

全区间驱动及制动的单踏板控制方式研究

张 誉, 刘 凯, 李建英, 张秀宾, 徐丽鑫, 张 蕾

(北京福田欧辉新能源汽车有限公司, 北京 102206)

摘 要:针对目前新能源汽车单踏板控制存在的问题,本文研究了一种全区间加速及减速的单踏板控制方式。不仅操作简便,响应快,而且更加节能、平顺及安全。

关键词:新能源车;单踏板控制;全区间;驱动及制动

中图分类号:U462.3⁺2

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.01.002

Research on Single Pedal Control Method for Full Range Drive and Brake

ZHANG Yu, LIU Kai, LI Jianying, ZHANG Xiubin, XU Lixin, ZHANG Lei

(Beijing Foton Ouhui New Energy Vehicle Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: In response to current problems with single pedal control for new energy vehicles, this paper studies a single pedal control method for full range acceleration and deceleration, that is not only easy to operate and responsive, but also more energy-efficient, smooth, and safe.

Key words: new energy vehicle; single pedal control; full range; drive and brake

单踏板模式是汽车的一种新的驾驶模式,在非紧急制动或不需要制动停车的情况下,仅使用加速踏板即可实现车辆的加速和一般性减速(紧急制动和制动停车需要使用制动踏板)。当踩下加速踏板时,车辆会加速;当减小加速踏板开度时则会减速,而减速力度与减小的幅度呈线性关系。此模式可减少驾驶员操作制动踏板的频次,减轻了驾驶疲劳,提高了驾驶舒适性;能不同程度地回收动能,有利于提升经济性,增加续驶里程。目前,国外主流乘用车厂商的多种车型均有此功能;国内一些新能源乘用车也在应用单踏板模式。

1 现有单踏板模式对比及分析

1.1 常规的单踏板模式

目前多数电动车厂都采用常规的单踏板系统,这种单踏板系统较为简单,仅可选择单踏板模式和非单踏板模式。当选择非单踏板模式时,电门踏板仅用于车辆加速,不能起任何减速作用,减速需踩制动踏板。当选择单踏板模式时,根据松开电门踏板的深浅,产

生不同的电制动力,从而达到减速的目的;需要紧急制动或停车时,则需要踩制动踏板^[1]。

常规的单踏板控制系统一般把电门踏板开度 $[0, 100]$ 分成2个区间,当驾驶员开始踩电门时,在 $[0, P]$ (P 值可标定,一般在20到30之间)区间驱动扭矩为0,在 $(P, 100]$ 区间为驱动阶段,输出的驱动扭矩可根据电门深度和驱动电机转速确定^[2];当驾驶员松开电门踏板时,在 $[100, P)$ 区间输出的制动扭矩为0;在 $[P, 0]$ 区间为制动模式,输出的制动扭矩可根据电门深度和驱动电机转速确定。

在这种模式下,若需要车辆加速前进,电门踏板开度必须大于 P 才能起作用,从而导致加速有一定的延时性;当电门开度大于 P 时,若想要减速,需减小电门踏板开度,直到开度小于等于 P 才能减速,同样导致减速也有延时。即无论是加速还是减速,都具有一定延时性^[3],影响动力性及经济性。

1.2 一种特殊的单踏板模式

目前市场上还有一种特殊的单踏板模式。根据电门踏板产生的制动力度和效果,可分为缓行、转动

收稿日期:2024-09-02。

第一作者:张 誉(1985—),男,硕士,工程师,主要从事新能源客车控制策略开发工作。E-mail:276009980@qq.com。

和保持三种方式,如图1所示。常规制动踏板仍然保留,供紧急制动或停车时使用。

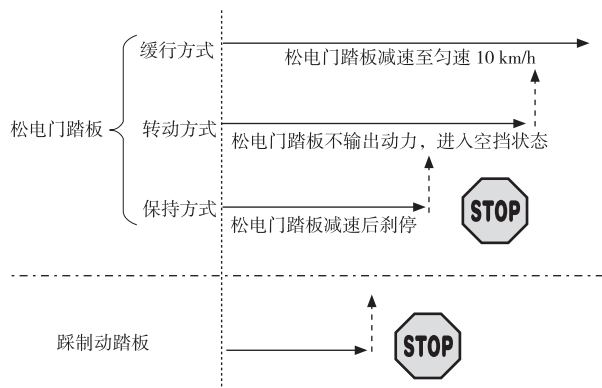


图1 一种特殊的单踏板模式

1) 缓行方式。这种方式下松开电门踏板,车辆会立即产生电制动力减速,减到一个很低的速度后保持缓行,平缓路面一般是 10 km/h。此方式下动能回收效率比后面的两种方式低一些,因为每次停车都必须踩制动踏板。制动能量回收能力弱,经济性较差。

