



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111762057 A

(43) 申请公布日 2020.10.13

(21) 申请号 202010641656.7

(22) 申请日 2020.07.06

(71) 申请人 上海电力大学

地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72) 发明人 于会群 尹申 彭道刚 张浩

(74) 专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司

公司 31204

代理人 赵濬宇

(51) Int. Cl.

B60L 55/00 (2019.01)

B60L 53/63 (2019.01)

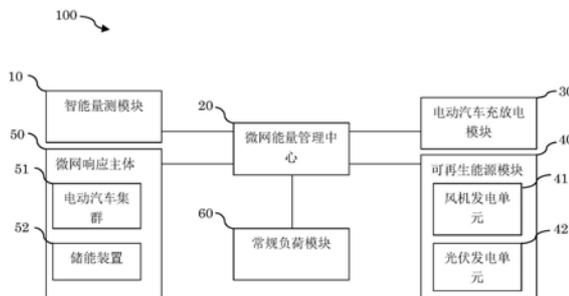
权利要求书5页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法

(57) 摘要

本发明提供了一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,属于电动车辆充电领域。本发明包括如下步骤:确定微网系统的基本参数;建立可再生能源模块出力模型来预测可再生能源模块出力,建立储能装置负荷模型来预测储能装置负荷状态;建立电动汽车负荷特性模型并获得所有电动汽车的荷电状态;建立优化模型并求解,使得电动汽车用户的满意度最大为前提,微网系统运行的总成本最低;根据优化模型求解的结果对电动汽车进行调动。本发明不仅能在提升需求侧电动汽车的满意度和用户响应能力,同时还抑制了微网系统的负荷波动、降低了运行成本。



1. 一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,用于管理微网系统,所述微网系统包括:智能量测模块、微网能量管理中心、电动汽车充放电模块、可再生能源模块以及微网响应主体,所述微网响应主体包括多辆电动汽车以及储能装置,每辆所述电动汽车具有动力电池,所述可再生能源模块包括风机发电单元以及光伏发电单元,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,确定微网系统的基本参数,所述基本参数包括:所述电动汽车的数量、起始的电动汽车用户的满意度、所述储能装置的容量、所述储能装置荷电状态的上限以及所述储能装置荷电状态动汽车的荷电状态的下限;

步骤2,建立可再生能源模块出力模型来预测所述可再生能源模块出力,建立储能装置负荷模型来预测所述储能装置负荷状态;

步骤3,建立电动汽车负荷特性模型并获得所有所述电动汽车的荷电状态;

步骤4,建立优化模型并求解,使得电动汽车用户的满意度最大为前提,所述微网系统运行的总成本最低;

步骤5,根据优化模型求解的结果对所述电动汽车进行调动。

2. 根据权利要求1所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于:其中,所述可再生能源模块出力模型包括:

风力随机出力模型,用于计算所述风力发电单元的输出功率;以及

日照辐射量随机出力模型,用于计算所述光伏发电单元的输出功率。

3. 根据权利要求2所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于:其中,所述风力随机出力模型为

$$P_w(t) = \begin{cases} 0, & v(t) \in [0, v_{in}) \cup (v_{out}, +\infty) \\ \frac{P_r v_{in}^3}{v_{in}^3 - v_r^3} + \frac{P_r}{v_r^3 - v_{in}^3} v(t)^3, & v(t) \in [v_{in}, v_r] \\ P_r, & v(t) \in (v_r, v_{out}] \end{cases}$$

式中, $P_w(t)$ 为所述风力发电单元输出功率, $v(t)$ 表示t时刻的风速, v_r 为所述风力发电单元的额定风速, v_{in} 为所述风力发电单元的切入风速, v_{out} 为所述风力发电单元的切出风速, P_r 为所述风力发电单元额定输出功率。

4. 根据权利要求2所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于:其中,所述日照辐射量随机出力模型为

$$P_{PV}(k) = P_{peak} \times \eta \times D(k) \times 10^{-3}$$

式中, $P_{PV}(k)$ 为所述光伏发电单元输出功率, P_{peak} 为所述光伏发电单元峰瓦功率, η 为所述光伏发电单元的效率, $D(k)$ 为所述光伏发电单元的峰瓦时数。

5. 根据权利要求1所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于:其中,所述储能装置负荷模型为

$$SOC(t) = \begin{cases} SOC(t-1) + I_{BS} / Q_{BS} & \text{充电, } I_{BS} \leq 0 \\ SOC(t-1) + I_{BS} / Q_{BS} & \text{放电, } I_{BS} \geq 0 \end{cases}$$

式中, $SOC(t)$ 为储能装置在t时刻的剩余电量; I_{BS} 为从t-1时刻到t时刻储能装置的电量变化量; Q_{BS} 为蓄电池容量,

所述储能装置负荷模型的约束条件为

$$P_{SBmin} \leq P_{SB}(t) \leq P_{SBmax}$$

$$SOC_{SBmin} \leq SOC_{SB}(t) \leq SOC_{SBmax}$$

式中, P_{SBmin} 为储能装置充放电的最小功率, P_{SBmax} 为储能装置充放电的最大功率, $SOC_{SB}(t)$ 是储能装置在 t 时段的荷电状态, SOC_{SBmin} 为储能装置荷电状态的最小值, SOC_{SBmax} 为储能装置荷电状态的最大值。

6. 根据权利要求1所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法, 其特征在于, 其中, 所述电动汽车负荷特性模型包括电动汽车负荷状态模型、电动汽车充电负荷模型以及电动汽车放电负荷模型,

所述电动汽车负荷状态模型为

$$S_l(t) = S_{0,l} + \sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}+24} \frac{P_l(t) \cdot \eta_l \cdot \mu_l(t)}{Q_{s,l}}$$

式中, $S_l(t)$ 为电动汽车1在 t 时刻的荷电状态, $P_l(t)$ 为电动汽车1在 t 时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, η_l 为电能转换效率, $Q_{s,l}$ 为电动汽车1电荷总容量, $S_{0,l}$ 为电动汽车1入网时的初始荷电状态,

所述电动汽车充电负荷模型为

$$P_c(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{c,l}(t) \quad \mu_l(t) > 0$$

式中, $P_c(t)$ 为电动汽车充电负荷, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_{c,l}(t)$ 为电动汽车1在采样点 t 内的充电额定功率,

所述电动汽车放电负荷模型为

$$P_d(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{d,l}(t) \quad \mu_l(t) < 0$$

式中, $P_d(t)$ 为电动汽车放电负荷, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,l}(t)$ 为电动汽车1在 t 时段内的放电额定功率,

所述电动汽车放电负荷模型的约束条件如下:

$$\sum_{T_{in}}^{T_{out}} P_{d,l}(t) < Q_{V2G}$$

式中, $P_{d,l}(t)$ 为所述电动汽车在 t 时段内放电功率的值, Q_{V2G} 为单个电动汽车的可用放电容量,

$$Q_{V2G} = (Q_{s,1} - Q_{r,1} - Q_{d,1} - Q_{Loss})$$

式中, $Q_{s,1}$ 为单个电动汽车的所述动力电池的总容量, $Q_{r,1}$ 为单个电动汽车的所述动力电池的预留容量, $Q_{d,1}$ 为单个电动汽车的所述动力电池日常使用容量, Q_{Loss} 为单个电动汽车的所述动力电池损耗能量,

$$P_l(t) \leq \begin{cases} \frac{P_{c,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) > 0 \\ \frac{P_{d,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) < 0 \end{cases}$$

