面向局域配电网的电动汽车充电控制系统

苏 粟[1],孙晓明[1],罗 敏[2],王 玮[1],姜久春[1],黄 梅[1]
(1. 北京交通大学 国家能源主动配电网技术研发中心,北京 100044;
2. 广东电网公司电力科学研究院,广东 广州 510080)

摘要:根据局域配电网的特点,建立了满足电网和电动汽车用户需求的充电控制系统模型。该系统包括充电分时电价时段划分模块、有序充电模块和用户响应评价模块。充电分时电价时段划分模块利用模糊聚类和曲线特点辨识的方法,并结合用户响应评价模块的分析结果,对充电分时电价进行了时段划分。根据时段划分的结果,有序充电模块以用户充电费用最低和尽早充电以及电网负荷曲线方差最小为目标对电动汽车进行有序充电管理。对充电控制系统进行了建模仿真,仿真结果表明:与即来即充的无序充电结果相比,该系统不仅以最低的充电费用完成用户的充电需求,而且利用电网昼夜负荷较低处充电,合理分散了用电高峰期电动汽车的充电功率。

关键词:电动汽车;分时电价;时段划分;有序充电;响应评价;配电
中图分类号:U 469.72 **文献标识码**:A DOI:10.3969/j.issn.1006-6047.2014.02.004

0 引言

工业和信息化部电动汽车 EV(Electric Vehicle)发展战略研究报告预测,2030 年全国电动汽车保有量将达到 6 000 万辆[1],电动汽车常规充电功率为 2~10 kW[2],如果 6000 万辆电动汽车以 10 kW 的充电功率和 0.7 的同时率充电,则峰值充电功率将达 0.42 TW,占 2030 年全国预计总装机容量 2.32 TW 的 18%。考虑到大量电动汽车充电行为的随机性,如果不加控制地接入电网,一方面会对负荷平衡、电源容量、电能质量等方面产生影响,不利于电网的稳定[3-6];另一方面也会增加电网建设的投入,并且导致设备利用率降低,增加电网的运营压力[5-7]。电动汽车通常在 0.4 kV 电压等级接入局域配电网,因此在每个局域配电网内对电动汽车进行合理的充电管理,不仅有利于改善局域配电网的运行特性,而且对电网的稳定经济运行也有重要研究意义[8-9]。

峰谷分时电价和负荷管理是需求侧管理中调整负荷、优化用电方式的主要经济和技术措施[10]。目前对电网峰谷分时电价时段划分的研究,主要有基于电力用户负荷曲线分布分析、基于供电成本变化分析、基于用户响应分析[11-13] 3 种方法。与前 2 种方法相比,第 3 种方法能在已实施分时电价的地区,利用用户响应合理调整时段划分结果。但针对电动汽车接入电网,划分充电分时电价的研究较少。文献[14]提出通过电价的杠杆作用引导电动汽车负荷在时间上的合理分布,以减轻给电网带来的压力,但未找到合适的峰谷电价策略。文献[15]在局域配电网实际峰谷平负荷波动出现不同于电网峰谷分时电价中峰、谷、平时段划分的情况下,提出根据局域配电网的预测负荷波动情况小范围划分电动汽车充电分时电价时段,但未给出具体的时段划分方法。有序充电是实施电动汽车负荷管理的有效方式,文献[16-18]对有序充电进行了研究,但普遍存在控制目标单一的问题,并且缺乏对用户需求的考虑。

本文根据规模化电动汽车入网后电网和用户的需求,面向局域配电网建立充电控制系统。该系统通过充电分时电价和有序充电措施管理电动汽车充电。充电分时电价在电网峰谷分时电价时段划分的基础上,结合局域配电网负荷曲线分布和电动汽车充电的特点,兼顾用户响应反馈调整充电分时电价时段划分,达到对局域配电网负荷避峰填谷、减小电网高峰负荷负担以及引导用户充电行为的目的。有序充电的控制目标为:用户充电费用最低和尽早充电,在满足用户充电需求的同时使充电费用最低;使负荷曲线方差最小以进一步平抑电网负荷波动。

