

高比例风电并网下的消纳瓶颈破解与跨区域输电优化

贾艳文

内蒙古华电蒙东能源有限公司 内蒙古 通辽 028000

【摘要】：高比例风电并网是我国能源结构转型的核心举措，但其发电的间歇性、波动性与随机性特征，叠加区域电力供需失衡、输电通道配置不合理等问题，形成风电消纳瓶颈，制约风电产业规模化发展。本文界定高比例风电并网下消纳瓶颈的核心表征，剖析瓶颈形成的资源禀赋、电网建设、市场机制、政策协同等深层原因，从本地消纳能力提升、跨区域输电通道优化、市场机制完善、政策体系协同四个维度，提出消纳瓶颈破解策略与跨区域输电优化路径，构建“源网荷储+跨区域输电+市场机制+政策保障”的一体化解决方案，为推动高比例风电高效消纳、实现跨区域电力资源优化配置提供实践参考。

【关键词】：高比例风电并网；风电消纳；消纳瓶颈；跨区域输电；电力资源配置

DOI:10.12417/2982-3382.25.04.007

引言

当前我国风电消纳矛盾突出，部分风电富集地区因本地电力消纳能力有限、跨区域输电通道容量不足、电网接入能力薄弱，出现大规模弃风现象，风电消纳瓶颈已成为制约风电产业高质量发展的核心问题。同时，我国风电资源与电力负荷呈逆向分布，风电资源主要集中在西北、华北、东北等北部地区，而电力负荷中心位于东部、南部经济发达地区，跨区域输电通道建设滞后、配置不合理，进一步加剧了区域风电消纳失衡。在此背景下，破解高比例风电并网下的消纳瓶颈，优化跨区域输电体系，实现风电资源的高效消纳与跨区域优化配置，成为新型电力系统建设的迫切需求^[1]。

1 高比例风电并网下消纳瓶颈的核心表征与形成原因

1.1 消纳瓶颈的核心表征

(1) 局部弃风现象突出，消纳效率区域失衡

风电富集地区本地电力负荷小、产业结构单一，电力消纳能力远低于风电装机规模，加之跨区域输电通道容量不足，导致西北、华北部分地区弃风率居高不下；而东部、南部负荷中心风电装机占比低，电力供应依赖外来电，形成“西电东送”需求与输电能力不足的矛盾，区域风电消纳效率差异显著。

(2) 系统调节能力不足，适配风电特性能力弱

传统电力系统以火电为主，调峰、调频能力有限，高比例风电并网后，风电出力的大幅波动难以被快速平抑，导致电网频率、电压稳定性下降；储能设施建设滞后，配置规模与风电

装机不匹配，无法有效实现风电出力的“削峰填谷”，进一步加剧系统调节压力^[2]。

(3) 输电通道建设滞后，跨区域配置能力薄弱

风电资源与负荷中心逆向分布下，跨区域输电通道建设进度滞后于风电装机增速，通道容量不足、网架结构薄弱，无法满足风电大规模外送需求；部分输电通道规划与风电消纳需求脱节，输电方向、容量配置不合理，导致风电外送效率低、通道利用率不高。

(4) 市场机制不完善，消纳激励约束不足

风电消纳的市场交易机制尚未健全，跨区域电力交易品种单一、流程繁琐，风电的环境价值未充分体现在交易价格中；风电消纳的激励与约束机制缺失，地方政府与发电企业的消纳责任划分不清晰，导致消纳积极性不足，弃风成本由企业单方面承担。

1.2 消纳瓶颈的形成原因

(1) 资源与负荷逆向分布，本地消纳基础薄弱

我国风电资源集中分布在北部、西北部能源基地，这些地区工业发展水平较低，电力负荷需求小，本地消纳空间有限；同时，区域产业结构以高耗能产业为主，产业升级缓慢，电力消费结构单一，难以有效提升风电本地消纳能力。

