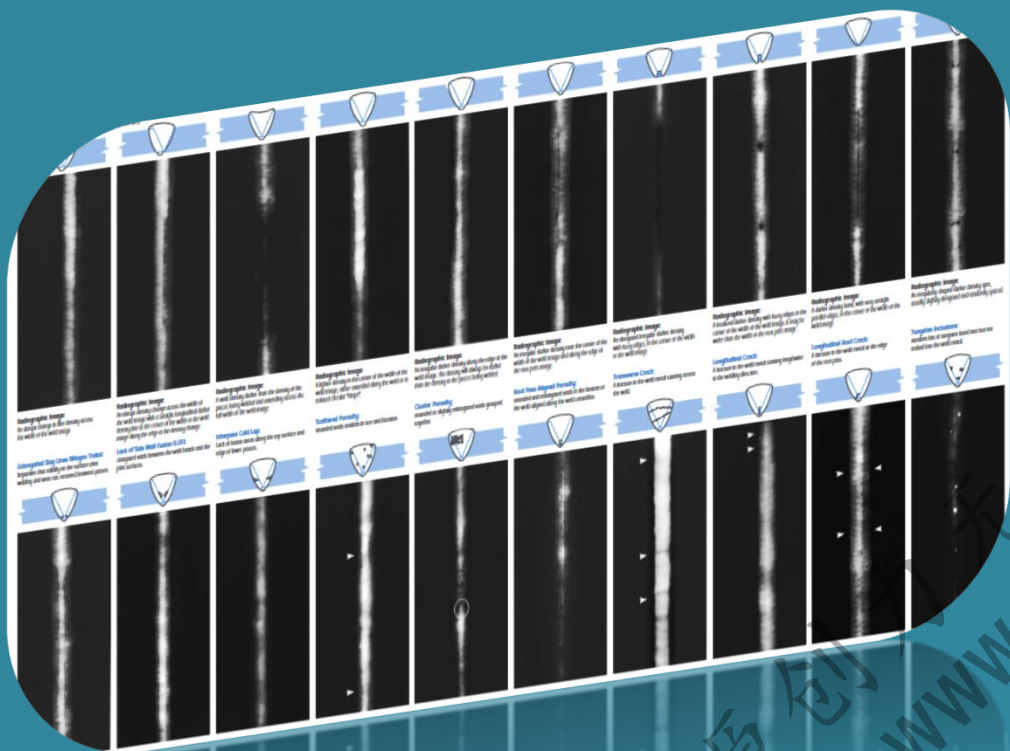


射线检测

第三章 射线照相质量的影响因素



3.1 射线照相灵敏度的影响因素

3.1.1 概述

3.1.2 射线照相-对比度

3.1.3 射线照相-清晰度

3.1.4 射线照相-颗粒度

3.1.1 概述

什么是射线照相灵敏度?

作用

射线照相灵敏度：是评价射线照相影像质量的最重要的指标。

从定性方面：

是指发现和识别最小影像的难易程度

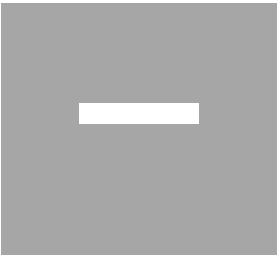
从定量方面：

是指在射线底片上可以观察到的最小缺陷尺寸或最小细节尺寸

描述
灵敏度

绝对灵敏度：指在射线照相底片上所能发现的沿射线穿透方向上的最小缺陷尺寸。

相对灵敏度：指该最小缺陷尺寸与射线透照厚度的百分比。



3.1.1 概述

灵敏度 的测量

像质计灵敏度：为便于定量评价射线照相灵敏度，常用与被检工件或焊缝的厚度有一定百分比关系的人工结构，如：金属丝、孔、槽等组成的透度计，又称**像质计**，作为底片影像质量的监测工具，由此得到的灵敏度称**像质计灵敏度**。

- ◆ **自然缺陷灵敏度**：是指在射线底片上所能发现的工件中最小自然缺陷的尺寸；
- ◆ 像质计灵敏度不等于自然缺陷灵敏度，因为自然缺陷灵敏度是缺陷的形状系数、吸收系数和三维位置的函数；
- ◆ 像质计灵敏度的提高，表示底片像质水平也相应提高，因而也能间接地反应出射线相对最小自然缺陷检出能力。

