



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110443415 A

(43)申请公布日 2019.11.12

(21)申请号 201910673325.9

(22)申请日 2019.07.24

(71)申请人 三峡大学

地址 443002 湖北省宜昌市西陵区大学路8号

(72)发明人 程杉 赵孟雨 魏昭彬 倪凯旋 何黎君 徐康仪 闫海 何畅

(74)专利代理机构 宜昌市三峡专利事务所 42103

代理人 吴思高

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 30/02(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

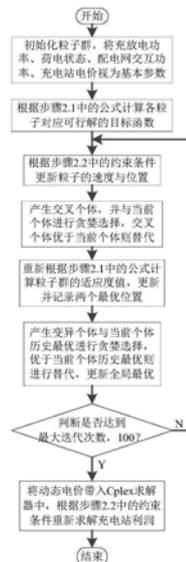
权利要求书3页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法

(57)摘要

一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,根据电动汽车用户行驶行为及充放电特性,使用蒙特卡洛随机抽样模拟电动汽车的行驶特性,包括离开电网时间、接入电网时间、日行驶里程、期望荷电状态。构建计及动态电价策略的多目标优化调度模型,考虑电动汽车实际充放电功率、荷电状态、配电网供电容量约束。运用改进粒子群优化算法对计及动态电价策略的多目标优化调度模型进行求解,得到充电站收益、每辆电动汽车的充电方案、以及配电网与充电站之间的交互功率。本发明调度方法,在满足电动汽车充放电需求的情况下,可在增大充电站收益的同时,减小配电网与充电站之间的交互功率及其波动。



1. 一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤1:根据电动汽车用户行驶行为及充放电特性,模拟电动汽车的行驶特性,包括离开电网时间、接入电网时间、日行驶里程、期望荷电状态;

步骤2:综合考虑以上电动汽车的充放电需求,构建计及动态电价策略的多目标优化调度模型,以充电站收益最大、配电网与充电站之间交互功率最小为优化目标,并且考虑电动汽车实际充放电功率、荷电状态、配电网供电容量约束;

步骤3:运用改进粒子群优化算法对计及动态电价策略的多目标优化调度模型进行求解,得到充电站收益、每辆电动汽车的充电方案、以及配电网与充电站之间的交互功率。

2. 根据权利要求1所述一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,其特征在于:步骤1包括以下步骤:

步骤1.1:电动汽车离网时间 $t_{depn,i}$ 的概率密度函数符合 x^2 分布函数,即:

$$f_{dep}(t_{depn,i}) = \frac{t_{dep}^{(\nu-2)/2} e^{-t_{dep,i}/2}}{2^{\nu/2} K(\nu/2)};$$

$$K(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt;$$

其中, $t_{depn,i}$ 是车辆在第*i*个时间窗口归一化后的离网时间,定义为 $t_{dep,i} / \Delta t$; $t_{dep,i}$ 为第*i*个时间窗口的离网时间; Δt 是离散时间窗口的长度; ν 是利用序列二次规划最小化均方误差求得的参数;

步骤1.2:电动汽车接入电网时间 t_{arr} 可表示为离网时间的条件概率,即:

$$P_{ARR}(t_{arr} | t_{dep,i}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{(t_{arr}-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}};$$

其中, μ_i 和 σ_i 分别为第*i*个离网时间窗口中接入电网时间均值和标准差;

步骤1.3:电动汽车的日行驶里程 R_d 概率密度函数符合截断幂律分布,即:

$$f(R_d) = (R_{d0} + R_d)^{-\beta} \exp(-R_d/\alpha);$$

步骤1.4:根据电动汽车接入电网时的初始荷电状态 Soc_{st} 以及日行驶里程 R_d ,可以计算出每辆电动汽车在离开电网时刻的期望荷电状态 Soc_{ex} ,即:

$$Soc_{ex} = Soc_{st} + \frac{R_d E_{d100}}{100E};$$

其中, E 为电动汽车电池容量, E_{d100} 为行驶100km所需的电能;

步骤1.5:计算出 Soc_{ex} 后,判断第*i*辆电动汽车接入电网的时段区间是否合理,即:

$$\frac{Soc_{ex,i} - Soc_{st,i}}{P_{max}^{EV}} \leq t_{dep,i} - t_{arr,i};$$

其中, P_{max}^{EV} 为单个时间窗口内最大充电功率,若电动汽车车主设定的接入电网时间区间不满足上式,充电站运营商将要求电动汽车车主作出时间调整。

3. 根据权利要求1所述一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方

法,其特征在于:步骤2包括以下步骤:

