

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.12.015

## 电子经纬仪轴系电机伺服系统

刘春桐, 张洋, 王东波, 何祯鑫, 蔡可  
(第二炮兵工程大学 202 室, 西安 710025)

**摘要:** 为实现电子经纬仪的自动化操作和轴系的自动转动, 以缩短操作时间、提高测量精度为检验标准, 设计了轴系电机伺服驱动系统。从电子经纬仪整体技术性能指标出发, 采用硬件及配套软件相结合的研究方法, 通过轨迹规划完成定位控制, 对整个照准系统的设计进行了完善。以实例对系统的可操作性 and 测量精度进行了检验, 实验结果表明: 定位控制实验中, 位置跟踪误差精度约为  $0.01^\circ$ , 平均误差控制在  $3''$  以内, 且运行时间较短。该系统满足了经纬仪对轴系控制的设计要求, 同时也为电机精确定位控制研究提供了思路。

**关键词:** 电子经纬仪; 轴系回转; 轨迹规划; 定位控制

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Servo Drive System of Electronic Theodolite's Axis

Liu Chun tong, Zhang Yang, Wang Dongbo, He Zhenxin, Cai Ke  
(No. 202 Staff Room, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** In order to realize the automatic operation and the axis' automatic rotation of the electronic theodolite, this article has designed of the servo drive system for theodolite's axis. The testing standards are to reduce the time of operation and improve the measurement accuracy. According to the integrated technical performance standard of the electronic theodolite, the research method, which combines of the hardware and supporting software, is taken. The positioning control is completed by the locus planning and the design of the entire collimation system is improved. An experiment is designed and conducted, in which the system's operability and accuracy is determined. In the positioning control experiment, the position tracking error is about  $0.01^\circ$ , the average error is  $3''$  or less, and the working time is short. It meets the requirements of the axis' automatic control, and also gives references for researching on the precise positioning control of the motor.

**Key words:** electronic theodolite; axis' automatic rotation; locus planning; positioning control

### 0 引言

经纬仪广泛应用于军事、航空等行业, 是一种测量角度的精密测量仪器。传统电子经纬仪轴系手动操作的操作时间长、受人为因素影响大, 在实际应用中受到很大限制。随着微电子技术、传感器技术、光电技术以及计算机技术的迅速发展, 经纬仪发展产生了革命性的变化<sup>[1-4]</sup>。很多学者对经纬仪的自动化操作进行了研究。其中: 文献[2]对经纬仪的自动调平对心原理和系统实现进行了研究; 文献[3]实现了经纬仪的自动调焦控制; 文献[4]实现了陀螺仪灵敏部自动升降的控制, 但是对轴系的自动转动方面的研究还比较少。笔者从实现经纬仪轴系自动转动方面入手, 设计了轴系电机伺服驱动系统, 并进行实验验证。

### 1 系统组成与原理

轴系电机伺服驱动系统主要由控制计算机、电子经纬仪, 以及加装在电子经纬仪中的轴系电机驱动控制电路板、直流力矩电机和面阵 CCD 相机组

成。系统整体结构如图 1 所示。

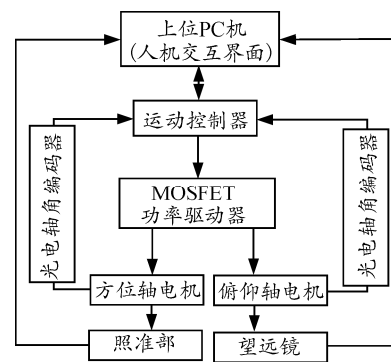


图 1 系统整体结构

经纬仪自动照准目标技术采用上、下位机控制的方式, 系统工作原理为:

1) 上位机为瞄准控制计算机, 主要完成图像信号的采集、目标中心与视准轴中心偏差的计算以及系统控制参数确定, 并实时地将这些控制参数下传给下位机;

