

电离室测量吸收剂量原理

内容概要:

- 一、电离室的工作机制
- 二、电离室的工作特性
- 三、电离室测量吸收剂量的原理

电离室测量吸收剂量原理

一、电离室的工作机制

电离室测量吸收剂量的基本过程是：通过测量**电离辐射**在与物质相互作用过程中产生的**次级粒子的电离电荷量**，由计算得出吸收剂量。

电离室测量吸收剂量原理

(一)、电离室的基本原理

两个相互平行的电极之间充满空气，虚线所包括范围，称为**电离室灵敏体积**。当电离辐射，如X或 γ 射线摄入这个灵敏体积内，与其中的空气介质相互作用，产生**次级电子**。这些电子在其运动轨迹上使空气中的原子**电离**，产生一系列正负离子对。在灵敏体积的电场作用下，电子、正离子分别向两级漂移，使相应极板的感应电荷量发生变化，形成**电离电流**。在电子平衡条件下测到的电离电荷，理论上应为次级电子所产生的全部电离电荷。

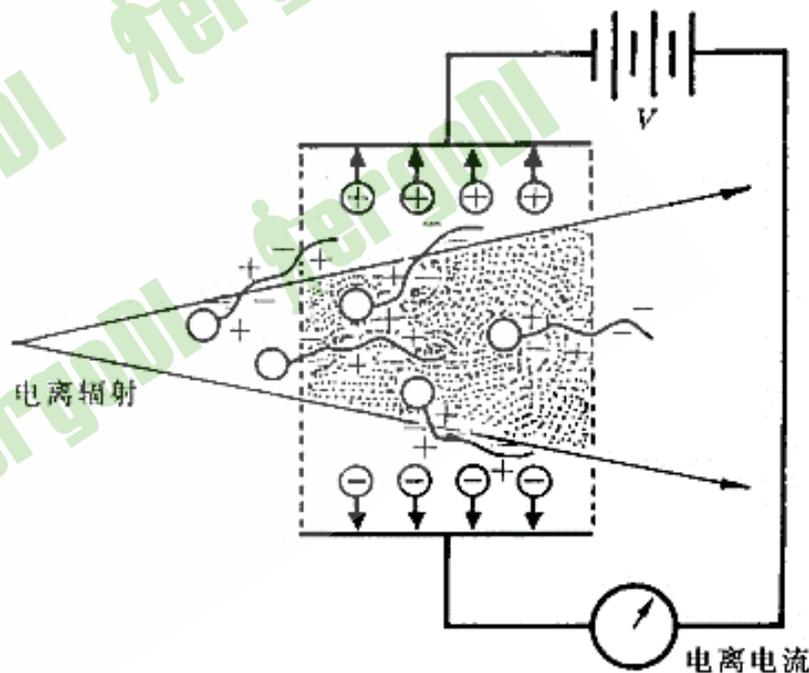
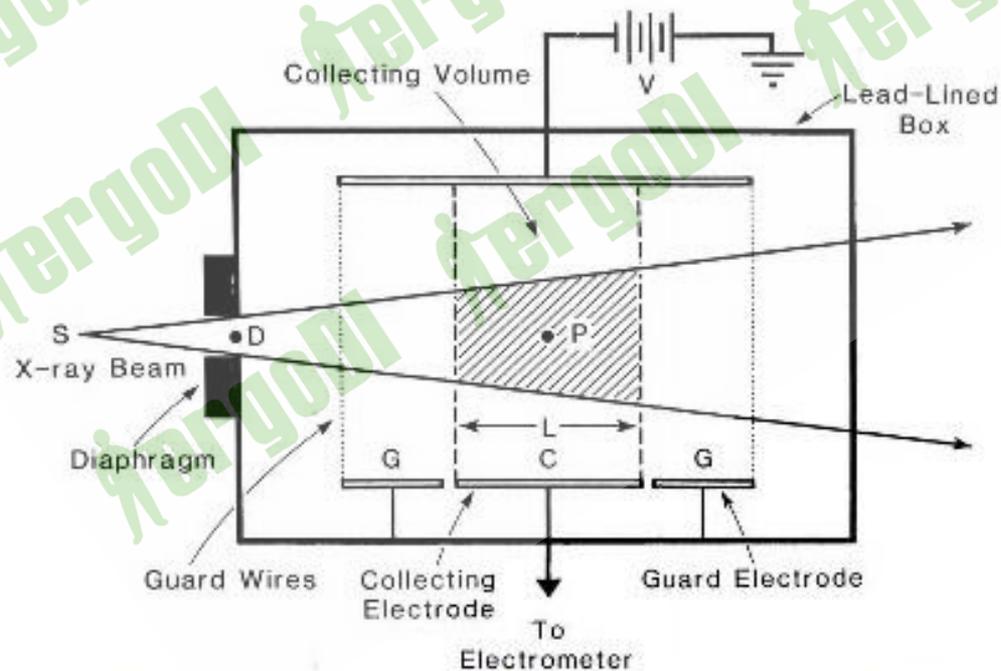


