



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108288112 A

(43)申请公布日 2018.07.17

(21)申请号 201810087702.6

(22)申请日 2018.01.30

(71)申请人 广西电网有限责任公司柳州供电局  
地址 545005 广西壮族自治区柳州市天山路1号

(72)发明人 李想 鲁林军 金庆忍 赵嘉骏  
陆振华 袁彦 李春华

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所  
(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

H02J 3/00(2006.01)

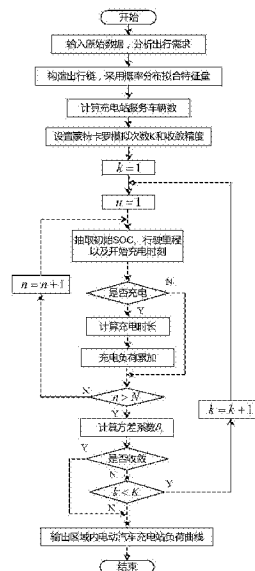
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站  
负荷预测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,根据用户出行目的及所处区域划分电动汽车充电站的类型,采用离散马尔科夫过程模拟用户在不同区域之间的出行活动,构造出行链;提取出行链中影响电动汽车充电站充电负荷的时空特征量,并采用概率分布拟合;根据用户的出行需求设定充电条件,建立区域内电动汽车充电站负荷预测模型;利用蒙特卡罗模拟法计算得到不同类型的电动汽车充电站的负荷预测曲线。本发明可以有效反映电动汽车用户出行的随机性,精确预测不同类型的电动汽车充电站负荷分布,为研究大规模电动汽车接入对电网的影响及有序充电提供了有力保障,具有很好的实用性。



1. 一种基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:包括步骤:

- (1) 根据用户出行目的及所处区域划分电动汽车充电站类型;
- (2) 采用离散马尔科夫过程模拟用户在不同区域的出行活动,构造出行链;
- (3) 根据出行链中每段行程的统计数据计算用户在不同类型充电站停留的概率;
- (4) 根据用户的行驶需求设定充电条件,建立区域内电动汽车充电站负荷预测模型;
- (5) 利用蒙特卡罗模拟法计算不同类型电动汽车充电站的负荷预测曲线,采用方差系数评估负荷预测结果的精度。

2. 根据权利要求1所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:所述步骤(1)中,所述区域包括住宅区(H)、工作区(W)、公共休闲区(P)、其他区(O),电动汽车充电站类型包括住宅区充电站、工作区充电站、公共休闲区充电站、其他区充电站。

3. 根据权利要求1所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:所述步骤(3)中,提取出行链中影响电动汽车充电站充电负荷的时空特征量,分别采用正态分布函数和对数正态分布函数拟合时间特征量和空间特征量。

4. 根据权利要求3所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:所述时间特征量为出发时刻、到达时刻、停留时长,所述空间特征量为行驶里程。

5. 根据权利要求1所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:所述步骤(4)中,充电条件为:

$$SOC_t < \delta \text{ or } L(SOC_t) < L_{next}$$

其中, $SOC_t$ 表示在t时刻电动汽车的荷电状态; $\delta$ 表示电动汽车电池的警戒值; $L(SOC_t)$ 表示电动汽车在当前状态下还能完成的行驶里程; $L_{next}$ 表示从当前区域到达下个区域需要行驶的里程。

6. 根据权利要求5所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,其特征在于:所述步骤(4)中,负荷预测模型为:

$$P_{A,t} = \sum_{i=1}^{N_A} p_c * x_{i,t}$$

其中, $P_{A,t}$ 表示在t时刻区域A内电动汽车充电站的总充电功率; $N_A$ 表示区域A内充电站服务车辆数, $p_c$ 表示单辆车的充电功率, $x_{i,t}$ 表示电动汽车的充电状态。

## 基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车充电站负荷预测领域,尤其涉及一种基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法。

