



射线检测

第四章 射线透照工艺



4.6 射线透照技术和工艺研究

- ✓ 大厚度比试件的透照技术
- ✓ 小径管的透照技术与工艺

4.6.1 大厚度比试件的透照技术



- **试件厚度比 (K_s)** 可定义为：一次透照范围内试件的最大厚度与最小厚度之比，
- 当 $K_s > 1.4$ 时，可以仍为属于大厚度比试件；
- 如：余高较高的薄板对接焊缝、小口径管、角焊缝、形状复杂的机械零件。

不利因素：

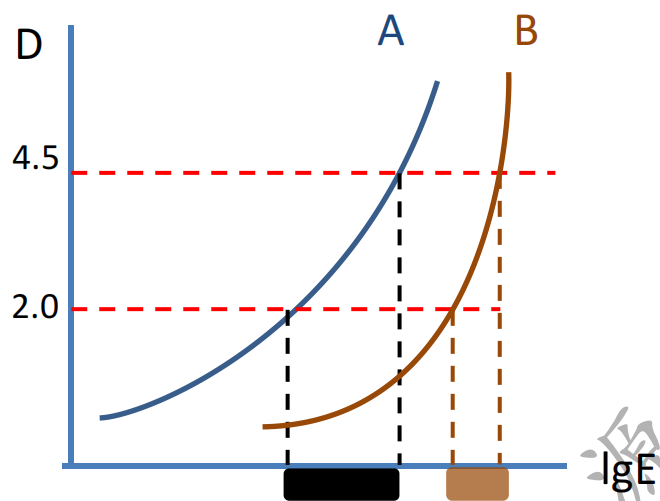
1. 因厚度差较大，导致底片黑度差较大，而底片黑度过低或过高，影响照相灵敏度；
2. 因厚度变化导致散射比增大，产生边蚀效应。

技术措施：

1. 适当提高管电压技术
2. 双胶片技术
3. 补偿技术

4.6.1 大厚度比试件的透照技术

- **黑度宽容度**：胶片有效黑度范围相对应的曝光量范围；
- 梯度大的胶片黑度宽容度必然小。



- **厚度宽容度**：一定的透照工艺条件下，有效黑度范围对应的透照厚度差范围；
- 取决于射线能量、胶片梯度。

$$\Delta D = 0.434G \cdot \mu \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\Delta D}{0.434G \cdot \mu}$$

ΔT 要增大，可以减小 μ 、 G

可通过选择能量大的射线和梯度小的胶片

在能量相同的前提下，选用宽容度大的胶片，所获得的厚度宽容度更大。

4.6.1 大厚度试件的透照技术

1.适当提高管电压技术

- ❑ 提高管电压可以获得更大的透照**厚度宽容度**，即让底片上不同部位的黑度差减小，在有效黑度范围内可以容许更大的工件厚度变化；
- ❑ 适当提高管电压可以减小散射比，降低边蚀效应。
- ✓ 小径管：对小径管焊缝照相经常采用高电压、短时间的曝光参数，这样不仅可以提高灵敏度（降低散射比），还能扩大一次透照范围（增大厚度宽容度）。
- ✓ 对于余高较高的焊缝：适当提高管电压是有益的，可以使焊缝中心部位散射比大幅减小，同时增大厚度宽容度。

