



电力圆桌  
POWER SECTOR ROUNDTABLE



专题报告

# 新型电力系统下广东灵活调节 能力分析及提升举措

电力圆桌项目课题组

2024年12月

## 电力圆桌项目

电力圆桌（全称电力可持续发展高级圆桌会议）项目于 2015 年 9 月启动，旨在紧扣应对气候变化、调整能源结构的国家战略，邀请业内专家和各利益方参与，共同探讨中国电力部门低碳转型的路径和策略。通过建立一个广泛听取各方意见的平台机制，电力圆桌将各方关心的、有争议的、目前决策困难的关键问题提交到平台讨论，选出核心问题委托智库开展高质量研究，并将研究成果和政策建议提交到平台征求意见，从而支持相关政策的制定和落地，推动中国电力行业的改革和可持续发展，提高电力行业节能减排、应对气候变化的能力。

## 项目课题组



中国能源研究会双碳产业合作分会于 2021 年 8 月成立，是中国能源研究会分支机构，定位为“双碳”产业领域的合作交流服务平台，发挥桥梁纽带作用。在中国能源研究会的领导下，分会始终以推动落实国家“双碳”战略目标为宗旨，以促进双碳产业广泛深度合作为己任，本着共创市场、共享资源、共同发展的理念，与有关政府机构、企事业单位、学术团体、国际组织广泛联系、密切合作，积极推进“双碳”目标下的产业合作、政策研究、路径探讨、标准制定、交流活动等工作。分会设有强大的专家委员会，依托各成员单位、行业专家及顾问团队的优势资源和专业力量开展工作。

感谢自然资源保护协会专家为本报告提供的宝贵建议。

Cover Image @ 图虫创意

所使用的方正字体由方正电子免费公益授权

# 新型电力系统下广东灵活调节能力分析 及提升举措

Research on Flexibility Resources and Improvement Strategies  
for Guangdong's New Power System

2024年12月

# 目 录

摘要 .....	1
1. 研究背景与意义 .....	3
2. 广东建设新型电力系统面临的形势和挑战 .....	5
2.1 广东电力供需基本情况 .....	5
2.2 广东电力系统灵活调节需求预测 .....	10
2.3 广东系统灵活调节面临的主要挑战 .....	11
3. 广东灵活调节资源现状及功能定位 .....	12
3.1 电源侧调节资源 .....	12
3.2 电网侧调节资源 .....	14
3.3 用户侧调节资源 .....	16
3.4 各类调节资源调节性能及经济性能比较 .....	19
4. 广东系统灵活调节能力提升路径及具体举措 .....	22
4.1 广东灵活调节提升路径及具体举措（2025-2030 年） .....	22
4.2 广东灵活调节提升路径及具体举措（2030-2035 年） .....	24
5. 研究发现和行业建议 .....	29
5.1 研究发现 .....	29
5.2 行业建议 .....	30
参考文献 .....	31

# 摘要

推进能源绿色转型进程，达成“双碳”战略目标，亟待加速构建以新能源为核心主体的新型电力系统。然而，新能源具有间歇性、波动性的出力特性，其大规模接入电网将导致电力系统的灵活调节需求急剧攀升，传统的调节手段或难以满足系统调节需求。

作为我国经济强省与西电东送受端，广东在灵活调节资源发展方面具备优势，但也面临困境。广东电力市场起步早、市场化程度高，灵活调节资源类型多样，但因灵活调节资源发展缺少系统性规划且价值评估体系不够完善，现阶段系统优化配置能力不足，灵活调节潜力尚待挖掘。本课题通过剖析广东新型电力系统的发展现状以及面临的挑战，结合广东灵活调节资源的实际情况及其功能定位，提出了广东电力系统灵活调节能力的分阶段提升路径以及具体实施举措，并就广东在提升灵活调节能力过程中存在的问题提出了应对建议。

课题组研究发现，在未来新能源大规模发展、系统灵活需求急剧增加的形势下，灵活调节资源及能力不足仍将是广东新型电力系统建设的主要挑战。面对春节调峰、汛期调峰、特殊天气、西电东送影响和新能源消纳等诸多难题，广东仍需进一步挖掘其调节潜力。源侧在较长时间内仍将作为灵活调节能力的主要手段，需持续加强其能力建设；网侧亟待提升智能化手段，包括预测、监测、调控能力；荷侧将是重点挖掘领域，在系统平衡中发挥更大作用，潜力有待激发；储侧建设发展迅速，一般作为新能源发电的重要辅助设施，平滑新能源出力，作为新能源发展的重要支撑。

综合广东经济社会发展与新型电力系统建设推进情况，课题组提出了广东系统灵活调节能力的分阶段提升路径：

**2025-2030 年：**广东将采取煤电灵活性改造、新建抽水蓄能、辅以新型储能发展、发挥用户侧资源应用等措施提升系统灵活调节能力。

**2030-2035 年：**广东将发挥气电调节作用、扩大抽水蓄能应用、深化煤电灵活性改造、推动需求响应规模化应用、优化新型储能应用、电动汽车车辆到电网（V2G），通过多元化资源的协调优化提升系统灵活调节能力。

为提升广东电力系统近中期的灵活调节能力，课题组建议：强化规划统筹和协同提升、完善电力辅助服务市场机制、推动统一电力市场建设、完善灵活调节电价机制、持续提升市场化需求响应能力、提升南方区域电力市场交易灵活性、加强政企联动，进一步健全负荷管理工作体系、以共享模式推动新型储能规模化发展。

# 研究背景 与意义

全球能源格局变革与气候变化挑战下，我国以“双碳”为导向，将构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统作为能源发展的重要战略，既是我国能源转型与经济高质量发展的关键，也是应对气候变化、履行国际承诺的重要举措<sup>[1]</sup>。传统电力系统的灵活调节能力主要依赖于火电、水电等常规电源的调峰调频功能<sup>[2]</sup>。然而，随着可再生能源特别是风电和光伏的大规模接入，电力系统的运行特性发生了根本性的变化。新能源的间歇性和波动性给电力系统的安全稳定运行带来了新的挑战，传统的调节手段已难以满足系统运行需求<sup>[3]</sup>。

在新型电力系统中，灵活调节能力需要被重新定义，其“能力”特征变得尤为重要，更加强调“源 - 网 - 荷 - 储”的协同发展和系统的充裕性<sup>[4]</sup>。从源侧看，多元化清洁能源协同发展。从网侧看，智能电网提升调控能力。从荷侧看，用户侧积极参与调节。从储侧看，多元化储能提升系统弹性。因此，新型电力系统对灵活调节的要求，不再仅仅是单一环节的优化，而是需要“源 - 网 - 荷 - 储”全方位的协同，共同提高系统整体的调节能力和充裕性，确保在高比例新能源接入的情况下，电力系统依然能够安全、稳定、高效运行<sup>[5]</sup>。

广东作为我国经济最发达的省份之一，也是能源消费大省，同时还是西电东送的受端省份，其新型电力系统建设具有典型意义，受到广泛关注。近年来，广东的新能源发展取得显著成绩，但也面临一些问题与挑战。以海上风电和分布式光伏为代表的大量新

能源正在接入电网，新能源出力的不确定性和波动性加大了系统供应压力和消纳难度；其他类型电源（煤电、气电）项目的规划和投建在确保电力供应的同时，也可能推高碳排放，有待深入研究和统筹考虑；广东电力负荷类型多样且受时间、季节、天气等多种因素影响，特性复杂，灵活调节资源在需求端仍有潜力可挖，市场价值未能得到充分体现<sup>[6]</sup>。

广东亦具备不少提升系统灵活调节能力和资源充裕度的独特优势和有利条件。广东在能源转型政策和机制创新方面一直走在全国前列，电力市场建设起步早且市场化程度高；当地经济社会发展水平较高，储能、需求侧响应、虚拟电厂、综合能源服务存在较好的发展基础；省内聚集大量的新能源企业、装备制造企业和科技研发机构，在新能源、智能电网、储能技术等方面处于全国领先水平，有利于通过科技、产业的多维度融合发展促进提升。

作为改革开放的排头兵和电力市场的先行者，广东可靠、经济的电力低碳转型，以及在新型电力系统建设和能源转型方面的探索和实践，不仅有助于实现自身双碳目标，进而对全国乃至全球其他区域的能源绿色转型具有重要的参考价值。本课题以广东新型电力系统建设为背景，剖析了广东电力系统当下面临的新形势，阐述了增强电力系统灵活调节能力的重要性以及面临的主要挑战。同时，梳理了广东在源、网、荷、储多个环节中灵活性资源的发展现状和功能定位。并基于上述分析，对广东系统灵活调节能力提升路径及相关举措进行了科学合理的研究和设计，为其他省份提供可借鉴的参考范例。