### 背景技术

[0002] 当今社会,环境危机不断加剧,传统燃油汽车产生大量有害气体,使得全球温室效应越来越明显。电动汽车以其噪音小,成本低,环保等优势成为了近年来汽车研发领域的研究热点。电动汽车产业以及电动汽车充电站等配套设施也在短时间内迅速推广开来。

[0003] 电动汽车充电站作为电动汽车规模化推广的重要设施,其负荷分布对于电网的稳定运行和优化调度十分重要。目前,电动汽车充电站负荷预测方法包含概率建模法、过程仿真法以及基于支持向量机的回归算法。然而,电动汽车充电行为受用户出行需求及其他环境因素的影响,在时间和空间上都存在随机性。以上算法虽然在一定程度上保证了精度,但仍局限于简单的概率分布规律以及特定的充电站历史数据,对于电动汽车充电站类型考虑不够全面,不能有效反映电动汽车用户出行规律的随机性。

### 发明内容

[0004] 发明目的:针对以上问题,本发明提出一种基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法。

[0005] 技术方案:为实现本发明的目的,本发明所采用的技术方案是:一种基于用户出行模拟的区域电动汽车充电站负荷预测方法,包括步骤:

[0006] (1) 根据用户出行目的及所处区域划分电动汽车充电站类型;

[0007] (2) 采用离散马尔科夫过程模拟用户在不同区域的出行活动,构造出行链;

[0008] (3) 根据出行链中每段行程的统计数据计算用户在不同类型充电站停留的概率;

[0009] (4) 根据用户的行驶需求设定充电条件,建立区域内电动汽车充电站负荷预测模型;

[0010] (5) 利用蒙特卡罗模拟法计算不同类型电动汽车充电站的负荷预测曲线,采用方差系数评估负荷预测结果的精度。

[0011] 所述步骤(1)中,所述区域包括住宅区(H)、工作区(W)、公共休闲区(P)、其他区(O),电动汽车充电站类型包括住宅区充电站、工作区充电站、公共休闲区充电站、其他区充电站。

[0012] 所述步骤(3)中,提取出行链中影响电动汽车充电站充电负荷的时空特征量,分别采用正态分布函数和对数正态分布函数拟合时间特征量和空间特征量。所述时间特征量为出发时刻、到达时刻、停留时长,所述空间特征量为行驶里程。

[0013] 所述步骤(4)中,充电条件为:

[0014]  $SOC_t < \delta$  or  $L(SOC_t) < L_{next}$

[0015] 其中, $SOC_t$ 表示在t时刻电动汽车的荷电状态; $\delta$ 表示电动汽车电池的警戒值;L

(SOC<sub>t</sub>)表示电动汽车在当前状态下还能完成的行驶里程;L<sub>next</sub>表示从当前区域到达下个区域需要行驶的里程。

[0016] 负荷预测模型为:

$$[0017] \quad P_{A,t} = \sum_{i=1}^{N_A} p_c * x_{i,t}$$

[0018] 其中,P<sub>A,t</sub>表示在t时刻区域A内电动汽车充电桩的总充电功率;N<sub>A</sub>表示区域A内充电桩服务车辆数,p<sub>c</sub>表示单辆车的充电功率,x<sub>i,t</sub>表示电动汽车的充电状态。

[0019] 有益效果:本发明的电动汽车充电桩负荷预测方法,深度挖掘居民出行调研数据,分析用户行为对电动汽车充电需求的影响,考虑了充电负荷在时间和空间上的随机性以及电动汽车充电桩所处地理位置的差异性,得出的预测结果更加符合实际情况。本发明所提方法实用性强,为研究大规模电动汽车接入对电网的影响提供可靠的依据。

### 附图说明

[0020] 图1是本发明基于用户出行模拟的区域电动汽车充电桩负荷预测流程图;

[0021] 图2是不同类型电动汽车充电桩负荷预测曲线。

### 具体实施方式

[0022] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步的说明。

[0023] 如图1所示,本发明所述的基于用户出行模拟的区域电动汽车充电桩负荷预测方法,包括步骤:

[0024] (1)根据用户的出行目的及所处区域划分电动汽车充电桩的类型;

[0025] 区域包括住宅区(H)、工作区(W)、公共休闲区(P)、其他区(O),电动汽车充电桩类型包括住宅区充电桩、工作区充电桩、公共休闲区充电桩、其他区充电桩。

[0026] (2)采用离散马尔科夫过程模拟用户在不同区域之间的出行活动,构造出行链;

[0027] 出行链是指居民在一定的时空范围内,为完成一项或几项活动而产生的时间、空间变化的过程,这个过程包含了大量与时空相关的特征量。

[0028] 本发明假设电动汽车具有与传统燃油汽车相似的出行特征,根据数据统计,私家车平均出行链长度为3.02,且居民出行目的中回家、工作以及休闲娱乐的总占比接近80%,因此认为充电行为发生在上述四类区域内电动汽车充电桩。

[0029] 离散马尔科夫过程是指数学中具有马尔可夫性质的离散事件随机过程,该过程中,每次状态的转移只与前一时刻的状态有关而与过去的状态无关。

[0030] 电动汽车在不同区域之间的转移,可用条件概率表示:

$$[0031] \quad P(E_i \rightarrow E_j) = P(E_i | E_j) = p_{ij}$$

[0032] 其中,E<sub>i</sub>为当前时刻的状态,E<sub>j</sub>为下一时刻的状态,p<sub>ij</sub>为从状态E<sub>i</sub>转为状态E<sub>j</sub>的转移概率。

[0033] 将每个出行区域视为一个状态,则电动汽车在不同区域之间的空间转移概率矩阵可表示为:

$$[0034] \quad P = (p_{ij}) = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mm} \end{pmatrix}$$

[0035] 其中,  $p_{ij}$  满足如下条件:

$$[0036] \quad \begin{cases} 0 \leq p_{ij} \leq 1, p_{ij} = 0 & i, j = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{j=1}^M p_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, M \end{cases}$$

[0037] 其中,  $M$  为区域总数, 本发明将出行区域划分为四大类, 即  $M=4$ ,  $p_{ij}$  根据统计数据得出, 通过不同行程的组合可计算出每条出行链的概率。

[0038] (3) 根据出行链中每段行程的统计数据计算用户在不同类型充电站停留的概率;

[0039] 提取出行链中影响电动汽车充电站充电负荷的时空特征量, 分别采用正态分布函数和对数正态分布函数拟合时间特征量和空间特征量, 时间特征量对应出发时刻、到达时刻、停留时长; 空间特征量对应行驶里程。

[0040] 本发明假设电动汽车到达充电站后即开始充电, 无需排队, 因此到达时刻即为开始充电时刻, 正态分布和对数正态分布的概率密度表达式分别如下:

$$[0041] \quad f_s(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right), & (\mu_s - 12) < x \leq 24 \\ \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x + 24 - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right), & 0 < x \leq (\mu_s - 12) \end{cases}$$

[0042] 其中,  $\mu_s$  为开始充电时刻的期望值;  $\sigma_s$  为标准差,  $h$  由统计数据得出。

$$[0043] \quad f_D(x) = \frac{1}{x\sigma_D \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2}\right)$$

[0044] 其中,  $\mu_D$  为行驶里程的期望值;  $\sigma_D$  为标准差,  $km$  由统计数据得出。

[0045] (4) 根据用户的行驶需求设定充电条件, 建立区域内电动汽车充电站负荷预测模型;

[0046] 充电条件如下:

$$[0047] \quad SOC_t < \partial \text{ or } L(SOC_t) < L_{next}$$

[0048] 其中,  $SOC_t$  表示在  $t$  时刻电动汽车的荷电状态;  $\partial$  表示电动汽车电池的警戒值;  $L(SOC_t)$  表示电动汽车在当前状态下还能完成的行驶里程;  $L_{next}$  表示从当前区域到达下个区域需要行驶的里程。

