

电动汽车充电桩电能质量控制技术的研究与实践

付建勇

江西森冠建设工程有限公司 江西赣州

【摘要】电动汽车充电桩的普及对电能质量提出了新的挑战，主要体现在电压波动、谐波干扰等方面。本论文旨在探讨电动汽车充电桩电能质量控制技术的研究与实践，通过分析现有充电桩对电网的影响，提出一系列优化方案以提升电能质量。研究首先概述了充电桩影响电能质量的关键因素，接着详细讨论了几种有效的控制策略和技术手段，包括主动滤波技术、无功补偿以及智能调控系统等，并结合实际案例进行验证。合理应用这些技术可以显著改善充电桩接入电网后的电能质量，为电动汽车的可持续发展提供有力支持。

【关键词】电动汽车；充电桩；电能质量；主动滤波；智能调控

【收稿日期】2024 年 12 月 16 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 19 日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20250023

Research and practice on power quality control technology for electric vehicle charging piles

Jianyong Fu

Jiangxi Sen Guan Construction Engineering Co., Ltd, Ganzhou, Jiangxi

【Abstract】The popularization of electric vehicle charging piles poses new challenges to power quality, mainly in terms of voltage fluctuations and harmonic interference. This thesis aims to explore the research and practice of power quality control technology for electric vehicle charging piles. By analyzing the impact of existing charging piles on the power grid, a series of optimization schemes are proposed to improve power quality. The research first outlines the key factors affecting the power quality of charging piles. Then, it discusses in detail several effective control strategies and technical means, including active filtering technology, reactive power compensation, and intelligent control systems, and verifies them with practical cases. The rational application of these technologies can significantly improve the power quality after the charging piles are connected to the power grid, providing strong support for the sustainable development of electric vehicles.

【Keywords】Electric vehicles; Charging piles; Power quality; Active filtering; Intelligent control

引言

电动汽车作为未来交通的重要组成部分，其快速发展不仅改变了人们的出行方式，也对电力系统的稳定运行带来了新的考验。充电桩作为电动汽车能源补给的核心设施，其工作过程中可能引发的电能质量问题不容忽视。具体而言，由于充电桩的高功率特性和不均衡使用模式，可能会导致电网中的电压波动和电流谐波增加，进而影响到电网的整体质量和其它用户的用电体验。面对这一挑战，深入研究并实践有效的电能质量控制技术显得尤为迫切。本文聚焦于电动汽车充电桩电能质量控制技术，通

过理论分析结合实际应用案例，探索提高充电桩接入电网后电能质量的方法。这不仅有助于保障电网的安全稳定运行，也为电动汽车行业的健康发展提供了坚实的技术支撑。

1 电动汽车充电桩对电网电能质量的影响分析

电动汽车充电桩的广泛应用对电网电能质量带来了新的挑战，特别是在电压稳定性和谐波干扰方面。随着电动汽车数量的迅速增加，充电桩作为其主要能源补给设施，其运行特性直接影响到电网的稳定性。在高功率充电过程中，充电桩可能会引起电网电压的波动和闪变，这对电网的正常运行构成

了潜在威胁。尤其在负荷高峰期，大量电动汽车同时充电可能导致局部电网过载，进一步加剧了电压不稳定现象。由于充电桩内部电力电子器件的使用，尤其是整流器和逆变器的存在，使得电流波形发生畸变，产生谐波污染。

在探讨充电桩对电网电能质量的影响时，必须深入分析其背后的技术原理和操作机制。充电桩通过将交流电转换为直流电来为电动汽车电池充电，这一过程涉及复杂的能量变换，容易产生各种形式的电能质量问题。在快速充电模式下，充电桩需要短时间内提供大量电力，这期间产生的瞬态冲击和电磁干扰会对电网造成短期但剧烈的影响^[1-3]。为了准确评估这些影响，通常采用电能质量监测系统对电网参数进行实时监控，包括电压、电流、频率和谐波含量等关键指标。通过对这些数据的分析，可以识别出充电桩接入点处的具体问题，并为后续的优化措施提供科学依据。

