



广东专题

需求侧协同能源转型的市场机制与 政策支撑研究：以广东为例

电力圆桌项目课题组

2025年12月

版权说明

本报告免费下载，转载或引用请注明来源，不得用于任何形式的商业牟利。如有违反，我们保留依法追究其法律责任的权利。

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



中国节能协会（CECA）由原国家经贸委于 1984 年批准设立，并于 1989 年正式在民政部登记注册的 4A 级社会团体，党建工作由中央社会工作部管理，主要行业管理部门是国家发展改革委。协会主要从事节能降碳政策研究、标准制定、节能诊断、节能技术评估推广及节能降碳领域的相关培训与咨询等方面工作，业务范围涉及工业节能、交通节能、建筑节能、公共机构节能、重点用能单位节能和社会节能等领域，多次被国家部委评为全国节能先进单位。中国节能协会内设 9 个职能部门、25 个专业委员会，与几十家地方节能协会建立联席会议工作机制并开展业务合作。



自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。

需求侧协同能源转型的市场机制与 政策支撑研究：以广东为例

2025年12月

目 录

摘要	1
1. 研究背景与思路	3
2. 研究主要成果	6
2.1 我国需求侧资源的发展现状	6
2.2 广东实证与市场机制设计	14
2.3 政府治理体系与政策供给	18
3. 总结与建议	26
3.1 总结	26
3.2 行业建议	27
参考文献	29

摘要

在加快构建新型能源体系的背景下，能源转型的核心动力正从单纯的供给侧结构调整，转向供需两侧的协同并进，需求侧资源可以发挥的作用越发显著，已成为保障电力系统安全、提升能效及促进消纳的重要组成部分。本报告以广东省为典型实证样本，旨在探讨如何构建一套“有效市场、有为政府”的长效机制，以充分实现需求侧资源的系统价值。

报告尝试从市场机制与政府治理两个维度展开探讨：

在市场机制层面，针对需求侧资源分散、异构的特点，报告探讨建立涵盖灵活性与能效提升等多元市场架构，基于需求侧资源池共享的逻辑，依靠不同市场的交易属性挖掘需求侧资源的价值。同时，探讨利用数字化与人工智能技术作为市场化运行的基础设施，通过数智化手段，海量“看不见”的分散资源可被转化为“可观、可测、可信”的交易单元，这将是实现从物理连接向价值创造跃升的技术前提。

在政府治理层面，报告探讨了治理逻辑与边界，基于电力服务属性的分类治理框架，探讨了构建“国家—省级—地市”三级纵向治理体系的可行性：通过国家层面负责立法确权与兜底安全底线，省级层面负责统筹搭建市场平台引导资源高效配置，地市层面则聚焦于解决配网通道拥堵与公平接入问题。

为充分实现需求侧的系统价值，报告提出以下建议：

在国家层面，应加快修订《电力法》《节能法》等法律法规，确立虚拟电厂、负荷聚

合商等新型主体的市场地位，赋予“负荷削减量”“碳减排量”财产权利，并将需求侧资源纳入国家能源安全保障体系，确认其在应对极端天气和提升系统韧性中的战略作用。同时，需制定强制性并网运行与通信协议标准，打破数据壁垒，通过行政规制确保分散资源在关键时刻能够被有效调度，守住系统安全底线。

在广东层面，应完善“电量 + 容量”双轨市场，在现货市场基础上探索容量机制，解决灵活性资源投资回收难题，引导资本投入系统充裕度；坚持“适度精度 + 规模经济”导向，确立分层分类的调控逻辑，避免过度技术化，实现高精度应急与低成本广覆盖的平衡；同时，推动“能碳协同”与数智化赋能，打通电力与碳市场价值链，推广“虚拟电厂 + 零碳园区”模式，利用数字经济与人工智能优化“源网荷储”协同，推动产业绿色升级。

研究背景与思路

在全球能源格局深刻调整和“双碳”目标加速推进的背景下，我国能源转型已进入一个由量变走向质变的关键时期。在这一过程中，能源供给侧虽然仍然是结构调整的主战场，但其边际贡献正在逐步递减，单纯依赖供给侧的清洁能源扩张已难以完全支撑转型的深度与广度。如何充分发挥需求侧资源的潜力，使其与供给侧形成互补，成为实现能源清洁转型、构建新型电力系统的必然要求。

从普遍意义上看，需求侧资源的开发利用不仅是电力系统安全稳定运行的保障手段，更是提升能效水平、促进可再生能源消纳、实现低碳转型的战略性资源。过去政策侧重供给端，但在新能源大规模接入、电力系统波动性加剧的情况下，仅依赖供给已难满足电力系统对灵活性和平衡性的要求。需求侧凭借灵活调节、多样化和分布式优势，为电力系统提供新的缓冲空间。无论是负荷削峰填谷，还是电动汽车、储能与分布式光伏互动，均展现巨大潜力。然而，尽管行业共识已定，但在实际推进中仍面临资源“看不见、调不动、用不好”的现实困境，以及市场化变现路径不清晰、政府治理边界模糊等深层次矛盾。

作为我国经济体量最大、能源消费总量居前的省份，广东在能源清洁转型中面临的压力与挑战具有典型性和代表性。一方面，广东在 2021-2025 年需要完成严格的能耗双控目标，而展望未来五年，碳排放双控的考核约束将进一步加大对其能源消费结构和排

放水平的要求。广东既是制造业大省，工业负荷占比高，刚性需求大；又是新兴产业集聚区，电动汽车、数字经济发展迅猛，这一双重特征使得需求侧资源的挖掘空间与治理难度并存。另一方面，广东在电力市场建设方面走在全国前列，虚拟电厂、储能、电动汽车互动等新兴模式均已开展探索，为需求侧机制创新提供了实践基础。这些现实条件使广东成为研究如何通过市场与政府双重维度推动需求侧资源发展、助力能源清洁转型的理想案例。

基于此，课题组选取广东省作为典型的实证样本，重点解决以下三个层面的核心命题：

一是资源价值识别与潜力评估问题：在新质生产力主导的产业转型背景下，如何重新界定需求侧资源的范畴？面对广东作为制造业大省与数字经济高地的双重特征，如何量化评估工业负荷、分布式光伏、电动汽车及用户侧储能等多元资源的实际可开发潜力，从而为行业发展提供数据支撑？

二是存量体制下的市场机制设计问题：针对广东当前的电力市场架构，如何构建适配的资源共享与交易机制？特别是如何利用数字化与人工智能技术作为基础设施，将海量离散资源转化为“可观、可测、可信”的市场交易单元，实现从物理连接向价值创造的跃升？

三是市场作用与政府治理边界问题：在已建立初步电力市场机制的前提下，政府应何时介入？如何基于电力服务的经济学属性，厘清“有效市场”与“有为政府”的职能边界，并构建适应不同层级政府职能的纵向治理体系？

围绕上述核心命题，课题组遵循“现状评估—实证分析—机制设计—治理创新”的逻辑主线展开研究：

（1）现状摸底与潜力测算

作为研究的逻辑起点，本部分通过梳理国家及省级政策从行政管控向市场化机制演变的脉络，总结需求侧资源开发的典型利用模式。同时，结合广东省产业结构与能源消费特征，对各类负荷及分布式资源的规模进行现状摸底，量化测算其调节能力与能效提升潜力，为后续机制设计奠定坚实的数据基础。

(2) 广东实证与市场机制设计

本部分聚焦于“解决路径”。一方面，针对广东需求侧资源开发典型实践，如深圳虚拟电厂、广州负荷控制能力建设及典型聚合商的先行实践等，分析当前模式的成效与痛点。另一方面，基于现有市场运行机制，提出在广东市场架构的需求侧资源参与市场机制设计。同时，探讨数智化技术在资源聚合与可信结算中的赋能作用。

