

纯电动汽车单踏板控制系统研究与实现

卢雄, 欧阳智, 杨杰君, 汪帆, 王全

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要:提出纯电动汽车的一种单踏板控制系统。通过加速踏板实现对整车的驱动、滑行、非紧急制动、停车和驻车等工况的控制,在提升驾驶体验、减轻驾驶强度的同时,使整车更加节能,行车更加安全。

关键词:纯电动汽车;单踏板控制;制动;节能

中图分类号:U469.72⁺2

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)06-0010-04

Research and Realization of Single Pedal Control System for Pure Electric Vehicles

LU Xiong, OUYANG Zhi, YANG Jiejun, WANG Fan, WANG Quan

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: This paper proposes a single pedal control system for pure electric vehicles, which can control the vehicle driving, coasting, non-emergency braking, stopping and parking through the accelerator pedal. The system improves the driving experience and reduces the driving strength while making the vehicle energy-saving and enhancing safety driving.

Key words: pure electric vehicle; single pedal control; braking; energy saving

本文中的单踏板控制能够利用加速踏板实现对整车的驱动、滑行、非紧急制动、停车和驻车等工况的控制。即踩下加速踏板车辆起步加速;松开加速踏板到一定程度时车辆会从驱动状态进入滑行状态;继续松加速踏板车辆会进入制动减速状态;如一直保持松开的状态,车辆会一直制动直至停车和驻车。相较普通单踏板系统(无滑行、停车和驻车控制)而言,该系统能实现全工况单踏板驾驶控制,在保证制动舒适性的同时让整车达到最大强度的制动能量回收;在节能的同时降低了驾驶员在加速踏板和制动踏板间来回切换的频率,减轻驾驶员驾驶负担^[1-4]。该系统仍然保留原有的制动踏板,用于驾驶员在紧急状况下的紧急制动需求。本文主要针对利用加速踏板进行非紧急制动的控制而展开论述。

1 系统控制原理

本文提出的纯电动汽车单踏板控制系统是利用电机实现电驱动、滑行和电制动再生扭矩的输出。当电制动再生扭矩无法提供足够的制动力时,利用EBS气制动系统补偿电制动力的不足;当整车停车后系统自动触发Auto Hold功能,消除车辆溜车风险。

2 系统控制分析

2.1 驾驶意图识别原理

根据驾驶员踩驱动踏板的深度(即踏板开度百分比)识别驾驶意图。第一代产品是把驱动踏板开度 $[0, 100]$ 分成2个区间,起步踩踏板时,踏板开度逐渐增大,在 $[0, 23)$ 区间输出扭矩为0, $[23, 100]$ 区间为驱动阶段;松踏板时,踏板开度逐渐减小,在 $[100, 23]$ 区间为驱动阶段, $(23, 0]$ 区间为制动阶段,如图1

