



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103499792 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 08

(21) 申请号 201310309655. 2

(22) 申请日 2013. 07. 18

(71) 申请人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区潮王路  
18 号

(72) 发明人 翁国庆 章欢 张有兵 周文委  
谢路耀

(74) 专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公  
司 33201

代理人 王兵 黄美娟

(51) Int. Cl.

G01R 31/36 (2006. 01)

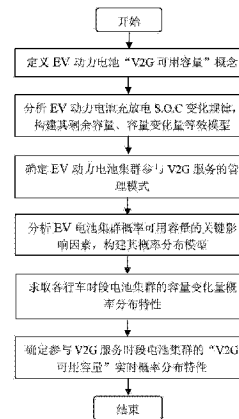
权利要求书3页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

电动汽车动力电池集群可用容量的预测方法

(57) 摘要

电动汽车动力电池集群可用容量的预测方法,包括:定义 EV 动力电池的“V2G 可用容量”概念;分析 EV 动力电池充放电 S. O. C 变化规律;推导 EV 动力电池集群单位时刻的电池容量变化量;确定 EV 动力电池集群参与 V2G 服务的管理模式;分析 EV 电池集群概率可用容量的关键影响因素,构建其概率分布模型;求取各行车时段电池集群的容量变化量概率分布特性;确定参与 V2G 服务时段电池集群的“V2G 可用容量”实时概率预测值。



1. 电动汽车动力电池集群可用容量的预测方法,其具体过程包括如下步骤:

1) 定义 EV 动力电池的“V2G 可用容量”概念:是指 EV 动力电池参与 V2G 服务时,可向电网提供的允许充、放电容量;该概念用以表征 EV 动力电池作为储能元件进行电网动态功率平衡能力,因此,又可分为“V2G 放电可用容量”和“V2G 充电可用容量”两个指标;

2) 推导 EV 动力电池集群单位时段的电池容量变化量。根据电池充放电相关理论和文献,采用式 (1) 表征考虑电池自放电和充放电过程,得到前后两时间段 S. O. C 的关系:

$$\text{SOC}(t+\Delta t)=\text{SOC}(t)(1-\sigma(t)\Delta t)+I_{\text{bat}}(t)\cdot\Delta t\cdot\eta(t)/C_{\text{bat}} \quad (1)$$

式中: $I_{\text{bat}}(t)$  表示  $t$  时刻充放电电流(大于零表示充电,小于零则为放电); $\sigma$  为自放电率,每小时自放电率取 0.01%; $\Delta t$  表示前后两时间间隔; $C_{\text{bat}}$  为蓄电池的总容量, Ah; $\eta(t)$  为充放电效率;

3) 为了简化容量预测模型,将行驶中的 EV 汽车视为额定功率输出,那么在 EV 电池有效充放电范围  $[\text{SOC}_{\text{min}}, \text{SOC}_{\text{max}}]$  内,可简化视作恒电流充、放电。选择最小的计时单位为  $\Delta t$ , 由式 (1) 可得式 (2):

$$\text{SOC}[(n+1)\Delta t]=\text{SOC}(n\Delta t)(1-\sigma\Delta t)+I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t)/C_{\text{bat}} \quad n=1, 2, \dots \quad (2)$$

式 (2) 等式两边同左乘  $C_{\text{bat}}$ , 可得式 (3) 所示电池剩余容量表示式:

$$C[(n+1)\Delta t]=C_{\text{bat}}\text{SOC}[(n+1)\Delta t]=C(n\Delta t)(1-\sigma\Delta t)+I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t) \quad (3)$$

当  $\Delta t$  足够小时,  $\sigma\Delta t$  与 1 相比,可以忽略不计,即  $1-\sigma\Delta t=1$ 。当视作对电池进行恒流充、放电时,每经过一个  $\Delta t$ , 前后两时间段电池剩余容量的变化量为  $I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t)$  为定值。假设  $n\Delta t$  时刻集群中处于充、放电状态的电池数量为  $N(n\Delta t)$ , 则  $(n+1)\Delta t$  时刻该集群电池容量的变化量如式 (4) 所示:

$$\Delta C_s[(n+1)\Delta t]=\sum_{i=1}^n N(i\Delta t)I_{\text{bat}}\Delta t\eta = I_{\text{bat}}\Delta t\eta\sum_{i=1}^n N(i\Delta t) \quad (4)$$

4) 确定 EV 动力电池集群参与 V2G 服务的管理模式,统计其配置参数、工作特性等关键因素;将其一天工作时间分为 4 段:

时段  $\Delta T_1$ : 早上上班开车时段(离家至到达公司, 电池处于放电状态);

时段  $\Delta T_2$ : 早上到达公司至下午离开公司时段(停放公司车库, 可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 保证  $\Delta T_3$  时段正常行车需求容量);

时段  $\Delta T_3$ : 下午下班开车时段(离开公司至到家, 电池处于放电状态);

时段  $\Delta T_4$ : 下午到家至早上离开时段(停放住家小区车库, 电池可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 保证下一个  $\Delta T_1$  时段初始时刻电池最大容量);

5) 分析 EV 电池集群概率可用容量的关键影响因素,包括集群中参与 V2G 服务的汽车数量、集群汽车早上离家时间分布、路上所花时间分布、下午离开公司时间分布、晚上开始充电时间分布等;

6) 参考有关调研、统计的数据和规律,对步骤 5) 中 EV 电池集群可用容量预测的各关键影响因素做出合理设置,运用概率分析法的相关理论(如蒙特卡洛法),构建各影响因素的概率分布模型;

7) 确定步骤 5) 中各影响因素间的关联,基于步骤 6) 所构建各概率分布模型,运用概率分析法的相关理论(如概率累积分布函数、期望值理论等)和分析工具(如 crystal ball 软件等),求取行车时段电池集群的容量变化量概率分布特性。

以早上  $\Delta T_1$  时段为例,基于步骤6)中确定集群汽车离家时间的概率分布以及中途耗时的概率分布,可通过 crystal ball 软件求得集群汽车到达公司时间的概率分布,从而得到集群汽车离家时间概率分布函数  $F_1(n \Delta t)$  和到达公司时间的概率累积分布函数  $F_2(n \Delta t)$ 。因此,  $n \Delta t$  时刻处于行车状态的 EV 数量可概率表示为:

$$N(n \Delta t) = N_1(n \Delta t) - N_a(n \Delta t) = N_s F_1(n \Delta t) - N_s F_2(n \Delta t) \quad (5)$$

