考虑发动机油门开度状态的汽车 ESC 测试分析

王应国[1]，何定畅[2]，刘永刚[2]，张荣林[3]，曾繁卓[1]
（1. 中国汽车工程研究院股份有限公司，重庆 401122；2. 重庆大学机械传动国家重点实验室，重庆 400044；
3. 浙江亚太机电股份有限公司，杭州 311200）

摘　要：设计一种考虑发动机油门开度状态的单变道与蛇形绕桩试验方法，测试某车型的 ESC 性能。结果表明，单变道时 ESC 系统对发动机油门开度全油状态的适应性比空油和稳油状态更差，且油门开度越大对 ESC 系统要求更高；蛇形绕桩时，VDC 和 TCS 协同作用能够基本维持侧向稳定性，但需要进一步提升发动机实际输出扭矩对期望扭矩的跟踪能力。

关键词：电子稳定性控制系统；发动机油门开度；测试场景
中图分类号：U467.1　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1006-3331(2022)05-0045-07

Test Analysis of Vehicle ESC Considering Engine Throttle Opening State

WANG Yingguo[1], HE Dingchang[2], LIU Yonggang[2], ZHANG Ronglin[3], ZENG Fanzhuo[1]
(1. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China;
2. State Key Laboratory of Mechanical Transmissions, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. Zhejiang Asia-Pacific Mechanical and Electronic Co., Ltd., Hangzhou 311200, China)

Abstract: The authors design the test methods of single lane changing and snake around piles with considering the engine throttle opening state to test the ESC performances of a vehicle. The results show that the adaptability of the full oil is worse than these of empty oil and stable oil for the ESC system to the engine throttle opening state during single lane changing, meanwhile, the larger the throttle opening, the higher the requirements for the ESC system, and the union action of VDC and TCS can basically maintain the lateral stability during snaking around piles but needs further improveing the engine tracking ability of the actual output torque to the expected torque.

Key words: electronic stability control system; engine throttle opening; test scenarios

在进行汽车 ESC 测试时，GB/T 38185—2019《商用车辆电子稳定性控制系统性能要求及试验方法》和 GB/T 30677—2014《轻型汽车电子稳定性控制系统性能要求及试验方法》等对汽车的载荷条件、试验路面和试验项目均有严格要求[1-2]。这些测试标准均要求是匀速稳定供油状态，而汽车的 ESC 性能不仅与车辆的行使工况有关，还与发动机的油门开度相关[3-5]。因此，本文设计不同油门开度状态下的 ESC 相关试验，为 ESC 控制策略的进一步优化提供参考。

1　汽车 ESC 测试方案

1.1　测试样车与场景

测试车辆为某 SUV 乘用车，车载 ESC 系统的主要参数如下：额定工作压力为 0~12 MPa；工作温度范围为-40~120 ℃；额定工作电压为 9~12 V；允许最大电流为 40 A；起始识别车轮转速为 0.31 m/s；控制

收稿日期：2022-08-18。

第一作者：王应国(1981—)，男，硕士；高级工程师；主要从事汽车制动系统及零部件试验方法研究工作。Email：ygwang0830@163.com。

通讯作者：刘永刚(1982—)，男，博士；教授；主要从事车辆动力学及其综合控制研究工作。Email：andyliuyg@cqu.edu.cn。

精度≤0.2 MPa。

测试场景为单变道和蛇形绕桩,均在干燥、均匀、坚实的路面上进行,通过桩筒构成车辆的行使区域和道隔离区域。

1) 单变道测试场景。如图 1 所示,一共放置 12 个桩筒,桩筒侧向距离为 3.12 m、纵向距离为 6 m,换道区域长度为 13.5 m、宽度为 4.37 m。测试时被测车辆先通过前 3 排桩筒向左侧进行换道,再进入后 3 排桩筒区域。

