

ECR 氧离子源及整体分离环 RFQ 加速器 低能输运系统的研制*

张萌 彭士香¹⁾ 宋执中 赵捷 徐蓉 袁忠喜 郭之虞 陆元荣 于金祥

(北京大学重离子物理研究所, 核物理与核技术国家重点实验室 北京 100871)

摘要 根据研制分离作用 RFQ 和升级改造 1MeV ISR RFQ 的需要, 设计了一台 ECR O⁺ 离子源及低能输运 (LEBT) 系统. 低能输运系统使用 2 个静电透镜聚焦束流, 在引出电压 22kV 时, LEBT 末端得到 6mA 以上总脉冲束流、束流归一化均方根发射度为 0.12 π mm·mrad. 束腰可前后移动 160mm.

关键词 电子回旋共振 低能输运 发射度

1 引言

北京大学研制的 1MeV, 26MHz 的 ISR RFQ 已经稳定运行八年, 负载因子 16%, 宏脉冲频率 166Hz, 用于加速 O⁺, O⁻, N⁺ 到 65keV/u, 能散大约在 3.5%, 对于宏脉冲 O⁻ 束流, 峰值流强为 660 μ A, 对于 O⁺, N⁺, 峰值流强分别为 300 μ A, 320 μ A, 束流传输效率均为 86%^[1, 2]. 最近提出了一种新型的加速结构——分离作用光阑型 RFQ (SFRFQ). 在不加调制的射频四极场电极结构上, 周期性地加载光阑电极对, 提供纵向加速电场; 与常规 RFQ 相似, 仍采用射频四极场聚焦^[3]. 在国家自然科学基金的资助下, 即将建立一台新的分离作用 RFQ (SFRFQ). 该设备将连接在原有 1MeV ISR RFQ 腔后. 因此, 2005 年我们开始对整个系统进行了升级改造^[4]. 整个升级工程涉及离子源、LEBT, RFQ 本身和 HEBT. 设计的 ISR RFQ 加速器注入束流参数 22keV O⁺ 离子, 峰值流强大于 3mA, 离子均方根发射度小于 0.2 π mm·mrad.

在台面的基础上, 于 2006 年研制了一套 RFQ 注入系统, 包括一台新的 ECR 离子源, 2 个静电聚焦单透镜和相关的束测部件^[5]. 本文介绍了系统的运行状况, 并给出最佳运行参数.

2 实验装置结构

新设计永磁离子源及低能输入端采用 0° 注入, 直接连接到 RFQ 入口, 装置见图 1.

ECR 离子源工作微波频率为 2.45GHz. 放电室内部轴向磁场在 90—100mT 之间, 关于该源的详细论述参见文献 [6], 为确保稳定运行, 又对其进行了优化^[5]. ECR 源采用双电极引出 O⁺ 离子, 引出电极孔径 5mm, 加速间隙 2—8mm 可调. 实验表明 3mm 结果最好. 使用两个单透镜对引出束流进行聚焦. 单透镜 1 为膜片-圆筒型, 内径 80mm; 透镜 2 为三圆筒型, 内径 120mm. 透镜 1 的后膜片与透镜 2 前圆筒相连, 共同接地. 插板阀后接有四象限光阑, 以检测束流是否偏离中心轴向位置, 在光阑和法拉第杯间装有 $\phi 32 \times 20$ mm 圆筒, 用作抑制极. 和法拉第杯同轴向位置装有石英屏, 用来观察束斑. 其后接 $\phi 15$ mm 光阑, 便于和 RFQ 入口相接.

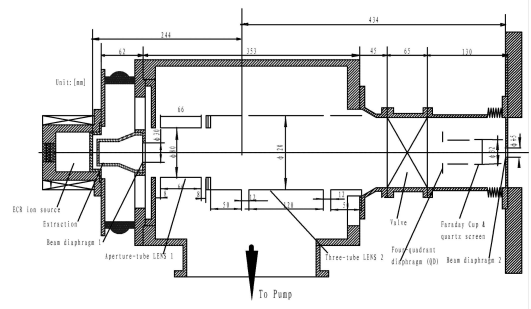


图 1 离子源、引出、低能输运装置示意图

离子源及低能输运系统总长度大约 760mm, 采用 1200L/s 分子泵抽取真空, 静态本底真空可达 4×10^{-5} Pa.

