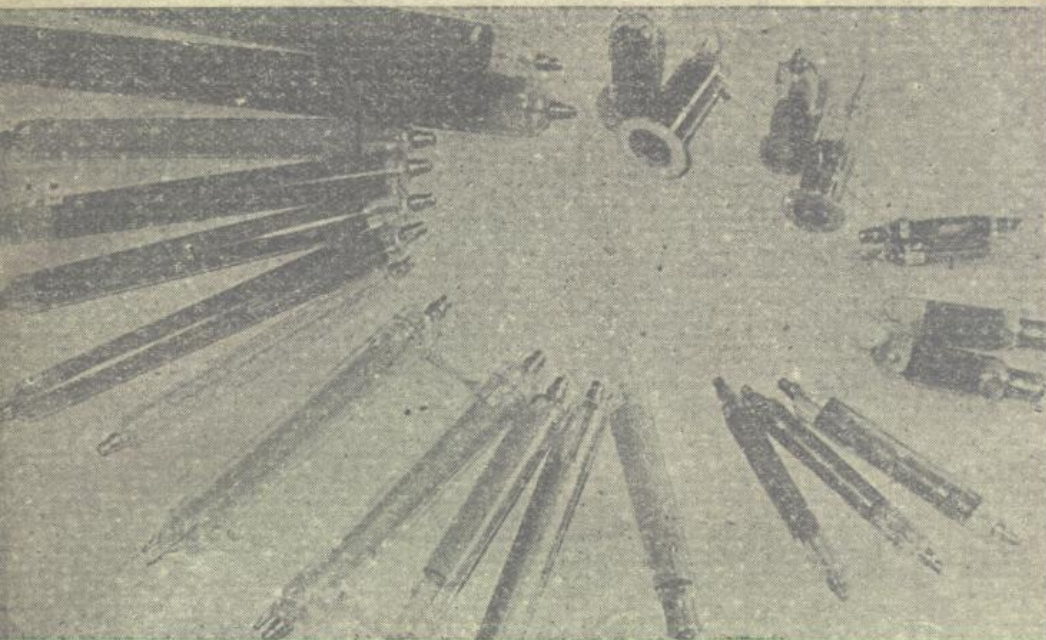




計數管原理和制造

陈遙芻 任祖武 刘汝焘 合編

上海科学技术出版社

前 言

在二十世紀的今天，已进入了原子时代，科学的发展已經达到了惊人的地步，和平利用原子能已經不是人类的愿望，而是在实现中，并且在这方面已取得了巨大的成就。人們已經完全有力量支配原子，使它按照人們的愿望为人类造福，苏联在这方面已做出了傑出的榜样；象原子能发电站的建立、原子能破冰船的建造、示踪原子的被广泛应用于探矿、医疗、工业、农业以及科学研究等等，都明显地說明了这一点。

我們的国家在解放前，由于旧社会制度的关系，其結果在科学技术上大大落后于世界先进水平。解放后我們在党的英明领导下，向科学技术文化进军，特别是党的八大二次会议的決議指出：“使我国工业要在十五年或者更短的时间內，在鋼鐵和其他主要工业产品的产量方面赶上和超过英国；……使我国科学和技术在实现十二年科学发展规划的基础上，尽快地赶上世界最先进的水平。”因此全国人民都在为着这个光荣而艰巨的任务，奋勇前进，追上原子时代，攻克科学堡垒，向科学文化大进军，我們完全有信心和决心去达到这个目标。

一九五八年五月一日起在苏联无私的援助下，我国第一个原子能重水型反应堆及回旋加速器，已开始投入工作，使我国进入了二十世紀的原子时代，使原子能为中国人民服务，使原子能加速我們社会主义的建設。而在利用原子能以及研究原子的各項过程中，是少不了要用到探测放射电离质点的工具。在測量

电离質点的仪器中,采用充有气体的蓋革計數管,来記錄电离輻射的方法,是具有二个基本优点:其一,因为計數管对輻射的反应易轉变为可以用普通仪器来度量的电訊号。其二,在于計數管的結構和制造工艺比較簡單,因此已得到最广泛的采用。苏联在这方面已取得了很大的成就。