(2) 电网建设与风电发展不同步，系统适配性不足

电网规划与风电装机规划缺乏协同，风电富集地区电网接入能力建设滞后，部分风电项目“接网难”；跨区域输电通道建设受土地、环保、资金等因素制约，建设周期长，无法及时匹

配风电外送需求；电力系统智能化水平低，风电出力预测精度不足，难以实现风电与电网的精准适配^[3]。

(3) 市场机制不健全，跨区域交易效率低

全国统一电力市场尚未完全建成，区域电力市场分割严重，跨区域电力交易受行政壁垒制约，交易效率低；风电消纳缺乏市场化的价格形成机制，标杆电价政策难以反映风电的间歇性成本与环境价值；储能参与电力市场的规则尚未完善，储能的调峰价值未得到充分体现，市场参与积极性不足。

(4) 政策协同性不足，消纳责任体系不清晰

风电消纳的相关政策多由各部门单独制定，能源、电网、环保、发改等部门政策缺乏协同，政策落地效果不佳；风电消纳责任权重机制尚未全面落实，地方政府的消纳责任考核体系不完善，导致部分地区对风电消纳重视程度不足；跨区域输电的利益分配机制不明确，送端与受端地区的利益诉求难以平衡，影响输电通道建设与运营的积极性。

2 高比例风电并网下消纳瓶颈破解的核心策略

针对消纳瓶颈的核心表征与形成原因，以“本地消纳为主、跨区外送为辅、源网荷储协同、市场政策保障”为原则，从本地消纳、系统调节、市场机制、政策协同四个维度，提出消纳瓶颈破解的核心策略。

2.1 提升本地消纳能力，挖掘区域消纳潜力

推动产业结构升级，培育多元化电力消费主体，鼓励风电富集地区发展高端制造、大数据中心等高耗能且用电灵活的产业，扩大本地电力消纳空间；推广风电就地就近消纳模式，鼓励分布式风电建设，推动风电与工业园区、村镇社区的深度融合，实现风电直供直消；优化本地电源结构，推动火电灵活性改造，提升火电调峰能力，实现风电与火电的协同消纳。

2.2 强化系统调节能力，适配高比例风电并网

加快储能设施规模化建设，按照“风电+储能”模式配置储能系统，提升储能在风电消纳中的“削峰填谷”作用，鼓励电化学储能、抽水蓄能、压缩空气储能等多类型储能技术融合应用；提升风电出力预测精度，引入大数据、人工智能等技术，构建高精度的风电出力预测模型，为电网调度与电力交易提供科学依据；推动源网荷储一体化发展，整合风电、光伏、储能、负荷资源，构建微电网、虚拟电厂等新型电力系统形态，提升系统对风电的自适应能力^[4]。

2.3 完善电力市场机制，激发消纳市场活力

加快全国统一电力市场建设，打破区域市场壁垒，完善跨区域电力交易机制，丰富交易品种，推动风电参与中长期交易、

现货交易、辅助服务交易；建立风电消纳的市场化价格形成机制，将风电的环境价值、调峰成本纳入电价体系，完善峰谷分时电价、阶梯电价政策，引导用户灵活用电；完善储能参与电力市场的规则，明确储能的辅助服务定位，推动储能参与调峰、调频、备用等辅助服务市场，实现储能价值的市场化体现。

2.4 加强政策协同联动，健全消纳责任体系

强化各部门政策协同，由能源主管部门牵头，统筹电网、环保、发改、财政等部门政策，形成风电消纳的政策合力；全面落实风电消纳责任权重机制，完善地方政府与发电企业的消纳责任考核体系，将消纳成效与项目审批、补贴发放挂钩，强化考核约束；加大财政与税收支持力度，对风电消纳成效显著的地区与企业给予补贴奖励，对弃风率过高的企业实行惩罚性措施，激发消纳积极性。

3 高比例风电并网下跨区域输电优化路径

跨区域输电是破解风电资源与负荷逆向分布、实现风电大规模消纳的关键手段，结合风电消纳需求，从通道规划、网架建设、运行管理、利益分配四个维度，提出跨区域输电的优化路径，提升输电通道的利用率与风电外送效率。

