·新能源汽车充电技术专题·

电动汽车充电服务多元价值挖掘与供需匹配机制研究*

陈德一　吴亮

（贵州师范大学经济与管理学院，贵阳 550025）

【欢迎引用】陈德一，吴亮．电动汽车充电服务多元价值挖掘与供需匹配机制研究[J]．汽车文摘，2026(3)：32-41.

【Cite this paper】CHEN D Y, WU L. Research on Diversified Value Mining and Supply-Demand Matching Mechanism of EV Charging Service[J]. Automotive Digest (Chinese), 2026(3): 32-41.

【摘要】为解决当前充电设施供需失衡、无序充电加剧电网压力及多主体协同不足的问题，明晰“车-桩-网-源”一体化运行多元价值共创路径与供需匹配规律，系统阐述了电动汽车充电服务网络“车-桩-网-源”一体化运行发展现状。首先，分析了EV充电供需匹配规律，并从“源-车”角度阐述了价值共创模式研究现状。其次，从“车-桩”视角出发，分析了充电桩合建模式及充电调度策略对电网稳定性的影响。然后，分析了“桩-网”互动响应下网络结构布局优化相关技术，进一步阐述了“网-车”协同运作下增效提质策略与电网经济优化调度现状。最后，归纳了EV充电服务网络“车-桩-网-源”一体化运行面临的挑战，并对未来发展做出展望。

关键词：充电服务；电动汽车；供需匹配；电网；互动响应

中图分类号：F426.61　　**文献标志码：**A　　**DOI:** 10.19822/j.cnki.1671-6329.20250166

Research on Diversified Value Mining and Supply-Demand Matching Mechanism of EV Charging Service

Chen Deyi, Wu Liang

(School of Economics and Management, Guizhou Normal University, Guiyang 550025)

【Abstract】 To address issues such as the current imbalance between supply and demand of charging facilities, the increasing pressure on the grid due to unregulated charging and insufficient collaboration among multiple stakeholders, the paper clarifies the path of multi-value co-creation and the matching rules between supply and demand in the integrated operation of “vehicle-pile-grid-source” within the EV charging service network. It systematically elaborates on the current development status of this integrated operation. Firstly, the matching rules between EV charging supply and demand are analyzed, and the current research status of the value co-creation model is expounded from the perspective of “source-vehicle”. Secondly, from the perspective of “vehicle-pile”, the impact of the co-construction model of charging piles and charging scheduling strategies on grid stability is analyzed. Meanwhile, technologies related to network structure layout optimization under the interactive response of “pile-grid” are analyzed, and the strategies for efficiency improvement and quality enhancement under the collaborative operation of “grid-vehicle” and the current status of economic optimization and scheduling of the grid are further elaborated. Finally, the challenges faced by the integrated operation of “vehicle-charging pile-grid-source” in the EV charging service network are summarized, and future developments are prospected.

Key words: Charging service, Electric Vehicle (EV), Supply-demand matching, Power grid, Interactive response

*基金项目：2024年贵州省研究生教育创新计划项目（2024YJSKYJJ160）；贵州省教育厅2023年自然科学研究项目（黔教技[2023]033号）；贵州省科技成果及转化计划项目（黔科合成果[2024]重大016）。

通信作者：吴亮（1969—），男，教授，博士生导师，研究方向为电子商务与信息系统，wuliangmail@yeah.net。

0 引言

随着全球气候变化加剧，加快电动汽车（Electric Vehicle, EV）行业发展已成为推动能源转型、减少温室气体排放的关键路径。EV作为核心终端，能够通过充电设施与电网进行双向能量交换，与各类外部资源持续交互、深度绑定，形成了以资源流通为纽带，推动电动汽车、充电桩、电网多方互动协同发展的一体化体系[1]，逐步构建了多利益主体动态博弈下电流、交通流、信息流、行为流深度融合的复杂系统。

2023年12月，国家发展改革委等部门印发了《关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见》[2]，明确提出推动车网互动规模化应用，要求强化“车-桩-网-源”的协同适配，破解单一环节发展脱节、资源要素配置不合理问题。近年来，随着EV保有量迅猛增长，充电设施供给不足、布局失衡及用户无序充电问题日益凸显，不仅降低了用户充电体验，更对现有电网的承载能力、调度灵活性造成巨大压力[3]。该问题的主要原因在于对“车-桩-网-源”四者的内在耦合关系挖掘不够、匹配机制不完善，且忽视了技术与非技术层面因素对系统效能的综合影响。

在技术层面，充电负荷接纳能力、配电网稳定性、信息交互安全因素是维系“车-桩-网-源”能量与信息顺畅交互的基础，直接影响EV充电站的高效运行和电网整体可靠性。在非技术层面，货源、车源的流通效率、土地资源的合理布局以及资金要素的有效供给等外部资源，共同作用于一体化运行系统的构建与落地，决定系统整体效能，推动“车-网-桩-源”协同发展。现有研究成果大多聚焦于“车-桩-网”[4]或“车-网-源”[5]三者的局部关系研究，侧重单一技术维度或单一资源要素分析。因此，本文从多利益主体博弈视角，系统性分析“车-桩-网-源”四者的内在逻辑关联、耦合机理及协同匹配规律，解决当前系统运行中资源配置失衡、技术与非技术因素协同不足的核心问题，以期为挖掘电动汽车充电服务多元价值、完善充电供需匹配机制、推动电动汽车产业与能源行业深度融合、助力智慧城市建设提供理论参考与实践支撑。

