



(21) 申请号 202411335580.X

(22) 申请日 2024.09.24

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119294070 A

(43) 申请公布日 2025.01.10

(73) 专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路  
381号专利权人 人工智能与数字经济广东省实验  
室(广州)(72) 发明人 欧士琪 景浩 林镇宏 欧阳健恒  
朱健宽(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限  
公司 44102

专利代理师 周春丽

(51) Int.Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G01R 31/367 (2019.01)

G06F 119/04 (2020.01)

G06F 119/06 (2020.01)

G06F 119/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

Hao Jing等.An Integrated Data-Driven  
and Physics-Based Approach for Dynamic  
Operation Simulation of Electric  
Vehicles.SAE.2025,全文.

审查员 母润发

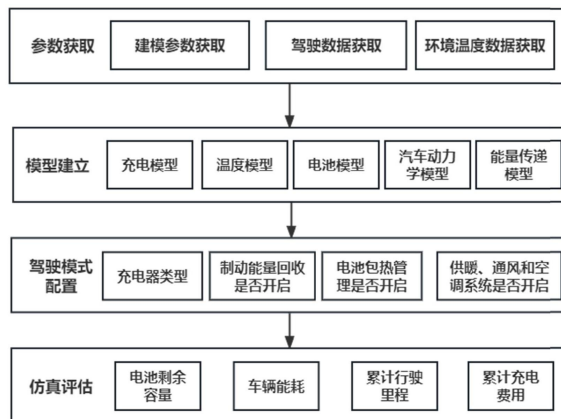
权利要求书3页 说明书10页 附图6页

(54) 发明名称

面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模  
拟方法及其平台

(57) 摘要

本发明公开面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法及其平台。所述方法包括：搭建电动汽车电动汽车动力系统物理仿真模型，模型包括：充电模型、温度模型、电池模型、汽车动力学模型以及能量传递模型；将采集的真实驾驶数据注入模型，可以在短时间内快速逆向仿真模拟出电动汽车长时间跨度下的真实驾驶过程中的能量传递、消耗以及电池衰退情况。由此，本发明能够实现让电动汽车消费者和制造商在短时间内模拟和评估汽车能量传递过程以及汽车使用因素对能耗和电池寿命的影响。



1. 一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法,其特征在于,包括以下步骤:  
搭建电动汽车动力系统物理仿真模型,所述电动汽车动力系统物理仿真模型包括:

汽车动力学模型,用于计算车辆行驶所受总力;

能量传递模型,包含电动汽车制动能量回收模块、行驶电流计算模块、行驶功率计算模型,电动汽车制动能量回收模块用于启闭制动能量回收,行驶电流计算模块用于计算电动汽车的行驶电流,行驶功率计算模型用于计算电动汽车的行驶功率;

温度模型,包含电动汽车供暖、通风和空调系统模型、电池热管理模型、驾驶室温度模型以及电池温度模型,电动汽车供暖、通风和空调系统模型用于计算供暖、通风和空调系统所消耗的功率,电池热管理模型用于计算电池加热或冷却需要的功率,驾驶室温度模型用于计算驾驶室温度,电池温度模型用于计算电池的温度;

电池模型,包含电池容量衰退模型以及电池实时SOC计算模型,电池容量衰退模型用于计算电池日历老化率和热老化速率,从而用来计算电池容量衰退,电池实时SOC计算模型用于计算电池实时SOC;

充电模型,包含充电判断模块、充电器选择模型、充电功率和充电电流模型,充电判断模块用于根据驾驶数据计算停留时间以判断当日行程是否有足够时间进行充电,充电器选择模型用于选择不同功率的汽车充电器,充电功率和充电电流模型用于根据充电功率和充电效率计算充电电流;

基于驾驶数据,通过电动汽车动力系统物理仿真模型模拟电动汽车动力系统的能量传递,获取模拟结果,所述模拟结果包括驾驶舱温度、电池包温度、SOC的变化以及电池容量衰退情况。

2. 根据权利要求1所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法,其特征在于,汽车动力学模型中,计算车辆行驶所受总力的公式为

$$F_{pt} = F_d + F_r + F_g + F_a$$

$$P_{pt} = \frac{dW_{pt}}{dt} = F_{pt}v_c(t)$$

其中,  $F_{pt}$  为驱动电动汽车移动所需的总力,  $F_d$  为空气阻力,  $F_r$  为滚动阻力,  $F_g$  为坡度阻力,  $F_a$  为加速阻力,  $W_{pt}$ ,  $P_{pt}$  分为驱动电动汽车所需能量和总功率,  $v_c(t)$  为电动汽车行驶车速,  $d$  为拖拽,  $t$  为时刻。

3. 根据权利要求1所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法,其特征在于,能量传递模型中,电动汽车制动能量回收模块用于当车速高于预设值进行减速时开启制动能量回收,并以恒定的制动能量回收效率  $f_{rbs}$  将动力总成能量回收至电池系统中;

计算电动汽车运行时的总功率的公式为

$$P_{bat} = P_{pt} + P_{hvac} + P_{btms} + P_{rbs}$$

其中,  $P_{pt}$  为驱动电动汽车所需总功率,  $P_{hvac}$  为电动汽车供暖、通风和空调系统的消耗功率,  $P_{btms}$  为电池加热系统所消耗功率,  $P_{rbs}$  为制动能量回收功率;

计算行驶电流的公式为

$$P_{bat} = (OCV + I_c \cdot R_{bat}) \cdot I_c$$

其中,  $OCV$  为开路电压,  $R_{bat}$  为内阻,  $I_c$  为电池包输入/输出电流。

4. 根据权利要求1所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法, 其特征在于, 温度模型中, 电动汽车运行时, 电池的温度为:

$$C_{bat} \frac{dT_{bat}}{dt} = K_{ab}(T_a - T_{bat}) + K_{bc}(T_c - T_{bat}) + \frac{dQ_{btms}}{dt} + \frac{dQ_{bat}}{dt}$$

$$P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = -K_{btms} \cdot \min(T_{bat} - T_{b, up}, 10), \text{ where } T_{bat} \geq T_{b, up}$$

$$P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = K_{btms} \cdot \min(T_{b, low} - T_{bat}, 10), \text{ where } T_{bat} \leq T_{b, low}$$

其中  $C_{bat}$  为电池热容,  $T_{bat}$  为电池温度,  $T_a$  为环境温度,  $T_c$  为驾驶室温度,  $K_{ab}$ 、 $K_{bc}$ 、 $K_{btms}$  为热传递系数,  $Q_{btms}$  为电池包热管理系统的散热/加热能量,  $Q_{bat}$  为电池包的发热能量,  $T_{b, up}$ 、 $T_{b, low}$  为电池管理最高、低温度,  $\min(T_{bat} - T_{b, up}, 10)$  是指  $T_{bat} - T_{b, up}$  或者 10 中最小的值,  $\min(T_{b, low} - T_{bat}, 10)$  是指  $T_{b, low} - T_{bat}$  或者 10 中最小的值;

$$C_c \frac{dT_c}{dt} = K_{ac}(T_a - T_c) + K_{bc}(T_{bat} - T_c) + \frac{dQ_{hvac}}{dt}$$

$$\begin{cases} P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{cooling}}, & HVAC \text{ cooling, } Q_{hvac} < 0 \\ P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{heating}}, & HVAC \text{ heating, } Q_{hvac} \geq 0 \end{cases}$$