# 2 广东建设新型电力系统面临的形势和挑战

## 2.1 广东电力供需基本情况

### 2.1.1 负荷总体情况

作为国内最大的省级电网，2023 年广东统调最高负荷达 1.475 亿千瓦，同比增长 2.1%；截至 2024 年 8 月底，广东电网系统最高负荷为 1.567 亿千瓦（7 月某日，较 2023 年增长 6.24%），稳居全国省级电网首位。2024 年 1-6 月广东全社会用电量累计 4134.2 亿千瓦时，同比增加 8.1%<sup>[14]</sup>。

广东电力负荷整体呈现“三峰三谷”的特点。三峰：早峰（约 11 时）、午峰（15-17 时）、晚峰（19-20 点）；三谷：凌晨（4-6 时）、中午（12-13 时）、下午（18-19 时）。广东夏季典型统调负荷曲线（高峰在下午）和冬季典型统调负荷曲线（高峰在晚上）分别如图 2-1 和图 2-2 所示。

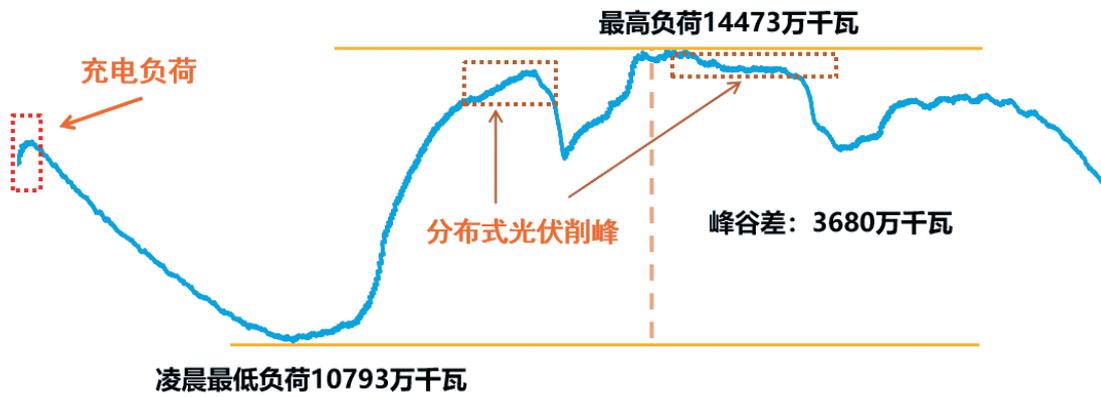


图 2-1 广东夏季典型统调负荷曲线（2023 年 7 月某天）

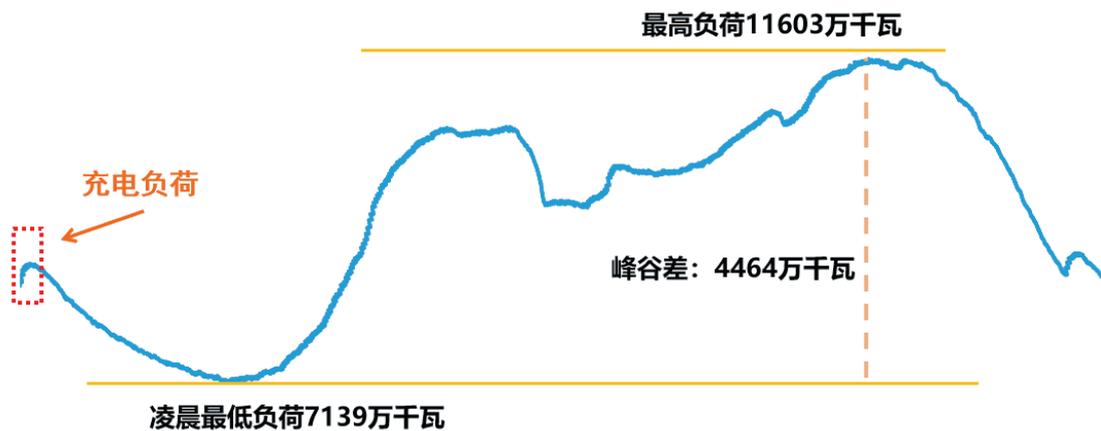


图 2-2 广东冬季典型统调负荷曲线（2024 年 1 月某天）

近年来，广东零点负荷出现了不降反升的现象，这与多种因素的共同作用有关。首先，峰谷电价政策和现货市场运行机制引导用能习惯改变。自 2022 年起，广东两部制工业用户峰平谷电价系数 1.7:1:0.38（高峰 10-12 时，14-19 时，低谷 0-8 时），且实施夏季尖峰电价机制<sup>[15]</sup>。凌晨 0-8 点，电动车充电电价低于 0.3 元/度。由于凌晨电价较低，电动汽车与用户侧储能在夜间充电的行为对零点负荷产生了显著影响。在零点过后，大量电动汽车和用户侧储能进入充电状态，使得此时的负荷平均增长幅度达到 200-300 万千瓦。

其次，分布式光伏的广泛应用改变了系统的负荷分布<sup>[16]</sup>。在白天光照充足时，分布式光伏大发，对系统原本的负荷形成了有效的削减作用。从实际数据来看，早峰、午峰等高峰负荷段均呈现出明显的下降趋势。

此外，取暖负荷的季节性变化也对冬季晚峰负荷产生了较大影响。随着冬季气温的降低，取暖需求大幅增加，各种取暖设备的启用使得冬季晚峰负荷显著升高。

综上所述，新能源所呈现出的独特发电特性以及电价调整策略的实施，导致传统用电行为发生变化，净负荷曲线也相应变动。这种复杂的变化态势给电力系统的稳定运行带来了新的挑战。

## 2.1.2 省内电源情况

截止 2024 年 6 月底，广东电源装机 2.054 亿千瓦，同比增长 15.3%，其中燃煤、燃气、生物质、水电、核电、蓄能（含储能）、风电、光伏、其他的装机容量分别为 7217.9、4334.5、455.8、936.9、1613.6、1004.0、1659.6、3192.9、127.1 万千瓦，占比分别为 35.1%、21.1%、2.2%、4.6%、7.9%、4.9%、8.1%、15.6%、0.6%。

从 2018 年至 2023 年，广东新能源装机规模与发电量均呈现出显著的增长趋势。在装机规模方面，从 2018 年的 586.9 万千瓦逐步攀升至 2023 年的 4066.9 万千瓦，其占比也从 5.10% 提升至 21.10%，其中 2020 年至 2021 年的增长速率最快。同时，新能源发电量也在逐年增加，2018 年发电量为 83.8 亿千瓦时，到 2023 年已达到 501 亿千瓦时，占比从 1.30% 上升至 6.10%。尽管发电量的增长态势良好，但与装机规模占比相比，其在总发电量中的占比仍相对较低。总体来看，广东在新能源发展方面取得了长足进步，但在提高新能源发电量占比方面还有一定的发展空间，以进一步优化能源结构，实现更绿色、可持续发展的能源发展<sup>[1][17]</sup>。

