

超灵敏小型回旋加速器质谱计 磁场测量与磁场非电垫补中计算机的应用

李德明

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 介绍了在超灵敏小型回旋加速器质谱计上进行的磁场测量与磁场非电垫补工作中计算机的应用。包括磁场测量控制、磁场测量后处理、磁场激励控制和磁场非电垫补的计算及数据处理工作,并给出磁场非电垫补所达到的结果。

关键词 磁场测量控制, 非电垫补

中图分类号 TL 542 A

用于 ^{14}C 质谱分析的超灵敏小型回旋加速器质谱计具有高的倍频次数和低的磁场强度等特点。被测粒子需在16次倍频下加速100圈左右,这对磁场的等时性提出了很高的要求。由于质谱计的小型化要求,我们采用非电垫补(即机械修正)的方法来调整磁场分布,使之满足等时性要求。在垫补的实现过程中,磁场分布的测量是一个关键环节,要求在峰场为0.37T的低场下,达到万分之一的测量精度。为此,需要在测量工具的制作和安装上以及仪器的调整和测量数据的处理上做大量的工作。

我们进行的回旋加速器磁场非电垫补工作,在国内没有现成的经验,从原理到实践都是一个探索的过程。在整个过程中,需要进行上百次的磁场测量,故要求测量快速、可靠、自动地进行。利用286微机的控制,我们实现了这一点。对于 360° ,每度沿半径26个测量点的测量,可以在50min左右的时间内自动地完成。此外,为保证场分布的唯一性,我们对磁场的激励过程实现了计算机控制。

1 磁场测量的计算机控制

1.1 磁场测量系统组成

磁场测量系统主要由以下几部分组成,它可在真空条件下完成对磁铁中心平面的磁场分布的测量。

(1) 测量臂定位系统:由机械传动定位系统和步进电机组成(图1),可使装有Hall片的测量臂精确地定位在任意的方位上。步进电机由计算机软件直接控制。

(2) Hall测量臂(图2):上面已定位了26块Hall片,每块Hall片都独立定标,定标数据存于计算机内。

(3) 恒温恒流设备:为2台进口仪器提供Hall驱动电流和测量臂恒温控制, Hall

电流可由计算机监视。

磁场测量系统如下所示：

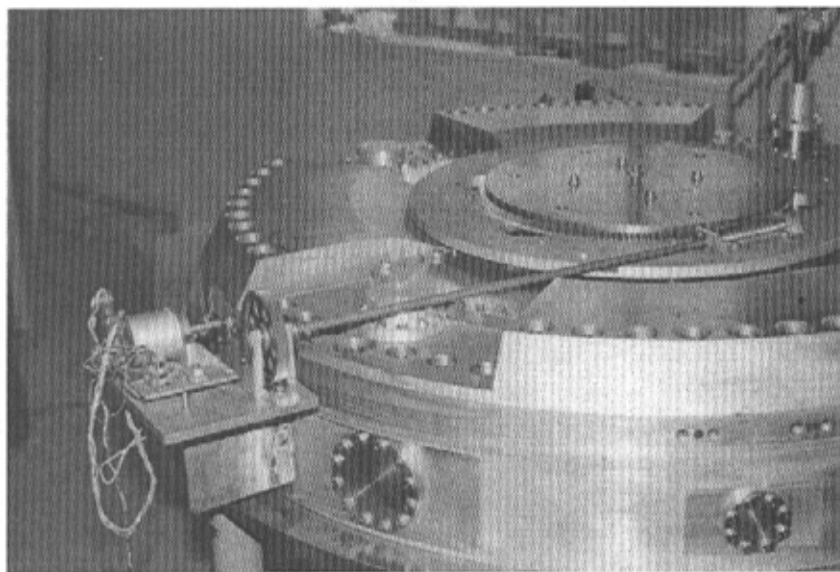
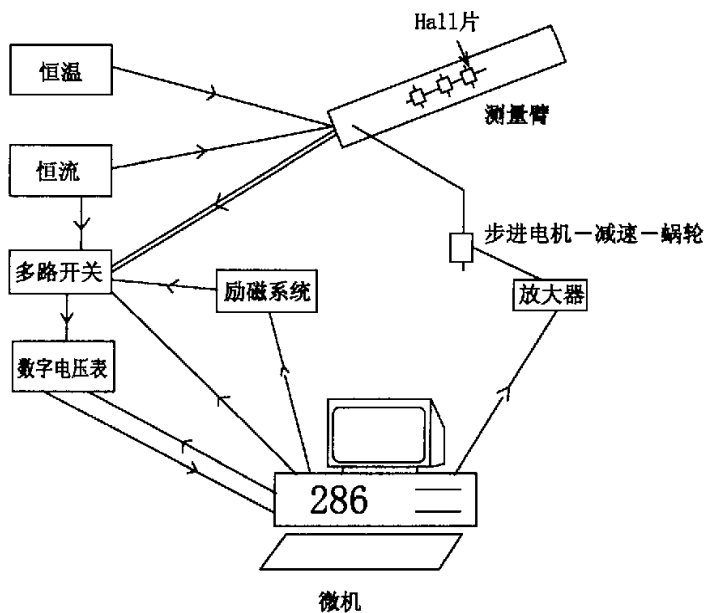


