

中华人民共和国机械行业标准

射线照相探伤方法

JB/T 9217—1999

eqv ISO 5579 : 1998

代替 ZB J04 004—87

1 范围

本标准规定了射线照相检验中应遵守的基本操作方法。

本标准适用于金属材料的 X 射线和 γ 射线探伤。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 4792—1984 放射卫生防护基本标准

JB/T 7902—1999 线型象质计

JB/T 9215—1999 控制射线照相图象质量的方法

3 防护

3.1 X 射线和 γ 射线对人体健康有不良影响,应尽量避免射线的直接照射和散射线的影

3.2 应根据 GB 4792—1984 第 2 章对射线照相探伤人员进行剂量监督。

3.3 从事射线照相的探伤人员应有剂量仪或其它剂量测试设备,以测定工作环境中的射线照射量和个人所受到的累积剂量。在 γ 射线探伤操作中,每次都应测定工作场所和 γ 射线源容器附近的射线照射量,以便了解射线源位置,避免受到意外的照射。

3.4 在探伤现场进行射线照相检验时应设置安全线。在安全线上应有明显标志,夜间应设置红灯。在非探伤人员易于达到安全线的通道上应设置警告牌,说明射线照相正在进行,非探伤人员请勿进入安全线,并写明在安全线上的射线照射量。

3.5 根据 GB 4792—1984 第 3 章的规定,非探伤人员每年允许接受的最大剂量当量为 5 毫希沃特 (mSv)[即 0.5 雷姆(rem)]。据此,可计算出非探伤人员在安全线附近工作或停留的时间。例如:安全线上的射线照射量每小时为 0.65 c/kg,则非探伤人员在此处停留的时间累计每年不得超过 20 h。

4 探伤人员资格

从事射线照相探伤的人员必须持有国家有关主管部门颁发的,并与其工作相适应的资格证书。

5 射线照相等效系数

材料的射线照相等效系数(见表 1),是指将该材料的厚度乘此系数后,才能得到它相当于多少厚度钢的吸收效果。射线照相等效系数可用来确定各种射线源对金属材料实际上所能检验的最大厚度,以及从该金属的已知曝光参数来确定某一其它金属的曝光参数。

表 1 某些金属的射线照相等效系数的近似值

金属	射线能量								Ir192 (铱)	Co60 (钴)
	100kV	150kV	220kV	250kV	400kV	1MV	2MV	4~25MV		
镁	0.05	0.05	0.08	—	—	—	—	—	—	—
铝	0.08	0.12	0.18	—	—	—	—	—	0.35	0.35
铝合金	0.10	0.14	0.18	—	—	—	—	—	0.35	0.35
钛	—	0.54	0.54	—	0.71	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
铁/钢	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
铜	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
锌	—	1.4	1.3	—	1.3	—	—	1.2	1.1	1.0
黄铜	—	1.4	1.3	—	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0
因康镍合金	—	1.4	1.3	—	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
蒙乃尔合金	1.7	—	1.2	—	—	—	—	—	—	—
锆	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0
铅	14.0	14.0	12.0	—	—	5.0	2.5	2.7	4.0	2.3
钨	—	—	14.0	12.0	9.0	3.0	—	—	—	—
铀	—	—	20.0	16.0	12.0	4.0	—	3.9	12.6	3.4

6 透照方式

射线源、被检工件以及装有 X 射线胶片和增感屏的暗盒,在透照时通常可按图 1 至图 7 的方式布置,图 1 是最常采用的方式。

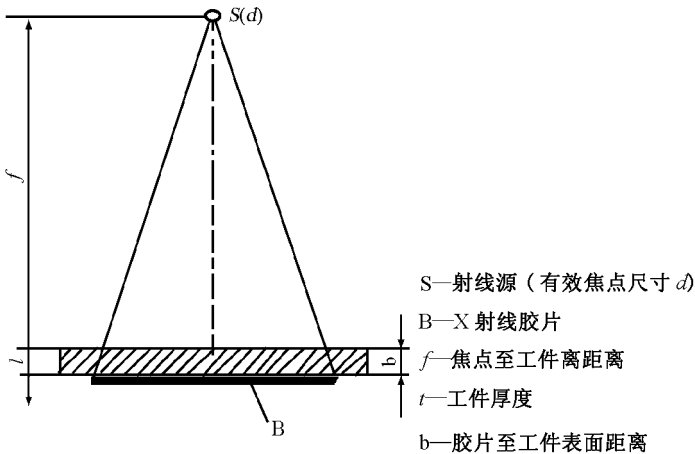


图 1 第一种布置(单壁穿透,平面工件)