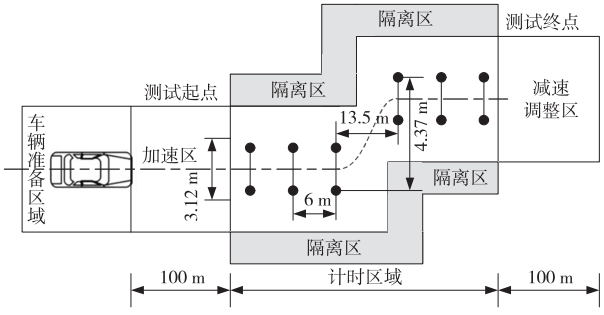


图 1 单移线(变道)测试场景

2) 蛇形绕桩测试场景。如图 2 所示,共放置 6 个筒,每个桩筒间距为 30 m,场地横向宽度较普通水泥路面略宽。被测车辆需来回穿插于 6 个桩筒间。蛇形绕桩相比于单变道测试可进一步检验车辆在连续变道状态下的侧向稳定性[6]。

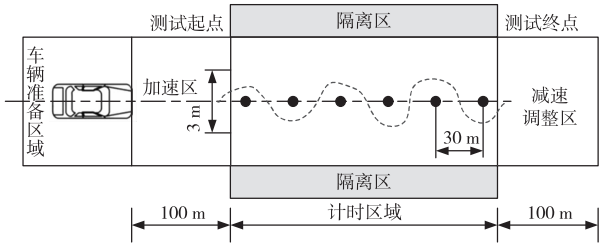


图 2 蛇形绕桩测试场景

1.2 测试方法与设备

发动机的扭矩输出会直接影响到车辆的速度变化,且与发动机油门开度密切相关[7-11]。因此,设置发动机空油、全油和稳油三种方式进行单变道测试,设置发动机稳油条件下的连续变道的蛇形绕桩测试方法。测试设备包括数据传感器、数据采集仪、上位机软件等,如图 3 所示。

图 3 ESC 测试试验

2 测试结果及分析

2.1 单变道测试结果及分析

2.1.1 ESC 系统状态

ESC 系统状态通过油门踏板开度、制动信号、方向盘转角、车速、横摆角速度、横摆减速度等整车动力学参数,以及 ESC 子系统激活状态的响应特性进行描述。GB/T 30677—2014 要求 ESC 本身能够测量车辆的横摆角速度、监测驾驶员的输入状态,以及在车辆加速、减速、制动、滑行(不包括倒车和车速低于 4.2 m/s 的情况)等各个过程发挥作用的状况[2]。

不同油门方式单变道的油门踏板开度及制动信号响应曲线如图 4 所示;方向盘转角及有关整车运动学参数随时间变化的曲线如图 5 所示;车辆动态控制系统(VDC)、牵引力控制系统(TCS)、制动防抱死控制系统(ABS)等 ESC 子系统的激活状态如图 6 所示。其中:空油变道时,车辆进入变道区域后完全松开油门踏板让汽车完成变道;全油变道时将油门踏板踩到底,使发动机发挥出最大功率完成变道过程,但变道过程中踏板的开度会有所减低;稳油变道时驾驶员保持一定的油门踏板开度不变使车辆完成换道。

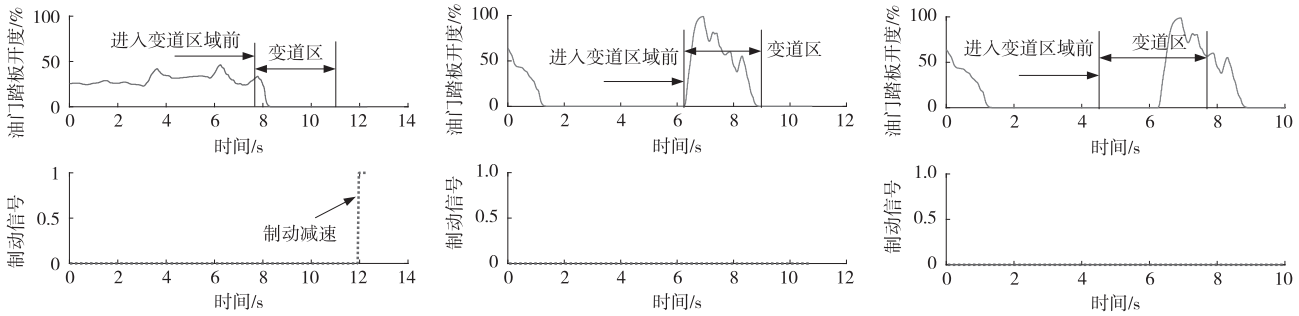
1) 图 4 结果显示,空油变道时,踏板开度在 8 s 左右时迅速下降至 0%。全油变道时,油门踏板在变道过程中会逐渐减小。稳油变道时的油门踏板开度维持在进入变道区域前油门开度的位置波动。此外,只有空油变道结束后需要人为进行制动干预。