1 充电控制系统概述

充电控制系统包括充电分时电价时段划分模块、有序充电模块和用户响应评价模块,系统框图见图 1。

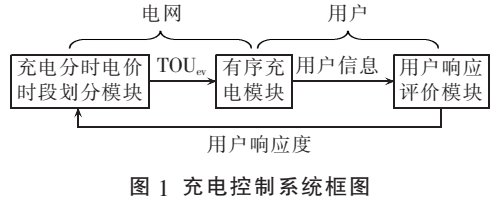

图 1 充电控制系统框图
Fig.1 Schematic diagram of charging control system

收稿日期:2013-05-24;**修回日期**:2013-12-14
基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA050211)
Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA050211)

时段划分模块形成电动汽车充电分时电价时段划分 TOU_{ev}，指导有序充电模块实现充电费用最小的目标；有序充电模块对电动汽车充电时间进行安排，实现有序充电管理，并将已充电用户或放弃充电的用户信息传递到用户响应评价模块；用户响应评价模块分析用户响应行为，并向时段划分模块反馈各时段用户响应度，以调整充电分时电价时段划分。电动汽车充电控制系统充分考虑到电网和用户之间相互影响、相互作用的关系，形成了一个闭环控制系统。

2 充电分时电价时段划分

2.1 初步划分充电分时电价时段

2.1.1 模糊聚类划分时段

利用模糊聚类方法，根据局域配电网日负荷曲线分布对电动汽车充电分时电价进行时段划分，模糊聚类分析步骤如下。

a. 标定。

设 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_i,\cdots,x_n\}$ 是局域配电网日负荷曲线的离散数据集合，本文取 $n=96$。用偏大型和偏小型半梯形模糊分布对 x_i 进行特征描述，形成 $n\times 2$ 的特征矩阵 $\boldsymbol{A}$，计算方法见式(1)。

$$\begin{cases} a_{i1}=\dfrac{x_{\max}-x_i}{x_{\max}-x_{\min}} \\ a_{i2}=\dfrac{x_i-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \end{cases} \tag{1}$$

其中，$x_{\max}=\max\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$；$x_{\min}=\min\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$。

b. 数据标准化。

根据平移-标准差变换式(2)和平移-极差变换式(3)，将特征矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的数据压缩到区间[0,1]上。

$$a'_{ik}=\frac{a_{ik}-\bar{a}_k}{s_k} \quad i=1,2,\cdots,n;k=1,2 \tag{2}$$

$$a''_{ik}=\frac{a'_{ik}-\min\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{a'_{ik}\}}{\max\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{a'_{ik}\}-\min\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{a'_{ik}\}} \quad k=1,2 \tag{3}$$

$$\bar{a}_k=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}a_{ik},\ \ s_k=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(a_{ik}-\bar{a}_k)^2}$$

c. 建立模糊相似矩阵。

本文采用绝对值减数法确定相似系数，建立模糊相似矩阵 $\boldsymbol{R}$，其元素 r_{ij} 表示对象 x_i 与 x_j 间的相似程度，称为相似系数。计算公式如下：

$$r_{ij}=\begin{cases} 1 & i=j \\ 1-c\sum\limits_{k=1}^{m}|a_{ik}-a_{jk}| & i\neq j \end{cases} \tag{4}$$

其中，$c>0$ 为常数；$r_{ij}\in[0,1]$。

d. 计算模糊等价矩阵。

本文采用传递闭包法求取模糊等价矩阵，对模糊相似矩阵 $\boldsymbol{R}$ 逐次平方（$\boldsymbol{R}^{2l}=\boldsymbol{R}^l\circ\boldsymbol{R}^l,l=1,2,\cdots,2^i,\cdots$，“∘”表示模糊矩阵合成运算），当出现 $\boldsymbol{R}^{2l}=\boldsymbol{R}^l$ 时，传递闭包阵 $\boldsymbol{t}(\boldsymbol{R})=\boldsymbol{R}^l$，即为模糊等价矩阵。然后取适当的 $\lambda\in[0,1]$，由式(5)求 λ 截矩阵 $\boldsymbol{R}_\lambda$ 便可得到动态聚类。

$$\boldsymbol{R}_\lambda=(\lambda r_{\lambda_{ij}})_{n\times n} \tag{5}$$

$$\lambda r_{\lambda_{ij}}=\begin{cases} 1 & r_{\lambda_{ij}}\geqslant\lambda \\ 0 & r_{\lambda_{ij}}<\lambda \end{cases}$$

