



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105667501 B

(45)授权公告日 2017.10.20

(21)申请号 201610161698.4

B60W 20/30(2016.01)

(22)申请日 2016.03.22

B60W 30/14(2006.01)

B60W 40/105(2012.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105667501 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2016.06.15

CN 104627168 A, 2015.05.20,

CN 102729991 A, 2012.10.17,

CN 105035090 A, 2015.11.11,

CN 104175980 A, 2014.12.03,

CN 105216782 A, 2016.01.06,

US 2009312889 A1, 2009.12.17,

US 2012010767 A1, 2012.01.12,

US 2013297174 A1, 2013.11.07,

(73)专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市人民大街5988号

审查员 吕惠

(72)发明人 刘奇芳 叶珂羽 李超 陈虹  
郭露露

(74)专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有  
限责任公司 22100

代理人 白冬冬

(51) Int. Cl.

B60W 20/15(2016.01)

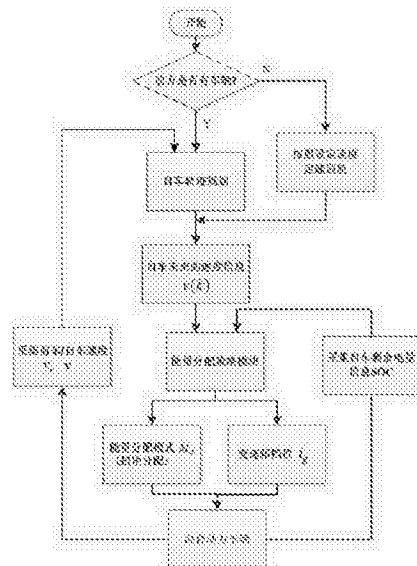
权利要求书3页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法

(57)摘要

一种具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法,属于汽车驾驶技术领域。本发明的目的是实时根据前车速度信息优化出巡航过程中混合动力车辆最优的速度轨迹,从而最大限度的提高混合动力车辆燃油经济性的具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法。本发明通过信息采集模块采集前车的速度信息和自车当前速度信息、混合动力车辆电池的SOC优化自车行驶速度轨迹。本发明为混合动力车辆提供了一种具有轨迹规划功能的能量分配策略的优化方法,即混合动力车辆首先采集前车的速度信息,并根据采集的速度信息优化计算出自车最优的速度轨迹,减少了混合动力车辆巡航过程中不必要的速度波动,提高混合动力车辆的经济性和舒适性。



1. 一种具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法,其特征在于:其优化自车行驶速度轨迹的步骤是:

(1) 信息采集:通过信息采集模块采集前车的速度信息和自车当前速度信息、混合动力车辆电池的SOC;

(2) 车辆轨迹优化:以采集的前车速度信息 $V_f$ 和自车速度信息 $V$ 为基础,优化自车的行驶速度轨迹,将车轮驱动力 $F_d$ 和车轮制动力 $F_b$ 作为控制变量,记为 $U_1, U_2$ ,车速 $V$ 作为状态变量,记为 $X$ ,根据汽车纵向动力学可以得到车辆的动力学方程为:

$$\dot{v} = \frac{1}{M} (F_d - F_R - F_b) \quad (1)$$

其中, $M$ 为自车车重, $F_R$ 为自车车辆行驶过程的阻力,

$$F_R = C_d S_d v^2 + Mgf \cos(\alpha) + Mg \sin(\alpha) \quad (2)$$

其中, $C_d$ 为自车的迎风面积( $m^2$ ), $S_d$ 为自车的空气阻力系数, $f$ 为自车的滚动阻力系数, $g$ 为重力加速度( $m/s^2$ ), $\alpha$ 为道路坡度;

自车巡航轨迹优化过程中的指标 $J$ 由两部分组成:

$$J(X(t), U(t), t) = \|\Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2\| + \|\Gamma_2 \Delta U_1(t)^2\| \quad (3)$$

其中,前半部分 $\|\Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2\|$ 是经济性的约束,表示车辆单位时间内的输出功率,后半部分 $\|\Gamma_2 \Delta U_1(t)^2\|$ 是舒适性的约束,表示优化的速度轨迹要变化平缓, $\Gamma_i (i=1,2)$ 为权重系数;

基于前车速度信息的轨迹优化问题在预测时域内离散化后描述为:

$$\min J(X(k), U(k), k) = \sum_{k=1}^N (\Gamma_1(X(k) \cdot U_1(k))^2 + \Gamma_2 \Delta U_1(k)^2)$$

s.t.

$$U_{1\_min} \leq U_1 \leq U_{1\_max} \quad (4)$$

$$U_{2\_min} \leq U_2 \leq U_{2\_max}$$

$$L_v \cdot v_r \leq v \leq U_v \cdot v_r$$

$$L_s \cdot s_f \leq s \leq U_s \cdot s_f$$

其中, $U = [U_1, U_2]$ , $U_1$ 为自车带优化车辆的驱动力, $U_2$ 为自车的制动力,前两个约束

是自车驱动力和制动力的约束,  $U_{1\_min}$ 、 $U_{1\_max}$  分别为自车最小和最大驱动力,  $U_{2\_min}$ 、 $U_{2\_max}$  为自车最小和最大制动力,  $L_v$ 、 $U_v$  分别是优化过程中自车速度轨迹的上下阈值系数,  $L_s$ 、 $U_s$  分别是车辆在优化过程中位移的上下阈值系数,  $s_f$  是每一步优化计算中前车的位移。

2. 根据权利要求书1所述的具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法, 其特征在于: 自车能量分配模式和档位优化:

根据发动机和电机扭矩的不同, 结合车辆SOC和发动机转速的状况主要有四种分配模式, 分别是:

模式  $m_{d1}$ :  $(SOC > SOC_{high}) \parallel (N_e < N_{e\_low})$ ; 纯电动模式;

模式  $m_{d2}$ :

$(T_{e\_low} < T_d < T_{e\_high}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ ; 发动机工作模式;

模式  $m_{d3}$ :

$(T_d < T_{e\_low}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ ; 行车充电模式;

模式  $m_{d4}$ :

$(T_d > T_{e\_low}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ ; 发动机和电机共同工作模式;

其中,  $SOC$  是混合动力车辆的剩余电量,  $SOC_{high}$  是混合动力车辆剩余电量的上界,  $N_e$  是发动机转速,  $N_{e\_high}$ 、 $N_{e\_low}$  分别是发动机转速的上下界;  $T_d$  是混合动力车辆的需求扭矩,  $T_{e\_high}$ 、 $T_{e\_low}$  分别是发动机最佳工作区域的上下界;

