



全球研究

海外电力新能源观察 1——如何理解电力系统对新能源的消纳能力？



陈显帆 分析员

SAC 执证编号: S0080521050004
SFC CE Ref: BRO897
xianfan.chen@cicc.com.cn



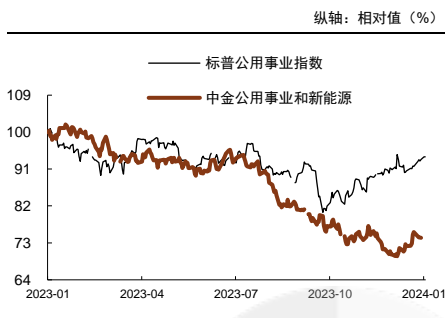
王琳 联系人

SAC 执证编号: S0080122080313
lin8.wang@cicc.com.cn



杨鑫, CFA 分析员

SAC 执证编号: S0080511080003
SFC CE Ref: APY553
xin.yang@cicc.com.cn



中金一级行业: 公用事业、工业

资料来源: Wind, 彭博资讯, 中金公司研究部

- 公用事业 | 风光公用环保2024年展望: 栉风沐光, 静待春来 (2023.11.09)
- 电力电气设备 | 新型电力系统2024年展望: 内外需求共振, 景气持续向上 (2023.12.26)

更多作者及其他信息请见文末披露页

观点聚焦

投资建议

我们在全球研究框架下推出海外电力新能源观察系列, 主要跟踪海外可再生能源、储能、锂电、电网等产业动态, 聚焦: 1) 影响行业发展的热点问题; 2) 行业技术进展及产能落地跟踪; 3) 板块行情观察。

首篇我们聚焦电力系统对新能源的消纳能力, 从灵活性、供需关系、运行稳定性三个维度理解消纳空间, 并通过分析欧洲、美国、中国市场关键影响因素的边际变化, 研判中短期新能源发展趋势及消纳空间。

我们认为, 新能源高比例渗透、消纳空间受限背景下, 电力系统灵活性和价值凸显, 同时新能源项目选址及运营专业性要求提升, 专业性强且兼具灵活性资产的电力新能源公司盈利能力将与同业拉开差距。

理由

电力系统消纳能力已成为影响新能源发展节奏的一大主线。

欧洲: 欧洲电源灵活性、电网运行稳定性基础较好, 时段性电力供过于求, 是其当前面临的主要消纳问题。以德国为代表的欧洲国家传统电源退出计划逐步明确, 为新能源市场提供了新增发展空间。在释放的空间中, 分布式收益端有一定保障且并网流程简单, 渗透消纳前景向好。

美国: 美国新能源消纳的主要瓶颈在于跨区输电能力不足, 电网堵塞导致新能源弃电。同时并网流程复杂, 当前并网周期长达 5 年。为加快新能源并网与广域消纳, 美国开始推进新能源及输电线路审批简化政策, 但部分政策仍在提案阶段, 优化进展需要进一步观察。

中国: 中国电力系统源荷储灵活性条件均在改善, 我们通过电力电量平衡测算 2024、25 年新能源年均可消纳规模 225GW 左右, 若允许 5%/10% 弃电, 可消纳量达 240/260GW 左右, 总量上仍可维持较高装机水平。但结构性消纳矛盾或将加重, 送端地区新能源装机规划与跨区输电线路、配套电源出现时序错配概率较大, 弃电水平或阶段性提升。

盈利预测与估值

建议关注: 新能源开发选址及运营能力强, 且兼具灵活性发电和电网业务的美国电力企业新纪元能源 Nextera Energy (未覆盖)、欧洲电力企业伊比德罗拉 Iberdrola (未覆盖); 同时关注需求可能迎来拐点的分布式光伏提供商 Sunrun (未覆盖)、Sunnova (未覆盖)。

