

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.2—2015

代替 JB/T 4730.2—2005

承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 2: Radiographic testing

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局发布

目 次

前言	22
1 范围	25
2 规范性引用文件	25
3 术语和定义	25
4 一般要求	26
5 检测工艺及其选择	30
6 承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级	42
7 承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级	47
8 检测记录和报告	51
附录 A (资料性附录) 管子 – 管板角焊缝射线照相技术要求	52
附录 B (规范性附录) 工业射线胶片系统的特征指标	57
附录 C (资料性附录) 黑度计 (光学密度计) 定期核查方法	58
附录 D (资料性附录) 暗室安全照射时间确定	59
附录 E (资料性附录) 典型透照方式示意图	62
附录 F (资料性附录) 环向对接焊缝透照次数确定方法	67
附录 G (规范性附录) 焦点尺寸计算方法	74
附录 H (规范性附录) 几何不清晰度 (U_g) 计算方法	75
附录 I (资料性附录) 滤光板	76
附录 J (规范性附录) 定位标记的放置原则	77
附录 K (资料性附录) 底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法	80
附录 L (规范性附录) 对比试块的型式和规格	81

前　　言

本标准 NB/T 47013《承压设备无损检测》分为以下 13 个部分：

- 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：X 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。

本部分为 NB/T 47013 的第 2 部分：射线检测。

本部分按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分代替 JB/T 4730.2—2005《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》，与 JB/T 4730.2—2005 相比，主要技术变化如下：

- 扩大了标准的适用范围，增加插入式管座角接接头对接焊缝、安放式管座角接接头对接焊缝和管子-管板角焊缝的 X 射线及 γ 射线检测技术和质量分级要求，并取消了钢的分类；
- 修改和增加了部分规范性引用文件；
- 增加了射线检测专用术语和定义的内容；
- 增加了 Tm170 和 Yb169 射线源应用的规定；
- 修改了工业射线胶片系统分类，将胶片分为 C1、C2、C3、C4、C5 和 C6 六类。胶片类型的选择按照新的分类标准重新进行修订，同时补充了胶片灰雾度测量的相关要求；
- 修改了黑度计核查时机的内容；
- 增加了标准密度片的黑度范围和测量点数目的相关规定；
- 增加了内偏心透照 ($F < D_o/2$) 时透照次数的计算公式；
- 增加了增感屏质量及使用要求、中屏材料及厚度范围、以及 Tm170 和 Yb169 两种 γ 射线增感屏材料及厚度范围，并明确了增感屏制造标准；
- 增加了孔型像质计应用的内容，并修订了不同材料的像质计适用的工件材料范围及像质计使用和放置原则；
- 增加了暗室安全照射时间确定的内容；
- 增加了射线检测工艺文件的基本要求和验证的相关规定；

- 修改了特殊条件下射线检测技术等级允许放宽原则；
- 修改了检测时机要求，明确检测时机应满足相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求；
- 增加了焊接接头检测区宽度范围确定的内容；
- 增加了双胶片透照技术和底片观察技术应用的内容；
- 增加了管座角焊缝、椭圆形封头和蝶形封头小 r 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝一次透照长度确定的原则；
- 增加了有效评定区搭接的技术要求；
- 修改了结构受限的特殊情况下小径管的透照原则；
- 增加了安放式和插入式管座角焊缝采用源在内透照方式时 f 的放宽原则；
- 增加了胶片与被检工件之间距离的放置原则；
- 增加了 γ 射线源曝光时间限值和限制使用多源曝光的规定，以及球罐全景曝光像质计摆放要求；
- 增加了滤光板应用的推荐技术要求；
- 修改了定位标记和识别标记的放置原则；
- 增加了胶片暗室处理试剂选用原则、胶片处理延迟时间及其底片处理质量检验的内容；
- 修改了底片质量要求的内容，增加了底片保存的内容；
- 修改了不同透照厚度应达到的像质计灵敏度，对应的材料厚度范围有所扩大，并增加了孔型像质计的灵敏度要求；
- 焊接接头射线检测结果评定和质量分级部分增加了适用的焊接结构型式；
- 增加和修订了射线检测记录和报告的内容。
- 取消了“专用像质计的型式和规格”的内容；
- 修改了小径管专用对比试块。

本部分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。

本部分起草单位：中国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、中广核工程有限公司、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、东方电气（广州）重型机器有限公司、广东省特种设备检测研究院、黑龙江省特种设备检验研究院、天津诚信达金属检测技术有限公司、辽宁仪表研究所有限责任公司、江苏中特创业设备检测有限公司。

本部分主要起草人：强天鹏、梁丽红、沈功田、朱从斌、李军、程怒涛、陈玉宝、訾壮辉、孙忠波、李洪国。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- JB 4730—1994、JB/T 4730.2—2005。

承压设备无损检测

第 2 部分：射线检测

1 范围

1.1 NB/T 47013 的本部分规定了承压设备金属熔化焊焊接接头 X 射线和 γ 射线检测技术和质量分级要求。

1.2 本部分适用的金属熔化焊焊接接头的金属包括钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金。焊接接头的型式包括板及管的对接接头对接焊缝（以下简称“对接焊缝”）、插入式和安放式接管角接接头对接焊缝（以下简称“管座角焊缝”）和管子-管板角焊缝（参考附录 A）。

1.3 承压设备其他金属材料、支承件和结构件的焊接接头的射线检测也可参照使用。

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。

GB 11533	标准对数视力表
GB/T 12604.2	无损检测 术语 射线照相检测
GB 18871	电离辐射防护及辐射源安全基本标准
GB/T 19348.1	无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线照相胶片系统的分类
GB/T 19348.2	无损检测 工业射线照相胶片 第 2 部分：用参考值方法控制胶片处理
GB/T 19802	无损检测 工业射线照相观片灯 最低要求
GB/T 23901.2	无损检测 射线照相底片像质 第 2 部分：阶梯孔型像质计 像质指数的测定
GBZ 117	工业 X 射线探伤放射卫生防护标准
GBZ 132	工业 γ 射线探伤放射卫生防护标准
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
JB/T 5075	无损检测 射线照相检测用金属增感屏
JB/T 7902	射线照相用线型像质计

3 术语和定义

GB/T 12604.2 和 NB/T 47013.1 界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

透照厚度 W penetrated thickness

射线照射方向上材料的公称厚度。多层透照时，透照厚度为通过的各层材料公称厚度之和。

3.2

工件至胶片距离 b object-to-film distance

沿射线束中心测定的工件受检部位射线源侧表面与胶片之间的距离。

3. 3

射线源至工件距离 f source-to-object distance

沿射线束中心测定的射线源与工件受检部位射线源侧表面之间的距离。

3. 4

焦距 F focal distance

沿射线束中心测定的射线源与胶片之间的距离。

3. 5

射线源尺寸 d source size

射线源的有效焦点尺寸。

3. 6

圆形缺陷 round flaw

长宽比不大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3. 7

条形缺陷 stripy flaw

长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3. 8

透照厚度比 K ratio of max. and min. penetrated thickness

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。

3. 9

一次透照长度 effective area of a single exposure

符合标准规定的单次曝光有效检测长度。

3. 10

底片评定范围 film evaluation scope

本部分规定的底片上必须观察和评定的范围。

3. 11

缺陷评定区 defect evaluation zone

在质量分级评定时，为评价缺陷数量和密集程度而设置的一定尺寸区域，可以是正方形或长方形。

3. 12

双胶片透照技术 double film technique

暗盒内装两张胶片和三片增感屏（前、中、后屏）进行曝光，在观片灯上采用双片叠加方式进行底片观察的透照技术。

3. 13

小径管 small diameter tube

外直径 D_0 小于或等于 100mm 的管子。

4 一般要求

4. 1 检测人员

4. 1. 1 从事射线检测的人员应满足 NB/T 47013.1 的有关规定。

4. 1. 2 从事射线检测的人员在上岗前应进行辐射安全知识的培训，并按照有关法规的要求取得相

应证书。

4.1.3 射线检测人员未经矫正或经矫正的近(距)视力和远(距)视力应不低于5.0(小数记录值为1.0),测试方法应符合GB 11533的规定。从事评片的人员应每年检查一次视力。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 射线装置

4.2.1.1 可以使用两种射线源:

- a) 由X射线机和加速器产生的X射线;
- b) 由Co60、Ir192、Se75、Yb169和Tm170射线源产生的 γ 射线。

4.2.1.2 经合同双方商定,允许采用其他新型射线源。采用其他射线源时,有关检测技术要求仍应参照本部分的规定执行。

4.2.2 射线胶片

4.2.2.1 胶片系统按照GB/T 19348.1分为六类,即C1、C2、C3、C4、C5和C6类。C1为最高类别,C6为最低类别,胶片系统的特性指标见附录B。

4.2.2.2 胶片制造商应对所生产的胶片进行系统性能测试并提供类别和参数。胶片处理方法、设备和化学药剂可按GB/T 19348.2的规定,用胶片制造商提供的预先曝光胶片测试片进行测试和控制。不得使用超过胶片制造商规定的使用期限的胶片。胶片应按制造商推荐的温度和湿度条件予以保存,并应避免受任何电离辐射的照射。

4.2.3 观片灯

观片灯的主要性能应符合GB/T 19802的有关规定,最大亮度应能满足评片的要求。

4.2.4 黑度计(光学密度计)

4.2.4.1 黑度计可测的最大黑度应不小于4.5,测量值的误差应不超过 ± 0.05 。

4.2.4.2 黑度计首次使用前应进行核查,以后至少每六个月应进行一次核查。核查方法可参照附录C的规定进行,每次核查后应填写核查记录。在工作开始时或连续工作超过8h后应在拟测量黑度范围内选择至少两点进行检查。

4.2.5 标准密度片

标准密度片应至少有8个一定间隔的黑度基准,且能覆盖0.3~4.5黑度范围,应至少每2年校准一次。必须特别注意标准密度片的保存和使用条件。

4.2.6 增感屏

4.2.6.1 射线检测一般应使用金属增感屏或不用增感屏,金属增感屏应满足JB/T 5075的要求,增感屏应完全干净、抛光和无纹道。

4.2.6.2 使用增感屏时,胶片和增感屏之间应接触良好。增感屏的选用应符合表1的规定。

表 1 增感屏的材料和厚度

射线源	材料	前屏	后屏	中屏 ^c
		厚度/mm	厚度/mm	厚度/mm
X 射线 ($\leq 100\text{kV}$)	铅	不用或 ≤ 0.03	≤ 0.03	—
X 射线 ^d ($> 100\text{kV} \sim 150\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.10$	$0.02 \sim 0.15$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
X 射线 ^d ($> 150\text{kV} \sim 250\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.15$	$0.02 \sim 0.15$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
X 射线 ^d ($> 250\text{kV} \sim 500\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.20$	$0.02 \sim 0.20$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
Tm170	铅	不用或 ≤ 0.03	不用或 ≤ 0.03	—
Yb169 ^d	铅	$0.02 \sim 0.15$	$0.02 \sim 0.15$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
Se75	铅	A 级 $0.02 \sim 0.20$	A 级 $0.02 \sim 0.20$	2×0.10
		AB 级、B 级 $0.10 \sim 0.20^{\text{a}}$	AB 级、B 级 $0.10 \sim 0.20$	2×0.10
Ir192	铅	A 级 $0.02 \sim 0.20$	A 级 $0.02 \sim 0.20$	2×0.10
		AB 级、B 级 $0.10 \sim 0.20^{\text{a}}$	AB 级、B 级 $0.10 \sim 0.20$	2×0.10
Co60 ^b	钢或铜	$0.25 \sim 0.70$	$0.25 \sim 0.70$	0.25
	铅 (A 级、AB 级)	$0.50 \sim 2.0$	$0.50 \sim 2.0$	2×0.10
X 射线 ($1\text{MeV} \sim 4\text{MeV}$)	钢或铜	$0.25 \sim 0.70$	$0.25 \sim 0.70$	0.25
	铅 (A 级、AB 级)	$0.50 \sim 2.0$	$0.50 \sim 2.0$	$2 \times 0.10\text{mm}$ 或不用
X 射线 ($4\text{MeV} \sim 12\text{MeV}$)	铜、钢或钽	≤ 1.0	铜、钢 ≤ 1.0	0.25
			钽 ≤ 0.50	0.25
	铅 (A 级、AB 级)	$0.50 \sim 1.0$	$0.50 \sim 1.0$	$2 \times 0.10\text{mm}$ 或不用

^a 如果 AB 级、B 级使用前屏 $\leq 0.03\text{mm}$ 的真空包装胶片，应在工件和胶片之间加 $0.07\text{mm} \sim 0.15\text{mm}$ 厚的附加铅屏。

^b 采用 Co60 射线源透照有延迟裂纹倾向或标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 材料时，AB 级和 B 级应采用钢或铜增感屏。

^c 双胶片透照技术应增加使用中屏。

^d 采用 X 射线和 Yb169 射线源时，每层中屏的厚度应不大于前屏厚度。

4.2.7 像质计

4.2.7.1 底片影像质量采用线型像质计或孔型像质计测定。通用线型像质计和等径线型像质计的型号和规格应符合 JB/T 7902 的规定，孔型像质计型号和规格应满足 GB/T 23901.2 的规定。

4.2.7.2 像质计的材料代号、材料和不同材料的像质计适用的工件材料范围可按表 2 的规定执行，像质计材料的吸收系数应尽可能的接近或等同于被检材料的吸收系数，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数。

表 2 不同材料的像质计适用的材料范围

像质计材料代号	Al	Ti	Fe	Ni	Cu
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

4.2.8 暗室安全照射时间确定

胶片应在胶片制造商所推荐的安全灯光条件下进行暗室处理，暗室安全照射时间的确定方法可参考附录 D 进行。

4.3 检测技术等级

4.3.1 射线检测技术分为三级：A 级——低灵敏度技术；AB 级——中灵敏度技术；B 级——高灵敏度技术。

4.3.2 射线检测技术等级选择应符合相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。承压设备焊接接头的射线检测，一般应采用 AB 级射线检测技术进行检测。对重要设备、结构、特殊材料和特殊焊接工艺制作的焊接接头，可采用 B 级技术进行检测。

4.3.3 当检测中某些条件不能满足 AB 级（或 B 级）射线检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施（例如选用更高类别的胶片）的前提下，若底片的像质计灵敏度达到了 AB 级（或 B 级）射线检测技术的规定，则可认为按 AB 级（或 B 级）射线检测技术进行了检测。

4.3.4 承压设备在用检测中，检测的某些条件不能满足 AB 级射线检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施（例如选用更高类别的胶片）后可采用 A 级技术进行射线检测，但应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) 适用范围中的结构、材料类别及厚度；
- b) 射线源种类、能量及焦点尺寸；
- c) 检测技术等级；
- d) 透照技术；
- e) 透照方式；
- f) 胶片型号及等级；
- g) 像质计种类；
- h) 增感屏和滤光板型号（如使用）；
- i) 暗室处理方法或条件；
- j) 底片观察技术。

4.4.3 应针对具体检测对象根据标准和工艺规程编写操作指导书，其内容除满足 NB/T 47013.1 的要求外，至少还应包括：

- a) 编制依据；
- b) 适用范围：被检测工件的类型（形状、结构等）、尺寸范围（厚度及其他几何尺寸）、所用

材料的种类；

- c) 检测设备器材：射线源（种类、型号，焦点尺寸）、胶片（牌号及其分类等级）、增感屏（类型、数量和厚度）、像质计（种类和型号）、滤光板、背散射屏蔽铅板、标记、胶片暗室处理和观察设备等；
- d) 检测技术与工艺：采用的检测技术等级、透照技术（单或双胶片），透照方式（源-工件-胶片相对位置）、射线源、胶片、曝光参数、像质计的类型、摆放位置和数量，标记符号类型和放置、布片原则等；
- e) 胶片暗室处理方法和条件要求；
- f) 底片观察技术（双片叠加或单片观察评定）；
- g) 底片质量要求：几何不清晰度、黑度、像质计灵敏度、标记等；
- h) 验收标准；
- i) 操作指导书的验证要求。

4.4.4 首次使用的操作指导书应进行工艺验证，以验证底片质量是否能达到标准规定的要求。验证可通过专门的透照试验进行，或以产品的第一批底片作为验证依据。在这两种情况下，作为依据的验证底片应做出标识。

4.5 辐射安全防护

4.5.1 辐射防护应符合 GB 18871、GBZ 117 和 GBZ 132 的有关规定。

4.5.2 现场进行 X 射线检测时，应按 GBZ 117 的规定划定控制区和管理区、设置警告标志。检测工作人员应佩带个人剂量计，并携带剂量报警仪。

4.5.3 现场进行 γ 射线检测时，应按 GBZ 132 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。检测工作人员应佩带个人剂量计，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、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。

5.1.2 除非另有规定，射线检测应在焊接接头制造完工后进行，对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行。

5.2 检测区

5.2.1 检测区宽度应满足相关法规、规范、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求，对于非电渣焊焊接接头，一般应满足以下规定：

- a) 对于对接焊缝，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；
- b) 对于管座角焊缝，检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少为 5mm 的安放式接管相邻母材区域或插入式主管（或筒体、封头、平板等）相邻母材区域。

5.2.2 对于电渣焊焊接接头，其检测区宽度可通过实际测量热影响区确定，或由合同双方商定。

5.3 表面要求

在射线检测之前，焊接接头的表面应经目视检测并合格。表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整。

5.4 胶片选择

5.4.1 A 级和 AB 级射线检测技术应采用 C5 类或更高类别的胶片，B 级射线检测技术应采用 C4 类或更高类别的胶片。

5.4.2 采用 γ 射线和高能 X 射线进行射线检测时，以及对标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540 \text{ MPa}$ 高强度材料射线检测时，应采用 C4 类或更高类别的胶片。