图1 在磁铁上就位的测磁机械装置与步进电机减速机构蜗轮附测量臂

Fig.1 The magnetic field measuring device on the SMCAMS magnet

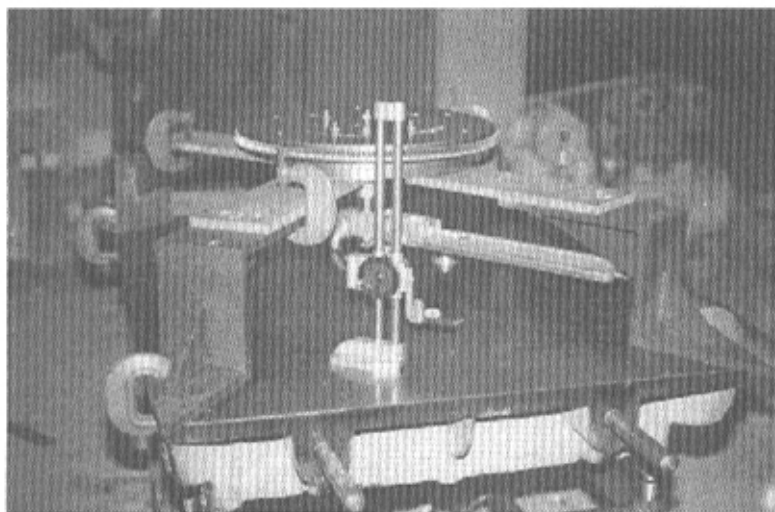


图2 在平面上校正的机械定位装置和测量臂

Fig.2 The calibration of the measuring arm and the location device

(4) 多路开关：由计算机控制，完成对数字电压表和各输入信号的选通。

(5) 7075 电压表：为 6 位半精度的数字电压表，通过 IEEE-488 接口与计算机通讯。图 3 是测磁装置的电子仪器。

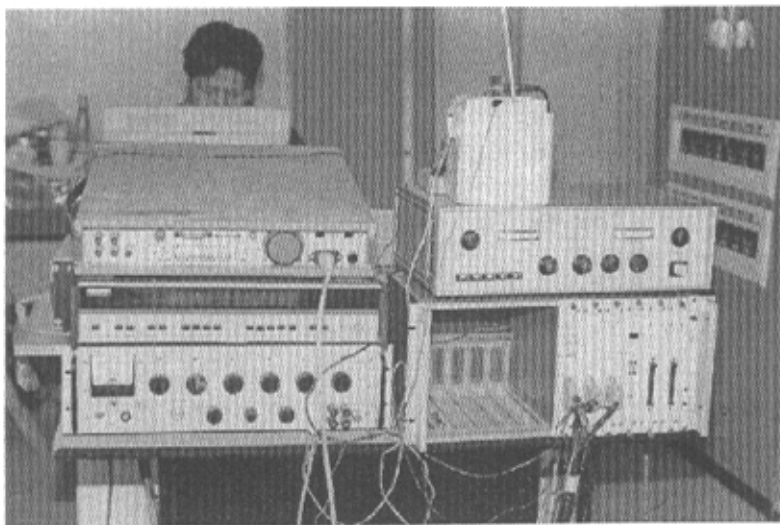


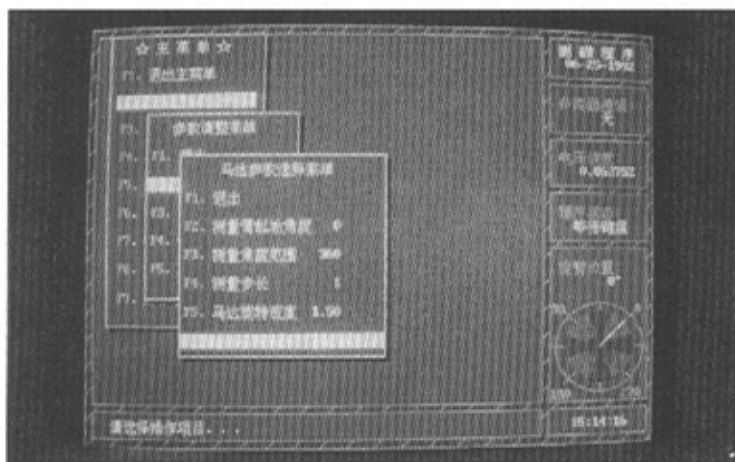
图3 测磁装置的电子仪器

Fig.3 Electronic instruments for SMCAMS magnetic field mapping

(6) PC-286 微型计算机: 扩充有 488 接口卡和开关量输入/输出卡, 作为控制和数据处理的核心。

1.2 测量过程的自动控制

我们在 286 微机上开发了磁场测量程序“MFM”。该程序由 Quick Basic 语言写成, 并编译成可执行程序, 完成磁场测量及其它辅助操作, 该程序具有以下功能和特色: (1) 自动进行磁场测量所需的全部操作, 中途无需人工干预; (2) 动态图形显示磁场沿半径的分布, 动态显示测磁系统运行状况和时间如下所示:



(3) 实时付立叶分析, 无需事后处理; (4) 对磁场励磁电流和 Ha11 电流进行统计监测; (5) 以二进制存储逐点电压数据和谐波数据, 并给出测量结果清单; (6) 每次测量都自动给出序号, 以避免因输入相同序号造成的数据损失; (7) 弹出式中文菜单支持, 中文显示无需汉字操作系统支持, 显示字库包含在可执行文件内部; (8) 可在菜单环境灵活地设置多种运行参数, 