

综合管廊内电缆附件无线红外测温系统设计

王 朔¹, 轩莹莹², 胡 源¹, 吴 鹏¹, 张 帅¹, 邢 琳¹

(1. 国网河北省电力有限公司经济技术研究院, 石家庄 050021; 2. 国网河北省电力有限公司检修分公司, 石家庄 050071)

摘要:针对综合管廊中电力电缆设备,以电缆终端或接头处作为温度监测目标,应用红外测温技术和无线通信技术,以STM32低功耗单片机为主控芯片,利用TMP007完成电缆红外温度测量,通过低成本串口WIFI模块ESP8266组成多节点网络并实现无线通信功能,研究设计了一套数字温度监测系统。试验结果表明,该温度监测系统测量误差在0.5℃以内,能够实时监测被测物体温度变化,可为综合管廊内电缆安全运行与火灾预防提供数据支撑。

关键词:电缆附件;红外测温;系统结构;软件设计;测温实验

中图分类号:TM93 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2021)01-0019-04

Design of Wireless Infrared Temperature Measuring System for Cable Accessories in Comprehensive Pipe Corridor

WANG Shuo¹, XUAN Yingying², HU Yuan¹, WU Peng¹, ZHANG Shuai¹, XING Lin¹

(1. State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd. Economic Research Institute, Shijiazhuang, 050021, China;

2. State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd. Maintenance Branch, Shijiazhuang, 050071, China)

Abstract: Although the comprehensive pipe corridor could save urban land resources and beautify urban landscape, there were many pipelines in the pipe corridor, and the cause of fire was complex. Among them, the cable fire caused by excessively high temperature in the cable accessory was the most serious. Therefore, it was necessary to design a reliable temperature measurement system for cable accessories and to monitor the temperature of cable terminals or intermediate joints. This paper presented a wireless infrared temperature measuring system for power cable in the comprehensive pipe corridor based on infrared temperature measuring and radio frequency communication technology. This system used STM32 as the development platform, used TMP007 infrared temperature sensor to collect cable temperature, transmitted data of each temperature measuring node to the data management center through ESP8266 wireless module, and finally transferred the data of the management center to the server through RS485 bus, realizing the functions of multi-node temperature collection and wireless data transmission. It was verified by experiments that the measurement error of the temperature monitoring system was within 0.5K, which could monitor the node temperature in real time, and provide guarantee for the safe operation and fire prevention of power cables in the comprehensive pipe corridor.

Key words: cable Accessories; infrared temperature measurement; system structure; software design; temperature measuring experiment

综合管廊是指在道路、厂区或者景观地下集中铺设电力、燃气、通信、供水的公共隧道,从而实现统一规划、集中建设和便于管理的功能。综合管廊的建设和投运极大的节约了城市用地,实现了城市地下空间的综合开发利用,在土地资源日趋紧张的今天受到了越来越多的追捧。目前,我国北京、上海、深圳和青岛等城市均开展了地下综合管廊建设,并预计建成一批具有国际先进水平的地下综合

管廊投入运营,改善城市地面景观^[1-3]。综合管廊内由于管线众多,起火原因复杂,包含电气火灾,检修过程中明火引发的火灾,燃气引发的可燃物火灾等,其中,最主要的是电力电缆火灾。电缆长时间带电运行中,电缆终端或接头处由于接触电阻大,温度升高快,严重的还会引发电缆材料的内焦、松弛甚至燃烧现象^[4]。综合管廊位于地下,空间相对狭小,一旦电力电缆发生火灾,空间内热量迅速集

收稿日期:2020-05-14

作者简介:王 朔(1995-),男,助理工程师,主要从事电网设计方面工作。

聚,火灾蔓延趋势快。如果电缆燃烧产生的一氧化碳等有毒气体不能及时排出,严重影响消防人员对火灾进行扑救^[5-6]。因此,设计可靠的电缆附件温度监测系统,做好电缆火灾预警工作,从源头上减少电缆火灾的发生至关重要。

