

ECR-SFC轴向注入系统聚束器效率的研究

张金泉¹⁾ 李智慧 宋明涛 尹全民 赵红卫

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 为了减少目前SFC轴向注入系统中聚束器杂散电场对束流轴向注入效率的影响,提高新系统中SFC的束流俘获效率,参考原始设计,对目前聚束器的电极结构进行了设计改进.两种情况下的聚束器杂散场对注入效率影响的计算表明,改进后0B02的聚束效率较目前有较大提高.同时计算了束流空间电荷效应对聚束效率的影响,据此对新SFC轴向注入系统中聚束器的位置进行了重新调整.

关键词 聚束器 轴向注入 空间电荷效应

1 引言

原有的SFC轴向注入系统包含两台线型聚束器0B01和0B02^[1-3].0B01为双间隙漂移管聚束器,距SFC中心5.4m,0B02为单间隙网状聚束器,距SFC中心平面2.3m,其仅用于SFC在三次谐波加速模式或二次聚束.但后来0B01因各元器件老化,故障增多被拆除,故0B02为目前的SFC轴向注入系统正在使用的仅有的一台聚束器.从实际调束情况看,它有效地提高了束流的利用效率,使SFC的束流俘获效率从10%左右提高到30%以上;但由于0B01的拆除、聚束器本身杂散场、束流空间电荷效应、螺旋反射镜等多种因素的影响,该效率仅为理想聚束效率(SFC的纵向俘获效率)的一半(0B02的理想聚束效率为70%).

在新的SFC轴向注入系统的投入使用后,为了尽可能地提高SFC的纵向束流俘获效率,对0B02聚束器电极结构做了分析计算,在此基础上进行了改进设计,以减少聚束器本身的杂散电场对聚束器效率的影响.同时,分析计算了束流的空间电荷效应对聚束器效率的影响,根据模拟结果,把聚束器位置由原来的2.3m调整到4m,并在距SFC中心平面1m处增加了一台新的小型正弦波聚束器,以控制聚束后的束流在SFC靠近中心平面时的纵向空间电荷的反聚束作用.

2 聚束器0B02电极结构的改进

2.1 聚束器0B02分析

0B02聚束器作为目前SFC轴向注入系统仅有的调节束流纵向运动的装置,对SFC的束流纵向俘获效率的提高发挥着重要作用;但随着SFC对束流强度要求的不断提高及新SFC轴向注入系统的投入使用,如何改善其在新系统中的聚束效率已是一个日益突出的问题.

为了提高SFC的束流强度,在新的轴向注入系统中,对目前的0B02结构及位置进行了进一步的探讨:(1)目前0B02聚束器的纵向距离较短,电极产生的杂散场比较集中.(2)在0B02原始设计中带有长为44mm的带网孔的柱状屏蔽电极^[2],但在实际运行中被去掉,导致现行0B02电极结构屏蔽段短,高电场区过于靠近电极.这相当于增加了束流通过聚束器杂散电场的渡越时间因子,加强了杂散电场对束流的不利影响.

2.2 0B02电极的改进设计

为了减弱聚束器杂散电场的影响,提高SFC基波的纵向俘获效率,在参考原有设计^[2]的基础上,对目前的0B02聚束器的电极结构做了改进设计^[4],在增加了聚束器纵向距离及恢复原有屏蔽电极设计的同时,

2005-11-04 收稿

1) E-mail: Jinquan_Zhang@impcas.ac.cn

考虑到聚束器的纵向尺寸与其横向尺寸的比例对其杂散电场的影响, 对其屏蔽电极的纵向及横向尺寸进行了适当调整. 并对改进前后聚束器的杂散电场进行了

模拟计算. 表 1 是改进后的聚束器 0B02 及计算离子的参数. 图 1 分别是改进前后聚束器电极结构及电势分布图.

表 1 改进后的线型聚束器 0B02 及离子参数

离子种类	SFC 接受度 $\Delta\Phi(^{\circ}), \Delta W/W$	聚束器长度/cm	聚束器宽度/cm	聚束器电极长度/cm	屏蔽电极长度/cm	聚束器间隙/mm
$Ar_{40}^{11+} (h_{SFC}=1)$	20, 0.04	20	22	18	8.6	6
$Xe_{129}^{27+} (h_{SFC}=3)$	10, 0.04					

电场计算结果表明, 聚束器电极改进以后其杂散电场的分布有了明显改善, 其峰值也较改进前减小很多, 纵向杂散电场的峰值减小了 36% 左右, 横向杂散电场的 ($r=0mm$) 峰值减小了 50% 以上.