(3) 治理逻辑重构与体系构建

本部分基于经济学原理，探讨各类电力服务的市场与政府边界。在此基础上，尝试提出从政策层面开展需求侧资源协同治理的方向。

(4) 总结与建议

本部分对研究发现进行总结，并提出适应新型电力系统的需求侧资源发展建议。

2 研究主要成果

2.1 我国需求侧资源的发展现状

2.1.1 需求侧资源的范畴与特征作用

(1) 需求侧资源的范畴

对于“需求侧资源”的界定，国内存在两种常见视角。狭义层面，以用户关口表计为界，如图 2-1 所示，表计以内由用户拥有并掌控的各类资源均属于需求侧，例如各类负荷、电动汽车及充电桩、用户侧储能、工商业与户用分布式电源等。而在广义层面，如图 2-2 所示，伴随新型电力系统建设和信息通信技术发展，需求侧已突破用户个体范畴。负荷聚合商、虚拟电厂运营商等主体，能够将狭义资源进行聚合，按照电网的供需信号实施调度。同时，它们还可以对台区层面的储能、分布式电源等非直连主网的资源进行管理，使之纳入系统调控，这类资源亦被视作广义需求侧范畴。

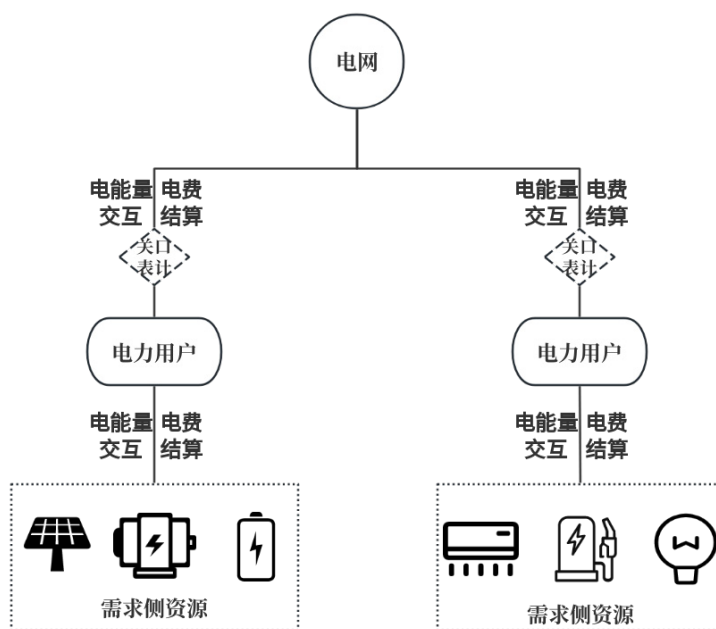


图 2-1 狭义需求侧资源示意图

图示来源：《适应新型电力系统的电力需求侧管理市场化机制研究》

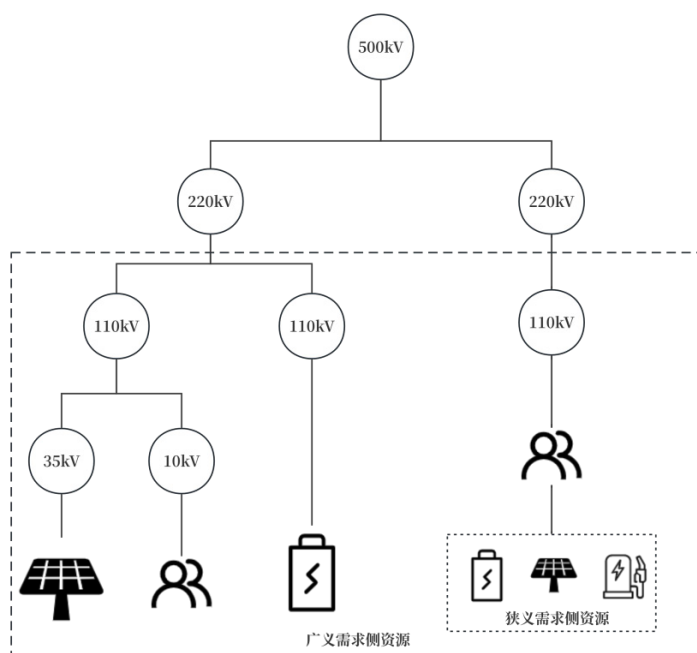


图 2-2 广义需求侧资源示意图

注：广义需求侧资源不包括所涉及的配电网资产

图示来源：《适应新型电力系统的电力需求侧管理市场化机制研究》

（2）需求侧资源提升系统灵活性的特点

近年来，我国需求侧资源调控逐步由传统邀约式响应向市场化、智能化、多元化的聚合模式转型，虚拟电厂成为推动资源有序聚合、转化为稳定系统调节能力的关键载体。其功能定位主要体现在三方面：一是缓解尖峰负荷的经济化手段，通过聚合多元资源以低成本替代昂贵的常规电源扩建，显著降低尖峰时段度电成本；二是促进可再生能源消纳的重要途径，通过灵活调节负荷实现源荷双向匹配，有效解决风光间歇性导致的消纳难题，如云南利用电解铝等行业填谷消纳新能源；三是数智赋能下的精准调控新形式，依托数字化平台实现跨区域、多品类资源的高效聚合与实时优化，如广东聚合多元负荷资源提升系统柔性。

然而，需求侧资源天然的零散多元特性使其在技术和经济上仍面临挑战。技术上，从采集精度到控制层级存在矛盾，传统工商业用户计量频率低，而分布式资源虽具备高频采集能力，但全系统追求电厂级调控将面临高昂的改造成本和安全风险，易陷入“技术超配—成本激增”困境。经济上，调节精度提升伴随成本上升与可用资源下降，单纯模仿传统电厂路径不可行。因此，虚拟电厂应遵循“适度精度+规模经济”逻辑，组合不同层级资源。随着全国推进统一电力市场建设，虚拟电厂作为市场聚合者，通过电价传导形成差异化零售套餐，跨市场优化收益，并作为新型经营主体参与系统运行，赋予需求侧资源多重经济价值，如图 2-3 所示。

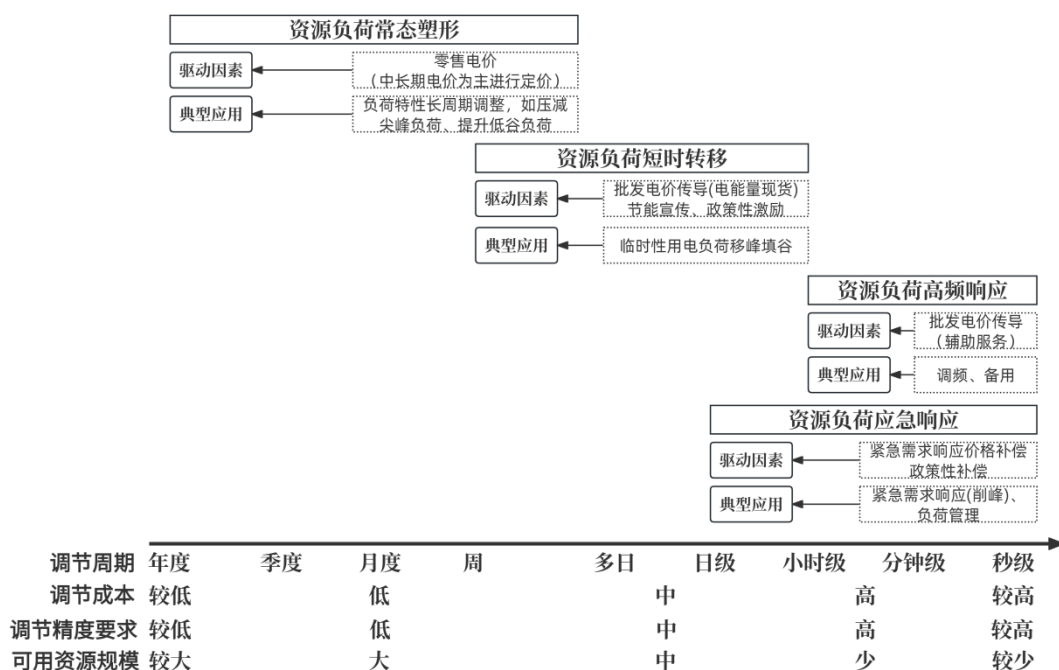


图 2-3 虚拟电厂聚合资源负荷能力分析

图示来源：《我国虚拟电厂高质量发展的若干关键问题辨析》

(3) 需求侧资源提升能效的特点

能效提升在能源系统清洁转型中扮演“做减法”“促升级”“筑基石”等多重角色。

一是“做减法”，即通过节能技术改造、精细化用能管理等，直接减少能源消费和峰值负荷，从源头减排。

二是“促升级”，即通过严格的能效标准，加快落后产能退出、推动先进工艺设备推广应用，以持续性技术革新促进产业绿色升级。

三是“筑基石”，即通过能效提升、产能产量调控、原料和燃料替代等综合手段，在“碳达峰”阶段降低对化石能源的依赖，为风光资源匮乏地区实现“碳中和”奠定良好基础。

2.1.2 我国支持需求侧资源开发的政策分析

近年来，围绕构建以新能源为主体的新型电力系统的战略目标，我国着力推进能源生产和消费方式变革，以保障能源安全稳定供应并支撑双碳目标的实现。在此宏观战略引领下，电力需求侧管理政策体系不断完善，其发展脉络呈现出**从行政管控向市场化机制转变、从单一节能增效向源网荷储协同优化演进**的特征。

