

地面气象观测站运行监测与控制系统设计

左湘文^{1,2,3}, 肖建辉^{1,2,3}, 荀家宝^{1,2,3}, 刘青松³, 张磊³

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750002;

2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002;

3. 宁夏大气探测技术保障中心, 银川 750006)

摘要: 地面气象观测站是一种重要的气象探测设施, 由主采集器、分采集器、各种传感器以及供电系统等构成, 能够自动观测气温、湿度、气压、风速、风向、雨量等地面气象观测要素; 为提升地面气象观测站运行状态监测及时性和丰富程度, 实现远程电源控制, 研究并设计一套地面气象观测站运行监测与控制系统; 系统由站端控制器以及上位机软件组成, 以树莓派为核心完成站端控制器硬件设计开发, 基于 python 语言完成上位机软件以及控制器程序设计开发; 对系统可靠性、功耗进行测试; 测试结果表明: 系统对自动站运行状态的成功获取率在 99.5% 以上, 并对运行状态异常具有较好的识别能力; 控制器平均值为 3.9 W, 接入常见的 8 要素地面气象观测站功耗占比为 5.6%, 电池供电情况下对蓄电池续航时间影响不大, 但在低功耗气象站中使用时应考虑更换更大容量的电池; 该系统可进一步提升地面气象观测站运行质量, 降低维修保障人员工作强度。

关键词: 地面气象观测站; 运行监测与控制; 树莓派; python

Design of Operation Monitoring and Control System for Weather Station

ZUO Xiangwen^{1,2,3}, XIAO Jianhui^{1,2,3}, XUN Jiabao^{1,2,3}, LIU Qingsong³, ZHANG Lei³

(1. Key Laboratory for Early Warning and Risk Management of Agrometeorological Disasters in Dry Areas of China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China; 2. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Ningxia, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Atmospheric Observation Technology Support Center, Yinchuan 750006, China)

Abstract: Weather station is an important meteorological observation facility, which is composed of main collector, sub collector, various sensors and power supply system. It can automatically observe surface meteorological observation elements such as temperature, humidity, pressure, wind speed, wind direction, rainfall, etc. To improve the timeliness and richness of operation status monitoring in weather stations and realize the remote control, a monitoring and control system is studied and designed for weather stations. The system takes Raspberry Pi as the core to complete the hardware design and development of the weather station controller. And based on Python language, the software and controller program for monitoring and controlling the operation state of weather stations are developed. Finally, the reliability and power consumption of the system are tested and verified. The test results show that the success rate of the system in obtaining the operation status of the automatic stations is above 99.5%, and it has a good ability to identify the abnormal operation state of the surface meteorological stations. The average power consumption value of the controller is 3.9 W, and the proportion of power consumption is 5.6% when the eight elements weather stations are connected. The battery power supply has little influence on the battery life, but it should be considered to replace a larger capacity battery when used in the low-power consumption weather stations. This system can further improve the operation quality of weather stations and reduce the work intensity of maintenance personnel.

Keywords: weather station; running status monitoring and control; Raspberry Pi; python

0 引言

随着我国气象事业不断发展, 越来越多地面气象观测站投入使用, 目前全国已建成国家级地面气象观测站约

2 400 套, 省级地面气象观测站近 60 000 套。地面气象观测站观测数据为气象预报预警、气象服务业务开展提供了有力的观测支撑。随着站点规模的不断扩大, 基层气象部门维修保障压力显著增加。地面气象站上传的报文或流数据

收稿日期: 2022-09-24; 修回日期: 2022-10-29。

基金项目: 中国气象局重点实验室指令性项目(CAMP-202007)。

作者简介: 左湘文(1984-), 男, 宁夏吴忠人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气象探测技术方向的研究。

通讯作者: 肖建辉(1965-), 男, 湖南湘乡人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事气象装备技术保障技术方向的研究。

引用格式: 左湘文, 肖建辉, 荀家宝, 等. 地面气象观测站运行监测与控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 141-146.