步骤2.1:以充电站收益最大、配电网与充电站之间的交互功率波动最小为优化目标:

$$\text{Max} \left[\sum_{t=1}^T P_t^B (C_t^{CSta} - C_t^{Grid}) - \sum_{t=2}^T |P_t^{in} - P_{t-1}^{in}| \right];$$

其中, P_t^B 为第t个时刻所有电动汽车的充放电功率之和; C_t^{CSta} 和 C_t^{Grid} 分别为t时刻充电站运营商的售电和购电电价; P_t^{in} 为配电网与充电站之间的交互功率;

步骤2.2:建立计及动态电价策略的多目标优化调度模型的约束条件:

①、充电站源荷约束:

配电网所能承受的最大负荷 P_t^{ex} 要满足配电网的基础负荷 P_t^L 与电动汽车充放电功率 P_t^B 之和即:

$$P_t^{ex} \geq P_t^L + P_t^B;$$

②、充、放电功率约束:

电动汽车充、放电功率均应在规定的最大充、放电功率值范围内,即:

$$-P_{\max}^{EV} \leq P_{t,i}^{dis} \leq 0 \leq P_{t,i}^{cha} \leq P_{\max}^{EV};$$

其中, $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 为t时刻第i辆电动汽车的充、放电功率;

③、离开电网时刻荷电状态约束:

为保证电动汽车用户的出行需求,电动汽车离开电网时刻的荷电状态必须满足:

$$Soc_{ex} \geq Soc_{st} + \frac{R_d E_{d100}}{100E};$$

④、荷电更新约束:

非闲置状态下的每辆电动汽车在下一个时段的荷电状态满足:

$$Soc_{t+1,i} = Soc_{t,i} + \frac{(P_{t,i}^{cha} + P_{t,i}^{dis}) \Delta t}{E};$$

⑤、荷电状态上下限约束:

为避免电动汽车的动力电池过度充、放电,其荷电状态满足:

$$SoC_{low} \leq SoC_{t,i} \leq SoC_{max}$$

其中, SoC_{max} 、 SoC_{low} 表示荷电状态的上、下限;

⑥、实时电价上、下限约束:

考虑代理商的运营成本和用户的承受能力,设定充放电动态电价的上下限为:

$$C_{\min} \leq C_t^{CSta} \leq C_{\max}$$

其中, C_{max} 和 C_{min} 分别为充放电电价的上限和下限。

4. 根据权利要求1所述一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,其特征在于:步骤3包括以下步骤:

步骤3.1:初始化粒子群,将 C_t 、 $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 、 $Soc_{t,i}$ 、 P_t^{in} 设为决策变量;

步骤3.2:计算各粒子对应可行解的目标函数值;

步骤3.3:更新粒子的速度和位置;

- 步骤3.4:产生交叉个体,并与当前个体进行贪婪选择,交叉个体优于当前个体则替代;
- 步骤3.5:重新计算粒子群的适应度值,更新并记录两个最优位置;
- 步骤3.6:产生变异个体与当前个体历史最优进行贪婪选择,优于当前个体历史最优则进行替代,更新全局最优;
- 步骤3.7:判断是否达到最大迭代次数,若是,则停止计算;否则,返回步骤3.3;
- 步骤3.8:将更新电价带入Cplex中,根据约束条件重新求解充电站利润。

一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法

技术领域

[0001] 本发明一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,属于电动汽车技术领域。

背景技术

[0002] 电动汽车作为实现气候和其他可持续发展目标的政策支持对象,2030年的全球预期电动汽车数量高达2.2亿辆。大量电动汽车有序接入电网进行充放电,可优化无序接入方式下引起的电压波动、谐波、供需不平衡等问题。充电站作为电动汽车的基础服务设施,控制电动汽车实现有序充放电是必要的。结合车联网技术合理安排电动汽车充放电,可实现降低配电网的损耗、减小配电网的负荷波动、促进新能源消纳,实现低碳出行、减小充电站运行成本或增大充电站收益等目标,以及为电网提供移动储能备用、调频等辅助服务。

[0003] 传统的分时电价不能灵活地引导电动汽车用户的充放电行为。传统的分时电价在电价不变的区间内,由于电价保持不变,对电动汽车几乎没有调节作用。因此,研究更加合理的制定电价策略,减小由电动汽车充放电引起配电网与充电站之间交互功率波动,增强电价机制对V2G的引导作用,同时兼顾电动汽车充电站的收益,是当前要解决的技术问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,该方法通过提出一种动态电价策略,构建计及充电站收益及配电网与充电站之间的交互功率的多目标优化的数学模型,进一步提供充电站的收益、减小配电网与充电站之间交互功率及其波动,有利于电力系统的稳定运行。

