

基于物联网的智能配电箱远程监控系统设计与应用研究

王小达

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 智能配电箱远程监控是保障电力运维安全与效率的关键举措, 物联网技术为配电设施智能化改造提供了有力支撑。本文融合物联网、电参数采集及远程控制技术, 设计并构建智能配电箱远程监控系统, 阐述了系统总体架构、软硬件设计及应用部署方案。系统经感知层采集电参数与环境参数, 网络层完成数据安全传输, 应用层提供可视化监控与远程操控功能, 支持异常预警与状态实时反馈, 可有效克服传统人工巡检监测滞后、排查低效等不足, 为运维智能化转型提供技术参考。

关键词: 物联网; 智能配电箱; 远程监控; 电参数采集; 运维优化

引言: 电力系统向智能化、数字化方向快速演进, 智能配电箱在工业厂房、商业建筑及居民小区等场景中应用日趋广泛, 运行稳定性直接关乎供电安全。传统人工巡检模式存在监测滞后、故障定位困难、运维效率偏低等问题, 已难以匹配精细化管理需求。物联网技术的成熟为配电设施远程监控开辟了可行路径, 通过传感器采集、无线传输与云端分析协同配合, 可实现设备运行状态全时段感知与异地管控。

1 系统相关技术基础

1.1 物联网技术架构

感知层技术处于物联网体系的最前端, 承担着物理世界信息捕获的核心职能。各类传感器、RFID标签及嵌入式终端设备部署于现场, 将温度、湿度、光照等模拟信号转化为可供计算机识别的数字信息, 完成从物理量到数据量的映射过程^[1]。网络层传输技术负责将感知层汇聚的海量数据经由移动通信网络、无线局域网或低功耗广域网等链路, 安全、高效地输送至上层平台。常用传输手段涵盖4G、5G、NB-IoT及LoRa等, 各技术在带宽、功耗与覆盖范围之间呈现差异化特征, 需依据实际场景加以选配。应用层支撑技术面向终端用户提供数据处理与业务调度能力, 云计算平台承担弹性算力分配任务, 中间件完成异构设备的协议适配与消息路由, 上层软件则实现可视化展示与智能决策。

1.2 智能配电箱相关技术

配电箱硬件构成包含主回路开关、分支断路器、浪涌保护器、通信模块及人机交互界面等核心部件。各元器件协同工作, 既保障电力分配的可靠性, 又为远程管理提供硬件入口。电参数采集技术依托高精度互感器与模数转换芯片, 对电压、电流、功率因数及有功无功功率等指标进行周期性采样。采样频率通常设定在每秒数次至数十次之

间, 所获取的离散数据经数字滤波后存入本地存储器, 为后续的用能分析与故障判定提供原始依据。

1.3 远程监控技术

数据传输协议是连接现场设备与监控中心的通信规范, MQTT协议因报文开销小、支持发布订阅模式而在物联网场景中得到广泛应用, Modbus协议则在工业电气设备间保持着较高的兼容性。数据存储技术采用时序数据库与关系型数据库相结合的方案, 时序数据库针对高频采样数据进行写入优化, 关系型数据库则维护设备台账与用户权限等结构化信息。远程控制技术通过下发控制指令实现对断路器分合闸、参数阈值调整等操作的远程执行, 指令经加密通道传输并在终端完成身份校验后方才生效, 从而确保操控过程的安全与准确。

2 系统总体设计

2.1 设计目标

系统设计聚焦智能配电箱远程监控的实际运维需求, 立足物联网技术与电力监测技术的融合应用, 打造高效、稳定、精准的远程监控体系^[2]。实现对智能配电箱运行状态的实时监测, 精准捕捉电参数变化与设备异常情况, 及时发出预警提示, 降低设备故障发生率。搭建便捷的远程操控通道, 实现对配电箱的异地管理与参数调整, 减少现场运维工作量, 提升运维效率。保障监控数据的安全传输与可靠存储, 满足电力设备运维的标准化要求, 兼顾系统的可扩展性与可维护性, 适配不同场景下智能配电箱的监控需求。

2.2 总体架构设计

系统数据采集依赖感知层搭建, 结合水利水电施工临时用电配电箱监测需求, 部署各类高精度采集器件与监测设备。采集范围覆盖配电箱电压、电流、功率等电参数, 箱体内部温度、湿度等环境参数, 以及断路器、

