

基于 LoRa 的自动气象站故障诊断装置的设计与实现

范雯杰¹, 陈立峰², 熊鸣³, 袁薇¹, 张芳¹

(1. 国家气象局 气象干部培训学院, 北京 100081; 2. 枣庄市气象局, 山东 枣庄 277100;
3. 北京信息科技大学 自动化学院, 北京 100192)

摘要: 为了改善人工定位设备故障难度高、耗时长的问题, 设计了一款基于 LoRa 无线通信技术的自动气象站故障诊断装置; 该装置包含 4 个监测单元和 1 个主控单元, 通过 STM32 系统实现对相关信号的采集和处理; 其中, 4 个监测单元分别布设在自动气象站的各关键组成部分, 可采集相关供电信号、传感器输出信号和工作状态信息等, 并通过 LoRa 通信将信息无线传输至主控单元; 主控单元则对信息进行汇总和分析, 结合其内置的故障综合诊断方法来定位出故障发生的准确位置, 并经 HMI 屏幕输出定位结果, 以协助业务人员及时排除故障; 经测试表明, 该装置能够实现自动气象站故障位置的自动判定, 可大幅缩短故障排除耗时, 提高装备保障效率。

关键词: 自动气象站; LoRa; 物联网技术; 故障诊断; 运行监控; 装备保障

Design and Implementation on LoRa-based Fault Diagnosis Device of Automatic Weather Stations

FAN Wenjie¹, CHEN Lifeng², XIONG Ming³, YUAN Wei¹, ZHANG fang¹

(1. China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081, China;

2. Zaozhuang Meteorological Bureau, Zaozhuang 277100, China;

3. School of Automation, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: In order to improve the problems of high difficulty and time-consuming for manual localization equipment faults, a fault diagnosis device based on LoRa wireless communication technology is presented. The device is composed of four monitoring units and one master control unit, the STM32 system is used to implement the acquisition and processing of the relevant signals. The four monitoring units are distributed in the key components of the automatic weather station and collect the power supply signals, sensor output signals and operating status information, and the LoRa technology is used to transmit the information to the main control unit. The main control unit summarizes and analyzes the information, which is combined with the built-in integrated fault diagnostic methods to locate exact location of faults and output the locating results via the HMI screen, so as to assist the business staff in troubleshooting in time. Test results show that the device can realize the automatic determination in the fault location of automatic weather stations, which can significantly shorten the troubleshooting time consuming and improve the efficiency of equipment protection.

Keywords: automatic weather station; LoRa; IoT technology; fault diagnosis; operational monitoring; equipment security

0 引言

天气对人们的日常生活和社会生产有着重要影响。因此, 自动气象站已被广泛应用于防灾减灾和各个行业, 可对温度、湿度、气压、雨量、风向、风速等多种环境信息进行监测。近年来, 我国气象部门已建立了一个包含超过 7 万套自动气象站的庞大地面气象观测站网络。但与此同时, 伴随着设备数量和使用时长的增加, 自动气象站发生故障的频次也在逐年增加。由于其故障原因复杂多样, 业务人员通常需要耗费大量时间才能判断出故障的发生位置, 这

不仅消耗了大量人力资源, 更会导致气象数据的缺失, 产生不可逆转的损失。对于气象部门而言, 如何迅速定位和排除故障, 及时恢复设备的正常运行, 已成为一项重大挑战^[1]。

为了缩短设备故障检测耗时, 研究人员进行了多项研究, 开发了相关的故障检测系统或设备^[2-4]。在气象领域, 也相继出现了自动气象站故障检测仪、巡检仪和现场核查仪等便携式设备^[5-11]。这些设备可协助业务人员在故障排查时进行检测, 但仍需依赖人工操作, 尚无法实现对故障位

收稿日期: 2023-06-30; 修回日期: 2023-08-21。

作者简介: 范雯杰(1984-), 男, 硕士生, 高级工程师。

通讯作者: 陈立峰(1985-), 男, 硕士研究生, 工程师。

引用格式: 范雯杰, 陈立峰, 熊鸣, 等. 基于 LoRa 的自动气象站故障诊断装置的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 7-14, 29.

置的自动判定。

物联网能够通过不同的传感器、通信和识别技术,来实现对物与物、物与人之间的广泛连接,完成信息采集、监控和互动等,从而实现对物体和信息的智能管理。目前,物联网技术已在各行业得到了广泛应用,为环境数据采集、自动监控等方面提供了新的技术实现方式^[12-16],并在故障诊断方面得到了使用,提高了故障检测效率^[17-19]。在气象领域,基于物联网技术的自动气象站测量系统^[20-22]也已出现,但将物联网技术与气象设备故障诊断相结合方面所开展的研究仍较少。

开发一款能够自动、快速定位故障的装置,对提高自动气象站等设备的保障效率尤为重要。为此,本文设计了一款基于 LoRa 物联网通信技术的装置。其通过采集自动气象站各组成部分的相关信号,并经综合分析和处理,来实现对故障位置的自动判定,从而大幅缩短了故障排除所需时间。通过利用物联网通信技术,该装置还能够实现远程监测和诊断,而无需人员现场操作,提高了故障定位的准确性和效率。

1 系统设计

自动气象站主要由传感器、主采集器、分采集器和供电电源等部分组成。由于电子元器件老化及外部环境等因素影响,自动气象站在运行过程中难免会出现各种故障。这些故障可能发生在上述各个主要组成部分的任意位置^[23],因此对故障的定位较为困难。

本研究以气象部门目前广泛使用的 DZZ5 新型自动气象站为研究对象,设计了一款装置,旨在实现对故障的自动定位。该装置由 5 个组成部分构成,整体结构如图 1 所示。

