

# 非接触式断纱检测系统设计

任尧,袁嫣红,向忠

(浙江理工大学浙江省现代纺织装备技术重点实验室,杭州 310018)

**摘要:**针对机械式断纱检测装置容易被飞絮、油污卡死及摩擦引起纱线磨损等缺点,设计了一种基于光电传感式的非接触式断纱检测系统。采用红外传感的方式,将纱线运动信号转化为电信号,通过示波器测量出感应区无纱线、纱线静止、纱线运动三种状态下的感知信号,并对其变化规律进行分析。结合纺织设备的工艺要求,总结了断纱判断依据,并设计了红外光电检测电路和信号分析处理系统。该断纱检测器采用通孔结构将纱线约束在感应区,有纱线经过的地方都可以安装,普适性较强。对完成的系统进行了试验,结果发现该系统可以准确地完成断线检测报警功能。

**关键词:**非接触式;断纱检测;光电检测;红外传感

**中图分类号:** TS 111.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2018)03-0200-06

## 0 引言

纺织工业是我国的重点支撑产业,有着非常广阔的发展前景。纺织机械上有纱线经过的地方通常需要有适当的张力调节装置和断纱检测装置<sup>[1]</sup>。国内有多家研究机构在进行环锭纺细纱断纱检测技术的研究,但是与国外先进检测技术相比,我国细纱断纱检测技术还有很大提升空间。

纱线断裂是纺织过程中最常见的故障之一<sup>[2]</sup>。在纺纱过程中,当纺纱张力过大或纺纱突变时容易出现断头,不仅浪费原料,而且增加工作量,也降低了成纱质量<sup>[3-4]</sup>。断纱检测系统可以检测到断纱位置,把断纱信息传递给机器主控。断纱检测分为接触式断纱检测和非接触式断纱检测,其中接触式断纱检测有两种。常用的一种是运用机械式杠杆原理控制电路中的开关,再利用采集电路接收开关量信号来实现断纱检测<sup>[5]</sup>。这种方式容易沾染粉尘、油污,造成开关触点接触不良,引起误报警或不报警。另一种是利用纱线在压电陶瓷上摩擦产生静电的原

理来实现断纱检测,这种方式对纱线磨损较大,容易影响织物的质量。常见的非接触式断纱检测有两种。一种是利用 CCD 工业相机作为检测设备,通过图像处理判断断纱与否。该方式对纱线没有磨损,误报警率低,但是成本高<sup>[6]</sup>。另一种利用光电传感的方式<sup>[7]</sup>,将纱线的运动信号转化为微弱的电信号,并对其进行放大处理从而分析是否断纱,这种方式成本低、适用范围广。总体上看,非接触式断纱检测可以避免由于机械问题造成的误报警或断纱不报警,其检测的是纱线的运动状态,当纱线的运动状态发生改变时,就有感应信号输出,大幅提高了断纱检测的准确度。

目前国内断纱检测领域,光电传感断纱检测方式有着广泛的应用。例如,在赛络纺中,利用光电检测探头进行粗纱断纱检测,具体实现过程为:气圈形态的变化引起挡光时间的变化,进而影响检测头前方形成的方波信号宽度,通过检测方波宽度变化判断是否断纱<sup>[8]</sup>。环锭纺纱过程中,有两种光电传感断纱检测方式。方式一:纱线运动带动钢丝圈在钢

收稿日期:2017-08-04 网络出版日期:2017-11-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51605443,U1609205)

作者简介:任尧(1992-),男,四川眉山人,硕士研究生,主要从事纺机电控方面的研究。

通信作者:袁嫣红,E-mail:yyh@zstu.edu.cn

领轨道上运动,断纱后钢丝圈停止运动,光电传感器可以通过感知钢丝圈的运动进行检测,从而实现断纱判断<sup>[9]</sup>。方式二:利用光电传感方式,将纱线运动信号转化为电信号,再经过双运算放大器处理成脉冲信号,脉冲信号与单片机的输入端口相连,通过脉冲计数与预设脉冲数进行比较来判断是否断纱<sup>[10]</sup>。以上几种光电传感的应用针对性比较强,能较好地实现各自领域范围内纱线断纱检测。

本文设计了一种非接触式断纱检测系统,该系统包含断纱检测器电路、信号处理与分析电路以及断纱检测控制器。该系统主要利用光电转换原理,将纱线运动信号转化为微弱变化的电信号,再通过放大电路、滞回比较电路把纱线运动信号转化为脉冲信号,以纱线在感应区运动、不运动以及无纱线三种状态下的脉冲密度为依据,结合工况要求实现断纱的判断。

