



射线检测

第一章 射线检测的物理基础

源创力无损检测培训中心
www.cnndt.org.cn



源创力无损检测培训中心

1.2 射线的种类和性质

1.2.1 X射线和 γ 射线的性质

1.2.2 X射线的产生及其特点

1.2.3 γ 射线的产生及其特点

射线也叫辐射，是携带能量的波或者粒子束，我们后面所讲的射线，如不特殊说明，都是指X射线和 γ 射线。

1.2.1 X射线和 γ 射线的性质

X射线和 γ 射线与无线电波、红外线、可见光等都属于电磁波，只是波长不同、产生方法不同。

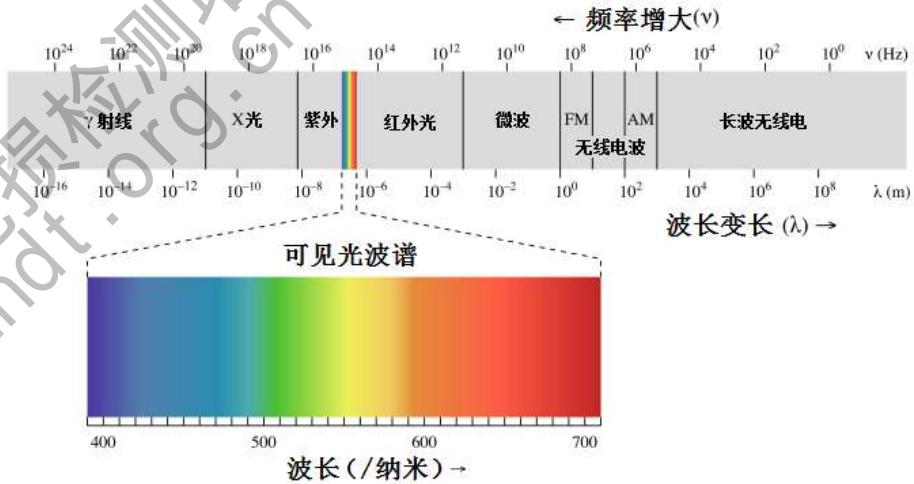
$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

λ : 波长

C: 光速

ν : 频率

- 频率越大、波长越短，
- 波长越短，能量越大，
- 能量越大，穿透能力越强



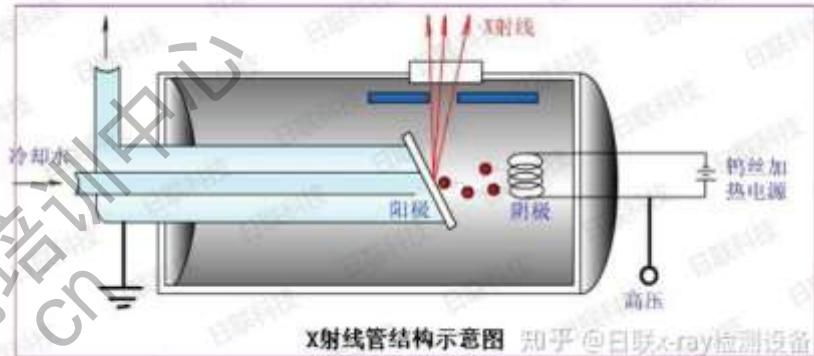
1.2.1 X射线和 γ 射线的性质

X射线和 γ 射线具有以下性质：

1. 在真空中以光速直线传播；
2. **本身不带电，不受电场和磁场影响；**
3. 在异质界面上只能发生漫反射，而不能像可见光那样产生镜面反射，他们的折射系数接近1，所以折射的方向改变不明显；
4. 可以发生干涉和衍射现象；
5. 肉眼不可见；
6. 在穿透物质过程中，会与物质发生复杂的物理和化学作用；
7. 具有辐射生物效应，能够杀死生物细胞，破坏生物组织。

1.2.2 X射线的产生及其特点

- 阴极：钨丝； 阳极（靶）：钨、钼；
- 阴极、阳极之间施加很高电压（管电压）；
 - 管电压：X射线管的阴极和阳极之间的电压。
- 阴极加热到白炽状态释放大量电子，电子在管电压形成的高压电场作用下加速，从阴极飞向阳极（管电流）；
 - 管电流：X射线管阴极和阳极之间的电子流。
- 电子最终以很大速度撞击金属靶原子，失去所有动能；
- 根据能量守恒，失去的动能大部分转化为热能，极少部分转换成电磁波（X射线）。