2008 - 01 - 07 收稿

* 国家自然科学基金(10455001)资助

1) E-mail: sxpeng@pku.edu.cn

3 实验结果

3.1 流强、离子比与放电气压的关系

放电室内可维持放电的最低气压为 1.0×10^{-4} Pa. 图2给出了在不同进气量下得到的最大束流和对应的 O^+ 离子比例. 运行参数如下: 引出电压22kV, 单透镜中间电极电压分别为16.3kV和18.4kV. 维持放电情况下, 气压在 $(1.2-4.8) \times 10^{-4}$ Pa 范围内均能得到大于5mA的总流强. O^+ 离子比在60%—80%之间, 随真空下降, 离子比逐渐增加. 流量计校准知此时系统的进气流量小于0.15sccm.

在低能输运末端, 利用分析磁铁对束流进行分析. 逐渐改变磁场大小, 测得各偏转离子的流强分布见图3. 磁场大约480mT时, 对应的峰为 O^+ 离子.

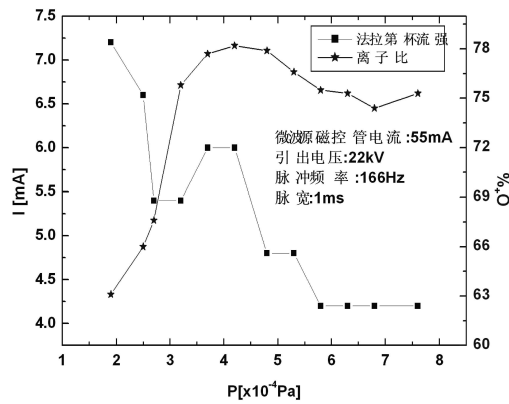


图2 束流、离子比与真空关系

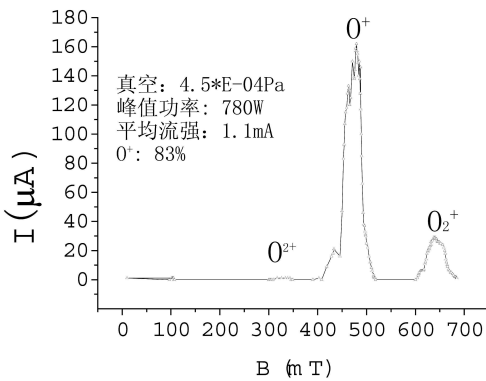


图3 气压 4.5×10^{-4} Pa 下的束流分析

3.2 适当的微波功率

图4给出了在22kV引出, 单透镜电压分别为16.8kV, 18.4kV时, 最佳束流与微波功率关系, 由图可以看出, 在峰值微波功率大约为1260W时, 放电效果最好.

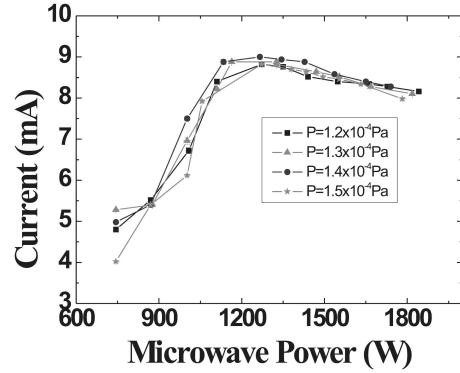


图4 束流与微波功率关系

3.3 束流与聚焦电压关系

图5, 6给出了在不同真空下, 束流与前、后单透镜电压变化关系. 对于每一个测量曲线, 我们保持气压、微波功率和其中一个单透镜电压不变, 改变另一单透镜电压, 图中水平虚线表示6mA位置. 由图可看出, 曲线峰值代表束腰位于法拉第杯位置, 聚焦电压的改变使得束腰前后移动, 径向位置偏大的离子被准直圆筒或者四象限光阑阻挡. 最佳聚焦电压随着进气量的增加而有所增大.