## 1 传感器及感知信号分析

### 1.1 信号感知分析

纺织设备一般 24 小时工作,白天可见光较强,夜间日光灯光线较强,为了避开可见光的干扰,本系统采用红外光作为传感器光源。断纱检测器感应区上下各有一个孔约束纱线,确保纱线经过感应区。

纺织工艺过程中,存在三种状态:纱线正常运动、纱线静止、纱线断裂。纱线断裂又分为断裂后感应区有纱线和断裂后感应区无纱线两种情况。对于纱线感应区而言,只存在如图 1 所示的三种状态,即无纱线、纱线静止、纱线运动,对于这三种状态,光敏芯片将产生不同的输出电压。通常情况下纱线非常细,纱线引起的电压变化非常小,需要将此电压信号放大处理,从而实现纱线运动信号的感知。纱线断裂感知的及时性是断纱检测性能的一个重要指标,因此本文通过软硬件组合的方式,实现断纱检测的快速准确响应。

### 1.2 感应区设计及信号分析

感光元件选择有两路输出的红外光敏元件,其感光区由两个红外光敏二极管并联组成。如图 1 所示,红外光线照射在感光区时,两个红外光敏二极管的阻值瞬间大幅度减小,此时图 2 中电阻  $R_1$  和  $R_2$  的分压将增大很多。如图 1(c) 所示,断纱检测器正常工作时,红外光均匀地照射在感光区,纱线在光通道中运动时,会不规则地遮挡住部分红外光,使得图 2 中两个红外光敏二极管接收红外光的强度有所差异,从而使得芯片两路输出的电压值有差异。差分信号经过差分放大电路和滞回比较电路处理后,转化为可供单片机直接处理的脉冲信号。

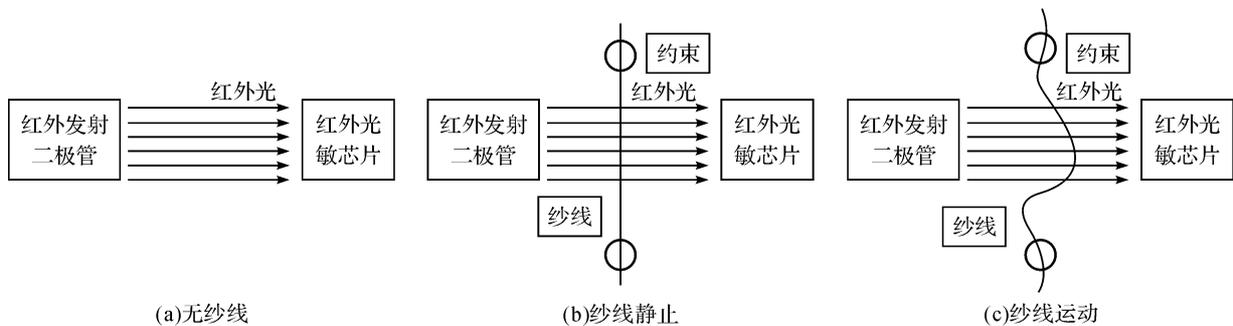


图 1 感应区纱线运动状态

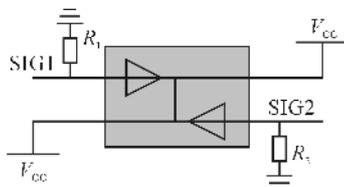


图 2 感光元件结构

无纱线、纱线静止和纱线运动三种状态下,示波器测出 SIG1 和 SIG2 的信号图如图 3 所示。当感应区无纱线时, SIG1 和 SIG2 电压信号保持水平不变,且处于最大值,如图 3(a) 所示。当纱线静止在感应区中部时, SIG1 和 SIG2 电压下降一定值,并保

持水平不变,如图 3(b) 所示。当纱线在感应区运动时, SIG1 和 SIG2 的电压均不断变化,且两路电压变化趋势有时相同有时相反,如图 3(c) — (d) 所示。这是由于纱线的晃动具有不规则性的特点,如果纱线从红外发射管往红外光敏芯片运动(或与之相反方向), SIG1 和 SIG2 两路信号的变化趋势保持一致,则呈现出如图 3(d) 所示的电压变化图。如果纱线平行于感应区,从光敏芯片上一个光敏二极管区域向另一个光敏二极管区域运动(或与之相反方向), SIG1 和 SIG2 两路电压呈现出此消彼长的变化趋势,如图 3(c) 所示。

