

考虑分时电价的电动汽车充电负荷计算

张振夫,黄小庆,曹一家,肖波,杨 奔

(湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要: 为了利用分时电价实现电动汽车的有序充电,提出了一种考虑分时电价的充电负荷计算方法。将电池充电过程划分为5个阶段,考虑行程结束时间与每日行驶里程的概率分布,计算了考虑分时电价后全天各时段内一辆电动汽车处于电池各充电阶段的概率,结合电池各充电阶段的充电功率,得到每个时段内一辆电动汽车的充电负荷期望值,根据中心极限定理计算了所有车辆充电负荷的分布情况。仿真结果表明,考虑分时电价后,充电负荷集中于谷时段,降低了对电网的不利影响。与蒙特卡洛模拟方法相比,该方法计算效率更高,计算结果基本相同。

关键词: 电动汽车; 充电负荷计算; 电池; 分时电价

中图分类号: U 469.72; TM 912.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.02.005

0 引言

为了解决目前人类社会面临的严重环境和资源问题,国家正大力推动电动汽车的商业化运营^[1],预计到2020年我国电动汽车保有量将达到500万台^[2]。电动汽车大规模入网将对电网造成较大影响,如影响电网网损及电压水平^[3-4]、增大负荷峰谷差^[5-7]、减少设备寿命^[8]、有利于分布式能源优化运行^[9-11]等。

分时电价能够引导电动汽车有序充电,降低电动汽车充电对电网的不利影响^[12],而准确计算考虑分时电价的充电负荷分布是制定合理分时电价制度的基础。目前,电动汽车充电负荷计算方法可分为2类:一类针对每辆电动汽车,采用蒙特卡洛模拟方法,反复抽取代表用户用车习惯的随机数,计算电动汽车充电负荷^[13-15],但该方法计算效率较低;另一类则针对一天中的各时间段,根据用车习惯等的概率分布,计算各时段充电负荷的期望值^[12,16],但只能求出近似的数值解,且求解过程较复杂。文献^[17]将充电过程离散化计算各时段充电负荷的大小,但是人为指定了开始充电时间,没有考虑车辆实际到家时间的概率分布。

基于上述文献,本文针对一天各时间段内充电负荷的分布情况,将充电过程离散化为多个阶段,考虑驾车习惯的概率分布,提出了一种考虑分时电价的电动汽车充电负荷计算方法,与蒙特卡洛模拟方法相比,该方法具有更高的计算效率,减少了计算时间。

收稿日期:2013-03-02;修回日期:2013-12-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51137003,61104090);
国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA050217)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51137003,61104090) and the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA050217)

1 充电负荷计算基本假设

考虑到电动汽车的实际发展状况,为了方便计算电动汽车充电负荷,本文做出如下假设:

- 只考虑供私人使用的电动汽车,且电动汽车每天只在家中充1次电;
- 电动汽车每次充电必须将电池充满;
- 开始充电时间与起始荷电状态是相互独立的随机变量;
- 考虑分时电价时,全天分为峰时段与谷时段;
- 分时电价的峰时段电价较高,谷时段电价较低,考虑分时电价后,电动汽车将尽量在充电费用较低的时段里充电;
- 本文考虑10:00至次日10:00间充电负荷的分布情况。

2 考虑分时电价充电负荷计算模型及计算过程

2.1 充电负荷影响因素

本文主要考虑电池充电特性、行程结束时间与每日行驶里程等影响因素计算充电负荷的分布。

2.1.1 电池充电特性

目前电动汽车大多采用锂离子电池作为动力,本文考虑Nissan Altra所搭载的锂离子电池,其容量为29.07 kW·h,充电功率 P 曲线如图1所示^[18]。

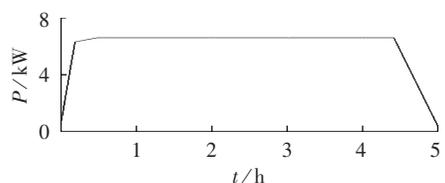


图1 电池充电曲线

Fig.1 Charging profile of battery

2.1.2 行程结束时间

由于目前缺乏电动汽车出行的相关数据,而居

民出行的时间分布与车辆型号关系不大,因此采用美国交通部对于传统燃油车辆调查所得的统计数据,用于充电负荷计算。行程结束时间 x 近似满足正态分布,其概率密度函数如式(1)所示^[16]。

$$f_s(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right] & \mu_s - 12 < x \leq 24 \\ \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x+24-\mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right] & 0 < x \leq \mu_s - 12 \end{cases} \quad (1)$$

