

考虑电网运行状态的电动汽车充放储一体化 充换电站充放电控制策略

楚皓翔¹, 解 大²

(1. 国网江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211102;

2. 上海交通大学 电气工程系 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要:电动汽车充放储一体化充换电站作为区域性有源电站,通过合理的充放电控制策略,可以为电网提供削峰填谷的作用。根据电网状态和一体化充换电站与电网之间的能量流信息,结合换电站和梯次站的储能水平,对换电站、梯次站和电网之间的能量流动进行合理调控。将换电站和梯次站内电池组分成若干部分,结合电网实时负荷水平,提出一种新型的充放电控制策略,从而在保证换电站内满电状态电池组数量的前提下,为电网提供增值服务。所提充放电控制策略考虑电池的使用寿命,合理安排电池组在一个周期内的充放电功率。实际算例的分析结果表明,一体化充换电站在保证电池组使用寿命和满足自身良好运行工况的前提下,可为电网提供削峰填谷的服务。

关键词:电动汽车;充放储一体化充换电站;充放电控制;能量流动;负荷水平;削峰填谷;运行状态

中图分类号:TM 73;U 469.72

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.04.014

0 引言

随着社会工业化进程的推进,电动汽车凭借其低能耗、轻污染的优势得到人们的广泛关注^[1]。大型汽车制造公司都已向电动汽车行业进军,预计到2020年电动汽车的市场占有率将达到25%^[2]。

电动汽车充电和换电的无规律性将对电网的电能质量和供电系统的可靠性产生影响。因此需要对电动汽车的充电信息、换电信息和需求侧管理进行研究,从而确保电动汽车的高渗透率^[3-4]。为了避免给电网带来太大的负担和冲击,电动汽车换电站应当充分考虑电动汽车充换电负荷需求和电网实时负荷水平,进而提供灵活高效的充换电支持。文献[5]分析了电动汽车充电设施发展各阶段的特征,提出充电方式的选择方法及其对应的充电需求。文献[6-7]从负荷、电网损耗和电压等几个方面分析了电动汽车充电对输电网和配电网的影响。

电动汽车的运行状况与车载电池组的性能密切相关,电池充放电深度、环境温度的高低、荷电状态SOC(State Of Charge)都对电池的使用寿命有很大的影响^[8]。电池SOC是影响电动汽车商业化进程的重要因素^[9]。文献[10]提出一种电池模型用于预测电池组的电压变化曲线、SOC变化水平以及充

放电速率的影响。文献[11]提出要在保证电池SOC水平的前提下寻求能量消耗的最小化,同时实现电池寿命损耗最小化。

文献[12-13]分析了电动汽车不协调充电对电网电压的影响,利用车网互动(V2G)运行模式对电网电压进行调控,并研究了接入式电动汽车在电站建设阶段的角色及其对电网长期运行的影响。文献[14]研究并建立了计及电动汽车代理商参与系统优化调度的数学模型和电动汽车代理商的充电需求模型。

本文的智能充放储一体化充换电站融合了充电站、换电站和储能站的优势,可实现电池系统与电网的能量双向互动,既可为电动汽车供电,又可为电网提供削峰填谷、无功补偿、谐波治理、紧急支持等辅助服务^[15-16]。本文基于电网负荷水平、一体化充换电站储能水平以及电动汽车换电负荷需求,对一体化充换电站内电池的充放电控制策略进行研究,该充放电控制策略充分考虑了充放电状态对电池使用寿命的影响。算例分析表明,该充放电控制策略既能维持一体化充换电站正常运行,又能满足电动汽车换电负荷的需求,实现对电网的削峰填谷,利于电网的经济可靠运行。

1 充放储一体化充换电站运行特性

为了满足电动汽车能源供给、提高电池利用效率,并且能够对储能电池以及功率、能量进行优化控制,实现与电网负荷进行协调与互动等运行目标,充放储一体化充换电站主要由三部分构成:多用途变流装置、充放储换电系统和梯次电池储能系统,如图1所示^[17]。