3.1.1 概述

灵敏度 三大要素

射线照灵敏度是：对比度、不清晰度、颗粒度，这三大要素的综合结果。

射线照相质量-对比度：射线照相底片上某一区域和相邻区域的黑度差。



射线照相质量-不清晰度：射线照相底片上的黑度变化过度区域的宽度，用来描述清晰度的是“不清晰度”。



射线照相质量-颗粒度：均匀曝光的射线底片上影像黑度分布不均匀的视觉印象。



3.1.1 概述

影响射线照相灵敏度的因素

对比度 ΔD		不清晰度 U		颗粒度
$\Delta D = 0.434G \cdot \mu\Delta T / (1 + n)$		$U = \sqrt{U_g^2 + U_i^2}$		—————
主因对比度	胶片对比度	几何不清晰度	固有不清晰度	—————
$\Delta I / I = \mu\Delta T / (1 + n)$	$G = \Delta D / \lg E$	$U_g = d_f L_2 / L_1$	$U_i = 0.0013 (kv)^{0.79}$	射线线质 μ
射线线质 μ	显影条件（配方、时间、活度、温度、搅动）	焦点尺寸 d_f	射线线质 μ	胶片系统（胶片型号、粒度、感光速度、增感屏）
厚度差 ΔT	胶片类型（梯度 G ）	焦点至工件表面距离 L_1	增感屏种类	冲洗条件（显影温度、时间、配方）
散射比 n	底片黑度 D	工件表面至胶片距离 L_2	屏-片贴紧程度	底片黑度 D
对小缺陷，射线照相几何条件				曝光量 It

3.1.2 射线照相对比度

	主因对比度	胶片对比度
表达式:	由射线强度差异产生的底片对比度 $\frac{\Delta I}{I} = \mu \Delta T / (1 + n)$ ΔI:局部区域射线强度与附近区域的差值 I:透过试件到达胶片的射线强度 μ: 试件材料的线衰减系数 ΔT: 局部区域透射厚度差值 n: 散射比	由胶片梯度产生的对比度 $G = \Delta D / \Delta \lg E$ $\bar{G}$: 胶片平均梯度 ΔD: 底片黑度差 $\Delta \lg E$: 曝光量对数值差

3.1.2 射线照相对比度

射线照相的对比度 ΔD

产生射线底片的对比度 ΔD 是主因对比度 $\Delta I/I$ 与胶片对比度 G 共同作用的结果，主因对比度是构成底片对比度的根本原因，胶片对比度可看作主因对比度的放大系数。

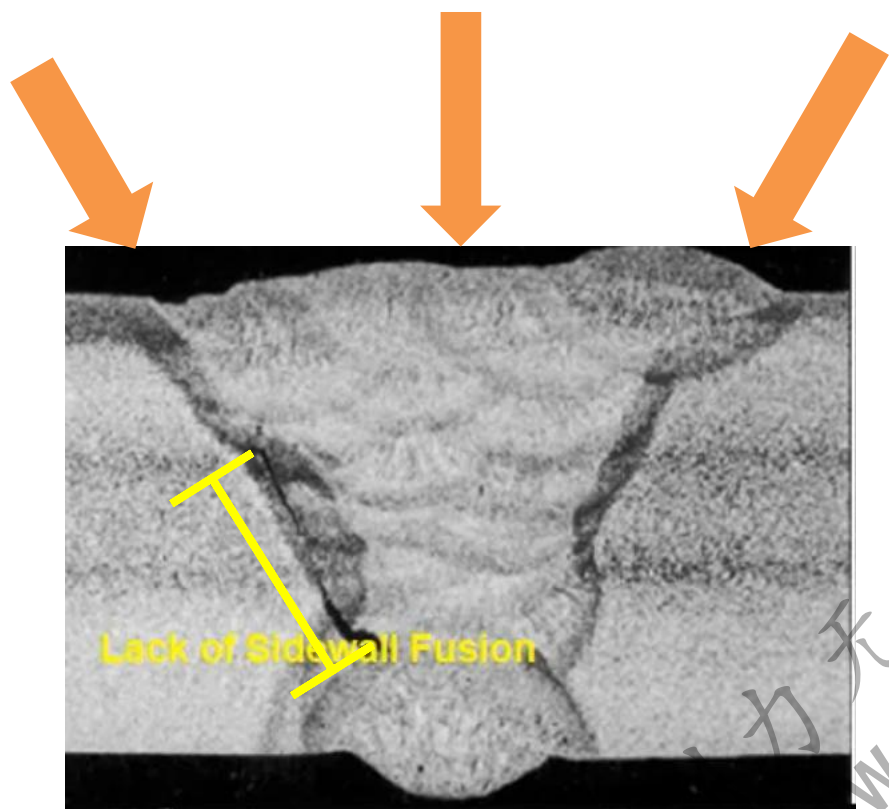
$$\Delta D = 0.434G \cdot \mu \Delta T / (1 + n)$$