5.5 透照布置

5.5.1 胶片透照技术

本部分允许以下两种胶片透照技术：

a) 单胶片透照技术

使用单张胶片。X 射线 ($\leq 100 \text{ kV}$) 和 Tm170 射线源只允许采用单胶片透照技术。

b) 双胶片透照技术

使用两张分类等级相同或相近的胶片。

5.5.2 透照方式

5.5.2.1 应根据工件特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。在可以实施的情况下应优先选用单壁透照方式，在单壁透照不能实施时才允许采用双壁透照方式。典型的透照方式参见附录 E。

5.5.2.2 安放式和插入式管座角焊缝应优先选择源在外透照方式。插入式管座角焊缝源在内透照方式时，应优先选择射线源放置在支管轴线上的透照布置。

5.5.3 透照方向

透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，并应与工件表面法线重合，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

5.5.4 一次透照长度：

- a) 一次透照长度应以透照厚度比 K 进行控制。不同级别射线检测技术和不同类型焊接接头的 K 值应符合表 3 的规定。通过 K 值确定的整条环向焊接接头所需的透照次数可参照附录 F 的曲线图确定；
- b) 采用射线源在内偏心透照 ($F < D_o/2$) 时，透照次数参照行录 F 的公式进行计算。
- c) 管座角焊缝、椭圆形封头、碟形封头小 r 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝可不采用以 K 值确定一次透照长度的方法，允许用黑度范围来确定一次透照长度，底片黑度满足 5.16.1 的长度范围即为允许采用的一次透照长度。

表 3 允许的透照厚度比 K

射线检测技术级别	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	$K \leq 1.1^a$	$K \leq 1.06$
^a 对 $100 \text{ mm} < D_o \leq 400 \text{ mm}$ 的环向焊接接头（包括曲率相同的曲面焊接接头），A 级、AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

5.5.5 有效评定区搭接

5.5.5.1 焊缝进行全部射线检测时，采取的曝光次数和有效评定区的重叠应能保证检测到被检测区的整个体积范围。

5.5.5.2 如果采用暗盒直接搭接透照的方式，也应保证整个有效评定区的底片黑度满足 5.16.1 的要求。

5.5.6 小径管透照

5.5.6.1 小径管环向焊接接头的透照布置

小径管环向焊接接头采用双壁双影透照布置，当同时满足下列两条件时应采用倾斜透照方式椭圆成像：

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

椭圆成像时，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方式重叠成像。

5.5.6.2 小径管环向焊接接头的透照次数

小径管环向焊接接头 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° 透照 2 次。当 $T/D_0 > 0.12$ 时，相隔 120° 或 60° 透照 3 次。垂直透照重叠成像时，一般应相隔 120° 或 60° 透照 3 次。

按照上述规定进行多次透照时，底片上被检测区黑度满足 5.16.1 的区域为有效评定区，相邻底片的有效评定区的重叠应保证覆盖被检测区的整个体积范围，如最少曝光次数不能满足 100% 覆盖要求，则应增加曝光次数。

5.5.6.3 特殊情况

由于结构原因不能按 5.5.6.2 的规定的间隔角度多次透照时，经合同双方商定，可不再强制限制 5.5.6.2 规定的间隔角度，但应采取有效措施尽量扩大缺陷可检出范围，同时应保证底片评定范围内黑度和灵敏度满足要求，并在检测报告中对有关情况进行说明。

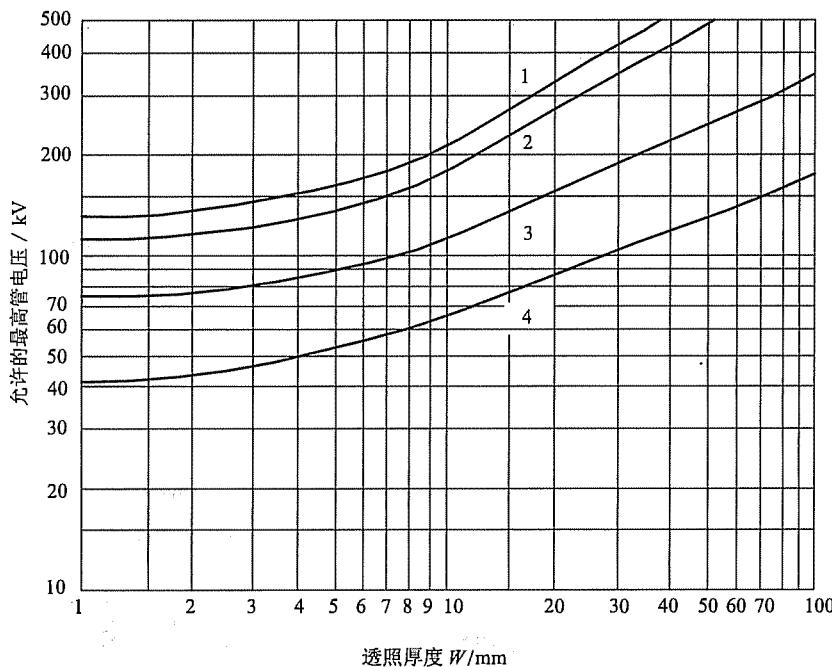
5.6 射线能量

5.6.1 在保证穿透力的前提下，X 射线照相应选用较低的管电压。在采用较高管电压时，应保证适当的曝光量。图 1 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压。

5.6.2 对截面厚度变化大的承压设备，在保证灵敏度要求的前提下，允许采用超过图 1 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 50kV；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。

5.6.3 γ 射线源和高能 X 射线适用的透照厚度范围应符合表 4 的规定。

5.6.4 采用源在内中心透照方式，在保证像质计灵敏度达到 5.16.2 要求的前提下，允许 γ 射线最小透照厚度取表 4 下限值的 1/2。



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 1 不同透照厚度允许的 X 射线最高透照管电压

5.6.5 采用其他透照方式，在采取有效补偿措施并保证像质计灵敏度达到 5.16.2 要求的前提下，经合同双方商定，A 级，AB 级技术的 Ir192 源的最小透照厚度可降至 10mm，Se75 源的最小透照厚度可降至 5mm。

表 4 γ 射线源和能量 1MeV 以上 X 射线设备的透照厚度范围（钢、铜、镍合金等）

射线源	透照厚度 W/mm	
	A 级，AB 级	B 级
Tm170	≤ 5	≤ 5
Yb169 ^a	$\geq 1 \sim 15$	$\geq 2 \sim 12$
Se75 ^b	$\geq 10 \sim 40$	$\geq 14 \sim 40$
Ir192	$\geq 20 \sim 100$	$\geq 20 \sim 90$
Co60	$\geq 40 \sim 200$	$\geq 60 \sim 150$
X 射线 (1MeV ~ 4MeV)	$\geq 30 \sim 200$	$\geq 50 \sim 180$
X 射线 (> 4 MeV ~ 12 MeV)	≥ 50	≥ 80

^a 对于铝和钛，A 级和 AB 级透照厚度为： $10 < W < 70$ ，B 级透照厚度为： $25 < W < 55$ 。

^b 对于铝和钛，A 级和 AB 级透照厚度为： $35 < W < 120$ 。

5.7 射线源至工件表面的最小距离

5.7.1 所选用的射线源至工件表面的距离 f 应满足下式的要求：

$$A\text{ 级射线检测技术: } f \geq 7.5d \cdot b^{2/3}$$

$$AB\text{ 级射线检测技术: } f \geq 10d \cdot b^{2/3}$$

$$B\text{ 级射线检测技术: } f \geq 15d \cdot b^{2/3}$$

图 2 是 A 级和 B 级射线检测技术确定 f 的诺模图, 图 3 是 AB 级射线检测技术确定 f 的诺模图。有效焦点尺寸 d 按附录 G 的规定计算。

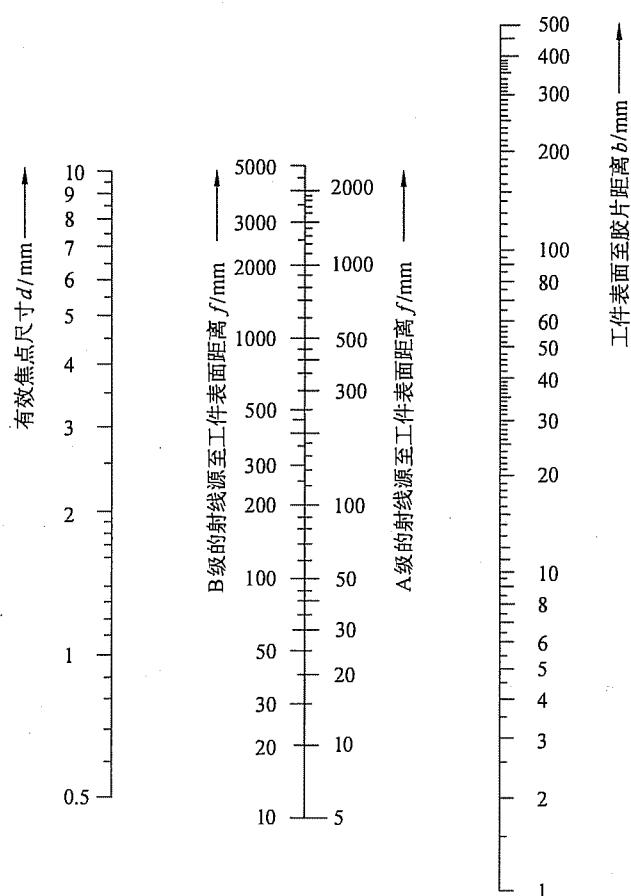


图 2 A 级和 B 级射线检测技术确定焦点至工件表面距离的诺模图

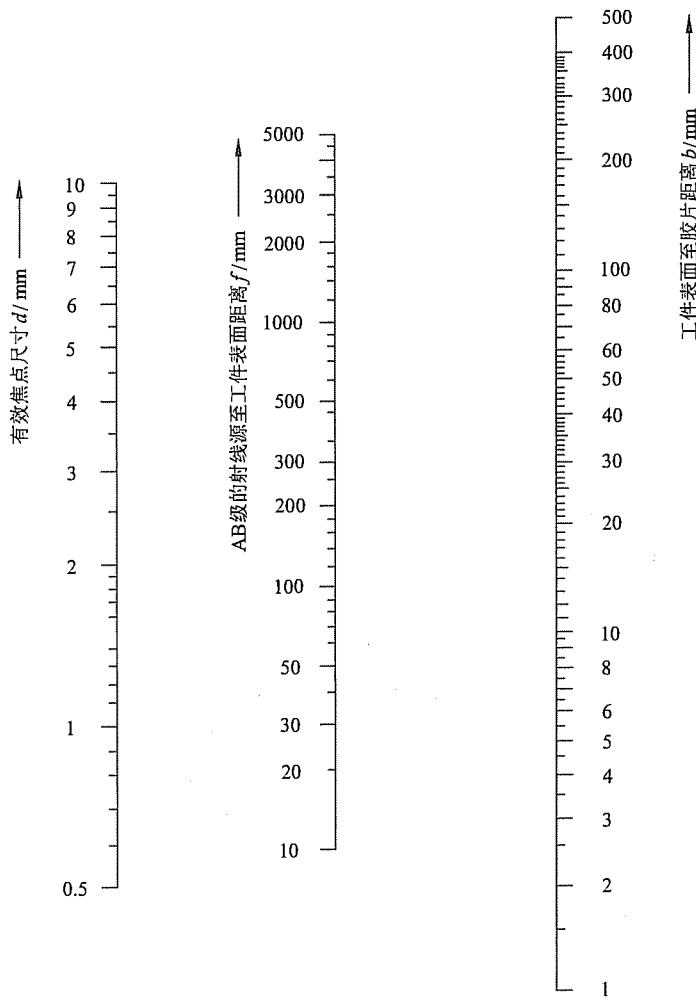


图 3 AB 级射线检测技术确定焦点至工件表面距离的诺模图

5.7.2 采用源在内中心透照方式周向曝光时，只要得到的底片质量符合 5.16.1 和 5.16.2 的要求， f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 50%。

5.7.3 采用源在内单壁透照方式时，只要得到的底片质量符合 5.16.1 和 5.16.2 的要求， f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 20%。

5.7.4 安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁中心透照方式(附录 E 中图 E.9 和图 E.13)时，只要得到的底片质量符合 5.16.1 和 5.16.2 的要求 f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 50%。

5.7.5 安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁偏心透照方式(附录 E 中图 E.10 和图 E.14)时，只要得到的底片质量符合 5.16.1 和 5.16.2 的要求 f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 20%。

5.7.6 如果相关法规、规范、标准、设计技术文件或合同双方商定规定了允许的几何不清晰度(U_g)最大值，实际透照时，几何不清晰度(U_g)值应按照附录 H 进行计算。

5.8 胶片与被检工件之间的距离

曝光期间，胶片应紧贴于工件，除非有特殊规定或透照布置能使被检区域得到更好的透照影像。管座角焊缝源在内透照时，胶片应尽可能的靠近被检工件焊缝。

5.9 曝光量

5.9.1 X 射线照相，当焦距为 700mm 时，曝光量的推荐值为：A 级和 AB 级射线检测技术不小于

15mA·min；B 级射线检测技术不小于 20mA·min。当焦距改变时可按平方反比定律对曝光量的推荐值进行换算。

5.9.2 采用 γ 射线源透照时，总的曝光时间应不少于输送源往返所需时间的 10 倍。

5.9.3 采用 $\text{Co}60\gamma$ 射线源透照时，曝光时间不应超过 12h；采用 $\text{Ir}192\gamma$ 射线源透照时，曝光时间不应超过 8h，且不得采用多个射线源捆绑方式进行透照。

5.10 曝光曲线

5.10.1 对每台在用射线设备均应做出经常检测材料的曝光曲线，依据曝光曲线确定曝光参数。

5.10.2 制作曝光曲线所采用的胶片、增感屏、焦距、射线能量等条件以及底片应达到的灵敏度、黑度等参数均应符合本部分的规定。

5.10.3 对使用中的曝光曲线，每年至少应核查一次。射线设备更换重要部件或经较大修理后应及时对曝光曲线进行核查或重新制作。

5.10.4 采用 γ 射线源时，可采用曝光尺等方式计算曝光时间。

5.11 无用射线和散射线屏蔽

5.11.1 应采用金属增感屏、铅板、滤光板、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。钢制承压设备滤光板推荐的技术要求见附录 I。

5.11.2 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。

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暗室处理。若在底片上出现黑度低于周围背景黑度的“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。若底片上不出现“B”字影像或出现黑度高于周围背景黑度的“B”字影像，则说明背散射防护符合要求。

在背散射轻微或后增感屏足以屏蔽背散射线的情况下，可不使用背散射防护铅板。

5.12 像质计的使用

5.12.1 像质计放置原则

线型像质计一般应放置在焊接接头的一端（在被检区长度的 1/4 左右位置），金属线应横跨焊缝，细金属线置于外侧；阶梯孔型像质计一般应放置于被检区中心部位的焊接接头热影响区以外，在不可能实现的情况下，至少应放置于熔敷金属区域以外。当一张胶片上同时透照多条焊接接头时，像质计应放置在透照区最边缘的焊缝处。

像质计放置还应满足以下规定：

- a) 单壁透照规定像质计放置在射线源侧。双壁单影透照规定像质计放置在胶片侧。双壁双影透照像质计可放置在射线源侧，也可放置在胶片侧；
- b) 单壁透照中，如果像质计无法放置在射线源侧，允许放置在胶片侧（球罐全景曝光除外）；
- c) 单壁透照中像质计放置在胶片侧时，应进行对比试验。对比试验方法是在射线源侧和胶片侧各放一个像质计，用与工件相同的条件透照，测定出像质计放置在射线源侧和胶片侧的灵敏度差异，以此修正像质计灵敏度的规定，以保证实际透照的底片灵敏度符合要求；
- d) 当像质计放置在胶片侧时，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底片上，且应在检测报告中注明。

5.12.2 像质计数量

原则上每张底片上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张胶片照相时，使用的像质计数量允许减少但应符合以下要求：

- a) 环形焊接接头采用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) 球罐焊接接头采用源置于球心的全景曝光时，在上极和下极焊缝的每张底片上都应放置像质计，且在每带的纵缝和环缝上等间隔至少放置 3 个像质计；
- c) 一次曝光连续排列的多张胶片时，至少在第一张、中间一张和最后一张胶片处各放置一个像质计。

5.12.3 小径管对接焊缝

小径管使用通用线型和专用等径线型像质计时，金属线应垂直焊缝且应横跨焊缝放置。

5.12.4 不等厚或不同种类材料之间对接焊缝

如果焊接接头的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部位应分别采用与被检材料厚度或类型相匹配的像质计，并分别放置在焊接接头相对应部位。

5.12.5 管座角焊缝

推荐采用线型像质计，根据像质计能够投影到被检测区的位置而放置。如果允许，像质计尽可能置于黑度最小的区域。

5.12.6 像质计影像识别

使用线型像质计时，底片上能够识别的最细金属线的编号即为像质计灵敏度值。如底片黑度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）能够清晰地看到长度不小于 10mm 的连续金属线影像时，则认为该金属线是可识别的。专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线。

使用阶梯孔型像质计时，底片上能够识别的最小孔的编号即为像质计灵敏度值，当同一阶梯上含有两个孔时，则两个孔都应在底片上可识别。

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。底片标记应能清晰显示且不至于对底片的评定带来影响，标记的材料和厚度应根据被检工件的厚度来选择，应能保证标记影像不模糊，也不至于产生眩光。

5.13.2 识别标记一般包括：产品编号、焊接接头编号、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“↑”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，从底片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 允许采用预曝光方式获得相关识别标记，但必须采取有效措施保证根据射线底片上的预曝光识别标记能追踪到工件的相应被检区域，并应采取有效屏蔽措施保证放置识别标记以外的区域不被曝光。

5.13.6 定位标记应放在工件上，其摆放应符合附录 J 的规定。所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像。当由于结构原因，应放置于射线源侧的定位标记需要放置于胶片侧时，检测记录和报告应标注实际的评定范围。

5.13.7 识别标记允许放置于射线源侧或胶片侧，所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像。