收稿日期:2017-03-23;修回日期:2018-01-10

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(电动汽车智能充放储一体化站系统及工程示范)(2011AA-05A108)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(EVs' Intelligent Charging-discharging-storage Integrated Station and Engineering Demonstration)(2011AA05A108)

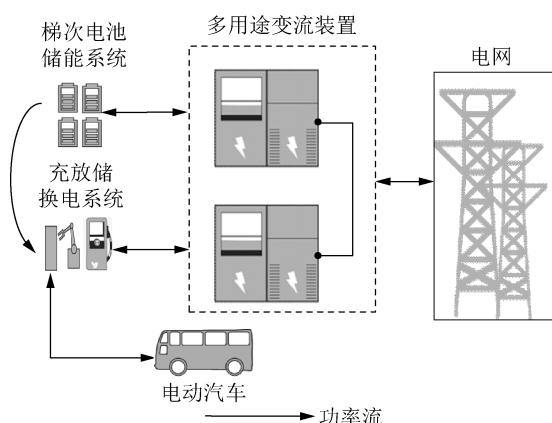


图1 电动汽车充放储一体化充换电站组成

Fig.1 Composition of EV charging-discharging-storage integrated station

多用途变流装置由2组脉宽调制(PWM)四象限变流器并联组成,分别连接充放储换电系统和梯次电池储能系统,为2个系统与电网电能交换提供服务^[18]。充放储换电系统既可以通过一组多用途变流器实现与电网有功、无功的交换,又可以通过充

电机给电动汽车充电或利用换电机器人实现电动汽车电池组的更换。梯次电池储能系统是电动汽车退役电池测试、重组、再利用的场所,可以通过另一组多用途变流器实现与电网有功、无功的交换,也可直接对电池充换系统进行充电。

2 一体化充换电站的充放电策略

一体化充换电站通过采集车辆信息、换电站和梯次站信息、电网信息、变流装置信息,全面评估电站内所有能量的形式和流向,综合各方面要素决策形成换电站和梯次站的基础充放电计划。在不同的负荷状态下,根据换电站和梯次站的能量水平,进而做出充放电优化指令,如图2所示^[17]。

图2 根据当前电网状态和一体化充换电站与电网之间的能量流信息,结合换电站和梯次站的储能水平,对换电站、梯次站和电网之间的能量流动进行合理调控,从而在保证换电站满足换电负荷需求的前提下,和梯次站一起为电网提供削峰填谷的服务。

