

# 新型电力系统背景下配电网数字化技术应用研究

刘 磊

中海石油（中国）有限公司天津分公司 天津 300450

**摘要：**为适配新型电力系统发展需求，围绕配电网数字化技术展开研究，剖析其“感知-传输-分析-控制”核心架构、关键模块及基础特性，探究在新能源消纳、故障运维、负荷管理等场景的应用路径。明确该技术对提升配电网运行效率、保障安全稳定、推动低碳经济运行的作用，为配电网数字化升级与新型电力系统构建提供技术支持。

**关键词：**新型电力系统；配电网；数字化技术；应用

## 引言

新型电力系统呈现新能源高比例接入、负荷多元化特征，对配电网的调控灵活性与可靠性提出更高要求。传统配电网存在运维滞后、响应缓慢等问题，难以满足发展需求，数字化技术成为突破瓶颈的关键。当前需系统梳理技术架构与应用场景，开展相关研究可推动技术落地，为配电网转型奠定基础，助力新型电力系统建设。

### 一、配电网数字化技术核心架构与基础特性

配电网数字化技术以“感知-传输-分析-控制”为核心架构，支撑配电网运行优化。感知层靠智能传感器、智能电表，实时采集电压、电流、负荷等参数，保障数据时效与准确；传输层用光纤、5G技术，搭建高速可靠通道，避免通信延迟影响调控；分析层基于大数据与人工智能，挖掘数据价值，识别异常并预测负荷；控制层借边缘计算、远程控制，精准调控设备，快速响应需求。

该技术有三大基础特性：兼容性可适配不同新能源设备与负荷终端，无需大规模改硬件；扩展性支持模块灵活增减，依电网规模调功能；安全性靠数据加密、权限管理，防数据泄露与非法操控，为电网安全运行及技术拓展奠基<sup>[1]</sup>。

### 二、配电网数字化技术关键模块与应用原理

#### （一）数据采集与感知模块

数据采集与感知模块是配电网数字化技术的基础，通过部署多类型感知设备实现对配电网全状态监测。该模块采用分层采集策略，针对配电网线路、变压器、开关等关键设备，分别配置电压传感器、电流传感器、温度传感器等，实时获取设备运行参数；对于用户侧负荷，通过智能电表采集用电数据，区分工业、商业、居民等

不同负荷类型的用电特征。感知设备具备低功耗、抗干扰特性，可在复杂的电网环境中稳定工作，采集数据经预处理后转换为标准化格式，避免因数据格式不统一导致的融合困难。同时，模块支持动态调整采集频率，在负荷高峰时段提高采样频率，精准捕捉负荷波动，在平稳时段降低频率，减少数据冗余，兼顾数据有效性与系统能耗。

#### （二）数据传输与通信模块

数据传输与通信模块构建配电网数字化的“信息通道”，采用多技术融合的通信架构保障数据传输效率。主干网以光纤通信为主，利用其高带宽、低损耗优势，实现海量数据的长距离传输，传输速率可达10Gbps以上，满足实时监测与控制需求；分支网结合5G通信技术，覆盖光纤难以抵达的偏远区域，解决配电网通信盲区问题，5G技术的低时延特性（端到端时延低于10ms）可保障调控指令的快速传递。模块还具备通信冗余机制，当某一通信链路故障时，自动切换至备用链路，避免数据传输中断。同时，通过流量调度算法，优先传输控制指令等关键数据，确保配电网调控的及时性，次要数据则错峰传输，优化通信资源分配。

#### （三）数据智能分析模块

数据智能分析模块是配电网数字化技术的“大脑”，基于大数据与人工智能算法实现数据价值挖掘。该模块包含数据预处理、特征提取、模型训练与推理应用四个环节：数据预处理阶段去除采集数据中的噪声与异常值，通过平滑处理、缺失值填补等方法提升数据质量；特征提取阶段从预处理后的数据中提取电压波动、负荷增长趋势等关键特征，为后续分析提供依据；模型训练阶段利用历史数据训练负荷预测、故障诊断等模型，不断优

化模型参数，提升预测与诊断准确率；推理应用阶段将训练好的模型应用于实际运行，实时输出分析结果。常用算法包括LSTM（长短期记忆网络）用于负荷预测，支持向量机用于故障类型识别，这些算法可根据配电网运行场景动态调整，如在新能源出力波动较大时，优化负荷预测模型参数，提高预测精度<sup>[2]</sup>。

