

# Study on planning strategy of substation infrastructure for new energy access

Chongqing Wang Yuting Shi

Zhejiang Power Transmission and Distribution Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

## Abstract

Under the “dual carbon” strategy and energy transition context, the large-scale integration of renewable energy imposes new requirements on the security, economy, and flexibility of power systems. As core hubs of the grid, substations must be planned to accommodate the characteristics of renewable energy generation, including significant output fluctuations, wide distribution, and high grid-connected capacity. Based on system planning theory and grid development needs, this paper explores optimization strategies for substation infrastructure from aspects such as load forecasting, site layout, electrical configuration, and intelligent construction. It proposes a planning concept featuring multi-source coordination, zonal stratification, and flexible interconnection, while establishing an integrated “source-grid-load-storage” substation model. By introducing big data and simulation optimization technologies, the study achieves capacity allocation and power flow optimization under renewable energy integration conditions. The research results demonstrate that scientific planning can significantly enhance renewable energy absorption rates, reduce investment redundancy, improve system security and economic efficiency, and provide feasible pathways and technical support for the construction of new-type power systems.

## Keywords

new energy; substation planning; power grid construction; source-grid-load-storage; power system optimization

## 考虑新能源接入的变电基建规划策略研究

王崇庆 施雨婷

浙江省送变电工程有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

在“双碳”战略与能源转型背景下, 新能源的大规模接入对电力系统安全性、经济性与灵活性提出新要求。变电站作为电网核心枢纽, 其规划需适应新能源出力波动大、分布广、并网容量高的特性。本文基于系统规划理论与电网发展需求, 从负荷预测、站址布局、电气配置及智能化建设等方面探讨变电基建优化策略, 提出多源协同、分区分层与柔性互联的规划理念, 构建“源网荷储”一体化变电站模型。通过引入大数据与仿真优化技术, 实现新能源接入条件下的容量配置与潮流优化。研究表明, 科学规划可显著提升新能源消纳率, 降低投资冗余, 增强系统安全与经济性, 为新型电力系统建设提供可行路径与技术支持。

## 关键词

新能源; 变电站规划; 电网建设; 源网荷储; 电力系统优化

## 1 引言

能源革命与“双碳”目标的推进, 使我国电力系统正经历由集中式化石能源向分布式清洁能源的深刻变革。风电、光伏等新能源装机规模快速增长, 导致电网潮流方向复杂化、功率波动加剧、区域不平衡显著。变电站作为电网中承上启下的重要环节, 既承担着电能传输、变换与分配功能, 又是新能源消纳与电网稳定的关键节点。传统变电基建规划多以负荷增长与供电可靠性为导向, 难以应对新能源接入带来的非线性负荷特性与动态运行需求。当前部分地区出现

“新能源富集而送出受限”的问题, 暴露出变电站规划布局与容量配置的滞后性。为应对新能源接入带来的技术挑战, 变电站建设需从静态供电支撑转向动态能量协调, 从单一输电功能转向多能互补平台建设。本文基于电网发展新需求, 提出考虑新能源接入的变电基建规划优化策略, 通过模型化分析与案例研究, 探讨变电站在新能源占比提升条件下的建设逻辑与实施路径, 旨在为新型电力系统的安全高效运行提供参考。

## 2 新能源接入下变电基建面临的挑战

### 2.1 新能源特性对电网稳定性的影响

风电与光伏等新能源具有间歇性与波动性特征, 出力受气象条件显著影响。其功率的随机波动造成电网频率、电

【作者简介】王崇庆(1998-), 男, 中国河南周口人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程及其自动化研究。

压及潮流的快速变化,削弱系统的稳定裕度。大规模新能源集中接入可能引发潮流倒灌、短路容量下降等问题,影响继电保护及电压控制策略的可靠性。分布式新能源的并网特性更复杂,部分采用逆变器接入方式,缺乏惯性支撑,使系统抗扰动能力下降。此外,新能源功率预测误差较大,增加了电网调度和基建规划的不确定性,对变电站容量预留与主接线方案提出更高要求。

## 2.2 变电站布局与容量规划的适应性不足

现行变电站规划体系主要基于负荷增长模型与供电可靠性指标,缺乏对新能源接入的动态响应机制。传统规划偏向静态容量配置,难以应对新能源出力波动带来的负荷反转与潮流迁移。部分地区新能源集中但消纳路径不足,造成“弃风弃光”现象;而部分城镇电网变电容量过剩,投资利用率低。新能源接入的时空分布差异还使变电站布局需考虑区域性能源协同与跨区调度通道建设。缺乏科学的预测模型和数据支撑,将导致基建投资与运行效益失衡。