图 3-5 电离室工作原理示意图

电离室测量吸收剂量原理

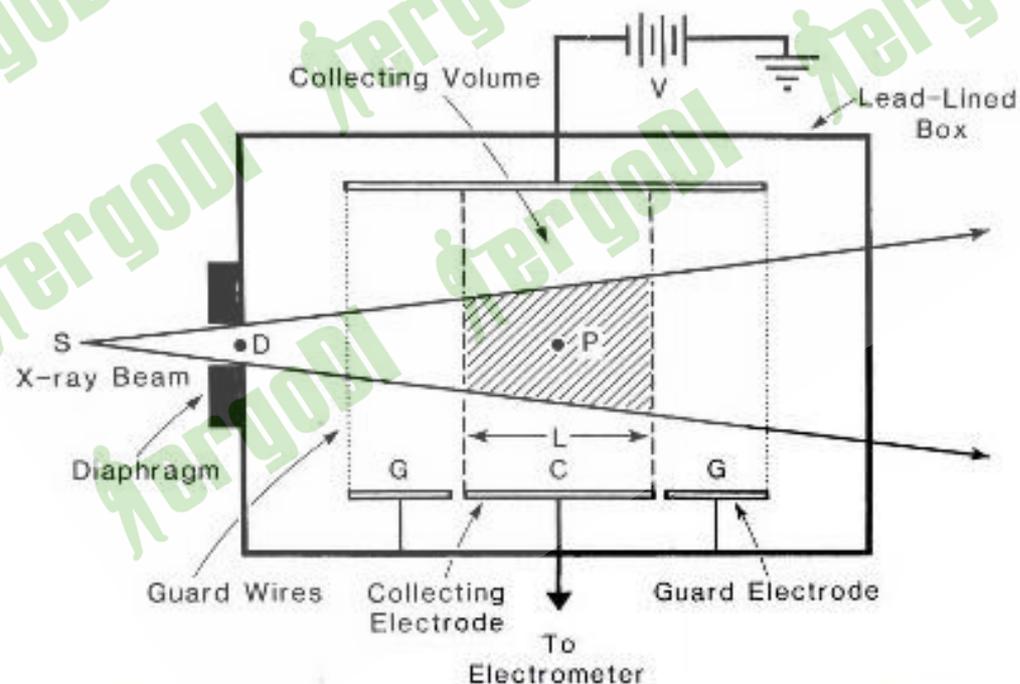
根据以上原理可以制成**自由空气电离室**

主要由两个相互平行的平板电极构成，极间相互绝缘并连接到电源电压的正负端，电极间充有空气。构成电离室的一个极板与**电源高压**的正端或负端相连，另一极板与**静电计输入端**相连，称为收集级。