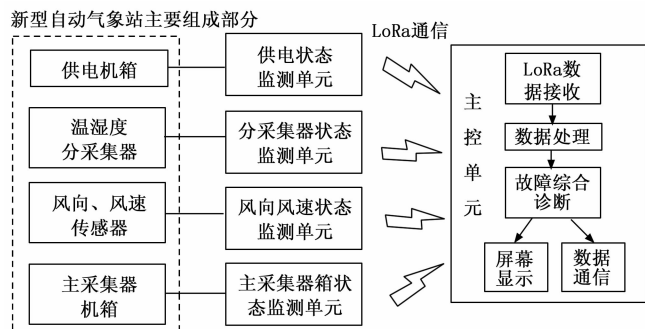


图 1 整体组成结构示意图

为了实现对故障位置的自动诊断,首先需对自动气象站各组成部分的供电、传感器信号输出或设备状态信息等进行连续的监测和数据采集。为此,该装置设计了 4 个状态监测单元,分别是供电状态、风向风速、分采集器和主采集器箱状态监测单元。这 4 个监测单元可对自动气象站各关键部分的信号和工作状态等进行数据采集,并通过采用 LoRa 将相关信息无线发送至主控单元进行汇总。在接收到监测单元的相关信息之后,主控单元将对信息进行综合分析和处理,并通过故障综合诊断方法对故障发生的准

确位置进行定位,并通过 HMI 显示屏将定位结果予以输出,协助业务人员及时排除故障。

2 主要模块电路设计

2.1 LoRa 通信电路

在设计自动气象站故障诊断装置时,为了降低对自动气象站本身运行和雷击损害的影响,需尽量减少其附属线缆的使用量。为此,该装置采用了无线通信方式进行数据传输。在选择通信方式时,考虑到数据发送端(4 个状态监测单元)与接收端之间的距离可能较远,有些站点的距离可能超过 100 米。经对比分析,该装置排除了通信距离相对较近的 Wifi、BLE4.0 和 Zigbee 等方式,而选择了通信距离相关较远的 LoRa 技术来实现数据传输。

为了实现 LoRa 通信功能,选择了致远电子研发的 LM400TU 模块。该模块支持双向通信,具备用户一键自组网功能,并在抑制同频干扰方面具有优势。此外,该模块还具备自组网功能,采用一主多从的星形网络拓扑结构,可通过配置工具实现对模块参数的配置。综上所述,其可满足本设计对 LoRa 通信的需求。图 2 所示为 LoRa 无线通信部分的工作电路图,LM400TU 模块与 STM32 之间通过串口进行通信。在该装置的全部 5 个单元中,均包含了 LoRa 通信电路。不同之处在于,4 个监测单元中的 LoRa 模块被配置为发送端,而主控单元中的 LoRa 模块则被配置为接收端。

通过 LoRa 通信,该装置可实现不同单元之间的高效协作,完成相关数据的无线传输,且不会对自动气象站的正常运行和雷击预防造成不利影响。

2.2 STM32 测量电路

该装置的 5 个组成部分均分别采用了 STM32 作为主控芯片,用于完成对自动气象站相关信号的采集、处理和通信等功能。具体选用的芯片型号是 STM32F103CBT6,该芯片内置 128 kB 的 Flash 存储器、20 kB 的 SRAM 内存、37 个可编程 GPIO 口,并支持 A/D 转换、CAN 总线、SPI、UART 等外设接口,便于方便地连接信号采集和 LoRa 模块等外部设备。

STM32 芯片的供电电压未 DC 3.3 V,可通过直流稳压芯片将自动气象站不同位置的 DC 电源或外部电源转换为其所需电源。同时,STM32 芯片通过串口与 LoRa 模块连接,实现无线通信功能。通过合理的电路设计和接口配置,STM32 测量电路可完成数据采集和传输,并实现故障综合诊断和自动判定等功能。

2.3 供电状态监测单元

稳定的电源供应对于自动气象站的正常运行至关重要。为了实现故障判定,首先需采集相关供电电压信号。DZZ5 新型自动气象站配备了独立的供电机箱,使用 220 V 的 AC 电源进行日常供电,并通过开关电源将 AC 电源转换为设备可用的 12~14 V 之间的 DC 电源(通常为 13.8 V 左右)。该 DC 电源被分为两组:一组用于主采集器的供电,这是自动气象站正常工作时的供电方式;另一组用于蓄电池的充

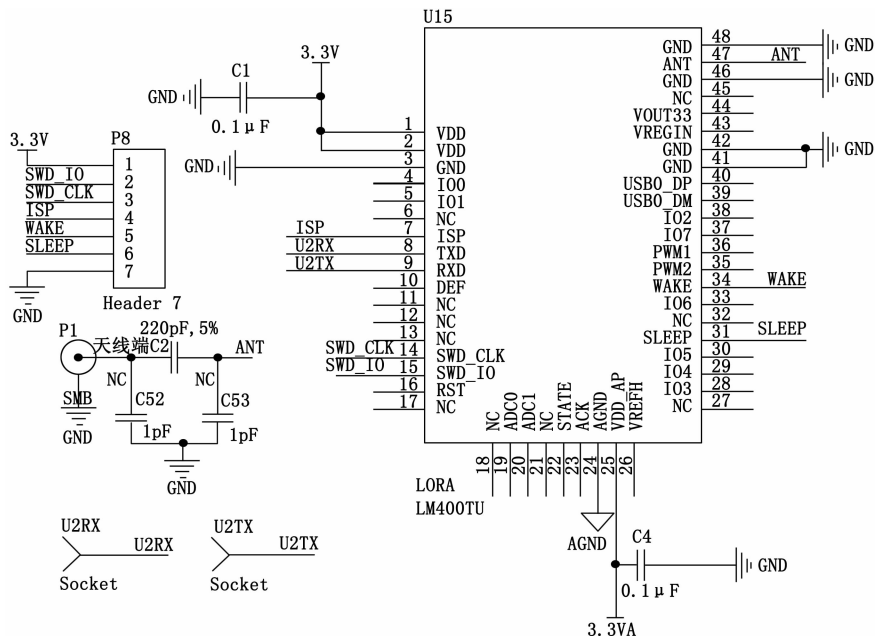


图 2 LoRa 模块工作电路图

电, 以确保在没有 AC 供电时仍能通过蓄电池供电, 从而避免数据缺失。通过对供电电压信号进行采集和监测, 能够实时监测自动气象站的供电状态, 从而判断是否存在供电故障或异常情况。