主要为气温、湿度、气压、降水、风速、风向等气象观测数据，部分关键的设备运行状态数据并不上传，而且数据上传频率为一小时，维修保障人员无法全面且及时地掌握设备运行状态。有些站点地处偏远，处于无人值守状态，当主采集器或分采集器出现死机时需要奔赴现场重启解决，大大降低了维修保障工作时效。为提高地面气象观测站平均无故障时间和数据正确率，并降低基层气象部门维修保障人员劳动强度，开展地面自动气象站远程运行状态监测与控制方法研究迫在眉睫。

目前国内在地面气象观测站运行状态监测与远程控制方面已取得了一些成果。在运行监测方面，吴频频等设计了一种地面气象观测站监测软件^[1]，能够对站点观测数据异常状态进行远程监控，但是该软件是通过获取站点上传的气象观测数据来实现状态监控，并不能获取地面气象观测站存在本地的运行状态参数。杨维发等设计了一种便携式地面气象观测站故障分析仪^[2]可在现场对地面气象观测站各种传感器运行情况进行监测和判断，但不能实现在远端运行状态实时监测并在出现状态异常时进行远程干预。在远程控制方面，张初江等设计了一套地面气象观测站远程智能控制系统^[3]，实现了对地面气象观测站主采集器的远程控制，但没有实现对各个分采集器的电源控制，而且控制器体积较大，功耗较高。

为了解决上文中提到的问题，实现地面气象观测站远程实时监控和控制的实际需要，设计了一套地面气象观测站运行监测与控制系统。通过在地面气象观测站主机箱向内部署一个体积小、功耗低的运行状态采集与电源控制器，可以获取较全面的地面气象观测站气象观测数据以及运行状态数据，并可以根据用户指令对地面气象观测站进行远程开关机以及重启控制。在远端部署上位机软件，维修保障人员可以通过上位机软件对地面气象观测站运行状态进行实时监测，发现设备死机故障可以及时重启，从而达到提高维修保障效率的目的。

1 系统功能设计

地面气象观测站运行监测与控制系统由部署在站端的“运行状态采集与电源控制器（以下简称：控制器）”以及部署在观测室或监控中心的“上位机软件”组成，系统总体结构如图 1 所示。控制器硬件设计基于树莓派卡片电脑来实现，其主要功能是：1) 通过 RS232 串口实现地面气象观测站运行状态的采集和控制命令的转发；2) 通过无线网络实现与上位机软件通信；3) 通过控制继电器控制电路实现自动站各部件电源^[4]控制。在用户发现故障时，根据上位机发送来的指令对地面气象观测站进行关机、开机或重启操作。上位机软件采用 B/S 结构设计，分为三个功能模块：1) 数据通讯功能模块，实现与控制器通过网络实现数据通讯和数据存储；2) 运行状态判识功能模块，实现对地面气象观测站数据和运行状态进行实时监测判断；3) 用户

交互模块，实现地面气象观测站运行状态展示及远程控制。运行状态采集与电源控制器通过无线扩频设备与上位机软件相连，软件通过 UDP 协议通讯。在软硬件设计上均采用模块化设计，尽量减小各功能模块之间的耦合度，提高了系统可维护性。

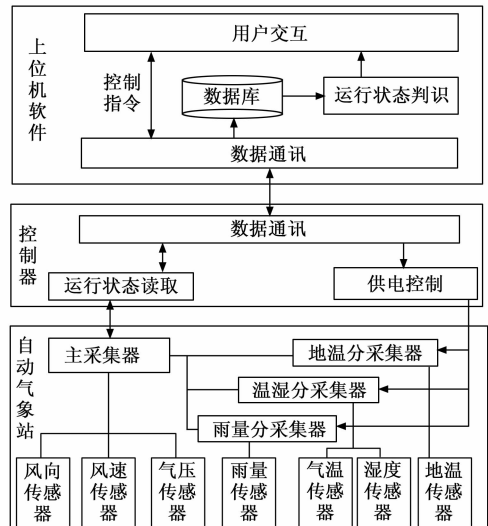


图 1 地面气象观测站运行监测与控制系统总体结构图

2 控制器关键技术设计

控制器由控制单元和继电器控制电路组成。采用树莓派^[5]卡片式计算机作为控制单元核心部件，树莓派是一个基于 ARM 构架的嵌入式开发平台，具有体积小、可靠性高、开发快捷以及低功耗的优点。树莓派可运行 linux 操作系统，完全支持 Python 语言开发，集成了 GPIO 和常用硬件控制引脚，可以方便快捷地和外围硬件电路进行交互。本次系统设计时采用的树莓派型号是 Raspberry Pi 3b+。