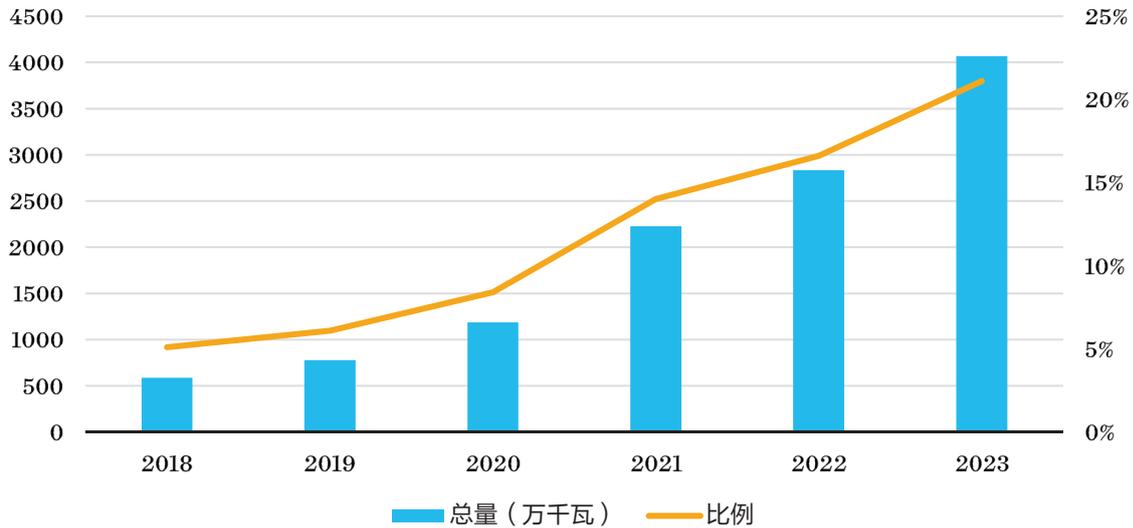


图 2-3 2018-2023 年广东新能源装机规模及占比

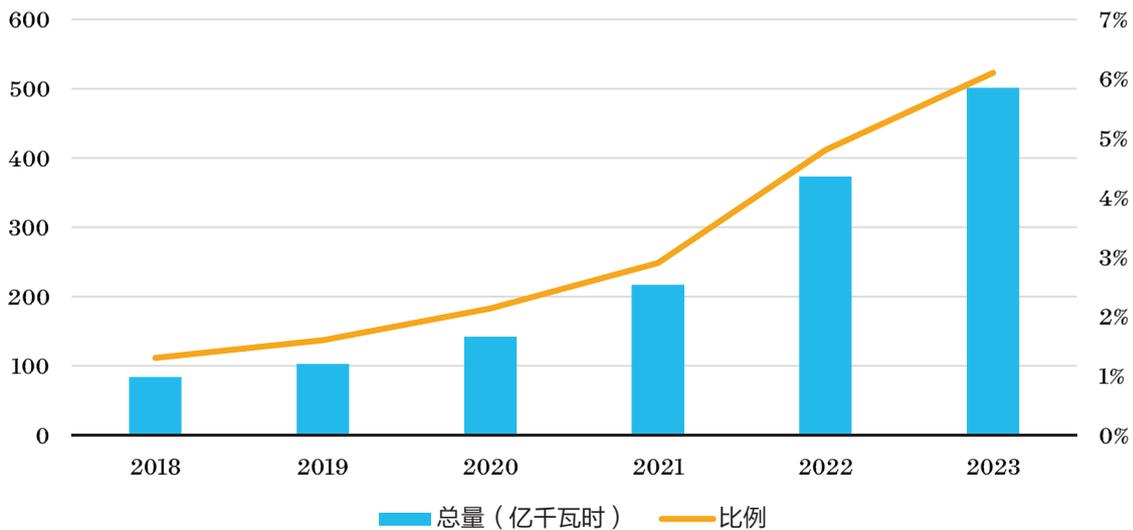


图 2-4 2018-2023 年广东新能源发电量及占比情况

广东的风光资源具有一定的互补特性。光伏夏大冬小，对夏季早午高峰具有较强的顶峰能力；风电夏小冬大，对冬季晚峰具有一定的顶峰能力，且天气对负荷和风光出力的影响具有一定正相关特性，对系统供应有一定支撑。自 2024 年 1 月 1 日起，220kV 及以上中调调管（省电力公司调度，一般也称为中调，是各省电力公司内部的调度机构）新能源全部进入现货市场。

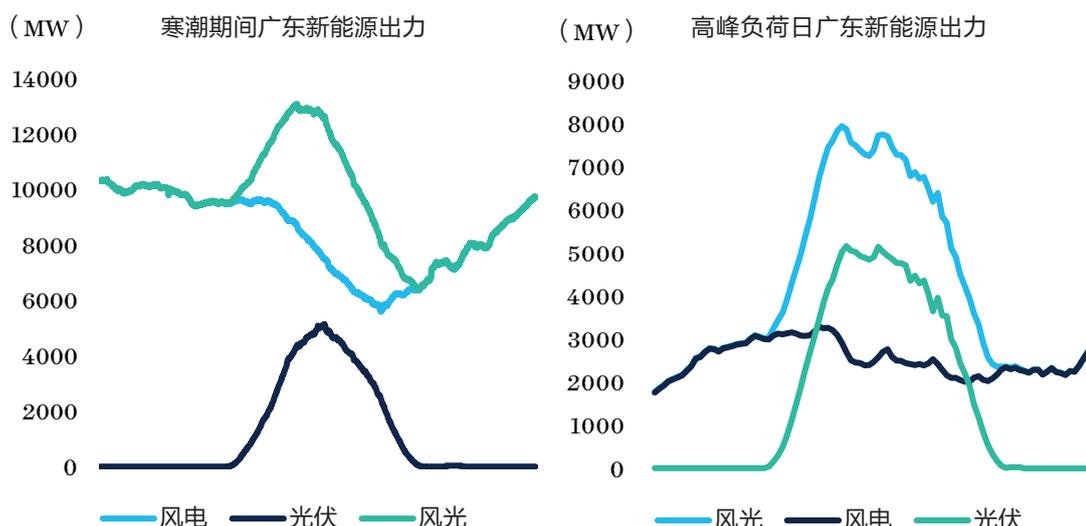


图 2-5 广东新能源出力情况

### 2.1.3 西电东送情况

西电东送作为国家战略，近年来电力电量输送约占广东电力电量的 20%-30%，对广东电力安全稳定供应至关重要。2023 年，全省发受电量 8208 亿千瓦时，外受西电电量 1741 亿千瓦时，占省内用电量 21.2%<sup>[1]</sup>。

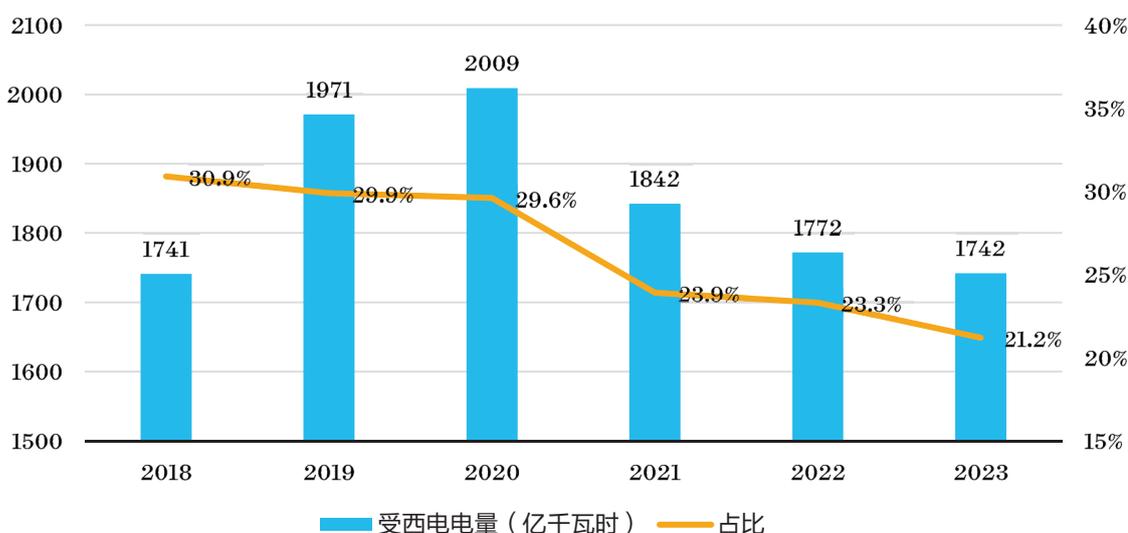


图 2-6 广东受西电电力及其占比

## 2.2 广东电力系统灵活调节需求预测

### 2.2.1 用电需求增长，调峰需求增加

随着电气化提速，广东用电量持续维持较高增速。2023年，广东全社会用电量8502亿千瓦时，同比增长8.0%，用电量和增速均已超过2022年广东省能源发展规划的预测。到2030年，广东用电量预计将突破1万亿千瓦时，如不采取措施，工作日调峰缺口约1000万千瓦。

### 2.2.2 可再生能源占比提升，快速响应需求提升

广东计划2025年可再生能源装机比重超35%，2030年将达45%左右。间歇性可再生能源大量接入，使电力系统波动性与不确定性加剧，灵活调节资源需求大增。为应对其快速波动，2025年1分钟内快速响应需求或超1000万千瓦。

### 2.2.3 电力市场化程度提高，辅助服务需求扩大

电力市场化改革深入推进，预计2025年广东电力市场化交易电量占比超70%。市场化提升加剧电力系统不确定性，调频、调压等辅助服务需求大增，2025年AGC调频容量需求或超500万千瓦。

### 2.2.4 新型电力系统灵活调节提高，需求侧响应规模扩大

在新型电力系统背景下，新能源、电动汽车充电基础设施、新型储能等主体快速发展。为提高系统灵活调节能力，需求侧响应的规模将进一步扩大。预计到2025年，可参与需求响应的负荷规模可能达到1000万千瓦以上。

### 2.2.5 跨区域电力交换增加，给系统调节带来新的挑战

预计到2025年，广东跨区域电力交换能力将达到5000万千瓦以上。虽然提供了更多灵活调节资源，但也带来了新的挑战。

总的来说，广东未来的灵活调节将呈现规模更大、响应更快、种类更多的特点，这对电力系统规划、建设与运行的要求更高，也为灵活调节资源发展创造了巨大的市场空间。

## 2.3 广东系统灵活调节面临的主要挑战

**春节调峰困难：**2024 年春节期间，火电按满足春节期间调压、供热的最小开机方式安排，核电按 2 台机组检修安排，蓄能仅留取 1 台作为日内应急手段。受冷空气影响，新能源大发且反调峰明显，叠加春节负荷低，新能源渗透率较高。西电按照 2023 年春节低谷最低出力安排，2024 年春节期间最大调峰缺口较大，在采取核电减载停机后，需新能源参与调控出力。