电离室测量吸收剂量原理

电离室的**灵敏体积**是指通过收集级边缘的**电力线**所包围的两个电极间的区域。在灵敏体积外的电极称为**保护环**，其作用是使灵敏体积边缘外的电场保持均匀，并同时使绝缘子的漏电流不经过测量回路，减少对信号的影响。



电离室测量吸收剂量原理

在实际应用中，电离室的输出信号电流在 10^{-10} A数量级，为弱电流，必须经过**弱电流放大器（静电计）**对其进行放大，此类静电计通常称为剂量测量仪。如下图所示，静电计实际上就是一个负反馈运算放大器。以三种方式测量电离室的输出信号：

- 1、测量输出电荷量
- 2、测量输出电流
- 3、测量输出回路中形成的电压信号

自由空气电离室一般为国家一级或二级剂量标准实验室所配置，作为标准，在现场使用的电离室型剂量仪进行校准，并不适合于在现场如医院使用。

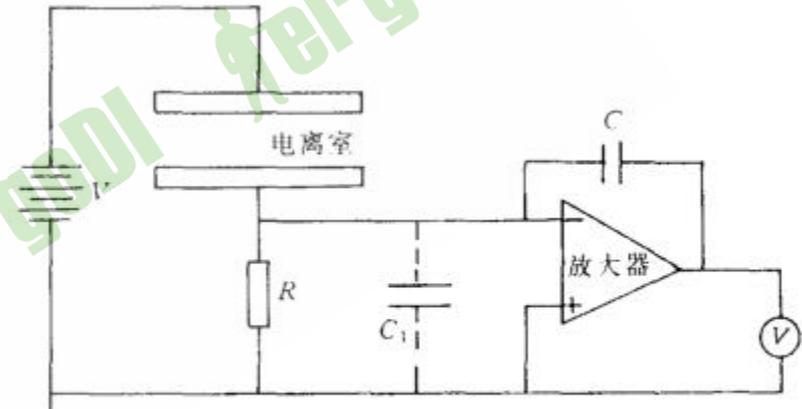


图 3-7 电离室与静电计的输入端连接回路原理图

电离室测量吸收剂量原理

(二) 指形电离室

指形电离室是根据自由空气电离室原理，为便于常规使用而设计的。图a表示的电离室设想有圆形空气外壳，中心为充有空气的气腔。假定空气外壳的半径等于电离辐射在空气中产生的次级电子的最大射程，满足进去气腔中电子数与离开的相等，电子平衡存在。此条件下的电离室可认为与自由空气电离室具有等同功能。

