

文章编号: 1672-8785(2007)07-0007-04

一种新颖的同步辐射单色器镜箱调节装置——点槽面机构

柳 晖¹, 高雪官², 曹冲振¹, 陈文元³, 刘 鹏⁴,
谢亚宁⁴, 刘 涛⁴, 桑 园⁵

(1. 上海师范大学机械与电子信息工程学院, 上海 201418; 2. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200030; 3. 上海交通大学微纳米研究院, 上海 200030; 4. 中国科学院高能物理研究所同步辐射室, 北京 100039; 5. 上海师范大学外国语学院, 上海 200234)

摘 要: 本文介绍了一种可实现单色器镜箱空间位置调节的具有六个自由度的点槽面机构, 并阐述了它的运动学原理。实际应用表明, 此种新型精密可调点槽面机构能够满足同步辐射双晶单色器镜箱的调节要求, 也可推广应用于其它需全方位控制调节的仪器和设备。该机构已被授予中国发明专利(专利号: ZL021317176.8)。

关键词: 同步辐射; 单色器; 点槽面机构; 镜箱

中图分类号: TH131 **文献标识码:** A

Point-trough-plane Manipulator —— a Novel Adjustment Apparatus for Synchrotron Radiation Vacuum Chamber

LIU Hui¹, GAO Xue-guan², CAO Chong-zhen¹, CHEN Wen-yuan³, LIU Peng⁴,
XIE Ya-ning⁴, LIU Tao⁴, SANG Yuan⁵

(1. College of Mechanical & Electronic Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 201418, China; 2. College of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 3. Research Institute of Micro/Nano Science and Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 4. Beijing Synchrotron Radiation Facility, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Foreign Languages College, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: A novel adjustment mechanism with six degrees of freedom based on a point-trough-plane manipulator and its kinematics principle are presented in this paper. The practical application has shown that this novel precision adjustable point-trough-plane mechanism can meet the adjustment requirement of a synchrotron radiation vacuum chamber and it can also be used in other omni-bearing adjustable instruments and equipment. A China invention patent is conferred on it (Patent No. ZL 021317176.8).

Key words: synchrotron radiation; monochromator; point-trough-plane manipulator; vacuum chamber

1 引言

同步辐射是科研工作者进行各类研究工作的强有力的工具, 它具有极为优异的性能。在同步辐射光束线中, 双晶单色器是最主要的光学

元件之一, 它起着把入射同步辐射光单色化的作用。由于制造和安装时会产生误差, 单色器安装到实验线站后可能会偏离它的理想位置。在实验前必须对单色器镜箱的空间位置进行调整,

收稿日期: 2007-03-07

基金项目: 上海教委科研基金资助 (CL200540)

作者简介: 柳晖(1962—), 男, 上海人, 副教授, 硕士, 长期从事机电技术教育、科研工作。

以保证它的位置正确,从而使 X 光沿着正确的方向传输。

2 镜箱支撑调节技术现状

单色器镜箱支撑调节装置本质上是用于对一个对动平台(镜箱的底座)进行六自由度调节控制的,目前国内外对此都有一定的研究。

美国劳伦斯伯克利国家实验室的“刚性可调式六支撑系统”是一种先进的支撑系统^[1],其原理示意图如图 1 所示:一个刚性实体的空间位置有六个自由度,即 X、Y、Z 方向上的三个移动自由度和俯仰、偏转与横滚三个转动自由度。这种支撑系统采用六个支撑杆,其中三个相同尺寸的支撑杆布置于竖直方向,两个相同尺寸的支撑杆布置于水平面内与光束线垂直的方向上,还有一个支撑杆布置于光束线方向上。六个支撑杆均是差动螺杆结构,支撑杆的伸缩通过差动螺杆实现。这种“刚性可调式六支撑系统”具有刚性好、灵敏度高和调节性好的特点,但是它占用空间较大,布置不便;其“差动螺杆”需要通过手动进行调节,不利于实现远程控制。

