

换电站对配网无功优化的影响研究

应丽云¹, 刘敏¹, 李鹏程², 洪颖³, 丛中笑²

(1. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵州 贵阳 550000;
3. 国网浙江省电力有限公司金华供电公司, 浙江 金华 321000)

摘要:换电站作为电动汽车的主要充电基础设施,随着电动汽车的普及也将大规模建设。为了分析大规模换电站接入配网对无功优化产生的影响,提出了以换电站充电负荷对配网无功优化的影响为研究对象。首先基于力帆换电站的历史数据分析了换电站充电负荷影响因素的分布规律,然后采用蒙特卡洛仿真模拟建立了换电站的充电负荷模型。还建立了配网无功优化的数学模型,采用禁忌搜索算法求解数学模型。考虑到换电站充电负荷为概率模型,采用基于蒙特卡洛模拟的随机潮流进行潮流计算。最后从换电站充电负荷的渗透率角度分析了对配网无功优化的影响,得出的结论是换电站充电负荷的渗透率为一定值时,相比未接入换电站充电负荷的情况,可以降低电容器的投切次数,延长电容器的使用寿命。

关键词:换电站;蒙特卡洛模拟;配网无功优化;渗透率

文章编号:2096-4633(2018)05-0018-06 **中图分类号:**TM76 **文献标志码:**B

随着能源危机和环境污染的日益严峻,当前发展电动汽车成为解决能源危机和环境污染的重要手段之一^[1]。而换电站通过更换电池方式为电动汽车补充电能^[2]。换电站作为电动汽车的主要充电基础设施,具有更换时间短,电池方便管理的特点也将得到大力发展^[3]。随着换电站的规模化接入配网,对配电系统的安全稳定运行也将带来挑战。因此,有必要对换电站接入配网带来的影响进行研究。

目前,对换电站的研究主要分为优化规划层面和经济运行层面。换电站的优化规划主要是指确定换电站接入位置和容量优化配置的研究^[4]。文献[5]考虑了电动公交车换电电量需求和充换电行为,提出了一种换电站—电池充电站建设模式。使用近邻传播聚类算法对换电需求点进行空间聚类,以确定电池充电站的站址和规模。在容量优化配置方面,文献[6]根据电动汽车的换电需求,以光伏换电站的年最大利润为目标,建立系统容量优化配置的模型。文献[7]以设备年成本为目标函数,考虑了换电站规模和服务可用性要求为约束,实现换电站的容量优化配置。在经济运行层面,通过优化调度换电站电池的充电计划,在确保服务质量前提下使换电站的充电费用最小^[8-11]。

换电站规模化接入配电网,对配网的网损和电压会产生影响,从而对配网的无功补偿设备的降损

效果会产生影响。而当前有关换电站接入配网对无功优化的研究比较少,因此,本文以换电站接入配网后对无功优化的影响为研究对象。

1 换电站充电负荷模型

换电站的充电负荷主要由充电起始时刻、充电时长和充电功率三个参数决定。通过分析充电历史数据建立各参数的分布规律,结合蒙特卡洛模拟建立换电站的充电负荷模型。

本文选取力帆换电站的充电历史数据,建立换电站充电负荷充电起始时刻、充电时长和充电功率的分布规律,并采用蒙特卡洛模拟建立换电站的充电负荷模型。

力帆换电站的电池与电动汽车的配置比例是2:1,所有的动力电池选择在夜间低谷时期集中充电,降低了换电站的充电成本。目前重庆市采用了分时电价机制,低谷时期为23:00~7:00。因此,力帆换电站的待充电池的統一选择在23:00开始充电,在降低充电费用的同时,还能尽可能的为更多电池充电。

当前动力电池的充电方式有恒压充电、恒流充电和阶段充电等^[12-13]。力帆换电站选择比较常用的恒流—恒压两阶段充电方法。充电起始和结束阶段为恒流阶段,充电功率随充电电流变化而变化,时

