

附件1

ICS 77.040.20

CCS H 26



# 中国特种设备安全与节能促进会标准

CPASE X XXX-XXXX

## 大型储罐 X 射线数字成像自动检测

**Automated detection of large storage tanks using X-ray digital imaging  
radiographic testing**

(征求意见稿)

XXXX-XX -XX 发布

XXXX-XX -XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会 发布

征求意见稿

## 目 次

前言 .....	II
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 .....	1
5 工艺文件及验证 .....	4
6 检测 .....	6
7 图像质量及评定 .....	8
8 缺陷的识别与测量 .....	11
9 结果评定和质量分级 .....	11
10 图像保存与存储 .....	11
11 检测记录和报告 .....	12
附录 A (资料性) 操作指导书格式 .....	14
附录 B (规范性) 双线型像质计的识别 .....	15
附录 C (规范性) 归一化信噪比测试方法 .....	16
附录 D (资料性) 记录格式 .....	17
附录 E (资料性) 报告格式 .....	19

## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国特种设备安全与节能促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

征求意见稿

# 大型储罐 X 射线数字成像自动检测

## 1 范围

- 1.1 本文件适用于正装法安装的金属制大型储罐壁板熔化焊对接接头的 X 射线数字成像自动检测和质量分级。大型储罐壁板的金属材料包括碳钢、低合金钢、不锈钢、9Ni 钢等。
- 1.2 本文件适用的成像器件为数字探测器。
- 1.3 其它储罐或设备的金属熔化焊对接接头的 X 射线数字成像自动检测，也可参照使用。

## 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 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/T 23901.5 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/T 26830 无损检测仪器 高频恒电位工业 X 射线探伤机
- GB 50128 立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范
- GBZ 117 工业探伤放射防护标准
- JB/T 7902 无损检测 线型像质计通用规范
- 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
- NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第 11 部分：射线数字成像检测
- SH/T 3561 液化天然气（LNG）储罐全容式钢制内罐组焊技术规范

## 3 术语和定义

NB/T 47013.1、NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**大型储罐** large-scale containment tank

单罐容积  $5 \times 10^4 \text{m}^3$  及以上的钢制常温储罐或  $1 \times 10^4 \text{m}^3$  及以上低温储罐。

### 3.2

**正装法** sequential assembly

以罐底为基准平面，罐壁板从底层第一节开始，逐块逐节向上安装的施工方法。

### 3.3

**连续步进成像** increment imaging

在透照参数和检测对象不变的情况下，射线数字成像结果为连续的单幅静态图像。

### 3.4

**自动检测** continuous automatic testing

不需要人工直接干预，设备、系统和过程按照预定的程序自动执行检测任务。

## 4 一般要求

## 4.1 检测人员

4.1.1 从事 X 射线数字成像的检测人员(以下简称“检测人员”)应符合 NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.11 的有关规定。

4.1.2 检测人员应经过培训,掌握自动检测工装的操作方法。

4.1.3 检测人员进入施工现场前应经过工程项目安全管理部门的安全教育培训。

4.1.4 检测人员应了解大型储罐的施工程序、罐体材质和焊接工艺。

## 4.2 自动检测系统

自动检测系统包含: X 射线机、探测器、计算机系统、图像处理软件、标记喷涂装置、像质计和自动检测工装。

### 4.2.1 X 射线机

4.2.1.1 X 射线机为能连续曝光的高频恒电位 X 射线机,能根据被检工件的厚度、材质和焦距大小,调节管电压、管电流和曝光时间。

4.2.1.2 X 射线机的焦点应与所采用的探测器相匹配。

4.2.1.3 X 射线机最高工作管电压为 350kV, X 射线机连续曝光时间应不少于 50min。

4.2.1.4 X 射线机的性能指标应符合 GB/T 26830 的规定。

4.2.1.5 供应商应提供 X 射线管的焦点尺寸和辐射角度。

### 4.2.2 探测器

4.2.2.1 根据被检工件的规格、检测技术等级、验收标准、射源焦点尺寸,选择与之相匹配的探测器。

4.2.2.2 采用面阵列探测器,探测器的有效成像尺寸不小于 285mm×250mm。

4.2.2.3 动态范围应不小于 2000:1。

4.2.2.4 A/D 转换位数不小于 16bit。

4.2.2.5 坏像素要求

a) 面阵列探测器中: 3×3 像素区域中坏像素不得超过 3 个; 成行(成列)坏像素不得超过 3 条,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%。

b) 探测器供应商应提供出厂坏像素表和坏像素校正方法。

4.2.2.6 DR 系统性能指标如: 坏像素、灵敏度、分辨率、线性范围、信噪比、厚度宽容度、图像残影等,其调试条件及测试方法按相应国家或行业标准的规定执行,并给出工作温度和湿度的要求。

4.2.2.7 系统质量证明文件中至少应给出探测器类型、像素尺寸、成像面积、射线能量适用范围、量子转换效率、帧速率等技术参数。

### 4.2.3 计算机系统

4.2.3.1 计算机系统的基本配置依据采用的 X 射线数字成像部件对性能和速度的要求而确定。宜配备不低于 2G 容量的内存,不低于 1T 的硬盘,显示器、刻录机和网卡等。

