

计数管

中国科学院原子能研究所編

科学出版社



計 数 管

中国科学院原子能研究所編

科 学 出 版 社

內 容 簡 介

本書向讀者介紹了各種類型的計數管，尤其着重介紹最常用的蓋革計數管及鹵素計數管的製備和性能。在蓋革計數管一章中，敘述了蓋革管的工作原理、結構、使用時的電路條件和用時應注意的事項等。在鹵素管一章中則分別詳細地介紹鹵素管的製備方法和管子的性能，也介紹了強流管的性能。

本書內容淺近易懂，對參加原子能事業的實際工作者很有用，可供我國參加和平利用原子能事業的廣大科學技術幹部閱讀，也可供對原子能學科感興趣的一般讀者閱讀。

計 數 管

編 者 中國科學院原子能研究所

出版者 科 學 出 版 社

北京朝陽門大街117號

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 中國科學院印刷廠

總經售 新 華 書 店

1960年1月第一版

書號：2052 字數：85,000

1960年1月第一次印刷

開本：850×1168 1/32

(京)0001—9,000

印張：3 5/16

定價：0.50 元

目 录

前言.....	1
第一章 盖革有机计数管.....	2
§ 1 盖革有机计数管的工作原理.....	2
§ 2 设计盖革有机计数管应考虑的问题.....	3
§ 3 有机计数管在真空系统上应注意的问题.....	4
§ 4 钟罩形 β 管的结构.....	5
§ 5 检验及性能.....	6
5.1 坪, 5.2 死时间, 5.3 温度效应, 5.4 稳定性, 5.5 寿命, 5.6 本底.	
§ 6 有关 β 计数管的几点经验.....	12
§ 7 吹气式的计数管.....	13
§ 8 使用电路条件.....	15
8.1 记录电路, 8.2 猝灭电路, 8.3 高压电源, 8.4 连续放电、光感与最大 计数率, 8.5 利用 β 射线吸收法测量云母窗厚度, 8.6 有机及卤素计数管 的使用说明.	
第二章 卤素管的制备和性能.....	31
§ 1 引言.....	31
§ 2 卤素管及强流管的制备.....	33
2.1 材料的处理, 2.2 充制方法, 2.3 结果.	
§ 3 卤素管的性能.....	40
3.1 卤素计数管的阈压, 3.2 每个脉冲的电量, 3.3 死时间, 3.4 坪曲线特 性, 3.5 放电的传播及发光现象, 3.6 振荡, 3.7 结论.	
§ 4 强流管的性能.....	68
4.1 强流管的放电特性, 4.2 强流管的电流特性及其与计数特性的联系. 4.3 强流管的量程, 4.4 强流管的最大电流, 4.5 在设计和使用强流管中 的一些考虑, 4.6 结论.	
附录.....	88
§ 1 有关公式之推导.....	88

1.1 气体放大系数与阈压。 1.2 空间电荷对气体放大的影响。 1.3 电子被俘获的几率与计数损失。

§ 2 卤素 β 管	97
§ 3 稳压管	98
§ 4 各种盖革有机计数管	99

前 言

在 1958 年大跃进的基础上,为了广泛地开展和平利用原子能的事业,中国科学院原子能研究所从事于盖革计数管工作的同志,破除了迷信,将有关盖革管的部分工作整理出来,写成本书。

本书共分两部分。在第一部分中,除了必要的一些基本方法及资料外,多数材料是原始的。在制造工艺方面,我们着重介绍那些不需要特殊设备与条件的方法,以利推广;至于把近代电真空技术引用到计数管工艺中来,凡是有条件的单位均可自行解决,故书中一概略去不谈。计数管的性能鉴定,还与测试条件、特别是电子学电路的特性有关,为此,我们对使用条件及电子学电路的特性及其测试方法的介绍也给以一定的篇幅,希望不仅对制造者有所帮助,而且对使用者也能提供一些数据。

卤素计数管是一种实用价值很高的探测元件,在一般测量仪器中已有取代有机猝灭计数管之势。它的特性、放电过程及制造方法与普通的有机猝灭计数管都有所不同,而了解这些特点,对于使用与制造这些计数管均有很大的好处,因此,我们把根据本实验室的工作在 1955 年底写成的“卤素计数管和强流管的制备及其放电机构的研究”一文作为本书的第二部分及附录。这里我们全按原著发表,至于 1955 年以后的工作及文献资料,一概不再补充或引证。值得提一下的是,正如文中所讨论的,在卤素管中,空间电荷的猝灭作用已并不是必不可少的,所以完全可以摆脱一般计数管中对阴极和阳极形状及大小的制限,而制造出各种特殊形状及用途的计数管。