需要注意的是,电池组的使用寿命与充放电方

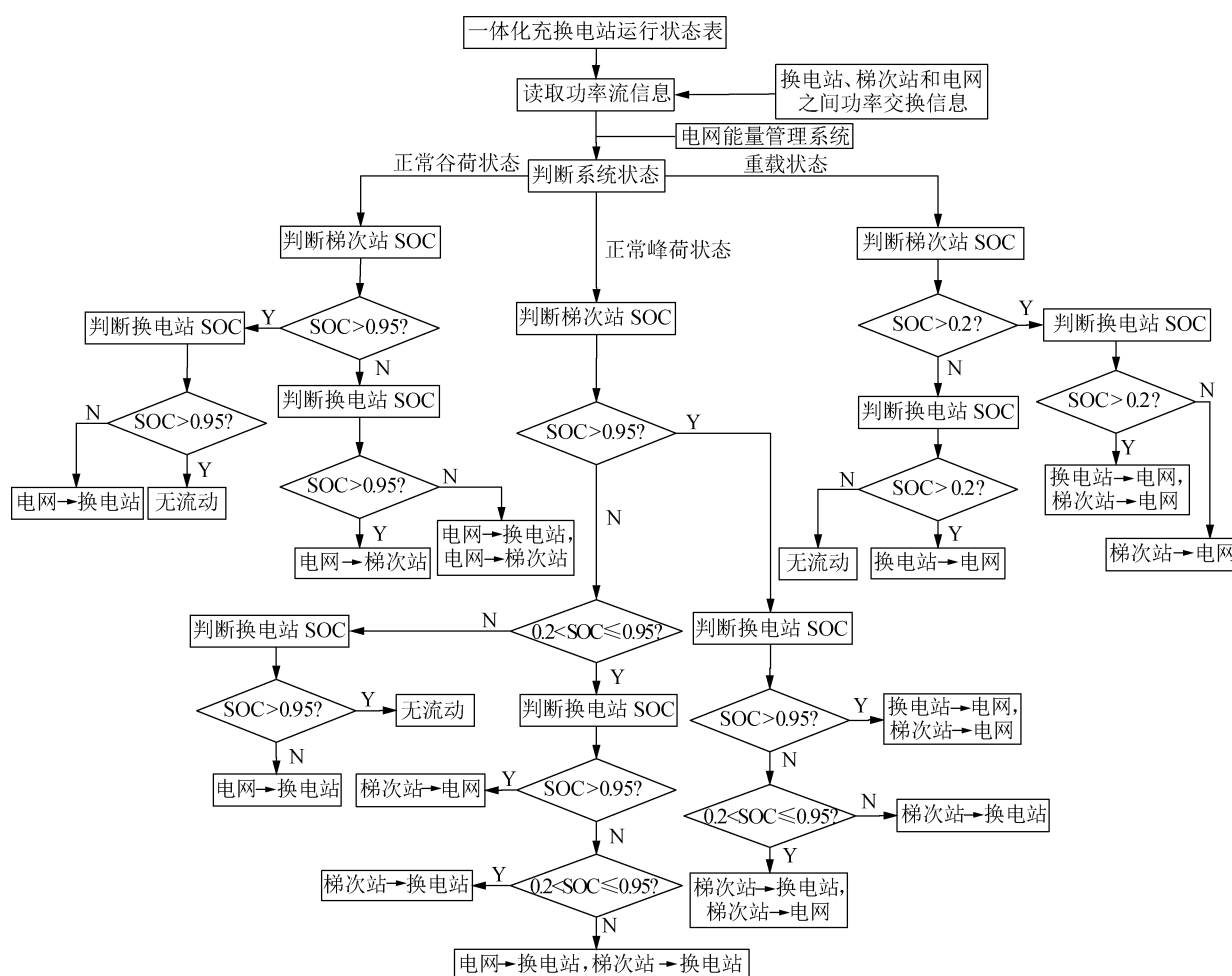


图2 电动汽车充放储一体化充换电站能量流动控制流程

Fig.2 Flowchart of controlling energy flow of EV charging-discharging-storage integrated station

式密切相关,在电池组使用过程中,既要防止过充电,也要防止过放电,尽量做到小电流浅充浅放。因此,需要对一体化充换电站内电池组的充放电顺序进行合理安排,从而保证一体化充换电站和站内电池的运行成本和经济效益。

2.1 换电站内电池组的充放电控制策略

换电站的首要职责是为电动汽车提供换电服务,考虑到电池组的使用寿命,认为电量在 95% 以上即为满电状态,需要时刻保证换电站内的此类电池组数目。在满足电动汽车充换电的前提下,换电站可以作为储能系统为电网提供削峰填谷的服务。

2.1.1 换电站内电池的充电策略

假设在 t 时刻,换电站内有 N_{CES} 组电池,第 i 块电池组的电量为 $SOC_{CES}(i, t)$ ($i=1, 2, \dots, N_{CES}$)。考虑到不同电池组的实时电量不同,将电池组按当前电量大小排序,如式(1)所示。

$$SOC_{CES}^{[F]} \geq SOC_{CES}(i, t) \geq SOC_{CES}(j, t) \quad (1)$$

其中, $i, j=1, 2, \dots, N_{CES}$; $SOC_{CES}^{[F]}$ 为电池组满电状态的 SOC 整定值。当电池组 SOC 值高于 $SOC_{CES}^{[F]}$ 时,则认为该电池处于满电状态,不再对该电池组进行充电。