其中，$r_{\lambda_{ij}}$ 是 $\boldsymbol{t}(\boldsymbol{R})$ 第 i 行第 j 列的元素。

本文用上述方法对局域配电网日负荷进行聚类分析，得到峰、平、谷3类负荷，并将对应时段划分为峰、平、谷电价，即得到模糊聚类电价时段划分 TOU_{fuz}。

2.1.2 曲线辨识调整时段划分

电网中各类负荷的比例不同，会形成不同的负荷曲线波动特点。识别局域配电网负荷曲线的波动特点，不仅可以给电动汽车充电提供更多的可优化时间，而且还可以避免电动汽车充电造成的峰上加峰的现象。根据人们的日常活动特点，负荷曲线常在白天出现双峰。通过对负荷曲线波动特点进行辨识，找到负荷曲线的2个峰值点。分别对两峰值点之间的时段和两峰值点外侧的时段进行调整。

为充分利用两峰之间的时段，给需要在白天充电的电动汽车充电，将 TOU_{fuz} 中两峰值点之间的时段下调一个属性，即将峰(平)时段下调为平(谷)时段。如果其属性已经为谷时段，则无需下调。

为避免电动汽车在局域配电网高峰处充电造成局域配电网峰上加峰，将 TOU_{fuz} 峰时段中两峰值点的两侧分别大于各侧峰值负荷95%的负荷称之为高峰负荷，并将此时段属性划分为高峰。

经过上述调整得到时段划分 TOU_{arr}，若无特别说明，下文提到的峰平谷时段，均为电价的峰平谷时段。

2.2 用户响应调整充电分时电价时段属性

2.2.1 计算用户响应度

根据用户响应评价模块中统计的电动汽车充电数据，由式(6)确定用户响应度 η：

$$\eta=\frac{\int_{t-1}^{t}[F_{tou}(t)-F(t)]\mathrm{d}t}{\int_{0}^{24}F(t)\mathrm{d}t} \tag{6}$$

其中，F 和 F_{tou} 分别为实行充电分时电价前、后电动汽车负荷的时间函数。$\eta>0$ 表示新的充电分时电价激励用户响应，且 η 值越大表示响应度越大；$\eta<0$ 表示新的充电分时电价不利于用户响应，且 η 值越小表示响应度越小；$\eta=0$ 表示新的充电分时电价未能改变用户的充电行为。

2.2.2 确定时段属性

将曲线辨识调整后的时段划分 TOU_{arr} 与电网峰谷分时电价时段划分 TOU_{orig} 进行比较，属性不同的时段由用户响应度 η 结果分析确定电动汽车充电

分时电价 TOU_{ev}。根据用户响应度确定时段属性的原则为避免局域配电网峰上加峰,减小电网高峰负荷负担,在此前提下激励用户响应。具体实施措施见表 1。其中,p、f、v 分别表示用户响应度 η 较大时的充电分时电价 TOU_{ev} 的峰、平、谷时段属性;(p)、(f)、(v)分别表示用户响应度 η 较小时的充电分时电价 TOU_{ev} 的峰、平、谷时段属性。

表 1 时段属性决策表

Tab.1 Decision-making of period attributes

TOU_{arr}	TOU_{orig}	TOU_{ev}	TOU_{arr}	TOU_{orig}	TOU_{ev}
高峰	峰	p	平	峰	p
	平	p		平	f
	谷	p		谷	f(v)
峰	峰	p	谷	峰	p
	平	p(f)		平	f(v)
	谷	p(v)		谷	v

2.3 充电分时电价时段划分流程

图 2 为划分充电分时电价时段的工作流程图,局域配电网常规负荷数据是指根据局域配电网历史负荷数据预测得到的除电动汽车负荷以外的负荷。

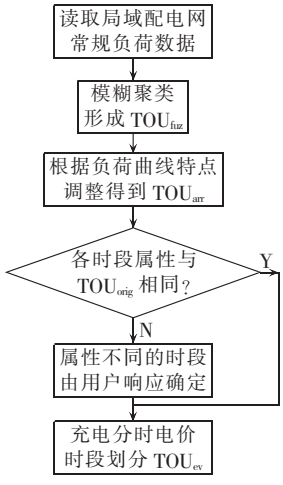

图 2 充电分时电价时段划分流程图

Fig.2 Flowchart of TOU period dividing

3 有序充电

有序充电是在电动汽车停留时间内合理地安排其充电,既满足用户的充电需求又减小对电网的不利影响。为避免因规模化电动汽车充电而造成的电网负荷曲线峰上加峰的现象,根据局域配电网的日预测负荷,计算当日允许电动汽车充电的总负荷曲线边界 $\bar{P}_{load}$。

