

新能源商用车再生制动控制策略设计研究

周威力 封万程 巨建辉

(一汽解放汽车有限公司商用车开发院, 长春 130011)

【摘要】以最大化回收制动能量为目标,提出一种新能源商用车再生制动控制策略。通过对再生制动系统结构及原理、前后轮制动力分配、电机、电池功率等因素的分析,在保证制动方向稳定性前提下,合理分配前后轮制动力及后轮机电制动力。利用AMESim建立商用车再生制动系统仿真模型对控制策略进行仿真验证,最后通过转鼓试验和道路试验对本文控制策略进行试验验证。结果表明:所设计的控制策略能够大幅减少新能源商用车能量消耗,延长续航里程。

关键词:纯电动商用车 能量回收 再生制动 控制策略 制动力分配

中图分类号:U469.72;U461.3 **文献标志码:**A **DOI:** 10.19620/j.cnki.1000-3703.20230088

Design and Research on Regenerative Braking Control Strategy of New Energy Commercial Vehicle

Zhou Weili, Feng Wancheng, Ju Jianhui

(Commercial Vehicle Development Institute, FAW Jiefang Truck Co., Ltd., Changchun 130011)

【Abstract】To maximize the regenerative braking energy as the goal, the paper puts forward a new energy commercial vehicle regenerative braking control strategy, through the analysis of the regenerative braking system structure and principle, front and rear braking force distribution, motor and battery power constraints, under the premise that guarantees braking direction stability, reasonably distribute the braking force. The simulation model of commercial vehicle regenerative braking system was established by AMESim to simulate and verify the control strategy. Finally, the control strategy in this paper was tested and verified by the chassis dynamometer. The results show that the designed control strategy can greatly save the energy consumption of new energy commercial vehicles and extend the driving range.

Key words: Battery electric commercial vehicle, Energy recovery, Regenerative braking, Control strategy, Brake force distribution

【引用格式】周威力,封万程,巨建辉.新能源商用车再生制动控制策略设计研究[J].汽车技术,2024(1):27-33.

ZHOU W L, FENG W C, JU J H. Design and Research on Regenerative Braking Control Strategy of New Energy Commercial Vehicle[J]. Automobile Technology, 2024(1): 27-33.

1 前言

近年来,国内、外学者对新能源汽车再生制动控制策略进行了大量研究并取得了显著成果。Gao等^[1]提出3种典型的再生制动力分配方法,并针对不同制动强度进行了仿真试验。刘威等^[2]基于联合国欧洲经济委员会(Economic Commission of Europe, ECE)汽车法规对前轮驱动汽车制动力分配的限制作用,将制动强度划分为4个制动区域,并设计了不同的制动力分配策略。昌诚程等^[3]以路面附着系数识别为基础,根据不同附着系数设计不同的控制策略。李争争等^[4]设计了以车速、动力电池荷电状态、制动强度为输入变量,以制动力分配系数为输出变量的模糊控制器,并考虑电机、电池和制动稳

定性要求,提出了一种再生制动控制策略。谢文科等^[5]在制动力分配时考虑了制动的舒适性,相对于ECE法规线和f线(即后轮没有抱死,前轮刚刚抱死时的前、后地面制动力关系曲线),制动力分配曲线分别向上和向左偏移。赵玲等^[6]根据制动强度和电池荷电状态提出了一种基于模糊逻辑的制动力分配控制策略。

目前关于再生制动的研究大多集中于新能源乘用车领域,关于总制动能量更大的新能源商用车的再生制动控制策略仿真及试验验证^[7]较少。

本文在前人研究的基础上,以某后轮驱动纯电动商用车为研究对象,提出一种基于电控制动系统兼顾制动能量回收及制动感觉的控制策略,对前后轴制动力分配、机电复合制动力分配及协调控制进行研究,使用

AMESim 建立再生制动系统仿真模型。经模型仿真及实车验证,采用本文控制策略的车辆能够较大幅度减少能量消耗,且制动过程平顺舒适。

2 再生制动系统评价指标及要求

2.1 节能贡献度

本文采用节能贡献度来评价再生制动系统在循环工况下的节能效果。在某循环工况下,给定行驶距离 S_0 , 设无制动能量回收时电池端消耗的能量为 $E_{r,off}$ 、有制动能量回收时电池消耗的能量为 $E_{r,on}$, 节能贡献度 δ_E 表达为^[8]:

$$\delta_E = \frac{E_{r,off} - E_{r,on}}{E_{r,off}} \quad (1)$$

2.2 冲击度

新能源汽车制动过程中,电机制动与机械制动共同参与,两者之间如果不能做到协调控制,将会影响制动过程的平顺性。为了评价再生制动系统工作过程的平顺性,本文引入冲击度这一概念,即减速度变化率。冲击度越小,平顺性越好。研究认为^[9],人体在感觉舒适的范围内所能承受的最大冲击度为 10 m/s^3 。

