

文章编号 1004-924X(2006)03-0412-04

大型光电设备用 700° 转动范围限位机构

高云国¹, 赵国杰¹, 韩光宇²

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 长春大学, 吉林 长春 130022)

摘要:根据大型两轴跟踪测量系统的使用要求,研制了机电式 700° 转动范围的旋转轴用限位机构,经理论分析和试验验证,该机构工作可靠,很好地解决了旋转轴回转零点的第一次通过和第二次限位问题,机构可适时为设备主控系统提供旋转轴当前位置和到位信息,结构设计巧妙、紧凑,完全可以满足大型高精度光学仪器的使用要求。

关键词:光电设备;光电跟踪;转动范围;限位机构;转动惯量

中图分类号:TH74 **文献标识码:**A

Spacing device with 700° slewing area for large photoelectric instrumentation

GAO Yun-guo¹, ZHAO Guo-jie¹, HAN Guang-yu²

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Changchun University, Changchun 130022, China*)

Abstract: According to the operating requirements of a large two-axis tracking and measuring system, a new spacing device with compact and skillful structure was researched and designed to realize the shafting revolving in 700° slewing area. The theoretical analysis and experimental results indicates that the device resolves the puzzle that the rotary shafting could pass the turning zero first but was confined second very well. The device could also provide timely position information of the rotary shafting to main control system, which meets the performance requirements of large photoelectric instrumentations properly.

Key words: photoelectric instrument; photoelectric tracking; slewing area; spacing device; moment inertia

1 引言

地平式两轴跟踪测量系统由垂直旋转轴和水平俯仰轴构成,水平轴安装在垂直轴上,各测量传

感器安装在水平轴上,通过水平轴和垂直轴的转动,实现 $0\sim 180^\circ$ 半球面范围的目标位置跟踪和轨迹测量。以往地平式两轴跟踪测量系统的垂直旋转轴在工作时可连续转动,这样,要求输入输出水平轴上各测量传感器和驱动电机的导线必须经

过导电环以实现由静止到旋转的状态变化。导线内加入导电滑环^[1]会使导线阻值发生一定范围的随机变化,这对目标位置跟踪和轨迹测量无太大影响,但对近年来逐渐发展起来的弱信号光谱特性^[2]和幅值测量影响很大,以至于这类传感器不能经过导电环进行信号传递。为了使导线不因连续旋转而扭断,实现任意方向 $0\sim 180^\circ$ 的目标轨迹连续跟踪,需要研制两轴转动范围的机械限位机构。

2 限位机构的主要性能要求

(1)垂直轴上安装的转动部分质量 $M = 4\ 000\text{ kg}$;

垂直轴上安装的转动部分回转半径 $R = 0.5\text{ m}$;

垂直轴最大转动速度 $\omega_{\max} = 80^\circ/\text{s} = 1.4\text{ rad/s}$;

(2)垂直轴转动范围 $\pm 350^\circ$;

(3)为设备控制需要,主控系统应随时能得到垂直轴当前在 $(0^\circ, +350^\circ)$ 还是在 $(-350^\circ, 0^\circ)$ 的位置信息;

(4)系统能对任意方向进入的目标进行连续跟踪;

(5)限位机构实现两方向的机械限位功能。

3 机构选择与设计

用机械方式限制垂直轴转动范围的方法很多,只要在转动体运动前方增加阻挡块就可以实现。但常规的阻挡块方法^[3-5]无法实现 700° 的转动范围,其最大的问题在于如何用机构实现在转动过程中第一次通过零点,第二次实现阻挡限位。

本文设计了如图1所示 700° 转动范围的机电式限位机构^[6],可以实现上述功能。

3.1 机构工作原理

限位机构各零部件的安装位置及相互关系如图1所示,移动座固定于垂直轴的转动体上,连带其上安装的接近传感器1、滑动撞块、大弹簧及小弹簧等一起随转动体转动。滑动撞块共两件,对称的安装于移动座圆孔内;大弹簧及小弹簧安装在两滑动撞块之间,当任意一个滑动撞块受力时,大小弹簧同时压缩变形吸收能量,起到缓冲减震