我们的工作还只是开始,不论对计数管应用的条件或计数管内在规律,都还缺乏系统与深入的研究。因此,本书不免存在着很多缺点和不妥之处,希同志们提出批评。

第一章 盖革有机计数管

§1. 盖革有机计数管的工作原理^[1]

盖革有机计数管是气体电离探测器的一种，最常用的形式是充以惰性气体(氩气)、附加少量猝灭气体(有机蒸气)之同轴圆柱的二极管。两极间所加电压为千伏上下。

电离辐射进入管内，在气体中产生电子。电子在电场作用下向丝极(阳极)加速，接近丝极时，由于强电场作用，使得电子与气体分子碰撞，平均每两次之间获得的能量大于或等于管中气体分子的电离电位时，这时有可能与管内气体分子产生碰撞电离，从而产生电子雪崩。借放电中产生的光子作用，放电沿着整根丝极传播，直至正离子鞘形成降低丝极附近的电场至不能产生碰撞电离(空间电荷猝灭)为止。每次放电終了，电子全部已到达丝极，而正离子仍停留在原始位置(以上两点，都是极端近似的说法)。在电场的作用下，正离子鞘向阴极运动，这时丝极电压相应地产生变化脉冲，借助电子学仪器将脉冲记录下来，由此得知所探测的辐射数目。

随着正离子的运动，丝极附近的电场相应地恢复。当正离子鞘运动到临界距离(开始产生碰撞电离的距离，此距离是由电场强度与充气压力比值的函数)时，又能使辐射产生的电子与气体分子发生碰撞电离，于是重复上一过程，进入正常工作状态。停止工作所经历的时间称为计数管的死时间，一般约几十至二、三百微秒。具体数值由计数管的几何形状、充气成分、压力、作用电压等所决定。

在放电过程中，猝灭气体主要起着猝灭正离子在阴极附近产生电子的作用。与电子雪崩的同时，还产生了大量的光子。光子

被猝灭气体吸收产生光电子(猝灭气体在放电过程中产生分解也是可能的)。在电场作用下,电子被加速,引起新的雪崩,如此继续下去,引起放电传播^[2]。整个过程是在丝极附近^[3]发生的,因此放电沿着丝极传播。由于充气主要是惰性气体,鞘中绝大部分则为惰性气体的正离子。惰性气体的正离子在向阴极运动途中,由于电荷交换,与猝灭气体分子发生碰撞时,夺取猝灭气体分子中的电子而自己形成中性原子(由于能量关系,逆过程不可能发生)。因此到达阴极的几乎全是猝灭气体的正离子,猝灭气体的正离子在阴极附近中和而自行分解——超前分解,不产生次级电子引起乱真计数——自猝灭。事实上,这种猝灭不是绝对的,惰性气体正离子仍有一定机会在阴极附近中和,产生次级电子引起乱真计数,乱真计数与每次放电电荷量成正比。乱真计数的存在,使计数管的“坏”短而斜,甚至严重到根本没坏的存在。

由于放电中光子及空间电荷的作用,盖革计数管每次放电的脉冲高度与电离辐射的初始电离无关(与计数管阳极有效长度有关),脉冲高度高而整齐。因此盖革管配用的电子学线路要求简单。对探测带电辐射(β 、 α 等),效率约100%;而探测 γ 辐射,则视其能量而定,一般对 γ 的计数效率约1%。

随着计数管的使用,管中有机气体不断地分解^[4]成非猝灭气体或有害气体,从而限制了计数管的使用寿命,有机计数管的使用寿命约在 10^7 — 10^9 次计数。

有机计数管制造与使用方便,是最大优点,寿命的限制仅为美中不足。

§2. 设计盖革有机计数管应考虑的问题

几何大小 计数管在一定充气条件下,某一确定的阳极半径与阴极半径之比,对应有一最好的坪曲线^[5]。最常用的阳极半径与阴极半径之比为1/200。

计数管的有效长度(阳极的长度),下限等于或略大于其阴极的直径,上限由其需要决定。

套管問題 在計數管阳极两端常套上玻璃套管，此套管能確保計數管的性能。套管伸入阴极內的長度为阴极直径的 $\frac{2}{3}$ 时較为适宜，套管粗細問題不大，一般用 2 至 3 毫米（卤素計數管一般采用 3 毫米粗細）的套管性能較好为适宜。

