

[配电柜]

# 一种配电柜智能监测软件架构设计

文/董李锋 赵恒 陈思宇  
河南九域腾龙信息工程有限公司

对配电柜智能监测软件架构设计进行分析，提出基于感知层、传输层和应用层的三层架构设计方法，进行配电柜环境监测、无功补偿电容监测、断路器状态监测以及电能质量采集与分析等多项功能设计研究，达到提升配电柜监测效率与准确度的效果，解决传统监测方式中数据滞后、处理能力不足等问题。

配电柜智能监测软件架构是一种为了有效管理和监测配电柜运行状态而设计的软件系统结构，包含多个层次，每个层次都有其特定的功能和职责，共同协作以实现配电柜的智能监测与管理。该配电柜智能监测软件架构设计为配电柜的智能化管理提供了可行的技术路径，有助于提升电力系统的运行效率与安全性。

## 系统架构

### (1) 感知层

作为数据获取的前端，感知层配备了丰富多样的传感器，如温度传感器、湿度传感器、电压互感器和电流互感器等，能够精准地收集配电柜内部环境信息以及设备运行状态数据，包括实时的温度变化范围、湿度水平、各线路的电压电流数值等。

### (2) 传输层

在数据流转过程中，传输层发挥关键作用，集成了蓝牙、4G、HPLC、RS 232/RS 485、CAN等多种通信协议，依据不同的应用场景与距离要求，灵活地选择合适的通信方式将感知层采集的数据传输至应用层。

### (3) 应用层

作为整个系统的核心管控与交互区域，应用层能对数据进行深度处理、全面分析，通过直观的图形界面展示配电柜的各项参数与运行态势，并且具

备远程控制功能，可实现对配电柜的远程开关操作、参数调整等，提升了配电柜监测与管理的便捷性与智能化水平，系统构架如图1所示。

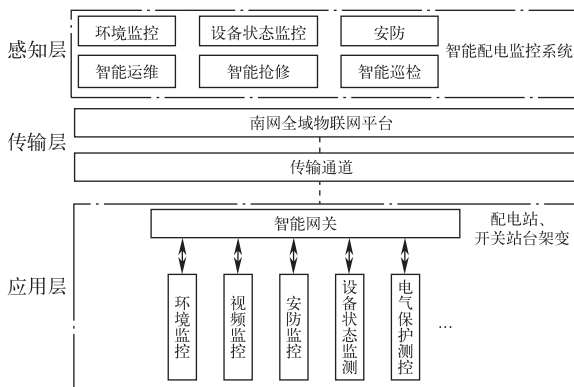


图1 系统构架

## 功能设计

### (1) 配电柜环境监测

通过温湿度传感器、烟雾传感器等对配电柜内环境实时监测，温湿度传感器可精确到0.1℃与1%RH的分辨率，若温度超过40℃或湿度大于80%RH且持续一定时间，可能影响设备绝缘性能，系统将记录数据并预警，以便及时采取散热或除湿措施，保障配电柜稳定运行。

### (2) 无功补偿电容监测

利用电容监测模块检测无功补偿电容的容值、

耐压等参数，特定电容监测仪能实时监测电容的容值变化，当容值低于额定值的80%时，表明电容性能下降，系统发出警报，提醒运维人员更换电容，确保配电柜无功补偿效果，维持功率因数稳定，减少电能损耗。

### (3) 断路器状态监测

借助辅助触点传感器与电流互感器监测断路器，如监测辅助触点开合状态判断断路器分合闸情况，利用电流互感器检测通过断路器的电流大小。当电流超过额定值的1.2倍且持续一段时间，系统判断可能存在过载，若此时辅助触点状态异常，可能是断路器故障，及时预警以便检修。

### (4) 电能质量采集与分析

电能质量分析仪采集电压偏差、谐波含量等数据，可精确测量电压偏差在 $\pm 0.5\%$ 以内，谐波含量精确到0.1%。系统对采集数据进行分析，若电压总谐波畸变率超5%，可能影响精密设备运行，通过分析找出谐波源，采取滤波措施改善电能质量。