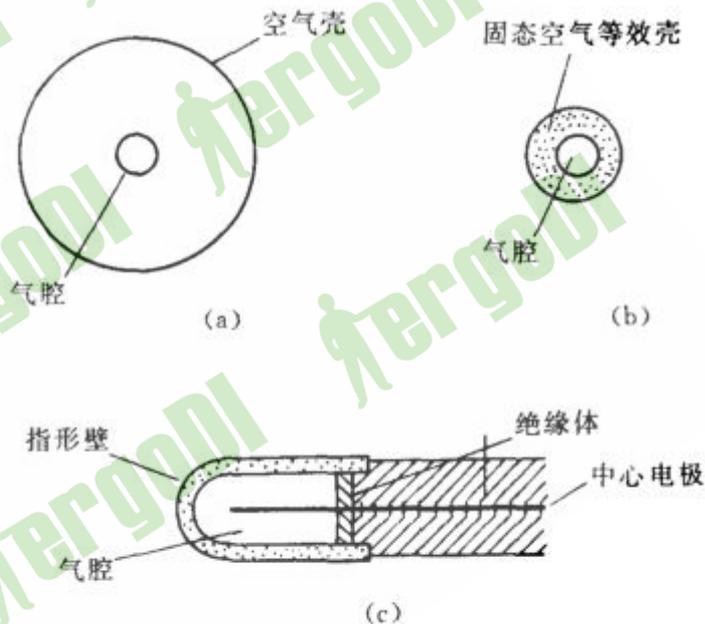


图 3-8 指形电离室工作原理及结构示意图

电离室测量吸收剂量原理

(二) 指形电离室

如果将图a的空气外壳压缩，则可形成图b所表示的**固态的空气等效外壳**，所谓空气等效就是该种物质的有效原子序数与空气有效原子序数相等。

由于固体空气等效材料的密度远大于自由空气的密度，该种材料中达到电子平衡的厚度可远**小于**自由空气的厚度。

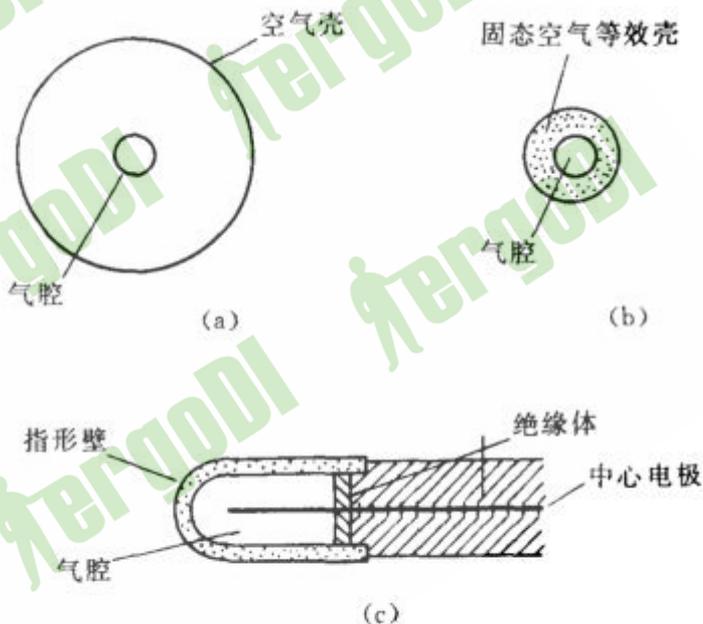


图 3-8 指形电离室工作原理及结构示意图

电离室测量吸收剂量原理

(二) 指形电离室

图c就是根据上述思想设计而成的指形电离室的剖面图,指形电离室的材料一般选用石墨,它的有效原子序数小于空气(7.67)而接近于碳(6),其表面涂有一层导电材料,形成一个电极,另一个收集电极位于中心。

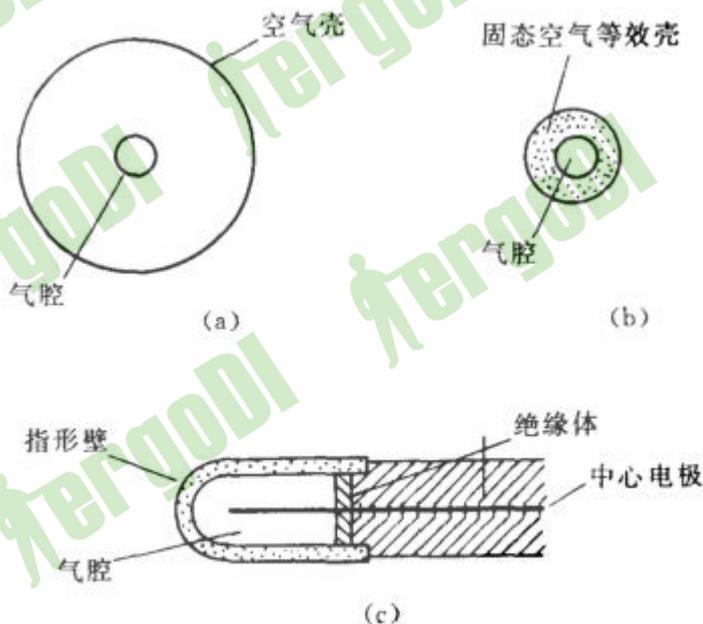


图 3-8 指形电离室工作原理及结构示意图

电离室测量吸收剂量原理

- 如上所述，空气气腔中所产生的电离电荷，是由四周室壁中的次级电子所产生。
- 为了使指形电离室与自由空气电离室具有相同的效应，**它的室壁应与空气外壳等效**，即在指形电离室壁中产生的次级电子数和能谱与空气中产生的一样。

