

# 非接触式电站高温预警系统设计

司 可, 袁 腾

(西安工业大学 光电工程学院, 西安 710021)

**摘要:** 配电站中的故障电气设备的工作温度会处于高于其正常工作温度的状态, 易造成火灾; 设计了一种非接触式的实时高温预警系统; 系统利用长波红外相机对被测试目标进行非接触式灰度成像, 基于 LabVIEW 上位机实时采集图像并对图像数据进行处理, 从而得到所拍摄电气设备实时工作温度; 若此温度值高于电气设备安全工作的最高温度值, 下位机报警, 工作人员可根据系统所成图像确定故障位置, 进而提前排除安全隐患; 测试结果表明: 系统运行稳定、操作简便; 系统能够有效地对电站中的电气设备运行状态进行实时监测和精确预警, 极大程度地降低了工作人员的安全风险, 提高了工作效率。

**关键词:** 红外测温; 红外成像; 数字图像处理; STM32; LabVIEW

## Design of Non-contact Fire Monitoring and Pre-warning System for Substation

Si Ke, Yuan Teng

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** The working temperature of the faulty electrical equipment in the substation will be higher than its normal working temperature, and it is easy to cause fire. This paper designs a non-contact real-time fire early warning system. The system uses a long-wave infrared camera to perform non-contact grayscale imaging on the target. The host computer uses the LabVIEW software to collect images in real time and processes the image data to obtain the real-time working temperature of the electrical equipment in the substation. If this temperature value is higher than the maximum temperature for the safe operation of electrical equipment, the slave computer will alarm, and the staff can determine the fault location based on the image made by the system, and then eliminate the potential safety hazards in advance. The test results show that the system has a stable operation and an easy operation. The system can effectively monitor and accurately predict the operating status of electrical equipment in the substation, which greatly reduces the safety risks of workers and improves work efficiency.

**Keywords:** infrared temperature measurement; infrared imaging; digital image processing; STM32; LabVIEW

## 0 引言

配电站是电力保障系统中的重要组成部分, 其中的安全监测系统是电力系统的重要组成部分, 需要监测高压线路、高压电力设备、变压器、配电站内部温度等参数<sup>[1]</sup>。但大部分的配电站都建在郊区或者是建在条件比较复杂的山区, 如果采用人工的方式对这些配电站进行监测, 必将耗费大量的人力和物力<sup>[2]</sup>。因此, 配电站智能化温度监测的研究, 对于减少人员投入、提升工作效率有着很重要意义。

配电站中的电器在发生故障前, 其工作状态有一个趋坏的过程, 只不过这种趋坏的程度在未达到故障级别时, 设备还是会带故障进行工作<sup>[3]</sup>。但是, 带故障工作的电气设备在设备工作电功率、工作温度等方面与正常工作的电气设备有着很大的区别, 利用对故障电气设备运行情况与正常工作电气设备工作状况的比对, 可及时排除安全隐患。

当配电站中的电气设备非正常工作时, 其过高的温度极有可能诱发火灾, 从而造成更加严重的损失, 对电力系统的正常运转造成巨大伤害。因此, 为保证生产设备安全及运行稳定, 对电站的温度监测十分必要。

温度监测方法大致可分为两大类: 接触式和非接触式。接触式温度监测是目前应用较为广泛的监测方式, 贾云辉<sup>[4]</sup>等人设计出了一种智能火灾报警系统, 该系统利用接触式的 DHT11 温度传感器、Q-2 烟雾传感器进行火灾程度的监测, 可以达到很精确的测量效果。但是这种接触式传感器需要与被测物体接触, 测量结果容易受到自身工作温度和周边环境因素的影响。而非接触式测温的特点是不用与被测物体相接触而迅速的探测目标温度, 探测速度快, 探测温度的分辨率高, 能够很好地避免接触式测温的弊端<sup>[5]</sup>。最具代表性的非接触式测温方法就是红外测温。尤其对于暗光环境温度的测量, 红外测温是一种很有效的方法。

