

# 考虑削峰填谷激励的电动汽车集中充放电策略

王 豪<sup>1,2</sup>, 刘俊勇<sup>1,2</sup>, 刘友波<sup>1,2</sup>

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065)

**摘要:** 电动汽车的快速接入技术(V2G)实现了交通系统与电网的灵活连接,为了对插电式混合动力汽车(PHEV)充放电进行更好的控制,提出了PHEV集中充放电策略并制定算法,通过对峰值时段的削峰能力和低谷时段消纳能力的激励,实现平抑负荷峰谷差的目标,优化系统供电效率。根据某地区预测数据进行算例仿真,结果表明,所设计的PHEV集中充放电机制与策略可以有效降低峰谷差,有望实现系统侧与用户侧的双赢。

**关键词:** 电动汽车; 电动汽车入网; 集中充放电策略; 削峰填谷

**Abstract:** The vehicle to grid (V2G) mode achieves a linkage from transportation system to power system. In order to control the charging and discharging of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) well, the centralized charging and discharging strategy of PHEV is presented via the incentive measures of valley and peak utilization. This strategy can shift the load and make power system more efficient. Finally, a simulation based on the prediction data of an area shows that the proposed centralized charging and discharging strategy can lower the peak-valley difference and the cost of users, which will achieve a win-win result between the system and the user.

**Key words:** electric vehicle; vehicle to grid (V2G); centralized charging and discharging strategy; valley and peak utilization  
中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)03-0001-04

## 0 引言

汽车是现代社会的交通工具,然而传统燃油汽车在使用过程中产生了大量的废气,且燃油的使用对不可再生资源有很强的依赖性。随着科学技术的持续进步和环保意识的不断提高,插电式电动汽车(plug-in electric vehicle, PEV)已经成为了汽车发展的主要方向之一。在日本、北美以及欧洲地区可入网电动汽车已经初具规模。与传统燃油汽车相比,电动汽车具有环保、节约一次能源消耗的优势,同时电动汽车的使用可以大幅降低CO<sub>2</sub>的排放,有利于缓解温室效应。插电式混合动力电动汽车(plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)作为PEV的主要类型之一,是一种结合内燃机和电动机2种类型驱动的新型汽车,下述研究主要以PHEV为对象进行。

可入网混合动力电动汽车可以被当做储能装置使用。国内外的研究工作表明大部分的电动汽车在1天中的96%的时间里是被闲置的<sup>[1]</sup>。通过电动汽车接入网络技术(vehicle to grid, V2G<sup>[2]</sup>),这些闲置的电动汽车在用电高峰期可以将电能放到电网中,缓解高峰期的供电压力。

文献[3]介绍了电动汽车电力系统的影响,并评述了现有文献中提到的电动汽车调度和控制方法。文献[4]指出PHEV接入电网后,会对电网负荷曲线产生巨大的影响。文献[5-7]介绍了V2G技术概念及PHEV对环境改善等方面带来的影响预测。文献[8]建立了计及V2G功能的电动汽车的经济调度模型。文献[9]提出了在电力市场环境下的电动汽车调度方法,通过选择电价较低的时段充电和向系统提供调频备用以最小化调度汽车的充电成本。文献[10]建立了一个以丹麦电力市场为背景的电动汽车最优调度方法,最小化大量电动汽车的运行成本。文献[11]提出了基于实时电价的智能用电系统框架。文献[12]提出了基于需求侧响应思想的插电式混合动力电动汽车集中充电机制,并分析了此机制下的经济收益,文献[13]以降低网损为目标,提出了电动汽车充电策略。

