

仪器设备

HI-13 型 串 列 加 速 器 介 绍

余 觉 先 田 亚 民

(原子能研究所, 北京)

北京原子能研究所于 1978 年 11 月向美国高压工程公司(HVEC) 订购了一台 HI-13 型串列加速器, 本文对这台加速器的技术性能和结构特点作简要介绍。

一、HI-13 的主要技术性能

HVEC 保证这台加速器在验收时达到表 1 所述各项技术指标。

表 1 HI-13 的 技 术 指 标

头部工作电压:	0—13MV 连续可调		
电压稳定度:	±1kV		
靶流(30米处):	质子——7.5MV 时, 9.5 μ A(1.5mm \times 1.5mm 束斑) 13 MV 时, 4.8 μ A(1.5mm \times 1.5mm 束斑) 氦——13 MV 时, 0.45 μ A 重离子——13 MV 时, ⁷⁹ Br, 0.18 μ A ¹²⁷ I, 0.09 μ A		
脉冲工作(质子+70°管道处)			
电 压	脉 冲 宽 度	脉 冲 峰 值	重 复 频 率
4 MV	≤ 2 ns	0.45 mA	4 MHz
13 MV	≤ 1 ns	0.95 mA	2 MHz
分频系数: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128			

它的负离子注入器配备有三种负离子源: 1、双等离子体源; 2、锂电荷交换源; 3、铯束溅射源。这三种负离子源均为美国通用离子公司(GIC)的产品。利用这三种源已经产生过的部分离子种类列于表 2。

表 2 三种负源已产生过的负离子

负 源 种 类	负 离 子 种 类
双等离子体源	H, D, C, N, O, F, S, Cl, I
锂电荷交换源	He, Li
铯束溅射源	H, D, Li, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ta, W, Re, Pt, Au, Tl, Pb, Bi, Po, At, La, Tm, U

HI-13 型串列加速器是 HVEC 比较成功的产品 MP 型串列加速器的改进型号, 它的结构综合了多个串列加速器的运行经验和改进措施。

目前国际上与 HI-13 型相似或更大型的串列加速器有十余台。而电压高于 14 MV 的正在筹建, 安装和调试的有五台(见表 3), 据 1981 年报道: 20 UR 加速管电压已锻炼到 18.84 MV, 25 UR 加速管锻炼到 20 MV, MP 型经过不断改进后, 目前有数台工作在 13 MV 或更高些电压上。

我们选择 HI-13 型串列加速器是考虑到对束流强度及电压的要求, 而性能稳定维修方便也是选型的依据。

表 3 各种串列加速器的型号及部分参数

	EN	FN	MP	HI-13	14UD	XTU	20UR	20UD	25UR	NSF
电压, MV	6	7.5	10	13	14	16	20	20	25	30
质子流, μA	0.5—4	4—8	10—25	5—10	3—5	5—10				
钢筒直径, m	2.44	3.67	5.5	5.5	5.5	7.6	8.2	7.6	10	8.4
钢筒长度, m	11	13.3	24.4	25	22	25	26.5	36.6	30	45.2
头部梯度, MV/m	13.6	11.4	10	12.9	14.9	12	13.3		13.8	16
柱梯度, MV/m	1.6	1.5	1.4	1.8	1.7	2.2	1.7		1.6	2.2
结构方式	横	横	横	横	立	横	折叠	立	折叠	立

二、HI-13 的结构特点

HVEC 的串列加速器全部是横式的, 加速器厂房低, 使用维修方便是其优点。

1. 负离子注入器

负离子注入器由负离子源, 偏转磁铁, 预加速管, 脉冲系统和真空系统等组成, 可产生 80—180 keV 的可变能量低发射度束流。

注入器可以装备多种类型的负离子源, 因而原则上可以提供全粒子。

90°双聚焦偏转磁铁的偏转半径 $R=14''$, 质能积 $ME/Z^2=9.6 \text{ MeV, AMU}$ 可以偏转带有单电荷, 质量为 240, 能量为 40 keV 的离子。它的质量分辨率 $M/\Delta M \geq 90$, 这比 MP 型的 $M/\Delta M \approx 20$ 好得多, 对重离子工作时更为有利。

