



图 1 ECR 源至 SFC 静电偏转器束运线的束流包络

2.2 SFC 改进提高

由于使用了 ECR 源及其外注入系统,必须重新对 SFC 中心区进行研究和设计.使用自编的 CO 程序对中心区进行了计算,并使用 GANIL 的 CENTOM 和 RCNP 的 CENTER 程序进行了计算,以便比较参考.由于 SFC 与 SSC 组合加速的需要,SFC 工作点大部分落在三次谐波加速区域.因此,在设计中心区时,我们选取工作点在三次谐波区作为典型粒子.

SFC 与 ECR 注入束运线联接的元件是一个静电偏转器,它是轴向注入系统的一个非常关键的元件.根据具体情况,反复比较各种方案,最后选择了螺旋形直槽静电偏转器,以便将束流偏转 90°并送入 SFC 加速初始轨道和中心平面.遵循一般的设计原理和中心轨道运动方程,设计并制作了静电偏转器,其主要参数列于表 2.

SFC 系从原苏联进口的 1.5m 经典回旋加速器改建的,其主线圈已用了近 30 年.现已换了新的主线圈,由于又改用了外注入系统,SFC 必须重新测磁和对等时场再垫补.对基础场、同轴线圈贡献量、中心区三维场、中心孔洞中的轴向分布场及引出方向的磁场分布都进行了仔细测量,测量精度为 $\pm 2 \times 10^{-4} T$. Ar^{8+} —2.345MeV/u 实测等时场与计算值的偏差为 5×10^{-4} .同时重新设计加工了新的 D

合和假 D.为了提高引出效率,还重新设计加工了引出静电偏转板,其调节精度好于 $\pm 0.1 mm$.用二台 HIRFL-800 低温冷凝泵取代了原油扩散泵,使 SFC 真空度提高到 $5 \times 10^{-5} Pa$.新增了径向相位探针,同时改进了径向束流探针系统.由于 SFC 设备几乎全部改造,原控制台已无法使用,将其拆除,安装了新的控制台,改建了 SFC 控制室,使用微机 CAMAC 系统对 ECR 源至 SFC 束线和 SFC 各系统进行控制.

表 2 静电偏转器主要参数

ECR 源引出电压(最大)	20kV
电半径(偏转器高度)	6cm
磁半径	2.5 cm
K	1.2
β	0
电极间距	0.8 cm
电极宽度	2.0 cm
Dee 电压	60 kV
注入半径	4.5 cm

2.3 SSC 及束运线的改进工作

SSC 的真空排气系统主抽泵原采用 Balzers 的 RKP 800 低温冷凝泵.运行时,每天必须消耗大量液氮.为了摆脱这种耗财低效局面,拟采用不用液氮的低温泵,但市售无这种规格产品,只有自己研制.我所研制的 HIRFL-800 低温泵,采用内置式结构,直接插入真空室,不仅提高了有效抽速,而且节省了昂贵的不锈钢外罩.泵主要部分为 20K 低温板,77K 屏蔽罩和挡板.第一级屏蔽罩直接连在单级致冷机,因而可以不再使用液氮.

新研制的 HIRFL-800,低温性能良好,与国外同类加速器上所用的低温泵性能的比较见表 3.

HIRFL-800 低温泵可以遥控,所有氮压机全部装在非放射性区域,致冷机与压缩机之间用 60m 长不锈钢管连接.因此,易于操作与

维护。

前束运线的真空排气系统原设计用涡轮分子泵为主抽泵,但易出故障.经反复考虑,决定与后束运线一样,使用3L-150溅射离子泵.这样,整个加速器系统的真空系统形成了一个封闭系统,并大大改善了前束运线的真空性能。

表3 几种低温泵性能比较

泵	口径 (mm)	抽速(l/s)	
		N ₂	H ₂
法国 GANIL	800	20000	10000
日本 RIKEN	500	10000	20000
Balzers RKP800	800	20000	20000
HIRFL 800	800	24000	26000

HIRFL 的高频系统现共有6台频段、功率不同的发射机(B₀, B₁, B₂, SFC 一台, SSC 二台).其相位稳定系统是一个宽频带、不同频的高稳定相位稳定系统.原设计中以SFC的相位为基准,工作时带来诸多不便,现已改用一个统一基准,增加了一个0号机柜,使系统工作更加稳定方便.在相位稳定系统中,粗调谐原用机械移相器,其缺点是易损坏,有信号间断现象产生.现采用新的原理,研制出了一种新的360°电子移相器,精度好于1°,取代了原机械移器,它工作可靠、精度高、无信号间断现象.改进了频率调谐控制系统,当产生失谐时,由微调系统的鉴相器发出信号,直接控制7CT(动板调谐装置),调节动板.腔体的动板调节是用伺服电机拖动,一旦电机失锁,就可能产生动板碰撞损坏事故.为此,增设了一个机械保护装置,有效地防止这类事故的发生.同时,对SSC的高频发射机控制线路作了大量改进工作. HIRFL 系统中,需5~150kV的多种规格高稳定度的高压电源.我们参考国外高压电源设计思想,研制了几种不同规格、运行可靠的高压电源,稳定度达 1×10^{-4} ,使设备可靠性大大提高。

