

江西电网灵活调节能力规划研究

张帆¹,曹林锋²,杨超²,熊俊杰³,吴展飞²

(1.国网江西省电力有限公司,江西 南昌 330077;2.国网江西省电力有限公司经济技术研究院,江西 南昌 330096;
3.国网江西省电力有限公司电力科学研究院,江西 南昌 330096)

摘要:“十四五”以来,江西出现新能源大规模并网的情况,导致电网消纳压力增加,江西电网调节能力建设亟需加强。针对这一形势,文中通过梳理江西现有的电源装机规模和可调节负荷,明确江西省电网调节能力现状,研判江西省电网调节能力发展问题和发展潜力,在满足新能源利用率的基础上,测算江西电网“十五五”逐年调节能力需求,提出发挥现有灵活性调节资源调节能力、加快独立储能建设、充分利用特高压交直流输电能力、合理挖掘需求侧响应潜力等多项对策,提升电网调节能力,推动江西新能源高质量发展。

关键词:新型电力系统;新能源;调节能力;独立储能;需求侧响应

中图分类号:TM 73 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)05-0036-05

0 引言

“十四五”以来,新型电力系统加快构建,从出力特性来看,新能源发电具有随机性、间歇性、波动性的特征,其大规模并网将导致电力系统供需平衡和安全稳定运行压力增加,对电力系统运行灵活性提出更高要求^[1-2]。2024年底,国家发改委、国家能源局印发了《电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027年)》的通知,强调以新能源合理消纳利用为导向,科学确定调节能力需求。

截至2024年底,江西省新能源(风、光、生物质)装机达到3 344.1万kW,超过火电成为省内最大电源。截至2025年5月底,江西省新能源装机为3 581.3万kW,占总装机比例为49%,新能源开发强度(新能源装机容量占最大用电负荷比例)达到97%,均位居华东及华中地区前列,但仍存在调节能力滞后于新能源发展、调节资源布局与新能源错位等情况,不同类型调节资源的规模布局也缺乏统筹布局。

有鉴于此,为科学有序提高江西电网调节能力,文中从江西电网实际情况出发,分析现有江西电网调节能力,测算“十五五”逐年调节能力需求,提出发挥现有灵活性调节资源调节能力、加快独立储能建设、

充分利用特高压交直流输电能力、合理挖掘需求侧响应潜力等多项对策。

1 江西调节能力现状及展望

1.1 江西调节能力现状

电力系统调节能力是指电力系统能够可靠且经济有效地应对供需平衡动态变化,确保电力系统瞬时稳定及供电安全的能力^[3]。电力系统调节能力可分为短期(秒级至分钟级)、中期(小时级)及长期(天级及以上)等时间尺度调节能力。文中主要研究中中期电力系统调节能力,主要应用场景为电力系统调峰^[4]。电力系统调节能力包括电源侧、电网侧、储能侧以及负荷侧各环节调节能力^[5-6]。

电源侧是电网最传统、最基本的调节资源,主要包括煤电、气电以及水电等各类型电源。通过改造煤电爬坡速率和启停时间可提升煤电机组灵活性^[7]。截至2024年底,江西省在运煤电机组均完成灵活性改造,已累计完成39台煤电机组灵活性改造认证及试运行,累计改造容量2 660万kW,煤电平均最小技术出力水平由40%降至31%左右,提升煤电调节能力233万kW,全省具备启停调峰能力的煤电机组共42台。

截至2024年底,江西燃气机组共3台,总装机容量

收稿日期:2025-07-01
作者简介:张帆(1967),男,本科,高级工程师,主要从事电网规划方面工作。

量14万kW,均具备快速停机调峰能力,调节幅度达100%。目前,江西已将燃气机组纳入省调统一调度,采用日前计划方式,安排开机顶峰或停机调峰。

截至2024年底,江西统调水电机组共70台,总装机容量224.27万kW,其中日调节水电装机64.5万kW,占比28.8%;周及以上调节性能水电装机159.77万kW,占比71.2%;常规水电基本已开发殆尽。

负荷侧是通过可调节负荷参与需求响应,以提高电网调节能力。截至2024年,省内可调节负荷资源池规模(需求响应)199.6万kW,占最大负荷的5.43%;精细化接入负荷(可控制负荷)204.56万kW,占比5.56%。其中,需求响应资源均为日级负荷资源;可控制负荷资源中,分钟级负荷1.52万kW、日级203万kW。