#### （四）智能控制与协同模块

智能控制与协同模块实现配电网数字化技术的“执行功能”，基于分析模块输出的结果，对配电网设备进行精准调控与多主体协同。控制层面采用分层控制策略，上层控制针对配电网整体运行状态，优化区域内电源与负荷的匹配，如调整分布式光伏的出力分配；下层控制聚焦单个设备，如控制开关的分合、变压器的调压，实现设备的精细化操作。协同层面则联动源网荷储各环节，当配电网出现功率缺额时，通过控制模块发出指令，调动储能设备放电、引导可调节负荷错峰用电，平衡配电网功率；当新能源出力过剩时，协调储能设备充电，实现新能源消纳。模块还具备自适应能力，可根据配电网运行状态变化调整控制策略，确保调控效果的稳定性。

### 三、新型电力系统下配电网数字化技术具体应用

#### （一）新能源接入与消纳优化应用

在新型电力系统新能源高比例接入场景下，配电网数字化技术通过多维度调控助力新能源消纳。（1）数据采集模块实时采集分布式光伏、风电的出力数据与配电网负荷数据，传输至分析模块后，利用负荷-出力协同预测模型，结合气象数据（如光照强度、风速）预测未来24小时新能源出力与负荷变化趋势，明确新能源消纳的潜力与缺口。（2）控制模块根据预测结果优化资源配置：当预测新能源出力过剩时，一方面协调储能设备充电，储存多余电能；另一方面引导工业用户等可调节负荷在出力高峰时段增加用电，提高新能源就地消纳率；当预测新能源出力不足时，提前调动储能设备放电，补充配电网功率缺口，同时调整传统电源的出力，保障供电稳定。通过数字化技术的闭环调控，可将配电网新能源消纳率提升15%–20%，减少弃风弃光现象，适配新型电力系统对新能源消纳的需求。（3）数字化技术还能实时监测新能源接入点的电压、频率等参数，当出现电压越限等异常情况时，快速调整新能源逆变器的控制参数，抑制电压波动，确保新能源接入后配电网的运行稳定性，避免因新能源出力波动对配电网造成冲击<sup>[3]</sup>。

#### （二）配电网故障诊断与运维优化应用

配电网数字化技术显著提升故障诊断效率与运维水平，改变传统人工巡检的运维模式。（1）在故障诊断方面，数据采集模块实时监测配电网线路电流、电压的突变情况，当发生短路、接地等故障时，传感器迅速捕捉故障特征信号，通过传输模块实时上传至分析模块。分析模块利用故障诊断模型，结合故障发生时的电流相位、电压幅值等特征，快速定位故障位置，准确率可达95%以上，同时识别故障类型（如单相接地、三相短路），为故障处理提供依据。（2）在运维优化方面，数字化技术实现从“事后维修”向“预知性维护”的转变。分析模块通过对设备运行数据（如变压器温度、开关操作次数）的长期监测与分析，建立设备健康状态评估模型，评估设备的剩余使用寿命。当设备健康状态下降至预警阈值时，运维系统自动发出维护提醒，安排运维人员进行针对性检修，避免设备突发故障导致的停电事故。（3）数字化技术支持运维资源的智能调度，根据故障位置、运维人员位置与技能匹配度，自动规划最优运维路径，分配合适的运维人员与设备，缩短故障处理时间。统计显示，应用数字化技术后，配电网故障定位时间从传统的数小时缩短至分钟级，故障修复时间缩短30%–40%，显著提升配电网供电可靠性。

#### （三）配电网负荷管理与优化应用

新型电力系统下负荷类型日益复杂，配电网数字化技术通过精细化负荷管理实现资源优化配置。（1）数据采集模块分类采集不同用户的用电数据，区分刚性负荷（如居民基本用电）与柔性负荷（如电动汽车充电、工业可调负荷），构建用户用电特征数据库。分析模块基于数据库挖掘负荷用电规律，识别负荷的可调节潜力，如工业用户在生产淡季的负荷调节空间、电动汽车充电的时间弹性。（2）在负荷调控方面，控制模块采用“激励+引导”的方式优化负荷曲线：对于柔性负荷，通过价格信号引导用户错峰用电，如在用电高峰时段提高电价，鼓励用户将电动汽车充电、工业生产等负荷转移至低谷时段；在负荷高峰来临前，向用户发送负荷调节指令，调动柔性负荷削减用电功率，缓解配电网供电压力。同时，分析模块还能预测区域内负荷增长趋势，为配电网规划提供依据，如根据负荷增长预测结果，提前规划新增线路与变压器的位置，避免因负荷过载导致的供电问题。（3）数字化技术还支持负荷聚合管理，将分散的柔性负荷聚合为虚拟负荷资源，参与配电网调峰，当配电

