

面向用户侧能效管理的智能用电终端感知技术与需求响应协同控制

程梦梦

河南钰升人力资源管理有限公司, 河南省郑州市, 450007;

摘要: 随着能源需求的不断增长和环境保护要求的日益严格, 用户侧能效管理的重要性愈发凸显。智能用电终端感知技术的引入为实现精细化能源管理提供了新的途径, 其能够实时采集和分析用电数据, 帮助用户更好地了解自身用电行为。同时, 需求响应作为调节供需平衡的重要手段, 通过与智能终端的协同控制, 可以有效提升电网运行效率并降低用户的用能成本。在这一背景下, 研究如何将感知技术与需求响应机制有机结合, 不仅具有理论意义, 更具备广泛的实际应用价值。

关键词: 用户侧能效管理; 智能用电; 终端感知技术; 需求响应; 协同控制

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 08. 037

引言

在当前能源结构转型和智能化技术快速发展的背景下, 用户侧能效管理逐渐成为实现能源高效利用的重要环节。传统的用电管理模式难以满足日益复杂的能源需求, 而智能用电终端感知技术的兴起为这一领域注入了新的活力。通过精准的数据采集与分析, 该技术不仅能够揭示用户的用电特征, 还可以为后续优化提供科学依据。与此同时, 需求响应机制以其灵活性和高效性, 在缓解电网压力、优化资源配置方面展现出巨大潜力。如何将这两者有机结合, 并通过协同控制实现更高效的能源管理, 已成为学术界和产业界共同关注的焦点问题。

1 智能用电终端感知技术

1.1 智能用电终端感知对象与参数界定

智能用电终端的感知对象主要包括用户的用电设备、环境参数以及用户行为模式等。用电设备作为直接耗能的主体, 其运行状态和能耗特性是感知技术关注的核心内容。环境参数如温度、湿度和光照强度等, 则为分析用电行为提供了重要的辅助信息。此外, 用户的行为习惯, 例如设备使用的时段和频率, 也是影响用电效率的关键因素。通过对这些对象的全面感知, 可以为后续的数据分析和优化控制奠定基础。在参数界定方面, 需要明确不同对象的具体指标, 例如设备的功率、电压和电流等基本电气参数, 以及环境参数的变化范围和采集频率, 从而确保感知数据的准确性和可用性。

1.2 智能用电终端感知技术原理与分类

智能用电终端感知技术的原理主要基于传感器技

术和数据处理技术的结合。传感器负责实时采集用电设备的运行状态和环境参数, 而数据处理技术则对这些原始数据进行分析 and 建模, 以提取有用的信息。根据技术实现方式的不同, 智能用电终端感知技术可以分为有线感知和无线感知两大类。有线感知技术通常依赖于物理连接, 具有传输稳定、抗干扰能力强的特点, 适用于对数据可靠性要求较高的场景。无线感知技术则通过无线通信协议实现数据传输, 其部署灵活、扩展性强, 更适合大规模分布式应用场景。此外, 按照感知对象的不同, 还可以进一步细分为设备级感知、系统级感知和用户行为感知等类型。设备级感知聚焦于单个用电设备的能耗特性, 系统级感知则关注整个用电系统的运行效率, 而用户行为感知旨在挖掘用户的用电习惯和偏好, 为个性化能效管理提供支持。

1.3 智能用电终端感知数据质量保障

为了确保智能用电终端感知数据的高质量, 需要从数据采集、传输、存储和分析等多个环节入手, 采取有效的技术和管理措施。首先, 在数据采集阶段, 应选择高精度、高稳定性的传感器设备, 避免因硬件问题导致的数据误差。同时, 合理设置采样频率和量程范围, 以适应不同场景下的感知需求, 并减少冗余数据的产生。其次, 在数据传输过程中, 需采用可靠的通信协议和加密技术, 防止数据丢失或被篡改, 特别是在无线感知场景下, 还需重点考虑信号干扰和网络延迟等问题。此外, 建立完善的数据存储机制也至关重要, 包括定期备份、异常数据过滤以及数据完整性校验等功能, 从而保证数据在后续分析中的可用性。最后, 在数据分析环节, 通