此外，国家层面还明确提出“新型经营主体”概念。2024年11月，国家能源局发布《关于支持电力领域新型经营主体创新发展的指导意见》，提出**新型经营主体**是具备电力、电量调节能力且具有新技术特征、新运营模式的配电环节各类资源，分为单一技术类新型经营主体和资源聚合类新型经营主体。其中，**单一技术类新型经营主体**主要包括可调节负荷、分布式光伏、用户侧储能、电动汽车等；**资源聚合类新型经营主体**主要包括虚拟电厂（负荷聚合商）和智能微电网。同时，2023年版《电力需求侧管理办法》提出综合能源服务商的概念，也将其视作新型经营主体，起到能效提升、节电降碳的作用。

随着国家级需求侧管理政策的陆续出台，各省市相继发布了相应的需求侧管理方案或实施细则。政策上总体呈现出**参与主体多元化、品种类型多样化、市场模式成熟化、收益模式多样化和区域互济协同化**等特点。

2.1.3 需求侧资源的开发潜力

（1）可开发需求侧资源潜力

1) 可调节负荷

工业负荷方面，基于2024年第二产业用电负荷占比，假设工业全行业具备10%的调节潜力，经课题组测算，全国工业可调节负荷潜力约为**0.98**亿千瓦，广东省相应潜力约为**0.11**亿千瓦。

商业负荷方面，考虑实际参与率和约束率，实际可调节潜力按理论值30%计算，全国商业可调节负荷实际开发潜力约为**0.09**亿千瓦，广东省约为**0.01**亿千瓦。

居民负荷方面，考虑聚合后实际调节潜力较理论值会有所提升，取**0.2**为现实增益系数，调整后的全国居民可调节负荷潜力约为**0.18**亿千瓦，广东省约为**0.02**亿千瓦。不同负荷类型可开发潜力见表2-1。

表 2-1 不同负荷类型可开发潜力

对比维度	工业负荷	商业负荷	居民负荷
负荷类型	生产线、工业电炉、电解槽等大型生产设备	中央空调、照明系统、电梯、水泵等楼宇公用设施	空调、电采暖、热水器、照明等家用电器
调节方式特点	响应集中、规模大、可预测性强，可通过调整生产工艺实现响应	夏季高峰特征显著，可通过调节温控、照明等实现响应	负荷分散、个体随机性强，可通过聚合管理实现响应
可调节负荷占比	约 10% ¹	约 15%	约 19.5%
开发潜力	全国：0.98 亿千瓦 广东：0.11 亿千瓦	全国：0.09 亿千瓦 广东：0.01 亿千瓦	全国：0.18 亿千瓦 广东：0.02 亿千瓦

注：2024 年全国及广东省负荷数据来自国家及广东省统计局

2) 分布式光伏

目前我国已并网分布式光伏大多数不具备“四可”（即可观、可测、可调、可控）条件，属于不可控电源。未来需依托储能 + 协调控制技术，提高分布式光伏接入电网的友好性，实现分布式光伏的协调优化运行，以达到新型电力系统对电能质量的高标准要求。截至 2025 年 9 月底，我国分布式光伏累计并网容量为 50799.6 万千瓦。分省份来看，前五名分别为江苏、山东、浙江、河南、广东，其中广东累计并网容量为 4311.2 万千瓦，占全国总容量的 8.5%²，如图 2-4 所示。按照存量光伏“四可”改造率达到 20% 进行估算，全国分布式光伏可开发调节潜力为 10159.92 万千瓦，广东省可开发潜力为 862.24 万千瓦。

1 落基山研究所、中国电力科学研究院有限公司. 电力需求侧灵活性系列：工业灵活性潜力及发展现状 .[EB.OL].(2023-09)[2025-09-12].

2 国家能源局，2025 年前三季度光伏发电建设情况 [2025-11-12].

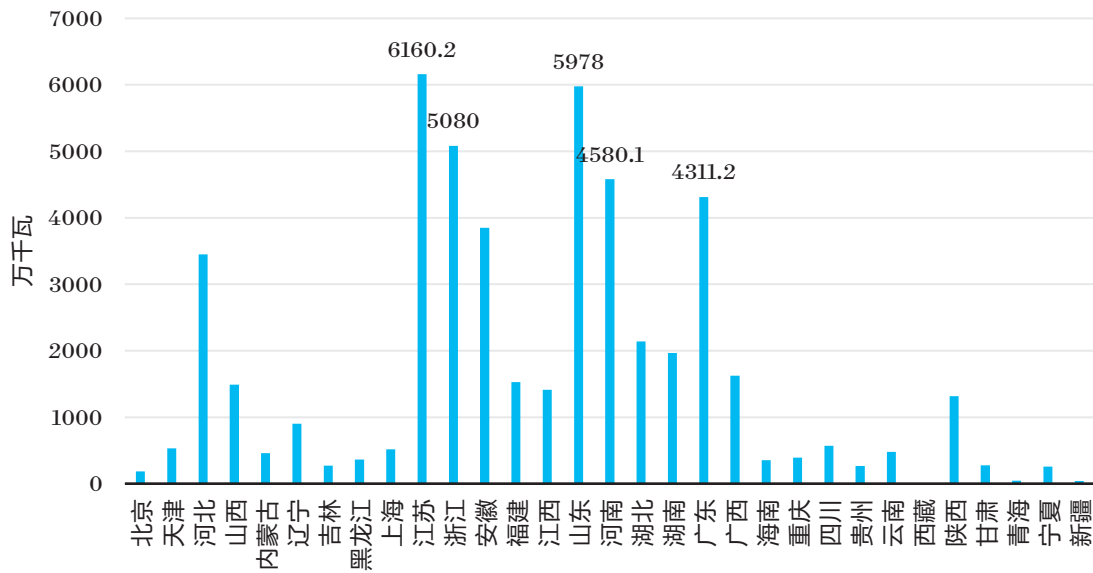


图 2-4 截至 2025 年 9 月底各省分布式光伏累计并网容量

注：数据来源于国家可再生能源中心、中国电力企业联合会

3) 用户侧储能

根据相关统计数据，截至 2025 年 10 月，我国及广东省用户侧储能累计并网总量分别约为 1211 万千瓦 / 2682 万千瓦时、167 万千瓦 / 370 万千瓦时，按行业实践经验取 75% 的实际利用率，全国及广东省用户侧储能的实际可调节潜力约为 908.25 万千瓦、125.25 万千瓦³。

4) 电动汽车

据公安部统计，截至 2025 年 6 月底，全国新能源汽车保有量达 3689 万辆，占汽车总量的 10.27%。分省份来看，保有量前四名分别为广东、浙江、江苏、山东，其中广东省新能源汽车保有量约 480 万辆左右，显著领先于其他省⁴。

配套充电设施方面，2025 年 10 月，全国充电桩累计达 1864.5 万台，其中，广东省公共充电桩保有量为 77.7 万台，交流充电桩为 50.5 万台，直流充电桩为 27.1 万台⁵。由

3 寻熵研究院《中国用户侧储能发展报告 2025》[2025-12-10]

4 数据荟·新能源汽车保有量分析（截至 2025 年 6 月底）[EB.OL].(2025-07-22)[2025-09-12].

5 中国充电联盟 .2025 年 10 月全国电动汽车充换电基础设施运行情况 [EB.OL].[2025-11-19].

