

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.022

## 火炮身管弯曲度、炮口角测量系统驱动控制

李建中<sup>1</sup>, 孙丽萍<sup>2</sup>, 孙泽林<sup>1</sup>

(1. 华阴兵器试验中心, 陕西 华阴 714200; 2. 安徽锐捷电子设备厂, 合肥 230001)

**摘要:** 针对现有火炮身管弯曲度、炮口角测量仪存在的缺陷, 设计了一套新型测量系统。为解决旋转和打滑问题, 重点对其驱动控制部分展开设计, 采用爬行驱动方式, 详细阐述了其结构原理。试验证明, 驱动机构运转状态良好, 达到了预期的研制效果。

**关键词:** 火炮身弯曲度; 炮口角; 爬行器

**中图分类号:** TJ306 **文献标志码:** A

## Measurement System Driver Control of Muzzle Angle and Gun Bore Camber

Li Jianzhong<sup>1</sup>, Sun Liping<sup>2</sup>, Sun Zelin<sup>1</sup>

(1. Huayin Ordnance Test Center, Huayin 714200, China;

2. Anhui Ruijie Electronic Equipment Factory, Hefei 230001, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcoming of current measurement instrument for the muzzle angle and gun bore camber, put forward a new measurement system. In order to solve rotation and skidding, pay more attention to its drive control design. It uses crawling drive mode and explains its structure principle in detail. The test proves that the drive structure running well and reaches the design target.

**Keywords:** gun bore camber; muzzle angle; crawler

### 0 引言

火炮身管弯曲度、炮口角的量值不仅是评定身管加工品质的重要参数, 还是火炮精度试验及射表编拟试验中修正的依据<sup>[1]</sup>。目前, 国内有各种光学的、光电式的身管弯曲度、炮口角测量仪器<sup>[2-4]</sup>。但由于受当时技术条件的限制以及设计思想的缺陷, 这些仪器不同程度地存在着测量口径范围较小、测量精度低、操作效率不高的缺点, 特别是一些采用爬行机构驱动的系统, 由于爬行机构的打滑和旋转, 不但影响到了测量点的轴向定位精度, 而且严重影响到了炮口角、弯曲度测量的准确性。随着高新技术在武器装备中的广泛应用, 对火炮静态检测的方法及检测精度都提出了更高的要求。尤其近几年小口径高炮和航空炮进靶场定型试验的任务增多, 现有的弯曲度、炮口角测量仪已经不能满足靶场试验的需要, 因此, 需要研制一套新型弯曲度、炮口角测量系统, 重点对其驱动控制部分进行设计, 以解决旋转和打滑问题。

### 1 总体设计思路

测量系统主要由激光器炮口定心装置、激光器、爬行器(位置传感器内膛定心装置)、CCD位置传感器、光电信号处理电路、爬行器控制电路、步进距离信号处理电路、计算机、打印机等组成, 其具

体结构如图1。

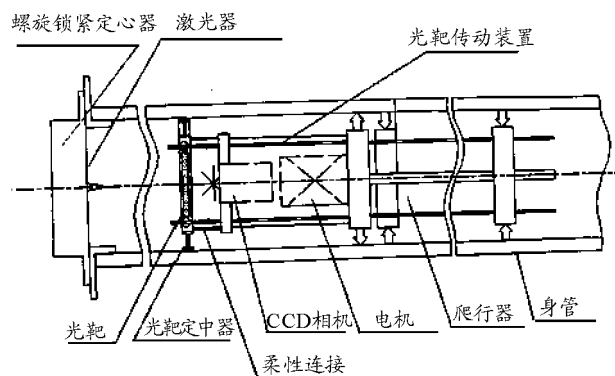


图1 系统总体结构示意图

系统测量原理如图2。首先校准炮口定心装置, 使中心激光器出射的激光束位于螺旋锁定式炮口定心器端面的中心并与其垂直, 然后将定心器安装进炮口。将光靶连同 CCD 摄像机置于火炮身管膛线起始处并定中, 则中心激光管出光孔与靶面坐标原点(靶面中心)的连线即为身管的理论轴线。由于火炮身管弯曲, 导致中心激光束偏离该身管理论轴线, 两者的夹角即为炮口角  $\theta$ 。设激光光束打在靶面上的  $p$  点, 其坐标为  $(x_0, y_0)$ , 光点  $p$  和靶标图案被 CCD 摄像机所采集, 经处理和计算, 便可精确地测量出  $p$  点坐标值; 同时利用所测炮管的炮口到膛线起始部(即炮口到光靶中心)的已知距离  $L_0$ , 根据式(1)~式(3)可计算出炮口角及其方位角。