式中, $P_{c,1}$ 为所述电动汽车充电的额定功率, $P_{d,1}$ 为所述电动汽车放电的额定功率, η_1 表示电能转化效率,

$$S_{\min,1} \leq S_1(t) \leq S_{\max,1}$$

式中, $S_{\min,1}$ 为所述电动汽车荷电状态最小值, $S_{\max,1}$ 为所述电动汽车荷电状态最大值,

$$0 \leq S_{0,1} < 1$$

$$0 \leq S_{E,1} < 1$$

式中, $S_{E,1}$ 为电动汽车1的用户所期望的荷电状态,

$$S_{0,l} + \frac{\left(\sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}} P_l(t) \cdot \mu_l(t) \right)}{Q_{s,l}} \geq S_{E,l}$$

$$r_1 \leq r_{\max,1}$$

式中, r_1 所述动力电池的折损率, $r_{\max,1}$ 为所述电动汽车用户所可接受的动力电池的最大折损率,

$$\begin{cases} P_W(t) + P_{PV}(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t) = L_B(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) \\ \mu_{d,l}(t) + \mu_{c,l}(t) = 1 \end{cases}$$

式中, $L_B(t)$ 为所述微网系统的常规负荷; $\mu_{c,1}(t)$ 、 $\mu_{d,1}(t)$ 分别为t时段内所述电动汽车1的充、放电状态函数,二者对立,其值为0或1。

7. 根据权利要求1所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于,其中,所述优化模型为

$$\begin{cases} \min \left\{ \omega_1 \cdot \frac{F_1}{F_{1\max}} + \omega_2 \cdot \frac{F_2}{F_{2\max}} + \omega_3 \cdot \frac{F_3}{F_{3\max}} \right\} = \min F \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1 \\ \omega_1 > \omega_2 > 0 \\ \omega_1 > \omega_3 > 0 \end{cases}$$

式中, F_1 为所述电动汽车用户的满意度模型, $F_{1\max}$ 为所述电动汽车用户的满意度模型最大值, ω_1 为 F_1 的权重系数, F_2 为所述电动汽车参与调度的负荷方差模型, $F_{2\max}$ 为所述电动汽车参与调度负荷方程模型的最大值, ω_2 为 F_2 的权重系数, F_3 为所述微网系统的日运行总成本模型, $F_{3\max}$ 为所述微网系统日运行总成本模型的最大值, ω_3 为 F_3 的权重系数。

8. 根据权利要求7所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,其特征在于,其中,所述满意度模型为

$$\min F_1 = \frac{1}{\max \left\{ \sum_{l=1}^N (\partial_l^1 + \partial_l^2 + \partial_l^3) \right\}}$$

式中, ∂_i^1 为单个所述电动汽车用户的出行满意度模型, ∂_i^2 为单个所述电动汽车用户的电价满意度模型, ∂_i^3 为单个所述电动汽车用户的动力电池损耗满意度模型,

所述出行满意度模型为

$$\partial_i^1 = \begin{cases} 0 & , 0 \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \\ m & , \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < S_{E,l} \\ 1 & , \sum_{t=1}^T S_l(t) \geq S_{E,l} \end{cases}$$

式中, $\sum_{t=1}^T S_l(t)$ 为所述电动汽车1离网时刻的荷电状态, $Q_{r,1}$ 为所述电动汽车1的预留容量, $Q_{d,1}$ 为所述电动汽车1日常使用容量,

所述电价满意度模型为

$$\partial_i^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T C_l(t) \cdot P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) - C_l(t_{\min})}{C_l(t_{\max}) - C_l(t_{\min})}$$

式中, $C_l(t)$ 为t时段内所述电动汽车1充电的电价, $C_l(t_{\min})$ 为所述电动汽车1充电成本的最低费用, $C_l(t_{\max})$ 分别为所述电动汽车1充电成本的最高费用, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数

所述电池损耗满意度模型为:

$$\partial_i^3 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T |P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t)|}{\sum_{t=1}^T P_l(t)}$$

式中, $P_l(t)$ 为所述电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_{d,1}(t)$ 为t时段内所述电动汽车1的放电状态函数。

9. 根据权利要求7所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法, 其特征在于, 其中, 所述负荷方差模型为

$$\begin{cases} \min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{l=1}^N P_l(t) \cdot \mu_l(t) - \mu_T^H \right)^2 = \min F_2 \\ \mu_T^H = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{l=1}^N P_l^{EV}(t) \cdot \mu_l(t) \right) \end{cases}$$

式中, $L_B(t)$ 为所述微网系统的常规负荷, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, μ_T^H 为所述微网系统的平均负荷, $P_l^{EV}(t)$ 为电动汽车1的充电负荷。

10. 根据权利要求7所述的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法, 其特征在于,

其中,所述日运行总成本模型为

$$\min F_3 = \min \left\{ \sum_{t=1}^T (C_{EV,sub}(t) + C_{R,op}(t) + C_{BES,cd}(t)) - \sum_{t=1}^T (C_{EV,cd}(t) + C_{RES,sub}(t)) \right\}$$

式中, $C_{EV,sub}(t)$ 为t时段内所述电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用, $C_{R,op}(t)$ 为所述微网系统运维总费用, $C_{BES,cd}(t)$ 为所述储能装置的充放电损耗成本, $C_{EV,cd}(t)$ 为t时段内所述电动汽车用户的充放电费用, $C_{RES,sub}(t)$ 为t时段内可再生能源模块发电补贴,

所述电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用的计算方法为:

$$C_{EV,sub}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_{d,l}(t) \cdot I_{EV,sub} \cdot \Delta t$$

式中, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,l}(t)$ 为电动汽车的l在t时段内的放电额定功率, $I_{EV,sub}$ 为t时段内所述电动汽车参与微网辅助服务奖励费用标准,

所述微网系统运维总费用的计算方法为:

$$C_{R,op}(t) = (\varphi_W \cdot P_W(t) + \varphi_{PV} \cdot P_{PV}(t) + \varphi_B \cdot P_B(t)) \cdot \Delta t$$

式中, φ_{WT} 为所述风机发电单元运维成本系数、 φ_{PV} 为所述光伏发电单元运维成本系数, φ_B 为所述储能装置的运维成本系数, $P_W(t)$ 为所述风机单元输出功率, $P_{PV}(t)$ 为所述光伏发电单元输出功率, $P_B(t)$ 为所述储能装置输出功率,

所述储能装置的充放电损耗成本的计算方法为:

$$C_{BES,cd}(t) = P_B(t) \cdot \rho_B(t) \cdot \Delta t$$

式中, $\rho_B(t)$ 为所述储能装置损耗折算成的成本费用标准,

t时段内所述电动汽车的充放电费用的计算方法为:

$$C_{EV,cd}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \rho_{EV}(t) \cdot \Delta t$$

式中, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_l(t)$ 为电动汽车l在t时刻的充放电功率的值, $\rho_{EV}(t)$ 为所述微网系统在t时段内对电动汽车充放电过程中收取的费用,

t时段内可再生能源模块发电补贴的计算方法为:

$$C_{RES,sub}(t) = (P_{WT,valid}(t) I_{WT,sub} + P_{PV,valid}(t) I_{PV,sub}) \cdot \Delta t$$

式中, $P_{WT,valid}(t)$ 为t时段被消纳的所述风力发电单元出力, $P_{PV,valid}(t)$ 为t时段被消纳的所述光伏发电单元出力, $I_{WT,sub}$ 为所述风力发电单元每发一度电补贴费用标准, $I_{PV,sub}$ 为所述光伏发电单元每发一度电补贴费用标准。

一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电动车辆充电领域,具体涉及一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法。

背景技术

[0002] 能源是人类的生存和发展的重要前提,随着社会经济和经济的不断发展,传统的化石能源日益枯竭,全球变暖和环境污染等问题日益加剧,提高清洁能源利用率成为了当下一项重要的研究课题;由于风光发电系统本身对于气候条件有着很大的依赖性,造成了其发电能力的间歇性和不确定性,若将其直接接入电网会对系统稳定性带来很大的影响。微网能高效地解决可再生能源(Renewable Energy,RE)大规模分散接入地问题,并且其并网和孤网的运行方式增强了微网系统的灵活性。