### (5) 通信协议支持

软件集成蓝牙、4G、HPLC、RS 232/RS 485、CAN等协议，在近距离且数据量小的场景，如配电柜内部模块间通信，采用RS 232/RS 485协议，其传输稳定且成本低；对于远程数据传输到监控中心，4G或HPLC协议可满足大数据量快速传输需求，确保不同环境与距离下数据的有效传输与交互。

### (6) 用户界面与控制

设计直观可视化界面，展示配电柜各项参数，以图表形式呈现电压、电流实时曲线，运维人员可清晰地看到波动情况。设置远程分合闸按钮，经权限认证后可操作。在界面上还可显示指示灯表示断路器状态，方便用户远程监控与操作配电柜。

### (7) 实时报警与通知

设定报警阈值，当温度超阈值，系统立即通过短信、弹窗等方式通知运维人员。还可设置火灾报警优先级最高，确保关键报警信息能第一时间被处理，降低事故风险，提高运维响应效率。

### (8) 系统诊断与维护

内置自诊断程序，定期对硬件设备与软件模块进行检测，每天凌晨2:00对传感器进行校准测试，若发现传感器数据偏差超过允许范围，提示故障位置与可能原因。软件模块也进行自我检查，若通信

模块丢包率超5%，判断可能存在网络故障，方便及时维护修复，保障系统正常运行。

## 关键技术实现

### (1) 边缘计算应用

边缘计算设备如华为Atlas智能边缘小站如图2所示，可部署于配电柜附近，能够对传感器采集的原始数据进行实时预处理，将电流、电压数据进行快速滤波降噪处理，提取关键特征值，仅将精简且有价值的上传云端。这样可大幅减少数据传输量，缓解网络带宽压力，降低云端处理负担，实现本地快速决策。

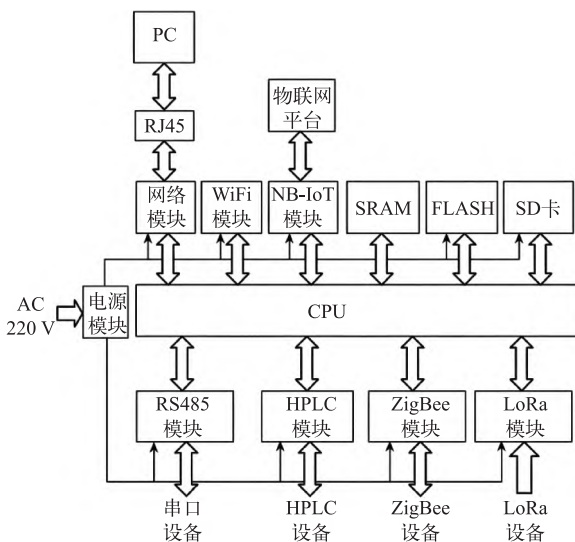


图2 华为Atlas智能边缘小站

### (2) 云端数据分析与挖掘

利用阿里云大数据平台强大的计算能力进行深度分析，对海量配电柜历史运行数据，如不同时间段的功率因数、电能质量参数等进行聚类分析，可精准划分配电柜运行状态模式。借助关联规则挖掘技术，发现环境温度与设备故障率之间的潜在联系，若温度每升高 $5^{\circ}\text{C}$ ，特定设备故障率可能提升10%，为预防性维护提供依据。

### (3) 国网通信协议兼容性

采用符合国网标准的IEC 61850《变电站通信网络和系统》通信协议转换模块，该模块能够无缝对接配电柜内的智能设备与国网监控系统。将智能电表采用的DL/T 645—2007《多功能电能表通信规约》协议数据转换为IEC 61850协议格式，确保

数据准确、高效地在两者之间传输。在数据传输过程中，严格遵循协议规定的信息模型和服务模型，保证数据的完整性和一致性，使配电柜监测数据能顺利融入国网电力物联网体系，实现统一管理与调度。