本书介紹計數管的工作簡單原理和制造的一般过程,以及它的应用,使讀者能够了解用怎样的工具来測量电离質点。由于我們的学識淺薄,許多專門名詞目前还未統一,因此不免有疏漏的地方,我們希望讀者加以指正。

一九五八年国庆

目 录

前 言

第一章 計数管的工作原理	1
1-1 放射現象	1
1-2 計数管的工作原理	3
1-3 計数管的类型	6
1-4 計数管的工作特性	9
第二章 計数管的加工工艺和制造方法	14
2-1 外形結構	14
2-2 加工順序	14
2-3 材料選擇	15
2-4 零件加工	16
2-5 封口和退火	18
2-6 清沽处理	19
2-7 排气操作过程	20
2-8 性能測試	24
第三章 計数管的应用	27
3-1 使用計数管的基本原理	27
3-2 計数管在各方面的应用	28
第四章 計数管在制造及使用中的安全問題	36
4-1 安全問題的重要性	36
4-2 放射性物質的电离輻射对人体的影响	37
4-3 电离輻射的防护	39
附录 1. 若干种放射性物質的性質	41
附录 2. 常用計数管特性表	42

第一章 計數管的工作原理

1-1 放射現象

放射現象的發現是十八世紀末科學上的一項重大的發現；也是世界科學發展史上的一件大事。它使人類對原子的認識由外部深入到它的內部，近代科學上的一系列重大的發展是和放射現象的發現分不開的。

在1896年法國物理學家貝克勒爾發現鈾的化合物能使放在附近包裹中黑紙里面的底片感光，他由此斷定，鈾能不斷放射出某種看不見的、穿透力相當強的射線，這種現象叫天然放射現象。物質的這種性質被稱為天然放射性。

隨後，波蘭物理學家居里夫人發現了大多數含鈾礦石的放射性強度和礦石的含鈾量成正比。同時又發現有一種瀝青鈾礦的放射性比按其含鈾量計算出的放射性大四倍多。因此她認為在這種瀝青鈾礦中含有比鈾放射性大得多的放射性物質。由這個推論，居里夫婦經過了幾年的艱苦工作，從三十噸的瀝青鈾礦中提出了二毫克放射性很強的氯化物，根據化合物的性質，將該元素命名為鐳，並將其填入門捷列夫週期表98號元素的定位上。

同時居里夫婦又發現了另一種放射性很强的新元素，為了紀念她的祖國波蘭，因此將該新元素命名為釷。後來又經過各國科學家在這方面不斷努力，又發現很多新的放射性元素鐳、鐳等。

根据现在的理论和实验证明,人们已经很清楚地知道,原子序数在 84 以后的所有元素都具有天然放射性,但是原子序数在 84 以前的某几种元素也同样具有天然放射性。

放射性物质放射出来的到底是些什么东西呢?

要研究这个问题最简便的方法是将镭的放射性物质放入一个

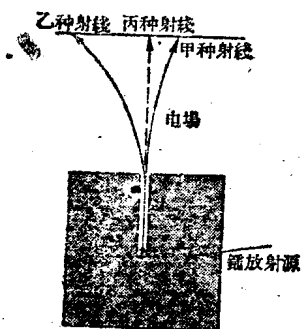


图 1-1 镭放射出的三种射线(或质点)。

有个“小井”的铅盒内,见图1-1,然后再把这个装置放入强电场中,在这里我们可以很清楚地看到由放射性物质放射出的射线,可以很明显地分为三束:一束偏向负,一束偏向正,一束不受偏转,这样我们就可以知道:一种带正电荷,一种带负电荷,另一种不带电荷。这三种射线依次称为甲种、乙种和丙