[0049] 其中,  $L_{next}$  通过拟合的概率分布随机生成,  $L(SOC_t)$  的计算公式如下:

$$[0050] \quad L(SOC_t) = 100 * \frac{(SOC_t - \partial) * Bc}{E_{100}}$$

[0051] 其中,  $E_{100}$  为百  $km$  耗电量, 取固定值  $15kW \cdot h$ 。

[0052] 负荷预测模型为:

$$[0053] \quad P_{A,t} = \sum_{i=1}^{N_A} p_c * x_{i,t}$$

[0054] 其中,  $P_{A,t}$ 表示在t时刻区域A内电动汽车充电站的总充电功率,  $A \in \{H, W, P, 0\}$ ;  $N_A$ 表示区域A内充电站服务车辆数,  $p_c$ 表示单辆车的充电功率,  $x_{i,t}$ 表示电动汽车的充电状态, 若在充电为1, 不在充电则为0。

[0055] 其中,  $N_A$ 的计算公式如下:

$$[0056] \quad N_A = N_{EV} * \sum P_A$$

[0057] 其中,  $N_{EV}$ 表示电动汽车总规模;  $P_A$ 表示与区域A内电动汽车充电站有关的出行链转移概率, 由居民出行调研数据统计得出。

[0058] (5) 利用蒙特卡罗模拟法计算得到不同类型电动汽车充电站的负荷预测曲线, 采用方差系数评估负荷预测结果的精度。

[0059] 具体步骤如下:

[0060] (1) 输入原始数据, 包括电池容量 $B_c$ 、电动汽车汽车总规模 $N_{EV}$ ;

[0061] (2) 设置蒙特卡罗模拟次数 $K$ 和收敛精度;

[0062] (3) 选择充电区域, 令 $K=1$ , 设置充电功率 $P_c$ 、充电效率 $\eta$ ;

[0063] (4) 令 $n=1$ ;

[0064] (5) 根据概率分布, 随机抽取初始SOC、行驶里程以及开始充电时刻;

[0065] (6) 判断是否满足充电条件, 若是, 则继续, 否则转步骤8;

[0066] (7) 计算充电时长, 累加充电负荷;

[0067] (8) 判断 $n > N$ , 若是, 则继续, 否则令 $n=n+1$ , 转步骤5;

[0068] (9) 判断是否满足收敛精度, 若是, 转步骤11, 否则继续;

[0069] (10) 判断 $k > K$ , 若是, 则继续, 否则令 $k=k+1$ , 转步骤4;

[0070] (11) 输出区域内电动汽车充电站负荷曲线。

[0071] 起始SOC是指电动汽车到达电动汽车充电站时的荷电状态, 服从正态分布 $N(0.5, 0.1)$ ; 充电时长和方差系数的计算公式分别如下:

$$[0072] \quad T_c = \frac{(1 - S_{soc}) * B_c}{\eta P_c}$$

[0073] 其中,  $T_c$ 为充电时长;  $S_{soc}$ 为初始SOC。

$$[0074] \quad \beta_t = \frac{\sqrt{V_t(\bar{P})}}{\bar{P}_t} = \frac{\sigma_t(\bar{P})}{\sqrt{k} \bar{P}_t}$$

[0075] 其中,  $\beta_t$ 为t时刻充电负荷的方差系数;  $V_t(\bar{P})$ 为t时刻充电负荷的方差;  $\bar{P}_t$ 为t时刻充电负荷的期望值;  $\sigma_t(\bar{P})$ 为t时刻充电负荷的标准差。以各时间点中方差系数的最大值 $\beta = \max(\beta_t)$ 作为精度评估依据。