收稿日期: 2011-01-10; 修回日期: 2011-03-08

作者简介: 李建中(1964—), 男, 山西人, 博士, 高级工程师, 从事装备试验鉴定研究。

激光光斑至靶面坐标原点之间的距离:

$$\delta_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (1)$$

此时炮口角可表示为:

$$\tan \theta = \frac{\delta_0}{L_0} \quad (2)$$

而其方位角  $\alpha$  可表示为:

$$\tan \alpha = \frac{x_0}{y_0} \quad (3)$$

完成炮口角测量后, 此时光靶在膛线起始处, 通过调整中心激光器后端的 2 个调节旋钮, 使中心激光器的光束正好打在光靶的中心位置处, 这时激光束就相当于身管的理论轴线。然后在计算机的控制下, 爬行器驱动光靶和 CCD 摄像机沿身管按设定的步进间隔周期地向炮口推进, 这时光靶中心的运行轨迹即为身管的实际轴线, 每当爬行器停止时, CCD 摄像机输出的光靶图像被采集, 系统同时记录控制电机 1 的光电编码器输出的进深位移信息。中心激光束在靶面上的坐标值  $(X, Y)$  为火炮身管的实际轴线相对于理论轴线在  $x, y$  2 个方向上的偏移量, 即弯曲度的 2 个分量, 根据式 (4)~式 (5) 即可求出弯曲度的大小和方向。弯曲度的大小为:

$$\delta = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

弯曲度的方位角  $\beta$  由式 (5) 确定:

$$\tan \beta_0 = \frac{x}{y} \quad (5)$$

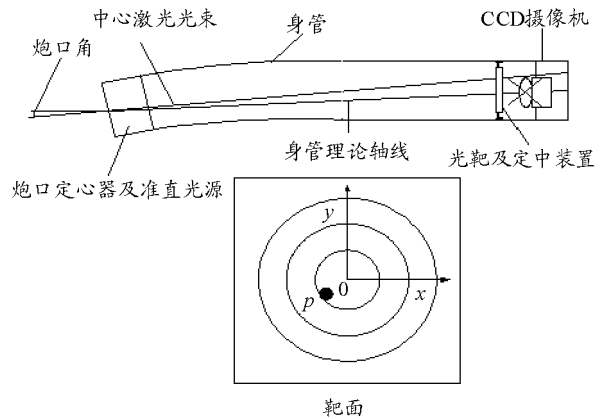


图 2 系统测量原理示意图

## 2 驱动机构设计

驱动机构是本系统的关键部分, 采取爬行驱动方式, 由系统的测量原理可知, 为保证激光光斑相对靶面中心坐标值测量的准确性, 该光靶不能旋转, 同时还要能精确定位所测的位置, 即能精确测出光靶的进深位移变化。由于光靶和驱动机构有一定的联接关系, 要尽可能保证驱动机构在炮膛运动过程中不产生打滑和旋转现象, 通过反复试验设计, 确定驱动机构的结构如图 3。

