中华人民共和国石油天然气行业标准

石油天然气钢质管道对接焊缝射线照相及质量分级

SY 4056—1993

批准部门：中华人民共和国能源部
批准日期：1993-03-27
实施日期：1993-09-01

1 总则

1.1 根据石油天然气管道的特殊条件，为确保管道的安全性，并获得最佳经济效益，特制定本标准。

1.2 本标准适用于用X射线和γ射线照相方法检查壁厚为2～30 mm的低碳钢和低合金钢质石油天然气长输、集输管道及其他油气管线的环向对接焊缝。

1.3 从事射线探伤人员必须经专业技术培训，掌握一定探伤基础知识和操作技能及安全、卫生防护知识，并持有关部门颁发的相应资格技术资格证书。

1.4 进行射线检测时，必须严格遵守国家标准GB 4792—1984《放射性卫生防护基本标准》中的有关规定。当工作环境不符合本规范工艺要求和安全防护规定时，检测人员有权拒绝探伤。

1.5 相关标准及引用标准

GB 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级

SD 143 钢制承压管道对接焊缝射线检验篇

GB/T 12605 钢管环焊缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级

GB 4792 放射性卫生防护基本标准

GB 5618 线型像质计

2 射线透照工艺方法

2.1 透照技术条件

2.1.1 透照条件应符合下列规定：

2.1.1.1 在满足射线穿透力的前提下，宜使用较低管电压。当对外径小于或等于114 mm的管道焊缝用双壁双影法时，可适当提高管电压，缩短曝光时间。

2.1.1.2 采用放射性同位素不用增感屏或用铅箔增感屏进行射线透照时，γ射线源宜采用^{192}Ir。

2.1.1.3 射线源至工件上表面距离L_1(mm)，应按下列公式计算。

$$L_1 \geqslant 10\ EL_2^{2/3} \qquad (2.1.1)$$

式中：E——射线源焦点尺寸(mm)；

L_2——工件上表面至胶片距离(mm)。

2.1.2 工业射线胶片和增感屏应符合下列要求：

2.1.2.1 胶片类型应符合表2.1.2-1的规定。胶片类型应根据射线源种类、能量及照相质量要求进行选用。采用放射性同位素进行射线透照时，宜选用J1型胶片。

表 2.1.2-1 工业射线胶片的类型

胶片类型	感光度(S)	反差系数(γ)	粒度(G)
J1	低	高	细
J2	中	中	中

2.1.2.2 射线透照应采用铅箔增感屏，不得采用荧光增感屏和金属荧光增感屏。铅箔增感屏的厚度应符合表 2.1.2-2 的规定。

表 2.1.2-2 增感屏厚度的选用 mm

射线源种类	前屏厚度	后屏厚度
低能 X 射线(400 kV 以下)	0.05～0.16	≥0.10
^{192}Ir	0.05～0.16	≥0.16

2.1.3 线型像质计，沟槽测深计应符合下列要求：

2.1.3.1 像质计的型号、规格应符合《线型像质计》的要求，专用像质计的型号规格应符合《钢管环焊缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级》附录 A 的要求。

2.1.3.2 外径大于 114 mm 的管道焊缝射线透照时，像质指数应符合表 2.1.3-1 的规定。

表 2.1.3-1 像质指数表 mm

要求达到的像质计指数	线 直 径	透照厚度 T_A
16	0.100	
15	0.125	≤6
14	0.160	>6～8
13	0.200	>8～12
12	0.250	>12～16
11	0.320	>16～20
10	0.400	>20～25
9	0.500	>25～32

注：用双壁单影法透照时，像质指数按此表规定的数值减少一个指数。

2.1.3.3 管道外径小于或等于 76 mm，采用双壁双影透照法透照时，应使用Ⅱ型专用像质计，单根钢丝长度应大于管道的周长。

2.1.3.4 管道外径小于或等于 114 mm，采用双壁双影法透照时，应选用Ⅰ型专用像质计，且应符合表 2.1.3-2的规定。

表 2.1.3-2 像质计的选用

要求达到的像质指数	线直径（mm）	管道透照单壁厚度（mm）
9	0.50	11.6～15
10	0.40	7.1～11.5
11	0.32	4.1～7.0
12	0.25	3.1～4.0
13	0.20	2.1～3.0
14	0.16	<2.0

2.1.3.5 判定未焊透和内凹的深度，应使用沟槽式测深计。沟槽式测深计的厚度宜与焊缝余高相近，其型式和规格应符合《钢管环焊缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级》中附录 A 的要求。

2.1.4 透照方式应符合下列要求：

2.1.4.1 采用单壁单影外透法时，射线源应置于管道外，胶片应放置在离源最近一侧管道内壁的相应区域上，并贴紧焊缝（见图 2.1.4-1）。透照厚度见附录 A。

2.1.4.2 采用单壁单影内照法时，大口径管道可将源焦点调整于管内圆心点。360°一次曝光成像，每隔 90°应放一只像质计（见图 2.1.4-2）。透照厚度见附录 A。

