

中子单色器姿态调整台

刘蕴韬, 高建波, 李峻宏, 刘晓龙, 李际周, 陈东风*

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要:中子单色器姿态调整台是大多单色中子散射谱仪所必需的机械部件之一, 主要用来安放晶体单色器, 并可通过远程控制对单色器进行姿态调整以保证得到所需的单色中子。该装置体积小、自由度多、运动精度高, 是集光机电和计算机控制技术为一体的五自由度运动设备。该装置研制成功后将首先应用于中国先进研究堆中子残余应力谱仪上。

关键词:中子散射; 单色器台; 自动化控制

中图分类号: O571.56

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2013)01-0125-04

doi: 10.7538/yzk.2013.47.01.0125

Attitude-Adjusting Table for Neutron Monochromator

LIU Yun-tao, GAO Jian-bo, LI Jun-hong, LIU Xiao-long, LI Ji-zhou, CHEN Dong-feng*

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: The neutron monochromator attitude-adjusting table is one of the mechanical components for most monochromatic neutron scattering spectrometer. It is mainly used for mounting crystal monochromator, and getting monochromatic neutron by adjusting the attitude of monochromator remotely. The table has a compact volume and five adjusting axes with high resolution. It combines optic mechanical electronic technique with computer control technique. This device will be applied to the neutron residual stress spectrometer on CARR firstly.

Key words: neutron scattering; monochromator table; automation control

基于反应堆中子源的大多数中子散射谱仪需要单色中子(固定波长或能量的中子)作探针^[1], 中子单色化过程一般由晶体单色器完成。在选定中子单色波长后, 单色器的位置和姿态对单色中子束流的强度及分布有非常重要的影响^[2-3]。单色器姿态调整台主要用来安放晶体单色器, 并可远程控制单色器的旋转、平移和倾

斜, 对单色器进行姿态调整以得到所需的单色中子。本文将详细介绍自行研制的中子单色器姿态调整台。

1 物理概念及背景

中子单色器姿态调整台是集光机电和计算机控制技术为一体的五自由度运动设备。中子

收稿日期: 2011-07-04; 修回日期: 2011-09-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2010CB833105)

作者简介: 刘蕴韬(1972—), 男, 吉林长春人, 研究员, 博士, 凝聚态物理专业

* 通信作者: 陈东风, E-mail: dongfeng@ciae.ac.cn

散射实验中根据具体实验样品的特点选用不同的单色器。为获得不同的中子波长,还需改变单色器的起飞角。为实现以上功能,要求单色器台具备以下功能^[2]:能改变工位,使需要的单色器运动到要求的位置,而暂时不用的单色器移到束流外;能对单色器姿态微调,包括垂直和平行于单色器反射面方向的平移来微调单色器的位置,以及绕平行于单色器反射面方向的轴旋转来微调单色器反射面的倾斜姿态,使得单色器反射面法线方向处于水平;能改变单色器的起飞角;能实现对单色器姿态的远程控制并显示各可调参数的当前值;能承受放在偏心位置的重量不低于 20 kg。另外,单色器台设计还需考虑拆装、维护方便,抗电磁干扰控制和高可靠性等问题。

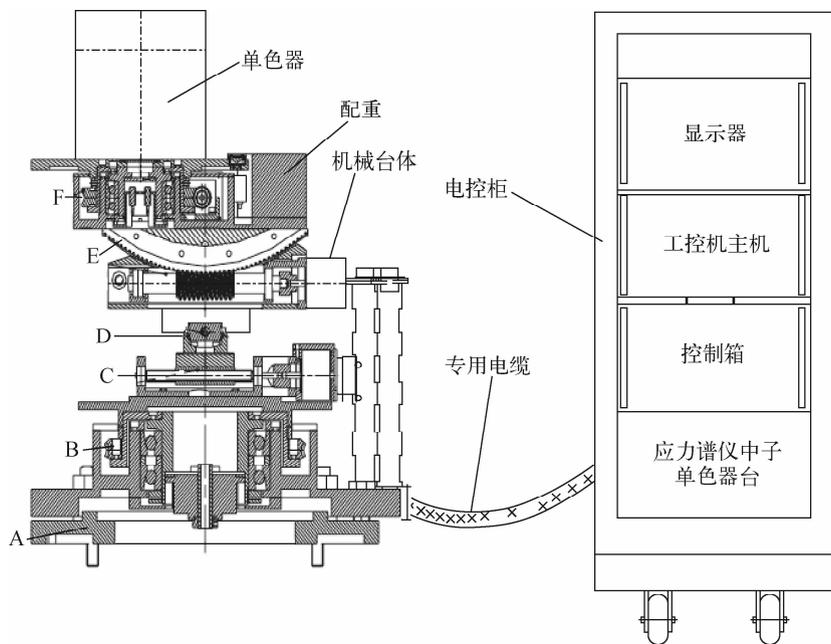
中子单色器台主要由机械台体、控制系统及专用电缆等组成,如图 1 所示。其机械台体结构设计为五自由度台。控制系统以 PC 工控计算机为基础,结合运动控制器技术实现数字式位置控制,同时通过软硬件的配合实现系统自检、校正、状态自动监测和系统安全保护等功能。在计算机测控软件方面充分考虑转台的使

