

## 简 报

## 光电编码器自动沿面检测系统

刘志国<sup>1,2†</sup>, 王显军<sup>1</sup>, 赵 柱<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(2009 年 11 月 9 日收稿; 2010 年 3 月 10 日收修改稿)

Liu Z G, Wang X J, Zhao Z. Automatic detection system of special position for photoelectric encoder [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences 2010 27(4):563-567.

**摘 要** 设计出了一套光电编码器自动沿面检测系统. 对沿面检测的意义和传统方法进行了简要说明; 详细阐述了所设计系统中的硬件电路和数据捕捉的算法. 检测结果表明, 此系统操作方便、界面友好、原理正确、设计合理、能够满足使用条件.

**关键词** 光电编码器, 沿面检测, 沿面数据捕捉

**中图分类号** TP274

## 1 引言

此前, 我们研究所生产的光电编码器大多采用沿面检测的方法来进行出厂检测. 对编码器进行的沿面检测, 由人工完成. 由于人工方法的效率低, 束缚了劳动力, 所以研制一套光电编码器自动沿面检测系统具有重要意义.

光电轴角编码器的检测方法目前分为 2 类: 沿面检测与任意点检测.

一个  $n$  位的待检编码器, 它将  $360^\circ$  的角度区间划分为  $2^n$  个分辨率区间. 对于一个分辨率区间, 其指示的角度值是一定的, 如图 1 中  $AB$ ,  $BC$  所示. 在分辨率内任选一点进行检测, 即为任意点检测, 如在  $a$ 、 $c$  处的检测. 如果选取分辨率的起始点进行检测, 则为沿面检测, 如在  $A$ 、 $C$  处的检测.



图 1 沿面示意图

由概率论知, 编码器使用时处在沿面的概率几乎为零. 因此任意点检测更能反映使用时的真实情况, 即能够反映编码器的测量误差, 但是这种检测方式存在着分辨率误差. 假定在图 1 中  $c$  处进行检测, 此时编码器指示的值是  $CD$  分辨率区间的值, 即为  $C$  处的值, 此值本身就不准确, 与基准编码器比较时自然就引入了误差, 此种误差称之为分辨率误差, 是由于产品编码器的分辨率引起的. 由于分辨率误差的存在, 任意点检测不能直观地反映编码器的安装、制造水平. 所以在产品验收出厂的时候, 往往要求进行沿面检测. 即产品编码器给定一个无误差的准确值, 如在  $C$  处, 基准编码器给出相应的基准值, 此二者的差为该点的误差值, 此值不包含分辨率误差. 由于沿面检测直接反映着产品编码器的制造水

† E-mail: wyfdlzg@126.com

平,且比任意点检测选点重复性更好. 所以实际检测中,一般采用沿面检测.

2 沿面检测的传统方法

光电编码器的沿面检测主要采用高精度编码器检测低精度编码器的方法. 这种检测方法要求高精度编码器的精度和分辨率至少应为被检编码器精度和分辨率的 3 倍,这样才能采用高精度编码器做角度基准器. 用联轴节将被检编码器轴与高精度编码器的轴头相连,调整同心后,转动编码器,对比被检编码器和角度基准器的输出数据,对被检码器进行误差检测<sup>[1]</sup>. 如图 2 所示.

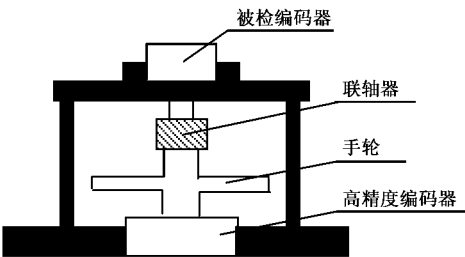


图 2 高精度编码器检测系统组成

基准编码器和待检编码器的数据由相应的数码管和灯排进行显示. 检测过程中,旋转编码器到相应沿面,然后读取相应的基准数据和待检编码器数据,进行运算. 实际过程中,对于沿面的选取是很困难的,只有当待检编码器指示灯排在当前数据和下一分辨率之间闪烁时,表示当前编码器位置处于相应的沿面. 由于人眼需一直注视灯排,容易疲劳;且对闪烁的判断存在误差;加上人工读数、手动操作等,使得检测效率低下.