系统安全性与合规性

(1) 数据安全

采用AES-256加密算法对配电柜监测数据进行加密处理，无论是在数据存储环节还是传输过程中，都能确保数据的保密性。敏感的用户用电数据、配电柜运行参数等信息，经过加密后以密文形式存储于数据库中，只有授权的解密密钥才能将其还原为明文，有效防止数据被窃取后泄露关键信息。建立定期的数据备份机制，每周全量备份一次至异地灾备中心，利用冗余存储技术保障数据的完整性与可用性，避免因硬件故障或恶意攻击导致数据丢失。

(2) 通信安全

运用SSL/TLS协议（如图3所示）保障通信链路的安全，在数据从配电柜传输至监测中心的过程中，该协议通过加密握手过程建立安全通道，防止数据在传输途中被截获或篡改。在采用4G网络传输数据时，通信双方基于SSL/TLS协议进行身份认证和密钥交换，确保数据传输的真实性与机密性。对通信设备进行严格的访问控制，为通信模块设置唯一的身份标识与强密码，只有通过认证的设备才能接入通信网络，有效抵御非法设备的接入攻击，保障通信过程的安全可靠。

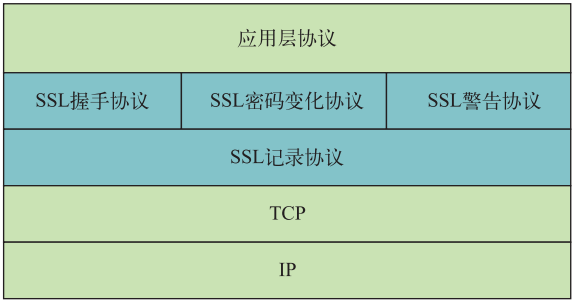


图3 SSL/TLS协议

(3) 遵循国网标准

严格遵循国家电网的相关标准规范，如Q/GDW 1373《电力用户用电信息采集系统功能规范》等。在软件架构设计与开发过程中，确保数据模型、接

口规范、通信协议等方面与国网标准一致，数据交互时采用国网规定的DL/T 698《调度数据网络应用层通信协议》，使配电柜监测数据能够准确无误地接入国网电力物联网平台，实现与其他电力系统的互联互通与协同工作，为后续的系统验收、运维管理等工作提供合规依据，保障整个配电柜智能监测系统在国内体系内的合法合规运行。

应用运行部署

(1) 监测设备的选择与安装

选用高准确度的施耐德电气多功能电表，能精确测量电压、电流、功率等参数，误差在±0.2%以内。安装于配电柜的关键回路，如进线端与主要负载出线端，通过导轨式安装方式确保牢固稳定且便于接线，可全面获取配电柜运行数据。

(2) 数据采集与传输

利用数据采集器如泓格I-7000系列，以RS 485总线连接监测设备，按设定的1 s间隔采集数据。借助4G无线通信模块将数据传输至云端服务器，传输速率可达100 Mbit/s，保证数据的实时性与完整性。

(3) 数据存储分析平台

采用阿里云的云数据库RDS，具备高可用、可扩展特性，能存储数年的配电柜监测数据，数据存储容量可按需弹性扩展，应对不断增长的数据量。运用Python数据分析库Pandas和NumPy，对采集的数据进行清洗、统计分析与特征提取，如计算每日的电能消耗趋势、功率因数波动范围等，为后续决策提供依据。

(4) 报警通知及远程监控与管理

在软件中设定电压上下限为±10%额定电压、电流过载阈值为1.5倍额定电流等报警参数，一旦数据超标，通过短信网关如腾讯云短信服务向运维人员发送报警短信，在监控平台弹出醒目的报警弹窗提示。开发基于Web的远程监控平台，运维人员可通过浏览器输入特定网址登录，在平台上能查看配电柜实时运行参数、历史数据曲线，还可远程操作断路器的分合闸，实现远程控制与管理功能。

通过上述分析可知，该架构设计在配电柜监测方面具有显著优势。EA

(收稿日期：2025-03-25)