像X射线这种，由电子与原子相撞后发生骤然减速产生的辐射，称为 韧致辐射。

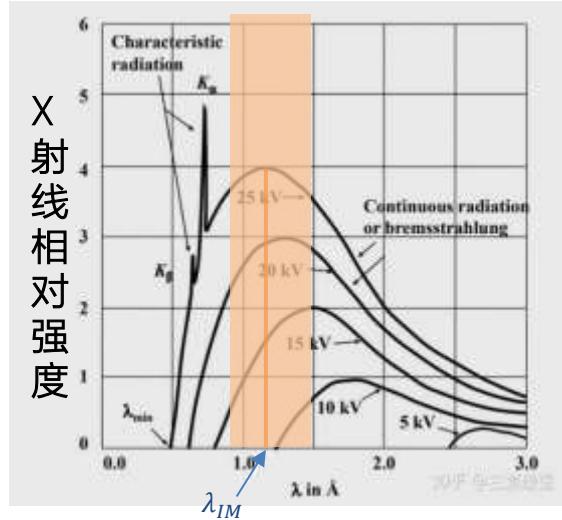
1.2.2 X射线的产生及其特点

1. 连续谱的产生和特点

- 韧致辐射产生过程中，相撞前电子初速度、运动状态各不相同，因而相撞时减速程度也不相同，这就使得X射线具有各种波长，因此X射线的波谱呈连续分布；
- 最短波长 λ_{min} 只取决于管电压，而与靶材料和管电流无关；

$$\lambda_{min} = \frac{12.4}{V}$$

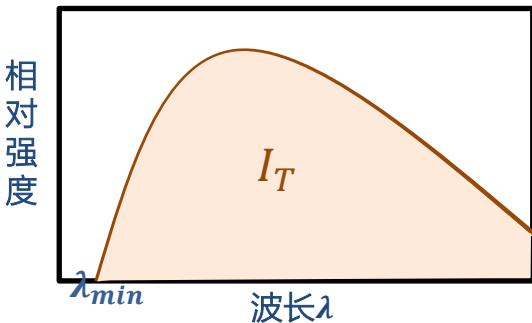
- 连续谱中最大强度对应的波长 $\lambda_{IM} \approx 1.5\lambda_{min}$
- 实际检测中，最大强度波长 λ_{IM} 邻近波段的射线起主要作用。



