 47013.3】【7.3 测量仪器】释义

#### 1、关于测量仪器及测量精度（7.3.1）

（1）厚度测量仪器包括超声检测仪、带 A 扫描显示数字式测厚仪和数字式测厚仪。

（2）根据被测工件厚度范围、表面状况、材质及测量精度要求等选用。

（3）超声检测仪一般适用于壁厚大于 200mm 承压设备的厚度测定，测量精度通常为±1mm；带 A 扫描显示数字式测厚仪和数字式测厚仪。一般适用于壁厚小于 200mm 承压设备的厚度测定，测量精度通常为±(0.5% $t$ +0.05) mm。

#### 2、关于工件内部的缺陷或不连续性（7.3.2、7.3.3、7.3.4）

当被检工件存在内部缺陷或不连续性时，无论是用超声检测仪、带 A 扫描显示数字式测厚仪还是数字式测厚仪，均可显示测量情况的变化。但如需对工件内部缺陷或不连续性进行合格性判断，应按本部分第 5 章规定的检测方法对工件母材进行检测。

### 【NB/T 47013.3】【7.4 探头】释义

（1）超声测厚通常采用直接接触式单晶直探头，也可采用带延迟块的单晶直探头和双晶直探头。

（2）高温（大于或等于 60℃）或低温（低于-20℃）试件的壁厚测定需用特殊探头，并应考虑由于温度范围的变化所造成被测材料声速的变化。



**【NB/T 47013.3】【7.5 校准试块】释义**

(1) 校准试块的基本要求和尺寸见本部分图 25。

(2) 校准试块的声速一般应与被测材料声速相同或相近 ( $\pm 50\text{m/s}$ )。

(3) 在符合测量精度条件下,也可采用其他试块对仪器进行校准,如本部分板材、碳钢及低合金钢锻件检测用试块,或者 CSK-I A、CSK-II A、CSK-IIIA、CSK-IVA 试块。

**【NB/T 47013.3】【7.7 仪器校准】释义**

(1) 仪器校准一般应与被测材料声速相同或相近的试块上进行。

(2) 采用阶梯试块,分别在厚度接近待测厚度的最大值和待测厚度的最小值(或待测厚度最大值的 1/2)的试块上进行校准。

**【NB/T 47013.3】【7.10 奥氏体不锈钢、镍合金等堆焊层厚度的超声测量】释义****1、关于测量方法(7.10.1)**

堆焊层厚度一般使用单晶直探头从基材侧进行测量,或使用双晶直探头从堆焊层侧进行测量,也可使用其他有效方法进行测量。

**2、关于测量仪器和探头(7.10.2)**

1) 测厚仪器一般为 A 型脉冲反射式超声检测仪,在保证测量数据有效的前提下,也可以使用其他类型带 A 型显示的超声检测仪。

2) 双晶直探头的声束会聚区深度应根据待测堆焊层厚度选定,两晶片间隔声效果应保证良好;选用单晶直探头时一般应使用窄脉冲探头,此时标称频率推荐为 4MHz~5MHz。

**3、关于对比试块(7.10.4)**

(1) 从堆焊层侧进行厚度测量时,可采用本部分图 26 所示的试块;从基材侧进行测量时,可采用本部分图 27 所示的试块。

(2) 在保证测量精度的前提下,也可以使用其他类型的试块;如测量精度要求不高,也可从基材侧利用底面回波与界面(堆焊层与基材)回波声程差,再考虑堆焊层声速与基材声速不同的影响来估测堆焊层厚度。

**4、关于堆焊层厚度测量(7.10.5)**

(1) 用双晶直探头在堆焊层侧进行测量时,应使用本部分图 26 所示的试块。调节仪器增益,使试块堆焊层与基材界面回波的波幅为荧光屏满刻度的 50%,读出此时每个堆焊层厚度的显示值,并与试块堆焊层厚度值进行比较,可以得出不同阶梯部位堆焊层厚度显示值与试块堆焊层厚度值的比值。在堆焊前应测得基材厚度值,用堆焊后试块的每个阶梯的总厚度(用游标卡尺或其他工具测得)减去基材厚度值即为每个阶梯部位的

实际堆焊层厚度值。

(2) 用单晶直探头在基材侧进行测量时, 应使用本部分图 27 所示的试块。调节仪器增益, 使试块基材与堆焊层界面回波的波幅为荧光屏满刻度的 50%, 读出此时每个基材厚度的显示值和相应底波的显示值, 将二者的差值逐一与试块堆焊层厚度值进行比较, 可以得出不同阶梯部位堆焊层厚度显示值与试块堆焊层厚度值的比值; 将单晶探头置于工件的基材表面, 调节仪器增益, 使试块堆焊层与基材界面回波的波幅为荧光屏满刻度的 50%, 读出此时工件基材厚度的显示值和相应底波的显示值, 二者差值为工件堆焊层厚度的显示值。

## 第 8 章 在用承压设备超声检测方法

### 【NB/T 47013.3】【8.1 范围】释义

(1) 对在用承压设备进行超声检测时, 增加了根据使用过程中可能造成主体材料、零部件或焊接接头的失效模式, 或者风险评估 (RBI) 的分析结果等推荐选择超声检测技术、检测部位和检测比例。

(2) 根据在用承压设备检验检测的需要, 增加了缺陷类型确定方法的内容。

### 【NB/T 47013.3】【8.2 在用承压设备受压元件的超声检测方法】释义

#### 1、关于在用承压设备受压元件的超声检测工艺文件 (8.2.1)

在制定在用承压设备受压元件的超声检测工艺文件时, 除应满足 4.3 的要求外, 还应列入待检受压元件所涉及的包括本部分表 1、表 2 和表 37 所列相关因素。

#### 2、关于受压元件 (8.2.1)

受压元件是指锅炉本体上的锅筒、集箱、下降管、水冷壁管、封头、人孔等, 压力容器本体上的壳体、封头 (端盖)、膨胀节、设备法兰, 球罐的球壳板, 热交换器的管板和换热管, M36 以上 (含 M36) 的设备主螺柱以及接管和管法兰, 压力管道上的管子及管道元件等。

本条以“受压元件”替代 JB/T 4730.3—2005 的“原材料、零部件”。在用检测时, 制造或安装时的原材料零部件已经作为承压设备使用时的一个或若干受压元件形式存在。而在使用过程中, 这些受压元件会受到介质、温度、压力等影响。

#### 3、关于在用承压设备受压元件超声检测要点 (8.2.2)

(1) 增加了材料失效模式或风险评估分析结果选择超声检测技术的内容

对在用承压设备受压元件进行超声检测时, 应根据设备材质、制造技术条件、使用

状况（温度、压力、介质、工况等）、材料失效模式或风险评估分析结果及相关技术规范等选择超声检测技术、部位和比例。根据材料失效模式或风险评估分析结果、缺陷产生的可能性推荐选择超声检测技术见本部分表 38。

（2）增加了小角度纵波斜探头检测螺纹根部裂纹的技术内容

在螺栓或螺柱端部采用纵波斜探头进行检测，斜探头的纵波折射角一般取  $2^{\circ} \sim 8.5^{\circ}$ ，标称频率为 4MHz~5MHz。纵波斜探头一般适用于无中心孔螺栓的检测。可将螺栓的丝扣反射波幅调节到某一基准波高并以此作为扫查灵敏度。

### 【NB/T 47013.3】【8.3 在用承压设备厚度超声测量】释义

#### 1、关于范围（8.3.1）

本条关于在用承压设备厚度的超声测量是对第 7 章的补充，为新增内容。

#### 2、关于测量仪器的选择（8.3.2）

（1）对于均匀腐蚀，一般可使用数字式测厚仪进行测量。当表面腐蚀严重或表面涂层较厚时，应使用超声检测仪进行厚度测量。

（2）当需要在给定区域内测出最小壁厚时，一般应使用超声检测仪进行扫查。

（3）对于非均匀腐蚀如点蚀等，一般应使用超声检测仪进行厚度测量。

#### 3、关于探头的选择（8.3.3）

（1）应根据仪器类型、工件厚度、表面状况等选择探头。

（2）数字式测厚仪的探头一般和仪器配套固定使用。用于超声检测仪的探头应根据以下情况选择：

- a) 选择的探头标称频率应使待测工件厚度至少大于 1.5 倍声波波长；
- b) 被测工件厚度大于或等于 10mm 时，一般用单晶直探头进行测厚。被测工件厚度小于 10mm 时，可用双晶直探头进行测厚；
- c) 对曲面工件进行测厚时，应选择晶片尺寸较小的探头。

### 【NB/T 47013.3】【8.4 在用承压设备焊接接头的超声检测】释义

#### 1、关于在用承压设备焊接接头超声检测工艺文件（8.4.2）

在制定在用承压设备焊接接头的超声检测工艺文件时，除应满足本部分 4.3 的要求外，还应列入待检焊接接头所涉及的包括本部分表 1、表 21 和表 39 所列相关因素。

#### 2、关于在用承压设备焊接接头超声检测要点（8.4.3）

增加了按照材料失效模式或风险评估分析结果选择超声检测技术的内容：对在用承压设备焊接接头进行超声检测时，应根据设备材质、制造技术条件、使用状况（温度、压力、介质、工况等）、材料失效模式或风险评估分析结果及相关技术规范等选择超声检测部位和比例；根据材料失效模式或风险评估分析结果、缺陷产生的可能性推荐选择



超声检测技术见本部分表 40。

### 3、关于风险评估（又称为基于风险的检验）

#### （1）RBI 的背景

20 世纪 90 年代中期后，欧美发达国家率先将风险评估方法应用到石化企业尤其是炼油厂的承压设备检验与维修中，取得了良好的效果。在 21 世纪初的前两年中，美国石油学会先后颁布了 API RP 580《基于风险的检验》与 API RP 581《基于风险的检验方法》两个文件，为各国开展石化装置的 RBI 工作提供了一个可供参考的基础平台。

20 世纪末期我国有关单位引入了 RBI，主要以合肥通用机械研究院和中国特种设备检测研究院为代表，为此国家科技部与中国石化设立多项科研课题支持这项工作。另外，国外一些相关技术机构也纷纷与国内相关单位合作开展 RBI 工作。

#### （2）RBI 的意义

为解决装置长周期生产运行与锅炉、压力容器、压力管道等承压设备定期检验之间的矛盾，引入基于风险的检验这一管理方式。

相对于 RBI 来说，传统的定期检验未能将承压设备经济性、安全性以及可能存在的失效风险有机地结合起来，定期检验的频率、程度与受检设备的风险关联性不大。传统的检验并不是系统地针对高风险设备或设备的高风险部位进行。然而，运行的经济性要求延长每次停机检验的间隔周期。因此随着检验检测、诊断技术的发展和设备多年的运行管理经验，一种全新的基于风险的检验概念被引入大中型石化能源工业上，用于提高设备运行的可靠性，降低检验成本，并经过实践证明是一种高效的风险分析工具。

#### （3）RBI 的应用过程

RBI 分析过程主要是通过对整套装置或装置中具体的承压设备风险的计算与排序、失效模式的确定、失效机理与部位的分析及检验检测方法选择等内容综合形成一种优化的检验策略。

##### a) 风险评析

首先对装置的物流、设备等数据进行详细的收集整理后，按照 API 580、API 581 的要求，利用相关软件评估系统计算该装置的风险。为了便于评价及认识，装置可按照工艺功能区划分为若干个工段，最后采用 5×5 矩阵作为风险排序的输出格式。

##### b) 失效模式与损伤机理分析

根据装置的物流（介质）及设备的材料、操作温度、操作压力等条件进行分析计算，确定装置设备和管线失效模式，进而确定损伤机理。

##### c) 检验策略

所谓 RBI 检验策略就是要解决对设备进行检验时查什么、在哪里查、用什么方法查、多长时间查一次等四方面的问题。本质上就是依据设备各部件不同的损伤机理和失效概率制定科学的有针对性的检验方案，既要减少不必要的检验项目，又要有效降低设备的失效可能性。

#### （4）RBI 应用实例

下面简单介绍某研究院对某石化厂催化裂化装置的 RBI 分析结果。

- a) 该装置承压设备基本情况  
该装置共有 102 台压力容器，353 条压力管道。
- b) 风险评估结果  
i) 102 台压力容器风险矩阵图（见图 14），通过对设备本身制造及既往检验状况、运行的工艺参数等分析出该台容器所处风险级别的高低。

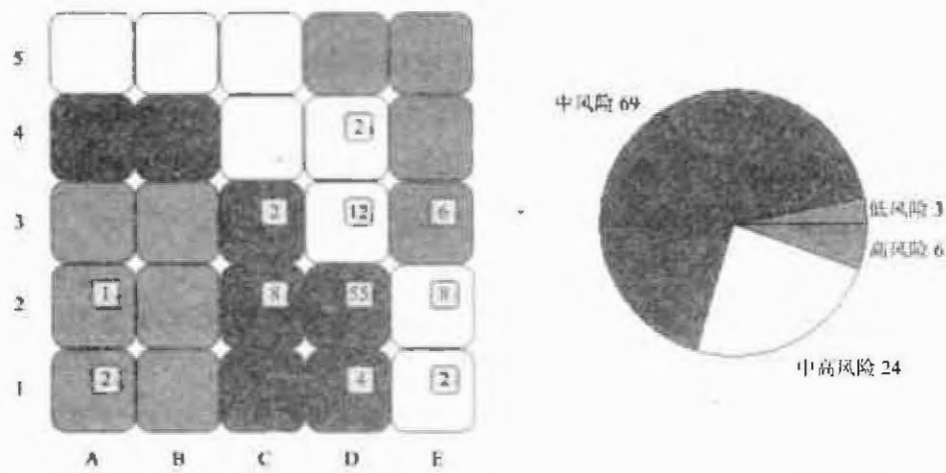


图 14 催化裂化装置压力容器风险矩阵图

- ii) 353 条压力管道风险矩阵图（见图 15），通过对管道本身制造及既往检验状况、运行的工艺参数等分析出该条管道所处风险级别的高低。

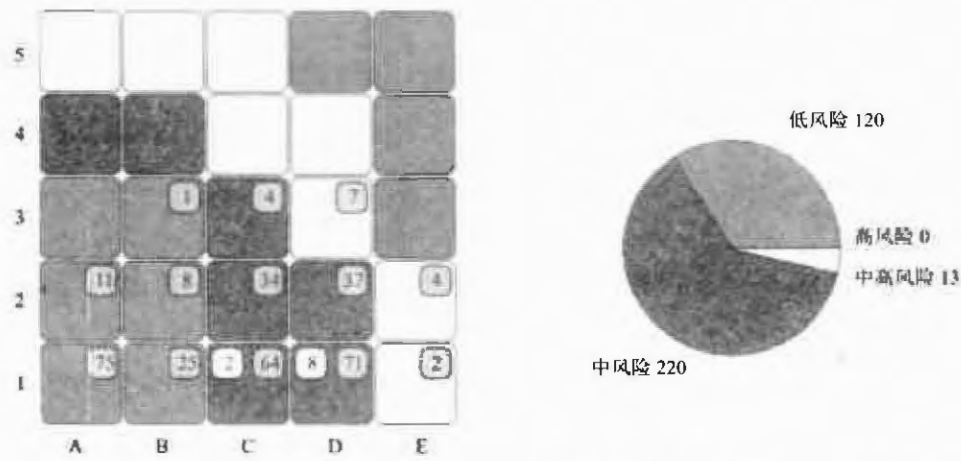


图15 催化裂化装置压力管道风险矩阵图

- iii) 该装置再吸收塔（T403）检验策略。通过对设备数据（见表 33）、设备部件数据（见表 34）、工艺数据（此处没有列出）等计算出该塔的风险矩阵图（见图 16）、损伤机理（见表 35）及检验策略（见表 36），进而通过检验策略指导该塔的检验检测工作。

表 33 T403 设备数据

设备位号	设备名称	设计压力	设计温度	介质	所在装置	工段号
T403	再吸收塔	1.46MPa	72℃	贫气	催化裂化	103

表 34 T403 设备部件数据

设备部件	材料	操作压力/MPa	操作温度/℃	流体代号	失效可能性等级	失效后果等级
T403-底部	16MnR	1.28	55	AQSH-2-26	3	D
T403-顶部	16MnR	1.28	43	AQSH-2-25	3	E
T403-筒体 1	16MnR	1.28	55	AQSH-2-13	3	D
T403-筒体 2	16MnR	1.28	55	AQSH-2-17	3	E

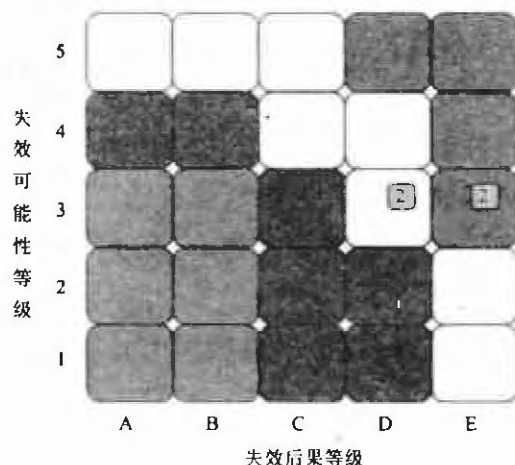


图 16 再吸收塔 (T403) 风险矩阵图

表 35 T403 损伤机理

损伤类别	主导损伤机理	敏感性评价或腐蚀速率/(mm/y)	部 件
外部腐蚀	保温层下腐蚀	0.0254	T403-底部
应力腐蚀开裂	氢致开裂/应力导向氢致开裂	中	T403-底部
外部腐蚀	保温层下腐蚀	0.0169	T403-顶部
应力腐蚀开裂	氢致开裂/应力导向氢致开裂	高	T403-顶部
外部腐蚀	保温层下腐蚀	0.0254	T403-筒体 1
应力腐蚀开裂	氢致开裂/应力导向氢致开裂	中	T403-筒体 1
外部腐蚀	保温层下腐蚀	0.0254	T403-筒体 2
应力腐蚀开裂	氢致开裂/应力导向氢致开裂	高	T403-筒体 2

表 36 T403 检验策略

设备部件	检验项目及比例								
	检验 年份/年	拆除保温	宏观 检查	测厚/点	磁粉/%	渗透/%	超声/%	射线/%	金相或 硬度
T403-底部	2009	10%	内外部	4~8	20~50	—	20	—	—
T403-顶部	2009	10%	内外部	8~16	20~50	—	20	—	—
T403-筒体 1	2009	10%	内外部	4~8	20~50	—	20	—	—
T403-筒体 2	2009	10%	内外部	8~16	20~50	—	20	—	—



#### 4、关于在用承压设备焊接接头超声检测缺陷定量（8.4.4）

与 JB/T 4730.3—2005 规定基本一致，即检测时应对反射波幅在评定线或评定线以上的缺陷进行定量，除按本部分 6.3.13 或 6.4.7 确定的缺陷位置、波幅和指示长度外，还应包括对缺陷自身高度进行测定，并对缺陷的类型（面状、点状、体积状等）或性质尽可能作出估判。

#### 5、关于在用承压设备焊接接头超声检测缺陷自身高度的测定（8.4.5）

（1）缺陷两个方向〔长度方向×高度（深度）方向〕均属波形模式 I（模式识别见本部分附录 Q）的缺陷，即点状缺陷。其自身高度可采用 AVG 法或采用与试块（CSK-III A）人工反射体动态回波波形比较法来测定。

用 CSK-III A 或其他类似试块人工反射体动态回波波形比较法对点状缺陷的自身高度测定，只是大致估计缺陷自身高度与人工反射体尺寸（直径）的大小，能对与人工反射体尺寸相近的缺陷进行较为准确的确定。也就是说，对于点状缺陷自身高度的测定尽可能采用 AVG 法等。

（2）长度方向属波形模式 II（模式识别见附录 Q）、高度（深度）方向属波形模式 I 的缺陷，即条状缺陷，缺陷自身高度可采用 AVG 法或采用与试块（CSK-II A 或 CSK-IV A）人工反射体动态回波波形比较法来测定。与 1）理由类似，用 CSK-II A 或 CSK-IV A 或其他类似试块人工反射体动态回波波形比较法对条状缺陷的自身高度测定，只是大致估计缺陷自身高度与人工反射体尺寸（直径）的大小，能对与人工反射体尺寸相近的缺陷进行较为准确的确定。也就是说，对于条状缺陷自身高度的测定尽可能采用 AVG 法等。

（3）如果需要较准确测定缺陷自身高度，也可用其他无损检测方法进行测定，如衍射时差法超声检测（TOFD）等。

（4）如有需要，本条规定的方法同样适用于在制承压设备焊接接头缺陷自身高度的测定。

#### 6、关于在用承压设备焊接接头超声检测缺陷类型的确定（8.4.6）

（1）本条的主要内容在 JB/T 4730.3 附录 L 的基础上，并参考 EN 23279：2010《焊缝无损检测 超声检测 焊缝缺陷显示特征》的相关内容进行修订。

（2）焊接接头内部埋藏缺陷类型的确定可按图 17 所示的流程图进行。

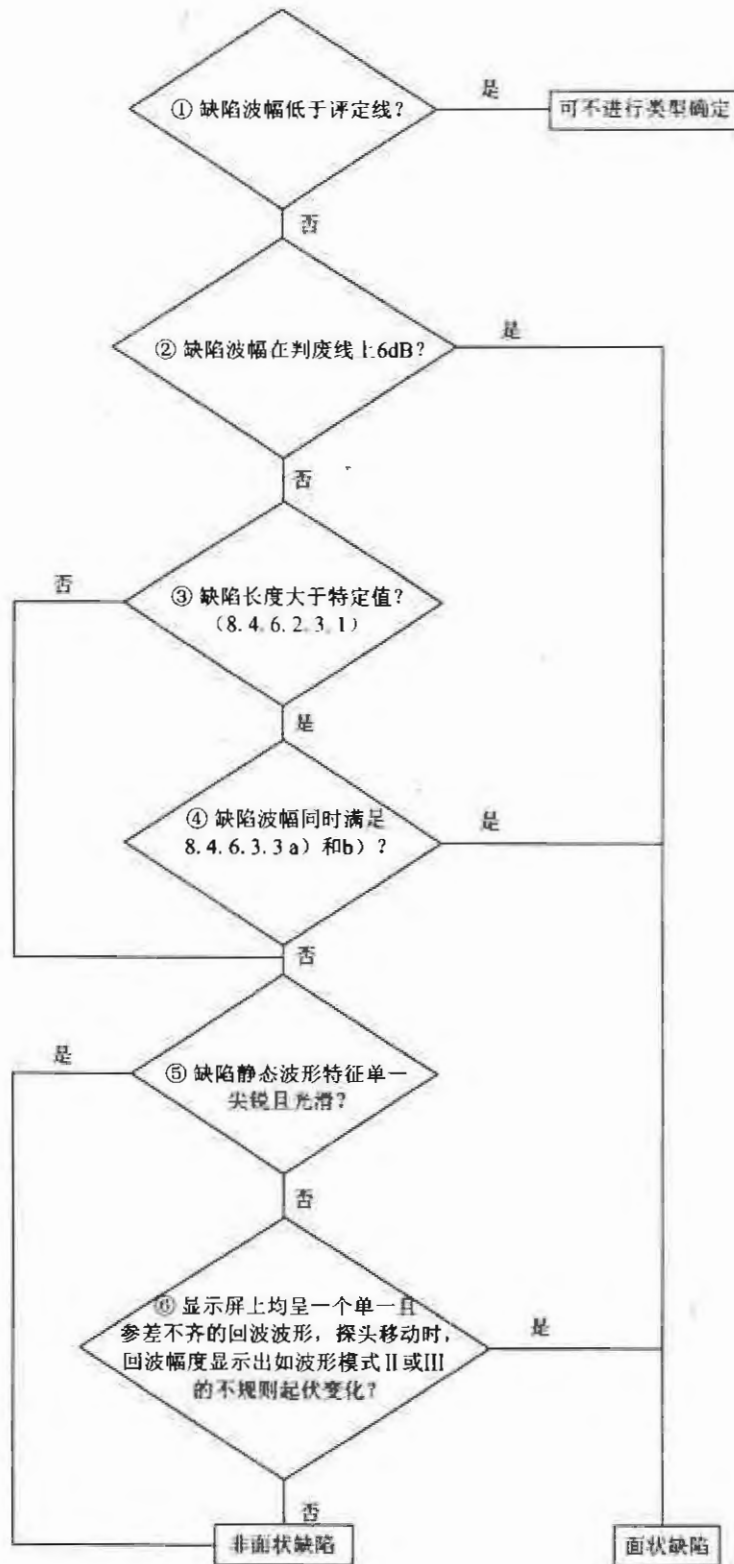


图 17 焊接接头内部埋藏缺陷类型确定流程图

## 第9章 超声检测记录和报告

### 【NB/T 47013.3】【9.1 超声检测记录】释义

- (1) 本条为新增内容，主要为强调检测记录的重要性。
- (2) 检测人员和复核人员应在检测记录上签字。

### 【NB/T 47013.3】【9.2 超声检测报告】释义

- (1) 应依据检测记录出具检测报告。
- (2) 超声检测报告应符合 NB/T 47013.1 的规定。

## 附 录

### 【NB/T 47013.3】【附录 C 双晶直探头性能要求】释义

#### 1、关于距离-波幅特性曲线（C.1）

(1) 在对板材进行超声检测，检测厚度不大于 20mm 的板材时应使用双晶直探头。灵敏度调节可用本部分图 1 所示阶梯平底试块进行，也可用被检板材无缺陷完好部位进行，即利用阶梯平底试块或被检板材底波确定基准灵敏度。这样在实际检测时，板材厚度方向上不同深度位置，灵敏度是有差异的。为尽可能减小这种灵敏度差异，故对双晶直探头的距离-波幅特性曲线给予规定。

(2) 本附录仅适用于本部分 5.3 条“承压设备用板材超声检测方法和质量分级”的相关内容。

#### 2、关于阶梯试块（本附录图 1 所示）

由于标准规定在检测厚度不大于 20mm 的板材时应使用双晶直探头，此时用阶梯试块底波确定基准灵敏度，故对双晶直探头性能给予要求。而在检测厚度大于 20mm 时，无论是使用双晶直探头还是单晶直探头，或者其他类型直探头，是用距离-波幅曲线确定灵敏度的，故双晶直探头性能曲线可以只做到 20mm。因此阶梯试块的厚度值 $\geq 20\text{mm}$ 即可。



**【NB/T 47013.3】【附录 D 承压设备用板材超声斜探头检测方法和验收标准】释义****1、关于范围（D.1）**

本附录规定了用斜探头检测板材中非分层类缺陷的超声检测方法和验收标准，并将其作为直探头检测的补充。

**2、关于对比试块（D.3）**

（1）与 JB/T 4730.3—2005 相比，本附录还规定了人工缺陷即 V 型槽的最大槽深，即槽深为板厚的 3%，但最大不超过 3.0mm。

（2）本附录修改了对比试块尺寸，以满足检测声程的需要。当检测厚度小于或等于 50mm 的板材时，切槽距试块长度方向一边的距离应不小于  $4KT+30\text{mm}$ ；当检测厚度大于 50mm~250mm 的板材时，切槽距试块长度方向一边的距离应不小于  $2KT+30\text{mm}$ 。

**3、关于距离-波幅曲线的确定（D.4）**

（1）由本附录 D.4.1 和 D.4.2 所确定的两点连成一条直线，即得到距离-波幅曲线，此时制作距离-波幅曲线的两点之间的声程即为检测有效范围，距离-波幅曲线灵敏度即为基准灵敏度。

（2）如果存在耦合补偿、衰减补偿等，则该基准灵敏度应包括上述补偿。

（3）扫查灵敏度不低于基准灵敏度，此时被检深度范围内最大声程处距离-波幅曲线高度一般应至少达到显示屏满刻度的 20%。

**【NB/T 47013.3】【附录 E 承压设备用钢锻件超声斜探头检测方法和质量分级】释义****1、关于范围（E.1）**

本附录适用于承压设备用环形和筒形锻件的超声斜探头轴向检测，也适用于内外径之比  $\geq 65\%$  环形和筒形锻件的超声斜探头周向检测。本附录扩大了标准适用范围，因此在接触法选用斜探头时，根据需要应考虑用到折射角为  $37^\circ$  的斜探头。

**2、关于检测方法（E.4）****（1）距离-波幅曲线**

由本附录 E.4.2 所得到的距离-波幅曲线灵敏度即为基准灵敏度，如果存在耦合补偿、衰减补偿或曲面补偿等，则该基准灵敏度应包括上述补偿。

**（2）扫查灵敏度**

扫查灵敏度不低于基准灵敏度，按本附录缺陷记录及质量分级的内容，被检深度范围内最大声程处距离-波幅曲线高度一般应达到显示屏满刻度的 20% 以上。

### 3、关于缺陷记录和评定（E.5）

- （1）连接距离-波幅曲线的两点之间区域即为检测有效范围。
- （2）记录波幅在距离-波幅曲线高度 50%以上的缺陷反射波和缺陷位置。
- （3）缺陷指示长度按-6dB 法测定。
- （4）当相邻两个缺陷在一条直线上且间距小于或等于 25mm 时，按单个缺陷处理。

## 【NB/T 47013.3】【附录 F 承压设备用奥氏体钢锻件超声斜探头检测方法】释义

### 1、关于范围（F.1）

本附录适用于承压设备用奥氏体钢环形和筒形锻件的超声斜探头轴向检测，适用于内外径之比大于或等于 65% 环形和筒形锻件的超声斜探头周向检测。本附录扩大了标准适用范围，因此在接触法选用斜探头时，根据需要应考虑用折射角为 37° 的斜探头。

### 2、关于探头（F.2）

本附录增加了探头的规定：

- （1）探头的标称频率为 1MHz~2.5MHz。
- （2）斜探头的晶片面积  $300\text{mm}^2 \sim 625\text{mm}^2$ 。
- （3）斜探头的折射角（K 值）一般为  $35^\circ \sim 63^\circ$ （ $K0.7 \sim K2$ ）。

### 3、关于距离-波幅曲线确定（F.5）

（1）由本附录 F.5.1 和 F.5.2 所得到的距离-波幅曲线灵敏度即为基准灵敏度，此时连接距离-波幅曲线的两点之间区域即为检测有效范围。如果存在耦合补偿、衰减补偿或曲面补偿等，则该基准灵敏度应包括上述补偿。

（2）扫查灵敏度不低于基准灵敏度。

## 【NB/T 47013.3】【附录 G 承压设备堆焊层超声检测方法和质量分级】释义

### 1、关于范围（G.1）

本附录适用于承压设备用奥氏体不锈钢、镍合金等堆焊层内缺陷、堆焊层与基材未结合缺陷和堆焊层层下缺陷的超声检测方法与质量分级。

### 2、关于检测方法（G.2）

堆焊层检测一般应在堆焊层侧进行；对于手工堆焊，其堆焊表面未进行打磨或机加工时，可在基材侧进行检测。

### 3、关于对比试块（G.4）

与 JB/T 4730.3—2005 的 5.2 一样，本附录仍采用 T1、T2、T3 等 3 种试块，但试块的人工缺陷尺寸、数量、位置及用途有变化。

## (1) T1 型试块

JB/T 4730.3—2005 和本附录的 T1 型试块分别见图 18 和图 19。

其余  $\frac{6.3}{\nabla}$

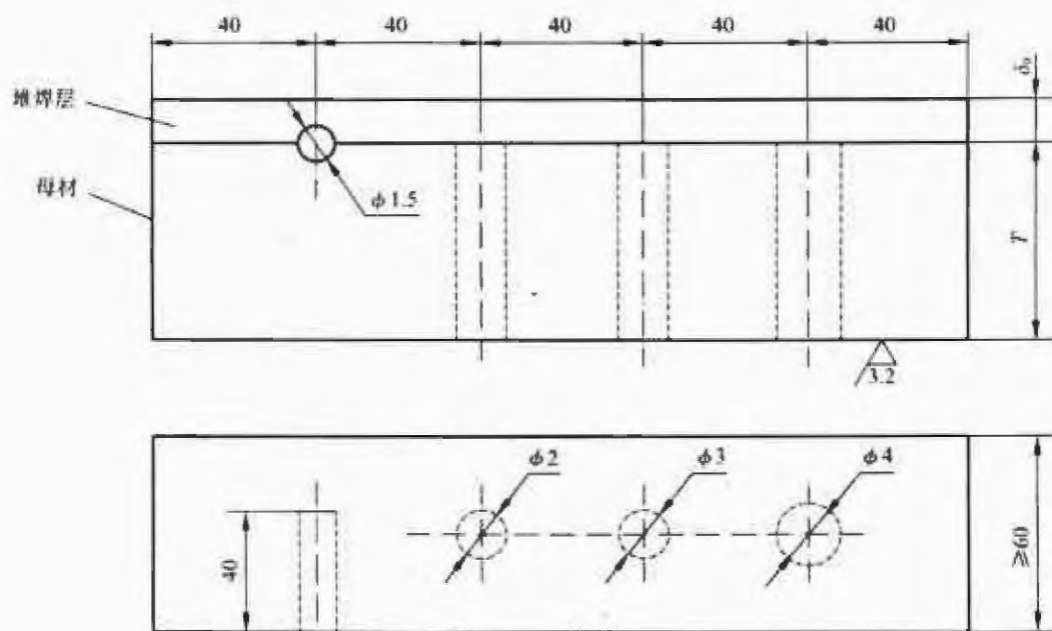


图 18 JB/T 4730.3—2005 的 T1 型试块

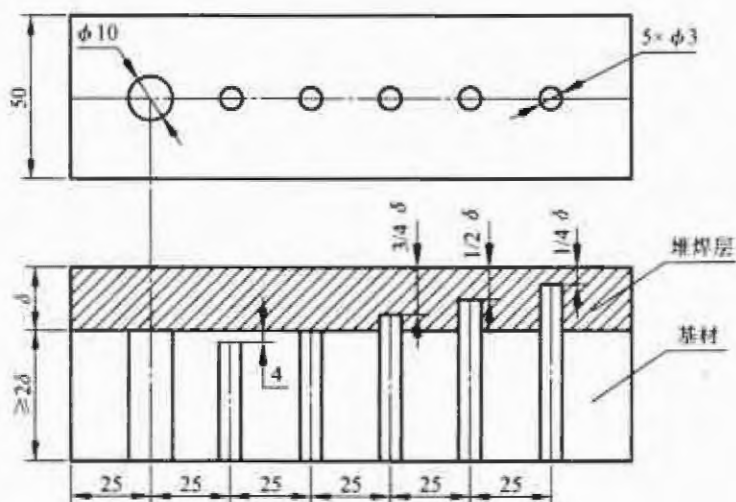


图 19 NB/T 47013.3—2015 的 T1 型试块

- 本附录的 T1 型试块用  $\phi 3\text{mm}$  平底孔绘制双晶直探头距离-波幅曲线进行堆焊层内缺陷检测，而 JB/T 4730.3—2005 是用单个平底孔调节灵敏度；
- 本附录的 T1 型试块使用双晶直探头从堆焊层侧检测堆焊层下缺陷时，用试块堆焊层下  $\phi 3\text{mm}$  平底孔调节灵敏度；
- 本附录的 T1 型试块  $\phi 10\text{mm}$  平底孔，主要为从堆焊层侧检测基材与堆焊层未结合缺陷用。



## (2) T2 型试块

JB/T 4730.3—2005 和本附录的 T2 型试块分别见图 20 和图 21。

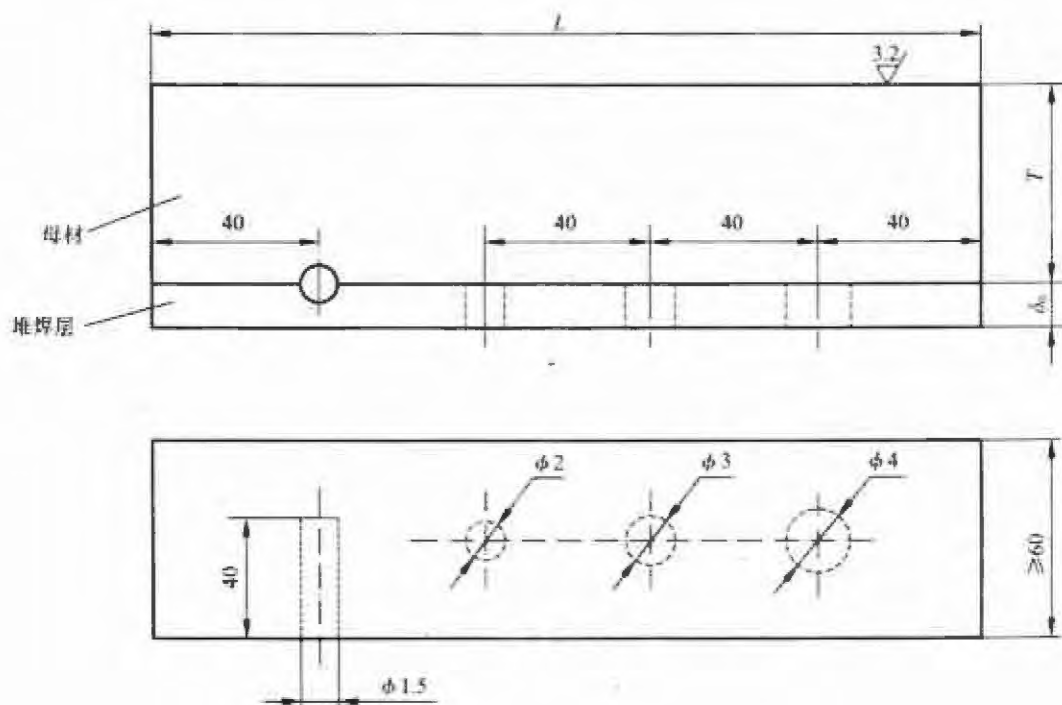


图 20 JB/T 4730.3—2005 的 T2 型试块

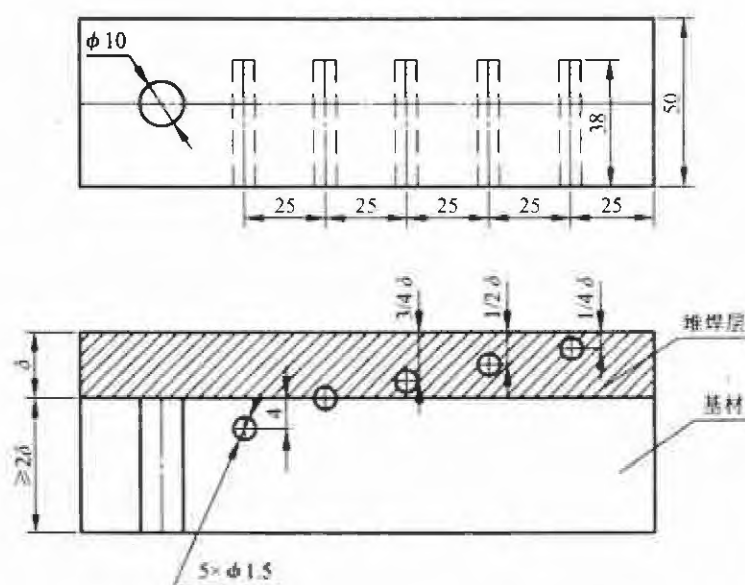


图 21 NB/T 47013.3—2015 的 T2 型试块

- 本附录的 T2 型试块用  $\phi 1.5\text{mm}$  横孔绘制纵波双晶斜探头距离-波幅曲线进行从堆焊层侧检测堆焊层内缺陷，而 JB/T 4730.3—2005 是用其 T1 型试块单个  $\phi 1.5\text{mm}$  横孔调节灵敏度；
- 本附录的 T2 型试块使用纵波双晶斜探头从堆焊层侧检测堆焊层下缺陷时，用试块堆焊层下  $\phi 1.5\text{mm}$  横孔调节灵敏度；

- c) 本附录的 T2 型试块  $\phi 10\text{mm}$  平底孔，也是为从堆焊层侧检测基材与堆焊层未结合缺陷用；
- d) 本附录的 T2 型试块主要用于从基材侧检测堆焊层内和层下缺陷。

### (3) T3 型试块

JB/T 4730.3—2005 和本附录的 T2 型试块分别见图 22 和图 23。

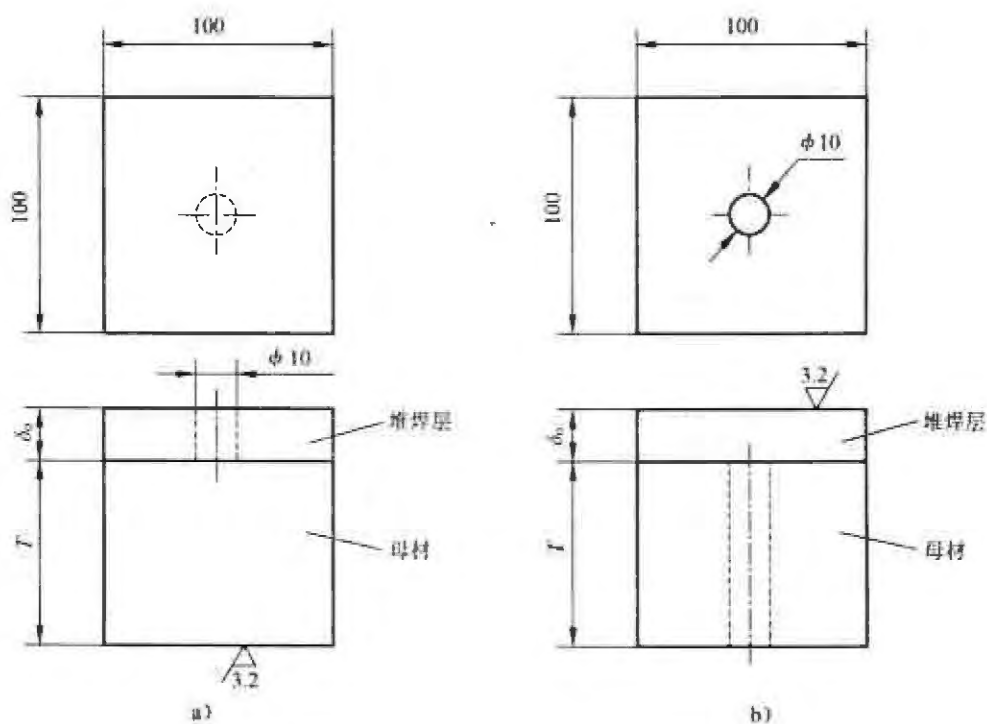


图 22 JB/T 4730.3—2005 的 T3 型试块

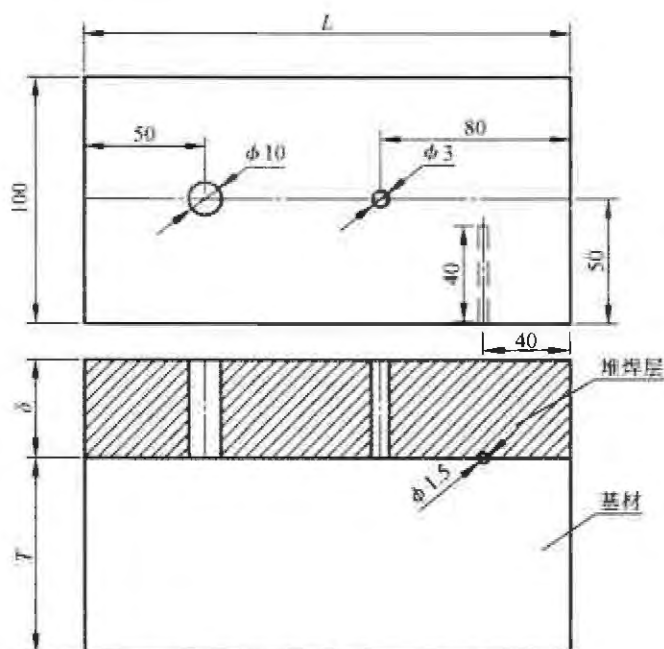


图 23 NB/T 47013.3—2015 的 T3 型试块

- a) 本附录的 T3 型试块  $\phi 10\text{mm}$  平底孔，用于调节单直探头灵敏度从基材侧检测

- 基材与堆焊层未结合缺陷，和 JB/T 4730.3—2005 的 T3 型试块 a) 作用一致；
- b) 本附录的 T3 型试块  $\phi 3\text{mm}$  平底孔，用于调节单直探头灵敏度从基材侧检测堆焊层内缺陷；
- c) 本附录的 T3 型试块  $\phi 1.5\text{mm}$  横孔，用于调节纵波斜探头灵敏度从基材侧检测堆焊层内缺陷。

### 【NB/T 47013.3】【附录 H 铝和铝合金制及钛承压设备对接接头超声检测方法和质量分级】释义

#### 1、关于范围 (H.1)

(1) 本附录适用于厚度  $\geq 8\text{mm} \sim 80\text{mm}$  的铝和铝合金制及钛制承压设备对接接头超声检测方法和质量分级。

(2) 本附录不适用于外径小于  $159\text{mm}$  环向对接接头的超声检测，也不适用于外径小于  $500\text{mm}$  且内外径之比小于 70% 的纵向接头超声检测。

#### 2、关于对比试块 (H.2)

(1) 本附录所用对比试块与 JB/T 4730.3—2005 相比：合理布置了人工反射体位置，适当增加了人工反射体数量。

(2) 对于检测面曲率半径  $\geq 80\text{mm} \sim 250\text{mm}$  的铝和铝合金制及钛制承压设备环向对接接头超声检测方法 & 检测所用对比试块，可参照本部分附录 K “承压设备曲面环向对接接头的超声检测方法” 的规定进行检测和制作对比试块。

#### 3、关于缺陷定量、缺陷评定和质量分级 (H.9、H.10、H.11)

对反射波幅在 I 区的非危害性缺陷也进行了质量分级，即在各个质量等级中对其允许的最大指示长度给予了规定。

### 【NB/T 47013.3】【附录 I 奥氏体不锈钢对接接头超声检测方法和质量分级】释义

#### 1、关于范围 (I.1)

(1) 本附录适用于工件厚度  $\geq 10\text{mm} \sim 80\text{mm}$  奥氏体不锈钢对接接头的超声检测方法和质量分级，而 JB/T 4730.3—2005 相应附录的适用工件厚度  $\geq 10\text{mm} \sim 50\text{mm}$ 。

(2) 本附录不适用于外径小于  $159\text{mm}$  的奥氏体不锈钢制承压设备环向对接焊接接头的超声检测，也不适用于外径小于  $500\text{mm}$  且内外径之比小于 70% 的纵向焊接接头超声检测。

#### 2、关于探头、仪器及组合性能 (I.3)

##### (1) 探头选用

本附录推荐采用双晶纵波斜探头、聚焦纵波斜探头、窄脉冲纵波单斜探头等；一般



选用折射角为  $45^\circ$  ( $K1$ ) 的探头, 如需要也可选用其他折射角的探头。这和 JB/T 4730.3—2005 基本一致。

本附录增加了使用双晶纵波斜探头或聚焦纵波斜探头检测的内容, 即使用双晶纵波斜探头或聚焦纵波斜探头检测时, 应根据声束会聚范围和检测深度选择探头。当壁厚较厚时, 可选用多探头厚度分区扫查, 各分区范围应相互覆盖不低于 15%。本部分附录表 I.1 给出了不同检测深度下探头折射角 ( $K$  值) 和声束会聚深度的推荐选择。

## (2) 组合性能要求

JB/T 4730.3—2005 规定声束通过母材和通过焊接接头所分别测绘的两条距离-波幅曲线间距应小于 10dB, 要求偏高。因此, 本附录规定声束通过母材和通过焊接接头分别测绘的两条距离-波幅曲线间距一般宜小于 10dB, 扫查灵敏度应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20% 以上, 信噪比应达到 2:1, 即在信噪比满足要求的情况下进行检测。

## 3、关于试块 (I.4)

(1) 相对于 JB/T 4730.3—2005, 本附录对所用对比试块进行了修改。包括试块人工反射体的设置, 当检测从焊缝两侧进行时, 人工反射体可放置在焊缝中部; 当检测只在焊缝单侧进行时, 人工反射体应放置在焊缝熔合区部位。对比试块形状、尺寸及人工反射体位置具体见图 24~图 26。本附录所示对比试块图(见本附录图 I.1、图 I.2 和图 I.3) 上的余高为示意, 实际制作时应去除余高, 并能识别出焊缝边缘。

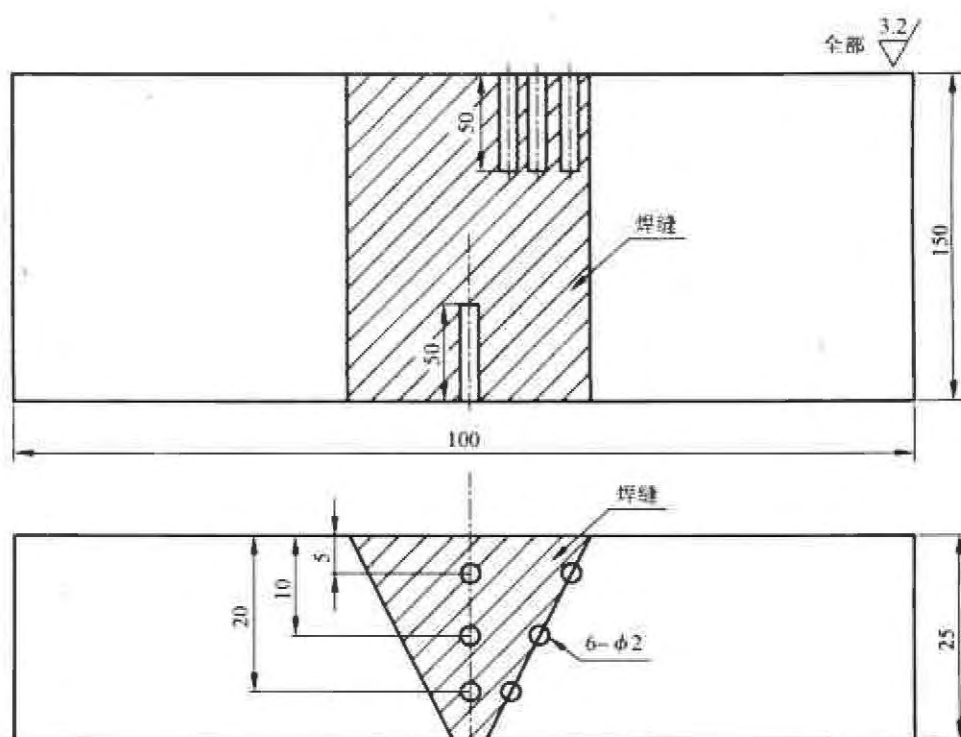


图 24 奥氏体不锈钢焊接接头对比试块 I (本部分图 I.1 对比试块)

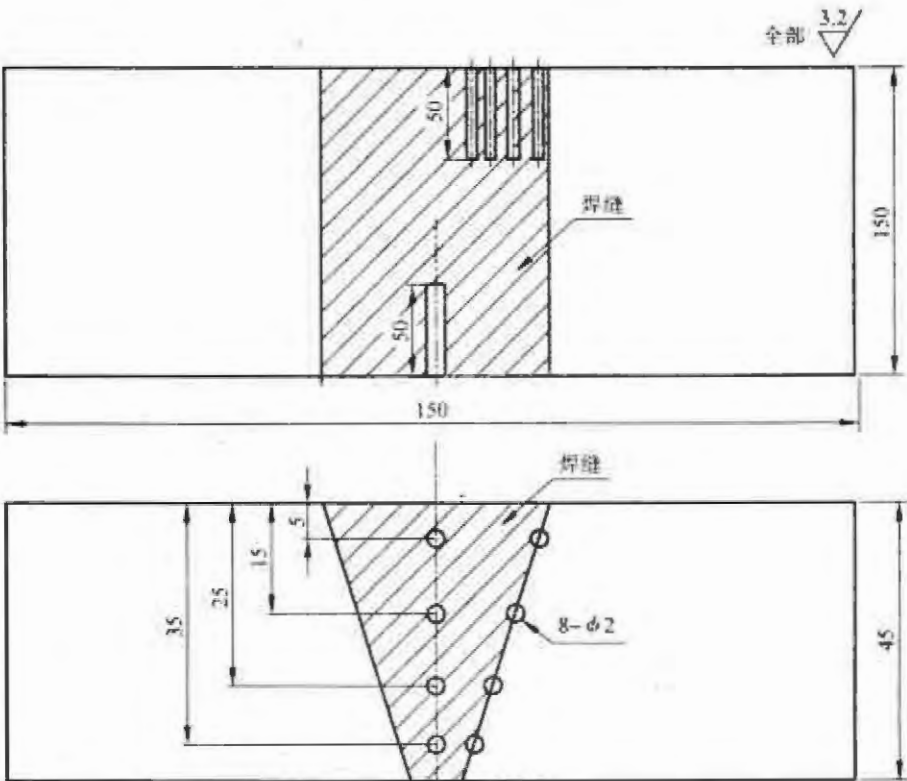


图 25 奥氏体不锈钢焊接接头对比试块Ⅱ（本部分图 1.2 对比试块）

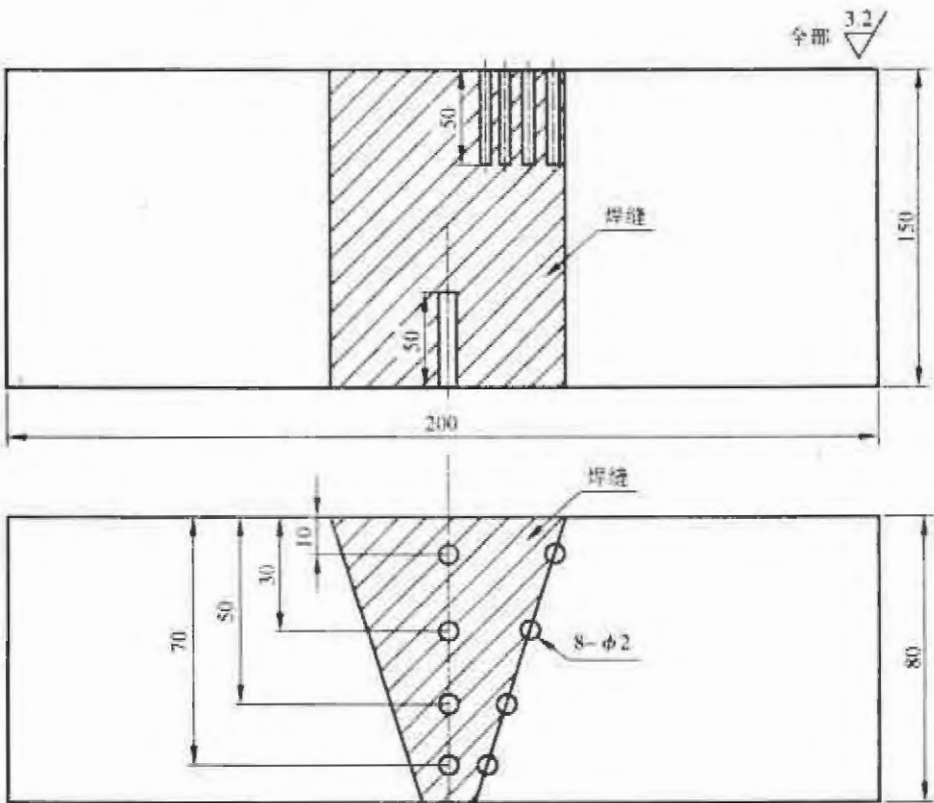


图 26 奥氏体不锈钢焊接接头对比试块Ⅲ（本部分图 1.3 对比试块）

（2）对于检测面曲率半径 $\geq 80\text{mm} \sim 250\text{mm}$  的奥氏体不锈钢制承压设备环向对接接头超声检测所用对比试块，可参照附录 K“承压设备曲面环向对接接头的超声检测方法”

RB-C 试块的形状和尺寸制作，试块的制作要求和人工反射体的位置按本附录设置。

#### 4、关于距离-波幅曲线 (I.5)

##### (1) 距离-波幅曲线的绘制

本附录规定：距离-波幅曲线由选定的探头、仪器组合在对比试块上实测数据绘制。在焊缝两侧进行检测时，用焊缝中心的横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定；只在焊缝单侧检测时，应使声束通过焊缝金属利用熔合区横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定。

##### (2) 距离-波幅曲线灵敏度

a) JB/T 4730.3—2005 与本附录距离-波幅曲线灵敏度分别见表 37 和表 38；

表 37 JB/T 4730.3—2005 距离-波幅曲线灵敏度

板厚	$t \leq 50\text{mm}$
判废线	$\phi 2 \times 30 - 4\text{dB}$
定量线	$\phi 2 \times 30 - 12\text{dB}$
评定线	$\phi 2 \times 30 - 18\text{dB}$

表 38 本条距离-波幅曲线灵敏度

工件厚度 $t$	$t \leq 50\text{mm}$	$50\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$
判废线	$\phi 2 \times 40 + 3\text{dB}$	$\phi 2 \times 40 + 6\text{dB}$
定量线	$\phi 2 \times 40 - 2\text{dB}$	$\phi 2 \times 40$
评定线	$\phi 2 \times 40 - 8\text{dB}$	$\phi 2 \times 40 - 6\text{dB}$

- b) 与 JB/T 4730.3—2005 相比，本附录规定的距离-波幅曲线灵敏度要低 7dB~10dB。前者对奥氏体不锈钢焊接接头检测所要求的灵敏度还是和碳钢或低合金钢焊接接头相同。而奥氏体不锈钢焊接接头检测时，由于奥氏体不锈钢焊缝晶粒相对粗大，扫查灵敏度高，造成接收的声波信噪比较低，缺陷波常常淹没在杂波中无法识别；
- c) 本附录规定的距离-波幅曲线灵敏度主要参考标准 ISO 22825: 2012《焊接接头无损检测 超声检测 奥氏体及镍合金焊接接头检测》，其距离-波幅曲线灵敏度定量线（相当于）为  $\phi 3$ ，本附录规定的距离-波幅曲线灵敏度高于 ISO 22825: 2012 的规定。

### 【NB/T 47013.3】【附录 J 承压设备曲面纵向对接接头的超声检测方法】释义

#### 1、关于范围 (J.1)

(1) 适用于检测面曲率半径为 50mm~250mm 的纵向对接接头超声检测。

(2) 不适用于内外径比小于 70% 的纵向对接接头超声检测。而 JB/T 4730.3—2005 相应的规定是不适用于内外径比小于 80% 的纵向对接接头超声检测。因此在选用斜探头时，根据需要，可能要用到折射角为 40° 的斜探头。

(3) 由于本附录所指焊接接头为 I 型焊接接头，故适用的工件厚度  $\geq 6\text{mm}$ 。



2、关于对比试块 RB-L (J.2)

(1) 本附录所用对比试块为 RB-L 型试块，拟将本部分附录 J 的表 J.1 和图 J.1 更改为新表 J.1 (见表 39) 和新图 J.1 (图 27)，见 NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》第 1 号修改单 (国家能源局于 2018 年第 7 号公告)。

(2) 对比试块的曲率半径应在工件检测面曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍范围内。

(3) 试块材质应与工件材质相同或相近 (声学特性)。

表 39 RB-L 系列对比试块尺寸 (推荐) 单位为 mm

RB-L 编号	工件厚度 $t$	试块厚度 $T$	横孔深度位置	横孔直径
RB-L-1	$\geq 6 \sim 10$	8	4	$\phi 2.0$
RB-L-2	$> 10 \sim 16$	14	4、10	$\phi 2.0$
RB-L-3	$> 16 \sim 24$	20	5、10、15	$\phi 2.0$
RB-L-4	$> 24 \sim 36$	30	5、10、20、25	$\phi 2.0$
RB-L-5	$> 36 \sim 50$	45	5、10、20、30、40	$\phi 2.0$

注：工件厚度  $t > 50\text{mm}$  时，试块宽度应满足 6.3.10.1 的要求，横孔深度位置最小可为 10mm，深度间隔不超过 20mm，试块厚度与工件厚度之差不超过工件厚度的 20%。