储能侧是调节性能优越的调节资源,包括抽水蓄能和新型储能。截至2024年底,江西在运抽蓄电站1座,为洪屏抽蓄,容量120万kW。洪屏采取每日“一发一抽”、部分时段“两发两抽”运行方式以应对新能源出力波动和高峰时段的电力顶峰。2024年,年抽水利用小时数超过1700h,年发电利用小时数超过1400h。

截至2024年底,全省新型储能电站71座,大多为配建储能,无在运独立储能电站,且以电化学储能为主。新型储能总装机106.8万kW/160.2万kWh,平均时长1.5h。目前储能为计划调度模式,暂未参与市场,储能调用采用日前计划,每日“一充一放”、特殊时段“两充两放”的方式进行调度,结合顶峰及新能源消纳情况按需调用,电化学储能电站最大充电可用率达93%。

1.2 调节能力存在的问题

1) 保供与消纳问题并存

江西省已连续多年电力供应紧张,支撑性煤电建设投产滞后,托底保障能力下降;雅湖直流配套电源建设滞后,度冬期间送电能力有限;新型储能等灵活性电源建设起步晚,系统调节性资源占比较低。新能源占比高,形成“又多又少”的供需新常态,极易形成“午间富电、晚峰缺电”现象,加剧大电网午间保消纳和晚峰保供矛盾。

2) 系统调节能力不足

省内仅有一座抽水蓄能电站,火电机组已基本完成灵活性改造。大电网调节能力被“吃干榨尽”仍存在调峰缺口。江西省新能源配储起步较晚,大量新能源未配置储能,且新能源配建储能难以获得合理收益。截至5月底,全省新型储能装机容量189万kWh,占

新能源装机比例5%,仅为国家电网公司经营区内平均水平(13%)的38%左右。

3) 新能源利用率呈下降趋势

2024年,全省新能源利用率为99.16%,为华中四省最高,比2023年下降0.78个百分点。今年以来,江西全省新能源应急调度53天,较去年同期增加20天,弃电量同比增长108.2%,超过2024年全年弃电总量,今年新能源利用率已下降至97.82%。预计到2028年新能源利用率降至90%以下。

4) 跨区直流反调峰加重省内新能源消纳矛盾

根据目前雅湖直流日运行曲线,午间的反调峰概率超过50%,增加了电网调峰难度,尤其春季反调峰特性显著。另外,腾格里—江西直流预计于2027年度冬前投产,其逐月典型日运行曲线见图1。根据其送端电源特性,直流日阶梯曲线呈现白天和前半夜出力系数高,后半夜出力系数低特点,白天江西光伏出力高,跨区直流的受入高峰期也在白天,将出现“反调峰”现象,增加省内调峰需求,降低受端新能源利用率。

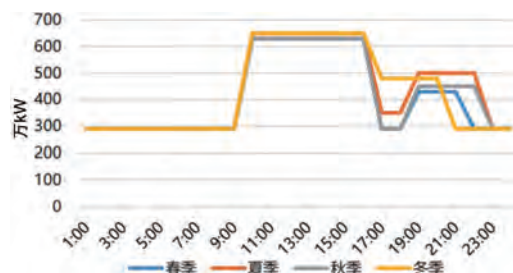


图1 腾格里—江西直流逐月典型日运行曲线

总体上,江西调节能力存在滞后新能源发展的问题,不同类型调节资源的规模布局也缺乏统筹考虑。亟需结合新能源增长规模和利用率目标,加强源网荷储各侧调节资源统筹规划,科学确定规模布局,实现新能源合理消纳利用。

1.3 调节能力发展潜力

在煤电灵活性改造方面,江西省二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳排放指标以及电煤的运力可支持煤电装机超过5000万kW。根据《新一代煤电升级专项行动实施方案》,新建燃煤机组在纯凝工况下最小技术处理力争达到25%或更低,将大幅提升江西省煤电灵活性。

在抽水蓄能建设方面,江西省“十四五”重点实施的抽蓄项目有9个,装机容量956万kW。其中奉新、洪屏二期已开工建设,铅山、赣县、寻乌、遂川、永新抽蓄已经核准。另外还有720万kW的计划容量,纳入了中长期

