

结合红外传感器的室内输电线路老化监测系统^①



房体强¹, 熊卫华¹, 黄为民¹, 季瑞松², 姜明³, 吕银华⁴

¹浙江理工大学 机械与自动控制学院, 杭州 310018)

²浙江大学 电气工程学院, 杭州 310012)

³杭州电子科技大学 计算机学院, 杭州 310018)

⁴浙江中辰城市应急服务管理有限公司, 湖州 313008)

通讯作者: 熊卫华, E-mail: xiongwh@zstu.edu.cn

摘要: 本文针对目前老旧房屋建成使用年份较早, 线路老化十分严重, 极易引发电气火灾的现状, 结合可见光传感器、红外传感器和电磁感应装置, 设计了一套室内输电线路热老化监测系统。电磁感应装置用于探测墙体内输电线路的位置, 红外传感器采用多点测温的方式监测墙体内导线或配电箱内导线的温度, 可见光传感器用于监测点视频监控和对异常部位拍摄照片。如果发现数据异常等问题, 本装置通过以太网通信模块将异常数据和照片传输至上位机。用户可以通过手机 APP 或 PC 客户端查看当前监测点温度、当前监测点实时视频监控和设置温度及电磁力阈值。一旦监测温度和电磁力数据超过阈值, 系统将发出线路老化预警, 用户可以收到手机 APP 和 PC 客户端的报警推送和异常部位的图片信息, 及时处理老化线缆, 避免因线路老化引发电气火灾。

关键词: 线路老化; 电气火灾; 红外测温; 预警; 实时监测

引用格式: 房体强, 熊卫华, 黄为民, 季瑞松, 姜明, 吕银华. 结合红外传感器的室内输电线路老化监测系统. 计算机系统应用, 2021, 30(1): 83-88. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7766.html>

Indoor Transmission Line Aging Monitoring System Combined with Infrared Sensor

FANG Ti-Qiang¹, XIONG Wei-Hua¹, HUANG Wei-Min¹, JI Rui-Song², JIANG Ming³, LYU Yin-Hua⁴

¹(Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

²(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

³(School of Computer Science and Technology, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

⁴(Zhejiang Zhongchen City Emergency Service Management Co. Ltd., Huzhou 313008, China)

Abstract: This study designs an indoor power transmission line thermal aging monitoring system in combination with the visible light sensors, infrared sensors and electromagnetic induction device. The electromagnetic induction device is used to detect the position of the power transmission cable in the wall. The infrared sensor uses a multi-point temperature measurement method to monitor the temperature of the wire in the wall or the wire in the distribution box. The visible light sensor is used for video monitoring and taking pictures of abnormal parts. If problems such as abnormal data are found, the device transmits abnormal data and photos to the host computer through the Ethernet communication module. Users can view the temperature of the current monitoring point, real-time video monitoring of the current monitoring point and set the temperature and electromagnetic force threshold through the mobile APP client or PC client. Once the monitored temperature and electromagnetic force data exceed the thresholds, the system will issue a line aging warning, the user can receive the mobile phone APP and PC client alarm push and picture information of abnormal parts, timely

① 基金项目: 国家自然科学基金(61803339); 浙江省自然科学基金(LQ18F030011); 浙江省重点研发计划(2019C03096); 浙江大学实验技术研究项目(SJS201803)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61803339); Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LQ18F030011); Key Research and Development Program of Zhejiang Province (2019C03096); Experimental Technology Research Project of Zhejiang University (SJS201803)

收稿时间: 2020-05-28; 修改时间: 2020-05-29; 采用时间: 2020-07-17; csa 在线出版时间: 2020-12-31

process the aging cables, avoid electrical fires caused by aging lines.

Key words: line aging; electrical fire; infrared temperature measurement; early warning; real-time monitoring

随着我国经济社会的持续发展,人们的生活水平显著改善,电气化程度越来越高,电气设备的使用范围不断扩大^[1],家里用上了空调、热水器等大功率用电器,但是由于老旧房屋建成使用年份较早,线路老化十分严重,而且线缆一般埋藏在墙体内部,人们无法通过肉眼直接观察到线缆老化情况.大功率用电器长时间运行,容易导致线缆过热,烧坏导线绝缘层,从而引发电气火灾^[1],严重威胁了人们的生命财产安全.因此,为了避免因线路老化引发电气火灾,设计一款室内输电线路老化监测系统显得极为迫切.