甲种射线是带有正电荷的高速粒子流,这种粒子叫做甲种粒子。实际上它是氦的原子失去了外围电子的原子核。甲种射线的速度大约为光速的 $1/20 \sim 1/10$ (即每秒 15,000 公里 ~ 30,000 公里),这样的速度,只需二秒钟就可绕地球一周。由于甲种射线质量较大,并含有两个正电荷,因此具有极大的电离能力。但是它的体积大,因此穿透能力很小,在空气中每厘米可以产生 3,000 对离子偶而形成一条细密的离子柱。但因其穿透能力弱,差不多用一张薄纸即可将甲种射线挡住。

乙种射线是带有负电性质的高速粒子流。实际上这种粒子就是电子。它与甲种射线除电荷性质、质量的不同外,还有一种特殊的性质,就是它的能级是从零到最高能阶是连续的谱,并不是某一固定而固定的能阶和速度。乙种射线的速度更高,

每秒为 200,000 公里。

丙种射线是一种具有光速的电磁波,它不带任何电荷,其速度每秒约 30 万公里。丙种射线的穿透力非常大,如果其他条件一样,它的穿透力与物质的密度成反比。它的射程比甲种、乙种射线长得多,但是它在行程中所引起的气体电离的机会都比甲、乙两种射线少得多。

最后我们再来详细地看一下三种射线穿过物质在物质中引起的电离过程:

当它们靠近原子核时由于甲种射线与原子中电子的吸引力,或乙种射线与原子中电子的排斥力,或丙种射线把光子授给原子中的电子。这样就能使得原子中的某些电子脱离原子,使得原子变成离子。形成带正电荷的原子核和电子的离子偶,这种使物质的原子变为离子的现象叫做电离,射线的这种作用叫电离作用。

由于放射性元素放射出的三种射线对别的原子有电离作用,因此我们可以很方便的利用它来探测放射性元素的存在。测定总的放射性强度,鉴定放射性元素的性质等等。在这里常用的有效而且便利的仪器便是计数管;计数管的基本原理也就是利用放射性元素放出的射线对气体原子的电离作用。

1-2 计数管的工作原理

计数管的计数作用如图 1-2 所示,接近阳极周围的电场强度很大,任何离子进入此空间时,因碰撞而造成一大批新离子,这些离子电荷被收集在电极上,使得电极上的电位下降,等到电位降落到一定数值后阳极周围的电场减弱不能产生放电,因而使得放电终止。停止放电后,聚集的电荷就从电阻 R 上漏掉,电

場恢复到原有的强度准备第二次計数。这样一次放电就在电阻 R 上产生一次脉冲, 这个脉冲可以輸出到放大系統将其放大, 最后用机械方法将其記錄。

計數管的放电是运用在气体放电特性曲綫前面的一部分, 按放电的区域分, 它是居于湯姆逊

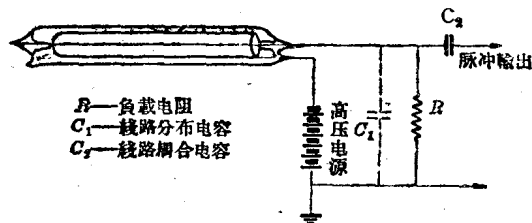


图 1-2 計數管基本电路

放电区。在这一区域的特点是它的放电电压很高, 但其放电电流很小; 同时放电也是非自持的。它的放电是由于气体中原有存在的带电粒子, 对計數管来說是由于放射源放出的射綫电离作用, 而形成了許多原始的带电粒子, 也就是这許多带电粒子在电场中得到能量产生加速运动, 它将和其余的原子发生碰撞电离而形成放电。如果将放射源去掉, 同时也不考虑宇宙射綫的电离影响, 那么放电就会立刻停止。

在非自持放电的情况下, 电子的“繁流”是和下列因素有关:

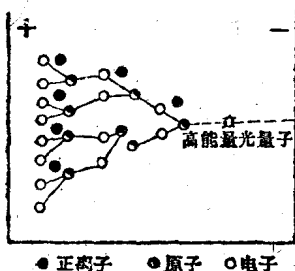


图 1-3 电子繁流图

繁流是指原始带电粒子在电场的作用下, 向电极的运动过程中和气体原子不断的碰撞产生多次电离, 使一个粒子到阳极时变为很多电子, 如图 1-3 所示, 如果其它的因索固定, 电子的增加将随着极間距离的增大而增大。

