

团 体 标 准

CIRA XXXXX—XXXX

管道数字成像检测方法

Digital Imaging Detection Method for Pipelines

(征求意见稿)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

中国同位素与辐射行业协会 发布

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 基本要求	3
5 检测方法	5
附录 A（规范性附录） 分辨率测定	9

前 言

本标准按GB/T 1.1-2009规定起草。

本标准由中国同位素与辐射行业协会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：XXX。

本标准主要起草人：XXX。

本标准附录A为规范性附录。

管道数字成像检测方法

1 范围

本标准规定了低碳钢、低合金钢等金属材料管道X射线数字成像检测的基本要求和检测方法。

本标准适用于壁厚为4mm~40mm的低碳钢、低合金钢等金属材料管道的环向对接焊缝、直焊缝和螺旋焊缝的X射线数字成像检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GBZ 117 工业X射线探伤放射卫生防护标准

GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射安全基本标准

GB/T 23901.5-2019 无损检测 射线照相检测图像质量 第5部分：双线型像质计 图像不清晰度的测定

GB/T 23903 射线图像分辨力测试计

GB/T 26838 无损检测仪器 便携式工业X射线探伤机

SY/T 4109-2013 石油天然气钢质管道无损检测

JB/T 7902-2015 无损检测 射线照相检测用线型像质计

NB/T 47013-2015 承压设备无损检测 第11部分X射线数字成像检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

公称厚度 *nominal thickness (T)*

被检测的管道名义厚度，不考虑材料制作偏差和加工减薄。

3.2

透照厚度 *penetrated thickness (W)*

X射线透照方向上材料的公称厚度加管道焊缝余高。当多层透照时，透照厚度为X射线穿过的各层材料公称厚度之和加管道焊缝余高。

3.3

透照厚度比 *ratio of penetrated thickness (K)*

一次透照范围内X射线束穿过管道的最大厚度与最小厚度之比。

3.4

像素 pixel

像素是X射线数字图像的基本组成单元，组成X射线数字图像的每个点即称像素。

3.5

动态范围 dynamic range

在线性输出范围内，X射线数字成像系统所获得数字图像的最大灰度与暗场图像标准差的比值。

3.6

灰度等级 gray level

指定量描述X射线数字成像系统获取的黑白图像明暗程度，一般用 2^N 或N bit来表示。灰度等级是由探测器A/D（模数转换器）的位数来决定的。如果A/D转换器是14bit，则灰度等级为 $2^{14}=16384$ ，像素灰度值的变化范围为0~16383。

