



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105811409 B

(45)授权公告日 2018.06.26

(21)申请号 201610273527.0

H02J 3/46(2006.01)

(22)申请日 2016.04.28

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 105160451 A, 2015.12.16,
WO 2014/147437 A1, 2014.09.25,

申请公布号 CN 105811409 A

审查员 王翔

(43)申请公布日 2016.07.27

(73)专利权人 上海电力学院

地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72)发明人 程启明 黄山 褚思远 张强

杨小龙 张海清

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限

公司 31225

代理人 宣慧兰

(51)Int.Cl.

H02J 3/00(2006.01)

H02J 3/32(2006.01)

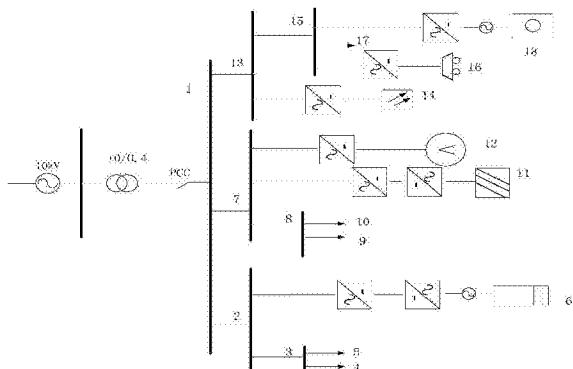
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法

(57)摘要

本发明涉及一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法，其特征在于，包括以下步骤：1)考虑电动汽车同时作为负荷和发电单元，并且计及热电联产制热收益的基础上，构建能源互联网；2)根据能源互联网构建含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型，综合考虑经济和环境效益，获取该模型的目标函数及约束条件；3)通过NSGA-II多目标优化算法对微网多目标优化调度模型进行求解，获取Pareto前端解，并得到24小时内的微电网优化运行调度方案。与现有技术相比，本发明具有经济效益好、改善环境、合理分配出力、削峰填谷、延长使用寿命等优点。



1. 一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

1) 考虑电动汽车同时作为负荷和发电单元, 并且计及热电联产制热收益的基础上, 构建能源互联网;

2) 根据能源互联网构建含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型, 综合考虑经济和环境效益, 获取该模型的目标函数及约束条件, 所述的含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型的目标函数为:

$$\min F_3 = wF_1 + (1-w)F_2$$

$$\min F_1 = \sum_{t=1}^{T_i} \sum_{i=1}^N ((C_i^{Install} + C_{i,t}^{OM} + C_{i,t}^{Fuel}) + C_{i,t}^{Grid})$$

$$\min F_2 = \sum_{t=1}^{T_i} \left(\sum_{j=1}^W \mu_j \left(\sum_{i=1}^N K_{ij} P_{i,t} + K_{Grid,j} P_{Grid,t} \right) \right)$$

$$C_i^{Install} = R_i^{Install} \times S_i$$

$$C_{i,t}^{OM} = R_{i,t}^{OM} \times P_{i,t}$$

$$C_{i,t}^{Fuel} = R_{i,t}^{Fuel} \times P_{i,t}$$

$$C_i^{Grid} = R_{Grid,t} \times P_{Grid,t}$$

其中, F_3 为综合考虑经济成本和环境成本的目标, F_1 为微网运行总成本, F_2 为污染物治理费用, w 为权值, $C_i^{Install}$ 为第 i 种分布式发电单元的安装费用, $C_{i,t}^{OM}$ 为第 i 种分布式发电单元的运行维护费用, $C_{i,t}^{Fuel}$ 为第 i 种分布式发电单元的所用燃料费用, $C_{i,t}^{Grid}$ 为微网与大电网之间交换功率的费用, N 为分布式发电单元的装机总数, t 为当前时刻, T_i 为仿真优化总时长, μ_j 为第 j 种污染物的处理费用, K_{ij} 为第 i 个分布式发电单元第 j 类污染物排放系数, $K_{Grid,j}$ 为第 j 类污染物排放系数, W 为污染物种类总数, $R_i^{Install}$ 为第 i 种分布式发电单元的单位安装成本, S_i 为第 i 种分布式发电单元的初始安装容量, $R_{i,t}^{OM}$ 为第 i 台分布式发电单元的单位运行维护费用, $P_{i,t}$ 为第 i 台分布式发电单元单位时间内发电量或蓄电池单位时间充放电功率, $R_{i,t}^{Fuel}$ 为第 i 台分布式发电单元的单位燃料费用, $R_{Grid,t}$ 为 t 时刻外电网的实时电价, $P_{Grid,t}$ 为 t 时刻微网与外电网交互电量;

3) 通过 NSGA-II 多目标优化算法对微网多目标优化调度模型进行求解, 获取 Pareto 前端解, 并得到 24 小时内的微电网优化运行调度方案。

2. 根据权利要求 1 所述的一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法, 其特征在于, 所述的步骤 2) 中含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型的约束条件为:

等式约束:

有功功率平衡约束:

$$\sum_i^N P_{i,t} + P_{SB,t} + P_{Grid,t} - P_{Load,t} = 0$$

蓄电池一次充放电量约束:

$$SOC_t - PSB_{t,BAT} / BAT_{cap} = SOC_{t+1}$$

不等式约束:

发电机输出功率约束:

$$P_{i,t}^{\min} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max}$$

蓄电池运行约束:

$$PSB_{mi} \leq PSB(t) \leq PSB_{ma}$$

$$-S_{inv,SB} \leq PSB(t) \leq S_{inv,SB}$$

电动汽车充放电约束:

$$PEV_{mi} \leq PEV(t) \leq PEV_{ma}$$

$$-S_{inv,EV} \leq PEV(t) \leq S_{inv,EV}$$

微网允许与外网交互功率约束:

$$P_{Grid,t}^{\min} \leq P_{Grid,t} \leq P_{Grid,t}^{\max}$$

其中, $P_{i,t}$ 为 t 时刻第 i 种分布式发电单元出力, $PSB_{t,BAT}$ 为 t 时刻蓄电池充放电电量, $P_{Grid,t}$ 为 t 时刻微网与外电网交换功率, $P_{Load,t}$ 为 t 时刻负荷, 且 $t=1, 2, \dots, T_i$, T_i 为仿真优化总时长, N 为分布式发电单元的装机总数, SOC_t 为蓄电池 t 时刻的 SOC 值, BAT_{cap} 为蓄电池总容量, SOC_{t+1} 为蓄电池 $t+1$ 时刻的 SOC 值, $P_{i,t}^{\min}$ 、 $P_{i,t}^{\max}$ 分别为第 i 种分布式发电单元 t 时刻出力的上、下限, PSB_{mi} 、 PSB_{ma} 分别为蓄电池最小和最大有功功率, $S_{inv,SB}$ 为蓄电池逆变器容量, PEV_{mi} 、 PEV_{ma} 分别为电动汽车蓄电池最小和最大有功功率, $S_{inv,EV}$ 为电动汽车逆变器容量, $P_{Grid,t}^{\min}$ 、 $P_{Grid,t}^{\max}$ 分别为 t 时间段内微网与外电网交互功率上、下限。

3. 根据权利要求1所述的一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法, 其特征在于, 所述的污染物包括CO2、SO2和NOx。

