

[配电网]

基于自动化技术的10 kV配电网系统运行效率提升研究

文/周洁梅
泽圣勘察设计有限公司梧州分公司

针对10 kV配电网系统运行效率提升需求，设计实现一套基于自动化技术的配电网运行优化系统。系统采用分层分布式架构，构建包含主站层、通信层和现场层的整体框架，开发智能配电终端优化配置、状态实时监测、故障研判与自愈控制、运行优化调度等核心功能模块。通过在某市配电网开展试点应用，系统运行结果表明：供电可靠率提升至99.95%，年平均停电时间降低43.75%，故障处理时长减少66.67%，线路平均负载率提升15.38%，设备利用率提高17.14%。研究成果为提升配电网运行效率提供有效技术支撑，对推进配电网智能化建设具有重要的参考价值。

随着电力需求持续增长和用电负荷不断提升，配电网作为电力系统重要组成部分，其运行效率直接影响着供电可靠性和经济性。然而，当前10 kV配电网在运行过程中仍存在设备利用率低，故障处理效率不高，运行方式欠优化等问题。虽然配电网自动化技术得到广泛应用，但在终端配置优化、状态监测、故障处理和调度管理等方面仍有提升空间。面对新形势下配电网发展要求，亟需开发先进的配电网自动化系统，提升运行效率。本文基于自动化技术，研究配电网系统运行效率提升方案，重点探讨智能终端配置、状态监测、故障处理和优化

调度等关键技术，为建设高效智能的现代配电网提供技术支撑。

10 kV配电网自动化系统及关键技术分析

1. 配电网自动化系统整体架构设计

10 kV配电网自动化系统采用分层分布式体系结构，主要包括主站层、通信层和现场层三个层次。主站层是系统的核心，负责数据处理、分析决策和业务应用；通信层提供各层级间的数据传输通道；现场层负责数据采集和执行控制命令^[1]。具体如图1所示。

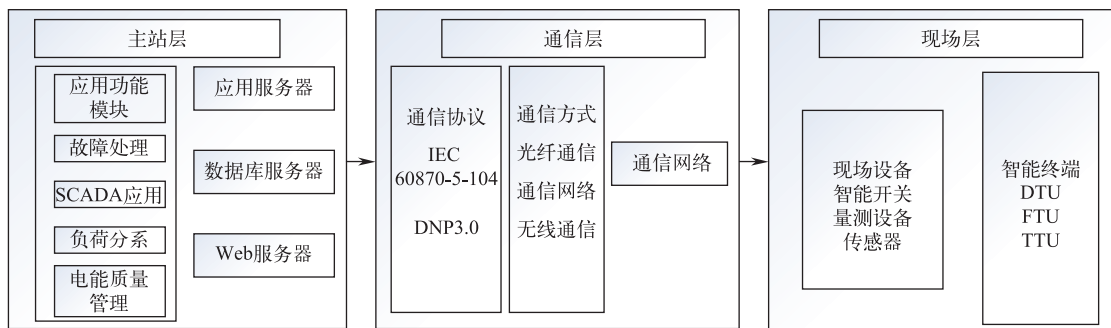


图1 配电网自动化系统整体架构设计

主站层设置在供电公司调度控制中心，包含应用服务器、数据库服务器、Web服务器等核心设备，实现配电网运行监控、故障处理、负荷分析和电能质量管理等功能。同时，主站层还需要与其他相关系统进行数据交互，如调度自动化系统（SCADA）、用电信息采集系统等。通信层采用光纤通信为主、无线通信为辅的混合通信方式，构建覆盖全网的通信网络。通信网络采用TCP/IP协议，支持IEC 60870-5-104、DNP3.0等多种通信协议，确保数据传输的实时性和可靠性^[2]。现场层主要包括智能终端设备（DTU、FTU、TTU等）、智能开

关设备和各类传感器等，负责采集电压、电流、有功功率和无功功率等运行参数，并执行分合闸等控制操作。现场设备具备就地化智能控制功能，可在通信中断时保证基本控制功能。

2. 系统硬件架构设计

10 kV配电网自动化系统的硬件架构采用分布式设计理念，基于可靠性、实时性和经济性原则构建。硬件系统主要由主站系统设备、通信网络设备和现场终端设备三大部分组成，形成完整的配电网自动化硬件支撑体系。具体如图2所示。