用性能,提供友好的人机界面显示转台运动状态并进行转台操作。

2 机械结构设计

单色器台机械结构主要由 3 个旋转轴和 2 个平移轴构成(图 1),总重约 150 kg,外部尺寸约 $\phi 480 \text{ mm} \times 430 \text{ mm}$ 。图 1 中 B、C、D、E、F 为独立部件,结构上保证各独立部件上下安装面的平行度。部件按规定的尺寸关系装配在一起,以满足整体的水平度。各轴涉及的蜗杆减速机构考虑了消除,蜗轮做成两片,中间用拉伸弹簧连接,以利于传动平稳,保证位置精度。工作极限位置处装有电接近开关和机械限位装置作为限位保护。驱动方式均为步进电机和相应的减速机构相结合的方式。

单色器的底盘直径约 480 mm,与 Bragg 角旋转台的基座联合装有调平螺钉装置。Bragg 角旋转台安装台面直径约 350 mm,输出轴上装有绝对式角编码器,运动转角为 $\pm 180^\circ$,为保证整体装置调平精度,安装台面须与角旋转台的轴线垂直。 x 、 y 轴平移调节器为 2 个精密线性模组,互为垂直安装,支承在角旋转台



A——调节台的底盘;B——Bragg 角旋转台;C—— x 轴方向平移调节器;D—— y 轴方向平移调节器;
E——绕与 y 轴平行方向转动的倾斜调节器;F——用来更换单色器的转台

图 1 中子单色器台示意图

Fig. 1 Sketch diagram of monochromator table

上,带有伸缩护罩的精密线性模组作精化处理,以保证上下安装面平行,工作范围为 ± 15 mm,限位运动范围为 ± 20 mm。倾斜调节器轴由扇形圆弧面轨道支承于4点滚轮上,采用特制的滚动和滑动联合方式支承在 x 、 y 轴平移调节器上,回转中心距转位转台的台面(单色器安装面)上方120 mm,回转轴与 y 轴平行,以便将散射平面调节到与谱仪水平面一致,工作转角为 $\pm 10^\circ$,限位转角为 $\pm 13^\circ$,转动导轨适当位置处装有码盘尺与相应的读数头,用于角位置读出。转位转台支承在倾斜调节器上,安装台面直径约300 mm,台面上有两组单色器,晶体反射面的法线方向平行于 x 轴,蜗杆轴一端装有旋转编码器,作为位置传感器,工作位置为 0° 和 180° ,工作位置处装有传感器作为角位置精度标定。各调节器的设计除蜗杆副有自锁能力外,倾斜调节器与 x 、 y 轴平移调节器在适当位置处装有断电刹车制动器。

经分析、归纳,单色器台主要技术指标列于表1。

表1 单色器台主要技术指标

Table 1 Specifications of monochromator table

机构	运动范围	精度
F	$-75^\circ \sim 255^\circ$	$0.05^\circ (3')$
E	$\pm 10^\circ$	$0.01^\circ (36'')$
D	± 15 mm	0.05 mm
C	± 15 mm	0.05 mm
B	$\pm 180^\circ$	0.005°

3 控制系统方案

控制系统是中子单色器台最终实现功能和技术性能指标的重要组成部分,采用模块化结构配置,不同的电路模块完成不同的功能,基本硬件配置如图2所示。单色器台的控制主要分为2个部分:第1部分为工业控制计算机及其软件,主要完成单色器台的各种控制操作、数据输入输出、各功能模块的管理、故障自动监测和安全保护处理等功能;第2部分为步进电机的控制部分,主要通过驱动器完成对步进电机的运动控制。系统方案的主要特点可概括为:

1) 采用工控PC计算机与功能模块相结合的数字式控制结构,友好的人机图形界面提供

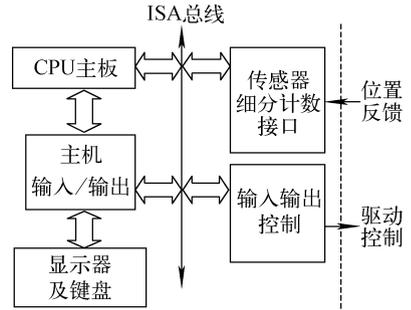


图2 计算机控制系统基本硬件配置

Fig. 2 Sketch diagram of computer control system

灵活、完善的操作方式并能显示系统工作状态;

2) 采用码盘尺、旋转编码器、绝对式角度编码器作为运动测量反馈元件;

3) 软、硬件结合的多级故障检测、处理措施,实现系统安全运行保护及分析诊断功能;