2）图 5 结果显示，空油变道时方向盘转角比较大，全油变道时方向盘的可调整范围较小。此外，全油变道时车辆横摆角速度的波动幅度最小，为 55 (°)/s；空油变道时横摆角速度的波动幅度最大，为 62.54 (°)/s。ESC 应当减小空油换道时车辆的横摆角速度，从而提升车辆的横向稳定性。

3）图 6 结果显示，对于空油、稳油变道，TCS 全程未被激活，只有 VDC 和 ABS 系统发挥作用；全油变道时，VDC 和 TCS 一起发挥作用。结果表明，全油变道的侧向稳定性较差，需要 TCS 系统进一步发挥作用。

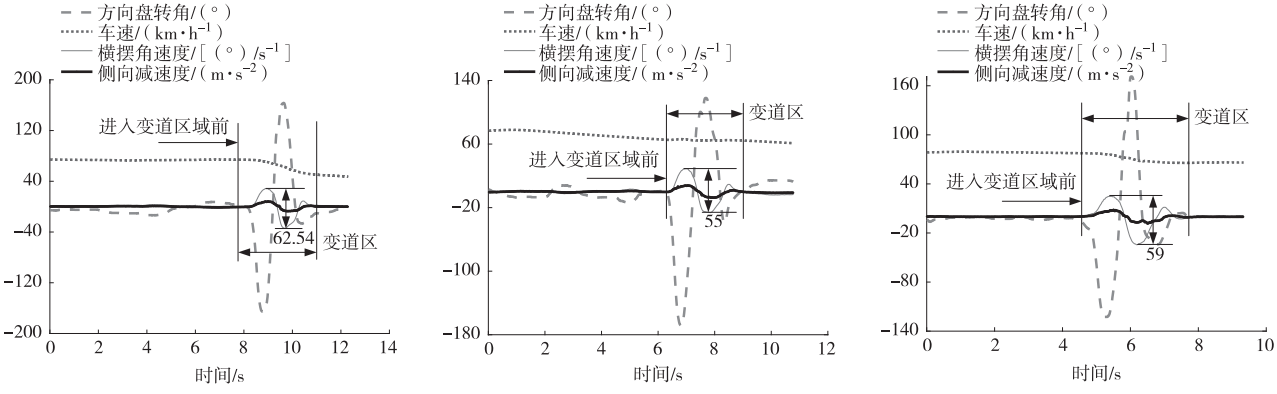
2.1.2　车轮转速

1）不同油门方式下单变道的轮速变化曲线如图 7 所示，在进入变道区域前四轮转速差异不大，而进入变道区域后四轮的转速差异增加。此外，空油变道时轮速差异较小，而全油变道时转速差异明显。说明全油变道时对 ESC 性能要求更高，应当减小后轮的与前轮的转速差异。



