

SFC和SSC的束流匹配*

王义芳¹⁾

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 描述了兰州重离子加速器中两台等时性回旋加速器的匹配现状,提出了几种可达到100%匹配效率的方法并进行了比较,得到了最佳方案.并叙述了该方案其他的优越性.

关键词 等时性回旋加速器 高频 谐波数 匹配

1 引言

兰州重离子加速器-冷却储存环(HIRFL-CSR)是一台加速器组合系统,由两台等时性回旋加速器(SFC和SSC)、一台同步加速器(CSRm)和一台实验环(CSRc)组成(图1).从ECR离子源出来的各种重离子束经过SFC加速,或经过SFC,SSC两级加速,输送

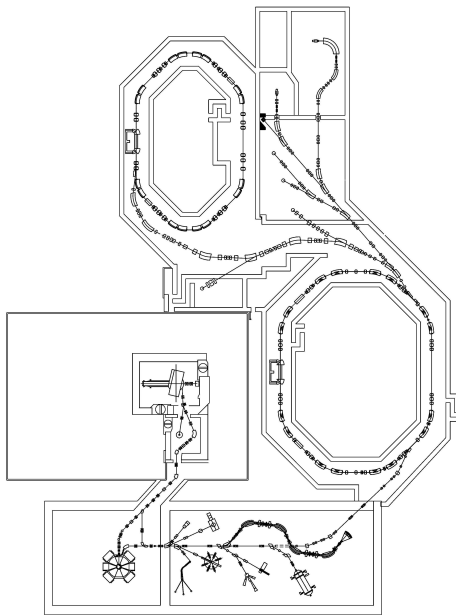


图1 HIRFL-CSR示意图

到CSRm进行再一次加速,使较轻的重离子如C, N, O等,能量可达到1000MeV/u,而重的重离子如Pb, U等,能量也可达到400MeV/u; CSRc是核物理实验

环,称做兰州谱仪.由两台等时性回旋加速器组成的HIRFL系统已经运行了近20年了,而CSR系统目前正在调试中,业已得到了1000MeV/u的C离子束.由于核物理研究,特别是利用高能重离子束进行放射性束物理研究都需要使用较大流强的高能重离子束,因此,如何提高束流在加速过程和输运过程中的效率就是一个必须解决的问题.本文就两台等时性回旋加速器之间存在的匹配问题提出新的匹配方法,为束流流强的提高提供一个途径.

2 目前的状态

第一台回旋加速器SFC的引出半径为0.75m,第二台回旋加速器的注入半径为1m. SFC和SSC的高频频率范围分别为5.5—16.5MHz和6.5—14MHz.从表1中可见,两回旋加速器之间的匹配可以分为4种情况.

表1 目前两台回旋加速器之间的匹配关系

$H1/H2$	1/2	3/2	3/4	3/6
$E_{SFC}/(\text{MeV}/u)$	8.47-3.58	3.50-2.53	2.44-0.58	0.48
F_{SFC}/MHz	8.52-5.57	16.5-14.0	13.8-6.72	6.14
$E_{SSC}/(\text{MeV}/u)$	100-39	38-27	26-6	5
F_{SSC}/MHz	12.8-8.35	8.25-7.0	13.8-6.72	9.21

两回旋加速器的谐波数 H (H 为回旋加速器中高频频率和粒子回旋频率的比值)的比值 $H_{SFC}/H_{SSC}=1/2, 3/2, 3/4$ 和 $3/6$,覆盖了从SSC可以引出的5—100MeV/u能量的不同粒子.其中 $H_{SFC}/H_{SSC}=3/4$ 时的匹配效率为100%,即从SFC引出的束流都能被SSC继续加速.而其他3种情况的匹配效率只有50%²⁾,也就是说从SFC引出的相邻的两

2008-01-07 收稿

* 兰州重离子加速器国家实验室资助

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

2) 王义芳. 兰州重离子研究装置进展报告(内部报告), 第5卷, 1986. 70

团束流, 只有一团可以被SSC加速, 而另一团则在SSC被减速而损失掉. 换言之, 在SSC可以加速的能量范围内, 约78%的能量范围的束流因为匹配不合适损失一半, 这严重地制约了束流效率的增加.

