



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112084645 A

(43) 申请公布日 2020.12.15

(21) 申请号 202010911496.3

H02J 7/00 (2006.01)

(22) 申请日 2020.09.02

G06F 119/08 (2020.01)

(71) 申请人 沈阳工程学院

地址 110136 辽宁省沈阳市沈北新区蒲昌路18号

(72) 发明人 罗金鸣 徐慧雯 王存旭 赵琰 姜河 宋世巍 王浩 苏媛媛 董香栾 李文瑞 魏莫机 庄严

(74) 专利代理机构 沈阳之华益专利事务有限公司 21218

代理人 邹琳

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

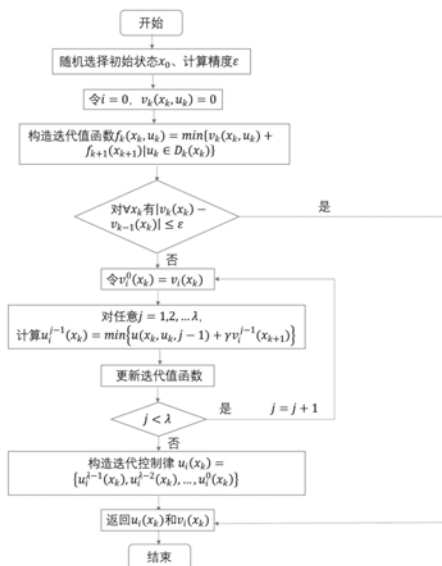
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法

(57) 摘要

一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法,属于动力电池管理技术领域,包括如下步骤:步骤1:确定功率关系和状态转移方程;步骤2:确定动态优化指标函数;步骤3:确定优化目标和约束条件;步骤4:根据贝尔曼最优性原理,用混合迭代法求解带约束条件的动态规划递归方程。本发明设计的锂离子电池能量管理系统能够将整个系统可分配的功率合理地分配给热管理系统和驱动系统,可使电池的能源利用效率达到最高。



1. 一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤1:确定功率关系和状态转移方程

设任一时刻能量管理系统可分配功率为 $P_e$ ,功率关系如下

$$P_{\text{motor}}(t) = P_e(t) - P_T(t)$$

$P_{\text{motor}}$ 表示能量管理系统可分配给驱动系统的最大功率, $P_T$ 表示热管理系统功率;

由于 $0 \leq \eta_T \leq 1, 0 \leq \eta_{\text{motor}} \leq 1$ ,

其中, $\eta_T$ 为热管理系统零部件关于环境温度 $T$ 的函数, $\eta_{\text{motor}}$ 为电机转速 $N$ 的函数;

将整个系统循环工况分为 $n$ 个阶段, $k \in n$ ,作如下假设:

(1) 状态变量 $x_k$ :表示第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段能量系统分配给热管理系统的功率;

(2) 决策变量 $u_k$ :表示第 $k$ 个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率;

在决策 $u_k$ 的作用下,状态变量 $x_k$ 发生改变,状态转移方程为:

$$x_{k+1} = x_k - u_k$$

表示第 $k+1$ 个时间段至第 $n$ 个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率;

步骤2:确定动态优化指标函数

此 $k$ 时刻系统损失的能量 $J_{\text{sys}}$ 是状态变量 $x_k$ 和决策变量 $u_k$ 的函数,设其为动态优化阶段指标函数 $v_k(x_k, u_k)$ ,则

$$v_k(x_k, u_k) = J_{\text{sys}}(x_k, u_k) = J_{T-M}(x_k, u_k) + J_{\text{motor}}(x_k, u_k)$$

表示第 $k$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配产生的系统损失;

步骤3:确定优化目标和约束条件

设定如下式的优化目标:

$$\begin{cases} f_0(x_0, u_0) = v_0(x_0, u_0) \\ f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) \mid u_k \in D_k(x_k)\} \end{cases}$$

其中, $k = n-1, \dots, 2, 1$ ,且 $f_n(x_n, u_n) = 0$ , $f_k(x_k, u_k)$ 表示第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配生产的系统损失之和;

在整个循环过程中,驱动系统和热管理系统的功率以及动力电池系统的能量要满足以下约束条件:

$$P_{T-M_{\min}} \leq P_{T-M}(t) \leq P_{T-M_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

$$P_{\text{motor}_{\min}} \leq P_{\text{motor}}(t) \leq P_{\text{motor}_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

$$E_{\text{bat}_{\min}} \leq E_{\text{bat}}(t) \leq E_{\text{bat}_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

步骤4:用混合迭代法求解

根据贝尔曼最优性原理,用混合迭代法求解带约束条件的动态规划递归方程,步骤如下:

1) 初始化:随机选择一组初始状态 $x_0$ ,选择计算精度 $\varepsilon$ ;

2) 迭代:令迭代指数 $i = 0$ ,令 $v_k(x_k, u_k) = 0$ ;

3) P迭代:对于任意 $i = 1, 2, \dots$ ,构造迭代值函数 $f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) \mid u_k \in D_k(x_k)\}$ ;

