

内部交流

国外

# 一米七轧机资料

---

第九辑

武汉钢铁设计院

## 毛主席语录

(v.9)

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新和技术革命。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学实验。外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。采用新技术必须同群众性的技术革新和技术革命运动相结合。

## 《国外一米七轧机资料》翻译出版说明

一米七轧机是伟大领袖毛主席亲自圈阅从国外引进的成套设备。它的建成投产，对于加强战备、国防和工农业建设，改变板管在钢材中的比例，实现国民经济发展的两步宏图，将起到重大作用。遵照毛主席关于“洋为中用”和“互通情报”的教导，现将引进的一米七轧机技术资料及有关参考资料，分期分批翻译，并陆续付印出版，供有关兄弟单位参考。

一米七轧机工程包括宽板坯连铸机、热带连轧机、冷带连轧机（包括镀锌机组和镀锡机组）和冷轧硅钢带等四套设备。它的技术问题复杂，涉及的专业面较广。为了便于有关人员查阅，采取按专业和专题编印分辑出版，并按付印先后依次标明各辑的流水号。

本资料的翻译出版，是在省、市委，冶金部和一米七轧机工程指挥部的领导和支持下，在冶金部内外各兄弟单位和武汉地区有关高等院校、科研设计单位的大力支援下完成的。为此，特向支援译校的兄弟单位和参加译校的人员表示衷心的感谢。

由于我们的政治、技术水平不高，又缺乏这方面的工作经验，译印出版的资料中，难免有错漏之处，我们热情希望各兄弟单位和广大读者提出宝贵的批评和建议。

〈国外一米七轧机资料〉编译组

国外一米七轧机资料

第九辑

机械量检测仪表 (二)

1977年8月

## 目 录

- 1、放射线测厚仪 (日本) ..... ( 1 )
- 2、同位素测量技术 (西德) ..... ( 30 )
- 3、反射式 $\beta$ 射线镀层厚度测量仪 (日本) ..... ( 45 )
- 4、EMI CRON铁磁式带钢厚度测量仪 (西德) ..... ( 58 )
- 5、新型压磁式轧制力测量仪 (瑞典) ..... ( 65 )
- 6、冷带轧机用压磁式带钢张力计 (瑞典) ..... ( 77 )
- 7、针孔检测仪 (日本) ..... ( 92 )
- 8、铁损连续测定仪 (日本) ..... ( 111 )
- 9、压下率测量仪 (日本) ..... ( 124 )

### 二、 $\gamma$ 射线测厚仪

概述

放射线测厚仪, 最早用于测定纸张的厚度, 后来又发明了 $\gamma$ 射线测厚仪, 它是轧制过程中连续测量带钢厚度的仪表, 这种设备可在轧钢厂的恶劣条件下工作。本文介绍可移动的测厚仪, 近年来它实际应用于高平炉热轧带钢和冷轧带钢。

# 放射线测厚仪

本资料系新日铁公司大分制铁所1971年6月编写的内部培训资料。比较系统地叙述了 $\gamma$ 射线和X射线厚度测量仪的原理，构造、测量方法和应用范围，尤其对 $\gamma$ 射线的特性作了较详尽的介绍。文末附有使用注意事项及放射性同位素测量中的常见单位。

## 一、前言

放射线测厚仪是应用放射性同位素(RI)的放射线来测定物质厚度的仪表的总称。主要是利用 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线。1934年就已发现人工放射性元素，随着近代原子能工业的迅速发展，由于从原子反应堆里很容易廉价生产出放射性同位素，所以大大促进了在工业上的应用，并在各生产部门推广使用。在化学工业上使用最多的放射性同位素，是用作照射线源，而在金属工业上则用作非破坏性检测。此外，随着电子工业的发展，现在很多的测定仪器上也使用了放射性同位素。测厚仪便是有代表性的应用测量仪表。

放射线测厚仪和放射线液位仪等直接应用于生产工厂，担负重要的检测、计量管理和质量控制，特别是在钢铁工业中用来测定钢板的厚度对保证质量和提高产品合格率等方面尤为重要。下文介绍用于热轧带钢厂或厚板厂的 $\gamma$ 射线和X射线测厚仪。

## 二、 $\gamma$ 射线测厚仪

### 2.1 概要

$\gamma$ 射线穿透力很强，适用于测定厚钢板的厚度。现在又发明了Cs  $\gamma$ 射线测厚仪。它是中厚板轧机和热轧带钢轧机轧制过程中厚度控制的仪表。这种设备可在钢铁厂的恶劣条件下使用，是精度和可靠性高的测厚仪。近年来它实际应用于高水平的轧制管理和控制的检

测。

这种  $\gamma$ 射线测厚仪大部分应用于中厚板轧机上，但使用上要求下面几个严格的条件：

#### 测定时间短

板长为10~30米，板速为1.5~4米/秒，实测时间几秒。测定仪在待测时， $\gamma$ 射线没有吸收，放大器里进入了过大的输入功率，因此放大器饱和后，从测定钢板到显示读数要几秒到几十秒的时间。因此，放大器不管有无测定物都不能饱和。

#### 测定厚度变化频繁

欧美各国钢厂在约一星期的时间内都轧制同一厚度的钢板。但日本的现状是希望考虑几乎每一块钢板的厚度，然而又尚未解决。这里产生的问题是厚度的设定。普通测厚仪用刻度盘设定，用校准曲线预先设定刻度盘数字和板厚的关系做法也比较多。但在热轧机的情况下，各测定板根据校正曲线设定刻度，结果是极糟的。

#### 钢板的一端向上翘

钢板从轧机出来时就会发生上翘。这里就生产了检测装置的C形框架的结构问题。为了减少射线源量，射线源与检测仪的距离最好短些，但翘曲的钢板容易和C形框架相撞。因此，为了使其结构能避开钢板碰撞或避免危险，预先加大射线源与检测仪之间的距离是必要的。

#### 检测装置附近是高温

因为高温需要洒水。在这种情况下的钢材容易生锈腐蚀，所以，必须充分注意零件的选定以及使用方法。检测设备的冷却法也要注意。高温时的钢板向次元方向膨胀，单位面积的重量减轻，上升到1000°C时，重量约减轻了2%。因此，也必须预先校正厚度的设定值。

### 2.2 $\gamma$ 射线

在电磁波这点上来说， $\gamma$ 射线在本质上与电波、光、X射线相同。它们的不同点如下所述，随着原子核内的状况进行辐射，其波长比电波和光波短得多。除了用特别的高能加速器产生的X射线外， $\gamma$ 射线的波长和普通X射线的波长差不多，或者短些。因此，其性质在对物质的穿透能力等方面和其他射线是不同的。

设电磁波在真空中的波长为 $\lambda$ 〔厘米〕，速度为 $C$ 〔厘米·秒<sup>-1</sup>〕，则频率 $V$ 〔秒<sup>-1</sup>〕就用 $C/\lambda$ 表示。频率 $V$ 的电磁波，由于能量就是 $h\nu$ ，所以是被给与的光量子（也叫做光子）的线束。这里 $h$ 是普朗克常数，如果将能量用MeV单位表示，那么光子的能量 $E$ 和波长 $\lambda$ 〔厘米〕之间的关系表示如下：

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 1.24 \times \frac{10^{-10}}{\lambda} \quad (1)$$

另外，光子具有用 $P = h\nu/C = h/\lambda$ 表示的动量，光子跟原子或粒子相撞时，和质点系的力学情况一样，含有光子的系统的全部能量与动量之和应保持不变。

#### 2.2.1 $\gamma$ 射线的吸收和散射

$\gamma$ 射线在物质中通过时，主要根据下面三个过程吸收或散射。

##### a、光电效应

在光电效应上，光子和原子相撞，将全部能量传给一个环行电子，让它从原子中飞出来，光子自身就消失了。即将光子的能量写作 $h\nu$ ，将环行电子的电离电位写作 $I$ ，那么。

$$E = h\nu - I \quad (2)$$

用这个能量，电子能从原子中释放出来。释放出来的电子叫做光电子。产生这种现象的或然率比能量小的光子大（必须比  $I$  要大大），同一元素大体与  $\nu^{-1/2}$  成近似正比。另外相同能量的光子比原子序数  $Z$  大的原子还大，与  $Z^5$  成正比。能量大的光子产生这种现象的或然率比下面要谈的康普顿效应产生的或然率要小些。

### b、康普顿散射

频率高的光子，即能量大的光子在物质中通行时，和构成物质的原子的电子相碰撞，频率就会比未穿透之前的光子小一些，并向别的方向散射。同时，电子由于反作用而得到运动能。这种现象就是康普顿散射。