电离室测量吸收剂量原理

- 通常用作室壁材料的石墨，酚醛树脂和塑料，其有效原子序数略小于空气的有效原子序数，这种室壁材料在空气腔中产生的电离电荷也略少于自由空气电离室。

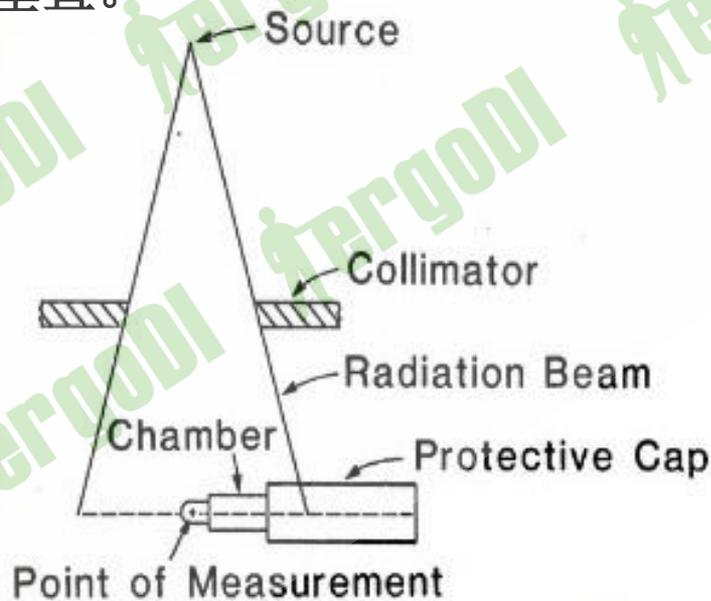
因此，选用有效原子序数略大的材料，制成中心收集电极，可部分补偿室壁材料的不完全空气等效。

电离室测量吸收剂量原理

二、电离室的工作特性

(一) 电离室的方向性

电离室本身具有角度依赖性，电离室的灵敏度会受电离辐射的入射方向的影响。其正确的使用方法是：平行板电离室应使其表面**垂直于**射束中心轴，指形电离室应使其主轴线与射束中心轴的入射方向垂直。



电离室测量吸收剂量原理

(二) 电离室的饱和特性

电离辐射在空气中产生的正负离子，在**没有**外加电场的作用或电场强度不够大时，会因为热运动由密度大处向密度小处扩散，导致宏观的带电粒子流动，称为离子、电子的**扩散运动**。

同时，正离子与负离子在到达收集极前可能相遇**复合**成中性的原子或分子，这种复合会**损失**一部分由电离辐射产生的离子对数，从而影响电离效应与电离室输出信号之间的对应关系。

电离室测量吸收剂量原理

当电离室工作电压**较低**时，正负离子的复合与扩散作用显得比较突出。如下图所示：当入射电离辐射的强度不变时，电离室的输出信号电流 I 随电压 V 变化的关系，称为“**电离室的饱和特性**”。图中OA段，电离室的输出信号逐渐增高，离子或电子的漂移速度加大，逐渐克服复合与扩散作用的影响，输出信号电流也逐渐增加。