如将极間距离和其它因索固定, 它和所用的气体因索有关。总的来講, 計數管是运用在气体放电区域的湯姆逊放电区,

但是根据它的特性不同，它的工作区域又可分为四部分，如图 1-4 所示。

(一) 电离室区 在此区域内当射线照射到管子内时产生原始电离，此时加在管子两端的电压并不很高。能使原始电离的粒子沿电场方向运动。然而由于能

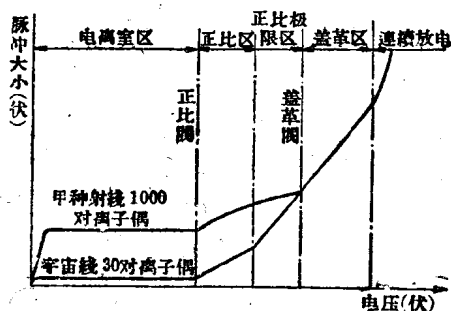


图 1-4 計数管各个区域的工作特性

量不够，由碰撞产生的电离机会很少，所以可以认为此时的原始粒子没有繁殖作用，因此在这区域电流很小，同时它的大小受原始电离的影响。如图 1-4 中甲种射线和宇宙线的电离作用表现了明显不同的结果。

(二) 正比区 在此区域内由于电场强度增加，将产生电离碰撞，原始粒子在走向电极的行程中，由于碰撞电离产生了很多新的离子。此时原始粒子有了繁殖作用，也可以说有了“气体放大”作用。但在这个区域内气体放大系数基本上是不变的。因此我们可以利用这段曲线制出正比计数管来区别原始电离能力差别很大的粒子，如甲种射线和乙种射线。

(三) 正比极限区 从图 1-4 上可以看出，在这一区域内，甲种射线造成的脉冲大的曲线增加较慢，而宇宙线造成的一条曲线增加较快。因此正比计数的关系被破坏了，管子将逐步地过渡到盖革区。

(四) 盖革区 在此区域中，任何射线或放射性微粒都有相同的效应，脉冲大小与原始电离的粒子浓度无关。此时若将电压继续增加时管子将产生自持放电。同时管内电场强度很大，

管子本身的电子离子已足于产生相当大的电离碰撞能量, 而外界能量不是主要的, 只起着维持放电的作用。

1-3 計數管的类型

計數管按类型可以分为很多种: 正比計數管, 盖革計數管, 閃爍計數管, 晶体計數管……等等。

盖革計數管可以分为: 自灭計數管和非自灭計數管。自灭計數管按自灭和气体种类分, 又可分为卤族自灭式和有机气体自灭式。

这里主要介绍的是盖革計數管中自灭式的計數管。因为这种管子在放射性测量方面最方便, 应用也最广。并且由于它在放射性元素放射射线的测量方面, 基本上可以满足各种要求。显而易见的, 这类管子的发展还颇有前途。最后这类管子目前已在大量生产, 讨论起来也能切合实际。

现在我们先来讨论盖革計數管的两种型式:

(一)非自灭計數管 非自灭計數管的原理图见图 1-5。非

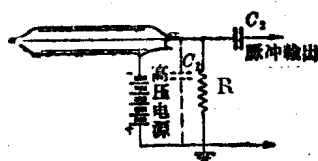


图 1-5 非自灭盖革計數管基本电路

R—负载电阻

C₁—线路分布电容

C₂—线路耦合电容

自灭計數管的放电淬灭原理如下: 当原始的电离粒子在电场的作用下向电极移动时, 产生碰撞电离。这些电子和离子将要收集到阴极和中心丝阳极上, 由于正

离子在阳极周围的空間电荷效应, 就降低了阳极周围的电场强度, 使得放电停止。电阻 R 在这里的作用, 一方面产生脉冲讯号输出, 另一方面是控制放电时间。电阻太大, 则泄放电荷的时间