其中  $C_c$  为驾驶舱比热容,  $K_{ac}$  为热传递系数,  $Q_{hvac}$  为电动汽车供暖、通风和空调系统消耗能量,  $COP_{cooling}$ 、 $COP_{heating}$  为散热、加热电能系数。

5. 根据权利要求1所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法, 其特征在于, 电池模型中, 电动汽车实时SOC为:

$$SOC = SOC_0 - \frac{\int I_c dt}{C_{bat,r}}$$

其中,  $SOC_0$  为电池包初始SOC值,  $C_{bat,r}$  为电池包剩余额定容量;

电池包剩余容量即电池包容量寿命计算公式为:

$$C_{bat,r} = C_{baa,ini} \tau_a \tau_c$$

$$\tau_a = 1 - \sigma_{fcn} Q_{acc}^{\bar{z}}$$

$$\sigma_{fcn} = (\alpha \cdot SOC - \beta) \cdot \exp\left(\frac{-E_a + \eta \cdot I_c}{R_g \cdot (273.15 + T_b)}\right)$$

其中,  $C_{baa,ini}$  是电池包初始容量,  $\tau_a$  为电池包热老化率,  $\tau_c$  为电池包的日历老化率,  $\sigma_{fcn}$

电池老化降级的严重因子,  $\alpha, \beta, \eta, \bar{z}$  为电池老化系数,  $E_a$  为活化能,  $R_g$  是通用气体常数,  $Q_{acc}$  为累计安时量。

6. 根据权利要求1-5任一所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法, 其特征在于, 充电器选择模型中, 所述充电器的类型包括: 一级充电、二级充电、DC快充以及超快充。

7. 一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台, 其特征在于, 所述模拟平台通过采集或模拟真实每日驾驶数据并采用权利要求1-6任一所述的方法进行逆向模拟仿真, 真实每日驾驶数据包括: 数据采集时间以及其所对应的车速、道路坡度、环境温度以及车辆运行/停止状态, 平台可根据以上驾驶数据进行循环长时间跨度仿真。

8. 根据权利要求7所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台, 其特征在于: 通过平台自定义车辆性能和外形参数、电池参数以及充电器参数, 以进行不同尺寸、不同车型的仿真模拟。

9. 根据权利要求7所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台, 其特征在于, 可以选择驾驶模式配置, 具体包括: 电池热管理系统开/关、供暖、通风和空调系统开/关以及制动能量回收系统开/关。

10. 根据权利要求7-9任一所述的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台, 其特征在于: 可自定义平台仿真年限, 在较短的时间内, 模拟仿真出长时间跨度甚至全生命周期内的电动汽车动力电池衰退情况。

## 面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法及其平台

### 技术领域

[0001] 本发明涉及新能源电动汽车动力系统建模及性能评估技术领域,特别是涉及一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法及其模拟平台。

### 背景技术

[0002] 现有的电动汽车车载动力电池容量衰退评估方法大多是基于加速锂电池衰退实验,其中包含充、放电循环测试、电化学建模以及数据驱动等方法。然而,很少有方法量化日常生活中驾驶员实际操作因素对电池衰退的影响,无法确切指导电动汽车使用者通过优化电动汽车使用方法从而延长动力电池寿命。

[0003] 目前的汽车仿真方法众多,但是缺少专门针对电动汽车动力系统的仿真方法,特别是缺少能够在短时间内模拟仿真预测出长时间跨度下的不同电动汽车能量传递及电池衰退情况的方法。

### 发明内容

[0004] 为了至少解决现有技术存在的不足之一,本发明提供一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法及其模拟平台,可以在短时间内量化驾驶者操作因素在长时间跨度下对电动汽车能量消耗以及电池衰退的影响,具体是通过建立电动汽车动力系统物理模型,模拟车辆行驶过程中电能、热能以及机械能的传递,从而实时计算出电流,电池温度信息,从而计算电池日历老化率和热老化速率,从而计算出电池容量衰退等情况。

[0005] 为了实现本发明目的,本发明提供的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法,包括以下步骤:

[0006] 搭建电动汽车动力系统物理仿真模型,用于反应电动汽车能量流动和转换的过程,所述电动汽车动力系统物理仿真模型包括:

[0007] 汽车动力学模型,用于计算车辆行驶所受总力;

[0008] 能量传递模型,包含电动汽车制动能量回收模块、行驶电流计算模块、行驶功率计算模型,电动汽车制动能量回收模块用于启闭制动能量回收,行驶电流计算模块用于计算电动汽车的行驶电流,行驶功率计算模型用于计算电动汽车的行驶功率;

[0009] 温度模型,包含电动汽车供暖、通风和空调系统模型、电池热管理模型、驾驶室温度模型以及电池温度模型,电动汽车供暖、通风和空调系统模型用于计算供暖、通风和空调系统所消耗的功率,电池热管理模型用于计算电池加热或冷却需要的功率,驾驶室温度模型用于计算驾驶室温度,电池温度模型用于计算电池的温度;

[0010] 电池模型,包含电池容量衰退模型以及电池实时SOC计算模型,电池容量衰退模型用于计算电池日历老化率和热老化速率,从而用来计算电池容量衰退,电池实时SOC计算模型用于计算电池实时SOC;

[0011] 充电模型,包含充电判断模块、充电器选择模型、充电功率和充电电流模型,充电判断模块用于根据驾驶数据计算停留时间以判断当日行程是否有足够时间进行充电,充电

器选择模型用于选择不同功率的汽车充电器,充电功率和充电电流模型用于根据充电功率和充电效率计算充电电流;

[0012] 基于驾驶数据,通过电动汽车动力系统物理仿真模型模拟电动汽车动力系统的能量传递,获取模拟结果,所述模拟结果包括但不限于驾驶舱温度、电池包温度、SOC的变化以及电池容量衰退情况。

[0013] 进一步地,汽车动力学模型中,计算车辆行驶所受总力的公式为

$$[0014] \quad F_{pt} = F_d + F_r + F_g + F_a$$

$$[0015] \quad P_{pt} = \frac{dW_{pt}}{dt} = F_{pt}v_c(t)$$

[0016] 其中, $F_{pt}$ 为驱动电动汽车移动所需的总力, $F_d$ 为空气阻力, $F_r$ 为滚动阻力, $F_g$ 为坡度阻力, $F_a$ 为加速阻力, $W_{pt}$ , $P_{pt}$ 分为驱动电动汽车所需能量和总功率, $v_c(t)$ 为电动汽车行驶车速, $d$ 为拖拽, $t$ 为时刻。

[0017] 进一步地,能量传递模型中,电动汽车制动能量回收模块用于当车速高于预设值进行减速时开启制动能量回收,并以恒定的制动能量回收效率 $f_{rbs}$ 将动力总成能量回收至电池系统中;