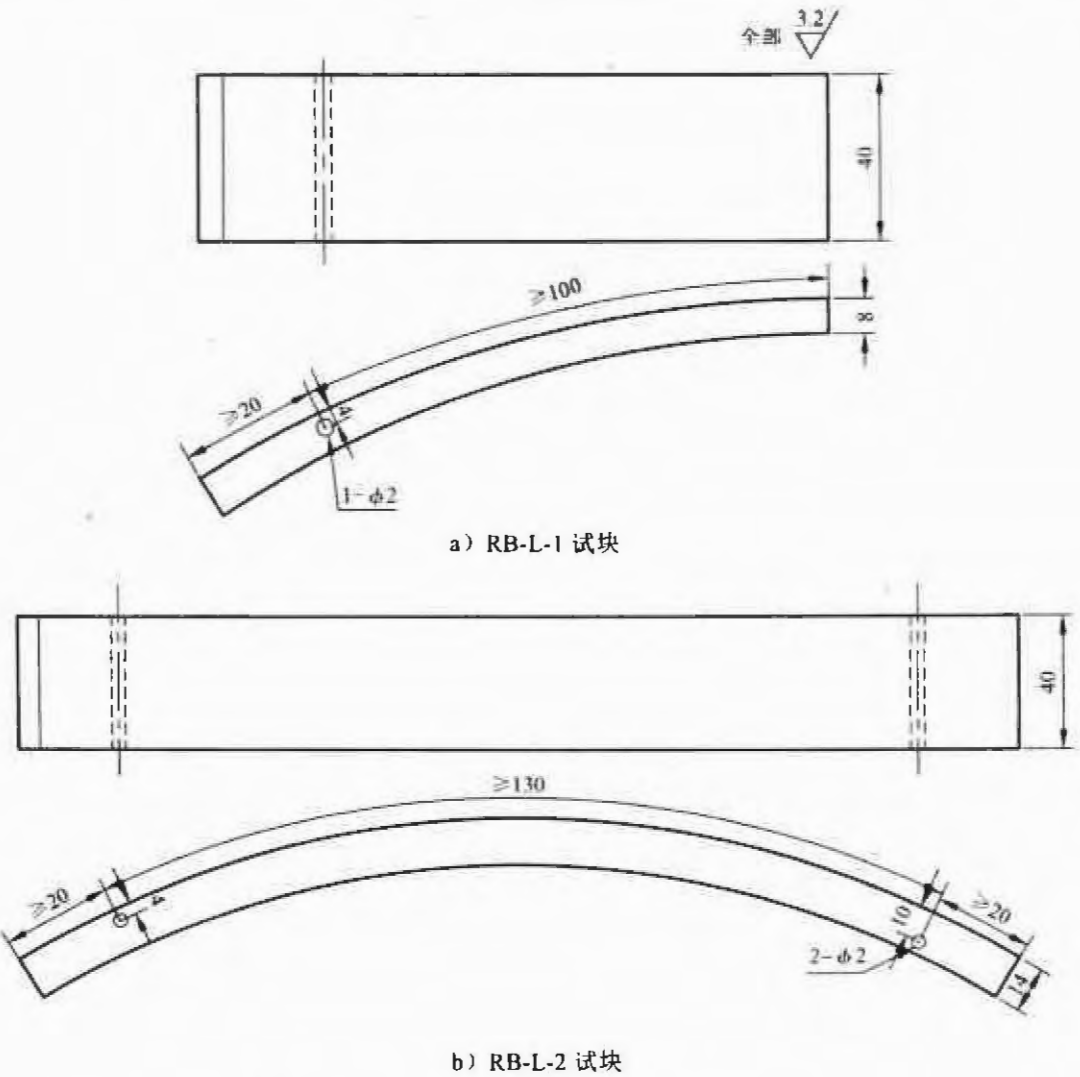


图 27 RB-L 系列对比试块示意图 (推荐)

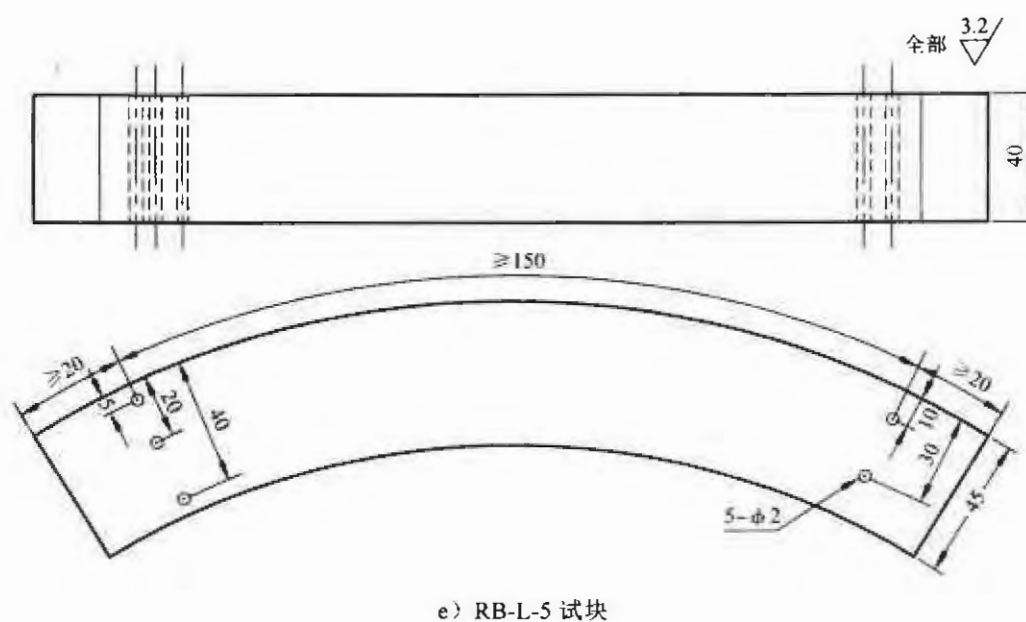
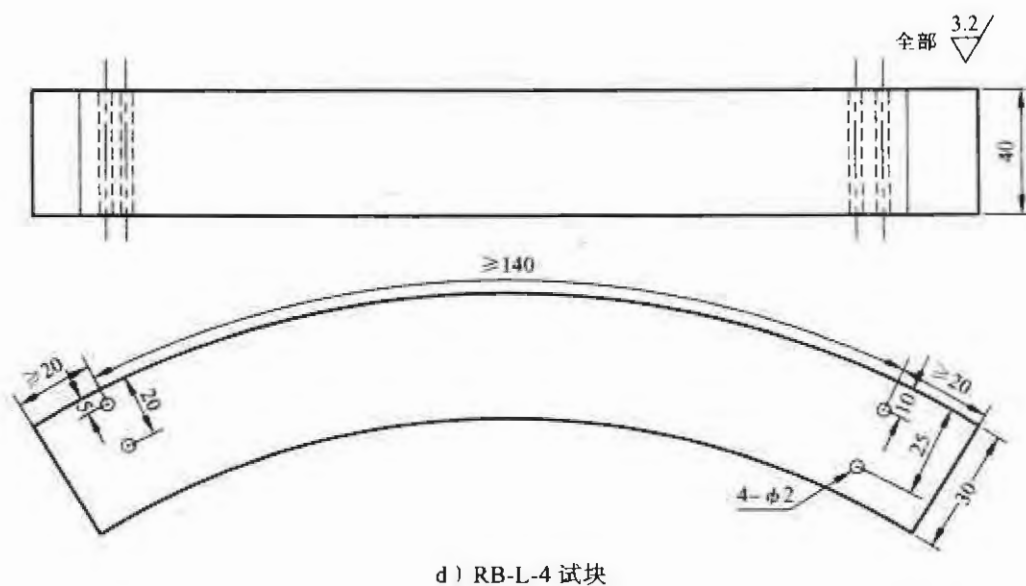
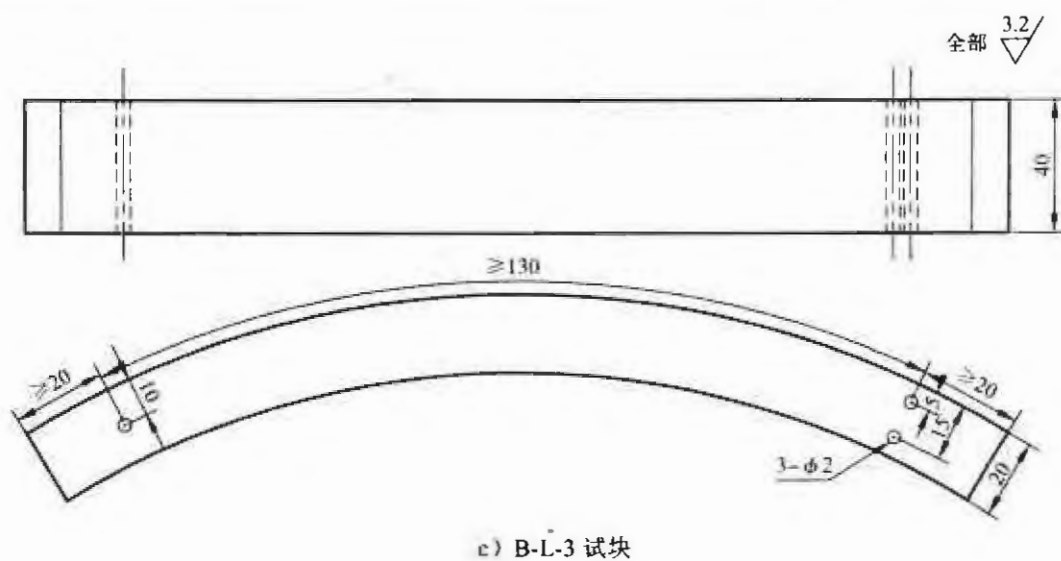


图 27 (续)

### 3、关于距离-波幅曲线（J.4）

用 RB-L-1 试块调节距离-波幅曲线灵敏度时，分别测定人工反射体的一次波和一次反射波的高点，并将上述两高点用直线连接（第一高点之前为水平线，第二高点之后将直线延伸至最大检测范围），绘出距离-波幅曲线。

用 RB-L 其他试块调节距离-波幅曲线灵敏度时，分别测定不同深度人工反射体的一次波和一次反射波的高点，并将上述高点用曲线连接（第一高点之前为水平线，最后高点之后将曲线延伸至最大检测范围），绘出距离-波幅曲线。

### 4、关于检测（J.5）

（1）探头标称频率、检测面及探头移动区宽度按本附录表 J.3 的规定执行。

（2）不同折射角（ $K$  值）探头数量、横向缺陷检测（使用 RB-C 试块调节灵敏度）等还应符合本部分表 N.1 检测技术等级 B 级的要求。

## 【NB/T 47013.3】【附录 K 承压设备曲面环向对接接头的超声检测方法】释义

### 1、关于范围（K.1）

（1）适用于检测面曲率半径为 80mm~250mm 的环向对接接头超声检测。

（2）由于本附录所指焊接接头为 I 型，故适用的工件厚度  $\geq 6\text{mm}$ 。

### 2、关于对比试块（K.2）

（1）拟将 K.2.1 条改用新条文“对比试块 RB-C 的形状和尺寸见图 K.1。为方便试块加工和灵敏度调节，也可使用表 K.1 和图 K.2 的试块”，见 NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》第 1 号修改单（国家能源局于 2018 年第 7 号公告）。具体见表 40 和图 28。

（2）工件检测面曲率半径应在对比试块的曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍范围内。

（3）试块厚度与工件厚度相差不超过工件厚度的 20%。

（4）试块材质应与工件材质相同或相近（声学特性）。

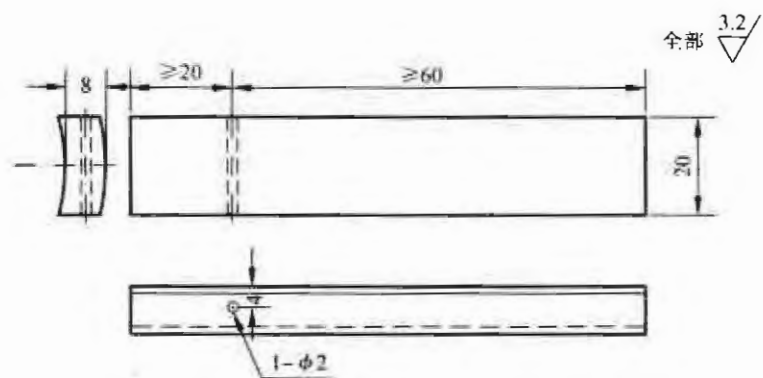
表 40 RB-C 系列对比试块尺寸（推荐）

单位为 mm

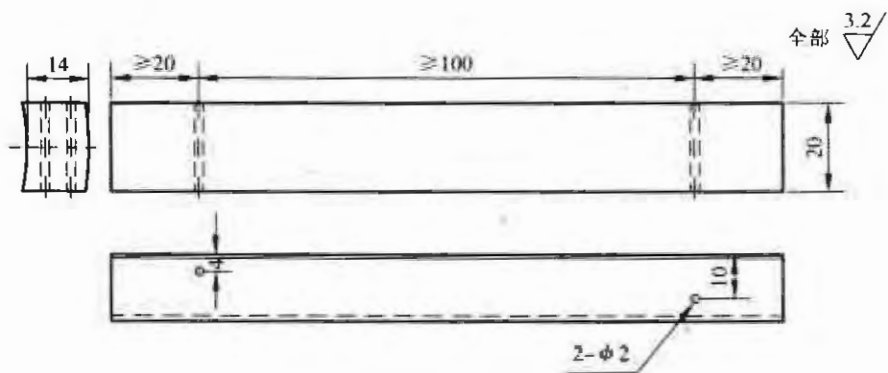
RB-C 编号	工件厚度 $t$	试块厚度 $T$	横孔深度位置	横孔直径
RB-C-1	$\geq 6 \sim 10$	8	4	$\phi 2.0$
RB-C-2	$> 10 \sim 16$	14	4、10	$\phi 2.0$
RB-C-3	$> 16 \sim 24$	20	5、10、15	$\phi 2.0$
RB-C-4	$> 24 \sim 36$	30	5、10、20、25	$\phi 2.0$
RB-C-5	$> 36 \sim 50$	45	5、10、20、30、40	$\phi 2.0$

注：工件厚度  $t > 50\text{mm}$  时，试块宽度应满足 6.3.10.1 的要求，横孔深度位置最小可为 10mm，深度间隔不超过 20mm，试块厚度与工件厚度之差不超过工件厚度的 20%。

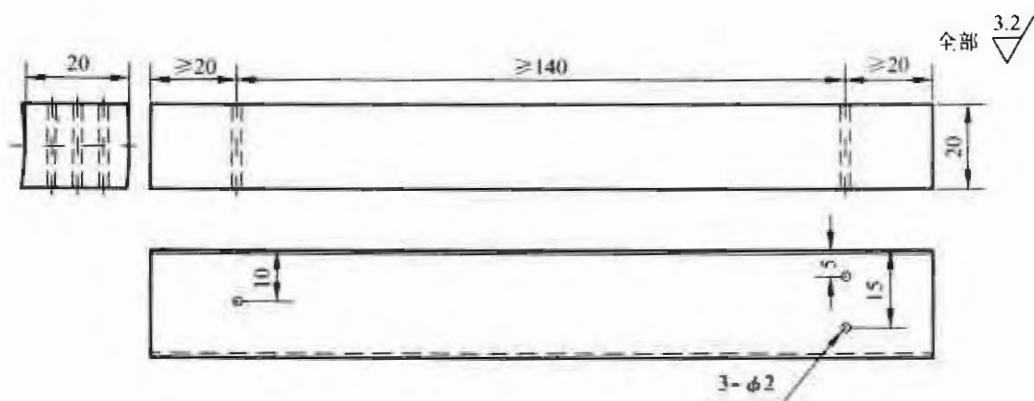




a) RB-C-1 试块

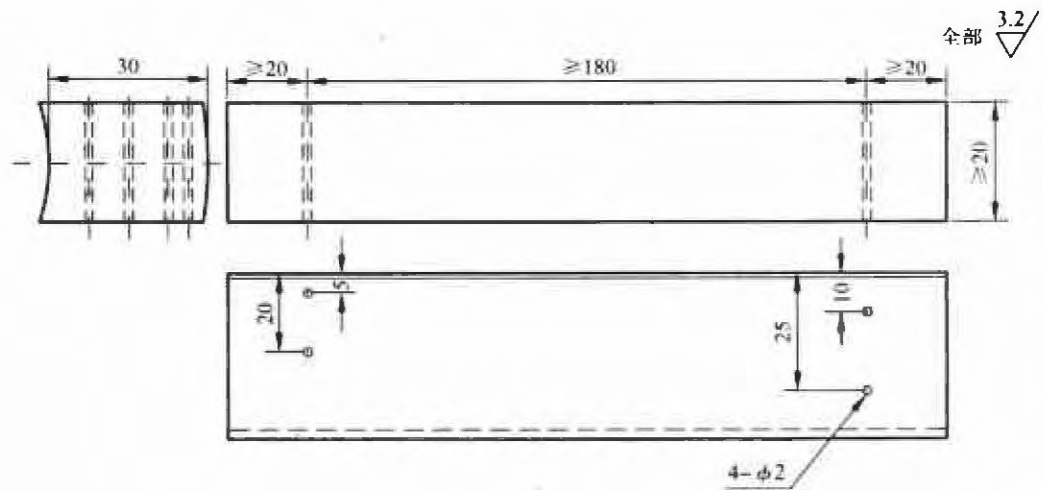


b) B-C-2 试块

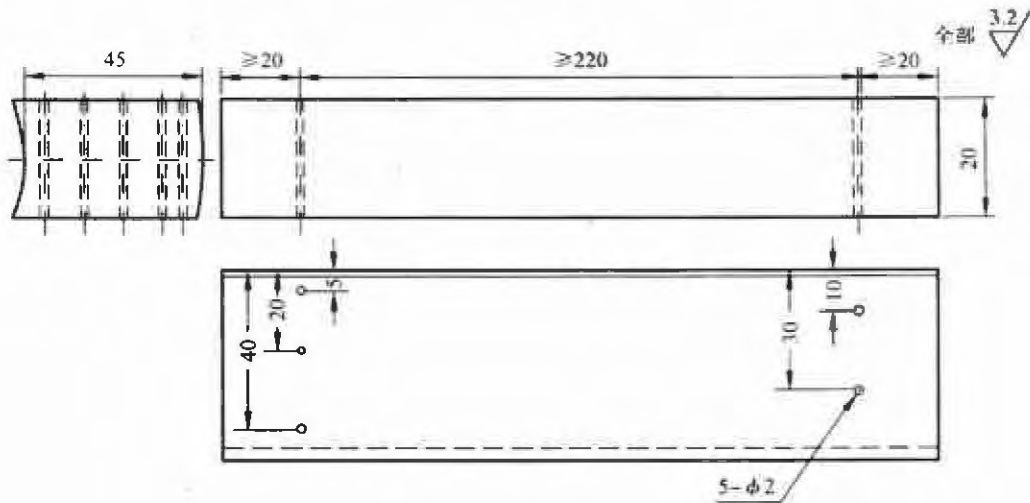


c) RB-C-3 试块

图 28 RB-C 系列对比试块示意图 (推荐)



d) RB-C-4 试块



e) RB-C-5 试块

图 28 (续)

3、关于探头 (K.3)

- (1) 检测时应确保探头与工件的稳定接触。
- (2) 将本部分附录 K 的表 K.1 序号更改为表 K.2, 见 NB/T 47013.3—2015 《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》第 1 号修改单 (国家能源局于 2018 年第 7 号公告)。
- (3) 探头折射角 (K 值) 的选择见本部分表 25, 探头标称频率可按本部分表 K.2 选择。

4、关于距离-波幅曲线 (K.4)

用 RB-C-1 试块调节距离-波幅曲线灵敏度时, 分别测定人工反射体的一次波和一次反射波的高点, 并将上述两高点用直线连接 (第一高点之前为水平线, 第二高点之后将直线延伸至最大检测范围), 绘出距离-波幅曲线。

用 RB-C 其他试块调节距离-波幅曲线灵敏度时, 分别测定不同深度人工反射体的一次波和一次反射波的高点, 并将上述高点用曲线连接 (第一高点之前为水平线, 最后

高点之后将曲线延伸至最大检测范围), 绘出距离-波幅曲线。

## 5、关于检测 (K.5)

(1) 将本部分附录 K 的表 K.1 序号更改为表 K.2, 见 NB/T 47013.3—2015《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》第1号修改单(国家能源局于2018年第7号公告)。

(2) 检测面的选择按本附录表 K.2 进行。

(3) 不同折射角(K值)探头数量、横向缺陷检测(使用 RB-L 试块调节灵敏度)等还应符合本部分表 N.1 检测技术等级 B 级的要求。

## 【NB/T 47013.3】【附录 L 承压设备接管与筒体(或封头)角接接头超声检测方法】释义

### 1、关于范围 (L.1)

(1) 对于插入式接管与筒体(或封头)角接接头:

筒体(或封头)检测面曲率半径 $\geq 250\text{mm}$ 且内外径比 $\geq 70\%$ , 接管公称直径 $\geq 80\text{mm}$ 。

(2) 对于安放式接管与筒体(或封头)角接接头:

筒体(或封头)检测面曲率半径 $\geq 150\text{mm}$ , 且接管公称直径 $\geq 100\text{mm}$ 。

(3) 和 JB/T 4730.3—2005 相比, 本附录明显扩大了适用范围。

### 2、关于仪器调节 (L.4)

(1) 斜探头入射点、折射角(K值)

斜探头入射点、折射角(K值)的测量原则上应在 RB-L 或 RB-C 试块上进行。

(2) 仪器时基线

仪器时基线的调整原则上应在 RB-L 或 RB-C 试块上进行。

(3) 距离-波幅曲线

a) 距离-波幅曲线灵敏度按本部分表 27 的规定执行;

b) 检测面曲率半径小于  $250\text{mm}$  时, 距离-波幅曲线的制作应在 RB-L 或 RB-C 试块上进行。此时应考虑不同检测位置, 检测面曲率的变化导致声程等变化的修正, 包括封头上或筒体上的不同焊接接头及同一焊接接头的不同检测位置(相对于筒体轴线偏转角的变化, 接管在封头上不同位置引起的检测面曲率的变化);

c) 在接管或支管上对焊接接头进行检测时, 应选用 RB-C 试块制作距离-波幅曲线。当检测面曲率半径 $\geq 40\text{mm} \sim 80\text{mm}$ 时, 应参考附录 K 的要求增加制作不同曲率的 RB-C 试块;

d) 在筒体(或封头)或母管上对焊接接头进行检测时, 应选用 RB-C 或 RB-L 试块制作距离-波幅曲线。

### 3、关于检测 (L.5)

(1) 插入式接管与筒体(或封头)角接接头检测

a) 当接管公称直径 $\geq 250\text{mm}$ 且接管内径 $\geq 200\text{mm}$ 时, 检测方法、探头数量、检



侧面及探头移动区宽度按本部分图 N.3 和本部分表 N.3 进行。表 N.3 中在位置 A 或 B 斜探头移动区宽度的计算以筒体或封头厚度值为准；

- b) 当接管公称直径 $\geq 80\text{mm} \sim 250\text{mm}$  时，检测方法、探头 数量、检测面及探头移动区宽度按本部分图 N.3 和本部分表 L.1 进行，一般按技术等级 B 级进行检测。表 L.1 中在位置 A 或 B 斜探头移动区宽度的计算以筒体或封头厚度值为准。

(2) 安放式接管与筒体（或封头）角接接头检测

- a) 当接管公称直径 $\geq 250\text{mm}$  且筒体（或封头）检测面曲率半径 $\geq 250\text{mm}$  时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头移动区宽度按本部分图 N.5 和表 41（本部分表 N.5）进行。表 41 中在位置 A 或 B 斜探头移动区宽度的计算以接管厚度值为准，在位置 D 斜探头移动区宽度的计算以筒体或封头厚度值为准；

表 41 安放式接管与筒体（或封头）角接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 $t/\text{mm}$	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角（K 值） 探头数量	检测面 （侧）	探头移动 区宽度	探头 位置	探头移动 区宽度	不同折射角（K 值） 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	A 或 B	$1.25P$ $0.5P$	—	—	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	A 或 B	$1.25P$ $0.5P$	C	c	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	2	A 或 B	$1.25P$ $0.5P$	—	—	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	2	A 或 B	$1.25P$ $0.5P$	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	2	A 和 (B 或 D)	$1.25P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
	$100 < t \leq 200$	2	A 和 (B 或 D)	$0.75P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
C	$6 \leq t \leq 15$	3	A 或 B	$1.25P$ $0.5P$	C	c	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	3	A 和 (B 或 D)	$1.25P$ $0.5P$	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	3	A 和 B 和 D	$1.25P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
	$t > 100$	3	A 和 B 和 D	$0.75P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
注 1：本表适用于接管公称直径 $\geq 250\text{mm}$ 的角接接头检测。								
注 2：本表适用于筒体（或封头）检测面曲率半径 $\geq 250\text{mm}$ 。								

- b) 当接管公称直径 $\geq 100\text{mm} \sim 250\text{mm}$  且筒体（或封头）检测面曲率半径 $\geq 150\text{mm}$  时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头移动区宽度按本部分图 L.2 和本部分表 L.2 进行，一般按技术等级 B 级进行检测。表 L.2 中在位置 A 或 B

斜探头移动区宽度的计算以接管厚度值为准，在位置 D 斜探头移动区宽度的计算以筒体或封头厚度值为准。

(3) 本附录从检测技术等级、工件厚度、纵向缺陷检测（斜探头检测时所用探头数量、检测面（侧）、探头移动区宽度及直探头检测时探头放置位置、探头移动区宽度）、横向缺陷检测等对焊接接头实施检测。

(4) 进一步说明

本附录在考虑该类焊接接头超声检测技术难度和国内检测技术水平的前提下，对安放式角接接头超声检测的适用范围进行了适当调整，即同时满足“筒体（或封头）检测面曲率半径 $\geq 150\text{mm}$ ”和“接管公称直径 $\geq 100\text{mm}$ ”的条件。本附录对筒体（或封头）检测面曲率半径及接管直径加以限制，基于以下原因：

- a) 当筒体（或封头）检测面曲率半径较小时，检测人员很难在筒体（或封头）内壁用斜探头和（或）直探头对焊接接头进行检测，只能选择在接管外壁进行检测；
- b) 当接管直径与筒体或封头接近时，局部区域焊缝变宽，很难保证完全覆盖整个角接接头。

对于安放式角接接头，考虑到筒体（或封头）直径较小，可能给检测带来不便，故在其表 L.2 的注 2 规定“筒体（或封头）检测面曲率半径 $\geq 150\text{mm} \sim 250\text{mm}$  时，可对角接接头不进行直探头检测和 D 面检测”。即允许只在接管上放置斜探头对角接接头进行超声检测。因此，如能确保检测到整个角接接头，对于筒体（或封头）直径较小时，可按照本部分表 L.2 中注 2 的规定进行检测。

### 【NB/T 47013.3】【附录 M T 型焊接接头超声检测方法】释义

#### 1、关于范围（M.1）

(1) 本附录适用于工件厚度 $\geq 6\text{mm} \sim 300\text{mm}$  承压设备全熔化焊 T 型焊接接头的超声检测，其他用途的全熔化焊 T 型焊接接头的超声检测也可参照本附录的规定执行。

(2) 本附录扩大了工件厚度的适用范围。

#### 2、关于检测（M.5）

(1) T 型焊接接头检测时根据不同技术等级选择的扫查方法、探头种类及数量、检测面及探头移动区宽度按本部分图 N.2 和表 42（本部分表 N.2）进行。表 42 中在位置 A 或 B 斜探头移动区宽度的计算按腹板厚度值为准。

表 42 T 型焊接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 $t/\text{mm}$	纵向缺陷检测				横向缺陷检测			
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查		
		不同折射角( $K$ 值)探头数量	检测面(侧)	探头移动区宽度	探头位置	探头移动区宽度	不同折射角( $K$ 值)探头数量	检测面	探头移动区宽度
A	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	—	—	—	—	—
			(D 和 E)	$d+e$					
	$15 < t \leq 40$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	C	$c$	—	—	—
			(D 和 E)	$d+e$					
B	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	C	$c$	1	F 和 G	$c$
			(D 和 E)	$d+e$					
	$15 < t \leq 40$	1	(A 和 B) 和	$1.25P$	C	$c$	1	F 和 G	$c$
			(D 和 E)	$d+e$					
	$40 < t \leq 200$	2	(A 和 B) 和	$0.75P$	C	$c$	1	F 和 G	$c$
		1	(D 和 E)	$d+e$					
C	$6 \leq t \leq 15$	1	A 和 B	$1.25P$	C	$c$	2	F 和 G	$c$
	$15 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和	$1.25P$	C	$c$	2	(F 和 G) 和 (X 和 Y) 和 (W 和 Z)	$c+f+g$
		1	(D 和 E)	$d+e$					
	$t > 100$	3	(A 和 B) 和	$0.75P$	C	$c$	2	(F 和 G) 和 (X 和 Y) 和 (W 和 Z)	$c+f+g$
		1	(D 和 E)	$d+e$					

(2) L 型焊接接头检测时根据不同技术等级选择的扫查方法、探头种类及数量、检测面及探头移动区宽度按本部分图 N.4 和本部分表 N.4 进行；扫查方法按 6.3.9 的规定执行。表 N.4 中在位置 A 或 B 斜探头移动区宽度的计算按接管或腹板厚度值为准，在位置 H 斜探头移动区宽度的计算按筒体或封头或翼板厚度值为准。

(3) 本附录从检测技术等级、工件厚度、纵向缺陷检测（斜探头检测时所用探头数量、检测面（侧）、探头移动区宽度；直探头检测时探头放置位置、探头移动区宽度）、横向缺陷检测等对焊接接头实施检测。

【NB/T 47013.3】【附录 N 不同类型焊接接头超声检测的具体要求】释义

1、关于附录 N

(1) 本附录所涉及的不同类型焊接接头包括平板对接接头 (N.1)、T 型焊接接头 (N.2)、插入式接管角接头 (N.3)、L 型焊接接头 (N.4)、安放式接管与筒体（或封头）角接头 (N.5)、十字焊接接头 (N.6)、嵌入式接管与筒体（或封头）对接接头 (N.7) 等，主要参考 EN 17640：2010 “焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定”



制定。

(2) 尽管 JB/T 4730.3—2005 规定焊接接头超声检测按检测技术等级也分为 A、B、C 三个级别，但其焊接接头类型主要还是指对接接头，对其他类型的焊接接头并未按检测技术等级的不同作不同的检测要求。

(3) 本附录针对每种类型焊接接头，按不同检测技术等级的要求，从工件厚度、纵向缺陷检测（斜探头和直探头）、横向缺陷检测及相应检测技术的探头数量、检测面（侧）、探头移动区宽度、探头检测位置等均作出了较明确的规定，符合我国国情。

## 2、关于斜探头移动区宽度

本附录表 N.1～表 N.7 中斜探头移动区宽度的计算按探头所在检测位置上工件（筒体或封头或接管或翼板或腹板等）的厚度值为准。

## 3、关于平板对接接头（N.1）

(1) 平板对接接头超声检测的具体要求见本部分附录图 N.1 和表 43（本部分表 N.1）。

(2) 对于承压设备平板对接接头或相当于平板对接接头的超声检测，一般应至少从焊接接头的单面双侧进行检测，确因结构等原因也应确保从双面单侧进行检测。

表 43 平板对接接头检测的具体要求

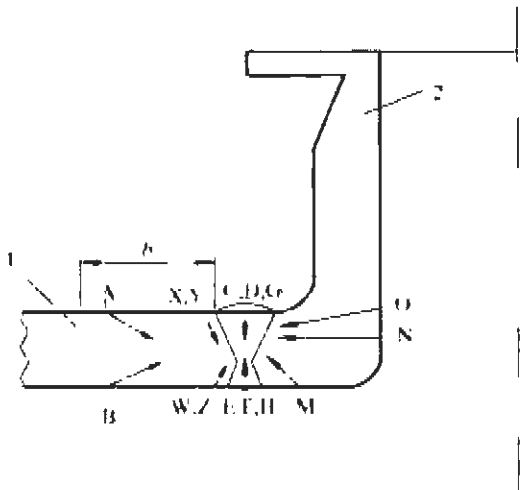
检测技术等级	工件厚度 $t/\text{mm}$	纵向缺陷检测			横向缺陷检测		
		斜探头检测			直探头检测	斜探头横向扫查	
		不同折射角（ $K$ 值）探头数量	检测面（侧）	探头移动区宽度	探头位置	不同折射角（ $K$ 值）探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧或单面单侧或双面单侧	$1.25P$	—	—	—
B	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧	$1.25P$	—	1	单面
	$40 < t \leq 100$	1 或	双面双侧	$1.25P$	—	1	单面
		2	单面双侧或双面单侧				
	$100 < t \leq 200$	2	双面双侧	$0.75P$	—	2	单面
C	$6 \leq t \leq 15$	1 或	单面双侧	$1.25P$	—	1	单面
		2	双面单侧				
	$15 < t \leq 40$	2	双面双侧	$1.25P$	—	2	单面
	$40 < t \leq 100$	2	双面双侧	$1.25P$	单面（G 或 H）	2	单面
	$100 < t \leq 500$	2	双面双侧	$0.75P$	单面（G 或 H）	2	单面

## 4、关于嵌入式接管与筒体（或封头）对接接头（N.7）

(1) 嵌入式接管与筒体（或封头）对接接头超声检测的具体要求见本附录图 N.7 和表 N.7。

(2) 根据需要也可增加在 B 面的接管侧用斜探头进行检测, 见图 29 位置 M。

(3) 当接管内径 $\geq 200\text{mm}$  时, 或在接管内壁能用直探头和斜探头检测时, 则应尽可能增加直探头和 (或) 斜探头检测, 见图 29 位置 N 和位置 O。



注:

- ① A, B, C, D, E, F, G, H, W, X, Y, Z, M, N, O: 探头位置;
- ② b: 检测区宽度;
- ③ 1: 筒体或封头; 2: 接管。

图 29 嵌入式接管与筒体(封头)对接接头

后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化委员会指导下, 经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力, 对 NB/T 4730.3—2005 内容进行了较多的修订, 但由于被检材料本身的特性对超声检测影响较大, 且超声检测本身涉及面较广, 因此在许多方面还有待于进行深入探讨和扩充。

1、标准制定过程中尚未完全解决的问题

(1) 关于奥氏体不锈钢对接接头的超声检测

a) 工件厚度 $\geq 10\text{mm} \sim 80\text{mm}$  奥氏体不锈钢对接接头的超声检测:

尽管标准工作组做了大量资料收集、调研和试验工作, 修订过程中也参考了欧盟 EN 标准和国内相关企业的标准, 但由于实际检测特别是厚壁焊缝超声检测仍存在诸多问题有待解决, 这些问题包括: ①柱状晶引起声束弯曲, 影响了缺陷的定位; ②粗晶粒引起声波衰减, 降低了信噪比, 影响缺陷的检出率。故附录仍作为资料性附录, 并给出了检测方法和质量分级, 因此对特种设备

奥氏体不锈钢对接接头超声检测具有其指导意义，具体检测时可参照采用。

b) 关于薄壁（ $\geq 4\text{mm} \sim 10\text{mm}$ ）奥氏体不锈钢对接接头的超声检测：

薄壁奥氏体不锈钢对接接头在工业上十分常见，目前普遍采用射线检测，而用纵波斜探头对该类接头进行检测，需要把焊缝余高磨平，这样就带来很大的辅助工作量。实际上由于工件厚度较薄，可以考虑采用横波斜探头对该类接头采用一次波和二次波进行检测，检测效果有待进一步试验研究。

（2）关于管座角焊缝的超声检测

本部分制定的“接管与筒体（或封头）角对接接头超声检测方法”，原则上只适用于接管与筒体轴线或与焊接接头部位封头切线大致相垂直的角对接接头的超声检测，而没有列入其他类型管座角焊缝的超声检测方法，主要考虑到此类焊接接头检测的复杂性和难度，通常在具体检测前需借用仿真技术或采用模拟件来进行预检测，才能保证检测区域的完全覆盖。目前仿真技术在制造厂应用不是很多，而用模拟件来进行预检测又会在一定程度上增加检测成本。目前国内对此类焊接接头还处于研究和初步应用中，因此有待列入标准。

（3）关于铸钢件和铸铁件超声检测

铸钢件和铸铁件承压设备原材料、零部件及焊接接头的超声检测目前本部分还没有列入，但欧盟已有相关标准，如 EN 12680-1—2003《铸钢件超声检测》，EN 12680-3—2003《球墨铸铁件超声检测》等。因此下一步要加以研究，并做制定相应标准的准备。

（4）关于异种钢对接接头及镍基合金焊接接头的超声检测

a) 在动力装置及石油化工设备制造安装过程中，异种金属焊接结构越来越得到广泛应用，使用异种金属焊接结构，不但能满足不同工作条件对材质提出的不同要求，而且能节省贵重金属材料 and 降低成本。异种钢焊接接头除一般存在奥氏体钢焊接接头的超声检测难点外，往往和母材的交界面由于声速的改变使得声束发生更大的偏移，再者材料的各向异性、声波衰减系数不同等造成检测信噪比低，这些都会影响缺陷的检出，因此拟在下次修订时考虑列入；

b) 对于超声检测而言，镍基合金焊接接头和奥氏体不锈钢焊接接头类似：晶粒粗大引起声波衰减，降低了缺陷信号的信噪比；声波通过异质界面时，会有反射和折射，进而引起传播路径改变和伪缺陷信号；柱状晶的各向异性，引起声束弯曲，影响了缺陷的定位。附录1给出了奥氏体不锈钢对接接头超声检测方法和质量分级，由于上述两种焊接接头对超声传播来说具有类似性，因此对承压设备镍基合金焊接接头超声检测具有其指导意义。

另外，全国锅炉压力容器标准化技术委员会为承压设备镍基合金焊接接头超声检测标准的制定做了大量技术储备工作，组织中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、中国一重、镇海石化建安公司等单位开展镍基合金焊接接头超声检测资料收集、调研和试验研究工作，取得了一定成果。同时，鼓励和促进相关企业先行做好企业标准示范工作，如组织行业专家对镇海石化建安工程有限公司企业标准 Q/ZPJE 01—2016“镍合金焊接接头超声波检测”进行评审等，使企业压力容器制造检测在规范的基础上得以



顺利实施，同时为本部分相关焊接接头超声检测的修订提供了基础。

因此，在下一步对本部分相关焊接接头超声检测的内容进行修订时，应制订镍基合金焊接接头超声检测等内容，以持续满足和适应承压设备行业无损检测的要求。

## 2、相关超声检测新技术的发展对本检测方法影响的趋势

进入 21 世纪以来，超声检测技术的发展尤其迅速，特别超声成像技术克服了传统超声检测不直观、记录性差、检测过程人为因素大等缺点，有效地提高了缺陷定量的准确性和定性的可靠性，其中相控阵技术是目前超声检测技术中最主要的典型代表。

新技术的开发应用虽然弥补了传统技术的不足，但也存在明显的局限性：如相控阵检测技术图像的获取也需要探头沿一定路线行走，因此传统超声检测技术仍具有强大的生命力，检测方式较为灵活，设备调试简单快捷。

相控阵超声检测等新的超声成像技术的发展和應用，既是对传统超声检测技术的革命，也是对其有效的补充，新旧技术相辅相成。就目前来看新技术并不能完全取代传统超声检测技术。

**NB/T 47013.4—2015**

**《承压设备无损检测  
第4部分：磁粉检测》**

**标 准 释 义**

# 引言

## 1、磁粉检测的定义与原理

本部分是指以微粒状磁性材料即磁粉作为磁场传感器，利用其聚集形成的磁痕来显示磁化材料表面或近表面不连续的位置、大小、形状和严重程度的一种无损检测方法。

磁粉检测的原理：铁磁性材料在外加磁场的激励下，在内部产生很强的磁感应强度，其磁力线密度增大几百至几千倍，如果材料中存在不连续（包括缺陷造成的不连续或者结构、形状、材质等原因造成的不连续），在不连续处磁力线发生局部畸变，部分磁力线有可能逸出材料表面，从空间穿过并重新进入材料内，形成泄漏磁通，泄漏磁通具有吸附磁粉的能力，以形成与不连续轮廓对应的指示。由缺陷不连续引起的泄漏磁通能否形成及其密度的大小与外加磁场强度有关（基于每种铁磁性材料存在磁饱和，具有一定的限度）、与缺陷不连续的深度、取向、尺寸和形状有关，因此，磁粉检测的能力取决于所施加的磁场强度，缺陷不连续的深度、尺寸和形状。

磁粉检测的基本操作包括：

- （1）在被检材料内建立适当的磁通。
- （2）施加干磁粉或液体悬浮的磁粉。
- （3）在适当的照明条件下检查被检区工件表面，解释和评价检测中呈现的指示。

磁粉检测是较早应用的无损检测方法之一，广泛应用于铁磁性金属原材料、零部件、结构件和焊接制品的质量检测与质量控制，因其对表面或近表面缺陷检出率高、缺陷显示直观、操作简便、检测成本低、速度快，已成为铁磁性金属材料表面或近表面缺陷检测的主要方法。在承压特种设备行业，磁粉检测技术的应用涵盖了从原材料准备、零部件的加工与制作、承压设备的制造与安装，到投用后的运行维护等各环节，是有效保障承压设备安全的重要手段。

磁粉检测的优点和局限性概括如下：

- （1）适用于铁磁性材料检测，不能用于非铁磁性材料检测。

用于制造承压类设备的材料中，属于铁磁性材料常见的有碳素钢、低合金钢、马氏体不锈钢、铁素体不锈钢、镍及镍合金；不具有铁磁性质的材料有奥氏体不锈钢、钛及钛合金、铝及铝合金、铜及铜合金。

- （2）仅能检测表面或近表面缺陷，不能用于检测内部缺陷。

磁粉检测对铁磁性材料表面开口或不开口性缺陷最灵敏，而随表面以下的近表面缺陷埋藏深度的增大，其检测灵敏度迅速下降；其可检出的缺陷埋藏深度与工件表面状况、缺陷特征以及检测工艺条件有关。对光洁表面（例如经磨削加工的轴），一般可检出深度为1mm~2mm的近表面缺陷，采用强直流磁场可检出深度达3mm~5mm的近表面缺陷，但对焊缝检测而言，因其表面粗糙不平、背景噪声高，弱信号难以识别，近表面缺陷漏检的可能性明显提高。



(3) 检测灵敏度高，可以发现极细小的裂纹以及其他缺陷。

理论研究和试验结果表明：磁粉检测可检出的最小裂纹尺寸宽度约为  $1\mu\text{m}$ ，深度约为  $10\mu\text{m}$ ，长度约为  $1\text{mm}$ 。但实际现场应用时可检出的裂纹尺寸达不到这一水平，比上述数值要大得多，虽然如此，在 RT、UT、MT、PT、ET 五种常规的无损检测方法中，对表面裂纹检测灵敏度最高的仍是 MT。

(4) 检测成本低，速度快。

磁粉检测设备一般售价不高，磁粉、磁悬液等消耗材料费用更低。磁粉检测不仅检测成本低，而且检测速度很快，例如使用交叉磁轭检测焊缝，检测速度可达  $2\text{m}/\text{min}$  左右，轴类工件直接通电检测，完成磁化只需数秒。

(5) 工件的形状和尺寸对检测有影响，有时因其难以磁化而无法检测。

磁粉检测的磁化方法有很多种，根据工件的形状、尺寸和磁化方向的要求，选取合适的磁化方法是磁粉检测工艺的重要内容；如果磁化方法选择不当，有可能导致检测失败。对不利于磁化的某些结构工件可通过连接辅助块加长或形成闭合回路来改善磁化条件，对没有合适的磁化方法且无法改善磁化条件的结构应考虑采用其他检测方法。

## 2、磁粉检测技术国内、外发展现状

磁粉检测在工业领域的应用已有近百年的历史，其理论研究比较成熟，方法日臻完善。我国和欧美发达国家都已建立涵盖设备器材、检验方法、产品检查及验收、质量控制、人员要求等各个方面较为完整的标准（规范）体系。国外非常重视磁粉检测设备的开发，只有检测设备的进步，才能给磁粉检测带来成功的应用。目前国外磁粉检测设备从固定式、移动式到携带式，从半自动、全自动到专用设备，从单向磁化到多向磁化，设备已实现了系列化和商品化。由于晶闸管等电子元器件被用于磁粉检测设备，使设备小型化成为可能，并实现了电流的无级调节；计算机技术的应用，使智能化设备大量涌现，这些设备可以预置磁化规范和合理的工艺参数，进行荧光磁粉检测和自动化操作。国外还成功地运用电视光电传感器的荧光磁粉扫查系统和激光飞点扫描系统，实现了磁粉检测观察阶段的自动化，将检测记录的信息通过计算机或其他电子装置进行处理，以鉴别可剔除的不连续性，并进行自动标记和分选，大大降低了检测的劳动强度。

近年来，我国磁粉检测设备发展也很快，三相全波直流探伤超低频退磁设备的性能已达到国外同类设备的水平；交流探伤机用于剩磁法检验时，率先加装断电相位控制器，保证了剩磁稳定；晶闸管技术的应用代替了自耦式变压器，实现了无级调节磁化电流，也为磁粉检测设备的电子化和小型化奠定了基础。磁粉检测智能化设备和自动化、半自动化设备已经生产应用，光电扫描图像识别的磁粉探伤机也已研制成功。针对相关与非相关显示有时难以分辨，国内进一步研发了由多向复合磁化技术、CCD 光学检测技术与计算机图像处理技术组合而成的集成检测设备，具有检测可靠、灵敏度高等特点，并取得了很好的应用效果，同时引导了荧光磁粉自动化探伤设备的新潮流，它的使用完全改变了传统磁粉检测“手脚并用眼睛看”的局面。

## 3、国内、外相关磁粉检测标准与本部分的对比

近十多年来，国际标准化组织（ISO）、欧洲标准化组织（EN）、美国机械工程师

学会(ASME)等陆续对其主要磁粉检测标准或规范进行了修订与增补,如欧洲标准 EN 1290: 1998《焊缝磁粉检测》已等同转化为 ISO 17638: 2003《焊缝无损检验 磁粉检验》,并被德国、法国、英国等国家所采用;ASME 第 V 卷第 7 章经过多次换版和增补,现行有效版本为 2015 版。我国近年来也先后颁布多部磁粉检测标准,如 GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 磁粉检测》、GB/T 26952—2011《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测验收等级》、GB/T 15822—2005《无损检测 磁粉检测》系列标准等。JB/T 4730.4—2005 所引用的规范性文件 JB/T 6063—1992《磁粉探伤用磁粉 技术条件》也已更新为 2006 版,并采纳了 ISO 9934-3: 2002 的相关内容,JB/T 8290—1998《磁粉探伤机》已更新为 2011 版。这些标准的颁布集中体现了我国近期在磁粉检测技术应用方面的进步。本次修订吸收了国内外磁粉检测在检测人员、设备、器材、方法、工艺要求、检测环境、安全、磁痕记录、缺陷评定等方面的变化和技术进展,并结合 JB/T 4730.4—2005 工程应用实践经验和我国特种设备磁粉检测的现状与发展趋势,增补、修改了相关技术参数与要求,力求与国外先进技术相同或接近。

国内、外相关标准与 NB/T 47013.4—2015 的主要内容对比见表 1。

表 1 国内、外相关标准与本部分对比

对比内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.4—2015	说 明
范围	GB/T 26951—2011、GB/T 26952—2011 和 ISO 17638: 2003、ISO 23278: 2006 适用范围: 焊缝的磁粉检测。 ASME E-709: 原材料、半成品材料(钢坯、钢块、铸件和锻件)、最终产品材料和焊缝等,也适用于产品的在役检测。 ASME 规范第 V 卷第 7 章除常用的磁粉检测技术外,还包括涂层铁素体材料交流磁轭磁粉检测、磁橡胶检测技术	NB/T 47013.4—2015 适用于承压设备焊缝及其原材料、机加工部件,包括铁磁性材料制板材、复合板材、管材、管件和锻件等表面或近表面缺陷的检测,以及铁磁性材料对接接头、T 型焊接接头和角接头,与承压设备有关的支承件和结构件,也可参照执行	NB/T 47013.4—2015 是针对承压设备的,既规定了磁粉检测方法,也规定了质量分级要求
检测人员	我国无损检测人员资格鉴定与认证标准 GB/T 9445—2008 等同采用了 ISO 9712—2005 标准,增加了无损检测新方法或门类、1 级和 2 级考核的试样要求,修改了合格条件、3 级重新认证的信用体系等内容,以满足我国标准与国际接轨以及无损检测人员资格互认的要求。国际上无损检测人员培训和考核标准是 ISO 9712《无损检测——人员资格鉴定与认证》。美国培训体系采用的标准有 2 个: SNT-TC-1A《无损检测人员资格鉴定和认证》和 ANSI/ASNT-CPI89《ASNT 无损检测人员资格鉴定和认证标准》。 欧盟培训体系采用 EN 473: 2008《无损检测无损检验(NDT)人员的鉴定和认证一般原则》,ISO 9712 专门规定了 ISO 9712: 2005 和 EN 473: 2008 标准之间的转换关系,人员认证可以根据两个标准中任意一个标准的认证要求执行	从事磁粉检测的人员应满足 NB/T 47013.1 的有关规定。 磁粉检测人员未经矫正或经矫正的近(小数)视力和远(距)视力应不低于 5.0(小数记录值为 1.0),测试方法应符合 GB 11533 的规定,并一年检查一次,不得有色盲	无损检测是专业性很强的技术工作,无损检测应用方法的有效性主要取决于检测人员知识水平、职业素质和技术能力。因此,从事无损检测的人员必须经过培训并取得证书,方能从事相应的无损检测技术工作,这一点都被世界各国的无损检测标准和规范所认可



表 1 (续)

对比内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.4—2015	说 明
工艺文件	国内标准 JB/T 6061—2007《无损检测 焊缝磁粉检测》、GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 磁粉检测》和 GB/T 2695—2011《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》规定了焊缝磁粉检测的工艺要求。 ISO 17638: 2003 规定了磁轭法、触头法、绕电缆法探测焊缝（包括对接焊缝、角焊缝及相贯线焊缝）的典型磁化方法，在焊缝检测工艺方法方面有特色，并相继转化成欧盟各国的标准，如在英国转化为 BS EN ISO 17638: 2009 标准。ASME 规范第 V 卷第 7 章在磁粉检测工艺方面增加了磁粉检测的工艺规程的重要因素和非重要因素，并规定了工艺规程的鉴定要求	检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外，还应规定下列相关因素的具体范围或要求；当相关因素的一项或几项发生变化并超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。 操作指导书在首次应用前应采用标准试件进行工艺验证，以确认是否能达到标准规定的要求	检测工艺直接影响磁粉检测可靠性，检测工艺因素的变化会影响磁粉检测灵敏度。因此，NB/T 47013.4—2015 参考了 ASME 规范第 V 卷第 7 章工艺文件的有关内容，增加了工艺规程相关因素的具体范围或要求
安全要求	GB/T 15822.1—2005《无损检测 磁粉检测 第 1 部分：总则》在第 5 章专门规定了安全与环境要求。国外磁粉标准也均有专门章节规定了检测环境和安全要求。如 ISO 17638: 2003 在第 4 章安全警示中规定了检测安全要求。美国 ASME 规范 SE-709 第 23 章也专门规定了安全要求，包括电击和灼伤、飘浮的颗粒、跌倒、着火、环境、湿的地板、大部件掉落、紫外线辐射、材料浓缩物，内容比较详细	NB/T 47013.4—2015 规定了磁粉检测的 5 个方面的危险源。内容包括电击或灼伤、紫外线辐射、颗粒危害、有毒磁粉等材料危害、易燃易爆的场合使用轴向通电法和触头法引发的火灾等	现代无损检测标准十分重视检测环境和安全要求。NB/T 47013.4—2015 主要参考了 ASME 规范规定的磁粉检测的安全要求
设备	我国磁粉探伤机标准 JB/T 8290 最新版增加了磁粉探伤机切向场强的技术要求和检验方法、可见光照度的技术要求和检验方法、旁路电流的技术要求和检验方法、安全电压的技术要求和检验方法、保护接地电路的连续性的技术要求和检验方法、磁粉探伤机安全要求、对超低频退磁的规定等许多内容，除 JB/T 8290 更新外，我国还制定了 GB/T 15822.3—2005《无损检测 磁粉检测 第 3 部分：设备》，描述了 3 种类型的磁粉检测设备：便携式或移动式设备、固定设备和用于连续检测工件的专用检测系统，相对于原有的磁粉检测设备，GB/T 15822.3—2005 增加了专用检测系统，该系统由一系列操作工位依次排列组成的流水线，并规定了磁粉检测流水线的系统验证要求，以体现磁粉检测向半自动化和自动化方向发展的技术进步	NB/T 47013.4—2015 规定了磁粉检测设备应符合 JB/T 8290 的规定。此外，NB/T 47013.4—2015 还规定了电磁轭的提升力要求。当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有 45N 的提升力；直流电（包括整流电）磁轭或永久性磁轭至少应有 177N 的提升力；交叉磁轭至少应有 118N 的提升力（磁极与试件表面间隙为小于或等于 0.5mm）	磁粉检测技术的进步最终体现在检测设备的性能上。NB/T 47013.4—2015 对磁粉检测设备要求引用了 JB/T 8290。由于 JB/T 8290 对磁轭的提升力未作具体规定，因此标准增加了磁轭提升力指标，以反映磁化规范的要求
器材	我国磁粉检测器材方面的标准有 JB/T 6063《无损检测 磁粉检测用材料》、JB/T 6065《无损检测 磁粉检测用试片》和 JB/T 6066《无损检测 磁粉检测用环形试块》。另外在行业标准的基础上又增加了 2 个国家标准 GB/T 23906—2009《无损检测 磁粉检测用环形试块》，GB/T 23907—2009《无损检测 磁粉检测用试片》，内容与行业标准一致。除行业标准 JB/T 6063 更新外，我国又颁布了磁粉检测介质的国家标准 GB/T 15822.2—2005《无损检测 磁粉检测 第 2 部分：检测介质》，GB/T 15822.2—2005 也是修改采用了 ISO 9934-2:2002，内容与 JB/T 6063—2006 基本一致。ASME 规范第 V 卷应用文件 SE-709 第 8 章也对此作了详细的规定	NB/T 47013.4—2015 规定了磁粉检测器材的相关要求，包括磁粉、载液等检测介质，以及标准试片、标准试块等。如正文中规定外，还引用了 3 个规范性文件。如磁粉粒度和性能等其他要求应符合 JB/T 6063 的规定。A1 型、C 型和 D 型标准试片应符合 GB/T 23907 的规定。中心导体磁化方法标准试块应符合 GB/T 23906 的规定	磁粉检测器材对检测至关重要。磁粉作为磁场传感材料，其性能直接影响磁粉检测灵敏度，磁粉的性能包括磁特性、粒度、形状、流动性、密度和识别度等，JB/T 6063 对此作了专门的规定，NB/T 47013.4—2015 对磁粉的要求直接引用 JB/T 6063



表 1 (续)

对比内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.4—2015	说 明
检测方法	国内、外标准规定的磁粉检测方法有干法（荧光、非荧光）、湿法（荧光、非荧光），连续法、剩磁法，磁化方法有轴向通电法、触头法、线圈法、磁轭法、中心导体法、偏心导体法等。此外，ASME 规范除湿法和干法外，还包括湿糊状或涂料状磁粉技术、聚合物磁粉技术（磁橡胶法）。国内标准 JB/T 6061—2007《无损检测 焊缝磁粉检测》、GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 磁粉检测》和 GB/T 26952—2011《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》规定了焊缝磁粉检测的工艺要求。与用 ISO 17638:2003 相比，JB/T 6061—2007 和 GB/T 26951—2011 均增加了交叉磁轭技术和用试片对系统灵敏度进行综合性能测试内容	磁粉检测方法按施加磁粉的载体、施加磁粉的时机、磁化方法三方面进行分类，按施加磁粉的载体分为干法（荧光、非荧光）、湿法（荧光、非荧光），按施加磁粉的时机分为连续法、剩磁法，按磁化方法分轴向通电法、触头法、线圈法、磁轭法、中心导体法、偏心导体法、复合磁化法（交叉磁轭法或交叉线圈法）	国内、外标准对磁粉检测方法分类基本相同。所不同的是 NB/T 47013.4—2015 增加了交叉磁轭的磁化方法。交叉磁轭技术是我国标准的特色。交叉磁轭由于一次可以检测一个区域内各个方向的缺陷，因此在大型承压设备磁粉检测中得到广泛使用
磁化规范	磁粉检测应有适当的磁场强度，为了使磁痕显示的一致性，磁场强度必须控制在合理的范围，通常是±25%，影响磁场强度的因素是工件的尺寸、形状、材质以及磁化技术等。这些因素的变动范围广泛，所以很难制定严格的磁场强度规则以适用于每种工件，因此国内、外相关标准都用多种方法来确定磁场强度。如 ASME 规范 SE-709 规定可按下述内容确定足够的磁场强度： a) 了解不连续性——用同类零件的实验了解不连续性； b) 用标准试片（块）来确定磁场强度是否合适； c) 用霍尔传感器测量施加在工件表面的切线磁场强度，其量程范围为 2.4kA/m～4.8kA/m，在相同情况和磁场条件下，可要求 0.8kA/m～12kA/m 量程范围； d) 用磁化电流表征的磁场强度按经验公式计算	磁场强度可以用以下几种方法确定： a) 用磁化电流表征的磁场强度按 4.10.6.3～4.10.6.5 所给出的公式计算； b) 利用材料的磁特性曲线，确定合适的磁场强度； c) 用磁场强度计测量施加在工件表面的切线磁场强度。连续法检测时应达到 2.4kA/m～4.8kA/m，剩磁法检测时应达到 14.4kA/m； d) 用标准试片（块）来确定磁场强度是否合适	在确定磁场强度的几种方法中，可采用一种或几种的组合。用经验公式计算方法针对形状规则工件；用磁场强度计测量施加在工件表面的切线磁场强度适用于形状复杂工件；测绘磁特性曲线制定磁化规范针对与常规工程材料磁特性差别较大的钢材；标准试片（块）方法是最常用的方法，但不适用于剩磁法
磁痕记录	JB/T 6061—2007《无损检测 焊缝磁粉检测》、GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 磁粉检测》在标准 5.12 节规定了磁痕的显示记录方式，内容比较详细，体现了磁粉检测磁痕记录向数字化方向发展的要求。国际标准 ISO 17638:2003 和 ISO 17638:2003 规定了磁痕的显示记录方式，包括草图、照片、透明胶带、录像、电子扫描等 10 种方式	NB/T 47013.4—2015 规定的磁痕记录方式有： a) 文字描述； b) 草图； c) 照片； d) 透明胶带； e) 透明漆“凝结”被检表面的显示； f) 可剥离的反差增强剂； g) 录像； h) 环氧树脂或化学磁粉混合物； i) 磁带； j) 电子扫描	现代磁粉检测技术开始进入图像化时代，磁粉检测的磁痕记录有草图、照片、透明胶带等传统方式和录像、电子扫描等多媒体手段。因此，NB/T 47013.4—2015 根据国内、外标准的最新技术成果，增加了磁痕记录方面的内容。这充分体现了标准的先进性

表 1 (续)

对比内容	国内、外相关标准	NB/T 47013.4—2015	说 明
验收标准	<p>GB/T 26952—2011《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》在表 1 中规定了焊缝磁粉检测的验收等级。鉴于 GB/T 26952—2011 针对的检测对象的具体要求不同, 因此将焊缝磁粉检测的验收等级分为多个级别。</p> <p>ISO 23278:2006 中则等同采用了 EN 1291:1998 的焊缝磁粉检测验收等级, 与 GB/T 26952—2011 的规定一致。</p> <p>ASME 第 V 卷磁粉检测没有规定缺陷验收标准, 相应内容见 ASME 产品标准卷中, 如第 VIII 卷强制性附录 6 规定压力容器验收标准, ASME 规范磁粉检测验收标准只有通过和不通过两种结果</p>	NB/T 47013.4—2015 将焊接接头的质量分为 I、II 两个等级, 将其他部件的质量分为 I、II、III、IV 四个等级	由于承压设备有一定的危险性, 因此, NB/T 47013.4—2015 对焊缝磁粉检测验收等级要求选择了 GB/T 26952—2011 和 ISO 23278:2006 最严格的 I 级。这样既与国家标准和国际标准不冲突, 又保证了 NB/T 47013.4—2015 标准的严肃性
在用承压设备的磁粉检测	除 JB/T 4730.4—2005 外, 国内、外其他标准均无对在用承压设备磁粉检测的相关规定	对在用承压设备进行磁粉检测时, 其内壁宜采用荧光磁粉检测方法进行检测。制造时采用高强度钢以及对裂纹(包括冷裂纹、热裂纹、再热裂纹)敏感的材料, 或长期工作在腐蚀介质环境下有可能发生应力腐蚀裂纹的承压设备, 其内壁应采用荧光磁粉检测方法进行检测。检测现场环境应符合 6.2.2 的要求	承压设备是磁粉检测重要的应用领域。鉴于在用承压设备存在失效风险, NB/T 47013.4—2015 对在用承压设备磁粉检测提高了灵敏度要求, 体现了标准的科学性、先进性和适应性

#### 4、修订概况

##### (1) 历次制修订过程

我国锅炉压力容器行业的磁粉检测技术规范最早出现在 JB 741—80《钢制焊接压力容器技术条件》的附录 5“磁粉检测”和附录 7“螺栓磁粉检测”中, 1985 年、1986 年原机械部相继颁布了行业标准 JB 3965—1985《钢制压力容器磁粉探伤》和 JB 4248—1986《钢制压力容器锻件磁粉探伤》, 1994 年由国家四部委联合发布了综合性标准 JB 4730—94《压力容器无损检测》, 其中第 4 篇为磁粉检测, 2005 年该部分修订为 JB/T 4730.4—2005《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》。

2012 年 1 月全国锅炉压力容器标准化技术委员会在调研的基础上依据国家能源局国能科技〔2012〕326 号文“国家能源局关于下达 2012 年第二批能源领域行业标准制(修)订计划的通知”, 组建了涵盖特种设备制造、使用、研究、检验检测等领域的专家和代表的《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》标准修订工作组。标准工作组以 JB/T 4703.4—2005 为基础, 经过调研与研究, 参考 ASME、EN、ISO 等和国内近年颁布的相关特种设备法规、磁粉检测标准, 先后形成了征求意见稿、送审稿、报批稿,



最终于2015年4月2日发布NB/T 47013.4—2015《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》。

### (2) 本次修订的必要性

JB/T 4730.4—2005的颁布实施，对规范承压设备磁粉检测，保证检测质量，保障承压设备的安全运行等方面起到了积极作用。自颁布至今，从磁粉检测用材料、试片或试块、检测仪器要求，到检测工作质量控制和结果的质量分级等需要都发生了变化；为适应当前承压设备制造及磁粉检测技术发展和应用需要，提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力，有必要对JB/T 4730.4—2005进行制修订，以吸收和参考国内、外磁粉检测的新标准、新技术和新成果，充分反映行业技术进步，实现主要技术内容与国际接轨。