太长,将会造成消电离的时间增加,造成计数失灵;如果太小,则放电太快,得不到应有的淬灭。

电阻 R 在非自灭计数管的应用上是一个很大的矛盾,在应用上希望 R 长,在非自灭盖革计数管中 R 要长,一定是增加电阻 R ,但是如果电阻增大则恢复时间变长,这对管子运用是很不利的。例如 C 是 10^{-11} 法, R 是 10^9 欧,则恢复时间为 0.01 秒,用这种管子每秒只能计数 100 次,这对于应用来说是很不利的。

为了克服这一个困难,目前都在电子管线路上想办法,应用电子管熄灭电路来达到降低电阻的要求,一般电路有下列几种:

甲、耐和 (Neher) 和平格林 (Pickering) 的淬灭电路

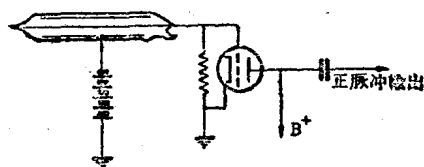


图 1-6 耐和与平格林正脉冲输出淬灭电路

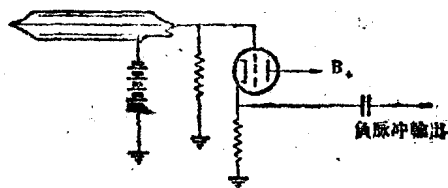


图 1-7 耐和与平格林负脉冲输出淬灭电路

乙、耐和 (Neher) 和哈伯 (Harper) 淬灭电路

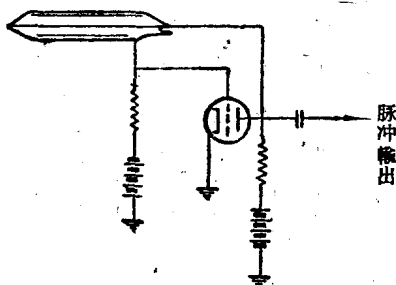


图 1-8 耐和与哈伯淬灭电路

此外还有很多电路,但无论怎样,一般这种电路的时间常数还是在 10^{-4} 秒左右,如果想再降低,困难是很大的。

(二)自灭式計數管 在1937年发现了在計數管内充入少量的有机气体时,管子的本身可以淬灭。这种本身能淬灭的管子称为自灭計數管。因为管子本身就有淬灭作用,因此在綫路上就不需要高电阻,因此大大的縮短了恢复时间。一般将它称为“快速的計數管”,这样基本上解决了恢复时间和負載电阻的矛盾。

一般对自灭式計數管有下列要求:

- (1) 計數管要具有很高的效率;
- (2) 計數管要有短的恢复时间;
- (3) 計數管坪要求足够长;
- (4) 計數管的坪要求平坦,斜率小;
- (5) 計數管要具有小的温度系数;
- (6) 管子具有长的工作寿命。

在自灭式的計數管中,鹵素自灭計數管是一个新的发展方向,因为它具有較低的工作电压,寿命长和較大的工作温度范

圖。

自滅式計數管的淬滅原因有下列三種形式：

(1) 正離子空間電荷的靜電淬滅，也就是前面所說的電阻淬滅。

(2) 崩潰中光子的淬滅，淬滅氣體吸收光子就避免了由惰性氣體分子激發產生光子的光電作用，使陰極不放出光電子。

(3) 正離子撞擊陽極的二次電子淬滅。

一般產生二次電子的原因是正離子在電場中獲得足夠能量，撞擊陰極而使陰極產生二次電子，若條件適當時，正離子撞擊陰極產生的二次電子能維持放電，这样就形成連續放電，這是計數管運用時所不允許的。

