

电力用户行为促进新能源消纳的路径探析

温文

西安明德理工学院

摘要 随着全球能源结构加速向低碳化转型，以风电、光伏为主的新能源装机规模持续扩大，但其固有的间歇性与波动性导致消纳矛盾日益突出。用户侧灵活性资源成为破解消纳难题的关键，其中居民用户受价格敏感度低、环保意识驱动有限等约束，需依赖智能家居与社区激励提升响应效率，而工商业用户凭借规模化调节能力与强经济理性，更适合参与电力现货市场与虚拟电厂聚合。最终通过对两类用户差异化施策与协同整合提出“市场－技术－政策”的协同框架，提升新能源消纳率，为新型电力系统建设提供关键支撑。

关键词 居民用户；工商业用户；新能源消纳

DOI <https://doi.org/10.6914/tpss.070308> **文章编号** 2664-1127.2025.0703.76-87

收文记录 收文：2025年3月26日；修改：2025年4月10日；发表：2025年4月20日（online）。

引用本文 温文. 电力用户行为促进新能源消纳的路径探析 [J]. 社会科学理论与实践, 2025, 7(3):76-87. <https://doi.org/10.6914/tpss.070308>.

© 社会科学理论与实践 ISSN 2664-1127 (print), ISSN 2664-1720 (online), 第7卷第3期, 2025年5月31日出版, <https://ssci.cc>, <https://cpcl.hk>, 电子信箱: wtocom@gmail.com, kycbshk@gmail.com.

An Analysis of Electricity User Behavior as a Pathway to Promote Renewable Energy Utilization

Wen WEN

Xi'an Mingde University of Technology

Abstract Since its introduction in the 1970s, the concept of Outcome-Based Education (OBE) has emerged as a core framework in global educational reform, emphasizing clearly defined learning outcomes and reverse curriculum design. However, its implementation in Chinese higher education has encountered significant obstacles, including limited teacher capacity, insufficient resource support, outdated assessment systems, and mismatches with various disciplinary characteristics. This paper investigates the root causes of the slow progress of OBE in China from three key perspectives: practical dilemmas, disciplinary misalignment, and the failure of continuous improvement mechanisms. It argues that the adaptability of OBE varies considerably across disciplines, especially between

practice-oriented and theoretical fields. To address these challenges, the paper proposes stratified implementation strategies, dynamic support systems, and localized theoretical integration. The study concludes that effective educational reform requires systemic coherence, contextual flexibility, and the coexistence of diverse pedagogical paradigms, including both OBE and traditional approaches.

Keywords Outcome-Based Education (OBE); Educational Reform; Disciplinary Adaptability; Teaching Assessment; Localization and Innovation

Cite This Article Wen WEN.(2025). An Analysis of Electricity User Behavior as a Pathway to Promote Renewable Energy Utilization. *Theory and Practice of Social Science*, 7(3):76-87. <https://doi.org/10.6914/tpss.070308>

© 2025 The Author(s) *Theory and Practice of Social Science*, ISSN 2664-1127 (print), ISSN 2664-1720 (online), Volume 7 Issue 3, published on 31 May 2025, by Creative Publishing Co., Limited, <https://ssci.cc>, <https://cpcl.cc>, E-mail: wtocom@gmail.com, kycbshk@gmail.com.

一、引言

自 2021 年 3 月习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上首次提出构建以新能源为主体的新型电力系统以来，我国能源结构加速向低碳化转型，以风电、光伏为代表的新能源装机容量呈现指数级增长态势。截至 2024 年底，据国家能源局数据统计，全国新能源发电量达 3.46 万亿千瓦时，同比增加 19%，约占全部发电量的 35%。全国新能源发电装机规模达到 18.89 亿千瓦，占总装机容量的 56%，提前六年完成“十四五”规划中“风电、太阳能发电装机超 12 亿千瓦”的目标，标志着我国能源清洁化转型进入深度攻坚阶段。但其全年利用率仍低于传统电源约 15%。这一矛盾凸显出新能源消纳已成为新型电力系统建设的核心瓶颈，其根源在于新能源出力固有的随机性、波动性与刚性负荷需求间的时空错配。新能源的消纳量受到发电、用电需求、电价、发电成本、装机容量建设、需求增长以及需求价格弹性等多种因素的影响。如图 1 所示这些因素相互作用，构成了新能源并网对电力市场影响的因果关系。

传统“源随荷动”的调控模式在应对日内风电反调峰特性及光伏“鸭子曲线”效应时已显乏力^[1]，如三北地区夜间风电出力高峰与日间负荷低谷的矛盾，以及正午太阳高照时分正值光伏发电最高值然而用户端却是需求低谷间的矛盾，亟须通过“荷随源动”的范式变革激活用户侧灵活性资源。