收稿日期:2022-06-30。

第一作者:卢雄(1996—),男,工程师;主要从事新能源汽车整车控制与辅助驾驶控制软件开发工作。E-mail:925096526@qq.com。

所示。试验中发现, 每次驱动车辆时动力输出均出现延迟问题。这是因为驾驶员必须踩驱动踏板至开度大于 23 时才有动力输出。

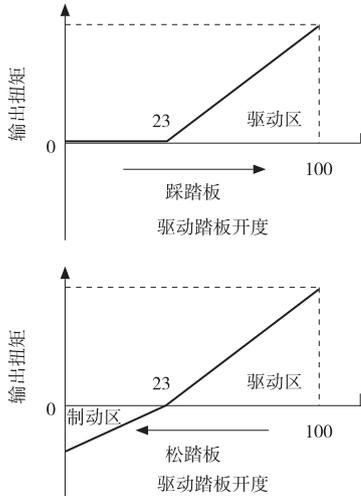


图 1 驾驶意图与驱动踏板开度关系 V1.0

对第一代产品进行改进, 将踩踏板时的驱动零点设置为 4, 松踏板时的制动零点设置为 17, 如图 2 所示。具体是: 起步踩踏板时 $[0, 4]$ 输出扭矩为 0, $[4, 100]$ 为驱动阶段; 松踏板时 $[100, 17]$ 为驱动阶段, $(17, 0]$ 为制动阶段, 其中制动阶段的制动强度是以图中 a 开度值为分界点, a 根据整车当前车速以及驱动踏板开度变化而变化, 因此 a 是不定值, 具体 2.3 节中会详细介绍。但试验中发现, 因路面颠簸等非驾驶员期望因素会导致驱动踏板开度值在驱动/制动分界点 17 附近频繁波动, 影响驾驶舒适性。

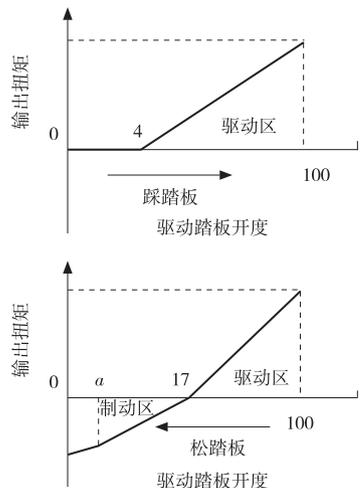


图 2 驾驶意图与驱动踏板开度的关系 V2.0

对第二代产品进行改进, 在松踏板时的驱动和制动区之间增加一段滑行缓冲区间, 如图 3 所示。具体是: 起步踩踏板时 $[0, 4]$ 目标扭矩输出为 0, $[4, 100]$ 为驱动阶段; 松踏板时 $[100, 22]$ 为驱动阶段, $(22, 17]$ 为滑行阶段, $(17, 0]$ 为制动阶段。起步踩踏板和松踏板的制动阶段与第二代产品相同。

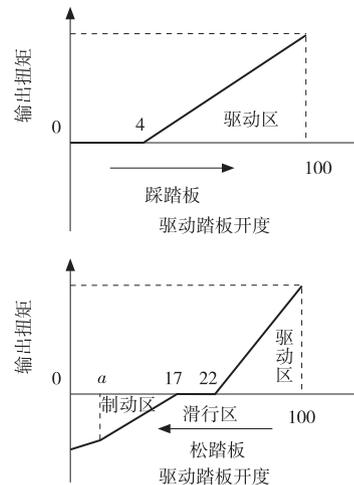


图 3 驾驶意图与驱动踏板开度的关系 V3.0

2.2 非制动阶段控制

驾驶意图识别完成后需要根据驾驶意图控制驱动、滑行、制动扭矩的输出。其中制动阶段控制过程在 2.3 节重点介绍。

1) 驱动扭矩控制: 当整车处于驱动阶段时, VCU 控制驱动扭矩输出。为保持整车驱动特性, 驱动扭矩的大小与传统双踏板的驱动扭矩保持同步, 使驱动时的驾驶感受和传统双踏板模式保持一致。

2) 滑行扭矩控制: 当整车处于滑行阶段时, VCU 控制滑行扭矩输出为 0 即可。

2.3 制动阶段控制

当整车处于制动阶段时, 控制扭矩和气制动减速度输出最为关键, 因为两者的大小直接影响整车驾驶的安全性和乘坐的舒适性。

2.3.1 制动需求减速度标定

当驾驶员松踏板进行制动时, 若前车速越大或踏板松得越多, 可认为驾驶员期望制动时的需求减速度越大。因此将最大的制动区间 $(17, 0]$ 映射成虚拟制动踏板开度区间 $[0, 100]$ 来反映驾驶员松踏板的程度, 根据现场实际情况标定一个虚拟制动踏板开度