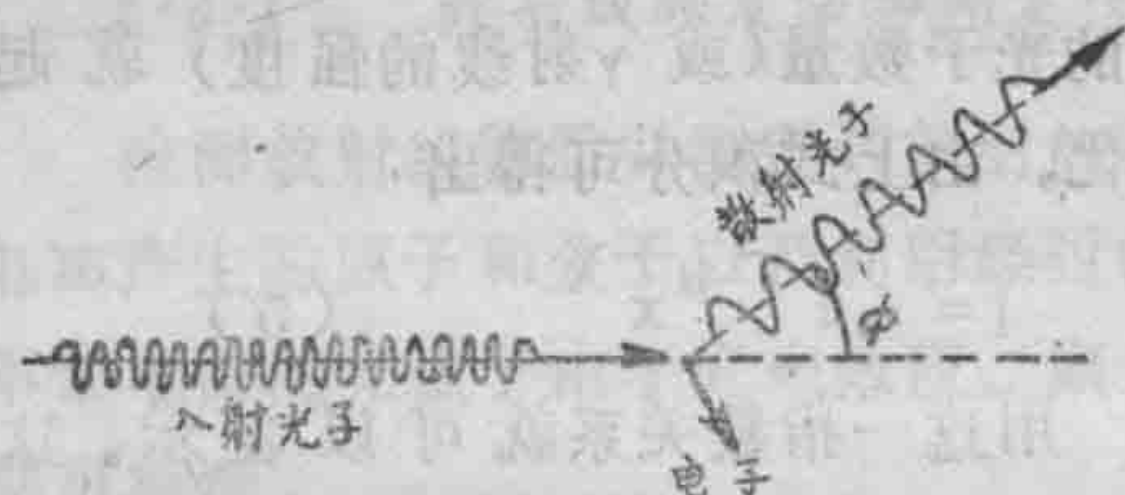


图1 康普顿散射

表示，入射光子的波长用  $\lambda$  [厘米] 表示，散射光子的波长用  $\lambda'$  [厘米] 表示，它们之间有这样关系：

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \phi) = 2.42 \times 10^{-10} (1 - \cos \phi) \quad (3)$$

式中， $m$  是电子的静止质量。

散射光子的方向分布随着入射光能而变化，在能量增加的同时，散射角小的散射成比例地增多，如上式所示，这种散射是在波长变化时能量变化小的散射。例如，用向  $0^\circ$  方向散射的光子的单位立体角平均数与向  $90^\circ$  方向散射的光子的单位立体角平均数的比来比较  $0.5 \text{ MeV}$  的光子为  $5.3$ ，对于  $1 \text{ MeV}$  的光子来说要增大  $7.7$ ， $2 \text{ MeV}$  要增大  $11.9$ 。产生康普顿散射的或然率随着入射光能的增大而减少。不同的元素，对于同能量的光子来说，与其原子序数成正比。

### c、电子偶的产生

另外，大能量的光子生成电子偶这一现象是重要的。这种现象是光子通过原子核的旁边时，在电场中产生出一对阴阳电子，其光子自身消失的一种现象。光子能量在  $1.02 \text{ MeV}$  以上时才产生，其或然率随着光能而增大。对于同能量的光子来说，根据物质不同，与原子序数  $Z$  的平方略成正比进行变化。

产生以上三种现象的或然率根据  $\gamma$  射线的能量大小所分别进行的变化，如上所述，一般地说低能量  $\gamma$  射线，光电效应的或然率，中等能量  $\gamma$  射线康普顿效应的或然率，以及超过  $1 \text{ MeV}$  时电子偶产生的或然率，分别都比其它的要大得多。不过这些关系根据  $\gamma$  射线能量进行变化的情况，根据元素不同而不同。（参照图3、图4）

### 2.2.2 $\gamma$ 射线的吸收系数

光子像  $\alpha$  粒子和  $\beta$  粒子那样，不是一点点地丧失能量。由于光电效应和电子偶生成而在一次过程中消失。康普顿散射也是一样，散射后的光子和原入射的光子是有区别的，所

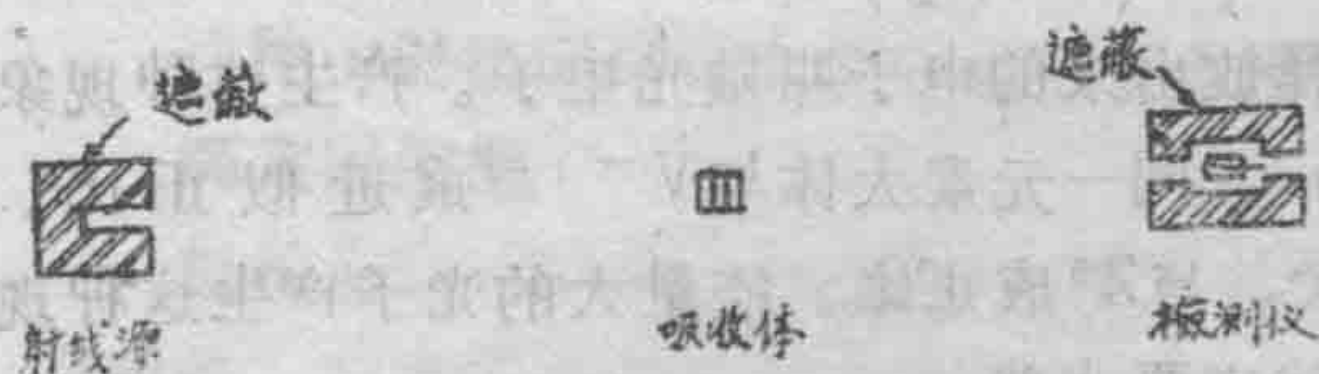


图2:  $\gamma$ 射线的吸收系数的测定

以入射光子也在一次过程中消失了。因此，射入物质后的光子在通过某一厚度时，数量减少的比率  $-\Delta I/I$  肯定与光子在其中碰到的原子或电子的数量以及厚度  $\Delta X$  [厘米] 成正比。

$$-\frac{\Delta I}{I} = \mu_x \Delta X \quad (4)$$

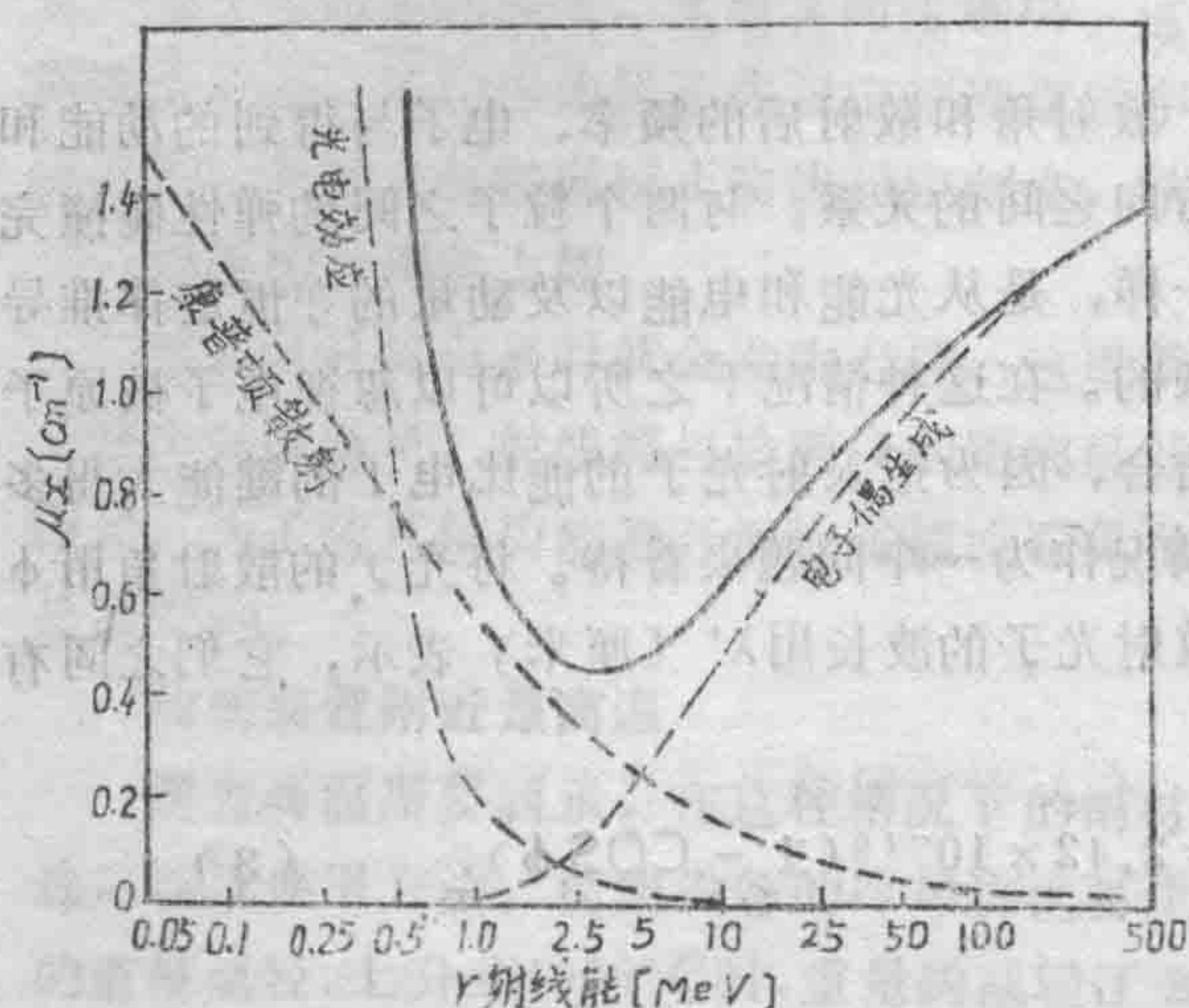


图3  $\gamma$ 射线的能量 [MeV]