设计了 AC 电压转换电路来对 AC220 电源的供电状态进行监测, 其电路如图 3 所示。首先, 利用霍尔传感器将 AC220V 电压转换为低压 AC 信号; 其后, 通过半波线性检波器对低压 AC 信号进行转换, 得到相应的 DC 电压信号。转换后的 DC 输出电压值在 0~3.3 V 之间, 可由 STM32 的 ADC 模块直接进行测量, 并反算出对应的 AC220V 电压值信息。

此外, 还设计了 DC 电压转换电路用于采集自动气象站的 DC 供电电压值 (图略)。由于需检测的 DC 供电电压值约为 12~14 V, 因此需通过分压电路将其分压到 3.3 V 以下, 并利用 LM324 芯片进行阻抗转换。经上述转换后, STM32 便可直接采集 LM324 输出端的电压值。该电路不仅

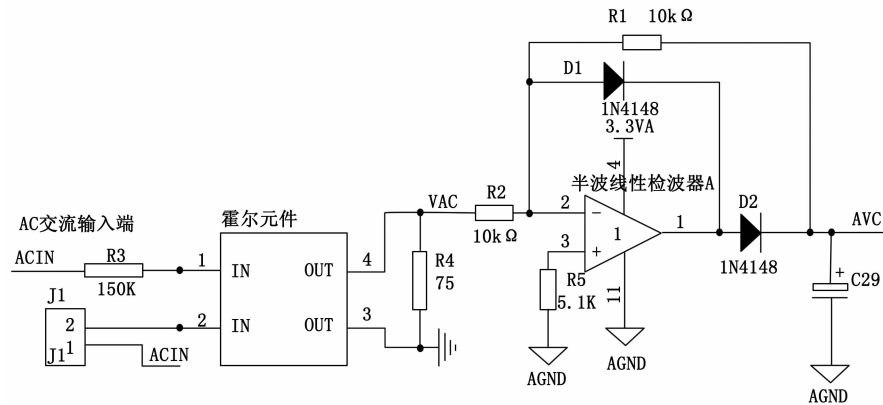


图 3 AC 电压转换电路

用于对本单元相关的 DC 电压测量, 在其它 3 个监测单元中也均有使用。

通过上述电压转换电路的设计, 该装置能够准确地采集和监测自动气象站的 AC 和 DC 供电电压值, 实现对供电状态的实时监测和故障判定, 为及时发现供电故障或异常情况提供依据。

2.4 分采集器状态监测单元

新型自动气象站的分采集器可获得温度、湿度等传感器信息, 并通过 CAN 总线与主采集器进行通信。为了实现分采集器工作状态的监测, 需获取分采集器盒内的供电电压和传感器供电等信号信息。为此, 设计了本监测单元来满足这一需求。

在本监测单元中, 除了前文提到的 LoRa 通信电路、STM32 测量电路和 DC 电压转换电路, 还设计了湿度传感器输出信号电路。湿度传感器输出信号的范围为 0~1 V, 由于其输出阻抗较高, 会导致后续电路无法获取该信号。图 4 所示为湿度信号预处理电路, 其左侧图为湿度输出信号的调理电路, 使用运放 AD620 对湿度信号阻抗进行转换。AD620 具有较低的输出阻抗, 后续的 LC 电路对 AD620 的输出几乎没有影响。图 4 右侧图则为湿度输出信号的加法电路。采用该电路的原因是: 大部分的 ADC 模块采用单端供电, 容易在 0 V 附近产生测量误差; 为了消除该测量误差, 使湿度信号更为精确, 此处通过加法电路来使湿度输出信号的电压范围从 0~1 V 提高至 1~2 V。上述电路可使湿度输出信号的范围远离 0 V 附近, 从而提高其测量准确度。

图 4 所示为湿度信号预处理电路, 其左侧图为湿度输出信号的调理电路, 使用运放 AD620 对湿度信号阻抗进行转换。AD620 具有较低的输出阻抗, 后续的 LC 电路对 AD620 的输出几乎没有影响。图 4 右侧图则为湿度输出信号的加法电路。采用该电路的原因是: 大部分的 ADC 模块采用单端供电, 容易在 0 V 附近产生测量误差; 为了消除该测量误差, 使湿度信号更为精确, 此处通过加法电路来使湿度输出信号的电压范围从 0~1 V 提高至 1~2 V。上述电路可使湿度输出信号的范围远离 0 V 附近, 从而提高其测量准确度。

2.5 风向风速状态监测单元

本监测单元通过在风横臂处设置信号采集电路, 实现了对高达 10 米的风杆或风塔上的风向和风速传感器输出信号的便捷监测。

DZZ5 新型自动气象站的风向传感器使用风向标作为感应元件, 其输出信号为 7 位格雷码信号, 经过换算后得到实际的风向值。格雷码信号可以通过电压转换来获取, 其中 5 V 电压对应格雷码值“1”, 0 V 电压对应格雷码值“0”。风速传感器使用风杯作为感应元件, 输出方波脉冲频率信号。该信号与风杯的转速成一定的线性关系, 具体的对应公式为: $V = 0.2315 + 0.0495F$ (其中 V 为风速, F 为脉冲频率)。