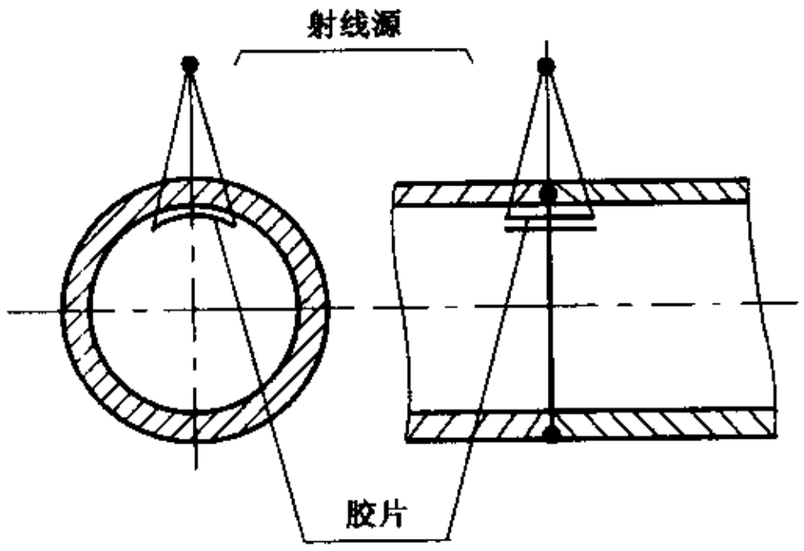


图 2.1.4-1 单壁单影外透法

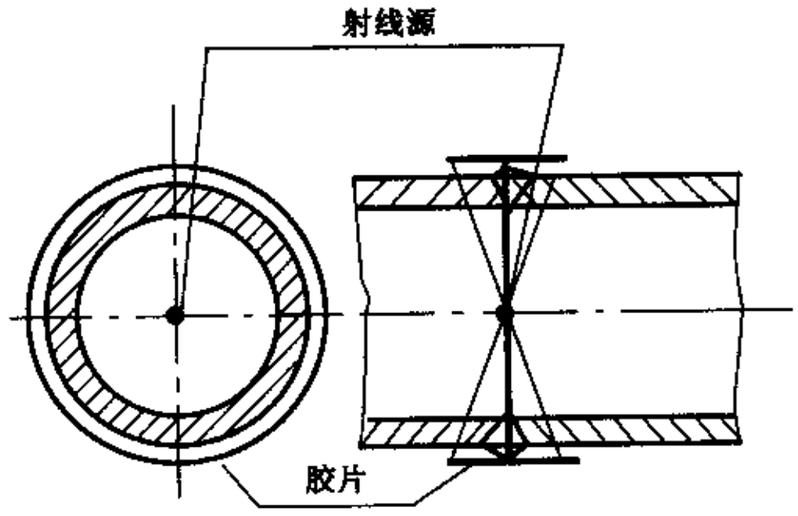


图 2.1.4-2 单壁单影内照法

2.1.4.3 采用双壁单影透照法时，射线源置于钢管外，胶片应放置在远离射线源一侧管道外表面相应焊缝区域上，并与焊缝贴紧（见图 2.1.4-3）。透照厚度见附录 A。