射线能量提高后，主因对比度减小，固有不清晰度增大，颗粒度增大，从而导致灵敏度减小，这对射线照相十分不利，因此，管电压不能任意提高。

4.6.1 大厚度比试件的透照技术

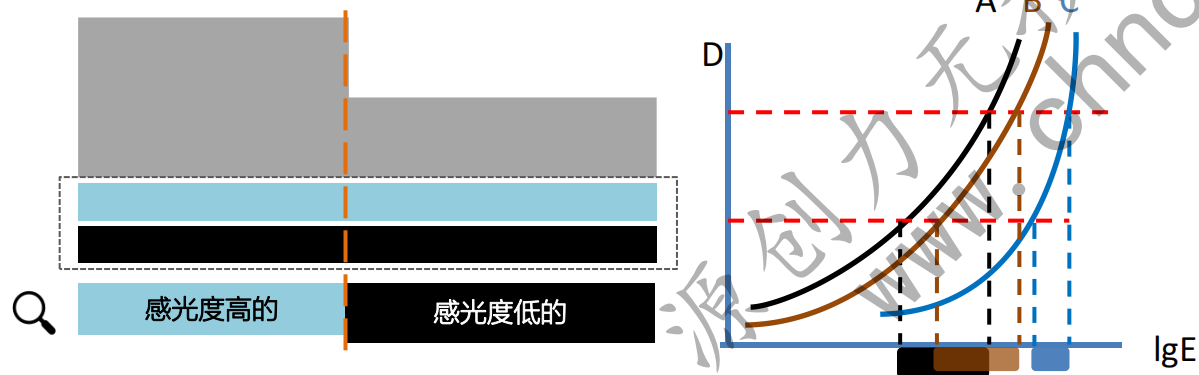
2.双胶片技术

双胶片技术：对厚度差较大的工件，采用在一个暗盒里放两张胶片同时透照。

异速双片法：暗盒里放置的两张感光度不同的胶片；

🔍 评定方法：

- ❑ 感光度高的胶片用于评定厚度较大的部位；
- ❑ 感光度低的胶片用于评定厚度较小的部位；

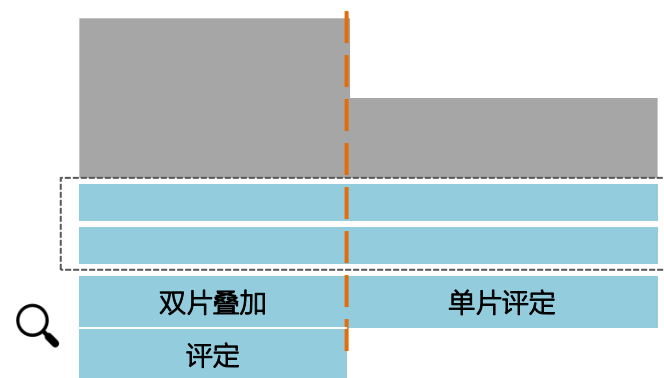


选择感光度不同的两种胶片时，在有效黑度范围内，曝光量应有足够重叠。（上图应选择A+B）

同速双片法：暗盒里放置的两张感光度相同的胶片；

🔍 评定方法：

- ❑ 单张胶片评定厚度小的部位；
- ❑ 双片叠加评定厚度大的部位；



单片黑度不低于1.3，单片同点处黑度差不超过0.5；
双片叠加评定时，黑度范围： $2.7 \leq D \leq 4.5$ 。

——标准：5.16.1.2

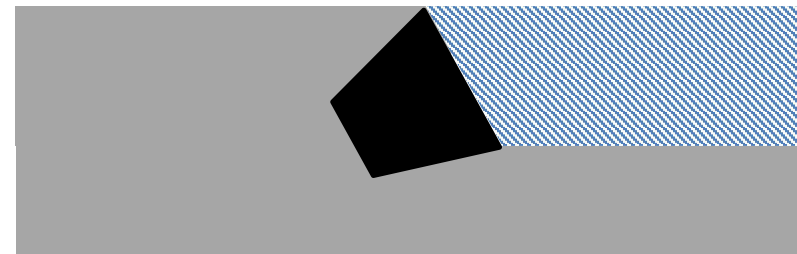
4.6.1 大厚度比试件的透照技术

3.补偿技术

□ 要求：补偿材料对射线吸收性质相同或相近。

□ 方法

- 补偿块
- 补偿粉
- 补偿液



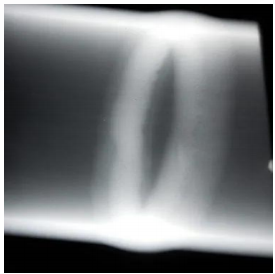
4.6.4 小径管的透照技术与工艺

小径管：外径 $D_0 \leq 100mm$ 的管子，一般采用双壁双影法透照。



1、透照布置：

- ❑ 倾斜透照椭圆成像：同时满足： $T(\text{壁厚}) \leq 8mm$ ， $g(\text{焊缝宽度}) \leq D_0/4$ 。
 - 通过控制偏心距，将影像开口宽度（上下焊缝投影最大间距）控制在1倍焊缝宽度左右；
 - 偏心距太大，椭圆开口宽度过大，窄小的根部缺陷（裂纹、未焊透）有可能漏检，或者影像畸变过大；
 - 偏心距太小，会使上下焊缝缺陷不易分开。