2.3 再生制动系统设计的要求

博世公司对协同式再生制动系统提出了如下要求^[10]:

- 确定驾驶员的减速度需求;
- 保持与传统车辆一致的制动效能和操作;
- 在考虑稳定性、舒适性和制动效能的前提下,适当地分配摩擦制动力矩与再生制动力矩;
- 确定合适的车辆前、后轴制动力矩;
- 摩擦制动力矩可调节。

3 再生制动系统结构及控制原理

为了满足上述要求,本文设计了如图 1 所示的再生制动系统结构,主要包括制动阀、桥控模块、制动器、储气筒、制动控制器(Brake Control Unit, BCU)、电机控制器(Motor Control Unit, MCU)、电机、电池、驱动桥、制动器及互相连接的管线路。为了简化,省略了供气系统、防抱死电磁阀、轮速传感器等结构。

再生制动系统的控制原理为:制动控制器根据电机转速、电池荷电状态、电池当前最大允许充电功率等计算电机当前可提供的最大制动力矩;制动时,制动控制器根据制动踏板位置及车辆载荷状态计算驾驶员需求总制动力,同时进行前、后轮制动力分配,之后将后轮制动力分为电机制动力和后轮摩擦制动力;制动控制器通

过气压调节控制前、后轮摩擦制动力,同时通过电机控制器控制电机制动力,最终实现车辆的制动和对电池的充电。

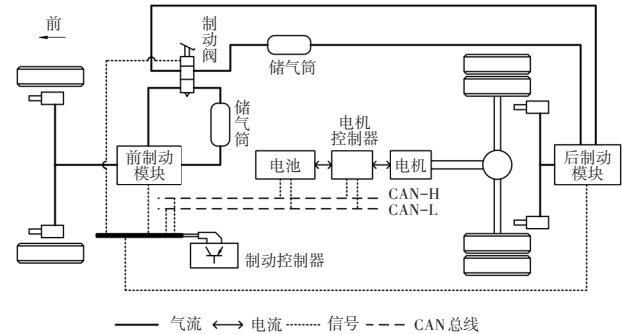


图1 再生制动系统结构

4 再生制动控制策略

本文根据新能源商用车的系统结构及设计制定了兼顾制动能量回收及制动感觉的控制策略,该策略分为 2 个部分,分别是前、后轮制动力分配和后轮机电复合制动力分配,前者影响车辆在制动过程中的稳定性及制动能量回收的效率,后者则影响制动能量回收的效率及制动过程的冲击度。

4.1 前、后轮制动力分配

前、后轮制动力主要根据理想制动力分配曲线、GB 12676 标准以及常用循环工况减速度分布情况进行分配,在保证制动稳定性的前提下,将制动力尽可能多地分配到后轮。

4.1.1 理想制动力分配

根据汽车理论,制动时前、后车轮同时抱死,对路面附着条件的利用、制动时汽车的方向稳定性均较为有利。此时,前、后轮地面制动力满足理想制动力分配曲线,即 I 曲线:

$$F_{br} = \frac{1}{2} \left[\frac{G}{h_g} \sqrt{b^2 + \frac{4h_g L}{G} F_{br}} - \left(\frac{Gb}{h_g} + 2F_{br} \right) \right] \quad (2)$$

式中, F_{br} 、 F_{br} 分别为汽车前、后轮制动力; G 为车辆重力; h_g 为车辆质心高度; b 为车辆质心至后轴的距离; L 为车辆轴距。

4.1.2 最大制动能量回收策略的制动力分配

为了实现最大化制动能量回收,并且兼顾制动稳定性,考虑到常用工况下制动强度大多在 0.15 以下,故本文控制策略在制动强度 0.15 以下时将制动力全部分配到后轮,制动强度大于 0.15 时前轮制动力逐渐介入。本文前、后制动力分配具体策略如图 2 所示。