1 EV负荷时空分布预测

1.1 EV充电供需匹配解析

EV充电供需匹配本质上是一个不断变化的动态过程，实现该过程的优化控制可以提升用户体验，促进能源的高效利用，推动EV产业的可持续发展（见图1）。

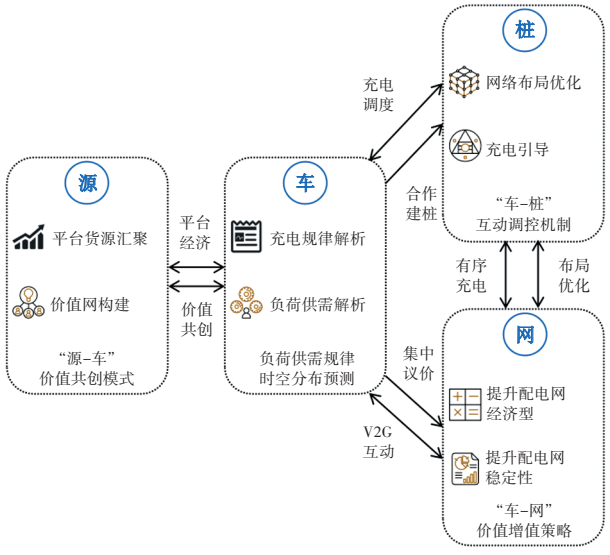


图1 车-桩-网-源一体化交互特性

本文以EV充电影响因素为关键词，整理了中国知网近十年发布的相关研究并进行聚类分析。由图2可知，EV充电影响因素主要包括充电负荷、充电需求、出行链、快速充电行为以及续驶里程。

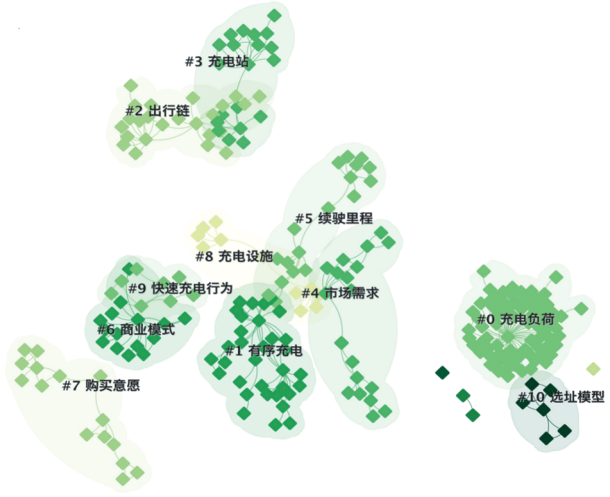


图2 EV充电影响因素关键词聚类分析

基于EV充电供需特性及聚类分析结果，本文借鉴文献[6]提出的指标设计，构建了影响因素比较框架。同时，鉴于用户出行链信息目的地存在差异，本文在探究EV充电供给、供需侧影响因素分析时，将分析场景划分为居住区、办公区、休闲购物区、其他区[7]。

1.1.1 EV充电供给规律分析

对充电设施时空分布的实时供给能力进行预测时，考虑到EV充电供给差异化的特征，本文从宏观与微观双重视角展开分析，宏观层面聚焦供给基础的构建逻辑，微观层面侧重作用于市场供需关系的动态变化，进而揭示因素间的相互作用机制与影响路径，如表1所示。

表1　EV充电供给影响因素对比

类型	文献来源	宏观因素				微观因素			
		经济	社会	环境	技术	需求量	需求类型	服务能力	可达性
		土地、运维、投资成本	人口密度、居民态度	道路情况、交通流量	电网容量、电能质量	经济水平、EV数量	技术能力、消费者认知	服务车型、规模	服务半径
居住区	[10]	√		√	√			√	√
	[11]	√	√	√			√	√	
办公区	[12]	√			√	√	√		√
	[13]	√		√	√	√		√	√
休闲购物区	[14]	√	√	√				√	√
	[15]	√		√	√	√			√
	[16]	√	√	√	√	√	√		
其他区	[17]	√			√		√	√	√
	[18]	√			√	√	√	√	√
	[19]	√	√	√		√	√		

在宏观层面，充电站建设需要大量资金投入以购买土地以及安装充电设备。不同区域的投资预算存在差异，其产生的投资回报率从经济层面决定了投资者的判断[8]，如办公区、休闲购物区地价较高，导致其周围充电站用地租赁成本较高。在技术层面，充电站使用过程中需消耗大量电能，使配电网容量面临严峻挑战，办公区、休闲购物区等区域可能因用电紧张、配电网功率不足的问题而无法满足供电要求。此外，电能无序波动将严重威胁配电网的安全稳定运行。

充电站建设前期调研涉及对市场需求的预测，需要考虑周围社会环境的影响[9]，如居住区的用户容易产生EV充电安全隐患担忧；休闲购物区则可能因配电网容量不足无法建设充电设施。此外，环境因素对充电基础设施选址情况具有显著影响，恰当选址可以避免办公区、休闲购物区EV充电排队引起的交通拥堵问题。

微观层面则更关注EV用户充电期望。鉴于居民区EV用户通常配备家用充电桩，其对公共充电设施的需求较低，因此该区域的充电站建设通常较少考虑需求量的影响[20]。需求类型的分析则侧重快充、慢充服务的差异化供给。在休闲购物区，由于用户停留时间较短，且其充电需求通常呈现突发性、偶然性特点，因此用户普遍倾向于选择快充服务[21]。此外，提升服务能力是提高用户体验感的关键因素，而可达性可以确保用户获取服务的便捷性，二者在区域充电设施优化配置中均具有重要意义。