在实时电价市场框架下,以最小化负荷峰谷差为目标,创新地考虑了PHEV集中放电的情况,充电

策略与文献[12]类似,在此基础上提出实时电价下的PHEV用户集中充放电策略,通过实际算例分析说明了所建模型的正确性与有效性。

### 1 可入网混合电动汽车集中充放电机制

PHEV实现了车辆到电网的连接,可以利用夜间低价电力来充电。研究表明,大多数PHEV用户的充电时间在没有外界激励的情况下,会选择在下班到家后的2小时内立即充电,这叫做PHEV自主充电模式。如果PHEV负荷过于集中,导致峰值过大,严重时还会导致负荷畸变,使电网运行存在安全隐患。对于PHEV放电模式,如果不加引导,也不能达到缓解高峰期供电压力的效果。

因此,提出了由供电侧和PHEV用户侧共同参与的集中充放电机制。通过集中调度PHEV用户充放电,来达到缓解电网压力、平滑负荷曲线的目的。

为了实现所设计的集中充放电机制,作出以下假设。

1) 参与集中充放电协议的PHEV用户,在结束每天的出行之后即刻接入电网,一天只充电放电各一次。

2) 对于加入协议的PHEV用户,供电公司保证在规定时间内完成充电,不影响用户白天的使用。

3) 对于参与到集中充放电协议的用户,必须保证有剩余电量供集中放电使用,定义剩余50%电量,充电结束后保证有90%以上的电量。即初始,充电结束后保证有90%以上的电量。即初始SOC<sub>1</sub> ≥ 50%,充电结束后SOC<sub>2</sub> ≥ 90%。

4) 为了不影响电池的寿命,供电公司保证连续充电以及连续放电。

## 2 数学模型

### 2.1 目标函数

集中充放电机制的主要目标是降低负荷的峰谷差以及最大限度地降低由于部分电动汽车的自主充电导致的峰值增加,因此可以将目标函数定义为峰谷差。定义时间段T<sub>A</sub> ~ T<sub>B</sub>内,对PHEV进行集中充放电,目标函数如下。

$$\min(L_{\max} - L_{\min}) \quad (1)$$

进一步可写为

• 2 •

$$\min(\max(L_i + \Delta L_1) - \min(L_i + \Delta L_1)) \quad (2)$$

$$\Delta L_1 = \sum_{j=1}^n P_{j1} X_{ij} - \sum_{j=1}^m P_{j2} Y_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{T_B} X_{kj} = T_{j1} \quad (4)$$

$$\sum_{k=i}^{T_B} Y_{kj} = T_{j2} \quad (5)$$

式中  $i \in [T_A, T_B]$ ;  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  表示日最大和最小负荷值;  $L_i$  为  $i$  时段的负荷预测值;  $P_{j1}$  为第  $j$  辆 PHEV 的充电功率;  $P_{j2}$  表示第  $j$  辆 PHEV 的放电功率;  $n$  为  $i$  时段参与协议下的待充电 PHEV 集合;  $m$  为  $i$  时段参与协议下的放电 PHEV 集合;  $X_{ij}$  和  $Y_{ij}$  是 0-1 决策变量,分别表示第  $j$  辆 PHEV 在时段  $i$  是否充电或者放电,0 表示未充电或者放电,1 表示在充电或者放电;  $T_{j1}$  表示第  $j$  辆 PHEV 充电时长;  $T_{j2}$  表示第  $j$  辆 PHEV 放电时长。

### 2.2 约束条件

$$\prod_{i=T_{i1}}^{T_{s1}} X_{ij} = 1 \quad (6)$$

$$\prod_{i=T_{i2}}^{T_{s2}} Y_{ij} = 1 \quad (7)$$

$$T_{i1} \geq T_A, T_{i2} \geq T_A \quad (8)$$

$$T_{i1} + T_{j1} - 1 \leq T_B, T_{i2} + T_{j2} - 1 \leq T_B \quad (9)$$

$$SOC_1 \geq 50\%, SOC_2 \geq 90\% \quad (10)$$

$T_{i1}$  表示充电开始时间;  $T_{s1}$  表示充电结束时间;  $T_{i2}$  表示放电开始时间;  $T_{s2}$  表示放电结束时间。式(6)和式(7)表示PHEV充电和放电都是连续的,式(8)表示PHEV的初始调度时间不超过研究时段的上限,式(9)表示PHEV的充电放电结束时间不超过研究时段的下限。