其中, μ_s 是概率密度函数的期望值, $\mu_s = 17.6$; σ_s 是概率密度函数的标准差, $\sigma_s = 3.4$ 。由于 95% 以上车辆在 10:00 之后结束行程^[12],为了简化分析过程,假设所有电动汽车均在 10:00 后结束行程。

2.1.3 每日行驶里程

车辆每日行驶里程 r 近似满足对数正态分布,其概率密度函数如式(2)所示^[16]:

$$f_D(r) = \frac{1}{r\sigma_D \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln r - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2}\right] \quad (2)$$

其中, μ_D 是概率密度函数变量 r 的对数 $\ln r$ 的平均数, $\mu_D = 3.2$; σ_D 是概率密度函数变量 r 的对数 $\ln r$ 的标准差, $\sigma_D = 0.88$ 。

2.2 电动汽车充电负荷计算模型

如图 1 所示,电池从零电量至满电量需要 5 h,因此将该充电过程分为 5 个充电阶段,每个充电阶段时长 1 h。不同的起始荷电状态对应着不同的起始充电阶段,各阶段的充电功率为 $P_m (m=1, 2, \dots, 5)$,其计算式如下式所示:

$$P_m = \frac{P(m-1) + P(m)}{2} \quad (3)$$

其中, $P(m)$ 是图 1 所示充电功率曲线上第 m 小时的充电功率。类似地,将一天划分为 24 个时间段,每段时长 1 h。车辆在时段 t 内开始充电时,假设其从 $t-1$ 时刻开始充电,在时段 t 内电池都处于同一充电阶段。

由于电池有 5 个充电阶段,因此在时段 $i (i=1, 2, \dots, 24)$ 内电动汽车正在充电时,该车辆将处于电池的 5 个充电阶段中的某一个阶段,时段 i 内电动汽车处于上述第 m 充电阶段的概率为 $\varphi(P_m, i)$ 。

考虑分时电价后,原来在峰时段充电的电动汽车转移到谷时段充电,因此在峰时段内电动汽车处于各个充电阶段的概率减小了,而谷时段内电动汽车处于各个充电阶段的概率则增加了。考虑分时电价后,车辆在时段 i 内处于充电阶段 m 的概率改变了 ΔP_{ii}^m ,考虑分时电价后车辆在时段 i 内处于充电阶段 m 的概率 $D(P_m, i)$ 的计算式如式(4)所示:

$$D(P_m, i) = \varphi(P_m, i) - \Delta P_{ii}^m \quad (4)$$

因此考虑分时电价后时段 i 内一辆电动汽车的充电负荷期望值为 μ ,计算式如式(5)所示:

$$\mu = \sum_{m=1}^5 P_m D(P_m, i) \quad (5)$$

根据中心极限定理,时段 i 内 N 辆电动汽车充电负荷期望值计算式如式(6)所示:

$$\mu_N = N\mu \quad (6)$$

其余时段的充电负荷期望值可以同理计算。

2.3 车辆处于各充电阶段概率的计算

无分时电价时,车辆结束行程后就开始充电。车辆在时段 t 内开始充电的概率 $F_T(t)$ 计算式如式(7)所示:

$$F_T(t) = \begin{cases} \int_{t-1}^t \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right] dx & 11 \leq t \leq 24 \\ 0 & 0 < t < 11 \end{cases} \quad (7)$$

设 E_n 是根据图 1 所示的充电功率曲线,从第 $n-1$ 时刻开始充电至电池满电量所需要的电能; e 是电动汽车行驶时每千米的耗电量。当电池起始充电阶段为 n ,至电池充满共经历 $6-n$ 个充电阶段,由于最小的时间间隔为 1 h,电池实际需要的充电时间在 $5-n$ 至 $6-n$ 个小时之间。因此开始充电时车辆处于充电阶段 n 的概率 H_n 计算式如式(8)所示:

$$H_n = \int_{E_{n+1}/e}^{E_n/e} \frac{1}{r\sigma_D \sqrt{2P}} \exp\left[-\frac{(\ln r - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2}\right] dr \quad (8)$$