规划储备项目。

在储能建设方面,江西省锂电产业发展禀赋较好,形成较为完整的锂电池产业链。根据《江西省新型储能发展规划(2024—2030年)》,2035年力争实现全省新型储能投产600万kW以上,新型储能存在较大的缺口和发展空间。

在需求侧响应方面,随着各项政策支持力度加大,用户对需求响应的认识逐渐成熟,参与需求响应意愿提高,各行业的需求响应潜力得到释放。第二产业是江西需求侧管理的基石,而第三产业中大型商业综合体、酒店宾馆和办公楼宇将为需求响应重点潜力用户。

2 江西电网调节能力需求测算

2.1 可再生能源消纳权重测算

2021年至2024年期间,江西省可再生能源电力消纳责任权重均超过预定目标,如图2所示。根据《国家能源局综合司关于征求2021年可再生能源电力消纳责任权重和2022—2030年预期目标建议的函》,2030年全国统一可再生能源电力消纳责任权重为40%。



图2 江西省可再生能源消纳责任权重目标预测

为完成可再生能源电力消纳责任权重40%最低目标,考虑省间交易电量后,预计到2030年省内需消纳可再生能源电量929亿kWh,省内风光发电量需达到682亿kWh,风光装机最低规模需达到6500万kW,较现状规模接近再翻一番,其中风电1200万kW,光伏5300万kW(集中式光伏2860万kW,分布式光伏2440万kW)。

2.2 调节能力需求测算

因抽水蓄能项目建设周期较长(一般需要6至8年),所以重点着眼于解决中长期发展需要,大力发展储能是化解江西省新能源消纳瓶颈制约的必由之路。以电化学储能为代表的新型储能建设周期短,与新能源开发消纳的匹配性更好,建设成本较低且仍在快速

下降,完全契合江西省锂电产业发展,是当前快速提升江西省电网系统调节能力的现实选择。

在消纳责任权重测算出的2030年风光装机和“十五五”电网规划边界条件的基础上,以保障新能源利用率(2026至2027年新能源利用率不低于95%,2028至2030年新能源利用率不低于90%)、满足电力保供需求(消除备用率不足时刻的电力缺口)为目的,采用8760生产模拟平台,对江西省“十五五”逐年调节能力需求进行测算,其原理为考虑新能源预测偏差参与电力平衡,以日最大负荷及备用需求确定常规开机,就近跨分区支援,调峰不足时产生弃电量,测算结果如表1和图3所示。

表1 江西省“十五五”逐年调节能力需求

		万 kWh					
		2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2029 年	2030 年
抽水蓄能	LS	0	400	700	1 060	1 240	1 420
	调节能力	0	0	0	60	240	420
新型储能	装机容量	0	0	0	30	120	210
	调节能力	60	400	700	1 000	1 000	1 000
	装机容量	30	200	350	500	500	500

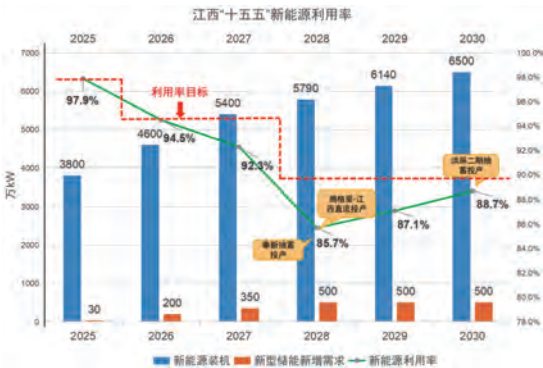


图3 江西“十五五”新型储能建设目标

通过8760生产模拟计算可得,江西“十五五”期间的抽水蓄能和新型储能调节能力需求逐步增长。考虑抽水蓄能建设时间长,2026年和2027年新增调节能力依靠新型储能,2027年底腾格里—江西直流和抽水蓄能投产,新型储能需求保持500万kW不变,至2030年,共需调节能力1420万kWh,新增抽水蓄能调节能力420万kW(装机210万kW),新型储能调节能力1000万kW(装机500万kW)。

3 江西电网调节能力建设方案

为提升江西电网调节能力,已开展煤电机组和抽水蓄能建设,推动独立储能项目,提升电网资源配置能力和挖掘需求侧响应等方案布局。

针对煤电机组建设,江西省已核准煤电项目共900万kW,另外储备的煤电项目共计800万kW。新建的煤电机组均为纯凝机组,最小技术出力不高于0.3,并进一步探索煤电机组深度调峰,最小技术出力达到新一代煤电升级有关指标要求。