3.1 充电控制目标

有序充电 3 级目标依次为充电费用最小、完成充电时总负荷曲线方差最小和尽早充电。采用逐级控制的方式安排电动汽车充电。

1 级控制目标:

$$\min w_i = w_p t_{pi} + w_f t_{fi} + w_v t_{vi} \tag{7}$$

2 级控制目标:

$$\min[\mathrm{sq}(P_{loadi})] \tag{8}$$

$$P_{loadi} = P^0_{loadi} + P_{evi}$$

3 级控制目标:

$$\min t_{starti} \tag{9}$$

其中,w_i 为第 i 辆电动汽车的充电费用;w_p、w_f、w_v 分别为峰、平、谷时段的充电电价;t_{pi}、t_{fi}、t_{vi} 分别为第 i 辆电动汽车在峰、平、谷时段的充电时间;P^0_{loadi}、P_{loadi} 分别为第 i 辆电动汽车充电前、后电网的总负荷;P_{evi} 为第 i 辆电动汽车的充电功率;$\mathrm{sq}(P_{loadi})$ 表示第 i 辆电动汽车充电完成后电网总负荷曲线的方差;t_{starti} 为第 i 辆电动汽车的起始充电时间。

3.2 约束条件

本文设置的约束条件是在用户停留的时间内既满足用户的充电需求,又避免造成电网负荷峰上加峰。

$$t_{pi} + t_{fi} + t_{vi} \geqslant (\mathrm{SOC}_{ei} - \mathrm{SOC}_{si})/p \tag{10}$$

$$P_{loadi} < \bar{P}_{load} \tag{11}$$

其中,p 为充电机的充电功率;SOC_{si} 和 SOC_{ei} 为第 i 辆电动汽车起始和终止充电时电池的荷电状态。

3.3 充电流程

图 3 为电动汽车有序充电的流程图。

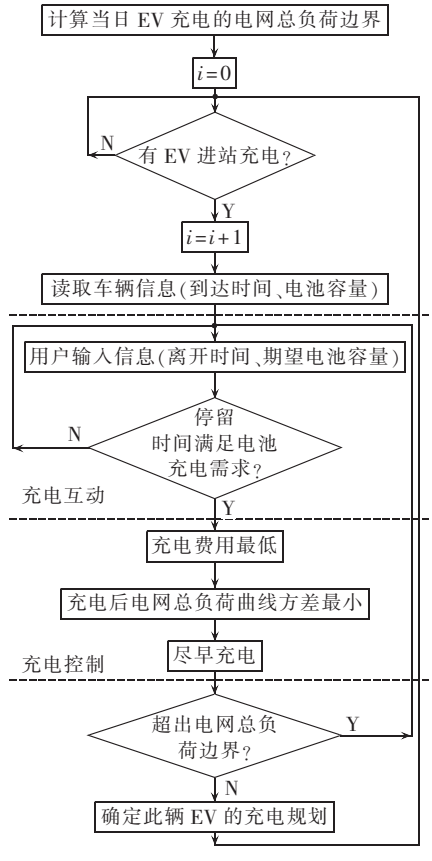

图 3 有序充电流程图

Fig.3 Flowchart of coordinated charging

电动汽车用户设置离开时间和期望电池容量,当出现以下 2 种情况时,系统告知用户重新设置信息,实现充电互动。

a. 用户设置的停留时间不满足其对电池充电容量的要求。

b. 计算过程中预计此用户充电完成后会超出电网总负荷边界 $\bar{P}_{\text{load}}$。

当出现情况 **a** 的用户拒绝重新设置信息时放弃此用户；当出现情况 **b** 的用户拒绝重新设置信息时，统计此类用户信息以便日后修正电网总负荷边界 $\bar{P}_{\text{load}}$。