4.2.3.2 显示器应满足如下最低要求:

a) 亮度不低于 250cd/m<sup>2</sup>;

b) 灰度等级不小于 8bit;

c) 图像显示分辨率不低于 1920×1024;

d) 显示器像素点距不高于 0.3mm。

### 4.2.4 图像处理软件

4.2.4.1 图像处理软件是 X 射线数字成像系统的核心单元,完成图像采集、图像处理、缺陷几何尺寸

测量、缺陷标注、图像存储、AI 辅助评定和批处理、检测报告生成及其它辅助功能。

- 4.2.4.2 应具有叠加降噪、改变窗宽窗位和对比度增强等基本数字图像处理功能。
- 4.2.4.3 应具有信噪比测量、缺陷标记、尺寸测量、尺寸标定功能。
- 4.2.4.4 应具有不小于 4 倍的放大功能。
- 4.2.4.5 应具有采集图像的相关信息，浏览和查找功能。
- 4.2.4.6 宜具备多种图像格式的转换功能。
- 4.2.4.7 可自动生成检测报告。
- 4.2.4.8 应保存原始图像。

#### 4.2.5 标记喷涂装置

检测标记采用自动喷涂装置完成。检测标记包括中心定位标记和步进号，标记要在距焊缝边缘 20-100mm 范围内，且罐壁内、外对称喷涂。

#### 4.2.6 像质计

- 4.2.6.1 本文所采用的像质计包括线型像质计和双线型像质计，像质计供应商应提供相应质量证明文件。
- 4.2.6.2 线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.1 和 JB/T 7902 的规定，双线型像质计应符合 GB/T 23901.5 的规定。

#### 4.2.7 自动检测工装

- 4.2.7.1 自动检测工装应具有程序控制功能，根据检测需要设置工装的行走或升降速度、步进距离、曝光时间、标记喷涂位置等等。
- 4.2.7.2 自动检测工装包含横向自动行走及定位机构、纵向升降及定位机构、射线机及探测器挂载固定装置、标记喷涂装置及程序控制模块。
- 4.2.7.3 横向自动行走及定位机构用于罐壁环向对接接头的检测，行走的稳定状态和速度应符合连续步进成像的质量要求。
- 4.2.7.4 纵向升降及定位机构用于罐壁纵向对接接头的检测，升降的稳定状态和速度应符合连续步进成像的质量要求。
- 4.2.7.5 射线机及探测器挂载固定装置应使 X 射线机和探测器挂载安全稳固，二者相对位置及与受检焊缝的相对位置一经设定，应维持不变；探测器与受检工件表面的间距，在不影响自动检测工装行进的情况下尽可能紧靠，间距一般不超过 10mm。
- 4.2.7.6 工装的步进动作应与探测器的数据采集相匹配。
- 4.2.7.7 工装负载重量不小于 100KG，整机重量不大于 250KG。
- 4.2.7.8 用于检测 LNG 储罐镍基材料焊缝的工装，其与被检工件接触部位不得采用任何磁性物质。
- 4.2.7.9 工装应具有自动防撞、防跌落和紧急制动功能。

#### 4.2.8 校准或运行核查

- 4.2.8.1 探测器系统、曝光曲线、及系统分辨率的校准或运行核查。

探测器系统、曝光曲线、及系统分辨率的校准或运行核查按 NB/T 47013.11 执行。

- 4.2.8.2 位置传感器的校验
- 4.2.8.3 每班检测前，应对检测工装的位置传感器进行校验。位置传感器的校验包括横向（环缝方向）校验和纵向（纵缝方向）校验。
- 4.2.8.4 校验方式是使自动检测工装移动 1000mm 的距离时，检测系统所显示的位移与实际位移误差不超过±1%为合格。

### 4.3 检测环境与安全要求

射线检测必需在工程项目批准的区域和时间内进行检测作业，检测作业应按 GBZ 117 的规定作好防护工作。

### 4.4 检测技术等级

4.4.1 检测技术等级的分类按照 NB/T47013.11 的要求。

4.4.2 检测技术等级的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。根据 GB 50128 和 SH/T 3561 标准，大型储罐检测技术等级选择 AB 级。

### 4.5 大型储罐检测的一般要求

#### 4.5.1 检测前确认

检测前检测人员应根据委托要求确认检测部位及检测条件（包括工件条件、安全条件、环境条件等）是否满足检测要求。

#### 4.5.2 检测标记

4.5.2.1 检测标记包括罐号、焊缝号、中心定位标记、搭接标记、步进图号等。

4.5.2.1 检测标记的形成：

- a) 罐号、焊缝号、步进图号等标记由计算机自动写入图像中，不可更改；
- b) 中心定位标记和步进号由自动喷涂装置喷涂，并符合 5.6.1 的要求；
- c) 中心定位标记和搭接标记摆放在探测器表面上，距焊缝边缘 5mm 以上，检测时中心定位标记和搭接标记呈现在影像中。