[0005] 本发明采取的技术方案为:

[0006] 一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1:根据电动汽车用户行驶行为及充放电特性,使用蒙特卡洛随机抽样模拟电动汽车的行驶特性,包括离开电网时间、接入电网时间、日行驶里程、期望荷电状态。

[0008] 步骤2:综合考虑以上电动汽车的充放电需求,构建计及动态电价策略的多目标优化调度模型,以充电站收益最大、配电网与充电站之间交互功率最小为优化目标,并且考虑电动汽车实际充放电功率、荷电状态、配电网供电容量约束。

[0009] 步骤3:运用改进粒子群优化算法对计及动态电价策略的多目标优化调度模型进行求解,得到充电站收益、每辆电动汽车的充电方案、以及配电网与充电站之间的交互功率。

[0010] 采用本发明一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,结果表明所提电价策略能够应对不同电动汽车数量调整电价,提高充电站收益,有效减少配电网负荷的峰谷差、均方差,实现平抑波动的目的。本发明在满足电动汽车充放电需求的情况下,可在增大充电站收益的同时,减小配电网与充电站之间的交互功率及其波动。

附图说明

- [0011] 图1是改进粒子群优化算法流程图。
 [0012] 图2是不同电价策略下的负荷曲线图。
 [0013] 图3是不同充放电策略下的负荷曲线图。
 [0014] 图4是动态电价下调度不同数量电动汽车有序充放电负荷曲线图。
 [0015] 图5 (1) 是调度50辆电动汽车得到的动态电价图；
 [0016] 图5 (2) 是调度100辆电动汽车得到的动态电价图；
 [0017] 图5 (3) 是调度150辆电动汽车得到的动态电价图。

具体实施方式

[0018] 一种计及动态电价策略的电动汽车充电站多目标优化调度方法,包括以下步骤:

[0019] 步骤1:根据电动汽车用户行驶行为及充放电特性,使用蒙特卡洛随机抽样模拟电动汽车的行驶特性,包括离开电网时间、接入电网时间、日行驶里程、期望荷电状态。

[0020] 对于步骤1中的电动汽车用户行驶行为特性指的就是离开电网时间、接入电网时间、日行驶里程这三个行驶行为特性,对于这三个行驶行为特性的具体描述在步骤1.1~步骤1.3.电动汽车的充放电特性指的是步骤1.4、步骤1.5。

[0021] 蒙特卡洛随机抽样通过构造符合一定规则的随机数来解决数学上的各种问题。本发明中,根据步骤1.1中的电动汽车离网时间 $t_{depn,i}$ 的概率密度函数符合 x^2 分布函数,采用蒙特卡洛对其进行模拟,即可得到电动汽车离网时间的数据。同理可得,其他的行驶特性数据与充放电特性数据。

[0022] 步骤2:综合考虑以上电动汽车的充放电需求,构建计及动态电价策略的多目标优化调度模型,以充电站收益最大、配电网与充电站之间交互功率最小为优化目标,并且考虑电动汽车实际充放电功率、荷电状态、配电网供电容量约束。

[0023] 步骤3:运用改进粒子群优化算法对计及动态电价策略的多目标优化调度模型进行求解,得到充电站收益、每辆电动汽车的充电方案、以及配电网与充电站之间的交互功率。

[0024] 步骤1包括以下步骤:

[0025] 步骤1.1:电动汽车离网时间 $t_{depn,i}$ 的概率密度函数符合 x^2 分布函数,即:

$$[0026] \quad f_{dep}(t_{depn,i}) = \frac{t_{dep}^{(v-2)/2} e^{-t_{dep,i}/2}}{2^{v/2} K(v/2)};$$

$$[0027] \quad K(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt;$$

[0028] 其中, $t_{depn,i}$ 是车辆在第*i*个时间窗口归一化后的离网时间,定义为 $t_{dep,i}/\Delta t$; $t_{dep,i}$ 为第*i*个时间窗口的离网时间; Δt 是离散时间窗口的长度; v 是利用序列二次规划最小化均方误差求得的参数; $t_{dep}^{(v-2)/2}$ 、 $e^{-t_{dep,i}/2}$ 、 K 均为 x^2 分布函数的参数。

[0029] 步骤1.2:电动汽车接入电网时间 t_{arr} 可表示为离网时间的条件概率,即:

$$[0030] \quad P_{ARR} \left(t_{arr} | t_{dep,i} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{(t_{arr}-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}} ;$$