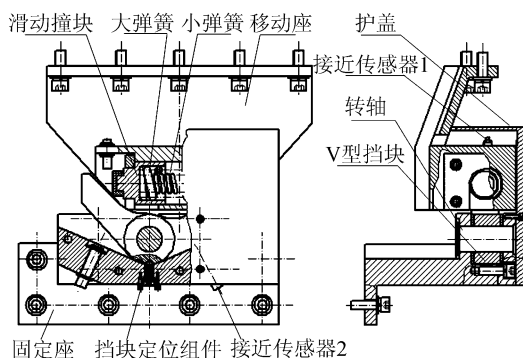


图1 700° 转动范围限位机构

Fig.1 Spacing device with 700° slewing area

作用。接近传感器1共有两只,对称的安装于移动座左右两侧,用于 $\pm 350^\circ$ 转动范围限位前发出到位信号,控制系统控制垂直轴驱动电机断电制动。固定座连接于垂直轴的静止基座上,固定座上安装了转轴、V形挡块、接近传感器2和挡块定位组件等。V形挡块通过转轴安装到固定座的大V形槽内,可以绕转轴固定角度转动,通过挡块定位组件的定位,V形挡块只能在左高右低或左低右高两种状态停顿,当V形挡块在左高右低状态时(如图示状态),允许移动座顺时针通过V形挡块(通过零点),通过后V形挡块变为左低右高状态,移动座继续顺时针再转 350° 后V形挡块的右侧高端限制移动座继续转动;这时,移动座如果逆时针转动,可以反向实现上述动作,这样就可以实现 $\pm 350^\circ$ 转动范围,并在两端实现机械限位。接近传感器2共有两只,对称的安装于固定座的左右大V形槽两侧,通过查询接近传感器2的状态,控制系统可以知道垂直轴是目前在 $(0^\circ, +350^\circ)$ 内还是 $(-350^\circ, 0^\circ)$ 范围内。

3.2 设计计算^[7]

对于大型高转速的光电跟踪设备,由于工作时转动惯量很大,为了保证设备工作安全,在阻挡限位时一定要加入缓冲吸能结构。图1结构中主要采用大、小弹簧在碰撞时压缩变形吸收垂直轴转动质量的惯性能量,使垂直轴在短时间内停止转动。

弹簧吸收能量的能力应接近或大于垂直轴转动最大惯性能量;机构中最薄弱环节应能承受住最强碰撞时的最大应力。

(1)垂直轴转动惯性能

转动惯量计算公式:

$$I = M \cdot R^2, \quad (1)$$

将已知条件带入式(1)后得垂直轴最大转动惯量:

$$I = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

转动惯性能计算公式:

$$A_g = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2, \quad (2)$$

将已知条件带入式(2)后得垂直轴最大转动惯性能:

$$A_g = 980 \text{ N} \cdot \text{m} = 9.8 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(2) 弹簧吸收能量

弹簧刚度计算公式:

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}, \quad (3)$$

设计后选用大弹簧参数为: G —大弹簧切变模量, 取值 80 GPa; d_1 —大弹簧簧丝直径, 取值 12 mm; D_1 —大弹簧中径, 取值 50 mm; n_1 —有效圈数, 取值 8 圈; 自由长度 215 mm; 预压缩量 15 mm; 带入式(3)计算后得大弹簧的刚度 $K_1 = 207 \text{ N/mm}$ 。

选用小弹簧参数为: G —小弹簧切变模量, 取值 80 GPa; d_2 —小弹簧簧丝直径, 取值 6 mm; D_2 —小弹簧中径, 取值 28 mm; n_2 —有效圈数, 取值 12 圈; 自由长度 225 mm; 预压缩量 25 mm; 带入式(3)计算后得小弹簧的刚度 $K_2 = 49 \text{ N/mm}$ 。