间较短,中间较长时间为恒压充电,功率变化很小,近似为 10 kW。本文将充电功率近似为 10 kW。

换电站的动力电池的充电时长同电池的剩余电量(SOC)和充电功率相关。电池的剩余电量通过统计分析,统计结果和拟合结果如图 1 所示。

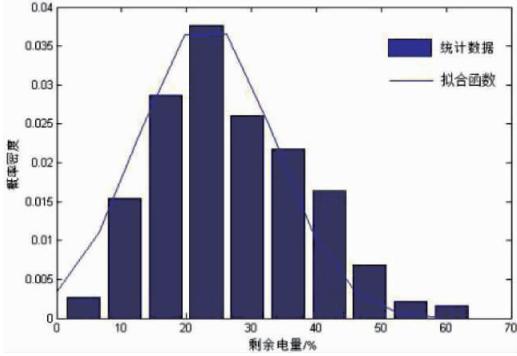


图 1 换电站的待充电电池的剩余电量

Fig. 1 SOC of rechargeable battery in battery swapping station

根据图 1 可知,换电站的待充电电池的剩余电量近似服从正态分布,其概率密度函数为:

$$f(s) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(s-\mu_s)^2}{2\sigma_s^2}} \quad (1)$$

式中: μ_s 为电池剩余电量的期望值, σ_s 为电池剩余电量的标准差。根据对统计数据进行分析得出, $\mu_s = 23, \sigma_s = 3.271 1$ 。

换电站动力电池的充电时长和剩余电量的关系如下:

$$t = (1 - S_i) \times T_c \quad (2)$$

式中: t 为电池充电时长, h ; S_i 为电池充电前剩余电量,%; T_c 为电池从空电量到充满电量的充电时长。

动力电池从空电池充至满电池所需的充电时长 T_c 为:

$$T_c = \frac{Q_c(S_e - S_i)}{P_e} = \frac{25}{10} = 2.5h \quad (3)$$

式中: Q_c 为电池容量, $kW \cdot h$; P_e 为充电功率, kW 。

为了求出换电站在一天中某时刻 t_0 的功率需求,假设 t_s 为充电起始时刻, t_c 为充电时长。 $P_{t_0} = \xi_{t_0} P_e$,其中 ξ_{t_0} 为 t_0 时刻的充电状态, ξ_{t_0} 为 1 时表示换电站电池正在充电; ξ_{t_0} 为 0 表示换电站电池还未充电或已经充好电。 P_{t_0} 的概率分布如下:

$$P_{t_0} = P(\xi_{t_0} = 1)P_e = F_{t_s, t_c}(t_s \leq t_0 \leq t_s + t_c) P_e \quad (4)$$

式中: F_{t_s, t_c} 为充电起始时刻和充电时长的联合

概率分布函数, $F_{t_s, t_c} = F_{t_s} F_{t_c}$,其中 F_{t_s} 为充电起始时刻的概率分布函数, F_{t_c} 为充电时长的概率分布函数; P_e 为充电功率。

本文选用的力帆换电站充电起始时刻为 23:00,结合式(1) - (4),可求出换电站电池日充电负荷的概率分布。考虑到该概率分布无解析解,采用蒙特卡洛模拟求出换电站单块电池日充电负荷需求的各时刻期望值。力帆换电站每台充电机需要连续为 3 块电池充满电,一个换电站共有 10 台充电机,30 块电池。为了考虑一个换电站的日充电负荷需求,需要模拟这 30 块电池一天的日充电负荷需求。一天中每时刻取 1 000 个样本,重复 10 次,采用蒙特卡洛模拟仿真一个换电站的日充电功率期望值,仿真结果如图 2 所示。

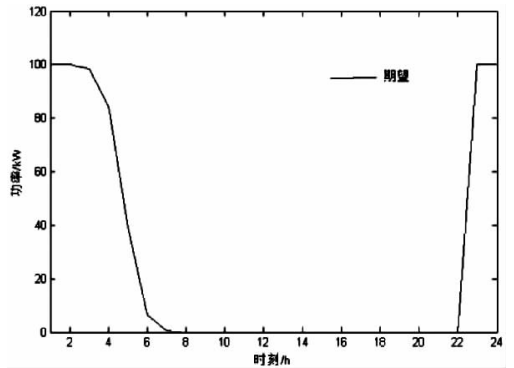


图 2 换电站动力电池的日充电负荷曲线

Fig. 2 Charging load curve of power battery in battery swapping station

2 配电网无功优化模型

本文在已配置电容器的配网中接入换电站充电负荷后,研究对配网无功优化效果的影响。建立以全天网损最小为无功优化的目标函数,考虑了潮流约束、电压约束和电容器容量约束以及电容器日投切次数约束的无功优化数学模型。

$$MAX f = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^N (P_{loss0,i}^t - P_{loss1,i}^t) \quad (5)$$

