电力系统及其自动化技术的运用分析

周仕渠 周良
特变电工智慧能源有限公司 辽宁 沈阳 110144

摘 要 随着电力自动化技术的发展，电力系统管理正从单一模块向多模块融合演进。本研究以某面积305.87 km^2的区域配电网为例，该区域拥有36座35 kV及以上变电站，形成多环网架构，配有1 098套智能终端和“站—线—变”综合监控平台。围绕2024—2026年技改规划，重点从系统架构、终端配置、通信网络3个维度分析了实际需求，量化评估了负荷转供能力、数据采集精度、通信时延等关键指标并给出计算方法。在此基础上，提出了一套系统化实施方案，涵盖改造思路、数据流转、平台功能、设备参数、终端更新与通信优化等方面，设计了以主站为核心的服务端/客户端交互模式与层次化通信架构。实践表明，实施后配网自动化覆盖率提升，异常处置效率提高，用户停电时间缩短，供电可靠性增强，对电力行业技术升级与高质量发展具≥有参考价值。

关键词 电力系统；自动化技术；运用

Analysis of the Application of Power Systems and Automation Technology

Zhou Shi-qu, Zhou Liang
TBEA Smart Energy Co., Ltd., Shenyang 110144, Liaoning Province, China

Abstract With the advancement of power automation technology, power system management is evolving from isolated modules toward integrated multi-module operation. This study focuses on a regional distribution network (305.87 km^2) with 36 substations (≥35 kV), a multi-ring grid structure, 1,098 intelligent terminals, and an integrated "station-line-transformer" monitoring platform. Centered on the 2024−2026 technical upgrade plan, it analyzes requirements in system architecture, terminal configuration, and communication networks, quantitatively evaluating key indicators such as load transfer capability, data acquisition accuracy, and communication delay, with corresponding computational methods provided. A systematic implementation plan is proposed, covering renovation strategy, data flow, platform functions, device parameters, terminal upgrades, and communication optimization. A server/client interaction model centered on the master station and a hierarchical communication architecture are designed. Practical results show that the plan enhances distribution automation coverage, improves fault response efficiency, reduces outage duration, and strengthens supply reliability, offering valuable insights for the technological advancement and high-quality development of the power industry.

Key words Power Systems; Automation Technology; Application

近年来，随着电力自动化技术的不断革新，电力系统的运营和管理方式也发生了巨大的变化。从最初只具有基础监控功能的简单设备，到具有自主感知和决策能力的智能系统，已经实现了从单个功能模块到多个功能模块的深度集成。在提高输电效率、增强供电系统韧性、实现全寿命周期费用最优等领域，电力自动化已成为新一代电网建设的重要支撑[1]。系统地总结其技术发展轨迹和工程应用价值，对推动我国产业转型升级，实现高质量发展，具有重大战略意义。

1 项目概况

全市配电网络规划范围为305.87 km^2，目前有36个35 kV及以上的变电站，已经构成了多环网的供电框架。预计到2023年，该地区全年电力销售总量为72.99亿千瓦时，综合用电可靠性一直维持在99.98%，供电品质达到全国领先水平。在配电网自动化建设中，现已安装了1 098套智能终端，涵盖了架空线路分界开关、立柱上自动化开关、环网柜、智能配电室和箱式变电站等五大类重要设备，并初步形成了覆盖变电站、线路和配电变的“站—线—变”一体化监控系统。虽然已经取得了一些进步，但建造自动化仍然遇到了结构上的挑战，因此，迫切需要采取阶段性的技术改造战略：2024年，重点针对高故障率地区，推动老化设备升级；到2025年，构建面向软件定义网络的柔性通信体系结构，提高网络的柔性和可扩展性；到2026年，配网的有效覆盖范围将达到80%以上，使配网的智能运营水平得到全面提升。

2 本项目电力系统工程自动化技术应用需求分析

2.1 技术系统架构需求

该项目按既定技术路线稳步推进：先更新站室设备，再延伸至线路段，依次实施输电线路的自动化与智能化改造；电网结构上，优先构建互联互通的环网，逐步优化辐射状网络，并以重点区域供电可靠为先导，逐步覆盖普通区域。系统投运后，通过严格的遥信精度、响应速度及遥控执行率测试，确保各项指标达标，实现电网实时监控与远程精准控制。同时，结合负荷转供能力评估与运行方式切换分析，科学预判停电风险，有效提升环网运行稳定性与整体供电可靠性。有关系统负载再供给容量计算公式如下：