## 3 算法步骤

所提算法的总体思路是在研究时段内,以参与调度的每辆PHEV为单位,分别寻找负荷高峰时插入放电,负荷低谷时段插入充电,具体算法流程如图1所示。

步骤1: 确定安排集中充放电的研究时段  $i$  ( $i \in [T_A, T_B]$ ), 读取该时段的负荷信息  $L_i$ 。

步骤2: 读取在  $i$  时段能够调度放电的 PHEV 集合  $m$ , 将第  $j$  ( $j \in m$ ) 辆 PHEV 安排在研究时段内负荷预测曲线峰值时段放电,并根据电池类型,初始 SOC 确定放电时长,形成新的负荷曲线,如果第  $j$  辆 PHEV 在负荷曲线峰值时段以后,则  $Y_{ij}$  为 0。

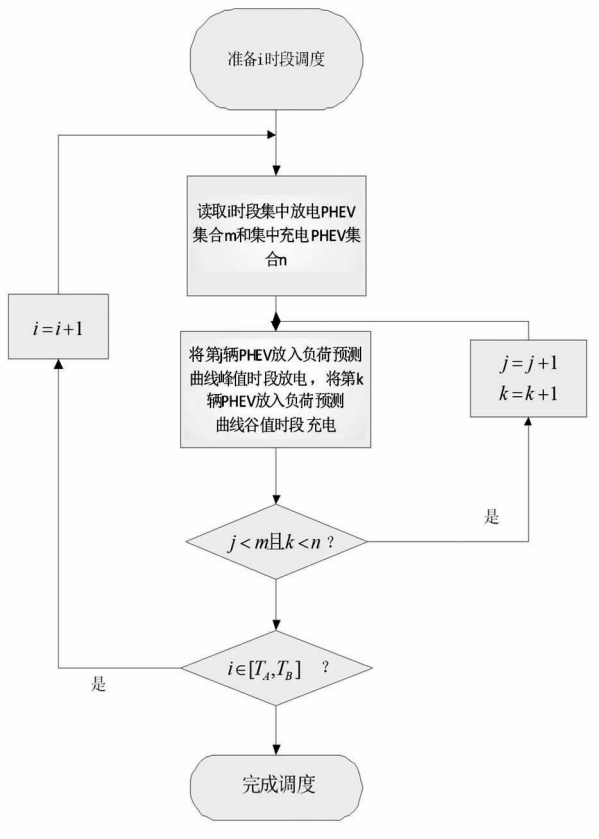


图1 算法流程

步骤3: 读取在  $i$  时段需要充电的 PHEV 集合  $n$  将第  $k$  ( $k \in n$ ) 辆 PHEV 安排在研究时段内负荷预测曲线谷值时段充电, 并根据电池类型, 初始 SOC 确定充电时长, 形成新的负荷曲线, 如果第  $k$  辆 PHEV 在负荷预测曲线谷值时段以后, 则  $X_{ij}$  为 0。

步骤4: 重复步骤2和3直到该时段下的 PHEV 全部调度完毕。

在完成时段的调度后, 进行下一个时段的调度, 最终可以得到优化负荷曲线。

## 4 算例及结果分析

### 4.1 算例数据

(1) 由于夜晚大多数汽车处于未使用状态, 所以取研究时段为 18:00 到次日 06:00,  $T_A = 18$ ,  $T_B = 6$ 。

(2) 该地区中 PHEV 用户共 376 450 辆, 60% 加入集中充放电协议共 225 870 辆。

(3) 由于 PHEV 用户电池类型不一样, 将其分为 3 个类型  $8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,  $6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,  $4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 根据统计, 各类型的 PHEV 分别为 25%, 50%, 25%, 放电功率为和充电功率都  $2 \text{ kW}$ 。

