

一个检测点,底漆、中间漆、面漆及防火涂料厚度均需满足设计要求,偏差 $\leq \pm 5 \mu\text{m}$ 。

钢结构安装完成后,进行整体垂直度、标高、跨度偏差检测,符合《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205-2020)要求,方可进行后续工序。

## 4 安全措施

建立以项目经理为首的安全生产保证体系,配备 2 名专职安全员,特种作业人员(焊工、起重工、电工)持有效证件上岗,施工前进行专项安全技术交底。

高空作业必须佩戴五点式安全带,悬挂于稳定结构上;吊装区域设置警戒区,配备专人监护,严禁无关人员进入。

起重设备定期检查维护,钢丝绳断丝数超过标准、吊具变形等情况立即报废;吊装时构件吊离地面 200-500mm 时进行试吊,确认安全后方可继续。

现场用电实行“三级配电、两级保护”,电焊机、空压机等设备做好接地接零,潮湿环境作业使用安全电压。

特殊季节施工:台风季提前停止吊装作业,加固构件与设备;雨季做好场地排水,构件表面擦干后方可焊接;高温季配备防暑药品,调整作业时间避开正午高温。

制定应急救援预案,配备急救箱、担架、灭火器等应急物资,明确高空坠落、触电、火灾等事故的应急响应流程,定期组织演练。

## 5 环保措施

施工现场设置扬尘控制设施,构件切割、除锈作业采取湿法施工或围挡隔离,减少粉尘污染;运输车辆加盖篷布,出场前冲洗轮胎。

控制施工噪声,焊接作业采用低噪声设备,夜间 22:00 至次日 6:00 严禁进行高噪声作业,昼间噪声 $\leq 70\text{dB}$ ,夜间 $\leq 55\text{dB}$ 。

焊接废渣、废涂料桶等废弃物分类存放,交由专业单位回收处理;施工现场设置污水处理设施,避免污水随意排放。

构件加工与安装过程中,减少材料浪费,余料统一回

收利用;节能降耗,合理安排施工工序,提高设备使用效率。

## 6 效益分析

### 6.1 社会效益

采用深化设计与模块化施工,减少现场湿作业与高空作业量,降低施工安全风险,轻伤事故率控制在 2‰ 以内,实现零死亡、零重伤目标。

钢结构安装精度提升,满足设计质量要求,减少后期维修整改,提高工程质量口碑;施工过程环保措施到位,降低对周边环境影响。

形成一套可复制、可推广的超高大跨度钢结构施工技术体系,为同类工程提供技术参考,推动钢结构施工工业化、标准化发展。

### 6.2 经济效益

相比传统施工工艺,深化设计减少构件加工误差,吊装效率提升 25%,工期缩短 30 天,节省人工成本约 80 万元。

焊接工艺优化与分级探伤,减少焊缝返修率,节约焊接材料与检测费用约 30 万元;防腐防火涂装一次达标,避免返工损失约 20 万元。

## 7 结语

通过对钢结构深化设计、吊装工艺、焊接与涂装施工等关键环节的技术创新与优化,有效解决了传统施工中存在的安全风险高、质量控制难、工期长等问题。在广东省东莞市黄旗山配套服务设施项目的成功应用表明,该技术具有安全可靠、质量精准、高效环保、经济可行的特点,能够显著提升钢结构施工水平。推动钢结构建筑行业高质量发展。

### 参考文献

- [1] 王宇,杨锋,杨杰,等.海外钢结构全螺栓连接制作精度控制[J].建筑施工.2021,43(08):1524-1526
- [2] 谢坚.ALC外墙板施工技术在某装配式钢结构住宅中的应用分析[J].居舍.2025(17):56-59+76
- [3] 蔡倩,朱清宇,张欢.装配式钢结构超低能耗建筑高性能ALC外墙施工技术[J].施工技术(中英文).2022,51(05):33-36
- [4] 蒋文平.装配式钢结构住宅墙板连接节点施工技术探究[J].中国建筑金属结构.2022(01):48-49

# Resilience Enhancement Strategy and Operation and Maintenance Optimization of Distribution Network Considering the Flexibility of Distributed

Yang Liu

State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang Power Supply Company, Shenyang, Liaoning, 110000, China

## Abstract

As power supply systems evolve toward intelligent, clean, and efficient operations, the resilience of distribution networks has become a fundamental factor in ensuring system stability. In this context, the flexibility of distributed resources—including distributed generation, energy storage, and demand-side response capabilities—represents the most effective approach to enhancing grid resilience. This paper analyzes how distribution network flexibility can amplify the role of distributed resources, proposes strategies and implementation pathways for improving such flexibility, and integrates operational optimization and intelligent management approaches. By combining these innovations with smart grid technologies, the study aims to advance both technical solutions and management practices, thereby strengthening grid stability and self-healing capabilities while ensuring the power system's ability to recover from unexpected disruptions.