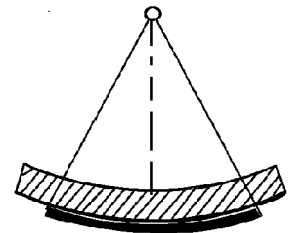


图 2 第二种布置(单壁穿透,曲面工件)

射线源置于凹曲面一侧的非中心位置,胶片置于凸曲面一侧。

此种布置较优于第四种布置(见图 4)。

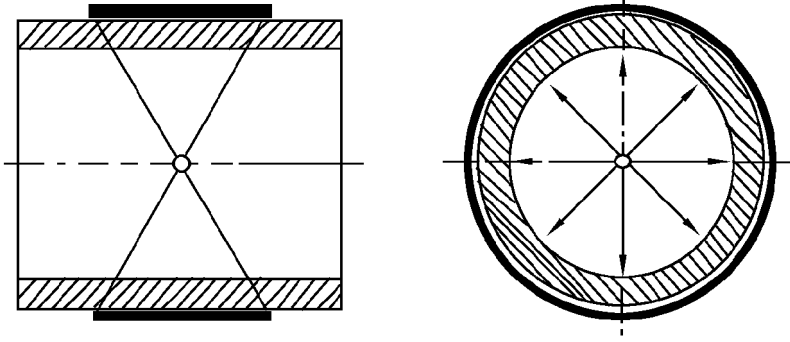


图 3 第三种布置(单壁穿透,曲面工件)

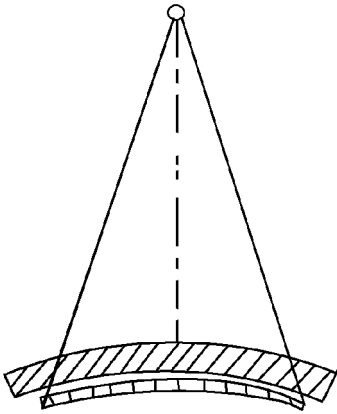


图 4 第四种布置(单壁穿透,曲面工件)

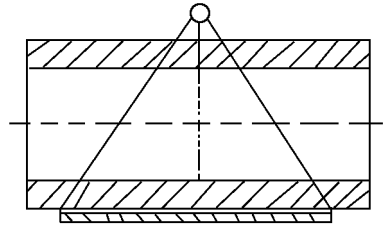


图 5 第五种布置(双壁穿透,检验单壁)

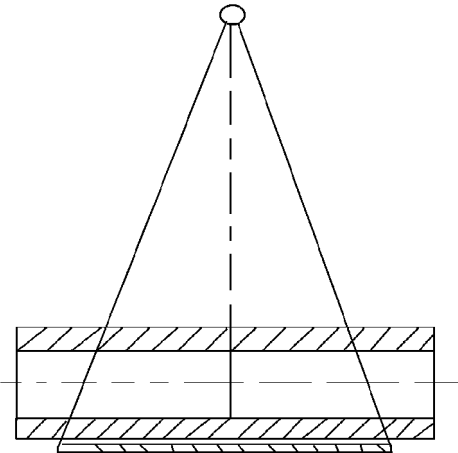


图 6 第六种布置(双壁穿透,检验双壁)

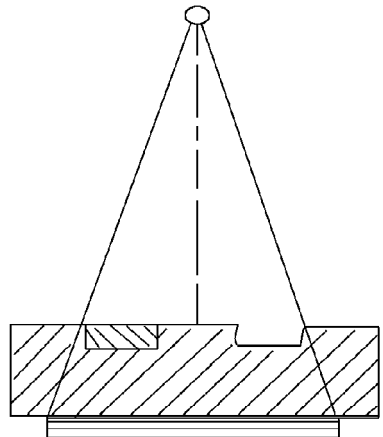


图 7 第七种布置(单壁穿透,检验厚度或材料不同的平面或曲面工件)