式中:  $N_1(n \Delta t)$  和  $N_a(n \Delta t)$  分别为  $n \Delta t$  时刻已经离家的车数量和已经到达公司的车数量;  $N_s$  为集群汽车的数量总和。

将式 (5) 代入式 (4), 可求得早上  $\Delta T_1$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量为:

$$\Delta C_{s1}[(n+1)\Delta t] = N_s I_{bat} \Delta t \eta \sum_{i=1}^n [F_1(i\Delta t) - F_2(i\Delta t)] \quad (6)$$

同理, 下午  $\Delta T_3$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量为:

$$\Delta C_{s3}[(n+1)\Delta t] = N_s I_{bat} \Delta t \eta \sum_{i=1}^n [F_3(i\Delta t) - F_4(i\Delta t)] \quad (7)$$

式中:  $F_3(n \Delta t)$  为  $n \Delta t$  时刻集群汽车离开公司时间的概率分布函数;  $F_4(n \Delta t)$  为  $n \Delta t$  时刻集群汽车到家时间的概率累积函数;

8) 对应步骤 4) 中定义的 4 个时段, 仅时段  $\Delta T_2$  和时段  $\Delta T_4$  可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 可确定集群电池的剩余容量;

a. 时段  $\Delta T_2$  内,  $n \Delta t$  时刻的集群电池剩余容量为:

$$C_{r2}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC \max - \sum_{i=1}^{N_1} \Delta C_{s1}[i_1 \Delta t] + \sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2 \Delta t] \quad (8)$$

其中,  $N_1$  为时段  $\Delta T_1$  内单位时间  $\Delta t$  的总个数;  $\Delta C_{s2}[i_2 \Delta t]$  为  $\Delta T_2$  时段内  $i_2 \Delta t$  时刻集群容量受调度控制的变化量;

b. 时段  $\Delta T_4$  内,  $n \Delta t$  时刻的集群电池剩余容量为:

$$C_{r4}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC \max - \sum_{i_1=1}^{N_1} \Delta C_{s1}[i_1 \Delta t] + \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2 \Delta t] - \sum_{i_3=1}^{N_3} \Delta C_{s3}[i_3 \Delta t] + \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4 \Delta t] \quad (9)$$

其中,  $N_2$ 、 $N_3$  分别为时段  $\Delta T_2$ 、 $\Delta T_3$  内单位时间  $\Delta t$  的总个数; 该  $\Delta C_{s4}[i_4 \Delta t]$  为  $\Delta T_4$  时段内  $i_4 \Delta t$  时刻集群容量受调度控制的变化量;

9) 由步骤 8) 所得剩余容量及步骤 1) 中关于“V2G 可用容量”概念的定义, 可确定  $\Delta T_2$  时段和  $\Delta T_4$  时段内集群电池的 V2G 可用容量实时概率预测值;

a. 时段  $\Delta T_2$  内, V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为:

$$C_{a2\_d}[n\Delta t] = C_{r2}[n\Delta t] - N_s C_{bat} SOC \min \quad (10)$$

$$C_{a2\_c}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC \max - C_{r2}[n\Delta t] \quad (11)$$

b. 时段  $\Delta T_4$  内, V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为:

$$C_{a4\_d}[n\Delta t] = C_{r4}[n\Delta t] - N_s C_{bat} SOC \min \quad (12)$$

$$C_{a4\_c}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC_{max} - C_{r4}[n\Delta t] \quad (13)$$

## 电动汽车动力电池集群可用容量的预测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种参与车网互联 (Vehicle-to-grid, V2G) 服务的电动汽车动力电池集群实时概率 V2G 可用容量的预测方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,电动汽车 (Electric Vehicle, EV) 正快速进入汽车市场。根据《节能与新能源汽车发展规划 (2011 年至 2020 年)》,2015 年 EV 将达到 50 万辆,2020 年达到 500 万辆。由于 EV 上均装有较大容量的车载动力电池,当其数量足够多时,电池集群总容量相当巨大。而据统计,大多数汽车每天大约 22 小时处于停泊状态,即使在高峰期也有超过 80% 处于停泊状态,可以考虑让它们在停车时为电网提供能量缓冲。V2G 模式正是基于解决上述问题而提出的:一方面,可视 EV 电池集群为可控负荷,通过控制其并网充电时间进行系统的错峰调控,提高电网的总体发电效率和经济效益;另一方面,通过 V2G 技术 EV 电池集群也可被当作储能装置参与电网的能量平衡。

[0003] 目前,对于 V2G 技术的研究主要包括几个方面:1) V2G 对电网的影响,其一是分析 V2G 对电网配电设备、经济运行、电能质量等方面的影响,其二是从电源侧或电网侧的角度分析电网对电动汽车接入的承受能力;2) 研究 EV 充放电控制与利用技术,包括单向 V2G 和双向 V2G 的充(放)电技术;3) EV 充电负荷建模与仿真计算,包含如车主的用车行为、充电行为以及电池的充电特性等多种因素。申请号为 201210291284.5、201210014240.8、201010197317.0、201010197305.8 和 201110048828.0 的发明专利申请书从不同技术路线提出多种 EV 智能充(放)电控制装置(系统)及其控制方法。但上述成果均未针对大规模 EV 集群的 V2G 可用容量预测进行有效的研究。本发明专利针对目标电网区域内参与 V2G 服务的大规模 EV 集群在各种情境下的行为特性、荷电状态 (State of charge, S. O. C) 特性和充放电特性的随机概率性进行研究,从而对其可提供给电网进行能量平衡的能力进行有效评估,其结果为 V2G 系统的优化调控策略制定提供了有效依据。

### 发明内容

[0004] 本发明要克服现有技术不能针对大规模 EV 集群的 V2G 可用容量提供预测的缺点,提供一种考虑基于 V2G 技术将 EV 动力电池作为储能元件参与电网调控问题所提出的一种参与 V2G 服务的 EV 动力电池集群实时概率可用容量预测方法。