4 算例

4.1 充电分时电价时段划分仿真

本文以北京市某局域配电网为例，采用96点负荷数据。表2为电网峰谷分时电价时段划分结果，其中，1~24分别指00:00—01:00、01:00—02:00、…、23:00—24:00，h代表高峰时段。可以看出 TOU_{orig} 和 TOU_{arr} 在时段{8,11,12,17,18,22,24}中存在分歧，其中，时段{11,12,18}中 TOU_{orig} 为峰、TOU_{arr} 为高峰，因此 TOU_{ev} 的对应时段应为峰时段属性；而时段{8,17,22,24}的属性则需要通过用户响应来确定。首次用户响应采用无序充电时用户行为数据，大于平均值则认为用户在此时刻响应度较大，反之则响应度较小，根据用户响应最终确定的充电分时电价时段划分 TOU_{ev}。

表2 时段划分

Tab.2 Period division

TOU	时段属性																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TOU_{orig}	v	v	v	v	v	v	v	v	p	p	p	p	f	f	f	f	f	p	p	p	p	f	f	f
TOU_{fuz}	v	v	v	v	v	v	v	f	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	f	v
TOU_{arr}	v	v	v	v	v	v	v	f	p	p	h	h	f	f	f	f	h	h	p	p	p	p	f	v
TOU_{ev}	v	v	v	v	v	v	v	f	p	p	p	p	f	f	f	f	p	p	p	p	p	p	f	v

4.2 有序充电仿真

4.2.1 参数设置

由于电动汽车还处在运营试点时期，缺乏对电动汽车行驶行为的调查统计数据。本文沿用文献[15]的仿真参数，包括电动汽车到达和离开工作区及居住区的时间概率分布、用户选择在工作区和居住区充电的比例、充电电量的概率统计等。

4.2.2 仿真结果及分析

图4为通过本文充电控制系统得到的有序充电结果与即来即充状态下无序充电的仿真结果比较，可以看出：无序充电情况下，电动汽车大多集中在白天负荷高峰时段充电，造成电网负荷峰上加峰；有序充电情况下，电动汽车负荷在夜晚低谷时段及白天两负荷高峰间的低洼时段充电，分散了电动汽车充电负荷。

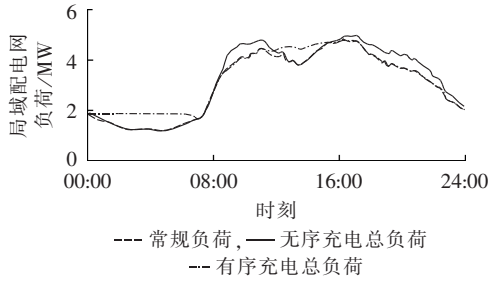

图4 有序充电及无序充电仿真结果对比

Fig.4 Comparison of simulative results between coordinated and uncoordinated charging modes

仿真结果表明，相比无序充电，充电控制系统可以有效地实现移峰填谷，提高负荷率，并平抑了电网负荷波动。

4.3 用户响应

图5为在满足用户需求的前提下，有序充电引导后的用户响应度 η，可以看出：在00:15—07:00及12:15—15:30时段响应度 $\eta>0$；在07:00—08:30时段响应度 η 几乎为0；其他时段响应度 $\eta<0$。

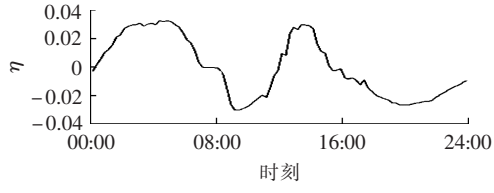

图5 用户响应结果

Fig.5 User response

根据以上仿真结果，结合表2可以看出：在充电电价较低的时段用户响应较大，而充电费用较高的时段用户响应减少，不仅满足了用户的需求而且为用户节省了充电费用；在电网峰谷分时电价谷时段和平时段用户响应大，在峰时段用户响应小，缓解了电网高峰负荷压力。