将制动过程按制动强度大小分为 3 种类型,分别为

OA段、AB段和B点之后。其中AB段为A点与I曲线之间的水平线段,B点为AB段与I曲线的交点。

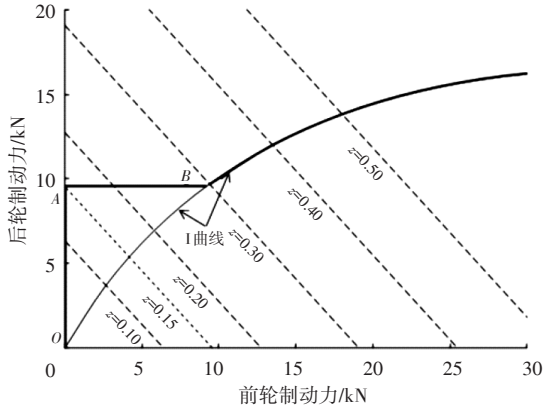


图2 前、后制动力分配曲线

对于OA段,其制动控制器制动强度较低,将制动力全部分配于后轮,其分配公式如下:

$$F_{bf} = 0 \quad (3)$$

$$F_{br} = G \cdot z \quad (4)$$

式中, z 为制动强度。

对于AB段,其制动强度相对较高,需前、后轮共同提供制动力,其分配公式如下:

$$F_{bf} = G \cdot z - 0.15 \cdot G \quad (5)$$

$$F_{br} = 0.15 \cdot G \quad (6)$$

对于B点之后,按照理想制动力分配曲线进行分配,其分配公式如下:

$$F_{bf} + F_{br} = G \cdot z \quad (7)$$

$$\frac{F_{bf}}{F_{br}} = \frac{b + z \cdot h_g}{a - z \cdot h_g} \quad (8)$$

式中, a 为质心到前轴距离。

4.2 后轮机电制动协调分配控制策略

后轮总制动力分为后轮摩擦制动力和电机制动力。为了充分利用电机制动力,优先将总制动力分配为电机制动力,当电机制动力不满足需求时,由摩擦制动力进行补偿。具体可分为如下工作模式:

a. 电机制动。后桥所分配制动力较小时,电机可以独立提供后桥所分配制动力,此时电机单独进行制动,表达式如下:

$$F_T = F_{br} \quad (9)$$

$$F_M = 0 \quad (10)$$

式中, F_T 为电机制动力; F_M 为后轮摩擦制动力。

b. 混合制动。后桥所分配制动力较大时,电机不足以提供后桥所分配制动力,此时电机制动与摩擦制动同时发生,表达式如下:

$$F_T = F_{T_{\max}} \quad (11)$$

$$F_M = F_{br} - F_T \quad (12)$$

式中, $F_{T_{\max}}$ 为电机所能提供的最大制动力。

c. 摩擦制动。当电机由于各种原因无法提供制动力时,由摩擦制动满足后桥制动力需求:

$$F_T = 0 \quad (13)$$

$$F_M = F_{br} \quad (14)$$

其中,电机所能提供的最大制动力 $F_{T_{\max}}$ 主要受电机及电池特性影响。再生制动过程中,电机产生的电能由电池储存起来,所以电机的发电功率不能超过电池最大充电功率,同时电池荷电状态(State of Charge, SOC)过高时也不能使用电机制动。当电机转速过低时,电机不能提供稳定的制动力矩,同时电机此时的效率也较低,故在电机转速过低时,也不能使用电机制动。为了避免电机制动力突然退出导致较大的冲击度,保证制动过程平顺舒适,本文引入了电池SOC影响系数 $f(s)$ 和电机转速影响系数 $f(n)$,以控制电机制动缓慢退出:

$$F_{T_{\max}} = \frac{\min[T_{m_{\max}} \cdot f(s), T_{p_{\max}}] \cdot f(n) \cdot i}{R \cdot \eta_i} \quad (15)$$

式中, $T_{m_{\max}}$ 为MCU发送的电机当前最大制动力矩; $T_{p_{\max}}$ 为根据电池当前最大充电功率计算得出的电机制动力矩; i 为传动系速比; R 为车轮滚动半径; η_i 为传动系效率。

电池SOC影响系数 $f(s)$ 可表示为:

$$f(s) = \begin{cases} 1 & s < 0.94 \\ -100 \cdot s + 95 & 0.94 \leq s < 0.95 \\ 0 & s \geq 0.95 \end{cases} \quad (16)$$

式中, s 为SOC当前数值。

电池当前最大充电功率 $P_{B_{\max}}$ 对应的当前状态下电机最大制动力矩 $T_{p_{\max}}$ 表达式为:

$$T_{p_{\max}} = 9550 \cdot \frac{P_{B_{\max}}}{n \cdot \eta_m} \quad (17)$$

式中, η_m 为电机当前状态下的效率。

电机转速影响系数 $f(n)$ 可表达为:

$$f(n) = \begin{cases} 0 & n < 100 \\ 0.02 \cdot n - 2 & 100 \leq n < 150 \\ 1 & n \geq 150 \end{cases} \quad (18)$$

