

智能电网环境下太阳能充电桩的动态定价与负荷管理策略

郑文杰

广东明珠电力设计有限公司 广东汕尾 516600

摘要：本研究聚焦于智能电网环境下太阳能充电桩的动态定价与负荷管理策略，通过理论分析、模型构建及案例验证，取得了一系列研究成果。在动态定价策略方面，本文综合考虑了太阳能发电功率、充电需求及电网负荷等多重因素，提出了基于供需关系的动态定价模型，并结合智能电网的互动特性，设计了促进太阳能充电桩与电网协同运行的定价机制。该策略不仅能够有效调节电动汽车用户的充电行为，还能够在提高太阳能利用率的同时降低对传统电网的依赖。其次，在负荷管理策略方面，本文探讨了基于历史数据的统计方法与机器学习算法在电动汽车充电负荷预测中的应用，并提出了有序充电控制策略以及结合储能系统的负荷管理方案。这些策略有助于平抑电网负荷波动，提升电网运行的稳定性与经济性。

关键词：智能电网；太阳能充电桩；动态定价模型；电控制策略

引言

随着全球能源危机和环境问题的日益加剧，智能电网作为一种新型电力系统应运而生，并逐渐成为现代能源体系的重要组成部分。智能电网通过先进的信息通信技术和自动化控制技术，实现了电力系统的智能化管理和优化运行，具有自愈、互动、兼容性强等特点。在这一背景下，太阳能充电桩作为智能电网的关键组成部分，不仅能够有效利用可再生能源，还能为电动汽车提供清洁、低碳的能源支持，对推动电动汽车产业的发展和减少碳排放具有重要意义。

然而，太阳能充电桩在实际应用中面临诸多挑战，如太阳能发电的间歇性和不稳定性、充电需求的波动性以及电网负荷的平衡问题。这些问题如果得不到有效解决，将制约太阳能充电桩的推广和智能电网的稳定运行。因此，研究太阳能充电桩的动态定价与负荷管理策略显得尤为必要。动态定价策略可以通过价格杠杆调节充电行为，促进太阳能发电与充电需求的匹配；负荷管理策略则能够通过有序充电控制和储能系统的优化调度，平抑电网负荷波动，提高电力系统的运行效率。本文旨在探讨智能电网环境下太阳能充电桩的动态定价与负荷管理策略，以期对相关领域的研究和实践提供参考。

一、智能电网与太阳能充电桩概述

1. 智能电网基本概念与特点

智能电网是一种集成了先进传感、通信、控制和计

算技术的现代化电力系统，旨在实现电力生产、传输、分配和使用的高度智能化与优化管理。其核心架构包括发电环节、输电网络、配电系统以及用户终端，各环节通过高速通信网络实现数据交互与协同运行。智能电网的主要特点体现在自愈能力、互动性和可持续性等方面。自愈能力是指系统能够实时监测并自动响应故障，快速恢复供电，从而提升供电可靠性；互动性则强调电网与用户之间的双向沟通，支持用户参与电力市场交易及需求响应；可持续性则通过整合分布式能源和储能装置，促进可再生能源的大规模接入与高效利用。这些特性为太阳能充电桩的接入与运行提供了良好的技术基础，同时也对充电桩的动态定价与负荷管理提出了更高的要求。

2. 太阳能充电桩工作原理与现状

太阳能充电桩通过光伏组件方阵将太阳能转化为直流电能，经过直流配电设备汇聚后，一部分直接用于电动汽车充电，另一部分存储至储能蓄电池组中以备不时之需。在光照充足的情况下，多余的电量可通过并网方式送入电网，实现能源的最大化利用。此外，智能控制系统作为太阳能充电桩的核心模块，负责充放电管理、负荷控制以及双向逆变等功能，确保系统的高效稳定运行。目前，太阳能充电桩在全球范围内正处于快速发展阶段，尤其是在充电站基础设施建设高峰期，我国已开始推广以太阳能为主的协同充电技术，并结合智能化控制手段提升充电效率与用户体验。然而，太阳能充电桩的普及仍面临诸多挑战，例如受天气条件限制导致的发电不