#### 4.5.3 抽查检测的焊缝

4.5.3.1 抽查检测的长度，每处不少于 300mm；

4.5.3.2 厚度大于 10mm（不等厚时以较薄板厚度为准）的所有丁字缝均应进行检测，丁字缝纵缝方向的检测长度不小于 300mm，环缝方向的检测长度不小于 300mm。

#### 4.5.4 100%检测的焊缝

4.5.4.1 纵缝检测范围应包括上、下丁字缝（底层壁板纵缝应紧贴下大角缝）；

4.5.4.2 环缝分段委托检测时，应分段检测和编号标记，当整条环缝焊完整圈委托检测时，可以分段检测和标记，也可以整圈统一检测和标记，分段检测或整圈检测应有编号规则。

## 5 工艺文件及验证

### 5.1 检测工艺文件

5.1.1 检测工艺文件包括检测工艺规程和操作指导书。

5.1.2 检测工艺规程的内容参照 NB/T47013.11。

5.1.3 根据工艺规程及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容除满足 NB/T47013.11 的要求外，至少还应包括：

- a) 检测工装名称；
- b) 探测器距被检工件表面的距离；
- c) 检测步进长度、像质计的数量和位置等；
- d) 检测标记内容及标记方法；

e) 图像的有效评定长度。

5.1.4 操作指导书的格式和内容参见附录 A。

## 5.2 工艺验证

工艺验证包括：1) 工艺验证；2) 定位精度和有效评定长度认定。

### 5.2.1 工艺验证

5.2.1.1 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证。操作指导书中涉及多种规格及检测参数时，应分别进行验证。

#### 5.2.1.2 工艺验证方法

- a) 工艺验证应在实际工件上进行。
- b) 抽查检测时，自动检测系统相对于工件是处于静止状态，应按静止状态进行工艺验证。
- c) 连续步进检测时，自动检测系统相对于工件是步进连续行进，工艺验证图像应采用第 2 步进或第 3 步进的图像。
- d) 工艺验证图像应附在工艺验证报告中存档。
- e) 工艺验证时，应按工艺要求摆放线型和双线型像质计。
- f) 线型像质计在图像左右近 1/4 处各放置 1 个，放置在射源侧工件表面上，垂直焊缝放置，细线靠外，线型像质计的摆放影像示例见图 1。
- g) 双线型像质计放置在射源侧近焊缝的母材表面上，长度方向与探测器行或列的夹角为  $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$  且在有效评定区域中心的上下左右放置。双线型像质计的摆放影像示例见图 1。当焊缝两侧母材不等厚时，图像分辨率的评定分别按母材标称厚度评定。

#### 5.2.1.3 工艺验证合格标准

- a) 图像中左右两处像质计的灵敏度均应满足操作指导书的要求为合格；
- b) 图像中四个方位的分辨率均满足操作指导书的要求为合格。

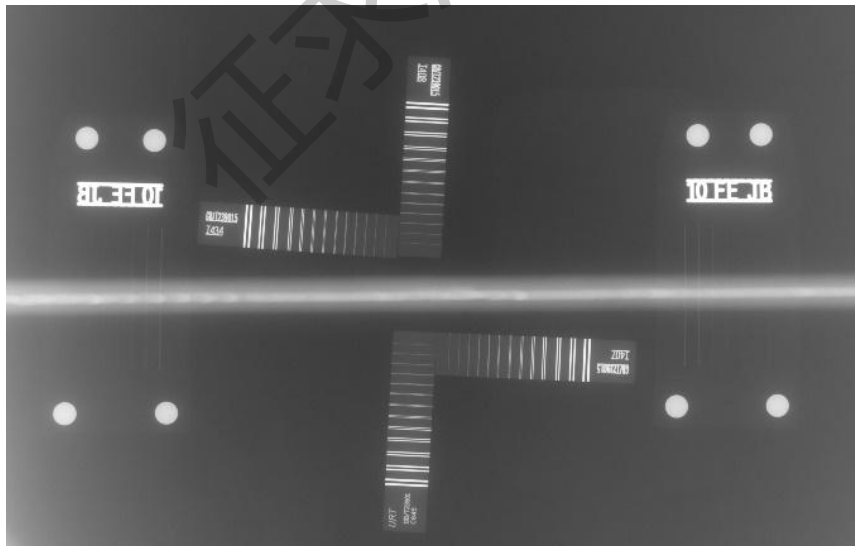


图1 工艺验证时线型象质计和双线型像质计影像示意图

### 5.2.2 定位精度和有效评定长度认定

5.2.2.1 自动检测时，中心定位标记和搭接标记均摆放在探测器表面上，因此，要对检测工艺进行定位精度和有效评定长度的认定（后下简称“认定”）。

#### 5.2.2.2 认定方法

按检测操作指导书进行工艺设置,中心定位标记和搭接标记按以下要求进行摆放,标记摆放示意图见图2,标记投影效果见图3,认定记录应附图像并存档,认定方法如下:

- a) 在探测器表面摆放中心定位标记和搭接标记,标记距焊缝边缘 5mm~10mm;
- b) 在射源侧受检工件表面摆放中心定位标记和搭接标记,标记距焊缝边缘 20mm~30mm;
- c) 按检测工艺进行检测,采集检测图像。

#### 5.2.2.3 定位精度合格标准和有效评定长度认定

- a) 确认中心定位标记的偏差,在影像中测量探测器表面的中心定位标记与射源侧的中心定位标记在焊缝长度方向的间距,当该间距小于等于 5mm 时为合格,否则应对探测器表面的中心定位标记位置进行调整,直至合格;
- b) 对内、外搭接标记的影像进行测量,记录左右两个搭接标记影像的差值 ( $\Delta X$ ,取较大者),射源侧工件表面搭接标记的投影长度为图像有效评定长度;
- c) 在实际评定时,有效评定长度为搭接标记及向两侧各延伸相应的差值  $\Delta X$ 。

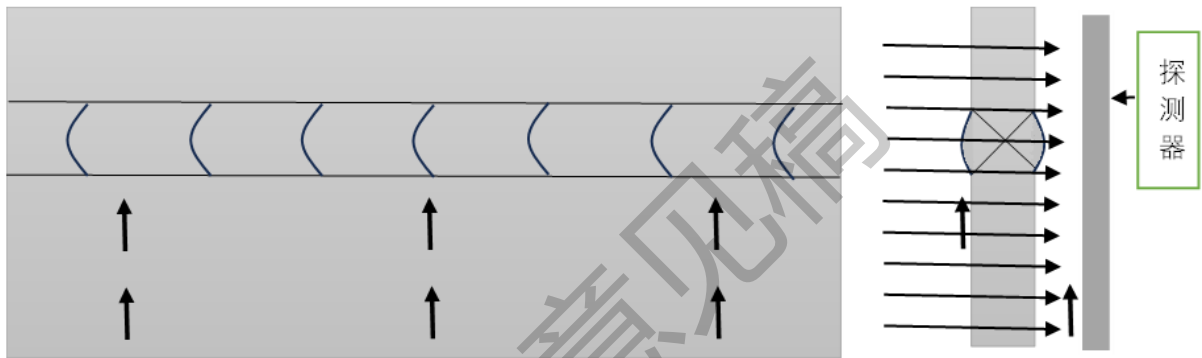


图2 定位精度和有效评定长度认定标记摆放示意图

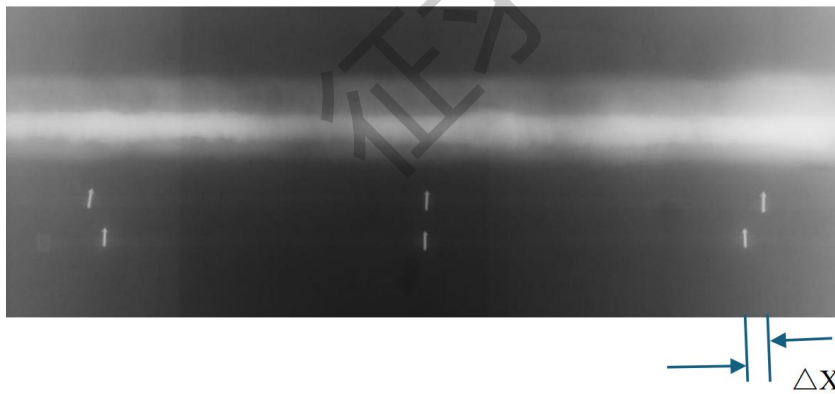


图3 定位精度和有效评定长度认定标记投影效果示意图

## 6 检测

### 6.1 检测时机

按客户委托的检测时机进行。

### 6.2 检测区

检测区宽度包括焊缝及焊缝边缘至少为 5mm 的相邻母材区域。

### 6.3 透照方式及透照方向

- 6.3.1 透照方式，罐壁焊缝采用单壁透照方式；
- 6.3.2 透照方向，应保证 X 射线主射束垂直和对准透照被检部位的中心。

### 6.4 透照几何参数的选择

所选用的 X 射线机至被检工件表面的距离  $f$  应满足 AB 级检测技术的要求：

AB 级射线数字成像检测技术： $f \geq 10 d b T^{-1/3}$ ；

$d$  — 焦点尺寸 mm；

$b$  — 射源侧工件表面到探测器的距离 mm；

$T$  — 工件厚度 mm。

### 6.5 透照厚度比的控制

检测技术等级 AB 级，纵缝允许的透照厚度比不大于 1.03，环缝允许的透照厚度比不大于 1.1。

### 6.6 透照参数的选择

实际检测时应根据采用的 X 射线数字成像系统和被检工件的特点及图像质量要求，选择适当的 X 射线能量、曝光量等参数，以满足检测要求。在实际透照前，应按透照选择的参数进行成像系统校正。