弹簧变形吸收能计算公式:

$$A = \frac{1}{2} K (\lambda_1^2 - \lambda_0^2), \quad (4)$$

式中: λ_1 —弹簧总压缩量; λ_0 —弹簧预压缩量

因大小弹簧并联使用, 压缩时总吸收能

$$A_z = A_1 + A_2$$

$$A_z = \frac{1}{2} K_1 (\lambda_{11}^2 - \lambda_{10}^2) + \frac{1}{2} K_2 (\lambda_{21}^2 - \lambda_{20}^2), \quad (5)$$

式中: λ_{11} —大弹簧总压缩量;

λ_{10} —大弹簧预压缩量;

λ_{21} —小弹簧总压缩量;

λ_{20} —小弹簧预压缩量。

将大、小弹簧参数带入式(5), 其中 $\lambda_{21} = \lambda_{11} + 10$, 有:

$$A_z = 128\lambda_{11}^2 + 490\lambda_{11} - 36\,150, \quad (6)$$

(3) 弹簧理论最大压缩量

将垂直轴最大转动惯性能:

$$A_g = 9.8 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ 带入式(6)}$$

$$A_{z \max} = A_g = 128\lambda_{11 \max}^2 + 490\lambda_{11 \max} - 36\,150$$

$$= 980\,000$$

解得 $\lambda_{11 \max} = 87.2 \text{ mm}$

这时, 弹簧限位碰撞最大压缩量为 72.2 mm

(4) 结构强度校核

在碰撞过程中, 结构中最薄弱件应为转轴, 下面对转轴的剪切强度进行校核。

碰撞过程中弹簧承受的最大压力公式为:

$$F_z = F_1 + F_2 = K_1 \cdot \lambda_{11} + K_2 \cdot \lambda_{21}$$

式中: F_z —弹簧最大总压力;

F_1 —大弹簧最大压力;

F_2 —小弹簧最大压力。

计算后得弹簧最大总压力 $F_z = 22\,813 \text{ N}$ 。

按剪切计算转轴直径公式为:

$$D \geq \sqrt{\frac{2 \cdot F_z}{[\tau] \cdot \pi}}, \quad (7)$$

采用 45 号钢材料, 带入式(7)计算后 $D \geq 22 \text{ mm}$, 选用转轴直径 30 mm 以上尺寸。

(5) 限位范围的核算

在设备正常工作情况下, 当垂直轴系旋转到滑动撞块将要与 V 型挡块碰撞时, 接近传感器会向控制系统发出到位信号, 进而控制电机的反转, 使转台反方向转动, 反之亦然。因此 V 型挡块的位置和尺寸决定了该限位机构回转半径下的限位范围。根据 V 型挡块的尺寸和回转半径进行核算后, 最大限位范围可以达到 $\pm 349^\circ$, 基本可以实现 700° 的限位范围。

4 实验数据与分析

4.1 实验数据

用已加工完成的跟踪测量系统, 在保证设备安全的转速下进行限位碰撞试验, 记录了一组不同转速下弹簧的压缩量, 与理论计算的压缩量进行比较, 如表 1。

表 1 限位机构理论压缩量与实际压缩量对比表

Tab.1 Theoretical spring compressions vs the experimental spring compressions

转速($^\circ/\text{s}$)	理论压缩量(mm)	实际压缩量(mm)
10	3.2	1
13.5	5.5	3.5
18.4	9.3	8
23	13.3	10.5
27.5	17.5	13
32	21.8	16