2) 下位机以数字信号控制器 DSC 芯片辅以必要的外围电路组成, 完成直流力矩电机控制的实现,

收稿日期: 2012-06-13; 修回日期: 2012-07-23

作者简介: 刘春桐(1972—), 男, 安徽人, 博士, 教授, 从事光电技术及定位定向和基准传递技术研究。

并将望远镜瞄准状况实时反馈给上位机；

3) 执行装置采用直流力矩电机，完成经纬仪水平、俯仰轴系自动回转与定位的最终实现，并反馈运动信息给下位机。

### 2 硬件设计

系统硬件设计主要完成搭建好控制运转的硬件电路基础，系统硬件电路结构如图 2 所示。

电机逻辑驱动及放大电路主要实现外部控制信号到驱动 H 桥，并控制信号的转换及放大。电机控制结构原理如图 3 所示。控制信号经光电隔离电路后为 DIR、PWM、BRAKE，由门电路进行译码，产生 4 个控制信号  $M_1'$ 、 $M_2'$ 、 $M_3'$ 、 $M_4'$ ，然后经三

极管放大，产生控制 H 桥的 4 个信号  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$ 。MOSFET 器件的耐压、开关特性和功率要求等是影响其性能的主要因素<sup>[5]</sup>。笔者采用 4 个相同的 N 沟道功率 MOSFET 的 H 桥电路，具备较好的性能和较高的可靠性。