[0031] 其中, μ_i 和 σ_i 分别为第 i 个离网时间窗口中接入电网时间均值和标准差。 $e^{-\frac{(t_{arr}-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}}$ 是正态概率密度函数的表达式的一部分, 固定表达式的一部分, 以接入电网时间 t_{arr} 为自变量。 $t_{dep,i}$ 为第 i 个时间窗口的离网时间。

[0032] 步骤1.3: 电动汽车的日行驶里程 R_d 概率密度函数符合截断幂律分布, 即:

$$[0033] \quad f(R_d) = (R_{d0} + R_d)^{-\beta} \exp(-R_d/\alpha) ;$$

[0034] R_{d0} 表示电动汽车用户的基础里程值; R_d 表示电动汽车的日行驶里程; β 、 α 均为截断幂律分布函数的固定表达形式的参数。

[0035] 步骤1.4: 根据电动汽车接入电网时的初始荷电状态 Soc_{st} 以及日行驶里程 R_d , 可以计算出每辆电动汽车在离开电网时刻的期望荷电状态 Soc_{ex} , 即:

$$[0036] \quad Soc_{ex} = Soc_{st} + \frac{R_d E_{d100}}{100E} ;$$

[0037] 其中, E 为电动汽车电池容量, E_{d100} 为行驶 100km 所需的电能。 R_d 表示电动汽车的日行

[0038] 驶里程。初始荷电状态 Soc_{st} 本发明中采用随机数, 为 $Rand(0.1, 0.5)$ 。

[0039] 步骤1.5: 计算出 Soc_{ex} 后, 判断第 i 辆电动汽车接入电网的时段区间是否合理, 即:

$$[0040] \quad \frac{Soc_{ex,i} - Soc_{st,i}}{P_{max}^{EV}} \leq t_{dep,i} - t_{arr,i} ;$$

[0041] 其中, P_{max}^{EV} 为单个时间窗口内最大充电功率, 若电动汽车车主设定的接入电网时间区间不满足上式, 充电站运营商将要求电动汽车车主作出时间调整。 $Soc_{ex,i}$ 表示第 i 辆电动汽车在离开电网时刻的期望荷电状态; $Soc_{st,i}$ 表示第 i 辆电动汽车在接入电网时刻的期望荷电状态; P_{max}^{EV} 为单个时间窗口内最大充电功率; $t_{dep,i}$ 表示第 i 个时间窗口的离网时间; $t_{arr,i}$ 表示第 i 个时间窗口的接入电网时间。

[0042] 步骤2包括以下步骤:

[0043] 步骤2.1: 以充电站收益最大、配电网与充电站之间的交互功率波动最小为优化目标:

$$[0044] \quad \text{Max} \left[\sum_{t=1}^T P_t^B (C_t^{CSta} - C_t^{Grid}) - \sum_{t=2}^T |P_t^{in} - P_{t-1}^{in}| \right] ;$$

[0045] 其中, P_t^B 为第 t 个时刻所有电动汽车的充放电功率之和; C_t^{CSta} 和 C_t^{Grid} 分别为 t 时刻充电站运营商的售电和购电电价; P_t^{in} 表示第 t 个时刻配电网与充电站之间的交互功率; P_{t-1}^{in} 表示第 $t-1$ 个时刻配电网与充电站之间的交互功率; T 表示将一天平均分为 T 个时段, 本发明中设置为 24 个。

[0046] 计及动态电价策略的多目标优化调度模型即为步骤2.1、步骤2.2描述的目标函数、各种约束条件就是计及动态电价策略的多目标优化调度模型具体公式说明。

[0047] 步骤2.2:建立计及动态电价策略的多目标优化调度模型的约束条件:

[0048] ①、充电站源荷约束:

[0049] 配电网所能承受的最大负荷 P_t^{ex} 要满足配电网的基础负荷 P_t^L 与电动汽车充放电功率 P_t^B 之和即:

$$[0050] \quad P_t^{ex} \geq P_t^L + P_t^B ;$$

[0051] ②、充、放电功率约束:

[0052] 电动汽车充、放电功率均应在规定的最大充、放电功率值范围内,即:

$$[0053] \quad -P_{\max}^{EV} \leq P_{t,i}^{dis} \leq 0 \leq P_{t,i}^{cha} \leq P_{\max}^{EV} ;$$

[0054] 其中, $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 为t时刻第i辆电动汽车的充、放电功率;

[0055] ③、离开电网时刻荷电状态约束:

[0056] 为保证电动汽车用户的出行需求,电动汽车离开电网时刻的荷电状态必须满足:

$$[0057] \quad Soc_{ex} \geq Soc_{st} + \frac{R_d E_{d100}}{100E} ;$$

[0058] Soc_{ex} 表示电动汽车在离开电网时刻的期望荷电状态; Soc_{st} 表示电动汽车在接入电网时刻的期望荷电状态; E 为电动汽车电池容量; E_{d100} 为行驶100km所需的电能。

[0059] ④、荷电更新约束:

[0060] 非闲置状态下的每辆电动汽车在下一个时段的荷电状态满足:

$$[0061] \quad Soc_{t+1,i} = Soc_{t,i} + \frac{(P_{t,i}^{cha} + P_{t,i}^{dis}) \Delta t}{E} ;$$

[0062] $Soc_{t+1,i}$ 表示第i辆电动汽车在第t+1时刻的荷电状态; $Soc_{t,i}$ 表示第i辆电动汽车在第t个时刻的荷电状态; $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 分别表示第i辆电动汽车在第t个时刻的充电功率、放电功率; Δt 表示将一天24小时划分成相等的时段,每个时段的长度即为 Δt ,即时间尺度,本发明中 $\Delta t=60mins$, E 为电动汽车电池容量。

[0063] ⑤、荷电状态上下限约束:

[0064] 为避免电动汽车的动力电池过度充、放电,其荷电状态满足:

$$[0065] \quad Soc_{low} \leq Soc_{t,i} \leq Soc_{max}$$

[0066] 其中, Soc_{max} 、 Soc_{low} 表示荷电状态的上、下限;

[0067] ⑥、实时电价上、下限约束:

[0068] 考虑代理商的运营成本和用户的承受能力,设定充放电动态电价的上下限为:

$$[0069] \quad C_{\min} \leq C_t^{CSta} \leq C_{\max}$$

[0070] 其中, C_{\max} 和 C_{\min} 分别为充放电电价的上限和下限。

[0071] 步骤3包括以下步骤:

[0072] 步骤3.1:初始化粒子群,将 C_t 、 $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 、 $Soc_{t,i}$ 、 P_t^{jn} 设为决策变量;

[0073] 步骤3.2:计算各粒子对应可行解的目标函数值;

[0074] 步骤3.3:更新粒子的速度和位置;

[0075] 步骤3.4:产生交叉个体,并与当前个体进行贪婪选择,交叉个体优于当前个体则

替代;

[0076] 步骤3.5:重新计算粒子群的适应度值,更新并记录两个最优位置;

[0077] 步骤3.6:产生变异个体与当前个体历史最优进行贪婪选择,优于当前个体历史最优则

[0078] 进行替代,更新全局最优;

[0079] 步骤3.7:判断是否达到最大迭代次数,若是,则停止计算;否则,返回步骤3.3。

[0080] 步骤3.8:将更新电价带入Cplex中,根据约束条件重新求解充电站利润。

[0081] Cplex指的是一种求解器,可解决线性规划问题、二次规划问题、二次约束规划问题及混合整数规划问题,本发明中,将Cplex求解器与MATLAB配合使用,对模型进行求解。

[0082] 约束条件指的是计及动态电价策略的多目标优化调度模型的约束条件,即步骤2.2中的:①、充电站源荷约束,②、充、放电功率约束,③、离开电网时刻荷电状态约束,④、荷电更新约束,⑤、荷电状态上下限约束,⑥、实时电价上、下限约束。

[0083] 改进粒子群优化算法详细描述步骤3.1-步骤3.8如下:

[0084] 步骤3.1:初始化粒子群,将 C_t 、 $P_{t,i}^{cha}$ 、 $P_{t,i}^{dis}$ 、 $Soc_{t,i}$ 、 P_t^{in} 设为决策变量;

[0085] 步骤3.2:根据步骤2.1中的公式计算各粒子对应可行解的目标函数;

[0086] 步骤3.3:根据步骤2.2中的约束条件更新粒子的速度与位置;

[0087] 步骤3.4:产生交叉个体,并与当前个体进行贪婪选择,交叉个体优于当前个体则替代;

[0088] 步骤3.5:重新根据步骤2.1中的公式计算粒子群的适应度值,更新并记录两个最优位置;

[0089] 步骤3.6:产生变异个体与当前个体历史最优进行贪婪选择,优于当前个体历史最优则进行替代,更新全局最优;

[0090] 步骤3.7:判断是否达到最大迭代次数100次,若是,则停止计算;否则,返回步骤3.3。

[0091] 步骤3.8:将更新电价带入Cplex求解器中,根据步骤2.2中的约束条件重新求解充电站利润。

[0092] 分时电价与动态电价作为对比,调度50辆电动汽车进行有序充放电的结果如图1所示。

[0093] 无序充放、即插即用与有序充放电对比,采用动态电价调度50辆电动汽车的结果如图2所示。动态电价下调度50、100、150辆电动汽车进行有序充放电的负荷曲线如图3所示,