- 4) 如果 $\forall x_k$ , 都有 $|v_k(x_k) - v_{k-1}(x_k)| \leq \varepsilon$ ; 转到9, 否则进入下一步;
- 5) V迭代: 令 $v_i^0(x_k) = v_i(x_k)$ ;  
对于任意 $j=1, 2, \dots, \lambda$ , 计算 $u_i^{j-1}(x_k) = \min\{u(x_k, u_k, j-1) + \gamma v_i^{j-1}(x_{k+1})\}$ ;
- 6) 更新迭代值函数;
- 7) 如果 $j < \lambda$ , 则令 $j = j+1$ , 并进入步骤5; 否则转到下一步;
- 8) 构造迭代控制律 $u_i(x_k) = \{u_i^{\lambda-1}(x_k), u_i^{\lambda-2}(x_k), \dots, u_i^0(x_k)\}$ , 然后让 $i = i+1$ 并转到步骤2;
- 9) 返回 $u_i(x_k)$  和 $v_i(x_k)$ ;

通过上述迭代循环逼近函数控制电池储能系统的能量管理, 通过控制量与之对应的 $k$ 时刻系统损失的能量 $J_{\text{sys}}$ , 改进控制量, 对系统中第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配生产的系统损失之和进行调整, 得到新的系统控制量和近似代价函数, 进而迭代出精确的解, 即电池储能系统能量管理的最优分配方式。

## 一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于动力电池管理技术领域,特别涉及一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法。

### 背景技术

[0002] 步入21世纪,能源短缺、环境污染问题迫在眉睫,在多种地球异常天气的背景下,越来越多的人在寻求解决问题的途径。在新能源领域,三电技术即电控、电池、电驱是发动机的关键部分,而电池又是核心动力源。

[0003] 锂离子电池由于其具有高电压、较高能量密度存储能力,同时有低自放电率、循环使用次数较多等优点,近年来得到很多研究学者的关注,并迅速发展,成为新能源及电力储能系统的主要储能单元。由于锂离子电池内部反应的复杂性,人们在不断提高电池本身性能的同时,也在不断地研究和发 展电池的使用和管理技术,以充分发挥电池的性能,提高电池效率及使用寿命,保障电池储能系统运行的安全性。动力电池能量管理系统是电动汽车的关键技术之一。目前关于动力电池能量管理系统的研究主要集中于混合动力汽车和纯电动汽车的能量管理策略。主要控制策略有两种:一是用于电动汽车内,降低整车能量使用率,只保留车辆行驶必须的高压负载,来最大程度降低整车高压系统功耗,把有限的功率全部分配到驱动系统。二是提高电池的使用效率,通过热管理系统的使用,一直把电池控制在高效能区间。方法一虽然可以最大限度上节约行车过程中的电能消耗,但由于缺少电池热管理系统,长时间高温运行会加速电池老化,从而牺牲系统的经济性能。方法二最常用的是门限值控制法,它虽然控制策略简单稳定,但由于控制规则固定,不能最优地解决功率分配问题,从而影响系统的动力性能。自适应动态规划(ADP)具有强大的自学习能力和适应能力来找到最佳控制策略并及时解决Bellman方程,是非线性控制理论的重要组成部分。策略迭代(PI)和值迭代(VI)是两个主要的迭代ADP方法。设计出一种利用混合迭代ADP方法来对锂离子电池储能系统进行能量管理的方法非常有必要。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提出一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法,根据能量管理系统分配给热管理系统的功率构造两个迭代策略迭代(PI)和值迭代(VI),最终得到一种锂离子电池能量管理方法。

[0005] 本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤1:确定功率关系和状态转移方程

[0008] 设任一时刻能量管理系统可分配功率为 $P_e$ ,功率关系如下

[0009]  $P_{\text{motor}}(t) = P_e(t) - P_T(t)$

[0010]  $P_{\text{motor}}$ 表示能量管理系统可分配给驱动系统的最大功率, $P_T$ 表示热管理系统功率;

[0011] 由于 $0 \leq \eta_T \leq 1, 0 \leq \eta_{\text{motor}} \leq 1$ ,

[0012] 其中, $\eta_T$ 为热管理系统零部件关于环境温度 $T$ 的函数, $\eta_{\text{motor}}$ 为电机转速 $N$ 的函数;

[0013] 将整个系统循环工况分为 $n$ 个阶段, $k \in n$ ,作如下假设:

[0014] (1) 状态变量 $x_k$ :表示第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段能量系统分配给热管理系统的功率;

[0015] (2) 决策变量 $u_k$ :表示第 $k$ 个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率;

[0016] 在决策 $u_k$ 的作用下,状态变量 $x_k$ 发生改变,状态转移方程为:

$$[0017] \quad x_{k+1} = x_k - u_k$$

[0018] 表示第 $k+1$ 个时间段至第 $N$ 个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率;

[0019] 步骤2:确定动态优化指标函数

[0020] 此 $k$ 时刻系统损失的能量 $J_{\text{sys}}$ 是状态变量 $x_k$ 和决策变量 $u_k$ 的函数,设其为动态优化阶段指标函数 $v_k(x_k, u_k)$ ,则

$$[0021] \quad v_k(x_k, u_k) = J_{\text{sys}}(x_k, u_k) = J_{T-M}(x_k, u_k) + J_{\text{motor}}(x_k, u_k)$$

[0022] 表示第 $k$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配产生的系统损失;

[0023] 步骤3:确定优化目标和约束条件

[0024] 设定如下式的优化目标:

$$[0025] \quad \begin{cases} f_0(x_0, u_0) = v_0(x_0, u_0) \\ f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) | u_k \in D_k(x_k)\} \end{cases}$$