$$P_{tr}=\min(P_n,P_d)-P_{load} \quad (1)$$

式中，P_{tr}—自动化电网系统在运行过程中负荷转移与供电恢复的能力；P_n，P_d分别对应系统在建设与安装阶段所采用线路的传输容量；P_{load}—代表整个系统的实际负荷需求。为有效减小因运行过程中出现的突发故障对电力系统的持续供电造成的冲击，保证电力系统的可靠性在99.99%以上。

$$A=MTBF/(MTBF+MTTR)\geq 99.99\% \quad (2)$$

式中，A—供配电系统接入自动化技术后，其可用性的量化评估值；$MTBF$—系统在正常运行状态下，两次故障之间的平均工作时间；$MTTR$—反映系统发生故障后，完成修复所需的平均时长。

2.2 终端建设配置需求

在实现供配系统的内部自动化技术更新过程中，相关技术人员应结合开闭站自动化终端的工作原理与特性，准确把握技术应用需求，确保改造方案具备实际可操作性。在具体实现中，终端布置要根据开关站的实际情况，对其进行合理的布置。对没有低压负载的开关站，要使保护、管理设备和自动控制终端相互协作，保证操作数据的实时、准确采集。拟实现的信息获取性能：采样精度不高于 ± 0.2%、响应时间小于20 ms、线路电流检测误差小于1%、故障辨识时间小于100 ms、直流电压稳定度优于220 V ± 10%。另外，对数据的获取也有一定的要求。

$$\sum P=\sqrt{3}\times U\times I\times\cos\phi \quad (3)$$

式中，$\sum P$—电力系统中三相功率的总和，反映系统整体的有功功率水平；U—线电压，指三相系统中任意两相之间的电压值，是衡量系统电压等级的重要参数；I—线电流，即在输电线路中实际流过的电流强度；$\cos\phi$—功率因数，体现有功功率与视在功率之间的比例关系，其数值范围通常介于0至1之间，数值越高，表示电能利用效率越高。另外，在建立配网自动化终端时，要根据配网的布线模式和器件的实际工作状况，对其进行科学配置。

2.3 配电通信系统需求

配电网通信网是电网自动控制体系中的关键环节。这类系统一般是以主电网的变电所为中央接入点，再延伸到线路上的开关站、配电间、配电装置、箱变压器和架空线路等。图1说明了该系统的结构。

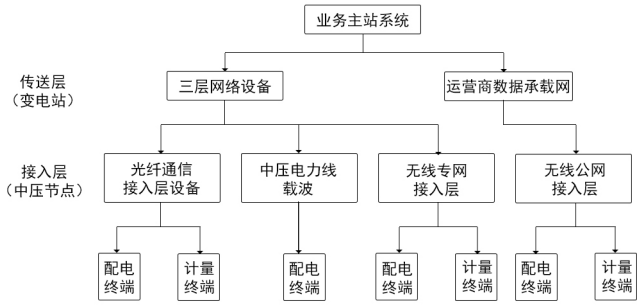

图1 配电网通信系统架构

3 本项目电力系统工程自动化技术改造方案

3.1 整体改造思路

在此次升级改造中，为了有效降低供、配电网络运营对人员的依赖性，提高运营管理的效率和水平，让它更好地满足自动化技术的发展需要，需要根据工程的实际状况和特定的商业环境，推动配电网络朝着智能调度和生产的方向转变。改造后的监控、控制、数据处理、操作分析和辅助决策功能于一体[2]。

3.2 系统数据流向

在供配电网络系统工程中，电力自动化技术的深入应用，可以对参与电网运行的各种设备和部件进行全方位的监测和覆盖。其所需要的数据主要是配网的静态模型和上层网络的可视化模型，它们可以真正地反映配网的运行状况和故障特性。在体系结构上，主站可以通过光纤传输信道与已有的调度自动化系统进行有效的互联。同时，该系统还可以根据已有的规范及技术流程，对变电站的出线交换机进行遥控，并通过标准化的通信协议，使各系统之间能够进行数据的交换和共享。自动化系统在运行时，必须遵循规范化、统一性的原则，使各种控制命令和工作流程能够有条不紊地进行，同时保证安全性和可靠性。有关的数据传送模式具有以下数学公式：

$$T_d=D_s/B_w+P_p \quad (4)$$

式中，T_d—数据从发送方传输至接收方过程中产生的端到端通信时延；D_s—供配电网运行期间生成的数据包尺寸；B_w—通信链路中光纤通道所支持的可用带宽；P_p—反映协议栈在封

