

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.06.012

基于驾驶意图识别的 DCT 模糊换挡控制策略研究*

丁 华, 徐 聪

(江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要:针对汽车行驶时出现的频繁换挡问题,利用模糊推理方法对驾驶员驾驶意图进行了辨识,并对传统换挡控制策略下的双离合自动变速器换挡性能进行了研究。在双离合自动变速器传统换挡控制策略以及驾驶意图识别的基础上,提出了双离合自动变速器模糊换挡控制策略;建立了基于 Matlab/Simulink 的双离合自动变速器模糊换挡控制策略仿真模型,通过与传统换挡控制策略下的双离合自动变速器换挡性能仿真结果的对比,验证了基于驾驶意图识别的双离合自动变速器模糊换挡控制策略的有效性。研究表明:该换挡控制策略可以有效降低车辆的换挡次数,消除了车辆行驶时发生的频繁换挡现象,提高了驾驶员的乘坐舒适性以及汽车行驶安全性。

关键词:双离合自动变速器;驾驶意图识别;换挡控制策略;模糊控制

中图分类号:TH39;U463.212

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)06-0608-05

Fuzzy shift control strategy of DCT based on driving intention recognition

DING Hua, XU Cong

(School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Aiming at the problem of frequent shift during the driving of vehicle, the fuzzy reasoning method was used to identify driving intention, and the shift performance of dual clutch transmission (DCT) under the traditional shift control strategy was studied. A method of the DCT fuzzy shift control strategy was presented based on the traditional shift control strategy and the driving intention recognition. The simulation model of DCT based on Matlab/Simulink was established, the effectiveness of fuzzy shift control strategy of DCT based on driving intention recognition was verified by comparing with the DCT performance simulation results of traditional shift control strategy. The results indicate that the shift control strategy could effectively reduce the frequency of shifting, the phenomenon of frequent shift is eliminate during the driving of vehicle. The riding comfort of driver and the vehicle safety is improved.

Key words: DCT; driving intention recognition; shift control strategy; fuzzy control

0 引 言

双离合自动变速器(DCT)是在手动变速器的基础上发展而来的一种新型的自动变速器,是一种用双离合器和换挡控制装置实现纯机械自动变速的先进技术。换挡控制策略作为 DCT 挡位变换控制系统的关键技术,其挡位决策点的合理性将直接影响着整车的最佳性能的发挥以及驾驶操纵性的优劣。目前,自动

变速器主要采用的换挡规律包括:两参数换挡规律,动态三参数换挡规律^[1-2]。驾驶员的驾驶意图影响着汽车行驶的整个过程。但是,目前这两种换挡规律没有考虑到驾驶意图对 DCT 换挡决策系统的影响。当驾驶员意图发生较大变化时,依据传统换挡规律所确定的最优挡位可能引起频繁换挡现象^[3-5]。

为了解决汽车行驶时所出现的频繁换挡问题,有必要对驾驶意图进行参数辨识,研究驾驶意图与汽车行驶状态以及自动变速器换挡控制策略的关系。同

收稿日期:2017-11-07

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51705208);江苏省六大人才高峰资助项目(JXQC-041)

作者简介:丁 华(1976-),男,江苏南通人,副教授,主要从事汽车传动系统理论与控制方面的研究。E-mail: dh@ujs.edu.cn

时,在驾驶意图识别的基础上对车辆传统换挡规律进行实时修正,来减少自动变速器的换挡次数,消除车辆频繁换挡现象。

因此,本研究将在传统两参数换挡规律和驾驶意图识别的基础上,通过采用模糊控制方法对双离合自动变速器的传统两参数换挡规律进行实时修正;利用 Matlab/Simulink 建立双离合自动变速器换挡控制策略仿真模型,对其换挡性能进行仿真分析。

1 驾驶员意图识别

为了满足行驶环境变化所带来的对于车辆动力的需求,驾驶员驾驶意图也是会随着行驶环境变化改变,也就是行车时驾驶员的期望加减速特性也是随时改变的。因此,要对驾驶员意图进行实时在线识别,并根据驾驶员意图来实现 DCT 挡位自适应决策。

本文通过加入相对油门开度这一重要参数来表达驾驶员在车辆实际行驶过程时的加速和减速意图。同时,为了表达驾驶员在车辆实际行驶过程时对于加速和减速意图的期望程度,文中通过引入油门开度变化率这一参数来解析驾驶员驾驶意图。

