ICS 23.020.30
CCS J 74

中华人民共和国国家标准

GB/T 17925—2024
代替 GB/T 17925—2011

气瓶对接焊缝 X 射线数字成像检测

Practice for X-ray digital radioscopic examination of cylinder weld

2024-12-31 发布　　2025-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　符号 …… 2
5　一般要求 …… 3
6　检测环境与工作条件 …… 5
7　检测时机与工件表面制备 …… 5
8　检测技术与工艺 …… 5
9　图像的信息标识 …… 8
10　图像质量指标测定与要求 …… 8
11　图像观察、处理与尺寸测定 …… 10
12　气瓶对接接头射线检测质量分级 …… 11
13　图像存储 …… 11
14　检测记录与报告 …… 11
附录 A(规范性)　平板探测器曝光量-灰度响应曲线测定 …… 12
附录 B(规范性)　整条环焊缝最少透照次数 …… 14
附录 C(规范性)　基本空间分辨率的测定 …… 17
附录 D(资料性)　检测报告与记录表式 …… 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。

本文件代替GB/T 17925—2011《气瓶对接焊缝X射线数字成像检测》，与GB/T 17925—2011相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a) 更改了适用范围（见第1章，2011年版的第1章）；
b) 增加了“探测器基本空间分辨率”等7个术语和定义，删除了“X射线实时成像”等21个术语和定义（见3.1～3.8，2011年版的3.1～3.21）；
c) 增加了“焦点至焊缝源侧表面距离的最小限值”等14个符号，删除了“几何变形率”等6个符号，更改了“探测器有效长度”等10个符号（见第4章，2011年版的第4章）；
d) 删除了检测人员持证的要求和检测人员图像灰度级别识别能力测试的要求（2011年版的第5章、附录A）；
e) 增加了DR检测宜使用的X射线机的类型、能量范围和焦点尺寸（见5.1.1）；
f) 删除了部分适用的探测器类型（见2011年版的6.1.2）；
g) 增加了平板探测器阵元尺寸、曝光量-灰度线性范围的推荐值（见5.1.2）；
h) 增加了图像基本空间分辨率的要求和测定方法（见5.1.6、10.4、附录C）；
i) 增加了保证设备使用性能的有关措施与规定（见5.2）；
j) 增加了检测工艺规程和操作指导书的规定（见5.3）；
k) 删除了系统分辨率指标要求（见2011年版的6.2.1）；
l) 更改了平板探测器X射线数字成像检测技术透照管电压的选用原则（见8.3，2011年版的8.1）；
m) 增加了平板探测器X射线数字成像检测的曝光量参数特性（见8.4）；
n) 删除了实时普查成像方式（2011年版的9.2）；
o) 增加了选择焦距的基本规则（见8.6）；
p) 删除了图像畸变率的要求和测试方法（见2011年版的9.5和附录D）；
q) 增加了平板探测器X射线数字成像检测图像灰度的适用范围（见10.1、附录A）；
r) 增加了归一化信噪比SNR_N计算及测定方法（见10.3）；
s) 增加了用图像灵敏度富余补偿图像基本空间分辨率不足的规定（见10.5）。

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。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会（SAC/TC 31）提出并归口。

本文件起草单位：江苏中特创业设备检测有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、江苏民生重工集团有限公司、北京市特种设备检验检测研究院（北京市特种设备事故调查处理事务中心）、江苏天海特种装备有限公司、查特深冷工程系统（常州）有限公司、河南华探检测技术有限公司、立信染整机械（深圳）有限公司、浙江超亿消防装备有限公司、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、北京石油化工学院、江苏科技大学、机械工业上海蓝亚石化设备检测所有限公司、宁夏特种设备检验检测院、湖南省特种设备检验检测研究院、台山市机械厂有限公司。

本文件主要起草人：强天鹏、陈乐、李宏雷、徐维普、倪飞、张保国、盛佩军、敬和生、李亚军、谢峦峰、徐进、张华、朱红波、李昱、胡庆贤、邱艳丽、侍吉清、马立新、彭小兰、管林群、陈溢锋、马夺。

本文件于1999年首次发布，2011年第一次修订，本次为第二次修订。

气瓶对接焊缝X射线数字成像检测

1 范围

本文件规定了制造过程中的气瓶熔化焊对接接头的平板探测器X射线数字成像(DR)检测技术、设备、工艺和图像质量要求。

本文件适用于公称厚度1.5 mm～16.0 mm,公称直径100 mm～1 200 mm的钢及有色金属材料制成的气瓶对接焊缝DR检测。

其他相近规格、尺寸、材质的气瓶,以及在用气瓶的熔化焊对接接头的DR检测可参考本文件。

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 12604.11 无损检测 术语 X射线数字成像检测

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

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

JB/T 7902 无损检测 线型像质计通用规范

3 术语和定义

GB/T 12604.11、NB/T 47013.1和NB/T 47013.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

探测器基本空间分辨率 system resolution ratio

双丝像质计直接放在探测器表面上的测定值。

3.2

图像基本空间分辨率 image resolution ratio

双丝像质计放在被检焊缝射源侧母材上的测定值。

3.3

总不清晰度 total unsharpness

由探测器的固有不清晰度和几何不清晰度共同构成的图像不清晰度。

3.4

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

基于基本空间分辨率,经归一化处理后的信噪比。

3.5

单帧曝光量 amount of exposure during single frame

管电流与单帧曝光时间的乘积。

3.6

帧积分　multiframe superposition

在射线源、工件、成像板相对位置不变的情况下，将采集的多幅图像灰度值进行叠加平均的信号处理过程。

3.7

总曝光量　accumulated exposure

管电流、单帧曝光时间与帧积分的乘积。

4　符号

下列符号适用于本文件(见表 1)。

表 1　符号说明

符号	单位	说　明
b	mm	焊缝源侧表面至探测器表面的距离
b_x	mm	焊缝源侧表面至探测器表面距离规定的上限值
D_0	mm	气瓶外径
d	mm	X 射线机有效焦点尺寸
F	mm	焦距，为焦点至探测器表面的距离
f	mm	焦点至焊缝源侧表面的距离
f_{min}	mm	焦点至焊缝源侧表面距离的最小限值
K	—	透照厚度比
L	mm	探测器有效长度
L_3	mm	一次透照长度投影到平板探测器的长度
L_3'	mm	一次透照长度，为环焊缝一次透照划线弧长
M	—	图像几何放大倍数
M_{MAX}	—	不清晰度不明显增大的临界几何放大倍数
N	—	焊缝透照次数
n	—	帧积分次数
SNR	—	信噪比
SNR_N	—	归一化信噪比
SR_b	mm	基本空间分辨率
$SR_b^{detector}$	mm	探测器基本空间分辨率，双丝型像质计直接放置于探测器表面测定的基本空间分辨率
SR_b^{image}	mm	图像基本空间分辨率，双丝型像质计放置于工件表面测定的基本空间分辨率
T	mm	气瓶公称厚度
t	mm	气瓶母材厚度

表 1　符号说明(续)