射线源置于中心位置。整个工件圆周能一次透照。此种布置较优于第二种(见图 2)、第四种(见图 4)或第五种(见图 5)布置。

射线源置于凸曲面一侧,胶片置于凹曲面一侧。

射线源及胶片均置于工件外。

此种布置由于射线源与工件上壁接近,故不能检验上壁内的缺陷。

射线源及胶片均置于工件外,此种布置可检验工件的上壁。某些情况下可采用不同方向的射线(例如与胶片中心不垂直)。

采用两张速度相同或不同的胶片。

7 对工件的表面要求

工件表面由于铸造及焊接或其它原因产生的不规则状态均应加以清除,表面存在的缺陷也应去除,必要时应加以修补,不能因表面缺陷和不规则状态影响射线底片的评定。

8 定位标记和底片上的标志

工件表面上应采用永久或半永久性标记作为每张射线底片重新定位的依据。不适合打印标记时应采用详细的定位图。每张底片上应有编号和表示工件被检范围的定位标记的影象。定位标记一般应放置在面向射线源一侧的工件表面上。如焊缝余高经加工去除,则应在焊缝边缘处放置定位标记。

9 象质计

象质计技术规范应符合 JB/T 7902 的规定。

10 射线照相质量等级及底片黑度

射线照相的质量等级分为 A 级(普通级)和 B 级(高灵敏度级)。不同厚度工件采用 A 级或 B 级时,在射线底片上必须显示的最小象质计线径数值由 JB/T 9215 提出。

A 级射线照相底片的黑度应等于或大于 1.5, B 级射线照相底片的黑度应等于或大于 2.0。底片黑度的上限应在射线胶片感光曲线的直线部分。底片的本底灰雾度应小于或等于 0.3。此黑度包括在上述对 A 级和 B 级要求的黑度值内。

11 胶片和增感屏

11.1 胶片的分类和选择

表 2 列出了工业 X 射线胶片的类型。胶片的选择与射线照相的质量等级及曝光时间等因素有关。一般,如需缩短曝光时间,则需使用表 2 中号数较大的胶片;如需提高射线照相的图象质量,则需使用号数较小的胶片。选用 A 级时应采用 1~3 号胶片,选用 B 级时应采用 1~2 号胶片。

表 2 工业射线照相胶片的类型

胶片型号	说 明		
	速 度	反 差	粒 度
1	低	极高	极细
2	中	高	细
3	高	中	粗
4	极高 *	极高 *	**

注:标 * 处是指加用荧光增感屏的曝光情况。如 4 号胶片直接曝光或加用铅箔屏曝光时,则其速度、反差和粒度均为中等。标 ** 处是指这里的粒度与所采用的荧光增感屏的特性有关。

11.2 增感屏

通常应采用金属增感屏,它的选择可按表 3。也可采用金属荧光增感屏或不使用增感屏。胶片和增感屏在射线照相过程中应尽量紧贴,以改善射线照相的图象质量。

表 3 增感屏的选择

X 射线电压或 γ 射线源	A 级	B 级
≤ 400 kV *	0.02~0.25 mm 铅前屏及后屏	
Ir192	0.05~0.25 mm 铅前屏及后屏	
Co60 **	0.1~0.5 mm 铅、钢及合金 钢或铜前屏及后屏	0.4~0.7 mm 钢及合金 钢或铜前屏及后屏
1~2 MV	0.1~1.0 mm 铅前屏及后屏	
2~6 MV	1.0~1.5 mm 铜或钢及合金钢前屏及后屏	
6~12 MV	前屏 1.0~1.5 mm,后屏等于或小于 1.5 mm 的铜、钢及合金钢或钽	
12 MV 以上	前屏 1.0~1.5 mm 钽或钨,无后屏	

注:标 * 处是指 100 kV 以下 X 射线可不用前屏。

标 ** 处是指透照厚度在 40~60 mm 范围时,必须采用 B 级规定的增感屏。

12 几何不清晰度

12.1 射线源至最接近的工件表面之间的距离 f 可根据图 8 计算,其中有效焦点尺寸 d 的确定可按附录 A(标准的附录)。使用附录 B(标准的附录)的诺模图可直接得出 f 的值。

