

含大规模电动汽车充电负荷的配电网扩容规划与灵活性提升

宁晓丰

360321*****151X

摘要: 全球日益关注环境保护与可持续发展,电动汽车(EV)数量飞速增长,但大规模电动汽车充电时给配电网造成的负荷带来诸多新问题,比如电压波动,线路过载,峰谷差增大等。所以,探究在这种大规模电动汽车充电负荷情形下如何开展配电网扩容规划并加强其灵活性很有必要,这具备重要的理论与应用价值,本文利用依靠统计学和机器学习的充电负荷预测手段,剖析电动汽车充电行为的随机特征及其规律,创建起兼顾充电负荷价格响应的双层协同改良模型来用以做配电网扩容规划,而且,经由采用有序充电策略,并全面考量储能和可中断负荷的改良调度方案,给出了一些切实可行的办法来改善配电网的灵活性。研究成果显示,所提出的方法可大幅缩减配电网全年总投资经营成本,提升资源利用率,有力保障配电网安全稳定运行。

关键词: 含大规模; 充电负荷; 配电网; 扩容规划, 灵活性提升

DOI: 10.69979/3029-2727.25.08.076

1 引言

1.1 研究背景

全球愈发重视环境保护与可持续发展,电动汽车(EV)属于清洁能源交通方式,近几年保有量急速扩充^[1]。不过,大量电动汽车全面化时,会引发大幅的充电负荷需求,这给配电网稳定运行造成极大考验,电动汽车充电存在时空两种随机性,它们的随意充电可能致使配电网电压波动,线路超载以及峰谷差扩大等问题,怎样经由科学的扩容计划和增强灵活性的策略去解决这些问题,已然成为当下电力系统研究的关键课题。

1.2 研究意义

研究包含大规模电动汽车充电负荷的配电网扩容规划并加强其灵活性具备重要的理论与操作意义,其一,站在保障配电网安全稳定运行的层面来讲,恰当的扩容规划能够有效地减轻充电负荷给配电网带来的压力,免除由于负荷过载而产生的故障^[2]。其二,经由改善资源调配情况并且提升资源利用率,可以削减配电网的运行成本,做到经济效益的最大化,其三,促使电动汽车与电网协同发展,既有益于推进电动汽车产业向可持续方向发展,又可以为新型电力系统的形成给予技术支撑,进而达成节能减排的目的。

1.3 研究现状

国内外学者针对包含大规模电动汽车充电负荷的配电网扩容规划及灵活性加强方面已有部分研究成果,

一种依靠 K-means 和长期短期记忆神经网络(LSTM)的充电负荷预测办法,给配电网扩容赋予了数据支撑;创建起混合机会约束的配电网架规划模型,用以解决电动汽车充电负荷的随机不确定性以及一般负荷的模糊不确定性^[3],但是当下的研究还是存在一定短缺,比如对充电负荷价格响应机制的关注不够全面,在灵活度改善策略里也缺少对各类资源的综合改良调度情况,这些状况迫切必要做更深层次的研究,从而完善相关的理论与技术体系。

2 大规模电动汽车充电负荷特性分析

2.1 电动汽车充电行为特征

电动汽车的充电行为在时间、地点和频率上表现出显著的随机性与规律性。从时间维度来看,用户的充电需求通常与日常出行模式相关,例如下班后或夜间休息时充电概率较高,但这种行为也受到个人习惯、工作安排等多种因素影响,呈现出一定的随机性^[4]。在空间分布上,充电行为则受充电设施布局、用户出行目的地等制约,快充站多集中于交通枢纽或商业中心,而慢充设施则更多分布于住宅区或办公场所。此外,不同充电模式具有鲜明特点:快充具备高功率,短时补能的优势,可应对紧急需求,不过会给电网带来较大冲击,慢充虽然功率低,但能够有效减轻电网压力,合适于长期停放的情况,这些行为特点给后续有关充电负荷影响配电网的研究赋予了重要依照。

2.2 充电负荷对配电网的影响

大规模电动汽车充电负荷存在时空分布特征，这给配电网运行带来诸多影响，就电压而言，众多充电负荷聚集于某些时段与地区时，会造成局部电压下滑现象，特别是在电网末端节点之处，电压偏差更为明显。关于线路损耗，充电负荷增多会令电流变大，从而引起线损扩大，影响到电网运行效率，而且，无序充电还会加重配电网的峰谷差异，加大系统的调峰困难，比如在晚高峰时期，如果大量电动汽车一同充电，也许会使电网负荷继续增长，危及系统稳定。实际情况显示，某个城市电动汽车渗透率快速优化之后，其配电网峰谷差扩大了大概15%，这极大地妨碍了电网经济运行，所以，妥善规划充电负荷分布很关键，这对于保障配电网安全运行十分必要。