另外，8和24时段用户响应较小，可调整为谷时段属性；17和22时段的 TOU_{orig} 的时段属性都为平，TOU_{arr} 的时段属性都为峰，按照避免峰上加峰的原则，17时段属性可定为峰，22时段属性可定为平，调整充电分时电价时段划分结果，以引导用户积极响应。

5 结语

本文建立了由充电分时电价指导、有序充电控制、用户响应反馈的充电控制系统模型，在电动汽车可停留的时间内优化其充电时间。充电分时电价时

段划分在电网峰谷分时电价时段划分的基础上,首先根据负荷曲线波动特点,利用模糊聚类方法和曲线特点辨识,确定需要调整属性的时段;然后根据用户响应评价结果分析确定需调整时段的属性。在充电分时电价的指导下,有序充电根据由充电费用最低、负荷曲线方差最小、尽早实施充电组成的逐级控制的 3 级目标管理电动汽车充电。仿真结果表明:在用户侧,在充电互动过程满足用户充电需求的基础上,为用户节省了充电费用;在电网侧,通过管理电动汽车充电,避开了局域配电网负荷高峰,在其昼夜负荷较低处安排电动汽车充电,平抑了负荷波动。本文所建立的充电控制系统减少了在电网峰谷分时电价峰时段充电的负荷,缓解了电网负荷高峰期压力。

参考文献:

[1] 张文亮,武斌,李武峰,等. 我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨[J]. 电网技术,2009,33(4):1-5.
ZHANG Wenliang,WU Bin,LI Wufeng,et al. Discussion on development trend of battery electric vehicles in China and energy supply mode[J]. Power System Technology,2009,33(4):1-5.

[2] 李昊扬. 基于需求侧响应的电动汽车有序充电研究[D]. 天津:天津大学,2012.
LI Haoyang. Electric vehicle ordered charging based on the demand side response[D]. Tianjin:Tianjin University,2012.

[3] 苗轶群,江全元,曹一家,等. 考虑电动汽车随机接入的微网优化调度[J]. 电力自动化设备,2013,33(12):1-7.
MIAO Yiqun,JIANG Quanyuan,CAO Yijia,et al. Optimal microgrid dispatch considering stochastic integration of electric vehicles[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(12):1-7.

[4] 马玲玲,杨军,付聪,等. 电动汽车充放电对电网影响研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(3):140-148.
MA Lingling,YANG Jun,FU Cong,et al. Review on impact of electric car charging and discharging on power grid[J]. Power System Protection and Control,2013,41(3):140-148.

[5] 陈良亮,张浩,倪峰,等. 电动汽车能源供给设施建设现状与发展探讨[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):11-17.
CHEN Liangliang,ZHANG Hao,NI Feng,et al. Present situation and development trend for construction of electric vehicle energy supply infrastructure[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):11-17.

[6] 高赐威,张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. 电网技术,2011,35(2):127-131.
GAO Ciwei,ZHANG Liang. A survey of influence of electric vehicle charging on power grid[J]. Power System Technology,2011,35(2):127-131.

[7] 刘晓飞,张千帆,崔淑梅. 电动汽车 V2G 技术综述[J]. 电工技术学报,2012,27(2):121-127.
LIU Xiaofei,ZHANG Qianfan,CUI Shumei. Review of electric vehicle V2G technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(2):121-127.

[8] 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.

[9] 黄镣. 电动汽车有序充电研究[D]. 天津:天津大学,2011.
HUANG Liu. Research on electric vehicle ordered charging[D]. Tianjin:Tianjin University,2011.

[10] 周昭茂. 电力需求侧管理技术支持系统[M]. 北京:中国电力出版社,2007:2.

[11] 丁宁,吴军基,邹云. 基于 DSM 的峰谷时段划分及分时电价研究[J]. 电力系统自动化,2001,25(23):9-12,16.
DING Ning,WU Junji,ZOU Yun. Research of peak and valley time period partition approach and TOU price on DSM[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(23):9-12,16.

[12] 林旻,朱艳卉,胡百林. 基于供电成本的峰谷时段划分及分时电价研究[J]. 华东电力,2005,33(12):90-91.
LIN Min,ZHU Yanhui,HU Bailin. Peak and valley periods division and time-of-use price based on power generation cost [J]. East China Electric Power,2005,33(12):90-91.