[0076] 以下以一具体实施例进行说明。

[0077] 本实施例中居民出行调研数据采用的是美国交通部发布的美国家庭出行调查数据NHTS2009数据库,预测区域包括H区、W区、P区、O区四大类,电动汽车总规模为10000辆,电动汽车充电站充电方式包括快充和慢充两种,由于多数情况下,电动汽车在H区和W区的时间比较长,在P区和O区的停留于时间较短,因此假设在H区和W区的充电方式为快充,在P区和O区的充电方式为慢充。利用本发明方法对区域内的电动汽车充电站负荷进行预测,最终得出不同类型电动汽车充电站的日负荷分布曲线,如图2所示。

[0078] 由图2可以看出,不同类型电动汽车充电站的负荷分布具有明显的差异,主要是由用户在不同区域的行驶规律、充电行为不同导致的。对于大多数用户而言,通常选择在一天的出行结束后回家充电,因此,住宅区充电站承担的充电负荷最多,其他区域内的充电负荷相对比较分散。公共休闲区以及其他区域内电动汽车充电站的负荷曲线没有其他区域平滑,主要是因为这两个区域内采用的是快充的方式,充电功率大,导致负荷波动大。

[0079] 不同区域内电动汽车充电站的负荷分布,体现了用户的不同充电需求,接入电网后对系统总负荷产生的影响也有差异。因此,分析用户的出行需求,计及充电行为的随机特性,进行不同类型电动汽车充电站负荷预测,对于电网的经济运行、优化调度具有十分重要的意义。