2) 转动方式。这种方式下松开电门踏板,车辆会立即产生电制动力而减速,当接近完全停止状态时,车辆将进入自由状态(如同车辆处于无任何制动的空挡状态,包括不拉手刹、不踩制动踏板、无 EPB、无 autohold 等),所以要停车时需要踩制动踏板。此方式下制动能量回收效率适中,低于保持方式,高于缓行方式。经济性能虽优于缓行方式,但仍然较差。

3) 保持方式。这种方式下松开电门踏板,车辆会立即产生较大的电制动力,往前行驶一段距离后停车,效果类似于踩制动踏板停车,但是比踩制动踏板停车缓和一点。该方式车速会降到 0,然后自己驻停,不需要踩制动踏板,是三种方式中制动能量回收最强的,但这种能停车的单一踏板方式不符合我国相关标准^[4]。

另外,这三种方式的具体控制均具有常规单踏板的特征,故这三种方式均存在常规单踏板的问题,即驱动和制动均有一定延迟。

2 控制系统改进设计

本文改进后的单踏板系统的驾驶意图与电门踏板关系如图2所示,在电门踏板的全开度 $[0, 100]$ 范

围内,没有驱动模式和制动模式转换的临界点 P。在电门踏板的全开度范围内,通过电门踏板开度增大或减小的速率及范围,来区分是驱动控制模式还是制动控制模式^[5]。

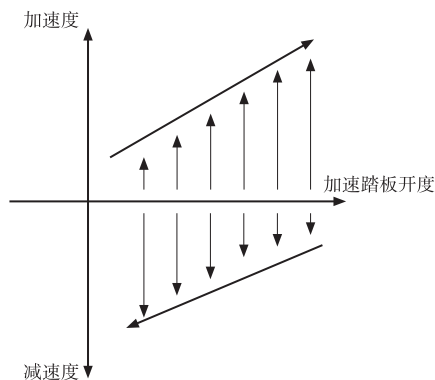


图2 驾驶意图与电门踏板关系

改进后的单踏板系统控制原理如图3所示,详细控制流程如下:

1) 起步踩电门踏板,整车控制器默认为驱动模式。初次踩电门踏板时,无论电门踏板开度在小于等于 A_1 (A_1 默认为 15%,可另外标定) 的范围内怎样变化,均为驱动模式。

2) 当电门踏板开度大于 A_1 后,继续踩电门踏板,则保持驱动模式不变;若快速松开电门踏板,在 T_1 (默认为 0.4 s,可另外标定) 内电门踏板开度减小,且减小量超过 A_2 (默认为 7.5%,也可取 $0.5A_1$,还可另外标定),则进入制动模式。

3) 在进入制动模式之前,驱动扭矩首先减小到 0,然后再增加到需求制动扭矩值。从驱动模式开始切换到制动模式,到达到目标制动扭矩之间的时间需大于 T_2 (默认为 0.2 s,也可取 $0.5T_1$,还可另外标定),以保障模式切换的平顺性。其中驱动扭矩减少不大于 N_1 (默认为 $5 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{ms}$,可另外标定);制动扭矩增加不大于 N_2 (默认 $4 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{ms}$,可标定),若达到目标制动扭矩的时间小于等于 T_2 ,则驱动扭矩减小到 0 后保持一定时间,使驱动状态转换到制动目标扭矩的总时间大于 T_2 ^[6]。

4) 在制动模式下再次深踩电门踏板,且 T_2 内电门开度变化大于 A_2 (默认为 7.5%,可另外标定) 时,再次进入驱动模式。制动模式转驱动模式时间应大于等于 T_2 ,若时间小于 T_2 ,则驱动扭矩减小到 0 后保