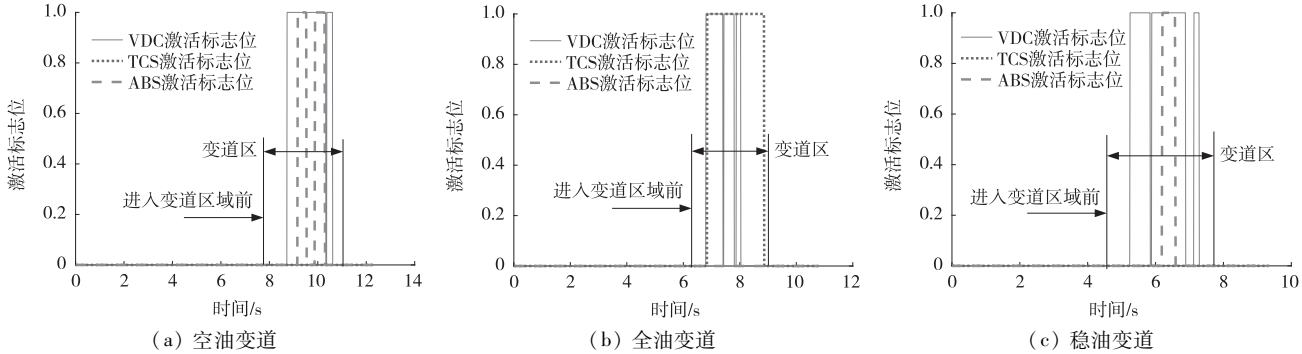
（a）空油变道　（b）全油变道　（c）稳油变道

图 4　不同油门方式下的油门踏板开度及制动信号



（a）空油变道　（b）全油变道　（c）稳油变道

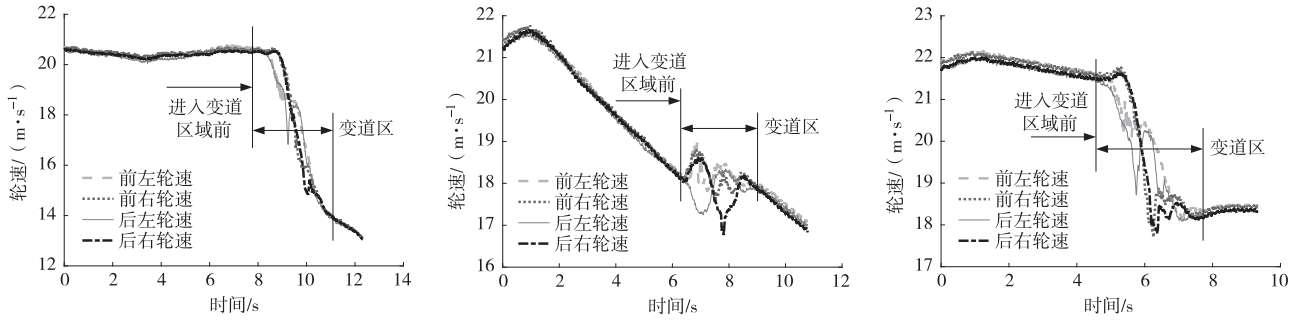
图 5　不同油门方式下的方向盘转角及整车运动学参数



（a）空油变道　（b）全油变道　（c）稳油变道

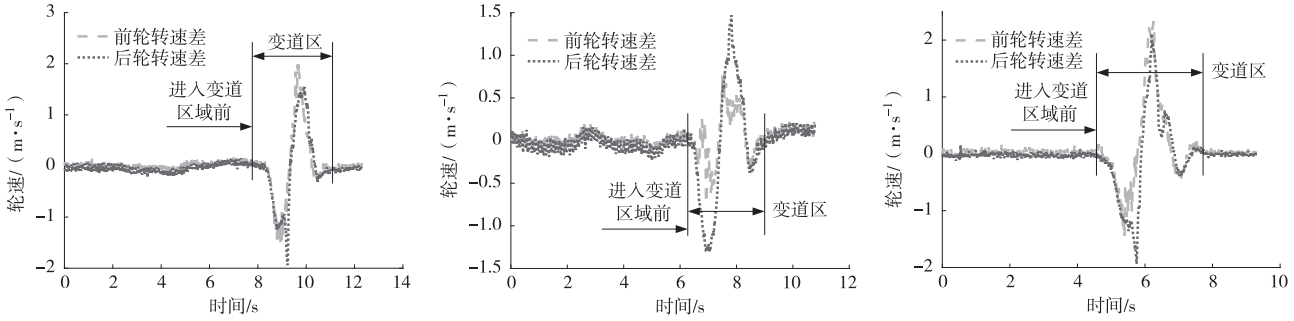
图 6　不同油门方式下的 ESC 子系统激活状态

2）从图 8 所示的不同油门方式下单变道的左右轮速差异曲线可以看出，全油变道时两侧轮速较小，但前后轮速差异相对较大。此外，三种油门方式下，要完成换道过程，两侧轮速差异都较大，其中，稳油单变道时前轮和后轮的转速差最大，说明稳油单变道时对前后轮速差的控制要求更高。



（a）空油变道 （b）全油变道 （c）稳油变道

图 7 不同油门方式下单变道的轮速曲线



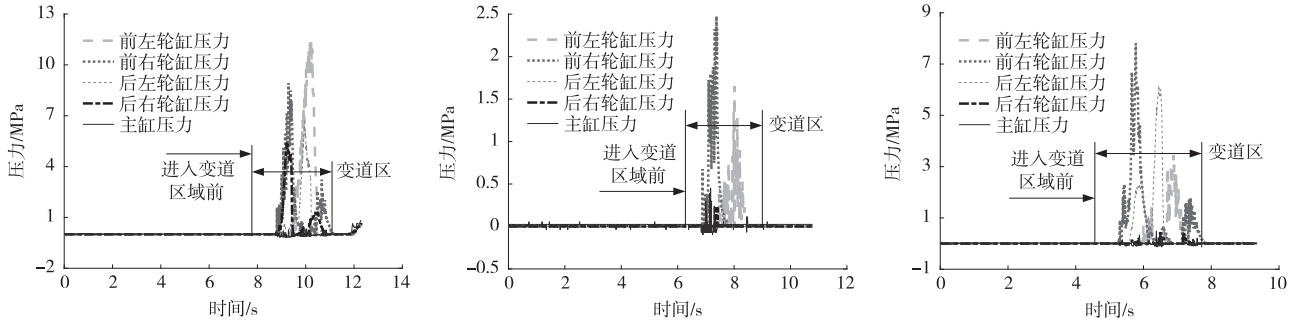
（a）空油变道 （b）全油变道 （c）稳油变道

图 8 不同油门方式下单变道的左右转速差异曲线