选取自车的能量分配模式  $M_d$  及档位  $i_g$  为控制量  $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$ , 自车的电池的剩余电量  $SOC$  为状态量  $x(k)$ , 根据优化求解出的最优的速度轨迹, 自车的能量分配模式及档位优化的问题离散化后整理成如下所示:

$$\begin{aligned}
\min J = \|L(x(k), u(k), k)\| &= \sum_{k=1}^n [\lambda_1 \dot{m}_f(u(k)) + \lambda_2 \dot{SOC}(u(k), x(k))] \\
&= \sum_{k=1}^n [\lambda_1 T_d(u_1(k)) \cdot v \cdot u_2(k) + \lambda_2 \dot{SOC}(u(k), x(k))] \\
s.t. \\
N_{e\_min} &\leq N_e \leq N_{e\_max} \\
T_{e\_min} &\leq T_e \leq T_{e\_max} \\
SOC_{min} &\leq SOC \leq SOC_{max} \\
M_d &\in \{m_{d1}, m_{d2}, m_{d3}, m_{d4}\} \\
i_g &\in \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6\}
\end{aligned} \tag{5}$$

其中,优化目标 $L(x(k), u(k), k)$ 是自车单位时间内的燃油消耗,具体包含两部分,分别为发动机的燃油消耗 $\dot{m}_f$ 及电池的电量消耗 $\dot{SOC}$ ,其中发动机的燃油消耗与车辆优化速度相关;第一个约束考虑的是优化过程中自车发动机转速的约束, $N_e$ 是自车发动机的转速, $N_{e\_min}$ 、 $N_{e\_max}$ 分别是自车发动机转速的最小值和最大值;第二个是对优化过程中自车发动机输出扭矩的约束, $T_{e\_min}$ 、 $T_{e\_max}$ 分别是自车发动机输出扭矩的最小值和最大值;第三个约束是对优化过程中自车电池SOC的约束, $SOC_{min}$ 、 $SOC_{max}$ 分别是剩余电量的最小和最大值,最后是对能量分配模式 $M_d$ 和档位速比 $i_g$ 求取范围的约束。

## 具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于汽车驾驶技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着智能化程度的提高,巡航控制系统开始在各类车型上普及,车辆的自适应巡航控制主要侧重于行车安全,即前车加速,车辆就跟着加速,前车减速,车辆跟着减速,并没有在车辆的行车轨迹方面考虑经济性和舒适性的问题。此外,随着环境问题以及能源危机日益凸显,对于车辆燃油经济性的要求也逐渐提高。就目前情况而言,混合动力车辆的燃油经济性优化主要集中在混合动力车辆的能量分配模式(扭矩分配)和档位(速比)优化这两个方面,即混合动力车辆在借助全球定位系统(GPS)/地理信息系统(GIS)等外部设施的前提下首先采集前车的速度信息,并根据前车的速度信息利用优化算法优化混合动力车辆的分配模式(扭矩分配)和档位(速比)。整个优化过程的前提是前车速度的获取,但是在借助外部设备采集的前车速度可能存在波动,即前车存在急加速、急减速的情况。在保证安全的前提下,这种急加速/急减速对于混合动力车辆来讲是不必要的,会严重的影响混合动力车辆的燃油经济性。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是实时根据前车速度信息优化出巡航过程中混合动力车辆最优的速度轨迹,从而最大限度的提高混合动力车辆燃油经济性的具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法。

[0004] 本发明优化自车行驶速度轨迹的步骤是:

[0005] (1) 信息采集:通过信息采集模块采集前车的速度信息和自车当前速度信息、混合动力车辆电池的SOC;

[0006] (2) 车辆轨迹优化:以采集的前车速度信息 $V_p$ 和自车速度信息 $V$ 为基础,优化自车的行驶速度轨迹,将车轮驱动力 $F_d$ 和车轮制动力 $F_b$ 作为控制变量,记为 $U_1, U_2$ ,车速 $V$ 作为状态变量,记为 $X$ ,根据汽车纵向动力学可以得到车辆的动力学方程为:

$$[0007] \quad \dot{v} = \frac{1}{M} (F_d - F_R - F_b) \quad (1)$$

[0008] 其中, $M$ 为自车车重, $F_R$ 为自车车辆行驶过程的阻力,

$$[0009] \quad F_R = C_d S_d v^2 + Mgf \cos(\alpha) + Mg \sin(\alpha) \quad (2)$$

[0010] 其中, $C_d$ 为自车的迎风面积( $m^2$ ), $S_d$ 为自车的空气阻力系数, $f$ 为自车的滚动阻力系数, $g$ 为重力加速度( $m/s^2$ ), $\alpha$ 为道路坡度;

[0011] 自车巡航轨迹优化过程中的指标 $J$ 由两部分组成:

[0012]  $J(X(t), U(t), t) = \left\| \Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2 \right\| + \left\| \Gamma_2 \Delta U_1(t)^2 \right\| \quad (3)$

[0013] 其中,前半部分  $\left\| \Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2 \right\|$  是经济性的约束,表示车辆单位时间内的输出功率,后半部分  $\left\| \Gamma_2 \Delta U_1(t)^2 \right\|$  是舒适性的约束,表示优化的速度轨迹要变化平缓,  $\Gamma_i (i=1,2)$  为权重系数;

[0014] 基于前车速度信息的轨迹优化问题在预测时域内离散化后描述为:

$$\min J(X(k), U(k), k) = \sum_{k=1}^n (\Gamma_1(X(k) \cdot U_1(k))^2 + \Gamma_2 \Delta U_1(k)^2)$$

s.t.

[0015]  $U_{1\_min} \leq U_1 \leq U_{1\_max} \quad (4)$

$$U_{2\_min} \leq U_2 \leq U_{2\_max}$$

$$L_v \cdot v_r \leq v \leq U_v \cdot v_r$$

$$L_s \cdot s_f \leq s \leq U_s \cdot s_f$$

[0016] 其中,  $U = [U_1, U_2]$ ,  $U_1$  为自车带优化车辆的驱动力,  $U_2$  为自车的制动力,前两个约束是自车驱动力和制动力的约束,  $U_{1\_min}$ 、 $U_{1\_max}$  分别为自车最小和最大驱动力,  $U_{2\_min}$ 、 $U_{2\_max}$  为自车最小和最大制动力。

[0017] 本发明自车能量分配模式和档位优化:

[0018] 根据发动机和电机扭矩的不同,结合车辆SOC和发动机转速的状况主要有四种分配模式,分别是:

[0019] 模式  $m_{d1}$ :  $(SOC > SOC_{high}) \left\| (N_e < N_{e\_low}) \right\|$ ; 纯电动模式;

[0020] 模式  $m_{d2}$ :

[0021]  $(T_{e\_low} < T_d < T_{e\_high}) \left\| (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high}) \right\|$ : 发动机工作模式;

[0022] 模式  $m_{d3}$ :

[0023]  $(T_d < T_{e\_low}) \left\| (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high}) \right\|$ : 行车充电模式;

[0024] 模式  $m_{d4}$ :

[0025]  $(T_d > T_{e\_low}) \left\| (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high}) \right\|$ : 发动机和电机共同工作模式;

[0026] 其中,  $SOC$  是混合动力车辆的剩余电量,  $SOC_{high}$  是混合动力车辆剩余电量的上

界,  $N_e$  是发动机转速,  $N_{e\_high}$ ,  $N_{e\_low}$  分别是发动机转速的上下界;  $T_d$  是混合动力车辆的需求扭矩,  $T_{e\_high}$ ,  $T_{e\_low}$  分别是发动机最佳工作区域的上下界;