装、解析数据过程中引入的处理时延。该系统以C/S方式进行数据交互。在此体系结构中，主站系统充当服务端，完成对电网的各种信息的接收和调度；当双方按照预先设定的通信协议传送资料时，该系统可以自动地进行报文解析、状态确认和应答执行，以实现对控制逻辑与指定任务的自治处理。在C/S体系结构中，互动效率的定量模式可以使用以下公式：

$$Q_{sys}=\alpha \times \log_2(1+S_c/N_b) \quad (5)$$

式中，Q_{sys}—C/S架构下系统的数据吞吐能力（TPS，每秒事务处理数）；S_c—系统中同时发起数据交互请求的并发终端数；N_b—主站在供配电数据处理方面的基准性能，体现其基础处理能力；α—协议系数，取值一般介于0.8至1.2之间，用于衡量通信协议对系统整体性能的影响程度。在此基础上建立了C/S体系结构下的性能评价方法。通过对网络吞吐量等关键性能指标的量化分析，检验其在数据传输效率、遥控响应能力和联动稳定性等方面的性能，从而保证供电网的安全高效运行。

3.3 基础平台功能

电力系统自动化调度与运行平台是监测和评估电网关键指标的核心工具，需具备完善的监测、评估与辅助决策功能。平台通过配电网络设计方法，结合电网稳态数据与传感器反馈，可仿真供电网络运行状态，实现运行监测与智能告警。当电网或变电站出现电压、电流异常时，系统能快速准确识别、分析并响应故障，有效减轻对电网稳定性的冲击，帮助运行人员直观、高效地定位和判断故障，显著提升故障处理效率[3]。

3.4 系统性能指标

该课题所涉及的设备部件种类繁多，它们的性能指标和工作状况对整个自动化系统的运行结果有着重要的影响。各种设备的容量参数见表1。

表1 自动化系统设备运行容量指标

项目	设计容量	实时负载率	数据更新频率
数据库模拟量	20万	≤85%	30 d
数据库状态量	100万	≤90%	60 d
数据库遥控量	5万	≤75%	永久存档
数据库遥调量	5万	≤80%	永久存档
数据库计算点数量	1万	≤70%	7 d

3.5 自动终端改造

在对供配电系统进行改造时，需要将遥信、遥测、遥控等信号有机地结合起来。同时，要结合开关站的实际工作需要，对其功能和性能进行合理的配置，并设置保护管理单元、 DTU测控设备等。通过以上手段，可以将设备运行数据、设备状态信息、自动化信息以及关键节点的故障信息进行实时反馈，从而为系统内部的调度、运行和管理提供精确的依据，从而有效地支持供电企业的转型升级[4]。

3.6 通信配置方案

在实际工作中，需要进行大量的数据传输，这就需要对自动通信系统进行更高的配置。在此基础上，提出了一种基于网络拓扑结构的新型无线传感器网络拓扑结构。该系统对变电站、开闭站、分界室、配电室、箱式变电站等进行了电缆敷设，并在汇聚节点设置了被动分光装置，以保证内部信息的高效率传输[5]。表2提供了系统自动传送的详细信息。

表2 系统内部自动化传输配置

层级	节点类型	光缆类型	分光比	传输时延（ms）	带宽保障（Gbps）
骨干层	变电站	G.652D	1：8	≤8	10
汇聚层	开闭站	G.657A2	1：16	≤15	2.5
接入层	配电室/箱变	G.652D	1：32	≤30	1 Gbps

4 结束语

从该工程的实际应用效果来看，与该技术实施之前相比，其自动化覆盖面积大幅增加，技术更新区域进一步拓展，配电网应对异常事件的能力显著提高，全年停电时间得以有效控制。从经济上看，采用自动控制后，整个供电网络由于停电而导致的损失大大降低。在保证电力效率的前提下，广大用户的满意度不断提升。

参考文献

[1]赵宪文.试论计算机与电力系统自动化技术的结合[J].科技传播,2013(4):3-4.

[2]单小伟.电力系统中电气自动化技术的探索[J].工程技术(文摘版)·建筑,2016(10):216-216.

[3]余燕.浅析生产运行电力系统应用电气自动化技术[J].通讯世界,2016(22):131-133.

[4]聂玉菲.电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析[J].产品可靠性报告,2024(4):81-83.

[5]黄映姿.电力系统配电网自动化技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(5):59-62.

（本文编辑 杜宇琪）