1.1.2　EV充电需求规律分析

EV充电需求受到多种因素共同影响，其在时间波动和空间分布方面均表现出较高不确定性，使准确预测充电负荷面临较大挑战。其中，用户偏好[22]和EV性能[23]在充电需求的判断中发挥主导作用。此外，EV出行和充电模式的不可预测性进一步加剧了充电需求在时间和空间维度上的不确定性。在实际行驶过程中，车辆行驶轨迹呈现动态变化，进一步增加了上述变量间相互作用的复杂性。

本文将EV充电需求影响因素划分为技术因素和非技术因素，如表2所示。不同影响因素在不同情境下对用户的充电选择发挥重要作用。因此，深入理解并满足用户充电需求至关重要。现有研究主要从2个维度展开：在技术层面，重点关注EV电池荷电状态、电池容量以及温度变化对电池效能的影响；在用户行为偏好层面，聚焦于用户驾驶习惯等对于充电选择的影响，从需求端出发满足用户的充电需求，从而提升EV用户充电满意度。

1.2　用户充电行为特征与偏好分析

深度分析用户充电选择行为，有助于精准判断EV用户的实际充电需求，从而为充电桩的科学布局提供决策依据。充电选择行为涵盖了与充电场景相关的多个决策点，主要包括荷电状态、充电类型等内部因素以及气温、天气状况等外部因素。

在EV用户充电选择决策研究中，已有研究聚焦EV配置属性，围绕用户对不同充电位置的选择偏好开展了一系列实证分析研究[34]，该类研究突破了忽视车辆自身属性对充电选择影响的局限性，将EV配置特征与用户选择行为直接关联，能够较直观地呈现用户偏好差异，但未深入探究配置属性与其他影响因素的交

表2　EV充电需求影响因素对比

类型	文献来源	技术因素			非技术因素			
		荷电状态	充电速度	充电设施供给	行驶路况	充电费用	用户需求特性	用户心理
		电池温度、天气影响	慢充、快充、超充	充电接口匹配、设施分布	行驶路径、排队时间、交通状况	补偿激励程度、行驶成本	选择偏好、驾驶习惯	满意度、里程焦虑度
居住区	[24]	√	√		√			√
	[25]	√	√		√	√	√	
办公区	[26]	√	√		√		√	√
	[27]	√			√	√	√	
	[28]		√	√	√		√	
休闲购物区	[29]	√		√	√	√		√
	[30]	√		√	√		√	√
	[31]		√	√	√	√	√	
其他区	[32]	√		√	√	√	√	√
	[33]	√	√	√	√	√		√

互作用机制。

鉴于充电选择存在显著个体差异，部分研究将其纳入考量，旨在使研究结论更贴近实际充电情境，如Seheon等[35]创新性地考虑了气候变化变量。同时基于充电时间间隔，将用户划分为随机型和常规型，系统探讨了续驶里程、停车情况、初始剩余电量、快充次数因素对用户充电方式和地点选择的影响，最终为精准匹配用户充电需求、优化充电选择引导策略提供了针对性支撑。其有效规避了传统研究弊端，分类逻辑也贴合实际用户充电行为特征，选取的影响因素全面覆盖了车辆、用户以及环境维度，使研究设计满足用户个体差异。

2　“源-车”价值共创模式

多层级模式发展背景下，价值共创者构建了不同的商业生态圈，为多行业商业模式选择提供了重要依据。EV产业也遵循该规律，其商业生态圈集成了EV产业、储能产业以及电力行业等多领域资源，旨在实现协同、循环与高质量发展[36]。基于此构建的数字平台作为跨界价值创造的媒介，通过与消费者、互补型企业、外部资源以及社会技术系统的紧密结合，形成了一种全新的商业模式[37]。该模式充分利用商业生态圈中商家的丰富商品库存，平台所有者通过部署边界资源，将商家的货源需求与EV的运输能力进行有效匹配，动态地设计和调整资源配置，为商家提供最优的EV运输方案，推动开放式和互补式创新，实现货源等多种资源与EV“源-车”互动模式下的价值共创路径，如图3所示。

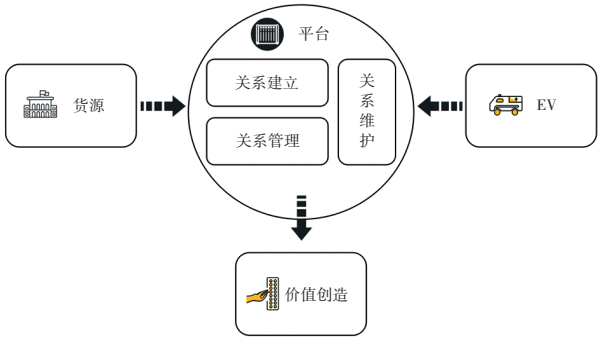


图3　“源-车”价值共创模式

在对“源-车”价值共创模式的研究中，主要围绕平台经济的商业运作模式展开分析，强调了跨领域要素、联系和活动的重要性，上述因素促进了价值创造过程从EV企业内部向企业边界的转移。通过融合平台拥有者和补充者的资源，可以有效地实现共同创造价值。此外，有研究分析了EV企业在EV商业生态圈价值网络中共创价值的根本机制，通过识别推动企业价值生成的关键来源和驱动力，利用数字化平台分析治理模式和治理机制，揭示了EV企业数字平台治理的多维结构[38]，从而实现“源-车”模式下的价值共创。

该类研究的优势在于突破了单一平台视角的局限，将价值共创与生态圈治理、数字化转型相结合，显著提升了研究深度与实践落地性。融合了定性识别与定量分析研究方法，科学性更强，但对数字化平台治理维度的协同作用机制探讨不够深入，且未明确不同治理模式适配的场景差异，对“源-车”模式下多主体的利益协同机制关注不足，难以满足产业实践中多主体协同共创的需求。总体而言，现有研究为“源-车”价值共创模式奠定了理论与实践基础，但在研究