用户侧资源作为新型电力系统的“第六代电源”，主要包括居民用户和工商业用户其价值实现路径存在显著的群体异质性。据中电联《电力需求侧管理发展报告》测算，2022 年我国用户侧灵活性资源开发度不足 30%，其中居民用户需求响应参与率更是低于 8%。浙江省分时电价政策在居民侧仅实现 12% 的负荷转移率，而在工商业侧却达到 41%。这种理论缺陷直接造成实践中的资源浪费。本研究重点聚焦占社会总用电量 87% 的两大主体——居民用户与工商业用户，二者在行为决策逻辑和技术经济特征上的系统性差异。其中，居民用户群体具有单体容量小、空间分布广、响应离散性强的特点，其行为模式受个体偏好主导，如德国能源转型实践表明，家庭用

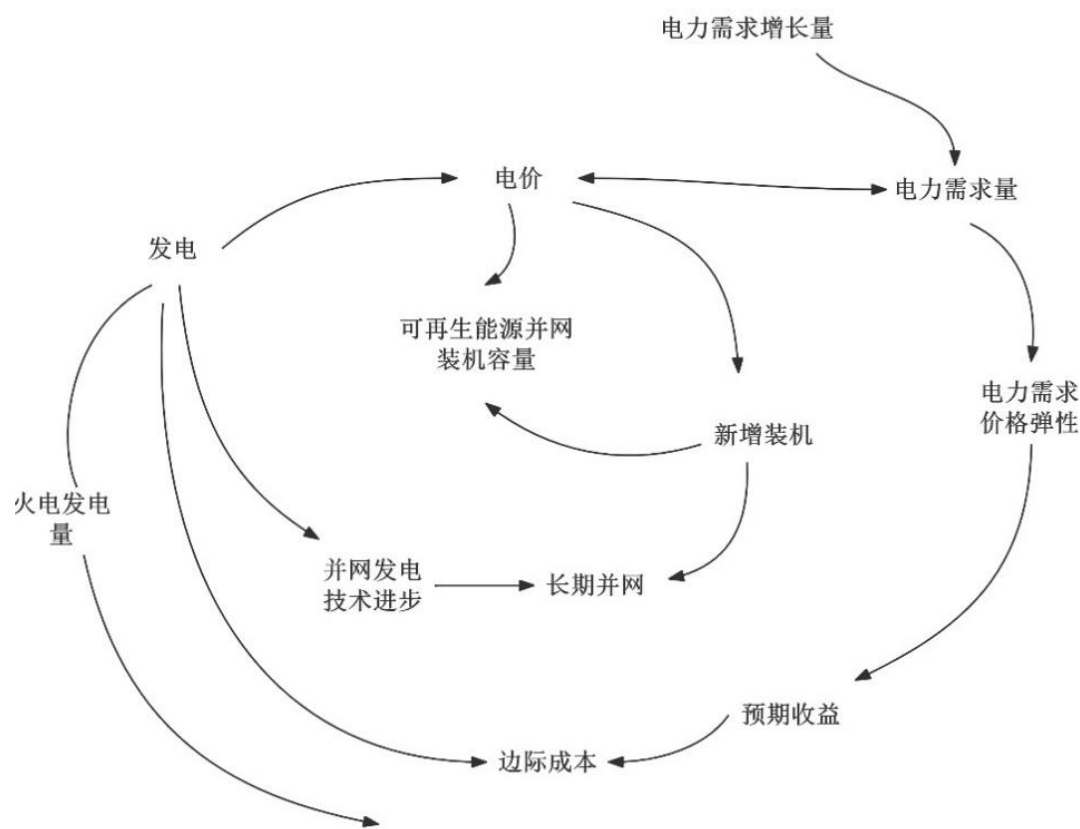


图 1 新能源消纳因果循环图

户参与需求响应的关键触发因素是电价信号透明度而非绝对价格水平^[2]。相比之下，工商业用户则表现出负荷集中度高、调节潜力大、决策理性化的特征，其响应行为严格遵循成本-收益分析框架，据国网江苏电力需求响应监测报告江苏工业园区试点显示，电价波动幅度超过 0.15 元/千瓦时可触发 80% 以上工业用户主动调整生产计划。

当前学术研究多局限于“用户同质化”假设，未能充分解构不同用户群体的行为动力学机制。现有文献在分析需求侧响应时，普遍采用聚合负荷模型忽视微观主体异质性，如 Parvizi 在研究工业用户参与需求响应时采用等效负荷曲线法，导致政策设计出现“激励错配”^[3]。本研究突破传统研究范式，构建行为驱动力、技术适配性、政策针对性三个维度，居民用户和工商业用户双主体分析框架，系统解构两类用户群体的差异化作用机制，创新性提出时空互补型协同路径。

二、居民用户和工商业用户的差异化特征分析

（一）用电行为特征

1. 居民用户

居民用户用电行为呈现显著的时空异质性与低弹性特征^[4]。根据国网能源研究院 2023 年监测数据，居民负荷曲线具有典型的“双峰一谷”特性：早高峰与晚高峰合计占日用电量的 45% 以上，主要由照明、炊事及空调等刚性需求驱动；而夜间谷时段负荷占比不足 15%，与风电夜间出力高峰形成时空错配。季节性差异进一步加剧了调节难度，例如长三角地区夏季居民空调负荷

