

# 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.14—2023

代替NB/T 47013.14—2016

## 承压设备无损检测

### 第14部分：射线计算机辅助成像检测

Nondestructive testing of pressure equipments-

Part 14:Computed radiographic testing

2023-10-11 发布

2024-04-11 实施

国 家 能 源 局 发 布

目 次

前言 ..... III

引言..... V

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 一般要求 ..... 4

5 检测工艺及其选择 ..... 7

6 图像质量要求 ..... 15

7 缺陷的识别与测量 ..... 19

8 图像存储和保存 ..... 19

9 检测结果评定和质量分级 ..... 20

10 检测记录和报告 ..... 20

附录A（资料性）最小灰度值测试方法 ..... 21

附录B（规范性）分辨率（力）的测定 ..... 22

附录C（规范性）归一化信噪比的测定 ..... 24

参考文献 ..... 25

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是NB/T 47013《承压设备无损检测》的第14部分。NB/T 47013 已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测；
- 第7部分：目视检测；
- 第8部分：泄漏检测；
- 第9部分：声发射检测；
- 第10部分：衍射时差法超声检测；
- 第11部分：射线数字成像检测；
- 第12部分：漏磁检测；
- 第13部分：脉冲涡流检测；
- 第14部分：射线计算机辅助成像检测；
- 第15部分：相控阵超声检测。

本文件代替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》，与NB/T 47013.14—2016 相比，除题目和结构调整以及编辑性改动之外，主要技术变化如下：

- a) 增加了引言；
- b) 扩大了文件的使用范围，增加了Ir192和 Se75 射线源(见1.4)；
- c) 增加了Ir192 和 Se75 射线源应用的规定(见4.2.2、5.8.2、5.9.2、表2、表3、表12、表13)；
- d) 增加了与Ir192和 Se75 射线源相关引用文件(见第2章)；
- e) 增加了与文件相关的术语和定义(见3.10~3.12、3.18、3.20、3.22~3.26)；
- f) 补充了工艺验证内容(见4.4.4、10.1、10.2)；
- g) 补充工艺规程的相关因素(见4.4.2)；
- h) 增加了标样的要求(见5.14)；
- i) 更改了图像分辨率要求的部分内容(见6.3, 2016版的5.16.2、表8~表11)；
- j) 更改了归一化信噪比的部分要求(见6.4, 2016版的5.16.3、表10~表13)；
- k) 增加了缺陷的识别与测量的要求(见第7章)；
- l) 删除了图像尺寸测量(见2016版的5.19)；
- m) 更改了检测结果评定和质量分级(见第9章，2016版的第6章)。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、中广核工程有限公司、立信染整机械(深圳)有限公司、查特深冷工程系统(常州)有限公司、广东省特种设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京埃彼咨能源科技有限公司、上海冠域检测科技有限公司、北京合聚信达科技有限公司、锐珂亚太投资管理(上海)有限公司、贝克休斯检测控制技术(上海)有限公司、青岛持恒过程技术有限公司。

本文件主要起草人：梁丽红、朱从斌、原可义、林树青、李亚军、盛佩军、王广坤、郑凯、李绪丰、李黎、韩向文、谢佳军、朱彦、董毅。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2016年首次发布为NB/T47013.14—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》；
- 本次为第一次修订。

## 引 言

射线计算机辅助成像检测 (Computed Radiographic Testing, 简称 CR 检测) 是一种利用磷光成像板 (IP) 在射线辐照下曝光获取检测对象信息, 通过专用扫描仪获取成像板中存储的信息, 并通过计算机软件形成数字图像的数字化射线检测技术。与传统的射线胶片照相检测技术相比, 该技术具有图像质量高、动态范围大、绿色环保、易于携带等优点。

为规范和指导该检测技术在特种设备行业的应用, 全国锅炉压力容器标准化技术委员会组织相关单位制定了相应的检测方法标准, 并列为 NB/T47013 《承压设备无损检测》的第14部分。本文件严格执行 NB/T47013 “第1部分: 通用要求” 的规定, 并与 NB/T47013 “第2部分: 射线检测” 和 NB/T 47013 “第11部分: 射线数字成像检测” 相呼应。由于胶片照相检测技术、射线计算机辅助成像技术和射线数字成像检测技术所采用的成像器件和图像处理方法不同, 有必要针对三种检测技术分别作出相应的规定。

本文件已于2016年首次颁布实施, 经过几年的应用, 检测技术不断进步, 新的需求不断产生, 标准的不完善之处开始显现。同时, 为适应国内外相关标准的变化, 进一步拓展射线计算机辅助成像检测技术在特种设备行业的应用, 全国锅炉压力容器标准化技术委员会于2021 年组织相关单位和专家对本文件进行适应性的修订。

## 承压设备无损检测

### 第14部分：射线计算机辅助成像检测

#### 1 范围

- 1.1 本文件规定了承压设备金属材料受压元件的熔化焊焊接接头的射线计算机辅助成像检测技术和质量分级要求。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。
- 1.2 本文件适用于承压设备受压元件的制造、安装、在用检测中板及管的对接接头对接焊缝(以下简称“对接焊缝”)的射线计算机辅助成像检测。
- 1.3 本文件适用的成像器件为成像板。
- 1.4 本文件适用的射线源为X射线源和Ir192、Se75y射线源，其中X射线机最高管电压不超过600 kV。
- 1.5 承压设备支承件和结构件以及插入式和安放式接管的焊接接头的射线计算机辅助成像检测，可参照使用。

#### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14058  $\gamma$ 射线探伤机

GB/T21356 无损检测 计算机射线照相系统的长期稳定性与鉴定方法

GB/T 23901.1 无损检测 射线照相检测图像质量 第1部分：丝型像质计像质值的测定

GB/T23901.5 无损检测 射线照相检测图像质量 第5部分：双丝型像质计图像不清晰度的测定

GB/T23910 无损检测 射线照相检测用金属增感屏

JB/T 7902 无损检测 线型像质计通用规范

JB/T11608 无损检测仪器 工业用X射线探伤装置

NB/T47013.1 承压设备无损检测 第1部分：通用要求

NB/T47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测

#### 3 术语和定义

NB/T 47013.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1

**成像板** IP imaging plate

一种涂有稀土元素铕、钡、氟化合物，曝光后能以潜影形式储存信息的柔性板。

### 3.2

#### **射线计算机辅助成像系统** computed radiographic system

由成像板、专用激光扫描仪(以下简称“扫描仪”)、计算机硬件和专用软件等组成,能将成像板上的信息转换成数字图像的系统。简称 CR 系统。

### 3.3

#### **被检工件-成像板距离** b object-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的被检工件表面(射线源侧)至成像板之间的距离。

### 3.4

#### **射线源-成像板距离** F source-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至成像板之间的距离,即焦距。

### 3.5

#### **射线源-被检工件距离** f source-to-object distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至被检工件表面(射线源侧)之间的距离。

### 3.6

#### **成像板的结构噪声** structure noise of IP

成像板感光层和表面的结构不均匀导致的数字图像的固有噪声。

### 3.7

#### **像素** pixe

射线数字图像的基本组成单元。射线数字图像由点组成,组成图像的点称为像素。

### 3.8

#### **灰度值** grey value

表征数字图像中像素明暗程度的数值。

### 3.9

#### **线性灰度值** linearized grey value

与成像板的曝光量成正比的灰度值。

### 3.10

#### **图像灵敏度** image sensitivity

检测系统发现被检工件图像中最小细节的能力。

### 3.11

#### **分辨率** resolution ratio

单位长度上分辨两个相邻细节间最小距离的能力,单位为线对每毫米(lp/mm)。

### 3.12

#### **分辨力** resolution

分辨两个相邻细节间最小距离的能力,单位为毫米(mm)。

### 3.13

#### **系统分辨率** system resolution ratio

单位长度上CR 系统分辨两个相邻细节间最小距离的能力。也称为系统基本空间分辨率,单位为线对每毫米(lp/mm)。

## 3.14

**图像分辨率 image resolution ratio**

检测系统分辨被检工件图像中单位长度上两个相邻细节间最小距离的能力，也称图像空间分辨率，单位为线对每毫米 (lp/mm)。

## 3.15

**扫描分辨率 scanning resolution ratio**

由扫描决定的数字图像的像素几何尺寸，取决于激光扫描仪扫描成像板的行间距，以及激光点扫描行走速度与模数转换器工作频率之比。

## 3.16

**信噪比 SNR signal-to-noise ratio**

在数字图像中，选定区域的线性灰度平均值与标准差的比值。

## 3.17

**归一化信噪比 SNRa normalized signal-to-noise ratio**

基于分辨率，经归一化处理后的信噪比。

## 3.18

**透照厚度 W penetrated thickness**

射线透照方向上材料的公称厚度。多层透照时，透照厚度为通过各层材料的公称厚度之和。

## 3.19

**一次透照长度 effective length of a single exposure**

符合标准规定的单次曝光最大有效检测长度。

## 3.20

**透照厚度比 K ratio between max.and min.penetrated thicknesses**

一次透照长度范围内，射线束穿过母材的最大厚度和最小厚度之比，也称为穿透厚度比。

## 3.21

**数字图像处理 digital image processing**

利用计算机对数字图像进行处理的方法和技术。

## 3.22

**标样 standard sample**

用于标定图像中特征大小的已知尺寸的试样。

## 3.23

**原始图像 raw image**

成像板形成的潜影经扫描仪扫描后的图像。

## 3.24

**圆形缺陷 round flaw**

长宽比不大于3的气孔、夹渣和夹钨等体积型缺陷。

## 3.25

**条形缺陷 stripy flaw**

长宽比大于3的气孔、夹渣和夹钨等体积型缺陷。

3.26

小径管 small diameter tube

外直径D。小于或等于100 mm的管子。

## 4 一般要求

### 4.1 检测人员

4.1.1 从事射线计算机辅助成像检测人员(以下简称“检测人员”)的一般要求应符合NB/T47013.1的有关规定。

4.1.2 检测人员应了解与射线计算机辅助成像技术相关的计算机知识、数字图像处理知识,掌握相应的计算机及检测软件的基本操作方法。

4.1.3 检测人员应按相关法规的要求,在上岗前接受辐射安全与防护知识培训,并取得相应射线源的考核合格证书。

### 4.2 检测系统和器材

#### 4.2.1 X射线机

4.2.1.1 应根据被检工件的厚度、材质和焦距,选择X射线机的能量范围。

4.2.1.2 采用的X射线机,其性能指标应符合JB/T11608的规定,使用性能测试条件及测试方法参考GB/T 26592和GB/T 26594的规定。

4.2.1.3 供应商应提供X射线管的焦点尺寸和辐射角度。

#### 4.2.2 $\gamma$ 射线机

4.2.2.1 应根据被检工件的厚度、材质和焦距,选择 $\gamma$ 射线源类型及活度。

4.2.2.2 采用的 $\gamma$ 射线机,其性能指标应符合GB/T14058的规定。

#### 4.2.3 CR系统

应根据检测对象和技术要求选择适用的CR系统。系统性能测试条件及测试方法按GB/T21356的规定执行。系统至少应满足以下性能指标:

- a) 图像几何畸变率应小于 $\pm 2\%$ ;
- b) 扫描仪和成像板之间不应存在抖动、滑动,或抖动低于系统噪声水平;
- c) 图像同一水平线上,中心区域与边缘背景灰度变化率不应超过 $\pm 10\%$ ;
- d) 其他性能指标包括信噪比、激光束功能、阴影、影像擦除、伪影等。

##### 4.2.3.1 成像板

供应商应提供成像板的质量证明文件,至少应包括成像板的类型和规格、激发响应时间、化学成分等主要性能参数。用户应按制造商推荐的温度和湿度条件予以使用和保存,并避免不必要的照射。

##### 4.2.3.2 扫描仪

供应商应提供扫描仪质量证明文件,内容至少包括规格、扫描尺寸、光电倍增管电压或增益、扫描分辨率、激光束焦点尺寸等主要性能参数,且其功能和性能至少满足以下要求:

- a) 扫描仪应具有扫描和擦除功能,擦除后残留潜影灰度值不得高于系统最大灰度的5%;
- b) 扫描激光功率应满足信号采集的要求;
- c) 扫描仪的光电倍增管电压或增益、扫描分辨率应可调;
- d) 激光束应无颤动,且不存在伪影和扫描线丢失现象。

4.2.4 计算机系统

计算机系统的基本配置依据采用的 CR 系统对性能和扫描速度的要求而确定。宜配备容量不低于512 MB的内存、不低于40 GB 的硬盘及高亮度高分辨率显示器、刻录机、网卡等。

显示器应满足以下最低要求：

- a) 最低亮度250 cd/m<sup>2</sup>;
- b) 显示器至少256灰度等级;
- c) 可显示的最低光强比1:250;
- d) 显示至少1M 像素，像素尺寸小于0.3mm。

4.2.5 系统专用软件

4.2.5.1 系统软件是射线计算机辅助成像检测系统的核心单元，控制扫描仪完成成像板采集信息到数字图像的转换以及潜影擦除、图像存储、辅助评定、标注等功能。

4.2.5.2 宜具备多种图像格式的转换功能。

4.2.5.3 应具备灰度、分辨率、信噪比、几何尺寸等测量功能。

4.2.5.4 应具备灰度变换、对比度和亮度调节、图像缩放等功能。

4.2.5.5 应具备采集图像相关信息的浏览和查找功能。

4.2.5.6 可自动生成检测报告。

4.2.6 像质计

4.2.6.1 本文件采用的像质计包括线型像质计和双线型像质计。像质计供货商应提供相应质量证明文件。

4.2.6.2 线型像质计

- a) 线型像质计用于测定图像灵敏度，包括通用线型像质计和等径线型像质计两种，其型号和规格应分别符合GB/T 23901.1 和 JB/T 7902的规定;
- b) 线型像质计的材料代号、材料和不同材料的线型像质计适用的被检工件材料范围见表1的规定执行，线型像质计的吸收系数应与被检材料的吸收系数相同或相近，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数。

表 1 不同材料的线型像质计适用的材料范围

线型像质计材料代号	Al	Ti	Fe	Ni	Cu
线型像质计材料	工业纯铝	工业纯钛	碳素钢	镍-铬合金	3#纯铜
适用材料范围	铝、铝合金	钛、钛合金	钢	镍、镍合金	铜、铜合金

4.2.6.3 双线型像质计

- a) 双线型像质计用于测量系统分辨率和图像分辨率;
- b) 双线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.5 的要求。

4.2.7 功能及性能

检测系统和器材的功能及性能应符合上述要求，且应提供相应的证明文件；检测系统的使用性能应符合本文件规定的图像质量要求。

4.2.8 校准或运行核查

4.2.8.1 每年至少对 CR 系统性能中的几何畸变、抖动、均匀性、激光束功能、阴影、伪影等进行1次校准或核查并记录。

4.2.8.2 每年至少应对使用中的曝光曲线进行1次核查。当射线机重要部件更换或经过修理后，应重新制作曝光曲线。

#### 4.2.8.3 运行核查

存在如下情况应进行系统核查并记录，核查按照 GB/T21356 描述的方法实施。

- a) 系统改变时(包括各部件的维修、更换、软件升级等)；
- b) 系统停止使用3个月以上，重新使用时；
- c) 正常使用条件下，用户可根据产品说明书和使用频率，在工艺文件中规定核查频次，并按规定实施核查。

### 4.3 检测技术等级

4.3.1 本文件规定的射线计算机辅助成像检测技术等级从低到高分为三级：A级、AB级和B级。

4.3.2 检测技术等级选择应符合相关法规、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。对承压设备对接焊缝，一般推荐采用AB级检测技术进行检测。对重要设备和结构以及特殊材料和特殊焊接工艺制作的对接焊缝，宜采用B级检测技术进行检测。

4.3.3 当某些检测条件不能满足AB级(或B级)检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施(例如增加曝光量或选用信噪比更高的CR系统等)的前提下，若图像质量达到了AB级(或B级)检测技术的规定，则可认为按AB级(或B级)检测技术进行了检测。

4.3.4 如果检测中射线源至被检工件表面的距离 $f$ 不满足5.6的要求，则4.3.3的规定不适用。

4.3.5 如果在用承压设备检测的某些条件不能满足AB级检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施(例如增加曝光量或选用信噪比更高的系统等)前提下可采用A级检测技术进行检测，宜同时采用其他无损检测方法进行补充检测。

### 4.4 检测工艺文件

4.4.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.4.2 工艺规程除应满足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，如相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

- a) 适用的结构、材料类别及厚度；
- b) 射线源能量范围及焦点尺寸；
- c) 检测技术等级；
- d) 检测工艺(透照方式、透照参数、几何参数)；
- c) 检测设备器材(种类、规格、主要技术参数)；
- f) 图像质量要求。

4.4.3 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编写操作指导书，其内容除满足NB/T47013.1的要求外，至少还应包括：