在系统实现中，树莓派上运行 Raspberry Pi 操作系统。在软件方面，运行状态监测及供电控制程序采用 Python 语言实现运行状态监测^[6]、电源控制并与上位机软件进行通信。在硬件设计方面，树莓派第 6 引脚（GND）、第 8 引脚（TXD）、第 10 引脚（RXD）与地面气象观测站调试通信接口相连，通过 RS232 通信接口实现对地面气象观测站观测数据和运行状态的获取。第 36、37、38、40 引脚与继电器控制模块相连，用来控制地面温度分采集器、温湿度分采集器、雨量分采集器以及主采集器电源的通断，后期可根据需要进一步扩展继电器控制电路。控制器硬件结构如图 2 所示。

2.1 控制器运行状态监测及供电控制程序设计

控制器支持与我国气象部门常用的 DZZ4、DZZ5 和 DZZ6 型地面气象观测站主采集器通讯。程序流程见图 3。

如图 3 所示，当控制器上电后通过握手命令与地面气象观测站采集器通信^[7]握手，当在 5 秒内收到采集器返回指令^[8]则进行下一步，反之则更换另一型号采集器的串口指

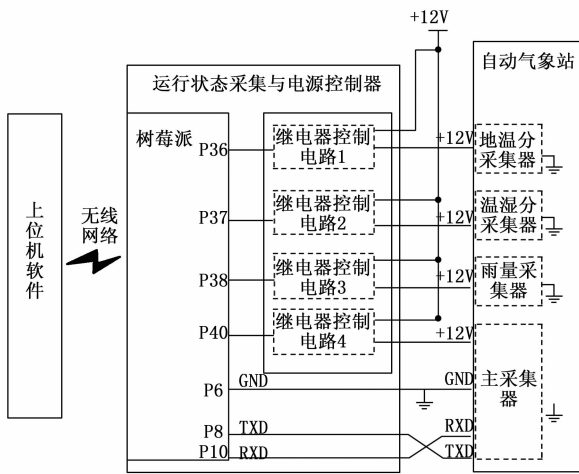


图 2 控制器硬件结构图

令集, 直到握手成功, 若遍历控制器内所有指令集后仍然没有握手成功, 则结束程序。

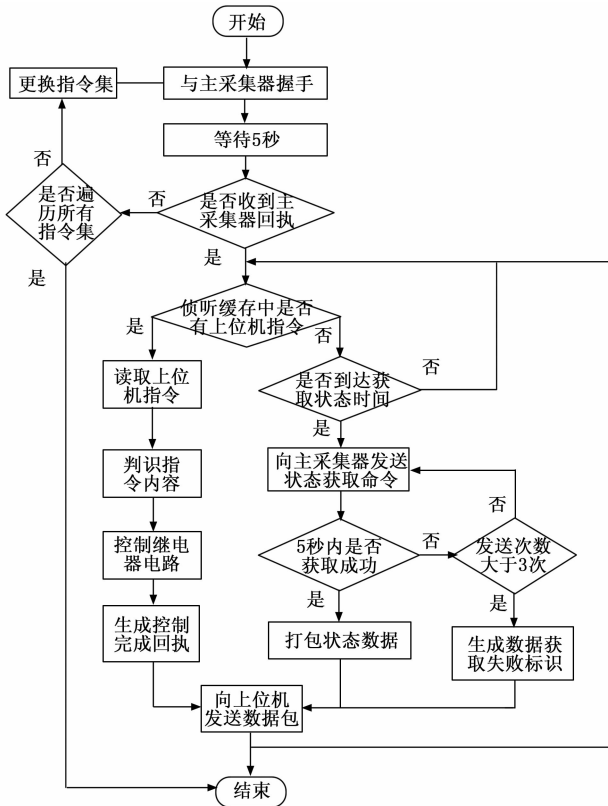


图 3 控制器运行状态监测及供电控制程序流程图

在通信握手成功后进入程序循环执行状态, 先检查网络通讯缓存中是否有上位机软件发来了控制指令。若有指令则读取上位机指令, 识别指令种类和控制通道, 并控制树莓派对应 GPIO 引脚电平变化来使继电器执行指令动作, 可执行断开、闭合、整机时序重启等控制动作, 控制完毕后生成控制完成回执回传给上位机。若网络通信缓存中没

