

适应可再生能源消纳的电动汽车充电引导策略研究

文/张书豪¹ 郭鑫² 温栋¹ 叶子麒³ 孙志成³

1. 国网陕西营销服务中心; 2. 国网电动汽车服务(陕西)有限公司; 3. 国网电力科学研究院武汉能效测评有限公司

研究适应可再生能源消纳的电动汽车充电引导策略,旨在提高可再生能源利用率和减少电网负荷。通过综合分析电动汽车的充电行为以及可再生能源消纳间的相互作用机制,提出基于数据预测的智能充电策略、集群充电管理策略以及分时电价引导策略,对其实施难度和成本效益也进行了详细探讨。这些策略能够有效平衡电网负荷,提高可再生能源消纳能力,为能源结构的转型和可持续发展提供有力支持。

随着化石能源的不断枯竭以及全球变暖导致的气候问题加剧,可再生能源已成为全球能源发展的重要趋势,对于减轻化石能源依赖和减缓全球变暖趋势具有积极意义。中国作为全球最大的新能源汽车市场,电动汽车在近几年呈现爆发式增长。据统计,2023年度我国新能源汽车销售量达949.5万辆,市场占有率达到31.6%。电动汽车因零排放、无污染和环境友好等特点,不断普及加速了能源结构的转型,大大降低对化石能源的依赖性。大规模电动汽车的投运能够进一步推动可再生能源的开发与利用,提高能源转化效率,促进新能源消纳,为应对全球能源和环境挑战提供有力的支持^[1]。

然而,电动汽车热度的持续上升对能源技术创新领域提出更高的要求,也给电网的安全稳定运行带来巨大的压力。在能源技术创新方面,电动汽车的大规模普及需要更高效、更智能的能源管理和储能技术。包括电池技术的进一步突破,如提高电池的能量密度、循环寿命和安全性,还包括充电基础设施的智能化升级,如实现快速充电、无线充电和车网互动等功能^[2]。此外,为更好地匹配电动汽车的充电需求,还需要研究和开发更为智能的能源调度和管理系统,确保电力系统的稳定运行和高效供

能。随着电动汽车数量的增加,电网需要承担更大的负荷,可能导致加剧电网负荷、降低电能质量和产生谐波污染等问题。

大规模电动汽车的投运对电网安全性具有重要影响。规范引导电动汽车充电行为对于保障充电过程的安全性和稳定性、推动电动汽车产业的健康发展、实现电网与电动汽车之间的良性互动以及推动可再生能源的发展都具有重要意义。

电动汽车充电行为

电动汽车的充电行为指的是电动汽车通过充电桩或其他充电设备获取电能,维持或增加其行驶里程的过程。充电行为涉及多个方面,包括充电方式、充电设施、充电时间以及充电过程中的各种影响因素等^[3]。

1. 电动汽车充电方式

1) 快速充电。快充技术一般采用直流充电方式,利用高功率充电桩在短时间内为电动汽车提供大量电能。一般来说,充电功率可以达到50~350 kW,使得电动汽车在短时间内能达到80%以上的电量。快充方式能够迅速恢复车辆续航,但对于车辆的电池寿命以及配电网的稳定运行均会产生一定影响。

2) 慢速充电。慢充技术使用低功率充电桩，充电时间较长，一般需要数小时至十几小时，充电功率通常在3~22 kW之间。慢充技术对电池寿命影响较小，并且可以鼓励用户充分利用谷电进行充电，有助于减轻高峰时段的用电压力。

3) 换电。换电模式主要是将车内电池拆卸并在换电站与已充满的电池进行更换，换电模式下用户几乎没有充电等待时间，但对于车企而言换电模式需要投入大量的备用电池与换电设备。

2. 电动汽车充电行为影响因素

首先，从用户层面来看，车主的充电需求可大致划分为日常需求和特殊需求两大类。日常需求相对较为稳定，主要受私人充电桩保有量、日常用车频率以及个人偏好的充电时长等因素的影响。车主

通常会根据这些因素来合理规划自己的充电行为。而特殊需求则可能对充电行为以及电网稳定性产生较大影响，如节假日出行高峰等短期大规模的充电需求，要求车主和充电设施运营方均要做出相应的调整和预案。