1 系统设计

1.1 系统结构

综合管廊内电缆附件红外测温系统以 STM32 为开发平台,使用 TMP007 红外温度传感器作为温度采集装置,ESP8266 无线路由器作为信息传输装置。红外测温系统包含温度采集节点和数据管理中心两部分。红外测温传感器首先完成温度数据的采集,然后单片机使用通用的 IO 接口与数字温度传感器完成通信,经过协议帧解析提取有效数据。温度数据在单片机 STM32 中经过处理和封装后,传输至 ESP8266 的通信接口,通过无线通信方式将采集的温度数据传输到数据管理中心。数据管理中心接收到各个测温节点的测量数据后,通过 RS485 总线与服务器完成数据实时交互,并对各节点的温度数据进行存储,显示和分析。红外温度监测系统结构如图 1 所示。

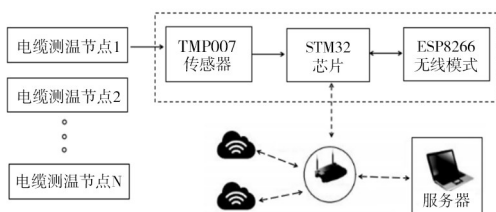


图1 红外温度监测系统结构

1.2 温度测量原理

常见的测温方式分为接触式和非接触式 2 种。接触式测温方法主要有半导体 IC 温度传感器、热电偶温度传感器和光纤温度传感器,此类方法虽然测量精度较高,但是绝缘性能差,维护成本高。非接触式测温方法为红外测温,可以远距离监测目标的运行温度,具有测量范围广,反应速度快,使用灵活的优点^[7]。考虑到综合管廊对监测设备有较高的绝缘要求,本文采用红外测温仪进行电缆附件的温度测量。

红外测温技术的理论基础是黑体的热辐射定律,任何物体只要温度高于绝对零度就会向外辐射能量,能量强度与物体表面温度成正比。依据普朗克定理和玻尔兹曼定理:

$$\begin{cases} P_b(T) = \sigma T^4 \\ P(T) = \epsilon P_b(T) \end{cases} \quad (1)$$

所测物体温度为:

$$T = \left[\frac{P(T)}{\epsilon \sigma} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

式中: ϵ 为物体辐射率; T 为物体表面温度,K; $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ 为玻尔兹曼常数, $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^{-4}$; $P(T)$ 为温度为 T 时的总辐射度, W/m^2 。

2 硬件设计

合适的硬件选择是建立综合管廊电力电缆温度监测系统的前提和基础,对系统控制的稳定性、反馈的准确性、使用的节能性有直接的影响。

2.1 红外传感器接口电路设计

红外温度传感器 TMP007 可以完成现场的温度采集与转换,并通过 SDA 串行数据接口发送数字温度信号。由于传感器连接线长度可能大于 30 m,为了提高测量可靠性和稳定性,传感器 TMP007 的上拉电阻选用 4.7 k Ω 。为了保证传感器供应电压,防止线路分压过多造成传感器电压不足,尽可能提高传感器的使用寿命,供电电压 V_{cc} 选用 5.0 V。综合管廊内有较强的电磁干扰,为了保证监测信号的准确,传感器电路加上 R_s 和 C_4 组成的抗干扰电路。电阻 R_s 取值 350 Ω ,电容 C_4 取值 102 pF,电容 C_2 选用 106 pF。接口电路如图 2 所示。

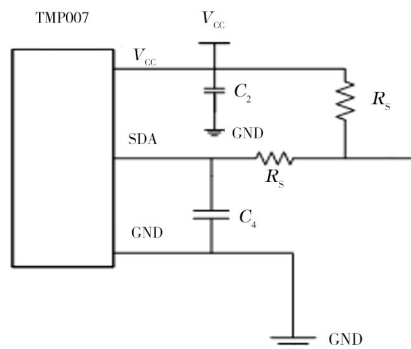


图2 红外温度传感器接口电路

2.2 测温节点硬件设计

由于受到红外温度传感器外壳的体积限制,选用 STM32 作为该设计的主控芯片。STM32 是专为高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用设计的 32 位微处理器,具有众多高性能的外设,具有 12 位的 ADC 和 DAC 模块,尤其适用于高速、大容量的分布式数据采集系统。STM32 利用自身硬件 IIC 接

口实现与红外温度传感器的数据交互处理,最后通过 SPI 接口与 ESP8266 射频通信模块将温度数据上传至服务器。ESP8266 射频通信模块的工作频率为 2.4 GHz,能够满足常规短距离无线通信需求。如果工作环境的电磁干扰较强,可以添加电源滤波电路等提高节点抗干扰能力,测温节点硬件结构如图 3 所示。