### (3) 本次修订的原则

- a) 以JB/T 4730.4—2005为基础，以美国ASME规范第V卷第7章、SE-709和SE-275为主要参考标准，同时参考国际标准化组织ISO 17638: 2003和国内2005年以来修订的或颁布的磁粉检测标准，力求本部分的技术要求与先进标准技术相同或相近；
- b) JB/T 4730.4—2005颁布以来的应用经验和行业反馈意见；
- c) 针对锅炉、压力容器及压力管道介质特性、使用工况和安全运行要求等，严肃工艺纪律，加强磁粉检测工艺文件、记录和报告的要求；
- d) 与现行的2005年以来颁布的相关特种设备法律、法规和技术规范相匹配；
- e) 依据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定和本标准修订组的统一要求，对原标准格式进行调整；统一原标准中的名词、术语、规格代号及技术要求等；
- f) 对原标准中不妥之处进行修改。

### (4) 本次修订的主要技术变化

——第2章对应于JB/T 4703.4—2005第2章，主要内容变化为：

- a) 增加了GB/T 5097《无损检测 渗透检测和磁粉检测 观察条件》；
- b) 增加了GB/T 12604.5《无损检测 术语 磁粉检测》；
- c) GB/T 23906《无损检测 磁粉检测用环形试块》替代JB/T 6066—2004《无损检测 磁粉检测用环形试块》；
- d) GB/T 23907《无损检测 磁粉检测用试片》替代JB/T 6065—2004《无损检测 磁粉检测用试片》。

——第3章对应于JB/T 4703.1—2005第3章，主要内容变化为：

- a) 增加了复合磁化的术语与定义；
- b) 增加了纵、横向缺陷的术语与定义。

——第4章对应于JB/T 4703.4—2005第3章，主要内容变化为：

- a) 增加了检测工艺文件，包括工艺规程和操作指导书的内容与要求，并规定了工艺规程的相关因素；



- b) 增加了整流电磁轭或永久性磁轭的提升力要求;
- c) 修改了黑光灯工作波长范围,增加了黑光照度计的工作波长与峰值波长要求;
- d) 调整了磁粉检测用辅助器材种类,取消了豪特斯拉计;
- e) 增加了标准试片使用的相关内容,纠正了磁场指示器的结构形式;
- f) 增加了直流线圈与交流磁轭组合的复合磁化方法;
- g) 将偏置芯棒法修改为偏心导体法,明确了分区域检测时每次外表面的有效检测长度为4倍的芯棒导体直径;
- h) 增加了按经验公式确定磁化电流后,应经标准试片验证的规定;
- i) 修改了磁轭法检测的有效宽度和重叠范围;
- j) 修改了线圈法磁化的有效磁化区域,规定了低、中、高充填因数线圈法磁化时的不同有效磁化区域;
- k) 增加了采用线圈法磁化长工件时,分段磁化每次有效范围的规定;
- l) 增加了用于核查磁轭法提升力试块校准的相关规定;
- m) 增加了用于荧光磁粉检测的黑光灯的核查要求;
- n) 取消了设备内部线路短路、电流载荷校验、通电时间校验等原则上每年进行一次测定的要求;
- o) 修改了磁粉检测表面准备的要求;调整了非铁磁性涂层磁粉检测的相关内容,适当放宽其检测的限制条件;增加了为改善表面背景对反差增强剂的使用。

——第5章对应于JB/T 4703.4—2005第4章,主要内容变化为:

- a) 增加了按磁化方法进行磁粉检测方法分类中的偏心导体法以及交叉线圈法等复合磁化方法的分类;
- b) 增加了交叉磁轭法检测时的移动磁极、磁悬液的施加、磁痕的观察与用标准试片验证等的相关内容,提高了移动磁极时其端面与检测面的间隙要求。

——第6章对应于JB/T 4703.4—2005第5章,主要内容变化为:

- a) 修改了荧光磁粉检测时检测人员适应暗黑区的时间要求;
- b) 增加了缺陷显示记录的方式。

——第7章相对JB/T 4703.4—2005第6章,主要内容变化为:

增加了对检测结果有怀疑时需进行复验的规定。

——第8章对应于JB/T 4703.4—2005第7章,主要内容变化为:

增加了当产品技术条件有规定或委托检测方有要求时,应进行磁粉检测后的退磁处理。

——第9章对应于JB/T 4703.4—2005第9章,主要内容变化为:

- a) 取消了白点作为不允许存在的缺陷规定;
- b) 修改了焊接接头、受压其他部件(机加工件、材料)的质量分级。将焊接接头的质量分级分为两个级,并修改了I级质量级别的缺陷磁痕显示要求;

c) 取消了综合评级的要求。

——第10章对应于JB/T 4703.4—2005第8章，主要内容变化为：

- a) 增加了在用承压设备内壁磁粉检测时，宜采用荧光磁粉检测方法进行检测；
- b) 修改了高强钢、裂纹敏感性材料制，或长期在腐蚀介质环境下运行有可能发生应力腐蚀裂纹的在用承压设备磁粉检测时磁粉检测方法的要求。

——第11章对应于JB/T 4703.4—2005第10章，主要内容变化为：

增加了检测记录的规定，明确了应依据检测记录出具检测报告。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.4】【1 范围】释义

NB/T 47013.4在范围中具体规定了检测对象的产品类型，如板材、复合板材、管材、管件、锻件及焊缝的接头形式等。由于奥氏体不锈钢属于非铁磁性材料，因此删除了“不适用于奥氏体不锈钢”内容。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.4】【2 规范性引用文件】释义

#### 1、关于新增规范性引用文件

本节新增了GB/T 5097《无损检测 渗透检测和磁粉检测 观察条件》（现行版本为2005版）和GB 12604.5《无损检测 术语 磁粉检测》（现行版本为2008版）作为本标准的规范性引用文件，其相应的内容和技术指标也作为本标准的一部分。GB/T 5097—2005经编辑性修改等同采用ISO 3059: 2001《无损检测 渗透检测和磁粉检测 观察条件》；磁痕显示的辨识、解释和评价需在适当的观察条件下进行，观察条件的差异会导致检测结果的不同，因此必须对光源、辐射源、照度、观察者的视力和辨色能力，以及测量其相应技术指标的器材等观察条件进行控制。GB 12604.5—2008替代GB 12604.5—1990《无损检测术语 磁粉检测》，本部分涉及的在第3章未列出的术语及其定义应以GB 12604.5为准。

#### 2、关于引用文件的替代

JB/T 6066—2004《无损检测 磁粉检测用环形试块》已废止，现行版本为GB/T

23906—2009《无损检测 磁粉检测用环形试块》；JB/T 6065—2004《无损检测 磁粉检测用试片》已废止，现行版本为 GB/T 23907《无损检测 磁粉检测用试片》；JB/T 6063—1992《磁粉探伤用磁粉 技术条件》已修订为 JB/T 6063—2006《无损检测 磁粉检测用材料》；JB/T 8290—1998《磁粉探伤机》已修订为 JB/T 8290—2011《无损检测仪器 磁粉探伤机》。

### 3、关于引用文件的取消

本章取消了 GB/T 16673—1996《无损检测用黑光源（UV-A）辐射的测量》作为规范性引用文件，该标准已废止。

### 4、关于引用文件版本号的取消

鉴于所引用的文件存在修订换版的可能，为使最新版本的引用文件适用于本部分，取消了引用文件的版本号。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.3】【3 术语和定义】释义

本章为新增章节。JB/T 4730.4—2005 涉及的术语及其定义是放在 JB/T 4730.1—2005 中，本次修订将有关磁粉检测的术语及其定义在本部分列出；对切线磁场强度、交叉磁轭等在 GB 12604.5 规范性引用文件已有解释的，不再列入。

#### 1、关于纵、横向缺陷（3.5）

依据材料力学卢德斯带理论，材料在受到拉应力、压应力、剪切应力或者是扭应力时，在与应力成  $45^\circ$  角方向上率先产生破裂。对于紧固件或者轴类零件如在与应力方向成  $45^\circ$  角左右范围存在缺陷时，易发生起裂失效，视为危害性缺陷；对于焊缝，与纵向缺陷相比横向缺陷并无特殊的危害。故 JB/T 4730.4—2005 在磁痕分类中明确了纵、横向缺陷的定义和定量规定，本次修订将其作为术语与定义进一步明确。

#### 2、关于复合磁化（3.4）

复合磁化是指通过多向（一般为相互垂直的两个方向）外加磁场激励，在工件中产生一个大小和方向随时间成圆形、椭圆形或螺旋形变化的磁场，因其磁场方向不断变化，可发现不同取向的缺陷，提高检测效率。

实现复合磁化的方法可以有不同的组合，除常见的交叉磁轭的方法外，近十多年陆续出现了交叉线圈复合磁化法、交流磁轭与直流线圈复合磁化法等。复合磁化技术具有良好的应用前景和开发空间。



## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.4】【4.1 检测人员】释义

#### 1、关于人员要求（4.1.1）

本节对磁粉检测人员提出了具体要求，不仅需符合 NB/T 47013.1—2015 中 4.1 的规定，对检测人员的视力、辨色能力及其持续能力作出了规定。

#### 2、关于视力和辨色能力

目前磁粉检测中显示的磁痕，其观察、解释与评价主要是通过检测人员肉眼来完成的，与人的视觉特性紧密相关，即对识别对象的亮度、反差（对比度）、色泽等感觉方式相关，因此国内、外磁粉检测标准均对检测人员的视力指标和辨色能力进行了规定。

非荧光磁粉检测主要采用黑色、灰色或红色磁粉，荧光磁粉检测采用的磁粉在辐射源照射下激发黄绿色荧光，被检工件表面除趋于白色的机加工表面或焊缝打磨表面等外，有可能存在局部残留灰色或红色防锈漆或黄色锈蚀等，因此仅要求检测人员色弱（即对某一种颜色或几种颜色不能分辨）是不够的。

### 【NB/T 47013.4】【4.3 检测工艺文件】释义

本节为新增加章节，是对 NB/T 47013.1—2015 的 5.2 中规定的补充和具体检测方法的规定与要求，明确了磁粉检测书面工艺文件的形式、内容及验证要求，也是特种设备磁粉检测关于检测工艺文件的一般要求。具体编制工艺文件即通用工艺规程和操作指导书时，应符合 NB/T 47013.1 中 5.2 条和本条的规定。

检测工艺恰当与否直接影响磁粉检测可靠性和检测目的的实现，书面的工艺文件及其演示验证的要求既是检测工作质量的保证，避免或减少因操作者不同导致的检测结果差异，也是磁粉检测标准的重要内容。

#### 1、关于相关因素（4.3.2）

相关因素是指在磁粉检测过程中对检测结果有影响的相关工艺因素，其可能是具体要求，也可能是某一适用范围，来源于美国 ASME 规范第 V 卷。2004 版 ASME 规范第 V 卷在 T-721 中新增了工艺规程的重要变素和非重要变素，并规定了重要变素的内容改变时要求书面规程通过演示重新鉴定，非重要变素变更时，不要求对书面规程进行重新鉴定；书面规程中规定的所有重要变素或非重要变素发生变更时，应要求对书面规程改版或增加补遗。

## 2、关于验证（4.3.4）

验证是通过贴合在被检工件有效检测区域内标准试件（试片或试环）中一定尺寸与形状人工缺陷磁痕显示的完整性与清晰程度来鉴定拟定的操作指导书正确与否，以达到标准规定的要求。操作指导书验证后，若其相关因素未发生变化，再次使用时可不再验证，但应保存第一次验证的相关数据与信息。

### 【NB/T 47013.4】【4.4 安全要求】释义

本节仅以警示的方式列出了磁粉检测安全方面的主要危险，具体安全防护要求应符合有关部门相关法规、标准的规定。与 JB/T 4730.4—2005 相比，增加了“使用不符合要求的有毒磁粉等材料引起的有害影响”的内容，是基于市场磁粉涂料使用更加规范、安全考虑，其他实质内容不变。

### 【NB/T 47013.4】【4.5 设备和器材】释义

#### 1、关于提升力（4.5.2）

提升力是衡量磁轭性能的重要指标，也是粗略表征被检工件或其局部获得满意的磁感应强度的简便有效的方法。NB/T 47013.4—2015 对交叉磁轭提升力测试时磁极与试件表面间隙作了修改，间隙的存在降低了被磁化工件的有效磁场强度，同时降低了交叉磁轭的提升力，但交叉磁轭为移动方便需要在磁极与工件表面保持一定的间隙，JB/T 4730—2005 对交叉磁轭的提升力指标规定磁极与试件表面间隙为 0.5mm，由于在实际测试过程中要使间隙正好为 0.5mm 有难度，因此修订时将间隙改成小于或等于 0.5mm。

#### 2、关于黑光灯和黑光照度计（4.5.4 和 4.5.5）

对黑光灯和黑光照度计的工作波长下限值作了修改，并将“中心波长”改为“峰值波长”。国际照明委员会将黑光的光谱范围区分为紫外线-A(UV-A)：315nm～400nm；修订时将黑光灯的波长范围规定为 315nm～400nm，使之与国际照明委员会规定黑光的波长范围相一致。JB/T 4730.4—2005 标准中规定黑光灯、黑光照度计的中心波长为 365nm，其含义不明确也难以检定，原引 ASME 相关规定属错误引用，其原文的含义应为黑光强度最大值时对应的波长，以峰值波长为宜。

#### 3、关于毫特斯拉计（4.5.8）

本节修订时，在磁粉检测辅助器材中删除了毫特斯拉计（与磁场强度计重复），并将白光照度计的内容放在 4.5.6 中，黑光灯的内容放在 4.5.4 中，黑光照度计的内容放在 4.5.5 中。

**【NB/T 47013.4】【4.6 磁粉、载体及磁悬液】释义****关于磁粉颜色（4.6.1）**

JB/T 4730.4—2005 规定所有磁粉应与被检工件表面颜色有较高的对比度。对于非荧光磁粉，只有磁粉的颜色与工件表面的背景颜色形成大的反差时，磁痕才容易被观察到；对于荧光磁粉，在黑光激励下工件表面背景呈微弱的紫色可见光本底，磁痕呈黄绿色，色泽鲜明，两者具有很高的对比度，能提供满意的对比度和亮度，其荧光磁粉本身的颜色与被检工件表面颜色的对比度并不重要。因此本条规定了非荧光磁粉应与被检工件背景表面颜色有较高的对比度。

**【NB/T 47013.4】【4.7 标准试件】释义**

标准试片是在日本 JIS 标准中首先提出，并陆续为各国标准所采用。一方面几何形状复杂的工件磁化时各部位的磁场强度很难用公式进行计算，方向也难以准确估计，因此采用的磁化规范可能对某些部位的检测不合适，磁场会出现不均匀现象，简单规则的工件会因材质成分、热处理状态等差异出现用公式计算的磁化电流值可能需修定；另一方面磁粉检测结果的可靠性是由磁化方法、磁化规范、系统性能、观察条件、操作等决定的，使用标准试片可以了解被检工件各部位表面有效磁场强度和方向，检测系统性能、有效检测区以及磁化方法是否恰当，具有使用简单、直观、方便等优点。

**关于标准试片的使用（4.7.1.3）**

我国自 JB 3965—1985《钢制压力容器磁粉探伤》后的承压设备磁粉检测系列标准中均采用了标准试片，但对标准试片的使用要求与规定尚不够完善；标准试片的正确使用直接影响检测灵敏度与检测结果，因此本次修订参考 GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 磁粉检测》附录 C（规范性附录）的主要内容，较为详细地规定了标准试片的使用要求，由 JB/T 4730.4—2005 中的 2 条增加到 5 条；增加的 3 条内容为：

（1）试片使用前，应用溶剂清洗防锈油，如果工件表面贴试片处凹凸不平，应打磨平，并除去油污。

（2）试片使用后，可用溶剂清洗并擦干，干燥后涂上防锈油，放回原装片袋保存。

（3）标准试片使用时，所采用的磁粉检测技术和工艺规程，应与实际应用的一致。

标准试片是确定磁化规范恰当与否最直观、可靠的方法，对形状规则工件用经验公式选择磁化规范后，也应用标准试片进行验证。检测时，根据工件磁粉检测预期的目标，确定所需的有效磁场强度，选取不同灵敏度的试片；需要有效磁场强度较小时，选用分数值较大的低灵敏度试片，需要有效磁场强度较大时，选用分数值较小的高灵敏度试片。标准试片应放置在检测区灵敏度较弱的位置，对形状复杂的工件，也可选用多个试片，同时分别贴在工件上不同的部位，以显示工件磁化后不同的被检表面部位磁化效果。

**【NB/T 47013.4】【4.8 磁化电流类型及其选用】释义**

磁粉检测采用的磁化电流有交流电、整流电（包括单相半波整流电、单相全波整流



电、三相半波整流电和三相全波整流电）、直流电和冲击电流七种。其中常用的电流类型有交流、全波整流、半波整流和直流。NB/T 47013.4—2015 标准在附录 A（资料性附录）中列出了磁化电流的波形、电流表指示及换算关系。

#### 关于磁化电流类型（4.8.1）

具体在选择磁化电流类型时，应根据需要检测的不连续类型和工件材质、规格等确定合适的磁化电流类型。磁粉检测最初倾向于采用蓄电池组提供的直流电流，随着磁粉检测技术的提高和电子线路的不断发展采用的磁化电流多种化：交流、半波整流、全波整流和直流，半波整流、全波整流电流是将交流电流通过半波或全波整流来获得。磁粉检测采用交流电时，一般只需一只变压器将市电变压产生低电压、高安培的交流磁化电流，线路简单，价格便宜；使用交流磁化电源的优点是：电流交变使被检工件的感应磁通过集肤效应而集中于工件表面，能有助于表面不连续指示的形成，退磁时易消除，同时借助于交变电流的脉动效应，可使施加在被检工件表面的磁粉扰动，增加磁粉的活动性，更易于被泄漏磁通吸引，增加了不连续指示的尺寸和可见性。磁通过于集中在被检工件表面，增加背景磁痕显示，可能会导致多数近表面不连续不能被检出，因此合适的磁化电流规范十分重要。此外，磁化电流切断时周期的峰值磁通可能不落在期望的范围内，使用时一般应配置断电相位指示器。半波整流是使交变的电流只有一个方向通流，线路装置简单，其穿透能力与单相全波整流相似，虽然在工件中心感应的磁通密度为零，但随离表面距离越接近越高，直至在表面上的磁通密度达到最大，整流波形的脉动效应使磁粉有最大的活动性，但由于电流不反转，退磁较困难且不能用于退磁。全波整流包括单相全波整流和三相全波整流，单相全波整流是将反向电流反转得到的单相脉动波形，其与三相全波整流具有相同的穿透本领，但使用时需较强的输入功率；三相全波整流是对三个交流相整流且将负向流反转为正向流产生一个接近水平线的直流磁化电流，由于电流分别从电源线的三相引出，需输入功率明显减少；与直流磁化电源类似，因其感应磁通深入工件表面较深，有助于发现较深层的缺陷，但在同样的磁通量情况下，被检工件表面的磁力线密度随磁场通深度增加而降低，影响表面或近表面不连续的检出。有资料表明，直流电磁轭在厚度大于 6mm 的钢板上进行磁粉检测时，尽管电磁轭的提升力满足标准要求（>177N），但用 A 型灵敏度试片测试，表面磁感场强度往往达不到预期的要求，对承压设备而言，表面缺陷的危害程度远高于内部缺陷，故承压设备磁粉检测时多采用交流电磁轭。

#### 【NB/T 47013.4】【4.9 磁化方向】释义

磁化方向取决于预期发现工件可能存在的主要危害性缺陷的方向，主要有周向磁化、纵向磁化和复合磁化。

#### 关于直流线圈和交流磁轭组合（4.9.3）

本条在复合磁化中增加了直流线圈与交流磁轭组合。直流线圈与交流磁轭组合法是目前用于大容积气瓶高效磁粉检测的主要方法；周向磁化采用宽带闭路交流磁轭，纵向

磁化采用直流双线圈，对工件进行复合磁化，能一次性全方位地检测工件表面缺陷，如图1所示。

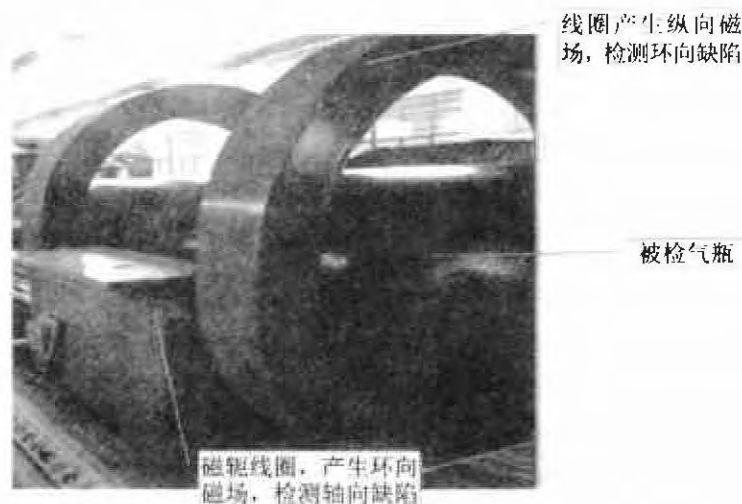


图1 线圈磁轭与直流线圈复合磁化

## 【NB/T 47013.4】【4.10 磁化规范】释义

### 1、关于磁场强度（4.10.1）

影响磁场强度的因素包括被检工件的材质、尺寸、形状以及磁化技术等，这些因素的变动范围广泛，所以很难制定严格的磁化规范以适用于每种工件。为了磁痕显示的一致性，磁场强度必须控制在合理的范围内，通常是 $\pm 25\%$ ，标准中介绍了四种方法来确定磁场强度。

（1）用磁化电流表征的磁场强度按4.10.6.3～4.10.6.5所给出的公式计算。

（2）利用材料的磁特性曲线，确定合适的磁场强度。

（3）用磁场强度计测量施加在工件表面的切线磁场强度。连续法检测时应达到 $2.4\text{kA/m} \sim 4.8\text{kA/m}$ ，剩磁法检测时应达到 $14.4\text{kA/m}$ 。

（4）用标准试片（块）来确定磁场强度是否合适。

与ASME SE-709中规定的确定磁场强度的方法对比，只有将“了解不连续性——通过同类零件的实验了解不连续性”改成“利用材料的磁特性曲线，确定合适的磁场强度”，其他三条内容均相同。

对于工件形状规则的磁化规范可用经验公式计算，但对于形状复杂的工件，很难用经验公式计算出每个部位的磁场强度，此时可以用仪器测量表面磁场强度：用连续法检测，工件表面的切向磁场强度为 $2.4\text{kA/m} \sim 4.8\text{kA/m}$ ，其下限值为标准规范要求，上限值为严格规范要求，用剩磁法检验，工件表面的切向磁场强度应达到 $14.4\text{kA/m}$ ，使工件达到饱和磁化状态。对常规工程材料来说，在相应的磁场强度下其相对磁导率均可在240以上，用经验公式确定的磁化规范均可得到所需的检测灵敏度，但对与常规工程材料磁特性差别较大的钢材，最好是在测绘其磁特性曲线后制定磁化规范，方可获得理想的检测灵敏度。标准试片方法对于异型工件和尺寸变化较大且形状复杂的工件具有快速

直观的优点,对工件局部的探伤灵敏度也能够实时控制,但对于小型工件磁化规范的确 定比较困难,对剩磁法不适用,也不能反映工件的磁特性,试片上能够发现的规定大小 的缺陷不能说明在工件上也能发现同样的缺陷,因此在使用标准试片之前,应了解工件 的磁特性,如工件的磁特性与试片相差较大,应进行适当修正。

## 2、关于偏心导体法(4.10.3)

根据 GB 12604.5—2008 术语定义,将“偏置芯棒法”改为“偏心导体法”,并增 加了“依次移动工件与芯棒的相对位置分区域检测”和“导体与内壁接触时应采取绝缘 措施”要求。

## 3、关于磁轭法(4.10.5)

磁轭法的有效区域宽度和相邻磁化区域的重叠范围,取决于检测时采用的磁极间距 及由此形成的磁场分布状况,因此以磁极间距来控制有效检测宽度更为合理。当前几乎 所有的主流标准(如 EN 1290: 1998、ASME SE-709、ISO 17638: 2003、ISO 9934-1: 2002, GB/T 15822.1—2005, GB/T 26951—2011)均规定磁轭法有效宽度为两极连线两 侧各 1/4 极距的范围内。

磁极间距控制在 75mm~200mm 范围,下限是基于磁极周边一般 25mm 范围内易形 成非相关显示和焊缝宽度 25mm 考虑,上限是基于被检工件到达满意的感应磁通考虑。 依据预期的检测目标水平,可适当减少或增加。

## 4、关于线圈法的有效磁化区域(4.10.6.1)

针对不同充填因数,分别规定了各自的有效磁化区域,低充填因数线圈法为从线圈 中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各一个线圈半径范围内;中充填因数线圈法为从线圈 中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各 100mm 范围内;高充填因数线圈法或缠绕电缆法 为从线圈中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各 200mm 范围内。其理由是低填充因数线 圈、中填充因数线圈和高填充因数线圈磁场分布不同,因此应规定不同的有效磁化区域, 使磁化规范更加精确。如美国 ASME SE-709 规定:对于低填充因数线圈,在线圈中心 向两侧延伸的有效磁化区大约等于线圈的半径  $R$ 。对于高填充因数线圈和绕电缆法,美 国 ASTM E 1444 规定:“从线圈中心向两侧分别延伸 9 英寸(229mm)为有效磁化区”。 因此 NB/T 47013.4—2015 标准规定低充填因数线圈法的有效磁化区域与美国 ASME SE-709 标准相同,高充填因数线圈法的有效磁化区域比美国 ASTM E 1444 稍为严格。

## 【NB/T 47013.4】【4.11 质量控制】释义

质量控制内容包括磁粉检测综合性能试验、磁悬液浓度测定、磁悬液污染判定、磁 悬液润湿性能检验、电流表、电磁轭的提升力、辅助仪表的校验等内容,磁粉检测的工 作质量取决于质量控制水平。NB/T 47013.4—2015 修订时在原 JB/T 4730.4—2005 基础 上增加了用于核查提升力的试块重量应进行校准和黑光灯应进行黑光辐照度核查的要求。



## 1、关于提升力试块（4.11.7）

提升力试块的标定方法分质量标定方法和重力标定方法。质量标定方法由具有相应资质的单位对提升力试块进行质量标定，一般采用校验合格的电子天平，用于称量提升力试块的质量，得到的是以 kg 为单位的提升力试块质量。重力标定方法由具有相应资质的单位对提升力试块的重力进行标定，通常采用校验合格的弹簧测力计，用于测量提升力试块的重力，得到的是以 N 为单位的提升力试块重力。

## 2、关于黑光灯黑光照度的核查要求（4.11.8）

参照 ASME SE-709 中 20.2 “黑光灯的黑光强度校验时间间隔为每周”的规定而修订的。

## 【NB/T 47013.4】【4.12 被检工件表面的准备】释义

### 关于非磁性涂层要求

本节修订时调整了非磁性涂层磁粉检测的相关内容，适当放宽其检测的限制条件；明确涂层为非铁磁性涂层，增加了检测单位（或机构）技术负责人同意和标准试片验证要求，删除了“经合同各方同意”的规定。工件表面的涂层会影响磁痕显示。对非磁性涂层，由于其磁导率与空气基本一致，因此不影响工件表面磁力线的分布，如果漏磁场的高度大于涂层厚度，磁力线依旧会逸出涂层表面形成漏磁场。图 2 揭示了工件表面涂层对漏磁场和磁痕显示的影响。图中有三个深宽比一样的横向裂纹，纵向磁化后产生同样大小的漏磁场，裂纹 a) 上没有涂层，磁痕显示浓密清晰；裂纹 b) 上覆盖着较薄的一层，有磁痕显示，不如裂纹 b) 清晰；裂纹 c) 上有较厚的表面涂层，漏磁场不能泄漏到涂层之上，所以不吸附磁粉，没有磁痕显示，磁粉检测就会漏检。

铁磁性涂层的存在会改变漏磁场磁力线的分布，因此，明确涂层仅为非铁磁性涂层。

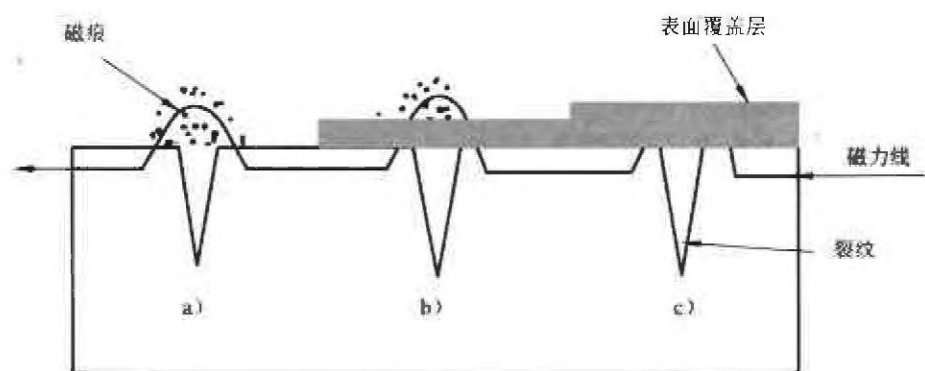


图 2 涂层对磁粉显示的影响

有资料介绍，0.05mm 以下非磁性涂层一般可能不会干扰显示的形成，图 3 为非铁磁性涂层厚度对漏磁场切向分量的影响。从图中可以看出，0.05mm 以下涂层对漏磁场切向分量的影响很小，因此国内外标准均有 0.05mm 以下涂层可以进行磁粉检测的相关规定。如 ISO 17638: 2003 在附录 A（资料性附录）中规定：假如涂层表面是非破损的，

且涂层厚度不超过  $50\mu\text{m}$ ，则覆盖有非磁性薄涂层（如底漆）的表面也可检测。超过该厚度时灵敏度变低，进行检测前要证实其灵敏度。

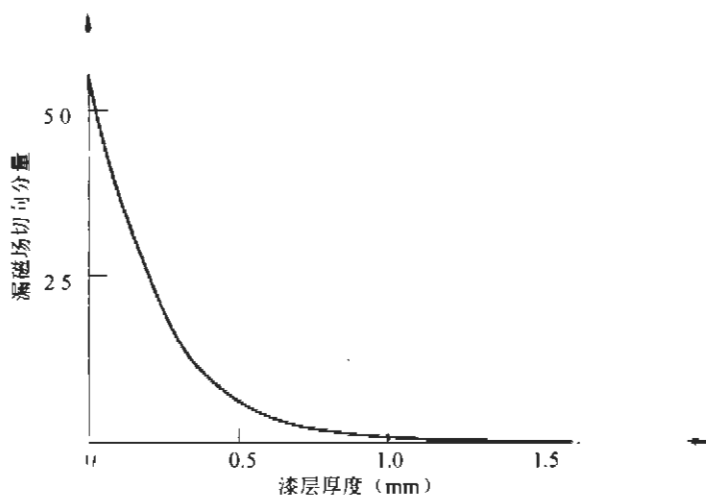


图3 漆层厚度与漏磁场强度的关系

## 第5章 检测方法

### 【NB/T 47013.4】【5.1 检测方法分类】释义

JB/T 4730.4—2005 标准参照日本 JIS G 5065 标准，并考虑到承压设备的特点制定了磁粉检测方法分类条件，但在磁化方法中只列举了交叉磁轭法。交叉磁轭法仅是复合磁化法的一种，复合磁化法包括交叉磁轭法和交叉线圈法等多种方法，交叉线圈法多用于小型零件的复合磁化检测，因此，修订时将复合磁化法作为一种磁化方法列入，而将交叉磁轭法和交叉线圈法作为举例，这样就不排斥其他新的复合磁化方法。

### 【NB/T 47013.4】【5.2 干法】释义

干法在承压设备领域应用范围较小，因干磁粉流动性较差。因此，需要吸引磁粉的漏磁场有一定的脉动性，磁化电流应选用交流和半波整流电。

### 【NB/T 47013.4】【5.3 湿法】释义

湿法是承压设备磁粉检测的主要方法。湿法对连续法和剩磁法均可适用。使用湿法时，应注意磁化和施加磁悬液的协调性，即应确保整个检测面补磁悬液湿润。

### 【NB/T 47013.4】【5.4 连续法】释义

采用连续法时磁粉或磁悬液的施加在磁化通电时间内完成。连续法的实施要点是要控制磁化通电时间，磁化通电的时间一般为  $1\text{s}\sim 3\text{s}$ ，此外，为保证磁化效果，应至少反

复磁化两次。但上述要求仅针对单次磁化的检测方法，例如，对交叉磁轭法而言，磁化是连续进行的，磁化通电时间不受标准规定的限制。

### 【NB/T 47013.4】【5.5 剩磁法】释义

在承压设备行业中较少使用剩磁法，为了保证检测灵敏度，参照 ASME 和国内使用剩磁法的经验，当采用剩磁法进行磁粉检测的工件其剩磁应在 0.8T 以上，剩磁法的通电时间与 JIS G 5065 是一致的。

### 【NB/T 47013.4】【5.6 交叉磁轭法】释义

交叉磁轭技术包括十字交叉和平行交叉磁轭，交叉磁轭法由于一次可以检测一个区域各个方向的缺陷，因此在焊缝检验中得到广泛使用，但是在使用交叉磁轭式旋转磁场探伤仪时容易产生的一些误区，必须引起足够的重视。如：

(1) 使用交叉磁轭式旋转磁场磁粉探伤仪进行检测时，不能采用步进式分段探伤

从交叉磁轭式旋转磁场磁粉探伤仪的磁场分布情况不难看出，在磁极所在平面不同部位的磁场强度大小和方向差别极大。很显然，处在不同部位的缺陷检出灵敏度也必然有高有低。因此，若采用步进式分段探伤，对不同部位某些方向的缺陷将会造成漏检。如果采用连续移动式探伤，使任何方向的缺陷在大小和方向变化着的磁场作用下就很容易形成磁痕从而被检出。这就是不能采用步进式分段探伤的根本原因。

(2) 使用交叉磁轭式旋转磁场磁粉探伤仪进行检测时，要控制行走速度

对连续法探伤，磁化时间一般要求 1s~3s，目的是使缺陷有足够的时间形成磁痕。同样道理，如果交叉磁轭的行走速度过快，就等于缺陷磁痕的形成时间短了，还没来得及形成缺陷磁痕交叉磁轭已经离开了缺陷位置，从而造成漏检。NB/T 47013.4—2015 标准推荐探伤仪行走速度不应大于 4m/min。

(3) 旋转磁场磁粉探伤仪不能用于剩磁法

用剩磁法检测的首要条件是能够获得足够的剩磁，因此，当采用交流设备磁化工件时必须配有断电相位控制器。因为交流电产生的磁场强度在不断变化，如果不采用断电相位控制，让它能在达到最大剩磁的时限内停止磁化，就不能确保获得最大的剩磁。而旋转磁场磁粉探伤仪是由两相正弦交变磁场形成的旋转磁场，不仅其磁场的大小在不停地变化，而且其方向也在 360°范围内不断地改变。所以，无论在什么时候断电，磁场的大小和方向都是未知的，更无法保证获得稳定的最大剩磁。因此，旋转磁场磁粉探伤仪只能用于连续法，不能用于剩磁法。

(4) 当采用交叉磁轭式旋转磁场磁粉探伤仪进行检测时，对间隙要加以限制

磁轭式磁粉探伤仪（包括交流磁轭和交叉磁轭）的工作原理是，通过磁轭把磁通导入被检测工件来达到磁化工件的目的。磁极与工件之间的间隙越大，等于磁阻越大，从而降低了有效磁通。当然也就会降低工件的磁化程度，其结果必然是检测灵敏度的下降。此外，由于间隙的存在将会在磁极附近产生漏磁场，间隙越大所产生的漏磁场就越严重。由于间隙漏磁场会干扰磁极附近由缺陷产生的漏磁场，有可能无法形成缺陷磁痕，即使



形成磁痕也会被破坏掉。因此，为了确保检测灵敏度和有效检测范围必须限制间隙，而且越小越好。

对于承压设备，由于其结构特点，当被检工件表面为一曲面时，它的四个磁极不能很好地与工件表面相接触，会产生某一磁极悬空（在球面上时），或产生四个磁极以线接触方式与工件表面相接触（在柱面上时），这样就在某一对磁极间产生很大的磁阻，其表现为很强的噪声，从而降低了某些方向上的检测灵敏度。因此，在进行承压设备磁粉检测时，使用交叉磁轭式旋转磁场探伤仪应随时注意各磁极与工件表面之间的接触是否良好。当接触不良时应停止使用，以避免产生漏检。NB/T 47013.4—2015 标准规定最大间隙不应超过 0.5mm。

#### （5）在交叉磁轭外侧可以进行磁粉检测

外侧的旋转磁场尽管较弱，而且距磁轭越远磁场越弱，但毕竟有可以检出缺陷的有效磁化场范围。在利用外侧磁化场检测时，必须用试片试验有效磁化场范围。利用交叉磁轭外侧磁化场检测 T 型接头角焊缝时，把交叉磁轭放在翼板上，而试片贴在角焊缝另一侧的腹板上。只要按标准要求的试片能被清晰显示，就表明该角焊缝（包括热影响区）都能达到检测灵敏度的要求。

#### （6）采用交叉磁轭式旋转磁场磁粉探伤仪进行检测时，喷洒磁悬液的注意事项

用交流磁轭探伤时，必须先停止喷洒磁悬液，然后断电，为的是避免已经形成的缺陷磁痕被流动的磁悬液破坏掉。当采用旋转磁场磁粉探伤仪进行检测时，是边移动磁化边喷洒磁悬液，这样就更应该避免由于磁悬液的流动破坏已经形成的缺陷磁痕。这就需要掌握磁悬液的喷洒应在保证有效磁化场被全部润湿的情况下，与交叉磁轭的移动速度良好配合，才能把微细的缺陷磁痕显现出来，对这种配合的要求是：在移动的有效磁化场范围内，有可供缺陷漏磁场吸引的磁粉，同时又不允许因磁悬液的流动而破坏已经形成的缺陷磁痕，如果配合不好，即使有缺陷磁痕形成，也会遭到破坏。因此，使用交叉磁轭最难掌握的环节是喷洒磁悬液，需要根据交叉磁轭的移动速度，被检部位的空间位置等情况来调整喷洒手法。就旋转磁化探伤而言，最好选用能形成雾状磁悬液的喷壶，但是压力不要太高。

为了提高磁粉的附着力，可在水磁悬液中加入少量的水溶性胶水，用以保护已经形成的缺陷磁痕。经试验证明效果很好。

#### （7）当采用交叉磁轭进行检测时，试验系统灵敏度的注意事项

既然试验的是系统灵敏度，就应该按照既定的工艺条件（尤其是移动速度），把试片贴在焊缝的热影响区进行试验。操作时，要避免磁极把试片损伤。有人是在静止的状态下把试片贴在四个磁极的中心位置试验灵敏度，这是不规范的，因为静止状态不包含由于交叉磁轭的移动对检测灵敏度的影响。

目前，复合磁化技术在国内外应用已非常广泛，而采用交叉磁轭形成的旋转磁场进行磁粉探伤，虽然国内应用很广，但在国外应用并不多，估计其主要原因就是交叉磁轭检测时，其操作手法必须十分严格，否则容易造成漏检。尤其是有埋藏深度的较小缺陷，漏检几率会更高。鉴于采用交叉磁轭技术是我国标准的特色，操作要求较高，而

JB/T 4730.4—2005 对交叉磁轭法的使用要求规定内容较少，因此在标准修订中充分吸收了交叉磁轭法在我国承压设备行业的使用经验，同时参考了 GB/T 26951—2011 附录 B（规范性附录）交叉磁轭技术的部分内容，补充完善了交叉磁轭法的使用要求。

## 第6章 磁痕显示分类、观察和记录

### 【NB/T 47013.4】【6.1 磁痕的分类和处理】释义

NB/T 47013.4—2015 参照 ASME SE-709，把磁痕显示分为相关显示、非相关显示、伪显示，并将三种显示的定义放在 NB/T 47013.4—2015 第3章。

### 【NB/T 47013.4】【6.2 观察】释义

#### 1、关于观察时机（6.2.1）

明确规定观察应在磁痕形成后立即进行。磁痕是随漏磁通产生而堆积形成的，当激励磁场消失时，磁痕会松散、变形，甚至消失，因此观察应在有效检测区内磁痕形成后立即进行。

#### 2、关于光照条件（6.2.2）

观察磁痕的显示，光线和照度至关重要；磁粉检测的灵敏度很大程度上取决于检测时的光照条件，这与人眼的视觉特性有关。在强光条件下，人眼对光强度的微小差别不敏感，对颜色和对比度的差别辨别能力很高；而在暗光下，人的眼睛辨别颜色和对比度的本领很差，却能看出微弱的发光体或光源。因此，规定，非荧光检测应保证工件被检面处可见光照度不低于 1000lx，荧光检测时应保证暗室内可见光照度不高于 20lx。

### 【NB/T 47013.4】【6.3 记录】释义

本节在 JB/T 4730.4—2005 基础上增加了：a) 文字描述、e) 透明漆“凝结”被检表面的显示、f) 可剥离的反差增强剂、g) 录像、h) 环氧树脂或化学磁粉混合物、i) 磁带和 j) 电子扫描等磁粉检测的记录方法。鉴于目前无损检测已进入数字化，各种多媒体手段在无损检测中已获得应用，磁粉检测的磁痕记录也应有多种形式。本次修订参考 JB/T 6061—2007 和 GB/T 26951—2011 相关内容，增加了磁痕的显示记录方式。

## 第7章 复 验

### 【NB/T 47013.4】【7 复验】释义

NB/T 47013.4—2015 在 JB/T 4730.4—2005 基础上增加了 d) 对检测结果有怀疑时这一条。实际中常常会出现或发生。

## 第8章 退 磁

### 【NB/T 47013.4】【8.1 退磁一般要求】【8.2 退磁方法】释义

锅炉、压力容器及压力管道用的材料一般剩磁很小，不要求退磁；如检测后还要加热至 700℃ 以上热处理，也可以不退磁。参照 ASME SE-709 和 JIS G 5065 中的要求，NB/T 47013.4—2015 中确定了 5 种情况下需退磁：

- (1) 多次磁化，如上一次磁化将给下次磁化带来不良影响。
- (2) 剩磁会对以后机加工产生不良影响。
- (3) 剩磁会对测试或计量装置产生不良影响。
- (4) 剩磁会对焊接产生不良影响。
- (5) 其他必要场合。

#### 1、关于退磁方法（8.2）

退磁方法分为交流和直流两类，其中，用直流电磁化过的工件磁场渗透深度大，在 7 种磁化电流中（交流电、单相半波整流电、单相全波整流电、三相半波整流电、三相全波整流电、直流电、冲击电流）直流电磁化检测缺陷深度最大，但退磁也最困难。直流电或整流电磁化过的工件除可用直流电退磁外，也可用超低频交流电进行退磁，其原因是：磁化时，如果用交流电退磁只能将表面剩磁去掉，内部仍有剩磁存在，所以要彻底地退磁，就要使用超低频退磁设备，但该设备较复杂，退磁效率较低。

#### 2、关于剩磁测量（8.3）

剩磁测量应用磁场强度计测量，也可采用其他剩磁检测仪测量。退磁是否达到要求，应满足产品技术条件规定要求，如果没有规定具体数值，则剩磁一般应不大于 0.3mT（240A/m），这个要求与 ASME SE-709 和 GB/T 15822—1995 中的要求一致。一般认为剩磁不大于 0.3mT 的工件对后续加工、焊接和仪表的使用都没有不利影响。对于极少



数工件尤其是特殊工件须通过试验制定更严格的退磁验收标准。

## 第9章 质量分级

### 【NB/T 47013.4】【9 质量分级】释义

#### 1、关于不允许存在的缺陷（9.1）

取消了 JB/T 4730.4—2005 中质量分级不允许存在白点缺陷的要求，白点是锻件类零部件在锻造过程中在工件内部形成的危害性缺陷，磁粉检测不能确定其缺陷的性质。

#### 2、关于取消综合评级的质量分级要求

JB/T 4730.4—2005 中 9.4 规定：在圆形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时，应进行综合评级，且规定了最终质量级别的评定方法，因其在实际检测中无意义，故取消。

#### 3、关于焊接接头的质量分级（9.2）

将焊接接头的质量分级分为Ⅰ级和Ⅱ级是基于 JB/T 4730.4—2005 执行后，特种设备的焊缝磁粉检测时质量级别要求基本上为Ⅰ级，故本次修订分为两个级别。

焊接接头的Ⅰ级要求中对线性缺陷和圆形缺陷略有放宽，与 ASME 第Ⅷ卷强制性附录 6、GB/T 26952—2011 和 ISO 23278：2006 标准中 1 级一致。

#### 4、关于其他部件的质量分级（9.3）

其他部件包括原材料、机加工部件等，考虑到经济性与安全要求，分级保留多个验收级别要求，以供选择。

## 第10章 在用承压设备的磁粉检测

### 【NB/T 47013.4】【10 在用承压设备的磁粉检测】释义

#### 1、关于检测方法

承压设备投入使用后，受介质环境、机械载荷、温度以及使用不当等因素影响，产生环境开裂裂纹、疲劳裂纹、高温蠕变裂纹等缺陷的可能性增大，裂纹的存在尤其是表面或近表面裂纹对承压设备的安全运行构成严重影响，因此，铁磁性材料制在用承压设备磁粉检测时，主要是以发现表面裂纹为检测预期目标。在用承压设备内壁磁粉检测时，

受光线照明观察条件和内壁表面状况的影响,采用非荧光磁粉检测,不利于不连续磁痕的发现,易产生漏检,尤其是细小的裂纹磁痕显示;采用表面施加反差增强剂可以较好地提高磁痕显示的对比度,然而难以保证照射的可见光照度、施加反差剂的厚度及其均匀性等,使检测具有持续一致的检出缺陷的能力;采用荧光磁粉检测可得到较好的改善。对于高强钢或裂纹敏感性材质制承压设备,以及有腐蚀介质环境存在的在用设备使用经验表明,内壁产生表面或近表面裂纹的可能性更大。

## 2、关于光照的敏感程度

众所周知,人的眼睛对各色光的敏感性是不同的,根据标准光度观察者的测定结果,只有波长为 555nm 的黄绿色光,它的明视觉光谱效率是 1,对人眼最敏感。有试验文献表明:纯黑和纯白的对比系数可达 25:1,黄绿成分为主的荧光在黑暗中提供的对比系数则高达 1 000:1。荧光磁粉形成的磁痕,在紫外线的照射下,能发出色泽鲜明的黄绿色荧光,与工件表面形成的紫色本底有很高的对比度,极易被观察,但应控制可见光照度低于 20lx。

# 第 11 章 检测记录和报告

## 【NB/T 47013.4】【11 检测记录和报告】释义

检测记录和报告的通用要求见 NB/T 47013.1,针对磁粉检测技术部分见本章要求。

# 后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下,经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力,对 JB/T 4730.4—2005 的内容进行了较多的修订。磁粉检测技术是承压设备常用的无损检测技术,列入标准条文中的方法、工艺应是经反复认证并行之有效的,新的方法或工艺只有在应用成熟后才能列入。随着数字化技术的发展,磁粉检测技术进入半自动/自动化和图像化时代,NB/T 47013.4—2015 在后续修订时应充分体现数字化磁粉检测技术的应用成果,以保持其先进性。

**NB/T 47013.5—2015**

**《承压设备无损检测  
第 5 部分：渗透检测》**

**标 准 释 义**



# 引 言

## 1、渗透检测的定义与原理

渗透检测是基于液体的毛细管作用（或毛细现象）和固体染料在一定条件下的显像为基础检查表面开口缺陷的无损检测方法。

渗透检测的工作原理：工件表面施加含有着色染料或者荧光染料的渗透剂，在毛细作用下，经过一定时间，渗透剂渗入表面开口的缺陷中；去除表面多余的渗透剂；经干燥再施加显像剂，同样在毛细作用下，显像剂将缺陷内部的渗透剂吸附到工件表面，通过观察显示达到对缺陷进行分辨的目的。渗透检测过程如图 1 所示。

渗透检测特别适用于检测非多孔材料表面出现的裂纹、疏松、气孔等开口缺陷，广泛应用于钢铁、有色金属、陶瓷及塑料等，对于形状复杂的工件也可进行一次性全面检测。

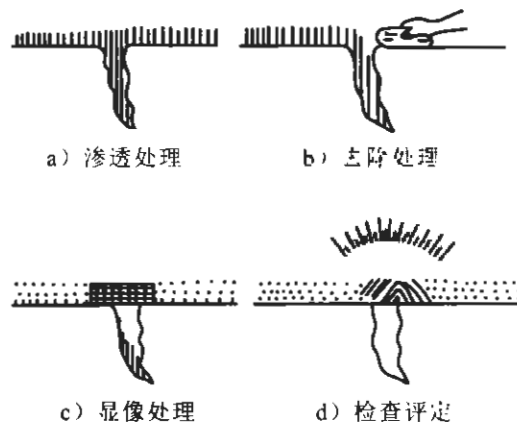


图 1 渗透检测过程

## 2、渗透检测技术国内、外发展现状

国外 19 世纪末期就开始了渗透检测方法的应用，1930 年以后一直到第二次世界大战期间，随着航空工业的发展，非铁磁性材料的大量应用，促进了渗透检测的发展。20 世纪 60 年代以来，国外渗透检测发展很快，如为了提高检测速度，提高检测结果的一致性，研制了自动化渗透检测系统。为了减少环境污染，研制了水基渗透检测剂、水洗法渗透检测技术等。以美国为代表的发达国家从 20 世纪 50 年代开始制定了多种渗透检测工艺规范和渗透检测材料规范，渗透检测工艺规范如 ASTM E 1417《渗透检测的标准方法》，ASTM E 165《液体渗透检测的标准推荐操作方法》等，渗透检测材料规范如 AMS 2644《渗透检测材料》等在渗透行业公认的世界权威性规范。

自 20 世纪 50 年代，我国开始了渗透检测方法的试验研究，在 20 世纪 70 年代中期研制的荧光检测渗透剂性能已经达到国外同类产品的水平，并在国内得到广泛使用，且制定了多部反映渗透检测水平的标准，如国防科技工业军事标准航空工业标准 HB/Z 61《渗透检验》、航天工业标准 QJ 1268《着色渗透探伤方法》、航天工业标准 QJ 2505《着色渗透检测方法》等。

3、国内、外相关渗透检测标准与及本部分的对比（见表 1）

（1）国内相关渗透检测主要标准和本部分的对比

我国渗透检测标准最有影响的主要有：以国标 GB/T 6062—2007《无损检测 焊缝渗透检测》为代表，基本上等同采用国际标准（ISO）；另一大体系以国防科技工业军事标准 GJB 2367《渗透检测方法》为代表，基本上参考采用美国材料及试验协会标准（ASTM）、美国宇航材料规范（AMS）或美国军标（MIL），内容包含渗透检测用材料、检测方法、试块及结果评定等。

目前，我国的渗透检测标准中无论是权威的 GB 和 GJB，还是技术要求较高的 HB、QJ 和 EJ，都尚未形成完整的体系。我国的渗透检测标准一般是综合性的，且重复性很大，标准中涉及的都是一般性的渗透检测操作。

本部分标准修订参考的 GJB 等标准，与国内相关标准对比是一部比较完整的适用于承压设备的标准体系。

（2）国外相关渗透检测主要标准和本部分的对比

国外承压设备渗透检测标准有 ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷《无损检测》第 6 篇“液体渗透检测”。

本次修订后的 NB/T 47013.5—2015，其架构主要继承 JB/T 4730.5—2005，具体内容的修订主要参考 ASME 和欧盟相关标准及 ISO 等相关标准。

表 1 国内、外相关标准与本部分对比

对比项目	国内、外相关标准	NB/T 47013.5—2015	对比说明
范围	1) GB/T 6062—2007 和 ISO 23277: 2009 适用范围为焊缝的渗透检测标准； 2) ASME 规范渗透检测的应用范围与 NB/T 47013.5—2015 本部分基本一致，可应用于原材料、半成品材料、最终产品材料和焊缝等，也适用于产品的在役检验	本部分的适用对象为非多孔材料表面出现的裂纹、疏松、气孔等开口缺陷的检测	本部分规定了渗透检测结果的评定方法和质量分级。在 ASME 规范第 V 卷的渗透检测标准中，不包含渗透检测结果的质量分级内容，缺陷的评定和质量分级在 ASME 相应的产品质量要求部分中进行规定
工艺文件	GB/T 6062—2007 和 GB/T 26953—2011《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》规定了焊缝渗透检测的工艺要求。 ASME 规范第 V 卷第 6 篇在渗透检测工艺方面增加了渗透检测的工艺规程的重要因素和非重要因素	检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外，还应规定下列相关因素的具体范围或要求；当相关因素的一项或几项发生变化并超出规定时，应重新编制或修订工艺规程	检测工艺直接影响渗透检测可靠性。检测工艺因素的变化会影响到渗透检测的灵敏度。本部分参考了 ASME 规范第 V 卷第 6 篇工艺文件的有关内容，增加了工艺规程相关因素的具体内容和要求



表1(续)

对比项目	国内、外相关标准	NB/T 47013.5—2015	对比说明
安全要求	GB/T 6062—2007 和 GB/T 26953—2011 有安全与环境要求	本部分规定了本部分所涉及的渗透材料所需的化学制品，可能是有毒有害、易燃易爆和（或）挥发性的，因此均应注意防护。渗透检测应在通风良好或开阔的场地进行，当在有限空间进行检测时，应佩戴防护用具。荧光检测使用黑光灯时应防止黑光灯照射眼睛	本部分主要参考了国内相关标准并结合渗透检测的实际而制定的安全要求
检测设备和器材	我国渗透检测器材方面的标准有 JB/T 6064《无损检测 渗透检测用试块》、JB/T 7523《无损检测 渗透检测用材料》。另外在行业标准的基础上又增加了渗透检测的国家标准 GB/T 1881《无损检测 渗透检测 标准试块》	本部分规定了渗透检测设备和器材的相关要求，荧光渗透剂的一个指标采用荧光亮度测定，其不得低于基准渗透剂荧光亮度的 75%。镀铬试块（B 型试块）的材料使用能够方便获取的 S30408 或其他不锈钢板材加工制成	渗透检测设备和器材对检测至关重要。渗透检测剂作为检测使用的基本材料，其质量决定了检测的灵敏度，镀铬试块（B 型试块）的加工只要满足标准中规定的尺寸即可，不要求加工过程和加工方法
渗透检测方法和渗透检测温度	GB/T 6062—2007 未规定渗透检测方法。GB/T 18851.5—2014《无损检测 渗透检测 第5部分：温度高于 50℃的渗透检测》和 GB/T 18851.6—2014《无损检测 渗透检测 第6部分：温度低于 10℃的渗透检测》组成。ASME 规范第 V 卷第 6 章规定了渗透检测方法和温度适用范围	本部分规定了渗透检测方法和温度适用范围。渗透检测灵敏度等级分类：A 级；B 级；C 级。 渗透检测中除了渗透检测剂外温度是一个重要因素，修改后的标准温度适用范围为 5℃～50℃，与 ASME 规范的 5℃～52℃基本相当，但是更加严格	渗透检测方法中，温度对检测灵敏度的影响极大，当被检工件和渗透检测剂温度低于推荐温度时，渗透检测需要的时间很长，甚至无法进行渗透检测，当高于推荐温度时渗透检测剂快速挥发，不能在工件表面有足够长的滞留时间，影响渗透检测工作的进行
观察	GB/T 6062—2007 未规定观察时机和观察条件。ASME 规范第 V 卷第 6 章规定了渗透检测观察时机	观察显示应在干粉显像剂施加后或者湿式显像剂干燥后开始，在显像时间内连续进行。如显示的大小不发生变化，也可超过上述时间	观察显示应该在干粉显像剂施加后或者湿式显像剂干燥后开始，在显像时间内连续进行，主要是防止一些细小缺陷或者深度较浅而开口较宽的缺陷漏检，同时对深度较浅的裂纹等缺陷不及时观察就扩散成圆形显示了，影响对缺陷的评定
缺陷显示记录	JB/T 6062—2007、GB/T 26951—2011《焊缝无损检测 渗透检测》在 5.12 中规定了磁痕的显示记录方式，内容比较详细，体现了渗透检测磁痕记录向数字化方向发现的要求。国际标准 ISO 17638：2003 也有此方面的规定	本部分规定的缺陷显示记录方式有： a) 照相； b) 录像； c) 可剥性塑料薄膜等	现代记录技术开始进入图像化时代，渗透检测的缺陷显示记录方式可以有多种形式，只要能够保证检测数据的真实性、完整性的记录方式都是可以使用的



表 1（续）

对比项目	国内、外相关标准	NB/T 47013.5—2015	对比说明
验收标准	1) JB/T 6062—2007 给出了焊缝渗透检测 3 个验收等级,与 BS EN ISO 23277: 2006 (E) 一致。 ASME 第 V 卷渗透检测没有规定缺陷验收标准,相应内容见 ASME 产品标准卷中,如第Ⅷ卷强制性附录 6 规定压力容器验收标准; 2) JB 4730 将焊缝、材料和零部件的质量等级分为 I、II、III、IV 四个等级,而 ASME 规范只有通过和不通过结果	NB/T 47013 的本部分将焊接接头的质量分为 I、II 两个等级,将其他部件的质量分为 I、II、III、IV 四个等级	由于磁粉检测和渗透检测都是表面检测方法,因此渗透检测对焊缝或其他零部件的验收等级与磁粉检测基本一致
在用承压设备的渗透检测	除 NB/T 47013 的本部分外,国内、外其他标准均无对在用承压设备的渗透检测的相关规定	对在用承压设备进行渗透检测时,如制造时采用高强度钢以及对裂纹(包括冷裂纹、热裂纹、再热裂纹)敏感的材料;或是长期工作在腐蚀介质环境下,有可能发生应力腐蚀裂纹或疲劳裂纹的场合,应采用 C 级灵敏度进行检测	对于在用承压设备进行渗透检测时,JB/T 4730.5 规定采取荧光渗透检测的本部分采用 C 级灵敏度进行检测,修改是充分考虑了特种设备检验检测的特点,方便检测人员根据现场的实际条件选择合适的检测方法

4、修订概况

(1) 历次制修订过程

渗透检测标准最初在产品标准中以附录的形式存在,在 JB 741—80《钢制压力容器技术条件》为附录 6,在 GB 150—89《钢制压力容器》为附录 H,1994 年由国家发布了综合性标准 JB 4730—94《压力容器无损检测》,其中第 5 篇为渗透检测,后修订为 JB/T 4730.5—2005《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》。

(2) 本次修订的必要性

JB/T 4730.5—2005 自实施近 10 年来,随着渗透检测技术的不断进步,ISO、EN、ASME、JIS 等标准化组织也不断地对各自的标准进行了修制订。在承压设备生产(设计、制造、安装、改造、维修)、检验检测等方面得到了广泛应用,为保障承压设备安全运行起到了积极作用。为适应当前承压设备生产及渗透检测本身的技术发展和应用需要,提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力,有必要对本部分进行制修订,以吸收和参考国内外渗透检测的新标准、新技术和新成果,不断发展完善本部分的主要内容,满足和适应承压设备渗透检测的要求。

(3) 本次修订的原则

- a) 以 JB/T 4730.5—2005 为基础,主要参考包括 ASME 和欧盟相关标准及 ISO 等标准;

- b) 依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定和 NB/T 47013 标准修订组的统一要求，对 JB/T 4730.5—2005 的格式进行调整；
- c) 与现行的特种设备法律、法规和相关标准相一致；
- d) 结合实施以来国内外承压设备渗透检测的技术发展和应用成果，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势；
- e) 对 JB/T 4730.5—2005 中不妥之处进行修改。

(4) 本次修订的主要技术变化

——扩大了检测温度适用范围；

——修改了规范性引用文件；

——增加了工艺规程和安全要求的内容。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.5】【1 范围】释义

主要是根据 NB/T 47013.1—2015 范围的规定，本部分适用于在制和在用金属材料制承压设备的无损检测，因此取消了 JB/T 4730.5—2005 中关于非金属部分的适用范围。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.5】【2 规范性引用文件】释义

JB/T 4730.5—2005 中引用了 GB/T 5097《黑光源的间接评定方法》附录 A 中荧光渗透剂的荧光效率的测定方法。荧光效率不再作为控制渗透检测剂指标。

GB/T 5616 规定了应用无损检测时应遵循的基本规则，该部分内容在 NB/T 47013.1 中已有规定，因此本部分不再引用。

GB/T 16673《无损检测用黑光源（UV-A）辐射的测量》已经废止，没有替代标准，因此不再引用。关于黑光源的测量可参照 GB/T 5097 进行。

JB/T 9213—1992《无损检测 渗透检查 A 型对比试块》已被 JB/T 6064—2015《无损检测 渗透试块通用规范》替代。

第3章 术语和定义

【NB/T 47013.5】【3 术语和定义】释义

本章为新增内容，JB/T 4730.5—2005 涉及的术语及其定义是放在 JB/T 4730.1—2005 中的，本次修订把有关渗透检测的术语及其定义在本部分列出。本次修订时涉及本部分的术语和定义新增加伪显示、评定。将虚假显示修改为伪显示主要是与磁粉检测的术语保持一致。