3 调束运行

1993年5月,选用Ar⁸⁺—2.345MeV/u调束,SFC用3次谐波加速.ECR离子源工作稳定,从ECR离子源至静电偏转器的传输效率好于60%.当SFC主磁场从预置值降低约 5×10^{-3} T并将静电偏转器从预定角度转动2°以后,束流达到大半径.仔细调节引出系统,使引出效率好于60%,引出Ar⁸⁺大于1μA,束流中心的状况较好,随即,又顺利地加速了Ne⁴⁺,流强也大于1μA.

在SFC顺利地调出Ar⁸⁺和Ne⁴⁺后,进行了SFC与SSC的联合调束.由于几年来对SSC调束及运行已积累了一定经验,所以先后顺利地调出了Ar¹⁵⁺—25MeV/u和Ne⁸⁺—25MeV/u两种新的粒子。

表4 HIRFL 加速离子束流表

	Z	RF (MHz)	h	E (MeV/u)	I (μA)
SFC					
¹² C	4	6.26	1	4.5	5
¹² C	4	7.53	1	6.6	3
¹⁶ O	5	6.26	1	4.5	3
²⁰ Ne	4	13.54	3	2.35	1
⁴⁰ Ar	8	13.54	3	2.35	1
SSC					
¹² C	6	9.39	2	50.0	0.4最大
¹² C	6	11.29	2	75.0	0.1最大
¹⁶ O	8	9.39	2	50.0	~0.01
²⁰ Ne	8	13.54	4	25.0	~0.01
⁴⁰ Ar	16	13.54	4	25.0	~0.01

在使用PIG源情况下,在1991年5月停机安装ECR源改建SFC以前,HIRFL共提供束流约4500小时予重离子物理基础研究、生物医学、材料科学等共22项实验.其余3500小时供加速器及实验终端调试使用.无论在重离子物理基础研究,还是应用研究方面,都已

取得了引人注目的成果. 新核素 ^{208}Hg 的合成是其优秀的代表.

表 4 给出了 HIRFL 加速离子情况. 1993 年, HIRFL(或 SFC 单独运行)使用 ECR 源, 为重离子物理实验研究提供 Ar、O 等束流.

4 近期改进计划

为了使实验终端也能使用 SFC 的低能重离子束流, 决定建一条直通束运管道, 从前束运线 B_1 与 B_2 之间, 直接连至后束运线 slit 之

前, 束流光学计算、束运线的磁元件、真空系统、电源、束诊与控制的设计均已完成, 加工也已完成, 拟于 1993 年 8 月份安装投入使用.

为了满足合成新核素及其衰变性质研究的需要, 在后束运线系统中, 将改建一条次级束流线, 该线从 slit 起, 至 R, 实验终端. 其束流光学设计已完成, 技术设计工作正在进行. 同时, 为了使 HIRFL 有备用离子源, 并提供给原子物理实验研究使用, 正在研制一台 ECR 离子源.

Present Status of HIRFL

Ye Feng

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

Abstract Since the first C^{4+} beam were extracted from HIRFL (Heavy Ion Research Facility of Lanzhou) on Dec. 12, 1988, C^{4+} (50MeV/u, 75MeV/u), O^{8+} (50MeV/u), Ne^{8+} (25MeV/u) Ar^{18+} (25MeV/u) and other beams have been accelerated for the testing of the experimental terminals and the experimental reserach on heavy ion nuclear physics, atomic physics, nuclear chemistry, biology and material science. The beam emittance is less than 8π mm mrad and the energy spread is less than 0.3%.

The 10 GHz ECR ion source and its beam line as well as the external injection system were put into operation in May, 1992 with quite well performance. Meanwhile a lot of improvements of the injector SFC had been done to meet the equirements of the external injection systems and to improve the performance of SFC.

Many improvements of the vacuum, RF, control and other systems of the main accelerator SSC of HIRFL were finished. The operation of HIRFL are also presented in the paper.

Key Words accelerator, operation, improvement.