基于此,本文研究一套沿面数据自动采集、分析处理、保存的系统,以此提高编码器检测的效率以及可靠性.

3 自动沿面检测系统

3.1 系统硬件电路

本系统中,基准编码器经过解码电路,将数据送给监控电路;待检编码器经过接口转换电路,将数据送给监控电路;监控电路在收到 2 路编码器的数据后,对数据进行打包,通过接口转换,送给 PC 机. PC 机对数据进行处理,进行沿面判断,采集沿面数据,计算并记录误差值;然后进行下一点的检测,直到完成所有点的检测;最后以文本形式输出检测结果. 硬件系统原理框图如图 3 所示.

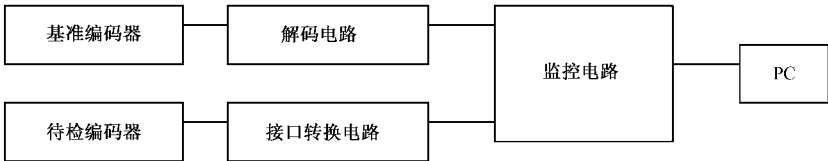


图 3 硬件系统原理图

基准编码器解码后输出和监控电路的单片机串口 UART0 直接相连. 每  $500\mu\text{s}$  发送一帧数据,字符格式和帧间隔都是固定的. 被检编码器经接口转换后送入 UART1. 每隔时间  $T_0$  发送一帧数据, $T_0$  由于产品的不同而不同,通常为 1 到 20ms,如图 4 所示.  $S_1$  代表标准编码器的数据流, $S_2$  代表被检编码器的数据流<sup>[2]</sup>.

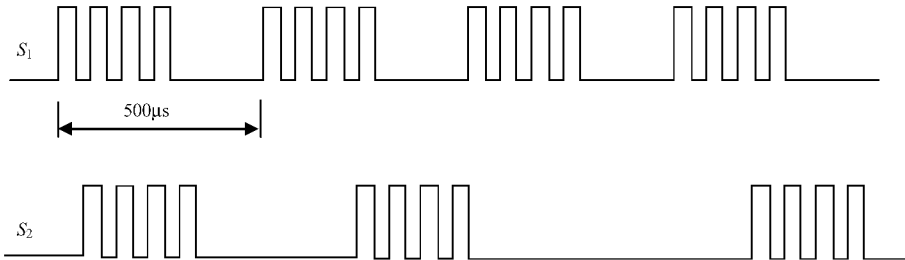


图 4 编码器数据流格式

监控电路完成2路输入至1路输出的数据格式转换,实现与PC机通信.监控电路向PC机发送数据时发送字符格式为,帧头+标准当帧+标准前帧+待检当帧,如图5所示.帧间隔 $T$ 由软件延时设定,发送太慢,PC机捕捉数据实时性较低;发送太快,容易使上位机瘫痪.经验证明,采取 $T=12\text{ms}$ ,即PC每 $12\text{ms}$ 收到一次数据,然后由软件对此数据进行处理,寻找沿面数据,计算并记录误差.

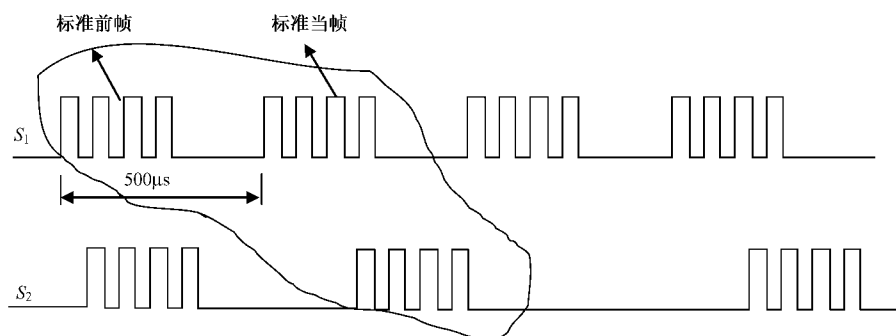


图5 上传数据格式

硬件电路保证基准编码器以高于待检编码器几倍的速度进行采样,这样做能够保证基准编码器当帧的数据与待检编码器当帧的数据同步时间误差尽量小,方便计算误差.