- a) 检测设备器材：射线源(种类、规格、焦点或源尺寸)成像板和扫描仪(种类、规格)、检测软件、金属屏(种类和厚度)、像质计(种类和型号)、背散射屏蔽铅板、标记、标样等。
- b) 检测技术等级。
- c) 检测工艺：透照方式、透照参数(包括管电压、曝光量)、几何参数、扫描仪参数。
- d) 检测标识。
- e) 图像质量要求：灰度范围、图像分辨率、图像灵敏度、归一化信噪比。

- f) 验收标准。
- g) 工艺验证图像编号。

#### 4.4.4 工艺验证

4.4.4.1 首次使用的操作指导书应进行工艺验证，以验证图像质量是否能达到标准规定的要求。

4.4.4.2 工艺验证可采用对比试件通过专门的透照试验进行，或以产品的第一批图像作为验证依据。在这两种情况下，作为依据的验证图像均应做出标识。

4.4.4.3 应保证射线源的摆放与实际检测保持一致。

4.4.4.4 应摆放线型和双线型像质计，线型像质计的放置应与实际检测一致。

4.4.4.5 双线型像质计应放于被检工件靠近焊缝的母材上，长度方向与探测器行或列的夹角为 $20^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，且b值较大的部位；当焊缝的材料类型不同时，应放置于衰减系数最大的材料的被检工件表面。放置方位见图1示例(正片)，成像中心区域上下和左右四个方位的图像分辨率均应满足要求。采用中心曝光方式时，宜间隔 $120^{\circ}$ 进行上述工艺验证。

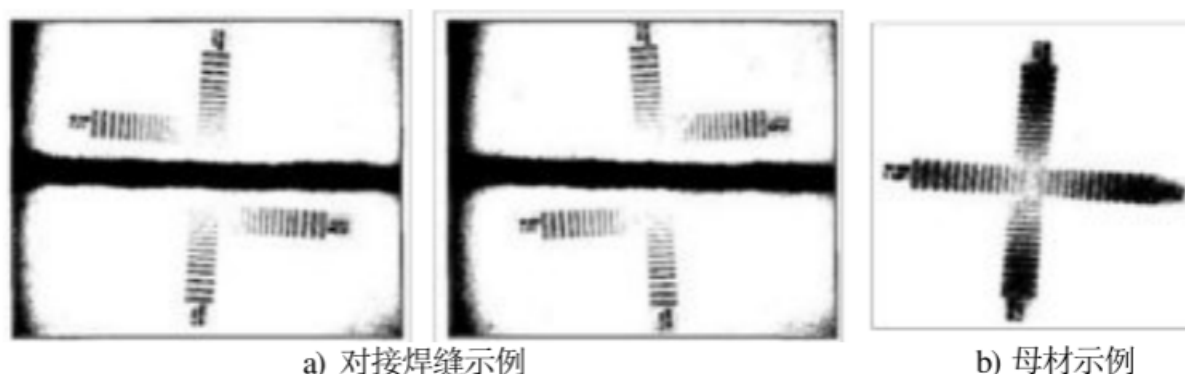


图1 工艺验证双线型像质计放置示例图

4.4.4.6 对于小径管检测，双线型像质计(长度方向)应沿小径管轴向放置在焊缝两侧的母材上，两个方位的图像分辨率均应满足要求。

#### 4.5 安全要求

4.5.1 检测环境应满足系统运行对环境(温度、湿度、接地、电磁辐射、振动等)的要求。

4.5.2 辐射防护应符合GB 18871、GBZ117的有关规定。

4.5.3 现场进行CR检测时，应按GBZ 117的规定划定控制区和监督区，设置警告标志；检测作业时，应围绕控制区边界测定辐射水平。检测人员应佩戴个人剂量计，并携带剂量报警仪。

### 5 检测工艺及其选择

#### 5.1 检测时机

5.1.1 检测时机应满足相关法规、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。

5.1.2 除非另有规定，检测应在焊接完成后进行，对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成24h后进行检测。

#### 5.2 检测区

5.2.1 检测区宽度应满足相关法规、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，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。

5.2.2 对于电渣焊对接焊缝，其检测区宽度应由合同双方商定或通过实际测量热影响区确定。

5.3 表面要求

在检测之前，焊接接头的表面应经目视检测合格。表面的不规则状态在数字图像上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面做适当修整。

5.4 成像板和金属屏

5.4.1 对厚度较小的被检工件可选择感光速度较慢的成像板，对厚度较大的被检工件可选择感光速度较快的成像板。

5.4.2 应根据被检工件材料、透照厚度和管电压选择合适的成像板和前金属屏，金属屏应符合 GB/T23910 的要求，金属屏的材料和厚度选择应分别符合表2和表3的要求。

5.4.3 当使用金属屏时，成像板涂层面和前屏之间应当良好接触。

表2 前金属屏的材料和厚度——钢、铜及铜合金、镍及镍合金

射线能量		前金属屏的类型和厚度/mm
管电压≤50 kV		无
50 kV<管电压≤250 kV		≤0.1 (Pb)
250 k<管电压≤600 kV		≤0.3 (Pb)
Se75		≤0.3 (Pb)
Ir192	透照厚度≤50 mm	≤0.3 (Pb)
	透照厚度>50 mm	0.1~0.3 (Pb)
注：铅屏可完全或部分由Fe或Cu屏代替，厚度为铅屏的3倍。		

表3 前金属屏的材料和厚度——铝及铝合金、钛及钛合金

射线能量		前金属屏的类型和厚度/mm
管电压≤150 kV		≤0.03 (Pb)
150 kV<管电压≤600 kV		≤0.2 (Pb)
Se75		≤0.3 (Pb)
’ 可在被检工件与暗盒之间使用0.1mm铅质滤光板，此时暗盒内使用0.1mm铅金属屏。		

5.5 透照布置

5.5.1 透照方式

应根据被检工件特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式，典型的透照方式参见 NB/T47013.2。除小径管允许选择双壁透照或合同双方商定选择双壁透照方式的特殊情况外，具备单壁透照条件时，宜选择单壁透照方式。

5.5.2 透照方向

透照时，射线束中心通常垂直指向透照区中心，并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。

5.5.3 一次透照长度

5.5.3.1 一次透照长度通过透照厚度比K 进行控制。不同检测技术等级和不同类型焊接接头的 K 值应符合表4的规定。通过K 值确定的整条环向对接焊缝(以下简称“环焊缝”)所需的透照次数

可参照NB/T47013.2 的相关曲线图确定。

- 5.5.3.2 采用射线源在内偏心透照( $F < D_0/2$ )时,透照次数参照NB/T47013.2 的相关公式进行计算。
- 5.5.3.3 椭圆形封头、碟形封头小 r 区的焊接接头,小径管以及其他曲率连续变化的焊接接头可不以 K 值确定一次透照长度,图像质量应满足5.16的要求。

表4 允许的透照厚度比 K

检测技术等级	A 级、AB级	B级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1^*$	$K \leq 1.06$
对 $100\text{mm} < D_0 \leq 400\text{ mm}$ 的环焊缝(包括曲率相同的曲面焊接接头),A级、AB级允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

5.5.4 有效评定区搭接

- 5.5.4.1 有效评定区是指满足本文件对于透照厚度比和图像质量要求的成像区域。
- 5.5.4.2 对接焊缝进行100%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。
- 5.5.4.3 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图像质量满足5.16的要求。

5.5.5 小径管环焊缝透照

小径管环焊缝采用双壁双影透照布置。

5.5.5.1 透照布置

同时满足下列条件时应采用倾斜透照椭圆成像:

- \_\_\_\_  $T(\text{壁厚}) \leq 8\text{ mm}$ ;
- \_\_\_\_  $g(\text{焊缝宽度}) \leq D_0/4$ 。

应控制影像的开口宽度(上下焊缝投影最大间距)在1倍焊缝宽度左右。不满足上述条件或椭圆成像有困难时,可采用垂直透照重叠成像。

5.5.5.2 透照次数

小径管环焊缝100%检测的透照次数:采用倾斜透照椭圆成像时,当  $T/D_0 \leq 0.12$  时,相隔 $90^\circ$ 透照2次;当 $T/D_0 > 0.12$  时,相隔 $120^\circ$  或 $60^\circ$ 透照3次。垂直透照重叠成像时,一般应相隔 $120^\circ$  或 $60^\circ$ 透照3次。

按上述规定进行多次透照时,相邻图像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。

5.5.5.3 特殊情况

由于结构原因不能按5.5.5.2规定的间隔角度进行多次透照,经合同双方商定,可不再强制执行5.5.5.2规定的透照间隔角度,但应采取措施尽量扩大缺陷可检出范围,同时应保证在评定范围内图像质量满足本文件的要求,并在检测报告中对有关情况进行说明。

5.5.5.4 局部检测

不要求100%检测的小径管环焊缝的透照次数由合同双方商定,并保存相关记录。

5.6 射线源至被检工件表面的最小距离

- 5.6.1 所选用的射线源至被检工件表面的距离f 应满足如下要求:

\_\_\_\_ A级检测技术:  $f \geq 7.5d \cdot b^3$ ,

- \_\_\_\_AB级检测技术:  $f \geq 10d \cdot b^2/3$ ;
- B级检测技术:  $f \geq 15d \cdot b^2/3$ 。