套管通向阳极的一端，应事先用玻璃吹灯燒圓。阳极細絲和阳极引綫点焊处，必須藏在套管內，此点距套管端約为 5 到 15 毫米远。計數管尾巴一端，阳极末端应確保燒在玻璃套管內，絕對禁止露在套管外面。这里所指各点，都是为了免除計數管工作时产生尖端放电，影响計數管的性能。

§3. 有机計數管在真空系統上应注意的問題

真空系統 有机計數管采用的真空系統如图 1.1.

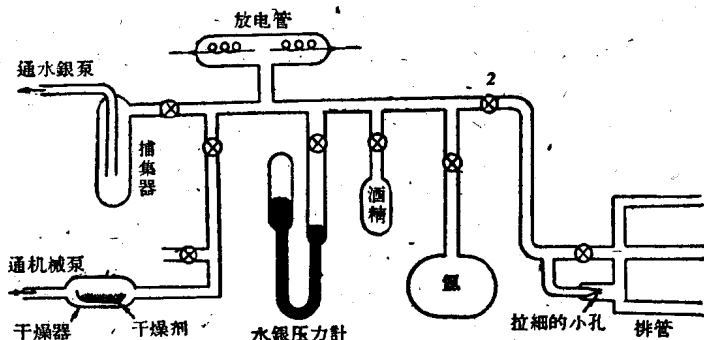


图 1.1 有机計數管的真空系統

有两点值得說明：1. 有机 β 管与有机 γ 管的真空系統区别在于排管的支架处： γ 管的排管被电炉底盘支持； β 管的排管被木橙支持。2. 图上排管前拉細的小孔（直径 0.2 毫米），是为了使 β 計數管在抽气时免除管内压力的突然降低致使其云母窗破裂而做的装置。当管内压力已降至 0.1 毫米汞柱时，打开活門 1 进行排气。

烘烤 为了除去水汽，在充气之先，計數管需要在真空中边抽气边烘烤（ β 管不烤，而将抽气時間拉长），烘烤温度为 $200-250^{\circ}\text{C}$ ，時間 4—2 小时。

檢漏 充气之先,必須检查所充气体是否漏气。检查方法:一是看有机蒸汽的飽和蒸汽压;一是用高频檢漏器看放电顏色。充气时先充有机气体到指定压力,然后关掉开关 2,抽掉系統内剩余的有机气体,然后再充氬气至指定压力,再开活門 2,这时压力降低,再加充氬气至指定压力,关掉活門 2,过半小时后即可进行測量。

充气压力 对不同几何大小的計数管要得到良好的性能,要求充气总压力不同。例如我們做了五种几何大小的管子,充气总压力各不相同,而得到良好性能,部分数据見下表。

表 1.1 几何大小与充气关系

阴极直径 (毫米)	阳极直径 (毫米)	充气成分, 比例	总压力 (毫米汞柱)	坪曲綫 (伏)	坪斜 %/伏
350	0.125	二甲氧基縮甲醛, 氬; 1.5:8.5	8	≥300	≤4
300	0.125	二甲氧基縮甲醛, 氬; 1.5:8.5	8	≥300	≤4
200	0.100	二甲氧基縮甲醛, 氬; 1.5:8.5	10	≥300	≤4
150	0.075	二甲氧基縮甲醛, 氬; 1.5:8.5	10	≥300	≤4
100	0.050	二甲氧基縮甲醛, 氬; 1.5:8.5	15	≥300	≤4
280	0.125	酒精, 氬; 1:9	12	≥300	≤4
200	0.100	酒精, 氬; 1:9	18	≥300	≤4
280	0.125	戊烷, 氬; 0.8:9.2	100	≥300	≤4
200	0.100	戊烷, 氬; 1.3:8.7	100	≥300	≤4
280	0.125	乙醚, 氬; 1:9	100	≥300	≤4
200	0.100	乙醚, 氬; 1:9	100	≥300	≤4
100	0.050	乙醚, 氬; 1:9	100	≥300	≤4