$\gamma$ 射线的能量与铅的射线吸收系数的关系。虚线是在理论上算出三个过程的吸收系数。叠加后得到的实线是实测的吸收系数。

吸收体的厚度发生变化后，穿透过来的光子数量(或  $\gamma$ 射线的强度)就起变化，由上式积分可得出。

$$I = I_0 e^{-\mu_x X} \quad (5)$$

用这一指数关系就可以表示。这里  $I_0$  表示入射前的光子数或  $\gamma$ 射线的强度( $\gamma$ 射线一秒钟通过垂直的1厘米<sup>2</sup>的面积的光子数)。 $\mu_x$ 是表示其物质的吸收能力的量，具有厘米<sup>-1</sup>的量纲，把它称为射线吸收系数。为了测定吸收系数，首先要使所测定的吸收体里接受了康普顿散射的散射光子不进入检测仪。因此，必须扩大射线源和吸收体以及吸收体和检测仪的间隔。其次，为了减少从射线源向检测仪方向以外的方向射出的  $\gamma$ 射线量，为了使这种  $\gamma$ 射线在周围的物体中能够散射并减少进入检测仪，就必须进行各个射线源以及检测仪遮蔽。下的面举例说明这种测定配置：

如果吸收体的厚度用它的单位面积的平均质量 [克·厘米<sup>-2</sup>] 即用密度 ( $\rho$ )  $\times$  厚度 ( $X$ ) 表示，那么式(5)在射线系数吸收的变化上用质量吸收系数  $\mu_m = \mu_x / \rho$  就可以表示：

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho X} \quad (6)$$

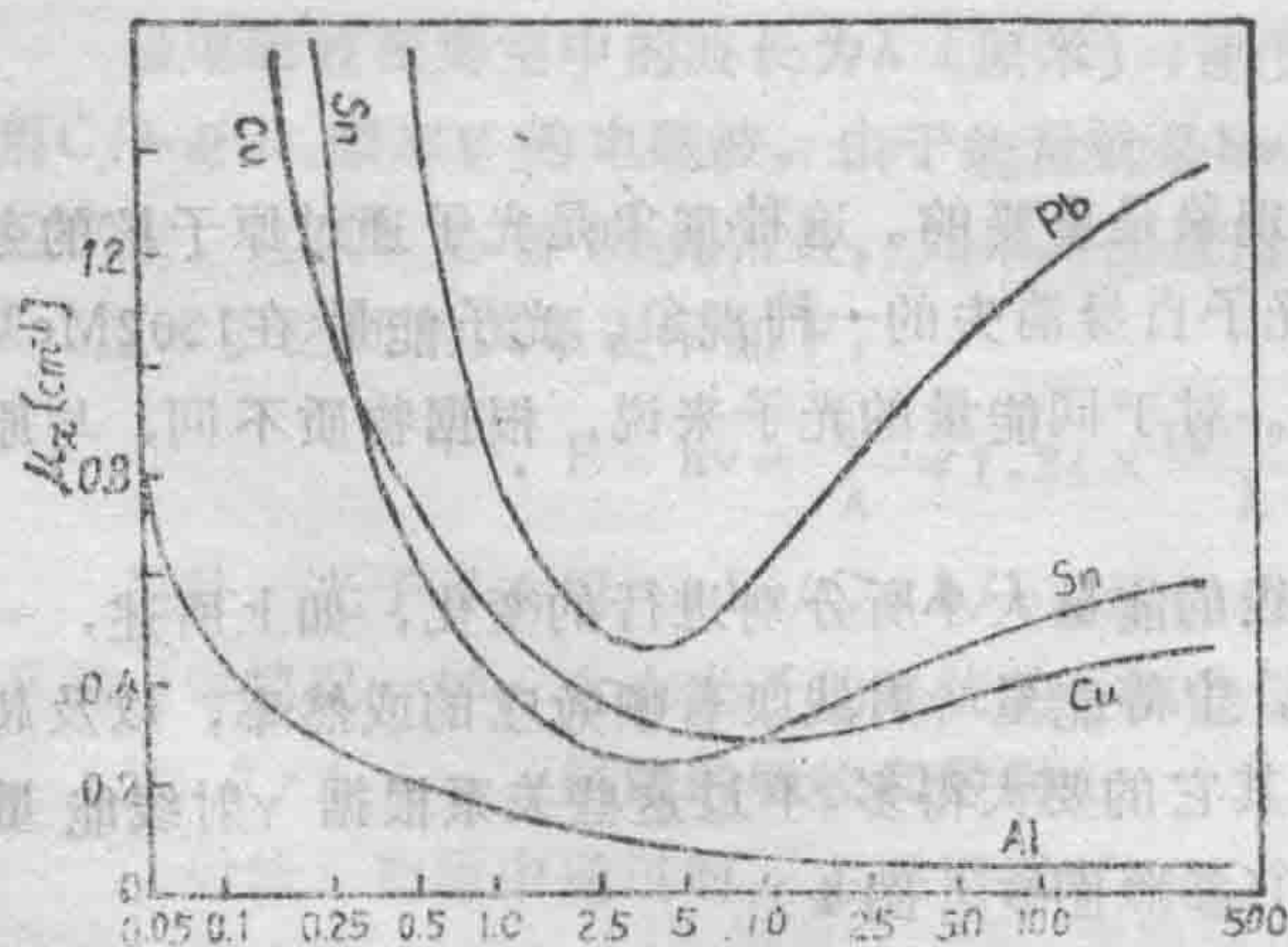


图4:  $\gamma$ 射线的能量与铝、铜、锡、铅的射线吸收系数的关系。

图3表示了铅的吸收系数根据  $\gamma$ 射线的能量进行变化的情况。虚线是理论

上计算出的光电效应、康普顿散射、电子偶产生的吸收系数。实线是它们的和，是实际吸收系数。

图4表示了铝、铜、锡、铅的吸收系数与 $\gamma$ 射线能量的关系。化合物或混合物的质量吸收系数，在取其成分元素的质量吸收系数的成分重量比的加权平均后可以得到。例如，水的质量吸收系数可用式(7)表示(将氧、氢的质量吸收系数分别用 $\mu_{\text{O}}$ 、 $\mu_{\text{H}}$ 来表示)：

$$\mu_{\text{m}} = \frac{1}{9} \mu_{\text{H}} + \frac{8}{9} \mu_{\text{O}} \quad (7)$$

## 2·3 放射线测定法

### 2·3·1 放射线测定法和测定仪

检测放射线物质并测定其放射能强度的一般方法是，当带电粒子通过物质时，沿其轨迹电离产生的原子和分子以及利用经过激发后所残留的性质来检测和计算。和 $\gamma$ 射线一样，不带电荷的光量子由于光电效应、康普顿散射或者电子偶生成而产生出第二次电子，所以就可检测。

带电粒子通过在电场中的适当的物质后，产生的离子对即电子和阳离子(原子或分子丧失掉一个或两个以上电子而带正电的粒子)，总是要产生运动，这就会产生电离电流，从而测定之。发生电离的物质是气体时，被称为电离室，发生电离的物质是结晶体时是半导体检测仪。电离电流一般是微小的，所以，用高电阻和电位计测定，或者用验电器得知的预先带电的电极电位的变化就可以求出电离的大小，进而求出放射线的强度。一个粒子通过后产生的电离电流的脉动如用适当的方法也可以放大的话，那么就可以测定。根据气体放大法，用盖革计数管、米勒计数管及比例计数管进行放大，检测一个入射带电粒子是可能的。在气体放大中，因带电粒子通过时产生的离子，在强电场中会加速，更加引起其计数管中的气体的原子或分子碰撞，再次产生数量极大的离子对。在盖革计数管及米勒计数管里，当其碰撞和阴离子与电子再次结合时放出的红外线的光量子引起的光电子也起了很大的作用。

某种固体、液体或气体由于电离放射线的通过放出萤光。这种现象被称为闪烁。 $\alpha$ 粒子碰上薄层硫化锌时产生的闪烁用肉眼可以看见，但一般是用肉眼看不清楚的微弱的光。这种物质叫做闪烁体。用闪烁体和对光的灵敏度高的光电倍增管的组合，来检测放射线的测定仪是闪烁体计数管。现在利用折射率高的透明物质的捷连科夫光代替闪烁体，这叫捷连科夫计数器。

