

文章编号: 1007-4627(2005)02-0190-03

SFC 的改进

王义芳, 吴德忠, 张小奇, 马力帧, 何 源, 王 兵,
赵建民, 吴翼健, 王志学, 唐靖宇, 赵红卫
(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 根据兰州重离子加速器的注入器 SFC 运行 20 年来所发现的问题, 近几年进行了一次大的改造, 使其真空度、磁场分布以及高频系统的状态都得到了明显的改善。半年多的调束和运行实践表明这次改造是十分成功的。

关键词: 兰州重离子加速器; 真空度; 杂散磁场; 高频腔

中图分类号: TL56 **文献标识码:** A

1 引言

兰州重离子加速器是一个回旋加速器组合系统。由电子回旋共振(ECR)离子源提供的离子束首先在注入器, 即扇聚焦回旋加速器(SFC)经过第一次加速, 然后通过前束线进入主加速器, 即分离扇回旋加速器(SSC)进行第二次加速, 得到较高能量的离子束通过后束线进入各个实验终端、放射性束线(RIBLL)以及正在建造的冷却储存环(CSR)。注入器 SFC 是由 20 世纪 50 年代原有的经典回旋加速器改造而来的, 它从 20 世纪 80 年代初开始运行到现在已有 20 年的历史了。在这个过程中, 虽几经改进, 仍有几个问题尚没解决。下面就这几个问题分别进行介绍。

2 存在的主要问题

2.1 真空度太低

SFC 在运行的前一段时间使用的是放在加速器中心区的 PIG 源, 由于它本身就是一个气源, 当时在加工真空室的时候对真空度就没有提出太高的要求。在真空室设计时, 采用了半真空室结构, 即把两部分真空室用橡胶'O'圈组装在一起。运行中发现, 一方面安装后周围设备太多, 无法检漏; 另一方面'O'圈老化后很难更换。在加速器的真空室中气源很多, 如上、下极面有 12 对同轴线圈、12 对谐

波线圈, 它们中间都有去离子冷却水, 除了它们本身表面出气外, 还存在 100 多个通过真空室壁的水接头问题。磁铁的上、下极面是真空室壁, 出气率很高。另外, 里面还有静电反射偏转镜、引出静电偏转板、相位探针、径向移动探针、耦合电容和 Dee 盒等。这些都给真空度的提高带来困难。在真空室的焊接过程中, 当时工艺不够过关, 使用了两面焊的方法, 造成中间夹气, 成了一个气源。实验表明, 真空计显示的低温泵泵口的真空度为 4×10^{-5} Pa, 而此时在加速器中心区的真空度整整低一个数量级! 在调 Ar 束过程中, 当束流从 SFC 引出后, 将两个低温泵中的一个阀门关掉, 束流强度立即降低了一半。在此情况下, 我们作了一些理论工作^[1], 结果表明, 随着离子质量的增加, 束流在真空中与剩余气体碰撞的几率增大。对于兰州重离子加速器要求加速全离子来说, 要想有较高的传输效率, 在加速区的真空度至少要好于 1.33×10^{-5} Pa。

2.2 杂散磁场比较强

如前面所述, SFC 是由 20 世纪 50 年代原有的直径为 1.5 m 的经典回旋加速器改造而来。在改造过程中, 除了原有的磁轭外所有部分都是新的。SFC 的极面直径扩为 1.7 m。也就是说极面面积增加了近 30%。而在许多情况下磁场强度在 1.7 T 以上, 以致于磁轭中的磁场达到 2.2 T, 磁饱和非常

收稿日期: 2004-09-10; 修改日期: 2004-11-01

作者简介: 王义芳(1942-), 男(汉族), 山东青岛人, 研究员, 从事加速器物理和技术的研究;

E-mail: wangyf@impcas.ac.cn

严重。加速器周围存在很强的杂散场。这一方面不利于束流的注入,另一方面也给束流的引出带来困难。由于杂散场的影响,束流在垂直注入时与束流管道的同轴性很差。当在接近中心区的法拉第筒上束流调大以后,束流很难进入注入静电反射镜内,而在反射镜上束流调大后,其法拉第筒上的束流却很小。也就是说,束流不是垂直进入静电反射镜内,这就严重地影响了束流的注入效率。对于引出也遇到了类似的情况。在 SFC 初次调束时,束流从引出法兰到器外以后,进不到输运管道,在不得已的情况下输运管道移动了 4° 角。