表内所采用主要原料如下:

- (1) 玻璃和鎢絲全系国产。
- (2) 氬气純度为 99.9%, 国内已有生产。其純度是否須要这样高, 尙待試驗。
- (3) 石油醚为北京化学試剂研究所出产的分析純。

做計数管时, 如果切实地按照以上几点要求(卤素管特殊要求見第二章)去做, 就能做出性能良好的盖革有机計数管。

§4. 鐘罩形 β 管的結構

我們不打算对各种形式与种类的盖革有机計数管一一介紹。常用几何大小(β 与 γ 管都适用)的有机計数管已列表于上。現在

只拟介绍一下金属钟罩形 β 管^[6]。

经过多次试验,采用如图 1.2 的结构。

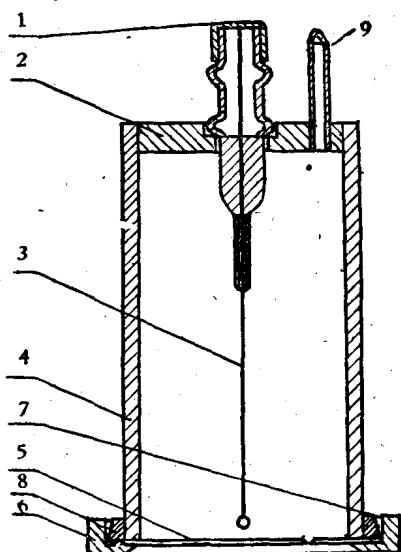


图 1.2 定型 β 管的结构

1—铜帽; 2,4—黄铜阴极,内直径 28 毫米、长 50 毫米; 3—阳极,直径为 0.125 的钨丝; 5—云母窗,厚为 3—5 毫克/平方厘米; 6—黄铜底盘,内直径 38 毫米; 7—阿拉地 I 胶^[1]; 8—法兰盘,外直径 37.5 毫米; 9—抽气管,直径为 3 毫米的紫铜管。2 和 4; 4 和 8 交接处用银焊,其余封处均用阿拉地 I 胶封接。

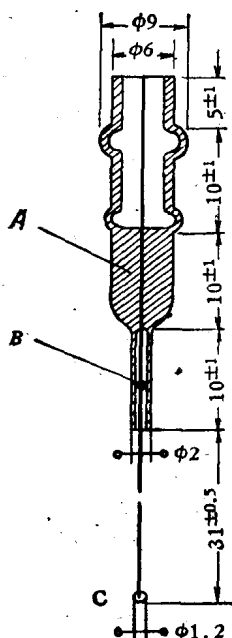


图 1.3 玻璃绝缘子

A—玻璃实心; B—点焊处;
C—玻璃珠,在未抽气时它的底部距云母窗 3 毫米。

§5. 检验及性能

盖革计数管的检验一般为: 1. 坪, 2. 死时间, 3. 温度效应, 4. 稳定性, 5. 寿命, 6. 本底等六部分; 其中测量坪曲线是每只管子必须经过的工序, 也是最后检验产品是否合格的标准。检验常用的仪器是定标器。它主要由电源、前级、定标与机械计数器及高压等四部分构成, 图 1.4 表示国产 64 定标器的仪面图。测量之前, 要先对定标器本身进行检查。主要检查定标是否正常, 高压是否漏电而

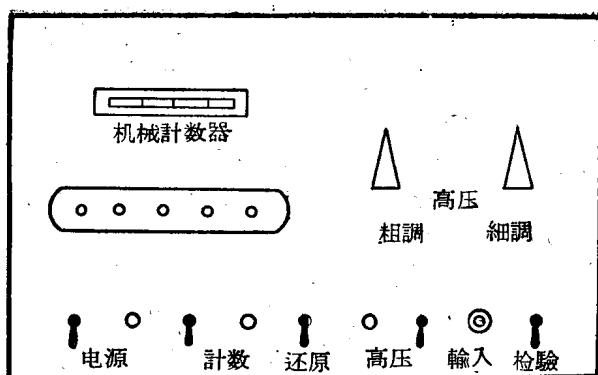


图 1.4 定标器仪面图

引起假计数。定期对高压电压用静电计进行校正。

另外，在测量坪曲线时，高压应从零逐步升高，以免因电压过高而致使计数管进入连续放电而缩短计数管的使用寿命。如果发现计数管连续放电，应立即降低高压，使放电停止。

测量计数管的坪曲线时应蔽光。

5.1 坪 测坪时，先还原使所有计数管熄灭，然后打开计数开关，调节高压粗细旋钮，一直调到开始计数，这个电压就算起始电压（其实，此电压略高于起始电压），再逐步升高电压，进行计数。