网出现功率紧张时，聚合后的负荷资源可快速响应调控指令，削减用电功率，提升配电网应对负荷波动的能力，适配新型电力系统下负荷多元化的特征<sup>[4]</sup>。

#### （四）配电网安全运行与风险防控应用

配电网数字化技术通过全时段监测与风险预警，保障新型电力系统下配电网的安全运行。（1）数据采集模块实时监测配电网的电压稳定性、频率偏差、设备温度等关键指标，传输至分析模块后，风险评估模型对指标进行动态评估，识别潜在风险，如电压持续偏低可能导致的设备损坏、线路过载可能引发的线路烧毁等。（2）当评估发现风险时，系统自动发出预警信号，同时分析模块制定风险处置方案：若出现线路过载风险，控制模块调整该线路的负荷分配，将部分负荷转移至其他线路；若出现电压偏低风险，调控变压器分接头调整电压，或调动储能设备输出无功功率，支撑电压稳定。对于极端天气（如台风、暴雨）等外部风险，数字化技术结合气象预警数据，提前预测可能受影响的配电网区域，指导运维人员做好设备防护准备，如加固线路杆塔、清理线路通道，降低极端天气对配电网的破坏。（3）数字化技术通过构建配电网数字孪生模型，模拟不同故障与风险场景下配电网的运行状态，验证风险处置方案的有效性，优化防控策略，提升配电网应对复杂风险的能力，为新型电力系统下配电网的安全稳定运行提供保障。

#### （五）配电网能效提升与经济运行应用

在新型电力系统追求低碳高效的目标下，配电网数字化技术通过多维度优化提升能效，实现经济运行。（1）数据采集模块采集配电网各环节的能耗数据，包括线路损耗、设备损耗等，分析模块基于数据计算配电网的能效水平，识别能耗较高的环节，如老旧线路因电阻较大导致的损耗过高、变压器空载运行产生的损耗等。（2）针对高能耗环节，控制模块制定能效优化方案：对于线路损耗问题，优化负荷分配，减少线路过载，降低损耗；对于变压器损耗问题，根据负荷变化调整变压器运行台数，在负荷较低时停运部分变压器，避免空载损

耗。同时，分析模块还能优化配电网的电源结构，优先调度新能源发电满足负荷需求，减少传统火电的使用，降低碳排放与发电成本。（3）在经济运行方面，分析模块结合电价政策与配电网运行成本，制定经济调度策略：在电价低谷时段，鼓励储能设备充电、引导用户增加用电，降低用电成本；在电价高峰时段，减少传统电源出力，优先使用储能设备放电与新能源发电，降低购电成本。通过数字化技术的能效优化与经济调度，可使配电网的线损率降低2%-3%，运行成本减少10%-15%，实现配电网的低碳经济运行，契合新型电力系统的发展目标<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

本研究系统梳理配电网数字化技术的架构、模块及多场景应用，证实其在优化配电网运行中的核心价值，为新型电力系统下配电网数字化发展提供清晰路径。后续可进一步探索技术协同创新，持续提升配电网数字化水平，助力电力系统向更高效、更安全、更低碳的方向转变，支撑能源领域可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 张文浩, 王建. 新型电力系统背景下配电网数字化技术应用研究[J]. 电气技术与经济, 2025(2): 104-106.
- [2] 杨晨, 汪佳, 钟月萍. 新型电力系统背景下配电网数字化技术应用及发展[J]. 农村电气化, 2024(4): 17-20.
- [3] 李跃. 新型电力系统背景下配电网数字化技术应用及发展[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(11): 080-083.
- [4] 王朋, 张迪, 张勇军. 新型电力系统数智化关键技术应用研究与展望[J]. 电力系统保护与控制, 2025, 53(6): 175-187.
- [5] 樊晓玲. 新型电力系统下智能配电网技术在配电设备中的应用研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(S2): 39-41.