[0027] 选取自车的能量分配模式  $M_d$  及档位  $i_g$  为控制量  $u_1(k)$ ,  $u_2(k)$ , 自车的电池的剩余电量 SOC 为状态量  $x(k)$ , 根据优化求解出的最优的速度轨迹, 自车的能量分配模式及档位优化的问题离散化后整理成如下所示:

$$\begin{aligned} \min J = \|L(x(k), u(k), k)\| &= \sum_{k=1}^n [\lambda_1 \dot{m}_f(u(k)) + \lambda_2 SOC(u(k), x(k))] \\ &= \sum_{k=1}^n [\lambda_1 T_d(u_1(k)) \cdot v \cdot u_2(k) + \lambda_2 SOC(u(k), x(k))] \end{aligned}$$

s.t.

$$[0028] \quad N_{e\_min} \leq N_e \leq N_{e\_max} \quad (5)$$

$$T_{e\_min} \leq T_e \leq T_{e\_max}$$

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max}$$

$$M_d \in \{m_{d1}, m_{d2}, m_{d3}, m_{d4}\}$$

$$i_g \in \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6\}$$

[0029] 其中, 优化目标  $L(x(k), u(k), k)$  是自车单位时间内的燃油消耗, 具体包含两部分, 分别为发动机的燃油消耗  $\dot{m}_f$  及电池的电量消耗 SOC, 其中发动机的燃油消耗与车辆优化速度相关; 第一个约束考虑的是优化过程中自车发动机转速的约束,  $N_e$  是自车发动机的转速,  $N_{e\_min}$ ,  $N_{e\_max}$  分别是自车发动机转速的最小值和最大值; 第二个是对优化过程中自车发动机输出扭矩的约束,  $T_{e\_min}$ ,  $T_{e\_max}$  分别是自车发动机输出扭矩的最小值和最大值; 第三个约束是对优化过程中自车电池 SOC 的约束,  $SOC_{min}$ ,  $SOC_{max}$  分别是剩余电量的最小和最大值, 最后是对能量分配模式  $M_d$  和档位速比  $i_g$  求取范围的约束。

[0030] 本发明提出了一种具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配策略, 即混合动力车辆借助车载导航 GPS/GIS 系统, 采集前车和自车的速度信息; 根据采集的信息, 轨迹规划模块优化自车的行驶速度轨迹, 使得优化之后的自车速度轨迹满足经济性和舒适性的要求; 继而基于优化的速度轨迹实现对混合动力车辆的能量分配模式 (扭矩分配) 和档位 (速比) 的优化。这样就实现了巡航过程中综合提高混合动力车辆燃油经济性的目的。具有轨迹优化功能的能量优化方法, 实时的根据前车速度信息优化出巡航过程中混合动力车辆最优的速度轨迹, 并根据优化的速度轨迹进一步实现混合动力车辆的能量分配模式 (扭矩分配) 和档位 (速比) 的优化, 从而最大限度的提高混合动力车辆的燃油经济性。

[0031] 本发明的有益效果是:

[0032] 1、本发明为混合动力车辆提供了一种具有轨迹规划功能的能量分配策略的优化

方法,即混合动力车辆首先采集前车的速度信息,并根据采集的速度信息优化计算出自车最优的速度轨迹,减少了混合动力车辆巡航过程中不必要的速度波动,提高混合动力车辆的经济性和舒适性。

[0033] 2、本发明根据优化计算的自车行驶最优速度轨迹,结合混合动力车辆的SOC,能够优化计算出实现巡航下的最优能量分配模式和档位,从而进一步提高混合动力车辆的燃油经济性。

[0034] 3、本发明能够同时实现轨迹的优化以及能量分配模式及档位的优化,从整体上提高了混合动力车辆的燃油经济性。

## 附图说明

[0035] 图1为本发明的结构框图;

[0036] 图2为本发明的提出的策略流程图;

[0037] 图3为轨迹规划中采集的前车速度轨迹;

[0038] 图4为轨迹规划中的对自车速度的优化的约束上下界;

[0039] 图5为轨迹规划模块的轨迹优化结果;

[0040] 图6为轨迹规划模块的轨迹优化前后功率对比图;

[0041] 图7为能量分配模式及档位优化模块的优化过程;

[0042] 图8为能量分配模块优化后的发动机工作点;

[0043] 图9为能量分配模块优化后的电机工作点。

## 具体实施方式

[0044] 本发明采取如下技术方案:一种具有轨迹优化功能的混合动力车辆的能量分配方法,结构框图如图1所示,主要包括:信息采集,车辆轨迹优化,混合动力车辆能量分配模式和档位优化三个步骤。本发明的信号流程图如图2所示,车辆的信息采集模块首先检测前方是否存在车辆,如果前方没有车辆,则自车按照驾驶员设定的速度定速巡航,信息采集模块将自车速度传递给能量分配模式及档位优化模块,进行接下来的能量分配模式(扭矩分配)和档位(速比)优化;如果前方存在车辆,则自车的信息采集模块首先采集前方车辆和自车的速度信息,并将速度信息传递给轨迹规划模块;轨迹规划模块根据信息采集模块采集的信息优化出最优的速度轨迹,并将优化出来的速度轨迹给能量分配策略模块;能量分配策略模块结合优化出来的速度信息、自车的电池荷电状态(SOC),为车辆优化制定出最优的能量分配模式(扭矩分配)及变速箱的档位(速比),并将优化序列的信号给定车辆,从而完成了混合动力车辆在整个巡航过程中的能量优化。

[0045] 本发明优化自车行驶速度轨迹的步骤是:

[0046] (1) 信息采集:混合动力车辆的信息采集模块首先检测前方是否存在车辆,如果前方没有车辆,则自车按照驾驶员设定的速度完成定速巡航;如果前方存在车辆,则自车的信息采集模块首先采集前方车辆和自车的速度信息以及自车的电池SOC状况。由于车辆在行驶过程中不可避免的存在速度上的波动,因此混合动力车辆采集得到的前车的速度用于直接的能量分配是不利的,如图3所示。因此本发明的信息采集模块首先采集前车的速度信息和自车当前速度信息,用于后续混合动力车辆巡航速度轨迹的优化求解;采集混合动力车



辆电池的SOC,用于后续自车能量分配模式和档位的优化求解。

[0047] (2) 车辆轨迹优化:混合动力车辆以采集的前车速度信息  $v_x$  和自车速度信息  $v$  为基础,优化自车的行驶速度轨迹,首先考虑自车(待优化车辆),将车轮驱动力  $F_d$  和车轮制动力  $F_b$  作为控制变量,记为  $U_1, U_2$ ,车速  $v$  作为状态变量,记为  $X$ ,根据汽车纵向动力学可以得到车辆的动力学方程为:

$$[0048] \quad \dot{v} = \frac{1}{M} (F_d - F_R - F_b) \quad (1)$$

[0049] 其中,  $M$  为自车车重,  $F_R$  为自车车辆行驶过程的阻力,包括空气阻力、滚动阻力和坡度阻力,有如下关系:

$$[0050] \quad F_R = C_d S_d v^2 + Mgf \cos(\alpha) + Mg \sin(\alpha) \quad (2)$$