**汛期调峰困难：**2024 年汛期平均最低负荷约 7500 万千瓦。考虑风电、西电汛期出力后，2024 年后汛期（10 月）仍存在较大调峰缺口，需煤机深度调峰、核电减载等措施解决。

**特殊天气系统调节困难：**台风期间，风电出力快速攀升，当风速大于切出风速时，大量海上风机同时切出造成功率陡降，系统频率控制压力大。寒潮期间，新能源日波动较大，系统调节压力大。

**西电超计划送电给省内系统安全运行控制带来压力：**近期西电峰谷比在 0.9 左右，其中云电送粤峰谷比达 0.94，凌晨及午间低谷已接近高峰水平。因西电曲线与广东系统负荷特性不匹配，一定程度上导致了广东凌晨及中午时段调峰矛盾突出，可能导致省内煤机应急停机、气机频繁启停。

**省内新能源消纳困难：**广东风电光伏等新能源快速增长，截至 2024 年 7 月底装机容量已超 5400 万千瓦。2024 年春节期间，广东区域新能源渗透率首次超过常规能源渗透率，存在全天候新能源消纳困难的情况。省内阳江、江门、汕头、清远等地区受限于送出断面，2024 年上半年新能源弃电量达近 9500 万千瓦时。

# 3 广东灵活调节资源现状及功能定位

## 3.1 电源侧调节资源

### 3.1.1 煤电机组灵活调节资源

截至 2024 年 6 月底,广东煤电装机规模 7217.9 万千瓦,占比 35.1%。在能源转型初期,煤电机组仍是广东电力主力,其灵活性改造乃提升系统调节能力关键<sup>[30]</sup>。能够通过技术改造,提高机组启停速度、负荷调节范围及爬坡率,适配新能源波动。尤其运行时间在 15 年内 300 兆瓦及以下机组,改造延寿可发挥其容量价值,助力电力系统灵活调节能力的提升。

广东经关停小机组、“上大压小”等举措,现有燃煤机组多为 30 万千瓦以上的新型机组,最小稳定出力一般为 50% 的额定容量,部分地区大多 60 万千瓦及其以下机组在不增加任何改造投入的情况下,可达 40% 左右。燃煤机组的爬坡速度一般为额定容量的 1~2%/分钟,部分新机组可达 3~6%/分钟,但仍低于燃气机组。

煤电灵活性改造技术成熟、成本低、施工周期短,是短期提升系统灵活调节能力的较优选择。改造后的煤电机组可快速启停、深度调峰且在较宽的负荷范围内稳定运行。

截至 2022 年底，广东已完成超过 60% 的煤电机组灵活性改造，改造后的机组能够在 30 分钟内实现 50% 的负荷调节，大大提高系统的调峰能力。

一方面，煤电机组灵活性改造适用于电网负荷波动较大的地区。另一方面，从经济角度来看，煤电机组灵活性改造具有一定的优势。

### 3.1.2 天然气发电灵活调节资源

广东是我国气电装机容量最大的省份，预计至 2024 年底统调燃气机组装机容量将达到 5350 万千瓦。省内燃气发电厂主要集中在珠江三角洲地区，包括广州、深圳、佛山、东莞、珠海等城市，这些地区经济发展迅速且电力需求量大，同时又接近 LNG 接收站和跨省天然气管道，易于获取天然气资源。

燃气机组具有启动迅速、运行灵活的特点。燃气机组的启停速度远快于传统燃煤机组，能够迅速响应电网的需求变化；燃气机组具有优异的功率调节能力，可以在 30%-100% 的额定功率范围内连续调节，且爬坡速率高，可达每分钟额定容量的 8%-12%；燃气机组具有优异的频率调节特性，能够快速响应电网频率的变化，提供一次调频和二次调频服务。

一方面，在新型电力系统中，燃气机组可以作为重要的调峰电源和备用电源。另一方面，燃气机组适用于对电力供应可靠性要求较高的地区，如城市中心、重要工业区域等。

### 3.1.3 抽水蓄能电站

抽水蓄能电站是理想的大规模储能方式，能够有效平抑新能源发电的波动。广东省加快抽水蓄能电站的规划和建设，能够提高系统的调峰能力和备用容量<sup>[31]</sup>。截至 2024 年 6 月底，广东抽水蓄能（含储能）装机容量 1004.0 万千瓦，占比 4.9%<sup>[30]</sup>

全省目前已投运的抽水蓄能电站总装机容量约 900 万千瓦，包括广州抽水蓄能电站惠州抽水蓄能电站、梅州抽水蓄能电站、阳江抽水蓄能电站、深圳抽水蓄能电站等。这些电站每年可提供约 80 亿千瓦时的调峰电量。抽水蓄能机组的调节范围为 -100% 到 100%，大概可以提供 1200 万千瓦的系统灵活调节能力。

抽水蓄能作为一种大规模储能方式，具有启停时间短、调节速度快、工况转换灵活的特性。抽水蓄能调节速度相较于其他储能技术较快，功率型电池储能的响应时间要求在

200 毫秒以内，而抽水蓄能则为 30 秒；抽水蓄能不仅可以调节电网电压，还可以通过对电网频率的调节来提高电网稳定性；抽水蓄能可以迅速启动，作为电力系统的备用容量；抽水蓄能对于解决新能源发电不稳定问题，转化为系统友好、安全可靠的稳定电力输出方面发挥重要作用。

一方面，抽水蓄能电站可以作为电力系统的调峰电源，在负荷高峰时释放电能，在负荷低谷时储存电能。另一方面，抽水蓄能电站还可以为系统提供调频、备用等辅助服务，提高电力系统的稳定性和可靠性。

## 3.2 电网侧调节资源

电网侧主要通过独立储能、智能控制和西电东送来提升电网的灵活调节能力。

### 3.2.1 独立储能

2024 年全省投产、新开工和前期预备的新型储能项目共 43 个，总装机规模超过 23GWh<sup>[23]</sup>。

2023 年 3 月，广东省能源局、国家能源局南方监管局印发《关于印发广东省新型储能参与电力市场交易实施方案的通知》<sup>[24]</sup>，明确广东新型储能中独立储能作为独立主体参与市场交易。2023 年 9 月，《广东省独立储能参与电能量市场交易细则（试行）》印发实施，规定广东独立储能可参与年、月、多日等周期的双边协商、挂牌和集中竞争等中长期，按照“报量报价”或“报量不报价”的方式参与现货电能量交易，现阶段可选择分时参与现货电能量市场和辅助服务市场。

目前，广东独立储能电站可从电能量、辅助服务市场获得收益。2023 年 10 月，宝湖独立储能电站试点参与广东电力市场，截至目前，共有 5 家独立储能进入市场，装机为 60 万千瓦、容量 117 万万千瓦时。其中宝湖独立储能参与现货电能量市场，电能量收益 105 万元；其余 4 家独立储能电站参与调频市场，电能量亏损 505 万元，调频收益 5317 万元<sup>[22]</sup>。

电网侧储能能够有效缓解局部电网压力，提高电网的稳定性。在平衡电网负荷方面，在负荷集中的区域，电网侧储能可以在用电高峰时释放电能，在用电低谷时储存电能；在辅助服务方面，可以为电网提供调频、电压支撑等多种服务，是电网运行中不可或缺的重要组成部分。

一方面，随着分布式能源的发展，电网侧储能可以与分布式能源协同运行，实现对分布式能源的有效管理和利用。另一方面，在紧急情况下，电网侧储能可以作为备用电源，提高供电可靠性。

### 3.2.2 智能电网建设

广东已建成覆盖全省的智能电网调度控制系统，实现了对 95% 以上电力设备的实时监控，智能变电站的覆盖率达到 80%。

智能电网技术具有信息化、自动化、互动化的特点。智能电网可以实现与用户的互动，为用户提供更加个性化、便捷的能源服务。智能电网技术涵盖发电、输电、配电、用电等各个环节，实现了对整个电力系统的智能化管理。从发电端的新能源接入和优化调度，到输电环节的智能监测和控制，再到配电和用电环节的智能管理和需求响应，智能电网技术为电力系统的高效运行提供了全方位的支持。

### 3.2.3 跨区域电力交换

广东与周边省份的电力互联互通能力不断提升。2023 年，广东接收西电东送电量超过 1500 亿千瓦时，占全省用电量的 30% 以上，其中，清洁能源占比达到 60%<sup>[1]</sup>。

通过建设跨省区电力互联通道，能够提高存量输电通道利用率，进一步发挥跨省区电网互济能力，扩大平衡区域范围，实现时间和空间上的扩展和互补，一定程度上可减少因系统灵活调节能力不足导致的弃电现象，同时也能有效解决新能源由于多日、周时间尺度出力不稳定而导致的供需失衡问题。

