

文章编号: 1007-4627(2001)02-0101-04

RIBLL 次级束流强度的提高^{*}

朱 昆, 王胜利, 尹全民

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 为了提高兰州重离子加速器放射性次级束流线的束流强度, 在现有的输运线基础上, 设计了一个由一组超导螺线管和一个产生靶组成的次级束流增强系统. 简要介绍了这个系统的束流光学设计原理和系统的初步设计.

关键词: 次级束流线; 超导螺线管; 束流强度; 冷却

中图分类号: TL56 **文献标识码:** A

1 引言

兰州重离子加速器(HIRFL)放射性次级束流线(RIBLL)^[1]自 1997 年建成以来, 已为许多种实验提供了放射性次级束. 但为适应更多种实验的要求, 需要提高次级束的束流强度. 通常有两种方法可达此目的. 一种方法是提高初级束的束流强度, 另一方法是增大装置对次级束的接收立体角来提高传输效率^[2,3].

弹核碎裂过程产生的次级离子在靠近初级离子的前冲方向上出射. 次级离子的角分布依赖于初级束的能量和次级离子的质量. 次级离子与初级离子的质量差越大, 其发射角越大. 次级离子通常分布在半角为 $80-100$ mrad 的圆锥里. 而目前 RIBLL 系统的接收角为 60 mrad. 从这点可以看出, 要增加次级束流的强度, 就必须将分布在更大方位角上的次级离子收集起来. 这意味着要增加系统的接收立体角. 这对于已经建成的、并且从技术上讲已经达到最大接收度的 RIBLL 系统来说, 如果不进行改造是绝对不可能的. 为此我们计划在 HIRFL 的束流后输运系统和 RIBLL 之间加入一个次级束流增强系统, 它既能大大增加次级离子的强度, 又能保持 RIBLL 原有的接收度和分辨率等性能参数.

2 原理

由于 RIBLL 系统的接收立体角的限制, 只有一部分次级离子能够被传输, 有大量次级离子在

RIBLL 入口处损失了. 为提高次级束的传输效率, 我们拟在 HIRFL 的束运线与 RIBLL 之间增加一个束流匹配系统, 使 RIBLL 入口处的束流参数和 RIBLL 系统原有的参数相匹配. 系统由一组超导螺线管和一个新的靶子组成. 系统的束流光学原理如图 1 所示. 在靶子前面放置一个聚焦系统, 使束斑缩小, 次级离子的发射角相应增大; 再通过靶后的聚焦系统使次级束的参数与 RIBLL 的接收参数匹配. 预计经这一改造后次级束流强度可增至 $2.5-3$ 倍.

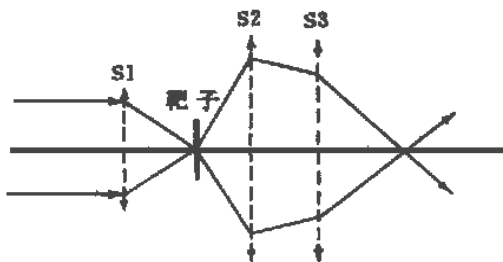


图 1 提高系统的接收立体角原理简图

3 系统的结构和光学设计

螺线管与四极透镜两种聚焦元件相比较, 螺线管有以下优点: 螺线管的设计比较容易实现; 能够充分利用螺线管的磁场空间来聚焦束流; 螺线管产生的磁场是轴对称的, 容易实现对称的束斑. 而四极透镜有以下缺点: 四极磁铁的设计和实现比螺线管较难; 需要用两个四极透镜才能实现在 x 和 y 方向上同时聚焦的目的; 较难实现对称的束斑; 由于

磁铁的孔径大小与磁铁的长度相比较, 孔径相对较大, 使得四极磁铁的磁场结构与理想的四极磁铁的磁场结构偏差较大. 所以次级束流增强系统采用螺线管作为聚焦元件.

螺线管的磁场与四极磁铁的磁场相比较弱, 而本系统需要非常高的磁感应强度, 如表 1 所示的磁感强度值, 因此必须使用超导螺线管.

表 1 超导螺线管的磁感强度的计算值

元件	长度(m)	磁感强度(T)
S1	0.6	9.48
S2	0.6	11.18
S3	0.4	6.75

设计的运输系统如图 2 所示. 由于弯曲磁铁之前的系统不能改动, 进行设计的空间就是从弯曲磁铁到 RIBLL 的入口处这一段空间. 总长度有 5.368 m. 使束流在进入螺线管透镜 S1 之前变为平行束, 再

