

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 541—2024
代替 DL/T 541—2014

钢熔化焊 T 形接头和角接接头焊缝 射线照相和质量分级

Methods of radiogram and classification of measuring results for T-joints
and fillet joints fusion welded in steel

2024-09-24 发布

2025-03-24 实施

国家能源局 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 总体要求	2
4.1 技术分级	2
4.2 检测人员	2
4.3 辐射防护	2
4.4 检测设备和器材	2
5 射线透照技术	3
5.1 射线透照布置方式	3
5.2 透照角度	5
5.3 一次透照长度	5
5.4 射线源—工件距离	5
5.5 透照工艺参数	5
5.6 背散射的屏蔽	5
6 影像质量	6
6.1 底片质量	6
6.2 图像质量	6
7 质量评定与分级	7
7.1 质量分级	7
7.2 评定厚度的确定	7
7.3 焊缝评级	7
8 射线检测报告及存档	9
附录 A (规范性) 像质计型式及规格	10
附录 B (规范性) 透照厚度的计算	14
附录 C (规范性) 最低像质计数值	15
附录 D (资料性) X 射线数字成像检测报告	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 DL/T 541—2014《钢熔化焊 T 形接头和角接接头焊缝射线照相和质量分级》，与 DL/T 541—2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 修改了标准适用的范围（见 2014 年版的第 1 章）；
- b) 增加和修改了术语和定义（修改了 2014 年版的 3.1，删除了 2014 年版的 3.3、3.4、3.5、3.6 和 3.7）；
- c) 修改了透照技术分级及具体描述（见 2014 年版的 4）；
- d) 修改了射线检测人员的要求（见 2014 年版的 5.1、5.2）；
- e) 修改了管电压和射线源、射线胶片系统和增感屏的内容（见 2014 年版的 7.3、7.4）；
- f) 增加了数字射线检测用的设备和器材（见 4.4）；
- g) 修改了散射线的控制，增加了数字射线成像检测时散射线的控制规定（见 2014 年版的 7.5）；
- h) 增加了数字图像处理、显示与存储的规定（见 6.2、8.3）；
- i) 修改了底片黑度的规定，增加了底片像质计灵敏度的规定（见 2014 年版的 7.9）；
- j) 增加了数字图像的评定条件、图像质量的规定（见 6.2）；
- k) 修改了质量分级的内容（见 2014 年版的 8.1）；
- l) 修改了附录 A 的内容，增加了双丝型像质计的规定（见 2014 年版的附录 A）；
- m) 修改了附录 C 的内容，增加了图像最大不清晰度的规定（见 2014 年版的附录 C）；
- n) 删除了《胶片系统的分类》（见 2014 年版的附录 D）；
- o) 增加了附录 D《X 射线数字成像检测报告》的内容（见附录 D）。

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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业电站焊接标准化技术委员会（DL/TC 18）归口。

本文件起草单位：国网电力工程研究院有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、云南电力试验研究院（集团）有限公司、国家能源集团科学技术研究院有限公司、北京国电电科院检测科技有限公司、中国长江三峡集团有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：王国俊、杨兴斌、罗宏建、吴章勤、于淑敏、董勇军、任旺、张浩、李涛、钟黎明、陈君平。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1994 年首次发布为 DL/T 541—1994，2014 年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

钢熔化焊 T 形接头和角接接头焊缝
射线照相和质量分级

1 范围

本文件规定了钢熔化焊 T 形接头和角接接头的射线透照技术、影像质量、质量评定与分级要求。

本文件适用于电力行业管道管座焊缝、钢结构中 T 形接头焊缝和角接接头焊缝，其他类似结构的焊缝也可使用。

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。

- GBZ 117 工业探伤放射防护标准
- GB/T 3323（全部） 焊缝无损检测 射线检测
- GB/T 3375 焊接术语
- GB/T 12604.2 无损检测 术语 射线照相检测
- GB 18871 电离辐射防护与辐射线源安全基本标准
- GB/T 19802 无损检测 工业射线照相观片灯 最低要求
- GB/T 23901（所有部分） 无损检测 射线照相检测图像质量
- 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 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第 1 部分：钢、镍、钛及其合金
- DL/T 675 电力工业无损检测人员资格考核规则
- 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：X 射线数字成像检测

3 术语和定义

GB/T 3323、GB/T 12604.2 和 GB/T 37910.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

透照厚度 penetrated thickness

w

按材料公称厚度确定的射线透照方向上的材料厚度。

3.2

探测器 ray detector

射线数字成像检测时使用的存储荧光成像板（IP 板）以及数字阵列探测器（DDA）。

3.3

透照厚度比 ratio of max and min penetrated thickness

K

一次透照长度范围内射线束穿过母材的最大厚度与最小厚度之比。

3.4 评定厚度 **evaluate thickness**
 T_e
用于缺陷评定的角焊缝的厚度。

4 总体要求

4.1 技术分级

射线检测技术分为两个等级：
——A 级：基本技术。
——B 级：优化技术。
A 级检验适用于承受动、静载荷焊接钢结构件；
B 级检验适用于承压管道管座焊缝或承受交变载荷、工况恶劣、破坏后可能引起重大事故的焊接钢结构件。
当 A 级灵敏度不能满足检测要求时，应采用 B 级技术。当使用更优的技术时，应规定全部检测参数。

4.2 检测人员

从事焊缝射线检测的人员，应按 DL/T 675 或各方商定的标准取得认可的等级证书。

4.3 辐射防护

射线检测的辐射防护应严格遵循 GBZ 117、GB 18871 及相关安全防护法规的规定。

4.4 检测设备和器材

4.4.1 射线源

应根据待检工件及现场工况选择合适的射线源。数字射线成像检测时，宜使用高频 X 射线机或脉冲 X 射线机。

4.4.2 标识及标记

焊缝的定位标记、射线底片及数字图像的识别标识、工件标记以及搭接标记应符合 GB/T 3323 的规定。

4.4.3 像质计

像质计的选择、使用及识别应遵循 GB/T 23901 及 GB/T 3323 的规定。像质计型式及规格应符合附录 A 的规定。

4.4.4 补偿块

4.4.4.1 补偿块的材料应与被补偿材料相同或相近。补偿块的长度应比一次透照长度长 20 mm 以上，宽度不宜小于 40 mm，也可根据待检工件的结构进行设计。
4.4.4.2 无斜楔补偿块的厚度应为焊脚尺寸的 0.5 倍~0.7 倍。放置时应与焊道平行，并使补偿块上边缘的影像距焊趾影像 2 mm~4 mm。
4.4.4.3 有斜楔补偿块放置在上表面时，其厚度宜与焊脚尺寸相等；放置在下表面与胶片间时，其