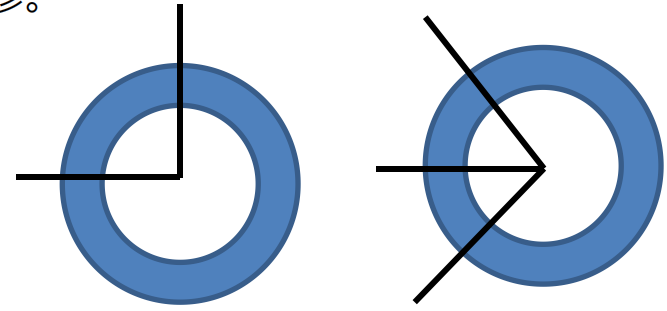


- ❑ 垂直透照重叠成像：不满足倾斜透照条件，或椭圆成像有困难时，或为适应特殊需要（如针对性检测焊缝根部面状缺陷）；
 - 当发现缺陷后，由于不能分清缺陷处于源侧或片侧焊缝中，一般多做整圈返修。



2、透照次数：

T/D_0	相隔角度	透照次数
≤ 0.12	90	2
> 0.12 ，或垂直透照	60或120	3



4.6.4 小径管的透照技术与工艺

3、像质要求：

由于小径管透照截面厚度变化大，又采用双壁双影透照，影像畸变大，且两侧焊缝相对于胶片的距离变化大，影像各处几何不清晰度和散射比不一，因此，影像质量和缺陷检出灵敏度相对其他透照方式都要差，即使底片黑度范围符合要求，以上问题仍然存在。

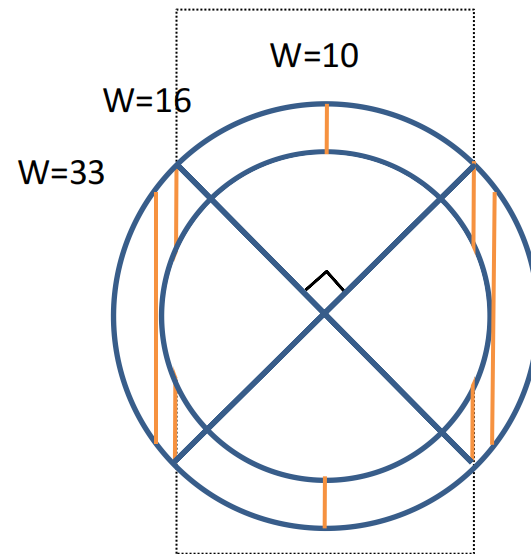
□ 像质计的型式和摆放：

- 等比丝像质计：可置于源侧也可置于片侧，
- 等径丝像质计：一般置于源侧。

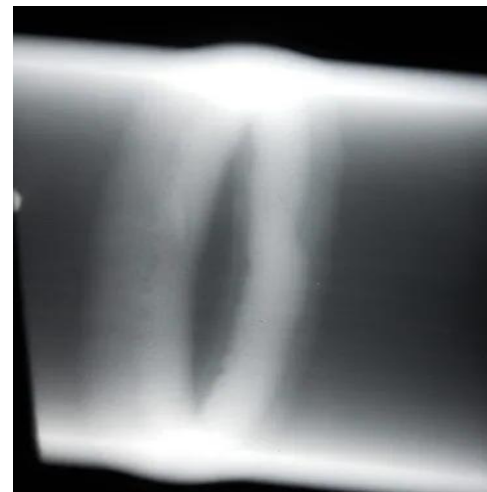
□ 黑度范围：用X射线透照小径管，AB级最低黑度允许将至1.5，即 $1.5 \leq D \leq 4.5$