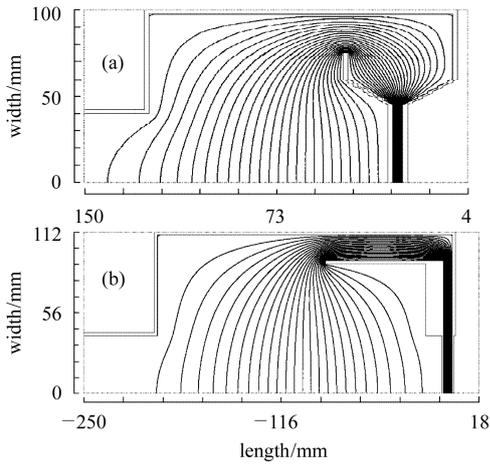


图 1 0B02 聚束器目前的(a)及新的(b)电极结构及电势分布

2.3 杂散电场对束流纵向运动的影响

由于聚束器纵向杂散电场对聚束器的聚束效率存在直接的影响, 因此, 在得到了 0B02 电极改进前后的电场以后, 对其束流的纵向能散、SFC 束流俘获效率等的影响进行了较为详细的计算和分析. 图 2, 3 分别是聚束器杂散电场对电压波形及束流能散的影响. 图 4 是考虑空间电荷效应及聚束器杂散电场时的聚束器效率.

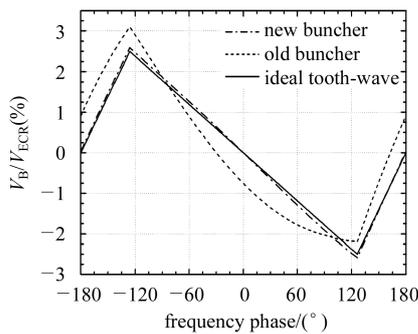


图 2 聚束器杂散电场对电压波形的影响

计算结果表明, 改进后由聚束器纵向杂散场引起

的束流能散有了明显降低, 其轴向离子的纵向能散由改进前的 1.53% 减小到 0.24%. 同时, SFC 的俘获效率也有了显著提高, 不考虑空间电荷效应, SFC 在基波时束流的俘获效率由目前的最大 55% 提高到了最大 74%; SFC 为 3 次谐波时小流强的俘获效率也比目前有较大提高, 但与原设计 (带屏蔽电极) 相比, 因其位置发生变化, 在高流强时 SFC 的俘获效率有所降低 (通过与距 SFC 中心平面 1m 处的正弦波聚束器联合聚束, 可以提高高流强情况下 SFC 在基波和 3 次谐波加速时的纵向俘获效率). 对偏离轴线进入聚束器的束流, 聚束器杂散场在其能散、聚束效率及中心相位方面的影响比目前有明显减小, 较大地提高了束流的利用效率.

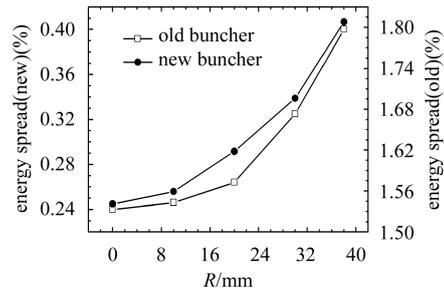


图 3 聚束器杂散电场对束流能散的影响, R 为束流进入聚束器的横向位置.

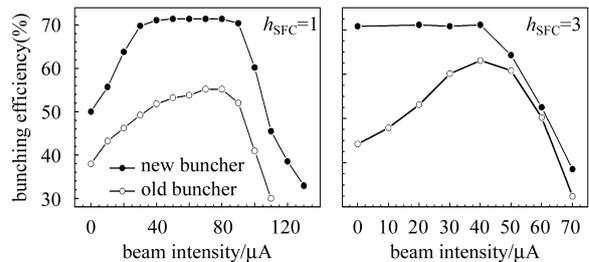


图 4 考虑空间电荷效应的聚束器效率, 0B02 距 SFC 中心平面 4m.

2.4 杂散电场对束流横向运动的影响

束流通过聚束器时, 聚束器杂散电场对束流有横向的散焦作用, 因此, 在考虑纵向的同时也计算了其束流横向的影响.

计算表明,在聚束器电极改进后,聚束器杂散电场对束流横向的影响在能散和位置方面均有所减小,但由于改进前其影响本来就非常微小(能量影响约0.01%),可以不予考虑.

3 空间电荷效应对聚束器效率的影响

SFC轴向注入系统传输的束流是来自ECR源的低能重离子束(C—U),由于不同磁刚度的重离子束流的强度从十几个离子微安到几百个离子微安不等,而且许多束流流强超过 $50\mu\text{A}$,因此,为了减小束流的空间电荷的反聚束影响,进一步提高SFC的俘获效率,对不同流强时低能束的空间电荷效应对聚束器效率的影响做了模拟计算(未考虑聚束器杂散场的影响).图5是不同漂移距离时流强对效率的影响($h_{\text{SFC}}=1$).