厚度应根据透照要求制作，也可以制作成三角形补偿块。斜楔补偿块的斜率应与被检焊缝表面相吻合。
4.4.4.4 补偿块的表面粗糙度 R_a 应不大于 12.5 μm 。
4.4.4.5 对于管道接管座焊缝等不方便使用补偿块的结构，可使用补偿泥等适当的材料进行厚度补偿。

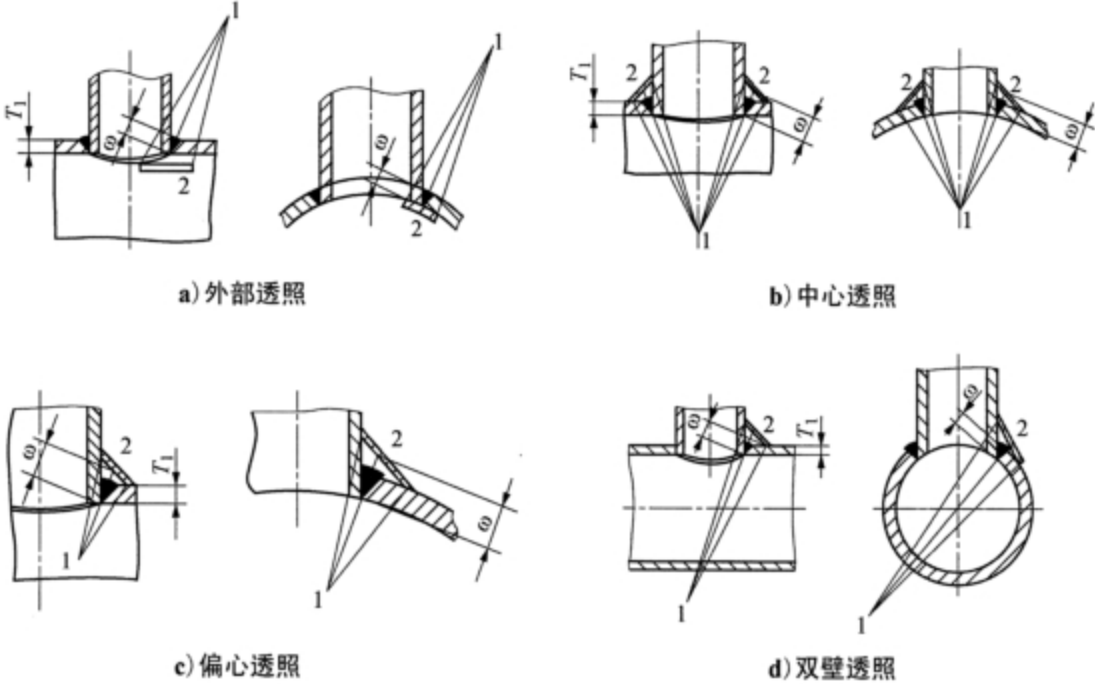
5 射线透照技术

5.1 射线透照布置方式

5.1.1 管座焊缝

5.1.1.1 插入式管座焊缝

插入式管座焊缝射线透照应按图 1 的方式布置。



说明：
1 ——射线源； 2 ——胶片或探测器；
 T_1 ——管壁厚度； ω ——透照厚度，透照厚度的计算参见附录 B。

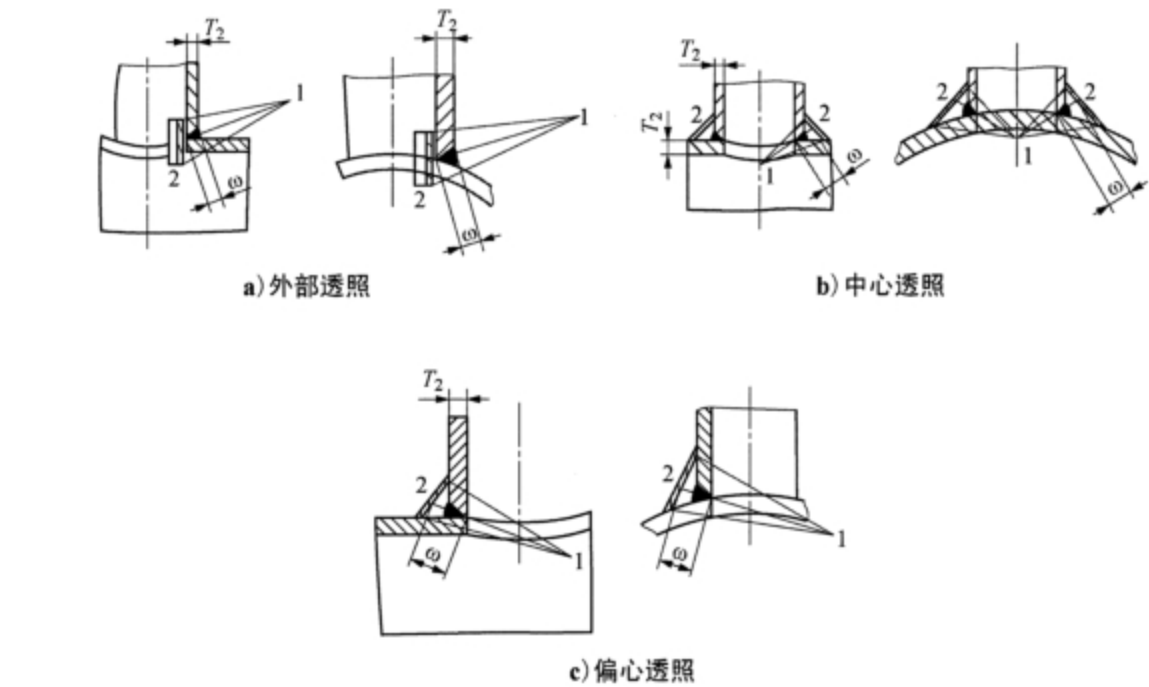
图 1 插入式管座焊缝射线透照布置图

5.1.1.2 骑座式管座焊缝

骑座式管座焊缝射线透照应按图 2 的方式布置。

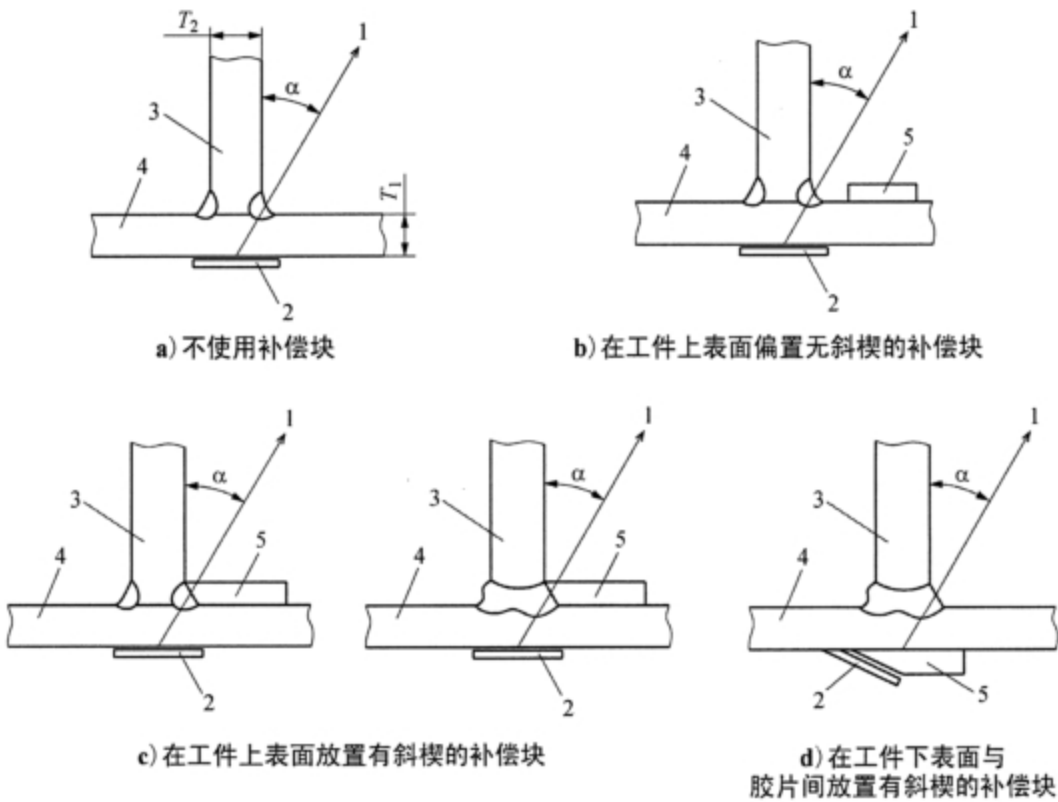
5.1.1.3 T 形接头焊缝

T 形接头焊缝射线透照应按图 3 的方式布置。



说明：
1 ——射线源；
2 ——胶片或探测器；
 T_2 ——管壁厚度；
 ω ——透照厚度。

图2 骑座式管座焊缝射线透照布置图

