

35 千伏输电变电与 10 千伏配电系统在智能电网中的应用研究

陈运正 付临阁 孙有恒 朱亚峰 马亚超

河南省电力公司宝丰县供电公司 河南 平顶山 467000

【摘要】: 随着智能电网建设的深入推进,电网的智能化、互动化和高效化已成为核心发展方向。35 千伏输电变电系统与 10 千伏配电系统作为承上启下的关键环节,其智能化应用与协同运行是构建新型电力系统的重要基石。本文旨在研究两者在智能电网中的具体应用与协调策略。概述了智能电网的核心特征与发展目标;分别深入探讨了 35 千伏系统在智能监测诊断、保护控制等方面的升级应用,以及 10 千伏系统在分布式能源接入、需求响应等领域的智能化改造实践。重点研究了输配系统间的协调运行策略,包括信息共享机制、负荷优化分配及故障自愈技术,以提升电网整体安全性、经济性与供电可靠性,为智能电网的全面建设提供理论支撑与实践路径。

【关键词】: 输电变电;配电系统;智能电网

DOI:10.12417/3083-5526.25.01.003

1 引言

能源革命与数字革命深度融合的时代背景下,智能电网作为未来能源体系的核心枢纽,正驱动着传统电力系统发生深刻变革。智能电网旨在通过集成先进传感、通信、计算和控制技术,实现电网的全面感知、信息高效处理、智能决策与自适应优化,从而满足日益增长的多元化能源需求,并高效接纳可再生能源。在这一宏大体系中,35 千伏输电变电系统是区域电网的骨干网架和重要功率交换节点,而 10 千伏配电网则是直接面向用户、实现电能分配与服务的“最后一公里”。两者的智能化水平与协同运行能力,直接决定了智能电网的效能与价值。当前,如何将物联网、大数据、人工智能等新技术应用于 35 千伏和 10 千伏系统,实现其自身的智能化升级,并进一步打破输配系统间的壁垒,构建源网荷储互动的新型协调机制,已成为智能电网建设面临的关键课题。本研究将围绕这一主题,系统阐述智能电网中 35 千伏与 10 千伏系统的应用与协同,以期电网的智能化转型与发展提供参考。

2 智能电网概述

智能电网是一种基于先进的信息技术、自动化技术和通信技术的现代电力系统,旨在提高能源利用效率、保障电力供应安全和满足用户多样化需求。它通过对电力系统各环节的智能化改造,实现电力生产、输送、分配和使用的全面优化,有效整合各种能源资源,促进可再生能源和分布式能源的发展。智能电网的主要特点包括自愈、激励、互动和兼容,

它能够根据电力需求动态调整资源配置,提高设备的利用率和传输容量。同时,智能电网通过与用户的互动,增强用电系统的安全性和可靠性,用户可以根据需求和适用于自己的用电方式来自主发电,向高负荷用电用户自动发出警告,提高了安全性。此外,智能电网还具备抵御攻击的能力,能够提供满足 21 世纪用户需求的电能质量,容许各种不同发电形式的接入,启动电力市场以及实现资产的优化高效运行。智能电网的建设和发展已成为世界范围内电力行业的共识,各国正根据本国国情制定适合于智能电网发展的技术路线和策略,以实现可持续发展和绿色能源的目标。

3 35 千伏输电变电系统在智能电网中的应用

3.1 35 千伏输电变电系统的智能升级

35 千伏输电变电系统的智能升级是构建智能电网承上启下环节的核心任务,其目标是从传统的“哑设备”集合转变为具备全面感知、智能决策和精准执行能力的智能节点。升级的核心在于设备智能化、系统网络化、信息数字化。首先,在一次设备方面,逐步淘汰老旧开关柜和变压器,换装或改造为智能组件集成的一次设备,例如集成传感器和智能单元的智能断路器、具备在线监测(如油色谱、光纤测温)功能的智能变压器,这些设备成为原生数据的采集源头。其次,在二次系统方面,全面建设或升级基于 IEC 61850 标准的变电站自动化系统,实现保护、测量、控制、计量等设备标准化建模和互联互通,打破传统装置间的信息孤岛,为高级应用奠定基础。

