

智能配电网网架接线模式与供电可靠性提升路径研究

曹咏芳 盛传中

天地电研（北京）科技有限公司武汉分公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：供电可靠性是衡量配电网质量的核心指标，而网架接线模式是影响可靠性的结构性基础。本文基于国内外先进城市配电网建设实践，系统分析了钻石型、双环网、花瓣式等先进网架接线模式的技术特性，探讨其通过提升负荷转供能力、故障自愈机制和分布式能源适配性来提升供电可靠性的内在机理。结合雄安、绍兴等地的实证案例，提出以“标准化、柔性化、数字化”为方向的网架优化路径，为高可靠性配电网建设提供理论支撑和实践参考。

【关键词】：配电网；网架接线模式；供电可靠性；N-1 准则；故障自愈

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.025

1 引言

随着新型电力系统建设推进，配电网逐步由被动供电向主动能源互联网转变。供电可靠性作为配电网核心指标，直接关系到民生保障和经济发展。国内外研究表明，网架接线模式是决定供电可靠性的关键因素：在相同设备水平下，合理的网架结构可使户均停电时间从小时级压缩至分钟级甚至秒级。例如，新加坡通过花瓣式接线实现户均年停电时间降至秒级，巴黎采用双环网结构将供电可靠率提升至 99.997% 以上。上海通过钻石型配电网建设，核心区域供电可靠率达到 99.999%，达到国际顶尖水平。

本文聚焦网架接线模式与供电可靠性的耦合关系，结合多地规划实践，解析典型接线模式的技术经济特性，提炼适应性优化策略，以支撑“双碳”目标下配电网高质量发展。

2 网架接线模式的典型分类与可靠性特征

2.1 放射式与环网式基础结构

放射式接线结构简单、投资低，但可靠性完全依赖单一电源，无法满足 N-1 校验要求。环网式通过多电源互联形成冗余路径，当单一元件故障时可通过联络开关转移负荷，显著提升可靠性。根据联络复杂度和电源数量，主要衍生出以下典型模式：

(1) 单环网接线：单环网由两回线路构成手拉手结构，闭环运行，适用于负荷密度适中区域。其可靠性提升核心在于故障隔离后可通过联络开关恢复非故障区供电。上海电缆网中单环网占比达 45%，使线路 N-1 通过率超 90%。但该模式转供能力受限，故障时需短时停电操作联络开关。

(2) 双环网接线：双环网由四回线路构成双电源环网，正常运行时开环，故障时可通过双侧电源实现负荷无损转移。深圳中心城区推广双环网后，检修方式下 N-1 通过率 100%，故障复电时间缩短至 3 分钟内。该模式需更高投资，但可支撑

99.99% 以上供电可靠率。

(3) 钻石型接线：钻石型接线以开关站为核心节点，构建双侧电源供电的双环网结构，具备“全电缆、全断路器、全互联、全自愈”特征。上海钻石型配电网通过分段自愈控制，实现故障毫秒级隔离，供电可靠率超 99.999%。每组环网含 4-6 座开关站，线路负载率控制在 50%-70% 之间。

(4) 花瓣式接线：新加坡花瓣式接线将 4-5 回馈线构成闭环运行的花瓣结构，正常时 3 回馈线载流、1 回热备用。该模式线路利用率达 75%，且故障时无瞬时停电。雄安新区在商务中心试点双花瓣接线，通过纵差保护实现故障 100ms 内隔离，可靠性较传统模式提升 50% 以上。

2.2 国际对比与适应性分析

对比国际城市网架模式表明（表 1），高可靠性城市普遍采用双（多）电源或环网结构，同步配置配电自动化系统。

表 1 国际城市网架模式与可靠性对比

城市	典型接线模式	供电可靠率	关键技术特征
新加坡	花瓣式	99.9996%	闭环运行
巴黎	双环网	99.997%	双 T 接入
东京	多分段多联络	99.999%	自动化分段开关
上海	钻石型	99.999%	自愈系统

