新能源充电桩电气设计与负荷匹配性研究

王怀令　李贺海　郭晓蒙　李自翔
机械工业第六设计研究院有限公司　河南　郑州　450000

摘　要：随着电动汽车保有量持续增长，充电桩大规模接入给电网运行带来显著的负荷适配压力。本文分析新能源充电桩充电接口、充电模块、配电系统三大电气设计关键要素，梳理电动汽车充电特性、电网供电能力、充电桩自身性能对负荷匹配性的影响。针对充电桩与电网负荷适配存在的问题，从优化电气设计、强化桩网互动、提升充电桩设备性能三方面提出改进策略，以此改善充电负荷分配合理性，平抑电网负荷波动，提升新能源充电桩运行稳定性与电网负荷匹配精度。

关键词：新能源；充电桩；电气设计；负荷匹配性

引言

随着新能源汽车行业快速发展，充电桩保有量持续增长，充电桩与电网的负荷匹配问题日益突出，影响电网运行安全与充电服务质量。本文围绕新能源充电桩电气设计与负荷匹配性展开研究，梳理充电接口、充电模块、配电系统等核心电气设计要素，分析车辆充电特性、电网供电能力、充电桩性能对负荷匹配性的影响，针对性提出优化电气设计、强化网桩互动、提升设备性能的改进策略，旨在改善充电桩负荷适配效果，保障充电系统与电网稳定高效运行。

1 新能源充电桩电气设计关键要素

1.1 充电接口设计

新能源充电桩电气设计中，充电接口设计是核心环节，主要包含接口类型选择与接口电气参数设计两大核心内容，直接决定充电桩的适配性、使用效果与充电安全性。当前充电桩主流充电接口分为交流与直流两类，适配不同充电场景与使用需求。其中交流充电接口多用于慢速充电，具备设备成本低、安装施工简便的特点，缺点是充电时长较长；直流充电接口可实现快速补电，能够满足用户高效充电的需求，适配快充场景，但设备整体造价更高，设计时需结合充电桩应用场景、服务人群及使用需求合理选型。接口电气参数设计需贴合电动汽车充电核心需求，重点匹配电压、电流、功率等核心参数，适配不同车型电池组的电压与容量差异，保障充电作业高效开展。同时，设计过程中需严格把控接口绝缘性能、防护等级等安全类电气参数，规避充电过程中的电气安全隐患，全方位保障车辆与设备充电运行的稳定性和安全性。

1.2 充电模块设计

（1）充电模块拓扑结构：常见拓扑结构包括 Boost 电路、Buck 电路、Buck-Boost 电路等，不同结构具备不同的工作特性，适配不同充电工况。Boost 电路可实现升压充电，Buck 电路适用于降压充电，Buck-Boost 电路可适配升降压复合充电需求。模块设计需结合充电桩输入、输出电压标准及既定充电方式，匹配对应的拓扑结构，保障充电工况适配性。（2）功率器件选型：功率器件是充电模块实现电能转换的关键，器件性能直接影响模块工作效率与运行可靠性。充电桩常用功率器件包含 MOSFET、IGBT 等，选型需综合考量器件耐压值、耐流值、开关频率等核心电气参数，同时兼顾设备生产成本与散热条件。大功率充电场景下，多选用 IGBT 作为开关器件，满足高电压、大电流的持续工作需求，适配大功率快充设备运行要求。（3）控制策略设计：科学的控制策略是保障充电稳定、高效、安全的核心。常规充电控制策略包括恒压充电、恒流充电、恒功率充电，需根据车载电池实时状态与充电阶段切换控制模式[1]。电池充电初期采用恒流充电模式，快速补充电量；电池接近满电状态时切换为恒压充电模式，避免电池过充损伤电芯。同时可引入模糊控制、神经网络控制等智能算法，优化充电调控逻辑，实现充电全过程的精准管控，提升充电稳定性与电池适配性。

1.3 配电系统设计

一是供电电源选择，充电桩供电电源可选用市电电网、太阳能和风能等分布式电源，也可采用两种电源相结合的供电模式，其中市电电网供电稳定性、可靠性更高，但会加重电网运行负荷，分布式电源具备清洁、可