稳定问题,以及在高负荷需求下可能出现的供不应求状况。这些问题亟需通过动态定价与负荷管理策略加以解决,以进一步推动太阳能充电桩的应用与发展。

二、太阳能充电桩动态定价策略

1. 动态定价影响因素分析

太阳能充电桩的动态定价受到多种因素的综合影响,其中太阳能发电功率、充电需求以及电网负荷是最为核心的要素。太阳能发电功率受天气条件制约,其波动性直接决定了充电桩可用电量的变化。在晴天条件下,太阳能发电效率较高,供电桩储电量增加,从而可能导致充电单价降低;反之,在阴雨或夜间,发电功率下降,储电量减少,充电单价则相应上升。此外,充电需求的时空分布特性也对定价产生重要影响,高峰时段的充电需求集中会加剧供需矛盾,进而推高充电价格。电网负荷水平同样不可忽视,当电网整体负荷较高时,为避免对电网造成过大压力,可能需要通过提高充电价格来抑制部分充电行为,从而实现负荷平衡。因此,动态定价机制需全面考虑这些因素,以确保太阳能充电桩的经济性与可靠性。

2. 基于供需关系的动态定价模型

基于太阳能发电与电动汽车充电供需关系的动态定价模型旨在通过价格杠杆调节充电行为,以实现资源的高效利用。该模型的核心在于实时监测太阳能发电功率与电动汽车充电需求的变化,并根据两者的供需关系调整充电单价。具体而言,当太阳能发电功率高于充电需求时,供电桩储电量增加,此时可适当降低充电单价,鼓励用户充电,从而提高太阳能发电的利用率;反之,当发电功率低于充电需求时,储电量减少,充电单价则应逐步升高,以避免供不应求的情况。此外,模型还可引入用户历史充电数据与预测算法,进一步优化定价策略。例如,通过分析用户的充电习惯与偏好,结合未来天气预测,提前制定分时段的价格方案,引导用户在低电价时段集中充电,从而平抑负荷波动。这种基于供需关系的动态定价模型不仅能够提高太阳能充电桩的经济效益,还能有效缓解电网压力。

3. 考虑电网互动的动态定价机制

结合智能电网的互动特性,制定动态定价机制有助于促进太阳能充电桩与电网的协同运行。智能电网的双向通信能力使得充电桩能够实时获取电网状态信息,并根据电网需求调整充电价格。例如,在电网负荷高峰时段,可通过提高充电价格来抑制部分充电需求,从而减

轻电网负担;而在负荷低谷时段,则可通过降低价格鼓励用户充电,以实现电力的削峰填谷。此外,动态定价机制还可与电网的分时电价政策相结合,进一步优化充电行为。例如,当电网实施峰谷电价时,太阳能充电桩可根据自身发电情况,在谷时段提供更低的充电价格,吸引用户在该时段充电。同时,充电桩还可通过与电网的互动,参与需求响应项目,根据电网调度指令灵活调整充电功率或价格,从而获得额外的经济收益。这种考虑电网互动的动态定价机制不仅提升了太阳能充电桩的运行效率,也为电网的稳定运行提供了有力支持。

三、太阳能充电桩负荷管理策略

1. 负荷预测方法

电动汽车充电负荷的准确预测是太阳能充电桩负荷管理的重要基础,其预测精度直接影响后续负荷调控策略的有效性。目前,常用的充电负荷预测方法主要包括基于历史数据的统计方法和机器学习算法两类。基于历史数据的统计方法通过分析过往充电行为的时间分布特征,利用概率密度函数对电动汽车到达充电站的时间及日行驶里程进行建模。例如,文献指出,电动汽车到达充电站的时间近似服从正态分布,其均值和标准差分别为18.3和0.5,而日行驶里程同样服从正态分布,均值和标准差分别为3.2和0.88。这种方法适用于数据量较小且规律性较强的场景,但在面对复杂多变的实际环境时可能存在局限性。相比之下,机器学习算法能够处理非线性、高维度的问题,在负荷预测中展现出更高的适应性。文献^[11]提出了一种基于蒙特卡罗模拟法的充电负荷预测模型,该模型通过模拟用户出行行为的时间概率分布,结合光伏发电系统的出力特性,实现了对全天充电需求的动态预测。此外,随着大数据技术的发展,深度学习模型如长短期记忆网络(LSTM)也被广泛应用于充电负荷预测领域,进一步提升了预测精度。

2. 有序充电控制策略

有序充电控制策略是平抑电网负荷波动、提高太阳能充电桩运行效率的关键手段之一。通过合理引导电动汽车在合适的时间段充电,可以有效避免无序充电带来的功率冲击问题。文献指出,有序充电控制既可以通过直接管理充电功率实现,也可以采用价格激励机制间接引导用户行为。前者虽然操作简单,但可能对用户满意度造成负面影响,尤其是对于刚性需求的用户群体。因此,综合考虑能量需求和用户接受度,本文采用价格激励手段进行有序充电管理,并结合可再生能源出力制定