5.13.8 为了能精确地辨别底片位置，应以被检工件上永久标识或部位特征作为参考点；如果因材

料性质和使用条件而不能进行永久标识时，应采用其他方法（如布片图）确定底片位置。

5.14 胶片处理和底片质量检测

5.14.1 胶片处理

胶片处理一般应按胶片使用说明书的规定进行。可采用自动冲洗或手工冲洗方式处理，推荐采用自动冲洗方式处理。原则上应采用胶片厂家生产或推荐的冲洗配方或药剂，并按照 GB/T 19348.2 的规定，经比较试验证明的条件下，也可以使用其他厂家的配方或药剂。

手工冲洗和自动冲洗胶片宜在曝光后 8h 之内完成，最长不得超过 24h。

5.14.2 底片质量检验

暗室处理后的底片硫代硫酸盐离子的浓度一般应低于 $0.050\text{g}/\text{m}^2$ 。底片上硫代硫酸盐离子的浓度测量可参考附录 K 的要求执行，测量结果应记录。

检验的频率由检测方确定，但在此期间暗室处置条件应保持不变。

如果检验发现，硫代硫酸盐离子浓度大于 $0.050\text{g}/\text{m}^2$ ，应采取以下行动：

- a) 停止暗室处理，并采取纠正措施；
- b) 重新核查定影和冲洗工序验证的符合性；
- c) 重新处置所有含有缺陷的底片。

5.14.3 灰雾度测量

胶片灰雾度应不超过 0.3。应从购进胶片中按批抽样，采用与实际检测相同的暗室处理条件处理，然后进行灰雾度测量。经过测量的胶片如果 6 个月还没有使用完，应再次测量，以核查胶片是否符合 4.2.2 规定的储存要求。

5.15 评片要求

5.15.1 评片一般应在专用的评片室内进行。评片室应整洁、安静，温度适宜，光线应暗且柔和。

5.15.2 评片人员在评片前应经历一定的暗适应时间。从阳光下进入评片的暗适应时间为 5 min ~ 10min；从一般的室内进入评片的暗适应时间应不少于 30s。

5.15.3 评片时，底片评定范围内的亮度应符合下列规定：

- a) 当底片评定范围内的黑度 $D \leq 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 $30\text{cd}/\text{m}^2$ ；
- b) 当底片评定范围内的黑度 $D > 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 $10\text{cd}/\text{m}^2$ 。

5.16 底片质量

5.16.1 黑度

底片黑度应采用黑度计（光学密度计）进行测量，不同胶片透照技术和底片观察技术对应的黑度范围如下：

5.16.1.1 单胶片透照技术，单底片观察评定，底片评定范围内的黑度 D 应符合下列规定：

A 级： $1.5 \leq D \leq 4.5$ ；

AB 级： $2.0 \leq D \leq 4.5$ ；

B 级： $2.3 \leq D \leq 4.5$ 。

5.16.1.2 双胶片透照技术，双底片叠加观察评定，评定范围内的黑度 D 应符合 $2.7 \leq D \leq 4.5$ 的规定。

注 1：双底片叠加评定时，黑度范围超过 4.5 的局部区域，如果单底片黑度范围符合 5.16.1.1 的规定时，可以对该区域进行单底片评定。

注 2：采用同类胶片时，在有效评定区内每张底片上相同点测量的黑度的差应不超过 0.5。

注 3：用于双底片叠加评定的任何单底片的黑度应不低于 1.3。

注 4：应同时观察、分析和保存每张底片。

5.16.1.3 用 X 射线透照小径管或其他截面厚度变化大的工件，单底片观察评定时，AB 级最低黑度允许降至 1.5；B 级最低黑度可降至 2.0。

5.16.1.4 对检测区进行评定时，对应着不同的胶片透照技术或不同的底片观察技术区域的黑度范围应分别在检测报告中进行标识。

5.16.1.5 评定区的最大黑度限值允许提高，但观片灯应经过校验，观片灯亮度应保证在底片最高黑度评定范围内的亮度能够满足 5.15.3 的要求。

5.16.2 底片的像质计灵敏度

单壁透照、像质计置于射线源侧时应符合表 5 和表 6 的规定；双壁双影透照、像质计置于射线源侧时应符合表 7 和表 8 的规定；双壁单影或双壁双影透照、像质计置于胶片侧时应符合表 9 和表 10 的规定。

5.16.3 其他要求

底片上，定位和识别标记影像应显示完整、位置正确。

底片评定范围内不应存在影响影像观察的灰雾，干扰缺陷影像识别的水迹、划痕、显影条纹、静电斑纹、压痕等伪缺陷影像，以及增感屏缺陷带来的各种伪影像。

在采用双胶片叠加观察评定时，如果其中一张底片存在轻微伪缺陷或划伤，在能够识别和不妨碍底片评定的情况下，可以接受该底片。

表 5 线型像质计灵敏度值——单壁透照、像质计置于射线源侧

应识别丝号 丝径/mm	公称厚度 (T) 范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
19 (0.050)	—	—	≤ 1.5
18 (0.063)	—	≤ 1.2	$> 1.5 \sim 2.5$
17 (0.080)	≤ 1.2	$> 1.2 \sim 2.0$	$> 2.5 \sim 4.0$
16 (0.100)	$\leq 1.2 \sim 2.0$	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 4.0 \sim 6.0$
15 (0.125)	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 6.0 \sim 8.0$
14 (0.160)	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 5.0 \sim 7.0$	$> 8.0 \sim 12$
13 (0.20)	$> 5.0 \sim 7.0$	$> 7.0 \sim 10$	$> 12 \sim 20$
12 (0.25)	$> 7.0 \sim 10$	$> 10 \sim 15$	$> 20 \sim 30$
11 (0.32)	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	$> 30 \sim 35$
10 (0.40)	$> 15 \sim 25$	$> 25 \sim 32$	$> 35 \sim 45$
9 (0.50)	$> 25 \sim 32$	$> 32 \sim 40$	$> 45 \sim 65$
8 (0.63)	$> 32 \sim 40$	$> 40 \sim 55$	$> 65 \sim 120$
7 (0.80)	$> 40 \sim 55$	$> 55 \sim 85$	$> 120 \sim 200$
6 (1.00)	$> 55 \sim 85$	$> 85 \sim 150$	$> 200 \sim 350$
5 (1.25)	$> 85 \sim 150$	$> 150 \sim 250$	> 350
4 (1.60)	$> 150 \sim 250$	$> 250 \sim 350$	—
3 (2.00)	$> 250 \sim 350$	> 350	—
2 (2.50)	> 350	—	—

注：管或支管外径 $\leq 120\text{mm}$ 时，管座角焊缝的像质计灵敏度值可降低一个等级。

表 6 孔型像质计灵敏度值——单壁透照、像质计置于射线源侧

应识别孔号 孔径/mm	公称厚度(T)范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
H2 (0.160)	—	—	≤ 2.5
H3 (0.200)	—	≤ 2.0	$> 2.5 \sim 4.0$
H4 (0.250)	≤ 2.0	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 4.0 \sim 8.0$
H5 (0.320)	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 6.0$	$> 8.0 \sim 12$
H6 (0.400)	$> 3.5 \sim 6.0$	$> 6.0 \sim 10$	$> 12 \sim 20$
H7 (0.500)	$> 6.0 \sim 10$	$> 10 \sim 15$	$> 20 \sim 30$
H8 (0.630)	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 24$	$> 30 \sim 40$
H9 (0.800)	$> 15 \sim 24$	$> 24 \sim 30$	$> 40 \sim 60$
H10 (1.000)	$> 24 \sim 30$	$> 30 \sim 40$	$> 60 \sim 80$
H11 (1.250)	$> 30 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 80 \sim 100$
H12 (1.500)	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$
H13 (2.000)	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$
H14 (2.500)	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$	$> 200 \sim 250$
H15 (3.200)	$> 150 \sim 200$	$> 200 \sim 250$	—
H16 (4.000)	$> 200 \sim 250$	$> 250 \sim 320$	—
H17 (5.000)	$> 250 \sim 320$	$> 320 \sim 400$	—
H18 (6.300)	$> 320 \sim 400$	> 400	—

注：管或支管外径 $\leq 120\text{mm}$ 时，管座角焊缝的像质计灵敏度值可降低一个等级。

表 7 线型像质计灵敏度值——双壁双影透照、像质计置于射线源侧

应识别丝号 丝径/mm	透照厚度(W)范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
19 (0.050)	—	—	≤ 1.5
18 (0.063)	—	≤ 1.2	$> 1.5 \sim 2.5$
17 (0.080)	≤ 1.2	$\leq 1.2 \sim 2.0$	$> 2.5 \sim 4.0$
16 (0.100)	$\leq 1.2 \sim 2.0$	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 4.0 \sim 6.0$
15 (0.125)	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 6.0 \sim 8.0$
14 (0.160)	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 5.0 \sim 7.0$	$> 8.0 \sim 15$
13 (0.20)	$> 5.0 \sim 7.0$	$> 7.0 \sim 12$	$> 15 \sim 25$
12 (0.25)	$> 7.0 \sim 12$	$> 12 \sim 18$	$> 25 \sim 38$
11 (0.32)	$> 12 \sim 18$	$> 18 \sim 30$	$> 38 \sim 45$
10 (0.40)	$> 18 \sim 30$	$> 30 \sim 40$	$> 45 \sim 55$
9 (0.50)	$> 30 \sim 40$	$> 40 \sim 50$	$> 55 \sim 70$
8 (0.63)	$> 40 \sim 50$	$> 50 \sim 60$	$> 70 \sim 100$

表7(续)

应识别丝号 丝径/mm	透照厚度(<i>W</i>)范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
7 (0.80)	> 50 ~ 60	> 60 ~ 85	> 100 ~ 170
6 (1.00)	> 60 ~ 85	> 85 ~ 120	> 170 ~ 250
5 (1.25)	> 85 ~ 120	> 120 ~ 220	> 250
4 (1.60)	> 120 ~ 220	> 220 ~ 380	—
3 (2.00)	> 220 ~ 380	> 380	—
2 (2.50)	> 380	—	—

表8 孔型像质计灵敏度值——双壁双影透照、像质计置于射线源侧

应识别孔号 孔径/mm	透照厚度(<i>W</i>)范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
H2 (0.160)	—	—	≤1.0
H3 (0.200)	—	≤1.0	> 1.0 ~ 2.5
H4 (0.250)	≤1.0	> 1.0 ~ 2.0	> 2.5 ~ 4.0
H5 (0.320)	> 1.0 ~ 2.0	> 2.0 ~ 3.5	> 4.0 ~ 6.0
H6 (0.400)	> 2.0 ~ 3.5	> 3.5 ~ 5.5	> 6.0 ~ 11
H7 (0.500)	> 3.5 ~ 5.5	> 5.5 ~ 10	> 11 ~ 20
H8 (0.630)	> 5.5 ~ 10	> 10 ~ 19	> 20 ~ 35
H9 (0.800)	> 10 ~ 19	> 19 ~ 35	—
H10 (1.000)	> 19 ~ 35	—	—

表9 线型像质计灵敏度值——双壁单影或双壁双影透照、像质计置于胶片侧

应识别丝号 丝径/mm	透照厚度(<i>W</i>)范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
19 (0.050)			≤1.5
18 (0.063)	—	≤1.2	> 1.5 ~ 2.5
17 (0.080)	≤1.2	> 1.2 ~ 2.0	> 2.5 ~ 4.0
16 (0.100)	> 1.2 ~ 2.0	> 2.0 ~ 3.5	> 4.0 ~ 6.0
15 (0.125)	> 2.0 ~ 3.5	> 3.5 ~ 5.0	> 6.0 ~ 12
14 (0.160)	> 3.5 ~ 5.0	> 5.0 ~ 10	> 12 ~ 18
13 (0.20)	> 5.0 ~ 10	> 10 ~ 15	> 18 ~ 30

表 9 (续)

应识别丝号 丝径/mm	透照厚度(W) 范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
12 (0.25)	> 10 ~ 15	> 15 ~ 22	> 30 ~ 45
11 (0.32)	> 15 ~ 22	> 22 ~ 38	> 45 ~ 55
10 (0.40)	> 22 ~ 38	> 38 ~ 48	> 55 ~ 70
9 (0.50)	> 38 ~ 48	> 48 ~ 60	> 70 ~ 100
8 (0.63)	> 48 ~ 60	> 60 ~ 85	> 100 ~ 180
7 (0.80)	> 60 ~ 85	> 85 ~ 125	> 180 ~ 300
6 (1.00)	> 85 ~ 125	> 125 ~ 225	> 300
5 (1.25)	> 125 ~ 225	> 225 ~ 375	—
4 (1.60)	> 225 ~ 375	> 375	—
3 (2.00)	> 375	—	—

表 10 孔型像质计灵敏度值——双壁单影或双壁双影透照、像质计置于胶片侧

应识别孔号 孔径/mm	透照厚度(W) 范围/mm		
	A 级	AB 级	B 级
H2 (0.160)	—	—	≤ 2.5
H3 (0.200)	—	≤ 2.0	> 2.5 ~ 5.5
H4 (0.250)	≤ 2.0	> 2.0 ~ 5.0	> 5.5 ~ 9.5
H5 (0.320)	> 2.0 ~ 5.0	> 5.0 ~ 9.0	> 9.5 ~ 15
H6 (0.400)	> 5.0 ~ 9.0	> 9.0 ~ 14	> 15 ~ 24
H7 (0.500)	> 9.0 ~ 14	> 14 ~ 22	> 24 ~ 40
H8 (0.630)	> 14 ~ 22	> 22 ~ 36	> 40 ~ 60
H9 (0.800)	> 22 ~ 36	> 36 ~ 50	> 60 ~ 80
H10 (1.000)	> 36 ~ 50	> 50 ~ 80	—
H11 (1.250)	> 50 ~ 80	—	—

5.17 底片保存

底片保存条件至少应符合按档案文件管理的有关规定，并应满足胶片制造商的建议和要求。

6 承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级

6.1 钢、镍、铜制承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级

6.1.1 范围

本条规定适用于厚度≤400mm，材质为钢、镍及镍合金，以及厚度为≤80mm，材质为铜及铜合金的承压设备焊接接头的射线检测结果评定和质量分级。适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊

对接焊缝。

6.1.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷和圆形缺陷五类。

6.1.3 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷性质、尺寸、数量和密集程度，其质量等级可划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级。

6.1.4 质量分级一般规定

6.1.4.1 Ⅰ级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。

6.1.4.2 Ⅱ级和Ⅲ级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合和未焊透。

6.1.4.3 圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺陷和条形缺陷时，应进行综合评级，即分别评定圆形缺陷评定区内圆形缺陷和条形缺陷的质量级别，将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

6.1.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

6.1.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过Ⅲ级时一律定为Ⅳ级。

6.1.5 圆形缺陷的质量分级

6.1.5.1 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量分级评定，圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形，其尺寸见表11。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

6.1.5.2 在圆形缺陷评定区内或与圆形缺陷评定区边界线相割的缺陷均应划入评定区内。将评定区内的缺陷按表12的规定换算为点数，按表13的规定评定焊接接头的质量级别。

表11 钢、镍、铜制承压设备熔化焊焊接接头缺陷评定区 单位为mm

母材公称厚度T	≤ 25	$> 25 \sim 100$	> 100
评定区尺寸	10×10	10×20	10×30

表12 钢、镍、铜制承压设备熔化焊焊接接头缺陷点数换算表

缺陷长径/mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	> 8
缺陷点数	1	2	3	6	10	15	25

表13 钢、镍、铜制承压设备各级别熔化焊焊接接头允许的圆形缺陷点数

评定区/mm × mm	10 × 10			10 × 20		10 × 30	
	母材公称厚度 T/mm	≤ 10	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	$> 25 \sim 50$	$> 50 \sim 100$	> 100
Ⅰ级	1	2	3	4	5	6	
Ⅱ级	3	6	9	12	15	18	
Ⅲ级	6	12	18	24	30	36	
Ⅳ级	缺陷点数大于Ⅲ级或缺陷长径大于 $T/2$						
注：当母材公称厚度不同时，取较薄板的厚度。							

6.1.5.3 由于材质或结构等原因，进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，各级别的圆形缺陷

点数可放宽 1 点 ~ 2 点。

6.1.5.4 对致密性要求高的焊接接头，制造方底片评定人员应考虑将圆形缺陷的黑度作为评级的依据。通常将影像黑度大，可能影响焊缝致密性的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当焊接接头存在深孔缺陷时，其质量级别应评为Ⅳ级。

6.1.5.5 当缺陷的尺寸小于表 14 的规定时，分级评定时不计该缺陷的点数。质量等级为 I 级的焊接接头和母材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的 II 级焊接接头，不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 10 个，超过时该焊接接头质量等级应降低一级。

表 14 钢、镍、铜制承压设备熔化焊焊接接头不计点数的缺陷尺寸 单位为 mm

母材公称厚度 T	缺陷长径
$T \leq 25$	≤ 0.5
$25 < T \leq 50$	≤ 0.7
$T > 50$	$\leq 1.4\% \cdot T$

6.1.6 条形缺陷的质量分级

条形缺陷按表 15 的规定进行分级评定。

表 15 钢、镍、铜制承压设备各级别熔化焊焊接接头允许的条形缺陷长度 单位为 mm

级别	单个条形缺陷最大长度	一组条形缺陷累计最大长度
I	不允许	
II	$\leq T/3$ (最小可为 4) 且 ≤ 20	在长度为 $12T$ 的任意选定条形缺陷评定区内，相邻缺陷间距不超过 $6L$ 的任一组条形缺陷的累计长度应不超过 T ，但最小可为 4
III	$\leq 2T/3$ (最小可为 6) 且 ≤ 30	在长度为 $6T$ 的任意选定条形缺陷评定区内，相邻缺陷间距不超过 $3L$ 的任一组条形缺陷的累计长度应不超过 T ，但最小可为 6
IV		大于 III 级