并记入文件供下次使用; (9) 随时在磁盘上记录当前测量臂方位, 以防止程序意外中断造成操作失误; (10) 对重要操作进行操作确认, 以防止误操作; (11) 具有定角度统计监测某方位角磁场分布和人工调整测量臂方位等辅助功能; (12) 可由菜单直接启动外挂的励磁控制程序或事后处理程序。

1.3 磁场测量结果的后处理

(1) 定位误差修正: 由于技术上的原因, 26 块 Ha11 片在测量臂中的定位有 $\pm 0.2\text{mm}$ 左右的随机偏差和一定程度的固定偏差。不过, 我们较精确地测定了实际 Ha11 片灵敏中心的位置, 测量精度在 0.02mm 以内。我们采取了两种方法对磁场测量结果进行修正: ①修正已分析的谐波数据, 此步骤在测磁程序中自动完成; ②修正逐点磁场强度, 重新进行付立叶分析。以上两种方法得到的结果相吻合。

(2) 后处理程序“SEE”。此程序主要完成以下功能: ①可以对二进制存储的磁场逐点数据或谐波数据进行全屏幕列表观察, 并可用游标移动观察点; ②对表中任一行或列作曲线图, 图形可变换比例和打印输出; ③可比较两次测量结果, 比较时根据励磁水平的不同自动变

换；④可生成可见的输出清单；⑤可产生轨迹计算所需格式的磁场数据文件；⑥所有操作用热键触发，操作非常简单。

(3) 我们还使用通用软件“Lotus 1-2-3”及自编的一些程序作一些较复杂的数据处理工作。

(4) 磁场激励的控制。由于磁铁的磁滞特性，励磁过程的不同将对磁场分布产生较大的影响。所以，必须有严格的励磁过程控制。较理想的做法是使用高精度的D/A转换(如18位DAC)对磁场电流进行控制，而我们目前使用的电源还不具备这种条件。我们设法使磁场的励磁电流通过由计算机程序控制的带减速器的步进电机旋动电源的10圈电位器来调节。计算机程序驱动数字电压表测量电流的取样电压。电流变化速率的偏差经过一定的换算，反馈控制电机的转速，使励磁按照给定的路径进行。现已实现了从100A/min到100A/16min的不同速率的励磁控制。励磁过程完成后，再用手工微调磁场电流，以达到预定的励磁水平。