1.2.2 X射线的产生及其特点

连续X射线的**能量**：可以用管电压来表示。 $\lambda_{min} = \frac{12.4}{V}$

连续X射线的**总强度**：可以用连续谱线下所包含的面积表示。



连续X射线的总强度影响因素

$$I_T = K_i Z i V^2$$

$$\eta = \frac{I_T}{iV} = K_i Z V$$

V : 管电压

i : 管电流

Z : 靶材料的原子序数

K_i : 比例常数

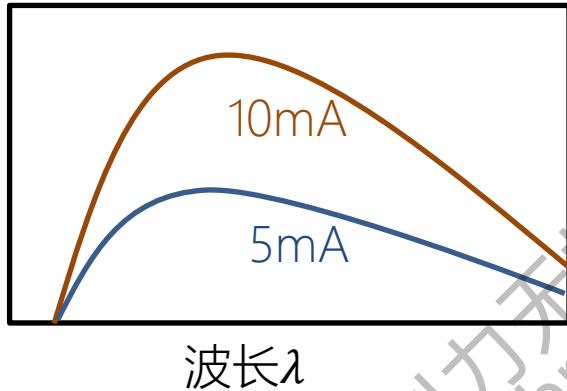
I_T : 连续X射线总强度

η : X射线的产生效率

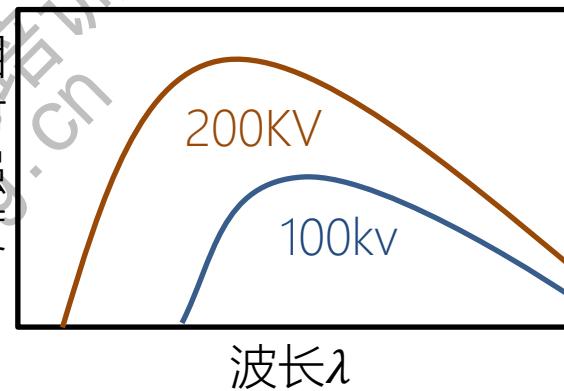
X射线总强度与管电流、靶材料原子序数、管电压的平方成正比；

X射线产生效率与管电压、靶材料原子序数成正比，与管电流无关。

相对强度 —



相对强度 —



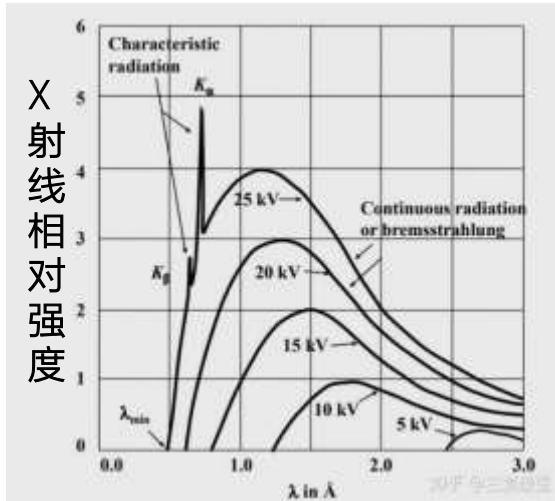
1.2.2 X射线的产生及其特点

2. 标识谱的产生和特点

当X射线管两端所加电压超过某个临界值时，波谱曲线上除了连续谱外，还将在特定波长位置，出现强度很大的线状谱线，叫作标识谱。

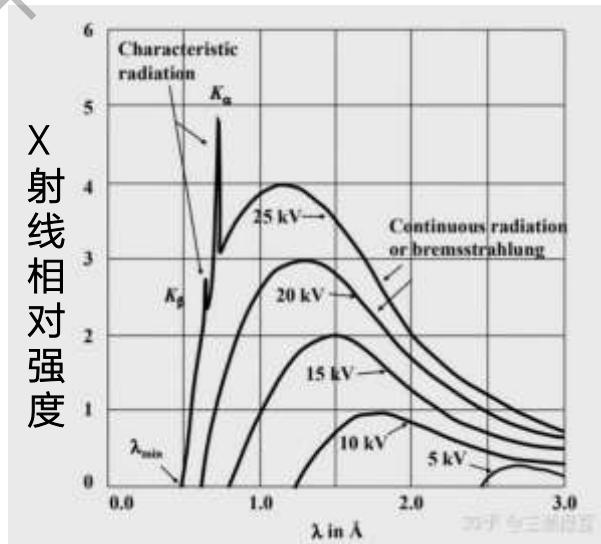
产生机理：

X射线管的管电压超过临界值时，阴极发射的电子获得足够能量，在与阳极靶相撞时，可以把阳极靶原子的内层电子逐出，此时该原子处于激发状态，同时外层电子将向内层跃迁，并以X射线的形式向外辐射能量。



1.2.2 X射线的产生及其特点

- 标识谱的波长只取决于阳极靶面的材料，而与管电压、管电流无关，因此把这种可以标识靶材料特征的波谱称为**标识谱**；
- 标识谱波X射线强度只占极少部分，工业检测中这部分X射线不起作用；
- 标识谱主要用于光谱分析，测定物质组成元素。

