

当脉冲源工作时，观察到束直径随 N 的增减而增减，束径最小时约 $\phi 10$ ，此值与计算值接近，同时表明于一般情况下三个 $\phi 25$ 光阑不会卡掉脉冲匹配方式的束流。

直流源经初步调试，不同能量下得到质子流强度如表1所示。

表1 直流源时初步出束情况

质子能量, MeV	0.4	1.0	1.51	2.0	2.5	2.8	3.1
90°分析器出口处质子流强, μA	5	29	35	24	7	10	3.5

四、讨 论

1. 出束试验时3 MV以下曾有过几次轴向击穿，伴随着加速管内真空度下降一个量级。这现象易误为加速管内出现击穿锻炼。但将气压提高以后，直至3.5 MV也未发现有轴向击穿，说明气压较低时(9大气压，表压)，保护球隙击穿导致管内击穿。因此，工作气压必须与工作电压相适应；同时表明若进一步提高加速管电压，有必要提高保护球隙的击穿电压值。

2. 加速管出口束象点位置随着光学系统各参数变化而变动，说明整个系统对中不理想。这问题造成有时束流不能完全进入分析器入口，而使分析器出口束流变小。从总体匹配考虑，初聚系统本身的对中以及它与加速管第一工艺段之间对中情况对束象点位移起着十分重要的作用。这有待于进一步调整和改进。

3. 测得个别工艺段的结构公差较大，这需要在加速管制造工艺上改进。

4. 在加速管与分压柱之间安装分压电阻和接触子时，加速管受到相当大的不完全对称的弹簧力，这种弹簧力会影响加速管的对中，也应从结构上加以改进。

参 考 文 献

- [1] 复旦大学物理二系加速器实验室，4 MV 静电加速器调试工作进展，内部资料。
 [2] 原子能研究所十二室加速管组，加速管的研制与实验，粒子加速器学会学术报告会论文摘要汇编，1980年。
 (编辑部收到日期：1981年8月13日)

一 根 大 直 径 加 速 管 的 封 接

馬兴华 舒傳玉 丛治炳 梁笳鸣 刘殿奎

(中国科学院高能物理研究所)

一、引 言

加速管是高压型加速器的主要部件之一。好的加速管不仅要有足够的机械强度和小的漏气率，而且要有良好的耐电压性能和束流光学性能。为了改善大流强束流的性能，大多采用高梯度加速管。这种加速管的直径比较大，对封接工艺增加了不少困难^[1]。1978年我们试封了一根250 kV预注入器的加速管^[2]，取得成功，于1979年1月投入使用。当能量

为 250 keV 时, 质子流为 240 mA, 传输效率达 96%^{*}。在距加速管出口 250 mm 处, 质子流的归一化发射度为 0.36 π cm \cdot mrad, 亮度为 1.9×10^9 A/m² \cdot rad²**。

二、250 keV 高梯度加速管简介

目前, 高梯度加速管不仅使用于高能加速器的预注入器上, 而且广泛地使用于各种低能强流加速器上。这根 250 kV 高梯度加速管是按 Pierce 理论设计的^[3]。计算结果表明, 最大加速电场梯度为 34 kV/cm, 管内的最大电场强度为 98 kV/cm。电场计算的精确度为 0.1 mm。其结构设计为高压型, 加速管在充有 1~1.5 atm(表压)(运行时为 0.2 atm) SF₆ 的绝缘筒内, 呈水平悬臂状态。加速管由 7 个瓷环, 6 只电极和 2 个不锈钢法兰封接组成。瓷环材料为高压瓷, 外径 ϕ 520 mm, 内径 ϕ 430 mm, 高 35 mm, 外壁带有裙边并上釉。加速电极材料是钛合金(Ti 6 Al 4 V), 封接电极材料是不锈钢(1 Cr 18 Ni 9 Ti), 外径 ϕ 534 mm。图 1 为该加速管结构图。为了提高封接强度, 电极封接部位表面用车床车出很

