

新能源基地汇集工程可接纳风电光伏潜力研究

孟庆超

北京建工路桥集团有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17213

[摘要]“双碳”目标下,风电光伏成为清洁能源主力并规模化开发。新能源基地汇集工程作为连接发电与主网的核心,其接纳潜力关乎新能源消纳效率与开发效益。本文以该工程为研究对象,分析其系统构成、风电光伏出力特性及交互机制,构建涵盖技术、经济、环境维度的评估体系与量化模型,提出技术优化、储能协同、调度运行、政策保障四位一体的提升策略。研究明确核心制约因素,量化潜力提升空间,为新能源基地规划等提供依据,推动能源结构转型。

[关键词]新能源基地;汇集工程;风电光伏;接纳潜力

中图分类号:TM615 文献标识码:A

Research on Acceptable Wind–Solar Potential in Renewable Energy Base Integration Projects

Qingchao Meng

Beijing Construction Engineering Road and Bridge Group Co., Ltd.

[Abstract] Under the "dual carbon" goals, wind and solar power have become the mainstay of clean energy and are being developed on a large scale. As the critical link connecting generation sources to the main grid, the acceptable capacity of renewable energy base integration projects directly impacts the efficiency of renewable energy utilization and development benefits. This study focuses on such integration projects, analyzing their system composition, the output characteristics of wind and solar power, and their interaction mechanisms. An evaluation framework and quantitative model covering technical, economic, and environmental dimensions are established. A four-in-one enhancement strategy is proposed, integrating technical optimization, energy storage coordination, dispatch operations, and policy support. The research identifies core constraints, quantifies potential improvement opportunities, and provides a basis for the planning of renewable energy bases, thereby advancing the transformation of the energy structure.

[Key words] Renewable Energy Base; Integration Project; Wind–Solar Power; Acceptable Potential

引言

全球能源转型加速,我国新能源产业步入集群化、基地化开发关键期,西北、华北等地现千万千瓦级风电光伏基地。新能源基地汇集工程负责电力汇集与升压输送,但接纳能力不足成风电光伏大规模并网瓶颈,部分基地因输送、调压问题出现弃电。现有研究多关注单一技术约束下的接纳容量,缺乏对交互机制的系统分析,评估体系不全面。本文立足现实,探究核心影响因素,构建评估体系并提出策略,对新能源开发利用和能源系统稳定运行意义重大。

1 新能源基地汇集工程与风电光伏特性分析

1.1 新能源基地汇集工程系统构成

新能源基地汇集工程是一个涵盖电力汇集、转换、输送的复杂系统,其构成需适配风电光伏的规模化开发需求。核心组成部分包括汇集线路、升压站、无功补偿装置及监控系统。汇集

线路分为交流与直流两类,大型基地多采用“交流汇集+直流外送”模式,交流线路负责近距离汇集单台风机、光伏组串的电能,电压等级通常为35kV或110kV,直流线路则承担远距离、大容量电力输送任务,电压等级可达±800kV。升压站是能量转换核心,通过主变压器将风电光伏输出的低电压电能升至高电压等级,减少输送损耗,站内配置的GIS设备可提升运行可靠性。监控系统实现对全过程设备运行状态的实时监测与远程控制,为安全高效运行提供支撑,各部分协同工作形成完整的电力汇集输送链路。

1.2 风电光伏发电特性解析

风电光伏的发电特性受自然资源禀赋影响显著,呈现出波动性、间歇性与时空互补性三大特征,这也是决定汇集工程接纳潜力的关键因素。风电出力依赖风速变化,日内表现为“晨暮低、午后高”的波动规律,季节上则与盛行风期高度契合,如我

国西北风电基地冬季出力明显高于夏季,且风速突变导致出力短时间内大幅波动。光伏出力则由光照强度决定,日内呈“钟形”曲线,从日出后逐步上升至正午达到峰值,日落前快速下降,夜间出力为零,受云层遮挡影响会出现短时波动,季节变化上夏季出力高于冬季。从时空维度看,同一区域风电与光伏出力存在互补性,晴天正午光伏出力高时风电出力相对较低,夜间则风电可弥补光伏出力空缺,这种特性为提升汇集工程接纳能力提供了天然优势,但同时也对工程的调节能力提出了更高要求^[1]。

1.3 汇集工程与风电光伏的交互影响机制

汇集工程与风电光伏之间存在紧密的双向交互影响,二者的适配性直接决定新能源基地的运行效率。从风电光伏对汇集工程的影响来看,其出力的波动性会导致汇集线路的潮流频繁变化,引发电压波动与频率偏移,当波动幅度超过工程调节能力时,可能触发保护装置动作,影响供电稳定性。大规模风电光伏并网还会改变汇集系统的等值阻抗特性,增加电压稳定控制难度,若出力骤降,可能导致系统无功功率失衡,引发电压崩溃风险。反之,汇集工程的运行状态也会反作用于风电光伏运行,工程的输送容量约束会限制风电光伏的最大并网功率,当接纳能力不足时,需通过弃风弃光保障系统安全;而汇集工程的调压能力、网损控制水平则会影响风电光伏的发电效率,例如电压偏差过大降低光伏逆变器的转换效率,增加发电损耗,因此二者的协同运行是提升新能源接纳水平的核心。

