

HIRFL 新的束流分配系统

朱昆 张金泉 唐静宇 尹全民¹⁾ 詹文龙

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 随着 CSR 的建成和兰州重粒子加速系统(HIRFL)实现质子加速,HIRFL 现有的束流传输系统已不能满足越来越多的物理实验对供束时间的要求.为此,对原有的 HIRFL 的束流运输系统进行了分时供束改造.新的束流分配系统可以在给 CSR 供束和不供束两种情况下,同时使用 SFC 和 SSC 的束流在多个实验终端进行物理实验.介绍了新设计的 HIRFL 束流分配系统的布局和束流光学计算结果.

关键词 兰州重粒子加速系统(HIRFL) 束流运输 分时供束

1 引言

兰州重粒子加速系统(HIRFL)是由两个等时性回旋加速器串联组成.它的注入器 SFC 是 1.7m 直径的能量常数为 69 的扇聚焦回旋加速器,主器 SSC 是能量常数为 450 的分离扇回旋加速器.目前,SSC 可以加速从 C 到 Xe 的各种离子,轻离子的最高能量为 100MeV/u,供实验大厅里各实验终端进行重离子物理实验.在 SFC 单独运行时,其引出束流也可以通过旁通束流线直接运输到实验大厅的各个终端.近来,HIRFL 建造了一台 10MeV 的质子回旋加速器(PDC).它将作为 SSC 的第二注入器,与 SSC 一起提供能量大于 100MeV 的质子,用于肿瘤治疗和其它辐照研究.

HIRFL 原来使用的束流线的全部磁元件都是用低碳钢制作的常规元件.因此,整个加速系统只能为一个实验终端供束.近几年来,随着物理实验对供束时间要求的不断增多及大科学工程 HIRFL-CSR 的建造,旧的束流分配系统已不能满足新发展的要求.首先,按照 CSR 的准连续束运行的束流时间结构^[1],在每一个 17s 的运行周期里,只有 10s 用于束流的注入、积累和冷却,而另外 7s 则用来加速和引出,不需要束流.用原有的束流分配系统必然造成给 CSR 供束时束流的浪费.其次,当 SSC 加速质子

时,SFC 的束流无法传输到实验大厅同时做实验.另外,即使同一种束流被两个或两个以上的实验终端同时需要时,现有的束流运输系统也无法实现.为此,提出并设计了一个可以进行分时供束的新束流分配系统.为了实现分时供束,新系统里的部分偏转磁铁和四极透镜采用硅钢片制作的脉冲磁铁.在新的系统中,保留了原来的 SFC 和 SSC 之间的束流传输系统的光学性能,修改了旁通束流线的光学设计,并改变了实验大厅里的束流线布局,重新进行了束流光学设计计算.

2 实验终端简介

改造后 HIRFL 除了向 CSR 提供束流外,在实验大厅还设置了以下 7 个实验终端:

(1) 同位素分离器(TR1).此设备专门用于远离 β 稳定线新核素的合成及其衰变方式的研究.由靶离子源系统、单透镜和双组合四极透镜、55°偏转磁铁、开关磁铁及 3 条在束实验管道组成.

(2) 在束 γ 测量装置和快化分离装置(TL1).在束 γ 测量装置主要用于核结构研究,由 6 套 BGO 反康普顿高纯锗探测器,多个六棱柱 BGO 组成的多重性滤波器及支架系统构成;快化分离装置由带可变体积气喷嘴的靶室系统、化学分离系统及测量控制

2002-10-31 收稿

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

系统等组成. 主要用于合成远离 β 稳定线核素及衰变性质研究. 在束 γ 测量装置和快化分离装置串联在同一条束流线上, 只能单独分别使用束流.

(3) 4π 探测器阵列 (TR2). 该系统由 276 个探测器单元组成, 每个单元分别由快、慢塑料闪烁体、碘化铯晶体、硅半导体探测器所组成的望远镜构成. 总立体角覆盖约 86% 的 4π 以及有一个很低的能量探测阈. 整个探测器系统轴向对称排列, 工作在真空中. 该探测器系统可以鉴别氢、氦的同位素, 具有大的能量测量动态范围^[2].

(4) 2.4m 桶形通用靶室 (TR5). 全长 6m, 由两个半球形封头及长 1m 及 4m 的两个长筒组成, 内装各种探测器设备. 该设备主要用于中、低能核反应机制研究.

