

# 火炮内膛测试仪

韩文辉

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 详细讲述了火炮内膛测试仪的测量原理、机械总体结构、电子学原理、精度分析以及几个关键部分的设计。

**关键词** 光栅传感器 电子学细分

## 1 引言

为了适应常规武器发展的需要,常规武器的测试就显得尤为重要。其中火炮身管内膛直径的测量就是一项重要的检测技术。检测火炮身管内膛直径的目的是检测身管的使用寿命和身管在使用过程中的磨损量。通过检测身管内径磨损量,可为生产厂家和部队提供可靠的技术数据。

## 2 火炮内膛测试仪总体技术指标

- 1 测量口径范围:  $\varnothing 25 \sim \varnothing 85$
- 2 仪器测量精度:  $0.008\text{mm}$  (均方差)
- 3 测量深度:  $0 \sim 6\text{m}$
- 4 深度精度:  $0.5\text{mm}$
- 5 测量线量范围:  $\varnothing 25^{+2.5}_{-0.5} \sim \varnothing 40^{+2.5}_{-0.5}$   
 $\varnothing 40^{+4.0}_{-0.5} \sim \varnothing 85^{+4.0}_{-0.5}$
- 6 光栅传感器分辨率  $0.001\text{mm}$
- 7 整机平均无故障工作时间(MTBF)不小于  $300\text{h}$

## 3 仪器工作原理

### 3.1 工作原理

火炮内膛直径的测量过程其实是一个相对测量的过程。再次测量前都要对光栅传感器进

行标定, 将光栅传感器装入校准装置内, 调节校准装置到新设定的标定值位置, 然后将此标定值通过键盘传送给计算机, 计算机将硬件设计器清零, 此时便可正式工作, 将测量体装入火炮身管内, 推动推送杆。当火炮内膛直径发生变化时, 光栅传感器将有信号输出, 计算机将此信号采集再与标定值相加, 相加的结果数据便是火炮身管内膛的直径值。

由于军方在深度测量方面的精度要求不高, 而且不需要实时显示深度值, 因此为了使测量仪器更加简便灵活, 我们在深度测量上采用了固定尺寸测量。即在测杆的表面上刻有若干固定距离沟槽, 读数头内安装二对发光接收器, 当读数头通过沟槽时读数头输出一个信号, 计算机对此信号进行计数, 即可对身管深度进行测量。

### 3.2 光栅测量原理

用光栅测量物体长度时, 一块光栅的有效长度为:

$$L = N \cdot W$$

$N$ ——光栅刻线数;  $W$ ——光栅栅距

如果对某一物体进行比较测量, 实际就是在光栅尺上读取反映被测对象长度数值  $x$ 。

$$x = ab = \delta_1 + NW + \delta_2 = NW + \delta \quad (1)$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

$\delta_1, \delta_2$  为光栅尺两头不到一个栅距的小数值。若低精度测量时  $\delta_1, \delta_2$  可以忽略, 上式可改写为:

$$x = N \cdot W$$

对于火炮内径测量不能使用这种方法测量, 应采用下述公式测量

$$x = y \pm (\delta_1 + N \cdot W + \delta_2) \quad (2)$$

$y$  ——标准量规长度

仪器要求测量分辨率为  $0.001\text{mm}$ , 我们采用光栅  $W = 0.02\text{mm}$ , 不能满足分辨率要求, 所以  $\delta_1, \delta_2$  不能舍去, 还必须对栅距  $W$  进行细分, 若把  $W$  细分  $n$  份, 则系统分辨率