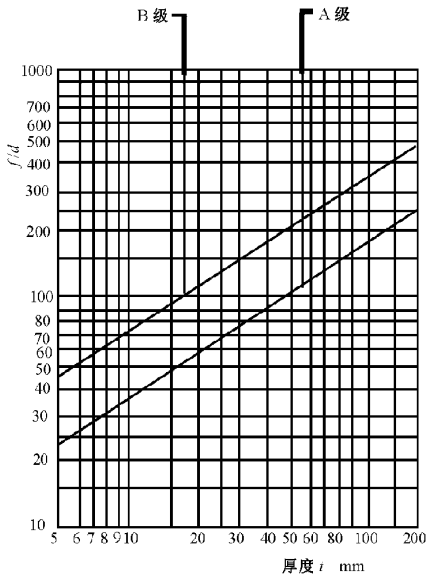


图 8 根据厚度 t 决定的最小 f/d 值

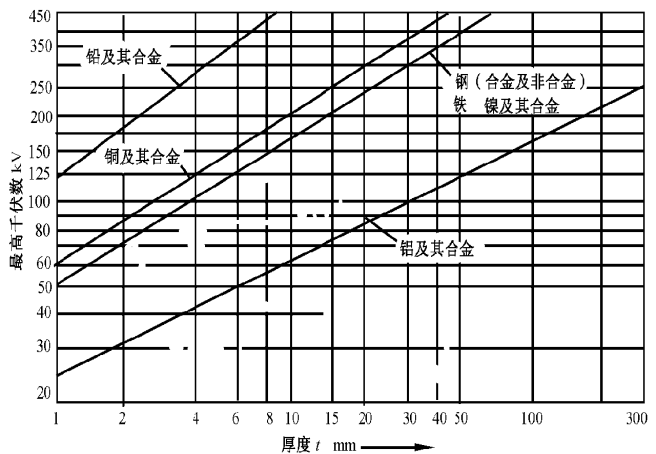


图 9 透照不同厚度材料时允许使用的最高 X 射线管电压

12.2 几何不清晰度 u_g 按式(1)计算:

$$u_g = \frac{d}{f} t \dots\dots\dots(1)$$

式中: d ——按附录 A 计算的有效焦点尺寸,mm; f ——焦点至工件表面的距离,mm; t ——透照工件厚度,mm。

13 射线能量的选择

射线能量的选择取决于透照工件厚度及材料种类,有时也根据射线设备条件而定。通常情况下,随着射线能量的减低,射线照相图象的对比度就增加,因此在曝光时间许可下,应尽量采用最低的射线能量。图 9 是透照不同厚度材料时允许使用的最高 X 射线管电压,表 4 是高能 X 射线和 γ 射线的适用透照厚度范围。

表 4 不同射线源适用的材料厚度范围

mm

A 级			
射线源	钢及合金钢、铁、镍及其合金	铜及其合金	铅及其合金
Ir192	20~100(10~100) *	15~90	5~40
Co60	40~200	20~170	15~125
1~2 MV X 射线	50~200	—	—
大于 2 MV X 射线	50 以上	—	—
B 级			
射线源	钢及合金钢、铁、镍及其合金	铜及其合金	铅及其合金
Ir192	40~90(10~90) *	35~80	15~35
Co60	60~150	50~135	40~100
1~2 MV X 射线	60~150	—	—
大于 2 MV X 射线	60 以上	—	—

注:标 * 处是指括号内数值为特别情况下允许的范围。

14 增加透照的厚度范围

当被透照工件厚度变化较大时需要采用特殊的射线照相技术,使射线底片上需要检验区域的黑度变化处于有效黑度范围内。为此,有下列五种技术可供选用。

14.1 采用较图 9 中规定电压更高的 kV 数,同时在 X 光管窗口上加上适当厚度的滤光板:

对 200 kV X 射线,采用 0.5 mm 铅板;

对 400 kV X 射线,采用 1.0 mm 铅板。

14.2 在同一暗盒中装用两张同样速度的胶片,曝光后使每张底片上工件最薄处的图象黑度达到第 10 章规定的最低数值。将两张底片的图象重叠起来,就可观察较厚的部分。

14.3 在同一暗盒中装用两张速度不同的胶片,采用的曝光量应使工件最厚部分在较快速的胶片上得到规定的黑度,而使工件最薄部分在较慢速的胶片上得到适当的黑度。观察中间厚度部分时,可单独地将两张底片叠合起来观察。