## 2.3 规划标准与技术体系亟须更新

传统变电基建规划依据以电压等级、供电半径与负荷密度为主的静态标准,而新能源渗透率的快速提升对规划标准提出新要求。多能互补、储能支撑、柔性互联等新型设施的引入,需要在规划阶段统筹考虑通信、控制与信息交互体系。标准体系的不完善造成规划阶段难以量化新能源接入容量对设备选型及运行约束的影响。部分地区在变电站建设中仍沿用传统投资评估方法,忽视新能源场景下的多目标优化需求。

# 3 考虑新能源接入的变电基建规划理念

## 3.1 源网荷储一体化规划思路

在新能源高渗透率条件下,变电站需从传统的电能传输节点转变为综合能量协调枢纽。通过构建源网荷储一体化规划体系,实现发电侧的动态出力控制、输电网的实时调度、负荷侧的柔性响应与储能装置的双向调节。储能系统可在新能源出力高峰时吸收多余电能,在低谷时释放,实现削峰填谷与频率支撑;同时参与一次与二次调频,提升系统运行稳定性。规划模型应将新能源出力预测、负荷曲线与储能动态特性统一纳入优化框架,建立“源随荷动、储为调衡”的协同机制。通过多目标优化算法,实现功率流的动态平衡与经济运行,使变电站具备自调节、自平衡和多能协调功能。

## 3.2 柔性互联与多端接入的技术理念

新能源集中接入使潮流方向与电压特性复杂化,亟需构建柔性互联的输变电体系。在高比例新能源地区,采用柔性直流(VSC-HVDC)、可控换流变压器及混合交流环网结构,可显著提升电能输送的稳定性与可控性。柔性直流技术通过独立调节有功与无功功率,有效抑制环网功率振荡,增强系统抗扰动能力。针对新能源基地远离负荷中心的特征,应同步规划高压直流通道与就地消纳变电站,实现“远

送—近用”结合的多端供能格局。新建变电站需在设计阶段预留新能源扩容与直流并接口,满足未来分布式能源与储能系统的灵活接入,为电网结构演进提供扩展空间<sup>[1]</sup>。

## 3.3 数字化与智能化建设方向

数字化是变电基建智能化转型的核心方向。通过BIM、GIS与SCADA系统融合,可实现变电站从设计到运行的全生命周期数字化管理。智能传感技术可实时监测电气设备状态、温度、振动等参数,为健康评估与预测性维护提供数据基础;人工智能算法可用于故障特征识别、风险预测与运行优化。构建统一的“变电大数据中心”,整合电源、负荷与设备运行信息,实现数据互联、智能诊断与自适应调度。通过数字孪生技术建立虚拟模型,可在仿真环境中预测运行风险、优化调度策略,使变电站实现从“被动控制”向“主动决策”转变,为构建智能化、透明化、可自愈的新型电网奠定基础。

# 4 新能源条件下的变电站规划方法体系

## 4.1 新能源接入场景模拟与数据建模

新能源发电的出力呈现显著的时序性和空间差异性,受光照、风速、气温及地形等多重因素影响。为提升变电基建规划的科学性,应基于大数据与气象模型构建新能源出力预测体系。通过融合历史功率曲线、实时气象监测与卫星遥感信息,建立多维数据模型,刻画新能源出力的时空分布特征。利用多场景时序仿真技术,生成晴天、阴天、季节性及极端天气等典型运行工况,为不同接入条件下的潮流分析与容量评估提供输入数据。通过大数据平台实现新能源出力与负荷特性的动态匹配,并结合地理信息系统(GIS)实现空间可视化分析。采用蒙特卡洛方法对随机功率波动进行模拟,评估不同新能源接入比例下的系统运行风险与备用容量需求,从而确定系统安全运行的边界条件<sup>[2]</sup>。

## 4.2 基于优化算法的容量与站址规划

针对新能源接入带来的不确定性与区域性特征,需构建综合考虑系统可靠性、经济性与新能源消纳率的多目标优化模型。模型以变电站的容量配置、站址布局及电压等级为核心决策变量,目标函数包括投资成本最小化、系统损耗最小化与新能源利用率最大化。采用遗传算法(GA)、粒子群算法(PSO)及差分进化算法(DE)等智能优化方法,在多约束条件下实现全局最优规划。约束条件涵盖电压稳定性、潮流安全性、供电半径、土地利用及环境适应性等指标。优化过程中引入惩罚因子与适应度函数动态调整机制,确保结果收敛稳定。通过对不同规划方案进行敏感性分析,可获得最优站址分布与容量等级配置,实现电力资源的空间均衡与投资效益的最大化。