作者简介: 陈运正(1978.06--),男,汉族,河南平顶山人,本科,工程师,研究方向:35 千伏以下输变配方向。

3.2 智能监测与诊断技术在 35 千伏输电变电系统中的应用

智能监测与诊断技术是赋予 35 千伏变电系统“全面感知”和“状态自知”能力的关键。该应用通过部署各类先进传感器和诊断算法,实现对主设备运行状态的实时把控和趋势预测,变“定期检修”为“状态检修”,极大提升了运维精益化和设备可靠性。具体而言,对主变压器,广泛应用油中溶解气体在线监测、绕组光纤测温、振动噪声监测等技术,实时追踪其绝缘老化、过热、机械松动等潜在缺陷;对开关设备,配置分合闸线圈电流特性监测、SF₆ 气体密度与微水含量监测、局部放电超高频监测等,精准判断其机械特性和绝缘状态。所采集的多源异构数据通过边缘计算网关进行初步融合处理后,上传至状态评价中心或云平台,利用大数据分析、人工智能算法建立预测性健康模型,实现对设备故障的早期预警和剩余寿命评估。这不仅能够有效避免突发性设备事故,减少停电损失,还能科学指导检修策略,优化资产全生命周期成本,是智能电网实现安全经济运行的重要技术支撑。

3.3 智能保护与控制技术在 35 千伏输电变电系统中的应用

智能保护与控制技术是保障 35 千伏电网安全稳定运行的“智能大脑”和“快速反应神经”,其核心特征是自适应、协同化、智能化。与传统固定定值的保护不同,智能保护系统能够根据电网实时运行方式动态调整保护定值,实现自适应保护,避免在系统方式变化时出现误动或拒动,提高保护的可靠性。在控制方面,部署智能电压无功控制系统,它不再仅仅基于变电站本地母线电压进行电容器投切或调压变分接头调整,而是接收来自主站的优化指令,协调站内所有无功资源,实现从 220kV/110kV 下送到 35kV 母线乃至对 10kV 出线电压的全局化、精细化控制,有效保证电压合格并降低网损。更进一步,通过广域测量系统或基于 PMU 的同步相量测量,系统能够快速识别电网扰动,并执行协同区域控制策略,如快速切负荷、联动减载等,防止局部故障扩大化,大幅提升电网的主动安全防御能力和弹性。

4 10 千伏配电系统在智能电网中的应用

4.1 10 千伏配电系统的智能化改造

10 千伏配电系统的智能化改造是实现智能电网与用户侧深度互动、提升供电可靠性与运营效率的基础性工程。其核心目标是构建一个自动化、信息化、互动化的现代配电网。改造内容涵盖一次网架、二次设备和主站系统的全面提升。首先,在一次网架层面,持续推进配电网网架结构优化,如将辐射状线路改造为“手拉手”环网结构,并合理分段、增加联络,为故障自动隔离和负荷转供提供坚实的物理基础。同

时,大规模部署智能配电站房、智能环网柜、智能柱上开关等设备,使其具备电动操动机构和内置智能终端,支持远程遥控。其次,在二次系统层面,全面建设配电自动化系统,在关键节点安装配电终端,实现遥测、通信、遥控“三遥”功能,实时采集线路电流、电压、开关状态等信息,并执行主站下发的控制指令。最后,构建强大的智能配网指挥平台,集成配电自动化、地理信息系统、生产管理系统,实现配电网运行状态的全景感知、故障的智能研判、网络重构的自动决策,从而完成从传统被动应对故障到主动预测、快速自愈的根本性转变。

4.2 分布式能源接入与优化调度

高比例分布式能源,特别是分布式光伏的接入,是 10 千伏配电网面临的最显著变化,其“随机性、间歇性、双向潮流”特征对传统配网运行带来巨大挑战。因此,实现 DERs 的友好接入与优化调度是智能配网的核心应用。首先,通过技术标准强制要求分布式电源并网设备具备主动支撑能力,如遵循规定的电压-无功曲线进行无功调节、具备低/高电压穿越能力,使其从“被动接入”变为“主动参与”电网调节。在此基础上,构建分布式能源管理系统或利用高级配电管理系统的相应模块,对区域内海量的分布式光伏、储能系统、微电网等进行集群化协同管理。系统基于超短期功率预测和实时运行状态,一方面通过优化算法制定并下发有功/无功控制指令,抑制反向过载和电压越限等问题;另一方面,通过多时间尺度的优化调度(日前调度、日内滚动、实时控制),协调储能充放电与分布式电源出力,平滑净负荷曲线,参与上级电网的调峰调频服务,最大化分布式能源的消纳水平和经济效益,将配电网从单纯的电能分配网络转变为主动的能量管理平台。

4.3 电力需求响应与智能负荷管理

电力需求响应与智能负荷管理是激活用户侧灵活性资源、实现电网与用户双向互动的关键,也是智能配电系统最高价值体现之一。其本质是将海量的用户负荷从“不可控”变为“柔性可控”的资源。实现这一应用的基础是广泛部署高级量测体系,包括智能电表、通信网络和数据管理系统,实现用户用电信息的分钟级甚至秒级采集,并为实施分时电价、下发控制信号提供通道。在此基础上,一方面开展基于价格的需求响应,如实施尖峰电价、实时电价,引导用户自主调整用电行为,削峰填谷。另一方面,更高级的形式是开展基于激励的需求响应,通过安装智能控制终端,与用户的可调节负荷签订协议,在不影响用户舒适度和生产计划的前提下,由负荷聚合商或配电调度中心在电网需要时对其进行集中、柔性的远程调控或轮控。这种“虚拟电厂”模式,能够有效