[0003] 近年来,电动汽车(Electrical vehicle,EV)得到了飞速发展,人们逐渐意识到了其移动储能特性的价值所在。EV一直被视为一种对清洁能源的合理利用,是解决能源环境问题的有效途径;EV的发展也推动着锂离子电池的发展,使得含有V2G(Vehicle-to-Grid,V2G)功能的电动汽车日益普及。所谓的V2G,是指电动汽车可以作为一种移动储能单元,在峰荷时向电网注入电能,谷荷时从电网补充电能,实现能量的双向流动,减少了备用需求,降低了系统运行成本,提升了系统运行的经济性;因此,大规模V2G电动汽车进入微网,参与微网的联合调度是未来的一个必然发展趋势。

发明内容

[0004] 本发明是为了解决上述问题而进行的,目的在于提供一种智能绿色环保的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法。

[0005] 本发明提供了一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,用于管理微网系统,微网系统包括:智能量测模块、微网能量管理中心、电动汽车充放电模块、可再生能源模块以及微网响应主体,微网响应主体包括多辆电动汽车以及储能装置,每辆电动汽车具有动力电池,可再生能源模块包括风机发电单元以及光伏发电单元,具有这样的特征,包括如下步骤:步骤1,确定微网系统的基本参数,基本参数包括:电动汽车的数量、起始的电动汽车用户的满意度、储能装置的容量、储能装置荷电状态的上限以及储能装置荷电状态的下限;步骤2,建立可再生能源模块出力模型来预测可再生能源模块出力,建立储能装置负荷模型来预测储能装置负荷状态;步骤3,建立电动汽车负荷特性模型并获得所有电动汽车的荷电状态;步骤4,建立优化模型并求解,使得电动汽车用户的满意度最大为前提,微网系统运行的总成本最低;步骤5,根据优化模型求解的结果对电动汽车进行调动。

[0006] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,可再生能源模块出力模型包括:风力随机出力模型,用于计算风力发电单元的输出功率;以及日照辐射量随机出力模型,用于计算光伏发电单元的输出功率。

[0007] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这

样的特征:其中,风力随机出力模型为

$$[0008] \quad P_w(t) = \begin{cases} 0, & v(t) \in [0, v_{in}) \cup (v_{out}, +\infty) \\ \frac{P_r v_{in}^3}{v_{in}^3 - v_r^3} + \frac{P_r}{v_r^3 - v_{in}^3} v(t)^3, & v(t) \in [v_{in}, v_r] \\ P_r, & v(t) \in (v_r, v_{out}] \end{cases}$$

[0009] 式中, $P_w(t)$ 为风力发电单元输出功率, $v(t)$ 表示 t 时刻的风速, v_r 为风力发电单元的额定风速, v_{in} 为风力发电单元的切入风速, v_{out} 为风力发电单元的切出风速, P_r 为风力发电单元额定输出功率。

[0010] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,日照辐射量随机出力模型为

$$[0011] \quad P_{PV}(k) = P_{peak} \times \eta \times D(k) \times 10^{-3}$$

[0012] 式中, $P_{PV}(k)$ 为光伏发电单元输出功率, P_{peak} 为光伏发电单元峰瓦功率, η 为光伏发电单元的效率, $D(k)$ 为光伏发电单元的峰瓦时数。

[0013] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,储能装置负荷模型为

$$[0014] \quad SOC(t) = \begin{cases} SOC(t-1) + I_{BS} / Q_{BS} & \text{充电, } I_{BS} \leq 0 \\ SOC(t-1) - I_{BS} / Q_{BS} & \text{放电, } I_{BS} \geq 0 \end{cases}$$

[0015] 式中, $SOC(t)$ 为储能装置在 t 时刻的剩余电量; I_{BS} 为从 $t-1$ 时刻到 t 时刻储能装置的电量变化量; Q_{BS} 为蓄电池容量,

[0016] 储能装置负荷模型的约束条件为

$$[0017] \quad P_{SB \min} \leq P_{SB}(t) \leq P_{SB \max}$$

$$[0018] \quad SOC_{SB \min} \leq SOC_{SB}(t) \leq SOC_{SB \max}$$

[0019] 式中, $P_{SB \min}$ 为储能装置充放电的最小功率, $P_{SB \max}$ 为储能装置充放电的最大功率, $SOC_{SB}(t)$ 是储能装置在 t 时段的荷电状态, $SOC_{SB \min}$ 为储能装置荷电状态的最小值, $SOC_{SB \max}$ 为储能装置荷电状态的最大值。

[0020] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,电动汽车负荷特性模型包括电动汽车负荷状态模型、电动汽车充电负荷模型以及电动汽车放电负荷模型,

[0021] 电动汽车负荷状态模型为

$$[0022] \quad S_l(t) = S_{0,l} + \sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}+24} \frac{P_l(t) \cdot \eta_l \cdot \mu_l(t)}{Q_{s,l}}$$

[0023] 式中, $S_l(t)$ 为电动汽车 l 在 t 时刻的荷电状态, $P_l(t)$ 为电动汽车 l 在 t 时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车 l 的充放电状态函数, η_l 为电能转换效率, $Q_{s,l}$ 为电动汽车 l 电荷总容量, $S_{0,l}$ 为电动汽车 l 入网时的初始荷电状态,

[0024] 电动汽车充电负荷模型为

$$[0025] \quad P_c(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{c,l}(t) \quad \mu_l(t) > 0$$

[0026] 式中, $P_c(t)$ 为电动汽车充电负荷, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_{c,1}(t)$ 为电动汽车 1 在采样点 t 内的充电额定功率,

[0027] 电动汽车放电负荷模型为

$$[0028] \quad P_d(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{d,l}(t) \quad \mu_l(t) < 0$$

[0029] 式中, $P_d(t)$ 为电动汽车放电负荷, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,1}(t)$ 为电动汽车 1 在 t 时段内的放电额定功率,

[0030] 电动汽车放电负荷模型的约束条件如下:

$$[0031] \quad \sum_{T_{in}}^{T_{out}} P_{d,l}(t) < Q_{V2G}$$

[0032] 式中, $P_{d,1}(t)$ 为电动汽车在 t 时段内放电功率的值, Q_{V2G} 为单个电动汽车的可用放电容量,

$$[0033] \quad Q_{V2G} = (Q_{s,1} - Q_{r,1} - Q_{d,1} - Q_{Loss})$$

[0034] 式中, $Q_{s,1}$ 为单个电动汽车的动力电池的总容量, $Q_{r,1}$ 为单个电动汽车的动力电池的预留容量, $Q_{d,1}$ 为单个电动汽车的动力电池日常使用容量, Q_{Loss} 为单个电动汽车的动力电池损耗能量,

$$[0035] \quad P_l(t) \leq \begin{cases} \frac{P_{c,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) > 0 \\ \frac{P_{d,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) < 0 \end{cases}$$

[0036] 式中, $P_{c,1}$ 为电动汽车充电的额定功率, $P_{d,1}$ 为电动汽车放电的额定功率, η_1 表示电能转化效率,

$$[0037] \quad S_{min,1} \leq S_1(t) \leq S_{max,1}$$

[0038] 式中, $S_{min,1}$ 为电动汽车荷电状态最小值, $S_{max,1}$ 为电动汽车荷电状态最大值,

$$[0039] \quad 0 \leq S_{0,1} < 1$$

$$[0040] \quad 0 \leq S_{E,1} < 1$$

[0041] 式中, $S_{E,1}$ 为电动汽车 1 的用户所期望的荷电状态,

$$[0042] \quad S_{0,l} + \frac{\left(\sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}} P_l(t) \cdot \Delta s \cdot \mu_l(t) \right)}{Q_{s,l}} \geq S_{E,l}$$

$$[0043] \quad r_1 \leq r_{max,1}$$

[0044] 式中, r_1 动力电池的折损率, $r_{max,1}$ 为电动汽车用户所可接受的动力电池的最大折损率,

$$[0045] \quad \begin{cases} P_W(t) + P_{PV}(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t) = L_B(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) \\ \mu_{d,l}(t) + \mu_{c,l}(t) = 1 \end{cases}$$