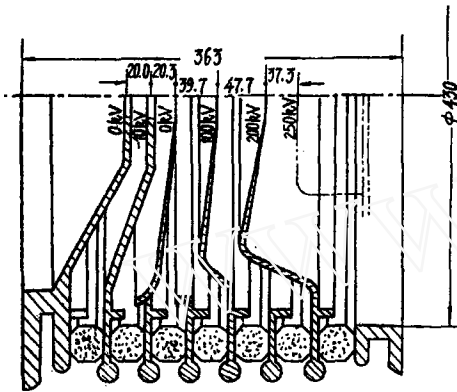


图 1 250 kV 高梯度加速管结构

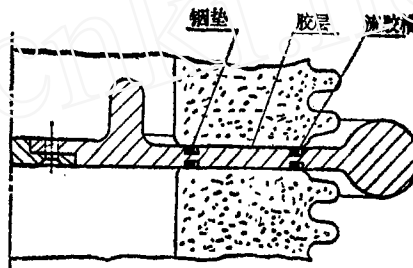


图 2 封接面结构

多同心槽, 槽宽 0.2 mm、深 0.2 mm, 间距 0.5 mm。为了防止粘接剂及其蒸气进入加速管内壁真空部分, 在电极封接部位内侧开有一圈小槽, 安放 ϕ 1 mm 钢丝以形成真空密封。图 2 是封接面的结构。由于加速管直径较大, 瓷环和电极加工精度很难达到要求, 而平整度不好, 则会影响封接质量, 造成漏气, 降低强度等。由于加工条件的限制, 加速管用的瓷环与电极不平整度在 0.03~0.1 mm 范围内。

三、封接试验

1. 胶粘剂的选择 经过比较, 我们选用振华造漆厂试制的聚醋酸乙烯酯作为胶粘剂。它属于热塑性单组分胶粘剂, 使用方便, 有足够的强度。如有必要, 封接好的部件可在不损坏元件的情况下加热后拆开, 用丙酮、醋酸乙脂、甲苯等作溶剂把它们擦洗干净再重新封接。这种粘接剂使用期限长, 耐电性能好, 放气率小, 试验结果表明比环氧树脂放气率小 1~2 个数量级^[4]。图 3 是聚醋酸乙烯酯与环氧树脂的放气率曲线。

