

文章编号: 1007-4627(2002)03-0334-04

HIRFL NB1 控制系统的设计

郑伟绩, 张 峡, 黄新民, 尹全民

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 通过对新 B1 聚束器的介绍, 比较详细地分析了 NB1 腔体内部组件对谐振频率的影响, 并以此为依据, 阐述了 NB1 控制系统的设计应如何结合其物理特性, 最终设计出的一套实时控制系统. 该系统包含 RF 发射机控制系统和拖动控制系统, 均可手动和计算机对 RF 发射机和 5 个步进电机实时控制.

关键词: 新聚束器 1; 实时控制; 射频

中图分类号: TL503.6 **文献标识码:** A

1 介绍

兰州重离子加速器的注入器 SFC 和主回旋加速器 SSC 之间有一条约 70 m 长的束流运输线, 为了实现两器之间束流纵向相位空间的匹配, 我们放置了一个聚束器 NB1, 它是一种电磁能量储存设备, 通过将高频发射机馈入的电磁能以谐振的方式储存起来, 建立起加速或聚束用的强电场, 用来在束流运动方向上约束束流, 使其相位接受度被限制在 $\pm 6^\circ$ 以内, 正好能与 SSC 中的高频加速的相位宽

度一致, 从而达到减小束流能散度的目的, 进而使离子能在 SSC 中充分加速, 最终提高束流的流强. 经过仔细的束流光学计算, 且考虑到由于从 SFC 引出的束流能散较大, 在某些情况下, 束团长度的展宽甚至超出聚束器的线性区, 所以有必要将 NB1 设计为多工作模式, 即根据 SFC 和 SSC 高频匹配模式的不同, NB1 的工作模式也不同, 同时出于减小造价的考虑, 还要照顾到使聚束器的高频频率范围和最高聚束电压尽可能小些. 几种情况下的聚束模式和 NB1 的物理参数分别见表 1 和表 2.

表 1 NB1 的工作模式*

模式	h_1/h_2	h_B	f_B/MHz	f_{RF1}/MHz	$E_2/(\text{MeV} \cdot \text{u}^{-1})$	$\beta\lambda/2$
1	1/2	6	33-54	5.5-9	3.50-9.46	0.392
2	3/2	2	26-33	13-16.5	2.17-3.50	0.392
3	3/4	2	22-28	11-14	1.55-2.52	0.392
4	3/4	3	22.5-33	7.5-11	0.72-1.55	0.262
5	3/6	3	22.5-28	7.5-9.33	0.72-1.12	0.262
6	3/6	4	22-30	5.5-7.5	0.39-0.72	0.196

* 下角标 1, 2, B 分别代表 SFC, SSC, NB1.

表 2 NB1 主要的物理参数

频率范围	狭缝数	V_{\max} (狭缝)	频率稳定性	两狭缝间距	谐波次数	狭缝宽度
22-54 MHz	2	10 kV	$<10^{-6}$	350 mm	2, 3, 4, 6	35 mm

收稿日期: 2001-12-31; 修改日期: 2002-06-18

作者简介: 郑伟绩(1974-), 男(汉族), 四川广元人, 硕士研究生, 从事计算机自动控制和底层软件开发.

NB1 系统包含 NB1 腔体和 NB1 控制系统两部分. 而 NB1 控制系统包括 RF 发射机控制和拖动系统控制两部分, 每一部分都包括有手动控制和计算机控制. RF 发射机用来在 NB1 腔体内产生高频电场, 而拖动系统主要用来调节 NB1 腔体内的谐振频率. 手动控制系统通过电缆线连接到计算机控制系统, 该系统主要使用了 Motorola 的基于 CompactPCI 总线的 CPX2000 型工控机. 该工控机不但安装灵活、散热性好, 而且还可同时安装 8 个 6U 高的 CompactPCI 插件, 丰富的功能插件组合可以实现复杂的工业控制. 同时, 它所具备的高数据传输速率基本达到了实时改变 NB1 工作模式的要求.

2 RF 发射机控制

RF 发射机控制系统主要用来给 RF 发射机提供工作电压, 而 RF 发射机的作用在于为 NB1 提供高频电场. 为了保护发射机内部的元器件, 尤其是保护功率管的阴极寿命, 在开关时必须遵循严格的步骤.

