

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.08.023

# 转子式高速高精度弹体尺寸动态测量系统

彭旭, 孔淼, 林虎成, 高丰, 张益泉

(中国兵器工业第五八研究所 工业自动化工程技术部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为提高小口径枪弹生产节拍, 根据小口径枪弹高速在线检测的工艺及生产特点, 采用 12 工位高速检测转子模型, 并结合现代无损检测控制技术, 对转子式高速高精度弹体尺寸动态测量系统进行设计。介绍该系统的设计原理、系统模型和控制系统的的设计方法, 采取位移补偿、滤波算法等在软件上对现场采集的各种信号进行处理, 并在样机上进行实验验证。结果表明, 弹体尺寸的检测速度可达到并超过 200 发/min, 检测精度可以控制在 0.01 mm 以内, 远远超过国内 80 发/min 生产节拍。

**关键词:** 高速转子; 无损检测; 位移补偿; 滤波

**中图分类号:** TP206<sup>+</sup>.1 **文献标识码:** A

## Rotor-Styled High-Speed Exact Dynamic Bullet Size Measuring System

Peng Xu, Kong Miao, Lin Hucheng, Gao Feng, Zhang Yiquan

(Dept. of Industrial Automation Engineering Technology, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** For improving bullet productivity, the rotor-styled high-speed exact dynamic bullet size measuring system is designed, which uses 12 work place high-speed rotor model and modern scatheless measure control technology based on the technics and specialty of on-line high-speed bullet size measuring. This paper introduces the system design theory, system model and control system design technique. It also uses the means to deal with all kinds of signals collected on -line, such as compensating displacement, filter arithmetic, etc ,which were approved in sample machine. The experiment indicates that the system satisfies need of measuring 200 bullets per minute and 0.01mm precision, greatly exceeding domestic measuring efficiency of 80 bullets per minute.

**Keywords:** high-speed rotor; scatheless measure; compensating displacement; filter arithmetic

### 0 引言

目前, 国内小口径枪弹的合膛检测主要采取单机机械式作业方式, 采用单一模具对弹体逐发进行测量。由于单台设备最高检测效率仅为 80 发/min, 严重制约了国内小口径枪弹生产效率。要将小口径枪弹生产节拍提高至 200 发/min, 前提条件是保证检测过程与高速物流同步进行。故根据小口径枪弹高速在线检测的工艺及生产特点, 采用 12 工位高速检测转子模型, 检测转子采用工件快速定位和转子高速运行抗震设计, 结合现代检测控制技术, 对转子式高速高精度弹体尺寸动态测量系统进行设计。

### 1 系统模型

#### 1.1 测量系统高速转子模型

检测转子主要由旋转主轴、上下凸轮、上下冲杆、上下转筒、合膛模等组成。测量模型如图 1。下冲杆将弹壳顶入合膛模中定位, 冲头下安装有调节弹簧, 防止不合格弹顶入时损伤合膛模。弹体进

入弹体定位机构后, 在上下冲杆随弹体一起旋转的同时, 上冲杆接触弹体并随弹体一起旋转运行, 当运行至轨迹槽最高处的位置时, 将弹体完全顶入合膛检测机构, 并沿着一定高度的轨迹保持一段距离, 此时, 通过测量顶升杆上检测面的相对位移变化, 对弹体尺寸的符合程度进行判断, 并跟踪记录每发弹况。完成检测后, 上冲杆随凸轮轨迹下降, 实现全弹的退弹, 防止产生吸弹现象。

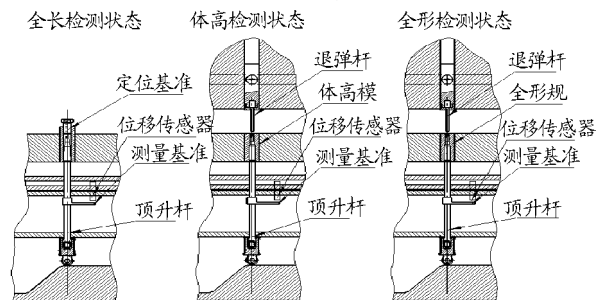


图 1 高速转子测量模型

#### 1.2 高速抗震结构设计

根据生产工艺要求, 弹体随物流高速运行的过

收稿日期: 2010-03-09; 修回日期: 2010-05-10

基金项目: 国防基础科研 (B1020060366)

作者简介: 彭旭 (1975-), 男, 重庆人, 高级工程师, 从事工业自动化及弹药相关技术研究。

程中需识别出 10  $\mu\text{m}$  的高度误差。

在转子高速旋转过程中, 凸轮运行轨迹间隙差异、动力传动的精度误差以及高速运行带来的震动, 是影响高精度检测的主要因素。在转子设计过程中采用了高精度传动轴承, 传动精度达到  $\mu\text{m}$  级, 有效减小了运行过程中轴向和径向跳动。

