

智能电表数据在电力需求侧响应与增值服务设计中的价值挖掘

解志华

银川农村电力服务有限公司 宁夏 银川 750011

摘要：本文旨在系统性地探讨智能电表数据在电力需求侧响应（Demand Response, DR）与增值服务设计两大领域的深度价值。文章首先剖析了智能电表数据的多维特征及其作为新型生产要素的战略意义；其次，深入阐述了其在精准负荷识别、响应潜力评估、策略优化制定及效果量化验证等需求侧响应全链条中的关键作用；进而，从用户赋能、能效提升、市场参与及生活服务四个维度，构建了基于智能电表数据的增值服务设计框架；最后，针对数据安全、隐私保护、技术融合与商业模式等挑战，提出了相应的保障与优化路径。研究表明，对智能电表数据进行科学、合规、高效的价值挖掘，是实现电网柔性互动、提升用户获得感、并驱动电力企业向综合能源服务商转型的核心引擎。

关键词：智能电表；电力大数据；需求侧响应；增值服务

引言

在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，电力系统正由“源随荷动”转向“源网荷储”协同互动，需求侧成为保障系统安全高效运行的关键。需求侧响应（DR）的有效实施依赖对用户用电行为的精细化、实时化感知，而智能电表的规模化部署为此提供了坚实数据基础。相比传统电表仅提供累计电量，智能电表以分钟级甚至秒级频率采集有功/无功功率、电压、电流等多维数据，形成用户用电行为的“动态心电图”，蕴含巨大价值。当前核心挑战在于如何将原始数据转化为支撑精准DR的信息，并衍生出面向用户的增值服务。本文认为，智能电表数据价值实现是一个从“数据→信息→知识→价值”的递进过程：在DR领域，体现为负荷精准画像、潜力评估与闭环管理；在增值服务领域，则表现为以数据洞察赋能用户、优化体验、创造新价值。本文将围绕这两大方向，系统探讨其价值内涵、实现路径与未来展望。

1 智能电表数据的特征与战略价值

1.1 智能电表数据的多维特征

智能电表数据集具备典型的“4V”大数据特征，并在此基础上展现出电力行业的特殊性。首先是Volume（体量大）。随着智能电表覆盖率的不断提升，接入系统的终端数量已达数亿级别，每日产生的数据量高达TB甚至PB级，构成了一个庞大的数据海洋。其次是Velocity（速度快）。数据的采集、传输和处理具有准实时性，能够动态反映电网和用户的状态变化，为快速决策提供了可能。再次是Variety（类型多）。数据不仅包括基础的用电量和功率，还涵盖了电能质量、事件记录（如停

电、复电、开盖）、时钟信息等多种结构化数据，未来还可与气象、电价、用户属性等外部数据进行关联。最后是Veracity（真实性高）。作为法定计量器具，智能电表的数据具有高度的权威性和准确性，是进行各类分析与决策的可靠依据^[1]。超越“4V”特征，智能电表数据更核心的价值在于其行为洞察性。通过对历史用电曲线的模式识别，可以揭示用户的作息习惯、生产班次、设备启停规律等；通过对瞬时功率波动的分析，可以推断特定高耗能设备（如空调、电动汽车充电桩）的运行状态。这种对用户内部用能细节的“透视”能力，是传统粗粒度数据所无法比拟的。

1.2 作为新型生产要素的战略定位

在数字经济时代，数据已成为继土地、劳动力、资本、技术之后的第五大生产要素。对于电力企业而言，智能电表数据正是其拥有的最核心、最具潜力的新型生产要素。其战略价值体现在三个层面：在运营层面，它是提升电网规划、调度、运维精益化水平的基础，有助于实现降本增效；在市场层面，它是开展精准营销、设计差异化产品、增强客户粘性的关键，有助于开拓新的收入来源；在生态层面，它是连接电网、用户、第三方服务商的纽带，有助于构建开放共享、互利共赢的能源互联网生态圈。因此，对智能电表数据的管理和利用能力，直接关系到电力企业的核心竞争力与未来发展方向。

2 智能电表数据在需求侧响应中的核心价值

2.1 精准负荷识别与用户画像构建

有效的DR项目始于对可调节负荷资源的精准识别。传统的负荷分类方法（如按行业、按电压等级）过于粗

放,难以满足精细化调控的需求。借助智能电表的高频数据,可以运用非侵入式负荷监测(Non-Intrusive Load Monitoring, NILM)等先进技术,对用户的总用电负荷进行分解,识别出内部各主要用电设备的运行状态和能耗特征。在此基础上,可以构建多维度的用户画像。这个画像不仅包含静态的用户基本信息(如户号、地址、合同容量),更包含动态的行为标签,例如:“空调敏感型用户”、“夜间充电型电动汽车车主”、“周末高负荷家庭”、“季节性生产用户”等。这些精准的画像,使得DR项目的用户筛选从“大海捞针”变为“按图索骥”,极大地提升了资源聚合的效率和针对性。