(5) 重离子治癌 (TR4). 由扫描装置, 治疗装置, 降能片, 束流位置探测器等组成, 主要用于生物效应、单离子效应及重离子治癌机制的研究^[3].

(6) 重离子辐照 (TR3). 由束流均匀化系统、束流检测系统、包括温度装置在内的辐照靶室、束流快门及探测器等组成. 主要开展重离子束制备核微孔过滤器, 单孔膜, 材料表面改性, 及辐照损伤研究.

(7) 放射性束流线 (RIBLL). 由放射性的产生、分离、鉴别系统, 核反应实验测量及数据获取系统组成. 主要技术指标为: 能量范围 5—80MeV/u, RIB 种类约 500 ($A < 140$), RIB 强度 $\leq 10^6$ pps, 动量分散 10^{-2} — 10^{-4} .

3 系统的布局

新的束流分配系统如图 1 所示. 它由 4 大部分

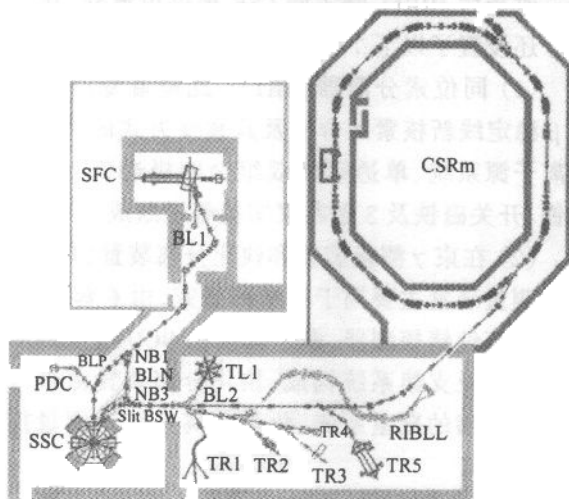


图 1 新的束流分配系统布局图

组成: 1) SFC 和 SSC 之间的约 70m 长的束流匹配系统 BL1; 2) 质子回旋加速器 PDC 与 SSC 之间的束流匹配系统 (BLP); 3) 把 SFC 的束流直接传输到实验大厅的旁通束流线 (BLN); 4) 把 SSC 引出的束流传输到实验大厅并分配到 CSR 和各个实验终端的后输运系统 (BL2). 新的束流传输系统相对于旧系统做了以下改变:

(1) 质子回旋加束器 (PDC) 和 SSC 之间的束流匹配系统 (BLP).

(2) 为了使得实验大厅里的不同终端‘同时’得到不同能量的同种离子束 (即 SFC 一边向一个实验供束, 一边向 SSC 注入束流并提高能量后向另一实验供束), 旁通束流线 (BLN) 的设计做了较小的修改, 其束流线上的 NB01 和 NB03 以及后输运系统上的相关磁元件都改用脉冲磁铁. SFC 至 NB01 之间的束流线的各元件使用原有的光学参数, 不作变动. 束流光学计算表明, 上述设计是可行的.

(3) 为了达到多终端分时供束或在给 CSR 供束时向其它终端同时供束的目的, 在后输运系统的 BL2-Q09 后面增设了一台三向脉冲开关磁铁. 在这个三向脉冲磁铁后面, 束流可以沿 $+12^\circ$, 0° 和 -12° 3 个方向前进. 其中 0° 用于把束流传输到 CSR, 另外两个方向把束流输运到各个实验终端.

(4) 在通向各个终端的主要分岔处的磁铁和其前面的四极透镜均采用了脉冲磁铁.

(5) 为了保证重离子治癌、航天器件单离子效应和重离子生物效应等辐照研究工作的顺利开展, 在 HIRFL 实验大厅下面的地下室, 新增设了一个辐照治癌终端. 这个终端不仅可以按照实验的要求用降能片迅速地改变离子的能量, 而且具有扫描装置, 得到面积为 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 的均匀束流.

在新系统进行布局设计时, 充分考虑到尽可能地将原束流线的元件都用于新系统, 以节约经费. 同时, 还充分考虑了辐射防护的要求, 每个终端都有足够的空间放置防护墙, 以便在一个或多个终端在束实验时, 无束流的终端可以安全地做实验准备工作.