2.3 充电负荷预测方法

当下，电动汽车充电负荷预测模型大致包含两类，一类是依靠统计学的方法，另一类是机器学习算法。依靠统计学的方法会创建概率分布模型，比如蒙特卡洛模拟，此法可较好地体现充电负荷的不确定性，但它存在计算复杂度高，参数耦合现象严重这些不足，与之相比，K-means聚类以及长短期记忆神经网络（LSTM）这种机器学习算法，在应对非线性，高维数据时表现良好，可以有效地获取充电负荷的时间序列特性，不过，这些方法需大量历史数据，并且对数据质量很敏感，也许会造成过拟合或者欠拟合的情况，而且，伴随电动汽车数量增多，充电行为变得更为多种化，单个预测方法常常无法达到实际需求，所以要融合多种模型来提升预测的准确性及其恰当性。

3 含电动汽车充电负荷的配电网扩容规划

3.1 配电网扩容需求分析

电动汽车保有量不断增多，其充电负荷给配电网带来的影响越发突出，研究表明，电动汽车充电负荷增长的趋势存在非线性特点，特别在高峰时段，充电需求集中出现，这也许会造成配电网线路容量短缺，变电站超负荷运行。所以，对于线路容量来说，配电网要考量当前线路的承重能力，还要对高负荷区域执行扩容改建；至于变电站容量，则须要重新规划变电站的位置及其容量设置，从而适应将来电动汽车充电负荷的需求^[5]，而且，区域负荷分布不均使得扩容需求更为复杂，这就要

求规划人员在制订扩容计划的时候，充分考虑到充电负荷在空间上的分布情况。

3.2 考虑及充电负荷价格响应的扩容规划模型

为解决电动汽车充电负荷给配电网带来的冲击问题，给出一种考虑充电负荷价格响应的双层协同改良模型，此模型上层把年总投资运行成本最小化当作目标，改良线路型号以及充电补偿价格，并且顾及电动汽车用户对于补偿价格的敏感度；下层把充电成本最小化作为目标，改良电动汽车的充放电功率。确切来讲，上层模型经由调整充电补偿价格来引导用户改变充电行为，以此减轻高峰时段的充电负荷压力；下层模型依托补偿价格形成电动汽车充放电行为改良模型，做到用户充电成本的最小化，这样的双层协同机制可以有效地协调配电网运营商和用户之间的利益关系，提升配电网的整体运行效率。

3.3 算例分析

经由实际算例来验证所提出的扩容规划方法是否有效，算例结果显示，不同补偿价格之下，配电网年总投资运行成本有着明显的改变趋向。如果补偿价格设定恰当，就能够有效地引导电动汽车用户的充电行为，使得高峰时段的充电负荷大幅缩减，进而减轻配电网的扩容负担，相比于那些没有考虑到充电负荷价格响应的传统扩容规划方法而言，所提出的方法可以明显减小年总投资运行成本，这便证实了该方法在经济性以及技术可行性上具备一定的优势，经过进一步剖析可知，补偿价格的制定要全面考量用户响应情况和配电网扩容需求，这样才能达成良好的规划效益。

4 配电网灵活性提升策略

4.1 配电网灵活性评估指标

要想有效地评价配电网应对大规模电动汽车充电负荷时的灵活适应能力，就要创建起科学合理的灵活性评价指标体系，分别是净负荷峰值裕度，净负荷谷值裕度以及净负荷允许波动裕度，它们可以全方位地表现配电网的灵活性水平。净负荷峰值裕度显示的是系统在高峰期时段承担多余负荷的能力，这个数值越大就说明系统在高峰期的供电余量越多；净负荷谷值裕度度量的是系统在低谷时段调节负荷的潜力，可以有效地引导储能设备的充放电策略；净负荷允许波动裕度侧重于系统对负荷波动的耐受限度，这体现出配电网在动态运行过程中