4. 根据权利要求1所述的一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法, 其特征在于, 所述的步骤3) 中24小时内的微电网优化运行调度方案为:

(1) 优先利用微网内部的清洁能源来满足负荷需求并且能与主网进行自由功率交换;

(2) WT和PV发电工作于最大功率点跟踪模式;

(3) 热电联产系统工作于以热定电的运行方式, 并由热负荷确定MT的有功出力;

(4) 当WT、PV和MT的有功出力满足全部电负荷时, 首先给电动汽车和蓄电池充电, 同时监测蓄电池的充放电状态, 其次再给燃料电池进行充电, 当EV充满时按照发电成本由高到低依次切除WT或PV;

(5) EV根据通过不同时段充放电控制提高微网效益, 当微网电量充足时向EV充电, 当微网电源不足向主网购电时, 不允许EV充电, 并将EV剩余的电量传输给微网;

(6) 当WT、PV和MT的有功出力无法满足微网所有负荷时, 优先选择蓄电池放电, 若仍存在有功缺额, 则调用FC输出有功功率, 在此期间EV用户将车内剩余电量传输给微网获取收益;

(7) 若所有微源在出力范围内仍不能满足微网安全可靠运行, 则按照负荷的重要程度依次切除。

一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微电网领域,尤其是涉及一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法。

背景技术

[0002] 微电网 (Micro-Grid) 也译为微网,是一种新型网络结构,是一组微电源、负荷、储能系统和控制装置构成的系统单元。微电网是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统,既可以与外部电网并网运行,也可以孤立运行。微电网是相对传统大电网的一个概念,是指多个分布式电源及其相关负载按照一定的拓扑结构组成的网络,并通过静态开关关联至常规电网。

[0003] 开发和延伸微电网能够充分促进分布式电源与可再生能源的大规模接入,实现对负荷多种能源形式的高可靠供给,是实现主动式配电网的一种有效方式,是传统电网向智能电网过渡。

[0004] 随着国民经济的发展,电力需求迅速增长,电力部门大多把投资集中在火电、水电以及核电等大型集中电源和超高压远距离输电网的建设上。但是,随着电网规模的不断扩大,超大规模电力系统的弊端也日益凸现,成本高,运行难度大,难以适应用户越来越高的安全和可靠性要求以及多样化的供电需求。

[0005] 近些年来在电改的大背景下,微网能量优化管理越来越受到重视。微网能量优化调度通过对分布式发电 (distributed generation, DG) 的微源、储能单元、负荷以及电网当前运行状态和历史数据进行分析,继而做出科学的评估和预测;根据微网系统内各类型分布式电源享受的优先调度权分级、负荷分级以及主网系统电价类型的不同选择,不同的能量调度策略,确定相应的优化调度模型,采用有效的算法求解未来不同调度周期的最优运行计划,包括对微网内可调度型单元的日前出力计划、储能单元日前调度计划和实时调度计划,向用户同时提供电能和热能,实现热电联产 (combined heat and power, CHP)。对于电动汽车 (electric vehicles, EV) 用户既是微网的负荷,也是可以作为电源。EV合理接入微网对于经济、环境及能源安全问题等具有重要意义。微电网的调度问题,正日益受到关注。

发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种经济效益好、改善环境、合理分配出力、削峰填谷、延长使用寿命的含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种含电动汽车混合储能系统的微网多目标运行调度方法,包括以下步骤:

[0009] 1) 考虑电动汽车同时作为负荷和发电单元,并且计及热电联产制热收益的基础上,构建能源互联网;

[0010] 2) 根据能源互联网构建含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型,综合考虑经济和环境效益,获取该模型的目标函数及约束条件;

[0011] 3) 通过NSGA-II多目标优化算法对微网多目标优化调度模型进行求解,获取Pareto前端解,并得到24小时内的微电网优化运行调度方案。

[0012] 所述的步骤2)中含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型的目标函数为:

$$[0013] \min F_3 = wF_1 + (1-w)F_2$$

$$[0014] \min F_1 = \sum_{t=1}^{T_i} \sum_{i=1}^N ((C_i^{Install} + C_{i,t}^{Om} + C_{i,t}^{Fuel}) + C_{i,t}^{Grid})$$

$$[0015] \min F_2 = \sum_{t=1}^{T_i} \left(\sum_{j=1}^W \mu_j \left(\sum_{i=1}^N K_{ij} P_{i,t} + K_{Grid,j} P_{Grid,t} \right) \right)$$

$$[0016] C_i^{Install} = R_i^{Install} \times S_i$$

$$[0017] C_{i,t}^{OM} = R_{i,t}^{OM} \times P_{i,t}$$

$$[0018] C_{i,t}^{Fuel} = R_{i,t}^{Fuel} \times P_{i,t}$$

$$[0019] C_i^{Grid} = R_{Grid,t} \times P_{Grid,t}$$

[0020] 其中, F_3 为综合考虑经济成本和环境成本的目标, F_1 为微网运行总成本, F_2 为污染物治理费用, w 为权值, 且 $0 \leq w \leq 1$, $C_i^{Install}$ 为第 i 种分布式发电单元的安装费用, $C_{i,t}^{Om}$ 为第 i 种分布式发电单元的运行维护费用, $C_{i,t}^{Fuel}$ 为第 i 种分布式发电单元的所用燃料费用, $C_{i,t}^{Grid}$ 为微网与大电网之间交换功率的费用, N 为分布式发电单元的装机总数, t 为当前时刻, T_i 为仿真优化总时长, μ_j 为第 j 种污染物的处理费用, K_{ij} 为第 i 个分布式发电单元第 j 类污染物排放系数, $K_{Grid,j}$ 为第 j 类污染物排放系数, 可再生能源分布式发电单元不存在污染物排放, 该项取 0, W 为污染物种类总数, $R_i^{Install}$ 为第 i 种分布式发电单元的单位安装成本, S_i 为第 i 种分布式发电单元的初始安装容量, $R_{i,t}^{OM}$ 为第 i 台分布式发电单元的单位运行维护费用, $P_{i,t}$ 为第 i 台分布式发电单元单位时间内发电量或蓄电池单位时间充放电功率, $R_{i,t}^{Fuel}$ 为第 i 台分布式发电单元的单位燃料费用, 可再生能源分布式发电单元由于不需要使用燃料, 该项取 0, $R_{Grid,t}$ 为 t 时刻外电网的实时电价, $P_{Grid,t}$ 为 t 时刻微网与外电网交互电量, 当微网向外电网购电时取正, 当微网向外电网售电时取负。

[0021] 所述的步骤2)中含电动汽车混合储能系统的微网多目标优化调度模型的约束条件为:

[0022] 等式约束:

[0023] 有功功率平衡约束:

$$[0024] \sum_i^N P_{i,t} + P_{SB,t} + P_{Grid,t} - P_{Load,t} = 0$$

[0025] 蓄电池一次充放电量约束:

$$[0026] SOC_t - P_{SB,t} / BAT_{cap} = SOC_{t+1}$$

- [0027] 不等式约束：
- [0028] 发电机输出功率约束：
- [0029] $P_{i,t}^{\min} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max}$
- [0030] 蓄电池运行约束：
- [0031] $P_{SB,mi} \leq P_{SB}(t) \leq P_{SB,ma}$
- [0032] $-S_{inv,SB} \leq P_{SB}(t) \leq S_{inv,SB}$
- [0033] 电动汽车充放电约束：
- [0034] $P_{EV,mi} \leq P_{EV}(t) \leq P_{EV,ma}$
- [0035] $-S_{inv,EV} \leq P_{EV}(t) \leq S_{inv,EV}$
- [0036] 微网允许与外网交互功率约束：
- [0037] $P_{Grid,t}^{\min} \leq P_{Grid,t} \leq P_{Grid,t}^{\max}$
- [0038] 其中, $P_{i,t}$ 为 t 时刻第 i 种分布式发电单元出力, $P_{SB,t}$ 为 t 时刻蓄电池充放电电量, $P_{Grid,t}$ 为 t 时刻微网与外电网交换功率, $P_{Load,t}$ 为 t 时刻负荷, 且 $t=1, 2, \dots, T_i$, T_i 为仿真优化总时长, N 为分布式发电单元的装机总数, SOC_t 为蓄电池 t 时刻的 SOC 值, BAT_{cap} 为蓄电池总容量, SOC_{t+1} 为蓄电池 $t+1$ 时刻的 SOC 值, $P_{i,t}^{\min}$ 、 $P_{i,t}^{\max}$ 分别为第 i 种分布式发电单元 t 时刻出力的上、下限, $P_{SB,mi}$ 、 $P_{SB,ma}$ 分别为蓄电池最小和最大有功功率, $S_{inv,SB}$ 为蓄电池逆变器容量, $P_{EV,mi}$ 、 $P_{EV,ma}$ 分别为电动汽车蓄电池最小和最大有功功率, $S_{inv,EV}$ 为电动汽车逆变器容量, $P_{Grid,t}^{\min}$ 、 $P_{Grid,t}^{\max}$ 分别为 t 时间段内微网与外电网交互功率上、下限。
- [0039] 所述的污染物包括 CO₂、SO₂ 和 NO_x
- [0040] 所述的步骤 3) 中 24 小时内的微电网优化运行调度方案为：
- [0041] (1) 优先利用微网内部的清洁能源来满足负荷需求并且能与主网进行自由功率交换；
- [0042] (2) WT 和 PV 发电工作于最大功率点跟踪模式；
- [0043] (3) 热电联产系统工作于以热定电的运行方式，并由热负荷确定 MT 的有功出力；
- [0044] (4) 当 WT、PV 和 MT 的有功出力满足全部电负荷时，首先给电动汽车和蓄电池充电，同时监测蓄电池的充放电状态，其次再给燃料电池进行充电，当 EV 充满时按照发电成本由高到低依次切除 WT 或 PV；
- [0045] (5) EV 根据通过不同时段充放电控制提高微网效益，当微网电量充足时向 EV 充电，当微网电源不足向主网购电时，不允许 EV 充电，并将 EV 剩余的电量传输给微网；
- [0046] (6) 当 WT、PV 和 MT 的有功出力无法满足微网所有负荷时，优先选择蓄电池放电，若仍存在有功缺额，则调用 FC 输出有功功率，在此期间 EV 用户将车内剩余电量传输给微网获取收益；
- [0047] (7) 若所有微源在出力范围内仍不能满足微网安全可靠运行，则按照负荷的重要程度依次切除。
- [0048] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：
- [0049] 本发明的有益效果在于：
- [0050] 一、使微电网的整体经济效益更好，节省了经济成本。
- [0051] 二、改善微电网环境汚染状况，使用新能源发电设备，减少使用传统的污染型发电

设备发电；减少了有害气体(CO₂、SO₂、NO_x)的排放，改善了环境情况。

[0052] 三、提高微电网中各个微源的使用效率，合理调度每一个微源的出力，根据实时负荷情况合理分配出力。

[0053] 四、充分利用电动汽车从而起到“削峰填谷”的作用，在负荷的高峰时期，电价较高电动汽车可以向微电网售卖电，而当波谷时期，新能源出力有富余，且电池满充，再向电动汽车充电。

[0054] 五、延长蓄电池和燃料电池的使用寿命，避免了电池的过充或者是过放引起的损坏，延长了电池寿命。

[0055] 六、热电联产运行模式提高了微电网的经济性和环保性，微型燃气轮机运行在以热定电的模式下，提高了微电网的经济性和环保性。

附图说明

- [0056] 图1为本发明说明书所述的微网系统结构图；
- [0057] 图2为本发明说明书所述的微网中热负荷和电负荷的情况；
- [0058] 图3为本发明说明书所述的PV和WT的输出功率；
- [0059] 图4为本发明说明书所述的NSGA-II算法流程图；
- [0060] 图5为本发明说明书所述的热负荷-电功率曲线；
- [0061] 图6为本发明说明书所述的蓄电池SOC曲线；
- [0062] 图7为本发明说明书所述的含电动汽车及电池混合储能系统功率曲线；
- [0063] 图8为本发明说明书所述的并网模式下微网优化结果；
- [0064] 图9为本发明说明书所述的并网模式下微网调度结果；
- [0065] 图10为本发明说明书所述的并网模式下微网各微源出力；
- [0066] 图11为本发明说明书所述的NSGA-II算法进化过程比较图。

具体实施方式

[0067] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0068] 实施例：

[0069] 本文的算例采用的微网结构如图1所示。图中的微网由工业负荷4、热电负荷5、微型燃气轮机MT6、居民负荷9、商业负荷10、风力发电机WT11、燃料电池FC12、光伏电池PV14、电动汽车EV16，允许中断负荷17和蓄电池18等组成，且微网处于并网模式运行状态。蓄电池额定容量为500kW·h，放电深度为50%-75%时充电为最佳，因此初始电量设置为60%，充放电效率为1，忽略自放电，蓄电池的逆变器容量为40kVA；燃料电池的逆变器容量为30kVA；电动汽车的功率上、下限分别设为30kW、-30kW，其逆变器容量为30kVA；燃料电池工作于以热定电，因此它与微型燃气轮机发出功率呈线性关系，制热收益为0.12元/(kW·h)；用电峰时为8时~20时，用电谷时为20时~8时。

[0070] 1电动汽车模型

[0071] 本专利中为EV运行提供能量的为超级电容器，忽略超级电容的自放电率，那么EV储能单元的模型为：

$$[0072] S = \frac{Q}{Q_N} = \frac{C(U_c - U_{min})}{C(U_{max} - U_{min})} = \frac{U_0 + \frac{1}{C} \int_0^t I_c dt - U_{min}}{U_{max} - U_{min}}$$

[0073] EV中储存的能量为:

$$[0074] W = \frac{1}{2} C (U_{max}^2 - U_{min}^2)$$

[0075] 式中:S为EV充放电后的剩余电量;Q为超级电容存储的实际电荷量;Q_N为超级电容存储的最大电荷量;U_{max}、U_{min}分别为超级电容器最高工作电压和最低工作电压;U₀为超级电容器初始电压;I_c为充放电电流。

[0076] 微型燃气轮机模型:

