

# 基于 Smith 预估控制的温度传感器检测装置的研制

孟祥忠 王蔚溪

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院 青岛 266042)

**摘要:** 针对矿井胶带运输系统中温度传感器运行情况不能进行实时现场检测的问题,设计了一种基于 Smith 预估补偿控制的便携式井下运输机温度传感器检测装置。详细介绍了该装置的工作原理,阐述了恒温箱、本安电源电路的硬件设计及基于 Smith 预估控制的驱动系统的设计,并给出了装置的软件主程序流程图。实验结果和现场运行结果表明该装置具有携带方便、测量准确、实时现场检测等特点。

**关键词:** 矿井胶带运输机;温度传感器;恒温箱;Smith 预估控制

中图分类号: TP2 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.80

## Based on the Smith prediction control of the development of the temperature sensor detection device

Meng Xiangzhong Wang Weixi

(College of Automation & Electronic Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

**Abstract:** For the problem that temperature sensors of mine belt transport system can't be inspected in real time and on site, design a based on Smith estimated compensation control for portable underground conveyer temperature sensor detection device. The working principle of the device is introduced in detail, the hardware design of thermostat, intrinsically safe power supply circuit and the drive system based on the Smith prediction control is expounded and the flow chart of main program software is given in this paper. The experimental result and field operation results show that the device has the characteristics of convenient carrying, accurate measurement, real-time and on-site detection and so on.

**Keywords:** mine belt conveyor; temperature sensor; thermostat; Smith predictive control

### 1 引言

胶带运输机是现代化煤矿高产高效的主要运输设备<sup>[1-2]</sup>,其运行状况的好坏直接关系到煤矿的安全生产。为此,在胶带运输系统中设置了温度监测保护传感器<sup>[3]</sup>。按照规定,煤矿需对所用传感器定期进行测试,确保所用传感器具有较高的灵敏性和可靠性。以往的测试手段一般是按照周期送到生产厂家测试,测试周期长。在规定的检测周期内,保护传感器如果出现问题,就不能及时捕捉运输机的故障信息,给运输机的运行带来安全隐患。为此,研制了一种 Smith 预估补偿控制的便携式井下胶带运输机温度传感器检测装置<sup>[4-5]</sup>,该装置能对矿井胶带运输机的温度传感器进行实时现场检测,可方便快捷的完成温度传感器性能的检测<sup>[6]</sup>。

### 2 检测装置工作原理

便携式井下胶带运输机温度传感器检测装置总体结构

如图 1 所示<sup>[7]</sup>。

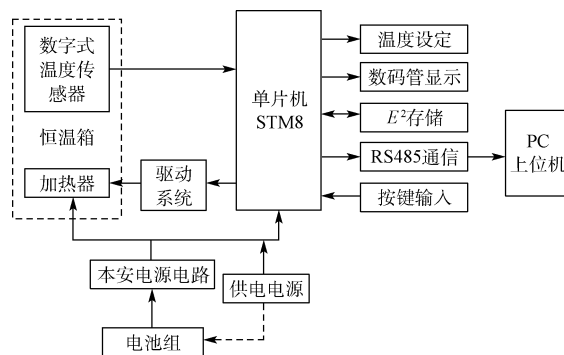


图 1 便携式井下胶带运输机温度传感器检测装置总体结构

图 1 中,恒温箱用来检测待测的温度传感器,驱动系统电路控制加热器的温度,数字式温度传感器检测恒温箱的

实时温度,并将采集信息送到单片机,数码管显示恒温箱的实时温度, $E^2$  存储用以存储故障温度传感器的编号,本安电源电路可以防止充电电池正负极短路产生电火花或爆炸引起的安全隐患。在井下,该装置通过电池组供电;在井上,该装置通过电源适配器将额定电压 220 V 降为 12 V 直流电压供电,并对电池组进行充电。该装置通过 RS485 通信将故障温度传感器编号上传到上位机<sup>[8]</sup>,以便工作人员对相应故障温度传感器进行后续处理。