注 1： L 为该组条形缺陷中最长缺陷本身的高度； T 为母材公称厚度，当母材公称厚度不同时取较薄板的厚度值。
注 2：条形缺陷评定区是指与焊缝方向平行的、具有一定宽度的矩形区， $T \leq 25\text{mm}$ ，宽度为 4mm ； $25\text{mm} < T \leq 100\text{mm}$ ，宽度为 6mm ； $T > 100\text{mm}$ ，宽度为 8mm 。
注 3：当两个或两个以上条形缺陷处于同一直线上、且相邻缺陷的间距小于或等于较短缺陷长度时，应作为一个缺陷处理，且间距也应计入缺陷的长度之中。

6.2 铝制承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级

6.2.1 范围

本条规定适用于厚度为 $2\text{mm} \sim 80\text{mm}$ ，材质为铝及铝合金的承压设备焊接接头的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。

6.2.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷和圆形缺陷六类。

6.2.3 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I、II、III、IV 级。

6.2.4 质量分级一般规定

6.2.4.1 I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、夹铜缺陷和条形缺陷。

6.2.4.2 II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和夹铜缺陷。

6.2.4.3 圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺陷和条形缺陷时，应进行综合评级，即分别评定圆形缺陷评定区内圆形缺陷和条形缺陷的质量级别，将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

6.2.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

6.2.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过 III 级时一律定为 IV 级。

6.2.5 圆形缺陷的分级评定

6.2.5.1 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量分级评定，圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形，其尺寸见表 16。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

6.2.5.2 在圆形缺陷评定区内或与圆形缺陷评定区边界线相割的缺陷均应划入评定区内。将评定区内的缺陷按表 17 的规定换算为点数，按表 18 的规定评定焊接接头的质量级别。

表 16 铝制承压设备熔化焊焊接接头缺陷评定区 单位为 mm

母材公称厚度 T	≤ 20		$> 20 \sim 80$	
	评定区尺寸	10×10	10×20	10×40

表 17 铝制承压设备熔化焊焊接接头圆形缺陷点数换算表

缺陷长径/mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	$> 8 \sim 10$
缺陷点数	1	2	3	6	10	15	25

表 18 铝制承压设备各级别熔化焊焊接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区/mm×mm	10×10				10×20	
	≤ 3	$> 3 \sim 5$	$> 5 \sim 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 40$	$> 40 \sim 80$
I 级	1	2	3	4	6	7
II 级	3	7	10	14	21	24
III 级	6	14	21	28	42	49
IV 级	缺陷点数大于 III 级或缺陷长径大于 $2T/3$ 或缺陷长径大于 10mm					

注：当母材公称厚度不同时，取较薄板的厚度。

6.2.5.3 对由于材质或结构等原因，进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，各级别的圆形缺陷点数可放宽 1 点 ~ 2 点。

6.2.5.4 当 III 级焊接接头允许的缺陷连续存在、并超过评定区尺寸的 3 倍时，焊接接头质量应评定为 IV 级。

6.2.5.5 对致密性要求高的焊接接头，制造方底片评定人员应考虑将圆形缺陷的黑度作为评级的依据，通常将影像黑度大，可能影响焊缝致密性的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当焊接接头存在深孔缺陷时，其质量等级应评为 IV 级。

6.2.5.6 当缺陷的尺寸小于表 19 的规定时，分级评定时不计该缺陷的点数。但对于 I 级焊接接头和母材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的 II 级焊接接头，不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 10 个，超过时该焊接接头质量应降低一级。

表 19 铝制承压设备熔化焊焊接接头不计点数的缺陷尺寸 单位为 mm

母材公称厚度 T	缺陷长径
$T \leq 20$	≤ 0.4
$20 < T \leq 40$	≤ 0.6
$T > 40$	$\leq 1.5\% \cdot T$

6.2.6 条形缺陷的分级评定

条形缺陷按 6.1.6 的规定进行质量分级评定。

6.3 钛及钛合金制承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级

6.3.1 范围

本条规定适用于厚度为 2mm ~ 50mm 钛及钛合金制承压设备的焊接接头射线检测的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接焊缝，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。

6.3.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷和圆形缺陷等五类。

6.3.3 质量分级依据

根据焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I、II、III、IV 级。

6.3.4 质量分级一般规定

6.3.4.1 I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。

6.3.4.2 II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透。

6.3.4.3 圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺陷和条形缺陷时，应进行综合评级，即分别评定圆形缺陷评定区内圆形缺陷和条形缺陷的质量级别，将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

6.3.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

6.3.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过 III 级时一律定为 IV 级。

6.3.5 圆形缺陷的分级评定

6.3.5.1 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量分级评定，圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形，其尺寸见表 20。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 20 钛及钛合金制承压设备熔化焊焊接接头圆形缺陷评定区 单位为 mm

母材公称厚度 T	≤ 20	$> 20 \sim 50$
评定区尺寸	10×10	10×20

6.3.5.2 在圆形缺陷评定区内或与圆形缺陷评定区边界线相割的缺陷均应划入评定区内。将评定区内的缺陷按表 21 的规定换算为点数，按表 22 的规定评定焊接接头的质量级别。

6.3.5.3 对由于材质或结构等原因，进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，各级别的圆形缺陷点数可放宽 1 点 ~ 2 点。

表 21 钛及钛合金制承压设备熔化焊焊接接头缺陷点数换算表

缺陷长径/mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 4$	$> 4 \sim 8$	> 8
缺陷点数	1	2	4	8	16

6.3.5.4 对致密性要求高的焊接接头，制造方底片评定人员应考虑将圆形缺陷的黑度作为评级的依据，通常将影像黑度大，可能影响焊缝致密性的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当焊接接头存在深孔缺陷时，其质量应评为Ⅳ级。

表 22 钛及钛合金制承压设备各级别熔化焊焊接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区	10 mm × 10 mm				10 mm × 20 mm	
母材公称厚度 T/mm	≤ 3	$> 3 \sim 5$	$> 5 \sim 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$	$> 30 \sim 50$
I 级	1	2	3	4	5	6
II 级	2	4	6	8	10	12
III 级	4	8	12	16	20	24
IV 级	缺陷点数大于 III 级或缺陷长径大于 $T/2$					

注：当母材公称厚度不同时，取较薄板的厚度。

6.3.5.5 当缺陷的尺寸小于表 23 的规定时，分级评定时不计该缺陷的点数。但对于 I 级焊接接头和母材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的 II 级焊接接头，不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 10 个。母材公称厚度 $T > 5\text{mm}$ 的 II 级焊接接头，不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 20 个。母材公称厚度 $T > 5\text{mm}$ 的 III 级焊接接头，不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 30 个。超过上述规定时焊接接头质量应降低一级。

表 23 钛及钛合金制承压设备熔化焊焊接接头不计点数的缺陷尺寸 单位为 mm

母材公称厚度 T	缺陷长径
$T \leq 10$	≤ 0.3
$10 < T \leq 20$	≤ 0.4
$20 < T \leq 50$	≤ 0.7

6.3.6 条形缺陷的分级评定

条形缺陷按 6.1.6 的规定进行质量分级评定。

7 承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级

7.1 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级

7.1.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ，材质为钢、镍及镍合金、铜及铜合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。

7.1.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、圆形缺陷、根部内凹、根部咬边等七类。

7.1.3 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I、II、III、IV 级。

7.1.4 质量分级的一般规定

7.1.4.1 I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、根部内凹、根部咬边。

- 7.1.4.2 II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合以及加垫板单面焊中的未焊透。
- 7.1.4.3 条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时，应进行综合评级，即分别评定条形评定区内各类缺陷的质量级别，取质量级别最低的级别作为综合评级的级别；当各类缺陷的级别相同时，则降低一级作为综合评级的级别。
- 7.1.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。
- 7.1.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过 III 级时一律定为 IV 级。

7.1.5 圆形缺陷的分级评定

按 6.1.5 的规定进行质量分级评定，但对小径管缺陷评定区取 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

7.1.6 条形缺陷的分级评定

按 6.1.6 的规定进行质量分级评定。

7.1.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时，不加垫板单面焊的未焊透缺陷按表 24 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管不加垫板单面焊的未焊透缺陷按表 25 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子未焊透深度可采用附录 L 规定的通用槽型对比试块（II 型）进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的未焊透深度可采用附录 L 规定的小径管环焊缝专用对比试块（I 型）进行测定。测定时，对比试块置于靠近被测未焊透缺陷附近部位。

表 24 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时不加垫板单面焊未焊透的分级

级别	未焊透最大深度/mm		单个未焊透最大长度/mm ($T/\text{壁厚}$)	未焊透累计长度/mm
	与壁厚的比	最大值		
I	不允许			
II	$\leq 10\%$	≤ 1.0	$\leq T/3$ (最小可为 4) 且 ≤ 20	在任意 $6T$ 长度区内应不大于 T (最小可为 4)，且任意 300mm 长度范围内总长度不大于 30
III	$\leq 15\%$	≤ 1.5	$\leq 2T/3$ (最小可为 6) 且 ≤ 30	在任意 $3T$ 长度区内应不大于 T (最小可为 6)，且任意 300mm 长度范围内总长度不大于 40
IV	大于 III 级			

注：对断续未焊透，以未焊透本身的长度累加计算总长度。

表 25 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 时不加垫板单面焊未焊透的分级

级别	未焊透最大深度/mm		未焊透总长度与焊缝总长度的比
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	$\leq 10\%$	≤ 1.0	$\leq 10\%$
III	$\leq 15\%$	≤ 1.5	$\leq 15\%$
IV	大于 III 级		

注：对断续未焊透，以未焊透本身的长度累加计算总长度。

7.1.8 根部内凹和根部咬边的分级评定

管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时，不加垫板单面焊的根部内凹和根部咬边缺陷按表 26 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管不加垫板单面焊的根部内凹和根部咬边缺陷按表 27 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子和容器根部内凹和根部咬边深度可采用附录 L 规定的通用槽型对比试块（II型）进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的根部内凹和根部咬边深度可采用附录 L 规定的小径管环焊缝专用对比试块（I型）进行测定。测定时，对比试块置于靠近被测根部内凹和根部咬边缺陷附近部位。

表 26 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时根部内凹和根部咬边的分级

级 别	根部内凹和根部咬边最大深度/mm		根部内凹和根部咬边累计长度/mm
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	$\leq 15\%$	≤ 1.5	在任意 $3T$ 长度区内不大于 T ; 总长度不大于 100
III	$\leq 20\%$	≤ 2.0	
IV	大于 III 级		

注：对断续根部内凹和根部咬边，以根部内凹和根部咬边本身的长度累加计算总长度。

表 27 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 时根部内凹和根部咬边的分级

级 别	根部内凹和根部咬边最大深度/mm		根部内凹和根部咬边最大总长度与 焊缝总长度的比
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	$\leq 15\%$	≤ 1.5	$\leq 30\%$
III	$\leq 20\%$	≤ 2.0	$\leq 30\%$
IV	大于 III 级		

注：对断续根部内凹和根部咬边，以根部内凹和根部咬边本身的长度累加计算总长度。

7.2 铝及铝合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级

7.2.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ，材质为铝及铝合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。

7.2.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷、圆形缺陷、根部内凹、根部咬边等八类。

7.2.3 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I 、 II 、 III 、 IV 级。

7.2.4 质量分级的一般规定

7.2.4.1 I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷、根部内凹、根部

咬边。

7.2.4.2 II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合以及加垫板单面焊中的未焊透、夹铜。

7.2.4.3 条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时，应进行综合评级，即分别评定条形评定区内各类缺陷的质量级别，取质量级别最低的级别作为综合评级的级别；当各类缺陷的级别相同时，则降低一级作为综合评级的级别。

7.2.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

7.2.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过 III 级时一律定为 IV 级。

7.2.5 圆形缺陷的分级评定

按 6.2.5 的规定进行质量分级评定。

7.2.6 条形缺陷的分级评定

按 6.2.6 的规定进行质量分级评定。

7.2.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

按 7.1.7 的规定进行质量分级评定。

7.2.8 根部内凹的和根部咬边分级评定

按 7.1.8 的规定进行质量分级评定。

7.3 钛及钛合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向焊接接头射线检测结果评定和质量分级

7.3.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ ，材质为钛及钛合金的承压设备管子及压力管道熔化焊对接环向焊接接头的射线检测结果评定和质量分级，适用的焊接接头的型式包括沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝和不加垫板的单面焊对接焊缝。

7.3.2 缺陷类型

按 7.1.2 的规定分类。

7.3.3 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I、II、III、IV 级。

7.3.4 质量分级的一般规定

7.3.4.1 I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、根部内凹、根部咬边。

7.3.4.2 II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合以及加垫板单面焊中的未焊透。

7.3.4.3 条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时，应进行综合评级，即分别评定条形评定区内各类缺陷的质量级别，取质量级别最低的级别作为综合评级的级别；当各类缺陷的级别相同时，则降低一级作为综合评级的级别。

7.3.4.4 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

7.3.4.5 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过 III 级时一律定为 IV 级。

7.3.5 圆形缺陷的分级评定

按 6.3.5 的规定进行质量分级评定。

7.3.6 条形缺陷的分级评定

按 6.3.6 的规定进行质量分级评定。

7.3.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

按 7.1.7 的规定进行质量分级评定。

7.3.8 根部内凹和根部咬边的分级评定

按 7.1.8 的规定进行质量分级评定。

8 检测记录和报告

8.1 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。射线检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外, 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、型号, 焦点尺寸); 胶片(牌号及其分类等级); 增感屏(类型、数量和厚度)、像质计(种类和型号)、滤光板、背散射屏蔽铅板;
- d) 检测工艺参数: 检测技术等级, 透照技术(单或双胶片), 透照方式、透照参数 F 、 f 、 b 、管电压、管电流、曝光时间(或源强度、曝光时间), 暗室处理方式和条件;
- e) 底片评定: 底片黑度、底片像质计灵敏度、缺陷位置和性质;
- f) 布片图
- g) 操作指导书工艺验证情况(必要时);
- h) 检测结果及质量分级;
- i) 编制、审核人员及其技术资格;
- j) 其他需要说明或记录的事项。

8.2 应依据检测记录出具检测报告。射线检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外, 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、型号, 焦点尺寸); 胶片(牌号及其分类等级); 增感屏(类型、数量和厚度)、像质计(种类和型号);
- d) 检测工艺参数: 检测技术等级, 透照技术(单或双胶片), 透照方式、透照参数 F 、 f 、 b 、管电压、管电流、曝光时间(或源强度、曝光时间), 暗室处理方式和条件;
- e) 底片评定: 底片黑度、底片像质计灵敏度、缺陷位置和性质;
- f) 检测结果及质量分级;
- g) 布片图
- h) 编制、审核人员及其技术资格;
- i) 检测单位。

附录 A
(资料性附录)
管子-管板角焊缝射线照相技术要求

A.1 范围

本附录规定了管子-管板角焊缝的 X 射线和 γ 射线检测技术和质量分级要求。

本附录适用管壳式列管热交换器和管壳式反应器的管子与管板角接焊接接头的射线检测，焊接型式为密封焊。被检测的管子内径应在 $12.5\text{mm} \sim 80\text{mm}$ ，厚度 $1.0\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$ 范围，用于制作焊接接头的金属材料包括钢、钛及钛合金、镍及镍合金、锆及锆合金。

本附录规定的射线检测技术分为三级：A 级——低灵敏度技术；AB 级——中灵敏度技术；B 级——高灵敏度技术。

管内径更小的管子-管板角焊缝射线检测也可参照本附录，但需要使用更小的源棒尺寸并选择合适的工艺参数；强度焊角焊缝射线检测也可参照本附录，但灵敏度和缺陷评定应另作规定。

A.2 术语和定义

A.2.1

向后透照 film after source

底片放置于射线源后方的透照方式（图 A.1）。用此法检测时，射线源通过刚性导管从本侧管板导入管子中，射线源对中较容易，射线源-胶片距离控制较准确，实施照相操作较方便，但需要专用射线源和工装，所用的胶片的中心必须打一个孔。

A.2.2

向前透照 film before source

底片放置于射线源前方的透照方式（图 A.2），用此法检测时，射线源通过柔性或刚性导管从对侧管板导入管子中，并穿越管子全长到达所需的位置实施照相，可以使用普通 γ 射线机，所用的胶片的中心不须打孔，但操作较麻烦，必须注意射源对中，并注意控制所要求的射源-胶片距离。

