

NCG冷阴极规管放电性能的测试*

李玲珍 姜佐银 郑主安 仇华兴

(南京工学院) (上海真空泵厂)

陆 经

(中国科学院北京高能物理研究所)

主题词: 真空度测量, 真空计, 对比试验, 冷阴极。

内容提要: 在NCG冷阴极规管的研制工作中, 精确测量真空度低于 10^{-8} 帕下的放电性能和起辉性能是一个关键的问题。利用了一台按国际标准ISO设计制造的比对系统满足了测量要求, 首先介绍了比对测试系统的特点以及测试原理, 然后根据测试结果给出了规管在压力下限的放电曲线和起辉性能。最后应用磁场和电场相匹配的原理, 改进冷阴极规管的磁结构, 使规管成本降低了30%—40%, 有利于推广应用。

一、引 言

长期以来, 由于冷阴极规管在低气压下难以激发, 影响了它的推广应用。对此, 国内外有关专家和学者所致力研究。近几年国际市场上出现了商用的IKR020反磁控冷阴极规管, 其测量范围为 $5 \times 10^{-10} - 5 \times 10^{-8}$ 帕, 且在 $5 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-7}$ 帕范围内具有较好的线性。国内在冷阴极规管的研究方面也取得了很大的进展, 1985年由南京工学院研制成功的NCG冷规管在测量范围、 $1 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-6}$ 帕范围内的线性以及低气压下(P小于 10^{-8} 帕)的起辉性能都达到了IKR020管的水平, 由于结构简单及使用方便可靠, 现已被高能物理研究所电子对撞机工程使用。

在NCG冷阴极规管的研制工作中, 一个很关键的问题是如何精确测量该管在 $P < 10^{-8}$ 帕情况下的放电性能及起辉性能, 从而获得确切的数据以利于比较及改进。上海真空泵厂按国际标准ISO设计制造的比对系统满足了该规管的测量要求。该系统的极限真空度可达 8×10^{-10} 帕, 在同一真空室中可同时校核四只冷规管的性能。

二、比对测试原理

1. 比对测试系统

该系统的装置如图1所示。它具有以下几个特点: (1) 试验校准室的容积是待测真空规管和连接管道总容积的50倍以上; (2) 试验校准室呈球状, 以使壁表面积与容积之比尽可能小; (3) 试验校准室和真空系统各部分的连接所采取的原则是: 引入的气流不能直射到待校准的规管或作标准用的规管上; (4) 校正试验室和真空规管之间选择的形状必须满足从试验室流出的气体分子在到达规管的有效区域之前, 同器壁的碰撞次数大于1; (5) 为尽可能

* 1987年11月9日收到

使不同的规管对气体的吸附和解吸所引起的对压力分布的干扰保持在极小程度，试验室和规管之间连接管的流导保持在吸附和解吸引起的体积流率的100倍以上；（6）试验室残余气体压力不超过最低校准压力的2%，标准真空规管与待校准真空规管间的压力读数应互不产生干扰。

2. 测试原理

将若干个待校准的冷阴极规管和采用的热阴极规管安装在比对测试系统的管座上，通过烘烤等措施使该系统的极限真空度达 10^{-10} 帕，然后通过放气阀门1向系统中充入一定压力的氮气，到达冷阴极规管需校核的压力测量下限（该值由标准BA规读出），并让其稳定一段时间（5分钟），使待测管和系统间达到均匀、稳定的气压分布。这时，测量各待测管的离子流I值和相应BA规的压力值P。然后重新由放气阀门1向系统充气至另一校正点，通常在每个数量级测三点。整个测试过程由超高真空—高真空—中真空—低真空、即按压力强递增顺序进行。

三、NCG冷阴极规管放电特性的比对测试

NCG冷阴极规管采用的结构如图2所示。中间的金属杆为阳极1，阳极杆上装有点火极6，上下端板为2、4，中间短金属圆筒为阴极3，5为管外永磁组件。阴极供电装置由陶瓷7和金属杆1封焊而成、它与上端板之间用银圈8密封，在检修时可以脱开。规管采用CF35法兰作接口，可以安装在系统的任何位置上。