有上位机控制指令则检查是否达到运行状态获取时刻, 若已到达获取时刻则向主采集器发送获取指令, 获取成功后完成数据打包, 并发送至上位机, 若获取失败则向上位机发送数据获取失败标识。

考虑到采集器在繁忙时有可能不会回复控制器读取指令, 为保证系统的可靠性, 控制器程序会等待 5 秒, 在 5 秒内没收到信息的情况下会发送 3 次读取指令, 若三次都没有收到运行状态信息, 则认为主采集器状态异常, 发送失败标识。另外, 在设置运行状态数据获取时刻时要满足两个条件: 一是获取数据间隔时间要大于 60 秒, 因为地面气象观测站数据采集频率在 60 秒以上。二是尽量避免影响地面气象观测站整点数据和分钟数据传输, 因为地面气象观测站在每小时整点^[9]会处理并上传整点观测数据, 在每分钟 30 秒前会上传分钟数据, 所以应不在每小时整点前 5 分钟、后 3 分钟以及每分钟前 30 秒获取数据。本文在控制器程序中将运行状态数据获取时刻设置为每小时的 06 分 40 秒、11 分 40 秒、16 分 40 秒、21 分 40 秒、26 分 40 秒、31 分 40 秒、36 分 40 秒、41 分 40 秒、46 分 40 秒、51 分 40 秒、54 分 40 秒。程序流程如图 3 所示。

2.2 继电器控制电路设计

各继电器控制电路实现了对控制主采集器、地面温度分采集器、温湿度分采集器、雨量分采集器供电线路的通断的控制, 单路继电器控制电路设计方案如下: 电源控制模块有四路相同的继电器控制电路组成, 另外可根据需要增加备份, 单路继电器控制电路如图 4 所示: P1 端子 1 脚接电源供电 VCC, 2 脚接地面温度分采集器、温湿度分采集器或雨量分采集器等供电正极输入端, 3 脚悬空。为保证树莓派控制模块安全, 采用 PC817 光电耦合器实现继电器通断控制。通过上拉电阻将树莓派 GPIO 引脚电平设为高电平^[10], 当控制器收到上位机控制指令后, 会在指定的 GPIO 引脚输出低电平, PC817 的 3、4 脚导通, S8050 三极管基极输入电流, Q1 三极管处于导通状态, 继电器 K1 的 3、5 脚闭合, 需要控制的电源断开, 反之电源闭合。继电器为感性元件, 在继电器通断时会产生反向势能可能会烧坏电子元件, 在继电器控制端并联一个续流二极管 D3, 可以起到吸收反向势能的作用^[11]。

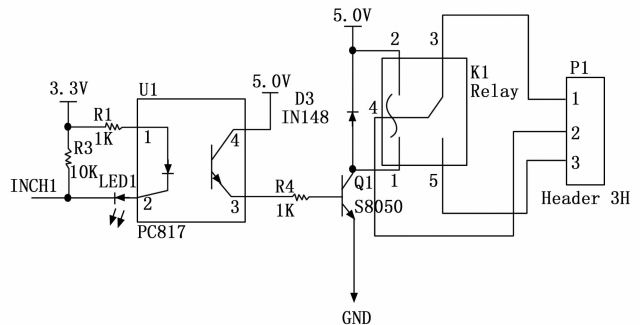


图 4 单路继电器控制电路图

3 上位机关键技术设计与实现

3.1 上位机数据通讯程序设计

上位机数据通讯功能模块是使用 Python 语言编写的控制台程序，数据通讯功能模块通过 UDP/IP 协议与控制器通讯，利用 Socket 接口^[12]实现接收控制器数据并发送用户电源控制指令。程序流程见图 5。

如图 5 所示，程序开始运行时，首先侦听网络通讯缓存中是否有控制器发来的地面气象观测站运行状态数据包，若有则检查数据格式，若格式错误则将读取错误标识写入数据库。若格式正确则将数据格式化后，然后通过 SQL 语言将运行状态数据写入数据库。

