



(21) 申请号 202010669724.0

G06Q 10/04 (2023.01)

(22) 申请日 2020.07.13

G06Q 50/06 (2024.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111832940 A

(56) 对比文件

CN 104966127 A, 2015.10.07

CN 107150601 A, 2017.09.12

(43) 申请公布日 2020.10.27

CN 110570050 A, 2019.12.13

(73) 专利权人 武汉科技大学

US 2015032516 A1, 2015.01.29

地址 430081 湖北省武汉市青山区和平大道947号

审查员 苏汀

(72) 发明人 李晓卉 刘珊珊 蔡彬 赵敏
刘振兴

(74) 专利代理机构 上海政济知识产权代理事务
所(普通合伙) 31479

专利代理师 鞏甲武

(51) Int. Cl.

G06Q 10/0631 (2023.01)

权利要求书3页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种电动汽车充电调度方法、装置和存储介质

(57) 摘要

本发明提出一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法,包括以下步骤:信息采集模块、待充电归类模块、获取充电功率调度方案模块、待调度归类模块、分类充电模块。本发明提供的基于需求响应的电动汽车充电调度方法,降低了电动汽车用户的充电成本,最大化用户的个人盈余,增强用户有序充电的参与度,同时提出电动汽车充电功率与电网电价实时信息的交互,在满足用户个人需求上,对电能进行分配调度,使电能的供给和需求达到平衡,降低因无序充电带来的电能损耗。

交叉口车道功能优化方案选择程序 10

信息采集模块 110

待充电归类 120

获取充电功率调度方案模块 130

待调度归类模块 140

分类充电模块 150

1. 一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法,其特征在于,包括以下步骤:

信息采集:采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力电池起始荷电量、动力电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率,接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价、当前时刻实时电价;

待充电归类:将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较,低于所述充电阈值的电动汽车归入待充电行列,否则归入不充电行列;

获取充电功率调度方案:根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求偏好、所述当前时刻实时电价,得到充电功率调度方案;

待调度归类:根据所述充电功率调度方案和第一预设规则,将符合第一约束条件的各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率;

分类充电:根据各所述最优充电功率,将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及与所述最优充电功率对应的实时电价进行充电,将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电,将符合第四约束条件或第五约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电;

所述获取充电功率调度方案步骤中,还包括以下步骤:

步骤一、建立用户个人盈余最大化目标函数;

步骤二、由比例公平定价法,基于传输控制协议的加性增加和乘性减少速率控制策略,得到用户按照时刻分配的最优带宽函数;

步骤三、基于所述用户个人盈余最大化目标函数和最优带宽函数得到充电功率调度方案;

所述用户个人盈余最大化目标函数为:

$$\max (u_i(x_i(n)) - x_i(n)p(n)),$$

其中, n 为实时时刻, $x_i(n)$ 为用户 i 在 n 时刻的充电功率,

用户 i 的效用函数 $u_i(x_i(n)) = \omega_i \log(x_i(n))$,

$$n\text{时刻的实时电价 } p(n) = a \left[\frac{\sum_{i=1}^N x_i(n)}{C} \right]^k,$$

其中, a 、 k 、 C 均为常数, C 为市场容量, N 为区域内接入充电桩参与充电的电动汽车数量;

所述最优带宽函数为:

$$x(n+1) = x(n) + \gamma (\omega - f(n)),$$

其中, n 为时刻, $x(n)$ 为 n 时刻分配的带宽, $x(n+1)$ 为 $n+1$ 时刻分配的带宽, γ 为 n 时刻的收敛速度参数, $f(n)$ 为 n 时刻的影子价格, ω 为用户支付意愿参数;

所述充电功率调度方案为:

$$x_i(n+1) = x_i(n) + \gamma_i (\omega_i - x_i(n)p(n)),$$

其中, $x_i(n+1)$ 为每辆电动汽车在 $n+1$ 时刻的充电功率, γ_i 为电动汽车 i 在 n 时刻的收敛速度参数, $x_i(n)$ 为每辆电动汽车在 n 时刻的充电功率, ω_i 为电动汽车 i 的充电需求偏好;

所述第一预设规则包括:

当电动汽车的所述下一时刻充电功率不符合所述第一约束条件时,将区域内接入充电

桩的电动汽车总充电功率信息发送至电网,从所述电网接收下一时刻实时电价后,转入所述获取充电功率调度方案步骤,直至得到的所述充电功率符合所述第一约束条件,作为所述最优充电功率;

所述第一约束条件为:各所述电动汽车的充电功率误差估计值 $|e_i(n+1)| \leq 0.01$,

其中, $e_i(n+1) = x_i(n+1) - X_i^*$, 均衡充电功率 $X_i^* = \frac{\omega_i C^k}{a(\sum_i X_i^*)^k}$;

所述第二约束条件为:

$$x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n) ,$$

且 $u_i(x_i^*(n)) \geq x_i^*(n) p(n)$,

所述第三约束条件为:

$$x_i^*(n) \geq x_i^{\max}(n) ,$$

所述第四约束条件为:

$$x_i^*(n) \leq x_i^{\min}(n) ,$$

所述第五约束条件为:

$$x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n) ,$$

且 $u_i(x_i^*(n)) < x_i^*(n) p(n)$,

其中, $x_i^{\min}(n)$ 为所述最小充电功率, $x_i^*(n)$ 是为电动汽车 i 的所述最优充电功率, $x_i^{\max}(n)$ 为所述最大充电功率;

所述分类充电步骤之后,还包括以下步骤:

判断停止充电:根据电量模型,基于第二预设规则判断是否停止充电;

所述电量模型为:

$$y_i(n+1) = y_i(n) + \frac{\alpha_i}{B_i} \times \min(x_i^{\max}(n), x_i^*(n)) ,$$

其中, $y_i(n)$ 为电动汽车 i 在 n 时刻的电池荷电量, $y_i(n+1)$ 为电动汽车 i 在 $n+1$ 时刻的电池荷电量, α_i 为充电效率, B_i 为动力电池容量;

所述第二预设规则为:电池荷电量 $y_i(n) \geq 1$ 时,停止充电,否则继续充电。

2. 采用如权利要求1所述的一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法的电子装置,其特征在于,该电子装置包括:存储器、处理器,所述存储器上存储有电动汽车充电调度程序,所述电动汽车充电调度程序被所述处理器执行时实现以下步骤:

信息采集:采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力电池起始荷电量、动力电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率,接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价、当前时刻实时电价;

待充电归类:将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较,低于所述充电阈值的电动汽车归入待充电行列,否则归入不充电行列;

