

新能源汽车充电基础设施布局与配电网承载能力适配性研究

李思文¹ 蒋廷松^{2*}

1. 吉利汽车控股(杭州)有限公司 浙江 杭州 310051

2. 正泰安能数字能源(浙江)股份有限公司 浙江 杭州 310052

摘要: 新能源汽车产业快速发展对充电基础设施布局与配电网承载能力适配性提出迫切需求。基于此, 本文从充电基础设施布局现状与问题分析入手, 针对充电设施布局与配电网承载能力适配性模型构建进行了讨论, 并提出了一些能够提升其适配性的策略, 旨在为破解“车-桩-网”矛盾提供新思路。

关键词: 新能源汽车; 充电基础设施布局; 配电网承载能力; 适配性

引言

新能源汽车作为交通领域碳减排的核心载体, 其规模化应用依赖充电基础设施与配电网的深度适配。但现有研究多聚焦单一维度优化, 缺乏对空间-时间-技术复合系统的整体建模, 因此, 深入对新能源汽车充电基础设施布局与配电网承载能力适配性的研究具有重要的现实意义。

1 充电基础设施布局现状与问题分析

1.1 全国充电设施布局特征

当前, 充电基础设施布局呈现出多维度特征。(1) 从空间分布看, 充电设施在区域间呈现不均衡态势, 经济发达地区凭借政策支持、市场需求旺盛及资金技术优势, 充电设施建设起步早、推进快, 已形成较为完善的网络体系, 能较好满足当地新能源汽车的充电需求^[1]。而经济相对落后地区受限于财政投入、技术水平和市场需求等因素, 充电设施建设滞后, 覆盖范围有限, 难以满足日益增长的充电需求。(2) 城乡之间同样存在显著差距, 城市地区人口密集、商业活动频繁, 新能源汽车使用率高, 充电设施布局相对密集, 在商业区、办公区、住宅区等人员集中区域均有广泛分布, 且类型多样, 涵盖快充、慢充等多种形式。农村地区则因居住分散、电力基础设施薄弱、消费能力有限等原因, 充电设施数量

较少, 布局分散, 给农村新能源汽车用户充电带来诸多不便。(3) 从应用场景分布看, 充电设施主要集中在交通枢纽、公共停车场、购物中心等场所, 这些区域车流量大、充电需求集中, 便于车主在出行过程中随时充电。高速公路服务区充电设施布局也在不断完善, 以满足长途出行车辆的充电需求, 但与城市内部相比, 高速公路充电设施在数量和分布密度上仍有待提升。

1.2 配电网承载能力现状

配电网承载能力是衡量其适应新能源接入、负荷增长及多元化用能需求的核心指标, 当前呈现多维度特征与挑战。一方面, 随着可再生能源大规模并网, 配电网需应对分布式光伏、风电等间歇性电源的接入, 其波动性与反调峰特性对电网稳定运行提出更高要求^[2]。部分区域因新能源装机占比过高, 导致局部时段电力倒送, 需通过柔性互联技术、储能配置及需求响应机制提升调节能力。同时, 电动汽车、数据中心等新型负荷的快速增长, 进一步加剧了配电网的峰谷差与负荷不确定性, 部分区域在用电高峰时段面临供电紧张问题, 需通过动态增容、智能调度等手段优化资源分配。另一方面, 技术层面, 配电网正从传统“无源”单向网络向“有源”双向交互系统转型, 但设备兼容性、通信协议标准化及数据共享机制仍存在短板。老旧设备在应对高比例电力电子设备接入时, 易出现谐波污染、电压波动等电能质量问题, 需通过有载调压变压器、无功补偿装置等设备升级改善供电质量。

1.3 适配性矛盾分析

(1) 空间维度上, 充电需求与电网资源的错配问题突出, 在人口密集、商业活动频繁的城市核心区域, 新能源汽车保有量快速增长与充电设施布局的集中化趋势

作者简介: 李思文, 男, 1986年10月, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向: 新能源汽车能量管理; 邮箱: lisiwen86@126.com

通讯作者: 蒋廷松, 男, 1988年3月, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向: 电力市场, 邮箱: tingsong.jiang@chintanneng.com