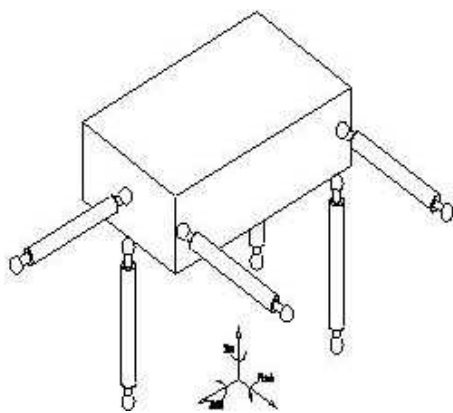


图 1 刚性、可调式六支撑系统

中国科学院西安光学精密机械研究所研制了一种三维调节装置^[2]。如图 2 所示,该装置也是采用差动螺杆进行垂直方向的调节的,它可以在 1.4m 的跨度上差动 1mm,调节精度达到 3"。锁紧螺母可在不干涉垂直调整的状态下方便紧缩,此时球面自动定心。三个水平球关节轴承可方便调节单色器主体的姿态角。但此调节装置的三个水平球关节轴承由于存在着尺寸误差和形位误差,调节时对基座表面有一定的要

求,安装调试不方便。

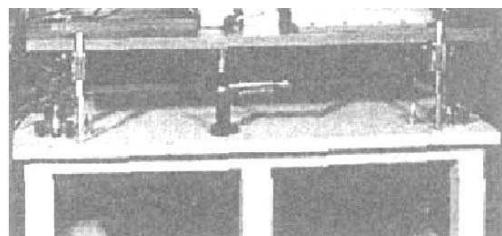


图 2 西安光机所的镜箱调节装置

3 点槽面支撑系统的运动学原理

我们可以把单色器镜箱看作是刚体。刚体的平行移动及定轴转动是刚体运动中最简单的情况,刚体的所有其它运动都可以分解成这两种运动,所以刚体在空间的绝对位置可以通过其上某一点的笛卡尔坐标和刚体绕以该点为原点的三个坐标轴(X、Y、Z)的转动自由度(即滚角、投角、摆角)来表示,据此设计了点槽面机构来实现单色器镜箱空间位置的调节。

点槽面机构的第一个支撑被限制在“点”内,“点”在水平面内作沿 X 轴方向和 Y 轴方向的线性运动;第二个支撑被限制在能够沿 X 方向自由滑动的“槽”内,“槽”可以作 Y 轴方向的线性运动;第三个支撑被放在水平“面”上,可自由滑动。另外“点”、“槽”、“面”被分别放在各自的升降台上,作轴方向的升降运动。

调节单色器的空间位置主要是调节第一晶体晶面中心的三个线自由度和相对于该点的三个角自由度的过程。单色器对于摆角的调节精度要求不高,但对于滚角和投角有着比较高的精度要求。因此我们采用一种点槽面机构来实现单色器镜箱空间位置的调节,它的基本原理如图 3 所示。

双晶单色器镜箱安装在 S_1 、 S_2 、 S_3 三个支撑点上。 S_1 位于镜箱光线入口的中心线上, S_2 、 S_3 对称地位于中心线的两侧,与第一晶体的相对位置如图 3 所示。

其中, S_1 支点上装有三个电动滑台, X、Y、Z 方向各一个,称为点支撑; S_2 支点上装有两个电动滑台, Y、Z 方向各一个,称为槽支撑;在 S_3 支点上装有一个只能沿 Z 方向运动的电动滑台,称为面支撑。

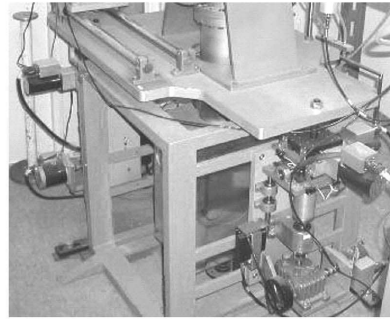
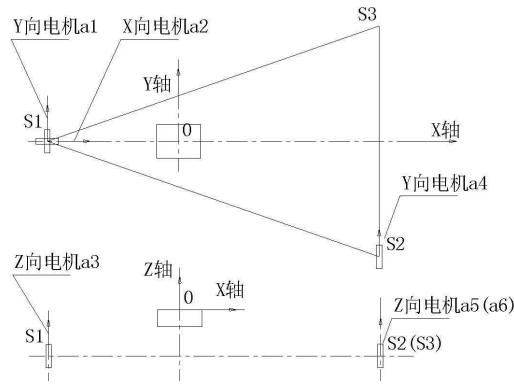


