



# 第五章 X(或 $\gamma$ )射线在物质中的衰减

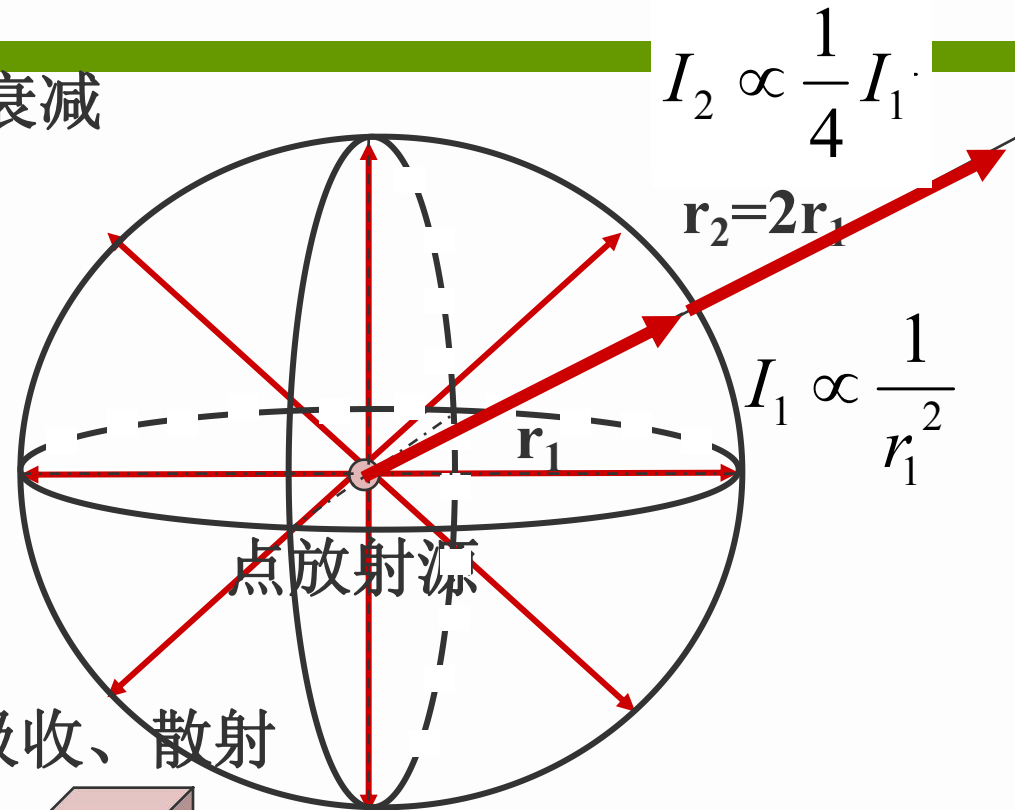
## 学习目标

- ◆掌握连续X射线在物质中的减弱规律及影响诊断X线在人体中衰减吸收的主要因素
- ◆了解窄束X线及宽束X线的概念及其在介质中的衰减
- ◆能够根据X线在介质中的衰减规律，解释X线在医疗领域的应用