[0077] 微型燃气轮机数学模型为:

$$[0078] Q_{MT}(t) = P_e(t) (1 - \eta_e(t) - \eta_1) / \eta_e(t)$$

[0079] 式中:Q_{MT}(t)为t时刻燃气轮机余热量;P_e(t)为t时刻燃气轮机输出的电功率;η_e(t)为t时刻燃气轮机的发电效率;η₁为t时刻燃气轮机的散热损失系数。

$$[0080] Q_{he}(t) = Q_{MT}(t) K_{he}$$

[0081] 式中:Q_{he}(t)为t时刻燃气轮机烟气余热供给的制热量;K_{he}为溴冷机制热系数。

$$[0082] V_{MT} = \sum (P_e(t) \Delta t / (\eta_e(t) L))$$

[0083] 式中:V_{MT}为燃气轮机消耗的天然气量;t为燃气轮机的运行时间;L为天然气低热值,取为9.7kW·h/m³。

[0084] 微型燃气轮机的燃料成本计算方式为:

$$[0085] C_{MT} = (C_{n1}/L) \sum (P_e(t) \Delta t / (\eta_e(t)))$$

[0086] 式中:C_{MT}为燃气轮机燃料成本;C_{n1}为天然气价格,本专利取0.5\$/m³。

[0087] 微网中日电负荷以及日热负荷情况如图2所示;各个分布式电源参数见表1;各个微源的安装成本和电量成本见表2;间隙性发电微源PV、WT的有功功率曲线如图3所示;各个微源污染物的排放数据见表3。

[0088] 表1各微源的基本参数

电源类型	寿命/年	功率下限/kW	功率上限/kW
微型燃气轮机	8	4	40
燃料电池	15	5	35
光伏电池	20	0	20
风机	15	0	25
储能	10	-50	50

[0090] 表2各微源的安装成本和电量成本

技术类型	发电规模/kW	(安装/投资/成本)/(\$/kW·h))	电量成本/(\$/kW·h))
传统火力发电	—	—	0.045
[0091]	微型燃气轮机	50~5000	200~800 0.055~0.100
	风力机组	20~2000	1000~1500 0.055~0.150
	微透平机组	25~75	1000~1500 0.075~0.100
	燃料电池	5~2000	3000~4000 0.100~0.150
	太阳能电池	1~100	1500~6500 0.150~0.200

[0092] 表3各个微源污染物的排放数据

发电方式	NO _x	CO ₂	CO	SO ₂
煤炭发电	0.1547~3.0 9383	86.4725	—	0.1083~3.94 46
传统 发电 方式	天然气发电	0.0077~1.5 469	49.0372	— 0.4641
	残余燃料油	0.0077~1.5 469	72.3956	—
	微型燃汽轮机	0.6188	184.0829	0.1702 0.000928
分布式 发电	内燃机(燃气)	4.7954	170.1607	1.2221 0.0232
	内燃机(柴油)	4.3314	232.0373	2.3204 0.4641
	燃料电池	<0.023	635.04	0.0544 0
	光伏发电	0	0	0
	风能发电	0	0	0

[0094] 本专利制定的调度策略如下：

[0095] (1) 优先利用微网内部的风电(WT)、光伏(PV)发电等清洁能源来满足负荷需求并且能与主网进行自由功率交换；

[0096] (2) WT和PV发电工作于最大功率点跟踪模式；

[0097] (3) 热电联产系统(MT)工作于以热定电运行方式，由热负荷确定MT的有功出力；

[0098] (4) 当WT、PV和MT的有功出力满足全部电负荷时，首先给电动汽车(EV)和蓄电池(SB)充电，同时监测蓄电池的充放电状态，其次再给燃料电池(FC)进行充电，当EV充满时可以考虑依次切除部分发电成本较高的WT或PV；

[0099] (5) EV根据通过不同时段充放电控制提高微网效益，当微网电量充足时可以向EV随意充电；当微网电源不足向主网购电时，出于经济性和稳定性考虑，EV不允许充电，EV可以将剩余的电量卖给微网；

[0100] (6) 当WT、PV和MT的有功出力无法满足微网所以负荷时，优先选择蓄电池来放电，

如仍存在有功缺额则再调用FC来输出有功功率,在此期间EV用户可以将车内剩余电量卖给微网从而获取收益;

[0101] (7) 若所有微源在出力范围内仍不能满足微网安全可靠运行,则按照负荷的重要程度依次切除。

[0102] 本专利在求解过程中,采用NSGA-II算法对微电网模型进行求解。NSGA-II是NSGA算法的改进。NSGA-II多目标优化算法已经在工程实际中广泛运用。NSGA改进之处主要有:

[0103] (1) 提出了快速非支配排序算法,一方面降低了计算的复杂度,另一方面它将父代种群跟子代种群进行合并,使得下一代的种群从双倍的空间中进行选取,从而保留了最为优秀的所有个体;

[0104] (2) 引进精英策略,保证某些优良的种群个体在进化过程中不会被丢弃,从而提高了优化结果的精度;

[0105] (3) 采用拥挤度和拥挤度比较算子,不但克服了NSGA中需要人为指定共享参数的缺陷,而且将其作为种群中个体间的比较标准,使得准Pareto域中的个体能均匀地扩展到整个Pareto域,保证了种群的多样性。

[0106] 图4为NSGA-II多目标优化原理流程图。NSGA-II的具体过程描述如下:

[0107] (1) 随机产生初始种群 P_0 ,然后对种群进行非劣排序,每个个体被赋予秩;再对初始种群执行二进制锦标赛选择、交叉和变异,得到新的种群 Q_0 ,令 $t=0$ 。

[0108] (2) 形成新的群体 $R_t = P_t \cup Q_t$,对种群 R_t 进行非劣排序,得到非劣前端 F_1, F_2, \dots 。

[0109] (3) 对所有 F_i 按拥挤比较操作 $<_n$ 进行排序,并选择其中最好的N个体形成种群 P_{t+1} 。

[0110] (4) 对种群 P_{t+1} 执行复制、交叉和变异,形成种群 Q_{t+1} 。

[0111] (5) 如果终止条件成立,则结束;否则, $t=t+1$,转到(2)。

[0112] 以经济成本和环境成本为目标,对上述微网进行优化。热负荷-电功率曲线如图5所示,蓄电池SOC如图6所示。由图可见,0时~8时微网的负荷还比较轻,分布式电源将剩余的电能给蓄电池(SB)充电;在8时~20时,微网中存在有功缺额,PV、WT和MT的出力不能满足微网中的负荷需求,这时调用SB放电,保证微网电能质量;在8时~15时之间,SB能满足微网中的负荷需求,可以减少调用FC的有功出力。在20时~6时,SB进行充电,由于FC的环境成本较低,优先调用FC提供有功功率。FC工作于以热定电模式,因此与WT发出功率呈线性关系。

[0113] 含电动汽车(EV)及电池混合储能系统功率曲线如图7所示。由图可见,SB、FC与EV共同作为后备电源是,电池系统与EV二者相互配合使微网中的功率更为平缓;并且在微网现有功缺额时,减少了微网从外网中的购电量,提升了微网的经济效益。同时,EV在微网现有功功率短缺时可以向微网售电,当微网中功率充足时有进行充电,很好的起到了一个“削峰填谷”的作用。

[0114] 并网模式下微网优化结果如图8所示。并网模式下微网调度结果如图9所示。由图可见,PV、WT、SB和EV的电量成本是比较低的,微网应优先调用无污染的PV和WT来满足所需功率;由于FC的电量成本明显高于SB,因此应优先调用SB,同时EV用户可向微网输送功率,这样可以减少SB的充放电次数,延长SB寿命,当微网现有功缺额时可再调用FC;WT成本最高、对环境污染最大,应最后考虑调用。

