

文章编号 1004-924X(2002)06-0578-04

用于同步辐射光束线工程的三维精密调整平台

夏绍建¹, 张耀明², 邹丽新²

(1. 中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800;

2. 苏州大学 现代光学技术研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要:介绍了用于同步辐射光束线工程的三维精密调整平台结构原理,其特点是:结构紧凑,承载量大,精度高;采用步进电机驱动实现三维精密运动,并通过数字电路与软件实现其智能化,同时备有手动工作模式。

关键词:同步辐射; 光束; 三维精密平台

中图分类号: O432.1 **文献标识码:** A

1 引言

同步辐射(Synchrotron Radiation)光束线(Beamline)工程中,需要多种多样的精密调整平台,国内外厂家及专业公司提供了众多品种可供选择^[1-4];但是,在上海同步辐射装置工程插入件前端区预制研究中,需要一种小型化、高精度、承载量大的三维精密调整平台,用于微米量级精度金刚石光束位置监测器(BPM)的三维精密调整,现有的标准产品均不能满足要求,于是,研制成功了一种用于同步辐射光束线工程的新型三维精密调整平台,达到工程预研需求,并通过国内专家鉴定,该设备也可用于其他光学精密机械实验室中。

2 设计目标

三维精密调整平台的性能技术指标:

行程:12.7mm(垂直和水平方向)

定位精度:10 μ m

重复定位精度:15 μ m

回转范围: $\pm 2^\circ$ 分辨率:20

工作模式:步进电机控制和手动控制

承载量:大于70kg

3 技术方案

三维精密调整平台采用步进电机驱动实现其三维精密运动,并通过数字电路与软件实现其智能化,同时备有手动工作模式。

3.1 结构方案

三维精密调整平台的整体结构采用了积木式框架结构。其框图如图1所示。

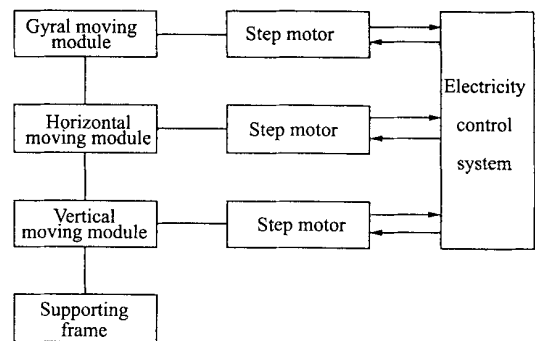


图1 系统框图

Fig. 1 Block diagram of the system.

垂直移动部分在下面,其上面是水平移动部分,回转部分在最上面。平台垂直移动的结构采

收稿日期:2002-04-05;修订日期:2002-10-28

基金项目:国家重点工程项目-上海同步辐射装置工程预制研究项目;

苏州大学现代光学技术省重点实验室开放课题(No. T2108106)

用蜗轮蜗杆机构与精密丝杆机构相结合。根据技术要求,为保证其定位精度小于 $10\mu\text{m}$,选择步进电机转动一步 (1.8°) 对应的位移量小于 $5\mu\text{m}$,光栅测量尺的精度为 $2\mu\text{m}$,步进电机的步距误差小于 20%;考虑结构的实施,确定蜗轮蜗杆机构的传动比为 20:1,丝杆的螺距为 4mm。这样,步进电机的一步动作对应于垂直位移为 $1\mu\text{m}$ 。该方向配有精度为 $2\mu\text{m}$ 的光栅尺实时显示位移的绝对值。为了保证垂直精度,对影响精度的零件精度、传动链侧隙、轴承间隙、结构刚度、连接可靠性等,在设计、加工和装配时予以控制。水平移动的结构采用了螺距为 1mm 的精密丝杆机构,并配有精度为 $2\mu\text{m}$ 的光栅尺。步进电机一步的动作对应的水平位移为 $5\mu\text{m}$ 。对影响水平定位精度的有关环节,如传动间隙、轴承游隙、螺母座的固定等采取了一定的措施,提出了较高的要求^[5]。方位转角通过由精密丝杆组成的正切机构实现。优化相关的参数,使步进电机一步动作对应的转角近似为 7',并以实测角度值输入控制系统的软件中,以备调整时予置与显示。平台的体积为:长 250mm,宽 210mm,高 300mm,实现了大负载下的小体积设计。

为了保证移动部件的舒适平稳,所有运动部件的导轨均采用日本 THK 公司生产的高精度的滚动轴承(包括直线轴承与回转轴承)。在直线轴承处配有可调整轴承游隙的调整机构。