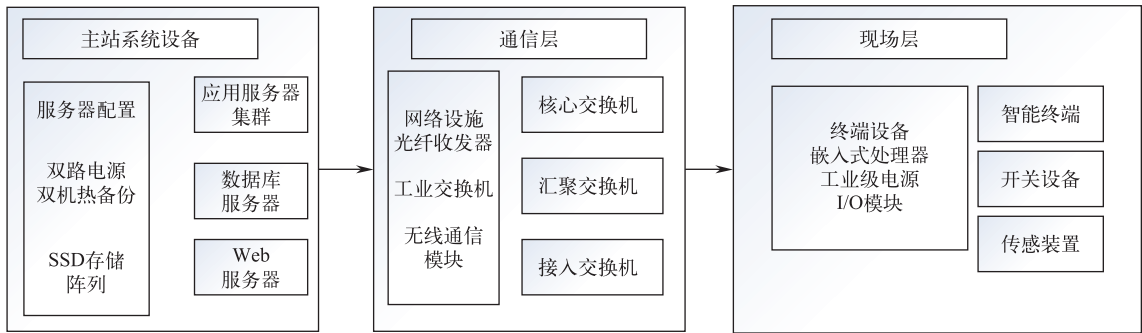


图2 系统硬件架构图

3. 系统软件架构设计

10 kV配电网自动化系统软件架构采用面向服务的分层设计思想，基于J2EE技术平台构建。整个软件系统分为数据接入层、数据处理层、业务应用层和用户展现层四个层次，各层之间通过标准接口实现数据交互和功能调用。数据接入层负责各类数据的采集和规约转换，支持IEC 60870-5-104、DNP3.0等多种通信协议，实现对现场设备数据的统一接入^[3]。数据处理层是系统的核心，负责数据的存储、处理和计算。业务应用层包含配电网监控、故障处理、负荷分析和电能质量管理等功能模块，该层还提供标准化的应用程序接口（API），支持与其他系统的业务集成。用户展现层采用B/S架构，基于Web技术实现人机交互界面。该层采用响应式设计，支持多终端访问，并提供GIS展示、实时曲线、告警提示等丰富的可视化功能。

配电网系统运行效率提升方案设计

1. 智能配电终端优化配置方案

智能配电终端是10 kV配电网自动化系统的重要

组成部分，其优化配置直接影响系统运行效率。基于配电网特点和业务需求，本文提出分区分级的终端配置方案，实现终端资源的合理配置和高效利用^[4]。

终端配置采用重要性评估方法，综合考虑负荷等级、用户类型和区域特征等因素，将配电线路划分为A、B、C三个等级区域。A类区域为重要用户密集区，配置全功能型终端；B类区域为一般城区，配置标准型终端；C类区域为普通区域，配置基础型终端。不同类型终端的功能配置见表1。

表1 不同类型终端的功能配置

功能项目	全功能型终端	标准型终端	基础型终端
遥测功能	全项测量（电压、电流、有功和无功等）	基本测量（电压、电流、有功）	基础测量（电流、有功）
遥信功能	设备状态、故障指示、环境量等	设备状态、故障指示	设备状态
遥控功能	分合闸控制、母线转供等	分合闸控制	分闸控制
数据处理	本地运算、状态估计、故障研判	本地运算、故障定位	基本数据处理
通信方式	双通道（光纤+无线）	单通道（优选光纤）	单通道（无线为主）
供电方式	双电源+UPS	单电源+UPS	单电源

2. 配电网状态实时监测

10 kV配电网状态实时监测系统基于分布式感知和集中分析原理,实现对配电网运行状态的全面监测和评估。系统重点监测电压质量、负荷分布、设备状态和运行环境等关键参数,为配电网运行维护提供实时数据支撑^[5]。电压质量监测是系统的核心功能,主要包括电压偏差、三相不平衡度和谐波含量的实时监测。电压合格率计算公式为

$$\eta = \left(\frac{T_1}{T_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中, η 为电压合格率; T_1 为电压在允许范围内的累计时间; T_0 为统计周期总时间。

系统设定10 kV母线电压允许偏差范围为 $\pm 7\%$,分支线路末端电压偏差控制在 $\pm 10\%$ 以内。负荷分布监测采用分段测量方式,通过计算负荷不平衡度来评估配电网运行状况。三相负荷不平衡度的计算公式为

$$\varepsilon = \left(\frac{\max \{ |I_a - I_{av}|, |I_b - I_{av}|, |I_c - I_{av}| \}}{I_{av}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中, ε 为负荷不平衡度; I_a 、 I_b 、 I_c 为三相电流; I_{av} 为三相平均电流。

系统对不平衡度超过15%的线路自动发出预警信息。设备状态监测采用多维数据融合技术,包括开关设备操作状态、变压器运行参数和线路负载率等。系统建立设备状态评估模型,通过实时数据分析,对设备运行状态进行综合评价,及时发现潜在故障隐患。运行环境监测主要关注温度、湿度和积水等环境因素对设备运行的影响。

3. 故障研判与自愈控制

10 kV配电网故障研判与自愈控制系统基于人工智能和大数据分析技术,实现故障的快速定位、研判和自动隔离,进而完成网络重构和供电恢复,构建配电网自愈体系。故障研判采用多维特征分析方法,综合利用故障电流特征、故障波形特征和保护动作信息。故障定位准确度计算公式为

$$L = L_0 + \frac{V \times \Delta t}{2} \quad (3)$$

式中, L 为故障点距离; L_0 为测量起点; V 为故障波传播速度; Δt 为故障波到达时间差。

系统通过travelingwave原理实现故障点的精确定位。故障类型识别采用支持向量机(SVM)算

法,建立故障特征向量空间

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum (\alpha_i y_i K(x, x_i) + b) \right) \quad (4)$$

