

## 兰州重离子加速器冷却贮存环的初步设想

夏佳文 饶亦农 原有进

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 重离子冷却贮存环(CSR)设想是用于完善兰州重离子研究装置(HIRFL)的一项新计划。该环周长 141m, 布局采用具有两个较长直线节的六重对称形式, 是一个既加速, 又冷却贮存的多功能环, 可将荷质比为 1/2 的轻重离子和荷质比为 1/3 的重离子分别加速到 1GeV/u 和 500MeV/u 左右, 并采用 HIRFL 原有的两个回旋加速器 SFC( $K=69$ )和 SSC( $K=450$ )分别作注入器。CSR 的主要目的是为开展物理实验的一些新领域提供高品质的重离子束。

**关键词** 冷却贮存环(CSR), 设想, 重离子。

### 1 引言

HIRFL 自 1988 年出束以来, 已为核物理、核化学、原子物理、及其它应用学科的研究提供了不同品种的重离子束, 并取得了一些较大的成果。现在, HIRFL 已进入改进提高的正常运行阶段, 将会为更多领域的研究提供更多的束流。但是, 随着物理学的发展, 物理学家们越来越对加速器束流的品质、能量和种类有更高的要求, 以开展更深、更广范围和更高水平的物理实验。因此, HIRFL 在这种形式下必须发展。现在, 在 HIRFL 的基础上拟建一个重离子冷却贮存环(CSR), 用来完善 HIRFL 重离子加速器系统, 以提供更高能量的高分辨的重离子束, 以及用它产生的放射性奇异核束流, 并且对这些束流进行一定时间的贮存, 以开展内靶实验或外靶实验。将来, HIRFL 在具备冷却环的情况下, 将在以下几个方面开展核物理及其应用物理的研究:(1)极端条件下核物质性质研究;(2)极端条件下原子核性质和原子核结构研究;(3)扩大原子核领域——合成远离核和超重核;(4)天体核物理学的拓广;(5)原子物理学和材料科学的研究。

总之, CSR 计划实施后, HIRFL 将会是一个更完善的逐级加速器系统。它将大大增强 NLHIAL 的基础物理研究能力, 拓宽基础研究领域。HIRFL 各级系统所能开展的物理领域工作见本期 3 页图 2。

### 2 CSR 设想概述

HIRFL 现有两个回旋加速器:一个是主加速器 SSC(分离扇回旋加速器,  $K=450$ ), 平均引出半径为  $R_{SSC}=3.207\text{m}$ ; 另一个是 SSC 的注入器 SFC(螺旋扇聚焦回旋加速器,  $K=69$ ), 平均引出半径  $0.75\text{m}$ 。HIRFL+CSR 拟用 SSC 和 SFC 分别作注入器。因为对于轻重离子束 ( $Z \leq 10$ ), 从 SFC 出来经过电荷剥离膜时, 所具有的能量就足以使粒子达到全剥离, 而不需要经过 SSC 的中间加速, 可直接注入冷却贮存环 CSR, 继续加速到高能量, 并且注入流强较强, 在  $10^{11} \sim 10^{12} \text{ pps}$  量级; 相反, 对于重离子束 ( $Z > 10$ ), 从 SFC 出来后还达不到全剥离的能量, 必须经过 SSC 的中间加速才能达到全剥离 ( $Z \leq 36$ ) 或达到高电荷态剥离 ( $Z \geq 36$ ), 这样才能注入进 CSR 以便加速到更高的能量。SSC 的注入流强较弱, 在  $10^9 \sim 10^{10} \text{ pps}$  量级。

既然 CSR 采用 SFC 和 SSC 分别作注入器, 那么 CSR 必须既要和 SFC 匹配, 又要与 SSC 匹配。即 CSR 的平均半径  $R_{CSR}$  必须既是 SFC 平均引出半径  $R_{SFC}$  的整倍数又是 SSC 平均引出半径  $R_{SSC}$  的整倍数。因为整倍数的关系才能得到较高的注入效率。

另外, 根据物理实验的需要, 要求 CSR 将 HIRFL 的重离子束加速到高能量范围:即, 对于轻重离子 ( $Z \leq 10$ ) 和重离子 ( $Z > 10$ ) 分别

加速到  $1.0 \text{ GeV/u}$  和  $500 \text{ MeV/u}$  左右。因此 CSR 的规模确定如下：

$$\begin{aligned} R_{CSR} &= R_{SSC}(3.207m) \times 7 \\ &= R_{SPC}(0.7483m) \times 30 = 22.449m \end{aligned}$$