符号	单位	说　明
U_d	mm	探测器系统固有不清晰度,双丝型像质计直接放置于探测器表面测定的不清晰度
U_T	mm	由探测器的固有不清晰度和几何不清晰度共同构成的图像总不清晰度,双丝型像质计放置于工件表面测定的不清晰度
w	mm	透照厚度
α	°	一次透照范围对应的圆心角的 1/2
η	°	有效 X 射线束角度的 1/2
θ	°	根据 K 计算的横向裂纹检出角

5　一般要求

5.1　检测系统

5.1.1　X 射线机

5.1.1.1　宜选用高频恒压小焦点 X 射线机,其高压发生器的工作频率应不低于 20 kHz,纹波系数(X 射线机高压发生器输出的直流电压中交流成分的峰-峰值)应小于 1%,有效焦点尺寸应不大于1.5 mm。

5.1.1.2　应根据被检气瓶的材质、透照厚度、透照布置,结合采用高管电压透照的工艺要求选择 X 射线机的能量范围。

5.1.2　平板探测器

5.1.2.1　应使用平板探测器。

5.1.2.2　探测器的阵元尺寸不宜大于 160 μm。

5.1.2.3　探测器的模数转换位数应不小于 12 位,曝光量-灰度线性范围宜不小于全灰度的 75%。

5.1.3　计算机系统

5.1.3.1　计算机主机的配置应与所使用的平板探测器、X 射线机控制系统以及检测工装的控制系统相适应。

5.1.3.2　计算机系统应配置大容量的内存和硬盘,且应有备份数据的系统。

5.1.3.3　计算机系统应配置高亮度高分辨率显示器,应满足以下要求:

a)　亮度不低于 250 cd/m^2;

b)　至少能显示 256 灰度级;

c)　至少能显示 200 万像素,像素尺寸小于 0.3 mm;

d)　最低可显示的光强度比 1∶250。

5.1.4　系统软件

5.1.4.1　系统软件应具备图像采集、图像处理、图像测定与标注、图像存储功能。

5.1.4.2　图像采集功能应包括对 X 射线机、探测器、检测工装的调节与控制。

5.1.4.3　图像处理功能应包括各种降噪功能以及图像缩放、旋转、镜像、对比度和亮度调节功能。

5.1.4.4　图像测定与标注功能应包括灰度测定、分辨率测定、信噪比及归一化信噪比测定、几何尺寸测

定以及缺陷标记、位置标注功能。

5.1.4.5 图像存储功能应包括图像库的建立、分类管理，以及浏览、检索、查找功能。

5.1.5 检测工装

5.1.5.1 检测工装应包括X射线机-探测器工装、气瓶传送装置和气瓶检测平台。

5.1.5.2 X射线机-探测器工装与气瓶检测平台之间应能够实现前后、上下、左右旋转、偏角多个维度的相对运动，以实现以下功能：

a) 对任意指定的部位或范围实施检测；

b) 根据需求调整透照布置，例如选择适当的 F 和 b；

c) 调整照射角度进行检测。

5.1.5.3 有位置自动跟踪功能，具备定位标记作用的检测工装，应满足以下要求：

a) 能根据一次透照长度控制焊缝位移，保证焊缝准确定位和相邻区域的搭接；

b) 能根据工件焊缝位置特征确定焊缝检测的起始位置和位移方向。

5.1.6 像质计

5.1.6.1 丝型(线型)像质计用于图像灵敏度测定，其型号规格应符合GB/T 23901.1和JB/T 7902的规定。

5.1.6.2 双丝型(双线型)像质计用于图像基本空间分辨率不清晰度测定，其型号规格应符合GB/T 23901.5的规定。

5.2 设备使用性能保证

5.2.1 组成DR检测系统的各种设备、仪器、器材，均应有产品合格证或其他质量证明文件。检测系统应进行调试和测试，验收合格方可投入使用。对经过修理、改造以及更换X射线机或探测器等主要部件的检测系统，应重新进行调试和测试，验收合格方可投入使用。

5.2.2 使用阶段应定期校准、核查和测定。每天开始检测前应对探测器进行校准。每3个月至少对探测器坏像素进行一次核查。每年至少对探测器作一次曝光量-灰度响应曲线测定，测定方法按照附录A的规定执行。

5.3 检测工艺文件

5.3.1 应根据检测对象特点，结合试验结果编制检测工艺规程和操作指导书。工艺规程应覆盖气瓶规格、检测设备和检测人员。操作指导书应根据工艺规程内容及检测要求进行编制，内容应明确和具体。

5.3.2 工艺规程内容除满足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。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) 被检测气瓶的类型、规格；

b) 检测设备器材(X射线机、探测器、检测工装、像质计、散射线防护器材、标记、系统软件、显示器等)；

c) 检测工艺(透照参数、几何参数、采集参数等)；

d) 图像质量评定。

5.3.3 操作指导书内容满足NB/T 47013.1的要求外，至少还应包括：

a) 编制依据；

b) 适用气瓶的类型、规格；

c) 检测设备器材(X射线机、探测器、检测工装、像质计、散射线防护器材、标记、系统软件、显示器等)；

d) 检测工艺(透照参数、几何参数、采集参数等);
e) 检测标识;
f) 图像评定(灰度值、归一化信噪比、图像分辨率、图像灵敏度等);
g) 工艺验证图像编号。

5.3.4 操作指导书在首次应用时应进行工艺验证,验证一般在被检测气瓶上进行,也可采用对比试块或模拟试块进行。

6 检测环境与工作条件

6.1 操作室和评定室的室内温度 15 ℃～25 ℃;相对湿度小于或等于 80%。
6.2 X 射线曝光室内温度 5 ℃～30 ℃;相对湿度小于或等于 80%,室内应有抽风装置。
6.3 电源电压波动范围应不超过±5%。
6.4 检测设备外壳与射线源高压发生器应有效接地,接地电阻小于或等于 4 Ω;射线源高压发生器应有独立的接地线。

7 检测时机与工件表面制备

7.1 检测时机

气瓶对接焊缝 DR 检测一般应在焊接后和热处理前进行。对于焊后产生延迟裂纹倾向材料的产品,应在焊接完成 24 h 后进行检测。对于再热裂纹倾向材料的产品,应在热处理后再进行一次检测。

7.2 表面制备

被检气瓶焊缝表面不应有油脂、铁锈、氧化皮或其他影响检测的因素(如粗劣的焊波、多层焊焊道之间的表面沟槽,以及焊缝的表面凹坑、凿痕、飞溅、焊疤、焊渣等),表面的不规则状态不应影响检测结果的正确性和完整性,焊缝余高应不大于 2 mm,否则应修磨。

