

关于需求侧资源在参与新型电力系统调节的研究和思考

文/王为帅¹ 张雪梅² 许帅² 李燕³ 李梦雯³ 杨乐³

1. 国网山东省电力公司；2. 国网山东省电力公司营销服务中心（计量中心）；3. 国网山东综合能源服务有限公司

基于当前新型电力系统的发展趋势，详细介绍了需求侧资源的概念与主要类型，从产业类型和时间尺度两大维度分析了需求侧资源参与系统调节的潜力，列举了公共信息模型、智能聚合调控和灵活互动交易三种主要的需求侧参与系统调节的技术，并从政策、价格和市场三个层面提出需求侧调节的保障方式。

与传统电力系统相比，新型电力系统以最大化消纳新能源为首要任务，其电源结构、用电负荷、系统生态与运行模式变化巨大，仅单纯依靠电源侧、电网侧的调节能力已难以保障电力系统安全可靠运行。相比之下，需求侧能够提供更加多元化的解决方案，是推动电力系统从“源随荷动”向“源荷互动”快速转变的重要抓手。《“十四五”现代能源体系规划》提出，2025年我国电力需求侧响应能力将达到最大用电负荷的3%~5%。当前，我国的需求侧资源利用形式不断走向多样化，逐渐从单一的有序用电、能效管理向精准实时负荷控制、主动参与需求响应等多领域协同发展。因此，充分发挥需求侧资源在新型电力系统中的调节作用是推进新型电力系统建设的重要手段。

需求侧资源在参与电力系统调节时，主要发挥以下四方面的作用。一是缓解电力供需矛盾，主动发挥需求侧资源在电力削峰填谷方面的作用，增强电力系统的调节能力；二是促进可再生能源消纳，弥补风光发电较强的随机性、间歇性与波动性，进一步扩大电能替代范围与实施规模；三是降低电力系统运行成本，延长电力设备使用寿命，减少或延缓电源、电网建设需求，降低电力系统运行维护成本；四是引导全社会优化用电负荷，充分引导电力

用户挖掘自身节能潜力，有效降低高峰电力需求，优化电力资源配置。

随着我国各地在政策激励下进一步拉大峰谷电价差，推广实施峰谷电价，扩大需求响应范围，需求侧资源的活力得到进一步释放。在能源转型的背景下，电力系统不断走向电源端清洁化、用户端电气化和电网侧智能化，需求侧资源的潜力挖掘与价值实现至关重要。新型电力系统将以需求侧资源为核心，通过建立更加完善的响应机制，从各方面提升需求侧资源参与提升电力系统的灵活性与可靠性。在未来高质量发展的要求下，需要通过更加多元化的手段来实现需求侧资源的规模化发展，科学合理地发挥需求侧资源的作用。

需求侧资源的概念和类型

从供需侧界定划分一般是以计费电表为基准。供应侧是计费电表以上部分，一般包括发电、电网和输送等环节，供应侧资源是指通过相关技术手段减少电厂、电网侧、电力运输和电力系统的电力损耗，从而达到节省电力和电量的目的。需求侧是计费电表以下部分，一般指使用电能的用户端，需求侧资源分布在用电的各个领域，资源类型复杂。根据需求侧管理要求来说，需求侧资源管理在电力经

济调度、电力污染分析、稳定产品质量、降低维护费用、系统电能优化、安全节电方案、实时电能审计、科学考核电能及电网异常警告九大领域进行控制和管理。

电力需求侧资源主要分为七大类。一是通过改变用户的用电理念、用电习惯和用电方式，达到节约电力和电量的目的，如使用蓄冷空调系统；二是改变用户的消费行为，比如减少用电时间、用电频率和用电范围；三是提高空调系统、发动机、照明设备、电热、冷藏及电化学等设备的用电和节能效率；四是对用电环境进行改造，如使用更加环保和保温的建筑材料进行墙体改造，实行冷热气三联供的供电方式；五是用户和电网公司签订可中断负荷合同；六是使用新能源发电代替传统发电，并将发电过程中的余热、能量进行实时回收和利用；七是自建电厂参与用电资源调节。