为了保证换电站内的满电电池组的数目,优先给电量值接近 $SOC_{CES}^{[F]}$ 的电池组充电。根据电网可为换电站提供的电能,在 t_0-t 时间段内,为 SOC 值最高的前 k 组电池充电,则 k 应满足如下条件:

$$\sum_{i=1}^k \int_{t_0}^t P_C(SOC_{CES}(i, t)) dt = E_{C_CES}(t_0) \quad (2)$$

其中, $E_{C_CES}(t_0)$ 为 t_0-t 时间段内电网可用的电能储备; $P_C(SOC_{CES}(i, t))$ 为第 i 块电池组的充电功率。实际上,上述充电过程是动态的,因为充电过程中会有电池先达到满电状态,而电池充电一般选择一种合适的充电状态,如恒流充电或脉冲充电模式,这时会有 SOC 排序在后位的电池进入充电状态,即处于充电状态的电池是不断变化的。

2.1.2 换电站内电池的放电策略

为了保证换电站内满电状态的电池组数目,同时兼顾电池组的使用寿命,需要合理安排换电站内电池组的放电顺序。否则,如果对满电的电池组进行放电,则会影响站内供换电的满电电池组的保有量。同时,为了防止站内电池组的反复充放电,对换电站内电池组的放电顺序和充电顺序相反,即优先对低电量电池组放电:

$$SOC_{CES}^{[N]} < SOC_{CES}(i, t) < SOC_{CES}(j, t) \quad (3)$$

其中, $SOC_{CES}^{[N]}$ 为电池组欠电状态的 SOC 整定值。若某电池组的 SOC 值低于 $SOC_{CES}^{[N]}$,则认为该电池组处于欠电状态,不再对该电池组放电。

结合电网所需电能和一体化充换电站的电能储备,在 t_0-t 时间段内,满足式(3)所示的 SOC 值最

低的 m 组电池提供放电服务,则 m 应满足如下条件:

$$\sum_{i=1}^m \int_{t_0}^t P_D(SOC_{CES}(i, t)) dt = E_{D_CES}(t_0) \quad (4)$$

其中, $E_{D_CES}(t_0)$ 为 t_0-t 时间段内换电站可为电网提供的电能; $P_D(SOC_{CES}(i, t))$ 为第 i 块电池组的放电功率。同样,上述放电过程也是动态的,因为放电过程中会有电池先达到欠电状态,而电池放电一般选择一种合适的放电状态,如恒流充电或脉冲充电模式,这时会有 SOC 排序在后位的电池进入放电状态,即处于放电状态的电池是变化的。

2.2 梯次站内电池组的充放电策略

梯次站是由充换电站内退役的电池组成,没有满电保有量的要求,仅需要在保证电池的 SOC 处于 10%~95% 区间内合理充放电,最大限度地为电网提供削峰填谷的效益。

记梯次站内第 i 块电池组的当前充放电状态为 $F_{\text{flagEBS}}(i, t)$,如式(5)所示。

$$F_{\text{flagEBS}}(i, t) = \begin{cases} 1 & \text{充电} \\ 0 & \text{不动作} \\ -1 & \text{放电} \end{cases} \quad (5)$$

电池组可分为 3 种状态:充电状态、放电状态和不动作状态。不动作状态表示既不充电又不放电。与换电站类似,记 t 时刻梯次站内第 i 块电池组的电量为 $SOC_{EBS}(i, t)$, $SOC_{EBS}^{[F]}$ 表示处于满电状态的 SOC 整定值,若某电池组的 SOC 值高于 $SOC_{EBS}^{[F]}$,则认为该电池组处于满电状态,不再进行充电; $SOC_{EBS}^{[N]}$ 表示处于欠电状态的 SOC 整定值,若某电池组的 SOC 值低于 $SOC_{EBS}^{[N]}$,则认为该电池组处于欠电状态,不再进行放电。

根据梯次站内每块电池组的实时电量,将其分为三部分,如式(6)所示。

$$\begin{cases} SOC_{EBS}(i, t) \geq SOC_{EBS}^{[F]} & i=1, 2, \dots, N_{EBS} \\ SOC_{EBS}^{[F]} > SOC_{EBS}(j, t) > SOC_{EBS}^{[N]} & j=1, 2, \dots, N_{EBS} \\ SOC_{EBS}(k, t) \leq SOC_{EBS}^{[N]} & k=1, 2, \dots, N_{EBS} \end{cases} \quad (6)$$