[0005] 本发明为实现上述目的,提出了 EV 动力电池集群参与 V2G 服务时可提供给电网进行充、放电功率平衡的能力评估方法,如附图 1 所示,其具体过程包括如下步骤:

[0006] 1) 定义 EV 动力电池的“V2G 可用容量”概念:是指 EV 动力电池参与 V2G 服务时,可向电网提供的允许充、放电容量;该概念用以表征 EV 动力电池作为储能元件进行电网动态功率平衡能力,因此,又可分为“V2G 放电可用容量”和“V2G 充电可用容量”两个指标;

[0007] 2) 推导 EV 动力电池集群单位时段的电池容量变化量。根据电池充放电相关理论和文献,采用式 (1) 表征考虑电池自放电和充放电过程,得到前后两时间段 S. O. C 的关系:

$$[0008] \quad \text{SOC}(t+\Delta t)=\text{SOC}(t)(1-\sigma(t)\Delta t)+I_{\text{bat}}(t)\cdot\Delta t\cdot\eta(t)/C_{\text{bat}} \quad (1)$$

[0009] 式中： $I_{\text{bat}}(t)$  表示  $t$  时刻充放电电流（大于零表示充电，小于零则为放电）； $\sigma$  为自放电率，每小时自放电率取 0.01%； $\Delta t$  表示前后两时间间隔； $C_{\text{bat}}$  为蓄电池的总容量，Ah； $\eta(t)$  为充放电效率；

[0010] 3) 为了简化容量预测模型，将行驶中的 EV 汽车视为额定功率输出，那么在 EV 电池有效充放电范围  $[\text{SOC}_{\text{min}}, \text{SOC}_{\text{max}}]$  内，可简化视作恒电流充、放电。选择最小的计时单位为  $\Delta t$ ，由式 (1) 可得式 (2)：

$$[0011] \quad \text{SOC}[(n+1)\Delta t]=\text{SOC}(n\Delta t)(1-\sigma\Delta t)+I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t)/C_{\text{bat}} \quad n=1, 2, \dots \quad (2)$$

[0012] 式 (2) 等式两边同左乘  $C_{\text{bat}}$ ，可得式 (3) 所示电池剩余容量表示式：

$$[0013] \quad C[(n+1)\Delta t]=C_{\text{bat}}\text{SOC}[(n+1)\Delta t]=C(n\Delta t)(1-\sigma\Delta t)+I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t) \quad (3)$$

[0014] 当  $\Delta t$  足够小时， $\sigma\Delta t$  与 1 相比，可以忽略不计，即  $1-\sigma\Delta t=1$ 。当视作对电池进行恒流充、放电时，每经过一个  $\Delta t$ ，前后两时间段电池剩余容量的变化量为  $I_{\text{bat}}\Delta t\eta(n\Delta t)$  为定值。假设  $n\Delta t$  时刻集群中处于充、放电状态的电池数量为  $N(n\Delta t)$ ，则  $(n+1)\Delta t$  时刻该集群电池容量的变化量如式 (4) 所示：

$$[0015] \quad \Delta C_s[(n+1)\Delta t]=\sum_{i=1}^n N(i\Delta t)I_{\text{bat}}\Delta t\eta = I_{\text{bat}}\Delta t\eta\sum_{i=1}^n N(i\Delta t) \quad (4)$$

[0016] 4) 确定 EV 动力电池集群参与 V2G 服务的管理模式，统计其配置参数、工作特性等关键因素；将其一天工作时间分为 4 段：

[0017] 时段  $\Delta T_1$ ：早上上班开车时段（离家至到达公司，电池处于放电状态）；

[0018] 时段  $\Delta T_2$ ：早上到达公司至下午离开公司时段（停放公司车库，可参与 V2G 服务，接受 V2G 服务中心的充、放电调度，保证  $\Delta T_3$  时段正常行车需求容量）；

[0019] 时段  $\Delta T_3$ ：下午下班开车时段（离开公司至到家，电池处于放电状态）；

[0020] 时段  $\Delta T_4$ ：下午到家至早上离开时段（停放住家小区车库，电池可参与 V2G 服务，接受 V2G 服务中心的充、放电调度，保证下一个  $\Delta T_1$  时段初始时刻电池最大容量）；

[0021] 5) 分析 EV 电池集群概率可用容量的关键影响因素，包括集群中参与 V2G 服务的汽车数量、集群汽车早上离家时间分布、路上所花时间分布、下午离开公司时间分布、晚上开始充电时间分布等；

[0022] 6) 参考有关调研、统计的数据和规律，对步骤 5) 中 EV 电池集群可用容量预测的各关键影响因素做出合理设置，运用概率分析法的相关理论（如蒙特卡洛法），构建各影响因素的概率分布模型；

[0023] 7) 确定步骤 5) 中各影响因素间的关联，基于步骤 6) 所构建各概率分布模型，运用概率分析法的相关理论（如概率累积分布函数、期望值理论等）和分析工具（如 crystal ball 软件等），求取行车时段电池集群的容量变化量概率分布特性。

[0024] 以早上  $\Delta T_1$  时段为例，基于步骤 6) 中确定集群汽车离家时间的概率分布以及中途耗时的概率分布，可通过 crystal ball 软件求得集群汽车到达公司时间的概率分布，从而得到集群汽车离家时间概率分布函数  $F_1(n\Delta t)$  和到达公司时间的概率累积分布函数  $F_2(n\Delta t)$ 。因此， $n\Delta t$  时刻处于行车状态的 EV 数量可概率表示为：

$$[0025] \quad N(n\Delta t)=N_1(n\Delta t)-N_a(n\Delta t)=N_sF_1(n\Delta t)-N_sF_2(n\Delta t) \quad (5)$$

[0026] 式中： $N_1(n\Delta t)$  和  $N_a(n\Delta t)$  分别为  $n\Delta t$  时刻已经离家的车数量和已经到达公司

的车数量； $N_s$  为集群汽车的数量总和。

[0027] 将式 (5) 代入式 (4)，可求得早上  $\Delta T_1$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量为：

$$[0028] \quad \Delta C_{s1}[(n+1)\Delta t] = N_s I_{bat} \Delta t \eta \sum_{i=1}^n [F_1(i\Delta t) - F_2(i\Delta t)] \quad (6)$$

