

DOI: 10.19466/j.cnki.1674-1986.2022.01.014

基于切入工况的自适应巡航控制系统性能测试方法研究

谢业军, 余天龙, 付广, 林智桂, 何逸波

(上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西柳州 545007)

摘要: 设计了一种基于切入工况的自适应巡航系统性能测试方法, 以更好地模拟实际驾驶中前车加塞的情况, 并提出了可提高自适应巡航控制系统在切入工况下的驾驶体验的有效建议。介绍了自适应巡航系统系统框架、测试设备、测试场地以及测试工况; 采用控制变量法, 分别以两车速度差、前车切入纵向距离和前车切入横向速度为单一变量, 详细制定自适应巡航系统切入工况的测试案例; 通过封闭测试场地结合专业测试设备, 安全、可重复且高效率地完成多组切入工况测试, 并录制相应的测试数据; 借助 Dewesoft 软件的回放功能开展切入工况测试的结果分析。结果表明: 设计的性能测试方法效果良好, 为优化自适应巡航系统相关参数提供一定的技术参考。

关键词: 自适应巡航; 切入工况; 先进驾驶辅助系统

中图分类号: U467.1+1

Research on Performance Test Method of Adaptive Cruise Control System Based on Cut-in Conditions

XIE Yejun, YU Tianlong, FU Guang, LIN Zhigui, HE Yibo

(SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou Guangxi 545007, China)

Abstract: An adaptive cruise control (ACC) system performance test method based on cut-in conditions was designed to simulate the actual driving situation of traffic jams in front of ego vehicle better, and effective suggestions were proposed to improve the driving experience of the ACC system in cut-in conditions. The ACC system framework, test conditions, test site, and test equipment were introduced. By the controlled variable method, using the speed difference between the two vehicles, the cut-in longitudinal distance of the leading vehicle, the cut-in lateral speed of the leading vehicle as single variables, and the ACC detail test cases for cut-in conditions were formulated. Through the closed test site combined with professional test equipment, multiple sets of cut-in condition tests were completed safely, repeatably and efficiently, and the corresponding test data was recorded. The results of the cut-in condition tests were analyzed by using the playback function of Dewesoft software. The results show that the designed performance test method is effective and provides a certain technical reference for optimizing the relevant parameters of the ACC system.

Keywords: adaptive cruise control (ACC); cut-in conditions; advanced driving assistance system (ADAS)

0 引言

近年来, 随着全球经济和社会的发展, 国内外的人均汽车保有量快速增长。随之而来的城市交通拥堵和交通事故频发等问题, 严重影响人们的出行, 同时也造成国民经济的巨大损失。据荆楚网武汉频道报道, 数据统计显示武汉市 2020 年 8 月交通事故中, 因车辆违规加塞交通违法行为引发的交通事故, 占全市交通事故近三成, 车辆违规加塞、恶意变道等不文明驾驶行为已经成为交通拥挤和交通事故多发的主要原因之一^[1]。

目前, 搭载有先进驾驶辅助系统 (advanced driving assistance system, ADAS) 的汽车正在高速发展, 逐渐成为人们出行生活极其重要的部分。自适应巡航控制 (adaptive cruise control, ACC) 系统是先进驾驶辅助系统

中最常用的功能之一, 属于控制辅助类功能。ACC 系统是对传统的定速巡航系统的增强型系统, 通过对发动机和制动系统的自动控制, 既可以使车辆保持驾驶员设定的速度行驶, 也可以使本车与前车保持驾驶员设定的车间时距行驶。ACC 系统是一种舒适性配置, 同时也是一种主动安全类配置, 因此在 ACC 系统的开发过程中, 采用有效的测试方法对其性能进行测试评价尤为重要。

在 ACC 系统测试方法研究方面, 许多学者进行了多方面的探索。刘伟平^[2]提出了采用 ABD 驾驶机器人、RT3003 等设备对跟车巡航侵入量、目标重合度、目标车切入切出等工况进行精确测试的方法。曾杰等^[3]结合先进的主动安全测试设备和场地测试条件, 进行全速自适应巡航系统高速、低速工况下纵向性能表现测试与评

收稿日期: 2021-06-11

作者简介: 谢业军 (1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为智能驾驶封闭场地测试验证、智能驾驶场景数据库开发。E-mail: yejun.xie@sgmw.com.cn。

价。张志波等^[4]结合多个国际法规标准 ISO 15622—2010、ISO 22178—2009、ISO 22179—2009 和我国各种道路限速要求，基于对某车辆 ACC 系统的测试，制定了适用于我国道路工况下的 ACC 测试方法。目前针对 ACC 系统切入工况的测试方法比较少，且大多测试工况来源于法规标准，不涉及前车切入的工况，无法覆盖实际驾驶中前车加塞的情况，故文中基于 ACC 切入工况，设计了一种有效的性能测试方法。