图 2 是A级和B级CR检测技术确定f的诺模图，图3是AB级CR检测技术确定f的诺模图。有效焦点或源尺寸d按NB/T47013.2的规定计算。

5.6.2 采用射线源在被检工件内中心透照方式周向曝光时，如果图像质量符合5.16的要求，f值可以减小，但减小值不应超过规定值的50%。

5.6.3 采用射线源在被检工件内偏心透照方式时，如果图像质量符合5.16的要求，f值可以减小，但减小值不应超过规定值的20%。

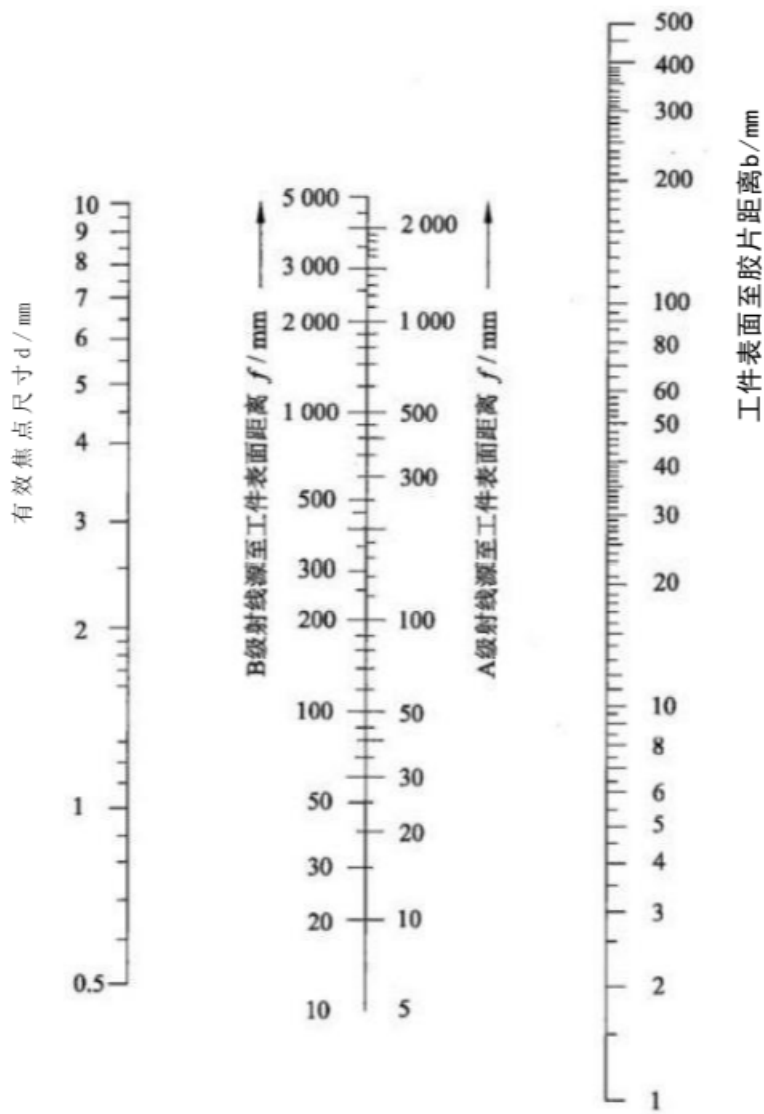


图2 A级和B级CR检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

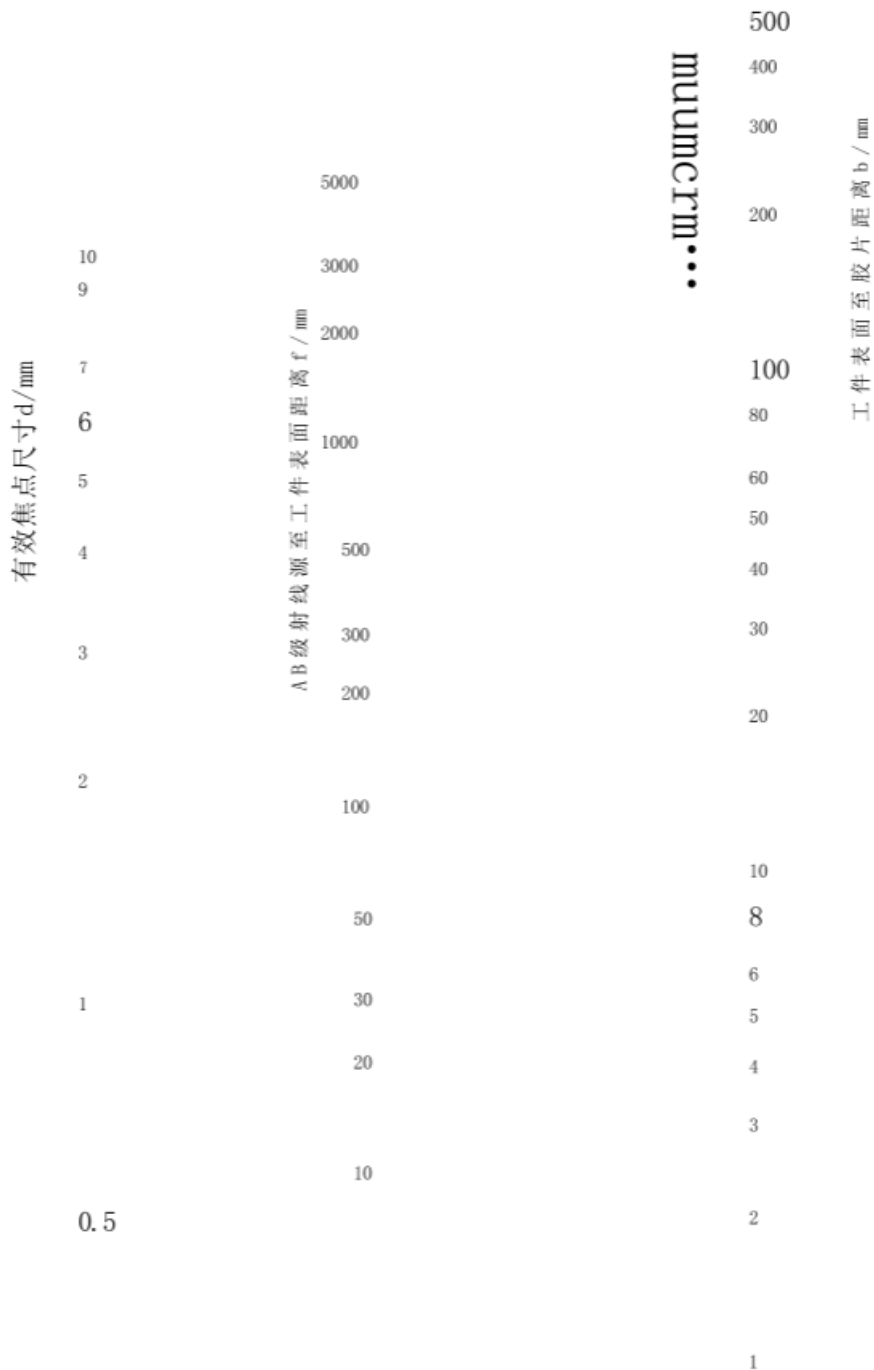


图 3 AB 级 CR 检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

5.7 成像板与被检工件之间的距离

曝光期间成像板应紧贴被检工件，除非有特殊规定或透照布置能使被检区域得到更好的图像。

5.8 射线能量

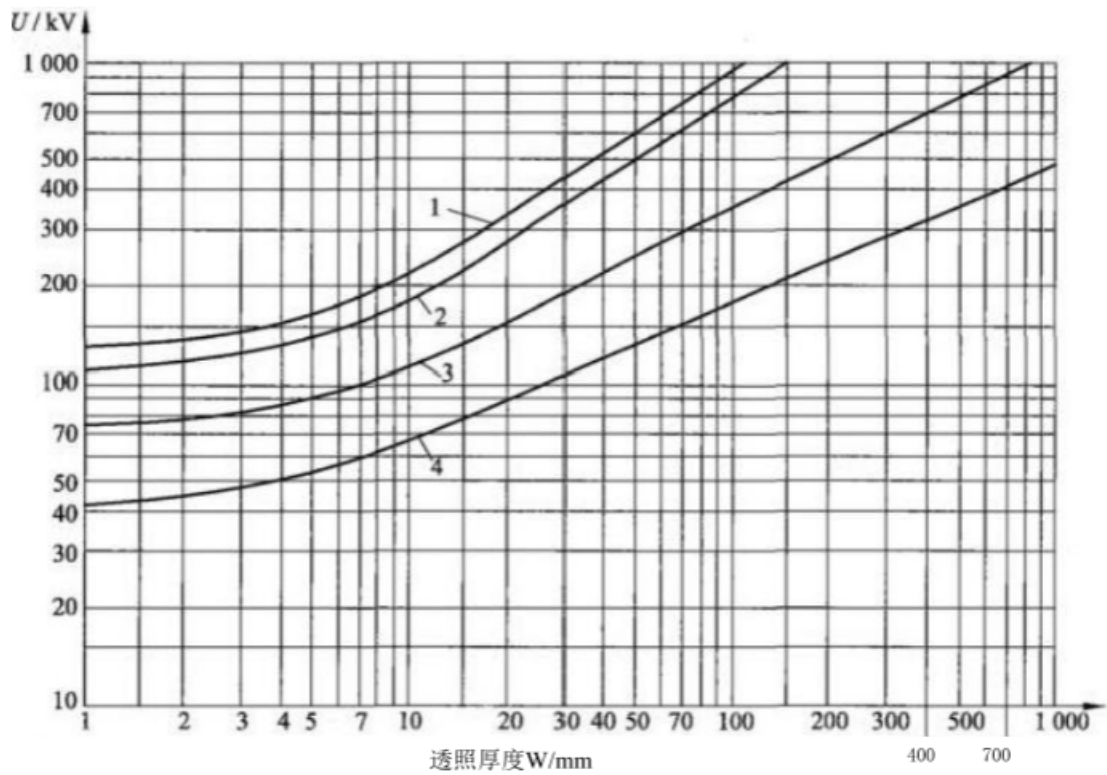
5.8.1 X 射线源

5.8.1.1 在保证穿透力的前提下，宜选用较低的管电压。当采用较高管电压时，应保证适当的曝光量。图4为不同材料、不同透照厚度推荐采用的最高X 射线管电压。

5.8.1.2 对截面厚度变化大的承压设备，在保证图像质量符合5.16要求的前提下，允许采用超过图4规定的X 射线管电压。但对钢、铜及铜合金、镍及镍合金材料，管电压增量不应超过50 kV；对钛及钛合金材料，管电压增量不应超过40kV；对铝及铝合金材料，管电压增量不应超过30kV。

5.8.1.3 按 B 级检测技术检测时，宜选用结构噪声较低的成像板。如选用结构噪声较高的成像

板，采用的最高X 射线管电压宜比图4所示值低20%。



标引序号说明:  
1——铜及铜合金、镍及镍合金; 2——钢; 3——钛及钛合金; 4——铝及铝合金。

图4 不同透照厚度推荐的最高X 射线管电压

5.8.2 Ir192和 Se75γ 射线源

5.8.2.1 对钢、铜和镍基合金材料，推荐的透照厚度范围见表5。在保证图像质量满足要求的前提下，且信噪比应高于本文件规定的1.4倍，经合同双方商定，γ 射线源透照厚度检测下限可调整如下：

- a) A 级、AB 级 Ir192 透照厚度可降至10 mm;
- b) Se75 透照厚度可低于10mm。

表5 Ir192 和 Se75 对钢、铜和镍基合金材料所适用的透照厚度范围

γ 射线源	透照厚度 W / mm		
	A级	AB级	B级
Se75	10≤W≤40	10≤W≤40	14≤W≤40
Ir192	20≤W≤100	20≤W≤90	20≤W≤80

5.8.2.2 采用 Se75y 射线源透照铝和钛合金时，透照厚度范围：

- a) A 级和 AB 级，35mm≤W≤120mm;
- b) B级，25mm≤W≤55mm。

5.8.2.3 使用 γ 射线源进行检测时，总的曝光时间应不少于输送源往返所需时间的10倍。

5.9 曝光量

5.9.1 X 射线检测的曝光量等于曝光时间和管电流的乘积，单位为毫安每秒 (mA·s)。

5.9.2  $\gamma$  射线检测的曝光量等于曝光时间和射线源当前活度的乘积，单位为贝可每秒 (Bq·s)。

5.9.3 增加曝光量可提高信噪比，提高图像质量。

5.9.4 可按附录A 的规定通过最小灰度值试验确定合适的曝光量。

## 5.10 无用射线和散射线屏蔽

5.10.1 宜采用金属板、周边遮挡铅板、准直器等适当措施，屏蔽散射线和无用射线，限制照射场范围。

### 5.10.2 背散射防护

5.10.2.1 对初次制定的检测工艺，以及在使用中检测条件、环境发生改变时，应进行背散射防护检查。

5.10.2.2 检查背散射防护的方法是在暗盒背面贴附“B” 铅字标记，一般“B” 铅字的高度为13mm，厚度为1.6mm，按检测工艺的规定进行透照和扫描处理。以负片为例说明：若在图像上出现浅色“B” 字影像，则说明背散射防护不够，应增大背散射防护铅板的厚度；若图像上不出现“B” 字影像或出现深色“B” 字影像，则说明背散射防护符合要求。

5.10.2.3 当背散射防护不符合要求时，可在成像板背面、暗袋外使用铅板吸收散射线，铅板厚度以背散射检查符合要求为准。

5.10.3 当采用 Se75 和 Ir192y 射线源存在边缘散射时，可在工件与暗盒之间放置铅质滤光板滤除散射线。根据透照厚度的不同，滤光板的厚度宜为0.2 mm~1mm。

## 5.11 线型像质计的使用

### 5.11.1 线型像质计放置原则

线型像质计一般应放置在焊缝的一端(约在被检区长度的1/4位置)，金属线应横跨焊缝，细线置于外侧，当一张成像板上同时透照多条焊缝时，线型像质计应放置在透照区最边缘的焊缝处。

线型像质计放置还应满足以下规定：

- a) 单壁透照像质计放置在射线源侧。双壁单影透照像质计放置在成像板侧。双壁双影透照像质计可放置在射线源侧，也可放置在成像板侧。
- b) 单壁透照中，如果像质计无法放置射线源侧，允许放置在成像板侧。
- c) 单壁透照中像质计放置在成像板侧时，应进行对比试验。对比试验方法是在射线源侧和成像板侧各放一个像质计，用与被检工件相同的条件透照，测定出像质计放置在射线源侧和成像板侧的灵敏度差异，以此修正灵敏度，保证实际透照的图像灵敏度符合要求。
- d) 当像质计放置在成像板侧时，应在像质计上适当位置放置铅字“F” 作为标记，“F” 标记的影像应与像质计的标记同时出现在图像上，且应在检测报告中注明。

### 5.11.2 线型像质计数量

原则上每张图像上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张成像板成像时，使用的像质计数量允许减少，但应符合以下要求：

- a) 环焊缝采用射线源置于中心周向曝光时，至少在圆周上等间隔地放置3个像质计；
- b) 一次曝光连续排列多张成像板时，至少在第一张、中间一张和最后一张成像板处各放置一个像质计。

### 5.11.3 小径管对接焊缝使用的线型像质计和放置要求

小径管使用通用线型和专用等径线型像质计时，金属线应垂直或平行于焊缝放置。

### 5.11.4 不等厚或不同种类材料之间对接焊缝

如果焊缝的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部位应分别采用与被检工件厚度或类型相匹配的线型像质计，并分别放置在焊缝相对应的部位。

5.11.5 若线型像质计无法放置在规定的地方，应采用对比试件代替被检工件，对比试件的厚度应为被检工件的最大厚度。其图像灵敏度应符合6.2的规定，并保存相关说明和记录。

### 5.11.6 线型像质计影像识别

5.11.6.1 使用线型像质计时，图像上能够识别的最细线的编号即为像质计灵敏度值。图像灰度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）的金属线影像连续可见长度不小于10mm时，则认为该线是可识别的。

5.11.6.2 专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线。

5.11.6.3 对于小径管检测，当线型像质计平行放置时，金属线影像可见长度不应小于外径的20%。

### 5.12 双线型像质计的使用

5.12.1 双线型像质计放置方法应符合附录B的规定。

5.12.2 对每一种检测对象和工艺，应采用双线型像质计测量图像分辨率，在工艺验证符合要求后，进行检测时可不放置双线型像质计。

### 5.13 标记

5.13.1 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。标记应能清晰显示且不至于对图像的评定带来影响，标记的材料和厚度应根据被检工件的厚度来选择，应能保证标记影像不模糊。

5.13.2 识别标记一般包括：产品编号、焊缝编号、部位编号和透照日期。返修后的透照还应有返修标记，扩大检测比例的透照应有扩大检测标记。

5.13.3 定位标记一般包括中心标记、搭接标记、检测区标记等。中心标记指示透照部位区段的中心位置和分段编号的方向，一般用十字箭头“卐”表示。搭接标记是连续检测时的透照分段标记，可用符号“1”或其他能显示搭接情况的方法（如数字等）表示。检测区标记采取的方式能够清晰标识检测区范围即可。

5.13.4 当焊缝内外余高均磨平，从图像上不能确定检测区位置和宽度时，应采用适当的定位标记（如采用铅质窄条）进行标识。

5.13.5 定位标记应放在被检工件上，其摆放应符合NB/T47013.2的相关规定。所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区的影像。当由于结构原因或难以实施，应放置于射线源侧的定位标记需要放置于成像板侧时，检测记录和报告应标注实际的评定范围。

5.13.6 识别标记允许放置于射线源侧或成像板侧，所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区的影像。

5.13.7 为了能精确辨别实际检测位置，应以被检工件上永久标识或部位作为参考点；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（如透照布置图）确定。

### 5.14 标样

5.14.1 标样作为图像中特征（缺陷）测量时的尺寸标定试样，具体使用见7.2。

5.14.2 标样应放置在成像板侧，标样的长度方向宜与焊缝方向平行，在有效评定范围内成像，

且干扰有效评定区范围内的影像。

**5.14.3** 标样长度应不低于15mm。

### 5.15 扫描仪参数选择

**5.15.1** 扫描仪光电倍增管电压或增益的选择应与曝光量匹配，使数字图像灰度值处于适当范围(5%~90%)。

**5.15.2** 扫描分辨率的选择应保证图像分辨率达到标准规定的要求，且应与成像板特性匹配。

### 5.16 图像评定环境要求

图像评定应在专用的评定室内进行，评定室应整洁，温度和湿度适宜。

## 6 图像质量要求

### 6.1 一般要求

**6.1.1** 图像上的标记影像应显示完整，位置正确。图像有效评定区不应存在干扰缺陷识别的划痕、压痕、折痕、脱膜、异物粘附以及金属屏缺陷等造成的伪缺陷影像。

**6.1.2** 图像质量满足规定的要求后，方可进行被检工件质量的等级评定。

**6.1.3** 应在光线柔和的环境下观察图像，显示器屏幕应清洁，无明显的光线反射。

**6.1.4** 图像质量评定应在原始图像中进行，不得采用滤波处理。

### 6.2 图像灵敏度要求

**6.2.1** 单壁透照、线型像质计置于射线源侧时应符合表6 的规定；双壁双影透照、线型像质计置于射线源侧时应符合表7的规定；双壁单影或双壁双影透照、线型像质计置于成像板侧时应符合表8的规定。

**6.2.2** 对于带垫板的焊接接头，透照厚度可包括垫板厚度。

**表6 图像灵敏度——单壁透照、线型像质计置于射线源侧**

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度 W / mm		
	A级	AB级	B级
W19(0.050)	—	—	$\leq 1.5$
W18(0.063)		$\leq 1.2$	$1.5 < W \leq 2.5$
W17(0.080)	$\leq 1.2$	$1.2 < W \leq 2.0$	$2.5 < W \leq 4.0$
W16(0.100)	$1.2 < W \leq 2.0$	$2.0 < W \leq 3.5$	$4.0 < W \leq 6.0$
W15(0.125)	$2.0 < W \leq 3.5$	$3.5 < W \leq 5.0$	$6.0 < W \leq 8.0$
W14(0.160)	$3.5 < W \leq 5.0$	$5.0 < W \leq 7.0$	$8.0 < W \leq 12$
W13(0.20)	$5.0 < W \leq 7.0$	$7.0 < W \leq 10$	$12 < W \leq 20$
W12(0.25)	$7.0 < W \leq 10$	$10 < W \leq 15$	$20 < W \leq 30$
W11(0.32)	$10 < W \leq 15$	$15 < W \leq 25$	$30 < W \leq 35$
W10(0.40)	$15 < W \leq 25$	$25 < W \leq 32$	$35 < W \leq 45$

表 6 图像灵敏度——单壁透照、线型像质计置于射线源侧(续)

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度 W / mm		
	A级	AB级	B级
W9(0.50)	25<W≤32	32<W≤40	45<W≤65
W8(0.63)	32<W≤40	40<W≤55	65<W≤120
W7(0.80)	40<W≤55	55<W≤85	120<W≤150
W6(1.00)	55<W≤85	85<W≤150	150<W≤250
W5(1.25)	85<W≤150	150<W≤250	>350
W4(1.60)	150<W≤250	250<W≤350	
W3(2.00)	250<W≤350	>350	
W2(2.50)	>350		

表7 图像灵敏度——双壁双影透照、线型像质计置于射线源侧

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度 W / mm		
	A级	AB级	B级
W19(0.050)		·	≤1.5
W18(0.063)		≤1.2	1.5<W≤2.5
W17(0.080)	≤1.2	1.2<W≤2.0	2.5<W≤4.0
W16(0.100)	1.2<W≤2.0	2.0<W≤3.5	4.0<W≤6.0
W15(0.125)	2.0<W≤3.5	3.5<W≤5.0	6.0<W≤8.0
W14(0.160)	3.5<W≤5.0	5.0<W≤7.0	8.0<W≤15
W13(0.20)	5.0<W≤7.0	7.0<W≤12	15<W≤25
W12(0.25)	7.0<W≤12	12<W≤18	25<W≤38
W11(0.32)	12<W≤18	18<W≤30	38<W≤45
W10(0.40)	18<W≤30	30<W≤40	45<W≤55
W9(0.50)	30<W≤40	40<W≤50	55<W≤70
W8(0.63)	40<W≤50	50<W≤60	70<W≤100
W7(0.80)	50<W≤60	60<W≤85	100<W≤170
W6(1.00)	60<W≤85	85<W≤120	170<W≤250
W5(1.25)	85<W≤120	120<W≤220	>250
W4(1.60)	120<W≤220	220<W≤380	
W3(2.00)	220<W≤380	>380	
W2(2.50)	>380		

表8 图像灵敏度——双壁单影或双壁双影透照、线型像质计置于成像板侧

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度 W/mm		
	A级	AB级	B级
W19(0.050)			≤1.5
W18(0.063)		≤1.2	1.5<W≤2.5
W17(0.080)	≤1.2	1.2<W≤2.0	2.5<W≤4.0
W16(0.100)	1.2<W≤2.0	2.0<W≤3.5	4.0<W≤6.0
W15(0.125)	2.0<W≤3.5	3.5<W≤5.0	6.0<W≤12
W14(0.160)	3.5<W≤5.0	5.0<W≤10	12<W≤18
W13(0.20)	5.0<W≤10	10<W≤15	18<W≤30
W12(0.25)	10<W≤15	15<W≤22	30<W≤45
W11(0.32)	15<W≤22	22<W≤38	45<W≤55
W10(0.40)	22<W≤38	38<W≤48	55<W≤70
W9(0.50)	38<W≤48	48<W≤60	70<W≤100
W8(0.63)	48<W≤60	60<W≤85	100<W≤180
W7(0.80)	60<W≤85	85<W≤125	180<W≤300
W6(1.00)	85<W≤125	125<W≤225	>300
W5(1.25)	125<W≤225	225<W≤375	-
W4(1.60)	225<W≤375	>375	-
W3(2.00)	>375		

6.3 分辨率要求

6.3.1 不同检测技术等级的图像分辨率应分别符合表9～表11 的规定。使用双线型像质计测量分辨率的方法见附录B。对于双壁单影透照方式，透照厚度W应取公称厚度T，对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度可取管径。

表9 A 级检测技术应达到的最低分辨率(力)