过引入智能化算法对原始数据进行清洗、校正和优化,可进一步提升数据的准确性和一致性,为用户侧能效管理提供坚实的数据支撑。

2 需求响应机制

2.1 需求响应机制的核心内涵与理论基础

需求响应机制作为一种调节电力供需平衡的重要手段,其核心内涵在于通过经济激励或技术手段引导用户调整用电行为,从而实现电网的稳定运行和资源的高效利用。从理论基础来看,需求响应机制依托于电力市场理论、博弈论以及行为经济学等多学科的交叉支撑。电力市场理论为需求响应提供了价格信号和市场运作框架,使得用户能够根据电价波动自主决策用电计划。博弈论则用于分析不同参与主体之间的互动关系,帮助制定合理的激励策略以实现多方共赢。此外,行为经济学的研究成果揭示了用户在面对激励时的心理和行为特征,为设计更加贴近实际需求响应方案提供了重要参考。通过将这些理论与实际应用场景相结合,需求响应机制不仅能够缓解电网压力,还能为用户带来可观的经济效益,同时促进能源结构的优化和可持续发展。

2.2 需求响应机制的分类与适用场景界定

需求响应机制可以根据其实施方式和目标的不同,划分为基于价格的需求响应和基于激励的需求响应两大类。基于价格的需求响应主要通过动态电价机制引导用户调整用电行为,例如分时电价、尖峰电价和实时电价等模式。这种类型的响应机制适用于具备灵活用电能力的用户,如工业用户或大型商业用户,能够根据电价变化合理安排生产或运营计划。而基于激励的需求响应则通过直接的经济补贴或奖励措施,鼓励用户在特定时段主动减少用电负荷。这种方式更适合居民用户或中小型商业用户,因其用电行为受电价敏感度的影响相对较低,但对明确的激励政策反应积极。此外,从适用场景来看,需求响应机制在高峰负荷管理、可再生能源消纳以及紧急情况下的电网稳定性维护等方面均具有显著作用。通过对不同场景需求的精准分析和匹配,可以进一步提升需求响应的实际效果与推广价值。

3 面向用户侧能效管理的智能用电终端感知技术与需求响应协同控制的策略

3.1 协同控制的数据源协同与信息交互架构

在协同控制的数据源协同与信息交互架构中,智能用电终端感知技术与需求响应机制的深度融合需要依

托高效的数据流管理与多层次的信息交互设计。数据源协同的核心在于整合来自不同终端的感知数据,并将其与需求响应策略进行动态匹配。例如,通过建立统一的数据接入标准,可以实现多类型终端设备的无缝连接,确保感知数据的实时性和一致性。同时,信息交互架构的设计需充分考虑用户侧与电网之间的双向通信需求,构建涵盖数据采集、处理、反馈和执行的闭环系统。在此基础上,利用云计算和边缘计算技术对海量数据进行分布式处理,能够显著提升系统的响应速度和决策精度。此外,为了保障信息交互的安全性,还需引入多层次的安全防护机制,包括身份认证、访问控制以及数据加密等措施,从而为协同控制提供可靠的运行环境。

3.2 协同控制的目标体系构建与优先级划分

面向用户侧能效管理的智能用电终端感知技术与需求响应协同控制的目标体系需要综合考虑多维度的因素,包括能源效率、经济性、用户体验以及电网稳定性等。在目标体系构建中,首要任务是明确各层级目标的具体内容及其相互关系。例如,顶层目标可以设定为实现整体用能成本的最小化和电网运行效率的最大化,而支撑这一目标的子目标则可能涉及用电行为的精准预测、负荷调节的及时性和灵活性,以及用户参与度的提升。这些子目标之间既存在协同效应,也可能产生一定的冲突,因此需要通过科学的方法进行权衡。

在优先级划分方面,应根据实际应用场景中的关键需求和约束条件,确定各目标的重要性和紧迫性。对于以居民用户为主的场景,优先级可能更多地倾向于用户体验和经济性,确保用户在享受便捷服务的同时能够获得切实的经济效益。而在工业或商业用户场景中,能源效率和电网稳定性可能占据更高的优先级,尤其是在高峰负荷时段或紧急调度情况下。此外,为了动态适应不同阶段的需求变化,优先级划分还需具备一定的灵活性,能够根据实时数据和外部环境的变化进行调整。通过这种方式,协同控制策略能够在复杂多变的实际应用中保持高效性和适应性。

3.3 基于实时感知数据的需求响应动态调整

实时感知数据为需求响应的动态调整提供了重要的决策依据。通过对智能用电终端采集的数据进行实时分析,可以精准识别用户的用电行为模式以及电网的运行状态,从而制定更加灵活和高效的调整策略。例如,当感知数据显示某一时段的用电负荷接近峰值时,系统能够自动触发需求响应机制,向用户发送调整建议或激