3.7

响应不一致性 non-uniform responsibility

在均匀透照空屏或均质工件的条件下，因探测器各像素单元对X射线响应不一致，使输出图像亮度呈非均匀性的条纹。

3.8

坏像素 bad pixel

对X射线响应偏离正常像素特性范围的像素。坏像素的存在形式包括：单点与集群。

3.9

数字图像处理 digital image processing

提高X射线数字图像的分辨率、对比度及细节识别能力的数字变换方法。

3.10

图像分辨率 Image resolution

指检测系统所能分辨的被检工件图像中两个相邻细节间的最小距离。用每毫米线对（Lp/mm）或mm表示。

3.11

系统分辨率 system resolution

在无被检工件的条件下，当透照几何放大倍数接近于1时，检测系统所能分辨两个相邻细节的最小距离。用每毫米线对（Lp/mm）或mm表示。

3.12

灵敏度 sensitivity

X射线数字成像系统所能发现的最小细节的能力。

3.13

信噪比 signal noise ratio

在图像指定区域线性范围内，信号的平均值与信号标准差的比值。

4 基本要求

4.1 检测人员

4.1.1 从事 X 射线数字成像检测的操作人员，在上岗前应进行辐射安全相关知识的培训，并按照有关法规的规定取得相应辐射安全资格证书。

4.1.2 从事 X 射线数字成像检测的评定人员应取得国家有关部门颁发的资格证书，方可进行相应项目的评定工作。

4.1.3 从事 X 射线数字成像检测和评定的人员应具有与 X 射线数字成像检测相关的计算机数字图像处理知识，并掌握数字成像检测的基本操作方法。

4.2 辐射安全

从事管道数字成像检测，其辐射防护安全应符合GB 18871和GBZ 117的要求。

4.3 检测要求

4.3.1 管道数字成像检测系统由 X 射线机、面阵列探测器或线阵列探测器、计算机、系统软件与检测工装组成。

4.3.2 X 射线机性能应符合 GB/T 26838 的要求。

4.3.3 探测器满足下列要求：

- a) 动态范围应不小于 2000:1；
- b) 灰度等级应不小于 12bit；
- c) 探测器制造商应提供坏像素表，并给出探测器响应不一致及坏像素校正的方法。

4.3.4 计算机的最低配置应满足系统的基本要求，能适应现场检测环境。

4.3.5 系统软件应满足下列要求：

- a) 具有探测器坏点校正、偏置校正和增益校正功能；
- b) 具有图像灰度显示、分辨率测量功能、尺寸标定与测量、直方图显示、归一化信噪比测量功能、至少 4 倍的放大功能；
- c) 图像储存采用 DICOM 规定的格式执行；
- d) 存储检测设备信息、工程信息、被检工件信息、透照工艺参数、焊缝编号、图像评定信息、检测人员信息等，并应具有不可更改性；

- e) 具有二维码读取和地理位置定位功能;
- f) 具有项目模板检测设定功能, 包括采集步长设定(成像有效区域)、管径、窗宽窗位值、降噪帧数、积分时间等。

4.3.6 检测工装应符合下列规定:

- a) 应根据被检管道进行设计, 具有相应的承载能力, 精度与稳定性满足系统要求;
- b) 使用面阵列探测器进行图像采集时, 应保证 X 射线机与探测器之间无相对运动、无颤抖等干扰出现; 使用线阵列探测器进行图像采集时, 应保证线阵列探测器的采集速度与运动速度同步。

4.3.7 像质计应满足以下要求:

- a) 线型像质计: 应采用钢质线型像质计测定影像质量, 应符合 JB/T 7902-2015 规定;
- b) 双线型像质计: 应采用双线型像质计进行分辨率测定, 双线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.5 的规定;
- c) 分辨率测试卡: 可使用分辨率测试卡进行系统分辨率测定, 分辨率测试卡应满足 GB/T 23903 的规定。

4.3.8 检测标识应符合 SY/T 4109-2013 第 5.10 中的规定。

4.3.9 可采用滤波板、准直器(光阑)、铅板等措施, 减少散射线和无用射线。

4.3.10 图像灵敏度应满足表 1 规定。

表 1 图像灵敏度

透照厚度 W/mm	识别丝号	丝径/mm
≤6	W15	0.125
>6~8	W14	0.160
>8~12	W13	0.200
>12~16	W12	0.250
>16~20	W11	0.320
>20~25	W10	0.400
>25~32	W9	0.500
>32~50	W8	0.630
>50~80	W7	0.800

4.3.11 若图像分辨率达不到表 2 图像分辨力的规定, 可增加图像灵敏度来补偿图像分辨率, 即提高线型像质计 1 个丝号, 同时降低双线型像质计 1 个丝号, 但补偿不得超过 1 个丝号。系统分辨率及图像分辨率测量方法见附录 A。

表 2 图像分辨率

公称厚度 T 或透照厚度 W/mm	图像分辨率/ (Lp/mm)	不清晰度	丝号	丝径/mm
> 2-5	5.000	0.200	D10	0.100
> 5-10	3.850	0.260	D9	0.130
> 10-25	3.125	0.320	D8	0.160
> 25-55	2.500	0.400	D7	0.200
> 55-80	2.000	0.500	D6	0.250
注：采用双壁单影透照方式，应取公称厚度； 采用双壁双影透照平面成像时，应取透照厚度。				

