



射线检测

第二章 射线检测设备和器材



2.3 射线照相胶片

源创力无损检测培训中心
www.chndt.org.cn

2.3.1 射线照相胶片的构造与特点

射线胶片在胶片片基两面均匀涂布感光乳剂层，以增加卤化银的含量，从而吸收较多的射线，提高胶片感光速度，增加底片黑度。



片基：感光乳剂层的支持体，通常为淡蓝色。

感光乳剂层：通常是溴化银（ AgBr ）微粒在明胶中的混合体。

2.3.2 感光原理及潜影的形成

潜影：指在感光乳剂层中产生的肉眼看不到的影像。

潜影的形成

□ 照射前： $AgBr = Ag^+ + Br^-$

□ 照射后： $Br^- + h\nu \rightarrow Br + e^-$, $Ag^+ + e^- = Ag$

- 光子将乳剂层中 $AgBr$ 的 Br^- 的电子逐出，形成自由电子并与 Ag^+ 结合形成 Ag 原子。
- 潜影产生的本质是：乳剂层卤化银中的银离子接受电子还原为银原子的过程。
- 还原后的 Ag 原子依然被包裹在卤化银颗粒中，包裹有 Ag 原子的卤化银颗粒可以视为被感光的卤化银，在显影处理时，被感光的卤化银更容易被显影剂还原成金属银。

2.3.3 底片黑度

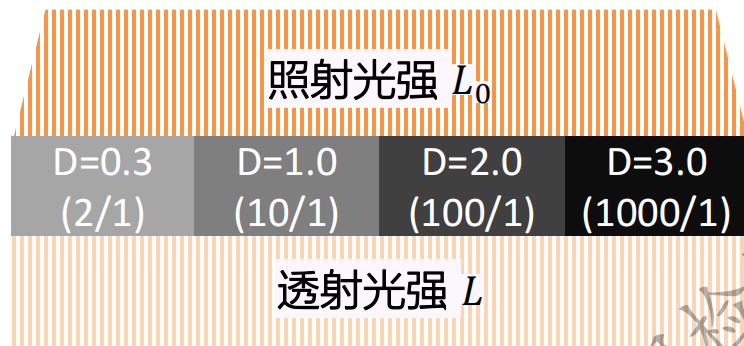
- 射线穿过试件，产生潜影，经显影、定影处理后，胶片上的潜影成为永久性可见的图像，即为：**射线底片**（简称：**底片**）；
- 底片上的影像是由许多微小的黑色金属银微粒组成，影像各部位黑化程度与该部位被还原银的量有关，被还原的银量多的部位更难于透光；
- 底片的黑化程度用**黑度**（光学密度） D 表示；可以用**黑度计**（密度计）测量底片黑度值。

$$D = \lg \frac{L_0}{L}$$

L_0 : 照射光强
 L : 透过光强



2.3.3 底片黑度



$$D = \lg \frac{L_0}{L}$$

L_0 : 照射光强

L : 透过光强

观片灯亮度为 $100\ 000\text{cd/m}^2$ ，用来观察黑度为3.5的底片，问透过底片的光强为多少。

解:

已知: $L_0 = 100\ 000$, $D = 3.5$

$$D = \lg \frac{L_0}{L}$$

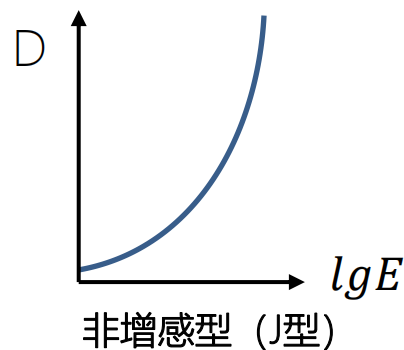
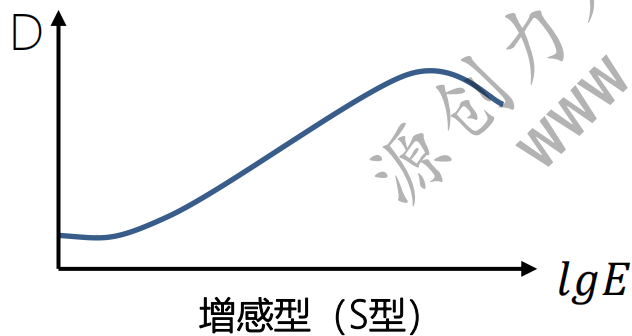