[0029] 同理，下午  $\Delta T_3$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量为：

$$[0030] \quad \Delta C_{s3}[(n+1)\Delta t] = N_s I_{bat} \Delta t \eta \sum_{i=1}^n [F_3(i\Delta t) - F_4(i\Delta t)] \quad (7)$$

[0031] 式中： $F_3(n\Delta t)$  为  $n\Delta t$  时刻集群汽车离开公司时间的概率分布函数； $F_4(n\Delta t)$  为  $n\Delta t$  时刻集群汽车到家时间的概率累积函数；

[0032] 8) 对应步骤 4) 中定义的 4 个时段，仅时段  $\Delta T_2$  和时段  $\Delta T_4$  可参与 V2G 服务，接受 V2G 服务中心的充、放电调度，可确定集群电池的剩余容量；

[0033] a. 时段  $\Delta T_2$  内， $n\Delta t$  时刻的集群电池剩余容量为：

$$[0034] \quad C_{r2}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC_{max} - \sum_{i_1=1}^{N_1} \Delta C_{s1}[i_1\Delta t] + \sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] \quad (8)$$

[0035] 其中， $N_1$  为时段  $\Delta T_1$  内单位时间  $\Delta t$  的总个数； $\Delta C_{s2}[i_2\Delta t]$  为  $\Delta T_2$  时段内  $i_2\Delta t$  时刻集群容量受调度控制的变化量；

[0036] b. 时段  $\Delta T_4$  内， $n\Delta t$  时刻的集群电池剩余容量为：

$$[0037] \quad C_{r4}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC_{max} - \sum_{i_1=1}^{N_1} \Delta C_{s1}[i_1\Delta t] + \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] - \sum_{i_3=1}^{N_3} \Delta C_{s3}[i_3\Delta t] + \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t] \quad (9)$$

[0038] 其中， $N_2$ 、 $N_3$  分别为时段  $\Delta T_2$ 、 $\Delta T_3$  内单位时间  $\Delta t$  的总个数；该  $\Delta C_{s4}[i_4\Delta t]$  为  $\Delta T_4$  时段内  $i_4\Delta t$  时刻集群容量受调度控制的变化量；

[0039] 9) 由步骤 8) 所得剩余容量及步骤 1) 中关于“V2G 可用容量”概念的定义，可确定  $\Delta T_2$  时段和  $\Delta T_4$  时段内集群电池的 V2G 可用容量实时概率预测值；

[0040] a. 时段  $\Delta T_2$  内，V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为：

$$[0041] \quad C_{a2\_d}[n\Delta t] = C_{r2}[n\Delta t] - N_s C_{bat} SOC_{min} \quad (10)$$

$$[0042] \quad C_{a2\_c}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC_{max} - C_{r2}[n\Delta t] \quad (11)$$

[0043] b. 时段  $\Delta T_4$  内，V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为：

$$[0044] \quad C_{a4\_d}[n\Delta t] = C_{r4}[n\Delta t] - N_s C_{bat} SOC_{min} \quad (12)$$

$$[0045] \quad C_{a4\_c}[n\Delta t] = N_s C_{bat} SOC_{max} - C_{r4}[n\Delta t] \quad (13)$$

[0046] 本发明的有益效果在于，定义 EV 动力电池的“V2G 可用容量”新概念，提出的一种参与 V2G 服务的 EV 动力电池集群实时概率可用容量预测方法，为有效评估 EV 动力电池集群参与 V2G 服务时可提供给电网进行充、放电功率平衡的能力进行科学、合理的评估提供了一种新方法。

## 附图说明

[0047] 图 1 为参与 V2G 服务的动力电池集群实时概率可用容量预测方案框图。

- [0048] 图 2a 为 EV 动力电池放电特性图。
- [0049] 图 2b 为 EV 动力电池充电特性图。
- [0050] 图 3 为 24 小时内的 EV 的工作状态时段分布图。
- [0051] 图 4 为 EV 集群到达公司时间的概率分布图。
- [0052] 图 5 为 EV 集群到达公司时间的分布参数图。
- [0053] 图 6 为电池集群时段  $\Delta T_1$  内的容量变化量累计图。
- [0054] 图 7 为电池集群时段  $\Delta T_3$  内的容量变化量累计图。

### 具体实施方式

[0055] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步的详细说明,但本发明的实施方式不限于此。实施例中参与 V2G 服务的动力电池集群实时概率可用容量预测方案总体框图如附图 1 所示,包括以下步骤:

[0056] 1) 定义 EV 动力电池的“V2G 可用容量”概念:是指 EV 动力电池参与 V2G 服务时,可向电网提供的允许充、放电容量。该概念用以表征 EV 动力电池作为储能元件进行电网动态功率平衡能力,因此,又可分为“V2G 放电可用容量”和“V2G 充电可用容量”两个指标。

[0057] 2) 推导 EV 动力电池集群单位时段的电池容量变化量。根据电池充放电相关理论和文献,采用式 (1) 表征考虑电池自放电和充放电得到前后两时间段 S. O. C 的关系,结果如附图 2a 和图 2b 所示。

[0058] 3) 为了简化容量预测模型,将行驶中的 EV 汽车视为额定功率输出,那么在 EV 电池有效充放电范围  $[SOC_{\min}, SOC_{\max}]$  内,可简化视作恒电流充、放电。选择最小的计时单位为  $\Delta t$ , 由式 (1) 可得式 (2)。

[0059] 式 (2) 等式两边同左乘  $C_{\text{bat}}$ , 可得式 (3) 所示电池剩余容量表示式。当  $\Delta t$  足够小时,  $\sigma \Delta t$  与 1 相比,可以忽略不计,即  $1 - \sigma \Delta t = 1$ 。当视作对电池进行恒流充、放电时,每经过一个  $\Delta t$ , 前后两时间段电池剩余容量的变化量为  $I_{\text{bat}} \Delta t \eta (n \Delta t)$  为定值。假设  $n \Delta t$  时刻集群中处于充 / 放电状态的电池数量为  $N(n \Delta t)$ , 则  $(n+1) \Delta t$  时刻该集群电池容量的变化量如式 (4) 所示。

