

盖革计数管五十年进展

严增渥

(华东电子管厂 南京 210037)

TN 245/131.3

Advances of Geiger Counter in the Last Fifty Years

Yan Zengzhuo

(Huadong Electron Tube Factory, Nanjing 210037)

Abstract This article introduces the advances in the structures of Geiger counter and the different kinds of quenching gases filled. Their characteristics and application are also discussed.

Keywords Geiger counter, Halogen quenched tube, Organic quenched tube, Gas-filled diode.

摘要 介绍了盖革计数管在结构、充入猝灭气体种类方面的进展,还介绍了其特性和应用。
关键词 盖革计数管 卤素管 有机管 充气二极管 计数器 探测器

计数管是构成电离探测器的离子管。管子加上可引起气体放电的电场后,就可把探测器灵敏区内产生电离效应的电荷收集到电极上,完成计数管记录的一个脉冲的工作。记录 α 、 β 和 γ 、X射线的辐射情况。它可分成盖革计数管和正比计数管两类。盖革计数管又可分为自猝灭式和非自猝灭式计数管,而自猝灭式计数管又分成卤素和有机计数管。

盖革计数管是1943年由盖革和缪勒(Geiger - Mueller)发明的,至今已有半个世纪。50年代中期,华东电子管厂作为盖革计数管的主要生产厂而建立车间并延续至今。

盖革管仅是多种辐射探测器件中的一种,只能记录进入灵敏体积内的部分射线粒子数量,并不能确定射线粒子的确切数量以及进入该灵敏体积内每个射线粒子的能量大小。60年代后期产量有较大幅度的下降。但是,该产品目前仍是探测强辐射和特种辐射的主要探测器件。

1 结构

计数管的结构简单,通常在充以惰性气体的管中安置两个同轴电极,内电极是一根直径为0.05~1 mm之间的金属丝,如钨丝、钼丝、钨钨丝等。外电极是与之同轴的圆柱形电极,材料可用铜、钨、氧化锡、不锈钢、石墨、镍等^[1]。可以将外电极材料直接喷涂于玻璃外壳灵敏体积范围的内壁上,组成圆筒状电极,如铜粉、钨粉、石墨乳、氧化锡等材料。也可卷成圆筒状置于玻璃内,如镍皮、不锈钢皮筒。有的计数管直接用无缝不锈钢圆筒既作外壳又作电极制成金属外壳的计数管,为了使薄壁不锈钢外壳有一定的强度,在管子的圆筒方向冲压有加强筋。除测量 γ 射线和中子的计数管外检测 α 和 β 粒子以及X射线的管子,对玻璃管壁有所要求,在射线穿入的灵敏区域内,管壁要薄,以使弱射线能穿透。有的射线即使用薄壁管还不能达到要求,如 α 粒子、软X射线等,需要采用云母、塑料、金属铍制成窗口,以使射线能穿透到管内。为了制作方便,有的窗口不一定在灵敏区域,形成一种端窗式计数管,如

图1所示。图中凹面是窗口，让射线射入，其工作体积为中心钨丝长度的一个圆柱体。

在工作时，中心丝加直流正电位，外电极加负电位，管内充以气体。当两电极电位差到一定值时，即产生气体放电。

实验证明，计数管体积大小与所测射线粒子流的密度有关，当粒子流密度小时，需要体积大的计数管，以增加探测效率，国内最大的计数管如J5147管，在直径为38mm的波管内壁，涂石墨粉

获得约35mm直径的外电极，内电极直径为0.1mm的钨丝。圆柱状灵敏体积长度为500mm左右。当粒子流密度强时，如在核爆炸近区，则需采用灵敏体积极小的管子，此时，可用钨丝绕制成直径很小的密螺旋状电极作阴极，里面再插入同轴细钨丝阳极。

随着技术的进展，要求测量不同辐射强度的射线仅用一只管子——多阳极计数管。它是将一块金属冲压成不同半径的多个半圆弧作阴极，在每个圆弧中心置一根阳极丝而形成。当粒子流强度弱时，用半径大的半圆弧状相对应的阳极作计数管的阳极。当粒子流强时，使用曲率半径小的部位的中心丝作阳极组成的计数管，从而达到一管多用的目的。

