

基于云平台的配电网环网柜智能运管系统

邓 炆, 万晶莹, 李建奇

湖南文理学院计算机与电气工程学院, 湖南 常德

收稿日期: 2023年12月18日; 录用日期: 2024年1月20日; 发布日期: 2024年1月29日

摘 要

环网柜是城市配电网中的重要供电设备, 目前在运的环网柜无法实现在线监测, 运维人员无法在第一时间知道故障并精确定位故障所在环网柜。本项目运用传感器以及物联网技术对在运环网柜进行实时监测。实现运用多传感器系统对环网柜进行综合性、全方位监测。采集了大量现场实验数据对比分析, 对各大传感器数据算法不断迭代更新。运用4G物联网通信系统及云数据处理技术, 确保了数据传输的实时性与可靠性。开发出手机APP接收云端下发的数据信息, 实现了随时随地获取环网柜运行数据, 提高了本系统使用的便捷性。可使用手机APP人为设置报警阈值, 使得设备可适应不同场合的环网柜故障检测需求, 可查看历史故障信息, 算法判断故障的同时, 预留出人工判断故障的余地。使得运维人员可第一时间发现故障并通过网络将故障信息以及故障环网柜位置, 从而迅速到达现场进行故障排查, 提升配电网运行安全度。

关键词

环网柜, 配电网, 运维

Intelligent Operation and Management System for Distribution Network Ring Main Cabinet Based on Cloud Platform

Yang Deng, Jingying Wan, Jianqi Li

School of Computer and Electrical Engineering, Hunan University of Arts and Sciences, Changde Hunan

Received: Dec. 18th, 2023; accepted: Jan. 20th, 2024; published: Jan. 29th, 2024

Abstract

The ring main unit (RMU) is an important power supply equipment in urban distribution networks. Currently, the RMU in operation cannot achieve online monitoring, and maintenance per-

sonnel cannot know the fault in a timely manner and accurately locate the location of the fault in the RMU. This project utilizes sensors and Internet of Things technology to monitor the operating ring network cabinet in real-time. Realize the comprehensive and all-round monitoring of the ring main unit using a multi-sensor system. We have collected a large amount of on-site experimental data for comparative analysis, and continuously iterated and updated the data algorithms of various sensors. The use of 4G IoT communication system and cloud data processing technology ensures real-time and reliable data transmission. We have developed a mobile app to receive data information from the cloud, which enables us to obtain operational data of the ring main cabinet anytime and anywhere, improving the convenience of using this system. You can use a mobile app to manually set alarm thresholds, so that the device can adapt to the fault detection needs of the ring main unit in different situations. You can view historical fault information, use algorithms to determine faults, and reserve room for manual fault diagnosis. Enable operation and maintenance personnel to detect faults in the first time and quickly arrive at the site through the network to provide fault information and the location of the faulty ring main unit, thereby improving the safety of distribution network operation.

Keywords

Ring Main Unit, Distribution Network, Operation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的发展和人民生活水平的提高，电力需求量不断增加，同时对电力供应的稳定性和安全性也提出了更高的要求。智能电网作为未来电力行业的重要发展方向，具有提高供电可靠性、降低能源消耗、减少环境污染等优点。在智能电网建设中，配电环网柜作为关键设备之一，其智能化运管系统的开发和应用对于提高电力系统的整体性能具有重要意义[1] [2] [3]。

智能环网柜是智能电网中最重要、最核心的配电设备之一，具有感知、分析、推理、决策、控制功能的先进装备，能够实现故障定位、故障隔离、负荷监控、线路转供、带电合环转供等技术流程[4]。随着“中国制造 2025”的实施，智能开关柜、配电产品行业将正式迈进智能化、数字化的转型。同时，国家对智能电网建设的重视程度不断提高，出台了一系列政策和规划，为智能环网柜行业的发展提供了良好的政策环境[5] [6] [7]。