$$\frac{L_0}{L} = 10^D$$

$$L = \frac{10^5}{10^{3.5}} = 31.6(\text{cd/m}^2)$$

2.3.4 射线胶片的特性

- 射线胶片的特性主要有：感光度、灰雾度、梯度、宽容度；
- 这些特性都可以在胶片特性曲线上定量表示；
- 胶片特性曲线：是表示相对曝光量与底片黑度之间的关系曲线，
横坐标表示曝光量的对数（ $\lg E$ ），纵坐标表示底片黑度（ D ）；
- 增感型胶片--S型、非增感型胶片--J型，工业射线检测使用非增感型（J型）胶片。



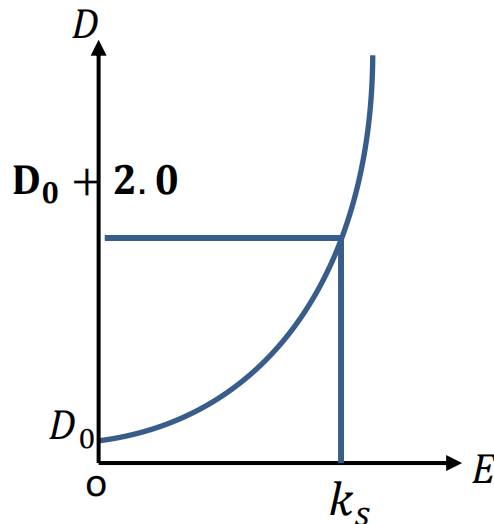
2.3.4 射线胶片的特性

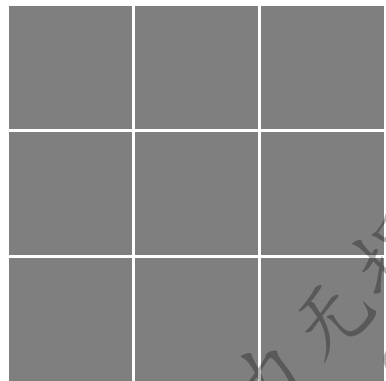
射线胶片特性参数

(1) 感光度 (S)：射线底片上产生一定黑度（一般为净黑度2.0）所用的曝光量的倒数。

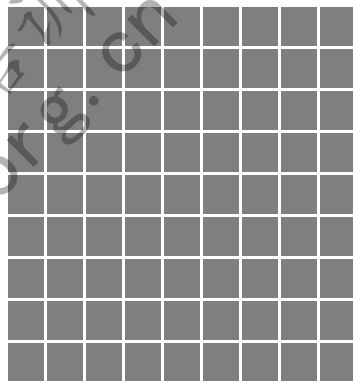
$$S = \frac{1}{E_{(\Delta D=2.0)}} = \frac{1}{k_s} \quad -k_s: \text{胶片净黑度达到2.0所用的曝光量}$$

- ❑ 感光度S越高，底片上产生净黑度2.0所要的曝光量越少；
- ❑ 射线胶片感光度与乳剂层中的含银量、明胶成分、增感剂含量、银盐颗粒大小、形状有关；
- ❑ 对同一类型的胶片，银盐粒度越粗，其感光度越高。





3x3



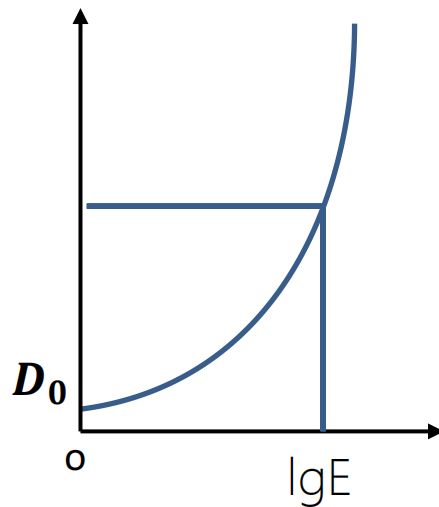
9x9

2.3.4 射线胶片的特性

(2) **灰雾度 (D_0)**：未经曝光的胶片经显影、定影处理后的黑度，又称本底黑度。

在特性曲线上表示为：原点处的黑度值。

- ❑ 灰雾度过大会损害影像对比度和清晰度，降低灵敏度，
- ❑ 感光度高的胶片灰雾度更大，
- ❑ 胶片保存条件不当、时间过长会使灰雾度增大，
- ❑ 与显影液配方、显影温度、时间等有关，
- ❑ 显影温度过高、时间过长会使灰雾度增大。