#### 6.6.1 校正

6.6.1.1 有以下情况之一，应进行偏置校正：

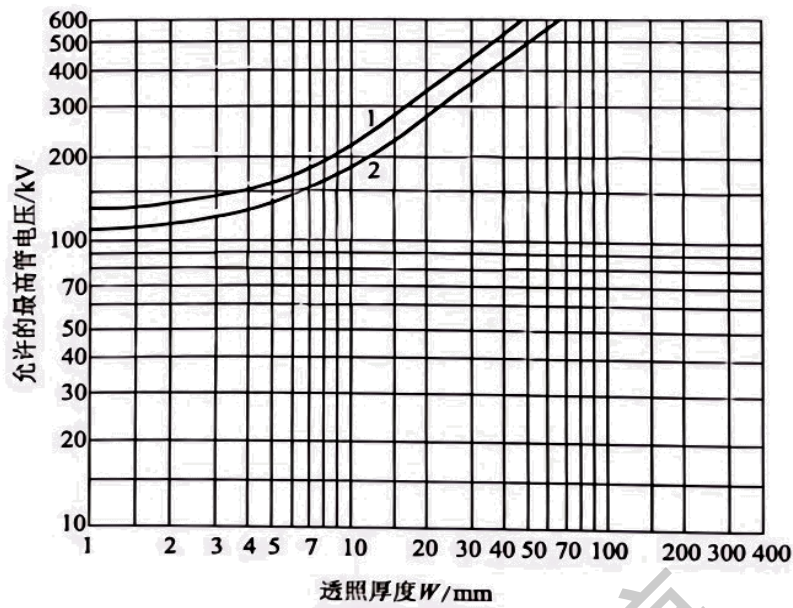
- a) 开始检测前；
- b) 发现有残影时；
- c) 检测人员认为有必要时。

6.6.1.2 有以下情况之一，应进行增益校正：

- a) 射线能量改变达  $\pm 50$  kV 以上时；
- b) 检测人员认为有必要时。

#### 6.6.2 X 射线能量

为了更好的观察评定焊缝及其热影响区的影像，应选用适当的管电压。图 4 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高管电压。对于不等厚环缝在保证图像质量符合本文件的要求下，管电压可适当高于图 4 限定值。



标引序号说明：  
1——镍及镍合金；  
2——钢。

图4 不同透照厚度允许的X射线最高透照管电压

### 6.6.3 曝光量

6.6.3.1 X射线检测的曝光量等于单帧图像曝光时间和管电流的乘积，单位为毫安秒(mA·s)。

6.6.3.2 增加曝光量可提高信噪比，提高图像质量。

### 6.6.4 采集帧数

增加采集帧数进行多帧图像叠加平均可提高信噪比，提高图像质量。

## 6.7 标记

6.7.1 透照部位的标记由识别标记和定位标记组成。

6.7.2 识别标记一般包括罐体编号、焊缝编号、步进编号和透照日期。返修后的透照还应有返修标记。识别标记由计算机写入图像。

6.7.3 定位标记，采用自动喷涂方式对透照步进进行标记，定位标记距焊缝的距离不大于 100mm。定位标记应罐内、外相对应。

## 6.8 标样

采用线型像质计的长度作为标样，对系统标尺进行标定。

## 6.9 无用 X 射线和散射线屏蔽

当图像质量达不到 7.1 的规定时，应采用滤波板、准直器(光阑)、铅板等适当措施，减少散射线和无用 X 射线。

## 7 图像质量及评定

### 7.1 图像质量

### 7.1.1 一般要求

- 7.1.1.1 应同时保证检测范围内图像灰度、图像灵敏度、图像分辨率和归一化信噪比的要求。
- 7.1.1.2 测定图像质量的像质计分为线型像质计和双线型像质计。
- 7.1.1.3 图像灵敏度采用线型像质计进行测定。
- 7.1.1.4 图像分辨率采用双线型像质计进行测定。

### 7.1.2 线型像质计

#### 7.1.2.1 线型像质计的放置原则

线型像质计应放置在射源侧被检工件表面。

#### 7.1.2.2 线型像质计的使用

7.1.2.2.1 线型像质计的金属丝材料应与被检工件的材料相同或相近。在满足图像灵敏度要求的前提下，低密度线型像质计可用于高密度材料的检测。

7.1.2.2.2 线型像质计的材料、材料代码和不同材料线型像质计适用的范围应符合表 1 的规定。

表1 不同材料线型像质计适用范围

线型像质计材料代号	Fe (钢)	Ni (镍)
线型像质计材料	碳素钢	镍-铬合金
适用的材料范围	钢	镍、镍合金

7.1.2.2.3 线型像质计一般应放置在焊接接头的一端，靠近被检测区长度的 1/4 位置，金属丝应横跨焊缝，细丝置于外侧。

7.1.2.2.4 原则上每张图像上都应有线型像质计的影像。在透照参数和被检工件不变的情况下(如一条焊缝的连续检测)，可按以下执行：

- a) 纵缝透照时，每条缝的第 2 幅图像上应有线型像质计的影像；
- b) 环缝透照时，在第 2 幅图像上应有线型像质计的影像，之后每隔 50~100 张图像应有线型像质计的影像。