3.1.2 射线照相对比度

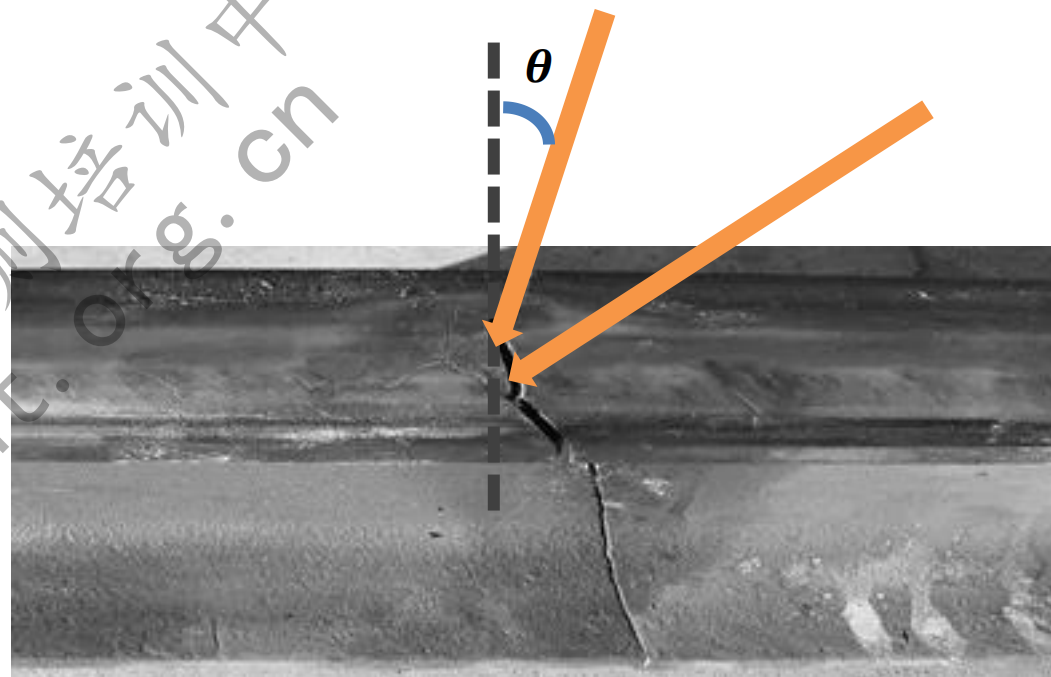
如何提高射线照相的对比度 ΔD ，提高后又会造成什么不良影响？

$$\Delta D = 0.434G \cdot \mu \Delta T / (1 + n)$$

1	增大 μ 值	可以通过采用能量较低的射线进行透照，但这样会使曝光时间增加、穿透能力下降。
2	增大 ΔT 值	选择适当的透照方向或控制一定的透照角度； a. 为检出坡口未熔合，选择沿坡口方向透照； b. 为保证裂纹检出率，必须控制射线束角度，使之与裂纹的夹角不得过大。
3	减小 n 值	要减小散射比，透照时必须采取有效的控制措施和屏蔽散射线。（P121）
4	增大 G 值	a. 选用G值更高的微粒胶片，但高G值的微粒胶片感光速度较慢，需要增大曝光时间； b. 增大黑度值； c. 调整显影条件，比如增加显影时间、提高显影温度，但会增加颗粒度； d. G值增大，会牺牲厚度宽容度，底片上有效评定区缩小，检测成本增大；
5	对小缺陷来说，射线照相几何条件也会影响其影像对比度 ΔD 。	

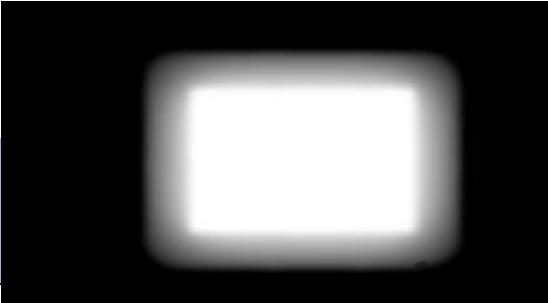


坡口未熔合



横向裂纹

3.1.3 射线照相清晰度

	几何不清晰度		固有模糊度
表达式:	由射线照相几何条件引起 $U_g = d_f L_2 / L_1$ U_g: 几何不清晰度 d_f: 焦点尺寸 L_1: 焦点至工件表面的距离 L_2: 工件表面至胶片的距离	由照射到胶片上的射线在乳剂层中激发的电子的<u>散射</u>所产生 $U_i = 0.0013(kv)^{0.79}$ U_i: 固有模糊度	
取决因素:	<u>焦点尺寸、工件表面至胶片的距离、焦点至工件表面距离</u>	<u>射线线质、增感屏的种类、屏-片贴紧程度</u>	