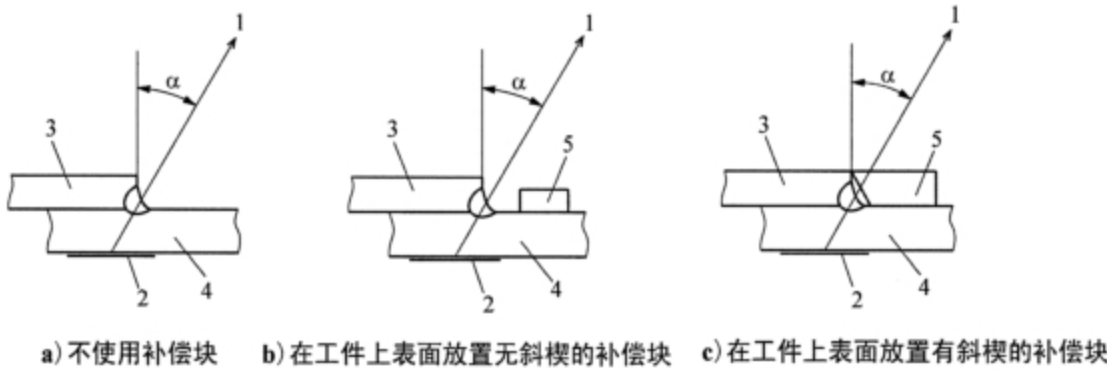


说明：
1 ——射线源；
2 ——胶片或探测器；
3 ——腹板；
4 ——翼板；
5 ——补偿块；
 α ——透照角度。

图3 T形接头焊缝射线透照布置图

5.1.1.4 搭接接头焊缝

搭接接头焊缝射线透照应按图4的方式布置。



说明：
1 ——射线源；
2 ——胶片或探测器；
3 ——上搭接板；
4 ——下搭接板；
5 ——补偿块；
 α ——透照角度。

图4 搭接接头焊缝透照布置图

5.2 透照角度

- 5.2.1 应根据试件几何尺寸、形状、坡口角度、穿透厚度差、缺陷种类以及透照技术条件等确定。
- 5.2.2 中心射线束与腹板面的夹角 α 宜为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。
- 5.2.3 T形接头中的K形、V形和U形坡口等熔透型焊缝的透照角度 α 宜为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。
- 5.2.4 搭接接头中心射线束与搭接板侧面的夹角 α 宜为 $0^\circ \sim 30^\circ$ 。
- 5.2.5 管座焊缝的透照角度 α 参照T形接头焊缝进行透照。