于各类充电场景差异较大，不同类型的充电设施聚合开发难度也不同，公共充电桩参与短时灵活性调节的难度较小，居民和办公场所的聚合难度较大，更适合分时电价等常态化激励去引导有序充放电，因此只取公共充电桩的数据进行测算，考虑到充电桩在各个时段的使用情况不同，充电桩同时系数取 0.2，理想状态下，全国新能源汽车可调节潜力约为 5000 万千瓦，广东省潜力约为 700 万千瓦。

5) 可开发潜力汇总

从上述分析可知，广东省在可调节负荷、分布式光伏、用户侧储能和电动汽车等需求侧资源领域均具备一定的开发潜力。具体见表 2-2。综合考虑同时率等因素，预计全国及广东省的可调节资源潜力分别为 11000 万千瓦、1335 万千瓦，预计分别占 2025 年最大负荷的 7.3%、8.1%⁶。

表 2-2 全国及广东可开发潜力汇总表

分类	需求侧资源	全国可开发潜力 (万千瓦)	广东省可开发潜力 (万千瓦)
负荷侧	可调节负荷	12500	1400
源侧	分布式光伏	10159.92	862.24
源侧 + 负荷侧	用户侧储能	908.25	125.25
源侧 + 负荷侧	电动汽车	5000	700

(2) 开发利用模式及利用现状

需求侧资源的开发利用是构建新型电力系统的重要组成部分，其通过整合用户侧的灵活资源，实现电力供需平衡的优化配置。随着能源转型的持续深化，需求侧资源的开发利用已从传统的单向负荷管理，逐步演变为多向互动、智能聚合的高级形态。目前主要形成了 5 种开发利用模式：**直接参与需求响应、车桩网互动、智能微电网、虚拟电厂聚合、综合能源服务**。五种模式层层递进，体现了能源系统智能化、去中心化和低碳化的发展趋势，如图 2-5 所示。未来的需求侧管理将更加依托于市场机制、数字技术和政策支持，推

6 根据中国电力报披露信息，2025 年国家及广东省最大负荷分别为 15.06 亿千瓦、1.64 亿千瓦

动需求侧资源在保障电力系统安全稳定运行、促进可再生能源消纳和实现“双碳”目标中发挥更加核心的作用。

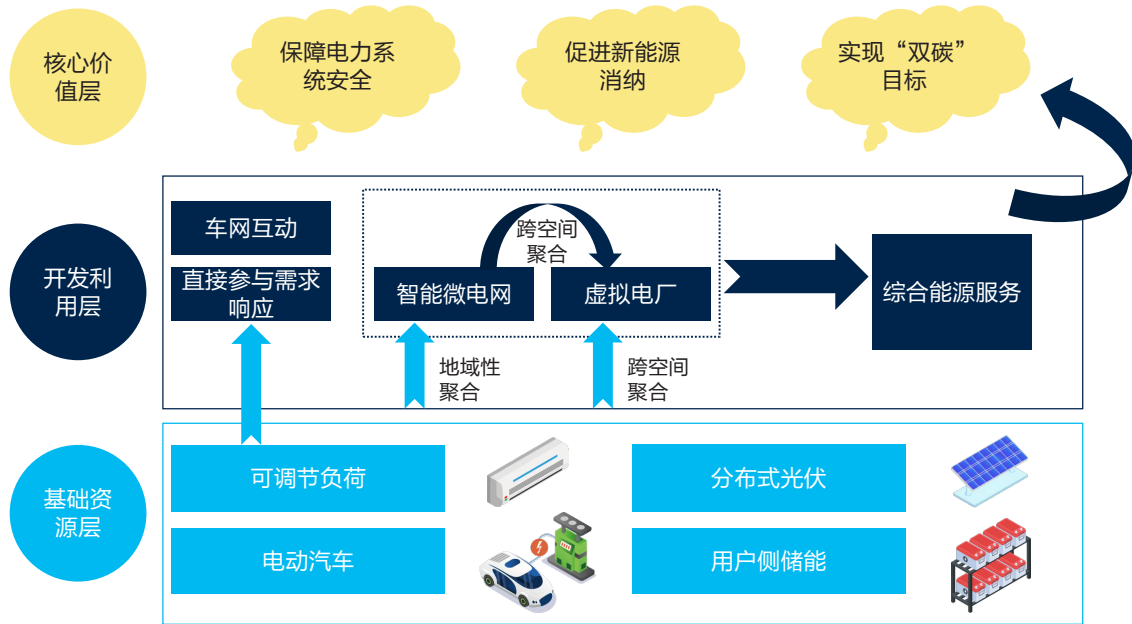


图 2-5 需求侧资源开发利用模式

2.2 广东实证与市场机制设计

2.2.1 广东推动需求侧资源利用的实证分析

广东是南方电网区域的核心省份，是南方电网区域西电东送战略的主要受电省，2024 年用电量达 9121 亿千瓦时，大于南方电网区域其余四省用电量之和。同时，广东具有经济发达、终端电价承受力相对较高的特点。广东在需求侧助力清洁转型的实证探索中，通过灵活性资源挖掘与能效提升的“双轮驱动”，构建了多层次的实践范式。例如，在灵活性提升方面，深圳确立了“政策—平台—场景—交易”四位一体的城市级闭环模式，实现了从设备改造到市场化结算的全链路打通；广州则以“负荷控制能力”与“常态化需求响应能力”为硬约束指标，强化城市能源安全韧性；同时，南网电动、蔚来等聚合商依托“云—管—端”协同与 AI 算法，实现了车网互动从试点向规模化应用的跨越，而东莞松山湖等园区通过构建交直流混合微电网，打造了具备快速响应能力的灵活性骨架。

在能效提升方面，针对建材、石化、钢铁等高耗能行业，广东主要通过“替代燃料+余热回收”“产业链协同”及“极致能效工程”等手段挖掘存量潜力，并积极推动近零碳示范区与零碳园区建设，率先探索“虚拟电厂+零碳园区”的融合模式，实现了分布式资源开发与区域能效管理的深度协同。这些实证表明，广东正逐步从单一的负荷管理向“源网荷储”一体化协同迈进，验证了需求侧资源在保障系统安全、促进新能源消纳及推动产业绿色升级中的关键价值。

广东在能效市场化领域已确立领先优势，依托逾千家节能服务公司与成熟的碳交易体系，正推动商业模式从单一合同能源管理向以碳价为核心的“能碳协同”资产运营升级。在深化能效“存量挖潜”的同时，面对新型电力系统对调节能力的迫切需求，构建适配灵活性资源的市场化机制成为新的改革重点。

2.2.2 广东需求侧资源电力市场参与模式设计

根据广东省“十四五”电力规划的发展目标和相关要求，相关研究成果⁷显示，基于广东省2025年典型日、尖峰日和低谷日的分析来说，广东省按照能源规划，特别是在应对尖峰的情况下，广东省整体装机呈现冗余态势。根据当前广东省电力现货运行价格，从主网层面来看，不考虑粤东、粤西存在局部阻塞的情况下，虚拟电厂应用于主网批发市场的经济激励不明显，恐难以产生较好的效果。

但从局部来说，主网层面，受主网个别断面输送能力受限以及配电网末端台区过载问题影响，无法单纯通过新增集中式电源解决。以深圳虚拟电厂为例，聚焦解决部分台区重载问题，实现了线路级的负荷控制，取得较好的效果。

但是，聚焦于局部和配网层面应用的虚拟电厂，其常态化运行机制的实现面临的问题在于：

1. 当前广东现货电能量价格存在一定程度的扭曲，无法反映真实的供需形势；
2. 完全通过现货市场实现的成本疏导，会将区域断面或重载响应的成本向全网传递，造成新的不公平；

7 能源环境服务产业联盟·南方电网区域虚拟电厂常态化运行机制研究[R]. 自然资源保护协会，2024.