本文基于红外测温技术设计了一个可以实时监控电站内部情况以及高温报警的电站监控预警系统, 该系统利用红外相机进行被监测设备的运行温度探测, 可在暗光环境下清晰地监控设备工作情况, 且无需与被测物体接触就可实现高温自动报警, 通过及时报警以及系统显示的热成像

收稿日期: 2020-03-19; 修回日期: 2020-04-08。

基金项目: 2018 年国家级大学生创新创业训练项目 (1070214-040)。

作者简介: 司可 (1996-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事现代光电测试与仪器方向的研究。

图来帮助工作人员及时排除安全隐患。

## 1 系统测试原理与结构设计

### 1.1 系统测试原理

一个正在发热的物体会不断地向四周发出红外辐射,通过对物体所发出的红外辐射进行分析,可以得到被测物体的温度,该测试方法这就是红外测温。斯特藩—玻耳兹曼定律给出了物体温度的红外辐射的关系。

斯特藩—玻耳兹曼定律指出,物体辐射功率与其绝对温度的 4 次方成正比。此定律给出了一个黑体的全辐射出射度与温度的关系:黑体表面单位面积在单位时间内辐射出的总能量(称为物体的辐射度或能量通量密度)  $W$  与黑体本身的热力学温度  $T$  (又称绝对温度)的四次方成正比<sup>[6]</sup>。即:

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

其中:辐射度  $W$  是具有功率密度的量纲,国际单位制标准单位为焦耳/(秒·平方米),即瓦特/平方米。绝对温度  $T$  的标准单位是开尔文; $\epsilon$  为黑体的辐射系数,若为绝对黑体,则  $\epsilon=1$ ;若非绝对黑体,则  $\epsilon < 1$ ,与物体的温度及材料特性有关。比例系数  $\sigma$  称为斯特藩—玻耳兹曼常数或斯特藩常量。该常数的值约为: $\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$ 。可以看到:温度和黑体辐射出射度成指数关系,且随着温度上升,黑体辐射度将极具升高<sup>[7]</sup>。实际待测物体通常不是黑体,对于非黑体的辐射定律一般比较复杂,但仍可借助于黑体辐射定律来研究<sup>[8]</sup>。

在红外测温中,该定律可用来实现温度标定。在黑体加热时,通过红外感应模块对黑体辐射出射度进行探测,建立其温度与出射度的拟合曲线,通过求解该拟合曲线的函数关系,即可得到不同出射度所对应的温度,这样就实现了红外测温中温度的标定。对于不同的红外探测模块,此函数关系不同。

选择红外相机为本系统的红外探测模块,则被探测的黑体辐射出射度直接体现在了红外相机拍摄所得的黑体图像的灰度值。最终可通过红外相机拍摄得到的图像灰度值的大小求得所对应温度值的大小。

本文设计的电站火灾预警系统的工作原理如图 1 所示。系统采集到被测物体的红外图像,再利用数字图像处理的相关算法来得出红外图像最大的灰度值,将灰度值代入提前通过拍摄黑体所得的图像灰度值和温度值的函数关系,得到温度值,然后在上位机输出并存储所得的当前温度值以及红外图像。若最高温度值超过设定的温度值,上位机发送指令给 MCU (微处理器)从而实现报警功能。

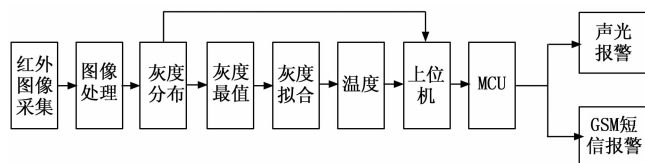


图 1 系统工作原理

### 1.2 系统结构设计与整体方案设计

本文所设计系统的系统结构如图 2 所示。系统由红外相机、上位机、MCU 和报警模块组成。系统通过红外相机实现图像采集,利用千兆网通信将图像传输到上位机,并在上位机上进行图像处理和数值分析得到所拍摄物体的最高温度值,当该温度值大于所设定的报警温度值时,上位机利用串口向 MCU 发送报警指令,MCU 收到报警指令后驱动报警模块进行报警。