[0046] 式中, $L_B(t)$ 为微网系统的常规负荷; $\mu_{c,1}(t)$ 、 $\mu_{d,1}(t)$ 分别为 t 时段内电动汽车 1 的

充、放电状态函数,二者对立,其值为0或1。

[0047] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,优化模型为

$$[0048] \quad \begin{cases} \min \left\{ \omega_1 \cdot \frac{F_1}{F_{1\max}} + \omega_2 \cdot \frac{F_2}{F_{2\max}} + \omega_3 \cdot \frac{F_3}{F_{3\max}} \right\} = \min F \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1 \\ \omega_1 > \omega_2 > 0 \\ \omega_1 > \omega_3 > 0 \end{cases}$$

[0049] 式中, F_1 为电动汽车用户的满意度模型, $F_{1\max}$ 为电动汽车用户的满意度模型最大值, ω_1 为 F_1 的权重系数, F_2 为电动汽车参与调度的负荷方差模型, $F_{2\max}$ 为电动汽车参与调度负荷方程模型的最大值, ω_2 为 F_2 的权重系数, F_3 为微网系统的日运行总成本模型, $F_{3\max}$ 为微网系统日运行总成本模型的最大值, ω_3 为 F_3 的权重系数。

[0050] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,满意度模型为

$$[0051] \quad \min F_1 = \frac{1}{\max \left\{ \sum_{l=1}^N (\partial_l^1 + \partial_l^2 + \partial_l^3) \right\}}$$

[0052] 式中, ∂_l^1 为单个电动汽车用户的出行满意度模型, ∂_l^2 为单个电动汽车用户的电价满意度模型, ∂_l^3 为单个电动汽车用户的动力电池损耗满意度模型,

[0053] 出行满意度模型为

$$[0054] \quad \partial_l^1 = \begin{cases} 0 & , 0 \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \\ m & , \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < S_{E,l} \\ 1 & , \sum_{t=1}^T S_l(t) \geq S_{E,l} \end{cases}$$

[0055] 式中, $\sum_{t=1}^T S_l(t)$ 为电动汽车1离网时刻的荷电状态, $Q_{r,1}$ 为电动汽车1的预留容量, $Q_{d,1}$ 为电动汽车1日常使用容量,

[0056] 电价满意度模型为

$$[0057] \quad \partial_l^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T C_l(t) \cdot P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) - C_l(t_{\min})}{C_l(t_{\max}) - C_l(t_{\min})}$$

[0058] 式中, $C_l(t)$ 为t时段内电动汽车1充电的电价, $C_l(t_{\min})$ 为电动汽车1充电成本的最低费用, $C_l(t_{\max})$ 分别为电动汽车1充电成本的最高费用, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_1(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数

[0059] 电池损耗满意度模型为

$$[0060] \quad \delta_l^3 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T |P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t)|}{\sum_{t=1}^T P_l(t)}$$

[0061] 式中, $P_1(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_{d,1}(t)$ 为t时段内电动汽车1的放电状态函数。

[0062] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,负荷方差模型为

$$[0063] \quad \begin{cases} \min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{i=1}^N P_i(t) \cdot \mu_i(t) - \mu_T^H \right)^2 = \min F_2 \\ \mu_T^H = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{i=1}^N P_i^{EV}(t) \cdot \mu_i(t) \right) \end{cases}$$

[0064] 式中, $L_B(t)$ 为微网系统的常规负荷, $P_1(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_1(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, μ_T^H 为微网系统的平均负荷, $P_1^{EV}(t)$ 为电动汽车1的充电负荷。

[0065] 在本发明提供的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法中,还可以具有这样的特征:其中,

[0066] 日运行总成本模型为

$$[0067] \quad \min F_3 = \min \left\{ \sum_{t=1}^T (C_{EV,sub}(t) + C_{R,op}(t) + C_{BES,cd}(t)) - \sum_{t=1}^T (C_{EV,cd}(t) + C_{RES,sub}(t)) \right\}$$

[0068] 式中, $C_{EV,sub}(t)$ 为t时段内电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用, $C_{R,op}(t)$ 为微网系统运维总费用, $C_{BES,cd}(t)$ 为储能装置的充放电损耗成本, $C_{EV,cd}(t)$ 为t时段内电动汽车用户的充放电费用, $C_{RES,sub}(t)$ 为t时段内可再生能源模块发电补贴,

[0069] 电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用的计算方法为:

$$[0070] \quad C_{EV,sub}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_{d,l}(t) \cdot I_{EV,sub} \cdot \Delta t$$

[0071] 式中, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,1}(t)$ 为电动汽车的1在t时段内的放电额定功率, $I_{EV,sub}$ 为t时段内电动汽车参与微网辅助服务奖励费用标准,

[0072] 微网系统运维总费用的计算方法为:

$$[0073] \quad C_{R,op}(t) = (\varphi_W \cdot P_W(t) + \varphi_{PV} \cdot P_{PV}(t) + \varphi_B \cdot P_B(t)) \cdot \Delta t$$

[0074] 式中, φ_{WT} 为风机发电单元运维成本系数、 φ_{PV} 为光伏发电单元运维成本系数, φ_B 为储能装置的运维成本系数, $P_W(t)$ 为风机单元输出功率, $P_{PV}(t)$ 为光伏发电单元输出功率, $P_B(t)$ 为储能装置输出功率,

[0075] 储能装置的充放电损耗成本的计算方法为:

$$[0076] \quad C_{BES,cd}(t) = P_B(t) \cdot \rho_B(t) \cdot \Delta t$$

[0077] 式中, $\rho_B(t)$ 为储能装置损耗折算成的成本费用标准,

[0078] t时段内电动汽车的充放电费用的计算方法为:

$$[0079] \quad C_{EV,cd}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \rho_{EV}(t) \cdot \Delta t$$

[0080] 式中, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_l(t)$ 为电动汽车 l 在 t 时刻的充放电功率的值, $\rho_{EV}(t)$ 为微网系统在 t 时段内对电动汽车充放电过程中收取的费用,

[0081] t 时段内可再生能源模块发电补贴的计算方法为:

$$[0082] \quad C_{RES,sub}(t) = (P_{WT,valid}(t) I_{WT,sub} + P_{PV,valid}(t) I_{PV,sub}) \cdot \Delta t$$

[0083] 式中, $P_{WT,valid}(t)$ 为 t 时段被消纳的风力发电单元出力, $P_{PV,valid}(t)$ 为 t 时段被消纳的光伏发电单元出力, $I_{WT,sub}$ 为风力发电单元每发一度电补贴费用标准, $I_{PV,sub}$ 为光伏发电单元每发一度电补贴费用标准。

[0084] 发明的作用与效果

[0085] 根据本发明所涉及的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,因为建立了优化模型,采用了三阶段电动汽车智能充放电方法,所以,本发明能够使微网系统中负荷削峰填谷、降低微网的运行成本,还可以在一个可见的时间区域内,大大提升微网系统中用户的响应能力,使得在微网系统中含有一定规模的V2G电动汽车的前提条件下,其储能属性得到大幅度提升。

附图说明

[0086] 图1是本发明的实施例1中微网系统的结构示意图;

[0087] 图2是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法的流程图;

[0088] 图3是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法实施前后微网系统总负荷随时间变化的变化图;以及

[0089] 图4是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法实施后电动汽车相应数量随时间的变化图。

具体实施方式

[0090] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,以下结合实施例及说明书附图对本发明作具体阐述。

[0091] <实施例1>

[0092] 图1是本发明的实施例1中微网系统的结构示意图。

[0093] 如图1所示,本实施例提供了一种微网系统100,包括:智能量测模块10、微网能量管理中心20、电动汽车充放电模块30、可再生能源模块40、微网响应主体50以及常规负荷模块60。

[0094] 智能量测模块10,即advanced measurement infrastructure,简称AMI。智能量测模块10用于实时监测并采集可再生能源模块40出力及需求侧负荷水平信息,并将采集的信息及时上传至微电网能量管理中心20。