$$Q = \frac{W}{n} \quad \text{仪器设计 } n = 20$$

$$Q = \frac{W}{n} = \frac{0.02}{20} = 0.001(\text{mm})$$

则

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = m \cdot Q$$

$$m = 0, 2, 3, \dots$$

将上式代入(2)式

$$x = y \pm (N \cdot W + \delta) = y \pm (N \cdot n \cdot Q + m \cdot Q)$$

$$= y \pm (N \cdot n + m)Q$$

$$= y \pm MQ$$

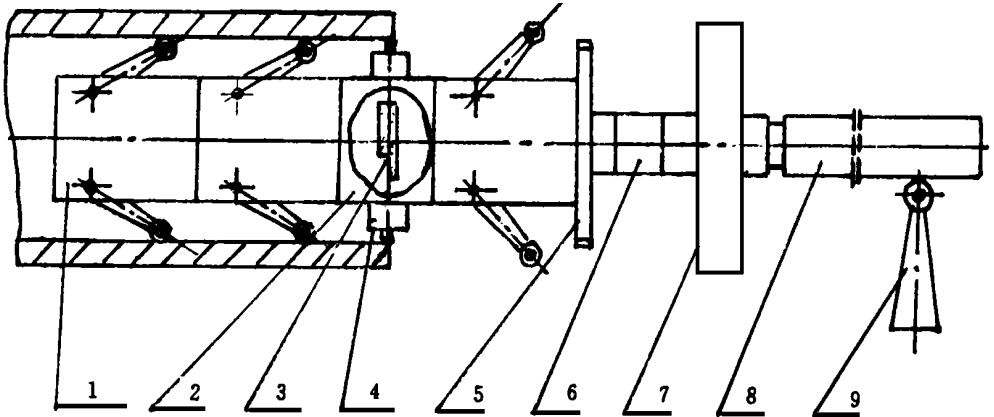
$$M = N \cdot n + m$$

即火炮内径测量值为标准值加上光栅的移动距离。

## 4 机械总体结构

仪器的总体结构如图 1 所示

火炮内膛测试仪是由弹性支承定心装置、测量本体、光栅传感器、测标、导向器、方向节、深度信号发生器、支架等组成。



1 centering device of flexure supporting 2 measuring noumenon 3 greating sensor 4 measuring rod  
5 navigating device 6 universal compling 7 head for counting 8 driving rod 9 support

Fig. 1 Overall structure of the instrument

其中光栅传感器、弹性支承定心装置是两个最重要的部分,它们的制作精度将影响测量仪的测量精度。下面针对这两部分的原理作用加以描述。

### 4.1 光栅传感器

光栅传感器是由一片 50 线/mm 的标尺光栅和一片四相位指示光栅组成。这两片光栅分别装在高精度导轨上,在导轨上装有发光器和接收器。当炮膛直径发生变化时,测针推动导轨和光栅移动,指示光栅、标尺光栅相对位置发生变化,接收器接收到四组不同相位的正弦信号。由于设计的指示光栅窗口每相相差  $W/4$  ( $W$  为栅距) 所以接收器接收到的四组正弦波信号相位互差  $\pi/2$  即  $\sin\theta$ ,  $\cos\theta$ ,  $-\sin\theta$ ,  $-\cos\theta$  回路信号。接收器将此信号转化为电信号进行输出,电子学将此四路信号进行放大并合成为两组相位相差  $\pi/2$  的正弦信号,再经电子学 20 细分达到分辨率为 0.001mm 的要求。

### 4.2 弹性支承定心装置

为了保证仪器总体测量精度和重复精度,支承定心装置采用齿弧式弹性支承。弹性支承是四点支承,在支承爪顶点安装四个滚轮,滚轮与炮膛呈滚动摩擦,四个支承爪可同时随着炮膛内径尺寸变化而变化。它能保证仪器轴线始终与炮身管轴线保持重合。

## 5 电子学原理

电子学原理框图如图 2 所示。

光栅传感器输出回路正弦信号, 需要此信号合成为两路相位相差  $\pi/2$  的计数信号, 并加以放大。我们采用差接式放大器对这回路信号加以合成、放大。此电路形式的特点是不但可以消除信号中的直流分量还可以消除偶次谐波, 改善交流分量的质量。这两路计数信号要通过 10m 以上的长线到达主控制箱。为加强信号的长线传输能力, 采用了两片射随器对信号进行驱动。信号到达主控制箱经滤波电路消除长线所带来的干扰, 再经极性变换电路, 将两路信号变为三路信号即  $\sin\theta$   $\cos\theta$  -  $\sin\theta$  信号, 并送与细分电路。细分后的信号送与二进制计数器进行计数, 计算机通过数据总线读取计数值。