14.4 在工件较薄处充填柔性补偿胶泥或液体,以降低图象黑度差。

14.5 将 A 级的最低允许黑度减至 1.0, B 级的最低允许黑度减至 1.5。

注:采用 14.4 和 14.5 所述方法将减低探伤灵敏度。

15 散射线的遮蔽

到达胶片上的散射线将严重地影响射线照相的图象质量,特别在采用 150~400 kV X 射线时,散射线可能从被透照工件的内部和外部产生。为了尽可能减少散射线的影响,射线的照射区域应加以限止,使射线只照射在被检验区域内。通常情况下,可在 X 射线管窗口上装设锥形铅罩或铅质遮光板。为避免从其它工件或胶片后方和侧面物体上产生的散射线对胶片的影响,可以采用加厚的后增感屏,或在胶片与增感屏组装后再加上一块铅板。这块铅板可装在暗盒内或贴在暗盒后面,其厚度约 1~4 mm。

如工件边缘处于射线照射区内,通常可用图 10 的方法或其它适当方法来遮蔽散射线。

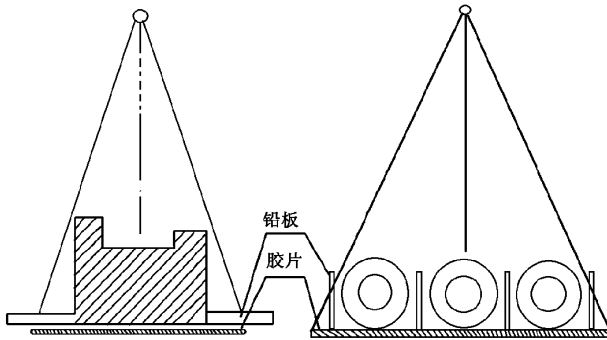


图 10 减少散射射线影响的方法

当采用 150~400 kV X 射线和 γ 射线而不能采用限止射线束的准直器时(例如在全景曝光时),则应在尽可能宽敞的曝光室内进行曝光,使散射射线因距离而衰减。如若可能,应使被透照工件尽量远离地面,工件下方地面还应加盖铅板。

为检验散射射线对胶片的影响,可在装胶片的暗盒后背上放一 B 字形铅字,曝光后底片上如出现黑度较低的 B 字图象,则表示此胶片已受到散射射线的影响,必须加强遮蔽散射射线的措施。

16 曝光

曝光条件的选择应使射线底片的黑度达到第 10 章规定的黑度值(14.5 的规定除外),最大可用黑度取决于胶片特性和底片观察条件。

17 胶片的化学处理和干燥

胶片的化学处理(冲洗)可采用自动冲洗或手工冲洗方式。胶片的自动冲洗通常在多辊式自动冲片机内进行。自动冲片机能在约 8~12 min 内对胶片完成显影、定影、水洗和干燥等操作工序,并能自动补充药液。冲洗的底片质量均一,生产效率较高。

胶片的手工冲洗通常应采用槽浸方式,在规定的温度(通常为 20℃ 左右)和时间内进行显影、定影等操作。定影后的底片应经充分水洗和洗涤剂处理,以防止水迹的产生,然后自然干燥或在干燥箱内烘干。胶片的手工冲洗方法可参考附录 C(提示的附录)。

18 显影液性能的控制

胶片的显影程度应维持恒定。采用定期添加补充液的方法可维持显影液性能的恒定。附录 D 给出一种 X 射线胶片显影液及其补充液的配方和操作要求。

一般说来,显影液在不添加补充液的情况下,经过一段时间其显影能力将逐步衰退,通常以适当延长显影时间的办法加以补救。为此,应当采用对比试验片测试此时的显影能力。对比试验片是在阶梯形试块透照曝光后的胶片上切下的一条胶片,在新配的显影液中及标准温度、时间条件下显影,得到的一张有不同阶梯黑度的底片。当需要测试显影液性能时,可在上述预先曝光并妥善保存的胶片上切下一条试验片,按延长的显影时间显影。如试验片的黑度和对比度与上述对比试验片相比有显著减低,则应更换显影液。

19 射线底片的观察

射线底片应在背景照明较低的场所观察,观片灯的亮度和照明范围应可调节,底片的观察条件应符合表 5 规定。

20.1 记录

必须书面记录每次完成的射线照相操作。这种记录至少要包括工件检验用的编号(此编号也应出现在底片上)、工件厚度、材料和摄片部位、摄片日期以及完整的射线照相技术参数等,其详细程度应达到易于重复进行同样的射线照相检验。记录中还应记入评片人员对各种工件所发现的缺陷和作出的结论,以及评片者的签署。

