

# HI-13 串列加速器的第二 剥离器系统研制

秦久昌 杨为民 杨丙凡

(中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京, 102413)

建立 HI-13 串列加速器的第二剥离器系统, 是提高加速离子能量的最现实、投资少和见效快的技术方案。文章介绍了第二剥离器系统的工作原理、技术关键, 并给出了系统性能和工作成果。

**关键词** 串列加速器 剥离器 电荷态 能量

中国原子能科学研究院引进的 HI-13 串列加速器<sup>[1]</sup>, 投资约 5000 万元, 历经 8 年建成。加速器投入运行后, 为了保持它的先进性和扩大核物理研究领域, 提高加速离子能量已成为开展加速器研究和改进工作的首要任务。提高加速离子能量主要有二个技术方案:

(1) 对 HI-13 串列加速器主体进行改造, 即延长加速管和更换高压电极。此项工作要投资几百万元, 需加速器停机半年到一年; (2) 建造 HI-13 串列加速器的增能器, 即后加速器, 此项工程要投资几千万元, 需 5 年多时间。

上述技术方案对我院都不现实。投资少、见效快、可相对提高加速离子能量的唯一途径是研制 HI-13 串列加速器的第二剥离器系统。串列加速器的第二剥离器系统, 在国外某些大型串列加速器上早已建立, 在国内尚属空白。

## 1 工作原理

如图 1 所示, 注入器产生的负离子被注入到串列加速器内, 在串列加速器头部正高压电场作用下被加速。当负离子达到头部并通过剥离器(一次剥离)时, 被剥离掉多个电子而变为正离子, 正离子在串列加速器头部正高压电场作用下, 再一次被加速。

被加速离子仅经过一次电子剥离, 从串列加速器所获能量为  $E_1 = (1 + q_1)eV_1$  ( $V_1$  为加速器头部高压,  $q_1$  为被加速离子经一次剥离后的电荷态)

为增加被加速离子能量, 在第 5 和第 6 段加速管之间建立第二剥离器系统。被加速离子通过头部一次剥离后, 经第 5 段加速管加速并通过第二剥离器时, 再次被剥离掉电子, 增加了离子所带的电荷量。被加速离子通过二次剥离, 从串列加速器所获能量为:  $E_2 = [1 + q_1 +$

收稿日期: 1994-03-29 收到修改稿日期: 1994-04-10

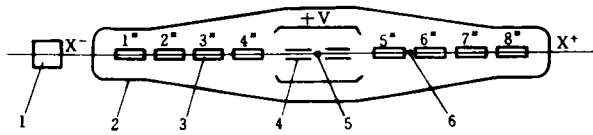


图1 串列加速器工作原理

Fig.1 Principle of tandem accelerator

1——负离子注入器;2——钢筒;3——加速管(共8段);4——头部高压电极;5——第一剥离器系统;6——第二剥离器系统

$3/4(q_2 - q_1)]eV_1 = (1 + q_1 + 3/4 \cdot \Delta q)eV_1$  ( $q_2$  为被加速离子经过第二次剥离后的电荷态)。

被加速离子经过二次剥离比仅经过一次剥离所增加的能量为  $\Delta E = E_2 - E_1 = 3/4 \cdot \Delta q \cdot eV_1$ 。一般  $\Delta q$  为 2—3, 当  $V_1$  为 13 MV 时, 则被加速离子能量增加约为 20—30 MeV<sup>[2]</sup>。

被加速离子仅经一次电子剥离, 核物理实验的范围为 Mg 打 U, Ca 打 Ca。经二次电子剥离, 由于离子能量增加, 可实现 Si 打 U, Fe 打 Fe。由此不难看出, 研制第二剥离器系统意义重大。

## 2 系统简介和技术关键

### 2.1 系统简介

所研制的第二剥离器系统包括: 控制装置、驱动装置、换向装置、传动装置、变速装置、剥离膜传动和间歇机构, 支承和固定机构等。其系统的总体结构如图 2 所示。

### 2.2 技术关键

(1) 第二剥离器系统处于特殊工作环境中, 必须解决相应出现的技术问题。第二剥离器系统, 内部为高真空 ( $\sim 10^{-4}$  Pa), 外部为 0.6 MPa SF<sub>6</sub> 包围着, 因此要求其系统耐高压、耐腐蚀、无微漏。不允许 SF<sub>6</sub> 渗透到系统内, 甚至少量 SF<sub>6</sub> 渗入, 都会污染加速器的核心部件——加速管, 造成严重事故。为此, 设计前对系统各部件进行抗压理论计算。加工和组装后进行真空、水压、气压实验。第二剥离器系统组装后, 真空实验达到  $1.2 \times 10^{-4}$  Pa, 氦质谱仪找漏, 未发现泄漏; 水压实验达到 1.04 MPa, 持压 1 h, 未发现漏水; 气压实验达到 0.9 MPa, 未发现漏气。第二剥离器系统处于高压电位上(最高为 9.75 MV), 高压打火, 易造成对控制系统的干扰和部件损坏。则在控制系统中采用双屏蔽, 并对主要元件进行认真筛选

