

兰州重离子研究装置 进展报告

第四卷

1985

中国科学院近代物理研究所 编辑

科学出版社

内 容 简 介

中国科学院近代物理研究所从1976年开始重离子研究装置的建设工程。主要任务是把原有的1.5m回旋加速器改建成1.7m扇聚焦加速器作为注入器,另外新建一台能量常数 $k=450$ 的分离扇回旋加速器作为主加速器。该装置能把碳离子加速到100MeV/A,把氦离子加速到4.8MeV/A。预计本工程将于1988年完成。

为了及时反映工程进展、汇集工程技术资料,不定期编辑出版《兰州重离子研究装置进展报告》,以便与国内外同行进行技术交流。

可供从事加速器和重离子物理研究的科技人员及高等院校有关专业的师生阅读。

兰州重离子研究装置进展报告

第 四 卷

1985

中国科学院近代物理研究所 编辑

责任编辑 荣毓敏 王旭

科学出版社出版

北京朝阳区内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年7月第一版 开本:787×1092 1/16

1987年7月第一次印刷 印张:9

印数:0001—1,500 字数:197,000

ISBN 7-03-000074-9/O·18

统一书号:13031·3992

定价:2.20元

PROCEEDINGS OF
HEAVY-ION RESEARCH FACILITY IN LANZHOU
(HIRFL)

Vol. 4

1985

Compiled by Institute of Modern Physics, Academia Sinica

Science Press

1987

顾问 近代物理研究所名誉所长杨澄中教授

主编 魏宝文

副主编 乔庆文 闵 亚

编委 张恩厚 马守武 白国良 张守谨

张恕修 张振康 蒋维模 焦天枢

叶 峰

Advisor: Prof. Yang Chengzhong (Honorable director of IMP)

Chief editor: Wei Baowen

Vice-editors in chief: Qiao Qingwen Ming Ya

Members: Zhang Enhou Ma Shouwu

Bai Guoliang Zhang Shoujing

Zhang Shuxiu Zhang Zhenkang

Jiang Weimo Jiao Tianshu Ye Feng

前 言

为及时反映兰州重离子研究装置工程进展情况，并汇集工程技术资料以便与国内外同行进行技术交流，我们自 1982 年起已不定期地内部编辑出版《兰州重离子研究装置进展报告》三卷，供交换赠阅（1—3 卷我所尚有少量存刊，需要者可来信索取）。

为了便于国际交流，进一步满足国内广大读者的需要，从 1985 年（即从第四卷）起，仍由中国科学院近代物理研究所编辑，由科学出版社出版，向国内外发行。本卷主要报道 1984 至 1985 年主加速器（SSC）的研制和安装以及注入器（SFC）的安装和调试进展共 23 篇。

编 者

Preface

In order to introduce the current progress of the project for Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL), collect engineering and technological data and promote the scientific exchange with the colleagues at home and abroad, we have edited and published nonperiodically three volumes of Progress Report on HIRFL inside since 1982, which can be provided for exchange and given free by the publisher (there are only a few in our institute, if need, please write us).

For the sake of the needs of our domestic and foreign readers and international exchange, from now on the progress report is still edited by Institute of Modern Physics (IMP), Academia Sinica and published by the Science Press, China. It is issued both at home and abroad.

The present issue, which gathers 23 papers, mainly reports the researching and installing of main accelerator (SSC) as well as the assembling and testing of injector (SFC) during the period from 1984 to 1985.

Editors

目 录

1. 原型腔体的冷态测试.....	1
2. 高频加速腔的调谐系统.....	6
3. 12MF 试验真空室的设计与建造	17
4. 磁通道 MSI3 最佳补偿垫片尺寸的计算	21
5. HIRFL 的束流后输运系统	29
6. HIRFL SSC 控制系统	34
7. SSC 的控制软件概述	41
8. SSC 磁铁电源的控制系统——磁场分控站	45
9. 重离子加速器高频加速系统的计算机控制.....	50
10. SSC 真空排气系统计算机控制	55
11. HIRFL 注入引出控制系统	60
12. 束流狭缝控制系统.....	63
13. HIRFL 束流输运线控制系统	66
14. HIRFL 前束运线电源控制	71
15. HIRFL 束流相位测量系统	74
16. 微分探针控制与数据采集系统.....	81
17. SFC 引出系统的微机控制	84
18. 1.7 米回旋加速器磁场测量	88
19. SSC 安装检测方案及典型工艺	94
20. 标准磁铁的设计计算.....	101
21. 束流时间和能量分辨制备系统.....	109
22. 扇型聚焦回旋加速器实现微机局部闭环控制的探讨.....	122
23. ECR 离子源及其注入系统	128

