

基于 CH376 的高铁电缆温度检测系统设计^①

范歆琦¹, 王宇俊¹, 范子川¹, 杨萌林^{1,2}

1. 西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院 自动化研究所, 北京 100190

摘要: 在我国高铁飞速的发展过程中时常发生意外事故, 这些事故大多出自高铁电缆在高负荷运作下电缆温度升高, 导致电缆绝缘性能降低, 尤其是电缆接头、电缆排列密集的地方, 因此对电缆接头温度的检测显得尤为重要。就成都地区独特的地形和排线走势分析设计高铁电缆温度检测系统, 考虑到地形、排线成本、工程实施等多方面的原因排除实时检测的设计, 而采用本地存储的方式。通过 IAP15W4K61S4 主控芯片, DS18B20 数字温度传感器和 CH376U 盘管理芯片搭建测温系统, 将采集到的温度值实时存入 U 盘中, 相对于目前的测温方式有了非常大的改善。该系统独立存在, 成本低、体积小、抗干扰能力强、易于安装, 能够很好地实现测温, 为电力电缆测温系统的研究提供了一个新的方向。

关键词: 温度检测; 本地存储; CH376 芯片

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)06-0094-06

自 2010 年来, 成都铁路地段因高铁电缆接头的问题发生 20 多起事故, 高铁电缆在长期承受高电压、大电流、连续运行的过程中, 出现了散热不均、绝缘老化、接头松动等现象, 引起高铁电缆温度异常, 造成电缆绝缘性能降低, 尤其是电缆接头、电缆排列密集的地方, 如不及时处理, 过高的温度会导致爆炸^[1-2]。

本文就成都铁路局高铁电缆进行调查分析研究。为了避免高铁电缆意外事故的发生, 目前该地区的处理办法是安排固定的人员手持红外测试设备夜间天窗巡视, 一般是在晚上 11:00~12:00 之间, 周期为一个月一次。由于高铁电缆铺设距离长、范围广、走向复杂、工作量大, 繁重致使工作人员劳动强度很大。另外, 工作人员巡视的过程中, 高铁已经停止运行, 测出来的温度必然低于高铁在负荷运行时的温度, 测出来的数据参考意义并不是很大, 即使存在很多的隐患也十分难发现。如果采用在线监测的方法^[3], 由于成都地区地形复杂、铺设距离长, 在线检测方式将导致费用花费巨大且难度较大。

电缆温度的变化是一个相对缓慢的过程^[4], 针对研究地区崎岖的地形, 实时监控成本高也难以实施的问题, 本文提出了一种方法, 在隧道内有电缆接头的现场设置若干工作站, 现场工作站的任务是将监测点的信号采集到站内进行处理, 处理后的数据存储在手机 U 盘, 工作人员在固定时间对手机 U 盘进行更换回收, 从而采集电缆接头的温度。这种方式不仅将数据完整存储, 且简化了系统结构, 使安装调试和维护更加方便。同时还可以降低原有工作方式的人工成本, 避免数据不准确, 提高效率 and 准确度, 又能避免在线或无线方式检测的高设备成本和难以实施的尴尬局面。

① 收稿日期: 2016-05-30

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划(20150635063)。

作者简介: 范歆琦(1995-), 男, 河南洛阳人, 本科, 主要从事自动化控制研究。

通信作者: 王宇俊, 教授。

1 系统概述

结合当前嵌入式领域的高速发展和成都地区高铁电缆温度检测的实际需求以及工程实践, 科学地设计了存储式的高铁电缆温度离线检测系统. 本系统以 IAP15W4K61S4 增强型单片机为主控芯片进行整体系统的核心控制, DS18B20 数字温度传感器为温度检测模块进行温度数据的采集, CH376U 盘管理芯片为数据存储模块进行温度数据的本地写入.

2 系统设计

2.1 电缆测温系统供电技术

目前, 高压电缆测温系统常用的供电方式有太阳能供电、电池供电^[5](包括蓄电池、锂电池、移动电源等)、交流互感供电^[6], 激光供能^[7]等.

电池供电方式的优点在于安装十分方便、体积小, 并且输出电压十分稳定, 受环境干扰较小, 但是电池的寿命有限, 安装在高压线附近必须具备耐高温、耐高压的特性. 不过, 近年来随着移动电源的使用, 开发者不断增大容量, 提高耐温值和耐压值, 尤其是大容量移动电源, 逐渐克服了传统电池的部分缺点. 考虑到测温系统的开发周期、单片机的功耗和各种供电方式的优缺点, 本系统采取电池供电中的一种方式, 即大容量可充电移动电源供电.