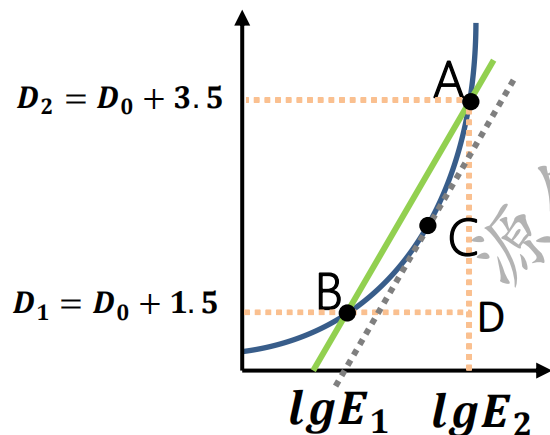


2.3.4 射线胶片的特性

(3) 梯度 (G) : 胶片对不同曝光量在底片上显示不同黑度差的能力。

- ▣ 梯度可用胶片特性曲线上某一点切线的斜率表示
- ▣ 此斜率也称为胶片的反差系数 γ

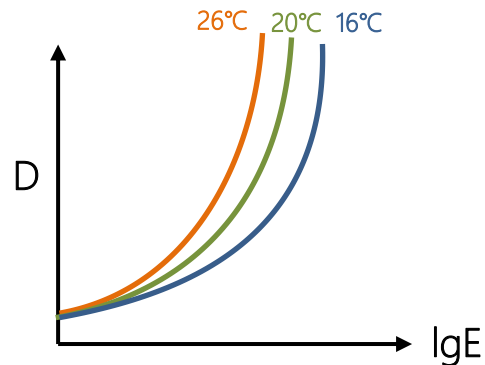
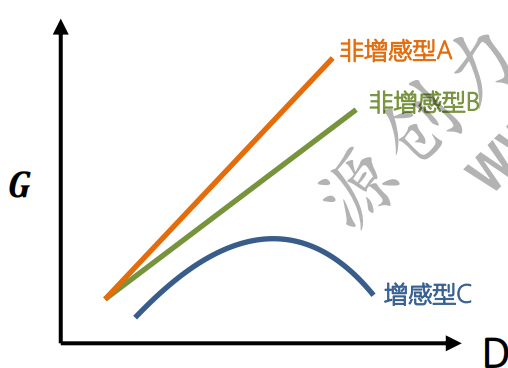
平均梯度 ($\bar{G}$ 、 $\bar{\gamma}$) : 通常用曲线上两点 (1.5、3.5) 连线的斜率来表示。



$$\bar{G} = \bar{\gamma} = \tan \angle ABD = \frac{AD}{BD} = \frac{D_2 - D_1}{\lg E_2 - \lg E_1} = \frac{2}{\lg E_2 - \lg E_1}$$

2.3.4 射线胶片的特性

- 胶片的G值与胶片的种类、型号有关
 - 增感型胶片的G值在较低黑度范围内随黑度增大而增大，但黑度超过一定数值，黑度再增大，G值反而减小；
 - 非增感型胶片G值随黑度增大而增大。
- 胶片的G值测定结果与显影条件、显影配方、显影时间、显影温度有关，其中显影温度升高G值明显增大。