叠加,导致局部区域充电需求远超既有配电网的供电能力,而受制于城市空间资源紧张、地下管网复杂及施工周期长等因素,配电网扩容改造面临成本高、协调难等现实困境。反观农村及偏远地区,尽管土地资源相对充裕,但受制于新能源汽车渗透率低、充电需求分散、电力基础设施薄弱等因素,充电设施建成后长期处于低负荷运行状态,甚至出现设备闲置、运维成本倒挂等问题,进一步削弱了企业投资积极性,形成“需求不足-设施缺失-需求抑制”的恶性循环。(2)时间维度上,充电负荷与电网峰谷特性的矛盾日益凸显。私家车用户基于使用习惯和电价差异,普遍选择夜间低谷时段充电,这一行为模式与电网调峰需求形成一定契合,但公共充电桩的时空分布特性使其负荷曲线呈现显著波动性。工作日白天,商业区、办公区充电桩因通勤车辆集中补电形成早高峰;节假日期间,旅游景区、高速公路服务区充电桩则因长途出行需求激增出现持续高负荷,这种短期、突发的充电需求极易引发局部电网过载,甚至倒逼火电机组临时启停,增加系统运行成本^[3]。更值得关注的是,随着新能源汽车保有量持续攀升,若缺乏需求响应机制引导,公共充电桩的峰谷差将进一步扩大,对电网的灵活调节能力构成严峻挑战。(3)技术维度上,超充技术的普及与老旧电网的兼容性矛盾成为制约适配性的关键因素。液冷超充等新一代技术通过提升功率密度显著缩短充电时间,但其单桩功率需求可达数百千瓦,远超传统配电网的承载阈值。在老旧城区或工业区,部分配电网因设备老化、线路容量不足,难以支撑超充桩的集中接入,导致已建成的超充设施因电力供应不足而无法正常运行,沦为“僵尸桩”。即便在电网基础较好的区域,超充桩的规模化部署也需配套进行变压器增容、线路改造等工程,进一步推高建设成本。

2 充电设施布局与配电网承载能力适配性模型构建

2.1 模型总体框架设计

在新能源汽车充电基础设施布局与配电网承载能力适配性模型构建中,模型总体框架设计是关键基础。(1)模型输入变量涵盖多方面信息,充电需求相关变量包括不同区域的充电需求强度、不同时间段的充电需求波动规律,以及新能源汽车保有量、车型分布等。配电网方面,涉及拓扑结构类型、线路阻抗、变压器容量、联络开关位置等基础参数,还有实时运行数据如各节点电压、线路载流量、变压器负载率等。(2)输出变量主要为适配性优化结果,包括充电设施的选址定容方案,明确各区域应布局的充电桩数量与功率;配电网的改造建议,如线路扩容、变压器增容等措施。(3)模型功能模块划分

为充电需求预测模块、配电网承载能力评估模块、适配性优化模块,充电需求预测模块负责分析输入的需求相关数据,生成动态需求图谱。配电网承载能力评估模块依据电网参数与运行数据,评估当前承载能力。适配性优化模块综合前两者结果,在满足约束条件下,实现多目标优化,输出最优适配方案。

2.2 充电需求预测模块

(1)不同区域具有独特的需求特征,城市中心高密度区人口与车辆集中,商业活动频繁,充电需求呈现出高强度且相对稳定的特点,其波动主要受工作日通勤、商业运营时间等因素影响,预测模型需综合考量区域内新能源汽车保有量、车辆使用频率、商业设施分布等因素,通过建立时间序列模型或机器学习模型,挖掘需求与各因素间的潜在关系,实现对未来充电需求的精准预测。(2)城乡结合部兼具城市与乡村的部分特征,充电需求既受城市通勤影响,又有农村地区相对分散的特点,预测模型要结合土地利用类型、人口流动方向等因素,分析需求的时空分布与时间变化规律。(3)农村偏远地区车辆分布分散,充电需求强度较低,但受农业生产活动、节假日返乡等因素影响存在一定波动,预测模型需重点关注这些特殊活动对需求的影响机制^[4]。对于不同时段,工作日通勤时段充电需求集中在早晚高峰,与上下班时间紧密相关;节假日出行需求大幅增加,且出行时间分布更为分散;夜间低谷时段需求相对较少,但随着新能源汽车的普及和用户充电习惯的改变,夜间充电需求也在逐渐变化。

2.3 配电网承载能力评估模块

(1)配电网拓扑结构适应性评估方法需从结构特性与运行需求两方面展开,不同拓扑结构具有独特的功率传输路径与方式,辐射状结构呈单向树状分布,其优点是结构简单、控制方便,但供电可靠性相对较低,当某条线路故障时,会导致下游区域停电。环状结构首尾相连形成闭环,具备较高的供电可靠性,可通过切换开关实现故障隔离与非故障区域恢复供电,但运行控制较为复杂。(2)对不同结构下功率传输效率的分析,需考虑线路阻抗、变压器损耗等因素。辐射状结构中,功率从电源点单向传输至负荷点,线路长度和负荷分布对传输效率影响较大。环状结构在正常运行时,功率会根据网络阻抗自动分配,当发生故障时,通过调整运行方式可维持一定的功率传输能力。(3)关键参数对承载能力的影响量化是评估的重要内容,线路阻抗增大会导致线路压降增加,影响末端电压质量,降低功率传输能力;变压器容量不足会限制其所能承载的负荷功率,当充电负