从上述可知，全油状态即油门开度较大对车辆的侧向稳定性要求最高。发动机油门开度越大，越需要 ESC 进一步减小前后车轮的轮速差异。

2.1.3 *动力性参数*

1）图 9 为不同油门方式下单变道的制动轮缸压力变化曲线。可以看出，对于空油、全油的油门开度状态，向左变道转向时前右轮的制动压力最大，而向右转向回正时前左轮的制动压力最大。对于稳油状态，向左转向变道时前右轮的制动压力最大，而向右转向回正时后左轮的制动压力最大。向右变道时制动轮缸压力响应在向左变道的转向回正过程中有所体现。制动轮缸压力的增大说明变道时车辆 ESC 在发挥作用，并通过对车轮进行制动来维持车身稳定性。



（a）空油变道 （b）全油变道 （c）稳油变道

图 9 不同油门方式下单变道的制动轮缸压力曲线

2）不同油门方式下单变道的发动机扭矩输入曲线如图 10 所示。当为空油时，输出扭矩在进入变道区域时不再输出，直至逐渐降低后被反向拖动到−50 N·m。当为全油时，进入变道区域后发动机输出扭矩迅速增加至 300 N·m 左右，直到变道结束时急剧降低，最终被反向拖动到−50 N·m。对于稳油状态，发动机输出扭矩由于变道时阻力作用，发动机扭矩会下降直到被反向拖动。三种油门变道方式均能够体现 ESC 对驾驶状态的监测能力，但全油变道时发动机跟踪期望输出扭矩的性能较差。