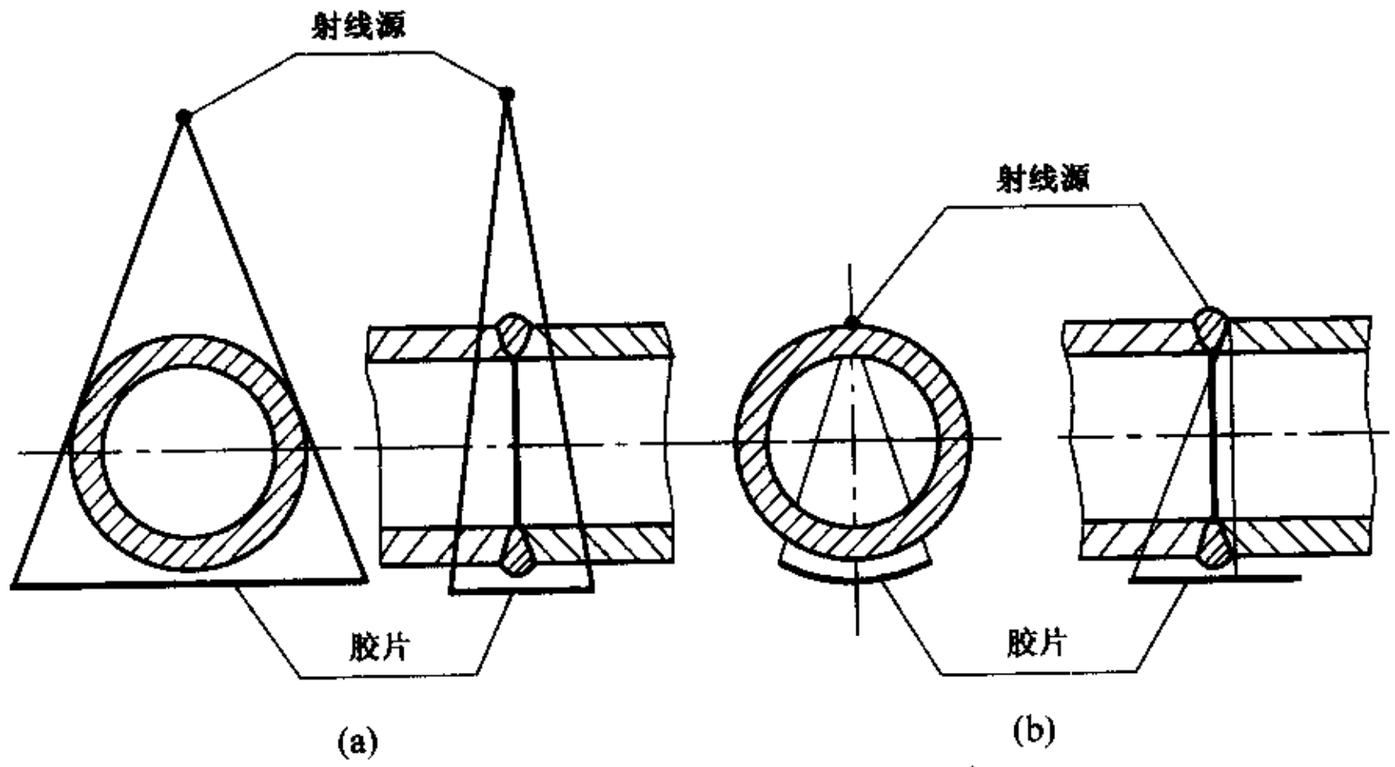


图 2.1.4-3 双壁单影外照法

2.1.4.4　当管道外径小于或等于 114 mm 时，当采用双壁双影法，底片呈椭圆焊缝影像，其间距应控制在 3～10 mm。为保证检测整个焊缝，至少要在互相垂直方向两次透照(见图 2.1.4-4)。照相的具体工艺见附录 B 中的 B.0.2，透照厚度见附录 A。

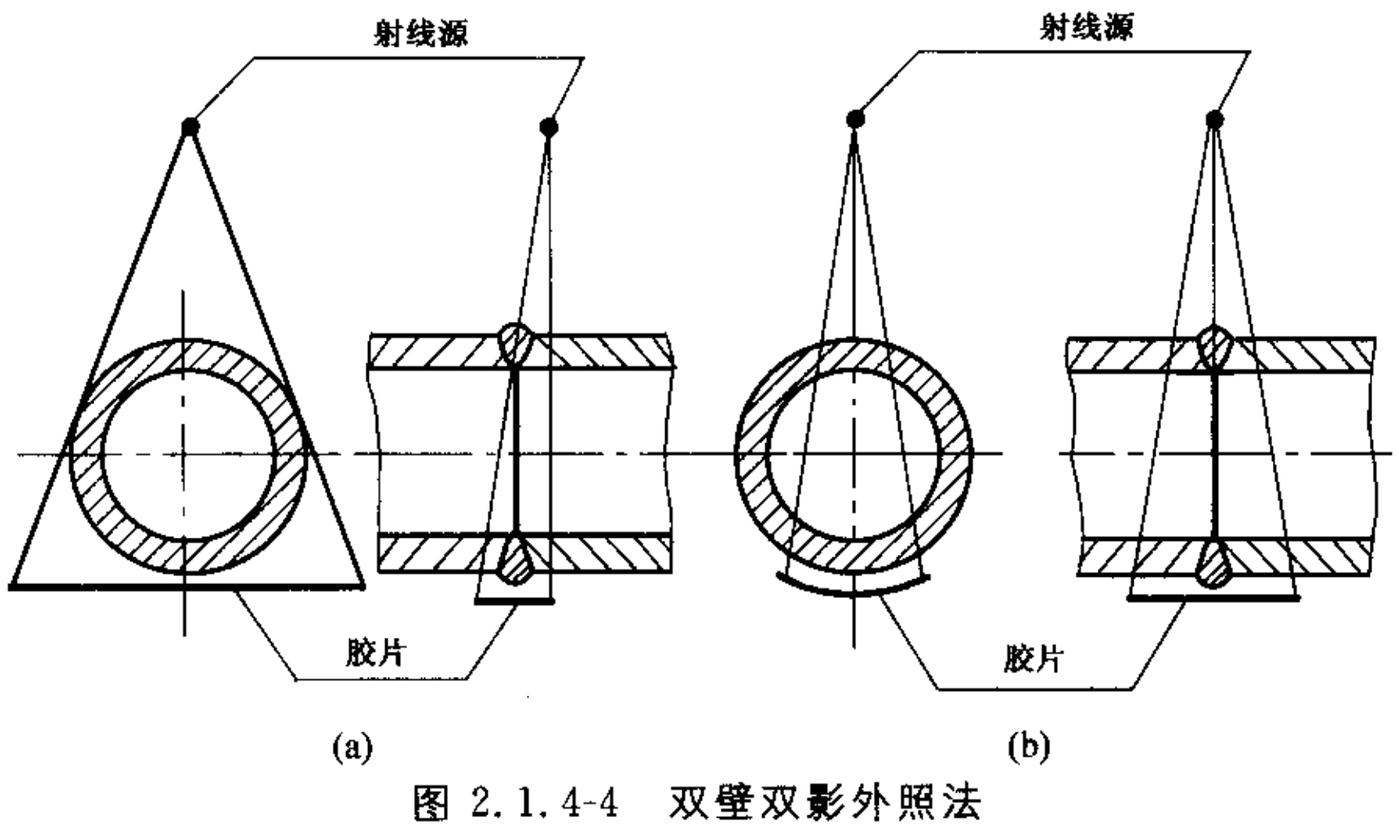


图 2.1.4-4　双壁双影外照法

2.1.4.5　对外径小于或等于 76 mm 管道，其焊缝应采用双壁双影法透照并允许椭圆一次成像，但必须保证其检出范围不小于周长的 90%，其测量方法应符合附录 B 中 B.0.3 的规定。