荷过大时,可能导致变压器过载运行,影响设备寿命和电网安全;联络开关位置决定了故障时电网的拓扑调整能力,合理的位置设置可提高电网的灵活性和可靠性。

3 适配性提升策略

3.1 技术升级路径

技术升级路径围绕充电技术、配电网技术与数字化管理三大核心领域展开协同创新。(1)在充电技术层面,通过推广480kW以上超充设备实现充电效率的质级跃升,其高功率输出可大幅缩短用户等待时间,但需同步研发动态功率分配技术,根据车辆需求实时调节输出功率,避免局部电网过载。无线充电技术通过电磁感应或磁共振原理实现“即停即充”,消除物理接口限制,提升用户体验,但需突破传输效率、电磁兼容性等瓶颈,降低能量损耗。光储充一体化技术将光伏发电、储能系统与充电设施深度融合,利用分布式光伏在日间发电高峰为充电桩供电,多余电量存储于储能装置,夜间或阴雨天释放能量,形成“自发自用、余电上网”的微网模式,有效平滑充电负荷曲线,减少对大电网的依赖。(2)配电网技术升级聚焦于构建柔性互联架构,通过低压交直流混合技术实现交流配电网与直流充电设施的直接连接,省去交直流转换环节,降低能量损耗并提升供电灵活性。中压线路柔性互联采用软开关、统一潮流控制器等设备,打破传统配电网辐射状运行限制,实现多电源点之间的动态功率支援,增强新能源消纳能力,尤其在分布式光伏高渗透率区域,可通过柔性互联将过剩电能跨区域调配,缓解局部消纳压力。同时,配电网需部署智能感知终端,实时监测线路负载、电压波动等参数,结合边缘计算技术实现故障快速定位与自愈,提升供电可靠性。(3)数字化管理以全国性充电设施数据平台为载体,整合不同运营商的充电桩位置、状态、使用率等数据,通过大数据分析预测区域充电需求,为规划布局提供决策支持^[5]。平台需建立统一支付与结算接口,打破运营商壁垒,实现“一码通充”,提升用户便利性。进一步培育“充电-储能-服务”生态圈,通过车网互动(V2G)技术允许电动汽车在用电低谷时向电网售电,高峰时从电网购电,既为用户创造收益,又增强电网调峰能力。

3.2 多方协同治理

企业参与层面,车企与运营商的深度协同成为核心

驱动力,通过技术标准统一与资源互补实现规模化布局。车企可依托自身在车辆电池、充电接口等领域的技术积累,与运营商共建充电网络,例如部分车企通过开放专利或共享技术平台,推动充电协议标准化,减少因接口不兼容导致的资源浪费。运营商则利用其场地、电力接入及运维优势,与车企合作建设“车桩一体”服务站,实现充电设施与车辆销售、售后服务的深度融合。而在用户引导层面,需通过市场化机制与数字化工具激发用户参与电网调节的积极性。利用充电APP集成导航、预约、支付等功能,结合用户出行习惯与电网负荷数据,动态推荐低谷时段充电站点,并通过电价优惠、积分奖励等手段引导用户调整充电行为,例如在夜间低谷时段提供折扣电价,或在电网紧急调峰时给予高额补贴,形成“价格信号-用户响应-电网平衡”的良性互动。此外,通过车网互动(V2G)技术,允许电动汽车在用电低谷时向电网售电,高峰时从电网购电,既为用户创造额外收益,又增强电网灵活性,但需配套建立透明的收益结算机制与便捷的操作流程,降低用户参与门槛。

结语

综上所述,动态适配模型的应用可显著降低电网改造的边际成本,提升充电设施的全生命周期利用率,同时为分布式电源接入与储能系统配置提供决策依据。未来,研究需进一步融合大数据分析的人工智能技术,优化多主体博弈下的利益分配机制,推动充电服务从“被动供给”向“主动调节”转型。

参考文献:

- [1]彭鹏,冯玉铭,黄军林,等.长沙市新能源汽车充电站供给格局及其空间适配性[J].经济地理,2025,45(11):149-159.
- [2]耿庆国.新能源汽车充电设施布局与城市交通流量适配性分析[J].行车指南,2023,(10):0050-0051.
- [3]申明锐,蒋墨,周文昌,尹介琪.作为城市基础设施的新能源汽车充电桩——服务新特性与规划新思维[J].城市规划,2024,48(7):16-27.
- [4]覃斯宝.新能源汽车的充电基础设施发展与规划[J].汽车维修技师,2024,(08):39-41.
- [5]葛升阳.基于泰森多边形的赤峰市中心城市新能源汽车充电基础设施规划研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(08):13-15.