随着经济的发展和城市化进程的加速，电力需求量不断增加。同时，由于电力供应的特殊性质，对供电的稳定性和安全性也提出了更高的要求。智能环网柜作为智能电网建设的关键设备之一，具有重要的作用。根据市场调研数据显示，未来几年内，我国智能环网柜市场规模将保持快速增长态势，预计到 2020 年将达到 5000 亿元以上。因此，开发和应用配电环网柜智能运管系统具有广阔的市场前景[8] [9]。

目前已有许多学者就环网柜监控方向开展了研究。刘东超等[10]新开发的物联网环网柜监测终端能够简化运维并降低成本，它集成了多种监测功能和通信接口，具有高准确性和可靠性，满足实际使用需求。许崇亮等[11]提出了一种智能化的配电环网柜监测系统，以提高其安全性和稳定性。系统结合了红外热成像、FPGA + CPU 异构微控制技术和人工智能神经网络算法，实现了对环网柜内部温度的精确监测。它能够处理红外图像，监测电压和电流，并利用人工智能算法进行目标检测、温度标记和故障预测。测试显示，该系统能够稳定地智能监测环网柜内部的电力设备。刘红等[12]为了保障城市供电的可靠性，在配

电环网柜中安装传感器，通过物联网技术实现远程监控，及时掌握柜内的温湿度等数据，预警故障。配合 RFID 技术快速处理故障，减少停电影响。然而，以上方案虽能实现故障的精准判断和预测，但不能为实际运维或检修人员提供便利，无法对故障环网柜进行精准定位。

因此，本文中，首先运用多传感器系统对环网柜进行综合性、全方位监测；接下来采集了大量现场实验数据对比分析，对各大传感器数据算法不断迭代更新；然后运用 4G 物联网通信系统及云数据处理技术，确保了数据传输的实时性与可靠性；最后开发了手机 APP 接收云端下发的数据信息，实现了随时随地获取环网柜运行数据，提高了本系统使用的便捷性，可使用手机 APP 人为设置报警阈值，使得设备可适应不同场合的环网柜故障检测需求，可查看历史故障信息，算法判断故障的同时，预留出人工判断故障的余地，提升配电网运行安全度。

2. 基于云平台的配电网环网柜智能运管系统概述

为了解决环网柜运维难的问题，本课题中基于云平台的配电网环网柜智能运管系统进行了针对性的设计。表 1 中以实际环网柜运维时的需求为基础，提炼了对环网柜进行运行监控及维护时所需的项目，将行业领军企业威胜电气的产品 WSDT-8500 环网柜智能控制器的功能与本文所提运管系统进行对比。WSDT-8500 环网柜智能控制器作为一款成熟的产品，具备馈线电压、电流等信息的采集、数据处理及传送、识别馈线故障、故障定位、故障区域隔离、事件记录及上报等功能，然而只针对环网柜连接的电缆进行监测和故障识别，缺少对环网柜内部自身设备的健康运行状态的监测和诊断。

本产品包括由阿里云物联网平台、后台监测与管理、客户端 APP 以及设备监测终端组成。系统的基本逻辑框图如图 1 所示。针对于每个站房中一般存在 4~6 配电柜，设计了一主机带多从机的模式，安装时可根据不同规格环网柜实际情况进行系统安装，分别监测环网柜内不同的设备。

以稳定的硬件系统为主的主机的功能是收集整理多个传感器模块发回的数据，并通过 5G 模组将数据发送出去。主机板进而通过 MQTT 协议将数据上传至阿里云物联网平台，阿里云物联网平台接收各主机上传的数据、通过数据进行训练和相应的算法处理得出故障预警、故障诊断等结果、再给各个用户下发环网柜内监测的数据和异常/警报通知，起到了数据的中转和辅助监测以及数据处理和分析的作用。

此外，用户可通过登录手机 app 实时接收云端下发的数据，实时查看各传感器的工作情况，检查环网柜是否工作异常。同时支持客户定制化需求，使得本系统能够在不同环境中监测故障。

Table 1. Functional comparison between the WSDT-8500 ring main unit intelligent controller of Weisheng Electric and the proposed intelligent operation and management system