工作原理为当温度设定后,单片机 STM8 从数字式温度传感器采集恒温箱内的实际温度信号<sup>[9]</sup>,并与温度设定值进行比较通过 Smith 预估补偿环节后控制驱动电路使加热器的温度达到设定温度。在现场检测过程中,只需将被测矿用温度传感器探头插入恒温箱的温控内即可,如果被测温度传感器在响应时间内动作,即说明性能良好;如不能可靠动作,通过按键记录下该故障温度传感器编号。当对井下所有待测温度传感器进行检测完毕后,在井上将检测的数据传输到上位机,可以直观的显示在模拟界面中,方便工作人员对故障温度传感器统一进行更换。

### 3 装置硬件设计

#### 3.1 恒温箱设计

温度可调的恒温箱对保证井下胶带运输机温度传感器的测试精度具有重要的意义。本文中的恒温箱具有在设定

温度下保持恒温,并且温度可在室温至 100 ℃ 范围内可调、按设定温度加热等功能。其结构如图 2 所示。

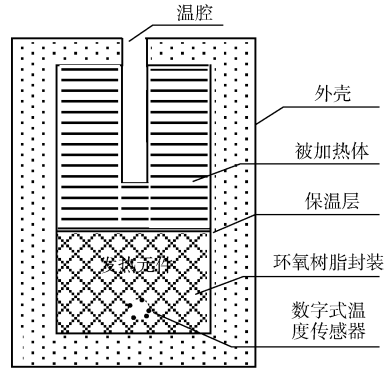


图 2 恒温箱结构

恒温箱选用 2 kW 单端加热器进行加热,加热控制器采用 PWM 斩控式触发控制单端加热器的加热功率,以此精确控制温箱的温度。高温环氧树脂进行封装是为了满足本安的要求,同时与整个绝缘木质外壳之间形成保温层,确保恒温环境。封装在环氧树脂中的数字式温度传感器 DS18B20 实时检测恒温箱的温度<sup>[10]</sup>。温控用来放置待测井下胶带机温度传感器的探头。