## Keywords

distribution network; resilience; distributed resources

# 考虑分布式资源灵活性的配电网韧性提升策略与运维优化

刘洋

国网辽宁省电力有限公司沈阳供电公司, 中国·辽宁 沈阳 110000

## 摘要

随着电力供应体系呈现智能化、清洁化和高效化的发展趋势, 电力配电网的韧性成为电力供应体系稳定性的基础因素。其中, 在提升配电网韧性过程中, 分布式资源(包括分布式电源、储能装置与需求侧响应能力)所呈现的柔性, 是最为有效的途径。本文基于电力配电网柔性提升分布式资源柔性作用的分析, 提出配电网柔性提升分布式资源柔性策略与实现路径, 并结合配电网的运维优化管理与智能化方式方法, 以此实现电力配电网技术手段创新与管理手段改进, 进一步提升配电网的稳定性与自愈性, 保障电力系统应对意外冲击的恢复能力。

## 关键词

配电网; 韧性; 分布式资源

## 1 引言

随着世界能源结构转型和用电需求不断增长, 电网由集中式向集中式和分布式相结合的新型电网模式转变日益凸显压力。配电网作为电网的重要部分, 其本身具备的韧性影响了电网的安全性以及可靠性, 尤其在遭遇极端气候、自然灾害等事故时, 能够第一时间恢复送电、提高电网的可靠性是配电网规划建设运行设计的必然课题之一。

## 2 分布式资源在提升配电网韧性中的作用

### 2.1 快速恢复供电

当自然灾害或者突发事件发生时, 配电网常常会出现停电情况。快速恢复供电能力, 实现配网供电快速恢复, 是配网韧性的实现目标之一。分布式能源系统包括分布式光伏发电系统, 小规模风力发电机等等, 在短时间出现系统性故障情况下, 能够利用其就地就近电源的特点, 实现就地即时供电, 一般都是布置在负荷高或偏远地区, 发生主网故障的时候, 就近的分布式发电系统能够在较短时间快速投入, 为停电负荷区域供电, 达到降低故障停电时间和减小系统复电压的作用。

### 2.2 增强电网稳定性

分布式资源接入电网更加有利于保证电网的稳定性。

【作者简介】刘洋(1991-), 男, 满族, 中国吉林通化人, 硕士, 工程师, 从事电力配电相关工作。

由于集中式的供电方式在遇到大面积的电网问题及发生故障时,往往会对电网造成很大的影响,而分布式资源在电网中属于分散型的布局方式,对于电网中大范围的扰动有一定的抑制作用。光伏发电、风力发电等分布式电源可以更好地针对电网负载量的变化来进行调整,特别在电网的负荷高峰时能够控制分布式发电电源,由分布式电源对电网进行输电,从而减小传统电网的负担<sup>[1]</sup>。

### 2.3 增强系统自愈能力

配电网自愈是指配电网发生故障后,能利用自动化技术处理电网中的故障区域,并能实现自动隔离后电网恢复供电自愈的能力。配电网在增强自愈能力中发挥了作用,配电网通过分布式电源结合分布式储能实现了配电网故障时快速调度的目的。如果某个区域在配电网中出现了故障,则智能电网可以自动诊断故障,并将区域中部分的电力流转给其他区域进行辅助供电。