式中: N 为配网节点数, $P_{t_{loss0,i}}$ 和 $P_{t_{loss1,i}}$ 分别为 t 时刻无功优化前配网各节点网损之和和无功优化后配网各节点网损之和。

$$S_{i-1} = S_i + S_{Li} \quad (6)$$

式中: $i-1$ 和 i 分别为支路首端节点和尾端节点, S_{i-1} 、 S_i 分别为节点 $i-1$ 和节点 i 的注入复功率, S_i 为节点 i 的复功率负荷。

$$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max} (i = 1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

式中: V_i 为节点 i 的电压, $V_{i,max}$ 、 $V_{i,min}$ 分别为节点 i 电压的上限和下限, N 为配网节点数。

$$Q_{j,min} \leq Q_j \leq Q_{j,max} (j = 1, 2, \dots, N_c) \quad (8)$$

式中: Q_j 为电容器组 j 的投切量, $Q_{j,max}$ 、 $Q_{j,min}$ 分别为电容器组 j 的投切组数上限和投切组数下限, N_c 为电容器组的数量。

$$\sum_{t=1}^{24} K_{j,t} \leq K_{j,max} (j = 1, 2, \dots, N_c) \quad (9)$$

式中: $K_{j,t}$ 为电容器 j 在 t 时刻投切次数, $K_{j,max}$ 为电容器 j 一天内投切次数上限, K_c 为电容器数量。

3 基于禁忌搜索算法的配网无功优化

禁忌搜索 (tabu search, 简称 TS) 算法最早由 Glover 等人在 1985 年提出, 属于对局部领域搜索的一种拓展, 是一种全局迭代寻优算法, 是对人类记忆的一种模拟^[15-16]。TS 算法通过引入一个灵活的存储结构和相应的禁忌准则来避免迂回搜索, 并通过藐视准则来释放一些被禁忌的优良状态, 从而保证搜索多样化以最终实现全局最优^[15]。

基于禁忌搜索算法的配网无功优化, 选择电容器组各时刻的投切组数作为解向量, 随机生成初始解, 将无功优化前后的配网降损量最大作为适配值, 把电容器单组容量作为搜索的领域, 选择目标函数值变化控制原则作为终止准则, 实现流程如下:

(1) 输入原始数据, 包括网络参数、运行数据等。

(2) 调用潮流程序计算配网初始总网损。

(3) 随机选择电容器投切容量作为初始解, 调用潮流程序计算此时配网总网损, 由此计算适配值初始值。

(4) 判断是否满足终止条件, 若是则输出优化结果; 否则, 根据领域搜索产生所有领域解, 选出若干候选解, 然后调用潮流程序计算各候选解的适配值并排序产生所有领域的试验解。

(5) 对所有领域的试验解进行约束条件检验, 只有满足约束条件的试验解按照适配值大小进行排序。从最优的试验解到次优解依次移动判断是否满足藐视准则, 或是否在禁忌表中被禁止; 直至领域内所有试验解均满足条件为止。

(6) 判断是否产生新移动, 若有, 则设置禁忌表

任期的内容, 并更新试验解, 记录当前解。

(7) 判断当前最优试验解是否优于全局最优解, 只记下迄今为止的全局最优解 (best so far), 直到满足终止条件, 则终止搜索, 输出最优结果; 否则回到步骤 (4) 继续迭代。

4 基于蒙特卡洛模拟的随机潮流

在实际配网中负荷是实时变化的, 可以应用正态分布规律近似反映负荷的随机性^[17-18], 并基于前面建立的换电站充电负荷的概率模型, 将换电站充电负荷接入到配网中, 采用基于蒙特卡洛仿真原理的随机潮流进行潮流计算。

4.1 蒙特卡洛模拟原理

蒙特卡洛法也称为随机抽样法, 是利用计算机上的随机数来表示系统运行参数的概率特性, 从而利用计算机模拟系统的实际运行情况, 通过一段时间的观察, 提供所求解的近似解^[19]。对蒙特卡洛模拟的基本原理介绍如下:

设待求量 x 是随机变量 ξ 的数学期望 $E(\xi)$, 先根据 ξ 的概率分布对 ξ 进行 N 次随机抽样, 产生随机变量 ξ 的相互独立的样本 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, 再用其算术平均值作为的 x 近似估计^[20]。 ξ 的算术平均值即期望值如下:

$$\bar{\xi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (10)$$

当 N 足够大时, 有:

$$P(\lim_{N \rightarrow \infty} \bar{\xi} = x) = 1 \quad (11)$$

根据大数定律, 可证明:

$$\bar{\xi} = E(\xi) = x \quad (12)$$

因此, $\bar{\xi}$ 可作为所求量 x 的估计值^[21]。当所求量是随机变量的数学函数时, 则对抽样值进行处理后再统计^[21]。

蒙特卡洛法的核心就是对随机变量的抽样, 从已知概率分布的总体中产生简单的样本^[20]。

4.2 基于蒙特卡洛模拟的随机潮流

将蒙特卡洛法加入到随机潮流计算中, 形成随机潮流的蒙特卡洛模拟法的主要计算步骤如下^[20]:

(1) 建立负荷的随机模型;

(2) 根据输入变量的概率分布情况进行重复随机抽样;

(3) 对步骤 (2) 中每次抽取的变量进行确定性

潮流计算,获取各节点电压和支路潮流的样本。

(4)对步骤(3)中的样本进行统计,得到各节点电压和支路潮流的概率分布,取其期望值作为随机潮流计算结果的估计值。

5 算例分析

本文选择 IEEE33 节点中接入换电站充电负荷进行无功优化分析。配置了 4 个并联电容器组,各电容器组的安装位置为节点 5、11、15、30,如图 3 所示。每个电容器组分为 8 组投切,单组电容器的额定容量均为 100 kvar。各电容器初始值均选为 300 kvar,各电容器组的日投切次数约束定为 10 次。配网中选择接入 4 个换电站,接入位置如图 4 所示。为了分析规模化换电站接入对配网无功优化的影响,本文根据换电站充电负荷渗透率的不同来分析对配网无功优化的影响。换电站充电负荷的渗透率是指接入的换电站充电负荷总容量相对于配电系统最大总有功负荷的百分比,分别选择换电站充电负荷的渗透率为 0%、13%、25%、38% 的情况进行分析,配网无功优化的结果如下:

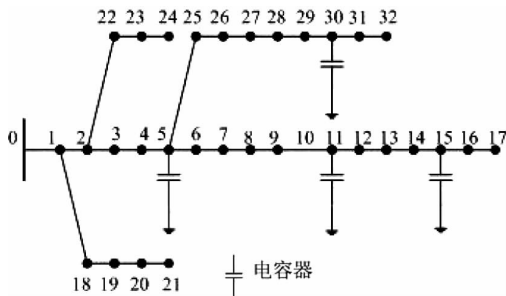


图 3 IEEE33 节点配网接线图

Fig. 3 Distribution network wiring diagram in IEEE33 node

表 1 换电站不同渗透率的配网无功优化前后网损变化量

Tab. 1 Network loss variation before and after reactive power optimization at different permeability of battery swapping station

	0%	11.6%	23%	34.7%
优化前网损/kW	1 985.66	2 065.8	2 140.81	2 209.44
优化后网损/kW	910.5	995.6	1 055.86	1 132.81
降损量/kW	1 075.16	1 070.2	1 084.95	1 076.63
电容器总投切次数	28	26	25	28

根据表 1 可知,换电站充电负荷的渗透率越大,配电网的网损也越大,对无功优化的降损效果也会

有影响。在渗透率为 23% 时,电容器的投切次数最少,无功优化后的降损量最大。由此,可以得出以下结论:

在换电站充电负荷的渗透率会影响电容器的投切次数,当渗透率为一定值时,相比没接入换电站的充电负荷的情况,降低了电容器的投切次数,配网无功优化的降损效果最好,延长了电容器的使用寿命。而换电站充电负荷的渗透率太小或太大,电容器的投切次数会增多,缩短了电容器的使用寿命,配网无功优化的降损率相近,配网无功优化的降损效果下降。

6 结论

随着电动汽车的规模化应用,作为电动汽车主要充电基础设施的换电站也将规模化接入配网。本文针对当前换电站接入对配网无功优化的影响研究较少的情况,将换电站充电负荷接入配网对无功优化的影响为研究目标。首先基于力帆换电站的历史充电数据,建立了换电站 SOC 的概率模型,并通过蒙特卡洛模拟建立了换电站的充电负荷模型^[22-24]。然后建立了配网无功优化的数学模型,并采用禁忌搜索算法和随机潮流算法求解,最后通过算例得出以下结论。

