

# SFC 的新的轴向注入束流线

尹全民 宋明涛 张金泉 赵红卫

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 为了满足HIRFL-CSR对注入器SFC的束流强度和品种的要求,兰州重离子加速器国家实验室在研制超导ECR离子源的同时,设计了一个新的SFC的轴向注入束流线.这个系统可以分别使用现有的常规ECR离子源和新建造的超导ECR离子源,期望把从C到U的各种离子的能量和束流强度提高到一个新的水平.这个系统由二极磁铁,四极透镜,GLASSER透镜,螺线管,螺旋形静电偏转器和两台丝网型线性聚束器组成.在总结现有系统运行经验的基础上,无论在横向还是纵向,其性能结构都做了必要的改进.文章给出了新系统的设计思想,系统的布局结构和束流光学计算结果,并对进一步提高聚束效率和聚束器的改进设计作了简要的描述.目前,系统正在安装中.

**关键词** 轴向注入 束流光学 聚束器

## 1 引言

随着放射性束流物理实验研究的发展和兰州重离子加速器冷却贮存环(HIRFL-CSR)的建成,对HIRFL的注入器SFC的束流和束流种类提出了更高的要求.为了满足这些要求,HIRFL在研制产生大束流态的超导ECR离子源的同时,重新设计了一个新的SFC的轴向注入系统.这个新系统在总结了原来系统的运行经验的基础上,不仅保留了原有系统的所有功能<sup>[1]</sup>,并且在横向聚焦和纵向聚束两方面都做了一些改进.

## 2 系统的布局和束流光学计算

图1是新的轴向注入系统的布局图.右边部分用于常规14.5GHz的ECR源.左边部分将用于超导ECR源.由于系统正在进一步优化,这里暂未给出.束流从ECR源引出后,先经过两个GLASSER透镜G1和G2聚焦后,在三光栏的中间光栏处形成一个半径为6mm的圆形光斑,作为紧随其后的电荷态分析器的物点.电荷态分析器由一个具有入口极面转动角、偏转半径为500mm、偏转角为90°的2极铁B1和1个四极透镜Q1组成.这台90°的2极铁是1台双90°的2极铁.它的出口未采用极面转动角,而是用四极透镜Q1

来代替,目的是增加从右边的超导ECR源来的束流与共同竖直段匹配的灵活性.经过电荷分析后的单一电荷态的束流由4台四极透镜(Q2, Q3, Q4和Q5)和在SFC磁轭孔中的3台螺线管透镜(S1, S2和S3)以及螺旋静电偏转器匹配传输到SFC的中心区,进入加速轨道.束流的纵向匹配由丝网型线性聚束器B1或B2来完成.考虑到SFC主磁铁造成的强杂散场对低能束流的影响,束流线还配置了5台校正磁铁,以保证束流的中心化.为了满足物理实验和CSR注入的要求,在Q1之后安装了一台斩波器.与现在正在使用的系统相比,

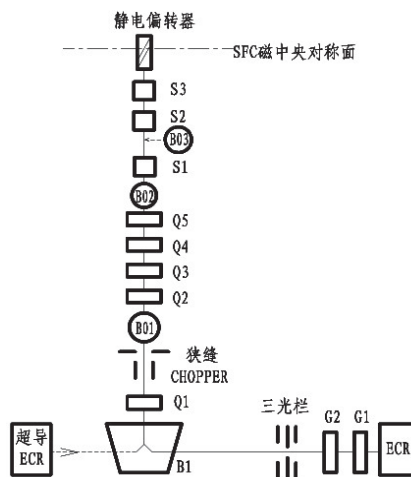


图1 轴向注入线布局图

新系统布局简单,使用元件少,易于调试和运行.另外,三光栏的使用,既可以按照SFC的需要限制发射度,又可以把离子源引出束流的不确定性与光栏后的系统隔离开来.这些不确定性包括发射度大小的变化和强的空间电荷效应引起的发射度的非线性畸变.

束流光学计算是用TRACE-3D程序完成的.初始束流的非规一化发射度在水平和垂直方向都是180mmrad.图2是束流的包络图.电荷态分析器的动量分辨率是1/161,即具有好于1/80的电荷态分辨率.

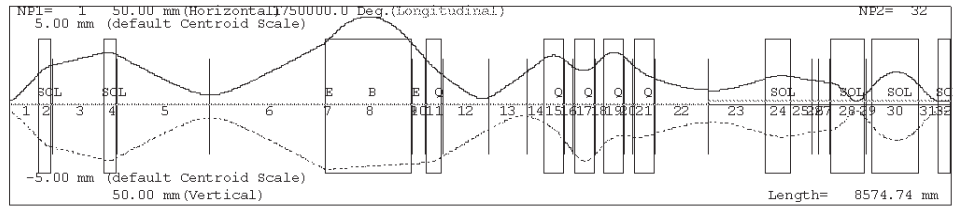


图2 新系统束流包络图

### 3 注入线纵向匹配的设计计算

按照新的注入线的总体设计,新系统不仅要实现1次谐波和3次谐波的良好聚束,而且要尽可能改善半频聚束的聚束效率.新设计的系统仍设置2台聚束器,其位置示于图1. B01和B02到SFC中心平面的距离分别是4.4m和2.35m.