[0026] 其中, $k = n-1, \dots, 2, 1$ ,且 $f_n(x_n, u_n) = 0$ , $f_k(x_k, u_k)$ 表示第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配生产的系统损失之和;

[0027] 在整个循环过程中,驱动系统和热管理系统的功率以及动力电池系统的能量要满足以下约束条件:

$$[0028] \quad P_{T-M_{\min}} \leq P_{T-M}(t) \leq P_{T-M_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

$$[0029] \quad P_{\text{motor}_{\min}} \leq P_{\text{motor}}(t) \leq P_{\text{motor}_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

$$[0030] \quad E_{\text{bat}_{\min}} \leq E_{\text{bat}}(t) \leq E_{\text{bat}_{\max}} \quad \forall t \in [0, T]$$

[0031] 步骤4:用混合迭代法求解

[0032] 根据贝尔曼最优性原理,用混合迭代法求解带约束条件的动态规划递归方程,步骤如下:

[0033] 1) 初始化:随机选择一组初始状态 $x_0$ ,选择计算精度 $\varepsilon$ ;

[0034] 2) 迭代:令迭代指数 $i = 0$ ,令 $v_k(x_k, u_k) = 0$ ;

[0035] 3) P迭代:对于任意 $i = 1, 2, \dots$ ,构造迭代值函数 $f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) | u_k \in D_k(x_k)\}$ ;

[0036] 4) 如果 $\forall x_k$ ,都有 $|v_k(x_k) - v_{k-1}(x_k)| \leq \varepsilon$ ;转到9,否则进入下一步;

[0037] 5) V迭代:令 $v_i^0(x_k) = v_i(x_k)$ ;

[0038] 对于任意 $j = 1, 2, \dots, \lambda$ ,计算 $u_i^{j-1}(x_k) = \min\{u(x_k, u_k, j-1) + \gamma v_i^{j-1}(x_{k+1})\}$ ;

[0039] 6) 更新迭代值函数;

[0040] 7) 如果 $j < \lambda$ ,则令 $j = j+1$ ,并进入步骤5;否则转到下一步;

[0041] 8) 构造迭代控制律  $u_i(x_k) = \{u_i^{\lambda-1}(x_k), u_i^{\lambda-2}(x_k), \dots, u_i^0(x_k)\}$ , 然后让  $i = i+1$  并转到步骤2;

[0042] 9) 返回  $u_i(x_k)$  和  $v_i(x_k)$ ;

[0043] 通过上述迭代循环逼近函数控制电池储能系统的能量管理, 通过控制量与之对应的  $k$  时刻系统损失的能量  $J_{sys}$ , 改进控制量, 对系统中第  $k$  个时间段至第  $n$  个时间段由决策  $u_k$  的功率分配生产的系统损失之和进行调整, 得到新的系统控制量和近似代价函数, 进而迭代出精确的解, 即电池储能系统能量管理的最优分配方式。

[0044] 本发明的优点与效果为:

[0045] 本发明设计的锂离子电池能量管理系统能够将整个系统可分配的功率合理地分配给热管理系统和驱动系统, 可使电池的能源利用效率达到最高。

### 附图说明

[0046] 图1为能量管理系统的功率优化控制图;

[0047] 图2本发明控制方法流程图;

[0048] 图3为实施例1中当  $i = 0, 1, \dots, 15$  和  $j = \lambda - 1$  时,  $x_0$  中迭代值函数  $u_i(x_k)$  的轨迹图;

[0049] 图4为实施例1中最优电池能量图;

[0050] 图5为实施例1中基于混合迭代ADP方法和TBQL方法对电网供电的比较;

[0051] 图6为实施例1中基于混合迭代ADP方法和TBQL方法电池能量比较图;

[0052] 图7为实施例1中基于混合迭代ADP方法和TBQL方法电池充电功率比较图;

[0053] 图8为实施例1中基于混合迭代ADP方法和TBQL方法实时电价比较图。

### 具体实施方式

[0054] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步解释。

[0055] 本发明为一种基于混合迭代ADP方法的锂离子电池储能系统能量管理方法, 具体为以下步骤:

[0056] 步骤1确定功率关系和状态转移方程

[0057] 设任一时刻能量管理系统可以分配功率为  $P_e$ 。功率关系如下

$$[0058] \quad P_{\text{motor}}(t) = P_e(t) - P_T(t)$$

[0059]  $P_{\text{motor}}$  表示能量管理系统可分配给驱动系统的最大功率,  $P_T$  表示热管理系统。

[0060] 由于驱动电机和热管理系统功率器件存在损耗, 能量管理系统提供的功率不能全部用于有效地做功, 即两者的效率不为1, 关系如下所示

$$[0061] \quad 0 \leq \eta_T \leq 1$$

$$[0062] \quad 0 \leq \eta_{\text{motor}} \leq 1$$

[0063] 其中,  $\eta_T$  为热管理系统零部件关于环境温度  $T$  的函数,  $\eta_{\text{motor}}$  为电机转速  $N$  的函数, 将整个系统循环工况分为  $n$  个阶段,  $k \in n$ , 作如下假设:

[0064] (1) 状态变量  $x_k$ : 表示第  $k$  个时间段至第  $n$  个时间段能量系统分配给热管理系统的功率。

[0065] (2) 决策变量  $u_k$ : 表示第  $k$  个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率。