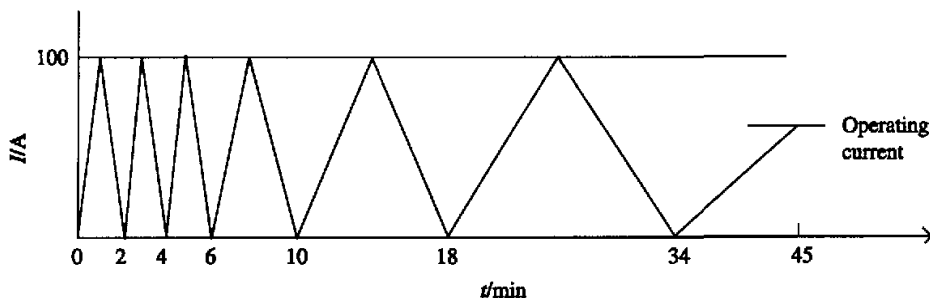


图4 励磁路径

Fig.4 The magnetic field exciting route

现使用的励磁路径见图4。完成全过程约为46min。在100A/16min的速率下，峰值磁场的变化率约为 $4 \times 10^{-4} \text{T/s}$ ，精度为 $1 \times 10^{-4} \text{T/s}$ 。这已能满足我们的磁测要求了。

2 磁场非电垫补的计算

2.1 非电垫补的目标

在超灵敏小型回旋加速器质谱计中，为了使粒子能在16次倍频下加速100圈，对磁场分布提出了很高的要求，主要包括两个方面：①平均场分布需满足等时性要求，以保证粒子在加速过程中累积相移最小。把等时性偏离

$$\Delta B_r = \overline{B_r} - B_{iso}$$

作周期延拓，并进行付立叶分析。可以认为，零次项系数反映磁场励磁水平的偏差，可以通过调节磁场电流加以消除，不是垫补的对象；而非零次项系数则反映 ΔB_r 沿 r 分布的不均匀性，必须通过垫补解决；其中，次数越低的要求越高。最直接的检验方法是进行静态平衡轨道计算或动态加速轨迹计算^[1]，中心粒子的相移的大小直接反映磁场的等时性偏离的程度。②一、二、三次谐波的振幅需小于某一限度，且越小越好。对一次谐波要求较高，粒子动力学计算表明^[2]其振幅必须小于 $2 \times 10^{-4} \text{T}$ ，否则粒子将因轨迹偏离中心而损失。如把无

一、二、三次谐波, 且 $\Delta B_r=0$ 的场称为理想场, 则非电垫补的目标就是使实际磁场在一定精度范围内成为理想场。

2.2 非电垫补的方案选择

在文献[3]中论述了磁场非电垫补原理及计算方法。但是在实际的非电垫补过程中, 我们作了较大的改进和发展, 质谱计的磁铁结构为高调变度4扇结构, 上下共有8个叶片, 16个侧面。在这些面上添加或切除一定量的铁, 将会引起磁场分布的改变, 这也是磁场垫补的手段。为此, 在叶片两侧预制了供加工用的“修正块”(图5)。

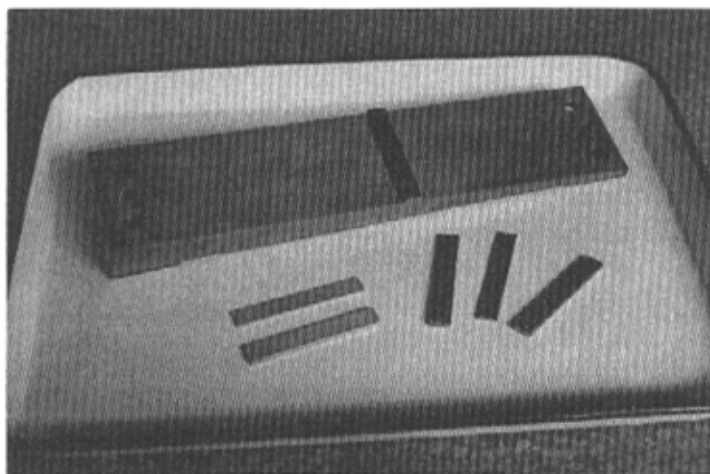


图5 在叶片两侧预制了供加工用的“修正块”