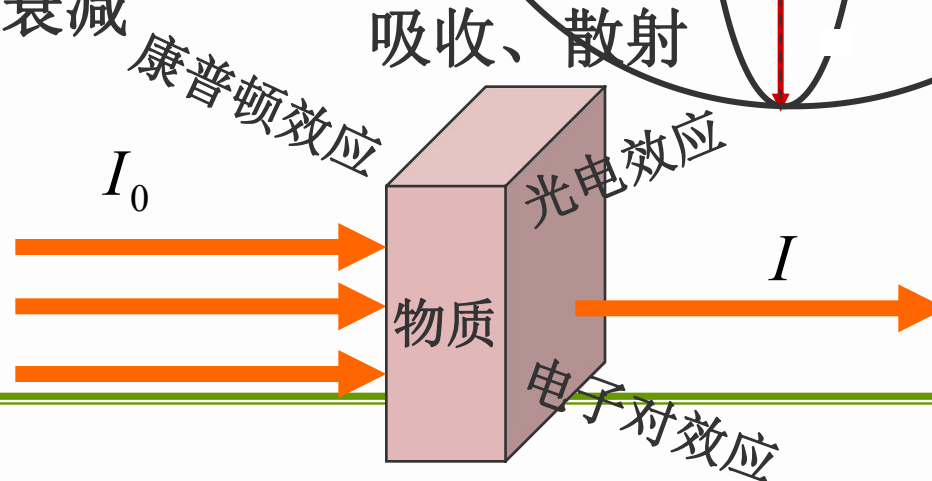
# X(或 $\gamma$ )射线在传播过程中强度的衰减

## 1. 距离所致衰减——扩散衰减

以点源为球心，半径不同的各球面上的射线强度，与距离(即半径)的平方成反比，这一规律称为**射线强度衰减的平方反比法则**



## 2. 物质所致衰减





# 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

单能射线：由能量相同的光子组成的X线，  
具有单一的波长或频率

单能射线的吸收衰减

## 一、窄束X线在物质中的衰减规律

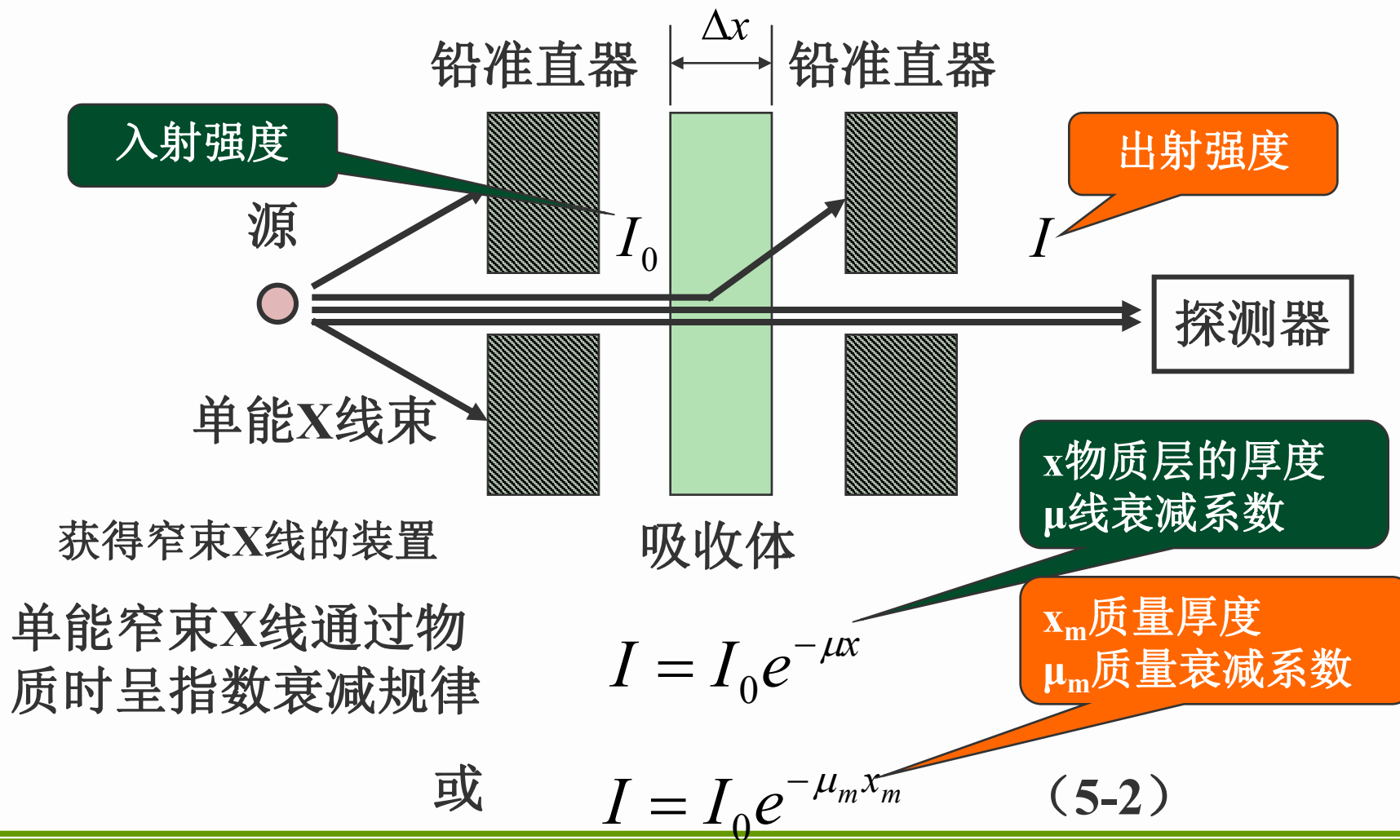
### (一) 窄束X线概念

窄束是指所包括的散射线成份很少的辐射束  
射线束中不存在散射成份



# 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

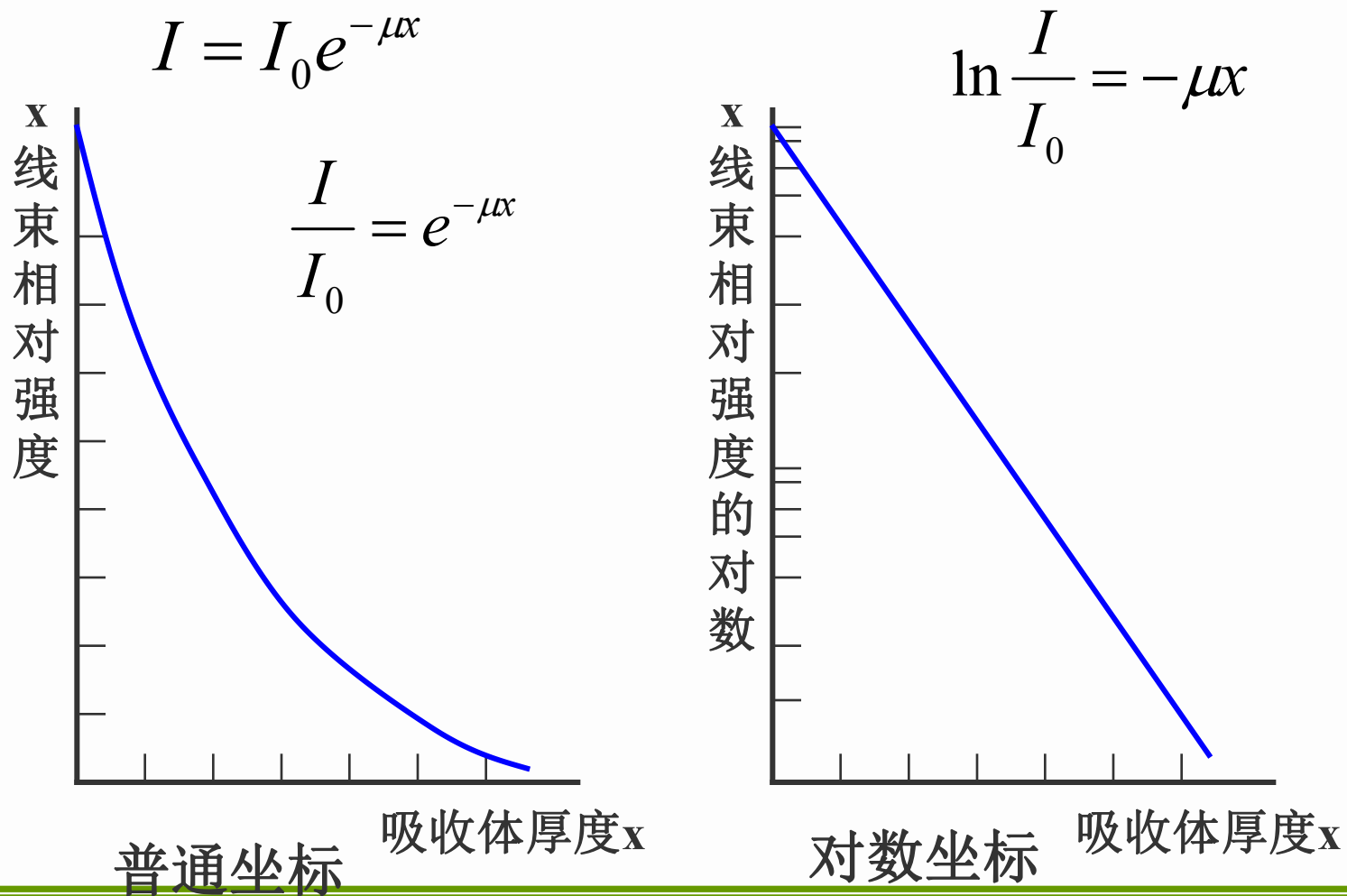
## (二) 窄束X线的衰减规律





# 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

单能窄束X线通过物质时呈指数衰减规律



单能窄束X线和衰减曲线

影像技术专业



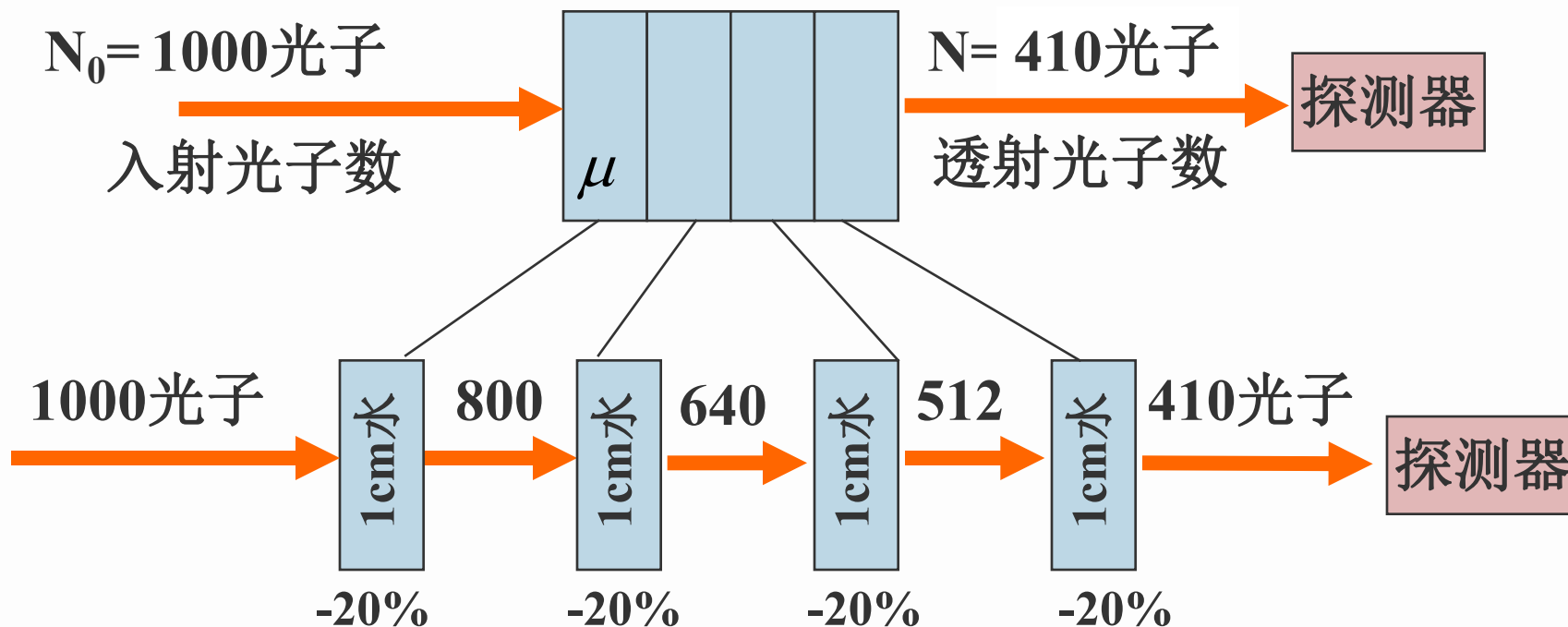
# 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