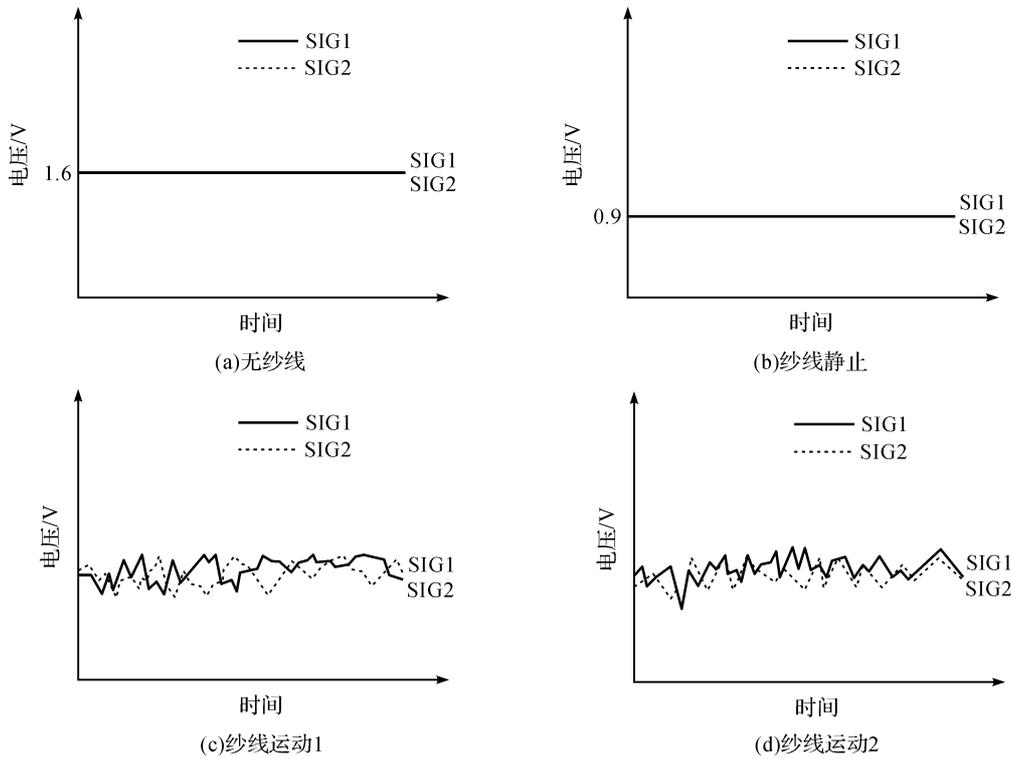


图3 SIG1和SIG2信号变化图

## 2 信号处理电路

### 2.1 差分放大电路计算分析

纱线在感光区运动时,红外感光芯片输出差分信号,差分信号经过如图4所示的差分放大电路,把两路信号的差值放大一定的倍数。

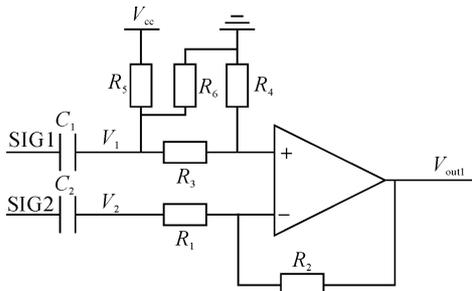


图4 差分放大电路

如图4所示,SIG1和SIG2是红外光敏芯片输出的两路信号,经过电容 $C_1$ 、 $C_2$ 滤掉直流信号,然后将SIG1和SIG2的交流分量与 $V_{cc} * R_5 / (R_5 + R_6)$ 耦合 $V_1$ 、 $V_2$ , $V_{out1}$ 是经过放大器的输出信号。他们之间的关系可用公式表示为:

$$V_{out1} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \times \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) \times V_2 - \frac{R_2}{R_1} \times V_1 + \left(\frac{R_5}{R_5 + R_6}\right) \times V_{cc} \quad (1)$$

其中: $V_{out1}$ 为输出电压; $V_{cc}$ 为电源电压。若 $R_1 = R_3$ 且 $R_2 = R_4$ ,则式(1)简化为:

$$V_{out1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times (V_2 - V_1) + \left(\frac{R_5}{R_5 + R_6}\right) \times V_{cc} \quad (2)$$