在换电站充电负荷的渗透率会影响电容器的投切次数,当渗透率为一定值时,相比没接入换电站的充电负荷的情况,降低了电容器的投切次数,配网无功优化的降损效果最好,延长了电容器的使用寿命。而换电站充电负荷的渗透率太小或太大,电容器的投切次数会增多,缩短了电容器的使用寿命,配网无功优化的降损率相近,配网无功优化的降损效果下降。

本文所建立的换电站充电负荷模型是依据力帆换电站的历史数据,考虑到当前国内换电站还有北汽新能源、浙江新时空等,本文所建模型不能代表所有换电站。在以后的工作中应建立更具适用性的换电站充电负荷模型,再分析换电站充电负荷接入配网对无功优化的影响,更具有代表性。

参考文献:

[1] 马骏. 贵州省电动汽车充电基础设施建设的探讨[J]. 贵州电力技术, 2015, 18(07): 57-59.
Ma Jun. Discussion of electric vehicle charging infrastructure in Guizhou province[J]. Guizhou Electric Power Technology 2015, 18

- (07):57-59.
- [2] 田文奇,和敬涵,姜久春等. 电动汽车换电站有序充电调度策略研究[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(21):114-119.
TIAN Wenqi, HE Jinghan, JIANG Jiuchun, et al. Research on dispatching strategy for coordinated charging of electric vehicle battery swapping station[J]. Power System Protection and Control, 2012,40(21):114-119.
- [3] 寇亮. 电动汽车换电站的完善与发展[J]. 科技创新与应用, 2017(01):19-19.
KOU Liang. Improvement and development of electric vehicle battery swapping station [J]. Technology Innovation and Application,2017(01):19-19.
- [4] 张立静,娄素华,陈艳霞,等. 基于电池租赁模式的电动汽车换电站电池容量优化[J]. 电网技术,2016,40(06):1730-1735.
ZHANG Lijing, LOU Suhual, CHEN Yanxiaz, et al. Battery capacity optimization of electric vehicle battery swapping station based on leasing mode[J]. Power System Technology, 2016,40(06):1730-1735.
- [5] 钱斌,石东源,谢平等. 电动公交车换电站一电池充电站优化规划[J]. 电力系统自动化,2014,38(02):64-69.
JIAN Bin, SHI Dongyuan, XIE pingping, et al. Optimal planning of battery charging and exchange stations for electric vehicles [J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(02):64-69.
- [6] 刘念,唐霄,段帅,等. 考虑动力电池梯次利用的光伏换电站容量优化配置方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(04):34-44+16.
LIU Nian, TANG Xiao, DUAN Shuai, et al. Capacity optimization method for PV-based battery swapping stations considering second-use of electric vehicle batteries [J]. Proceedings of the CSEE, 2013,33(04):34-44+16.
- [7] 路欣怡,刘念,汤庆峰,等. 计及服务可用性的电动汽车换电站容量优化配置[J]. 电力系统自动化,2016,38(14):77-83.
LU Xinyi, LIU Nian, TANG Qingfeng, et al. Optimal capacity configuration of electric vehicle battery swapping station considering service availability [J]. Automation of Electric Power Systems,2016,38(14):77-83.
- [8] TAN X, QU G, SUN B, et al. Optimal scheduling of battery charging station serving electric vehicles based on battery swapping [J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2017,PP(99):1-1.
- [9] SUN B, TAN X, TSANG D. Optimal Charging Operation of Battery Swapping and Charging Stations with QoS Guarantee [J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2017,PP(99):1-1.
- [10] 刘玉娇,蒋传文,王旭,等. 采用随机约束和多目标算法的电动汽车换电站能量管理[J]. 电力自动化设备,2013,33(08):59-63+69.
LIU Yujiao, JIANG Chuanwen, WANG Xu. Energy management with stochastic constraint and multi-objective optimization algorithm for electric vehicle battery swap station [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(08):59-63+69.
- [11] 张帝,姜久春,张维戈,等. 基于遗传算法的电动汽车换电站经济运行[J]. 电网技术,2013,37(08):2101-2107.
ZHANG Di, JIANG Jiuchun, ZHANG Weige, et al. Economic operation of electric vehicle battery swapping station based on genetic algorithms [J]. Power System Technology,2013,37(08):2101-2107.
- [12] 吉莉,王丽芳,廖承林等. 副边自动切换充电模式的电动汽车无线充电系统设计[J]. 电力系统自动化,2017,41(23):137-142.
Ji Li, WANG Lifang, LIAO Chenglin, et al. Design of electric vehicle wireless charging system with automatic charging mode alteration at secondary side [J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(23):137-142.
- [13] 刘月贤,王天钰,杨亚宇等. 电动汽车充放电系统建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(13):70-76.
LIU Yuebian, WANG Tianyu, YANG Yayu, et al. Modeling and simulation of electric vehicles' charge and discharge system [J]. Power System Protection and Control,2014,42(13):70-76.
- [14] 曾令全,罗富宝,丁金媛. 禁忌搜索-粒子群算法在无功优化中的应用[J]. 电网技术,2011,35(07):129-133.
ZENG Lingquan, LUO Fubao, DING Jinman et al. Application of particle swarm optimization algorithm integrated with Tabu search in reactive power optimization [J]. Power System Technology, 2011,35(07):129-133.
- [15] 王民生. 禁忌搜索算法及其混合策略的应用研究[D]. 大连:大连交通大学,2005.
- [16] 王明兴. 连续禁忌搜索算法改进及应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.
- [17] 王成山,郑海峰,谢莹华等. 计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J]. 电力系统自动化,2005,29(24):39-44.
WANG Chenshan, ZHENG Haifeng, XIE Yinghua, et al. Probabilistic power flow containing distributed generation in distribution system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005,29(24):39-44.
- [18] CHARYTONIUK V, CHEN M S, KOTAS P. Demand forecasting in power distribution system using nonparametric probability density estimation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999,14(4):1200-1206.
- [19] 陈小青. 基于蒙特卡洛模拟的电网调度运行风险评估研究[D]. 长沙:湖南大学,2013.
- [20] 彭寒梅. 微电网潮流计算及可靠性评估研究[D]. 长沙:湖南大学,2016.
- [21] 魏亚运. 大规模风力发电的电力系统静态安全评估[D]. 广州:广东工业大学,2016.
- [22] 王超,麻秀范. 基于电动汽车用户电价响应的充电负荷优化模型建立[J]. 内蒙古电力技术,2017,35(01):1-7.
WANG Chao, MA Xiufan. Charging load optimization model based on electric vehicle users' price response [J]. Inner Mongolia

