

# 15—20mA 负氢离子源的设计与加工

贾先禄<sup>1)</sup> 张天爵 吕银龙 姚红娟 陈荣范 钟俊晴 宋国芳 林军

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 离子源是强流质子回旋加速器的核心设备之一, 它的性能指标对最终束流大小和质量都有重大影响. 文章介绍了一种运用于强流质子回旋加速器上的多峰场负氢离子源的设计与加工情况, 该离子源主要是通过深入研究高密度等离子体产生技术、长寿命大直流灯丝电子发射技术、磁约束技术、虚拟过滤技术、残留气体与电子剥离的控制技术, 以及离子引出技术等, 在中国原子能科学研究院原有 10mA 离子源基础上建立负氢离子源, 实验研究低能、强流束的实验匹配与调试技术, 将平均引出束流提高到 15—20mA.

**关键词** 负氢离子源 约束场 虚拟过滤场

## 1 引言

制约强流质子回旋加速器技术发展的一个主要因素是离子源的束流强度以及束流品质, 为了提高引出流强、改善束流品质, 中国原子能科学研究院一直致力于离子源的发展. 2000年建成了平均流强 5.2mA 的负氢离子源, 束流发射度达到了  $0.65\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}^{[1]}$ , 2004年建成了高于 10mA 负氢离子源. 为了进一步提高束流流强, 满足中国原子能科学研究院串行加速器升级工程的需求, 我们在原有 10mA 负氢离子源的基础上设计一台新的离子源, 将平均束流引出了流强提高到 15—20mA.

## 2 离子源结构

H<sup>-</sup> 离子源的结构示意图如图 1 所示, 其等离子体腔采用筒状结构(内径: 98mm, 长度: 152mm). 离子源的多峰场是由 10 组 Nd-Fe-B 永久磁铁布置而成, 每组磁铁分为 6 层, 每层高度为 25.4mm, 即磁铁纵向高度为 152mm. 为了有效约束等离子体, 在离子源的顶部盖板内也布置了永久磁铁. 该离子源采用三电极结构来引出 H<sup>-</sup> 离子, 为了过滤快电子, 我们改变了底层永久磁铁的布置结构, 以便于形成电子过滤场, 为了增加过滤场的强度, 我们还在吸极内部安置了两对永久磁铁. 为了有效地引出离子, 在电极末端安置了  $x$ - $y$  导向磁铁来调整束流. 该离子源的灯丝采用了双等丝

结构, 通过试验证明双灯丝比单灯丝的引出束流品质要好.

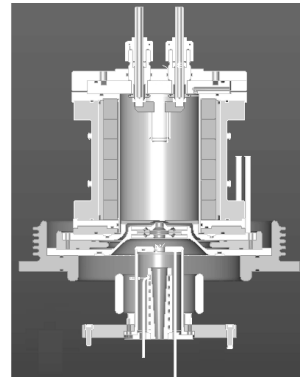


图 1 离子源结构图

## 3 离子源约束场

10 组永久磁铁分为 6 层, 其中上面 5 层形成多峰场, 最下面一层形成离子源的过滤场, 永久磁铁的截面为  $10\text{mm}\times 18\text{mm}$ . 为了提高多峰场的强度, 在两组永久磁铁间加入了会切磁铁, 加入会切磁铁的多峰场结构如图 2 所示, 会切磁铁的截面为  $13\text{mm}\times 18\text{mm}$ .

多峰场的场强是采用二维软件 Poisson 计算的, 磁铁的磁感应强度为  $B_r=1.1\text{T}$ , 相对磁导率为 1.07. 为了验证计算的准确性, 还采用 ANSYS 对多峰场进行三维计算. 在离子源磁场的有限元计算中, 考虑到外部空气区对磁场的有限元计算的影响, 在计算过

2008 - 01 - 07 收稿

1) E-mail: jiaxl@ciae.ac.cn

程中, 取外部气体的半径为0.7m, 高度为-762mm—2032mm. 将计算结果与二维计算结果进行比较, 在 $0^\circ$  (离子源对称面) 和 $18^\circ$  方位角 (离子源多峰场峰值) 上磁场沿半径的分布比较如图3所示, 从图中的比较来看, 二者计算结果基本吻合, 三维计算结果比二维计算偏低, 主要是三维的计算考虑了端部漏磁, 因此也更合理.