3. 当前广东电力现货市场仅能反映主网，无法反映配网层面的供需信号。虽然可以采取映射对应节点价格的方式，但是对于节点下负荷多样、区域特征差异大的情况，无法有效实现优化目标。

从近中期来看，随着全国统一电力市场的加速推进，特别是新能源作为经营主体入市交易，通过市场化手段形成的电价将更高频、更直接地向终端疏导，区域之间的供需特性差异将愈发显著。但是，从广东省的维度来看，按照“总调—中调—市调”形成的调度体系并不会在短期内发生大的改变。同时，由于广泛的需求侧资源并不通过调度与电力系统交互，而是主要通过电网营销体系与电力系统交互，因此，从市场化机制建设来讲，仍需要考虑资源开发、系统衔接等多种因素。

在此预设下，针对近中期需求侧资源参与市场的考虑，调整后的市场化体系如图 2-6 所示。

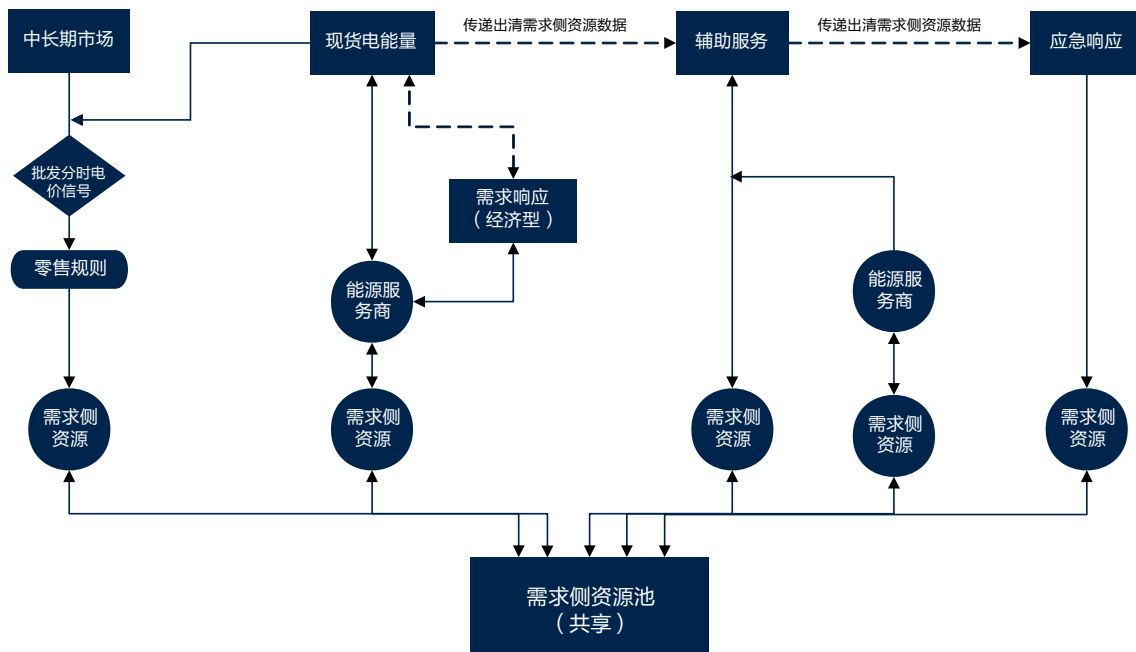


图 2-6 需求侧资源参与市场的架构设计

该架构的核心在于构建一套适应当前“调度—营销”双轨运行体制的分层耦合与资源共享机制。

首先，为解决资源在不同市场品种间的协同难题，体系设计了严格的顺位出清与数据传导逻辑。现货电能量市场的出清数据作为基础边界，单向传递至辅助服务市场，进而流转至应急响应环节。这种“余量递推”的机制，既顺应了电网安全运行的物理约束，又在机制上规避了同一资源在同一时段被重复调用的风险，确保了市场化交易与电网系统安全在数据层面的有效衔接。

其次，针对需求侧资源“点多面广”且主要依赖营销体系交互的特点，架构明确了“价格传导”与“聚合交互”两条并行主线。一方面，对于海量分散、对价格敏感的终端用户，通过中长期与现货市场的价格信号向零售端传导，利用批发侧分时电价信号引导其调整用电行为，在营销体系内实现“隐式”调节；另一方面，对于具备更高灵活性及激励诉求的资源，引入能源服务商作为关键中介。通过将分散的资源进行数字化聚合，能源服务商能够在底层保持资源多样性的同时，以统一、标准化的接口参与现货电能量竞价或辅助服务市场，从而在不改变现有“总调—中调—市调”实体调度架构的前提下，实现了需求侧资源与批发市场的“柔性”对接。

最终，底层构建了“需求侧共享资源池”，确立了资源跨场景的互相调用关系。为了保障共享机制的有效运行，系统利用前述的出清逻辑对资源状态进行锁定与同步，确保任何一次资源调用都能被其他业务环节实时知晓，从而在实现资源广泛复用的同时，杜绝了由于信息不透明导致的调度冲突。

在此逻辑架构之上，数字化与人工智能技术不仅是技术辅助，更是支撑这一“共享资源池”从构想走向落地的物理底座。深圳市虚拟电厂管理中心的实践已率先验证了这一点，其依托 5G 通信与云边协同技术，成功接入分布式储能、数据中心等超 550 万千瓦资源，将海量离散设备转化为资源池中“可观可测”的标准化单元。在此基础上，南方电网“大瓦特”大模型的应用进一步赋予了资源“智慧大脑”，通过对用户的精准画像与策略生成，使其具备了在多重市场中自动寻求最优解的主动博弈能力。更进一步地，佛山顺德在“虚拟电厂+零碳园区”的融合探索中，建立了涵盖陶瓷、装备制造等特色的“工业可调负荷资源池”，打通了园区能效管理与区域电网调度的界限。这种“机制设计+数智实践”的深度融合，确保了需求侧资源不仅能在逻辑上被共享，更能在物理上被精准调度与价值变现，从而真正实现从被动管理向主动价值创造的跃升。

2.3 政府治理体系与政策供给

2.3.1 推动需求侧资源治理体系的逻辑

尽管各界对需求侧资源在新型电力系统中的战略价值已达成共识，但在具体的政策制定层面，却长期处于一种“认知模糊、抓手缺失”的状态。这种状态并非源于“为发展而发展”的盲目冲动，恰恰相反，是因为从政府主管部门到行业主体都深知其必要性，却又难以精准界定在已有的电力市场体系之外，政府究竟应从何处着手以及介入多深。特别是在广东等电力市场化改革先行区，现货市场、辅助服务市场已初步运行，仍需要正面回答一个问题：既然已经建立了通过价格发现价值的市场机制，为何还需要政府治理的强力介入？政府的有为边界究竟在哪里？

电力系统运行所需的各类服务产品，无论是电能量的平衡、频率的稳定，还是容量的充裕与能效的提升，又或者对于系统中的每一个主体（无论是发电侧、电网侧还是用户侧）而言，都具有特定的经济学属性。正是这些服务产品本身在“排他性”与“竞争性”上的差异，决定了市场机制的有效边界。政府治理的介入，并非要替代市场，而是要填补那些市场机制因“属性不匹配”而天然失效的真空地带。

依据公共物品理论，电力系统提供的服务产品并非全是标准的可交易商品。根据服务在消费过程中的“排他性”和“竞争性”，可以构建一个清晰的四象限评估框架。这一框架不仅是分类的工具，更是划定“政府—市场”边界的理论标尺。

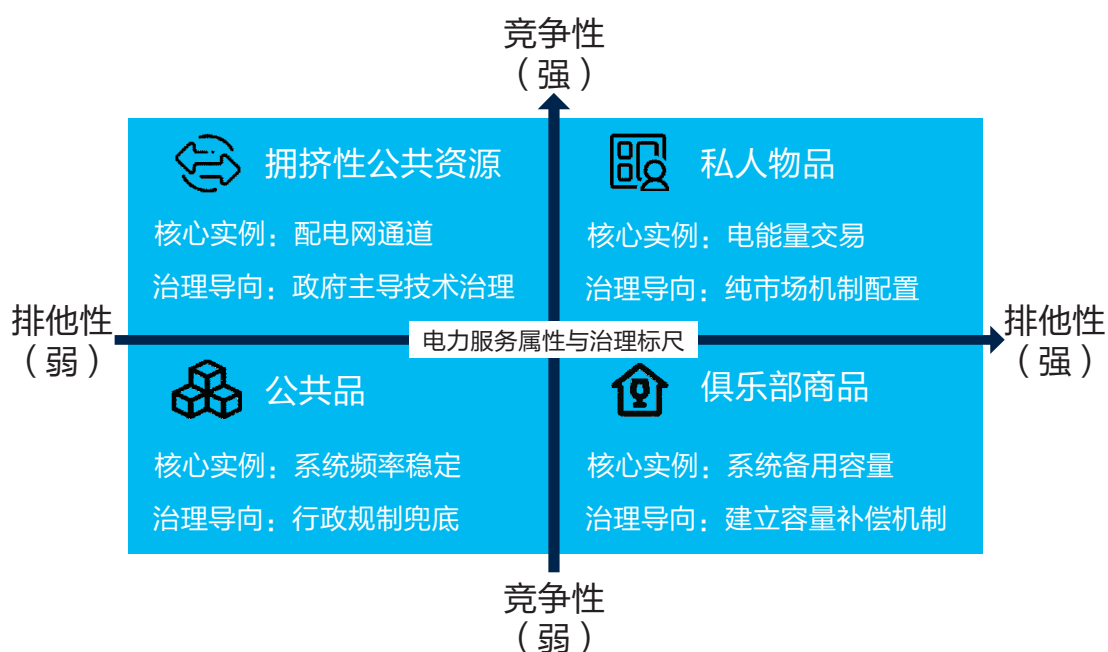


图 2-7 电力系统服务分类与治理框架

第一类是具有“私人物品”属性的服务，典型代表是电能量的削峰填谷与爬坡服务。在电力市场中，每度电的交易权属清晰，且被消耗后无法复用。在此领域，价格信号能够精准反映供需稀缺程度，市场机制是最高效的配置手段。政府的治理边界应止步于规则维护，无需过度干预。