为实现上述驾驶员意图参数辨识,笔者首先对行车时的整车动力学模型进行受力分析。汽车在行驶过程中,为了获得汽车行驶时的驱动力要求,必须克服来自于行车过程中的道路阻力^[6]。根据上述行车过程中的受力分析,可得到行车时的汽车受力平衡方程式:

$$F_t = Gf \cos \theta + \frac{C_D A v^2}{21.15} + G \sin \theta + \delta m \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

式中: F_t —汽车驱动力; G —汽车重力; m —整车质量; f —滚动阻力系数; θ —道路坡度角; C_D —空气阻力系数; A —迎风面积; δ —汽车旋转质量换算系数; v —车速。

假设车轮的动态滚动半径为 r ,则:

$$\frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} = Gf \cos \theta + \frac{C_D A v^2}{21.15} + G \sin \theta + \delta m \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

式中: T_{iq} —发动机输出扭矩; i_g —变速器挡位速比; i_0 —主减速器速比; η_T —传动系效率。

式(2)中,令 $dv/dt = 0$,则可得到汽车在水平良好路面上等速稳定行驶的平衡方程式:

$$\frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} = Gf + \frac{C_D A v^2}{21.15} \quad (3)$$

其中,发动机实时转速与汽车行驶车速有下列关系成立:

$$v = 0.377 \frac{rn}{i_g i_0} \quad (4)$$

根据发动机稳态特性及式(4),可以得到发动机扭矩 T_{iq} 是车速和油门开度的函数^[7],即 $T_{iq} = f(v, \alpha)$ 。

因此,可以得到汽车在水平道路上等速行驶时,不同挡位下所对应的油门开度 α_e ,即使车辆在良好水平道路上以目前挡位及目前车速匀速稳定行驶时的油门开度。其函数关系式为:

$$f(v, \alpha_e) - Gf - \frac{C_D A v^2}{21.15} = 0 \quad (5)$$

由此,可以定义相对油门开度为:

$$\alpha_r = \frac{\alpha - \alpha_e}{\alpha_e} \quad (6)$$

根据相对油门开度识别在行车过程中的加速和减速意图,即相对油门开度大于零时,表明此时的车辆行驶状态下,驾驶员有较为明显的加速意图。当相对油门开度小于零时,表明此时的车辆行驶工况下,驾驶员意图表现为减速意图。当相对油门开度等于零时,表明此时车辆在道路上是匀速行驶的,即此时驾驶员意图表现为维持车速稳定行驶。

油门开度变化率的大小表示驾驶员对于加减速的期望程度^[8],其在正方向较大时,表明此时的车辆行驶工况下,驾驶员有着强烈的加速意图,表现为急加速意图。油门开度变化率在负方向较大时,表明此时的车辆行驶工况下,驾驶员有着强烈的减速意图,表现为急减速意图。

综合对驾驶意图的分析,本文将其分成紧急加速、一般加速、维持车速、减速行驶、紧急减速 5 种类型。对装配 DCT 的车辆在行驶过程中出现的换挡频繁问题进行模糊修正换挡。

2 传统换挡规律下的 DCT 性能仿真

2.1 频繁换挡原因分析

以车速和油门开度为基础的传统两参数换挡规律是在汽车在稳定工况下所制定的^[9]。此时,若汽车行驶环境发生变化,驾驶员必然会操纵油门踏板来实现自身的行驶意图,这样就会引起油门开度的变化。甚至在一些工况下,比如加速工况,紧急停车工况,会出现驾驶员突然深踩油门踏板或快速松开加速踏板的情况,此时油门开度会快速变大或变小。

在汽车行驶过程中存在惯性作用,车辆行驶速度的变化滞后于油门开度的变化。在这种情况下就会出现油门开度变化而车辆行驶速度保持不变的状况。根据车辆最佳性能所制定的传统换挡规律可知,驾驶员意图的改变引起了油门开度的变化,而油门开度的变

