

# 兰州重离子直线加速器设计初步

李智慧 张金泉 刘勇 夏佳文 赵红卫 詹文龙

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 兰州重离子直线加速器是作为兰州重离子冷却储存环(CSR)未来的注入器而开始的一个新项目,其目的是为CSR提供更好束流品质及更高流强的束流,更加充分的发挥CSR的潜能,同时也可以为超重等研究直接提供束流.其设计最小荷质比为 $1/6$ ,引出能量为 $16\text{MeV}/u$ ,设计流强为 $1\text{A}\cdot\mu\text{A}$ ,工作频率为 $100\text{MHz}$ 及其倍频 $200\text{MHz}$ .采用超导ECR离子源、RFQ及IH型DTL加速结构的方式,设计总长度小于 $40\text{m}$ .整个工程分阶段进行,现阶段的工作重点是第一个IH腔体之前的工作于基频的部分,本文主要介绍这部分的动力学设计及整台机器的基本参数.

**关键词** 重离子直线加速器 IH型DTL RFQ加速器

## 1 引言

自从20世纪80年代末,兰州重离子研究装置(HIRFL)建成出束以来,中国科学院兰州近代物理研究所(IMP)就成为了我国重离子物理研究的中心,此后在1998年前后又建成了兰州放射性次级束流线(RIBLL),使得兰州近代物理研究所可以提供的束流更加多样化.2005年国家大科学工程兰州重离子冷却储存环(CSR)即将建成出束,到时所能提供的束流能量、束流品质都会得到一个很大的提升.图1所示为HIRFL-CSR的总图. CSR的最初考虑是用HIRFL的注入器SFC和主加速器SSC联合作为它的注入器,经过多年的努力,HIRFL的总体性能虽然得到了很大的提高,但是对于重离子,HIRFL系统还是不能达到

CSR的要求.为此我们认为非常有必要做一台重离子直线加速器作为CSR的注入器.未来的直线加速器将利用现有建筑,放在如图1所示的SFC与CSR主环大厅之间.

## 2 兰州重离子直线加速器

### 2.1 基本参数确定

兰州重离子直线加速器的基本参数确定主要由以下因素决定:

1) 空间位置:作为CSR的注入器,该直线加速器将安装在CSR大厅与原HIRFL注入器SFC大厅之间的廊道上,由于该空间长度的限制,直线加速器的长度不能超过 $40\text{m}$ ;

2) 为了达到高能密度物质研究所需要的束流能量,必须提高CSR的注入能量以提高它的空间电荷限制,根据计算,所需要的能量为 $16\text{MeV}/u$ ;

3) 为了在 $40\text{m}$ 的长度上得到 $16\text{MeV}/u$ 的输出能量,该直线加速器的设计荷质比不能太小,最终确定为 $1/6$ ,对最重的离子 $U^{238}$ 所要求的电荷态为40;

4) 由于电荷态较高,离子源采用超导ECR离子源.同时激光离子源的可行性也在研究中;

5) 为了得到更高的加速梯度,DTL段将采用加速梯度更高、分路阻抗更大的IH型结构<sup>[1]</sup>.初步的束流

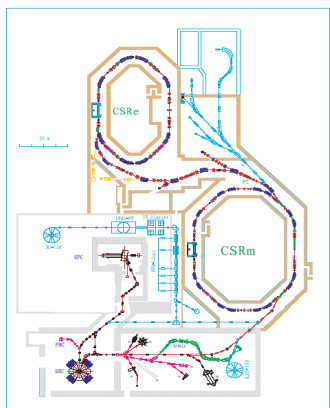


图1 HIRFL-CSR总体布局图

动力学分析表明, 大约采用 11 个 IH 腔体, 第一个腔工作在 100MHz, 其他腔体工作在 200MHz, 就可以将束流从 250keV/u 加速到 16MeV/u, 总长度大约为 30m;

6) RFQ 采用四杆型结构, 一方面是由于我们的工作频率更适合四杆型结构, 另一方面是四杆型结构对加工公差的要求相对于四翼型结构要低.

表 1 所示是兰州重离子直线加速器的一些基本参数.

表 1 兰州重离子直线加速器总体参数

General	
Bunch frequency	100MHz
Macro pulse length	400μs
rf-pulse frequency	10Hz
Design charge/mass ratio	1/6
Macro pulse current (at the linac exit)	40μA
RFQ exit	
Beam energy	250keV/u
Transverse beam emittance (norm.)	0.6 mm-mrad
IH-DTL exit	
Beam energy	16MeV/u
Transverse beam emittance (norm.)	<1.2 mm-mrad

## 2.2 束流动力学设计

### 2.2.1 LEBT

低能传输段用于连接 ECR 离子源和 RFQ 加速器, 两块 67.5° 的分析磁铁用来对离子源引出的束流进行电荷分辨, 电荷分辨率可达 740; 另外一组三组合四极透镜、一个螺线管及两个扫描磁铁用来进行束流的横向匹配. 图 2 为 LEBT 中束流包络变化.