新的束流分配系统将有以下几种工作模式: 1) 束流经 SFC 后直接供多个实验终端进行物理实验或实验的准备工作; 2) 束流经 SFC 及 SSC 后供多个实验终端进行物理实验或实验的准备工作; 3) 使用 PDC 作为 SSC 的注入器从 SSC 引出质子做实验时, SFC 的束流可直接在其它实验终端同时用于进行物理实验或实验的准备工作; 4) 用 SFC 和 SSC 同时提供不同能量的同种离子束供多个实验终端进行物理

实验或实验的准备工作;5) 给 HIRFL 的多个实验终端和 CSR 同时供束。

4 束流光学计算

按各终端对束流品质的要求,对各终端的束流运输系统用 TRANSPORT 做了新的束流光学计算。为了调试运行方便,无论从 SFC 通过旁通线输运到实验大厅的束流,还是 SSC 引出的束流,都首先在 SSC 大厅的三狭缝的中间狭缝处形成一个束斑直径 8mm 的双腰。以这点作为此后的所有束流线的起点,将束流分别输运到 CSR 和各个终端。三狭缝还可用来限制束流的发射度。在 SFC 向 CSR 供束时,

SFC 引出束流的发射度大于 CSR 的接收度 $20\pi \times \text{mm} \times \text{mrad}$,三狭缝可以制备出符合要求的束流。同样,给在束 γ 终端供束时,实验既要求小于 $\Phi 4$ 的靶点,又要求最小的本底辐射,用三狭缝将发射度限制后就达到了这个要求。

在计算中,SFC 的束流发射度是 $24\pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$,最大磁刚度为 1.2Tm,SSC 的束流发射度是 $10\pi \times \text{mm} \times \text{mrad}$,最大磁刚度为 3.1Tm。图 2 给出了从三狭缝到各实验终端的束流包络。根据束流光学计算结果,确定了元件参数。建造新系统共需新加工脉冲四极透镜 10 台,常规四极透镜 7 台,脉冲偏转磁铁 7 台,常规偏转磁铁 1 台,扫描磁铁 2 台。表 1 给出了新增加的偏转磁铁的参数。

