

特高压外送配套热电基地选址优化及新能源消纳协同管控研究

张亚光

苏晋能源控股有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22208

[摘要] 随着特高压输电规模扩大,配套热电基地选址直接影响电网经济性、安全性及新能源消纳成效。鉴于我国能源资源与负荷中心逆向分布,需综合考虑资源禀赋、环保约束、电网接入和调峰需求等多重限制因素。本文提出分层次、分阶段的选址方法,并引入时空维度的综合成本作为评价指标。针对风电等新能源出力的随机性与热电联产运行刚性的矛盾,设计灵活调节策略,包括备用电源调度、跨区域电力互济及分时段生产计划优化。研究表明,将选址优化与新能源消纳协同统筹,可显著提升外送通道利用率和可再生能源占比,在大规模新能源外送背景下对电源布局具有重要指导意义。

[关键词] 特高压输电; 热电基地; 选址优化; 新能源消纳; 协同管控

中图分类号: TM72 文献标识码: A

Optimization of Site Selection for Supporting Combined Heat and Power Bases for Ultra-High-Voltage Power Transmission and Coordinated Management of Renewable Energy Integration

Yaguang Zhang

Sujin Energy Holdings Co., Ltd.

[Abstract] With the expansion of ultra-high-voltage (UHV) power transmission, the site selection of supporting combined heat and power bases directly affects grid economic efficiency, safety, and renewable energy integration. Given the inverse distribution of energy resources and load centers in China, multiple constraints, including resource endowment, environmental protection requirements, grid connection conditions, and peak regulation needs, must be considered comprehensively. This paper proposes a hierarchical and phased site selection methodology and introduces comprehensive costs incorporating spatial and temporal dimensions as an evaluation indicator. In response to the conflict between the intermittency of renewable energy generation, such as wind power, and the operational rigidity of combined heat and power generation, flexible regulation strategies are designed, including reserve power dispatch, cross-regional electricity balancing, and optimization of time-segmented production plans. The results show that the coordinated integration of site selection optimization and renewable energy accommodation can significantly improve the utilization rate of transmission corridors and the proportion of renewable energy, providing important guidance for power source planning under large-scale renewable energy transmission.

[Key words] ultra-high-voltage power transmission; combined heat and power bases; site selection optimization; renewable energy accommodation; coordinated management

引言

伴随着我国“西电东送”战略不断推进,特高压交直流混联电网成为连接各个地域间主要电力输送枢纽,在2025年前,已建成并投入运行的特高压线路累计输送电量达数十万亿千瓦时以上,而这些特高压配套电厂主要是火电厂或者热电厂,起到保障供电基础性和辅助调频作用。但是由于煤田分布情况、水源供应状况、生态环境承受能力和电网节点配置等众多原因影响,

在选择配套热电厂位置时更多依靠经验和单一目标求解方法,不能及时适应新能源消纳变化要求。近年来,风电、光伏发电装机规模快速增加,部分区域甚至出现了较大范围弃风弃光现象,说明外送线路与所配电厂之间存在较大不平衡。因此如何使选址优化由原来的单纯技术经济评价发展到一种考虑各方面关系综合决策方式是摆在当前电力行业面前一个重要课题。

1 特高压外送配套热电基地选址的多维约束体系

1.1 资源地理与基础设施约束

热电基地位置选择主要基于一、二次能源可获取性。煤炭产地远近影响燃料运输费用, 缺水地区需要增加额外空冷或者海水淡化等非传统冷却方式, 大大增加投资。同时已有的铁路专用线、供水管道以及高压走廊等现状决定了选址可选范围。特高压换流站或者变电站一般位于送端节点处, 基地到其间的线路长度及其所占走廊宽度决定电气距离及线损率。这些条件综合起来形成选址地理可行区, 如果某个备选方案不在这个区域内, 不论其经济效益还是环境效益都不可行。

1.2 环境容量与排放控制约束

基于碳达峰碳中和目标要求, 热电基地污染物及二氧化碳排放成为否决性因素, 在不同地方排放总量控制标准、大气扩散能力和生态环境敏感区域分布影响下形成不同的环境准入门槛。特别是在京津冀及周边、长三角等大气污染防治重点区域, 新建燃煤热电项目受到严格管控, 选址需转向环境容量较大的西北部或东北部等地区^[1]。但是这些地方一般远离负荷中心, 外送距离拉长导致输电损失加大并且带来稳定性的考验。因此, 环境容量不是单一的空间排斥, 而是需要考虑输电经济效益的一种多目标博弈过程。

1.3 电网结构与动态支撑约束

特高压外送通道一般连接大型能源基地到远距离负荷中心, 与其相配套的热电厂在电网中除了满足基本用电需求以外还需提供一定惯量支持及一次调频的能力, 在此位置短路容量大小、电压支持水平以及多馈入相互影响系数都会对机组接入后暂态稳定性产生影响。如果基地所在位置电网较为薄弱, 则需要配置较多同步调相机或者STATCOM等动态无功补偿设备, 从而增大工程成本。另外由于外送通道上新能源比例提升, 热电机组需要进行大量深度调峰操作, 这对其调峰速度以及最小技术出力等要求都较高, 而这又与所选汽轮机类型和冷却方式有关, 又受到该地区气温和海拔的影响。因此, 电网动态支撑条件使得选址问题不再是一个简单的静态问题而是具有时间维度的问题。