2.1.4.6　管壁厚度不同的对接焊缝透照，胶片应放置在管外表面相应焊缝区域上，并与之贴紧(见图 2.1.4-5)。其透照厚度见附录 A。

2.1.4.7　带垫板的对接焊缝的透照，胶片应贴紧对面焊缝(见图 2.1.4-6)。透照厚度见附录 A。

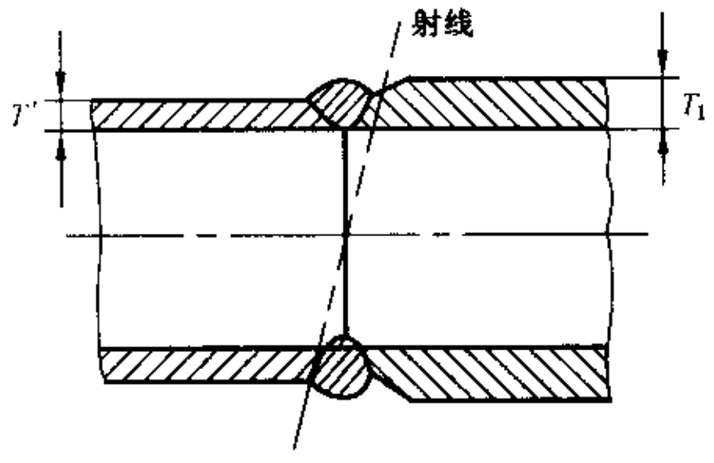


图 2.1.4-5　管壁厚度不同对接焊缝透照

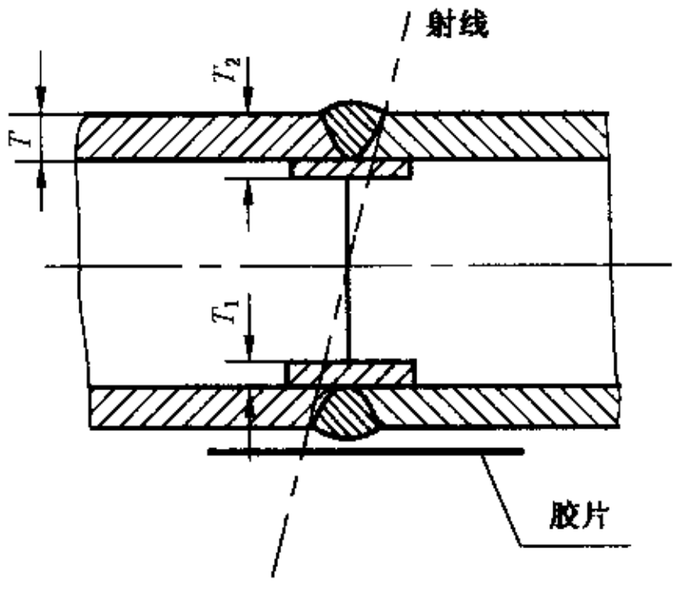


图 2.1.4-6　带垫板的对接焊缝透照

2.2　透照工艺方法

2.2.1　焊缝及热影响区的表面质量(包括余高高度)应经外观检查合格。表面的不规则状态在底片上的图像应不掩盖焊缝中的缺陷或与之相混淆，否则应做适当修正。

2.2.2　管道焊缝进行倾斜透照时，倾斜角度或水平位移应符合下列规定：

2.2.2.1　对于外径 50 mm 以下管道，倾斜角度宜为 10°；外径大于或等于 50 mm 管道，宜为 7°。

2.2.2.2　水平位移的距离 S_0 应按下式计算(见图 2.2.2)。

$$S_0=(b+g)\frac{L_1}{L_2} \tag{2.2.2}$$

式中：S_0——水平位移(mm)；

b——焊缝宽度(mm)；

g——椭圆投影间距(mm)。

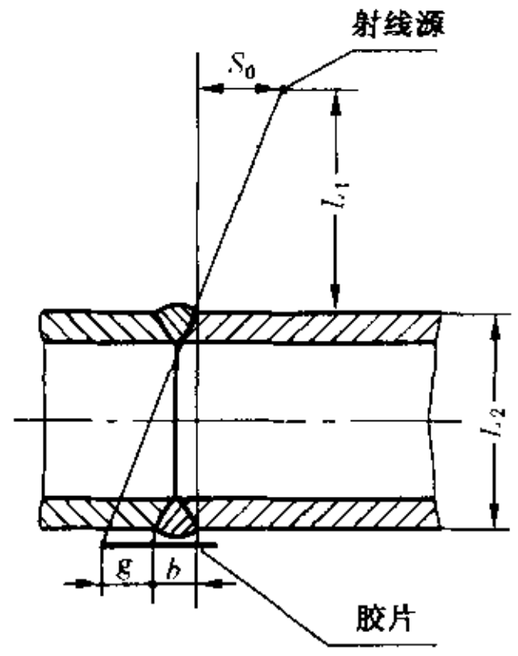


图 2.2.2 水平位移距离

2.2.3 管道透照前，应根据设备穿透能力、增感方式、管道直径、壁厚等选择最佳曝光条件进行工艺试件透照，绘制曝光曲线。同一类管道的透照应采用同一曝光条件。

2.2.4 像质计、标记、搭接标记的摆放应符合下列规定：

2.2.4.1 底片应清晰显示像质计、中心标记和管道焊缝编号的影像。百分之百透照时，还应显示搭接标记的影像。

2.2.4.2 管道外径大于 114 mm 时，像质计应放在胶片的 1/4 处。当放置在胶片一侧时，应做对比试验以达到相应的像质指数。

2.2.4.3 管道外径小于或等于 114 mm 时，采用双壁双影法透照时，像质计应放置胶片中心处。

2.2.4.4 如数个管道对接接头在一张底片同时显示时，应至少放置一个像质计，且在最边缘的管子接头上。

2.2.4.5 定位标记及管道焊缝编号距焊缝应至少 5 mm。

2.2.4.6 对管径大于 114 mm 的环焊缝，应在底片上清楚显示 100%检查的标记。

2.2.5 散射线的屏蔽应符合下列规定：

2.2.5.1 在透照时，应充分限制辐射场范围，对于背散射应充分屏蔽。

2.2.5.2 暗盒背面应附有“B”字，若在底片较黑的背影上出现“B”字较淡影像，说明背散射防护不够，应予重照。如在较淡的背影上出现“B”字较黑影像，则不作为底片判废的依据。

3 暗室处理

3.1 胶片应按胶片说明书或有效方法处理。处理溶液应保持良好状况，应注意温度、时间和抖动对冲洗效果的影响。自动冲洗时，应精确控制传送速度及药液的补充。

3.2 不得用增加显影时间来弥补透照曝光不足。

4 底片质量及观察