8 检测技术与工艺

8.1 检测技术等级

本文件规定的射线检测技术等级满足 NB/T 47013.2 规定的 AB 级——中等灵敏度技术。

8.2 成像方式

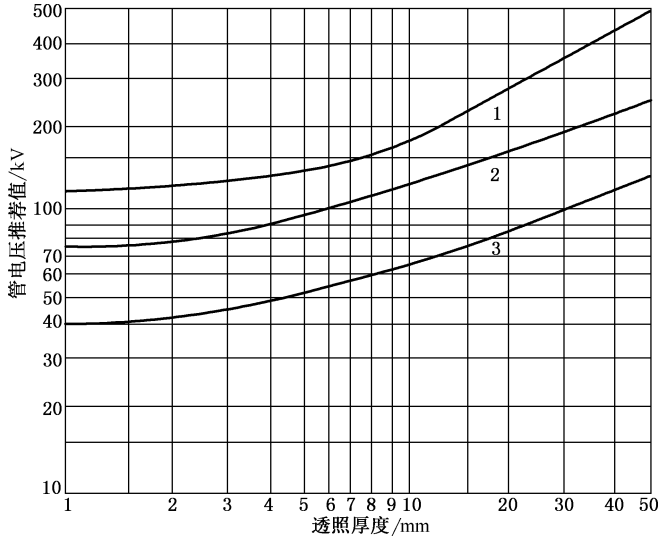
应采用静止检测方法成像。

8.3 X 射线能量选择

气瓶焊缝 DR 检测宜选择高于胶片照相所选的管电压。

注:使用经过校正的 X 射线 DR 系统,采用较高管电压可获得更高的信噪比和灵敏度;或在灵敏度不降低的前提下明显减小曝光时间,提高效率。

图 1 中的曲线可作为不同材料、不同透照厚度使用的 X 射线管电压推荐值,检测时根据工件和设备情况,可在管电压推荐值的±20%范围内选择。



标引序号说明：

1——钢的推荐曲线；

2——钛及钛合金的推荐曲线；

3——铝及铝合金的推荐曲线。

图 1　不同材料、不同透照厚度推荐使用的 X 射线管电压

8.4　曝光量选择

8.4.1　单帧曝光量为管电流和单帧曝光时间的乘积，单帧曝光量与图像灰度值呈线性关系，同时单帧曝光量的开方值与图像信噪比呈正比关系，可据此调控图像灰度和图像信噪比。

8.4.2　总曝光量为管电流、单帧曝光时间和帧积分次数的乘积，总曝光量的开方值与图像信噪比呈线性关系，可据此调控图像信噪比。

8.4.3　不改变图像灰度条件下，可利用基于图像灰度的互易律调整管电流和单帧曝光时间。

8.4.4　不改变信噪比条件下，可利用基于图像信噪比的互易律调整管电流、单帧曝光时间和帧积分次数 n。

注：基于图像灰度的互易律：保持管电流和单帧曝光时间的乘积（单帧曝光量）不变，管电流和曝光时间的数值任意改变，图像灰度不变；基于图像信噪比的互易律：保持管电流、曝光时间、帧积分次数的乘积（总曝光量）不变，管电流、曝光时间和帧积分次数的数值任意改变，图像信噪比不变。

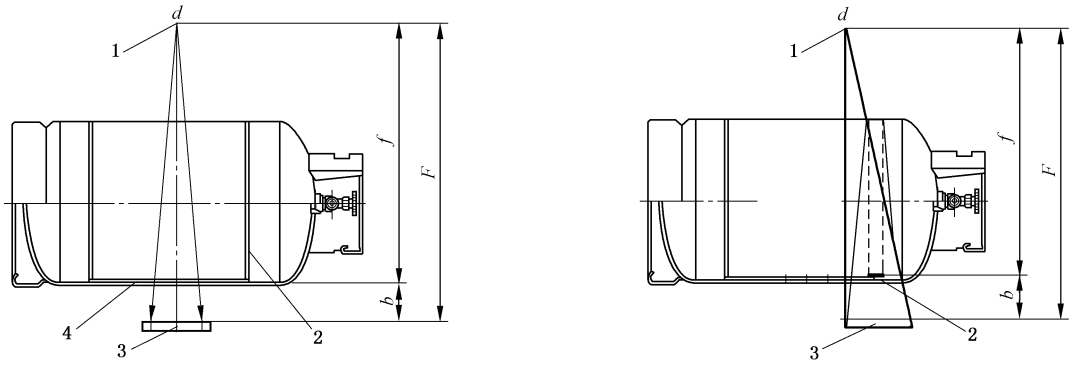
8.4.5　不改变图像灰度值条件下，单帧曝光时间不变，提高帧积分次数 n，可提高图像信噪比。

8.5　透照布置

8.5.1　气瓶焊缝 DR 检测一般采用双壁单影法进行透照。

8.5.2　X 射线机、气瓶和探测器三者之间的相互位置见图 2。

8.5.3　透照时射线束中心应垂直指向透照区域中心。如果射源侧焊缝和垫板影响探测器侧焊缝成像，可将射线束适当倾斜避开，透照布置见图 2 b）。如果缺陷有方向性，可选择有利于发现缺陷的方向透照。焊缝 T 型接头透照可同时包含环焊缝和纵焊缝，只要影像在一次透照长度范围内均视为有效评定区。



a） 气瓶纵缝透照　　b） 气瓶环缝透照

标引序号说明：

1——X 射线机焦点；

2——气瓶环焊缝；

3——平板探测器；

4——气瓶纵焊缝。

图 2　X 射线机、气瓶、探测器相互位置示意图

8.6　焦距 F 的选择

8.6.1　焦距 F 的选择与气瓶直径和透照布置有关。纵缝透照时，增大焦距对获得较大的一次透照长度有利，可采用双壁单影拉开透照方式。环缝透照时，在满足图像总不清晰度要求的前提下，可采用双壁单影抵近透照方式，获得较长的一次透照长度。

8.6.2　当采用双壁单影抵近透照方式检测小直径气瓶环缝时，X 射线机焦点到焊缝射源侧表面距离 f 应不小于最小透照距离限值 f_{min}。AB 级的 f_{min} 可用公式(1)计算：

$$f_{min}=10bd/t^{1/3} \quad \cdots\cdots(1)$$

8.6.3　对于给定的检测系统，图像几何放大倍数 M 由公式(2)计算得出，图像总不清晰度不明显增大的临界几何放大倍数 M_{MAX} 由公式(3)计算得出：

$$M=F/f \quad \cdots\cdots(2)$$

$$M_{MAX}=1+(U_d/d)^{3/2} \quad \cdots\cdots(3)$$

M_{MAX} 对应的焊缝源侧表面至探测器表面距离规定的上限值 b_x 可由公式(4)计算得出：

$$b_x=F(1-1/M_{MAX}) \quad \cdots\cdots(4)$$

8.6.4　在保证不发生碰撞的前提下，应选择较小的 b，且不宜大于 b_x。

注：取较大的 b，有利于减小探测器被工件碰撞的风险，但也会使焊缝图像不清晰度增大、裂纹对比度降低、一次透照长度减小；环焊缝透照时，还会影响焊缝两端的图像质量。

8.7　一次透照长度 L_3'

8.7.1　气瓶焊缝 DR 检测的一次透照长度 L_3' 的确定，与透照厚度比 K、焦距 F、气瓶外径 D_0、气瓶母材厚度 t、焊缝源侧表面至探测器表面的距离 b、探测器有效长度 L 等有关。