[0018] 计算电动汽车运行时的总功率的公式为

$$[0019] \quad P_{bat} = P_{pt} + P_{hvac} + P_{btms} + P_{rbs}$$

[0020] 其中, $P_{hvac}$ 为电动汽车供暖、通风和空调系统的消耗功率, $P_{btms}$ 为电池加热系统所消耗功率, $P_{rbs}$ 为制动能量回收功率;

[0021] 计算行驶电流的公式为

$$[0022] \quad P_{bat} = (OCV + I_c \cdot R_{bat}) \cdot I_c$$

[0023] 其中,OCV为开路电压, $R_{bat}$ 为内阻, $I_c$ 为电池包输入/输出电流。

[0024] 进一步地,温度模型中,电动汽车运行时,电池的温度为:

$$C_{bat} \frac{dT_{bat}}{dt} = K_{ab}(T_a - T_{bat}) + K_{bc}(T_c - T_{bat}) + \frac{dQ_{btms}}{dt} + \frac{dQ_{bat}}{dt}$$

$$[0025] \quad P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = -K_{btms} \cdot \min(T_{bat} - T_{b, up}, 10), \quad \text{where } T_{bat} \geq T_{b, up}$$

$$P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = K_{btms} \cdot \min(T_{b, low} - T_{bat}, 10), \quad \text{where } T_{bat} \leq T_{b, low}$$

[0026] 其中 $C_{bat}$ 为电池热容, $T_{bat}$ 为电池温度, $T_a$ 为环境温度, $T_c$ 为驾驶室温度, $K_{ab}$ 、 $K_{bc}$ 、 $K_{btms}$ 为热传递系数, $Q_{btms}$ 为电池包热管理系统的散热/加热能量, $Q_{bat}$ 为电池包的发热能量, $T_{b, up}$ 、 $T_{b, low}$ 为电池管理最高、低温度, $\min(T_{bat} - T_{b, up}, 10)$ 是指 $T_{bat} - T_{b, up}$ 或者10中最小的值, $\min(T_{b, low} - T_{bat}, 10)$ 是指 $T_{b, low} - T_{bat}$ 或者10中最小的值;

$$C_c \frac{dT_c}{dt} = K_{ac}(T_a - T_c) + K_{bc}(T_{bat} - T_c) + \frac{dQ_{hvac}}{dt}$$

$$[0027] \quad \begin{cases} P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{cooling}}, & HVAC \text{ cooling}, \quad Q_{hvac} < 0 \\ P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{heating}}, & HVAC \text{ heating}, \quad Q_{hvac} \geq 0 \end{cases}$$

[0028] 其中 $C_c$ 为驾驶舱比热容, $K_{ac}$ 为热传递系数, $Q_{hvac}$ 为电动汽车供暖、通风和空调系统消耗能量, $COP_{cooling}$ 、 $COP_{heating}$ 为散热、加热电能系数。

[0029] 进一步地,电池模型中,电动汽车实时SOC为:

$$[0030] \quad SOC = SOC_0 - \frac{\int I_c dt}{C_{bat,r}}$$

[0031] 其中, $SOC_0$ 为电池包初始SOC值, $C_{bat,r}$ 为电池包剩余额定容量;

[0032] 电池包剩余容量即电池包容量寿命计算公式为:

$$[0033] \quad C_{bat,r} = C_{baa,ini} \tau_a \tau_c$$

$$\tau_a = 1 - \sigma_{fcn} Q_{acc}^{\bar{z}}$$

$$[0034] \quad \sigma_{fcn} = (\alpha \cdot SOC - \beta) \cdot \exp\left(\frac{-E_a + \eta \cdot I_c}{R_g \cdot (273.15 + T_b)}\right)$$

[0035] 其中, $C_{baa,ini}$ 是电池包初始容量, $\tau_a$ 为电池包热老化率, $\tau_c$ 为电池包的日历老化率, $\sigma_{fcn}$ 为电池老化降级的严重因子, $\alpha, \beta, \eta, \bar{z}$ 为电池老化系数, $E_a$ 为活化能, $R_g$ 是通用气体常数, $Q_{acc}$ 为累计安时量。

[0036] 进一步地,充电器选择模型中,所述充电器的类型包括:一级充电、二级充电、DC快充以及超快充。

[0037] 本发明提供的一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台,所述模拟平台通过采集或模拟真实每日驾驶数据并采用前述方法进行逆向模拟仿真,真实每日驾驶数据包括但不限于:数据采集时间以及其所对应的车速、道路坡度、环境温度以及车辆运行/停止状态,平台可根据以上驾驶数据进行循环长时间跨度仿真。

[0038] 获取建模和仿真所需参数和信息;依据建模参数,搭建电动汽车电动汽车动力系统物理仿真模型。在模拟时,进行充电及驾驶模式配置,主要是充电器类型的选择以及部分功能的开关;然后将采集的真实驾驶数据注入模型,可以在短时间内快速逆向仿真模拟出电动汽车长时间跨度下的真实驾驶过程中的能量传递、消耗以及电池衰退情况。

[0039] 进一步地,通过平台自定义车辆性能和外形参数、电池参数以及充电器参数,以进行不同尺寸、不同车型的仿真模拟。

[0040] 进一步地,可以选择驾驶模式配置,具体包括:电池热管理系统开/关、供暖、通风和空调系统开/关以及制动能量回收系统开/关。

[0041] 进一步地,可自定义平台仿真年限,在较短的时间内,模拟仿真出长时间跨度甚至全生命周期内的电动汽车动力电池衰退情况。

[0042] 进一步地,平台所需参数获取:根据用户所仿真车型,获取车型具体车型外形参数和性能参数,用户可以将以上参数输入平台;同时,用户可通过实车采集驾驶数据,或者通过典型工况生成驾驶工况数据(实车采集的驾驶数据与驾驶工况数据格式相同,前者可以理解为通过平台采集到的每天真实运行的车辆速度等数据,后者可以理解为通过典型驾驶工况NEDC, WLTC等人工生成的模拟行驶车速等数据,两者只是获得渠道不一样,内容不一样,用途和格式一致),平台所需驾驶数据包括:数据采集时间、车速、道路坡度、环境温度与车辆运行/停止状态;将所获取驾驶数据整理为Excel驾驶文档,驾驶文档Excel示例如图2

所示,将驾驶文档数据存储在算法文件统一DayTrips文件目录下,平台运行时将自动调取驾驶数据。

[0043] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0044] 1.本发明提出了一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法及其模拟平台,相较于现有电动汽车仿真平台,本发明设计的仿真平台能够量化不同驾驶者使用因素对电池容量、行驶能耗的影响(本发明可以通过控制变量,比如第一次仿真时充电器一直选择Level\_1,第二次仿真时充电器一直选择Level\_2,通过对比最后的结果差,就可以量化不同使用因素的影响),以此来指导电动汽车用户进行电动汽车的优化使用。