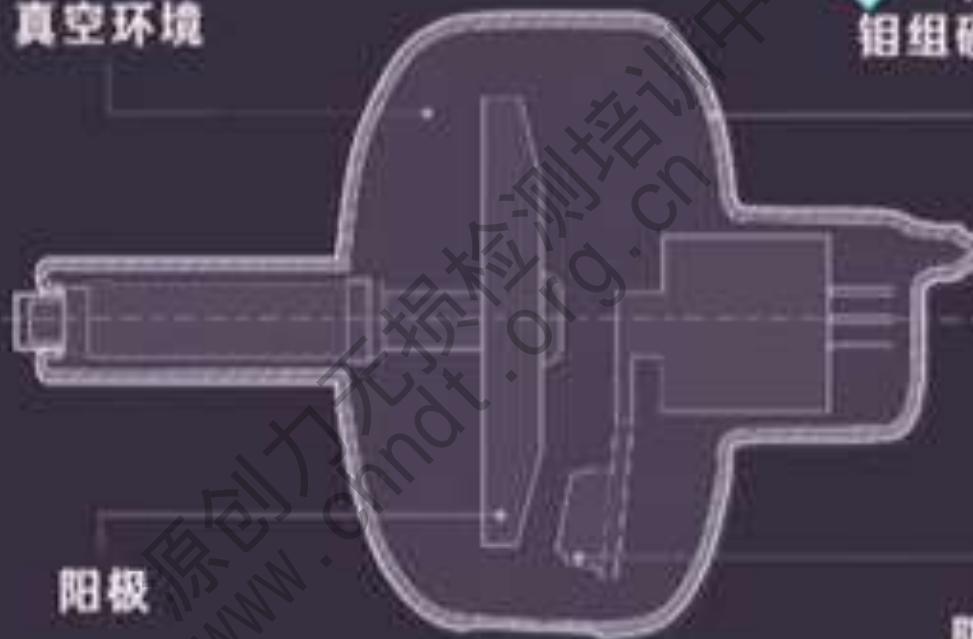


喵影工厂
filmora9
钼组硬质玻璃

真空环境

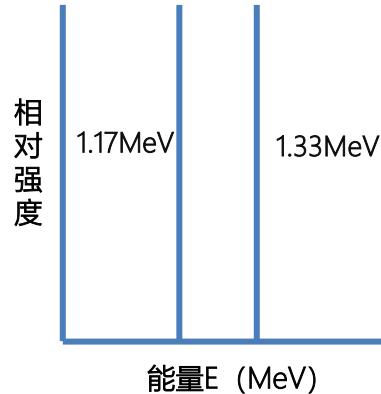
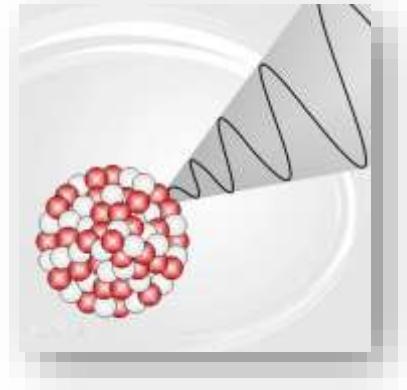
阳极

阴极



1.2.3 γ 射线的产生及其特点

- γ 射线是放射性同位素经过 α 衰变 或 β 衰变后，从原子核内发出的，这个过程叫作 γ 衰变；
- γ 射线能量大（几千-十几兆电子伏特），穿透能力很强。

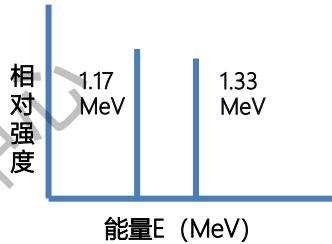


Co60经过一次 β 衰变，变成处于2.5MeV激发态的Ni60，放出能量分别为1.17MeV和1.33MeV两种 γ 射线，从而跃迁到基态。

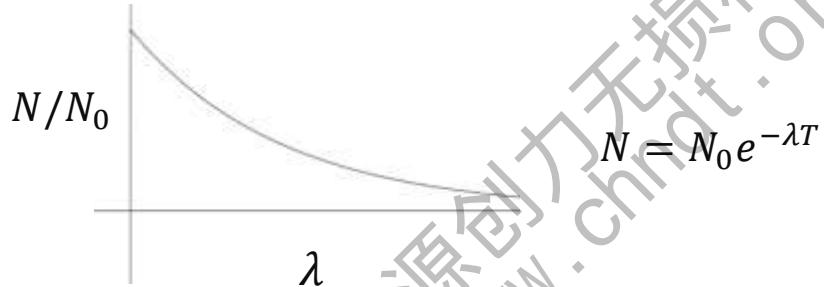
γ 射线的能量由放射性同位素的种类决定，一种放射性同位素能释放特定的多种能量的 γ 射线。

1.2.3 γ 射线的产生及其特点

- γ 射线的能量：由放射性同位素的种类决定；
- γ 射线的强度：由这一种放射性同位素的数目决定。



放射性同位素的衰变是自发进行的，对于某一个原子的衰变是偶然的，但是对于足够多的放射性同位素，其衰变服从统计学规律，并可以推算出来。



N_0 :初始放射性原子核数目

N :经过 T ，(剩余的)放射性原子核数目

λ :衰变常数

T :时间

衰变常数 (λ)：是放射性物质的固有属性，

λ 值越大， N/N_0 越小，说明物质衰变越快，越不稳定。

1.2.3 γ 射线的产生及其特点

$$N = N_0 e^{-\lambda T} \rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} \rightarrow T = \frac{\log_e \frac{1}{2}}{-\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

放射性同位素衰变掉原有数目一半所需的时间，称为**半衰期**，用 $T_{1/2}$ 表示。

$T_{1/2}$ 也反映了放射性物质的固有属性， λ 越大， $T_{1/2}$ 越小，衰变越快。

1.2.3 γ 射线的产生及其特点

$$N = N_0 e^{-\lambda T} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

例题：已知Co60半衰期为5.3年

1. 求衰变常数

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{5.3} = 0.131$$

2. 8年后其放射性强度衰变到初始强度的百分比。

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T} = e^{-0.131 \times 8} = 35\%$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}^{8/5.3} = 35\%$$

3. 多少年后衰变到初始强度的20%?

$$\frac{N}{N_0} = e^{-0.131 \times T} = 0.2, \quad T = \frac{\log_e 0.2}{-0.131} = 12 \text{ (年)}$$