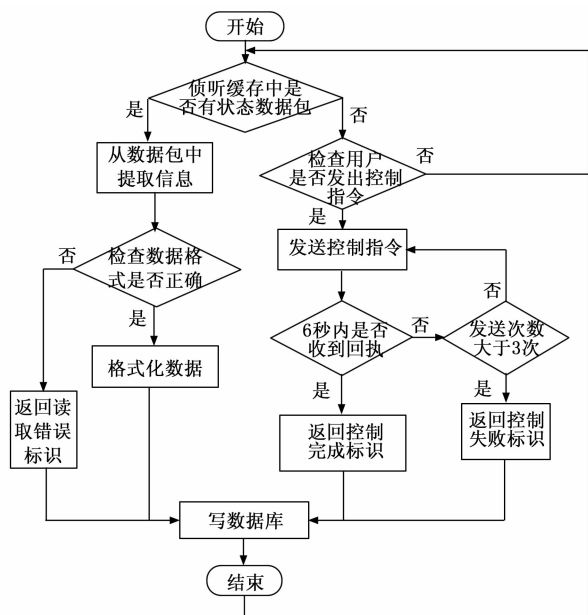


图 5 上位机软件数据通讯程序流程图

若没有侦听到地面气象观测站运行状态数据包，则检查用户是否发出控制指令，若没有则继续侦听通讯缓存，若用户发送了控制指令，则通过 UDP/IP 协议向控制器发送指令，收到回执后，生成控制完成标识并写入数据库，循环等待后接收失败则生成失败标识写入数据库。

3.2 运行状态判识模块程序设计

地面气象观测站运行状态主要有：采集器状态、电池电压、主机箱门状态以及各个传感器运行状态等。其中采集器状态、电池电压、主机箱门等状态信息可以直接从采集器中读取在进行判识，称为直接状态数据。传感器^[13]运行状态包含温度、湿度、气温、气压、风速、风向、降水、能见度等传感器的状态。各传感器状态无法从地面气象观测站采集器中直接获取，要通过对传感器观测数据分析判识获得，若观测数据异常则认为传感器状态可疑或故障，这类数据称为间接状态数据。

上位机运行状态判识模块是使用 Python 语言编写的控制台程序。运行状态判识与分析模块程序执行流程如图 6 所示。程序开始运行时，先装载本站参数，包括各站元数

据信息以及气象要素观测历史极值。然后读取数据库是否有新的运行状态数据，若没有则等待一段时间再读取，若有新数据则读取一行新数据，并遍历其中每个状态数据。如果该数据为直接状态数据，布尔类型的数据（采集器状态、主机门开关状态等）直接读取，浮点数类型（电池电压等）数据则需要进行阈值判断。若该数据为间接状态数据，则首先进行本站历史极值对比，若超过历史极值（包括低值与高值）则认为传感器状态异常，之后读取之前若干时刻的观测数据进行时间变化率检查，若变化率过低或者过高则判断传感器状态异常。最后将判识结果写入数据库，供用户交互模块读取。需要说明的是在时间变化率检查时，每种气象要素时间变化率阈值以及读取历史数据的长度并不相同，这主要由各类传感器正常情况下观测要素随时间变化快慢以及变化特征决定。