Contents

1. Prototype Cavity Test	5
2. The Tuning System for HIRFL's RF Cavity	16
3. Design and Construction of the 12M ³ Testing Vacuum Chamber	19
4. Calculation for Optimizing the Size of Compensation Shims of the Magnetic Channel MS13	28
5. HIRFL's Post Beam Line	33
6. The SSC Control System of HIRFL	40
7. The Software of the Control System for SSC	44
8. The Magnetic Substation Controlling Power Supply to Magnet of SSC	49
9. The Computer-Control System of the RF System for HIRFL	54
10. Computer Control for the SSC Vacuum Evacuation System	59
11. The Control System of the Injection and Ejection System for HIRFL	62
12. The Control System of the Beam Slit	65
13. The Control System for the HIRFL Transport Line	70
14. The Power Supply Control of the Beam Transport Line for HIRFL	73
15. HIRFL Beam Phase Measuring System	80
16. A Control System for Measurement of Beam's Position by Means of Differential Detectors in the Radial Direction of SSC	83
17. The Microcomputer Control for the Extraction System in SFC	87
18. The Measurement for the 1.7m SFC Magnetic Field	93
19. The Examinational Design for Installing and Positioning of the SSC of HIRFL and the Typical Technologies	100
20. Design and Calculation of a Standard Magnet	108
21. A Beam Time and Energy Resolution Preparation System	121
22. The Introduction of Some Microcomputer Control Loops, For Sector-Focusing Cyclotron	127
23. The ECR Source of 1.7m SFC and Its External Transport System	133

1. 原型腔体的冷态测试

周 学 厚

一、概 述

SSC 的高频加速腔设计是在模型实验基础上,通过对不同结构腔体比较,依照加速器总体方案的要求,经过反复计算之后完成的(见图 1.1)。为了确保设计精度,曾用法国 GANIL 小组计算腔体的方法进行过校验,两者结果十分吻合。尽管如此,物理设计中仍然缺少该腔体模型实验的依据,特别是腔体结构复杂,采用大波纹板调谐,给计算带来误差,也给机械加工增加难度。在没有对原型腔体测试之前,制造好的腔体能否满足设计要求,是令人担心的。今年十月初,两台原型腔体已全部加工好,其中一台腔体初步安装调试完毕。在小功率发射机激励下,进行了物理参数的测试,其结果完全符合设计指标。

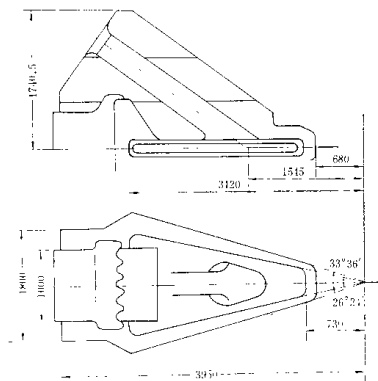


图 1.1

二、实验装置

腔体冷态测试装置如图 1.2 所示。由于没有可以容纳腔体的真空室供实验用,只能在大气中进行实验,因而不能使用大功率发射机激励腔体,实验中由 100W 宽带放大器激

励。由数字频率计和超高频毫伏表分别监测腔体谐振频率和D盒电压。改变波纹板之间的距离 d ，可以找出相应的腔体谐振频率 F ，对于不同的谐振频率，可以测得沿加速缝的D电压分布。

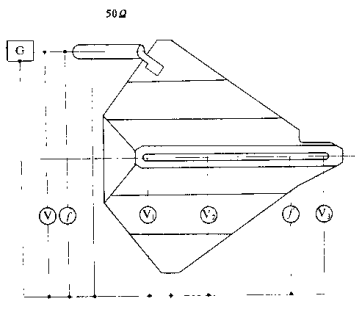


图 1.2

三、实验结果及分析

1. 腔体共振频率范围

图 1.3 的曲线描绘出了腔体谐振频率与动板位置的变化关系。不难看出，原型腔体的谐振频率范围为：6~15.28 MHz，相应的动板位置为：2~40 cm。在设计指标6.5~