获取充电功率调度方案:根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求

偏好、所述当前时刻实时电价,得到充电功率调度方案;

待调度归类:根据所述充电功率调度方案和第一约束条件,基于第一预设规则,将各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率;

分类充电:根据各所述最优充电功率,将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及电网最优电价进行充电,将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电,将符合第四约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电。

3.一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质上存储有所述电动汽车充电调度程序,所述电动汽车充电调度程序被处理器执行时实现如权利要求1所述的电动汽车充电调度方法的步骤。

一种电动汽车充电调度方法、装置和存储介质

技术领域

[0001] 本发明属于电网管理技术领域,具体涉及一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法、装置和存储介质。

背景技术

[0002] 电动汽车作为替代传统化石燃料汽车的新型汽车,在节能减排方面具有明显的优势。目前我国也逐步加大对电动汽车发展的重视。电动汽车作为一种新型的电力负荷,大规模地接入电网并进行无序充电势必会严重影响电力系统运行的稳定性。一方面,随着电动汽车数量的增加,导致配电网局部过载,引起局部用电紧张以及降低电压质量等负面影响。另一方面,考虑用户充电行为的不确定性,将会提高电网负荷控制的难度,加大电网运行成本,增大电网负荷的峰谷差。

[0003] 需求响应作为提高智能电网可靠性的技术之一,帮助电能的供给和需求达到实时平衡,同样激励电动汽车用户参与电网并调整用户端的充电负荷。适用于电动汽车的需求响应技术主要分为两大类:基于激励和基于电价两方面。其中基于电价也分为实时电价和分时电价,通过制定电价政策来引导用户错峰配电网用电高峰期。但在分时电价下,若用户更倾向于选择低价时段进行充电,则原来的用电谷时段将变成新的高峰时段。因此对价格响应机制的制定要进行充分的考虑,对用户参与电网要采取合适的激励措施。

[0004] 现有技术中,有序充电策略主要从用户侧角度和电网侧角度出发。针对用户侧,有提出以电动汽车充电费用最低和充电起始时刻最早为目标的多目标有序充电策略,对不同用户响应系数进行仿真,但是忽视了电动汽车在夜间集中充电可能会造成新的高峰期的产生,从而破坏配电网的稳定性。针对电网侧,提出以降低配电网网损为目标的有序充电策略,并对电网负荷最大值、最小值进行优化,从而降低电网负荷峰谷差,但是没有充分考虑电动汽车充电的经济性。更有国内外学者基于需求响应机制,针对电动汽车的有序充电行为进行研究。因此在对电动汽车充电调度方法的提出上不仅要考虑对电网负荷波动的影响,更要考虑对用户经济的影响,提高车主有序充电的参与度。

发明内容

[0005] 本发明是为了解决上述问题而进行的,提供了一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法,降低了电动汽车用户的充电成本,最大化用户的个人盈余,增强用户有序充电的参与度,同时提出电动汽车充电功率与电网电价实时信息的交互,在满足用户个人需求上,对电能进行分配调度,使电能的供给和需求达到平衡,降低因无序充电带来的电能损耗。

[0006] 为实现上述目的,本发明提出一种基于需求响应的电动汽车充电调度方法,具有这样的特征,包括以下步骤:

[0007] 信息采集:采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力电池起始荷电量、动力电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率,接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价、当前时

刻实时电价；

[0008] 待充电归类：将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较，低于所述充电阈值的电动汽车归入待充电行列，否则归入不充电行列；

[0009] 获取充电功率调度方案：根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求偏好、所述当前时刻实时电价，得到充电功率调度方案；

[0010] 待调度归类：根据所述充电功率调度方案和第一预设规则，将符合第一约束条件的各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率；

[0011] 分类充电：根据各所述最优充电功率，将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及与所述最优充电功率对应的实时电价进行充电，将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电，将符合第四约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电。

[0012] 另外，本发明提供的电动汽车充电调度方法，还具有这样的特征，所述获取充电功率调度方案步骤中，还包括以下步骤：

[0013] 步骤一、建立用户个人盈余最大化目标函数；

[0014] 步骤二、由比例公平定价法，基于传输控制协议的加性增加和乘性减少速率控制策略，得到用户按照时刻分配的最优带宽函数；

[0015] 步骤三、基于所述用户个人盈余最大化目标函数和最优带宽函数得到充电功率调度方案。

[0016] 另外，本发明提供的电动汽车充电调度方法，还具有这样的特征，所述用户个人盈余最大化目标函数为：

[0017] $\max (u_i(x_i(n)) - x_i(n)p(n))$ ，

[0018] 其中， n 为实时时刻， $x_i(n)$ 为用户 i 在 n 时刻的充电功率，

[0019] 用户 i 的效用函数 $u_i(x_i(n)) = \omega_i \log(x_i(n))$ ，

[0020] n 时刻的实时电价 $p(n) = a \left[\frac{\sum_{i=1}^N x_i(n)}{C} \right]^k$ ，

[0021] a 、 k 、 C 均为常数， C 为市场容量， N 为区域内接入充电桩参与充电的电动汽车数量。

[0022] 另外，本发明提供的电动汽车充电调度方法，还具有这样的特征，所述最优带宽函数为：

[0023] $x(n+1) = x(n) + \gamma(\omega - f(n))$ (4)，

[0024] 其中， n 为时刻， $x(n)$ 为 n 时刻分配的带宽， $x(n+1)$ 为 $n+1$ 时刻分配的带宽， γ 为 n 时刻的收敛速度参数， $f(n)$ 为 n 时刻的影子价格， ω 为用户支付意愿参数。

[0025] 另外，本发明提供的电动汽车充电调度方法，还具有这样的特征，所述充电功率调度方案为：

[0026] $x_i(n+1) = x_i(n) + \gamma_i(\omega_i - x_i(n)p(n))$ ，

[0027] 其中， $x_i(n+1)$ 为每辆电动汽车在 $n+1$ 时刻的充电功率， γ_i 为电动汽车 i 在 n 时刻的收敛速度参数， $x_i(n)$ 为每辆电动汽车在 n 时刻的充电功率， ω_i 为电动汽车 i 的充电需求偏好。

[0028] 另外，本发明提供的电动汽车充电调度方法，还具有这样的特征，所述第一预设规则包括：当电动汽车的所述下一时刻充电功率不符合所述第一约束条件时，将区域内接入

充电桩的电动汽车总充电功率信息发送至电网,从所述电网接收下一时刻实时电价后,转入所述获取充电功率调度方案步骤,直至得到的所述充电功率符合所述第一约束条件,作为所述最优充电功率。