由于水和酒精蒸气处于饱和状态时，以离子为中心凝结成小水珠，所以，进行适当的照明后用肉眼可见或可拍照。C、T、R、WILSON最初制做的这种雾室叫威尔逊雾室，是能看清电离放射线粒子经过后的痕迹的装置。

照相乳剂可以记录放射线粒子的轨迹，因为电离放射线粒子通过后可以使卤化银粒子显像。这种乳剂称为原子核乳剂，特别是可用作记录放射线粒子的灵敏度高的乳剂。

检测放射线射和测定其强度有各种方法。下面谈谈它们的单位。

放射线强度在某个地点，考虑一个以此地点为中心的单位长度作半径的小球，用单位时间内进入其中的能量作单位，其单位是每平方厘米每秒的尔格或者每平方厘米的瓦特。

这种放出放射线的物质之放射能强度，用居里表示。一居里相当于每秒 $3.700 \times 10^{10}$ 个的核衰变数。居里用 Ci 表示。

表示放射线强度和放射性物质的绝对量时，用上面所规定的单位。但实际上用测定仪测定时，不一定要绝对量。不少时候只要知道它们的相对值就行了。例如，用盖革、米勒计数管来求某个放射性原子核数的半衰期时，只测出与其核衰变数成正比的计数率就可以了。这里，每秒或每分的计数值用 CPS 或 CPM，即：次数/秒或次数/分表示。

在劳里岭验电仪里，根据若干时间内指针在显微镜上的单位刻度的移动，就可以知道与电离室里电离的大小成正比的值。所以每秒和每分的刻度用 diV/Sec 和 diV/min 表示。

用单位时间内通过单位面积的放射线粒子的数（厘米 $^{-2}$ 秒 $^{-1}$ ）或者用它们的粒子承担的能量总量（例如尔格厘米 $^{-2}$ 秒 $^{-1}$ ）来表示，分别称作粒子通量密度和能量通量密度。

### 2.3.2、电离室

电离室由两个相互绝缘很好的电极组成。这两个电极中，一个是箱状，隔开一定的空间，另一个既可以是沿其中心的线状，也可以是两组平行设置的金属板，可根据其用途制成各种形式。一个电极经常接地，另一个是有高阻抗的集电极。

电极之间一产生电场，电离室里产生的离子对就向电极运动。电场强度弱的时候，所产生的离子中的一部分又会复合。随着电场强度的增大，就会减少这种再复合；一般当达到某一适当的电场强度，所产生的离子就都会聚集到电极上。这时可说电离电流饱和了。当电场强度进一步增大，由于离子与气体分子的碰撞，还会再产生离子。这时就不叫电离室了。电离室的容积是 1000 C C，一个气压的空气就可以。因宇宙射线和从周围物质中含有的放射性物质中产生的放射线， $10^{-16}$  A 左右的电离电流就作为所谓本底（电流）而流动。

通常两电极间加的电压是 100~1000 伏，所能测定的最小的电离电流要与它的本底电流相同，所以，要求电极间有极好的绝缘。

流过电离室的电流一般是  $10^{-12} \sim 10^{-16}$  A。为了测定这种微小电流，要让电流通过高电阻装置，其两端的电位差用电子管电位计（在用电离室式测量仪等时）或者振簧电容式静电计读出来。此外，带电电容器随时间变化的电压，用电位计或验电器（劳里岭验电器，袖珍式放射线测量仪）测定；各个放射线粒子组成的电离电流的脉动可以象后面所说的计数管那样，经电子电路放大以后计数（脉冲电离室）。在用脉冲电离室时，因为要使一个放射线粒子组成很多的离子对，所以用此法测定的放射线粒子被电离密度高的重带电粒子（质子， $\alpha$  粒子等）所限制。

#### (1)、劳里岭验电器

##### a、构造

劳里岭验电器很早就用于测定放射线，是根据金箔验电器的原理制作的。L 型黄铜线和镀金（厚约 3  $\mu$ ）水晶体经良好绝缘置于电离室中，起集电极的作用。（参照图 5 和图 6）。

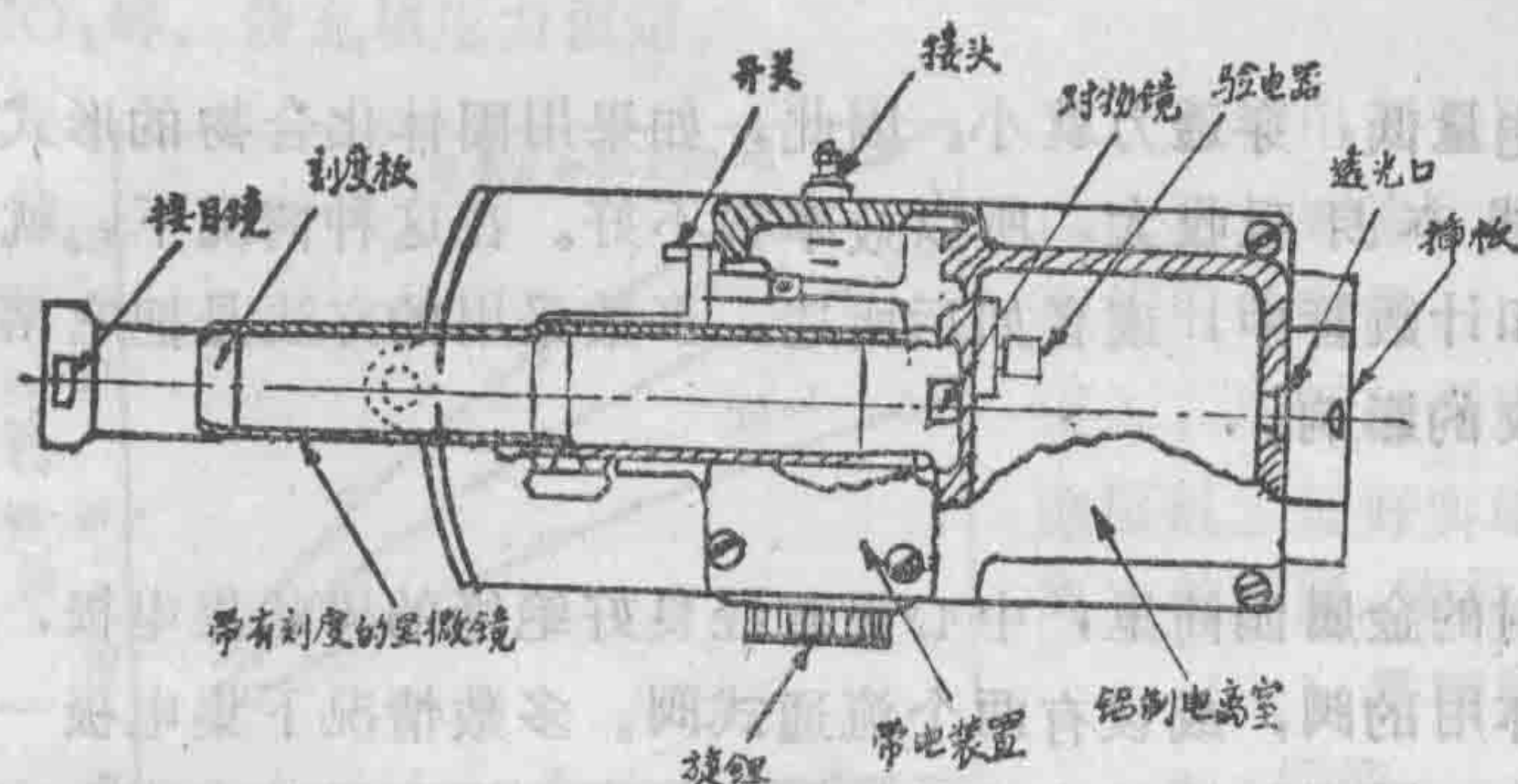


图5 劳里岭验电器的构造(俯视图)



体成直角，它的移动用扩大刻度50倍的放大镜看。刻度通常分为100等分，当电压在150~200伏时，刻度盘就指向最大刻度，要随电离电流的放电，才会向原来的位置移动。

#### b、特性

指针位置的变化与室中产生的离子对数量成正比。但实际上根据刻度的位置，灵敏度便多少有些差异。所以，最好经常测定

图6集电极部份详图。指针在一定的刻度范围内（例如从30~60）移动所需的时间。测定值用单位时间内指针移动的刻度数（diV/Se C, diV/min）表示。

1diV大约相当于 $10^6$ 个离子对。例如将1毫克的镭（与其衰变生成物平衡）分离开1米，测定其 $\gamma$ 射线时，则变成了3 diV/min左右。用照射线量表示是一刻度1/200mR（mR为毫伦）。本底是0.07 diV/min左右，其中也包含着构成电离室的材料中少量存在的放射性物质放出来的放射线。

从测量指针的刻度线通过的准确度这点上说，可以把大约1 diV/Se C的强度看作这个仪器所能测定的最大限度。因此，测定比这更坚固的试样就必须减少数量或者挪远位置。