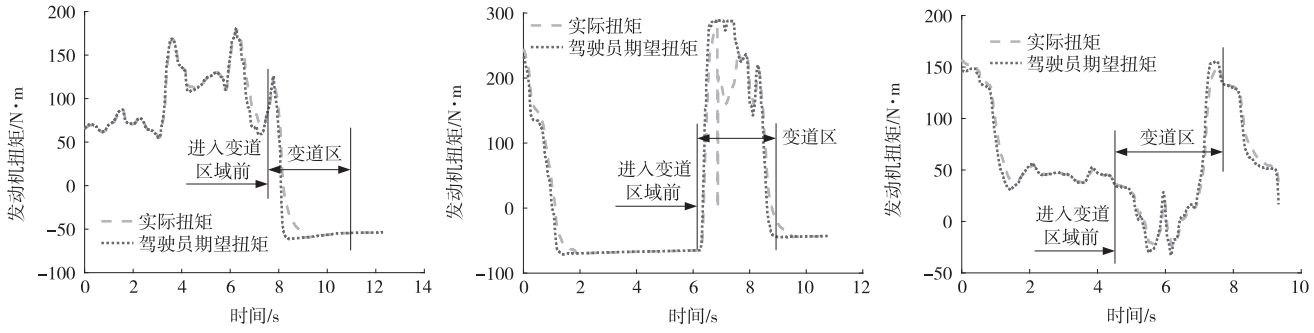


图 10　不同油门方式下单变道的发动机扭矩曲线

综上所述，ESC 可以根据某种控制逻辑对所有车轮单独施加制动力矩，以制动轮缸的制动压力为控制参数，实现车辆实际运行状态跟踪上车辆期望运行状态。但 ESC 对变道过程中发动机油门开度状态的适应性差，需要进一步的优化与提升。

2.2　蛇形绕桩测试结果及分析

2.2.1　ESC 系统状态

蛇形绕桩试验的油门踏板开度及制动信号响应曲线如图 11 所示。方向盘转角及有关整车运动学参数随时间的变化关系如图 12 所示。车辆的 ABS、TCS 与 VDC 等 ESC 子系统激活状态如图 13 所示。

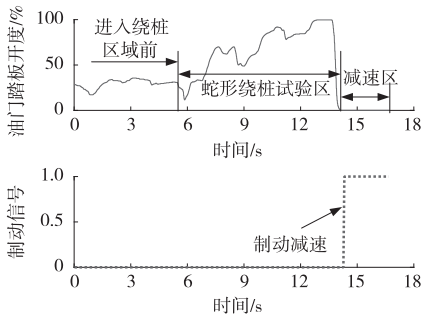


图 11　蛇形绕桩试验油门踏板开度及制动信号曲线

1）图 11 的结果显示，制动踏板在车辆经过测试区域后的减速阶段开始起作用，以保证车辆减速停车。此外，车辆在进行蛇形绕桩时的油门踏板开度有逐渐增大的趋势，当车辆绕桩测试完成时才完全松开油门踏板。

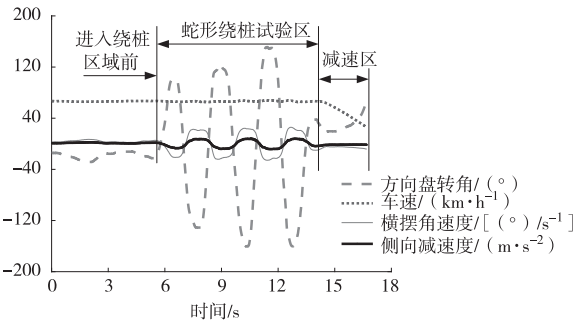


图 12　蛇形绕桩试验方向盘转角及有关整车运动学参数曲线

2）图 12 的结果显示，车辆横摆角速度的波动幅度均保持在±25（°）/s 左右，车辆侧向减速度维持在±8 m/s² 左右。车辆横摆角速度与侧向加速度作为评价车辆侧向稳定性的关键性指标，都被控制在一定的特征值以内。因此，被测车辆的稳定性在 ESC 系统的控制下具有一定的优越性，能够体现车辆的主动安全性能。