### 3.2 沿面数据捕捉算法

沿面数据的捕捉,是本系统的核心.为了能够实现自动化,首先分析人工检测的思路.

人工检测的思路:当待检编码器处于某一沿面的时候,记录下此时的基准数据,计算误差.对于沿面的判断,是当灯排在2个分辨率之间闪烁时,认为处于沿面位置.一种很直观的思维方法是当待检编码器处于某一沿面时,触发硬件电路采集基准编码器的数据,然后进行误差计算.但是由于编码器自身的限制,其数据是通过采样获取,不存在沿面触发脉冲<sup>[3]</sup>,所以此种方法无法实现.为此,在系统设计时,用硬件电路实现数据的同步,软件算法实现沿面数据的捕捉.

沿面数据的捕捉采用的是逼近原理.如图6所示,横轴代表位置,纵轴代表数据, $J$ 曲线为基准编码器的位置数据曲线, $D$ 曲线为待检编码器的位置数据曲线.由图6可知,在 $T_1$ 时刻,PC收到基准编码器的位置数据 $J_1$ 、 $T_1$ 时刻 $500\mu\text{s}$ 之前的基准位置数据 $J_1'$ 、待检编码器的位置数据 $D_1$ .在 $T_2$ 时刻则收到 $J_2$ 、 $J_2'$ 、 $D_2$ .在 $T_1$ 、 $T_2$ 这一时间段内编码器经过了惟一的沿面 $E_1$ ;  $E_1$ 所对应的待检编码器数据为 $D_2$ ,基准编码器数据为 $J_{E_1}$ ,这2个数据之差就是沿面位置的误差值.软件根据收到的数据分析沿面的误差.如果编码器旋转速度过大,可能直接收到的是 $T_1$ 、 $T_3$ 时刻的数据,那么将无法得到惟一的沿面数据.

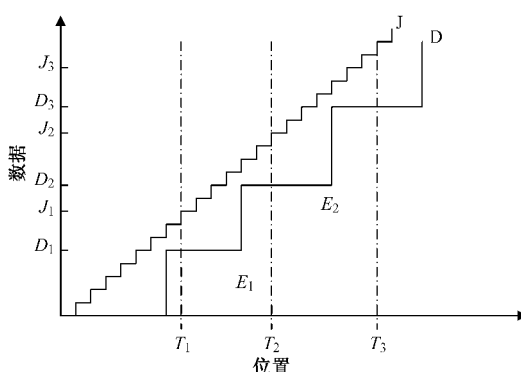


图6 沿面捕捉示意图

为了得到 $J_{E_1}$ ,我们采取的控制算法如下:

设 $D_{dz}$ 、 $D_{qz}$ 、 $J_{dz}$ 、 $J_{qz}'$ 、 $J_{qz}$ 、 $J_{qz}'$ 分别表示待检编码器当帧数据、待检编码器前帧数据、基准编码器当帧数据、基准编码器当帧数据 $500\mu\text{s}$ 之前的数据、基准编码器前帧数据和基准编码器前帧数据 $500\mu\text{s}$ 之前的数据; $WC$ 表示沿面处的误差.其中,当帧与前帧时间差为 $T=12\text{ms}$ (此值由软件设定).