占峰值负荷的 35%，而北方“煤改电”区域冬季采暖负荷占比超 50%，且受温度波动影响显著，日内波动幅度达 30%。

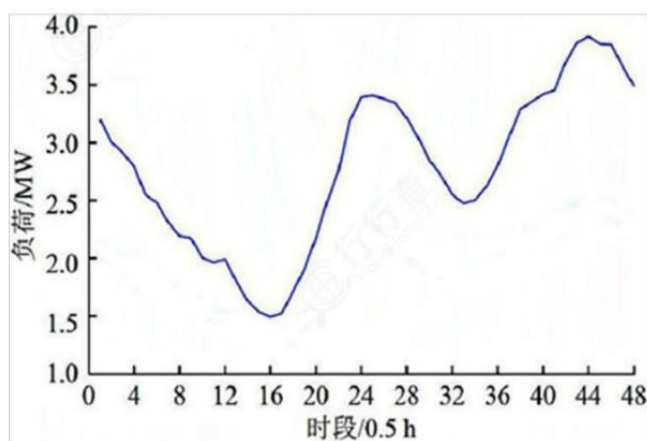


图2 居民典型日负荷曲线

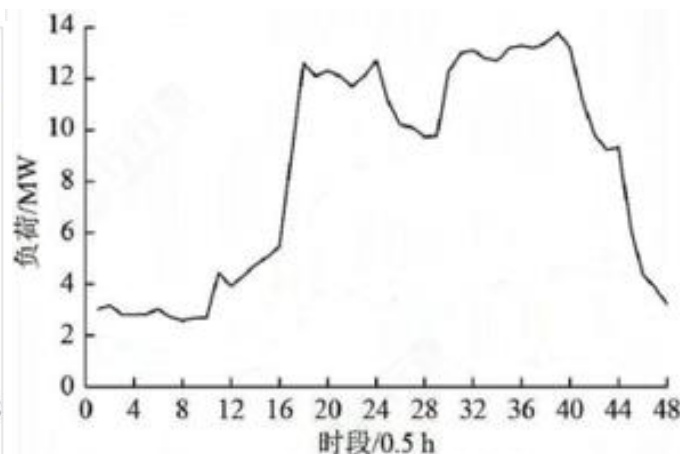


图3 工商业用户典型日负荷曲线

从行为决策机制看，居民用户对经济激励的敏感度较低。江苏分时电价试点数据显示，仅 12% 的居民家庭主动调整用电时段，远低于工商业用户的 40%。这一现象与居民用电的分散性、低单价特性密切相关，单个家庭用电量仅占社会总用电量的 0.002% – 0.005%，导致个体节约收益感知薄弱。环保意识对居民行为的驱动作用同样有限，北京绿电交易试点中仅 8% 的居民用户愿支付 5% 以上溢价，而工商业用户占比达 22%。值得关注的是，技术渗透率对居民可调节潜力具有显著影响，深圳南网能源院研究表明，智能家居覆盖率每提升 10%，居民负荷调节潜力可增加 3% – 5%，但当前我国户用能源管理系统安装率仍低于 15%。

2. 工商业用户

相较于居民用户，工商业用户用电表现出更强的规模效应与调节潜力。工商业用户典型日负荷曲线如图 3 所示。2023 年统计数据显示，工商业用电量占全社会用电量的 68.5%，其中第二产业占比 56%，第三产业占比 12.5%。工业用户负荷稳定性较高，如钢铁、化工等行业波动率 <5%，但调节成本达 0.2-0.5 元/千瓦时；商业用户则表现出灵活的短时调节能力，例如上海虹桥商务区实测显示，写字楼空调负荷可通过楼宇自动化系统（BAS）在 10 分钟内削减 15%-20%。

工商业用户的行为决策高度理性化，严格遵循成本-收益分析框架。广东电力现货市场数据表明，工商业用户对电价波动的弹性系数为 0.35，即电价上涨 10%，负荷下降 3.5%，显著高于居民的 0.08。政策合规压力是另一关键驱动因素，清华大学能源环境经济研究所模型显示，纳入全国碳市场的工业企业绿电采购比例每提高 1%，碳配额缺口可减少 2.3%。技术集成能力方面，江苏工业园区虚拟电厂试点中，单户工业用户可调节负荷达 500 千瓦，聚合后规模超 100 兆瓦，展现出显著的规模经济效应。

3. 两类用户行为特征对比与协同潜力

居民与工商业用户在负荷特性与决策逻辑上的系统性差异，可通过表 1 进行归纳。两类用户的差异化特征为协同消纳提供了可能。时间维度上，居民夜间充电负荷（23:00-5:00）可匹配风电出力高峰，而工商业用户通过调整日间生产计划（11:00-14:00）可消纳光伏峰值。空间维度上，

浙江某社区微电网项目将居民分布式光伏与工商业储能系统互联，使新能源渗透率提升至 58%，较传统模式提高 23 个百分点。这种互补模式在内蒙古乌兰察布风电基地试点中已初见成效，居民电动汽车有序充电使弃风率降低 4.2%，同时工商业调荷策略使光伏消纳率提升至 65%。