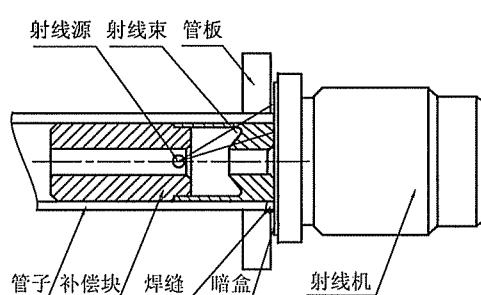


图 A.1 向后透照示意图

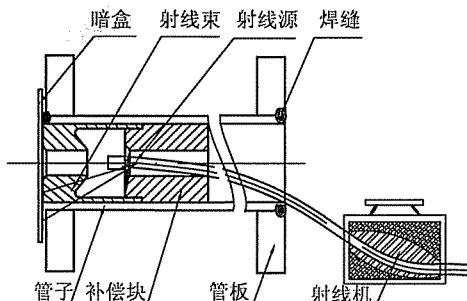


图 A.2 向前透照示意图

A. 2. 3

补偿块 compensator

为减少散射线和透照厚度差，使底片评定区获得均匀黑度所采用的专用工具。

A. 3 一般要求

射线检测的一般要求除符合 NB/T 47013.2 第 4 章和第 5 章规定外，还应符合下列规定。

A. 3. 1 射线检测人员

A. 3. 1. 1 从事管子-管板角焊缝射线检测的人员应经过管子-管板焊缝射线透照操作和底片评定的专门培训，同时还必须熟悉本附录的规定；

A. 3. 1. 2 从事管子-管板角焊缝射线检测的人员应熟悉管子-管板角接焊接接头的型式，以及有关设计、制造知识。

A. 3. 2 射线照相设备

A. 3. 2. 1 管子-管板角焊缝射线检测可选择 X 射线或 γ 射线。X 射线照相设备应采用微焦点棒阳极 X 射线管； γ 射线照相设备应采用微焦点 Ir192 源。

A. 3. 2. 2 不同照相技术等级所使用的射线源的有效焦点尺寸应符合表 A.1 的要求。如有必要，可采用以下方法测定焦点尺寸：

棒阳极射线管焦点尺寸采用小孔法测定；Ir192 源焦点采用 X 射线照相法测定。

A. 3. 2. 3 为防止向后透照时小直径管内圈出现死区，应保证 γ 射线照相设备的辐射场内角 $\theta_I \leq 15^\circ$ 。对换源后的 γ 射线照相设备应进行辐射场内角测定。

A. 3. 3 射线胶片

A. 3. 3. 1 管子-管板角焊缝射线检测所使用的胶片尺寸一般不小于 100mm×100mm。

A. 3. 3. 2 不同照相技术等级所使用的射线胶片类别应符合表 A.1 的要求。

A. 3. 3. 3 采用向后透照方式所使用的胶片，应在胶片中心加工一个孔，孔的直径应与源棒匹配。

表 A. 1 不同照相技术等级推荐使用的射线源的有效焦点尺寸和射线胶片种类

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

A. 3. 4 增感屏和滤板

A. 3. 4. 1 管子-管板角焊缝射线检测一般使用铅增感屏。如使用 γ 射线透照且使用厚度 0.03mm 铅增感屏真空包装胶片，可在暗盒与工件之间使用锡板作为滤板。

A. 3. 4. 2 不同工件材质，胶片所使用的增感屏和滤板应符合表 A.2 的要求。

表 A.2 不同工件材质，源和胶片所使用的增感屏和滤板

工件材质		钢、镍及镍合金、锆及锆合金		钛及钛合金	
胶片包装分类		散装胶片	真空包装胶片	散装胶片	真空包装胶片
X 射线	增感屏及厚度/mm	铅屏 0.03			
γ 射线	增感屏及厚度/mm	0.10 < 铅屏 ≤ 0.20	铅屏 0.03	不适用	
	滤板厚度/mm	—	锡 ≤ 0.50		

A.3.5 观片灯

A.3.5.1 观片灯的主要性能应符合 GB/T 19802 的有关规定。

A.3.5.2 观片灯应配置适合管子-管板角焊缝评片观察的遮光板。

A.3.6 灵敏度鉴定试验焊接试样

制作专用的管子-管板角接焊接接头灵敏度焊接试样，试样的管子材质、规格尺寸应与实际产品相同。在焊缝中心线上采用冲或钻方法至少加工间隔 90° 的 4 个孔，孔的尺寸应符合合同规定的技术等级要求。以其在底片上显示的影像验证像质的适可性。

A.3.7 补偿块

A.3.7.1 补偿块外径一般不小于管内径 $D_i-1\text{mm}$ 。

A.3.7.2 补偿块的设计要使射源的对中得到保证。

A.3.7.3 补偿块的材质一般应与管的材质种类相同，也可使用原子序数比管材低的材料制作的补偿块。

A.3.8 灵敏度鉴定试验和灵敏度要求

A.3.8.1 由于使用像质计会增大焊缝到胶片的距离，管子-管板角焊缝正式实施检测时不要求使用像质计。管子-管板角焊缝射线照相的灵敏度由灵敏度鉴定试验保证。灵敏度鉴定试验应在对管子-管板角焊缝正式实施检测前进行。

A.3.8.2 管子-管板角焊缝射线检测灵敏度用不同深度的小孔表示，孔的形状可以是半圆球形、锥形，或平底孔。密封焊角焊缝的不同照相技术级别要求识别的孔深见表 A.3。强度焊角焊缝要求识别的孔深由合同双方商定。

表 A.3 密封焊接头不同照相技术级别要求识别的孔深

照相技术级别	A 级	AB 级	B 级
要求识别的孔深/mm	0.8	0.5	0.3

注：孔深公差 $\pm 10\%$ ；最大孔径不大于孔深名义尺寸的 1.2 倍。

A.3.8.3 正式产品实施检测的设备、工装、材料和工艺参数应与灵敏度鉴定试验所用的设备、工装、材料和工艺参数（曝光时间除外）相同，如发生改变，应重新进行射线检测灵敏度鉴定试验。

A.3.9 表面准备

射线检测前应采用适当的工艺去除内侧（管内壁及其附近）和外侧上的多余和不规则的焊缝金属，以保证透照时补偿块能顺利放入，同时保证底片上缺陷的影像不会被干扰或混淆。

A.3.10 检测时机

射线检测应在焊接完成，经外观检查和表面裂纹检查合格后进行。对有延迟裂纹倾向的材料，射线检测至少应延迟到焊接完成 24h 后进行。

A. 4 具体要求

A. 4. 1 透照布置

管子-管板角焊缝射线检测应优先选用向后透照方式，在向后透照方式无法使用的场合可选用向前透照方式，但仅限于 A 级。

A. 4. 2 焦点-胶片距离

A. 4. 2. 1 根据管子内径 D_i 选择焦点-胶片距离，选择焦点-胶片距离应考虑减小投影畸变因素，同时兼顾照相灵敏度因素。

A. 4. 2. 2 管子内径 $D_i \leq 20\text{mm}$ 时，推荐距离为 30mm； $D_i > 20\text{mm} \sim 38\text{mm}$ 时，推荐距离为 40mm； $D_i > 38\text{mm}$ 时，此距离应通过工艺试验确定。

A. 4. 3 曝光时间

γ 射线的曝光时间应不小于 20s。

A. 4. 4 工件标识

射线检测前，应在被检工件上对要检测的管子-管板接头作出标记。标记内容包括管板号、行号和管号。管子标识可使用记号笔或粉笔，管板标识通常使用钢印。

A. 4. 5 底片标识

A. 4. 5. 1 底片标记内容至少应包括产品编号、管板号、行号和管号。返修后透照的底片上还应有返修标记“R”，扩大检测透照的底片上还应有扩大检测标记“K”。

A. 4. 5. 2 管子-管板角接焊接接头射线照相底片标识一般不使用铅字，可采用记号笔标识或打印法标识。采用打印法标识时，应在曝光前用钢印打击胶片。

A. 5 底片评定范围和底片质量要求

A. 5. 1 底片评定范围

底片评定范围不仅包括被检管子-管板角焊缝，还包括相邻管子-管板角焊缝的部分成像区。

A. 5. 2 底片质量

A. 5. 2. 1 底片上，标记影象应显示完整、位置正确。

A. 5. 2. 2 底片评定范围内的黑度应符合下列规定：

A 级： $\geq 1.5 \sim 4.5$ (γ 射线)； $\geq 1.2 \sim 4.5$ (X 射线)；

AB 级： $\geq 1.5 \sim 4.5$ (X 射线)；

B 级： $\geq 1.8 \sim 4.5$ (X 射线)。

A. 5. 2. 3 底片上不应有明显边蚀散射现象。

A. 5. 2. 4 底片上焊缝影像的变形程度应不影响缺陷的识别。

A. 6 缺陷评定与焊缝质量验收

A. 6. 1 缺陷类型

管子-管板角焊缝中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、条形气孔、虫形气孔、局部密集气孔、球形气孔、夹渣、夹钨和氧化物夹杂，以及根部咬边。

A. 6. 2 密封焊角焊缝的缺陷评定与质量验收

A.6.2.1 在任何情况下，不允许存在以下缺陷：

裂纹；未熔合；条形气孔；虫形气孔；局部密集气孔。

A.6.2.2 球形气孔、夹渣、夹钨和氧化物夹杂不应超过表A.4的规定。

A.6.2.3 根部咬边应在记录和报告上注明，其验收标准由合同双方商定。

A.6.3 强度焊角焊缝的缺陷评定与质量验收由合同双方商定。

表 A.4 气孔、夹渣和氧化物夹杂最大允许尺寸、数量和间距

管径 $\leq 20\text{mm}$			管径 $> 20\text{mm}$		
缺陷长径/ d_p	数量	间距	缺陷长径/ d_p	数量	间距
$\leq 0.5t^a$, 最大 1mm	3	$\geq 2d_p^b$	$\leq 0.5t^a$, 最大 1mm	3	$\geq 2d_p^b$
				5	$\geq 5d_p^b$

^a t =管壁厚度；
^b d_p =缺陷长径。

A.7 检测记录和报告

检测记录和报告除满足第8章的要求外，还应包括以下内容：

- a) 每一被检焊缝的识别标记（行号、列号、底片标识）；
- b) 滤光板的型号、数量和厚度；
- c) 补偿块（如需要）。

附录 B
(规范性附录)
工业射线胶片系统的特征指标

工业射线胶片系统的主要特性指标见表 B.1。

表 B.1 胶片系统的主要特性指标

胶片系统类别	梯度最小值 (G_{\min})		$(\sigma_D)_{\max}$	$(G/\sigma_D)_{\min}$
	$D=2.0$	$D=4.0$		
C1	4.5	7.5	0.018	300
C2	4.3	7.4	0.020	230
C3	4.1	6.8	0.023	180
C4	4.1	6.8	0.028	150
C5	3.8	6.4	0.032	120
C6	3.5	5.0	0.039	100

注：表中的黑度 D 均指不包括灰雾度的净黑度。

附录 C
(资料性附录)
黑度计(光学密度计)定期核查方法

C. 1 黑度计核查的一般规定

黑度计可按照生产厂推荐的方法或按 C.2 规定的方法核查。

C. 2 黑度计校验步骤

C. 2. 1 接通黑度计外电源和测量开关，预热 10min 左右。

C. 2. 2 用标准密度片的零黑度点(区)调整黑度计零点，调整后顺次测量黑度片上不同黑度的各点的黑度，记录测量值。

C. 2. 3 按 C.2.2 的规定反复测量 3 次。

C. 2. 4 计算出各点测量值的平均值，以平均值与黑度片该点的黑度值之差作为黑度计的测量误差。

C. 2. 5 对黑度不大于 4.5 的各点的测量误差均应不超过 ± 0.05 ，否则黑度计应重新调整、修理或报废。

附录 D
(资料性附录)
暗室安全照射时间确定

D. 1 范围

本附录适用于工业射线检测胶片暗室安全照射时间的确定。

D. 2 定义

D. 2. 1 可检测黑度变化

能够用对比法目视检测或通过黑度计测量的底片黑度的微小差别。

D. 2. 2 曝光前照射试验

胶片在接受射线曝光前进行的安全灯照射试验。由此确定的在试验片条上没有检测到黑度变化的最长安全灯照射时间，即为曝光前安全照射时间 t_1 。

D. 2. 3 曝光后照射试验

胶片在接受射线曝光后，在显影过程开始之前保持干燥状态下进行的安全灯照射试验，由此确定的在试验片条上没有检测到黑度变化的最长安全灯照射时间，即为曝光后安全照射时间 t_2 。

D. 2. 4 潮湿胶片的曝光后照射试验

胶片自显影过程开始至显影结束(或定影过程开始)，在潮湿状态下进行的安全灯照射试验，由此确定的在试验片条上没有检测到黑度变化的最长安全灯照射时间，即为潮湿胶片曝光后安全照射时间 t_3 。

D. 2. 5 暗室安全照射时间

通过试验得到的能够确保安全灯照射对底片黑度不产生影响的时间 t ，为 t_1 、 t_2 、 t_3 中最小值的一半。

D. 3 试验器材

D. 3. 1 阶梯试块

为了获得系列阶梯黑度底片，应使用适当的金属材料制作阶梯试块。

采用适当的射线透过阶梯试块对胶片进行曝光，然后按照产品检测时使用的暗室处理参数进行处理，获得与标准适用黑度范围大致对应的阶梯黑度范围。

D. 3. 2 遮光卡

遮光卡用适当的不透光材料(如黑纸)制作，用于控制试验用胶片的受照射面积。

D. 3. 3 计时器

计时器的计时范围应在 8min 以上，计时分度值不大于 1s，但计时器发出的光不得照射到试验胶片上。

D. 4 安全灯照射试验

安全灯照射试验一般采用安全灯亮度最高一档进行，同时应按照实际工作情况选择胶片与安全灯的距离和角度等试验参数，相关数据应在试验报告中记录说明。

D. 4. 1 曝光前照射试验程序

- D. 4. 1. 1 把胶片做成条状，长度略长于阶梯试块，其宽度不小于 40mm。
- D. 4. 1. 2 把第一个试验片条用遮光卡沿纵向遮住一半，另一半放在安全灯下依据经验确定的最短时间照射。
- D. 4. 1. 3 其余片条按 D.4.1.2 的方法逐次倍增时间在安全灯下进行照射。
- D. 4. 1. 4 将经安全灯照射后的片条用阶梯试块进行射线曝光。
- D. 4. 1. 5 阶梯试块射线曝光后的片条不能再接受任何安全灯照射，2h 内把所有片条一起按照产品检测时使用的暗室处理参数在全暗的条件下进行处理。
- D. 4. 1. 6 如果最长的安全灯照射时间不能使片条上任何一级产生可检测到黑度的变化，可再次进行试验，起始时间为上次最长的安全灯照射时间，重复 D.4.1.1~D.4.1.5 的步骤。

D. 4. 2 曝光后照射试验程序

- D. 4. 2. 1 把胶片做成条状，长度略长于阶梯试块，其宽度不小于 40mm。
- D. 4. 2. 2 把多个片条用阶梯试块进行射线曝光，射线曝光前的片条不能接受任何安全灯照射。
- D. 4. 2. 3 阶梯试块射线曝光后，用遮光卡沿纵向遮住试验片条的一半，另一半放在安全灯下依据实际经验确定的最短时间照射。
- D. 4. 2. 4 其余片条也按 D.4.2.3 的方法逐次倍增时间在安全灯下进行照射。
- D. 4. 2. 5 完成安全灯照射后，保持暗室全暗状态，2h 内把所有片条一起按照产品检测时使用的暗室处理参数在全暗的条件下进行处理。
- D. 4. 2. 6 如果最长的安全灯照射时间不能使片条上任何一级产生可检测到黑度的变化，可再次进行试验，起始时间为上次最长的安全灯照射时间，重复 D.4.2.1~D.4.2.5 的步骤。

D. 4. 3 潮湿胶片的曝光后照射试验程序

- D. 4. 3. 1 首先按 D.4.2.1 和 D.4.2.2 进行试验。
- D. 4. 3. 2 阶梯试块经射线曝光后，在显影过程开始前，片条不能接受任何的安全灯照射。
- D. 4. 3. 3 第一个片条在全暗条件下进行暗室处理；第二个片条在显影进行到总显影时间的 50% 时开始使用安全灯；第三个片条在显影一开始就使用安全灯。
- D. 4. 3. 4 如果第二个片条阶梯的任何一级黑度有可检测到黑度的变化，则需要分别按照显影进行到总显影时间的 90%、80%、70% 和 60% 时使用安全灯的试验。

D. 5 试验数据评定

D. 5. 1 测量时机

经暗室处理的试验片条应在干燥后进行黑度测量。

D. 5. 2 黑度计测量及比较

黑度测量应与实际生产情况下底片测量的方法一致。用黑度计逐条测量试验片条的每一级，记录经安全灯照射和未经安全灯照射的黑度，并进行比较，找出可检测到黑度变化的一级。一般情况下，黑度变化超过 ± 0.05 即认为是可检测到黑度的变化。

D. 5. 3 目视测量及比较

目视观察条件应与实际生产情况下底片观察条件一致。观察经安全灯照射和未经安全灯照射的黑度，记录并进行比较，找出接受安全灯照射时间最长而又没有可检测到黑度变化的片条。

D. 6 暗室安全照射时间的确定

- D. 6. 1 以试验得到的 t_1 、 t_2 和 t_3 之中最小值的一半作为胶片在暗室处理过程允许的安全灯照射时间，

即暗室安全照射时间。

D. 6. 2 如果试验测定的安全照射时间不足以完成整个暗室处理，应考虑更换安全灯，并重新通过试验确定暗室安全照射时间。

D. 6. 3 实际生产过程中，胶片暗室处理应在试验确定的安全照射时间、安全距离等参数下进行。

D. 7 试验报告

报告应至少包括以下内容：

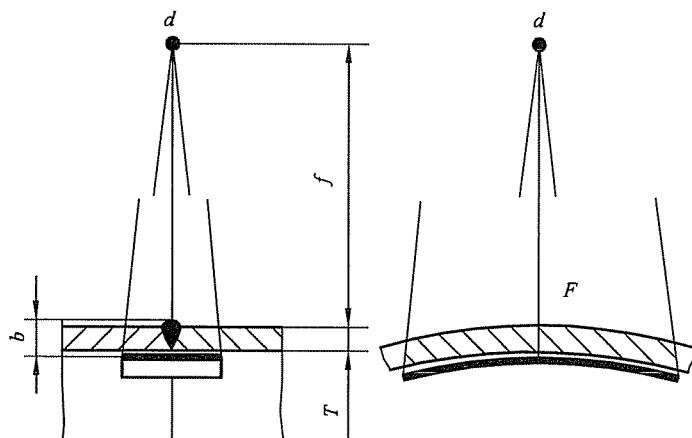
- a) 安全灯型号和相关参数，例如电压、灯泡功率、滤波片名称、尺寸；
- b) 安全灯与胶片之间的相对位置和距离，包括曝光前操作、曝光后操作和显影操作时的距离；
- c) 胶片（牌号及其分类等级）及暗室处理参数；
- d) 试验得到的 t_1 、 t_2 、 t_3 和暗室安全照射时间 t ；
- e) 试验过程必要的描述和说明。