[0045] 2.本发明提出的电动汽车仿真平台,通过导入真实驾驶数据以及用户自定义仿真年限,平台能够在短时间内量化长时间跨度下甚至全生命周期下不同使用因素对电动汽车能量传递和电池衰退的影响。(如用一年的驾驶数据重复运行,比如10年或者更长,计算机可以快速完成计算,即可量化长时间跨度下的影响)

[0046] 3.本发明通过融合充电模型(通过汽车动力学模型和能量传递模型计算电池容量寿命模型所需的累计安时量等数据,通过温度模型计算电池容量寿命模型所需的温度,即通过动力系统各子模型计算电池容量寿命模型的输入,从而计算出电池容量/寿命,量化衰退),可以量化不同充电器对电池容量衰退的影响;

[0047] 4.本发明可以通过用户自定义电动汽车制动能量回收模块是否开启,温度模型中的电池热管理模型是否开启,电动汽车供暖、通风和空调系统模型是否开启(开启:根据以上公式计算散热量加热量,从而调节温度,关闭:散热量和加热量均为0),可以实现量化以上系统对电动汽车能耗及电池衰退的影响。

## 附图说明

[0048] 图1所示为本发明实施例中动力系统动态运行逆向模拟方法及其软件平台框架图。

[0049] 图2所示为本发明实施例中驾驶文档示例图。

[0050] 图3所示为本发明实施例中动力系统动态运行逆向模拟方法及其软件平台具体实施步骤流程图。

[0051] 图4所示为十年内一级充电和直流快充对电池容量的影响对比图。

[0052] 图5所示为一年内制动能量回收/电池包热管理系统/供暖、通风和空调系统对电池容量的影响对比图。

[0053] 图6为平台设定的充电器类型及其参数示意图。

[0054] 图7为平台默认设定的车辆外形和性能参数示意图。

## 具体实施方式

[0055] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合说明书附图对本发明的具体实施方式做详细地说明,显然所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明的保护的范围。

[0056] 本发明提供一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟方法,包括以下步



骤:

[0057] 搭建电动汽车动力系统物理仿真模型,所述电动汽车动力系统物理仿真模型包括:

[0058] 汽车动力学模型,用于计算车辆行驶所受总力;

[0059] 能量传递模型,包含电动汽车制动能量回收模块、行驶电流计算模块、行驶功率计算模型,电动汽车制动能量回收模块用于启闭制动能量回收,行驶电流计算模块用于计算电动汽车的行驶电流,行驶功率计算模型用于计算电动汽车的行驶功率;

[0060] 温度模型,包含电动汽车供暖、通风和空调系统模型、电池热管理模型、驾驶室温度模型以及电池温度模型,电动汽车供暖、通风和空调系统模型用于计算供暖、通风和空调系统所消耗的功率,电池热管理模型用于计算电池加热或冷却需要的功率,驾驶室温度模型用于计算驾驶室温度,电池温度模型用于计算电池的温度;

[0061] 电池模型,包含电池容量衰退模型以及电池实时SOC计算模型,电池容量衰退模型用于计算电池日历老化率和热老化速率,从而用来计算电池容量衰退,电池实时SOC计算模型用于计算电池实时SOC;

[0062] 充电模型,包含充电判断模块、充电器选择模型、充电功率和充电电流模型,充电判断模块用于根据驾驶数据计算停留时间以判断当日行程是否有足够时间进行充电,充电器选择模型用于选择不同功率的汽车充电器,充电功率和充电电流模型用于根据充电功率和充电效率计算充电电流;

[0063] 基于驾驶数据,通过电动汽车动力系统物理仿真模型模拟电动汽车动力系统的能量传递,获取模拟结果,所述模拟结果包括但不限于驾驶舱温度、电池包温度、SOC的变化以及电池容量衰退情况。

[0064] 其中,汽车动力学模型用于在考虑了车辆行驶过程中所受的滚动阻力、爬坡阻力、加速阻力和空气阻力的基础上,计算汽车运行时所需总力,其具体计算公式为:

$$[0065] \quad F_{pt} = F_d + F_r + F_g + F_a$$

$$[0066] \quad P_{pt} = \frac{dW_{pt}}{dt} = F_{pt}v_c(t)$$

[0067] 其中 $F_{pt}$ 为驱动电动汽车移动所需的总力, $F_d$ 为空气阻力, $F_r$ 为滚动阻力, $F_g$ 为坡度阻力, $F_a$ 为加速阻力, $W_{pt}$ , $P_{pt}$ 分为驱动电动汽车所需能量和总功率, $v_c(t)$ 为电动汽车行驶车速, $d$ 为air drag force中的drag, $d$ 为拖拽, $t$ 为时刻。

[0068] 能量传递模型中,对于制动能量回收策略,设定当车速高于5km/h并进行减速时,开启制动能量回收,并以恒定的制动能量回收效率 $f_{rbs}$ 将动力总成能量回收至电池系统中,制动能量回收功率 $P_{rbs}$ 为:

$$[0069] \quad P_{rbs} = P_{pt} \cdot f_{rbs}$$

[0070] 电动汽车运行时的总功率为:

$$[0071] \quad P_{bat} = P_{pt} + P_{hvac} + P_{btms} + P_{rbs}$$

[0072] 其中 $P_{hvac}$ 为电动汽车供暖、通风和空调系统的消耗功率, $P_{btms}$ 为电池加热系统所消耗功率。

[0073] 电动汽车行驶时的电流和功率的关系为:

$$[0074] \quad P_{bat} = (OCV + I_c \cdot R_{bat}) \cdot I_c$$

[0075] 其中OCV为开路电压, $R_{bat}$ 为内阻, $I_c$ 为电池包输入/输出电流。

[0076] 温度模型主要是模拟电动汽车驾驶室和电池包温度变化和能量传递过程。

[0077] 温度模型中,计算电池的温度的方式为:

$$C_{bat} \frac{dT_{bat}}{dt} = K_{ab}(T_a - T_{bat}) + K_{bc}(T_c - T_{bat}) + \frac{dQ_{btms}}{dt} + \frac{dQ_{bat}}{dt}$$

$$[0078] \quad P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = -K_{btms} \cdot \min(T_{bat} - T_{b, up}, 10), \quad \text{where } T_{bat} \geq T_{b, up}$$

$$P_{btms} = \frac{dQ_{btms}}{dt} = K_{btms} \cdot \min(T_{b, low} - T_{bat}, 10), \quad \text{where } T_{bat} \leq T_{b, low}$$