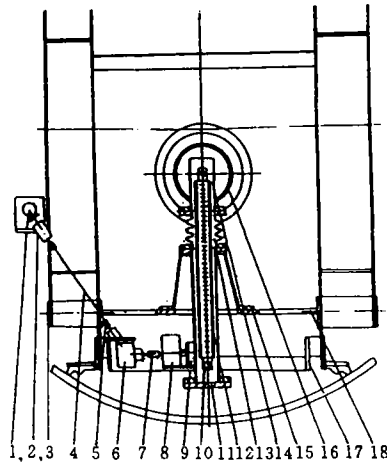


图2 第二剥离器系统的结构

Fig.2 Structure of the second stripper

1——电动机; 2——控制杆; 3——换向器; 4——传动轴; 5——万向联轴节; 6——齿轮箱; 7——波纹管挠性联轴节; 8——槽轮间歇运动机构; 9——真空磁耦合传动机构; 10——箔膜运输带; 11——筒体; 12——调节机构; 13——波纹管组件; 14——屏蔽腔; 15——支架; 16——剥离室; 17——横梁; 18——连接板

和寿命考验。

(2)每次更换剥离膜后,膜片位置重复性要好。为此,在设计中,其传动机构,如万向节,蜗轮、蜗杆等尽量精密;系统安装时,反复调节,尽量准直。

(3)第二剥离器系统安装在加速器第5和6段加速管之间的死区底部,要对加速器主体进行“伤筋动骨”的改造,如果拆卸加速器部件方法不对,新的部件设计不合理,都有可能使价值600多万美元的加速器报废的危险。为此对5<sup>#</sup>—6<sup>#</sup>死区的部件受力情况进行了理论计算和分析。

为安装第二剥离器,要拆下5<sup>#</sup>—6<sup>#</sup>区槽形支承梁(长73 cm、宽34 cm)。拆钢梁时,由于加速器主体受力情况改变,可能引起加速器主体变形,甚至绝缘支柱断裂。采取的预防措施是:设计、加工两个可调节长度的支承钢棒,加力支承死区绝缘支柱和主梁后,再拆原支承钢梁和安装新支承架。

位于5<sup>#</sup>—6<sup>#</sup>死区的一块长73 cm、宽36 cm、厚2.2 cm的弹簧钢板,阻碍第二剥离器安装。根据受力分析,此钢板是不能拆卸的,我们决定在钢板上切割一个 $\phi 19$  cm的孔,以便安装剥离器。调研成孔的工艺,唯一可行的是气焊切割。但火焰切割时,弹簧钢横板温度升高,热量会很快传递到由玻璃和不锈钢胶接的绝缘支柱上,会引起绝缘支柱开胶或玻璃炸裂,造成加速器主体损坏。为防止事故发生,所采取的措施是:在靠近绝缘支柱的横梁的每一端放上紫铜块,水泡纱布等用来散热和冷却,防止绝缘支柱受高温而损坏。

我们是在承担重大责任和风险的情况下,进行剥离器安装工作的。由于理论分析和部件设计正确,采取的安全措施得力,第二剥离器安装一次成功。

### 3 系统性能和工作成果

#### 3.1 系统性能

第二剥离器系统具有如下性能:

(1)箔膜的重复位置误差小于0.4 mm;(2)剥离器可承受外压1.04 MPa;(3)剥离器内部真空度达到 $1.2 \times 10^{-4}$  Pa;(4)在加速器高能区,离子流相同时,能量可提高10—30 MeV;能量相同时,束流强度提高约10倍。

#### 3.2 工作成果

(1)1991年加速Ca离子。利用第二剥离器获得能量为130 MeV,流强为3.8 nA的Ca束,而仅用一次剥离器,只获0.4 nA的Ca束。第二剥离器系统出束实验一次成功,说明其理论计算、设计、加工、安装、对中和调试工作质量是优异的。