RF 发射机的控制量共有 4 类: 监测量、报警量、状态量和开关量, 外加一个波形产生量, 共有 42 个控制点, 包含了模拟输入/输出量和数字输入/输出量. 鉴于这种情况, 我们采用了 2 个 6U 高、单宽的 CompactPCI 板卡: CPCI-200A 和 Tpmc501, 它们都属于 IP (Industry pack) 载板, 外部都是 SCSI 接口. IP 载板目前已被工控领域广泛采用, 在上面可以放置功能独立的 IP 模块, 最多可以放 4 个, 最少可以放 1 个, 视不同的情况而定. 在 CPCI-200A 放置了 3 个 IP 模块: 提供 48 路数字输入/输出量的 IP-UniDig-E, 用于报警量、状态量和设定量的输入/输出; 具有 8 路继电器的 IP-Relay 用于控制开关量; 4 通道电压输出的 IP235-4 用于波形发生器. 而在 Tpmc501 上放置了 1 个 IP 模块: 16 路差分或 32 路单点输入的 TEWS501-13 主要用于各级电压值的采集.

3 拖动系统控制

在 NB1 腔体内有微调电容、耦合环、短路片和动板 A, B. 要想改变 NB1 腔体内谐振频率, 就要调节短路片和动板的位置, 为了满足较宽的频率范围要求, 新 B1 采用了短路片和动板联合变频的调

谐方式. 对于 NB1, 当固定动板而移动短路片, 其调谐范围为 29—54.7 MHz, 见图 1(a); 然后固定

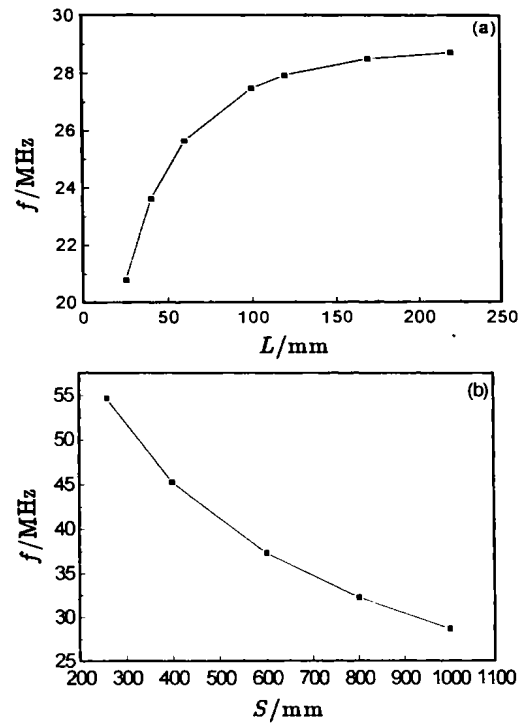


图 1 (a) NB1 频率与短路片位置 L 关系曲线及 (b) 频率与动板间距 S 关系曲线

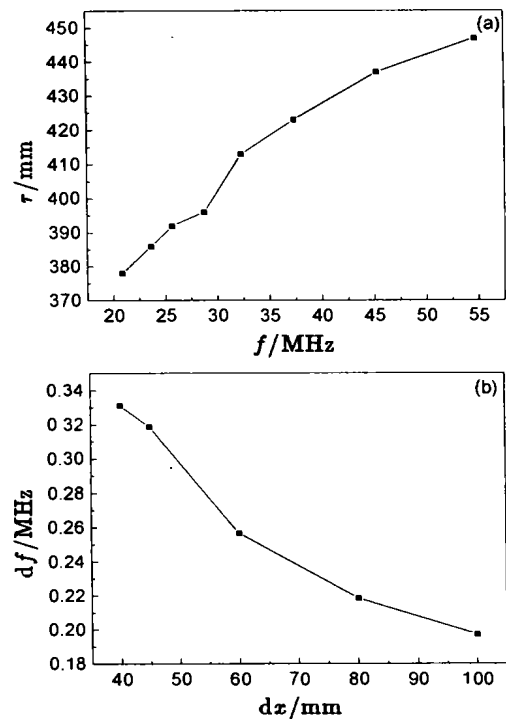


图 2 (a) 耦合环位置 r 与频率关系曲线及 (b) 微调电容调节长度 dx 与频率改变关系曲线

短路片而移动动板时, 其调谐范围为 20.8—29 MHz, 见图 1(b). 从表 2 不难看出, 低端肯定没有问题, 而高端 0.7 MHz(54.7—54=0.7)的余量通过微扰理论计算得知也能满足设计时的要求.

耦合环的作用在于把 RF 发射机产生的高频电场馈入 NB1 腔体内. 为了减少对发射机功率馈入的要求, 一方面腔体设计时应尽量提高其品质因数, 即减小功耗; 另一方面发射机与腔体之间应尽量达到理想匹配以减小电磁波的反射. 根据我们的实际情况, 对于作为 $\lambda/4$ (λ 为腔体内电磁场的谐振波长)共振腔的 NB1 腔体, 采用通过磁场区的磁耦合环(电感环)高频电场馈入 NB1 腔体的方式比较合适. 在不同工作频率下, 耦合环的位置调节见图 2(a).