## 单能窄束X线的指数衰减规律

设  $\mu = 0.2\text{cm}^{-1}$

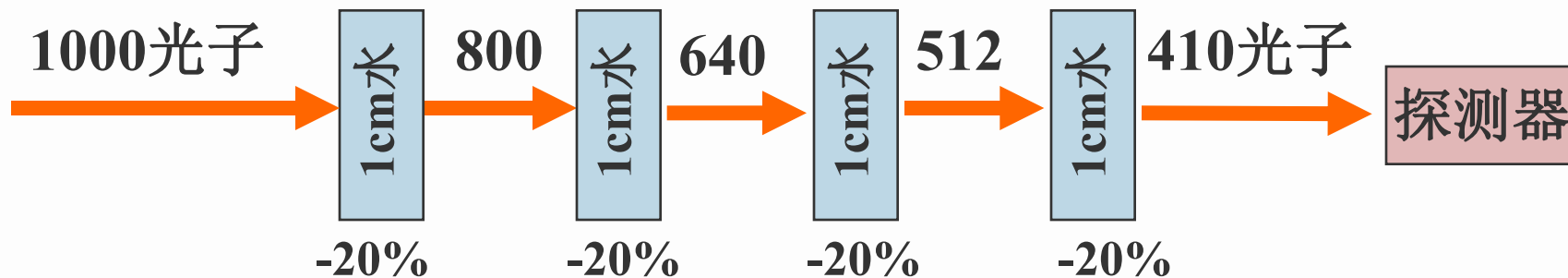
$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (5-3)$$

1cm水模型  
(1cm × 4)





## 第一节 单能X线在物质中的衰减规律



**结论** 单能窄束X线在通过物质时只有光子个数的减少，而无光子能量的变化

其指数减弱规律就是射线强度在物质层中都以相同的比率衰减 按等比衰减永远也不会为零

很厚的吸收物质层，仍可能有一定强度的射线透过 不可能完全被吸收



# 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

## 二、宽束X线在物质中的衰减规律

### (一) 宽束X线概念

宽束X线是指含有散射线成份的X线束

窄束与宽束的区别就在于是否考虑了散射线的影

### (二) 积累因子 材料的屏蔽效果，安全防护设计

在物质中所考虑的那一点的光子总计数与未经碰撞  
原射线光子计数率之比，用B表示

$$B = \frac{N}{N_n} = \frac{N_n + N_s}{N_n} = 1 + \frac{N_s}{N_n} \quad (5-4)$$





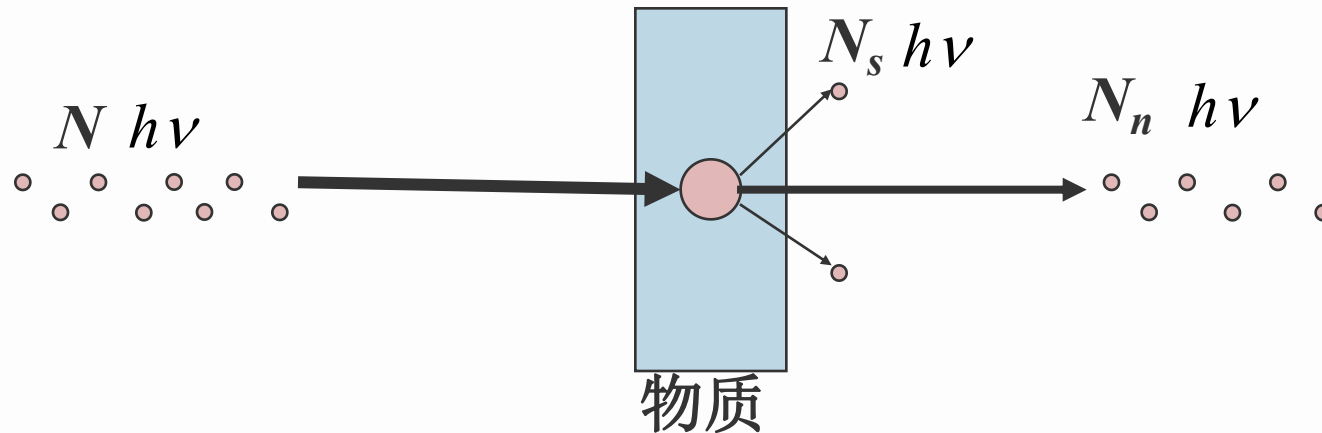
## 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

$$B = \frac{N}{N_n} = \frac{N_n + N_s}{N_n} = 1 + \frac{N_s}{N_n} \quad (5-4)$$

式中： $N_n$ 为物质中所考虑的那一点的未经碰撞的原射线光子的计数率

$N_s$ 为物质中所考虑的那一点的散射光子的计数率

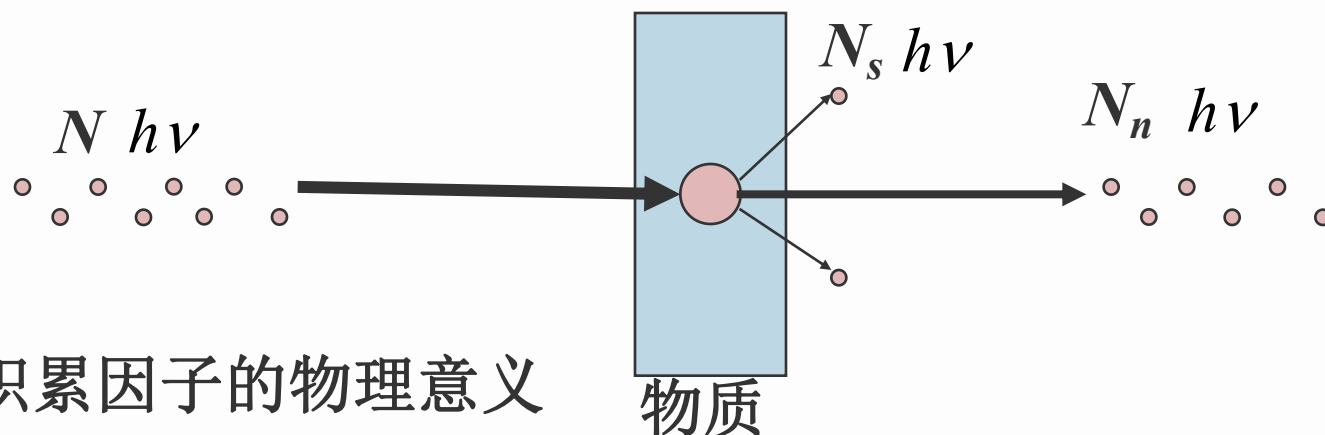
$N$ 为物质中所考虑的那一点的光子的总计数率  $N = N_n + N_s$