第二类是具有“公共品”属性的服务，典型代表是系统惯量响应与基础性的一次调频服务。电网频率的稳定是系统运行的底线，具有非排他性和非竞争性。但值得注意的是，这类服务的经济属性并非一成不变，而是随着技术进步和市场化程度在发生边际转化。传统意义上，发电机组必须无偿提供基础的一次调频以维持系统稳定，这属于“搭便车”效应明显的公共品区域，是政府必须通过行政规制或强制并网标准进行“兜底”的绝对领域。然而，随着山西、吉林、辽宁及黑龙江等先行省份的探索，具备极快响应速度的新型储能等资源，正在将“优质的一次调频服务”从“义务”转化为“商品”。在这些区域，超出基础义务要求的调节能力被定义为交易品种，通过独立储能“报量报价”等方式进入市场。这表明，除了最底层的安全义务仍需作为公共品由政府通过标准锁定外，高性能的灵活性服务正逐步具备私人物品属性，适合通过市场机制发现其稀缺价值。

第三类是具有“俱乐部商品”属性的服务，典型代表是系统备用与长期容量支撑。为了应对小概率的极端天气或机组故障，系统需要维持冗余容量。这种服务在技术上可以设定边界，但在一定范围内增加一个用户的享用并不显著增加边际成本。它本质上是一种“会员制互助”的保险服务。单一的电能量市场往往只对“发电”付费，而忽略了“可用容量”的价值。因此，政府需要介入构建容量补偿机制或战略备用机制，弥补单一市场的缺陷。

第四类是具有“拥挤性公共资源”属性的服务，典型代表是配电网通道与电压控制。随着分布式资源的爆发，配电网通道变得稀缺且具有竞争性，极易引发资源争抢与低效利用问题。单纯的全局性市场价格难以解决局部的物理拥堵，这需要政府在配额分配、接入权管理等技术治理层面发挥主导作用。

(1) 灵活性资源的治理逻辑

基于上述理论框架，可以清晰地回答：在已有现货与辅助服务市场的情况下，为何仍需推动灵活性资源的政府治理？根本原因在于，灵活性资源（如虚拟电厂、储能）提供的价值中，只有一部分属于“私人物品”，而相当一部分仍属于“公共品”或“俱乐部商品”，这部分价值无法被现有市场完全捕获。

具体而言，当灵活性资源参与削峰填谷时，它提供的是私人物品，现货市场的峰谷价差已足够激励，此时政府应明确交给市场解决。然而，当新型电力系统面临高比例新能源带来的转动惯量缺失风险时，安全变成了公共品。对于纯物理特性的惯量支撑，由于缺乏直接的交易品种或价格信号微弱，企业缺乏主动提供惯量支撑的动力。此时，政府必须承担起相关责任，通过制定强制性的并网技术标准或建立非市场的成本疏导机制，确保系统安全的底线不被击穿。

但对于技术上已具备量化交易条件的安全服务，如部分地区已通过市场化运作的一次调频，政府的治理逻辑则应顺势调整：从单纯依赖“强制义务”转向“底线义务 + 市场激励”的双轨制。即政府划定并网机组必须承担的基础调节义务，同时允许并鼓励独立储能等优质资源通过市场化竞价出售额外的调节能力。这种转变在山西及东北区域的实践中已证明，能够比单纯的行政命令更高效地引导社会资本投入到系统急需的快速响应资源中。

同理，在容量充裕度方面，灵活性资源能够延缓昂贵的输配电投资，这是一种典型的俱乐部商品价值。现货市场的高价虽然能在短时反映稀缺，但波动性极大，难以支撑长期的固定资产投资。政府治理的必要性在于建立稳定的容量回收机制，将这种隐性的系统价值显性化，从而引导社会资本敢于投向那些平时闲置、急时保供的“备用资源”。因此，对于灵活性资源，政府治理的核心不在于干预交易，而在于为那些市场无法定价的安全价值与容量价值寻找实现路径。

（2）能效资源的治理逻辑

与灵活性资源相比，能效类资源的治理逻辑更为复杂。这源于能效资源独特的“二元悖论”属性：它同时兼具极强的“私人收益”与极强的“公共正外部性”，且两者在现有机制下严重错位。

从私人维度看，能效提升，如更换高效电机、建筑节能改造等，直接带来了用户电费的减少。这均属于私人物品属性，理论上可以通过合同能源管理等市场模式解决。但现实中，由于初始投资门槛较高、投资回收期长、节能价值评估与变现困难、融资渠道不畅通等原因，企业动力往往不足。

从公共维度看，能效资源是典型的“隐性富矿”。它在宏观上减少了全社会的能源消耗总量，直接延缓了电网与电厂的巨额扩建投资，并从源头上减少了碳排放。这些巨大的收益属于全社会共享的公共品，单个企业无法通过“省电费”来获取这部分收益。这就是“市场失灵”的根本所在：企业只算“小账”，而不关心“大账”。

因此，能效资源的治理核心在于平衡其经济属性和公共品属性，构建“激励约束相容”的框架。政府须确立具有约束力的战略目标和法律框架，通过强制性量化目标、强制性标准等，向社会传递长期稳定的市场信号，稳定投资预期；同时，通过绿色金融、价格机制、财政补贴等政策工具，降低企业节能项目融资成本和风险，将节能产生的环境与系统价值货币化，补偿给投资主体。换言之，在能效领域，面临的市场主体、利益方更加多元化，政府治理工作的复杂性和平衡难度高于灵活性资源。

2.3.2 构建基于服务属性适配的纵向治理体系

通过上述分析可以看出，电力系统所需的各类服务并非同质化的商品，而是涵盖了从必须由政府兜底的“公共品”，到应当由互助机制解决的“俱乐部商品”，再到需要精细化管理的“拥挤性公共资源”，以及完全可以交给市场的“私人物品”。这种复杂的属性谱系决定了治理体系不能是扁平化的单一市场，而必须构建一个与资源属性精准适配的立体化治理架构。在此架构中，不同层级的政府不再是简单的行政命令传导者，而是不同属性公共服务的供给主体与市场边界的界定者。基于此，需要构建“国家顶层定标、省级统筹协同、地市精细落地”的三级联动治理体系，通过行政与市场的有机结合，实现需求侧资源价值的最大化释放，如图 2-8 所示。

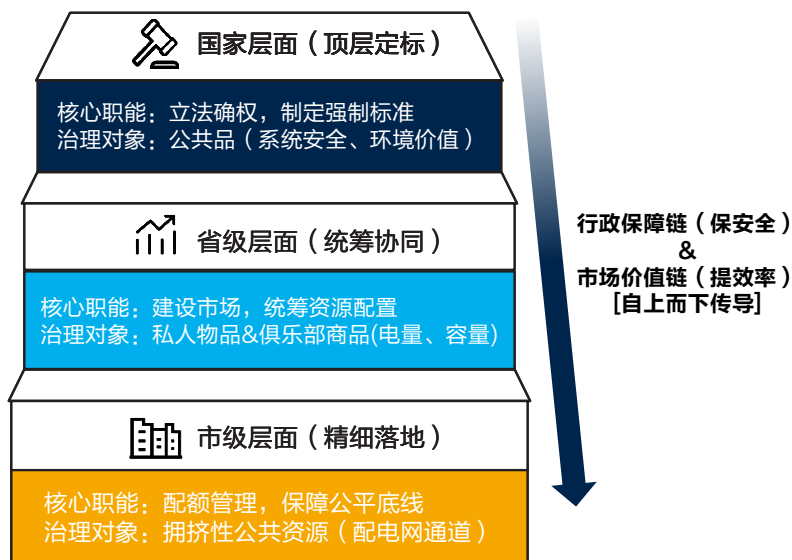


图 2-8 多层次需求侧资源治理体系

(1) 国家层面

国家层面的治理是整个体系的基石，其核心经济职能在于解决市场机制无法触及的根本性问题：一是通过立法界定资源的“排他性”产权，为私人物品交易奠定法律基础；二是直接承担起具有显著“非竞争、非排他”特征的系统级公共品的供给责任，防止全网性的安全风险。