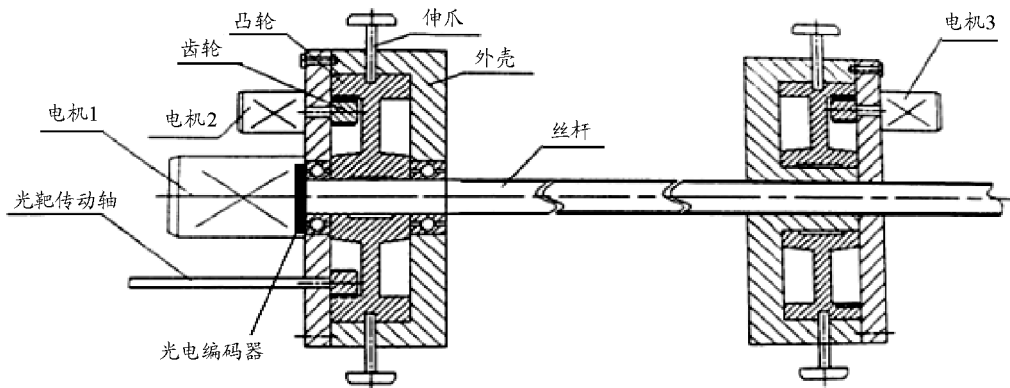


图 3 驱动机构结构示意图

该爬行驱动机构采取接爪方式适应不同口径, 主要包括前端和后端 2 部份, 其间用精密丝杆连接, 并有两根定向导杆使前后端的方位相对固定。驱动电机 (简称电机 1) 位于前端, 带动丝杆旋转。前后端各有 3 个同步收缩的定位爪, 用超微型电机驱动其伸缩, 由压力传感器控制其伸缩状态。爬行时两组定位爪工作状态相反, 即前伸后缩或后伸前缩。

弯曲度测量头在爬行器的驱动下周期地步进,

步长可设置, 设爬行器原状态为收缩状态, 爬行器每个爬行周期分为 4 个阶段:

1) 爬行器启动: 后端超微型电机 (简称电机 3) 通过由盘向罗纹构成的机械传递机构输出一个作用力, 使后爪伸出并抵紧药室内壁; 前端超微型电机 (简称电机 2) 通过由盘向罗纹构成的机械传递机构输出一个作用力, 使前爪收缩, 且维持此状态, 如图 4。

2) 爬行器伸张: 电机 1 驱动丝杆旋转, 丝杆上的结合器通过丝杆推动前端伸张, 前端带动相机和光靶同步前进。

3) 爬行器状态翻转: 电机 2 输出另一作用力, 使前爪伸出并抵紧药室内壁, 电机 3 使后爪收缩, 且维持此状态。

4) 爬行器收缩: 电机 1 反转, 驱动丝杆反转, 爬行器迅速收缩 (后端向前端靠拢)。

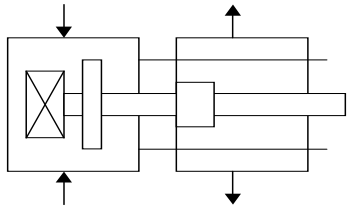


图 4 爬行器状态翻转示意图

通过上述 4 步, 完成一个工作周期, 其工作波形如图 5。

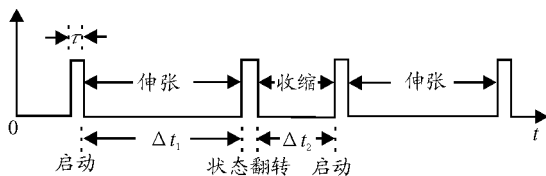


图 5 爬行器工作波形

其中:  $\tau \approx 0$ ;  $\Delta t_1, \Delta t_2 \geq \tau$ ,  $\Delta t$  大小可设定, 2 个状态均稳定可靠。

由图 5 可知, 在爬行器伸张或收缩运动的过程中始终有一组定位爪抵紧膛壁保持定位, 而在状态转换过程中总是先伸爪固定在新定位点, 后收爪离开原定位点。因此该伸缩式爬行器不仅运动不打滑, 而且为爬行进深长度的精确测量提供了便利条件。

爬行器驱动电机 1 选用高性能的控制电机, 它带有一个光电编码器和相应的智能控制电路。利用该电机不仅可准确地控制爬行器的爬行步长和爬行速度, 还可从其编码器的输出信号中精确地获取爬