8.7.2　AB 级焊缝的透照厚度比 K 应满足以下规定：

a）　纵向对接焊接接头：$K\leqslant 1.03$；

b）　外径 $D_0>400$ mm 的环向对接焊接接头：$K\leqslant 1.1$；

c）　外径 100 mm$<D_0\leqslant$400 mm 的环向对接焊接接头：$K\leqslant 1.2$。

8.7.3　可按附录 B 通过计算法或查图法得到整条环焊缝 100%检测的最少焊缝透照次数。

8.7.4 求出焊缝透照次数 N 和一次透照长度 L_3' 后，应验算探测器有效长度 L 是否大于 L_3' 在探测器上的投影长度 L_3，验算公式和方法按照附录 B 实施。若探测器有效长度 L 小于 L_3，应减小一次透照长度 L_3'，增加透照次数 N。

8.8 散射线和无用射线的屏蔽

8.8.1 应屏蔽无用射线和散射线。

8.8.2 可采用光阑、滤波板、铅板、铅箔等适当措施限制照射场范围，屏蔽散射线和无用射线。

9 图像的信息标识

9.1 图像的信息标识包括识别标记和定位标记。

9.2 识别标记一般包括气瓶编号、焊接接头编号、部位编号、透照日期等，返修后的透照应有返修标记。同一条焊缝连续检测时，检测图像识别标记的编号应连续。

9.3 定位标记一般包括中心标记、搭接标记、检测区标记等。中心标记除了指示透照区段的中心位置外，还指示区段编号的方向，一般用十字箭头“+➤”表示；搭接标记是透照相邻区段的边界标记，一般用符号“↟”表示。

9.4 信息标识可通过在被检气瓶表面摆放铅字透照成像或由系统软件标注在数字图像上。

9.5 图像信息标识应完整清晰，且不遮挡焊缝，不影响图像评定。

10 图像质量指标测定与要求

10.1 图像灰度

10.1.1 气瓶焊缝 DR 检测的图像灰度适用范围是曝光量-灰度响应曲线的直线部分。

10.1.2 当曝光量-灰度响应曲线在高灰度区及低灰度区出现弯曲且斜率明显降低时，不应使用对应的灰度区间。

10.1.3 在满足图像灵敏度和归一化信噪比要求的前提下，可使用低灰度图像。

10.2 图像灵敏度

10.2.1 像质计金属丝材料应与被检工件材料相同。特殊情况下，可用相近的低密度材料像质计代替高密度材料像质计。

10.2.2 气瓶采用双壁单影法透照时，像质计应放在靠近探测器一侧被检焊缝约 1/4 处，细丝向外，金属丝应横跨焊缝并与焊缝垂直。

10.2.3 同一规格、相同工艺制造的气瓶检测时，每班检测开始的第一只气瓶和最后一只气瓶的纵环焊缝的第一幅图像应放置像质计；如像质指数达到规定要求，则该班检测气瓶的其他图像可不放置像质计。

10.2.4 图像灵敏度采用目视法测定，在图像灰度均匀部位能够清晰识别长度不小于 10 mm 金属线影像，则认为该线可识别。

10.2.5 气瓶焊缝 DR 检测、AB 级技术、双壁单影透照、像质计置于气瓶探测器侧表面的图像灵敏度要求，应识别像质计线号和线径的要求见表 2。

表 2　AB 级技术双壁单影透照像质计置于气瓶探测器侧表面的图像灵敏度

应识别丝号 （丝径） mm	透照厚度(w) mm	应识别丝号 （丝径） mm	透照厚度(w) mm
W17(0.080)	$1.2<w\leqslant2.0$	W13(0.200)	$10.0<w\leqslant15.0$
W16(0.100)	$2.0<w\leqslant3.5$	W12(0.250)	$15.0<w\leqslant22.0$
W15(0.125)	$3.5<w\leqslant5.0$	W11(0.320)	$22.0<w\leqslant38.0$
W14(0.160)	$5.0<w\leqslant10.0$	W10(0.400)	$38.0<w\leqslant48.0$

10.3　图像归一化信噪比 SNR_N

10.3.1　图像归一化信噪比 SNR_N 计算方法

使用仪器系统软件进行测定时，软件会自动给出图像归一化信噪比 SNR_N 计算值。如果仪器软件不具备自动计算图像归一化信噪比 SNR_N 功能，可采用公式(5)人工计算。

$$SNR_N = SNR \times 88.6/SR_b \quad \cdots\cdots(5)$$

注：公式(5)中基本空间分辨率 SR_b 为测定得到的探测器基本空间分辨率 $SR_b^{detector}$ 或图像基本空间分辨率 SR_b^{image}，如果双丝型像质计直接放置于无被检工件的探测器上，则 SR_b 等于测得的 $SR_b^{detector}$；如果双丝型像质计放置于被检工件表面，则 SR_b 等于测得的 SR_b^{image}。

10.3.2　图像归一化信噪比 SNR_N 测定方法

应在邻近焊缝的、无缺陷的、灰度均匀的母材区域测定图像归一化信噪比 SNR_N：选择有效评定区，至少包含(20×55)个像素的矩形区域，输入或测定基本空间分辨率 SR_b，启动测量软件，即可得到图像归一化信噪比 SNR_N。

10.3.3　图像归一化信噪比 SNR_N 指标要求

气瓶焊缝 DR 检测、AB 级技术、不同材质焊缝检测的图像归一化信噪比 SNR_N 要求见表 3。

表 3　AB 级技术不同材质焊缝检测的图像归一化信噪比

材质	使用的管电压范围 kV	归一化信噪比(SNR_N)
钢、铜、 镍及镍基合金	≤50	≥170
	>50～150	≥140
	>150～250	≥120
	>250～600	≥120
钛、铝	≤150	≥140
	>150	≥120

10.4　图像基本空间分辨率 SR_b^{image}

10.4.1　图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 采用双丝型像质计测定。

10.4.2 气瓶焊缝 DR 检测的图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 测定方法按附录 C 执行。

10.4.3 图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 测定应在工艺试验时进行。如果工艺试验图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 的测定值满足标准要求，且实际检测使用的射线机-探测器系统、检测工艺参数与工艺试验相同，则检测时可不摆放双丝型像质计，用工艺试验图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 测定值作为实际检测的图像基本空间分辨率 SR_b^{image}。如果工艺试验的图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 测定值不满足标准要求，应优化检测工艺。

10.4.4 气瓶焊缝 DR 检测、AB 级技术、双壁单影透照、双丝型像质计置于气瓶探测器侧表面时图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 和图像总不清晰度 U_T 要求，应分辨的最小线对值的要求见表 4。

表 4 AB 级技术双壁单影透照双丝型像质计置于气瓶探测器侧表面的图像基本空间分辨率

公称厚度(T) mm	应分辨的 最小线对值	图像总不清晰度(U_T) mm	图像基本空间分辨率(SR_b^{image}) mm
$T \leqslant 1.5$	D13	0.100	0.050
$1.5 < T \leqslant 2.0$	D12	0.125	0.063
$2.0 < T \leqslant 3.5$	D11	0.160	0.080
$3.5 < T \leqslant 5.0$	D10	0.200	0.100
$5.0 < T \leqslant 10.0$	D9	0.260	0.130
$10.0 < T \leqslant 25.0$	D8	0.320	0.160
$25.0 < T \leqslant 55.0$	D7	0.400	0.200