实际应用中，不同类型的充电桩（如家用慢充电桩与公共快充站）因其设计差异导致对电网影响各不相同。了解这些差异有助于制定更加针对性的解决方案。对于那些安装在住宅区的小功率充电桩，虽然单个设备的影响较小，但由于分布广泛且数量众多，累积效应不可忽视。而在商业中心或工业园区内的大功率充电桩，则更需关注其峰值负荷时段对电网造成的压力。通过综合考虑这些因素，可以为改进充电桩设计和优化电网管理策略提供重要参考，从而有效缓解充电桩带来的电能质量问题，保障电网的安全稳定运行。

2 优化充电桩电能质量的关键技术探讨

优化电动汽车充电桩的电能质量涉及多种先进技术的应用，这些技术旨在解决充电桩接入电网后产生的电压波动、谐波干扰等问题。主动滤波技术作为一种有效的解决方案，通过实时监测电网中的电流和电压波形，动态补偿谐波成分，从而减少非线性负载对电网的影响。该技术的核心在于其能够快速响应电网状态的变化，并精确生成与谐波分量相反的补偿电流，实现对谐波的有效抑制。无功功率补偿也是提升电能质量的关键措施之一。通过在充电桩系统中集成电容器组或采用静止无功发生器（SVG），可以有效调节电网中的无功功率，提高功率因数，进而稳定电压水平^[4-5]。

智能调控系统在优化充电桩电能质量方面同样发挥着重要作用。借助先进的传感器网络和大数据分析技术，智能调控系统能够实时收集充电桩及其周边电网的运行数据，进行深度分析后制定出最优的充电策略。在用电低谷期增加充电负荷，而在高峰时段则适当降低输出功率，以此来平衡电网负荷，避免局部过载现象的发生。这种基于需求响应的智能管理方式不仅提升了电网的运行效率，也为用户提供了更加灵活便捷的服务体验。随着人工智能算法的发展，智能调控系统还可以实现自我学习和预测功能，提前识别潜在的电能质量问题，并采取预防性措施加以规避。这为充电桩的安全可靠运行提供了强有力的技术保障。

为了进一步改善充电桩的电能质量，还需要从硬件设计层面进行创新。新型电力电子器件如碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）等材料的应用，使得充电桩能够在更高频率下工作，减少了能量转换过程中的损耗，同时降低了电磁干扰。模块化设计思路也被广泛应用于充电桩开发中，通过将不同功能单元独立封装，既方便了维护检修，又提高了系统的可扩展性和适应性。这些技术创新共同作用，不仅显著提升了充电桩自身的性能表现，也对其接入电网后的电能质量产生了积极影响。综合运用上述技术和方法，可以有效地缓解充电桩带来的电能质量问题，推动电动汽车行业的健康可持续发展。

3 主动滤波与无功补偿在充电桩中的应用方案

在电动汽车充电桩的应用场景中，主动滤波与无功补偿技术的结合使用成为提升电能质量的有效手段。主动滤波器通过检测电网中的谐波成分并生成相应的反相波形进行抵消，能够显著降低由充电桩引起的谐波污染。这一过程依赖于高精度的传感器和快速响应的控制算法，确保滤波器能够在毫秒级别内对电网状态变化做出反应。实际应用中，这种技术特别适用于那些安装有大量非线性负载的地方，如公共充电站或工业园区内的快充设施。通过主动滤波技术，不仅可以有效抑制电压畸变和谐波干扰，还能提高整个系统的效率，减少不必要的能量损耗。

无功补偿技术在充电桩系统中的应用同样至关重要。无功功率的存在会导致电网电压下降，影响电力传输效率。采用无功补偿装置，例如同步调相

机或静止无功发生器(SVG),可以动态调整电网中的无功功率,从而维持电压水平的稳定。特别是在高峰负荷时段,当多个充电桩同时工作时,这些设备能够迅速提供必要的无功支持,防止因电压骤降而导致的设备故障或性能下降。无功补偿还有助于提高系统的功率因数,减少输电线路上的电流,进而降低线路损耗和发热量。这不仅延长了设备使用寿命,也降低了运营成本^[6-8]。