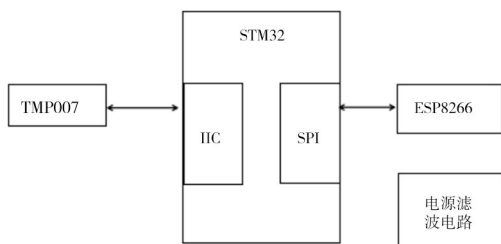


图 3 测温节点硬件结构

2.3 数据管理中心硬件设计

数据管理中心负责接收各个测温节点的温度数据,通过射频模块 ESP8266 实现数据管理中心与各个测温节点温度数据的实时交互,并通过 RS485 工业总线进行数据的中转传输,服务器对监测的温度数据进行储存和分析,根据电缆节点温度数据的变化趋势做出响应。数据管理中心包含射频通信电路和串口通信电路,硬件结构设计如图 4 所示。

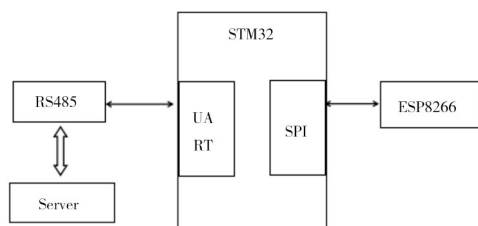


图 4 数据管理中心硬件结构

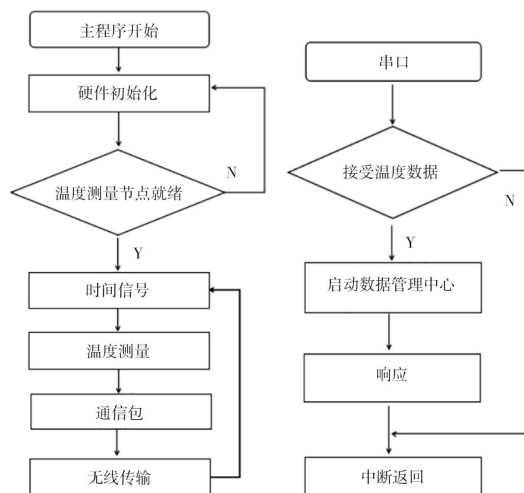
3 软件设计

3.1 下位机软件设计

红外测温节点程序采用 C 语言编写,由节点控制主程序、硬件设备初始化程序、射频发送程序、射频接收程序、温度数据采集程序、无线数据打包程序等组成。程序中采用中断完成温度数据读取、射频通信数据包发送和接收等。各硬件初始化后测温节点处于就绪状态,然后等待温度数据测量命令,测量完成后将温度数据打包并无线传输到数据管理中心,继续等待温度测量指令。无线收发程序利用 ESP8266 内部寄存器,通过中断方式识别收

发完成状态。

数据管理中心程序主要包括硬件初始化程序、与服务器和各个测温节点的数据交互程序。数据管理中心首先完成硬件资源初始化工作,然后查询服务器指令,当收到温度采集命令后,数据管理中心解析转发采集命令给各节点,同时将各节点数据信息封装转发给服务器。下位机软件设计流程示意如图 5 所示。



(a) 测温节点 (b) 数据管理中心

图 5 下位机软件设计流程示意

3.2 上位机软件设计

上位机软件运行于服务器,完成通信设备选择、通信参数设置和通信模式选择等。服务器接收到无线模块 ESP8266 发送的数据包后,使用可靠性高的 TCP 控制协议,通过对数据包进行数据解析,获得测温节点实时数据,并在 visual studio 中用 C# 语言进行显示界面开发,该语言运行在微软的 .NET Framework(又称为“.NET 框架”)平台。 .NET Framework 环境大大简化了客户端应用程序的开发,包含在其中的 Windows 窗体类为 GUI 的开发提供了非常大的便利,用户可以很方便的创建具有适应多变商业需求的灵活命令窗口、按钮、菜单、工具和其它屏幕元素,大大加快了 GUI 的开发速度。

4 测温实验

为了验证无线红外测温系统的可靠性,对无线红外测温系统进行性能测试。通过保温箱将被测物体加热到不同温度,被测物体的直径为 110 mm,系统的测温探头距离被测物体 50 cm。测量

