

2020—2024 年风光装机增长与抽水蓄能容量匹配关系

陈 盼

湖北浩川水利水电工程有限公司，湖北 武汉 430071

[摘要] 为了分析风光装机快速增长背景下抽水蓄能的发展节奏，根据国家能源局等有关部门发布的2020—2024年全国风电、太阳能发电和抽水蓄能装机数据，建立存量匹配率、增量匹配率和容量增长弹性指标。结果表明：风光合计装机由534GW增至1408GW，增长163.7%；抽水蓄能由31.49GW增至58.69GW，增长86.4%。抽水蓄能和风光装机的存量比例由原来的5.90%下降到现在的4.17%，减少了1.73个百分点；容量增长弹性为0.642，说明抽蓄装机的增长速度低于风光扩张的速度。2024年抽蓄容量达到2025年规划目标62GW的94.7%，总量建设接近阶段目标，但是容量比值下降并不等于系统灵活性必然不足。抽蓄评价要同调节时长，转换效率，电网结构，市场机制以及电化学储能，需求响应等替代资源结合起来。研究认为应根据分区净负荷和极端情况来确定长时储能的配置，用容量、电能量和辅助服务多方面收益来提高抽蓄的利用率。

[关键词] 抽水蓄能；风电；光伏发电；容量匹配；新型电力系统；灵活性资源

DOI：10.64635/ja.2026.1485 中图分类号：TV743 文献标识码：A

Matching Relationship Between Wind and Solar Installed Capacity Growth and Pumped Storage Capacity from 2020 to 2024

Chen Pan

Hubei Haochuan Water Conservancy and Hydropower Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430071, China

Abstract: To analyze the development pace of pumped storage under the background of rapid growth in wind and solar installed capacity, this study establishes indicators including stock matching rate, incremental matching rate, and capacity growth elasticity based on national installed capacity data for wind power, solar power, and pumped storage from 2020 to 2024 released by the National Energy Administration and other relevant departments. The results show that the total installed capacity of wind and solar power increased from 534 GW to 1,408 GW, representing a growth rate of 163.7%, while pumped storage capacity increased from 31.49 GW to 58.69 GW, representing a growth rate of 86.4%. The stock ratio of pumped storage capacity to wind and solar installed capacity decreased from 5.90% to 4.17%, a decline of 1.73 percentage points. The capacity growth elasticity was 0.642, indicating that the growth rate of pumped storage installed capacity was lower than that of wind and solar expansion. In 2024, pumped storage capacity reached 94.7% of the 2025 planning target of 62 GW, showing that total capacity construction was close to the phased target. However, a decline in the capacity ratio does not necessarily mean insufficient system flexibility. The evaluation of pumped storage should be integrated with regulation duration, conversion efficiency, power grid structure, market mechanisms, electrochemical energy storage, demand response, and other alternative resources. The study suggests that the configuration of long-duration energy storage should be determined according to regional net load and extreme conditions, and that the utilization rate of pumped storage should be improved through multiple benefits from capacity, electric energy, and ancillary services.

Keywords: pumped storage; wind power; photovoltaic power generation; capacity matching; new power system; flexible resources

引言

风电、光伏发电已经成为我国新增电源装机的主体，其低边际成本、低碳属性推动能源转型，但是出力受天气影响大，具有随机性、波动性、季节性。由于风光渗透率的提高，使得系统净负荷出现午间低谷、晚间陡坡、连续阴雨或者低风等长时缺口的情况

也会发生。抽水蓄能具有大容量、长寿命、快速启停、旋转备用等特点，属于新型电力系统重要的灵活性资源。国家能源局发布的《抽水蓄能中长期发展规划（2021—2035 年）》提出到 2025 年建成投运容量达到 62GW 以上、2030 年达到 120GW 左右的规模^[1]，已经形成了一个比较清晰的发展规划。

现有的研究主要是对抽蓄的规划布局、运行机制、成本分摊、可变速机组、可再生能源的应用等进行研究^[1-5]。但是从宏观角度来说，抽蓄是否和风光发展相匹配常常被简化为某一年的装机比例，而忽略了建设周期的不同以及其它灵活性资源。抽蓄项目从规划、核准到建设投产需要一定时间，比风光项目建设周期要短很多，二者之间存在着时间上的滞后性。本文用连续五年的公开数据来计算存量和增量匹配率，并且引入了容量增长弹性，目的是找出发展节奏以及工程含义，而不是提出一个统一的强制配比。

1 数据来源与指标构建

风电、太阳能发电和抽水蓄能装机数据来源于国家能源局年度统计以及国务院国资委转引的行业报告^[1]。为了统一量纲，全部换算成 GW。2021 年部分新闻稿把抽蓄规模四舍五入成 36GW，本文用国家能源局后来公布的 34.79GW 准确值^[1]；2024 年太阳能装机按公开总量约 887GW 计算。不同来源交叉核验时，以给出年末累计装机和单位的部门资料为准。