许多国内外学者对线路老化检测方面进行了研究与分析.迟嘉等实现了基于无线传感器网络的室内输电线路热老化预测研究,通过在输电线路周围部署温度传感器节点连续采集温度数据,并使用断裂伸长率法预测输电线路绝缘老化程度,解决了传统预测方法无法连续测量温度的问题^[2],但是断裂伸长率法具有较大的破坏性,无法实际应用于室内完整输电线路的绝缘检测.朱斌等提出了基于力传感器的核电厂电缆绝缘老化检测分析,采用力传感器测量绝缘材料的力与压痕深度来评估线缆绝缘老化状态,该检测方法对待测线缆无损伤,同时具有携带方便和测量时间短的优点^[3],但是该方法只能检测裸露在外的导线,无法检测埋藏在墙体内部线缆的绝缘老化情况.邓桂芳提出漏电电流的大小可以反映导线绝缘的热老化情况,通过检测用电系统的漏电电流来掌握电气线路的绝缘状态,发生漏电及时报警,并指示漏电方位^[4].这种装置无需人工干预,可长时间不间断的监测电气线路中的漏电电流,但是很难根据漏电方位找到线路老化发生的具体位置.陆斌提出了基于红外热成像技术的输电线路关键部位温度在线监测系统,可在不停电、不接触的情况下准确监测输电线路运行状态^[5],但是无法准确定位墙体内部线缆的位置.

考虑到这些还没解决的问题,本文提出了一种结合红外传感器的室内输电线路老化监测系统,通过霍尔电磁传感器和红外传感器的结合,准确定位墙体内部或配电箱内导线的位置,检测导线温度,判断线路老化情况,避免墙体内部其他热源的干扰,同时通过可见光传

感器对待测线缆实时监控,并对温度异常部位拍摄照片.本系统可检测线路老化隐患,及时发现并做出报警和相应处理,用户可通过手机 APP 客户端或 PC 客户端查看线路老化发生的具体位置,及时处理老化线缆,避免因线路老化引发电气火灾.

1 系统整体方案

室内输电线路热老化监测系统以 STM32F765 为系统架构中心,通过红外传感器^[2]、可见光传感器和霍尔电磁传感器分别采集待测线缆的红外热成像、可见光成像和电磁力数据,并根据采集到的红外热成像数据计算出每个像素点对应的温度值,然后通过以太网模块将数据打包发送至用户终端.用户终端包括 PC 端和手机 APP 端,接收设备发送的可见光成像数据、电磁力数据和温度数据.用户可通过手机 APP 端或 PC 端进行电磁力阈值和温度阈值的设置,当数据超过设定阈值时,手机 APP 和 PC 端程序将进行报警推送,提醒用户及时处理老化的线缆.用户根据可见光摄像头拍摄的线路异常部位照片确定线路老化位置,及时更换老化线缆,避免因线路老化引发电气火灾.

2 硬件设计

室内输电线路热老化监测系统由 7 个部分构成,包括 MCU 控制模块、可见光传感器、红外传感器、霍尔电磁传感器、以太网通信模块、POE 电源模块和用户终端.室内输电线路热老化监测系统的硬件框图如图 1 所示.

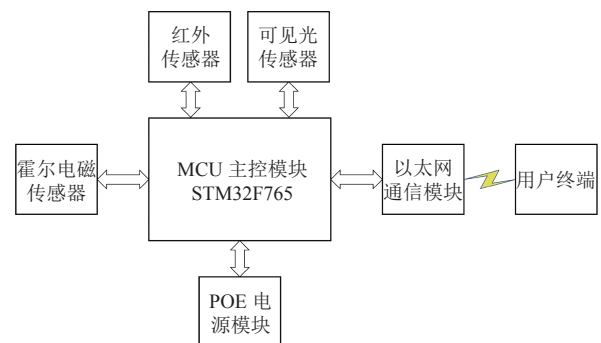


图 1 系统硬件框图

2.1 MCU 控制模块

本系统的主控芯片采用的是 ST (意法半导体) 公司的 STM32F765 芯片. 它是一款基于 ARM Cortex-M7 内核的 32 位微处理器, 内部集成 512 KB SRAM, 主时钟频率最高可达 216 MHz, 具有双精度浮点运算单元 DPFPU, 其处理速度远远快于传统的 8、16 位机, 而且它还具有与摄像头通讯的专用 DCMI 接口, 满足本系统视频图像数据、温度数据和电磁力数据的采集、处理和传输的需要.