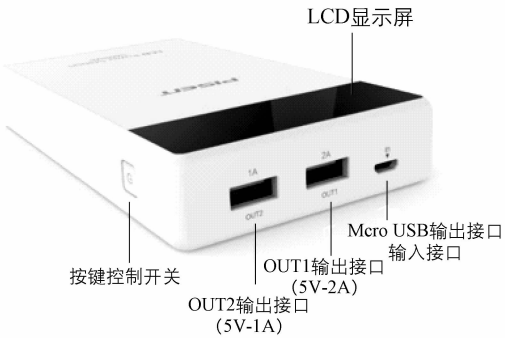


图 1 系统的供电单元

如图 1 所示, 本系统采用品胜公司超大容量移动电源 TS-D199, 使用移动电源可以隔离来自交流电源的干扰. 理论上, 20 000 mHA 容量的电源, 低于 20 mW 的系统可以工作 42 d. 实验证明, 本系统可以连续工作 35 d 以上, 完全满足系统的要求.

2.2 高铁电缆测温技术

高铁电缆在负载和空载时的温度有很大的不同, 对电缆 24 h 不间断进行检测显得十分有意义. 目前国内高压电器设备的测温方式一般有^[8]: 热敏电阻型测温法、光纤测温法、光纤光栅测温法、红外测温法以及数字温度传感器法. 应用最广泛的是红外线测温技术, 其特点是温度响应快、对原有的环境影响较小. 但是红外测温技术对于隐蔽的地方无法直接测量, 需要人工巡查, 另外红外线传输距离短, 也容易受到周围环境的影响, 目前该地区就采用这种方式. 本测温系统主要针对电缆接头以及排线密集的地方进行温度的检测, 因此使用数字温度传感器探头对电缆表面的温度进行测量, 在此基础上, 选用数字传感器 DS18B20^[9], DS18B20 具有超低功耗工作方式, 测温范围为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$, 电缆测量结果以 9~12 位数字量方式进行串行传送.

如图 2 所示, DS18B20 通过单总线的方式与单片机连接并进行数据的传输, DS18B20 有两种供电的方式, 分别为寄生电源供电和外接电源供电, 本系统使用外接电源供电的方式.

由于单片机是单总线器件, 所以在使用过程中需要严格控制时序. 单片机对 DS18B20 的访问流程是: DS18B20 初始化, 操作 ROM, 操作存储器, 操作数据. DS18B20 是单总线进行数据传输,

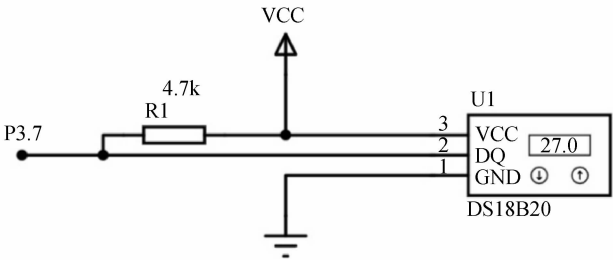


图 2 DS18B20 接口电路

所以每一步操作都要严格遵循一定的工作时序和通信协议,为了确定微小的延时,设计中采用软件模拟的方式,单步调试,找到延时规律,最终的结果与实际的情况相差甚微.单片机控制 DS18B20 采集温度,根据 DS18B20 的通讯协议,需要经历 3 个步骤:(1)主机读写之前要 DS18B20 进行复位操作;(2)复位成功之后主机发送一条 ROM 操作指令;(3)最后主机发送 RAM 指令^[10].进行温度测量时仅仅知道温度的数据远远是不够的,时间的记录也是非常必要的,本系统使用 DS1302^[11]进行时间、日期的记录.

2.3 温度时间数据的存储

数据存储采用 CH376^[12] U 盘管理芯片.工作方式上:支持主机模式和设备模式,可以灵活地切换两种工作模式,非常方便用于控制 U 盘;通信方式上可以实现 1.5 Mbps 低速通信和 12 Mbps 全速通信;数据传输方式上支持控制传输、批量传输以及中断传输;硬件方面:提供了 8 位并行接口、SPI 接口和串行接口,可以根据单片机资料灵活使用;在文件管理方面:有 FAT32、FAT16 以及 FAT12 多种文件系统管理固件,可以通过主机直接发送命令来实现对文件的一系列操作,如创建、删除、读写. CH376 在 U 盘连接方式上提供了两种方式:扇区读写和字节读写文件;在兼容性方面:CH376 兼容 USB2.0 及 USB3.0,可选择 3 V,3.3 V 以及 5 V 电源供电,工作在设备方式兼容 CH372,工作在主机方式兼容 CH375,这使得应用范围非常广泛^[13].