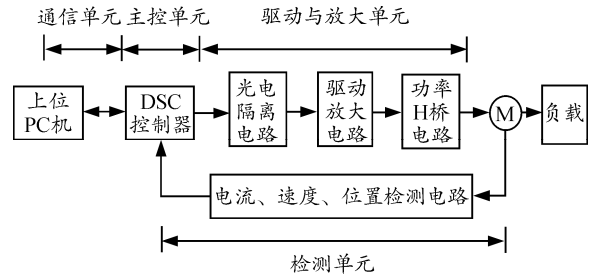


图 2 系统硬件电路结构

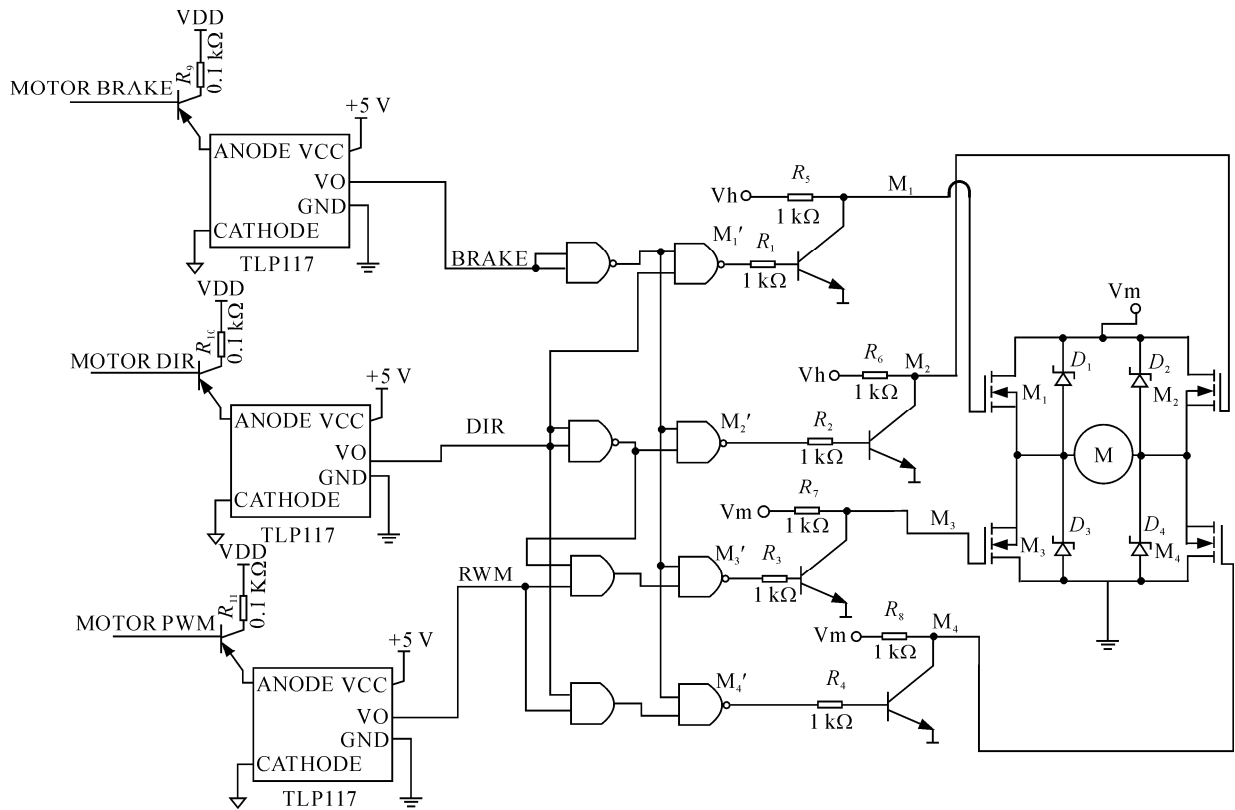


图 3 电机控制结构原理

### 3 软件设计

DSC 控制软件使用 dsPIC 系列数字控制器开发工具完成对系统初始化、中断设置以及控制算法的编译、连接，并将代码下载至调试工具中执行，实现电机位置伺服控制。上位机监控软件和 DSC 控制器软件之间通过串行通信进行数据共享。

主程序主要完成初始化工作，等待中断以调用

相关子程序。初始化子程序主要完成芯片端口配置、时钟初始化、定时器初始化、中断优先级设置、初始化软件中所需控制变量和配置 AD 转换等工作。需要注意的是，在初始化过程中，应先关闭中断，等初始化完成后再开中断，防止在初始化过程中有中断干扰。

初始化完成后，程序进入循环等待状态。主程序和初始化子程序分别如图 4、图 5 所示。

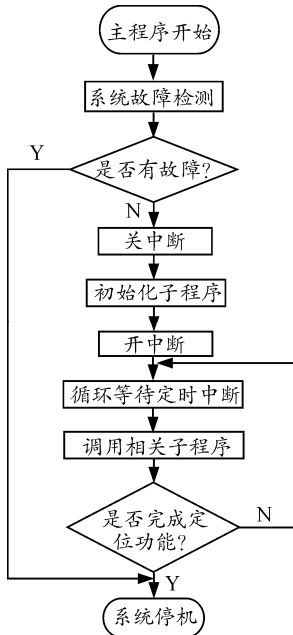


图 4 主程序流程

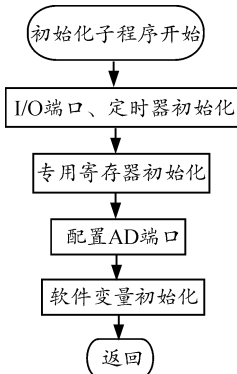


图 5 初始化子程序流程

在进行定位控制前, 首先要做好轨迹规划, 主要作用是负责向 dsPIC30F6010 控制芯片提供给定运动中每个采样时刻的加速度  $a$ , 速度  $V$ , 位移  $S$  等理论参考值。高精度的轨迹规划的基本要求有: 系统运动中冲击或振动小、整体运行时间短、轨迹精度高等<sup>[6]</sup>。在常见的轨迹规划中, 二阶运动轨迹运动时间短, 但会在运动中产生残余振动, 这就需要延长稳定时间来满足系统对终点位置的要求<sup>[7-8]</sup>。随着控制精度要求的不断提升以及生产率的提高, 三阶运动轨迹以及更高阶运动轨迹规划以其良好的快速性和较小的残余振动已经在工程实际应用上得到越来越广泛的应用<sup>[9]</sup>。

在本实际应用系统中, 采用三阶位置轨迹来实现轴系角度定位, 即:

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (1)$$

速度轨迹为

$$\theta'(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (2)$$

为了实现平稳运动, 轨迹函数至少需要 4 个约束条件。其中包括 2 个起点和终点的角度约束和 2 个速度约束, 即:

$$\theta(0) = \theta_0, \theta(t_f) = \theta_f, \theta'(0) = 0, \theta'(t_f) = 0 \quad (3)$$