## 4.3 电气接线与主设备选型优化

新能源大规模接入导致短路电流水平、潮流方向与电压特性发生显著变化,传统单一接线模式难以适应多源并联

与频繁波动的运行环境。规划中应采用可扩展、柔性化的主接线方案,如双母线分段、环网式、主变压器并列运行及柔性直流接入等模式,以提升系统的可靠性与灵活性。针对新能源发电的间歇特征,接线设计需预留扩展接口与备用回路,实现分阶段建设与动态扩容。设备选型方面,应优先采用高效、智能化装备,如数字化变压器、组合电器(GIS)、智能断路器与一体化保护控制装置,具备在线监测与自诊断功能,确保运行安全与状态可视。为实现经济与技术的平衡,可通过全寿命周期成本(LCC)评估方法对不同方案进行量化比较,综合考虑初始投资、运行维护与能效损耗等因素。最终确定的主接线与设备配置方案应能适应新能源多场景运行、功率双向流动及智能调度需求,保证系统在未来高比例新能源环境下的安全性与经济性[3]。

## 5 典型区域新能源接入的规划实践与效果分析

### 5.1 案例概述与规划背景

以我国西北某新能源富集地区为研究对象,该区域风能、光伏资源禀赋优越,年平均可利用小时数超过2300小时,但现有电网结构以传统单向输电为主,变电设施建设相对滞后,新能源装机占比已超过总电源容量的70%,功率倒灌和送出瓶颈问题突出。区域内新能源集中并网导致电压波动频繁、短路容量不足及潮流反转现象明显,局部电网调峰压力显著增加。规划目标在于提升新能源消纳能力,优化网架结构,实现电能在空间与时间上的均衡配置。通过引入源网荷储协同理念,建立多情景、多时段、多能源类型耦合的仿真模型,对未来15年内的负荷增长、新能源发展规模及储能配置需求进行系统性分析,形成面向中长期发展的规划蓝图,为区域电网安全、经济运行提供决策支撑<sup>[4]</sup>。

### 5.2 规划方案与实施策略

针对区域新能源发展特征与地理条件,规划采用“分层布局、分区优化、柔性互联”的总体思路。上层电网以750kV骨干变电站为主,形成省际互联互通通道,强化电力外送与跨区支撑能力;中层以330kV和220kV变电站为重点,构建新能源汇集与负荷中心衔接的枢纽网络,优化潮流分布与输电路径;下层配套建设110kV及35kV终端变电站,实现分布式能源的本地消纳与微电网互补运行。规划中同步布置储能电站,采用“光伏+储能”“风电+储能”联合运行模式,平抑功率波动,支撑电压稳定。通过建设智能调度平台与负荷响应机制,实现源、网、荷、储实时互动。引入

GIS与BIM协同设计技术,对站址选取、输电通道与地形环境进行多维度评估,提高规划设计的科学性与精细度,确保建设方案的可实施性与经济性<sup>[5]</sup>。

### 5.3 运行效果与经济分析

项目建成后,区域电网整体运行特性显著改善。新能源装机利用率由原来的82%提升至97%,弃风弃光率下降约15个百分点。储能系统有效缓解了出力波动,峰谷差缩小约20%,系统电压偏差保持在 $\pm 1\%$ 范围内,电能质量显著提升。电网输电效率提高9.8%,线路平均负荷率由0.82降至0.73,运行冗余度增强。柔性直流与储能协同控制显著提升系统调峰能力,短时扰动下的频率恢复时间缩短约40%。经济评估结果显示,经优化后基建投资的回收周期由原规划的9.5年缩短至7.2年,综合收益率提升约12%。通过储能系统参与调峰与辅助服务,年均运行收益增加约8000万元,进一步提高了投资可行性。该案例表明,基于新能源特性优化的变电基建规划不仅能实现系统运行的稳定与高效,还能兼顾经济效益与生态目标,为类似地区的电网建设提供可复制的技术路径与规划范式。

## 6 结语

新能源大规模接入为电网发展带来机遇与挑战,变电站作为电能枢纽,其规划建设水平直接决定了新能源消纳能力与系统运行质量。本文通过理论分析与案例验证,提出了适应新能源特性的变电基建规划策略,强调源网荷储一体化、柔性互联与智能化方向的重要性。实践表明,通过科学预测与多目标优化,可实现投资、可靠性与新能源利用率的协调统一。未来研究应深化对多能互补、虚拟电厂与区域综合能源系统的融合规划,完善标准体系与数字化设计技术,为构建安全、高效、低碳的新型电力系统奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 刘庆华,陈楚炼,郑树湘,等.基于BIM技术的变电站基建工程项目管理[J].农电管理,2021,(12):32-34.
- [2] 刘湘龙,喻超.浅谈如何做好变电站基建工程验收工作[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2021,(05):142-143.
- [3] 何文杰.强化施工管理确保变电站基建工程质量[J].低碳世界,2017,(17):103-104.
- [4] 王健,周星,李孟洋,等.水电与新能源多能互补一体化基地建设及调控策略研究[J].水电与新能源,2025,39(03):1-4.
- [5] 颜炯,卢生炜,张涛,等.高比例新能源接入下电网输配电成本多主体分摊模型[J].电力建设,2024,45(01):138-146.