第4章 一般要求

【NB/T 47013.5】【4.1 检测人员】释义

渗透检测人员应符合 NB/T 47013.1 的规定，另外渗透检测人员在着色渗透检测时对红色应有良好的分辨能力，在荧光渗透检测时对黄绿色荧光应良好的分辨能力，所以国内外渗透检测标准中均有一定的视力指标和辨色能力要求。

【NB/T 47013.5】【4.2 检测设备和器材】释义

1、关于渗透检测剂（4.2.1）

渗透检测剂不再采取荧光效率作为质量指标，而是采用荧光亮度指标。

2、荧光亮度测定方法

荧光亮度测定方法按照 JB/T 7523《无损检测 渗透检测用材料》的规定，在 JB/T 7523 中，I 型渗透剂（荧光渗透剂）的荧光亮度测定按照该标准附录 A 进行检验，渗透检测剂的荧光亮度指标应不低于 FP-4PE 亮度的百分率，见表 2，该标准不再采用荧光效率作为质量指标。

表 2 荧光亮度指标

灵敏度等级	荧光亮度/%	说 明
1/2 级灵敏度	50	超低灵敏度等级
1 级灵敏度	65	低灵敏度等级
2 级灵敏度	80	中灵敏度等级
3 级灵敏度	90	高灵敏度等级
4 级灵敏度	95	超高灵敏度等级



### 3、关于黑光灯和黑光辐照度计（4.2.2、4.2.3）

修改了黑光灯和黑光辐照度计的紫外线波长下限值。国际照明委员会将黑光的光谱范围区分为紫外线 A（UV-A）：315nm～400nm；修订时将黑光灯的波长范围规定为 315nm～400nm，使之与国际照明委员会规定的波长范围一致。

### 4、关于渗透检测用试块（4.2.6）

由于 GB/T 24511《承压设备用不锈钢钢板及钢带》的修订，本部分中镀铬试块采用 S30408 或者其他不锈钢材料制成，而 JB/T 4730.5—2005 中规定使用的 0Cr18Ni9Ti 钢号已经不再使用。NB/T 47013.5—2015 中列出了 3 点式试块裂纹区的长径，其基本思想是要求试块质量而不是对加工过程进行限制。

## 【NB/T 47013.5】【4.3 检测工艺文件】释义

检测工艺文件部分为新增加的内容，检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书，本部分规定了工艺规程所涉及的相关因素以及必要时进行修订和验证的要求。在 JB/T 4730.5—2005 中的 5.12 质量控制部分也规定了使用新的渗透检测剂、改变或者更换渗透检测剂类型或者操作规程时应进行系统灵敏度校验，定期或者检测前、后进行系统灵敏度校验，并要求定期对检测环境进行测定和检测仪器进行校验的规定。

渗透检测工艺直接影响渗透检测的结果，是渗透检测的重要内容，在 ASME 第 V 卷第 6 章 T-621 中规定了工艺规程的要求，以及重要因素和非重要因素。当重要因素改变时，应重新进行鉴定，非重要因素变更时不要求重新进行鉴定。因此本标准修订时主要参考了该部分内容，表 3 为 T-621 中渗透检测时规程的要求。

表 3 T-621 中渗透检测时规程的要求

要 求	重要变素	非重要变素
渗透材料(包括显像剂、乳化剂等)标志和类型或系统组合的任何变化	×	
表面制备(表面粗糙度和清洗，包括清洗溶剂类型)	×	
施加渗透剂方法	×	
去除表面渗透剂方法	×	
亲水或者亲油乳化剂浓度、在浸泡槽内的滞留时间和亲水乳化剂的搅动时间	×	
喷淋操作时的亲水乳化剂浓度	×	
施加显像剂的方法	×	
两步骤间的最长和最短时间周期和干燥手段	×	
渗透剂滞留时间的减少	×	
增加显像剂滞留时间	×	
最小光照度	×	
表面温度超出 5℃～50℃或如以前鉴定的	×	
技能论证（有要求时）	×	
人员鉴定要求		×
被检测材料、形状或尺寸和检验的范围		×
检测后的清洗技术		×

【NB/T 47013.5】【4.4 安全要求】释义

本条为新增加内容，主要参考了国内其他标准，并针对承压设备的特点而提出了渗透检测时应满足的基本条件。

【NB/T 47013.5】【4.5 渗透检测分类方法和选用】释义

1、关于灵敏度等级（4.5.2）

灵敏度分为 A、B、C 三个等级，其检测灵敏度依次提高，其中 A 级要求在 A 型灵敏度试块上进行灵敏度校验，检测出的裂纹长径为 3.7mm~4.5mm，是低检测灵敏度等级；B 级要求检测出的裂纹长径为 2.7mm~3.5mm，是中等检测灵敏度等级；C 级要求检测出的裂纹长径为 1.6mm~2.4mm，是高检测灵敏度等级。承压设备检测通常选用 B 级灵敏度。

2、关于渗透检测方法选用（4.5.3）

渗透检测方法选用应在满足需要检测的缺陷类型和灵敏度要求的前提下，根据被检工件的表面粗糙度、批量大小和现场条件进行确定。

第 5 章 渗透检测基本程序

渗透检测基本程序与 JB/T 4730.5—2005 比较基本上没有变化，只有将预清洗修改为预处理，同时增加了后处理部分。预处理比预清洗所包含的内容更多，本章根据 JB/T 4730.5—2005 的预清洗所包含的内容不能充分说明该部分过程，如需要机械打磨等工作。由于部分设备在渗透检测实施后，残留的渗透检测剂在某种情况下可能影响工件的正常使用，需要去除渗透检测后残余的渗透检测剂，所以本部分增加了“后处理”内容。调整前后的内容变化见表 4。

表 4 渗透检测的基本程序

序号	JB/T 4730.5—2005	NB/T 47013.5—2015
1	预清洗	预处理
2	施加渗透剂	施加渗透剂
3	去除多余的渗透剂	去除多余的渗透剂
4	干燥	干燥处理
5	施加显像剂	施加显像剂
6	观察及评定	观察及评定
7		后处理

## 第6章 渗透检测操作方法

### 【NB/T 47013.5】【6.1 预处理】释义

JB/T 4730.5—2005 中“预清洗”的主要目的是去除检测表面的污垢，方法为采用溶剂、洗涤剂等进行清洗，或者必要时对部分机加工零件进行酸洗或者碱洗的表面处理方法。NB/T 47013.5—2015 标准中的预处理过程包含以上预清洗的内容，同时包括了采用机械等方法（如打磨）对表面处理的过程。

### 【NB/T 47013.5】【6.2 施加渗透剂】释义

本次修订将 JB/T 4730—2005 中检测温度  $10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$  修改为  $5^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。在  $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$  范围内渗透时间要求 20min，取消了使用铝合金试块进行非标准温度下试验的要求，方便实际检测工作中的操作使用。

### 【NB/T 47013.5】【6.7 观察】释义

显示时间应该在干粉显像剂施加后或者湿式显像剂干燥后开始计算，观察一般宜在显像剂施加后连续进行，这样规定主要是为防止一些细小缺陷或者深度较浅而开口较宽的缺陷漏检，同时对深度较浅的裂纹等缺陷不及时观察就扩散成圆形显示了，影响对缺陷的评定。

## 第7章 在用承压设备的渗透检测

### 【NB/T 47013.5】【7 在用承压设备的渗透检测】释义

对在用承压设备进行渗透检测时，如制造时采用高强度钢以及对裂纹（包括冷裂纹、热裂纹、再热裂纹）敏感的材料，或是长期工作在腐蚀介质环境中、有可能发生应力腐蚀裂纹或疲劳裂纹的场合，其渗透检测应采用 C 级灵敏度进行检测。此处不再强调必须采用荧光渗透检测方法进行检测，比较而言，现在的规定具有更强的可操作性。



第 8 章 检测结果评定和质量分级

【NB/T 47013.5】【8.2 质量分级】释义

渗透检测由于其显示有放大作用，所以尺寸为 0.5mm 以下的缺陷很难测定其真实大小，且 0.5mm 的点状缺陷对设备危害不大，因此 0.5mm 以下的显示不计入缺陷。渗透检测质量分级部分主要变化是将 JB/T 4730.5—2005 中的焊接接头和坡口的质量分级部分保持一致，NB/T 47013.5—2015 变为焊接接头的质量分级，坡口部分纳入其他部件的范围，同时焊接接头分为合格与不合格两个级别，因为焊接接头缺陷容易通过打磨或者焊接修复的方式进行处理。

附录 A 荧光和着色渗透检测工艺程序示意图

【NB/T 47013.5】【附录 A 荧光和着色渗透检测工艺程序示意图】释义

荧光和着色渗透检测工艺程序示意图与 JB/T 4730.5—2005 的本部分内容基本一致，主要修改内容见表 5。

表 5 附录 A 修改部分对照表

序号	工 艺 程 序	JB/T 4730.5—2005	NB/T 47013.5—2015	说 明
1	预处理	预清洗	预处理	
2	预处理	机械加工	机械清洗	
3	施加渗透剂	渗透	施加渗透剂	
4	去除多余渗透剂	去除	去除多余渗透剂	
5	干燥 施加显像剂	显像	干燥 施加显像剂	
6	干燥 施加显像剂	显像（干式或非湿式）—干燥	显像（水湿式）—干燥	水洗型
7	干燥 施加显像剂	显像（湿式）—干燥	显像（水湿式）—干燥	后乳化水洗型
8	观察及评定	观察	观察及评定	
9	后清洗	后处理	后清洗	

## 后 记

在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力，本部分对 JB/T 4730.5—2005 内容进行了修订，但由于技术发展的局限性，在许多方面还有待于深入研究。

### 1、非标温度的渗透检测

关于温度适用范围，参照 ASME 标准温度适用范围扩展为  $5^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，并在附录中提供了用于非标准温度的检测方法，但是温度适用范围仍然不够大，还需要通过科研进一步扩大检测温度范围，开发出更多质量稳定、方便使用的渗透检测剂。

### 2、渗透检测剂的研发

渗透检测剂由化学制品组成，目前沿尚不能够保证其原料无毒、无害，所以下一步要进行研究，开发利于健康和环保的渗透检测剂。

**NB/T 47013.6—2015**

**《承压设备无损检测  
第 6 部分：涡流检测》**

**标 准 释 义**



# 引言

## 1、涡流检测的定义与原理

涡流检测是建立在电磁感应原理基础上的一种无损检测方法，是五大常规无损检测方法之一。涡流检测适用于导电材料，当把一块导电材料置于交变磁场之中，在导电材料中就有感应电流存在，即产生涡流。由于导电材料自身各种因素（如电导率、磁导率、形状、尺寸和缺陷等）的变化，会导致涡流的变化，所以利用感应涡流的电磁效应评价被检件的无损检测方法，称为涡流检测。

涡流检测的原理：将通有交流电的线圈置于待测的金属板上或套在待检的金属管外，这时线圈内及其附近将产生交变磁场，使试件中产生呈旋涡状的感应交变电流，称为涡流。涡流的分布和大小，除与线圈的形状和尺寸、交流电流的大小以及频率等有关外，还取决于试件的电导率、磁导率、形状和尺寸、与线圈的距离以及表面有无裂纹缺陷等。因而，在保持其他因素相对不变的条件下，用一探测线圈测量涡流所引起的磁场变化，可推知试件中涡流的大小和相位变化，进而获得有关电导率、缺陷、材质状况和其他物理量（如形状、尺寸等）的变化或缺陷存在等信息，见图1。

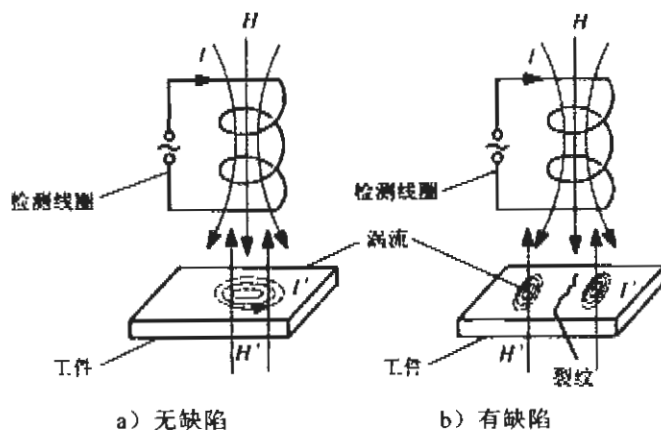


图1 涡流检测原理图

按试件的形状和检测目的的不同，可采用不同形式的线圈，通常有穿过式、探头式和插入式线圈3种。穿过式线圈用来检测管材、棒材和线材，它的内径略大于被检物件，使用时使被检物体以一定的速度在线圈内通过，可发现裂纹、夹杂、凹坑等缺陷。探头式线圈适用于对试件进行局部探测。应用时线圈置于金属板、管或其他零件上，可检查飞机起落撑杆内筒上和涡轮发动机叶片上的疲劳裂纹等。插入式线圈也称内部探头，放在管子或零件的孔内用来作内壁检测，可用于检查各种管道内壁的腐蚀程度等。为了提高检测灵敏度，探头式和插入式线圈大多装有磁芯。涡流检测主要用于生产线上的金属管、棒、线的快速检测以及大批量零件如轴承钢球、汽门等的探伤（这时除涡流仪器外

尚须配备自动装卸和传送的机械装置)、材质分选和硬度测量、在用承压设备管束及焊缝检测,也可用来测量镀层和涂膜的厚度。

涡流检测的特点:

(1) 对于金属管、棒、线材的检测,不需要接触,也无需耦合介质。所以检测速度快,易于实现自动化检测,特别适合在线检测。

(2) 对于表面缺陷的探测灵敏度很高,且在一定范围内具有良好的线性指示,可对大小不同缺陷进行评价,所以可以用作质量管理与控制。

(3) 影响涡流的因素很多,如裂纹、材质、尺寸、形状及电导率和磁导率等。采用特定电路进行处理,可筛选出某一因素而抑制其他因素,由此有可能对上述某一影响因素进行有效的检测。

(4) 由于检查时不需接触工件又无需耦合介质,所以可进行高温下的检测。由于探头可伸入远处作业,所以可对工件的狭窄区域及深孔壁(包括管壁)等进行检测。

(5) 由于采用电信号显示,所以可存储、再现及进行数据比较和处理。

(6) 涡流探伤的对象必须是导电材料。

(7) 金属表面感应的涡流的渗透深度随频率变化而异,激励频率高时金属表面涡流密度大,随着激励频率的降低,涡流渗透深度增加,但表面涡流密度下降,所以探伤深度与表面伤检测灵敏度是相互矛盾的,很难两全。当对一种材料进行涡流探伤时,需根据材质、表面状态、检测标准作综合考虑,然后确定无损检测方案与技术参数。

(8) 采用穿过式线圈进行涡流探伤时,线圈覆盖的是管、棒或线材上一段长度的圆周,获得的信息是整个圆周上影响因素的累积结果,对缺陷所处圆周上的具体位置无法判定。

(9) 旋转探头式涡流探伤方法可准确探出缺陷位置,灵敏度和分辨率也很高,但检测区域狭小,在需对检测对象作全面扫查时,检测速度较慢。

(10) 涡流探伤至今还是处于当量比较检测阶段,对缺陷做出准确的定性定量判断尚待开发。

## 2、涡流检测技术国内、外发展现状

涡流检测技术早已在我国应用,JB 4730—94《压力容器无损检测》发布以来,涡流检测技术在压力容器和压力管道行业得到了广泛应用,JB/T 4730.6—2005《承压设备无损检测 第6部分:涡流检测》汲取了当时国内外涡流先进技术和标准的内容,满足了承压设备检测中不同用户的使用要求。近年来,国内外涡流检测技术得到了较快的发展,如远场涡流技术、复平面检测技术等。随着涡流检测技术的不断发展,ISO、EN、ASME等国际及发达国家标准化组织相继对各自的标准进行了制修订。为适应技术发展和应用的需要,为提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力,有必要对JB/T 4730.6—2005进行进一步修订,以吸收和参考国内外的新标准、新技术和新成果,不断发展完善。

### 3、国内、外相关涡流检测标准与本部分的对比

(1) 国内相关涡流检测主要标准和本部分的对比

本部分本次修订后与国内相关标准对比见表1。

表1 国内涡流检测相关标准与本部分对比

检测范围	国内相关标准	NB/T 47013.6—2015
铁磁性管材 涡流检测	GB/T 7735—2004 和 JB/T 4730.3—2005 在检测方法 过程上基本相同	本次修订将镍及镍合金管归到此类，并就 JB/T 4730.3—2005 没明确给出的结果评定等进行了明确
非铁磁性金属 管材涡流检测	GB/T 5248—2008《铜及铜 合金无缝管涡流探伤方 法》、GB/T 5126—2001《铝 及铝合金冷拉薄壁管材 涡流探伤方法》、GB/T 12969.2 《钛及钛合金管材涡流探 伤方法》和 JB/T 4730.3— 2005 在可检测管材的壁厚 和外径上都有所不同	本次修订参考国内相关标准及国内检测技术的发展现状，将适用范围描述修改为：对于铜及铜合金无缝管，可检测的管材为外径 $\phi 3\text{mm} \sim \phi 160\text{mm}$ ，壁厚为 $0.20\text{mm} \sim 6.0\text{mm}$ ；对于铝及铝合金无缝管，可检测的管材为外径小于或等于 $\phi 38\text{mm}$ ，壁厚小于或等于 $2\text{mm}$ ；对于钛及钛合金无缝管，可检测的管材为外径 $\phi 4\text{mm} \sim \phi 65\text{mm}$ ，壁厚为 $0.5\text{mm} \sim 4.5\text{mm}$ 。其他规格的管材制品可参照执行。对于奥氏体不锈钢及类似合金无缝管材的检测范围、对比试样检测方法及验收等级，参照铁磁性金属管材涡流检测方法
在用铁磁性换 热管的远场涡 流检测	—	JB/T 4730.3—2005 适用范围为外径 $12.5\text{mm} \sim 25\text{mm}$ 、壁厚为 $0.70\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 的铁磁性钢管的远场涡流检测。本部分在适用范围上有所扩大，并且增加远场涡流测厚内容
在用非铁磁性 换热管的远场 涡流检测	—	JB/T 4730.3—2005 适用范围为外径 $10\text{mm} \sim 50\text{mm}$ 、壁厚为 $0.75\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 的铁磁性钢管的远场涡流检测。本部分在适用范围上有所扩大，并且增加涡流测厚内容
放置式线圈零部 件涡流检测	—	本部分是增加的新技术
放置式线圈焊缝 涡流检测	—	本部分是增加的新技术
覆盖层厚度测量	—	本部分是增加的新技术

(2) 国外相关涡流检测主要标准和本部分的对比

国外承压设备涡流检测标准以美国为代表有 ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷《无损检测》（2013 版）第 8 章和欧盟 BS EN 1711、BS EN 10246 等标准。本标准在编制过程中参考了 ASME 的部分内容。

国外相关涡流检测标准见表 2。



表 2 国外涡流检测相关标准

序号	标 准 号	标准名称（中文）
1	ASME Boiler & Pressure Vessel Code Copyright 2013 Section V NDE	ASME 锅炉及压力容器规范 2013 年第 V 卷 无损检测
2	BS EN 1711	焊接的无损检验-通过综合平面分析对焊接的电流检验
3	BS EN 10246	钢管的无损检测

4、修订概况

（1）历次制修订过程

1994 年由我国发布了综合性标准 JB 4730—94《压力容器无损检测 第 6 部分：涡流检测》；

2005 年修订为 JB/T 4730.6—2005《承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测》，汲取了当时国内外涡流检测先进技术和标准的内容，满足了承压设备检测中不同用户的使用要求。

（2）本次修订的必要性

近年来，国内外涡流检测技术得到了较快的发展，如远场涡流技术、复平面检测技术等。随着涡流检测技术的不断发展，ISO、EN、ASME 等国际及发达国家标准化组织相继对各自标准进行了修制订。为适应技术发展和应用的需要，也为提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力，有必要对 JB/T 4730.6—2005 进行进一步修订，以吸收和参考国内外的新标准、新技术和新成果，不断发展完善。

（3）本次修订的原则

- a) 以 JB/T 4730.6—2005 为基础，主要参考标准包括 ISO、EN、ASME 等，力求 NB/T 47013.6—2015 的技术要求与先进国家或 ISO 标准相接近；
- b) 依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规定和 NB/T 47013 标准修订组的统一要求，对原标准格式进行调整；统一原标准中的名词、术语等；
- c) 体现新技术的发展现状，适应当前检测的技术需求；
- d) 引进国内外的先进技术标准，提高本标准水平；
- e) 体现新技术的发展对本检测方法的影响趋势；
- f) 对 JB/T 4730.6—2005 应用中的不妥之处进行订正。

（4）本部分本次修订的主要技术变化

与 JB/T 4730.6—2005 相比，NB/T 47013.6—2015 的主要技术内容变化如下：

- 增加 4.6 “检测工艺文件”；
- 增加 4.7 “涡流检测的一般影响因素”；
- 增加 5.5.2 “检测结果评定”；
- 参考国内外的标准及目前技术的发展，较 JB/T 4730.6—2005 扩大了 6.1 的适

- 用范围；
- 第6章增加6.5“检测结果评定”；
  - 第7章的适用范围中增加了远场涡流测厚项，另外远场涡流检测的范围根据目前技术的发展有所扩大；
  - 增加7.2.4“检测结果评定”；
  - 第8章的适用范围中增加涡流测厚项，另外涡流检测的范围根据目前技术的发展而有所扩大；
  - 增加8.3.5“检测结果评定”；
  - 增加第9章“放置式线圈零部件涡流检测”；
  - 增加第10章“放置式线圈焊缝涡流检测”；
  - 增加第11章“覆盖层厚度测量”；
  - 标准中还有主要在结构形式上及部分措辞上的不同；
  - 从事涡流检测时，相应检测人员需要具备一定的电磁方面的专业知识，这样有助于对信号的判断和分析。所以对于检测人员，增加对涡流检测知识的要求。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.6】【1 范围】释义

#### 1、关于铁磁性管材涡流检测范围（5.1）

（1）规定了承压设备用铁磁性无缝钢管、镍及镍合金管、焊接钢管（埋弧焊钢管除外）等管材产品的涡流检测方法。

（2）适用于外径不小于4mm钢管的涡流检测。

#### 2、关于非铁磁性金属管材涡流检测范围（6.1）

（1）规定了承压设备用非铁磁性金属管材产品的涡流检测方法。

（2）适用于穿过式线圈检测系统，对于铜及铜合金无缝管，可检测的管材为外径 $\phi 3\text{mm} \sim \phi 160\text{mm}$ ，壁厚为 $0.20\text{mm} \sim 6.0\text{mm}$ ；对于铝及铝合金无缝管，可检测的管材为外径小于或等于 $\phi 38\text{mm}$ ，壁厚小于或等于 $2\text{mm}$ ；对于钛及钛合金无缝管，可检测的管材为外径 $\phi 4\text{mm} \sim \phi 65\text{mm}$ ，壁厚为 $0.5\text{mm} \sim 4.5\text{mm}$ 。其他规格的管材制品可参照执行。

（3）对于奥氏体不锈钢及类似合金无缝管材的检测范围、对比试样检测方法及验收等级，参照第5章内容执行。

（4）对奥氏体不锈钢焊管检测（验收等级A），其通孔直径根据钢管尺寸规定。当钢管壁厚 $\leq 3\text{mm}$ ，通孔直径为 $1.2\text{mm}$ （但当外径 $\geq 51\text{mm}$ 时，通孔直径为 $1.60\text{mm}$ ）；当

钢管壁厚 $>3\text{mm}$ ，通孔直径为 $1.60\text{mm}$ （但当外径 $\geq 51\text{mm}$ 时，通孔直径为 $2.0\text{mm}$ ）。或由供需双方协商孔径的大小。

### 3、关于在用铁磁性换热管的远场涡流检测范围（7.1）

（1）规定了采用内穿过式线圈检测在用铁磁性换热管的涡流检测及涡流测厚的方法。在制承压设备上已安装好的换热管也可参照执行。

（2）适用于外径为 $12.5\text{mm}\sim 60\text{mm}$ 、壁厚为 $0.70\text{mm}\sim 4\text{mm}$ 的铁磁性钢管的远场涡流检测及远场涡流测厚。在此规格之外的铁磁性钢管，可参照执行。

### 4、关于在用非铁磁性换热管的涡流检测范围（8.1）

（1）规定了采用内穿过式线圈检测在用非铁磁性换热管的涡流检测及涡流测厚的方法。在制承压设备上已安装好的换热管也可参照执行。

（2）适用于外径 $10\text{mm}\sim 200\text{mm}$ 、壁厚为 $0.75\text{mm}\sim 8.0\text{mm}$ 的非铁磁性管涡流检测及涡流测厚。在此规格之外的管子，可参照执行。

### 5、关于放置式线圈零部件涡流检测范围（9.1）

规定了采用放置式线圈检测由导电性材料制成的规则或不规则零部件的涡流检测方法。

### 6、关于放置式线圈焊缝涡流检测范围（10.1）

（1）规定了用于检测铁磁性材料（焊缝、热影响区、母材）表面开口和近表面平面型缺陷的涡流检测技术。非铁磁性材料的检测可参照执行。

（2）检测可以在所有可接近的、各种形式的焊缝表面上进行。

### 7、关于覆盖层厚度测量范围（11.1）

#### （1）磁性法范围

磁性法适用于铁磁性基体表面非磁性覆盖层厚度的测量，包括非导电的非磁性覆盖层（如漆层、搪瓷层等）和导电的非磁性覆盖层（如镀锌、镀铬层等），不适用于带有磁性的覆盖层（如镀镍层和掺有铁粉的表面功能涂层等）厚度测量。

磁性法测厚仪的覆盖层测量厚度范围一般在 $2\,000\mu\text{m}$ 以下。

#### （2）涡流法范围

涡流法适用于非铁磁性基体表面非导电覆盖层厚度的测量。

涡流法测厚仪的覆盖层厚度测量范围一般在 $300\mu\text{m}$ 以下。

另外规定了与承压设备有关的支承件和结构件的涡流检测，也可参照本部分使用。超出本部分范围的，按照 NB/T 47013.1—2015 中相关规定执行。



## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.6】【2 规范性引用文件】释义

GB/T 5126	铝及铝合金冷拉薄壁管材涡流探伤方法
GB/T 5248	铜及铜合金无缝管涡流探伤方法
GB/T 7735	钢管涡流探伤检验方法
GB/T 12604.6	无损检测 术语 涡流检测
GB/T 12969.2	钛及钛合金管材涡流探伤方法
GB/T 14480.3	无损检测 涡流检测设备 第3部分：系统性能和检验
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第1部分：通用要求
NB/T 47013.3	承压设备无损检测 第3部分：超声检测
NB/T 47013.4	承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
NB/T 47013.5	承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
NB/T 47013.10	承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测
YB/T 145	钢管探伤对比试样人工缺陷尺寸测量方法

(1) 在这些引用的标准中，多数是国内涡流检测用标准，既有涡流检测规范统一相关术语，又有相应的国家标准，也有本标准系列中的其他部分。

(2) 本部分 NB/T 47013.1—2015 取消了引用文件的版本号，实际检测时使用相关引用文件的最新版本。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.6】【3 术语和定义】释义

统一规范使用 GB/T 12604.6 和 NB/T 47013.1 界定的术语和定义。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.6】【4.1 检测人员】释义

本部分对涡流检测人员提出了具体要求，即除应符合 NB/T 47013.1 的规定取得涡流检测人员资格相应证书、按所取得的资格级别从事相应资格级别的涡流检测工作外，根据涡流检测的特点，为便于对检测信号的判断和分析，相应检测人员需要具备一定的电磁方面的专业知识。所以对于检测人员，增加对涡流检测知识的要求，涡流检测人员应具有一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，应熟悉被检工件的材质、几何尺寸及热处理情况等，以便对检测中出现的问题能作出分析、判断和处理。

### 【NB/T 47013.6】【4.2 检测系统】释义

(1) 本条为涡流检测系统的通用要求，有专门要求的在后面的章节中另做规定。

(2) 与 JB/T 4730.6—2005 相比，本部分的主要变化：

- a) 涡流检测系统性能应满足本部分及相关标准要求，有关仪器性能的测试项目与测试方法参照 GB/T 14480.3 的有关要求进行，所以在本部分中不再提出具体的参数要求；
- b) 被检工件边缘效应影响区应满足产品验收标准或技术合同的有关要求；
- c) 检测过程中应使用对比试样对涡流检测设备的灵敏度进行检查和复验。

### 【NB/T 47013.6】【4.3 对比试样】释义

本条对对比试样的用途及要求做了规定，和 JB/T 4730.6—2005 中相关条款相比没什么变化。

### 【NB/T 47013.6】【4.4 被检工件】释义

本条对被检工件的表面状况等检测条件做了说明，和 JB/T 4730.6—2005 中相关条款相比没什么变化。

### 【NB/T 47013.6】【4.5 检测环境】释义

本条对检测环境做了要求，增加了遵守相关法律、法规等方面的要求。

### 【NB/T 47013.6】【4.6 检测工艺文件】释义

本条是本部分修订中新增加项，规定了检测工艺文件的类型和应包含的内容。

- (1) 工艺规程和操作指导书是两个不同层次的检测工艺文件。

(2) 本部分所列的相关因素发生变化时, 需要重新编制或修订工艺规程; 操作指导书是根据工艺规程编制的, 是涡流检测的依据。

(3) 操作指导书在首次使用前应进行工艺验证, 主要是验证操作指导书编制是否合理, 所选参数能否满足检测要求。

### 【NB/T 47013.6】【4.7 涡流检测的一般影响因素】释义

涡流检测的原理决定了检测时被检工件中涡流分布与深度之间必须遵循一定的物理规律, 涡流密度随着深度的增加而快速衰减。本部分所列的一般影响因素会使被检工件的电导率和/或磁导率及其他一些特性有所变化, 影响检测灵敏度, 进而影响检测结果。

### 【NB/T 47013.6】【4.8 安全要求】释义

本条对检测环境可能对人体造成的不安全情况做了提示说明。

## 第5章 铁磁性管材涡流检测

### 【NB/T 47013.6】【5.1 范围】释义

因镍及镍合金管也是铁磁性的, 所以将镍及镍合金管的涡流检测放在该处。

### 【NB/T 47013.6】【5.2 对比试样】释义

(1) 对比试样上人工缺陷的形状根据所选检测线圈的不同而稍有变化。常用的几种检测线圈对通孔都比较灵敏, 均可作为人工缺陷, 而采用钢管旋转/扁平式线圈时, 试样人工缺陷形状也可以为“N”形刻槽。

(2) 使用穿过式线圈时, 在对比试样上加工 3 个通孔沿圆周方向相隔  $120^{\circ} \pm 5^{\circ}$  对称分布, 选择最低幅度作为检测设备的触发报警电平。这是为了尽可能地消除因工件与线圈间填充的原因造成某些部位缺陷的漏检。人工缺陷轴向间距及通孔距端部的距离不小于 200mm, 主要是考虑检测线圈自身的长度而定的。

(3) 当被检工件是焊接管时, 需要在对比试样焊缝上钻 1 个通孔, 也是确保当被检工件焊缝上存在缺陷时不被漏检。

(4) 对比试样上通孔或槽的尺寸与相应的国标保持一致, 该参数经多年使用作为验收等级切实可行。

(5) 对比试样上通孔或槽加工时尺寸的偏差范围的规定, 一方面是为了便于加工, 另一方面是限制误差在一定的范围内可被接受, 这也与相应的国标保持一致。

(6) 对于某些有特殊要求的被检工件, 刻槽深度的加工尺寸也可根据特殊的实际需要由供需双方协商确定。



### 【NB/T 47013.6】【5.3 检测程序】释义

(1) 检测线圈的选择：穿过式线圈涡流检测技术或旋转钢管/扁平式线圈涡流检测技术都可以对无缝钢管和焊接钢管在整个圆周面上进行检测。如果用扇形式线圈检测无缝钢管和焊接钢管整个圆周面，被检工件要通过检测线圈才能完成对整个圆周面的检测。

(2) 焊接钢管焊接接头的检测，可采用扇形式线圈，检测线圈应与焊缝保持在一条直线上，这样更有针对性地对整个焊缝进行检测。

### 【NB/T 47013.6】【5.5 检测结果的评定与处理】释义

(1) 明确了验收等级可以按标准中给定的分级方法 A 级或 B 级，或由供需双方商定。

(2) 明确了检测结果的评定，给出了合格钢管及可疑钢管的定义，并就可疑钢管的处置方法明确按相应的国标中的规定进行。

## 第 6 章 非铁磁性金属管材涡流检测

### 【NB/T 47013.6】【6.1 范围】释义

(1) 本次修订参考国内相关标准及国内检测技术的发展现状，将适用范围有所扩大，主要是目前社会上有这方面的需求，检测技术上也能满足要求。

(2) 对奥氏体不锈钢焊管检测（验收等级 A），其通孔直径根据钢管尺寸确定，本条与相应国标保持一致。

### 【NB/T 47013.6】【6.2 铜及铜合金管材检测方法】释义

#### 1、关于对比试样（6.2.1）

(1) 对比试样上人工缺陷类型为垂直于管壁的径向圆形通孔、平底孔或纵向刻槽，与相应国标保持一致。

(2) 对比试样上人工缺陷的尺寸与被检管材的壁厚相关联，一方面这样设置人工缺陷的尺寸更科学合理，另一方面也与相应国标保持一致。

(3) 对比试样上人工缺陷的类型和尺寸及缺陷形状，可由供需双方协商确定。

#### 2、关于检测程序（6.2.3）

磁饱和装置是针对某些具有铁磁性的铜合金管材，如有必要则使被检区域达到磁饱和。

**【NB/T 47013.6】【6.4 钛及钛合金管材检测方法】释义**

- (1) 对比试样上人工缺陷的尺寸与相应国标保持一致。
- (2) 经供需双方协商同意，对比试样上的人工缺陷也可以采用纵向刻槽。
- (3) 调试涡流检测仪器使得人工标准缺陷信号刚好报警且人工缺陷相应信号的幅度应在仪器荧光屏满刻度的 50%~70%，是为了便于观察。

**【NB/T 47013.6】【6.5 检测结果评定】释义**

- (1) 采用的人工缺陷可以为标准上规定的，也可以按供需双方合同或按有关产品标准要求设置。
- (2) 明确了检测结果的评定，给出了涡流检测合格钢管及不合格钢管的定义。

## 第7章 在用铁磁性换热管的远场涡流检测

**【NB/T 47013.6】【7.1 范围】释义**

- (1) 在用的热交换器管束涡流检测只能用内穿过式线圈检测，在用热交换器管束经过一段时间使用后因各种原因可能存在管束壁厚减薄，所以对管束剩余壁厚的测定尤为必要。在制承压设备上已安装好的换热管束与在用的条件相似，所以可参照执行。
- (2) 在用的热交换器管束涡流检测范围有所扩大，主要是考虑到目前的社会需求，检测技术上也是切实可行。同时考虑到以后技术的发展及社会需求，所以在此规格之外的铁磁性钢管，可参照执行。

**【NB/T 47013.6】【7.2 缺陷检测】释义****1、关于对比试样（7.2.2）**

试样管上面的人工缺陷类型比较多，对具体工件检测时，应根据检测目的，选择一种或几种缺陷类型制作对比试样。

**2、关于检测（7.2.3.2）**

检测前应对被检铁磁性钢管内外表面进行清洗，并满足检测要求，这点很重要。钢管内表面有较多异物时会影响检测线圈在钢管内的平稳通行甚至卡住检测线圈，在检测时会出现伪信号。同时钢管内外壁有较多异物也影响信噪比和灵敏度。

**3、关于检测结果评定（7.2.4）**

- (1) 对检测中出现的信号，除能证明是由工件结构如钢管端部等或其他原因如检测线圈通过时不平稳，出现卡、顿等现象而引起的非相关信号，其余信号均应进行评定。
- (2) 因钢管内部目视不可及，所以对钢管的可疑区域进行再检测很有必要，其中

专用视频内窥镜检测是种比较直观有效的检测方法。

(3) 在用管束的检测没有验收标准，远场涡流检测结果的评价与否要与使用单位协商确定。

### 【NB/T 47013.6】【7.3 远场涡流测厚】释义

(1) 远场涡流测厚是最近几年发展起来的新技术，了解在用管束的剩余壁厚对于管束的使用者来说很重要，这里需要注意的是，由于涡流的平均效应，涡流测厚的值是管子周向截面的平均厚度值，而不是管束周向上某一点的壁厚最小值。

(2) 远场涡流测厚采用绝对式探头，因为绝对式探头对由于壁厚渐变产生的信号较为敏感。

(3) 对比试样可以参照本部分图 10 进行设计，如果被检管壁厚减薄主要是因为外腐蚀引起的，那也可以对比试样中的几个壁厚台阶加工在管束外壁，对比试样的其他尺寸可以不变。

(4) 仪器调节时，要保证涡流能穿透整个管壁，并且在调试对比试样时，试样上的几个壁厚值在仪器上要有清晰的反映。通过相位的调节要使得不同壁厚的信号反映在水平轴投影上有良好的线性关系。铁磁性管板产生的信号方向调至在增厚的信号方向，这有利于信号的判断。所以频率的选择很重要，相位也要选择合适。

(5) 增益的选择要使信号的幅值在屏幕上处于合适的位置，要便于观察，但也要使信号不至于溢出屏幕范围。

(6) 每次开始作涡流测厚都应先用对比试样管对测厚系统进行调试，确定参数，建立壁厚及信号间对应关系的数学模型。

(7) 检测过程中对被检管的壁厚进行适时记录和分析，以便于壁厚减薄的区域或壁厚最小值的部位。

(8) 涡流测厚的结果评定与否要与业主协商确定。

## 第 8 章 在用非铁磁性换热管的涡流检测

### 【NB/T 47013.6】【8.1 范围】释义

(1) 在用非铁磁性热交换器管束涡流检测只能用内穿过式线圈检测，与铁磁性换热管一样，非铁磁性换热管束经过一段时间使用后因各种原因可能存在管束壁厚减薄，所以对管束剩余壁厚的测定尤为必要。在制承压设备上已安装好的换热管束与在用的条件相似，所以可参照执行。

(2) 在用的非铁磁性热交换器管束涡流检测范围有所扩大，主要是考虑到目前的社会需求，检测技术上也需切实可行。同时考虑到以后技术的发展及社会需求，所以在此规格之外的铁磁性钢管，可参照执行。



## 【NB/T 47013.6】【8.2 缺陷检测】释义

### 1、关于对比试样（8.2.2）

试样管上面的人工缺陷类型比较多，对具体工件检测时，应根据检测目的，选择一种或几种缺陷类型制作对比试样。

### 2、关于检测（8.2.4）

（1）检测前应对被检换热器管内外表面进行清洗，并满足检测要求，这点很重要。管束内表面有较多异物会影响检测线圈在管束内的平稳通行甚至卡住检测线圈，在检测时会出现伪信号。同时管束内外壁有较多异物也影响信噪比和灵敏度。

（2）对所有缺陷信号和怀疑信号的数据都应做好记录并对信号进行分析。

### 3、关于检测结果评定（8.2.5）

（1）对检测中出现的信号，除能证明是由工件结构如钢管端部等或其他原因如检测线圈通过时不平稳，出现卡、顿等现象而引起的非相关信号，其余信号均应进行评定。

（2）因钢管内部目视不可及，所以对钢管的可疑区域进行再检测很有必要，其中专用视频内窥镜检测是种比较直观有效的检测方法。

（3）在用管束的检测没有验收标准，涡流检测结果的评价与否要与使用单位协商确定。

## 【NB/T 47013.6】【8.3 涡流测厚】释义

（1）远场涡流测厚是最近几年发展起来的新技术，了解在用管束的剩余壁厚对于管束的使用者来说很重要，这里需要注意的是，由于涡流的平均效应，涡流测厚的值是管子周向截面的平均厚度值，而不是管束周向上某一点的壁厚最小值。

（2）涡流测厚采用绝对式探头，因为绝对式探头对由于壁厚渐变产生的信号较为敏感。

（3）对比试样可以参照标准中图 10 进行设计，如果被检管壁厚减薄主要是因为外腐蚀引起的，那也可以对比试样中的几个壁厚台阶加工在管束外壁，对比试样的其他尺寸可以不变。

（4）仪器调节时，要保证涡流能穿透整个管壁，并且在调试对比试样时，试样上的几个壁厚值在仪器上要有清晰的反应。通过相位的调节要使得不同壁厚的信号反映在水平轴投影上有良好的线性关系。管板产生的信号方向调至在增厚的信号方向，这有利于信号的判断。所以频率的选择很重要，相位也要选择合适。

（5）增益的选择要使信号的幅值在屏幕上处于合适的位置，要便于观察，但也要使信号不至于溢出屏幕范围。

（6）每次开始作涡流测厚都应先用对比试样管对测厚系统进行调试，确定参数，建立壁厚及信号间对应关系的数学模型。

（7）检测过程中对被检管的壁厚进行适时记录和分析，以便于确定壁厚减薄的区

域或壁厚最小值的部位。

(8) 涡流测厚的结果评定与否要与业主协商确定。

## 第9章 放置式线圈零部件涡流检测

### 【NB/T 47013.6】【9.1 范围】释义

本章是本次标准修订增加的新技术，主要是采用放置式线圈检测由导电性材料制成的零部件。

### 【NB/T 47013.6】【9.2 检测要求】释义

(1) 被检区域表面上不得有妨碍检测的杂物，否则会影响检测结果及对信号的判断。

(2) 对检测表面粗糙度的要求主要是为了提高信噪比，以免造成缺陷漏检。

(3) 当被检部位的非导电覆盖层厚度小于 $150\mu\text{m}$ ，覆盖层对涡流检测的影响可忽略不计。但当覆盖层厚度超过一定值时，为了消除覆盖层对灵敏度的影响，系统灵敏度调试时需要在对比试样人工缺陷上覆盖厚度相近的非导电膜片以进行检测灵敏度的补偿调整。

### 【NB/T 47013.6】【9.3 涡流检测系统】释义

(1) 涡流检测过程中应根据检测对象材质、检测的部位等来选择探头，且探头不应产生因检测时手持而产生的探头与被检工件表面压力变化的干扰信号。

(2) 标准试样的用途是用来调试涡流仪的性能的，而对比试样是用来调试检测灵敏度、核验仪器工作状态，且可用于对缺陷的评价。

(3) 对比试样的表面状态及结构和人工缺陷的位置应与被检件相同或相近，或直接由与被检工件一样的实际零部件制成。

(4) 对比试样首次使用前，人工缺陷的宽度和深度尺寸应经过检测，以确保加工制作的人工缺陷符合要求。

### 【NB/T 47013.6】【9.4 检测程序】释义

(1) 频率的选择需要在对比试样及被检件上综合调试。必要时，采用多频检测方法以提高检测可靠性，便于对信号的综合判定。

(2) 相位的调节主要是为了将缺陷响应信号与提离干扰信号区分以便识别。

(3) 检测频率及相位调节都是为了使人工缺陷信号尽可能地便于观察和识别，并且与提离信号之间有尽可能大的相位差，尽可能减少提离信号带来的影响。

(4) 灵敏度的调试要便于人工缺陷信号的识别及满足信噪比。

(5) 扫查过程中, 探头垂直于被检工件表面, 是为了获得缺陷信号的最大相应值。

(6) 扫查方向应尽可能与缺陷方向垂直并可能需要有两个相互垂直的扫查方向, 是为了尽可能避免缺陷漏检, 扫查方式如本部分图 16 所示。

### 【NB/T 47013.6】【9.5 响应信号识别与分析】释义

(1) 对出现的异常响应信号需要多次重复确认并记录异常响应信号的幅度和相位。

(2) 对于异常信号要进行分析, 应根据被检工件材质的采用相位或频率来排除是否由于提离而产生的伪信号。

(3) 对于出现异常响应信号的区域, 应根据本部分图 16 所示的扫查方式来确定缺陷的尺寸, 对出现异常响应信号区域的细致观察有助于对相应信号的分析判断及扫查方向的选择。

### 【NB/T 47013.6】【9.6 检测结果评定】释义

(1) 对检测中发现的不能排除由相关干扰因素引起的信号, 都应进行分析并测量缺陷的尺寸。

(2) 如能确定是表面缺陷, 可根据响应信号幅值与对比试块上相关深度人工缺陷响应信号幅值的比较, 评定引起该响应信号的缺陷的大致深度。缺陷响应信号的相位可作为表面缺陷深度评定的参考信息, 因为被检工件上表面缺陷形状不可能像对比试块上人工缺陷加工的那样规则。

(3) 被检测零部件的验收准则应根据相关产品的技术条件或与委托方商定; 如无验收准则, 只需如实记录和分析发现的缺陷尺寸。

## 第 10 章 放置式线圈焊缝涡流检测

### 【NB/T 47013.6】【10.1 范围】释义

本章是本次标准修订增加的新技术, 主要是用于检测铁磁性材料(焊缝、热影响区、母材)表面开口和近表面平面型缺陷的涡流检测技术, 非铁磁性材料的检测也可参照执行。由于涡流的趋肤效应, 涡流主要聚集在工件的表面及近表面。

### 【NB/T 47013.6】【10.2 检测前的准备】释义

(1) 被检区域表面上不得有妨碍检测的杂物, 否则会影响检测结果及对信号的判断。

(2) 检测前, 应了解填充金属的种类、待检测焊缝的位置和范围、焊缝表面几何形状、表面状态、涂层类型和厚度, 这都是为了尽可能减少这些因素对涡流检测灵敏度的影响, 确保有效检测出可能存在的裂纹类缺陷。



**【NB/T 47013.6】【10.3 检测设备】释义****1、关于检测仪器（10.3.1）**

检测仪器应能满足焊缝涡流检测的要求，具有低频、相位可控、信号相位和幅度显示与分析等功能。

**2、关于检测探头（10.3.2）**

（1）用于涂层厚度测量和材料评价的探头：在低频 1kHz~1MHz 下工作，在被检工件或校准试块上提离时应能在仪器上产生满屏提离信号，也有利于后续检测时异常信号的分析判断。

（2）用于焊缝检测的探头：为了检测铁磁性材料的焊缝，应使用特殊设计的焊缝检测探头，目的是使探头在焊缝和热影响区受材料电导率、磁导率和提离效应等变化的影响最小。

**【NB/T 47013.6】【10.4 校准试块】释义**

校准试块应采用与被检工件相同或相近的材料制作。试块上人工缺陷可以按标准制定，也可以供需双方另行约定。如果被检工件上有涂层/覆盖层，那就需要在校准试块上用非导体弹性垫片/垫片来模拟涂层或覆盖层。

**【NB/T 47013.6】【10.5 检测程序】释义**

（1）因被检工件涂层厚度不均匀，所以检测前对被检工件的涂层厚度需要进行估计，并对由此产生的信号进行修正和调试，必要时需重新加工制作校准试块。

（2）在检测铁磁性材料焊缝的时候，应根据提离和噪声信号将频率调到最佳灵敏度，使得相应的信噪比最大，既有利于信号的观察，又有利于信号的分析判断。

（3）校准时应根据被检件上是否有涂层而在对比试块上覆盖一层非导体弹性垫片，使其更接近被检工件表面实际情况。

（4）扫查方向应尽可能与缺陷方向垂直，如果其走向未知或估计缺陷有不同的走向，则至少应在相互垂直的两个方向分别进行扫查，尽可能避免缺陷漏检。

（5）本章同样适用于其他材料焊缝的涡流检测，如铝及不锈钢等，检测这类焊缝时也应根据本章相关内容制作相应的试块并选择合适的检测参数。

**【NB/T 47013.6】【10.6 检测】释义**

最大扫查速度一般不超过 50mm/s，是为了最大限度地保证缺陷不漏检，扫查速度的平稳也是为了避免出现不必要的噪声或干扰信号。

**【NB/T 47013.6】【10.7 检测结果评定与处理】释义**

（1）不可接受信号是指出现在正常信号显示区域之外的异常信号。不可接受信号均需要复查。

(2) 不可接受信号区域可采用其他无损检测方法进行验证。

## 第 11 章 覆盖层厚度测量

### 【NB/T 47013.6】【11.1 磁性法】释义

#### 1、关于范围 (11.1.1)

磁性法适用于铁磁性基体表面非磁性覆盖层厚度的测量，且其测量的覆盖层厚度范围也有一定的限制。

#### 2、关于仪器校准 (11.1.3)

(1) 对于基体金属磁性存在明显方向性的被测对象，应将测头再旋转  $90^\circ$  来核对仪器的校准，以尽可能减少缺陷漏检。

(2) 如果不能保证被测试件和校准标准片二者的基体金属厚度相同，则可以用足够厚的相同金属分别与校准标准片或被测试件的基体金属叠加，消除基体金属厚度对测量值的影响。

(3) 如果被测试件的弯曲状态使得无法实施平面方式校准时，则带有覆盖层的标准片的曲率或放置校准膜片的基体的曲率，应与被测试件的曲率相同，这样也是在尽可能降低表面弯曲对测量造成的影响。

#### 3、关于检测程序 (11.1.4)

(1) 检测过程中要常给仪器校准，以保证仪器的性能正常。

(2) 避开不连续的部位进行测量，是为了避免出现因结构原因造成的测量影响。

(3) 当在被测试件的弯曲表面上进行测量时，要对其测量的有效性加以确认。

(4) 测量点数的确定是为了更详尽地反映覆盖层在被检件表面不同部位的厚度。

(5) 如果被测试件的加工方向明显影响测量读数，在同一测量面内将测头每旋转  $90^\circ$  增加 1 次测量，共做 4 次。这样是为了尽可能避免因加工方向造成的被检件磁性的变化而带来的测量影响。

(6) 为避免被检件基体金属剩磁的影响，最好是消除被测试件的剩磁。如无消磁的条件，那也必须在互为  $180^\circ$  的两个方向上进行测量，以尽可能降低因剩磁带来的测量影响。

(7) 被检工件上的任何外来杂物都会对测量结果造成影响，所以检测前必须清除干净。

(8) 测量过程中应保持一致的测量探头压力和放置速度，也是为了避免因测量探头和放置速度的变化带来的测量影响。

#### 4、关于检测结果评定（11.1.5）

该测量方法有一定的测量误差，此误差范围是可被接受和允许的。

### 【NB/T 47013.6】【11.2 涡流法】释义

#### 1、涡流测厚方法

涡流测厚方法是基于涡流检测中的提离效应对非铁磁性基体表面非导电覆盖层厚度的测量。

#### 2、仪器校准

（1）如果不能保证被测试件和校准标准片二者的基体金属厚度相同，则可以用足够厚的相同金属片分别将校准标准片或被测试件垫厚，消除基体金属厚度对测量值的影响。

（2）如果待测覆盖层的弯曲状态使之不能以平面方式校准，则带有覆盖层的标准片的曲率或放置校准膜片的基体的曲率，应与待测试件的曲率相同，这样也是尽可能降低表面弯曲对测量造成的影响。

#### 3、测量程序

（1）检测过程中要常给仪器校准，以保证仪器的性能正常。

（2）避开不连续的部位进行测量，是为了避免出现因结构原因造成的测量影响。

（3）当在被测试件的弯曲表面上进行测量时，应对其测量有效性加以确认。

（4）测量点数的确定是为了更详尽地反映覆盖层在被检件表面不同部位的厚度。

（5）被检工件上的任何外来杂物都会对测量结果造成影响，所以检测前必须清除干净。

#### 4、检测结果评定

该测量方法有一定的测量误差，此误差范围是可被接受和允许的。

## 第 12 章 检测结果评定

### 【NB/T 47013.6】【12 检测结果评定】释义

（1）对需要进行综合分析的信号进行了明确，除非相关信号外都应进行分析。

（2）检测结果评定与处理，各章节中都有具体要求。



## 第 13 章 检测记录和报告

### 【NB/T 47013.6】【13 检测记录和报告】释义

检测记录是检测机构检测质量和检测水平的重要体现，检测记录应该把涉及或影响检测报告中的检测结果、数据和结论都完整、详细地做记录，如实记录检测过程中的数据也是对检测结果追根溯源的重要保障。所以高质量的检测记录必须包括足够的信息量，以及相对格式化的记录模式，这也是检测工作实现规范化管理的需要。

应依据实际检测记录出具检测报告，报告中所含信息应来源于检测记录，并能满足必要的信息需求，准确地反映检测结果。

## 后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力，在吸收国内外先进技术的基础上，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，作为制定本部分的技术依据。制定标准时既考虑实用性和可操作性，也力求使技术要求与国外先进技术相近，既要符合国内外行业发展需要，也要符合国情。但由于涡流检测技术本身还处在持续发展的状态，另外被检材料本身的特性和检测环境对涡流检测影响较大，因此在许多方面还有待于进行深入研究、探讨和发展。

随着经济的发展及需求的增加，涡流检测的范围将会进一步扩展，包括被检工件的规格和壁厚，同时验收等级也会随技术的发展而有所提高。这需要进一步开展涡流检测技术试验研究、仪器探头及分析软件系统的研制。

在用铁磁性换热管的远场涡流检测，需要研究针对不同缺陷的检测信号，实现对缺陷特征的识别和分析。这需要深入开展相关理论研究，并开发相应的信号识别、提取及分析系统。

**NB/T 47013.10—2015**

**《承压设备无损检测**

**第 10 部分：衍射时差法超声检测》**

**标 准 释 义**

# 引言

## 1、衍射时差法超声检测的定义与原理

衍射时差法超声检测（time of flight diffraction, TOFD），是采用一发一收探头对工作模式，主要利用缺陷端点的衍射波信号探测和测定缺陷位置及尺寸的一种超声检测方法。TOFD 技术一般采用一发一收两个宽带窄脉冲探头进行检测，探头布置于焊缝中心线两侧。发射探头产生纵波波束以一定倾角大范围入射被检工件中，其中部分纵波沿最短路径最先传播至接收探头（称为直通波），部分纵波经工件底面反射后以较长时间传播至接收探头（称为底面反射波），如果工件中有缺陷，则缺陷上下端点产生的衍射纵波传播至接收探头的时间介于直通波与底面反射波之间，根据这些信号之间的时间差判断有无缺陷以及确定缺陷的位置和尺寸（见图1）。

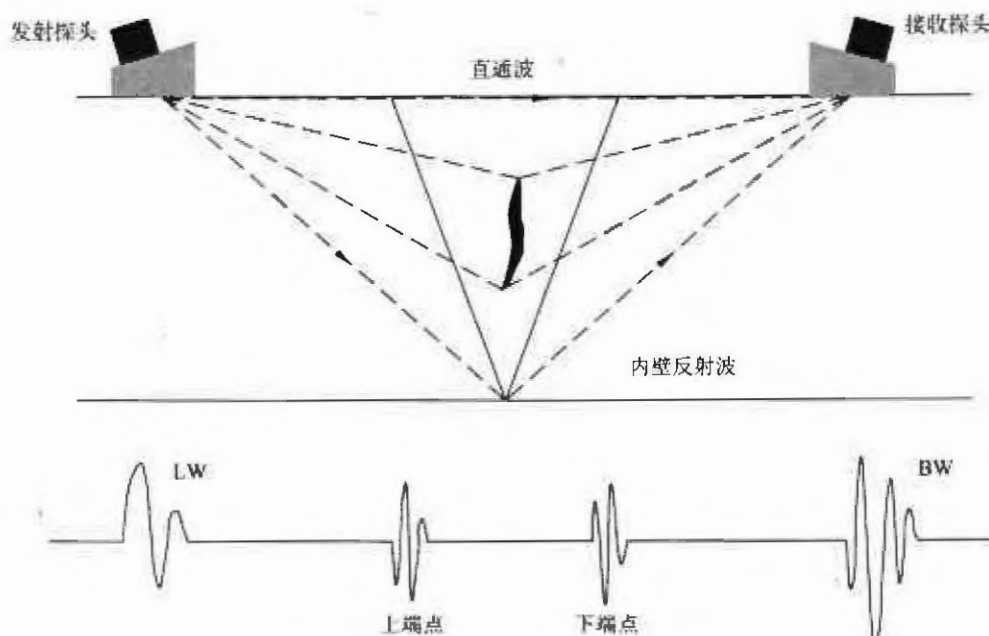


图1 衍射时差法超声检测原理

TOFD 与常规脉冲反射法相比，其缺陷检出率往往更高；在缺陷高度测量方面，TOFD 主要基于衍射信号的传播时间而不依赖于波幅，从而一定程度上避免了人为操作因素影响，同时具有更好的测量精度（可达到 $\pm 1\text{mm}$ ）；TOFD 以成像的方式呈现工件内部缺陷状况，信息量大，检测直观、有记录；TOFD 可以采用半自动和全自动方式采集数据，人为因素影响小，检测重复性好。另一方面，TOFD 需要采用双探头方式，操作灵活性上不如常规脉冲反射法的单探头方式，一般不适用于结构复杂的检测对象，对于粗晶金属材料焊接接头检测效果尚不够理想。



## 2、衍射时差法超声检测技术国内、外发展现状

TOFD 技术最早于 20 世纪 70 年代末由英国 AEA 国家无损检测研究中心的 Harwell 实验室提出,其后许多国家开始 TOFD 方法的研究和标准制定工作,目前美国 ASME 和 ASTM、英国 BSI、欧洲 EN 和 CEN 均颁布了相应标准,对 TOFD 技术的工程应用和进一步研究起到了良好的促进作用。国内从 20 世纪 90 年代起逐渐引进 TOFD 技术,在我国超声检测领域开辟了一个新的方向,并逐步应用于工程检测,最早应用于中国第一重型机械集团公司制造的用于大庆龙凤炼化公司的 206mm 加氢反应器和神华煤液化工程中的 340mm 厚加氢反应器;随后 TOFD 逐渐在我国特种设备、核工业、电力、石油石化、化工、铁路等行业得到了广泛的研究和应用,影响日益扩大。

目前,TOFD 技术在国内应用已经基本普及,但在理论研究方面还需继续研究,比如入射超声波在缺陷尖端发生衍射时,衍射波的强弱与入射波的关系、与缺陷尖端尺寸的关系等;各种检测参数、探头性能、耦合效果等因素对检测结果影响的理论计算;还有一些应用研究问题,如衍射波弱信号的工程处理问题;粗晶材料焊接接头检测问题;横向缺陷检测问题;扫查面盲区检测问题;TOFD 图像缺陷精确定量和缺陷定性的问题等。

在应用研究方面,对于 TOFD 的衍射波信号微弱容易被其他信号所掩盖,而存在于近表面的缺陷则易与直通波发生混叠等问题,研究人员提出了 One-skip 法:当探头间距是试块厚度的四倍时,One-skip 法能将直通波和缺陷衍射信号有效地区分开来。也有人提出了 S-TOFD 法,利用横波速度大概是纵波速度的一半这一特性,着重研究纵波底面回波和波型转换之后的横波底面回波之间的信号,此时衍射波不会受到直通波的影响。还有人提出了一种改进的基于衍射和反射回波的衍射时间差(TOFD-R)的缺陷识别技术,该方法不再直接检测缺陷上下端部衍射的信号,而是通过检测经过底面反射一次的衍射信号,试验结果显示盲区可缩减到被检表面以下 2mm。

TOFD 检测 9Ni 钢焊缝时噪声影响严重,为了减小噪声给被检信号带来的影响,研究人员利用小波变换的方法将信号分解成不同频率的成分,并对其加权,重建 A 扫描信号,提高了信噪比。利用改进的霍夫变换算法,提取了高噪声背景下 B 扫描图像中的裂纹端部衍射信号,并在提高图像分辨力方面进行了有意义的探讨。

在利用 TOFD 图像识别缺陷方面,研究人员采用二维 Gabor 小波及模糊 C 均值聚类算法,对超声 TOFD 检测的 D 扫描图像进行缺陷目标提取的研究。但该方法是基于统计特性的,小缺陷所占的面积小,容易造成漏检。将边缘检测算法引入 TOFD 图像中,使图像中的衍射波信号变得清晰。但目前该方法只是进行了最初的应用,而对于如何适用于不同的 TOFD 图像,如何提高识别的准确度和效率没有进行深入的探讨。现在也有很多科研工作者针对 TOFD 法检测缺陷的信号特征做了许多工作,像利用人工神经网络等技术做了缺陷的分类识别研究,同时研究了将不同的信号处理方法应用于 TOFD 检测图像以提高检测缺陷能力的情况。

在缺陷定性方面,研究人员通过神经网络训练,对预置在试块中的不同缺陷进行分类。利用神经网络、模糊逻辑和模糊神经分类器分别对 TOFD 图像中的缺陷进行分类研究,并将各种分类器的分类结果进行比较。

在缺陷的定位定量方面，目前国内外正在研究利用互相关函数来提高缺陷定量准确度的方法；采用合成孔径聚焦技术（SAFT）对 TOFD 图像进行处理，建立了图像 SAFT 处理的数学模型，实现了图像重建，以提高图像的横向分辨力。

最近，国外发展了激光超声的 TOFD 检测技术，其好处是既可以利用纵波衍射，也可以利用横波衍射，并可以在不知道衍射波声速或探头间距的情况下计算缺陷深度；国外还在研究横波 TOFD 检测技术等。