当车辆在时段 $i (i=1, 2, \dots, 24)$ 处于第 $m (m=1, 2, \dots, 5)$ 充电阶段时,可能对应着 m 个不同的充电过程,每个充电过程中车辆在起始时段处于第 $n (n=1, 2, \dots, m)$ 充电阶段,开始充电时段为 $i-(m-n)$ 。在时段 i 内电池处于其第 m 充电阶段,即充电功率为 P_m 的概率 $\varphi(P_m, i)$ 计算式如式(9)所示:

$$\varphi(P_m, i) = \sum_{n=1}^m F_T(i-m+n) H_n \quad (9)$$

其中, $F_T(i-m+n)$ 是车辆在时段 $i-m+n$ 开始充电的概率; H_n 是开始充电时处于第 n 充电阶段的概率。同理可求出该时段内车辆处于其他充电阶段的概率以及其他时段内车辆分别处于 5 个充电阶段的概率。

2.4 车辆处于各充电阶段概率改变值的计算

2.4.1 电动汽车对分时电价的响应

由于分时电价所规定的峰时段电价比谷时段高,因此出于节省成本的考虑,车辆将尽量在谷时段充电。当电动汽车充电过程满足如下的 2 种情况时车辆充电过程不转移:车辆的充电过程有一部分时间在谷时段内;充电时间长于谷时段的时间长度。除此 2 种情况外,在峰时段充电的车辆将转移至谷时段。充电过程转移后,开始充电时车辆处于第 n

充电阶段($n=1, 2, \dots, 5$), 根据假设电池必须充满, 因此充电过程转移后在时段 t 开始充电的概率分布如式(10)所示:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{1}{T_2 - T_1 - 6 + n} & t = T_1 + 1, \dots, T_2 - 6 + n \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

其中, T_1 为谷时段开始时刻; T_2 为谷时段结束时刻。

2.4.2 车辆处于各充电阶段概率改变值的计算

设车辆在时段 i ($i=1, 2, \dots, 24$) 处于第 m ($m=1, 2, \dots, 5$) 充电阶段, 考虑分时电价后, 车辆的充电过程发生了转移, 计算转移后时段 j ($j=1, 2, \dots, 24$) 内车辆处于第 m 充电阶段概率的改变值。车辆开始充电时处于第 n ($n=1, 2, \dots, m$) 充电阶段且在时段 i 内处于第 m 充电阶段的概率为 $F_T(i-m+n)H_n$ 。车辆充电过程转移后在时段 j 内车辆处于充电阶段 m 的概率等于车辆在时段 $j-m+n$ 开始充电的概率, 其大小等于 $F(j-m+n)$ 。因此车辆充电过程转移后, 车辆在时段 j 内处于第 m 充电阶段的概率增加了 $P_{n,j}^m$, 而车辆在时段 i 内处于第 m 充电阶段的概率减少了 $P_{n,i}^m$, 其计算式如下式所示:

$$P_{n,j}^m = \sum_{n=1}^m F_T(i-m+n)H_n F(j-m+n) \quad (11)$$

当车辆在时段 j 内处于第 m 充电阶段, 开始充电时处于第 n 充电阶段, 考虑分时电价后, 充电过程发生转移, 车辆在时段 i 内处于第 m 充电阶段的概率相应增加了 $P_{n,i}^m$, 计算式类似于式(11)。因此, 考虑分时电价后, 车辆在时段 i 内处于第 m 充电阶段概率的改变值 ΔP_{ni}^m 计算式如式(12)所示:

$$\Delta P_{ni}^m = \sum_{j=1}^{24} P_{n,j}^m - \sum_{j=1}^{24} P_{n,i}^m \quad (12)$$

时段 i 内车辆处于其他充电阶段概率的改变值可以同理求出。

2.5 考虑分时电价充电负荷计算流程

考虑分时电价后, 车辆充电过程转移到谷时段, 车辆在各个时段内处于相应充电阶段的概率发生了改变。当求解出每个时段内车辆处于各充电阶段的概率变化值后, 根据式(4)即可得到考虑分时电价后每个时段内车辆处于各充电阶段的概率, 并根据式(5)、(6)计算各时段充电负荷的期望值。充电负荷计算流程如图2所示。

3 考虑分时电价充电负荷计算实例

本节将运用本文所提出的充电负荷计算方法计算 10000 辆电动汽车的充电负荷一天内在时间上的分布情况。如图3所示, 图中所示负荷曲线是在没有分时电价调节下 10000 辆电动汽车充电负