2.3 SFC 高频腔的检修

SFC 的高频系统业已使用了近 20 年了,从没进行大的维修,其整体性能变差。短路片上的许多触点已没有弹性,接触性能不好,阻抗变大,局部发热很厉害。调整短路片位置的三个杆子与腔体之间使用了威尔逊动密封,为减少摩擦,杆子上涂了硅油。这种结构的真空密封性能不够好,硅油的存在也会对高真空带来影响。由于长期运行,Dee 盒、腔体等部位的部分冷却水管脱焊,耦合电容漏气,腔体、Dee 盒内的污染和氧化比较严重。这一切造成运行时加 Dee 电压很困难,需要在脉冲状态下锻炼很长时间,才能转成连续状态,而且最高电压仅能到 75 kV,不能满足加速束流的需要。

3 SFC 的改造

3.1 真空系统

为改善 SFC 的真空性能,我们决定重新加工 SFC 真空室。经过调研及反复推敲,决定建造一台两层结构的真空室。如图 1 所示,中间部分是主真空室,上、下两部分为连在一起的二级真空室。所有的线圈及磁铁极面都包在二级真空室里。这样以来线圈及极面的外表面出气及漏气水管与真空室的密封问题就不会影响到主真空室里。两真空室之间为壁厚 5 mm 的铜板,二级真空室内抽空到 6.5 Pa 以避免大气压直接作用在该薄铜板上将其压坏。器内的径向相位探针的信号线也包在一个真空盒内,整个真空室设计成为一个整体结构,解决了旧真空室存在的两部分之间的真空密封问题。在焊接时单面焊透。在加速器的南端增加了一台有阀门的抽速为 10 000 l/s 的低温泵。由于腔体真空室体积很大,

又在其侧面加了一台低温泵,在 SFC 真空室使用了金属和弹性材料进行真空密封。为减少气载,对于很少拆卸的法兰,使用铜垫圈或铝条密封。对于频繁拆卸及大尺寸的法兰,则使用橡胶‘O’圈,并且使用了双‘O’圈结构以防止气体的渗透。

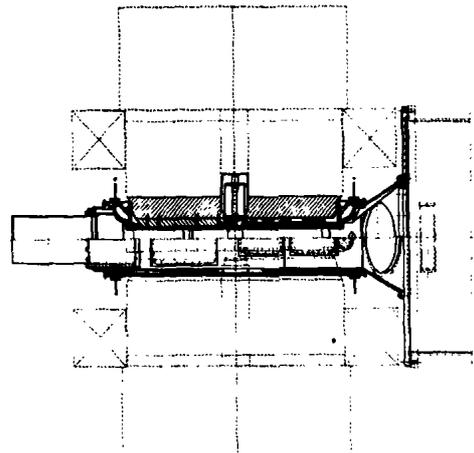


图 1 SFC 的两层真空室结构

为防止由于偶然情况发生时主真空室和二次真空室之间压差过大,如二次真空室突然暴漏大气,所造成的真空壁的损害,安装了两套安全保护系统。一套为真空计控制的气动阀,一套为机械安全阀,控制压差分别为 50 和 4 000 Pa。也就是说,当两真空室之间的压差达到 50 Pa 时,气动阀打开,把两真空室连通,万一气动阀失灵,气压差达到 4 000 Pa 时,机械安全阀将会打开。

同时,也彻底地更新了 SFC 的粗抽系统。

3.2 磁场

为尽量减少杂散磁场的影响,我们进行了两方面的工作。一是在现有磁轭的两侧各增加了 15 cm 的铁量(希望增加得更多一些,但已无空间),另一方面在加速器正下方的地下室(ECR 源和注入线所在地)的天花板上,放置了 1 cm 的铁板,以屏蔽向下泄漏的杂散场(见图 2)。

SFC 安装就绪以后,我们进行了精确测磁工作。沿加速器半径使用了 57 个霍尔片(间隔 2 cm),角向步长 1° ,从 0° 测到 360° (SFC 测磁支架放在磁铁气隙中)。测量主电流从 400 A 到 1 200 A,步长为 100 A 的 9 个场水平的基础场二维分布数据;并分别测量了在不同基础场下 11 组同轴线圈的磁场贡献量、12 个谐波线圈在不同基础场下的贡献量、