Electric Power,2017,35(01):1-7.

- [23] 严勤,曾洁. 电动汽车的充电模式及充电设施建设运营模式研究[J],电力大数据 2018,20(01):39-42.

YAN Qin,ZENG Jie. Research on electric vehicle charging mode and charging infrastructure construction operations [J]. Power systems and big data. 2018,20(01):39-42.

- [24] 谢海波,武小梅,林翔,等. 含分布式电源的配电网无功优化研究综述[J]. 广东电力,2017,30(02):102-109.

XIE Haibo, WU Xiaomei, LIN Xiang, et al. Review on reactive power optimization for power distribution network with distributed

generation [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30 (02) : 102 - 109.

收稿日期:2018-03-09

作者简介:



应丽云(1988),女,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制。

(本文责任编辑:范斌)

Study on the influence of battery swapping station on reactive power optimization of distribution network

YING Liyun, LIU Min, LI Pengcheng, HONG Ying, CONG Zhongxiao

(1. College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025 Guizhou, China;

(2. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002 Guizhou, China;

(3. Jinhua Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang 321000 Guizhou, China)

Abstract: With the popularization of electric vehicles, the battery swapping station as the main charging infrastructure of electric vehicles will be built on a large scale. In order to analyze the impact of mass battery swapping stations access to distribution network on reactive power optimization, the research object is to study the influence of battery swapping station distribution network on reactive power optimization. Firstly, the influence factor distribution of battery swapping station charging load is analyzed based on the historical data of Lifan battery swapping station. Then the battery swapping station charging load model is built based on Monte Carlo simulation. The distribution network reactive power optimization mathematical model is established and the Tabu search algorithm is used to solve the model. Considering the probability model of battery swapping station charging load, the stochastic trend is used to complete the power flow calculation. Finally, the permeability of battery swapping station are employed to analyze the effect on the distribution network reactive power optimization. It is concluded that when the permeability of the charging load of the battery swapping station reach a certain value, the capacitor switching times would be reduced and the capacitor lifetime can be prolonged compared to the condition that the charging load of the battery swapping station is not connected.

Key words: battery swapping station; Monte Carlo simulation; distribution network reactive power optimization; permeability