化又引起车速的变化。因此,在行车过程中 DCT 车辆容易出现频繁换挡的情况。

传统两参数换挡规律如图 1 所示。

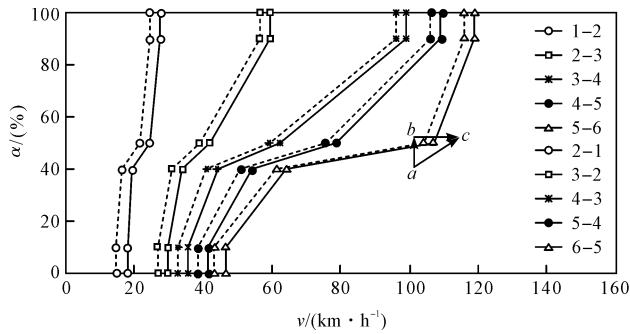


图 1 传统两参数换挡规律

由图 1 可以看出:油门开度在 a - b 段快速变化,表明此时驾驶员有加速意图。车辆由于行驶过程中存在惯性作用,行驶速度的变化滞后于油门开度的变化。因此,此时的车速保持不变,导致车辆越过升挡线而换入 5 挡。车辆降为 5 挡后,车辆驱动力变大,导致行驶车速在 b - c 段变化而升高,此时,车辆越过降挡线而换入 6 挡。如此往复操作使 DCT 的挡位在 5 挡和 6 挡之间频繁动作。

2.2 换挡控制策略仿真模型搭建

本文建立了 DCT 换挡控制策略及整车动力传动系统模型对其换挡性能进行仿真。为实现汽车在循环工况下行驶时的目标车速很好地跟随实际车速,本研究通过 PID 控制方法来实现车速的跟随,根据循环工况目标车速以及汽车实际行驶车速得到车辆油门开度。在驾驶员模型中,油门开度作为变速器控制器模型的输入参数。

仿真中 DCT 车辆主要参数如表 1 所示。

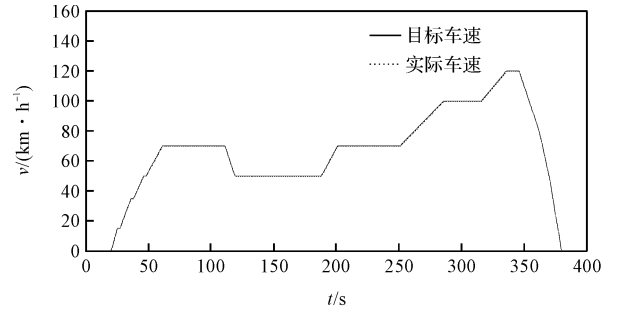
表 1 DCT 车辆主要参数

参数	参数值
整车质量 m/kg	1 300
车轮滚动半径 r/m	0.312
滚动阻力系数 f	0.012
空气阻力系数 C_d	0.306
迎风面积 A/m^2	2.445
传动系效率 η_T	0.96
主减速比 i_0	3.7
1~6 挡速比 i_{gn}	3.78/2.18/1.43/1.03/0.935/0.84