Fig.5 The iron chunk and chip for non-electrically magnetic field shaping

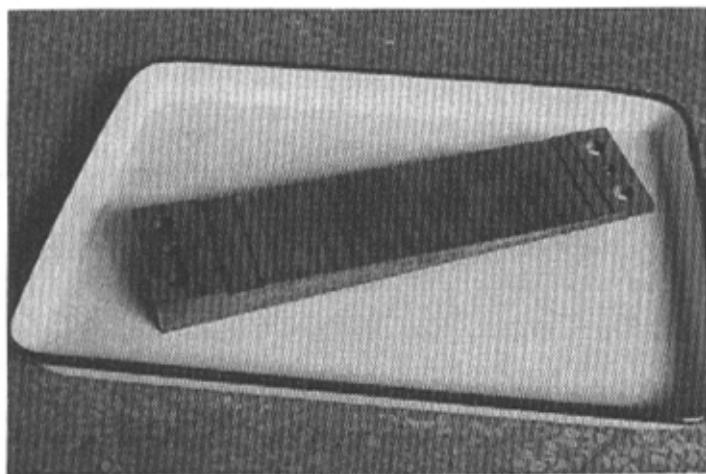


图6 采用直接在修正块上“只切不加”的做法

Fig.6 The shaped iron chunk with the method only wiffing

我们首先摒弃了在修正块外侧沿半径贴不同厚度的“垫片”的方案,大胆地采用直接在修正块上“只切不加”的做法(图6),通过对16个修正块作不同的加工,可以同时修正平均场分布和一、二、三次谐波。

实际过程中遇到了加工上的困难,由于16块修正块具有不同的修正量。不仅加工量大,周期长,而且容易出差错。所以我们把修正块沿方位角按奇偶编号分为两组,第一组的8块具有相同的加工量,负责垫补等时场;第二组负责垫补一次谐波(二、三次谐波已满足要求)。

2.3 非电垫补的计算

非电垫补的计算工作十分复杂。除了下列的一些工作外,还有大量的无固定算法的数据处理工作,这些工作的进行依赖于“Lotus1-2-3”软件包和自编的一些小程序,这里不一一叙述。

(1) 垫片贡献的处理:垫片贡献是修正量计算的基础。从大量的磁场测量数据中,分离出垫片贡献数据,并进行拟合处理,以克服试验误差的影响。

(2) 等时场的计算:根据磁场分布数据,计算出其理想的等时场分布。计算方法有解析法和计算静态平衡轨道的方法,后者具有较高的精度。

(3) 一次谐波垫补中修正量的计算。

(4) 等时场垫补中修正量的计算。根据垫片贡献等数据和实际场与理想场的偏差,计算出各修正位置上的修正量。

(5) 根据加工后场的实际变化对垫片的贡献作一定的修正,以期提高垫片贡献的准确性。

参 考 文 献

- 1 陈茂柏.讲义《扇形聚焦回旋加速器束流规划原理与方法》,上海原子核研究所,1984年。
CHEN Maobai, Internal report. 1984
- 2 卢相顺,陈茂柏,李德明等.核技术,1996,19(12):721
LU Xiangshun, CHEN Maobai, LI Deming, et al., Nucl Tech. 1996, 19(12):721-726.
- 3 周巧根,国家自然科学基金重大项目<超灵敏小型回旋加速器质谱计>总结,1993,119
ZHOU Qiaogen, Internal report. 1993,119

The computer applications in measuring and non-electrically shaping the SMCAMS magnetic field

LI Deming

(Shanghai Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract

The computer application in measuring and non-electrically shaping of SMCAMS main magnetic field is described, including the magnetic field measuring control system, measured data post-procossion, the magnetic field exciting system, and calculation and data dealing works for the non-electrically magnetie fild shaping

Key words Measuring control system, Non-electrically shaping
CLC TL 542