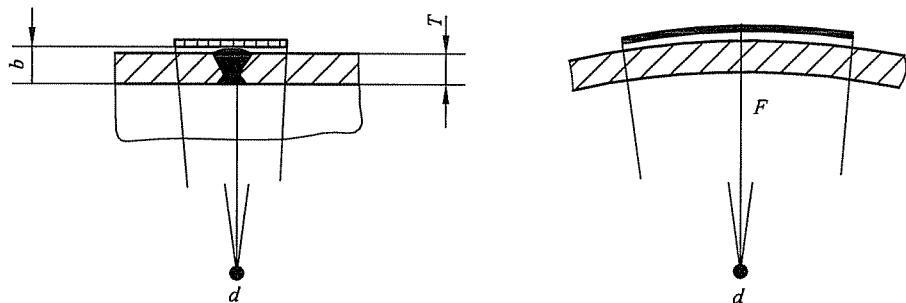
附录 E
(资料性附录)
典型透照方式示意图

E.1 对接焊缝典型透照方式

图E.1~E.8给出了常用的对接焊缝典型透照方式示意图,可供透照布置时参考。图中 d 表示射线源有效焦点尺寸, F 表示焦距, b 表示工件至胶片距离, f 表示射线源至工件距离, T 表示公称厚度, D_o 表示管子外径。



图E.1 纵、环向焊接接头源在外单壁透照方式



图E.2 纵、环向焊接接头源在内单壁透照方式

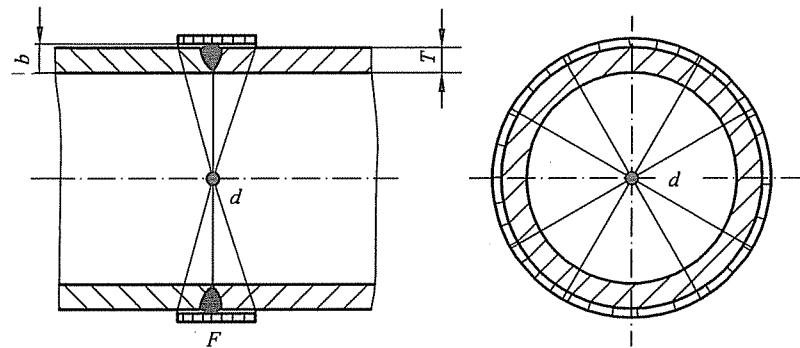


图 E.3 环向焊接接头源在中心周向透照方式

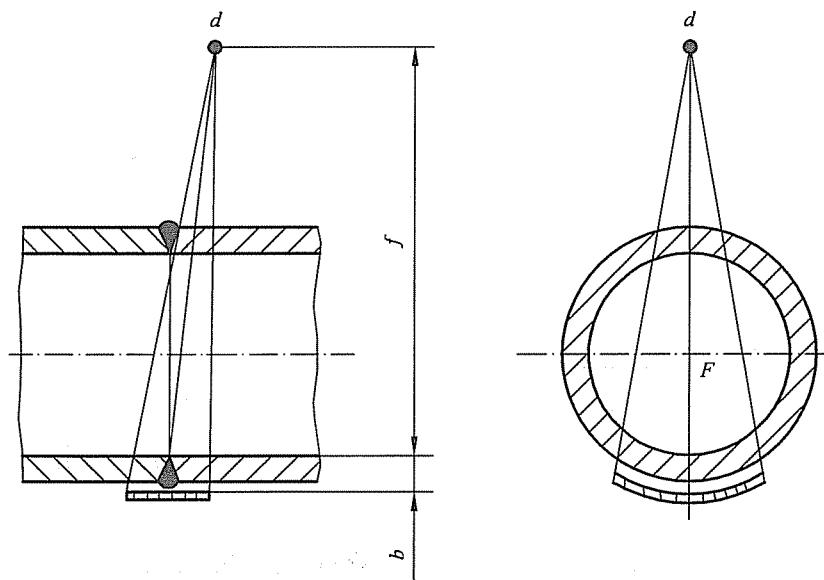


图 E.4 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (1)

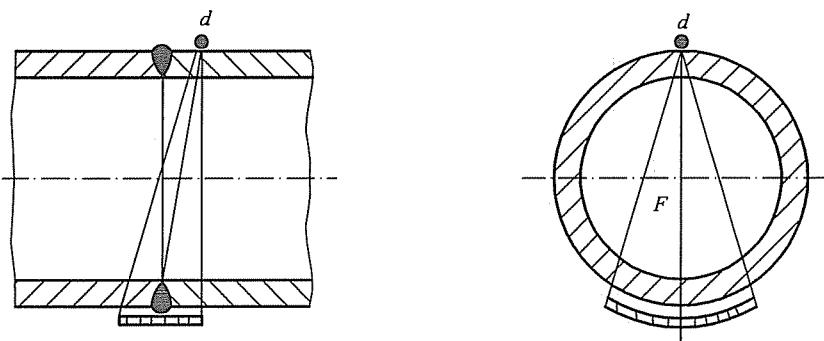


图 E.5 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (2)

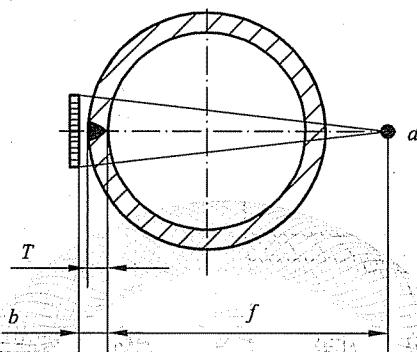


图 E.6 纵向焊接接头源在外双壁单影透照方式

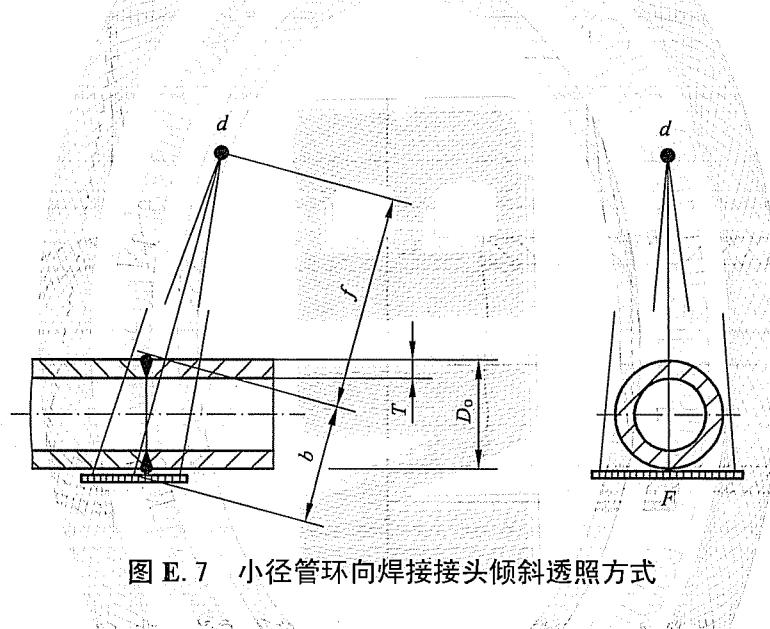


图 E.7 小径管环向焊接接头倾斜透照方式

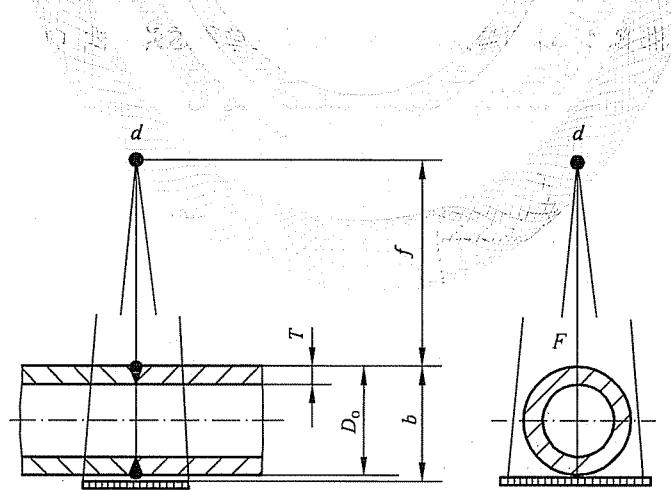


图 E.8 小径管环向焊接接头垂直透照方式

E. 2 管座角焊缝典型透照方式

图 E.9 ~ E.14 给出了常用的管座角焊缝典型透照方式示意图。图中，1 表示射线源焦点，2 表示胶片， b 表示工件至胶片距离。

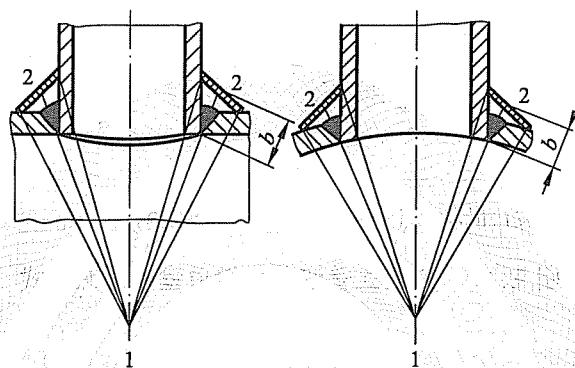


图 E.9 插入式管座角焊缝单壁中心内透照方式

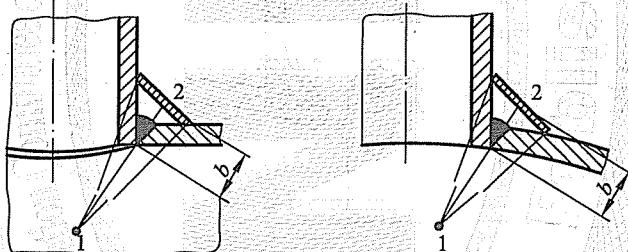
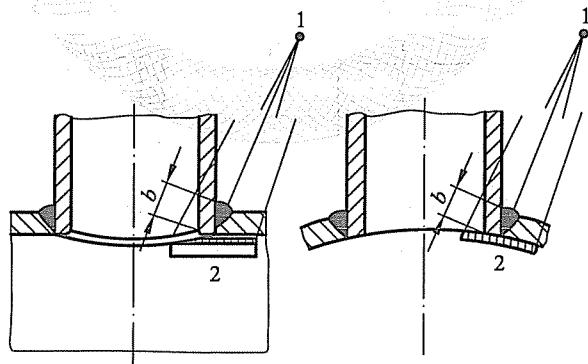
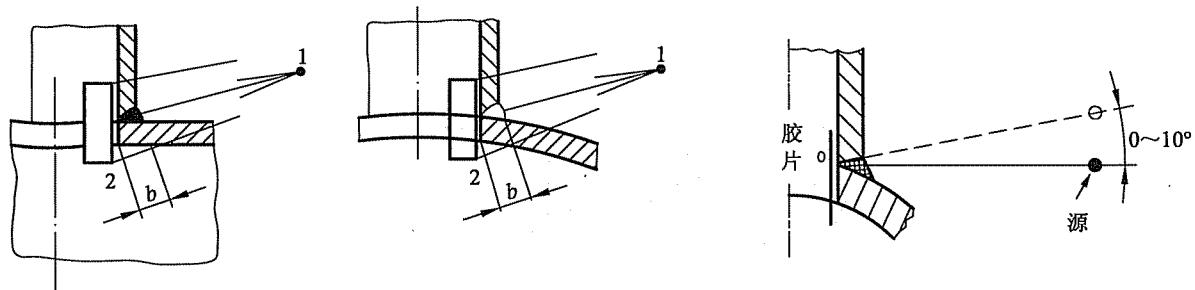


图 E.10 插入式管座角焊缝单壁偏心内透照方式



注：射线源放在与支管母线呈 $20^\circ \sim 30^\circ$ 角的轴线上。

图 E.11 插入式管座角焊缝单壁外透照方式



注：射线源应放在管外侧焊缝坡口的轴线上，偏差在 $0 \sim +10^\circ$ 以内。

图 E.12 安放式管座角焊缝单壁外透照方式

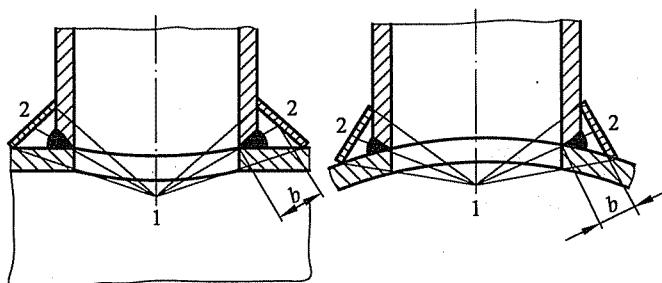


图 E.13 安放式管座角焊缝单壁中心透照方式

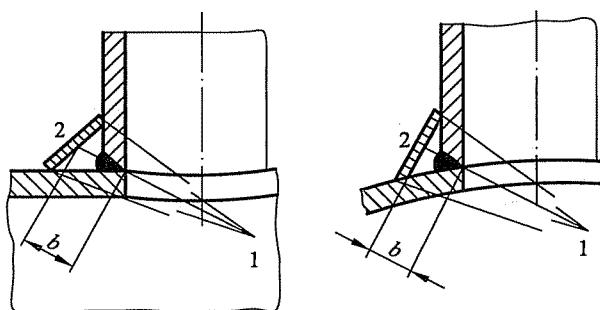


图 E.14 安放式管座角焊缝单壁偏心透照方式

附录 F
(资料性附录)
环向对接焊缝透照次数确定方法

F. 1 透照次数曲线图

对外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的环向焊接接头进行 100% 检测，所需的最少透照次数与透照方式和透照厚度比有关，这一数值可从图 F.1~F.6 中直接查出：

- a) 图 F.1 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数曲线图；
- b) 图 F.2 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数曲线图；
- c) 图 F.3 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数曲线图；
- d) 图 F.4 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数曲线图；
- e) 图 F.5 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数曲线图；
- f) 图 F.6 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数曲线图。

F. 2 由图确定透照次数的方法

从图中确定透照次数的步骤是：计算出 T/D_o 、 D_o/f ，在横坐标上找到 T/D_o 值对应的点，过此点画一垂直于横坐标的直线；在纵坐标上找到 D_o/f 对应的点，过此点画一垂直于纵坐标的直线；从两直线交点所在的区域确定所需的透照次数；当交点在两区域的分界线上时，应取较大数据值作为所需的最少透照次数。

F. 3 射线源在内偏心透照 ($F < D_o/2$) 最少透照次数 N 计算公式

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{180^\circ}{\alpha} \\
 \alpha &= \eta - \theta \\
 \eta &= \sin^{-1} \left(\frac{D_i}{D_i - 2f} \sin \theta \right) \\
 \theta &= \cos^{-1} \left[\frac{1 - (K^2 - 1) T / D_i}{K} \right]
 \end{aligned} \quad (\text{F.1})$$