[0060] 4) 确定 EV 动力电池集群参与 V2G 服务的管理模式,统计其配置参数、工作特性等关键因素。如附图 3 所示,将其一天工作时间分为 4 段:

[0061] 时段  $\Delta T_1$ : 早上上班开车时段(离家至到达公司, 电池处于放电状态);

[0062] 时段  $\Delta T_2$ : 早上到达公司至下午离开公司时段(停放公司车库, 可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 保证  $\Delta T_3$  时段正常行车需求容量);

[0063] 时段  $\Delta T_3$ : 下午下班开车时段(离开公司至到家, 电池处于放电状态);

[0064] 时段  $\Delta T_4$ : 下午到家至早上离开时段(停放住家小区车库, 电池可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 保证下一个  $\Delta T_1$  时段初始时刻电池最大容量)。

[0065] 5) 分析 EV 电池集群概率可用容量的关键影响因素,包括集群中参与 V2G 服务的汽车数量、集群汽车早上离家时间分布、路上所花时间分布、下午离开公司时间分布、晚上开始充电时间分布等。

[0066] 6) 参考有关调研、统计的数据和规律,对步骤 5) 中 EV 电池集群可用容量预测的各关键影响因素做出合理设置,运用概率分析法的相关理论(如蒙特卡洛法),构建各影响因



素的概率分布模型。

[0067] 7) 确定步骤 5) 中各影响因素间的关联, 基于步骤 6) 所构建各概率分布模型, 运用概率分析法的相关理论(如概率累积分布函数、期望值理论等)和分析工具(如 crystal ball 软件等), 求取行车时段电池集群的容量变化量概率分布特性。

[0068] 以早上  $\Delta T_1$  时段为例, 基于步骤 6) 中确定集群汽车离家时间的概率分布以及中途耗时的概率分布, 可通过 crystal ball 软件求得集群汽车到达公司时间的概率分布, 从而得到集群汽车离家时间概率分布函数  $F_1(n \Delta t)$  和到达公司时间的概率累积分布函数  $F_2(n \Delta t)$ 。因此,  $n \Delta t$  时刻处于行车状态的 EV 数量的概率表示如式 (5) 所示。将式 (5) 代入式 (4), 可求得早上  $\Delta T_1$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量如式 (6) 所示。同理, 下午  $\Delta T_3$  时段  $(n+1) \Delta t$  时刻集群容量的变化量如式 (7) 所示。

[0069] 8) 对应步骤 4) 中定义的 4 个时段, 仅时段  $\Delta T_2$  和时段  $\Delta T_4$  可参与 V2G 服务, 接受 V2G 服务中心的充、放电调度, 可确定集群电池的剩余容量。

[0070] a. 时段  $\Delta T_2$  内,  $n \Delta t$  时刻的集群电池剩余容量表达式如式 (8) 所示。

[0071] b. 时段  $\Delta T_4$  内,  $n \Delta t$  时刻的集群电池剩余容量表达式如式 (9) 所示。

[0072] 9) 由步骤 8) 所得剩余容量及步骤 1) 中关于“V2G 可用容量”概念的定义, 可确定  $\Delta T_2$  时段和  $\Delta T_4$  时段内集群电池的 V2G 可用容量实时概率预测值:

[0073] a. 时段  $\Delta T_2$  内, V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为式 (10) 和式 (11) 所示。

[0074] b. 时段  $\Delta T_4$  内, V2G 放电可用容量和 V2G 充电可用容量分别表征为式 (12) 和式 (13) 所示。

[0075] 本实施例中采用一个 200 辆规模大小的 EV 集群参与某有限区域电网内 V2G 服务的运行情景。进行以下关键参数的假设与设定:

[0076] 1) 以比亚迪 E6 为参考设定动力电池的性能参数, 电池最大初始满容量为 220Ah, 电池集群平均有效充、放电范围为最大初始满容量的  $[0.2 \sim 0.9]$  倍。

[0077] 2) 汽车早上离开住所时间服从正态分布, 以 7 点 30 分为期望值, 均方差为 0.5 个小时;

[0078] 3) 汽车下午离开工作场所的时间服从正态分布, 以 17 点为期望值, 均方差为 0.5 个小时;

[0079] 4) 汽车通勤行程假设均匀分布在 20km 到 40km 之间, 城市工况下汽车的平均速度为 60km/h。

[0080] 由假设可知, 早上离开住所时间  $T_1 \sim N(7.5, 0.5^2)$ , 单位为小时。将其转换为以分为单位, 即  $T_1 \sim N(450, 30^2)$ 。通勤行程  $L \sim U(20, 40)$ , 单位为公里。城市工况平均速度  $v$  为 60 公里/时, 则上午通勤时间  $T_2=60L/v \sim U(20, 40)$ , 到达公司时间  $T_3=T_1+T_2$ , 使用 crystal ball 软件得到  $T_3 \sim N(480.12, 30.55^2)$ , 该电动汽车集群到达公司时间的概率分布图和分布参数图分别如附图 4、附图 5 所示。同理, 下班到家的时间  $T_6=T_4+T_5 \sim N(1050.01, 30.56^2)$ 。其中,  $T_4$  为下班离开公司时间,  $T_5=T_2$  为下午通勤时间。经计算统计,  $\Delta T_1$  时段和  $\Delta T_3$  时段内消耗的电池集群容量分别为 4417.6Ah 和 4401.5Ah。

[0081] 按步骤 6) 与 7), 可得该电池集群在时段  $\Delta T_2$  内和时段  $\Delta T_4$  内的实时集群容量变化量分别如附图 6、附图 7 所示。按照步骤 9), 可确定  $\Delta T_2$  时段和  $\Delta T_4$  时段内集群电池的

V2G 可用容量实时概率预测值：

[0082] a. 时段  $\Delta T_2$  内, 由式 (8)、式 (10) 和式 (11), 可得：

$$C_{a2\_d}[n\Delta t] = 200*220*0.9 - 4417.6 + \sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] - 200*220*0.2$$

[0083]

$$= 26382.4 + \sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] \quad (\text{Ah})$$

$$[0084] \quad C_{a2\_c}[n\Delta t] = 4417.6 - \sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] \quad (\text{Ah})$$