[0079] 其中 $C_{bat}$ 为电池热容, $T_{bat}$ 为电池温度, $T_a$ 为环境温度, $T_c$ 为驾驶室温度, $K_{ab}$ , $K_{bc}$ , $K_{btms}$ 为热传递系数, $Q_{btms}$ 为电池包热管理系统的散热/加热能量, $Q_{bat}$ 为电池包的发热能量, $T_{b, up}$ , $T_{b, low}$ 为平台设定的电池管理最高、低温度,用户可以在平台中自定义其值。 $\min(T_{bat} - T_{b, up}, 10)$ 是指 $T_{bat} - T_{b, up}$ 或者10中最小的值, $\min(T_{b, low} - T_{bat}, 10)$ 是指 $T_{b, low} - T_{bat}$ 或者10中最小的值。

$$C_c \frac{dT_c}{dt} = K_{ac}(T_a - T_c) + K_{bc}(T_{bat} - T_c) + \frac{dQ_{hvac}}{dt}$$

$$\frac{dQ_{hvac}}{dt} = -1.7 \cdot (T_c + 273.15) + 500.4$$

[0080]

$$\begin{cases} P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{cooling}}, & HVAC \text{ cooling}, \quad Q_{hvac} < 0 \\ P_{hvac} = \frac{|Q_{hvac}|}{COP_{heating}}, & HVAC \text{ heating}, \quad Q_{hvac} \geq 0 \end{cases}$$

[0081] 其中 $C_c$ 为驾驶舱比热容, $K_{ac}$ 为热传递系数, $Q_{hvac}$ 为电动汽车供暖、通风和空调系统消耗能量,对于电动汽车供暖、通风和空调系统消耗功率 $P_{hvac}$ ,在本发明的其中一些实施例中,设定其最大冷却功率为4kW,最大加热功率为4.5kw; $COP_{cooling}$ 、 $COP_{heating}$ 为散热、加热电能系数。

[0082] 电池模型包含电池容量衰退模型即电池容量寿命模型以及电池实时SOC计算模型,电池容量衰退模型用于计算电池日历老化率和热老化速率,从而用来计算电池容量衰退,也就是电池寿命,其中,电动汽车实时SOC为:

$$[0083] \quad SOC = SOC_0 - \frac{\int I_c dt}{C_{bat, r}}$$

[0084] 其中 $SOC_0$ 为电池包初始SOC值, $C_{bat, r}$ 为电池包剩余额定容量。

[0085] 本发明同时考虑动力电池的日历老化和热老化,电池(包)剩余容量即电池(包)容量寿命计算公式为:

$$[0086] \quad C_{bat, r} = C_{baa, ini} \tau_a \tau_c$$

$$\tau_a = 1 - \sigma_{fcn} Q_{acc}^{\bar{z}}$$

$$[0087] \quad \sigma_{fcn} = (\alpha \cdot SOC - \beta) \cdot \exp\left(\frac{-E_a + \eta \cdot I_c}{R_g \cdot (273.15 + T_b)}\right)$$

[0088] 其中,  $C_{baa,ini}$  是电池包初始容量,  $\tau_a$  为电池包热老化率,  $\tau_c$  为电池包的日历老化率, 其值可通过用户自定义输入的或者平台自嵌入的电池日历老化系数表获取,  $\sigma_{fcn}$  为电池老化降级的严重因子,  $\alpha, \beta, \eta, \bar{z}$  为平台设定的电池老化系数,  $E_a$  为活化能,  $R_g$  是通用气体常数,  $Q_{acc}$  为累计安时量。

[0089] 充电模型可以模拟电动汽车充电时的能量传递和电池老化情况, 用户可以通过该充电模型实现模拟评估不同充电器对电动汽车的影响。

[0090] 充电模型中, 充电器选择模型可以根据用户在仿真前的设定选择不同功率的汽车充电器, 充电功率和充电电流模型可以根据用户选择的充电器根据充电功率和充电效率计算充电电流:

$$[0091] \quad I_{chg} = P_{chg} \cdot E_{chg} / V_{chg}$$

[0092] 其中,  $I_{chg}$  为充电电流,  $E_{chg}$  为充电效率,  $V_{chg}$  为充电电压。

[0093] 在本发明的其中一些实施例中, 设定了四种充电类型, 包括一级充电、二级充电、DC快充以及超快充, 同时用户可以在EV\_DOS文件中设定和更改以上信息。

[0094] 本发明还提供一种面向电动汽车的动力系统动态运行逆向模拟平台, 所述模拟平台通过采集或模拟真实每日驾驶数据并采用权利要求1-6任一所述的方法进行逆向模拟仿真, 真实每日驾驶数据包括但不限于: 数据采集时间以及其所对应的车速、道路坡度、环境温度以及车辆运行/停止状态, 平台可根据以上驾驶数据进行循环长时间跨度仿真。

[0095] 通过平台自定义车辆性能和外形参数、电池参数以及充电器参数, 以进行不同尺寸、不同车型的仿真模拟。

[0096] 本发明可以选择驾驶模式配置, 具体包括: 电池热管理系统开/关、供暖、通风和空调系统开/关以及制动能量回收系统开/关。在本发明的其中一些实施例中, 用户可在EV\_DOS文件中设定电动汽车充电器类型以及模拟车辆行驶总年数, 可以设定电动汽车制动能量回收是否开启, 电池包热管理系统是否开启, 供暖、通风和空调系统模型是否开启, 以此实现用户模拟不同驾驶情况对电动汽车所产生的影响的目的。

[0097] 可自定义平台仿真年限, 在较短的时间内, 模拟仿真出长时间跨度甚至全生命周期内的电动汽车动力电池衰退情况。

[0098] 充电模型可根据用户输入的驾驶数据, 统计每日可充电时间, 在平台中根据用户所选择的充电模式, 通过电动汽车动力系统物理仿真模型模拟电动汽车动力系统的能量传递, 还原驾驶舱温度, 电池包温度, SOC的变化以及电池容量衰退情况。

[0099] 通过以上设定, 平台可以在程序同文件夹下生成仿真结果Excel, 用户可在Excel中读取电池额定容量剩余值、车辆每日能耗值、累计行驶里程、累计行驶时间、累计充放电容量、累计充电能量、累计充电价格以及累计充电时间数据。

[0100] 以下通过具体的示例来对本发明的有效性作出验证。

[0101] 示例1, 运用本发明平台量化10年内, 仅使用一级充电 (充电功率设定为1.8kW, 充电电压设定为120V, 充电效率设定为0.85) 和仅使用直流快充 (充电功率设定为60kW, 充电

电压设定为480V,充电效率设定为0.85))对电动汽车电池容量衰退的影响。

[0102] 步骤1:用户打开软件平台所在文件夹,将设定的一年驾驶数据放入“DayTrips”文件夹中,本实施例1采用平台默认设定的驾驶文档数据,驾驶文档数据示例如图2所示,车辆外形和性能参数采用平台已设定默认参数,具体见表2所示。

[0103] 步骤2:用户打开软件平台,在名为EV-DOS的文件中设置充电器类型chargetype为“Level\_1”(即一级充电),设定电动汽车制动能量回收开启,电池包热管理系统开启,供暖、通风和空调系统开启,设定仿真年限为10年。

[0104] 步骤3:点击运行,参考图3,平台将自动进行参数初始化,将用户放至“DayTrips”中的驾驶数据文件导入仿真平台,并自动读取驾驶文件数/仿真天数,当仿真天数小于载入驾驶数据天数时,依此对每一天的驾驶数据进行仿真。