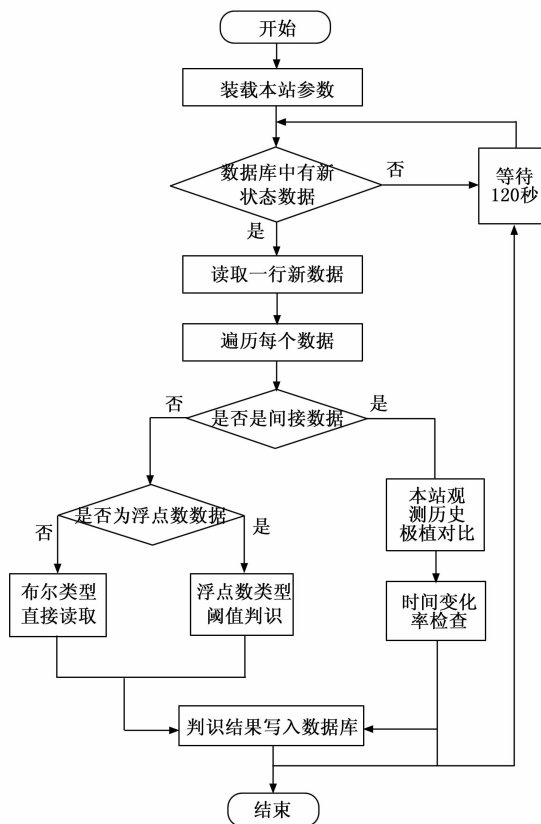


图 6 上位机运行状态判识程序流程图

3.3 用户交互模块功能设计

用户交互模块直接面对业务值班员等用户。在设计用户交互模块时要考虑到系统使用的便利性，要实现可以通过不同计算机终端访问系统，故采用 B/S 结构设计，利用 Flask 框架技术实现。Flask^[14]是一个轻量级的可定制框架，使用 Python 语言编写，其 WSGI 工具箱采用 Werkzeug，模板引擎则使用 Jinja2。较其他型框架更为灵活、轻便、安全且容易上手。它可以很好地结合 MVC 模式进行开发，适合中小型网站的开发。另外，Flask 具有较强的扩展性，用

户可以根据自身需要添加定制功能。

用户交互模块设计遵循直观便捷原则^[15], 在实时显示运行状态数据与报警设计时, 以界面展示直观、美观为出发点, 通过清晰直观的展示界面, 实现对自动站气象观测数据、运行状态、报警信息等信息的实时监测, 对于直接状态数据, 使用圆形“小灯”表示, 红色为异常, 绿色为正常。对于间接状态数据, 数字变为红色为异常, 其他颜色为正常。在自动站供电的远程控制设计时, 以操作便捷, 反馈明确为出发点, 可以手动单独关闭、打开或重启主采集器、温湿分采集器、雨量分采集器, 也可以一键时序重启整个地面自动气象站。用户界面见图 7。



图 7 用户交互模块界面示意图

3.4 数据存储

采用 Mysql 数据库系统实现本系统数据库构建, 数据库包含自动站点信息表、运行状态信息表、控制器操作日志表、用户信息表。站点信息表存储需要监测的自动气象站区站号, 控制器标识等信息; 运行状态信息表存储接收到的各站运行状态数据; 控制器操作日志表用来记录用户操作控制器的日志信息; 用户信息表存储系统用户权限、名称、密码、所述机构等信息。

4 实验结果与分析

4.1 可靠性测试

测试指标: 使用运行状态获取成功率与运行状态异常判断成功次数作为测试的指标。运行状态获取成功率计算公式见式 (1):

$$E = \frac{E_a}{E_s} \times 100\% \quad (1)$$

式 (1) 中, E 为运行状态获取成功率, E_s 为测试时段内运行状态数据应获取总次数, E_a 为系统运行状态数据实际获取次数。因为测试时间有限, 地面自动气象站自然出现状态异常次数可能较少, 所以人为设置典型地面自动气象站运行状态异常情况^[16-17]进项测试, 用运行状态异常判断成功次数 (N) 来衡量系统判识性能。

测试方法: 在可靠性测试中, 将地面气象观测站运行监测与控制系统接入 DZZ5、DZZ6 型地面气象观测站测试运行 1 个月 (30 天), 每小时获取数据 11 次, 共获取 7 920

次。人为设置 10 运行状态异常情况, 并依次触发, 详情见表 1。

表 1 人为运行状态异常简述

序号	异常原因	运行状态判识异常描述
1	主采集器死机	探测器返回控制失败标识
2	主采集器电压过低	探测器返回蓄电池电压低于 12 V
3	气压传感器静压管堵塞	气压数值 5 小时变化 ≤ 0.3 hPa
4	风速传感器轴承卡死	风速数值 2 小时变化为 0
5	风向传感器轴承卡死	风向数值 2 小时变化 $\leq 3^\circ$
6	降水传感器干簧管短路	降水值 5 分钟内变化 ≥ 20 mm
7	气温传感器信号线中断	气温数据常缺测
8	能见度发射器或接收器镜头被异物遮挡	能见度数值出现 2 小时内陡降且在 10 小时内变化 $\leq 2 000$ km
9	320 cm、160 cm、80 cm 深层地温套管漏水	320 cm、160 cm 地温数据 2 小时内变化超过 0.5 度, 80 cm 地温数据 2 小时内变化超过 1.5 度
10	温湿分采集器死机	温度湿度数据同时异常缺测