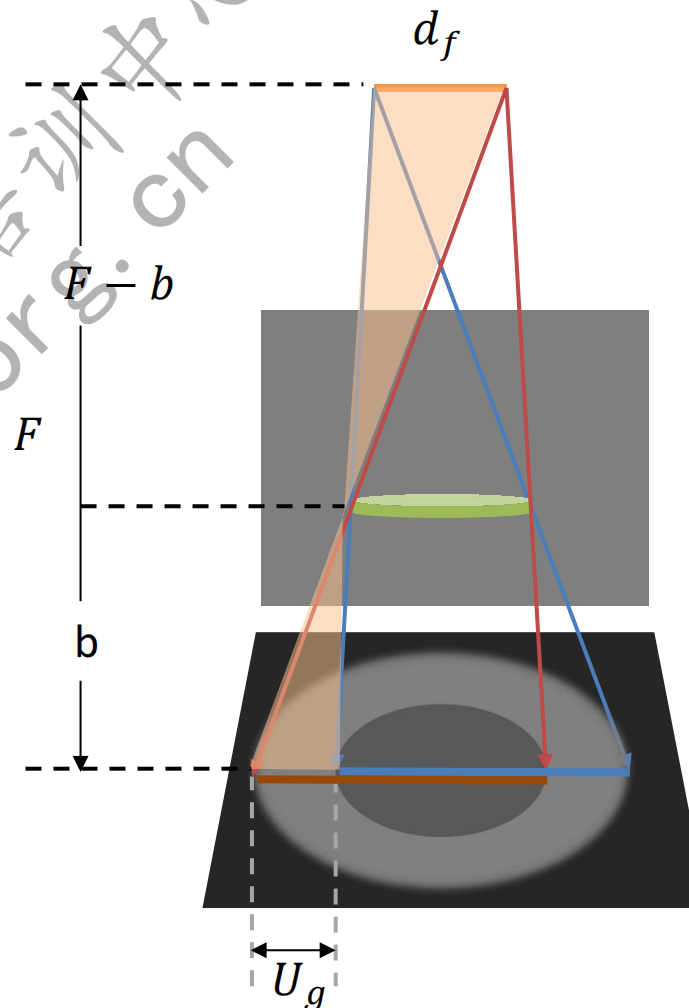
3.1.3 射线照相清晰度

几何不清晰度 U_g

由于射线源具有一定尺寸，所以照相时工件表面轮廓或工件中的缺陷在底片上的影像边缘会产生一定宽度的半影，此半影宽度就是几何不清晰度 U_g 。

$$\frac{U_g}{d_f} = \frac{b}{F - b} \quad \longrightarrow \quad U_g = d_f \times \frac{b}{F - b}$$

- d_f : 焦点尺寸
- b : 缺陷至胶片的距离;
- F : 焦点至胶片的距离 (焦距)