2 新能源基地汇集工程可接纳风电光伏潜力评估体系构建

2.1 接纳潜力的内涵

新能源基地汇集工程可接纳风电光伏潜力,是指在保障汇集系统安全稳定运行、满足电力质量标准、兼顾经济合理性的前提下,工程能够持续接纳风电光伏电力的最大能力。其内涵并非单一的技术容量概念,而是融合技术可行性、经济合理性与环境适应性的综合指标。从技术层面看,潜力受汇集工程的输送容量、电压调节范围、频率稳定极限等约束,需确保风电光伏并网后系统各项运行参数处于安全阈值内;经济层面需考量接纳潜力提升过程中的投资成本、运行成本与收益平衡,避免为追求高接纳容量导致工程投资回报率过低;环境层面则要求潜力挖掘需符合生态保护要求,如风电光伏布局需避让生态敏感区,工程建设需减少对周边环境的影响。同时,接纳潜力具有动态性,会随汇集工程技术升级、风电光伏出力特性变化及调度模式优化而动态调整,并非固定数值。

2.2 多维度评估指标体系设计

基于接纳潜力的多元内涵,本文构建包含技术、经济、环境三个维度的评估指标体系,实现对接纳潜力的全面量化评估。技术维度作为核心指标层,涵盖最大可接纳容量、电压偏差率、频率波动范围、网损率及供电可靠性指标,其中最大可接纳容量直接反映工程接纳能力上限,电压偏差率与频率波动范围需控制在±5%与±0.5Hz以内,网损率则反映工程运行效率。经济维度指标包括单位接纳成本、投资回收期与度电收益,单位接纳成本

计算汇集工程升级改造投资与新增接纳容量的比值,投资回收期衡量项目经济性,度电收益则结合上网电价与运行成本计算,体现接纳潜力的经济价值^[2]。环境维度指标包含碳减排量、能源利用效率与生态影响指数,碳减排量量化接纳风电光伏带来的环境效益,能源利用效率反映新能源开发的综合效益,生态影响指数则评估工程建设与运行对周边生态的影响,各维度指标权重通过层次分析法确定,确保评估的科学性。

2.3 接纳潜力评估模型建立

结合多维度评估指标体系,本文建立“约束条件-目标函数”双向驱动的接纳潜力评估模型。模型以最大化风电光伏可接纳容量为核心目标函数,同时融入经济收益最大化与碳减排量最大化的次级目标,通过加权求和构建综合目标函数。约束条件体系涵盖技术、经济、环境三类约束:技术约束包括功率平衡约束、电压稳定约束、频率约束、线路输送容量约束及设备运行约束,确保评估结果的技术可行性;经济约束包括投资成本约束、运行成本约束与收益约束,限定单位接纳成本不超过行业基准值,投资回收期控制在合理范围内;环境约束则明确碳减排量下限与生态影响指数上限。模型采用蒙特卡洛模拟结合粒子群优化算法求解,通过蒙特卡洛模拟生成大量风电光伏出力场景,粒子群优化算法在多约束条件下求解综合目标函数最优解,最终输出不同置信水平下的接纳潜力值,提升模型对风电光伏出力不确定性的适应能力。

3 新能源基地汇集工程接纳潜力提升策略

3.1 技术优化策略

技术优化是提升汇集工程接纳潜力的核心路径,通过工程升级改造与技术创新突破现有约束。在汇集线路方面,对输送瓶颈路段采用导线增容技术,如应用碳纤维复合芯导线替代传统钢芯铝绞线,提升线路输送容量30%以上;对于远距离大型基地,推广柔性直流输电技术,其具有电压调节能力强、可实现四象限功率控制的优势,能有效平抑风电光伏出力波动对系统的影响。升压站优化可通过更换大容量主变压器、新增动态无功补偿装置如SVG,提升电压调节精度与响应速度,确保电压偏差控制在±2%以内。在新能源发电侧,推广风电光伏机组的低电压穿越技术与虚拟惯量控制技术,提升机组对系统扰动的适应能力,减少因系统波动导致的停机损失。同时,构建智能监测预警系统,采用物联网技术实现对汇集工程设备与风电光伏机组运行状态的实时监测,通过大数据分析提前预判故障风险,为潜力挖掘提供安全保障,技术优化可使汇集工程接纳潜力提升20%-30%。

3.2 储能协同策略

储能系统作为平抑风电光伏出力波动的关键手段,通过“充电-放电”灵活调节,可显著提升汇集工程接纳潜力。在储能配置方面,采用“集中式+分布式”相结合的布局模式,集中式储能部署在升压站附近,用于平抑区域级风电光伏集群出力波动,分布式储能则靠近风机、光伏组串,缓解局部线路输送压力。储能容量与类型需精准匹配接纳潜力瓶颈,对于短时波动,配置锂离子电池等快充快放型储能,响应时间控制在毫秒级;对于季节性