TOFD 检测技术融合了脉冲反射法超声检测和射线检测的优点，既可以检测较大厚度的焊缝，也可以得到比较直观的检测结果，具有广阔的发展前景和应用需求。不过单独任何一种检测技术都不可能完全替代另外一种技术，必然有其最佳范围和局限之处。像其他无损检测技术一样，TOFD 技术也有其局限之处，如检测盲区即使通过改变检测参数，仍然不可能完全消除；被检测工件厚度较小时，或者焊缝形状复杂、为粗晶材料等情况下，其检测效果往往不如射线检测；如果要求对工件内部质量和表面质量的综合检测，TOFD 技术应与其他表面检测技术相互配合。加强对 TOFD 技术局限性的理解与分析，有助于在实践中的正确使用并促进该技术的良性发展。

### 3、国内、外相关超声检测标准的现状及本部分标准在国内、外标准中的定位

#### （1）国内相关 TOFD 标准与本部分的对比

国内已经颁布的 TOFD 标准主要为 GB/T 23902—2009《无损检测 超声检测 超声衍射声时技术检测和评价方法》，该标准与本部分的对比见表 1。

表 1 国内相关标准与本部分对比

序号	主要技术内容	GB/T 23902—2009	NB/T 47013.10—2015
1	适用材质	低合金碳钢及其他低衰减和散射材料，包括细晶奥氏体和铝。粗晶和各向异性材料需要额外的确认和数据处理；焊接接头或母材	碳钢和低合金钢，或其他细晶金属材料，以及复合钢板和带堆焊层金属材料；对接接头或某些特定的角接接头
2	厚度	一般 6mm~300mm	12mm~400mm
3	检测仪器	单或双极脉冲（上升时间 $\leq 0.25$ 倍探头标称频率的周期），接收带宽：标称频率-6dB 处的 0.5 倍~2 倍，数字采样率 $\geq 4$ 倍标称频率，灰度或色度 $\geq 64$ 等	单或双极脉冲方波（上升时间 $\leq 25\text{ns}$ ），接收带宽：0.6MHz~15MHz，数字采样率至少 60MHz，灰度或色度 $\geq 256$ 级等
4	检测技术等级	不分级	分为 A、B、C 级
5	被检工件厚度分区	厚度 70mm 以内可不分区，70mm 以上分为若干区域	厚度 50mm 以内可不分区，50mm 以上分为若干区域
6	灵敏度设置	将时间窗内的电噪声调节为 5%FSH，使用试块验证	不大于 50mm 且采用单检测通道时，可直接在被检工件上或采用对比试块设置灵敏度；其他情况需采用对比试块设置灵敏度
7	时间窗口设置	直通波前 1 $\mu\text{s}$ 至底面反射波（推荐至一次底面反射的波形转换波），多通道或多次扫描时应相互覆盖	直通波前 0.5 $\mu\text{s}$ 至一次底面反射的波形转换波，多通道应向上覆盖 25%
8	缺陷显示分类	上表面开口不连续、底面开口不连续、埋藏不连续	表面开口型（扫描面开口、底面开口、穿透型）和埋藏型
9	质量分级	无	分为 I、II、III 级



## (2) 国外相关标准和本部分的对比

国外 TOFD 标准主要有：BS 7706：1993《用于缺陷探测、定位和定量的超声波衍射时差法的校准和设置指南》、ENV 583-6：2000《无损检测 超声检测 第 6 部分：缺陷探测和定量的超声波衍射时差法》、CEN/TS-14751：《焊接—超声波衍射时差法在焊接检验中的使用》、ISO 10863：2011《焊缝无损检测 超声波检测 衍射时差法的应用》以及 NEN 1822：2005《超声波衍射时差法的检验验收准则》；美国 ASTM 2373：2004《采用超声衍射时差法的标准实施规程》、ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷《无损检测》（2015 版）A 分篇第 4 章及 Code Case 2235；日本 NDIS 2423：2001《超声波衍射时差技术用于缺陷高度测量的方法》。

国外部分主要 TOFD 标准与本部分的对比见表 2。

表 2 部分欧盟承压设备 TOFD 相关标准与本部分的对比

序号	标准编号	适用范围	检测技术等级	厚度分区方式
1	EN ISO 10863: 2011	厚度：大于或等于 6mm； 材料：低合金钢及其他低声衰减材料； 结构：简单几何形状的板、管、容器全焊透焊接接头	A、B、C、D 四个技术等级	6mm~50mm：分 1 区 >50mm~100mm：分 2 区 >100mm~200mm：分 3 区 >200mm~300mm：分 4 区
2	ENV 583-6: 2000	厚度：一般为 6mm~300mm； 材料：低合金碳钢及其他低声衰减和散射材料，包括细晶奥氏体和铝。粗晶和各向异性材料需要额外的确认和数据处理； 结构：板材或焊接接头	未提及	≤70mm：分 1 区 >70mm~300mm：分 3 区
3	CEN TS 14751: 2004	厚度：大于 6mm； 材料：碳素钢和低合金钢； 结构：全焊透焊接接头	A、B、C、D 四个技术等级	6mm~50mm：分 1 区 >50mm~100mm：分 2 区 >100mm~200mm：分 3 区 >200mm~300mm：分 4 区
4	NB/T 47013.10—2015	厚度：12mm~400mm； 材料：碳钢、低合金钢及其他细晶各向同性和低声衰减金属材料； 结构：全焊透结构型式的对接接头	A、B、C 三个技术等级	12mm~50mm：分 1 区 >50mm~100mm：分 2 区 >100mm~200mm：分 3 区 >200mm~300mm：分 4 区 >300mm~400mm：分 5 区

#### 4、修订概况

##### (1) 历次制修订过程

2010 年 8 月 27 日由国家能源局发布 NB/T 47013.10—2010（JB/T 4730.10—2010）《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》。

2012 年，由全国锅炉压力容器标准化技术委员会组建了涵盖特种设备制造安装、研究机构、检验检测等各个行业的专家和代表的《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》标准修订工作组，工作组以 NB/T 47013.10—2010 为基础，经过大量试验和调研，并参考了 ASTM、EN、ISO 等国际标准和国内相关单位的研究和试验成



果，分阶段形成征求意见稿、送审稿和报批稿，最终形成了 NB/T 47013.10—2015。

### （2）本次修订的必要性

NB/T 47013.10—2010 自实施以来，在承压设备生产（设计、制造、安装、改造、维修）、检验检测等方面得到了广泛应用，为保障承压设备安全运行起到了积极作用，但在应用过程中也存在诸多问题，如对比试块数量要求较多且无统一设计型式，执行起来存在若干问题；未对检测技术进行分级，各检测机构执行起来尺度各异，导致检测结果差别较大；等。为适应当前承压设备生产及 TOFD 本身的技术发展和应用需要，提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力，因此有必要对 NB/T 47013.10—2010 进行修订，吸收和参考国内外 TOFD 检测的新标准、新技术和新成果，不断发展完善我国承压设备 TOFD 检测技术。

### （3）本次修订的原则

- a) 在吸收国内外先进技术的基础上，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，作为修订本部分的技术依据。修订标准时既考虑实用性和可操作性，也力求技术要求与国外先进技术相近，既要符合国内外行业发展需要，也要符合国情；
- b) 标准格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定；
- c) 与国家法规、法律和有关标准相一致。

### （4）本次修订的主要技术变化

与 NB/T 47013.10—2010 相比，本部分的主要技术内容变化如下：

——第1章对应于 NB/T 47013.10—2010 第1章，主要内容变化为：

- a) 范围增加了不锈钢-钢复合板、钛-钢复合板、铝-钢复合板和镍-钢复合板的基材对接接头 TOFD 检测；
- b) 范围增加了奥氏体不锈钢、镍合金等带堆焊层承压设备，从基材侧对基材对接接头的 TOFD 检测；
- c) 范围增加了插入式接管角接接头满足扫查要求时可以参照使用本部分。

——第2章对应于 NB/T 47013.10—2010 第2章，主要内容变化为：

- a) 增加了规范性引用文件 GB/T 27664.1《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》；
- b) 增加了规范性引用文件 GB/T 27664.2《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》；
- c) 增加了规范性引用文件 JB/T 8428《无损检测 超声试块通用规范》；
- d) 增加了规范性引用文件 JB/T 9214《无损检测 A型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法》；
- e) 取消了规范性引用文件 JB/T 10061—1999《A型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件》。

——第3章对应于 NB/T 47013.10—2010 第3章，主要内容变化为：

- a) 增加了术语和定义：斜向扫查、底面盲区、初始底面盲区高度、扫查面盲区、初始扫查面盲区高度；
- b) 将相关显示和非相关显示由 NB/T 47013.10—2010 的 11 章统一放在第 3 章进行定义。

——第 4 章对应于 NB/T 47013.10—2010 第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 12 章，主要内容变化为：

- a) 将检测人员、设备和器材、工艺文件、检测技术等级、检测程序、检测温度、安全要求等整合成一般要求，组成本章内容；
- b) 检测人员资格未单独规定，直接引用 NB/T 47013.1 的要求；
- c) 强化了对设备器材的质量控制，规定了检测仪器及探头测试标准、测试要求及测试参数；增加了检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求；
- d) 设计了新的平面对比试块 TOFD-A~TOFD-E 共 5 块，减少了对比试块数量，同时允许继续使用 NB/T 47013.10—2010 规定的平面对比试块；增加了扫查面盲区高度测定试块和声束扩散角测定试块，调整细化了模拟试块的制作要求、用途和使用要求；
- e) 将检测技术等级分为 A、B、C 三个级别，并对扫查面盲区、底面盲区及横向缺陷检测方法提供了选择建议；
- f) 将工艺文件分为工艺规程和操作指导书，细化了部分规定，引用了 NB/T 47013.1 关于规程和操作指导书的要求；
- g) 增加了检测程序；
- h) 增加了安全要求。

——第 5 章对应于 NB/T 47013.10—2010 第 8 章、第 9 章，主要内容变化为：

- a) 整合了 NB/T 47013.10—2010 第 8 章、第 9 章关于工艺参数的选择和设置；
- b) 修改了检测区域的规定，检测区域与 NB/T 47013.3 保持一致；
- c) 增加了扫查面的选择，补充了横向缺陷的扫查方式，并对斜向扫查方式做了规定；
- d) 修改了盲区高度的确定方式，明确了初始扫查面盲区高度采用扫查面盲区高度测定试块实测法，初始底面盲区高度确定采用算法，并给出了计算公式；
- e) 增加了信号平均化处理、数字化频率、频率响应范围等参数的设置；
- f) 允许在分区检测的情况下，最上分区也可以采用直通波设置灵敏度；
- g) 增加了检测系统总体设置的确认，明确检测系统设置后应进行确认。

——第 6 章对应于 NB/T 47013.10—2010 第 8 章、第 9 章、第 10 章，主要内容变化为：

- a) 整合了 NB/T 47013.10—2010 中第 8 章、第 9 章、第 10 章中扫查面准备、母材检测、耦合剂、扫查、检测系统复核、检测前工艺参数的调节等部分

内容；

- b) 增加了检测前灵敏度的检查和检测数据的记录要求，放宽了深度显示偏差的要求。

——第7章对应于 NB/T 47013.10—2010 第11章，主要内容变化为：

- a) 对检测数据有效性评价进行了修改和补充，如对相邻 A 扫描信号丢失重新进行了规定；取消了难以分类的相关显示；取消了非相关显示的确认方法；增加了相关显示的记录要求；
- b) 增加了典型的 TOFD 图像，放在附录 E。

——第8章对应于 NB/T 47013.10—2010 第13章，主要内容变化为：

- a) 取消了近表面缺陷的定义，将非点状缺陷分为表面开口型缺陷和埋藏缺陷两类；
- b) 调整了点状缺陷评定区的尺寸和各级别允许的最大点数；
- c) 对非点状缺陷的 I 级评定要求进行了修改，对缺陷的高度和长度限制更为严格。

——第9章对应于 NB/T 47013.10—2010 第14章，主要内容变化为：

增加了 TOFD 记录内容的要求，引用了 NB/T 47013.1 关于检测记录和报告的要求。

——本部分还增加了附录 A “不等厚工件的检测”和附录 C “仪器和探头组合的 -12dB 声束扩散角测量方法”；修改了附录 B “TOFD 检测仪器和探头性能指标要求”。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.10】【1 范围】释义

NB/T 47013.10—2010 仅适用于单一材料的对接接头 TOFD 检测，但我国存在大量的复合板、带堆焊层的承压设备，还有不等厚对接接头和某些角接接头，在一定的的前提下采取某些技术措施也是可以采用 TOFD 检测技术的。根据试验结果和实际检测经验，本次对范围进行了修订。

#### 1、关于对复合板基层的检测（1.3）

本条为新增内容。从基材侧对焊接接头进行 TOFD 检测时，覆材对基材检测结果无影响，直接使用即可；当从覆材侧对基材对接接头进行 TOFD 检测时，需要考虑覆材与基材界面的超声通过性，本条要求先对超声波声束按工艺要求将通过的区域用直探头按照 NB/T 47013.3 的规定进行检测，要求不得有大于或等于  $\phi 2\text{mm}$  平底孔当量直径的未结合；从覆材侧检测时，还应考虑扫查器的磁性、相同材料结构的对比试块以及 A 扫时



间窗口的设置、深度校准和厚度分区的适当调整等。一般而言，应优先考虑采用从基材侧进行检测的方式。

2、关于对带堆焊层的基材进行检测（1.4）

本条为新增内容。堆焊一般采用自动焊机带极堆焊或手工堆焊，但无论何种堆焊方式，其表面状态均不利于 TOFD 探头耦合与扫查移动，且堆焊层一般晶粒较为粗大，不利于声束传播尤其是较弱的衍射波传播，故本条明确可以对带堆焊层焊接接头进行 TOFD 检测，但只能从基材侧扫查。

3、关于插入式接管角接接头的检测（1.5）

本条为新增内容。当插入式接管的管子材料满足本章规定、壁厚满足探头 PCS 设置的要求（本部分 5.2）时，可从承压设备内侧进行 TOFD 检测，类似于检测对接接头，插入式接管角接头 TOFD 检测示意图见图 2。另外，本检测方式对结构和材料满足要求的安放式接管角焊缝 TOFD 检测也具有一定的指导意义。

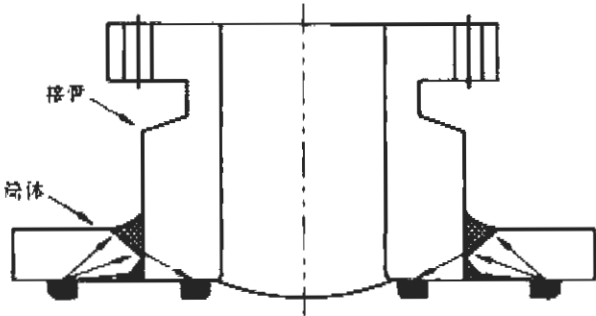


图 2 符合检测要求的插入式接管角接接头检测方式

4、关于两侧母材不等厚对接接头的检测（1.6）

本条为新增内容。两侧母材不等厚是承压设备封头与筒体、过渡段与封头（或筒体）等的常见焊接接头结构，国内许多检验检测机构进行了较大量的试验，积累了较为丰富的经验。因此，本条首先将两侧母材不等厚对接接头纳入 TOFD 的检测范围，并将其基本检测工艺作为资料性附录 A，给检测人员提供指导性建议。

第 2 章 规范性引用文件

【NB/T 47013.10】【2 规范性引用文件】释义

相对 NB/T 47013.10—2010，本部分引用文件修改如下：

（1）用 GB/T 27664.1《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：仪器》替代了 JB/T 10061—1999《A 型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件》，GB/T 27664.1 与欧盟标准 EN 12668-1：2000《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：

仪器》基本相同，对超声检测设备性能提出的要求更科学；

(2) 增加了 JB/T 9214《无损检测 A 型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法》、GB/T 27664.2《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》和 JB/T 8428《无损检测 超声试块通用规范》。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.10】【3 术语和定义】释义

本章增加了斜向扫查、底面盲区、初始底面盲区高度、扫查面盲区、初始扫查面盲区高度等5个术语和定义，并将 NB/T 47013.10—2010 第11章的相关显示和非相关显示两个定义放在本章。

#### 1、关于斜向扫查（3.11）

本条为新增内容。横向缺陷检测一直是 TOFD 检测局限性所在，中国特检院和其他检测机构在经过反复研究和实践的情况下，发现采用探头对与焊缝中心线成一定夹角的扫查方式，可有效改善对横向裂纹的检出。本条为纳入该研究成果而提出此术语。

#### 2、关于底面盲区（3.12）和初始底面盲区高度（3.13），扫查面盲区（3.14）和初始扫查面盲区高度（3.15）

此4个术语为新增内容。NB/T 47013.10—2010 中的底面盲区（或扫查面盲区）在 TOFD 检测的不同阶段，其定义的内容是变化的，容易造成混淆。为改变此状态，本次修改为：初始底面盲区高度和初始扫查面盲区高度是指在非平行扫查方式下的底面和扫查面盲区最大高度，而底面盲区高度和扫查面盲区高度则是指经过各种工艺措施改进后尚未完全覆盖的底面或扫查面盲区最大高度。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.10】【4.1 检测人员】释义

本条强调了 TOFD 检测人员除了应满足 NB/T 47013.1 的规定，还应熟悉 TOFD 检测设备器材。需要掌握一定的承压设备结构及制造基础知识，如检测人员应具有一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，了解被检工件的材质、几何尺寸及透声性对 TOFD 检测的影响等。另外，还应具有实际的检测经验，以便对检测中出现的问题进行分析、判断和处理。

【NB/T 47013.10】【4.2 检测设备和器材】释义

检测设备一般指与仪器直接相连的整体，包括仪器、探头、扫查装置和相关附件，器材是指独立于设备以外的部分，如试块和耦合剂等。本条内容修改较大，以加强对检测设备和器材的控制，变化主要体现在：仪器和探头需要提供产品质量合格证和符合本部分要求的证明文件；明确了仪器和探头的各项性能具体要求；明确了对比试块的结构、类型和数量。

1、关于仪器和探头产品质量合格证明文件（4.2.1.2）

NB/T 47013.10—2010 只是简单地规定了“设备应具有产品质量合格证或制造厂家出具的合格文件”，但没有明确在产品质量合格证中至少应包括哪些参数或性能指标，给相关各方使用带来不便。这几年的情况表明，存在仪器探头未进行性能检验或仅进行外观检查，即出厂、参数虚标等现象，为检测工艺和质量控制埋下隐患，不利于我国检测设备器材整体水平提升以及保障检测质量。

本条修订后规定：仪器产品质量合格证中至少应给出预热时间、低电压报警或低电压自动关机电压、发射脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、发射脉冲宽度（采用方波脉冲作为发射脉冲的）以及接收电路频带等主要性能参数；探头产品质量合格证中至少应给出中心频率、电阻抗或静电容、相对脉冲回波灵敏度和频带相对宽度等主要性能参数。

产品质量合格证一般由仪器探头生产厂家自己出具。

2、关于检测仪器、探头及其组合性能（4.2.1.3）

本条修订补充内容较多。NB/T 47013.10—2010 对检测仪器性能的要求主要参照 JB/T 10061，对探头只在附录里规定了 3 个指标，未对仪器与探头组合性能进行规定；不需要出具符合本部分要求的证明文件。本次标准修订过程中，工作组广泛征求各方意见，并对仪器探头各性能参数指标进行了试测试和合理性评估，最终形成本条内容。

（1）检测仪器

检测仪器从功能和电气性能指标要求两方面在附录 B 中进行了规定，其中电气性能测试方法参照 GB/T 27664.1。

检测仪器电气性能方面的主要变化见表 3，对若干性能明确了具体指标。

表 3 检测仪器电气性能要求对比

检测仪器性能参数	NB/T 47013.10—2010	NB/T 47013.10—2015	对比说明
激发电脉冲	单极性或双极性，一般为方波	单极性或双极性，应为方波	强调使用方波
发射脉冲上升时间	应小于可能使用的最高探头标称频率周期时间的 0.25 倍	应小于 25ns	将明确上升时间值，避免因使用探头频率不同导致仪器的参数不同，便于对仪器的监管。按照 10MHz 探头计算，两者数据相等



表 3 (续)

检测仪器性能参数	NB/T 47013.10—2010	NB/T 47013.10—2015	对比说明
发射脉冲电压值	应可调, 大于或等于 200V	应可调, 不低于 200V (特殊情况下达不到的, 至少应不低于 100V 且提供具有检测能力的证明文件)	根据目前的国内设备能力, 提出了特殊情况, 但应提供具有检测能力的证明文件
	未作规定	发射脉冲电压的实测值与设定值 (带负载 50Ω) 之间的偏差不大于设定值的 20%	增加实测值要求
发射脉冲宽度	应可调, 步进小于或等于 10ns	50ns~500ns 且可调, 步进小于或等于 10ns	对发射脉冲宽度范围进行规定
	未作规定	实测值与设定值之间的偏差不大于设定值的 10%	增加实测值要求
发射脉冲重复频率	应可调, 最大值应能达到 500Hz 及以上	应可调, 最大值应能达到 500Hz 及以上	未变
	未作规定	发射脉冲重复频率的实测值与设定值的偏差不大于设定值的 10%	增加实测值要求
接收放大电路频带范围	按 -6dB 宽带应大于可能使用的各种探头标称频率的 0.5 倍~2 倍, 或者至少大于可能使用的探头频带宽度	按 -3dB 测量应至少包括 0.6MHz~15MHz	要求更严格, 并将接收放大电路频带范围固化, 避免因使用探头频率不同导致仪器的参数不同, 便于对仪器的监管
数字采样频率	至少 6 倍于可能使用的最高探头标称频率	至少 60MHz	将数字采样频率固化, 避免因使用探头频率不同导致仪器的参数不同, 便于对仪器的监管。按照 10MHz 探头计算, 两者数据相等
仪器实测净增益	不低于 80dB; 增益应连续可调且步进小于或等于 1dB; 增益精度为任意相邻 12dB 的误差在 ±1dB 以内, 且最大累计误差不超过 1dB	应不小于 75dB	—
其他电气性能要求	未涉及的性能指标应满足 JB/T 10061 的技术参数要求	应满足 NB/T 47013.3《承压无损检测 第3部分: 超声检测》附录 A 的要求	—

仪器的功能要求方面: 一是增加了仪器软件应具有拟合曲线光标功能; 二是对于未采集到的数据, 仪器软件不应使用数据处理方式对缺失部分进行补充, 应保持数据的真实性。

## (2) 探头

一般采用宽带窄脉冲纵波斜入射探头, 在能证明具有所需的检测和测量能力情况下, 也可使用其他型式的探头, 如相控阵探头、横波探头或电磁超声探头等。对于宽带窄脉冲纵波斜入射探头的性能指标要求在规范性附录 B 中规定, 其性能指标与 NB/T 47013.10—2010 比较, 主要变化见表 4。

表 4 宽带窄脉冲探头性能指标要求对比

探头性能参数	NB/T 47013.10—2010	NB/T 47013.10—2015	对比说明
中心频率	实测值与标称值的偏差 ≤标称值的 10%	实测值与标称值的偏差≤标称值的 10%	不变
相对脉冲回波灵敏度	未作规定	实测值与标称值的偏差≤3dB	增加内容
电阻抗或静电容	未作规定	实测值与标称值的偏差≤标称值的 20%	增加内容
直通波持续时间	直通波按峰值下降 20dB 测量的持续时间应不超过 两个脉冲周期	直通波按峰值下降 20dB 测量的持续时 间应不超过两个脉冲周期	未变
频带相对宽度	不小于 60%	不小于 80%	—

(3) 仪器和探头的组合性能

与 NB/T 47013.10—2010 相比，组合性能具体指标要求变化见表 5。

表 5 组合性能要求对比

组合性能	NB/T 47013.10—2010	NB/T 47013.10—2015	对比说明
水平线性	不大于 1%（属仪器性能）	不大于 1%（属仪器探头组合性能）	未变
垂直线性	不大于 5%（属仪器性能）	不大于 5%（属仪器探头组合性能）	未变
灵敏度余量	未作规定	不小于 42dB	明确指标
组合频率	未作规定	组合频率与探头标称频率之间偏差 不得大于±10%	明确指标
-12dB 声束 扩散角	要求测量，未规定测量方法	要求测量，测量方法见附录 C	明确测量方法
信噪比	采用对比试块时，在合适的检测设 置下能使检测区域范围内的反射 体衍射信号幅度达到满屏的 50%， 并有 8dB 以上的信噪比	采用本部分规定的对比试块时，在 合适的检测设置下能使检测区域范 围内的反射体衍射信号幅度达到满 屏的 50%，并有 8dB 以上的信噪比	未变

(4) 关于仪器和探头性能或功能满足附录 B 要求的证明文件

该证明文件不同于仪器和探头产品质量合格证明文件。首先，仪器和探头产品质量合格证明文件分别仅包含 7 项（仪器）和 4 项（探头）指标内容，而本条所要求的证明文件包含附录 B 中的全部内容。其次，关于出具该证明文件的机构，为具有社会公信力，一般应为具有测试能力和资质的第三方检测机构，而非生产厂家自身，不同于产品质量合格证明文件一般由仪器探头生产厂家自己出具。

3、关于试块（4.2.3）

NB/T 47013.10—2010 存在以下问题：未规定标准试块，不利于检测仪器探头性能的质量控制。对比试块只规定了制作原则，而且不能以厚代薄，因此这几年不同检测单位使用的对比试块结构型式往往不一致，同时为满足 12mm~400mm 厚度范围所需试块数量达到 13 块，一定程度上增加了检测单位成本。同时，还缺少某些对检测工艺有重要意义的对比试块，如-12dB 声束扩散角测定试块和盲区高度测定试块，工艺控制质量堪忧。

考虑到 TOFD 技术经过这几年的发展，国内的检测能力有了长足的进步，本次修订



首先大幅度缩减了对比试块数量，重新设计了 5 块平面对比试块以覆盖适用厚度范围（为避免浪费，本部分规定可继续使用 JB/T 4730.10—2010 规定的对比试块）；增加了 CSK-ⅠA 和 DB-P Z20-2 试块作为标准试块；增加了扫查面盲区高度测定试块和-12dB 声束扩散角测定试块；调整了模拟试块的用途和数量并明确了具体制作要求。

#### （1）标准试块（4.2.3.1）

按照 GB/T 12604.1 对标准试块的定义：标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用于评定和校准超声检测设备，即用于仪器探头系统性能校准的试块。因此，本部分规定采用的标准试块为 CSK-ⅠA 和 DB-P Z20-2，CSK-ⅠA 和 DB-P Z20-2 的型式见 NB/T 47013.3 和 JB/T 9214。

#### （2）对比试块（4.2.3.2）

本条明确了对比试块可采用无焊缝的板材、管材或锻件，也可采用焊接件；对比试块和模拟试块区别的关键是其中反射体的加工方式，只要采用机加工方式的，如钻孔、开槽、切割等，均称为对比试块（标准试块除外），和制作材料是否取自被检工件以及是否焊接接头无关。

##### ——关于平面对比试块

本条规定了 TOFD-A、B、C、D、E 共 5 块平面对比试块，较 NB/T 47013.10—2010 中 13 块的数量要求大为降低，同时增加了当检测曲面工件的纵缝且检测面曲率半径小于 150mm 时，应采用曲率半径为工件 0.9 倍~1.5 倍的曲面对比试块，试块中的反射体形状、尺寸和数量与同厚度的平面对比试块一致的要求。本条中平面对比试块的基本设计思路如下：

- 可以厚代薄，减少对比试块的数量：任意较厚的试块都包含较薄试块的反射体，即 B 包含 A、C 包含 B，以此类推。TOFD-E 试块适用于厚度为 12mm~400mm 的工件检测；
- 按照本部分表 3 推荐的探头设置分区，可保证每个分区至少有两个反射体；
- 引入超声对比概念，孔径与质量分级为Ⅰ级的同深度缺陷最大高度相同；表面、底面开槽尺寸与同壁厚验收Ⅰ级相同。不同厚度（深度）缺陷验收Ⅰ级见表 6。

表 6 不同厚度（深度）缺陷验收Ⅰ级

工件厚度 $t$	单个缺陷					
	表面开口型缺陷			埋藏型缺陷		
	长度 $l_{\max}$	高度 $h_3$	若 $l > l_{\max}$ , 缺陷高度 $h_1$	长度 $l_{\max}$	高度 $h_2$	若 $l > l_{\max}$ , 缺陷高度 $h_1$
$12 \leq t \leq 15$	$\leq t/2$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq t/2$	$\leq 3$	$\leq 1$
$15 < t \leq 40$	$\leq t/2$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq t/2$	$\leq 4$	$\leq 1$
$40 < t \leq 60$	$\leq 20$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 20$	$\leq 5$	$\leq 2$
$60 < t \leq 100$	$\leq 25$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 25$	$\leq 5$	$\leq 2$
$t > 100$	$\leq 30$	$\leq 4$	$\leq 3$	$\leq 30$	$\leq 6$	$\leq 3$

平面对比试块中的横孔所关注的是其直径和位置、走向，与其底面成形状态无关，



故可以是平底孔，也可以是锥底孔或圆底孔。

为避免以前的平面对比试块浪费，本部分还可以继续使用 NB/T 47013.10—2010 规定的平面对比试块。

#### ——关于特殊结构工件对比试块

本条为新增内容。考虑到某些特殊的结构可能导致 TOFD 检测困难，漏检缺陷，因此本条建议制作专用对比试块（非强制）是有效和必要的，根据检测需要在难以检测的部位增加反射体，能实际判断这些位置的缺陷检出能力。当然，有能力的检测单位也可以采用超声仿真的方式。

#### ——关于扫查面盲区高度测定试块

本条为新增内容。扫查面盲区高度的确定，NB/T 47013.10—2010 提到需要通过试验测定其扫查面盲区高度，但未提供测试方法，也无专用的扫查面盲区高度测定试块。以往的通常做法基本是利用平面对比试块的孔或槽进行粗略估判，不能准确测定。

为准确测定扫查面盲区高度，本部分新增了扫查面盲区高度测定试块，其设计见图 3。

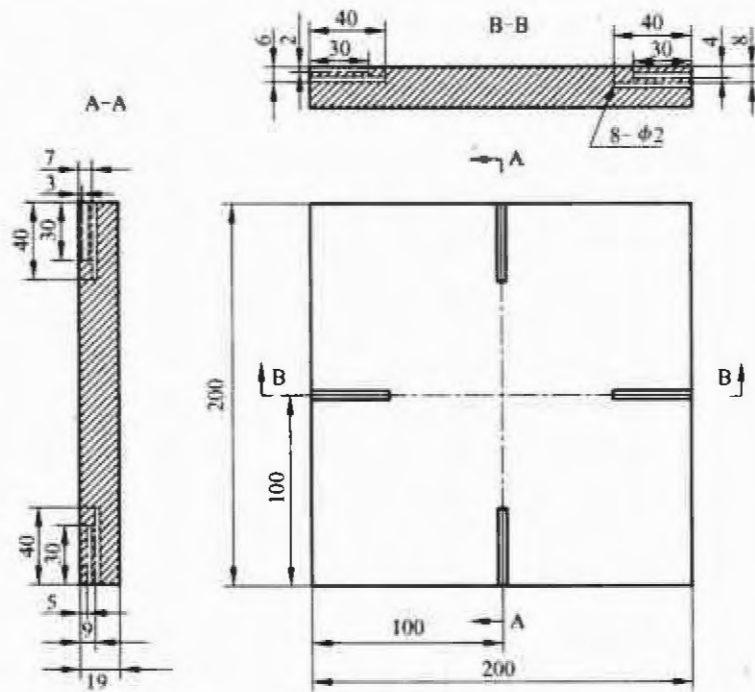


图 3 扫查面盲区高度测定试块

扫查面盲区高度测定试块的设计思路如下：

- 标准反射体类型的选择：考虑到不开口的横孔更能客观地反映表面的检出能力，故采用横孔，不采用表面开口槽；
- 孔直径大小的选择：考虑到对于薄壁工件，验收Ⅰ级允许缺陷的自身高度为 2mm，故设孔的直径为 2mm；
- 孔的排布：由于两孔的深度差为 4mm，上孔下沿和下孔上沿之间的距离为 2mm，可能有些设备区分困难，两孔不同长度便于区分。为不至于混淆，设同一位置不同深度的孔的长度分别为 30mm 和 40mm；
- 孔的数量：一共 8 个孔，孔的深度分别为 2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、

7mm、8mm、9mm，如果从反面做测试，深度分别为10mm、11mm、12mm、13mm、14mm、15mm、16mm、17mm；试块总厚度为19mm；

- e) 因扫查器尺寸原因导致扫查困难，可以考虑在试块的四周加装导引板；
- f) 试块材质应与被检工件材质声学性能相同或相近；
- g) 与平面对比试块一样，扫查面盲区高度测定试块的横孔可以是平底孔，也可以是锥底孔或圆底孔。

#### ——关于-12dB 声束扩散角测定试块

本条为新增内容。关于-12dB 声束扩散角的测定，NB/T 47013.10—2010 未提供测试方法，也无测定试块。以往的通常做法基本是利用 CSK- I A 试块进行测定，测量准确度不高，测量数据不能直接读出，需要计算。另外，由于 CSK- I A 采用的是 20#钢，如果被检材料与 20#钢声速差有较大差别，还需制作相应材料的 CSK- I A 试块，比较麻烦。为满足测定要求，本条新增了-12dB 声束扩散角测定试块。设计见图 4。

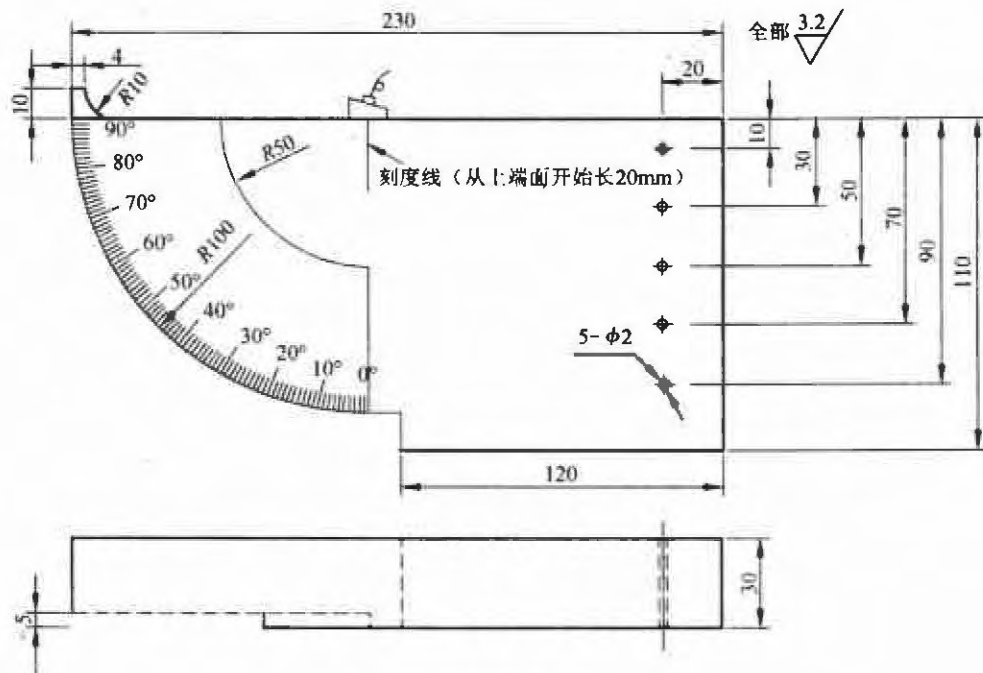


图 4 声束扩散角测定试块

声束扩散角测定试块设计思路如下：

- a) 在 R100 圆弧面标出角度，用于角度的直接读出；同时参考 CSK- I A 的结构，增设 R50 圆弧面用于仪器的线性调节（局部功能可替代 CSK- I A 试块）；
- b) R100 圆弧上端部增加 10mm 的凸台，主要考虑探头的上扩散角为 90°时，接收探头便于放置在该处圆弧面；
- c) 被测定探头放置位置侧面增加 1 根长度为 20mm 的刻度线正对探头主声束发射点，可直接测量探头前沿距离；
- d) 试块右端 120mm 长度部分为试块配重，便于试块放置稳定；由于增加了配重，为避免功能浪费，在右侧端部设置 5 个直径为 2mm 的通孔，可用于对探头 K 值的测量，也可用于现场对脉冲反射法超声检测的灵敏度设置或验证；



e) 试块材质应与被检工件材质声学性能相同或相近。

(3) 模拟试块 (4.2.3.3)

关于模拟试块的制作要求和用途, 本次修订与 NB/T 47013.10—2010 相比, 主要区别是:

- a) 考虑到国内 TOFD 检测经验日趋丰富, 本次修订规定只有 C 级检测时才需要使用模拟试块验证工艺;
- b) 对模拟试块不再强调材质相同, 只要声学特点相同或相似即可;
- c) NB/T 47013.10—2010 中壁厚大于 50mm 的模拟试块中的缺陷要求规定不清晰, 容易导致误解。本次修订强调按照分区进行检测时, 每个厚度分区内至少有一处埋藏缺陷, 若某个分区内无缺陷, 将导致无法对该分区的检测工艺进行验证;
- d) 对缺陷类型和数量做了详细规定, 考虑到缺陷制作难度, 将类型分为纵向、横向, 性质分为体积型、面积型, 不再强调缺陷的具体性质, 如裂纹、未熔合、气孔、夹渣、未焊透等。因 C 级检测技术需要对横向缺陷进行检测, 故本次修订强调模拟试块必须包含横向缺陷;
- e) 若一块模拟试块中未完全包含上述缺陷, 可由多块同范围的模拟试块组成。这里的“同范围”意指同分区范围。

4、关于检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求 (4.2.4)

本条有较大调整。TOFD 检测设备和器材未列入国家强检目录, 故使用单位可以自行进行校准或委托有资质的机构进行校准。为确保检测设备和器材始终处于有效状态, 本次修订分别对检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查内容进行了分类, 对不同内容也提出了具体的性能要求、记录要求、周期以及测试方法。具体要求及与 NB/T 47013.10—2010 对比的情况见表 7。

表 7 检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求对比

内 容		NB/T 47013.10—2010				NB/T 47013.10—2015			
		性能要求	记录要求	周期	测试方法 (标准)	性能要求	记录要求	周期	测试方法 (标准)
校准或核查	水平线性	≤1%	无	未规定	未规定	≤1%	需要	1 年	JB/T 9214—2010
	垂直线性	≤5%	无	未规定	未规定	≤5%	需要	1 年	JB/T 9214—2010
	衰减器精度	无要求	—	—	—	20dB 内误差小于 1.7dB; 60dB 内误差小于 3dB	需要	1 年	GB/T 27664.1
	组合频率	无要求	—	—	—	偏差不大于 ±10%	需要	1 年	JB/T 10062
	灵敏度余量	无要求	—	—	—	≥52dB; 最大声程处有效灵敏度余量 ≥10dB	需要	1 年	JB/T 9214—2010
	标准试块与对比试块的表面腐蚀与机械损伤	无要求	—	—	—	无表面腐蚀和机械损伤	需要	1 年	JB/T 8428



表 7 (续)

内 容		NB/T 47013.10—2010				NB/T 47013.10—2015			
		性能要求	记录要求	周期	测试方法 (标准)	性能要求	记录要求	周期	测试方法 (标准)
运行 核 查	水平线性	无要求	—	—	—	≤1%	需要	6个月	JB/T 9214—2010
	垂直线性	无要求	—	—	—	≤5%	需要	6个月	JB/T 9214—2010
	对比试块反射体	无要求	—	—	—	清晰显示反射体	需要	6个月	4.2.4.3.2
检 查	探头前沿	实测数据	需要	每次检测前	未作规定	实测数据	需要	每次检测前	—
	超声波在探头楔块中的传播时间	实测数据	需要	每次检测前	未作规定	实测数据	需要	每次检测前	—
	-12dB 声束扩散角	实测数据	需要	每次检测前	未作规定	本部分附录 B 及实测数据	需要	每次检测前	附录 C 等
	位置传感器	移动一定距离, 误差小于 1% (属于校准内容)	无	每次检测前	9.4.2	至少移动 500mm, 误差小于 1%	需要	每次检测前	4.2.4.4.2

### 【NB/T 47013.10】【4.3 TOFD 检测技术等级】释义

#### 1、对 TOFD 检测技术等级进行分级的必要性和具体要求

NB/T 47013.10—2010 实施以来, 国内不同检测机构在标准的使用控制尺度上差别很大, 尤其在偏置非平行扫查、盲区高度控制、横向缺陷以及补充检测等方面。为了统一工艺尺度、明确各尺度的具体措施, 本部分根据被检对象安全重要程度不同以及工艺措施的复杂程度将 TOFD 检测分为 A、B、C 三个检测技术等级, 分别从检测面、扫查面和底面盲区高度控制、横向缺陷的检测需求、是否采用模拟试块验证工艺、扫查面和底面表面检测要求等 7 个方面进行了规定。其中, A 级要求最低, C 级要求最高。

本部分还对盲区高度大于 1mm 时的补充检测提供了具体建议, 对 B、C 级检测技术等级的横向缺陷检测规定了可以采用 TOFD 斜向扫查方式进行补充检测; 对因结构的原因无法满足相应检测技术等级的要求也作了规定。

#### 2、选择 TOFD 检测技术等级的一般原则

**A 级检测:** 适用于不易产生横向缺陷的一般承压设备 (如低碳钢制)、重要支撑件和结构件 (大型承压设备如加氢反应器、塔等的支撑件, 或抗震、抗风设计的裙座等);

**B 级检测:** 适用于可能产生横向缺陷的一般承压设备, 在役检测的一般压力容器;

**C 级检测:** 适用于重要承压设备对接接头, 如高强钢 (标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa) 制大型承压设备, 如球罐或塔器等; 按分析标准设计的容器等。

**【NB/T 47013.10】【4.4 检测工艺文件】释义**

检测工艺文件分为工艺规程和操作指导书。本条明确工艺规程和操作指导书除满足 NB/T 47013.1 的规定外，还应满足相关因素的具体范围或要求。当相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。因操作指导书依据工艺规程编制，故相关因素超出规定时，也应修订操作指导书。

本条还规定操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，以满足 NB/T 47013.1 中的规定。验证方式为：当检测技术等级为 A 或 B 级时，可采用对比试块进行，若被检工件壁厚不大于 50mm 且采用单通道检测时，还可在实际工件上进行；当检测技术等级为 C 级时，应在模拟试块上进行验证。这里“首次应用”意指根据工艺规程编制的操作指导书，在第一次使用该操作指导书时应做工艺验证，只要工艺规程的相关因素未变化，日后采用该操作指导书进行检测时均无需再做工艺验证。但第一次验证的相关数据应清晰注明、妥善保存、有据可查。

**【NB/T 47013.10】【4.5 检测程序】释义**

本条为新增内容，对检测实施的程序进行了规定。

**【NB/T 47013.10】【4.6 温度】释义**

无论被检工件的实际表面温度是否在 0℃～50℃范围之内，检测系统设置和校准时的温度与实际检测温度之差均应控制在 20℃之内。

允许被检工件的表面温度范围超出 0℃～50℃范围，但此时一般应采用特殊探头或耦合剂，且操作指导书工艺验证时采用的探头耦合剂以及检测温度应与被检工件一致。

**【NB/T 47013.10】【4.7 安全要求】释义**

本条为新增要求，安全方面除了应满足 NB/T 47013.1—2015 中 6.3 相关规定的要求外，还应考虑漏电等因素。

## **第 5 章 检测工艺参数的选择和设置**

**【NB/T 47013.10】【5.1 检测区域的确定】释义**

本条与 JB/T 4730.10—2010 相比变化较大：

一是将检测区域的高度由“工件厚度”修改为“工件焊接接头的厚度”，避免误解成母材厚度  $t$ ，修改后明确了检测区域的高度应包含焊缝余高。

二是修改了检测区域的宽度：NB/T 47013.10—2010 的规定直接引用 ASME Code case 2235 中的相关内容，实际检测时一般难以测量实际热影响区宽度，为满足标准规定，多采用 25mm 或以上的宽度作为检测区域，此时需增加多次偏置扫查，效率明显偏

低；本次修订期间，经标准工作组调研，承压设备焊接一般采用的氩弧焊、手工电弧焊、埋弧焊等焊接方法其实际热影响区宽度多在 6mm 以下，故本条将检测区域的宽度修改为焊缝本身及焊缝熔合线两侧各 10mm，在保证安全的基础上缩小区域以利于 TOFD 操作，同时与 NB/T 47013.3 保持一致。

### 【NB/T 47013.10】【5.2 探头选取和设置】释义

本条与 NB/T 47013.10—2010 相比无明显变化。本条中的表 3 是平板对接接头的探头推荐性选择和设置，适用于平板对接、环缝对接、较大曲率工件的纵缝。当经计算和工艺试验验证后或检测某些特殊结构的焊接接头时，也可不按照本条中的表 3 进行设置，如检测直边较短的封头筒体对接接头或从内表面检测插入式角接接头时，由于一侧放置探头的空间不够，该侧往往采用频率相同而楔块角度不同的探头来进行 TOFD 检测。

### 【NB/T 47013.10】【5.3 扫查面和扫查方式的选择】释义

#### 1、关于扫查面的选择（5.3.1）

本条为新增内容。

当检测技术等级为 A 或 B 级时或对于在役承压设备，一般情况下宜选择外表面作为扫查面，可使直接与介质接触的内表面的表面盲区较小，操作上也更易实施；弧面和非平面对接接头的扫查，应考虑盲区高度的大小，例如对曲率半径相对较小的纵缝检测时，从内壁检测可降低扫查面和底面盲区高度；扫查面的选择还应考虑有足够的操作实施空间，需检查表面是否存在影响扫查装置移动的接管或结构件等；在实际检测工作中应综合考虑上述因素，选择最适宜的扫查面。

当检测技术等级为 C 级时，应进行双面检测。

#### 2、关于扫查方式的选择（5.3.2～5.3.7）

本部分规定了 3 种初始扫查方式，即非平行扫查、偏置非平行扫查和斜向扫查。其中：非平行扫查作为基本扫查方式，每次 TOFD 检测均应采用；检测区域宽度覆盖不足时，一般需增加偏置非平行扫查，不建议采用脉冲反射法补充；需要检测横向缺陷时，可增加斜向扫查方式，主要是因为：横向缺陷在非平行或偏置非平行时在 TOFD 图谱上显示无长度，容易漏检；而在斜向扫查时则显示出一定的长度，利于判断。

当采用多种初始扫查方式时，应合理安排扫查次序并在操作指导书中注明。

### 【NB/T 47013.10】【5.4 确定初始扫查面盲区高度和检测方式】释义

#### 1、关于确定初始扫查面盲区高度（5.4.1）

本条为新增内容，确定初始扫查面盲区高度的目的是在编制操作指导书时，定量了解非平行扫查（探头对中心与焊缝中心重合）的盲区大小，以选择补充检测的方式及考虑其覆盖深度，进而以确保满足规定的检测技术等级的要求。



确定初始扫查面盲区高度不能采用公式计算法，主要是考虑：

(1) 公式中的参数与探头的声学参数有关，而探头声学参数难以确知且往往随使用的时间发生变化，无法做到准确。

(2) 试验表明，计算法得到的盲区高度值往往大于实测法且和检测设置有关，影响因素较为复杂。

在采用本条规定的扫查面盲区高度试块进行测量时，应将按操作指导书设置好的扫查装置分别对不同深度侧孔进行非平行扫查，能发现的最小深度横孔上沿所对应的深度即为初始扫查面盲区高度。例如，不能完整显示深度为 2mm 的孔，但能完整显示深度为 3mm 的孔时，考虑到深度 3mm 孔的上沿为 2mm，故盲区高度为 2mm；能完整显示 4mm 深度的孔，盲区高度为 3mm；以此类推。

## 2、关于扫查面盲区检测方式（5.4.2）

根据本部分 4.3 条的要求，当初始扫查面盲区高度大于 1mm 时，宜采用脉冲反射法进行补充检测，使扫查面盲区高度降到 1mm 或以下。若选用脉冲反射法的爬波法，应在工艺文件中明确爬波探头的规格型号和布置方式，且应在扫查面盲区高度试块上至少对深度为 2mm 的侧孔进行工艺试验以验证其表面检出能力。

### 【NB/T 47013.10】【5.5 确定初始底面盲区高度和检测方式】释义

本条为新增内容。确定初始底面盲区高度可以采用公式计算法，主要是考虑到该高度值决定于探头 PCS 值和工件厚度值构成的几何关系，与探头声学参数无关；试验表明公式计算法较为准确、可靠和方便。

计算公式为：

$$\Delta h = t \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{s^2 + t^2}} \right)$$

式中：

$t$ ——工件厚度；

$x$ ——偏离焊缝中心线的距离（此处为底面检测区域宽度的一半）；

$s$ ——探头中心间距的一半。

当初始底面盲区高度大于 1mm 时：

(1) 建议采用偏置非平行扫查，使底面盲区高度降到 1mm 或以下，因为若采用常规脉冲反射法，则无检测图像和记录，失去了 TOFD 检测的优势。

(2) 偏置非平行扫查的次数、偏置量的计算也采用上述公式。建议偏置后，各处的计算  $h$  值相等。这样，若需两侧各偏置一次，则每侧的偏置量为  $2x/3$ ；若需两侧各偏置两次，则每侧的偏置量为  $2x/5$ ， $4x/5$ ；以此类推（见图 5）。

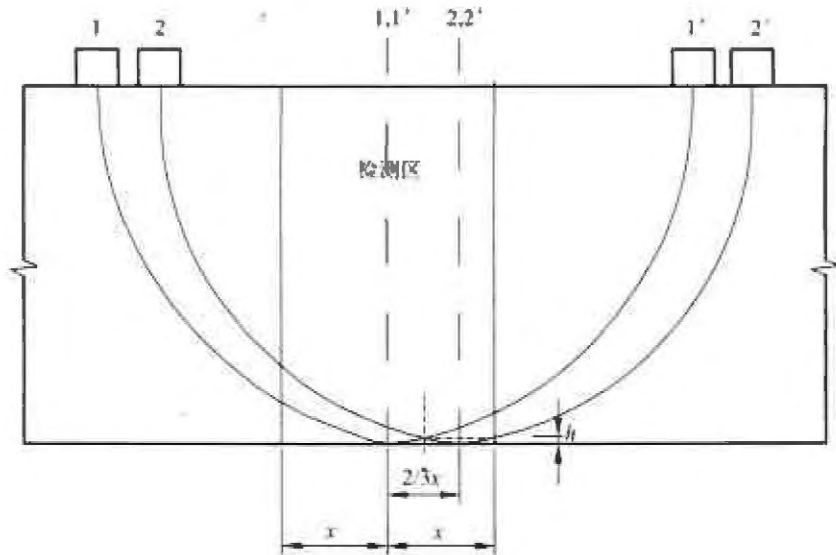


图5 偏置量优化

### 【NB/T 47013.10】【5.6 确定横向缺陷的检测方式】释义

本条为新增内容。前已述及，横向缺陷检测是以往 TOFD 检测的难点之一。近几年，以中国特检院为主的国内承压设备检验检测研究和技术机构经过多次试验和研究，提出了斜向扫查方式，基本上解决了横向缺陷检测的问题。本次修订吸纳了该研究成果，增加了采用斜向扫查方式作为检测横向缺陷的技术之一的规定。

若选用斜向扫查方式时，应在工艺中明确斜向扫查角度、探头选取和设置等。斜向扫查角度一般定为  $45^\circ$ ，因工件的结构等原因无法设置为  $45^\circ$  时，可设置为  $30^\circ \sim 60^\circ$  范围内的其他角度；探头选取和设置可参考标准中表 3 的推荐。本条同时明确，斜向扫查应与非平行扫查同步进行，便于其采集的数据与非平行扫查数据进行对比确认。操作时应注意非平行扫查探头对和斜向扫查探头对的相对位置，便于图谱分析对照。具体要求应在工艺规程和操作指导书中进行规定。图 6 是某款可以用于斜向扫查的扫查架。

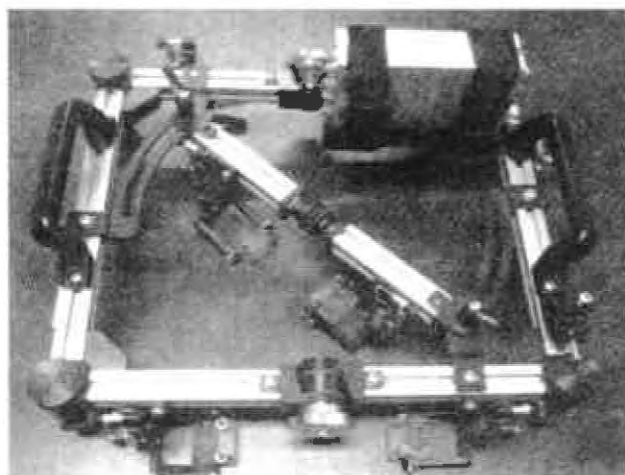


图6 斜向扫查架示例

**【NB/T 47013.10】【5.7 扫查步进设置】释义**

NB/T 47013.10—2010 中为“扫查增量”，现名称改为“扫查步进”，内容未变。扫查步进值设置得越低，扫查方向上的分辨力越高，但数据量也越大。考虑到工件厚度较大时，对缺陷的验收也相对较宽松，适当提高扫查步进值不至于影响检测结果，同时可以避免数据过大。

**【NB/T 47013.10】【5.8 信号平均化处理】释义**

本条为新增内容。当随机噪声较大时，可以采用信号平均化处理提高信噪比，但过度平均化处理导致信号严重丢失，故规定一般情况下设定为 1，最大平均化次数不大于 16。

**【NB/T 47013.10】【5.9 设置仪器其他参数】释义**

本条为新增内容。考虑到目前仪器进步较快、灵活性强，很多参数可以根据检测需求设置，本条对设置要求作了基本规定：

设置数字化频率时，为保证信号尽量不失真，增加了数字化频率设置至少为所选探头最高标称频率的 6 倍的要求，如探头标称频率为 10MHz，则数字化频率不得小于 60MHz。

设置接收电路的频率响应时，其范围至少为所选探头标称频率的 0.5 倍~1.5 倍，此处的频率响应范围应按照标准附录 B 的规定按-3dB 法测量。

设置脉冲重复频率时，应与数据采集速度和可能的最大扫查速度匹配，为成正比关系。

**【NB/T 47013.10】【5.10 A 扫描时间窗口设置和深度校准】释义**

当工件厚度不大于 50mm 且采用单检测通道时，可采用工件进行时间窗口设置，同时将直通波与底面反射波时间间隔所反映的厚度校准为已知的工件厚度值；也可采用对比试块进行时间窗口设置和深度校准，但检测前需要按 6.4 的要求进一步调节。

当在厚度方向分区检测时，应采用 4.2.3 规定的对比试块设置各检测通道的 A 扫描时间窗口并进行深度校准，A 扫描时间窗口至少应包含所需检测的深度范围，应根据已知的对比试块内的各侧孔实际深度校准检测设备的深度显示。值得注意的是，关于分区覆盖，NB/T 47013.10—2010 中规定既可向上覆盖，也可向下覆盖，本次修订为只能向上覆盖，主要考虑扫查面盲区问题：如果向下覆盖，最上分区必然需覆盖较大范围，从而需增大 PCS，将导致初始扫查面盲区扩大，不利于 TOFD 检测；如向上覆盖，最上分区需要覆盖的范围较小，初始扫查面盲区也较小。实践中，在保证扫查的情况下一般使最上分区的探头对 PCS 尽量小，检测效果更佳。

**【NB/T 47013.10】【5.11 检测灵敏度设置】释义**

本条对多通道 TOFD 检测时最上分区的灵敏度设置进行了修订，修改为最上分区也可将直通波的波幅设定到满屏高的 40%~80%，其他与 JB/T 4730.10—2010 保持不变。



**【NB/T 47013.10】【5.12 检测系统总体设置的确认】释义**

本条为新增内容。在各项检测工艺参数设置均完成后，还应对设置好的系统进行确认。确认的方式是将设置好的系统在实际工件或对比试块（根据设置时采用的对象）上进行实际扫查，确认各项设置满足要求，并保留扫查数据，否则应进行相应调整至满足要求。

## 第6章 检 测

**【NB/T 47013.10】【6.1 扫查面准备】释义**

根据检测经验，本条适当放宽了表面粗糙度  $R_a$  值的要求，现要求应不低于  $12.5\mu\text{m}$ 。

**【NB/T 47013.10】【6.4 检测前工艺参数的调节】释义****1、关于灵敏度调节（6.4.1）**

若灵敏度设置直接在被检工件上进行，在实际扫查前应检查灵敏度（窗口与深度校准不需要）；若灵敏度设置是采用对比试块，则在实际工件检测前应进行表面耦合补偿，表面耦合补偿量的确定可参照 NB/T 47013.3 的有关内容。

**2、关于深度调节（6.4.2～6.4.3）**

NB/T 47013.10—2010 实施以来，很多单位反映：在对比试块上设置时间窗口并进行深度校准，将扫查装置放到工件上后，发现仪器显示的工件壁厚与已知的工件壁厚总有差异，有时相差还很大，甚至达到工件实际壁厚的 10%。根据该情况进行了本次修订：

若 A 扫描时间窗口设置和深度校准是采用对比试块，则应在实际工件上检查深度显示，确保深度显示偏差不大于工件厚度的 3% 或 2mm（取较大值），否则应进行必要的调节。深度偏差对结果评定不产生实际影响，适当放松要求不影响结果的评定，缺陷需返修才考虑精确定位。当发现工件深度显示偏差大于工件厚度的 3% 或 2mm（取较大值）时，适当调节声速进行修正。若 A 扫描时间窗口设置和深度校准是在被检工件上进行，则无需进行深度调节。

对于曲面或其他非平面工件的纵向焊接接头，当采用平面对比试块或与工件曲率有偏差的曲面对比试块进行的设置，其对应的深度显示会有偏差，故应进行必要的调节。此时，应按计算结果进行必要的调节。

**【NB/T 47013.10】【6.5 扫查】释义**

本条有部分修改，规定每次数据采集长度不应超过 2 000mm。主要是考虑到若扫查长度太长时，当遇到耦合不好或数据丢失，因重新采集数据很麻烦，会导致某些检测人

员采用局部回退方式补救而不是重新扫查，有时会产生数据丢失；另外，某些检测仪器显示的焊缝 TOFD 图像会自动压缩，不利于判断检测数据质量。

### 【NB/T 47013.10】【6.6 检测数据记录】释义

本条为新增内容。工艺文件应对数据编号做出规定，检测时按照工艺文件的要求进行编号储存。

### 【NB/T 47013.10】【6.7 检测系统复核】释义

本条有局部修改，因本次修订增加了 6.4 要求而带来的相应变化，规定：复核时首先应消除按本部分 6.4 进行调节产生的影响。

## 第 7 章 检测数据的分析和解释

### 【NB/T 47013.10】【7.1 检测数据的有效性评价】释义

首先，关于数据有效性评价增加了两项指标：一是 A 扫时间窗口设置应符合本部分 5.10 要求；二是指直通波、底面反射波无明显非缺陷引起的突变且较为平直。这两个问题是 TOFD 检测中比较常见的图像质量不合格现象，尤其是后者，对数据判读有较大影响，因 JB/T 4730.10—2010 中无相关规定，拒收没有依据。

另外，本条还对相邻数据连续丢失做了修改。JB/T 4730.10—2010 规定不允许相邻数据连续丢失，但由于各检测机构设置的扫查步进值有差异，导致不同的设置有不同的有效性评价标准。例如，对于 180mm 厚度工件进行检测，A 检测机构设置扫查步进值为 0.5mm，B 检测机构设置扫查步进值为 1mm，C 检测机构设置扫查步进值为 2mm，都符合本标准扫查步进值的要求。但连续两个数据丢失时，A 检测机构丢失检测数据长度为 1mm，B 检测机构丢失检测数据长度为 2mm，C 检测机构丢失检测数据长度为 4mm。为统一评价标准，本条规定：相邻 A 扫描信号连续丢失长度不超过本部分表 4 规定的扫查步进最大值的两倍；缺陷部位的 A 扫描信号丢失不得影响缺陷的评定。

### 【NB/T 47013.10】【7.2 相关显示和非相关显示】释义

本条将相关显示分为表面开口型缺陷显示和埋藏型缺陷显示，取消了难以分类的显示。随着相关检测人员技能的提高，本部分还取消了非相关显示的确认方法。但对相关显示和非相关显示的记录和测定提出了具体要求：

(1) 对于表面开口型缺陷显示、线状和条状埋藏型缺陷显示，至少应测定缺陷的位置、缺陷长度、缺陷深度以及缺陷自身高度，必要时还应测定缺陷偏离焊缝中心线的位置。

(2) 对于埋藏型点状显示，当某区域内数量较多时，应予以记录。

(3) 对于非相关显示，应记录其位置。

### 【NB/T 47013.10】【7.3 缺陷的位置及缺陷长度测定】释义

本条取消了采用SAFT方式改善缺陷位置的测定精度，其他稍作调整，无明显变化。

### 【NB/T 47013.10】【7.6 缺陷偏离焊缝中心线位置的测定】释义

因非平行扫查和偏置非平行扫查无法确定缺陷偏离焊缝中心线位置，故应采用脉冲反射法或其他有效方式进行测定。

## 第8章 缺陷评定与质量分级

### 【NB/T 47013.10】【8 缺陷评定与质量分级】释义

#### 1、关于危害性表面开口缺陷（8.1~8.2）

本章取消了近表面缺陷的分级，NB/T 47013.10—2010 将近表面的评定归于表面开口缺陷。本章取消近表面缺陷的定义后，实际这种类型的缺陷将归类于埋藏缺陷。