表 5 底片观察条件

底片背景照明的最高允许亮度	底片黑度 D	观片灯亮度 cd/m^2
30 cd/m^2	1.0	300
	1.5	1,000
	2.0	3,000
	2.5	10,000
10 cd/m^2	3.0	10,000
	3.5	30,000

20 记录、报告及验收标记

20.2 检验报告

当需要提出书面检验报告时,应包括工件摄片部位的识别标记、工件检验用的编号以及发现的缺陷和作出的结论,以及订约双方认为必要的其它项目。

20.3 验收标记

如把射线照相作为工件验收的一项检查,则检验合格的所有工件上都应做永久性或半永久性的标记。如有可能,应加盖一个特定的钢印,使下道工序或最后的检查人员能够辨明射线照相检验已经合格。

已完成检验的射线底片都应当立卷保存,以备查阅。底片的保存时间应根据产品性质或由订约双方协商确定。

附录 A

(标准的附录)

焦点尺寸的计算

如焦点的光学尺寸与下列任一理想焦点尺寸相似,则在计算焦点至工件距离 f 时可以用下列有关公式计算焦点尺寸:

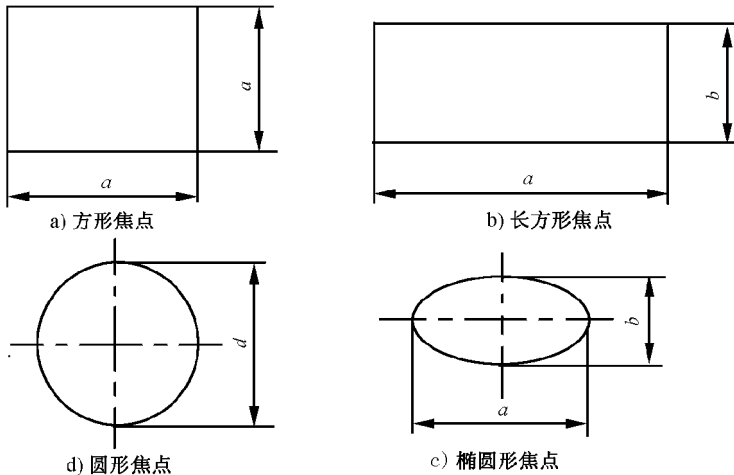


图 A1 理想焦点图形

$d = a$ 适用于方形焦点；

$d = \frac{a+b}{2}$ 适用于长方形焦点及椭圆形焦点；

d 适用于圆形焦点。

附录 B

(标准的附录)

直接确定焦点至工件距离 f 的诺模图

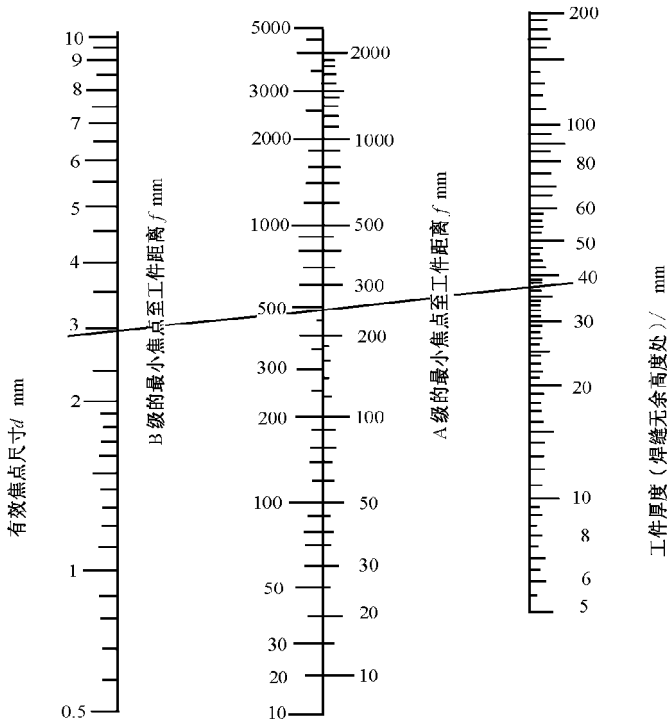


图 B1

根据材料厚度 t 和附录 A 计算的有效焦点尺寸 d , 可确定最小焦点至工件距离 f (例如: $d = 3$ mm, $t = 37$ mm, 用 B 级时 $f = 500$ mm)。