虽然只用动板就可以满足调谐精度的要求, 但

这样一方面加大了调谐难度, 另一方面短路片的频繁移动也将影响其寿命, 为此我们引进了微调装置. 由于空间位置的限制, 采用电容微调. 经计算, 电容采用直径 80 mm 的圆柱, 计算结果见图 2(b), 其中 df 为加入微调电容后的频率改变量.

图 3 为整个拖动系统的原理框图. 工作时, 首先选择驱动对象(由步进电机带动的微调电容、短路片、耦合环和动板 A, B), 然后确定驱动方式(步长), 最后选择步进电机的转动方向(正向和反向). 拖动系统能实时采集步进电机的位置值, 经量化校准后, 分相对位置和绝对位置显示出来, 绝对位置可以确定步进电机的当前位置, 而相对位置能明确步进电机的极限位置. 如果步进电机已经在极限位置附近, 则此时操作务必小心, 否则将会损坏步进电机.

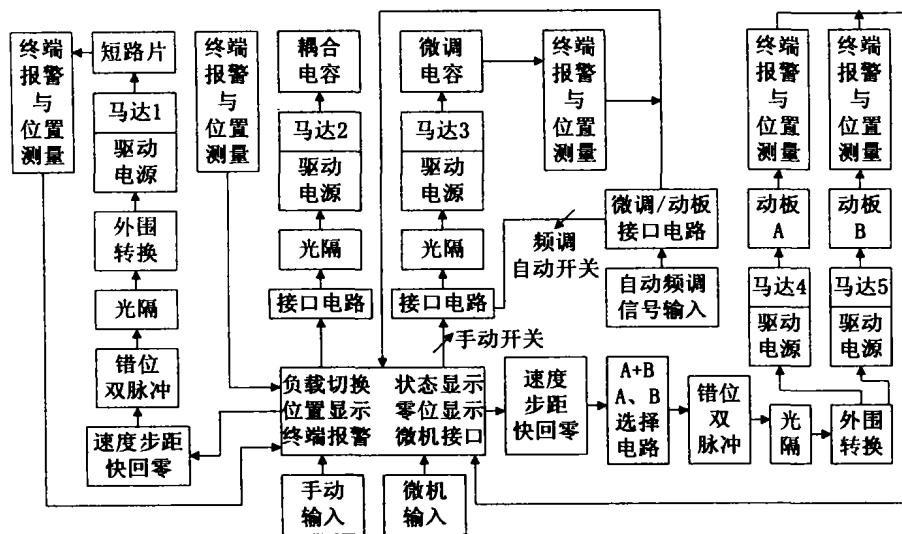


图 3 拖动系统原理框图

4 结论

在对 NB1 系统进行操作时, 理论计算值只能作为调束依据, 因为在 NB1 使用中还有其它因素影响束流, 包括电压的稳定性以及各种探测装置等. 另外, 短路片、耦合环和微调电容的具体位置及动板 A, B 之间的间距对谐振频率应该有一个最

优值, 它并不是固定某三者得到第 4 个最优值的简单累加, 而是出于一种最优控制的综合考虑. 建成后的 NB1 的聚束参数如表 3. 为了使得操作人员进行“计算机或手动”切换时控制方便和操作简捷, NB1 计算机控制界面的按钮分布与手动控制系统机柜上的控制面板的按钮分布完全一致. 目前程序

表 3 NB1 的聚束参数

频率范围	Q ($\Delta\omega/\omega$)值	电源功率	步长 * (1, 2)/ μm	步长 * (3)/ μm
20.8—54.7 MHz	8 000—10 000	20 kW	1	4

* 1 代表短路片, 2 代表动板, 3 代表微调电容.

的编写工作已经结束,在仿真测试中运行良好.

参 考 文 献:

- [1] 李智慧,周学厚,唐靖宇. HIRFL 新 B1 聚束器的腔体设计[J]. 强激光与粒子束, 1999, 11(6): 771. 403—439.
- [2] 唐靖宇,尹全民. HIRFL 中的束流纵向运动[J]. 强激光与粒子束, 1999, 11(6): 756. [4] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999, 309—347.
- [3] Tom Shanley, Don Anderson. PCI 系统结构(第四版)[M]. 刘 晖, 冀然然, 夏意军译, 北京: 电子工业出版社, 2001, [5] Zheng W J, Huang X M. The Buncher NB1 Control in HIRFL[C]. The Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, 2001.

Design of NB1 Control System in HIRFL

ZHENG Wei-ji, ZHANG Xia, HUANG Xin-min, YIN Quan-min

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

Abstract: With the introduction of New-Buncher 1 system, the article analyzes the influence that these inner components of the NB1 cavity upon it's working frequency in detail, and according to the physical characteristics of the NB1 cavity, a set of real-time control system will be carried out. The NB1 control system includes RF emitter control and moving system control, which both have local control and computer control on RF emitter and five stepping motors.

Key words: new-buncher1; real-time control; radio-frequency