#### 2、关于点状显示的质量分级（8.4）

本条将点状缺陷评定区长度由150mm缩短为100mm，评定区内允许的点状缺陷个数相应比例缩小，减少评定时对点状缺陷的计数。

#### 3、关于非点状缺陷显示的分级（8.5）

本条对非点状缺陷显示做了如下调整：

(1) 将Ⅰ级允许的缺陷长度缩短为原来的1/2。

(2) 将Ⅰ级允许的缺陷高度 $h_2$ 、 $h_3$ 降低1mm；若 $l > l_{\max}$ ，缺陷高度 $h_1$ 降低1mm；工件厚度为12mm~40mm时， $h_1$ 原来未做规定，现定为1mm。

(3) 提高了Ⅰ级允许的单个或多个缺陷累计长度要求，放松了 $h \leq h_1$ 时Ⅱ级允许的单个或多个缺陷累计长度要求。

标准中表7（非点状缺陷）评定思路如下：

(1) 单个缺陷的评定：

- a) 确认缺陷是表面开口型缺陷还是埋藏型缺陷；
- b) 确认缺陷长度 $l_{\max}$ 和高度 $h_2$ 、 $h_3$ ，查表是否符合Ⅰ级要求；
- c) 如果缺陷长度超过限定值 $l_{\max}$ ，看高度 $h_1$ 能否满足长度放松要求；
- d) 看最后一列累积长度是否满足要求；
- e) 若不符合Ⅰ级要求，再用同样方式看Ⅱ级能否满足要求。

(2) 两个或多个缺陷是否按照一个处理（含检测连接部位），按照本部分8.3进



行分析。本部分的合并只考虑相邻单个缺陷的尺寸位置，不考虑合并后作为一个大缺陷继续合并。假定存在 3 个间断缺陷 A、B、C，如按相邻缺陷合并条件，AB 可合并，B 和 C 不满足合并，但 AB 合并后作为一个缺陷又满足了和 C 合并的条件，则仅 AB 合并。

## 第 9 章 检测记录和报告

### 【NB/T 47013.10】【9 检测记录和报告】释义

除满足 NB/T 47013.1 的要求外，本章增加了检测记录的规定，调整了检测报告的内容。

## 附录 A（资料性附录） 不等厚工件的检测

### 【NB/T 47013.10】【附录 A 不等厚工件的检测】释义

针对目前检测对象存在大量的不等厚工件，为尽量统一工艺，本部分作为指导性建议供检测人员参考。

本部分将接头分为扫查面齐平的对接接头、底面齐平的对接接头以及双面不平齐的对接接头共三种型式。

在可能的情况下，优先选择平齐的表面作为扫查面，非平行扫查时的检测工艺按照本部分正文的要求进行。考虑到母材较厚侧的初始底面盲区较大，应在较厚工件侧增加偏置非平行扫查。可通过计算设定偏置量和偏置次数，以保证底面盲区的高度符合相应检测技术等级的要求。

若无法选择平齐的表面作为扫查面，当厚度差大于 5mm 时，需要制作等厚度和结构型式的对比试块，并对扫查方式进行了建议。

若双面不齐平，应制作等厚度和结构型式的对比试块。

该附录为资料性附录，因不同结构差异较大，两侧厚度差别也不一，故该附录 A 只对检测思路进行了梳理，未规定具体参数设置要求。除了按照本部分正文采用对比试块进行设置以外，也可以采用其他方式如采用仿真软件、计算等方式进行设置。本附录除了对不等厚工件检测提供参考以外，也为其他特殊结构型式的工件检测提供了工艺参考思路，即制作相同结构和厚度的对比试块，保证检测区域的覆盖。

## 后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的共同努力，对 NB/T 47013.10—2010 的内容进行了多处修订，但由于被检对象的材料、结构差异较大以及限于目前的知识和应用经验，在许多方面还有待于进行深入探讨和扩充。

关于奥氏体不锈钢对接接头 TOFD 检测，标准工作组虽做了大量资料收集、调研和试验工作，由于效果尚不能保证，未列入本部分。

关于不满足本部分要求的接管角接接头的 TOFD 检测经验尚不够丰富，也未列入本部分。

**NB/T 47013.11—2015**

**《承压设备无损检测**

**第 11 部分：X 射线数字成像检测》**

**标 准 释 义**



# 引 言

## 1、X射线数字成像检测的定义与原理

射线检测作为常用的无损检测方法之一，是产品制造过程中实现质量控制、节约原材料、改进制造工艺、提高劳动生产率、保证在用设备安全的重要手段。常规胶片照相技术经过多年的发展，从检测方法、检测工艺到检测标准都已非常完善，成为无损检测的首选技术。但由于其存在环境污染、检测效率低、查询统计不方便等缺点，促使研究人员一直在致力于研究和寻找一种可以克服胶片照相缺点的、先进的射线检测技术。随着研究的不断深入和数字化技术的不断发展，新型的、可替代胶片的成像器件不断推向市场，使得射线检测市场呈现出检测技术和检测系统的多元化。各种成像技术的区别主要是射线图像向数字图像的转换方法和装置不同，目前已经比较成熟应用的射线检测技术有射线胶片照相技术、射线计算机辅助成像技术、射线数字成像检测技术。

(1) 射线胶片照相 (radiography testing, RT) 技术是指用射线检测材料和工件并以射线照相胶片作为记录介质与显示的一种无损检测方法。射线照相检测是利用射线胶片的特性（如感光），通过观察记录（感光）在射线照相胶片（底片）上的有关射线在被检材料或工件中发生的衰减变化，来判定被检材料和工件的内部是否存在缺陷。

胶片照相检测系统包括射线源、胶片系统和观片灯，其中胶片系统由胶片、增感屏（不同材质、厚度）和冲洗条件（方式、配方、温度、时间）组成。

(2) 射线计算机辅助成像 (computed radiography, CR) 技术是目前世界上射线数字成像的主流技术之一。CR 检测系统主要包括射线源、CR 系统，其中 CR 系统由成像板、激光扫描仪（包括潜影的读取和擦除）、数字图像处理和储存单元组成。

(3) 射线数字成像 (digital radiography, DR) 技术是利用数字成像器件（数字探测器）和计算机技术实现射线检测，射线数字成像和胶片照相的最大区别就是用数字探测器代替胶片获得数字图像。

X射线数字成像技术在继承常规胶片照相优点的基础上，借助于计算机和数字图像处理技术，克服了胶片照相存在环境污染的问题，大大提高了检测效率；降低了射线剂量和图像噪声，使图像的对比度、清晰度大大提高，图像质量可以和X射线照相底片质量相媲美；数字成像系统还具有较大的宽容度，对于厚度变化范围大的被检工件，可以实现一次透照成像等特点。特别是对于制造企业可以实现全自动射线检测，是为取代射线胶片照相，实施快速、数字成像检测而一直在大力发展的技术。

射线数字成像与常规胶片照相的不同在于：

- (1) 由数字探测器代替胶片。
- (2) 利用计算机和数字图像处理技术代替洗片过程。
- (3) 显示器代替观片灯作为图像显示和缺陷评定的载体。

DR 检测系统组成见图 1。

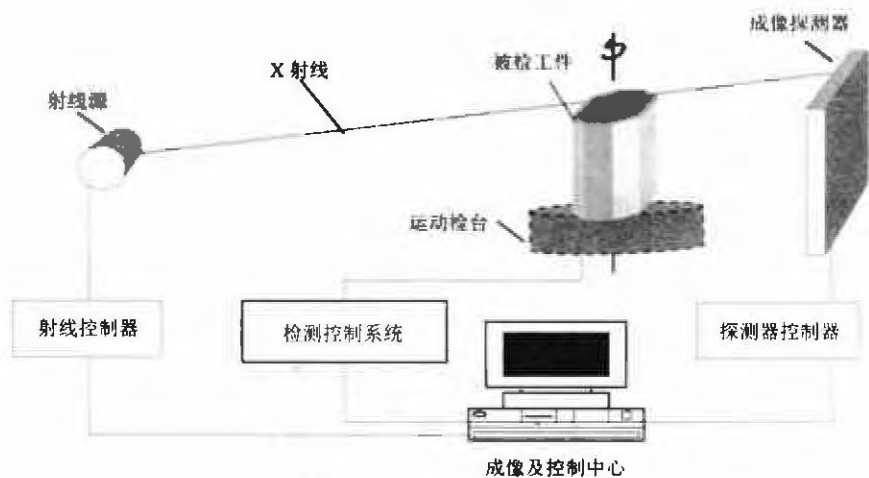


图 1 射线数字成像系统组成框图

DR 检测的原理按照光电转换过程分为直接转换和间接转换两种。

(1) 直接转换

射线光子透照被检工件后，探测器中的光电导层（典型的是用  $200\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$  的非晶硒  $\alpha\text{-Se}$ ）， $\alpha\text{-Se}$  光电导层两面的电极板间加有高电压，光电导层吸收 X 射线光子，激发出电子/空穴对，并在所加电场下运动至相应电极。到达像素电极的电荷给存储电容充电，产生相应电荷的变化。电容中的累积电荷由 TFT 读出，经放大、A/D 转换等处理形成数字化图像输出显示。图 2 所示为射线经探测器直接转换的过程。



图 2 探测器光电直接转换过程

(2) 间接转换

射线透照被检工件后，首先经过闪烁体屏（荧光屏）把射线光子转换为可见光，然后再由后续电路把可见光信息转变为电信号，经计算机处理后以数字图像的形式显示。图 3 所示为射线经探测器间接转换的过程。

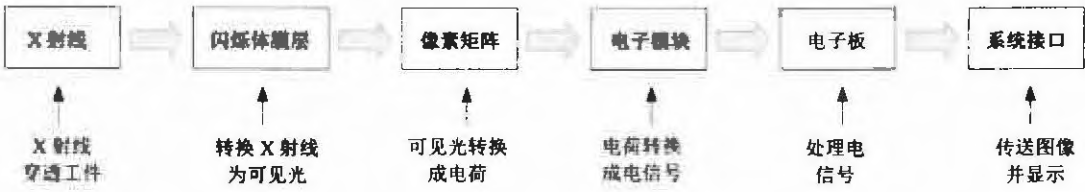


图 3 探测器光电间接转换过程

## 2、DR 检测技术国内外发展现状

射线数字成像技术的发展和给射线检测带来重大变革。自 20 世纪 80 年代开始在 2D-CT（二维层析成像）中应用，随着制造、工艺与集成等技术的不断发展，到 90 年代，美、德等国在国际市场上推出了一种射线数字探测器（面阵探测器）。面阵探测器包括非晶硒（amorphous selenium）探测器、非晶硅（amorphous silicon）探测器、CMOS（complementary metal oxide semiconductor，互补金属氧化物半导体）探测器和 CCD（charge coupling device，电荷耦合元件）探测器。就工业常用的非晶硅探测器而言，它是一种闪烁体膜层与非晶硅光电二极管面板直接耦合的大面阵探测器。这种直接耦合加之光电二极管可使探测器在亚秒级帧频周期内处于对射线光子曝光的累积状态，使它具有很高的射线光子转换效率和高的图像质量，已成为近年来 DR、工业 CT（3D-ICT、三维层析成像）的主要探测器。而数字化、计算机、网络等技术的不断发展应用，使射线检测的数字化、自动化、智能化成为射线检测技术研究的热点。近年来，射线数字成像检测技术已经在医学领域得到广泛的应用，正向工业检测领域发展。

DR 检测系统的核心部件高性能的数字探测器和高频射线机目前主要依赖于进口，但国内系统集成技术和检测工艺及应用技术已达国际水平，各种图像处理技术和缺陷识别算法不断提出，为解决缺陷自动识别提供了方法和依据，也为制造企业实现全自动射线检测奠定了理论基础。同时，随着无线通信技术的发展，检测工装更加便携、可靠，为在用设备射线检测实现数字化开辟了道路。

总之，DR 技术克服了胶片照相技术的缺点，实现了检测效率高、成本低、成像质量好、定性定量更准确、缺陷检出更客观的优势，必将成为质量控制的常用无损检测方法之一。

说明：德国 BAM 实验室研究人员把射线检测分为射线胶片照相（RT-F）、射线数字成像（RT-D），而射线数字成像技术分为基于成像板（IP）的 CR 成像技术和基于 DDA 的 DR 成像技术，本部分所指技术为基于 DDA 的 DR 成像技术。

## 3、国内、外相关 DR 检测标准与本部分的对比

### （1）国内相关 DR 主要检测标准和本部分的对比

国内已经颁布的 DR 检测标准主要包括：

- a) GB/T 12604.11—2015《无损检测 术语 X 射线数字成像检测》；
- b) GB/T 19293—2003《对接焊缝 X 射线实时成像检测法》；
- c) GB/T 17925—2011《气瓶对接焊缝 X 射线数字成像检测》。

上述相关标准与本部分的对比见表 1。



表 1 国内相关标准与本部分的对比

标准编号	国内相关标准	NB/T 47013.11—2015	本部分特点
GB/T 12604.11—2015	给出了 X 射线数字成像检测的基本术语	界定了 X 射线数字成像检测应用的术语	增加了与检测对象相关的术语
GB/T 19293—2003	1) 范围：对接焊缝 X 射线实时成像的检测设备和方法； 2) 术语和定义：5 个的术语； 3) 图像质量：给出了系统分辨率的统一要求，图像质量的评定只有图像灵敏度的要求	1) 范围：承压设备受压元件的制造、安装、在用检测中的焊接接头的 X 射线数字成像检测。用于制作焊接接头的金属材料包括钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金； 2) 术语和定义：18 个术语； 3) 图像质量：不仅给出了图像灵敏度的要求，而且给出了图像分辨率和信噪比的要求	从标准的内容而言，在范围、检测对象和检测技术等方面完全覆盖 GB/T 19293
GB/T 17925—2011	1) 检测对象：气瓶； 2) 技术等级：AB 级； 3) 图像质量评价指标只有图像灵敏度	1) 检测对象：承压设备； 2) 技术等级：AB 级、B 级； 3) 图像质量评价指标：由图像灵敏度、图像分辨率和信噪比表征，同时给出了相应的要求	包含了检测范围、对象和检测图像质量的评价

(2) 国外相关 DR 标准和本部分的对比

国外承压设备 DR 检测标准主要包括美国 ASTM 标准和国际 ISO 标准，见表 2。

表 2 与本部分相关的国外标准

序号	标准编号	标准名称（中文）
1	ASTM E 2597—2014	数字检测器阵列制造特性标准规范
2	ASTM E 2698—2010	基于数字检测器阵列的射线检测标准规范
3	ASTM E 2736—2010	射线数字探测器阵列导则
4	ASTM E 2737—2010	数字探测器阵列性能评价和长期使用稳定性的标准规范
5	ASTM E 2339—2011	无损评估中的数字成像和通信标准规范（DICONDE）
6	ISO 10893-7: 2011	钢管无损检测 第 7 部分：用于焊接钢管焊缝缺陷检测的射线数字成像检测
7	ISO 17636-2: 2013	焊缝无损检测 射线检测 第 2 部分：X 射线和 γ 射线数字成像技术

表 2 中 ASTM 标准为探测器制造标准，ISO 标准为检测方法标准，下面分别就各自标准的特点作简单的介绍。

a) ASTM 标准

美国 ASTM 已经制定了焊接接头、铸造零件等方面的检测方法标准。

ASTM E 2736 作为选择和使用各种 DR 系统的指导，旨在帮助用户理解 DR 系统的相关参数和定义，可以在具体检测应用中合理地选择 DR 系统和透照方法。ASTM E 2736 的实施，可以帮助制造商和检测机构依靠 DR 系统得到了高质量的射线数字成像，从而依据不同的 DR 系统制定自己的验收标准，以较高的可信度进行射线检测服务。

ASTM E 2698 建立了 DR 系统对金属和非金属材料的 X 射线数字成像检测最低要求，这些要求不是作为验收金属或非金属材料的标准，而是对 X 射线数字成像质量的控制。该标准特别指出：在选择 DR 系统时应遵循 ASTM E 2736 和 ASTM E 2597。ASTM E 2698 的意义在于建立了应用和控制 X 射线数字检测方法的基本参数。

ASTM E 2597 和 ASTM E 2737 对数字探测器制造商提出了要求和规范，规定了 DR 系统技术指标的测试和评价要求。

ASTM E 2339 借鉴美国电气制造商协会（NEMA）标准出版物《医疗领域数字图像处理与通信（DICOM）》，通过术语规范了图像数据文件格式，以提高不同探测器、不同集成商的成像与数据获取设备之间的互通性，对数字图像的存储格式给出统一的协议。此外，该标准还规定了一组针对工业无损检测特殊对象的定义，其定义范围超出了医用 DICOM 标准；规定了在所有满足无损检测领域数字图像处理与通信（DICONDE）格式上显示图像/信号数据的方法，与获得数据的无损检测设备无关。该标准提供了一个图像数据文件格式，这种格式将所有的技术参数与图像文件保留在一起，不受无损检测技术变化的影响。

#### b) ISO 标准

ISO 10893-7 是针对钢管焊接缺陷的 DR 和 CR 检测标准，适用于不同钢管焊接缺陷的检测，规定了检测技术等级和不同技术等级应达到的图像质量指标（灵敏度、不清晰度和信噪比），其中部分内容参考了 ISO 17636。

ISO 17636-2 规定了金属材料焊接接头的 X 射线和  $\gamma$  射线的 DR 和 CR 检测方法：如透照技术、技术分级、图像质量、技术等级等。

本部分的关键技术指标（如图像分辨率、归一化信噪比等）与 ISO 17636-2 保持一致。

## 4、制定概况

### （1）制定过程

本部分是首次制定，由全国锅炉压力容器标准化技术委员会组织，组建了涵盖承压设备研究、生产制造厂、检测设备公司、无损检测机构、科研院校等方面专家和代表的标准工作组。工作组经过大量试验研究、调研和应用，并召开多次会议，进而分阶段形成征求意见稿、送审稿和报批稿，最终形成 NB/T 47013.11。

### （2）制定的必要性

随着现代化工业的发展，在承压设备质量和结构的安全性、使用的可靠性等方面要求越来越高。由于射线检测技术具有不破坏被检工件、检测灵敏度高、直观、可靠性好等优点，所以被广泛应用于各种行业的无损检测中。

射线数字成像检测技术作为一种新型的射线检测技术，经过多年的发展与技术研究已形成具有较高灵敏度和较高成像质量的检测优势。同时，利用 DR 技术不仅可以降低对环境的污染、提高检测效率，而且检测记录方便保存、重复性高，克服了常规胶片检测的诸多缺点，目前已成为一种被普遍接受的新的射线检测方法。欧洲、美国和日本等发达国家均有应用案例，并已开始相应标准的制定工作。

随着承压设备的不断发展,对安全环保的强调和对检测质量、检测效率的重视,使射线数字成像检测有了越来越广泛的应用需求。从20世纪探测器在医学领域得到应用后,开始了其在工业领域应用的研究。到目前为止,已进行了大量的理论分析和试验及现场应用工作,积累了比较丰富的经验。

本部分的编制对于满足承压设备制造和使用的需要,促进实现无损检测数字化进程,提升我国整体无损检测技术水平,保障承压设备质量安全,促进国际技术交流和贸易发展,以及提高我国承压设备在国际市场上的竞争力等方面具有重要意义。

### (3) 制定原则

本部分的制定秉承实事求是、科学先进和协调一致原则。

- a) 本部分是在近年来研究的基础上,参考国际上研究成果和相关标准,广泛征求业内各方意见,充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势,并以此为技术依据而制定。制定标准时既考虑行业应用的指导性、实用性和可操作性,也力求使该技术要求符合国内外行业发展的需要;
- b) 标准格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写》的规定;
- c) 与国家法规、法律和有关标准相一致;与现行的标准协调一致;标准的表达方式统一;
- d) 统一了标准化对象的名词、术语、规格代号及技术要求等。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.11】【1 范围】释义

根据承压设备检验检测需要,本部分规定了承压设备金属材料受压元件的熔化焊接接头的X射线数字成像检测技术和质量分级要求。

本部分适用于钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金材料制承压设备焊接接头制造、安装、在用检测中的X射线数字成像检测。

本部分适用的成像器件为数字探测器,包括面阵和线阵探测器以及带数码相机的图像增强器。不包括CR检测技术中的成像板。

截至本部分的完成,前期研究所用的射线源仅为除加速器和放射源之外的X射线机,目前已有管电压为600kV的X射线机上市,因此本部分规定的X射线机最高管电压不超过600kV。不在本部分范围的检测应用(如有特殊要求使用加速器或放射源),应按照国家NB/T 47013.1—2015的相关规定执行。

承压设备的有关支承件和结构件的焊接接头如有要求,可参照本部分进行检测,技术要求以合同规定为准。



一般情况下，常规胶片照相可检测的，DR技术也可以检测。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.11】【2 规范性引用文件】释义

像质计作为DR系统质量和图像质量评价用标准试件，本章引用了国家标准GB/T 23901.1《无损检测 射线照相底片像质 第1部分：线型像质计 像质指数的测定》和GB/T 23901.5《无损检测 射线照相底片像质 第5部分：双线型像质计 图像不清晰度的测定》中对像质计的规定和要求。

射线检测安全最大的问题是辐射防护，本章引用工业用射线辐射防护与安全国家标准，GBZ 117《工业X射线探伤放射卫生防护标准》和GB 18871《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，要求检测人员和单位严格按照执行。

射线机作为DR检测系统的组成装置之一，其性能的好坏直接关系到检测图像质量的高低，最终决定缺陷的检出率。本部分在第4章增加对射线机装置性能的要求，因此，在本章相应增加相关射线机性能测试标准，GB/T 26592《无损检测仪器 工业X射线探伤机 性能测试方法》、GB/T 26594《无损检测仪器 工业用X射线管性能测试方法》和JB/T 11608《无损检测仪器 工业用X射线探伤装置》，见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

NB/T 47013.1作为标准的“通用要求”给出了本部分应用的原则性要求前提和基准，也是本部分需要遵守和执行的。

本部分与NB/T 47013.2都属于射线检测方法标准，并且采用的射线透照原理一致，透照条件选择原则基本一致，缺陷评定标准一致。最大的区别在于透照后成像器件对接收到的射线光子进行处理的原理和方法不一样、缺陷显示与观察的载体不一样。因此，在NB/T 47013.2中有相关描述的，本部分不再累述，而是直接引用。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.11】【3 术语和定义】释义

#### 1、关于图像灵敏度（3.2）

图像灵敏度实质上是表征图像的对比度，作为评价图像质量的主要技术指标之一，

采用线型像质计测试得到。

## 2、关于分辨率（3.3、3.5、3.6）

本部分所提到的分辨率均指空间分辨率。在此，分辨率分为系统分辨率和图像分辨率。系统分辨率仅与 DR 系统有关，与检测对象和射线机无关，可由双线型像质计或线对卡测试得到。图像分辨率是指基于特定 DR 检测系统、对特定检测对象成像得到的检测图像分辨率。图像分辨率作为评价图像质量的主要技术指标之一，主要考核图像的清晰度，由双线型像质计测试得到。

极限分辨率分为系统极限分辨率和图像极限分辨率。系统极限分辨率是指 DR 系统达到的最大值，系统极限分辨率取决于像素大小，等于 2 倍像素的倒数；图像极限分辨率是 DR 检测系统在透照参数优化后，所能达到的最大图像分辨率。

## 3、关于分辨力（3.4）

分辨力与分辨率同样表征的是清晰度，它们的主要区别在于：分辨力是绝对值，以长度作为单位，一般为微米（ $\mu\text{m}$ ）；分辨率是相对值，指单位长度上对相邻细节的分辨能力，单位一般用线对/毫米（ $\text{lp/mm}$ ）。在进行不同系统的比对和对不同检测工件进行测试时，采用分辨率比较客观，具有可比性。二者在数值上互为 2 倍倒数，再乘以 1000。

例如，2.5 $\text{lp/mm}$  的分辨率与 200 $\mu\text{m}$  的分辨力的互算公式为：

$$2.5 (\text{lp/mm}) = [1 / (2.5 \times 2)] \times 1000 = 200 (\mu\text{m})$$

或 
$$200 (\mu\text{m}) = [1 / (200 \times 2)] \times 1000 = 2.5 (\text{lp/mm})$$

## 4、关于灰度等级（3.8）

灰度是由于图像中各像素亮度不同而呈现不同深度的灰色，灰度使用黑色调表示物体，即用黑色为基准色。灰度最高相当于最高的黑，即纯黑；灰度最低相当于最低的黑，即纯白。把黑色与白色之间分成若干级，称为“灰度等级”。

灰度等级定量描述了图像的明暗程度，由探测器系统的 A/D 转换位数决定。若 A/D 转换位数为 12bit，那么，灰度等级同样是 12bit，图像显示的层次为 4 095 级，灰度范围则是 0~4 095。最早的 DR 系统灰度等级为 8bit，现在发展到 12bit、14bit 甚至 16bit，灰度等级愈多，画面的层次就愈丰富（如图 4 所示）。由于计算机处理图像是采用矩阵处理方式将图像文件的像素处理成 8、12、14、16 级层次，使传送的图像更清晰。灰度等级虽然是决定图像层次的首要因素，但并不是越大越好。首先人眼的分辨率是有限的，再者计算机处理位数的提高会牵涉到计算机数据处理、存储、传输、显示等各个环节的变化，成本剧增，性价比下降。结合前期研究成果，本部分要求灰度等级不小于 12bit。



图4 灰度等级由低到高（从左向右）成像结果比对

## 5、关于动态范围（3.10）

动态范围（Dynamic Range）最早是信号系统的概念，一个信号系统的动态范围被定义成最大不失真电平和噪声电平的差。在数字图像中，指探测器校正后的亮场最大输出和暗场输出噪声之间的比值。

动态范围是衡量探测器性能的关键指标之一，其值越大，所能表现的层次越丰富，检测的厚度宽容度越大。动态范围与DR系统的A/D转换位数有关，A/D转换位数越大，动态范围就越大。需要注意的是动态范围不等于灰度范围，如16bit的DR系统，其灰度等级能达到 $2^{16} = 65\,536$ ，但动态范围不等于 $65\,536:1$ 。

## 6、关于响应不一致性（3.11）

由于组成像素的敏感元件、放大器、A/D转换器等性能不一致，导致图像上像素点之间明暗程度不同。响应不一致性由上述电子器件特性引起，是数字探测器固有的特性，可以基于线性系统理论，通过提前采集相应的基准图像，用相应的算法进行校正。

## 7、关于坏像素（3.12）

坏像素是指对射线不敏感或过于敏感的像素，相当于数值中的奇异值，它不能真正反映物体对射线的衰减，需要进行校正。一般探测器生产厂家会在产品出厂前给出坏像素表和校正算法。探测器在使用一段时间后，会出现新的坏像素，需要用户定期进行坏像素测试，找到新出现的坏像素，添加到坏像素表中，以便校正。

按照相关标准坏像素分为以下几类：

（1）死像素：对于射线辐射无响应或者对于射线辐射的响应为某个固定值的像素。

（2）过响应像素：在一个最小像素个数为 $21 \times 21$ 的区域内，如果像素的灰度值高于区域平均值的1.3倍，则称为过响应像素。

（3）欠响应像素：在一个最小像素个数为 $21 \times 21$ 的区域内，如果像素的灰度值低于区域平均值的0.6倍，则称为欠响应像素。

（4）噪声像素：无射线照射的情况下连续采集30幅~100幅图像，如果序列图像中的某一像素的标准偏差高于整个探测器像素的标准偏差平均值的6倍，则称为噪声像素。

（5）非均匀像素：在测试图像的平均灰度值超过探测器灰度范围75%的条件下，在 $9 \times 9$ 邻域内像素值超过平均值 $\pm 1\%$ 的像素。



(6) 延迟像素：在射线关闭前得到的最后一幅图像中， $9 \times 9$  邻域内像素值超过平均值 2 倍的像素。

(7) 邻域型坏像素：在  $3 \times 3$  邻域内，8 个邻域像素均为坏像素的像素。

坏像素在图像中的表现形式主要有：

(1) 孤立坏像素：在  $3 \times 3$  邻域内，所有邻域像素均为完好像素的坏像素。

(2) 集群坏像素：相连的两个或两个以上的坏像素称为集群坏像素。在  $3 \times 3$  邻域内，如果像素邻域内完好像素少于 5 个，则称为集群核像素 (CKP)。如果集群坏像素中没有集群核像素，则坏像素是可以校正的，称为非相关型的集群坏像素。如果集群坏像素中存在集群核像素，可称为相关型的集群坏像素。

(3) 成行或列坏像素：成行或列的坏像素是一种特殊形式的非相关型集群坏像素，是指有 10 个以上的坏像素以直线形式（行或列）相连，直线中存在邻域坏像素的比例不超过 10%。

## 8、关于信噪比 (3.13)

在信号分析和处理中，信噪比 (signal noise rate, SNR) 定义为信号和噪声的比值，是仪器设备性能的主要表现。

图像信噪比则是反映成像系统性能和图像质量的主要指标。图像信噪比定义为检测图像中某区域平均灰度值与该区域的噪声统计标准差之比。信噪比是检测图像实现一定对比度的基础，图 5 给出某一图像信噪比定义示意图，图中 A 表示信噪比测量区域，B 表示图像中的特征。特别注意的是：信噪比不是特征灰度值和图像上噪声的比值。其中，所选区域 A 应在图像评价的有效区域内；信号是指图像灰度值；标准差则描述了在信噪比测量区域 A 中灰度值的波动情况，也即在此区域 A 中的噪声。

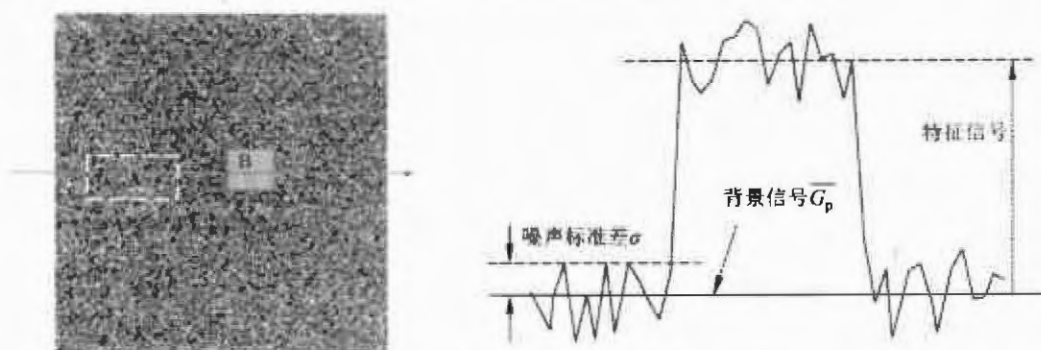


图 5 信噪比定义的相关参数示意图

信噪比是评价成像系统的主要指标，也是评价图像质量的主要指标，分为系统信噪比和图像信噪比。本部分中系统信噪比是指在无被检工件成像的均匀区域测量；图像信噪比则是指在热影响区或焊缝附近的母材、无缺陷处测量。

## 9、关于连续成像 (3.15)

本条所指的连续成像是相对于静态成像而言的。连续成像实质就是动态成像，成像结果为序列图像。鉴于目前满足本部分图像质量要求的连续成像技术还不成熟，DR 检测系统为满足高效的流水线检测，建议采用步进成像。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.11】【4.1 检测人员】释义

本条对X射线数字成像检测人员提出了具体要求，应符合TSG Z8001—2013《特种设备无损检测人员考核规则》和NB/T 47013.1的规定，取得“射线数字成像检测”（DR+CR）证书。根据DR检测的特点，主要是利用检测系统应用软件，控制检测系统硬件和图像的采集与处理。因此，规定检测人员应了解与X射线数字成像技术相关的计算机知识、数字图像处理技术，掌握相应的计算机基本操作。

对于射线检测人员而言，辐射防护是要保证人员自身和接近辐照区域群众安全。因此，从事射线检测的人员均应按照国家辐射防护的相关法规、条例和标准的要求，进行辐射防护培训，并取得相应证书。

鉴于各地对射线检测人员进行辐射安全培训后，发放的证书名称不尽相同，且各类证书的发放是由相关法规决定的，因此将本部分4.1.1中规定取得《放射工作人员证》修改为“按照有关法规的要求取得相应证书”，见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

### 【NB/T 47013.11】【4.2 检测系统】释义

考虑到与本标准其他部分的统一，将4.2条“检测系统”更改为“检测系统与器材”，见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

由于射线数字成像检测系统包括多个分立设备和器件，为了便于理解和区分，特作如下定义：

（1）DR系统：指包括探测器及其配件，计算机处理单元（包括应用软件和显示器），也就是指除射线机外的实际检测成像和显示用的所有软硬件，类似于胶片照相中的胶片系统。

（2）DR检测系统：指实现DR检测成像和显示用的所有软硬件，即是射线机与DR系统的组合。

特别注意：以上系统不包括检测工装。

考虑到本部分是国内首先发布的DR检测方法标准，且DR技术作为新的射线检测技术，有别于传统的胶片照相，在国内还没有普遍应用。目前DR检测系统的核心部件（如数字探测器和高频、高性能X射线机）大部分从国外进口，对DR检测系统性能的掌握就成为用户选择系统和实现高效、高质量检测的基础；同时，为保证与NB/T 47013其他部分的一致性，考虑到像质计作为检测系统的必备器材，因此拟把对像质计的要求放在本章，并增加DR检测系统性能指标参数和测试要求及测试方法。



1、关于 X 射线机（4.2.1）

X 射线机作为 DR 检测的信号源，其性能的好坏对成像质量有直接影响。

本条拟补充对 X 射线机性能的要求和测试方法：“采用的 X 射线机，其性能指标应满足 JB/T 11608 的规定，使用性能测试条件及测试方法参考 GB/T 26594 和 GB/T 26592 的规定。”最终以国家能源局批准发布的内容为准。

在 DR 检测中，图像的采集帧频可以达到 30 帧/秒以上，为提高检测效率，采用快速成像时，要求具有稳定的高频 X 射线机电源。所以在选择 X 射线机时，应考虑检测效率和图像质量的要求，尽量采用高频射线机。

由于数字探测器固有不清晰度大于胶片，为了减少系统总的不清晰度，在选择 X 射线机时，不仅要考虑检测对象的材质和规格，还要考虑射线机焦点尺寸与探测器像素的匹配。

2、关于探测器系统（4.2.2）

本条所指的探测器包括面阵探测器（平板探测器、图像增强器+数码相机）、线阵探测器。

不同类型的探测器，由于其组成结构不同（如像素尺寸、组成像素的元器件种类、闪烁体屏材质与厚度、后续处理电路等），会使探测器的转换效率、极限分辨率、信噪比和灵敏度等不同，使最后得到的图像质量不同。因此，探测器作为 DR 系统的核心部件，其性能是满足检测技术要求的前提条件，同时 DR 系统的选择要结合检测系统其他部件，以满足实际检测对图像质量的要求为最终目的。因此，在本条增加：“探测器性能指标如坏像素、对比灵敏度、分辨率、信噪比、线性范围、厚度宽容度、残影等，其测试条件及测试方法按相应国家或行业标准的规定执行。”同时，为了方便用户对成像系统进行验收和核查，补充对探测器质量证明的要求：“在探测器系统质量合格证中至少应给出探测器类型、转换屏参数（如有）、像素尺寸、成像面积、极限分辨率、射线能量适用范围、量子转换效率、填充因子、采集帧频等技术参数。”见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

（1）填充因子

填充因子是指敏感元件（光电二极管）在每个像素中占的比例。

图 6 所示为某一探测器像素组成结构，从中可见：一个探测器像素由光电二极管、TFT 开关和数据读出电路组成。此结构的填充因子为 75%。若设计时改变 TFT 开关和数据读出电路的排列方式，填充因子可高达 90%以上。同样大小的像素填充因子越高，吸收射线的光子数会越多，信噪比越高。

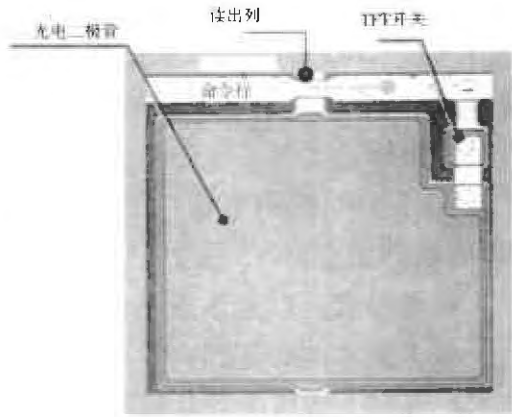


图 6 某探测器像素结构

（2）采集帧频

探测器一次采集一帧（一幅）图像所需要的时间。目前，不同的探测器型号，其帧频是不一样的，用户需要结合实际检测要求来选择图像采集帧频。对于静止成像，可以



选择低帧频采集图像，动态成像则应选择较高帧频采集图像。

### (3) 残影

残影主要表现为前一次被检工件的影像残留在下一次曝光的图像上，包括动态采集时会产生拖尾现象，采集速度越快，这种现象越重。通常动态探测器的残影要高于静态探测器，帧频越高，残影越重。

### 3、关于校正 (4.2.2.4)

如前所述，探测器坏像素和响应不一致性是数字探测器固有的特性，需要按照探测器生产厂家提供（或用户研究）的方法和说明定期进行校正处理，包括暗场（无射线）校正或称为偏置校正、亮场（有射线）校正或称为增益校正。特别注意的是：射线数字成像检测系统的成像是线性的，而管电压与成像的强度成非线性关系。因此，当所用管电压与校正基准图像采用的管电压发生改变（如 $\pm 20\text{kV}$ 以上）时，就应重新采集增益校正基准图像。偏置校正基准图像应随时采集。校正基准图像的噪声直接影响检测图像校正后的图像质量，即校正基准图像的噪声会在校正过程中带入检测图像中，因此，采集校正基准图像要采用比实际检测更多的叠加幅数或采集时间，以减少噪声，提高信噪比。

坏像素的校正：通过暗场图像直接查找坏像素，使用生产厂家提供的软件写入坏像素列表并校正，图 7 为坏像素校正前后的图像及其灰度分布图。

由于坏像素是影响图像质量的主要因素之一，因此本条补充对坏像素的要求：“面阵列探测器  $3\times 3$  像素区域中，相邻坏像素不得超过 3 个；成行（成列）坏像素不得超过 3 个，且不得位于距离中心位置 200 像素以内；成像区域内坏像素不超过总像素的 1%。线阵列探测器中，相邻的坏像素不允许超过 2 个。探测器系统供应商应提供出厂坏像素表和坏像素校正方法。”见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

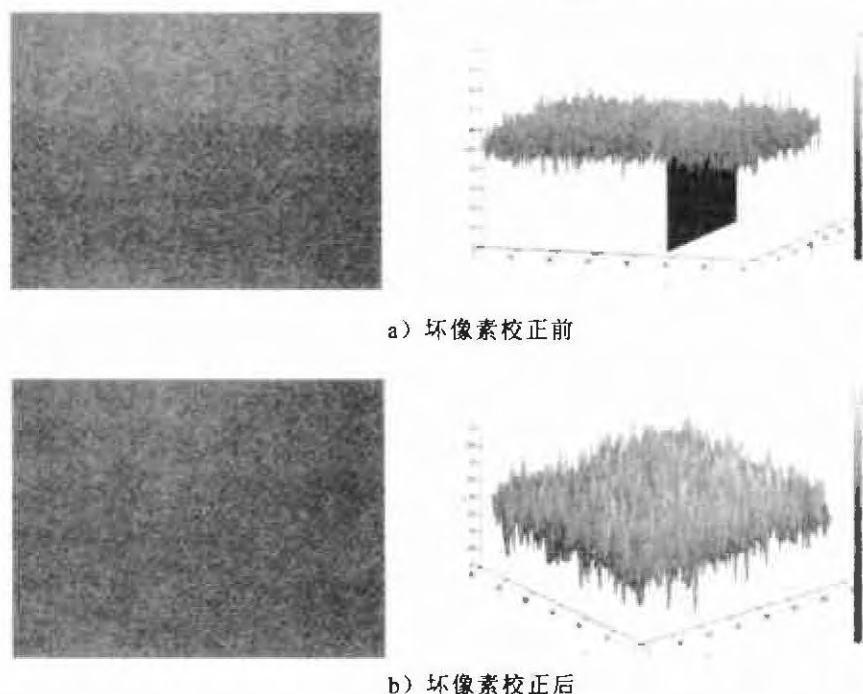


图 7 坏像素校正前后结果比对

不一致性的校正：需要按照生产厂家提供算法或自行研究合理、适用的算法进行校正。图 8 和图 9 给出了校正前后的图像及其灰度曲线示例。

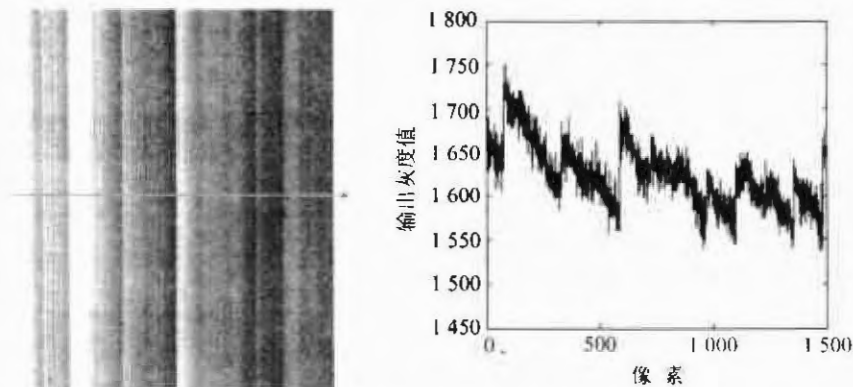


图 8 校正前图像及其灰度曲线

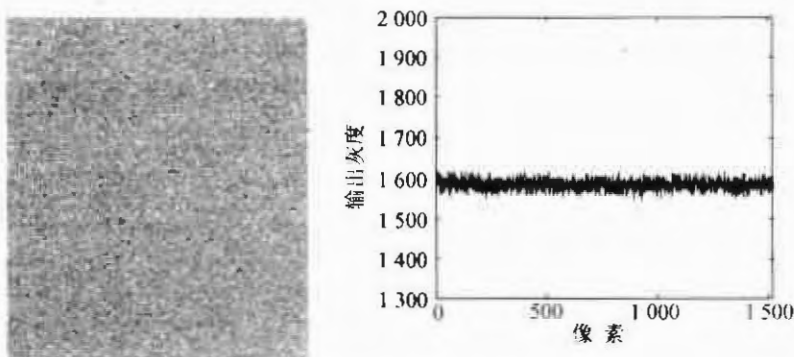


图 9 校正后图像及其灰度曲线

4、关于系统软件要求（4.2.4）

DR 技术的突出特点是采用了计算机技术和图像处理技术，检测人员可以研究和开发各种处理算法来优化图像可视化效果，但不论何种方法都有其适用性，即某种算法在增强某些特征的同时也会削弱另外一些特征，甚至丢失原始信息。同时，算法是否真实有效也是需要验证的。因此，在使用 DR 检测系统前，应对系统软件的功能和算法进行测试。

（1）图像处理方法的合理使用

采用图像处理目的是增强人眼对缺陷识别的可视化程度，提高检测人员对缺陷判定的准确性，因此可适当采用灰度增强、调节评定区域窗口大小、调节对比度的方法。但在原始图像中不能采用滤波方法，由于滤波方法会在增强某些信息的同时造成其他原始信息的丢失。如果为了突出已识别缺陷的显示效果，可在合同双方协商的前提下采用滤波方法，并做记录，但只是作为参考，原始图像不能做任何修改。

（2）降噪方法

射线数字图像的噪声包括固有噪声和随机噪声。固有噪声是检测系统固有的，如坏像素和不一致性，是可以通过一定的校正方法消除的。而随机噪声是无法通过校正的方

法来完全消除的，只能采用相应的方法来降低或抑制，如：

- a) 多帧叠加平均：即在一定采集帧频下，一次采集多帧图像，通过像素点对点的加法运算，叠加平均后以一帧图像的形式显示。这样处理的结果表现为，保证在有用的基本信号不变的前提下，降低随机噪声，提高图像的信噪比；
- b) 增加曝光量，包括提高管电流、增加曝光时间等；
- c) 降噪滤波方法。

对于静止成像，多帧图像叠加平均法是减少随机噪声最有效的方法。对于连续成像，若采用多帧叠加方法，则要考虑运动速度与采集帧频以及像素移动距离的关系，算法比较复杂且处理速度要求高。

特别需要注意的是：对于易产生细小裂纹的产品或材质，对其检测图像慎用滤波处理方法，以免滤掉缺陷信息，产生漏检。

### （3）测量功能

灰度和像素坐标的测量和显示是最基本的测量功能，软件必须具备。信噪比和分辨率是评价图像质量的主要指标，为了减少人员主观原因对图像质量评价的影响，必须按照本部分给出的测试方法和计算公式，利用软件实现对原始图像信噪比和分辨率的测量。

需要特别注意的是：由于数字图像一般较大，若全屏显示该图像，需要对图像进行压缩（一般比例为30%~50%）。而图像质量评价指标的测量需要对原始图像进行，且显示器像素与探测器像素一一对应，即图像要100%显示（即放大比例为1）。

### （4）检测报告

检测报告可以人工完成，或通过计算机软件自动生成。

## 5、关于检测工装（4.2.5）

检测工装是实现射线数字成像连续检测中不可缺少的装置，它包括机械部分和控制部分，机械部分主要用于支撑X射线机、数字探测器，以及用于在制承压设备及部件的支撑；控制部分实现对上述设备和产品及部件的各种运动控制。为了减少运动模糊等对图像质量产生影响的因素发生，需要针对不同的检测对象、检测方式，实现图像采集帧频与运动速度的匹配。X射线机、数字探测器的工装要在整个检测过程中保持一致，即保证X射线垂直入射探测器的有效成像窗口，并与被检工件做相对运动。

对于使用线阵探测器的检测系统，要求在X射线机出口安装射线准直器，以形成扇束射线，并保证X射线与成像窗口对准。同时检测工装的步进运动距离应不大于探测器的有效像素尺寸。

## 6、关于检测系统验收与核查（4.2.6）

在购买DR检测系统时，要求供货商提供第三方出具的系统性能测试证明文件，以保证检测系统整体性能指标。

为保证检测系统的工作性能，及时排除由于系统性能的降低而造成检测图像质量的降低，检测系统运行期间的核查是必须的。因此，对本条进行修改，去掉验收，增加系统校准和运行核查的要求，见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：



X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

为保证系统满足现有检测工件对图像质量的要求，在检测系统投入使用前和使用中应对系统性能进行运行核查，用户应定期按照工艺文件开展核查工作，以降低损失。

### 【NB/T 47013.11】【4.3 检测技术等级】释义

研究和实际应用表明：DR技术在满足分辨率要求的前提下，灵敏度要高于胶片照相技术。因此，本条与NB/T 47013.2相比，去掉了A级技术等级，保留了AB级和B级技术等级。

### 【NB/T 47013.11】【4.4 检测工艺文件】释义

检测工艺文件是实施DR检测的基础。由于DR检测系统与胶片照相在系统组成和图像后处理以及图像质量评定等方面存在不同，因此，工艺文件不能等同采用NB/T 47013.2的文件，需要按照DR检测系统、检测对象和标准的要求制定相应的工艺文件。对操作指导书进行工艺验证是针对不同检测对象和验收标准选择透照方式、优化透照参数等的需要。

### 【NB/T 47013.11】【4.5 安全要求】释义

#### 1、关于设备安全

由于组成数字探测器的闪烁体屏、电子元器件等性能受环境温度、湿度的影响较大，会降低其成像质量（如CsI闪烁体屏易受湿度影响，产生潮解）。因此在使用DR系统时，因严格按照厂商给出的系统使用说明书对运行环境的规定和要求执行。对于特殊情况，超出使用范围的，应在短期使用后，及时采取有效的补救措施。

组成探测器的元器件和线路在受到射线照射时，会降低寿命，甚至损坏，因此，在选择和使用探测器时应明确探测器说明书规定的探测器最大能承受的射线能量，同时做好探测器除成像屏外的其他部位的防护。

探测器一般集成在玻璃基板上，应防止重压、跌落、振动。探测器成像屏表面应保持整洁、无划伤，防止形成伪缺陷。

#### 2、关于人员安全

无论在射线检测室还是现场检测，为保证检测人员和公众不受射线伤害，应注意人身安全，并采取相应的防护措施：

- （1）按照距离、时间和屏蔽的防护方法。
- （2）防止重物坠落。
- （3）检查线路是否有破损漏电现象。
- （4）随时关注检测区域人员情况。

## 第5章 检测方法

### 【NB/T 47013.11】【5.2 成像几何参数的选择】释义

#### 关于几何放大比（5.2.4）

由于探测器敏感元件到成像面存在一定距离（一般为 2mm~5mm），在实际成像时，即使被检工件紧贴探测器成像屏，也存在几何放大。因此，需要根据所用探测器像素大小、焦点大小、焦距大小以及图像质量要求，选择所用检测系统对某一被检工件进行检测的最佳放大比。

最佳放大比公式的推导如下：

考虑到 DR 技术采用的透照布置以及射线机的焦点大小，其最佳放大倍数是指在被检工件处存在最小总不清晰度时的放大倍数。假设在工件处的总不清晰度为  $U_0$ ，探测器成像处的总不清晰度  $U$  为物体处总不清晰度经放大后得到，即：

$$U_0 = \frac{\sqrt[3]{d(M-1)^3 + U_c^3}}{M} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$U$ ——探测器成像处的总不清晰度；

$M$ ——放大倍数；

$d$ ——焦点尺寸；

$U_0$ ——工件处的总不清晰度；

$U_c$ ——DR 系统固有不清晰度。

首先，求  $U_0$  对  $M$  的偏导数，得到：

$$\frac{\partial U_0}{\partial M} = \frac{d^3 M(M-1)^2 - d^3 (M-1)^3 - U_c^3}{M^2 [\sqrt[3]{d^3 (M-1)^3 + U_c^3}]^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

为得到最佳放大倍数，令：

$$\frac{\partial U_0}{\partial M} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

由此得到：

$$Md^3(M-1)^2 - d^3(M-1)^3 - U_c^3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

解此方程，可得最佳放大倍数表达式：

$$M_0 = 1 + \left( \frac{U_c}{d} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

通过理论估算的最佳放大倍数见表 3，结合标准对射线机到被检工件最小距离的要求，可选择透照的几何参数范围。另外，可以通过在被检工件边缘放置双线型像质计成像，评判图像分辨率，选择最佳放大比。

表 3 不同焦点与像素尺寸对应的最佳放大倍数（计算值）

探测器像素/mm	焦点尺寸/mm						
	0.2	0.4	0.8	1.0	2.0	3.0	5.5
0.127	2.43	1.51	1.18	1.13	1.02	1.02	1.01
0.143	2.71	1.60	1.21	1.15	1.02	1.03	1.01
0.200	3.83	2.00	1.35	1.25	1.03	1.05	1.02

通过表 3 可以看出：在实际检测中，采用大焦点的 X 射线机（如目前常用的焦点为 3mm 的携带式 X 射线），此时谈最佳放大比没有意义，应把被检工件尽量接近探测器；而对于小焦点 X 射线机（焦点不大于 1.0mm 的高频射线机），则可以利用最佳放大比，提高图像分辨率。

【NB/T 47013.11】【5.4 非平面工件透照次数的确定】释义

由于 DR 技术具有连续成像的特点，因此在条件允许的情况下，可采用连续采集方式成像，此时不考虑一次透照长度。

1、关于小径管 100%检测（5.4.2）

本部分是检测方法标准，被检工件的透照次数是由相关规范和设计标准决定的。对于要求 100%检测，但实际上无法按照本部分要求的透照角度和透照次数检测等特殊情况下的处理措施，应由业主（包括设计方）和检测方共同来商定，同时应符合相应法规的要求。

对于厚度大于 8mm 的小径管，不得采用倾斜透照椭圆成像。

在此增加“不要求 100%检测的小径管环向焊接接头的透照次数由合同双方商定，并保存相关记录。”见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

2、关于一次透照有效长度（5.4.3）

对于非平面工件的检测，由于探测器成像窗口大小与被检工件的曲率半径不等，会使检测图像中存在中心和边缘放大比不一样的情况。为此，分以下两种情况处理：

（1）非平面工件曲率直径大于探测器成像窗口最小长度的情况

针对市场上现有的面阵探测器，当非平面工件曲率直径大于探测器成像窗口的最小长度时，K 值一般小于标准规定值，探测器一次成像长度不受影响，几何放大比的变化对图像的影响不大，此时一次透照区域可取探测器有效成像区域。可通过增加焦距的方法，减少几何不清晰度。

（2）非平面工件曲率直径小于或等于探测器成像窗口的最小长度的情况

在理论分析和实验验证的基础上，本条给出了比较简单的处理方法：按照本部分表 2



的规定，选择 $K$ 值，同时一次透照长度控制在被检工件内径之内，且图像灰度值满足要求，在同时满足上述条件的情况下，在此区域内的图像质量基本可以满足标准的要求。

在实际应用中，最严格的方法是：被检工件不管采取双壁双影还是双壁单影透照，除利用 $K$ 值控制透照角度外，为保证图像质量（图像灵敏度、图像分辨率和信噪比）满足标准要求，存在以下两种处理方法：

方法一：利用图像观察。首先测量图像的灰度值是否满足要求；其次，测量图像分辨率，双线型像质计靠工件边缘放置，如果此时测量位置的双线型像质计丝号与透照厚度的关系满足本部分表4或表5的要求，则此位置即为成像有效长度边缘点，成像的有效长度即为此点到图像中心点的2倍。

方法二：利用理论计算。通过几何投影，计算焦距、透照厚度、放大比、像素大小的关系，在满足本部分 $K$ 值和表4或表5要求的条件下，得到一次成像的有效长度。

注1：对于小径管双壁双影（椭圆）成像检测技术，一次透照保证整个环缝均能成像，但由于透照厚度变化较大，缺陷有效评定区域内的图像质量应满足标准要求。

注2：对于步进成像，可通过确定单幅图像的一次透照区域，决定步进间距。

## 【NB/T 47013.11】【5.5 透照参数的选择】释义

### 1、关于管电压（5.5.1）

对于胶片照相技术而言，管电压的提高会增加系统的固有不清晰度和颗粒度、降低对比度。因此，在保证射线穿透力的前提下，采用较低的管电压是提高图像质量的有效手段。

对于DR技术，提高管电压，会降低射线衰减系数，从而降低对比度；但提高管电压在一定范围内对图像固有不清晰度不会产生影响（固有不清晰度主要受探测器像素的影响），反而会因射线强度增加而提高图像信噪比。因此，对于DR技术就需要在对比度降低和信噪比提高之间做出权衡，合理选择管电压。

对于不等厚的工件，适当提高管电压会提高检测的厚度宽容度。因此管电压的选择，在保证穿透被检工件的前提下，允许适当提高。

### 2、关于曝光量（5.5.2）

数字成像的曝光量等于管电流与采集帧频的倒数（采集1帧图像所用的时间）和采集帧数（1次所采集图像的数量）的乘积。一般宜选择大的管电流，按照实际检测中对检测效率的要求，选择叠加的帧数和采集帧频。曝光量越大，图像信噪比越高，图像质量越好。

按照曝光量的定义，同样时间内输出1幅图像，图像灰度值的高低由单帧图像的灰度值决定，与叠加帧数无关。即帧频高，灰度值低，但多帧叠加噪声低；帧频低，灰度值高，叠加帧数少噪声相对大。因此，在实际检测中，要根据信噪比选择采集帧频。

特别注意：当采用高帧频采集图像时，由于探测器接收射线光子的时间很短，若采用此帧频低的透照参数检测时，射线强度不够，造成灰度值降低。透照参数此时应提高。

【NB/T 47013.11】【5.7 无用 X 射线和散射线屏蔽】释义

使用滤波板可有效抑制散射。散射是影响成像的一个主要因素，由于射线机出厂前窗口自带的滤波板材质和厚度不一，本部分无法给出统一的厚度。因此，应针对实际检测情况，根据不同管电压的要求，选择不同材质和厚度的滤波板。使用滤波板的主要效果是滤掉软射线，使有用的射线硬化。

连续 X 射线透照工件时，它的每一个波长对一定的被检工件介质都有一定的吸收系数。其中，波长较长的软射线光子首先被吸收，随着穿透工件厚度的增加，如图 10 所示，其透照强度的能谱分布逐步向最短波长方向靠近，能谱变得越来越窄。利用这种现象，不仅可以滤掉产生高次散射射线的软射线，同时使能谱变窄。当被检工件厚度再增加时，吸收系数  $\mu$  只有微小的变化，衰减曲线大致变为直线的起点（均匀点）。当穿透厚度大于此厚度后，连续 X 射线的衰减系数可以视为常数，其衰减规律类似于单能谱射线，图 11 为铝、铁、铜三种金属厚度与吸收系数的关系。由于被检工件对射线的硬化作用，会使透照射线能谱变窄，在此利用等效波长  $\bar{\lambda}$  近似表示硬化后连续能谱射线的平均能量，把等效波长  $\bar{\lambda}$  所对应的能谱称为等效能谱。

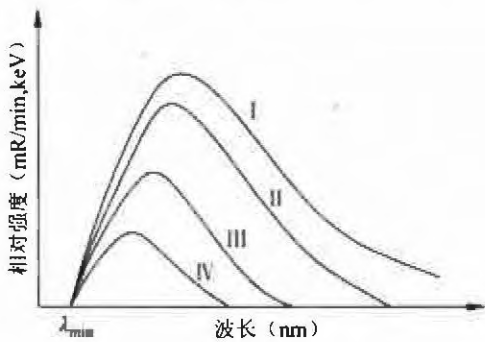


图 10 连续射线能谱与穿透被检工件厚度的关系

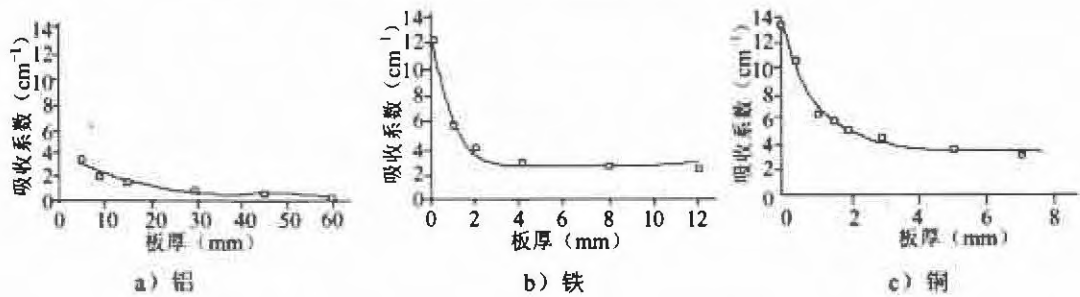


图 11 铝、铁、铜厚度与吸收系数的关系

另外，通过增加滤波板厚度，不仅能抑制散射，而且可降低图像的标准差，提高图像信噪比。但滤波板厚度的增加，会降低射线入射强度，降低图像对比度。因此，需要根据被检工件特性，合理选择滤波板厚度。

针对实际检测情况，根据不同管电压的要求，选择不同材质和厚度的滤波板。使用滤波板的主要效果是滤掉软射线，使有用的射线硬化，提高图像质量和透照厚度宽容度。

- (1) 放在射线机出口（NB/T 47013.2 是放在被检工件与胶片之间）。
- (2) 可以在被检工件和探测器之间放“铅箔”，与 NB/T 47013.2 的滤光板功能一致。

## 第 6 章 图像质量及评定

### 【NB/T 47013.11】【6.1 图像质量】释义

#### 1、关于像质计

本部分采用的像质计分为线型像质计和双线型像质计两种。

##### (1) 线型像质计 (6.1.2)

线型像质计用于测量图像灵敏度，其材质要与被检工件材质相同或相近。使用原则与 NB/T 47013.2 部分一致。

##### (2) 双线型像质计 (6.1.3)

###### a) 材质

双线型像质计用于测量图像不清晰度，因此其材质密度要远远高于被检工件材质密度，以保证图像不受对比度的影响。因此，在国际标准 ISO 19232-5《无损检测 射线图像质量 第 5 部分：利用双线型像质计测定图像不清晰值》要求其材质：1D~3D 为钨，其他 4D~13D 为铂。为了满足薄壁工件的检测需求，最新修订的 ISO 19232-5 把双丝像质计标准的线对扩展到 18D，丝径为 0.016mm。

###### b) 放置原则

双线型像质计放置在探测器或被检工件上，放置位置不同会对测量结果产生影响：若与探测器行或列平行，会在图像采样时产生混叠；若与探测器行或列成 45°角，此时分辨率测量值是实际值的 1.4 倍。因此，为了保证分辨率测量的可靠性和正确性，要求双线型像质计与探测器行或列成 2°~5°角放置。

测量系统分辨率时，双线型像质计放在探测器上。测量图像分辨率时，双线型像质计放在靠近被检焊缝的母材上。

为保证图像分辨率满足本部分的最低要求，即允许的最大不清晰度，本条规定双线型像质计放置在探测器侧，但采用双壁单影透照时，透照厚度取公称厚度。考虑到与线型像质计放置的一致性和操作的简便性，修改为“双线型像质计放置在射线机侧，但采用双壁单影透照时，可放置在探测器侧”。同时在 6.1.4.2 条句尾补充“对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度应取管子直径”，见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