[0051] 其中,  $C_d$  为自车的迎风面积( $m^2$ ),  $S_d$  为自车的空气阻力系数,  $f$  为自车的滚动阻力系数,  $g$  为重力加速度( $m/s^2$ ),  $\alpha$  为道路坡度;

[0052] 自车巡航轨迹优化过程中的指标  $J$  由经济性和舒适性两部分组成:

$$[0053] \quad J(X(t), U(t), t) = \|\Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2\| + \|\Gamma_2 \Delta U_1(t)^2\| \quad (3)$$

[0054] 其中,  $U = [U_1, U_2]$ ,  $\Gamma_i (i=1, 2)$  为权重系数,前半部分  $\|\Gamma_1(X(t) \cdot U_1(t))^2\|$  是经济性的约束,表示车辆单位时间内的输出功率,后半部分  $\|\Gamma_2 \Delta U_1(t)^2\|$  是舒适性的约束,表示优化的速度轨迹要变化平缓。

[0055] 将采集得到的预测距离内的道路信息及终端位移作为约束,以车辆的动力学模型为基础,基于前车速度信息的轨迹优化问题在预测时域内离散化后描述为:

$$[0056] \quad \begin{aligned} \min J(X(k), U(k), k) &= \sum_{k=1}^B (\Gamma_1(X(k) \cdot U_1(k))^2 + \Gamma_2 \Delta U_1(k)^2) \\ s.t. & \\ U_{1\_min} &\leq U_1 \leq U_{1\_max} \\ U_{2\_min} &\leq U_2 \leq U_{2\_max} \\ L_v \cdot v_c &\leq v \leq U_v \cdot v_r \\ L_s \cdot s_f &\leq s \leq U_s \cdot s_f \end{aligned} \quad (4)$$

[0057] 其中,  $U = [U_1, U_2]$ ,  $U_1$  为自车带优化车辆的驱动力,  $U_2$  为自车的制动力,前两个约束是自车驱动力和制动力的约束,  $U_{1\_min}$ 、 $U_{1\_max}$  分别为自车最小和最大驱动力,  $U_{2\_min}$ 、 $U_{2\_max}$  为自车最小和最大制动力。

[0058] 第三个约束是对自车速度的约束,  $v_f$  是测量得到的前车的速度,  $L_v$ 、 $U_v$  分别是优化过程中自车速度轨迹的上下阈值系数, 优化过程中计算得到的自车速度约束如图4所示。通过采集的前车速度对自车优化速度添加约束是为了保证自车在巡航(跟车)过程中的速度变化平稳, 不会有较大波动, 在满足安全性的前提下实现巡航行驶要求; 最后一个约束是对轨迹优化过程中自车动力性的约束,  $L_s$ 、 $U_s$  分别是车辆在优化过程中位移的上下阈值系数,  $s_f$  是每一步优化计算中前车的位移。初始时刻采集的自车速度  $v_0$  和位移  $s_0$ , 作为优化过程中速度和位移的初值, 即  $v(0) = v_0$ ;  $s(0) = s_0$ 。

[0059] 至此, 根据前车的速度轨迹就可以优化求解出自车的轨迹, 如图5所示, 从图中可以看出, 优化之后的速度轨迹在满足安全性约束的情况(速度的上下界范围内)下, 速度比较平稳, 不存在急加速急减速的情况, 图6是优化前后的功率对比图, 表1是优化前后功率对比的结果, 结合图5~6可以看出, 优化之后的速度比优化之前的燃油经济性更好, 燃油经济性提高了4.23%。将自车(待优化车辆)优化的速度轨迹给定能量分配策略模块, 用于后续的混合动力车辆的能量分配模式及档位的优化。

[0060] 表1 速度优化前后功率

	优化前功率(w)	优化后功率(w)	优化结果
[0061]	$3.2259 \times 10^6$	$3.0895 \times 10^6$	4.23%

[0062] 本发明自车(待优化车辆)能量分配模式和档位优化:

[0063] 本发明中混合动力汽车的能量管理模式其实质就是根据车辆的状态, 分配发动机和电机的输出扭矩。根据发动机和电机扭矩的不同, 结合车辆SOC和发动机转速的状况主要有四种分配模式, 分别是:

[0064] 模式  $m_{d1}$ :  $(SOC > SOC_{high}) \parallel (N_e < N_{e\_low})$ ; 纯电动模式;

[0065] 模式  $m_{d2}$ :

[0066]  $(T_{e\_low} < T_d < T_{e\_high}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ : 发动机工作模式;

[0067] 模式  $m_{d3}$ :

[0068]  $(T_d < T_{e\_low}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ : 行车充电模式;

[0069] 模式  $m_{d4}$ :

[0070]  $(T_d > T_{e\_low}) \parallel (N_{e\_low} < N_e < N_{e\_high})$ : 发动机和电机共同工作模式;

[0071] 其中,  $SOC$  是混合动力车辆的剩余电量,  $SOC_{high}$  是混合动力车辆剩余电量的上界,  $N_e$  是发动机转速,  $N_{e\_high}$ ,  $N_{e\_low}$  分别是发动机转速的上下界;  $T_d$  是混合动力车辆

的需求扭矩,  $T_{e\_high}$ ,  $T_{e\_low}$  分别是发动机最佳工作区域的上、下界;在完成对自车的速度轨迹优化后,接下来对自车(待优化车辆)的能量分配模式和档位进行优化。

[0072] 选取自车的能量分配模式  $M_d$  及档位  $i_g$  为控制量  $u_1(k)$ ,  $u_2(k)$ , 自车的电池的剩余电量 SOC 为状态量  $x(k)$ , 根据上述第(2)步优化求解出的最优的速度轨迹, 自车的能量分配模式及档位优化的问题离散化后整理成如下所示:

$$\begin{aligned} \min J = \|L(x(k), u(k), k)\| &= \sum_{k=0}^N [\lambda_1 \dot{m}_f(u(k)) + \lambda_2 \dot{SOC}(u(k), x(k))] \\ &= \sum_{k=0}^N [\lambda_1 T_e(u_1(k)) \cdot v \cdot u_2(k) + \lambda_2 \dot{SOC}(u(k), x(k))] \end{aligned}$$

s.t.