深度、研究方法的全面性及与产业实践的贴合度上仍具有提升空间，后续研究需聚焦上述薄弱环节，进一步完善研究体系。

3 “车–桩”互动调控机制

充电便利性不足是阻碍相关消费者购买决策的主要原因之一。深入分析发现，充电设施建设滞后也是导致EV用户充电难的关键因素。EV的普及不仅依赖于车辆技术进步，同时也受限于充电基础设施的建设水平和完善程度。

3.1 充电桩建设

在商业模式构建层面，现有学术界的研究主要聚焦于充电基础设施的投资回报评估及商业策略制定。曾博等[39]基于价值链理论，对EV充电商业运营综合效益进行定量评估，有效地反映了不同商业运营模式下充电效益的差距。Anthopoulos等[40]引入了EV充电基础设施部署和运营的多准则决策框架，发现将公共EV充电站安装于私人土地是城区内建设充电站的首选部署方式。Sheng等[41]基于EV生产商经营策略的转换，结合多种元素对英国农村地区公共充电站的市场需求进行成本效益分析。

现有相关研究重点集中于商业方案设计、价值链分析以及多准则决策框架的建立，缺乏对不同地区、不同规模充电网络特性的深入分析，对风险管理以及与智慧城市融合发展的探讨也相对有限。上述内容具有较高的研究价值，应在未来研究中进行深入探讨。

3.2 “车–桩”充电调度

EV保有量的快速增长促进了用电需求激增，进而引发了EV无序充电规模扩张[42]。该现象不仅加剧了交通拥堵，还显著延长了EV用户充电等待时间。在满足用户需求的同时提升用户充电满意度，实现充电桩的有效利用成为当前亟待解决的关键问题。为应对该挑战，本文将“车–桩”调度策略划分为模型构建、路径规划、利益博弈3个维度，如图4所示。

当前“车–桩”调度策略通常基于交通流与配电网的耦合关系分析道路交通复杂程度，进而实现EV调控。在交通流层面，利用预测交通状态标定的动态异构交通网判断车流量、车速、交通事故以及道路施工等情况，根据路径最短[43]、能耗最低[44]、时间最少[45]原则综合构建最优控制模型，并在配电网层面根据充电站管理系统中可用充电桩数量、变压器容量等进行匹配，然后在平台上根据用户位置对可充电信息进行实时推送，以满足不同的EV的充电需求。

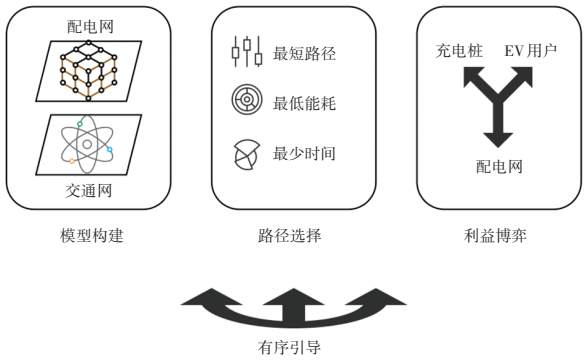


图4 “车–桩”调度策略框架

随着EV负荷需求不断变化，用户选择行为将产生多种博弈效果。为避免在充电高峰时期负荷集中于少量充电桩，目前主要采用分时电价方法对EV充电进行有效调控。通过用户主动响应分时电价激励，降低充电站运营成本和EV充电成本以及系统峰谷负荷差异，同时增加可再生能源的利用率，以满足高峰时期用户充电需求。

3.3 “车–桩”充电调度的优势与局限性

在现实层面，目前“车–桩”充电调度通常集中于确定充电站的最优配置和容量。虽然现有技术可以基于用户需求和预测数据实现充电桩智能分配，有效减少用户等待时间并提升设施利用率，但目前充电调度平台缺乏对动态需求变化的适应性，且在处理充电过程中突发情况时存在一定延迟性。此外，由于充电场站建设集中于市区繁华地段，导致城市郊区等区域的充电设备供给不足，用户充电难的问题仍然存在。

在研究层面，现有成果多围绕电网、运营商、用户三方利益博弈展开，侧重通过分时电价、峰谷差价等经济激励手段平衡充电需求和电网负荷。该类研究思路虽能快速实现短期利益均衡，但忽视了用户行为的多样性和复杂性对充电行为的深层影响。不同用户的出行习惯、充电偏好、支付意愿存在显著差异，且用户充电决策易受实时电价、天气、路况等多因素影响，具有较强的随机性和不确定性。然而，当前相关研究多将用户行为简化为标准化变量，未构建贴合实际的用户行为分析模型，导致研究成果与实际应用场景脱节，难以有效指导动态充电调度与布局优化。

4 “桩–网”网络布局优化

4.1 智能充电网络结构优化

现有多数充电网络设计并未考虑大规模分布式

能源接入需求，导致其在现有架构下进行大规模升级和扩展时面临复杂性和高成本问题。因此，充电网络结构优化已成为当前的研究重点，本文主要从物理层、平台层及物理-平台耦合层3个层面展开研究。

物理层的“桩-网”智能充电网络布局主要可分为基于政策、需求、技术与服务3个层次的规划。政策驱动规划关注充电桩的使用和运维，是实现充电设施合理分布的基础。基于需求导向的规划，对充电设施位置及容量进行优化，以实现充电网络结构优化。基于技术与服务导向的规划采用5G网络，通过物联网和V2X技术，对分布式充电桩进行信息监测与管理，将其集聚在一起构成具备抗冲击、调峰、调频等特性的虚拟电厂，助力电网移峰错峰，实现桩-网柔性互动，确保了电网的稳定运行，提升运营商整体盈利。