表 1. 威胜电气 WSDT-8500 环网柜智能控制器与本文所提智能运管系统进行功能对比

项目	WSDT-8500	配电网环网柜智能运管系统
电缆线路信息监测	√	√
数据处理及传送	√	√
时间记录及上报	√	√
通信功能	√	√
阈值设定、高灵敏度监测	×	√
环网柜连接电缆接地故障检测	×	√
T 头温度监测	×	√
环网柜设备局部放电监测	×	√
环网柜设备中绝缘气体泄露监测	×	√
摄像头对异常(故障)现象记录	×	√
预警信息第一时间发送运维人员	×	√

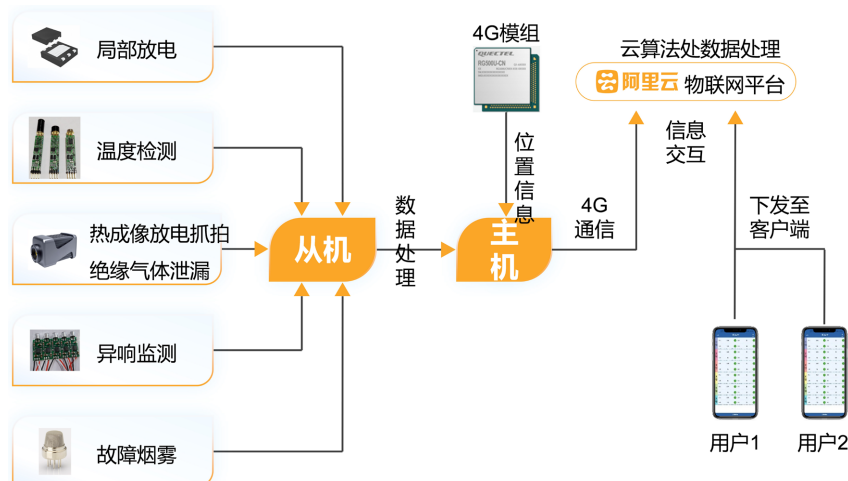


Figure 1. Basic logic block diagram of the system
图 1. 系统基本逻辑框图

3. 硬件组成

3.1. 环网柜监测终端

环网柜监测终端设备加装了必要的故障检测传感器，如红外温度传感器，光照传感器，烟雾传感器以及声音传感器等，通过对环网柜故障特征进行提取和算法识别，完成故障判断。实物图如图 2 所示。

其 MUC 是 STM32F412RET6_LQFP64，光感芯片是 MAX44009，采用 MLX90614 作为红外测温探头。电位器 VR2 用于在硬件层调节烟雾检测的阈值，顺时针使阈值减小。(电压阈值电压增大，因为烟雾模块的输出电压会随烟雾浓度的上升而下降)，电位器 VR1、用于调节声音瞬时阈值，顺时针方向减小阈值(这个调节的意义不大)。使用小型麦克风(咪头)将声音信号转化为电压信号。烟雾传感器 MQ-2 的输出电压会随烟雾浓度的上升而下降。

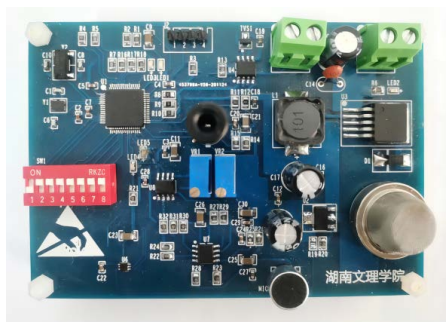


Figure 2. Physical diagram of monitoring terminal for ring main cabinet
图 2. 环网柜监测终端实物图

3.2. 物联网通信终端

设计物联网通信终端，包含 4G 通信模块与云服务通信，收集同一站房内所有环网柜监测终端数据信息，并将实时数据与故障信息上传给云服务器。监测终端系统准确识别故障后发送给通信终端，通信终端快速实时将故障位置等信息上传至云端。