附录 C

(提示的附录)

胶片的手工冲洗和干燥操作

C1 准备工作

将胶片装在显影夹上, 并在开始显影之前搅动溶液。

C2 开始显影

启动计时器并将胶片浸入显影液中,显影夹之间应留一定距离,使冲洗过程中胶片彼此不会相贴。不断将显影夹上下移动,大约 15 s。

C3 显影

室温 20℃时,正常的显影时间约为 5~8 min。延长显影时间,通常导致增加底片黑度,并稍微增加对比度。在选择显影时间时,应遵照胶片制造厂的建议。在温度稍高或稍低时必须调整显影时间,调整量也应根据胶片制造厂所推荐的数据。

C4 搅动

显影过程中应不时将胶片作垂直方向的上下移动,以使胶片均匀显影。

C5 停显或漂洗

在显影结束后,将胶片浸入 3%醋酸停显液约 30 s,以中和遗留在胶片乳胶中的显影剂活性。如果不能使用停显液,则可在清水中将胶片强力抖动,进行漂洗 2~3 min。

C6 定影

为保证均匀而快速的定影,胶片在刚浸入定影液时以及在第 1 min 末,要均匀作上下方向的移动约 10 s 左右,然后让其在定影液中浸渍到定影结束(其时间至少为达到底片透明所需时间的两倍)。但在较新鲜的定影液中,定影时间不得超过 15 min。经常移动胶片,可以缩短定影时间。必须避免胶片在定影液中互相接触。

C7 定影液的中和

在定影和冲水工序之间,使用“海波”净化剂或定影液中和剂可能会有好处,这两种试剂可以减少充分水洗所需的时间和用水量。

C8 冲洗

冲洗的效率,与冲洗用水、水温、水流量以及被冲洗底片的种类有关。一般当温度在 16℃以下时冲洗过程是很缓慢的,而当温度在 30℃以上时,又应当注意底片浸在水中的时间不能太长。底片在槽中冲洗时,要避免加入新从定影液中取来的底片。如水槽容积有限而一次冲洗又有较多底片,则应随时把一部分已经冲洗过的底片移到进水口的方向上去。

利用小水量分级冲洗的方法在相同的冲洗时间里能达到最好的冲洗效果。最好把冲洗槽分为两部分(可以用两个水槽),把从定影液中取出的底片放在出水口部分,经过部分冲洗后,把底片移到进水口部分,从而在新鲜水中完成冲洗。

C9 洗涤剂

把底片浸入洗涤剂中约 30 s,可以使水从底片表面均匀流下,以缩短干燥时间,避免底片上出现水迹。可将 0.1%左右浓度的餐具洗涤剂(例如:白猫洗涤精)的水溶液作为洗涤剂,或采用其它成分的洗涤剂。

C10 干燥

底片的干燥与下列因素有关:(1)胶片类型;(2)处理方法(水洗后乳胶的硬度、洗涤剂的应用);(3)干燥用的空气(温度、湿度、流量)。干燥条件可以是在环境温度下的静止空气直到高达 60℃的鼓风机循环空气。

附 录 D
(提示的附录)
使用补充液的显影液

D1 配方

表 D1

显影液	补充液	
水	800 mL	800 mL
对氨基酚硫酸盐(米吐尔)	4 g	6 g
无水亚硫酸钠	65 g	70 g
对苯二酚(几奴尼)	10 g	20 g
无水碳酸钠	45 g	60 g
溴化钾	5 g	—
氢氧化钠	—	10 g
加水至	1000 mL	1000 mL

注:药品应按次序加入水中,并搅动使之溶解。

D2 显影温度及时间

表 D2

温度 C	18	20	22	24	26
时间 min	7	6	5	4	

D3 有关说明

D3. 1 补充液只允许加入至原显影液体积的 3 倍。

D3. 2 当有夹子的洗片框架在槽中显影时,每显 1 m^2 胶片将带出约 320 mL 显影液,由于每显 1 m^2 胶片应补充 600 mL 补充液,故应在槽内先取出 280 mL 显影液。

D3. 3 最后一次添加补充液后,每公升显影液可显 $1/4 \text{ m}^2$ 胶片,然后废弃。