(4) 据美国交通部的调查统计显示一天中有 86% 的家用车辆被使用<sup>[14]</sup>, 且被使用车辆最后一次出行结束时间分布如图 2 所示。

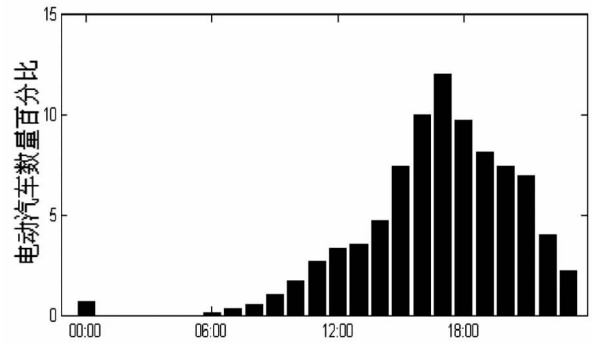


图2 最后一次出行结束时间

由于各时段加入集中充电的 PHEV 用户数量不同, 按照图 2 中所示比例, 各时段的加入集中充电的 PHEV 数量如表 1。

表1 各个时段加入集中充放电 PHEV 数量

时段	集中充放电 PHEV 用户
18:00	135 522
19:00	23 137
20:00	20 708
21:00	16 010
22:00	11 393
23:00	9 134
24:00	6 876
01:00	1 129
02:00	351
03:00	266
04:00	172
05:00	152
06:00	1 020
合计	225 870

(5) 以美国纽约长岛地区 2010 年 1 月 1 日的实时数据为例, 研究时段为 18:00 ~ 06:00, 各时段价格为 (62.2, 68.1, 70.5, 71.5, 71.1, 63.4, 58.8, 62.7, 39.8, 44.7, 53.1, 65.3, 57.8), 单位美元/MW, 则  $c_{\min} = 3.8$ ,  $c_{\max} = 71.5$ 。

### 4.2 算例结果分析

根据调查结果<sup>[14]</sup>, 有 65% 的电动汽车在 18:00 ~ 22:00 接入电网开始充电, 若采用自主充电模式, 电动汽车充电对负荷曲线的影响如图 3 所示。从图中可以看出, 在峰值时段, 采用自主充电模式会拉高负荷曲线峰值, 给系统造成安全隐患, 在谷值时段, 负荷改变不大, 达不到削峰填谷的效果。

采用所提出的 PHEV 集中充放电策略后,结果如图 4 所示, PHEV 集中充放电模式下,在峰谷阶段, PHEV 集中放电会降低负荷峰值,在低谷阶段, PHEV 集中充电会提高负荷谷值,达到了削峰填谷的预期效果。