平台层的“桩-网”智能充电网络布局主要负责信息的采集、存储和处理，并通过即时指令的发布，强化充电桩监控系统与电网运维系统的交互。EV技术与物联网技术的结合推动了智能车联网技术的发展，不仅提升了新能源的利用效率，也改善了用户的使用体验和经济收益。此外，该技术融合还促进了清洁能源的广泛采用和电能的替代使用，进一步提高了智慧化管理水平。

物理-平台耦合层面的“桩-网”智能充电网络布局研究多基于多边交易机制，通过集中EV的电力需求，促进其参与市场竞争和电网的高效运作。通过灵活的多方交易，加速构建以电力为核心的清洁、可持续的新能源消费体系，推动充电桩与电网的深度整合和协同发展。基于上述3种层面的充电网络结构布局优化对比见表3。

表3　充电网络结构布局优化对比

	目标	优点	局限性
物理层网络布局	基于政策导向的规划	目标明确	忽略配电网约束
	基于需求导向的规划	明确细节，便于实施	需求不断变化，需要及时调整
	基于技术与服务导向的规划	利用率高，提升满意度	成本较高
平台层网络布局	基于提高新能源利用率的规划	实现经济效益增强	服务质量下降
	基于提高信息资源管理的规划	便于智慧化服务开展	信息获取较难，数据需求规模较大
物理-平台耦合层网络布局	基于新型能源消费模式的规划	实现资源集聚	两层耦合度低
	基于多阶段模型的规划	涵盖面较广	两层耦合度较为复杂

当前充电网络升级扩展的核心挑战表现为布局规划与实际应用需求、技术适配性的脱节，而本文构建的三维度优化体系可以针对性破解该矛盾。各层面布局均呈现单一性特征，物理层侧重硬件布局，却未充分联动配电网约束与动态需求；平台层聚焦信息与能源利用，忽视了服务质量与数据支撑的平衡；耦合层试图实现双向协同，但受限于耦合机制的不完善。

各类布局的局限性并非孤立存在，而是源于“硬件布局-信息管理-协同机制”的割裂，未来优化需突破单一导向局限，实现各层面优势互补。以技术与服务导向型布局弥补物理层短板，以技术融合破解平台层数据与服务困境，以耦合机制创新解决耦合层协同不足问题，最终实现桩网深度协同，为大规模分布式能源接入提供支撑，推动充电网络向高效化、智慧化、可持续化升级。

4.2 “桩-网”协调运作

无序充电是EV与配电网接触最为常见的现象，大规模EV的无序充电将影响配电网的安全和经济运维[46]。为了解决无序充电威胁，有序充电成为当下众多学者研究的重点，可以将EV充电有序化视为考虑电网运行情况下的EV与充电基础设施最优匹配问题。在经济层面，多采用动态电价调节的方式，根据电网的负荷情况分别制定电价，以此鼓励用户在电价较低的时段充电，减小负荷峰谷差。在优化特定区域内的EV充电的同时，还可以降低配电网网损、提高配网电压质量以及提升配网的经济性。在技术层面，可以通过调配配电网对充电站的功率显著降低配电网的等效负荷方差、有功网损，保障用电高峰期配电网的正常运转。

4.3 “桩-网”动态响应的优势与局限性

“桩-网”动态响应避免了电网负荷的剧烈波动，减少了电网负荷高峰时段的过度充电需求，实现了从无序充电到有序充电的转变，显著提升了电网稳定性和能源效率。然而，现有智能充电系统普及度不高，需求响应策略的实施仍受用户接受度和行为惯性限制，动态电价机制在不同地区的适应性和公平性仍存在争议。目前“桩-网”互动仍处于发展初期，其大规

模推广仍需克服规模化应用层面的挑战。

5 “网-车”增效提质

现有关于“网-车”互动的研究主要集中于商业模式创新和技术提升层面，其核心均为实现“网-车”互动下的增效提质。

5.1 集中议价

在商业模式创新上，用户目标正逐渐从单纯利用共享充电站满足EV充电需求转向通过自建充电站获取收益。随着越来越多的用户自投建设充电站，构成了多个微电网-用户子联盟[47]。在该过程中，确保电价的合理性成为了目前研究重要关注点。电能量市场的供需与价格具有不确定性，且电力现货市场基于短期边际成本定价。电力市场中长期的定价机制参考了现货市场的价格水平，同时辅助服务市场的定价策略也以现货市场的电价作为其机会成本的考量基础，寻求较低电价在增效提质过程中具有重要意义[48]。

“网-车”模式下所形成的多个微电网-用户子联盟可以采用汇聚电力需求委托代理的方式在电力交易市场向电网公司集中议价购买电力。通过配电网和多个微电网-用户子联盟进行协商，实现各主体的协同优化运行以及合作剩余的分配。该模式在优化能源交易和成本的同时实现了整体利益最大化，有利于提高配电网电压质量和新能源消纳水平[49]，为实现EV和电网公司间的良性互动搭建了关键平台。

5.2 电网经济优化调度

V2G技术的应用使EV大规模地参与到电网调峰辅助服务中，为优化电网运行和提升经济效益提供了新机会。目前国内外针对V2G技术的研究主要集中于满足电网侧和用户侧的需求，核心目标在于提高经济收益。

在电网侧，文献[50]建立多目标优化函数，有效降低了配电网网损及负荷方差，提高了风电与负荷的匹配度。文献[51]提出一种同时考虑电能型和功率型储能资源的调度策略，在削峰填谷的同时平抑风电波动，提升风电消纳能力。文献[52]构建充电负荷价格响应模型，有效引导充电负荷避开净负荷的峰期，减小电网的峰谷差。