CH376 提供了两种读写 U 盘数据的方式:以字节的方式和以扇区的方式写数据.以字节的方式写入,每次写入的数据长度最大为 65 535 个字节,即 64 KB;而以扇区的方式写入时,每个扇区的大小为 512 Byte,相比之下写入速度更快,但是功耗会提升.本系统每次写入到 U 盘中的信息速度为 22 Byte/min,因此选择以字节的方式写入,满足工程需求的同时又降低功耗.

该程序模块首先在 U 盘中打开文件 TEMP001.XLS,文件不存在,则创建文件,如果文件存在,那么通过函数 CH376ByteLocate(0xFFFFFFFF)定位到文件的尾部.以下为 CH376 创建文件操作程序:

```
s = CH376FileOpen( "/TEMP001.XLS" ); /* 打开文件,该文件在根目录下 */
if(s == USB_INT_SUCCESS) { /* 文件存在并且已经被打开,移动文件指针到尾部以便添加数据 */
    s = CH376ByteLocate( 0xFFFFFFFF ); /* 移到文件的尾部 */
    mStopIfError( s );
}
else if ( s == ERR_MISS_FILE ) { /* 没有找到文件,必须新建文件 */
    s = CH376FileCreate( NULL ); /* 新建文件并打开,如果文件已经存在则先删除后再新建,不必再提供文件名,刚才已经提供给 CH376FileOpen */
    mStopIfError( s );
}
else {
    mStopIfError( s ); /* 打开文件时出错 */
}
```

接下来从温度传感器获取温度数值,从时钟模块获取日期时间等信息,按照字节的方式写入,每次写入温度、时间、日期的数据量为 22 Byte,若每分钟取样一次,那么一个月要消耗的 ROM 空间为 $30 \times 24 \times 60 \times 22 = 95\,044$ Byte,约为 0.9 MB,通过采取独立按键触发单片机的外部中断来结束文件写入,待数据写入完毕,发送 CMD_FILE_CLOSE 命令关闭文件,并且自动更新文件的长度,完成数据的采集.

3 系统实现与测试

系统上电之后,开始 CH376 初始化、DS18B20 初始化、DS1302 初始化、键盘初始化,如果初始化不成功,重复该操作,直到成功为止.初始化的过程中完成以下事情,CH376 完成和主控芯片之间的通信测试.

DS18B20 初始化, 开始温度测量. 如果第一次上电, 向 DS1302 写入时间和日期, DS1302 由双电源供电^[14], 当外部电源断电之后, 内部电源仍然可以计时, 系统后续过程中就不需要重新写入时间日期等信息; 初始化完成之后等待 U 盘的接入, 如果 U 盘接入, 会触发单片机中断, 检测到执行后续操作, 否则继续等待. U 盘接入成功之后, 开始创建文件等操作, 如果文件不存在, 则创建. 如果存在, 则在文件结尾追加, 然后打开文件, 并启动温度检测, 将此时检测到的温度、时间、日期写入 U 盘中, 存储格式为 XLS. 随后, 再次检测通讯, 如果通讯正常, 再检测外部中断按键是否按下, 如果没有按下, 表示一切正常, 重复以上操作, 继续测量温度, 一直到通讯出现故障或者外部中断停止按键按下为止. 系统的程序流程图, 如图 3 所示. 工作人员可以每隔固定的时间将 U 盘收回, 分析数据即可.