[0085] 其中,  $\sum_{i_2=1}^n \Delta C_{s2}[i_2\Delta t]$  为  $\Delta T_2$  时段开始至当前时刻的调度容量累计值, 由于受 V2G 服务中心的充、放电调度, 大小和正负均无法预测, 需根据实际情况统计。

[0086] b. 时段  $\Delta T_4$  内, 由式 (9)、式 (12) 和式 (13), 可得：

$$C_{r4}[n\Delta t] = 200*220*0.9 - 4417.6 + \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] - 4401.5 + \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t] - 200*220*0.2$$

[0087]

$$= 21980.9 + \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] + \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t] \quad (\text{Ah})$$

$$C_{a4\_d}[n\Delta t] = 4417.6 - \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] + 4401.5 - \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t]$$

[0088]

$$= 8819.1 - \sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t] - \sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t] \quad (\text{Ah})$$

[0089] 其中,  $\sum_{i_2=1}^{N_2} \Delta C_{s2}[i_2\Delta t]$  为  $\Delta T_2$  完整时段的调度容量累计值,  $\sum_{i_4=1}^n \Delta C_{s4}[i_4\Delta t]$  为  $\Delta T_4$  时段

开始至当前时刻的调度容量累计值, 由于受 V2G 服务中心的充、放电调度, 大小和正负均无法预测, 需根据实际情况统计。

[0090] 如上所述, 便可较好地实现本发明, 上述实施例仅为本发明的典型实施例, 并非用来限定本发明的实施范围, 即凡依本发明内容所作的均等变化与修饰, 都为本发明权利要求所要求保护的范围内所涵盖。