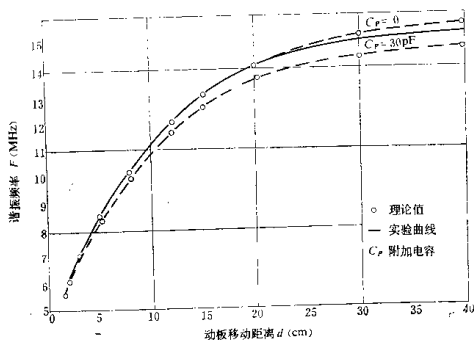


图 1.3 腔体谐振曲线

14MHz 范围内,实验曲线与计算值几乎重合,在我们最关心的低端频率仍有一定余地。理论设计要求在 $d = 2\text{cm}$ 时,最低频率 $F = 6.5\text{MHz}$ 。在实际计算中,为了有充分把握,调整腔体尺寸使 $d = 2.5\text{cm}$ 时,就达到 $F = 6.5\text{MHz}$ 。本实验的结果亦为此值。这一结果充分证实了腔体设计方法的可靠性与精确性。

2. D 电压分部测量

由于腔体要从贵州运往兰州组装交付使用,因此,在贵州组装时,有一些部件之间的接缝没有焊接而使用铜皮连接以满足实验的最低要求。这就使腔体 Q 值下降较多,由于在测量电压分布时有许多连接铜皮已断裂开,腔体 Q 值仅在 2000 左右,使测量精度下降,但电压分布总的趋势仍符合计算值。引出端大半径区域电压沿半径方向上升,这将产生束流相位压缩效应,从而有利于束流引出,图 1.4 分别给出了 6.5MHz、9.63MHz、14.05MHz 三个频率的 D 电压分布。

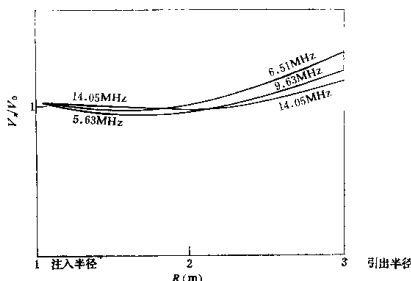


图 1.4 D 电压分布

四、讨 论

1. 实验结果验证了腔体的理论计算方法是可靠并具有较高的精度。腔体工作频段 6.5~14MHz 的设计值与实验值非常吻合,其误差小于 2%,这也说明在计算中进行的一些近似处理是合理的。同时也证明了用传输线理论计算复杂形状的谐振腔,是可以用于加速器高频腔的设计,其精度完全满足工程设计要求。

2. 从图 1.3 的谐振曲线看出,在谐振频率超过 14MHz 之后实验曲线比 $C_p = 0$ 的理论值开始下降,但仍在 $C_p = 30\text{PF}$ 的曲线之上。这是因为腔体本身相对于均匀传输线不连续及近似计算中的误差都可折合成电容归入附加电容 C_p ,这个电容对高端频率影响很大,对低端影响小。在设计腔体时根据模型实验的结果,估算此电容在 30PF 之内。因此腔体的高端频率以 $C_p = 30\text{PF}$ 的曲线为准,低端频率则以 $C_p = 0$ 的曲线为准,这就保证使腔体的实验谐振曲线在 $C_p = 0$ 与 $C_p = 30\text{PF}$ 两条理论计算曲线之间,

实验结果证实了这种设计思想是正确的,从本实验分析附加电容量约 10PF 左右。

3. 高频系统总参数中,在频率为 6.5MHz 时,腔体工作的最高峰值电压(引出端)为 100kV,据来自法国的报导, GANIL 的腔体在 6.5MHz 时引出端电压仅为 70kV,其原因这是由于两波纹板之间距在 6.5MHz 时仅为 20mm,尽管按照 Kilipartric 判据此距离可以承受 100kV 的高压,但实际上由于机械安装精度及真空等方面的问题,很难达到 100kV,如果在 6.5MHz 时两波纹板峰与谷之间距大于 20mm,则有可能承受更高的电压。本实验中两波纹板的相对位置并没有调到最佳状态,在 6.5MHz 时两波纹板峰谷之间距最小为 25mm,最大 32mm 左右,其平均距离约 28mm。在最后的腔体总装中,若能提高波纹板装配精度,一定可以提高引出端电压。可以预见,经过仔细安装,调试后的腔体在 6.5MHz 时两波纹板的间距不会小于 28mm,这将有利于腔体在低频端的工作,最终达到 100kV 的引出端电压。

Prototype Cavity Test

Zhou Xuehou

Abstract

The first prototype cavity was constructed and fabricated in Guizhou province in October, 1985.