式中, n 为电机转速。

综上所述,再生制动控制策略主要步骤为:制动时,制动控制器根据驾驶员踩踏制动踏板行程计算驾驶员需求的总制动力;在满足整车设计要求的前提下,初次分配前、后轮制动力;之后将后轮制动力分为电机制动力和后轮摩擦制动力;当电机制动力不满足要求时,控制电机制动力缓慢退出,并由摩擦制动力进行补偿,保证车辆平稳减速。如果防抱死系统激活,则应使电机制

动退出,由防抱死系统进行控制。

5 再生制动控制策略仿真验证

为了验证本文提出的再生制动控制策略,根据所研究车辆的特点建立了基于 AMESim 的仿真模型并进行了仿真分析。

5.1 仿真模型搭建

基于 AMESim 建立再生制动仿真模型,如图 3 所示,包含整车模型、驾驶员模型、电机模型、减速器模型、后桥模型、动力电池模型、整车控制器模型、再生制动控制模型。其中,整车模型、减速器模型及后桥模型相关参数根据所研究车辆的实际参数进行设置,行驶阻力根据滑行试验确定并通过查表导入;驾驶员模型主要利用比例积分(Proportional Integral, PI)控制器,以需求车速与仿真车速之差作为输入,通过调节油门或制动踏板开度产生修正力矩,对需求车速进行跟踪,以消除车速偏差;电机和动力电池模型的相关性能参数根据试验确定并通过查表导入;再生制动控制模型包含前后制动力分配模块、机电协调分配模块、电机最大制动力矩计算模块,分别与控制策略对应。

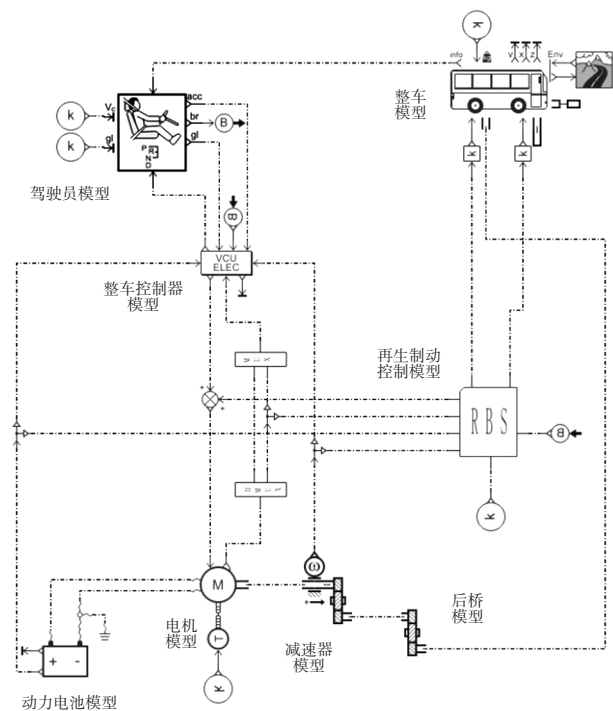


图3 再生制动系统仿真模型

5.2 循环工况仿真

在循环工况下,车辆频繁地起步和制动,在满足约束的条件下,再生制动系统回收的能量也较大。本文选择中国重型商用车瞬态循环工况(China World Transient Vehicle Cycle, C-WTVC),与并联控制策略进

行对比,验证本文控制策略的有效性,仿真结果如图 4~图 8 所示。其中并联控制策略的车辆对原有制动系统改动较小,前、后制动力按固定比例分配,电机制动力与后轮制动力叠加,目前在行业内应用较为广泛。