其中, N_{EBS} 为梯次站内电池组数。

为了最大限度地对电网起到削峰填谷的作用,根据电网下发的充电或放电命令对电池组的充放电进行调控,如图 3 所示。

图 3(a)为当电网处于负荷低谷期时,向梯次站下发充电指令,此时有: SOC 值高于 $SOC_{EBS}^{[F]}$ 的电池组变为不动作状态,不再充电; SOC 值低于 $SOC_{EBS}^{[N]}$ 的电池组变为充电状态; SOC 值介于 $SOC_{EBS}^{[N]}$ 和 $SOC_{EBS}^{[F]}$ 之间的电池组,如果前一时刻处于放电状态,则变为不动作状态,否则将根据充电需求,变为充电状态或不动作状态。

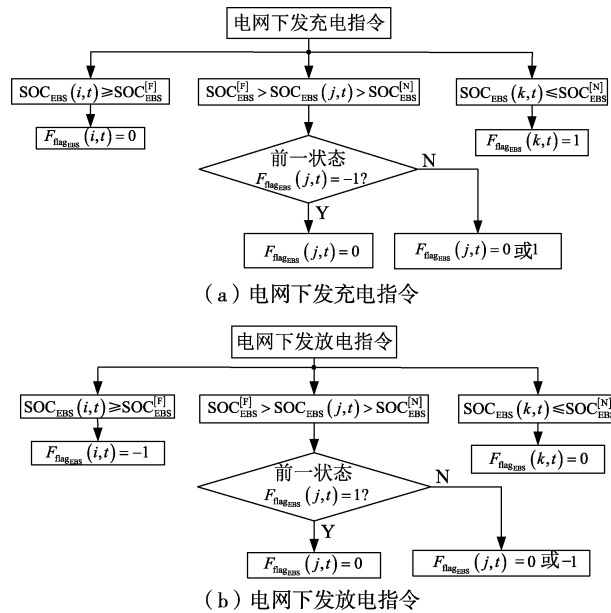


图3 梯次站内各电池组充放电状态

Fig.3 Charging and discharging of battery packs in battery echelon station

图3(b)为当电网处于负荷高峰期时,向梯次站下发放电指令,此时有: SOC 值高于 $\text{SOC}_{\text{EBS}}^{\text{F}}$ 的电池组变为放电状态; SOC 值低于 $\text{SOC}_{\text{EBS}}^{\text{N}}$ 的电池组变为不动作状态; SOC 值介于 $\text{SOC}_{\text{EBS}}^{\text{N}}$ 和 $\text{SOC}_{\text{EBS}}^{\text{F}}$ 之间的电池组,如果前一时刻处于充电状态的,则变为不动作状态,否则将根据放电需求,变为放电状态或不动作状态。

3 算例分析

位于上海嘉定的某一体化充换电站包括换电站系统、梯次站系统,其中换电站系统容量为 $3 \text{ MW} \cdot \text{h}$,额定充放电功率为 400 kW ;梯次站系统的容量为 $0.5 \text{ MW} \cdot \text{h}$,额定充放电功率为 100 kW 。换电站为 10 辆电动汽车提供换电服务,所有电动汽车的容量为 $1.5 \text{ MW} \cdot \text{h}$,换电站每天为电动汽车提供 3 次换电服务,具体信息见表 1。

表1 电动汽车充放储一体化充换电站内电池更换信息

Table 1 Exchange information of batteries in EV charging-discharging-storage integrated station

换电次数	换电时间	电动汽车总电量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)	
		更换前	更换后
第 1 次	05:00—06:00	0.6	1.5
第 2 次	12:00—13:00	0.6	1.5
第 3 次	17:00—18:00	0.6	1.5