[0095] 微网能量管理中心20为微网系统优化运行实时控制的主要控制单元,以智能量测模块10上传的负荷需求、可再生能源模块40出力信息及微网响应主体50的功率信息为基

础,通过动态优化和实时功率分配两阶段制定微网系统100运行优化实时控制策略。

[0096] 电动汽车充放电模块30为电动汽车实时功率控制的最终执行单元。在本实施例中具体为电动汽车充放电设施。具体地,电动汽车充放电模块30是集中式双向充电桩。在其他实施例中,也可以是别的电动汽车充放电设施,既可以是集中式的电动汽车充放电设施也可以是分散式的电动汽车充放电设施。

[0097] 可再生能源模块40包括风机发电单元41以及光伏发电单元42,在别的实施例中,可再生能源模块40也可以根据实际情况包含别的可再生能源发电单元,如生物能发电单元、潮汐能发电单元等。在本实施例中,可再生能源模块40包括600MW的风力发电系统和光伏发电系统。

[0098] 微网响应主体50包括电动汽车集群51 (EV集群) 以及储能装置52 (battery energy storage, BES)。电动汽车集群51包括多辆电动汽车,每辆电动汽车均具有一个动力电池。储能装置52在本实施例中选用蓄电池,在别的实施例中也可以使用超级电容器等装置。在本实施例中,电动汽车集群51包括480辆具有V2G功能的电动汽车,储能装置52为容量为500kWh的化学储能系统。每辆电动汽车的动力电池的容量为30kWh。

[0099] 常规负荷模块60为接入微网系统10中常规耗电设备。

[0100] <实施例2>

[0101] 图2是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法的流程图。

[0102] 如图2所示,本实施例提供了一种区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法,用于对实施例1中的微网系统进行中V2G电动汽车智能充放电管理,包括如下步骤:

[0103] S1,确定微网系统的基本参数,基本参数包括:电动汽车的数量、起始的电动汽车用户的满意度、储能装置的容量、储能装置荷电状态的上限以及储能装置荷电状态电动汽车的荷电状态的下限;

[0104] S2,建立可再生能源模块出力模型来预测可再生能源模块出力,在本实施例中,可再生能源模块出力模型包括:风力随机出力模型以及日照辐射量随机出力模型。

[0105] 在本实施例中,风力随机出力模型是针对风力发电机建立的。风力发电机是先通过风机叶片将风能转化成机械能,再由发电机将机械能转变为电能。

[0106] 风速的短期概率特性服从威布尔分布(Weibull distribution)

$$[0107] \quad f(v) = \begin{cases} \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right], & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases}$$

[0108] 式中, v 为实际风速, k 为形状参数, c 为尺度参数。

[0109] 风机出力和风速之间存在一种非线性关系,因此风力随机出力模型为

$$[0110] \quad P_w(t) = \begin{cases} 0, & v(t) \in [0, v_{in}) \cup (v_{out}, +\infty) \\ \frac{P_r v_{in}^3}{v_{in}^3 - v_r^3} + \frac{P_r}{v_r^3 - v_{in}^3} v(t)^3, & v(t) \in [v_{in}, v_r] \\ P_r, & v(t) \in (v_r, v_{out}] \end{cases}$$

[0111] 式中, $P_w(t)$ 为风力发电单元输出功率, $v(t)$ 表示 t 时刻的风速, v_r 为风力发电单元的额定风速, v_{in} 为风力发电单元的切入风速, v_{out} 为风力发电单元的切出风速, P_r 为风力发电单元额定输出功率。

[0112] 光伏发电和风力发电一样, 容易受外界环境的影响, 比如季节、地理位置、地貌地势等, 也是一个具有非线性特征的随机变量, 假设日照辐射量在任一 t 时刻服从 beta 分布 (Beta distribution), 则短期太阳光照强度的概率分布特性可以描述为:

$$[0113] \quad f[r(t)] = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \cdot \left(\frac{r(t)}{r_{\max}(t)} \right)^{\alpha-1} \cdot \left(1 - \frac{r(t)}{r_{\max}(t)} \right)^{\beta-1}$$

[0114] 式中, $\Gamma()$ 为伽马函数, $r(t)$ 为每一个采样周期的日照辐射量, r_{\max} 为最大日照辐射量, α 和 β 分别为 beta 分布的形状参数。令 $r(t) = R(t) * r_s$, $R(t)$ 表示日出到采样点 t 期间的各采样周期的辐射量占一天总辐射量的百分比, r 表示一天的总辐射量。

[0115] 若总辐射量 r 的值已知, 则可用正态分布来描述 $r(t)$:

$$[0116] \quad R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} e^{-\left[\frac{(t-12)^2}{2\sigma_R^2} \right]}$$

$$[0117] \quad \sigma_R = d_0 + d_1 S_L$$

[0118] 式中, d_0 和 d_1 均为常系数, S_L 为每日日长。

$$[0119] \quad D(t) = H(t) \times 0.0116$$

[0120] 式中, $D(t)$ 为峰瓦时数, 0.0116 为折算系数, $H(k)$ 为每一采样周期内的日照辐射量。

$$[0121] \quad P_{PV}(t) = P_{\text{peak}} \times \eta \times D(t) \times 10^{-3}$$

[0122] 式中, $P_{PV}(t)$ 为光伏发电单元输出功率, P_{peak} 为光伏发电单元峰瓦功率, η 为光伏发电单元的效率, $D(k)$ 为光伏发电单元的峰瓦时数。

[0123] 蓄电池作为微电网中常用的储能单元, 尽管概率密度没有超级电容器高, 但也相对较大, 可以作为新能源微电网里相对稳定的储能设备。

[0124] 蓄电池在 t 时刻的剩余电量等于其在 $t-1$ 时刻的剩余电量加上 $t-1$ 时刻到 t 时刻蓄电池的充电量或者减去 $t-1$ 时刻到 t 时刻蓄电池的放电量。数学模型中主要考虑蓄电池的存储容量与充放电功率之间的关系, 所以 t 时刻时蓄电池的荷电状态模型为:

$$[0125] \quad SOC(t) = \begin{cases} SOC(t-1) + I_{BS} / Q_{BS} & \text{充电, } I_{BS} \leq 0 \\ SOC(t-1) - I_{BS} / Q_{BS} & \text{放电, } I_{BS} \geq 0 \end{cases}$$

[0126] 式中, $SOC(t)$ 为蓄电池在 t 时刻的剩余电量; I_{BS} 表示从 $t-1$ 时刻到 t 时刻蓄电池的电量变化量; Q_{BS} 为蓄电池容量。

[0127] 蓄电池系统应满足的充放电功率和荷电状态 (SOC) 约束为:

$$[0128] \quad P_{SB \min} \leq P_{SB}(t) \leq P_{SB \max}$$

$$[0129] \quad SOC_{SB \min} \leq SOC_{SB}(t) \leq SOC_{SB \max}$$

[0130] 式中, $P_{SB \min}$ 、 $P_{SB \max}$ 分别为蓄电池充放电的最小功率和最大功率; $SOC_{SB}(t)$ 是蓄电池在 t 时段的荷电状态; $SOC_{SB \min}$ 、 $SOC_{SB \max}$ 分别是蓄电池荷电状态的最小值和最大值。

[0131] S3,通过蒙特卡罗仿真建立电动汽车负荷特性模型从而提取所有电动汽车的荷电状态。在本实施例中,电动汽车负荷特性模型包括电动汽车负荷状态模型、电动汽车充电负荷模型以及电动汽车放电负荷模型,

[0132] 电动汽车负荷状态模型为

$$[0133] \quad S_l(t) = S_{0,l} + \sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}+24} \frac{P_l(t) \cdot \eta_l \cdot \mu_l(t)}{Q_{s,l}}$$