5.3 一次透照长度

- 5.3.1 以 K 值来控制一次透照长度，A级 K 值应不大于1.2，B级 K 值应不大于1.1。
- 5.3.2 工件被检区域应包括焊缝和热影响区，一般为焊缝两侧至少10 mm的母材区域。

5.4 射线源—工件距离

所选用的射线源至工件表面距离 f ，应使 fd 满足以下要求：

- A级： $fd \geq 7.5b^{2/3}$ ；
- B级： $fd \geq 15b^{2/3}$ 。

其中， d 为射线源的尺寸， b 为工件-胶片距离或工件-探测器距离， f 、 b 、 d 的单位均为毫米 (mm)。

5.5 透照工艺参数

- 5.5.1 射线能量、金属增感屏以及数字图像最小归一化信噪比应符合 GB/T 3323 的规定。
- 5.5.2 曝光量应符合 NB/T 47013.2 及 NB/T 47013.11 的规定。

5.6 背散射的屏蔽

- 5.6.1 应在每个暗袋或IP板暗盒后背贴上铅字B（高度不小于10 mm，厚度不小于1.5 mm）。若底片或数字图像上出现该标记的较亮影像（负片方式显示数字图像，标记影像灰皮值较低），表明背散射屏蔽不符合要求；反之，表明散射线屏蔽良好。

5.6.2 应在 IP 板暗盒后贴附至少 1 mm 厚的铅板或至少 1.5 mm 厚的锡板，同时将厚度约 0.5 mm 的钢屏或铜屏放置在铅防护屏与 IP 板暗盒之间，减少 X 射线荧光对数字图像的影响。

5.6.3 当采用超过 80 keV 的 X 射线检测时，在 IP 板暗盒后面不应放置铅防护屏。

6 影像质量

6.1 底片质量

6.1.1 评片条件

底片的评定应在光线较暗的室内进行，观片灯的亮度应可调，应有遮光板遮挡非评定区。观片灯应符合 GB/T 19802 的规定。观片灯的亮度应能保证底片透过光的亮度不低于 30 cd/m²。

6.1.2 底片黑度

选择的曝光条件，应使底片黑度满足以下要求：

——A 级：底片黑度： $D \geq 2.0$ ；

——B 级：底片黑度： $D \geq 2.3$ 。

经各方商定，A 级底片黑度可降为 1.5，B 级底片黑度可降为 2.0。

6.1.3 底片的像质计灵敏度

像质计置于射线源侧时，底片上能识别的最低像质计数值应符合附录 C 中表 C.1、表 C.2 的规定；像质计置于胶片侧时，底片上能识别的最低像质计数值符合附录 C 中表 C.3、表 C.4 的规定。

6.2 图像质量

6.2.1 评定条件

6.2.1.1 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。数字图像显示观察最低条件应满足：

a) 最低亮度：250 cd/m²；

b) 最少显示灰度级：256；

c) 最小可显示的亮度比：1:250；

d) 最少显示像素：106，像素尺寸小于 0.3 mm。

6.2.1.2 图像可通过正像或负像的方式显示。

6.2.1.3 对原始图像采用滤波等图像处理时，应经各方协商同意，并有相关文档记录。协商一致的情况下，可以使用锐化、连续帧叠加、伪彩色、反色、浮雕、极化、自动曝光等数码手段处理图像，或用缺陷自动识别软件，增强缺陷观察效果。

6.2.2 图像质量

6.2.2.1 应同时保证图像灵敏度和图像分辨率的要求。

6.2.2.2 测定图像质量的像质计应为丝型像质计和双丝型像质计。

6.2.2.3 线型像质计置于射线源侧时，影像上能识别的最低像质计数值符合附录 C 中表 C.1 的规定；线型像质计置于探测器侧时，影像上能识别的最低像质计数值符合附录 C 中表 C.3 的规定。

6.2.2.4 双丝型像质计所测定的图像空间分辨率值应符合附录 C 中表 C.5、表 C.6 的规定。

6.2.2.5 图像的灰度：

数字检测图像应采用灰度值来进行评估，具体规定如下：

——A 级影像的灰度值应控制在满量程的 20%~80%；

——B 级影像的灰度值应控制在满量程的 40%~80%。

7 质量评定与分级

7.1 质量分级

根据缺陷的性质、尺寸及数量，应将焊缝质量分为 I、II、III、IV 级。各级别不允许存在下列缺陷：

a) I 级焊缝：裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。

b) II 级焊缝：裂纹、未熔合和未焊透。

c) III 级焊缝：裂纹、未熔合、双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透。

d) IV 级焊缝：超过 III 级。

7.2 评定厚度的确定

评定厚度取值应符合下列要求：

a) 坡口焊缝取制备坡口的母材厚度。

b) 角焊缝的计算厚度应按 GB/T 3375 计算。

c) 坡口焊缝与角焊缝的组合焊缝，取制备坡口的母材厚度加角焊缝的计算厚度。

7.3 焊缝评级

7.3.1 圆形缺陷的评级

7.3.1.1 长宽比小于等于 3 的缺陷定义为圆形缺陷。可为圆形、椭圆形、锥形或不规则形状，包括气孔、夹渣或夹钨等。

7.3.1.2 圆形缺陷用评定区进行评定，评定区尺寸见表 1。评定区应选在缺陷最严重的部位。

表 1 缺陷评定区

评定厚度 T_0 mm	≤ 25	$> 25 \sim 100$	> 100
评定区尺寸 mm×mm	10×10	10×20	10×30

7.3.1.3 圆形缺陷评定时，应将缺陷尺寸按表 2 换算成点数。

表 2 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
点数	1	2	3	6	10	15	25

7.3.1.4 不计点数的缺陷尺寸见表 3。

表 3 不计点数的缺陷尺寸

评定厚度 mm	缺陷长径 mm
≤ 25	≤ 0.5

表 3（续）

评定厚度 mm	缺陷长径 mm
>25~50	≤0.7
>50	≤1.4%评定厚度

- 7.3.1.5 当缺陷与评定区边界相接时，应把它划入该评定区内计算点数。
- 7.3.1.6 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缝，经各方商定，各级别圆形缺陷可放宽 1 点~2 点。
- 7.3.1.7 致密性要求高的焊缝，经各方商定，可将圆形缺陷的黑度作为评级依据，对黑度大的圆形缺陷评定为Ⅳ级。
- 7.3.1.8 圆形缺陷的分级见表 4。