纵向匹配的好坏不仅影响SFC的引出效率和束流强度,而且影响SFC引出束流纵向品质.根据SFC的纵向接收度计算和机器的实际调试经验分析,SFC的纵向接收范围可以达到 $\Delta\phi \times \Delta\omega/\omega \geq \pm 30^\circ \times 0.5\%$ (其中 $\Delta\omega/\omega$ 为能量分散).为了适应未来相位限制狭缝对注入相位的限制要求,以下的聚束效率计算中,纵向接收度限制在 $\pm 10^\circ \times 0.3\%$ 以内.以下计算中1次谐波和半频聚束以 $O_{16}^{6+}$ ( $V_{\text{ECR}}=23.4\text{kV}$ )为典型离子,3次谐波以 $\text{Ar}_{40}^{8+}$ ( $V_{\text{ECR}}=18.69\text{kV}$ )为典型离子. $V_{\text{ECR}}$ 是ECR源的引出电压.表1,表2和表3依次为不同束流强度的1次谐波,3次谐波和半频聚束的聚束效率和聚束器电压的计算结果.(注:电压是相对于参考离子所处的0电位,0电位两旁的线性区域占整个周期的80%.下同).半频聚束用于注如器SFC运行在1次谐波和主加速器SSC运行在3次谐波的联合运行情况下.所谓半频指的是聚束器的频率是SSC的频率的1/2.

根据以上计算结果所选择的锯齿波聚束器B01和B02的参数为:频率范围:2.7—16.5MH,电压:2.2kV.

表1 1次谐波聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	50	100	200	300
效率(%)	57*	71	70	41
VB02/V	1180	1240	1420	1600

当 $\Delta\omega/\omega$ 增大至0.4%时效率可达70%(下同).

表2 3次谐波聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	20	50	100
效率(%)	72	72	73
VB02	1050	1100	1230

表3 半频聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	50	100	150	200
效率(%)	71	62	30	21
VB01/V	1350	1460	1500	1550

### 4 一个新的聚束方案

第3章给出的纵向设计,存在着聚束器电压偏高,聚束器效率偏低等明显的缺点.另外,丝网型聚束器的丝网会阻拦束流,同时使用两台这样的聚束器会明显的影响束流传输效率.为了克服这些缺点,设计计算了一个新的改进方案.新方案去掉了B02,保留了B01,在塞柱里的S1和S2之间放置一个正弦波聚束器B03,与B01联合聚束.B03到SFC中心平面的距离是1.35m.表4,表5和表6依次为不同束流强度的1次谐波,3次谐波和半频聚束的聚束效率和聚束器电压的计算结果.

表4 1次谐波聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	50	100	200
效率(%)	75	78	72
VB01/V(锯)	550	730	650
VB03(正弦波)	650	1050	1800

表5 3次谐波聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	20	50	100	150
效率(%)	82	78	73	70
VB01/V(锯)	210	150	145	155
VB02(正弦波)	380	550	680	850

表 6 半频聚束的效率及电压

$I/\mu\text{A}$	50	100	200
效率 (%)	71	69	67
VB02/V (锯)	1350	1200	1250
VB02 (正弦波)	0	800	1100

正弦波聚束器参数:

类型: 具有漂移管的双隙腔

频率范围: 5.6—18MH

电压:  $V_m=1500\text{V}$ .

锯齿波聚束器

A) 频率2.7—9.5MH, 电压1400V

B) 频率5—16.5MH, 电压500V

从以上的结果可以看出, 这一新的设计具有聚束器电压低, 聚束效率高和减少丝网拦截束流等优点. 但由于它要放置在磁轭孔洞中的有限空间中, 还需进行设计试验.

## 5 纵向匹配的进一步改进

为了进一步改进纵向匹配效率, 还需在物理设计和聚束器设计方面做一些细致的工作. 特别是在聚束器设计上, 除了上述的小型正弦波双隙腔聚束器的研制外, 对于丝网型线性聚束器用 MAFIA 程序计算电位分布, 来优化电极结构, 再通过粒子跟踪计算聚束效率的工作也已开始进行.

## 6 结束语

本文给出了 SFC 的新的轴向注入系统的布局结构和束流光学的计算结果. 这个新系统不仅在横向和纵向光学上做了一些改进, 而且结构简单, 易于运行. 文中第 4 章提出的新的聚束方案可望进一步提高纵向匹配效率. 为此, 小型正弦波双隙腔聚束器的研制和丝网型线性聚束器的电极优化工作正在进行中.

## 参考文献(References)

1 TANG Jing-Yu. Nucl. Phys. Rev., 1997, 14(2): 79 (in Chi-

nese)

(唐靖宇. 原子核物理评论, 1997, 14(2): 79)

# A New Axial Injection Beam Line of the SFC

YIN Quan-Min SONG Ming-Tao ZHANG Jin-Quan ZHAO Hong-Wei

(Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** A new axial beam injection system is designed and being constructed at the HIRFL. It consists of 2 GLASSER lenses, 1 dipole, 5 quadrupoles and 3 solenoids. There are two beam line branches for 14.5GHz ECR ion source and 18.5GHz super conducting ECR ion source. Both transverse and longitudinal beam optics are improved in contrast with the old one. The layout, beam optics calculation results and further improved design are given.

**Key words** axial injection, beam optics, buncher