

考虑负荷优化的光储充电站储能经济性配置研究

范福来, 赵兵, 唐永迪

(国网重庆市电力公司铜梁供电分公司, 重庆 402560)

摘要: 随着电动汽车数量的不断增多, 电动汽车的充电需求也在不断增长, 充电站基本配套设施建设也日趋完善。充电站作为电动汽车充电的重要配套设施, 充电站内的用电负荷是储能装置的关键性指标, 直接关系到储能配置的经济性和充电站的经济效益。基于此, 本文对充电站电动汽车的负荷特性进行了分析, 同时根据充电站不同时段的电价场景, 对储能充放电方案进行了分析。在分析和研究过程中, 以充电站经济利润作为重要目标, 同时考虑到储能优化及维护成本等因素, 构建了双层规划储能模型, 为获得最佳的储能配置提供了参考。

关键词: 负荷优化; 储能运行策略; 经济性配置

中图分类号: TM76

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.32.014

随着我国对环境保护的重视程度不断提高, 新型能源汽车的产量和销量不断提升, 电动汽车在节能减排上比燃油汽车具有显著的优势, 从而得到了广泛的推广应用。充电站作为电动汽车最重要的配套设施, 直接影响到电动汽车的正常使用。然而从当前充电站建设的情况来看, 还存在很多问题。从公共充电站的建设情况来看, 在同一时间段, 大量的电动汽车涌入, 会对充电站范围内的电网安全稳定性产生重要影响, 这就需要充电站加装储能装置, 进而缓解高峰时段的用电压力, 最大限度地提升充电、用电的可靠性, 在满足电动汽车充电需求的同时, 也降低了对区域范围内电网安全的影响。充电站在储能配置过程中需要考虑到电价的影响, 储能系统的配置应优先考虑充电站的经济效益。当前已有大部分学者和专家对充电站储能经济性配置进行了深入的研究, 在充电站储能配置研究上获得了良好的研究成果, 但充电站储能配置的经济性还具有较大的提升空间。

1 光储充电站结构与电动汽车负荷分析

光储电站是实现光伏、储能以及充电相互支撑和协调的高科技绿色充电站, 其构成主要包括配电网系统、光伏发电系统、储能系统和能量管理系统等多个部分。充电站在应用过程中受到电动汽车负荷性能的影响, 导致充电站的储能容量配置发生变化, 因此, 在充电站应用过程中, 需要对充电站的电动汽车负荷情况进行掌握。相关研究证实, 充电站负荷与用户自身的生活习惯、出行规律及汽车的行驶里程等具有直接的关系^[1]。本文在研究过程中主要以特定商业区域公共充电站作为研究对象, 对使用该充电站进行充电的电动汽车的负荷进行采集, 了解充电站每日负荷分布体现出的规律性, 进而通过对此充电站

电动汽车自身的实际负荷情况进行分析, 根据得到的负荷特性, 对充电站的储能配置进行深入地分析。

在研究过程中, 需要结合特定的充电站, 对使用充电站的电动汽车负荷规律以及商业区域负荷的具体分布情况进行掌握。通过对了解到的站内电动汽车负荷的时序分布情况可以看到, 车站内负荷的高峰期一般都处在上午、下班高峰阶段, 这充分体现了充电站负荷与居民日常生活具有直接的联系; 通过对充电站内电动汽车负荷分布和商业区基础负荷情况进行对比可以发现, 充电站内电动汽车负荷与居民的日常出行规律具有一致性, 同时也与商业区负荷低谷时段相符合。每日的 09:00—13:00 时段以及 17:00—21:00 时段是充电站负荷高峰期, 通过分析可以了解到, 充电站每日负荷高峰与商业区基本负荷重合, 会促使此区域配电网负荷增加, 出现电力系统问题。

另外, 由于充电站的电价标准是统一制定的, 大部分电动汽车集中在负荷高峰时段进行充电, 提升了充电站的购电成本, 导致充电站的经济收益受到了一定的影响。因此, 在充电站运营期间可以通过电网峰谷电价和储能系统二者作用的发挥, 有效地降低充电站负荷对此区域范围内配电网产生的影响, 进而降低充电站购买电力资源的成本费用。

2 峰谷电价下的储能运行策略

通过对特定充电站的电动汽车负荷高峰时段进行分析, 可以了解到其与商业区负荷高峰存在一致性。根据电动汽车负荷特性分析, 为了能够最大限度地发挥充电站储能系统的经济性作用, 需要结合峰谷电价的特点制定科学的电力储能运行方案, 方案设计需要遵循一定的原则, 具体包括科学合理地应用峰谷