□ 椭圆开口度：

- 开口过小，容易使源侧与片侧焊缝根部热影响区缺陷产生混淆，
- 开口太大，不利于根部裂纹、未焊透之类的面状缺陷的检出。



Φ60x5 小径管透照厚度变化



4.6.4 小径管的透照技术与工艺

4、计算偏心距

$$\frac{L_0}{g+q} = \frac{L_1}{L_2}$$

令: $q = g$

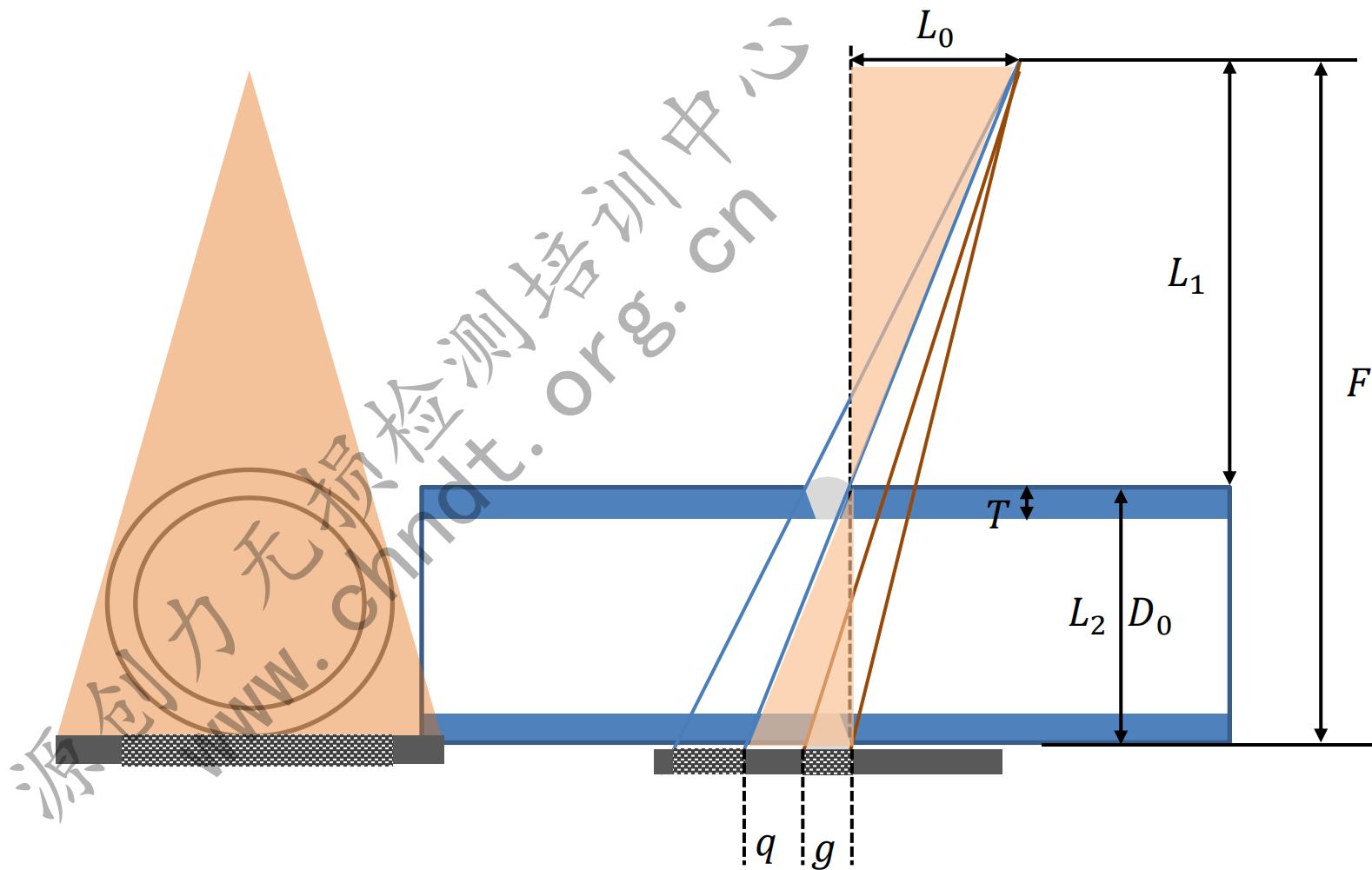
$$L_0 = 2g \frac{L_1}{L_2} = 2g \frac{F - D_0 - \Delta h}{D_0 + \Delta h}$$