2.2 传感器模块

本系统由 3 种传感器组成, 分别为: 红外传感器、可见光传感器和霍尔电磁传感器.

2.2.1 红外传感器

为了实现室内输电线路温度数据的采集, 本系统选用迈来芯 MLX90621 红外传感器模块^[5]. MLX90621 凭借有效像素 16×4 的焦平面阵列, 能够捕获每张图像中每一个像素的精确的、经校准、非接触式的温度数据^[5], 并通过 I²C 接口与 MCU 进行通信^[6].

2.2.2 可见光传感器

为了实时视频监控和拍摄线缆异常部位图片的需要, 本系统选用 OV2640 高清摄像头模块. OV2640 支持 200 万像素 UXGA 1622×1200 分辨率 30 fps 的视频输出, 并且可直接输出 JPEG 格式的图像^[7]. OV2640 通过 DCMI 总线与 MCU 传输图像数据. DCMI 总线采用并行传输的方式, 最高可接收 54 MB/s 的数据流, 适合用于本系统异常部位图片采集和视频监控的需要.

2.2.3 霍尔电磁传感器

为了定位墙体内导线的位置, 对墙体内电缆与其他热源进行区分, 本系统采用 YS-27/3144E 霍尔传感器模块检测墙体内导线的磁感应强度, 它会输出一个与磁感应强度成正比例的数字电压信号, 送入 MCU 中进行处理^[8].

2.3 通信模块

本系统采用以太网通信方式进行设备与上位机之间的通信. 以太网通信模块由以太网芯片 W5500、网络变压器 HY601680 和 RJ45 模块组成^[9]. W5500 通过 SPI(外设串行接口) 方式与 MCU 进行通讯, 实时接收传感器和视频数据. W5500 通过网络变压器 HY601680 与 RJ45 模块相连, 将从 MCU 接收到的数据通过网络传输到用户终端.

2.4 电源模块

电源是整个系统最重要的部分之一, 电源模块的

好坏直接决定系统能否正常工作. 为了简化布线, 节约人工成本, 本系统采用 POE 供电模式, 选用士兰微电子股份有限公司的 SD4952B 芯片^[6], 该芯片支持 IEEE 802.3af 标准, 用于将 48 V 的 POE 供电电压转换为 12 V 直流电压, 同时通过 DC-DC 芯片 SY8120 将 12 V 电压降压至 5 V, 再经由 LDO (低压差线性稳压器) 电路降压至 3.3 V, 为主控制器和其他芯片提供稳定的工作电压.

3 软件设计

本系统的软件设计主要由以下 4 个部分组成: 温度数据采集、可见光图像采集、电磁场强度采集和网络通信程序设计.

3.1 温度数据采集

MLX90621 红外传感器通过探测被测线缆的红外辐射强度, 得到被测线缆的红外热图像, 并在内部集成了一个 PATA 传感器用来测量环境温度^[10], 红外传感器和 PATA 传感器采集的数据存储在芯片内置 RAM 中, 通过读取 RAM 中相应的数据以及存储在 EEPROM 中的校准常数来计算红外热图像中每个像素点的温度值, 并通过 I²C 总线将环境温度数据和红外辐射温度数据传输至 MCU, 经过环境温度补偿后得到待测线缆绝缘层实际温度数据.