采用夹套结构。转子下轴承座、转子传动主轴、转子上轴承座由转子支撑支柱固定在机座上, 各部分互为约束形成一个三角支撑, 上下轴承座与转子支撑支柱形成一个夹套, 有效减少了主轴传动时转子的轴向径向跳动, 大大提高了检测的稳定性。

## 2 控制系统设计

当生产效率达到 240 发/min 时, 每发弹体通过检测位置段的时间为 0.2 s, 在此检测段内, 需要检测系统自动完成弹体检测状态的识别、弹体检测数据的采集处理, 弹体质量的跟踪记录等, 要求系统检测时间、传输时间、采集时间、反应时间总和为检测段时间的 1/10, 即 20 ms。

采用高精度无损检测技术, 利用相对位移补偿算法、滤波算法等方式对现场采集的各种信号进行处理, 能对弹体检测尺寸实现自动跟踪, 对 12 个检测面的位置偏差进行动态自动校正和补偿, 并将设备运行的抖动误差和轨迹误差通过滤波算法自动进行剔除, 以满足整个检测系统高速高精度的要求。

为了保证测量精度, 采用高精度涡电流传感器, 采集传感器至检测面底部的位移差, 传感器的线性度为满量程的  $\pm 0.3\%$ 。

### 2.1 采用相对位移差值法求取位移

为了保证检测精度小于 10  $\mu\text{m}$ , 采取缩小测量量程的方法, 将弹体底部距离合膛规底部的位移差 (绝对位移差) 变为测量弹体底部距离弹体工艺超差极限位置的位移差 (相对位移差), 大大缩减了测量范围。采用相对位移差值法, 5 mm 的采样距离缩小在 2 mm 之内, 检测精度由 12  $\mu\text{m}$  提高到 6  $\mu\text{m}$  以内。检测原理图如图 2。

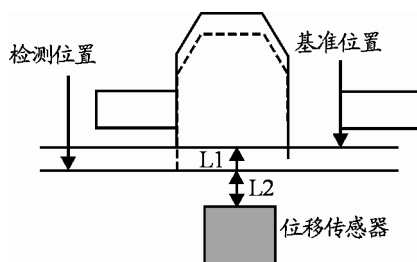


图 2 相对位移检测原理

位移偏差计算公式为:

$$\Delta L = L1 - L2 \quad (1)$$

式中:  $\Delta L$  为位移偏差量;  $L1$  为工艺要求的弹体极限位置距离传感器的位移;  $L2$  为检测过程中弹体位置距离传感器的位移。

对每根测杆进行识别, 并根据识别结果对每根测杆的基准位置进行位移补偿, 位移偏差补偿公式为:

$$L1 = L + L' \quad (2)$$

式中:  $L'$  为位移偏差补偿量,  $L' = L'_0, L'_1, \dots, L'_{12}$ ;  $L$  为基准位移偏差。

根据检测工艺, 弹体底部距离合膛规底部的位移公式为:

$$D = d + \Delta L \quad (3)$$

式中:  $D$  为弹体底部距离合膛规底部位移 (工艺弹体尺寸偏差量);  $d$  为工艺要求的弹体极限位置距离合膛规底部的位移。

### 2.2 基准面动态识别与补偿值查询法研究

由于装配和制造上的原因, 12 根测杆的检测面的位置高低存在差异, 不可能完全调整成一致, 导致 12 个检测面存在 12 个基准位置, 必须对每个基准位置进行识别, 并根据基准面的位置求取弹体的尺寸位移偏差, 才能保证 10  $\mu\text{m}$  的检测精度。

采用基准位置计数法来实现 12 个检测位置的识别。首先, 确定一个零点检测位置, 当零点传感器通过该位置时, 测量编号计数值清 0。每通过一个检测位置时, 同步检测触发传感器接通, 测量编号计数器自动加 1。可根据测量编号计数值确定测量的实际位置。

对 PLC 分配内部存储区域, 分别存储 12 个检测位置对应的位移偏差补偿值  $L'_0, L'_1, \dots, L'_{12}$ 。根据测量位置编号条件查询位移偏差补偿值, 自动对检测结果进行补偿校正。

### 2.3 软件抑干扰滤波算法研究

由于受外界和内部因素 (电网电压、检测转子加工误差、外部冲击、机械振动和干扰) 的影响, 系统可能出现跳变, 其输出的采样值表现为测量值与干扰的累加。为抑制干扰, 在算法中加入滤波程序。

在信号采集过程中, 当传感器的采样频率达到 40 kHz 时, 系统对外界干扰反应过于灵敏, 对一般的随机干扰信号不能起到很好的抑制作用。故对传感器的实时采样值进行算术平均法滤波。其计算公