需求侧资源参与系统调节的参与主体

1. 参与主体

需求侧资源参与主体涉及社会的各方面，从参与主体的层次和作用来看，主要分为四个层面。一是政府。政府是需求侧资源的主导者，是制定和实施需求侧管理计划的最主要的力量，在推动需求侧资源参与系统调节过程中发挥着组织、引导及保障等积极作用；二是电网公司。电网公司是实施需求侧管理计划的主要承担者、执行者和协调者，既是供应方，也是受益方，在需求侧资源参与系统调节中发挥着重要作用；三是节能服务公司。主要是协助政府和电网企业实施计划，并从中获益，是需求侧资源参与系统调节的有力桥梁；四是电力用户。是需求侧资源的重要参与者，是实现节能、节电的最重要环节，是需求侧资源管理的需求利益方。

2. 参与主体条件空间潜力

(1) 产业类型调节

2022年，我国全社会用电量86 372亿kW·h，同比增长3.6%。其中第一产业用电1 146亿kW·h，占比1.3%，同比增长10.4%；第二产业用电量57 001亿kW·h，占比66.0%，同比增长1.2%；第三产业用电量14 859亿kW·h，占比17.2%，同比增长4.4%；城乡居民生活用电量13 366亿kW·h，占比15.5%，同比增长13.8%。从以上数据分析可知，参

与主体空间潜力从高到低分别是二产用电、三产用电、城乡居民生活用电和一产用电。

一产结构中，主要包括农业、林业、渔业及畜牧业等，因受季节、环境、时间及空间等因素影响，用电总量少、占比小，用电灵活性强，用户大多是分散的农民，用电参与响应的意愿不强烈，因此，参与调节的容量相对有限。二产结构中，第一类是纺织业、造纸和纸制品业、化学染料和化学品制造业、橡胶和塑料制品业、金属制品业和非金属矿物制品业等大工业，用电规模大、对电价敏感程度高，可调节的环节和空间大；第二类是电气机械和器材制造业、通用设备制造、计算机、通信和其他电子设备制造业等行业，这些领域具有一定的负荷中断或者转移能力，生产加工程序多，自动化程度高，企业管理水平提升空间大，参与负荷调整的空间潜力较足。三产结构中，潜力空间主要在于空调暖通系统、照明系统、大数据中心及用户储能等，可参与调节的主体多，如大型商场、写字楼、学校及医院等。城乡居民生活用户中，包括电视机、电冰箱、洗衣机、电热水器及电动汽车等负荷，参与系统调节的主体数量多，基础大，具备大规模参与需求响应的潜力。不同类型需求侧资源参与系统调节的比较见表1。

表1 不同类型需求侧资源参与系统调节的比较

产业类型	参与主体	特点	2022年用电量/(亿kW·h)	调节空间
第一产业	农林渔牧	产品供应有季节性、时效性，用户参与系统调节的意愿不强	1 146	调节容量有限
第二产业	金属制品业、非金属矿物制品业、橡胶和塑料制品业、纺织业等	用电规模大，对电价敏感性高，是近期需求侧资源开发首要选择	57 001	调节空间大
	电气电子、汽车等制造业	具有一定的负荷中断或转移能力，可改进生产工序、提升自动化水平、调整生产班次		调节空间较大
第三产业	商业用户	照明系统、空调暖通系统、大数据中心、用户侧储能等柔性负荷	14 859	调节空间大
城乡居民生活	居民生活用电	电热水器、电冰箱、洗衣机、电动汽车等	13 366	调节空间较大

(2) 时间尺度调节

新型电力系统在不同时间尺度调节上需求有差异，各类需求具有不同的技术特点，按照时间周期尺度调节来看，主要分为三大类。

一是超短周期、短周期尺度调节。主要是指风电、光伏等新能源，比如电动汽车、用户侧储能和中央暖通空调系统等需求侧响应的速度可以达到毫秒至秒级（超短周期）、分钟至小时级（短周期）的调节尺度范围。