由式(2)可知,经过图4的差分放大电路之后,输出电压 $V_{out1}$ 等于输入信号 $V_2$ 与 $V_1$ 的差值放大 $R_2/R_1$ 倍后加上 $V_{cc} * R_5 / (R_5 + R_6)$ 。这样 $V_1$ 和 $V_2$ 的差值的放大倍数可以通过调节 $R_1$ 和 $R_2$ 的比值来确定,放大倍数越大则断纱检测器的灵敏度也越高,但是也不能放大太多,否则信号会失真。由于放大器供电电压为正电压,放大器参考地是 $0V$ ,为了防止放大后的信号底部失真,所以加入 $V_{cc} * R_5 / (R_5 + R_6)$ 的直流电压与输入信号进行耦合。

### 2.2 滞回比较电路

经过放大电路的输出的信号 $V_{out1}$ 用一个滞回比较电路可以将其变成脉冲信号 $V_{out2}$ ,如图5所示。 $V_{ref}$ 为参考电压可用下式计算:

$$V_{ref} = \left(\frac{R_{13}}{R_{13} + R_{14}}\right) \times V_{cc}$$

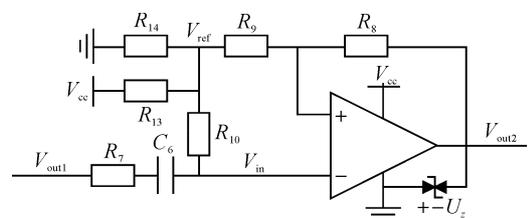


图5 滞回比较电路

滞回比较器电压传输特性曲线如图 6 所示。

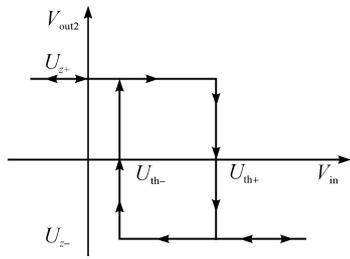


图 6 电压传输特性曲线

上门限电压:

$$U_{th+} = \left( \frac{R_8}{R_8 + R_9} \right) \times V_{ref} + \left( \frac{R_9}{R_8 + R_9} \right) \times U_z \quad (3)$$

下门限电压:

$$U_{th-} = \left( \frac{R_8}{R_8 + R_9} \right) \times V_{ref} + \left( \frac{R_9}{R_8 + R_9} \right) \times (-U_z) \quad (4)$$

图 5 电路中由于放大器参考地为 0 V, 所以下阈值  $(-U_z) = 0$ ; 由于  $V_{out2}$  是脉冲信号, 此信号直接给断纱检测器的 MCU 处理, 所以上阈值  $U_z = 5$  V。则回差电压:

$$(U_{th+}) - (U_{th-}) = 5 \times \left( \frac{R_9}{R_8 + R_9} \right) \quad (5)$$

由式(5)可知, 调节电阻  $R_9$  和  $R_8$  的大小, 可以改变回差电压。回差电压不能选太大, 否则会大大降低断纱检测的灵敏度。回差电压也不能太小, 否则轻微的噪音干扰就会有脉冲信号输出。可通过实际测试确定一个可靠的回差电压, 以保证电路工作时能正常输出脉冲。

### 3 信号处理实验测试

前面两部分中, 通过对感知信号的分析, 总结出了感知信号的特点; 感知信号经过信号处理电路最终转化为了脉冲频率的变化。感知信号是断纱检测的根基, 信号处理电路是断纱检测系统的重要环节, 以下是信号处理电路实验测试。将差分放大电路和滞回比较电路合并, 如图 7 所示。