针对上述风向和风速传感器的输出信号特点, 设计了如图 5 所示的信号调理电路。图 5 左侧为风向输出信号调理

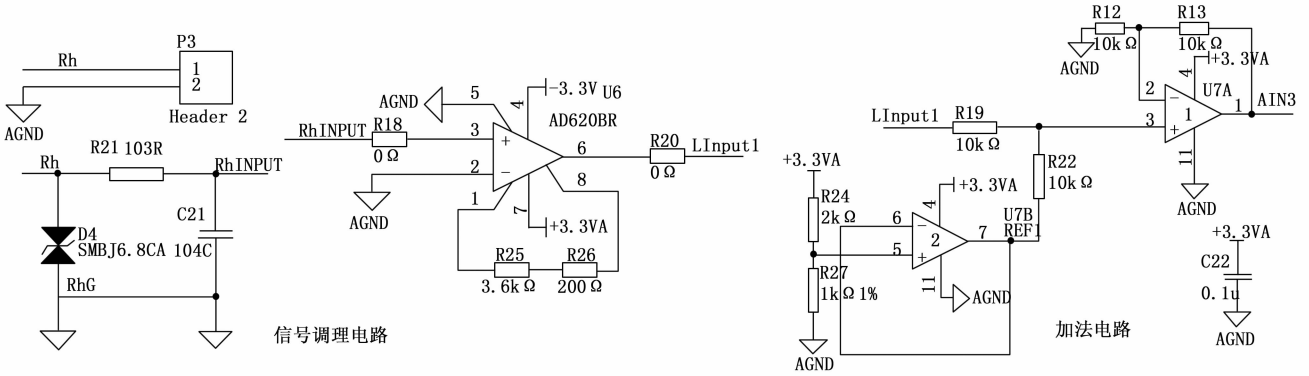


图 4 湿度传感器输出信号电路

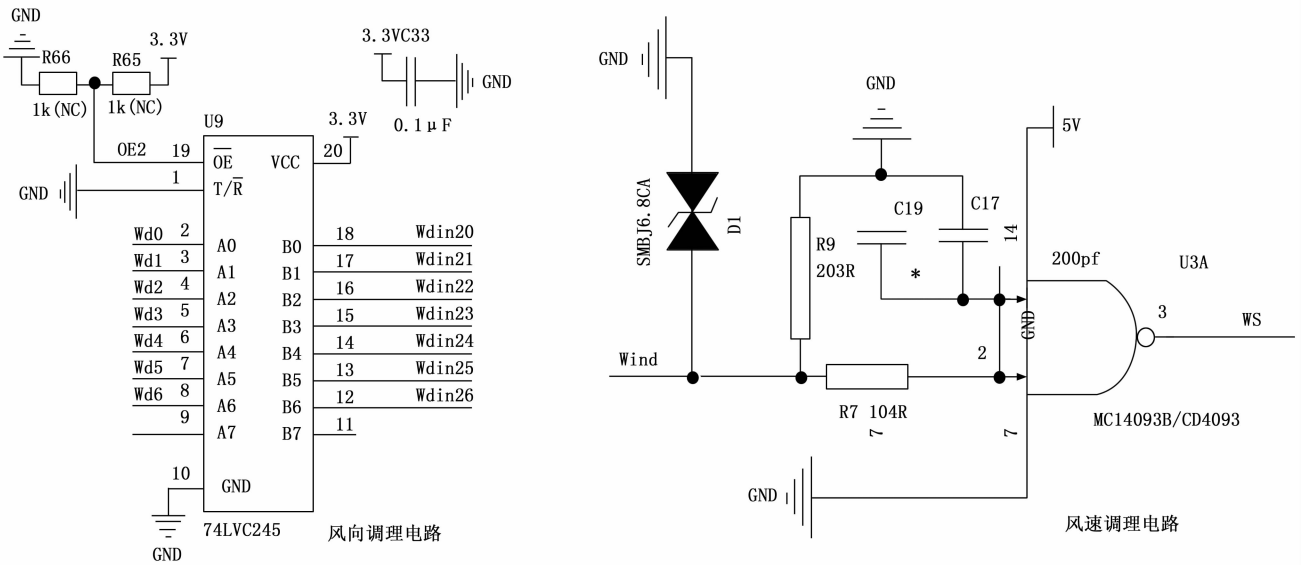


图 5 风向和风速输出信号调理电路

电路，通过 74LVC245 芯片及相关电路，将 5 V 的风向输出信号转换为 3.3 V 信号，以使 STM32 的 A/D 模块可进行电压值采集。图 5 右侧所示为风速输出信号调理电路，具备防抖动功能，用于将风速传感器输出的脉冲频率信号转换为更加稳定的信号，以便 STM32 对该频率信号进行采集。

此外，本单元还包含 LoRa 通信电路、STM32 测量电路和 DC 电压转换电路等组成部分。

2.6 主采集器箱状态监测单元

主采集器箱是自动气象站最为核心的部分，由以下部分组成：主采集器负责完成各传感器和分采集器的信息采集和传输；信号防雷板位于主采集器和传感器之间，起到防雷的作用；气压传感器安装在机箱门内侧，通过串口与主采集器之间传输数据。

为了监测主采集器箱内不同组成部分的工作状态并完成相关的信号采集，本监测单元包含了 LoRa 通信电路、STM32 测量电路和 DC 电压转换电路等模块。其中，STM32 测量电路的主要功能是获取主采集器的 DC 供电电

压信号，以监测主采集器的供电状态。并同时采集防雷板前后的相关 DC 供电电压、雨量、风向和风速信号，用于监测防雷板对应通道的工作状态。

此外，为了测量传感器信号，本监测单元还设计了以下传感器信号调理电路：风向和风速输出信号调理电路（同前文图 5），该电路设置了两组，分别布设在防雷板的两端，既可以监测风向和风速信号，又可以检测防雷板对应通道的正常工作；雨量调理电路用于测量连接到主采集器的雨量信号，同样设置了两组，分别布设在防雷板的两侧。由于雨量信号是通断信号，所以雨量调理电路与前文的风速调理电路（图 5 右侧图）是相同的。