[0115] 并网模式下微网内各微源出力的优化结果如图10所示。由图可见,PV和WT工作于最大功率点跟踪模式;由于SB放电深度为50%~75%是充电最佳,从7时~18时之前SB的放

电模式保持在75%；6时～18时，EV用户根据微网负荷情况向微网进行售卖电；在0时～7时和18时～24时，微网中负荷较轻，PV和WT在满足热、电负荷要求后向SB充电，SB处于充电模式；此时优先调用FC，再调用MT来满足有功缺额。在7时～18时，微网中用电量大幅上升，SB处于放电模式，EV用户也向微网输送电能，减少FC和MT的出力。

[0116] 为了说明本文采用的IQGA算法的优势，下面将它与传统的GA算法和基础QGA算法进行比较。

[0117] 仿真参数如下，改进型量子遗传算法、普通遗传算法和基础量子遗传算法的种群规模为100，最大遗传代数为200，每个变量的二进制长度为20，权重系数w取为0.8。3种算法的进化曲线如图11所示。表4给出了3种算法仿真结果。

[0118] 表4仿真结果

	算法	进化代数	总费用/\$
[0119]	IQGA	23	977
	GA	142	1380
	QGA	58	977

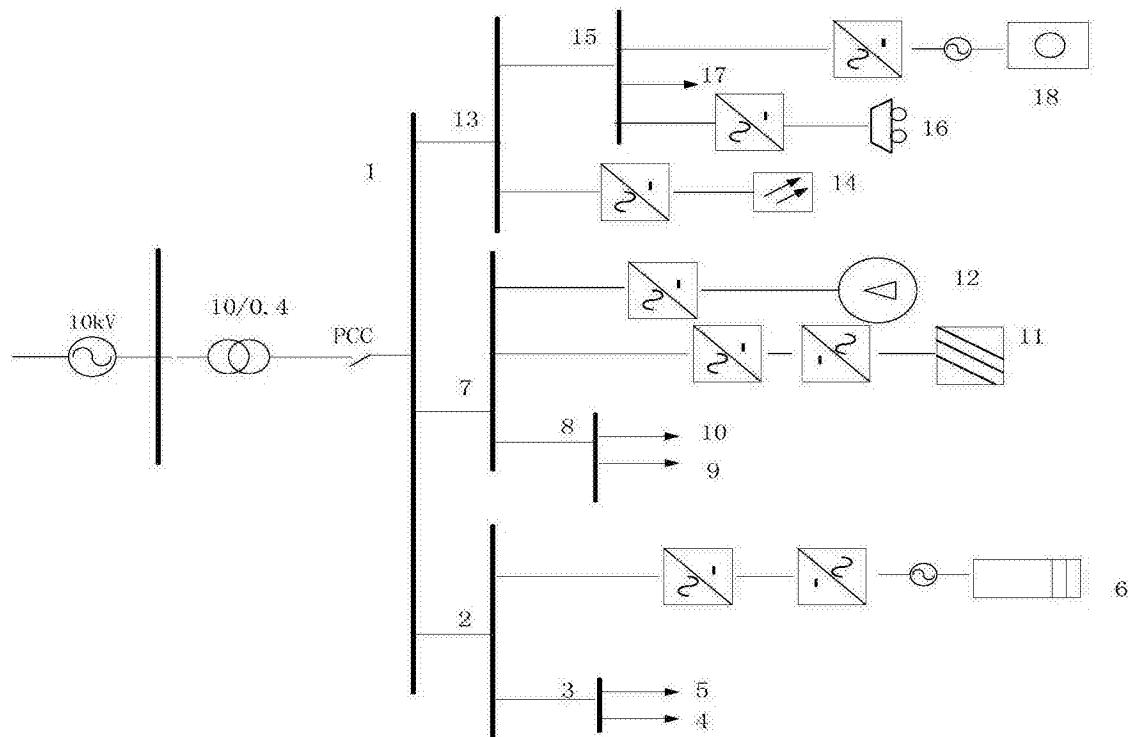


图1

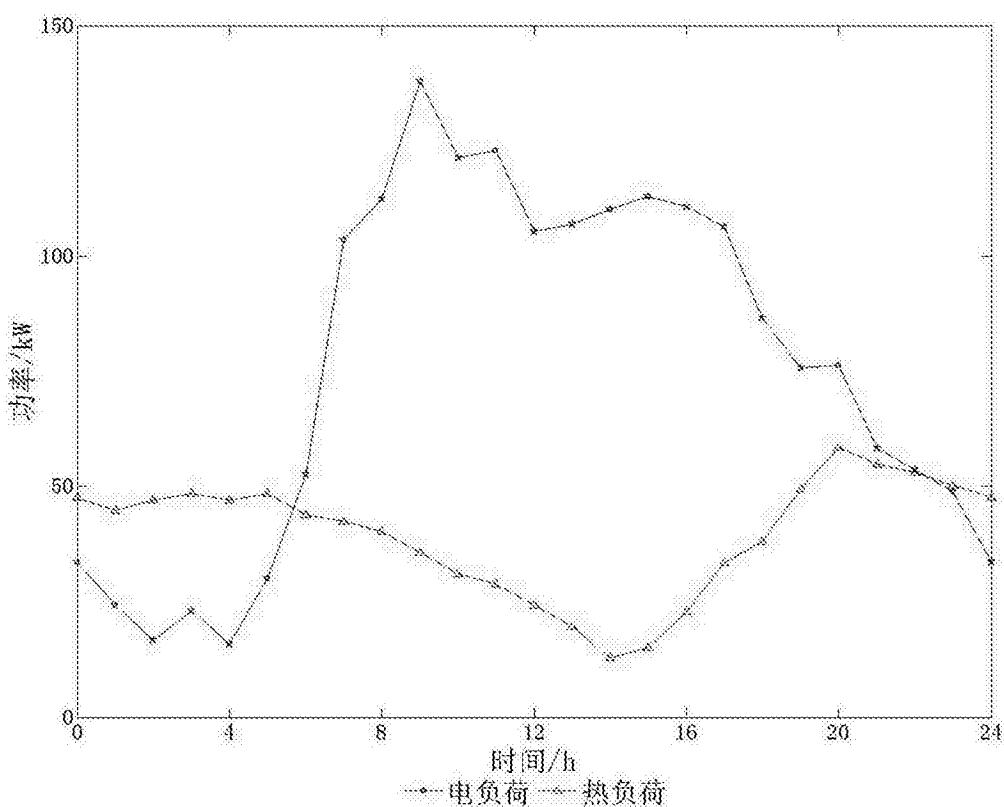


图2

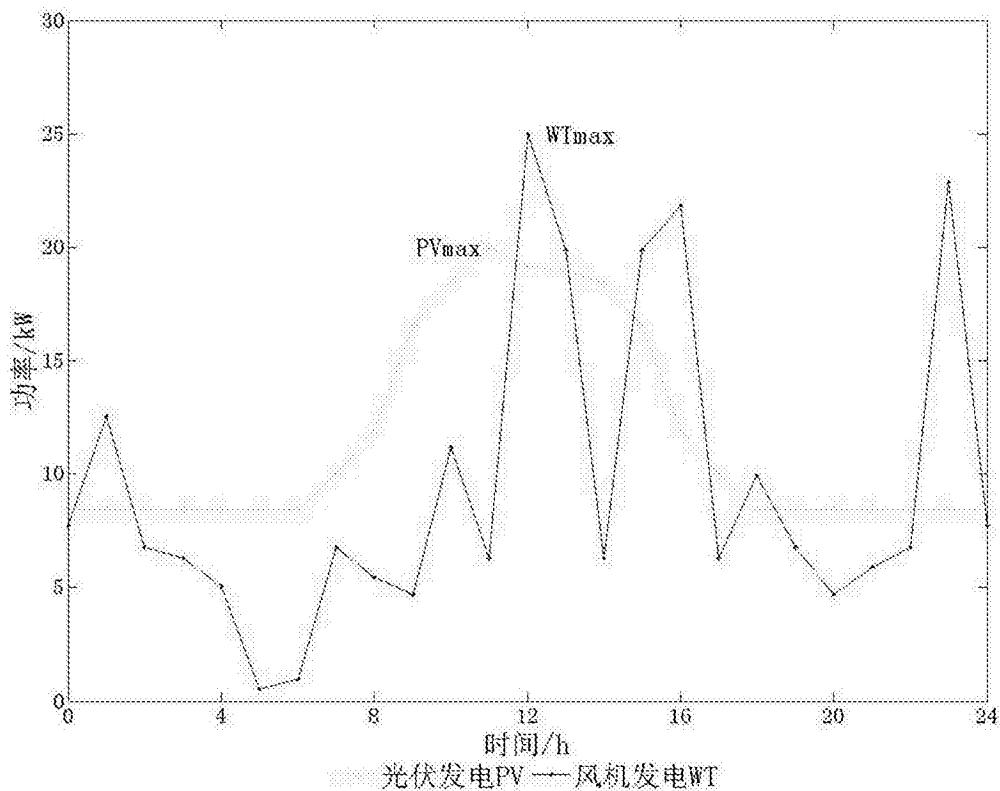


图3

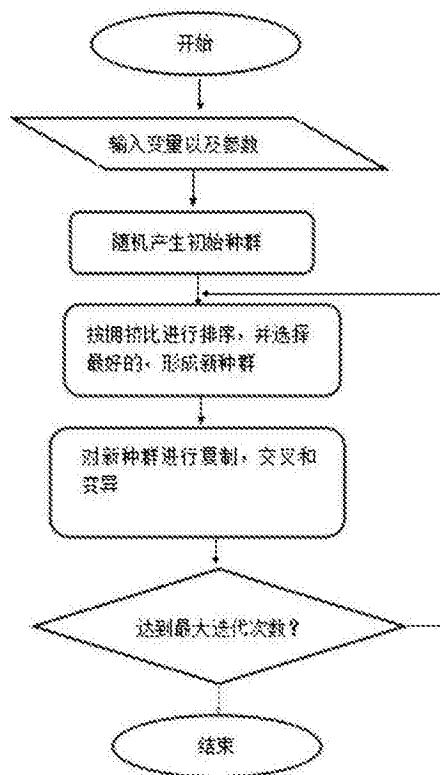


图4

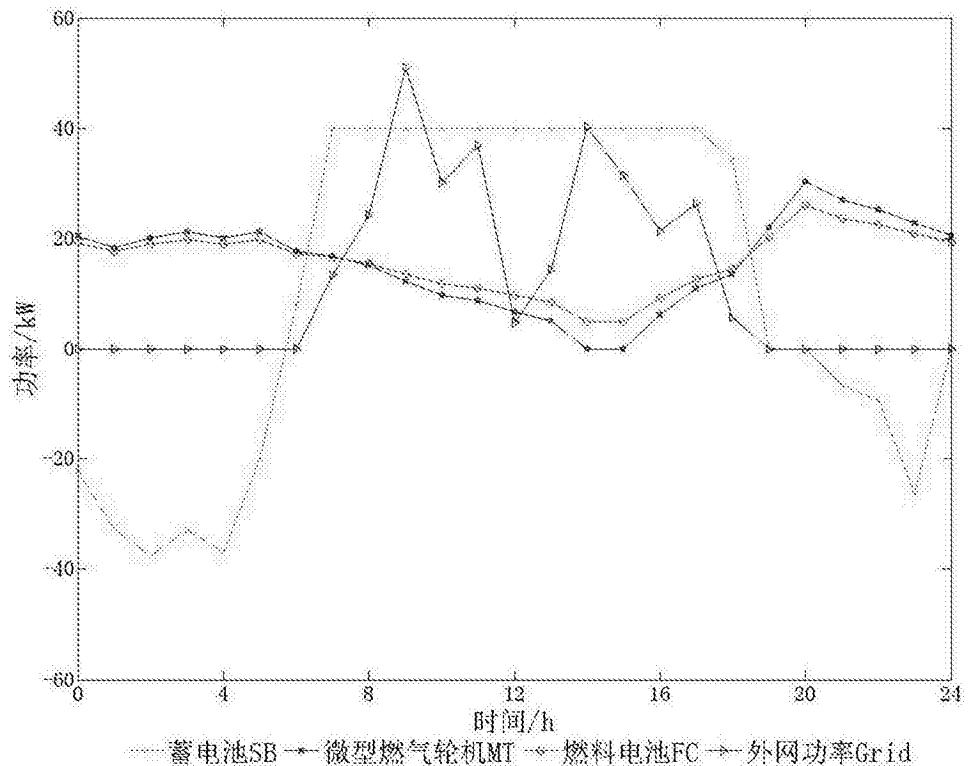


图5

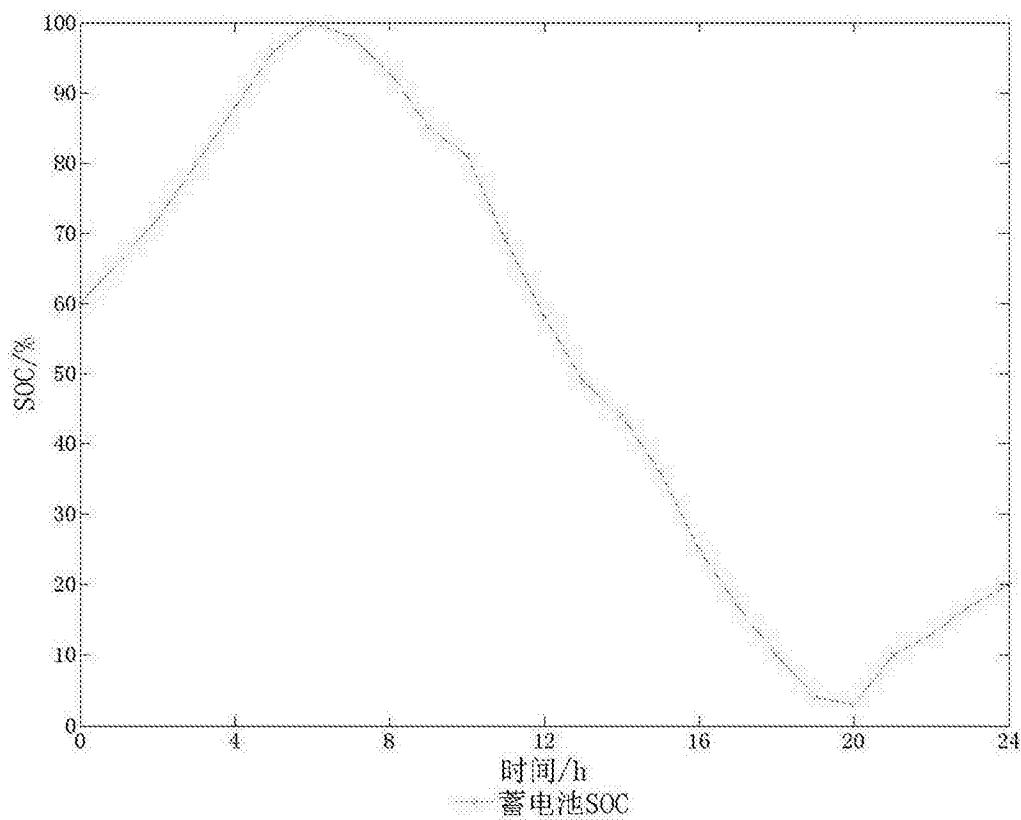