在抽水蓄能建设方面,目前前期进展较快,已核准抽蓄900万kW,在建抽水蓄能机组装机容量300万kW。2028—2030年投产210万kW,包括奉新抽蓄120万kW机组和洪屏二期90万kW机组。到2030年,江西抽蓄规模达到330万kW,年平均抽水/发电利用小时数预计超过1000h,抽蓄机组均为日调节、平均时长6h,江西省规划煤电及抽蓄布局情况如图4所示。



图4 江西规划煤电及抽蓄布局情况

针对储能发展,江西省2025—2030年规划新增新型储能500万kW(2025—2026年新增200万kW),其中电化学储能470万kW(2h),空气压缩储能30万kW(4h),到2030年底,新型储能投产规模累计超过600万kW。新增新型储能将以独立储能模式(含异地建设、有独立并网点和计量点的新能源配建储能)为主,重点布局在负荷集中区域和新能源消纳困难地区。“十五五”将加快完善江西省储能价格机制,建立新型储能项目稳定的投资回收机制,健全完善峰谷分时电价机制,逐步建立适合江西省省情的新型储能容量动态补偿政策。

2025年5月,省能源主管部门发布了第一批省级独立储能试点示范项目,如表2所示。独立储能项目共有38个,规模450万kW/1024万kWh。

表2 江西省第一批独立储能项目布局

设区市	额定功率	额定容量
南昌	35	70
九江	70	140
萍乡	10	20
新余	40	80
鹰潭	20	45
赣州	70	136.64
宜春	100	312.033
上饶	45	90
吉安	40	80
抚州	20	50

江西省在“十五五”期间将大力提升电网资源配置调节能力,“十五五”期间江西特高压电网示意图如图5所示。2026年度夏前投产闽赣联网背靠背互济工程,实现两省资源共享,联网规模约300万kW,充分发挥闽赣两省错峰效益,2027年两省错峰效益约600万kW,2030年约700万kW。利用闽赣两省的调峰控制时段差异,午间时段可将江西光伏送电福建,夜间时段福建风电送电江西,促进两省新能源消纳。

2027年度冬前投产腾格里—江西特高压直流,设计输电能力800万kW,通道配套电源方案为新能源1200万kW,配套煤电4×100万kW、电化学储能125万kW/4h,预计每年为江西输送新能源电量超过150亿kWh。



图5 江西特高压电网示意图

为适应新能源大规模发展、电力市场加快建设等新形势新要求,需求侧响应将迎来更大的挑战和机遇。如何制定有效的分时电价和储能价格机制,鼓励用户参与电网辅助服务是需求侧响应迫切需要解决的问题^[8]。针对需求侧响应发展,江西省正积极推进电力市场建设,“十五五”将加快虚拟电厂相关内容建设及政策促请,聚合空调、充电桩、储能等类资源,推动虚拟电厂市场注册、现货交易参与系统调节,改变原有工业负荷为主的负荷结构,推动更多优质负荷资源加入市场化,并力争在2026年及以后实现虚拟电

厂、微电网等形态的用户,常态参与市场交易及系统的负荷调节。到2030年需求响应的调节能力规模达到320万kW及占负荷比重5.31%,其中前十大占比的行业调节能力建设规模及比重如表3所示。

表3 前十大占比的行业调节能力建设

设区市	规模/比重	2024年	2025年	2030年
水泥制造	调节能力规模/万kW	18.20	22.50	25.60
	占总调节规模比重/%	9.14	9	8
有色金属压延加工	调节能力规模/万kW	10.50	15	16
	占总调节规模比重/%	5.25	6	5
炼钢	调节能力规模/万kW	10.20	15	16
	占总调节规模比重/%	5.09	6	5
日用陶瓷制品制造	调节能力规模/万kW	10.10	12.50	22.40
	占总调节规模比重/%	5.06	5	7
电池制造	调节能力规模/万kW	9.70	12.50	25.60
	占总调节规模比重/%	4.87	5	8
电子元件及电子专用材料制造	调节能力规模/万kW	8.90	11.25	22.40
	占总调节规模比重/%	4.48	4.50	7
钢压延加工	调节能力规模/万kW	6.60	8.75	9.60
	占总调节规模比重/%	3.31	3.50	3
电子器件制造	调节能力规模/万kW	6	10	19.20
	占总调节规模比重/%	3	4	6
光伏设备及元器件制造	调节能力规模/万kW	5.30	7.50	19.20
	占总调节规模比重/%	2.67	3	6
铸造及其他金属制品制造	调节能力规模/万kW	5	6.25	9.60
	占总调节规模比重/%	2.52	2.50	3