* 根据离子源在试验台的数据估算。

** 此处的发射度和亮度都相对于 99% 束流。

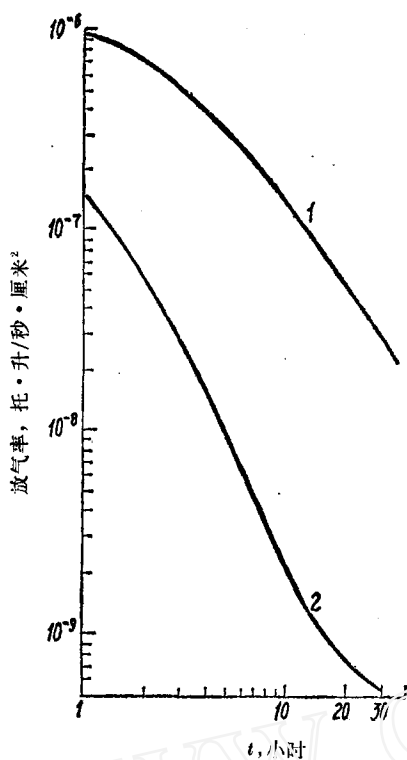


图3 放气率曲线
1——环氧树脂, 2——聚醋酸乙烯酯。

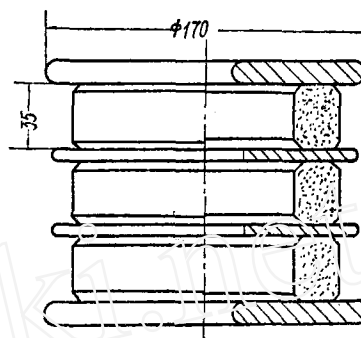


图4 模拟管封接结构

2. 瓷环材料电性能试验 加速管对瓷环材料、电极材料和封接工艺在电性能和机械强度方面都有严格的要求。设计加速管时所依据的参数, 需要从模拟试验中取得。试样封接模拟管电性能试验用图4所示的模拟管, 结构瓷环材料分别选用钛刚玉(上海硅酸盐所,) 微晶玻璃(上海耀华玻璃厂), 高压电瓷(南京电瓷厂)和95% Al₂O₃瓷(上海硅酸盐所), 电极材料为不锈钢。试验结果列于表1。这里选取的真空度近似于加速管工作时的真空状态。

表1 试样封接模拟管电性能比较

试样材料	大气中		真空中	
	相对湿度, %	起始击穿时电场梯度, kV/cm	真空度, 托	起始击穿时电场梯度, kV/cm
钛刚玉	65	6.1	9 × 10 ⁻⁵	33
	60	7.0		
微晶玻璃	47	12.0	9 × 10 ⁻⁵	43
高压电瓷	83	8.1—8.7	9 × 10 ⁻⁵	28.4—33.8
	81	8.1—8.6		
	61	8.6—9.3		
95% Al ₂ O ₃ 瓷	47	14.0—15.0	8 × 10 ⁻⁵	38
	57	13.2—15.6		

3. 胶粘强度试验 该加速管是在一端固定,水平悬臂状态下使用的,因此强度指标非常重要。在加速管封接前,曾对聚醋酸乙烯酯进行抗拉强度试验。结果列于表 2。为了进

表 2 聚醋酸乙烯酯抗拉强度试验

材 料	抗拉强度, kg/cm ²	温 度, °C	备 注
A 3 钢-Al ₂ O ₃	263	13	粘合面拉开
	193	25	
	178	30	
	170	35	
	100	40	

一步模拟加速管使用状态的受力情况,我们用加速管瓷环和两个不锈钢套管法兰进行封接。封完后先进行检漏,然后进行悬臂抗弯试验,一端固定成为水平悬臂状态,另一端加铅砖至 1.63 t,保持两个小时,瓷环无破裂。按集中载荷产生弯矩计算,此时抗弯强度达, $[\sigma] > 302 \text{ kg/cm}^2$ 。抗弯试验后再进行检漏,仍没有发现漏气现象。再将此部件放在 0°C 以下进行 48 小时冷冻试验,部件仍然完好无损。

四、封 接 工 艺

加速管的封接工艺流程如下:

1. 检查测量电极与瓷环平整度及平行度,选出合格的瓷环及电极,并按公差匹配进行预装。

2. 清洗。

(a) 电极清洗程序。煤油擦洗→丙酮擦洗→硫酸擦洗(配比:硫酸 30%,蒸馏水 69%,重铬酸钾 1%)→自来水冲洗→蒸馏水漂洗→三氯乙烯浸洗→三氯乙烯蒸气洗→烘烤(150°C 30 分钟)。

(b) 瓷环清洗程序。去污粉擦洗→自来水冲洗→擦干→硫酸擦洗(配比:硫酸 97%,重铬酸钾 3%)→自来水冲洗→蒸馏水漂洗→三氯乙烯浸洗→三氯乙烯蒸气洗→烘烤(150°C 30 分钟)。经过清洗后,各部件要保持高度清洁。