L_0 ——偏心距

b ——焊缝宽度

q ——椭圆开口宽度

计算时只考虑片侧余高



4.6.4 小径管的透照技术与工艺

例题：透照管子对接环焊缝，规格为 $\varphi 76 \times 4 \text{mm}$ ，焊缝余高 $\Delta h = 2 \text{mm}$ ，焊缝宽度 $g = 10 \text{mm}$ ，X射线机焦点尺寸为 $\varphi 2 \text{mm}$ ，如要求透照的最大几何不清晰度 $U_g = 0.2 \text{mm}$ ，椭圆成像的开口宽度等于焊缝宽度，则焦距 F 及平移距离 L_0 分别应为多少？

计算焦距 F ：

$$U_g = \frac{D_f L_2}{L_1} = \frac{2 \times (76 + 4)}{L_1} = 0.2, \quad L_1 = 800 \text{mm}$$

计算平移距离 L_0 ：

$$L_0 = 2g \frac{F - D_0 - \Delta h}{D_0 + \Delta h} = 2 \times 10 \times \frac{880 - 76 - 2}{76 + 2} \approx 206 \text{mm}$$

$$F = L_1 + L_2 = 800 + 76 + 4 = 880 \text{mm}$$



射线检测

第四章 射线透照工艺



4.6.4 小径管透照技术与工艺

源创力无损检测培训中心
www.chndt.org.cn

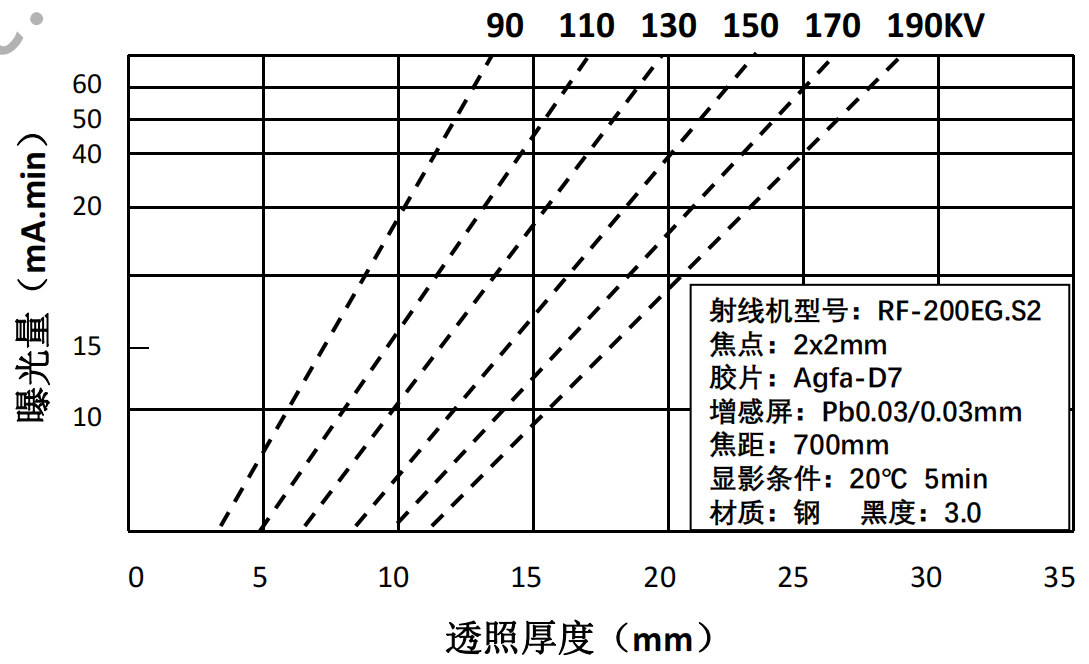