图 2 系统结构框图

系统的报警方式包括声光报警和 GSM 短信报警。声光报警采用 LED 灯和有缘蜂鸣器来完成,此部分通过 MCU 的 I/O 口驱动来完成。GSM 短信报警采用 SIM900A GSM 短信模块来实现功能,此部分通过 MCU 的串口与该模块进行通信。

由于系统需要将相机所拍摄图像实时显示在上位机上,因此在上位机软件设计时,需要实现相机驱动,可以利用 LabVIEW 的 IMAQdx 组件库编写驱动程序来完成软件设计。该软件设计中的驱动程序需要将相机采集到的图像进行处理,得到所采集图片的灰度最大值,将灰度最大值带入由温度标定所得到的灰度温度转化公式,从而得到温度值,并在上位机上将温度值实时地显示在界面上。

虽然红外相机可将物体表面的温度分布转化为人眼可视的图像,但是相机采集到的图像是不利于人眼有效观测的黑白灰度图像。因此,本系统对红外相机采集到的图像进行了伪彩色处理,便于人眼对被拍摄物体的温度分布进行更好地观测。红外图像的伪彩色处理是可以利用 Matlab 实现。但是,Matlab 软件在每次处理时,需要人为地进行操作,无法实现图像的自动处理。针对这个问题,利用 Matlab 软件的 GUI 界面功能,通过 LabVIEW 来调用生成的 GUI 界面,可以实现实时处理和显示功能。

## 2 硬件设计

系统的硬件包括红外相机、主控模块以及报警模块。

选用长波红外相机来进行温度探测。长波红外相机可以捕获  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  光谱带内的光线。这种类型的红外相机在工业中最常见的工作方式是应用在热成像领域当中的,它对温度变化有着很好的响应度。通过长波红外相机,可以很好地捕获被测物体向四周发出的红外辐射。选用的红外相机采用千兆网通信来与上位机进行通信。千兆网相机遵循 Gige Vision 接口标准协议,用千兆网通信的方式传输视频信号,可以实现较长的传输长度和较高的传输速度<sup>[9]</sup>。

主控模块选用 STM32F103 系列芯片为系统的 MCU。STM32F103 系列 32 位微控制器是基于专门为嵌入式应用开发的具有突破性的 ARM Cortex-M3 内核,可以通过调用其丰富的库函数来实现各种复杂功能<sup>[10]</sup>。

报警模块设计包含蜂鸣器电路设计和 GSM 模块电路设

计。报警模块与主控模块利用串口来进行通信。

报警模块的蜂鸣器电路设计主要是为了放大直流电压,增大蜂鸣器的响声,使其有良好的报警效果。采用 S8050 三极管进行电流放大,使得 MCU 能够利用低压数字信号控制蜂鸣器正常工作。当配电站的温度过高时,上位机通过串口将报警指令传输给 MCU,MCU 通过 I/O 口驱动蜂鸣器进行报警。蜂鸣器与 STM32 芯片的 PB8 口连接,该 I/O 口配置为推挽输出,电路原理如图 3 所示。

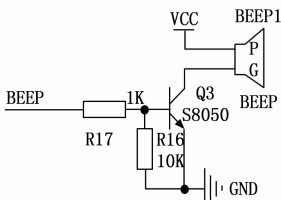


图 3 蜂鸣器驱动电路

短信报警模块选择正点原子公司生产的 ATK-SIM900A GSM 模块。该模块与 STM32 通信采用串口 US-ART3 通信的方式,模块的数据发送端连接 STM32 的 PB11 口,数据接收端连接 STM32 的 PB10 口。该模块使用 SIM900A 主控芯片,其读写电路原理如图 4 所示。

### 3 软件设计

#### 3.1 上位机软件设计

本系统的上位机软件设计使用 LabVIEW 实现。Lab-

VIEW 使用的是图形化编辑语言编写程序,产生的程序是框图形式。LabVIEW 提供很多外观与传统仪器(如示波器、万用表)类似的控件,可用来自方便地创建用户界面。