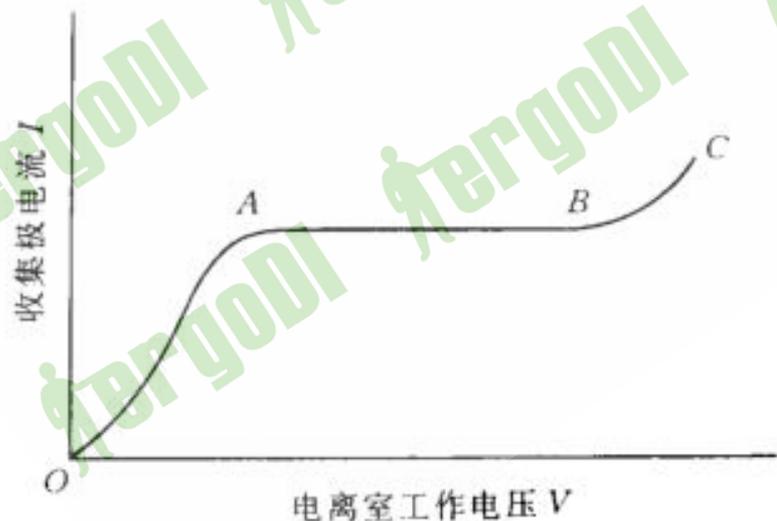
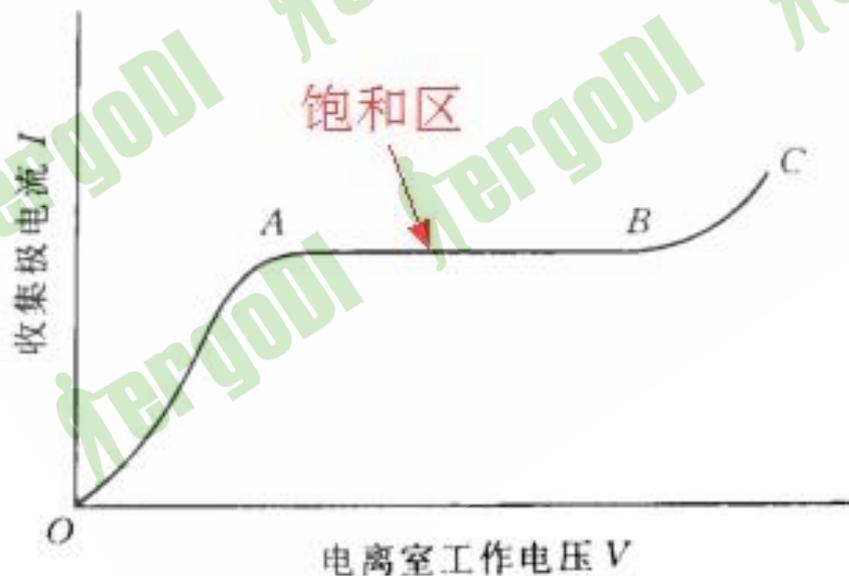


图 3-12 电离室饱和特性曲线

电离室测量吸收剂量原理

AB段内，由于复合与扩散影响已基本消除，信号电流不再随工作电压改变而保持稳定，此段称为**电离室的饱和区**。电离室正常工作时，其工作电压应是处于这一范围，随着工作电压的继续提高，BC段电离室内电场过强，因离子或电子运动速度加大，产生碰撞电离，离子数目变大，信号电流急剧上升，超出电离室正常工作状态。



电离室测量吸收剂量原理

(三) 电离室的杆效应

电离室的灵敏度，也会受到电离室**金属杆**和**电缆**在电离辐射场中的被照范围的影响。因为电离室的金属杆和绝缘体及电缆，在电离辐射场中会产生**微弱的电离**，叠加在电离室的信号电流中，形成电离室杆的泄漏，这叫做**杆效应**。

实验表明，对于X(γ)射线，杆效应表现有明显的**能量依赖性**，能量越大，杆效应越明显。而对于电子束，表现不甚明确。另一特点是，当电离室受照范围较小时，杆效应变化较大。当受照长度超过**10cm**时，基本不再变化。

