

一种相机外场照像试验转台驱动机构

张洪文¹, 卞亚林¹, 杨德军², 吴 斌³

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;

2. 二炮驻 699 厂军代室, 北京 100083

3. 二炮北京军代局, 北京 100083)

摘要: 试验转台是相机动态成像试验不可缺少的试验设备之一, 试验转台的运转精度, 平稳性直接影响到相机动态照像的成像质量。从满足相机动态照像需求出发, 简要介绍转台试验装置的功能和结构总体布局, 通过转台驱动机构几种结构方案的对比分析, 确定蜗轮、蜗杆传动和摩擦轮传动综合使用的方案, 主要介绍转台驱动机构的结构及组成, 并对转台驱动机构传动误差进行了初步分析。

关键词: 驱动机构; 摩擦轮; 惰轮组件; 平稳性

中图分类号: V447.3 文献标识码: A

1 引言

由于试验相机工作条件非常复杂, 欲验证相机在复杂工作条件下的成像质量, 需对相机各种环境状态进行模拟试验。相机动态成像试验是通过试验转台来模拟实现的。为此, 试验转台是相机动态成像试验不可缺少的设备之一, 而试验转台的运转精度, 平稳性直接影响到相机动态照像的成像质量, 这就对转台的驱动和传动机构的设计提出了很高的要求。本文从满足相机动态照像需求角度出发, 在多方案对比分析的基础上, 优选出转台的驱动和传动机构方案, 对该方案的组成及工作原理进行详细介绍, 并给出转台驱动机构误差分析的部分结果。

2 转台试验装置简介

转台试验装置主要由转台、相机、连接板、转台驱动机构组成, 试验装置的结构原理图如图 1 所示。

相机借助连接板固定在转台上, 连接板上通过 16 个 M10 螺钉与相机固定, 连接板下面通过 3 个 M8 螺钉与转台法兰面固定。转台驱动机

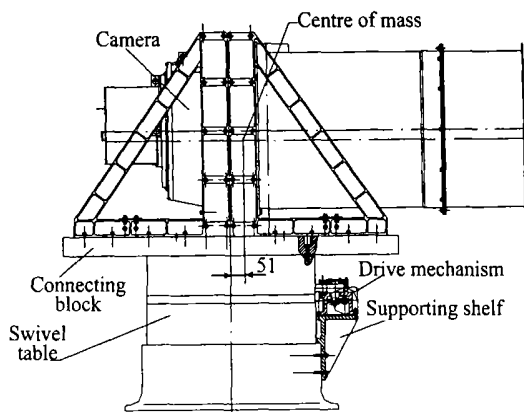


图 1 相机外场照像试验装置

Fig. 1 Experiment equipment to take photographs outdoors.

构借助支承架固定在转台外圆周上, 驱动电机通过减速机构, 借助摩擦轮将力传递给转台, 实现对转台的驱动。设计时, 综合考虑研制周期经济合理性, 采用在原有的回转精度较好, 承载能力较高的回转平台, 并借用面形精度、刚度较好的相机力学试验用支承板的基础上, 增设一套驱动机构方案。

3 转台驱动机构传动方案的选择与确定

由于相机要求此转台工作时转速平稳度为 $\delta \leq 2\%$, 转速在 $0.001 \text{ rad/s} \leq \omega \leq 0.025 \text{ rad/s}$ 范围内, 转台转速很低, 如果用电机直接驱动转台主轴, 结构比较简单, 但由于目前没有如此低转速大力矩的电机, 所以无法实现。因而电机与转台之间必须有一套减速装置, 经计算, 减速比要在 500 左右。

3.1 几种传动方案对比分析

该减速装置可供选择的方案有以下几种: 1) 齿轮传动; 2) 蜗轮、蜗杆传动; 3) 皮带传动; 4) 摩擦轮传动。

a) 齿轮传动。此种方案通过多级齿轮减速可获得较高的速比, 对于单个齿轮在每转一周能获得较准确的传动比, 但由于齿轮加工中形成的周节累积公差 F_p 的存在, 几组齿轮传动误差叠加很难保证较高的速度平稳度 δ 。另外, 由于相机质量较大, 导致转动惯量较大, 相机照像过程中需要经常启动、停止、反向, 导致齿轮轴、电机轴的冲击也较大。

b) 蜗轮、蜗杆传动。此种方案的优点在于较小的结构可获得较高的传动比, 但实现 1:500 的传动比需要多级传动, 体积也较大, 另外蜗轮周节累积公差 F_p 的存在, 同样降低速度的平稳度 δ , 相机照像过程中的启动、停止、反向对蜗轮、蜗杆轴、电机轴同样存在较大的冲击。

