

文章编号 1004-924X(2003)03-0301-04

楔铁式调平机构的设计

杜俊峰

(中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘要:为满足仪器在大的垂直负载和方位扭矩下的精密调平和精度保持,设计了楔铁式调平机构。利用静摩擦平衡方位扭矩,通过增大楔铁工作面来满足大的垂直负载,应用斜面机构和螺旋机构的速比大和自锁的特点实现精密调平和精度的保持。根据该机构的使用要求,提出了设计的 4 项准则。以此,设计计算了在垂直负载 15 t,方位扭矩 10 000 N·m,调平角度不小于 1°,调平精度 1 条件的楔铁式调平机构。

关键词:调平机构;倾侧刚度;摩擦力

中图分类号:TH112.93 **文献标识码:**A

Design of the wedge leveller

DU Jun-feng

(Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of sciences, Chengdu 610209, China)

Abstract: For the purpose of precision levelling and accuracy maintenance under big vertical load and azimuth torque, a wedge leveller has been designed against 4 criteria based on its operating requirements, so that the static friction counteracts the azimuth torque, the increased wedge area carries the big vertical load, and the high transmission ratio and self-locking of the wedge screw mechanism can be used to achieve precision levelling and accuracy maintenance. The levelling accuracy of the wedge leveller designed is 1 when the vertical load is 15 t, the azimuth torque is 10,000 N·m, and the levelling angle is not less than 1°.

Key words: leveller; incline stiffness; friction

1 引言

在光电跟踪设备中,跟踪架的全部重量是用三个调平机构支撑的,要求调平机构不仅要满足调平量,也应有足够的精度。目前有三种方案:第一种是螺旋千斤顶式的,第二种是用瓦块变形式的,第三种是楔铁式的。这三种调平机构各有特点,总的看起来,第三种调平机构结构简单,而且刚度可以做得很大,很容易满足大载荷的要求。

因此,楔铁式调平机构能满足垂直负载 15 t,方位扭矩 10 000 N·m,调平角度不小于 1°的条件。

2 楔铁式调平机构

楔铁式调平机构一般有:(1)调整螺钉,(2)挡板,(3)支座,(4)上滑块,(5)下滑块,(6)锁紧螺栓组成。其结构示意图如图 1。其工作原理是通过调整调平螺钉,带动下滑块左右移动,经过楔形摩擦副实现上滑块的上下移动来达到调节作用。

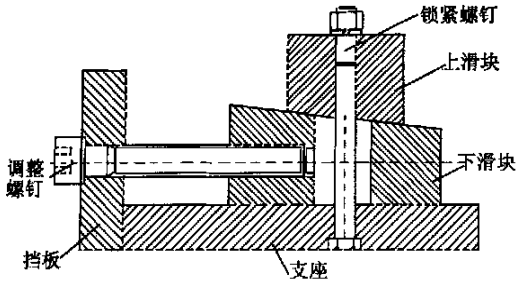


图 1 结构示意图

Fig. 1 Structure model

根据其工作原理和对调平机构的要求,在楔铁式调平机构设计中要考虑以下问题:

- (1) 避免楔铁工作面的比压过大,而使楔铁工作面间因咬合而不能均匀滑行,达到调节目的;
- (2) 要使斜面能自锁而不会自动滑出,保持稳定的调整量,楔铁倾角应小于摩擦角;
- (3) 要保证调平机构微调的灵敏度,满足调平要求;
- (4) 保证侧向和抗扭刚度,不致于造成方位编码器零位带动误差。

3 楔铁式调平机构的设计计算

3.1 最小接触面积的确定

楔铁工作面的比压(单位面积上的压力强度)通过增大工作面的面积而设计得很小,但有一个最小的接触面积。为了避免比压过大而使楔铁工作面间因咬合而不能均匀滑行,通常设计的比压值小于钢铁屈服极限的 $1/20^{[1]}$ 。45 钢的淬透性较差,通常截面厚度或直径 $> 50 \sim 100 \text{ mm}$,采用正火处理。其屈服强度一般为 $270 \text{ MPa}^{[1]}$ 。整个跟踪架 15 t 的重量是有三个楔铁式调平机构来承担,因此每个楔铁式调平机构的垂直负载就是 5 t 。根据这一负载,由式:

$$F_0/s < s_s/20, \quad (1)$$

式中: F_0 —垂直负载为 $4\,900 \text{ N}$

s —接触面积 (mm^2)

s_s —材料屈服强度,45 钢正火一般为 270 MPa

代入求得:

$$S_{\min 1} = 3\,629 \text{ mm}^2$$

为了保证方位电机在工作时,不致于造成方

位编码器的零位带动误差,三个楔铁调平机构中的摩擦副要有足够的摩擦力。由于整体结构尺寸确定,三个摩擦副均布在 $1\,600 \text{ mm}$ 的圆周上。这样由式:

$$F_{\text{摩}} = T/R, \quad (2)$$

式中: T —方位电机输出力矩,为 $10\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$

R —楔铁摩擦副分布半径, $R = 800 \text{ mm}$

代入可以求得总的摩擦力

$$F_{\text{摩}} = 12\,500 \text{ N}$$

每个楔铁调平机构的摩擦力就是:

$$F_{\text{摩}} = F_{\text{摩}}/3 = 4\,167 \text{ N}$$

查手册,楔联接的摩擦因数和摩擦角为^[2]:

材料和表面状况 钢—钢、刨削、涂脂

摩擦因数 $\mu = 0.07$

摩擦角 $= 4^\circ$

由摩擦力的计算式

$$F_{\text{摩}} = \mu \cdot F_N, \quad (3)$$

式中: μ —摩擦因数,为 0.07

$F_{\text{摩}}$ —摩擦力,为 $4\,167 \text{ N}$

F_N —法向载荷

可知, $F_N = 59\,528 \text{ N}$

将 F_N 的值代入式(1)求得在保证方位编码器没有零位带动误差时,接触面所需要的最小面积。

$$S_{\min 2} = 4\,409 \text{ mm}^2$$

在综合考虑垂直负载和不造成方位编码器零位带动误差的情况下,最小接触面积应是 $\max(S_{\min 1}, S_{\min 2})$,为 $4\,409 \text{ mm}^2$ 。设计时的接触面积应大于此值。

3.2 锁紧螺栓公称直径的确定

从楔铁式调平机构的示意图 1 可以看出,在调整结束后,保持调整的稳定,保证侧向和扭转刚度,都是依靠锁紧螺钉的预紧力。由上面的分析,已经知道保证不造成方位编码器零位带动误差,锁紧螺钉的预紧力不应小于摩擦副之间的正压力 $59\,528 \text{ N}$ 。

查手册,对于碳素钢螺栓,预紧力限值^[2]

$$F = (0.6-0.7) \cdot s_s \cdot A_s, \quad (4)$$

式中: s_s —螺栓材料的屈服极限,为 400 MPa

A_s —螺纹公称应力截面积

$$A_s = \pi [(D_2 + D_3)/2]^2/4$$

D_2 —外螺纹中径

D_3 —螺纹计算直径, $D_3 = D_1 - H/6$

(其中 H 为螺纹原始三角形高度)

D_1 —外螺纹小径。

在 $F_N = 59\ 528\ \text{N}$ 时,计算得:

$$A_s = 248\ \text{mm}^2$$

$$D_2 = 17.8\ \text{mm}$$

从计算结果看,对于每个楔铁式调平机构,当采用一个螺栓联接来保证,最小应选用 M22 的螺栓,若采用多个螺栓来联接,其螺栓总的截面面积不应小于 $248\ \text{mm}^2$ 。

下面计算一下,在选用 M22 螺栓的情况下,其垂直轴的倾侧刚度。

当跟踪架受到外来倾侧力矩 $M_{\text{倾}}$ 时,造成垂直轴倾角 θ ,则倾侧刚度定义为^[3]:

$$C = M_{\text{倾}} / \theta, \quad (5)$$

三个调平机构在 360° 内均布,倾侧力矩引起调平机构的受力情况,如图 2。

$$M_{\text{倾}} = 1.5 \cdot R \cdot F$$

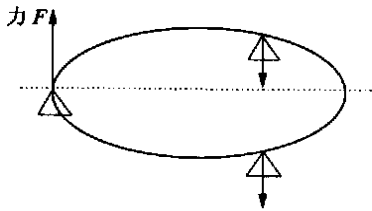


图 2 受力情况示意图

Fig. 2 Force analysis

在此以锁紧螺栓来保证倾侧刚度。对于普通 M22 的螺栓,其刚度 C_L 为^[2]:

$$\frac{1}{C_L} = \frac{1}{E_L} \left(\frac{L_1}{A} + \frac{L_2 + L_3}{A_s} \right), \quad (6)$$

式中: E_L —螺栓材料的弹性模量,为 210 GPa

A —螺栓光杆部分的截面积,为 $340\ \text{mm}^2$

A_s —螺栓公称应力截面积,为 $303\ \text{mm}^2$

由联接尺寸决定: $L_1 = 80\ \text{mm}$, $L_2 = 20\ \text{mm}$, $L_3 = 10\ \text{mm}$,计算得 M22 螺栓的刚度 $C_L = 62\ 8171\ \text{N/mm}$ 。

当螺栓伸长 1 mm 时,引起垂直轴的倾角为 $172''$,需要的倾侧力矩为 $753\ 805.2\ \text{N} \cdot \text{m}$ 。计算:

$$C = 4\ 383\ \text{N} \cdot \text{m/s}$$

这样的倾侧刚度是能满足要求的。因此,对于此情况下的楔铁式调平机构选用 M22X120 锁紧螺栓是合理的。

3.3 楔铁倾角和调平螺钉的确定

根据对调平机构的要求:调平角度 $\alpha = 1^\circ$,调平精度小于 $1\ \mu\text{m}$ ^[4,5],3 个调平机构均布在 $1\ 600\ \text{mm}$ 的圆周上。有式:

$$\tan \alpha = \frac{H}{1.5 R}, \quad (7)$$

可以计算出,在满足最大调平角度 $\alpha = 1^\circ$ 时,调平机构上滑块垂直方向的移动量 $H = 3.5\ \text{mm}$ 。

对于楔铁式调平机构既要满足调整的角度范围,也要达到调平的精度要求。要达到调平精度,其实质就是把操作者的手的位移量缩小到要求的上滑块垂直方向的微小移动量。取调平精度的一半作为每次允许的可调精度,这样每次上滑块垂直方向的移动量为 $0.003\ \text{mm}$ 。由式:

$$l = t \cdot 360^\circ \cdot \tan \alpha, \quad (8)$$

式中: l —为上滑块垂直方向的移动量;

t —调整螺钉的螺距;