根据提出的一体化充换电站能量流动控制策略,结合某地区的负荷曲线进行仿真分析,结果如图 4 所示。

图 4(a)为该地区 24 h 电网负荷曲线;图 4(b)为电动汽车车载电池能量水平,该部分能量在电动

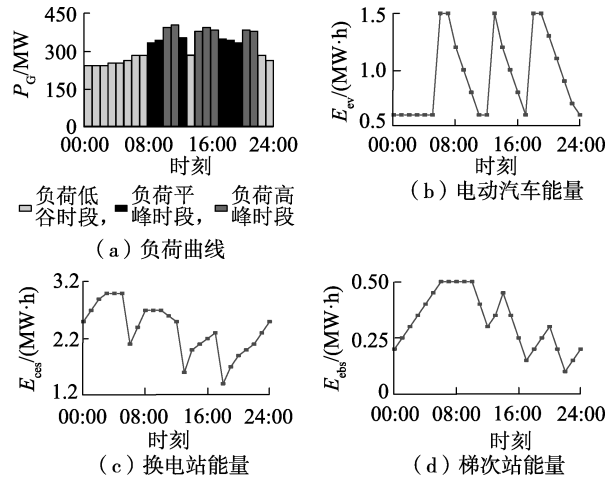


图4 基于充放电控制策略的电动汽车充放储一体化充换电站运行结果

Fig.4 Operation results of EV charging-discharging-storage integrated station based on proposed charging/discharging control strategy

汽车行驶过程中逐渐减少,在 3 次电池更换中能量得到补充;图 4(c)和图 4(d)分别为换电站和梯次站内的能量水平。换电站、梯次站和电网这 3 个系统不断进行能量交换,如表 2 所示。表中,充放电功率为正值表示充电功率,为负值表示放电功率。

表2 换电站和梯次站的充放电功率和能量流向

Table 2 Charging/discharging power and energy flow of battery swap station and battery echelon station

时间段	充放电功率/kW		能量流向
	换电站	梯次站	
00:00—02:00	200	50	电网→换电站,梯次站
02:00—03:00	100	50	电网→换电站,梯次站
03:00—06:00	0	50	电网→梯次站
06:00—08:00	300	0	电网→换电站
08:00—10:00	0	0	—
10:00—12:00	-100	-100	换电站,梯次站→电网
12:00—13:00	0	50	电网→梯次站
13:00—14:00	400	100	电网→换电站,梯次站
14:00—17:00	100	-100	梯次站→换电站
17:00—18:00	0	50	电网→梯次站
18:00—19:00	300	50	电网→换电站,梯次站
19:00—20:00	200	50	电网→换电站,梯次站
20:00—22:00	100	-100	梯次站→换电站
22:00—24:00	200	50	电网→换电站,梯次站

由表 2 可见,换电站主要从电网吸收能量,仅在 10:00—12:00 时间段,电网处于负荷高峰期,换电站在自身能量允许的情况下,向电网输送能量。另外,在 14:00—17:00 时间段,电网处于负荷高峰期,为了满足换电站内的能量需求,由梯次站直接向换电站充电,最大限度地保障一体化充换电站的优化合理运行。梯次站则根据电网需求,在负荷高峰期向电网放电,在负荷低谷期从电网充电,考虑到电网负荷低谷期时间较长,为了保证电池的使用寿命,采取

低功率充电。

换电站内电池组平均分为 6 个部分,每部分总电量为 $0.5 \text{ MW} \cdot \text{h}$,对各组电池进行合理充放电,得到与图 4(c) 对应的一个周期内各部分电池组的电量变化过程,如图 5 所示。

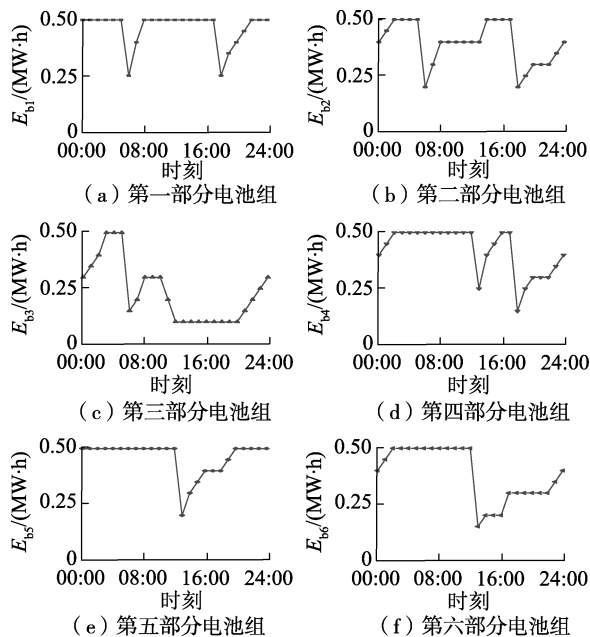


图 5 基于充放电控制策略的换电站内电池组能量

Fig.5 Energy of battery packs in battery swap station based on proposed charging/discharging control strategy