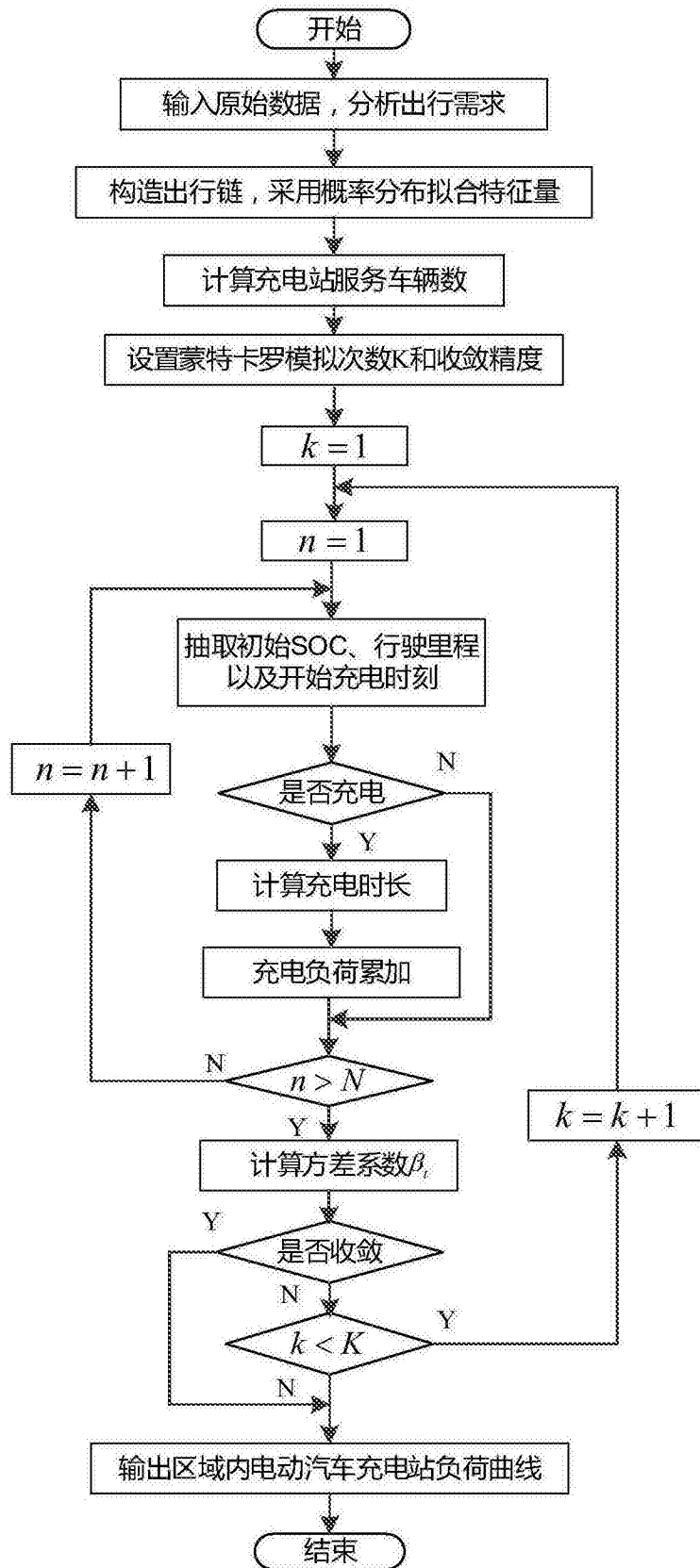


图1



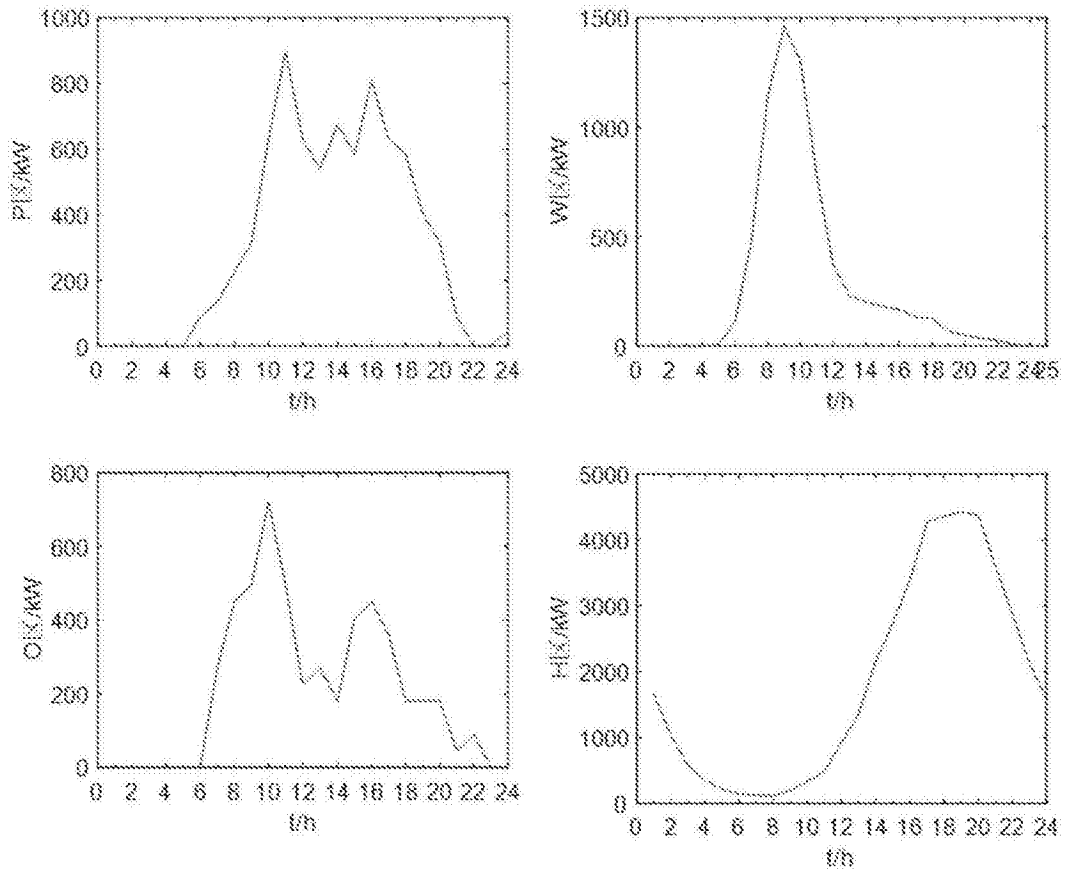


图2