调节栅网透镜和光栏等光学元件, 可以使注入束流的发射度与加速器低能端的接收度相匹配。

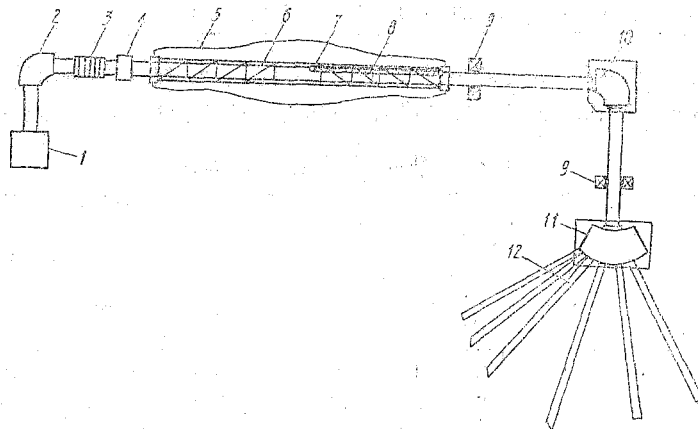


图 1 HI-13 串列加速器示意图

1, 负离子源; 2, 90°偏转磁铁 $M/\Delta M \geq 90$; 3, 预加速管 150 kV; 4, 脉冲系统; 5, 钢筒 (内径 5.5 m, 长 25 m); 6, 加速管; 7, 高压电极; 8, 输电梯; 9, 磁四极透镜; 10, 90°磁分析器; 11, 开关磁铁; 12, 实验管道(14条)。

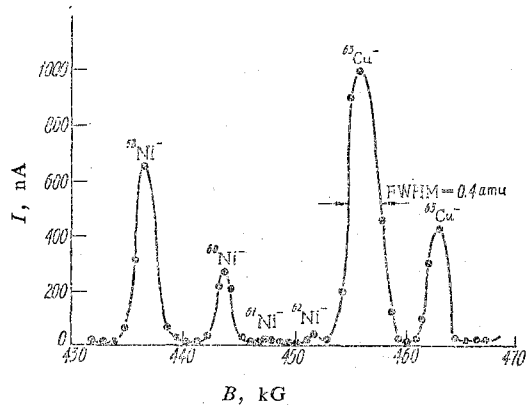


图2 溅射源引出的Cu和Ni离子质谱图
靶锥 ϕ 2 mm; 材料: 镍粉铜衬。

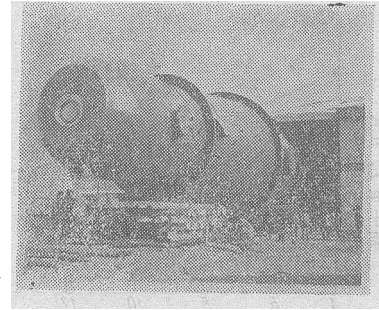


图3 钢桶向大厅搬运时的现场

毫微秒脉冲系统采用先切割再聚束的方法, 可以用于质子及重离子。

2. 高压发生器

高压发生器的钢桶长 25 m, 最大内径 5.5 m, 它与 MP 型的不同处是钢桶两边呈圆锥形而无 MP 型的拐角(“Knee”)结构, 而且长度增加 2 英尺。实验证明“Knee”是 MP 型电压升高的一个限制因素。钢桶的容量为 360 m³, 用 SF₆ 作为绝缘气体, 工作气压 7.2 个绝对大气压, 需要 SF₆ 气体约 17 吨。SF₆ 气体由四川硫酸厂供应。

HI-13 的大钢桶由大连机器制造厂承制, 分成九段在工厂加工校验好, 再运至现场焊成整体, 经 HVEC 技术人员检验质量合乎要求。图 3 为制造好的钢桶正向加速器大厅搬运时的照片。