梯次站内的电池组分为 4 个部分,各部分的电量信息如表 3 所示。

表 3 梯次站内的电池组信息

Table 3 Information of battery packs in battery echelon station

组别	满电容量	SOC _[F] _{EBS}	SOC _[N] _{EBS}
第一部分	0.16	0.14	0.03
第二部分	0.12	0.11	0.02
第三部分	0.12	0.11	0.02
第四部分	0.10	0.08	0.01

根据表 3 所示梯次站内 4 个部分电池组的能量信息,对各组电池进行合理充放电,得到与图 4(d) 对应的一个周期内各部分电池组的电量变化过程,如图 6 所示。

上述运行结果表明:负荷高峰时,若换电站和梯次站能量充足,则均向电网放电,如 10:00—12:00,若换电站内能量不足,则由梯次站直接向换电站放电,如 14:00—17:00;负荷低谷时,为了保证换电站内满电电池的保有量,电网优先向换电站充电,如 22:00—24:00 和 00:00—06:00,电网以较大功率向换电站充电,以低功率向梯次站充电。另外,换电站和梯次站内电池组在大部分周期内都以较小功率充电,如 00:00—06:00 时间段内,换电站先以半功

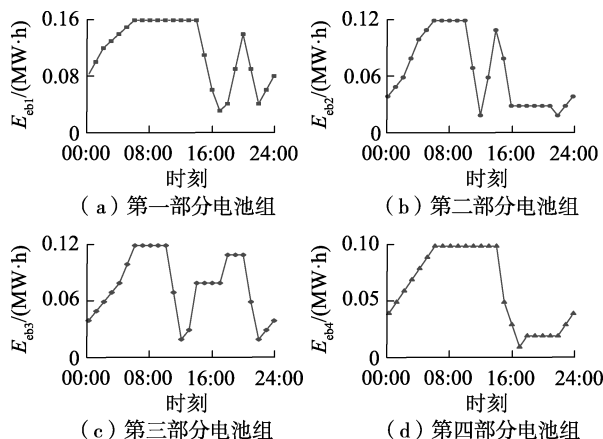


图 6 基于充放电控制策略的梯次站内电池组能量

Fig.6 Energy of battery packs in battery echelon station based on proposed charging/discharging control strategy

率方式充电,在保证电池更换的基础上,以 100 kW 的低功率充电,梯次站则一直以 50 kW 的低功率充电,从而保证了电池组的使用寿命。

4 结论

一体化充换电站作为区域性有源电站,通过合理的充放电计划,既可以保证满电电池组的保有量,满足换电负荷需求,又可以对电网起到削峰填谷的作用。本文结合换电站和梯次站内的电池组特点,考虑换电站内满电电池组保有量的需求、电网的负荷水平以及电池组的使用寿命,提出了一种合理的充放电控制策略。算例分析表明该充放电控制策略既能满足电动汽车换电负荷需求,又能为电网提供削峰填谷的作用,同时,最大限度地以小电流方式对电池组浅充浅放,保证了电池组的使用寿命。

参考文献:

- [1] SU Wencong, RAHIMI-EICHI H, ZENG Wente, et al. A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 1-10.
- [2] HADLEY S W, TSVETKOVA A A. Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on regional power generation [J]. Electricity Journal, 2009, 22(10): 56-68.
- [3] CLEMENT-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1): 371-380.
- [4] VERZIJLBERGH R A, GROND M O W, LUKSZO Z, et al. Network impacts and cost savings of controlled EV charging [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(3): 1203-1212.
- [5] 吴春阳, 黎灿兵, 杜力, 等. 电动汽车充电设施规划方法 [J]. 电力系统自动化, 2010, 34(24): 36-39.
WU Chunyang, LI Canbing, DU Li, et al. A method for electric vehicle charging infrastructure planning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(24): 36-39.
- [6] 李惠玲, 白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 38-43.