持一定时间,使制动状态转换到驱动目标扭矩的总时间大于 T_2 。

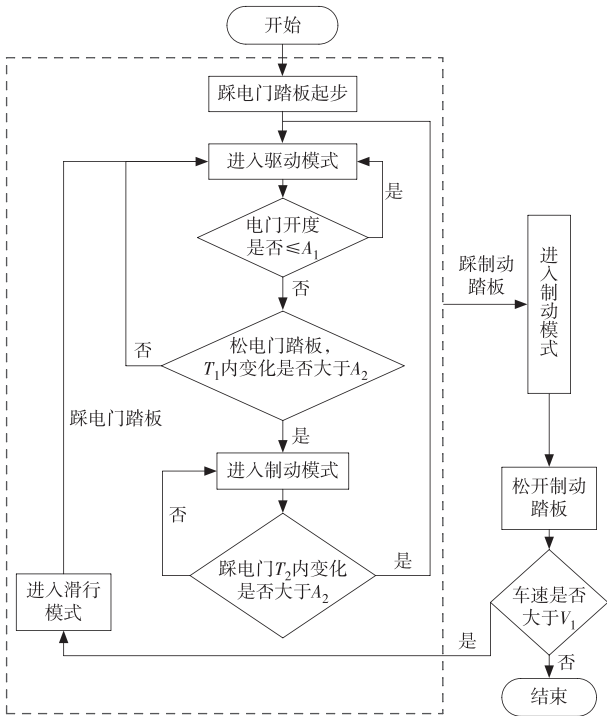


图 3 改进后的单踏板控制系统原理图

5) 在 2)~4) 整个控制过程中,若完全松开电门踏板,且车速大于 V_1 (默认为 10 km/h,可另外标定),则进入滑行模式。在滑行模式中,若再次踩电门踏板,则进入驱动模式。

6) 在 2)~5) 整个控制过程中,若驾驶员踩制动踏板,则进入制动模式;在制动模式中若松开制动踏板,则进入滑行模式^[7]。

7) 单踏板控制的制动模式仅用于一般减速,遇到紧急情况时,需踩制动踏板进行制动,以保障行车安全。

8) 在全部控制过程中,整车控制器优先响应制动踏板的信号。若制动踏板信号有效,则整车控制器立即响应制动踏板请求,立即退出单踏板控制模式。

3 系统仿真分析

为了评估改进后的系统对整车经济性和动力性的影响(包括各标定参数的最佳取值范围),首先用 MATLAB Simulink 进行控制系统建模^[8],然后通过 AVL Cruise 和 MATLAB 联合仿真。

3.1 MATLAB Simulink 建模

根据控制流程以及输入、输出变量,通过 Simulink 建立的驱动/制动系统的控制模型如图 4 所示。其中输入变量包括电门踏板开度、制动踏板开度、车速等;输出变量包括控制模式(驱动、滑行、制动模式)、需求扭矩等;标定变量包括电门开度变化量及变化时间等。变量列表见表 1。

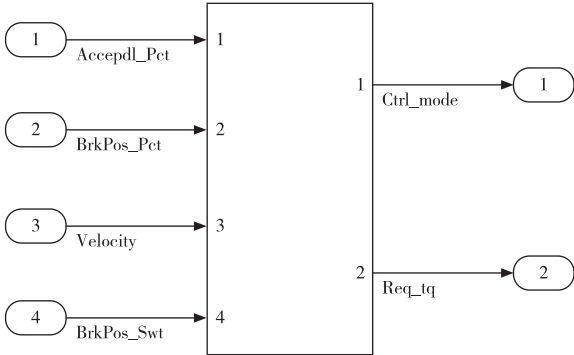


图 4 控制系统的 Simulink 模型

表 1 建模变量列表

变量类型	变量名称	最小值	最大值	说明
输入变量	电门踏板开度/%	0	100	
输入变量	制动踏板开度/%	0	100	
输入变量	车速/(km·h ⁻¹)	0	100	
输入变量	制动开关量	0	1	0:无效 1:有效
输出变量	需求扭矩/(N·m)	-10 000	10 000	
输出变量	控制模式	0	3	0:无效 1:驱动模式 2:制动模式 3:滑行模式
标定量	A_1 /%	0	100	电门开度变化
标定量	A_2 /%	0	100	电门开度变化
标定量	T_1 /s	0	2	变化时间
标定量	T_2 /s	0	2	变化时间

