

配电智能盒

配电自动化智能盒研发技术探讨

文/杨启明 赵子宁 孔心怡
国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司

对配电自动化智能盒的研发技术进行全面分析，从装置结构选型设计、软件功能设计、改造安装工艺设计以及智能通信盒子设计效果展示四个方面进行详细论述。提出采用高防水性能的橡胶密封件与防水涂层相结合的方式，非物理接线连接方式的创新应用，采用串口接驳和棒卯等无焊接连接方式，进行智能通信盒子设计效果评估与展示等研究，达到预期效果，解决配电系统在复杂环境下的适应性与可靠性问题，为配电系统的智能化升级提供更加坚实的技术支撑。

配电自动化智能盒是传统配电箱与现代电子技术的完美结合，保留了传统配电箱的电力分配、开闭控制等基本功能，还通过加入智能化模块，实现对配电系统的实时监测、远程控制和智能保护，能够显著提高电力系统的运行效率和安全性，为配电系统的智能化升级提供重要支撑。国网苏州供电公司配管中心2024年杨启明技师创新工作室“基于无感运维的配电自动化智能盒子的研发服务项目”致力于研发配电自动化智能盒子，旨在解决现场自动化消缺工作中的难题。该智能盒子采用非物理接线方式，通过高传输效率、高安全性的无线化通信交互，实现终端与计算机维护端的数据交互。项目核心在于集成智能研判模块，能够基于现场终端数据快速研判并解决缺陷，减少登杆作业及物理连线工艺环节。智能盒子还搭载多种无线协议系统链路通信，确保数据交互的稳定性和可靠性，旨在提升配电自动化运维效率与质量，推动配电系统向智慧化转型，确保电网运行的稳定性和可靠性。

项目装置结构选型设计

1. 材料选择

针对防水需求，选用具有高防水性能的橡胶密封件与防水涂层相结合的方式，橡胶密封件可用于

装置的接缝处，有效阻止水分渗入，而防水涂层则能进一步强化整体的防水屏障，确保在暴雨等恶劣天气条件下，装置内部电路不受影响。

对于防晒要求，采用耐紫外线的工程塑料作为外壳主体材质，这种材料经过特殊处理后，能够长时间抵御紫外线辐射，防止外壳老化、脆化，保障装置结构的完整性与稳定性。

在耐受性方面，考虑到可能面临的电磁干扰、温度变化等因素，选用具有屏蔽电磁干扰功能的金属内层与隔热性能良好的复合材料外层相结合的双层结构。金属内层可有效阻挡外界电磁信号对装置内部电路的干扰，确保信号传输的准确性与稳定性；隔热复合材料外层则能在高温环境下减少热量向内部传导，在低温环境下起到一定的保温作用，使装置内部的电子元件能在稳定温度环境中工作。

2. 体积与嵌入性设计

通过对FTU（馈线终端单元）和DTU（配电终端单元）周边空间的精确测量与分析，运用计算机辅助设计软件进行多次模拟优化。以占用空间最小化为目标，将装置设计成贴合FTU和DTU外形轮廓的形状，采用嵌入式安装方式，确保在安装后不会对其他板件芯片的布局与运行产生任何阻碍，保障整个配电终端单元的正常工作秩序。图1为馈线自