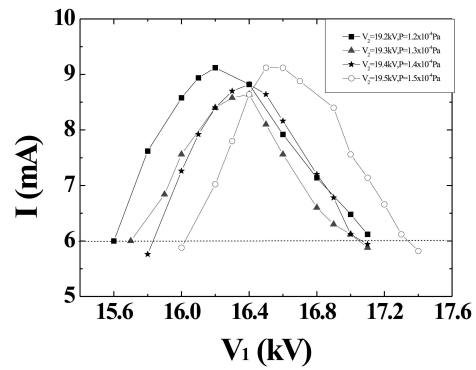


图5 不同真空下, 束流与单透镜1电压关系

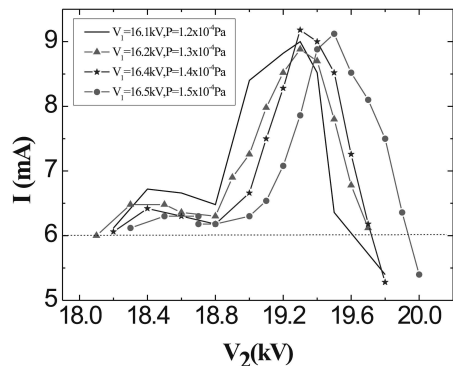


图6 不同气压下, 束流与单透镜2电压关系

3.4 发射度大小和束腰的可移动性

采用两套发射度测量装置: 峰丝发射度仪、Allison发射度仪^[7, 8]. 两种方法得到的发射度分别为 $0.10\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$, $0.12\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$. 改变聚焦电压, 可使束腰位置在RFQ腔入口前80mm到入口后80mm之间移动. 束腰直径大约为8mm.

4 结论

成功地研制了新的RFQ注入系统. 本文给出了束流在22kV引出下的实验运行参数. 最佳放电气压为 1.0×10^{-4} — $2.0\times 10^{-4}\text{Pa}$, 最佳峰值微波功率为1260W, 台面测试中可得到22keV, 3mA以上的 O^+ 脉冲束流, 束流发射度大约为 $0.12\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$, 满足加速器系统对离子源的要求.

参考文献(References)

- 1 LU Y R et al. Nucl. Instrum. Methods A, 2003, **515**: 394—401
- 2 CHEN J E et al. Proc. of EPAC'00, Vienna, Austria, 2000, 2594—2596
- 3 YAN X Q et al. Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research, 2005, **A539**: 606—612
- 4 LU Y R et al. Proc. of LINAC2006, Vnoxville, Tennessee USA, 2006, 139—141
- 5 PENG S X et al. High Energy Physics And Nuclear Physics, 2007, **31**(Supp): 63—65 (in Chinese)
(彭士香等. 高能物理与核物理, 2007, **31**(Supp): 63—65)
- 6 SONG Z Z et al. Review of Scientific Instruments, 2006, **77**: 03A305
- 7 MING J C et al. Nuclear Techniques, 2006, **29**(2): 105—107 (in Chinese)
(明建川等. 核技术, 2006, **29**(2): 105—107)
- 8 XU R et al. High Power Laser and Particle Beams, 2007, **19**(7): 1216—1220 (in Chinese)
(徐蓉等. 强激光与粒子束, 2007, **19**(7): 1216—1220)

Experimental Results of an ECR Oxygen Source and a LEBT System for 1MeV ISR RFQ Accelerator Upgrade Project^{*}

ZHANG Meng PENG Shi-Xiang¹⁾ SONG Zhi-Zhong ZHAO Jie XU Rong
YUAN Zhong-Xi GUO Zhi-Yu LU Yuan-Rong YU Jin-Xiang

(State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract To meet the requirements of developing SFRFQ and upgrading the 1MeV ISR RFQ accelerator, an ECR O^+ ion source and LEBT system have been developed. Using two Einzel Lenses to focus the beam, more than 3mA O^+ beam with the energy of 22keV can be obtained at the end of LEBT. Its normalized root-mean-square emittance is about $0.12\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$.

Key words ECR, LEBT, emittanc

Received 7 January 2008

^{*} Supported by NSFC (10455001)

1) E-mail: sxpeng@pku.edu.cn