物联网通信终端实物图如下图 3。

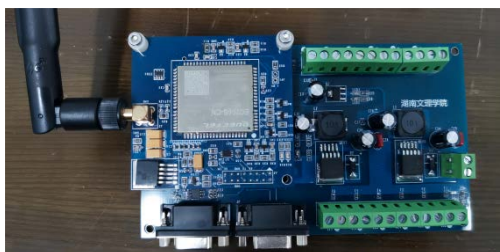


Figure 3. Physical diagram of IoT communication terminals
图 3. 物联网通信终端实物图

4. 软件架构

4.1. 程序设计框图

定义物联网通信终端为主机，安装在各个环网柜上的监测终端为从机。

环网柜监测终端程序框图如图 4 所示。各传感器初始化后，监测终端的控制器读取各传感器的信息，进行算法处理后更新标志位。之后查询主机是否下发了问询本机收集到的个传感器的数据的指令，若收到了指令，则将数据打包好并加上标志位回应主机，进入等待状态，并在指定时间间隔后再次读取传感器数据；若未收到指令，则直接进入等待状态。

物联网通信终端程序框图如图 5 所示。通信终端初始化后进行 4G 模块配置，并连接阿里云服务器。接下来轮询各从机信息，即监测终端收到的问询指令，若收到了从机的回复，即收到了各个环网柜的声、光、温度以及烟雾的监测数据，则开始解析、存储并上传从机数据至阿里云，然后进入等待状态；若未收到某从机的数据，则对该从机进行掉线标志标记，记录异常，然后进入等待状态。

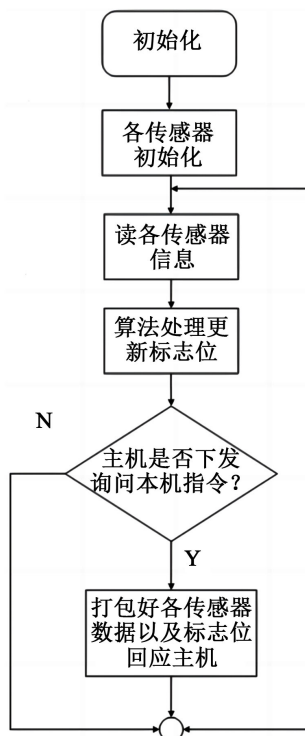


Figure 4. Program block diagram of ring main cabinet monitoring terminal
图 4. 环网柜监测终端程序框图

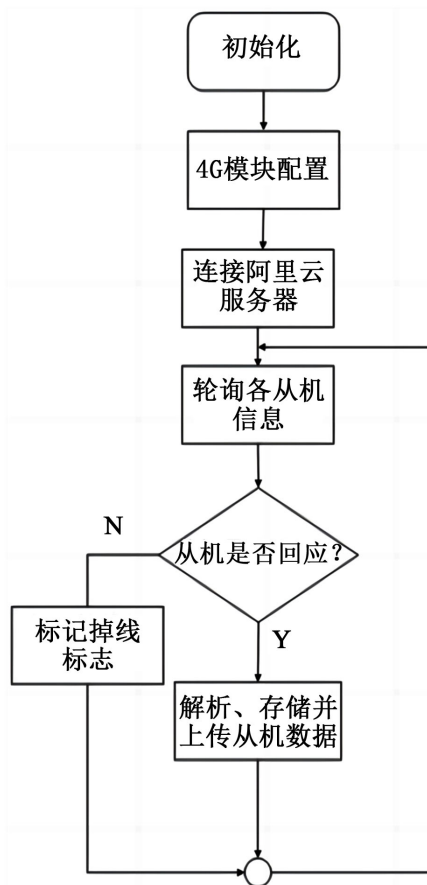


Figure 5. IoT communication terminal program block diagram
图 5. 物联网通信终端程序框图

4.2. 传感器数据处理算法

通过对采集到的数据进行计算和算法分析，对声、光、温度以及烟雾的监测数据和监测时间，进行相应得算法处理，得到准确的故障判断，再通过判断哪台设备发来的故障信息定位到故障发生点，达到准确判断故障发生地点的目的，以此来方便检修人员快速识别并到达现场检修。