3.2 可见光图像采集

本系统采用 CMOS 图像传感器 OV2640 拍摄线路异常部位照片及视频监控, 通过 SCCB 总线传输 MCU 对 OV2640 寄存器的配置参数. 由于 SCCB 总线和 I²C 总线十分类似, 因此 MCU 直接通过 I²C 总线与 OV2640 进行通讯. 为了减少数据量, 方便网络传输, 本程序直接配置 OV2640 输出压缩图像文件格式 JPEG. MCU 控制器通过 DCMI 数字摄像头接口获取图像数据流, 根据摄像头的时序和硬件连接的要求, 配置 DCMI 的工作模式为: 使用硬件同步, 连续采集所有帧数据, PIXCLK 被设置为上升沿有效, VSYNC 和 HSYNC 被设置为低电平有效, 然后通过 DMA 传输方式进行传输. DMA 传输数据时无需占用 CPU, 传输速度快, 适合用于传输数据量很大的图像数据. OV2640 输出图像时, 一帧一帧地输出, 在帧内的数据按照矩阵的方式逐行输出每个像素. MCU 通过连续接收图像数据就完成了视频数据的采集.

3.3 电磁场强度采集

本系统采用霍尔电磁传感器采集输电线路通电时

的电磁场强度, 确定线路位置. 通常, 霍尔元件的输出电压与半导体材料的磁场强度成正比, 但由于输出电压很小, 所以一般霍尔电磁器件内置差分放大器. 因此, MCU 通过检测传感器经放大后的输出电压就可以计算出被测导线的磁场强度. 一般墙体导线距离墙面较远, 因此还需调节霍尔电磁传感器的灵敏度.

3.4 网络通信程序设计

本系统采用 UDP 协议实现设备和上位机间的数据交互, 包括设备将温度数据、可见光图像数据、电磁场强度数据传输至用户终端以及用户终端对设备发

送的控制指令. 本系统通过 W5500 模块实现设备与上位机间的 UDP 通信, 程序采用轮询 UDP 端口的 Sn_IR 寄存器方式检测是否收到上位机的发送命令请求, 如果接收到请求命令时, 首先判断是否接收到了完整的一帧可见光图像、温度数据和当前区域的电磁场强度. 当数据全部采集完毕后, MCU 将数据包从数据接收缓冲区通过 SPI 总线发送到 W5500 模块的 UDP 发送缓冲区等待发送, 一旦接收到发送指令后, 便将温度数据、可见光图像数据和电磁场强度数据发送到用户终端. 系统程序流程图如图 2 所示.

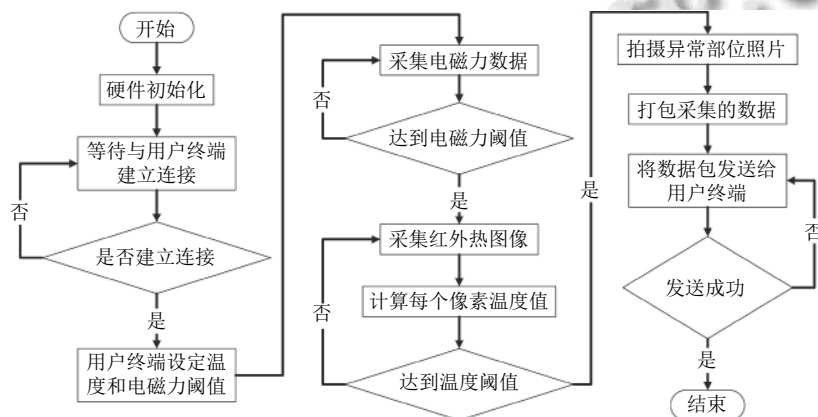


图 2 系统程序流程图

4 系统验证与分析

4.1 霍尔电磁传感器测试

为了检测本系统霍尔电磁传感器检测电磁场强度的准确性, 将设备放入通电载流直螺线管中心位置, 霍尔传感器输入电压两端接 5 V 直流电源, 调节补偿电路中的可调电阻, 使霍尔传感器补偿电路的输出电压为 0 V. 将螺线管两端通过可调电阻与 5 V 直流电源相连, 逐渐增大线圈的励磁电流, 并使用电流表测量线圈的励磁电流 I_M , 使用电压表测量霍尔传感器的输出电压 U , 同时计算磁感应强度 B , 得到实验数据见表 1.

表 1 霍尔传感器实验数据

I_M (mA)	U (mV)	B (H)
0	0	0
20.1	25.9	0.2179
39.9	62.5	0.4400
60.2	98.3	0.6568
80.0	136.3	0.8799
99.5	173.4	1.1101
120.2	210.1	1.3205
139.7	246.5	1.5578
160.1	282.7	1.7746
179.8	357.6	2.2015

使用 Matlab 软件进行数据拟合后, 如图 3 所示: 霍尔传感器的输出电压基本上与传感器所处位置的磁感应强度线性相关, 该传感器工作正常.