测坪应按放射源的强弱，把管子放在适当距离，固定在支架上，测 γ 管时，射线源（ γ 源）尽量对准管身的中间部分；测 β 管时，射线源（ β 源）对准管窗。计数率（机械计数管 64 进位）以每分钟 60—120 次为宜，每隔 50 伏或 30 伏测一次。

我们使用的定标器，前级是经过改装的（见本章 § 8.1）。对于定型 β 管分批充氩气加酒精蒸气制成的 105 只管，都符合要求（坪长 200 伏，坪斜每 100 伏小于 5%）；平均坪长是 360 伏，最小坪长 300 伏，最大坪斜每 100 伏 4%。分批充氩气加二甲氧基缩甲醛 $[\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2]$ 蒸气的 186 只管，也都符合要求；平均坪长是 300 伏，最大坪斜每 100 伏 4%。典型坪曲线如图 1.5 所示。

5.2 死时间 死时间的检验是用同步示波器（我们采用苏联

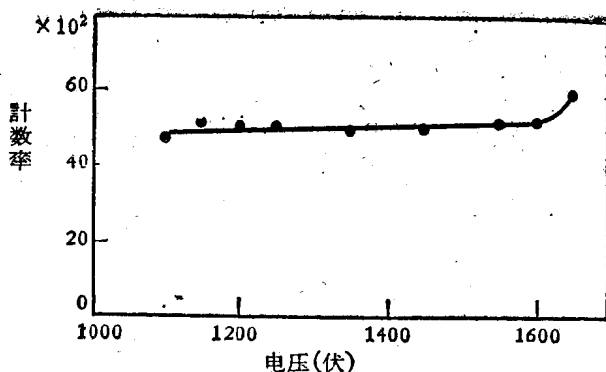


图 1.5 定型 β 管的坪曲线。充氦气及酒精蒸气

25-II 示波器) 直接测量^[3]的, 线路如图 1.6 所示。测量时使計数率較高, 比較容易观测波形, 若在示波器輸入前面加一小电容 (10—50 微微法), 波形更为清晰。氦-二甲氧基缩甲醛充气管, 超过电压在 100—300 伏时, 相应的死时间为 250—100 微秒, 在同样超过电压时, 氦-酒精充气管的死时间較上面充气管略大。

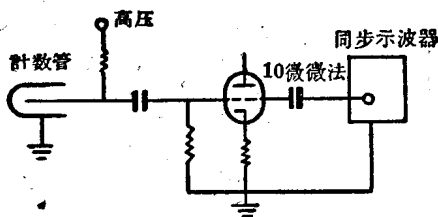


图 1.6 用示波器测死时间线路简图

5.3 温度效应^[7] 温度效应是检验管子在不同温度下性能变化的情况。测量时, 将要测的管子和装在密封的玻璃管内的固体 γ 源捆在一起, 源位于諸管中央, 且固定住, 每改变一个温度测一个坪, 看坪随温度的变化。

低温試驗是在广口杜瓦瓶内进行的。将已捆好的管经过較长的电极引线吊入盛满机油的銅制容器内, 此容器放在杜瓦瓶内, 再将液体氮或液体二氧化碳注入杜瓦瓶内, 通过温差电偶讀出温度。

待温度稳定后,即测量坪,为了使取得的数据更为准确,可以通过升温重复一次,即将降温后的铜制容器从杜瓦瓶中取出,让其温度逐渐升高,待升至所要求的温度时,立刻再将它放入杜瓦瓶内保温,进行测量。这里采用机油,是由于它的电绝缘性好,可以防止因水汽凝结而漏电,并且凝固点也低。注意,倒入液体氮时要顺着杜瓦瓶壁缓慢地倒,避免杜瓦瓶受骤冷致炸裂。