用户界面在 LabVIEW 中被称为前面板。使用图标和连线,可以通过编程对前面板上的对象进行控制。

编写的上位机软件实现的功能主要有 5 个:1)驱动长波红外相机进行图像采集、且以视频形式显示出来;2)把采集来的图像以图片的格式存储在上位机中;3)对所采集的图像进行图像处理,得到温度值;4)将图像进行伪彩色处理显示出来;5)向 STM32 发送数据,实现报警。

系统的软件设计包含如下 4 部分的设计:

1) 图像采集程序设计。该部分的程序设计使用 IMAQdx Open Camera 控件进行打开相机的操作,此控件的作用是打开一个相机,查询摄像头的功能,加载摄像头的配置文件,并能创建一个独特的相机。找到相机所在的接口,得到这个相机的配置信息,并创建唯一的参考相机。使用 IMAQdx Configure Grab 控件来配置和开始采集图像。使用 IMAQdx Grab 控件来输出图像的当前帧。使用 IMAQdx Close Camera 控件来停止相机正在进行的图像数据采集,释放在缓冲区存储的数据的资源,并关闭所选相机的会话。使用 IMAQdx Snap 控件来捕捉输出图像的当前帧,将输出的图像实时捕捉,用来便于后边的图像处理和图像存储应用。程序设计如图 5 所示。

