

电动汽车充电站变压器容量及储能优化配置措施

周臻昉

中国石油天然气股份有限公司宁夏销售分公司 宁夏 银川 750001

【摘要】为了提高电动汽车充电站的经济性，需要结合储能系统合理配置充电站的容量。通过对电动汽车实际充电数据的调查和对充电站负荷特性的分析，了解到不同规模的充电站应配置不同容量的储能系统。以惩罚因子和充电站年净收入为优化目标，分别建立无储能和配置储能情况下充电站的容量配置模型，并采用数学方法进行求解。以某充电站为例进行了案例仿真。

【关键词】电动汽车；充电站；变压器容量；储能优化；配置措施

1 电动汽车充电站负荷特性分析

1.1.充电桩负荷特性

根据采集到的数据，采集不同类型直流充电桩的典型日充电负荷数据，并进行曲线拟合。不同目的的电动汽车充电产生不同的负荷特性曲线，都存在充电负荷波动大、单桩充电利用率低的问题。充电站通常有多个充电桩，可以适度平滑充电负荷波动。

1.2.充电站负荷特性

以直流充电桩为主要充电设施的公共快速充电站为例。多个充电桩集成的充电站可以平滑负荷波动，缓解峰谷差，充电桩利用率略有提高，但仍存在峰谷差大、峰值持续时间短、低谷期长等问题。以两个不同容量的充电站为例，最大充电功率 P_{max} 分别为 1160KW 和 2230KW，相应的充电桩总充电容量分别为 1200KW 和 2400KW。根据充电站收集数据。与小型充电站相比，大型充电站的峰值负荷较少，负荷峰谷差略小，负荷波动略稳定。但充电峰值负荷持续时间较短，占 80% 以上的充电负荷功率比较小，负荷利用率较低。在这种情况下，为了平稳负荷波动，缓解局部电网压力，电动汽车充电站配置储能成为必然趋势。由于充电站的类型和规模以及配电变压器的容量不同，需要配置的储能容量也不同。

1.3.惩罚因子的提出

惩罚因子的设置反映了电动汽车充电站对变压器配置和储能容量的可控性。惩罚因子越大，可控性要求越严格。如果惩罚成本过大，则需要减少变压器容量配置或增加储能容量，以实现净效益最大化。在未配置储能的情况下，一般的充电站容量配置方法为建立排队模型，合理配置充电设施；若考虑在充电站配置储能系统，通过设置分时电价、排队系统、调度等方法减小负荷峰谷差来优化配置模型。

虽在模型中提及了惩罚电量，但只是考虑充电站内部电池储能系统的损失电量得到储能的最优配置。文章

将电动汽车用户的损失电量放大为惩罚成本，通过调节这部分损失电量成本可以较为明显地降低充电站变压器及储能的配置容量，从而提高充电站的整体净收益。

2 充电站变压器容量优化配置

从负荷特性分析可以看出，充电站负荷波动大，峰值持续时间短，变压器容量的最大功率分配会导致利用率低，经济性差。因此，有必要优化电动汽车充电站的容量配置，以提高充电站的经济效益。充电站的收入来自于向用户出售电力的成本。除一次性投资外，投入成本主要来自从电网购电成本，其中包括固定变压器容量成本和购电成本。降低充电站变压器的最大需求可以降低成本，但部分用户可能无法在高峰时段正常充电，不仅会损失电力收入，还会降低用户满意度。基于成本与收益理论，文中提出将损失电量乘以惩罚性因子考虑到优化模型中，即当充电站容量受限，用户因无法正常充电损失的充电电量以惩罚性因子放大，计入优化模型。

对于已建充电站，投资成本主要为静态成本，可以近似表示为常数。而动态运行主要与充电收入、购电成本、变压器的基本容量和用户损失的惩罚性成本有关，因为中国目前采用单位电量的充电服务费计算方法，充电站购电、售电统一定价，只有用电量乘以充电服务费才能计算出收入。已建成的充电站积累了一年数据，可以根据需要直接统计各种充电量。由于充电站年平均投资成本 C_1 为常数，可知年运行收益变量主要为年总充电量、年损失电量、最大需量。变压器最大需量选择大，用户流失电量小，但基本费用高，需要根据充电站用户特性优化最大需量申报。

3 充电站变压器容量和储能协同优化

充电站变压器容量受当地配电网的限制，大容量在未来会带来高成本。变压器容量小，将导致部分用户在用电高峰时段充电受限，用户满意度下降。在电动汽车充电站中配置储能系统可以减少变压器的容量，提高用户满意度，从而提高充电站的运行效率。配置储能系统