4.3.12 图像有效评定区域内的归一化信噪比应大于 100。

5 检测方法

5.1 准备工作

5.1.1 确认检测现场安全防护的保障措施。

5.1.2 按照 X 射线机使用手册的要求进行训机。

5.1.3 确定坏点校正、偏置校正和增益校正适用于当前检测。

5.1.4 将设备固定于管道上，保证射线中心、被检焊缝和探测器对中。

5.1.5 确认检测设备处于监控状态。

5.1.6 线型像质计的放置应满足以下要求：

- a) 像质计应放置在探测器侧被检管道焊接接头长度的 $\frac{1}{4}$ 位置，金属丝应横跨焊缝，细丝置于外侧；
- b) 中心透照或双壁单影透照时，在工艺条件不变的情况下，整条环焊缝应至少等间距放置 4 只线型像质计。

5.1.7 双线型像质计的放置应满足以下要求：

- a) 双线型像质计应放置在探测器侧，且置于被检环焊缝透照区域中心位置与端点位置间，靠近被检焊缝，并与探测器的行或列成 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ；
- b) 在连续的一条环焊缝上，只需在第一幅数字图像中放置双线型像质计，细丝置于外侧。

5.2 曝光参数

5.2.1 管道数字成像检测系统根据管壁厚度选择管电压，其最高管电压应符合图 1 的规定。

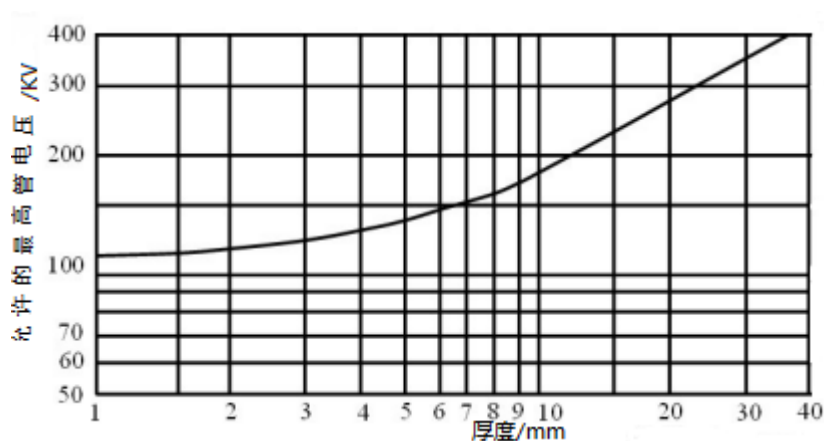


图1 透照厚度和允许使用的最高管电压

5.2.2 曝光量的选择应满足下列要求：

- 通过选择采集帧频、图像叠加帧数和管电流来控制曝光量；
- 图像有效评定区域内的灰度值应控制在探测器灰度范围的 50%左右（检测条件满足下）；若不满足，最低灰度值不能低于探测器灰度范围的 20%，最高不能超过探测器灰度范围的 80%。

5.3 透照方式

透照方式应符合SY/T 4109-2013 第5.5中的规定。

5.4 透照几何条件

透照几何条件应符合SY/T4109-2013 第5.6中的规定。

5.5 一次透照长度

一次透照长度应符合 SY/T4109-2013 第 5.7 中的规定。

5.6 几何尺寸标定

透照工艺确定后，应按确定的检测工艺参数进行几何尺寸标定。在实际检测时，利用系统软件采集已知尺寸工件的 X 射线数字图像，在图像上对其进行几何尺寸标定，几何尺寸因子计算见公式（1）：

$$\beta = \frac{l}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

β ——几何尺寸因子（mm/pixel）；

L ——标定所用工件的实际尺寸（mm）；

N ——由计算机系统软件测量标定用工件图像尺寸得到的像素个数；

通过系统软件对缺陷的几何尺寸进行测量，计算公式见式（2）

$$L = \beta \times n_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n_i ：由计算机系统软件测量缺陷图像尺寸得到的像素个数；

5.7 归一化信噪比计算

应在热响应区或接近热响应区的母材区，取面积不小于20像素×55像素的矩形计算此区域的均值和标准差，进行归一化信噪比 SNR_n 测量。

$$SNR_n = SNR_m \times \frac{88.6}{P} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P ——探测器像素几何尺寸，单位为微米（ μm ）；