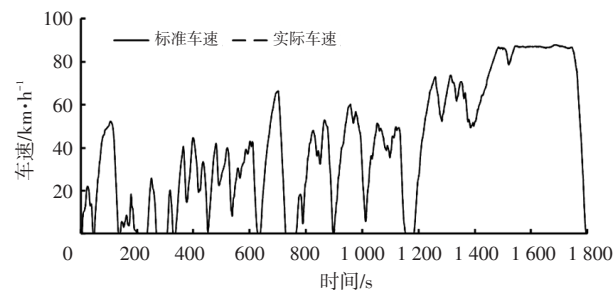


图4 循环工况与模型实际车速对比

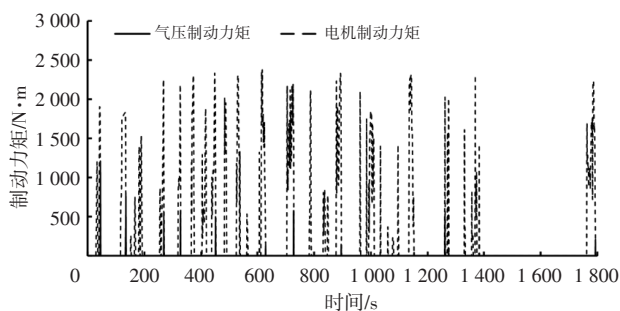


图5 循环工况下电机/气压制动力矩仿真结果

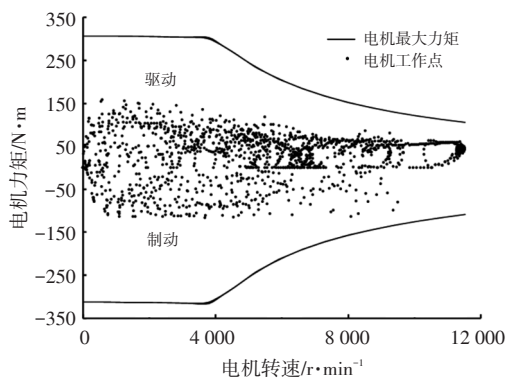


图6 循环工况下电机工作点仿真结果

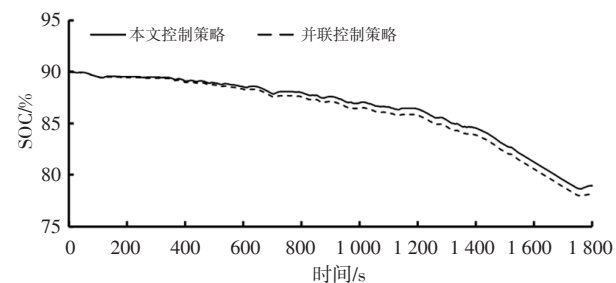


图7 循环工况下电池SOC仿真结果

由图 4 可知,实际车速能较好地跟随标准车速,两者变化趋势一致且稳定,最大误差为 0.42 m/s,说明本文建立的仿真模型能根据再生制动系统变化调整电机制动力与气压制动力,且动态响应较好,能够满足仿真要求。

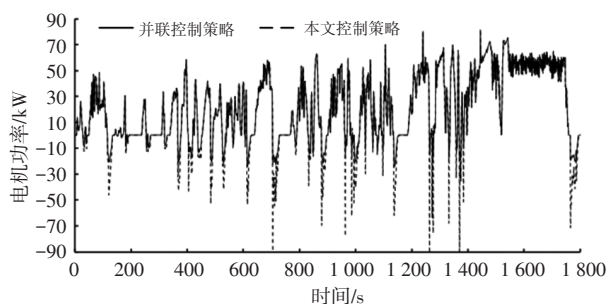


图8 电池功率

由图5可知,在C-WTVC循环工况下,采用本文控制策略,制动时主要采用电机制动,只有在电机转速较低时,气压制动才会介入。

图6中,电机力矩大于零的部分为驱动过程,电机力矩小于零的部分为制动过程。由图6可知,电机的制动能力得到了较好发挥,证明本文控制策略能够充分利用电机制动,较少使用气压制动。

由图7可知,与并联制动控制策略相比,完成相同的循环工况,本文再生制动控制策略下电池SOC较高。

根据图8电池功率曲线,将电池功率大于0的部分进行积分,得到循环工况下驱动所消耗的能量,即无制动能量回收时电池端消耗的能量 $E_{r,off}$,然后将电池功率小于0的部分进行积分并取绝对值,得到循环工况下再生制动系统所回收的能量,即 $E_{r,off} - E_{r,on}$,由此可计算2种控制策略下的节能贡献度,结果如表1所示。本文控制策略节能贡献度达16.0%,优于并联控制策略。

表1 节能贡献度

控制策略	消耗能量/ $kW \cdot h^{-1}$	回收能量/ $kW \cdot h^{-1}$	节能贡献度/%
本文控制策略	11.65	1.87	16.0
并联控制策略	11.65	0.99	8.5