3.1.3 射线照相清晰度

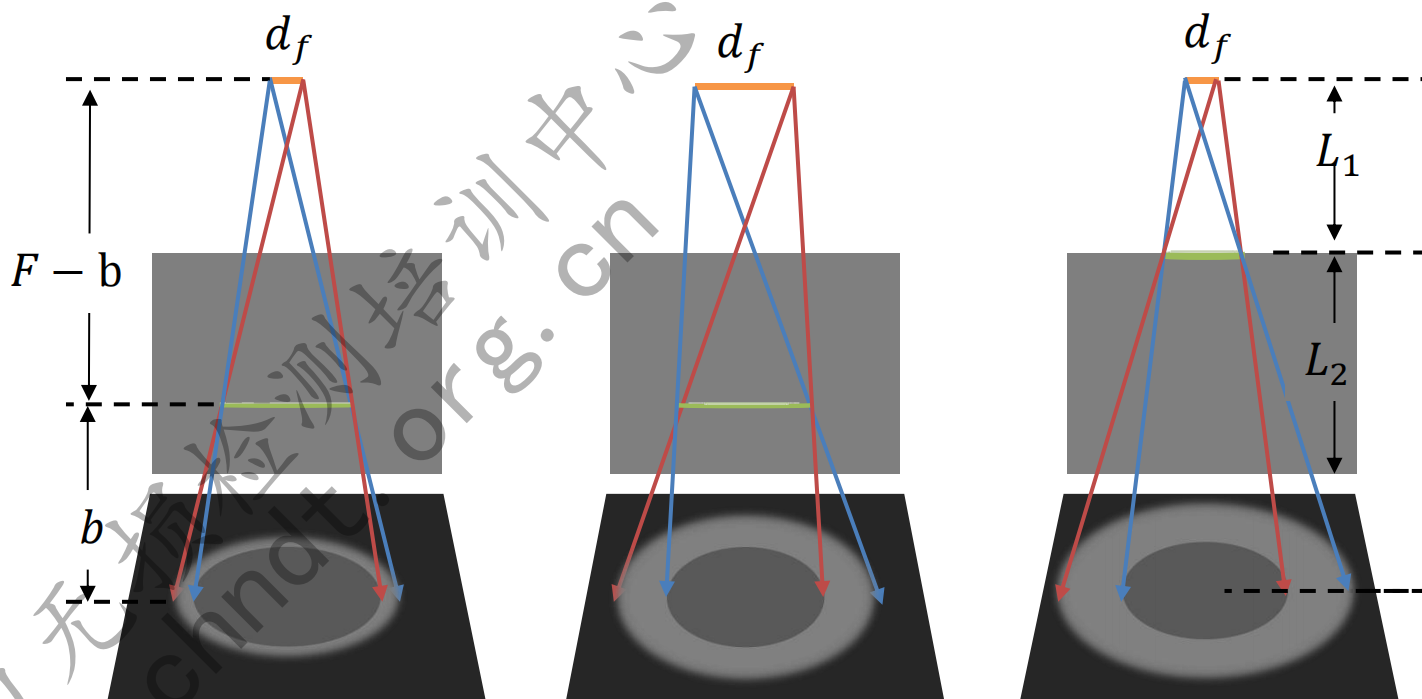
$$U_g = d_f \times b / (F - b)$$

U_g 最大值 U_{gmax} 发生在远离胶片的工件表面;

$b \rightarrow L_2$:工件表面至胶片的距离

$F - b \rightarrow L_1$:焦点至工件表面的距离

$$U_{gmax} = d_f \times L_2 / L_1$$



- ❑ 通常技术标准中所规定的几何不清晰度为最大几何不清晰度 U_{gmax} ;
- ❑ 几何不清晰度与焦点尺寸 d_f 和工件表面至胶片距离 L_2 成正比, 与射线源至工件表面距离 L_1 成反比;

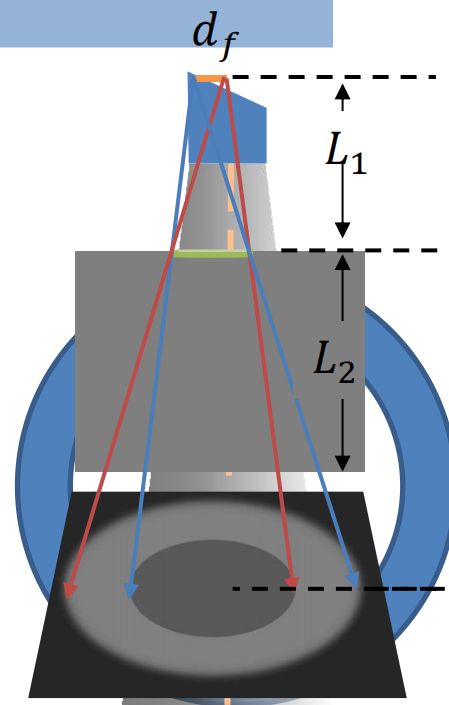
3.1.3 射线照相清晰度

如何控制几何不清晰度

$$U_{gmax} = d_f \times L_2/L_1$$

$$U_g = d_f \times \frac{b}{F - b}$$

- ❑ 在实际检测中，焦点尺寸与工件厚度是给定的，为获得较小的 U_g 值，透照时需要取较大焦距 F ，但由于射线强度与距离平方成反比，如果要保证底片黑度不变，在增大焦距的同时就必须延长曝光时间或提高管电压，对此要综合权衡。
- X射线照相时，由于透射场中各个位置焦点尺寸不同，阴极一侧的焦点较大，其对应的几何不清晰度也较大。实际上，由于照射场光学焦点从阴极到阳极都是变化的，因此，从焊缝（平板）照相，底片上各点的 U_g 值也是不同的，环缝（曲面）照相，由于距离、厚度的变化，底片上的 U_g 变化更大、更复杂。
- 实践应用都是以透照中心部位最大 U_g 值为控制指标，对不同部位 U_g 的变化忽略不计。



阴极侧：

- 焦点尺寸较大
- 射线强度较高
- 线质较软

3.1.3 射线照相清晰度

例题：采用双壁双影法透照 $\varphi 76$ （外径） $\times 3$ 的管子对接焊缝，焊缝余高为2mm，已知X射线机焦点尺寸为3mm。透照焦距为600mm，求胶片侧焊缝和射线源侧焊缝的照相几何不清晰度 U_{g1} 和 U_{g2}

胶片侧： $U_{g1} = d_f \times \frac{L_2}{L_1} = 3 \times (3 + 2)/(600 - 3 - 2) = 0.025\text{mm}$