图6

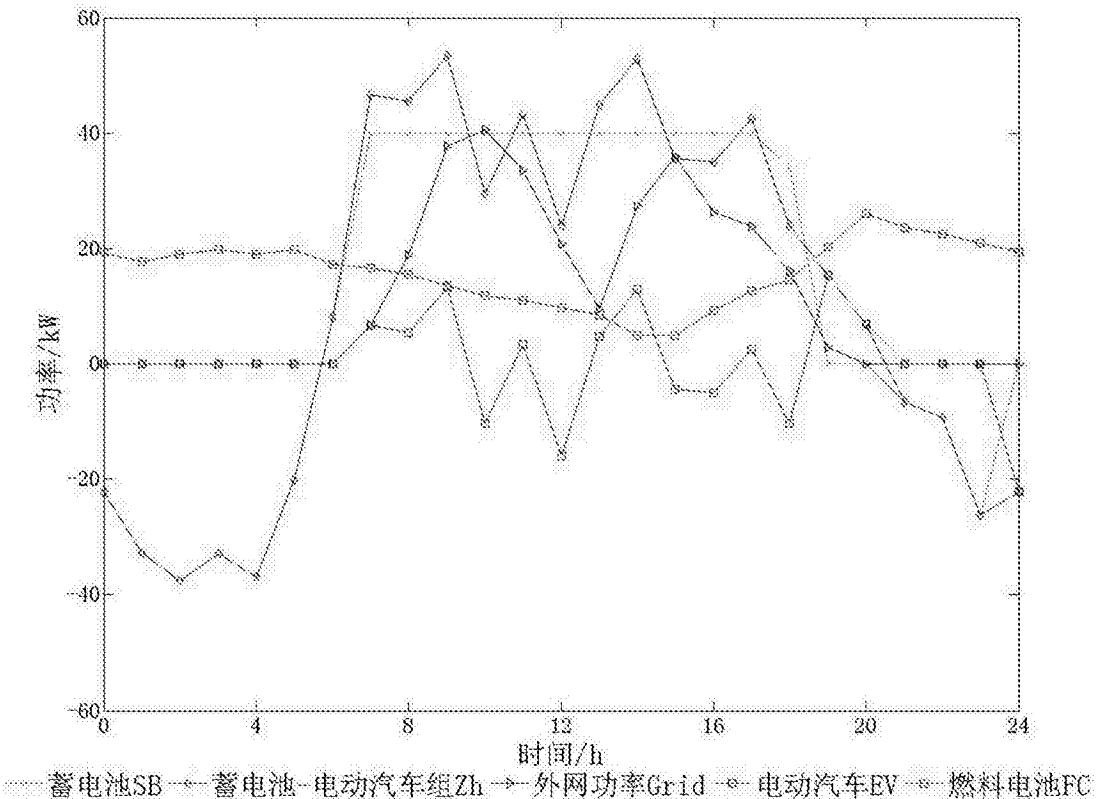


图7

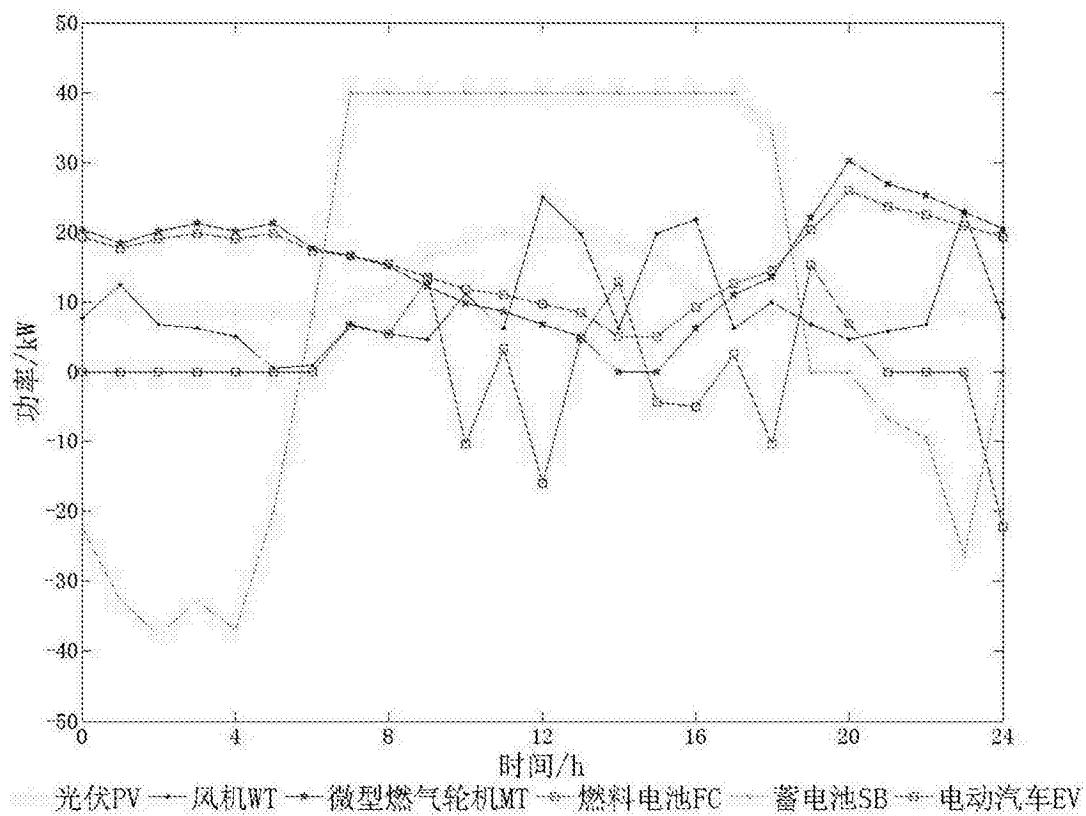


图8

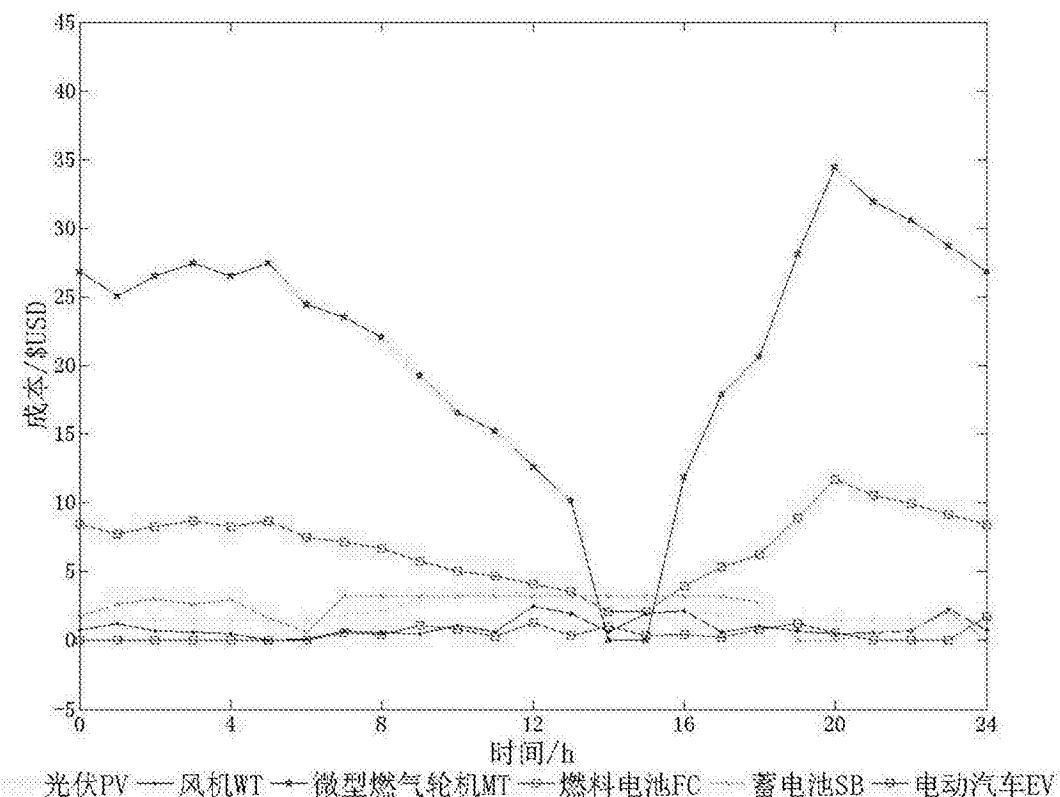


图9

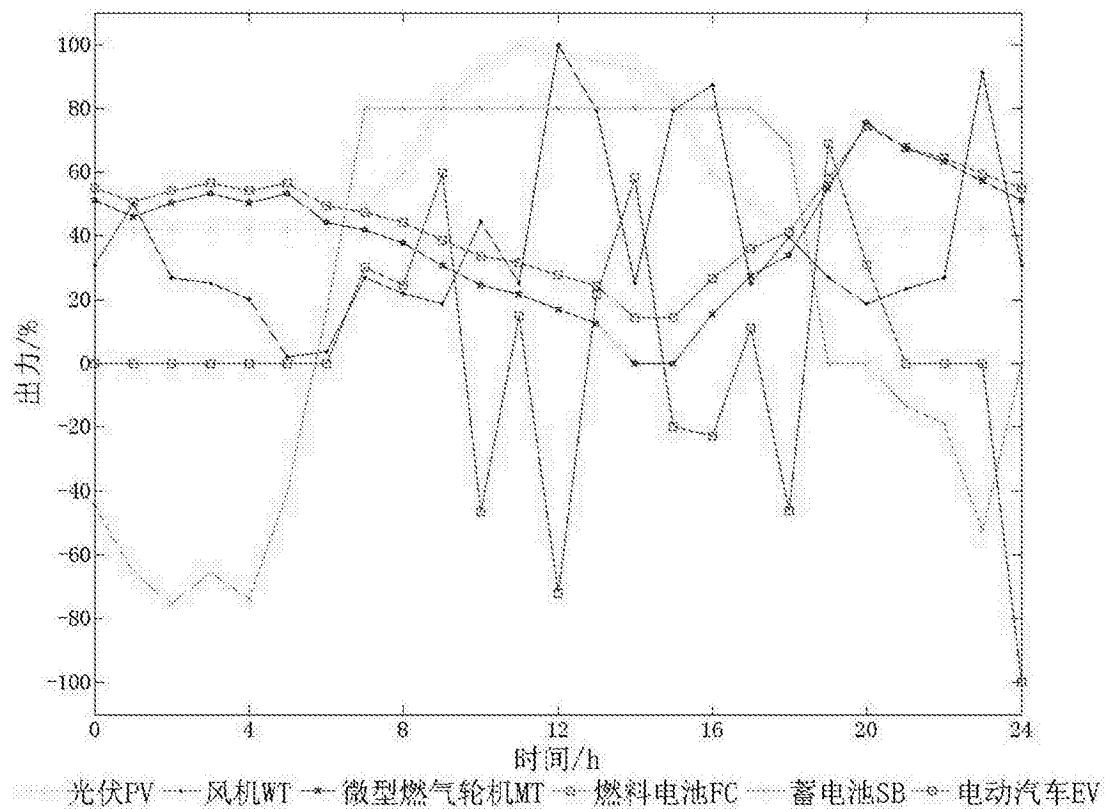


图10

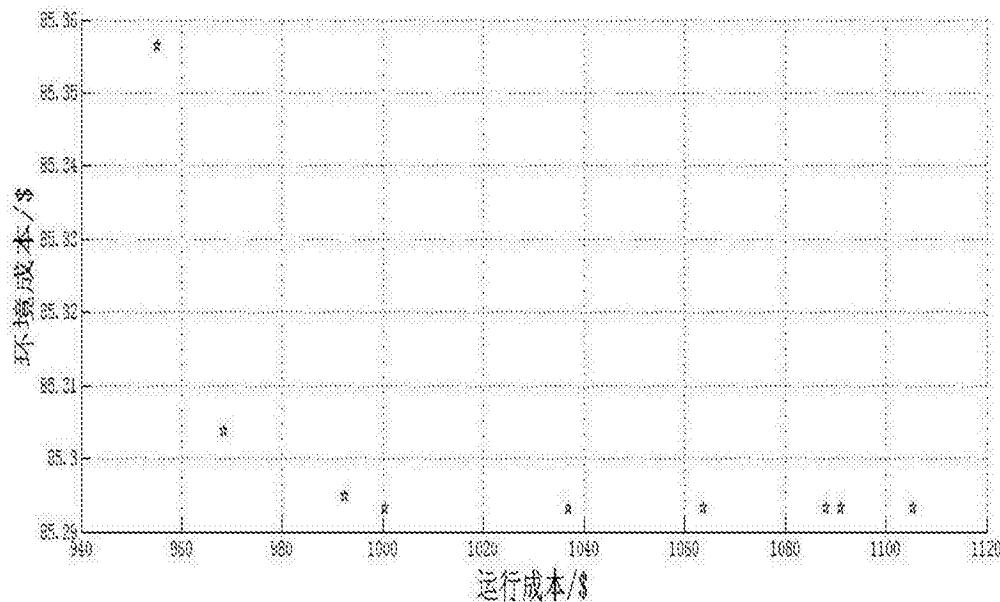


图11