式为:  $L(n)=[L(n-1)+L(n-2)+\dots+L(0)]/n$

式中:  $n$  为采样次数;  $L$  为传感器采样值。当  $n$  值较大时, 信号平滑度较高, 但灵敏度较低; 当  $n$  值较小时, 信号平滑度较低, 但灵敏度较高。根据试验效果,  $n=64$  时, 信号的稳定性有很大提高, 且信号综合采样频率为 625 Hz, 满足系统检测的实时性要求。

采取算术平均法后的系统稳定性有了大幅提升, 但不能克服因偶然因素引起的脉冲干扰, 因此对采样结果进行限幅滤波法(又称程序判断滤波法)处理。限幅滤波的方程如下:

$$L(n) = \begin{cases} L(n) & |L(n) - L(n-1)| \leq A \\ L(n-1) & |L(n) - L(n-1)| > A \end{cases}$$

根据经验判断, 确定 2 次采样允许的最大偏差值  $A$  (设为  $A$ ), 每次检测到新值时应进行判断: 如果本次值与上次值之差  $\leq A$ , 则本次值有效; 否则, 本次值无效, 放弃本次值, 用上次值代替本次值。根据实验测试,  $A$  取值为 0.012 时, 能有效过滤偶然因素引起的脉冲干扰。

### 3 系统调试

系统调试包括传感器位移线性度标定、12 工位标准极限位移值设定、基准面识别、检测重复精度测试、系统稳定性测试等内容。部分调试数据如表 1。

表 1 部分调试数据

测杆 序号	第一次读 数/mm	第一次读 数/mm	第一次读 数/mm	最大误差 /mm
标准弹体测试读数, 测试速度为 200 发/min				
1	1.497 944	1.503 761	1.497 944	0.005 817
2	1.684 096	1.678 279	1.684 096	0.005 817
3	1.625 924	1.620 106	1.625 924	0.005 818
4	1.765 538	1.759 721	1.765 538	0.005 817
5	1.451 405	1.445 588	1.451 405	0.005 825
6	1.678 279	1.678 279	1.678 279	0.00
7	1.567 751	1.561 934	1.567 751	0.005 817
8	1.579 386	1.579 386	1.579 386	0.00
9	1.800 42	1.806 26	1.794 625	0.005 84
10	1.527 03	1.521 213	1.521 213	0.011 635
11	1.486 309	1.480 492	1.480 492	0.005 817
12	1.666 645	1.672 462	1.672 462	0.005 817

表 1 显示 12 根测杆测试标准弹体时, 重复测量精度  $\leq \pm 0.006$  mm。由表 1 可知, 满足系统测试要求。

### 4 结束语

该系统实现了对弹体尺寸进行自动跟踪、识别, 并在算法上对采集的位移数据进行补偿和优化处理, 大大提高了国内小口径枪弹尺寸检测的执行效率和精度。经实验验证, 弹体尺寸的检测速度可达

到并超过 200 发/min, 检测精度可以控制在 0.01 mm 以内, 远远超过国内 80 发/min 生产节拍, 对国内小口径枪弹生产线的改造具有重要意义。

### 参考文献:

[1] 杨振江, 等. 智能仪器与数据采集系统中新器件及应用[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2001.  
 [2] 王泽山, 等. 火药装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.  
 [3] 蔡尚峰. 自动控制理论(下)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.  
 [4] 哈里斯(C.E.Harris). 汴荣宣 译. 美国枪弹生产的现代化[J]. 美国步枪手, 1979(11): 4-18.  
 [5] 严蔚民, 等. 数据结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.

\*\*\*\*\*

(上接第 68 页)

由图 4 中对比可以得出: 较之常规 PID 控制器, 系统在三维模糊控制器作用下, 超调明显减少, 基本实现了无超调控制, 系统调整时间由 1.15 s 提高到 0.75 s, 稳态误差基本消除, 满足系统的性能指标要求。

为验证系统的跟踪性能, 系统输入选择正弦信号。如图 5, 由图 5 中 2 条响应曲线对比可以得出: 三维模糊控制系统输出正弦响应要比传统 PID 的输出响应好得多, 说明文中设计的三维模糊控制系统的跟踪性能要比优于常规 PID 控制系统。

### 4 结论

1) 采用分段控制策略, 用二维模糊控制表来实现三维模糊控制表要实现的功能, 设计了三维模糊控制器。

2) 基于 Simulink 软件环境, 以飞航导弹偏航控制为例, 建立了导弹控制系统弹体仿真模型。

3) 仿真结果表明, 采用三维模糊控制器, 在单位阶跃信号作用下, 较常规 PID 控制器, 导弹偏航控制系统的快速性明显提高, 基本实现了无超调控制; 在正弦信号作用下, 控制系统的跟踪性能得到明显改善。

### 参考文献:

[1] 刘根旺, 许化龙. 导弹姿态控制伺服系统的变结构控制[J]. 上海航天, 2004, 21(6): 15-17.  
 [2] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 3-10.  
 [3] 史莹晶, 马广富. 大空域机动巡航导弹的模糊 PID 控制器设计[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4): 11-13.