## 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

$$B = \frac{N}{N_n} = \frac{N_n + N_s}{N_n} = 1 + \frac{N_s}{N_n} \quad (5-4)$$



$B$ 的大小反映了在考虑的那一点散射光子数对总光子数的贡献

对宽束而言,  $B > 1$ ; 在理想窄束条件下,  $N_s=0$ ,  $B=1$

描述散射光子影响的物理量, 它反映了宽束与窄束的区别



## 第一节 单能X线在物质中的衰减规律

### (三) 宽束X线的衰减规律

欲较准确地用来计算屏蔽体的厚度，可在窄束X线的指数衰减规律上引入积累因子 $B$ 加以修正

$$I = BI_0 e^{-\mu x} \quad (5-5)$$

积累因子近似算法

$$B = 1 + \mu x \quad (5-6)$$

式中： $\mu$ 为线衰减系数  
 $x$ 为吸收物质的厚度



## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

窄束和宽束X线的指数衰减规律只是对单能的X线而言

一般情况下，X线束是由能量连续分布的光子组成，当穿过一定厚度的物质层时，各能量成分衰减的情况并不一样，并不遵守单一的指数衰减规律

### 一、连续X线在物质中的衰减特点

连续能谱窄束X线的衰减

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$

$$I = I_{01}e^{-\mu_1 x} + I_{02}e^{-\mu_2 x} + \cdots + I_{0n}e^{-\mu_n x} \quad (5-7)$$

式中：  $I_1, I_2, \cdots, I_n$  为各种能量X线束的透过强度

$I_{01}, I_{02}, \cdots, I_{0n}$  为各种能量X线束的入射强度

$\mu_1, \mu_2, \cdots, \mu_n$  为线衰减系数， $x$  为吸收物质的厚度

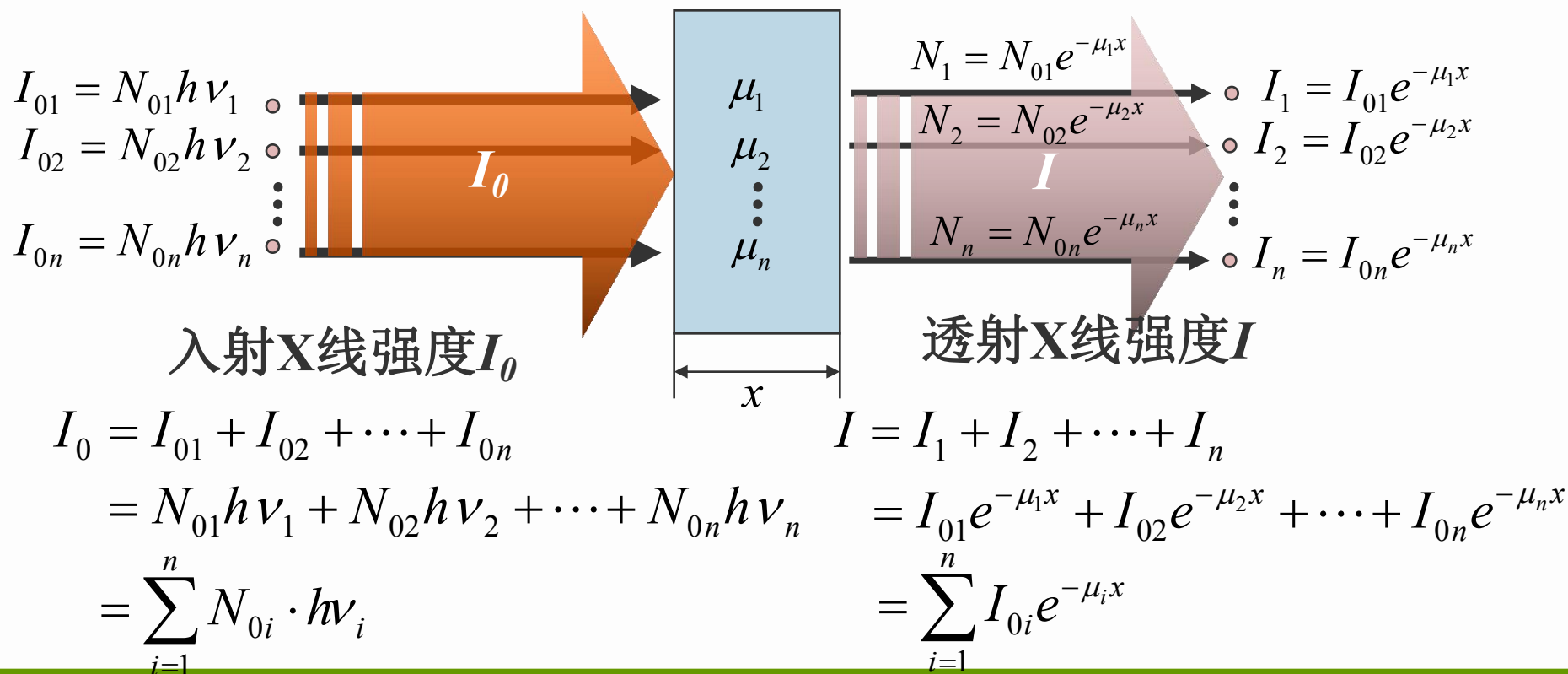


## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

连续能谱窄束X线的衰减 **特点：X线强度变小(量减小)**  
**硬度变大(质提高)**

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$

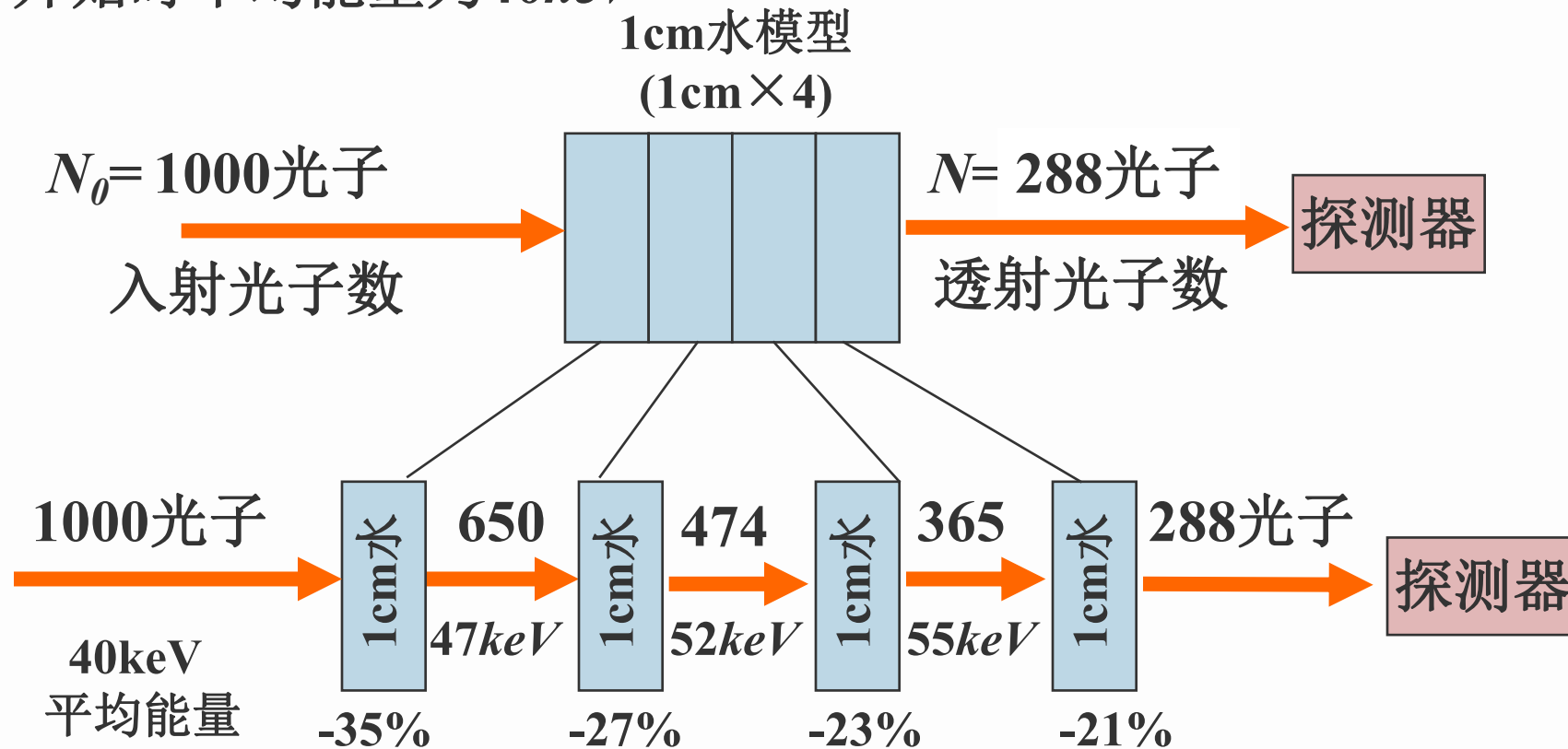
$$I = I_{01}e^{-\mu_1 x} + I_{02}e^{-\mu_2 x} + \cdots + I_{0n}e^{-\mu_n x} \quad (5-7)$$