电价,促使充电站获得更多的经济利润,其次要根据区域范围内配电网的特点,最大限度地减少电动汽车负荷对本区域范围内配电网正常运行产生的影响。

充电站储能方案的制定需要根据峰谷电价,将一天的电价分为三个时段,每个时间段的电动汽车数量差别,体现出了峰、谷、平三个时段的特点。充电站储能管理系统对三个不同时间段电动汽车的负荷、光伏处理以及储能负荷状态等进行实时监测。由于充电站储能系统运行的核心是低储高发,应结合不同时间段的负荷量实施差异化的运行策略。在峰谷时段,充电站负荷与配电网负荷水平较低,光伏基本上没有出力,在这个时间段的电价相对较低,这种情况下充电站就可以通过电网进行购电,将购买的电力资源存储在充电站的蓄电池中;在平时时段,充电站储能运行过程中需要充分利用光伏出力,在白天光照条件良好的情况下,最大限度地吸收光伏电力资源进行能量存储,如果光伏存储资源不足并且没有实现理想的荷电上限,那么就需要利用电网系统对剩余的电能进行补充,在夜间光伏无法发挥作用的情况下,储能系统会处于浮动存储状态,保持既不充电也不放电的状态;在高峰时段,储能配合光伏,尽最大的努力向电动汽车进行供电^[2]。

3 储能配置双层规划模型

储能配置过程中需要考虑的影响因素较多,包括对充电站的建设投资成本进行分析、对电动汽车负荷优化情况进行掌握等,这样才能确保储能配置的合理性。充电站储能容量越大,对电动汽车负荷的平抑性能就越高,但是这样也会增加充电站的建设成本。在这种情况下,要想达到储能系统运行的经济性目标,就需要综合考虑充电站建设过程中所投入的成本,这样才能获得良好的经济效益,更重要的是能够保障储能系统的高效优化运行。本节在分析过程中充分利用双层规划理论,构建储能系统的优化模型,在应用过程中利用上下层的动态化博弈,实现良好的充电站储能配置要求。

3.1 上层规划模型设计

储能系统上层规划的主要目标是实现充电站收益的最大化,这就需要在设计过程中全面分析各项成本投入情况以及获得的经济收益情况,其中包括充电站的建设投资成本、运营维护成本以及收入等情况。将上层目标函数设置为:

$$F_{up} = \max (I - C_1 - C_2 + S) \quad (1)$$

在式1当中, I代表充电站运营的年收益, C₁代表充电站的年度建设成本, C₂代表充电站日常运营维护成本, S代表政府对充电站的补贴。

同时还构建了以下关系:

$$I = 260 \times \sum_{t=1}^T [P_{ev,t} x_s \Delta t - P_{1,t} x_e (t) \Delta t] + \sum_{t \in K} (P_{ev,t} - P_{1,t}) x_e (\Delta t) \quad (2)$$

$$C_1 = (C_f + Q_{pv} C_{pv} + n C_{pile}) \times r (1+r)^M / (1+r)^M - 1 + (C_e E + C_p P_{max}) \times r [(1+r)^M / (1+r)^M - 1] \times r m_1 m_2 \quad (3)$$

$$C_2 = (C_e E + C_p P_{max}) k_{es} + Q_{pv} k_{pw} \quad (4)$$

(2)式代表了充电站具体的运行和收益情况,其中包括了光储系统充放电套利以及电网公司对充电站降峰运行所给予的奖励^[3]。在式子中也体现出了两个变量,就是电动汽车负荷和充电负荷净值两个非常关键的量,同时也对充电费用和不同时刻购电的电价进行了体现。在式中K则代表了每天的峰值时段, T代表了每天优化时间段数,充电站在运行期间还需要考虑到每日充电负荷和光伏发电的波动情况,对于充电站的收益估计取260个近似日,这样便可以等效得到充电站每年的净值营业利润。

在(3)式中对充电站的建设投资成本进行了分析,每个变量都代表保障充电站运行的投资成本,其中C_f为充电站建设投资的固定成本,光伏发电的单价用C_{pv}表示,C_{pile}表示电桩单价,Q_{pv}则表示光伏配置的额定容量,C_e和C_p分别代表功率装换装置的单机及单位容量储能电池价格, M则表示光伏系统的使用寿命和储能寿命。

在(4)式中分析了充电站投入使用后运行维护的成本,k_{es}代表储能系统运行的年度维护系数,k_{pw}代表光伏系统每年运行维护系数。另外,由于电动汽车属于新能源汽车,政府为了激励电动汽车的购买和使用,会为充电站提供一次性建设补贴,这也需要加入充电站年度运行维护管理当中,在本文的分析过程中加设政府为储能系统提供的资金补助投入为30%。