2 特性

主要特性包括：起始电压 V_s ，最大坪斜 S 探测效率 ϵ ，最大计数率 N 等。

3 猝灭气体

计数管在一次放电后会产生自持放电现象——连续放电。在盖革管中，使连续放电得到制止，叫做猝灭。

猝灭措施有好多种，凡是利用计数管外部电路使计数管电极之间电位差瞬时减小来实现猝灭的计数管叫非自猝灭式计数管，凡是利用计数管内部充入的气体来猝灭的称自猝灭式计数管。前者充入一定压强的惰性气体，而且后者除充入惰性气体外，还充入有机或卤素气体分子作猝灭气体。

在气体放电过程中，正离子或负离子与中性原子相碰撞时，可能发生电荷转移，离子将自身所携带的电荷转移给中性原子。这种转移现象发生的几率和气体成分有相关。在掺有少量有机气体分子的惰性气体（如氩气）管中，这种现象比较多。放电产生的氩正离子，在电场作用下向外阴极运动时，与有机气体分子（如乙醇）相碰，氩离子具有15.7eV的电离能，而乙醇为11.3eV。因此，氩离子很容易将电荷转给乙醇，使乙醇成为正离子，而氩离子成了中性原子。乙醇正离子在阴极表面激发次级电子的几率比氩气低得多，实验证明，其打出次级电子的几率为 10^{-10} ，多余能量用于自身的分解，其分解几率要比把能量交给阴极产生次级电子的几率大100万倍，从而使繁流终止，射线粒子产生的放电自行结束。因为有机气体分子在每次放电后都要分解，减少，寿命终止，通常寿命在 1×10^8 计数脉冲左右。表1列出了有机气体种类及其电离电位。

同样，在卤素管中，卤素气体分子的电离电位比惰性气体原子的电离电位低，因此，惰性气体正离子与卤素气体分子碰撞时，使后者电离夺取电子，复合成中性原子，卤素气体正离子走向阴极，不会使阴极激发出次级电子，而是将多余能量转为卤素气体分子分解成原子，分解后的卤素原子仍然有部分要再复合成卤素分子，所以，卤素气体分子在猝灭过程中不会

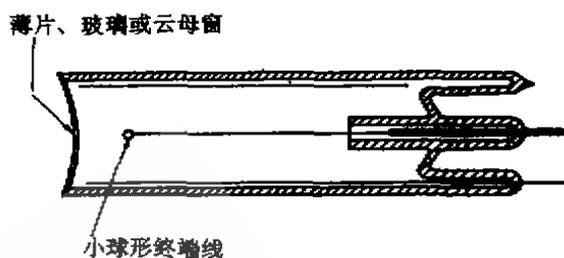


图1 端窗式计数管结构

表1 有机猝灭气体分子的电离电位⁽²⁾ /eV

| 分子式 | 质量数 | 电离电位 |
|---|-----|-------|
| C ₂ H ₆ (OH) | 46 | 11.3 |
| NH ₃ | 17 | 11.2 |
| BF ₃ | 68 | 10.25 |
| CH ₂ COOC ₂ H ₆ | 88 | 9.5 |
| CH ₄ | 16 | 14.5 |
| C ₂ H ₆ | 30 | 11.7 |
| C ₃ H ₈ | 44 | 11.21 |
| C ₄ H ₁₀ | 58 | 10.80 |
| C ₅ H ₁₂ | 72 | 10.55 |
| C ₆ H ₁₄ | 86 | 10.43 |
| C ₂ H ₄ | 28 | 10.60 |
| CH ₂ CHCH ₃ | 42 | 9.84 |
| CH ₃ CH ₂ CHCH ₂ | 56 | 9.76 |
| C ₆ H ₆ | 78 | 9.6 |
| C ₇ H ₈ | 92 | 8.5 |

