

配电网环网线路普及背景下 配网调度面临的挑战、影响及解决路径

王 俭

内蒙古电力（集团）有限责任公司包头供电分公司 内蒙古包头 014030

摘 要：随着城市电网结构的不断优化，配电网中环网线路的普及率迅速提升，显著增强了供电的可靠性与灵活性。然而，这一趋势也对现有配网调度系统提出了更高的要求。本文围绕环网结构在配电网中的应用现状，深入分析了其在调度运行中带来的结构复杂化、故障处理困难、数据压力加剧等多方面挑战，并结合典型案例揭示调度系统在应对突发事件和运行优化中的局限。针对上述问题，提出了优化调度系统架构、加强配电自动化建设、完善保护策略与提升调度人员能力等系统性解决路径。最后，展望了智能调度技术与平台协同发展的未来方向，旨在为配电网调度系统的智能化转型提供理论支持与实践参考。

关键词：配电网环网线路；配网调度；挑战；解决路径

一、环网结构在配电网中的应用现状

1. 环网线路定义及构成特点

环网线路是指通过多个开关节点将配电线路首末端连接成闭合环形结构的供电方式。与传统的辐射式配电网络相比，环网结构可实现多电源供电与相互备用，从而显著提升供电可靠性与灵活性。在10kV及以下配电网中，环网结构一般通过环网柜、断路器、分段开关、负荷开关等设备构成，具备良好的拓扑可重构性。其运行方式主要分为“开环运行”和“闭环运行”。开环运行是当前的主流方式，即将环网在某一开关节点断开，维持系统稳定性；而闭环运行则要求高度的保护配合和智能化水平，能实现全闭环供电，是未来智能配电网的发展方向。环网结构具有故障隔离快、转供范围广、负荷调配灵活、便于分布式能源接入等显著优势，是现代城市电网的重要组成形式。

2. 环网线路推广背景与发展历程

配电网环网结构的推广具有明显的政策推动与技术驱动双重背景。一方面，国家电网公司近年来大力推进“坚强智能电网”建设，明确提出提升配电网自动化和供电可靠性要求。环网结构作为提升供电能力与故障自愈能力的重要手段，自“十三五”起便被纳入重点工程建设范围；另一方面，随着新型城镇化、智能制造园区以及高密

度居民区的快速发展，对电能质量和供电连续性提出了更高要求，进一步催生了对高可靠性环网结构的需求。

3. 当前配电网中环网线路的建设现状

近年来，配电网中环网线路的建设取得了显著进展，特别是在大中城市、产业园区以及新型住宅区，环网结构的覆盖率持续上升。根据国家电网公司及各省电力公司的建设规划数据显示，部分一线城市10kV配电网的环网比例已超过60%，实现了主干环网互联、副干线路互供、末端联络互备的多层次网络结构。在新建工程中，环网结构几乎成为标准配置，配合配电自动化系统的投运，具备了较强的局部自愈能力。在既有配电系统中，通过“开环改闭环”“环网柜换型升级”等方式开展的改造工程也在稳步推进。例如，华东地区多个地市通过三年行动计划，大幅提升了环网闭环运行能力。然而，从全国范围来看，配电网环网建设仍存在区域发展不平衡、自动化水平参差不齐、保护配合难度大等问题，尤其在城郊结合部和部分中西部城市，受制于资金与设备限制，仍以传统辐射结构为主。

二、配网调度系统的基本功能与调控要求

1. 配网调度的主要职责

配网调度是电力系统调度的重要组成部分，其核心职责是对10kV及以下电压等级的配电网络运行状态进行实时监控、故障处理、负荷调配和操作指令下达，保障配电系统的安全、可靠和经济运行。随着配电网结构日益复杂、负荷特性多元化，配网调度在电力系统中的地位日益凸显。

作者简介：王俭（1993.05.27——），男，蒙古族，辽宁人，硕士研究生，助理工程师，主要从事电力调度控制方面的研究。

主要职责包括以下几方面:

运行监控与状态掌握: 实时采集并监控配网中的电压、电流、开关状态等运行参数, 掌握全网运行状态;

运行方式优化: 根据负荷变化、电源运行情况、设备检修计划等, 合理调整运行方式, 优化供电路径;

故障处理与快速恢复: 在出现短路、接地、设备异常等故障时, 迅速定位故障点, 指挥隔离故障区域并恢复非故障区域供电;

负荷调控与功率平衡: 在负荷高峰期合理切换电源或负荷, 避免局部过载或电压偏移;