5.3 不同制动强度工况仿真

选取初速度为60 km/h,制动强度分别为0.1、0.3、0.5的工况,对控制策略进行仿真,结果如图9~图11所示。

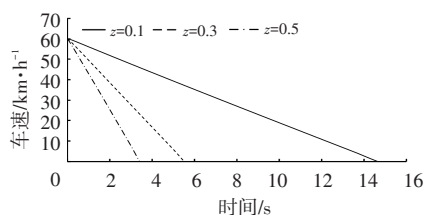


图9 不同制动强度下车速仿真结果

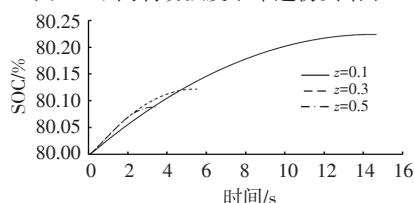


图10 不同制动强度下SOC仿真结果

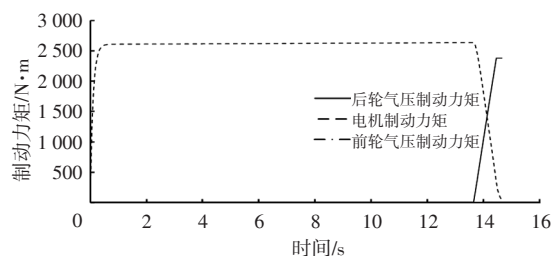
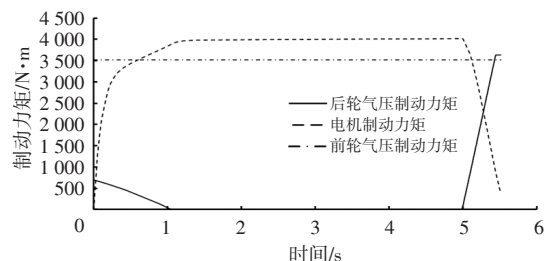
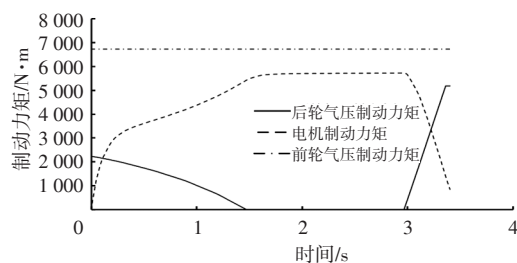
(a) $z=0.1$ (b) $z=0.3$ (c) $z=0.5$

图11 不同制动强度下电机/气压制动力矩仿真结果

由图10可知,各工况下电池SOC曲线均有所上升,同时,回收的能量随着制动强度的增大而减少,这主要是因为制动强度较大时前轮气压制动参与较多而电机制动参与较少。该现象可从图11中得到证实,与所设计的控制策略一致。

6 再生制动控制策略试验验证

为进一步验证本文提出的控制策略的有效性,及仿真模型的准确性,进行实车转鼓及道路试验。

6.1 转鼓试验验证

将匹配有本文控制策略的纯电动物流车在底盘测功机上按C-WTVC循环工况进行能量消耗测试,测试结果如图12~图14所示。

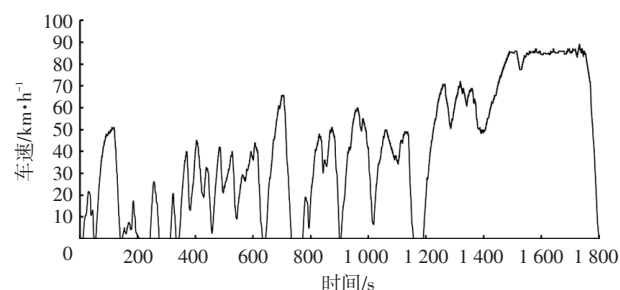


图12 转鼓试验车速

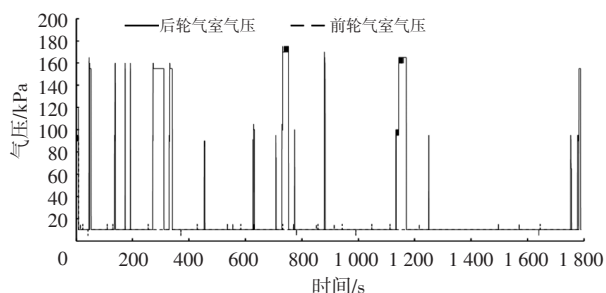


图13 制动气室气压转鼓试验结果

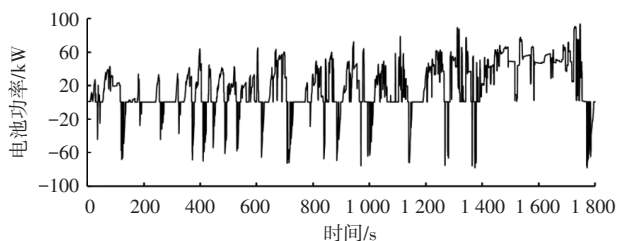


图14 电池功率转鼓试验结果

由图12、图13可知,在试验过程中,前轮气室压力始终为0,这说明在循环工况下,前轮气压制动始终没有参与。后轮气室只有在车速较低时才有气压,这是由于车速较低时,电机无法提供准确的制动力矩,故需使电机制动退出,气压制动进行补偿,这与电机/气压制动协调控制的策略一致。

