

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.004

小型光电伺服转台的设计及误差分析

杨爱芬, 刘茂全, 张超

(中国电子科技集团公司 第 27 研究所, 郑州 450047)

摘要: 为实现目标的捕捉及精确跟踪, 设计了一种小型光电伺服转台。根据系统指标对转台进行结构设计, 通过试验数据对转台的方位和俯仰轴系误差进行分析。测试结果表明, 结构设计完全满足系统指标要求。该转台结构布局合理, 具有一定的创新性和实用性, 可为同类产品设计提供借鉴。

关键词: 伺服转台; 轴系误差; 精度分配

中图分类号: O241.1 **文献标志码:** A

Design and Error Analysis of Small-Sized Photoelectricity Servo-Turntable

Yang Aifen, Liu Maoquan, Zhang Chao

(The 27th Research Institute, China Electronic Technology Corporation Group, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: A small-sized photoelectricity servo-turntable is designed to achieve the acquisition and precise tracking of object. The structural design of servo-turntable is carried out according to the system specification and the shafting error of azimuth and pitching is analyzed according to the test data. The test result shows that the structural design can meet the requirement of system specification completely. The structure of turntable is reasonable, innovative and practical and can be referred by the same kind of product.

Keywords: servo-turntable; shafting error; precision distribution

0 前言

某小型光电跟踪系统由电视跟踪仪、红外探测器、激光测距机、小型光电伺服转台、伺服控制箱等部分组成。该系统的主要任务是跟踪并捕捉目标, 为火控系统后续防空武器装备提供精确的目标信息, 以提高防空武器打击目标的能力。小型光电伺服转台是系统快速响应的动力支撑, 是系统的重要组成部分。伺服转台的设计指标为: 方位转动范围为 $\pm 270^\circ$; 俯仰为 $-24^\circ \sim +87^\circ$, 扇扫; 方位、俯仰转动角速度为 $0.1 \sim 120^\circ/\text{s}$ (最大); 角加速度 $120^\circ/\text{s}^2$ (最大); 轴系精度 (包括方位轴与大地垂直, 俯仰轴与方位轴垂直, 瞄准望远镜光轴与俯仰轴垂直以及电视激光标准望远镜三轴匹配误差) 最大均方根误差 $\leq 60''$ 。要求转台具有结构简洁、紧凑、体积小、重量轻, 架装方便、且其刚强度好等特点。因此, 笔者对小型光电伺服转台进行设计和误差分析。

1 光电伺服转台结构设计

伺服转台选用立轴叉形俯仰结构形式^[1]。为了保证设备的机动性, 采用模块化设计, 伺服转台分别由俯仰模块、方位模块、三脚架 3 部分组成。每

个模块之间采用精密轴系配合确保转台精度。另外, 采用快速联接、分解措施以便安装、运输。

俯仰模块由 U 型架、精密传动轴系, 驱动电机、测速电机、测角元件、目标探测器 (电视跟踪仪、激光测距机、红外探测器)、标校望远镜、水准器组成。

在设计中将俯仰驱动电机、测速电机和测角元件直接套轴安装, 固定在 U 型架的两侧 (如图 1), 提高了系统刚性及测角精度。探测器合理安装在轴的中间位置, 瞄准望远镜安装在俯仰轴的左端, 2 个水准器垂直安装在 U 型架的水平基面上, 这样保证了平台轴系精度, 减少系统的转动惯量。

方位模块采用立轴式结构形式, 由一对高精度圆锥滚子轴承支撑构成精密轴系。方位伺服驱动电机、测速电机和测角元件采用套轴式自上而下安装, 保证方位轴的刚性及测角精度。负载的电缆从中空的方位轴中间穿出, 并通过转接盘向外传送信号。