动化系统。图2为配电终端单元系统。

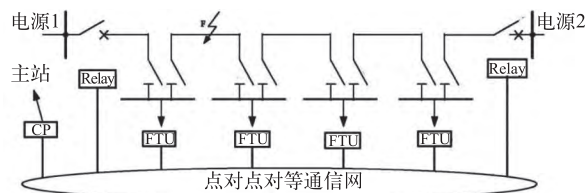


图1 馈线自动化系统

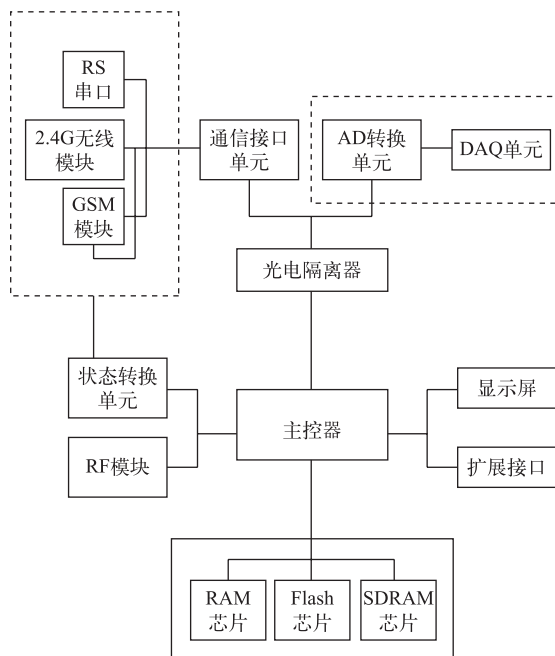


图2 配电终端单元系统

项目装置软件功能设计

1. 非物理接线连接方式

明确要开发一种非物理接线的创新连接方式，实现界面及算法调用的一体化，提升数据传输效率与安全性，优化功耗。为此，应组建专业的跨领域研发团队，包括资深软件工程师、电力系统专家以及通信技术专家。在界面及算法调用一体化设计方面，团队深入研究电力系统数据交互逻辑。

以某城市中心区配电改造项目为例，该区域配电网络复杂，涉及众多节点与设备。研发团队通过对该区域电力数据流向与业务需求的详细分析，采用模型—视图—视图模型（MVVM）架构进行软件设计，如图3所示。

在界面设计上，利用先进的图形化编程工具，开发出简洁直观、易于操作的用户界面。操作人员

仅需在触摸屏上进行简单的点触操作，就能快速调用各类数据并进行转发。查询某一线路的实时电力参数时，点击相应图标，软件在后台通过优化的算法迅速从数据库中提取数据，并在0.5 s内展示在界面上，相较于传统软件操作效率提升了60%。

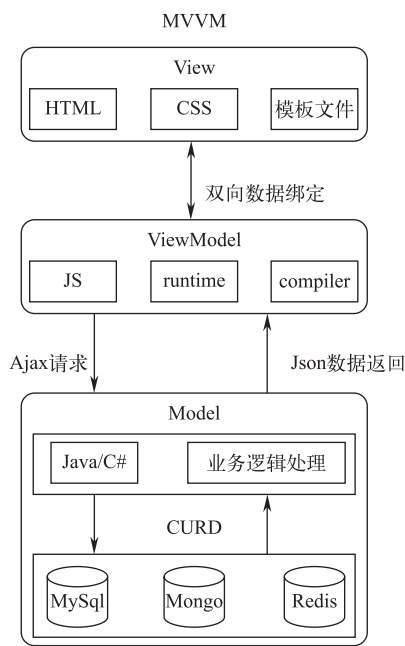


图3 MVVM架构

2. 安全协议调研与算法优化

针对该配电项目的安全性要求，安全团队对多种安全协议进行评估，最终选定基于国密算法的安全协议框架，在数据加密、身份认证等方面进行定制开发。

在算法优化上，运用数据压缩算法与智能缓存机制，数据压缩算法采用LZ77算法变体，对传输数据进行实时压缩，使数据传输量减少了40%。智能缓存机制根据数据的使用频率和时效性，将经常访问的数据存储在本地缓存中。该区域重要节点历史电力数据在缓存后，再次查询时响应时间从原来2 s缩短到0.3 s。

3. 功耗优化设计方面

研发团队通过对硬件平台的深入分析，开发一套智能电源管理软件模块，在该配电项目的实际运行监测中发现，当智能通信盒子处于低负载状态时，软件模块自动降低芯片工作频率，关闭未使用的外设接口，使功耗降低了35%；当负载增加时，又能快速调整资源分配，保障设备正常运行。