[0134] 式中, $S_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的荷电状态, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, η_l 为电能转换效率, $Q_{s,l}$ 为电动汽车1电荷总容量, $S_{0,l}$ 为电动汽车1入网时的初始荷电状态。在建立电动汽车负荷特性模型时,满足用户的出行需求是提升用户满意度的一个重要方法。当电池SOC低于充电阈值 $S_{L,1}(t)$ 时就会产生充电需求。此处的充电阈值实际上是一个会随时间、电价以及用户习惯变化而变化的数值,为了简化模型,将其设为一个恒定值 S_L ,具体地在本实施例中,取 $S_L=0.2$ 。

[0135] 具体地,在本实施例中,电动汽车1的充放电状态函数如下:

$$[0136] \quad \mu_l(t) = \begin{cases} 1 & , \text{电动汽车处于充电状态} \\ -1 & , \text{电动汽车处于放电状态} \\ 0 & , \text{电动汽车处于闲置状态} \end{cases}$$

[0137] 电动汽车充电负荷模型为

$$[0138] \quad P_c(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{c,l}(t) \quad \mu_l(t) > 0$$

[0139] 式中, $P_c(t)$ 为电动汽车充电负荷, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_{c,1}(t)$ 为电动汽车1在采样点t内的充电额定功率,

[0140] 电动汽车放电负荷模型为

$$[0141] \quad P_d(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} \mu_l(t) \cdot P_{d,l}(t) \quad \mu_l(t) < 0$$

[0142] 式中, $P_d(t)$ 为电动汽车放电负荷, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,1}(t)$ 为电动汽车1在t时段内的放电额定功率,

[0143] 电动汽车放电负荷模型的约束条件如下:

$$[0144] \quad \sum_{T_{in}}^{T_{out}} P_{d,l}(t) < Q_{V2G}$$

[0145] 式中, $P_{d,1}(t)$ 为电动汽车在t时段内放电功率的值, Q_{V2G} 为单个电动汽车的可用放电容量,

$$[0146] \quad Q_{V2G} = (Q_{s,1} - Q_{r,1} - Q_{d,1} - Q_{Loss})$$

[0147] 式中, $Q_{s,1}$ 为单个电动汽车的动力电池的总容量, $Q_{r,1}$ 为单个电动汽车的动力电池的预留容量, $Q_{d,1}$ 为单个电动汽车的动力电池日常使用容量, Q_{Loss} 为单个电动汽车的动力电池损耗能量,

$$[0148] \quad P_l(t) \leq \begin{cases} \frac{P_{c,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) > 0 \\ \frac{P_{d,l}}{\eta_l} & , \mu_l(t) < 0 \end{cases}$$

[0149] 式中, $P_{c,l}$ 为电动汽车充电的额定功率, $P_{d,l}$ 为电动汽车放电的额定功率, η_l 表示电能转化效率,

$$[0150] \quad S_{\min,1} \leq S_1(t) \leq S_{\max,1}$$

[0151] 式中, $S_{\min,1}$ 为电动汽车荷电状态最小值, $S_{\max,1}$ 为电动汽车荷电状态最大值, 在本实施例中, $S_{\min,1} = 0.2$, $S_{\max,1} = 0.9$ 。

$$[0152] \quad 0 \leq S_{0,1} < 1$$

$$[0153] \quad 0 \leq S_{E,1} < 1$$

[0154] 式中, $S_{E,1}$ 为电动汽车1的用户预期的荷电状态;

$$[0155] \quad S_{0,l} + \frac{\left(\sum_{t=T_{in,l}}^{T_{out,l}} P_l(t) \cdot \mu_l(t) \right)}{Q_{s,l}} \geq S_{E,l}$$

$$[0156] \quad r_1 \leq r_{\max,1}$$

[0157] 式中, r_1 动力电池的折损率, $r_{\max,1}$ 为电动汽车用户所可接受的动力电池的最大折损率,

$$[0158] \quad \begin{cases} P_W(t) + P_{PV}(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t) = L_B(t) + \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) \\ \mu_{d,l}(t) + \mu_{c,l}(t) = 1 \end{cases}$$

[0159] 式中, $L_B(t)$ 为微网系统的常规负荷; $\mu_{c,1}(t)$ 、 $\mu_{d,1}(t)$ 分别为t时段内电动汽车1的充、放电状态函数, 二者对立, 其值为0或1。

[0160] S4, 建立优化模型并求解, 使得在电动汽车用户满意度最大、电动汽车调度负荷方差最小的情况下, 微网系统运行总成本最低。

[0161] 在本实施例中, 优化模型为:

$$[0162] \quad \begin{cases} \min \left\{ \omega_1 \cdot \frac{F_1}{F_{1\max}} + \omega_2 \cdot \frac{F_2}{F_{2\max}} + \omega_3 \cdot \frac{F_3}{F_{3\max}} \right\} = \min F \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1 \\ \omega_1 > \omega_2 > 0 \\ \omega_1 > \omega_3 > 0 \end{cases}$$

[0163] 式中, F_1 为电动汽车用户的满意度模型, $F_{1\max}$ 为电动汽车用户的满意度模型最大值, ω_1 为 F_1 的权重系数, F_2 为电动汽车参与调度的负荷方差模型, $F_{2\max}$ 为电动汽车参与调度负荷方程模型的最大值, ω_2 为 F_2 的权重系数, F_3 为微网系统的日运行总成本模型, $F_{3\max}$ 为微网系统日运行总成本模型的最大值, ω_3 为 F_3 的权重系数。

[0164] 具体地, 本实施例采用三阶段优化智能充放电方法, 包括如下步骤:

[0165] S4-1, 建立满意度模型, 满意度模型为

$$[0166] \quad \min F_1 = \frac{1}{\max\{\sum_{l=1}^N (\partial_l^1 + \partial_l^2 + \partial_l^3)\}}$$

[0167] 式中, ∂_l^1 为单个电动汽车用户的出行满意度模型, ∂_l^2 为单个电动汽车用户的电价满意度模型, ∂_l^3 为单个电动汽车用户的动力电池损耗满意度模型,

[0168] 出行满意度模型为

$$[0169] \quad \partial_l^1 = \begin{cases} 0 & , 0 \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \\ m & , \frac{Q_{d,l}}{Q_{s,l}} \leq \sum_{t=1}^T S_l(t) < S_{E,l} \\ 1 & , \sum_{t=1}^T S_l(t) \geq S_{E,l} \end{cases}$$

[0170] 式中, $\sum_{t=1}^T S_l(t)$ 为电动汽车1离网时刻的荷电状态, $Q_{r,1}$ 为电动汽车1的预留容量, $Q_{d,1}$

为电动汽车1日常使用容量, 在本实施例中, 当 $\sum_{t=1}^T S_l(t)$ 值小于用户日常行驶需要的荷电状

态, 用户对本次出行的满意度会大打折扣, 设此时的满意度为0; 当其值能够满足用户日常

出行需要, 却未能满足车主的某些特殊场合下的出行需求, 此时的用户出行满意度设为m;

当其值达到用户所预期的荷电状态, 0即 $S_{E,l} = \frac{Q_{d,l} + Q_{r,l}}{Q_{s,l}}$, 此时用户的出行满意度取得最大值

[0171] 电价满意度模型为

$$[0172] \quad \partial_l^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T C_l(t) \cdot P_l(t) \cdot \mu_{c,l}(t) - C_l(t_{\min})}{C_l(t_{\max}) - C_l(t_{\min})}$$

[0173] 式中, $C_l(t)$ 为t时段内电动汽车1充电的电价, $C_l(t_{\min})$ 为电动汽车1充电成本的最低费用, $C_l(t_{\max})$ 分别为电动汽车1充电成本的最高费用, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_1(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, ∂_l^2 位于0到1之间, 当用户被安排在低电价时段进行充电, ∂_l^2 的值会增大, 最大值为1。

[0174] 电池损耗满意度模型为

$$[0175] \quad \partial_l^3 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T |P_l(t) \cdot \mu_{d,l}(t)|}{\sum_{t=1}^T P_l(t)}$$

[0176] 式中, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_{d,1}(t)$ 为t时段内电动汽车1的放电状态函数。由于在电动汽车接入电网的时段内, 电动汽车参与微网能量调节向微网