风险

电力系统灵活性建设不及预期, 政策推进不及预期, 美国降息不及预期。

目录

如何理解电力系统对新能源的消纳空间	4
消纳空间分析框架	4
供需关系边界	5
灵活性边界	5
安全稳定运行边界	8
消纳饱和的症状	9
欧洲：传统电源退出释放消纳空间，短期内分布式渗透消纳前景更优	10
欧洲新能源渗透与消纳现状	10
灵活性：欧洲电源和跨区输电灵活性基础较好，消纳上限高	11
运行稳定性：运行稳定性技术要求高，高电价水平消化系统成本	12
供需关系：电力需求相对稳定，高渗透地区面临供过于求问题	13
欧洲新能源渗透消纳的边际变化及趋势展望	14
美国：电网灵活性不足，高渗透地区消纳问题突出	19
美国新能源渗透与消纳现状	19
灵活性：跨区互济能力欠缺，电网堵塞导致弃电	20
美国新能源渗透消纳的边际变化及趋势展望	21
中国：送端地区消纳矛盾阶段性加重，但整体消纳空间增量可维持较高新增装机水平	24
中国新能源渗透与消纳现状	24
供需关系：用电需求是新能源消纳的基本盘，若用电增速企稳则新能源消纳系统成本上升	25
灵活性：源网荷储灵活性均在改善，但送端地区电网时序错配或导致阶段性消纳能力不足	26
运行稳定性：高渗透地区开始触及稳定边界，分布式向消纳能力充足地区扩散发展	29
投资建议	32
风险提示	33

图表

图表 1：电力系统对新能源消纳能力分析框架	4
图表 2：电力供需平衡及灵活性需求示意图	6
图表 3：净负荷曲线与新能源消纳空间示意图	6
图表 4：风电、光伏典型出力概率密度	7
图表 5：源网荷储灵活性边际变化对新能源消纳空间及装机容量的影响示意	8
图表 6：分布式新能源接入后造成电网功率反送、过载、电压越限等稳定性问题	9
图表 7：典型国家/地区弃电率与新能源渗透率的关系	9
图表 8：典型国家/地区负电价频次与新能源渗透率的关系	9
图表 9：全球新能源渗透率横向比较及欧洲主要国家风电、光伏渗透率	10
图表 10：欧洲主要国家集中式、分布式（户用、工商业）光伏累计装机容量	11
图表 11：欧洲主要国家电源灵活性水平	11
图表 12：欧洲国家间跨国输电联络情况及 ENTSO-E 对未来跨国容量需求的测算	12
图表 13：德国分布式光伏并网的升级改造措施	12
图表 14：德国调峰弃电量	13

图表 15: 德国居民电价结构.....	13
图表 16: 2023 年欧洲主要电网区域负电价出现频次及主要原因.....	14
图表 17: 德、法、西班牙负电价频次与新能源渗透率.....	14
图表 18: 德国电价与新能源渗透率的关系.....	14
图表 19: 欧洲中长期电力转型规划.....	15
图表 20: 德国退煤计划时间表.....	15
图表 21: 德国月度发电结构及电力进出口情况.....	15
图表 22: 德国提高分布式光伏上网电价, 鼓励全额上网模式.....	16
图表 23: 光伏参与电力市场交易平均电价较基荷电价溢价/折价情况.....	16
图表 24: 欧洲分布式光伏电价机制.....	17
图表 25: 欧洲主要国家并网限制因素、排队情况及并网流程示意.....	18
图表 26: 美国各州新能源渗透率.....	19
图表 27: 美国主要区域电网集中式、分布式(户用、工商业)光伏累计装机容量.....	19
图表 28: 美国新能源并网流程及排队容量区域分布.....	20
图表 29: 美国加州新能源弃电量及主要原因.....	21
图表 30: 美国户用光伏资本性支出及结构分析.....	22
图表 31: 加州分布式光伏渗透历史.....	22
图表 32: 加州分布式光伏电价机制收紧.....	23
图表 33: 美国户用光伏分地区发展潜力.....	23
图表 34: 中国各省新能源渗透率.....	24
图表 35: 中国新增发电量结构及新能源占新增发电量的比重, 2016-2022.....	25
图表 36: 中国集中式、分布式光伏累计装机量及主要省份分布式装机情况.....	25
图表 37: 中国新增发电量及新能源占新增发电量的比重, 2023E-2025E.....	26
图表 38: 电源侧灵活性及常规机组最小技术出力边际变化测算(GW).....	27
图表 39: 存量跨区输电通道挖潜空间及新增输电容量展望.....	27
图表 40: 电网、负荷侧灵活性及午间负荷边际变化测算(GW).....	28
图表 41: 消纳空间边际变化测算(GW).....	29
图表 42: 美国加州及山东典型户用光伏系统发电量及用电量对比.....	30
图表 43: 中国典型省份分布式光伏低压接入率.....	30
图表 44: 部分省份户用已开发容量及低压端消纳空间估算.....	30
图表 45: 中国各省渗透率及峰谷差率.....	31
图表 46: 可比公司估值表.....	32