当 $D \gg T$ 时，可简略计算 $\theta \approx \cos^{-1} K^{-1}$ 。

式中：

D_i ——内径；

α ——最大一次透照长度对应的半圆心角；

θ ——影像最大失真角；
 η ——有效半辐射角。

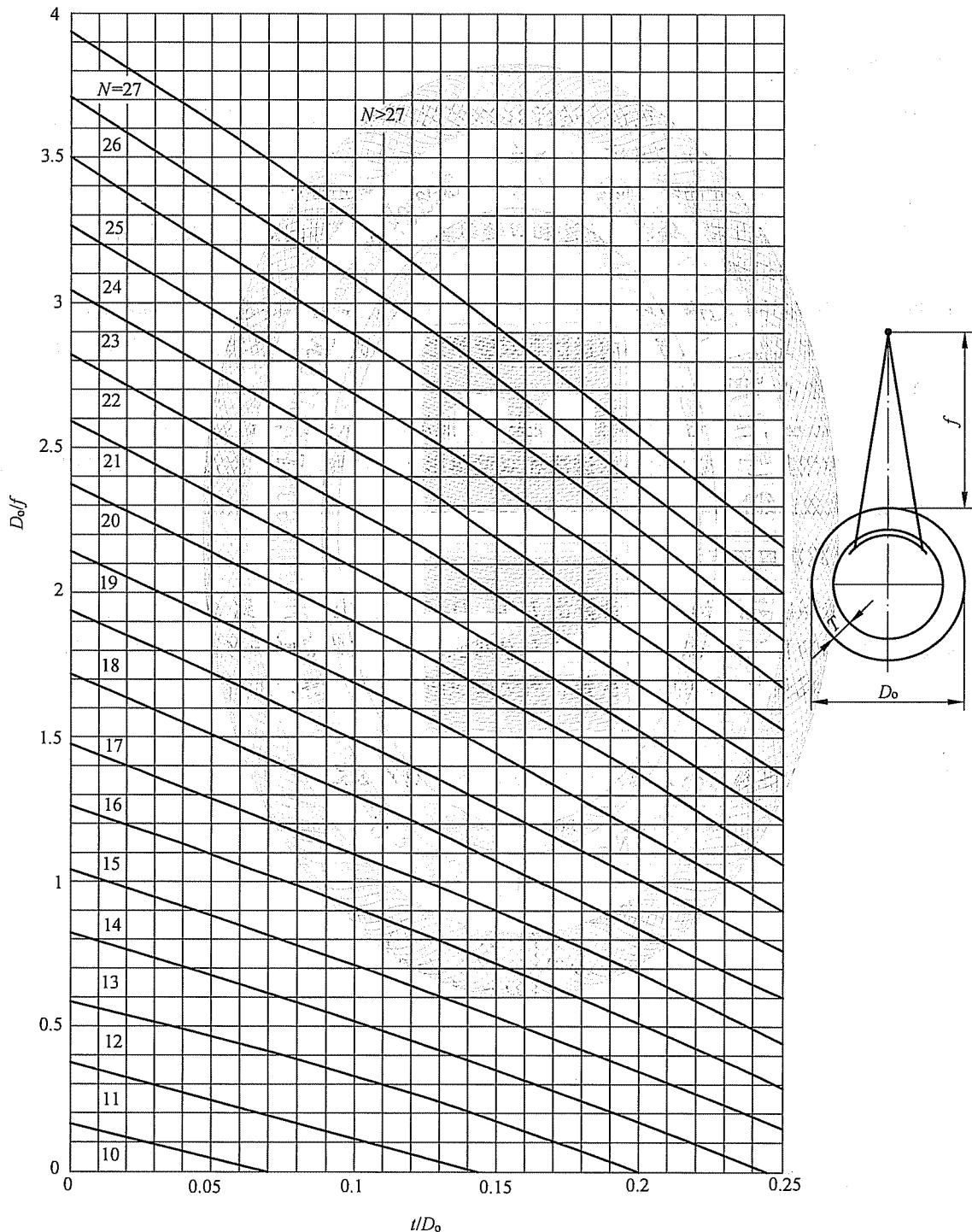
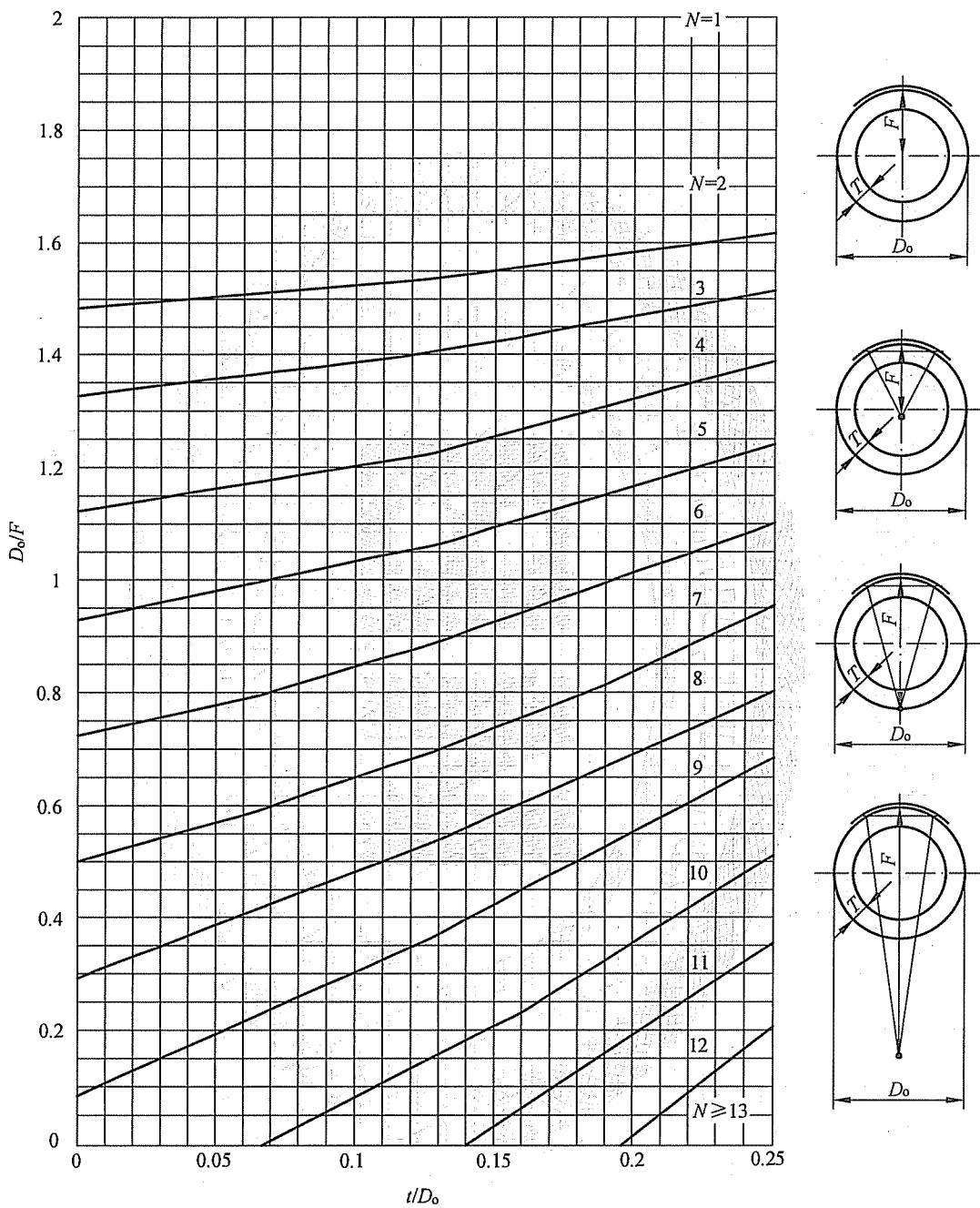


图 F.1 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 时的透照次数图

图 F.2 其他方式透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 时的透照次数

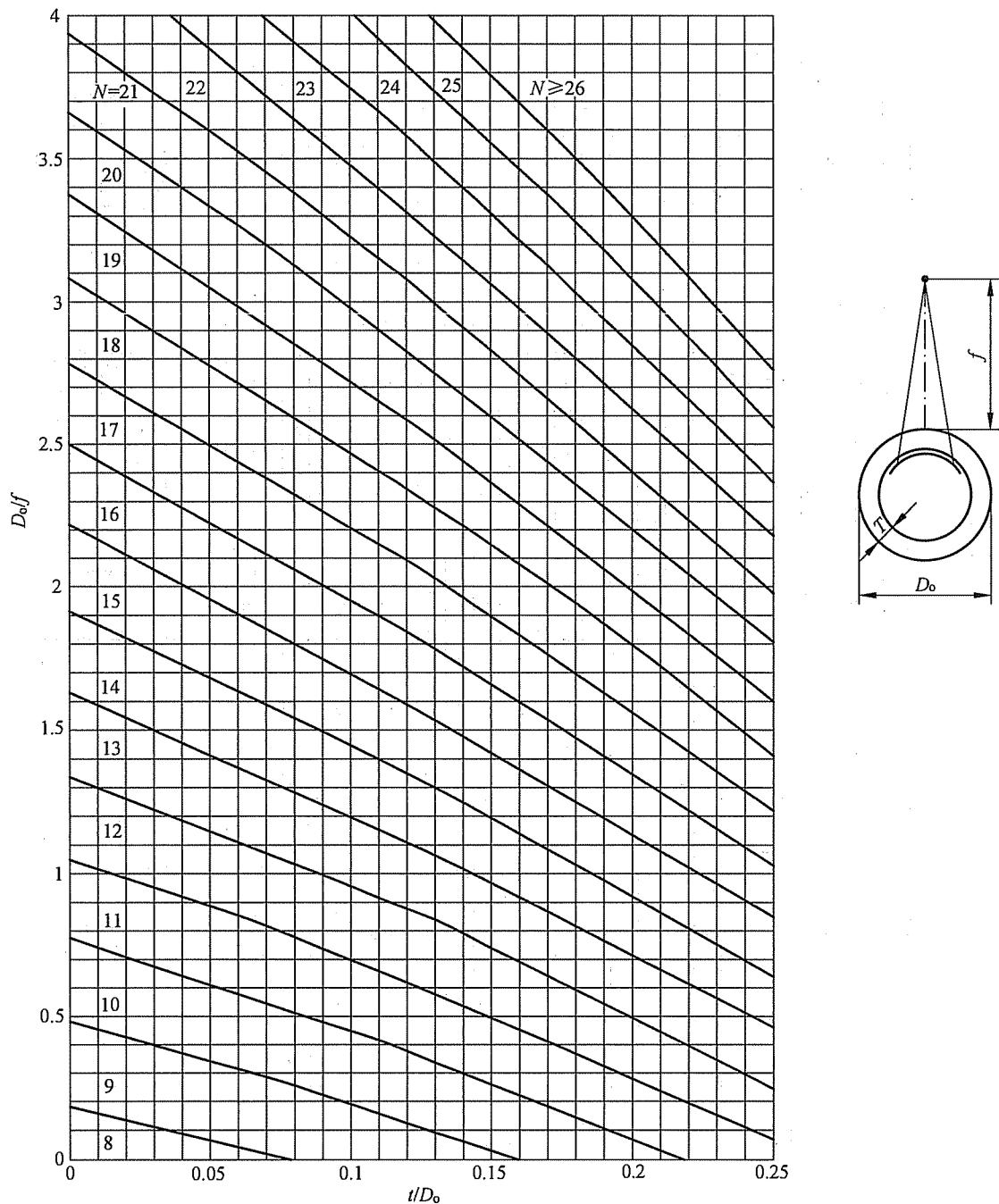
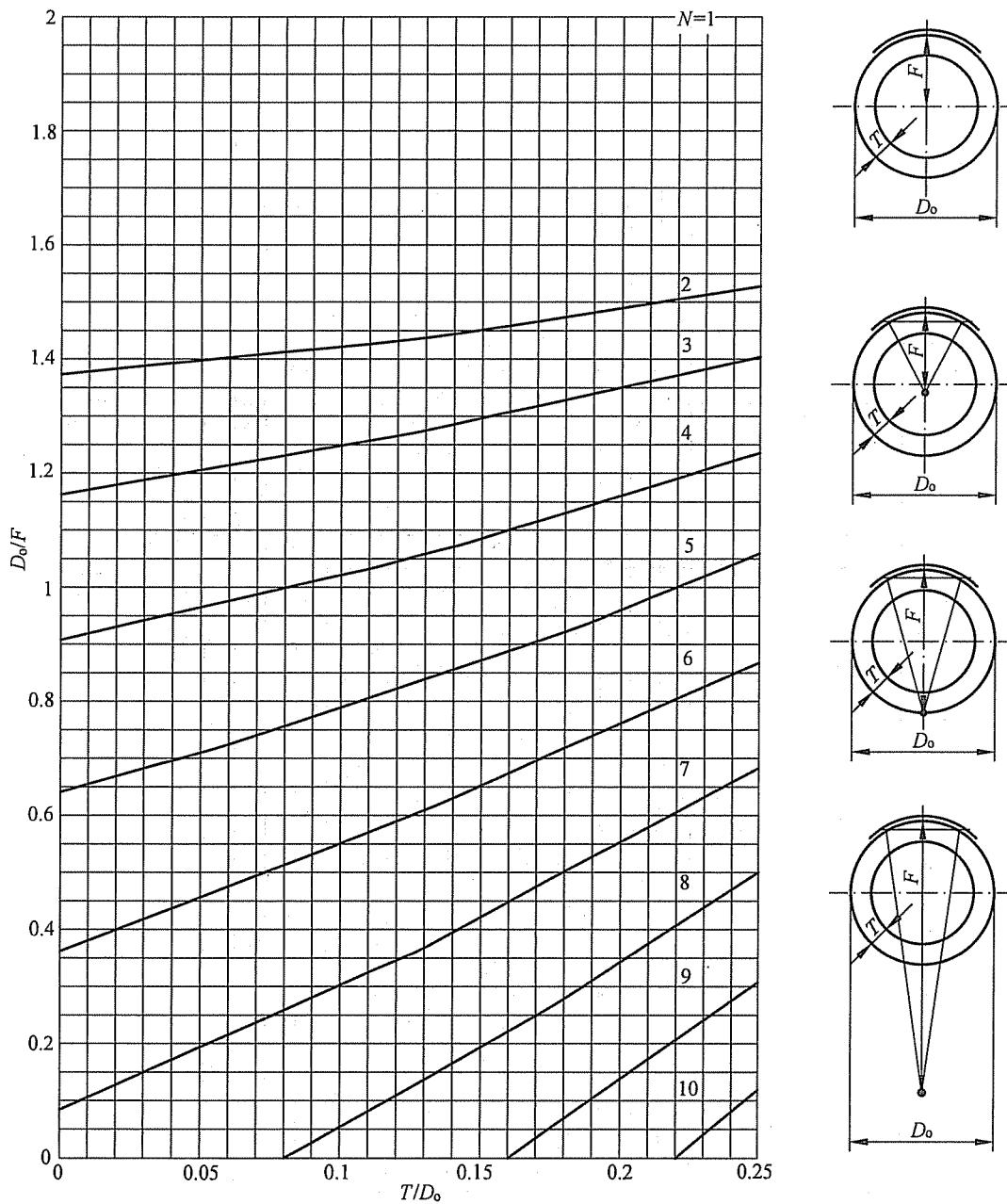


图 F.3 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 时的透照次数

图 F. 4 其他方式透照环向焊接接头, 透照厚度比 $K=1.1$ 时的透照次数

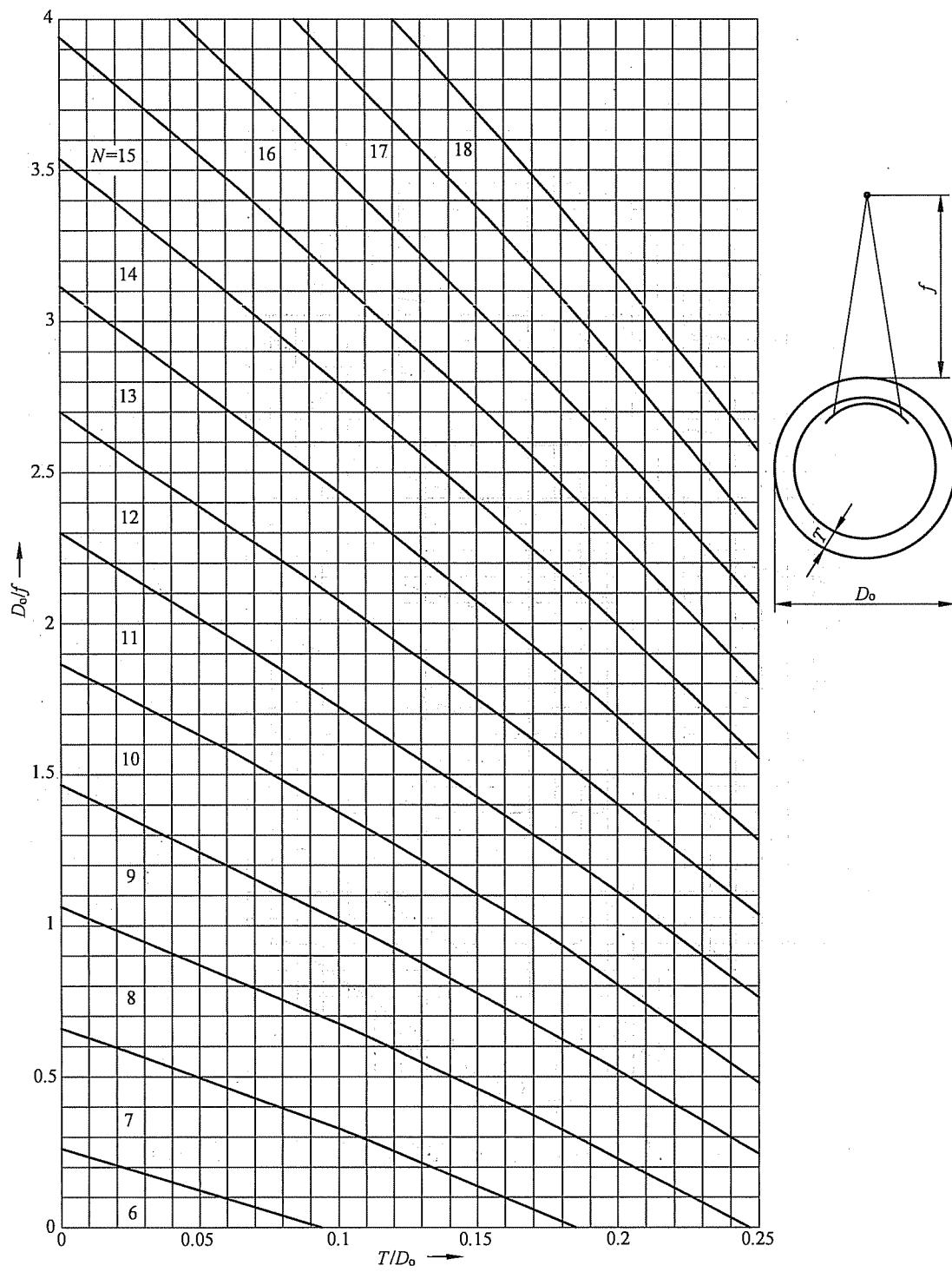
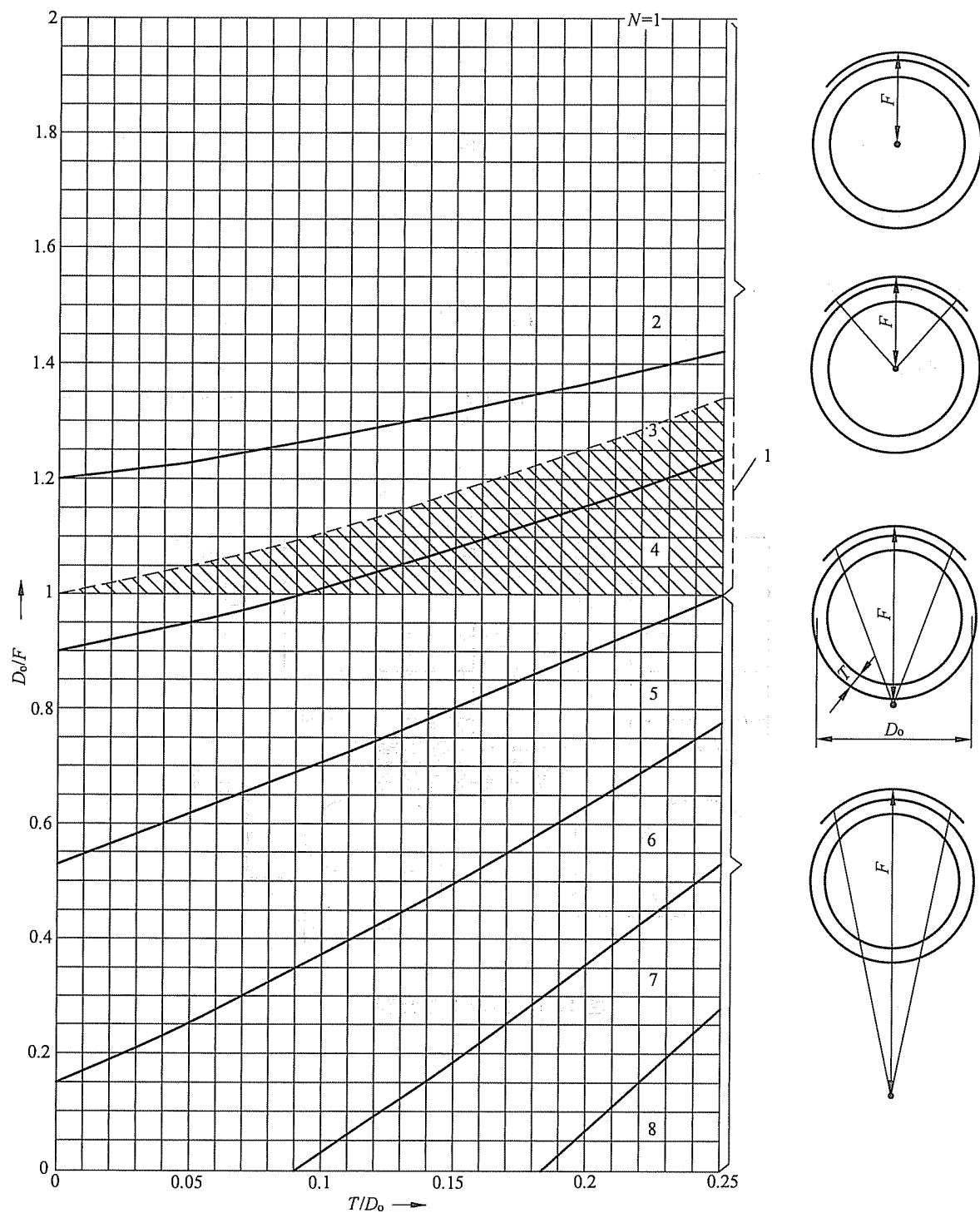