反向输送的能量属于对动力电池的额外损耗,当反送的能量值越多,给电动汽车电池所带来的额外损耗越大,加速了电池的老化速率,对电池的功能属性形成一定的负面影响。

[0177] 对上述满意度模型进行求解,使得电动汽车用户满意度最大;

[0178] S4-2,建立电动汽车调度的负荷方差模型,

[0179] 负荷方差模型为

$$[0180] \quad \begin{cases} \min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{l=1}^N P_l(t) \cdot \mu_l(t) - \mu_T^H \right)^2 = \min F_2 \\ \mu_T^H = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(L_B(t) + \sum_{l=1}^N P_l^{EV}(t) \cdot \mu_l(t) \right) \end{cases}$$

[0181] 式中, $L_B(t)$ 为微网系统的常规负荷, $P_l(t)$ 为电动汽车1在t时刻的充放电功率的值, $\mu_l(t)$ 为电动汽车1的充放电状态函数, μ_T^H 为微网系统的平均负荷, $P_l^{EV}(t)$ 为为电动汽车1的充电负荷。

[0182] 以不低于S4-1中用户满意度作为约束,对上述负荷方差模型进行求解,使得负荷方差最小;

[0183] S4-3,建立微网系统日运行总成本模型,

[0184] 日运行总成本模型为

$$[0185] \quad \min F_3 = \min \left\{ \sum_{t=1}^T (C_{EV,sub}(t) + C_{R,op}(t) + C_{BES,cd}(t)) - \sum_{t=1}^T (C_{EV,cd}(t) + C_{RES,sub}(t)) \right\}$$

[0186] 式中, $C_{EV,sub}(t)$ 为t时段内电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用, $C_{R,op}(t)$ 为微网系统运维总费用, $C_{BES,cd}(t)$ 为储能装置的充放电损耗成本, $C_{EV,cd}(t)$ 为t时段内电动汽车用户的充放电费用, $C_{RES,sub}(t)$ 为t时段内可再生能源模块发电补贴,

[0187] 电动汽车参与微网辅助服务的得到的奖励费用的计算方法为:

$$[0188] \quad C_{EV,sub}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_{d,l}(t) \cdot I_{EV,sub} \cdot \Delta t$$

[0189] 式中, $N(t)$ 为t时段内响应的电动汽车总数量, $P_{d,l}(t)$ 为电动汽车的1在t时段内的放电额定功率, $I_{EV,sub}$ 为t时段内电动汽车参与微网辅助服务奖励费用标准,

[0190] 微网系统运维总费用的计算方法为:

$$[0191] \quad C_{R,op}(t) = (\varphi_W \cdot P_W(t) + \varphi_{PV} \cdot P_{PV}(t) + \varphi_B \cdot P_B(t)) \cdot \Delta t$$

[0192] 式中, φ_{WT} 为风机发电单元运维成本系数、 φ_{PV} 为光伏发电单元运维成本系数, φ_B 为储能装置的运维成本系数, $P_w(t)$ 为风机单元输出功率, $P_{PV}(k)$ 为光伏发电单元输出功率, $P_B(t)$ 为储能装置输出功率,

[0193] 储能装置的充放电损耗成本的计算方法为:

$$[0194] \quad C_{BES,cd}(t) = P_B(t) \cdot \rho_B(t) \cdot \Delta t$$

[0195] 式中, $\rho_B(t)$ 为储能装置损耗折算成的成本费用标准,

[0196] t时段内电动汽车的充放电费用的计算方法为:

$$[0197] \quad C_{EV,cd}(t) = \sum_{l=1}^{N(t)} P_l(t) \cdot \rho_{EV}(t) \cdot \Delta t$$

[0198] 式中, $N(t)$ 为 t 时段内响应的电动汽车总数量, $P_l(t)$ 为电动汽车 l 在 t 时刻的充放电功率的值, $\rho_{EV}(t)$ 为微网系统在 t 时段内对电动汽车充放电过程中收取的费用,

[0199] t 时段内可再生能源模块发电补贴的计算方法为:

$$[0200] \quad C_{RES,sub}(t) = (P_{WT,valid}(t) I_{WT,sub} + P_{PV,valid}(t) I_{PV,sub}) \cdot \Delta t$$

[0201] 式中, $P_{WT,valid}(t)$ 为 t 时段被消纳的风力发电单元出力, $P_{PV,valid}(t)$ 为 t 时段被消纳的光伏发电单元出力, $I_{WT,sub}$ 为风力发电单元每发一度电补贴费用标准, $I_{PV,sub}$ 为光伏发电单元每发一度电补贴费用标准。

[0202] 以不大于 S4-2 中的负荷方差为约束, 对日运行总成本模型进行求解, 使得微网系统运行总成本最低。

[0203] S5, 根据 S4 中对优化模型的求解结果、可再生能源模块的出力以及现存的微网响应主体, 发布电动汽车调度计划, 对微网系统中的电动汽车进行调动。例如, 在风光出力达到最大值时, 电动汽车进行充电, 尽可能消纳微网中的风光出力, 在风光出力低谷时段, 而微网中的常规负荷又恰好处于峰值或次峰值状态, 让电动汽车进行放电。

[0204] S6, 统计微网系统日中负荷曲线的真实值, 与采用本方法管理之前的微网系统日总负荷曲线进行对比;

[0205] 图3是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法实施前后微网系统总负荷随时间变化的变化图。

[0206] 如图3所示, 在低谷时段, 优化前后的负荷相差不大, 但是在峰值时段, 优化后的负荷较优化前大幅降低, 说明采用本方法可以有效缓解峰值时段负荷压力。

[0207] S7, 在一段较长的时间 (在本实施例中采用1年) 后, 统计微网系统中响应微网能量管理中心的电动汽车的数量。

[0208] 图4是本发明的实施例2中区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法实施后电动汽车相应数量随时间的变化图。

[0209] 如图4所示, 随着时间的增加, 系统中响应微网调度计划的电动汽车数量也逐步增加, 从最初的100辆左右, 到一年后的300多辆。这显示了本发明能够有效提高电动汽车用户的积极性。

[0210] 实施例的作用与效果

[0211] 根据本实施例所涉及的区域微网中V2G电动汽车智能充放电管理方法, 因为建立了优化模型, 采用了三阶段电动汽车智能充放电方法, 所以, 本实施例能够使微网系统中负荷削峰填谷、降低微网的运行成本, 还可以在一个可见的时间区域内, 使EV用户的满意度得到提升, 即提升了微网系统中用户的响应能力, 使得在微网系统中含有一定规模的V2G电动汽车的前提条件下, 其储能属性得到体现。