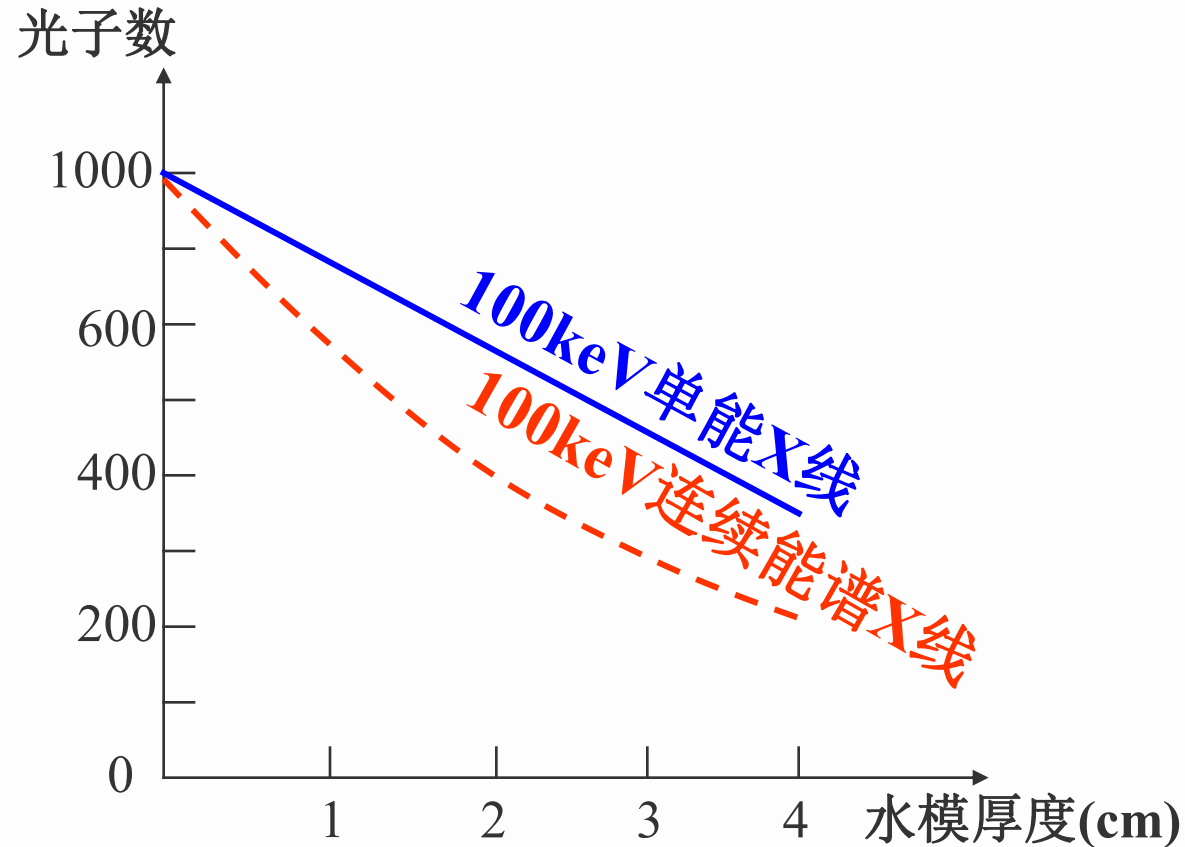
# 连续X线在物质中的衰减规律

设最高能量为  $(h\nu)_{\max} = 100\text{keV}$  的连续X线束，  
开始时平均能量为  $40\text{keV}$





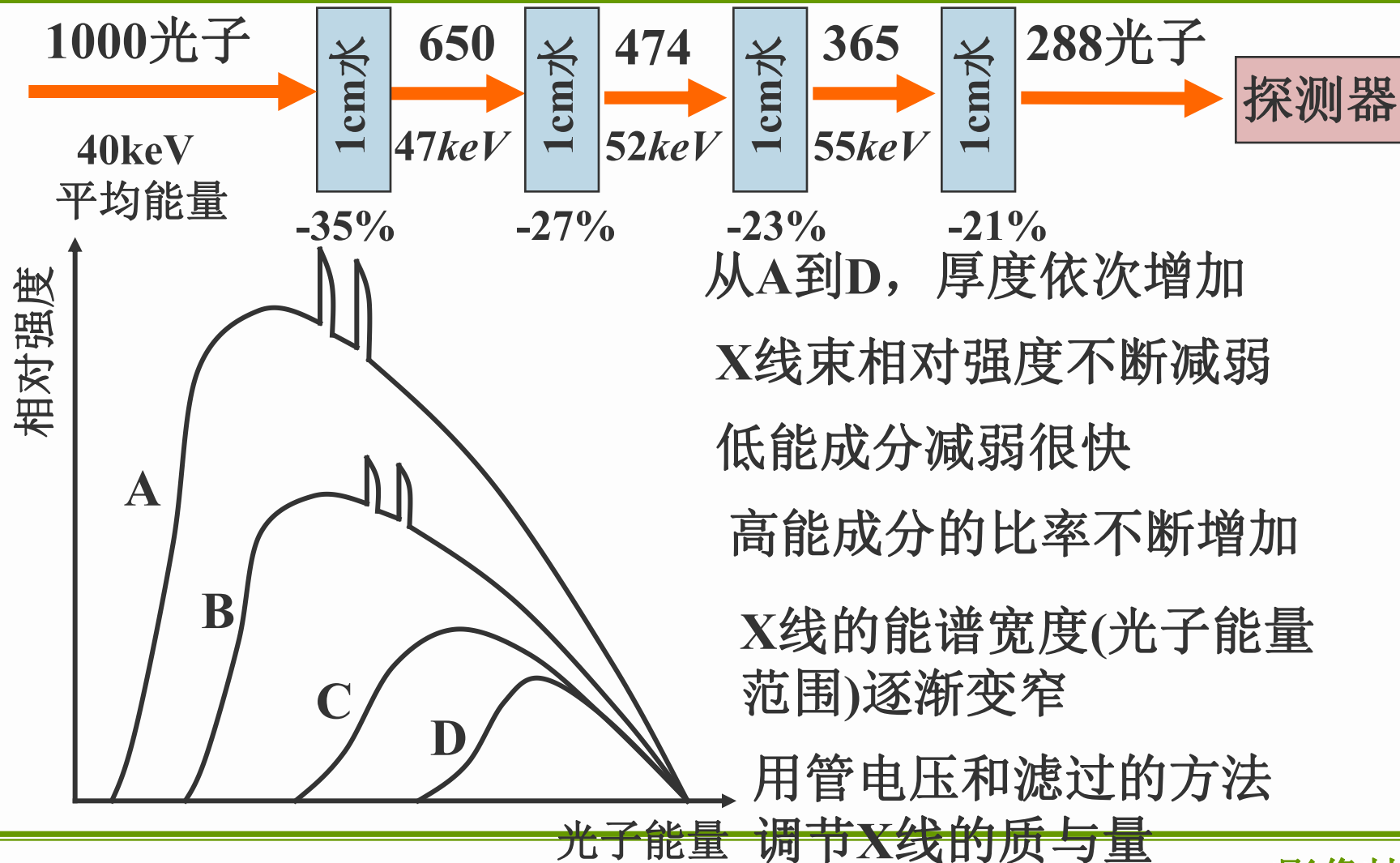
## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律