励信号,引导其减少非必要用电设备的运行。同时,基于历史数据和当前趋势的预测模型,还可以提前预判可能出现的负荷波动,并采取预防性措施以避免电网压力的进一步加剧。

此外,动态调整的过程需要充分考虑用户的个性化需求和反馈。通过将感知技术与用户交互界面相结合,系统能够根据用户的实际用电情况提供定制化的调整方案。例如,对于具备储能设备的用户,可以在电价较低的时段自动启动储能装置,而在高峰时段优先使用储存的电能,从而实现成本的优化。而对于不具备储能条件的用户,则可以通过分时控制或设备调度等方式,帮助其合理分配用电负荷。这种个性化的动态调整不仅提升了用户的参与意愿,还进一步增强了需求响应的实际效果。

在技术实现层面,动态调整策略执行依赖高效算法与强大计算能力。引入机器学习和人工智能技术,系统可从海量感知数据中提取关键特征,快速生成最优调整方案。如用深度学习模型对用户用电行为聚类分析,能发现潜在规律与异常点,为调整策略制定提供科学依据。同时,边缘计算使部分数据处理在本地完成,减少数据传输延迟,提高系统实时性与可靠性。这种技术与策略结合,为面向用户侧能效管理的需求响应动态调整提供有力支持。

3.4 面向不同用户类型的协同控制策略适配

针对居民用户,协同控制策略应注重提升参与的便捷性和经济收益。通过智能用电终端感知技术,系统可以实时监测家庭用电设备的运行状态,并结合用户的生活习惯,制定个性化的用电优化方案。例如,在不影响用户舒适度的前提下,自动调整空调温度、照明亮度等参数,或者在电价较低时段启动洗衣机、热水器等可延时设备。同时,配合需求响应机制,向用户提供清晰的激励政策和操作指引,如通过手机应用推送节能建议和奖励信息,增强用户的参与意愿。

对于工业用户,协同控制策略的重点在于实现生产过程与能源管理的深度结合。利用感知技术对生产线上的高耗能设备进行精细化监控,结合需求响应信号动态调整生产计划。例如,在电网负荷高峰时段,优先安排低能耗工序或暂停非关键设备的运行;而在低谷时段,则充分利用优惠电价进行高能耗作业。此外,通过建立多层级的能效评估体系,帮助企业管理者全面掌握能源

使用情况,并根据实时数据不断优化调度策略。

商业用户则需要兼顾经济效益与服务质量,协同控制策略的设计需更加灵活。例如,针对商场、写字楼等场所,可以通过感知技术实时采集照明、空调、电梯等系统的运行数据,并结合人流量、营业时间等因素进行动态调节。在需求响应事件发生时,系统能够快速识别非核心用电负荷并实施削减措施,同时确保顾客体验不受影响。对于具备分布式能源设施的商业用户,还可以通过协同控制实现光伏、储能与主网之间的高效联动,进一步提升整体能效水平。

3.5 协同控制中的负荷预测与响应潜力评估

负荷预测是协同控制关键环节,其准确性影响需求响应效果与电网稳定性。通过智能用电终端采集实时数据,结合历史用电行为与外部环境因素,构建多维度预测模型,如用时间序列分析建模,引入外部变量提升精度。针对不同用户类型采用差异化策略,居民用户模型侧重生活习惯与季节性变化,工业用户模型关注生产计划与设备运行周期。

响应潜力评估是衡量用户参与需求响应能力的重要手段。通过分析用户用电结构、设备特性与行为习惯,量化不同场景下可调节负荷量。工业用户响应潜力体现在设备启停或负荷转移,居民用户依赖可延时设备调度与节能行为引导。评估时综合考虑用户参与意愿与经济收益预期,确保结果客观且具操作性。

在技术实现上,负荷预测与响应潜力评估依托大数据分析和人工智能算法。通过数据挖掘提取关键特征,结合机器学习模型动态优化,应对复杂场景。边缘计算提升数据处理效率,使预测和评估更实时精准,为协同控制策略制定提供可靠依据。

4 结语

总之,面向用户侧能效管理的智能用电终端感知技术与需求响应协同控制是未来电力系统发展的重要方向,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李强. 需求响应技术在用户侧能效管理中的应用[J]. 电网技术, 2023, 44(4): 12-13.
- [2] 陈伟. 基于大数据的用户用电行为分析与应用[J]. 中国电机工程学报, 2024, 41(2): 19-21.
- [3] 赵明. 需求响应与智能调控协同优化策略研究[J]. 电力系统自动化, 2024, 46(3): 23-24.