绝缘支柱用玻璃块和金属片胶结而成。每段长 1.8 m, 在高压电极的两边各有四段, 采用桁架结构, 一端用弹簧加压力, 使总长 20 余 m 的绝缘体悬空保持在钢桶的中心线上。高压电极的梯度为 129 kV/cm, 绝缘柱的梯度为 18 kV/cm。

输电系统采用一条输电梯, 输电电流约为 400 μ A。它的优点是使用寿命长, 电流稳定度高, 能承受高电压击穿, 运行时不象输电带那样磨下尘屑, 因而高电压性能好。

在 XTU 型(钢桶中间直径加大到 7.6 m)上无加速管试验高压时, 这套系统电压最高升到过 20 MV, 说明它的轴向绝缘用于 13 MV 是有很大余量的, MP 型有几台高压也试到过 16 MV。由此可见, HI-13 的高压发生器的电压是能够超过 13 MV 的。

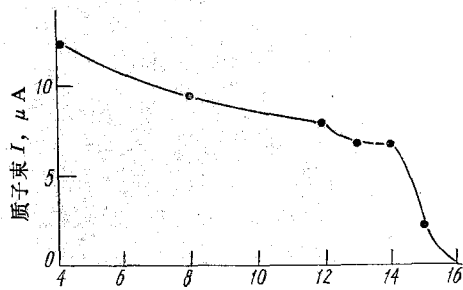
3. 加速管

加速管外径 ϕ 14", 用不锈钢电极片和派力克斯玻璃环加 PVA 胶粘结而成, 每段 72 节, 长约 1.8 m, 共 8 段, 安装在高压电极两边的绝缘柱内。加速电场为斜场结构, 用于抑制电子负载。为了减少高压发生器击穿时对于加速管的危害, 加速管采用独立的电阻分压系统。加速管的真空为 10⁻⁶ 托, 由两台 10 英寸油扩散泵系统来保证, 扩散泵油为聚苯醚 (Polyphenylether pumping fluid)。这种加速管 1973 年 HVEC 在 XTU 型试验时于 16 MV 下出过束流。

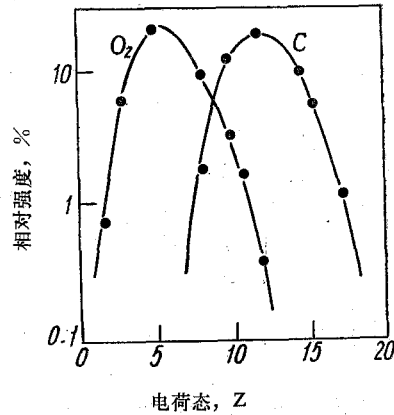
图 4 中当电压高于 14 MV 时束流急剧下降。其原因未见说明。一种可能是当加速管的梯度升高到一定的数值时, 注入大束流, 加速管中电子负载增大, 工作状态不稳定。此时欲维持高电压就只有牺牲束流强度。但是由图可见, 这种加速管工作在 13 MV 则是可靠的。

4. 高压电极内部设备

原型 MP 高压电极内部只装一条气体剥离管道, 设备较简单。随着电压的升高和重离子实验工作的



高压 V, MV
图 4 XTU 串列加速器 1973 年
出束试验



电荷态, Z
图 6 离子通过剥离器后形成的电
荷态及束流相对强度分布图
离子种类: I; 离子能量: 12 MeV.