垂直注入段(该处的螺线管线圈为新加工安装的)及引出区的磁场。在测磁初期对测磁软、硬件及测磁支架进行了反复的校验和试测。在测磁过程中,不断审核测磁结果,发现问题立刻分析解决并予以重测,最终得到了比较满意的结果。根据测磁的结果,计算了两种离子相应的等时场($^{40}\text{Ar}^{11+}$ 5.3 MeV/u 和 P 9.9 MeV),并实际测量了这两个场。

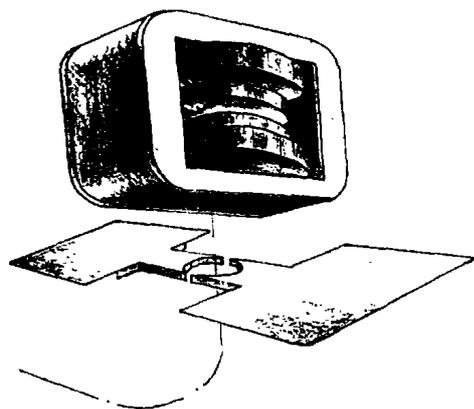


图 2 SFC 屏蔽铁与磁铁的相对位置

3.3 高频系统

针对高频系统存在的问题,对短路片的触点进行了检修和更换;调整短路片位置的三个杆子也由原来的威尔逊密封改为波纹管密封;对腔体、Dee 盒及馈管全部进行了抛光、打磨和维修。

参 考 文 献:

[1] Wang Yifang, Tang Jingyu, Wei Baowen. Consideration of HIRFL Vacuum Pressure. Proc Of the 15th Inter Conference,

Caen France, 1998, June, 301—304.

[2] 俞鸣峰,高宜海,张生虎等.核技术,2001,8(19):696.

4 结果

测磁完成以后,我们对整个加速器进行了彻底的清洗并利用线圈冷却水管及覆面板冷却水管通过高温水进行了几天的烘烤。放置一真空规管于加速器的极隙中(半径约 40 cm 处),然后抽空,加速器极隙中的真空度达到 8.0×10^{-6} Pa,好于希望得到的 1.33×10^{-5} Pa 的要求。

接着对高频系统加电压锻炼,基本上没有发现打火现象,Dee 电压很容易达到 90 kV。我们使用了 γ 射线方法^[2]对 Dee 电压重新进行了标定,发现该电压是可信性的。最后得到 105 kV 的最高 Dee 电压。这对于改善束流的加速状态是非常有利的。

从 2003 年 5 月起,SFC 开始了试运行并接着供束实验。半年来的运行表明,从 ECR 源开始供束到 SFC 引出束流的调束时间比原来减少了一半以上;而且束流流强有了大幅度的提高,对于较轻的重离子,如 O 束,从 SFC 引出了 14 e μ A 以上,对于重的重离子束,如 Pb,也得到了 1 e μ A 的流强,这都是过去从未达到过的。

总之,这次 SFC 的改造工作是成功的,达到了预期的目的。但对 SFC 来说,还有一些工作需要进一步完善,如引出静电偏转板的位置调整、束流探针的流强标定、强流带来的某些设备局部过热等问题。在完成这些工作后,SFC 的运行状态会得到进一步改观。

The Improvement of SFC

WANG Yi-fang, WU De-zhong, ZHANG Xiao-qi, MA Li-zheng, HE Yuan, WANG Bing,
ZHAO Jian-ming, WU Yi-jian, WANG Zhi-xue, TANG Jing-yu, ZHAO Hong-wei
(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: According to the problems found in the period of running for more than 10 years in the injector SFC (Sector Focusing Cyclotron) of Heavy Ion Research Facility in Lanzhou, an extensive improvement included vacuum pressure, distribution of magnetic field as well as RF system was carried out in recent years. The practice in beam tuning and operation for more than half year indicated that the status of SFC is improved obviously.

Key words: Heavy Ion Research Facility in Lanzhou; vacuum pressure; stray magnetic field; RF cavity