3 网架模式提升可靠性的核心机制

3.1 转供能力与 N-1 校验

网架结构决定了故障下的负荷转供能力。当线路满足 N-1 校验时，单一故障不会导致用户停电。通过将单辐射线路改造为双环网，东莞 220kV 电网 N-1 通过率从 83% 提升至 95%，

年停电时间减少 4.2 小时。其优化逻辑主要是通过增加站间联络，形成冗余供电路径。

3.2 故障自愈与自动化配合

智能网架需配以自动化系统才能实现故障快速处理。深圳福田中心区通过“三双接线”（双电源、双线路、双接入）与集中式自愈系统配合，故障定位隔离时间压缩至秒级。其自愈流程包括：故障检测→自动隔离→非故障区复电，全过程无需人工干预。

3.3 分布式能源接入适应性

高比例分布式能源接入要求网架具备双向潮流能力。福建柔性配电网通过“花瓣式+柔直”混合结构，支持光伏渗透率 30%以上场景稳定运行。绍兴在目标网架中预留“插座式”光伏接入点，实现分布式能源即插即用，避免反向潮流导致的保护误动。

4 典型案例实证分析

4.1 雄安：能源互联网示范区的网架创新

雄安新区构建“数字化主动电网”，通过三层创新提升可靠性：一是结构层面，在启动区应用双花瓣接线，实现任意单一故障不影响供电；二是控制层面，部署 CIEMS（城市智慧能源管理系统），实现源网荷储协同控制；三是技术融合，结合 5G 与边缘计算，使故障研判准确率超 95%。如剧村变电站多站融合模式整合变电、储能、数据中心功能，提升区域能源韧性。

4.2 绍兴：目标网架引导的渐进式优化

绍兴采用“现状诊断-目标制定-廊道校验”三阶段法，将中心城区“一团网”优化为 36 组标准双环网。关键步骤包括：通过聚类分析确定最优联络点，减少转电路径长度；结合廊道资源校验，确保方案可实施；制定过渡方案，避免改造期重复

停电。改造后，绍兴配网 N-1 通过率由 70% 升至 98%，年停电时间减少 6.3 小时。

5 讨论与展望

5.1 网架优化与经济效益平衡

高可靠性网架需更高投资，需通过全生命周期成本评估优化决策。经验表明，钻石型网架较传统模式投资增加 20%，但因停电损失减少和营商环境提升，投资回收期小于 8 年。未来需开发更精准的可靠性-成本量化模型。

5.2 新型电力系统下配电网网架面临挑战

高比例新能源接入可能引发潮流反转、短路电流超标等问题。建议：在网架规划阶段开展分布式电源承载能力分析；推广交直流混合配电网，增强可控性；探索基于区块链的分布式能源调度机制。

5.3 技术融合趋势

数字孪生、人工智能技术与网架深度融合将成为趋势。雄安已开展数字孪生电网建设，通过实时仿真预测故障风险。未来智能网架可通过自学习优化运行策略，实现可靠性自我进化。

6 结论

网架接线模式是配电网可靠性的骨架支撑。本文通过多案例证明：双环网、钻石型等标准接线模式可系统提升 N-1 通过率和转供能力；网架需与自动化、自愈系统协同设计，才能发挥最大效益；柔性化、数字化是未来网架适应新型电力系统的关键方向。

建议在规划阶段开展网架可靠性量化评估，结合地区实际选择差异化方案，并通过网格化规划-标准化建设-智能化运营闭环管理，持续提升供电可靠性水平。

参考文献：

- [1] 阮前途,谢伟,张征,祝瑞金,石方迪,李亦农.钻石型配电网升级改造研究与实践[J].中国电力,2020.
- [2] 王哲,段佳莉,何平等.城市中压配电网雪花格式网架结构初探[J].电力系统及其自动化学报.2024.
- [3] 陈浩,林佳,吴桂联.基于供电可靠性的网架结构与配电网自动化适应性研究[J].电工技术.2021.
- [4] 李元祥,张景煜.基于中压配电网网架结构优化的供电可靠性评估研究[J].电工技术.2025.
- [5] 段玉海,崔正新,王民辉.基于智能配电网的供电可靠性优化研究[J].光源与照明.2025.