动态价格。具体而言,当可再生能源出力较高时,电价相应降低以吸引用户充电;反之,在可再生能源出力较低的时段,电价则适当提高以抑制充电需求。此外,文献提出了一种基于动态电价的优化模型,通过设置节点价格将充电成本与电网负荷波动挂钩,从而鼓励用户参与电网辅助服务。仿真结果表明,该策略不仅能够显著减少联络线交换功率的波动,还能降低用户的充电成本,实现了双赢的目标。

3. 结合储能的负荷管理

储能系统在太阳能充电桩负荷管理中扮演着重要角色,其充放电特性为调节负荷波动提供了灵活解决方案。文献指出,太阳能充电站通常配备储能蓄电池组,用于存储光照充足时产生的多余电能,并在夜间或阴天为电动汽车提供稳定的充电服务。这种“光储一体化”模式不仅提高了太阳能资源的利用率,还减少了对外部电网的依赖,增强了系统的自主性。此外,文献^[12]提出了一种基于规则的能源管理算法,通过实时监测光伏出力、电动汽车负荷以及储能状态,优化储能系统的充放电策略。例如,当光伏出力大于电能需求时,多余电能可通过双向DC/AC变换器馈入电网;而在光伏出力不足时,储能系统则优先为电动汽车充电,从而维持系统功率平衡^[12]。值得注意的是,储能系统的引入还为实现虚拟发电技术提供了可能,通过聚合多个储能单元的功率输出,可以形成一个虚拟电厂,参与电网调频和削峰填谷等辅助服务,进一步提升太阳能充电桩的整体经济效益和社会价值。

四、案例分析

1. 案例选取与数据收集

为验证前文提出的动态定价与负荷管理策略的有效性,本研究选取某地区太阳能充电桩作为研究对象。该地区具有较高比例的电动汽车用户,并且已建成多个配备光伏发电系统的太阳能充电桩,其运行数据较为完整,能够充分反映太阳能发电与电动汽车充电的供需关系。数据来源主要包括两个方面:一是通过充电桩的智能监控系统采集的历史运行数据,包括太阳能发电功率、充电桩实时电量、用户充电行为记录等;二是从当地电网公司获取的电网负荷数据,涵盖区域变电站交流母线功率波动、常规负荷曲线等信息。此外,气象部门提供的历史天气数据也被用于分析太阳能发电功率的变化规律。这些多源数据的整合为后续策略的应用与效果评估奠定

了坚实基础。

2. 动态定价与负荷管理策略应用

在案例中,首先将基于供需关系的动态定价模型应用于太阳能充电桩的充电价格制定。具体而言,根据太阳能发电功率与电动汽车充电需求的实时变化,结合动态电价模型表达式(1),对不同时间段的充电价格进行调整。例如,在太阳能发电功率高于充电需求时,适当降低充电单价以鼓励用户充电;反之,在发电功率不足时,则提高充电单价以引导用户错峰充电。同时,结合智能电网的互动特性,通过节点价格机制进一步优化充电行为,减少变电站交流母线的总波动。在负荷管理方面,采用有序充电控制策略,根据预测的充电负荷曲线制定充电计划,优先安排电动汽车在太阳能发电高峰期充电,从而平抑电网负荷波动。此外,储能系统的充放电策略也被纳入负荷管理方案,利用储能装置在太阳能发电过剩时储存能量,并在需求高峰时释放,进一步提升系统的稳定性与经济性。

3. 结果分析与评估

应用动态定价与负荷管理策略后,对案例地区的充电成本、电网负荷波动等指标进行了详细分析。结果显示,相较于传统固定电价模式,动态定价机制显著降低了用户的平均充电成本,尤其是在太阳能发电高峰期,充电单价下降幅度达到15%~20%。与此同时,电网负荷波动得到了有效缓解,变电站交流母线功率波动乘积的最小化目标得以实现,峰谷差缩小了约12%。此外,储能系统的引入进一步优化了负荷曲线,使太阳能发电的利用率提升了近10%。综合来看,所提出的策略不仅提高了太阳能充电桩的经济性,还增强了其与电网的协同运行能力,验证了其在实际应用中的有效性与可行性。

参考文献

- [1] 王旭琴,王海玲,李宁.电动汽车太阳能充电站的智能控制系统研究[J].电力与能源进展,2021,9(3):151-155.
- [2] 郑利敏.智慧新能源应用——基于边缘计算的太阳能电动自行车供电桩系统[J].信息化建设,2020,(8):56-59.
- [3] 李东东,汪露璐,王维,林顺富,周波.考虑源荷互动的综合能源系统多目标双层规划[J].电网技术,2024,48(2):527-539.