V_{bd} 与总需求减速度 a_0 的系数 β 的 MAP1(见表1)。由于车速 V 和需求减速度也是正相关关系,同理可标定出不同车速对应的需求减速度 a (只与车速有关)的 MAP2(见表2)。将两个 MAP 的输出 β 与 a 进行乘积就得到总的需求减速度 a_0 (与驱动踏板开度和车速都有关),它反映了驾驶员在制动过程中对目标减速度的需求。

表1 V_{bd} 与 a_0 的系数 β 的标定对应

$V_{bd}/\%$	β	$V_{bd}/\%$	β
0	0	50	0.72
10	0.28	60	0.75
20	0.55	70	0.80
30	0.63	80	0.90
35	0.66	90	0.95
40	0.69	100	1

表2 制动请求时 V 与 a 的标定对应

$V/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	$a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	$V/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	$a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
0	0	25	1.20
2	0.74	30	1.20
4	0.80	35	1.20
6	0.90	40	1.20
8	1.10	45	1.10
10	1.20	50	1.00
15	1.20	55	0.90
20	1.20	60	0.80

2.3.2 制动需求扭矩控制

对于纯电动客车而言,其制动力来源有驱动电机输出的回馈电制动力及制动系统输出的气制动力^[5]。

由车辆在道路上制动时的力学平衡方程可知^[6],制动总需求扭矩 T_{tq} :

$$T_{tq} = \frac{\left[\left(\delta m a_0 - m g f \cdot \cos \alpha - \frac{C_D A v^2}{21.15} - m g \cdot \sin \alpha \right) r \right]}{i_0 \cdot \eta_T}$$

式中: m 为整车载重; a_0 为需求减速度; g 为重力加速度; f 为滚动阻力系数; α 为坡道角度(上坡为正,下坡为负); C_D 为风阻系数; A 为迎风面积; v 为车速; δ 为旋转质量换算系数($\delta > 1$); r 为半径; i_0 为后桥速比; η_T 为传动效率。

当电制动力无法提供足够的制动力来达到系统

需求的减速度时,需要制动系统及时自动介入以补偿电制动力的不足。由于VCU发出气制动控制指令到气制动力反映到车轮端有大约600~800ms的延迟,为了保证制动力的连续性,让气制动力提前一段时间(根据实际状态标定)介入以消除气制动力迟滞问题。

由于VCU与气制动系统是通过减速度值进行交互而非扭矩值,因此当系统有气制动请求,即 T_{tq} 大于当前车辆最大允许电制动扭矩 $T_{E_{max}}$ 时,需要将气制动扭矩 T_{Air} 转换成气制动减速度值 a_{Air} 进行输出控制^[7]。即计算出气制动所需要输出的扭矩值 T_{Air} 和对应产生的制动减速度 a_{Air} 的公式如下:

$$T_{tq} = T_{E_{max}} + T_{Air}, \text{ 即 } T_{Air} = T_{tq} - T_{E_{max}}$$

$$a_0 = a_{E_{max}} + a_{Air} + a_w + a_r + a_f, \text{ 即 } a_{Air} = a_0 - a_{E_{max}} - a_w - a_r - a_f$$

式中: $a_{E_{max}}$ 、 a_w 、 a_r 、 a_f 分别为电制动力、风阻力、坡道阻力以及滚动阻力作用于整车的减速度值。

2.3.3 扭矩滤波

本文车辆为电机直驱传动结构,即驱动电机的动力输出轴齿轮直接与后桥的主减速器输入轴齿轮连接传动,当整车在驱动工况和制动工况相互转换时,扭矩方向改变的瞬间(简称扭矩过零)对主减速器齿轮的冲击较大。为了减小扭矩过零冲击,提升驾乘的舒适性,需要对扭矩进行滤波:即在扭矩非过零状态,要求实际扭矩及时响应驾驶员的请求扭矩,所以扭矩变化应尽量快;在扭矩过零前120N·m(根据实际情况标定)扭矩变化率尽量小一些,且维持100ms的过零时间,让齿轮与齿轮间缓慢啮合,减小过零冲击。扭矩滤波前后的效果如图4所示。