#### 3.2 本安电源电路设计

根据国家标准 GB3836.4-2010 和国家矿用产品安全标志中心的相关要求,设计了本安电源电路<sup>[11]</sup>,如图 3 所示。

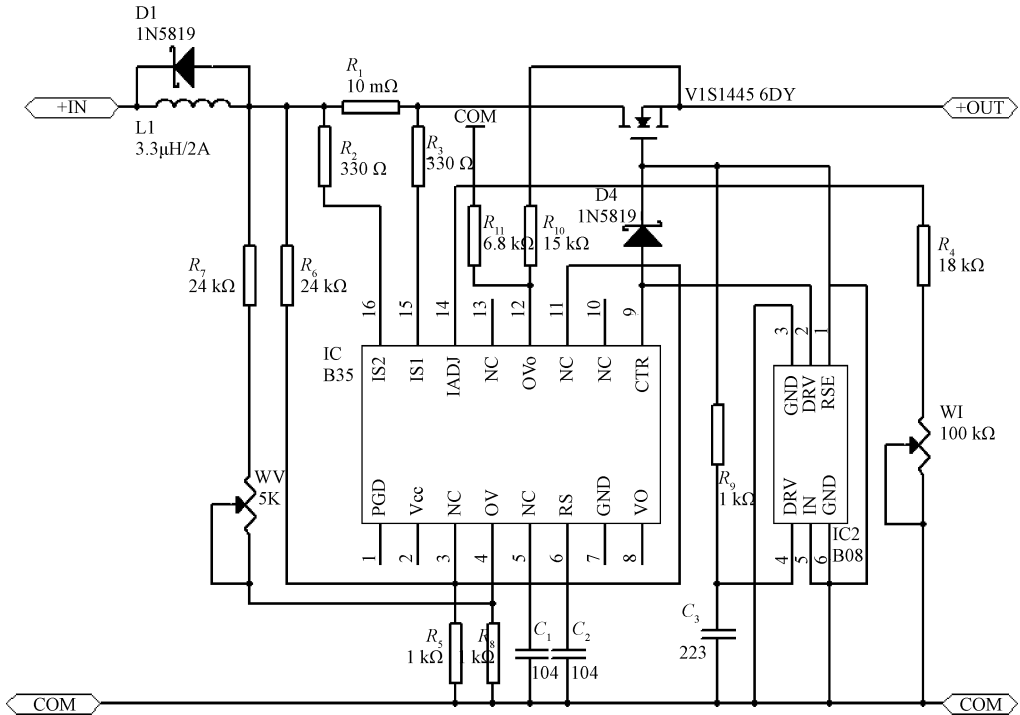


图 3 本安电源电路

本安电源电路采用本安电源专用芯片 B35,输入为 12 V、4 AH 的镍氢电池,实现 12 V 本安电压输出,最大输

出电流为 1.2 A。本安电源电路实现了非本质安全的镍氢电池与其他供电设备的电气隔离,并且具有过压、过流保

护功能。在正常工作和规定的故障条件下,镍氢电池产生的任何电火花或其他热效应均不会引起爆炸,提高了装置的安全性能,消除了电火花带来的安全隐患。

### 3.3 基于 Smith 预估控制的驱动系统设计

实现恒温箱的温度精确控制是测试温度传感器能否正常动作的可靠保障,为了有效解决恒温箱温度控制过程中惯性时间常数和纯滞后时间的影响<sup>[12]</sup>,本文设计了基于 Smith 预估补偿控制的驱动系统。其控制原理如图 4 所示,在原有闭环系统的基础上附加一个预估补偿环节,消除了纯滞后时间的影响,从而提高了温度控制的精度。

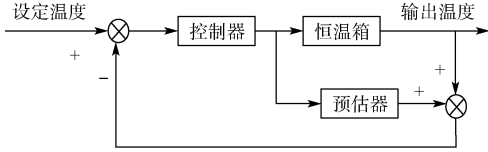


图 4 驱动系统原理

Smith 预估器的核心是对滞后时间的预估补偿算法,其实现原理为输入信号值  $x(t)$  经过滞后时间  $\tau$  后得到输出信号值  $y(t)$ ,即:

$$y(t) = x(t - \tau) \quad (1)$$

经过拉氏变换后,其时滞因素就可以用传递函数的形式表示为:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = e^{-s\tau} \quad (2)$$

传统的驱动控制系统可以简化为图 5 的系统<sup>[13-14]</sup>。

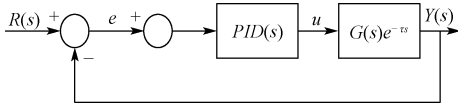


图 5 传统的驱动控制系统

图 5 中,  $R(s)$  为恒温箱设置目标温度,  $Y(s)$  为恒温箱实际输出温度,  $e$  为  $R(s)$  和  $Y(s)$  差值,  $PID(s)$  为控制器的传递函数,  $u$  为控制器的输出,  $G(s)e^{-s\tau}$  表示带滞后环节的被控系统的传递函数。

Smith 预估控制驱动系统的基本实现原理<sup>[15]</sup>:通过估计恒温箱加热器的控制温度特性,在传统闭环控制负反馈的基础上附加一个预估补偿环节  $G(s)(1 - e^{-s\tau})$ ,如图 6 所示,从而有效的补偿温度控制中的纯滞后时间。