通常作為淬滅氣體的有機氣體的電離電位皆較低，而用的惰性氣體電離電位都比較高，如氬(Ar)的電離電位是15.68伏，而酒精(C_2H_5OH)的電離電位為11.3伏。在氬離子穿引管子時就發生電子轉移，電子由酒精轉移到氬離子，因氬離子被中和成為原子，而酒精離子繼續前進，然而酒精的離子發生分解。一般在 $10^{-11} \sim 10^{-13}$ 秒之間，因此它們不全在陰極上轟擊電子。

1-4 計數管的工作特性

計數管的工作特性，一般有起始電壓、坪特性、溫度範圍等。應用上希望計數管有低的工作電壓、比較大的電壓工作區域、高的效率、長的壽命、大的脈沖、短的恢復時間和小的溫度系數等等。下面我們將主要特性的影響因素逐一詳細討論，這不僅有理論意義，就是在實用和生產上也頗有價值。

(1) 起始電壓 起始電壓與工作電壓一般而言希望能夠低一些，這樣對電源的供給可以方便得多，起始工作電壓與下列因

案有关:

甲、一般說,自灭計數管的工作电压要比非自灭計數管高一些。自灭和非自灭計數管,其管中惰性气体的压力增加,如图 1-9 所示,其起始电压也加大,自灭計數管除有前面关系外,它的工作电压也隨自灭性气体(有机或鹵素气体)的含量增加而增高,但是在自灭計數管中鹵素自灭式要比有机自灭式的工作电压低些。

乙、起始电压与气体的种类有关,多原子的气体一般要比单原子的气体起始电压高一些。

丙、起始电压和管子的几何尺寸有关,阴极圓筒直径愈大,則起始电压愈高,阳极的直径愈小則起始电压愈低。

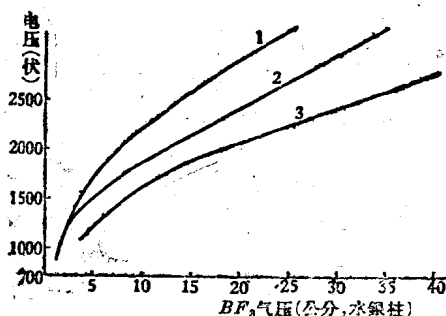


图 1-9 起始电压与充气压力和阴极直径之间的关系
曲线 1—丙种射綫計數管
2—质子計數管,阴极直径 5.5 公分、长 22.7 公分
3—丙种射綫計數管,阴极直径 1 公分、长 3 公分,阳极直径 0.076 公厘

(2) 坪的长度和斜率 在应用計數管时,要求坪要有足够长度,同时坪的斜率也不允許太大,对于坪的长度和斜率有影响的因素如下。

甲、負离子的影响,負离子的性质和負离子的数量都对坪的特性有很大的影响,如图 1-10 所示。

乙、真空度的影响,真空度降低則坪斜率变大,如图 1-11 所示。一般在計數管充气时管内的真空度要求达到 10^{-5} 公厘水銀柱高。

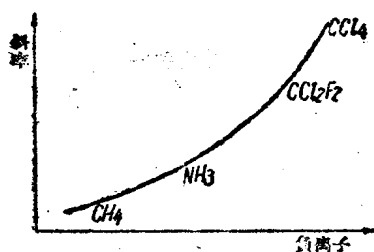


图 1-10 負离子对坪特性的影响

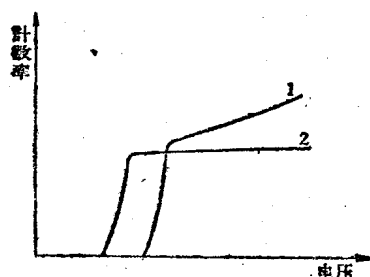


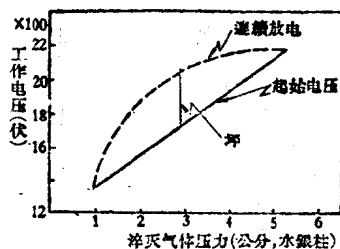
图 1-11 真空度对計數管坪特性的影响

計數管	充气百分率	坪斜率
1	10公分水銀柱酒精	
2	2公分水銀柱空气	0.15
2	10公分水銀柱酒精	0.025

丙、坪的长度和淬灭气体的成分、性质以及充入惰性气体压力和阴极表面的情况有关，如图 1-12 所示。由图可知淬灭气体太多或太少，对坪长都有不良的影响，只有一个适当的数值时的坪长方才是最好。