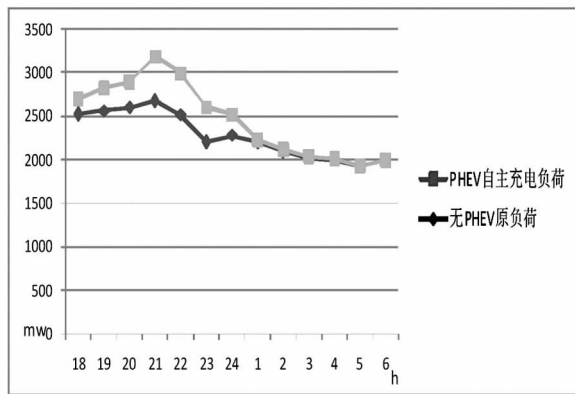


图3 自主充电模式下的负荷曲线

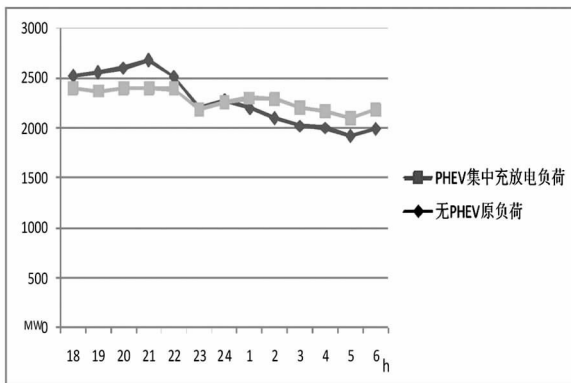


图4 集中充放电模式下的负荷曲线

### 5 结 语

分析了大量 PHEV 自主充电可能给负荷曲线带来的负面影响,以实时电价为背景建立 PHEV 集中充放电的数学模型,仿真结果表明该策略能降低峰谷差。

#### 参考文献

[1] Kempton W, Letendre S. Electric Vehicles as A New Power Source for Electric Utilities [J]. Transportation Research, 1977, 2(3): 157 - 175.

[2] Kempton W, Tomic J. Vehicle - to - grid Power Implementation: from Stabilizing the Grid to Supporting Large Scale Renewable Energy [J]. Power Sources, 2005, 144(1): 280 - 294.

[3] 赵俊华, 文福拴, 杨爱民, 等. 电动汽车对电力系统的影响及其调度与控制问题 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(14): 2 - 11.

[4] Schneider K, Gerkenmeyer C, Kinter M, et al. Impac-

tAssessment of Plug - in hybrid Vehicles on Pacific Northwest Distribution System [C]. Proceedings of 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21<sup>st</sup> Century, USA, 2008.

[5] Kempton W, Tomic J. Vehicle - to - grid Power Fundamentals: calculating Capacity and Net Revenue [J]. Power Sources, 2005, 144(1): 268 - 279.

[6] Hal T, Filipe M. Vehicle - to - grid Systems for Sustainable Development: An Integrated Energy Analysis [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2008, 75(8): 1091 - 1108.

[7] Benjamin K, Richard H. Beyond Batteries: An Examination of the Benefits and Barriers to Plug - in Hybrid Electric Vehicles ( PHEV ) and a Vehicle - to - grid ( V2G ) Transition [J]. Energy Policy, 2009, 37(3): 1095 - 1103.

[8] Saber Y, Venayagamoorthy G. Intelligent Unit Commitment with Vehicle - to - grid: A Cost Emission Optimization [J]. Power Sources, 2010, 195(3): 898 - 911.

[9] Caramanis M, Foster J. Management of Electric Vehicle Charging to Mitigate Renewable Generation Intermittency and Distribution Network Congestion [C]. Proceedings of 48th IEEE conference on Decision and Control, China, 2009.

[10] Capion K. Optimized Charging of Electric Drive Vehicles in a Market Environment [D]. Technical University of Denmark: National Laboratory for Sustainable Energy, 2009.

[11] 殷树刚, 张宇, 拜克明. 基于实时电价的智能用电系统 [J]. 电网技术, 2009, 33(19): 22 - 28.

[12] 邹文, 吴福保, 刘志宏. 实时电价下插电式混合动力汽车智能集中充电策略 [J]. 电力系统自动化, 2011, 33(19): 62 - 67.

[13] 陈加盛, 张建华, 林建业, 等. 以降低电网损耗为目标的电动汽车充电策略 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 3(24): 139 - 144.

[14] Taylor J, Maitra A, Alexander M, et al. Evaluation of the Impact of Plug - in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations [C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Canada, 2009.

#### 作者简介:

王豪(1985),男,硕士研究生,从事电力系统稳定和电动汽车方面的研究;

刘俊勇(1963),男,博士,教授,博士生导师,主要从事电力市场、电力系统稳定与控制、电力系统可视化、智能电网等方面的研究;

刘友波(1983),男,博士,讲师,从事智能电网、电力系统脆弱性评估。

(收稿日期: 2013 - 02 - 11)