[0066] 在决策  $u_k$  的作用下, 状态变量  $x_k$  发生改变, 状态转移方程为:

[0067]  $x_{k+1} = x_k - u_k$

[0068] 表示第k+1个时间段至第N个时间段能量管理系统分配给热管理系统的功率。

[0069] 步骤2确定动态优化指标函数

[0070] 当能量管理系统按决策变量 $u_k$ 进行分配时,功率分别流过驱动系统和热管理系统,会分别对两者产生响应的激励,使两者的特性状态发生改变。由于驱动系统效率是电机转速的函数,热管理系统的效率与环境温度有关,因此k时刻系统损失的能量 $J_{sys}$ 是状态变量 $x_k$ 和决策变量 $u_k$ 的函数。设其为动态优化阶段指标函数 $v_k(x_k, u_k)$ ,则

[0071]  $v_k(x_k, u_k) = J_{sys}(x_k, u_k) = J_{T-M}(x_k, u_k) + J_{motor}(x_k, u_k)$

[0072] 表示第k个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配产生的系统损失。

[0073] 从0时刻开始,不同的控制率 $U$ 会产生不同的新的状态(状态变量) $X$ ,同时又面临着新的控制率(决策变量) $U$ 选取问题,直到整个循环工况结束。由于整车仿真时的初始条件都会给定,所以纯电池能量管理系统的功率优化控制问题可以归结为:初始状态 $x(0) = x_0$ 给定,终端 $x(n) = 0$ 的优化控制问题如图1所示。

[0074] 步骤3确定优化目标和约束条件

[0075] 在电池使用过程中,如果全部循环的每一个控制律的分配都是最优的,那么每一时刻系统所产生的能量损失之和都可以达到最小,在能量系统总量相同的情况下,即可理解为循环中能量系统效率最大,经济性能最佳。由此可设定如下式的优化目标:

[0076] 
$$\begin{cases} f_0(x_0, u_0) = v_0(x_0, u_0) \\ f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) | u_k \in D_k(x_k)\} \end{cases}$$

[0077] 其中, $k=n-1, \dots, 2, 1$ ,且 $f_n(x_n, u_n) = 0$ 。

[0078]  $f_k(x_k, u_k)$ 表示第k个时间段至第n个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配生产的系统损失之和。在整个循环过程中,驱动系统和热管理系统的功率以及动力电池系统的能量要满足以下约束条件:

[0079]  $P_{T-M_{min}} \leq P_{T-M}(t) \leq P_{T-M_{max}} \quad \forall t \in [0, T]$

[0080]  $P_{motor_{min}} \leq P_{motor}(t) \leq P_{motor_{max}} \quad \forall t \in [0, T]$

[0081]  $E_{bat_{min}} \leq E_{bat}(t) \leq E_{bat_{max}} \quad \forall t \in [0, T]$

[0082] 这样可以通过求解动态规划下的最优控制率对能量管理输出进行调整,使用混合迭代ADP方法来进一步对能量管理系统进行优化。

[0083] 步骤4用混合迭代法求解

[0084] 根据贝尔曼最优性原理,用混合迭代法求解带约束条件的动态规划递归方程,步骤如下:

[0085] 1、初始化:随机选择一组初始状态 $x_0$ 。选择计算精度 $\varepsilon$ 。

[0086] 2、迭代:令迭代指数 $i=0$ ,令 $v_k(x_k, u_k) = 0$ 。

[0087] 3、P迭代:对于任意 $i=1, 2, \dots$ ,构造迭代值函数

[0088]  $f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) | u_k \in D_k(x_k)\}$ 。

[0089] 4、如果 $\forall x_k$ ,都有 $|v_k(x_k) - v_{k-1}(x_k)| \leq \varepsilon$ 。转到9,否则进入下一步。

[0090] 5、V迭代:令 $v_i^0(x_k) = v_i(x_k)$ 。

[0091] 对于任意 $j=1,2,\dots,\lambda$ ,计算

$$[0092] \quad u_i^{j-1}(x_k) = \min\{u(x_k, u_k, j-1) + \gamma v_i^{j-1}(x_{k+1})\}。$$

[0093] 6、更新迭代值函数。

[0094] 7、如果 $j<\lambda$ ,则令 $j=j+1$ ,并进入步骤5;否则转到下一步。

[0095] 8、构造迭代控制律 $u_i(x_k) = \{u_i^{\lambda-1}(x_k), u_i^{\lambda-2}(x_k), \dots, u_i^0(x_k)\}$ ,然后让

[0096]  $i=i+1$ 并转到步骤2。

[0097] 9、返回 $u_i(x_k)$ 和 $v_i(x_k)$ 。

[0098] 实施例1

[0099] 本发明以电价和负荷为周期函数,采用周期为24的周期函数来实现所提混合迭代ADP方法。假设电池容量为16kwh,电池额定功率为3kw,电池的下、上存储限制为2kwh和14kwh。让 $\gamma=0.95$ 。电池的初始电平是9kwh。选择初始函数为 $f_k(x_k, u_k) = \min\{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1}) \mid u_k \in D_k(x_k)\}$ ,让初始状态为 $x_0 = [1, 9]^T$ ,在将电费、负载数据规范化后,实现了当 $\epsilon=15$ 时,迭代函数收敛的迭代ADP方法。当 $i=0,1,\dots,15$ 和 $j=\lambda-1$ 时, $x_0$ 中迭代值函数 $u_i(x_k)$ 的轨迹如图3所示。