[0029] 另外,本发明提供的电动汽车充电调度方法,还具有这样的特征,所述第一约束条件为:各所述电动汽车的充电功率误差估计值 $|e_i(n+1)| \leq 0.01$,其中,

$$e_i(n+1) = x_i(n+1) - X_i^*, \text{ 均衡充电功率 } X_i^* = \frac{\omega_i C^k}{a(\sum_i X_i^*)^k}。$$

[0030] 另外,本发明提供的电动汽车充电调度方法,还具有这样的特征,所述第二约束条件为:

$$[0031] \quad x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n),$$

$$[0032] \quad \text{且 } u_i(x_i^*(n)) \geq x_i^*(n)p(n),$$

[0033] 所述第三约束条件为:

$$[0034] \quad x_i^*(n) \geq x_i^{\max}(n),$$

[0035] 所述第四约束条件为:

$$[0036] \quad x_i^*(n) \leq x_i^{\min}(n),$$

[0037] 所述第五约束条件为:

$$[0038] \quad x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n),$$

$$[0039] \quad \text{且 } u_i(x_i^*(n)) < x_i^*(n)p(n),$$

[0040] 其中, $x_i^{\min}(n)$ 为所述最小充电功率, $x_i^*(n)$ 是为电动汽车 i 的所述最优充电功率, $x_i^{\max}(n)$ 为所述最大充电功率。

[0041] 另外,本发明提供的电动汽车充电调度方法,还具有这样的特征,所述分类充电步骤之后,还包括以下步骤:

[0042] 判断停止充电:根据电量模型,基于第二预设规则判断是否停止充电。

[0043] 另外,本发明提供的电动汽车充电调度方法,还具有这样的特征,所述电量模型为:

$$[0044] \quad y_i(n+1) = y_i(n) + \frac{\alpha_i}{B_i} \times \min(x_i^{\max}(n), x_i^*(n)),$$

[0045] 其中, $y_i(n)$ 为电动汽车 i 在 n 时刻的电池荷电量, $y_i(n+1)$ 为电动汽车 i 在 n+1 时刻的电池荷电量, α_i 为充电效率, B_i 为动力电池容量。

[0046] 另外,本发明提供的电动汽车充电调度方法,还具有这样的特征,所述第二预设规则为:电池荷电量 $y_i(n) \geq 1$ 时,停止充电,否则继续充电。

[0047] 此外,为实现上述目的,本发明还提供了一种电子装置,具有这样的特征,该电子装置包括:存储器、处理器,所述存储器上存储有电动汽车充电调度程序,所述电动汽车充电调度程序被所述处理器执行时实现以下步骤:

[0048] 信息采集:采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力

电池起始荷电量、动力电池电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率,接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价 p_{base} 、当前时刻实时电价;

[0049] 待充电归类:将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较,低于所述充电阈值的电动汽车归入待充电行列,否则归入不充电行列;

[0050] 获取充电功率调度方案:根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求偏好、所述当前时刻实时电价,得到充电功率调度方案;

[0051] 待调度归类:根据所述充电功率调度方案和第一约束条件,基于第一预设规则,将各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率;

[0052] 分类充电:根据各所述最优充电功率,将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及与所述最优充电功率对应的实时电价进行充电,将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电,将符合第四约束条件或第五约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电。

[0053] 此外,为实现上述目的,本发明还提供了一种计算机可读存储介质,具有这样的特征,所述计算机可读存储介质上存储有所述电动汽车充电调度程序,所述电动汽车充电调度程序被处理器执行时实现如上述任意一项所述的电动汽车充电调度方法的步骤。

[0054] 发明作用和效果

[0055] 本发明所涉及的考虑不确定负载的基于需求响应的电动汽车充电调度方法、装置和存储介质,充电站采集在区域内接入充电桩的电动汽车基本信息和充电桩信息,接收来自电网的实时电价信息,并根据用户充电需求偏好为每辆电动汽车分配最优充电功率,指导每辆电动汽车参与有序充电。本发明所涉及的基于需求响应的电动汽车充电调度方法、装置和存储介质,以最大化电动汽车用户盈余为目标,结合网络拥塞定价法建立充电模型,不仅可以最大化用户个人盈余,降低电动汽车用户的充电成本;还能满足不同用户充电需求偏好,增强有序充电的参与度;并且实现电动汽车与电网的实时通信互动,使电能的供应和需求达到平衡,减少电能损耗,改善因无序充电而造成电能损耗浪费的情况,从而降低了电动汽车用户的充电成本,满足不同用户的充电需求,增加了用户的参与度。

附图说明

[0056] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图示出的结构获得其他的附图。

[0057] 图1是本发明电子装置一实施例的示意图。

[0058] 图2是本发明的电动汽车充电调度程序一实施例的程序模块图。

[0059] 图3是本发明的电动汽车充电调度程序一实施例的流程图。

[0060] 本发明目的的实现、功能特点及优点将结合实施例,参照附图做进一步说明。

具体实施方式

[0061] 以下参照附图及实施例对本发明所涉及的一种基于需求响应的电动汽车充电调

度方法作详细的描述。以下结合附图对本发明的原理和特征进行描述,所举实例只用于解释本发明,并非用于限定本发明的范围。

[0062] 图1是本发明电子装置一实施例的示意图;

[0063] 本发明提供一种电子装置1。参照图1所示,为本发明电子装置1较佳实施例的示意图。

[0064] 在本实施例中,该电子装置1包括存储器11、处理器12,网络接口13及通信总线。其中,通信总线用于实现这些组件之间的连接通信。

[0065] 网络接口13可以包括标准的有线接口、无线接口(如WI-FI接口)。

[0066] 存储器11包括至少一种类型的可读存储介质。所述至少一种类型的可读存储介质可为如闪存、硬盘、多媒体卡、卡型存储器等的非易失性存储介质。在一些实施例中,所述可读存储介质可以是所述电子装置1的内部存储单元,例如该电子装置1的硬盘。在另一些实施例中,所述可读存储介质也可以是所述电子装置1的外部存储设备,例如所述电子装置1上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card, SMC),安全数字(Secure Digital, SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。

[0067] 在本实施例中,所述存储器11的可读存储介质通常用于存储安装于所述电子装置1的电动汽车充电调度程序10等。所述存储器11还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0068] 处理器12在一些实施例中可以是一中央处理器(Central Processing Unit, CPU),微处理器或其他数据处理芯片,用于运行存储器11中存储的程序代码或处理数据,例如执行电动汽车充电调度程序10等。