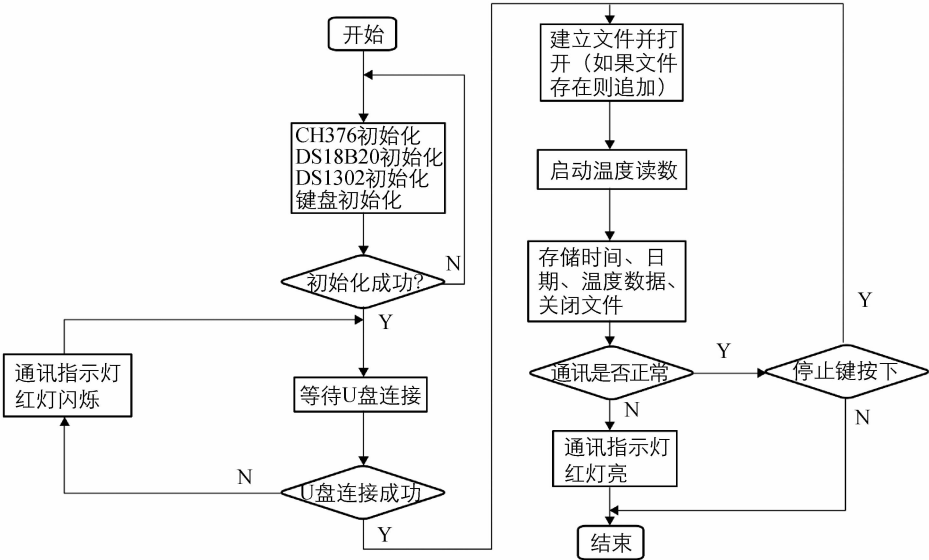


图 3 系统程序流程图

设备在使用的过程中由于采用了移动电源, 即与电网进行了隔离, 所以不用考虑电网上电流和电压不稳定带来的直接影响, 但是必须考虑电缆产生的电磁波干扰. 设备需要采用特制的金属壳进行多层保护, 屏蔽高频和低频的电磁波, 同时防止雨水、灰尘等进入设备, 使用的过程中只需要将温度探头放置在待测部位即可. 为了确保该设备的可靠性和稳定性, 采取以下措施进行测试和不断改进直到满足要求. 首先, 使用设备对室内的空调电缆线进行检测, 并对测试的环境进行测量点升温 and 降温, 进行可靠性测试, 其中温度计的精度为 0.1℃, DS18B20 测量精度为 0.062 5℃, 四舍五入保留一位小数, 并且把温度计测得的温度看作是实际温度. 测试结果如表 1 所示, 表 1 显示了部分实验数据, 将全部数据整理以实际温度为横轴, 以设备探头测量温度为纵轴, 并画出 $y=x$ 进行对比, 如图 4 所示.

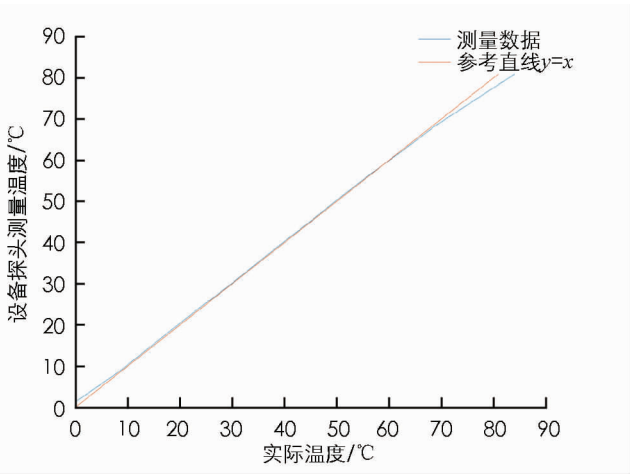


图 4 电缆实际温度与设备测量温度对比

通过以上的数据, 可以看出电缆实际温度与设备测量的温度并不是完全吻合, 原因在于 DS18B20 对温度变化的敏感度稍低, 为了保证数据的准确性和完整性, 确定采样的频率为 1 次/min, 从而尽可能减小误差.

表 1 设备可靠性测试						℃
方式	施加的最高温度	过渡温度	电缆负载时温度	室内温度	电缆空闲时温度	施加的最低温度
温度计测量	85.6	56.4	25.7	25.4	25.4	0
设备测量	82.2	56.6	25.9	25.5	25.5	1.3

接下来,确保系统能够正常工作一个月以上,进行稳定性测试,设计两个同样的设备都采用移动电源进行供电,分别在室内和室外来模拟隧道内和露天的环境,测试结果如表 2 所示.

表 2 设备工作稳定性测试			
设备所处环境	持续工作时间/d	数据量/kB	耗能量/mAH
室内环境	32	1 057	1780(89%)
室外环境	31	1 034	1720(86%)

从以上数据可以看出:采用 20 000 mHA 移动电源可以支持设备持续工作一个月以上,采集的数据量能够放置在一个文件中,一般来说,在存储设备中,一个文件的大小低于 500 M,对于存储设备都没有多大的影响.