接触器等关键组件运行状态。网络层承担数据中转与通信衔接职责,连接感知层与应用层的数据传输,采用物联网通信技术及对应网络传输协议构建稳定通信链路。无线与有线通信形式协同应用,无线通信采用低功耗广域网技术,满足远距离、低带宽传输需求,有线通信作为补充保障近距离数据传输稳定。数据加密模块嵌入其中,对传输数据进行加密,防范数据丢失与篡改,保障数据高效安全传递。应用层围绕用户操作与功能落地构建,整合数据处理、监控展示、指令下发等核心模块。可视化监控界面直观呈现配电箱运行参数、设备状态及预警信息,方便用户实时掌握运行态势;指令下发模块支持远程操控指令发送,实现配电箱异地管控;数据处理模块解析采集数据并提炼有效信息,为设备运维提供支撑,同时预留接口,保障后续功能扩展升级。

2.3 总体功能设计

实时监测功能针对水利水电施工临时用电配电箱运行全流程设计,持续采集配电箱内各类电参数与环境参数,同步捕捉设备运行状态,重点监测负荷波动、漏电电流等施工用电关键指标,确保数据采集的连续性与准确性。通过数据处理算法过滤干扰信号,提升数据精度,实时更新监测数据,让运维人员及时掌握现场设备运行状态,规避施工用电安全隐患^[3]。异常预警功能依托数据阈值判断机制,结合水利水电施工临时用电特点预设各类参数的安全阈值,当监测数据超出阈值范围(如过载、漏电)或设备出现异常状态时,自动触发预警机制,通过界面提示、消息推送、现场声光报警等方式告知运维人员,为故障处理争取时间,防范安全事故扩大。同时新增负荷统计分析功能,精准统计各施工区域临时用电负荷情况,为临时用电线路调整、设备配置优化提供数据支撑,避免负荷分配不均引发的设备故障。

3 系统硬件设计

3.1 感知层硬件设计

电参数采集模块选用高精度三相电量采集芯片搭建,适配智能配电箱多回路监测需求,可精准捕捉电压、电流、功率、功率因数及电能等关键电参数。芯片集成内置滤波电路,有效抑制电磁干扰,提升数据采集精度,采用SPI通信方式与主控模块对接,实现采集数据的快速传输,满足实时监测对数据时效性的要求,同时具备低功耗特性,适配长期稳定运行需求。环境参数采集模块部署专用环境传感器,重点监测智能配电箱内部温度、湿度及烟雾浓度等环境指标。温度传感器采用数字式测温芯片,测温范围覆盖配电箱常见运行环境,精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;湿度传感器具备抗干扰能力,可精准反馈

箱体内部湿度变化;烟雾传感器采用光电感应原理,能快速捕捉箱体内部异常烟雾信号,为设备安全运行提供环境监测支撑。状态检测模块针对配电箱核心组件运行状态设计,部署电流传感器、电压传感器及状态检测探头,实时捕捉断路器、接触器等组件的运行状态。通过检测组件工作电流、电压变化,判断组件是否处于正常工作状态,及时捕捉组件接触不良、过载等异常情况,将状态信号转化为数字信号传输至主控模块,实现设备运行状态的全面监测。

3.2 网络层硬件设计

数据传输模块选型与设计结合监控场景传输需求,选用工业级物联网通信模块,支持4G/5G与LoRa双模通信,可根据传输距离与环境信号强度灵活切换通信模式。模块集成加密芯片,支持数据加密传输,符合电力设备数据传输安全标准,具备抗干扰、低功耗、高稳定性等特点,可实现感知层数据向应用层的高效传递,适配复杂工业环境运行需求。通信接口设计遵循标准化原则,搭建多种适配接口,满足不同硬件模块的通信需求。数据传输模块与感知层、控制层硬件之间采用RS485接口对接,具备传输距离远、抗干扰能力强的优势;与主控模块采用UART接口通信,保障指令与数据的快速交互;预留以太网接口,作为有线通信补充,提升通信链路的可靠性,同时优化接口电路设计,减少信号干扰,确保接口通信稳定。

3.3 控制层硬件设计

主控模块选用高性能微控制器作为核心,具备多接口、高运算速度及低功耗特性,可统筹协调各硬件模块工作。微控制器集成多种外设接口,支持与感知层、网络层及执行机构的高效对接,能快速处理采集到的各类数据,解析用户下发的控制指令,下发至执行机构,同时具备数据缓存功能,避免数据丢失,保障系统稳定运行。执行机构接口采用标准化设计,适配配电箱内部断路器、接触器等执行组件,具备信号隔离功能,防止执行机构工作时产生的电磁干扰影响主控模块运行。接口支持开关量输出与模拟量输出,可精准传递控制指令,实现对执行机构的精准操控,同时具备状态反馈功能,将执行机构的运行状态反馈至主控模块,形成闭环控制,提升控制精度与可靠性。