再生的优势，但其供电输出功率受自然条件制约，稳定性较差，实际设计工作中，需结合充电桩安装地理位置、实际用电需求、能源使用成本等各项因素，综合研判并确定适配的供电电源方案。二是配电线路设计，配电线路设计需重点考量线路截面积、线路长度、敷设方式等关键参数，保障电能传输的安全性与可靠性，线路截面积需严格依据充电桩额定功率和额定电流标准选定，规避线路运行过热、电路电压降过大等问题，同时需科学规划线路敷设路径，最大限度降低线路电能损耗和外部环境干扰，满足充电桩长期稳定用电的线路传输要求[2]。三是保护装置配置，为保障充电桩设备及整套配电系统安全运行，需配套齐全的电路保护装置，主要包含断路器、熔断器、漏电保护器等设备，断路器可在电路出现短路、过载等故障时快速切断电源，规避设备损坏和人员安全隐患，熔断器作为基础过流保护设备，可在电路电流超出额定数值时熔断并切断电路，漏电保护器可实时监测电路漏电电流，在漏电数值超标后自动断电，有效防范人员触电事故，全方位筑牢配电系统的运行安全防线。

2 新能源充电桩负荷匹配性影响因素

2.1 电动汽车充电特性

新能源充电桩负荷匹配性主要受电动汽车充电特性与用户充电行为两大核心因素影响。从电动汽车充电特性来看，不同类型的电动汽车电池存在差异化充电性能，锂离子电池、铅酸电池等各类电池的充电电压、充电电流、充电时间参数均不相同，直接影响充电桩负荷适配效果。同时，慢充、快充、换电等不同充电模式的功率输出差异，也是影响负荷匹配性的关键。其中快充模式充电功率数值较高，会对配网产生较大负荷冲击，要求充电桩设备与区域电网具备对应的负荷承载能力，否则会出现负荷不匹配问题。从用户充电行为来看，用户的充电行为存在显著的随机性与不确定性，充电时间、充电地点、充电频率均无固定规律。在用电高峰时段，大量电动汽车用户集中开展充电作业，会在短时间内激增区域电网充电负荷，造成电网负荷骤增，打破电网负荷供需平衡，干扰电网正常稳定运行。系统掌握用户日常充电行为规律，梳理用户充电的时段分布、空间分布及频次特征，能够为充电桩布局规划、充电负荷调度优化提供数据支撑，有效改善充电桩与电网的负荷匹配效果，提升新能源充电系统的运行稳定性与适配性。

2.2 电网供电能力

电网供电能力主要体现在电网容量、电压稳定性以及电网调度与控制能力三个核心方面，直接制约区域充电桩规模化建设与稳定运行。电网容量是承载充电负荷的基础条件，其数值直接决定当地电网可支撑的充电桩最大用电规模，当区域充电桩建设数量和总负荷超出电网额定容量时，会直接引发电网电压降低、供电频率异常波动等问题，不仅会降低电动汽车充电稳定性、影响充电质量，还会破坏电网原有运行平衡，给电网整体安全运行带来隐患。同时，电网电压处于稳定状态是充电桩正常工作的前提，电网运行过程中电压波动幅度过大，会直接影响充电桩设备运行状态，长期异常波动会造成充电设备元器件损耗、故障甚至损坏，缩短设备使用寿命，增加设备运维成本。电网调度与控制能力是实现充电桩与电网协同运行、负荷动态匹配的关键[3]。依托智能电网技术，电网系统可实时采集、监测各充电桩的运行状态、实时充电负荷及用电需求，结合电网整体供电负荷、运行工况进行数据分析与统筹调度。通过科学化、智能化的电网管控手段，可有效引导用户错峰有序充电，平抑用电高峰负荷波动，优化电网资源配置，在保障充电桩稳定运行的基础上，有效提升电网整体供电效率、资源利用率和供电运行可靠性。

2.3 充电桩自身性能

充电桩自身性能主要体现在充电效率与功率调节能力两个核心方面。充电效率是充电桩的基础性能指标，特指设备将输入电能转化为输出充电电能的实际能力，该指标的数值高低直接决定设备运行过程中的能量损耗程度，同时影响电网运行负荷，充电效率越高，电能损耗越少，对电网造成的额外负荷压力越低。充电桩的充电效率并非固定数值，主要由设备充电模块结构设计、内部各类电气元件的工作性能以及设备运行的控制策略等核心因素共同决定，各类参数与设计的差异会直接造成充电效率的波动。功率调节能力是充电桩适配电网与车辆充电需求的关键性能，充电桩须具备自主适配的实时功率调节功能，可依据电网实时供电状态和电动汽车的实际充电需求动态调整充电功率。电网处于负荷高峰阶段时，充电桩可下调充电功率，减少电网供电压力，保障电网稳定运行；电网处于负荷低谷阶段时，充电桩可提升充电功率，缩短车辆充电时长，提升充电效率，以此实现电网负荷均衡与充电效能最大化，适配不同场景的充电供电需求。