由于自动气象站的 DC 供电电源有时会发生故障。因此，为了保证在无 DC 供电时仍可正常工作，本监测单元采用了两种供电方式：一是来自于主采集器的 DC 供电电压，这也是正常情况下的主要供电方式；二是备份供电，使用锂电池供电，以保证在 DC 供电故障时，本单元仍能正常工作。此外，在 DC 供电正常时，锂电池充电；在无 DC 供电

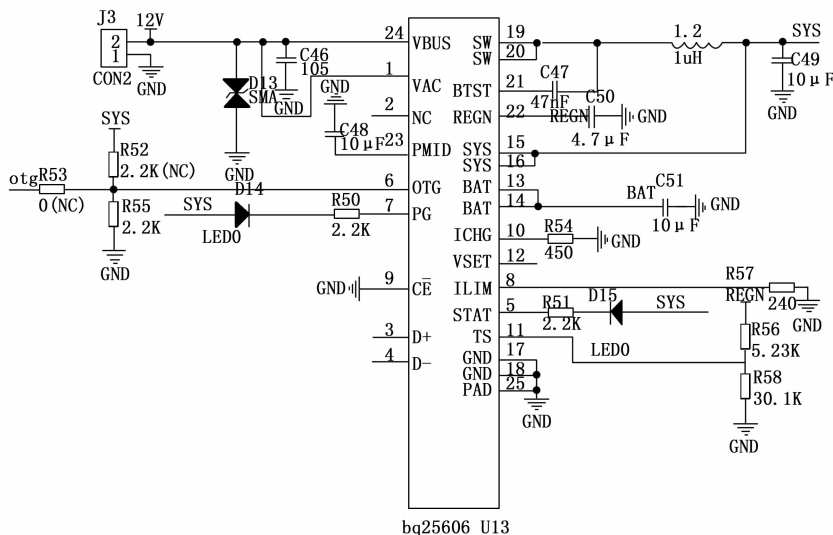


图 6 锂电池充电管理电路

时, 锂电池为本单元提供电力。锂电池的供电管理电路如图 6 所示, 采用 BQ25606 作为充电管理芯片。BQ25606 是一款高度集成的电池充电管理器件, 适用于单节锂离子和锂聚合物电池。

此外, 本监测单元还需与主采集器建立通信连接, 以通过终端命令获取自动气象站本身提供的相关状态信息 (详见后文 3.1)。为此, 本单元还设计了串口通信电路 (图略), 通过 SP3232 芯片将 STM32 的 UART 管脚输出电平转换为 RS232 电平, 以实现与主采集器之间的串口通信。

2.7 主控单元

主控单元是该装置的核心, 与前文所述的 4 个监测单元不同, 其并不需要直接采集各种电信号, 因此其硬件电路相对简单。主控单元的主要功能是接收和处理上述 4 个监测单元发送的信息, 从而对自动气象站的运行状态进行综合处理, 并通过其内置的故障综合诊断方法来判定故障发生的准确位置, 并通过 HMI 屏幕对相关结果予以显示和交互。

为了实现上述功能, 该单元主要包括以下部分: LoRa 模块电路, 用于接收 4 个监测单元所采集到的信息; STM32 测量电路, 用于实现主控单元的相关通信功能。主控单元还使用了具备触摸屏功能的 HMI 屏作为显示屏, 来显示故障判定信息, 并实现与用户进行交互操作。HMI 屏与 STM32 之间通过 RS232 串口完成数据通信。

3 故障诊断方法及软件设计

3.1 通过终端命令获取信息

DZZ5 新型自动气象站本身具备一定的自测功能, 能够监测主采集器、分采集器等的工作状态, 并通过主采集器的串口端口输出相关信息。

为了获取这些信息, 该装置设计与主采集器之间的串行通信进行实现 (参见前文 2.6), 通过向主采集器发送终端命令, 可获取自动气象站本身可提供的状态信息, 并

将其发送至主控单元进行综合处理。根据用途的不同, 新型自动气象站的终端命令可分为 4 种类型, 分别是监控操作命令、观测数据操作命令、数据质量控制参数操作命令和报警操作命令。在前两类命令中, 有 5 条主要命令可用, 具体如下: STAT, 用于读取自动气象站的主要状态信息; STATMAIN, 用于读取主采集器的工作状态信息; STATTAH 用于读取温湿观测分采集器的工作状态信息; DMGD, 用于下载分钟常规观测数据文件; AUTOCHECK, 用于进行数据采集器的自检。

通过上述终端命令, 该装置可以获取自动气象站 CF 卡状态、CAN 总线状态、运行状态、RS232/RS485 终端通信状态等信息。然而, 这些信息仅限于主采集器自身可采集的部分, 无法获取外部传感器、分采集器、防雷板和供电箱的相关信号或状态信息。

由于受到以上限制, 仅依靠自动气象站终端命令所获得的状态信息还远不足以准确定位故障发生的具体位置。因此, 仍需通过该装置来采集自动气象站各处的信号值并进行综合分析, 才能实现对故障的自动、准确定位。

3.2 信号采集和监测

为了提高对自动气象站故障位置的精确定位, 需要对各个部位的信号进行采集。表 1 所示为新型自动气象站各主要传感器的输出信号范围以及进行信号采集的位置。

表 1 新型自动气象站主要传感器的输出信号范围及采集位置

| 气象要素 | 传感器 | 输出信号范围 | 信号采集位置 | 供电 |
|------|---------|-----------------------|--------------------------------|-------|
| 温度 | 铂 Pt100 | 80~120 Ω 电阻 | 1. 温湿分采集器对应端子; 2. 主采集防雷板两端对应端子 | DC12v |
| 湿度 | 湿敏电容 | DC0~1 V, 对应 0~100% 湿度 | | |
| 风向 | 磁码盘 | 7 位格雷码信号 (由电压反算) | 1. 风横臂处对应端子; 2. 主采集防雷板两端对应端子 | DC5v |
| 风速 | 光码盘 | 0~2 KHz 的脉冲频率信号 | | |
| 翻斗雨量 | 干簧开关 | 开关通断信号 | 主采集防雷板两端对应端子 | 无 |
| 气压 | 硅电容 | 直接输出串口数据 | 通过主采集器命令进行监测 | DC12v |