3.4 硬件集成与接口适配

硬件集成按照模块化设计思路,将感知层、网络层、控制层各硬件模块进行整合,合理规划箱体内部布局,优化线路走向,减少模块间的信号干扰。采用标准化固定支架安装各硬件模块,确保安装牢固,便于后续

维护与更换,同时做好硬件模块的绝缘处理,符合电力设备安全运行规范,防止电路短路等安全隐患。接口适配针对各硬件模块间的通信需求,优化接口协议与电路设计,确保不同模块间接口兼容,实现数据与指令的顺畅传输。对接口信号进行隔离与滤波处理,减少外界干扰对接口通信的影响,测试各接口的通信稳定性与传输速率,调整接口参数,确保接口适配性满足系统运行需求,保障整个硬件系统协同高效运作。

4 系统软件与应用设计

4.1 系统软件设计

4.1.1 软件总体设计思路

结合硬件架构与系统功能需求,软件设计采用模块化理念,将整体划分为多个独立功能模块,各模块职责清晰、协同配合,有效降低开发难度与后期维护成本^[4]。同时依托分层设计思路,对应硬件感知层、网络层、控制层的架构特点,搭建层级分明的软件体系,实现软硬件精准对接,保障系统运行的高效性与稳定性。

4.1.2 各层级软件程序设计

各层级软件程序均围绕对应硬件功能设计,感知层程序负责数据采集与初步处理,通过编程完成采集模块参数配置与数据读取,过滤无效数据、抑制干扰信号,保障采集数据的准确性;网络层程序完成数据传输协议适配与加密处理,确保数据传输安全高效;控制层程序承担指令解析与执行控制任务,对接主控模块与执行机构,实现指令精准下发及执行状态实时反馈。

4.1.3 软件界面设计

软件界面遵循简洁易用、高效便捷的原则,采用扁平化设计,聚焦核心监控与操作功能,布局合理、逻辑清晰,直观呈现电参数、环境参数及设备运行状态,配备简洁操作按钮与预警提示,方便用户快速掌握设备情况、下发控制指令,同时优化界面响应速度,提升操作体验。

4.1.4 软件调试与优化

软件调试与优化针对运行中的异常问题开展,通过分步调试排查程序漏洞与逻辑错误,测试模块协同效果;优化代码、删减冗余指令,解决传输延迟、界面卡顿等问题,同时完善数据处理算法,提升解析精度,确保软件稳定可靠运行。

4.2 系统应用设计

4.2.1 应用场景适配设计

应用场景适配设计结合不同场景下智能配电箱的运

行特点与监控需求,优化软件功能与硬件参数。针对工业厂房、商业建筑、居民小区等不同场景,调整监测参数阈值、预警方式与控制逻辑,适配不同场景下的电力负荷特点与环境条件,确保系统在不同场景下均能实现精准监测与有效管控。

4.2.2 系统部署方案

系统部署方案按照分层部署思路,先完成硬件设备安装与调试,再进行软件程序部署与配置^[5]。搭建专用服务器存储监测数据,配置网络参数确保通信链路通畅,完成软件与硬件的联调,设置用户权限与系统参数,按照标准化流程完成部署,确保系统部署后可快速投入运行。

4.2.3 系统运维方案

系统运维方案聚焦设备维护与软件更新,定期对硬件设备进行巡检,检查采集模块、传输模块运行状态,及时更换老化组件。建立软件更新机制,定期优化程序、修复漏洞,备份监测数据防止丢失,建立运维日志,记录运维过程中的问题与处理措施,保障系统长期稳定运行。

结束语

融合物联网技术的智能配电箱远程监控系统,实现了配电设备运行状态的全时段感知、异地管控与异常预警,有效解决了传统运维模式的痛点,提升了电力运维的精细化与智能化水平。系统软硬件设计贴合实际应用需求,具备良好的稳定性、兼容性与可扩展性,可灵活适配多场景应用,为配电设施运维转型提供了可靠支撑。未来可进一步优化数据处理算法,强化系统智能决策能力,拓展多设备联动管控功能,推动配电监控技术向更高效、更智能的方向发展,助力电力系统数字化建设持续推进。

参考文献

- [1]褚鹏飞.智能配电箱的远程监控与数据传输安全机制[J].消费电子,2026(2):95-97.
- [2]蒙少东.智能配电系统设计的重难点及解决措施[J].华东科技,2024,(02):97-99.
- [3]薛惠.基于物联网的智能配电运维创新技术分析[J].集成电路应用,2024,41(01):158-159.
- [4]田茂学.电力物联网下智能配电房状态监测及故障防范研究[J].江西电力职业技术学院学报,2023,36(12):17-19.
- [5]张杰,张鑫,杜然琰,秦静思,王连杰.智能综合配电箱的设计和应用[J].集成电路应用,2023,40(12):242-243.