表2 卤素气体和惰性气体分子电离电位⁽²⁾ /eV

| 元素 | 亚稳激发电位 | 谐振激发电位 | 一次电离电位 |
|----|--------|--------|--------|
| He | 19.8 | 21.21 | 24.58 |
| Ne | 16.62 | 16.85 | 21.56 |
| Ar | 11.55 | 11.61 | 15.76 |
| Kr | 9.91 | 10.02 | 14.00 |
| Xe | 8.32 | 8.45 | 12.13 |
| O | 1.97 | 9.15 | 13.61 |
| F | | 12.7 | 17.41 |
| Cl | | 8.92 | 13.01 |
| Br | | 7.86 | 11.84 |

有大量的消耗,从而使卤素管的寿命比有机管高 1×10^6 计数脉冲。表2列出卤素管用的惰性和卤素气体特性。

为了降低起始电压,管中用 0.36% 氩和氮的混合气体,以产生潘宁效应。

4 双猝灭气体卤素管

卤素计数管的工作电压约 420V,比有机计数管约 950V 低,而寿命高一个数量级,所以,卤素管的用量较多,特别在便携式的仪器和军事应用领域。

表4 不同溴、氯充气比的管子寿命比较

| 氯气压强/mm 油柱 | 0 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.2 | 3.4 |
|------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----|
| 溴压强/mm 油柱 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 1.8 | 0 |
| 总压强/mmHg | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 寿命/脉冲数 | 3×10^8 | 7.5×10^8 | 7×10^8 | 9×10^8 | 8.7×10^8 | 10×10^8 | 4.5×10^8 | 0 |

注: 1. 1mmHg=12.7mm 油柱=133Pa 2. 总压强指充入氩氯气后的压强, 3. 寿命考核指标为在 380, 460V 二点间的坪区坪斜率不大于 10.8%/80V 和在 550V 时的计数率不大于 460V 时的 1.5 倍为合格; 4. 寿命考核每次数量为 10 支, 在出现第三支不合格者为寿命終了。

国外卤素管均采用溴作猝灭气体,但是,溴氯计数管的低温性能较差,只能工作在 -20°C , 当在 -40°C 下,特性变坏,寿命在 3×10^8 计数脉冲水平,不够理想,如不锈钢阴极的计数管只能工作在 20 000 脉冲/min。

A. L. Ward 和 A. D. Krumbein 研究过用氯气作猝灭气体的计数管⁽⁴⁾,这类计数管与溴作猝灭气体的管子相比,它的坪斜大,坪长为零,故不能单一用于卤素管作猝灭气体。但是,氯气性能活泼,沸点低,其低温性能可达 -100°C 。

在管中同时充入溴氯两种卤素气体尚未有人研究过,我厂进行了系统试验并用于卤素管。

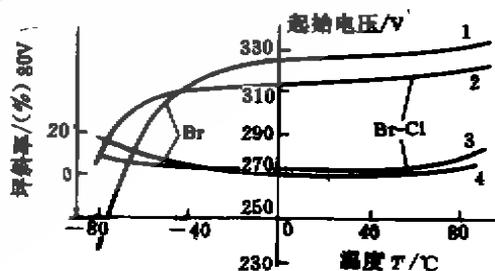


图3 起始电压、坪斜率随温度变化
1, 2 为起始电压变化曲线;
3, 4 为坪斜变化曲线;

实践发现，这类管子既具有溴卤素管的优点，又有氟卤素管的优点。而且，还大大延长了管子的寿命，最大计数率也优于溴卤素管。在管内溴和氟气比例的研究结果示于表3。经试验，选择溴和氟气分压强比为2:1，即氟气分压强为1.2~1.4mm油柱，溴分压强为2.6~2.8mm油柱，总压为含0.36%氟的氟氟气。图3为溴卤管和溴氟卤素管起始电压和坪斜比较。

为了进一步改善不锈钢阴极卤素管的特性，将阳极丝直径从0.7mm改为0.5mm，另外，改善阳极丝烧玻珠情况，进一步改进了坪斜率，对结构改进后的和改进前的溴卤素管以及溴氟卤素管四种情况进行了试验，其寿命结果示于图4，从图可见，改进结构后的溴氟卤素管比改进前的寿命延长了17倍，达 5×10^9 脉冲数。表5列出了灵敏度和本底比较表。