支撑集电极部分的绝缘物，仅仅只在充放电时缓慢地吸收电荷；由于有放射性能，所以在稍长的时间内，持续放电的验电器开始带电的时候，最初会发生指针摆动不稳定的情况。在这样的情况下，在带电一会儿再开始测定的方法比一开始就测定的方法为好。

另外，在测定低能的 $\beta$ 射线体和 $\alpha$ 射线体时，要用专用的插板，把试样直接装入电离室内，但是当试样为粉末状时，由于静电引力的原故，恐怕会粘在水晶体组合上，所以要充分注意，如可能的话，应该用很薄的胶棉膜等蒙住试样。

### （2）电离室式放射线检测器

#### a、构造

此检测器是由塑料等制成的容积为500CC左右的园筒型电离室和被接在电离室上的真空管电位计构成。一般都制成小型电池式的，以便于携带。

#### b、特性

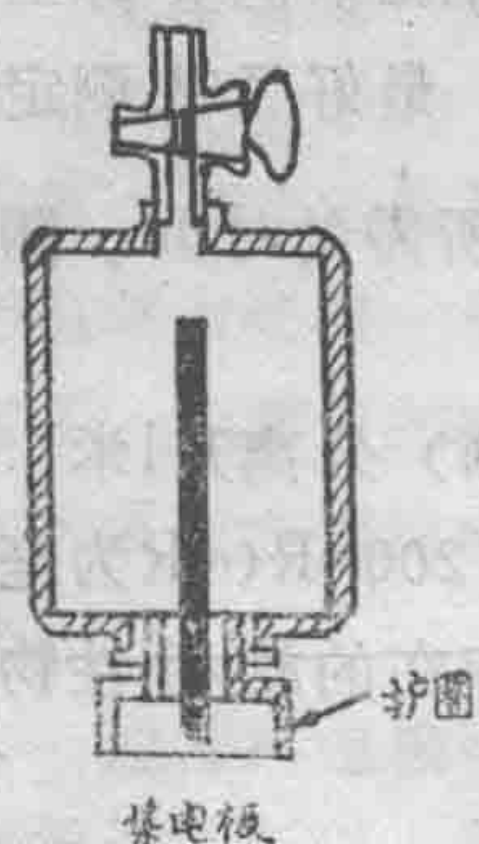
像塑料那样，电离室内有接近于空气的原子序数的化合物，在原理上最适于作测量照射线量率的仪器。测定范围一般是1毫伦/时~10伦/时。用同类型的仪器可以测量10伦/时左右。（此处原文模糊不清，所列教据仅供参考——校者注）。

### (3) 气体试样封闭型电离室

由 $C^{14}$ 和 $H^3$ 放出的 $\beta$ 射线,因能量低,穿透力就小。因此,如果用固体化合物的形式测量这样的放射性核种,由于 $\beta$ 射线本身吸收大,所以效率很不好。在这种情况下,就制成气体状的化合物充填到电离室和计数管中,或者如后所述,多数采用的方法是把它溶解到液体的闪烁体中来去掉本身吸收的影响。

#### a、构造

其构造通常如图7所示,在密封的金属圆筒里,中心设有经良好绝缘的棒状集电极,另外还设有一个充入和排出试样气体用的阀,或设有两个流通式阀。多数情况下集电极一端接有电流测定装置的插头。这部分还用保持接地电位的护圈围起来。要测量的电离电流一般是 $10^{-17} \sim 10^{-12} A$ 左右。为测量这种电离电流,要使用振簧电容式静电计这种比较稳定的直流放大器。在这种场合下,在 $10^{-15} \sim 10^{-12} A$ 的范围内,直读电流是可以的(实际读出 $10^{12} \Omega$ 左右的电阻的两端电压)。在这以下的场合,在电离电流对一定的电气容量(使用说明书中明确记载着)进行充电时,电位是随时间的变化而变化的,然后再根据计算来求出(叫做浮动法,充电率法)。



试样气体如果是 $C^{14}$ ,  $H^3$ 的话,虽然仍是 $CO_2$ 、 $H_2$ 等,但同计数管不同,因不进行气体放大,所以不纯物等的混合的影响也就少,对于气体种类也有一定限制,可以使用象卤(素)之类作阳离子的物质,或者除去腐蚀物的普遍气体。因而,虽然在利用 $C^{14}$ 、 $H^3$ 以外的物质的测定上相当自由,但在稀有气体和 $S^{35}$ 之外就不太使用。另外,也有在常温下以液体物质作试样、在高温下使电离室动作的例子。

#### b、特性

用电离室测定所希望得到的电离电流 $I$ ,可用下式计算:

$$I = 1.6 \times 10^{-19} \times \frac{\bar{E}N}{W} [A] \quad (8)$$

式中:  $\bar{E}$  =  $\beta$ 线的平均能量 [eV]

$N$  = 电离室内试样的 $\beta$ 线放出率 [β/秒]

$W$  = 使电离室内的气体电离,为制造1离子偶所需要的平均能量 [eV]

现在把 $C^{14}$ 以 $CO_2$ 的形式填入 $10^{-10} Ci$  ( $N = 3.7$ ), 则 $\bar{E} = 50 \times 10^3 eV$ 、 $W = 32.5 eV$  得出:

$$I = 9.1 \times 10^{-16} A \quad (A)$$

但是,实际上得到的值比这要小,其主要理由是因为 $\beta$ 线把他的全部运动能量都消耗在离子偶的生成上,而在其停止以前,同电离室的壁相碰撞的缘故。实际上,如把得到的电离电流计算值的比例算为效率,那末效率就同电离室的容积(及形状)和充填压力有关。即:容积越大,壁的效果就越小;另外,压力越高, $\beta$ 线的射程(消耗动能至停止时所飞行的距离)就越短,因外表上壁的效果减少,所以在任何场合下,效率的值都会增加(参照图8)。为除去这些影响,常使用同一形状尺寸的电离室,并另外添加非放射性的

CO<sub>2</sub>等，使充填压力恒定。

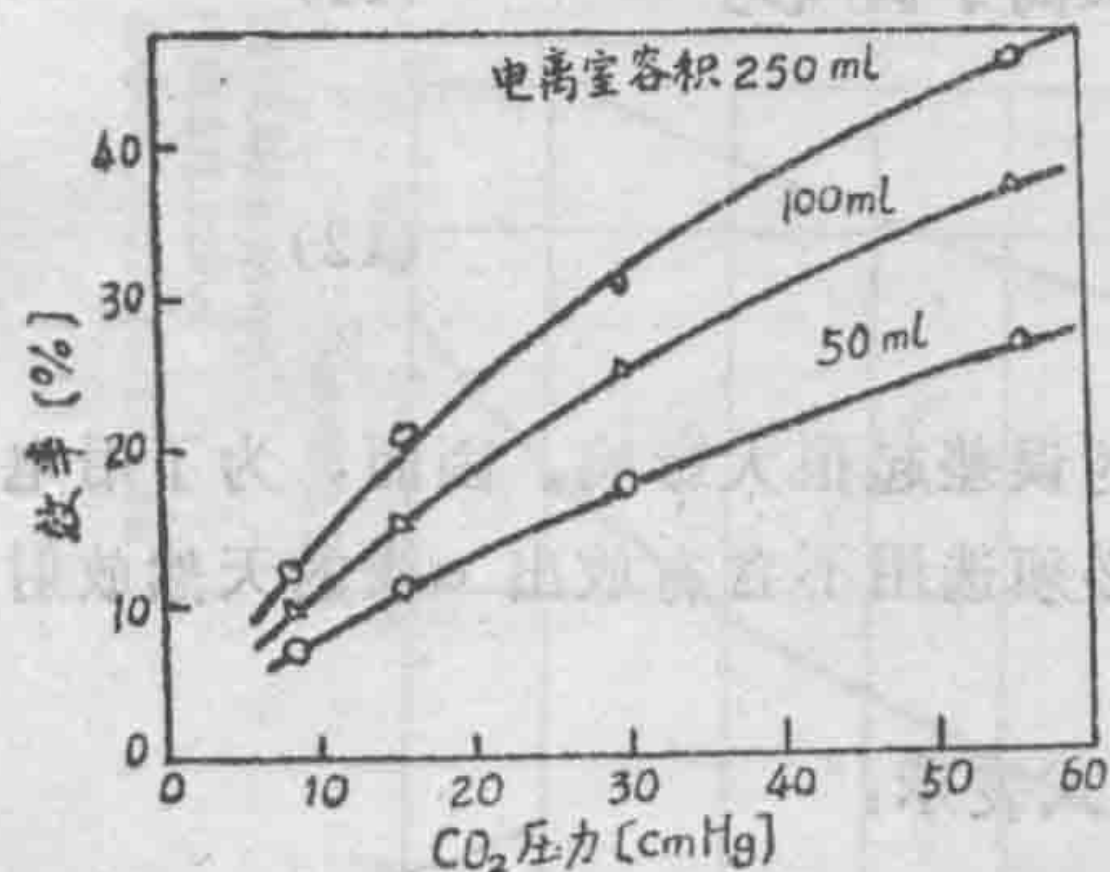


图 8 电离室容积及充填压力和效率之间的关系实例

这种电离室因有绝缘物，所以要努力保持清洁以延长其寿命。电离室和静电计磁头的接续部分，在不使用的时候，一定要用防尘盖遮蔽住，防止灰尘侵入。房间的湿度尽可能不超过80%，必要时应装除湿机。最好实施空气调节。在使用非常大型的电离室的房间，施行静电屏蔽的方法能得到好的结果。