4.6.4 小径管透照技术与工艺

示例

某换热盘管（产品编号15P001），焊缝编号为B10，材质为304L，规格为 $\phi 57 \times 5$ ，焊接方法为钨极氩弧焊，焊缝宽度8mm，焊缝余高不计。设计规定所有焊接接头100%射线检测，执行标准NB/T47013.2-2015，验收等级II级。

请制定该盘管对接接头的射线检测工艺（焦距要求700mm）。

可提供的检测设备和材料有：RF-200EG.S2型定向X射线机，Agfa-D7（胶片规格360mmx80mm、120mmx80mm），曝光曲线见图。



4.6.4 小径管透照技术与工艺

某换热盘管（产品编号15P001），焊缝编号为B10，材质为304L，规格为φ57*5，焊接方法为钨极氩弧焊，焊缝宽度8mm，焊缝余高不计。设计规定所有焊接接头100%射线检测，执行标准NB/T47013.2-2015，验收等级II级。



第一步：确定透照方式

- 椭圆成像
- 重叠成像

同时满足： $T(\text{壁厚}) \leq 8mm$ ， $g(\text{焊缝宽度}) \leq D_0/4$

$$T = 5mm < 8mm, \quad g = 8mm < \frac{57}{4} = 14$$

✓ 椭圆成像

确定透照次数

T/D_0	相隔角度	透照次数
≤ 0.12	90	2
> 0.12 ，或垂直透照	60或120	3

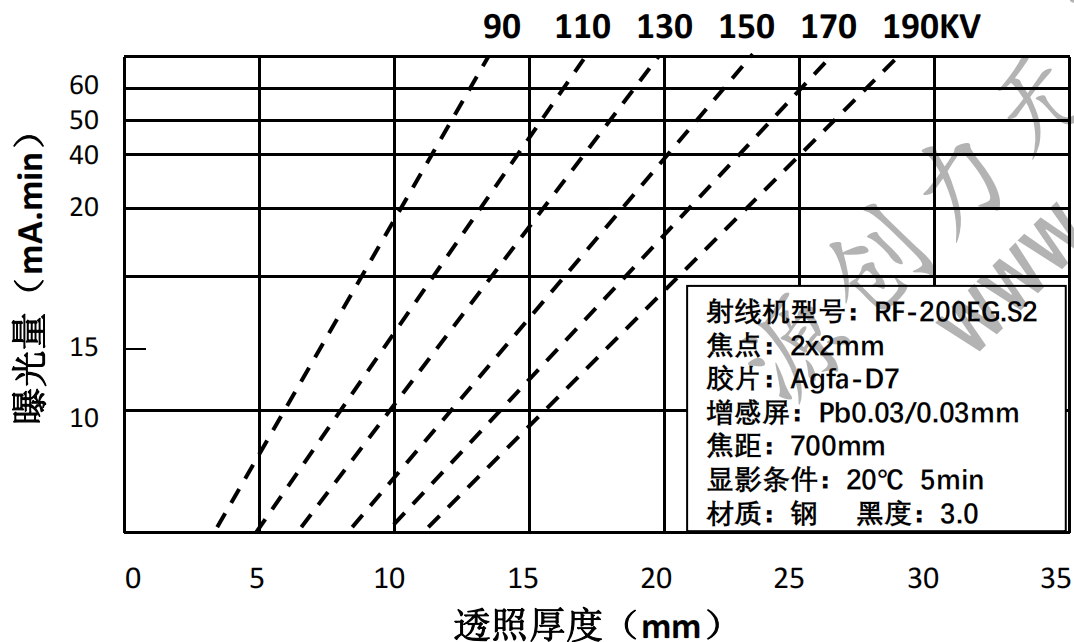
$$\frac{T}{D_0} = \frac{5}{57} = 0.087 < 0.12$$