3.2 AVL Cruise 和 MATLAB 联合仿真

建立 MATLAB Simulink 模型后,生成 DLL 文件,然后和 AVL Cruise 联合仿真^[9]。

3.2.1 建立联合仿真模型

本仿真以某款 8 m 纯电动车辆的参数为基础,建立如图 5 所示的控制系统的联合仿真工程模型。主

要仿真参数^[10]见表 2。

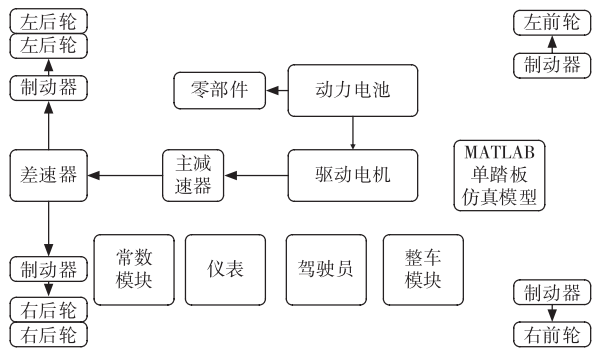


图 5 控制系统联合仿真工程模型

表 2 联合仿真参数

项目	参数	项目	参数
加载率/%	65	迎风面积/m ²	7.2
仿真工况	CHTC-B	电机额定扭矩/(N·m)	900
坡度/%	<1	电机峰值扭矩/(N·m)	2 000
SOC/%	80	轮胎	265/70R19.5
速比	6.14	整车机械传动效率	0.92

3.2.2 策略参数标定及仿真分析

1) 经济性仿真分析。根据车辆特性,选择中国城市客车典型行驶工况(CHTC-B)进行经济性能仿真测试,标定参数主要为 A_1 、 A_2 、 T_1 、 T_2 、 N_1 、 N_2 等。不同标定参数的经济性能略有差异,具体见表 3。

表 3 经济性仿真结果

序号	A_1 /%		A_2 /%		T_1 /s		T_2 /s		N_1 /(N·m)· N_2 /(N·m)· N_1 /(N·m)· N_2 /(N·m)		电耗/(kW·h)·100 km ⁻¹	
1	15	5	0.4	0.2	5	4	5	4	57.61			
2	15	7.5	0.4	0.2	5	6	5	6	56.49			
3	15	10	0.4	0.2	5	8	5	8	55.83			
4	20	5	0.4	0.2	10	4	10	4	58.13			
5	20	7.5	0.4	0.2	10	6	10	6	57.38			
6	20	10	0.4	0.2	10	8	10	8	56.01			
7	20	5	0.6	0.3	10	4	10	4	57.45			
8	20	7.5	0.6	0.3	10	6	10	6	56.31			
9	20	10	0.6	0.3	10	8	10	8	55.71			

从表 3 可知,参数 N_1 和 N_2 对经济性的影响较大;当 A_1 增加时,经济性变差;当 A_2 增加时,经济性变好。非单踏板模式的电耗为 59.08 kW·h/100 km,

经济性最差,第 9 组参数的经济性最好。本文单踏板模式的最低电耗比非单踏板模式的电耗下降了 3.37 kW·h/100 km,约为 5.7%。

2) 动力性仿真分析。在无单踏板策略时,该车型(加载 65%)0~50 km/h 加速时间的仿真结果为 9.88 s;在加入本文单踏板策略后,加速时间仿真值未增加,约为 9.85 s。由此可见,单踏板策略并不影响车辆的动力性能^[11]。

仿真结果表明,本文提出的单踏板控制策略的经济性能更好,无延迟,模式切换平顺,且动力性不受影响。

4 驾驶员主观评价

以一款 8.5 m 纯电动城市客车为例,选取 10 名驾龄超过 5 年的北京公交驾驶员,在交通运输部公路交通试验场(北京通州)进行实车主观评价测试。结果显示,超过 80%的驾驶员对驱动模式、制动模式,以及驱动和制动相互转换的平顺性和舒适性给出了“良好”及以上的评价,超过 30%的驾驶员给出了“优秀”的评价,达到预期。详细的主观评价结果见表 4。

表 4 驾驶员主观评价(平顺性及舒适性)

驾驶员	驱动模式	制动模式	驱动转制动	制动转驱动	整体
驾驶员 1	优秀	良好	良好	良好	良好
驾驶员 2	良好	一般	一般	一般	一般
驾驶员 3	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀
驾驶员 4	优秀	良好	良好	良好	良好
驾驶员 5	优秀	优秀	优秀	良好	优秀
驾驶员 6	优秀	良好	良好	一般	良好
驾驶员 7	良好	良好	良好	良好	良好
驾驶员 8	优秀	良好	优秀	优秀	优秀
驾驶员 9	一般	一般	良好	一般	一般
驾驶员 10	优秀	良好	良好	良好	良好

注:驾驶员评价为 4 个等级,从低到高分别为“差”“一般”“良好”“优秀”。

5 结 论

针对目前市场上单踏板系统普遍存在的加减速延迟等问题,利用电门变化速率和变化大小确定控制

(下转第 14 页)