4.1 底片质量

4.1.1 X 射线底片黑度允许范围为：1.2～3.5，γ 射线底片黑度允许范围为：1.8～3.5。

4.1.2 底片必须显示的最小钢丝直径与相应的像质指数见表 2.1.3-1，表 2.1.3-2。

4.1.3 底片上像质计影像位置应正确，定位标记和识别标记齐全，且不掩盖被检焊缝影像。

4.1.4 底片有效评定区域内不应有因胶片处理不当引起的缺陷或其他妨碍底片评定的缺陷。

4.2 底片观察

4.2.1 评片室内光线应暗淡，室内照明不应在底片上产生反射。

4.2.2 观片灯应能观察最大黑度为 3.5 以上，且亮度可调。

5 焊缝质量分级

5.0.1 根据焊接缺陷性质和数量，焊缝质量分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个质量等级。

5.0.2 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级焊缝不得有裂纹和未熔合，凡是有裂纹、层间未熔合、坡口部位未熔合缺陷的焊缝应评为Ⅳ级。

5.0.3 Ⅰ级焊缝还不得有未焊透和长宽比大于 3 的条状缺陷。

5.0.4 长宽比小于或等于 3 的圆形缺陷用评定区进行评定。圆形缺陷质量分级应符合表 5.0.4-1 的

规定。其评定区应符合表 5.0.4-2 的规定，缺陷点数换算应符合表 5.0.4-3 的规定。评定时不计点数的缺陷尺寸应根据母材厚度确定并符合表 5.0.4-4 的规定。

表 5.0.4-1　圆形缺陷质量分级

评定区		10×10			10×20
质量等级	母材厚度（mm）	2～5	>5～15	>15～25	>25～30
Ⅰ	缺陷点数	1	2	3	4
Ⅱ		3	6	9	12
Ⅲ		6	12	18	24
Ⅳ		缺陷点数大于Ⅲ级者			

表 5.0.4-2　圆形缺陷评定区

母材厚度（mm）	≤25	>25～30
评定区尺寸（mm）	10×10	10×20

表 5.0.4-3　缺陷点数换算表

缺陷长径（mm）	≤1	>1～2	>2～3	>3～4	>4～6	>6～8	>8
点　　数	1	2	3	6	10	15	25

表 5.0.4-4　不计点数缺陷尺寸表

母材厚度（mm）	≤25	>25～30
缺陷长径（mm）	≤0.5	≤0.7

5.0.5　圆形缺陷长径大于 1/2 壁厚时，评为Ⅳ级。

5.0.6　Ⅰ级焊缝和母材厚度等于或小于 5 mm 的Ⅱ级焊缝，计点数与不计点数气孔之和不得多于 10 个，若超过 10 个，则应降低一级。

5.0.7　外径小于或等于 114 mm 的管道焊缝的条状缺陷质量分级应符合表 5.0.7 的规定。

表 5.0.7　外径小于或等于 114 mm 管道焊缝的条状缺陷的质量分级

质量级别	条状缺陷宽度	单个缺陷长度	缺 陷 总 长 度
Ⅱ	2.0 mm	$L^{①} \leqslant 2T^{②}$	圆周的 5%，但最大可为 12 mm
Ⅲ		$L \leqslant 3T$	圆周的 8%，不超过 25 mm，但最大可为 20 mm
Ⅳ	大于Ⅲ级者评为Ⅳ级		