测试结果与分析: 运行状态获取成功率 E 与运行状态判识异常成功次数 N 见表 2。DZZ5 型地面气象观测站 E 值为 100%, DZZ6 型地面气象观测站 E 值为 99.5%, DZZ6 型地面气象观测站相对较低的原因有可能是在该系统与主采集器通信的时刻出现了主采集器程序长时间繁忙的情况所致, 需要对该型号主采集器程序运行机制开展进一步研究。该系统对于两种型号地面气象观测站出现的运行状态异常情况都能准确判识, N 值均为 10 次。

表 2 运行状态数据获取成功率以及人为运行状态异常判识测试结果

气象站型号	E_a	E_s	E	N
DZZ5	7 920	7 920	100%	10
DZZ6	7 920	7 881	99.5	10

4.2 控制器功耗测量

测试指标: 使用控制器瞬时功率 (P_t)、控制器平均功率 (P_m)、整机瞬时功率 (P)、整机平均功率 (P_a) 以及平均续航时间 (T) 作为功耗测试指标。平均续航时间是指: 在只有蓄电池供电的情况下测量设备从开机到因电力不足而关机的时长, 反复测量 5 次后取平均值。

测试方法: 将系统控制器接入典型的 DZZ5 型地面气象观测站, 该站配有风向、风速、温度、湿度、气压、地温、降水、能见度八个观测要素传感器, 供电采用免维护蓄电池供电 (蓄电池充满电, 不接太阳能或市电供电装置, 蓄电池参数为 12 V 65 AH)。用功率监测装置分别接在控制器与地面气象观测站电力输入端进行功率监测^[18], 每 2 秒记录一次 P_t 和 P 值, 经过 30 分钟的测试, 共记录 900 次, 期间控制了 15 次继电器并同时向上位机发送信息。

测试结果与分析: 功率变化见图 8。试验表明控制器瞬

时功率 P_r 在 3.6~5.7 W 之间波动, 计算得到控制器平均功率 P_{ra} 为 3.9 W, 在程序触发继电器工作时 P_r 较大, 在 4.6~5.7 W 之间。同时测量地面气象站整机 (包含控制器) 瞬时功率 P 在 64.3~75.1 W 之间波动, 计算得到整机平均功率 P_a 为 69.1 W, 控制器平均功率占八要素地面气象站整机功率的 5.6%。用同一块满电 12V65AH 免维护蓄电池供电情况下, 将控制器接入 DZZ5 型地面气象观测站进行续航时间测试 5 次, 平均电池续航时间 T 为 8 小时 09 分, 在不接入控制器的情况 T 值为 8 小时 34 分, 平均续航时间减少了 4.9%。

实验表明控制器耗电量相对较小, 在蓄电池供电情况下, 对 8 要素地面气象观测站工作时间影响不明显。而 2 要素 (温度、雨量) 气象站和 4 要素气象站 (风速、风向、雨量、温度) 中由于气象站本身功耗减小, 很可能导致控制器功耗所占比例有所上升, 对电池续航时间影响也更加明显, 所以在使用该系统控制器时要考虑更换容量更大的电池, 否则有可能会明显影响地面气象观测站续航时间。