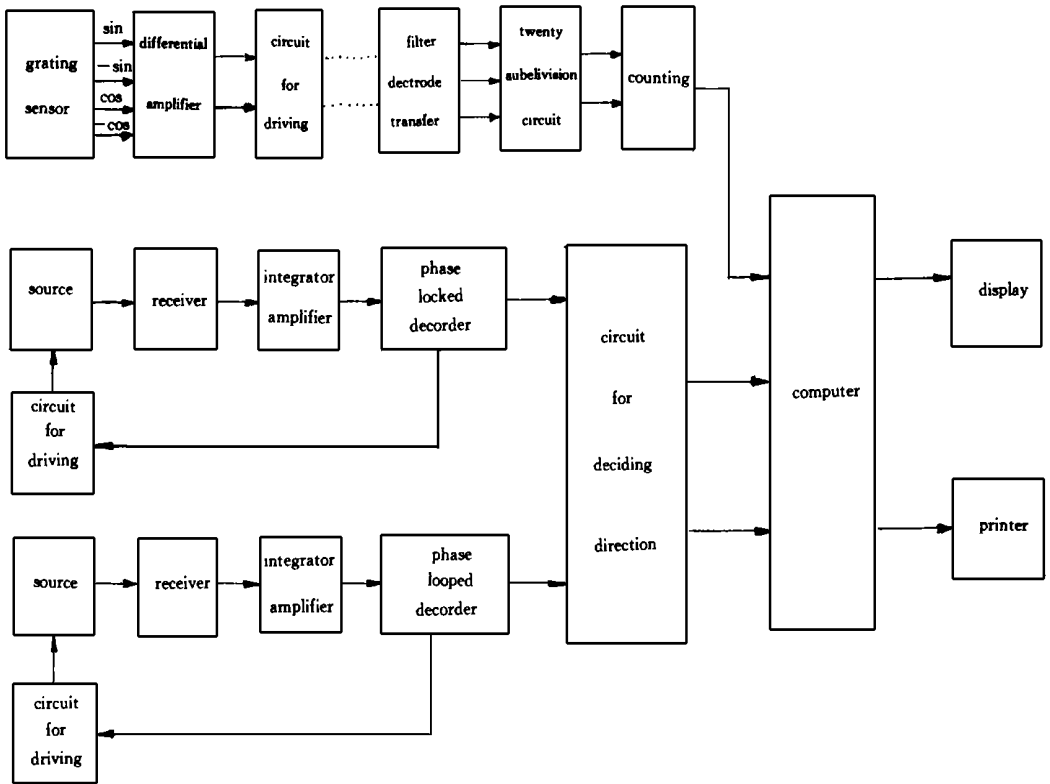


Fig. 2 Block diagram of electronic principle

在深度测量电路中我们应用了光源内调制技术。锁相解码器的中心频率信号驱动读数头的发光器, 读数头经过沟槽时接收器收到一组频率信号, 经整形放大送与锁相解码器, 锁相解码器判断出此信号与自身的中心频率一致后输出电平信号。读数头内安装两对发光器、接收器。由于机械位置的设计使得这两组电平信号有一定相位差。我们利用这两组有相位差的信号对深度进行加减计数。由于频率信号抗干扰能力强, 不受外界杂光影响, 增强了系统的可靠性。

细分电路、计数电路以及深度测量电路, 使用了计算机自身的 5V 电源, 而光栅传感器和差动放大器等电路在测量本体内而且有 10m 以上长线, 为了使系统具有更强的抗电源干扰能力, 我们应用了 DC-DC 隔离电源模块, 为上述电路提供了  $\pm 12V$  电源, 同时外部电路与内部电路之间的信号传输采用了光电隔离技术。

以往我们所研制的火炮内膛测试仪的电子学部分使用单片机进行管理, 数码显示。为了适应国防现代化发展的需要, 这次我们所研制的内膛测试仪将一台计算机作为整个系统的管理核心。硬件电路除测量本体内光栅信号合成、放大电路和深度读数头内的深度放大电路外只有一块内径处理板和一块深度计数板, 它们分别插在计算机的两个扩展槽内。由此可见硬件资源大为减少, 从而增加了电子学系统的可靠性。测量程序采用 C 语言编程, 计算机采用 586 计算, 并且有界面显示、菜单提示、屏幕滚动磁盘存储数据、绘制磨损曲线、计算平均值、计算磨损量、打印等功能。

## 6 仪器的误差分析

仪器的误差主要来源于:

(1) 光栅刻划误差  $\alpha_1$

光栅刻划精度设计要求栅距误差为 0.001mm, 全长累计误差  $\alpha_1 = 0.003\text{mm}$ 。

(2) 电子学细分误差  $\alpha_2 = 0.001\text{mm}$ 。

(3) 阿贝误差  $\alpha_3 = 0.002\text{mm}$ 。

(4) 测量体中心轴线与身管中心轴线产生误差  $\alpha_4$ ,

$$\alpha_4 = 2(D - \sqrt{D^2 - \alpha^2})$$

$D$ ——身管直径;  $\alpha$ ——不同心轴时中心偏离误差

若  $D = 25\text{mm}$ ,  $\alpha = 0.25\text{mm}$ ,  $\alpha_4 = 0.005$

(5) 测量体中心轴线与身管中心轴线倾斜产生误差  $\alpha_5$

$$\alpha_5 = D\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right)$$

$D$ ——身管直径;  $\alpha$ ——倾斜角

若  $D = 25\text{mm}$   $\alpha = 0.5^\circ$   $\alpha_5 = 0.001\text{mm}$

(6) 校准误差  $\alpha_6 = 0.003\text{mm}$

均方差

$$\begin{aligned}\alpha &= \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 + \alpha_5^2 + \alpha_6^2} \\ &= \sqrt{0.003^2 + 0.001^2 + 0.002^2 + 0.005^2 + 0.001^2 + 0.003^2} \\ &= 0.007\end{aligned}$$

计算结果表明仪器在制造过程中每次误差应小于上述分析误差, 就能满足技术指标中仪器测量精度 0.008mm 的要求。

## 7 结束语

我们所研制的内膛测径仪可以检测  $\varnothing 25 \sim \varnothing 85$  范围内的各种口径的线膛炮和滑膛炮的身管内膛直径, 本项技术也完全可以应用在工业检测当中去。

## 参 考 文 献

- 1 张善锺等编. 计量光栅技术. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 2 刘 岩等. 光栅尺动态测量仪. 光学 精密工程, 1993. 1(2): 14~19
- 3 国防科工委司令部教育训练部. 火炮静态测量 设备及应用. 1987

**Subveying Instrument for Canon Cave**

HAN Wei-Hui

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

**Abstract**

Measuring principle, mechanical over all structure, electronic principle and designs of several key parts of subveying instrument for cannon cave are described in detail.

**Key words:** Grating sensor, Electronic subdivision

韩文辉 男, 1971 年 5 月生, 1993 年毕业于长春光学精密机械学院, 现于长春光学精密机械研究所工作。