表5 同类管灵敏度和本底性能比较

| 项目 | 指标 | 原苏联管 | 国内改进前 | 国内改进后 |
|--------------|-------------|------|-------|-------|
| 灵敏度/(脉冲/min) | ≥ 2560 | 2780 | 2910 | 2855 |
| 本底/(脉冲/min) | ≤ 110 | 34.5 | 37.8 | 38.4 |

注：每项均为测试5只管子的平均值

5 预冲和冲洗

计数管接上排气台进行抽气，很快即达到系统的极限真空度，为使去气彻底，对玻壳进行烘烤去气，根据玻璃材料不同，使用380~440℃间烘烤去气1h以上。在烘烤降温到一定温度下，要用猝灭气体进行对管子预冲，预冲保持时间在1h左右，其目的是使金属和玻壳表面的杂气被猝灭气体所置换，这样，既可减少杂气数量，又可防止流入的猝灭气体量的减少。特别对卤素气体，由于性能比较活泼，易与不锈钢金属阴极发生反应，因此，在一定温度下使氟气与不锈钢进行化学反应生成化合物，称之为钝化层。

经预冲后的管子，在降温并达到系统极限压强后，用惰性气体对管子进行冲洗，冲洗的作用是进一步减少管内杂质气体含量。冲洗压强在1000Pa左右，保持30s，然后抽走冲洗气体。虽然冲洗后的管子压强与冲洗前相同，但其杂质气体的含量要比冲洗前低一个数量级。如图5

所示，实线为不经冲洗的管子真空度变化曲线，实线之上的虚线表示冲入一定量的惰性气体后管内压强的变化，实线之下的曲线表示管内其它杂质气体含量之变化。实验证明，经冲洗

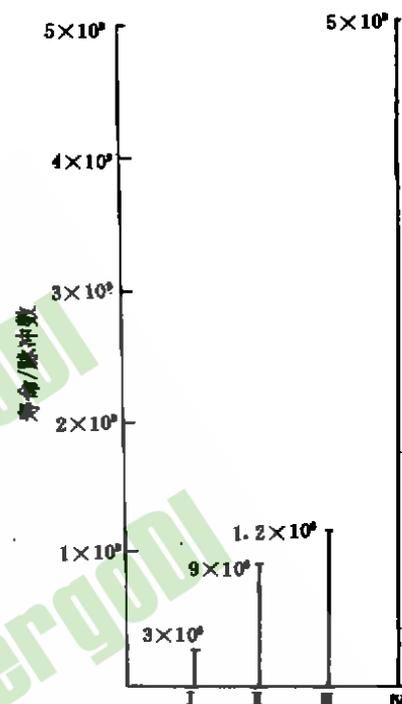


图4 寿命比较情况

I为改进前管子，II为溴氟卤素管，III为改进结构的溴卤素管，IV为改进结构的溴氟卤素管

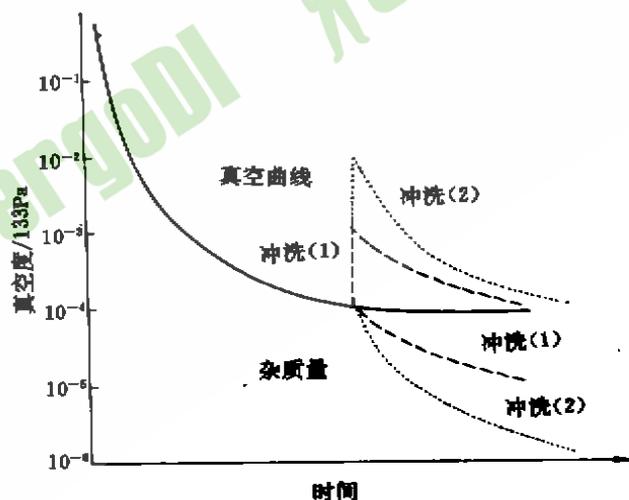


图5 冲洗前后真空度变化比较

的管子杂质气体含量比不用冲洗的低1个数量级，管内压强没有变化。如果对管内进行多次冲洗，杂质气体更少，冲洗所用压强越高，杂气含量也越少。

6 光感的防止

计数管的光感现象是指在无放射源时计数管处于正常工作状态下，如果在计数管上投射可见光或白天漫射光，计数管会产生不能猝灭的连续放电现象，称之为光感现象。如果用纸片将漫射光遮住，连续放电终止，计数管恢复正常状态。