将上述 4 个约束条件代入式 (1) 中, 可以解得 4 个系数为

$$a_0 = \theta_0, a_1 = 0, a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0), a_3 = -\frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0) \quad (4)$$

即得位置规划曲线为

$$\theta_t = \theta_0 + \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0)t^2 - \frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0)t^3 \quad (5)$$

速度规划曲线为

$$\theta'(t) = \frac{6}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0)t - \frac{6}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0)t^2 \quad (6)$$

由上述推导可得: 在位置规划中, 只需知道定位时间、初始值与目标值, 即可得到加速度、速度和位置轨迹曲线。同时, 不同的定位时间要求下, 系统速度曲线所能达到的最大速度亦不相同。

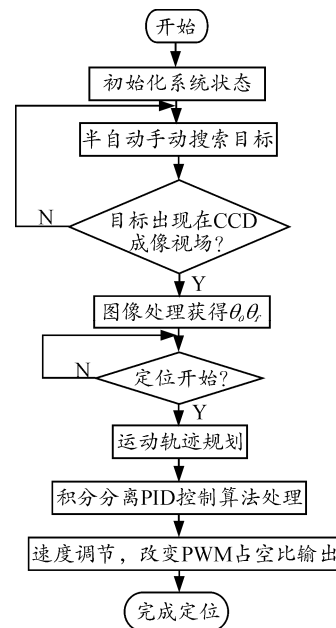


图 6 定位控制子程序流程

在实际运动控制中, 首先手动拖动鼠标直至目标出现在 CCD 成像视场, 停止手动搜索, 此时显示界面中目标的水平角(或垂直角)作为轴系水平运动(或俯仰运动)的初始角度; 初始角度与显示界面中, 目标与成像中心偏差值的和作为目标角度, 规划出定位过程中的加速度、速度和位移曲线。然后通过离散化处理将各采样点的速度、位置理论数据储存在相应寄存器中。定位过程开始后, 系统在每

个采样时刻比较速度规划理论值与采集到的速度值，其差值经过控制算法运算，改变加在电机两端电压，即改变 PWM 占空比来实现电机调速，使得电机实际运行速度曲线跟踪速度轨迹曲线，以此来间接实现位置的精确控制。定位控制子程序流程图如图 6 所示。

### 4 实验验证

为了验证系统定位控制精度，研究实际运行曲线跟踪规划运行曲线情况，设计了轴系电机定位控制实验。实验中，起始角定为 0°0'0"，首先，通过设定期望值对正、反转 6 组不同数据进行 Spline 轨迹规划；然后，进行实际定位得到实际运行曲线与终点位置。每组数据进行 3 次测量，在不同情况下系统实际测得的定位精度如表 1 所示。

表 1 不同情况下系统实际定位精度

方向	期望转角/(°)	实际转角			平均误差/(")	理论定位时间/s
正转	20	20°00'3"	20°00'2"	19°59'58"	2.33	16
	40	40°00'1"	39°59'57"	40°00'2"	2.00	32
	60	59°59'58"	59°59'56"	60°00'2"	2.66	48
反转	20	19°59'59"	20°00'03"	20°00'01"	1.66	16
	40	40°00'2"	39°59'57"	39°59'59"	2.00	32
	60	59°59'59"	59°59'58"	60°00'04"	2.33	48