透照厚度W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
≤1.0	D13	10.00	0.05
1.0<W≤1.5	D12	7.94	0.063
1.5<W≤2	D11	6.25	0.08
2<W≤5	D10	5.00	0.10
5<W≤10	D9	3.85	0.13
10<W≤25	D8	3.125	0.16
25<W≤55	D7	2.50	0.20
55<W≤150	D6	2.00	0.25
150<W≤250	D5	1.56	0.32
>250	D4	1.25	• 0.40

表10 AB级检测技术应达到的最低分辨率(力)

透照厚度W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
≤1.0	D14	12.50	0.04
1.0<W≤1.5	D13	10.00	0.05
1.5<W≤2	D12	7.94	0.063
2<W≤5	D11	6.25	0.08
5<W≤10	D10	5.00	0.10
10<W≤25	D9	3.85	0.13
25<W≤55	D8	3.125	0.16
55<W≤150	D7	2.50	0.20
150<W≤250	D6	2.00	0.25
>250	D5	1.56	0.32

表11 B级检测技术应达到的最低分辨率(力)

透照厚度W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
≤1.5	D14	12.5	0.04
1.5<W≤4	D13	10.00	0.05
4<W≤8	D12	7.94	0.063
8<W≤12	D11	6.25	0.08
12<W≤40	D10	5.00	0.10
40<W≤120	D9	3.85	0.13
120<W≤200	D8	3.125	0.16
>200	D7	2.50	0.20

6.3.2 对于带垫板的焊接接头，透照厚度可包括垫板厚度。

6.3.3 如果图像分辨率达不到表9～表11的规定，可通过提高信噪比提高灵敏度以补偿图像分辨率的不足，这种补偿只允许1个线对，即当图像灵敏度高于本文件规定的1个线经时，允许图像分辨率降低1个线对。

6.4 归一化信噪比

6.4.1 图像的归一化信噪比应符合表12和表13的要求，归一化信噪比 (SNR<sub>a</sub>) 的测量和计算见附录C。

6.4.2 检测厚度不均匀的工件时，允许采用最小灰度值代替最小 SNR<sub>2</sub>，等价于最小 SNR<sub>a</sub>的最小灰度值的测定见附录A。

表12 允许的最小 SNR<sub>n</sub>——钢、铜及铜合金、镍及镍合金

射线能量	透照材料厚度W mm	最小SNR		
		A级	A B 级	B级
管电压≤50 kV	-	140	170	210
50 kV<管电压≤150 kV		120	140	170
150 kV<管电压≤250 kV		100	120	140
250 kV<管电压≤350 kV	≤50	100	120	140
	>50	100	120	140

表12 允许的最小SNR \_\_\_\_ 钢、铜及铜合金、镍及镍合金 (续)

射线能量	透照材料厚度W mm	最小 SNR,		
		A级	AB级	B级
350 kV<管电压≤600 kV	≤50	100	120	140
	>50	100	100	100
Se75	-	100	120	140
Ir192	≤50	100	120	140
	>50	100	100	100
注：若在焊缝上测量SNRa, 则表中的数值应除以1.4, 除非焊缝无余高且焊缝根部与母材齐平。				

表13 允许的最小 SNRn— 铝及铝合金、钛及钛合金

射线能量	最小 SNR,		
	A级	A B 级	B级
管电压≤150 kV	120	140	170
150 kV<管电压≤250 kV	100	120	140
250 kV<管电压≤600 kV	100	120	140
Se75	100	120	140
注：若在焊缝上测量SNRn, 则表中的数值应除以1.4, 除非焊缝无余高且焊缝根部与母材齐平。			

7 缺陷的识别与测量

7.1 缺陷的识别

- 7.1.1 缺陷的识别可采用人工识别或计算机辅助识别方法。
- 7.1.2 缺陷人工识别时，图像的显示比例应不低于100%。
- 7.1.3 人工识别采用图像处理技术，调节图像的显示效果，以提高人眼对缺陷的识别能力。

7.2 缺陷的测量

- 7.2.1 在缺陷测量前，应按实际检测工艺，采集含标样的检测图像，并进行几何尺寸标定。
- 7.2.2 利用标样的实际尺寸对应应在图像中的像素个数，得到每个像素对应的实际长度(标定因子)。通过测量得到缺陷的像素个数乘标定因子，得到实际缺陷尺寸。
- 7.2.3 当系统及透照参数改变时，应重新进行标定。

8 图像存储和保存

8.1 图像存储

- 8.1.1 图像存储格式宜按 DICONDE 格式执行。
- 8.1.2 应保存原始图像。
- 8.1.3 当采用图像处理技术时，处理后的图像应进行标识，并与原始数字图像一起保存。
- 8.1.4 图像编号应与焊缝编号相对应。

8.1.5 单位代码、工件编号、焊缝编号、透照参数、检测人员代码、识别标记等信息应写入图像文件的描述字段中，上述信息应具备不可更改性。

## 8.2 图像保存

8.2.1 图像应存储在数字存储介质中并存档。

8.2.2 图像应备份不少于2份，相应的原始记录和检测报告也应同期保存。

8.2.3 图像的保存期限应按照相关的法规和规范执行。在有效保存期内，图像数据不得丢失和更改。

## 9 检测结果评定和质量分级

9.1 缺陷的评定可采用人工评定或计算机辅助评定方法。

9.2 缺陷评定时，若对原始图像采用滤波等图像处理，应经合同双方协商同意，并有相关文档记录。

9.3 承压设备熔化焊焊接接头、承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线计算机辅助成像检测结果评定和质量分级按照 NB/T47013.2 的规定执行。

## 10 检测记录和报告

10.1 应按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。检测记录除符合NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 委托单位或制造单位。
- b) 被检工件：名称、检测部位、焊缝坡口型式、焊接方法。
- c) 检测设备器材：射线源(种类、焦点或源尺寸)、成像板、扫描仪、金属屏(类型、数量和厚度)、像质计(种类和型号)、背散射屏蔽铅板、标识、标样等。
- d) 工艺验证结果(需要时)。

注：此项针对无法放置像质计采用对比试件的检测，应说明对比试件的工艺验证情况并作为检测记录的附件。

- e) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
- f) 图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度范围。
- g) 缺陷位置、性质和大小。
- h) 其他需要说明或记录的事项。

10.2 应依据检测记录出具检测报告。检测报告除符合NB/T47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 委托单位或制造单位。
- b) 被检工件：名称、检测部位、焊缝坡口型式、焊接方法。
- c) 检测设备器材：射线源(种类、焦点或源尺寸)、成像板、金属屏(类型、数量和厚度)、像质计(种类和型号)、扫描和观察设备、标样(若有)。
- d) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
- e) 数字图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度范围。
- f) 检测工艺验证情况(需要时)。

注：此项针对无法放置像质计采用对比试件的检测，应说明对比试件的工艺验证情况。

- g) 缺陷位置、性质和等级。

附录 A  
(资料性)  
最小灰度值测试方法

A.1 最小灰度值测试原则

当检测厚度不均匀的试件时，可以采用最小灰度值代替最小 $SNR_1$ 。灰度和  $SNR_n$ 之间的关系适用于特定的设置，包括扫描类型、扫描参数和相同品牌、型号的成像板。任何扫描参数(扫描分辨率、光电倍增管的电压或增益)的改变，均要求重新测试与 $SNR_4$  等价的最小灰度值。

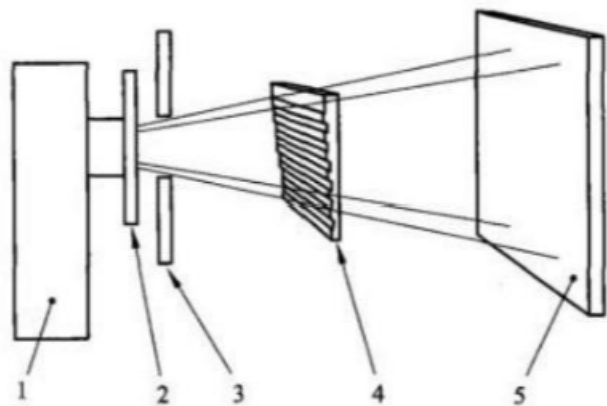
A.2 最小灰度值测试方法

A.2.1 线性灰度是正确测量  $SNR$ 。和等价灰度的前提，即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)，线性灰度应由制造商配备的软件提供支持。

A.2.2 最小灰度测试可按附录B 中 B.2.1 的曝光条件或由检测单位根据具体的透照情况确定。

A.2.3 与表12、表13规定的最小 $SNR$  等价的最小灰度值测定步骤如下：

- a) 按图 A.1 透照阶梯试块，阶梯试块应完全覆盖成像板；
- b) 测量每一阶梯的平均灰度和  $SNR_1$  ；
- c) 绘制以平均灰度为变量的  $SNR$ 。函数曲线；
- d) 确定表12、表13规定的最小  $SNR_n$ 对应的等价最小灰度值。



标引序号说明：  
1——X射线管；2——铜滤板；3——准直器；4——铜阶梯试块；5——暗盒中的成像板。  
图A.1 测定与最小  $SNR_n$ 等价的最小灰度值的透照示意图

A.2.4 除上述方法外，也可采用对成像板以不同曝光量逐次曝光的方法，曝光条件与 A.2.2 的条件保持一致。

**附 录 B**  
**(规范性)**  
**分辨率(力)的测定**

**B.1 双线型像质计的放置**

双线型像质计影像应与图像行或列的夹角为 $20^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，成像结果见图 B.1a)。

**B.2 系统分辨率测试条件**

**B.2.1 系统分辨率的测试可使用下列相应的曝光条件：**

将双线型像质计直接放置在成像板上，射线源到成像板的距离应为 $1000\text{ mm}\pm 50\text{ mm}$ 。

a) 使用X射线源时，不同材料的曝光参数：

- 1) 对于轻合金材料：管电压90 kV,1mm 铝滤波板。
- 2) 对于钢、铜、镍及其合金材料：厚度 $\leq 20\text{ mm}$ 时，管电压160kV,1mm 铜滤波板。
- 3) 对于钢、铜、镍及其合金材料：厚度 $> 20\text{ mm}$ 时，管电压220kV,2mm 铜滤波板。

b) 使用 $\gamma$ 射线源时，采用不同滤波板：

- 1) 对于Se75:2mm 铜或4mm 钢滤波板。
- 2) 对于Ir192:4mm 铜或8mm 钢滤波板。

**B.2.2 图像的平均灰度应大于最大灰度的50%。**

- a) 对于扫描分辨力 $\geq 80\text{ }\mu\text{ m}$ 的成像系统，测量信噪比  $\text{SNR}_m>100$ ;
- b) 对于扫描分辨力 $< 80\text{ }\mu\text{ m}$ 的成像系统，测量信噪比  $\text{SNR}_m>70$ 。

**B.2.3 最低系统分辨率要求见表9～表11，应按照实际检测技术等级和透照厚度，判定系统分辨率是否符合要求。**

**B.2.4 当成像系统用于检测小径管时，表9～表11对应的透照厚度应取2倍管子壁厚。**

**B.3 图像分辨率测试条件**

应将双线型像质计放在射线源侧被检工件表面，且在工艺验证图像分辨率最差的方位。透照条件应与实际检测条件一致，最低图像分辨率要求见表9～表11。

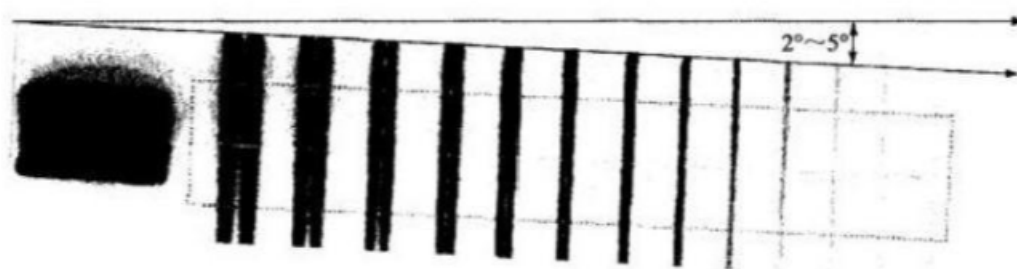
**B.4 分辨率(力)的换算**

分辨率与分辨力在数值上互为2倍的倒数。

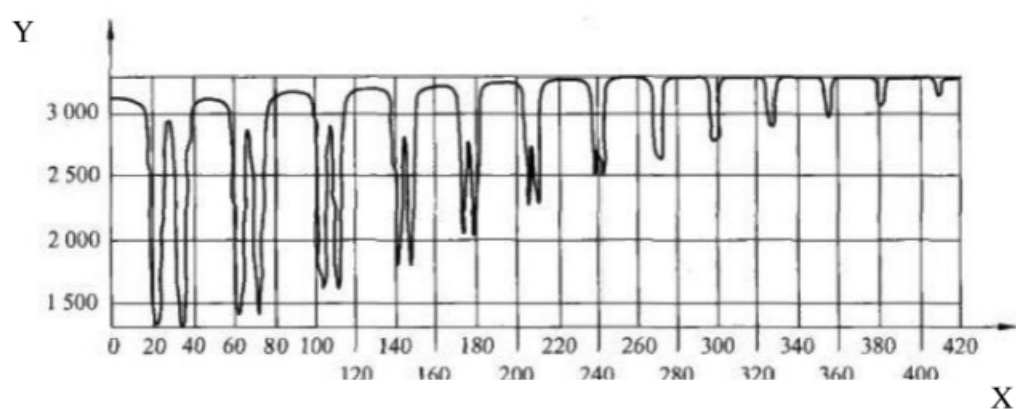
**B.5 分辨率的确定**

在双线型像质计影像上，应使用不少于21行或列叠加平均(见图B.1)，根据式 (B.1) 计算线对的可识别率R，见图B.1 中 b)、c)、d)。图像中 $R<20\%$  的第一组线对，即为表9～表11要求的最低分辨率，如图 B.1 c) 中所示的D8。

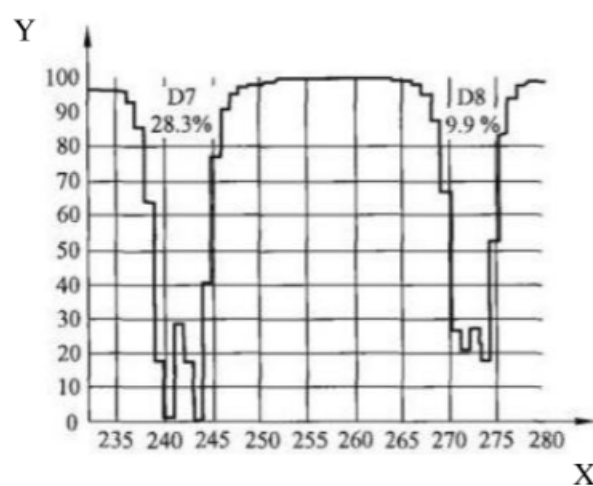
$$R=100\% \times (A+B-2C)/(A+B) \dots\dots\dots (B.1)$$



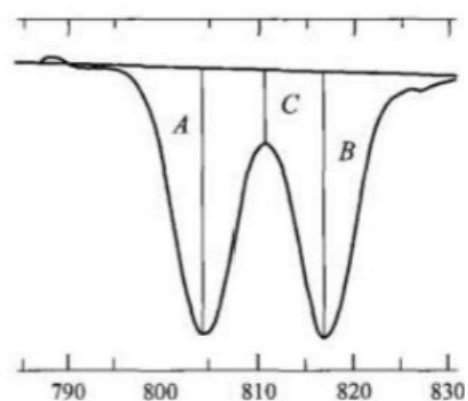
a) 双线型像质计成像图(选不少于21行或列叠加平均)



b) 双线型像质计轮廓图(不少于21行或列叠加平均结果)



c) 线对D7和D8的放大轮廓图



d) 可识别率计算图例

图B.1 分辨率(力)测定示意图

附 录 C  
(规范性)  
归一化信噪比的测定

C.1 信噪比测量是指在图像有效评定区内，选定不小于20像素×55像素的矩形区(短边不超过20像素)测量信噪比，通过式(C.1) 计算得到：

$$SNR_m = \frac{\overline{G_T}}{\sigma} \dots\dots\dots(C.1)$$

式中：  
SNRm——测量信噪比；  
Gp——测量区域所有像素线性灰度的平均值；  
σ ——测量区域所有像素线性灰度的标准差。

C.2 归一化信噪比SNR。通过式(C.2) 计算得到：

$$SNR_n = SNR_m \times \frac{88.6}{SR_n} \dots\dots\dots(C.2)$$

式中：  
SRn——分辨力值，单位为微米( μ m)。

C.3 归一化信噪比测量所需要的分辨力值按附录B 测定。

C.4 如果扫描参数(如扫描分辨率、成像板等)改变，则应重新测量分辨力。

## 参 考 文 献

- [1]GB/T 26592 无损检测仪器 工业X射线探伤机性能测试方法
- [2]GB/T 26594 无损检测仪器 工业用X射线管性能测试方法

# 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.14—2023  
代替 NB/T 47013.14—2016

## 承压设备无损检测 第14部分：射线计算机辅助成像检测

Nondestructive testing of pressure equipments-  
Part 14:Computed radiographic testing