如何理解电力系统对新能源的消纳空间

近期，新能源快速渗透的几个主要国家/地区均开始面临电力系统对新能源消纳能力不足的问题，如欧美缺少输电容量导致新能源并网排队¹，频繁出现负电价²；美国部分渗透率较高地区午间新能源供过于求问题突出，出现净负荷“鸭子曲线”及大规模弃电³；国内部分地区因配网运行稳定性问题提示分布式光伏承载能力不足⁴等。

如何理解电力系统消纳能力，消纳能力不足是否会影响新能源未来增速？欧洲、美国、中国等新能源快速发展地区消纳基础和未来几年渗透消纳前景如何？本篇中，我们从灵活性、供需关系、运行稳定性三个维度理解电力系统消纳能力，并通过分析欧洲、美国、中国市场关键影响因素的边际变化研判新能源发展趋势及消纳空间。

消纳空间分析框架

电力系统对新能源的消纳能力存在供需关系、灵活性、安全稳定运行要求三重限制边界。

图表 1：电力系统对新能源消纳能力分析框架



资料来源：中金公司研究部

¹ 劳伦斯伯克利实验室 (LBNL), [Queued Up: Characteristics of Power Plants Seeking Transmission Interconnection](#), 2023

² 国际能源署 (IEA), [Renewable Energy Market Update](#), 2023

³ 美国能源信息署 (EIA), [As solar capacity grows duck curves are getting deeper in California](#), 2023

⁴ 国家能源局, [开展分布式光伏接入电网承载力及提升措施评估试点工作通知](#), 2023

供需关系是决定消纳能力的底线。用电需求增量一定程度上决定了电力系统需要新增新能源供给的体量。虽然可以通过降低常规机组出力让出新能源供给空间，但由此带来的系统成本也存在一定疏导瓶颈；

灵活性不足可能导致系统消纳新能源容量的能力更低。为了实现负荷低谷时段的电力平衡，系统需要足够的灵活性实现上下调节，但灵活性能力存在边界，这决定了一定电网范围内新能源消纳存在限制。很多情况下，就算电量供需能够平衡，但灵活性不足可能导致消纳能力更低；

消纳空间还受到电网运行稳定性要求限制。大规模新能源接入还可能导致系统转动惯量不足，电压、频率稳定性降低，或反向送电带来线路设备过载等。这些问题的严重程度与接入规模、接入位置、电网网架结构及设备基础等因素相关，是更加复杂的运行层面问题。若电网结构和设备基础强，运行稳定性问题不会成为比供需关系和灵活性更苛刻的限制因素，但若电网结构和设备基础较弱，稳定性问题可能成为消纳的第一个瓶颈。

供需关系边界

从电量平衡视角出发，在常规机组装机容量不增不减的情况下，每年用电增量是新能源发电增量的天花板，若不大规模弃电，新增新能源装机体量也随之大致确定。实际情况下，用电增量无法全部由新能源发电提供，随着用电量增加、最大负荷水平提升，需要增加更多支撑电源（常规电源）容量保证系统充裕性，常规电源发电增量即可满足部分用电增量，因此仅部分用电增量由新能源发电增量满足。若支撑性电源备而不用，仅在高峰时段提供短时支撑，那么将大幅推高系统成本，使得消纳代价过高。