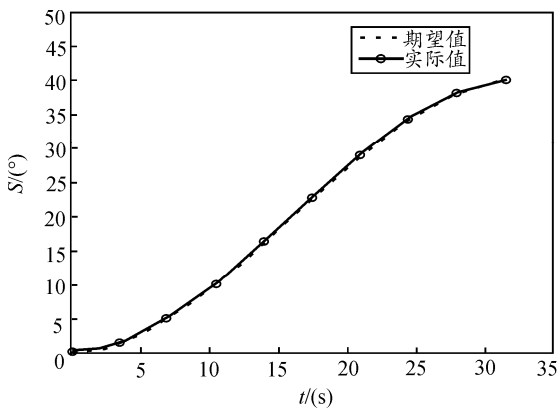


图 7 理论位置曲线与实际测得位置曲线对比

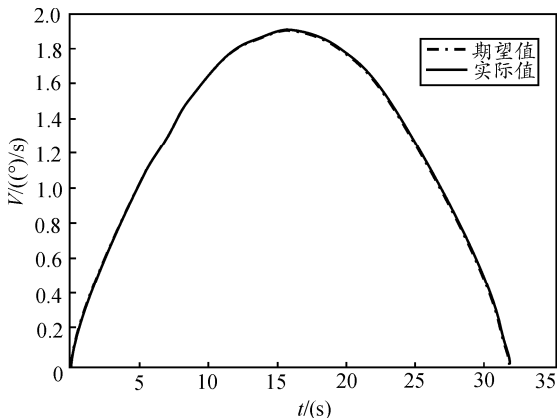


图 8 理论速度曲线与实际测得速度曲线对比

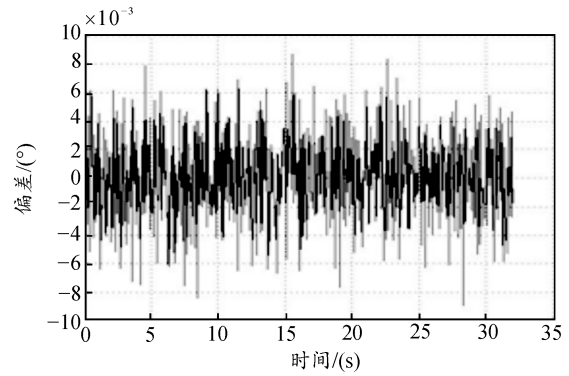


图 9 定位过程中位置曲线跟踪误差

以正转 40°定位实验为例，位置规划曲线与实际位置曲线比较、系统速度规划曲线与实际速度曲线比较分别如图 7 和图 8 所示。定位过程中位置曲线跟踪误差如图 9。由实验结果可知：电机在实际运行过程中速度、位移曲线跟踪情况良好，且由速度实际运行曲线可以看出电机具有良好的运行平稳性。位置定位精度平均误差控制在 3"以内，定位过程中位置跟踪误差精度约为 0.01°，且每次定位过程中电机总以最短定位时间运行，满足系统设计要求。

### 5 结语

经实物试验，该系统的可操作性和测量精度很好地满足了设计要求。

### 参考文献:

- [1] 唐记城. 测绘仪器的发展现状和发展趋势[J]. 现代测绘, 2003, 26(1): 46-48.
- [2] 刘春桐, 何祯鑫, 赵晓枫. 经纬仪的调平对心误差补偿研究[J]. 兵工自动化, 2010, 29(10): 76-88.
- [3] 梁敏华, 吴志勇, 陈涛. 采用最大灰度梯度法实现经纬仪自动调焦控制[J]. 光学·精密工程, 2009, 17(12): 3016-3020.
- [4] 夏桂锁, 周晶晶, 林玉池. 陀螺仪灵敏部自动升降的控制[J]. 光学·精密工程, 2007, 15(7): 1064-1068.
- [5] Shyh-Jier Wang, Chi-Chang Cheng. An Automatic Pin Identification Method for a Three-Phase DC Brushless Motor[J]. Transactions on Magnetics, 2005, 41(10): 3916-3918.
- [6] 穆海华, 周云飞, 严思杰. 超精密点对点运动三阶轨迹规划精度控制[J]. 机械工程学报, 2008, 44(1): 126-132.
- [7] LEWIN C. Motion control gets gradually better[J]. Machine Design, 1994, 66: 90-94.
- [8] MECKL P H, SEERING W P. Minimizing residual vibration for point-to-point motion[J]. Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, 1985, 107: 378-382.
- [9] MECKL P H, ARESTIDES P B, WOODS M C. Optimized-curve motion profiles for minimum residual vibration[C]. Philadelphia: Proceedings of the American Control Conference, 1998: 2627-2631.