

339-342

第15卷
1992年6月核 技 术
NUCLEAR TECHNIQUESVol. 15, No. 6
June, 1992

6 MV 串列加速器安装调试中的问题

张仲木 赖伟全 焦绥华 斯厚智
(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

TL520.5

A 本文详细叙述了上海原子核所研制的6 MV 串列加速器的束流光路变更、安装准直及调试情况。分析了断梯事故及多层波纹管破裂发生的原因和所采取的相应措施。

关键词: 注入器 光轴 准直 高压试验 锻炼 输电梯 加速管

串列加速器 安装
一、引 言

6 MV 串列加速器大楼的建设工程于 1988 年秋竣工, 于同年夏开始了大量的主机安装工作。经努力, 已全部完成了注入器、高压发生器、低能和高能束流传输系统以及加速器质谱计(AMS)实验管道的安装工作和部件调试工作。1990 年底, 在分析磁铁物缝前获得了能量为 8.2 MeV、流强为 1.2 μ A 的质子束。

④ 在调试期间, 曾先后发生了输电梯断裂及多层波纹管破裂事故, 严重影响了工作进度。目前已改进完成, 即将作进一步加速管分段锻炼。

二、安装和准直

1. 束流光路的变更

为了满足 AMS 实验需要, 6 MV 串列加速器的束流光学系统进行了必要的更动。现简述于下:

1. 原 60 kV 负离子注入器和低能束流传输系统, 作了如下的更改: ① 取消了紧接离子源的 $\pm 30^\circ$ 磁铁, 以便不经分析的全部束流能从 0° 位置进入 90° 偏转磁铁; ② 在偏转磁铁出口处安装了旁轴法拉第筒, 以便监测其它成分的束流; ③ 在预加速管和 90° 偏转磁铁之间增添了两个光阑, 其孔径分别为 4 和 3.3 mm, 以便限制束流的发射度 (2.12—2.5 mm·mrad), 使其与气体剥离管道的接受度相匹配; ④ 为了使来自离子源的负离子束能顺利地通过光阑, 在初聚透镜出口处的漂移管道上增设了一对导向器。

2. 在原高能传输系统中也作了如下的变动: ① 在进入 90° 分析磁铁的物缝前增添了 E×B 速度选择器; ② 为了适应 ^{14}C 年代测量的需要, 扩展了分析磁铁的极面, 重新设计制造和安装了喇叭形分析磁铁真空盒; ③ 真空盒出口处的漂移管道更换成喇叭形管道, 并在沿轴线方向上安装了一系列旁轴法拉第筒; ④ 在实验管道终端前增设了一台 15° 静电分析器。

2. 光轴建立和部件对中

在串列加速器中光轴的建立是一个十分重要的问题。它是束流部件安装准直的基础, 并将影响束流的调试。直立式串列加速器光轴建立的难度在于: 必须将两根水平光轴相交于同一垂直光轴, 并处于同一垂直平面之内。此外, 由于 6 MV 串列加速器大楼高达 38 m, 墙上

光照温度的差异,会使墙上基准光靶产生位移。即使在春天,墙靶的位移量可高达 0.20 mm。

我们采用了测微准直望远镜及垂准镜,并在高能加速管出口处漂移管的法兰上安装基准光靶,建立了垂直光轴;用带有零矩直角头的准直望远镜,在垂直轴线不同标高处建立了两根水平光轴。所有束流部件的准直精度,不得偏离轴线 ± 0.15 mm;所有四极透镜及偏转磁铁的扭角均应不超过 ± 5 mrad。

1990 年春,邻近嘉定的太仓地区发生了 5.2 级的地震,我们曾复测了气体剥离管道的轴线,未曾发现有明显的位移。

三、调试情况

1. 60 kV 注入器的调试

60 kV 负离子注入器已于 1978 年前调试出来。但由于搬迁、对中、安装和根据 AMS 需要进行了部件更动,以及在调试中不断地改进,使束流品质有了进一步提高。来自双等离子体负离子源的 H^- 束,在 90° 偏转磁铁前后曾分别获得了 17 和 $13 \mu A$ 。这时离子源的参数为:吸极电压 20 kV;初聚焦电压 17 kV;弧电流 0.6 A;阳极孔径 0.80 mm。