4 结语

文中梳理了江西省电源侧、储能侧以及负荷侧各环节现有的电源装机规模及调节能力,明确了江西省调节能力存在滞后新能源发展的问题,不同类型调节资源的规模布局缺乏统筹考虑的问题。在满足新能源利用率的基础上,测算江西电网“十五五”逐年调节能力需求,在发挥现有灵活性调节资源调节能力、加快独立储能建设、充分利用特高压交直流输电能力、合理挖

掘需求侧响应潜力等多项对策下,到2030年,江西省电力系统调节能力将显著提升,各类调节资源发展的市场环境和商业模式更加完善,各类调节资源调用机制进一步完善。通过调节能力的建设优化,到2030年抽水蓄能投产规模到达330万kW,新型储能投产规模累计超过600万kW,支撑“十五五”6500万kW以上新能源的合理消纳利用,全省新能源利用率不低于90%。

参考文献:

[1] 苏南,董梓童.电力系统调节能力加速升级[N].中国能源报,2024-03-04(008).

[2] 许涛,王国春,董昱,等.新型电力系统平衡机理及演进过程研究[J].中国电机工程学报,2025,45(01):1-14.

[3] 杨昆,张琳,董博,等.新型电力系统调节能力提升及政策研究[J].中国电力企业管理,2022(34):39-42.

[4] 刘凡.多元调节体系有力支撑新型电力系统建设[J].中国能源,2024,46(03):38-46.

[5] 鲁刚,张富强,龚一莼,等.适应新型电力系统的新型调节资源体系建设[J].水电与抽水蓄能,2025,11(01):11-18.

[6] 章枫,樊恒建,邓晖,等.基于数学形态学的电力系统灵活性调节能力充裕度分析[J].中国电力,2025,58(03):43-554.

[7] 马汀山,王妍,吕凯,等.“双碳”目标下火电机组耦合储能的灵活性改造技术研究进展[J].中国电机工程学报,2022,42(增刊1):136-148.

[8] 霍沫霖,刘小聪,谭清坤,等.我国电力需求响应政策的实践与思考[J].中国能源,2022,44(07):35-43.

(上接第29页)

参考文献:

[1] 艾扬.基于倾斜摄影测量技术的高压输电线路选线设计[J].电力科技,2020(14):35-37.

[2] 戴旭明,梁健伟,刘伟,等.输电线路高分辨率遥感影像地质灾害解译识别技术[J].土工基础,2019,33(06):720-726.

[3] 赵莹,张宁,徐萌.地理国情监测遥感影像解译方法对比与分析[J].测绘与空间地理信息,2021,44(增刊1):103-105.

[4] 刘立,董先敏,刘娟,等.人机融合智能的遥感解译生产新方法[J].测绘通报,2022(07):118-123,137.

[5] 童立强,郭兆成.典型滑坡遥感影像特征研究[J].国土资源遥感,2013,25(01):86-92.

[6] 张勤,赵超英,陈雪蓉.多源遥感地质灾害早期识别技术进展与发展趋势[J].测绘学报,2022,51(06):885-896.

[7] 熊俊楠,刘志奇,苏鹏程.基于GF-1卫星影像的金川县泥石流沟空间分布特征研究[J].自然灾害学报,2019,28(02):160-168.

[8] Junbo Yu, Xinghua Li, Xiaobin Guan & Huanfeng Shen. A remote sensing assessment index for urban ecological livability and its application[J].Geo-spatial Information Science.2022.

[9] MCFEETERS, S.K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features[J]. International Journal of Remote Sensing,1996,17(07),1425-1432.

[10] 汤国安,那嘉明,程维明.我国区域地貌数字地形分析研究进展[J].测绘学报,2017,46(10):1570-1591.

[11] 刘学军,龚健雅,周启鸣,等.基于DEM坡度坡向算法精度的分析研究[J].测绘学报,2004,33(03):258-264.