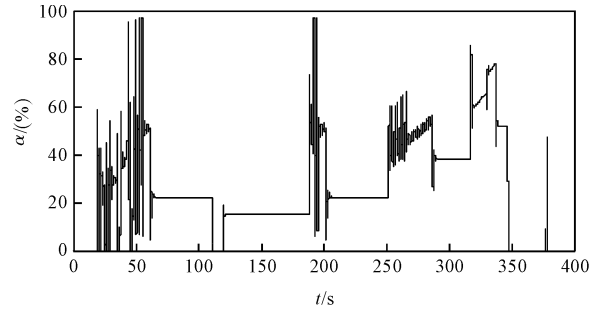
2.3 仿真结果及分析

整车动力传动系统的输入工况选择欧洲循环行驶 EUDC 工况,并对传统换挡规律下的 DCT 换挡性能进行仿真,仿真时间设置为 400 s。

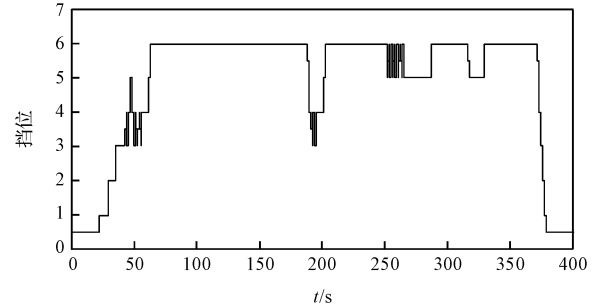
传统换挡规律下 DCT 性能仿真结果如图 2 所示。



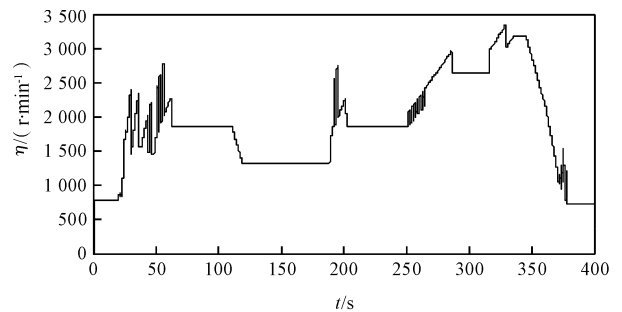
(a) 目标车速与实际车速随时间的变化



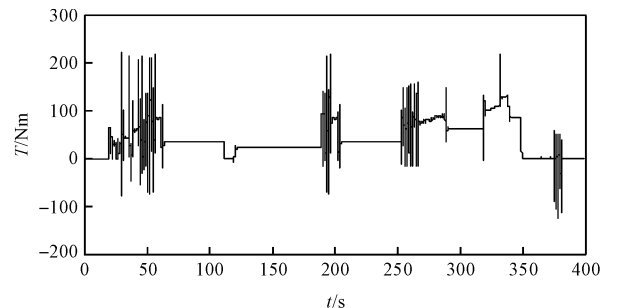
(b) 油门开度随时间的变化



(c) 挡位随时间的变化



(d) 发动机转速随时间的变化



(e) 发动机扭矩随时间的变化

图 2 传统换挡规律下的 DCT 性能仿真结果

从 EUDC 循环工况下离线仿真的挡位结果可以看出(图 2(c)):在 50 s 后,车辆在加速的过程中,DCT 挡位在 3 挡和 4 挡之间频繁动作;同样在 250 s 后的一段时间内,驾驶员有加速意图,驾驶员操纵油门踏板以达到目标车速,此时油门开度瞬间增大,换挡点越过降挡线,挡位降低为 5 挡;为保持车速稳定,驾驶员降低油门开度,此时换挡点越过升挡线,挡位升为 6 挡;换挡点不断地越过升挡线和降挡线就产生了频繁换挡现象。同时,在这段时间内,由于频繁升挡、降挡,发动机转速发生剧烈变化(图 2(d))。另外为达到在变速器不同挡位下的转矩需求,发动机扭矩也存在剧烈的变化(图 2(e))。这对 DCT 的使用寿命以及驾驶操纵性有着较为严重的影响。

因此,需要基于驾驶员驾驶意图识别对挡位进行实时在线模糊修正。

3 基于驾驶意图识别的模糊修正换挡控制策略

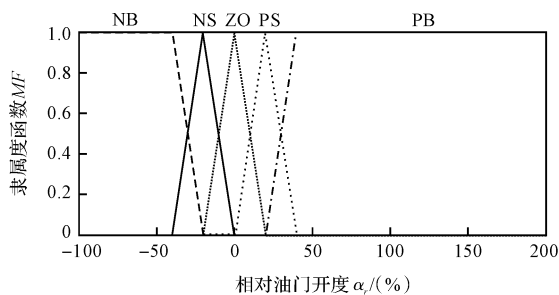
3.1 传统换挡规律模糊修正

本文根据上文分析,在传统两参数换挡规律的基础上,采用模糊控制方法对换挡车速进行实时在线修正。

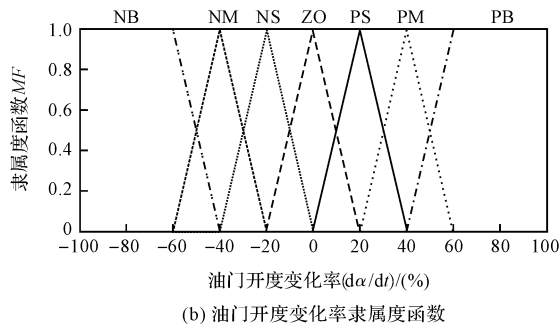
由于相对油门开度和油门开度变化率的大小在实际中均可以视为模糊变量,故可采用模糊推理的方法来确定换挡车速修正系数。通过结合汽车实际行驶状态,可以得到驾驶意图辨识参数以及换挡车速修正系数的模糊子集及相对应的基本论域。