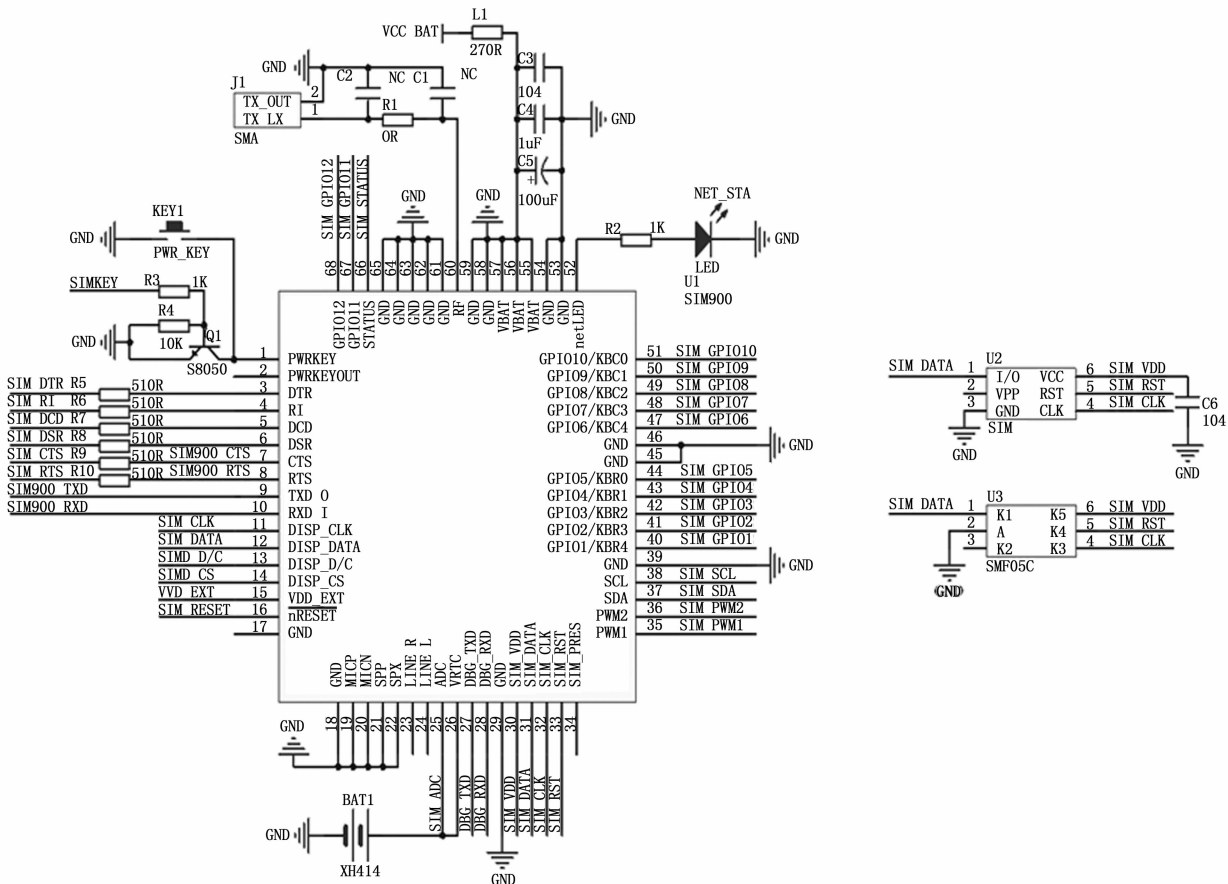


图 4 SIM900A 芯片读写电路

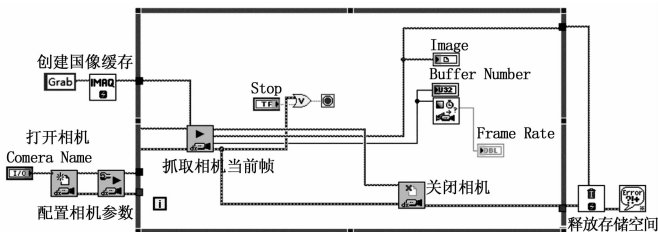


图 5 图像采集程序框图

2) 图像处理程序设计。通过 for 循环使得软件程序可以达到图像自动存储的功能,即只要提前设定好图片存储的路径和图片存储的名称即可实现图片的实时存储。该程序中利用 IMAQ WriteFile 控件来保存图片,选择保存的图像格式是 PNG 格式。该控件在设置好保存路径和保存图片的格式后,即可在相应的路径下保存图片。捕捉到的图像通过 IMAQExtractSingleColorPlane 控件处理成灰度图像,之后再将此灰度图像通过 IMAQ ImageToArray 控件处理成二维矩阵,然后求出二维矩阵的灰度最大值,利用公式节点控件,得到该灰度值所对应的温度值。

3) 上下位机串口通信程序设计。利用 LabVIEW 软件 VISA 库来实现,设置串口波特率为 9 600,串口号为 COM3。当所测温度高于预警温度值,通过串口向 MCU 发送 1,代表报警指令;若低于预警温度值,上位机通过串口向 MCU 发送 0。

4) 伪彩色图像显示程序设计。利用 LabVIEW 软件的执行系统命令函数来实现伪彩色图像显示,该命令函数可以调用 MATLAB 生成的 GUI 界面应用程序。图像处理、上下位机通信及伪彩色图像调用的整体程序设计如图 6 所示。

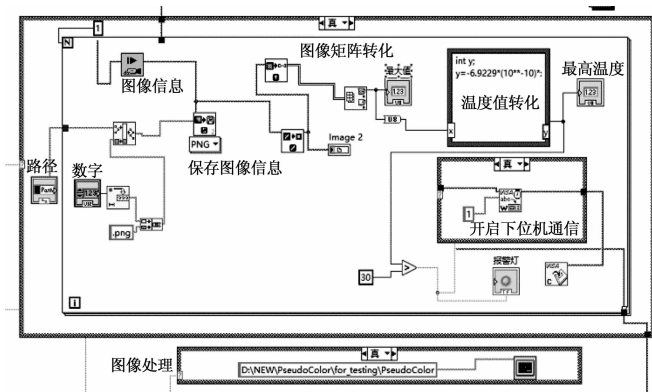


图 6 上位机软件图像处理及上下位机通信程序框图

程序设计的软件整体界面如图 7 所示。

### 3.2 下位机程序设计

下位机程序设计流程如图 8 所示。利用 MDK5 进行程序设计,程序主要流程:当系统开始工作时,下位机首先进行串口初始化、GSM 模块初始化、蜂鸣器与 LED 初始化,随后等待上位机通过串口发送的指令。当上位机发送数据为 1 时,STM32 驱动蜂鸣器和 LED 灯进行报警,