定义存量匹配率 $R_t = P_t / (W_t + S_t) \times 100\%$ ，其中 P、W、S 分别为抽蓄、风电和太阳能装机；定义增量匹配率 $I_t = (P_t - P_{t-1}) / [(W_t + S_t) - (W_{t-1} + S_{t-1})] \times 100\%$ ，反映新增 1GW 风光同期对应的新增抽蓄；定义容量增长弹性 $E = \ln(P_{2024}/P_{2020}) / \ln[(W_{2024} + S_{2024}) / (W_{2020} + S_{2020})]$ 。当 E 小于 1 时，抽蓄相对风光的增长速度较慢。上述指标只刻画容量数量关系，不包含利用小时、调节时长和地理位置。

这三点限制使用的时候要注意。存量配比不是可靠的容量比，风光的容量可信度随区域、时段而变化；抽蓄额定功率不等于可持续能量，实际调节能力受上

库库容、水头、效率、初始水位的影响；系统灵活性还有煤电灵活性改造、水电、燃气、电化学储能、跨区输电、需求响应、虚拟电厂等。因此，配比下降只能说明需要进行分区生产模拟，不能直接判断出灵活性存在缺口。

2 装机规模与增长节奏

2020—2024 年，风电装机由 281GW 增至 521GW，太阳能发电由 253GW 增至 887GW，风光合计由 534GW 增至 1408GW，累计增长 163.7%，复合年均增速为 27.4%。同期抽水蓄能由 31.49GW 增至 58.69GW，累计增长 86.4%，复合年均增速为 16.8%。两类容量都快速增长，但风光基数更大且加速度更强。

抽蓄增量不是均匀释放的。2021—2024 年新增抽蓄分别为 3.30、11.00、5.15 和 7.75GW；新增风光分别约 100、124、292.83 和 357.17GW，对应增量匹配率分别为 3.30%、8.87%、1.76% 和 2.17%。2022 年抽蓄集中投产使得增量匹配率短期上升，之后风光装机大幅增加导致比值下降。该波动体现的是大型抽蓄项目离散式投产的特点，不能用单年的比例来判定建设进度是否合理。

截至 2024 年，58.69GW 相当于 2025 年 62GW 规划目标下限的 94.7%，阶段性总量接近目标^[1]。但是接近全国规划目标并不意味着所有的区域都有足够的调节能力。抽蓄资源和风光基地在空间上可能存在差异，跨区通道的限制会造成调节价值的降低，部分电站还要承担调频、备用以及事故支援的任务，因此它们所具有的日内能量搬移能力比额定值低。总量评价要下沉到电网分区和典型运行场景。

表 1 2020—2024 年风光与抽水蓄能装机及匹配指标

年份	风电 /GW	太阳能 /GW	风光合计 /GW	抽蓄 /GW	存量匹配率 /%	增量匹配率 /%
2020	281.00	253.00	534.00	31.49	5.90	—
2021	328.00	306.00	634.00	34.79	5.49	3.30
2022	365.00	393.00	758.00	45.79	6.04	8.87
2023	441.34	609.49	1050.83	50.94	4.85	1.76
2024	521.00	887.00	1408.00	58.69	4.17	2.17

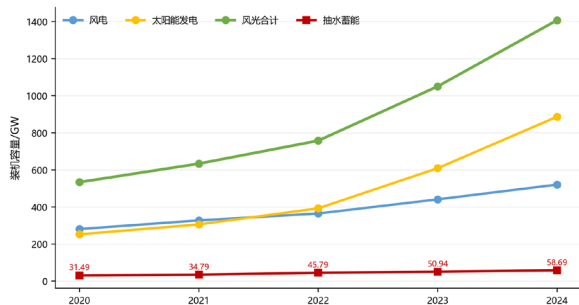


图1 2020—2024年风光与抽水蓄能装机演变

3 容量匹配度变化

存量匹配率由2020年的5.90%降至2021年的5.49%，2022年因抽蓄集中投产回升至6.04%，随后降至2023年的4.85%和2024年的4.17%。五年间降低1.73个百分点，降幅为29.3%。其根本原因就是风光合计装机的扩张速度大于抽蓄；计算得到的容量增长弹性 $E=0.642<1$ ，与该判断一致。

增量匹配率比存量比值更能体现投产速度。2022年为8.87%，这并不表示2022年新建的风光都与同期的抽蓄配套，而是指一些以前核准的抽蓄项目在该年集中投产。2023—2024年风光年增量分别为293GW、357GW，远大于抽蓄年增量，所以增量比值为2%左右。规划评估要按照项目全生命周期来与核准、投产年份相对应，不能用同年增量来误判直接配套关系。