1 ACC 系统框架介绍

ACC 系统的主要功能是通过与对前车的距离、配有 ACC 系统的自车动态运动、驾驶员指令等信息的处理，从而适应性控制车速。

基于上述信息的收集，ACC 系统控制策略会向执行机构发出指令，并将相应的系统状态信息告知驾驶员^[5-6]。

ACC 通过车身电子稳定系统 (electronic stability program, ESP)、电子助力转向系统 (electronic power steering, EPS)、发动机控制模块 (engine control module, ECM)、变速箱控制模块 (transmission control module, TCM)、车身控制模块 (body control module, BCM)、安全气囊模块 (sensor digital module, SDM)、车载娱乐系统 (in-car entertainment, ICE) 及组合仪表 (instrument cluster, IC) 采集相关车辆状态，并通过 CAN 总线发送给驾驶辅助前雷达，驾驶辅助前雷达结合自身探测的外部环境或驾驶辅助摄像头 (若采用雷达和摄像头融合方案) 探测的目标，判断是否需要发出加速或减速请求给 ESP，ESP 中的相关控制模块进行控制发动机扭矩或制动系统的介入，同时通过 IC 显示相关信息给用户，最终实现辅助驾驶员安全、舒适驾驶。ACC 系统框架示意如图 1 所示。

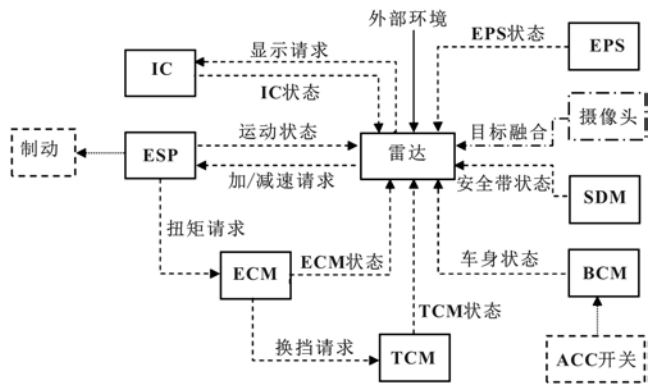


图 1 ACC 系统框架示意

当驾驶员设定好期望车速以及与前车之间的车间时距后，ACC 需通过驾驶员来激活。要想使车辆达到设定

的期望车速和车间时距，就需要通过发动机的控制或者制动系统的介入才能实现。如果没有前车，ACC 将像传统的定速巡航控制系统那样工作，调节车辆的行驶速度使其达到驾驶员的设定速度。

2 性能测试方法

2.1 测试场地

测试场地示意如图 2 所示。具体要求如下：①测试场地为干燥的沥青路，且道路平坦，路面最小峰值的摩擦因数为 0.9；②测试场地路面不能有凹坑、裂缝等；③测试场地路面上方不得有标志、龙门等设备，不能有其他障碍物；④测试场地不能有引起传感器误识别高的反射面或类似车辆轮廓的东西；⑤测试场地至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线；⑥直道长度要求最小为 300 m。



图 2 测试场地示意

2.2 测试设备

测试设备名称、数量及用途见表 1。大平板与 Euro NCAP、C-NCAP、i-VISTA 等权威第三方测试机构认可的假车目标相兼容，大平板与装有高精组合惯导系统的测试车辆能实现同步，可以按照预设轨迹移动，模拟真实交通流。大平板系统包括大平板、主 AP 网桥、主机箱、遥控器、测试车辆 AP 网桥、测试车辆 RT 惯导以及 RT 固定基站。大平板系统及假车目标的安装与连接方式如图 3 所示。

表 1 测试设备名称、数量及用途

序号	名称	数量	用途
1	大平板系统	1	可与假车目标配合使用，并设置测试工况
2	假车目标	1	可模拟真实目标车辆
3	CAN 数采设备	1	可采集整车 CAN 数据
4	视频录制设备	2	可录制试验过程中前视及仪表的画面信息
5	笔记本	1	安装有系统控制及数据分析的相关软件，如 4a control、dewesoft 等