3. 涂胶。这根加速管直径较大,瓷环每端面封接面积为 504 cm²,涂胶很困难,很容易产生气泡。涂胶前先将聚醋酸乙烯酯与溶剂(乙酸乙酯)按照 1:5 的比列配成溶液。为使胶层厚度比较均匀,将电极放在一个转盘上(转速 12 转/分),旋转中将胶涂在电极的封接面处。在封接面中间部分可适当多涂一些胶。为使胶层中的溶剂充分挥发又不产生气泡,每涂一层胶,在烘箱里烘烤一次(60°C, 15 分钟),待冷至室温后再涂,再烘烤,共涂 18 次,胶层总厚约为 0.2 mm。

4. 组装加压。涂胶完毕后,将钢丝放入电极槽内,将法兰、瓷环、电极依预先选定的次序叠放在专用的压具上,并检查瓷环的公差是否为相互对称抵消。利用压具对加速管加压,压强为 5 kg/cm²,总压力 2500 kg。

5. 加温。将加速管连同压具一起放在烘箱内进行加温,每 30 分钟调节一次,升温 7~8°C,升到 150°C 后恒温 2 小时,开始降温。降温速度与升温相同。降到 80°C 断掉烘箱电源冷至室温。这根加速管封接完成后,进行检漏,发现有 2 处小漏,经环氧封堵后,真空

度达到 1×10^{-6} 托以上, 投付安装使用。产生漏孔的原因, 估计是由于瓷环和封接电极加工公差太大造成的。钨垫的熔点温度是 156.4°C , 因此我们认为在钨垫的胶封工艺中, 若胶粘剂的粘接强度允许, 以不超过 130°C 为好。

本工作曾得到陈鉴璞同志有益的指导, 高能所真空室同志协助做了胶粘剂放气率试验及检漏工作, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. L. McKibenn, LA-5376-MS.
- [2] 预注入器室, 高能物理与核物理, 5, 722(1981)。
- [3] 丛治炳等, 高能物理与核物理, 5, 712(1981)。
- [4] 刘志满等, 真空技术, 1, 60(1980)。

(编辑部收到日期: 1981年5月9日)

S 波 段 大 功 率 干 负 载

步顺福 倪兆苻 张梅芳 杨天祿 刘文华 孙玉振 栗国萍

强流短脉冲电子直线加速器的聚束段及加速段, 需要承受脉冲功率大于 $3 \sim 5 \text{ MW}$ 的终端吸收负载。采用干负载很有吸引力^[1]。目前国内 10 cm 波段的干负载通常仅能承受脉冲功率 $1 \sim 2 \text{ MW}$ 。为解决急需, 对平均功率为 500 W 的尖劈状结晶硅吸收体进行了提高功率工作, 改进后的负载已满意地用作强流短脉冲电子直线加速器的聚束段的终端负载。

为了提高负载的承受功率, 一种办法是使负载工作于高真空状态^[1], 这样, 一个真空密封的负载外壳是必须的; 为了降低负载温升, 负载外壳需加水冷装置; 为了散热良好, 负载需要整形, 以保证和波导壁接触良好, 并使其有良好的电压驻波比。负载结构示意图见图 1。

为了使负载工作于高真空状态, 必须对吸收体进行严格真空处理^[1]。首先用中性溶液细致地擦洗表面, 进行去油脂及脱蜡工作, 然后严格地进行真空去气, 即在真空度为 $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$ 的情况下, 以每小时 100°C 的速率加热至 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$, 烘烤 20 小时后, 以每小时 100°C 速率降至常温, 并存放于真空容器中待用。

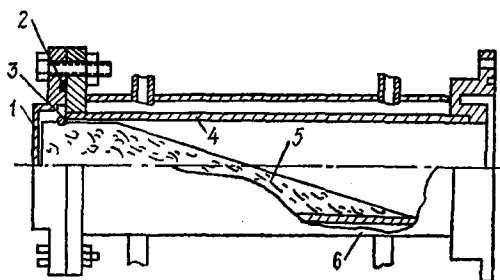


图 1 干负载结构示意图

- 1—负载端板; 2—密封橡皮圈; 3—固定卡环; 4—负载波导; 5—吸收体;
- 6—水套。