[0094] 各种情形下充电站收益如表1所示。

[0095] 表1两种价格策略下充电站收益、峰谷差、均方差

电动汽车数量	指标	动态电价	分时电价
50	充电站收益/元	1073.7	1010.7
	峰谷差/kW	681.2	736.9
	均方差/kW	212.1	240.5
100	充电站收益	2168.6	2103.7
	峰谷差	661.1	808.6
	均方差	182.3	275.3
150	充电站收益	3280.9	3181.4
	峰谷差	678.7	841.3
	均方差	181.5	296.8

[0096] 由图2可看出,分时电价策略有一定的填谷效果,但是导致“峰上加峰”现象,而动态电价不仅在填谷效果上更佳,也能在一定程度上削除负荷尖峰。从图3中,可对比出有序充放电得到的负荷曲线光滑程度更高,即插即用得到的负荷曲线上下波动最大,不利于充电站的稳定运行,无序充放电削峰填谷效果差。利用动态电价对不同数量电动汽车进行有序调度时,由图4可以看出随着电动汽车数量的增多,削峰填谷的效果越来越好,可见更新电价同样也适用于调度大量电动汽车。

[0098] 表1中的数据可得出,动态电价下有序充放电在实现削峰填谷的前提下,还可实现充电站收益最大。横向对比表中的两种电价策略,调度150辆电动汽车结果,可得采用动态电价得到的充电站收益提高了3%,峰谷差降低了19.3%,均方差降低了38.8%。纵向对比电动汽车数量增加,动态电价下的负荷曲线的峰谷差增加幅度分别下降了3.0%、0.37%,分时电价下的增加幅度分别为-9.7%、-14.2%,可见动态电价下的有序充放电可显著降低负荷曲线的峰谷差,利用电价信号能够更灵活地引导电动汽车的充放电行为,使电动汽车能够更好地为实现平抑负荷波动服务。