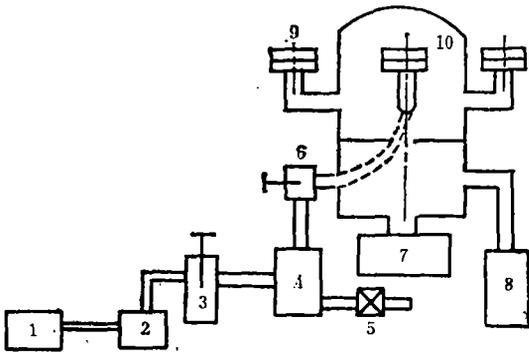


图1 比对系统示意图

1. 机械泵； 2. 分子筛； 3. 阀门； 4. 贮气罐； 5. 充气阀； 6. 放气阀门； 7. 溅射离子泵； 8. 钛升华泵； 9. 管板座； 10. 校准试验室

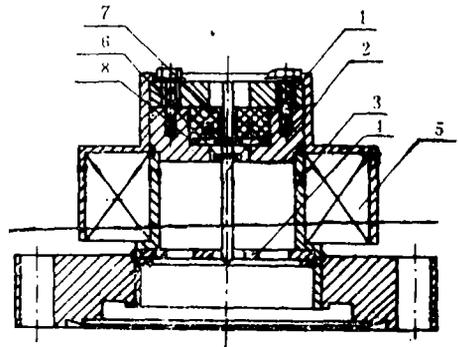


图2 冷规管结构示意图

1. 阳极； 2. 上端板； 3. 阴极筒； 4. 下端板； 5. 永磁铁件组； 6. 点火极； 7. 陶瓷件； 8. 银圈

在研制早期，NCG001冷阴极规管采用的磁结构为：阴极筒的上、下端板均属无磁材料，轴向磁5环则采用中心场强为1600高斯的单环钕钴磁钢。这种磁结构的磁分布见图3b的曲线（1）、在放电空间轴向磁场强度 B_z 随径向半径R的增大逐渐增大，阴极圆筒壁处 B_z 可高达2500高斯以上。在比对测试时，采用BA型金属裸规作标准规管，DC-3型超高真空计作测试电源。BA规以及测试电源都经计量校核。NCG001冷规管和IKR020样管均采用RKG100作测试电源。从图4曲线（1）和（3）可以看出：NCG001管的放电特性和IKR020管非常接近、在 $3 \times 10^{-6} - 8 \times 10^{-7}$ 帕、真空度范围内001管的灵敏度为 1.3×10^{-2} 安/帕，且在 2×10^{-8} 帕时起辉时间（高压加上至稳定工作的时间间隔）短于3—5分钟，亦达到了IKR020管说明书上规定的指标。

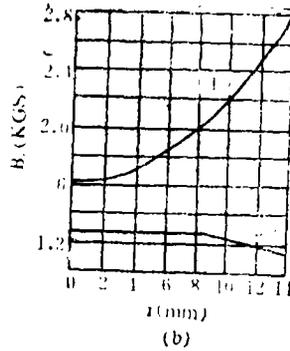
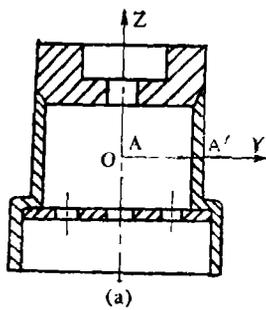