从电力平衡的角度来看，功率配比和能量配比要分别进行校核。抽蓄额定功率决定瞬时削峰、爬坡能力，用库容、水头决定持续时间；风光装机不能直接转化为需储能电量。应先求出分区逐小时净负荷，然后找出最大上爬坡、午间富余电量、连续缺口时长，最后安排抽蓄功率和库容。本文的比值适合于宏观预警，不能代替生产模拟。

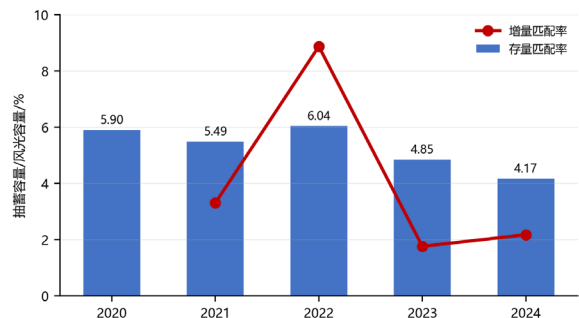


图2 抽水蓄能与风光容量匹配率

4 配比下降的工程含义

存量配比下降只说明每单位风光装机所对应的抽蓄功率降低，不一定导致弃电率上升。若跨区输电加

强、电化学储能迅猛增长、煤电调节深入或者负荷侧反应变大，那么系统依然可以依靠多种资源来吸收波动。反之，即使抽蓄配比较高，如果电站和风光基地之间存在阻塞、上库水量不足或者市场调用机制不完善，也很难在关键时段发挥作用。因此容量配比要同净负荷陡坡、连续低风低光时长和断面潮流约束一起考虑。

规划和运行评价要落实到抽蓄的可调用能力上。可调用能力包含可用机组容量、可持续发电小时数、往返效率、启停时间、爬坡速度、上下库可用库容。可变速抽蓄在抽水工况下可以调节功率，提高对风光波动的跟踪能力，但是设备投资和控制复杂度也会随之增加^[4]。对于午间光伏富余、晚高峰缺口大的地区来说，4—8h的能量搬移是主要需求；对于连续多日低风光事件来说，需要和常规水电、火电备用、跨区互济、更长时储能相结合。

5 市场机制与运行建议

本文的不足之处在于只使用了全国年度装机数据，没有包含电量、区域分布、储能时长和运行成本；2024年部分数据为部门发布的年度汇总值，存在四舍五入。因此结论只适合于宏观节奏的诊断，不能直接支持具体的项目核准。具体的电站还要做水能资源、地质条件、生态影响、电网接入、经济性等论证工作。

6 结语

(1) 2020—2024年我国风光合计装机增长163.7%，抽水蓄能增长86.4%，两者都快速扩张，但是抽蓄的相对增速较低，容量增长弹性为0.645。

(2) 抽蓄和风光存量匹配率由原来的5.90%降低到现在的4.17%，降低了1.73个百分点；年度增量匹配率受大型项目离散投产的影响而波动。该比值属于诊断指标，并不是规划的标准，也不能单凭它来证明灵活性的缺乏。

(3) 2024年抽蓄装机已达到2025年62GW目标下限的94.7%。后续重点应该从全国总量转向分区可调用能力、长时能量需求和市场利用效率，与电化学储能、输电、需求响应进行全寿命协同规划。

[参考文献]

- [1] 国家能源局.《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035年)》印发实施[EB/OL].(2021-09-09)[2026-08-02].
- [2] ZENG M, ZHANG K, LIU D. Overall review of pumped-hydro energy storage in China: status quo, operation mechanism and policy barriers[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013,

- 17: 35-43. DOI:10.1016/j.rser.2012.05.024.
- [3] KONG Y, KONG Z, LIU Z, et al. Pumped storage power stations in China: the past, the present, and the future[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 71: 720-731. [4] LIU F, CHE Y Y, TIAN X, et al. Cost sharing mechanisms of pumped storage stations in the new-type power system: review and prospect[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2023, 57(7): 757-768. [5] DAS P, DAS B K, MUSTAFI N N, et al. A review on pump-hydro storage for renewable and hybrid energy systems applications[J]. Energy Storage, 2021, 3: e223. DOI:10.1002/est2.223.
- 作者简介: 陈盼(1994.06—), 男, 汉族, 湖北宜昌人, 助理级工程师, 工程测量专业大专学历, 研究方向为水利工程。工作单位: 湖北浩川水利水电工程有限公司, 单位邮编 430071; 通讯地址: 湖北省宜昌市夷陵区陈家冲村二组, 邮编 443000。