✓ 相隔90°透照2次

4.6.4 小径管透照技术与工艺

某换热盘管（产品编号15P001），焊缝编号为B10，材质为304L，规格为φ57*5，焊接方法为钨极氩弧焊，焊缝宽度8mm，焊缝余高不计。设计规定所有焊接接头100%射线检测，执行标准NB/T47013.2-2015

可提供的检测设备和材料有：RF-200EG.S2型定向X射线机，Agfa-D7（胶片规格360mmx80mm、120mmx80mm），曝光曲线见图（虚线）。

[illegible]

4.6.4 小径管透照技术与工艺

像质计（标准5.16）：

- ☐ 双壁双影 源侧：表7
☐ 双壁双影 片侧：表9

像质计 型号	1号	6号	10号	13号
线号	1 - 7	6 - 12	10 - 16	13 - 19

底片黑度 (标准5.16) :

- ❑ 小径管或其他大厚度比工件，使用X射线透照时（ γ 射线透照不适用）

AB级: $1.5 \leq D \leq 4.5$

B级: $2.0 \leq D \leq 4.5$

[illegible]

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 ~ 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 ~ 8.0
14 (0.160)	> 3.5 ~ 5.0	> 5.0 ~ 7.0	> 8.0 ~ 15
13 (0.20)	> 5.0 ~ 7.0	> 7.0 ~ 12	> 15 ~ 25
12 (0.25)	> 7.0 ~ 12	> 12 ~ 18	> 25 ~ 38
11 (0.32)	> 12 ~ 18	> 18 ~ 30	> 38 ~ 45
10 (0.40)	> 18 ~ 30	> 30 ~ 40	> 45 ~ 55
9 (0.50)	> 30 ~ 40	> 40 ~ 50	> 55 ~ 70
8 (0.63)	> 40 ~ 50	> 50 ~ 60	> 70 ~ 100
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	—	—

□ 像质计置于源侧：13号丝

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 (W) 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
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	—	—

