

T/CMAX

中关村智通智能交通产业联盟团体标准

T/CMAX 21005—2023

自动驾驶车辆编队行驶能力测试内容及方法

Contents and Methods of Platooning Capability Testing for Autonomous Vehicles

(发布稿)

2023 - 06 - 30 发布

2023 - 06 - 30 实施

中关村智通智能交通产业联盟 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试操作要求	2
4.1 测试车队基本要求	2
4.2 测试记录要求	2
4.3 测试场景布置要求	2
4.4 数据采集精度	3
5 能力评估内容与方法	3
5.1 一般要求	3
5.2 测试内容	3
5.3 测试场景及方法	4
附录 A（规范性） V2V 通信测试方法	23
附录 B（规范性） 感知能力测试方法	24
附录 C（规范性） 人工介入后的可操作性测试方法	25
参考文献	26

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村智通智能交通产业联盟提出。

本文件由中关村智通智能交通产业联盟归口。

本文件起草单位：北京航迹科技有限公司、北京智能车联产业创新中心有限公司、中关村智通智能交通产业联盟、北京车网科技发展有限公司、天津卡尔狗科技有限公司、北京汽车研究总院有限公司、北京交通大学、长安大学、北汽福田汽车股份有限公司、北京千方科技股份有限公司、北京百度智行科技有限公司、河北工业大学、北京国家新能源汽车技术创新中心有限公司、车路通科技（成都）有限公司、北京福佑多多信息技术有限公司、北京电子科技职业学院、天津大学、北京掌行通信息技术有限公司、西华大学、北京交通运输职业学院

本文件主要起草人：卫隼、王艳华、任贵超、党利冈、李青、韦峻青、林强、孙亚夫、董萧、于鹏、燕翔江、倪鹏、许闻达、姚问、于洋、李宁、李彪、张文博、孙成帅、陈旭梅、张义鑫、龚思远、吴霞、曲广辉、张晶阳、甘家华、程周、彭伟、顾军华、刘洪普、周玉祥、吴倩、何明明、杜成阳、单丹丹、薛健聪、吴伟滔、朱青松、王学雷、宋建桐、裴毅强、张帆、谭正平、缙庆伟、段卫洁、吴佳琪

引 言

为加速自动驾驶车辆技术落地，国内外均已开展自动驾驶车辆的公开道路测试和示范应用。自动驾驶技术中，编队行驶技术因提升驾驶安全性、提高经济与环境效益、提高道路运输效率的特点获得了广泛关注。国际持续推进编队行驶技术发展，尤其是美国，已经于2019年发布了针对货车编队行驶能力的独立评估标准。同时，国内多家智能网联示范区也已发布政策，鼓励自动驾驶编队行驶的测试，国内商用车整车企业和自动驾驶科技企业已开展商用车编队行驶测试验证工作。在此背景下，为了规范自动驾驶车辆编队行驶能力测试，保障其公开道路测试安全性，有必要开展相应的规范化测试验证工作，因此制定本文件。

同时，考虑到当前商用车编队可落地可商业化的早期应用情况，本文件基于具备定位能力和V2V通信能力的一辆有人驾驶的领航车辆与一辆自动驾驶跟随车辆组成的编队行驶提出测试基本要求，超过两辆车的编队行驶可基于本测试标准，后续修订增加专项测试项目。本文件作为自动驾驶车辆道路试验方法的重要组成部分，针对编队行驶基本性能、行驶能力和应急处置提出基本要求。

自动驾驶车辆编队行驶能力测试内容及方法

1 范围

本文件规定了自动驾驶车辆编队行驶能力测试内容与方法。

本文件适用于高速及控制出入的一级公路中具备自动驾驶功能的N类车辆编队行驶能力的评估，评估结果可作为能否进行自动驾驶载货汽车编队行驶的依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GA 802-2019 道路交通管理 机动车类型

JTG B01-2014 公路工程技术标准

T/CSAE 53-2017 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准

T/CMAX 116-02—2018 自动驾驶车辆封闭试验场地技术要求

北京市关于加快推进自动驾驶车辆道路测试有关工作的指导意见(试行)

北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则(试行)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

编队行驶 **driving as a platoon**

基于无线通信技术和自动驾驶技术，两辆或者两辆以上的车辆以队列的形式在特定的场景下行驶，同时还包括创建编队、解散编队等编队行为过程。

3.2

领航车辆 **leading vehicle(LV)**

编队行驶车队中最前方的有人驾驶的车辆。

3.3

跟随车辆 **following vehicle(FV)**

编队行驶车队中除了领航车辆之外，其他具备自动驾驶能力的车辆。

3.4

测试车队 **platoon under test(PUT)**

按照本文件要求进行编队行驶能力评估的车队。

3.5

目标车辆 **vehicle target (VT)**

用于构建测试场景的测试车队以外的车辆。

3.6

预计碰撞时间 **time to collision(TTC)**

测试车队保持当前时刻运动状态条件下，与目标发生碰撞所需的时间。

3.7

横向偏差 **lateral offset**

编队行驶中，跟随车辆的几何中心点相对于领航车辆行驶轨迹偏移的横向距离的绝对值，单位为厘米。

3.8

纵向距离 **longitudinal distance**

编队行驶中，领航车辆后端中心点与跟随车辆前端中心点之间在领航车辆行驶方向上的距离。

注：纵向距离单位为米

3.9

制动距离差值 **difference of braking distance**

测试车队中跟随车辆的制动距离与领航车辆的制动距离的距离差。

注：可通过测试车队刹车前保持的车距与刹车后保持的车距作差计算。

4 测试操作要求

4.1 测试车队基本要求

测试车队中的车辆均应满足以下要求：

- a) 测试车队中的车辆应具备厘米级高精度定位能力；
- b) 测试车队中的车辆应具备V2V通信能力，测试方法参见附录A；
- c) 测试车队中的车辆应具备感知能力，测试方法参见附录B；
- d) 测试车队中的车辆应具备人工介入后的可操作性，测试方法参见附录C。