[13] 程瑜,翟娜娜. 基于用户响应的分时电价时段划分[J]. 电力系统自动化,2012,36(9):42-46,53.
CHENG Yu,ZHAI Nana. Electricity price peak and valley periods division based on customer response[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(9):42-46,53.

[14] 曾正,赵荣祥,杨欢,等. 电动汽车高渗透率的应对策略及换电站的最优规划[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):7-13.
ZENG Zheng,ZHAO Rongxiang,YANG Huan,et al. Responsive schemes to high penetration of electric vehicles and optimal planning of battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(9):7-13.

[15] 孙晓明,王玮,苏粟,等. 基于分时电价的电动汽车有序充电控制策略设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(1):191-195.
SUN Xiaoming,WANG Wei,SU Su,et al. Coordinated charging strategy for electric vehicles based on time-of-use price [J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(1):191-195.

[16] 何明杰,彭春华,曹文辉,等. 考虑电动汽车规模化入网的动态经济调度[J]. 电力自动化设备,2013,33(9):82-88.
HE Mingjie,PENG Chunhua,CAO Wenhui,et al. Dynamic economic dispatch considering large-scale integration of electric vehicles[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(9):82-88.

[17] 占恺峤,宋永华,胡泽春,等. 以降损为目标的电动汽车有序充电优化[J]. 中国电机工程学报,2012,32(31):11-18.
ZHAN Kaiqiao,SONG Yonghua,HU Zechun,et al. Coordination of electric vehicle charging to minimize active power losses[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(31):11-18.

[18] 黄润,周鑫,严正,等. 计及电动汽车不确定性的有序充电调度策略[J]. 现代电力,2012,29(3):57-63.
HUANG Run,ZHOU Xin,YAN Zheng,et al. The controlled charging dispatch strategy by considering of the uncertainty of electric vehicles[J]. Modern Electric Power,2012,29(3):57-63.

作者简介:

苏　粟

苏　粟(1981–),女,北京人,副教授,研究方向电力系统稳定性分析、电动汽车对配电网的影响分析等;

孙晓明(1989–),女,山东临沂人,硕士研究生,通讯作者,研究方向为智能配电网中电动汽车有序充放电优化控制及其对电力系统影响的分析(**E-mail**:11121661@bjtu.edu.cn)。

(下转第 29 页 continued on page 29)

Charging load calculation considering TOU for electric vehicles

ZHANG Zhenfu, HUANG Xiaoqing, CAO Yijia, XIAO Bo, YANG Hang
(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A method of EV(Electric Vehicle) charging load calculation considering TOU(Time Of Use) is proposed to coordinate the charging of EVs, which divides the battery charging process into five phases, calculates, with the consideration of TOU, the probability of each battery charging phase in each period for an EV according to the probability distribution of trip terminating time and daily travel distance, calculates the expectation of charging load of an EV for different periods according to the battery charging power of different phases, and calculates the charging load distribution of total EVs by the central limit theory. Simulative results show that, the charging loads are concentrated in valley period because of TOU, which reduces the adverse affect on grid. Compared with Monte Carlo simulation method, the proposed method has higher efficiency and same results.

Key words: electric vehicles; charging load calculation; electric batteries; TOU

(上接第 23 页 continued from page 23)

Charging control system of electric vehicles orientating to local distribution network

SU Su[1], SUN Xiaoming[1], LUO Min[2], WANG Wei[1], JIANG Jiuchun[1], HUANG Mei[1]
(1. National Active Distribution Network Technology Research Center, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China)

Abstract: A charging control system model is developed based on the characteristics of local distribution network to meet the demands of both power grid and EV(Electric Vehicle) user, which includes three modules: TOU(Time-Of-Use) charging period division module, coordinated charging module and user response evaluation module. Combined with the results of user response evaluation module, the period division module applies the methods of fuzzy cluster and curve feature identification to divide the periods of TOU charging price, based on which, the coordinated charging module manages EV charging with three control objectives: minimum customer charging fee, minimum load curve variance and earliest charging service. Simulative results indicate that, compared with the uncoordinated charging management, users' charging demand is met with the minimum charging fee and the EV charging load is reasonably shifted from daily load peak period to valley period.

Key words: electric vehicles; time-of-use price; period division; coordinated charging; response evaluation; electric power distribution