- LI Huiling, BAI Xiaomin. Impacts of electric vehicles charging on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17):38-43.
- [7] 王建, 吴奎华, 刘志珍, 等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8):47-52.
- WANG Jian, WU Kuihua, LIU Zhizhen, et al. Impact of electric vehicle charging on distribution network load and coordinated control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8):47-52.
- [8] AFFANNI A, BELLINI A, FRANCESCHINI G, et al. Battery choice and management for new-generation electric vehicles[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(5):1343-1349.
- [9] YAN J, XU G, QIAN H, et al. Robust state of charge estimation for hybrid electric vehicles: framework and algorithms[J]. Energies, 2010, 3(10):1654-1672.
- [10] SIKHA G, POPOV B N, WHITE R E. Effect of porosity on the capacity fade of a lithiumion battery-theory[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2004, 151(7):1104-1114.
- [11] EBBESEN S, ELBERT P, GUZZELLA L. Battery state-of-health perceptive energy management for hybrid electric vehicles[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(7):2893-2900.
- [12] CLEMENT-NYNS K, HAESEN E, DRIESEN J. The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid[J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(1):185-192.
- [13] GALUS M D, ZIMA M, ANDERSSON G. On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures[J]. Energy Policy, 2010, 38(11):6736-6745.
- [14] 刘伟佳, 文福拴, 薛禹胜, 等. 电动汽车参与电力系统优化调度的谈判策略[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(17):192-200.
- LIU Weijia, WEN Fushuan, XUE Yusheng, et al. Negotiation strategies for participation of electric vehicles in power system optimal dispatching[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(17):192-200.
- [15] XIE D, CHU H, GU C, et al. A novel dispatching control strategy for EVs intelligent integrated stations[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2017, 8(2):802-811.
- [16] XIE D, CHU H, LU Y, et al. The concept of EV's intelligent integrated station and its energy flow[J]. Energies, 2015, 8(5):4188-4215.
- [17] 楚皓翔, 解大, 娄宇成, 等. 基于信息融合的智能一体化电站新型并网控制策略[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(6):37-43.
- CHU Haoxiang, XIE Da, LOU Yucheng, et al. Grid-connection control based on information fusion for intelligent integrated power station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(6):37-43.
- [18] 楚皓翔, 解大, 娄宇成, 等. 电动汽车智能充放储一体化电站无功电压调控策略[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(11):48-54.
- CHU Haoxiang, XIE Da, LOU Yucheng, et al. Strategy of reactive power and voltage control for integrated EV station of intelligent charging, discharging and storage[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(11):48-54.

作者简介:



楚皓翔

楚皓翔(1990—),男,河南商丘人,硕士,研究方向为电力系统继电保护(E-mail: chhx1990@126.com);

解大(1969—),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,研究方向为电力系统分析、灵活交流输电设备、新能源。

Charging/discharging control strategy of EV charging-discharging-storage integrated station considering operational status of power grid

CHU Haoxiang¹, XIE Da²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China; 2. Department of Electrical Engineering, School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: As a regional active power station, the EV charging-discharging-storage integrated station can offer peak load shifting for power grid by reasonable charging/discharging control strategy. According to the energy flow information between the integrated station and power grid and the state of power grid, considering the energy storage level of battery swap station and battery echelon station, the energy flow among battery swap station, battery echelon station and power grid can be controlled and dispatched reasonably. The battery packs in battery swap station and battery echelon station are departed into several parts. Considering the load level of power grid, a novel charging/discharging control strategy of battery packs is proposed to offer value-added services for power grid while satisfying the quantity of battery packs with full charge in battery swap station. The charging/discharging power of battery packs in a period of time is arranged in the proposed charging/discharging control strategy, considering the lifetime of batteries. Analysis results of example show that, the integrated station can offer the service of peak load shifting for power grid while ensuring the service life of battery packs and satisfying their good operational status.

Key words: electric vehicles; charging-discharging-storage integrated station; charging and discharging control; energy flow; loading level; peak load shifting; operational status