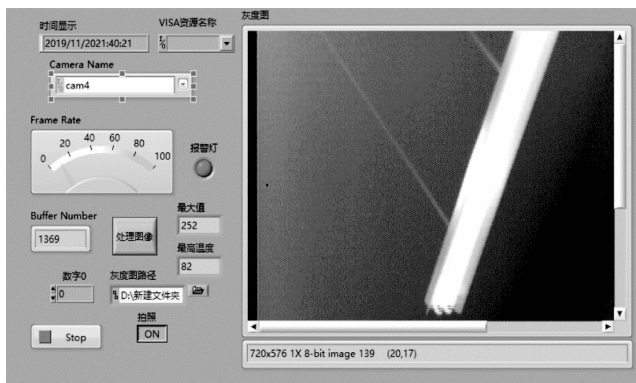


图 7 软件界面

GSM 模块给用户指定的手机发送短信;当上位机发送数据为 0 时,系统不报警,继续等待下一个指令。

该部分程序设计重点是 GSM 模块发送短信功能的实现。外部 MCU 通过串口发送特有的 AT 指令集来实现对 GSM 模块的控制。首先,发送 AT+CSGS=GSM 指令,使得 TE 字符集设置为缺省字符集。其次,发送 AT+CMGF=1 指令,使得短消息模式设置成为文本模式。最后,发送 AT+CMGS 指令,实现向用户设置固定号码发送短信的功能。

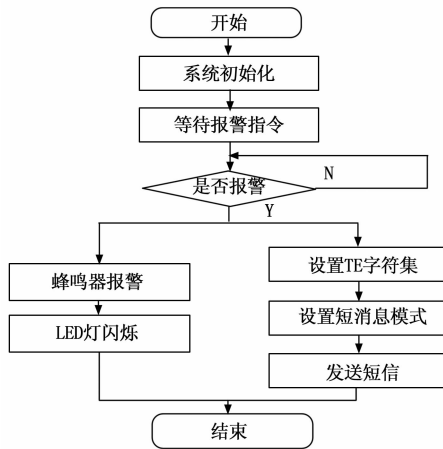


图 8 下位机程序流程图

### 3.3 GUI 界面设计

采用 MATLAB 生成 GUI 界面实现灰度图像到伪彩色图像的转化和显示。伪彩色图像采用为灰度分层的方法生成,该方法的主要原理是将一幅灰度图像的各个灰度值分为 M 个不同灰度级的区域,将 M 个区域人为分配 M 种不同的颜色,就可得到 M 种颜色的伪彩色图像。在 Matlab 中,实现灰度分层伪彩色处理的函数为 grayslice,它的语法为 X=grayslice(I, n),其中 I 为原灰度图像, n 为均匀量化等级数, X 为索引图。

图 9 为利用红外相机拍摄加热后的热水壶的伪彩色图像处理界面,实现了将红外相机采集到的图像实时转化为伪彩色图像的功能。在实际工作过程中,工作人员可根据伪彩色图对电气设备的故障区域进行判断。



图 9 伪彩色图像处理界面

#### 4 系统运行测试与分析

系统运行的具体实验步骤如下:

- 1) 连接好相机, 在上位机界面上选择好相机接口。
- 2) 设置相机所拍摄图像的保存路径, 并将保存图片命名。系统默认图片名称为“0.png”。
- 3) 连接下位机, 在上位机界面上选择通信接口, 并利用 Keil 软件将下位机程序烧录到 STM32 芯片中, 确定报警模块与微处理器连接正确。
- 4) 运行软件, 点击拍照按钮, 此时相机所采集的图像会在图像显示区显示, 且所拍摄物体的最高温度值会显示在界面上。
- 5) 点击上位机界面中的处理图像按钮, 调用出处理后的伪彩色图像显示界面。