图 3

但是，NCG001管采用的是价格昂贵、直径60毫米的钨钴磁环，对推广应用极为不利。为此我们从理论上详细分析了磁场强度及其分布对冷规工作性能的影响。当电子在电磁场同时存在的放电空间运动时，在 r, θ 平面内的运动轨迹为旋轮线。最大旋轮半径（拱高） D 正比于 E/B^2 ，电子旋转周期 τ 正比于 B^{-1} （ E, B 为电子运动点处的电场和磁场强度）。为了保证电子被约束在放电空间并有足够的电离，必须保证有适中的 D 和 τ 。由于 D 正比于 E/B^2 、 τ 正比于 B^{-1} ，若要求放电空间的每一点都具有最佳电离效率，则在放电空间的每一 B 上的径向电场强度 E_r 必须和轴向磁场强度 B_z 相匹配。一般、 E_r 值大， B_z 亦要增大，反之点随 E_r 减小而减小。NCG001冷规管的 E_r 分布呈图5中曲线形状。即 E_r 在阳极杆处最强，随 r 的增大而迅速减小，至阴极圆筒壁处 E_r 值较小。所以在放电空间电场强度 E_r 和 B_z 是不匹配的。根据图3中的曲线（1）， B_z 随 r 的增大而增大，至阴极表面处 B_z 最大。以致使阴极表面处的 D 和 τ 趋于很小，而不能得到最佳的电离效率。为此须改变磁结构使得磁场分布随 r 的增大而逐渐减小。我们曾利用改变管子上、下端板的形状和材料、另外再添加管外极靴，使单环磁钢中心值可以降至900高斯左右，同样得到了极为满意的放电特性（参见张旭萍在《真空科学与技术》1987年第3期发表的“高性能筒式反磁控冷阴极电离规的研制”一文）。但是这样的磁结构使冷阴极规管结构复杂化。因此，我们仍立足于原管子结构的基础上，仅把上下端板的材料改为磁性材料，并把单环磁钢的场强减为1200高斯。整个放电空间的磁场分布呈图3中的曲线（2），这样对冷规放电特性起重要作用的阴极表面附近磁场强度大大降低，得到了较佳的电离效率。

在比对系统上用同样的标准管作出的NCG002管的放电曲线如图4中的曲线（2）所示，并测出了它的起辉性能。从曲线（2）可以看出：在 5×10^{-6} 帕— 5×10^{-5} 帕范围内NCG002和NCG001管的放电曲线几乎重合。在 3×10^{-6} — 8×10^{-7} 帕的范围内NCG002管的灵敏度为 1.45×10^{-2} 安/帕，稍大于NCG001管。在 3.5×10^{-6} 帕的真空度下，起辉时间短于5分钟。单环磁铁中心磁环值由1600高斯下降至1200高斯后，可使磁环外径尺寸缩小15毫米，从而使成本下降了30%—40%，有利于冷规管的推广应用。

四、结 束 语

借助于比对测试系统测出NCG冷规管的放电曲线和起辉性能。从而改进了冷阴极规管的磁结构，大大降低了NCG冷规管的成本。比对测试系统作为冷阴极规管研制的一项必不

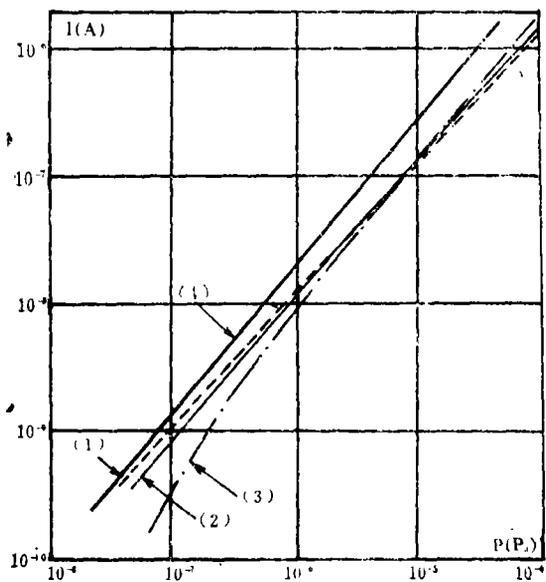


图4 冷规管放电曲线
 (1) NCG001管; (2) NCG002管;
 (3) IKR020管; (4) IKR020标称曲线

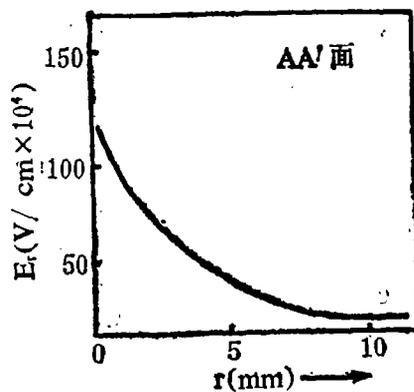


图5 冷规管径向电场分布

可少的测试手段，解决了测量下限直接校对的难题。应该指出，采用比对校准系统来校核冷阴极规管只能是一种相对计量方法，不能作为绝对真空度计量。