表 4 含有圆形缺陷的焊缝质量分级

评定区 mm		10×10			10×20		10×30
评定厚度 mm		≤10	>10~15	>15~25	>25~50	>50~100	>100
质量等级	I	1	2	3	4	5	6
	II	3	6	9	12	15	18
	III	6	12	18	24	30	36
	IV	缺陷点数大于Ⅲ级者					
注：表中的数字是允许缺陷点数的上限。							

- 7.3.1.9 圆形缺陷长径大于 1/2 评定厚度时，评为Ⅳ级。
- 7.3.1.10 I 级焊缝和评定厚度小于 5 mm 的Ⅱ级焊缝内不计点数的圆形缺陷，在评定区内应不多于 10 个。
- 7.3.2 条形缺陷评级
- 7.3.2.1 长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨定义为条形缺陷。
- 7.3.2.2 条形缺陷的分级见表 5。

表 5 含有条形缺陷的焊缝质量分级

质量等级	评定厚度 mm	单个条形缺陷长度 mm	条形缺陷总长 mm
II	≤12	4	在平行于焊缝轴线的任意直线上，相邻两缺陷间距均不超过 6L 的任何一组缺陷，其累计长度在 12 倍评定厚度焊缝长度内不超过评定厚度
	>12~60	1/3 评定厚度	
	≥60	20	
III	≤9	6	在平行于焊缝轴线的任意直线上，相邻两缺陷间距均不超过 3L 的任何一组缺陷，其累计长度在 6 倍评定厚度焊缝长度内不超过评定厚度
	>9~45	2/3 评定厚度	
	≥45	30	
IV	大于III级者		
注：L 为该组缺陷中最长者的长度。			

7.3.3 未焊透的焊缝质量分级

- 7.3.3.1 不加垫板的单面焊中未焊透的允许长度，应按表 5 条形缺陷的Ⅲ级评定。
- 7.3.3.2 部分熔透焊缝，宽度超过规定值的未焊透评为Ⅳ级。

7.3.4 综合评级

在评定区域内同时存在点状缺陷、条状缺陷或根部未焊透时，应各自评级，将级别之和减 1 作为最终级别。

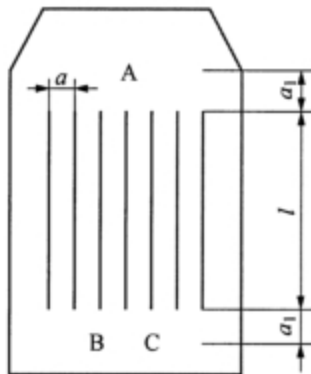
8 射线检测报告及存档

- 8.1 射线照相检验后，应对检验结果及有关事项进行详细记录，并填写检测报告。报告主要内容应包括产品名称、检验部位、检验条件、透照规范、缺陷情况、评定等级、返修情况、检验人员及其资格等级和透照日期等。X 射线数字成像检测报告格式参见附录 D。
- 8.2 底片和图像评定、检测报告的签发应是持射线检测资格Ⅱ级证及以上的检测人员。
- 8.3 底片、图像以及经有关部门、有关人员签字的检测记录和检测报告应按照相关档案管理规定存档且妥善保存不少于 7 年。

附录 A
(规范性)
像质计型式及规格

A.1 线型像质计

线型像质计的规格和技术要求应满足 GB/T 23901.1 的要求，其型式见图 A.1。



说明：
A ——标准编号：DL/T 541—2024；
B ——级别编号：W1、W6、W10、W13；
C ——材质代号：FE；
a ——金属丝间距，单位为毫米（mm）；
l ——金属丝长度，单位为毫米（mm）；
a₁ ——与标志间距，单位为毫米（mm）。

图 A.1 线型像质计

线型像质计由相同材料和长度的不同直径金属丝组成，以七根编号相连的金属丝为一组，共分 W1～W7、W6～W12、W10～W16、W13～W19 四组。其组别和规格见表 A.1。

线型像质计的表述方式中应包括：像质计缩写 IQI，标准编号 DL/T 541—2024，该组像质计最粗和最细的编号与材质代号及丝长。

示例：
IQI DL/T 541-XXXX-W10/W16 FE-25。

表 A.1 线型像质计的组别和规格

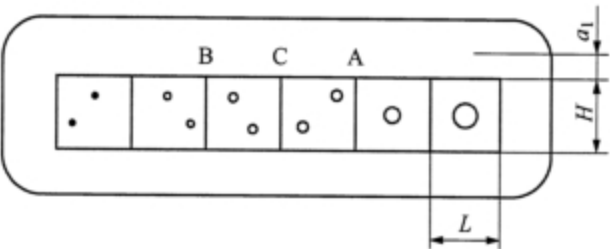
像质计组别				像质计数值			金属丝间距 a mm	金属丝长度 l mm	与标志间 a_1 mm
W1	W6	W10	W13	丝号	丝径 mm	允许偏差 mm			
√				W1	3.20	±0.03	9.6 ⁺¹ ₀	25 或 50	5.0 ⁺¹ ₀
√				W2	2.50		7.5 ⁺¹ ₀		
√				W3	2.00		6.0 ⁺¹ ₀		
√				W4	1.60	±0.02	5.0 ⁺¹ ₀		
√				W5	1.25				
√	√			W6	1.00				

表 A.1 (续)