该装置通过前文提到的 4 个监测单元对信号进行采集和监测。具体而言, 供电状态监测单元用于采集交流电、直流电和蓄电池的供电电压值信号; 分采集器状态监测单元负责采集温湿度分采集器、湿度传感器的供电情况以及输出端的电压值信号; 风向风速状态监测单元负责采集风横臂处的风传感器直流供电、风向格雷码电压信号以及风速传感器的脉冲频率信号; 主采集器箱状态监测单元则通过终端命令获取主采集器提供的状态信息, 并采集防雷板

前后两端的供电电压、雨量导通、风向格雷码和脉冲频率信号等，对应着雨量、风向和风速传感器的相关信息。所有这些监测单元采集到的信号信息都通过 LoRa 通信发送至

主控单元。

3.3 故障综合诊断

通过 LoRa 接收模块，主控单元将全部接收到的信息进

表 2 故障分类及其综合诊断方法

| 故障大类 | 最小可更换单元的故障判定(28 项) | 故障现象 | 相关部分的信号值表现 |
|-------------|---|-------------|--|
| 通信相关故障 | 业务软件或通信参数设置有误,或通信模块故障,或光纤未有效连接 | | 该装置所监测的相关数据均正常,但业务用计算机无数据 |
| 主采集器相关故障 | 主采集器供电端子或供电线缆未有效连接 | 全部数据缺测 | 防雷板顶端数据正常,但采集器供电端无 DC 电压。同时,供电机箱输出的 DC 电压正常 |
| | 主采集器故障 | | 防雷板数据均正常,采集器的 DC 供电正常,但无任何数据 |
| | 主采集器对应的相关通道未有效连接(接线不牢或松动)或存在故障 | 部分数据缺测 | 部分数据缺测,但防雷板与之对应的各通道数据均正常 |
| 温湿度分采集器相关故障 | 温湿度分采集器内无供电(接线不牢,或供电模块故障) | 温度和湿度同时缺测 | 分采集器供电端无电压,但防雷板对应的 CAN 总线接口供电正常 |
| | CAN 总线未连接或通道故障 | | 依据终端命令获取的状态信息 |
| | 温度传感器故障或未有效连接,或分采集器温度测量通道故障 | 仅温度缺测 | 湿度数据正常,但无温度数据 |
| | 湿度传感器故障或未有效连接 | 仅湿度数据异常 | 湿度数据正常;有温度数据,但结果异常 |
| | 湿度传感器故障或未有效连接,或分采集器湿度测量通道故障 | 仅湿度缺测或结果异常 | 温度数据正常;CAN 总线和湿度供电电压均正常,但湿度输出信号值为 0 V 或为异常值 |
| | 温湿度分采集器的湿度无供电 | 仅湿度缺测 | 温度数据正常;分采集器内 CAN 总线供电正常,但湿度供电电压为 0 V |
| 风测量相关故障 | 风传感器故障,或线缆未可靠连接。 | 风向和风速同时缺测 | 防雷板风向风速供电通道电压正常,但风向风速数据均缺测 |
| | 风速传感器故障,或线缆未可靠连接 | 仅风速缺测 | 风传感器供电正常;风向输出信号正常,但无风速 |
| | 风速传感器接线盒处电压未连接 | 仅风速缺测 | 风向数据正常;风速传感器接线盒处的供电电压值为 0 V,但防雷板处风速供电电压为 5 V |
| | 风向传感器接线盒处电压未连接 | 仅风向缺测 | 风速数据正常;风向传感器接线盒处的供电电压值为 0 V,但防雷板处风向供电电压为 5 V |
| | 风向传感器故障或对应格雷码损坏,或对应的接线端子连接松动,或线缆内有导线短(断)路情况 | 仅风向数据异常 | 风传感器供电正常,但风向所指示的方位与格雷码换算结果不一致 |
| 雨量测量相关故障 | 雨量筒堵塞,或雨量传感器故障(干簧管损坏等);或连接线缆损坏 | 仅雨量缺测 | 在下雨时,防雷板两端无雨量信号。其余数据均正常。 |
| 气压测量相关故障 | 气压传感器故障或未可靠连接,或主采集器气压通道故障。 | 仅气压缺测 | 通过终端命令调试获取,发现无气压数据。 |
| 防雷板相关故障 | 防雷板未连接或整体故障 | 全部数据缺测 | 防雷板一侧数据正常,另一侧无数据 |
| | 防雷板风供电通道故障或未有效连接 | 风向和风速同时缺测 | 防雷板风向风速无 DC 供电电压 |
| | 防雷板的风向和风速通道损坏 | | 防雷板风向和风速通道底部一侧均有数据,但另一侧无数据 |
| | 防雷板的风向通道损坏 | 仅风向缺测 | 防雷板风向通道底部一侧有数据,另一侧无数据 |
| | 防雷板的风速通道损坏 | 仅风速缺测 | 防雷板风速通道底部一侧有数据,另一侧无数据 |
| | 防雷板或主采集器 CAN 总线供电端子未有效连接或存在故障 | 温度和湿度数据同时缺测 | 防雷板 CAN 总线供电端无供电电压,其余数据均正常 |
| | 防雷板雨量端子未有效连接或存在故障 | 仅雨量缺测 | 在下雨时,防雷板雨量的对应通道两侧:一侧数据正常,另一侧无数据 |
| 供电机箱相关故障 | 开关电源故障 | 开关电源无 DC 输出 | 开关电源输入端 AC 正常,但输出端无 DC 电压 |
| | AC 供电或接线故障 | 无 AC 供电 | 观测数据正常(蓄电池仍在工作),但供电机箱无 AC 供电 |
| | 直流防雷模块或保险管损坏,或电源供电箱与主采集器连接线缆有误 | 全部数据缺测 | 主采集器无 DC 供电或电压过低,但开关电源 DC 输出电压正常 |
| | 蓄电池故障或电量已耗尽 | | 主采集器无 DC 供电或电压过低;开关电源无 AC 供电,也无 DC 输出 |