## 3.3 用户侧调节资源

### 3.3.1 资源现状

广东用户侧资源主要包括工业负荷、建筑负荷、电动汽车、分布式发电、分布式储能等。2024 年，广东电网接入需求响应资源已超过最大负荷的 5%，并推出灵活避峰需求响应，筛选完成负荷控制改造的用户作为响应储备，提升应对日内临时缺口的能力。

#### (1) 工业可调节负荷

2023 年，广东全年全部工业增加值比上年增长 4.4%。规模以上工业增加值增长 4.4%。分轻重工业看，轻工业增长 0.6%，重工业增长 6.3%。分企业规模看，大型企业增长 5.6%，中型企业增长 4.4%，小微型企业增长 2.7%。2024 年 1-10 月，广东第二产业用电 4386.09 亿千瓦时，同比增长 7.31%。其中工业用电量 4322.33 亿千瓦时，同比增长 7.41%。

工业灵活调节资源主要有可转移与可削减负荷，工业负荷需求侧管理尚处探索示范阶段。可转移负荷方面，钢铁企业可调整生产时间，将白天高峰用电转至夜间低谷，降低峰谷差；机械制造企业错峰生产潜力大；化工企业可适当提前或推迟部分生产环节时间，减少高峰用电。可削减负荷方面，钢铁企业部分生产设备可中断运行；机械制造企业的电弧炉、中频炉等设备能削减或中断用电；化工企业负荷可削减比例取决于辅助与管理部門用电。

#### (2) 建筑负荷 / 工商业建筑 / 居民建筑

2024 年 1-10 月，广东建筑业用电量 87.12 亿千瓦时，第三产业用电量 1804.56 亿千瓦时，同比增长 9.62%；城乡居民生活用电量 1358.02 亿千瓦时，同比增长 7.93%。建筑负荷主要包括工商业建筑、居民建筑等，工商业建筑负荷的公共区域为可调控主体区域，可调控的设备包括空调设备、照明设备、厨房冷库等；居民建筑负荷方面，南方地区居民主要包括空调、热水器、照明等负荷。智能家居和楼宇是需求响应的重要场景，可借智能控制系统远程操控、优化管理用电设备，依电力系统需求自动调整用电行为。

### (3) 电动汽车

2024 年上半年广东电动汽车渗透率超 50%。电动汽车主要凭借其移动储能特质同电网之间进行交互。分布式发电能够增加电力供应的多样性，提高能源供应的可靠性和稳定性，在一定程度上缓解集中式发电的压力，尤其在局部区域电力供应紧张或发生故障时发挥重要作用。分布式储能一般在通过负荷低谷时储存电能，在高峰时释放电能，起到平衡电力供需，减小电网峰谷差，降低电网运行风险的作用。南方电网公司将电动汽车充电网络建设纳入泛在电力物联网建设，探索 V2G(Vehicle to Grid, 即车辆到电网) 技术，利用电动汽车移动储能特性促进其与电网互动，电网故障时，电动汽车可充当“移动充电宝”保障供电安全。

### (4) 分布式发电

国家能源局数据显示，2024 年上半年，广东光伏发电新增光伏装机容量 752.7 万千瓦，累计光伏装机容量 3274 万千瓦。其中，工商业分布式光伏新增 360.1 万千瓦，位列全国第三<sup>[28]</sup>。通过建设分布式发电，工业园区和商业中心可以实现能源的自给自足，提高能源利用效率，降低用电成本。

### (5) 分布式储能

2024 年 5 月、6 月广东储能项目备案数量共计 318 个，备案总规模达 239.65 万千瓦 / 491.80 万千瓦，用户侧工商业储能居多。从 6 月储能项目备案类型来看，用户侧（包含工商业 / 分布式）储能数量有 166 个，占比接近 95%<sup>[29]</sup>。分布式储能一般在通过负荷低谷时储存电能，在高峰时释放电能，起到平衡电力供需，减小电网峰谷差，降低电网运行风险的作用。

现阶段，上述资源基本都是通过需求响应的方式发挥灵活调节作用，各类需求侧资源特性如表 3-1 所示：

表 3-1 各类需求侧资源特性

项目	类型	已利用规模占比	可开发潜力	响应性能	开发成本
传统需求侧资源	工业可调、可中断负荷	大	中到大	分钟到小时级	低
	商业和居民空调负荷	中到大	大	分钟到小时级	高
新兴需求侧资源	电动汽车	小	大	毫秒到分钟级	中
	用户侧储能、分布式电源	小	中	毫秒到分钟级	高

### 3.3.2 广东需求侧资源参与市场情况

2012 年国家启动了电力需求侧管理城市综合试点工作，佛山入选试点城市。2015 年佛山启动了电力自动需求响应试点。2021 年开始，广东制定并持续完善市场化需求响应交易规则，启动市场化需求响应。此后，广东在支持需求响应方面积极探索，依托其较为成熟的市场环境，制定了一系列的政策举措，涵盖需求响应方案、虚拟电厂建设等多个关键维度。在需求响应方案方面，2021 年 3 月广东省能源局、南方能源监管局联合发布《广东省市场化需求响应 2021 年实施方案（试行）》文件，探索广东省市场化需求响应交易体系，培育用户优化负荷、主动参与系统调节的意识；2021 年 5 月广东首次启动市场化需求响应。2022 年 3 月国家能源局南方监管局、广东省能源局联合印发《广东省市场化需求响应交易实施方案（试行）》（粤能电力〔2022〕25 号）文件，相较于 2021 年提出的实施方案，需求响应代理关系更加灵活、虚拟电厂聚合门槛下调、响应资源类型更加宽泛、基线负荷分类更加精细；2022 年 4 月广东电力交易中心印发《广东省市场化需求响应实施细则（试行）》，新增可中断负荷交易等品种；2023 年 5 月，广东电力交易中心发布《关于广东省市场化需求响应相关事项的通知》，新增灵活错峰需求响应交易品种，完善日前邀约需求响应差异化价格措施、零售用户分摊结算方式等关键机制，需求响应资金源于电力用户分摊及市场发电侧考核等费用。若发电侧考核资金等不足支付需求响应费用，按需求响应各交易品种费用占比分配发电侧考核费用等资金，缺额由需求地区全体电力用户分摊。2023 年广东省发展和改革委员会印发《广东省电力负荷管理实施方案》（粤发改能源函〔2023〕1896 号），各地市根据省电力负荷管理方案印发其属地管理的《负

荷管理方案》；2024年南方电网办印发《关于印发南方电网2024年新型电力负荷管理体系建设工作方案的通知》，《通知》指出确保广东各省、市、县年底前均建成不低于本地区最大负荷15%的负荷控制能力，全网柔性负荷调节能力达到400万千瓦，其中广东不低于200万千瓦。在虚拟电厂建设方面，2023年6月，广东省发改委印发了《广东省促进新型储能电站发展若干措施》，文件提到积极推进虚拟电厂建设，推动新型储能电站与工业可控设备负荷、充换电设施、分布式光伏等资源聚合应用，在广州、深圳等地开展虚拟电厂试点；2024年8月9日，广东省能源局发布了《广东省虚拟电厂参与电力市场交易实施方案（征求意见稿）》，表明建立健全虚拟电厂市场交易机制，加快推动虚拟电厂参与电力市场交易<sup>[25]</sup>。随着广东省一系列支持需求响应方面政策的出台以及在支持需求响应方面积极探索，逐步构建起了一套较为完整且具有创新性的需求响应政策体系与市场机制框架，有力地推动了需求响应在广东电力领域的落地与蓬勃发展，为提升电力系统的灵活性、稳定性以及能源资源的高效配置和利用奠定了坚实基础。

目前广东电网需求响应注册用户总数65875户，对应基线负荷约4400万千瓦<sup>[1]</sup>。2021年，广东开展需求响应交易77天。累计12219个用电户注册。日最大中标容量149.1万千瓦，有效响应电量2.6亿千瓦时，需求响应平均执行率90.5%<sup>[20]</sup>。2022年，广东累计开展9次日前邀约型市场化需求响应，计1132家聚合商（含自主参与用户）、5868家零售用户参与。最大削峰负荷277万千瓦，最大响应申报量609万千瓦<sup>[21]</sup>。

### 3.4 各类调节资源调节性能及经济性能比较

不同调节资源在性能、成本和配置要求等方面存在差异，需要综合考虑各类调节资源特点和应用场景需求，因地制宜合理配置。不同类型灵活调节资源的调节性能及经济性能对比详见下表所示。单纯就经济性而言，煤电灵活性改造和需求侧资源成本较低，气电、抽水蓄能等资源投资成本高，而电化学储能尽管成本已降至较低水平，但受制于锂电池等短时储能技术持续放电能力不强及储能收益机制不完善，电化学储能为代表的短时储能技术整体经济性不佳。此外绿氢、其他新型储能仍处于推广或试点阶段，技术成熟度不高。