3 提高新能源充电桩负荷匹配性的策略

3.1 优化电气设计

优化电气设计是提升新能源充电桩负荷匹配性的核心手段，主要从充电模块升级和配电系统改造两方面开展。在充电模块层面，需普及应用智能化充电模块，依托

智能控制技术，结合电动汽车电池运行状态与电网实时供电工况，自主调节充电相关参数，保障充电过程高效稳定。通过搭载自适应控制算法，采集电池实时电压、电流、温度等运行数据，动态调整充电功率与充电模式，适配不同电池的充电需求，在提升整体充电效率的同时，延长动力电池的使用周期。在配电系统层面，需优化充电桩配电系统拓扑结构，引入分布式供电与微电网技术，提升供电系统的灵活性与供电稳定性。合理配置配电保护装置，优化保护逻辑，提升保护动作的精准度与响应速度，可在系统发生故障时快速切断供电，规避设备损坏与人员安全风险[4]。同时，完善配电线路常态化监测与运维管理机制，实时排查线路运行隐患，及时处置各类线路故障，保障充电桩配电系统平稳运行，从硬件电气层面改善充电桩与电网负荷的匹配效果。

3.2 加强与电网的互动

加强充电桩与电网的互动是提升新能源充电桩负荷匹配性的重要手段，主要通过搭建智能管控体系和落实电网需求响应两种方式实现负荷精准适配。行业需搭建完善的智能充电管理系统，打通充电桩与电网调度中心的信息传输通道，完成双向信息交互与协同控制。各充电桩设备实时上传自身运行状态、充电负荷、用户用电需求等核心数据，电网调度中心整合全网供电能力、负荷分布、运行工况等信息后，统一输出充电调控指令，对充电桩充电时序、充电功率进行统一管控，引导用户开展有序充电，完成充电负荷的科学化、合理化分配，减少无序充电造成的电网负荷波动。同时，需推动充电桩运营企业与充电用户全面参与电网需求响应工作，建立常态化负荷调节机制。在电网用电高峰阶段，主动降低充电桩充电功率或暂停部分充电设备运行，削减峰值负荷；在电网用电低谷阶段，放开充电限制、提升充电功率，充分消纳富余电力。依托充电费用折扣、电价补贴等经济激励手段，调动运营商及用户的参与主动性，主动配合电网负荷调节工作，实现充电桩充电负荷与电网运行负荷的动态平衡，有效提升充电桩与电网的负荷匹配精度。

3.3 提升充电桩自身性能

提升充电桩自身性能主要从充电效率与功率调节能力两个核心维度开展。在充电效率提升方面，可通过优化充电桩充电模块整体结构设计、选用高性能功率器件、应用新型控制策略的方式，从硬件和算法层面提升充电桩充电工作效率。其中，软开关技术能够有效降低功率器件运行过程中的开关损耗，减少设备能耗浪费，切实提升充电模块的运行效率；多电平技术可有效降低充电桩输出电压中的谐波含量，规避电压谐波对充电过程造成的干扰，提升整体充电质量，保障充电过程稳定可靠。在功率调节能力强化方面，需研发具备宽范围功率调节性能的充电桩设备，让充电桩可适配各类充电场景，满足不同设备的充电功率需求[5]。依托模块化设计理念，将充电桩充电模块拆解为多个独立运行的子模块，根据实际充电需求调整投入工作的子模块数量，完成充电功率的动态调节，以此适配复杂多变的充电工况，提升充电桩设备的环境适配性、运行灵活性与通用性能，完善充电桩的实际应用价值。

结语

综上所述，新能源充电桩电气设计与电网负荷匹配是保障充电系统安全稳定运行的关键。充电接口、模块及配电系统的科学设计，是设备可靠运行的硬件基础，车辆充电特性、电网供电能力及设备自身性能直接影响负荷匹配效果。通过优化电气设计、强化桩网互动、升级设备性能等方式，可有效解决负荷适配问题，平抑电网负荷波动。这能够提升充电运行效率与电网资源利用率，为新能源充电桩规模化、规范化建设及电网安全运维提供有效支撑。

参考文献

[1] 侯志华, 刘小兵. 基于物联网技术的新能源汽车充电桩电气火灾预警系统研究 [J]. 农业装备与车辆工程,2024,62(12):75-78,97.

[2] 胡子乾. 电气工程及其自动化在充电桩建设项目中的应用与优化 [J]. 模型世界,2024(36):187-189.

[3] 苏元伟. 基于新能源的充电桩供配电设计与运营管理对策研究 [J]. 光源与照明,2024(2):195-197.

[4] 寇长坤. 新能源充电桩电气系统优化设计与性能提升研究 [J]. 产品设计,2025(21):77-79.

[5] 南斌, 徐成司, 董树锋, 等. 考虑多充电模式的充电桩优化控制策略 [J]. 电力工程技术,2021,40(5):1-9.