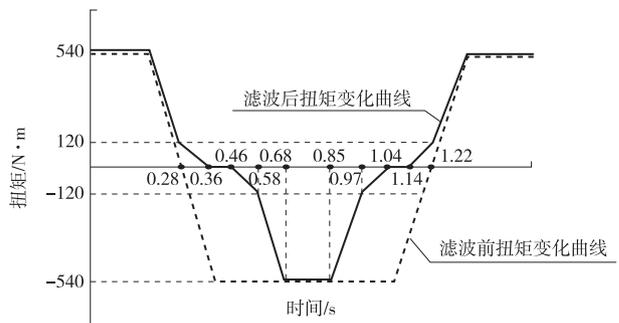


图4 扭矩滤波效果示意图

2.3.4 扭矩仲裁

当驾驶员踩制动踏板时会产生一个制动踏板请求扭矩, 此时由于驾驶员松驱动踏板到制动阶段也会产生一个单踏板制动请求扭矩, 因此需要VCU对两个请求扭矩进行仲裁, 以判断系统响应哪个请求扭矩是合理的。

如果驾驶员踩制动踏板, 说明有强烈的制动意图, 此时单踏板制动请求扭矩不为0, 但踏板制动扭矩是随着驾驶员踩制动踏板从0开始增大的, 因此为了防止由于踩制动踏板导致制动扭矩突然下降至0后又开始突然增大造成整车抖动情况出现, 系统应该响应两者中制动扭矩的较大值。

2.4 Auto Hold 控制

利用EBS系统的临停功能接口以及EPB系统的自动驻车功能接口, 驾驶员可以利用一个踏板完成临停和驻车。在车辆行驶的过程中, 临时停车的场景甚是常见, 驾驶员利用单踏板就可以控制车辆临停, 即使不踩制动踏板车辆也不会出现溜车问题, 同时仪表会提醒驾驶员此时车辆已进入临停状态。如需继续行驶, 驾驶员只需轻踩驱动踏板即可。如果车辆连续60s(时间可调)处于临停状态, 为了防止异常掉电或其他故障导致临停制动力消失而发生安全事故, 系统会自动触发自动驻车功能(EPB)消除安全隐患, 此时仪表会提醒驾驶员车辆已进入驻车状态。

3 结束语

在单踏板驾驶模式下, 驾驶员可以通过一个踏板

完成对整车的驱动、非紧急制动、停车与驻车等工况控制, 减轻了驾驶员的驾驶负担。相较于传统双踏板驾驶模式, 单踏板驾驶模式平均百公里能耗和制动踏板使用频率都有所降低, 说明单踏板控制技术的研究对电动汽车的性能及驾驶体验的提升具有重大意义^[7-9]。

参考文献:

- [1] 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. 北京: 机械工业出版社, 2019: 760-764.
- [2] 王猛, 孙泽昌, 卓桂荣, 等. 电动汽车制动能量回收系统研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 6-10.
- [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] 童成前, 郑素云, 王华拓. 汽车制动踏板感匹配方法探讨[J]. 公路与汽运, 2020(6): 8-10.
- [5] 王计广, 李孟良, 徐月云, 等. 电动汽车制动能量回收系统评价方法研究[J]. 汽车技术, 2014(12): 35-39.
- [6] 唐鹏. 电动汽车制动能量回收的分析与研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [7] 卢雄, 王全, 文健峰, 等. 基于超声波的加速踏板防误踩控制系统[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(4): 18-21.
- [8] 刘博, 杜继宏, 齐国光. 电动汽车制动能量回收控制[J]. 电子技术应用, 2004, 30(1): 34-36.
- [9] 王治中. 分布式电液制动系统的设计与控制[D]. 北京: 清华大学, 2014.