配合分布式电源接入管理: 调节分布式光伏、电动汽车充放电等新型负荷对配电网运行的影响;

支持自动化与远程控制: 配合配电自动化系统进行遥测、遥控、遥调与通信操作, 提升控制效率。

2. 配网调度系统现状

目前, 我国多数城市配网调度系统以SCADA(数据采集与监控控制系统)为核心, 结合DMS(配电管理系统)和OMS(故障管理系统)共同构建配电自动化调控平台。调度系统的软硬件集成度不断提高, 具备了较强的数据处理和控制指令下发能力, 但在整体发展过程中仍面临一些制约因素。现有调度系统大多能实现基础的遥测、遥控与通信功能, 在部分省会城市和重点工程中, 已实现配电网主干线路的自动化故障隔离与恢复(FLISR)。但在中小城市及非主干线路, 调度系统普及率与智能化程度仍有待提升, 存在数据采集点覆盖不足、通信链路不稳定、信息孤岛严重等问题。

3. 配网调度系统对网络结构的适应性

随着配电网由传统的辐射式结构向多源互联的环网结构演进, 调度系统的适应性问题日益突出。环网结构下供电路径多变、故障传播路径复杂, 对调度系统提出了更高的实时性、准确性和灵活性要求。网络拓扑识别难度提升。环网结构中的开关操作频繁, 供电路径在负荷调整、检修转供、故障隔离过程中经常变化, 要求调度系统具备实时动态建模能力, 及时掌握网络结构变化。故障判断与定位复杂化。在环网环境下, 同一故障点可能产生多个保护动作或通信变化, 传统基于单点分析的故障处理逻辑易产生误判或处理迟滞, 调度系统需具备基于全网数据融合的多维故障诊断算法。保护与控制策略协同难度加大。环网中闭环运行将引发双向潮流及电气量耦合, 传统调度控制策略难以直接适配, 必须借助配电自动化终端和智能控制策略, 动态调整动作逻辑, 确保系统安全运行。环网线路的普及还对调度系统的计

算能力、通信链路稳定性及接口兼容性提出挑战。为提升系统适应性, 需要加快推进平台一体化建设、算法智能化升级和终端设备统一标准化。

三、环网线路普及对配网调度带来的挑战

1. 网络结构复杂性上升

在传统辐射型配电网中, 电能自变电站经主干线路逐级分配至用户, 各供电路径相对固定、控制关系简单, 便于调度人员监控与管理。然而, 环网线路的引入打破了原有的单一供电模式, 形成多路径互联的复杂结构网络。环网结构的最大特点是路径冗余性与节点联通性增强, 在提升供电可靠性的同时, 也大幅提升了网络拓扑变化频率。例如, 在日常负荷调整、计划检修、突发故障情况下, 调度需频繁切换开关状态, 变更供电路径, 致使网络结构在时间维度上不断变化。调度系统若缺乏对实时网络拓扑建模与识别的能力, 将难以准确评估当前运行状态, 可能导致错误指令下发或设备误操作。随着环网中联络开关数量的增加, 局部环节形成“局部小环网”、“双电源引入”等结构, 进一步提高了结构的非线性与耦合性, 使得调度人员难以通过经验判断完成正确操作, 迫切需要依赖系统的智能化辅助决策功能。

2. 故障定位与隔离困难

环网结构虽然增强了配电系统的供电连续性, 但也给故障处理带来了新的难题。由于环网中各节点存在多路径连接, 一旦发生单相接地、短路等故障, 故障信号可能沿多个路径传播, 导致以下问题:

故障点判断复杂化: 传统故障判断方式多依赖“上下游电流差”、“压降”、“保护动作”等特征, 但在环网中, 多个方向可能同时出现电流突变, 保护装置联动频繁, 极易形成误判或故障范围扩大。

故障隔离操作困难: 在闭环运行模式下, 若不能准确判断故障点所在区域, 贸然执行隔离操作, 可能导致非故障区域断电, 甚至出现“误分”“误合”引发二次事故。

调度应急指令响应时间延长: 故障点不明确时, 调度需逐级核实、手动隔离测试, 耗时较长, 严重时影响大范围用户用电安全。

3. 数据处理与通信负载增加

环网结构带来的另一个重要挑战是系统的数据密度与通信压力显著提高。环网中节点更多、开关量更密集, SCADA、DMS、自动化终端上传的数据种类与频次也随之增加, 导致调度系统面临以下压力:

遥测、通信数据量倍增: 为保障调度精度, 调度系统需实时采集并处理包括电压、电流、频率、开关状态

等在内的大量数据,数据处理压力明显上升。

通信链路负荷增加:尤其在城市环网架构中,大量通信设备需同时保持高速在线,若通信系统带宽不足或延迟大,极易导致数据拥堵、丢包、异常报警频发,影响指令下发与状态反馈的实时性。

系统间联动协调复杂:随着分布式电源、储能系统、电动汽车等负荷类型接入,调度系统不仅要处理本地数据,还需与其它平台(如AMI、电动汽车管理平台等)协同,数据接口复杂度与一致性维护难度显著上升。

4. 调度策略滞后与运维压力加重

当前配电调度系统的调控策略大多以固定逻辑、规则驱动为主,难以应对环网结构带来的多变负载特性与快速响应需求。在环网结构普及的背景下,以下问题逐步显现:

调度策略滞后:现有调度策略依赖人为设定的操作规程和历史经验,缺乏基于实时数据的自适应调整机制,导致调度响应速度滞后,特别是在突发事件或新能源出力波动较大时,难以及时调整运行方式。

设备维护难度加大:环网结构下设备互联更紧密,操作链条更长,任何一个设备的检修均需综合考虑整个环路供电路径的变化,运维方案编制复杂,实施协调难度大。

人员负荷上升:环网调度需要更频繁的操作、更准确的判断,且调度流程更复杂,调度人员的业务能力与心理承压显著上升,加剧了对高素质调度人才的需求。

系统异常应急机制缺失:当前多数调度系统对突发大范围通信故障、数据失真、策略执行失败等应急场景缺乏联动机制,容易在高负荷或灾害场景中出现调度瘫痪。

四、提升配网调度适应性的解决路径

1. 优化调度系统架构

优化调度系统架构是适应环网复杂性的首要措施。应建立分层分区的调度体系,明确主站、分站及终端设备间的数据流与控制权限,同时引入边缘计算与云平台协同处理技术,实现大数据实时处理与高效决策。此外,系统应具备动态拓扑识别、自主运行模式切换与异常状态隔离功能,以确保调度在面对突发结构变动时能快速响应,提高整体调度效率和系统韧性。

2. 加强配电自动化系统建设

环网运行模式下必须依托高水平的配电自动化系统。应加快智能开关、自动分段器、故障指示器等终端设备的普及,提升故障快速定位与隔离能力。同时,通过建设高可靠性的通信网络和分布式控制系统,实现馈线自

动化、自愈控制和负荷智能转移,提升局部决策能力,降低对主站依赖,从而实现故障的“分钟级”恢复和更高效的常态运行调度。

3. 调度人员能力建设与管理机制优化

配网调度人员在环网环境下需具备更强的综合分析与应急处理能力。因此,企业应加强培训机制,提升其对复杂拓扑结构、电力自动化设备及调度系统操作的掌握程度。同时,优化班组管理机制,推行专家库支撑制度和值班风险预警机制,提升协同调度与集体决策水平,降低人为失误概率,构建“技术+制度”双保障的调度管理体系。

4. 制定精细化保护与操作策略

在环网运行中,传统一刀切的保护与操作策略难以适配灵活多变的供电路径。应根据不同区域、负载特性及设备配置,制定差异化保护方案,细化动作逻辑,确保故障时动作选择更合理。同时,建立基于实际运行场景的操作规程库与决策支持系统,为调度提供动态辅助判断,增强操作精准性与安全性,全面提升调控策略的智能化与针对性。

结束语

随着配电网环网线路的不断推广,配网调度正面临前所未有的复杂挑战。环网结构虽有效提升了供电可靠性与网络灵活性,但也加剧了调度系统在故障处理、数据管理和运维协同等方面的压力。面对这些问题,需从系统架构、自动化水平、人员能力与策略机制等多方面协同发力,构建更具智能化、灵活性与安全性的调度体系。未来,随着人工智能、物联网等技术在配电网领域的深入应用,配网调度的智能化转型将成为提升电力系统现代化水平的关键路径,为实现“数字电网”和“新型电力系统”目标提供有力支撑。

参考文献

- [1]王云飞,姜世公,时光远,等.适应高可靠供电需求的城市中压配电网网架构建研究[J].供用电,2020,37(6):33-39.
- [2]李正红,丁晓兵,冯宝成,等.基于HSR环网的“花瓣”型配电网区域备自投系统研究及应用[J].中国电力,2019,52(8):64-70,77.
- [3]华煌圣,刘育权,张君泉,等.基于配电管理系统的“花瓣”型配电网供电恢复控制策略[J].电力系统自动化,2016,40(1):102-107,128.