基于第 4 章的修改，把 6.1.1.3 条中的“线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.1 的规定”和 6.1.1.4 条中的“双线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.5 的规定”放入第 4 章，见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

###### c) 识别 (6.1.3.3、附录 C)

就胶片照相而言，底片中像质计主要靠人眼来识别，无法定量，存在一定的主观性。



数字成像由于采用了计算机和图像处理技术,可利用软件实现对像质计的定量识别和测量。如本部分附录 C 给出了双线型像质计识别率的计算方法,结果更客观。

注:利用曲线计算分辨率时,若肉眼不能明确地分辨出第一组不清晰的线对,可使用 20% 下沉法。此时应选择不少于 21 行像素区域叠加平均(见图 12),以减小噪声的影响。

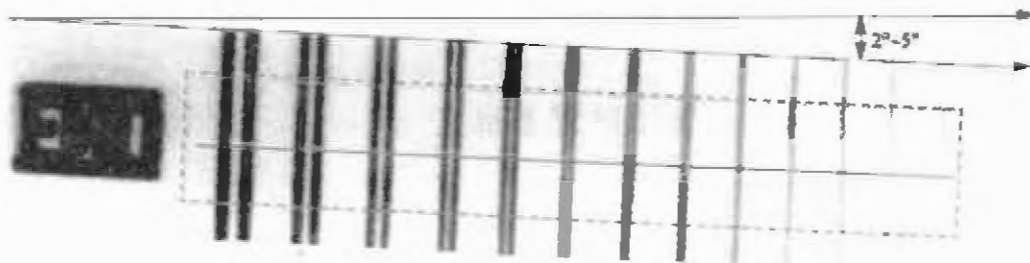


图 12 分辨率计算区域选择示意图

### (3) 特殊情况

若像质计无法放在规定的位置,则应采取以下比对措施:

选择与被检工件材质相同、覆盖透照最小、最大厚度的模拟试件代替被检工件,在薄壁和厚壁处同时放置双线型像质计和线型像质计,细丝朝外,采用与实际检测同样的透照参数,并保留原始图像与数据。

对于复合材料的检测,分别采用与材质相同或相近的像质计。

对于同一材质厚度不均匀工件,线型像质计的放置:在厚度最大和最小处各放 1 个;或厚度连续过渡的工件中间和边缘各放 1 个。双线型像质计放在薄板上。

## 2、关于分辨率测试(6.1.4、附录 A)

本部分的分辨率包括系统分辨率和图像分辨率。

### (1) 系统分辨率核查(附录 A)

系统分辨率是评价检测系统性能的一个重要指标。在实际系统分辨率的测试时,由于测试环节无被检工件,只是检测系统本身,按照 A.5.1 的放置原则、透照参数、图像质量要求等选择。特别注意的是,在选择 A.5.1 b) 中的曝光参数时,应根据实际检测的对象和规格,分别选择对应的透照参数。采用的标准试件,除可使用双线型像质计外,还可使用分辨率测试卡。由于要给出定量的分辨率值,测试卡或双线型像质计必须由具有资格的机构出具证明文件。

系统分辨率测试几何条件限制为  $(1\,000 \pm 50)$  mm 的目的是减少射线机焦点以及几何参数对系统分辨率测试的影响。对于焊接产品检测线采用的固定检测系统(特别是检测系统固定在小铅房中的系统),考虑到实际条件的限制,ASTM E 2597 给出了放宽焦距的要求:可适当减小焦距,但应保证由焦点尺寸引起的几何不清晰度不大于系统分辨力的 5% (在此,系统分辨力可以用像素尺寸代替)。系统分辨率同样要满足表 4 和表 5 的要求。用户可以按照上述测试方法,结合本部分的表 4 和表 5,选择满足实际被检工件的探测器像素尺寸。这里需要特别注意的是,对于小径管双壁双影透照方式,透照厚度应取 2 倍管子厚度。

例如,假设某一固定式锅炉焊管 DR 检测系统,已知条件为:射线机焦点  $d=2$  mm;探测器像素尺寸  $P=0.2$  mm;敏感元件到成像面的距离  $b=3$  mm;焦距  $f=700$  mm。按照几

何不清晰度计算公式有：

$$U_g = \frac{d \times b}{f} = \frac{2 \times 3}{700} = 0.0086$$

当取系统分辨率等于像素尺寸时，5%的系统分辨率为 $0.2 \times 5\% = 0.01$ 。由于 $0.0086 < 0.01$ ，则标准要求的“由焦点尺寸引起的几何不清晰度不大于系统分辨力的5%”，即检测系统几何不清晰度满足标准要求。表明，可利用此系统进行系统性能核查。因此，在A.5.1 a)条句尾补充“在条件受限情况下，可适当减小 $f$ ，但应保证检测系统的几何不清晰度不大于探测器像素尺寸的5%。”同时，在A.5.2后补充“系统分辨率应满足表4或表5的要求，对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度应取2倍管子壁厚”的要求，见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

## （2）图像分辨率的测试

图像分辨率测试条件按照实际检测条件执行。

本条表4和表5给出的图像分辨率与被检工件厚度有关。用户可通过测试一定厚度的被检工件的图像分辨率，来证明系统硬件是否满足透照厚度的要求。用户也可以通过选择探测器像素大小、射线机焦点尺寸大小和调节透照焦距和放大比来保证检测图像满足要求。这里需要特别注意的是，对于小径管双壁双影透照，透照厚度应取管子外径。

## 3、关于补偿原则（6.1.4.3）

制定补偿原则是基于小缺陷（即 $\Delta w \ll w$ ）的近似公式，即

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = k \times \frac{\mu_{\text{eff}} \times SNR}{SR_b} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$w$ ——工件厚度；

$\Delta w$ ——缺陷尺寸；

$CNR_N$ ——对比噪声比；

$\mu_{\text{eff}}$ ——衰减系数；

$SNR$ ——信噪比；

$SR_b$ ——分辨率；

$k$ ——常数。

从式中可以看出，对比噪声比 $CNR_N$ 是和衰减系数 $\mu_{\text{eff}}$ 、信噪比 $SNR$ 成正比的，和分辨率 $SR_b$ 成反比， $k$ 为常数。通过使用高分辨率的成像系统或提高信噪比可以有效提高小缺陷的对比度。实验采用像素尺寸为 $320\mu\text{m}$ 的探测器，检测不同尺寸的槽，实验结果如图13所示。其中（a）图为100%图像，（b）图为（a）图的局部放大图像。（b）图中间宽线为 $127\mu\text{m}$ 的槽，细线组成的方格表示大小为 $320\mu\text{m}$ 的像素。对于此检测系统，当信噪比达900时，对比度为0.3%细节可检出。



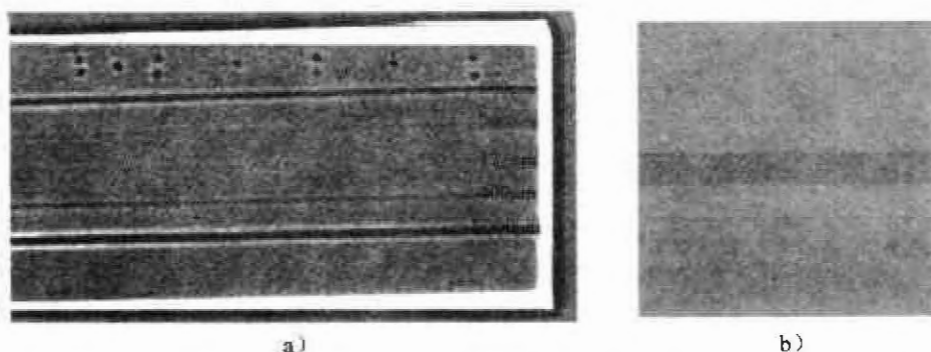


图 13 高信噪比对小缺陷的检出实例

图 13 结果表明：如果信噪比非常高，即使细节与背景的对比度非常小也能检出，也就是说细节的检出与信噪比有很大的关系。

DR 系统的信噪比依赖于采集帧频与图像叠加帧数、图像的校正和透照参数，即依赖于曝光条件和合适的 DR 校正。研究表明它可以高出胶片照相的 20 倍甚至更多，极高的信噪比可获得更高的对比度（尤其使用放大技术），即高对比度可以补偿较低的图像分辨率，对于具有高对比度的微小细节，亚像素获取的信号足以使它可见。因此，通过提高信噪比，提高对单个缺陷的检出能力是可行的。

总之，如果由于条件限制，无法达到所要求的技术等级，一般可通过适当提高管电压，在提高图像信噪比的同时增加透照厚度宽容度，从而实现对图像分辨率的补偿。

如果使用补偿原则后还未达到图像质量的要求，或者信噪比达不到要求，无法使用补偿原则，此时应采取较小焦点尺寸或较小像素的探测器或提高焦距的方法，以减少几何不清晰度。

对于使用裂纹敏感性材料或标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  高强度材料进行检测时，其裂纹检出率对于图像分辨率的要求比较高，此时不得采取补偿。建议结合产品制造和使用过程中产生的缺陷大小，做对比试块和检测试验，找到实际使用的检测系统能发现此类最小缺陷的图像应达到的最低信噪比。在 6.1.4.3 条末尾补充：“注：对于使用裂纹敏感性材料或标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  高强度材料进行检测时，不得采取补偿。”，见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分：X 射线数字成像检测》第 1 号修改单（国家能源局 2018 年第 7 号公告）。

## 【NB/T 47013.11】【6.2 图像评定】释义

图像质量必须在满足灰度值和信噪比要求的前提下，开展图像对比度和分辨率的评定。

### 1、关于灰度值要求（6.2.3）

为了提高实际检测透照参数优化选择的效率，在本条对灰度范围做了要求。

射线检测系统一般认为是线性系统，其输出灰度与胶片照相的黑度类似，低灰度（未穿透）区和高灰度（饱和）区，都会影响缺陷的检出，其最佳灰度范围是满量程的 50%~80%，为了提高透照的厚度变化范围，充分发挥数字成像技术的优势，在大量实验研究基础上，在低于 10%或高于 80%的区域会出现部分像素点无响应或饱和的现象。因此，



特规定：AB级为满量程的20%~80%；B级为满量程的40%~80%。

## 2、关于信噪比（6.2.4、附录D）

### （1）概述

信噪比高的系统，缺陷的检出率会提高，信噪比低的系统，即使透照参数达到最优，其缺陷的检出率也无法与信噪比高的系统相比。因此信噪比是保证图像质量和控制检测系统性能的关键指标。考虑到不同系统由于成像器件和后续处理电路的不同，信噪比不同，为了系统地分析被检工件的图像质量、保证缺陷的有效检出，需要统一对检测系统的评判标准，提出了归一化信噪比而不是简单的信噪比，即规定了某一检测系统，针对不同的检测工件、在不同的透照电压下应达到的最小归一化信噪比要求，附录D给出了图像归一化信噪比的计算方法。

### （2）归一化信噪比计算

为了将数字成像技术与胶片照相技术在图像信噪比测量方面进行等价处理，特采用归一化信噪比指标。在GB/T 19348.1—2014“无损检测 工业射线照相胶片 第1部分：工业射线照相胶片系统的分类”（修改采用ISO 11699-1.2: 2008“无损检测 工业射线照相胶片 第1部分：工业射线照相胶片系统的分类”）对胶片系统性能给出最低要求的规定时，测量颗粒度采用的微密度计的圆形测量光圈直径规定为 $(100 \pm 5) \mu\text{m}$ ，而数字探测器的像素一般认为是正方形，因此，以直径为 $100 \mu\text{m}$ 的圆孔作为基准，由以下面积等效公式得到：作为基准的像素尺寸为 $88.6 \mu\text{m}$ 。

$$\sqrt{\frac{\pi \times 100^2}{4}} = 88.6 \quad \dots\dots\dots (7)$$

则，归一化信噪比计算公式为：

$$\text{SNR}_n = \text{SNR}_m \times \frac{88.6}{\text{SR}_b} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\text{SR}_b$ ——分辨力。

归一化信噪比与分辨率一样，分为系统归一化信噪比和图像归一化信噪比。按照附录D的公式计算时，区别在于分辨力的不同。

（1）系统归一化信噪比计算。对于DR系统，像素是影响系统分辨率的主要因素，当计算系统归一化信噪比时，有两种方法：

- a) 为了简化计算可直接取 $\text{SR}_b = P$ ， $P$ 为探测器像素尺寸；
- b) 对于不同检测对象的信噪比精确计算，可按照附录A测量得到其系统分辨率，此时 $P$ 等于2倍系统分辨率的倒数。

基于上述分析，将D.1中“ $P$ ——探测器像素大小（ $\mu\text{m}$ ）；”更改为“ $P$ ——分辨力（ $\mu\text{m}$ ）；注：测量系统归一化信噪比时， $P$ 为系统分辨率；测量图像归一化信噪比时， $P$ 为图像分辨率。”见NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》第1号修改单（国家能源局2018年第7号公告）。

(2) 图像归一化信噪比计算:

- a) 为了简化计算可直接在本部分表 4 或表 5 中查找, 实际透照厚度对应的图像分辨力 (取值等于对应的丝径);
- b) 对于不同检测对象的信噪比精确计算, 可按照实际透照条件测量双线型像质计得到的图像分辨力 (等于对应双丝像质计的丝径)。

由于在检测的焊缝上找出均匀的区域比较困难, 因此, 图像信噪比的测量应在热影响区或接近热影响区的母材区上进行。本条给出的最低图像归一化信噪比值就是指在上述区域得到的。

本条规定信噪比测量区域应不小于 50 像素×50 像素的面积, 考虑到对于小径管成像的信噪比测量时, 母材上不容易找到不小于 50 像素×50 像素的均匀区域, 因此, 修改信噪比测量区域为不小于 20 像素×55 像素的面积。其中, 宽度一般取 20 像素, 长度取大于 55 像素 (长度方向指焊缝方向), 见 NB/T 47013.11—2015《承压设备无损检测 第 11 部分: X 射线数字成像检测》第 1 号修改单 (国家能源局 2018 年第 7 号公告)。

### 3、关于图像存储 (6.2.5)

本条规定了采集后图像存储的原则性要求, 包括原始图像 (和经过处理图像) 的标识, 信息描述等。为了图像的查询和远程缺陷评判的方便, 给出了统一的图像存储格式和图像文件描述字段的信息要求。

在此, 原始图像是指按照实际透照条件, 经探测器采集, 直接输出的、未经任何软件处理的检测图像。

对于图像存储格式, 各单位的原始图像的存储可用统一格式, 也可采用其他格式, 以保证原始图像的保密性。

对于图像文件的描述字段中的单位代码, 可以用单位现有的代码, 或自行定义具有能代表本单位的代码。

## 第 7 章 检测结果评定和质量分级

### 【NB/T 47013.11】【7 检测结果评定和质量分级】释义

(1) 承压设备金属材料受压元件的熔化焊焊接接头的 X 射线数字成像检测结果评定和质量分级参照 NB/T 47013.2 的相关条款执行。

(2) 管子管板角焊缝的检测结果的评定和质量分级采用 DR 技术进行管子管板角焊缝检测, 检测系统由棒阳极和专用 DR 系统组成。由于受到 DR 系统结构和规格以及角焊缝结构的限制, 检测范围受到一定的限制。图像灰度值应满足本部分的要求, 与灵敏度相关的要求满足 NB/T 47013.2 的规定。验收要求可参照 NB/T 47013.2 的相关条款执行。

## 第8章 图像保存与存储

### 【NB/T 47013.11】【8 图像保存与存储】释义

本章规定了完成缺陷评定的DR图像保存和存储的原则性要求，包括原始图像和经过处理的图像，及其记录和报告的备份、储存、保存年限和保存环境等。

必须保存检测得到的原始图像。在缺陷评定时，可复制原始图像，经过合同双方认定的图像处理和标识后进行评定并保存。

## 第9章 检测记录和报告

### 【NB/T 47013.11】【9 检测记录和报告】释义

检测记录和报告按照NB/T 47013.1的要求，除相关技术参数按照DR技术的特点进行修改外，其他主要内容和格式与NB/T 47013.2保持一致，并保证与NB/T 47013系列标准在格式上的一致性。

由于本部分的检测报告可以人工或计算机自动出具，考虑到报告数据的不可更改性，基于目前的现状，检测记录可采用人工书写。记录的编写要按照NB/T 47013.1和本部分的要求，包括产品信息、检测系统与器材信息、透照参数（是否有滤波板）、透照布置、标识、成像质量评定结果与数据、缺陷评定结果与数据，数据保存路径与文件名，相关人员与资格、检测日期等。

为了避免人员主观原因和显示器引起的误差，对于图像质量的评价，建议采用软件工具进行测量。如图像灵敏度识别中，可以在单线型像质计图像上画曲线，通过曲线测量或观察可分辨的丝号。

## 后 记

本部分是在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过标准工作组起草人员多年共同努力的结果。射线数字成像技术作为一项新型技术，在检测系统的硬件和软件方面都处于持续发展和完善的状态中。本部分作为首次制定的标准，在承压设备检测的



应用处于起步阶段，应用经验不够丰富，检测人员对该技术的掌握程度也在不断深入，因此在许多方面还有待于深入探讨和研究。

### 1、射线源的选择与使用

射线检测用源包括常规 X 射线、加速器和  $\gamma$  射线源，由于研究时间和设备等方面的原因，同时考虑到应用的广泛性，前期的应用研究主要集中在 X 射线上，对基于加速器或  $\gamma$  源的射线数字成像检测技术和应用未做系统的研究。需要相关检测和研究人员进行理论分析和试验研究论证，为后续标准的扩充和修订提供基础数据与依据。

### 2、尺寸精确测量技术

DR 技术采用了计算机与图像处理，理论上可以实现缺陷的精确测量，但由于 DR 系统结构和射线束角度等原因，检测图像存在几何放大和边缘变形等问题，若整幅图像采用单一的修正系数计算，会存在误差。对于缺陷检测而言，目前的误差是可接受的。但对于测量精度要求较高的，如由于腐蚀等原因引起的壁厚减薄的检测，则需要在被测区域放置已知尺寸的标准试件参与成像，计算出此点（或区域）的修正系数，最后换算出本区域的实际精确数据。因此，精确计算尺寸的修正系数需要针对不同被检工件、不同尺寸的标定方法、标准试件的制作工艺和透照布置等做深入的研究。

### 3、动态成像及其图像处理技术

动态成像是 DR 检测技术有别于其他射线检测技术的突出特点，由于动态成像速度快，图像噪声大，且会产生运动模糊等，使得成像质量低于静态成像。基于目前的技术限制，本部分主要是指针对静止成像和步进成像检测。随着针对动态成像的探测器技术和噪声处理技术以及快速优化算法研究等的不断深入，掌握控制动态成像质量的要求和验收依据将会在后续检测标准中引入。

总之，随着探测器技术和图像处理技术的不断发展，及检测人员对该项技术的深入了解和掌握，新的研究和应用成果都将体现在后续修订的标准中，为有效控制产品质量、保证产品安全有效运行提供高效服务。

**NB/T 47013.12—2015**

**《承压设备无损检测  
第 12 部分：漏磁检测》  
标 准 释 义**

# 引言

## 1、漏磁检测的定义与原理

铁磁材料工件被磁化后，在不连续处或磁路截面变化处，磁感应线离开和进入工件表面而形成的磁场称为漏磁场。所谓不连续，就是工件正常组织结构或外形的任何间断，这种间断可能会也可能不会影响工件的使用性能。通常把影响工件使用性能的不连续性称为缺陷。漏磁场检测方法是利用铁磁性材料或工件磁化后，在表面和近表面如有不连续性（材料的均质状态即致密性受到破坏）存在，则在不连续性处的工件表面发生局部畸变产生磁极，并形成可检测的漏磁场进行探伤的方法。漏磁场检测方法包括磁粉检测方法和利用检测元件探测漏磁场的漏磁检测方法等。

漏磁检测（magnetic flux leakage, MFL）是指铁磁性材料试件被磁化后，若材料不存在缺陷，则材料中的磁力线被约束在材料中，磁通平行于材料磁化方向，被测试件表面无磁场。若材料表面或近表面存在缺陷，则缺陷处磁导率变小，磁阻变大，使磁路中的磁力线发生畸变泄漏出材料表面形成漏磁场，通过在磁化器中部放置一个磁场传感器（通常采用霍尔元件或线圈等磁场传感器）来探测该漏磁场，由于漏磁场强度与缺陷深度和大小有关，因此可以通过对漏磁场信号的分析来获得构件上产生缺陷的情况。漏磁检测原理如图1所示，图2为测量不同磁场分量的典型信号。

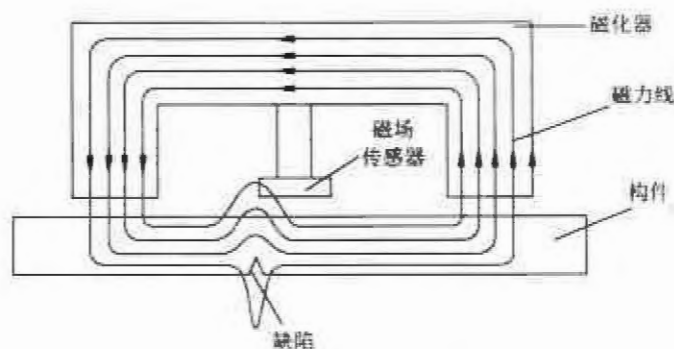


图1 漏磁检测原理示意图



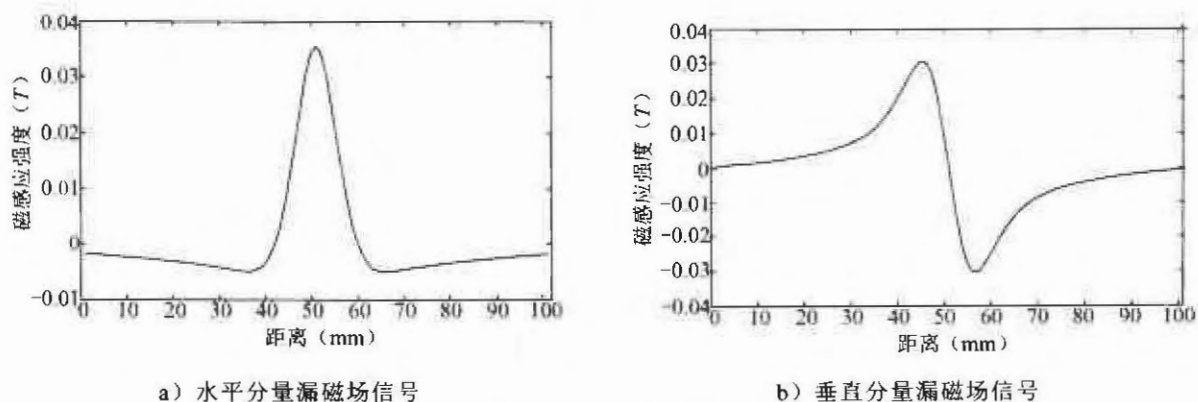


图2 典型漏磁场信号

漏磁检测是十分重要的无损检测方法，应用非常广泛，可用于设备的在役检测和制造过程中的在线检测、设备运行过程中的在线检测与监测。漏磁检测适用于有涂层或无涂层的铁磁性材料及焊缝（埋弧焊除外）内外表面产生的腐蚀和存在的机械损伤等体积性缺陷的定位和评价，能够同时检测不超过 30mm 厚的管道内外表面缺陷。

## 2、漏磁检测技术国内外发展现状

近年来，随着科学技术的快速发展，以及实际应用中对漏磁无损检测技术要求的不断提高，国内外许多学者和公司针对漏磁检测技术进行研究，漏磁无损检测技术正在发生质的飞跃。1975 年，国外研究团队对漏磁场进行有限元研究，分析了矩形缺陷的角度、宽度、深度与漏磁信号的关系；20 世纪 90 年代，美国 Iowa State University 的研究团队通过对影响漏磁场和漏磁信号的因素的研究，得到了关于漏磁场的矢量偏微分方程。随后，以美国为代表的国外研究团队深入研究了漏磁检测技术在石油、天然气管道检测方面的理论和工程相关问题。国内的研究团队在信号处理和识别、磁路优化设计和缺陷漏磁信号量化上面开展了大量的研究工作：利用三维有限元仿真方法对周向磁路进行优化设计，实现了在抽油杆、钢丝绳、管道及储罐底板漏磁检测；应用有限元研究了矩形槽缺陷宽度变化时漏磁场垂直分量的分布规律，提出了如何利用检测到的 Y 分量获取裂纹宽度信息的方法等；利用时频分析方法对漏磁检测中的缺陷识别方法进行了识别，获取了提离值对漏磁信号的影响；研究了漏磁信号的去噪方法；研究了漏磁检测系统中的数据压缩算法以及缺陷类型的判别方法；采用有限元模拟管道漏磁场拟出矩形、尖劈形、梯形缺陷漏磁场磁力线分布情况；通过实验分析得出缺陷的深度、宽度及倾角分别与漏磁信号的特征量（如幅值）成一定函数关系。

目前，国外知名油气管道检测公司的产品已经基本实现了多样化和系列化，技术相对趋于成熟，产品各项性能指标基本相当；国内研究团队也先后完成了相当于国际上第二代漏磁管道内检测系统和相当于国际上第四代超高清晰度三维漏磁内检测装置的研制并推广应用。美国防腐蚀检测学会（NACE）已对漏磁内检测器的检测能力在标准上进行了规范，均在向着提高检测清晰度的方向发展，代表着国际领先技术水平的标志就是实现超高清晰度的检测水平。

在漏磁场矢量的检测方向早期由于使用线圈作为检测元件，一直进行单轴方向检测，主要进行轴向磁场分量的检测。随着霍尔磁场阵列元件的引入，提出了三轴检测技术，提供了对于管道缺陷的多信息识别方法，代表了国际当前同类产品的领先水平。近年来，漏磁检测向着自动化、高速化、高精化和高提离化的方向发展。

### 3、国内、外相关漏磁检测标准与本部分的对比

#### (1) 国内相关漏磁检测主要标准和本部分的对比

国内漏磁检测相关标准除了本部分以外，主要有 10 个标准，其中国家标准（GB）5 项，石油天然气行业标准（SY）2 项，机械行业标准（JB）、冶金行业标准（YB）、煤炭行业标准（MT）各 1 项。

国内相关标准与本部分对比见表 1。

表 1 国内相关标准与本部分对比

对象	国内相关标准	NB/T 47013.12—2015	本部分特点
铁磁性钢板、钢管、钢丝绳	GB/T 31212—2014《无损检测 漏磁检测 总则》规定了对铁磁材料及构件进行漏磁检测的一般原则，适用于绳、杆、棒、管、板等几何形状规则的材料元件及构件的漏磁检测	本部分参考了 GB/T 31212，在此基础上规定了铁磁性制承压设备、铁磁性无缝钢管和埋弧焊以外的铁磁性焊管的漏磁检测方法及其结果评价，适用于有涂层或无涂层的铁磁性材料承压设备与元件母材内外表面产生的腐蚀和存在的机械损伤等体积性缺陷的漏磁检测，被检工件的厚度一般不超过 30mm，管件直径不小于 9mm	明确了铁磁性承压设备的漏磁检测适用范围，并且首次包含了长输管道内检测。国内领先
在制钢管	GB/T 12606—1999《钢管漏磁探伤方法》采用 ISO 9402: 1989、ISO 9598: 1989 制定	本部分涉及在制钢管的检测采用 GB/T 12606—1999	涵盖广，包括制造和服役过程中的钢管漏磁检测
常压金属储罐	JB/T 10765—2007《无损检测 常压金属储罐漏磁检测方法》为国内外首次制定，适用于工作介质为气体或液体、工作压力或小于 0.1MPa 的低压新制造和在用地上铁磁性金属储罐底板母板上表面和下表面不连续的漏磁检测，不适用于储罐底板焊缝的检测。该标准不建立评价判据，具体的判据由检测方和用户双方协商确定	本部分制定时考虑到适用范围，涵盖了 JB/T 10765—2007《无损检测 常压金属储罐漏磁检测方法》的内容	不仅可用于承压设备，也可用于常压金属储罐漏磁检测
钢丝绳	GB/T 21837—2008《铁磁性钢丝绳电磁检测方法》在 ASTM E 1571-01《Standard Practice for Electromagnetic Examination of Ferromagnetic Steel Wire Rope》的基础上制定，MT/T 970—2005《钢丝绳（缆）在线无损定量检测方法和判定规则》主要为铁磁性钢丝绳（缆）无损定量检测提出了判定规则，该部分在 GB/T 21837—2008 中没有体现	承压设备中没有钢丝绳，故本部分未涉及钢丝绳的漏磁检测	—



表 1（续）

对象	国内相关标准	NB/T 47013.12—2015	本部分特点
油井管	SY/T 6858.1—2012《油井管无损检测方法 第 1 部分：套铣管螺纹漏磁探伤》、SY/T 6858.2—2012《油井管无损检测方法 第 2 部分：钻杆加厚过渡带漏磁探伤》针对油井管中的套铣管螺纹和钻杆两个部件，进行漏磁检测的标准设定，国外还没有相应内容标准出现	油井管属于较为特殊的专用设备，主要用于石油系统，相对独立，SY/T 6858 非常成熟，故本部分未涉及油井管的漏磁检测	—
仪器	GB/T 25757—2010《无损检测 钢管自动漏磁检测系统综合性能测试方法》根据 GB/T 12606—1999 中漏磁检测指标提出了钢管自动漏磁检测系统综合性能测试方法，YB/T 4289—2012《钢管自动漏磁探伤系统综合性能测试方法》测试条目大致与 GB/T 25757—2010 相同；GB/T 26832—2011《无损检测仪器 钢丝绳电磁检测仪技术条件》规定了钢丝绳电磁检测仪技术条件	本部分规定了漏磁检测系统的一般要求，同时增加了在用压力管道漏磁内检测系统和在役承压设备漏磁检测系统的特殊要求。但不包括钢丝绳漏磁检测仪器的技术要求	—

（2）国外相关漏磁检测主要标准和本部分的对比

国外漏磁检测标准主要有美国 ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷《无损检测》（2013 版）第 16 章、ASTM 和 ISO 等相关的标准（见表 2），本部分在制定的过程中也考虑到这些国际标准在国内的引用、转化以及实施的效果，并结合我国在漏磁检测技术的研究成果和工程应用经验，进行了验证、修改、补充和完善。本部分充分分析和借鉴了国内外相关标准，在多个项目研究成果的基础上，并考虑了我国的行业现状，结合我国的实际情况进行了必要的调整和完善，在漏磁检测系统的技术要求、管道漏磁内检测方面都填补了国内外的空白，通过实验验证了铁磁性材料的漏磁检测最大厚度为 30mm，在国内首次提出了承压设备的漏磁检测方法和结果评价，整体上领先于国际同类标准。本部分的制定既紧跟国际先进技术的发展方向，又具有我国的国情特色。

表 2 国际上成熟的漏磁检测标准

序号	标准编号	标准名称（中文）
1	ASME V Arc.16: 2013	无损检测 漏磁检测
2	ASTM E 570-09	铁磁性管道漏磁检测
3	ASTM E 1571-11	铁磁性钢丝绳电磁检测
4	ISO 10893-1—2011	钢管无损检测 第 1 部分：自动电磁检验无缝和焊接（除埋弧焊）钢管验证液压密封性
5	ISO 10893-3—2011	钢管无损检测 第 3 部分：自动全周漏磁检测无缝和焊接（埋弧焊除外）铁磁性钢管纵向和/或横向缺陷



## 4、制定概况

### （1）制定的过程

本部分为首次制定。在经过全国锅炉压力容器标准化技术委员会调研的基础上，依据国家能源局《国家能源局关于下达 2012 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2012〕83 号），全国锅炉压力容器标准化技术委员会（以下简称“锅容标委”）于 2012 年 10 月组建行业标准《承压设备无损检测 第 12 部分：漏磁检测》标准工作组，标准工作组的成员涵盖了特种设备、高校、石油化工、无损检测等各个行业的专家和代表。工作组在质检公益性行业科研专项项目 201210019 “漏磁检测关键技术研究及设备与标准研制”和国家重大科学仪器设备开发专项 2012YQ090175 “基于频域可变的高端电磁检测仪器开发与应用”的研究成果基础上，经过大量的试验、对比、应用和调研，进而分阶段形成征求意见稿、送审稿和报批稿，最终形成了 NB/T 47013.12—2015。

### （2）制定的必要性

漏磁检测是无损检测的重要方法之一，能检测出带涂层铁磁性材料母材表面的腐蚀、机械损伤等厚度减薄类体积性缺陷和母材表面的裂纹等面状缺陷；能确定缺陷的位置，并给出表面开口缺陷的长度或体积型缺陷的深度当量；易于自动化、电子化，不受或很少受人为因素影响。其检测结果具有数据化、可靠、重复性好等优点。该方法特别适用于大型承压设备的内外表面快速检测与评价，近年来已逐步发展到板材检测、管道检测、在役容器检测和钢丝绳检测等多个方面的应用，还可应用于承压设备的制造、安装和使用的各个阶段，甚至作为最主要的检测手段，譬如长输管道的内检测基本以漏磁检测为主。在逐步解决局部饱和磁化和快速磁化的难题，同时基于缺陷漏磁场的正演与反演计算模型的完善和漏磁信号的预处理技术的进步，为实现漏磁检测的结果评价扫清了障碍，使得漏磁检测技术成为一种常规的无损检测技术。国际上也逐步推出了漏磁检测的方法标准、管道专用标准、钢丝绳专用标准、检测系统的测试及技术要求等，漏磁检测技术在国外发达国家的应用极为广泛。漏磁检测技术在管道制造过程的检测、在用管道内检测、大型承压设备的快速检测上都具有先天的优势，我国由于缺少承压设备的漏磁检测标准，漏磁检测只能作为一种无损检测新技术在承压设备中进行尝试性应用，严重阻碍了漏磁检测技术的应用与推广。为满足我国承压设备制造、安装和在用检测的需要，为提高我国承压设备产品在国际市场上的适应性和竞争力，为漏磁检测技术的发展及应用的需求，吸收和参考国内外漏磁检测的新标准、新技术和新成果，制定承压设备漏磁检测标准已迫在眉睫。

### （3）制定的原则

本部分是首次制定，制定时在吸收国内外先进技术的基础上，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，作为制定本部分的技术依据。制定标准时既考虑实用性和可操作性，一方面在确定现有制造单位已使用标准的可用性和先进性后尽量不修改，另一方面在国内外最新研究成果的基础上，结合现场应用的需求和实施经验，力求使技术要求与国外先进技术相近，既要符合国内外行业发展

需要，也要符合国情。

本部分在制定过程中，依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定和 NB/T 47013 标准修订组的统一要求，确定了标准格式，统一了部分术语名词的定义等。此外，本部分制定过程中还参考了 GB/T 31212—2014《无损检测 漏磁检测 总则》和 JB/T 10765—2007《无损检测 常压金属储罐漏磁检测方法》，并考虑到承压设备的漏磁检测需求和特点。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.12】【1 范围】释义

本条采用漏磁检测技术的最新进展和成熟应用，确定了本部分的适用范围为铁磁性材料制承压设备、无缝钢管和焊管（埋弧焊除外），被检工件的公称厚度一般不超过 30mm，管件直径不小于 9mm。其中管件直径不小于 9mm 来源于 GB/T 12606，工件厚度不超过 30mm 则根据实际的应用效果，并结合国内外标准的范围确定，对于埋弧焊管，国际通用原则是一般不采用漏磁检测。漏磁检测也可用于裂纹检测，但需要考虑检测方向与裂纹方向。参照本标准执行的检测，技术要求以合同双方约定为准。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.12】【2 规范性引用文件】释义

电磁检测技术是应用较为广泛的无损检测技术之一，可用于表面、近表面、埋藏和内壁缺陷的检测；常见的电磁检测技术包括涡流检测、漏磁检测、磁记忆检测、脉冲涡流检测等。漏磁检测多用于表面缺陷的检测，因此，所用术语中多来自磁粉检测和涡流检测，故本条规范引用文件中包含 GB/T 12604.5《无损检测 术语 磁粉检测》和 GB/T 12604.6《无损检测 术语 涡流检测》。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.12】【3 术语和定义】释义

本章只重新定义了缺陷当量和缺陷量化两个术语。其余术语均采用 NB/T 47013.1 (JB/T 4730.1)、GB/T 12604.5、GB/T 12604.6、GB/T 20737 确立的术语和定义。当量指与特定或俗成的数值相当的量，是一个比值；实际检测过程中获得的信号，与特定尺寸缺陷的试验或者计算获取的信号进行比较，给出缺陷的量值即为缺陷当量。缺陷当量的获取需要评价实际检测到的信号量值和特征。缺陷量化是依据获取的缺陷信号特征描述缺陷的宏观几何尺寸，主要参考缺陷信号的形貌特征和量值。

## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.12】【4.1 检测人员】释义

本条对漏磁检测人员提出了具体要求，即除应符合 NB/T 47013.1 的规定取得漏磁检测人员资格、按所取得的资格级别从事相应资格级别的漏磁检测工作外，根据漏磁检测的特殊性，要求漏磁检测人员具备电磁学的基础知识。此处的电磁学知识不仅包括电磁场、电学、磁学等基础知识，还包括铁磁学等材料学相关知识。

### 【NB/T 47013.12】【4.2 设备和器材】释义

#### 1、关于漏磁检测系统（4.2.1）

本条只给出了漏磁检测系统的基本组成结构和要求，但强调了漏磁检测系统应具有对发现的缺陷位置和深度进行分析与显示的功能，既满足了快速检测的需要，同时体现出漏磁检测能够识别缺陷的内外壁分布及深度量化显示的特点。

目前承压设备用漏磁检测系统主要有三种：再制钢管元件漏磁检测系统、在用压力管道漏磁内检测系统、在用承压设备漏磁外检测系统。这三类设备因对象不同，在系统构成、结构形式、检测速度和扫查方式等都有所不同，在各个对应章节中均有详细要求。

#### 2、关于试件（4.2.2）

本条对校准试件和对比试件在漏磁检测的使用进行了说明。漏磁检测的基础是材料的电磁特性，所以对校准试件和对比试件的材料分别提出了“相同或铁磁性能相近”和



“相同或相近规格、牌号、热处理状态、表面状态和电磁性能”的要求。

### 3、关于垫片（4.2.3）

非导磁性材料垫片推荐为 0.5mm 的整数倍只是针对试件制作，一方面与模拟实际工件的情况，另一方面验证设备的穿透能力、垫片的厚度应与被检工件接近。

### 4、关于被检工件（4.2.4）

漏磁信号受提离影响较大，检测必须在设备最大提离范围内进行，因此被检工件表面的涂层厚度对检测灵敏度的影响应重点考虑。

## 第 5 章 在制钢管元件漏磁检测

### 【NB/T 47013.12】【5 在制钢管元件漏磁检测】释义

本条引用了 GB/T 12606。GB/T 12606—1999 等同引用了 ISO 9402/9598（已被 ISO 10893 取代），该标准规定了铁磁性无缝钢管和埋弧焊以外的铁磁性焊接管的漏磁检测方法和结果评价，适用于外径不小于 9mm 的钢管内外表面的纵向、横向漏磁检测。鉴于该标准已在我国钢管制造业广泛应用多年，为了避免标准解读的误差，故本条直接引用了 GB/T 12606。

## 第 6 章 在用承压设备漏磁检测

### 【NB/T 47013.12】【6.1 范围】释义

本条规定了外径不小于 38mm、壁厚不大于 20mm 的在用铁磁性无缝钢管、压力容器壳体母材等从外部进行的检测，也适用于压力容器从内部进行的检测。38mm 的最小外径是基于所产生最小均匀漏磁场所需的最小间距确定，20mm 的最大壁厚是基于现有设备在外部进行检测时，能够保证内部腐蚀检出率情况下的最大壁厚确定。对于换热管，采用本部分无法保证灵敏度，不建议采用。

### 【NB/T 47013.12】【6.2 检测系统】释义

#### 1、关于扫查装置（6.2.4）

本条规定了扫查装置应与被检工件的曲率相匹配，扫查方式可采用手动或者电动，因为漏磁检测中存在速度效应，但为了保证检测效率，扫查速度不应过低，手动扫查时，

参考人的运动速度取最低为 0.3m/s。

## 2、关于灵敏度（6.2.5）

本条规定了对于小于等于 8mm 的壁厚，当涂层厚度小于 6mm 时，可探测到被检对象壁厚 20%深的人工缺陷；壁厚大于 8mm 或涂层厚度大于 6mm 时，其检测灵敏度由用户与检测单位协商确定。选择 8mm 壁厚和 6mm 涂层作为临界值是漏磁检测应用过程中最为常见的应用对象。此外，为了同时适用于油罐地板的漏磁检测，选择 20%壁厚的人工缺陷作为灵敏度。

## 【NB/T 47013.12】【6.4 检测程序】释义

### 1、关于扫查方式（6.4.7.1）

本条规定了若以发现体积型缺陷为检测目的，可采用单一方向扫查方式，若是以发现裂纹为检测目的，应采用正交扫查方式。本部分以体积型缺陷检测为主，也可用于表面裂纹的检测。由于漏磁磁化的方向性，为确保裂纹的检出必须采用正交扫查的方式，这导致了检测效率较低，所以一般不推荐采用漏磁检测裂纹。

### 2、关于扫查区域重叠（6.4.7.3）

本条要求扫查检测中应保证相邻扫描带之间的有效重叠（一般不低于 10%，可依据现场情况适当调整），此处的有效重叠区域是指传感器所覆盖的区域，而不是磁化区域。

## 【NB/T 47013.12】【6.5 检测结果评价与处理】释义

### 1、关于检测数据评价（6.5.1）

对于出现报警的部位，应在垂直原扫查方向 90°的方向或其他多个方向进行再扫查验证，以确认是否为真实缺陷。漏磁检测时主要对缺陷形成的漏磁场进行分析判断是否存在缺陷，漏磁场的强度与缺陷的大小与深度有关，因此对于报警部位，采用多方向扫查验证，一方面能确定是否为真实缺陷，另一方面可以确定缺陷的最大当量尺寸。

### 2、关于不可接受信号的处理（6.5.2）

不可接受信号首先采用目视和小锤敲击的方法进行检测，用以分辨不可接受信号是位于外表面或内表面的缺陷。这是因为对不可接受漏磁信号的部位进行目视检测可发现一些不需要简单处理的缺陷。小锤敲击的目的是将被检测对象表面的铁锈、黏合物等简单去除，以便观测。

## 第7章 在用压力管道漏磁内检测

### 【NB/T 47013.12】【7.1 范围】释义

本条规定了在用压力管道漏磁内检测在役压力的管道规格范围为管径  $\phi 219\text{mm} \sim \phi 1420\text{mm}$ ，壁厚  $6\text{mm} \sim 30\text{mm}$ ，主要考虑现有设备的通过能力，同时考虑最常用的管道的规格。

### 【NB/T 47013.12】【7.2 检测系统】释义

#### 1、关于检测设备（7.2.1）

本条规定了在用压力管道漏磁内检测系统的组成部分（管道内检测器和外部辅助设备）的详细要求，主要由管道内检测的工况、漏磁内检测系统运行特点和检测时长、检测环境等确定。

#### 2、关于设备类型（7.2.2）

设备类型应根据管道金属损失的类型选择，本条将管道金属损失类型划分为一般金属损失、坑状金属损失、轴向凹沟金属损失、轴向凹槽金属损失、周向凹沟金属损失和周向凹槽金属损失。一般金属损失为管道金属损失中尺寸最大的，一般值长宽均超过3倍的壁厚，当壁厚小于  $10\text{mm}$  时，一般金属损失的长宽均超过  $30\text{mm}$ 。

在对金属损失类型的划分基础上，针对检测不同金属损失类型，所需要的传感器间距和步进，将漏磁内检测设备按检测清晰度分为三种：标准清晰度、高清晰度和超高清晰度检测器。清晰度的确定主要依据周向传感器间距和轴向采样间距，也就是周向缺陷的检测精度和轴向的步进。在检出缺陷的参数上主要体现在最小深度和深度/长度的公差。

#### 3、关于系统校准（7.2.4）

为保证检测结果的准确性，应每年至少一次采用对比试件定期进行系统校准，每次校准均应记录。由于现有管道漏磁内检测设备的针对性强，本条中的系统校准与传统意义上的校准不同，校准的依据不能给出通用的要求，只能参照制造商的说明书进行。

### 【NB/T 47013.12】【7.4 检测程序】释义

检测数据是否有效是决定检测结果可靠性的关键，检测数据的有效性评价是检测程序中的重要一环。检测数据的有效性评价应在检测结束后进行，有效性评价中涉及的内容较多，其中受速度效应影响的距离不超过管道总长度的3%应重点关注。速度效应是指当漏磁管道内检测器在管道内运行速度过快时，会使高速磁化部分感应产生涡流，该



涡流会产生一个与原励磁磁场方向相反的磁场，从而降低了该金属被磁化的强度。当磁化水平降低到非饱和区时，信号会发生幅度衰减、失真，甚至无法被霍尔探头检测到漏磁信号。因此应根据仪器、管道的尺寸（厚度）、预期缺陷的长度和深度及其变化，来确定最大检测速度，以尽量降低速度效应的影响。

### 【NB/T 47013.12】【7.5 检测数据处理与评定】释义

检测数据的评定可采用对比试件或现场实际缺陷进行标定。

采用对比试件进行评价的，检测数据应依据对比试件的人工缺陷信号进行评定，对发现的缺陷进行量化。采用对比试件进行量化，应按照对比试件的人工缺陷信号的当量进行比较，判定缺陷的当量范围。

采用现场实际缺陷进行评价的，应首先选择两个典型信号进行开挖，对管道上与信号对应的缺陷进行几何尺寸测量，然后依据开挖的缺陷信号对该检测数据进行评定，对发现的其他缺陷进行量化。采用这种模式，是因为采用实际缺陷评价时，首先应选择典型信号的部位进行开挖，与对应的缺陷的几何尺寸进行量化比较后，对其他缺陷进行量化。这一过程中，应考虑到速度效应因厚度变化和缺陷长、深的变化所体现出不同的信号特征。

## 附 录

### 【NB/T 47013.12】【附录 A 在用承压设备漏磁外检测试件】释义

#### 1、关于校准试件（A.1）

校准试件应选用与被检对象电磁特性相近的钢板制作，试件的厚度可选用 8mm，也可选用其他不超过 20mm 厚的钢板；试件的宽度至少为探头阵列总扫查宽度的 2 倍，试件的长度至少为 1 250mm。可选用  $\phi 2\text{mm} \sim \phi 6\text{mm}$  范围内的铣刀在校准试件上分别加工出长为探头阵列总扫查宽度的 1.5 倍、深为板厚的 20%、40%、60%和 80%的 4 条横槽，槽宽度与深度的公差不大于  $\pm 0.2\text{mm}$ ，槽与槽之间的间距至少为 200mm。此处 8mm 为参考 ASME V arc.16 设置，同时考虑到常用储罐底板漏磁检测的试件制作；刻槽到试件两端的距离大于 300mm 是考虑漏磁检测的端部效应；试件的长度为 4 个槽自身宽度、槽间距和槽距离试件两端的距离之和。

#### 2、关于管件对比试件（A.4）

管件对比试件应选用与被检测管件几何尺寸相同、铁磁性能相同或相近的材料制作，试件的最小长度为 2 000mm，且不得小于管件的外周长。依据被检对象在对比试件外壁或/和内壁上分别加工出长为探头阵列总扫查宽度的 1.5 倍，深度为板厚的 20%、40%、

60%、80%的至少 4 个球形孔或圆锥形孔。对于球形孔的加工，8mm 及以下的板厚选择直径为 20mm 的球头铣刀，8mm 以上的板厚选择直径为 25mm 的球头铣刀，深度的公差不大于±0.2mm；孔与孔之间的间距至少为 200mm，两端孔距试件边沿的距离相同。对于圆锥形孔的加工，应参考球形孔加工要求，圆锥形孔的底面直径与球形孔在试件表面形成的直径相等。

对于管道对比试件，考虑到加工难度，提供了球形孔和圆锥形孔两种形式。但是圆锥形孔的底面直径与球形孔在试件表面形成的直径相等时，球形孔的漏磁信号要大于圆锥形孔，且形貌更接近实际腐蚀缺陷。因此一般推荐用球形孔，有难度时可选用圆锥形孔。

**【NB/T 47013.12】【附录 B 在用压力管道漏磁内检测对比试件】释义**

对比试件应选用与被检对象几何尺寸相同、电磁特性相近的材料，相同的生产工艺和相同的组织成分的同等厚度的材料制作，针对标准清晰度检测器、高清晰度检测器和超高清晰度检测器，表 B.1 列出了在用压力管道漏磁内检测对比试件制作要求，缺陷沿轴向排列，各个类型的对比试件之间的间距不小于被检管道外径，缺陷深度的公差不大于±0.5mm。由于在用压力管道漏磁内检测对比试件内部缺陷加工难度较大，一般只加工一组周向凹沟金属损失的对比试件。在核准检测器检测指标时，必须采用一般金属损失对比试件；评定检测数据时，可不采用一般金属损失对比试件。

**后 记**

本部分为首次制定，在锅容标委指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力，在吸收国内外先进技术的基础上，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，作为制定本部分的技术依据。制定标准时既考虑实用性和可操作性，也力求使技术要求与国外先进技术相近，既要符合国内外行业发展需要，也要符合国情。

由于漏磁检测技术本身还处在持续发展的状态，承压设备漏磁检测应用时日尚短，作为标准在我国的发展也多集中于专用对象，所积累的经验不够丰富，现有的漏磁检测技术尚有诸多需要深入研究和完善之处：

(1) 关于表面开口裂纹的快速检测和定量化

目前的国际主流漏磁检测标准以检测金属损失为主，裂纹的检测和定量在国际标准中尚未体现，虽然标准工作组和国际学术界也做了大量的理论和实验研究，先后提出了表面开口裂纹深度的漏磁场模型、三维漏磁场成像算法等工作，但漏磁检测要求磁力线垂直裂纹方向才能有效检测出表面开口裂纹，在实际检测中需要正交磁化导致效率低下，进而导致裂纹的漏磁信号的强度与形貌获取困难，无法准确进行裂纹尺寸的定量化。

### （2）速度效应的补偿

长输管道的漏磁检测对速度要求很高，但由于速度效应的存在导致检测效果的下降甚至是漏检，因此，如何有效地将速度效应所引起的磁化强度降低、所引起的信号衰减进行合理的补偿是今后重点研究的任务之一。

### （3）提离效应的抑制

实际检测过程中，尤其是对于运动过程中的漏磁检测，不可避免地存在不同的提离，过大的提离会直接导致漏磁场信号的减弱和相位的变化，会引起漏检和误判，如何有效抑制一定范围内的提离所带来的漏磁信号变化也是工程界和学术界一直致力于解决的问题。



**NB/T 47013.13—2015**

**《承压设备无损检测**

**第 13 部分：脉冲涡流检测》**

**标 准 释 义**

## 引言

### 1、脉冲涡流检测的定义与原理

脉冲涡流是基于脉冲磁场激励，在铁磁性材料内感应出涡流的现象。脉冲涡流检测方法的基本原理见图1，通有单个矩形脉冲或方波电流的激励线圈可激发出一次脉冲磁场，该磁场包含众多不同频率的磁场信息。在一次脉冲磁场的作用下，在铁磁性材料（被检件）中会感生出涡流，并沿着壁厚的方向传导和衰减。该涡流的衰减特性与被检件的磁导率、电导率、厚度等因素有关，采用接收元件（线圈、磁敏或磁阻元件）测量涡流产生的二次磁场，即可获得被检件的检测信号，进而提取出某个特征量。选定被检件某一已知厚度区域的检测信号为参考信号，将待测区域的检测信号与参考信号的特征量进行比较，即可获得待测区域的厚度的相对变化。

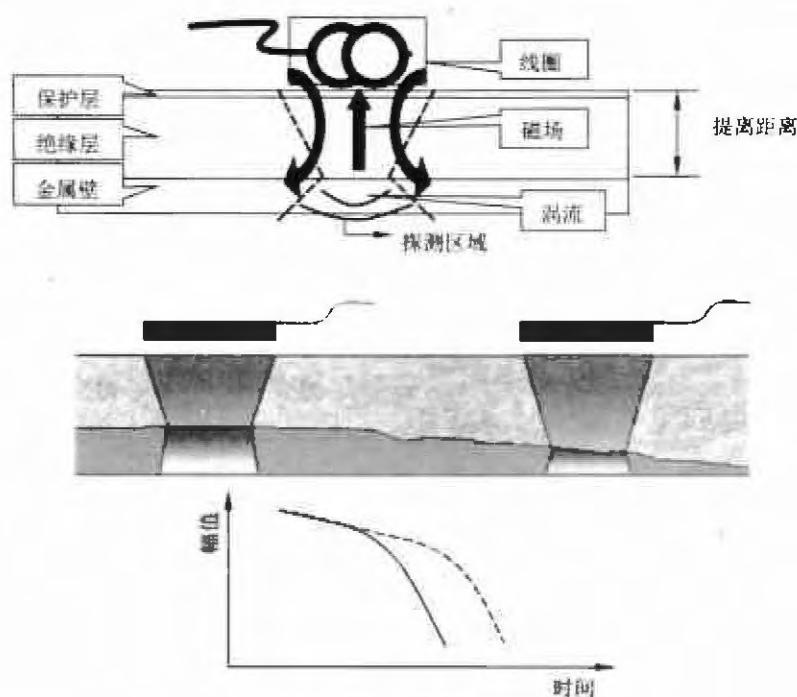


图1 脉冲涡流检测原理图

### 2、脉冲涡流检测技术国内外发展现状

承压设备在长期运行过程中很容易发生金属壁减薄，这主要是由于内部介质或外部环境作用的结果，而腐蚀、冲蚀和磨损是导致金属壁减薄的主要机理。据统计，以上因素是造成承压设备失效乃至事故（如泄漏、爆炸）的主要原因，也是造成国家重大经济损失的重要因素之一。

传统的金属损失（金属减薄）检测手段是采用常规超声波测厚技术，但该技术有以下几点局限性：

（1）需要和金属本体进行良好的耦合，以使超声波能够实现在传感器与金属本体之间的传播和接收。

（2）在线检测和监测比较困难，而且检测效率较低。目前，石油、化工、燃气、电力、冶金等行业在用的承压设备很多带有覆盖层（包括防腐层、保温层和保护层）结构，当采用常规超声波测厚技术时，不可避免地要去除覆盖层并进行必要的表面处理，检测完毕又要恢复覆盖层，这种做法会对企业造成很大的经济损失和时间上的浪费。

近年来，国内外多家研究机构都在不断开展不拆覆盖层或少拆覆盖层壁厚检测技术的研究。除脉冲涡流检测技术外，已经开展研究和应用的检测技术还有先进的数字射线检测技术、智能内检测技术和超声导波技术，这几种技术主要是应用于压力管道检测。数字射线检测技术由发生射线和接收射线装置构成，按周向对管道壁厚进行检测，检测时不用拆除覆盖层，但这种方法操作性不好，检测精度不高，还有一定的安全防护问题，更不适用于压力容器的检测；智能内检测技术是将内检测仪器放置于长输管道内部，依靠流体压力差的作用驱动仪器随介质移动进行检测或依靠其他动力实施检测，这种方法同样可以不拆覆盖层，但是仅适用于较大管径而且结构比较简单的管道中，也不适用于压力容器的检验；采用超声导波技术需要拆除部分覆盖层，每次可以进行一定距离的检测（取决于仪器检测范围和管道状况），虽定位精度、检测效率较高，但是这种方法的检测精度不高，对腐蚀面积较小或者均匀腐蚀的检测效果不理想，同样不适用于压力容器的检验。

脉冲涡流检测技术是一种新型的金属损失量检测技术，可以探知金属体积型损失的变化，适用于压力容器、压力管道以及常压储罐等多种金属设备的检测。它基于电磁感应原理，可以非接触式地在金属壁中激发涡流，而诱发产生的涡流又能衍生逆磁场信号，从而获得金属壁厚信息。与常规涡流技术相比，由于采用方波激励电流而不是正弦波电流，因此激励信号能够产生脉冲涡流。脉冲涡流信号与正弦涡流信号相比，具有更宽的频谱和较慢的衰减速度，所以能够适应信号穿透覆盖层和较大壁厚检测对的要求。总之，脉冲涡流技术与其他壁厚检测技术相比，具有以下几个优点：

（1）可以实现完全不拆覆盖层检测。

（2）适用于压力容器、压力管道或其他设备等的在线检测。

（3）适用于快速的扫查检测。

因此，脉冲涡流检测技术对不拆覆盖层的承压设备金属损失量检测具有得天独厚的优势。

目前，脉冲涡流检测技术主要有两个方面的应用：一是对非铁磁性材料如铝、铜等制品的缺陷检测。尤其在航空器机身薄壁铝板的多层铆接结构的检测研究方面，脉冲涡流检测技术的理论研究和实际应用都比较成熟。但该类检测技术的理论基础是脉冲涡流信号的频域特性，主要适用于非铁磁性材料的薄壁板，因此不适用于研究时域特性的厚壁金属检测应用；二是对铁磁性材料的金属损失量检测（对均匀腐蚀而言也可理解为厚



度测量)。由于铁磁性材料的磁导率很大,导致常规涡流场的趋肤效应明显,涡流透入深度有限,但脉冲涡流信号包括了多频信息,能够透入较大深度,实现检测。

铁磁性材料和非铁磁性材料对脉冲涡流激励的响应有很大区别,国外在该领域的研究相对较少,而且技术被少数公司垄断,能够得到的资料非常少。

美国 ARCO 公司、荷兰 RTD 公司最早进行了脉冲涡流金属测厚技术的研究,荷兰 RTD 公司又在 ARCO 公司的基础上于 20 世纪 90 年代开发出一套脉冲涡流测厚技术的商业检测系统,开始在拦海隔离墙、石油化工、海洋平台等很多领域应用,解决了一些常规检测手段无法克服的问题,比如对附着有较厚海洋生物层的金属板的检测以及对设备有腐蚀状况的在线检测、监测等。可以说,脉冲涡流检测技术的不断发展和进步为我国特种设备领域提供了一项全新的具有鲜明特色的检测技术和方法。

近年来,中国特种设备检测研究院联合华中科技大学等科研机构,通过“十一五”国家科技支撑计划课题《钢腐蚀脉冲涡流检测技术研究及仪器研制》和质检公益性行业科研专项《基于脉冲涡流检测技术的钢腐蚀评价方法研究》等一系列科研课题,攻克了仪器设备和评价方法的关键技术难题,打破了国外公司的技术垄断,并且将科研成果以标准形式发布,丰富了承压设备无损检测标准体系,推动了承压设备不拆覆盖层检验技术的发展,为承压设备成套装置长周期运行安全保障提供了技术支持。

### 3、国内、外相关脉冲涡流检测标准与本部分的对比

#### (1) 国内相关脉冲涡流检测主要标准和本部分的对比

在国内,中国特种设备检测研究院和华中科技大学等单位联合制定了脉冲涡流检测标准 GB/T 28705—2012《无损检测 脉冲涡流检测方法》,该标准规定了在不拆除覆盖层的情况下对大面积腐蚀等因素引起的壁厚减薄进行脉冲涡流检测的方法,然而该标准未建立评价判据,具体的判据由检测方和用户双方协商确定。与此不同,本部分规定了检测方法及评价准则。

另外,与 GB/T 28705—2012 相比,本部分对脉冲涡流、平行磁场、垂直磁场和聚焦模式等术语进行了定义,明确了检测人员的资格要求,对检测系统的性能进行了要求,对检测工艺文件要求进行了详细规定,对可能影响检测结果的被检工件条件进行了规定。同时,规定了参考点选取的原则,增加了资料性附录 B(包含保护层材料的修正系数、碳钢和低合金铬钼钢的温度校正图版和提离校正图版)。

#### (2) 国外相关脉冲涡流检测主要标准和本部分的对比

一直以来,脉冲涡流检测尚无国际标准。中国特种设备检测研究院积极开展工作,申报国际标准。

在 2014 年布拉格第 19 届国际标准化组织无损检测技术委员会(ISO/TC 135)会议上,中国特种设备检测研究院做了大会报告并提出了脉冲涡流检测标准立项提案,该提案顺利通过国际无损检测标准化委员会涡流检测分技术委员会(ISO/TC 135/SC4)的公开投票,获得绝大多数参会成员国和与会专家的支持,正式成为 ISO 国际标准项目。2017 年 1 月国际标准化组织颁布了中国制定的国际标准 ISO 20669:2017《无损检测 铁磁性金属元件脉冲涡流检测》。

## 4、制定概况

### （1）制定过程

本部分为首次制定。在经过全国锅炉压力容器标准化技术委员会调研的基础上，2012年12月组建了涵盖检验检测、研究机构、仪器研发等多个行业的专家和代表的《承压设备无损检测 第13部分：脉冲涡流检测》标准工作组。工作组在国家“十一五”课题2006BAK02B02《钢腐蚀脉冲涡流检测技术研究及仪器研制》和国家质检公益行业性科研专项201110028《基于脉冲涡流技术的钢腐蚀评价方法研究》的科研成果的基础上，经过大量的试验、实践和应用，进而分阶段形成征求意见稿、送审稿和报批稿，最终形成了NB/T 47013.13—2015。

### （2）制定的必要性

近年来，为满足设备不停机在线检验和长周期运行的需要，无损检测技术在不断快速发展和提升。相对于超声、射线等检测技术，电磁检测技术具有特殊的优越性，尤其是脉冲涡流检测技术的日渐成熟，为设备不停机在线检测提供了一种可能。该技术可以在不拆除设备覆盖层的情况下对设备的均匀腐蚀状况进行快速检测，其成果填补了中国在线检测技术方面的欠缺，具有非凡的意义。为了将该技术能尽快推广应用，在多项科研成果和大量实践的基础上，特制定本部分，十分必要。