c) 皮带传动。此种方案的优点是可以通过皮带打滑基本克服了转台工作过程中对电机轴的冲击, 但皮带传动的弹性蠕滑较大, 对传动速比的准确性, 速度的平稳性都有影响, 并且实现此种传动所需要的结构空间也比较大。

d) 摩擦轮传动。此种方案的优点是有很小的结构, 可实现很大的速比, 通过摩擦基本克服了转台工作过程中对电机轴的冲击, 摩擦轮的弹性蠕滑可通过选择适当的摩擦轮材料降低或基本消除。但由于所需速比较大, 通过一组摩擦轮传动实现比较困难, 通过多组摩擦轮传动在结构上实现起来也比较复杂。

综合比较上述几种传动方案的优缺点, 确定

将蜗轮、蜗杆传动和摩擦轮传动综合使用, 这样既可获得较高的传动比及平稳度, 又可避免转台工作时对蜗轮、蜗杆轴、电机轴的冲击, 同时, 此结构实现起来具有空间小、结构简单、制造容易、运转平稳等特点。

3.2 转台驱动机构结构设计

转台驱动机构由蜗轮、蜗杆箱组件、摩擦轮组件、电机和电机驱动器组成。结构简图如图 2 所示。

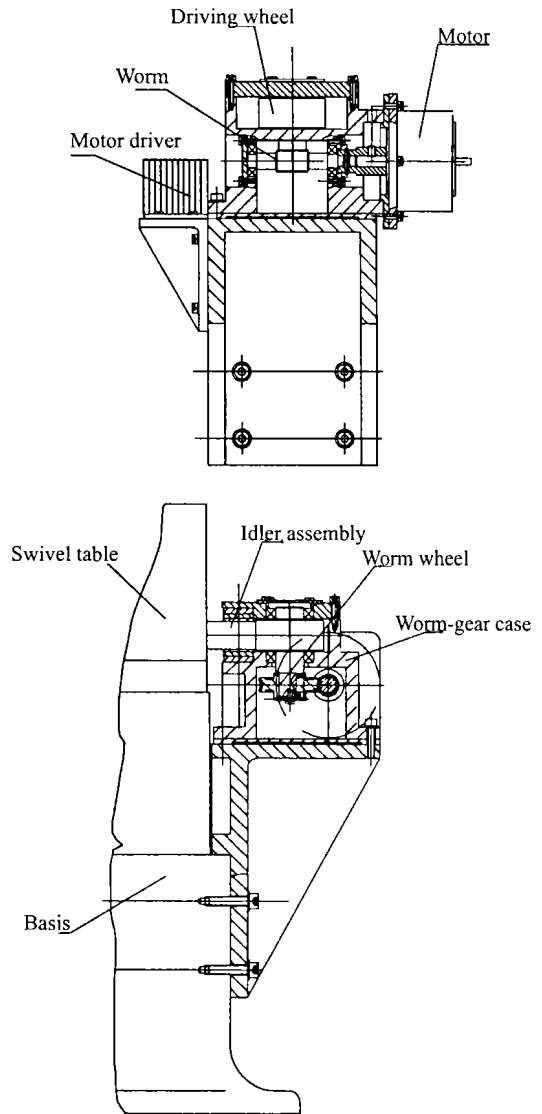


图 2 驱动机构

Fig. 2 Drive mechanism.

蜗轮、蜗杆箱组件主要由蜗轮、蜗杆及箱体组成, 蜗轮与蜗杆传动比为 50:1, 精度 7 级, 模数为

1. 蜗轮材料为 QSn6.5_0.1, 蜗杆材料为 40Gr。摩擦轮组件由主动轮、惰轮组件、转台组成。主动轮通过惰轮与转台外环接触, 摩擦传动, 传动比为 10:1, 其中, 主动轮、惰轮、转台外环均为钢件, 且主动轮、惰轮表面经过淬火处理, 减小了摩擦传动时由于弹性变形产生的弹性蠕滑, 从而保证了传动比的准确性和速度的平稳性。摩擦轮传动是靠相互接触的两个滚轮之间产生的摩擦力传动的, 为防止两轮由于摩擦力过小产生相对滑动, 设计有一个压紧装置, 使两摩擦轮之间有足够压紧力来产生足够的摩擦力。惰轮组件如图 3 所示, 主要由两个惰轮和内、外惰轮支架、弹簧等组成, 通过调节弹簧压缩量的大小来保证惰轮以足够的压紧力紧靠在主动轮和转台外环面上, 以达到避免打滑的目的, 惰轮做成鼓形, 以降低安装精度和减少打滑。

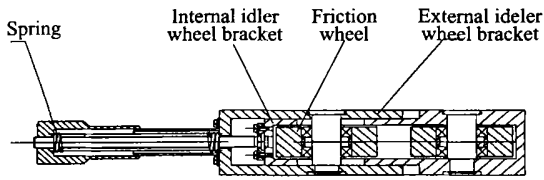


图 3 惰轮组件

Fig. 3 Idler wheel assembly.