像质计组别				像质计数值			金属丝间距 a mm	金属丝长度 l mm	与标志间 a_1 mm
W1	W6	W10	W13	丝号	丝径 mm	允许偏差 mm			
√	√			W7	0.80	±0.02	5.0 ⁺¹ ₀	25 或 50	5.0 ⁺¹ ₀
	√			W8	0.63				
	√			W9	0.50	±0.01			
	√	√		W10	0.40				
	√	√		W11	0.32				
	√	√		W12	0.25				
		√	√	W13	0.20				
		√	√	W14	0.16				
		√	√	W15	0.125	±0.005			
		√	√	W16	0.100				
			√	W17	0.080				
			√	W18	0.063				
			√	W19	0.050				

A.2 阶梯孔型像质计

阶梯孔型像质计的规格和技术要求应满足 GB/T 23901.2 标准，其型式见图 A.2。



说明：
A ——标准号：DL/T 541—2024；
B ——级别代号：H1、H5、H9、H13；
C ——材质代号：FE；
H ——阶梯厚度，单位为毫米（mm），H1、H5、H9 时 *H*=10 mm，H13 时 *H*=15 mm；
L ——阶梯长度，单位为毫米（mm），H1 时 *L*=5 mm，H5 和 H9 时 *L*=7 mm，H13 时 *L*=15 mm；
a₁ ——与标志间距，单位为毫米（mm）。

图 A.2 阶梯孔型像质计

阶梯孔型像质计由不同厚度的阶梯组成，以六个编号相连阶梯孔为一组，共分 H1～H6；H5～H10；H9～H14；H13～H18 四组。其组别和规格见表 A.2。

厚度小于 0.8 mm 的阶梯上应有两个相同直径的孔；厚度大于等于 0.8 mm 的阶梯上应有一个孔。孔中心到阶梯边缘或阶梯上另一孔边缘间的距离不小于孔径加 1.0 mm，孔应与阶梯表面相垂直。

阶梯孔像质计的表述方式中应包括：像质计缩写 IQI、标准编号 DL/T 541、该组像质计最小和最大阶梯孔的编号和材质代号。

示例：
IQI DL/T 541 H5/H10 FE

表 A.2 阶梯孔型像质计的组别和规格

像质计级别				像质计数值			阶梯宽度 H mm	阶梯长 L mm	与标志间 a_1 mm
H1	H5	H9	H13	孔号	孔径和阶梯厚度 mm	允许偏差 mm			
√				H1	0.125	+0.015 0	10、15	3、7、15	5.0 ⁺¹ ₀
√				H2	0.160				
√				H3	0.200				
√				H4	0.250				
√	√			H5	0.320				
√	√			H6	0.400				
	√			H7	0.500				
	√			H8	0.630	+0.020 0			
	√	√		H9	0.800				
	√	√		H10	1.000				
		√		H11	1.250	+0.025 0			
		√		H12	1.600				
		√	√	H13	2.000				
		√	√	H14	2.500				
			√	H15	3.200	+0.030 0			
			√	H16	4.000				
			√	H17	5.000				
			√	H18	6.300	+0.036 0			

A.3 双丝型像质计

标准双丝型像质计应由放置于硬性透明塑料固定的 13 组金属线对组成，每组线对包含一对圆形截面的金属丝。其中 D1~D3 线对的材料是钨，其他线对的材料均是铂。其组别和规格见表 A.3。

表 A.3 线对编号、对应总不清晰度、空间分辨率、线对值和丝径及其公差^a

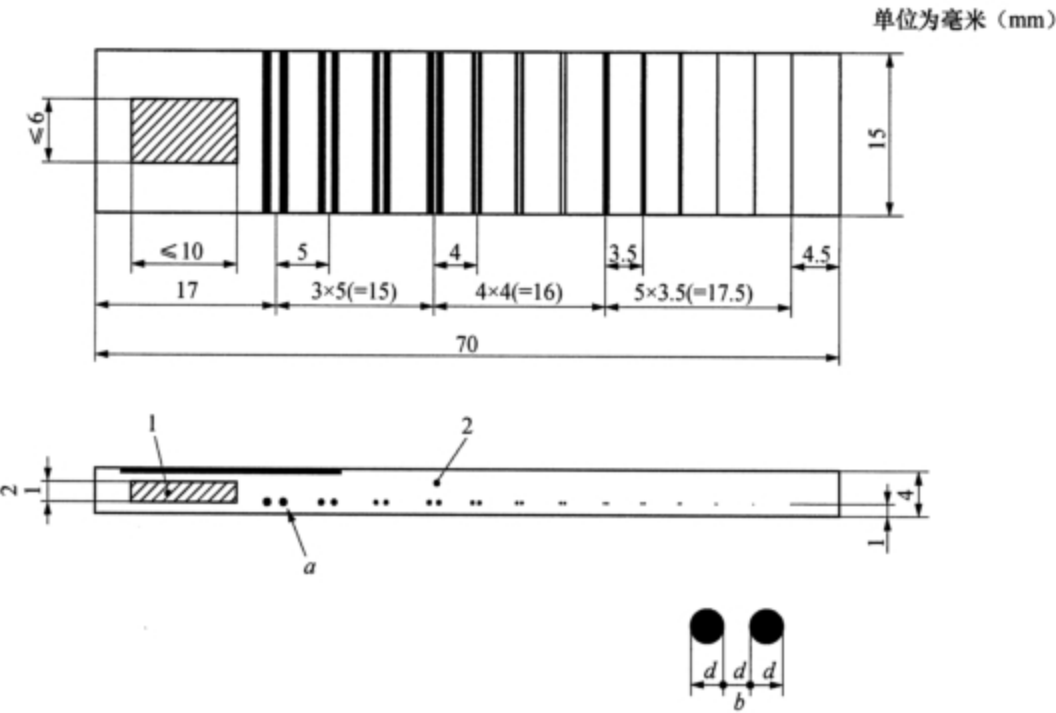
丝材料	线对编号	对应不清晰度值 <i>U_T</i> mm	对应空间分辨率 ^b <i>SR_b</i> mm	对应线对值 <i>L_p</i> mm	丝径和间距 <i>d</i> mm	丝径和间距的 极限偏差 mm
Pt ^c	D13	0.10	0.050	10.0	0.050	±0.005
Pt	D12	0.13	0.063	7.94	0.063	
Pt	D11	0.16	0.080	6.25	0.080	
Pt	D10	0.20	0.100	5.00	0.100	