4) 计算机软件基于Windows操作系统,采用面向对象和模块化设计相结合的编制方法,具有功能扩充能力。

控制计算机是电控系统的主要部分,它完成单色器台的各种控制操作、数据输入输出和各功能模块的管理,以及故障自动监测和安全保护处理。控制计算机内搭载有位置传感器细分计数接口模板、输入输出控制模板,与各运动机构、位置传感器、电机驱动器一起构成控制系统,实现各机构的运动控制,并通过对控制计算机上的图形化人机界面控制台的操作实现单色器台5大运动部件的单独工作。控制软件主要由人机界面及控制管理部件组成,主要功能是实现用户界面输入输出管理、单色器台运动控制功能管理、故障自动监测和安全保护处理功能管理。人机界面用来实现各种用户输入输出管理,引导用户对单色器台进行各种操作控制。控制管理部件用来实现对单色器台的各种运动控制功能管理及故障检测、安全保护控制,将人机界面输入的各种指令、参数进行分解、翻译并下达到各轴的驱动器中,同时将各轴驱动器和传感器返回的信息整理为用户可见的信息。软件界面如图3所示,通过该界面可实现各种用户输入输出管理,并可对单色器台进行各种操作控制。数据保存模块在软件退出运行时,将单色器台所有轴的当前位置信息保存,以便下次使用。

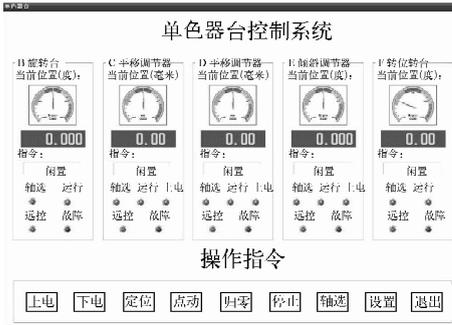


图3 人机界面示意图

Fig. 3 Sketch diagram of computer interface

驱动电机和驱动控制器主要用来执行控制系统发出的命令。驱动电机和驱动控制器针对电磁干扰产生、传播及耦合的机理,采用屏蔽、隔离等相应电磁干扰控制技术来提高系统的电磁兼容性水平,使之既满足步进电机驱动的要求,又保证电磁兼容性的要求。控制模块根据输入信号的状态下达运动指令,通过驱动器分别实现归零、定位等动作,同时通过读取输出信号的状态实现步进电机的工作状态监测。

运动的测量与反馈是实现单色器台运动控制的关键技术之一。单色器台各轴高精度的定位均建立在高精度的位置环控制基础上。各位置传感器实时测量运动部件的当前位置并反馈给控制计算机,运动时以设置的运动轨迹(驱动器规定)向目标位置运动,以当前位置和目标位置的偏差为基础修正并调节使其最终到达符合精度要求的目标位置,到达目标位置后修正调节过程停止,必要时(最终位置发生变化时)可定时启动修正调节。中子单色器台的控制由图1中B、C、D、E、F 5个独立的回路组成,为可靠实现单色器台的运动控制,单色器台选用高质量的旋转编码器和光电式码盘尺作为位置传感器,传感器的信号经集成数字读数细分装置处理后输出为具有方向特征的正交信号,形成位置脉冲计数,通过计算机读取和控制最终实现轴角及直线位置的高精度测量和反馈。

中子单色器台整体主要由机械台体和控制系统组成,控制系统由测量控制单元和计算机

控制单元组成,通过软件和硬件的配合共同完成5轴单色器姿态的精密调节。单色器台机械台体实物装配如图4所示。

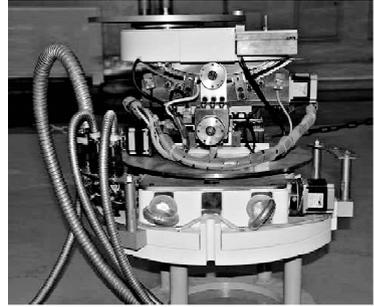


图4 单色器台机械台体

Fig. 4 Mechanical monochromator table

4 小结

中国先进研究堆现场调试结果表明,该装备运行稳定,操作简单实用,能满足单色器姿态的精密调节和环境使用要求。该装置的主要特点为:系统集成光电和计算机控制技术为一体,通过软件和硬件的配合远程控制台体,实现在特殊工作环境下,多轴高精度稳定运行;Bragg角转动精度设置为 0.005° ,平移精度为 0.05 mm ,倾斜调节台和换位转台精度分别为 0.01° 和 0.05° ;采用相应抗电磁干扰控制技术,提高系统运行稳定性;采用高精度断电刹车制动器,保证了断电高精度定位;系统通过软硬件配合,实现自动故障监测和处理保护功能。

参考文献:

- [1] 丁大钊,叶春堂,赵志祥,等. 中子物理学——原理、方法与应用[M]. 北京:原子能出版社,2001.
- [2] 李际周,郭立平. 中国先进研究堆中子散射谱仪概念设计报告:应力测量中子衍射谱仪 CARR-NS-009[R]. 北京:中国原子能科学研究院,2003.
- [3] STOICA A D, POPVICI M, YELON W B. Instrumental line shapes in neutron powder diffraction with focusing monochromators[J]. Journal of Applied Crystallography, 2000, 33: 137-146.