3.2 电控系统

三维精密调整平台的电控系统采用单步运行和连续运行两种工作模式,连续运行的步数或角位移量通过按键输入设置。

硬件系统

三维精密调整平台由步进电机运行控制系统和光栅测量数显系统组成。步进电机运行控制系统由 CPU、电机驱动电路、限位控制电路、电源、显示器、键盘等组成,图 2 为其原理图。

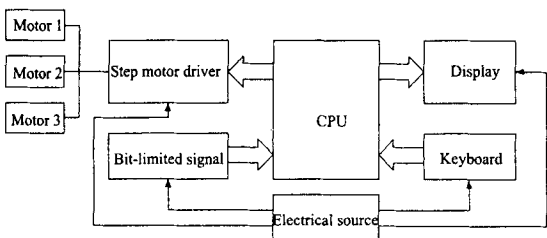


图 2 步进电机驱动系统原理

Fig.2 Principle of the step motor driver.

CPU 型号为 Intel Mcs-51 为核心的 AT-MEL89C52 单片机,由它作为控制中心分别控制垂直、水平和转角的三个步进电机工作。同时采用片内程序存储器进行编程,既提高了系统的抗干扰性,又使整个系统布局紧凑合理。采用了 ATMEL28C17 器件实现掉电保存数据。

由于显示的内容较多,为了防止显示块出现闪烁现象,设计中采用了 Intel 公司的键盘、显示器接口电路 8279,从而提高了 CPU 的工作效率。

三个步进电机分别采用了国产的 42BYGH107,57BYGH80 型号电机,它具有驱动力矩大、精度高、电流较小等优点。步进电机的驱动电路采用了大功率 VMOS 管和大功率肖特基二级管组成,同时采用开关电源作为步进电机电源,其输出的电流为电机运行所需电流的 3 倍,确保电机不失步。为了提高系统的抗干扰性,系统设计了两套直流电源,分别为 CPU 和步进电机供电,系统设计有保护电路;为了各部分连接可靠,所有连接均采用性能优良的接插件;功率管采用较大散热器,用来保护驱动电路。

光栅测量数显系统,选用了中科院自动化所生产的 GS4200 光栅数字式显示表,显示水平与垂直方向的位移量。

软件系统

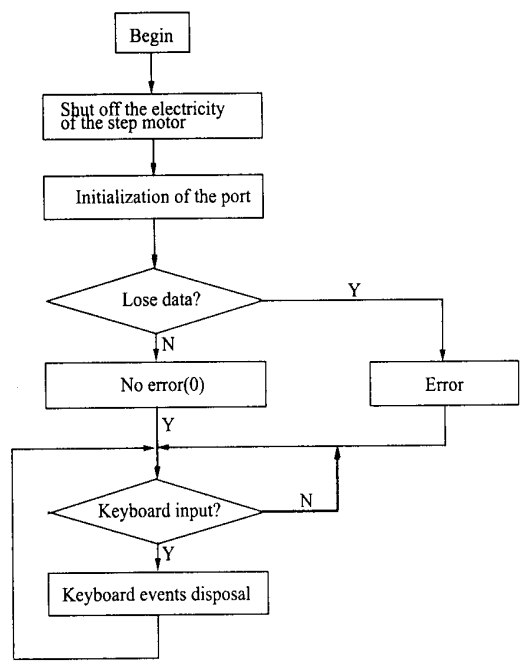


图 3 主要流程图

Fig.3 Main software flow chart.

三维精密调整平台控制系统的软件设计采用了模块化设计方案。为了保证系统运行的速度,较为复杂的数据处理采用了查表方式,以节省 CPU 的机时。与此同时为了提高整个系统的可靠性和抗干扰能力,软件设计中加入了大量抗干扰措施,如重复刷新技术,抗查询死循环措施等,以提高系统的整体性能。程序的主要流程框图如图 3 所示,图 4 给出了步进电机运行子程序。

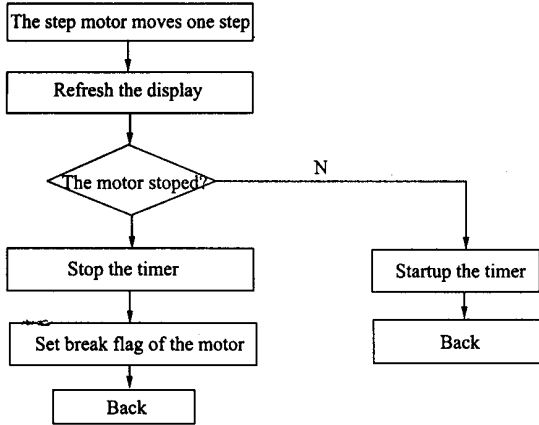


图 4 步进电机运行子程序

Fig. 4 Subroutine of the step motor driver.