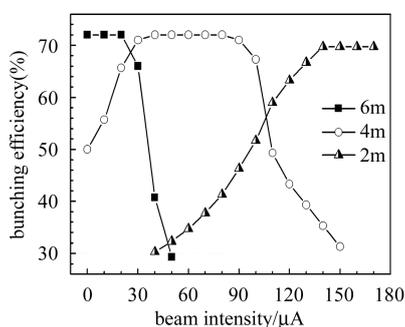


图5 不同漂移距离时流强对效率的影响

模拟结果表明,在聚束器距SFC中心平面较远时(如6m),SFC对弱流束的纵向俘获效率可达70%以上,但强流束因空间电荷的反聚束力加强,使得束流相宽超出SFC接受相宽(20°)而损失,使俘获效率很快减小.在聚束器距SFC中心平面较近时(如2m),SFC对强流束的纵向俘获效率同样可达70%以上,但弱流束因能散超出了SFC的能散接受度,造成了部分束流的损失.

为了尽可能地减小损失,提高SFC的俘获效率,在新近设计的SFC轴向注入系统的设计中,将线型聚束器的位置由原来的距SFC中心平面2.3m移至4m处,并计划在距SFC中心平面1m处另加一台小型正弦波聚束器(经初步研究认为,该方案具有一定的可行性,目前高频人员就技术方面的一些问题正在进一步研究),用于控制强流束在接近SFC中心平面处急剧增强的纵向空间电荷效应(计算中未考虑束流在磁元件及漂移空间中传输时裹挟电子的反空间电荷作用).图6为加正弦波聚束器前后聚束效率的对比结果(计算中设定正弦波聚束器最大电压不超过600V,且

未考虑聚束器杂散场的影响, $h_{\text{SFC}}=1$).

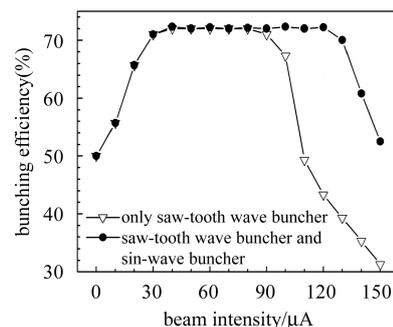


图6 正弦波聚束器对聚束效率的影响

由图6可以看出,正弦波聚束器的投入使SFC的纵向俘获效率在束流较强时有了明显的提高,在聚束电压不超过600V的条件下,对流强在100— $150\mu\text{A}$ 之间的束流,SFC的平均俘获效率可以提高40%左右.进一步的计算表明,如果提高正弦波聚束器的电压上限,当束流流强达到 $150\mu\text{A}$ 时,其聚束效率仍可达70%以上.因此,可以说正弦波聚束器的投入可以有效地控制强束流在SFC中心平面附近较强的空间电荷作用,提高SFC的纵向俘获效率.

4 结论

0B02聚束器作为新ECR-SFC轴向注入系统中调制束流纵向运动的装置,其效率的高低对SFC的纵向束流俘获效率起着决定作用.为了提高目前SFC的纵向离子俘获效率,对SFC轴向注入系统中现有聚束器0B02的电极结构在恢复原有屏蔽电极设计的同时进行了适当调整,并对目前及改进后0B02的杂散电场以及束流的空间电荷效应对聚束效率的影响进行了理论模拟计算.

计算表明,聚束器0B02的杂散场较改进前有明显减小,纵向杂散电场的峰值减小了36%左右,横向杂散电场的($r=0\text{mm}$)峰值减小了50%以上.其次,聚束器纵向杂散电场对束流能散影响也有较大减小,由目前的1.53%减至0.24%.对偏离轴线进入聚束器的束流,聚束器杂散场对其能散、聚束效率及中心相位方面的影响也明显减小.

由空间电荷效应引起的束流损失,通过重新安排聚束器在新的轴向注入系统中的位置,以及增加一台小型正弦波聚束器来控制较强的束流在接近SFC中心平面时急剧增强的纵向空间电荷效应,减小了束流空间电荷作用对已聚束束流的纵向影响,与目前SFC的纵向束流俘获效率相比有较大提高.

参考文献(References)

- 1 TANG J Y, LEI W, WANG Y F. A New Buncher System for SFC. 14th International Conference on Cyclotrons and their Applications. Faure: South Africa, 1995. 265—268
- 2 TANG J Y, JIANG J Z, SHI A M et al. Nuclear Techniques, 2000, **23**(7): 475—478(in Chinese)
(唐靖宇, 蒋君章, 石爱民等. 核技术, 2000, **23**(7): 475—478)
- 3 TANG J Y, JIANG J Z, SHI A M et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2000, **A455**: 533—538
- 4 Chabert A et al. Nucl. Instrum. Methods. in Phys. Res., 1999, **A423**: 7—15

Study of Buncher Efficiency in Axial Injection System of SFC

ZHANG Jin-Quan¹⁾ LI Zhi-Hui SONG Ming-Tao YIN Quan-Min ZHAO Hong-Wei

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract In order to reduce the influence of the stray electric field of the buncher in the axial injection system of SFC and to improve the injection efficiency of SFC, the existing buncher electrode is investigated and a new electrode is designed. The influences of the electric field to the beams for the both cases are simulated. The simulation results show that the bunching efficiency is improved from 55% to 74% with the new electrode. At the same time, the influence of the space charge is computed and according to the results, the location of the buncher is readjusted too.

Key words buncher, axial injection, space charge influence