1.4 新能源消纳的空间匹配约束

新能源资源富集地区以及特高压通道起始点一般重合度较高, 但是由于风、光伏发电具有随机性和反调峰特性, 所以配置热电厂的位置需要考虑到与当地新能源之间的时间上的协调性问题。例如, 在同一区域内风电和光伏发电量中午时段较大而晚上较小, 如果热电厂也集中在这个区域内的一个电力枢纽处, 则会出现大量的弃风弃光现象; 而如果将热电厂适当分布在通道沿线的不同位置并且有储能或者电热负荷的存在, 则可以在时间和空间上平缓整个系统的净负荷的变化。因此, 选址不仅仅是为了确定热电厂的位置, 更重要的是确定了整个外送系统对于新能源波动的容忍程度。而这也意味着选址需要考虑新能源出力的历史数据及其预测误差的概率分布作为选择不同方案的重要依据。

2 选址优化的分层递阶模型与评价指标

2.1 分层递阶优化架构

在以上诸多限制条件下, 一个优化模型很难同时考虑地理位置分散性、时间动态性和多目标之间的矛盾。本文采用分层递阶的方法: 第一层是可行域筛选层, 在地理信息系统(GIS)以及环保红线的基础上, 排除不符合资源、环保及国土要求的备选区域, 得到一系列备选点; 第二层是技术经济对比层, 对于每一个备选点, 以一天或者一周为单位进行发电仿真, 计算出燃料成本、投资折旧、线损折现、排放费用以及辅助服务成本等总成本; 第三层是消纳协调检验层, 在一年的时间内对所有的备选方案都进行生产仿真, 得到它们造成的新能源弃风率、通道利用率和碳排放强度, 从而对其进行排序^[2]。这三层之间有相互反馈的过程, 在第三层如果发现某个方案消纳问题很大, 则返回到第二层改变电厂配置(比如增加储热罐或者电锅炉等), 重新计算, 直到满足要求为止。

2.2 时空综合成本评价指标

传统的选址评估是以度电成本(LCOE)为主, 但是这个指标不能体现外送通道的时间空间使用情况。而我们提出时空综合成本指数(STCI), 其计算方法是:

$$STCI = \frac{C_{fuel} + C_{inv} + C_{OM} + C_{env}}{E_{out} \times \eta_{time}} + \lambda \times R_{curtail}$$

其中, C_{fuel} 、 C_{inv} 、 C_{OM} 、 C_{env} 分别是燃料、投资、运维以及环境成本; E_{out} 是基地一年对外输送电量; η_{time} 是通道一年利用小时数归一化因子; $R_{curtail}$ 是配套新能源电站弃风弃光比例; λ 是弃风弃光惩罚因子。此指标将成本分配到有效外送电量上并且对于弃风弃光给予经济处罚, 使得选址更倾向于有利于提高通道利用率位置。此外还可以给 η_{time} 增加季节性权重来反映冬季夏季负荷差别以及风光出力反调峰特性所带来的变化。

2.3 多属性决策与灵敏度分析

备选方案综合评价应考虑经济性、环保性、安全性和消纳性四个方面, 在此基础上利用熵权法计算各个子指标客观权重以减少人为因素影响, 然后对权重进行灵敏度测试保证排序稳定可靠, 如果一个方案在大部分权重组合中仍然处于最优位置, 那么它就是稳健最优解; 反之如果排名变化较大说明各个方案之间差别不大, 这时候就需要结合未来碳价预期或者煤炭价格波动等外部信息进行实物期权分析。此方法不限定具体算例, 可用于所有特高压外送项目选址初步可行性研究。

3 新能源消纳协同管控的机制设计与运行策略

3.1 源-网-荷-储协同的消纳逻辑

热电基地与新能源场站共用外送通道情况下, 消纳能力取决于四个方面的协调配合情况: 源侧, 需要预测风光出力并制定热电启停策略; 网侧, 需要进行潮流分配以及断面限制; 荷侧, 需要发挥受端电网灵活性(如需求响应等); 储侧, 需要有电化学储能或者抽水蓄能来平衡短期功率偏差。而选取地点决定这些协调的基础。比如如果基地靠近新能源场站并且拥有储存热量设备, 就可以做到“热电解耦”, 即在供热期间也可以降低出力

到额定容量的30%以下,给风力发电让出空间。相反如果基地距离新能源场站较远但是离受端较近,那么消纳的压力主要落在受端侧的调峰能力上,而外送线路的利用效率较高,但是输电损失加大^[3]。所以协调必须结合选址来进行,而不是事后处理。