2023-10-11 发布

2024-04-11 实施

国 家 能 源 局 发 布

目 次

前言 ..... III

引 言 ..... V

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 一般要求 ..... 4

5 检测工艺及其选择 ..... 7

6 图像质量要求 ..... 15

7 缺陷的识别与测量 ..... 19

8 图像存储和保存 ..... 19

9 检测结果评定和质量分级 ..... 20

10 检测记录和报告 ..... 20

附录A（资料性）最小灰度值测试方法 ..... 21

附录B（规范性）分辨率（力）的测定 ..... 22

附录C（规范性）归一化信噪比的测定 ..... 24

参考文献 ..... 25

附件：

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
1~98	(略)						
99	NB/T47013. 11—2023	承压设备无损检测第11部分： 射线数字成像检测	NB/T47013. 11—2015		北京科学技术出版社	2023-10-11	2024-04-11
100	NB/T47013. 14—2023	承压设备无损检测第14部分： 射线计算机辅助成像检测	NB/T47013. 14—2016		北京科学技术出版社	2023-10-11	2024-04-11
101~261	(略)						

NB/T 47013. 14—2023

前 言

本文件按照 GB/T1. 1—2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是NB/T47013 《承压设备无损检测》的第14部分。NB/T47013 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测；
- 第7部分：目视检测；
- 第8部分：泄漏检测；
- 第9部分：声发射检测；
- 第10部分：衍射时差法超声检测；
- 第11 部分：射线数字成像检测；

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是NB/T 47013《承压设备无损检测》的第14部分。NB/T 47013 已经发布了以下部分：

- \_\_\_\_第1部分：通用要求；
- \_\_\_\_第2部分：射线检测；
- \_\_\_\_第3部分：超声检测；
- \_\_\_\_第4部分：磁粉检测；
- \_\_\_\_第5部分：渗透检测；
- \_\_\_\_第6部分：涡流检测；
- \_\_\_\_第7部分：目视检测；
- \_\_\_\_第8部分：泄漏检测；
- \_\_\_\_第9部分：声发射检测；
- \_\_\_\_第10部分：衍射时差法超声检测；
- \_\_\_\_第11部分：射线数字成像检测；
- \_\_\_\_第12部分：漏磁检测；
- \_\_\_\_第13部分：脉冲涡流检测；
- \_\_\_\_第14部分：射线计算机辅助成像检测；
- \_\_\_\_第15部分：相控阵超声检测。

本文件代替 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》，与 NB/T 47013.14—2016 相比，除题目和结构调整以及编辑性改动之外，主要技术变化如下：

- a) 增加了引言；
- b) 扩大了文件的使用范围，增加了Ir192和 Se75射线源(见1.4)；
- c) 增加了 Ir192 和 Se75 射线源应用的规定(见4.2.2、5.8.2、5.9.2、表2、表3、表12、表13)；
- d) 增加了与Ir192和 Se75 射线源相关引用文件(见第2章)；
- e) 增加了与文件相关的术语和定义(见3.10~3.12、3.18、3.20、3.22~3.26)；
- f) 补充了工艺验证内容(见4.4.4、10.1、10.2)；
- g) 补充工艺规程的相关因素(见4.4.2)；
- h) 增加了标样的要求(见5.14)；
- i) 更改了图像分辨率要求的部分内容(见6.3, 2016版的5.16.2、表8~表11)；
- j) 更改了归一化信噪比的部分要求(见6.4, 2016版的5.16.3、表10~表13)；
- k) 增加了缺陷的识别与测量的要求(见第7章)；
- l) 删除了图像尺寸测量(见2016版的5.19)；
- m) 更改了检测结果评定和质量分级(见第9章，2016版的第6章)。

## NB/T 47013.14—2023

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、中广核工程有限公司、立信染整机械(深圳)有限公司、查特深冷工程系统(常州)有限公司、广东省特种设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京埃彼咨能源科技有限公司、上海冠域检测科技有限公司、北京合聚信达科技有限公司、锐珂亚太投资管理(上海)有限公司、贝克休斯检测控制技术(上海)有限公司、青岛持恒过程技术有限公司。

本文件主要起草人：梁丽红、朱从斌、原可义、林树青、李亚军、盛佩军、王广坤、郑凯、李绪丰、李黎、韩向文、谢佳军、朱彦、董毅。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

\_\_\_\_ 2016年首次发布为NB/T47013.14—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》；

\_\_\_\_ 本次为第一次修订。

## 引 言

射线计算机辅助成像检测(Computed Radiographic Testing, 简称 CR 检测)是一种利用磷光成像板(IP)在射线辐照下曝光获取检测对象信息,通过专用扫描仪获取成像板中存储的信息,并通过计算机软件形成数字图像的数字化射线检测技术。与传统的射线胶片照相检测技术相比,该技术具有图像质量高、动态范围大、绿色环保、易于携带等优点。

为规范和指导该检测技术在特种设备行业的应用,全国锅炉压力容器标准化技术委员会组织相关单位制定了相应的检测方法标准,并列为NB/T47013《承压设备无损检测》的第14部分。本文件严格执行NB/T47013“第1部分:通用要求”的规定,并与NB/T47013“第2部分:射线检测”和NB/T 47013“第11部分:射线数字成像检测”相呼应。由于胶片照相检测技术、射线计算机辅助成像技术和射线数字成像检测技术所采用的成像器件和图像处理方法不同,有必要针对三种检测技术分别作出相应的规定。

本文件已于2016年首次颁布实施,经过几年的应用,检测技术不断进步,新的需求不断产生,标准的不完善之处开始显现。同时,为适应国内外相关标准的变化,进一步拓展射线计算机辅助成像检测技术在特种设备行业的应用,全国锅炉压力容器标准化技术委员会于2021年组织相关单位和专家对本文件进行适应性的修订。

## 承压设备无损检测

### 第14部分：射线计算机辅助成像检测

#### 1 范围

- 1.1 本文件规定了承压设备金属材料受康元性的熔化合焊接接头的射线计算机辅助成像检测技术和质量分级要求。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。
- 1.2 本文件适用于承压设备承压元件的制造、安装。在用检测试板及管的对接接头对接焊缝(以下简称“对接焊缝”)的射线计算机辅助成像检测。
- 1.3 本文件适用的成像器件为成像板。
- 1.4 本文件适用的射线源为X射线源和192-5e77 对线源，开中射线机最高管电压不超过600 kV。
- 1.5 承压设备支承件和结构件以及插入式和安放式接叠的焊接接头的射线计算机辅助成像检测，可参照使用。

#### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件，不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 14058 射线探伤机
- GB/T 21356 无损检测—计算机射线照相系统的长期稳定性鉴定方法
- GB/T 23901.1 无损检测—射线照相检测图像质量 第1部分：能型像质计像质值的测定
- GB/T 23901.5 无损检测—射线照相检测图像质量 第5部分：双焊型像质计图像清晰度的测定
- GB/T 23910 无损检测射线照相和检测用金属增感屏
- JB/T 7902 无损检测—线型像质计通用规范
- JB/T 11608 无损检测仪器—用平射线探伤要置
- NB/T 47013.1 承压设备无损检测第1部分：通用要求
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测

#### 3 术语和定义

NB/T 47013.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1

**成像板** IP imaging plate

一种涂有稀土元素铕、钡、氟化合物，曝光后能以潜影形式储存信息的柔性板。

3.2

**射线计算机辅助成像系统** computed radiographie system

由成像板、专用激光扫描仪(以下简称“扫描仪”)、计算机硬件和专用软件等组成,能将成像板上的信息转换成数字图像的系统。简称 CR 系统。

3.3

**被检工件-成像板距离**  $b$  object-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的被检工件表面(射线源侧)至成像板之间的距离。

3.4

**射线源-成像板距离**  $F$  source-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至成像板之间的距离,即焦距。

3.5

**射线源-被检工件距离**  $f$  source-to-object distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至被检工件表面(射线源侧)之间的距离。

3.6

**成像板的结构噪声** structure noise of IP

成像板感光层和表面的结构不均匀导致的数字图像的固有噪声。

3.7

**像素** pixel

射线数字图像的基本组成单元。射线数字图像由点组成,组成图像的点称为像素。

3.8

**灰度值** grey value

表征数字图像中像素明暗程度的数值。

3.9

**线性灰度值** linearized grey value

与成像板的曝光量成正比的灰度值。

3.10

**图像灵敏度** image sensitivity

检测系统发现被检工件图像中最小细节的能力。

3.11

**分辨率** resolution ratio

单位长度上分辨两个相邻细节间最小距离的能力,单位为线对每毫米(lp/mm)。

3.12

**分辨力** resolution

分辨两个相邻细节间最小距离的能力,单位为毫米(mm)。

3.13

**系统分辨率** system resolution ratio

单位长度上 CR 系统分辨两个相邻细节间最小距离的能力。也称为系统基本空间分辨率,单位为线对每毫米(lp/mm)。

## 3.14

**图像分辨率** image resolution ratio

检测系统分辨被检工件图像中单位长度上两个相邻细节间最小距离的能力，也称图像空间分辨率，单位为线对每毫米 (lp/mm)。

## 3.15

**扫描分辨率** scanning resolution ratio

由扫描决定的数字图像的像素几何尺寸，取决于激光扫描仪扫描成像板的行间距，以及激光点扫描行走速度与模数转换器工作频率之比。

## 3.16

**信噪比** SNR signal-to-noise ratio

在数字图像中，选定区域的线性灰度平均值与标准差的比值。

## 3.17

**归一化信噪比** SNR<sub>n</sub> normalized signal-to-noise ratio

基于分辨率，经归一化处理后的信噪比。

## 3.18

**透照厚度** W penetrated thickness

射线透照方向上材料的公称厚度。多层透照时，透照厚度为通过各层材料的公称厚度之和。

## 3.19

**一次透照长度** effective length of a single exposure

符合标准规定的单次曝光最大有效检测长度。

## 3.20

**透照厚度比** K ratio between max.and min.penetrated thicknesses

一次透照长度范围内，射线束穿过母材的最大厚度和最小厚度之比，也称为穿透厚度比。

## 3.21

**数字图像处理** digital image processing

利用计算机对数字图像进行处理的方法和技术。

## 3.22

**标样** standard sample

用于标定图像中特征大小的已知尺寸的试样。

## 3.23

**原始图像** raw image

成像板形成的潜影经扫描仪扫描后的图像。

## 3.24

**圆形缺陷** round flaw

长宽比不大于3的气孔、夹渣和夹钨等体积型缺陷。

## 3.25

**条形缺陷** stripy flaw

长宽比大于3的气孔、夹渣和夹钨等体积型缺陷。

3.26

小径管 small diameter tube

外直径 D。小于或等于100 mm 的管子。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 从事射线计算机辅助成像检测人员(以下简称“检测人员”)的一般要求应符合NB/T47013.1 的有关规定。

4.1.2 检测人员应了解与射线计算机辅助成像技术相关的计建机知识、数字图像处理知识，掌握相应的计算机及检测软件的基本操作方法。

4.1.3 检测人员应按相关法规的要示。我上岗前接受辐射安全与防 控知识培训，并取得相应射线源的考核合格证书。

4.2 检测系统和器材

4.2.1 X 射线机

4.2.1.1 应根据被检工件的厚理、材质和焦距，选择X 射线 机 的 能 范 顺

4.2.1.2 采用的X 射线机，是性能指标应符合JB/T11608 的规定) 使角性能测试条件及测试方法参考 GB/T 26592和 GB/T2 的规定。

4.2.1.3 供应商应提供X 射线管的焦点尺寸和辐射角度

4.2.2 γ 射线机

4.2.2.1 应根据被检工件的厚度、材质和焦距，选择 γ 射线源类型及活度

4.2.2.2 采用的 γ 射线机，丢性能指标应符合GBT14058 的规定

4.2.3 CR 系统

应根据检测对象和技术要出连择适用的CR 系统。系统性能测规条及测词方法按 GB/T21356 的规定执行。系统至少应 满足 下性 能指标

- a) 图像几何畸变率应小于名%;
- b) 扫描仪和成像板之间 不应每在抖动、滑动，或抖动低于 爱统噪意水平;
- c) 图像同一水平线上，中心区我与边缘背景灰度变化率不的超进0%;
- d) 其他性能指标包括信噪比 。 办 功能 、 阴 影 、 影像擦除， 内影等。

4.2.3.1 成像板

供应商应提供成像板的质量证明文件，再少应包括成像板的 类重和规格、激发响应时间、化学成分等主要性能参数。用户应按制造商推程的温 度和源 度条 件子 读使用和保存，并避免不必要的照射。

4.2.3.2 扫描仪

供应商应提供扫描仪质量证明文件，内容至少包括规格、扫描尺寸、光电倍增管电压或增益、扫描分辨率、激光束焦点尺寸等主要性能参数，且其功能和性能至少满足以下要求;

- a) 扫描仪应具有扫描和擦除功能，擦除后残留潜影灰度值不得高于系统最大灰度的5%;
- b) 扫描激光功率应满足信号采集的要求;
- c) 扫描仪的光电倍增管电压或增益、扫描分辨率应可调;
- d) 激光束应无颤动，且不存在伪影和扫描线丢失现象。

4.2.4 计算机系统

计算机系统的基本配置依据采用的CR 系统对性能和扫描速度的要求而确定。宜配备容量不低于512MB 的内存、不低于40GB 的硬盘及高亮度高分辨率显示器、刻录机、网卡等。

显示器应满足以下最低要求：

- a) 最低亮度250 cd/m²；
- b) 显示器至少256灰度等级；
- c) 可显示的最低光强比1:250；
- d) 显示至少1 M 像素，像素尺寸小于03mm

4.2.5 系统专用软件

4.2.5.1 系统软件是射线计算机筛助成像检测系 统的核心单元…控制扫描仪完成成像板采集信息到数字图像的转换以及潜影擦除、图做存储、那助评定、标注等功能

4.2.5.2 宜具备多种图像格式的转换功能。

4.2.5.3 应具备灰度，分辨率二信顺比、几何尺寸等测量功能么

4.2.5.4 应具备灰度接模 、科 比度和亮度调节、图像编放军功能

4.2.5.5 应具备采集图像相关信息的测览和查 我 功 能

4.2.5.6 可自动生成检测报告

4.2.6 像质计

4.2.6.1 本文件来用的德质州包括线型像质计和效线型像质计， 像质计供货商应提供相应质量证明文件。

4.2.6.2 线型像质动

- a) 线型像质计用于测定图像灵敏度，包括通用线 梨像质计和等径线利像质计两种，其型号和规格应登别的召CT23901.1 和JD/ T7902 的规定；
- b) 线型像质讲的材料代号 材料和不回材料的线型像质计适用的被检工件材料范围见表1的规定执行，想像香计的吸收系数应与被检 材料的吸收容数相近，任何情况下不能高于被检材材的吸收系数。

蒸 不同林料的线型像质计适用的材料范围

线型像质计材料代号				Ni	Cu
线型像质计材料	工业纯销	卫业纯	碳素钢	镍-铬合金	3#纯铜
适用材料范围	铝、铝合金	上	钢	镍、镍合金	铜、铜合金

4.2.6.3 双线型像质计

- a) 双线型像质计用于测量系统分辨率和图像分辨率；
- b) 双线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.5 的要求。

4.2.7 功能及性能

检测系统和器材的功能及性能应符合上述要求，且应提供相应的证明文件；检测系统的使用性能应符合本文件规定的图像质量要求。

4.2.8 校准或运行核查

4.2.8.1 每年至少对 CR 系统性能中的几何畸变、抖动、均匀性、激光束功能、阴影、伪影等进行1次校准或核查并记录。

**4.2.8.2** 每年至少应对使用中的曝光曲线进行1次核查。当射线机重要部件更换或经过修理后，应重新制作曝光曲线。

**4.2.8.3 运行核查**

存在如下情况应进行系统核查并记录，核查按照 GB/T 21356 描述的方法实施。

- a) 系统改变时(包括各部件的维修、更换、软件升级等)；
- b) 系统停止使用3个月以上，重新使用时；
- c) 正常使用条件下，用户可根据产品说明书和使用频率，在工艺文件中规定核查频次，并按规定实施核查。

**4.3 检测技术等级**

**4.3.1** 本文件规定的射线计算机辅助成像检测技术等级从低到高分为三级：A级、AB级和B级。

**4.3.2** 检测技术等级选择应符合相关法规、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。对承压设备对接焊缝，一般推荐采用AB级检测技术进行检测。对重要设备和结构以及特殊材料和特殊焊接工艺制作的对接焊缝，宜采用B级检测技术进行检测。