根据 AMS 实验需要,我们发展了多靶位强流溅射源。根据进度需要,目前已安装于注入器上,并进行了初步调试。在 90° 偏转磁铁前已获得 $12 \mu A$ 的 C^- 束和 $4 \mu A$ 的 H^- 束,现正在改进提高之中。

2. 空载(不带加速管)的高电压试验

(1) 第一次试验 我们校验了每一模段的分压电阻阻值,测量了在大气中的输电梯短路电流。在单激情况下,短路电流可达 $60 \mu A$ 。于是,进行第一次空载高电压试验。当电压逐步增高时,观察到处于高能分压柱中的输电梯纵向放电,并逐渐变得频繁;而低能分压柱显得比较安静,未发生过严重放电。当电压继续升高到 4.8 MV 时,发生了输电梯断裂事故。通过观察检查,发现输电梯已断裂成数段,部分梯块和少量分压框架已变形,感应电极的有机玻璃支架已断裂;MC 尼龙绝缘子大部分断裂在中间腰处,并找到一个因体击穿而碎裂的尼龙绝缘子。

经分析,断梯的主要起因在于尼龙绝缘子吸潮而电性能下降,导致其体击穿而断裂。马达未能及时制动是事态扩大化的根本原因。此外,输电梯的保护环隙过大(7.5 mm),未能起保护作用,也是一个重要因素。重新加工了新的尼龙绝缘子,既缩短了其保护环隙(缩成 5.2 mm),又增加了轴间的爬电距离。为了提高其电性能和抗吸潮本领,每个尼龙绝缘子都经过了硅油干燥处理并在其表面增添环氧涂层。经处理后,绝缘子的总电阻提高到 $10^{14} \Omega$,而击穿电压可高达 210 kV 以上;其抗张拉力从 1.2 t 提高到 1.6 t。为了确保尼龙子的电性能,我们用专门设备进行高电压(175 kV)筛选。必须着重指出,硅油干燥处理工艺必须严格执行,温度过高或时间过长都将影响其机械性能。

此外,为了保证输电梯在一边断裂时,能自动切断马达电源,不使事态扩大化,除了完善原有的光导自动切断的保护装置外,还增添了机械撞块自动切断电动机电源及输电梯触须保护等保护措施。

(2) 第二次试验 重新测量了新输电梯在大气中的短路电流,单激和复激时的短路电流分别为 48 和 $78 \mu A$ 。短路电流减小的原因是由于保护环隙缩小之故。在这次试验中,高能和低

能分压柱都十分安静, 未发生任何纵向放电。当电压升到 5.44 MV 时, 高压电极与筒壁或邻近高压电极的均压环与筒壁发生径向放电。经锻炼, 电压逐渐升高至 6.7 MV, 而径向放电变得越来越频繁, 高能和低能分压柱则显得分外安静。打开钢筒进行检查, 发现了许多棕色和黑色粉末, 同时也观察到高压电极、均压环和钢筒壁上的放电痕迹。

根据观察到的情况, 可以认为引起径向放电的主要原因是由绝缘气体污染所致。因而采取了以下的措施: ① 在钢筒气体入口处增设了一台新的气体过滤器; ② 重新调整了输电梯的导电胶下转轮; ③ 在高压分压柱底部平台上增设了防尘罩; ④ 平整了涂有导电漆的筒壁。

3. 加速管高压锻炼和出束试验

根据进度需要, 在完善上述改进措施后, 未作进一步高电压试验, 而立即开始安装 48 段加速管。我们在加速管的两个主钛泵(1000 l/s)附近, 各增设一台 450 l/s 分子泵, 既可作主钛泵启动之用, 又可在它前级连接质谱检漏仪, 以检查钢筒内部所有束流和真空部件。经四昼夜连续抽空, 钢筒内部所有部件和加速管的真空度可达 4×10^{-6} Pa。于是, 进行了下列部件的调试工作: (1) 调试了气体剥离系统; (2) 调试了位于高压电极附近死区中的辅助冷钛泵; (3) 调试了所有控制棒及光导遥测遥控装置。