感应区无纱线, 感应区纱线静止, 感应区纱线运动三种状况下, 示波器测出 SIG1、SIG2 和  $V_{out2}$  三个信号变化如图 8 所示。

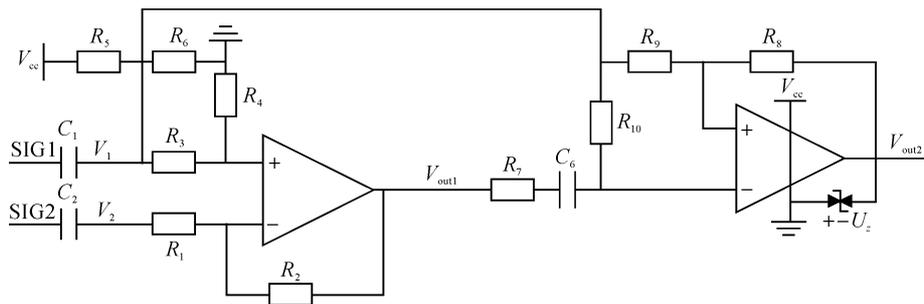


图 7 双运放电路

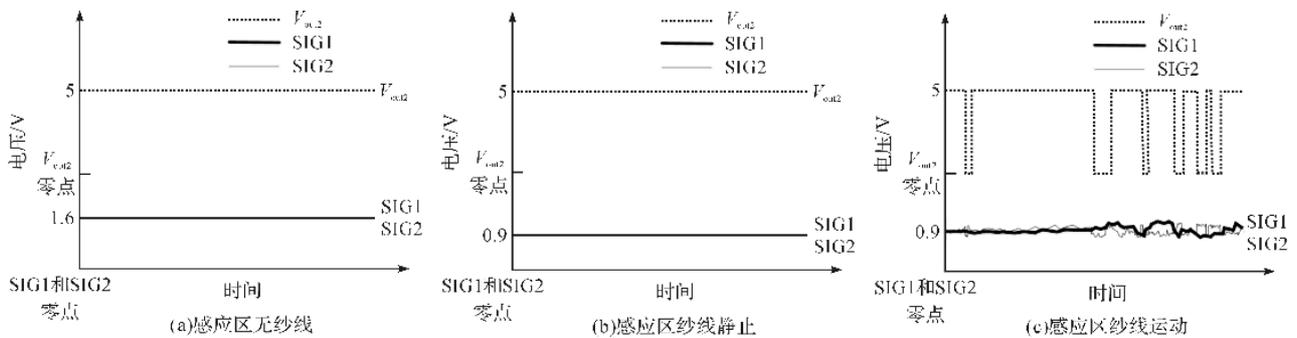


图 8 SIG1、SIG2 和  $V_{out2}$  波形图

当纱线在感应区运动时, 断纱检测器的 MCU (Microcontroller unit, 单片机) 会接收到频率变化的脉冲信号; 当纱线不运动时, 断纱检测器的 MCU 不会接收到脉冲信号或者接收到少量的脉冲信号; 断纱后如果感应区无纱线则 MCU 不会接收到脉冲信号; 断纱后如果感应区有纱线, 则 MCU 可能接收

到少量的脉冲信号。这样就有了断纱的判断依据: 正常送纱过程中, 断纱检测器不断采集脉冲, 如果一段时间内脉冲消失或很少, 可初步判定为断纱; 纺织过程中, 某路纱线某段时间不需要送纱, 此时感应区纱线处于静止状态, 则这段时间内该路断纱检测器不需要进行断纱检测。

### 4 检测系统

纺织生产过程中,大多纺织机械上都需要多路纱线同时送纱,每路纱都需要一个断纱检测器。因此,本系统采用一个断纱检测控制器通过 RS-485 总线同时连接多个断纱检测器的方式,来实现多路纱线的断纱检测。RS-485 通信协议传输速率高、距离远,可实现一对多通信的目的,构造简单、方便维护、成本低<sup>[11]</sup>。断纱检测系统框架如图 9 所示。



图 9 断纱检测系统

断纱检测过程中,纱线的运动状态转化为脉冲信号后,需要通过分析脉冲个数,及时准确判断出纱线状态并把状态信息传输给设备的主控系统,达到断纱检测的目的。为了更加准确及时地判断断纱情况,断纱检测系统工作过程中还需要结合实际工况来进行断纱判断,如送纱速度、纱线粗细等。

断纱检测系统由断纱检测器和断纱检测控制器组成。可独立运行,或可以通过通信方式与设备的主控系统相连接。断纱检测控制器主要负责工艺参数的设置,各路纱线运行状态的收集、显示和报警。在实际应用中,先通过断纱检测控制器设置好基本的工艺参数(也可通过通信接口从设备的主控系统接收工艺参数),软件根据工艺要求完成正常脉冲值范围的分析确定;正常工作时判断在各送纱时间段内脉冲个数是否在容错值范围内,如超过容错值范围判定为断纱,反之正常。断纱后,断纱检测器上红色指示灯常亮,断纱检测控制器上提示。图 10—图 11 是实际断纱检测试验台照片,界面上显示“断纱报警”,报警编号为 1,同时断纱检测器上红色指示灯亮,如图 11 所示。