与相同条件下的单能X线相比  
连续能谱X线有更大的衰减



## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

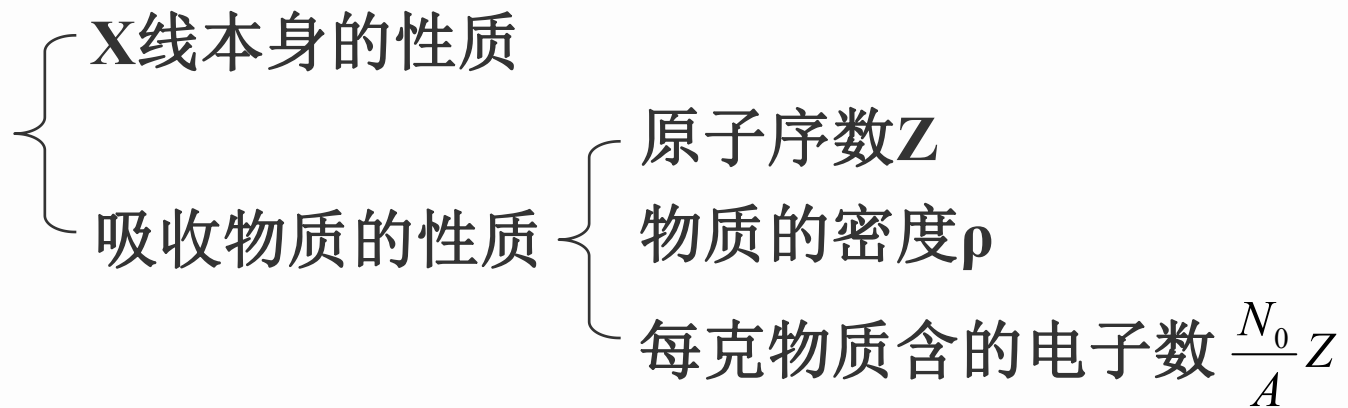






## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### 二、影响X线衰减的因素





## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### (一) 射线性质对衰减的影响

通过10cm的水单能窄束X线透过百分比

能量(keV)	透过百分数(%)	能量(keV)	透过百分数(%)
20	0.04	60	13.0
30	2.5	80	16.0
40	7.0	100	18.0
50	10.0	150	22.0

射线能量越高，衰减越少



## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### (二)物质原子序数对衰减的影响

原子序数愈高的物质，吸收X线也愈多

### (三)物质密度对衰减的影响

X线的衰减与物质密度成正比关系

密度  $\nearrow$   $\longrightarrow$  单位体积内的原子、电子数  $\nearrow$   $\longrightarrow$  相互作用的几率  $\nearrow$

### (四)每克电子数对衰减的影响

X线的衰减与一定厚度的电子数有关

每克电子数  $\nearrow$   $\longrightarrow$  X线衰减  $\nearrow$



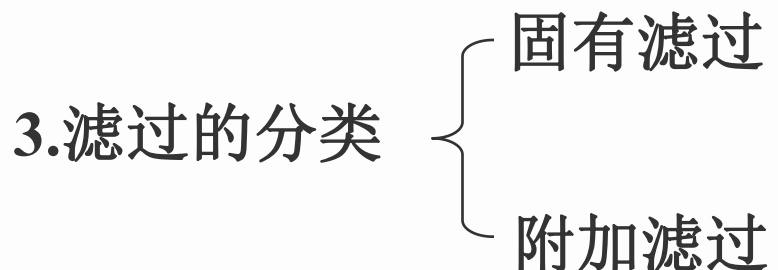
## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### 三、X线的滤过

#### 1.为什么要滤过？

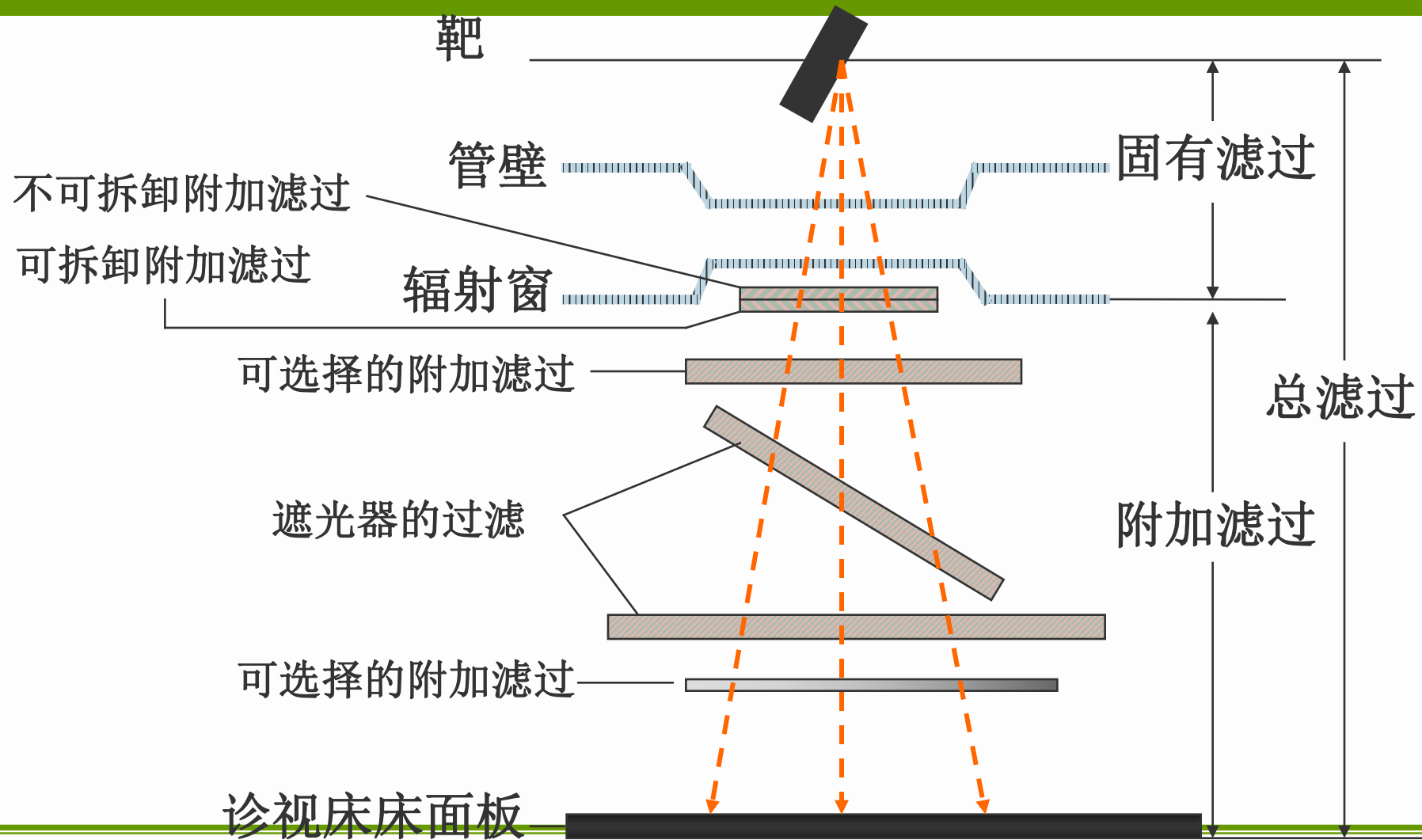
#### 2.定义：

在X线管出口放置一定均匀厚度的金属，预先把X线束的低能成分吸收掉，将X线的平均能量提高，这种过程就是所谓**滤过**，所用的金属片叫**滤过板**





## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律





## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### (一) 固有滤过

X线管组装体本身的滤过

- 玻璃管壁
- 绝缘油
- 管套上的窗口
- 不可拆卸的滤过板

用铝当量表示

铝当量( $\text{mmAl}$ )是指一定厚度的铝板与其他滤过材料相比较具有相同的衰减效果，则此铝板厚度( $\text{mm}$ )就是该滤过材料的铝当量