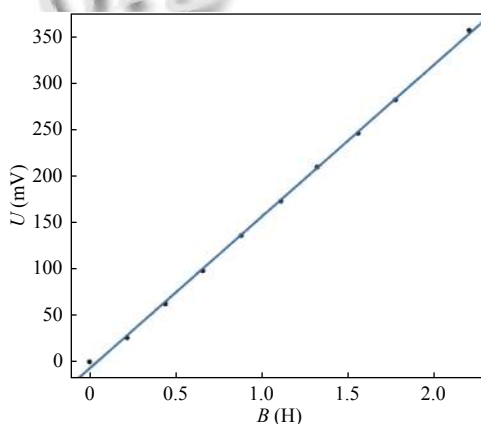
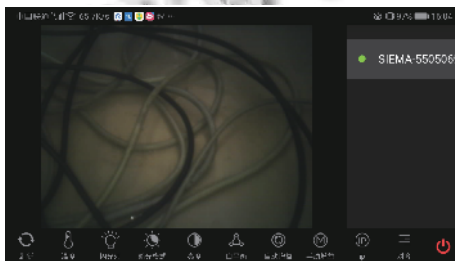


图 3 霍尔传感器输出电压与磁感应强度对应关系

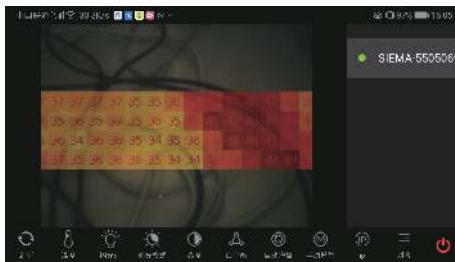
综合以上实验数据可知, 本系统霍尔电磁传感器工作正常, 可用于检测墙体内部线缆的电磁场强度, 确定线缆位置.

4.2 红外传感器和可见光传感器融合

为了验证本系统红外传感器和可见光传感器能否正常工作,使用本设备监测室内输电线路的老化情况,并通过手机APP和PC客户端实时呈现待测线缆的可见光图像和温度数据,图4为手机APP的屏幕截图,图5为PC客户端截图。其中图4(a)和图5(a)为待测线缆的可见光图像,图4(b)和图5(b)为可见光与温度融合后的图像,可实时显示监测区域内每个像素点的温度数值。由图4和图5可知,通过可见光传感器拍摄的线缆未发现异常,但是通过红外传感器采集的温度数据发现右侧黑色线缆区域温度较高,在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,可能线缆绝缘层发生了老化,需要及时更换线缆。通过以上实验可知,本系统红外传感器和可见光传感器均工作正常,可实时监控待测线缆的温度情况,满足室内输电线路实时视频监控和热老化监测的需要。



(a) 可见光图像



(b) 可见光与温度融合图像

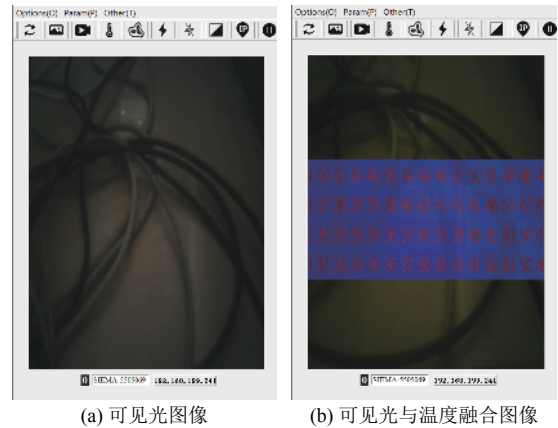
图4 手机APP屏幕截图

4.3 实验结果对比

使用不同线路老化检测方法对多种材质的电缆进行线路热老化检测速度和准确率的测试,测试结果如表2所示。

可以看出本文提出的线路老化检测方法,相比其他3种线路老化检测方法,检测速度和准确率较高,而且本装置无需手动操作,可检测墙体内部导线的老化情况,通过客户端程序实时监控线缆温度,相比其他检测方法更加直观和便捷。本系统可以预警线路老化隐