波动,结合抽水蓄能、压缩空气储能等长时储能技术,实现跨季节能量调节^[3]。在运行模式上,构建储能与风电光伏的协同调度机制,通过出力预测提前制定储能充放电计划,当风电光伏出力高于汇集工程接纳能力时,储能充电吸收多余电能;当出力低于负荷需求时,储能放电补充电力,实现“削峰填谷”。另外,探索储能参与辅助服务市场的盈利模式,通过提供调频、备用等服务提升投资收益,增强储能配置的经济性,合理配置储能可使汇集工程接纳潜力提升15%~25%。

3.3 调度运行策略

优化调度运行模式是挖掘汇集工程接纳潜力的低成本路径,核心在于通过精细化调度提升系统运行效率。构建“源网荷储”协同调度体系,打破各环节独立运行的壁垒,将风电光伏、汇集工程、储能系统及用户负荷纳入统一调度平台,实现电力资源的优化配置。基于高精度出力预测技术,建立日前-日内-实时三级调度机制,日前调度根据次日风电光伏出力预测与负荷需求,制定汇集工程接纳计划;日内调度每4小时更新预测数据,调整接纳容量;实时调度则针对短时波动,通过储能与备用电源快速响应。充分利用风电光伏的时空互补特性,实施区域间协同调度,当单一基地汇集工程接纳能力不足时,将多余电力通过跨区域联网输送至接纳能力充足的区域,实现资源互补。同时,推行柔性负荷管理,通过电价激励引导工业用户等可调节负荷在风电光伏出力高峰时段增加用电,在出力低谷时段减少用电,间接提升汇集工程接纳空间,优化调度策略可在不增加工程投资的前提下,提升5%~10%的接纳潜力。

3.4 政策保障策略

完善的政策保障是接纳潜力提升策略落地实施的重要支撑,需从制度设计、市场机制与激励措施三方面构建保障体系。在制度设计上,进一步完善新能源消纳责任权重制度,将汇集工程接纳潜力提升纳入地方政府与电网企业的考核指标,明确各主体责任,倒逼相关方加大投入。建立汇集工程与新能源开发的协同规划机制,要求新能源基地规划必须同步开展汇集工程接纳潜力评估,避免新能源项目与汇集工程建设不同步导致的接纳瓶颈。在市场机制方面,构建储能参与辅助服务的市场化交易机制,明确储能调频、备用等服务的定价机制与收益分配模式,提升储能配置的积极性;探索新能源电力市场化交易,允许风电光

伏企业与用户直接交易,通过价格信号引导电力资源优化配置。在激励措施上,对汇集工程技术升级、储能配置等项目给予财政补贴与税收优惠,降低投资成本;设立新能源消纳专项基金,用于支持接纳潜力提升技术研发与示范工程建设,营造有利于潜力挖掘的政策环境^[4]。

3.5 人才培养与创新生态构建策略

提升新能源基地汇集工程接纳潜力,离不开专业人才支撑与创新生态的培育。一方面,要加强复合型人才培养,高校与职业院校应增设新能源汇集工程相关专业课程,涵盖电力系统、自动化控制、新能源技术等多学科知识,通过产学研合作项目,让学生参与实际工程案例分析与实践操作,培养既懂理论又具实践能力的专业人才。同时,企业要建立内部培训体系,定期组织技术骨干参加国内外先进技术培训与交流活动,提升其技术水平与创新意识。另一方面,构建开放的创新生态,政府、企业与科研机构联合成立新能源接纳技术研究中心,聚焦汇集工程关键技术难题开展联合攻关。鼓励企业加大研发投入,对在接纳潜力提升技术方面取得突破的团队与个人给予奖励,激发创新活力,为潜力挖掘提供持续的智力支持。

4 结束语

挖掘新能源基地汇集工程接纳风电光伏潜力,是推动风电光伏规模化开发、达成“双碳”目标的关键。本文系统剖析汇集工程与风电光伏特性及交互机制,构建多维度评估体系与量化模型,提出技术、储能、调度、政策四位一体的提升策略,明确核心优化方向。未来,要随技术发展深化协同优化研究,构建动态评估提升体系,助力能源清洁低碳转型。

【参考文献】

- [1] 张凡,王雷,薛毅,等.新能源基地汇集工程可接纳风电光伏潜力研究[J].分布式能源,2025,10(3):85~92.
- [2] 谢嘉,桑成松,马勇,等.新能源供电多能互补发电系统设计[J].南京理工大学学报,2020,44(04):501~510.
- [3] 雷德宏,窦大伟.关于沙戈荒新能源基地开发建设的思考[J].中国电力企业管理,2023(19):70~72.
- [4] 李文凯,林祥东.新能源发电基地配套煤电技术研究[J].中国工程咨询,2023(08):94~99.