它影响射野输出因子测量精度

电离室测量吸收剂量原理

(四) 电离室的复合效应

电离室即使工作在饱和区，也存在正负离子复合效应的影响。复合效应的校正，通常采用称为“双电压”的实验方法。**具体做法**:对相同的辐射场，电离室分别加两种不同的工作电压**V1**和**V2**，其中**V1**为常规工作电压，并且**V1**和**V2**的比值要大于或等于**3**，得到不同工作电压时的收集电荷数**Q1**和**Q2**，然后利用以下公式计算复合校正因子:

$$P_S = a_0 + a_1(Q_1/Q_2) + a_2(Q_1/Q_2)^2$$

式子中，**a1** 为实验拟合系数。不同类型的电离辐射的**ai** 值不同。

电离室测量吸收剂量原理

复合效应依赖于电离室的几何尺寸，工作电压的选择和正负离子对产生的速率。

对医用加速器的脉冲式辐射，特别是脉冲扫描式辐射，复合效应的校正尤为重要；

但对于放射性核素产生的 γ 射线(如钴-60)，复合效应非常小。

电离室测量吸收剂量原理

(五) 电离室的极化效应

对给定的电离辐射，电离室收集的电离电荷会因收集极工作电压极性的改变而变化，这种变化现象称为**极化现象**。

改变电离室工作电压的极性会影响它的收集效率。

(六) 环境因素对工作特性的影响

非密闭型电离室，空腔中的空气质量随**环境温度**和**气压**变化而改变，即气压或温度变化时，空气质量都会改变，就会直接影响电离室测量的灵敏度，现场使用时必须给予校正。校正系数与温度和气压的关系为：

$$K_{pt} = (273.2 + t) / (273.2 + T) * (1013 / p)$$

式中T为电离室在国家实验室校准时的温度，一般为**20°C**或**22°C**；t为现场测量时的温度；p为现场测量时的气压。

电离室测量吸收剂量原理

三、电离室测量吸收剂量的原理

由电离室工作原理可以看到它的作用是测量电离辐射在空气中或在空气等效壁中产生的次级粒子电离电荷。而在空气中每产生一对正负粒子所消耗的电子动能，对所有的电子来说，基本是一个常数，即平均电离能为 $W/e=33.97\text{J/C}$ 。用电离室测量吸收剂量可分为两步：首先测量由电离辐射产生的电离电荷，然后利用空气的平均电离能计算并转换成电离辐射所沉积的能量，即吸收剂量。由于电离室本性特性的限制，采用这种方法测量吸收剂量时对不同能量的电离辐射，所依据的基础和计算方法不同。

电离室测量吸收剂量原理

(一) 中低能 α (γ) 射线吸收剂量的测量

根据照射量的定义，如果用于测量的指形电离室符合条件①室壁由空气等材料制成；②室壁厚度（或加平衡帽后）可达到电子平衡；③气腔体积可精确测定，则可以用来直接测量照射量，再转换为吸收剂量。

$$D_m = X \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{(\bar{\mu}_{en}/\rho)_m}{(\bar{\mu}_{en}/\rho)_a} \cdot A$$

A为上面提到的传输系数，数值上应等于相同位置的空气中某点的能量注量与相同位置以某种介质(如水)置换空气后的能量注量。

电离室测量吸收剂量原理

对中低能 $\alpha(\gamma)$ 射线来说，电子平衡能够建立，介质中的吸收剂量可用相同位置处的照射量进行转换。需要注意的是这种测量的前提条件：电离室壁材料不仅要**空气等效**，而且壁厚要满足**电子平衡条件**。

电离室测量吸收剂量原理

(二) 高能电离辐射吸收剂量的测量

上述用电离室测量照射量，再转换为吸收剂量的方法，前提条件是必须建立电子平衡，这只对能量不高于2MV的X(γ)线适用。另外照射量的定义仅适用于X(γ)光子辐射，不能用于其它类型的电离辐射，如电子、中子等。