相对油门开度 α_r 论域取 $[-100, 200]$,其模糊子集为:NB(负大)、NS(负小)、ZO(基本不变)、PS(正小)、PB(正大);油门开度变化率 da/dt 论域取 $[-100, 100]$,其模糊子集为:NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(基本不变)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大);换挡车速修正系数 λ 的模糊子集为:S(小)、M(适中)、B(大)^[10]。

驾驶意图辨识参数隶属度函数如图 3 所示。



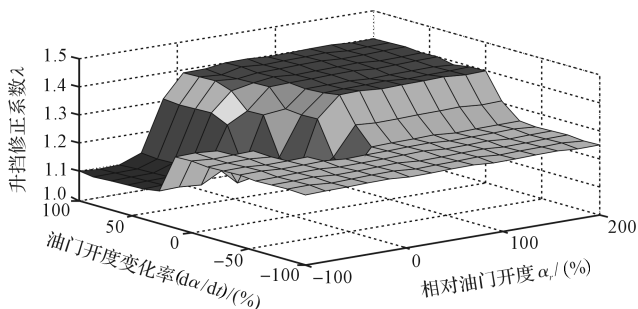
(a) 相对油门开度隶属度函数



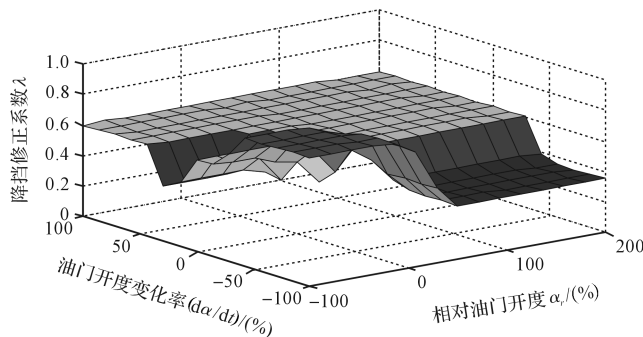
(b) 油门开度变化率隶属度函数

图 3 相对油门开度及油门开度变化率隶属度函数

本研究通过汽车行驶情况以及专家经验,制定挡位模糊规则,以在模糊控制器中获取模糊规则插值曲面,如图 4 所示。



(a) 升挡模糊特性曲面



(b) 降挡模糊特性曲面

图 4 模糊规则及其特性曲面

3.2 模糊修正换挡仿真结果及分析

本研究在 Matlab/Simulink 中建立基于驾驶意图识别的模糊换挡控制仿真模型,仿真模型如图 5 所示。

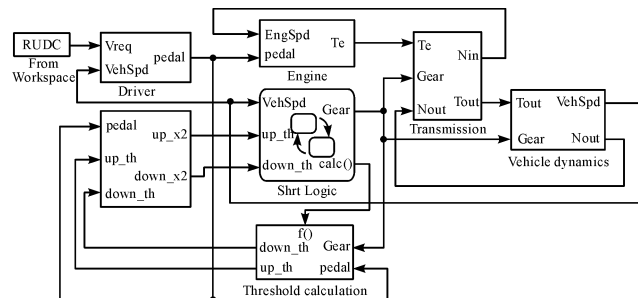


图 5 DCT 模糊换挡控制仿真模型

本研究以相对油门开度及油门开度变化率作为系统的输入量,换挡车速修正系数作为系统的输出量,对行车时的换挡车速进行实时修正。模糊换挡控制系统的输入选择欧洲循环行驶 EUDC 工况,并对模糊修正后的 DCT 换挡控制策略进行仿真,其仿真结果如图 6 所示。