10.5 用图像灵敏度富余补偿图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 不足的规定

如果图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 达不到表 4 的规定，可使用图像灵敏度富余补偿图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 的不足。这种补偿最多可补偿两级。

示例：检测公称厚度 3 mm 的气瓶，DR 检测带 2 mm 垫板的环缝，透照厚度为 8 mm。查表 2 可知，要求达到的图像灵敏度是能识别线径 W14(0.160 mm 线径)，查表 4 可知，要求满足的图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 应小于 0.100 mm，能分辨 D10。从检测图像上测定，实际达到的图像灵敏度为能识别线径 W16(0.10 mm 线径)，比规定高 2 级；实际测定图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 仅能分辨 D8，比规定低两级。根据“用图像灵敏度富余补偿图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 不足，最多可补偿两级”的规定，该图像的质量满足要求。

11 图像观察、处理与尺寸测定

11.1 一般要求

11.1.1 应在光线柔和的环境中观察图像。

11.1.2 图像在有效评定区不应存在干扰缺陷识别的伪缺陷影像。如发现干扰缺陷识别的表面轮廓显示，应对工件表面打磨处理消除，然后重新透照。

11.2 图像质量

检查图像灵敏度、图像归一化信噪比、图像基本空间分辨率，应分别符合 10.2.5、10.3.3 和 10.4.4 的要求。

11.3 图像处理

在图像观察和评定时可使用缩放、旋转、镜像、灰度变换、对比度增强等图像处理方式。各种图像处

理方式应有利于图像质量优化和观察评定，任何图像处理方式不应改变原始图像数据。

11.4 图像尺寸标定与测量

11.4.1 采用已知尺寸标样对图像尺寸进行标定时，应将标样置于工件的探测器一侧表面 b 最小处。

11.4.2 应利用标定后的软件测量功能测量缺陷尺寸。

11.4.3 每 30 d 或停用 30 d 后应重新标定。

11.4.4 当透照布置和气瓶规格改变后，应重新进行尺寸标定。

11.5 计算机辅助评定

可使用计算机辅助评定程序对焊缝质量进行辅助评定。未经审核确认的辅助评定结果不应作为检测结论。

12 气瓶对接接头射线检测质量分级

12.1 对图像中焊接接头有效评定区内的影像进行评定，应对所有被认定为缺陷的影像进行定性、定量、定位和定级。

12.2 气瓶焊缝 DR 检测质量分级按 NB/T 47013.2 的规定执行。

13 图像存储

13.1 图像存储宜采用 TIFF 或 DICONDE 格式。

13.2 原始检测图像和数据应保存在数字存储媒体，如光盘、硬盘、云端或其他专门的存储媒体中并予以备份，保存期限应不少于气瓶设计使用年限且不少于 8 a，相应原始记录和检测报告应同期保存。

13.3 当采用图像处理提高对比灵敏度并满足要求时，处理后的图像应进行标识并与原始图像一起保存。

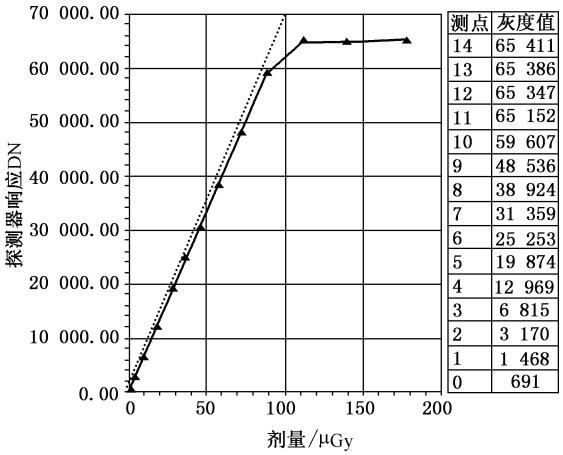
13.4 图像和数据存储环境应防磁、防潮、防尘、防挤压、防震动。

14 检测记录与报告

检测报告与记录的内容和格式见附录 D。

附 录 A
（规范性）
平板探测器曝光量-灰度响应曲线测定

A.1 剂量-灰度特性曲线示例见图 A.1。



测点	灰度值
14	65 411
13	65 386
12	65 347
11	65 152
10	59 607
9	48 536
8	38 924
7	31 359
6	25 253
5	19 874
4	12 969
3	6 815
2	3 170
1	1 468
0	691

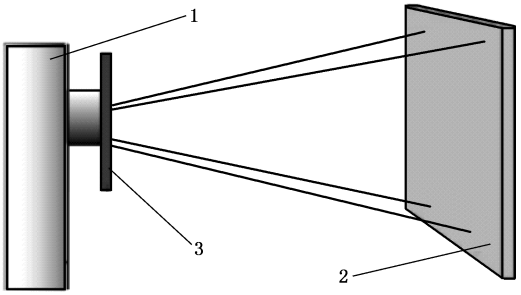
图 A.1 剂量-灰度特性曲线示例

A.2 制造企业不具备剂量-灰度特性曲线的测定条件时，可根据曝光量-灰度响应曲线制定检测工艺。

A.3 曝光量-灰度响应曲线的测定示例如下。

a) X 射线机型号：COMET450；探测器型号：万睿视 2 530HE；像素尺寸：139 μm。

b) 曝光量-灰度响应曲线的透照布置见图 A.2，紧贴 X 射线机窗口放置 1 mm 铜滤板。



标引序号说明：

1——X 射线机；

2——平板探测器；

3——滤板。

图 A.2 曝光量-灰度响应曲线的测定透照布置

c) 管电压 90 kV；焦距(1 000±5) mm。单帧曝光时间 1 s，管电流从 0.1 mA 起，按 0.1 mA 步进依次加大。

d) 采集系列图像，直至图像灰度不再随曝光量增加而增大。

e) 测定每一幅图像的平均灰度，填入表 A.1 中，绘出曝光量-灰度响应曲线见图 A.3。

表 A.1　平板探测器曝光量-灰度响应曲线测定记录

序号	单帧曝光量 mA·s	灰度值	序号	单帧曝光量 mA·s	灰度值	序号	单帧曝光量 mA·s	灰度值
1	0.1	693	11	1.1	16 150	21	2.1	47 920
2	0.2	699	12	1.2	19 897	22	2.2	51 009
3	0.3	699	13	1.3	23 121	23	2.3	53 968
4	0.4	703	14	1.4	26 301	24	2.4	56 970
5	0.5	734	15	1.5	29 389	25	2.5	58 163
6	0.6	778	16	1.6	32 729	26	2.6	58 282
7	0.7	3 897	17	1.7	35 682	27	2.7	58 292
8	0.8	7 512	18	1.8	38 418	28	2.8	58 289
9	0.9	10 418	19	1.9	41 830	29	2.9	58 330
10	1.0	13 558	20	2.0	44 875	30	3.0	58 314