因为该设备要求具有较高的位移精度,确保关键零件与装配的质量是这一研制任务的关键。在设计阶段进行了严格地精度分析与误差分配,对加工零件的尺寸精度、形状公差、表面光洁度等均提出了较高的要求,装配过程中,采取了粗装、调试、精装、测量、再精装等过细的工作;为了保证外型的美观,在粗装调试后又进行了一次组合加工。

4 研制结果

国内首次研制的这种三维运动调整平台承载量大于 70kg,垂直方向定位精度 $2.5\mu\text{m}(\text{rms})$,重复精度 $1.67\mu\text{m}(\text{rms})$;水平方向定位精度 $2.9\mu\text{m}(\text{rms})$,重复精度小于 $1\mu\text{m}(\text{rms})$,均超过原设计指标^[6-7]。该部件采用积木式结构,配以高精度传动系统、精密导轨系统及光栅尺实时监测系统,



图 5 三维运动精密平台外形照片

Fig. 5 Photograph of 3-D precision stage.

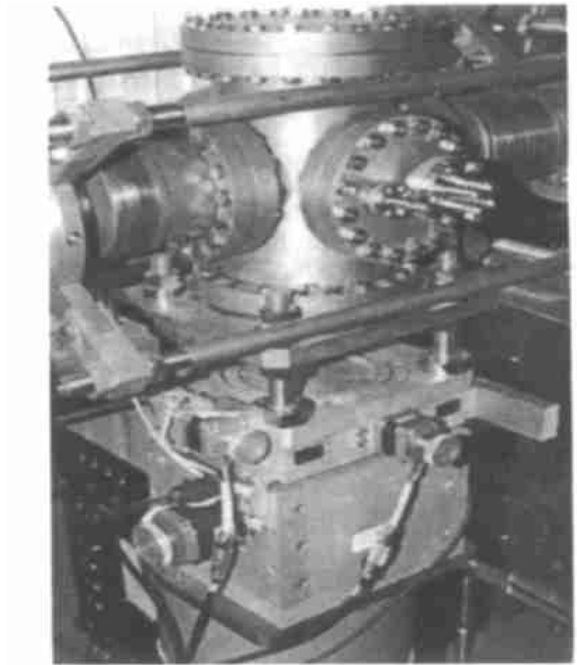


图 6 三维运动精密平台安装在光束线上的照片

Fig. 6 Photograph of 3-D precision stage in beamline.

具有体积小、精度高、承载大、智能化功能良好、外形美观等特点,经中科院和上海市组织国内专家组技术鉴定,该装置达到国际同类产品先进水平。文章最后给出了三维运动调整平台(图 5)及其安装在同步辐射光束线上(图 6)的照片。

参考文献:

- [1] Shu D, Rodricks B, Barraza J. The APS X-ray undulator photon beam position monitor and tests at CHESS and NSLS [J]. *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res*, 1992, A319:56-62.
- [2] 贾宏光,吴一辉,于振雷,等. 压电驱动微位移工作台动态特性分析[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(5):440-443.
- [3] 伊福廷,彭亮强,张菊芳,等. 北京同步辐射装置 MEMS 技术的研究与应用[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(5):430-434.
- [4] 刘刚,田洋超. 国家同步辐射实验室同步辐射光刻和 MEMS 技术[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(5):455-457.
- [5] 曲艳峰,吕丽军. 同步辐射仪器中柔性铰链压弯机的研究[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(2):220-225.
- [6] 温利,姚多舜,周泗忠,等. BEPC 储存环同步光束流测量光学系统[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(5):513-517.
- [7] 陈荣刚,沈建华,黄文浩. 一种用于激光加工系统的智能化精密平台的研制[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(3):304-306.

High precision 3-D stage for synchrotron radiation beamline engineering

XIA Shao-jian¹, ZHANG Yao-ming², ZOU Li-xin²

(1. *Shanghai Institute of Nuclear Research, Academy of Sciences, Shanghai 201800;*

2. Suzhou University, Suzhou 215006, China)

Abstract : This paper briefly introduces the structural principle of a special 3-D stage for synchrotron radiation beamlines. The characteristics include compact structure, heavy load and high precision. It is step motor driven and digitally controlled by software in a PC. A manual operation mode is also reserved.

Key words : synchrotron radiation; beamline; 3-D precision stage

作者简介:夏绍建(1939-),男,河北省保定人,1964年毕业于清华大学精仪系光学仪器专业,研究员,博士生导师,长期在国内外同步辐射实验室从事光束线设计建造和光束线技术研究,并取得多项科研成果和荣誉证书,现任中科院上海原子核研究所同步辐射研究室主任。E-mail:xiasj@ssrc.ac.cn