[0100] 从模拟结果来看,对于任意 $j=0,1,\dots$ ,迭代函数在15次迭代后收敛,证明了所开发方法的可行性。在 $i=15$ 迭代后,实现了能量存储系统电池的最优控制。一周时间的最优电池能量图如图4所示。

[0101] 从图4可以看出,不同的时间指标,得到电池每小时最佳充电/放电功率下的电池控制规律是不同的。为了证明所开发的迭代ADP方法的优越性,提出了传统的最优控制方法,基于时间的Q学习方法(以下简称TBQL)做数值比较。

[0102] 在TBQL方法中, $k=1,2,\dots$ ,迭代控制律设计满足以下最优性方程:

$$[0103] \quad Q(x_{k-1}, u_{k-1}, k-1) = U(x_k, u_k, k) + Q(x_k, u_k, k)$$

[0104] 然后实现了140个时间步骤的TBQL,使Q函数收敛。

[0105] 基于混合迭代ADP方法和TBQL方法,对电网供电的比较如图5所示,电池电源的比较如图6所示。

[0106] 电池充电功率和实时成本比较如图7和8所示:

[0107] 从图5到8可知,当电价和负荷时需求较低,与TBQL方法相比,混合迭代ADP方法从电网获得最大的电力供应给电池充电。当电速率和负载需求都很高,混合迭代ADP方法提供了满足负载需求的最大电池能量,因此,迭代ADP方法与TBQL方法相比,达到了最小的实时成本。同时,迭代ADP方法与TBQL方法相比,在太阳能高的情况下,电网和电池供电能力是最小的。因此,利用迭代ADP方法,可以实现最小代价。

[0108] 本发明通过以迭代循环结构实现函数逼近来控制电池储能系统的能量管理,在交替运行值确定预算和策略改进预算的过程中,利用自适应动态规划,找到控制量与之对应的 $k$ 时刻系统损失的能量 $J_{sys}$ 。然后,利用改进控制量的方式,对系统中第 $k$ 个时间段至第 $n$ 个时间段由决策 $u_k$ 的功率分配生产的系统损失之和进行调整,在不断更新过程中,找到新的系统控制量和近似代价函数,进而迭代出更加精确的解,即电池储能系统能量管理的最优分配方式。

[0109] 通过仿真算例来验证,当电价和负荷时需求较低时,混合迭代ADP方法能从电网获



得最大的电力供应给电池充电。当电速率和负载需求都很高,混合迭代ADP方法能提供满足负载需求的最大电池能量。由此可以说明迭代ADP方法能够达到最小实时成本并且电网和电池供电能力是最小的。因此,利用迭代ADP方法可以实现最小代价。