高温试验是在圆柱形电炉内进行的。将捆好的管子吊在电炉中央,炉底垫一块厚的石棉板。由于炉内上部温度较下部高,应在盖在炉口上的石棉板上钻一些孔,使炉内温度趋向均匀。通过可调变压器,改变电炉的电源电压,从而控制温度,作出温度改变相应的坪曲线。注意,当温度高出 150°C 时,要防止管子引线的锡焊接头脱落,避免管子尤其是装射线源的管子摔破。若使用温水来改变温度,就要注意漏电的问题,因为水汽多,就容易引起漏电。

按照上述方法,对自制两只 γ 管进行了测量,氙-二甲氧基缩甲醛充气的管子在 -30 — $+100^{\circ}\text{C}$ 范围内工作正常,温度与起始电压的关系如图 1.7 所示。氙-酒精充气管在 20 — 50°C 范围内工作正常。氙-戊烷充气管之低温度范围与氙-二甲氧基缩甲醛充气管相近。氙-乙醚充气管在 10 — 35°C 范围内工作正常。

5.4 稳定性 稳定性检验分搁置及连续工作两方面。搁置的

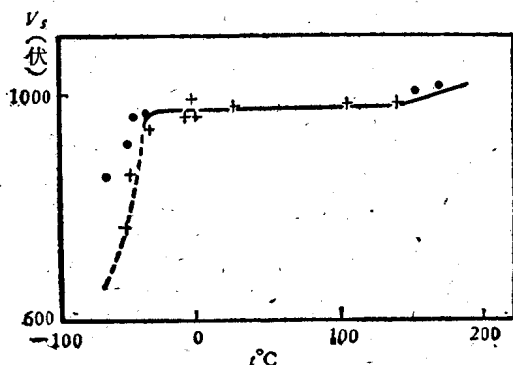


图 1.7 起始电压与温度关系

●, + 为同类的两只 γ 管数据。

稳定性通过每隔一定时期测一次坪来确定；而連續工作稳定性是这样确定的：通过管子在起始电压以上 100 伏处工作时，进行多次重复計数，作出時間—計数率曲綫。如果实验点均均匀分布在一直綫兩側，其誤差在統計誤差范围内，算是稳定性好。注意，測量时要避光，避免其它射綫源与电波干扰，最好在鉛室內进行。

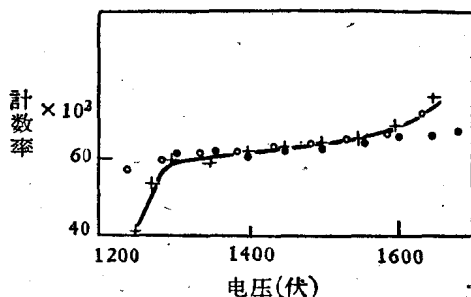


图 1.8 坪与時間的关系

○ 57, 7, 4 測； + 58, 11, 13 測； ● 58, 12, 23 測。

氫-酒精充气的管子經過約一年半的时间，所有管子的性能无显著变坏。图 1.8 表示坪随時間的变化情况。另外，做过多次試驗，这种充气管在二小时内連續工作，計数率随時間的变化約在統計誤差之内，与美国胜利仪器公司出品的同类管 VG 型 15 号比較如图 1.9 所示。

5.5 寿命 計数管經過若干次計数后（坪寬变得小于 100 伏，坪斜大于每 100 伏 5%），綫路如图 1.10 的时候即臥作寿命終結。

測量寿命的工作电压选在起始电压以上 100 伏的地方，可以几只管子同时进行，高压公用，而每个管的电压差，由公用 -300 伏电源通过电位器調節。源強約每分鐘 $2-3 \times 10^4$ 次計数。每隔一定時間量一次电压，以保持电压在一定值。每隔一定時間測一次計数，求出平均計数率，在計数一定数目之后（比如 10^7 ， 5×10^7 ， $10^8 \dots$ ）量一次坪。注意，量一只管子的計数时，其它管应停止工作，否则会使量得的計数較实际的为多，因为别的管的計数同时也被計上了。如果彼此屏蔽好，就无此現象。在整个实验过程中，管子要避光，因为管子随着工作時間的增长，光感可能会增強，造