源侧： $U_{g2} = d_f \times \frac{L_2}{L_1} = 3 \times (76 + 2 \times 2)/(600 - 76 - 2 \times 2) = 0.46\text{mm}$

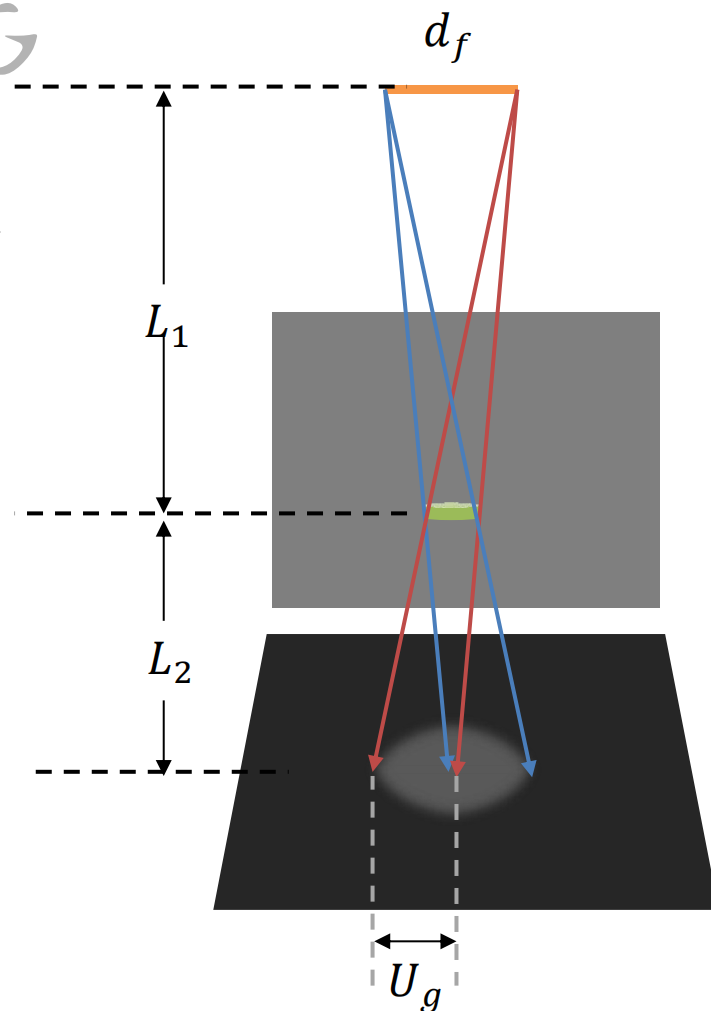


3.1.3 射线照相清晰度

射线照相几何条件影响小缺陷 对比度

- ❑ 对小缺陷来说，其影像只由半影构成，此时射线照相几何条件将直接影响其影像的对比度；
- ❑ 小缺陷，是指横向尺寸远小于射线源尺寸的缺陷，如小的点状缺陷和细的线状缺陷；
- ❑ 减小 d_f 、 L_2 ，增大 L_1 ，可以提高小缺陷影像对比度。