[0105] 步骤4:更进一步,根据单日驾驶数据所导入获得的单日行程总时间,判断是否继续进行仿真,当仿真累计时间小于单日行程总时间时,判断电池SOC是否低于0.1,当低于0.1时,平台自动进入充电模式;当SOC不低于0.1时,判断车辆是否运行,当车辆不在运行时,则进行停留时间累加;当车辆进行运行时,通过所建立的电动汽车动力系统物理仿真模型分别计算供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统所消耗的功率、开路电压OCV,电池包内阻,电池功率以及电流,计算实时SOC,所消耗的能量,累计安时量以及驾驶舱和电池的温度,最后每隔60s进行一次电池包剩余额定容量的计算。

[0106] 步骤5:当累计仿真时间大于单日行程总时间时,进入单日充电模拟仿真,当累计停留时间大于30分钟,并且SOC小于0.8时,通过所建立的电动汽车动力系统物理仿真模型分别计算供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统所消耗的功率、开路电压OCV,电池包内阻,电池功率以及电流,计算实时SOC,所消耗的能量,累计安时量以及驾驶舱和电池的温度,最后每隔60s进行一次电池包剩余额定容量的计算。

[0107] 当每一天的驾驶数据经过以上步骤4和步骤5处理后,判断模拟的累计仿真年数是否达到设置的累计仿真年数,如果没有,则继续进行步骤4和步骤5,直至达到设置年限,程序自动停止,在同文件下输出仿真结果Excel数据,用户在仿真结果Excel中可查看在选择一级充电器进行充电时,每一日电动汽车电池容量衰退情况具体数据。

[0108] 步骤6:用户打开软件平台,在名为EV-DOS的文件中设置充电器类型chargetype为“DC\_Fast”,设定电动汽车制动能量回收开启,电池包热管理系统开启,供暖、通风和空调系统开启,设定仿真年限为10年。点击运行,平台将重复进行步骤3至步骤5,程序自动停止,在同文件下输出仿真结果Excel数据,用户在仿真结果Excel中可查看在选择直流快充充电器进行充电时,每一日电动汽车电池容量衰退情况具体数据。

[0109] 经过以上步骤,得到10年后,一级充电和直流快充对电池容量衰退的影响的对比图,对比图如图4所示。从图中可以看出,通过仿真平台模拟,采用一级充电电池容量衰退较慢,在十年后使用直流快充电池容量衰退比一级充电方式多了9%。以上仿真总计用时不到8小时,通过实施例1可以看出通过该平台可以在一天之内模拟仿真出10年后不同充电器类型对电动汽车电池寿命的影响。

[0110] 示例2,运用本发明平台量化1年内,制动能量回收系统、供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统对电池容量衰退的影响:

[0111] 步骤1:用户打开软件平台所在文件夹,本实施例2采用平台默认设定的驾驶文档

数据(一年驾驶数据),驾驶文档数据示例如图2所示,将设定的一年驾驶数据放入“DayTrips”文件夹中,车辆外形和性能参数采用平台已设定默认参数(平台默认数据是通过平台默认的一款纯电动车型来设定的,可以通过查找网页具体参数表以及参考文献获得,所以用户也可以根据他们需要仿真的车型进行这些参数的变化),具体见表2所示。

[0112] 步骤2:用户打开软件平台,在名为EV-DOS的文件中设置充电器类型chargetype为“DC\_Fast”,设定电动汽车制动能量回收开启,电池包热管理系统关闭,供暖、通风和空调系统关闭,设定仿真年限为1年。

[0113] 步骤3:点击运行,参考图3,平台将自动进行参数初始化,将用户放至“DayTrips”中的驾驶数据文件导入仿真平台,并自动读取驾驶文件数/仿真天数,当仿真天数小于载入驾驶数据天数时,依此对每一天的驾驶数据进行仿真。

[0114] 步骤4:根据单日驾驶数据所导入获得的单日行程总时间,判断是否继续进行仿真,当仿真累计时间小于单日行程总时间时,判断电池SOC是否低于0.1,当低于0.1时,平台自动进入充电模式;当SOC不低于0.1时,判断车辆是否运行,当车辆不在运行时,则进行停留时间累加;当车辆进行运行时,通过所建立的电动汽车动力系统物理仿真模型分别计算供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统所消耗的功率、开路电压OCV,电池包内阻,电池功率以及电流,计算实时SOC,所消耗的能量,累计安时量以及驾驶舱和电池的温度,最后每隔60s进行一次电池包剩余额定容量的计算。

[0115] 步骤5:当累计仿真时间大于单日行程总时间时,进入单日充电模拟仿真,当累计停留时间大于30分钟,并且SOC小于0.8时,通过所建立的电动汽车动力系统物理仿真模型分别计算供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统所消耗的功率、开路电压OCV,电池包内阻,电池功率以及电流,计算实时SOC,所消耗的能量,累计安时量以及驾驶舱和电池的温度,最后每隔60s进行一次电池包剩余额定容量的计算。

[0116] 当每一天的驾驶数据经过以上步骤4和步骤5处理后,判断累计仿真年数是否达到用户设置仿真年数,如果没有,则继续进行步骤4和步骤5,直至达到设置年限,程序自动停止,在同文件下输出仿真结果Excel数据,用户在仿真结果Excel中可查看在打开制动能量回收系统时,每一日电动汽车电池容量衰退情况具体数据。

[0117] 步骤6:用户打开软件平台,在名为EV-DOS的文件中设置充电器类型chargetype为“DC\_Fast”,设定电动汽车制动能量回收关闭,电池包热管理系统开启,供暖、通风和空调系统关闭,设定仿真年限为1年。点击运行,平台将重复进行步骤3至步骤5,程序自动停止,在同文件下输出仿真结果Excel数据,用户在仿真结果Excel中可查看在电池包热管理系统开启时,每一日电动汽车电池容量衰退情况具体数据。

[0118] 步骤7:用户打开软件平台,在名为EV-DOS的文件中设置充电器类型chargetype为“DC\_Fast”,设定电动汽车制动能量回收关闭,电池包热管理系统关闭,供暖、通风和空调系统开启,设定仿真年限为1年。点击运行,平台将重复进行步骤3至步骤5,程序自动停止,在同文件下输出仿真结果Excel数据,用户在仿真结果Excel中可查看在供暖、通风和空调系统开启时,每一日电动汽车电池容量衰退情况具体数据。

[0119] 经过以上步骤,得到1年后,制动能量回收系统、供暖、通风和空调系统以及电池热管理系统对电池容量衰退的影响的对比图,对比图如图5所示。图中的基准测试是这样一种情况:在暖通空调关闭、制动能量回收关闭和电池热管理关闭的情况下,在驾驶配置文件上

运行的结果。

[0120] BTMS\_ON是这样一种情况:即在仅打开电池热管理的情况下,在驾驶配置文件上运行的结果。

[0121] HVAC\_ON是这样一种情况:即在仅打开暖通空调系统的情况下,在驾驶配置文件上运行的结果。

[0122] RBS\_ON是这样一种情况:在仅打开制动能量回收的情况下,在驾驶配置文件上运行的结果。

[0123] 显然,结果表明,BTMS在延缓电动汽车中的电池退化方面是有益的。与基准相比,仅打开电池热管理系统时,剩余电池容量一年内提高了2.57%;然而,仅使用暖通空调系统会加速电池退化,一年时间退化了3.65%,仅打开制动能量回收也对剩余电池容量提高也有帮助,提高了1.83%。以上仿真总计用时不到2小时,通过实施例2可以看出通过该平台可以在短时间内,模拟仿真出电动汽车中不同辅助功能对电池寿命的影响。