$$\text{If}((D_{dz} = D_1 \ \&\& \ D_{qz} = D_2) \parallel (D_{dz} = D_2 \ \&\& \ D_{qz} = D_1)) \ \&\& \ |J_{dz} - J_{qz}| < \varepsilon)$$

$$WC = \min(J_{dz} - D_2, J_{qz} - D_2)$$

此算法的解释如下:如果待检当帧数据为前一个分辨率数据 $D_1$ ,待检前帧数据为后一个分辨率数

据  $D_2$  ,或者待检当帧数据为后一个分辨率数据  $D_2$  ,待检前帧数据为前一个分辨率数据  $D_1$  ,并且当对应的基准编码器当帧数据 ,基准编码器前帧数据之差的误差小于某一控制参数  $\varepsilon$  时 ,则认为当前的数据为沿面数据 ,然后用得到的数据进行误差的计算. 在图 6 中可以得到直观的解释.  $T_1, T_2$  越靠近 ,则得到的数据越接近沿面的数据.

其中  $\min$  为取小值函数 , $\varepsilon$  为检测控制参数 ,可以根据需要从软件界面输入相应的值控制检测过程. 显然  $\varepsilon$  越小 , $T_1, T_2$  时刻采集的数据越接近沿面位置的数据. 当  $\varepsilon < 2\Delta jz$  ( $\Delta jz$  表示基准编码器的分辨率) ,将准确地得到沿面位置的数据. 但是  $\varepsilon$  越小 ,对编码器的旋转速度的要求就越高.

经过计算 ,编码器的旋转速度满足如下条件:  $v < \varepsilon''/12\text{ms}$  时 ,软件能够自动采集到沿面的数据. 用户可以设置  $\varepsilon$  来选择检测效率优先或检测精度优先.

3.3 软件界面

如图 7 所示 ,软件界面<sup>[4]</sup>分为图示的几个区域. 检测人员在信息设置区设置检测指令(产品信息、检测时间、检测点数、精度控制等级以及精度要求等) ,确认设置后当编码器以一合理速度旋转时 ,能够自动采集数据进行误差计算 ,结果填充在数据记录区 ,误差曲线在检测过程中实时更新. 检测完毕 ,结果显示区显示相应的关键参数.

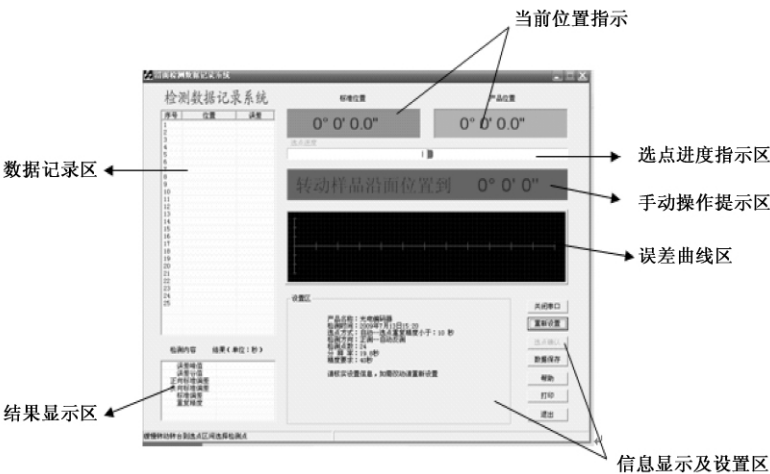


图 7 系统运行主界面

4 实验数据

实验数据是在室温 25℃、无振动与干扰的正常检测环境下获得. 基准编码器和待检编码器的相关参数见表 1.

表 1 编码器参数

|       | 类型     | 位数 | 分辨力    | 精度  |
|-------|--------|----|--------|-----|
| 基准编码器 | 绝对式编码器 | 24 | 0.078" | <2" |
| 待检编码器 | 绝对式编码器 | 16 | 19.78" | 待检  |

表 2 是 3 台 16 位编码器使用 2 种检测装置进行沿面检测所得到的误差数据. 可以发现自动检测时 ,选点重复精度远高于手动检测. 重复精度是指编码器在正向旋转和反向旋转的过程中 ,对同一沿面测得的 2 个误差值之差的绝对值. 在编码器质量一定的情况下 ,此值能够在一定程度上反映选点的重复性. 由此可知 ,自动检测能够捕捉到沿面数据 ,并且比人工检测选点更加可靠; 同时发现 ,自动检测效率远高于人工检测.