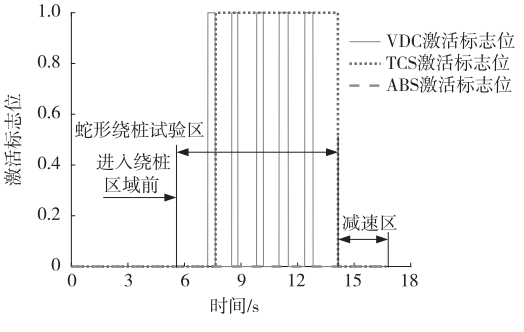


图 13　蛇形绕桩试验 ESC 子系统激活状态

3）图 13 的结果显示，测试过程中车辆 ABS 一直没有启动，但 TCS 在车辆进入测试区域才开始启动，而 VDC 在每一次绕桩过程中都会被连续启动。说明 VDC 对车辆变道工况更加敏感，TCS 全程启动与 VDC 协同控制以维持车辆的侧向稳定性。

综上所述，ESC 能通过 VDC 和 TCS 的协同作用提升车辆的侧向稳定性。但在蛇形绕桩工况下 ESC 对车辆的侧向稳定性应当进一步提高。

2.2.2 车轮转速

图 14 为绕桩试验过程中各轮速曲线。可见，进入绕桩区域和减速区域前 4 个车轮的转速变化几乎一致；但当车辆进入蛇形绕桩区域后，4 个车轮的转速出现一定范围的波动。

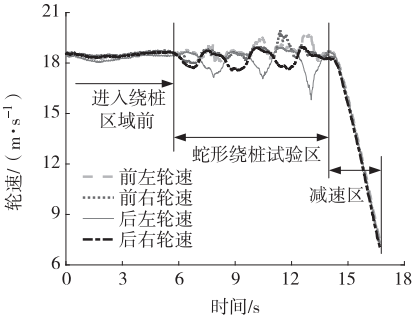


图 14 蛇形绕桩试验各车轮轮速曲线

两侧车轮的左右转速差随时间的变化关系如图 15 所示。可见，前轮和后轮两侧转速差值存在波动，且由于前轮作为驱动转向轮，前轮的转速差小于后轮的转速差。

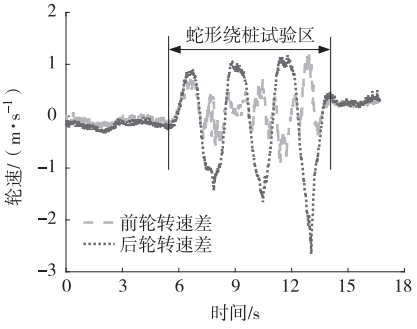


图 15 蛇形绕桩试验左右轮速差曲线

综上所述，ESC 能够约束转向换道过程中的轮速差来维持蛇形绕桩工况下的车辆稳定性，但对轮速差的控制需进一步提升以提升车辆的稳定性。

2.2.3 动力性参数

1）图 16 为蛇形绕桩试验时车轮制动轮缸压力的变化曲线，可综合体现车辆向左和向右变道时车辆动力性参数的响应特性。可以看出，主缸制动压力在减速区的作用非常明显，绕桩过程中的作用较弱。制动轮缸在绕桩过程中各轮的制动压力较为明显，且前右轮制动压力最大，前左轮其次，后右轮缸的制动压力变化很小。由于前轮作为转向驱动轮，在转向的过程中制动器的制动作用更为明显。

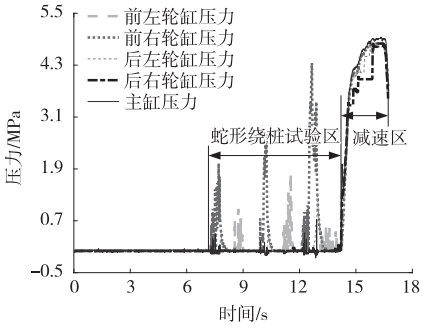


图 16 蛇形绕桩试验制动轮缸压力曲线

2）图 17 为蛇形绕桩试验时实际输入与驾驶员期望扭矩输入的发动机扭矩变化曲线。可以看出，当车辆的牵引力控制系统（TCS）在进入蛇形绕桩区域后被激活。实际输出扭矩能有效跟踪驾驶员期望扭矩，但振荡幅度依旧很大。