注：① 为单个缺陷长度(mm)；

② 为管壁厚(mm)。

5.0.8　外径大于 114 mm 的管道焊缝的条状缺陷的质量分级应符合表 5.0.8 的规定。

表 5.0.8　外径大于 114 mm 的管道焊缝条状缺陷的质量分级　　mm

质量级别	缺陷宽度	单个缺陷长度	缺陷总长度
Ⅱ	≤2.0	L≤7	在 300 mm 底片长度内，不得超过 25 mm，底片不足 300 mm 时，按比例折算，但其总长度最大可为 7 mm
Ⅲ	≤2.0	L≤13	在 300 mm 底片长度内，不得超过 50 mm，底片不足 300 mm 时，按比例折算，但其总长度最大可为 13 mm
Ⅳ	缺陷尺寸大于Ⅲ级者		

5.0.9　根部内凹的质量分级应符合表 5.0.9 的规定，且其长度不得超过同一级别未焊透长度的规定。

表 5.0.9　根部内凹的质量分级

质量级别	内凹深度	
	占壁厚百分比（%）	极限深度（mm）
Ⅱ	≤15	且≤2
Ⅲ	≤20	且≤3
Ⅳ	大于Ⅲ级者	

5.0.10　根部未焊透缺陷的质量分级应符合表 5.0.10 规定。

5.0.11　底片上黑度较大的缺陷，如确认为柱孔或针孔缺陷，应评为Ⅳ级。

5.0.12　在圆形缺陷评定区内，同时存在圆形缺陷、条状缺陷和未焊透或内凹时应各自评级，将级别之和减去一级作为最终级别。

表 5.0.10　根部未焊透缺陷的质量分级　　mm

质量级别	根部未焊透			由于错口形成的单侧根部未焊透		
	深度 h	单个长度	总长度	深度 h	单个长度	总长度
Ⅱ	h≤10%壁厚，且最大不超过 1.5	≤12	1. 在 300 mm 焊缝长度内，总长度应不超过 18 mm，焊缝不足 300 mm 时，按比例折算，但最大可为 12 mm 2. 小口径管未焊透总长度应不超过圆周的 10%，且应小于18 mm	h≤10%壁厚，且最大不超过 1.5	≤25	1. 在 300 mm 焊缝长度内，总长度应不超过 50 mm，焊缝不足 300 mm 时，按比例折算，但最大可为 25 mm 2. 小口径管单侧未焊透总长度应等于或小于圆周的 10%，且应小于 25 mm
Ⅲ	h≤15%壁厚，且最大不超过 2	≤25	1. 等于或小于 300 mm 长度底片内总长度应不超过 25 mm 2. 小口径管未焊透总长度应不超过圆周的 15%，且应小于 25 mm	h≤15%壁厚，且最大不超过 2	≤50	1. 在 300 mm 焊缝长度内，总长度应不超过 76 mm，焊缝不足 300 mm 时，按比例折算，但最大可为 50 mm 2. 小口径管单侧未焊透应等于或小于圆周的 15%，且应不小于 25 mm
Ⅳ	缺陷尺寸大于Ⅲ级者评为Ⅳ级					

注：① 深度、长度两个条件必须同时满足。

② 小口径管道指外径小于或等于 114 mm 的管道。

③ 大口径管道指外径小于或等于 114 mm 的管道。

6 探伤报告及底片保存

6.0.1 管道探伤报告应有探伤顺序示意图，图中所注明项目应符合下列要求：

6.0.1.1 从始口到末口焊接顺序号、焊口号和焊工号。

6.0.1.2 穿、跨越、拐点、固定口、活动口标记。

6.0.1.3 注明射线，超声波探伤复验及焊口合格情况。

6.0.2 探伤报告应包括以下内容：

6.0.2.1 被检管线情况(包括：管线名称、编号，管线材质规格，坡口形式，焊接方法、焊条牌号)。

6.0.2.2 探伤条件(包括：使用仪器型号，胶片增感方式，L_1，L_2，管电压、电流，曝光时间，透照方法)。

6.0.2.3 探伤要求(包括探伤比例，执行标准及合格级别)。

6.0.2.4 探伤结果(包括探伤数量及返修扩探情况)。

6.0.2.5 探伤人员姓名、资格日期、探伤时间。

6.0.3 底片存档应至少保存 5 年。

附 录 A
油气管道环向对接接头透照厚度

附表 A 油气管道环向对接接头透照厚度 mm

透 照 方 法	透照厚度 T_A
单壁内、外透照	$T_A=T+e$①
双壁单影法	$T_A=T+e$
双壁双影法	$T_A=2T+e$
双壁双影法(厚薄不同)	$T_A=2T'$② $+e$
双壁双影法(加垫板)	$T_A=2T'+e+2T_1$③

注：① e：余高(mm)；

② T'：较薄管壁厚(mm)；

③ T_1：垫板厚度(mm)；

④ 双壁双影法像质计的选择可按 2.1.3 条规定。

附 录 B
管道环缝射线照相工艺补充

B.0.1 管径大于 114 mm 环缝透照

B.0.1.1 管道环缝的照相采用双壁单影法透照时，射线入射方向与管壁表面倾斜一个角度，上下焊缝影像不得重叠，底片上可现一只像质计影像。像质计、搭接标记、片号等标记位置摆放如图 B.0.1.1 所示。