2.2 响应潜力评估与基线负荷预测

在确定了目标用户后,需要对其可调节潜力进行量化评估。智能电表的历史用电数据是进行这一评估的基石。通过分析用户在不同日期类型(工作日/周末)、不同季节、不同天气条件下的典型负荷曲线,可以建立其正常用电模式。当DR事件发生时,用户的实际负荷与该“基线负荷”之间的差值,即为其响应量。因此,准确的基线负荷预测是衡量DR效果的前提^[2]。利用机器学习算法(如长短期记忆网络LSTM、支持向量回归SVR等),可以基于海量历史数据,构建高精度的个性化基线预测模型,充分考虑各种影响因素,从而为每个用户设定科学、公平的响应目标,并预估其最大可削减或转移的负荷量。

2.3 响应策略优化与个性化邀约

不同的用户对价格信号或激励措施的敏感度不同,其可接受的调节时段、调节方式也各异。一刀切的DR策略往往效果不佳。智能电表数据为实现策略的个性化和最优化提供了可能。通过分析用户的历史响应记录(如果已有)及其用电行为偏好,可以预测其对不同类型DR邀约(如削峰、填谷、移峰)的接受概率和响应强度。在此基础上,DR聚合商或电网调度机构可以采用强化学习等先进算法,动态优化邀约策略,例如,为价格敏感型用户推送分时电价信息,为可靠性要求高的用户提供高额补偿的紧急削峰邀约。这种“千人千面”的精准邀约,不仅能最大化整体的响应效果,也能显著提升用户的参与意愿和满意度。

2.4 响应效果量化与闭环验证

DR项目的闭环管理离不开对响应效果的客观、公正的量化。智能电表提供的分钟级甚至秒级数据,使得对响应过程的全程追踪和效果验证成为可能。在DR事件期间,系统可以实时比对用户的实际负荷与预测基线,计算出瞬时的响应功率,并累加得到总的响应电量。同时,还可以

分析响应的启动速度、持续稳定性、恢复特性等指标,全面评估用户的响应质量。这些量化的结果,不仅是向用户结算补偿费用的直接依据,也为后续优化用户画像、改进基线模型、调整邀约策略提供了宝贵的反馈数据,形成了一个持续迭代、自我优化的闭环。

3 基于智能电表数据的增值服务设计框架

超越需求侧响应,智能电表数据更为广阔的舞台在于面向用户的增值服务创新。其核心逻辑是从“我能提供什么”转向“用户需要什么”,利用数据洞察为用户创造价值。

3.1 用户赋能型服务:提升用电透明度与自主性

许多用户对自己的用电情况知之甚少,电费账单上的数字显得抽象而神秘。基于智能电表数据,可以为用户提供前所未有的用电透明度。通过手机APP或Web端,用户可以随时查看自己详细的用电曲线,了解一天中哪个时段用电最多,哪些电器是“电老虎”^[3]。在此基础上,可以提供个性化的用电报告,将复杂的电量数据转化为通俗易懂的图表和建议,例如,“您上周的空调用电占比高达60%,若将温度调高1℃,预计可节省XX元”。这种服务不仅帮助用户理解自己的用电行为,更赋予了其主动管理和优化用电的工具与能力,实现了从“被动缴费”到“主动管理”的转变。

3.2 能效提升型服务:引导节能降耗与绿色生活

在用户理解自身用电的基础上,可以进一步提供能效提升服务。通过分析用户的用电模式,系统可以自动识别出潜在的能效问题,如待机能耗过高、设备老化导致效率低下、用能习惯不合理等,并推送针对性的节能建议。更进一步,可以结合智能家居设备,提供自动化能效优化方案。例如,当系统检测到家中无人且空调仍在运行时,可自动发送提醒或远程关闭;根据用户作息习惯和室外温度,自动调节热水器的加热时段。这类服务将数据洞察与智能控制相结合,真正帮助用户实现节能降耗,降低用能成本,并促进绿色低碳生活方式的养成。