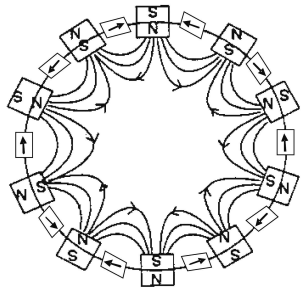


图2 多峰场磁铁布局图

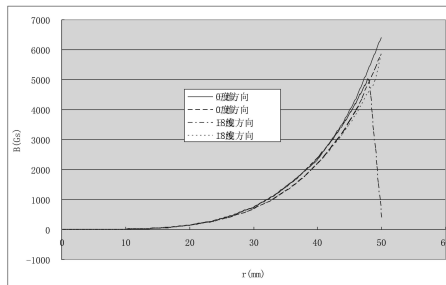


图3 二维和三维多峰场计算结果比较图

## 4 虚拟过滤场的改进

为了过滤快(高能)电子, 通常在等离子体腔体中, 靠近引出口的位置插入水冷的导磁棒, 以形成过滤电子的二级磁场. CYCIAE-30上使用的负氢离子源中采用的就是这种磁过滤器设计, 用来分离电子和负氢离子, 其原理是电子的磁刚度远远小于负氢离子的磁刚度, 所以在磁场中电子比较容易被偏离, 从而使负氢离子通过进而引出.

目前已经不常采用这种办法, 而改用虚拟的磁过滤器, 一个比较典型的实现方法是在最靠近引出口的一层磁铁中, 去掉所有的切向的磁铁, 将剩下的磁铁中的两条( $180^\circ$  相对着的两条)的磁极极性翻转, 这样, 会在腔体的中心位置形成大约50—80Gs的场. 另外, 在吸极之中镶入两对横截面尺度为几个毫米的永磁体, 以形成一个峰值大约为 $\pm 150$ Gs的场分布, 这两个磁场迭加在一起形成对电子起过滤作用的磁场, 这就是虚拟的磁过滤器, 如图4(a)所示, 这种模式是由Kuo和Yuan提供的<sup>[2]</sup>, 称这种模式为O模式, 原子能院10mA离子源就是用这种技术.

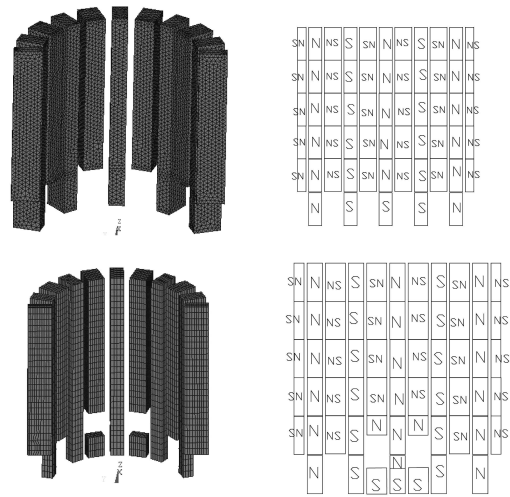


图4 (a) 10mA 过滤场结构模型; (b) 新离子源过滤场结构图

由于过滤区域要求不能太厚、过滤场强度要适中, 区域太厚会导致慢电子也被过滤掉, 过滤场强度太弱会导致快电子不能完全过滤而被引出. 为此参考triumf实验室E模式结构<sup>[3]</sup>, 在10mA的基础上, 对过滤场的磁铁摆放结构作了改进, 在两个翻转极性磁铁两侧加入同方向磁铁, 另外在这两个磁铁下方在安置反方向的磁铁, 如图4(b)所示. 该种模式下, 腔体中心位置的过滤场大约为180Gs, 和O模式的对比, 中心轴线上磁场分布如图5所示.