[0069] 图1仅示出了具有组件11-13以及电动汽车充电调度程序10的电子装置1,但是应理解的是,并不要求实施所有示出的组件,可以替代的实施更多或者更少的组件。

[0070] 可选的,该电子装置1还可以包括用户接口,用户接口可以包括显示器(Display)、输入单元比如键盘(Keyboard),可选的用户接口还可以包括标准的有线接口、无线接口。

[0071] 可选地,该电子装置1还可以包括显示器,在一些实施例中可以是LED显示器、液晶显示器、触控式液晶显示器以及有机发光二极管(Organic Light-Emitting Diode, OLED)触摸器等。显示器用于显示在电子装置中处理的信息以及用于显示可视化的用户界面。

[0072] 图2示本发明的电动汽车充电调度程序一实施例的程序模块图。

[0073] 图3是本发明的电动汽车充电调度程序一实施例的流程图。

[0074] 在图1所示的装置实施例中,作为一种计算机存储介质的存储器11中包括电动汽车充电调度程序10,处理器12执行存储器11中存储的电动汽车充电调度程序10时包括以下模块:信息采集模块110、待充电归类模块120、获取充电功率调度方案模块130、待调度归类模块140、分类充电模块150。如图2、图3所示,在本实施例中,电动汽车充电调度程序10可以包括并执行:

[0075] 信息采集模块110:采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力电池起始荷电量(state of charge, SOC)、动力电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率(即n时刻的充电功率),接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价 p_{base} 、当前时刻实时电价(即n时刻的实时电价)。待充电归类模块:将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较,低于所述充电

阈值的电动汽车归入待充电行列,否则归入不充电行列。

[0076] 在一些实施例中,所述的阈值可设置为50%。将各电动汽车动力电池的起始荷电量与充电阈值进行比较,当起始荷电量低于充电阈值50%,则将该电动汽车归入所述待充电行列准备进行充电,否则,归入所述不充电行列不予充电。

[0077] 获取充电功率调度方案模块:根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求偏好、所述当前时刻实时电价,得到充电功率调度方案。所述充电功率调度方案用于指导区域内的电动汽车进行有序充电。

[0078] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程度中,所述获取充电功率调度方案模块中,还包括以下步骤:

[0079] 步骤一、建立用户个人盈余最大化目标函数;

[0080] 步骤二、由比例公平定价法,基于传输控制协议(TCP)的加性增加和乘性减少(AIMD)速率控制策略,得到用户按照时刻分配的最优带宽函数;

[0081] 步骤三、基于所述用户个人盈余最大化目标函数和最优带宽函数得到充电功率调度方案。

[0082] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,所述用户个人盈余最大化目标函数为:

$$[0083] \quad \max (u_i (x_i (n)) - x_i (n) p (n)) \quad (1)$$

[0084] 其中, n 为实时时刻, $x_i (n)$ 为电动汽车 i 在 n 时刻的充电功率,

$$[0085] \quad \text{电动汽车 } i \text{ 的效用函数 } u_i (x_i (n)) = \omega_i \log (x_i (n)) \quad (2),$$

$$[0086] \quad n \text{ 时刻的实时电价 } p(n) = a \left[\frac{\sum_{i=1}^N x_i(n)}{C} \right]^k \quad (3),$$

[0087] a 、 k 、 C 均为常数, C 为市场容量, N 为区域内接入充电桩参与充电的电动汽车数量。

[0088] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,基于网络拥塞定价原理,在网络传输状态超过某一阈值时,根据拥塞情况和终端用户所要求的服务质量等因素,对网络传输数据包所经过的有关路径上资源的使用情况进行计算。其中,基于传输控制协议(TCP)的加性增加和乘性减少(AIMD)速率控制策略,系统可收敛到带宽的最优分配,即得到用户按照时刻分配的最优带宽函数,各用户可以在时刻 n 内根据个人支付意愿参数 ω 来控制流量的使用,所述最优带宽函数为:

$$[0089] \quad x(n+1) = x(n) + \gamma (\omega - f(n)) \quad (4),$$

[0090] 其中, n 为时刻, $x(n)$ 为 n 时刻分配的带宽, $x(n+1)$ 为 $n+1$ 时刻分配的带宽, γ 为 n 时刻的收敛速度参数, $f(n)$ 为 n 时刻的影子价格, ω 为用户支付意愿参数。所述的影子价格(shadow price) $f(n)$,又称最优计划价格或计算价格,为依据一定原则确定的,能够反映投入物和产出物真实经济价值、反映市场供求状况、反映资源稀缺程度、使资源得到合理配置的价格。

[0091] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,基于所述最优带宽函数,所述充电功率调度方案为:

$$[0092] \quad x_i (n+1) = x_i (n) + \gamma_i (\omega_i - x_i (n) p (n)) \quad (5),$$

[0093] 其中, $x_i (n+1)$ 为每辆电动汽车在 $n+1$ 时刻的充电功率(即实时充电功率), γ_i 为电动

汽车*i*在*n*时刻的收敛速度参数, $x_i(n)$ 为每辆电动汽车在*n*时刻的充电功率, ω_i 为电动汽车*i*的充电需求偏好。

[0094] 待调度归类模块:根据所述充电功率调度方案和第一预设规则,将符合第一约束条件的各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率。

[0095] 具体而言,充电站调度系统根据电动汽车*i*的充电需求偏好,设置按照上述第一预设规则和第一约束条件求得的最优充电功率,对电动汽车完成有序充电。充电站调度系统接收*n*时刻来自电网的实时电价信息,结合电价信息和各用户的充电需求偏好相应的调整每辆电动汽车在*n+1*时刻的充电功率。能够符合第一约束条件的各所述电动汽车在所述当前时刻(*n*时刻)的下一时刻的充电功率(即可调度充电功率)可作为最优充电功率。

[0096] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,所述第一约束条件为:各所述电动汽车的充电功率误差估计值 $|e_i(n+1)| \leq 0.01$,

[0097] 其中, $e_i(n+1) = x_i(n+1) - X_i^*$,均衡充电功率
$$X_i^* = \frac{\omega_i C^k}{a(\sum_i X_i^*)^k}。$$

[0098] 另外,充电功率误差估计值 $|e_i(n+1)|$ 的计算过程如下:

[0099] 1) 计算区域内接入充电桩参与充电的每辆电动汽车的均衡充电功率 X_i^* ,具体过程为:

[0100] $u_i'(x_i(n)) = q^*$ (6),

[0101] 其中, q^* 为区域内*N*辆电动汽车的均衡电价,

[0102] $u_i'(x_i(n))$ 是 $u_i(x_i(n))$ 的求导,

[0103] 因此求导后得到 $\frac{\omega_i}{X_i^*} = q^*$,

[0104] 因此第*i*辆电动汽车的均衡充电功率 X_i^* 为:

[0105] $X_i^* = \frac{\omega_i}{q^*}$ (7),

[0106] 由 $p(n) = a[\frac{\sum_{i=1}^N x_i(n)}{C}]^k$ (3)得: $q^* = a[\frac{\sum_{i=1}^N X_i^*}{C}]^k$,

[0107] 进一步,代入(7),均衡充电功率 X_i^* 为:

[0108] $X_i^* = \frac{\omega_i C^k}{a(\sum_i X_i^*)^k}$ (8),

[0109] 由公式(8),均衡电价 q^* 为:

[0110] $q^* = a^{\frac{1}{k+1}} (\frac{\sum_{i=1}^N \omega_i}{C})^{\frac{k}{k+1}}$ (9),

[0111] 均衡电价 q^* 用于判断调度系统是否收敛到最优充电功率。当计算得到的最优电价与该均衡电价在一定的误差范围内,即判定该电动汽车充电时将此电价作为最优电价,与

此同时对应的最优充电功率也作为该辆电动汽车最终的充电功率。

[0112] 2) 调度系统对每辆电动汽车的充电功率误差估计值 $e_i(n+1)$ 进行计算,根据式(5),具体为:

$$[0113] \quad e_i(n+1) = x_i(n+1) - X_i^* \quad (10),$$

[0114] 若误差估计值满足 $|e_i(n+1)| \leq 0.01$,则判断此时调度系统对电动汽车i分配的充电功率收敛到最优值,否则,判断未收敛到最优值。

[0115] 另外,上述第一预设规则还包括:当电动汽车的在(n+1)时刻的充电功率不符合所述第一约束条件时,即某辆电动汽车的充电功率在(n+1)时刻未收敛到最优值,将区域内接入充电桩的电动汽车总充电功率发送至电网,并从所述电网接收下一时刻实时电价,根据所述下一时刻实时电价信息进一步得到该电动汽车在再下一个时刻的充电功率,若此时电动汽车的再下一个时刻充电功率收敛到最优值(符合所述第一约束条件时),则该充电功率可作为所述最优充电功率,该辆电动汽车以所述最优充电功率值进行充电,若依然未收敛到最优值(不符合所述第一约束条件时),则继续上述计算过程,直至所述充电功率符合所述第一约束条件,可作为所述最优充电功率。当所有电动汽车分配好最优充电功率后,一起开始充电。分类充电模块:根据各所述最优充电功率,将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及与所述最优充电功率对应的实时电价进行充电,将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电,将符合第四约束条件或第五约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电。

[0116] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,所述第二约束条件为:

$$[0117] \quad x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n),$$

$$[0118] \quad \text{且 } u_i(x_i^*(n)) \geq x_i^*(n)p(n),$$

[0119] 所述第三约束条件为:

$$[0120] \quad x_i^*(n) \geq x_i^{\max}(n),$$

[0121] 所述第四约束条件为:

$$[0122] \quad x_i^*(n) \leq x_i^{\min}(n),$$

[0123] 所述第五约束条件为:

$$[0124] \quad x_i^{\min}(n) \leq x_i^*(n) \leq x_i^{\max}(n),$$

$$[0125] \quad \text{且 } u_i(x_i^*(n)) < x_i^*(n)p(n),$$

[0126] 其中, $x_i^{\min}(n)$ 为所述最小充电功率, $x_i^*(n)$ 是为电动汽车i的所述最优充电功率, $x_i^{\max}(n)$ 为所述最大充电功率。

[0127] 另外,本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中,所述分类充电模块之后,还包括以下模块:

[0128] 判断停止充电模块:根据电量模型,基于第二预设规则判断是否停止充电。

[0129] 进一步,所述电量模型为:

$$[0130] \quad y_i(n+1) = y_i(n) + \frac{\alpha_i}{B_i} \times \min(x_i^{\max}(n), x_i^*(n)),$$

[0131] 其中, $y_i(n)$ 为电动汽车 i 在 n 时刻的电池荷电量, $y_i(n+1)$ 为电动汽车 i 在 $n+1$ 时刻的电池荷电量, α_i 为充电效率, B_i 为动力电池容量。

[0132] 另外, 本发明所提供的基于需求响应的电动汽车充电调度程序中, 所述第二预设规则为: 电池荷电量 $y_i(n) \geq 1$ 时, 停止充电, 否则继续充电。

[0133] 此外, 本发明实施例还提出一种计算机可读存储介质, 所述计算机可读存储介质上存储有电动汽车充电调度程序, 所述电动汽车充电调度程序被处理器执行时实现如下操作:

[0134] 信息采集: 采集当前时刻区域内接入充电桩的电动汽车数量及各电动汽车的动力电池起始荷电量 (state of charge, SOC)、动力电池容量、充电效率、用户充电需求偏好、各充电桩的最大充电功率、最小充电功率、实时充电功率, 接收所述当前时刻的电网信息包括基础电价 p_{base} 、当前时刻实时电价;

[0135] 待充电归类: 将各所述动力电池起始荷电量与充电阈值进行比较, 低于所述充电阈值的电动汽车归入待充电行列, 否则归入不充电行列;

[0136] 获取充电功率调度方案: 根据所述待充电行列中各所述电动汽车的所述用户充电需求偏好、所述当前时刻实时电价, 得到充电功率调度方案;

[0137] 待调度归类: 根据所述充电功率调度方案和第一预设规则, 将符合第一约束条件的各所述电动汽车在下一时刻充电功率作为最优充电功率;

[0138] 分类充电: 根据各所述最优充电功率, 将符合第二约束条件的电动汽车以所述最优充电功率以及与所述最优充电功率对应的实时电价进行充电, 将符合第三约束条件的电动汽车以最大充电功率以及电网基础电价进行充电, 将符合第四约束条件或第五约束条件的电动汽车以其最小充电功率以及电网基础电价进行充电。

[0139] 本发明之计算机可读存储介质的具体实施方式与上述电动汽车充电调度方法的具体实施方式大致相同, 在此不再赘述。

[0140] 实施例1:

[0141] 某区域内的充电站有10台充电桩接入充电站调度系统, 并且每个充电桩对应一辆电动汽车准备开始充电, 该10辆电动汽车均参与有序充电调度。

[0142] 信息采集: 统计该充电站里每台充电桩的参数信息, 如下表1。每台充电桩对应的电动汽车参数信息, 如下表2。

[0143] 表1充电桩可调功率范围

[0144]	最大充电功率	最小充电功率
	20KW/h	3.5KW/h

[0145] 表2电动汽车基本信息

[0146]	用户充电需求偏好	电池起始荷电量	电池容量
[0147]	1	20%	20kW/h

[0148] 待充电归类:判断电动汽车起始荷电量是否小于充电阈值50%,每辆电动汽车的起始荷电量均为20%,故都小于充电阈值,准备开始充电。

[0149] 获取充电功率调度方案:根据式(5),计算n+1时刻可调度充电功率,其中 $\gamma_i=0.5$, $n=0, a=1, k=4, x_i(0)=3.5$ 。计算方式如下:

$$[0150] \quad x_i(1) = 3.5 + 0.5 \times (1 - 3.5 \times (1 \times (\frac{3.5 \times 10}{100})^4)),$$

[0151] 待调度归类:调度系统判断n+1时刻为每辆电动汽车分配的充电功率是否收敛到最优值:其中,由式(9)均衡电价计算得 $q^*=0.1585$,由式(7)得均衡充电功率 $X_i^* \approx 6.31$,由式(5),若 $x_i(n+1) \geq 6.30$ 时,计算式(10)得 $|e_i(n+1)| \leq 0.01$,则进行分类充电步骤;若 $x_i(n+1) < 6.30$,则按照第一预设规则:

[0152] 调度系统将n+1时刻的10辆电动汽车总充电功率(即n+1时刻为每辆电动汽车分配的充电功率相加之和)发送给电网,电网根据式(3)计算n+1时刻的实时电价:

$$[0153] \quad p(1) = 1 \times [\frac{x_i(1) \times 10}{100}]^4,$$

[0154] 电网将此结果发送给充电站调度系统,返回执行获取充电功率调度方案步骤,并计算n+2时刻的为每辆电动汽车分配的充电功率,重复以上步骤,直至所述可调度充电功率符合所述第一约束条件,即收敛到最优值。分类充电:判断所述可调度充电功率是否符合第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件、第五约束条件。在本实施例中,每辆电动汽车的最优充电功率均为: $x_i^*=6.30\text{kW}$,大于最小充电功率,小于最大充电功率,且满足 $u_i(x_i^*(n)) \geq x_i^*(n)p(n) (1 * \log(6.3) = 2.65 > 6.3 * 0.158 = 0.9954)$,符合第二约束条件,电动汽车以该最优充电功率开始充电。

[0155] 接下来,在本实施例中,调度系统根据式(7)计算每辆电动汽车在n+1时刻的电池荷电量,其中每辆电动汽车的初始荷电量 $y_i(0) = 20\%$; $\alpha_i = 85\%$; $B_i = 20\text{kW/h}$; $x_i^M(n) = 20\text{kW/h}$;则电动汽车在下一个时刻的荷电量为(在本例中时间间隔为1分钟):

$$[0156] \quad y_i(1) = 20\% + \frac{85\%}{20} \times \min(20, 6.3) \times \frac{1}{60};$$

[0157] 判断停止充电:根据电量模型,基于第二预设规则判断是否停止充电。检测方式为判断: $y_i(n) \geq 1$ 是否为真;若为真,则电动汽车充满,停止充电,断开与充电桩的连接,并且充电时长为n个时间单位。否则继续充电,继续计算下一时刻的电池荷电量。下表3为电动汽车i的最优充电方案,根据目标函数验证该最优充电功率和最优电价是否使参与有序充电调度的电动汽车用户个人盈余达到最大。

[0158] 表3电动汽车i的最优充电调度方案

[0159]	最优充电功率	最优电价	充电时长
	6.3kW	0.1585\$	3小时

[0160] 实施例2:

[0161] 某充电站有10台充电桩接入充电站调度系统,并且每个充电桩对应一辆电动汽车准备开始充电,该10辆电动汽车均参与有序充电调度。

[0162] 信息采集:统计该充电站里每台充电桩的参数信息,实施例中表1。每台充电桩对

应的电动汽车参数信息,如下表4。

[0163] 表4电动汽车基本信息

[0164]	用户充电需求偏好	电池起始荷电量	电池容量
	[1, 10]	20%	20kW/h

[0165] 其中,电动汽车*i*充电需求偏好从1到10依次递增变化。需求偏好的数字1-10的表示用户对充电的需求由轻度到强烈,重度需求意味着用户想快速充满电量,同时也愿意承担较高的费用。

[0166] 待充电归类:判断电动汽车起始荷电量是否小于充电阈值50%,每辆电动汽车的起始荷电量均为20%,故都小于充电阈值,准备开始充电。

[0167] 获取充电功率调度方案:根据式(5),计算*n*+1时刻可调度充电功率,其中 $\gamma_i = 0.5$, $n=0, a=1, k=4, x_i(0) = 3.5$ 。计算方式如下:

[0168]
$$x_1(1) = x_1(0) + 0.5 \times (\omega_1 - x_1(0) \times (1 \times (\frac{\sum_{i=1}^{10} x_i(0)}{100})^4)) ,$$

[0169]
$$x_2(1) = x_2(0) + 0.5 \times (\omega_2 - x_2(0) \times (1 \times (\frac{\sum_{i=1}^{10} x_i(0)}{100})^4)) ,$$

[0170]

[0171]
$$x_{10}(1) = x_{10}(0) + 0.5 \times (\omega_{10} - x_{10}(0) \times (1 \times (\frac{\sum_{i=1}^{10} x_i(0)}{100})^4)) ;$$

[0172] 待调度归类:调度系统判断*n*+1时刻为每辆电动汽车分配的充电功率是否收敛到最优值,若是,则进行分类充电步骤;若否,则按照第一预设规则:

[0173] 调度系统将*n*+1时刻的10辆电动汽车总充电功率发送给电网,电网根据式(3)计算实时电价:

[0174]
$$p(1) = 1 \times [\frac{\sum_{i=1}^{10} x_i(1)}{100}]^4$$

[0175] 电网将此结果发送给充电站调度系统,返回执行获取充电功率调度方案步骤,并计算*n*+2时刻的为每辆电动汽车分配的充电功率,重复以上步骤,直至所述可调度充电功率符合所述第一约束条件,即收敛到最优值。

[0176] 分类充电:判断所述可调度充电功率是否符合第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件、第五约束条件。在本实施例中,每辆电动汽车的最优充电功率为表5所示,根据式(6)检测结果为第一台和第二台均不符合第二约束条件,而符合第四约束条件,则控制该充电桩以最小充电功率和基础电价 p_{base} 来进行充电。