表 1 两类用户行为特征

特征维度	居民用户	工商业用户	共同点
负荷规模	单体 0.5-5 kW，总量大但分散	单体 100-5000 kW，集中度高	均受电价政策影响
价格弹性	低（0.08-0.15）	高（0.3-0.6）	响应效率随技术提升而增强
响应延迟	4-6 小时 依赖人工干预	<1 小时 自动化系统	需外部激励触发行为改变
决策主导因素	便利性>经济性>环保性	经济性>合规性>技术可行性	均存在信息不对称问题

（二）新能源互动能力

随着新能源装机规模持续扩大，电力用户与新能源的互动能力已成为影响消纳效率的关键因素。本文基于国内外最新运行数据，系统分析居民与工商业用户与新能源的互动特征及潜力差异。

居民用户与新能源的互动主要表现为分布式光伏消纳和需求响应参与。根据国家能源局 2023 年统计数据，我国用户光伏装机容量已突破 100GW，占分布式光伏总装机的 62%。然而，居民光伏的自发自用率普遍偏低，华北地区平均仅为 30-40%，午间光伏出力高峰时段弃光率可达 8-10%。这主要受限于居民用电时段与光伏出力的不匹配性，典型居民用户日间用电量占比不足 35%，而光伏发电量的 75% 集中在 9:00-15:00。在需求响应方面，居民参与度呈现显著地域差异。江苏试点项目数据显示，安装智能家居系统的家庭响应参与率可达 35%，而未安装家庭仅 5%。电动汽车充电行为的不确定性进一步加剧了调节难度，中国电动汽车百人会 2023 年报告显示，80% 的居民用户选择在晚高峰时段充电，直接导致局部配网过载问题。

工商业用户与新能源的互动则呈现出规模化、专业化的特征。2023 年全国绿电交易数据显示，工商业用户贡献了 87% 的交易量，平均溢价 0.08 元/千瓦时。高耗能行业表现尤为突出，电解铝企业绿电采购占比已达 18%，数据中心行业更是达到 25%。在负荷调节方面，工商业用户展现出显著的技术优势。江苏工业园区虚拟电厂试点项目表明，通过负荷聚合商整合的中小工商业用户，平均调节响应时间可控制在 15 分钟以内，调频精度达到 0.01Hz。具体到行业类型，商业建筑的空调系统最具调节潜力，上海虹桥商务区实测数据显示，在不影响舒适度的前提下，写字楼空调负荷可在 30 分钟内削减 20%。工业用户方面，尽管连续生产型工序调节空间有限（<5%），但辅助生产环节仍具备 10-15% 的调节潜力。居民用户与工商业用户新能源互动能力对比具体如表 2 所示。

两类用户互动能力的差异源于多重因素。从基础设施看，工商业用户智能电表覆盖率已达 95%，远高于居民的 65%；从市场机制看，当前需求响应补偿标准对工商业更具吸引力，广东现货市场数据显示，工商业用户参与调峰的收益可达 0.25 元/kWh，而居民用户仅 0.12 元/kWh。技术门槛也是重要制约，仅有 15% 的居民用户配置了能源管理系统，而规模以上工业企业该比例超过 60%。

表 2 居民用户与工商业用户新能源互动能力对比

指标	居民用户	工商业用户
分布式能源渗透率	光伏覆盖率 12%	光伏覆盖率 28%
自消纳率	30-40%	55-65%
需求响应参与率	8-15%	35-45%
响应延迟时间	4-6 小时	15-60 分钟
调节成本	0.3-0.5 元/kWh	0.1-0.3 元/kWh

值得注意的是，两类用户的互动能力正在新型商业模式下产生协同效应。浙江“光伏 + 储能 + 充电桩”社区试点项目表明，通过将居民分布式光伏与工商业储能系统互联，可使新能源就地消纳率提升至 58%^[5]。江苏开展的“居民 - 园区”绿电直供试点更实现了跨用户类型的资源优化，居民光伏余电直供周边工业园区，使整体消纳率提高 12 个百分点。这种协同模式的经济性已初步显现，项目内部收益率达到 8.5%，投资回收期缩短至 7 年。未来随着电力市场改革的深化，用户与新能源的互动模式将持续创新。

三、行为驱动因素的差异与共性

（一）行为驱动差异

电力用户行为决策是影响新能源消纳效率的核心要素。深入理解居民与工商业用户用电行为驱动因素的差异与共性，对制定精准的需求侧管理政策具有重要意义。基于行为经济学理论，结合国内外实证数据，系统分析两类用户行为决策的内在机理。

居民用户用电行为主要受生活习惯、经济因素和环境意识三重因素影响。从生活习惯来看，居民用电具有典型的刚性特征，早晚高峰用电占比超过 45%，这种模式与人体生物钟高度相关，改变难度较大。国网能源研究院 2023 年调研数据显示，即使实施分时电价，仅有 12% 的居民会主动调整主要用电时段。经济因素方面，居民对电价的敏感度呈现明显的收入差异：月收入低于 5000 元的家庭电价弹性系数为 0.15，而月收入 2 万元以上高收入家庭仅为 0.05。值得注意的是，环境意识对居民行为的影响正在增强，北京绿电交易试点中，8% 的居民用户愿意支付 5% 的溢价购买绿电，这部分用户普遍具有高等教育背景，即本科以上学历占比 82%。不过整体来看，居民行为改变仍面临较高门槛，深圳试点项目显示，只有当补贴达到 0.5 元/千瓦时以上，居民参与需求响应的比例才能突破 20%。