图 3 点槽面机构示意图

“点”支撑结构为三台步进电机 (编号分别为 a_2 、 a_1 、 a_3)，它们驱动三根滚珠丝杠沿空间 X、Y、Z 方向运动。

“槽”支撑结构为两台步进电机 (编号分别为 a_4 、 a_5)，它们驱动两根滚珠丝杠沿空间 Y、Z 方向运动。

“面”支撑结构为一台步进电机 (编号为 a_6)，它驱动垂直方向的滚珠丝杠沿空间 Z 方向运动。

在单色器镜箱上的某点处，当调节 X 坐标时，“点”支撑移动 ΔX ，“槽”和“面”支撑也相应移动 ΔX ；当调节 Y 坐标时，“点”、“槽”支撑共同移动 ΔY ，“槽”支撑也相应移动 ΔY ；当调节 Z 坐标时，“点”、“槽”和“面”支撑一起移动 ΔZ 。镜箱绕该点的三个转动自由度，可

以通过一个或几个支撑的移动来调整。

3.1 电机运动状态方程

双晶单色器镜箱在空间的位置可以由第一晶体晶面中心的三个线自由度和镜箱相对于该点的三个角自由度来确定。通过改变这六个自由度，可使镜箱达到所要求的位置。双晶单色器镜箱的位置调节可通过步进电机驱动来完成。镜箱在各个自由度方向上的位移可由这些电机中的一个或者几个来调节。

设 S_1 坐标为 (X_1, Y_1, Z_1) ， S_2 坐标为 (X_2, Y_2, Z_2) ， S_3 坐标为 (X_3, Y_3, Z_3) ，表 1 列出了电机运动状态的方程 (推导过程略)。

4 实验结果

为了便于双晶单色器镜箱的安装调试，距

表 1

单色器镜箱	单色器镜箱升降	a_3 升降 Z_1	$Z_1 = Z_2 = Z_3 = L$
		a_5 升降 Z_2	
		a_6 升降 Z_3	
	单色器镜箱投角转动	a_3 升降 Z_1	$Z_1 = 305 \sin \theta$
		a_1 后运动 X_1	$X_1 = 305(1 - \cos \theta)$
		a_5 升降 Z_2	$Z_2 = 305 \tan \theta$
	单色器镜箱水平移动	a_6 升降 Z_3	$x_3 = 305 \tan \theta$
		a_1 水平 Y_1	$Y_1 = Y_2 = L$
	单色器镜箱摆角转动	a_4 水平 Y_2	
		a_2 后运动 X_1	$X_1 = 305(1 - \cos \theta)$
		a_1 水平 Y_1	$Y_1 = 305 \sin \theta$
	单色器镜箱滚角转动	a_4 水平 Y_2	$Y_2 = \{725 - [305 \sin \theta / \tan(\theta + \delta) + 305(1 - \cos \theta)]\} \tan(\theta + \delta) - 135 - (135 / \sin \theta - 305 + 135 \cot \theta) \sin \theta / \cos(\theta + \delta)$
a_5 升降 Z_2		$Z_2 = 135 \sin \theta$	
a_4 水平 Y_2		$Y_2 = 135(1 - \cos \theta)$	
		a_6 升降 Z_3	$Z_3 = 135 \tan \theta$

其中， L 为步进电机移动量 (mm)， θ 为转动量 ($^\circ$)， $\delta = \arctan(135/725)$ 。

离双晶单色器出口一定距离处安装了一个垂直荧光靶。首先调节镜箱高度(约 1.2m),再用水准仪调节水平位置。根据出射光(粗调时,入射光可用激光等光源临时替代)在荧光屏靶上的光斑位置初步判断镜箱的位置,然后调节点槽面装置。完成镜箱调节后,用单色器上的微调机构精调双晶单色器,使出射光在荧光屏靶上的光斑位置达到要求。实验测得点槽面机构在 3 个垂直方向移动精度好于 0.05mm, 3 个转角(投角、滚角和摆角)的旋转精度优于 10arcsec。