$$[0073] \quad N_{e\_min} \leq N_e \leq N_{e\_max} \quad (5)$$

$$T_{e\_min} \leq T_e \leq T_{e\_max}$$

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max}$$

$$M_d \in \{m_{d1}, m_{d2}, m_{d3}, m_{d4}\}$$

$$i_g \in \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6\}$$

[0074] 其中, 优化目标  $L(x(k), u(k), k)$  是自车单位时间内的燃油消耗, 具体包含两部分, 分别为发动机的燃油消耗  $\dot{m}_f$  及电池的电量消耗  $\dot{SOC}$ , 其中发动机的燃油消耗与车辆优化速度相关; 第一个约束考虑的是优化过程中自车发动机转速的约束,  $N_e$  是自车发动机的转速,  $N_{e\_min}$ 、 $N_{e\_max}$  分别是自车发动机转速的最小值和最大值; 第二个是对优化过程中自车发动机输出扭矩的约束,  $T_{e\_min}$ 、 $T_{e\_max}$  分别是自车发动机输出扭矩的最小值和最大值; 第三个约束是对优化过程中自车电池 SOC 的约束,  $SOC_{min}$ 、 $SOC_{max}$  分别是剩余电量的最小和最大值, 最后是对能量分配模式  $M_d$  和档位速比  $i_g$  求取范围的约束。

[0075] 至此, 第三步的能量分配优化问题已描述清楚, 整个分配优化过程见图7, 基于规划的车速和电池剩余电量信息, 选择具体的优化求解算法, 可得到档位和模式的优化序列, 将优化的档位和模式序列第一个值给定车辆, 下一采样时刻重复上述步骤, 从而实现能量分配模式和档位的滚动优化, 图8-9给出了能量分配模块优化后的发动机和电机实际工作点, 可见均在高效运行区内。经过以上三个步骤的滚动优化可实现巡航过程中的能量优化。