— 控制器瞬时功率 — 整机瞬时功率

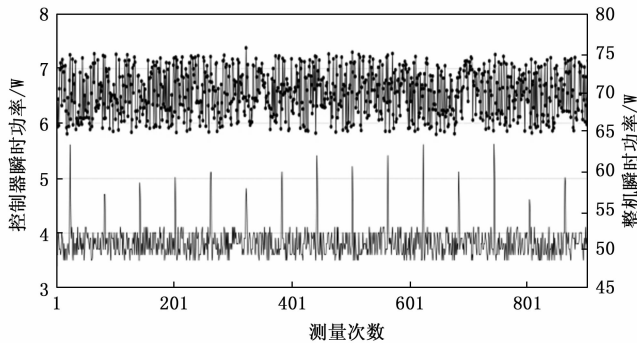


图 8 控制器与地面气象观测站整机功耗对比情况

5 结束语

该系统支持对 DZZ4、DZZ5、DZZ6 型地面气象观测站和 DSN3 型^[19]自动土壤水分站进行运行监测和远程电源控制, 指令集更新后可以支持更多型号的设备。该系统在宁夏 5 个八要素地面气象观测站使用 9 个月, 运行期间控制器出现 7 次无法远程控制站点设备的故障, 经检查发现有 6 次是由于继电器控制电路与树莓派连接端子接插不牢靠导致, 用焊锡固定连接后恢复正常; 有 1 次是由于人为维护地面气象站时没有及时恢复控制器供电引起。上位机软件在试运行中修复软件漏洞 19 个, 完善功能点 11 个, 目前运行稳定, 软件界面友好, 操作便捷。实际应用证明, 该系统可以实现对地面气象观测站设备实时监控, 并只实现了远程控制, 维修人员不用到达现场就可以解决自动站程序死机等故障, 显著提高了维修效率, 取得了良好的效益。在下一步工作中, 一是开展降低控制器功耗研究并进一步缩小体积, 在保证可靠性的情况下, 基于低功耗版本树莓派或其他嵌入式开发平台设计研发更低功耗、更小巧便携的控制器; 二是对 DZZ6 等主采集器程序运行机制开展深入研究,

改进控制器运行状态监测及供电控制程序, 进一步提高系统获取运行状态成功率。

参考文献:

- [1] 吴频频, 李长明. 区域自动气象观测站软件设计的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (5): 142-145, 245.
- [2] 杨维发, 张冰松, 秦运龙, 等. 便携式地面气象观测站故障检测仪的设计与研发 [J]. 气象科技, 2017, 45 (6): 1106-1111.
- [3] 张初江, 邓圣, 陈利芳, 等. 自动气象站远程智能控制系统设计与应用 [J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 37 (2): 76-78.
- [4] 卢舟, 彭柏池, 袁首, 等. 区域地面气象观测站供电及通讯系统改良方法研究 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (12): 133-137.
- [5] 杨丛丛, 吴涛, 张安峰, 等. 基于树莓派的无线遥控移动机器人设计与运行控制 [J]. 软件, 2020, 41 (2): 97-101.
- [6] 覃小慰. 基于树莓派和 Python 的无人机械手爪控制系统设计 [J]. 软件, 2021, 42 (2): 44-45, 51.
- [7] 于波, 韩玉斌. 基于 STM32 的振动信号采集系统设计 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (4): 149-152.
- [8] 蔡红维, 谢福锋, 甘朝虹. 基于智能技术管理的测控自动化运行系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (10): 114-119.
- [9] 王明辉, 陈冰怀, 黄海, 等. 地面气象观测站常规传感器现场检测系统设计 [J]. 气象科技, 2019, 47 (3): 402-407.
- [10] 郑俊锦, 夏利娜, 陈龙福, 等. 双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (8): 56-61.
- [11] 甘志强, 余申伟, 高涛, 等. 区域自动气象站智能现场核查系统设计与应用 [J]. 电子测量技术, 2021, 44 (9): 168-172.
- [12] 余小非. 近海水下探测取样装备测控平台设计与实现 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018.
- [13] 吴一鹏, 孙旭飞, 张斌. 基于家庭云存储的设计与实现 [J]. 微型机与应用, 2017, 36 (20): 111-114.
- [14] 龚永富, 王少云, 雷仲魁, 等. 高速、高精度数据采集系统的上位机软件设计 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (15): 38-42, 47.
- [15] 孙好婕, 赵利强, 郑惠泽, 等. 基于 Qt 的集成电路测试软件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 29 (5): 73-78.
- [16] 中国气象局综合观测司. DZZ5 型自动气象站维修手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2018.
- [17] 中国气象局综合观测司. DZZ6 型自动气象站维修手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2019.
- [18] 肖涛, 钱政, 于浩, 等. 机载电源在线监测系统的研制 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (8): 60-64.
- [19] 王辉, 孟庆春, 李林, 等. DSN3 型土壤水分自动站故障诊断流程及实例分析 [J]. 气象水文海洋仪器, 2019, 36 (1): 73-78.