#### (4) 带栅极的电离室

##### a、构造

如图 9 所示，在具有平行板电极的脉冲电离室中电极的中间设置着具有两者中间电位的栅极。把它全部放入密封容器中，在一个大气压或一个大气压以上的时候，充填氩及甲烷混合气体，试样和栅极之间的距离就比要测定的 α 射线的射程长。

##### b、特性

把 α 放射体的稀薄的试样置于阴极时，由 α 粒子在阴极和栅极之间的空间所造成的电子，通过栅极到达阳极，就产生电流的脉动。这时，脉动的大小同电子的数量成正比，因电子与它最初产生时的位置没有关系，所以其结果就变成了与 α 粒子的能量成正比。根据脉动大小的分布计算，就能得到 α 粒子的能谱。所能得到的分解能在2%左右，虽然劣于后述的半导体检测器（图 9），但其优点是

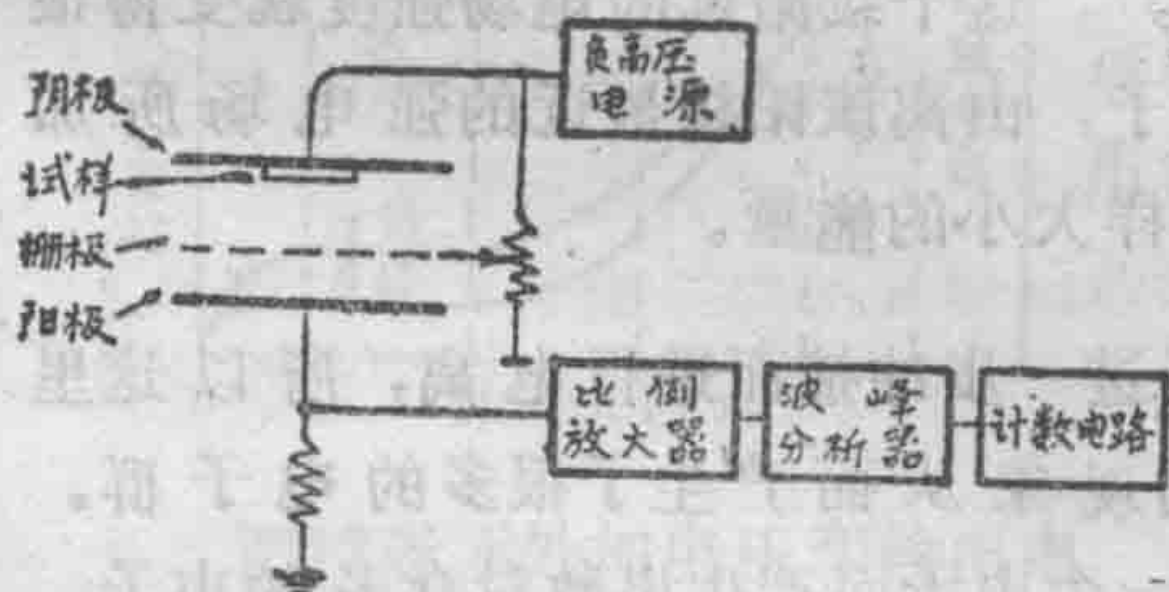


图 9 带栅极的电离室和电路方框图

#### (5) 用电离室测定的统计误差

在电离室劳里岭验电器测量 β 射线、γ 射线或宇宙辐射的时候，多半是测量单位时间的刻度数的连续量。这时的统计误差，在原理上同后面叙述的 G-M 计数管的场合是一样的。

采用绝缘好的物质时，本底射线主要是由宇宙幅射及其周围射来的 γ 线和由电离室壁射来的 α 线（由于天然放射性元素含有杂质）构成，所以在  $t_b$  秒内测量出的一项测定标准偏差  $\sigma_b$  可用以下的形式表示：

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{t_b}} (a^2 A + b^2 B)^{1/2} \quad \text{〔离子偶/秒〕} \quad (10)$$

式中 a 和 b 分别是由 α 粒子、宇宙幅射或 γ 射线三者中的一个在电离室内产生出的离子偶的平均数。A、B 是他们平均每秒产生的数目。同样，在有要测定的放射线的时候，对于放射线在上述的场合下，一旦把相当的量分别作为 γ、R 时，对进行了  $t_r$  秒间的一次测定的标准偏差  $\sigma_r$  就变成了：

$$\sigma_r = \frac{1}{\sqrt{t_r}} (\gamma^2 R + a^2 A + b^2 B)^{1/2} \quad [\text{离子偶/秒}] \quad (11)$$

因而，对于所求的放射线的标准偏差  $\sigma$  就成了：

$$\sigma = (\sigma_b^2 + \sigma_r^2)^{1/2} \quad (12)$$

### $\alpha$ 粒子的比电离

因一般要比宇宙幅射和  $\beta$ 射线大得多，所以本底射线的误差起很大影响。因而，为了用电离室测定微弱的放射线时，制造电离室壁的物质，就必须选用不含有放出  $\alpha$ 线的天然放射性元素。

如果进行了N组测定，其平均值  $\bar{U}$  的标准偏差由下式表示：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (\bar{U} - u_i)^2} \quad (13)$$

测定本底射线及含有本底射线的试样的放射能时，若上式得出的标准偏差分别为  $\sigma_B$  和  $\sigma_R$ ，则试样的标准偏差  $\sigma_s$  为：

$$\sigma_s = (\sigma_B^2 + \sigma_R^2)^{1/2} \quad (14)$$

### 2.3.3 计数管

在电离室里，阳极是细金属线的时候（参照图10），这个线附近的电场强度就变得很大。电离室中由于通过放射线而产生出的离子偶的电子，由离该阳极最近的强电场所加速，并由于同气体分子冲撞而具有重新产生离子偶那样大小的能量。

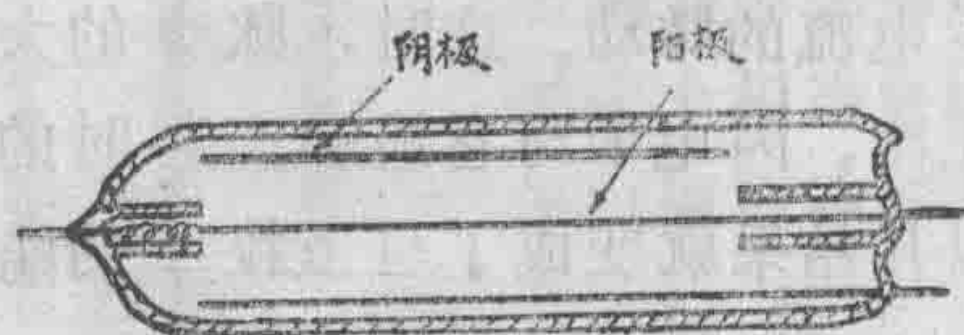


图10计数管的基本结构

因新产生的电子进一步冲撞而进行电离，所以这里就出现了电子雪崩的现象从而产生了很多的电子群。这样一来，因附随着一个电子而产生出数量众多的电子，同时涌进阴极，就产生了相当大的电流脉动。

这种电流通过电阻流动时，在电阻的两端产生电压脉动，在电子回路上把它进行放大计算。象这样利用气体放大检验放射线的装置，一般称为计数管。

放射线在电解计数管内的气体中，产生的一个电子（一次电子）、并由它最后产生M个电子时，气体放大率是M（参照图11）。假如M值同一次电子的数目无关，而是一定的，那么由计数管产生的电压脉动（输出脉冲）的大小就同一次电子的数量成正比。因而，与电子相比较，有如沿轨迹产生的密度相当高的离子偶性质所具有的  $\alpha$ 粒子那样，由重带电粒子所产生的输出脉冲，比起电子来还要大数百倍。用这样的状态工作的计数管叫做比例计数管。

进一步提高计数管所带的电压（外加电压），气体放大率M也就随着增加，但它的固定性就逐渐消失，最终就要出现与一次电子的数量无关而大小相同的输出脉冲。这种电压区域称做盖革域，因而就把工作计数管称为盖革—弥勒计数管（G-M计数管），有时简称为盖革计数管。管的大小也是由电压规定的，但电流脉冲的峰值从  $10^{-7}$  达到  $10^{-5}$  A。在概念上，上述变化的情况由图12表示。