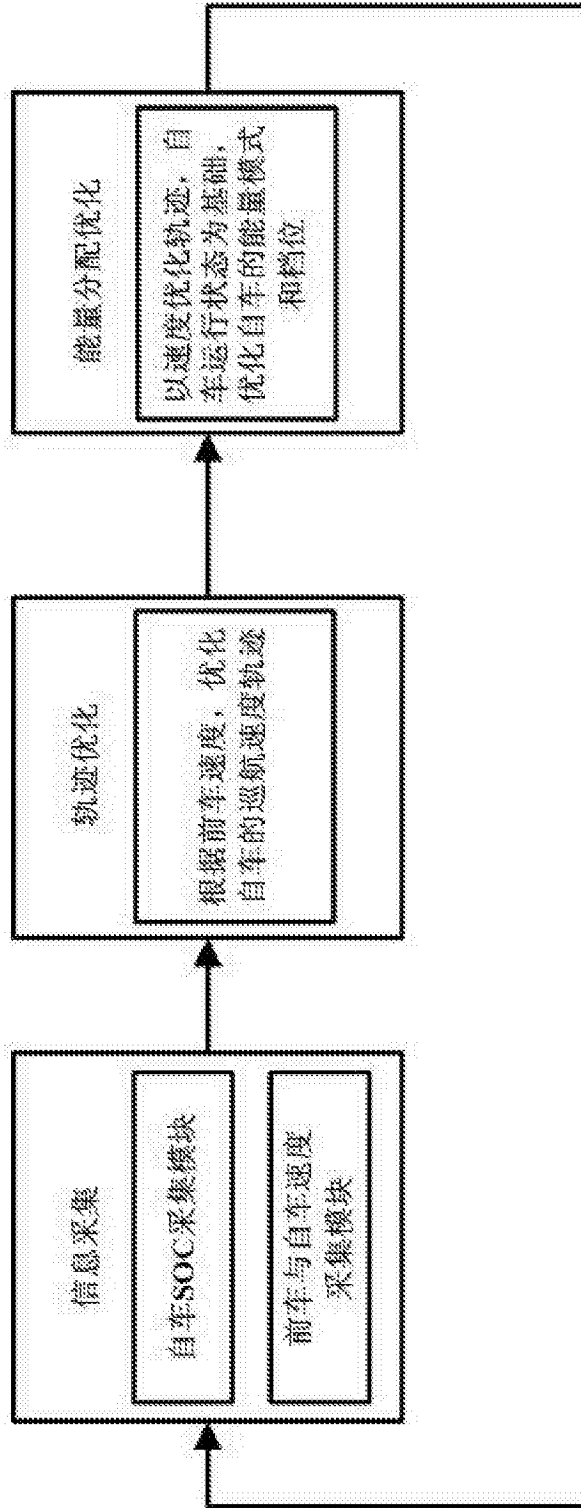


图1

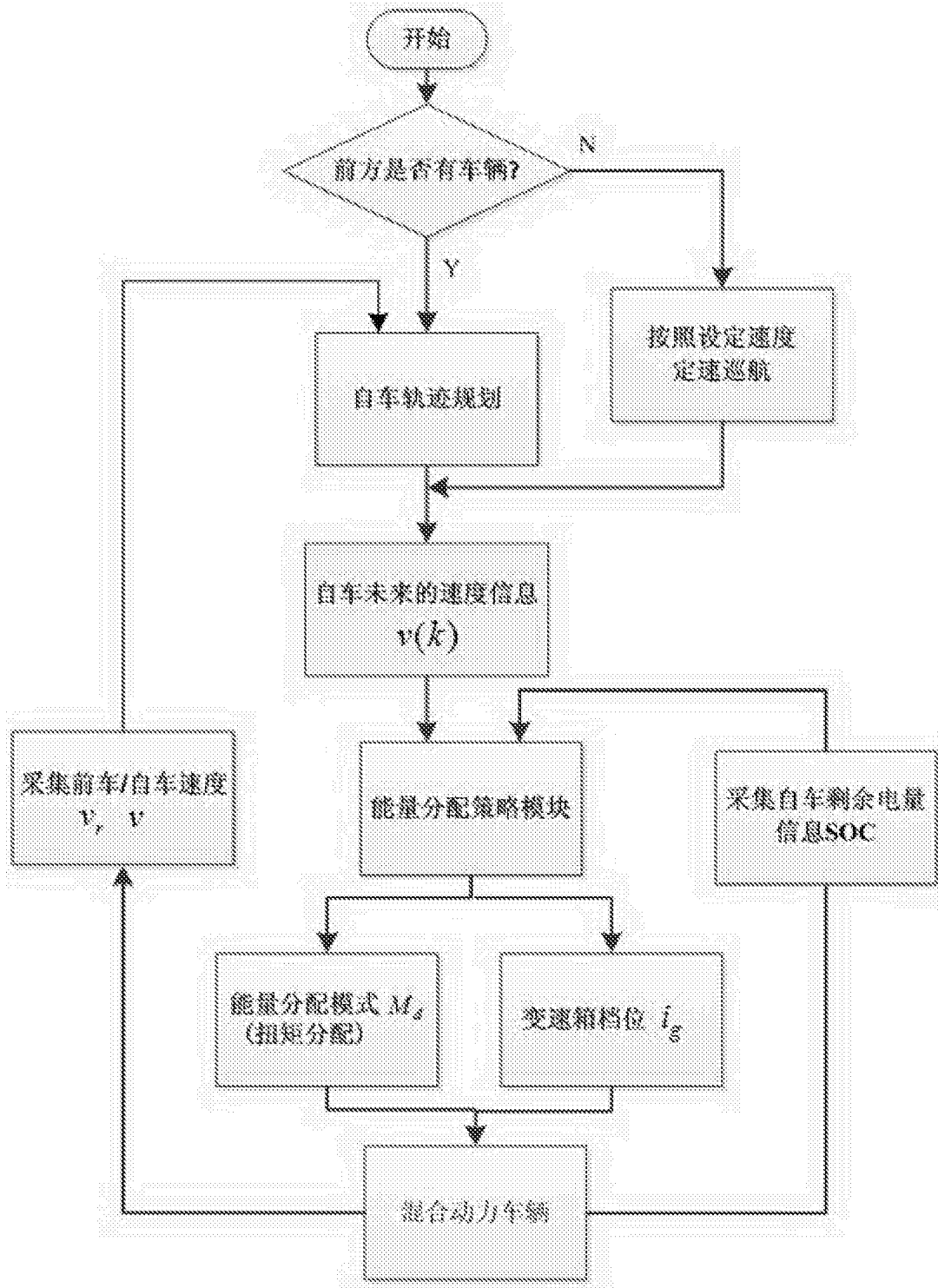


图2

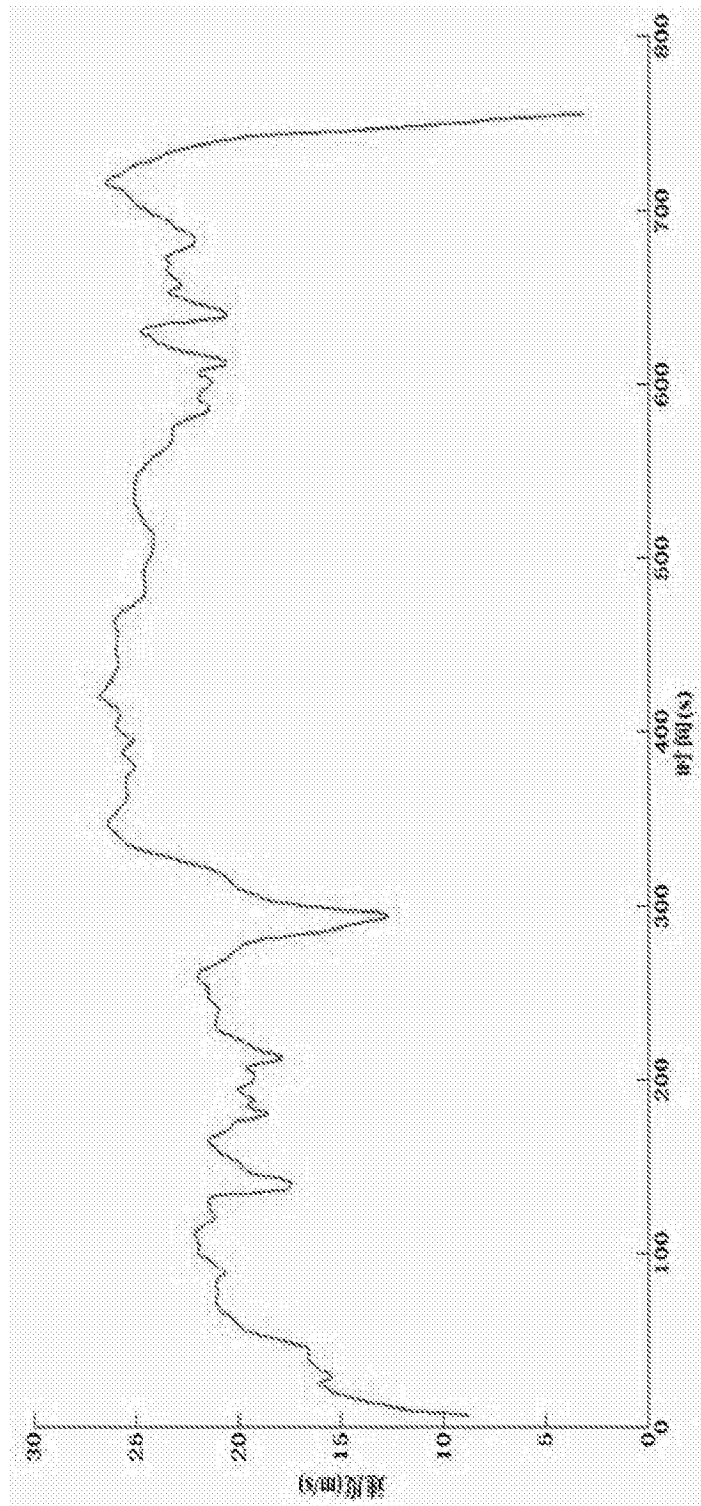


图3