SNR_m ——测量信噪比。

5.8 检测采集

5.8.1 将设备进行初始化，确定采集图像起始点。

5.8.2 调用该检测项目模板。

5.8.3 扫描管道焊缝二维码信息或手动输入焊缝信息。

5.8.4 开启 X 射线机，待射线稳定后，启动检测采集程序。

5.8.5 采集完成后，关闭 X 射线机，进行数据整理及图片初评。

5.8.6 初评或终评时，对于管道上直焊缝或螺旋焊缝上缺陷区域要进行扩展检测。

5.9 图像质量及评定

5.9.1 应在光线柔和的环境下进行图像评定。显示器屏幕应清洁，无明显的光线反射。

5.9.2 可通过正像或负像的方式显示图像。

5.9.3 图像评定区域的宽度应为焊缝本身加上焊缝两侧各不小于 5mm 热影响区。

5.9.4 分段透照时，图像两侧搭接区域应不小于 10mm。

5.9.5 图像有效评定区域内不应存在干扰缺陷图像识别的伪缺陷影像。

5.9.6 图像上定位标记和识别标记影像应显示完整、位置正确且图像信息记录完整无误。

5.9.7 在图像灰度均匀区域（宜选择邻近焊缝热影响区的母材）能清晰地看到长度不小于 10mm 的连续像质计金属丝影像时，则认为该丝是可识别的。专用等径线型像质计应至少能识别两根金属丝。

5.9.8 线型像质计、双线型像质计和归一化信噪比需要分别满足本标准中的 4.3.10、4.3.11 和 4.3.12 规定的要求。

5.9.9 可利用计算机图像处理功能提高缺陷识别能力，但评定时所采用的窗宽窗位调整、图像增强以及其它数字图像处理功能应有相关文档记录，图像评定过程中，对缺陷位置、大小等内容，应用文字在图像上标注，标注后的图像应与原始图像一起另行保存，并同原始图像保存位置一致，以备核查。原始图像信息不得修改。

5.10 数据存储

5.10.1 原始图像、评定后图像应存储在硬盘、只读光盘等数字存储介质中，并进行备份。

5.10.2 应采取防磁、防潮、防尘、防挤压、防划伤等措施防止存储介质的损伤。

5.10.3 保存期限一般为 5 年或由合同双方约定。

5.11 检测报告

5.11.1 检测报告包括：工程名称与编号、施工单位、检测单位、被检管道信息、检测装置型号与主要参数、检测工艺参数、图像处理方法、图像质量、缺陷名称、评定等级、返修情况、评定依据、报告人及级别、审核人及级别、检测结论等。检测报告应存档。

5.11.2 责任人员应对检测记录和检测报告签字确认。

附 录 A

(规范性附录)

分辨率测定

A.1 系统分辨率测定方法

A.1.1 系统分辨率 $\geq 2.5\text{lp/mm}$ 。系统分辨率应采用分辨率测试卡（平行排列型式或扇形排列型式）或双线型像质计进行测定。分辨率测试卡样式符合GB/T 23903-2009规定。分辨率测试卡的最大线对数应大于系统规定的性能指标。

A.1.2 应将双线型像质计或分辨率测试卡紧贴在探测器输入屏表面中心区域，与探测器的行或列成 $2^\circ \sim 5^\circ$ 放置。

A.1.3 射线机焦点至探测器接收面的距离不应小于 $1000 \pm 50\text{mm}$ ，并保证垂直透照。

A.1.4 射线机管电压值的选择应符合下列规定：

- a) 透照厚度 $\leq 20\text{mm}$ ，采用 1mm 铜滤波，管电压为 160kV；
- b) 透照厚度 $> 20\text{mm}$ ，采用 2 mm 铜滤波，管电压为 220kV。

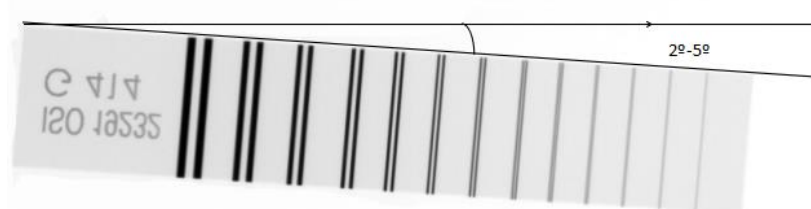
A.1.5 应在探测器校正的基础上对双线型像质计或分辨率测试卡进行透照，选择合适的曝光量使获得的双线型像质计或分辨率测试卡图像灰度值在整个灰度范围的50%~80%之间。