5 小结

该点槽面机构已成功用于北京同步辐射 4W1B 光束线,其结构简单,具有较高的灵敏度和可调节性,可利用计算机实现远程控制,能满足北京同步辐射光束线对双晶单色器镜箱的调节要求。该机构也适用于其它需全方位控制调节的仪器、设备。该点槽面机构已获得中国国家发明专利(专利授予号: ZL021317176.8), 其所属的项目(连续变焦超长超高真空准直、聚焦

系统和水冷双晶单色器)获得了 2006 年中国机械工业科学技术奖(仪器仪表类)二等奖。

参考文献

- [1] William Thur, Ted Lauritzen, Richard DeMarco, Rigid. Adjustable Support of Aligned Element via Six Struts [C]. Fifth International Workshop on Accelerator Alignment, Argonne, IL, USA, October 1977, 13-17.
- [2] 傅皿. 同步辐射 Sagittal 聚焦双晶单色技术研究 [博士学位论文, 72-76] [D]. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2001.06.
- [3] 高雪官, 柳浩芸. 用于精密仪器的点槽面支承调节装置: 中国, ZL021317176.8 [P]. 2005-01-12.
- [4] 张启先. 空间机构的分析与综合 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [5] 曲艳峰, 吕丽军. 同步辐射仪器中柔性铰链压弯机构的研究 [J]. 光学精密工程, 2002, 10(2): 220-225.
- [6] Lai B, F Cerrina. SHADOW: A synchrotron radiation ray tracing program [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1986, A246(1): 337-341.
- [7] 汤琦, 等. 弧矢聚焦双晶单色器设计 [J]. 光学精密工程, 2002, 10(4): 411-415.

简 讯

做在芯片上的成像光谱仪

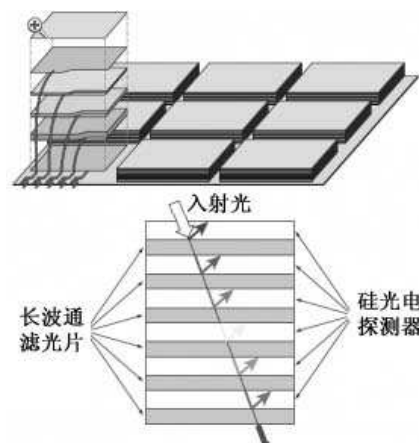
美国喷气推进实验室的研究人员最近提出一种做在芯片上的可见光成像光谱仪,这种可见光成像光谱仪基于一种异质结构的概念,它包括多层硅基光电探测器和多层长波通光学滤光片,其中,硅基光电探测器和长波通光学滤光片是交替地叠在一起的。

这种异质结构的设计将基于这样一个事实,即在可见光谱区,光子的特性穿透深度是随波长而增加的。从前到后,每个连续的长波通滤光片的截止波长都要比前面的更长一些,而每个连续的光电探测器则做得一个比一个厚,以便能吸收更多的入射长波光光子。

入射光先透过第一个光电探测器到达第一个滤光片,第一个滤光片将波长短于其截止波长的光反射掉,而让波长长于其截止波长的光透过。这样,大部分入射的和被反射的较短波长的光就会被吸收在第一个光电探测器中。

透过第一对光电探测器/滤光片的光再透过第二个光电探测器并到达第二个滤光片上,第二个滤光片将波长短于其截止波长的光反射掉,而让波长较长的光透

过。这样,被第二个滤光片反射掉的光就将位于第一和第二个滤光片的截止波长之间的波段内。接着,被吸收到第二个光电探测器内的大部分光就将位于这个波段内。以此类推,每个连续的光电探测器将主要探测接下去的一个波长更长的波段的光,而这个波段同样是受其上一个滤光片的较短的截止波长和下一个滤光片的较长的截止波长约束的。



一个有源像元传感器将包括多个像元,其中每个像元有多对工作于连续波长上的光电探测器/滤光片

□ 高国龙