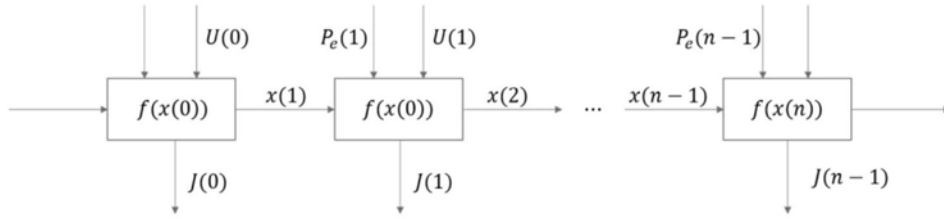


图1

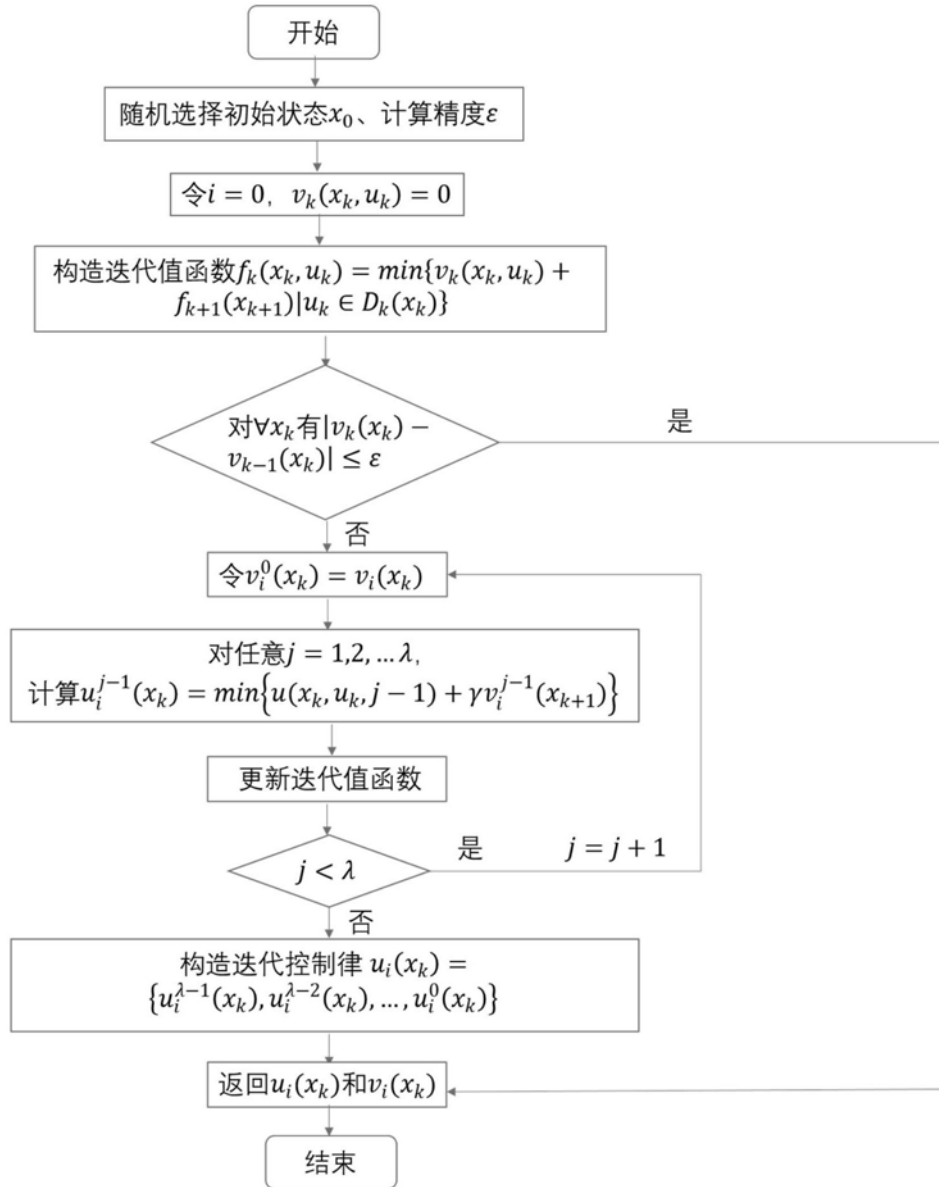


图2

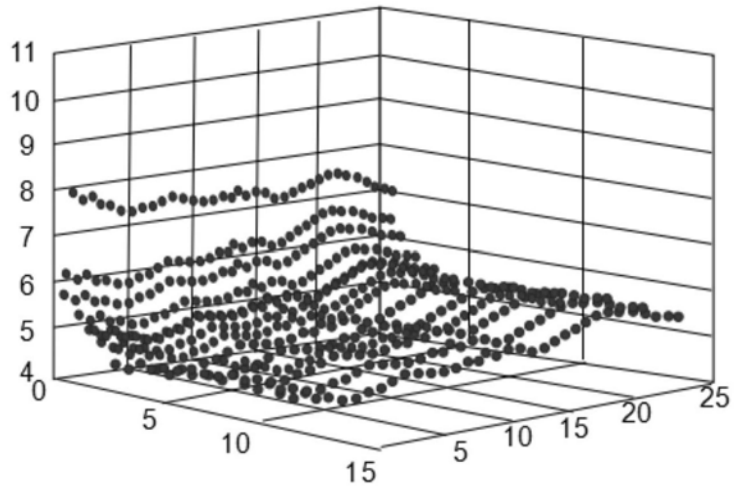


图3

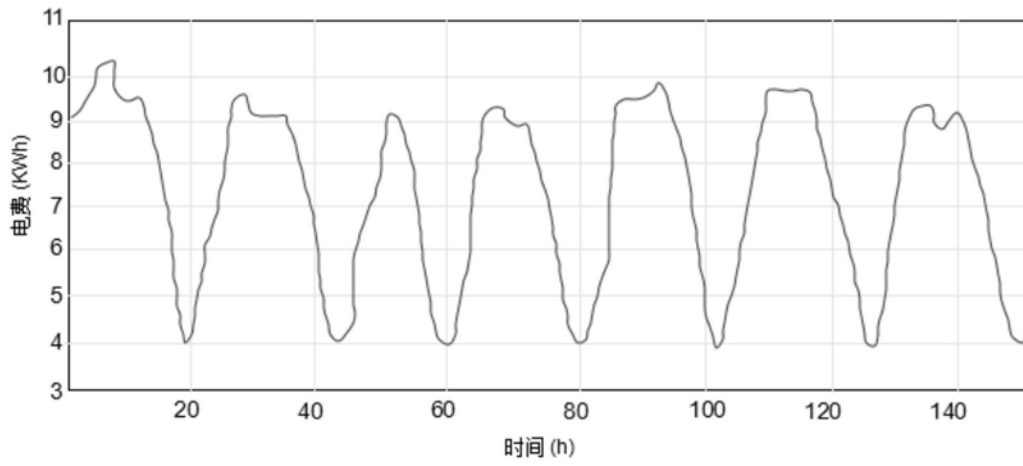
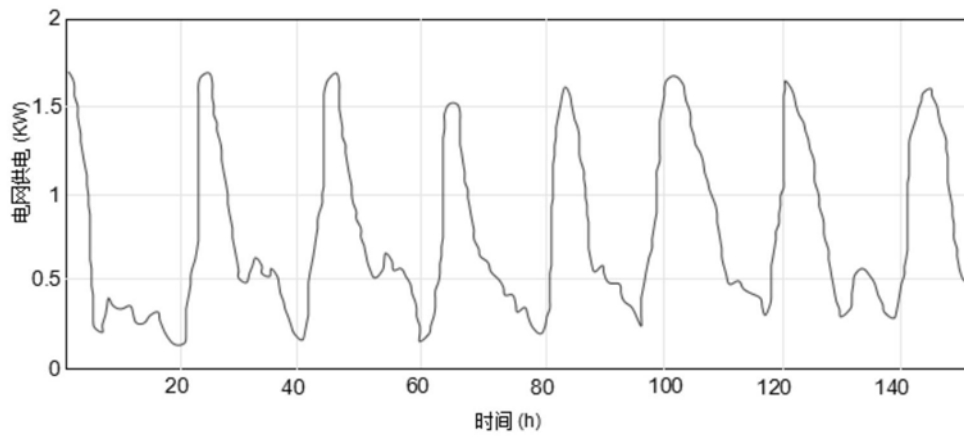