表 2 实验结果

| 测量方式  | 使用本系统    |          |          | 不使用本系统   |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 产品代号  | DQ-80    | DQ-86    | DQ-89    | DQ-80    | DQ-86    | DQ-89    |
| 峰值    | 24. 7"   | 22. 8"   | 23. 4"   | 20. 0"   | 20. 0"   | 20. 0"   |
| 谷值    | - 8. 6"  | - 10. 3" | - 9. 2"  | - 15. 0" | - 15. 0" | - 20. 0" |
| 正测回误差 | 10. 0"   | 11. 1"   | 10. 7"   | 10. 4"   | 10. 4"   | 10. 6"   |
| 反测回误差 | 10. 3"   | 10. 8"   | 10. 8"   | 11. 9"   | 11. 7"   | 11. 8"   |
| 标准偏差  | 10. 0"   | 10. 9"   | 10. 8"   | 10. 6"   | 10. 6"   | 10. 8"   |
| 重复精度  | 4. 5"    | 4. 7"    | 4. 7"    | 20. 0"   | 15. 0"   | 15. 0"   |
| 检测费时  | 3min、1 人 | 3min、1 人 | 3min、1 人 | 6min、2 人 | 7min、2 人 | 7min、2 人 |

系统经有关专家现场论证、评估后投入使用 ,使用至今 ,已检测编码器数百台 .

5 结论

本文根据实验室现有条件设计了一套编码器自动沿面检测系统 ,完全代替了传统人工方法检测 .该检测系统可以完成编码器测试点的自动定位 ,采样数据的自动获取 ,以及误差数据自动分析处理等功能 ,检测点数不限 ,解决了人工检测效率低下的问题 ,明显提高了检测效率 .

本文的创新之处在于算法中引入了选点控制参数  $\varepsilon$  ,通过这个参数 ,可以保证所选的点在  $(X,X+\varepsilon)$  内 (其中  $X$  表示某一沿面的值) ,完全模拟了人工选点的方法 ,比人工选点更可靠 ;同时此参数将编码器检测精度要求与检测速度关联了起来 .用户可以根据检测的要求选择合适的  $\varepsilon$  ,进而使编码器以  $v<\varepsilon''/12\text{ms}$  速度旋转 ,这样能够完成数据采集 ,代替人工检测 .

参考文献

[ 1 ] Zhao Z ,Xu Z J ,Wang X J. An automatic detection system of encoder error based on motion control technology [J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics ,2009 2(2) :134-139 (in Chinese) .  
赵 柱 ,续志军 ,王显军 .基于运动控制技术的编码器自动检测系统 [J]. 中国光学与应用光学 2009 2(2) :134-139 .  
[ 2 ] Hou L N. The study of angle-shift sensor's detection mode and apparatus [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics , Chinese Academy of Sciences ,2008 (in Chinese) .  
侯丽娜 .角位置传感器检测方法 & 装置的研究 [D]. 长春 :中国科学院长春光机所 2008 .  
[ 3 ] 叶盛祥 .光电位移精密测量技术 [M]. 四川 :四川科学技术出版社 2003 .  
[ 4 ] Stanley B Lippman ,Josee Lajoie. C + + primer [M]. 北京 :中国电力出版社 2002 .

Automatic detection system of special position for photoelectric encoder

LIU Zhi-Guo<sup>1 2</sup> , WANG Xian-Jun<sup>1</sup> , ZHAO Zhu<sup>1 2</sup>

(1 Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics , Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China ;  
2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

**Abstract** An automatic detection system of special position for photoelectric encoder was designed. First , a brief description is given on the meaning of detection of special position for photoelectric encoder and the traditional detection methods. Then the principle and the designed hardware and software of the system are described in detail. The experimental results show that the system can meet the conditions of its use and replace the traditional detection methods.

**Key words** photoelectric encoder , detection of special position , capture of special position data