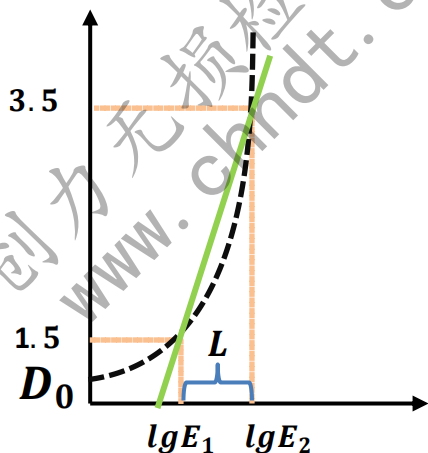
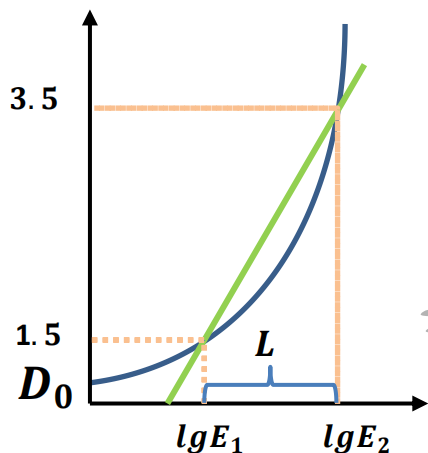


2.3.4 射线胶片的特性

(4) 宽容度 (L)：胶片有效黑度范围所对应的曝光量的范围；

在特性曲线上表示为：黑度下限值和上限值所对应的相对曝光量的倍数；

□ 梯度大的胶片宽容度一定小



$$L = E_2/E_1 = 10^{\lg E_2 - \lg E_1}$$

2.3.7 工业胶片系统的分类

- 工业胶片系统包括：射线胶片、增感屏（材质、厚度）、冲洗条件（方式、配方、温度、时间）的组合。
- 标准NB/T47013-2015中胶片系统分为：C1、C2、C3、C4、C5、C6六类，
- C1最高，C6最低。

胶片系统类别	梯度最小值 G_{min}		颗粒度最大值 $(\sigma_D)_{max}$	(梯度/颗粒度)最小值 $(G/\sigma_D)_{min}$
	D=2.0	D=4.0	D=2.0	D=2.0
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：表中黑度D均指不包括灰雾度的净黑度。				

2.3.9 胶片的使用与保管

胶片的选用，应根据：照相技术要求、线质、工件厚度、材料种类等条件综合考虑。

1. A级和AB级检测技术应采用C5类或更高类别胶片，B级采用C4或更高类别胶片（5.4）；
2. 采用 γ 射线和高能X射线，以及对强度 $R_m \geq$ 梯噪比：一定黑度下，底片梯度与颗粒度的比值。
别胶片（5.4）；
3. 当某些检测条件不能满足AB级（或B）级检测技术要求时， $\text{梯噪比} = \frac{\text{梯度}}{\text{颗粒度}}$ 在采取有效补偿措施（如选用更高类别的胶片）的前提下，可进行射线检测（4.3.3,4.3.4）；
4. 在能满足像质相求的前提下，如需缩短曝光时间，可使用梯噪比较小（类别较低）的胶片；
5. 在工作环境温度、湿度较高时，宜选用抗潮性能较好的胶片；
6. 在工作环较干燥时，宜选用抗静电感光性较好的胶片。

2.3.9 胶片的使用与保管

射线胶片使用和保存的注意事项：

1. 不可接近氨、硫化氢、煤气、乙炔和酸等有害气体，否则会产生灰雾；
2. 裁片时不可把胶片上的衬纸去掉，以防止裁切过程中将胶片划伤，不要多片同时裁切，防止扎到擦伤胶片；
3. 装片和取片时，胶片与增感屏应避免摩擦，否则会擦伤胶片，在显影后底片上会产生黑线；
4. 装片和取片时，还应避免胶片受压受曲受折，否则会在底片上出现新月形的折痕影像；
5. 开封后的胶片和装入暗袋的胶片要尽快使用，如工作量较小，一时不能用完，则要采取干燥措施；
6. 胶片宜保存在低温（10~15℃）低湿（55%~65%）环境中，湿度高会使胶片与衬纸粘在一起，湿度过低，容易产生静电感光；
7. 胶片应远离热源和射线源的影响，在暗室红灯下操作不宜距离过近，暴露时间过长；
8. 胶片应竖放，避免受压。

2.3.9 胶片的使用与保管

常见的伪缺陷