误差如图6所示。由图6可得,当被测物体温度范围在60~70℃时,系统测量精度较高,误差不超过0.2℃。被测物体温度过高或过低都会引起测量误差的增大,但是系统最大测量误差不超过0.5℃,满足电缆附件温度监测要求。

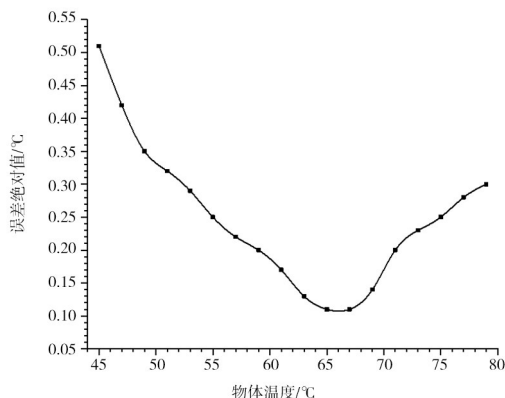


图6 测量误差绝对值

5 结论

综合管廊能够节约城市土地资源、美化城市景观,但由于管廊内管线众多,极易发生电缆附件温度过高而引发电缆起火的现象。以上针对上述隐患问题,开发了一种综合管廊内电缆附件无线红外

测温系统,该系统以单片机 STM32 为平台,通过红外温度传感器 TMP007 采集电缆终端或中间接头处温度,利用低成本串口 WiFi 模块 ESP8266 及 RS485 总线将各节点的温度数据无线传输至服务器。本研究内容对综合管廊中电力电缆的温度在线监测和火灾预防具有重要借鉴意义。

参考文献:

- [1] 许海岩, 苏亚鹏, 李修岩. 城市地下综合管廊施工技术研究与应用[J]. 安装, 2015(10): 23-25, 30.
- [2] 刘慧慧, 孙 剑, 李飞飞, 等. 城市地下综合管廊应用 PPP 模式的 VFM 评价[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(4): 122-126.
- [3] 钱七虎. 建设城市地下综合管廊, 转变城市发展方式[J]. 隧道建设, 2017, 37(6): 647-654.
- [4] 戴文涛. 电缆隧道及综合管廊火灾探测报警技术研究[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(1): 89-92.
- [5] 魏 翔. 气体绝缘金属封闭开关柜在线测温系统设计[J]. 电工电气, 2010(1): 51-54.
- [6] 干岳渊, 赵 军, 张建功, 等. 基于无人机红外测温的线夹再次发热缺陷分析[J]. 高电压技术, 2016, 42(13): 980-987.
- [7] 李玉柱, 宋建成, 耿蒲龙, 等. 基于红外传感器的高压柜隔离开关触头温度在线监测系统研究[J]. 测控技术, 2015, 34(2): 1-4.

本文责任编辑: 罗晓晓

《河北电力技术》稿件投稿系统使用注意事项

为规范本刊稿件的处理流程,提高刊物质量,方便作者投稿及查询稿件处理情况,提高编辑工作效率,《河北电力技术》编辑部已建立稿件投稿系统,地址为: <http://hbjs.cbpt.cnki.net>, 请作者通过该系统进行投稿、查稿。本系统设有作者中心、专家中心和编辑中心,实现投稿、审稿、编辑全过程在线处理。作者可以在线投稿并查询稿件处理状态。欢迎从事电力及其相关科研开发、生产和应用的科技人员投稿。

投稿请注意以下事项:

(1) 投稿前请先在系统中注册账户,注册时,需填写完整文章第一作者真实姓名及其相关真实信息,以便编辑部及时与作者联系,注册信息务必填写完整、准确。

(2) 作者投稿前请仔细阅读“投稿须知”,严格

按照本刊稿件撰写格式编排论文,投稿全文及修改稿的电子文档均请采用 word 格式。

(3) 注册完成后即可使用账号登录投稿。投稿时,推荐选择导航式投稿,投稿过程中,凡右侧有“*”为必填项。

(4) 上传稿件后,系统会自动导入您的稿件信息,请务必将题名、作者、作者单位等关键信息一一核对后再点击保存进入下一步。

(5) 文章如为基金项目论文但未在基金信息选项中,请在文章里注明项目名称及项目编号。

(6) 投稿成功后,作者可在稿件系统及注册邮箱随时查看稿件处理进度。

如果您在系统使用过程中还遇到其他问题,请及时与本刊编辑部联系。联系电话: 0311-66812289, 66812288, 66812331