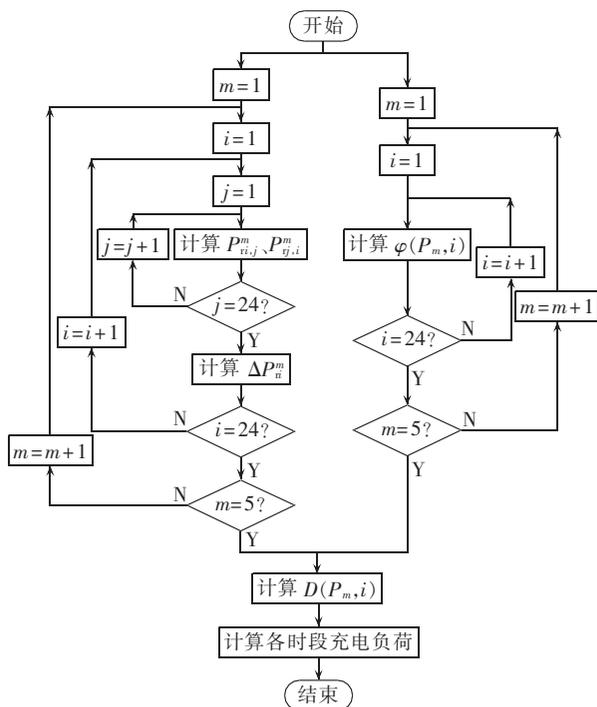


图2 考虑分时电价充电负荷计算流程图

Fig.2 Flowchart of charging load calculation considering TOU

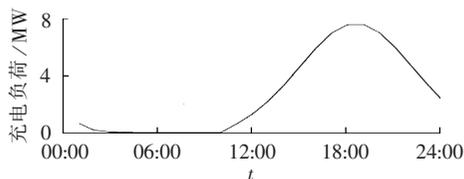


图3 不考虑分时电价充电负荷曲线

Fig.3 Charging load curve without considering TOU

荷的负荷曲线。可以看到, 充电负荷分布在 10:00 至次日 04:00 之间, 这与前述行程结束时间基本一致。最大负荷出现在 18:00, 此时也是大量电动汽车结束行程开始充电的时刻。

根据分时电价时段划分的不同, 设置 3 个不同的场景以计算不同分时电价下的充电负荷曲线。设 T_1 为谷时段开始时刻, T_2 为谷时段结束时刻, 场景 1 中 $T_1=22:00, T_2=06:00$, 场景 2 中 $T_1=24:00, T_2=06:00$, 场景 3 中 $T_1=02:00, T_2=06:00$, 3 个场景下的充电负荷曲线如图 4 所示。在场景 1、2 中, 充电负荷全部分布在谷时段内, 场景 2 的最大充电负荷较场景 1 要高出许多, 这是因为场景 2 中谷时段时间较短, 充电负荷分布更集中。由于场景 3 中谷时段时间长度比电池最大充电时间要短, 因此充电负荷在峰时段仍然有一定的分布, 同时最大充电负荷也最高。每天凌晨以后城市的负荷曲线在荷谷时期, 与考虑分时电价的充电负荷叠加后, 可以起到填谷的作用, 平滑负荷曲线。

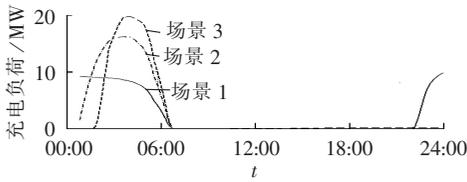


图 4 不同场景下的充电负荷曲线

Fig.4 Charging load curves for different scenarios

4 与其他充电负荷计算方法的比较

目前常采用蒙特卡洛模拟方法计算充电负荷分布,本节将分别采用本文方法和文献[13]中蒙特卡洛模拟方法计算 $T_1=01:00, T_2=06:00$ 时,1 000 辆电动汽车的充电负荷,蒙特卡洛模拟方法的仿真次数设为 5000 次,对比 2 种计算方法的性能。如图 5 所示,2 种方法计算得到的充电负荷变化趋势基本一致,但每个时段的充电负荷则有一些差别。

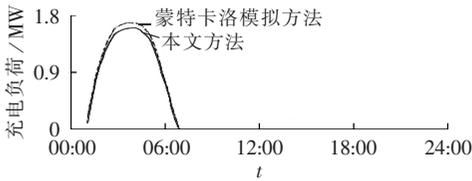


图 5 2 种不同计算方法的充电负荷曲线

Fig.5 Charging load curves for two calculation methods

由于利用拟合的概率密度函数计算随机变量处于有限区间内(如实际到家时间或行驶里程范围内)的概率小于 1,因此理论上的概率分布与通过蒙特卡洛模拟方法得到的概率分布存在一定误差。表 1 及表 2 中所示为蒙特卡洛模拟方法(简称方法 1)产生的行程结束时间及充电持续时间随机数的概率分布与本文方法(简称方法 2)所采用的理论上的概率分布,可以看到 2 种方法所得到的概率分布有差异。