将图14中电池功率曲线进行积分,可得循环工况中,用于驱动消耗的电池能量为10.78 kW·h,再生制动回收的能量为1.71 kW·h,由此可计算节能贡献度为15.9%,与仿真结果相符,也说明了仿真模型的准确性。

6.2 道路试验验证

选取初速度为60 km/h,制动强度分别为0.1、0.3、0.5左右的工况,分别进行试验,试验结果如图15~图17所示。

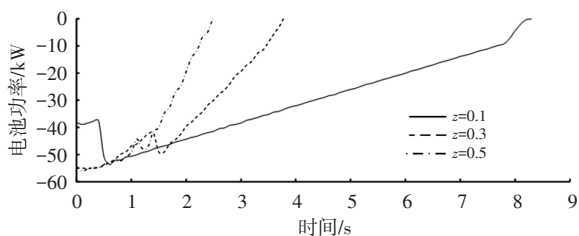
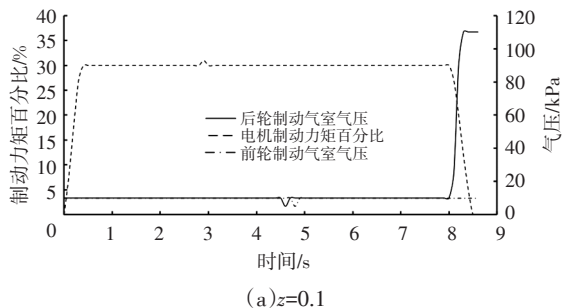
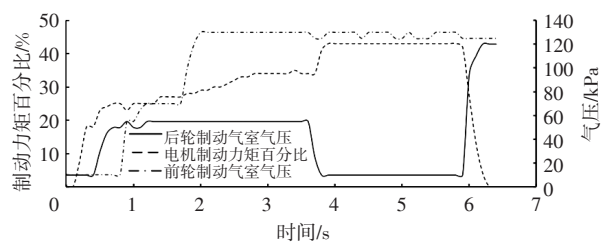


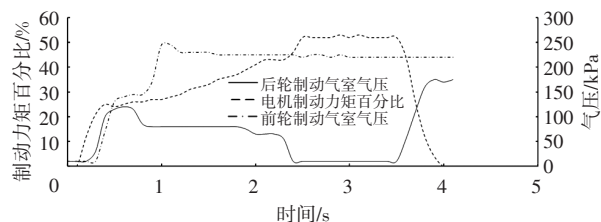
图15 不同制动强度下电池功率道路试验结果



(a)z=0.1



(b)z=0.3



(c)z=0.5

图16 不同制动强度下电机制动力矩/制动气室气压道路试验结果

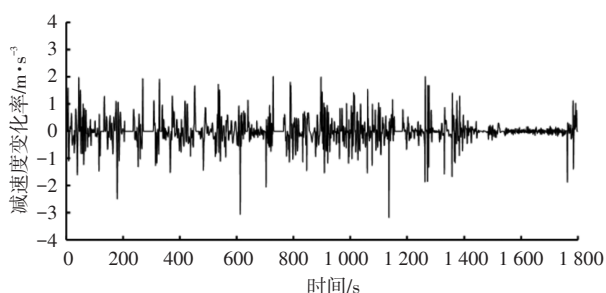


图17 不同制动强度下减速度变化率道路试验结果

由图15可知,在各工况制动过程中,电池均处于充电状态,且电池充电的电量随制动强度的增加而减少,与控制策略及仿真结果一致。

由图16可知,制动强度较小时,气压制动参与较少,制动强度较大时,气压制动参与增多,与控制策略及仿真结果一致。

由图17可知,在制动过程中,减速度变化平稳,减速度变化率绝对值较小,最大仅为3.19 m/s³,符合汽车行驶平顺性的要求。这说明本文控制策略能够通过协调控制电机制动与气压制动使制动过程中车辆保持平顺。

7 结束语

本文提出了一种适用于后轮驱动新能源商用车的再生制动控制策略,设计了以制动强度、电池SOC、电机转速作为输入的制动力分配方法,建立了基于AMESim的再生制动仿真模型,并进行了实车验证,仿真及试验结果证明了控制策略及仿真模型的有效性,在保证制动方向稳定性的前提下,能够很好地实现电机制动与摩擦制动的协调工作,最大程度地回收了制动能量,在C-WTVC循环工况下节能贡献度可达15.9%。