三脚架由螺纹伸缩杆及支撑面组成。利用三点确定一个平面的原理, 通过调整三脚架螺纹伸缩杆, 让水准器水泡居中位置, 保证方位轴铅垂。

收稿日期: 2011-01-23; 修回日期: 2010-03-02

作者简介: 杨爱芬 (1960—), 女, 河南人, 工程师, 从事雷达产品结构设计研究。

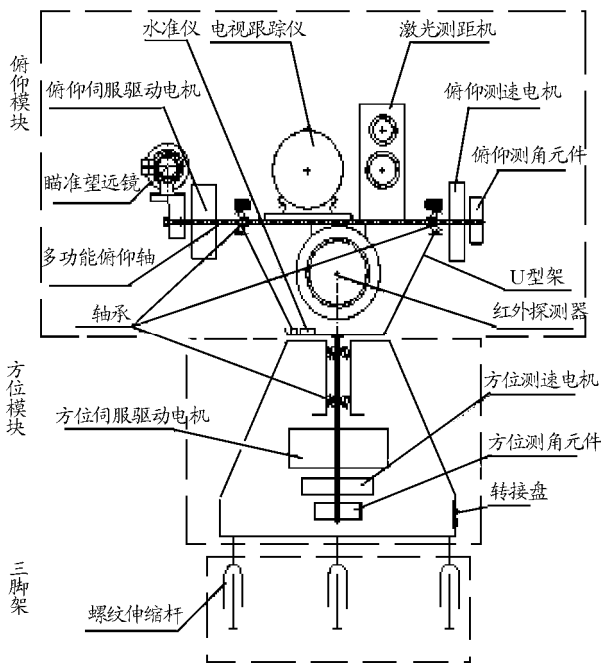


图 1 光电自动跟踪仪结构图

2 轴系误差分析及公差分配

2.1 轴系精度的误差分析

轴系精度是转台的重要指标,其精度高低直接影响到系统的跟踪精度。轴系精度的高低与加工精度有直接关系,合理分配各个环节的加工精度,既能降低零件的加工成本,又可以提高转台的综合轴系精度。

1) 方位轴铅垂度误差

主要由轴承滚道不平度、滚体直径误差和不圆度、材料硬度不均匀造成的轴承跳动、轴承孔与外接安装面的不垂直度、轴承安装轴的不同轴度,以及方位水平调整剩余误差等因素引起。

2) 俯仰轴与方位轴的垂直度误差

主要由俯仰 U 型架轴承孔中心线对结合面的不平行度、结合面对方位轴的不垂直度、俯仰轴轴承跳动、俯仰轴左右轴承孔位的不同轴度以及方位轴轴承跳动等因素引起。

3) 三光轴与俯仰轴的垂直度误差

主要由俯仰轴与瞄准望远镜光轴的不垂直度、瞄准望远镜光轴与电视跟踪仪、红外探测器、激光测距机三光轴的不平行度等因素引起。

2.2 轴系误差各环节的公差分配

用 γ 、 δ 、 κ 三项误差的方和根值作为转台轴

制造精度的综合指标,则轴系总误差为:

$$C = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2 + \kappa^2 + \varepsilon^2}$$

其中: γ 为方位轴铅垂度误差; δ 为俯仰轴与方位轴的垂直度误差; κ 为三光轴与俯仰轴的垂直度误差; ε 为不可预见误差。

已知轴系总误差要求为:

$$C = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2 + \kappa^2} \leq 60''$$

根据加工工艺水平、经济性及批生产的特性,参考以往的设计经验,对各个环节的公差预分配。方位轴铅垂最大误差: $\gamma = 40''$, 俯仰轴与方位轴的垂直最大误差: $\delta = 20''$, 三光轴与俯仰轴的垂直最大误差: $\kappa = 30''$, 动态误差: $\varepsilon = 10''$ [1]。

在结构设计中,根据以上各环节的轴系精度指标和工艺水平,合理选择各组成部分的配合精度,合理地分配各环节的尺寸公差,利用概率法计算各封闭环的误差 [2], 从理论上满足精度要求。

3 轴系误差检测及检测结果

3.1 方位轴铅垂度误差的测量

在随方位转动的部位配置电子水平仪(2''),当转动方位时,测得数据如表 1。

表 1 方位轴铅垂度误差

角度/ (°)	误差值/ (")	角度/ (°)	误差值/ (")	角度/ (°)	误差值/ (")
0	-6	150	-2	300	-24
30	+2	180	-12	330	-14
60	+8	210	-22	360	-6
90	+8	240	-26		
120	+6	270	-28		

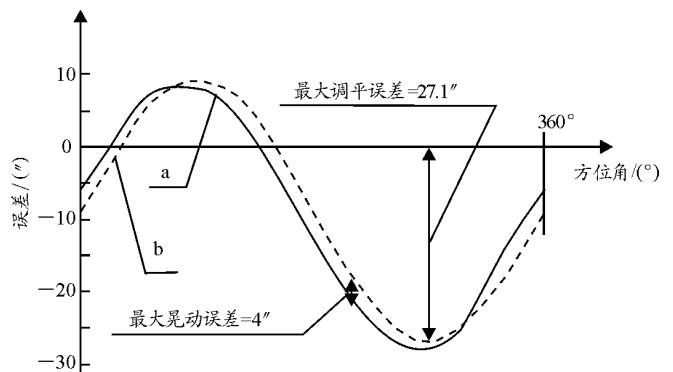


图 2 误差变化曲线

以水平仪读数为纵坐标,方位角为横坐标,做出误差变化曲线(a),对测得的误差曲线作一最佳吻合的正弦曲线 $y = 18.2 \sin x - 8.9$ (使两者的均方根误差最小)(b)。2 条曲线的偏差就是方位轴的实际晃