图4



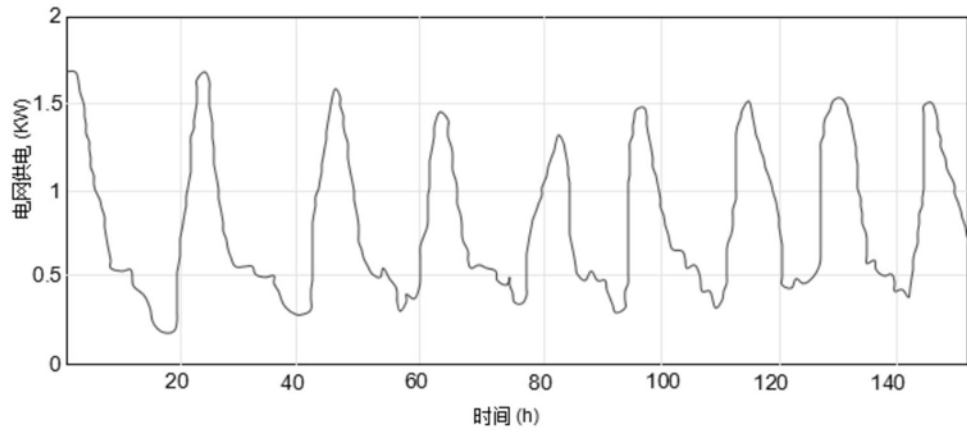


图5

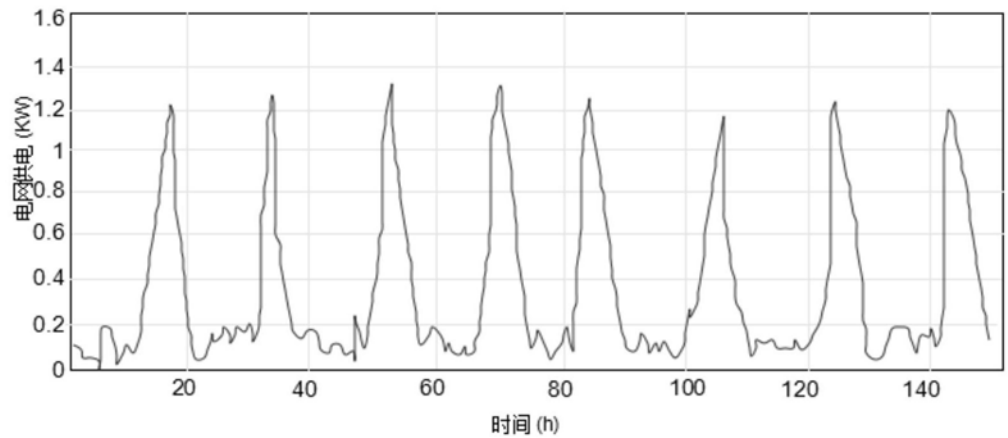
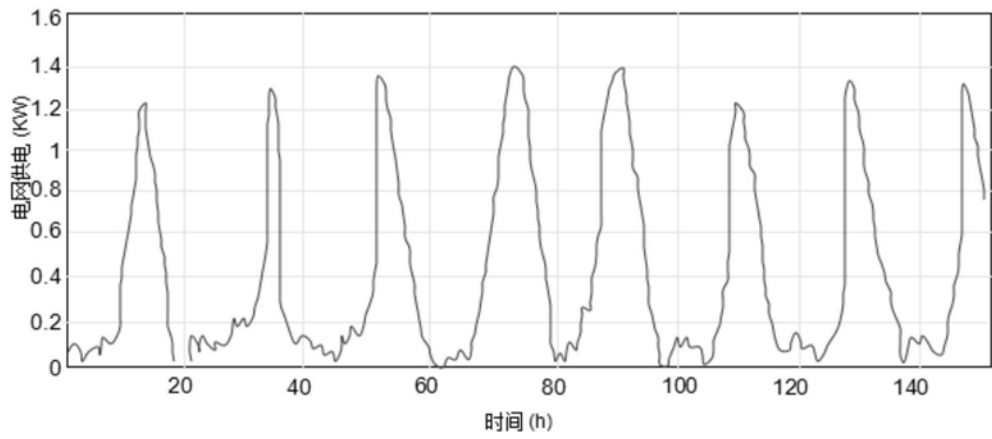