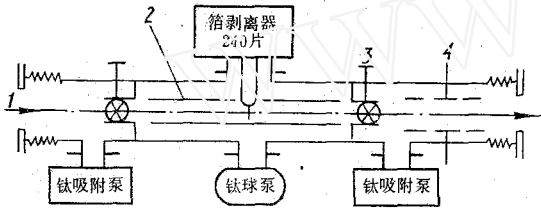


图 5 HI-13 高压电极内部设备
1—束流; 2—气体剥离器; 3—球
阀; 4—电极四极及垂直导向器。

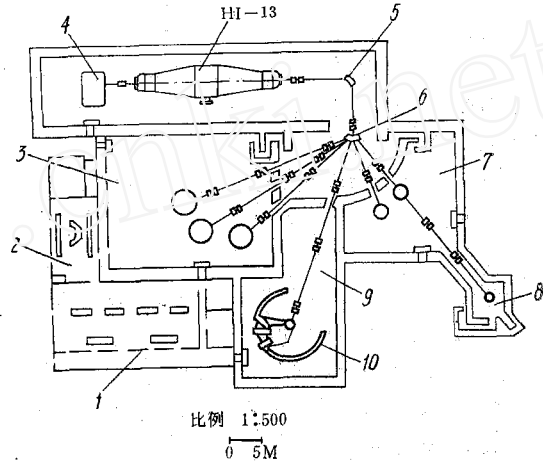


图 7 HI-13 型串列加速器实验室总体布置图
1, 计算机室; 2, 控制室; 3, 工室; 4, 负离子源;
5, 分析磁铁; 6, 开关磁铁; 7, III 室; 8, γ 室;
9, II 室; 10, Q3D 磁谱仪。

发展, 高压电极内部设备也逐渐增多。

为了把电压从 10 MV 提高到 13 MV, 加速管的孔径缩小了好多, 气导也因而减小。重离子工作时要求加速管内的真空度比较高, 故 HI-13 的高压电极内装有三个真空泵。剥离气体主要由钛球升华泵抽除, 剥离器两端各有一个钛吸附泵可以辅助抽加速管的真空。两端的两个球阀在维修剥离器时关闭可使加速管保持真空。

剥离器出口有一个三单元四极静电透镜, 可使剥离后的束流适当聚焦。此透镜的电极还可用作束流在垂直方向的导向器。

重离子在通过剥离器后会形成多种电荷态 (图 6)。利用电极四极透镜和在加速管内相应的光阑可以对电荷态进行部份选择, 使那些具有所需电荷态的离子通过加速管加速出来。

HI-13 的注入器有好的质量分辨率, 被剥离后的离子又可进行部分电荷态的选择, 这使 HI-13 有较好的重离子工作性能。对于超越铀核库仑势垒的加速离子的质量数可到 27 左右, 对于相近粒子体系的

近阈反应, 则加速离子的质量数 ≤ 60 。

5. 磁分析器开关磁铁和实验管道

90°双聚焦磁分析器参数为:

偏转半径: 50'; 质能积(ME/Z²): 200 MeV Amu; 磁场强度: 16 KGauss; 气隙: 1.12 英寸; 电源: 20 KW, 300 A; 电流稳定度: 短期 5×10^{-6} , 8小时 $\pm 1 \times 10^{-5}$; 重量: 2400 磅。

广角开关磁铁参数为:

磁场强度为 16 KG 时束流的偏转角, 偏转半径和质能积数据如下:

角度, 4 度	± 10	± 20	± 30	± 40	± 50	± 60	± 70
偏转半径, 英寸	208.5	103.4	68.1	50.1	39.1	31.6	26
ME/Z ² MeV·cmU	3438	846	366	200	121	79	53

磁铁电源 30 KW, 300 A。电流稳定度 8 小时 $\pm 1 \times 10^{-5}$, 磁铁重量 5200 磅, 气隙 1.5 英寸。

开关磁铁出口可装 14 条实验管道, 开展有关核数据测量, 低能核物理基础研究以及核技术的应用研究等。配备有大型 Q3D 磁谱仪, 通用散射室等多种物理实验设备以及 PDP 11/44, VAX 11/780 等计算机系统。第一期先装 6 条管道 (共 8 个靶位)。

6. 加速器高压分段锻炼装置

大型串列加速器的静电储能很大, 高压击穿时形成的冲击波常常打坏各种设备, 对 20 MV 的串列加速器, 静电储能可达 100 kWS。为了保证加速器的安全锻炼并诊断问题所在, HI-13 上加装了一套高压分段锻炼装置。它是利用径向的短路棒和轴向的短路绳互相配合, 可以任意选择试验任何一段分压柱和加速管的高电压性能, 这将有助于加速器的调试和安全运行。

(编辑收到日期: 1984 年 8 月 27 日)