调试完成后, 在钢筒中充以 10.73×10^5 Pa(表压)的 N_2 和 CO_2 混合绝缘气体, 并使其露点温度低于 $-40^\circ C$ 。在充气过程中未发现加速管中真空度有任何降低现象, 于是开始了加速管的高电压锻炼。当电压达到 4.5 MV 时, 停止升压, 在半小时连续运行中未发生过任何打火现象。我们使高压降低至 4.1 MV, 并使注入器在 90° 偏转磁铁后的 H^- 束流限制在 $2-3 \mu A$, 进行了调束试验。按照设计参数调整所有束流元件, 没有任何困难使 H^- 束通过了直径为 6.5 mm、长度为 800 mm 的气体剥离管道, 在 90° 分析磁铁前获得了 8.2 MeV 的质子束。当质子束流为 $0.5 \mu A$ 情况下稳定地连续运行了一小时, 而所有参数未作任何调节。在出束期间, 我们曾调试出 $1.2 \mu A$ 的质子束。

4. 分段锻炼加速管

为了进一步提高电压和减少储能释放时损坏加速管的可能性, 我们利用纵向短路棒, 一个模段一个模段地锻炼加速管。在锻炼过程中发现, 当电压升高至 0.88 MV 时, 在第一模段的低能加速管中, 突然出现 X 线剧增而真空度急剧下降。虽经多次锻炼, 未能突破此阈值。这时加速管模段所承受的电场强度, 已相当于端电压为 7.2 MV 时的情况, 而在第八模段的高能加速管中无此现象。由于其它各模段锻炼时必须通过该两模段进行分压电流测量, 为了不影晌其它各加速管模段的锻炼, 我们人为地不使电场强度超过上述的阈值。在高压锻炼低能加速管第四模段和高能加速管第五模段时, 观察到在低能加速管的保护环隙处有一固定的放电亮点。为了进一步证实这一看法, 决定增加筒内气压, 当表压升至 15.39×10^5 Pa 时发生了多层波纹管破裂事故。

经检查, 波纹管的强度比较临界, 加上安装时处于拉伸状态, 导致径向分力增大而破裂。此外, 还发现加速管内电极因受强烈气流的冲击而走动, 低能加速管第四模段中有一个放电环隙尺寸偏小, 只有 0.9 mm(设计值为 >1.40 mm); 并发现了加速管瓷环上有放电痕迹。目前已重新清洗了加速管, 安装了内电极, 并更换两段放电较严重的加速管。设计选用了强度比原来设计高 1.8 倍的波纹管, 并进行了 20.26×10^5 Pa 的外压试验。用新波纹管取代了钢筒内部的所有旧波纹管, 并重新建立了垂直光轴和对中了 48 段加速管的 V 形光阑。

四、结 论

根据调试情况, 可作如下的结论:

1. 6 MV 串列加速器的空载(不带加速管)高压, 已达 6.7 MV(受绝缘气体污染限制)。改进后, 未曾作进一步试验。
2. 已获得 8.2 MeV 流强为 $1.2 \mu\text{A}$ 的质子束。
3. 调束试验表明, 束流光学设计及光学对中是好的, 保证了无困难地一次调束成功。
4. 加速管分段锻炼时, 其所承受的电场强度已达到相当于 7.2 MV 的水平(受到低能加速管第一模段的限制)。

参 考 文 献

- [1] Zhang Zhongmu, Lai Weiquan, Jiao Shouhua. Nucl Instr Meth, 1988; A 268: 337
[2] Lai Weiquan, Yang Qiru, Zhang Zhongmu. Nucl Instr Meth, 1988; 400. A268: 400

Installation and problems of 6 MV tandem accelerator

Zhang Zhongmu Lai Weiquan Jiao Shouhua Si Houzhi

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract

The alterations of the beam optical path, installation and alignment problems of the beam optical components and high voltage test of the 6 MV tandem accelerator which has been developed in Shanghai Institute of Nuclear Research are described more detailly in this paper. The reasons of breakdown accidents of the laddertron and the multi-layer bellows are analysed. Appropriate measures have been taken.

Keywords: Injector Optical axis Alignment High voltage test Conditioning
Laddertron Accelerating tube