4 转台驱动机构传动误差分析

由电机到转台之间的传动链上的各个环节误差都会对转台运转的平稳度产生一定的影响, 因此, 控制各环节误差对转台运转速度的影响, 才能达到相机试验要求。

影响转台运转速度的因素很多, 主要有蜗轮、蜗杆的加工制造及装配误差、转台外环面的径向点跳动误差、摩擦轮间的滑动、电机驱动频率波动、主动轮直径误差、转台外环直径误差等, 其中主动轮直径误差、转台外环直径误差不影响转台运转的平稳度, 它只影响转台驱动机构传动比, 是系统误差, 可通过速比修正值消除。下面分别对蜗轮、蜗杆的加工误差、转台外环面的径向点跳动误差、摩擦轮间的滑动误差、电机驱动频率波动误差对转台运转平稳度的影响进行分析。

4.1 蜗轮、蜗杆的加工误差对转速平稳度的影响

蜗轮、蜗杆的加工误差对转速平稳度的影响

主要是蜗轮、蜗杆的齿距累积误差。蜗轮、蜗杆的加工精度越高, 齿距累积误差越小, 对转速平稳度的影响越小, 但加工精度提高, 加工难度也相应加大。在此, 取 7 级蜗轮、蜗杆分析。蜗杆轴向齿距累积公差 $f_{PXL} = 0.018$; 蜗轮齿距累积公差 $F_{PK} = 0.028$ [4]; 二者叠加 $\Delta = 0.018 + 0.028 = 0.046\text{mm}$ 。由于惰轮与转台的线速度误差相同, 将蜗轮、蜗杆的加工误差对转速平稳度的影响反映到惰轮上, 由下式知:

$$v_{\text{惰轮}} = v_{\text{蜗轮}} \cdot \frac{D_{\text{主动轮}}}{D_{\text{蜗轮}}}, \quad (1)$$

$$\Delta v_{\text{惰轮}} = \frac{\Delta \cdot \frac{D_{\text{主动轮}}}{D_{\text{惰轮}}}}{\pi \cdot D_{\text{蜗轮}} \cdot \frac{8}{z_{\text{蜗轮}}}}, \quad (2)$$

$v_{\text{蜗轮}}$

蜗轮、蜗杆的加工误差对速度平稳性影响:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \frac{\Delta v_{\text{惰轮}}}{v_{\text{惰轮}}} \times \frac{2}{D_{\text{转台}}} \\ &= \frac{\Delta}{\pi \cdot D_{\text{蜗轮}} \cdot \frac{8}{z_{\text{蜗轮}}}} \times \frac{2}{D_{\text{转台}}} \\ &= \frac{0.046}{\pi \times 50 \times \frac{8}{50}} \times \frac{2}{600} = 0.006\%, \end{aligned} \quad (3)$$

其中:

$v_{\text{蜗轮}}$ — 蜗轮的转速

$v_{\text{惰轮}}$ — 惰轮的转速

$D_{\text{主动轮}}$ — 主动轮直径

$D_{\text{蜗轮}}$ — 蜗轮直径

$D_{\text{惰轮}}$ — 惰轮直径

$D_{\text{转台}}$ — 转台直径

$Z_{\text{蜗轮}}$ — 蜗轮齿数

Δ — 蜗杆、蜗轮齿距累积误差之和

4.2 转台外环面径向跳动误差对转速平稳度的影响

转台外环面径向跳动误差导致转台旋转半径发生变化, 经实测转台外环面径向跳动最大误差为 0.4mm。由

$$\omega_r = \omega' r', \quad (4)$$

得

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{r'}{r}, \quad \frac{\omega' - \omega}{\omega} = \frac{r - r'}{r}, \quad (5)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{r - r'}{r'}$$

$$\text{即 } \delta_2 = \left| \frac{r - r'}{r'} \right| = \frac{0.4}{300.4} = 1.33\%, \quad (6)$$

其中:

ω — 转台理想角速度; ω' — 转台在径向跳动最大处的角速度; r — 转台理想半径; r' — 转台在径向跳动最大处的半径。

4.3 摩擦轮之间的滑动对转速平稳度的影响

滑动将使摩擦传动的输出转速和传动效率降低, 滑动分为弹性滑动、几何滑动和打滑。打滑意味着传动失效, 但通过施加足够的压紧力可以避免, 对于弹性滑动是由于摩擦副工作时由于材料的弹性变形引起的滑动, 它是不可避免的, 但由于选用的摩擦轮材料为 40Gr, 经过淬火处理, 弹性变形很小, 产生的滑动绝对值很小, 略去不计。

对于几何滑动, 是由于滚动体几何形状及相对位置等因素引起的滑动, 由于选用的是两个圆柱形状的摩擦轮, 经计算, 滑滚比基本为零。

综上所述, 摩擦轮之间的滑动对转速平稳度的影响误差 $\delta_3 \approx 0$ 。

4.4 电机驱动频率波动对转速平稳度的影响

因为该系统为开环控制, 由于减速器的缩放作用, 电机驱动频率波动对转速平稳度的影响很大。经实测, 电机波动频率对转速平稳度的影响为 $\delta_4 \approx 0.15\%$ 。

参考文献:

[1] 许洪基, 郁明山, 等. 现代机械传动手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
 [2] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
 [3] 葛志祺. 机械零件设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
 [4] 张善锺. 精密仪器结构设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
 [5] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
 [6] 黄翔. 中国机械工业标准汇编[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
 [7] 江景山. 空间科学与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

综合以上几方面的影响, 电机到转台间的传动链上的各个环节的误差, 即

$$\begin{aligned} \delta_{\text{最大}} &= \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 \\ &= 0.006\% + 1.33\% + 0 + 0.15\% \\ &= 1.486\%, \end{aligned} \quad (7)$$

为了进一步减小误差, 对转台驱动机构速比进行修正, 用多次测量的周期时间反推出速比的

平均值定为修正速比, $\bar{i} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n i_n = 500.83 (n = 10)$ 。通过修正速比来达到消除系统误差的目的, 修正后, 该机构的速度稳定性最大误差仅为 0.18% 满足试验要求。在实际应用上, 电机输入频率已知, 可由积分时间与速比的关系得到积分时间的大小, 进行相机试验工作。

5 实验结果及结论

某试验相机使用该转台进行外场照像试验, 获得了比较清晰的扫描图像, 说明该转台驱动机构满足相机试验要求。

试验转台是相机动态成像试验不可缺少的试验设备之一, 本文通过对其结构、误差的详细分析及相机外场照像试验结果说明此转台具有较高的传动精度和平稳性, 满足相机试验要求。此外, 该试验装置通过更换不同转速的电机, 可扩展转台的使用范围, 适用于各种相机试验, 具有通用性。

Drive mechanism of the experiment table used for camera's outdoor imaging test

ZHANG Hong_wen, DING Ya_lin, YANG De_jun, WU Bin

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

2. Second Artillery Stay Army Deputation of 699 Factory in Beijing 100083, China;

3. Second Artillery Army Deputation Administration in Beijing 100083, China)

Abstract: Experiment table is one of the necessary devices for camera imaging outdoors. Its moving precision and stability affect image quality directly. To satisfy the needs of camera's imaging, the function and the structure layout of the table are introduced briefly. Then on the basis of evaluating four kinds of drive manners, a worm-driven and friction-wheel-driven mechanism is chosen, and the structure of the transferring system is presented. Finally, the driving errors of the mechanism are analyzed.

Key words: drive mechanism; friction wheel; idler pulley assembly; stability

作者简介: 张洪文(1974-), 男, 吉林省长春人, 1997年毕业于吉林工业大学机械工程系, 获学士学位, 一直从事空间光学仪器结构设计工作。

《发光学报》(双月刊)

——物理学类核心期刊

《发光学报》是中国物理学会发光分科学会主办的学术会刊, 由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所承办。该刊以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年和2000年连续三次被“中文核心期刊要目总览”评为物理学类核心期刊。2000年被评为中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年始; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)自2000年始已定期收录检索该刊论文。本刊内容丰富、信息量大主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为季刊, 大16开本, 100页, 国内外公开发行。国内定价: 每册9.00元。全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市人民大街140号

《发光学报》编辑部

邮 编: 130022

电 话: (0431)5684692-2534

E-mail: fgxb@ciomp.ac.cn

国内统一刊号: CN-1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 8-173

国外发行代号: 4863Q

http://www.ciomp.ac.cn