表 A.3 (续)

丝材料	线对编号	对应不清晰度值 <i>U_T</i> mm	对应空间分辨率 ^b <i>SR_b</i> mm	对应线对值 <i>L_p</i> mm	丝径和间距 <i>d</i> mm	丝径和间距的 极限偏差 mm
Pt	D9	0.26	0.130	3.85	0.130	±0.005
Pt	D8	0.32	0.160	3.13	0.16	±0.01
Pt	D7	0.40	0.200	2.50	0.20	
Pt	D6	0.50	0.250	2.00	0.25	
Pt	D5	0.64	0.320	1.56	0.32	
Pt	D4	0.80	0.400	1.25	0.40	
W ^d	D3	1.00	0.500	1.00	0.50	±0.02
W	D2	1.26	0.630	0.79	0.63	
W	D1	1.60	0.800	0.63	0.80	

^a 所有不清晰值均四舍五入到小数点后两位数字。
^b *SR_b* 值单位为微米 (μm)，则表中以毫米 (mm) 为单位的值乘以 1000。
^c Pt 是铂。
^d W 是钨。

双丝型像质计的规格和技术要求应符合 GB/T 23901.5 的规定，其型式见图 A.3。



说明：
1——识别标记 (GB/T 23901.5)；
2——支撑固定硬质塑料；
d——丝径 (等于线对间距)；
a——金属丝，其直径 *d* 等于线对间距；
b——单组线对的放大图。

图 A.3 双丝型像质计

附录 B
(规范性)
透照厚度的计算

B.1 T形接头中 I 形坡口焊缝与搭接接头的填焊缝的透照厚度计算。
无补偿块的直接透照方式见图 3 a) 和图 4 a)，穿透厚度计算方法如下：

$$\omega = [T_1 + (0.5 \sim 0.7)h_f] / \cos \alpha \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 T_1 ——T 形接头翼板厚度或搭接接头的下搭接板厚度，单位为毫米 (mm)；
 h_f ——焊脚尺寸，单位为毫米 (mm)；
 α ——射线透照角度。
有补偿块的透照方式，见图 3 b)、图 3 c) 及图 4 b)、图 4 c)，穿透厚度计算方法如下：

$$\omega = (T_1 + T_3) / \cos \alpha \dots\dots\dots (2)$$

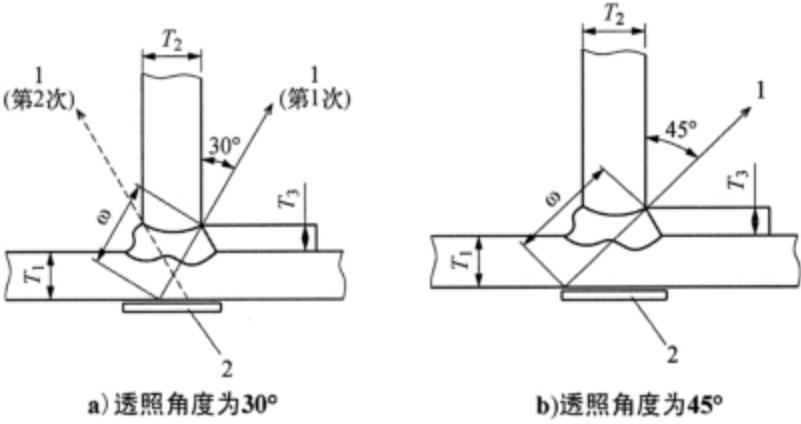
式中：
 T_3 ——补偿块厚度，单位为毫米 (mm)。

B.2 T 形接头中 K 形坡口、V 形坡口或 U 形坡口等熔透型焊缝的穿透厚度计算。
当射线透照角度为 30°时，见图 B.1 a)。

$$\omega = 1.1(T_1 + T_2) \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 T_2 ——腹板厚度，单位为毫米 (mm)。
当射线透照角度为 45°时，见图 B.1 b)。

$$\omega = 1.4(T_1 + T_2) \dots\dots\dots (4)$$



说明：
1——射线源；
2——胶片。

图 B.1 T 形接头熔透型焊缝穿透厚度计算

B.3 管道接管座焊缝的穿透厚度计算，按接座型式不同，参照上面几种方式进行计算。

附录 C
(规范性)
最低像质计数值

C.1 像质计置于射线源侧时，底片上能识别的最低像质计数值见表 C.1、表 C.2。

表 C.1 线型像质计

应识别的丝号	应识别的丝径 mm	穿透厚度 mm	
		A 级	B 级
W19	0.050	—	≤1.5
W18	0.063	≤1.2	>1.5~2.5
W17	0.080	>1.2~2.0	>2.5~4.0
W16	0.100	>2.0~3.5	>4.0~6.0
W15	0.125	>3.5~5.0	>6.0~8.0
W14	0.16	>5.0~7.0	>8.0~15
W13	0.20	>7.0~12	>15~25
W12	0.25	>12~18	>25~38
W11	0.32	>18~30	>38~45
W10	0.40	>30~40	>45~55
W9	0.50	>40~50	>55~70
W8	0.63	>50~60	>70~100
W7	0.80	>60~85	>100~170
W6	1.00	>85~120	>170~250
W5	1.25	>120~220	>250
W4	1.60	>220~380	—
W3	2.00	>380	—

表 C.2 阶梯孔型像质计

应识别的孔号	应识别的孔径 mm	穿透厚度 mm	
		A 级	B 级
H2	0.16	—	≤1.0
H3	0.20	≤1.0	>1.0~2.5
H4	0.25	>1.0~2.0	>2.5~4.0
H5	0.32	>2.0~3.5	>4.0~6.0
H6	0.40	>3.5~5.5	>6.0~11
H7	0.50	>5.5~10	>11~20
H8	0.63	>10~19	>20~35
H9	0.80	>19~35	—