□ 像质计置于片侧：14号丝

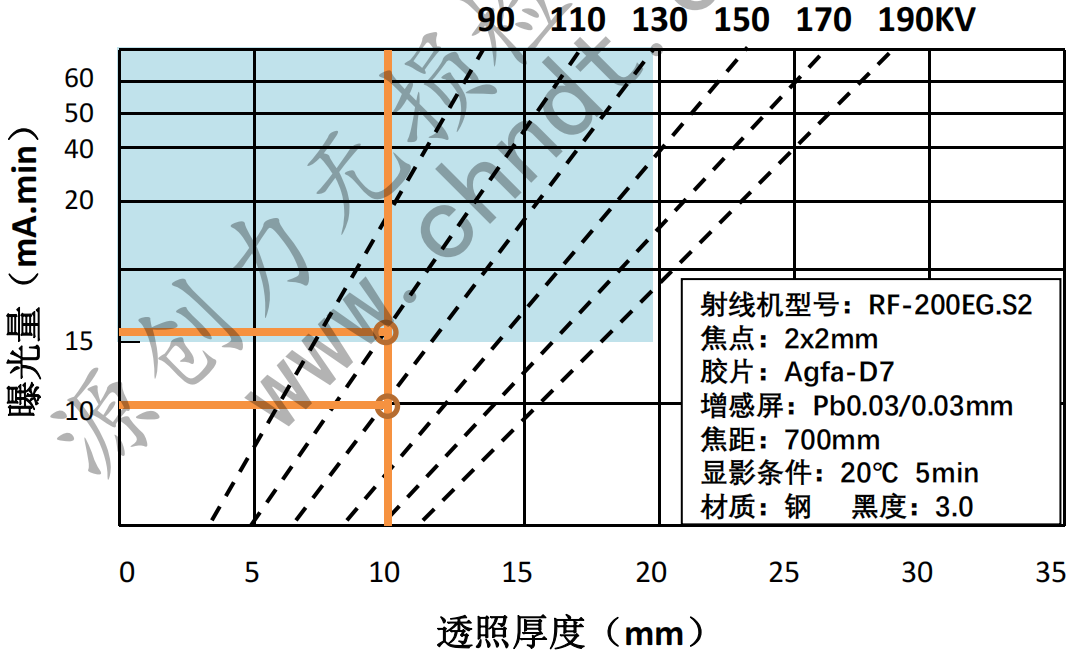
4.6.4 小径管透照技术与工艺

焊缝编号	焊缝长度(mm)	检测比例(%)	透照厚度W(mm)	透照方式	焦距F(mm)	透照次数N	偏心距(mm)	管电压KV	曝光时间(min)
B10	179	100	10	倾斜透照椭圆成像	700	2	180	110/130	3.2/2

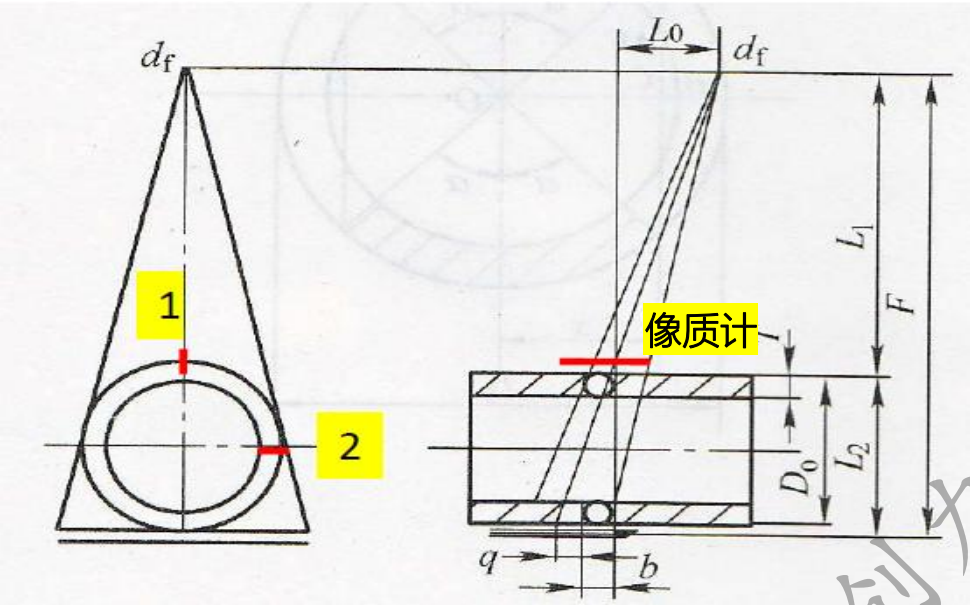
焊缝长度： $L_Z = 57 \times 3.14 = 179mm$

偏心距： $L_0 = 2g \frac{L_1}{L_2} = 2 \times 8 \times \frac{700-57}{57} = 180mm$

小径管透照厚度差较大，在满足灵敏度要求的条件下，可适当提高管电压，缩短曝光时间。



4.6.4 小径管透照技术与工艺



产品编号		15P001		产品名称	换热盘管				
规格		$\phi 57 \times 5$		材料	304L	焊接方法	氩弧焊		
执行标准		NB/T47013.2-2015		照相等级	AB	验收等级	II		
探伤设备型号		RF-200EG.S2		焦点尺寸	2mmx2mm	检测时机	焊接完成, 外观检查合格后		
胶片牌号		Agfa-D7		胶片规格	120x80	增感屏	Pb0.03 (前/后)		
像质计型号		等比丝型 10-FE-JB 等径丝型 13-FE-JB 等径丝型 14-FE-JB		像质计丝号	13 (源侧) 14 (片侧)	底片黑度	$1.5 \leq D \leq 4.5$		
显影液配方		Agfa-D7型配方		显影时间	5min	显影温度	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$		
焊缝编号	焊缝长度 (mm)	检测比例 (%)	透照厚度 W(mm)	透照方式	焦距 F(mm)	透照次数 N	偏心距 L0(mm)	管电压 KV	曝光时间 (min)
B10	179	100	10	倾斜透照椭圆成像	700	2	180	110/ 130	3.2/ 2