在用户侧，文献[53]为车主提供最佳的充电站选择及充放电方案，降低了用户充电成本，提升了充电站收益。文献[54]提出双层调度模型，有效平抑了电网负荷波动，使用户经济收益达到最大化。文献[55]建立以成本效益为核心的充放电调度策略，有效地降低了用户成本，实现了电网与EV用户双方的共赢。

上述研究针对性解决了电网网损降低、新能源消纳、用户充电成本管控问题，提出的优化模型与调度策略也得到了有效验证。但现有研究多侧重单一主体收益最大化，对电网侧与用户侧的协同平衡考量不够全面，且未充分结合实际场景中充电设施分布、用户出行不确定性等因素，导致部分理论策略落地性不足。未来研究需打破单一主体视角，兼顾多方利益，结合现实约束优化模型，使V2G技术真正实现电网与用户的长效共赢。

5.3 “网-车”互动的优势与局限性

在现实生活中，EV用户个体之间缺乏紧密联系难以形成理想状态下的用户子联盟，导致其在实施层面缺乏一定的实践性。部分平台虽然为用户子联盟的汇聚提供了一定的支持，但由于平台本身的利益驱动本质，平台服务费的增加导致实际成立的用户子联盟难以在网-车互动中获得优惠。

现有针对V2G技术的研究多从电网侧和用户侧探索EV的有序充放电策略、负荷预测、优化调度以及与可再生能源协同，以此来降低用户充电成本、提升电网运行效率和促进电能消纳。但对用户充电行为与电网负荷变化的耦合协调关系、充电设施普及度、技术实施的复杂性以及不同地区电网特性的适应性的深入研究较少。

因此，为推动“网-车”互动落地，需突破技术瓶颈，剖析用户行为，完善利益协调机制，结合区域特性探索差异化路径，推动理论向实践转化。

6 结束语

随着EV产业的发展，充电基础设施数量持续增加，车-桩-网-源一体化模式已逐渐成为推动交通和能源领域深度融合、实现产业高质量发展的关键途径。本文系统梳理了EV相关领域核心研究内容，对EV负荷时空分布预测进行系统性分析，通过分析EV充电供需匹配规律，明确了优化供需匹配对提升用户充电体验、提高资源利用效率的核心意义，阐述了“车-桩”互动调控现状，明确了当前充电设施供需不匹配的核心问题，并提出技术与商业模式双创新的解决思路。最后，探讨了“桩-网”网络布局优化和“网-车”增效提质策略，凸显了智能充电网络优化、有序充电及EV移动储能潜力的重要性，为电网与EV产业协同赋能提供了新思路。

面向未来，车-桩-网-源一体化模式的发展仍面临多重挑战，主要集中于多网融合下配电网稳定性管控难度大、用户充电行为画像精准度不足导致的需求预测偏差、智慧城市背景下一体化运行能力评估体系不完善，亟需针对多层级关键技术与机制问题展开深入研究。结合前文研究梳理与自身学术思考，后续研究可从3个核心维度发力突破。

在用户层面，需突破现有研究局限，强化EV用户行为模式的全维度追踪与分析，不仅聚焦充电偏好、充电时间等基础特征，还需结合用户出行链、消费习惯等多元变量，构建更精准的用户画像，为需求预测与设施布局优化提供更可靠的支撑。

在技术层面，需进一步优化大数据选址模型的精准度与动态适配性，融合神经网络等先进算法，完善充电站负荷预测与优化体系，在提升经济效益的同时，兼顾电网安全与资源节约，弥补现有技术研究中成本与效益、技术与安全协同考量不足的短板。

在政策层面，需深入探究政策激励与市场机制的协同发力路径，避免单一政策调控的局限性，通过差异化政策设计、市场化激励手段，推动充电设施普及、技术创新落地，促进EV产业与电网高效协同发展。

总体而言，“车-桩-网-源”一体化模式的高效、智能、可持续发展，需依托研究体系的不断完善、技术与机制的持续创新，破解当前供需不匹配、协同不足、技术落地困难等核心问题，推动交通与能源领域深度融合，助力EV产业高质量发展。

参 考 文 献

[1] 陈德一, 杨韬, 符定红. 基于AHP-模糊综合评价法的车-桩-网-源运行能力评价研究[J]. 电力大数据, 2024, 27(10): 9-18.

[2] 国家发展改革委, 国家能源局, 工业信息化部, 等. 国家发展改革委等部门关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见[J]. 财会学习, 2024(3): 1-2.

[3] ALTHAHER Z S, ALNASER W S, LONG C, et al. Introducing Storage Operators for Coordinating Residential Batteries in Distribution Networks Under Time-of-Use Tariffs and Adaptive Power Limits[J]. Applied Energy, 2024(371): 123714.

[4] LILIENKAMP A, NAMOCKEL N. Integrating EVs into Distribution Grids—Examining the Effects of Various DSO Intervention Strategies on Optimized Charging[J]. Applied Energy, 2025, 378(PA): 124775.

[5] HASAN R M M, FAHMIDA A A, MD. H, et al. Electric Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery[J]. Sustainability, 2022, 14(21): 13856.

[6] 王海鑫, 袁佳慧, 陈哲, 等. 智慧城市车-站-网一体化运行关键技术研究综述及展望[J]. 电工技术学报, 2022, 37(1): 112-132.

[7] 邱元森, 张奕源, 付玉雪, 等. 考虑用户有限理性的电动汽车充电需求[J]. 综合运输, 2024, 46(1): 71-78.