布拉格—格雷空腔理论可以用来直接从测量结果计算吸收剂量。布拉格—格雷空腔理论认为，电离辐射在介质中的沉积能量即介质吸收剂量，可通过测量其置放在介质中的小气腔内的电离电荷转换。

电离室测量吸收剂量原理

假设在一均匀介质中有一充有空气的气腔，电离辐射如 $X(\gamma)$ 射线入射，它在介质中产生的次级电子穿过气腔时会在其中产生电离。这种电离可以是 $X(\gamma)$ 射线在气腔空气中产生的次级电子所致，也可以是在电离室空气等效壁材料中产生的电子所致。假定气腔的直径远远小于次级电子的最大射程，则以下三个假定成立：

- ① $X(\gamma)$ 射线光子在空腔中所产生的次级电子的电离，即气体作用可以忽略；
- ②气腔的引入并不影响次级电子的注量及能谱分布；
- ③气腔周围的临近介质中， $X(\gamma)$ 射线的辐射场是均匀的。

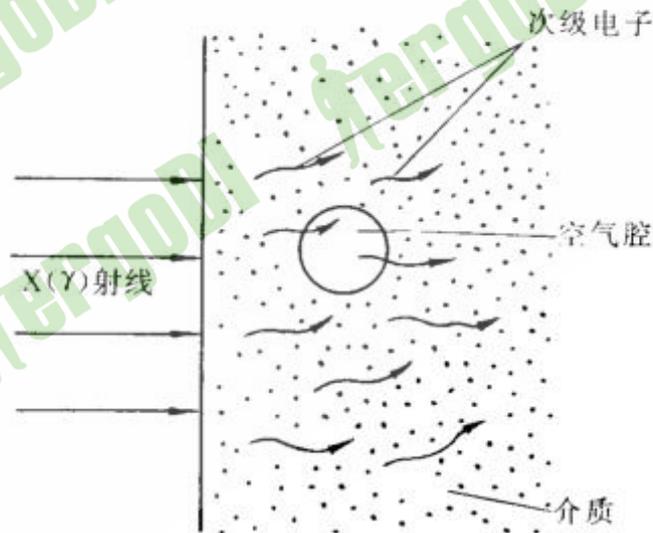


图 3-15 布喇格-格雷空腔理论示意图

电离室测量吸收剂量原理

也就是说气腔的引入并不改变次级电子的分布，则介质所吸收的电离辐射的能量 E_m 与气腔中所产生的电离量 J_a 应有如下关系：

$$E_m = J_a \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{(\bar{S}/\rho)_m}{(\bar{S}/\rho)_a}$$

式中 w/e 为电子的平均电离能，

$(s/p)_m/(s/p)_a$ 为介质与空气的平均质量阻止本领率之比。

此式即是布拉格 — 格雷关系式

用布拉格 — 格雷理论测量吸收剂量时不需要电子平衡条件。

电离室测量吸收剂量原理

小结:

综合低能和高能电离辐射的测量原理，需注意以下几点：

- 1、** 中低能 $X(\gamma)$ 射线吸收剂量的测量，首先测量的可以是照射量，但电离室材料不仅要空气等效，而且壁厚要满足电子平衡条件。
- 2、** 用布拉格-格雷理论测量吸收剂量时，就不需要电子平衡条件，因为根据空腔电离理论，气腔中产生的电离电荷量只和介质中的实际吸收的能量有关。对中低能 $X(\gamma)$ 射线时，只要电离室壁材料和空气等效，对空腔的大小没有特别的限制。如在空气中测量低水平辐射，电离室体积往往比较大。
- 3、** 用空腔理论测量高能电离辐射的吸收剂量时，空腔应足够小，一般要小于次级电子的最大射程，但也不能过分小，以致造成由电离产生的电子大量跑出气腔，而使布喇格-格雷关系式失效。