C.2 像质计置于胶片侧时，底片上能识别的最低像质计数值见表 C.3、表 C.4。

表 C.3 线型像质计

应识别的丝号	应识别的丝径 mm	穿透厚度 mm	
		A 级	B 级
W19	0.050	—	≤1.5
W18	0.063	≤1.2	>1.5~2.5
W17	0.080	>1.2~2.0	>2.5~4.0
W16	0.100	>2.0~3.5	>4.0~6.0
W15	0.125	>3.5~5.0	>6.0~12
W14	0.16	>5.0~10	>12~18
W13	0.20	>10~15	>18~30
W12	0.25	>15~22	>30~45
W11	0.32	>22~38	>45~55
W10	0.40	>38~48	>55~70
W9	0.50	>48~60	>70~100
W8	0.63	>60~85	>100~180
W7	0.80	>85~125	>180~300
W6	1.00	>125~225	>170~250
W5	1.25	>225~375	>300
W4	1.60	>375	—

表 C.4 阶梯孔型像质计

应识别的孔号	应识别的孔径 mm	穿透厚度 mm	
		A 级	B 级
H2	0.16	—	≤2.5
H3	0.20	≤2.0	>2.5~5.5
H4	0.25	>2.0~5.0	>5.5~9.5
H5	0.32	>5.0~9.0	>9.5~15
H6	0.40	>9.0~14	>15~24
H7	0.50	>14~22	>24~40
H8	0.63	>22~36	>40~60
H9	0.80	>36~50	>60~80
H10	1.00	>50~80	—

C.3 允许的图像最大不清晰度见表 C.5 和表 C.6。

表 C.5 A 级技术允许的图像最大不清晰度

A 级：双丝型像质计（GB/T 23901.5）		
透照厚度 ω^a mm	识别最小线对值和最大不清晰度 （GB/T 23901.5） ^b mm	最大图像空间分辨率（等效丝径和间距） ^b SR_b^{image} mm
$\omega \leq 1.0$	D13 0.10	0.05
$1.0 < \omega \leq 1.5$	D12 0.125	0.063
$1.5 < \omega \leq 2.0$	D11 0.16	0.08
$2.0 < \omega \leq 5.0$	D10 0.20	0.10
$5.0 < \omega \leq 10$	D9 0.26	0.13
$10 < \omega \leq 25$	D8 0.32	0.16
$25 < \omega \leq 55$	D7 0.40	0.20
$55 < \omega \leq 150$	D6 0.50	0.25
$150 < \omega \leq 250$	D5 0.64	0.32
$\omega > 250$	D4 0.80	0.40
^a 对于双壁单影透照技术，应用公称厚度 t 替代透照厚度 ω 。 ^b 采用直接接触数字射线检测时，双丝型像质计最小线对识别方法按 GB/T 3323.2 执行。当采用几何放大透照技术时，可通过比对测试试验确定可识别的双丝型像质计最小线对值。		

表 C.6 B 级技术允许的图像最大不清晰度

B 级：双丝型像质计（GB/T 23901.5）		
透照厚度 ω^a mm	识别最小线对值和最大不清晰度 （GB/T 23901.5） ^b mm	最大图像空间分辨率（等效丝径和间距） ^b SR_b^{image} mm
$\omega \leq 1.5$	D13 + 0.08	0.04
$1.5 < \omega \leq 4.0$	D13 0.10	0.05
$4.0 < \omega \leq 8.0$	D12 0.125	0.063
$8.0 < \omega \leq 12$	D11 0.16	0.08
$12 < \omega \leq 40$	D10 0.20	0.10
$40 < \omega \leq 120$	D9 0.26	0.13
$120 < \omega \leq 200$	D8 0.32	0.16

表 C.6（续）

B 级：双丝型像质计（GB/T 23901.5）		
透照厚度 ω^a mm	识别最小线对值和最大不清晰度 （GB/T 23901.5） ^b mm	最大图像空间分辨率（等效丝径和间距） ^b SR_b^{image} mm
$\omega > 200$	D7 0.40	0.20
^a 对于双壁单影透照技术，应用公称厚度 t 替代透照厚度 ω 。 ^b 采用直接接触数字射线检测时，双丝型像质计最小线对识别方法按 GB/T 3323.2 执行。当采用几何放大透照技术时，可通过比对测试试验确定可识别的双丝型像质计最小线对值。		
注：D13+是指获得的双丝型像质计图像中 D13 线对所显示的调制传递函数曲线上的调制度值远大于 20%。		

附 录 D
（资料性）
X 射线数字成像检测报告

委托单位						
项目名称						
热处理状态		原始记录编号				
部件名称		产品类型				
编 号		规 格				
执行标准		材 质				
检测比例		检测时机				
质量等级		验收等级				
焊接方法		焊缝长度				
部件编号		透照日期				
成像条件	射线机设备型号：		探测器类型：			
	焦点尺寸： mm		像素尺寸：			
	焦距： mm		探测器规格： mm			
	管电压： kV		滤波板：			
	管电流： mA		线型像质计型号：			
	曝光时间： s		双线型像质计型号：			
	透照方式：		像质指数： W / D			
	放大倍数：		灰度值：			
	图像存储格式：		信噪比：			
软件处理方式和条件						
成像数量	总计：__幅，其中：一次返修__幅，二次返修__幅，三次返修__幅					
评定结果	I 级__幅，II 级__幅，III级__幅，IV级__幅					
射线检测结果						
检验编号	标记编号	缺陷类型	缺陷尺寸（mm）	评定结果		
检测结果及说明：						
检验/级别：		年 月 日	审核/级别：	年 月 日		

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
钢熔化焊 T 形接头和角接接头焊缝
射线照相和质量分级

DL/T 541—2024
代替 DL/T 541—2014

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京世纪东方数印科技有限公司印刷

*

2025 年 3 月第一版 2025 年 3 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.5 印张 45 千字

*

统一书号 155198 • 6655 定价 32.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



中国电力百科网网址



电力标准信息微信

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息



155198.6655