7.1.2.2.5 不等厚环焊缝，选择与较薄厚度相匹配的线型像质计。

#### 7.1.2.3 线型像质计的识别

在图像灰度均匀部位(母材或焊缝)连续可见长度不小于10mm的像质计丝影像，则认为该线是可识别的。

### 7.1.3 双线型像质计

#### 7.1.3.1 双线型像质计的放置原则

双线型像质计应放置在射源侧被检工件母材表面。

#### 7.1.3.2 双线型像质计的使用

7.1.3.2.1 依据工艺验证结果，将 1 个双线型像质计放置于图像分辨率最差的方位，且双线型像质计长度方向与探测器行或列的夹角为 2°~5°。当焊缝两侧的厚度不同时，双线型像质计摆放在较薄一侧的母材上。

7.1.3.2.2 原则上每张图像上都应有双线型像质计的影像。在透照参数和检测对象不变的情况下(如一条焊缝的连续检测)，可按以下执行：

- a) 纵缝透照时，应每条缝的第 2 幅图像上有双线型像质计的影像；
- b) 环缝透照时，应在第 2 幅图像上有双线型像质计的影像，之后每隔 50~100 张图像上应有双线型像质计的影像。

## 7.1.3.3 双线型像质计的识别

双线型像质计的识别方法见附录 B。

## 7.2 图像评定

## 7.2.1 一般要求

7.2.1.1 图像质量评定应在原始图像中进行，不得采用改变灰度值的图像处理方法(如滤波技术)。

7.2.1.2 可通过正像(片)或负像的方式显示。

7.2.1.3 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。

7.2.1.4 图像有效评定区域内不应存在干扰缺陷图像识别的影像。

7.2.1.5 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。

## 7.2.2 图像处理软件要求

图像处理软件应满足 5.5 的要求。

## 7.2.3 图像灰度范围要求

图像有效评定区域内的灰度范围应控制在满量程的 10%~80% (正片)。

## 7.2.4 信噪比要求

7.2.4.1 应符合表 2 对归一化信噪比的最低要求。

7.2.4.2 归一化信噪比测试方法见附录 C。

表2 归一化信噪比最低要求(钢、镍及其合金)

射线能量 kV	透照厚度 W/mm	AB 级归一化信噪比
50<管电压≤150	—	140
150<管电压≤250		120
250<管电压≤350	≤50	120
	>50	100

## 7.2.5 图像灵敏度

图像灵敏度应符合表 3 的规定。

表3 图像灵敏度值

应识别丝号(丝径/mm)	AB 级透照厚度 W/mm
W13 (0.20)	7.0<W≤10
W12 (0.25)	10<W≤15
W11 (0.32)	15<W≤25
W10 (0.40)	25<W≤32
W9 (0.50)	32<W≤40
W8 (0.63)	40<W≤55
W7 (0.80)	55<W≤85

### 7.2.6 图像分辨率要求

7.2.6.1 双线型像质计置于射源侧受检工件母材表面上，图像分辨率最低值应满足表4的规定。

7.2.6.2 透照厚度取公称厚度。当焊缝两侧不等厚时，双线型像质计放置在较薄的工件母材上，透照厚度取较薄的母材厚度。

表4 AB级检测技术应达到的分辨率（力）

透照厚度 W/mm	线对号	分辨率/(lp/mm)	分辨力/mm
$5 < W \leq 10$	D10	5.00	0.10
$10 < W \leq 25$	D9	3.85	0.13
$25 < W \leq 55$	D8	3.125	0.16
$55 < W$	D7	2.50	0.20

### 7.2.7 补偿原则

如果图像分辨率达不到表4的规定，可通过提高信噪比来提高图像灵敏度以补偿图像分辨率的不足。补偿最大不超过2个线对。

注：对于使用裂纹敏感性材料或标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540$  MPa 高强度材料进行检测时，不得采取补偿。