(1) 红外温度补偿算法

通过对传感器动态数学模型的研究以及对动态误差原因进行了分析，在此基础上应用了反滤波器法对红外温度传感器进行动态误差补偿。针对反滤波器法进行了深入研究，并针对我们的应用场合设计了误差补偿方法。

选用：

$$\Omega(\hat{x}) = \int_{T_1}^{T_2} (d\tau)^4 \left(\frac{d^2 \hat{x}}{d\tau^2} \right)^2 d\tau \tag{1}$$

其中 $d^2 \hat{x}$ 表示二阶输入差分， $d\tau$ 表示红外信号离散化步长

作为稳定泛函，经化简后在时域进行离散化处理再在频域离散化可得反滤波器的形式为：

$$K(k) = \frac{H'(k)}{|H(k)|^2 + \lambda |C(k)|^2} \tag{2}$$

将其带入到红外温度传感器计算公式中，经实际检测，其误差补偿后红外温度传感器所检测的温度误差为±0.5℃。

(2) 声音传感器算法处理

声音算法的设计，是针对故障环网柜放电的过程中产生的现象,选择声音的量值进行算法处理。

本文将采集到的声音进行 FFT 数据处理。实地收集了变电站正常工况背景声进行 FFT 分析，得到其正常工作时的频谱。对其取模平方后即功率谱；然后模拟环网柜故障放电时所产生的声音进行同样的处理。

将所得到的功率谱通过一个三角滤波组，其响应为：

$$H_m(k) \begin{cases} 0, k < f(m-1) \\ \frac{k-f(m-1)}{f(m)-f(m-1)}, f(m-1) \leq k \leq f(m) \\ \frac{f(m+1)-k}{f(m+1)-f(m)}, f(m) \leq k \leq f(m+1) \\ 0, k > f(m+1) \end{cases} \quad (3)$$

式中， $f(m)$ 表示第 m 个三角滤波器的中心频率。

本课题中将算法处理数据的结果进行对比分析，从而得到准确的环网柜故障放电报警。

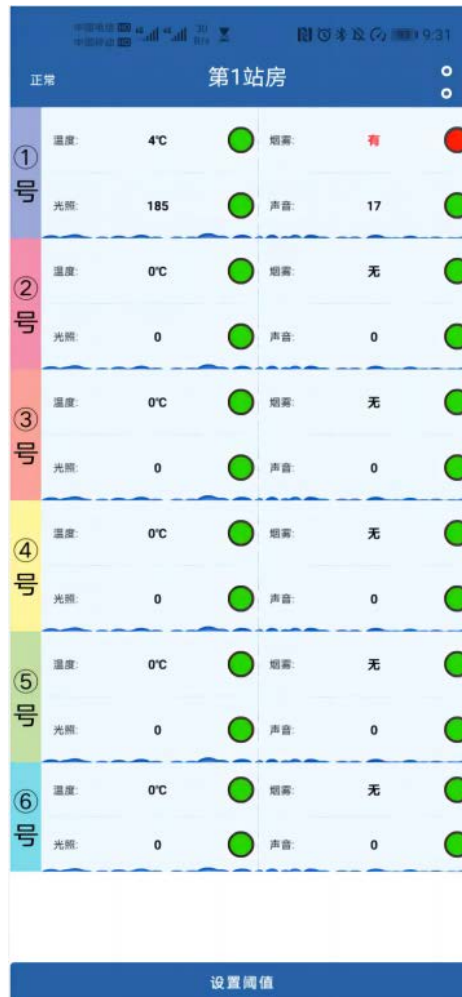
4.3. 手机端 Android 系统 APP

手机端 Android 系统应用 APP 软件系统开发，实现了从云服务器读取监测终端所上传的故障信息，并将信息推送至检修人员的手机终端，使检修人员快速定位故障环网柜。APP 界面如图 6 所示，其中图 (a) 为站房信息展示界面，显示接入了配电网环网柜智能运管系统的站房信息，站房中具体的环网柜的声、光、温度以及烟雾的情况如图(b)所示，当监测值未超过设定阈值时，该单项的状态为绿色，(c) 为阈值设定界面。