工商业用户行为决策则表现出更强的经济理性特征。成本控制是最核心的驱动因素，广东电力现货市场数据表明，当实时电价超过 1.2 元/千瓦时，85% 的工业企业会启动应急预案调整生产流程。政策合规压力是第二大驱动因素，全国碳市场覆盖的 2162 家企业中，绿电采购比例与碳配额缺口的相关系数达到-0.73。行业特性也显著影响决策逻辑：数据中心行业对供电稳定性要求极高，其参与需求响应的门槛电价达到 1.5 元/千瓦时；而纺织、机械加工等传统制造业对 0.3 元/千瓦时的价差就会作出响应。企业规模同样是重要变量，大型企业（员工 500 人以上）普遍建立了专业的能源管理团队，其需求响应参与率（45%）显著高于中小企业（25%）。

(二) 共性机制

两类用户在行为驱动因素上存在显著差异。决策时间尺度方面，居民用户多采用“现时偏好”决策模式，60% 的用电行为属于习惯性动作，缺乏长期成本核算；而工商业用户普遍建立年度能源预算制度，73% 的企业会进行季度用电成本分析。信息处理能力差异更为明显，居民用户主要依靠供电企业提供的简单账单，而规模以上工业企业中，92% 接入了专业能源管理系统，可实时监测各环节用电数据。社会影响机制也不同，居民行为易受社区示范效应影响，当社区光伏安装率达到 15% 时，新装申请量会出现 30% 的跃升；而工商业用户更关注行业标杆实践，某龙头企业采用绿电后，同行业其他企业的跟进比例达到 58%。

表 2 居民用户与工商业用户新能源互动能力对比

指标	居民用户	工商业用户
分布式能源渗透率	光伏覆盖率 12%	光伏覆盖率 28%
自消纳率	30-40%	55-65%
需求响应参与率	8-15%	35-45%
响应延迟时间	4-6 小时	15-60 分钟
调节成本	0.3-0.5 元/kWh	0.1-0.3 元/kWh

尽管存在诸多差异，两类用户行为驱动因素仍具有重要共性。具体如表 3 所示。首先，价格信号对两类用户都具有基础性调节作用，只是响应阈值不同：居民用户需要 0.3 元/千瓦时以上的明确价差，而工商业用户对 0.1 元/千瓦时的持续价差就会作出反应。其次，技术条件构成共同的制约因素，无论是居民还是工商业用户，安装智能电表后参与需求响应的概率都提高了 3 倍以上。再次，政策稳定性是关键考量，江苏调研显示，当政策预期不确定时，居民和工商业用户的参与积极性都会下降 40% 左右^[6]。最后，社会规范对两类用户都具有潜移默化的影响，“绿色企业认证”可使工商业用户绿电采购量增加 25%，而“低碳社区”称号同样能提升居民用户 15% 的节电意愿。

深入分析这些驱动因素的内在联系，可以发现用户行为改变存在典型的阈值效应。对居民用户而言，只有当经济激励、技术条件和环境意识三个因素同时达到一定水平时，才会产生显著的行为改变。北京某社区实验显示，在提供 0.4 元/千瓦时补贴、安装智能电表并开展环保宣传的组合措施下，居民参与率达到 35%，而单一措施的效果均不足 10%。工商业用户则表现出阶梯响应特征：当电价差达到 0.2 元/千瓦时时，30% 的企业会调整非核心生产环节；达到 0.5 元/千瓦时时，75% 的企业愿意调整主要生产流程；超过 1 元/千瓦时时，90% 的企业会启动全方位应急响应。

这种差异化的驱动模式要求采取分类施策的管理思路。对居民用户，需要构建“经济激励 + 技术赋能 + 社区动员”的综合驱动体系。上海试点项目表明，结合动态电价、智能家居补贴和社区竞赛的三重措施，可使参与率提升至 40%。而对工商业用户，则应着力完善“市场机制 + 标准规范 + 能力建设”的制度框架。广东电力现货市场的经验显示，在建立透明交易规则、制定行业能效标准和提供专业培训的情况下，工业用户响应率可稳定在 65% 以上。

随着新型电力系统建设的推进，用户行为驱动机制正在发生深刻变革。数字技术的发展大

幅降低了信息获取成本，国网电商平台数据显示，使用能源 APP 的居民用户用电量透明度提升 50%，行为可预测性提高 40%。碳市场的完善也为工商业用户提供了新的行为导向，重点排放企业的绿电采购意愿与碳价呈现显著正相关。这些变化预示着，未来用户行为管理将更加注重多元驱动因素的协同作用，通过经济手段、技术工具和制度创新的有机结合，全面提升电力系统运行效率。