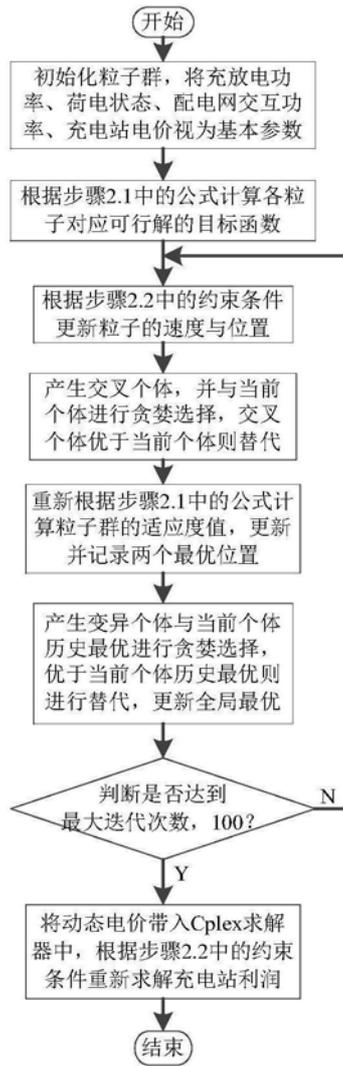


图1

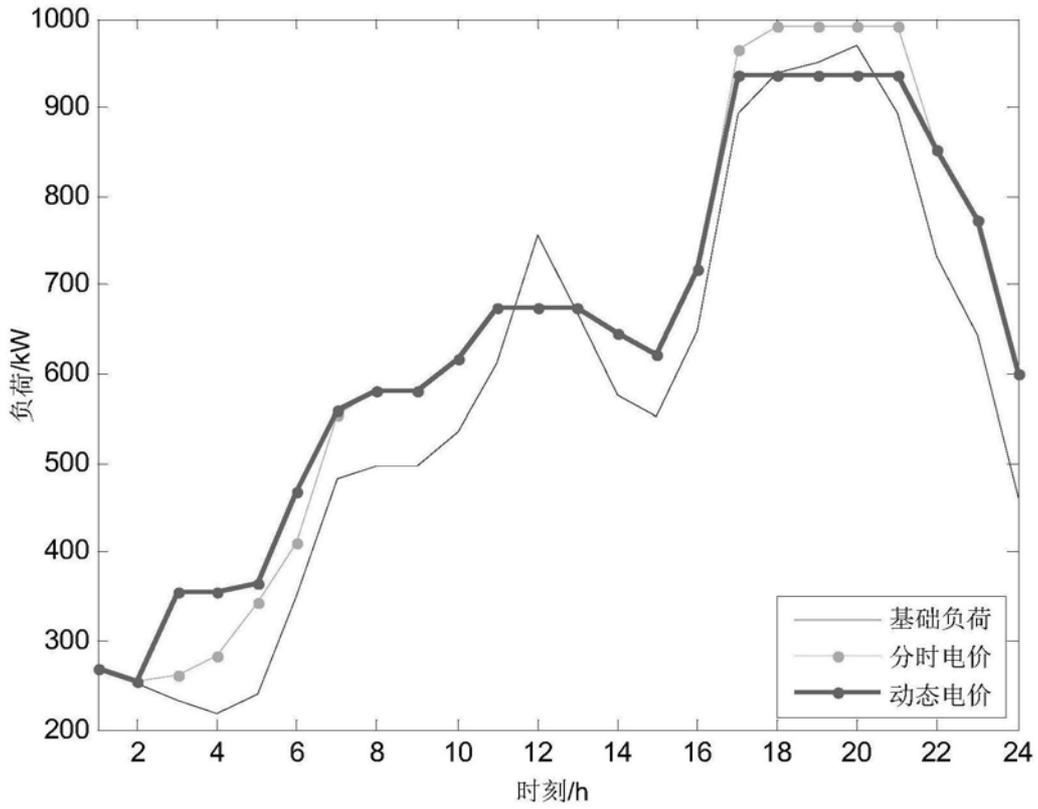


图2

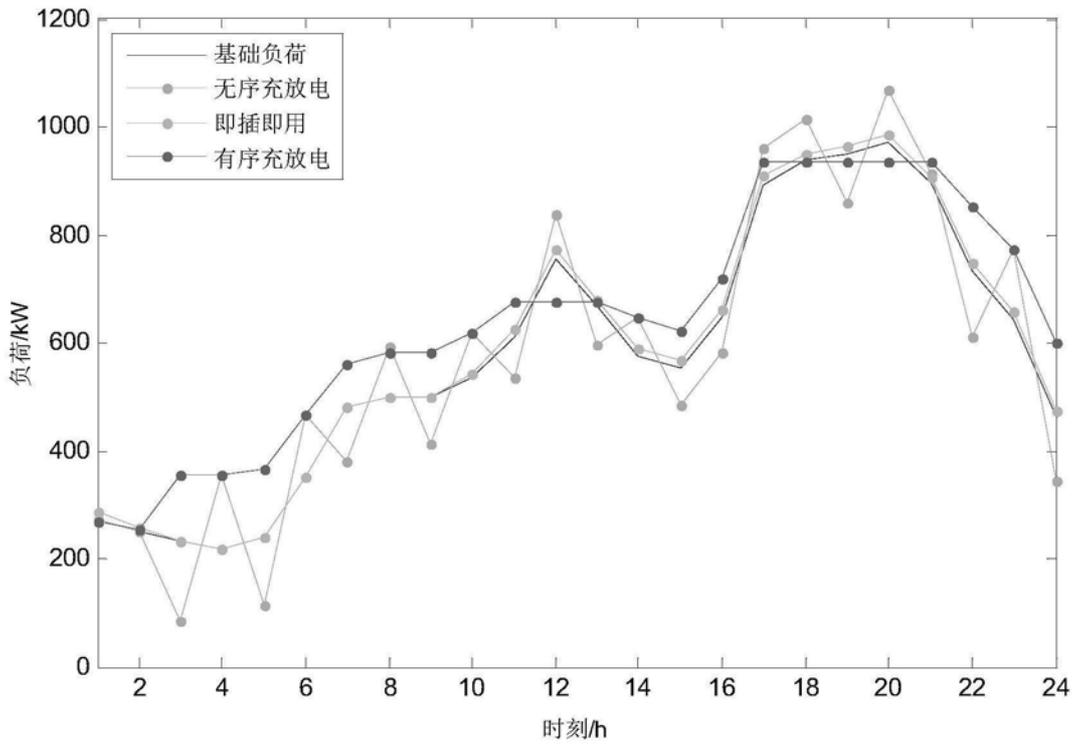


图3

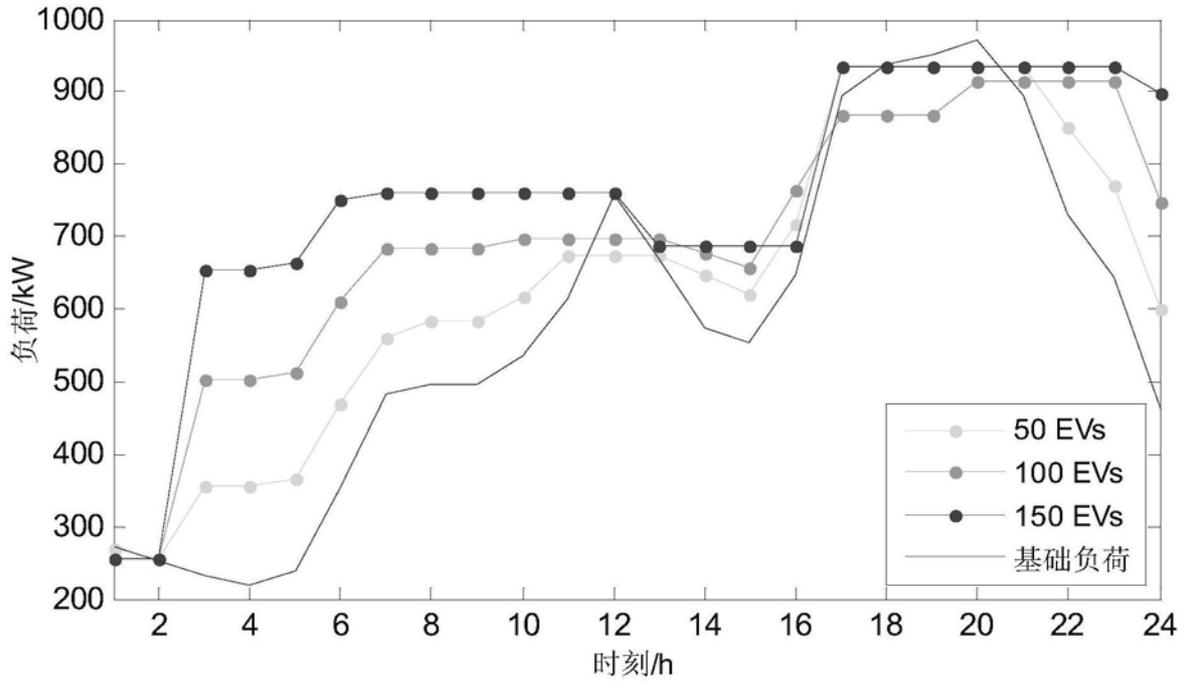