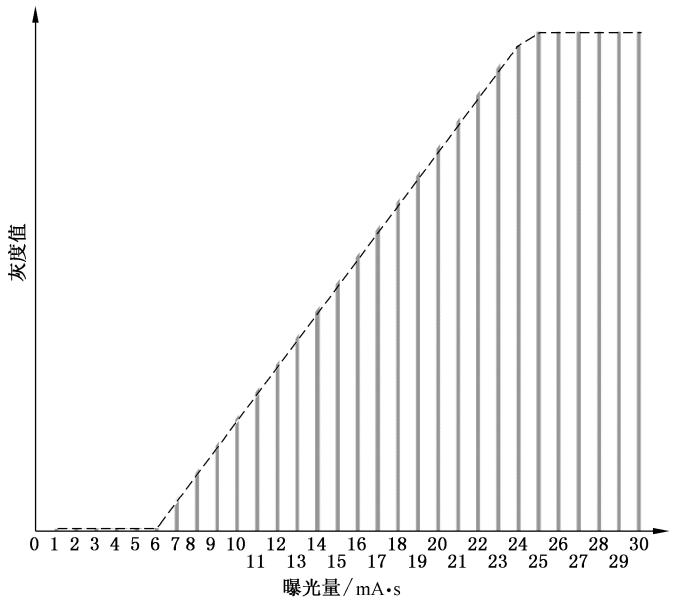


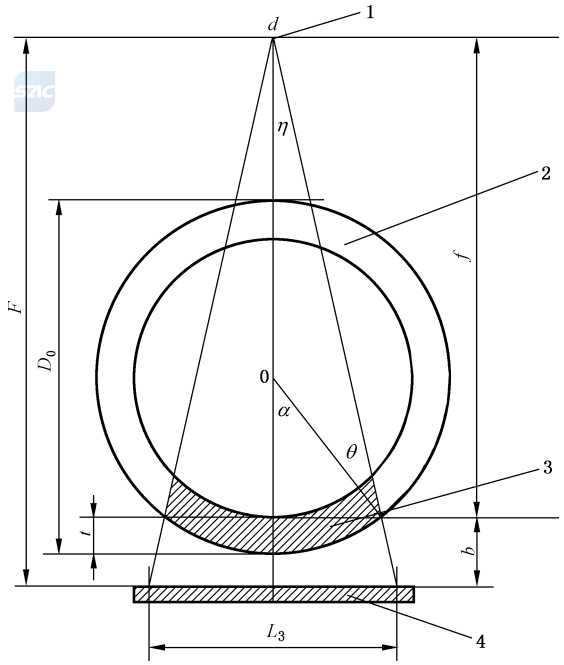
图 A.3　曝光量-灰度响应曲线

A.4　曲线的直线部分对应的灰度(灰度值 778～56 970)是检测可使用的灰度范围。与主体直线发生偏离,出现弯曲的部分(灰度值 778 以下及灰度值 56 970 以上区域)是检测不宜使用的灰度范围。

附 录 B
（规范性）
整条环焊缝最少透照次数

B.1 环焊缝透照

环焊缝对接接头进行100%检测时，所需的最少透照次数与透照方式和透照厚度比 K 有关，双壁单影透照时确定整条环焊缝最少透照次数需要的参数及相互关系见图 B.1。



标引序号说明：

1——X 射线机焦点；

2——气瓶环焊缝；

3——气瓶环焊缝一次透照范围；

4——平板探测器。

图 B.1 确定整条环焊缝最少透照次数示意图

B.2 环向焊缝透照次数计算

B.2.1 环焊缝 AB 级技术的透照厚度比 K 取值：

a) 100 mm$<D_0\leqslant$400 mm 时，$K=1.2$；

b) $D_0>$400 mm 时，$K=1.1$。

B.2.2 一次透照范围对应的圆心角的 1/2——α 的计算。

a) 当 $D_0\gg T$ 时，根据公式(B.1)计算横向裂纹检出角 θ。

$$\theta=\arccos K^{-1} \qquad \cdots\cdots(B.1)$$

b) 根据已知参数由公式(B.2)计算 η(有效 X 射线束角度的 1/2)。

$$\eta = \arcsin[\sin\theta \times D_0/(2F - D_0)] \quad \cdots\cdots (B.2)$$

c) 由 θ 与 η 值根据公式(B.3)得出一次透照范围对应的圆心角 α。

$$\alpha = \theta + \eta \quad \cdots\cdots (B.3)$$

B.2.3 环焊缝 100%检测时的最少透照次数 N 按公式(B.4)向上取整数计算。

$$N = 180°/\alpha \quad \cdots\cdots (B.4)$$

B.2.4 环焊缝一次透照长度 L_3' 按公式(B.5)计算。

$$L_3' = \pi D_0/N \quad \cdots\cdots (B.5)$$

B.3 验证平板探测器有效长度 L 大于一次透照长度投影到平板探测器的长度 L_3

B.3.1 环焊缝一次透照长度 L_3' 投影到平板探测器的长度 L_3 按公式(B.6)计算。

$$L_3 = 2F\tan\eta \quad \cdots\cdots (B.6)$$

B.3.2 如果 $L > L_3$，最少透照次数 N 的计算结果可使用；如果 $L < L_3$，最少透照次数 N 的计算结果不能使用，应采取修正措施，例如增加透照次数，或减小焊缝源侧表面至探测器表面的距离 b。

B.4 透照次数曲线

以 T/D_0 为横坐标、D_0/F 为纵坐标，绘制最少透照次数曲线图，可通过查询曲线图确定透照次数。图 B.2 给出了 $K=1.2$、100 mm$<D_0\leqslant$400 mm 气瓶整条环焊缝透照次数曲线图；图 B.3 给出了 $K=1.1$、$D_0>$400 mm 气瓶整条环焊缝透照次数曲线图。

B.5 由图确定透照次数的方法

计算出 T/D_0 和 D_0/F，在横坐标上找到 T/D_0 的对应点，过此点画一条垂直于横坐标的直线，在纵坐标上找到 D_0/F 对应的点，过此点画一条垂直于纵坐标的直线。从两直线交点所在的区域确定为所需的透照次数；当交点在两区域的分界线上时，应取较大数值作为所需的最少透照次数。