3.1 统筹输电通道规划，匹配风电消纳需求

构建“风电装机规划-电网规划-输电通道规划”协同机制，以风电消纳需求为导向，科学规划跨区域输电通道的布局、方向与容量，优先建设风电富集地区至东部、南部负荷中心的特高压输电通道；优化输电通道规划方案，开展多场景仿真模拟，综合考虑风电出力特性、电网消纳能力、负荷增长趋势，合理确定输电通道的建设时序与规模，实现通道规划与风电消纳的精准匹配；推动输电通道与新能源基地协同建设，按照“源网荷储一体化”模式，将风电基地建设建设与输电通道建设同步规划、同步建设、同步投运，确保风电项目建成后能及时外送。

3.2 加强网架结构建设，提升输电通道能力

加快特高压输电通道建设，重点推进西北、华北、东北等风电富集地区特高压交流、直流工程建设，提升跨区域输电通道的容量与稳定性；优化风电富集地区内部网架结构，加强地区电网与主网的衔接，提升电网接入能力与电力输送效率，解决风电项目“接网难”问题；推动输电通道智能化升级，引入智能传感、大数据、物联网等技术，构建智能化的输电通道监控与调度系统，实现输电通道的实时监测、故障预警与智能调度。

3.3 优化输电运行管理，提高通道利用效率

建立跨区域输电通道的协同调度机制，加强送端与受端电网公司的沟通协作，实现风电出力、电网负荷、输电通道容量的实时匹配，优化输电计划；提升输电通道的灵活调节能力，

推动输电通道与储能、火电调峰机组的协同运行，通过储能充放电、火电调峰，平抑风电出力波动，提高通道利用率；加强风电出力与负荷需求的精准预测，基于预测数据优化跨区域输电调度，实现风电的最大化外送，减少弃风损失。

3.4 完善利益分配机制，平衡送受端利益诉求

建立跨区域输电的市场化利益分配机制，综合考虑输电通道建设成本、风电消纳成效、环境效益等因素，科学制定送端与受端地区的利益分配比例，保障双方合法权益；完善输电价格形成机制，按照“成本加成+收益调节”的原则，合理制定跨区域输电价格，将输电成本合理分摊至送端与受端用户；建立跨区域风电消纳的生态补偿机制，由受端地区对送端地区的风电消纳与生态保护给予经济补偿，平衡送受端地区的利益关系，提升送端地区风电外送的积极性^[5]。

参考文献：

- [1] 张智刚. 新型电力系统下高比例风电并网消纳关键技术与策略[J]. 电网技术,2024,48(06):2011-2020.
- [2] 李庚生. 风电消纳瓶颈破解与跨区域输电优化研究[J]. 电力建设,2024,45(07):89-97.
- [3] 王剑晓. 高比例新能源并网下跨区域特高压输电通道优化规划[J]. 电力系统自动化,2023,47(18):123-131.
- [4] 刘振亚. 中国新型电力系统建设与风电产业高质量发展[J]. 中国能源,2024,46(03):1-7.
- [5] 陈树勇. 高比例风电并网对电力系统的影响及应对策略[J]. 太阳能学报,2023,44(09):321-328.
- [6] 周孝信. 跨区域电力资源优化配置与风电消纳协同机制[J]. 中国电机工程学报,2023,43(S2):456-464.

4 结论

高比例风电并网下的消纳瓶颈是资源禀赋、电网建设、市场机制、政策协同等多因素共同作用的结果，其核心症结在于风电出力特性与电力系统适配性不足、风电资源与负荷逆向分布下跨区域输电能力薄弱。本文通过剖析消纳瓶颈的核心表征与形成原因，提出了“本地消纳+系统调节+市场机制+政策协同”的消纳瓶颈破解策略，从规划、建设、运行、利益分配四个维度构建了跨区域输电优化路径，形成了“源网荷储+跨区输电+市场机制+政策保障”的一体化解决方案。该方案通过多维度举措的协同实施，能够有效提升风电本地消纳能力，优化跨区域输电通道配置，提高风电消纳效率，破解高比例风电并网下的消纳瓶颈，实现风电资源的跨区域优化配置^[6]。