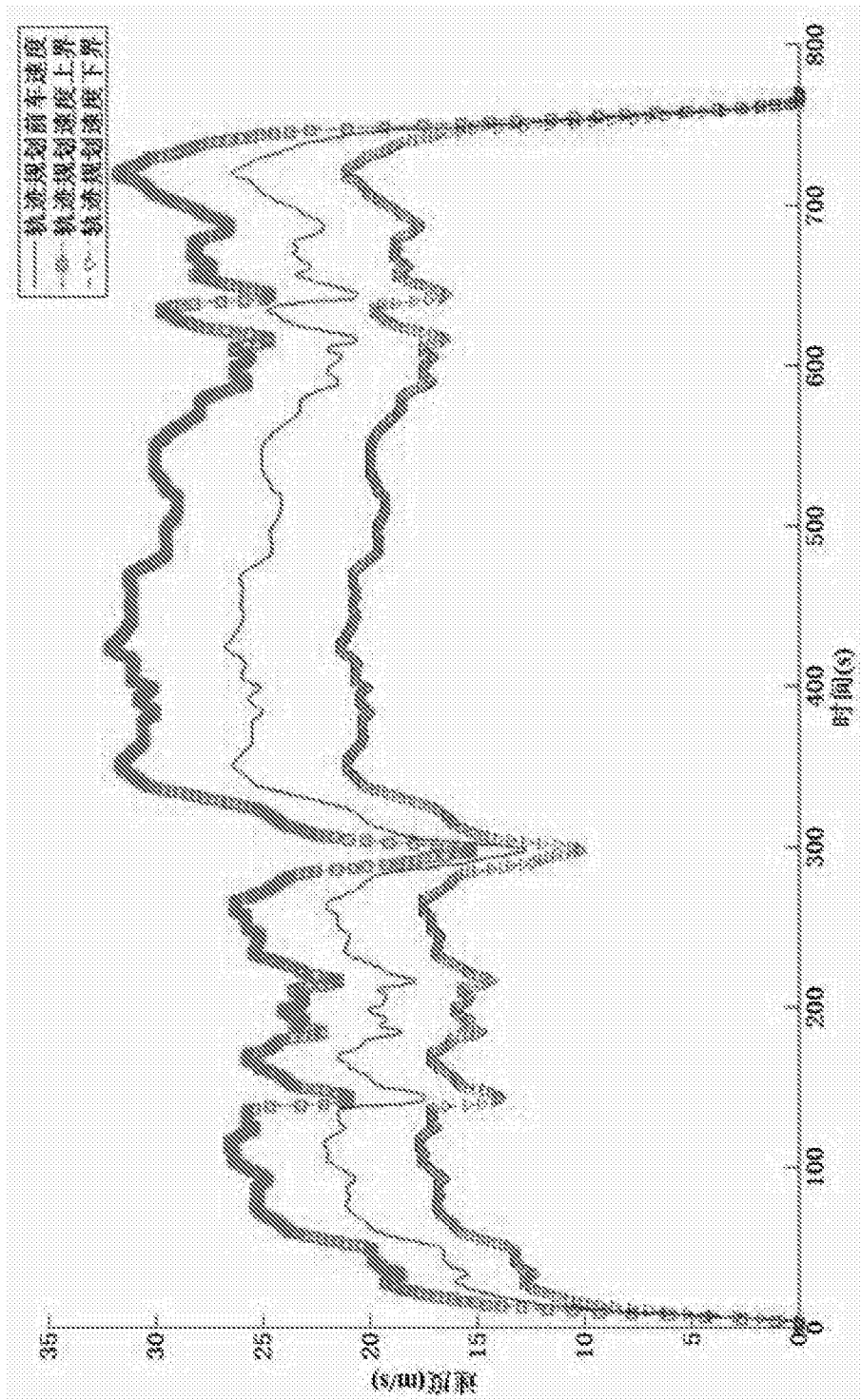


图4

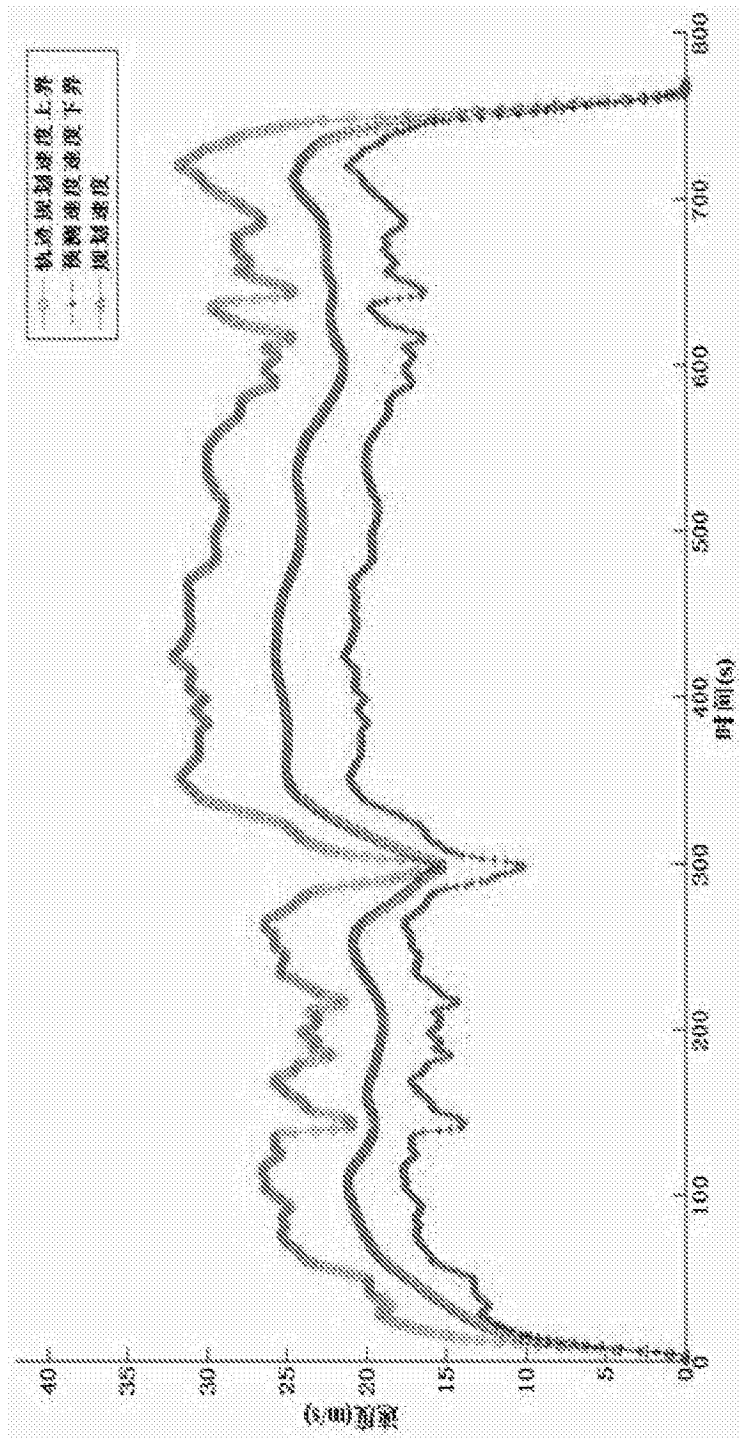


图5



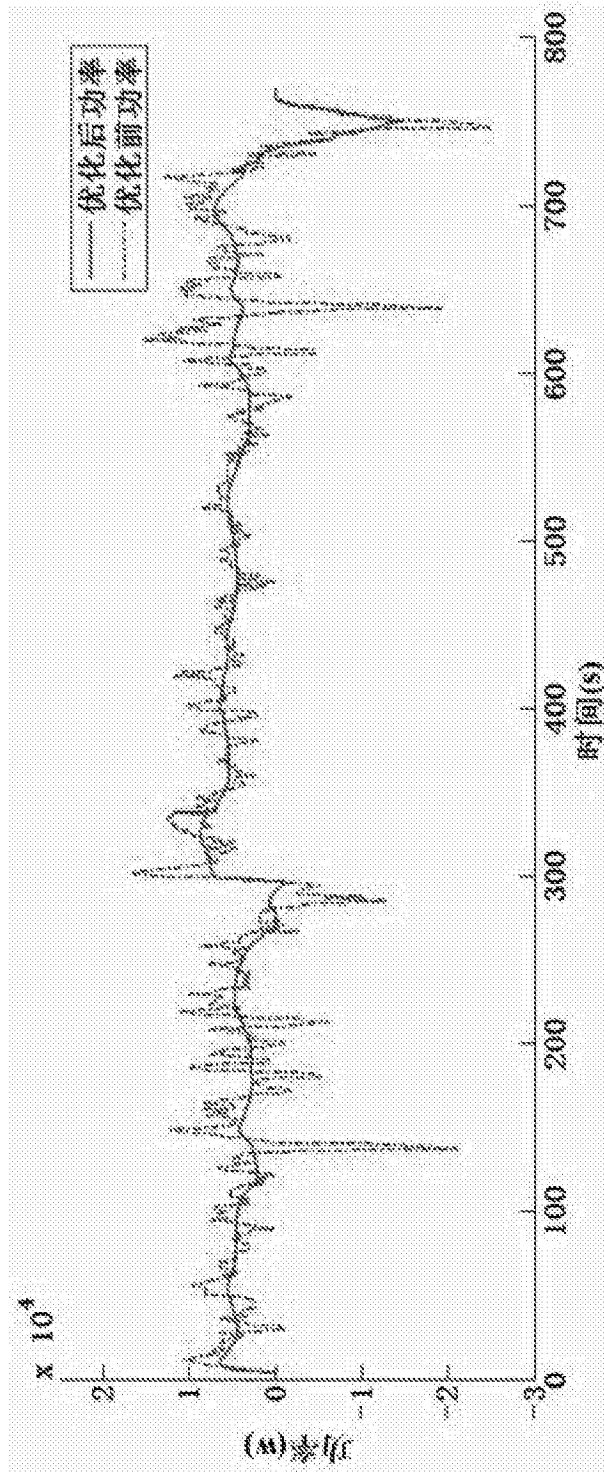