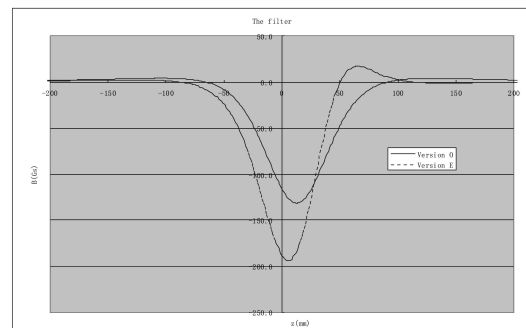


图5 模式O和模式E在中心轴线上磁场分布比较图

## 5 引出电极的设计

图6展示了目前离子源的电极结构, 该结构是三电极结构, 其中电压V1是由加速器的注入能量决定的, 引出电压V2是由V1,  $g_1$ , 等离子体电势、弧压等决定的. 目前该离子源的电极布局和光学设计是采用IGUN程序计算的, 通过该程序对电极的7个几何参数、孔间距、电极间隙等做了优化匹配, 得到了最佳结果.

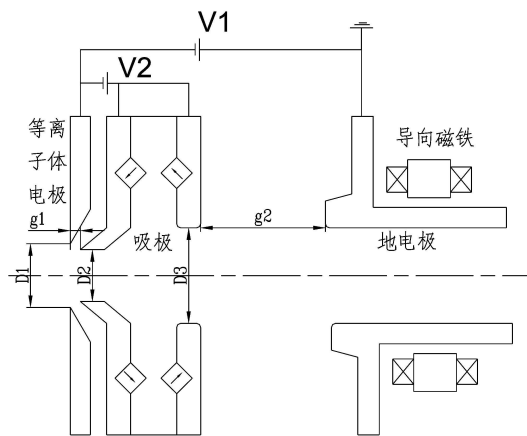


图 6 引出电极结构图

40kV 离子源的电极布局如图 6 所示, 当引出的负氢束流为 21mA, 40keV 时, 参数设置分别为  $V1=40\text{kV}$ ,  $V2=5.5\text{kV}$ ,  $D1=13\text{mm}$ ,  $D2=10\text{mm}$ ,  $D3=16\text{mm}$ ,  $g1=2.5\text{mm}$ ,  $g2=11\text{mm}$ .

## 6 小结

目前该离子源已经加工完成, 正处于安装阶段, 组装图如图 7 所示. 为了提高引出流强, 还改善了离子源真空室结构, 利用两个 1300L 的分子泵对离子源引出区抽真空, 目前真空室正处于检漏阶段.



图 7 离子源组装图

## 参考文献(References)

- 1 ZHANG Tian-Jue et al. Review of Scientific Instruments, 2004, 30(5)
- 2 YUAN D et al. CCAST's Proceeding on Multicusp  $\text{H}_2$  Source and ECR Source, Beijing, 1997
- 3 Kuo T. Proceedings of the 6th ICIS, 1314

# Design and Machining of the 15—20mA H- Cusp Source

JIA Xian-Lu<sup>1)</sup> ZHANG Tian-Jue LÜ Yin-Long YAO Hong-Juan CHEN Rong-Fan  
ZHONG Jun-Qing SONG Guo-Fang LIN Jun  
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract** Cusp source is one of the essential elements in high density cyclotron, whose properties have a great impact on the extracted beam of the cyclotron. The article introduces the design and machining of the H- cusp source applied to the high intensity proton beam cyclotron. By investigating deeply the technology of high intensity plasma production, long life DC filament emission of electrons, magnetic confinement, electron filtering, residual gas and electron extraction control, we designed a new cusp source with an average beam density of 15—20mA based on the 10mA H- cusp source at CIAE.

**Key words** H- cusp source, confinement field, virtual filtering field