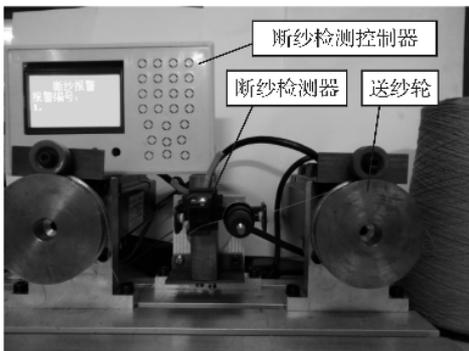


图 10 断纱检测试验台

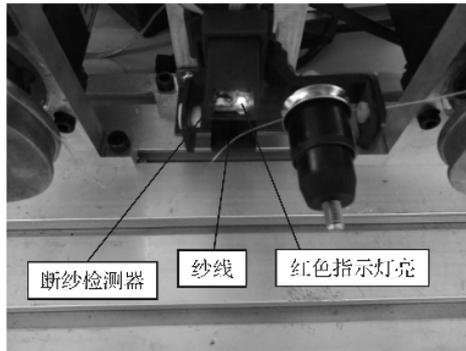


图 11 断纱时断纱检测器状态

### 5 结语

本文提出了一种以红外光作为信号载体的非接触式断纱检测系统,包括了断纱检测器电路、断纱检测控制器设计。利用光电传感的方式,将纱线的运动信号放大并转化为频率变化的脉冲信号来实现断纱判断。分析了纱线运动对光敏芯片输出信号的影响,并结合工况要求,总结了断纱判断依据。本系统采用断纱检测控制器与断纱检测器相结合的方式,能根据具体工况设置断纱检测器的参数,同时断纱检测控制器可实时显示各断纱检测器参数信息和断纱报警信息,满足简单方便的人机交互。经过实际测试,该系统达到了准确断纱检测的要求。

### 参考文献:

[1] 高山. 电子导纱电眼[J]. 针织工业, 2010 (5): 24.  
 [2] Chen G F, Sun H C, Zhai L L, et al. A Capacitance based circuit design for yarn breaking detection[J]. Advanced Materials Research, 2012, 562-564: 1840-1843.  
 [3] 倪士敏. 降低细纱断头的技术与措施[J]. 棉纺织技术, 2010, 38(12): 7-11.  
 [4] 杨艺, 李强, 刘基宏. 细纱断纱远程监控系统设计与应用[J]. 自动化仪表, 2016, 37(2): 45-53.  
 [5] 黄世梅, 傅金枝. 针织大圆机断纱故障检测方法[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(4): 2-3.  
 [6] Eldar M. Line-laser-based yarn shadow sensing break sensor[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2010, 49 (3): 313-317.  
 [7] 顾金华. 光电反射式细纱机纱线断头检测机构: 201220014375. X [P]. 2012-01-13.  
 [8] 李强, 杨艺, 刘基宏, 等. 赛络纺粗纱断纱在线检测[J]. 纺织学报, 2016, 10(37): 2-4.  
 [9] 宋晓亮, 杨艺, 张慧灵, 等. 光电式断纱检测头性能试验研究[J]. 棉纺织学报, 2015, 3(43): 2-5.  
 [10] 宋晓亮, 刘建立, 徐阳, 等. 光电式锭断纱在线检测系统[J]. 纺织学报, 2014, 35(8): 94-103.  
 [11] Holiss J, Williams M, Hoenmans S. The future of land seismic[J]. Harts E&P, 2005, 78(11): 77-81.

## Design of non-contact yarn break detection system

*REN Yao, YUAN Yanhong, XIANG Zhong*

(Zhejiang Provincial Key Laboratory of Modern Textile Machinery,  
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The mechanical broken yarn detecting device is easy to be stuck by oil or dust and cause yarn wear by friction. For these defects, a non-contact yarn break detection system based on photoelectric sensor was designed. The infrared sensing method was used to transform the yarn movement signal into electrical signal. Electrical signals in three states of induction zone without yarn, static yarn and yarn movement were measured through the oscilloscope, and the variation law was analyzed. Combined with the technological requirements of textile equipment, the judgment basis of broken yarn was summarized. The infrared photoelectric detection circuit and signal analysis and processing system were designed. The yarn break detector adopted two through holes to restrict the yarn into the induction zone, and the detector can be arranged in the place where the yarn passes, so its adaptability is stronger. The system test result shows that the system can accurately complete yarn break detection and warning function.

**Key words:** non-contact; yarn break detection; photoelectric detection; infrared sensing

(责任编辑:康 锋)