

SFC 新谐波电源的研制

王义芳, 陈明朗, 王贵文, 苏雅龙, 金乾刚

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 简要描述了扇聚焦回旋加速器(SFC)中使用谐波场的意义和对谐波电源的要求。根据长期运行的经验, 对原有谐波电源的缺点和不方便处进行了分析。在此基础上, 提出了使用稳流电源和控制系统相结合的方法提供所要求的谐波电流。描述了新电源的优点, 在运行过程中也充分显示了它的优越性。

关键词: 谐波电源; 直流电源; 余弦电源; 扇聚焦回旋加速器

中图分类号: TL503.5 **文献标识码:** A

1 引言

兰州重离子加速器装置(HIRFL)的注入器(SFC)是一台扇聚焦回旋加速器, 经 SFC 加速的离子束输送到主加速器 SSC 第二次加速后, 提供做各种物理实验。在 SFC 的 3 个磁铁的谷中, 沿半径方向安装了 4 组独立的所谓“谐波线圈”(图 1), 每一

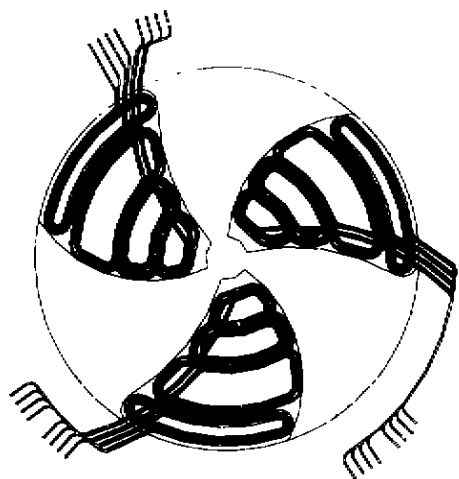


图 1 谐波线圈分布示意图

组谐波线圈分别由分布在 3 个谷中同一半径的线圈组成^[1]。这些谐波线圈的主要用途有: 校正由于磁铁存在的某些缺陷对束流轨道造成的影响; 校正经螺旋偏转器(或称反射镜)后注入束流的轨道偏离;

校正 D 盒的两个加速缝沿半径方向高频电压分布不对称性造成的轨道偏离以及利用它们产生的一次谐波场使 SFC 大半径区域的束流进动, 以改善单圈引出效率等。简言之, 需要由这些谐波线圈产生所需要的不同方位和不同幅度的一次谐波场, 以满足对束流轨道的要求。一次谐波场是叠加在加速器已建造的等时场的基础上, 因此, 谐波场的存在不应当影响束流的等时性。

此外, 要求一次谐波场的幅值从 0 到某一定值连续可变, 其相角从 0° 到 360° 连续可调。

因此, 加在每一组 3 个谐波线圈的励磁电流应满足下列关系式:

$$\begin{aligned} I_1 &= I \cos \varphi, \\ I_2 &= I \cos(120^\circ + \varphi), \\ I_3 &= I \cos(240^\circ + \varphi). \end{aligned} \quad (1)$$

其中, I 为谐波电流的幅度, φ 为相角。从式(1)中可见, 当 φ 在 $0^\circ - 360^\circ$ 变化时, 谐波场相位沿角向变化 1 周, I 的变化可以相应地改变一次谐波磁场幅度的大小。

2 余弦电源

在建造 SFC 的过程中, 对于每一组谐波线圈, 我们使用了一台余弦电源提供所需要的电流。余弦电源的基本结构如图 2 所示。由余弦电位器输出的 3

个电压值 U_1, U_2, U_3 分别经过 3 个直流放大器放大, 输出电流 I_1, I_2, I_3 分别供给一组谐波线圈的 3 个线圈. 余弦电位器的结构如图 3 所示, 在一个正方形的平板上沿平行于一个边的方向依次绕制线圈, A 点和 B 点分别为线圈的两个抽头, 以正方形的中心 o 为圆心, 以 $1/2$ 边长为半径, 相间 120° 放置了 3 个滑动触点 1, 2, 3. 当调节余弦电位器时, 其 3 个滑动触点同步旋转. 这 3 个触点的电位满足下面的关系式:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{U}{2} \cos \varphi, \\
 U_2 &= \frac{U}{2} \cos(120^\circ + \varphi), \\
 U_3 &= \frac{U}{2} \cos(240^\circ + \varphi).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

此时, o 点为地电位.

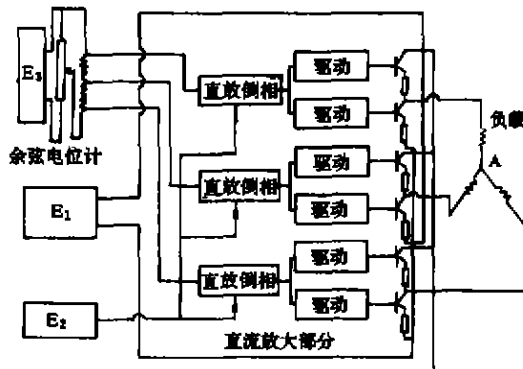


图2 余弦电源总体结构图

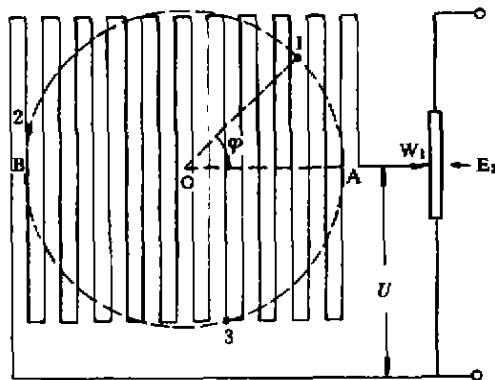


图3 余弦电位器结构图

在长期使用过程中发现, 该电源有一些缺点和不方便的地方, 如在建造这类电源时没有考虑留有接口, 因此很难实现计算机远控, 给调束带来很大不便; 余弦电位器从原理来说没有什么问题, 但在加工工艺上很难做得精度很高, 如 3 个滑动触点间