$$U_g = d_f L_2 / L_1$$

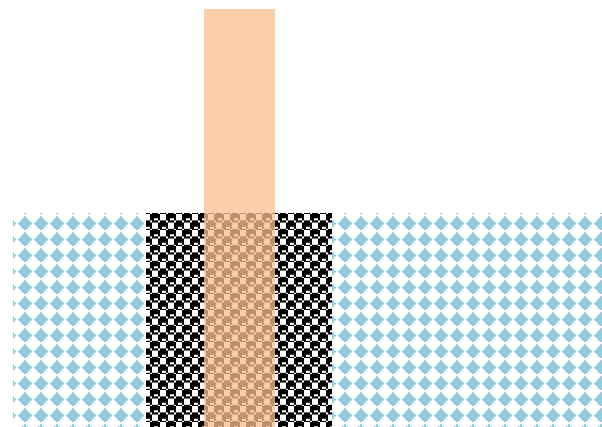


3.1.3 射线照相清晰度

固有不清晰度 U_i

固有不清晰度：由照射到胶片上的射线在乳剂层中激发出的电子的散射所产生。

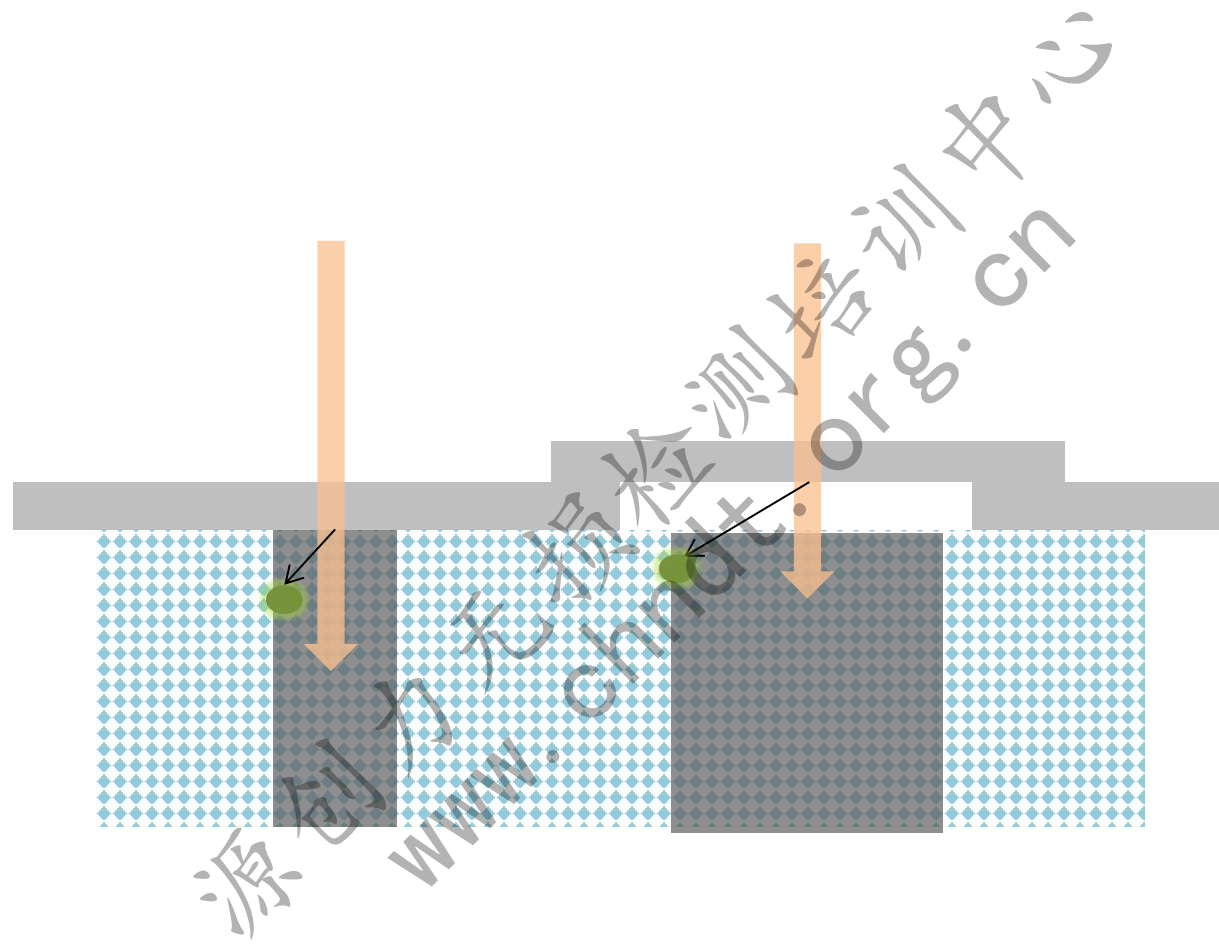
- 当光子穿过乳剂层，会在乳剂层中激发出的电子；
 - 这些电子会向各个方向散射，动能较低电子作用于邻近区域的卤化银颗粒，动能较大的电子可穿过多个卤化银颗粒，作用于较远距离的卤化银颗粒；
 - 由于电子的作用，会使卤化银颗粒感光，产生潜影；
 - 这就造成潜影区域的扩散，从而导致影像轮廓的模糊。
- ❑ 固有不清晰度宽度直接取决散射电子在胶片乳剂层中作用的平均距离；
 - ❑ 射线照相固有不清晰度可以采用“铂-钨双丝像质计”测定。