在充氩之类惰性气体的计数管内，一旦因放射线引起放电，也仍旧不必停止，因此，为了不漏地计算连续入射的放射线粒子，必须尽快地消除这种放电。为制止放电。最好是

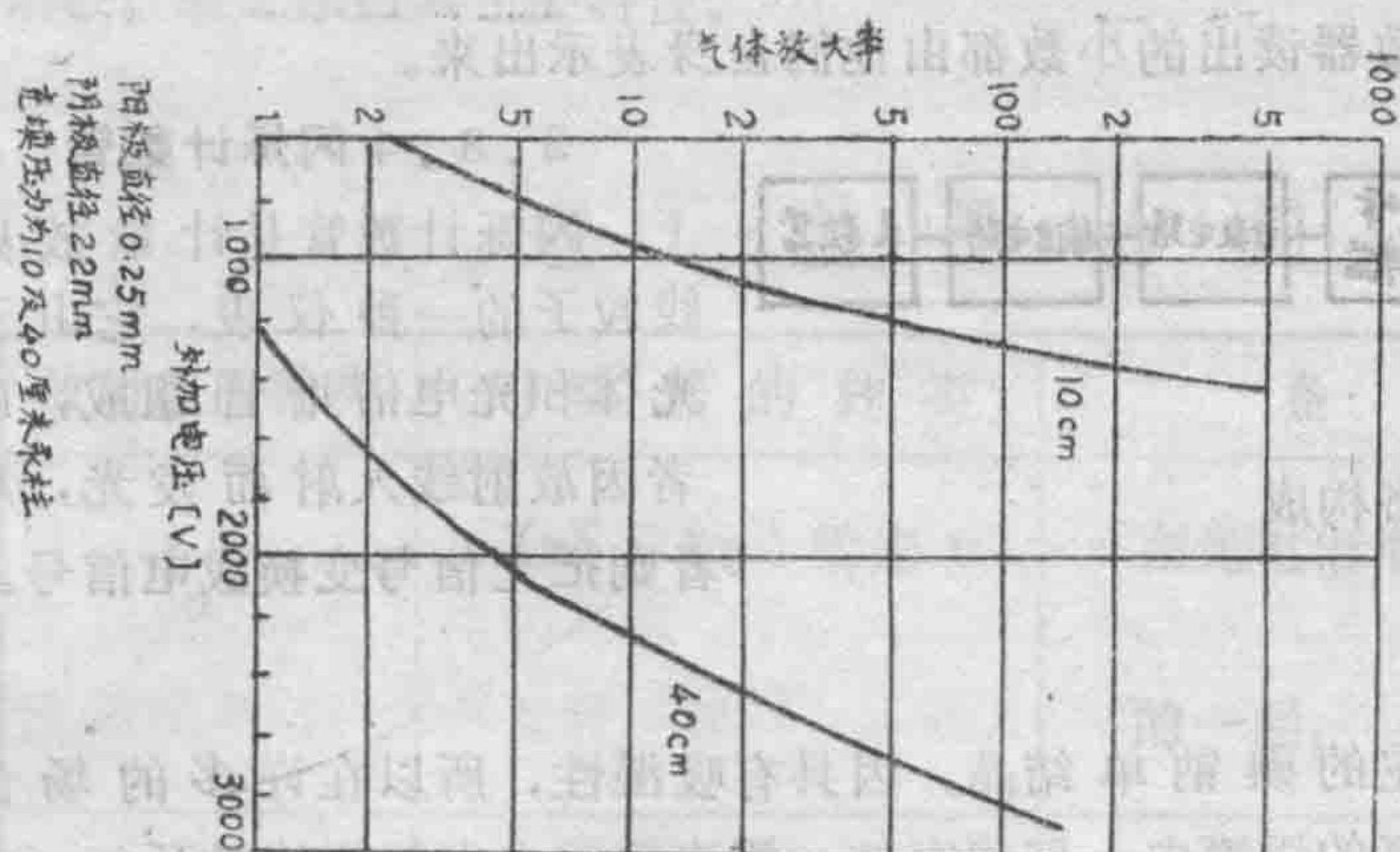


图11甲烷气体放大率

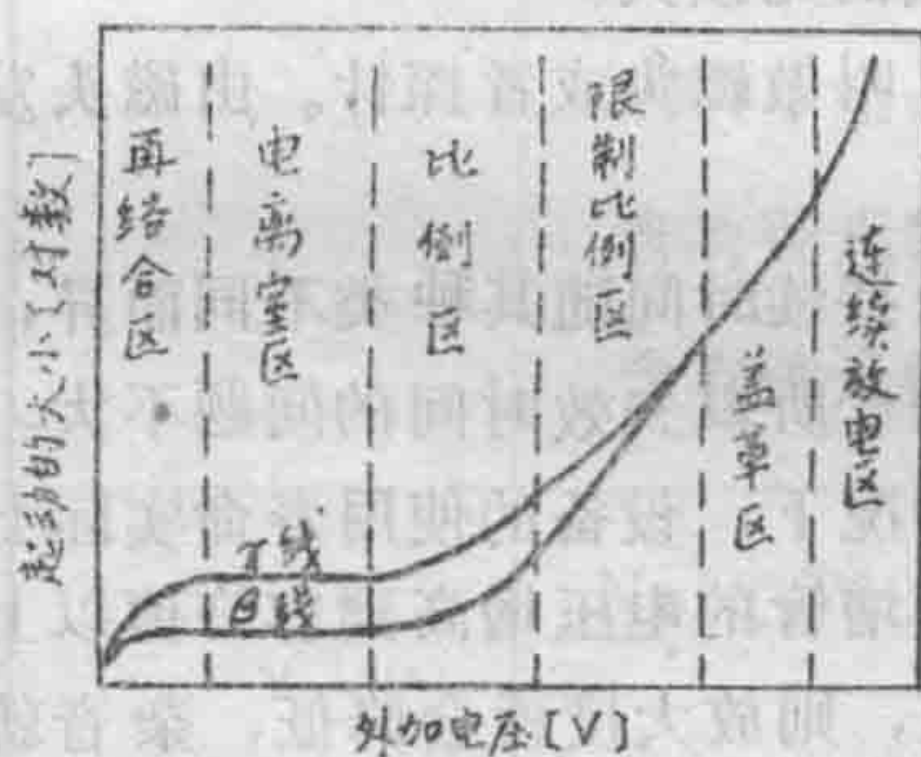


图12表示外加电压和输出电压脉动的大小关系的概念图

为100毫米汞柱的氩和压力为10毫米汞柱的乙醇等的混合气体。为测定 $\beta$ 线，圆筒的壁用薄玻璃或铝等制作，或者，在圆筒的一端设置用云母等制成的薄窗（端窗型）。薄壁型计数管因直接测定溶液的放射能，所以也有浸入到液体中的型式（液浸型）。

计数管也有在大气压下少量气体流动的情况下使用的型式（气流式计数管）以代替用低压充填气体的型式。假如这样做的话，窗两侧几乎没有压力差、所以就能用非常薄的塑料膜（1毫克/厘米<sup>2</sup>以下）作窗的材料，另外也可以把试样装入计数管内部进行测定（无窗型）。为此目的，采用氮和异丁烷的混合物（Q气体）作为充入气体，气流式计数管由窗吸收的放射线的损失少，所以特别适于测定穿透力弱的 $\alpha$ 射线及低能量的 $\beta$ 射线。

## （2）计数装置

为要计算由G-M计数管产生的电压脉冲，使用图13所示的电子回路，因电压脉冲的峰值通常达0.1~10V，所以进行放大就极简单。波高鉴别器不拣选外来杂音，所以仅在超过某电压的脉冲时才工作，而且向后段输送一定型的脉冲。计数器采用电磁石，机械地记录脉冲数，但因惯性大最高计数每秒50左右，所以在其前面放置计算回路（计算递减回路，换算电路），这实际上是对送来脉冲数目的一定分数采取录数的方法。计算回路，有把二进回路重叠几段的 $2^n$ 进回路和把10进回路重叠的 $10^n$ 进回路。后者，在计数值的读出上比较便利。也有制成10进制计数放电管菲利普10进制计数管等10进制回路专用

把外加电压减低到放电电压以下，为此，需要把 $10^9 \Omega$ 左右的高电阻串联到阳极回路上，或者使用适当的电子回路。这些叫做外部猝熄型。这种计数管的分解时间（能区别地计算连续入射的放射线粒子的最短时间达到 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 秒。这些也被称为“慢速计数管”。

不过，称为猝熄气体把少量丙烯酸乙酯，乙烯、甲酸乙酯等有机多原子（分子）气体加到如氮、氩之类惰性气体里，放电就会自行停止。这类计数管称为自灭型或“快速计数管”，分解时间约为 $10^{-4}$ 秒。但是，因这类有机物的猝熄气体每当放电时仅分解一点，所以这种计数管有一定的使用寿命。使用氯、溴等卤（素）代替有机猝熄气体，能克服这种缺点。

## （1）G-M计数管

G-M计数管一般由圆筒形的阴极和沿它的中心轴伸展的金属丝（ $\phi 0.05 \sim 0.2$ 毫米的钨丝等）的阳极组成。在市场上出售的几乎都是自猝熄型，能充填压力