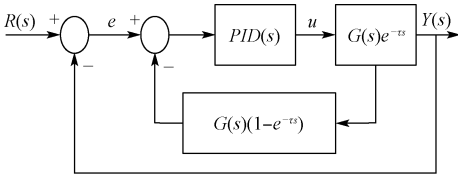


图 6 含 Smith 预估的控制系统

基于 Smith 预估补偿器的传递函数为:

$$PID(s) = \frac{PID(s)}{1 + PID(s)G(s)(1 - e^{-s\tau})} \quad (3)$$

经补偿后的闭环传递函数为:

$$PID^*(s) = \frac{PID(s)}{1 + PID(s)G(s)} e^{-s\tau} \quad (4)$$

可以看出,经过补偿后的闭环系统,其驱动电路滞后特性  $e^{-s\tau}$  已经到了闭环回路以外,使系统的闭环特征环节不含有纯滞后项,基于 Smith 预估补偿的温度控制系统的优势在于提前预估出系统在扰动条件下的控制温度特性,使得原先滞后的被控温度提前作用到控制器,从而减少了温度超调,提高了响应速度和系统的控制精度。

## 4 装置软件设计

软件程序设计是基于 SlickEdit 开发平台,采用模块化和结构化程序设计方法,主要包括以下几个部分:主程序初始化、按键设置和显示子程序、温度采集和驱动控制恒温箱加热程序、E<sup>2</sup> 存储和 RS485 通信程序、欠压报警。

主程序软件流程图如图 7 所示。

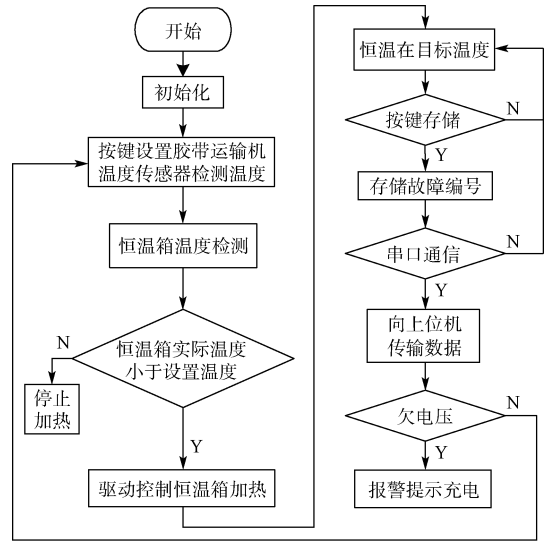


图 7 主程序软件流程

## 5 检测装置的性能测试

### 5.1 Smith 预估补偿控制的恒温箱加热器性能测试

为了验证 Smith 预估补偿控制的恒温箱加热器的温度控制性能,本文设计了 Smith 预估补偿控制的恒温箱加热器与传统 PID 控制的恒温箱加热器,做了对比试验。两套装置在相同的环境下,从相同的温度加热到设定温度 50°,每隔 10 s 采集一次温度并分别上传到上位机,直到测试结束。由 MCGS 组态软件<sup>[16]</sup>将上传的数据绘制成实时曲线进行对比,如图 8 所示。

由图 8 可以看出,在相同的测试环境和 PID 参数情况下,基于 Smith 预估控制的温度加热器能够精确的控制加

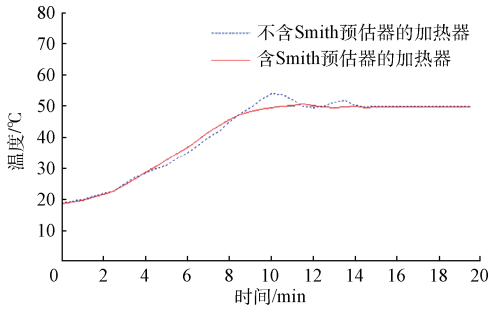


图 8 有无 Smith 预估控制的加热器性能对比图

热温度,改善温度控制系统的超调和震荡,提高了加热器的控制精度。

## 5.2 现场测试

为了检测本文研制的 Smith 预估控制的矿用便携式温度传感器检测装置的实用效果,笔者在淄博矿业集团葛厅煤矿进行了现场测试。

葛厅煤矿井下温度传感器的整体状况如图 9 所示,左侧地图表示井下胶带输送机温度传感器的实际位置,右侧指示灯用来显示对应地点的矿用温度传感器是否故障,若指示灯为绿色则矿用传感器是正常工作,若为红色则表示故障,工作人员需对该温度传感器进行检修。经过长期反复现场测试,验证了本文所研制装置的安全性、实用性和便捷性。