为了实现最佳效果,主动滤波与无功补偿技术往往需要协同工作。在设计充电桩系统时,工程师们会根据具体需求选择合适的配置方案,以达到既定的电能质量标准。在某些情况下,可能需要将有源滤波器与电容器组相结合,以便同时处理谐波和无功问题。而在其他场合下,则可能更倾向于使用智能调控系统来协调不同组件的工作状态,确保整个系统运行在最优条件下。通过这种方式,不仅能有效解决充电桩接入电网后带来的电能质量问题,也为未来大规模推广电动汽车提供了坚实的技术基础。

4 改善充电桩接入电网电能质量的实际案例研究

在某大型城市的商业中心,随着电动汽车数量的迅速增加,充电桩的需求也日益增长。该地区原有的电网设施在面对高密度充电桩接入时表现出明显的电能质量问题,如电压波动和电流谐波增加。为了解决这些问题,项目团队决定采用先进的主动滤波与无功补偿技术来优化电能质量。通过对电网负荷特性和充电桩运行模式的详细分析,制定了针对性的解决方案。在实际部署中,安装了具备实时监测和谐波抑制功能的主动滤波器,并结合智能无功补偿装置,有效缓解了电压不稳定现象,显著降低了电流谐波含量。

另一个典型案例发生在工业园区内,这里集中了大量的工业负载以及为员工提供的公共充电桩。由于工业设备和充电桩的同时运行,导致电网中的无功功率大幅上升,进而引起电压水平下降。技术人员引入了静止无功发生器(SVG)和基于碳化硅材料的高效电力电子器件,以提升系统的响应速度和控制精度。这些措施使得电网能够更有效地管理无功功率,稳定电压输出。通过集成智能调控系统,实现了对充电桩充电过程的动态管理,根据电网负

荷情况灵活调整充电速率。这一系列改进不仅解决了电能质量问题,还提升了整个园区的能源利用效率,为企业节省了大量电费支出,同时也增强了员工对电动汽车使用的信心。

在住宅区的应用案例中,考虑到家用充电桩的分布广泛且单个功率较低的特点,采用了分布式无功补偿方案与局部主动滤波技术相结合的方式。这种方式既能满足家庭用户的日常充电需求,又不会对电网造成过大负担。具体实施过程中,通过在关键节点部署小型无功补偿装置,并在网络中设置多个主动滤波点,确保了即使在多户同时充电的情况下,也能保持良好的电能质量。这种因地制宜的设计思路充分体现了灵活性和适应性,对于推动电动汽车在居民区的普及具有重要意义。通过这些实际案例可以看出,合理应用主动滤波与无功补偿技术可以有效解决充电桩接入电网带来的电能质量问题,促进电动汽车行业的健康发展。

5 结语

本文深入探讨了电动汽车充电桩对电网电能质量的影响,并详细介绍了优化电能质量的关键技术及其应用方案。通过实际案例研究,验证了主动滤波与无功补偿技术在提升充电桩接入电网后的电能质量方面的有效性。合理配置和应用这些技术不仅能够显著改善电能质量,还能为电网的安全稳定运行提供保障,推动电动汽车行业的可持续发展。未来的工作将继续关注技术创新和实践应用的结合,以应对不断增长的电动汽车市场需求。

参考文献

- [1] 李华,王明.电动汽车充电桩对电网谐波影响的研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(4):1-7.
- [2] 张伟,刘洋.主动滤波技术在电动汽车充电设施中的应用[J].电气工程学报,2022,17(6):889-895.
- [3] 赵敏,孙强.电动汽车充电桩无功补偿策略的分析与实现[J].新能源进展,2021,9(3):345-352.
- [4] 陈杰,高飞.智能调控系统在提升充电桩电能质量中的作用[J].电力自动化设备,2020,40(2):123-129.
- [5] 林峰,马涛.分布式无功补偿在住宅区充电桩的应用研究[J].电工技术学报,2023,38(5):1024-1031.
- [6] 王超,黄海.电动汽车充电桩接入电网的电能质量问题

及对策[J]. 电网技术, 2019, 43(1): 145-151.

[7] 徐磊, 杨帆. 高效电力电子器件在充电桩中的应用探索[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8): 2678-2685.

[8] 郭勇, 秦风. 电动汽车快充站的电能质量管理与优化[J].

电力科学与工程, 2021, 37(4): 45-52.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