[0124] 应说明的是,以上实施例仅用于说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

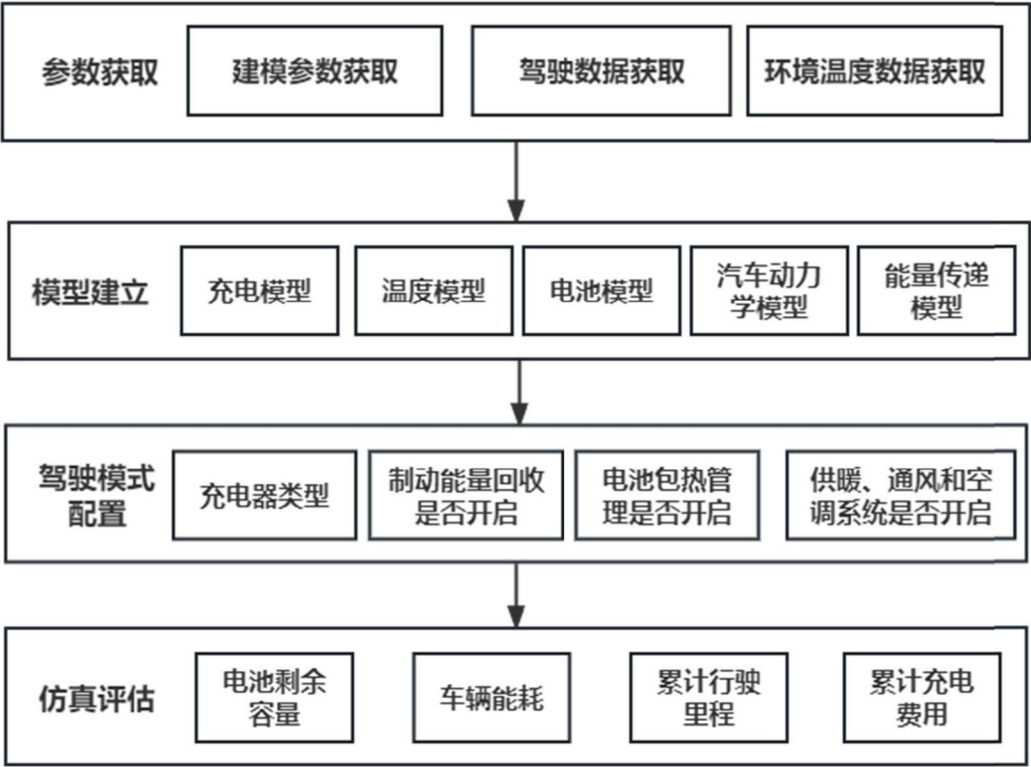


图1

时间/s	车速m/s	坡度	环境温度℃	行驶状态
1	0	0	13.75	RunOn
2	0	0	13.75	RunOn
3	0	0	13.75	RunOn
4	0	0	13.75	RunOn
5	0	0	13.75	RunOn
6	0	0	13.75	RunOn
7	0	0	13.75	RunOn
8	0.670540903	0	13.75	RunOn
9	2.14573089	0	13.75	RunOn
10	3.620920876	0	13.75	RunOn
11	5.096110863	0	13.75	RunOn
.....	.....	.....	.....	.....