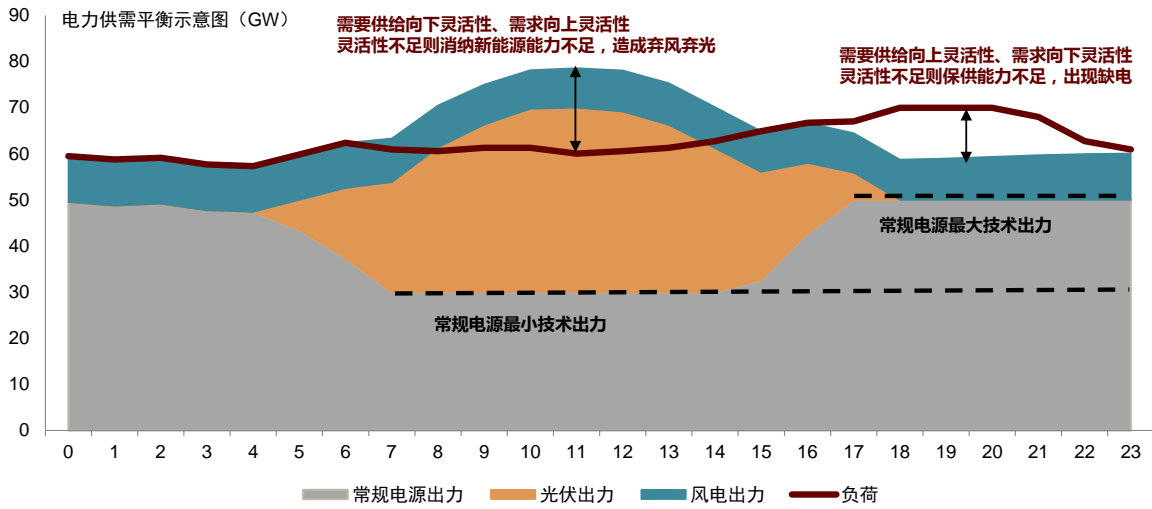
灵活性边界

从电力平衡视角出发，灵活性是电源、电网、负荷、储能等主体协同配合维持电力平衡的能力。为了实现负荷高峰时段电力平衡，系统需要供给侧提供向上的灵活性和需求侧提供向下的灵活性，负荷峰段灵活性主要决定系统充裕性和保供能力；而为了实现负荷低谷时段的电力平衡，系统需要供给侧提供向下灵活性和需求侧提供向上灵活性，负荷谷段灵活性水平决定系统对新能源的消纳能力（图表 2）。

净负荷曲线与消纳空间的关系：业内一般通过净负荷曲线（负荷-新能源出力）观察消纳空间，净负荷曲线最低点与常规电源最小技术出力的差值决定剩余消纳空间。光伏出力在午间出力达到峰值，故光伏渗透率较高地区净负荷低点在午间前后，午间时段的供需情况决定消纳能力。不同区域和时段的风电出力特性差异更大，但多数地区风电出力在夜间达到峰值，夜间时段供需情况决定其消纳能力（图表 3）。