[0177] 表5电动汽车最优充电值

[0178]

用户	功率kW
x_1^*	1.61
x_2^*	3.23
x_3^*	4.83
x_4^*	6.45
x_5^*	8.07
x_6^*	9.68

x_7^*	11.29
x_8^*	12.91
x_9^*	14.52
x_{10}^*	16.13

[0179] 调度系统根据式 (7) 计算每辆电动汽车在n+1时刻的电池荷电量,其中每辆电动汽车的初始荷电量 $y_i(0) = 20\%$; $\alpha_i = 85\%$; $B_i = 20\text{kW/h}$; $x_i^M(n) = 20\text{kW/h}$; 则电动汽车在下一个时刻的荷电量为 (在本例中时间间隔为1分钟):

[0180]
$$y_1(1) = 20\% + \frac{85\%}{20} \times \min(20, 3.5) \times \frac{1}{60},$$

[0181]
$$y_2(1) = 20\% + \frac{85\%}{20} \times \min(20, 3.5) \times \frac{1}{60},$$

[0182]

[0183]
$$y_{10}(1) = 20\% + \frac{85\%}{20} \times \min(20, 16.13) \times \frac{1}{60};$$

[0184] 判断停止充电:检测电动汽车是否充满。检测方式为判断: $y_i(n) \geq 1$ 是否为真;若为真,则电动汽车充满,停止充电,断开与充电桩的连接,并且充电时长为n个时间单位。否则继续充电,继续计算下一时刻的电池荷电量。

[0185] 实施例3:

[0186] 某充电站有100台充电桩接入充电站调度系统,并且每个充电桩对应一辆电动汽车准备开始充电,该100辆电动汽车均参与有序充电调度。

[0187] 采集信息:统计该充电站里每台充电桩的参数信息,如表1。每台充电桩对应的电动汽车参数信息,如下表6。

[0188] 表6电动汽车基本信息

[0189]

用户充电需求偏好	电池起始荷电量	电池容量
[1, 10]	[20%, 50%]	20kW/h

[0190] 其中,电动汽车i充电需求偏好从在1到10中随机取整数值,电池起始荷电量在20%到50%之间随机取值。

[0191] 待充电归类:判断电动汽车起始荷电量是否小于充电阈值50%,该电动汽车的起始荷电量在20%到50%之间,故都小于充电阈值,准备开始充电。获取充电功率调度方案:根据式 (5),分别计算n+1时刻可调度充电功率,其中 $\gamma_i = 0.5, n = 0, a = 1, k = 4, x_i(0) = 3.5$ 。

[0192] 待调度归类:调度系统判断n+1时刻为每辆电动汽车分配的充电功率是否收敛到最优值,若是,则进行分类充电步骤;若否,则按照第一预设规则:

[0193] 调度系统将n+1时刻的10辆电动汽车总充电功率发送给电网,电网根据式 (3) 计算实时电价:

[0194]
$$p(1) = 1 \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{100} x_i(1)}{100} \right]^4$$

[0195] 电网将此结果发送给充电站调度系统,返回执行获取充电功率调度方案步骤,并计算n+2时刻的为每辆电动汽车分配的充电功率,重复以上步骤,直至所述可调度充电功率

符合所述第一约束条件,即收敛到最优值。

[0196] 分类充电:判断所述可调度充电功率是否符合第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件。若满足第一约束条件,则控制充电桩以最优充电功率执行步骤七,否则按照第三或第四、第五约束条件,以最小/最大充电功率执行充电。

[0197] 调度系统根据式(7)计算每辆电动汽车在 $n+1$ 时刻的电池荷电量,其中 $y_i(0) = [0.2, 0.5]$; $\alpha_i = 85\%$; $B_i = 20\text{kW/h}$; $x_i^M(n) = 20\text{kW/h}$ 。

[0198] 判断停止充电:检测电动汽车是否充满。检测方式为判断: $y_i(n) \geq 1$ 是否为真;若为真,则电动汽车充满,停止充电,断开与充电桩的连接,并且充电时长为 n 个时间单位。否则继续充电,继续计算下一时刻的电池荷电量。

[0199] 实施例的作用与效果

[0200] 根据本实施例所涉及的考虑不确定负载的基于需求响应的电动汽车充电调度方法,本发明所涉及的考虑不确定负载的基于需求响应的电动汽车充电调度方法、装置和存储介质,充电站采集在区域内接入充电桩的电动汽车基本信息和充电桩信息,接收来自电网的实时电价信息,并根据用户充电需求偏好为每辆电动汽车分配最优充电功率,指导每辆电动汽车参与有序充电。本发明所涉及的基于需求响应的电动汽车充电调度方法、装置和存储介质,以最大化电动汽车用户盈余为目标,结合网络拥塞定价法建立充电模型,不仅可以最大化用户个人盈余,降低电动汽车用户的充电成本;还能满足不同用户充电需求偏好,增强有序充电的参与度;并且实现电动汽车与电网的实时通信互动,使电能的供应和需求达到平衡,减少电能损耗,改善因无序充电而造成电能损耗浪费的情况,从而降低了电动汽车用户的充电成本,满足不同用户的充电需求,增加了用户的参与度。

[0201] 上述实施方式为本发明的优选案例,并不用来限制本发明的保护范围。

[0202] 上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0203] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