3 改进的考虑

3.1 重新设计加工SFC, 使其引出半径为1m

第一台回旋加速器的引出半径与第二台回旋加速器的注入半径相等应该是容易达到最佳匹配的. 所以我们首先考虑了SFC的引出半径为1m的情况. 计算表明, 在两台加速器联合运行所要求的能量范围内, 即5MeV/u到100MeV/u, 两加速器之间100%的匹配是可以实现的. 如表2—5所示, 它又有4种可能性.

从表2可见, 可以有3种谐波匹配形式, SSC的频率不需要改变, 但是SFC的频率范围下移到4.5至13MHz.

表 2

$H1/H2$	1/2	3/3	3/6
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-4.53	3.67-1.89	0.96
F_{SFC}/MHz	6.39-4.69	12.68-9.10	6.49
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-80	40-20	10
F_{SSC}/MHz	12.78-9.38	12.68-9.10	12.98

表3给出了另一种匹配方式, SFC和SSC的频率范围都在目前的范围内, 但由于SFC有时需要用2次谐波加速, 所以必须做成双Dee盒, 并配有两台发射机.

表 3

$H1/H2$	1/2	2/2	3/3	3/6
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-6.96	6.17-4.53	3.67-1.9	0.96
F_{SFC}/MHz	6.39-5.80	10.9-9.38	12.7-9.1	6.49
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-80	70-50	40-20	10
F_{SSC}/MHz	12.8-11.6	10.9-9.38	12.7-9.1	13.0

表4给出了第3种匹配方式, SFC的频率范围和目前的相同, SSC的频率范围为9到16.5MHz, 超过了目前6.5到14MHz的范围, 所以SSC的高频系统也要重做.

表 4

$H1/H2$	1/2	3/3	3/6
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-6.96	6.17-1.89	0.96
F_{SFC}/MHz	6.39-5.80	16.39-9.10	6.49
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-80	70-20	10
F_{SSC}/MHz	12.8-11.60	16.39-9.10	12.98

表5给出了第4种匹配方式, SFC和SSC的高频范围都与目前的不符. SFC要做一台频率为4.5到13MHz的新单Dee和发射机, SSC重新加工频率范围为9到16.5MHz的高频系统.

比较以上这4种匹配方式, 首先第3, 第4两种是不可取的. 因为不但SFC要重新研制, SSC的高频系

统也要重新设计加工. 无论时间和资金的花费都是不合算的. 第一种方式由于频率的低端为4.5MHz, 比现有的频率下限还要低1MHz, 所以其高频腔长度比现在的还要长1.5m, 达到约6.6m左右. 虽然看起来比较简单, 但由于频率范围的改变, 与SFC相关的ECR源束线上的小聚束器、SFC和SSC之间的聚束器NB1和NB2也都需要重新研制, 从经费、时间上都是巨大的花费. 第二种方式SFC的高频腔要做成双Dee盒, 并配有两台发射机, 在以上4种方法中应该是最优的.

表 5

$H1/H2$	1/2	1/3	3/3	3/6
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-6.96	6.17-4.53	3.67-1.9	0.96
F_{SFC}/MHz	6.39-5.80	5.46-4.69	12.7-9.1	6.49
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-80	70-50	40-20	10
F_{SSC}/MHz	12.8-11.6	16.4-14.1	12.7-9.10	12.98

3.2 研制SSC新的高频系统

两回旋加速器之间达到100%的匹配方法, 还可以使用仅改变SSC的高频范围来实现. 此时, SFC的任何参数都不需要改变.