一般诊断用X线机的固有滤过 $0.5\sim 2\text{mmAl}$



## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### (二) 附加滤过

附加滤过

可拆卸的附加滤过板  
可选择的附加滤过板  
遮光器中的反光镜  
有机玻璃窗的滤过

#### 1. 滤过板的选择

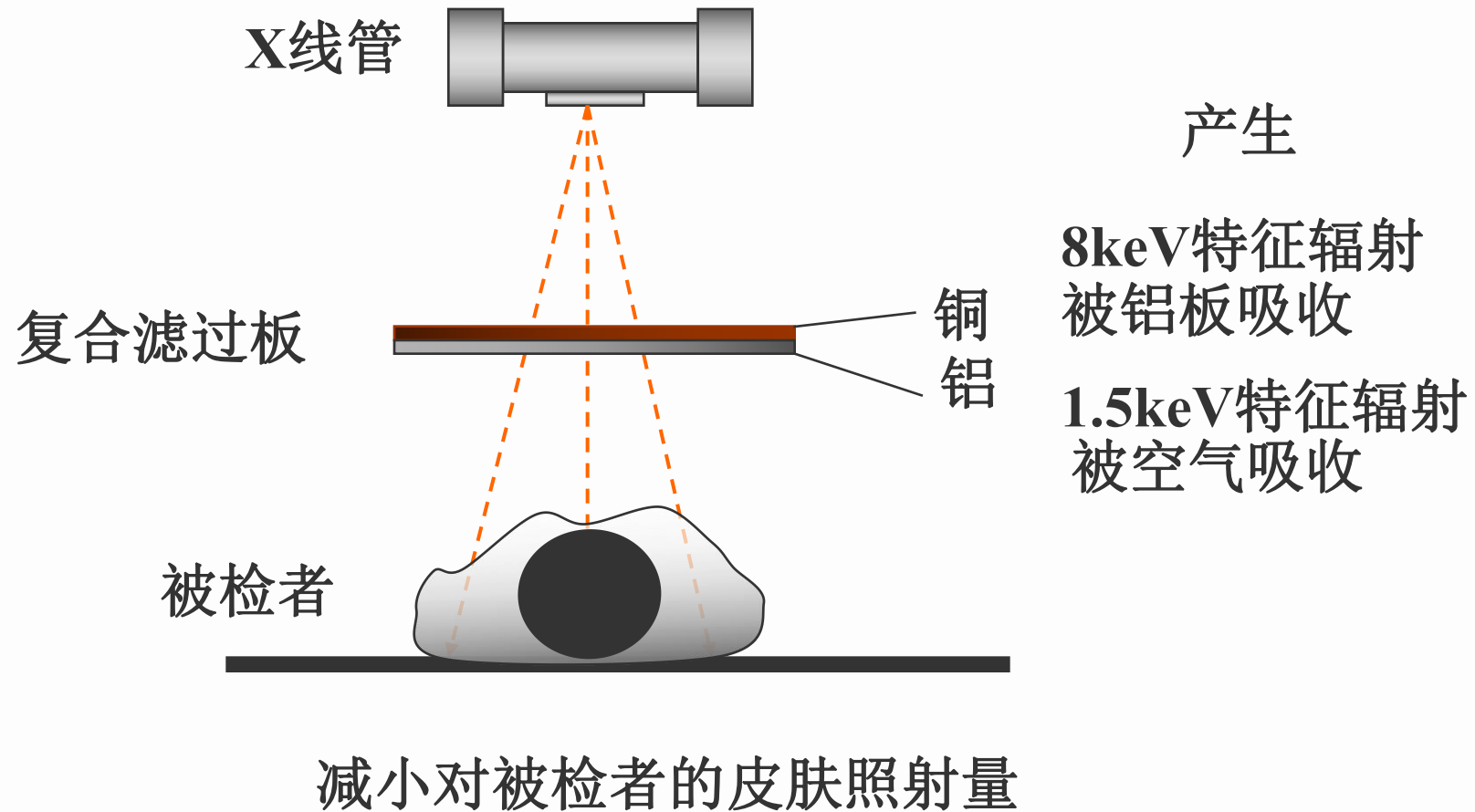
X线诊断中 { 铝 $Al(Z=13)$ , 对低能射线有很好的滤过  
铜 $Cu(Z=29)$ , 对高能射线有很好的滤过