### （3）制定的原则

- a) 依据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定和JB/T 4730—2005标准修订组的统一要求，对原标准格式进行调整；统一原标准中的名词、术语等；
- b) 本标准部分参考GB/T 28705—2012《无损检测 脉冲涡流检测方法》；
- c) 重点对使用过程所产生的均匀腐蚀缺陷进行检测和评价；
- d) 突出针对性、指导性和可操作性。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.13】【1 范围】释义

根据在用承压设备不拆覆盖层壁厚检测需要，增加了脉冲涡流检测方法。该方法为首次列入承压设备无损检测标准系列。

同所有无损检测方法一样，脉冲涡流检测也有其适用范围，主要受金属保护层的材质和厚度、覆盖层厚度、母材材质及厚度、母材曲率半径、母材温度、工况以及环境状况等因素影响。由于脉冲涡流技术还在不断发展中，在我国的发展时间尚短，积累的经验也不够丰富，所以本身也存在一些局限性。因此，各单位在应用前应做充分准备，加强研究和试验，及时总结检测经验以促进该技术的有序健康发展。

超出本范围检测应用应按照NB/T 47013.1—2015执行。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.13】【2 规范性引用文件】释义

由于脉冲涡流也是基于电磁感应原理产生的涡流现象，因此 GB/T 12604.6《无损检测 术语 涡流检测》界定的术语适用于本部分。但脉冲涡流检测在磁场激励方式、磁场作用原理、仪器设备、信号分析和评价准则等方面均与常规涡流检测不同，不能视为常规涡流检测的一种或其分支。

GB/T 28705—2012《无损检测 脉冲涡流检测方法》已对脉冲涡流检测流程进行了详细描述，因此 5.4.3 直接引用该部分而未在本部分中进行规定。同时，GB/T 28705—2012 界定的术语适用于本部分。

脉冲涡流检测在对参考点壁厚进行测量和对检测结果验证时，均需要采用超声波测厚方法进行测量，因此引用 NB/T 47013.3《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》作为测厚方法依据。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.13】【3 术语和定义】释义

本章对于在规范性引用文件中尚未明确界定的术语和定义进行了规范，而对已有术语和定义可直接引用。

补充平行磁场和垂直磁场的定义是为了说明脉冲涡流检测探头主要有两种磁场激励方式，这是由探头内线圈组布置方式的不同所决定的。因为这种不同也将引起激励磁场的方向不同，作用到被检件的效果也会有所差异，从而可能对相同的影响因素产生不同的检测结果，这在本部分的附录 B 中有所体现。

聚焦模式是为改变激励磁场而进行的一种特殊设计。通过特殊的线圈组合，在激励磁场周围激发方向相反的附加磁场，从而抑制激励磁场的发散，达到聚焦的目的。与非聚焦模式相比，激励磁场更加集中，检测区域面积较小，但激发能量较弱。



## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.13】【4.1 检测人员】释义

本部分对脉冲涡流检测人员提出了具体要求，即除应符合 NB/T 47013.1 的规定取得检测人员资格以及按所取得的资格级别从事相应的脉冲涡流检测工作外，根据脉冲涡流检测的原理和特点，由于影响电磁感应的因素复杂，检测过程中依靠专业技能判断的情况较多，因此还规定脉冲涡流检测人员应具有一定的电磁学基础知识。

### 【NB/T 47013.13】【4.2 检测设备和器材】释义

#### 1、关于检测仪器（4.2.2）

由于脉冲涡流检测仅能测量壁厚相对值，即检测点与参考点的壁厚之比，因此在检测仪器要求中规定了同时显示参考信号和检测信号的要求；将检测数据进行双对数计算处理是便于直观理解；为判断壁厚损失量是否超过规定值，规定了相对壁厚值的显示具有百分比的形式；为满足连续测量和回放要求，规定至少能连续存储 100 个检测点的原始数据；为避免恶劣工况环境对检测精度的影响，规定了现场使用温度和防尘、防振等性能要求。

#### 2、关于检测探头（4.2.3）

对于不同结构的探头，由于其激励磁场的能量和方向以及线圈尺寸和匝数不同，因此其检测适用条件也不同。为避免误用不合适探头导致的测量误差，本部分要求对每个探头的使用范围进行明确规定，以便在实际应用中指导探头选择，体现本部分编制的针对性、指导性和可操作性原则。

由于频繁通电造成线圈过热，或者由于实际工况可能存在高温的容器或管道设备，为避免高温对设备及设备附件造成损害，规定了在探头上设置过热指示的建议要求。

由于检验现场条件的复杂性，可能存在需要使用延长电缆连接探头和仪器主机的情况，如不能避免使用延长电缆，则必须保证整个系统的功能、灵敏度和精度，并有明确的测试结果进行证明。

#### 3、关于电池（4.2.4）

脉冲涡流检测服务场所多为化工厂、炼油厂等易燃易爆介质环境，对电气防爆性能一般均有严格规定，现场用电即使遵循相应的安全要求和管理规定，也可能存在安全隐患，因此本部分规定脉冲涡流检测仪器宜使用电池供电，且电池的连续供电时间应不少于半个工作日（即 4h），以保证检测的连续性。

#### 4、关于检测系统性能（4.2.5）

对于 10%的壁厚变化，是关于灵敏度的最低要求，本部分鼓励采取硬件优化措施提

高探头灵敏度的做法。

脉冲涡流检测是相对壁厚测量法，信号的幅值用于判断激发磁场的能量，弯曲点用于判断信号的有效性，提高用于分析检测部位覆盖层厚度的变化，衰减斜率用于分析工件对磁场的响应，信噪比用于分析干扰程度，离散性用于分析检测信号的可信度。对比分析是要求系统具有最基本的计算功能。

## 5、关于试件（4.2.6）

本部分关于制作管道和平板校准试件的要求仅是一个基本要求，使用者可以在此基础上制作更多组试件。对于管状设备来说，曲率过大检测精度会很低，目前而言曲率半径为 25mm 是脉冲涡流检测仪器可接受也应该接受的指标，同时参照压力管道的最新定义，因此选择管道试件的直径为 50mm 是一个合理规定。对于平板试件的规定，主要考虑了边界效应和常用板材厚度等因素。制作试件的管材和板材要求电磁性质均一稳定，最好能够采用同一材质，加工精度达到一般要求即可。标准中推荐的试件尺寸仅是本部分覆盖范围内的最低要求，对于特殊形状的检测对象，如弯头，必要时需专门设计制作校准试件。此外，应对试件进行日常保养和维护。

对于保护层材质和厚度的影响，本部分附录 B 根据一些试验结果给出了推荐的修正系数。在实际使用过程中如条件允许，最好采用与待检设备保护层材质和厚度一致的金属薄板在校准试件上进行修正系数的实际测量，尤其是当待检设备上采用不同种类或厚度的保护层时。

## 【NB/T 47013.13】【4.3 检测工艺文件】释义

### 1、关于工艺规程涉及的相关因素（4.3.3.1）

脉冲涡流检测技术的优势在于不拆覆盖层，由此带来的风险在于覆盖层和被检工件发生未知变化时，检测灵敏度和精度会发生变化。通过一些试验确定了覆盖层和工件对检测结果的影响规律，但实际检测过程中这些变化往往是多种多样且未知的，这就要求在制订工艺规程中对产品范围（覆盖层和被检工件特性）进行详细的要求，并与委托方商定这些未知因素对检测结果造成影响的可接受程度。

### 2、关于主要相关因素说明（4.3.3.2）

本条对一些主要相关因素如覆盖层、被检工件以及探头进行了说明。

（1）相对于铝和不锈钢而言，铁磁性保护层对磁场影响很大，为了降低该影响，可以对保护层实施局部磁饱和。

（2）本部分被检工件的大小是相对于探头而言，如果被检工件远小于探头，则会使激励磁场溢出不能有效作用于被检工件，也不能使工件感生涡流和形成逆磁场。工件过薄会使涡流衰减很快，形不成信号拐点。工件过厚，则激励磁场的能量达不到很深的位置，涡流透入深度有限，产生不了逆磁场，也不会出现信号拐点。而对于曲率过大的工件，则类似于工件过小的情况。此外，如果工件内部有小的分层或小的体积缺陷，都会影响涡流的透入。

温度会造成材料磁导率的变化，因此温度不同检测结果会不同。

如果工件持续振动，则不能有效接受磁场激励，也使探头无法有效检测到逆磁场。

(3) 为了让激励磁场能穿过较大的提高，并使较厚的工件感生涡流，就需要激励磁场能量较大，因此要求脉冲涡流检测所用探头的尺寸不能太小。然而，大尺寸探头的缺点就是会降低检测精度。

经过试验和实践证明，超过两倍提离距离外部磁场对检测的影响很弱。

## 第5章 检测程序

### 【NB/T 47013.13】【5.1 检测前的准备】释义

#### 1、关于被检工件条件（5.1.3）

由于探头内的线圈都是对称结构，当线圈激发出磁场时，一般只使一侧磁场作用于工件。而当探头背侧较近范围内存在其他金属物体时，则受到背侧磁场激励的金属会对有效磁场产生影响。

#### 2、关于覆盖层条件（5.1.4）

这里主要指覆盖层中的保护层（包括金属网），如果保护层有叠加、结构不连续、厚度不一致、破损、污染严重等情况，则会影响检测效果，甚至无法检测。

### 【NB/T 47013.13】【5.2 探头选择及参数设置】释义

对于探头选择和参数设置的基本原则已在本部分中列出，建议事先通过校准试件或模拟试件对每种探头及其参数设置以及对应的检测范围（主要包括工件和覆盖层厚度）进行测试，并绘制成图表的形式。在实际检测工作时可以根据检测对象的实际情况参照图表进行快速初选，再进行微调，以节省现场调试时间，提高检测效率。

### 【NB/T 47013.13】【5.3 选择参考点】释义

正如上文多次提及的，脉冲涡流检测为相对值测量法，因此参考点的选择尤为重要，不适当或错误的参考点会导致所有检测数据失真，一般应优先在设备本体上选择参考点。

#### 1、关于在设备本体上选定（5.3.1）

最佳信号一般是指数据不离散，曲线拟合非常好、可靠度很高。

弯头与钢管往往不是同批材料，所以需要单独标定。另外，由于弯头外弧面同时存在周向和轴线弯曲，而内弧面空间狭窄，因此一般在其侧面选择参考点。

#### 2、关于选用已知数据（5.3.2）

一般不推荐选用已知数据作为参考点。如需采用，则必须有足够证据表明已存检测数据满足可用条件。同时，还要进行比对测量，做必要的补偿。



### 3、关于调整参考点（5.3.3）

调整参考点往往意味着检测工作的重复，带来额外的操作风险。本部分推荐采用修正方法以增加检测数据的准确度，前提是用于修正的温度和覆盖层等变化情况均有直接准确测量的数据。

### 【NB/T 47013.13】【5.4 检测】释义

在现场检测时，一般需要对检测点做标定，标定点可根据检测的需要进行布置，不一定连续。但在多数情况下，为保证检测的针对性，宜采用风险分析方法，将失效概率大或失效后果严重的部位作为重点检测部位。此外，应尽量设置检测点永久标记，便于再次检测时进行结果的对比分析，用来判断腐蚀趋势和计算腐蚀速率。

## 第6章 检测结果评定与处理

在对腐蚀态势图进行分析时应尽量结合风险分析结果，相互验证以提高风险分析水平。去除覆盖层时，应注意同时进行保护层厚度测量、保温层厚度测量、设备本体表面状况检查以及设备本体温度测量等，目的是为脉冲涡流检测数据的分析和评价提供充分的依据。

## 后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化技术委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力，首次编制了脉冲涡流检测标准。但由于被检材料本身的特性和检测环境对电磁检测影响较大，因此在许多方面还有待于进行深入探讨和扩充。

### 1、奥氏体不锈钢脉冲涡流检测技术

因为具有优良的防腐性能和耐低温性能，奥氏体不锈钢被大量应用于承压设备。而脉冲涡流对奥氏体不锈钢的检测一直是技术难题。与低碳钢或低合金钢相比，奥氏体不锈钢的感应涡流信号非常弱，检测和分析难度很大。但从脉冲涡流检测原理和在铝等非铁磁性材料中的应用情况来看，利用脉冲涡流检测奥氏体不锈钢的壁厚减薄存在技术可行性，但需要进行大量的理论分析和试验研究，并需进行专用仪器研制。

### 2、铁磁性材料脉冲涡流缺陷检测

基于现有技术水平，本部分规定的技术方法仅适用于检测均匀减薄类的腐蚀缺陷，对于承压设备其他类型的腐蚀缺陷，如坑蚀、点蚀以及其他类型的损伤模式（如环境开

裂），现有的脉冲涡流检测技术还无法实现有效的检测。例如对一些小型非均匀腐蚀缺陷而言，为了提高检测灵敏度，理论上可以使用小探头，然而探头面积的减小一般会导致激励磁场穿透能力的下降，这两者间矛盾如何平衡，还需进一步研究。另外，从脉冲涡流检测信号可以反映出，不同缺陷会有不同特征的频域特性，通过深入研究检测信号的频域特性，建立模型关系，用来识别不同缺陷的形态特征，从而判断缺陷的性质。为了实现这个目标，必须突破探头设计、信号识别以及缺陷与信号之间的对应关系等难题，从而研制出复合型探头，使其兼具金属损失和材料开裂检测功能，这也将是下一步的研究方向。

**NB/T 47013.14—2016**

**《承压设备无损检测**

**第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测》**

**标 准 释 义**



# 引言

## 1、X射线计算机辅助成像检测的定义与原理

X射线计算机辅助成像检测（computed radiography testing，以下简称CR检测）是一种利用磷光成像板（以下简称成像板或IP）在X射线下曝光形成潜影，通过专用激光扫描仪获取成像板中存储的潜在图像，并经后续数字化处理形成数字图像的一种数字化射线检测技术。

同传统的射线胶片照相检测技术比较，数字化检测技术具有灵敏度高、检测效率高、动态范围大、绿色环保、易于携带等许多优点。

CR检测的原理是当射线透过被检工件照射到IP后，入射到IP的X射线光子被IP内的荧光体吸收，释放出电子。其中一部分电子散布在荧光体内呈半稳定状态，形成潜影。将受过照射含被检工件信息的IP放入专用激光扫描仪中，用激光照射已形成的潜影时，半稳定状态的电子转变为光量子，即发生光激发发光现象。光量子随即由光电倍增管（PMT）检测并转换为电信号，这些代表模拟信息的电信号再经A/D转换并放大为数字信号，最后通过图像工作站及相应软件转化成可见的数字化图像。基本工作流程如图1所示。

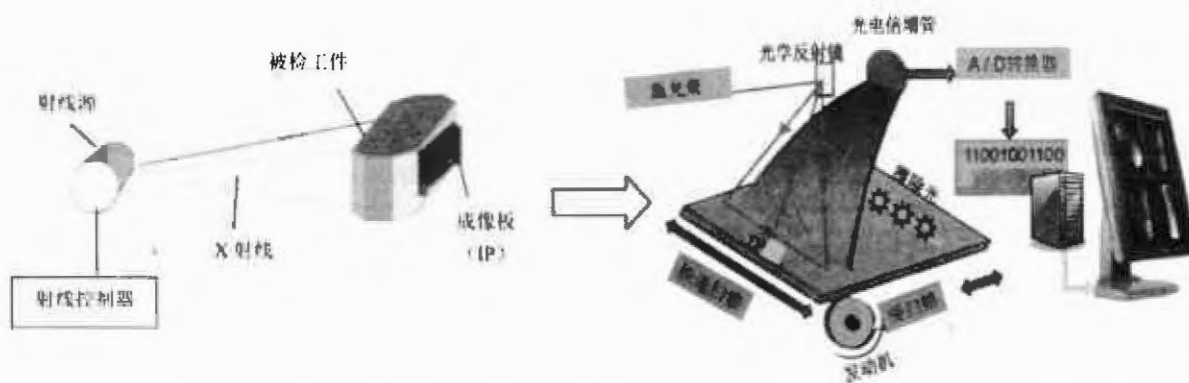


图1 CR检测示意图

由于CR系统的成像原理及透照技术同胶片非常相似，因此CR检测适用于胶片检测的所有产品和部位。

## 2、CR检测技术国内外发展现状

CR技术投入应用是在20世纪80年代，最早用于医疗领域。CR系统的问世，宣告一直困扰射线检测界的环境污染和数字化难题得到了解决，宣布传统的射线检测已经开始进入数字化的时代。最初由于CR技术的局限，CR系统空间分辨率和灵敏度较低，只能用于检测空间分辨率要求不高、工作环境单一、可控的医疗影像领域。随着工业信

息化进程的发展，CR 技术从 20 世纪 90 年代开始逐步进入工业无损检测领域。

最初的工业 CR 系统基本是由医疗 CR 系统发展而来，在医疗环境使用时无需考虑和关注诸如 IP 对于高剂量射线的适应性、IP 采用的机械接触式的进片方式对 IP 产生的损伤等问题。但当 CR 系统应用在工业无损检测领域时，除应考虑上述问题外，还存在以下主要问题：

- (1) 医疗行业使用的硬质固定尺寸 IP 无法适应工业环境下各种工件的透照条件。
- (2) 工业环境清洁度不足会造成 IP 的损伤。
- (3) 产品在役检测所需要的设备移动性等。这些问题使得 CR 系统的可靠性大大降低，而 IP 的使用寿命大大缩短，从医疗使用的上万次甚至十万次的寿命缩短到上千次甚至几百次。

面对上述问题，工业 CR 系统的生产厂商积极改进制造技术及产品设计，近年来取得了显著的技术进步，如从固定的塔式扫描设备发展到可在固定场所使用，又能方便移动的台式设备；从不可取出 IP 的硬质暗盒发展到可方便安装的软质 IP 及暗袋；从接触式扫描发展到玻璃暗盒式的非接触式扫描；最小有效扫描像素尺寸达到了 50μm 甚至更小；A/D 转换的位数达到 16bit，配套开发出多功能的图像扫描与处理算法。上述技术进步使 CR 技术的缺陷检出能力得到显著提高，在很大程度上能够替代胶片照相技术在工业无损检测领域进行推广应用。

3、国内、外相关 CR 标准与本部分的对比

(1) 国外相关标准和本部分的对比

随着 CR 技术的发展，以欧美标准为主的 CR 标准先后建立，国外相关标准名录见表 1。

表 1 国外相关 CR 标准

序号	标准编号	标准名称（中文）
1	ASTM E 2033—2006	射线计算机辅助成像标准规程（光致发光方法）
2	ASTM E 2445—2014	射线计算机辅助成像系统性能和长期稳定性的标准规程
3	ASTM E 2446—2016	射线计算机辅助成像系统制造性能标准规程
4	EN 14784-1—2005	无损检测 基于柔性成像板的工业射线计算机辅助成像系统 第 1 部分：系统分级
5	EN 14784-2—2005	无损检测 基于柔性成像板的工业射线计算机辅助成像系统 第 2 部分：使用 X 射线和 γ 射线检测金属材料的一般规则
6	ISO 17636-2: 2013	焊缝无损检测 射线检测 第 2 部分：X 射线和 γ 射线数字成像技术

随着 CR 技术的发展，欧洲联合机构 CEN/ CENELEC 标准化组织在 2005 年发布了以下两个标准：EN 14784-1 和 EN 14784-2。

ASTM E 2033 在 1999 年首次颁布实施，标准针对使用 X 射线和 γ 射线 CR 系统做了一般性的规定，并在 2006 年和 2013 做了修订。

ASTM E 2445 在 2005 年发布实施的名称是《射线计算机辅助成像系统合格鉴定和



长期稳定性的标准规程》，在2010年做了修订。随着技术的发展，在2014年标准名称修改为《射线计算机辅助成像系统性能和长期稳定性的标准规程》。

ASTM E 2446在2005发布实施的名称是《计算机辅助成像（CR）系统的评价和分类》，通过分析扫描仪和IP对成像质量的影响，基于信噪比和空间分辨率给出CR系统分类。随着CR相关技术的发展，发现旧标准对影响因素考虑不够，标准的分类指标较低，目前的CR系统都能达到最高级别的要求，因此，该标准在2015年和2016年分别进行了修订，新的IP分类和胶片分类相对应。新修订的标准名称改为《射线计算机辅助成像系统制造性能标准规程》。

ASTM E 2445和ASTM E 2446标准针对CR系统性能和使用过程中的稳定性做出要求，给出评价方法。

EN 14784-1规定了计算机辅助射线成像系统性能的测量和储存荧光成像板的基本参数；规定了在工业射线数字成像中，CR系统与特殊金属屏组合的分类；给出了不同等级的系统测试指标。为用户描述了一些简单的测试方法，便于用户快速测试CR系统的性能和长期稳定性。

EN 14784-2规定了基于柔性成像板的工业射线计算机辅助成像系统使用X射线和 $\gamma$ 射线检测金属材料的一般规则，确保在对工业用金属材料检测应用中获得理想的、重复性好的结果，没有规定缺陷的验收准则。明确所使用的 $\gamma$ 射线源、X射线装置和有关器材的基本要求应符合有关的规定并适用于相关产品标准。

ISO 17636-2规定了金属材料焊接接头的X射线和 $\gamma$ 射线的DR和CR检测方法，透照技术、技术分级、图像质量、技术等级等。

目前CR系统已经在北美及中东的石油化工、飞机制造、飞机在役检测、武器检测、航天部件检测等领域得到了广泛应用。例如美国的热电站、核电站压力容器设备的生产、施工安装等；美孚石油、英国BP石油等海外公司的输油、输气管路检测、炼化厂压力容器及阀门检测；美国空军、海军、海军航空兵等用在飞机疲劳、腐蚀以及武器系统的检测中；美国卫星公司的卫星制造检测；精密制造企业的液压设备制造检测等领域。

## （2）国内相关CR标准和本部分的对比

近年来国内一些研究机构和单位，先后引进了国外的CR系统，并进行相关的应用研究及标准验证，有少数外资在华压力容器企业已经用CR技术替代胶片进行产品质量的检测应用。

我国从2008年开始采用美国ASTM E 2445-2005、E 2446-2005和欧洲标准EN 14784-2:2005，形成了表2所示的标准。

表2 国内相关标准

序号	标准编号	标准名称
1	GB/T 21356—2008	无损检测 计算机射线照相系统的长期稳定性与鉴定方法
2	GB/T 21355—2008	无损检测 计算机射线照相系统的分类
3	GB/T 26642—2011	无损检测 金属材料计算机射线照相检测方法



本部分中的关键技术指标（如图像分辨率、归一化信噪比、最小灰度值等）与 ISO 17636-2: 2013 标准一致。因此，本部分即体现了我国特色，又与国际标准接轨。

#### 4、制定概况

##### （1）制定过程

本部分是首次制定，全国锅炉压力容器标准化技术委员会组建的工作组涵盖特种设备研究、生产制造厂、检测设备公司、无损检测机构、科研院校等方面专家和代表。标准工作组经过大量试验和调研与应用，并通过多次会议，认真研究和安排该标准的起草工作，形成 NB/T 47013.14。

##### （2）制定的必要性

随着现代化工业的发展，对产品质量和结构的安全性、使用的可靠性等要求越来越高。因射线检测技术具有不破坏被检工件、检测灵敏度高、直观、可靠性好等优点，所以被广泛应用于各种行业的无损检测中。

CR 技术作为一种新型的射线检测技术，经过多年的发展和技术研究已形成具有较高灵敏度和成像质量的检测优势。同时，利用 IP 代替胶片不仅可以降低对环境的污染、提高检测效率，而且检测记录方便保存、重复性高，克服了常规胶片检测的诸多缺点，目前已成为一种被普遍接受的、新的射线检测方法。欧洲和美国等发达国家均有应用案例，并已经制定了设备仪器评价和检测的相关技术标准。

近年来工业制造水平高速发展，对安全环保和检测质量、检测效率的重视，使 CR 技术在我国承压设备行业有了越来越广泛的应用需求。国内许多研究机构与企业相配合开展了其在工业领域的应用研究，进行了大量的理论分析和试验及现场应用工作，积累了比较丰富的经验，并实际应用于产品的射线检测中，建立了相关的企业标准。

本部分的编制，对于满足承压设备制造和使用的需要，促进无损检测的数字化进程，提升我国整体无损检测技术水平，保障承压设备质量安全，促进国际技术交流和贸易发展以及提高我国承压设备产品在国际市场上的竞争力等方面具有重要意义。

##### （3）制定原则

- a) 本部分是在近年来国内对 CR 技术研究的基础上，参考国际上研究成果和标准，结合国内企业实际使用的实践经验、技术验证和试验结果，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，并以此为技术依据而制定的。制定标准时既考虑行业应用的指导性、实用性、可操作性、生产效率和检测成本问题，也力求使技术要求符合国内外行业发展需要；
- b) 标准格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 I 部分：标准的结构和编写》的规定；
- c) 与国家法规、法律和有关标准相一致，与现行的标准系列协调一致，标准的表达方式统一；
- d) 统一了标准化对象的名词、术语、规格代号及技术要求等；
- e) 本部分检测工艺与 NB/T 47013.2 和 ISO 17636-2 基本保持一致。

## 第1章 范 围

### 【NB/T 47013.14】【1 范围】释义

本章的提出主要结合国内企业实际使用的实践经验、技术验证和试验结果，广泛征求国内同行及使用单位的意见，规定适用450kV以下X射线的检测。

不在本范围的检测应用（如超出450kV范围的X射线、 $\gamma$ 射线或高能X射线应用于CR检测），应按照NB/T 47013.1的相关规定执行。

## 第2章 规范性引用文件

### 【NB/T 47013.14】【2 规范性引用文件】释义

像质计作为CR系统质量和图像质量评价用标准试件，本章引用了行业标准JB/T 7902—2006《无损检测 射线照相用线型像质计》和国家标准GB/T 23901.5《无损检测 射线照相底片像质 第5部分：双线型像质计图像不清晰度的测定》对像质计的规定和要求。

射线检测安全最大的问题是辐射防护，本章引用目前全国通用的、针对人员辐射安全的国家标准GB 18871《电离辐射防护及辐射源安全基本标准》，以及采用500kV以下工业探伤装置的探伤室和检测现场的辐射防护的国家专用标准GBZ 117《工业X射线探伤放射卫生防护标准》。要求检测人员和单位严格按照执行。

CR系统性能影响着最终的成像质量，本章引用了相关性能测试国家标准GB/T 21356《无损检测 计算机射线照相系统的长期稳定性与鉴定方法》。

本部分与NB/T 47013.2都属于射线检测方法标准，并且采用相同的射线透照原理；IP同样是射线累积曝光，且可以紧贴被检工件，原则上透照条件基本一致；缺陷评定标准一致。因此，在此引用NB/T 47013.2，在透照技术方面，用户可以直接参考NB/T 47013.2中的相关描述，本部分不再累述。

NB/T 47013.1作为标准的“通用要求”给出了本部分应用的原则性要求前提和基准，是本部分需要遵守和执行的。

## 第3章 术语和定义

### 【NB/T 47013.14】【3 术语和定义】释义

本章规定了与 CR 技术和系统以及图像质量评价等相关的术语和定义，以便检测人员正确理解和应用。主要参考了 ISO 17636-2、EN 14784-2 标准中相关术语和定义的描述，同时为了较好地理解标准正文，增加了“扫描分辨率”和“数字图像处理”两个术语。

#### 1、关于 CR 系统（3.2）

本条主要是定义了 CR 系统，它包括 IP、激光扫描仪、计算机及其应用软件，不包括射线源。

CR 检测系统则是包括射线源和 CR 系统，即 CR 检测系统是利用 CR 系统实现被检工件射线检测的、完整的检测装备。

#### 2、关于信噪比（3.14）

信噪比是评价 CR 系统的主要指标，也是评价图像质量的主要指标，本条所有信噪比都是指均匀区域（无缺陷处），指定范围内灰度平均值与标准差的比值。考虑到不同系统由于成像板和后续扫描系统的不同，信噪比不同，为了系统地分析被检工件的图像质量，保证缺陷的有效检出，需要统一对检测系统的评判标准，提出了归一化信噪比（ $SNR_N$ ）而不是简单的信噪比，即规定了某一检测系统，针对不同的检测工件、在不同的透照电压下应达到的最小归一化信噪比要求，附录 C 给出了归一化信噪比的测定方法和要求。

#### 3、扫描分辨率（3.17）

扫描分辨率是控制 CR 系统图像质量和 IP 扫描速度的关键因素，扫描分辨率高，相应的扫描速度就慢，获得图像的分辨率就高，因此是 CR 检测效率和高分辨率图像需要平衡的因素。

#### 4、关于数字图像处理（3.18）

由 CR 系统检测到的信息，通过数字化转换成数字图像在显示器中显示。由于人眼对灰度的识别范围只有 64 级，而目前 CR 系统灰度范围可达 65 535 级，同时也为了提高人眼对图像的可视化效果，提高检测人员对图像质量的正确评价，以及对缺陷正确有效的识别，采用数字图像处理算法来实现选择窗宽窗位、降低噪声、提高亮度和对比度等。



## 第4章 一般要求

### 【NB/T 47013.14】【4.1 检测人员】释义

本条对 X 射线数字成像检测人员提出了具体要求，应符合 NB/T 47013.1 的规定，以及 TSG Z8001—2013《特种设备无损检测人员考核规则》的规定，取得“射线数字成像检测”（DR+CR）证书。根据射线数字成像检测的特点，主要是利用检测系统应用软件，控制检测系统硬件和图像的采集和处理，因此规定检测人员应了解与 X 射线数字成像技术相关的计算机知识、数字图像处理技术，掌握相应的计算机基本操作。

### 【NB/T 47013.14】【4.2 检测设备和器材】释义

#### 1、关于射线源（4.2.1）

CR 系统从理论上可以广泛使用包括射线机、Ir192、Co60、粒子加速器等各类现有胶片系统使用的射线源，但前期主要开展的是针对 X 射线的研究，且目前常规射线机最大能量为 450kV。因此本条规定所使用的 X 射线不高于 450kV 范围是综合考虑所有厂家设备及现阶段研究成果确定的，以保证标准的顺利实施。

#### 2、关于 CR 系统（4.2.2）

不同的 CR 系统在对比灵敏度、空间分辨率上会有不同，实际采用 CR 系统时，对于不同的被检工件所要求达到的检测技术不同，图像质量要求也不同。CR 系统的性能是影响图像质量的主要因素之一。

##### （1）图像畸变

由于 CR 系统在图像采集过程中存在机械传动单元、光电激发单元、光电采集放大单元等几个环节，每个环节的器件都有可能存在不稳定因素，采集生成的图像可能会有一定的畸变（例如扫描出的检测工件尺寸有一定的变形），因此 CR 设备出厂时均应进行校准后方可投入使用，经校准后的设备其图像畸变范围应控制在 $\pm 2\%$ 以内。校准可以通过一些标准试块（例如长期稳定性测试试块或 T 型钢尺等）进行透照成像。

##### （2）抖动或滑动

由于 CR 系统采用的是将磷光强度转化为电流的方式形成电子信号，而系统中的光电采集器件、电子采集电路等单元都会产生干扰信号，形成系统噪声。合格的 CR 系统，其系统噪声不会对图像质量产生影响。但是在 IP 扫描过程中，其传送有如下多种方式：

- a) 玻璃暗盒使用步进电机和齿条系统传动；
- b) 步进电机通过皮带或齿轮带动辊轴挤压 IP 推送传动；
- c) 多个辊轮挤压 IP 传动；

d) 电磁链条吸附磁性 IP 传动等。

上述各种传动机构中都有可能存在由于机械传动产生的抖动或滑动，例如：

a) 齿轮缺齿，这种情况下任何方式的传动都会产生抖动；

b) 辊轴挤压 IP 时失效，例如压力不足时，会产生滑动；

c) 多个辊轮转速不同造成的滑动。

此时系统采集的数据将会有缺失而造成图像信息丢失，如果这种抖动或滑动造成的数据损失低于系统噪声，图像质量不受影响；若高于系统噪声则会对图像质量产生较大的影响甚至使图像不合格，此时就需要对扫描系统进行校准或维修以消除抖动或滑动。

### (3) 图像均匀度

CR 图像是通过激光点先扫描形成激光线照射 IP 后被光电器件采集而形成的，因此，要保证激光点从 IP 的中心到边缘的强度一致，以及光电采集器件采集到的光线强度变化差异不大。图像中心区域灰度值和边缘区域灰度值的变化不超过 $\pm 10\%$ 才能最终反映在图像上。图像均匀度的测试可以通过对 IP 进行曝光（调节焦距，以便保证射线从中心点到边缘的射线强度差控制在 $\pm 10\%$ 以内），然后经扫描后测量图像中心与边缘的灰度差进行对比。

### (4) 序列图像的变化

作为合格的 CR 系统，在透照条件和扫描等后处理条件相同的情况下（射线源、曝光条件、工件、摆放方式、使用的 IP 等环节保证相同，采用相同的扫描仪及相同的扫描条件），扫描出的图像质量应保持不变，即图像灰度、归一化信噪比等理论上应保持一致。实际检测中，每幅图像相同位置的灰度值变化及归一化信噪比差异应不超过 5%，否则说明系统的激光系统或光电采集器件或外接电源方面可能出现了故障，处于不稳定工作状态。

### (5) 稳定性测试

CR 设备出厂时各厂家都会对其机械传送的稳定性、电子器件稳定性等进行出厂测试，保证出厂时设备性能稳定可靠。但长时间使用或设备频繁运输与搬运过程的震动，可能导致传送机械设备损伤、电子器件损伤或老化，可能会造成 CR 检测时产生图像变形、系统噪声变大或图像质量不稳定等各种问题，因此对于已使用一定时间以上的 CR 系统（一般使用超过 1 年）时，最好进行运行核查与稳定性测试，测试方法可以参照 GB/T 21356 进行，标准对于测试方法有详细说明。测试可以由设备使用者按照标准进行测试，也可以由第三方机构进行测试并出具相应的测试证明文件。

## 3、关于成像板 IP (3.1、4.2.2.1)

IP 是为了代替胶片而研发的。IP 在 CR 系统中，相当于胶片在胶片系统中的作用，是检测到的信息载体。

IP 根据其涂层中磷光粉晶体体积和涂覆厚度不同而有不同的分类，例如晶体体积小的 IP 其分辨率就比较高，可达到  $25\mu\text{m}$  甚至更小，其本身所产生的噪声也小，但是所需的曝光量较大，感光时间较长。涂覆的厚度不同其潜影保持时间（即透照完成到扫描出合格图像的 IP 存放时间）也不同，涂覆层厚的 IP 可保存时间较长，一般可达 48h 或者

更长；涂覆层薄的IP保存图像时间较短，一般不足1h。晶体体积较大的，空间分辨率也较低，一般最多只能达到 $50\mu\text{m}$ ，但是所需曝光量小，感光时间短，对于较厚的被检工件（例如要求最低空间分辨率高于 $50\mu\text{m}$ 的），可以配合信噪比较高的设备采用感光快的IP，一方面可以提高检测效率，另一方面可以降低IP成本。

#### 4、关于激光扫描仪（4.2.2.2）

（1）CR系统采用可重复使用的IP采集图像，在扫描完成后IP上原有图像必须擦除干净，否则其潜影将会影响下次透照，因此，激光扫描仪必须具备足够的擦除能力，具体要求如下：

- a) 对于从未使用过的新IP，其擦除后的残余灰度应不高于最高灰度的1%；
- b) 对于多次使用的IP，擦除后残留的潜影灰度值不超过系统最高灰度的5%。

当新的IP擦除能力达不到上述要求时，经过多次使用的IP擦除后残留的潜影灰度值会超过系统最高灰度的5%，极有可能会影响第二次透照。

设备擦除能力的测试可以通过对新的IP曝光然后进行扫描擦除，再进行一次扫描，此时会读出残存潜影，对残存潜影的图像灰度直方图进行统计，判断其残存潜影是否高于系统最大灰度的1%。

（2）激光扫描仪中的光电倍增管电压（或增益）所起的作用是将采集到的图像信息进行信号放大，由于工业检测中检测对象的多样性以及透照条件的不确定性，在IP上存储的能量差异很大，因此对于不同曝光量形成的图像，在采集时需要通过调节光电倍增管的电压（增益）放大信号得到合格的图像。由于不同检测对象对分辨率的要求不同，CR系统中激光扫描仪的分辨率应该可以调节以适应各种检测的需要。

（3）为保证IP中的潜影可以完全按照其存储能量的比例被提取，激光能量应在整个图像宽度范围内保持一致，否则会造成图像信息失真，同时要保证激光束无颤动或抖动。对于激光束的测试可以按照长期稳定性测试的标准开展。

#### 5、关于系统专用软件（4.2.2.4）

（1）测量功能是应用软件中最主要的功能之一，例如可用来实现灰度、信噪比、双线型像质计、缺陷的几何尺寸等测量。实际透照时，可先通过测量灰度值判断是否满足相应要求，从而改进透照条件和参数，获得满足灰度要求的图像，然后判断信噪比、灵敏度和分辨率是否满足要求。

（2）数字图像可以通过一些常用图像处理算法来提高和优化人眼对图像的可视化效果，帮助使用者更方便快捷地发现缺陷，提高判读速度。因此，需要软件具有灰度变换、对比度调节等功能。所有这些功能在操作后可以取消，并可恢复到初始状态，同时能单独保存处理后的图像。

（3）为客观测量和显示缺陷大小，软件应具有将测量和处理等信息直接标注在图像上的功能。



## 6、关于像质计（4.2.3）

CR 系统采用的像质计包括线型像质计和双线型像质计，二者的摆放原则与 NB/T 47013.11 大致相同，不同点在于当扫描步进间距与激光点尺寸不一致时，双线型像质计要在图像的行和列双向放置，且分别与行或列成  $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$  角，选取二者中分辨率低的作为 CR 系统所达到的分辨率。

双线型像质计是用来测量数字图像空间分辨率的专用像质计，由于胶片照相是由银离子沉积而成，其尺寸远小于人眼可识别范围，且不清晰度可以控制在所要求的范围内。CR 系统的扫描尺寸大于胶片颗粒，需要对其不清晰度进行测试与控制。类似于利用线型像质计测量灵敏度，数字成像则通过双线型像质计测量图像的不清晰度，可清晰识别的双线型像质计线对等同于 CR 系统所能识别的空间分辨率。

## 7、关于 CR 系统的校准和运行核查（4.2.5）

本条的校准是指对 CR 系统性能和使用性能进行测试。CR 系统出厂时厂家已经进行了校准，但是经过运输等环节，如技术指标可能会有偏差需要进行校准，以保证设备的合格。校准主要测试系统性能指标和稳定性两个方面，稳定性可以通过使用相同工艺对同一试块进行多次透照和扫描进行图像的灰度和信噪比对比。

此外，对于使用了相当一段时间的设备或在一定时间内未使用的设备重新启用时也需要对系统性能进行测试，测试不合格需要进行校准或维修，以便其能达到标准要求。一般来说，当设备的关键器件进行了维修更换（包括传动系统、光电系统、电路系统等）后，需要进行运行核查，或者设备停用 3 个月以上时，其机械系统或电子系统有可能产生失效或不稳定情况，此时重新启用系统后需要进行运行核查。此外，对于在役产品可以根据厂家使用说明书规定的周期进行核查。

### 【NB/T 47013.14】【4.3 检测技术等级】释义

本条与 NB/T 47013.2 一致，把检测等级分为三级：A 级、AB 级和 B 级，给出了检测技术等级的选择原则及检测技术等级放宽的条件。

### 【NB/T 47013.14】【4.4 检测工艺文件】释义

检测工艺文件包括检测工艺规程和操作指导书，检测工艺文件是实施 CR 检测的基础。由于 CR 检测系统与胶片照相在图像后处理以及图像质量评定等方面存在不同，因此，除了技术参数按照 CR 技术的特点进行了修订外，工艺文件的主要内容、格式和验证要求与 NB/T 47013.2 保持一致，保证了与 NB/T 47013 系列标准在格式上的一致性。

## 第5章 检测工艺及其选择

CR技术是为代替胶片照相技术而产生的，且IP的结构和成像机理与胶片类似，不同之处在于潜影的后续处理部分，因此除IP扫描和擦除外，CR的检测工艺与胶片照相一致。

### 【NB/T 47013.14】【5.1 检测时机】释义

CR检测时机与特种设备相关法规的要求以及NB/T 47013.2保持一致。

### 【NB/T 47013.14】【5.2 检测区】释义

CR检测对焊缝检测区宽度的要求与NB/T 47013.2保持一致。

### 【NB/T 47013.14】【5.3 表面要求】释义

CR检测对焊缝表面的要求与NB/T 47013.2保持一致，并应经过目视检测合格。

### 【NB/T 47013.14】【5.4 射线能量】释义

规定了射线能量的选择原则及最高限值，主要参考了NB/T 47013.2和ISO 17636-2标准，并进行了充分的技术试验和验证。对于B级技术要求，管电压要适当降低，一般选择低于胶片照相用管电压的20%。

### 【NB/T 47013.14】【5.5 IP和金属屏】释义

本条要求按照工件材质、透照厚度和管电压选择合适的IP和增感屏，并给出了常用金属材料CR检测时前金属屏的材料和厚度选择要求。主要参考了ISO 17636-2标准，并进行了IP与铅屏、钢屏和铜屏匹配的数字图像质量试验。

在CR系统中，由于IP是使用荧光材料吸收X射线成像，对于光电子不敏感，但是对散射线敏感，因此在CR系统中的金属屏（如Pb/Cu/Fe屏）是用来防散射而不是增感，故本条对射线照相中金属屏的作用进行了重新定义，在CR系统中金属屏只作为防散射使用，不再起到增感作用，区别于NB/T 47013.2的金属屏。

目前的IP主要分为Fast板、标准板（白板）和高清晰板（蓝板），具体选择需要根据检测对象和质量要求进行。三者之间的主要区别如下：

- （1）Fast板：用于医疗行业。
- （2）白板：清晰度低、感光层厚，对比灵敏度高，一般用于A级和AB级的检测。
- （3）蓝板：清晰度高、感光层薄，一般用于焊缝的AB级和B级检测。

**【NB/T 47013.14】【5.9 曝光量】释义**

本条规定了选择曝光量的原则性要求,同时允许通过最小灰度值测试方法(附录A)确定合适的曝光量。任何情况下,图像的归一化信噪比都应达到标准规定的要求。

对于CR技术而言,提高信噪比的唯一方法是提高曝光量。

**【NB/T 47013.14】【5.11 线型像质计的使用】释义**

由于IP对于散射线比较敏感,如果像质计放置时未能贴紧工件表面,像质计丝与工件存有空隙造成散射线进入IP,最后在图像中会由于散射线干扰而降低图像灵敏度。

**【NB/T 47013.14】【5.14 扫描仪参数选择】释义**

本条规定了增益和扫描分辨率选择的原则性要求以及数字图像灰度的适当范围。

数字图像通过灰度值体现亮度,若想发现缺陷,必须有足够的灰度值变化范围。目前CR厂家所提供的设备大部分可以支持16bit,即灰度范围达65 536。研究表明只有观察区域数据在最大灰度值的10%~80%区间时才可以得到有用的图像数据。如果观察区灰度低于最大灰度值的10%,说明曝光量不足或扫描时增益设置过低。如果观察区灰度超过了最大灰度值的80%,说明曝光过量或增益值过大造成信号放大超过了正常值,甚至某些像素灰度值达到饱和,这样将无法区分背景和细节。

扫描仪的扫描分辨率决定了IP扫描步进的速度,CR采集数据的过程首先是通过激光激发荧光材料发光,在荧光材料发光期间采集荧光强度并记录,但是荧光材料从发光开始就逐步衰减,当衰减到一定程度后光电采集器件将无法采集到合格亮度的荧光。不同的IP荧光衰减时间不同,高分辨率IP所需的曝光量高于低分辨IP,衰减时间比低分辨率长,因此要根据相应的扫描分辨率选择合适的IP。

**【NB/T 47013.14】【5.16 CR图像质量要求】释义**

本条对数字图像的质量指标做出了具体规定,包括灵敏度、分辨率、归一化信噪比和伪缺陷影像的要求,允许提高信噪比和提高灵敏度来补偿数字图像分辨率的不足,主要参考了ISO 17636-2标准,补偿只允许1个等级。

本条的质量要求与NB/T 47013.11相同,具体术语的含义也可参见NB/T 47013.11的释义。

需要特别注意的是:图像质量评价指标的测量需要在100%显示的原始图像中进行。

**【NB/T 47013.14】【5.17 数字图像处理】释义**

受到显示器分辨率和可显示灰阶等条件的限制,显示器可能无法一次将图像中包含的所有图像信息显示出来,例如由于图像具有65 536个灰阶,而显示器最高只能显示1 024个灰阶,因此要通过窗宽窗位、灰度变换、亮度和对比度调整等基本图像处理手段分层次地将更多的信息展现出来,再如受到显示器分辨率和像素大小的限制,数字图像的像素大小、分辨率和显示器不一致,可以通过图像缩放和移动等工具看到更全面和



更完整的图像。但是在做数字处理的时候，尤其在滤波算法的时候，如果处理过度会造成图像失真或信息丢失，所以要采取适当的处理，以达到最佳目视观察效果。

可以对局部或整幅图像进行图像处理，但若在图像质量评定时采用数字图像处理技术，就要求必须对整幅图像的有效评定区域进行同样的处理并评定，这样才能保证整个区域图像的一致性和检出能力，否则可能造成图像质量合格但缺陷漏检的情况。

### 【NB/T 47013.14】【5.18 数字图像存储】释义

在完成对含有检测信息的IP扫描后，要同时保存原始数字图像和经过处理的图像。原始数据用于产品质量溯源或在解决纠纷和疑问时提供基础数据。对原始图像做进一步图像处理（如滤波处理）可以提高人眼对可疑区域的可视化，以便更好地判定缺陷的性质。当原始图像经过图像处理，需要对所做的处理进行记录和标记，以方便最终用户或监察机构利用该原始图像，通过记录的处理手段再现处理过的图像，以便核实图像的真实性和对可疑缺陷的综合判定。

### 【NB/T 47013.14】【5.19 图像尺寸测量】释义

数字图像尺寸测量实际是基于软件中的测量算法，计算出实际检测图像中特征的尺寸。理想的尺寸测量是通过统计待测特征的像素个数再乘以每个像素尺寸大小计算而来。但由于几何投影和不清晰度的存在，为得到实际尺寸，必须在测量前进行尺寸标定。标定方法是使用已知尺寸的实物透照成像，在图像中得到理想的尺寸和实际尺寸的比值，即尺寸修正系数，对未知尺寸实现准确的测量。由于不同检测系统厂家的软件结构设计不同，尺寸的标定和测量方式不同，用户可根据厂家的CR检测系统软件使用说明书进行。

## 第6章 检测结果评定和质量分级

### 【NB/T 47013.14】【6 检测结果评定和质量分级】释义

本章的检测结果评定和质量分级按照NB/T 47013.2的相关条款执行。

## 第7章 检测记录和报告

### 【NB/T 47013.11】【7 检测记录和报告】释义

检测记录和报告按照NB/T 47013.1的要求，并保证与NB/T 47013系列标准在格式上的一致性，基本内容和格式与NB/T 47013.2保持一致，但相关技术参数按照CR技术

的特点进行制定，如，由于 CR 检测存在 IP 中的潜影由激光扫描仪扫描读出的环节，图像质量评价指标等与胶片照相不同，因此，扫描仪的规格型号、扫描设置的参数、像质计要求、图像质量指标要求等都应在记录和报告中体现。

附录 A 最小灰度值测试方法

【NB/T 47013.14】【附录 A 最小灰度值测试方法】释义

1、关于最小灰度值测试原则（A.1）

使用 CR 技术检测厚度不均匀的工件时，采用最小灰度值代替最小  $SNR_N$  的原因是：因为测量  $SNR_N$  需要数字图像中一块灰度值均匀的区域，而不均匀试件的图像可能找不出灰度均匀的区域。此外，采用最小灰度值可简化实际透照参数的选择。线性灰度是正确测量  $SNR_N$  和等价灰度的前提，这意味着扫描成像板上给定区域的灰度应直接与曝光量成正比（无偏移）。这种线性灰度由制造商软件提供支持。

当 CR 设备扫描参数固定时，读取的图像灰度与 IP 接受的照射剂量呈线性关系，此时在一定灰度范围内其归一化信噪比同灰度变化呈线性关系。曝光量相同的情况下，如果光电倍增管（PMT）或者激光的功率发生变化，图像的灰度会发生变化。PMT 或者激光的功率高，同样曝光量的区域灰度值会提高，因此在使用最小灰度替代信噪比时，应保证扫描参数和曝光条件都不变。当有散射线干扰时，图像灰度值也会提高，但图像质量是降低的。实验研究表明，当射线穿透不同厚度的阶梯试块时，随着阶梯试块厚度的减小，IP 接受的射线剂量是线性增加的，有效信号也在提高，此时图像灰度与信噪比在同步提高，当达到某一灰度时，信噪比就可以满足检测标准要求。随着曝光量继续增加，达到过度曝光时，虽然信噪比很高，但是由于图像饱和从而导致检测信息丢失。因此，该方法主要用来确定最小灰度，也就是说用来确定当 CR 扫描参数为某组设定值时，该曝光量下的图像最小灰度可以保证图像质量达到检测标准的要求，可以帮助用户制定一个较为合理的曝光量，从而缩短所需的曝光时间，提高工作效率。

2、关于最小灰度值测试方法（A.2）

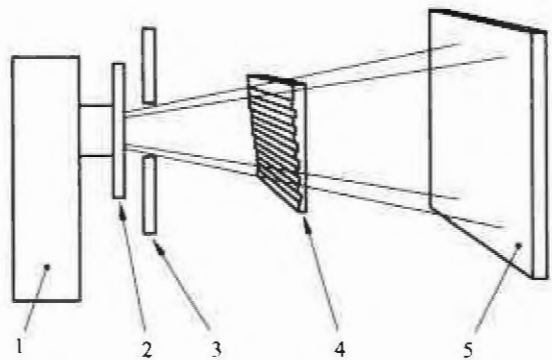
下面以铜阶梯试块为例，说明与本部分表 10、表 11 给出的最小  $SNR_N$  等价的最小灰度值测定步骤。在实际检测时，应根据具体检测对象，选择相应的阶梯试块和透照参数。具体测定步骤如下：

（1）按照图 2 透照阶梯试块。推荐使用阶梯面积较大的阶梯试块以避免阴影影响。阶梯试块应完全覆盖整个 IP。

（2）测量每一阶梯的平均灰度和  $SNR_N$ ，如图 3 所示。

（3）绘制以平均灰度为变量的  $SNR_N$  函数曲线，如图 4 所示。

(4) 确定本部分表 10、表 11 规定的最小  $SNR_N$  对应的等价最小灰度，表 3 所示为某一测试实例的结果。



注：1——X 射线管；2——铜滤波板；3——准直器；4——铜阶梯试块；5——带暗盒的 IP。

图 2 测定与最小  $SNR_N$  等价的最小灰度值的透照布置

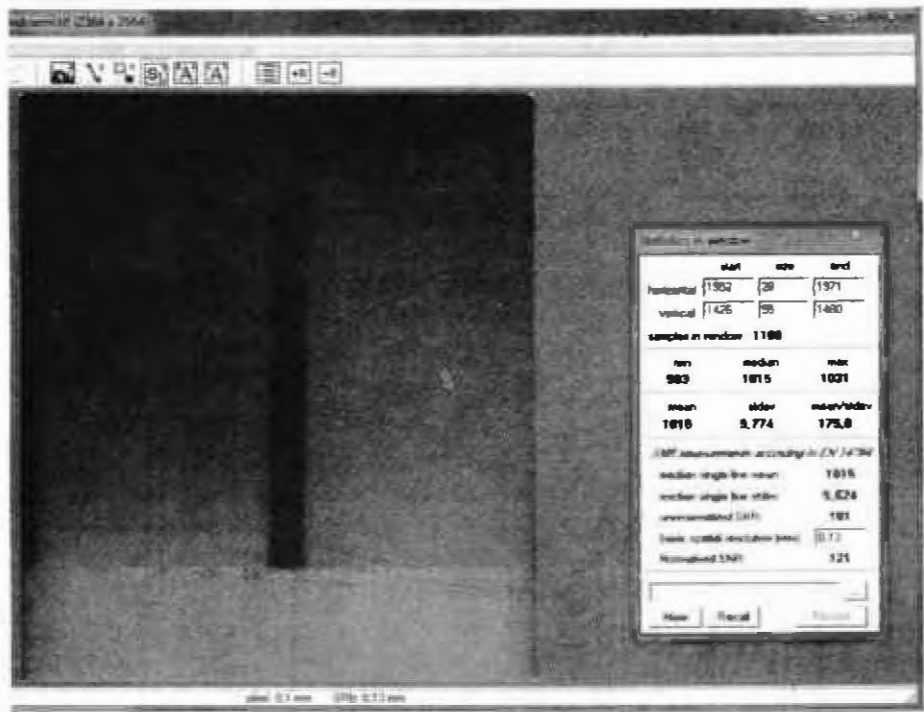


图 3 阶梯试块图像中平均灰度值和  $SNR_N$  测量结果

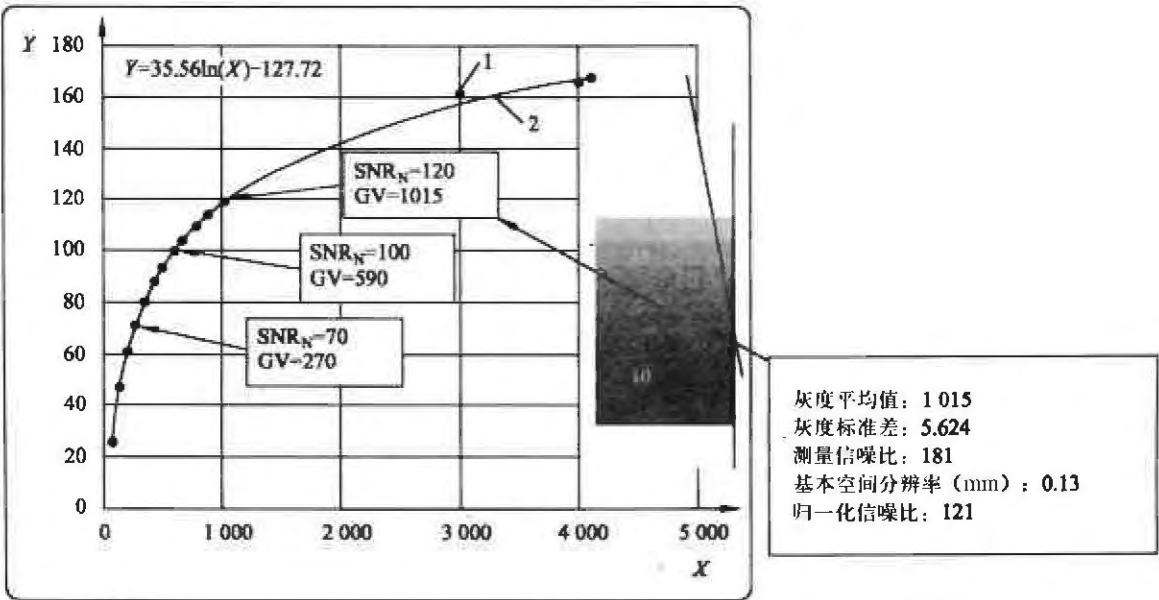
表 3 最小灰度值的规定示例（与图 4 对应）

要求的 $SNR_N$	等价的最小灰度值 (增益设置为 1)	等价的最小灰度值 (增益设置为 2)
150	1 250	2 500
120	1 015	2 030
100	590	1 180
70	270	540



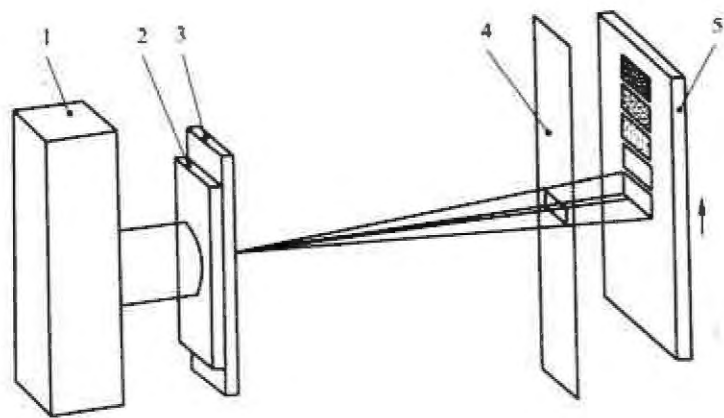
图 4 中的标注数值为归一化信噪比及其等价的最小灰度  $GV_{min}$ 。

除上述方法外，也可采用对 IP 以不同曝光量逐次曝光的方法（透照布置见图 5），曝光应当在上述相同的条件下进行。可在 IP 暗盒或 IP 保护层前放置金属屏。最小灰度值  $GV_{min}$  应达到图 4 中  $SNR_N$  和  $SNR_m$ （最小值参见本部分附录 C 中表 C.1）所对应值。



注：1——阶梯试块测量值；2——拟合曲线（阶梯试块测量值）；X——灰度值 GV；Y——归一化信噪比  $SNR_N$ 。

图 4  $SNR_N$  与按照标准正文图 D. 2 测得的平均灰度值的对应图



注：1——X 射线管；2——铜滤波板；3——准直仪；4——栅隔板；5——带暗盒的 IP。

图 5 对 IP 以不同曝光量逐次曝光的示意图

实际检测中如果有效评定区内的最小灰度值  $GV_{min}$  能够达到要求，则不需要测量  $SNR_m$  或  $SNR_N$  值。

为了更精确地测量最小灰度值，建议绘制图 4 显示的曲线。如果使用最小灰度值确定图像质量，需要记录所设置的 CR 扫描仪参数和相应 IP 的规格。

注：对于不同的 CR 扫描仪、扫描参数和 IP 类型，都需要确定相应的灰度值。

在灰度值很高时，有些扫描仪采用低增益可能得到较低的  $SNR_N$  值。如果出现这种

情况，则还应确定不能超过的最大灰度值。

## 附录 B 空间分辨率的测定

### 【NB/T 47013.14】【附录 B 空间分辨率的测定】释义

在测试系统空间分辨率时，由于测试环节无被检工件，只是 CR 检测系统本身，按照本部分 B.1 的放置原则和 B.2 的透照参数、图像质量要求等选择。为了减少射线机焦点引起的几何不清晰度的影响，焦距要求不小于 1 000mm。特别注意的是，在选择 B.2.1 中的曝光参数时，应根据实际检测的对象和规格，分别选择对应的透照参数。由于要给出定量的分辨率值，应提供双线型像质计的质量证明文件。

就胶片照相而言，底片中像质计主要靠人眼来识别，无法定量，存在一定的主观性。数字成像由于采用了计算机和图像处理技术，可利用软件实现对像质计的定量识别和测量。B.4 给出了双线型像质计识别率的计算方法，结果更客观。利用曲线计算分辨率时，可使用 20%下沉法。此时应选择不少于 21 行像素区域叠加平均（或者取双线型像质计丝长的 30%~60%），以减少噪声的影响。数字图像中第一组达到下沉值与两波峰值（见本部分图 B.1）之比小于 20%的线对，即为双线型像质计的测试结果。

## 附录 C 归一化信噪比的测定

### 【NB/T 47013.14】【附录 C 归一化信噪比的测定】释义

信噪比高的系统，缺陷的检出率会提高，信噪比低的系统，即使透照参数达到最优，其缺陷的检出率也无法与信噪比高的系统相比。因此信噪比是保证图像质量和控制检测系统性能的关键指标。本附录给出了归一化信噪比的计算方法和不同 CR 系统应达到的最低归一化信噪比要求。

为与胶片系统性能最低要求统一，以胶片系统采用的 100 $\mu\text{m}$  圆形微光密度计测量光圈为基准，与数字图像的正方形像素面积等效，由以下面积等效公式得到：此时数字图像的像素尺寸为 88.6 $\mu\text{m}$ 。

$$\sqrt{\frac{\pi}{4} \times (100)^2} = 88.6 \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

则某一 CR 系统的归一化信噪比：

$$\text{SNR}_N = \text{SNR}_m \times \frac{88.6}{\text{SR}_b} \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

信噪比测量区域应不小于 20 像素×55 像素的区域，其中宽度一般取 20 像素，长度取大于 55 像素（长度方向指焊缝方向）。

后 记

本部分在全国锅炉压力容器标准化委员会指导下，经过 NB/T 47013 标准工作组及本部分起草人员的努力，对本部分内容进行了编写。由于各 CR 系统本身的特性以及对射线源适应性的不同，且数字射线检测本身涉及面又较广，因此在许多方面还有待于进行深入探讨和扩充。

1、关于射线源的使用

超过 450kV 的高能射线，包括 γ 射线及高能粒子加速器等未列入本部分，但国际上已有相关标准，如 ISO 17636-2，ASME 锅炉压力容器规范第 V 卷。因此，需要相关检测和研究人员不断进行理论分析和试验研究论证，为后续标准的扩充和修订提供基础数据与依据。

2、CR 技术的发展

CR 技术是为代替胶片照相技术而产生的，高性能 IP 和方便、高质量、快捷的激光扫描仪的推出，将为 CR 技术在工业检测中的推广应用奠定基础。