丁、线路上的负载电阻对

坪长也颇有影响，一般是负载电阻愈大则坪也愈长，如图 1-13 所示。由图中可知，要求坪长，则



負載电阻 R 要大, 但是若考慮到恢復時間不能太大, 則 R 也不能太大。

(3) 計數管的死時間和恢復時間 死時間和恢復時間, 其定義如图 1-14 所示,

在死時間時, 電離粒子雖然繼續射入計數管中, 也不能放電, 因

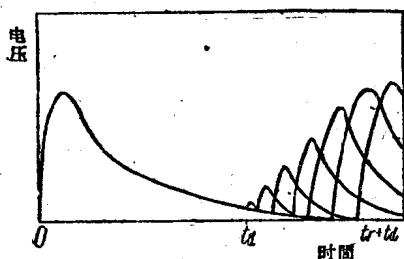


图 1-14 死時間(t_d)和恢復時間(t_r+t_d)

關:

甲、管子運用電壓增高, 陰陽兩極間的距離縮小時, 管子的死時間和恢復時間都減小。

乙、管子內的單位長度上的正離子空間電荷增加時, 則死時間變長。

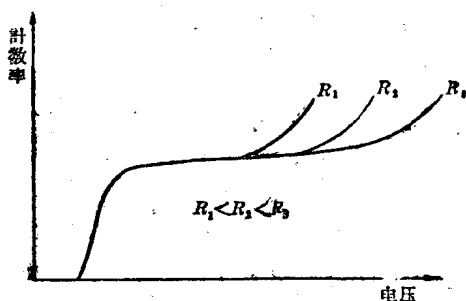


图 1-13 綫路負載电阻对坪特性的影响

此管子在運用時死時間愈短愈好。恢復時間是指在第一次脈沖結束後, 第二次脈沖出現時的時間, 在管子運用時, 也要求其愈短愈好。死時間和恢復時間的長短與下列因素有

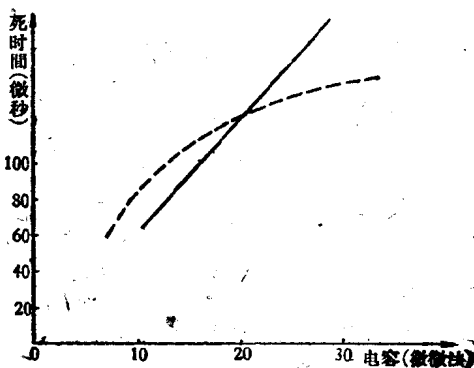


图 1-15 綫路分布电容对死時間的影响

丙、綫路上分布电容减少时,則死時間也縮短,如图 1-15 所示。同时如前面所說綫路上負載电阻增加,則死時間也隨着增加。

(4) 計數管的效率 計數管的效率是指当粒子进入計數管时,管子能够产生計数的几率,要求管子效率高,一定要管内气体压力大,和管子的“有效計数面积”^{*}大。

(5) 溫度影响 有机气体或其他蒸汽的計數管,它們对溫度的变化是很灵敏的,溫度下降将要产生下列两种情况:

甲、淬灭气体受溫度影响,而在管内的压力减少,可使淬灭作用无法完成,管子将連續放电。

乙、由于蒸汽受冷凝結在电极的表面上,使阴阳两极間的通路形成障碍。

溫度上升太高,将导致有机气体的分解,同时溫度的变化也会使坪长变短,坪的斜率增大。

但是在自灭計數管中卤素自灭式的适应溫度变化性能是比較好的,一般可在 -40°C 和 $+50^{\circ}\text{C}$ 之間运用。

* 有效計数面积是指阴极內徑和阳极有效长度的乘积。