(2)1992年,第二剥离器系统正式投入使用。原仅有第一剥离器系统,或者因离子能量低,或者因束流强度弱,许多想做的核物理实验工作难开展。第二剥离器系统建立后,已成功地开展了“高自转态的核非对称轴形变研究”(28Si + 144Sm反应中,Si束能量高达145 MeV( $Q_1 = 8$ 、 $Q_2 = 12$ 、 $V_1 = 12$  MV),流强15 nA)和“弹性散射垒上及近垒能区转移反应”(19F束能量95—105 MeV,束流大于100 nA)等国际感兴趣的研究课题。

(3)1993年为了更好地利用第二剥离器系统,及衡量研制工作水平,对第二剥离器系统的性能进行了测试。

注入500 nA <sup>35</sup>Cl束流,在加速器头部高压分别为10和12 MV时,测量了一次剥离和二次剥离时离子能量、流强、电荷态之间关系,其结果如图3所示。从图中看到,在高能区,利用二

次剥离比利用一次剥离的优点是:在同一能量下,束流提高10倍;相同束流强度下,能量提高10 MeV。与美国BNL国家实验室第二剥离器系统的性能<sup>[3]</sup>比较,在同样条件下(BNL实验室仅做头部高压为10 MV的实验,如图4所示),二个实验室的结果相同,甚至我们的系统略好于BNL。

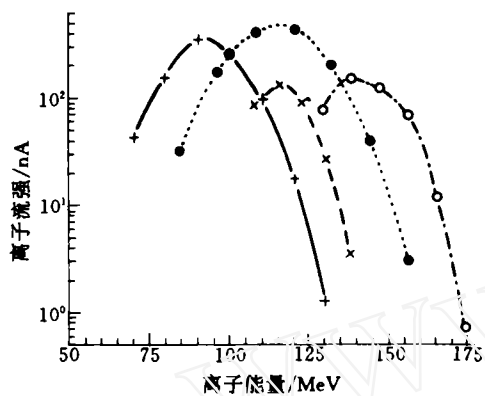


图3 一个剥离器,或二个剥离器工作时,离子能量和流强之间关系的比较

Fig. 3 Intensity (nA) of  $^{35}\text{Cl}$  beams measured behind the  $90^\circ$  analyzing magnet as a function of energy for single and dual stripper operation

中国, CIAE 串列加速器实验室, 注入 500 nA  $^{35}\text{Cl}$  离子;  
 -——10MV, 一个剥离器; ———10MV, 二个剥离器;  
 ●——12MV, 一个剥离器; ○——12MV, 二个剥离器

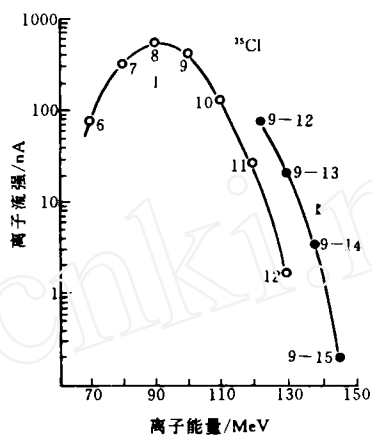


图4 一个剥离器,或二个剥离器工作时,离子能量和流强之间关系的比较

Fig. 4 Intensity (nA) of  $^{35}\text{Cl}$  beams measured behind the  $90^\circ$  analyzing magnet as a function of energy for single and dual stripper operation

美国, BNL 串列加速器实验室, 10 MV, 注入 500 nA  $^{35}\text{Cl}$  离子; I ——一个剥离器; II ——二个剥离器

### 参 考 文 献

- 1 Qin Jiuchang, Yu Juexian, Yang suichun, et al. Testing and Commissioning of the HI-13 Tandem Accelerator. Nucl Instrum Methods, 1988, A268: 316.
- 2 秦久昌, 关遐令, 杨丙凡, 等. HI-13 串列加速器的改进. 核技术, 1992, 15(6): 329.
- 3 Skorka, SJ. Tandem Accelerator. Nucl Instrum Methods, 1977, 146: 67.

## DEVELOPMENT OF SECOND STRIPPER ON HI-13 TANDEM ACCELERATOR

QIN JIUCHANG YANG WEIMIN YANG BINFAN

(*China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-62, Beijing, 102413*)

### ABSTRACT

In order to increase heavy ion energy, the second stripper is developed in Tandem Laboratory, CIAE. The paper presents the principle and performance of the second stripper and the technical keys to the development of the second stripper.

**Key words** Tandem accelerator Stripper charge state Energy