3.3 市场参与型服务:降低门槛,共享红利

电力市场化改革的深入,为用户参与电力市场、获取额外收益创造了条件。然而,市场规则的复杂性和技术门槛将大部分普通用户拒之门外。智能电表数据可以成为连接用户与市场的桥梁。聚合商可以利用其掌握的海量用户数据,将分散的、微小的可调节负荷资源打包成一个整体,代表用户参与电力现货市场、辅助服务市场等。对于用户而言,只需授权其智能电表数据的使用,并同意在特定时段接受一定的负荷调节,即可获得

相应的经济回报^[4]。整个过程对用户是透明且便捷的，极大地降低了其参与市场的门槛，让普通用户也能分享到电力市场改革的红利。

3.4 生活关联型服务：拓展服务边界，融入智慧生态

电力是现代生活的基础，用电行为与用户的日常生活息息相关。因此，智能电表数据的价值可以延伸至更广阔的生活服务领域。例如，通过长期监测独居老人的用电模式，若发现其用电习惯发生异常（如长时间无用电），系统可自动触发预警，通知社区或家属，起到居家安全监护的作用。再如，结合电动汽车的充电数据，可以为用户提供最优充电策略（结合分时电价、电网负荷、出行计划），并推荐附近的充电桩。这些服务巧妙地将电力数据与用户的生活场景相融合，不仅提升了服务的温度和粘性，也为电力企业向智慧城市、智慧家庭生态的参与者角色转型开辟了新路径。

4 价值挖掘的挑战与保障路径

4.1 筑牢数据安全与隐私保护的基石

智能电表数据涉及用户高度敏感的隐私信息，其安全与合规是价值挖掘不可逾越的红线。必须建立健全的数据全生命周期安全管理体系，从数据采集、传输、存储、处理到销毁，每个环节都需采取严格的加密、脱敏、访问控制等技术手段。同时，应遵循“最小必要”和“知情同意”原则，在收集和使用用户数据前，必须清晰告知用户数据的用途、范围和风险，并获得其明确授权。探索联邦学习、安全多方计算等隐私计算技术的应用，可以在不共享原始数据的前提下实现联合建模，为平衡数据价值与隐私保护提供了新的技术路径。

4.2 深化多源异构数据的融合与治理

智能电表数据的价值并非孤立存在，其潜力在与外部数据的深度融合中才能被充分释放。然而，气象数据、地理信息、用户社会经济属性、智能家居数据等来源各异、格式不一，构成了典型的多源异构数据。因此，必须构建统一的数据中台，通过强大的数据治理能力，解决数据标准不一、质量参差、关联困难等问题。建立跨域的数据模型和知识图谱，打通数据孤岛，才能为上层的高级应用（如更精准的负荷预测、更全面的用

户画像）提供高质量、一体化的数据服务。

4.3 推动技术-业务-模式的协同创新

价值挖掘不能仅仅停留在技术层面，必须实现技术、业务与商业模式的深度融合与协同创新。技术团队需要深入理解业务痛点和市场需求，确保数据产品和算法模型能够解决实际问题；业务部门则需要具备数据思维，善于利用数据驱动决策和服务创新。在此基础上，积极探索可持续的商业模式，如B2B2C（通过聚合商向用户提供服务）、SaaS（软件即服务）、数据产品订阅等，确保价值挖掘活动能够产生真实的商业回报，形成良性循环。

5 结语

智能电表汇聚的海量、高频、细粒度数据，是激活电力需求侧价值的关键。在需求侧响应（DR）中，它支撑精准负荷识别、潜力评估、个性化策略制定与效果验证，推动DR从粗放行政手段升级为精细化、市场化、智能化的系统调节工具。在增值服务方面，通过提升用电透明度、引导能效优化、降低市场参与门槛、融入智慧生活，电力服务从单一商品交易转变为有温度的价值共创。未来竞争核心在于数据驱动能力。电力企业须将智能电表数据视为战略资产，以用户为中心、价值为导向，在严守安全与隐私前提下，深化数据融合、技术创新与模式探索，充分释放数据潜能，既支撑新型电力系统建设，也重塑自身角色，赢得能源变革主动权。

参考文献

- [1]唐怡婷.智能电表数据在电力营销中的应用研究[J].中国电子商情,2026,32(05):40-42.
- [2]陆雨婷,岳德臣,王佳钰.智能电表数据驱动的居民用电模式识别与电费节约策略研究[J].电工技术,2025,(S1):248-250.
- [3]王蕾蕾.智能电表与大数据技术在电力营销数据处理中的应用[J].集成电路应用,2025,42(04):198-199.
- [4]陈纪.电网营销中智能电表数据挖掘技术研究[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集（四）.国网四川省电力公司遂宁供电公司,2024:9-10.