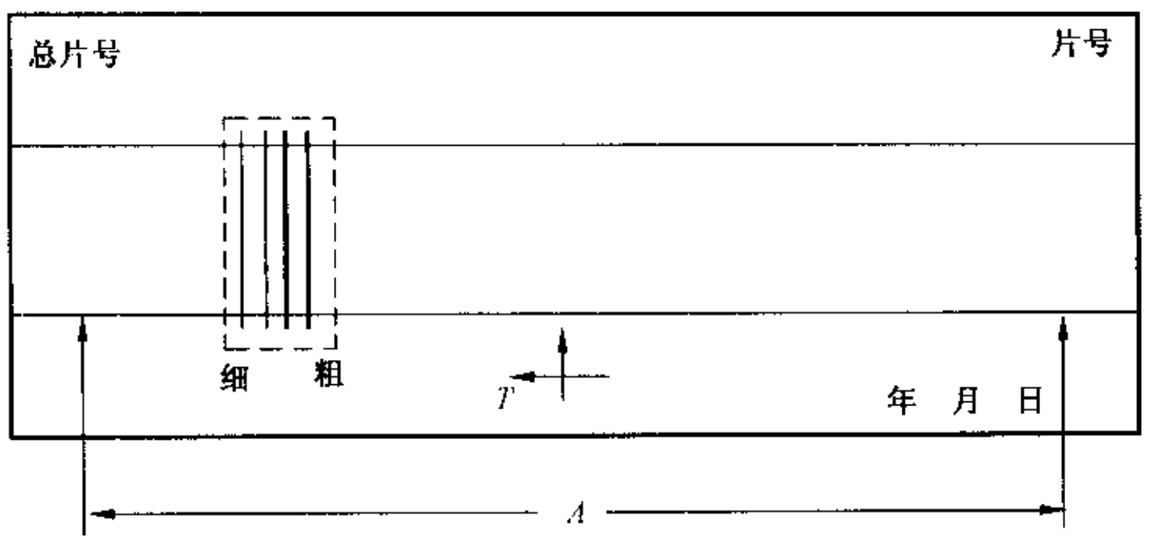


图 B.0.1 大口径管双壁单影像质计摆放

B.0.2 管径等于或小于 114 mm 环缝透照

B.0.2.1 采用双壁双影法，焊缝影像呈椭圆形状显示，两焊缝影像间距应控制在 3～10 mm。

B.0.2.2 较小管径的排管透照时，底片上允许显示多个环缝的影像。此时像质计应放在最边缘的管道焊缝上，如图 B.0.2-1 所示。

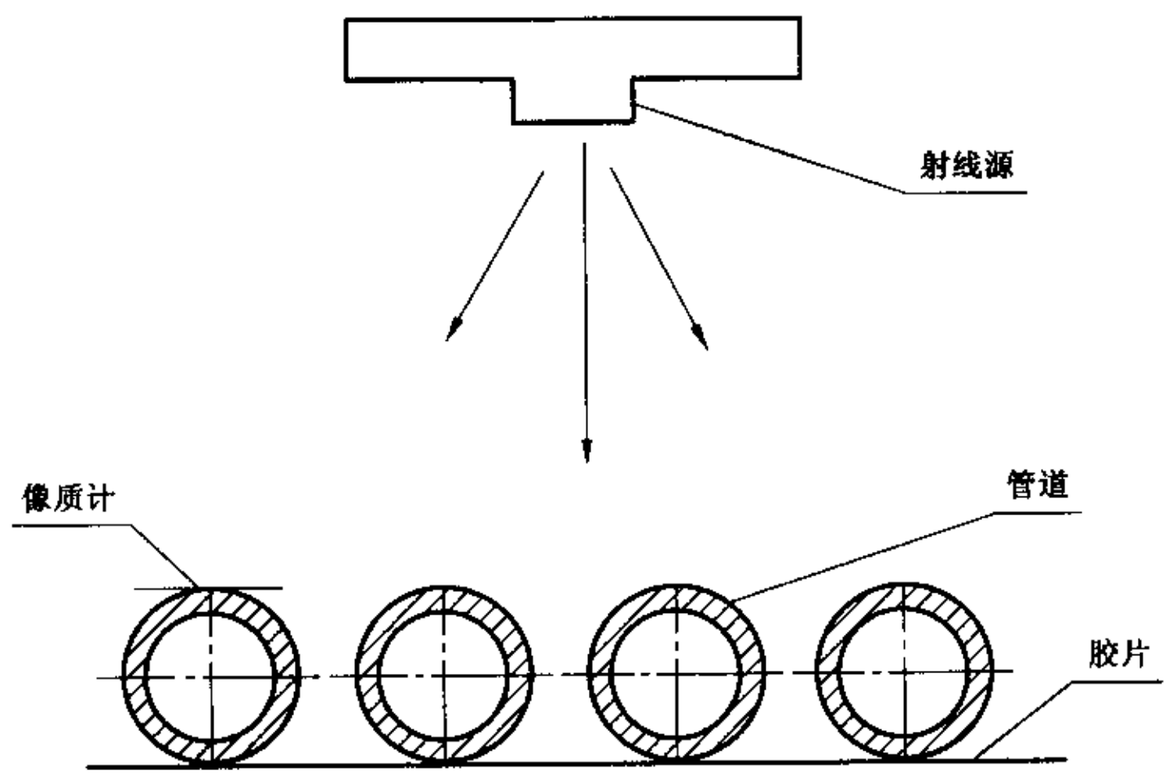


图 B.0.2-1 小径管排管透照示意图

B.0.2.3 透照最小焦距按下列公式计算。

$$F_{min} = L_1 + L_2 \qquad \text{(B.0.2-1)}$$

$$L_1 = 10EL_2^{2/3} \qquad \text{(B.0.2-2)}$$

式中：F_{min}——最小焦距(mm)。

B.0.2.4 小径管双壁双影法透照像质计及其他标记布置应符合规定(见图 B.0.2.4)。