限位机构限位时弹簧压缩量随跟踪测量系统垂直轴转速变化曲线如图2所示。

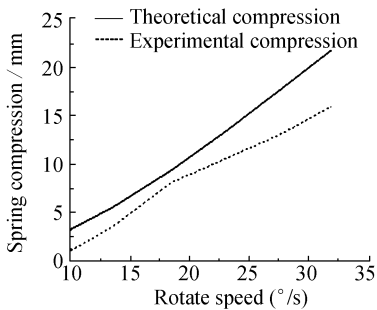


图2 弹簧压缩量随垂直轴转速变化曲线

Fig. 2 Spring compression corresponding to vertical shafting rotate speed

4.2 误差分析

从上述试验结果看,垂直轴同样转速下被限位机构限位停顿时理论弹簧压缩量要比实际压缩量偏大。经分析产生上述结果的主要原因是:

(1)估算转动质量和回转半径时取值偏大;

(2)计算时将垂直轴转动体和固定体均简化为刚体,但实际工作时均为弹性体,在限位碰撞时均会发生弹性变形而吸收转动体的惯性能;

(3)限位机构V形挡块上安装了橡胶垫块,橡胶垫块在限位碰撞时除可减小噪声也会吸收转动体的惯性能;

(4)在限位碰撞时滑动撞块和大小弹簧要产生滑动和摩擦,设计时有意增加了这种摩擦阻力,这在碰撞时也会吸收转动体的惯性能;

(5)由于设备的底板没有完全固定,碰撞时会有一定的移动,因此在大速度情况下误差变大。

5 结 论

经理论分析和试验验证可以发现,该机构工作可靠,结构设计巧妙、紧凑,较好地解决了旋转轴回转零点的第一次通过和第二次限位问题,并且机构可适时为设备主控系统提供旋转轴当前位置和到位信息,能够满足大型高精度光学仪器的使用要求。该限位机构已成功应用于大型光电设备,在设备工作过程中该限位机构进行限位碰撞后,对设备光学结构及垂直轴系等相关机构的精度没有造成明显影响。从上述分析可见,按理论计算的机械限位机构在实际使用时会偏于安全,为减小结构尺寸和重量可适当减小安全余度。

参考文献:

- [1] 张景旭. 大型跟瞄架方位轴系的研制[J]. 光学精密工程, 1996, 4(2): 73-77.
ZHANG J X. Development of vertical axial system for large tracking and pointing mount[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, 4(2): 73-77. (in Chinese)
- [2] 李耀斌. 微型机械运动参数测试中弱小信号的提取[J]. 光学精密工程, 1996, 4(3): 46-51.
LI Y W. Drawing to faint revolve signal in instrument for measuring dynamics of micromechanism[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, 4(3): 46-51. (in Chinese)
- [3] 李立杰, 王珉. K-8机襟限位机构可靠性建模及求解方法[J]. 南京航空航天大学学报, 1998, 30(3): 319-325.
LI L J, WANG M. Establishing and calculating the reliability mathematical method of K-8 flap's spacing mechanism [J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 1998, 30(3): 319-325. (in Chinese)
- [4] 宋玉萍. 一种新型转向限位机构[J]. 工程机械, 2002, 2: 7-8.
SONG Y P. A new turning spacing device[J]. *Engineering Machine*, 2002, 2: 7-8. (in Chinese)
- [5] 侯仁杰, 唐进京. 一种新型凸轮式限位机构[J]. 阀门, 1989, 2: 44-45.
HOU R J, TANG J J. A new spacing device with cam gear[J]. *Valve*, 1989, 2: 44-45. (in Chinese)
- [6] 中科院长春光学精密机械与物理研究所. 一种机电式720度回转限位机构[R]. 中国: 03212674. 3, 2004, 08.
Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. A new turning spacing device with 700° slewing area[P]. China: 03212674. 3, 2004, 08. (in Chinese)
- [7] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
PU L G, JI M G. *Machine design*[M]. Beijing: High Education Press, 2001. (in Chinese)

作者简介: 高云国(1955—)男, 山东乳山人, 研究员, 博士生导师, 主要从事光电仪器总体设计方面的研究, 曾获中科院科技进步二等奖, 发表论文三十余篇, 获得多项专利。E-mail: tgd8217@yahoo.com.cn