表6给出了一套匹配参数, 在整个能量范围内只有两种谐波匹配方法, 非常简单. SSC的频率范围为6.5到26MHz. 其频率范围跨度较大, 研制较困难.

表 6

$H1/H2$	1/4	3/4
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-3.33	3.33-0.58
F_{SFC}/MHz	8.52-5.5	16.5-6.72
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-38	38-6
F_{SSC}/MHz	25.56-16.5	16.5-6.72

表7给出了第二套匹配参数, 谐波匹配方法比上一套复杂一点, 但SSC的频率范围为12到26MHz, 频率范围跨度减少了许多, 低端频率的减少也有利于高频Q值的提高, 优于上一方式.

表 7

$H1/H2$	1/4	3/4	3/8
$E_{SFC}/(\text{MeV/u})$	8.47-3.33	3.33-1.89	2.07-0.48
F_{SFC}/MHz	8.52-5.5	16.5-12.14	12.71-6.14
$E_{SSC}/(\text{MeV/u})$	100-38	38-20	22-5
F_{SSC}/MHz	25.56-16.5	16.5-12.14	25.42-12.28

4 讨论

对3.1和3.2中的两个较好方式进行比较. 3.1要重新研制引出半径为1m的新SFC, 包括高频系统在内的所有设备都要重新设计、加工、调试. 从经费、时间上都是巨大的花费. 而3.2中的方式仅仅对SSC的高频系统进行研制, 新高频系统的频率范围在12到26MHz, 也能满足SSC在与另一注入器(PDC)匹配时

所需的14MHz的要求. 在离线研制好新的高频系统后再对SSC进行改造, 所需的时间也不会太长. 相对来说, 经费、时间都会节省一些.

在SSC中的有效加速电压满足关系式

$$V_{\text{eff}} = 4q/m(V_{\text{dee}} \sin(h \cdot \alpha/2)),$$

其中 q/m 为被加速离子的荷质比, V_{dee} 为高频加速电压幅值, h 为谐波数, α 为高频腔体加速缝之间的夹角, 对于我们的SSC来说, $\alpha=30^\circ$. 从表1可见, 现在的SSC, 在很宽的能量范围内使用了2次谐波, 即 $h=2$. 因此, $\sin(h \cdot \alpha/2)=0.5$, 这就导致有效加速电压降低了一半, 非常不利于离子束的注入、引出和加速, 也就是说, 束流损失很厉害. 从表7可见, 在新的匹配中, SSC

的高频谐波数为4和8两种情况, $\sin(h \cdot \alpha/2)=0.867$, 相对于 $h=2$ 的情况, 有效加速电压幅度增加了约0.73倍. 这对于提高束流效率是非常有益的. 日本RIKEN的RRC所使用的5, 9, 10, 11的谐波数就非常有利于有效加速电压的提高^[1].

新方案的频率范围为12到26MHz, 取代了现在的6.5到14MHz, 而该类高频腔的 Q 值是随着频率的提高而增加. 即频率越高, 加速电压的幅度越高, 这对于SSC是至关重要的.

另外, 如果在研制SSC新高频系统的时候, 同时考虑研制一台平顶腔, 其高频频率是SSC高频频率的5倍频, 这将大大改善SSC的束流品质和引出效率, 是很值得做的事.

参考文献(References)

1 Fujitsuwa T, Ogiwara K, Kohara S et al. NIM in Physics

Research A, 1990. 1—11

Beam Matching Between SFC and SSC^{*}

WANG Yi-Fang¹⁾

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

Abstract The beam matching status between the two isochronous cyclotrons in the Heavy Ion Research Facility at the Lanzhou-Cooling Storage Ring (HIRFL-CSR) is described. Several methods which can be used to accomplish 100% matching are proposed. By comparing of them, the best method is determined. The advantage due to this method is discussed.

Key words isochronous cyclotron, RF, harmonic number, matching

Received 7 January 2008

* Supported by Heavy Ion Research Facility at Lanzhou (HIRFL)

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