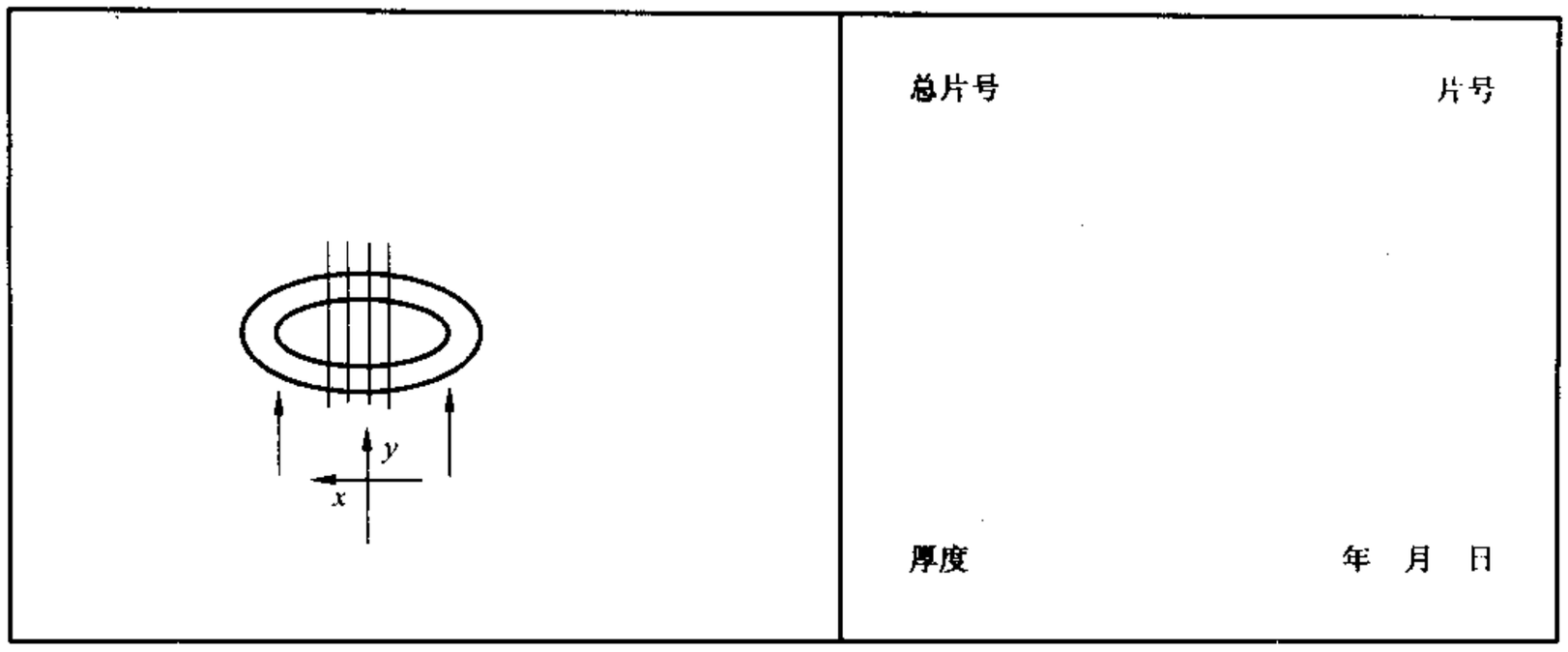


图 B.0.2-2 双壁双影法像质计标记摆放

B.0.3 管径小于或等于 76 mm 环缝的透照

B.0.3.1 管径小于或等于 76 mm 的钢管环缝，采用双壁双投影法一次椭圆成像透照，透照厚度 T_A 的计算应符合下列公式。

$$T_A=0.8\sqrt{(D-T)\times T+T} \qquad \text{(B.0.3-1)}$$

式中：D——钢管外径(mm)。

B.0.3.2 若用(B.0.3-1)式计算不便，可用下式进行等效 T_A 计算。

$$T_A=2T(1+d_{内}/D) \qquad \text{(B.0.3-2)}$$

式中：$d_{内}$——钢管内径(mm)。

B.0.3.3 对于双壁双投影一次椭圆成像的透照工艺，其检出范围必须保证 90%以上，并应按下式计算。

$$A=\frac{\pi D-4N}{\pi D}\times 100\% \qquad \text{(B.0.3-3)}$$

式中：A——检出范围(mm)；

N——底片上不见金属丝区域的一段长度(mm)。