图2

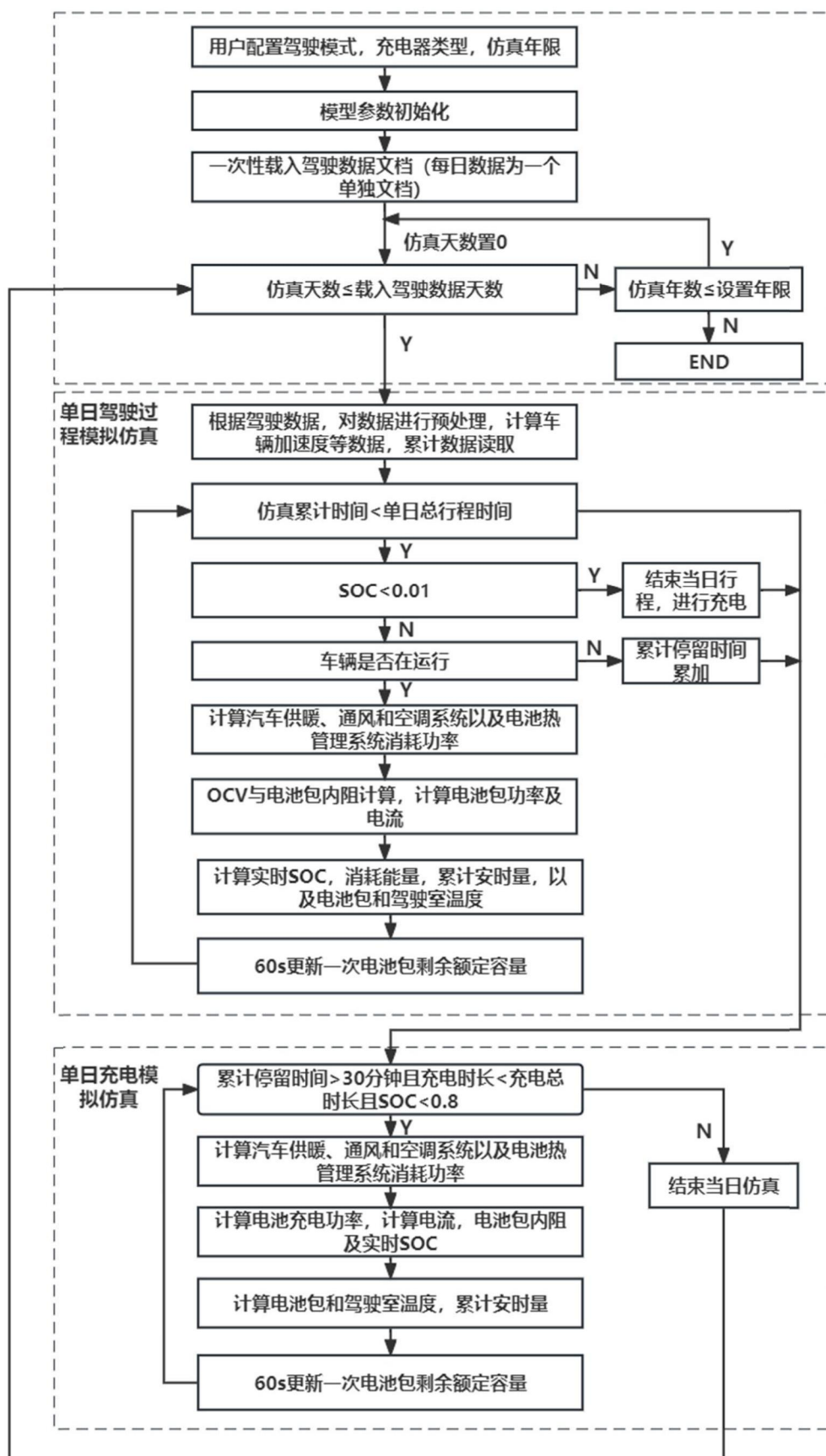


图3



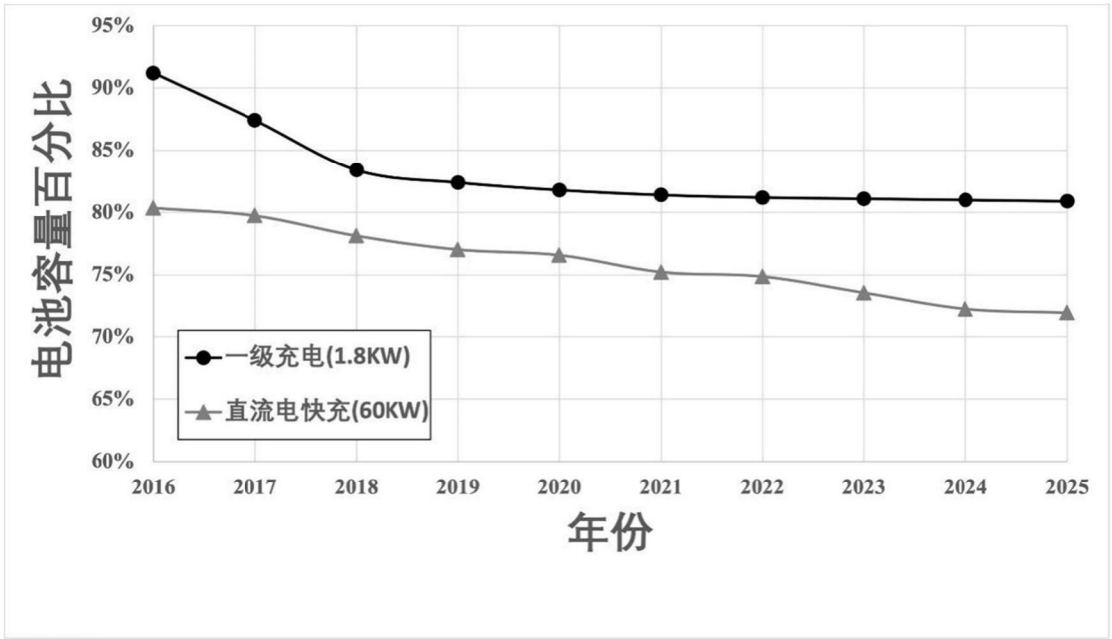


图4

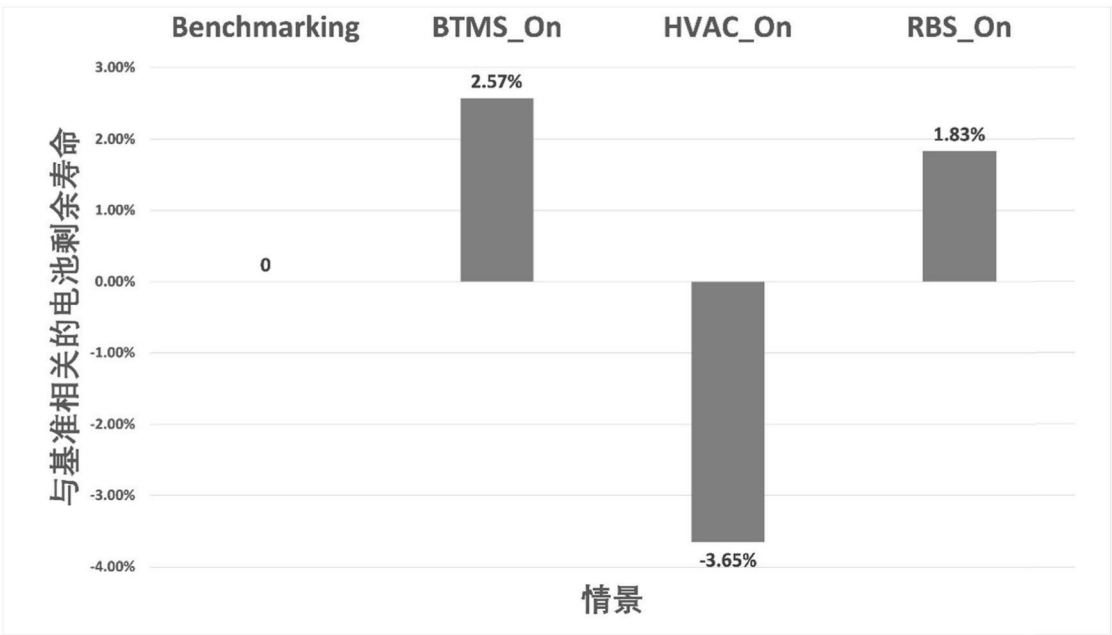


图5

充电器类型	充电功率	充电电压	充电效率
Level_1	1.8	120	0.85
Level_2	7.6	240	0.85
DC_Fast	60	400	0.85
Extreme_Fast	400	800	0.85

图6

符号	单位	描述	值
$A_d$	$m^2$	迎风面积	2.13
$c_d$	-	气动阻力系数	0.35
$c_r$	-	滚动阻力系数	0.015
$f_{acc}$	-	辅助设备能效	0.98
$f_{pt}$	-	动力系统效率	0.9
$f_{rbs}$	-	制动能量回收效率	0.63
$g$	$m/s^2$	重力加速度	9.81
$m_v$	$kg$	车重	11000
$v_{wind}$	$m/s$	风速	0
$\theta$	deg	坡度	0
$\sigma$	-	转动惯量修正系数	1.3
$\rho_{air}$	$kg/m^3$	空气密度	1.225
$C_{ini}$	$Ah$	电池包初始容量	198.5
$P_d$	$kWh$	最大功率	85
$V_{max}$	$V$	最大电压	400
$V_{min}$	$V$	最低电压	270
$C_b$	$J/K$	电池包热容	101771
$C_c$	$J/K$	驾驶舱热容	182000
$K_{ab}$	$W/K$	环境与电池包之间的换热系数	4.343

$K_{ac}$	$W / K$	环境与驾驶舱之间的换热系数	22.6
$K_{bc}$	$W / K$	电池与驾驶舱之间的换热系数	3.468
$K_{btms}$	$W / K$	电池与电池管理系统之间的换 热系数	340
$T_{b,up}$	$^{\circ}C$	电池设定最高温度	30
$T_{h,up}$	$^{\circ}C$	驾驶舱设定最高温度	23.88
$T_{b,low}$	$^{\circ}C$	电池设定最低温度	10
$T_{h,low}$	$^{\circ}C$	驾驶舱设定最低温度	18.85

图7