3.2 下层规划模型设计

充电站储能下层规划目标是实现对储能充放电功率进行合理地优化,以限制充电站在充电高峰期所引起的配电网峰谷差,进而降低充电站在运营期间的购电成本。在下层规划模型目标函数的设计过程中,需要遵循以下原则:一是要尽可能地实现以后时间段内配电网负荷曲线方差为最小值;二是要保证充电站每日购电成本达到最低值。其中约束条件限制主要包括功率平衡约束,确保储能系统充放电功率为正值和负值的情况下,要确保储能处于正确的充放电状态。

4 储能优化结果分析

4.1 储能容量配置

通过构建的储能优化模型可以了解到,当储能配置存在差异的情况下,储能负荷优化能力也会出现显著的不同,这会对充电站的经济效益产生直接影响。通过仿真计算了解了充电站

储能容量配置设定在 0 ~ 1500kWh 之间的收益分布情况。由于粒子群算法在求解过程中会尽量地实现布局最优的情况,导致仿真计算出的充电站收益分布具有一定的波动性特点,通过对策收益分布计算结果的拟合,得出最佳的收益分布情况,为充电站储能容量优化配置的最优参考^[4]。充电站在运营过程中,随着储能配置容量的不断提升,收益呈现出波动性变化,主要是由于在初始阶段,充电站的储能系统能够充分发挥出“削峰填谷”的重要作用,进而为充电站提升运营效益起到关键性作用,但是在储能配置容量不断提升的情况下,储能配置的成本也会逐渐提升,储能所达到的收益情况就无法覆盖其配置成本,导致充电站的收益出现不断下滑的现象。通过收益分布和拟合的具体结果可以得到,充电站的储能容量保持在 580kWh 左右是最优的经济配置。

4.2 对比分析

充电站在同样的储能配置情况下,不同的储能方案对充电站的收益影响存在一定的差异性。对充电站传统储能配置方案与本文所提方案进行对比分析,以 01:00—17:00 时段为例,可以了解到此时段处于电价低谷时段,两种不同方案的应用都是储能系统处于充电的状态下,充电站内的负荷功率不断提升;在电价高峰时段,本文提到的方案中储能处于放电状态,传统的储能方案则没有实现全天负荷功率上限的参考值范围,致使储能处在闲置的状态下,单纯地依靠光伏补充达到此时段的用电需求^[5]。01:00—17:00 时段电价处在平价阶段,这个时段充电站的充电功率处于较为分散的状态,并且能够依靠光伏出力,而传统的储能方案则没有考虑到在此时段进行储能充电,致使此时段充电站内充电功率出现下陷,本文提出的储能方案则使其能够保持良好的充电状态。所以,充电站内负荷功率并没有发生显著的下陷,同时还提升了电能资源的利用效率。

5 结语

综上所述,本文通过对特定商业区光储充电站储能经济性

配置进行深入地研究,对充电站电动汽车负荷情况进行了综合全面地分析,并根据分析结果构建了峰谷电价情况下充电站的储能运行方案与充电站储能配置双层规划模型。同时与传统的储能配置方案进行了对比分析,证实了本文提出的储能方案使电力资源利用效率得到了有效提升,同时也有效地改善了充电站的负荷分布情况,提升了充电站在运行过程中所获得的经济效益。因此,充电站在实际运营过程中,为了更好地缓解电站与电网建设的供需矛盾关系,可以在充电站内部构建特定容量的储能设备,以缓解高峰时段的电力需求。此外,在充电站运行期间还应结合负荷情况,对储能系统设计更加科学合理的调度模型,进而达到充电站经济效益提升的目标。

参考文献:

- [1] 桂强,史一炜,周云,等.考虑储能动态运行特性的充电站光储容量优化配置模型[J].电力建设,2021,42(05):9-10.
- [2] 李景丽,时永凯,张琳娟,等.考虑电动汽车有序充电的光储充电站储能容量优化策略[J].电力系统保护与控制,2021,49(07):94-102.
- [3] 石锦凯,鲍谚,陈振,等.计及充电负荷不确定性的充电站储能鲁棒优化配置方法[J].电力系统自动化,2021,45(20):49-58.
- [4] 刘丽军,吴桐,陈贤达,等.基于时空特性以及需求响应的 DG 和 EV 充电站多目标优化配置[J].电力自动化设备,2021,41(11):8-9.
- [5] 李建林,王思佳,周毅,等.计及多典型天气特征的光储容量配置技术研究[J].电网与清洁能源,2022,38(03):80-89.

作者简介:范福来(1975-),男,重庆铜梁人,副高级工程师,大学本科,主要从事电网规划、新型电力系统研究。