的电子管。无论在那种场合，计数器读出的小数都由他们自身表示出来。

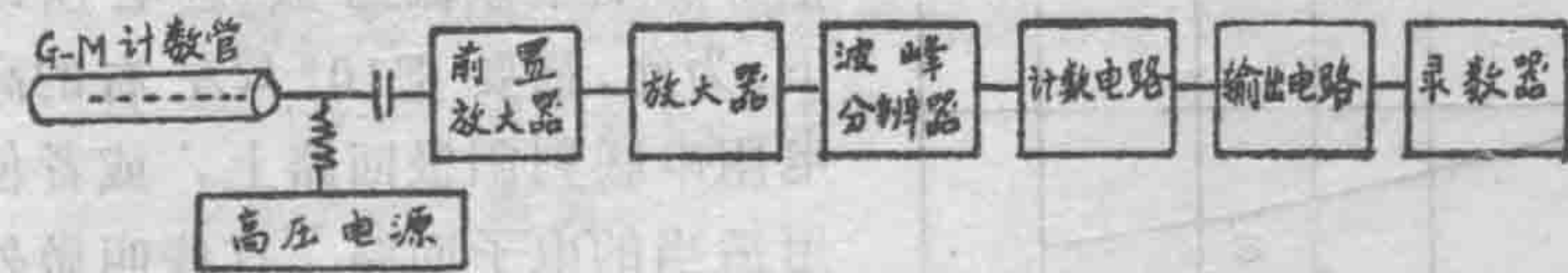


图13 计数装置的回路构成

2.3.4 闪烁计数管

闪烁计数管是计量放射线粒子的一种仪表，它由荧光体和光电倍增管组成，前者因放射线入射而发光，后者则把光信号变换成电信号。

(1) 构造及特性

通用的闪烁器，如添加少量砷的碘钠单结晶，因具有吸湿性，所以在许多的场合下，把他们密封到一侧安有玻璃窗的铝罐中。玻璃窗的一侧连接着光电倍增管的顶部（在这部分玻璃的内侧，蒸镀着半透明的光阴极），涂上少量高粘度的硅油等，（不能有气泡）贴紧这部分，防止由玻璃和空气层之间的全反射而造成的光损失。

闪烁器，光电倍增管及前置放大器，通常制成一整体，叫做磁头或者探针。由磁头发生的输出脉冲同计数管的情况一样处理（图14）



图14 闪烁磁头的构造

虽然闪烁器的发光持续时间随其种类不同而异，但因一般为1微秒左右，所以失效时间的问题不大。在机械设备不损坏的情况下，设备的使用寿命实际上是无限的。若将光电倍增管的电压增高到容许值以上并在此电压下暴露强光，则放大度就会降低，杂音就会增大。

蒽及塑料之类有机物的闪烁器，可用来检测β射线等的带电粒子。因这种场合的发光强度与粒子的能量成正比，所以，用波高分析器测量磁头的输出脉冲的波高分布，就可得到能谱。

如果改变加在光电倍增管的电压来计算一定的射线源，则随着光电倍增管的放大度的上升，计数率也就逐渐增加，两者的增大曲线接近平。在这部分，闪烁器的发光几乎都作计算。如进一步提高电压就会拾拣由光电倍增管的杂音，计数率就会急增。通常，把即将拣选杂音之前的最平坦部分的电压，作为工作电压使用（图15）。

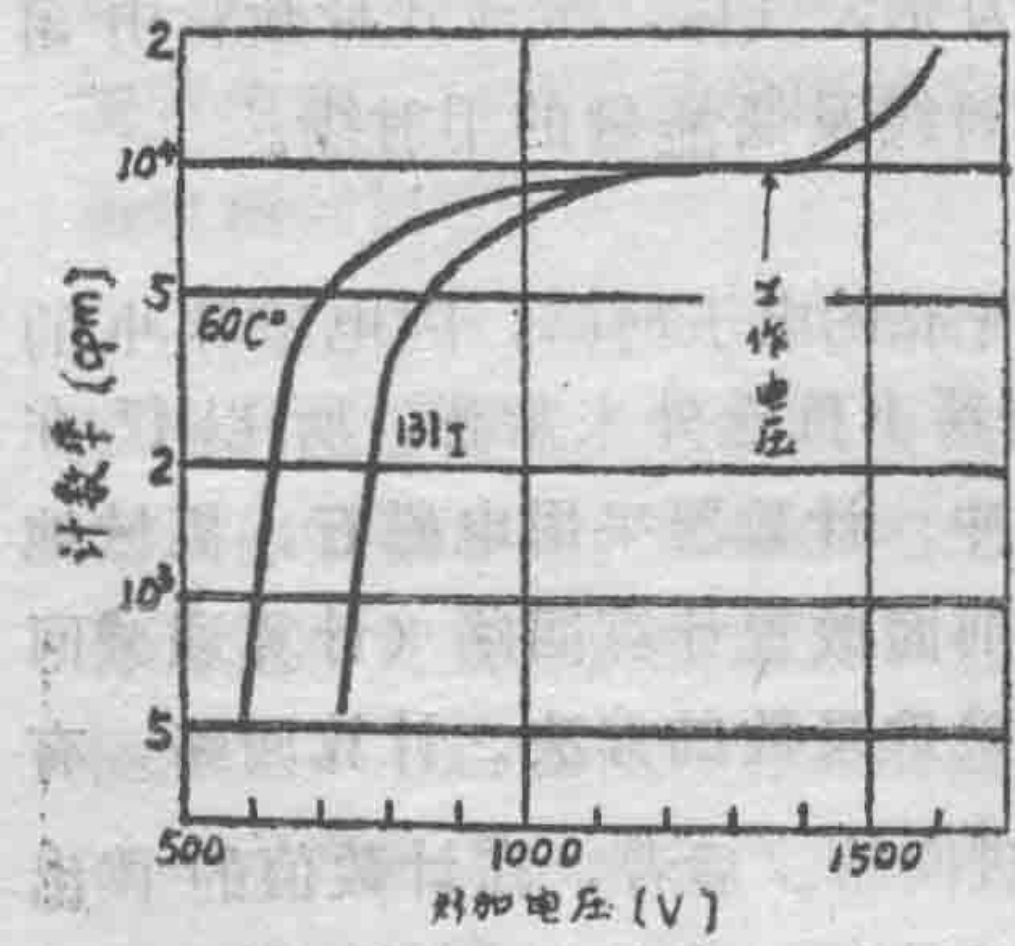


图15 用  $Co^{60}$  ( $Er: 1.17$  及  $1.33 MeV$ ) 及  $I^{131}$  ( $Er$ : 主要是  $0.36 MeV$ ) 作射线源时，闪烁计数管的计数率与电压的曲线图（工作电压在计数率  $1 \times 10^4$  Cpm 处重合）

（ $Er$ : 主要是  $0.36 MeV$ ）作射线源时，闪烁计数管的计数率与电压的曲线图（工作电压在计数率  $1 \times 10^4$  Cpm 处重合）

如图所示，曲线的开始部分，入射放射线的能量越高，就越向低电压方面移动。这样，因发光强，即使电压低，也能得到十分高的输出脉冲。按照要测定的放射线的种类，可按表1选用闪烁器。

现在被用在闪烁计数管上的光电倍增管，都是在顶部的里面设置半透明的感光性阴极，把从中放出来的光电子适当地集束起来，顺次引至十段左右的2次电子倍增器电极上，放大之后，使其到达

阳极。表 2 示出其主要特性。

表 1：主要的闪烁体

| 放射线的种类   | 闪烁器的种类                                                        | 备 注                                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ | ZnS (Ag) 粉末                                                   | 在光电倍增管的顶部或玻璃板上涂上薄薄的一层，                                                            |
| $\beta$  | 蒽 (并三苯) 单结晶<br>，1，2—二苯乙，稀<br>(芪)单结晶<br>含有荧光物质的塑料<br>含有荧光物质的液体 | 发光强度大，不容易得到大型的，<br>发光持续时间非常短，<br>容易得到大型的，<br>溶解试料后进行测定，                           |
| $\gamma$ | NaI (TI) 单结晶<br>CST (TI) 单结晶                                  | 发光强度高，能够得到大型的，<br>没有吸湿性，                                                          |
| n        | 使ZnS (Ag)分散<br>的塑料布。<br>LiI (Eu)                              | 塑料中产生的反跳阳质子，使ZnS发光<br>利用热中子所产生的 ${}^6\text{Li}(\text{no}\alpha){}^3\text{H}$ 的反应， |

表 2：光电倍增管的主要特性

| 名 称              | 段 数 | 使用 电压<br>[V] | 最大使用电压<br>[V] | 电 流 增 益            |
|------------------|-----|--------------|---------------|--------------------|
| 东 芝 - 7 6 9 6    | 10  | 1250         | 1500          | $6 \times 10^5$    |
| R CA - 6655 - A  | 10  | 1000         | 1250          | $6 \times 10^5$    |
| DuMont - 6 2 9 2 | 10  | 1200         | 1800          | $2.15 \times 10^5$ |