[8] JURADO C C, MARTÍNEZ C M J, MERINO G C J, et al. Optimal Location of Electric Vehicle Charging Stations Using Proximity Diagrams[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 113: 105719.

[9] BESHAY R S D, SHAFEI R A M, IBRAHIM K D. Long-Term Forecasting of the Impact of EV Home Charging at Different Adoption Rates on the Egyptian Load Profile[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 39376.

[10] 程杉, 吴思源, 孙伟斌. 考虑电压稳定性和充电服务质量的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 12-21.

[11] FANG B, ZHANG Q, LUO Z, et al. Charging Decision Modelling and Load Collaborative Simulation of Electric Vehicles Based on Multi-Source Fusion: Adaptive Huff-LSTM Method[J]. Energy, 2025, 340: 139235.

[12] MOTLAGH G S, LI L. A Review on Electric Vehicle Charging Station Planning: Infrastructure Placement, Sizing, Upgrades, and Uncertainties[J]. Journal of Energy Storage, 2026, 141(PB): 119325.

[13] 李宏仲, 强伟, 高宇男, 等. 考虑用户出行特性和配电网线路可用裕度的充电站规划[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(23): 48-56.

[14] 刘俊壕, 杨世勇, 李黄强, 等. 基于充电需求时空分布预测的电动汽车充电站规划[J]. 中外能源, 2024, 29(5): 18-26.

[15] 田梦瑶, 汤波, 杨秀, 等. 综合考虑充电需求和配电网接纳能力的电动汽车充电站规划[J]. 电网技术, 2021, 45(2): 498-509.

[16] 杨景旭, 张勇军. 考虑需求差异化和配电网运行风险的充电站规划[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(8): 9-20.

[17] 汪和平, 高瑞. 基于改进粒子群算法的电动汽车快慢充充电站布局优化[J]. 系统工程, 2023, 41(4): 95-103.

[18] CHEILAS D, BINDNER W H, WECKESSER T. Impact of Limited Information on Estimating Aggregated Electric Vehicle Loading: A Distribution System Operator Perspective[J]. Sustainable Energy, Grids and Networks, 2025(44): 102012.

[19] 汪洋, 汤宽武, 赖科星, 等. 基于动态随机规划的共享电动汽车充电站规划[J]. 电网技术, 2022, 46(9): 3485-3499.

[20] ILLAHI U, EGAN R, O'MAHONY M, et al. Self-Reported Public Fast Charging Infrastructure Demand: What Do Existing and Potential Electric Vehicle Adopters Want and Where?[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 116: 105935.

[21] DIXON J, ELDERS I, BELL K. Evaluating the Likely Temporal Variation in Electric Vehicle Charging Demand at Popular Amenities Using Smartphone Locational Data[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2020, 14(6): 504-510.

[22] MATKOVIC D, PILSKI M T, CAPUDER T. Dynamic Pricing Strategy Based on Day-Ahead Charging Demand Forecasts[J]. Sustainable Energy, Grids and Networks, 2025(44): 101897.

[23] GUO H, CHEN L, WANG Z, et al. Day-Ahead Prediction of Electric Vehicle Charging Demand Based on Quadratic Decomposition and Dual Attention Mechanisms[J]. Applied Energy, 2025, 381: 125198.

[24] 陈丽丹, 聂涌泉, 钟庆. 基于出行链的电动汽车充电负荷预测模型[J]. 电工技术学报, 2015, 30(4): 216-225.

[25] 张美霞, 吴子敬, 杨秀. 基于动态能耗模型与用户心理的EV充电负荷预测[J]. 现代电力, 2022, 39(6): 710-719.

[26] 常东胜, 蔺红. 基于马尔科夫链模拟的电动汽车充电需求分析[J]. 现代电子技术, 2022, 45(5): 90-96.

[27] 鲍琼, 谭旭, 屈琦凯, 等. 基于用户时空活动与模糊决策的电动汽车充电需求预测[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2022, 52(6): 1209-1218.

[28] LI J, ZOU W, YANG Q, et al. EV Charging Fairness Protective Management Against Charging Demand Uncertainty for a New "1 to N" Automatic Charging Pile[J]. Energy, 2024(306): 132428.

[29] 刘超, 李青, 马明明, 等. 基于DATA模型的电动汽车充电需求时空演化规律分析[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(12): 86-94.

[30] MAO Y, YU X, WANG F, et al. Electric Vehicle Charging Demand Forecasting: A Data-Driven Integrated Learning Approach[J]. Renewable Energy, 2026, 256(PD): 124141.

[31] YANG N, LIN D, DING L, et al. Optimal Planning for Charging Stations Within Multi-Coupled Networks Considering Load-Balance Effects[J]. Energy, 2025(336): 138481.

[32] 蒋怡静, 于艾清, 黄敏丽. 考虑用户满意度的电动汽车时空双尺度有序充电引导策略[J]. 中国电力, 2020, 53(4): 122-130.

[33] 邵尹池, 穆云飞, 余晓丹, 等. "车-路-网"模式下电动汽车充电负荷时空预测及其对配电网潮流的影响[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(18): 5207-5219+5519.

[34] HUANG X, ZHANG Y, LI D, et al. An Optimal Scheduling Algorithm for Hybrid EV Charging Scenario Using Consortium Blockchains[J]. Future Generation Computer Systems, 2019(91): 555-562.

[35] KIM S, YANG D, RASOULI S, et al. Heterogeneous Hazard Model of PEV Users Charging Intervals: Analysis of Four Year Charging Transactions Data[J]. Transportation Research Part C, 2017(82): 248-260.