**4.3.3** 当某些检测条件不能满足AB级(或B级)检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施(例如增加曝光量或选用信噪比更高的CR系统等)的前提下，若图像质量达到了AB级(或B级)检测技术的规定，则可认为按AB级(或B级)检测技术进行了检测。

**4.3.4** 如果检测中射线源至被检工件表面的距离 $f$ 不满足5.6的要求，则4.3.3的规定不适用。

**4.3.5** 如果在用承压设备检测的某些条件不能满足AB级检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施(例如增加曝光量或选用信噪比更高的系统等)前提下可采用A级检测技术进行检测，宜同时采用其他无损检测方法进行补充检测。

**4.4 检测工艺文件**

**4.4.1** 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

**4.4.2** 工艺规程除应满足NB/T47013.1的要求外，还应规定下列相关因素的具体范围或要求，如相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

- a) 适用的结构、材料类别及厚度；
- b) 射线源能量范围及焦点尺寸；
- c) 检测技术等级；
- d) 检测工艺(透照方式、透照参数、几何参数)；
- e) 检测设备器材(种类、规格、主要技术参数)；
- f) 图像质量要求。

**4.4.3** 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编写操作指导书，其内容除满足NB/T47013.1的要求外，至少还应包括：

- a) 检测设备器材：射线源(种类、规格、焦点或源尺寸)成像板和扫描仪(种类、规格)、检测软件、金属屏(种类和厚度)、像质计(种类和型号)、背散射屏蔽铅板、标记、标样等。
- b) 检测技术等级。
- c) 检测工艺：透照方式、透照参数(包括管电压、曝光量)、几何参数、扫描仪参数。
- d) 检测标识。
- e) 图像质量要求：灰度范围、图像分辨率、图像灵敏度、归一化信噪比。

- f) 验收标准。
- g) 工艺验证图像编号。

#### 4.4.4 工艺验证

4.4.4.1 首次使用的操作指导书应进行工艺验证，以验证图像质量是否能达到标准规定的要求。

4.4.4.2 工艺验证可采用对比试件通过专门的透照试验进行，或以产品的第一批图像作为验证依据。在这两种情况下，作为依据的验证图像均应做出标识。

4.4.4.3 应保证射线源的摆放与实际检测保持一致。

4.4.4.4 应摆放线型和双线型像质计，线型像质计的放置应与实际检测一致。

4.4.4.5 双线型像质计应放于被检工件靠近焊缝的母材上，长度方向与探测器行或列的夹角为 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，且b值较大的部位；当焊缝的材料类型不同时，应放置于衰减系数最大的材料的被检工件表面。放置方位见图1示例(正片)，成像中心区域上下和左右四个方位的图像分辨率均应满足要求。采用中心曝光方式时，宜间隔 $120^{\circ}$ 进行上述工艺验证。

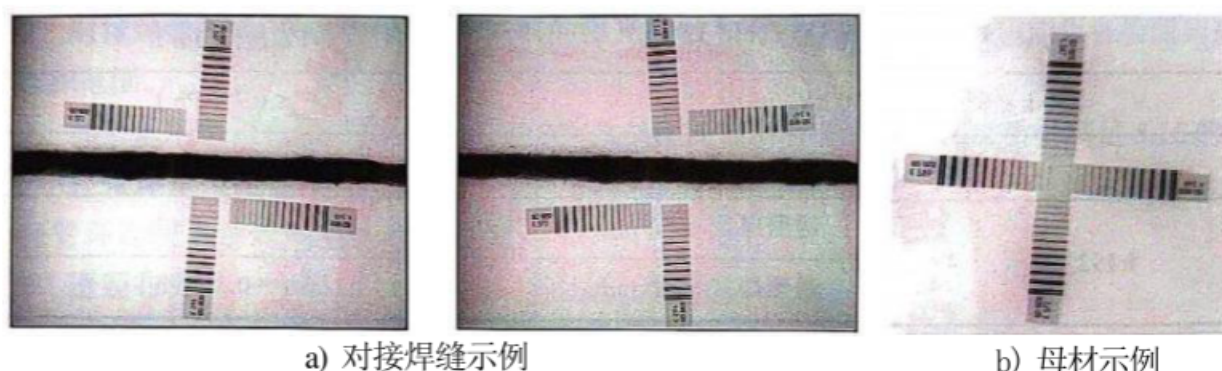


图1 工艺验证双线型像质计放置示例图

4.4.4.6 对于小径管检测，双线型像质计(长度方向)应沿小径管轴向放置在焊缝两侧的母材上，两个方位的图像分辨率均应满足要求。

### 4.5 安全要求

4.5.1 检测环境应满足系统运行对环境(温度、湿度、接地、电磁辐射、振动等)的要求。

4.5.2 辐射防护应符合GB 18871、GBZ 117的有关规定。

4.5.3 现场进行CR检测时，应按GBZ 117的规定划定控制区和监督区，设置警告标志；检测作业时，应围绕控制区边界测定辐射水平。检测人员应佩戴个人剂量计，并携带剂量报警仪。

## 5 检测工艺及其选择

### 5.1 检测时机

5.1.1 检测时机应满足相关法规、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。

5.1.2 除非另有规定，检测应在焊接完成后进行，对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成24h后进行检测。

### 5.2 检测区

5.2.1 检测区宽度应满足相关法规、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，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。

5.2.2 对于电渣焊对接焊缝，其检测区宽度应由合同双方商定或通过实际测量热影响区确定。

5.3 表面要求

在检测之前、焊接接头的表面应经目视检测合格。表面的不规则状态在数字图像上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面做适当修整。

5.4 成像板和金属屏

5.4.1 对厚度较小的被检工件可选择感光速度较慢的成像板，对厚度较大的被检工件可选择感光速度较快的成像板。

5.4.2 应根据被检工件材料、透照厚度和管电压选择合适的成像板和前金属屏，金属屏应符合 GB/T23910 的要求，金属屏的材料和厚度选择应分别符合表2和表3的要求。

5.4.3 当使用金属屏时，成像板涂层面和前屏之间应当良好接触，

表 2 前金属屏的材料和愿度 — 钢、铜及铜合金镍及镍合金

射线能量	前签属除的类型和厚度/mm	
管电压≤50 kV	无	
50 kV<魔电压≤250kN	(Pb)	
250 k≤管电压600kV		Pb)
	0B b)	
透照屑	提 XPB)	
Ir192 透照厚	Hb)	
注：铅屏可完全或部分由e或 u屏代替一厚度为铅屏的		

表3前玺属屏的材料和厚度 铝及铝合金 大及钛合金

射线能	金属屏的类型和厚度/mm
管电压言150kV	00 (Pb)
150 kV<管电压≤600k	Pb)*
Se	0. 3 (Pb)
” 可在被检工件与暗盒之间使用01mm钢质滤光板，此时暗盒内使角0 金属屏，	

5.5 透照布置

5.5.1 透照方式

应根据被检工件特点和技术条件的要求选蜂适宜的透照方式，典型的透照方式参见NB/T47013.2。除小径管允许选择双壁透照或合同双方商定选择双壁透照方式的特殊情况外，具备单壁透照条件时，宜选择单壁透照方式。

5.5.2 透照方向

透照时，射线束中心通常垂直指向透照区中心，并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。

5.5.3 一次透照长度

5.5.3.1 一次透照长度通过透照厚度比K 进行控制。不同检测技术等级和不同类型焊接接头的 K 值应符合表4的规定。通过K 值确定的整条环向对接焊缝(以下简称“环焊缝”)所需的透照次数

可参照 NB/T47013.2 的相关曲线图确定。

5.5.3.2 采用射线源在内偏心透照( $F < D_0/2$ ) 时,透照次数参照NB/T47013.2 的相关公式进行计算。

5.5.3.3 椭圆形封头、碟形封头小 r 区的焊接接头,小径管以及其他曲率连续变化的焊接接头可不以 K 值确定一次透照长度,图像质量应满足 5.16 的要求。

表4 允许的透照厚度比 K

检测技术等级	A 级、AB 级	B 级
纵向焊接接头		$K \leq 1.01$
环向焊接接头		$K \leq 1.06$
’ 对 $100\text{mm} < D_0 \leq 400\text{ mm}$ 的环原缝(息活曲率相司的曲面焊接接头)A 级、AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

5.5.4 有效评定区搭接

5.5.4.1 有效评定区局指满足本文什对于透照厚度比和图像质是要求的成像区域。

5.5.4.2 对接焊缝进行 60% 检测间,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。

5.5.4.3 如果采用暗盒直接搭接透照的 个有效评定区图像质量满足 5.16 的要求。

5.5.5 小径管环煌缝透照

小径管环焊缝采用双型双影透照布置

5.5.5.1 透照布置

同时满足下列条行时益采用倾斜透照椭圆成像

——T(壁厚 8 m;  
—g(焊缝宽度)。

应控制影像的开团宽度(具下焊缝投形最大间距)在, 1 倍爆缝觉度在右。不满足上述条件或椭圆成像有困难时,可采用主直透照重叠成像。

5.5.5.2 透照次数

小径管环焊缝 100% 检测的透照次数:采用倾斜透照相圆成像时 TID.  $\leq 0.12$  时,相隔  $90^\circ$  透照 2 次;当  $T1D > 0.2$  2 0 或  $60^\circ$  透照 2 。透照置成像时, 一般应相隔  $120^\circ$  或  $60^\circ$  透照 3 次。

按上述规定进行多次透照用一相邻图像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% 预责要水,则应增加原汇次数。

5.5.5.3 特殊情况

由于结构原因不能按 5.5.5.2 规定的间隔角度进行多次透照,经合同双方商定,可不再强制执行 5.5.5.2 规定的透照间隔角度,但应采取措施尽量扩大缺陷可检出范围,同时应保证在评定范围内图像质量满足本文件的要求,并在检测报告中对有关情况进行说明。

5.5.5.4 局部检测

不要求 100% 检测的小径管环焊缝的透照次数由合同双方商定,并保存相关记录。

5.6 射线源至被检工件表面的最小距离

5.6.1 所选用的射线源至被检工件表面的距离 f 应满足如下要求:

—A 级检测技术:  $f \geq 7.5d \cdot b^2$ ;

\_\_\_\_AB 级检测技术： $f \geq 10d \cdot b^2/3$ ;

\_\_\_\_3级检测技术： $f \geq 15d \cdot b^2/3$ 。

图 2 是A 级和B 级 CR 检测技术确定f 的诺模图，图3是AB 级 CR 检测技术确定J的诺模图。有效焦点或源尺寸d 按 NB/T47013.2 的规定计算。

5.6.2 采用射线源在被检工件内中心透照方式周向曝光时，如果图像质量符合5.16 的要求，f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的50%。

5.6.3 采用射线源在被检工件内偏心透照方式时，如果图像质量符合5.16 的要求，f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的20%。