平抑负荷波动,缓解网络阻塞,替代或延迟电网投资,为系统提供宝贵的调节容量,极大地提升了配电网的弹性与运行经济性。

5 35 千伏输电变电与 10 千伏配电系统协调运行策略

5.1 系统间信息共享与协调机制

在技术层面,需要建立基于统一信息模型和标准化通信协议的输配一体化信息交互平台,实现地调 SCADA 系统、配调 DMS 系统、分布式能源监控系统以及生产管理系统之间的数据融合与共享。该平台能够确保 35 千伏主变的负载率、母线电压、备用容量等上游信息,与 10 千伏馈线的实时负荷、分布式电源出力、开关状态、故障信息等下游数据,在安全隔离的前提下实现双向、实时、高效的流动。其次,在管理层面,需创新协同调度运作机制,明确各级调度在正常操作、计划检修、应急处理等场景下的协同流程与权责边界。

5.2 负荷优化分配与调度策略

负荷优化分配与调度策略是发挥输配协同价值、提升电网资产利用效率和运行经济性的核心手段。该策略旨在超越传统仅在各电压等级内部进行局部优化的局限,从全局视角对 35 千伏-10 千伏网络的潮流进行协同、精准管理。其实现依赖于先进的分布式优化算法和预测-校正滚动优化技术。系统基于高精度短期与超短期负荷预测、新能源功率预测以及网络实时运行状态,周期性地协同优化计算。当预测到某台 35 千伏主变或某条 10 千伏馈线即将重过载时,策略不再局限于在 10 千伏侧进行简单的负荷切换,而是会生成一个跨电压等级的协同调度方案:例如,在 35 千伏层面调整变电站间联络线潮流,同时在 10 千伏层面联动操作多个配电联络开关,将负荷精准转移至轻载的 35 千伏主变及其下属的 10 千伏馈线,从而实现输配网络资源的全局均衡利用,避免“拆东墙补西墙”。

5.3 故障快速隔离与自愈技术

故障快速隔离与自愈技术是体现输配协同运行在提升供电可靠性方面最高价值的应用,其目标是将故障影响范围最小化、停电时间最短化。传统模式下,输电网和配电网的故

障处理相对独立,缺乏协同,导致恢复效率低下。协同自愈技术则构建了“主网预警-配网动作-输配联动”的多级纵深防御体系。当 35 千伏系统发生故障时,系统会立即向配网自愈系统发送故障事件和失电范围信息。配网自愈系统在接收到预警后,无需等待人工干预,即可结合自身采集的故障信息,快速、精准地定位到受影响的 10 千伏馈线区段,并立即启动跨站域的网络重构算法。该算法不仅考虑配电网内部的联络开关,还将上游 35 千伏系统的备用容量和运行约束作为边界条件,自动生成并执行最优恢复路径,通过遥控操作,将非故障失电区域的负荷快速转供至其他健康的 35 千伏变电站或本站内其他主变供电。这一过程实现了分钟级甚至秒级的故障自愈,极大减少了用户停电时间,展现了智能电网强大的韧性和可靠性。

6 结语

本研究系统探讨了 35 千伏输电变电系统与 10 千伏配电系统在智能电网中的关键技术应用及其协调运行策略。研究表明,通过对 35 千伏系统进行智能化升级,部署先进的监测诊断与保护控制技术,显著提升了主网架的感知能力、安全稳定水平和运行效率。同时,10 千伏配电网的智能化改造,特别是分布式能源的友好接入和需求侧响应的有效管理,极大地增强了配电网的灵活性、互动性和可再生能源消纳能力。

参考文献:

- [1] 杨晓东,谭恒.输变电技术在智能电网中的应用[J].中国高新科技,2023,(21):95-97.
- [2]《输变电工程智慧工地建设与施工实践》编委会.输变电工程智慧工地建设与施工实践[M].中国水利水电出版社:202311:731.
- [3] 金萧.直流输电换相失败下送端电网双馈风电系统运行分析与过电压抑制策略研究[D].浙江大学,2023.
- [4] 胡译尹.考虑结构功能和供电功能的城市电力系统抗震韧性评估方法研究[D].大连理工大学,2023.
- [5] 师海斌,陈小华,唐超,等.基于 SCADA 的长输天然气管道 110kV 输变电系统继电保护研究与设计[J].电器工业,2023,(05):41-44+56.