周长:  $C = 141.051m$

CSR 主要是为 HIRFL 未来的物理实验需要而设计的, 因此 CSR 的性质是一个实验环。除了具有加速功能外, 其主要目的还要贮存冷却的重离子束。因此, 环的结构必须具有充分长的直线节以安放冷却设备和实验内靶设备。最后, 参考 COSY 的布局<sup>[1]</sup>, CSR 采用具有六重对称并中间插入两个较长望远镜直线节的布局形式, 如图 1 所示。

CSR 的束流累积将采用多圈注入与射频堆积相结合的方法; 束流冷却技术将采用电子冷却与随机冷却两种方法。环的基本运行模式为冷却环模式和同步加速器模式, 并以此来达到加速和冷却贮存重离子束的目的, 为许多物理领域以开展高流强, 高亮度, 高分辨的内靶实验和外靶实验提供束流。

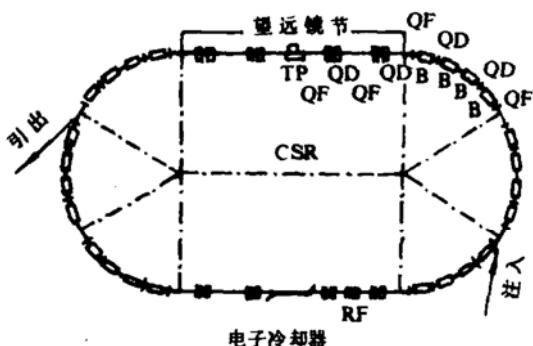


图 1 HIRFL-CSR 布局图

### 3 CSR 磁聚焦结构

CSR 弧线段中每个单元为反对称结构, 磁铁结构为 FBDBOBDBF。单元的对称中心段是一段长为  $0.9687m$  的自由空间。这个空间用以安放随机冷却设备或束诊元件以及校正元件。每两个单元之间有  $2.4m$  长的漂移空间,

这个空间用来安置注入、引出和或随机冷却的设备。弧线段的  $\beta$  曲线及色散分布如图 2 所示。图中结果是用“MAD”程序<sup>[2]</sup>计算的。

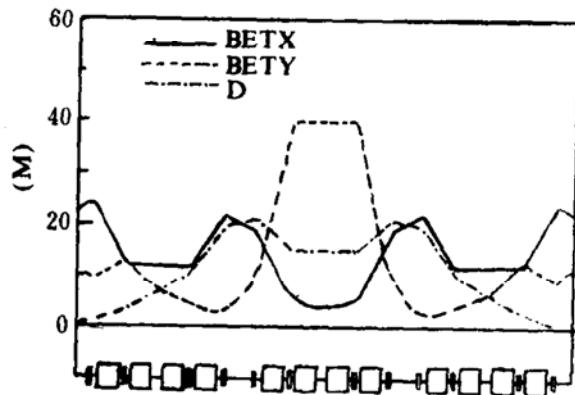


图 2 CSR 弧线段  $\beta$  曲线及色散分布

CSR 的长直线插入段为两个完全相同的望远镜系统, 相移为  $\pi$ 。在每个望远镜系统里有用来安放实验内靶设备或电子冷却设备的长为  $7.7m$  的长漂移段; 另外还有 2 个长为  $4.25m$  的漂移空间用以安放内靶, 高频腔或随机冷却设备。望远镜系统的  $\beta$  曲线如图 3 所示。