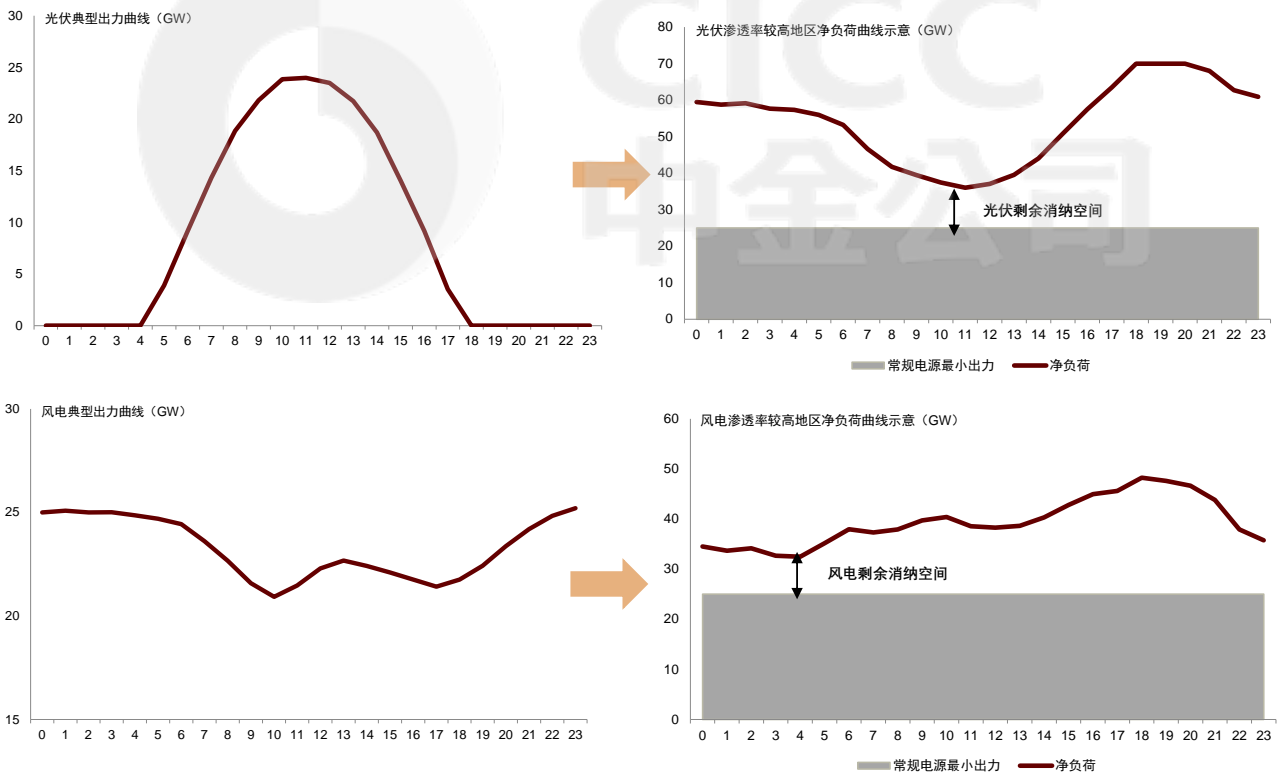
新能源消纳空间与装机容量的关系：从概率分布来看，风电、光伏出力多数时间远小于其装机容量，典型地区风电 80%时间段出力小于其装机容量的 0.5 倍，光伏 80%时间段出力小于其装机容量的 0.6 倍（图表 4）。因此，一定的消纳空间下可允许更多装机容量接入系统，光伏允许装机容量一般可按消纳空间/0.6 考虑，风电允许装机容量一般可按消纳空间/0.5 考虑。

图表 2：电力供需平衡及灵活性需求示意图



注：横轴为日内时刻
资料来源：中金公司研究部

图表 3：净负荷曲线与新能源消纳空间示意图



注：光伏、风电典型出力曲线参考《新能源消纳关键因素分析及解决措施研究》等文献，横轴为日内时刻；图中示意仅有光伏或风电出力的净负荷曲线，净负荷=负荷-光伏或风电出力；实际情况下，午间风电、光伏共同出力，净负荷=负荷-光伏出力-风电出力，风电及光伏共享净负荷与常规机组最小技术出力间的剩余消纳空间。
资料来源：《新能源消纳关键因素分析及解决措施研究》(舒印彪等, 2017), 《考虑“源网荷”三方利益的主动配电网协调规划》(李逐云等, 2017), 中金公司研究部

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/998065134073006025>