首先，通过法律顶层设计，完成需求侧资源的产权界定，这是将“外部性”转化为

“内部收益”的前提。正如前文所述，能效资源的“私人物品”属性（节费）与“公共品”属性（减排）长期割裂，灵活性资源的容量价值（俱乐部商品）常被忽略，根本原因在于产权界定不清。

因此，首要考虑的是在《节能法》《电力法》等上位法的修订中，明确虚拟电厂、负荷聚合商的独立市场主体地位，从法律上赋予其“负荷削减量”与“碳减排量”等同于实体商品的财产权利。通过建立全国统一的碳排放权交易体系与用能权交易体系，国家实际上是将能效提升产生的环境正外部性进行了确权，使其转化为可交易的私人物品，从而利用市场机制解决公共品供给不足的问题。同时，国家应确立“供需协同”的规划范式，在宏观层面将需求侧资源纳入国家能源安全保障体系，实际上是将“能源安全”这一最大的公共品供给责任，从单纯依赖供给侧建设转向供需双侧共同承担，通过制度安排确认需求侧资源在国家安全层面的合法性与必要性。

其次，国家应主导建立强制性的互联互通标准与安全底线，以保障系统级公共品的有效供给。系统惯量、一次调频等服务属于典型的公共品，由于“搭便车”效应的存在，任何单一的市场主体都缺乏主动提供的动力。国家相关部委应联合行业协会，持续优化强制性的并网运行国家标准，强制要求接入系统的海量分散资源必须具备一定的公共品供给能力（如必须具备通信接口、必须具备频率响应能力等）。这本质上是通过行政规制，强制内部化部分外部成本，确保电力系统的底线安全不因市场化而瓦解。此外，针对能效资源，国家应持续完善强制性的一级能效标准，这实际上是在基础设施和设备制造阶段就预置了公共品的供给能力，以行政力量拉高全社会的能效底线。

（2）省级层面

省级政府在需求侧资源治理体系中承上启下，其核心经济职能在于构建统一的市场准入标准与实操规则，通过制度创新将海量、多样的需求侧资源转化为电力市场中标准化的“交易单元”，从而为具有“私人物品”属性的灵活性资源提供变现渠道，同时统筹兼顾“公共品”属性的系统安全与环境价值。为此，广东省在落实顶层实施方案的基础上，由广东电力交易中心配套出台了《广东虚拟电厂参与电能量交易实施细则（试行）》与《广东虚拟电厂运营管理实施细则（试行）》，构建起一套涵盖“准入、交易、运营”的全链条省级治理体系。

在挖掘灵活性资源的“私人物品”价值方面，省级治理的重点在于建立精准的分类交易机制与价格发现渠道。依据交易实施细则，广东省打破了过去单一的行政邀约模式，明确将虚拟电厂划分为“发电类”与“负荷类”两类交易单元，并设计了差异化的市场路径。具体而言，对于聚合了分布式光伏、独立储能等具备反送电能力的“发电类虚拟电厂”，省级规则赋予其与常规电厂同等的市场地位，允许其以“报量报价”的方式直接参与现货电能量市场，通过全电量竞价实现灵活性价值的变现；对于聚合可调节负荷的“负荷类虚拟电厂”，则细分为日前响应型、小时响应型等不同模式，重点参与市场化需求响应与辅助服务交易。这种机制设计的核心在于，省级政府不再直接指定谁来减负荷，而是搭建全省统一的竞价平台，允许虚拟电厂根据自身调节成本进行报价，通过日前的电能量出清价格或需求响应补偿价格，引导工业负荷与储能资源在系统最需要的时候主动削峰或填谷，真正实现了灵活性价值的“按效分配”。

在保障资源“公共品”属性的运营管理方面，省级治理侧重于确立严格的技术门槛与安全底线。运营管理实施细则规定了明确的注册与测试流程，强制要求虚拟电厂运营商必须建立满足调度数据网要求的技术支持系统，确保聚合资源的实时数据完整率与在线率均达到高标准要求。这种“宽进严管”的准入制度，本质上是省级政府为海量分散资源划定的安全红线，确保这些资源在关键时刻不仅“看得见”，更能“调得动”，从而支撑起全省电力系统的安全底线。此外，结合广东作为碳排放权交易试点省份的先发优势，省级层面正逐步探索将能效资源的碳减排价值纳入统一管理，通过完善碳市场机制，引导石化、数据中心等高耗能企业将能效提升产生的环境正外部性转化为内部的碳资产收益，从而实现市场激励与绿色转型的深度融合。

（3）市级层面

地市级政府作为治理体系的末端与执行枢纽，其核心职能在于解决分布式资源大规模接入配电网时产生的“拥挤性公共资源”分配难题，并承担起保障系统韧性与社会公平的兜底责任，确保省级市场的通用规则能够适配本地复杂的物理网架与社会场景。

针对配电网通道这一“拥挤性公共资源”的精细化治理，深圳市提供了实体化运作的典型范本。面对海量分布式资源接入可能引发的无序竞争与局部过载问题，深圳市并没有停留在政策呼吁层面，而是成立了国内首家虚拟电厂管理中心，构建起“政策—平台—

场景—交易”四位一体的闭环治理体系。市级政府通过制定专项扶持措施与技术规范，建立了统一的城市级资源接入与调度平台，对分散的充电桩、空调与储能设施实施标准化的“日内/实时精准响应”管理。这种治理模式的核心在于，由政府主导的实体化中心行使“交通警察”的职能，根据配电网的实时承载能力公平分配接入权与调节权，有效避免了单纯依靠市场价格信号可能导致的配网资源的进一步加速耗竭，为解决城市能源基础设施的拥堵问题提供了可复制的路径。

在城市级资源的统筹能力建设与民生普惠方面，广州市确立了以“系统性指标”为导向的治理逻辑。依托“全市统一的虚拟电厂管理平台”与“新型需求侧管理平台”，广州市明确将“负荷控制能力”与“常态化需求响应能力”作为衡量城市能源安全韧性的硬约束指标，截至2024年底已形成超过500万千瓦的负荷控制能力。不同于单纯追求商业利润的市场行为，市级政府的治理更侧重于公共服务的均等化，通过将能源设施升级融入老旧小区改造与公共机构节能导向中，利用财政资金与行政力量推动基础设施的补短板工程。这不仅确保了城市在迎峰度夏等极端场景下具备“可观、可控”的底座能力，也避免了低价值密度的民生领域在能源数字化转型中被边缘化，体现了政府治理在效率之外对公平与安全的兜底作用。

（4）多层次协同

上述三级治理体系并非割裂存在，而是需要通过纵向协同，形成基于资源属性的政策闭环。对于公共品属性资源（如系统安全与环境价值），应形成“国家定标强制、省级监督执行、市级落地配套”的行政保障链条，确保安全底线不破，减排目标达成；对于俱乐部商品与私人物品属性资源（如容量与电量），应探索形成“国家确权、省级造市、市级培育”的市场化链条，让价格机制充分发挥作用；对于拥挤性公共资源（如配网通道），应研究形成“省级指导、市级统筹、技术支撑”的精细化治理链条。通过这种立体化的治理结构，确保政府这只“看得见的手”始终作用于市场失灵的关键环节，既不越位干预私人物品的交易，也不缺位公共品的供给，从而构建起一个高效、公平、可持续的需求侧资源发展新生态。