患,不仅不会破坏导线,实际线路还能再利用,可以更好地节约成本。



(a) 可见光图像

(b) 可见光与温度融合图像

图5 PC客户端截图

表2 不同线路老化检测方法对比测试结果

检测方法	检测速度(s)	准确率(%)	检测墙体内部导线
断裂伸长率法 ^[2]	24	95.5	否
力传感器法 ^[3]	11	93.0	否
漏电流法 ^[4]	6	71.6	否
本文检测方法	3	96.2	是

4.4 配电箱验证效果

硬件设备完好且系统运行正常,本装置可用于监测配电箱内的线路老化情况,由图6可知,配电箱内两根红色导线温度较高,温度达到了 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,线路绝缘层可能发生了老化。系统将记录该温度数据,当该监测点温度连续 10 s 达到 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,发出线路老化预警,提醒工作人员及时处理。

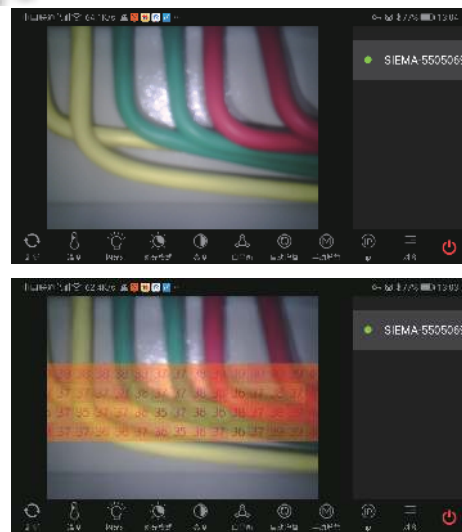


图6 配电箱内线路老化监测

5 结束语

结合红外传感器的室内输电线路老化监测系统,可实时监测待测线缆的温度,对墙体内线缆和其他热源进行区分,并对线缆异常部位拍摄照片.用户可通过手机 APP 或 PC 客户端实时监控待测线缆状态和线缆各部分的温度情况,发生隐患及时报警,提醒用户及时更换老化线缆.经过实验验证,本系统传感器工作正常,用户终端界面友好,满足室内输电线路热老化监测的需要,这给预防因线路老化引发电气火灾提供了一种切实可行的解决方案.

参考文献

- 1 胡鸿军. 浅析电气火灾多发原因及预防措施. 智能建筑与智慧城市, 2017, (10): 69-70. [doi: 10.3969/j.issn.1671-9506.2017.10.030]
- 2 迟嘉, 孙语泽, 胡亮. 基于无线传感器网络的室内输电线路热老化预测研究. 东北师大学报 (自然科学版), 2014, 46(3): 64-68.
- 3 朱斌, 陈忻, 惠兆宇, 等. 基于力传感器的核电厂电缆绝缘老化检测分析. 电工材料, 2020, (1): 17-19.
- 4 邓桂芳. 谈建筑物低压配电线路绝缘老化漏电的火灾预防监测. 电气工程应用, 2015, (3): 37-44.
- 5 陆斌. 基于红外热成像技术的输电线路关键部位温度在线监测系统 [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2010.
- 6 季瑞松, 张建良. 双目成像测控系统开发及其在实验室中的应用. 物联网技术, 2020, 10(2): 63-65.
- 7 熊雪艳, 梁光胜, 赖程鹏, 等. 基于 OV2640 模块的网络视频监控系统设计. 单片机与嵌入式系统应用, 2015, 15(12): 23-26.
- 8 Roy A, Sampathkumar P, Anil Kumar PS. Development of a very high sensitivity magnetic field sensor based on planar Hall effect. Measurement, 2020, 156: 107590. [doi: 10.1016/j.measurement.2020.107590]
- 9 王薪宇, 邱满刚. 多协议远距离低功耗 IoT 网关硬件设计. 电子产品世界, 2018, 25(5): 71-75.
- 10 孙宇贞, 胡超, 方永辉. 基于 MLX90621 红外传感器的开关柜温度无线监测系统. 红外, 2016, 37(12): 13-18. [doi: 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.12.003]