用滤光片对灯光滤色后投射，发现只对蓝和紫色光产生光感，为此，计数管外壳涂以红或黑色漆，防止光感现象。继而又发现蓝或紫光投射于阳极套管的开口处时才产生光感现象。(端口电场强度最大)。为此，进行多种试验，获得了八种可防止端部产生光感的结构，图6示出了其中常用的一种防光感结构。

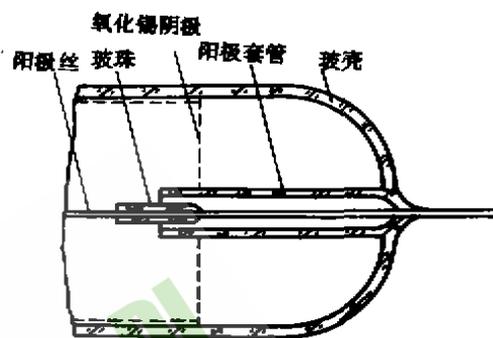


图6 一种防光感现象的结构

7 典型性能和主要用途

表6为华电生产的一些卤素盖革计数管的特性参数。

表6 卤素计数管特性

| 型号 | 极限值 | | | 输入电路 | | | 主要参数 | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----------------------------------|-----------------|--------------|------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|--------|------------|-----------------|
| | V/V | $T_{\text{max}}/^{\circ}\text{C}$ | N/min | R/M Ω | C/pF | 剂量率 R/h | 工作电压/V | V_s/V | 坪区 /V | 最小坪长/V | S/%/V | No/min | 灵敏度 /min | 寿命/脉冲数 |
| J302PY ^{*1} | 500 | -40~55 | 15R/h | 2.7 | <5 | 5 | 390 | 280~320 | — | — | — | — | 18 μ A | 150h |
| J303PY ^{*1} | 500 | -40~55 | 300R/h | 3.6 | <5 | 100 | 390 | — | — | — | — | — | 22 μ A | 100h |
| J304PY ^{*1} | 550 | -40~55 | 1 $\times 10^6$ | 10 | <10 | — | 380 | 280~330 | 360~440 | 80 | 0.125 | 25 | — | 1 $\times 10^8$ |
| J305PY ^{*1} | 550 | -40~55 | 1 $\times 10^5$ | 10 | <10 | — | 380 | 280~330 | 360~440 | 80 | 0.125 | 25 | — | 1 $\times 10^8$ |
| J306P ^{*1} | 500 | -20~50 | 3 $\times 10^4$ | 5.1 | <10 | — | 400 | 285~340 | 360~440 | 80 | 0.125 | 88 | — | 1 $\times 10^8$ |
| J402PY ^{*2-A} | 550 | -40~50 | 1 $\times 10^4$ | 10 | <10 | — | 380 | 280~330 | 360~440 | 80 | 0.125 | 25 | — | 1 $\times 10^8$ |
| J404PY ^{*3} | 550 | -40~50 | 10 | 1 | <5 | 2 | 420 | 285~335 | 370~470 | 100 | 0.2 | — | 438456 | 5 $\times 10^8$ |
| J405Y ^{*4} | 550 | -40~50 | 3000 | 2.7 | <5 | 100 | 420 | 295~325 | 370~470 | 100 | 0.2 | — | 280643 | 150h |
| J408Y ^{*4} | 550 | -40~50 | 20000 | 5.1 | <10 | 0.36 | 400 | 285~340 | 380~460 | 80 | 0.125 | 80 | 2500~3840 | 1 $\times 10^8$ |
| J431XBY | 560 | -20~50 | — | 4.7 | <5 | 0.03 | 420 | 290~340 | 380~480 | 100 | 0.3 | 10 | 2000~2800 | 1 $\times 10^8$ |