其次，从环境和技术层面来看，城市中充电设施的配置情况、政府的电价政策调控以及充电站的便利性等因素，都会间接影响用户充电行为的选择，如图1所示。车主在选择充电设施时，会综合考虑充电距离、充电设施的便利程度、充电电价以及服务质量等因素。因此，优化充电设施布局、制定合理的电价政策以及提升充电站的服务水平，都有助于引导用户更加合理、高效地进行充电行为，推动电动汽车的普及和可持续发展。

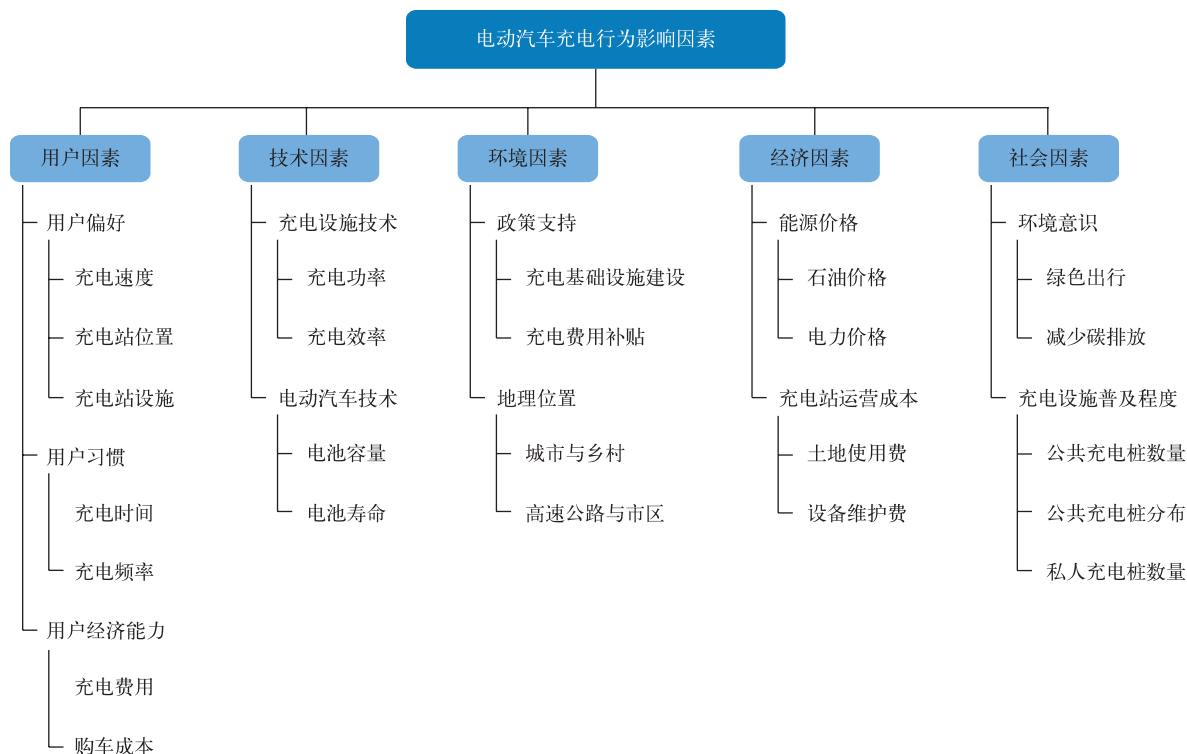


图1 电动汽车充电行为影响因素

电动汽车充电行为与可再生能源消纳的相互作用机制

1. 电动汽车的储能潜力

电动汽车凭借其日益增长的市场占有率以及搭载的大容量电池组，具备作为分布式储能的巨大潜力。这些电池在完成日常行驶后，仍保留有可观的剩余电量。若能有效利用这部分电量，它将成为电

力系统中不可或缺的灵活性资源。通过有序充电策略，可以精准控制电动汽车的充电时间和充电量，避免在电网负荷高峰时段进行大规模充电，从而减轻电网压力^[4]。同时，有序充电还可以根据电网的实时状况，调整充电功率，确保电网的平稳运行。此外，电池更换和退役电池储能也是电动汽车作为分布式储能的重要方式。通过快速更换电池，可以