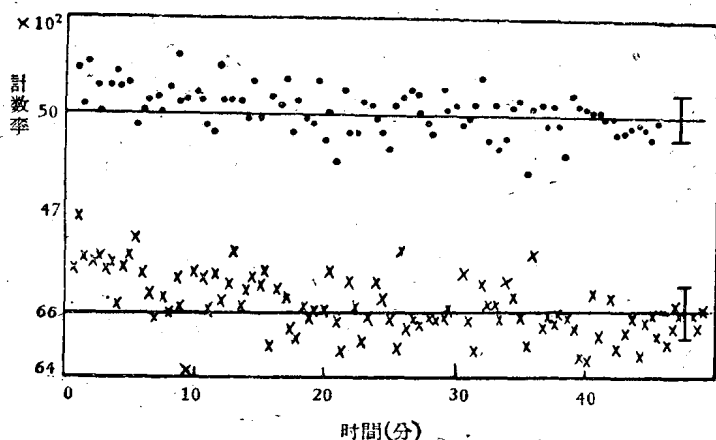


图 1.9. 計數率与時間的关系

● 自制 341 号計數管, $2a = 0.125$ 毫米, $2b = 28$ 毫米, 云母厚度 $\approx 3-4$ 毫克/厘米²; × 美国胜利仪器公司出品 VG-15 計數管, $2a \approx 0.125$ 毫米, $2b = 28$ 毫米, 云母厚度 ≈ 3.7 毫克/厘米².

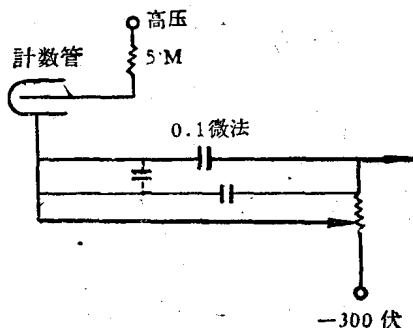


图 1.10 測量壽命線路簡圖

成計數數目不准,甚至使管子很快變壞,不能繼續工作。

氫-酒精及氫-二甲氫基縮甲醛充氣管,壽命都在 10^8 次計數以上。

5.6 本底 本底檢驗是將管子放在內衬 1 毫米鋁的 5 厘米厚的鉛室內進行的。工作電壓選在起始壓以上 100 伏處,量時要防止其它射線源或電波的干擾,每 10 分鐘或 20 分鐘測一次計數,把

两次或多次测得的计数平均,就可算出每分钟计数。在周围没有强的 γ 源的情况下,在厚为5厘米的铅室内,定型 β 管的本底为每分钟15—25次计数。

§6. 有关 β 计数管的几点经验

材料选择 在选用材料时,要考虑所选材料对计数管的性能是否有影响(此点适用于任何计数管),例如选用玻璃绝缘子及云母窗的密封材料,经过试验证明,只有当阿拉地 I 胶封接后呈浅黄褐色(约在150℃烤4到8小时)时,对计数管长期稳定性才影响不大。又如有机计数管的真空系统使用的活门油,经过试验证明,只有阿皮松(M和L)和硅脂对计数管性能影响不大。选用阴极材料时,一般用紫铜或黄铜,最好用透明阴极(见第一章),铝阴极对有机计数管性能起不良的影响。

充气压力 定型 β 计数管经过试验证明,氩气和酒精按照9:1的比例(比例大小关系不大)时,总压力为12厘米汞柱时为好。这样充气的计数管性能远较文献上说的总压为10厘米汞柱时为好。氩气和二甲氧基缩甲醛按8.5:1.5比例时,总气压为8厘米时为好。

云母破裂及封接处漏气 云母封好后,烘烤和排气时有破裂与分层现象,这类管数占总管数的30%。从剥云母到封接云母的整个过程中,尽量减少云母受伤、受折,剪云母时将云母夹在两层薄纸中间,用锋利的剪刀一次剪好。另外,在烘烤时,不能骤热或骤冷,应逐步升温与降温。这样做的结果,云母破裂和分层的管子数目降到10%。

由于云母封接处漏气的管子原占总管数的50%。最后将法兰盘直径改成比底盘内直径小0.5毫米,并在法兰盘上开了一斜坡,如图1.2中8的形式,这样就保证了云母(云母直径与底盘内直径几乎一样大,使刚好放入底盘内)封接处不漏气或少漏气。我们在一次封接的130只管子时,没有一只漏气的。

玻璃绝缘子和玻璃珠 玻璃绝缘子与阴极相接触的下端,如