## 3 提升分布式资源灵活性的关键策略与实施路径

### 3.1 分布式发电的优化配置

分布式能源的科学配置是支撑分布式能源灵活可控的基础。其基本原则就是在充分考虑区域能源资源及负荷需求的基础上,形成相应的各类多能互补分布式能源体系。具体做法就是先对区域层面的能源资源与负荷特性进行调查评估,根据 GIS 地理信息系统以及各用电负荷的实时监控统计信息,对规划区的太阳能可利用辐射总量、风资源密度、生物质能资源量等能源条件,以及负荷的类型与特性(负荷时序性、峰谷比较系数、可靠性要求等)进行分析计算,再选取相应形式的分布式发电技术作为区域能源与负荷配置的基础,如在分布式光伏发电成本较低、太阳辐射较强的大工业聚集区内,应优先考虑布置光伏分布式电源,光伏分布式电源的配置规模主要受大型集中式光伏电站的单位面积经济效益与大型工业建筑屋顶最大承载力,以及工业负荷典型日负荷曲线中负荷量峰谷差距的影响,宜采用单轴或双轴可跟踪移动方式布置光伏板;对于大容量风力发电技术,应布置在风力资源较强的山区或偏远小城镇等地区,与这些地区的村镇居住人口用电量及农业生产的用电需求相结合。对分布式能源与电网的配合优化控制而言,还需要应用相应的智能调度优化算法与智能调控系统平台。引入机器学习的负荷预测方法能够对区域短期以及中期的负荷情况进行预测,从而为分布式发电系统的出力安排提供参考;与此同时,依据分布式发电出力的随机性特点(比如光伏出力的光照随机性、风电出力的风速随机性),借助多目标寻优算法,在满足用户负荷需求,电网运行安全的条件下使分布式发电出力调度与电网负荷运行处于动态平衡,在最大限度上消纳风力发电和光伏发电,降低弃风、弃光概率<sup>[2]</sup>。

### 3.2 储能系统的应用

分布式储能系统是连接分布式能源系统、用户侧负荷

的重要环节,对于平抑分布式能源系统的出力变化、改善电网负荷形态、提升分布式能源系统灵活控制具有重要作用。从储能技术的应用角度,应结合分布式能源系统运行模式、用户侧负荷及经济需求合理选择储能技术形式。在分布式光伏与用户侧负荷相结合时,若用户侧存在短时负荷峰谷(如商办建筑的白昼高峰期),且充放电的响应速率高(毫秒级),可考虑选用锂离子电池储能系统,由于其充放效率一般可达 85% 以上,响应速率高、储位占地小等特点,能实现电能快速存储与释放,平滑分布式光伏的短时出力变化、支撑用户侧的短时负荷,平复光伏的出力;在边远地区微网系统,若要实现长时存能(如季节性的风光能源缺失),则可考虑引入压缩空气储能系统、抽水蓄能系统,或蓄电池和氢能的储能系统的混合储能模式,其中压缩空气储能、抽水蓄能系统等储能容量较大、蓄电持续时间长(20~30年)且运行成本低,适合大型的长期储能,而氢能储能系统实现了电能和化学能的转换,能拓宽储能的领域范围。

### 3.3 需求响应管理与负荷控制

负荷控制与需求侧管理(DDRM)也是通过引导用户需求、改变负荷需求分布来实现分布式资源与电网协同调度的重要方法,目标是通过相关信息技术与智能设备设施的实施来构建电网与用户的交互互动关系,将用户端的负荷资源转变为“可控负荷”(可以进行及时调度的“虚拟资源”)。在需求响应管理应用方面,首要的关键步骤为构建用户的侧感知,通过安装智能电表、智能插线板、负荷感知器等,不断收集用户负荷信息(每种用电设备的功率与用电的持续时间及时间点),同时通过 IoT 技术将信息传送至分布式能源管理系统平台,分析和判断用户用电信息结合电网的实时状态(包括电网负荷率、电压水平、可再生能源并网量),制定出包括峰谷电价、实时电价、需求侧竞价等不同形式的需求响应模式,通过价格的杠杆作用指导用户进行响应。

## 4 配电网运维优化策略与智能化管理方法

### 4.1 智能化监控系统的建设

配电网运维管控平台(如图 1)作为配电网管理的“大脑和中枢”,能够通过数据传感、数据融合与智能分析,实现配电网状态的全面感知与智能分析,为提升配电网运维管控提供关键技术支撑。配电网运维管控平台建设过程中,首先应搭建配电网分层多点的感知体系,在配电网的重要点(配电变压器、开关、杆塔)与关键设备处安装高准确度、高可靠性与低成本智能传感器终端,实现配电网实时在线动态运行数据的感知采集。如在配电变压器处安装温度传感器、油质传感器和负荷在线测量终端等设备,实时感知变压器的绕组温度、变压器油的油位及油的绝缘介损值、变压器的负荷电流与电压等数据;在配电杆塔处安装覆冰传感器、微风振动传感器和雷击传感器等设备,实时采集线路的覆冰情况、线路的振动情况、线路的雷击情况及次数等外部运行环境信息;在开关设备处安装状态传感器等设备,实时获取