[36] ZHANG Z C, WANG Y. New-Arrival or Second-Hand? A Direct-To-Consumer Business Model for Electric Vehicles in the Sustainable Transportation[J]. Energy Reports, 2023(10): 3035-3038.

[37] EVANS K, CULLEN N. Bringing It All Together: Resources and Next Steps[J]. Alzheimer's&Dementia, 2025, 21(S4): e110739.

[38] 唐方成, 裴利娟, 董彩婷, 等. 数字平台的二元治理模式——价值共创视角下的探索性案例研究[J]. 管理评论, 2024, 36(5): 276-288.

[39] 曾博, 白婧萌, 张玉莹, 等. 基于价值链分析的电动汽车充电商业运营模式综合评价[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(7): 21-27+34.

[40] LEONIDAS A, POLYTIMI K. A Multi-Criteria Decision Process for EV Charging Stations' Deployment: Findings from Greece[J]. Energies, 2021, 14(17): 5441.

[41] KAI S, MAHDIEH D, MOHAMMAD A. Analysing the Cost-Effectiveness of Charging Stations for Electric Vehicles in the U. K.'s Rural Areas[J]. World Electric Vehicle Journal, 2021, 12(4): 232.

[42] XU J, CHEN J, WEI H, et al. Emissions Reduction Potential and Feasibility of Vehicle-To-Grid for Beijing's Future Electric Vehicles[J]. Cell Reports Physical Science, 2025, 6(6): 102616.

[43] WU J, LI Q, BIE Y, et al. Location-Routing Optimization Problem for Electric Vehicle Charging Stations In An Uncertain Transportation Network: An adaptive co-evolutionary clustering algorithm[J]. Energy, 2024, 304: 132142.

[44] JUN Y K, DO B C. Energy Consumption Optimization for the Electric Vehicle Routing Problem with State-Of-Charge-Dependent Discharging Rates[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 385: 135703.

[45] GAO S, HUANG S, JIN X, et al. Cloud-Edge Collaborative Optimal Control Strategy for Virtually Aggregated EV Charging Facilities in a Market Environment[J]. Energy, 2025, 337: 138763.

[46] FAKHRUL B J I, TOUFIKUR M R, SHAMEEM A, et al. Multi-Objective-Based Charging and Discharging Coordination of Plug-in Electric Vehicle Integrating Capacitor and OLTC[J]. Energies, 2023, 16(5): 2172.

[47] PARK H, KO W. Resynchronization Scheduling Policy for Multiple Microgrids for Optimal Distributed System Operation with Enhanced Flexibility[J]. Applied Energy, 2025, 399: 126491.

[48] HYUNJUNG K, DAE-WOOK K, MAN-KEUN K. Economics of Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Korea[J]. Energy Policy, 2022, 164: 112875.

[49] 王华莹, 李勇, 朱辉, 等. 考虑配电网负荷的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2022, 34(164): 134-141.

[50] 王誉博, 龚庆武, 乔卉, 等. 考虑电动汽车用户意愿的滚动优化调度[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(10): 54-61.

[51] 吴永飞, 包宇庆. 电能型-功率型混合储能日前-日内协同滚动调度策略[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(1): 77-87.

[52] 王庆园, 崔莉, 王明深, 等. 考虑快慢充负荷特性的电动汽车调峰定价策略[J]. 电力工程技术, 2023, 42(4): 31-40.

[53] 王鹤, 冷贤达, 潘禹含, 等. 考虑时空特性及时间成本的电动汽车有序充放电策略[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(10): 86-91+133.

[54] 肖丽, 谢尧平, 胡华锋, 等. 基于V2G的电动汽车充放电双层优化调度策略[J]. 高压电器, 2022, 58(5): 164-171.

[55] 李怡然, 张姝, 肖先勇, 等. V2G模式下计及供需两侧需求的电动汽车充放电调度策略[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(3): 129-135+143.

（责任编辑　**梵玲**）

《汽车技术》征稿启事

《汽车技术》杂志是中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车前瞻与应用技术类月刊，为我国高质量科技期刊分级目录入选期刊、中国科学引文数据库（CSCD）来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊（A）、Scopus数据库收录期刊、俄罗斯《文摘杂志》（AJ）收录期刊、日本科学技术振兴机构数据库入选期刊、EBSCO学术数据库收录期刊、欧洲学术出版中心（EuroPub）数据库收录期刊。

《汽车技术》杂志以报道汽车整车及其零部件设计、研究、试验等方面的前瞻与应用技术为主，并兼有理论研究内容，是中国汽车行业核心学术和知识传播与共享的平台。

《汽车技术》将在国家提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的指引下，把握《节能与新能源汽车技术路线图》和“低碳化、信息化、智能化”的汽车技术主流发展趋势，努力在传统内燃机汽车高效动力系统、轻量化、低阻力领域，新能源汽车和互联智能汽车技术领域，大力吸收优质稿源，为广大科研和工程技术人员服务，为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。

《汽车技术》欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员及相关人员不吝赐稿，反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将被优先选择刊登。

投稿要求：

1. 文章字数最好控制在6 000~8 000字范围之内；

2. 请按科技论文要求撰写文章摘要，摘要中文字数控制在180字左右；

3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的参考文献，且在文中应标注文献引用处；

4. 文章主要作者应提供其简介，包括出生年、性别、职称、学历、研究方向及技术成果等；

5. 来稿的保密审查工作由作者单位负责，确保署名无争议，文责自负；

6. 请勿一稿多投；

7. 本刊使用网站投稿，请先登陆网站注册成功后投稿，详细投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏的“作者指南”，网址：http://qcjs.cbpt.cnki.net。

《汽车技术》编辑部