注意 高原子序数物质不能单独作滤过板使用应从X线管窗口由里向外，按滤过板的原子序数由高到低依次排列，组成复合滤过板使用

为什么要这样？



## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律







## 第二节 连续X线在物质中的衰减规律

### 2.滤过板的厚度

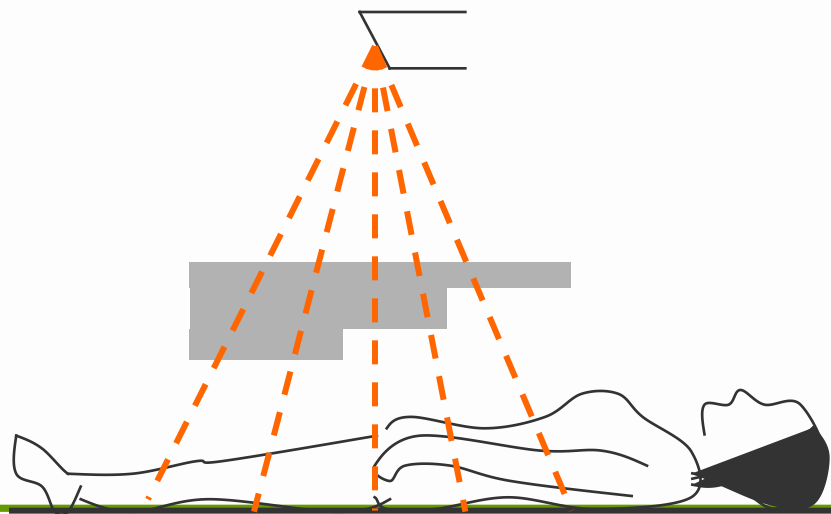
随着滤过板厚度的增加，低能射线迅速衰减，  
但高能射线衰减缓慢

### 3.滤过板的厚度对受照剂量的影响

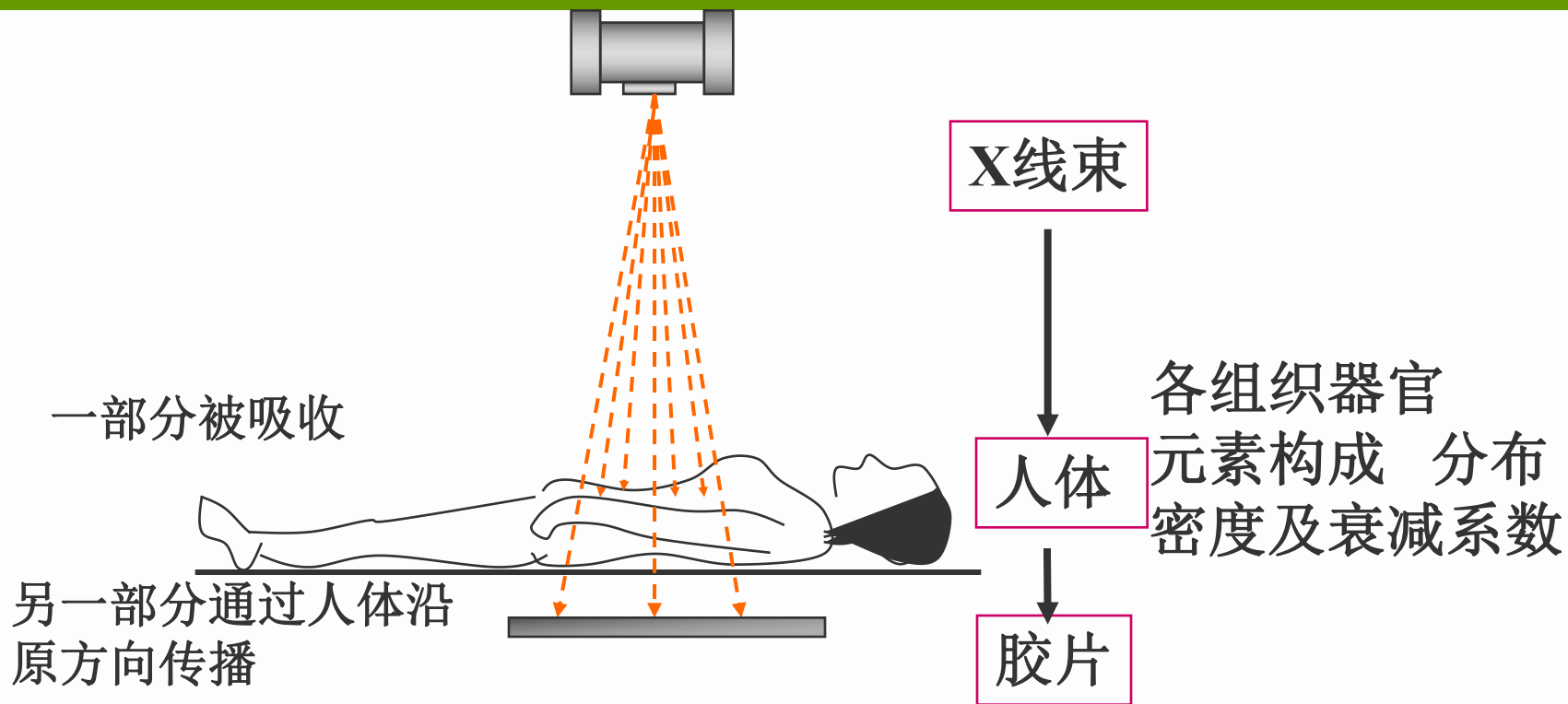
厚滤过技术可降低对受检者的照射剂量

### 4.滤过与投照时间

### 5.楔形或梯形滤过板



## 第三节 诊断放射学中X线的衰减



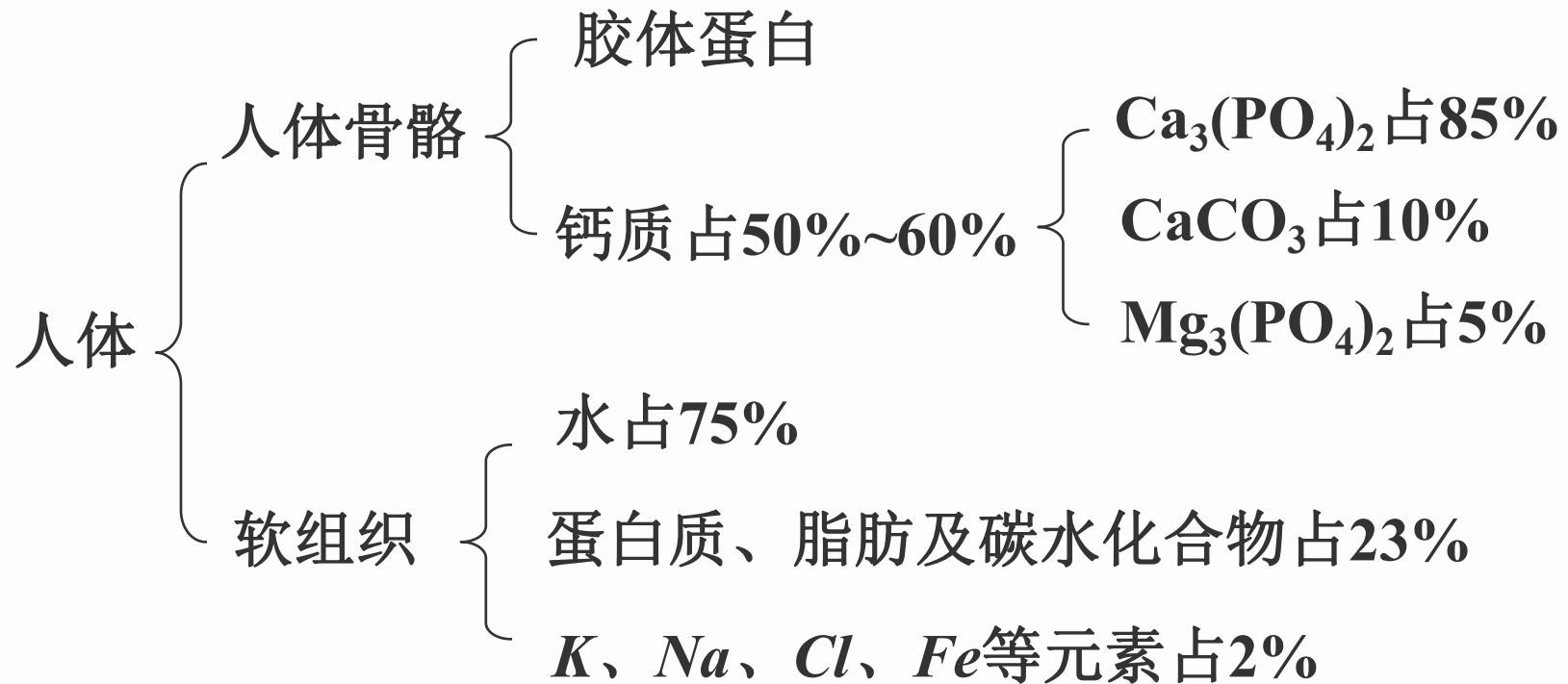
透过的X光子按特定形式分布  
形成X线影像

是人体的不同组织对X射线不同衰减的结果



### 第三节 诊断放射学中X线的衰减

#### 一、人体的构成元素和组织密度





### 第三节 诊断放射学中X线的衰减

#### 有效原子序数 ( $\bar{Z}$ )

在相同照射条件下，1kg复杂物质与1kg单质物质所吸收的辐射能相同时，则此单质的原子序数 ( $Z$ ) 就称为复杂物质的有效原子序数 ( $\bar{Z}$ )

$$\bar{Z} = \left( \sum a_i Z_i^{2.94} \right)^{\frac{1}{2.94}} \quad (5-8)$$

式中：  $a_i$  为第  $i$  种元素在单位体积中电子数占有比率

$Z_i$  为第  $i$  种元素的原子序数

近似计算公式

$$\bar{Z} = \left( \frac{a_1 Z_1^4 + a_2 Z_2^4 + \cdots + a_n Z_n^4}{a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \cdots + a_n Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5-9)$$



## 第三节 诊断放射学中X线的衰减

### 二、X线通过人体的衰减规律

#### 单能宽束X线的指数减弱规律

$$\mu = K\lambda^3 \bar{Z}^4 \rho \quad (5-9)$$

式中：  $\mu$  为被检体的线衰减系数

$\lambda$  为X光子的波长       $\rho$  为组织密度

$\bar{Z}$  为有效原子序数       $K$  为一比例常数



## 第四节 X线的临床应用

### 一、常规X线摄影技术

### 二、数字化X线成像技术

- (一)计算机X线摄影CR
- (二)直接数字化X线摄影系统DR
- (三)数字减影DSA

### 三、介入放射技术

### 四、计算机断层成像技术X-CT

### 五、利用X线的肿瘤放射治疗技术