3 总结与建议

3.1 总结

在加快构建新型能源体系的背景下，本报告系统审视了需求侧资源在构建新型电力系统中的战略定位、市场潜能与治理路径。以广东省为实证样本，深入剖析了需求侧资源开发利用的现状挑战、市场机制设计的优化方向以及政府治理体系的创新逻辑，得出以下主要结论与展望：

第一，需求侧资源已成为能源清洁转型的重要助力，其价值内涵正从单一的负荷调节向多维系统价值延伸。研究表明，随着新能源占比的持续提升，电力系统的核心约束已从单纯的“电量平衡”转向“电量 + 容量 + 灵活性”的多维平衡。在此背景下，需求侧资源不再仅仅是传统的用电末端，而是具备了“源荷互动”特征的战略资源。无论是狭义的关口表后负荷，还是广义的涵盖分布式光伏、独立储能的新型经营主体，其通过削峰填谷、频率响应及能效提升所释放的系统价值，已成为缓解供给侧投资压力、促进新能源消纳的关键手段。特别是对于广东这样能源消费体量大、受端电网特征明显的省份，挖掘需求侧潜力是保障系统安全与经济运行的必然选择。

第二，市场机制是激活需求侧资源市场竞争与公共服务双重属性的高效手段，但需解决价值传导与成本疏导的难题。通过对广东省虚拟电厂及能效市场的实证分析发现，

市场化机制在发现价格、引导资源配置方面具有不可替代的作用。然而，当前市场仍面临价格信号传导不畅、收益模式单一等挑战，特别是配网层面的阻塞价值与系统级的容量价值尚未通过价格机制充分显性化。本报告提出市场化机制调整思路，强调了中长期、现货与辅助服务市场的协同，并探索建立容量补偿机制以保障资源的长期充裕度，从而实现从“政策驱动”向“市场驱动”的内生性转变。

第三，政府治理体系的创新在于厘清“市场与政府的边界”，构建基于资源属性适配的立体化治理架构。本报告提出了电力服务属性的四象限分类框架，明确了政府治理并非替代市场，而是为了填补市场失灵。针对系统惯量、安全底线等“公共品”，必须由国家层面通过强制标准与法律确权进行兜底；针对电量与容量等“私人物品”与“俱乐部商品”，探索由省级政府建设公平开放的市场平台与互助机制；而针对配电网通道等“拥挤性公共资源”及能效服务的普惠性，地市级政府则需发挥精细化管理与民生保障职能。这种“国家定标、省级统筹、市级落地”的三级联动体系，为解决需求侧资源分散化、碎片化治理难题提供了制度范式。

第四，“能效提升（做减法）”与“灵活性提升（做加法）”的协同，是广东实现能源高质量发展的双轮驱动。广东的实践证明，能效提升不仅是降低成本的手段，更是支撑新型电力系统安全经济运行的“隐性资源”。未来应推动节能服务向“能碳协同”的综合能源服务转型，利用数字化与人工智能技术，打破传统节能与负荷调节的界限。通过将虚拟电厂的灵活调节能力与零碳园区的能效管理深度融合，形成“源网荷储”一体化的区域能源生态，是广东推动产业绿色升级、实现碳达峰目标的可行路径。

3.2 行业建议

基于上述研究结论，为进一步推动需求侧资源高效协同能源转型，本报告分别从国家顶层设计与广东先行先试两个维度提出以下建议：

3.2.1 国家层面

加快修订法律法规，明确新型主体法律地位。建议在《电力法》《节能法》等上位法修订中，正式确立虚拟电厂、负荷聚合商等作为独立市场主体的法律地位，从法律层面赋

予“负荷削减量”与“碳减排量”等同于实体商品的财产权利。将需求侧资源纳入国家能源安全保障体系规划，确认其在应对极端天气与保障系统韧性中的战略合法性。

构建强制性互联互通标准，打破数据壁垒。针对具有“公共品”属性的系统安全需求，国家应联合行业协会制定强制性的并网运行与通信协议标准，解决设备互联互通难、聚合成本高的问题。通过行政规制强制要求接入资源具备一定的频率响应与通信能力，确保海量分散资源在关键时刻能够“看得见、调得动”，守住系统安全底线。

3.2.2 广东层面

广东在需求侧资源开发中遭遇的“市场价值传导不畅”与“治理成本高昂”等挑战，对于全国其他负荷中心省份具有极强的典型性和普适借鉴意义。因此，本报告提出的建议虽立足广东实践，旨在破解当前机制瓶颈，但其核心逻辑——即构建多维市场价值闭环与数智化低成本治理体系——同样适用于通过“先行先试”为全国探路。具体建议如下：

一是完善“电量 + 容量”双轨市场，解决成本疏导难题。鉴于广东现货市场已常态化运行，建议广东在完善电能量现货市场以发现“私人物品”价值的同时，加快探索容量补偿机制或容量市场建设。针对灵活性资源具有的“俱乐部商品”属性，通过合理的容量回收机制，解决虚拟电厂和独立储能单纯依赖峰谷价差无法完全回收投资以及投资回报不确定的问题，引导社会资本向提升系统充裕度的方向投资。

二是坚持“适度精度 + 规模经济”导向，避免过度技术化。在推进虚拟电厂建设中，应吸取部分试点成本过高的教训，不应盲目追求全网资源的秒级调控。建议广东确立“分层分类”的调控逻辑：储备少量高成本、高精度的资源应对极端需求，而以低成本、分钟级的分布式资源为主体进行广覆盖调节，通过“适度精度”实现调节经济性与可用性的平衡。

三是推动“能碳协同”与数智化赋能，拓展新质生产力空间。依托广东在碳市场与绿色金融领域的优势，打通电力市场与碳市场的价值链条，探索碳排放权、绿证与节能量的互认互通，为能效服务商向“能碳管理”转型提供市场动力。同时，充分利用广东数字经济优势，大力推广“虚拟电厂 + 零碳园区”模式，利用人工智能技术优化园区级“源网荷储”协同，实现从单纯的能源替代向系统性的产业绿色升级转变。

参考文献

- [1] 邱忠涛, 格根敖其, 贾跃龙, 等. 新型电力系统供需协同全要素理论框架 [J]. 中国电力, 2025, 58(10): 147-162.
- [2] 邓良辰, 王娟, 费佳颖, 等. 数智技术赋能新型电力系统建设 [J]. 宏观经济管理, 2025, (04): 49-58. DOI:10.19709/j.cnki.11-3199/f.2025.04.009.
- [3] 赵晓东, 王娟, 邓良辰. 我国虚拟电厂高质量发展的若干关键问题辨析 [J]. 中国能源, 2024, 46(12): 25-38.
- [4] 张全明, 兰泉妮, 刘柳君, 等. 基于组合赋权-云模型的广义需求侧资源网荷互动水平评估 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2023, 56(06): 717-724. DOI:10.14188/j.1671-8844.2023-06-010.
- [5] 皮泽红. 广东持续推动“能效电厂”节能减排项目高质量进阶 [N]. 中国经济导报, 2023-04-08(004). DOI:10.28095/n.cnki.ncjjd.2023.000374.
- [6] 皮泽红. 广东省亚行能效电厂项目“新征程、再出发” [N]. 中国经济导报, 2021-11-26(003). DOI:10.28095/n.cnki.ncjjd.2021.002741.
- [7] 葛毅, 陈佳铭, 朱永康, 等. 考虑广义需求侧资源的江苏“十四五”电源规划 [J]. 电力需求侧管理, 2021, 23(02): 4-9.
- [8] 程杉, 赵孟雨, 倪凯旋, 等. 考虑广义需求侧资源的微电网规划设计 [J]. 现代电力, 2020, 37(02): 180-186. DOI:10.19725/j.cnki.1007-2322.2019.0674.
- [9] 牛东晓, 赵东来, 杨尚东, 等. 考虑不确定性和储能系统的虚拟电厂与能效电厂联合调度优化模型及仿真应用 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(07): 1736-1743.
- [10] 落基山研究所、中国电力科学研究院有限公司. 电力需求侧灵活性系列: 工业灵活性潜力及发展现状. [EB.OL]. (2023-09)[2025-09-12]. <https://rmi.org.cn/insights/industrial-dsf/>.
- [11] 能源环境服务产业联盟. 南方电网区域虚拟电厂常态化运行机制研究 [R]. 自然资源保护协会, 2024.



自然资源保护协会 (NRDC)
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编: 100026
电话: 010-5332-1910
www.nrdc.cn