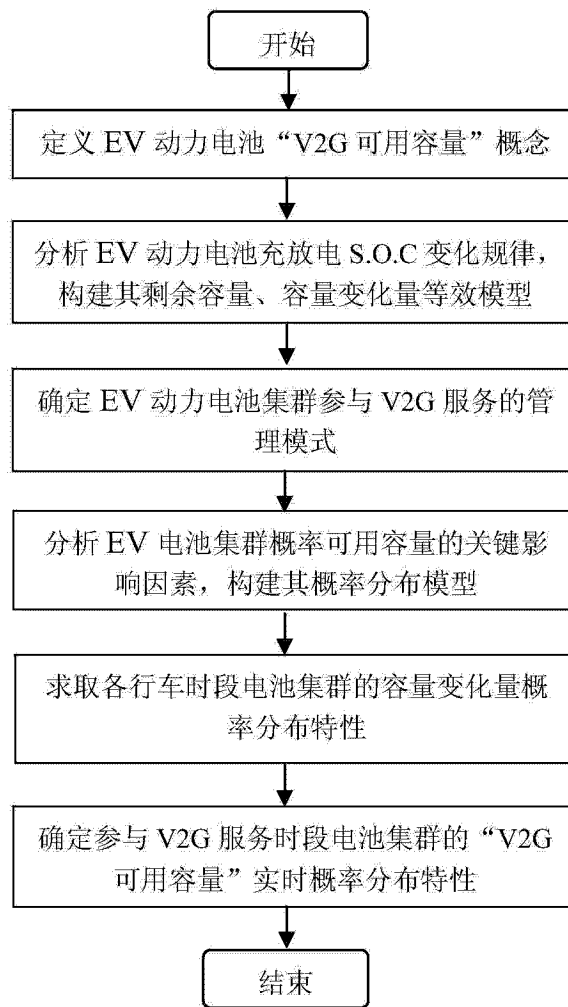


图 1

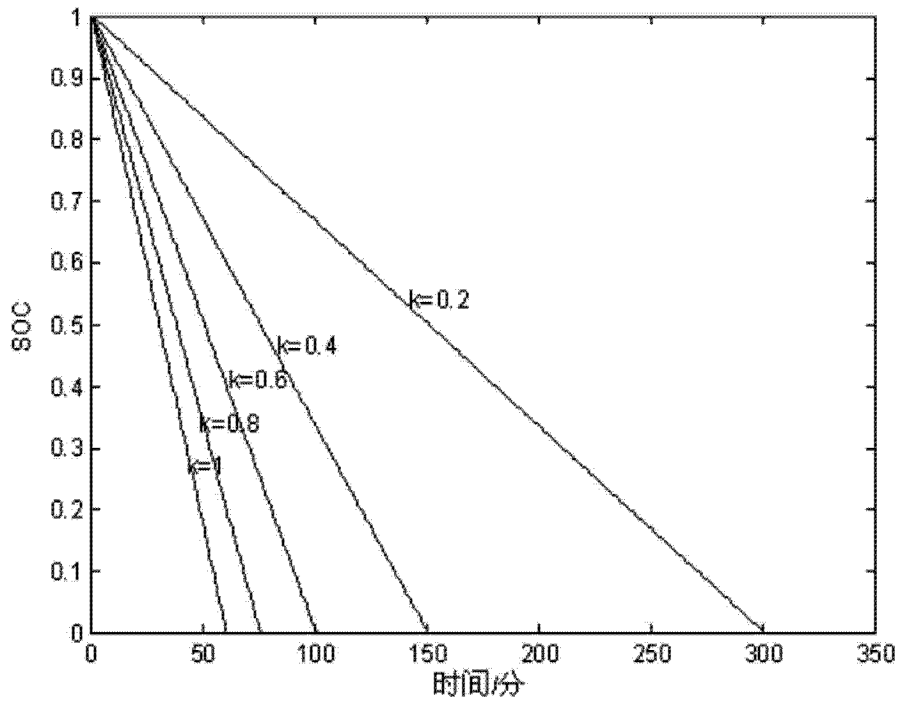


图 2a

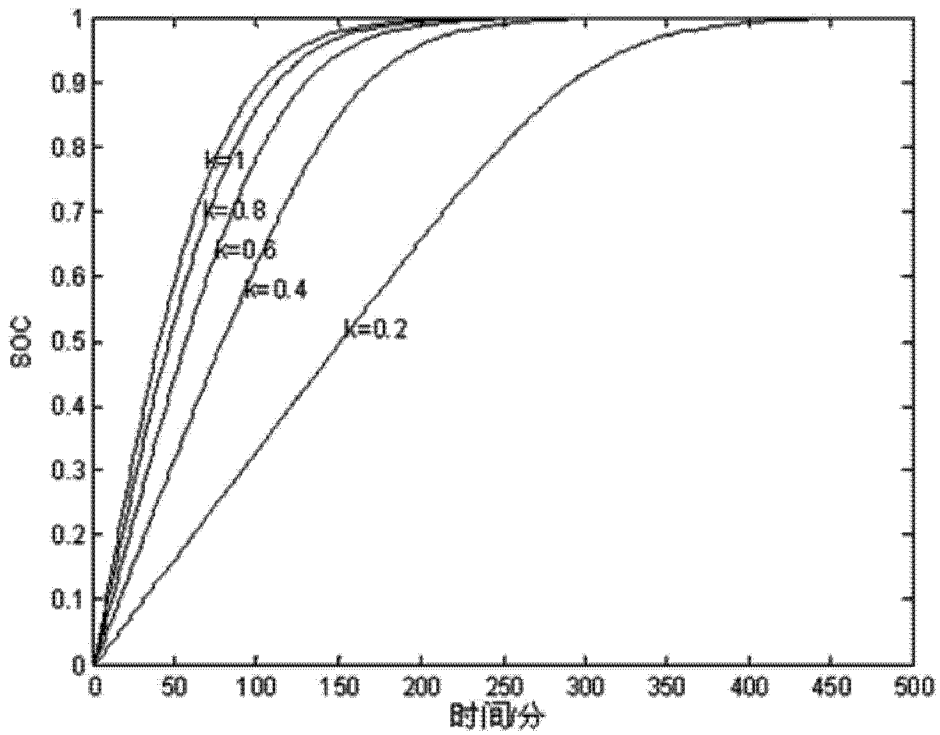


图 2b

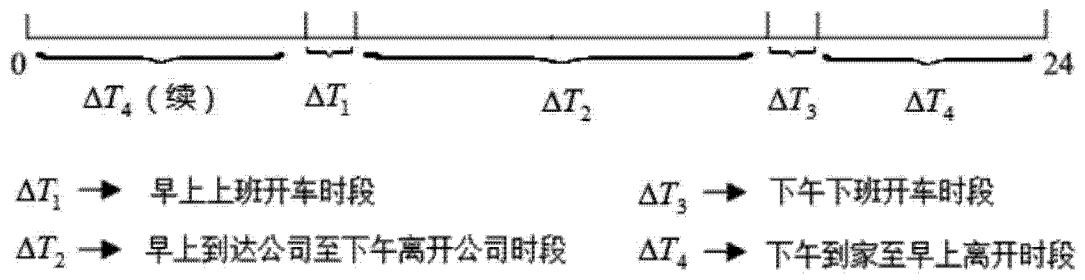


图 3

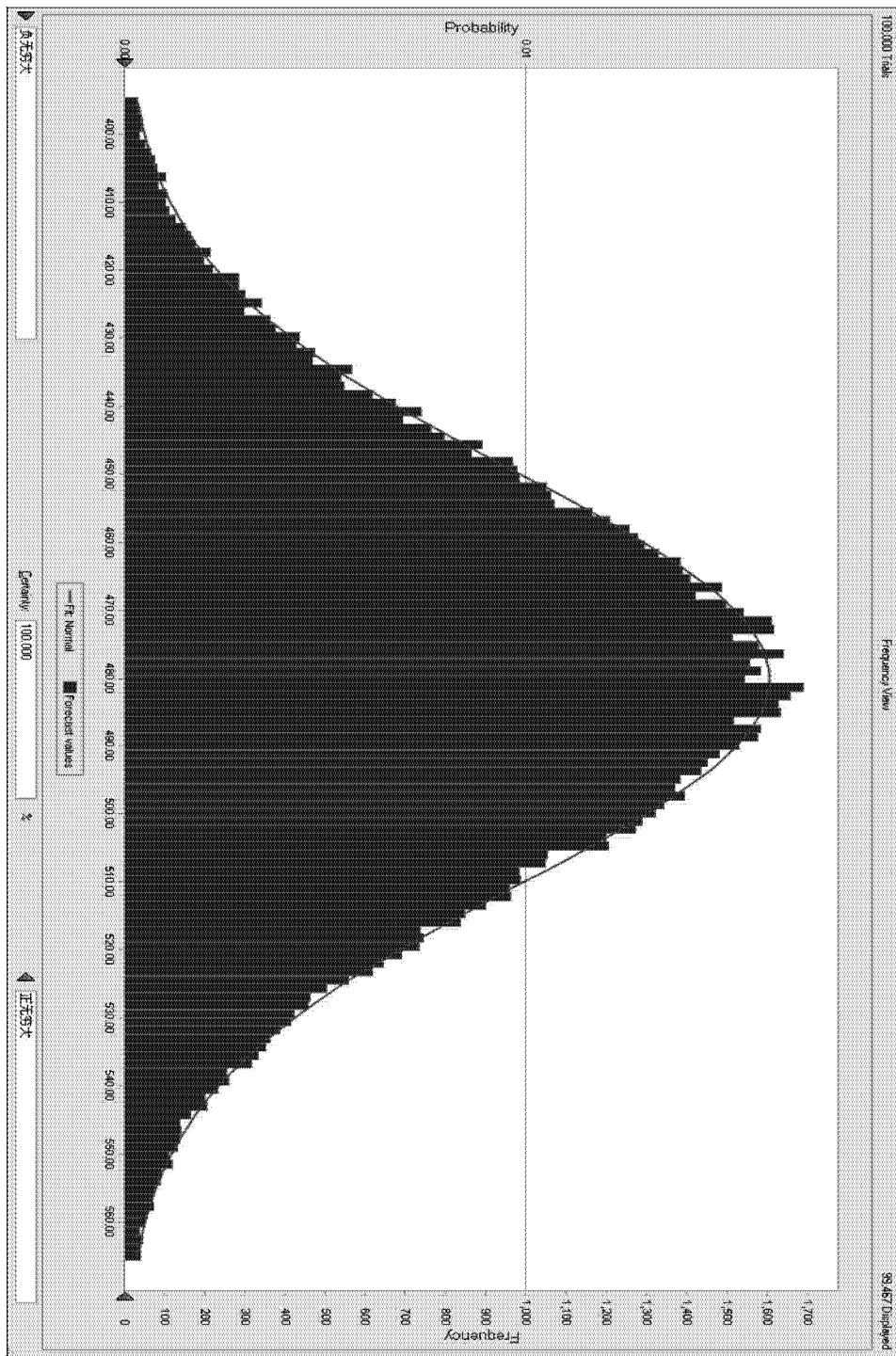


图 4

Ranked by: Anderson-Darling			
	Distribution	A-D	P-Value Parameters
▶	Normal	1977	0.979 Mean=480.12,Std. Dev.=30.55
	Lognormal	.1986	0.844 Location=-358.879,12,Mean=480.12,Std. Dev.=3
	Beta	.4387	-- Minimum=46.97,Maximum=913.28,Alpha=100.8
	Weibull	23.0269	0.000 Location=380.53,Scale=110.48,Shape=3.62269
	Gamma	28.7670	0.000 Location=96.35,Scale=2.45,Shape=156.39988