(a) Station building information

(a) 站房信息



(b) Station building details

(b) 站房详细



(c) Threshold setting

(c) 阈值设定

Figure 6. Mobile App diagram

图 6. 手机 APP 图

5. 应用效果

本文中系统已在常德市德山区国家电网公司试运营。图 7 展示了系统的安装过程。



(a) System physical object
(a) 系统实物



(b) System installation process
(b) 系统安装过程



(c) Installation completion rendering
(c) 安装完成效果图

Figure 7. Physical system diagram and system installation site
图 7. 系统实物图及系统安装现场

得到了高度认可，初步弥补了电网公司在配电网环网柜中对设备运行健康状态的监控数据空缺，同时实现了对配电网环网柜的智能化运行管理，能够实现故障预警、故障诊断、故障定位导航，并将捕捉的异常数据及时反馈给运维人员，使其能够及时处理，降低安全隐患和区域性停电风险，同时有效降低了电网公司每年在环网柜运维方面的人力、物力的支出，极其明显的提高了运维效率。具体数据如表 2 所示。

Table 2. Comparison of operation and maintenance costs between traditional ring main unit and ring main unit using the system described in this article

表 2. 传统环网柜与使用本文系统环网柜的运维成本对比

环网柜形式	检修次数/年	人力成本	运维车辆	检修耗时
传统无监测	8~12 次	5~8 人	≥3 辆	2~2.5 小时
有效监测	2 次	2 人	1 辆	0.5~1 小时
对比分析		节省经济成本 50% 以上 故障处理速度提升 60% 以上 无故障运营时间达 180 天以上		

6. 结论与分析

本文所研究系统适用于现阶段所有的国家电网公司用环网柜进行故障监测。就国内而言，目前大部分国家电网公司都是采用人工对故障进行排查的方式，本文中基于云平台的配电网环网柜智能运管系统对于节省人力物力、提高故障处理速度、提升用户满意度和智能环网柜的建设都有着重要的意义，而以上几点都是目前国家电网公司提升服务质量所必备的。所以，针对现阶段我国在运环网柜的数量分析，该系统市场前景广阔，且发展潜力巨大。

基金项目

湖南省科技创新计划资助(2021RC1013)；湖南文理学院科学研究基金项目资助(20YB30)；2021 年度湖南省大学生创新创业训练计划项目资助(S202110549016)。

参考文献

- [1] 江奕军, 王丽群, 孟浩杰, 潘黄萍. 基于物联网的环网柜机械特性监测技术研究[J]. 华电技术, 2021, 43(1): 6-11.
- [2] 安波. 信息化在电力企业环网柜规划中的应用研究[J]. 经济研究导刊, 2021(4): 4-6.
- [3] 胡晓斌, 曾庆霖, 宋宇宏, 翁剑, 王威. 物联网技术在环网柜综合监测及评估技术分析中的应用[J]. 电子世界, 2021(3): 33-34.
- [4] 陈筱平, 苏旭辉, 张大猛, 杨皓. 环网故障在线监测方法[J]. 电工技术, 2013(2): 51-52.
- [5] 孙小涵. 基于音频信号的 12kV 环网柜放电状态识别的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2020.
- [6] 汤旭人. 高速响应红外温度传感器动态校准与误差补偿技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [7] 李镇鸿. 10kV 一体化智能环网柜的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [8] 丁剑, 左知辰, 尤俊强. 智能环网柜五防连锁装置的设计改造研究[J]. 电力系统装备, 2019(13): 233-234.
- [9] 魏永乐. 智能环网柜系统方案研究[D]: [硕士学位论文]. 淄博: 山东理工大学, 2018.
- [10] 刘东超, 陈志刚, 崔龙飞. 基于物联网的环网柜在线监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(20): 60-67.
- [11] 许崇亮, 金铖. 智能化配电环网柜监测系统研究[J]. 长江信息通信, 2023, 36(3): 106-108.
- [12] 刘红, 许仁杰, 郝林杰. 基于 CTWing 物联网平台的环网柜监测系统[J]. 上海电机学院学报, 2023, 26(1): 34-39.