以下为不同灵活调节资源的简要对比，根据华北电力大学在《电力系统灵活性提升：技术路径、经济型与政策建议》报告中对不同资源特性和灵活性提升的特点分析（如表3-2），及参考其部分内容的成本和典型应用场景对比（如表3-3）。



表 3-3 不同类型灵活调节资源成本对比

性能指标	煤电灵活性改造	调峰气电	抽水蓄能	电化学储能	需求侧资源
响应速度	秒级~小时级	分钟~小时级	分钟~小时级	毫秒~秒级	全周期
建设成本	500~1000 元 / 千瓦	2000~3000 元 / 千瓦	5000~7000 元 / 千瓦	1200~1500 元 / 千瓦时	200~400 元 / 千瓦
典型场景	日内调峰、周调节	日内调峰、保安电源	日内调峰、周调节、保安电源	调频、抑制短时功率波动、日内调峰	调频、日内调峰、保安电源、周调节
限制因素	政策机制	气源保障能力	地理建设条件、建设周期	经济性、循环次数及寿命、成本疏导机制	技术水平、政策机制

总的来说，广东在电源侧、电网侧和用户侧都建立了多元化的灵活调节资源体系。然而，随着可再生能源占比的不断提高，未来仍需进一步扩大灵活调节资源的规模，并不断优化其局部调节能力。

# 4 广东系统灵活调节能力提升路径及具体举措

综合广东经济社会发展与新型电力系统建设推进情况，将广东系统灵活调节能力提升路径分为 2025-2030 年、2030-2035 年两个发展阶段。

## 4.1 广东灵活调节提升路径及具体举措（2025-2030 年）

在 2025 年到 2030 年的短期内，广东省电力系统灵活调节能力提升路径及具体举措将主要包括以下几个方面：

### 4.1.1 煤电灵活性改造

综合《新型电力系统发展蓝皮书》中新型电力系统建设“三步走”发展路径中对煤电机组发展规划和广东煤电发展实际情况，2025-2030 年广东煤电定位为基荷电源，逐步向支撑性兼调节性电源转变，在 2027 年或稍后实现煤电装机、发电量和碳排放的“三达峰”。本阶段，广东持续推动煤电灵活性改造，计划“十五五”内完成约 3000 万千瓦的煤电灵活性改造目标。

广东煤电机组具体改造举措包括：一是推动具备改造条件的煤电机组“应改尽改”；二是推动存量煤电机组灵活性改造；三是探索煤电机组深度调峰，最小发电出力达到 20%-30% 额定负荷，负荷高峰期全省煤电最大顶峰能力不低于装机容量的 100%，机组

平均最小发电出力不高于装机容量的 30%；四是考虑新建煤电机组按照额定容量 70% 纳入调节能力。

#### 4.1.2 新建抽水蓄能

2025-2030 年，广东抽蓄电站建设将提速发展，到 2030 年末预计装机容量将达到 1588 万千瓦，在提升系统调节能力将发挥更为关键的作用。

推动广东抽水蓄能建设的具体举措包括：一是推动大容量高水头机组科技创新，研究中小型及可变速抽水蓄能技术；二是力争 2025 年投产梅蓄二期抽蓄电站，使装机超 1000 万千瓦；三是“十五五”期间投产惠州中洞、肇庆浪江、云浮水源山、汕尾陆河等抽蓄电站，力争 2030 年装机达 1588 万千瓦左右。

#### 4.1.3 新型储能发展

《广东省推动新型储能产业高质量发展的指导意见》提出将新型储能产业打造成为广东省“制造业当家”的战略性支柱产业，提出了 2025 年、2027 年储能产业的营业收入和装机目标。近年来，广东包括电化学储能在内的新型储能技术得到快速发展和应用。2023 年，广东新型储能产业营收超过 4000 亿元。截至 2024 年 11 月，广东新型储能装机规模达 312 万千瓦/492 万千瓦时<sup>[36]</sup>，已经大幅超过《指导意见》设计要求。考虑“十五五”期间新增煤电和调峰气电规模，抽蓄建设提速及积极推动煤电灵活性改造等因素，本阶段广东新型储能整体建设规模有限，主要针对局部场景发挥作用，包括为局部断面提供顶峰支撑、提高暂态电压稳定性、改善电网末端电能质量和为新能源送出通道提供能量时移。

推动广东新型储能发展的具体发展举措包括：加强新型储能发展规划，以系统需求为导向，场景应用为基础，市场机制为依托，考虑提升系统削峰填谷能力、提供顶峰支撑能力、增强新能源调节消纳能力等应用场景，加强规划建设、系统运行环节储能布局测算研究，加快布局新型储能项目。

#### 4.1.4 需求侧资源建设和应用

广东经济社会发展程度较高，需求侧资源具有点多面广的特征，潜力巨大。《南方电网公司建设新型电力系统行动方案（2021-2030 年）白皮书》中提出，到 2030 年将实现

全网削减 5% 以上的尖峰负荷，这对充分利用需求侧资源提出了更高的发展要求。广东电网积极响应行动方案，多措并举激励各类主体参与需求侧响应，推进灵活调节资源能力提升。到 2030 年，预计广东接入需求响应资源占最大负荷比例将超过 10%，有序用电资源占最大负荷比例将超过 50%，负荷控制能力占比同步提升。

推动用户侧资源建设和应用的具体举措包括：一是积极开发电动汽车调节资源，电动汽车可以通过 V2G 技术，实现电动汽车与电网之间的双向能量流动，提高电力系统的灵活性和可靠性；二是推动柔性负荷资源接入，积极开发智能空调调节资源，智能空调能够根据电力系统的需求，自动调整运行模式，实现对电力负荷的智能调节；三是积极开发分布式光伏、风电等调节资源，分布式发电可以在用户侧实现能源的自给自足，减少对外部电网的依赖，同时为电力系统提供分布式的灵活调节资源；四是完善负荷管理机制和标准，研究多元负荷市场化机制，促进柔性负荷参与需求侧主动调节。

通过以上措施，广东省将在 2030 年前显著提升电力系统的灵活调节，为可再生能源的进一步发展奠定坚实基础。同时，这些举措也将有助于优化电力资源配置，提高系统运行效率，为实现碳达峰目标做出重要贡献。

## 4.2 广东灵活调节提升路径及具体举措（2030-2035 年）

在 2030-2035 年中长期阶段，广东电力系统因可再生能源渗透率攀升，灵活调节挑战加剧。其占比上升致系统波动与不确定增大，需更系统具备更强的短时间尺度（秒级到分钟级）和长时间尺度（小时级到天级）的调节能力。这一时期的灵活调节提升路径及具体举措主要包括：

### 4.2.1 发挥气电的重要作用

作为清洁高效的电源，天然气发电将在这一阶段发挥更加重要的作用。燃气项目投产带动发电用电量持续增长，到 2030 年，发电用气预计将达 340 亿方，超过广东省天然气消费量的 60%。结合广东省内电源项目建设的实际进度，预测 2035 年气电运行规模约 5600-6800 万千瓦。

发挥气电调节能力的具体举措包括：一是加强燃气管网建设，提高管道输送和调节能力，加快建成应急调峰储气库，提升发电燃气供应的灵活性；二是加强天然气调度与电力调度协同，统一气量计划申报与电力市场出清时间，提高气量计划申请的准确性；三是加快调峰气电项目建设，充分发挥燃气机组快速启停优势，提升系统短时顶峰和深度调节能力；四是严格把关供热机组审核流程，定期抽查供热机组热电比，动态调整机组供热资质。五是探索气电与新能源协同发展模式，促进天然气发电与海上风电的融合发展，推动天然气发电与新能源进行因地制宜的融合；六是逐步提高气电的容量电价水平，合理回收气电固定成本，进一步发挥气电调节能力；七是提出适应新型电力系统的同台竞价机制，加强气电联动，实现一次能源价格有效向电力市场传导。

#### 4.2.2 抽水蓄能的扩大应用

2030-2035年，在前期规划和建设的基础上，更多的抽水蓄能电站将投入使用，2035年广东抽蓄装机总规模预计将达到1980-2200万千瓦，比2024年倍增。这些大规模储能设施将为系统提供关键的调峰和备用能力，特别是在应对长时间尺度的灵活调节需求方面发挥重要作用。

推动抽水蓄能扩大化应用的具体举措包括：一是保持价格政策平稳过渡，有计划、分步骤推进抽水蓄能参与市场交易，优先推动自愿及符合准入条件的个别抽水蓄能场站试点参与市场交易，后续视市场运行情况逐步扩大抽水蓄能参与市场优化出清、交易结算规模；二是加强抽水蓄能电站调度运行管理，规范电站转商运管理和调度运行管理，加强监管、监测、统计，确保充分发挥抽水蓄能电站作用，支撑新型电力系统构建。