120° 的角度差的精度如何保证, 绕制线圈导线的粗细、线圈导线的不均匀性带来的误差和三触点到 o 点的距离不能保持一致并等于半个边长所带来的误差等. 3 个直流放大器的元器件要求严格筛选和调试, 以保证有相同的放大倍数, 这在加工过程中是很讨厌的, 更严重的是在运行过程中若出现故障需更换元器件, 就很难再保证一致性了; 由于负载线圈导线截面大小不是严格一致的, 所以同一组谐波线圈中的 3 个线圈的电阻也很难保证一致, 因此, 即使从 3 个直流放大器输出的电压完全满足上面的关系式(2), 最终加在这 3 个线圈上的电流也不能保证满足关系式(1), 也就是说不能保证所要求的一次谐波场. 另外, 从图 2 可见, 负载的星形接法, 没有中线, 一旦某一路上因某些原因电流改变, 也会引起其它两路的电流发生变化. 根据上面提出的一系列问题和由此给调束运行带来的诸多不便, 我们研制了新的谐波电源.

3 新谐波电源

新电源完全抛弃了原来的工作模式, 使用 3 台直流电源分别给 3 个线圈供电, 使用计算机控制来实现加在 3 个线圈上的电流满足关系式(1). 直流电源的优点是电流有非常高的稳定性^[2], 3 台电源的元器件互相独立, 性能互不影响, 电源的维修也没有什么特殊要求. 计算机控制加在 3 个线圈上的电流, 与负载电阻的一致与否不相干, 全部克服了原来电源模式带来的缺点. 当时担心两个问题, 一是每台电源在过零点时是否容易换向, 并被计算机所控制; 二是电流在接近零值时是否连续且有较好的线性. 实验测试表明, 没有任何问题. 此外, 建新电源的经费(包括控制系统在内)也比原谐波电源便宜.

由于直流电源是 HIRFL 的通用电源, 对 4 套谐波电源共计 12 台稳流电源的控制也采用统一的 CAMAC 电源控制器来实现^[3]. 每一个单宽度的 CAMAC 电源控制器控制 1 台稳流电源, 12 个控制器安装在 1 个标准的 CAMAC 机箱中, 该机箱是 SFC 控制系统 CAMAC 串环中的一个机箱, 系统组成见图 4.

谐波电源控制系统的特点是标准化、硬件统一规范化、运行安全可靠和造价相对较低. 该系统的

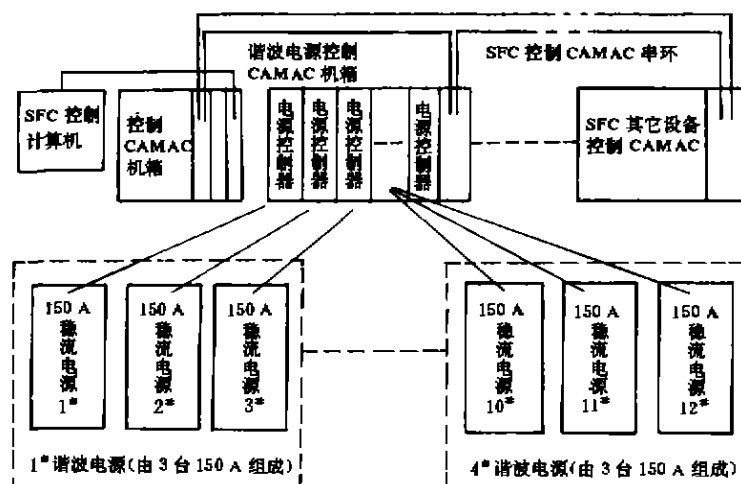


图 4 谐波电源控制系统框图

驱动程序采用 C 语言, 控制界面采用 VB 编程, 具有良好的用户操作界面。

目前, 4套新谐波电源及其相应的控制系统已

经完成并投入使用。结果表明, 该类电源精度高、稳定性好和使用方便, 给调试束流提供了便利的条件。

参 考 文 献:

- [1] 陶玛丽, 金乾刚, 姚西平, 等. 1.7米扇聚焦加速器的谐波线圈电源[M]. 兰州重离子研究装置进展报告, 1984, 3: 138-140.
- [2] 周嗣信, 周文明, 刘 恺, 等. 十台300 A/35V- 5×10^{-5} /8h 直流稳流电源[M]. 北京: 科学出版社, 兰州重离子研究装置进展报告, 1982, 1: 78-82.
- [3] Huang Xinming, Li Jianhua, Chen Yun, *et al.* HIRFL Control System Upgrade[M]. International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Trieste, Italy, 1999, 81-83.

Fabrication of New Harmonic Power Supply for SFC

WANG Yi-fang, CHEN Ming-lang, WANG Gui-wen, SU Ya-long, JIN Qian-gang
(Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The significance of using a harmonic magnetic field in SFC (Sector Focusing Cyclotron) and the requirements for the harmonic power supplies are described roughly. According to the experience of the operation in the long period, the shortages and some un-conveniences for the original harmonic power supply were analyzed. In the case, a new kind of harmonic power supply was fabricated successfully in which the DC power supplies and the control technology were used to satisfactory the harmonic requirements. The advantages of new power supply are described. In the operation process a nice effect was obtained.

Key words: harmonic power supply; DC power supply; cosine power supply; sector focusing cyclotron