式中, α_i 为拉格朗日乘子; y_i 为类别标签; K 为核函数; x 为特征向量。

通过该模型可快速识别单相接地、两相短路和三相短路等故障类型。

系统应用效果验证

1. 试验环境搭建

选取某市区10 kV配电网作为试验对象,搭建配电网自动化系统试验环境。硬件环境采用DellR740服务器(双路IntelXeonGold6248R处理器,384 GB内存,20 TB存储阵列),部署OracleRAC12c实时数据库集群^[6]。通信网络采用千兆以太网,配置华为S7706核心交换机和工业级交换机构建试验网络。

软件平台基于CentOS7.9操作系统,采用Java开发环境(JDK1.8)和SpringCloud微服务架构。仿真环境使用RTDS实时数字仿真系统和DIgSILENTPowerFactory2021电力系统仿真软件,构建包含8条10 kV馈线、127台配电变压器的典型配电网模型。终端仿真采用西门子SICAMRTU设备,部署32套DTU和64套FTU,配置IEC 60870-5-104通信规约。

2. 系统性能评估

基于搭建的试验环境,对配电网自动化系统进行全面的性能测试和评估。测试内容包括系统响应时间、数据处理能力、故障处理效率和系统可靠性等关键指标。系统性能测试结果见表2。

表2 系统性能评估

性能指标	测试结果	技术要求	达标情况
遥测数据响应时间/ms	≤ 100	≤ 200	达标
遥控执行时间/s	≤ 2	≤ 3	达标
故障定位时间/s	≤ 30	≤ 60	达标
供电恢复时间/s	≤ 180	≤ 300	达标
数据库查询响应/s	≤ 1	≤ 2	达标
系统并发处理能力/(点/s)	500	≥ 300	达标
系统可用性(%)	99.99	≥ 99.9	达标
数据准确率(%)	99.95	≥ 99.9	达标

通过对系统运行过程中的性能数据进行统计分析,系统各项性能指标均优于技术要求。在数据采集方面,系统实现毫秒级的数据响应,遥测数据的

端到端传输时延控制在100 ms以内，满足实时监控需求。

3. 运行效率提升效果分析

通过对试验系统运行数据的统计分析，全面评估配电网自动化系统在提升运行效率方面的实际效果。系统运行效果分析数据见表3。

表3 系统运行效率提升效果

评估指标	改造前	改造后	提升效果
供电可靠率	99.85%	99.95%	提升0.10%
年平均停电时间	3.2 h	1.8 h	降低43.75%
故障处理平均时长	45min	15 min	降低66.67%
线路平均负载率	65%	75%	提升15.38%
电压合格率	97.5%	99.2%	提升1.70%
线损率	6.8%	6.2%	降低0.60%
设备利用率	70%	82%	提升17.14%
运维人员工作效率	--	--	提升35%

系统运行一年来，各项技术指标显著改善。供电可靠率提升至99.95%，年平均停电时间从3.2 h降至1.8 h，故障处理效率提升显著，平均处理时长从45 min缩短到15 min。这主要得益于系统的故障自动定位和自愈控制功能，大幅缩短故障隔离和供电恢复时间。在网络运行效率方面，通过智能配电终端的优化配置和运行方式的动态调整，线路平均负载率提升至75%，设备利用率提高到82%。

结束语

本文围绕10 kV配电网系统运行效率提升需求，设计实现基于自动化技术的配电网优化系统，通过试点应用验证了系统在提升供电可靠性、降低运行

成本、提高设备利用率等方面的显著成效。研究成果对推进配电网智能化建设具有重要的实践意义。未来研究需进一步完善人工智能算法，提高故障预测和诊断准确率；深化大数据分析应用，优化调度决策水平；加强边缘计算技术研究，提升系统实时处理能力；扩展系统功能，支持新能源接入和微电网协调控制。通过持续创新和优化，推动配电网向更智能、更高效方向发展。EA

(收稿日期：2024-11-12)

参考文献

[1] 徐威,王福坤,辛科,等. 基于改进神经网络的10 kV配电网相间短路故障自动化检测系统[J]. 自动化与仪表, 2024, 39(2): 106-109.

[2] 靳金. 10 kV配网调度中馈线自动化系统控制技术探讨[J]. 数字通信世界, 2023(11): 106-108.

[3] 刘建伟. 配电网自动化技术在10 kV林湖线自动化改造中的应用研究[J]. 价值工程, 2024, 43(7): 92-94.

[4] 张梦纯. 电力自动化系统与10 kV配电网运行管理分析[J]. 通讯世界, 2023, 30(6): 127-129.

[5] 陈卫,陈徐,尚雨辰,等. 10 kV配网运行事故原因与预防策略分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2021(3): 148-149.

[6] 陈懿. 10 kV配电网自动化系统的数字化建设探讨[J]. 通信电源技术, 2023, 40(15): 205-207.