车辆后部 25 号测点压力的仿真值与试验值差异也较大,是因为车辆背压取决于尾涡的强度和其涡心的位置,而尾涡的模拟精度主要取决于对车尾部分的模拟精度,CFD 仿真中客车车体较长、底盘部分零部件众多且零部件形状不规整,造成车底尾部分离点的建模不准确,而这对气流的影响又较大,从而导致 25 号测点压力的仿真值与试验值相差较大。

3 结束语

本文研究了某客车空气动力学部件对风阻系数的影响,并基于风洞试验对 CFD 仿真精度进行了评估。结果表明,前导流罩、空调后导流罩、后视镜导流特征以及后轮罩均对整车风阻有重要影响。将风阻仿真结果与风洞试验结果进行了对标,总体误差小于 3%,表明可以通过该仿真模型进行系列方案的优化分析。后续将进一步研究该仿真技术与风洞试验在个别位置的对标精度问题,不断改进仿真方法,提升其可信度。

参考文献:

[1] 王佳. 纯电动汽车能量管理关键技术及高压安全策略研究

[D]. 北京:北京理工大学,2014.

- [2] 马浩然,李佳辉,毕崑. 新能源汽车热管理研究综述[J]. 汽车实用技术,2023(8):1-9.
- [3] 王博. 汽车车身造型与风阻特性优化研究[D]. 西安:西安理工大学,2020.
- [4] 李林,林强,陈建超,等. 基于 STAR-CCM+ 的某轿车减阻优化研究[J]. 汽车技术,2016(9):4-8.
- [5] 杨芯萍,宋春华,曾孟兰,等. 空气动力学对汽车外形设计的影响综述[J]. 汽车实用技术,2020(6):123-125.
- [6] 方忠,吴长风,于霖冲,等. 前围造型对 12 m 客车空气动力学性能影响研究[J]. 客车技术与研究,2018,40(2):5-8.
- [7] 梅进明. 空气动力学在客车造型设计中的应用[J]. 客车技术与研究,2017,39(2):29-31.
- [8] 陶莉莉. 基于流固耦合的高速客车气动特性研究[D]. 济南:山东大学,2014.
- [9] 江涛,高嵩,汪怡平,等. 客车基本形体的空气动力学特性研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(6):1233-1236.
- [10] 胡汉桥. 12 米旅游客车气动特性分析与优化[D]. 厦门:厦门理工学院,2016.
- [11] 夏应波. 电动客车外流场的数值模拟[J]. 客车技术与研究,2014,26(3):17-19.

(上接第 9 页)

模式,不仅解决了单踏板加减速迟缓的问题,还在不改变整车紧急制动安全性能的前提下,提高了驾驶舒适性,改善了整车经济性,且不影响整车动力性。

参考文献:

- [1] 卢雄,欧阳智,杨杰君,等. 纯电动汽车单踏板控制系统研究与实现[J]. 客车技术与研究,2022,44(6):10-13.
- [2] 余志生. 汽车理论[M]. 5 版. 北京:机械工业出版社,2009:2-17.
- [3] 何洪文,楼金彪. 单踏板再生制动控制研究[J]. 车辆与动力技术,2022(2):1-6.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 再次公开征求《乘用车制动系统技术要求及试验方法》强制性国家标准意见[R/OL]. [2024-09-20]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/zhys/qcgy/art/2024/art_c20dfec760b04cad999ac5270f80b61a.html.

- [5] 马欢欢,王伟,曲辅凡. 纯电动汽车单踏板制动关键技术研究[C]//中国汽车工程学会. 2019 中国汽车工程学会年会论文集(4). 北京:机械工业出版社,2019:1765-1769.
- [6] 黄灵辉,杨顺,陈小强,等. 电控制动系统响应时间测试系统设计与应用[J]. 专用汽车,2021(5):63-65.
- [7] 刘倩. 新能源汽车电子控制的关键性技术研究[J]. 中国新通信,2019,21(21):228.
- [8] 何水龙,陈科任,叶明松,等. 基于 MATLAB 的商用车平顺性优化与分析[J]. 机械设计与制造,2021(1):224-227.
- [9] 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.
- [10] 王锐,何洪文. 基于 Cruise 的整车动力性能仿真分析[J]. 车辆与动力技术,2009(2):24-26.
- [11] 王银,张灏琦,孙前来,等. 基于自适应 MPC 算法的轨迹跟踪控制研究[J]. 计算机工程与应用,2021,57(14):251-258.