四、促进新能源消纳的差异化路径

（一）居民用户：低门槛、高触达的柔性引导

动态电价机制是最基础的市场工具。需要建立多层次的价格信号体系来引导居民用电行为。浙江分时电价试点表明，当峰谷价差达到 0.5 元/千瓦时，居民负荷转移率可达 18%。但单纯依靠价格信号的调节效果有限，需要创新市场产品设计。德国能源市场推行的绿电溢价机制值得借鉴，居民用户可选择支付 5%-10% 的溢价锁定绿电供应，2023 年德国绿电居民用户占比已达 32%。又如在北京实施了更为精细化的“实时电价 + 碳积分”双轨制，居民在电价低谷时段用电不仅享受低价，还可获得碳积分兑换电费，试点区域居民参与率提升至 25%。社区级分布式交易是另一创新方向，江苏开展的光伏余电社区直销试点，允许居民光伏业主以高于上网电价 0.1 元/千瓦时的价格向邻居售电，既提高了光伏消纳率，又增强了用户获得感。市场机制设计要特别注意居民行为的经济阈值，国网能源研究院研究表明，当经济激励达到居民月电费支出的 15%，约 20-30 元时，行为改变意愿会显著增强。

技术支撑体系是转化行为意愿为实际行动的关键媒介。智能计量基础设施构成技术底座，截至 2023 年底，我国居民智能电表覆盖率已达 78%，但高级计量体系功能开发不足。深圳试点项目显示，在智能电表基础上增加用能可视化功能，可使居民节电意识提升 40%。家庭能源管理系统是更高级的技术载体，集成光伏、储能、充电桩等设备的 HEMS 可实现用电自动化优化，日本实证数据显示，配置 HEMS 的家庭光伏自用率提高至 65%。负荷聚合技术正在突破居民分散资源难以规模化的瓶颈，上海开展的虚拟电厂项目通过云平台聚合 5 万户居民空调负荷，形成 50MW 的可调节能力，参与电力辅助服务市场获得收益反哺用户。人工智能技术的应用进一步提升了行为干预的精准度，浙江某社区采用 AI 用电顾问系统，基于用户习惯推送个性化用电建议，使需求响应参与率提高 30%。值得注意的是，技术方案必须考虑居民使用的便捷性，操作步骤每增加一步，用户流失率就上升 15%，因此“一键响应”设计至关重要。

政策设计需要构建激励相容的制度环境。经济激励政策仍具有基础性作用，但需要优化补贴方式。南京推行的阶梯式响应补贴效果显著，前 10 次参与补贴 0.3 元/千瓦时，后续提升至 0.5 元/千瓦时，既降低参与门槛又保持长期激励，居民持续参与率较固定补贴提高 50%。碳普惠制度是新兴政策工具，广东将居民节电行为折算为碳减排量，可兑换商品或公共服务，试点用户人均年减排量达 200kg。基础设施建设补贴同样重要，对居民安装光伏 + 储能系统给予 30% 的初装补贴，可使投资回收期缩短至 6-8 年，显著提升安装意愿。规范标准类政策不可或缺，制定统一的户用能源管理系统接口标准，可以解决设备兼容性问题，降低用户使用成本。政策设计要特别注意公平性问题，对低收入群体应设置补贴保底机制，避免能源转型加剧社会不平等。

三大体系的协同配合需要建立科学的运行机制。信息共享平台是协同基础,应整合电力市场交易、碳普惠、补贴发放等系统,实现“一次响应、多重收益”。长三角建立的区域居民需求响应协同平台显示,信息互通可使管理效率提升40%。动态评估机制确保政策适配性,建议每季度开展居民行为响应弹性测评,及时调整激励强度。风险对冲机制也不可或缺,设立居民需求响应风险准备金,在市场价格剧烈波动时保障用户权益,增强参与信心。从国际经验看,德国通过《可再生能源法》修正案建立的市场、技术、政策协同框架,使其居民新能源消纳率在5年内从28%提升至46%,值得参考借鉴。

居民用户用电行为促进新能源消纳的可行路径可分三个维度。在市场机制方面,探索居民用户直接参与电力现货市场的可行路径,适当降低居民参与门槛可激活更多分散资源。技术创新重点在于降低智能家居的使用门槛,开发基于自然语言交互的家庭能源助手。政策创新需要建立跨部门协同机制,将电力、住建、民政等部门的激励政策整合形成政策包^[7]。随着新型电力系统建设的深入,居民用户将从被动的电力消费者转变为主动的系统参与者,这一转变预计到2030年可释放200亿千瓦时/年的新能源消纳潜力,为碳达峰碳中和目标实现提供重要支撑。

(二)工商业用户:高收益、强集成的市场参与

在新型电力系统建设背景下,工商业用户作为电力消费占比68.5%的主力,其行为决策对新能源消纳具有决定性影响。从市场机制创新、技术体系重构、政策工具协同三个维度,系统构建工商业用户促进新能源消纳的实施路径。