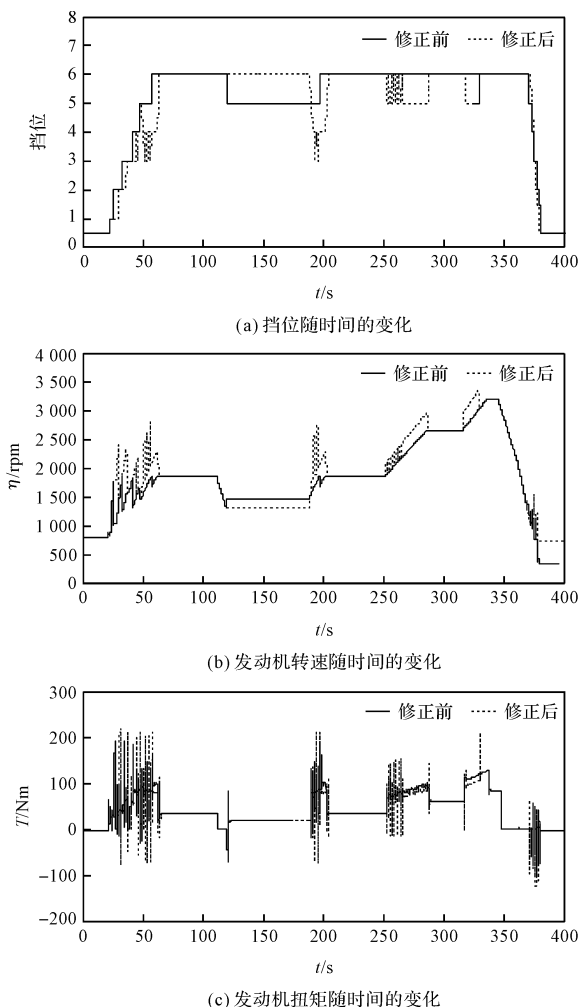


图 6 模糊修正后的 DCT 性能仿真结果

通过对比传统换挡规律下和基于驾驶意图识别的模糊换挡控制策略下的 DCT 性能仿真结果可知:在基于驾驶意图识别的模糊修正换挡控制策略下,上述频繁换挡问题得到了改善。从图 6(b~c)可以看出:模糊修正后的发动机转速不再剧烈震荡,发动机扭矩变化也较为平稳。从 DCT 挡位模糊修正前后仿真结果(图 6(a))对比可以看出:模糊修正后换挡次数明显

减少。可见基于驾驶意图识别的 DCT 模糊换挡控制策略较好地解决了行车时所出现的频繁换挡问题。

4 结束语

本研究分析了引起 DCT 车辆频繁换挡的原因,并对汽车行驶时的驾驶意图参数进行了辨识;在驾驶意图识别的基础上,建立了双离合自动变速器模糊换挡控制策略,并对 DCT 车辆进行了传统两参数换挡规律和模糊换挡控制策略的仿真研究。

通过仿真结果对比可知:基于驾驶意图识别的 DCT 模糊换挡控制策略较好地解决了行车时所出现的频繁换挡问题。同时,也在充分体现驾驶员驾驶意图的前提下,实现了双离合自动变速器挡位实时在线修正以及自适应挡位决策。

参考文献(References):

- [1] 孙贤安,吴光强,姜超,等.人-车-路闭环系统中的双离合式自动变速器车辆换挡规律[J].汽车技术,2014(7):18-23.
- [2] 邢文金,杨宝坤.国内自动变速器换挡规律研究状况综述[J].装备制造技术,2014(3):283-286.
- [3] LIU Yong-gang, QIN Da-tong, JIANG Hong, et al. Shift control strategy and experimental validation for dry dual clutch transmissions[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 2014(75):41-53.
- [4] 何宁.干式 DCT 模糊修正换挡及品质评价[D].上海:同济大学汽车学院,2011.
- [5] WALKER P D, ZHANG N, TAMBA R. Control of gear shifts in dual clutch transmission powertrains[J]. *Mechanical Systems & Signal Processing*, 2011, 25(6):1923-1936.
- [6] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [7] 王印东.基于动力传动系统一体化的双离合自动变速器控制技术研究[D].长春:吉林大学汽车工程学院,2012.
- [8] 傅亮奇.液力自动变速器车辆坡道行驶换挡策略研究[D].广州:广东工业大学机电工程学院,2014.
- [9] 赵韩,孙迎波,黄康,等.双离合自动变速器换挡规律研究与仿真分析[J].机械传动,2014(11):14-17.
- [10] 张炳力,王伦珍.双离合自动变速器特殊工况下换挡规律的智能在线修正研究[J].汽车工程,2015(6):686-690,730.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

丁华,徐聪.基于驾驶意图识别的 DCT 模糊换挡控制策略研究[J].机电工程,2018,35(6):608-612.

DING Hua, XU Cong. Fuzzy shift control strategy of DCT based on driving intention recognition[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018, 35(6):608-612.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>