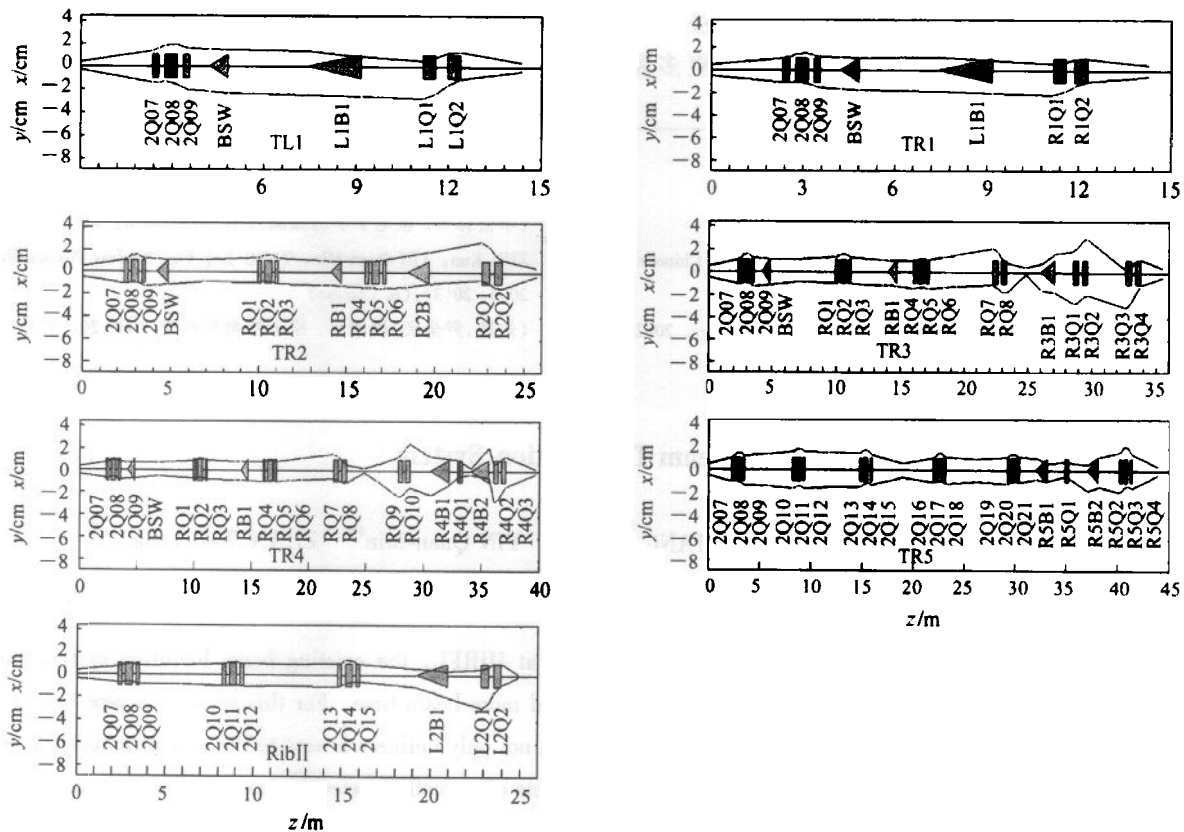


图 2 各实验终端运输系统束流包络图

表 1 新增加偏转磁铁参数表

偏转磁铁	偏转角度/(°) /有效长度/m	入口/出口 边缘角/(°)	磁间隙/mm	最高磁场/kG (设计值/计算值)	曲率半径/m	备注
BI.1-B05	25.42/0.436,0.513	12.5,18/0.0	60	10/13.4	1.0/0.7	普通双向
BLN-B1	48/0.838	24.0/24.0	75	12.0/12.0	1.0	脉冲
BLN-B3	46/0.803	23.0/23.0	75	12.0/12.0	1.0	脉冲
BL2-BSW	± 12/0.6	0.0/12.0	60	13.0/10.5	2.9	脉冲
BI.R-B1	3,15/0.6	9.0/-6,6	60	13.0/13.0	11.6/2.3	脉冲
TR2-B1	35.0/1.22	17.5/17.5	75	15/14.7649	2.0	脉冲

续表 1

偏转磁铁	偏转角度/(°) /有效长度/m	入口/出口 边缘角/(°)	磁间隙/mm	最高磁场/kG (设计值/计算值)	曲率半径/m	备注
TR4-B1	45.0/1.57	22.5/22.5	75	15/14.7649	2.0	脉冲
TR4-B2	45.0/1.57	22.5/22.5	75	15/14.7649	2.0	脉冲
TR4-CX	/0.15	0.0/0.0	80	3/2.8	—	脉冲扫描
TR4-CY	/0.15	0.0/0.0	80	3/2.5	—	脉冲扫描

5 结束语

HIRFL 新的束流时分分配系统将原来旧的束流运输系统的单一工作模式改为多种工作模式,在给 CSR 供束和不供束两种情况下,同时使用 SFC 和 SSC 的束流在多个实验终端进行物理实验,极大提高运行供束效率及物理实验效率,这不仅为更多领

域开展更深层次的重离子物理实验工作提供了更多的束流时间,而且避免了专为 CSR 供束时的束流浪费.新系统光学性能完全满足各终端对束流品质的要求.新增添的能量可变并且具有扫描功能的辐照治癌终端为重离子治癌研究、重离子生物效应研究和航天器件的单离子效应研究提供了更好的束流条件.目前,新的束流分配系统正在建造之中.

参考文献 (References)

- XIA Jia-Wen. Nuclear Physics Review, 2001, 18(1):35(in Chinese)
(夏佳文等. 原子核物理评论, 2001, 18(1):35)
- LI Song-Lin et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, 22(6):485(in Chinese)
(李松林等. 核电子学与探测技术, 2002, 22(6):485)
- ZHU Kun, YIN Quan-Min, TANG Jing-Yu. Nuclear Physics Review, 2003, 20(3):(in Chinese)
(朱昆, 尹全民, 唐靖宇. 原子核物理评论, 2003, 20(3):)

New Beam Distribution System

ZHU Kun ZHANG Jin-Quan TANG Jing-Yu YIN Quan-Min¹⁾ ZHAN Wen-Long
(Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract With construction of CSR and acceleration of proton at HIRFL, the existing beam handling system can not meet the requirements of nuclear physics experiments for more and more beam time. For this reason, a new beam distribution system based on time is being constructed. The new system not only deliueers beams to the new terminals for reaserch program of proton and heavy ion therapies, single particle effects of spaceflight electronics components and irradiation effects of living things, but also can provide beams for CSR when physics experiments are done on the experimental terminals with the beam from both SFC and SSC. The layout, performance and beam optics calculations of the new distribution system are presented.

Key words heavy ions research facility in Lanzhou, beam transport, beam distribution based on time

Received 31 October 2002

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