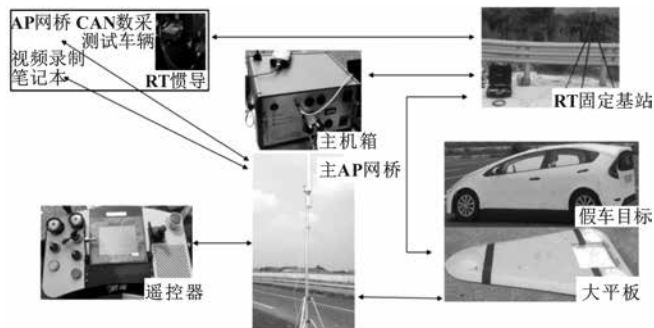


图3 大平板系统及假车目标安装与连接方式

测试设备的性能指标及对应的精度要求如下:

- (1) 原始采样频率不小于 100 Hz。
- (2) 速度精度不大于 0.1 km/h。
- (3) 俯仰角/侧倾角精度不大于 0.03°。
- (3) 侧滑角精度不大于 0.15°。
- (4) 加速度量程为 $\pm 10 g$ 。
- (5) 加速度线性度为 0.01%。
- (6) 角速度量程为 $\pm 100^\circ/\text{s}$ 。
- (7) 角速度线性度为 0.05%。
- (8) 绝对定位精度不大于 2 cm。

2.3 测试工况

ACC 切入工况详细描述为: 测试车辆在距离前车 200 m 前达到设定车速的要求, 开始进行整车 CAN 数据采集以及视频录制; 以稳定车速状态行驶, 前车按照测试工况的要求切入测试车辆所在车道, 并沿车道中间行驶, 过程中驾驶员双手握住方向盘, 使得行驶方向不发生偏离, 并且不得干扰测试车辆的纵向驾驶。切入工况测试场景示意如图 4 所示。

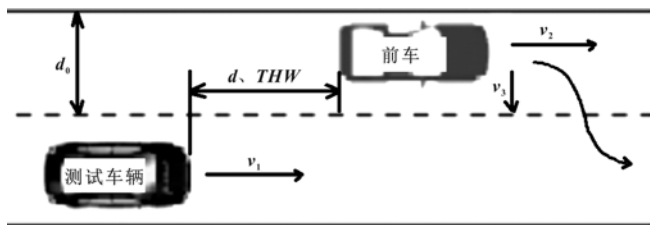


图4 切入工况测试场景示意

图 4 中, 单车道宽度 $d_0 = 3.7 \text{ m}$, 测试车辆速度为 v_1 , 前车速度为 v_2 , 两车速度差为 Δv , 前车切入横向速度为 v_3 , 前车切入过程持续时间为 t , 前车切入时测试车辆最前端与前车最后端的纵向距离为 d , 前车切入时测试车辆最前端与前车最后端的时距为 THW , 前车切入

后测试车辆的预计碰撞时间 (理论计算值) 为 TTC_0 。上述各物理量之间关系式如下:

$$\Delta v = v_1 - v_2; \quad (1)$$

$$t = \frac{d_0}{v_3}; \quad (2)$$

$$TTC_0 = \frac{d - \Delta v \cdot t}{\Delta v}. \quad (3)$$

将式 (2) 代入到式 (3), 可得到以下公式:

$$TTC_0 = \frac{d \cdot v_3 - \Delta v \cdot d_0}{\Delta v \cdot v_3}. \quad (4)$$

由于测试车辆搭载有 ACC 系统, 在前车切入的过程中即识别前车并做出制动响应, 因此, 当前车完成切入时, 测试车辆实际的速度会比设定的速度低, 因而实际的 TTC 会比理论计算值 TTC_0 大一些。

3 测试结果与分析

3.1 Dewesoft 软件介绍

Dewesoft 软件可以匹配多个支持的接口, 这些接口可以在同一个数据文件中进行同步、采集、存储和可视化。其支持的接口包括: 视频、GPS、IMU、CAN 总线、以太网等。Dewesoft 还包含许多用于可视化数据的可视化显示。从交互式水平或垂直记录仪、XY 图形、3D 图形、轨道、表格、开放街道地图等^[7]。通过使用提前制定好的模板进行数据录制与回放, 可以读取所需要的数据结果。Dewesoft 软件回放界面如图 5 所示。



图5 Dewesoft 软件回放界面

3.2 不同切入横向速度下的测试

测试车辆速度为 50 km/h, 前车速度为 40 km/h, 保持速度差 $\Delta v = 10 \text{ km/h}$ 、切入纵向距离 $d = 12 \text{ m}$ 这两个参数一定, 以切入横向速度 v_3 为单一变量, 进行试验设计, 测试结果记录 TTC 、制动时纵向距离、制动时横向距离、最大减速度、主观感受及是否碰撞。不同切入横