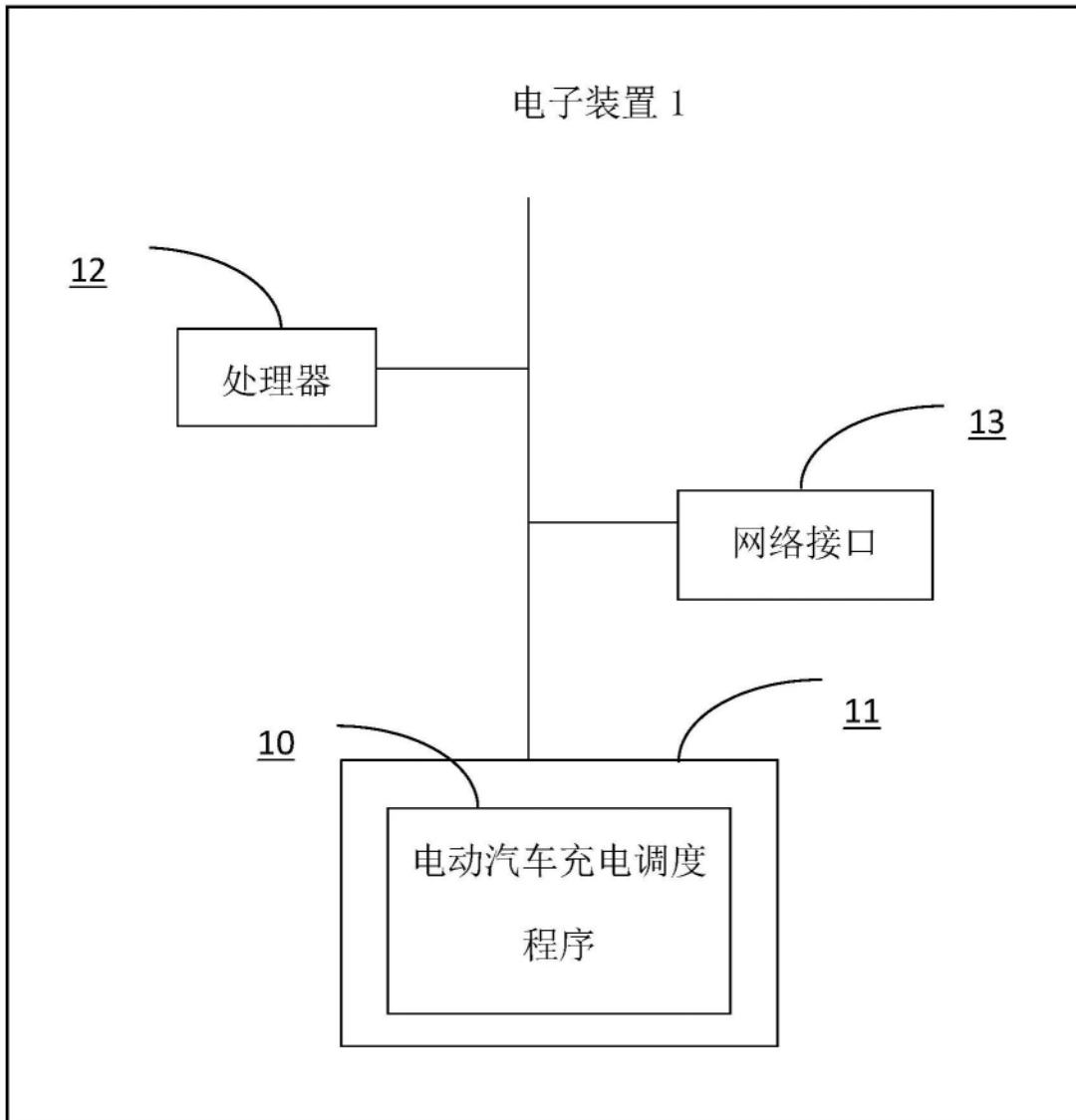


图1



图2

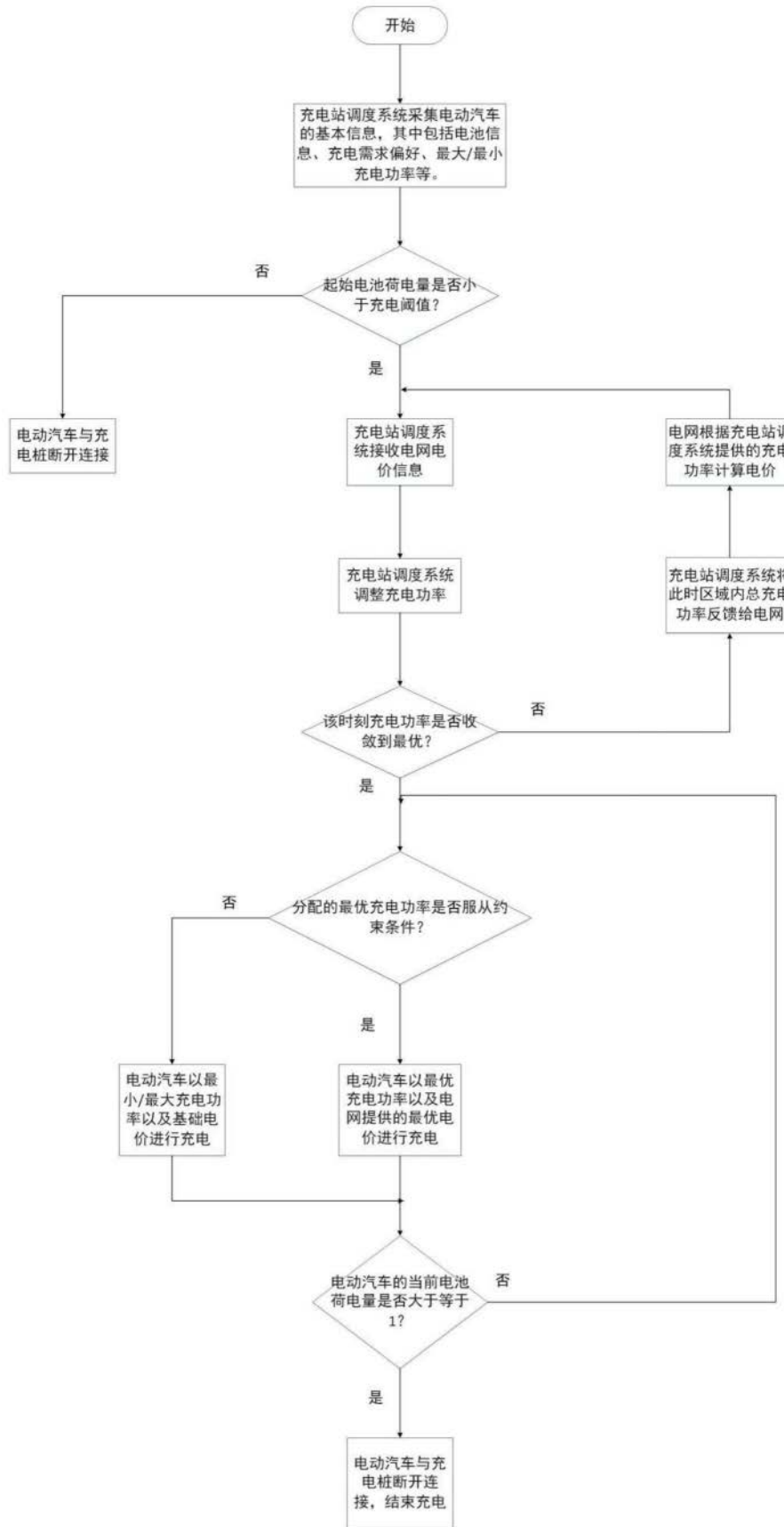


图3