1. 市场机制设计:构建多层次价值实现体系

工商业用户的新能源消纳激励需依托市场化价值传导机制。中长期与现货市场协同是基础框架,广东电力现货市场数据显示,当前日前市场与实时市场价差超过0.3元/kWh时,85%的工商业用户会主动调整用电计划。绿电交易市场需突破当前以年度长协为主的模式,浙江2023年试点推出的“月内绿电滚动交易”,允许用户根据新能源预测出力灵活购电,使绿电交易量提升40%。辅助服务市场应扩大工商业参与范围,江苏虚拟电厂试点中,聚合商打包工商业可调节负荷参与调频,单次调频收益可达0.25元/kWh,为传统工业用户开辟新盈利渠道。

绿证-碳市场联动是价值传导的高级形态。欧盟碳边境调节机制要求进口产品披露全生命周期碳排放,倒逼国内出口企业提升绿电使用比例。数据表明,纳入欧盟碳边境调节机制清单的企业绿电采购量同比增长120%。容量市场建设也不容忽视,英国容量市场允许工商业用户通过负荷削减承诺获得容量费用,其2022年支付给需求侧资源的费用占总容量支出的18%,有效保障了系统充裕性。

2. 技术支撑体系:打造智能化响应能力

工商业用户的新能源互动能力取决于技术系统的实时性、可靠性与经济性。智能终端层需升级感知设备,国网江苏省电力公司为10kV及以上工商业用户全面部署“5G+量子”加密智能电表,数据采集频次从15分钟级提升至秒级,使负荷预测精度提高35%。边缘计算层应嵌入决策优化算法,上海某汽车制造厂部署的“光储充智能调度系统”,可基于电价信号在10ms内完成生产排程优化,使新能源自用率从45%提升至68%。

虚拟电厂技术是资源聚合的核心载体。德国Next Kraftwerke公司通过聚合5,000余家工商业用户,形成1.2GW可调资源,2022年参与欧洲电力市场交易获利1.2亿欧元。我国应重点发

展“行业级虚拟电厂”，如针对数据中心集群设计温控负荷协同调控系统^[8]，腾讯天津数据中心试点显示，通过调节服务器负载分布，可在不影响服务质量前提下削减 15% 峰值负荷。数字孪生技术也正成为新型决策工具，国家电网在雄安新区构建的“数字电网孪生体”，可模拟不同政策情景下工商业用户响应行为，使需求侧管理方案制定效率提升 60%^[9]。

3. 政策设计：建立激励相容的制度框架

工商业用户行为引导需要政策工具精准施策。强制性政策是基础保障，建议将重点行业绿电消纳比例纳入产业政策：到 2025 年，数据中心行业强制绿电占比不低于 30%，电解铝行业不低于 20%，未达标企业执行差别电价。经济激励政策需提高资金杠杆效应，深圳对工商业储能项目按放电量给予 0.2 元/kWh 补贴，拉动社会投资 14 亿元，相当于财政资金放大 8 倍。

行业标准体系建设亟待加强，应制定《工商业可调节负荷分类与技术要求》国家标准，明确负荷调节能力分级，并与电力市场准入条件挂钩。绿色金融工具创新潜力巨大，兴业银行推出的“绿电供应链融资”产品，为采购绿电的中小企业提供基准利率下浮 50 个基点的优惠贷款，试点期间带动绿电交易量增长 25%^[10]。

（三）协同路径：居民与工商业的互补效应

新能源消纳难题的破解需要突破单一用户类型视角，探索居民与工商业用户参与的协同路径。两者的用电行为在时空特性、调节能力与决策逻辑上具有天然互补性，通过多维整合可释放“1+1>2”的协同效应。首先可错峰匹配新能源出力曲线达到时间互补效应。居民与工商业用户的负荷特性形成天然错位。居民用电晚高峰（18:00-22:00）与工商业日间生产高峰（8:00-17:00）分别对应光伏出力低谷与峰值，而居民夜间谷时段（0:00-6:00）恰逢风电出力高峰。

其次通过双向价格信号引导，可构建时空互补的消纳模式。工商业用户通过动态电价将高耗能工序调整至 11:00-14:00，江苏某纺织企业采用该策略使光伏消纳率提升至 65%。居民电动汽车充电桩接入虚拟电厂，在 23:00-5:00 以 0.2 元/kWh 低价充电，内蒙古试点项目显示该模式减少弃风率 4.2%。

在市场机制设计上也可产生联动效应，建立居民与工商业用户的直接能源交易通道，激活分布式资源价值。德国邻里电力交易平台允许居民将光伏余电以高于电网收购价 10% 的价格卖给周边商铺，2023 年促成交易量 12 亿 kWh。我国可借鉴设计社区绿证体系。居民每发 1MWh 光伏电可获得 1.2 个社区绿证，工商业用户采购绿证抵扣碳排放；上海试点显示，该机制使居民光伏收益增加 15%，同时降低工商业用户碳成本 20%。跨用户聚合参与辅助服务市场更具潜力，澳大利亚 AGL 公司聚合 5 万户居民空调与 300 家超市冷库负荷，形成 250MW 可调资源，年收益超 3000 万澳元。