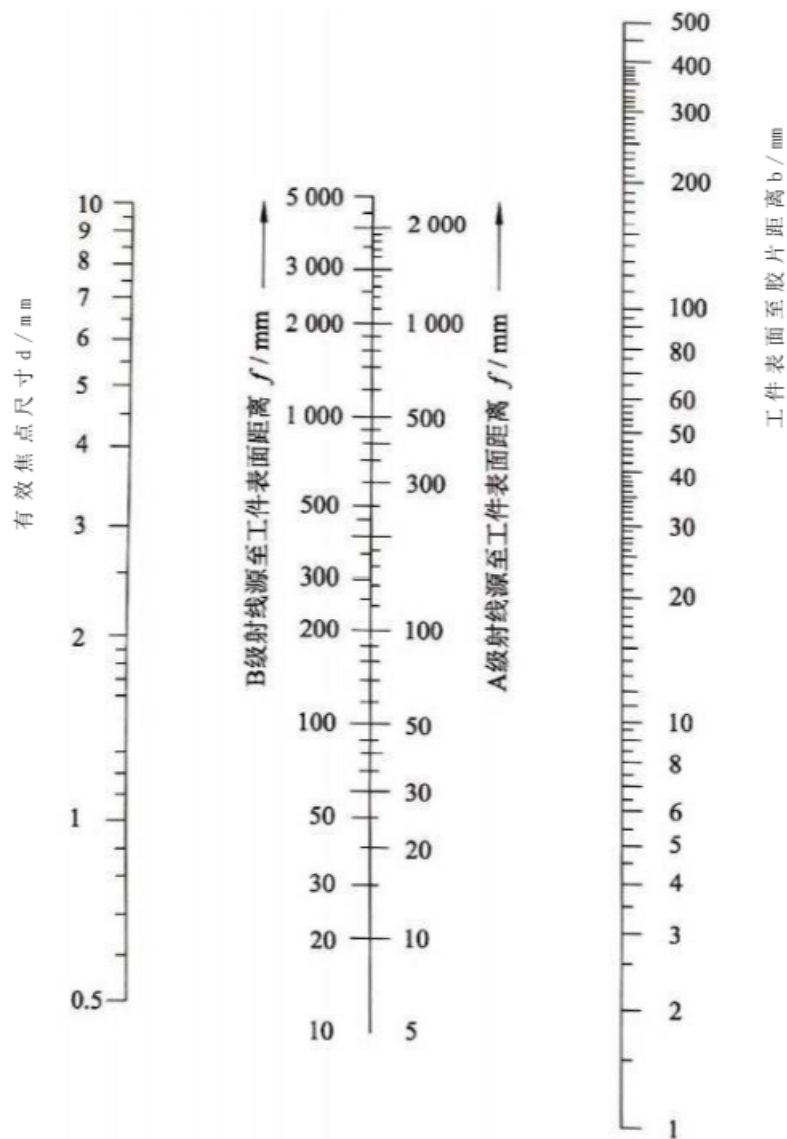


图 2 A 级和B 级 CR 检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

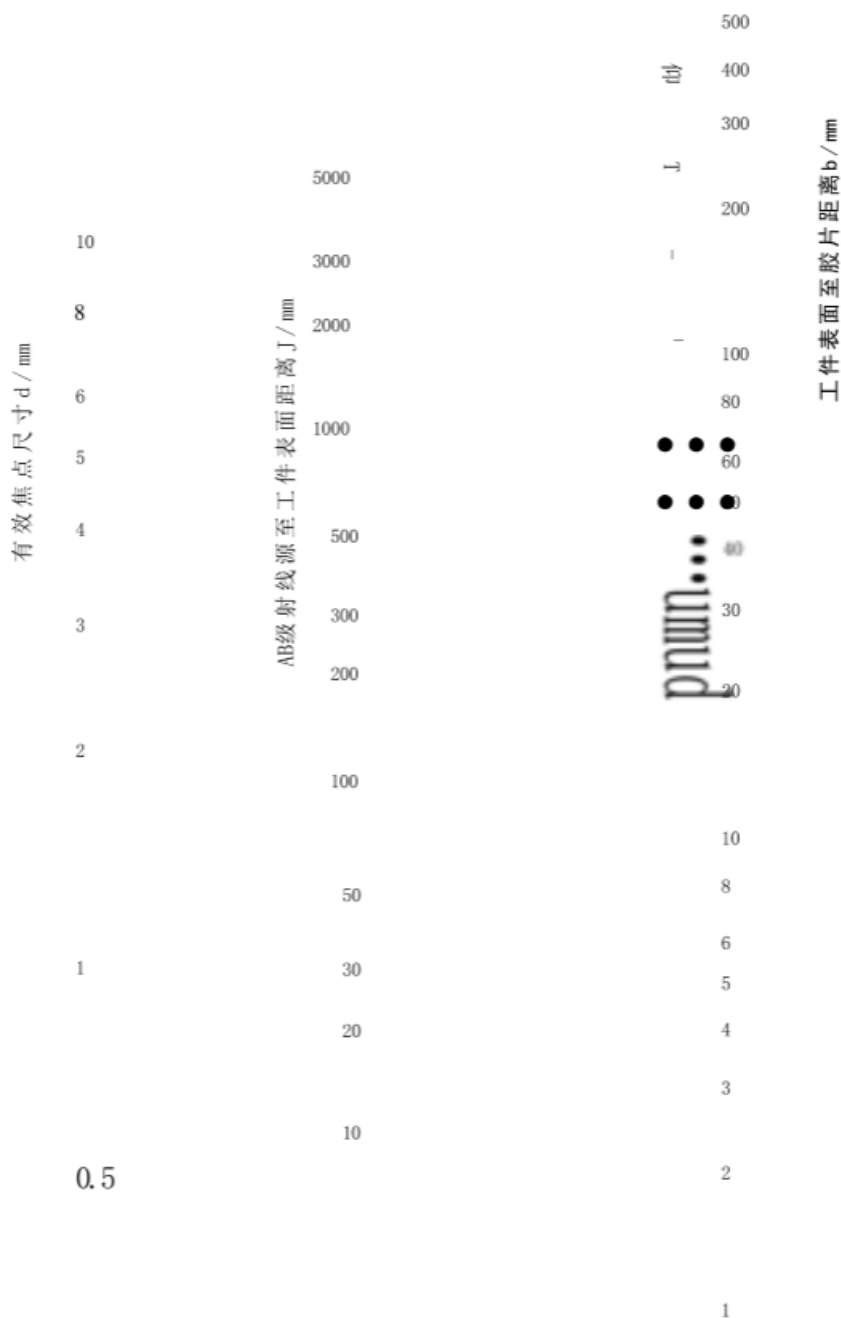


图3 AB级CR检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

5.7 成像板与被检工件之间的距离

曝光期间成像板应紧贴被检工件，除非有特殊规定或透照布置能使被检区域得到更好的图像。

5.8 射线能量

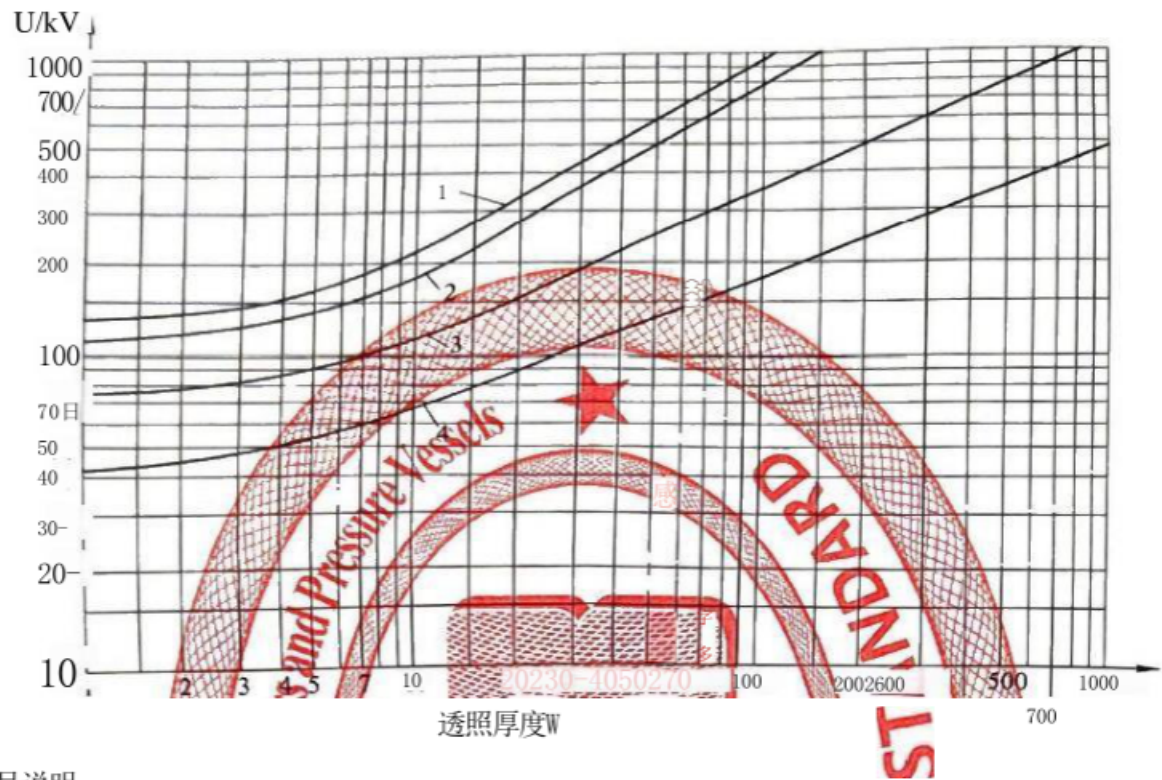
5.8.1 X射线源

5.8.1.1 在保证穿透力的前提下，宜选用较低的管电压。当采用较高管电压时，应保证适当的曝光量。图4为不同材料、不同透照厚度推荐采用的最高X射线管电压。

5.8.1.2 对截面厚度变化大的承压设备，在保证图像质量符合5.16要求的前提下，允许采用超过图4规定的X射线管电压。但对钢、铜及铜合金、镍及镍合金材料，管电压增量不应超过50 kV；对钛及钛合金材料，管电压增量不应超过40kV；对铝及铝合金材料，管电压增量不应超过30kV。

5.8.1.3 按B级检测技术检测时，宜选用结构噪声较低的成像板。如选用结构噪声较高的成像

板，采用的最高X射线管电压宜比图4所示值低20%。



标引序号说明:

1——铜及铜合金、镍及镍合金、钢、铝及铝合金  
不同透照厚度推荐的最高X射线管电压

5.8.2 Ir192和 Se75 射线源

5.8.2.1 对钢、铜和镍基合金材料，推荐的透照厚度范围见表5。在正像质量满足要求的前提下，且信噪比应高于本规程规定的1.4倍，经合同双方商定， $\gamma$ 射线源透照厚度检测下限可调整如下：

- a) A级、AB级 Ir192 透照厚度可降至10mm;
- b) Se75 透照厚度可低于10mm

表5 Ir192和Se75对钢铜和镍基合金材料所适用的透照厚度范围

$\gamma$ 射线源	透 照 厚 度 m		
		AB级	B级
Se75	$10 \leq W \leq 40$	$0 < W \leq 40$	$14 \leq W \leq 40$
Ir192	$20 \leq W \leq 100$	$20 \leq W \leq 90$	$20 \leq W \leq 80$

5.8.2.2采用Se75 $\gamma$ 射线源透照铝和钛合金时，透照厚度范围：

- a) A级和AB级， $35 \text{ mm} \leq W \leq 120 \text{ mm}$ ;
- b) B级， $25 \text{ mm} \leq W \leq 55 \text{ mm}$ ;

5.8.2.3 使用 $\gamma$ 射线源进行检测时，总的曝光时间应不少于输送源往返所需时间的10倍。

5.9 曝光量

5.9.1 X射线检测的曝光量等于曝光时间和管电流的乘积，单位为毫安每秒 (mA·s)。

5.9.2  $\gamma$ 射线检测的曝光量等于曝光时间和射线源当前活度的乘积，单位为贝可每秒(Bq·s)。

5.9.3 增加曝光量可提高信噪比，提高图像质量。

5.9.4 可按附录A的规定通过最小灰度值试验确定合适的曝光量。

## 5.10 无用射线和散射线屏蔽

5.10.1 宜采用金属板、周边遮挡铅板、准直器等适当措施，屏蔽散射线和无用射线，限制照射场范围。

### 5.10.2 背散射防护

5.10.2.1 对初次制定的检测工艺，以及在使用中检测条件、环境发生改变时，应进行背散射防护检查。

5.10.2.2 检查背散射防护的方法是在暗盒背面贴附“B”铅字标记，一般“B”铅字的高度为13mm，厚度为1.6mm，按检测工时规定进行透照和扫描处理。以负片为例说明：若在图像上出现浅色“B”字影像，则说明背散射防护不够，应增大背面的防护铅板的厚度；若图像上不出现“B”字影像或出现深色“B”字影像，则说明背散射防护符合要求。

5.10.2.3 当背散射防护不符合要求时。可在成像板背面，暗外使用铅板吸收散射线，铅板厚度以背散射检查符合要求为准。

5.10.3 当采用 $^{75}\text{Se}$ 和 $^{102}\text{Eu}$ 射线源存在边缘散射时，可在工件与暗盒间放置铅质滤光板滤除散射线。根据透照厚度的不同，滤光板的厚度为1mm~1mm。

## 5.11 线型像质计的使用

### 5.11.1 线型像质计放置原则

线型像质计一般应放置在焊缝的一端(约在被检焊缝宽度的1/4处正)，除主线应横跨焊缝，细线置于外侧，当一张成像板上同时透照多条焊缝时，线型像质计应放置有透照区最边缘的焊缝处。

线型像质计放置还应满足以下规定：

- 单壁透照像质计置于射线源侧。双壁单影透照像质计放置在成像板侧。双壁双影透照像质计可成整条射线，也可放置在成像板侧。
- 单壁透照中如果像质计无法放置射线源侧，允许放置在成像板侧。
- 单壁透照中像质计放置在成像板侧时，应进行对比试验。对比试验方法是在射线源侧和成像板侧各放一本像质计，用与被检工件相同的条件透照测定出像质计放置在射线源侧和成像板侧的灵敏度差异，以此修正灵敏度，保证实际透照的图像灵敏度符合要求。
- 当像质计放置在成像板侧时，应在像质计上适当位置放置铅字“F”作为标记，“F”标记的影像应与像质计的标记同时出现在图像上，通应在检测报告中注明。

### 5.11.2 线型像质计数量

原则上每张图像上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张成像板成像时，使用的像质计数量允许减少，但应符合以下要求：

- 环焊缝采用射线源置于中心周向曝光时，至少在圆周上等间隔地放置3个像质计；
- 一次曝光连续排列多张成像板时，至少在一张、中间一张和最后一张成像板处各放置一个像质计。

### 5.11.3 小径管对接焊缝使用的线型像质计和放置要求

小径管使用通用线型和专用等径线型像质计时，金属线应垂直或平行于焊缝放置。

### 5.11.4 不等厚或不同种类材料之间对接焊缝

如果焊缝的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部位应分别采用与被检工件厚度或类型相匹配的线型像质计，并分别放置在焊缝相对应的部位。

5.11.5 若线型像质计无法放置在规定的部位，应采用对比试件代替被检工件，对比试件的厚度应为被检工件的最大厚度。其图像灵敏度应符合6.2的规定，并保存相关说明和记录。

### 5.11.6 线型像质计影像识别

5.11.6.1 使用线型像质计时，图像上能够识别的最细线的编号即为像质计灵敏度值。图像灰度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）的金属线影像连续可见长度不小于10mm时，则认为该线是可识别的。

5.11.6.2 专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线。

5.11.6.3 对于小径管检测，当线型像质计平行放置时，金属线影像可见长度不应小于外径的20%。

### 5.12 双线型像质计的使用

5.12.1 双线型像质计放置方法应符合附录B的规定。

5.12.2 对每一种检测对象和工艺，应采用双线型像质计测量图像分辨率，在工艺验证符合要求后，进行检测时可不放置双线型像质计。

### 5.13 标记

5.13.1 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。标记应能清晰显示且不至于对图像的评定带来影响，标记的材料和厚度应根据被检工件的厚度来选择，应能保证标记影像不模糊。

5.13.2 识别标记一般包括：产品编号、焊缝编号、部位编号和透照日期。返修后的透照还应有返修标记，扩大检测比例的透照应有扩大检测标记。

5.13.3 定位标记一般包括中心标记、搭接标记、检测区标记等。中心标记指示透照部位区段的中心位置和分段编号的方向，一般用十字箭头“十”表示。搭接标记是连续检测时的透照分段标记，可用符号“↑”或其他能显示搭接情况的方法（如数字等）表示。检测区标记采取的方式能够清晰标识检测区范围即可。

5.13.4 当焊缝内外余高均磨平，从图像上不能确定检测区位置和宽度时，应采用适当的定位标记（如采用铅质窄条）进行标识。

5.13.5 定位标记应放在被检工件上，其摆放应符合NB/T47013.2的相关规定。所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区的影像。当由于结构原因或难以实施，应放置于射线源侧的定位标记需要放置于成像板侧时，检测记录和报告应标注实际的评定范围。

5.13.6 识别标记允许放置于射线源侧或成像板侧，所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区的影像。

5.13.7 为了能精确辨别实际检测位置，应以被检工件上永久标识或部位作为参考点；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（如透照布置图）确定。

### 5.14 标样

5.14.1 标样作为图像中特征（缺陷）测量时的尺寸标定试样，具体使用见7.2。

5.14.2 标样应放置在成像板侧，标样的长度方向宜与焊缝方向平行，在有效评定范围内成像，

且干扰有效评定区范围内的影像。

5.14.3 标样长度应不低于15mm。

5.15 扫描仪参数选择

5.15.1 扫描仪光电倍增管电压或增益的选择应与曝光量匹配，使数字图像灰度值处于适当范围（5%~90%）。

5.15.2 扫描分辨率的选择应保证图像分辨率达到标准规定的要求，且应与成像板特性匹配。

5.16 图像评定环境要求

图像评定应在专用的评定室内进行，评定室应整洁，温度和湿度适宜。

6 图像质量要求

6.1 一般要求

6.1.1 图像上的标记影像应显示完整，位置正确。图像有效评定区不应存在干扰缺陷识别的划痕、压痕、折痕、脱膜、异物粘附以及金属屏缺陷等造成的伪缺陷影像。

6.1.2 图像质量满足规定的要求后，方可进行被检工件质量的等级评定。

6.1.3 应在光线柔和的环境下观察图像，显示器屏幕应清洁，无明显的光线反射。

6.1.4 图像质量评定应在原始图像中进行，不得采用滤波处理。

6.2 图像灵敏度要求

6.2.1 单壁透照、线型像质计置于射线源侧时应符合表6的规定；双壁双影透照、线型像质计置于射线源侧时应符合表7的规定；双壁单影或双壁双影透照、线型像质计置于成像板侧时应符合表8的规定。

6.2.2 对于带垫板的焊接接头，透照厚度可包括垫板厚度。

表 6 图像灵敏度——单壁透照、线型像质计置于射线源侧

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度W/mm		
	A级	AB级	B级
W19(0.050)	—	—	≤1.5
W18(0.063)	—	≤1.2	1.5<W≤2.5
W17(0.080)	≤1.2	1.2<W≤2.0	2.5<W≤4.0
W16(0.100)	1.2<W≤2.0	2.0<W≤3.5	4.0<W≤6.0
W15(0.125)	2.0<W≤3.5	3.5<W≤5.0	6.0<W≤8.0
W14(0.160)	3.5<W≤5.0	5.0<W≤7.0	8.0<W≤12
W13(0.20)	5.0<W≤7.0	7.0<W≤10	12<W≤20
W12(0.25)	7.0<W≤10	10<W≤15	20<W≤30
W11(0.32)	10<W≤15	15<W≤25	30<W≤35
W10(0.40)	15<W≤25	25<W≤32	35<W≤45

表 6 图像灵敏度——单壁透照、线型像质计置于射线源侧(续)

应识别线号 (线径/mm)	透 照 厚 度 W / m m		
	A 级	A B 级	B 级
W9(0.50)	25<W≤32	32<W≤40	45<W≤65
W8(0.63)	32<W≤40	40<W≤5	65<W≤120
W7(0.80)	40<W≤55	55<W≤85	120<W≤150
W6(1.00)	55<W≤8	85-W≤150	150<W≤250
W5(1.25)	85≤=1S0	150Wz50	>350
W4(1.60)	150kW≤250	250<W≤350	
W3(2.00)	250<V≤350		
W2(2.50)	350		

表7 图像灵敏度 -双壁双影透照零线型像质计置于射线源侧

应识别线号		度 W		
(线 径 / m m)		A 级	B级	B 级
W19(0.050)				≤1.5
W18(0.063)			≤1.2	1.5<W≤2.5
W17(0.080)		≤1.2	W≤2.0	2.5<W≤4.0
W16(0.100)		<W≤2.0	W≤3.	4.0<W≤6.0
W15(0.125)		W≤3	W≤5	6.0<W≤8.0
W14(0.160)		V≤5	W 0 9	8.0<W≤15
W13(0.20)		WS7.0	7.0<应 琴	15<W≤25
W12(0.25)		7.0' W≤N2	12W	25<W≤38
W11(0.32)			18<W≤30	38<W≤45
W10(0.40)		18#6530	30<M40	45<W≤55
W9(0.50)		30	40W50	55<W≤70
W8(0.63)		40<W≤50	50<W≤60	70<W≤100
W7(0.80)		50<W≤60	60<W≤85	100<W≤170
W6(1.00)		60<W≤85	85<W≤120	170<W≤250
W5(1.25)		85<W≤120	120<W≤220	>250
W4(1.60)		120<W≤220	220<W≤380	
W3(2.00)		220<W≤380	>380	-
W2(2.50)		>380	-	

表 8 图像灵敏度——双壁单影或双壁双影透照、线型像质计置于成像板侧

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度W/mm		
	A级	AB级	B级
W19(0.050)	-	-	≤1.5
W18(0.063)	.	≤1.2	1.5<W≤2.5
W17(0.080)	≤1.2	1.2<W≤2.0	2.5<W≤4.0
W16(0.100)	1.2<W≤2.0?	2.0<W≤3.5	4.0<W≤6.0
W15(0.125)	260<P=3:8	315≤W≤5.0	6.0<W≤12
W14(0.160)	1SZW≤5.0	50w≤10	12<W≤18
W13(0.20)	≤dWP0	10<1S	18<W≤30
W12(0.25)	<W≤1S	5<V≤22	30<W≤45
W11(0.32)	5 <sup>sp</sup> ≤22	22	45<W≤55
W10(0.40)	<WS38	38	55<W≤70
W9(0.50)	8<	48	70<W≤100
W8(0.63)	48<W )	60<	100<W≤180
W7(0.80)	60<W	85<W	180<W≤300
W6(1.00)	85<W	25<W	>300
W5(1.25)	 125<W≤225	225<W	
W4(1.60)	225<W	>375	
W3(2.00)	>3		