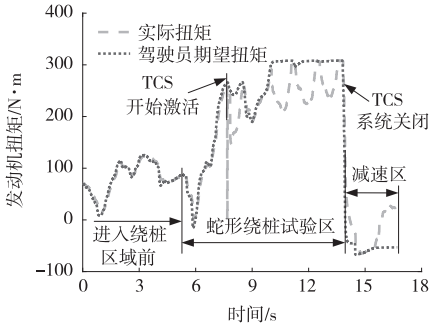


图 17 蛇形绕桩试验发动机扭矩曲线

因此，车载 ESC 控制策略在连续变道的综合绕桩工况下，发动机实际输出转矩对期望输出转矩的跟踪能力需要进一步提高。

2.3 车载 ESC 优化建议

1）在空油变道时，ESC 应通过减小车辆的横摆角速度来提升车辆稳定性；稳油变道时，ESC 应结合子系统 TCS 的协同控制，以提升车辆的稳定性。

2）车载 ESC 应随着发动机油门开度增大进一步减小前后车轮的轮速差异；并结合车轮制动器的制动压力，提升车辆操纵稳定性。

3）在连续变道的蛇形绕桩工况下，车载 ESC 应结合 TCS、VDC 等子系统的协同控制，以提升发动机实际输出扭矩对期望扭矩的跟踪能力。

3　结束语

本文提出了考虑油门开度状态的单变道与蛇形连续变道的绕桩测试方法，并以某车型为例进行 ESC 性能测试分析。结果表明，全油变道对车辆 ESC 性能的要求更高。车载 ESC 应当强化油门开度较大时对车辆的横纵向稳定性、操纵稳定性的控制，以及连续变道时的对发动机期望输出扭矩的跟踪能力。

参考文献：

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 商用车辆电子稳定性控制系统性能要求及试验方法：GB/T 38185—2019[S]. 北京：中国标准出版社，2019.

[2] 中华人民共和国工业和信息化部. 轻型汽车电子稳定性控制系统性能要求及试验方法：GB/T 30677—2014[S]. 北京：中国标准出版社，2015.

[3] 唐忠柱，冉智文，邹波，等. 基于驾乘评价的汽车电子稳定控制系统测评方法研究[J]. 时代汽车，2022(9)：195-196.

[4] 韩厚禄. ESC 电子稳定控制系统开发标定[J]. 汽车电器，2021(11)：59-65.

[5] 孙勇，崔晓川，孙明. 某多用途乘用车 ESC 性能道路试验研究[J]. 中国汽车，2019(9)：58-61.

[6] STRANDROTH J，RIZZI M，OLAI M，et al. The effects of studded tires on fatal crashes with passenger cars and the benefits of electronic stability control (ESC) in Swedish winter driving [J]. Accident Analysis & Prevention，2012(45)：50-60.

[7] TUMASOV A V，VASHURIN A S，TRUSOV Y P，et al. The Application of Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulation for Evaluation of Active Safety of Vehicles Equipped with Electronic Stability Control (ESC) Systems[J]. Procedia Computer Science，2019(150)：309-315.

[8] 王旭光，张伟，王芳. 商用车辆电子稳定控制系统法规分析[J]. 汽车实用技术，2019(11)：252-254.

[9] 刘亚欧，陈曦，陈玉祥. 客车 ESC 测评方法分析研究[J]. 中国设备工程，2019(10)：96-98.

[10] 赵永刚，吕彪. 汽车电子稳定性控制系统现状及标准分析[J]. 汽车实用技术，2018(12)：113-115.

[11] 陈杰，葛飞. 浅谈 ESC 的标定过程[J]. 汽车实用技术，2017(22)：152-154.