将红外相机拍摄某表面温度高于阈值温度的热源, 其界面显示如图所示, 系统蜂鸣器响起, 报警灯点亮, 同时手机持续接收到报警短信。多组实验测试结果如表 1 所示, 测试结果表明, 系统运行稳定操作简便, 具有良好的预警效果。

表 1 实验测试结果

| 阈值温度/℃ | 被测物体表面温度/℃ | 报警情况 |
|--------|------------|------|
| 70     | 65         | 未报警  |
| 70     | 67.5       | 未报警  |
| 70     | 72.5       | 报警   |
| 70     | 82         | 报警   |

#### 5 结束语

系统利用红外测温方法来实现被测设备实时温度的监测和温度阈值报警, 可以对电站中的电气设备的运行状况进行有效监测。在设备工作温度非正常时, 及时向工作人员报警, 同时系统通过显示的被测电气设备的伪彩色图像来帮助工作人员排查故障位置。通过选择性能更好的红外相机或者更准确的温度标定方法, 系统可以实现更精确的高温预警。

系统后续可以添加更多的功能, 比如将系统所拍摄的图像实时显示在手机 APP 上, 使用户更加方便地查看电气设备运行状况; 在上下位机通信方面还可以采用无线通信, 这样就使得系统摆脱线路地束缚, 使其更加轻便。通过改变报警温度值, 系统也可以推广到各种需要温度监测的特殊工作场合。

#### 参考文献:

- [1] 杨达伟, 钱利宏. 配电站运行安全监测系统研究 [J]. 中国高新技术企业, 2016, 23 (35): 21-23.
- [2] 熊利辉, 陈 昶, 魏 敏. 配电站在线监测监控系统的设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2018, 25 (2): 111-113, 116.
- [3] 杨 承, 杨昕梅, 李绍荣. 利用红外与可见光图像融合测温技术实现设备异常状态预警 [J]. 现代建筑电气, 2014 (s1): 85-89.
- [4] 贾云辉, 邱 杨, 谢富华, 等. 基于模糊控制的智能火灾报警系统 [J]. 国外电子测量技术, 2017, 36 (11): 94-98.
- [5] 胡家骏. 红外非接触测温系统设计与实现 [D]. 黑龙江: 黑龙江大学, 2016.
- [6] 叶玉堂, 刘 爽. 红外与微光技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [7] Jousset R, Hong D, Rabat H, et al. Temperature measurement using infrared thermography of the dielectric in a DBD plasma actuator dedicated to subsonic airflow control [A]. International Conference on Plasma Science [C]. 2010: 1-1.
- [8] 周庆福, 杨永军, 吕国义. 红外辐射测温仪及校准方法探讨 [J]. 计测技术, 2008, 28 (12): 33-35.
- [9] Robbins R, 张翼翔. 机器视觉产品的 GigE Vision 标准 [J]. 软件, 2009 (10): 52.
- [10] 刘 军. 原子教你玩 STM32 (库函数版) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.

(上接第 6 页)

- [2] 周晓刚, 熊 健, 马护生. 叶栅 Re 效应评估试验设备建设实施方案 [R]. 四川绵阳: 中国空气动力研究与发展中心, 2018: 1-10.
- [3] Popp M. PROFINET 工业通信 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [4] 徐清书. SINAMICS S120 变频控制系统应用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [5] 崔 坚. SIMATIC S7-1500 与 TIA 博途软件使用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [6] 天工在线. LabVIEW2018 从入门到精通 [M]. 北京: 中国水

- [7] 来德宝, 吴 强, 向 东. 基于 LabVIEW 的电气控制柜虚拟维修训练系统的仿真方法 [J]. 四川兵工学报, 2015, 36 (1): 124-127.
- [8] 金以慧. 过程控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [9] 丁 平, 马晓明. 安全可靠的火工品点火电路设计 [J]. 兵工自动化, 2015, 34 (4): 28-29.
- [10] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [11] 周晓刚, 杨海滨, 黄昊宇. 风洞测控系统技术改造 [J]. 兵工自动化 2012, 31 (1): 65-67.