The main parameters of the RF resonator such as frequency range, Q-value, the voltage distribution along the accelerating gap were measured. The results of measurement agreed with calculation. The frequency range of the RF cavity from 6.5 MHz to 15.28 MHz, corresponding distance between two wave plates from 25 to 400 mm. It's possible to realize the Dee voltage of 100 kV for 6.5 MHz.

2. 高频加速腔的调谐系统

黄廷泽 刘德庭 刘明义 阎 聪 石爱民 聂玉珠

HIRFL 的高频加速腔的调谐系统,包括移动波纹板装置及其控制系统,频率微调机构及其控制系统。高频加速腔的调谐控制系统方框图及原理图,如图 2.1 和图 2.2 所示:

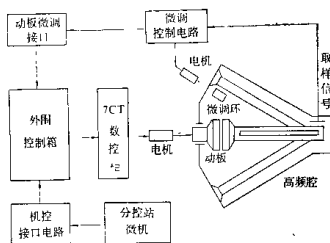


图 2.1 高频加速腔调谐系统方框图

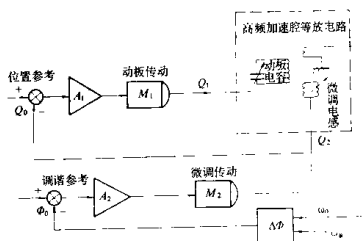


图 2.2 高频加速腔调谐系统原理图

高频加速腔的调谐控制系统,是为了保证高频加速腔在加速不同离子(或不同能量的离子)时,必须改变加速腔谐振频率以及由于各种因素引起的腔体机械振动和热变形而使腔体谐振频率发生变化需进行频率补偿而设计的。移动波纹板装置及其控制系统是用来改变腔体频段及作为较大范围频率失谐时的补偿;频率微调机构及其控制系统则用于腔

体谐振频率在小范围频率失谐时的补偿。

高频加速腔的调谐控制系统是其心脏部分。为了满足高频加速腔对调谐控制系统的技术要求,在机械设计、电气设计及加工制造中,都进行了大量的调研和实验,选取了较先进的元器件和控制手段,采用了切实可行的工艺措施。1985年9月经对上述两个项目各自进行机电联合实验表明,已达到并超过了高频加速腔对调谐控制系统要求的指标。所以,其设计和制造都是成功的。

移动波纹板装置及其控制系统

一、高频加速腔对移动波纹板装置(以下简称动板装置,可动部分简称动板)及其控制系统的技术要求

1. 调谐范围为 $6.5\text{MHz} \sim 14\text{MHz}$ 。
2. 频率调谐精度为 $\Delta f/f \leq 1 \times 10^{-4}$ 。
3. 动板前端为 $1240 \times 1240\text{mm}^2$ 方形,端面呈波纹状,厚为 290mm ,后部为 $\phi 1000 \times 570\text{mm}$ 的圆筒形。
4. 高频腔换频时动板可移动范围为 $0 \sim 450\text{mm}$ 。
5. 动板每步移动量及其精度: $4\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$ 。
6. 动板的导电触头的线电流密度为 20.5A/cm 。
7. 动板的发热功率为 2kW ,触头处为 2.5kW ,采用循环水冷却。
8. 动板装置是工作在 1×10^{-7} 托的真空中,其中动板在运行中一直处于带电运动状态。
9. 动板的导电表面光洁度为 $\nabla 8$ 。