二是日内负荷调节。主要是传统大工业负荷、工商业空调暖通负荷等需求侧资源，可以通过激励手段主动参与到系统日内负荷调节中。

三是多日、周时间尺度调节。氢储作为“新型储能”，在能量密度、储能时长和地域转移上具有明显优势，因此在能量转换效率、响应速度等方面相对较慢。通过需求侧资源与新能源的深度耦合，可以满足新能源多日或更长时间尺度调节需求。

需求侧资源参与系统调节的技术

1. 公共信息模型

现代电力系统的快速发展离不开电力应用系统与电力公司间的数据交换，而这种频繁的数据交换需要建立在高效、规范及统一的规则与基础之上。目前，不同电力公司数据格式、应用接口和开发平台的差异不利于信息的快速流通与共享，数据需要先转换为统一格式后才能进行交换，电力数据难以实现实时共享。公共信息模型（Common Information Modeling, CIM）定义了电力系统模型的基本数据结构，是一种可以解决不同电网企业之间因系统平台不同带来的数据类型不一致、设备映射不确定及用电模型不适配等信息壁垒问题的公共电力信息系统模型。该模型可以打通多种需求响应间的信息交流通道，实现更加有效的电力信息管理和调控，也可以应用于电网可视化系统的智能互联、系统支持和信息交换等。需求侧信息资源的有效整合是电网系统安全运行的前提，通过公共信息模型打破数据壁垒、促进电力信息共享，从而实现电网管理信息的有效整合，消除“信息孤岛”。CIM电力信息调度管理示意图如图1所示。

2. 智能聚合调控

随着人工智能技术的成熟和完善以及需求侧资

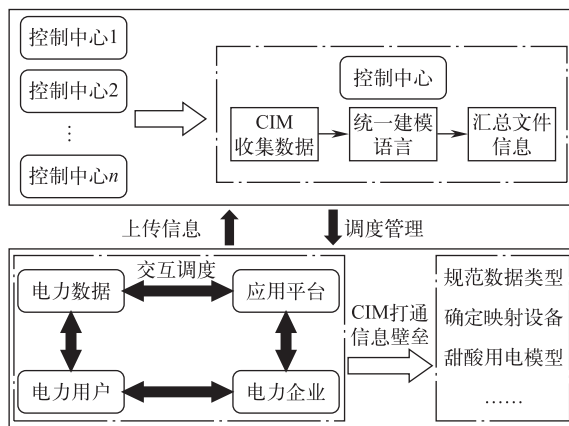


图1 CIM电力信息调度管理示意图

源的长期探索和管理，智能聚合调控技术在解决需求侧资源建模、特性分析及负荷预测等方面成为电网负荷调控的重要手段，如通过对工业、商业和居民等用电设备信息的用电高峰时间、用电用户数量及用电频率等数据进行负荷预测和建立需求响应模型，实现需求侧资源利用的最大化并提高负荷预测的精准度，特别是针对用电需求较大的工业和商业用户，根据用户需求进行需求响应的潜力分析，适当进行移峰填谷以缓解用电供需不平衡、推进清洁能源消纳。智能聚合调控技术在需求响应资源潜力评估方面主要包括预测供电高峰时用电缺口量，根据需求侧资源历史参与需求响应情况预测可调节负荷资源，构建需求侧资源聚合模型并分析不同区域的需求响应潜力，对单个用户进行系统分析，统一可调节资源的时间尺度等。

3. 灵活互动交易

电网侧通过区块链技术，实现对用户调控的整体协调和控制。区块链交易模式可以实现去中心化和透明化，搭载需求响应服务器、负荷聚合商和电网一体化运维管理平台，利用人工智能技术简化复杂的决策过程，并利用区块链技术将激励补贴给予参与需求响应方，满足高效的响应调控。基于区块链灵活交易模式主要有三大类。一是去中心化的商业模式：通过一体化的信息平台实现所有参与者共同维护，可以避免“做假账”的风险，从而实现目标最大化；二是开放的市场模式：一体化的信息平台可以响应发布参与者时间、数量等信息，实现信息共享；三是安全的运营机制：交易双方无需借助信用第三方，可以进行点对点的直接交易，做到信