注： *1 氧化钡阴极，玻璃管壳； *2 不锈钢阴极和管壳； *3 铁铬合金阴极，金属管壳；
*4 不锈钢阴极，玻璃管壳； *5 铁铬合金阴极和管壳。

由于计数管寿命长、电子线路简单、结构牢靠、便于携带、造价低廉等优点，目前仍广泛用于以下领域：

- ①国防装备中用作射线剂量防护、剂量监测。
- ②科学研究中用盖革管组成阵列，探测高能粒子。
- ③工业用的料位计、液位计等，及石油勘探、地质普查、环境监测。

(下转第22页)

区域 G 上 z 值均有定义的三维图形,即

$$z=z(x,y), \quad (x,y) \in G \quad (19)$$

并且要求偏导数 $\partial z/\partial x$ 和 $\partial z/\partial y$ 不能太大,亦即曲面的斜率不能太大。而防爆环轮缘带恰恰在这两点上均不能满足要求。为此,将曲面 $z=z(x,y)$ 上任意点 $P(x,y,z)$ 投影到平面 $x'-y'$ 上,如图 6 所示。由图可知,

$$z/\overline{AB}=\operatorname{tg}\gamma \text{ 或 } \overline{AB}=z\operatorname{tg}\gamma \quad (20)$$

而 $\overline{P'B}=\overline{AB}=z\operatorname{tg}\gamma$

于是求出:

$$x'=x-P'B\sin\alpha=x-z\operatorname{tg}\gamma\sin\alpha \quad (21)$$

$$y'=y+\overline{P'B}\cos\alpha=y+z\operatorname{tg}\gamma\cos\alpha \quad (22)$$

其中 α 和 γ 分别是关于 X 轴和 Z 轴投影的角度,改变 α 和 γ ,即可画出不同视角的防爆环轮缘带的三维曲面在平面 $x'-y'$ 上的投影图。给出某一角度 18in 彩管防爆环轮缘带三维曲面投影图如图 7 所示。在上述微机绘制图 7 仅需 3min。

4 结论

考虑空间各圆弧相切的条件,给出了防爆环轮缘带满足的非线性方程组。通过求解这一非线性方程组,得到了轮缘带特征点(切点)的坐标,从而求出了轮缘带的周长、四周各点的高度,并给出其三维图形显示。得到了满意的结果。该方法曾用于某管型 18in 彩色显象管防爆环轮缘带设计及三维图形显示,满足了生产厂家提出的设计指标和要求。

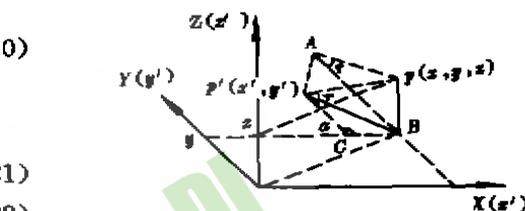


图 6 三维点投影到二维平面 $x'-y'$ 上

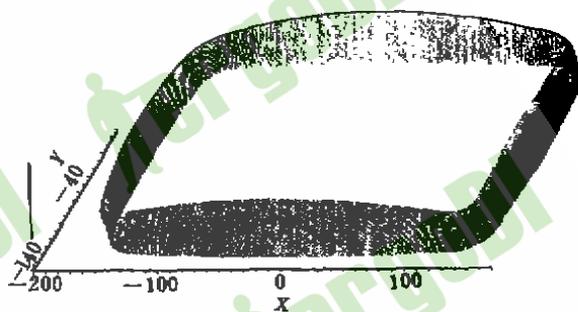


图 7 防爆环轮缘带投影图

(上接第 18 页)

8 未来发展

8.1 宽量程计数管

用同一只管子检测辐射强度达五个数量级范围的射线,完成多只管子的功能,有利于携带,是当前开发的主要方向。

8.2 位敏计数管

这是一种用多丝管子组成的装置,以确定产生射线的确切位置。

8.3 流光计数管

气体放电从正比区向盖革区过渡时,发现了一个新的放电区,称为流光放电区,用此原理制成的计数管叫流光计数管。对于流光理论,人们还没有完全清楚,正在研究中。