行器爬行的轴向进深长度信息。

### 3 驱动机构控制分系统设计

该分系统控制爬行机构的运动节奏和运动方向。

#### 3.1 控制电机的控制

对控制电机驱动, 采用计算机、控制器和 MPC02 运动控制卡的闭环控制模式。电机控制软件通过计算机、控制器驱动控制电机正反向运转, 由测长圆光栅的反馈信号准确定位爬行距离。图 6 为电机安装图, 控制器安装在控制台内。

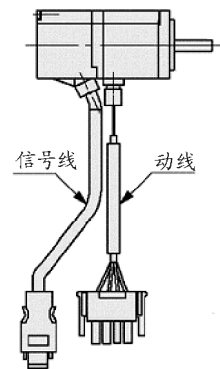


图 6 电机安装图

MPC02 控制卡是控制电机的上位控制单元, 与 PC 机构成主从式控制结构: PC 机实现人机交互界面的管理和控制系统的实时监控等方面的工作 (例如键盘和鼠标的管理、系统状态的显示、控制指令的发送、外部信号的监控等); MPC02 卡完成运动控制的所有操作 (包括脉冲和方向信号的输出、自动升降速的处理、原点和限位等信号的检测等)。MPC02 卡可输出脉冲和方向信号, 以控制电机的运转; 又可外接原点、减速、限位等开关信号, 以实现回原点、保护等功能, 这些开关信号由 MPC02 卡自动检测并作出反应。MPC02 控制卡的结构示意图如图 7。

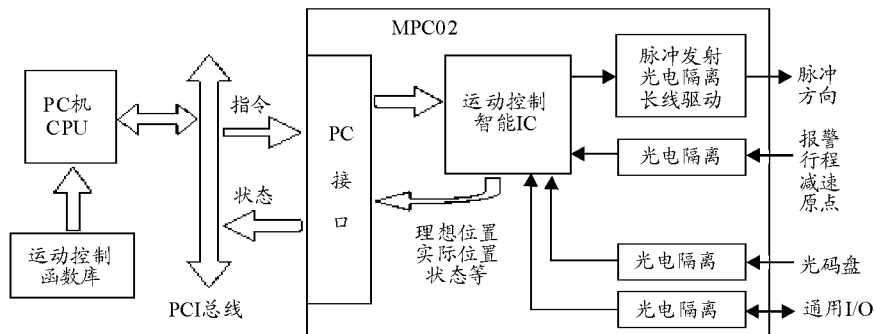


图 7 MPC02 控制卡的结构示意图

### 3.2 超微型电机的控制

电机的驱动电路采用桥式回路。如图 8，由于流过直流电机的电流比较大，为了使直流电机工作正常，各三极管工作在饱和区， $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  组成一个桥路。 $T_5$ 、 $T_6$  为通用三极管，其主要作用是提升  $A_1$ 、 $A_2$  两点的电平，以保证  $T_1$ 、 $T_2$  能提供接近  $V_c$  的高电压。4 个二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  起保护三极管的作用，以防感性元件（电机）产生的感应电流对三极管的冲击。这一点对任何感性负载均应考虑。 $R_1$ 、 $R_2$  是电子开关  $T_5$ 、 $T_6$  的限流电阻，又是  $T_1$ 、 $T_2$  的偏置电阻。