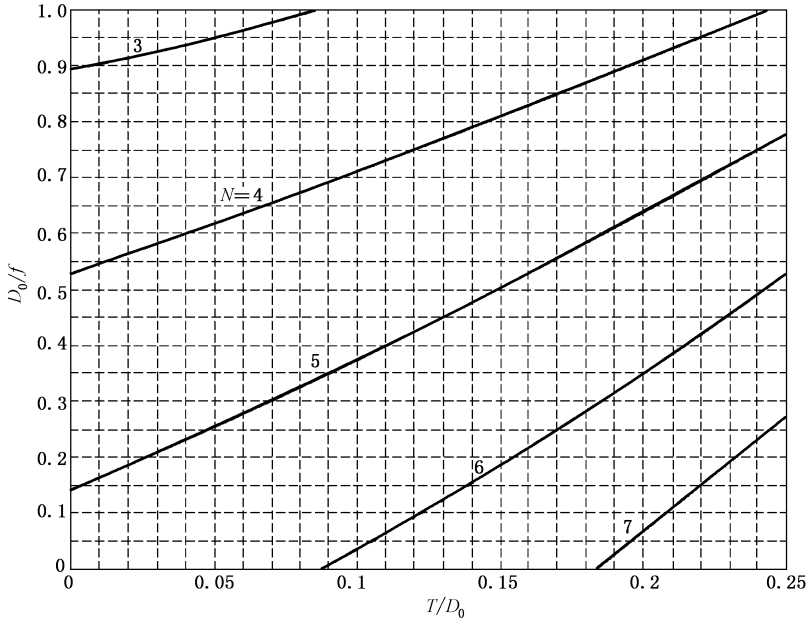


图 B.2 $K=1.2$、100 mm$<D_0\leqslant$400 mm 的气瓶整条环焊缝最少透照次数图

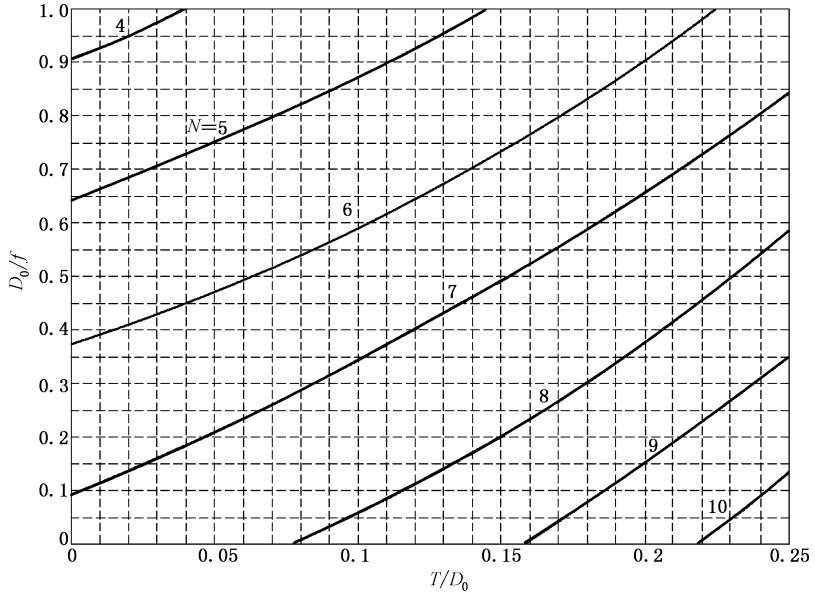


图 B.3　$K=1.1$、$D_0>400$ mm 的气瓶整条环焊缝最少透照次数图

B.6　验证平板探测器有效长度 L 大于一次透照长度投影到平板探测器的长度 L_3

按照 B.3 的计算法验算平板探测器有效长度 L 是否大于一次透照长度投影到平板探测器的长度 L_3。也可采用作图法或实测法验证平板探测器有效长度 L 是否大于一次透照长度投影到平板探测器的长度 L_3。

附 录 C
（规范性）
基本空间分辨率的测定

C.1 探测器基本空间分辨率 $SR_b^{detector}$ 的测定

C.1.1 测定探测器基本空间分辨率 $SR_b^{detector}$ 的图像的灰度应处于曝光量-灰度响应的线性区，平均灰度值应大于全灰度的 50%，图像归一化信噪比 SNR_N 应大于 100。测定时无被检工件，双丝型像质计直接放置于探测器表面。

C.1.2 源到探测器的距离应为 1 000 mm±5 mm。

C.1.3 不同检测对象的试验条件：

a） 轻合金检测：管电压 90 kV，X 射线机窗口放置 1 mm 铝滤波器；

b） 透照厚度≤20 mm 的钢和铜合金检测：管电压 160 kV，X 射线机窗口放置 1 mm 铜滤波器；

c） 透照厚度＞20 mm 的钢和铜合金检测：管电压 220 kV，X 射线机窗口放置 2 mm 铜滤波器。

C.2 图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 的测定

C.2.1 测定图像基本空间分辨率 SR_b^{image} 时，应将双丝型像质计放在工件焊缝附近的母材上。

C.2.2 按照实际检测要求在被检工件或模拟工件上透照并测定。

C.3 双丝型像质计的使用

双丝型像质计应与像素横行或纵列成约为 2°～5°的倾角以避免混叠影响，且至少使用 21 条线对轮廓图进行叠加平均。见图 C.1。

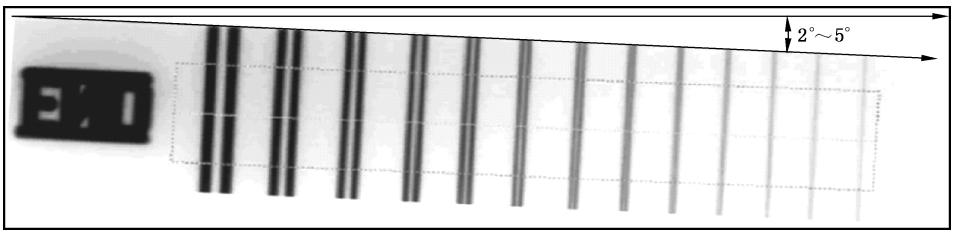


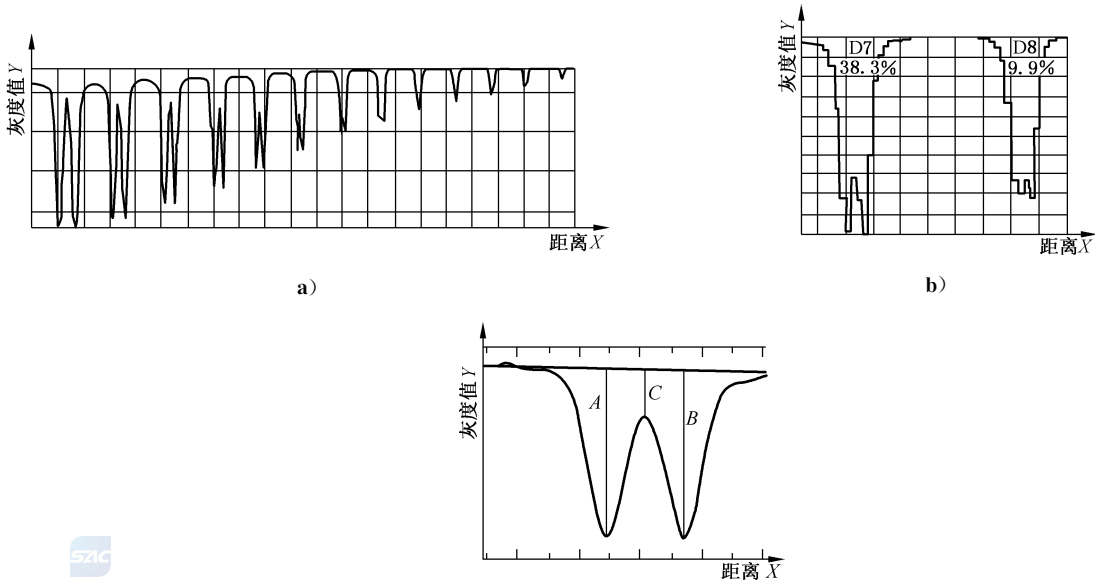
图 C.1 双丝型像质计应与像素横行或纵列成约为 2°～5°的倾角

C.4 图像不清晰度测定

C.4.1 第一组下凹值小于 20%的线对即为不清晰线对，见图 C.2a），对应不清晰度数值即图像不清晰度，当无被检工件时双丝型像质计直接放置于探测器表面时，测定得到的不清晰度数值为探测器系统固有不清晰度 U_d，当有被检工件时双丝型像质计放置于工件表面时，测定得到的不清晰数值为图像总不清晰度 U_T。