向速度下的测试结果见表 2。

表 2 不同切入横向速度下的测试结果

序 号	$v_3/$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	测试结果					是否 碰撞
		TTC/s	制动时纵 向距离/m	制动时横 向距离/m	最大减速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	主观 感受	
1	0.9	0.2	4.9	2.0	2.3	制动时 刻较晚	是
2	1.0	0.6	5.1	1.1	2.6	制动时 刻较晚	否
3	1.1	1.0	5.0	2.6	1.2	制动力 不足	是
4	1.2	1.2	5.1	2.2	2.6	适中	否
5	1.3	1.5	5.6	2.0	2.5	适中	否
6	1.4	1.7	5.7	2.8	2.4	适中	否

3.3 不同切入纵向距离下的测试

测试车辆速度为 50 km/h，前车速度为 40 km/h，保持速度差 $\Delta v = 10$ km/h、切入横向速度 $v_3 = 1.2$ m/s 这两个参数一定，以切入纵向距离 d 为单一变量，进行试验设计。不同切入纵向距离下的测试结果见表 3。

表 3 不同切入纵向距离下的测试结果

序 号	$d/$ m	测试结果					是否 碰撞
		TTC/s	制动时纵 向距离/m	制动时横 向距离/m	最大减速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	主观 感受	
1	10.0	0.5	3.7	1.8	2.8	制动力 稍大	否
2	11.9	1.0	4.7	2.1	2.3	适中	否
3	12.0	1.2	5.1	2.2	2.6	适中	否
4	12.7	1.5	6.1	1.5	2.3	制动时 刻较晚	否
5	14.1	2.0	7.0	1.4	1.7	制动时 刻较晚	否

3.4 不同速度差下的测试

测试车辆速度为 40 km/h，前车速度分别为 35、30、25 km/h，切入纵向距离 $d = 12$ m、切入横向速度 $v_3 = 1.2$ m/s 这两个参数一定，以速度差 Δv 为单一变量，进行试验设计。不同速度差下的测试结果见表 4。

表 4 不同速度差下的测试结果

序 号	$\Delta v_3/$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	测试结果					是否 碰撞
		TTC/s	制动时纵 向距离/m	制动时横 向距离/m	最大减速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	主观 感受	
1	5	5.6	3.7	2.5	1.3	制动力 稍不足	否
2	10	1.2	7.9	2.2	1.6	制动力 不足	否
3	15	0.2	6.0	2.0	2.2	制动力 适中， 制动时 刻较晚	否

4 结论

(1) 文中使用的 ACC 切入工况性能测试方法有效，且测试结果一致性较好。

(2) 速度差和切入纵向距离一定时，切入横向速度越大， TTC 也越大；速度差和切入横向速度一定时，切入纵向距离越大， TTC 也越大；切入横向速度和切入纵向距离一定时，速度差越大， TTC 会越小。

(3) 在开发 ACC 系统性能时，考虑切入工况下，推荐最大减速度设计区间为 $2.2 \sim 2.6 \text{ m/s}^2$ ，推荐制动时横向距离设计区间为 $2.1 \sim 2.8 \text{ m}$ 。

参考文献:

- [1] 张茂林. 基于行车记录仪的车辆违规加塞取证系统的研究[D]. 福州: 福建工程学院, 2016.
- [2] 刘伟平. 一种自适应巡航系统(ACC)测试方法研究[C]//2018 中国汽车工程学会年会论文集. 上海: 中国汽车工程学会, 2018: 275-278.
- [3] 曾杰, 胡雄, 王戡, 等. 全速自适应巡航系统纵向性能表现测试与评价[C]//2020 中国汽车工程学会年会暨展览会论文集. 上海: 中国汽车工程学会, 2020: 40-45.
- [4] 张志波, 张宇, 张恒嘉, 等. 自适应巡航控制系统测试方法研究[J]. 中国汽车, 2019, 29(2): 34-38.
- [5] ZHANG Z B, ZHANG Y, ZHANG H J, et al. Research on test method of adaptive cruise control system[J]. China Auto, 2019, 29(2): 34-38.
- [6] ISO/TC 204. Intelligent transport systems-adaptive cruise control systems-performance requirements and test procedures[S/OL]. Switzerland: ISO Copyright Office, 2010[2021-06-05]. <https://www.doc88.com/p-5327818794244.html>.
- [7] 全国智能运输系统标准化技术委员会. 智能运输系统自适应巡航控制系统性能要求与检测办法: GB/T 20608—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [8] Dewesoft. 数据采集软件 Dewesoft X3 总览内容介绍[EB/OL]. [2021-06-10]. http://www.dewesoft.cn/DEWESOFT_X3.