确保电动汽车的持续运行，同时更换下来的电池可以作为储能单元，用于平衡电网的负荷波动。退役电池则可以通过梯次利用，继续在储能领域发挥作用，实现资源的最大化利用。

这种灵活性资源对于提升电力系统对波动性可再生能源的消纳能力至关重要。由于风能、太阳能等可再生能源具有间歇性和不确定性，其大规模接入电网会对电力系统的稳定性造成挑战。而电动汽车作为分布式储能，可以在很大程度上平抑这种波动性，提高电力系统的稳定性。同时，通过合理利用电动汽车的储能潜力，还可以增加可再生能源的并网容量，进一步推动可再生能源的发展。

2. V2G技术与电网互动

V2G (Vehicle-to-Grid) 技术，代表车辆到电网的技术。这是一种创新的商业模式，利用电动汽车的车载电池作为分布式储能单元，实现车辆和电网之间的能量与信息的双向传递。V2G技术的核心在于电动汽车与电网之间的互动关系，可以使无序充电转变为有序充电，并将电动汽车作为移动的、分布式储能单元接入电网^[5]。

V2G技术的主要优势：

1) 提高电网稳定性。通过有序充电，V2G技术可以减少电网的负荷波动，提高电网的稳定性。当电网负荷过高时，电动汽车可以将电池中存储的电能反向销售给电网，从而减轻电网的压力。相反，当电网负荷过低时，电动汽车可以从电网接受能量并进行充电，起到削峰填谷的作用。

2) 促进可再生能源消纳。V2G技术可以有效提高电力系统对波动性可再生能源（如风能、太阳能）的消纳能力。由于可再生能源的发电具有不确定性和间歇性，其大规模接入电网会对电力系统的稳定性造成挑战。而电动汽车作为分布式储能，可以在很大程度上平抑这种波动性，提高电力系统的稳定性。

3) 创造经济效益。通过V2G技术，电动汽车车主可以在电网需求高峰时通过向电网售电获得额外收益。这不仅增加车主的经济收入，也提高电动汽车的使用价值。

3. 相互协同作用

通过制定有效的控制策略并优化电动汽车的充电行为和分布式发电管理，可以最大化地利用电动汽车和可再生能源之间的协同作用，提高电力系统

的稳定性和可再生能源的消纳能力，为实现能源的高效利用和可持续发展做出重要贡献。

一方面可以平抑可再生能源的波动性。可再生能源具有间歇性和不确定性，其发电量的波动会对电网的稳定性造成挑战。电动汽车作为分布式储能的重要载体，可以通过有序充电和V2G技术，有效平抑可再生能源的波动性，提高电力系统的稳定性。另一方面可以有效维护电网负荷平衡。通过有序充电和智能调度，将电动汽车的充电行为与电网负荷进行协同优化。在电网负荷高峰时段，可以减少电动汽车的充电功率或暂停充电，以减轻电网的压力。而在电网负荷低谷时段，可以增加电动汽车的充电功率，利用可再生能源进行充电，平衡电网负荷。这种协同作用可以提高电网的利用效率，降低电力系统的运行成本^[6]。

适应可再生能源消纳的电动汽车充电引导策略

1. 智能充电策略

智能充电策略的核心在于利用大数据、云计算和物联网等现代信息技术，对电动汽车的充电需求、充电设施和电网负荷等多方面信息进行实时收集和分析。基于这些信息，智能充电策略能够实现

对充电过程的精确控制，包括充电时间、充电功率和充电方式等，以达到最优的充电效果^[7]。

智能充电策略的主要优势体现在以下几个方面。

1) 提高充电效率。通过精确的充电控制，可以避免电动汽车在充电过程中的能源浪费，提高充电效率。同时，智能充电策略还可以根据电网负荷情况，合理安排充电时间，避免电网过载，确保电力系统的稳定运行。

2) 提升充电安全性。智能充电策略具备实时监测和预警功能，可以对电动汽车的充电过程进行全程监控，及时发现潜在的安全隐患，并采取相应措施进行处理，确保充电过程的安全性。