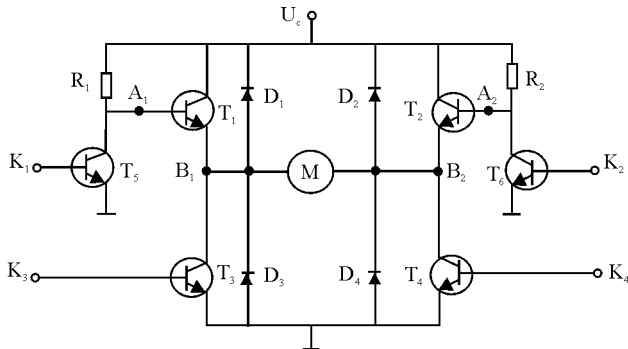


图 8 直流电机的驱动电路

工作过程为：当  $K_1$  为低电平时， $K_4$  为高电平（ $K_2$  和  $K_1$  互补， $K_3$  和  $K_4$  互补），三极管  $T_5$  工作在截止状态，此时  $A_1$  点为高电平（ $V_c$ ）， $T_1$  工作在饱和状态，故  $B_1$  点电压为  $V_{B1} = V_{A1} - 0.7 = V_c - R_1 \times I_1 - 0.7$ ， $K_3$  为低电平， $T_3$  工作在截止状态。三极管  $T_6$  工作在饱和状态，此时  $A_2$  为低电平， $T_2$  就工作在截止状态，而  $T_4$  工作在饱和状态，因此  $B_2$  点电压  $V_{B2}$  约为  $0.7V$ ， $B_1$  点电压大于  $B_2$  点电压，则电机正向导通，电机正向旋转。

当  $K_2$  为低电平， $K_3$  为高电平时，按上述分析得： $V_{B1} < V_{B2}$ ，电机反向导通反向旋转。

直流电机是电压控制元件，由图 8 分析可知，要改变  $B_1$ 、 $B_2$  两点间的电压，改变  $V_c$  的电压值即可实现。同时，应避免  $T_1$  和  $T_3$ （或  $T_2$  和  $T_4$ ）同时导通，以免三极管被烧坏。电机开展功能如表 1。

表 1 直流电机控制功能表

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	实现功能
0	1	0	1	正转
1	0	1	0	反转
1	1	0	0	停止
其它状态				禁止

单片机从串口接收上位机控制指令，并通过  $P_1$  口输出直流电机所需控制高低电平，经光耦、缓冲驱动后输入电机驱动电路中，实现电机的转向控制，

从而实现对爬行器伸缩爪的驱动。在火炮静态参数测试系统中，数据信息的获取是在单片机的控制下进行的，而单片机是在上位 PC 机系统控制下工作的，超微型电机的控制系统硬件结构框图系统总体硬件框图见图 9，单片机与 PC 机的通信采用双工异步串行通信。为便于实现对系统的控制操作，本系统选用了计算机的某些键作为操作的功能键。此时，通过串口通信机制，将对键盘的操作传输信息到上位机系统，把键盘的状态信息转换为对驱动机构中的爬行口进行控制。通过这些功能键，就可以方便、快捷地操作驱动机构的动作。

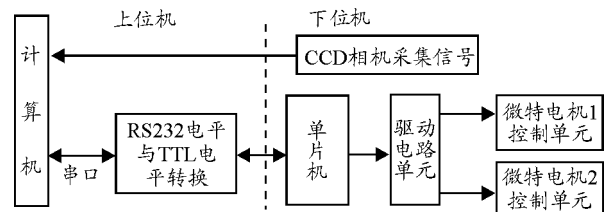


图 9 超微型电机的控制系统硬件结构框图

软件程序框图如图 10。

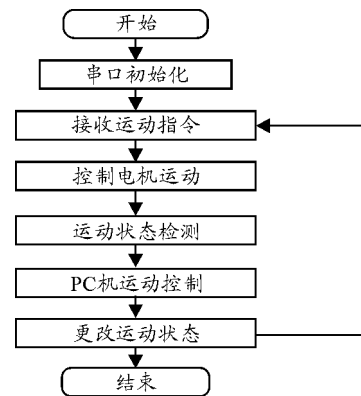


图 10 软件流程图

## 4 结束语

经试验验证，笔者所设计的火炮身管弯曲度、炮口角测量系统的驱动机构运转状态良好，无打滑和旋转现象，而且系统进深定位准确，达到了预期的研制效果。

## 参考文献：

- [1] 孙吉红. 基于激光测量的身管磨损量检测系统研制[J]. 计算机测量与控制, 2004(12): 11-13.
- [2] 甄金朋, 刘天生. 平板装药驱动飞板运动规律分析[J]. 四川兵工学报, 2010(2): 17-19.
- [3] 马宏. 火炮内腔形廓在线光电检测技术[J]. 半导体光电, 1996, 17(2): 370-373.
- [4] 袁红星, 等. PSD 法测量直管弯曲度的步长优化研究[J]. 弹道学报, 1998, 6(10): 55-57.