#### 4.2.3 深化煤电灵活性改造

“十五五”后，广东新增电力需求主要将由新能源满足，原则上不再新建煤电机组。届时煤电将主要承担调节平衡功能，定位为系统调节性电源为主，基础保障性为辅。预计2030-2035年，煤电机组将加速完成存量机组灵活性改造，发电小时数稳步下降；CCS技术降本增效，进入示范应用、产业化培育阶段。此时，在前期改造的基础上，煤电机组的灵活调节能力将进一步提升。通过先进的控制技术和运行策略，使煤电在保证效率的同时，能够更好地配合可再生能源的出力特性。

深化煤电灵活性改造的具体举措包括：一是进行煤电三联改动，包括节能降耗改造、灵活性改造和供热改造，通过三项改造的统筹联动，相互配合，实现煤电机组能效的进一步提升；二是推动煤电低碳发电技术创新，包括生物质掺烧、绿氨掺烧、碳捕集利用与封存等。

#### 4.2.4 需求响应的规模化应用

该阶段下需求侧管理将更加成熟和广泛<sup>[38][39][40]</sup>。通过激励大规模的工业、商业和居民用户积极地参与到电力系统的调节中，将为系统提供更加可靠的灵活调节资源。系统对负荷的监测能力将进一步提升，监测电压等级继续下沉，监测频度增加，实现分钟级的监控成为可能。广东电网接入更多可控用户，提升可控负荷，实现更高水平的有序用电，为灵活调节释放更多的需求侧资源。

推动需求响应规模化应用的具体举措包括：一是持续开发需求响应交易品种，采用日前邀约需求响应、灵活避峰需求响应、可中断负荷和直控型可调节负荷竞争性配置等四类交易品种丰富市场交易；二是针对不同资源在调节灵活性、调节成本等方面差异设计相应的收益机制，激励用户加快对调节资源改造升级，提升可控性、灵活性；三是推动灵活避峰需求响应、可中断负荷和直控型可调节负荷等需求响应品种落地实施，并常态化开展需求响应市场；四是扩大需求响应补偿资金来源，探索将新能源发电主体纳入需求响应分摊；五是放开现货市场限价，拉大峰谷价差，通过现货价格引导用户侧资源主动开展削峰填谷，拉大峰谷价差，为独立储能、抽水蓄能、虚拟电厂参与现货市场提供基础。

#### 4.2.5 新型储能的进步和应用

随着技术进步和成本下降，新型储能将得到更广泛的应用。大规模集中式储能和分布式储能将共同参与系统调节，提供快速响应的灵活调节服务<sup>[34][35]</sup>。该阶段，随着新型电力系统建设的持续深入，新型储能与区域电力系统发展相结合，以需求为导向，分层分区布局，在区域内调节发挥更多作用。同时，在电力市场规则的不断演进下，独立储能将在新能源密集地区和负荷中心地区迎来更多发展机遇，并大幅提升区域灵活调节能力。

推动储能进步和应用的具体举措包括：一是梳理各级政策与标准体系，完善新型储能相关标准并推广为行标与国标，提升并网设备质量与建模精度，开展多场景储能应用，强

化储能对系统的支撑能力；二是探索构网型新型储能应用，强化储能对系统的频率和电压支撑能力；三是优化完善新型储能运行调用机制，逐步建立健全新型储能参与现货市场及各类辅助服务市场规则，优先以市场化方式提升新型储能调用率；四是完善新能源配套储能联合及直控场景的考核及补偿机制，针对新能源配套储能试验滞后、利用效率偏低的问题，优化“两个细则”新能源运行管理考核条款，激励新能源场站充分利用储能改善新能源并网特性；五是推动新型储能参与市场化交易，持续完善新型储能参与市场化交易机制。

#### 4.2.6 电动汽车车辆到电网（V2G）

随着电动汽车保有量的增加，能够利用电动汽车特有的储能功能与电网“双向奔赴”。新型电力系统智能化水平的大幅提升，将为“车-桩-电网-互联网-增值业务”模式提供更多市场机会。辅以市场机制和价格引导，充分利用“低谷”时段为车辆充电，峰谷差有望显著缩小。该阶段下，应进一步积极探索新能源汽车与园区、楼宇建筑、家庭住宅等场景高效融合的双向充放电应用模式，构建起动态有效的“新能源汽车+电网”能源体系，为局部电网提供大量灵活可动储能单元，改善电能质量。

促进电动汽车车网互动的具体举措包括：一是大力发展车网互动需要所需的先进智能化终端技术、通信技术以及相关平台系统，为电动汽车参与电网调控提供技术支持；二是加快完善智能有序充电相关标准，完善配套政策机制和建设运营模式，实现重点区域应用和参与电力交易的试点；三是明确参与互动的充电运营商的补贴措施，梳理各场景下电动汽车响应资源的价值，逐步建立完善可持续的市场机制。

#### 4.2.7 多元化资源的协调优化

在这一阶段，广东将着力构建多元化、协同化的灵活调节资源体系。通过先进的能源管理系统和市场机制，实现气电、抽水蓄能、煤电、需求响应、储能和电动汽车等多种资源的优化配置和协调运行。

推动多元化灵活调节资源协同互动的具体举措包括：一深入推进新型电力负荷管理系统建设，持续挖掘各类需求侧资源的调节潜力，支持通过负荷聚合商、虚拟电厂等主体聚合参与需求侧调节；二是进一步发展虚拟电厂技术，通过虚拟电厂技术整合分散的新能源、储能和可控负荷，形成虚拟调节电源，并持续开发虚拟电厂调度控制系统，提供灵活的电

网支撑服务；三是利用市场机制推动源荷调节能力，建立抽水蓄能、新型储能、虚拟电厂、分布式电源参与市场化交易机制；四是大力推进辅助服务建设，加快构建适应新型电力系统的辅助服务市场建设，完善辅助服务市场架构，试点研究开展爬坡、备用、惯量等辅助服务交易品种，充分挖掘各类调节性资源；五是研究电网调节能力指标监测体系，建立电网调节能力评价体系，动态监测评估在不同调节需求下，电网匹配源网荷储调节资源满足系统调节需求的能力。

通过以上措施，广东将在 2035 年前建立起更加完善和强大的电力系统灵活调节能力保障体系，为高比例可再生能源的接入和消纳创造有利条件，推动能源结构的清洁化转型。

# 5 研究发现和行业建议

## 5.1 研究发现

由于新能源出力具有随机性、波动性、间歇性，致使新型电力系统面临着在多时间尺度下调节能力亟待提升的严峻挑战。在超短周期调节能力方面，要重点解决新能源出力快速波动且频率电压耐受能力不足问题，提升系统一次调频能力；在短周期方面，要解决负荷尖峰与新能源短时随机波动引发的系统频率和潮流控制难题；在日内需方面，要解决风电反调峰及光伏晚高峰难顶峰问题；在多日、周调节能力方面，要重点解决新能源受极端天气影响导致在较长时间尺度上电力供应不确定性问题。

当前广东灵活调节能力整体未见明显短缺，但在未来新能源大规模发展，系统灵活需求急剧增加的发展形势下，灵活调节资源能力不足仍将成为广东新型电力系统建设的主要挑战。面对春节调峰、汛期调峰、特殊天气、西电东送影响和新能源消纳等诸多难题，广东仍需进一步挖掘其调节潜力。

结合广东灵活调节资源禀赋条件及其功能定位，其源侧在较长时间内仍将作为灵活调节能力的主要手段，需持续加强其能力建设；网侧亟待提升智能化手段，包括预测、监测、调控能力；荷侧将是重点挖掘领域，在系统平衡中发挥更大作用，潜力有待激发；储侧建设发展迅速，一般作为新能源发电的重要辅助设施，平滑新能源出力，作为新能源发展的重要支撑。

## 5.2 行业建议

**强化规划统筹和协同提升。**将电力系统的灵活调节能力作为电力规划的核心要素，合理配置各类灵活调节资源，推动源网荷储多维度灵活调节能力协同提升。

**完善电力辅助服务市场机制。**加大有偿调峰补偿力度；推进分布式源荷聚合业务（虚拟电厂），聚合海量的小、散新型储能资源参与电力需求响应市场；构建成本疏导机制，丰富交易品种，完善辅助服务市场建设。

**推动统一电力市场体系建设。**合理确定互联互通规模，提升区域间互联互通能力；扩大电力中长期、现货、辅助服务市场交易范围，实现更大范围内电力资源优化配置和更加高效的新能源消纳体系。

**完善灵活调节电价机制。**加快上网电价机制向“容量补偿+市场电量电价”机制转变；完善需求侧电价政策，扩大峰谷分时电价政策覆盖范围，适时调整分时电价时段划分、浮动比例；建立完善尖峰电价政策，挖掘居民用电移峰填谷潜力；完善以价格导向的需求响应激励机制，激发需求侧资源参与系统调节的潜力。