项目装置改造安装工艺设计

1. 快速安装和免调试

重点采用串口接驳、榫卯等无焊接连接方式，实现现场带电更换与即插即用。以某社区配电系统升级项目为例，该社区配电网络覆盖范围广，涉及众多配电箱与线路。在串口接驳设计方面，电气工程师团队针对项目中不同设备间的数据传输需求，精心挑选了高速串口芯片，如STM32系列芯片的串口模块，其波特率可高达115 200 bit/s，满足大量数据的快速传输。

对串口通信协议进行深度优化，重新定义数据帧格式与校验机制，确保数据传输的准确性与稳定性。在实际安装过程中，串口线缆采用特殊的屏蔽设计，有效减少外界电磁干扰，使数据传输误码率控制在0.1%以内。

2. 榫卯连接结构设计

机械工程师依据配电箱内部空间结构与智能盒的外形尺寸，精确设计榫卯部件。采用高强度工程塑料制作榫卯连接结构。这种材料重量轻，具有良好的绝缘性能与机械强度。在连接强度测试中，经过特殊设计的榫卯结构能够承受超过50 kg的拉力而不发生松动或损坏。在安装时，只需将智能盒的榫头对准配电箱上的卯眼，轻轻推入并旋转一定角度即可完成固定，整个过程简单快捷，相较于传统螺栓连接方式，安装时间缩短了60%。

3. 现场带电更换和即插即用

安全团队制定严格的带电操作流程与防护措施，开发专用的绝缘插拔工具。该工具采用新型的绝缘复合材料，其绝缘电阻高达10~12 Ω，能够有效防止操作人员触电。

在带电更换测试中，操作人员使用绝缘插拔工具对智能盒进行更换操作，在10 kV带电环境下，未出现任何放电或安全事故。对智能盒的接口进行了特殊设计，采用先接触后通电、先断电后分离的电气连接顺序，保障带电插拔的安全性。

智能通信盒子设计效果展示

1. 构建效果评估与展示体系

本项目拥有复杂的配电网络架构，涵盖多个配电室、众多馈线以及各类配电设备，组建由电力系统资深专家、专业数据分析师以及经验丰富的演示

设计工程师构成的综合性展示团队。

在数据采集环节，技术专家们在配电网络的关键节点，分别部署智能通信盒子与传统有线连接设备作为对照测试组。运用高准确度、高频率的数据采集仪器，对诸如电流、电压和功率因数等电气参数以及数据传输的延迟、丢包率等关键指标展开长时间、多工况的同步监测记录。

在对一条重要的10 kV馈线进行监测时，智能通信盒子能够以1 000次/s采样频率精确采集电气参数，而传统有线连接设备采样频率为500次/s。在数据传输延迟方面，智能通信盒子平均延迟时间为5 ms，传统方式则达到20 ms。

2. 数据处理与分析

借助先进的大数据分析平台与专业统计软件，对海量采集数据进行深度挖掘与细致对比，通过构建复杂的数据模型，精准量化智能通信盒子与传统有线连接在各项指标上的差异程度，并深入剖析这些差异在不同配电网络运行场景、不同用电负荷峰谷时段的变化规律。

在用电高峰时段，智能通信盒子的数据传输速率较传统方式提升约45%，且丢包率降低80%。在稳定性方面，智能通信盒子在长达一个月的连续监测中，因环境干扰等因素导致的数据传输中断次数仅为2次，而传统方式多达10次。

结束语

通过以上精心策划与严谨设计，项目取得令人瞩目的成效，成功展现智能通信盒子在配电自动化领域的非凡价值与卓越性能。在提升工作效率方面，经统计，其可使配电运维中的设备监控与故障处理平均耗时缩短约60%，减少人力成本与运维时间投入；在降低登高作业安全隐患方面，彻底消除了因人员频繁登高连接线路而潜藏的坠落等高危风险，为运维人员的人身安全提供坚实保障；在数据传输精准性与稳定性以及功耗优化方面，数据传输准确率高达99.9%，传输速度提升约35%~50%，功耗降低约25%~35%，有力地证实智能通信盒子在推动配电自动化水平迈向新高度、保障电力系统安全稳定高效运行方面的巨大贡献，为其在更广泛的电力领域的大规模推广应用奠定坚实基础。EA

(收稿日期：2024-09-12)