图6

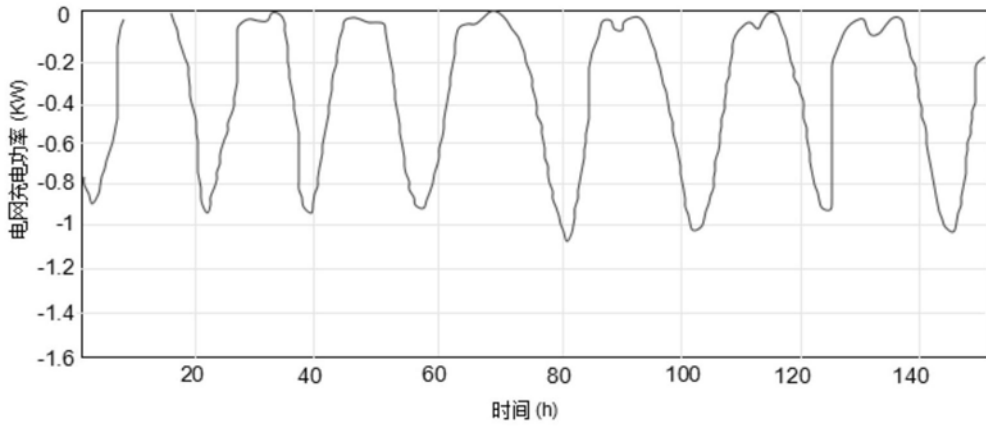
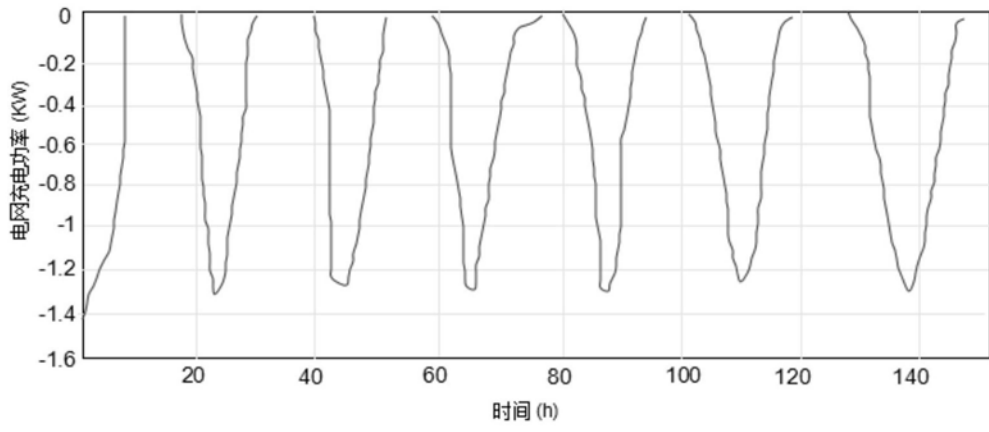
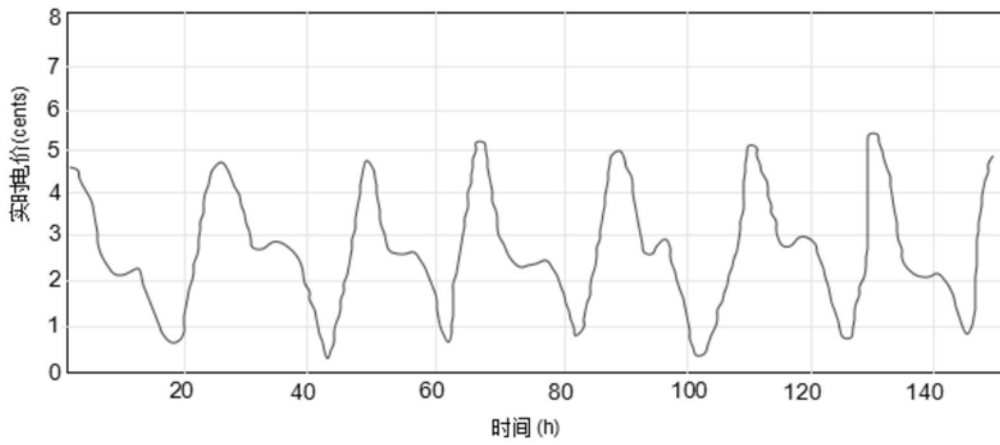


图7



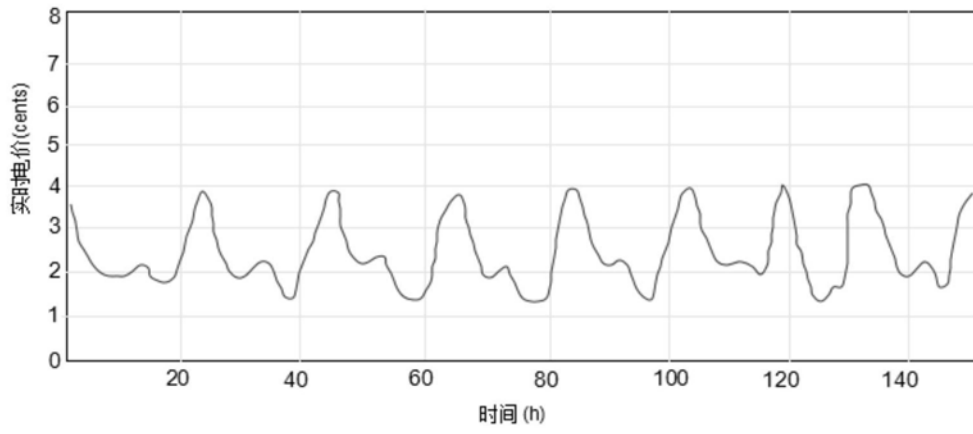


图8