C.4.2 若不能明确地分辨出第一组不清晰线对，可使用图像处理软件的轮廓提取功能识别第一组下凹值小于 20%的线对，见图 C.2b）。

C.4.3　采用计算法求出下凹值小于20%的线对：下凹值等于$100\times(A+B-2C)/(A+B)$，见图C.2c)。



标引序号说明：

D7，D8——双丝像质计线对值；

A、B　——背景灰度值与双丝灰度值之差；

C　　——背景灰度值与双丝间隙灰度值之差。

图 C.2　双丝型像质计测定图像总不清晰度

C.4.4　图像不清晰度与基本空间分辨率关系：$SR_b^{detector}=U_d/2$ 或 $SR_b^{image}=U_T/2$。

附 录 D
（资料性）
检测报告与记录表式

D.1 检测报告

气瓶焊缝 DR 检测报告格式及内容参考示例见图 D.1。

气瓶焊缝 DR 检测报告

报告编号：

<table>
<tr><td rowspan="4">气瓶概况</td><td>名称</td><td></td><td>型号</td><td></td><td>规格</td><td></td></tr>
<tr><td>材质</td><td></td><td>产品批号</td><td></td><td>产品标准</td><td></td></tr>
<tr><td>焊接方式</td><td></td><td>抽查比例</td><td></td><td>批次抽查数量</td><td>只</td></tr>
<tr><td>检测部位</td><td></td><td>检测标准</td><td>GB/T 17925—2024</td><td>合格级别</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">检测设备</td><td rowspan="2">仪器型号</td><td>X 射线机：</td><td rowspan="2">仪器编号</td><td>X 射线机：</td><td rowspan="2">像质计型号</td><td>单丝：</td></tr>
<tr><td>探测器：</td><td>探测器：</td><td>双丝：</td></tr>
<tr><td rowspan="6">检测工艺参数</td><td>焦点尺寸</td><td></td><td>像素尺寸</td><td></td><td>有效面积</td><td></td></tr>
<tr><td>透照方式</td><td></td><td>焦距</td><td></td><td>焊缝-探测器间距</td><td></td></tr>
<tr><td>像质计位置</td><td></td><td>管电压</td><td></td><td>管电流</td><td></td></tr>
<tr><td>单帧时间</td><td></td><td>叠加帧数</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">透明厚度</td><td>环缝：</td><td rowspan="2">一次透明长度</td><td>环缝：</td><td rowspan="2">透照次数</td><td>环缝：</td></tr>
<tr><td>纵缝：</td><td>纵缝：</td><td>纵缝：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">图像质量</td><td>灰度值</td><td></td><td rowspan="2">标准要求
像质指数</td><td>单丝：</td><td rowspan="2">实测图像
像质指数</td><td>单丝：</td></tr>
<tr><td>归一化信噪比</td><td></td><td>双丝：</td><td>双丝：</td></tr>
<tr><td colspan="7">检测情况说明：
本批气瓶焊缝检测图像____(幅)，其中合格图像____(幅)，一次检测合格率____。
返修图像____(幅)，其中合格图像____(幅)，合格率____。
扩深图像____(幅)，其中合格图像____(幅)，合格率____。</td></tr>
<tr><td colspan="7">检测结论：</td></tr>
<tr><td colspan="2">检测(资格)：</td><td colspan="2">日期：　　年　月　日</td><td colspan="3" rowspan="3">(检测专用章)</td></tr>
<tr><td colspan="2">初评(资格)：</td><td colspan="2">日期：　　年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">复评(资格)：</td><td colspan="2">日期：　　年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="3">监检单位：</td><td colspan="3" rowspan="2">监检意见：</td></tr>
<tr><td colspan="2">监检人员：</td><td colspan="2">日期：　　年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="7">备注：</td></tr>
</table>

图 D.1 气瓶焊缝 DR 检测报告参考示例

D.2 检测记录

气瓶焊缝 DR 检测记录格式及内容可参考图 D.2。

气瓶焊缝 DR 检测报告

记录编号：

<table>
<tr><td rowspan="4">气瓶概况</td><td>名称</td><td></td><td>型号</td><td></td><td>规格</td><td></td></tr>
<tr><td>材质</td><td></td><td>产品批号</td><td>本批数量</td><td>产品标准</td><td></td></tr>
<tr><td>焊接方式</td><td></td><td>抽查比例</td><td></td><td>本批数量/抽查数量</td><td></td></tr>
<tr><td>检测部位</td><td></td><td>检测标准</td><td>GB/T 17925—2024</td><td>合格级别</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">检测设备</td><td rowspan="2">仪器型号</td><td>X 射线机：</td><td rowspan="2">仪器编号</td><td>X 射线机：</td><td rowspan="2">像质计型号</td><td>单丝：</td></tr>
<tr><td>探测器：</td><td>探测器：</td><td>双丝：</td></tr>
<tr><td rowspan="6">检测工艺参数</td><td>焦点尺寸</td><td></td><td>像素尺寸</td><td></td><td>有效面积</td><td></td></tr>
<tr><td>透照方式</td><td></td><td>焦距</td><td></td><td>焊缝-探测器间距</td><td></td></tr>
<tr><td>像质计位置</td><td></td><td>管电压</td><td></td><td>管电流</td><td></td></tr>
<tr><td>单帧时间</td><td></td><td>叠加帧数</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">透明厚度</td><td>环缝：</td><td rowspan="2">一次透明长度</td><td>环缝：</td><td rowspan="2">透照次数</td><td>环缝：</td></tr>
<tr><td>纵缝：</td><td>纵缝：</td><td>纵缝：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">图像质量</td><td>灰度值</td><td></td><td rowspan="2">标准要求
像质指数</td><td>单丝：</td><td rowspan="2">实测图像
像质指数</td><td>单丝：</td></tr>
<tr><td>归一化信噪比</td><td></td><td>双丝：</td><td>双丝：</td></tr>
</table>

缺陷性质代号：A.圆形缺陷；B.条形缺陷；C.未焊透；D.未熔合；E.裂纹。

缺陷尺寸标注：/——无缺陷；A3——圆缺陷 3 点；E23——裂纹长度 23 mm。

焊缝评定结果代号：Y——合格；N——缺陷超标；F——返修；K——沿缺陷方向扩探。

瓶号	图像编号	缺陷性质	缺陷尺寸	焊缝评定等级	焊缝评定结果	缺陷示意图

检测：　　年　月　日	初评：　　年　月　日	复评：　　年　月　日
本批气瓶对接焊缝检测评定结论		备注：

图 D.2　气瓶焊缝 DR 检测记录参考示例