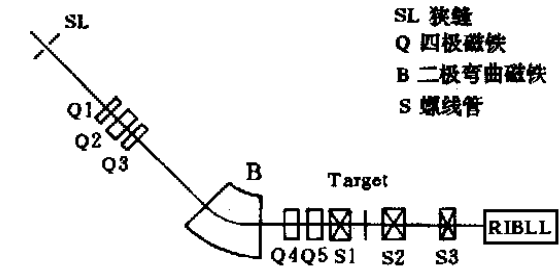


图 2 HIRFL 与 RIBLL 匹配系统简图

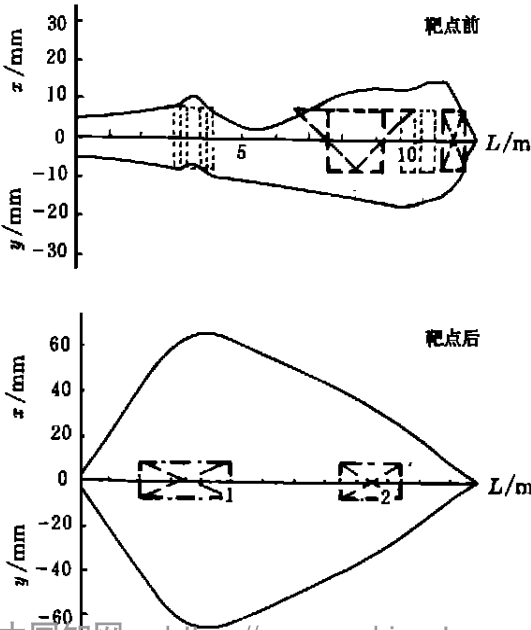


图 3 用 TRANSPORT 程序计算的束流包络图

将该平行束用螺线管透镜 S1 聚焦, 在靶子上形成直径为 0.1 cm 的圆形束斑, 产生的次级束流通过两个螺线管 S2 和 S3 聚焦后, 与 RIBLL 入口的束流参数相匹配. 图 3 为系统的束流包络图.

4 元件的设计

超导材料的选择. 目前主要的超导材料有 NbTi 和 Nb₃Sn 两种. NbTi 主要用于磁场强度低于 8 T 的情况, Nb₃Sn 主要用于磁场强度高于 10 T 的情况. 在 8—10 T 之间用 NbTi 和 Nb₃Sn 都可以, 但 NbTi 必须用 1.8 K 的超流氦冷却, Nb₃Sn 可用 4.2 K 的液氦冷却. 我们拟采用 4.2 K 的液氦制冷, 螺线管 1 和螺线管 2 产生的磁场值都高于 8 T, 需采用 Nb₃Sn 材料. Nb₃Sn 材料却有低场不稳定性, 因此拟将两超导螺线管用两种材料制成一种同轴线圈结构, 里边需要承受较高磁场的线圈用 Nb₃Sn 材料绕制, 外边需承受较低磁场的线圈用 NbTi 材料绕制. 而螺线管 3 的磁场值低于 8 T, 只需用 NbTi 材料绕制就可以. 表 2 给出了 3 个螺线管的参数.

表 2 超导螺线管的参数

	S1	S2	S3
最大轴向场(T)	11.63	13.73	7.9
线圈长度(m)	0.6	0.6	0.4
线圈最大直径	内层(cm)	18.6	20.3
	外层(cm)	26.2	28.4
孔径直径(cm)	15.0	15.0	15.0
运行温度(K)		4.2	
单位面积受电磁力(kN·cm ⁻²)	11	14	10
最大电流强度(A·mm ⁻²)		180	

制造超导磁体的两个关键技术是低温和失超保护技术.

(1) 超导的冷却 超导的冷却方法有很多种, 可以建立液氮站来给超导提供冷却所需的液氮, 也可用各种制冷机来进行制冷. 由于建立液氮站所需的资金过多, 本系统计划用制冷机制冷. 法国 GANIL 实验室的 SISSI (Superconducting Intense Source for Secondary Ions) 系统采用的是 CEA 最近研制的一种封闭式的冷却系统. 该系统的工作原理为: 将用于冷却超导磁体的液氮和用于低温装置的液氮完全分开, 并将冷却超导磁体的液氮完全封闭起来. 被汽化的液氮通过管道进入装有冷凝器的容器, 经冷凝器冷却液化后, 再通过管道进入冷却

和升华是限制在靶上释放功率的因素; 2) 辐射水平必须保持在低温环境能接受的水平; 3) 尽量减少换靶时个人受到的辐射剂量.

我们设想用高电阻非磁材料, 水冷外壳加上石墨衬里, 靶子夹在石墨里大约以每分钟 3 000 转的速度转动. 热量主要靠热辐射驱散, 用钨材料热绝缘层保持轴承. 进一步的设计需同时考虑热传导和热辐射, 通过靶子的运动和形状建立热力学方程,

才能给出合理的设计.

6 结论

这种通过改进现有的传输系统来提高 RIBLL 次级束流强度的方案, 可使次级束流强度提高 2.5—3 倍, 能满足更多的实验要求. 此方案是可行的, 并且成本比较低, 实现起来也比较容易.

参 考 文 献:

- [1] 詹文龙, 郭忠言. 兰州放射性束流线[J]. 原子核物理评论, 1999, 16(4): 218—223.
- [2] Joubert A, Baron E, *et al.* The SISSI Project: An intense secondary ion source using superconducting solenoid lenses[C]. IEEE Particle Accelerator Conference, San Francisco, 1991;

594—597.

- [3] Baelde L, Baron E. The SISSI Project: A new tool for radioactive beams[M]. Nouvelles du GANIL, 1993, 43: 59—65.

Improvement of Beam Intensity of RIBLL

ZHU Kun, WANG Sheng-li, YIN Quan-min

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

Abstract: In order to meet the needs of nuclear physic research, the beam intensity of RIBLL (Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou) should be improved. This can be carried out by two ways: increasing the primary beam intensity or improving the transmission of the beam line. A system consisting of three superconducting solenoids and a new target frame is designed.

Key words: secondary beam line; superconducting solenoid; beam intensity; cooling