6.3 分辨率要求

6.3.1 不同检测技术等级的图像分辨率应符合表 8 的规定使用双线型像质计测量分辨率的方法见附录B，对于单光透照方式，透照厚度位取属设为，对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度可取道径，

表2A 级检测技术应达到的最低分辨力

透照厚度W/mm	线对号	分辨率故1p/mm)	分辨力/mm
≤1.0		10.00	0.05
1.0<W≤1.5		7.94	0.063
1.5<W≤2		6.25	0.08
2<W≤≤	D10	5.00	0.10
5<W≤10	D9	3.85	0.13
10<W≤25	D8	3.125	0.16
25<W≤55	D7	2.50	0.20
55<W≤150	D6	2.00	0.25
150<W≤250	D5	1.56	0.32
>250	D4	1.25	0.40

表10 AB级检测技术应达到的最低分辨率(力)

透照厚度W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
≤1.0	D14	12.50	0.04
1.0<W≤1.5	D13	10.00	0.05
1.5<W≤2	D12	7.94	0.063
2<W≤5	D11	6.25	0.08
5<W≤10	D10	5.00	0.10
10<W≤25	D9	3.85	0.13
25<W≤55	D8	3.125	0.16
55<W≤150	D7	2.50	0.20
150<W≤250	D6	2.00	0.25
>250	D5	1.56	0.32

表11 B级检测技术应达到的最低分辨率(力)

透照厚度W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
≤1.5	D14	12.5	0.04
1.5<W≤4	D13	10.00	0.05
4<W≤8	D12	7.94	0.063
8<W≤12	D11	6.25	0.08
12<W≤40	D10	5.00	0.10
40<W≤120	D9	3.85	0.13
120<W≤200	D8	3.125	0.16
>200	D7	2.50	0.20

6.3.2 对于带垫板的焊接接头，透照厚度可包括垫板厚度。

6.3.3 如果图像分辨率达不到表9～表11的规定，可通过提高信噪比提高灵敏度以补偿图像分辨率的不足，这种补偿只允许1个线对，即当图像灵敏度高于本文件规定的1个线经时，允许图像分辨率降低1个线对

6.4 归一化信噪比

6.4.1 图像的归一化信噪比应符合表12和表13的要求，归一化信噪比(SNR<sub>0</sub>) 的测量和计算见附录C。

6.4.2 检测厚度不均匀的工件时，允许采用最小灰度值代替最小 SNR<sub>0</sub>，等价于最小 SNR<sub>0</sub> 的最小灰度值的测定见附录A。

表12允许的最小SNR<sub>a</sub>—钢、铜及铜合金、镍及镍合金

射线能量	透照材料厚度W mm	最小SNR		
		A级	A B 级	B级
管电压≤50 kV		140	170	210
50 kV<管电压≤150 kV		120	140	170
150 kV<管电压≤250 kV		100	120	140
250 kV<管电压≤350 kV	≤50	100	120	140
	>50	100	120	140

表12 允许的最小SNR<sub>n</sub>——钢、铜及铜合金、镍及镍合金(续)

射线能量	透照材料厚度W mm	最小SNR。		
		A级	AB级	B级
350 kV<管电压≤600 kV	≤50	100	120	140
	>50	100	100	100
Se75	-	100	120	140
Ir192	≤50	100	120	140
	>50	100	100	100
注：若在焊缝上测量SNR <sub>n</sub> , 则表中的数值应除以1.4, 除非焊缝无余高且焊缝根部与母材齐平。				

表13 允许的最小 SNR<sub>0</sub> — 铝及铝合金、钛及钛合金

射线能量	最小SNR <sub>a</sub>		
	A级	AB级	B级
管电压≤150 kV	120	140	170
150 kV<管电压≤250 kV	100	120	140
250 kV<管电压≤600 kV	100	120	140
Se75	100	120	140
注：若在焊缝上测量SNR <sub>i</sub> , 则表中的数值应除以1.4, 除非焊缝无余高且焊缝根部与母材齐平。			

7 缺陷的识别与测量

7.1 缺陷的识别

- 7.1.1 缺陷的识别可采用人工识别或计算机辅助识别方法。
- 7.1.2 缺陷人工识别时，图像的显示比例应不低于100%。
- 7.1.3 人工识别采用图像处理技术，调节图像的显示效果，以提高人眼对缺陷的识别能力。

7.2 缺陷的测量

- 7.2.1 在缺陷测量前，应按实际检测工艺，采集含标样的检测图像，并进行几何尺寸标定。
- 7.2.2 利用标样的实际尺寸对应应在图像中的像素个数，得到每个像素对应的实际长度(标定因子)。通过测量得到缺陷的像素个数乘标定因子，得到实际缺陷尺寸。
- 7.2.3 当系统及透照参数改变时，应重新进行标定。

8 图像存储和保存

8.1 图像存储

- 8.1.1 图像存储格式宜按 DICONDE 格式执行。
- 8.1.2 应保存原始图像。
- 8.1.3 当采用图像处理技术时，处理后的图像应进行标识，并与原始数字图像一起保存。
- 8.1.4 图像编号应与焊缝编号相对应。

8.1.5 单位代码、工件编号、焊缝编号、透照参数、检测人员代码、识别标记等信息应写入图像文件的描述字段中，上述信息应具备不可更改性。

## 8.2 图像保存

8.2.1 图像应存储在数字存储介质中并存档。

8.2.2 图像应备份不少于2份，相应的原始记录和检测报告也应同期保存。

8.2.3 图像的保存期限应按照相关的法规和规范执行。在有效保存期内，图像数据不得丢失和更改。

## 9 检测结果评定和质量分级

9.1 缺陷的评定可采用人工评定或经机辅助评定方法。

9.2 缺陷评定时，若对原始图像采用滤波等图像处理，应经合同双方协商同意，并有相关文档记录。

9.3 承压设备熔化焊焊接接头承压设备管子及压力管道熔化焊焊接接头射线计算机辅助成像检测结果评定和质量分级按照 NB 47013.2 的规定执行

## 10 检测记录和报告

10.1 应按现场操作的实际情况详细记录检测过程的相关信息 and 数据。检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容

- a) 委托单位或制造单位
  - b) 被检工件：名称、检测部位、焊口型式、焊接方法。
  - c) 检测设备器材：射线源（种类、焦点或源尺寸）、成像板、扫描仪金属屏（类型、数量和厚度）、像质计种类和型号、背散射屏蔽铅板、标识、标样箭
  - d) 工艺验证结果：需要时
- 注：此项针对无法放置像质计采用对比试件的检测，应说明对比试件的十七验证情况并作为检测记录的附件。
- e) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
  - f) 图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度范围。
  - g) 缺陷位置、性质和大小
  - h) 其他需要说明或记录的事项

10.2 应依据检测记录出具检测报告！检测报告除符合 NB/T 47013 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 委托单位或制造单位。
- b) 被检工件：名称、检测部位、厚度及形式、焊接方法
- c) 检测设备器材：射线源（种类、焦点或源尺寸）、成像板、金属屏（类型、数量和厚度）、像质计（种类和型号）、扫描和观察设备、标样（若有）。
- d) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
- e) 数字图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度范围。
- f) 检测工艺验证情况（需要时）。

注：此项针对无法放置像质计采用对比试件的检测，应说明对比试件的工艺验证情况。

- g) 缺陷位置、性质和等级。

## 附录 A

### (资料性)

### 最小灰度值测试方法

#### A.1 最小灰度值测试原则

当检测厚度不均匀的试件时，**可** 以采用最小灰度值代替最小SNR。灰度和SNR<sub>4</sub> 之间的关系适用于特定的设置，包括扫描类型、扫描参数和相同品牌、型号的成像板。任何扫描参数（扫描分辨率、光电倍增管的电压或增益的改变均要求重新测试与SNR<sub>4</sub> 等价的最小灰度值。

#### A.2 最小灰度值测试方法

**A.2.1** 线性灰度是正确测量SNR<sub>4</sub> 和等价灰度的前提，即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），线性灰度应由制造商**配备**的软件提供支母。

**A.2.2** 最小灰度测试应按附录予中B.2.1的**曝光条件**或由检测单位根据具体的透照情况确定。

**A.2.3** 与表12、表1规定的最小SNR<sub>4</sub> 等价的最小灰度值测定步骤如

- a) 按图 A.1透照阶梯试块，阶梯**试块应完全覆盖**成像板；
- b) 测量每一阶梯的平均灰度和 SNR<sub>4</sub>
- c) 绘制以平均灰度**为**变量的 SNR<sub>4</sub> 函数曲线；
- d) 确定表12×表1规定的最小SNR<sub>4</sub>，**对应的等价最小灰度值**。



5

标引序号说明：

1——X 射线管；2——洞滤板；3——准直器；4——铜阶梯试块；5——暗盒中的成像板。

**图A.1 测定与最小SNR<sub>4</sub>等价的最小灰度值的透照示意图**

**A.2.4** 除上述方法外，也可采用对成像板以不同曝光量逐次曝光的方法，曝光条件与 A.2.2 的条件保持一致。

附录 B  
(规范性)  
分辨率(力)的测定

B.1 双线型像质计的放置

双线型像质计影像应与图像行或列的夹角为 $20^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，成像结果见图 B.I a)。

B.2 系统分辨率测试条件

B.2.1 系统分辨率的测试可使用下列相应的曝光条件：

将双线型像质计直接放置在成像板上，射线源到成像板的距离应为 $1000\text{mm}\pm 50\text{mm}$ 。

- a) 使用X 射线源时，不同材料的曝光参数：
  - 1) 对于轻合金材料：管电压90 kV, 1mm 铝滤波板。
  - 2) 对于钢、铜、镍及其合金材料：厚度 $\leq 20\text{mm}$  时，管电压160kV, 1mm 铜滤波板。
  - 3) 对于钢、铜、镍及其合金材料：厚度 $> 20\text{mm}$  时，管电压220kV, 2mm 铜滤波板。
- b) 使用 $\gamma$  射线源时，采用不同滤波板：
  - 1) 对于Se75: 2 mm 铜或4mm 钢滤波板。
  - 2) 对于Ir192: 4mm 铜或8mm 钢滤波板。

B.2.2 图像的平均灰度应大于最大灰度的50%。

- a) 对于扫描分辨力 $\geq 80\text{ }\mu\text{m}$ 的成像系统，测量信噪比  $\text{SNR}_m>100$ ;
- b) 对于扫描分辨力 $< 80\text{ }\mu\text{m}$ 的成像系统，测量信噪比  $\text{SNR}_m>70$ 。

B.2.3 最低系统分辨率要求见表9～表11, 应按照实际检测技术等级和透照厚度，判定系统分辨率是否符合要求。

B.2.4 当成像系统用于检测小径管时，表9～表11对应的透照厚度应取2倍管子壁厚。

B.3 图像分辨率测试条件

应将双线型像质计放在射线源侧被检工件表面，且在工艺验证图像分辨率最差的方位。透照条件应与实际检测条件一致，最低图像分辨率要求见表9～表11。

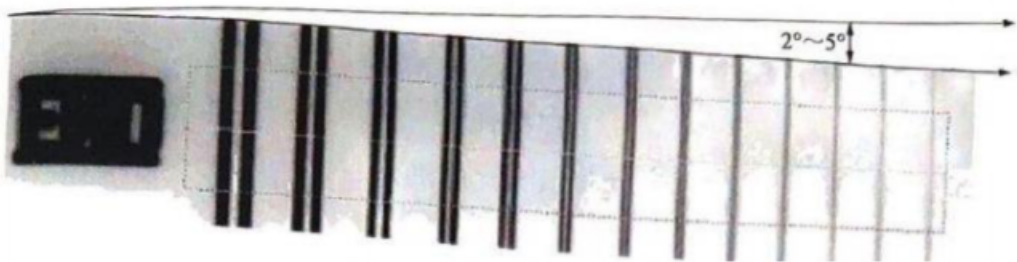
B.4 分辨率(力)的换算

分辨率与分辨力在数值上互为2倍的倒数。

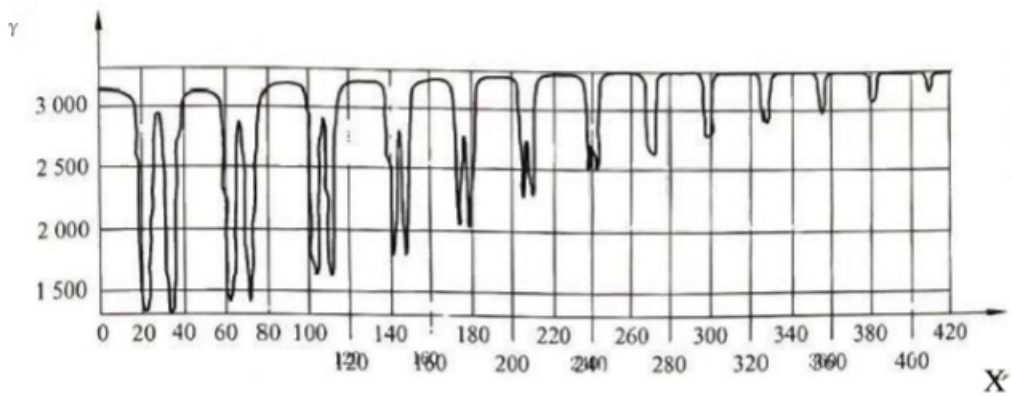
B.5 分辨率的确定

在双线型像质计影像上，应使用不少于21行或列叠加平均(见图 B.1)，根据式(B.1) 计算线对的可识别率R, 见图B1 中 b)、c)、d)。图像中 $R<20\%$  的第一组线对，即为表9～表11要求的最低分辨率，如图 B.1 c) 中所示的 D8。

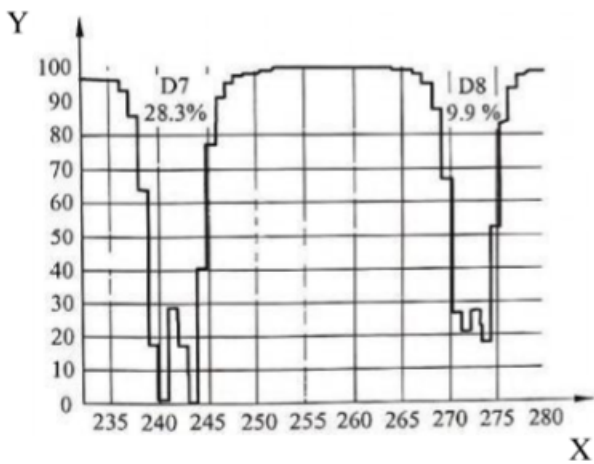
$$R=100\% \times (A+B-2C)/(A+B) \dots\dots\dots (B.1)$$



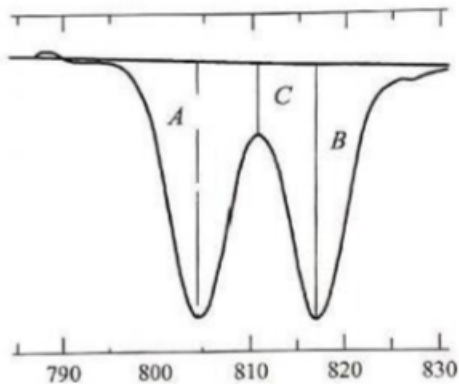
a) 双线型像质计成像图(选不少于21行或列叠加平均)



b) 双线型像质计轮廓图(不少于21行或列叠加平均结果)



c) 线对 D7 和 D8 的放大轮廓图



d) 可识别率计算图例

图 B.1 分辨率(力)测定示意图

附录 C  
(规范性)  
‘归一化信噪比的测定

C.1 信噪比测量是指在图像有效评定区内，选定不大于20像素×55像素的矩形区(短边不超过20像素)测量信噪比，通过式(C.1)补算得到



.....(C.1)

式中:

- SNR<sub>m</sub>——测量信噪比
- G<sub>p</sub>——测量区域所有像素线性灰度的平均值
- σ ——测量区域所有像素线性灰度的标准差

C.2 归一化信噪比SN通过(ch)计算得到



..... (C.2)

式中:

- SR<sub>b</sub> ——分辨力值，单位为微米 ( μ m)

C.3 归一化信噪比等能重要的以辨力估境证气带的



C.4 如果扫描参数(如扫描分辨率、成像板等)改变，则应重新测量分辨力。

## 参 考 文 献

- [1]GB/T 26592 无损检测仪器 工业X 射线探伤机性能测试方法  
[2]GB/T26594 无损检测仪器 工业用X 射线管性能测试方法