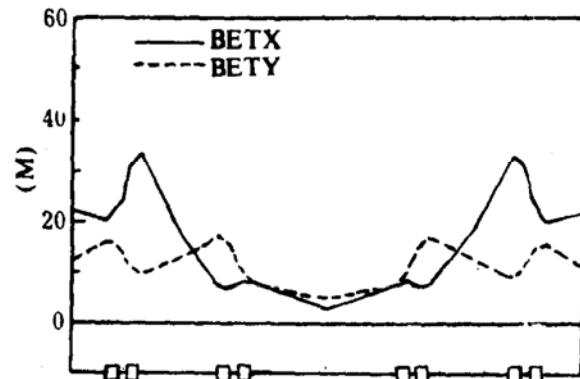


图 3 CSR 望远镜系统的  $\beta$  曲线

### 4 CSR 的主要参数

根据 CSR 磁聚焦结构的初步计算, 现列出 CSR 的一些主要参数。其中表 1 给出包括 CSR 环的主参数、布局参数和磁铁(二极铁, 四

极铁)参数;表2和表3分别列出CSR的twiss参数及CSR的高频和真空参数;表4为CSR的注入束流参数。

表1 CSR 基本参数

主参数:	
周长	141.051m
平均半径	22.449m
最高能量	$1.2\text{GeV}(\frac{Z}{A}=\frac{1}{2})$
	$600\text{MeV}(\frac{Z}{A}=\frac{1}{3})$
最大磁刚度	12.96TM
环的布局:	
180°弧长段	43.5255m
长直线段	27m
电子冷却段	7.7m
实验段	4.25m/7.7m
高频腔段	4.25m
弧线部分直线段	0.9687m
磁铁:	
二极磁铁	
二极铁块数	24
曲率半径	7.2m
最高磁场	1.8T
四极磁铁	
四极铁个数	24(弧线段), 16(直线段)
长度	0.3m(弧线段), 0.65m(直线段)
最大梯度	7.7 T/M

## 5 结 论

文中所描述的HIRFL-CSR方案以及所得到的一些基本参数只是一个初步结果,只能作为进一步研制CSR的一个基础。CSR的束流动力学研究也只是一个开始,还需要作大量

表2 CSR Twiss参数

周期	6
磁聚焦结构	FBDBOBDBF
$\beta$ 振荡频率	$Q_h=2.72$ $Q_v=2.82$
$\gamma_r$ 值	4.1
最大 $\beta$ 值	水平 33m
最小 $\beta$ 值	垂直 40m
水平	2.9m
垂直	2.6m
最大色散	13m
靶点 $\beta$ 值( $D=0$ )	$\beta_h/\beta_v=2.9m/4.7m$

表3 CSR 高频及真空参数

高频:	
频宽	0.83~9.5MHz
峰值电压	6kV
谐波数	4
绝热俘获频率范围	0.83~7.6MHz
同步俘获频率范围	6~9.5MHz
真空:	$1.33 \times 10^{-16}\text{Pa}$

表4 CSR 注入束流参数

SFC	
粒子种类	$C \rightarrow Ne(\frac{Z}{A} \leq \frac{1}{2})$
能量	$4.0 \rightarrow 9.0\text{MeV/u}$
流强	$\sim 1 \times 10^{12}\text{pps}$ (剥离前)
动量分散( $\Delta p/p$ )	$\sim 0.5\% (\Delta E/PC = 0.66\%)$
发射度	$\sim 20\pi\text{mm.mrad}$
SSC	
粒子种类	$Al \rightarrow Ta(\frac{Z}{A} > \frac{1}{3})$
能量	$5.0 \sim 25\text{MeV/u}$
流强	$1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10}\text{pps}$ (剥离前)
动量分散	$\sim 0.15\%$
发散度	$\sim 10\pi\text{mm.mrad}$

的研究工作,才能最后确定 CSR 的动力学参数.至于 CSR 各个分系统的研究,如:注入、引出、冷却、高频、磁铁、真空、束流和控制等还要在动力学研究之后才能进行.

## 参 考 文 献

- 1 Pfister U, the Cosy Team. EPAC 1988, 1 : 398
- 2 Hans Grote, Christoph F. Iselin, "The MAD Program", CERN/SL/90 — 13(AP), 1991

## HIRFL Heavy Ion Cooler Storage Ring Proposal

Xia Jiawen Rao Yinong Yuan Youjin

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

**Abstract** CSR, a heavy ion Cooler Storage Ring, is a new proposal which is intended to consummate HIRFL. The circumference of the ring is 141m and a six-fold symmetry type with inserting two long straight sections is adopted in the distribution of the ring. CSR is a multipurpose ring with two essential operating modes of synchrotron and cooler, and will accelerate the particles up to 1Gev/u for light heavy ions ( $Z/A=1/2$ ) and 500MeV/u for heavy ions ( $Z/A=1/3$ ) by using the existing two cyclotrons SFC ( $K=69$ ) and SSC ( $K=450$ ) as injectors. CSR aims mainly at providing high quality heavy ion beams for some new research domains of physical experiments. Details on the ring overview and the main parameters are presented in this paper.

**Key Words** cooler storage ring, proposal, heavy ion.