参 考 文 献

- [1] GAO Y M, CHEN L, EHSANI M. Investigation of the Effectiveness of Regenerative Braking for EV and HEV[J]. SAE Transactions, 1999(108): 3184-3190
- [2] 刘威, 祁宏钟, 刘新田, 等. 纯电动汽车串联式再生制动控制策略建模与仿真[J]. 轻工机械, 2019, 37(1): 70-73+77.
- LIU W, QI H Z, LIU X T, et al. Modeling and Simulation of Serial Regenerative Braking Control Strategy for Pure Electric Vehicle[J]. Light Industry Machinery, 2019, 37(1): 70-73+77.
- [3] 昌诚程, 郑燕萍, 王昕灿, 等. 纯电动汽车再生制动控制策略的研究[J]. 汽车技术, 2019(5): 33-37.
- CHANG C C, ZHENG Y P, WANG X C, et al. A Study of Regenerative Braking Control Strategies for Electric Vehicle [J]. Automobile Technology, 2019(5): 33-37.
- [4] 李争争, 周志刚, 杨文豪. 基于制动稳定性的纯电动汽车再生制动控制策略[J]. 汽车技术, 2020(6): 17-23.
- LI Z Z, ZHOU Z G, YANG W H. Regenerative Braking Control Strategy of Pure Electric Vehicle Based on Braking Stability[J]. Automobile Technology, 2020(6): 17-23.
- [5] 谢文科, 严世榕. 基于舒适性的电动汽车再生制动系统[J]. 系统仿真技术, 2018, 14(1): 14-19.
- XIE W K, YAN S R. Regenerative Braking Based on Comfort for Electric Vehicle[J]. System Simulation Technology, 2018, 14(1): 14-19.
- [6] 赵玲, 唐岚, 吴晓花. 基于模糊控制的电动汽车前后制动力分配策略研究[J]. 机械, 2014, 4(41): 18-21.
- ZHAO L, TANG L, WU X H. Distribution Strategy for Electric Vehicle Braking Force Based on Fuzzy Control[J]. Machinery, 2014, 4(41): 18-21.
- [7] 吕优. 纯电动汽车再生制动节能潜力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- LÜ Y. Research on Potential of Energy-Saving from Electric Vehicle Regenation[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [8] 初亮, 刘达亮, 刘宏伟, 等. 纯电动汽车制动能量回收评价方法研究[J]. 汽车工程, 2017, 39(4): 471-479.
- CHU L, LIU D L, LIU H W, et al. A Study on the Evaluation Method of Braking Energy Recovery in Battery Electric Vehicle[J]. Automotive Engineering, 2017, 39(4): 471-479.
- [9] 高爱云, 邓效忠, 张明柱, 等. 基于最佳制动效果的并联式混合动力汽车再生制动控制策略[J]. 中国机械工程, 2015, 26(15): 2118-2124.
- GAO A Y, DENG X Z, ZHANG M Z, et al. Regenerative Braking Control Strategy for PHEV Based on Optimal Braking Effect[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26 (15): 2118-2124.
- [10] KONRAD R. BOSCH传统动力传动系统和混合动力驱动系统[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
- KONRAD Reif. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2015.

(责任编辑 王 一)

修改稿收到日期为2023年5月8日。

《汽车技术》征稿启事

《汽车技术》杂志是中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车前瞻与应用技术类月刊,为我国高质量科技期刊分级目录入选期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊(A)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)收录期刊。

《汽车技术》杂志以报道汽车整车及其零部件设计、研究、试验等方面的前瞻与应用技术为主,并兼有理论研究内容,是中国汽车行业核心学术和知识传播与共享的平台。

《汽车技术》将在国家提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的指引下,把握《节能与新能源汽车技术路线图》和“低碳化、信息化、智能化”的汽车技术主流发展趋势,努力在传统内燃机汽车高效动力系统、轻量化、低阻力领域,新能源汽车和互联智能汽车技术领域,大力吸收优质稿源,为广大科研和工程技术人员服务,为我国汽车工程技术创新能力提升贡献力量。

《汽车技术》欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员及相关人员不吝赐稿,反映国家重点扶持项目、自然科学基金项目和其他重点项目等研究成果的稿件将被优先选择刊登。

投稿要求:

1. 文章字数最好控制在6 000~8 000字范围之内;
2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数控制在180字左右;
3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的参考文献,且在文中应标注文献引用处;
4. 文章主要作者应提供其简介,包括出生年、性别、职称、学历、研究方向及技术成果等;
5. 来稿的保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
6. 请勿一稿多投;
7. 本刊使用网站投稿,请先登陆网站注册成功后投稿,详细投稿要求见本刊网站中“下载中心”栏的“作者指南”,

网址: <http://qcjs.cbpt.cnki.net>。

《汽车技术》杂志编辑部