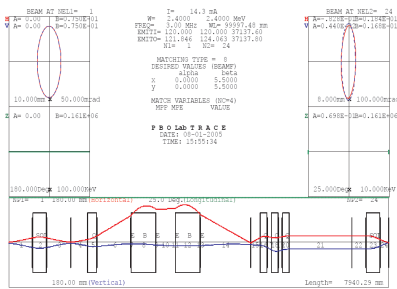


图 2 低能传输段中的束流包络

### 2.2.2 RFQ

RFQ 束流动力学计算采用 LANL 的 PARMTEQM 程序, 入口束流归一化发射度为 1.27mm·mrad, 远大于离子源出口的发射度. 极间电压为 85kV, 约为 2 倍的 Kilpartric 极限. 电极长度为 2.5m, 平均束流孔径为 8mm. 图 3 为主要参数沿 RFQ 的变化.

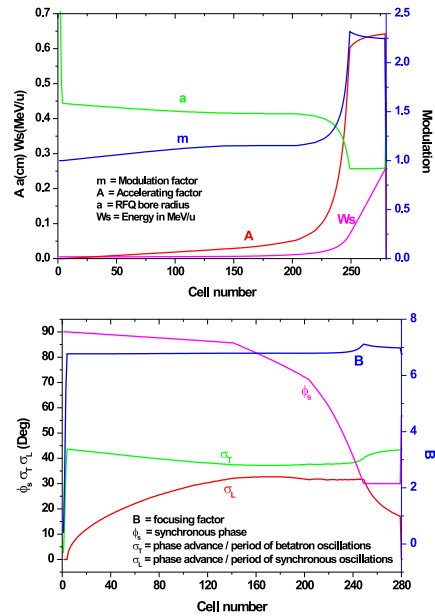


图 3 主要参数随单元数的变化

### 2.2.3 IH DTL

DTL 的动力学设计采用 FRANKFURT 大学的 LORSAR 程序进行. LORSAR 程序是专门用于对 KONUS 动力学结构<sup>[2]</sup>进行设计的程序, 它是基于 DOS 的 FORTURN 程序. 由于现阶段我们的工作重点是第一个 IH 腔体前的部分, 所以动力学设计主要针对第一个腔体进行. 第一个 IH 腔体包含 40 个加速间隙, 腔体内有两个三组合四极透镜用来保证横向聚焦. 总共包含 5 个 KNOUS 段, 其中两个纵向聚束段, 3 个加速段总长度为 2.6m, 有效加速电压为 8.17MV, 加速梯度可达 3.1MV/m, 所对应的最大场强约为 8MV/m, 远远小于 KILPARTRIC 极限 (11MV/m). 图 4 所示为第一个 IH 腔中的束流包络变化.

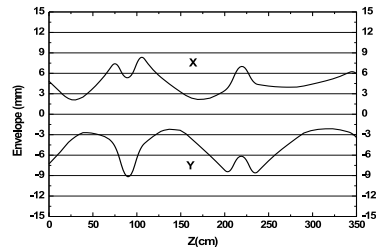


图 4 第一个 IH 腔中束流包络

## 2.3 腔体结构设计

腔体结构设计主要针对 RFQ 进行, 主要做了以下几方面的工作:

1) 电极形状的确定: 通过 2 维场计算, 决定采用微翼型电极结构;

2) 电极支臂: 主要对电极支臂形状对二极场分量的影响进行了分析, 确定最佳的电极支臂形状;

3) 通过对腔体片段(Section)的计算, 确定腔筒直径, 计算腔体的主要高频参数.

图5所示为MAFIA计算的腔体结构, 表2为计算所得的主要高频参数.

表2 RFQ腔体主要高频参数(计算)

频率/MHz	102.2
Q值	7777.1
特征分路阻抗/k $\Omega$	201.1
支撑间距/mm	95
支臂厚度/mm	20



图5 腔体结构示意图

### 3 结论

除中能传输段外, 其他部分的动力学设计已经基本完成. 通过初步的动力学计算表明, 兰州重离子直线加速器的基本参数是合理的, 下一步的主要任务将是进一步完善束流动力学设计, 并开始相关的结构设计.

感谢法兰克福的U.Ratzinger教授所给予的有益指导, 感谢R.A.Jameson提供RFQ的计算程序及在RFQ设计方面所给予的帮助. 感谢北京大学的朱昆及张川博士所进行的有益讨论.

### 参考文献(References)

- 1 Ratzinger U, Tiede R. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1998, **A415**: 229—235
- 2 Ratzinger U. Proc. of the 1991 Particle Accelerator Conf., 567—571

## Development of the Lanzhou Heavy Ion Linac

LI Zhi-Hui ZHANG Jin-Quan LIU Yong XIA Jia-Wen ZHAO Hong-Wei ZHAN Wen-Long

(Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The heavy ion linac in Lanzhou is designed as a future injector for the Cooling Storage Ring (CSR). In order to keep the total machine within 40 meters, the IH (Interdigital H-type) structure is adopted for its higher acceleration gradient compared with the traditional DTL structure. The designed minimum charge over mass ratio is 1/6, the output energy is 16MeV/u and the beam current is 1A· $\mu$ A. The RFQ and the first DTL tank will work at 100MHz, and the other DTL tanks will work at the double frequency. The design criteria, main parameters and the detailed beam dynamic design are introduced in this paper.

**Key words** heavy ion linac, IH-structure, RFQ accelerator