α —调整螺钉转过的角度;

θ —滑块斜面的倾斜角

由上式可以看出,在操作者手的微调量 l 一定的情况下,减小调整螺钉的螺距 t 和减小滑块斜面的倾斜角 θ 都可以提高灵敏度。

为了使斜面能自锁而不会自动滑出,保持稳定的调整,楔铁倾角应小于摩擦角,并且兼顾到不能有太大的调节行程,在此设计:楔块角度 3° 。此时需要的调节行程是 $67\ \text{mm}$ 。

在螺纹传动中,由于梯形螺纹具有加工比较容易,强度适中,传动性能可靠的特性,在此采用梯形螺纹将调平螺钉的旋转运动转换为下滑块的直线运动。由力学分析在 $49\ 000\ \text{N}$ 垂直负载的情况下,要拉动下滑块的楔紧力为:

$$F = F_0 \cdot \tan(\alpha + \rho) = 49\ 000 \cdot$$

$$\tan(3^\circ + 8^\circ) = 6\ 887\ \text{N}$$

代入式(4)可以求出需要的最小螺纹直径为 $6.2\ \text{mm}$ 。在综合考虑操作者调节时的合适调节力矩,查标准最后选用 M20 x4 的梯形螺纹。有梯形螺纹的当量摩擦系数为 $1.035\ \mu$,可以计算出调平螺钉的调整力矩为: $10\ \text{N} \cdot \text{m}$ 。

最终对滑块的倾斜角设计为 3° ,调平螺钉设计为梯形螺纹 M20X4。

4 结束语

此种楔铁式调平机构在一些小型经纬仪的调

平中已经使用过,本文是在以往调平机构的基础上,考虑到大负载的情况下,对楔铁式调平机构的设计,设计的具体要求就是应满足的 4 个条件。

参考文献:

- [1] 高福晖. 机械零件强度许用值新标准及大型经纬仪机械设计[M]. 成都:成都科技大学出版社,1998.
GAO F H. *New method for defining the permissible value of strength of machine parts and super-theodolite machine design* [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press,1998.
- [2] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
ZU H. *Machine design handbook* [M]. Beijing: China Machine Press,2000.
- [3] 凌宁. 大型经纬仪的底座与可变形调平机构[J]. 光学工程,1983,(3):9-18.
LING N. Base and deformable leveling mechanism of large Cine-theodolite[J]. *Optoelectronic Engineering*, 1983,(3):9-18.
- [4] 杜俊峰,李正周. GD-220 光电经纬仪轴系的精度分析[J]. 光学 精密工程,2002,10(4):416-419.
DU J F, LI ZH ZH. Analysis of the axial accuracy of the GD-220 photoelectric theodolite[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002,10(4):416-419.
- [5] 姚立常,王家祯,李继勋,等. 260 激光电视电影经纬仪总体研制报告[J]. 光学 精密工程,1995,3(5):1-20.
YAOL CH, WANGJ ZH, LIJ X, et al. Overall research report on 260 laser television cinetheodolite[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1995,3(5):1-20.

作者简介:杜俊峰(1974-),男,河南人,助理研究员,工学硕士,主要从事光机结构设计,E-mail:jufeng-du@163.net, Tel:028-85100196

征订启事

欢迎订阅《中国光学与应用光学文摘》

《中国光学与应用光学文摘》是经国家科委批准,由中科院文献情报中心、中科院光学情报网和中科院长春光学精密机械与物理研究所联合主办的国家级检索刊物,该刊主要收录我国科研人员在国内外期刊和有关会议上发表的科技论文和会议论文,年收录量 5 000 篇左右。《中国光学与应用光学文摘》以文摘形式报道国内光学、光电子学领域的理论研究动态、最新科研成果和相关创新技术,是国内该领域惟一的检索刊物,是了解光电子行业相关科技信息的最新窗口,以报道时差短、检索途径多、信息量充实为特色。

《中国光学与应用光学文摘》为双月刊,大 16 开本,110 页,国内公开发行。邮发代号:12-140,定价:15 元/期。为满足不同订户的要求,编辑部亦随时办理破年、破季订阅。

单 位:中科院长春光学精密机械与物理研究所《中国光学与应用光学文摘》编辑部

联系人:杨妹清

地 址:长春市人民大街 140 号

邮 编:130022

电 话:(0431)5261590

账 户:中科院长春光学精密机械与物理研究所

http://www.ciom.ac.cn

账 号:01471908091001

E-mail:yanh@ciomp.ac.cn

银 行:中行吉林省分行营业部