可以降低配电变压器容量, 提高用户满意度, 但同时产生储能成本, 需要根据负荷特性、变压器容量等进行优化配置。在充电站收益目标函数中加入储能系统成本。

4 算例分析

快速充电站的资源利用率普遍较低, 加入储能系统的充电站能降低其配电变压器容量, 提高充电负荷利用率, 降低配电成本。

4.1. 未配置储能

变压器的容量等级是标准化的, 某大型充电站的最大负荷为 $2230\text{KV} \cdot \text{A}$ 左右, 文中考虑从国家标准中选择以下容量等级: $S=2500\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=2000\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=1600\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=1250\text{KV} \cdot \text{A}$, 根据电力行业相关规定, 设定变压器的额定功率因数为 0.9, 最大需量 PT 可取为 $0.9S$, 即可求出年损失电量 W_{lose} , 将所有已知参数代入式 (2) ~ 式 (1) 中寻求 PT 的最佳取值。经过计算可得该大型充电站充电收益约为 444.8621 万元, 年平均投资成本 C_1 约为 208.9813 万元。当 $PT=2250\text{KW}$ 时, 代入式 (1) 中可得净收益约 127.8807 万元, 此时充电站最大充电功率未超过变压器最大需量, 也就是说在这种情况下不存在损失电量; 当 $PT=1800\text{KW}$ 时, 可得充电站损失电量为 19.4863 万 $\text{KW} \cdot \text{h}$, 此时净收益 $F=(192.6807-19.7591\beta)$ 万元; 当 $PT=1440\text{KW}$ 时, $F=(201.3207-73.4549\beta)$ 万元; 当 $PT=1125\text{KW}$ 时, $F=(208.8807-159.0225\beta)$ 万元。但这样会造成资源浪费。随着惩罚因子 β 的增大, 充电站惩罚成本不断增大, 充电站年净收益呈现不断减少的趋势, 也就意味着当 β 达到最大值以后, 通过减少充电站配电变压器最大需量获得的收益将不足以弥补损失的用户电量惩罚费用, 充电站就会开始亏损。

4.2. 配置储能

合理地配置梯次利用电池储能系统的容量不仅可以降低充电站配电变压器最大需量, 还可以提高充电站最大充电功率, 补偿损失电量成本。根据对未配置储能

系统的充电站容量优化分析考虑选用以下四个容量等级: $S=2000\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=1600\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=1250\text{KV} \cdot \text{A}$ 、 $S=1000\text{KV} \cdot \text{A}$ 。当 $PT=1800\text{KW}$ 时, 将表中相关参数代入式 (2) ~ 式 (2) 中, 经过计算可以得到其函数关系。惩罚费用与配置储能的充电站效益直接相关, 在文中得出的配置结果下建立不同惩罚因子下充电站年净收益 F 与储能容量 E_b 的关系, 从而得到其变化趋势。

储能容量的增加增加了充电站的配置容量, 用户可以充电, 从而降低了电力惩罚成本。随着 β 的不断增大, 充电站用户失电的惩罚成本在不断增大, 储能容量的增长速度在不断放缓, 这意味着通过配置储能容量实现效益最大化的补偿程度越来越小, 即存在一个储能容量的最优值。 β 的增大导致电量损失增多, 但合理配置的储能系统发挥作用, 补充充电站损失的电量使得惩罚成本减少, 效益大大提高。综上分析可以得知此算例中储能最优配置容量为 $533.87\text{KW} \cdot \text{h}$ 。

5 结束语

本文分析了不同规模充电站的负荷特性, 以充电站年净收入为优化目标, 考虑惩罚因素, 建立了充电站容量优化模型, 得到了无储能和配置储能两种情况下的最优配置容量。算例结果表明, 只有当通过减少配电变压器最大需量获得的收益能够弥补损失的电量惩罚成本和梯次利用电池储能系统的成本时, 充电站才可选择配置储能。此外, 不同规模的充电站所需配置的储能容量各有不同, 只有通过合理配置储能容量, 才能够在平抑负荷波动的基础上, 提高充电站运行经济性。

【参考文献】

- [1]周翔, 陈杰军, 谢培元, 等.基于效用最大化原则的电动汽车充电站负荷特性分析方法[J].电测与仪表, 2018, 55 (4): 18.
- [2]胡宇航, 皮一晨, 崔静安, 等.电动汽车充电站负荷建模研究[J].电力系统保护与控制, 2017, 45 (8): 107-112.