动误差, 即方位轴的垂直度误差, γ 误差曲线如图 2。

由图 2 可知, 方位轴铅垂最大误差为: $\gamma = 27.2''$ 。

3.2 俯仰轴与方位轴垂直度误差的测量

先将方位轴调铅锤。将电子水平仪(2'')安装在与俯仰旋转轴线平行的基准面上。随方位转动一周, 测得数据如表 2。

表 2 俯仰轴与方位轴垂直度误差

角度/ (°)	误差值/ (")	角度/ (°)	误差值/ (")	角度/ (°)	误差值/ (")
0	-6	150	+4	300	+18
30	-14	180	+26	330	+8
60	-18	210	+30	360	-6
90	-14	240	+28		
120	-8	270	+28		

仰轴与方位轴的垂直最大误差, 即:

$$\delta = \frac{\beta_0 + \beta_{180}}{2} = 10''$$

3.3 三光轴与俯仰轴的垂直度误差的测量

由于电视、激光、红外的三光轴与俯仰轴是否垂直不能直接检测, 只能先将标校望远镜与俯仰轴垂直, 再用标校望远镜来校对三光轴。

首先将标校望远镜固定在支架上, 如图 3, 支架与俯仰轴左端与锥度配合连接(如图 1)。测量时, 在 5 km 处选择一固定目标, 转动方位、俯仰各 180°, 通过调整补偿环节, 使望远镜中十字线的垂直线在相差 180° 时 2 个位置均能对准同一目标。这样望远镜的光轴与俯仰轴垂直。然后再来调整电视、激光、红外的三光轴, 同样在 5 km 处选择一固定目标, 使瞄准望远镜中十字线的垂直线对准目标, 再用调整补偿的方法固定电视、激光、红外, 使各自的瞄准镜也对准此目标, 这样四光轴就一致了, 三光轴就与俯仰轴垂直。

由于测试选择固定目标较近, 同时对准同一目标时, 各光轴与转动中心之间的距离会产生误差。其误差值为:

瞄准望远镜与俯仰轴的垂直度误差: 10''。

电视、激光、红外的三光轴与俯仰轴的垂直度

误差均为: 10''。

三光轴与俯仰轴的垂直度误差:

$$\kappa = \sqrt{10^2 + 10^2 + 10^2 + 10^2} = 20''$$

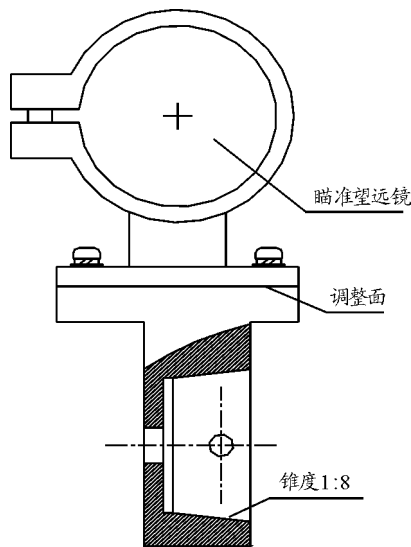


图 3 瞄准望远镜支架

3.4 系统误差检测结果

通过测量得到的轴系总误差:

$$C = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2 + \kappa^2 + \epsilon^2} = \sqrt{27.2^2 + 10^2 + 20^2 + 10^2} = 37''$$

满足设计要求。

4 外场联试及结果

该系统在某高炮部队射击靶场经过联调后, 与某高炮捷联导引高炮首发命中目标, 并在以后试验中也引导高炮多次命中目标^[3]。实践证明, 该设计完全满足技术要求。

5 结束语

该光电伺服转台满足了技术指标和使用要求, 但是从产品的轴系误差的测量结果可以看出, 因轴系精度要求过高, 增大了加工难度, 也增加了成本, 还需进行更深一步的研究和完善。

参考文献:

[1] 吴风高. 天线座结构设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院, 1986.
 [2] 廖念钊, 等. 互换性与技术测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1991.
 [3] 姚红萍. 火控光电仪伺服系统的研制[J]. 兵工自动化, 2002, 21(2).