## 8 缺陷的识别与测量

### 8.1 缺陷的识别

8.1.1 缺陷的识别可采用人工识别或计算机辅助识别方法。

8.1.2 缺陷人工识别时，图像的显示比例应不低于100%。

8.1.3 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。

8.1.4 计算机辅助识别结果仅作为参考，最终结果须经人工复核确认。

### 8.2 缺陷的测量

#### 8.2.1 缺陷几何尺寸的测量

应通过系统软件对检测缺陷的几何尺寸进行测量，测量结果可参考式(1)计算：

$$S = k \times N_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S ——几何尺寸；

k ——标定因子，单位为毫米每像素（mm/像素）；

$N_s$  ——由计算机测量得到的缺陷所占的像素个数。

在缺陷测量前应按实际检测工艺，采集线型像质计的长度影像，并进行几何尺寸标定，标定因子k的计算参见式(2)：

$$k = L / N_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

L ——线型像质计的实际长度尺寸，单位为毫米（mm）；

$N_i$  ——由计算机测量线型像质计图像尺寸得到像素个数。

#### 8.2.2 缺陷高度的测量

缺陷高度的测量可采用模拟试件，得到不同高度（厚度）与图像灰度的变化规律，由系统软件计算实现。

## 9 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 焊缝 X 射线数字成像检测的质量分级按照 NB/T 47013.2 的规定执行。

## 10 图像保存与存储

### 10.1 图像存储

- 10.1.1 存储格式宜按 DICONDE 格式执行。
- 10.1.2 工程名称、罐号、焊缝编号、步进号、透照参数、检测时间等信息可写入图像文件的描述字段中，上述信息应具备不可更改性。

### 10.2 图像保存

- 10.2.1 图像应存储在移动硬盘中并存档。
- 10.2.2 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。
- 10.2.3 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。

## 11 检测记录和报告

### 11.1 检测记录

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。X 射线数字成像检测记录除符合 NB/T47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 安装单位、检测单位或委托单位。
- b) 被检工件：工程名称/罐号、焊缝编号、步进号、坡口型式、焊接方法。
- c) 检测设备器材：X 射线机型号、焦点尺寸、探测器型号、像质计(类型和规格)、滤波板。
- d) 工艺验证结果和有效评定长度认定。
- e) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照几何参数、射线能量、曝光量、采集帧数、图像处理软件名称。
- f) 图像评定：灰度范围、归一化信噪比、图像灵敏度、图像分辨率。
- g) 缺陷位置、缺陷性质、大小和等级。
- h) 检测部位示意图及其他需要说明或记录的事项。
- i) 检测记录的推荐格式见附录 D。

### 11.2 检测报告

11.2.1 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) 安装单位、检测单位或委托单位。
- b) 被检工件：工程名称/罐号、焊缝编号、步进号、坡口型式、焊接方法。
- c) 检测操作指导书编号。
- d) 检测设备器材：X 射线机型号、焦点尺寸、探测器型号、像质计(类型和规格)、滤波板。
- e) 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照几何参数、射线能量、曝光量、采集帧数、图

像处理软件名称。

f) 工艺验证结果。

g) 缺陷位置、缺陷性质和等级。

11.2.2 检测报告的推荐格式见附录 E。

征求意见稿

附录 A  
(资料性)

操作指导书格式

操作指导书格式见表A.1。

表A.1 大型储罐X射线数字成像检测操作指导书

操作指导书编号：

工程名称															
罐号				储存介质				容积							
罐壁材质				坡口型式				焊接方法							
检测标准				技术等级				合格级别							
工艺规程				检测时机				表面状态							
X光机型号/编号				焦点尺寸				线型像质计							
探测器型号/编号				像素尺寸与A/D位数				双线型像质计							
检测工装型号/编号				图像处理软件				滤波板							
透照方式				灰度范围											
焊缝编号	厚度 mm	材质	坡口形式	检测时机	检测比例 %	源至工件表面距离 mm	工件至探测器距离 mm	管电压 KV	管电流 mA	检测步进 mm	帧透照时间/帧数	归一化信噪比	灵敏度 (W)	分辨率 (D)	
工艺验证及认证结果：															
检测部位示意图及相关说明：															
编制人/资格				审核人/资格								年 月 日			

附 录 B  
(规范性)  
双线型像质计的识别

### B.1 双线型像质计的布置

B.1.1 测量系统分辨率时，应将双线型像质计直接放置在探测器上，且与探测器的行或列成较小的夹角（如 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ）。

B.1.1 测量图像分辨率时，双线型像质计应按照实际透照方式放置在射源侧被检工件上，且与探测器的行或列成较小的夹角（如 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ）。

### B.2 双线型像质计可识别率的测量方法

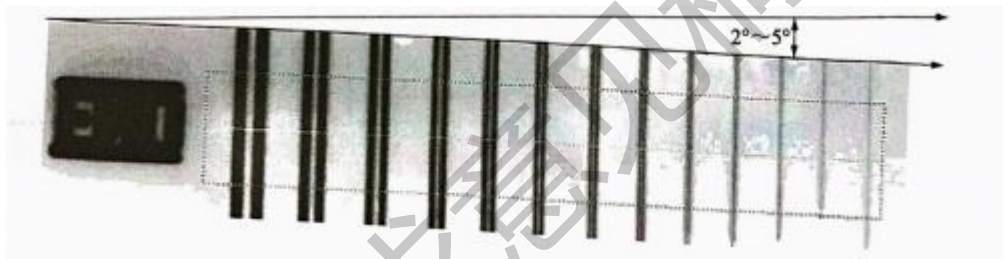
B.2.1 在双线型像质计影像上进行，应选不少于 21 行或列像素叠加平均，参见图 B.1。