行统一收集。这些信息括通过终端命令所获取的自动气象站状态信息, 以及各单元采集到的信号值。基于这些信息, 主控单元进一步对进行处理、分析和对比, 以定位自动气象站发生故障的位置。

根据故障现象不同, 自动气象站的故障可分为以下 3 类: 1) 全部的气象要素均异常或缺测; 2) 仅与分采集器相关的观测要素异常或缺测; 3) 单个或多个基本观测要素的异常或缺测。上述 3 类故障可能发生在供电机箱、主采集器、分采集器、防雷板和各传感器的一个或多个位置上。

为了能够精确定位故障位置至最小可更换单元, 本研究利用采集到的信号数据, 并结合各类故障的具体表现, 对故障之间的包含关系和逻辑关系进行全面的分析和梳理, 如表 2 所示。首先, 将自动气象站的最小可更换单元及其对应的故障点细化为了 28 项 (根据设备类型不同, 其具体数量会有增减)。该 28 项中还分别包含有组成自动气象站的最小可更换单元及其可能故障, 如通信模块、光纤、主采集器、不同的供电端子或线缆故障等, 根据该结果, 操作人员就可以去排除故障, 恢复设备的正常运行。其后, 根据自动气象站的不同故障现象, 结合本装置相关监测单元所获取的实测信号值, 便可将它们与前文梳理出来的 28 项故障判定进行逐一对应, 从而给出对应的故障判定结果。利用上述故障综合诊断方法, 本装置可在主控单元的 STM32 上进行编程来实现对自动气象站故障的自动定位。

3.4 系统软件设计

本系统所用的全部 5 个单元都采用了 STM32 单片机进行数据采集、处理和通信。软件方面, 使用 C 语言编写, 基于 STM32 库函数开发。

其中, 4 个监测单元的软件运行主要流程如下: 首先, 进行 MCU 初始化; 然后, 分别监测或采集各部分的传感器、供电输出信号或状态信息; 接下来, 将采集到的数据通过串口传输给 LoRa 通信模块, 并以 5 分钟的间隔将数据发送给主控单元。

主控单元的软件运行主要流程如图 7 所示: 首先进行 MCU 的初始化, 并接收 4 个监测单元发送的数据; 然后, 通过故障诊断逻辑对数据进行综合分析, 判断自动气象站是否发生故障; 若设备正常工作, 将采集到的数据信息通过屏幕显示, 以方便监测气象站的工作状态; 若设备存在故障, 则通过屏幕显示故障判定和定位结果, 协助业务人员及时定位和修复故障, 恢复设备的正常运行。

4 实验结果与分析

4.1 性能参数

该装置为了实现对故障位置的自动诊断, 需对自动气象站各组成部分的供电、输出或状态信号等进行连续的监测和数据采集。以下是该装置相关各组成部分的所实现的性能参数, 其功能模块设置和对应的信号测量范围可满足前文所述的新型自动气象相关输出信号 (表 3) 的测量

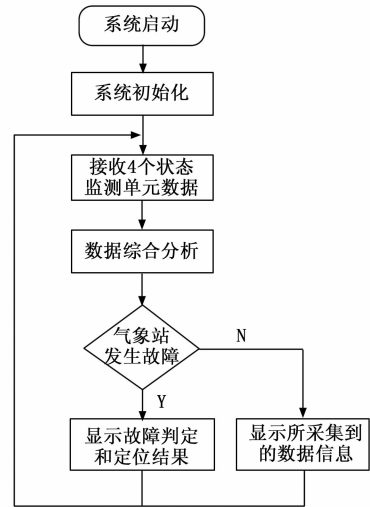


图 7 主控单元软件运行的主要流程

要求。

表 3 系统各组成部分的功能和信号测量范围

| 单元名称 | 功能模块 | 信号测量范围或通信方式 |
|------------|----------------------|-----------------------------------|
| 供电状态监测单元 | 交流供电电压测量 | AC 0~220 V |
| | 直流供电电压测量 | DC 0~14 V |
| | 信息发送端 1 | LoRa 物联网通信 |
| 分采集器状态监测单元 | 温度传感器输出信号测量 | 0~200 Ω |
| | 分采集器供电电压测量 | DC 0~14 V |
| | 湿度传感器供电电压测量 | DC 0~14 V |
| | 湿度传感器输出信号测量 | DC 0~1 V |
| | 信息发送端 2 | LoRa 物联网通信 |
| 风向风速状态监测单元 | 风向供电电压测量 | DC 0~5 V |
| | 风向输出信号测量 | DC 0~5 V (对应 7 位格雷码, 共 7 组测量) |
| | 风速供电电压测量 | DC 0~5 V |
| | 风速输出信号测量 | 0~2 KHz 脉冲频率信号 (高电平 5 V, 低电平 0 V) |
| | 信息发送端 3 | LoRa 物联网通信 |
| 主采集器供电电压信号 | 主采集器供电电压信号 | DC 0~14 V |
| | 雨量输出信号测量 | 脉冲计数每秒 > 10 次 (对应雨量通断信号) |
| | 气压输出信号测量 | RS232 串口通信 |
| | 风向、风速供电电压信号 (防雷板两侧) | DC 0~5 V (2×2 组测量) |
| | 风向输出信号测量 (防雷板两侧) | DC 0~5 V (共 7×2 组测量) |
| | 风速输出信号测量 (防雷板两侧) | 0~2 KHz 脉冲频率信号 (2 组测量) |
| | 与主采集器通信 (通过终端命令) | RS232 串口通信 |
| | 信息发送端 4 | LoRa 物联网通信 |
| 主控单元 | 信息接收端 (接收 4 个监测单元数据) | LoRa 物联网通信 |
| | 信息显示 (12 寸 HMI 触摸屏) | RS232 串口通信 |