表 1 2 种计算方法行程结束时间概率分布对比

Tab.1 Comparison of probability distribution of trip terminating time between two methods

时段	概率		时段	概率	
	方法 1	方法 2		方法 1	方法 2
1	0	0	13	0.0399	0.0383
2	0	0	14	0.0591	0.0568
3	0	0	15	0.0812	0.0774
4	0	0	16	0.1008	0.0967
5	0	0	17	0.1159	0.1110
6	0	0	18	0.1221	0.1169
7	0	0	19	0.1179	0.1129
8	0	0	20	0.1046	0.1001
9	0	0	21	0.0853	0.0815
10	0	0	22	0.0636	0.0608
11	0.0139	0.0134	23	0.0434	0.0417
12	0.0247	0.0237	24	0.2740	0.0262

表 2 2 种计算方法充电持续时间概率分布对比

Tab.2 Comparison of probability distribution of charging duration between two methods

持续 时间/h	概率		持续 时间/h	概率	
	方法 1	方法 2		方法 1	方法 2
1	0.6073	0.6020	4	0.0209	0.0208
2	0.2979	0.2954	5	0.0072	0.0072
3	0.0667	0.0661			

图 6 中所示为前述场景下,根据实际随机数的概率分布采用本文方法及蒙特卡洛模拟方法计算得到的充电负荷的负荷曲线。每个时段的充电负荷计算结果对比如表 3 所示。从表中可以看到采用实际的随机数概率分布后,两者的计算结果基本一致,证实了前述误差产生的原因,从而验证了本文方法的正确性。

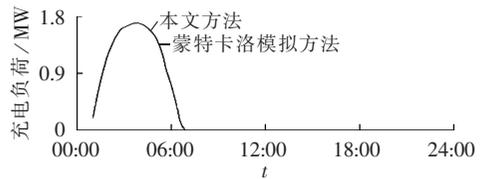


图 6 改进后 2 种计算方法的充电负荷曲线

Fig.6 Charging load curves for two improved methods

表 3 改进后 2 种计算方法得到的充电负荷

Tab.3 Charging loads calculated by two improved methods

时段	充电负荷/kW		时段	充电负荷/kW	
	方法 1	方法 2		方法 1	方法 2
1	0	0	13	0	0
2	1131.77	1131.59	14	0	0
3	1615.86	1616.74	15	0	0
4	1690.27	1690.09	16	0	0
5	1509.52	1508.90	17	0	0
6	779.02	778.04	18	0	0
7	0	0	19	0	0
8	0	0	20	0	0
9	0	0	21	0	0
10	0	0	22	0	0
11	0	0	23	0	0
12	0	0	24	0	0

表 4 为采用蒙特卡洛模拟方法及本文方法针对不同数量的电动汽车计算其充电负荷所用的时间对比。可以看出,相同数量的电动汽车,蒙特卡洛模拟方法所用时间明显长于本文方法。随着电动汽

表 4 2 种计算方法计算时间对比

Tab.4 Comparison of calculation time between two methods

方法	车辆数量/辆	计算时间/s
蒙特卡洛模拟方法	1000	406.413 116
	5000	2241.955 185
	10000	4699.239 163
本文方法	1000	0.001 181
	5000	0.001 184
	10000	0.001 177

车数量的增加,蒙特卡洛模拟方法计算所需的时间在不断上升,而本文方法的计算时间基本不变。这显示本文方法计算时间与车辆数量无直接关系,对大量电动汽车入网后的充电负荷计算具有更高的计算效率。

5 结论

本文提出了一种新的考虑分时电价的电动汽车充电负荷计算方法,该方法将电池充电过程划分为5个阶段,计算了每个时段内电池处于各充电阶段的概率,从而得到了充电负荷在每个时段的期望值。与采用蒙特卡洛模拟方法计算充电负荷相比,该方法计算结果相近,且简化了计算过程,计算时间较少,计算效率更高,易于工程应用。该方法对于分时电价时段划分优化、量化评估现行分时电价下充电负荷对电网影响等有着重要的作用。