B.2.2 按照图 1 所示，在能够清晰地分辨最细线对的影像处，按式(B.1)计算丝的可识别率 R。

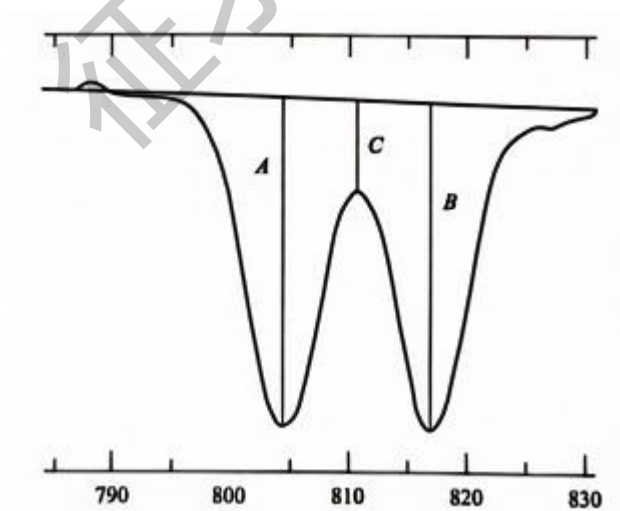
$$R = 100\% \times (A + B - 2C) / (A + B) \dots\dots\dots (B.1)$$

B.2.3 本部分要求满足  $R > 20\%$ ，即满足边缘分离大于 20% 的要求，则这一线对可识别。

B.2.4 双线型像质计图像中第一组不大于 20% 的线对，即为本文件表 4 要求的最小分辨率。



图B.1 双线型像质计成像图（选不少于21行或列加平均）



图B.2 双线型像质计可识别率示意图

附录 C  
(规范性)  
归一化信噪比测试方法

### C.1 归一化信噪比计算

归一化信噪比  $SNR_n$  由式 (C.1) 计算得到:

$$SNR_n = SNR_m \times \frac{88.6}{SR_b} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$SNR_m = \frac{\bar{G}_p}{\sigma} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$SR_b$ ——分辨力, 单位为微米 ( $\mu\text{m}$ );

$SNR_m$ ——测量信噪比, 由式 (C.2) 计算得到;

$\bar{G}_p$  ——测量区域像素灰度的平均值;

$\sigma$  ——测量区域像素灰度的标准差。

注 1: 测量系统归一化信噪比时,  $SR_b$  为系统分辨力。

注 2: 测量图像归一化信噪比时, 当放大倍数  $M > 1.2$  时,  $SR_b$  取图像分辨力; 当放大倍数  $M \leq 1.2$  时,  $SR_b$  可取系统分辨力。

### C.2 测量信噪比

信噪比测量是指在图像的均匀区域(图像信噪比指热影响区或焊缝附近的母材、无缺陷处), 取面积不小于 20 像素×55 像素的矩形区(短边不超过 20 像素), 计算此区域的均值和标准差, 按式(C.2)得到测量信噪比  $SNR_m$ 。

附录 D  
(资料性)

## 记录格式

记录格式见表D.1 - D.2。

表D.1 大型储罐X射线数字成像检测记录（首页）

记录编号：

工程名称				委托单位							
罐号				操作指导书编号							
检测标准/技术等级				合格级别							
坡口形式				焊接方法							
X光机型号/编号				焦点尺寸							
探测器型号/编号				像素尺寸与 A/D 位数							
检测工装型号/编号				系统软件名称							
线型像质计				双线型像质计							
管电流		mA		检测时机							
焊缝编号	厚度 mm	材质	检测 比例 %	源至 工件 距离 mm	工件至 探测器 距离 mm	管电压 KV	检测 步进 mm	帧透照 时间/ 帧数	归一 化信 噪比	灵敏 度值 (W)	分辨 率(D)
检测示意图			见附页								
检测人/资格:						审核人/资格:					
日期:						日期:					

第 页 共 页



附录 E  
(资料性)

## 报告格式

报告格式见表E.1 - E.2。

表E.1 大型储罐数字式X射线检测报告 (首页)

报告编号:

工程名称				委托单位							
罐号				操作指导书编号							
检测标准/技术等级				合格级别							
坡口形式				焊接方法							
X光机型号/编号				焦点尺寸							
探测器型号/编号				像素尺寸与 A/D 位数							
检测工装型号/编号				系统软件名称							
线型像质计				双线型像质计							
管电流		mA		检测时机							
焊缝编号	厚度 mm	材质	检测比例 %	源至 工件 距离 mm	工件至 探测器 距离 mm	管电压 KV	检测 步进 mm	帧透照 时间/ 帧数	归一 化信 噪比	灵敏度 (W)	分辨率 (D)
检测示意图			见附件页								
检测人/资格:				审核人/资格:				批准人:			
日期:				日期:				日期: 检测机构盖章			

第 页 共 页