息透明、公开、可靠。

需求侧资源参与系统调节方式

1. 调节方式及途径

目前，可以参与系统调节的需求侧资源主要有工业、商业和居民空调负荷、用户侧储能和电动汽车等。需求侧资源参与电力系统调节主要有需求响应和有序用电两种方式。需求响应的基础手段主要有移峰填谷、峰谷电价等，目的是激励用户进行柔性调节，为需求侧资源参与电力调峰、备用等服务提供保障；有序用电是在极端条件下，为保障居民生活用电而采取的强制性的调节方式。

针对不同时间尺度下的用电需求调节，电网调度机构可以对需求侧资源参与主体实施不同的调控手段。比如调用直控虚拟电厂，当出现电力供应不足的情况时，电网企业可在一周前中断负荷交易，并根据日前评估后的电力缺口量，对需求响应用户进行邀约。若出现无法覆盖电力供应缺口的情况，电网企业则按照剩余电力的缺口量组织用电主体进行有序用电。

2. 保障方式

一是完善政策机制。制定提升用户需求侧资源价值的电价策略，完善《电力需求侧管理办法》等政策文件，突出需求响应主体地位，优化实施方案流程及要求，加大对用户需求侧资源整合调控的政策，积极探索改善需求侧利用方式的能源管理运作模式，加强行业监管，规范行业运行，保障市场环境的健康发展。

二是用好价格优势。价格机制是市场机制的核心。加快推进价格改革，充分发挥价格调节的杠杆作用，稳步有序推出一系列行之有效的价格激励政策，根据不同地区的负荷特性和用电变化情况，及时调整峰谷时段，优化峰谷电价比例，积极引导需求侧用户参与有序用电。

三是发挥市场作用。加快建立完善的电力资本市场，完善市场化需求响应交易机制，将需求响应交易模式纳入各省电力市场体系中。同时，进一步

扩大参与主体的范围和潜力，加强电网公司和用户之间的互动，让需求侧资源用户直接参与到用电调度等服务中去。EA

参考文献

- [1] 李建林, 郭兆东, 马速良, 等. 新型电力系统下“源网荷储”架构与评估体系综述[J]. 高电压技术, 2022, 48(11): 4330-4341.
- [2] 刘军会, 刘湘莅, 华隽, 等. 河南省电力需求响应能力测算与储备目标优化分解[J]. 电力需求侧管理, 2021, 23(3): 75-79.
- [3] 邵冲, 刘志文, 黄豫, 等. 加快推进新型电力系统需求侧资源利用的相关思考[J]. 电力设备管理, 2022(6): 13, 60.
- [4] 李向荣. 充分利用电力需求侧管理资源有效缓解电力供需矛盾[J]. 电力需求侧管理, 2002, 4(6): 5-7.
- [5] 刘敦楠, 赵宁宁, 李鹏飞, 等. 基于“共享储能-需求侧资源”联合跟踪可再生能源发电曲线的市场化消纳模式[J]. 电网技术, 2021, 45(7): 2791-2800.
- [6] 周建平. 万亿级产业市场规模抽水蓄能如何高质量发展[J]. 电力设备管理, 2022(10): 11-13.
- [7] 王正凤. 电网公司实行电力需求侧管理的效益和功能分析[J]. 节能与环保, 2006(05): 42-44.
- [8] 李宏斌. 面向电力客户端的需求侧管理系统设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2023.
- [9] 冯建朋. 统一电网资源模型分析研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2023.
- [10] 刘妍, 谭建成. 基于区块链技术的大用户直购电模式实现研究[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(7): 94-100.
- [11] 刘敦楠, 李竹, 徐尔丰, 等. 面向新型电力系统的灵活能量块交易出清模型[J]. 电网技术, 2022, 46(11): 4150-4159.
- [12] 陈妍. 智能电网中电力用户需求侧负荷管理与应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2023.