3.2 跨区电力交易与弃电市场化消纳

随着区域电力市场的逐渐成熟,在跨区中长期交易及现货市场中,可以利用这两个平台来消纳弃风弃光电量。配套热电联产项目的报价及发电计划对市场出清有重要影响,由于不同位置的边际发电成本不同,因此给各个基地带来不同的竞争优势。靠近煤矿地区的热电联产项目可变成成本低,在现货市场上一般会报低价争取取电额度,但是却挤占了新能源上网的空间;靠近用电大客户地区的热电联产项目输电损耗小,等效上网电价较高,但是燃料运输成本增加。协调控制方法可设置为,将弃电率预测纳入市场的申报优化问题求解中,在新能源大发时适当降低报价或者报负价让调度优先消纳新能源,而热电联产获取一定的补偿以弥补减少的电量。这种方式的价格信号引导方式比行政命令更加有效率。

3.3 时序生产模拟与滚动修正策略

协同管控落实要以时序生产模拟为主要手段,对全年的每个小时进行机组组合以及经济调度计算。对于不同的选址方案,在其中输入各自的热电爬坡率、最小启停时间和煤耗特性等信息,根据风光预测序列以及负荷曲线计算出一年中的弃电率、碳排放量以及总的运行费用等。这些计算结果用于比较各种选址方案优劣的同时也可以得出每个月份的调峰需求情况,在调峰困难时期(例如春天的大风季节)提前做好热电厂检修或者降低出力工作并争取邻近省份的支持,在夏天冬天负荷较高时则尽量提高出力满足外送需求^[4]。而滚动修正的时间间隔一般以一个月为宜,在此基础上利用最新的天气预报以及负荷预测来调整下个月的运行范围从而使得选址决策的长远利益与短期灵活性相平衡。

4 协同管控下的政策与市场机制衔接

4.1 容量补偿与辅助服务市场

热电基地在新能源高占比情况下频繁进行大幅度深调,其设备使用小时减少但是备用价值提升,在当前电力市场上难以体现其作用。应设置相应的容量补偿制度,根据位置处系统的可靠性贡献程度(可采用有效载荷能力进行衡量)给不同的热电厂提供差别化的补偿,以促进热电厂选择需要电网支撑较强的位置。此外,丰富调峰、调频、备用等辅助服务种类,把发电机组的调节能力(例如爬坡速度、调节准确度)作为有偿的服务内容予以收费,使其在选址上对于调节能力的投资可以得到应有的收益。

4.2 绿色电力消纳责任权重与考核

将外送通道中新能源消纳量计入受端省份可再生能源电力消纳责任比重考核,激发受端政府积极促进消纳意愿。在这种情况下,配套热电基地可以选择在受端省份签订较长时间内消纳协议,约定弃电率上限以及赔偿机制,这样选择地点时不仅是电源问题,也是跨区域利益分配问题。另外,绿证交易可以起到一定补充作用,热电基地可以通过购买绿证来抵消其碳排放带来的不利影响,但是要注意防止绿证价格影响到选址成本比较公平性。

4.3 规划滚动调整与信息共享机制

由于特高压工程一般需要5-8年的建设时间,而新能源装机增长速度远超出预期,因此选址要设置滚动调整窗口期,在每两年进行一次选址方案评价的基础上,根据最新资源价格、碳价、负荷增长以及电网规划情况,对未开工建设的备用场址进行重新排队;另外还要搭建跨部门(能源、国土、环保、水利)的信息共享平台,把选址所必需的地质、水文、气象、生态等资料及时更新,避免因信息不对称造成延误工作进度问题的发生。虽然这是一个制度性的问题,但是对于协同管控的顺利实施起到决定性作用。

5 结语

特高压外送配套热电基地选址需统筹技术、经济与新能源消纳动态,非孤立决策。文章构建四大约束体系,提出分层递阶优化架构与时空综合成本指数,将消纳能力嵌入选址核心;设计源-网-荷-储协同策略,建立双层规划模型,揭示选址与运行的双向反馈机制。研究强调:高效低碳运行依赖选址对新能源时空分布的预判及运行对调节边界的适应。当前电力体制与碳市场改革提供制度契机,但需防范市场波动风险。未来可探索极端天气下的韧性选址及氢能等长时储能对选址自由度的提升。

[参考文献]

- [1]张运洲,程路,蒋莉萍,等.中国特高压输电工程发展现状与展望[J].中国电力,2022,55(4):1-9.
- [2]王秀丽,李骏,陈启鑫.考虑新能源消纳的火电灵活性改造规划模型[J].电力系统自动化,2021,45(17):156-164.
- [3]刘振亚,李明节,郭强.特高压交直流电网安全稳定运行关键技术[J].电网技术,2023,47(1):1-12.
- [4]陈国平,董昱,梁志峰.能源转型背景下我国电力系统规划面临的挑战与对策[J].电力系统自动化,2020,44(11):1-8.

作者简介:

张亚光(1990--),汉族,山西长治人,中级工程师,研究方向:自动化、火电厂、项目规划、设备选型、技术改造。