的稳定性，这些指标既给配电网灵活性的加强给予了定量按照，又利于电网运营商制订出更精确的调度方案，进而优化系统整体的运行效率^[6]。

4.2 基于电动汽车有序充电的灵活性提升

电动汽车存在无序充电现象时，会加重配电网负荷波动情况，经由引导其转为有序充电，则可突出改善系统灵活性，一种依靠蒙特卡洛树搜索（MCTS）的电动汽车有序充电方案，此方案把电动汽车谷时段的充电需求加以合理分配，从而有效地减轻高峰时段的负荷压力，蒙特卡洛树搜索算法借助模拟各种不同的充电场景来选取最理想的充电途径，以此最大程度地获取配电网的灵活性效益。有序充电策略可结合用户行为模式及电价机制，进一步改良充电时间安排，达成充电负荷与配电网运行状态的协同改良，这种方法的执行有益于减轻配电网的扩容压力，还可改进系统的经济运行水平。

4.3 综合考虑储能及可中断负荷的优化调度

在电动汽车有序充电之上，再加入储能设备以及可中断负荷的改良调度之后，配电网的灵活性将会得到进一步加强，其创建起一个两阶段的改良模型，第一阶段着重于制定电动汽车有序充电策略，第二阶段则在第一阶段基础上增添了储能与可中断负荷的改良调度环节。储能设备可在低谷时段吸纳多余电能，高峰时段予以释放，以此来改善负荷曲线，可中断负荷经由暂时缩减一些非关键负荷，减轻系统供电压力，此模型利用粒子群改良算法执行求解，既能满足用户需求又能最大程度提升配电网的灵活性指标^[7]。实际算例结果显示，此种综合改良调度策略不但能明显改善配电网的灵活性，而且可削减系统的运行成本，给未来具备大量电动汽车充电负荷的配电网运行赋予了关键的理论支撑和技术参照。

5 结论与展望

5.1 研究结论

电动汽车不断普及，其充电负荷给配电网带来的影响越发突出，本文针对包含大量电动汽车充电负荷的配电网执行扩容规划并加强灵活性，收获许多重要成果。在扩容规划上，创建起兼顾充电负荷价格响应的双层协同改良模型，可以有效地引导电动汽车使用者改变充放电行为，进而缩减配电网每年的投资运行成本^[8]，此方法既顾及到用户对充电价格的敏感程度，又改良了线路

型号以及充电补偿价格，给配电网扩容赋予了科学的决策按照^[9]。在灵活性改善方面，文章给出了净负荷峰值裕度，净负荷谷值裕度，净负荷允许波动裕度这些灵活性评价指标，而且形成依靠蒙特卡洛树搜索的电动汽车有序充电策略，明显改善了配电网的灵活适应能力，经由综合考虑储能和可中断负荷的改良调度，又进一步加强了配电网应对波动性负荷的水平，研究成果显示，所提出的方法在实际操作中有较高的有效性和实用性，给保障配电网安全稳定运行，推动电动汽车和电网协同发展给予了重要的参照。

参考文献

- [1] 闵永峰; 杨旭. 大规模电动汽车充电对配电网稳定性的影响与调度优化研究 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(12): 34-36.
- [2] 王哲; 迟福建; 万宝; 李桂鑫. 计及充电负荷价格响应的配电网扩容规划方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(8): 138-145.
- [3] 熊昊哲; 刘曼佳; 向慕超; 赵子龙; 唐金锐. 新型大规模电动汽车充电负荷预测方法及其在区域配电网中的应用 [J]. 湖北电力, 2022, 46(5): 31-36.
- [4] 崔岩; 胡泽春; 段小宇. 考虑充电需求空间灵活性的电动汽车运行优化研究综述 [J]. 电网技术, 2022, 46(3): 981-994.
- [5] 王华莹; 李勇; 朱辉; 魏延路; 候承昊; 董丽丽. 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(11): 134-141.
- [6] 王守相; 陈建凯; 王洪坤; 武志伟. 综合考虑电动汽车充电与储能及可中断负荷调度的配电网两阶段灵活性提升优化方法 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40(11): 1-8.
- [7] 沈依婷; 张菁; 武鹏; 柳璐; 杨建林. 含电动汽车的配电网双重不确定性网架规划方法 [J]. 中国电力, 2020, 53(4): 139-146.
- [8] 陈忠华; 陈致远; 王梦涵; 陈琳; 尹建兵; 王骏海; 江全元. 考虑电动汽车接入的配电网灵活性评估方法 [J]. 现代电力, 2022, 39(6): 702-709.
- [9] 冀慧强; 李娟; 徐晶; 李双; 于浩; 李鹏. 含规模化电动汽车接入的配电网量子化状态系统运行模拟方法 [J]. 电网技术, 2023, 47(8): 3355-3361.