图 F.5 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 时的透照次数

图 F.6 其他方式透照环向焊接接头, 透照厚度比 $K=1.2$ 时的透照次数

附录 G (规范性附录) 焦点尺寸计算方法

射线源焦点形状按图 G.1 所示划分为正方形、长方形、圆形、椭圆形四类，其有效焦点尺寸 d 分别按式 (G.1) ~ (G.3) 计算。

正方形焦点：

$$d = a \quad \dots \dots \dots \quad (\text{G.1})$$

长方形、椭圆形焦点：

$$d = (a+b) / 2 \quad \dots \dots \dots \quad (\text{G.2})$$

圆形焦点：

$$d = d \quad \dots \dots \dots \quad (G.3)$$

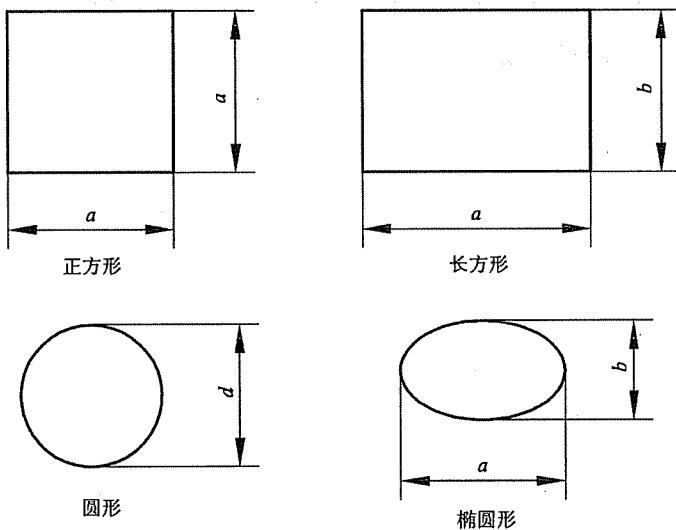


图 G.1 焦点形状分类

附录 H
(规范性附录)
几何不清晰度 (U_g) 计算方法

几何不清晰度 (U_g) 计算方法如下：

$$U_g = (d \times b) / f$$

或 $U_g = (d \times b) / (F - b)$

附录 I
(资料性附录)
滤光板

I.1 一般要求

- I.1.1 推荐在 γ 射线检测时使用滤光板。
- I.1.2 滤光板由一层铅板组成，放置于被检工件和装有胶片和增感屏的暗盒之间。
- I.1.3 滤光板的厚度分别为 0.5mm、1mm、1.5mm 和 2mm。
- I.1.4 建议在滤光板上的 1 个角钻孔作为标识，以便在其后发生疑问时从底片进行核查。
可在 0.5mm 厚的滤光板上钻 1 个直径为 2mm 的孔；1mm 厚的滤光板上钻 2 个直径为 2mm 的孔；1.5mm 厚的滤光板上钻 1 个直径为 3mm 的孔；2mm 厚的滤光板钻 2 个直径为 3mm 的孔。

I.2 滤光板厚度选择

滤光板厚度与透照厚度之间的关系见表 I.1。

表 I.1 滤光板的材料和厚度

透照厚度/mm	滤光板厚度(铅)/mm
$T \leq 40$	0.5
$40 < T \leq 60$	1
$60 < T \leq 80$	1.5 或 2 (用于碳素钢或低合金钢)、2 (其他钢)
$T > 80$	2

注：X 射线检测使用滤光板时，可参考表中的厚度或通过试验进行确定。

附录 J
(规范性附录)
定位标记的放置原则

J. 1 对接焊缝定位标记的摆放位置

对接焊缝的定位标记的摆放位置应符合图 J.1 ~ J.5 所示的规定。

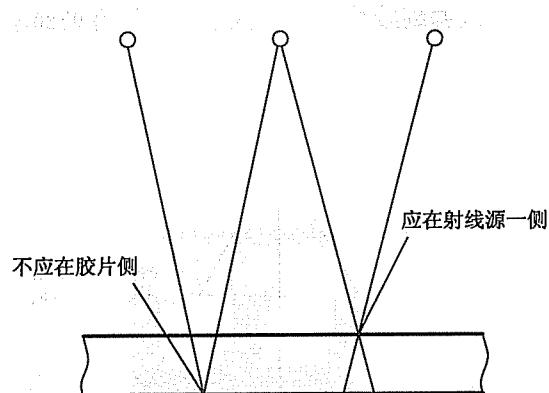


图 J. 1 平面工件或纵向焊接接头

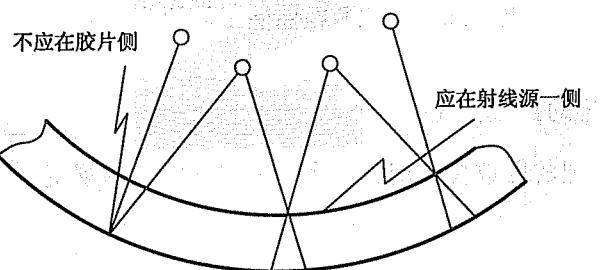


图 J. 2 射线源到胶片距离 F 小于曲面工件的曲率半径

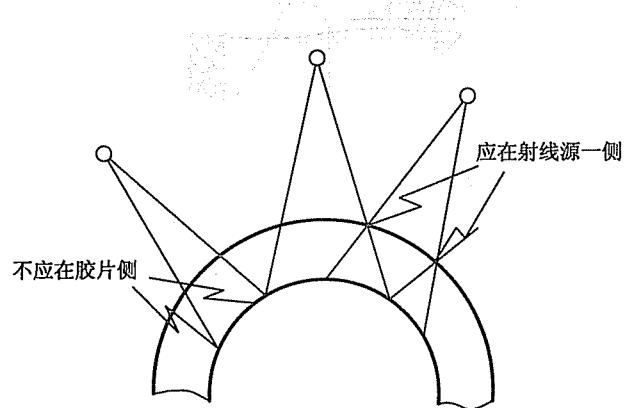


图 J. 3 凸面朝向射线源的曲面部件

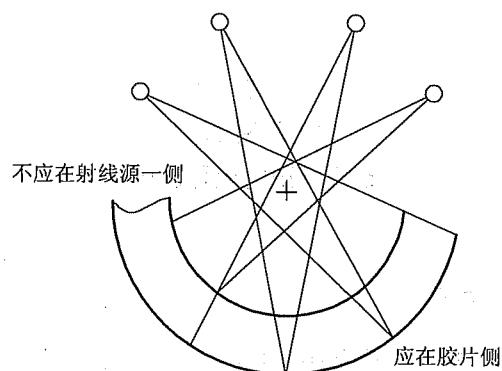


图 J.4 射线源到胶片距离 F 大于曲面工件的曲率半径

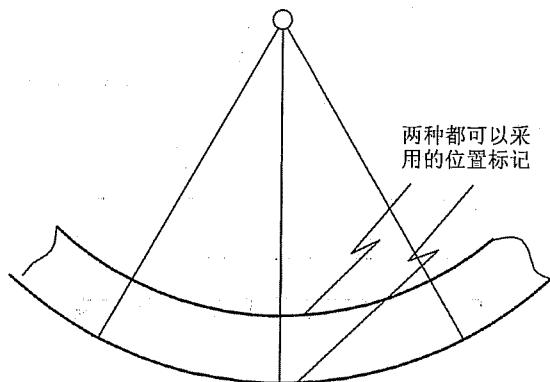


图 J.5 射线源在曲面工件的曲率中心

J.2 管座角焊缝定位标记的摆放位置

管座角焊缝的定位标记的摆放位置应符合图 J.6 ~ J.9 所示的规定。

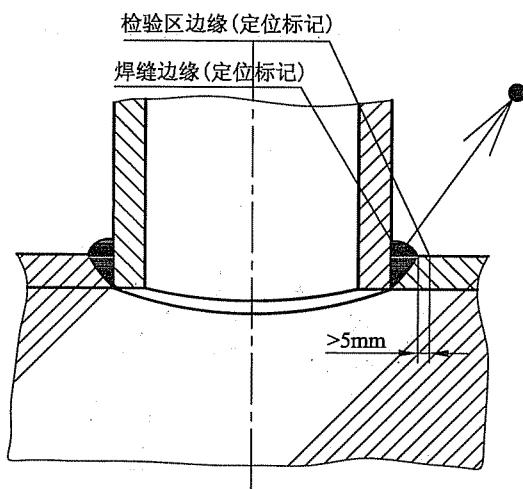


图 J.6 插入式管座角焊缝定位标记放置 (射线源在外)

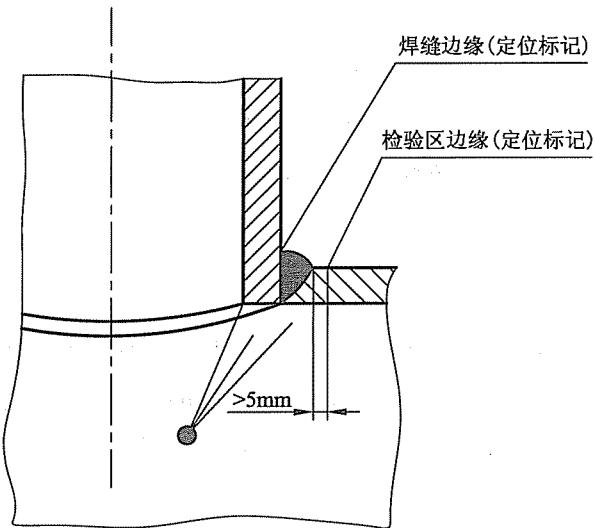


图 J.7 插入式管座角焊缝定位标记放置（射线源在内）

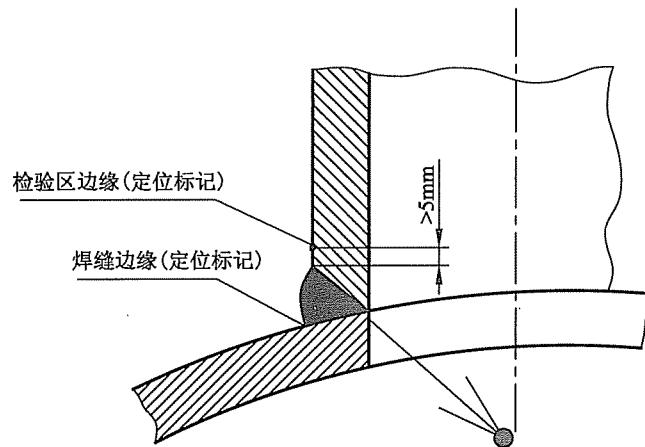


图 J.8 安放式管座角焊缝定位标记放置（射线源在内）

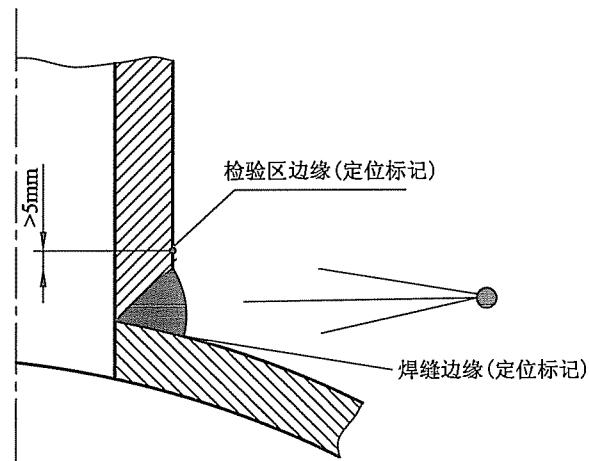


图 J.9 安放式管座角焊缝定位标记放置（射线源在外）

附录 K
(资料性附录)
底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法

K.1 底片硫代硫酸盐离子浓度测量方法

将未曝光的胶片(或产品底片未曝光的区域)经过与产品底片相同的暗室处理条件处理后,用胶片制造商推荐的专门用于测量底片硫代硫酸盐离子浓度的溶液进行化学浸蚀,浸蚀后所得到的图像,与胶片制造商提供的不同硫代硫酸盐离子浓度的典型图谱进行目视对比,据此评定硫代硫酸盐离子的含量。

K.2 底片硫代硫酸盐离子浓度测量过程

底片硫代硫酸盐离子浓度测量过程按照胶片供应商推荐的技术条件进行。

附录 L
(规范性附录)
对比试块的型式和规格

L. 1 对比试块

管焊缝对比试块分为 I 型（小径管环焊缝专用对比试块）和 II 型（通用槽型对比试块）两类。制作对比试块的材料应与被检工件的材料的射线吸收系数相同或相近。

L. 2 I 型对比试块的型式、规格和尺寸

I 型对比试块型式、规格和尺寸应符合图 L.1 的规定。

L. 3 II 型对比试块的型式、规格和尺寸

II 型对比试块的型式、规格和尺寸应符合图 L.2 和表 L.1 的规定。

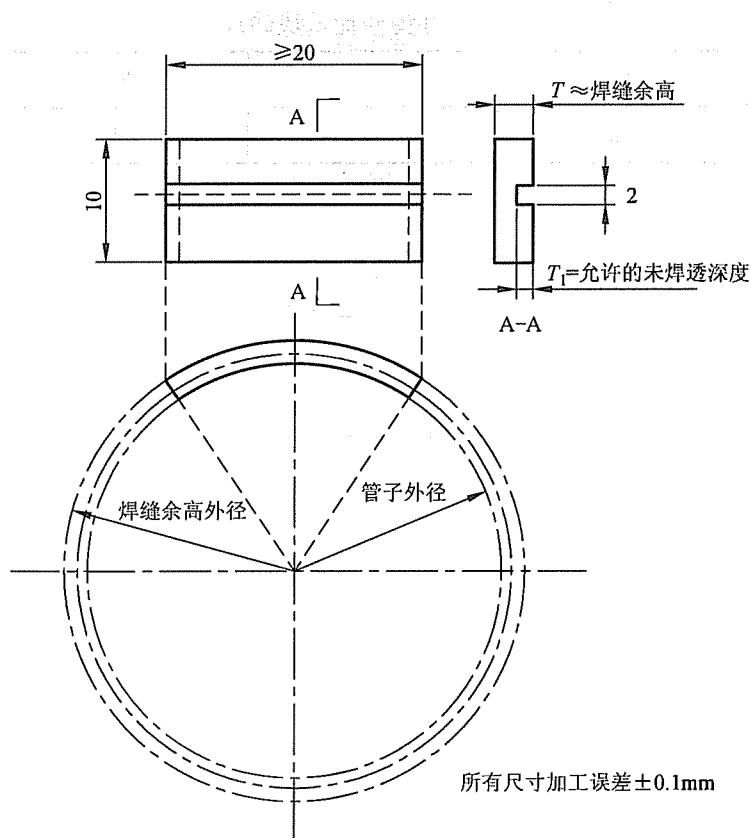


图 L. 1 I 型对比试块

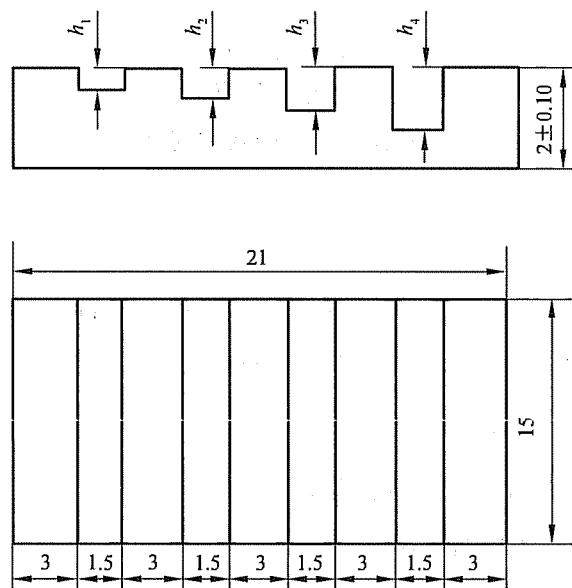


图 L. 2 II型对比试块

表 L. 1 II型对比试块的尺寸

单位为 mm

h_1	h_2	h_3	h_4	尺寸偏差
0.3	0.5	1.0	1.5	± 0.05