图 9 井下温度传感器状况显示图

## 6 结 论

研制了一种基于 Smith 预估补偿控制的便携式矿用井下胶带输送机温度传感器检测装置,介绍了该装置的工作原理、基于 Smith 预估补偿控制的驱动系统设计及其他软硬件设计。该装置已经在淄博矿业集团葛厅煤矿投入使用,实际应用结果表明该装置可以便捷有效的对胶带输送机的矿用温度传感器进行不定时检测,提高了胶带输送机运行的安全性和可靠性,对保证煤矿的高产高效和安全生产产生了较大的社会和经济效益。

## 参 考 文 献

- [1] 朱艳军,任晓迪,席冉. 煤矿主运输带式输送机故障监测和防治系统研究[J]. 中国煤炭,2014,40(4):73-75.
- [2] 燕平,尚磊磊. 煤矿带式输送机设备设计选型分析[J]. 山东煤炭科技,2016(1):103-104.
- [3] 孙怀远,宋来全,杨丽英,等. 热电偶温度检测系统设计与应用[J]. 电子测量技术,2014,37(12):86-89.
- [4] 李良,蒋宇晨,徐弢,等. 便携式制动性能测试仪校准装置的研制[J]. 仪表技术与传感器,2015(1):31-33.
- [5] 王林生,靳果,刘延寿. 便携式智能 LCF 测量仪的研制[J]. 国外电子测量技术,2015,34(11):91-95.
- [6] 孔令荣,王昊,庄涛. 多点无线温度监测系统研究与实现[J]. 电子测量技术,2014,37(8):97-103.
- [7] 张磊,史云,赵学亮. 基于单片机的温度监测系统的设计[J]. 煤炭技术,2011,30(06):39-41.
- [8] 李美花,闫卫平,王颖,等. 微传感器阵列多通道数据采集和处理系统[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(2):311-317.
- [9] 徐正平,沈宏海,许永森. 具有温度补偿的 APD 阵列信号采集电路[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(10):1500-1506.
- [10] 韦青燕,张天宏,沈杰,等. 恒温型热线风速测量系统动态特性分析及试验验证[J]. 仪器仪表学报,2015,36(10):2265-2272.
- [11] 周雪峰. 一种新型矿用本安电源保护电路的设计[J]. 工矿自动化,2013,39(7):101-103.
- [12] 白雄怀,王文兰. 新型 SMITH 预估控制算法在主汽温控制系统中的应用研究[J]. 工矿自动化,2010,36(1):58-60.
- [13] 胡开明,王怀平,葛远香. 基于 Smith 预估控制和组态技术的锅炉内胆温度控制[J]. 东华理工大学学报:自然科学版,2014,37(3):316-320.
- [14] 王晓娜,左晓菲,张辉,等. Smith 模糊 PID 匀速升温控制策略研究[J]. 自动化仪表,2015,36(01):87-90.
- [15] 时靖,马柳,陈广华. 一种改进型 Smith 预估控制器的设计与仿真[J]. 国外电子测量技术,2012,31(7):56-58.
- [16] 刘少军,张思雨. 基于 MCGS 的污水处理集散控制系统的设计[J]. 国外电子测量技术,2015,34(9):48-51.

## 作 者 简 介

孟祥忠,1964 年出生,博士,教授,研究方向为智能控制理论与应用、电力系统监控与保护技术。

王蔚溪,1991 年出生,硕士研究生,研究方向为智能控制理论及应用。

E-mail:wxxwang101@163.com