A.1.6 系统确定或改变后应首先测定系统分辨率。系统正常使用条件下，至少每3个月进行一次系统分辨率测定；系统停止使用1个月以上重新启用时，应进行系统分辨率测定。

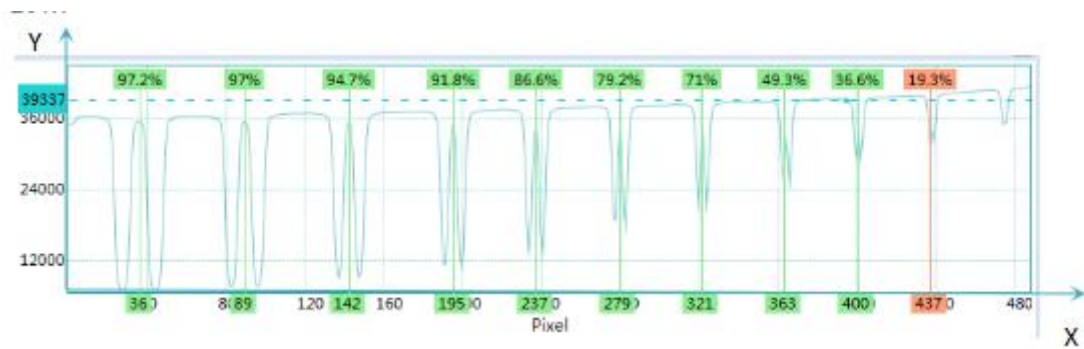
A.2 识别方法

A.2.1 双线型像质计的灰度值测量和识别应在图像灰度均匀的区域内进行。

A.2.2 对图像测量时可采用多帧叠加降噪以及窗宽窗位调整，不得采用锐化等其它数字图像处理方法。双线型像质计透照图像如图A.1所示，图像灰度值测量如图A.2所示。



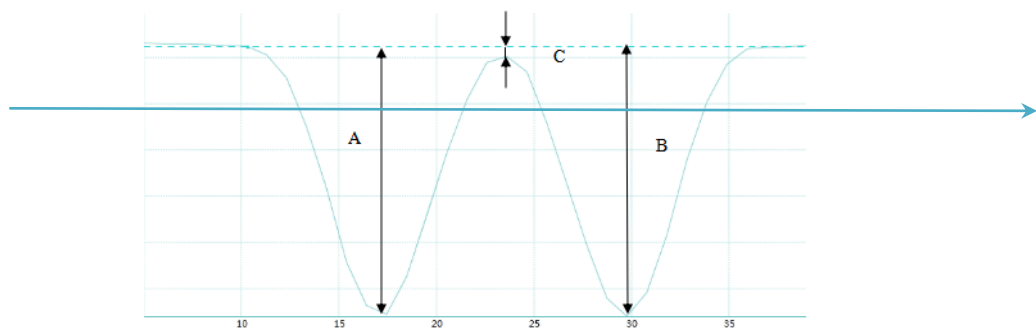
图A.1 双线型像质计透照图像



X—像质计线对在图像中对应的位置； Y—图像灰度值；

图A.2 双线型像质计图像灰度值测量

A. 2. 3 应按照图A. 1所示测量双线型像质计灰度平均值（测量区域宽度应不少于21个像素），双线型像质计线对的可识别率 σ 计算方法如图A. 3所示：



图A.3 双线型像质计的可识别率 σ 计算方法

$$\sigma = \frac{A + B - 2C}{(A + B)} \times 100\%$$

A. 2. 4 满足可识别率 $\sigma > 20\%$ 的要求，则这一线对可识别。

A. 2. 5 双线型像质计图像中第一组 $\leq 20\%$ 的线对，即为表2要求的分辨率。