3) 优化用户体验。智能充电策略可以根据用户的需求和习惯，提供个性化的充电服务。例如，用户可以通过手机APP远程预约充电时间、选择充电方式等，享受更加便捷、舒适的充电体验。

为实现智能充电策略，需要解决一些关键技术问题，如充电桩与电动汽车之间的通信协议、充电

设施的智能化改造和电网负荷预测等。随着技术的不断进步和应用的深入，智能充电策略将在电动汽车领域发挥越来越重要的作用。

2. 分时电价引导策略

分时电价引导策略是一种创新的能源管理手段，其核心理念是通过设定不同时段电价，来引导电动汽车车主合理选择充电时间，进而优化电网负荷和提升可再生能源的消纳能力。然而，实施分时电价引导策略面临一定的实施难度。首先，需要建立合理的电价机制，确保电价设置既能反映电力市场的供求关系，又能引导车主合理选择充电时间。其次，电价机制的设定需要与市场需求和政策环境相协调，以确保其可行性和可持续性。需要政府、电力公司和车主等多方参与和协商，共同推动策略的实施。

从成本效益角度看，分时电价引导策略具有显著的优势。通过引导车主在可再生能源发电高峰时段或电网负荷低谷时段充电，有效平衡电网负荷，减少电网压力，提高电力系统的稳定性。同时，这种策略还能提高可再生能源的消纳能力，推动可再生能源的大规模应用和发展。

综上所述，分时电价引导策略是一种具有创新性和实用性的能源管理手段。通过合理的电价设定和激励机制，引导电动汽车车主合理选择充电时间，优化电网负荷，提高可再生能源的消纳能力。虽然实施这一策略面临一定的挑战和难度，但其潜在的成本效益和社会价值使得这一策略值得进一步研究和推广。

3. 集群充电管理策略

集群充电管理策略是一种创新的能源管理方案，其核心理念在于通过集中管理特定区域内的电动汽车充电设施，优化充电时间和充电量，进而降低对电网的冲击。这种策略不仅能够显著增强电网的稳定性和运行效率，而且对于推动电动汽车的广泛采用和可再生能源的深入发展具有积极作用。

在实际应用中，集群充电管理策略特别适用于在可再生能源发电的高峰时段集中为电动汽车充

电。借助智能调度和先进的优化算法，充电设施管理系统能够精准地分配充电资源和时间，从而确保电动汽车在充电过程中不会对电网产生过大的压力。为了实施这一策略，首要任务是建立一套高效且功能强大的充电设施管理系统，该系统需具备出色的数据处理和决策制定能力。此外，还需构建一个稳固的通信网络，以确保各充电设施之间的信息传输和协调能够流畅无阻。

尽管集群充电管理策略需要较大的初期投资，但其长远来看成本效益极为显著。通过优化充电时间和充电量，不仅可以降低电网建设成本，还能提升电网运行效率，进而推动能源的高效利用和可持续发展。考虑到其对能源转型、电动汽车普及以及碳排放减少的深远影响，这一策略无疑值得投入并广泛推广。EA

(收稿日期：2024-04-11)

参考文献

- [1] 蔡泞. 电动汽车电能需求引致的电力产业链碳排放计量研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2024.
- [2] 慈松. 能量信息化和互联网化管控技术及其在分布式电池储能系统中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3643-3648.
- [3] 张夏韦, 梁军, 王要强, 等. 电动汽车充电负荷时空分布预测研究综述[J]. 电力建设, 2023(12): 161-173.
- [4] 姚明, 毛文杰, 曹淑超, 等. 基于多源数据的电动汽车充电设施布局优化方法研究[J]. 智慧电力, 2023, 51(9): 31-37.
- [5] 周天沛, 孙伟. 基于微网的电动汽车与电网互动技术[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(3): 8.
- [6] 王岩庆, 王骁, 丛若晨, 等. 考虑配电网运行安全的出行电动汽车充电引导策略[J]. 高电压技术, 2023, 49(5): 2131-2139.
- [7] 郑言冲, 肖新平, 江辉, 等. 电动汽车智能充电策略研究综述[J]. 集成技术, 2015(1): 9.