图6

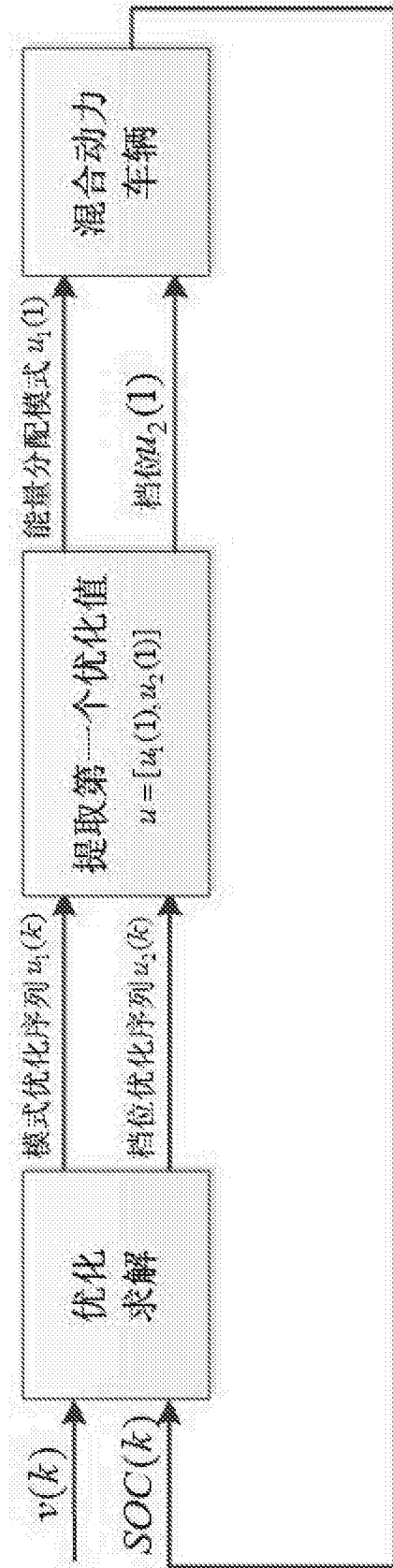


图7

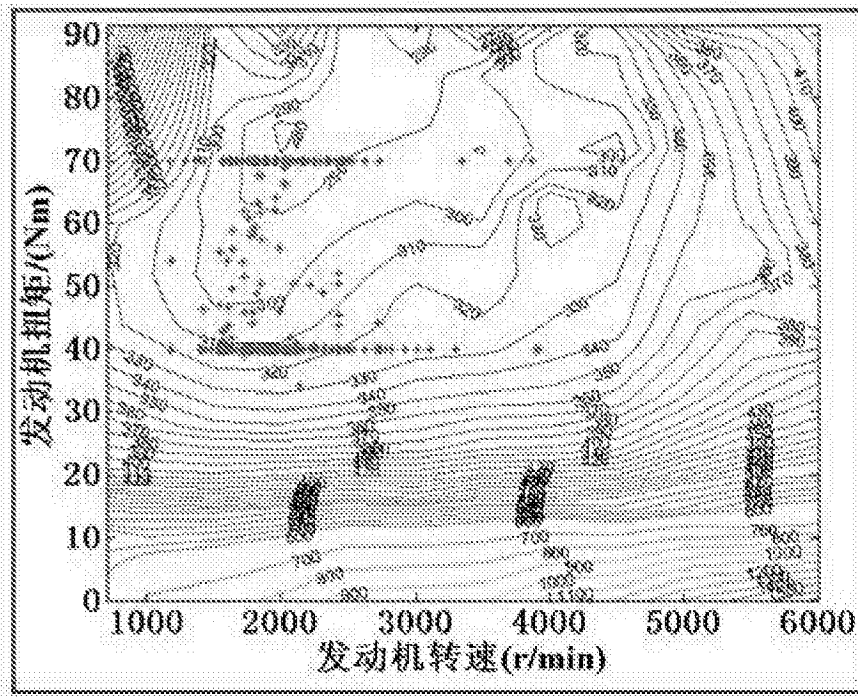


图8

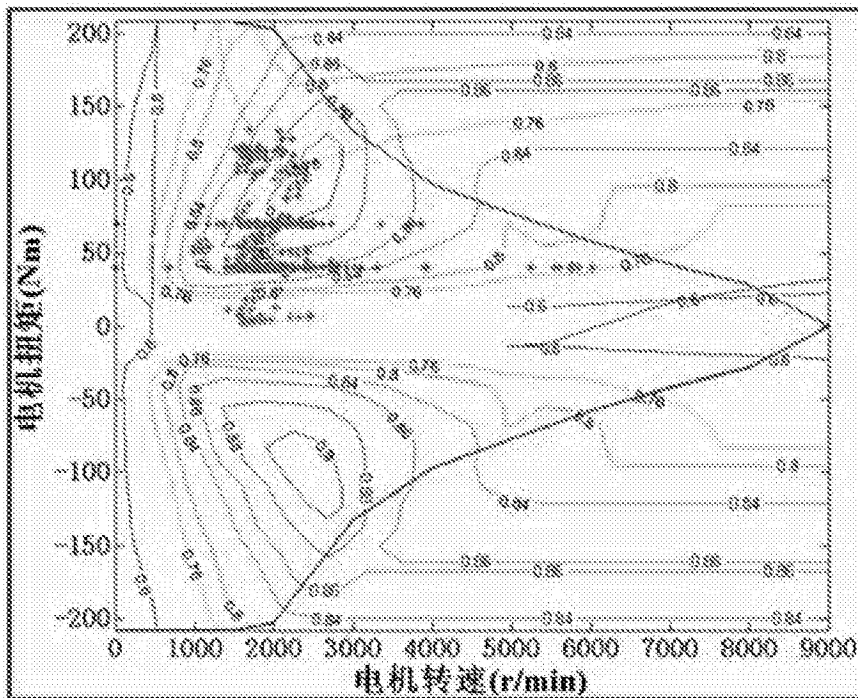


图9