3.1.3 射线照相清晰度

固有不清晰度 U_i 的大小与哪些因素有关？

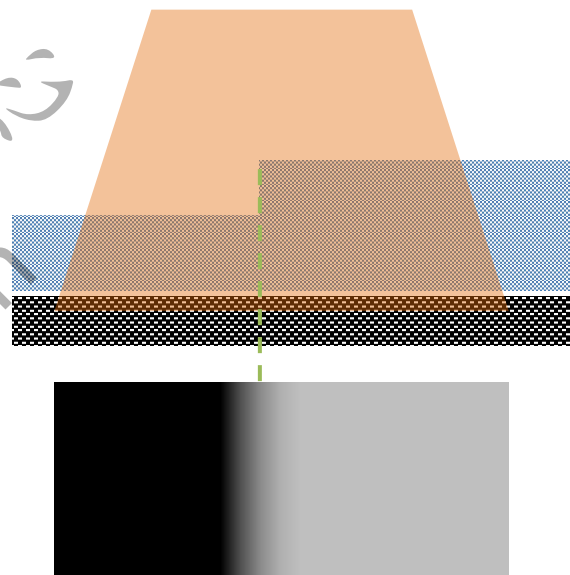
1	射线的线质	❑ 固有不清晰度主要取决于射线的能量，能量越高U_i值越大 ➤ 100~400KV范围：$U_i = 0.0013(kV)^{0.79}$ ➤ 能量越高，激发的电子在乳剂层中的行程越长，固有不清晰度越大；
2	增感屏	❑ 固有不清晰度与增感屏的材料种类、厚度、增感屏的使用情况有关 ➤ 在中低能量射线照相中，使用铅增感屏固有不清晰度大于不使用铅增感屏的底片； ➤ 在γ射线和高能X射线照相中，使用铜、钽、钨、钢屏的固有不清晰度均小于铅屏； ➤ 增感屏厚度变化固有不清晰度也将有所改变；
3	屏-片贴紧程度	透照时，如暗盒内增感屏和胶片贴合不紧，留有间隙，会使固有不清晰度增大



3.1.3 射线照相清晰度

射线照相底片上的总不清晰度 U 是 U_g 和 U_i 的综合效果

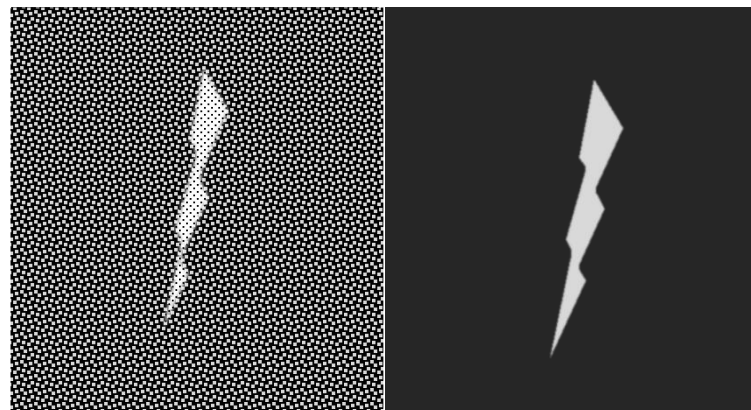
$$\text{关系式: } U = \sqrt{U_g^2 + U_i^2}$$



- 在中低能量X射线照相中， U_i 值很小，影响照相清晰度的决定性因素是 U_g ，为提高清晰度，宜减小 U_g 值
- 高能X射线，以及Co60、Cs137γ射线照相中， U_i 值较大，对照相清晰度有显著影响，为提高清晰度，宜减小 U_i 值。

3.1.4 射线照相颗粒度

射线底片上影像黑度分布不均匀的视觉印象称为**颗粒性**，**颗粒度**是评价颗粒性的量化指标，颗粒度限制了影像能记录的细节的最小尺寸。
(影像颗粒性与胶片卤化银粒度是不同的)



颗粒性的产生原因和影响因素：

1、胶片噪声：与银盐粒度、感光速度有关

▣ 颗粒性随胶片粒度和感光速度的增大而增大

2、量子噪声：与射线能量、曝光量和底片黑度有关

▣ 颗粒性随能量的提高而增大，随曝光量增大和底片黑度增大而减小

3、显影噪声：与显影时间、显影温度、显影液配方值有关

▣ 颗粒性随显影时间的增加、显影温度的增高、显影液PH值增高而增大

总结

影响射线照相灵敏度的因素

对比度 ΔD		不清晰度 U		颗粒度
$\Delta D = 0.434G \cdot \mu \Delta T / (1 + n)$		$U = \sqrt{U_g^2 + U_i^2}$		—————
主因对比度	胶片对比度	几何不清晰度	固有模糊度	—————
$\Delta I / I = \mu \Delta T / (1 + n)$	$G = \Delta D / \lg E$	$U_g = d_f L_2 / L_1$	$U_i = 0.0013 (kv)^{0.79}$	射线线质 μ
射线线质 μ	显影条件（配方、时间、活度、温度、搅动）	焦点尺寸 d_f	射线线质 μ	胶片系统（胶片型号、粒度、感光速度、增感屏）
厚度差 ΔT	胶片类型（梯度 G ）	焦点至工件表面距离 L_1	增感屏种类	冲洗条件 （显影温度、时间、配方）
散射比 n	底片黑度 D	工件表面至胶片距离 L_2	屏-片贴紧程度	底片黑度 D
对小缺陷，射线照相几何条件				曝光量 It