	Logistic	69.2512	0.000 Mean=480.13,Scale=17.48
	Min Extreme	1,173.016	0.000 Likeliest=495.40,Scale=30.47
	Max Extreme	1,191.636	0.000 Likeliest=464.84,Scale=30.57
	Student's t	2,134.653	-- Midpoint=480.12,Scale=12.74,Deg. Freedom=1
	BetaPERT	5,640.073	-- Minimum=351.74,Likeliest=480.18,Maximum=60
	Triangular	6,368.137	-- Minimum=351.74,Likeliest=480.18,Maximum=60
	Uniform	16,470.28	0.000 Minimum=352.24,Maximum=608.15
	Pareto	28,948.90	-- Location=352.25,Shape=3.25012
	Exponential	40,363.41	0.000 Rate=0.00

图 5

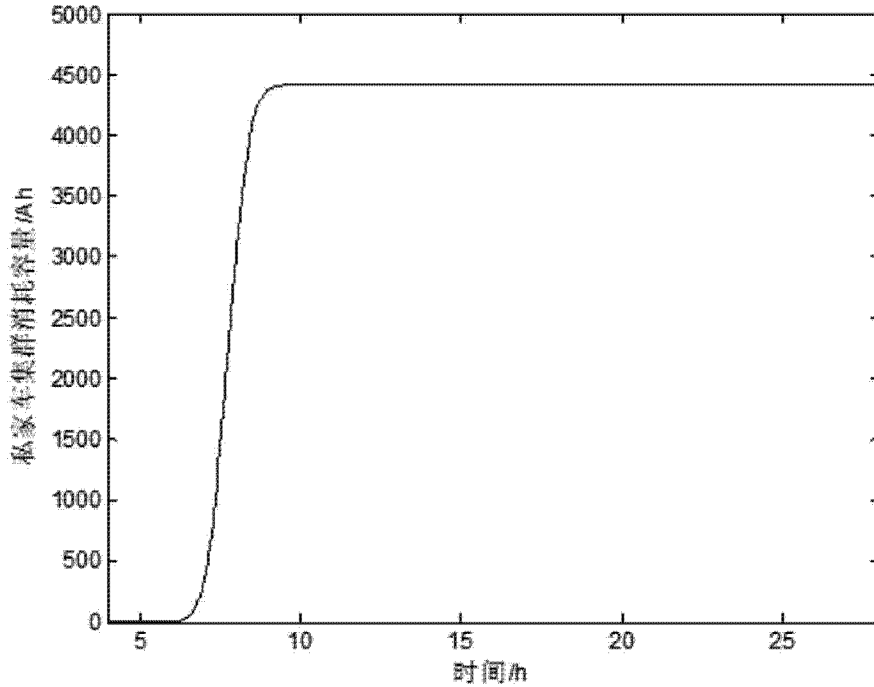


图 6

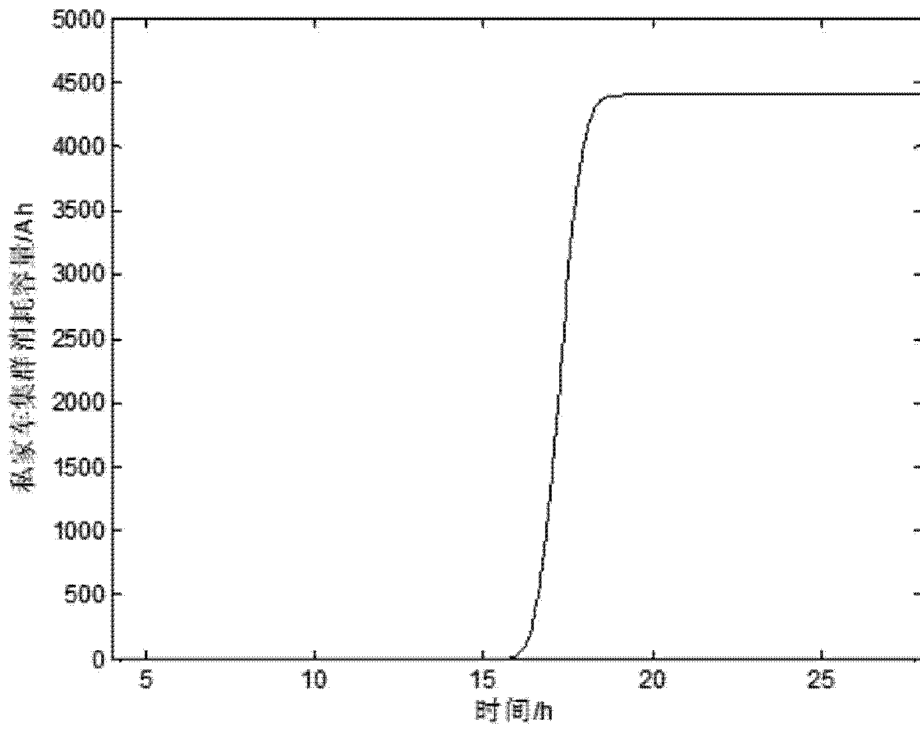


图 7