4.2 故障诊断案例

装置通电运行后,其 4 个监测单元便开始对自动气象站各部分的信号或状态信息进行采集,并通过 LoRa 以 5 min 的间隔将数据无线发送至主控单元,并由后者则进行数据汇集、综合处理和显示。

为了阐释故障诊断的具体过程,下面以湿度传感器出现故障的情形为例进行说明:首先,该装置在运行过程中会持续接收和处理各监测单元采集到的相关信息;其后,若在运行过程中的某一时刻,通过分析“主采集器箱状态监测单元”所获取的分钟常规观测数据文件(DMGD 命令),发现湿度数据出现缺测,则表明自动气象站目前出现了故障;与此同时,装置会开展进一步分析,发现除湿度数据外,温度、气压、风等其它各项数据均工作正常,则其可进一步将故障判定为“仅湿度缺测”的情况;随后,为了进一步缩小故障位置,将对“分采集器状态监测单元”所采集到的温湿度分采集器信息进行分析,发现湿度的供电电压为 5 V,说明供电正常,但湿度无输出信号(对应的电压值为 0 V),则根据前文表 2 中所梳理的故障综合诊断方法,可给出对应的故障定位结果为“湿度传感器故障或未有效连接,或分采集器湿度测量通道故障”;最后,通过 HMI 显示屏,将故障判定结果进行显示输出,以帮助业务人员及时排除故障,恢复湿度正常工作。

4.3 整体测试和分析

为了验证该装置的整体运行效果,围绕其所涉及的 LoRa 组网通信、信号监测和故障诊断这 3 项主要功能开展了测试和分析。

首先,仿造自动气象站在户外的实际使用场景,将本装置各单元进行了布设,以进行 LoRa 组网通信测试。其中,4 个监测单元与自动气象站各相关部分连接,其相互间的距离分别为 5~10 m。主控单元则被放置在距离自动气象站约 150 m 外的实验室中。

其次,为了验证该装置的采集到的信号值是否准确,测试人员会利用万用表等工具对自动气象站各处设置的测量点进行实际测量,以与该装置的数据采集结果进行比对。

此外,为了便于测试其故障诊断功能,测试人员将分多次在自动气象站的不同位置设置不同故障,以模拟自动气象站工作过程中所发生的故障。系统运行过程中,将对故障进行判定并给出结果。此时,将判定结果与人为设置的故障位置进行比对,以判断其准确性。

在测试过程中,人为分别设置了 5 处故障,并分别进行了测试和分析比对,其结果如表 4 所示:该装置各单元之间的 LoRa 通信传输正常,各监测单元数据均可发送至主控单元进行汇集处理;各监测单元所采集到的信号值均与实际测量结果相一致,说明信号测量结果准确;主控单元能够通过综合分析,识别出自动气象站发生故障,并准确地给出故障定位结果;此外,该装置整体的运行时间时间在 17 s 以内,远优于人工判断故障所需时间(人工判断故障耗时因人而异,通常需要几十分钟~几小时不等),因此可显著缩短故障排查耗时,有效提升装备保障效率。

经上述测试,该装置的各组成部分稳定运行,未出现异常情况。可准确进行相关信号采集,并给出精确的故障定位信息。系统的整体运行状况良好,相关功能可达到预期要求。

5 结束语

为了快速实现对自动气象站故障的快速定位,提高装备保障效率,设计了一款基于 LoRa 物联网技术的故障诊断装置,可自动、快速地定位出自动气象站故障的发生位置。该装置由 5 部分组成,包含 4 个监测单元和 1 个主控单元。监测单元可对自动气象站不同部分的工作状态进行实时数据采集和监测,并通过 LoRa 通信方式将数据发送至主控单元进行数据综合分析和故障诊断,输出故障定位结果。相较

表 4 系统测试和故障判定结果

| 故障设置点 | 故障表现 | 测试人员实测的信号值 | 该装置采集的信号值 | 故障定位结果和整体运行耗时 | 通信是否正常 | 测量是否准确 | 定位是否精确 |
|--------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| 电源箱 AC 供电故障 | 数据正常,但无 AC 供电 | 供电机箱 AC=0 V;主采集器 DC=13.6 V | 供电机箱 AC=0 V;主采集器 DC=13.6 V | 供电机箱内 AC 供电或接线故障。整体耗时 14 s | √ | √ | √ |
| 未安装湿度传感器 | 仅湿度缺测 | 湿度供电电压=5 V;湿度输出电压=0 V | 湿度供电电压=5 V;湿度输出电压=0 V | 湿度传感器故障或未有效连接,或分采集器湿度测量通道故障。整体耗时 15 s | √ | √ | √ |
| 未连接温湿度分采集器的 CAN 总线 | 温度、湿度数据同时缺测 | 温湿度分采集器供电电压=0 V;主采集器机箱 CAN 总线供电电压=5 V | 温湿度分采集器供电电压=0 V;主采集器机箱 CAN 总线供电电压=5 V | 温湿度分采集器内无供电(接线不牢,或供电模块故障)。整体耗时 16 s | √ | √ | √ |
| 安装了已损坏的风速传感器 | 仅风速缺测 | 风向格雷码值 320°;风速供电电压=5 V;风速频率信号为 0 | 风向格雷码值 320°;风速供电电压=5 V;风速频率信号为 0 | 风速传感器故障,或线缆未可靠连接。整体耗时 15 s | √ | √ | √ |
| 未连接主采集器供电线 | 全部数据缺测 | 供电机箱 AC=220 V,DC=13.6 V;主采集器 DC=0 V | 供电机箱 AC=220 V,DC=13.6 V;主采集器 DC=0 V | 主采集器供电端子或连接线故障。整体耗时 17 s | √ | √ | √ |

(下转第 29 页)