[0212] 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。

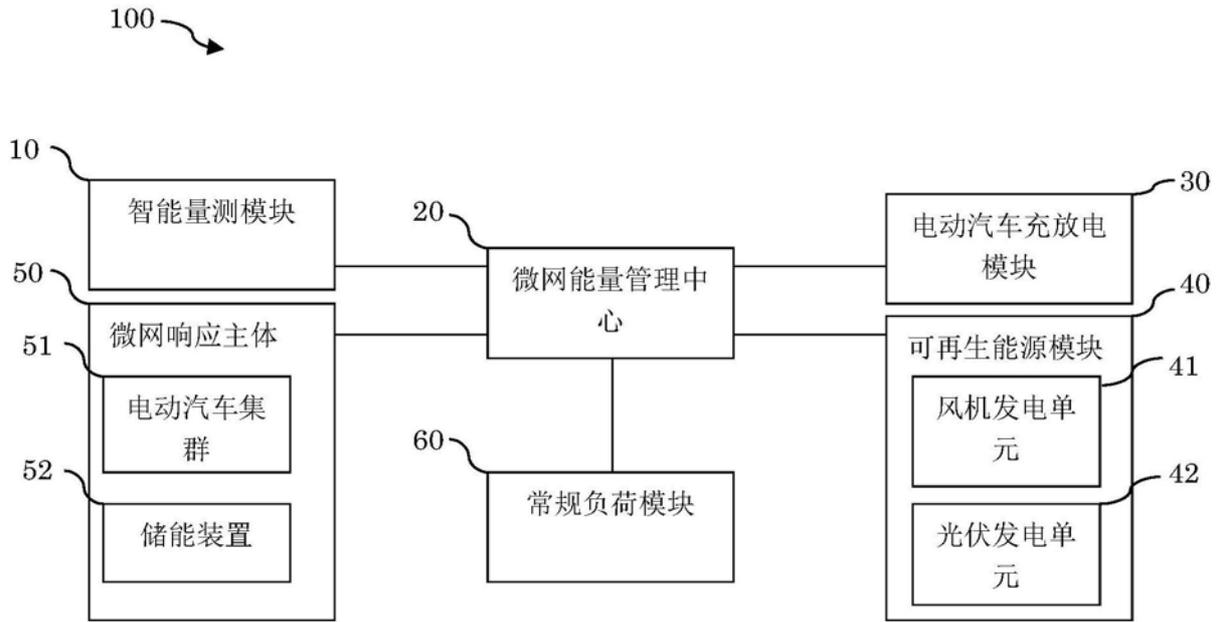


图1

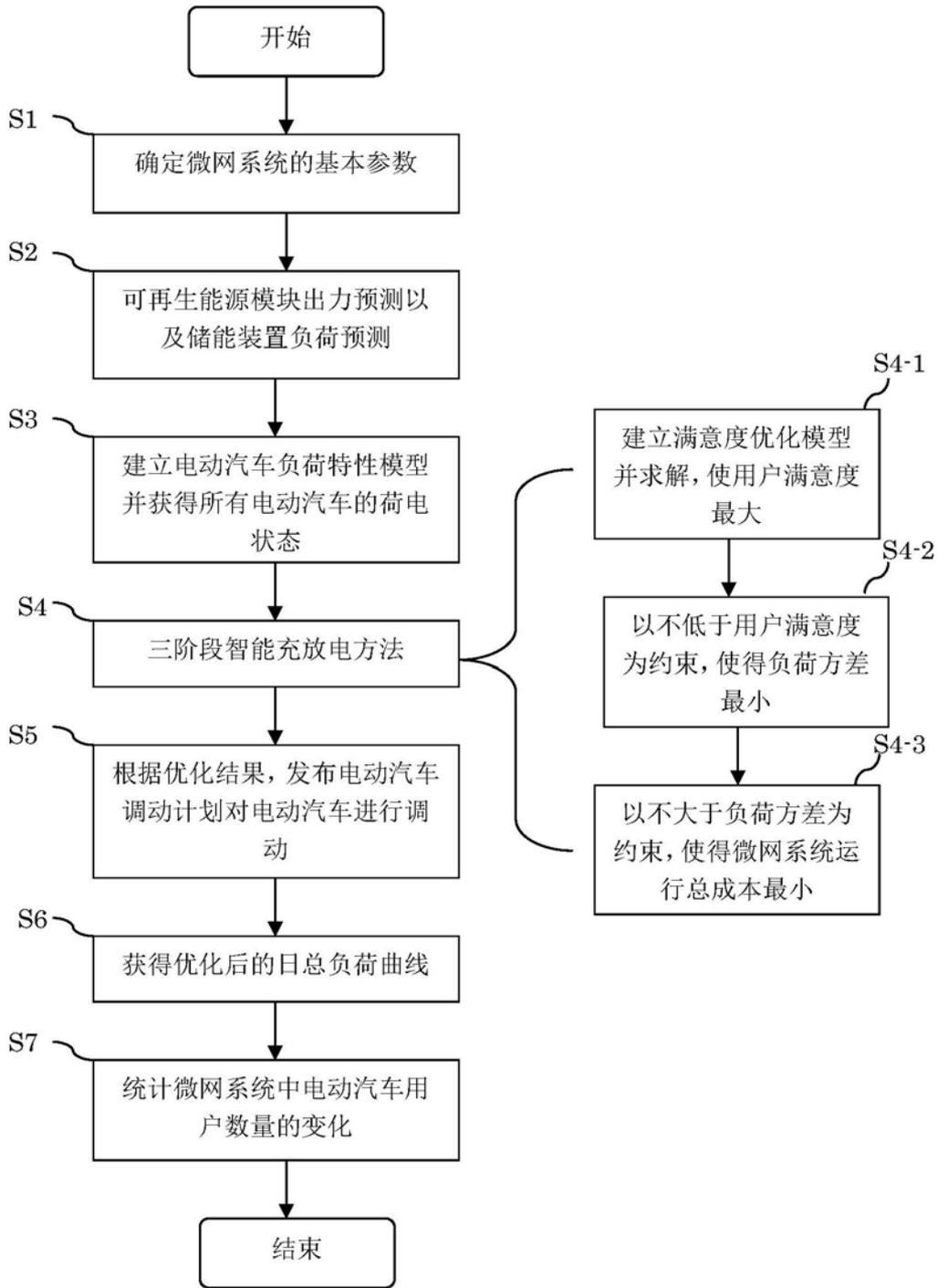


图2

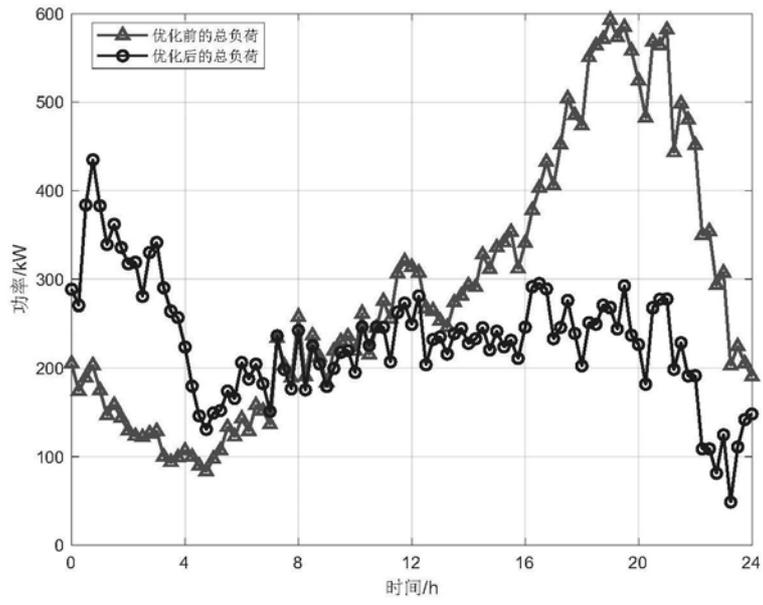


图3

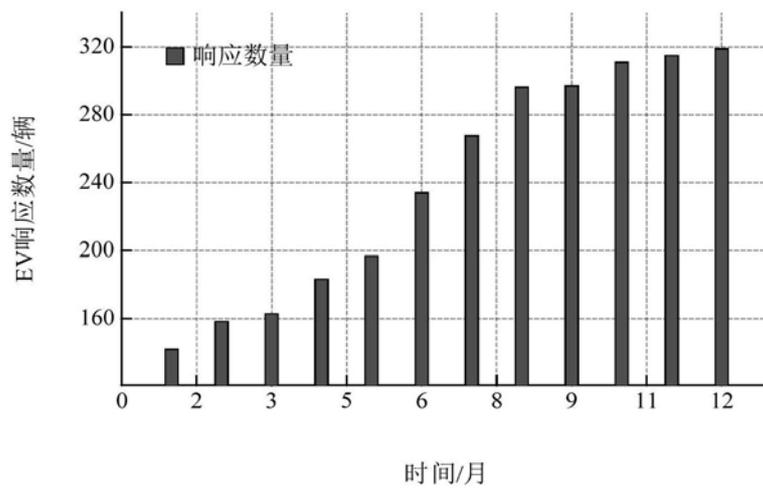


图4