**持续提升市场化需求响应能力。**培育负荷调节资源，依其特性与成本差异，完善多时段交易品种，逐步建立秒级、毫秒级可中断负荷调控机制，扩大响应规模；推广激励资金用户传导机制，将需求响应入市场体系，完善负荷侧资源参与电力市场、辅助服务市场规则。

**提升南方区域电力市场交易灵活性。**研究南方五省区互送交易机制，充分利用全网灵活性资源；缩短交易周期、提高交易频次，提升交易灵活度，满足市场主体短时交易需求。

**加强政企联动，进一步健全负荷管理工作体系。**加速推进各级电力负荷管理中心实体化运作，明确工作职能；完善新型电力负荷管理系统建设配套政策和运行机制；建立健全统一的新型电力负荷管理运行机制，明确负荷控制应用场景和范围。

**以共享模式推动新型储能规模化发展。**推广新能源共享储能租赁市场建设，推动建立广泛的储能租赁市场，鼓励新能源发电企业可通过购买、租用共享储能容量，实现新能源并网的配储要求。

# 参考文献

- [1] 刘泽强. 含高比例可再生能源的区域能源系统规划研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2024.
- [2] 罗杨琴. 高比例清洁能源背景下的灵活调节产品交易机制研究 [D]. 东北电力大学, 2021.
- [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] 胡嘉骅, 文福拴, 马莉, 等. 电力系统运行灵活性与灵活调节产品 [J]. 电力建设, 2019, 40(04): 70-80.
- [5] 瞿颖, 肖云鹏, 张臣, 等. 考虑灵活调节需求的容量市场出清模型与定价方法 [J]. 电力系统自动化, 2024, 48(11): 64-76.
- [6] 林顺富, 施佳辉, 周波, 等. 考虑需求不确定性的高比例新能源电力系统灵活性优化 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(11): 122-132.
- [7] 王利利, 王皓, 任洲洋, 等. 计及灵活资源调节潜力的高压配电网新能源接纳能力评估 [J]. 中国电力, 2022, 55(10): 124-131.
- [8] 王玲玲, 刘恋, 张镬, 等. 电力系统灵活调节服务与市场机制研究综述 [J]. 电网技术, 2022, 46(02): 442-452.
- [9] 李政, 李伟起, 张忠伟, 等. “双碳”目标下我国电力系统灵活性资源发展策略研究 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(04): 108-120.
- [10] 章枫, 樊恒建, 邓晖, 等. 基于数学形态学的电力系统灵活调节能力充裕度分析 [J/OL]. 中国电力, 1-15 [2024-12-13].
- [11] 钟伟, 周宇杰, 王泽辉, 等. 新型电力系统安全稳定运行分析 [J]. 湖南电力, 2022, 42(03): 29-34.
- [12] 任大伟, 金晨, 肖晋宇, 等. 计及灵活性基于时序的“十四五”储能需求分析 [J]. 中国电力, 2021, 54(08): 190-198.

- [13] 钟佳宇,陈皓勇,陈武涛,等.含灵活性资源交易的电力市场实时出清[J].电网技术,2021,45(03):1032-1041.DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2020.0723.
- [14] 广东电力交易中心.《2023年广东电力市场年度报告》[EB/OL]. [https://mp.weixin.qq.com/s/kfHLc\\_iuhwPJ2pU3KEk2EA](https://mp.weixin.qq.com/s/kfHLc_iuhwPJ2pU3KEk2EA), 2024-03-08.
- [15] 广东省能源发展和改革委员会,《关于进一步完善我省峰谷分时电价政策有关问题的通知》[EB/OL]. [https://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post\\_3500421.html](https://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_3500421.html), 2021-08-31.
- [16] 彭康,胡楠,孙溢,等.分布式光伏发电与储能对电网的影响分析[J].电子技术,2022,51(10):182-183.
- [17] 广东电力交易中心.《2018年广东电力市场年度报告》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/zXIEWwPINiG50QlX5qzNYg>, 2024-03-08.
- [18] 广东电力交易中心.《广东电力市场2019年年度报告》[EB/OL]. <https://news.bjx.com.cn/html/20200227/1048396.shtml>, 2020-02.
- [19] 广东电力交易中心.《广东电力市场2020年年度报告》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/JgpyfHLSk7zdYpglmeYJlg>, 2021-02.
- [20] 广东电力交易中心.《广东电力市场2021年年度报告》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/FIAtfxqElw3dFXy3InPCXA>, 2022-01.
- [21] 广东电力交易中心.《广东电力市场2022年年度报告》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/HGX8caFWeAT70PzeIdDHOA>, 2023-02.
- [22] 2023年广东省电力市场经营主体参与交易情况分析,[EB/OL], [https://mp.weixin.qq.com/s/bcvob-DK181GHKKR\\_sziNg](https://mp.weixin.qq.com/s/bcvob-DK181GHKKR_sziNg), 2024-07-29.
- [23] 储能与电力市场,23GWh!广东重点建设43个储能项目,海博思创/索英等入选[EB/OL], [https://mp.weixin.qq.com/s/SIxUo4\\_8CNXwDKxf5e82Ew](https://mp.weixin.qq.com/s/SIxUo4_8CNXwDKxf5e82Ew), 2024-04-02.
- [24] 广东省能源局,关于印发广东省新型储能参与电力市场交易实施方案的通知[EB/OL], [https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post\\_4148213.html](https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post_4148213.html), 2024-04-04.
- [25] 广东省能源局,《广东省虚拟电厂参与电力市场交易实施方案》[EB/OL], [https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post\\_4526577.html](https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post_4526577.html), 2024-22-28.
- [26] 南方的电,增速第一、总量第一,广东又领跑全国.[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/hfzQWaHRpInERfnESPkMaAh>, 2024-09-20.
- [27] 广东省统计局.《2023年广东省国民经济和社会发展统计公报》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/mGuMA65FEUUTsHLEuZbf5A>, 2024-03.
- [28] 前三季度GDP逼近10万亿!广东光伏崛起!, <https://mp.weixin.qq.com/s/VpGfc7WkX-LJ9p4gWKF1lbA>, 2024-11-01.
- [29] 储能产业网,318个项目!超4.9GWh!广东5、6月储能项目备案汇总分析, <https://mp.weixin.qq.com/s/osLfEe19fgcC4nt-jhCZ9w>, 2024-07-21.

- [30] 广东电力交易中心. 《广东电力市场 2024 年半年报告》[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/Y6XWZsIhUJt2gZdCNnNCBw>.
- [31] 马程, 陈泓宇, 郑静. 抽水蓄能和新型储能协同发展分析[J]. 水电与抽水蓄能, 2024, 10(05): 93-99.
- [32] 于硕. 基于多类型储能协同的新型电力系统调节能力建设[J]. 电工技术, 2023, (07): 7-9.
- [33] 郭科宏. 以多类型储能协同为基础的新型电力系统调节能力构建[J]. 电力设备管理, 2024, (15): 263-265.
- [34] 黄博文. 新型电力系统中的双向调节技术——储能(上)[J]. 大众用电, 2024, 39(03): 72-74.
- [35] 黄博文. 新型电力系统中的双向调节技术——储能(下)[J]. 大众用电, 2024, 39(04): 72-74.
- [36] 南方能源观察, 广东持续发力新型储能产业, 支持政策密集出台, <https://mp.weixin.qq.com/s/xQMz3Wj1U6f3bdbMt8lZKq>, 2024-12-09.
- [37] 广东省能源局. 《广东省推进能源高质量发展实施方案(2023-2025年)》[EB/OL]. [https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post\\_4186275.html](https://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post_4186275.html), 2023-05-22.
- [38] 袁峰, 纪业, 顾刘婷. 用户侧灵活可控资源的协同响应研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(08): 61-63. DOI:10.19769/j.zdhy.2024.08.020.
- [39] 魏春霞, 林伟芳, 周专, 等. 用户侧储能和电动汽车自发响应特性对含高比例新能源电网影响分析[J]. 高电压技术, 2023, 49(S1): 231-238. DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.20230944.
- [40] 司方远, 张宁, 韩英华, 等. 面向多元灵活资源聚合的区域综合能源系统主动调节能力评估与优化: 关键问题与研究架构[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(06): 2097-2119.



## 作者

中国能源研究会双碳产业合作分会：黄少中、汤泰、张葵叶、于立东

## 联系方式

tai.tang@qq.com

## 鸣谢

特别感谢以下专家对报告撰写提供的洞见及建议：

南方电网专家委员会原专职委员：薛武

广州电力交易中心：王鑫根

国网能源院原资深专家：蒋莉萍

广东电力交易中心：王浩浩、罗锦庆

北京电力交易中心交易六部：贺元康

南方电网电力调度控制中心：黄韬

南方电网碳资产公司：罗理鉴

广东电网河源供电局电力调度中心：俞晓峰

首钢冷轧薄板公司：李俊

本报告所述内容不代表以上专家和所在机构以及项目支持方的观点。