此外,对动板在移动中的振动,移动速度及加工制造中所用材料的出气率、导电率均有较高的要求。

二、动板装置的机械设计

动板装置由支撑机构和传动机构两个部分组成。移动波纹板装置的机械结构示意图

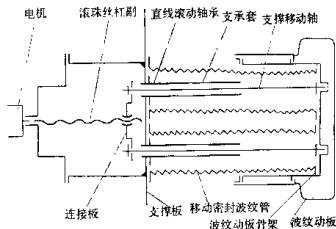


图 2.3 移动波纹板装置结构示意图

见图 2.3。

由高频加速腔的结构决定了动板装置必须是悬臂梁结构,并且高频加速腔运行时,要求动板进给量最小及其精度最高处,正好是动板悬臂最长处即工作条件最恶劣处。为了保证动板的进给量及其精度达到 $4\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$ 的要求,在机械设计上,采取了下列的措施:对动板移动轴的支承,采用了直线滚动轴承,实现了滚动摩擦移动,并对该移动轴采取了增强刚度的措施;动板与电机直接用滚珠丝杠副连接并传动,这样既缩短了传动链,又提高了传动刚度。在加工工艺上,对支撑板上的两个支承套上的轴承孔,采用了一次装夹加工的方法;对移动轴的轴径采用了与轴承孔径配加工的方法;对移动轴两端的连接件的孔采取了配镗的方法。

三、控制系统的设计

原频率调谐精度为 $\Delta f/f \leq 1 \times 10^{-4}$ 时,动板定位精度为 $8\mu\text{m}$ 。为保证微调有足够的覆盖量,后把频率调谐精度提高到 6×10^{-5} ,动板定位精度为 $4\mu\text{m}$ 。对于动板这样重量较重而且工作条件恶劣的运动件,要达到此定位精度的难度是很大的。为了达到 $4\mu\text{m}$ 的定位精度要求,电器控制上采取了以下措施:

1. 选用了先进的 7CT 数控柜(见图 2.4)作为核心的控制单元。7CT 数控柜是由专用的微机管理的,技术先进,功能齐全,驱动精度高,最小进给量为 $1\mu\text{m}$,采用不同的硬件可组成半闭环控制或全闭环控制,并具有多种功能补偿。

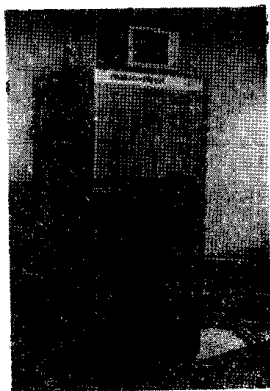


图 2.4 7CT 数控柜

2. 根据加速器的运行特点,设计了专用的外围设备。因为 7CT 数控柜虽具有技术先进、功能齐全、驱动精度高的特点,但它不能单独运行。它只提供了 200 多个 I/O 控制端,必须配以必要的外围设备,控制才能正常工作。所以,我们根据调谐控制要求完成大

调谐小微动和高精度的要求,设计制作了专用的 7CT 外围控制设备。外围控制设备的照片如图 2.5 所示。

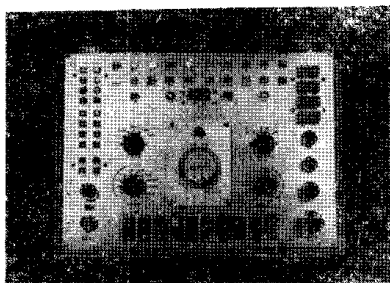


图 2.5 外围控制设备

3. 设计了动板微调控制接口电路。由于 7CT 数控柜可接受控制信号是有特殊要求的双脉冲信号,而微调控制系统只能提供简单的开关信号,为解决此矛盾,我们设计了可以使微调与 7CT 联机的接口电路(见图 2.6)。

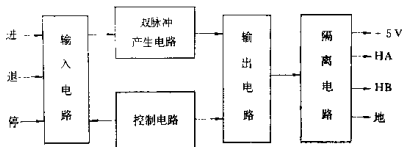


图 2.6 动板微调控制接口框图

经采取以上措施,解决了动板和微调联机的跟踪式自动调谐问题,保证了加速器运行中的频率稳定,使失谐不大于 $\pm 5 \times 10^{-6}$ 。

四、动板及其控制系统的机电联试

A. 实验的目的

1. 检验机械设计及电气设计的合理性;
2. 检验加工工艺的合理性。

B. 实验项目及步骤

机电联试工作,由于条件的限制,仅在大气状态下进行了下列三种共七个项目的实验,测得约 1500 个数据。

1. 测量动板与给定指令数值相对应的移动量:

- a. 在控制系统进给 $2\mu\text{m}$ 时,从 0 点 (0 点即动板与定板靠紧时的位置,下同) 开始,