参考文献:

- [1] 财建[2009]6号文件;财政部经济建设司关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知[EB/OL]. [2009-01-23]. http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefaui/200902/t20090205_111-617.html.
- [2] 国发[2012]22号文件;国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)的通知[EB/OL]. [2012-06-28]. http://www.gov.cn/zwgc/2012-07/09/content_2179032.htm.
- [3] GREEN R C,WANG Lingfeng,ALAM M. The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks:a review and outlook[C]//Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, USA:IEEE,2010:1-8.
- [4] PIELTAIN FERNA X,NDEZ L,GO X,et al. Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2011,26(1):206-213.
- [5] 辛建波,温宇宾,李睿. 电动汽车规模应用对江西电网的影响分析[J]. 江西电力,2010,34(4):1-5.
XIN Jianbo,WEN Yubin,LI Rui. Influence of widely application of electric vehicle on Jiangxi power grid[J]. Jiangxi Electric Power,2010,34(4):1-5.
- [6] 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.
- [7] 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(8):59-63,69.
LIU Yujiao,JIANG Chuanwen,WANG Xu,et al. Energy management with stochastic constraint and multi-objective optimization algorithm for electric vehicle battery swap station[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):59-63,69.
- [8] KAZERONI M,KAR N C. Impact analysis of EV battery charging on the power system distribution transformer[C]//2012 IEEE International Electric Vehicle Conference. Greenville, South Carolina, USA:IEEE,2010:1-6.
- [9] 曹一家,苗轶群,江全元. 含电动汽车换电站的微电网孤岛运行

优化[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):1-6.

CAO Yijia,MIAO Yiqun,JIANG Quanyuan. Optimal operation of islanded microgrid with battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(5):1-6.

- [10] 苗轶群,江全元,曹一家. 考虑电动汽车及换电站的微网随机调度研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):18-24.
MIAO Yiqun,JIANG Quanyuan,CAO Yijia. Microgrid stochastic dispatch considering electric vehicles and battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(9):18-24.
- [11] 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.
- [12] 葛少云,黄镠,刘洪. 电动汽车有序充电的峰谷电价时段优化[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(10):1-5.
GE Shaoyun,HUANG Liu,LIU Hong. Optimization of peak-valley TOU power price time-period in ordered charging mode of electric vehicle[J]. Power System Protection and Control,2012,40(10):1-5.
- [13] ALICJA L,DOROTA K,GEORGIOS P,et al. From transportation patterns to power demand:stochastic modeling of uncontrolled domestic charging of electric vehicles[C]//Power and Energy Society General Meeting. Detroit,Michigan,USA:IEEE,2011:1-7.
- [14] 徐立中,杨光亚,许昭,等. 电动汽车充电负荷对丹麦配电系统的影响[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):18-23.
XU Lizhong,YANG Guangya,XU Zhao,et al. Impacts of electric vehicle charging on distribution networks in Denmark[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):18-23.
- [15] 罗卓伟,胡泽春,宋永华,等. 电动汽车充电负荷计算方法[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):36-42.
LUO Zhuowei,HU Zechun,SONG Yonghua,et al. Study on plug-in electric vehicles charging load calculating[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):36-42.
- [16] 田立亭,史双龙,贾卓. 电动汽车充电功率需求的统计学建模方法[J]. 电网技术,2010,34(11):126-130.
TIAN Liting,SHI Shuanglong,JIA Zhuo. A statistical model for charging power demand of electric vehicles[J]. Power System Technology,2010,34(11):126-130.
- [17] QIAN Kejun,ZHOU Chengke,MALCOLM A,et al. Modeling of EV demand due to EV battery charging in distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2011,26(2):802-810.
- [18] MADRID C,ARGUETA J,SMITH J. Performance characterization 1999 NISSAN ALTRA-EV with lithium-ion battery[R]. Rosemead,California,USA:Southern California Edison,1999.

作者简介:



张振夫

张振夫(1987-),男,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向为电动汽车有序充电(E-mail:zzf19870824@126.com);

黄小庆(1981-),女,湖南湘阴人,博士,主要研究方向为智能变电站、电力信息集成;

曹一家(1969-),男,湖南益阳人,副校长,教授,博士研究生导师,主要研究方向为

电力系统稳定与控制、信息技术在电力系统中的应用。

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 Su¹, SUN Xiaoming¹, LUO Min², WANG Wei¹, JIANG Jiuchun¹, HUANG Mei¹

(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