图4

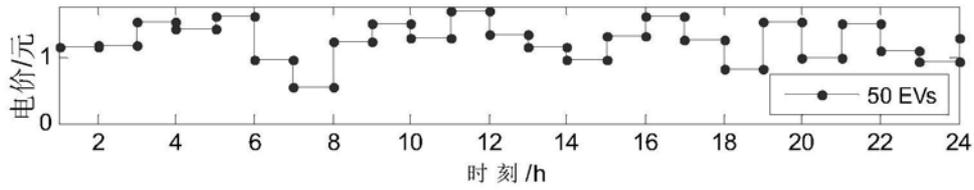


图5 (1)

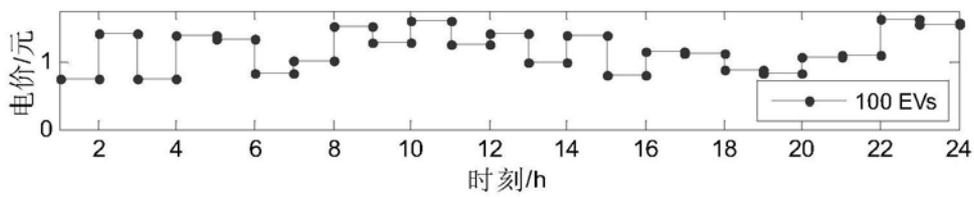


图5 (2)

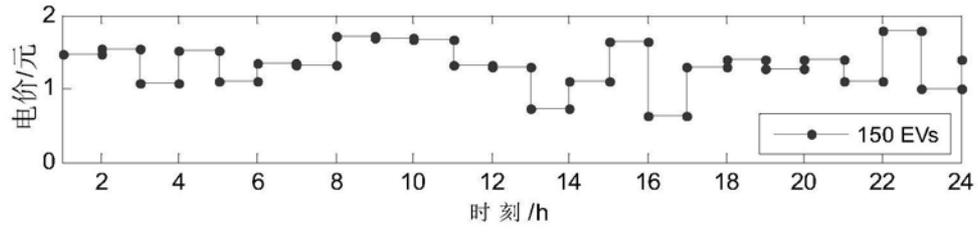


图5(3)