由于现场环境的特殊性,并不能随便进入测试,所以需要对设备可能遇到的情况进行测试显得十分重要.测试的过程中,在设备的附近增加电磁干扰,设备仍然能够正常工作,从而说明设备具有良好的可靠性和稳定性.

4 结 论

本文提出采用 CH376 结合 U 盘本地存储的意义在于系统充分考虑当地的实际情况,可以最大程度降低成本,有效避免强磁潮湿等环境干扰,快速投入工程应用,顺利解决目前的测温难题.同时,为无线网络、实时监控遇到恶劣环境以及复杂地形无计可施的情况提供了新的研究方向.采用 DS18B20 数字温度传感器,获得高分辨率数字温度,能够实现对高铁空载和负载的两种情况下进行测量,使得数据更加可靠和准确;采用 CH376U 盘管理芯片,得到的数据量大,具有实际的工程意义;采用品胜公司的移动电源供电,大大缩短了开发周期,满足了一个月以上供电的测温需求,避免了高压取电的各种干扰,提高了系统的可靠性,而且体积小,安装十分方便.本系统为了尽可能地降低功耗,没有设计使用显示模块.

参考文献:

[1] 徐元哲,王乐天,刘雪冬,等. 电力电缆接头测温系统的设计 [J]. 高电压技术, 2009, 35(12): 2977—2982.

[2] 周江川. 基于无线传感网络的电缆接头温度检测系统 [J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 79—81, 88.

[3] 罗 毅,李 莺,姚 毅,等. 基于 ARM 的金属氧化物避雷器在线监测系统设计与实现 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(10): 49—56.

[4] 王萍萍,孙凤杰,崔维新. 电力电缆接头温度监控系统研究 [J]. 电力系统通信, 2006, 27(2): 59—61, 74.

[5] 周 垚. 高压输电线路导线温度在线监测系统研究与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.

[6] 刘亚东,盛戈皞,王 葵,等. 基于相角控制法的电流互感器取电电源设计 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 72—76.

[7] 吴士普. 激光供电的光电电流互感器研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.

[8] 金振东,许 箴,金 峰,等. 国内高压带电设备测温方式综述及分析 [J]. 电力设备, 2007, 8(12): 57—61.

[9] 张 军. 智能温度传感器 DS18B20 及其应用 [J]仪表技术, 2010(4): 68—70.

[10] 李 钢,赵彦峰. 1-Wire 总线数字温度传感器 DS18B20 原理及应用 [J]. 现代电子技术, 2005, 28(21): 77—79.

[11] 姚德法,张洪林. 串行时钟芯片 DS1302 的原理与使用 [J]. 信息技术与信息化, 2006(1): 92—94.

[12] 冉自博. 基于 U 盘高速串行数据记录器设计 [D]. 太原: 中北大学, 2014.

- [13] 南京沁恒电子有限公司. CH376 技术手册 [EB/OL]. (2010-09-26) [2016-06]. http://www.wch.cn/download/CH376DS1_PDF.html.
- [14] 赵海兰, 朱 剑, 赵祥伟. DS1302 实时显示时间的原理与应用 [J]. 电子技术, 2004, 31(1): 43-46.

On Temperature Detection System Design of High Speed Railway Cable Based on CH376

FAN Xin-qi¹, WANG Yu-jun¹,
FAN Zi-chuan¹, YANG Meng-lin^{1,2}

1. School Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: China witnesses a rapid growth in its high-speed railway construction in the past few years. The development also brings some accidents caused mainly by excessive time and high load operating of high-speed railway cables, especially in cable connectors and cable-intensive places. It is, therefore, vital to detect the temperature of high-speed railway cables. In this paper, in consideration of the unique topography, cable costs, project implementation, etc. , a temperature detection system with local-storage has been designed for high-speed railway cables. The proposed system consists of IAP15W4K61S4 as main control chip, DS18B20 as digital temperature sensor and CH376 as U disc management chip. The system collects temperature record and store it in U disk, which proves to be an impressive improvement on the existing systems. This system can detect cable temperature accurately with advantages of independent operation, low cost, small size, and strong anti-interference ability. In addition, the proposed temperature detection system provides a new direction to power electronics research.

Key words: temperature detection; local-storage; CH376 chip

责任编辑 汤振金