通过时空耦合、技术链接与机制创新，居民与工商业用户的协同将重构新能源消纳格局，预计到 2030 年可释放 30% 的额外消纳潜力，为新型电力系统建设提供关键支撑。

五、政策建议

本文将行为科学理论与电力系统新能源消纳深度融合，建立了用户异质性分析的量化工具集。提出了用户行为的时空颗粒度，实现了灵活性资源跨用户类型的时空耦合优化；设计了“市场-技术-政策”三螺旋驱动机制，破解了分类施策中的激励相容难题。因此，为引导电力用户行

为决策促进新能源消纳,提出以下建议:

(一) 降低居民用户参与成本并增强感知

居民用户的行为引导需以降低参与成本为核心,构建“经济-技术-社会”三位一体的政策体系。经济层面,推行阶梯式动态补贴,对参与需求响应的居民设置基础补贴与超额奖励,南京试点显示该模式使持续参与率提升40%。技术层面,实施智能家居普惠计划,对安装能源路由器、智能插座等设备的家庭给予50%购置补贴,深圳政策落地后家庭可调节负荷潜力释放25%。社会层面,建立社区新能源积分制度,将居民光伏自用率、充电桩谷段使用率等指标纳入“低碳社区”评定体系,浙江示范社区通过该机制使新能源消纳率提高18%。

(二) 强化工商业用户市场机制与行业标准的协同作用

工商业用户政策需强化市场机制与行业标准的协同作用。市场建设方面,完善绿电现货交易机制,允许工商业用户以15分钟为颗粒度进行绿电购售,江苏试点中钢铁企业通过高频交易使绿电占比提升至35%。行业规制层面,制定重点行业新能源消纳配额,对数据中心、电解铝等行业设定15%-25%的强制绿电比例,未达标企业执行0.1元/kWh的差别电价。技术支持政策需聚焦虚拟电厂认证体系,对负荷聚合商给予容量电价补贴,上海政策实施后虚拟电厂聚合效率提升60%。

(三) 跨用户资源整合与价值共享的协同机制

构建居民与工商业用户的协同消纳网络,需突破现有制度壁垒。形成“分布式柔性资源池”,提升新能源全域消纳效率。建立社区级分布式交易平台,允许居民光伏余电以高于上网电价的价格直供周边工商业用户,江苏试点数据显示该模式使光伏消纳率提升12%。推动基础设施共建共享,将工商业储能设施纳入社区配网规划,对共建项目给予用地指标倾斜与30%投资补贴,深圳实践表明该政策可使储能建设成本降低25%。完善跨用户碳核算体系,开发居民节电行为与工商业绿电消费的碳减排量互认机制。

基金项目 1.2025年度陕西省哲学社会科学专项青年项目:促进可再生能源消纳的陕西省电力需求响应激励机制研究(项目编号:2025QN0557)。2.2023年明德创新基金青年项目:基于碳交易的电力供应链多主体协同减排形成机理与激励策略研究(项目编号:2023MDY07)。

作者简介 温文,女,汉族,1996年出生,山西省晋中市人,西安明德理工学院讲师,研究方向:行为经济学,电力市场运营管理。电子信箱 wenwen9607@163.com。

参考文献

- [1] 新型电力系统,适配“波动”新能源[EB/OL]. 中国日报网,2024-10-17. <https://caijing.chinadaily.com.cn>.
- [2] Ranaboldo M, Aragüés-Peñalba M, Arica E, et al. A comprehensive overview of industrial demand response status in Europe[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 203: 114797.
- [3] Parvizi S, Montazeri M, Kebriaei H. Contract-Based Demand Response Mechanism for Commercial and Industrial Customers[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2025, 22: 3135-3146.

- [4] 甘磊, 张鹏, 朱琳, 等. 电力用户的有限理性行为研究综述与展望 [J/OL]. 电力建设, 1-18[2025-05-12].
- [5] 解百臣, 徐骏, 迈克尔·G. 波利特. 新一轮电改对用户电价的影响——基于广东省和浙江省的实践分析 [J]. 财经智库, 2022, 7(04): 89-114+147-148.
- [6] 滕婕, 白永利, 张伟, 等. 新一轮电改下电价影响因素及传导路径研究——基于灰色改进 DEMATEL-ISM 的系统性分析 [J]. 价格理论与实践, 2024, (09): 145-153+227.
- [7] 2022-2024 年新能源消纳复盘 [EB/OL]. 新浪财经, 2025-02-21. <https://finance.sina.com.cn/jjxw/doc-inemffqp8420018.shtml>.
- [8] 苏南. 虚拟电厂新政如何利好新能源消纳? [N]. 中国能源报, 2025-04-21(009).
- [9] 雄安电网数字化、智能化水平国际领先 [EB/OL]. 新浪财经, 2024-04-2. <https://finance.sina.com.cn/jjxw/doc-inaqmiqu5142418.shtml>.
- [10] 丁伟斌. 电价政策调整对工商业用户用电影响研究——基于浙江省企业调研数据的分析 [J]. 价格理论与实践, 2021, (12): 38-43.

〔责任编辑：孙强 Email: wtocom@gmail.com〕