4.2 测试记录要求

记录能力评估过程的工具包含但不限于具有摄像、车辆状态信息记录、数据存储和传输等功能的设备，以及评估人员记录的信息文件。

能力评估时需要记录测试车队通过所有测试场景的操作过程，记录的数据包括但不限于：

- a) 车辆控制模式数据，包括自动驾驶状态、人工驾驶状态、驾驶自动化系统脱离状态等；
- b) 车辆状态数据，包括车辆位置、速度、行驶方向、灯光、制动、转向、喇叭等；
- c) 车辆内部安全员、车辆外部环境以及人机交互等视频监控数据；
- d) 测试车队对外界环境及场景的感知信息数据，包含动静态目标的空间位置等。

能力评估记录工具的安装位置包含但不限于：

- a) 搭载在测试车队上的；
- b) 安装在封闭测试场地内路侧的；
- c) 跟随测试车队的。

以上工具测试过程和内容，应符合计量检验的要求。

4.3 测试场景布置要求

测试场景布置的一般要求为：

- a) 自然环境：晴天，白天，能见度500 m以上，干燥路面；
- b) 道路：道路选取应不低于场景测试方法的要求并满足 T/CMAA 116-02—2018 的要求；
- c) 速度：高速道路与快速路测试车队速度限制在80 km/h以下，其他道路测试车队速度限制在 60

km/h以下。

4.4 数据采集精度

采集精度具体标准：

- a) 视频采集设备分辨率不应小于(1920×1080)像素点；
- b) 测试车队及目标车辆速度采集精度 0.1 km/h；
- c) 测试车队及目标车辆位置采集精度 0.1 m；
- d) 测试车队及目标车辆加速度采集精度 0.1 m/s²。

5 能力评估内容与方法

5.1 一般要求

自动驾驶载货汽车编队行驶能力评估内容与方法包含编队基础能力、编队行驶功能和应急处置三大类。除非特殊说明外，测试项目均为空载状态下进行测试。

5.2 测试内容

高速及控制出入的一级公路自动驾驶车辆编队行驶测试场景，如表1所示。

表1 编队行驶测试场景——高速及控制出入的一级公路

大项	项目及编号		场景及编号		高速道路测试要求
编队基础能力	编队创建	JZ01	静态组队	JZ0101	必测
			动态组队	JZ0102	必测
	编队解散	JZ02	停车后领航车辆解散队列	JZ0201	必测
			跟随车辆接管解散队列	JZ0202	必测
	跟随性能	JZ03	加减速	JZ0301	必测
			匀速直行	JZ0302	必测
			小曲率弯道	JZ0303	必测
	基础车辆能力	JZ04	鸣笛与转向灯同步	JZ0401	必测
	制动能力	JZ05	空载	JZ0501	必测
			满载	JZ0502	必测
编队行驶能力	起步	XS01	路侧停车起步	XS0101	必测
			左侧车辆通行起步	XS0102	必测
			前方障碍物起步	XS0103	必测
	直行	XS02	相邻车道车辆并行	XS0201	必测
			相邻车道车辆切入	XS0202	选测
			后方车辆超车	XS0203	必测
	跟车	XS03	稳定跟车	XS0301	必测
			跟车时前车切出	XS0302	必测
			跟车停走	XS0303	必测
	变更车道	XS04	主动变道	XS0401	必测
			避让障碍物变道	XS0402	必测
			避让低速行驶车辆变道	XS0403	必测
			相邻车道有车变道	XS0404	必测
前方车道减少变道			XS0405	必测	

表1 编队行驶测试场景——高速及控制出入的一级公路（续）

大项	项目及编号		场景及编号		高速公路测试要求
编队行驶能力	相邻车道车辆横向挤压	XS05	相邻车道车辆横向挤压	XS0501	选测
	靠边停车	XS06	靠边停车	XS0601	必测
	高速专项	XS07	驶入匝道	XS0701	必测
			驶出匝道	XS0702	必测
			通过高速收费站	XS0703	必测
			通过隧道	XS0704	选测
应急处置	紧急情况处置	HMI01	车辆或系统故障	HMI0101	必测
			系统无法处置的场景	HMI0102	必测
			自动紧急避让机动车	HMI0103	必测

5.3 测试场景及方法

5.3.1 编队创建

5.3.1.1 静态组队

5.3.1.1.1 测试场景

测试道路选取长直路。领航车辆和跟随车辆处于静止状态，领航车辆创建一个只包含自身的编队，组队需同时满足以下条件：

- 两车在同一车道内；
- 两车朝向角偏差范围为 $\pm 30^\circ$ ；
- 两车纵向距离不超过50 m，并且中间没有其他障碍物；
- 两车可正常进行V2V通信。

5.3.1.1.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆从静止状态开始，领航车辆或跟随车辆发起组队指令，领航车辆准入，领航车辆和跟随车辆进入编队模式。

5.3.1.1.3 评估标准

测试车队应满足以下要求：

- a) 领航车辆与跟随车辆无法组队的，不通过；
- b) 组队成功后，领航车辆和跟随车辆未以光学、声学或触觉提醒的方式发出组队成功提醒的，不通过；
- c) 从发起组队指令起超过10 s不能成功组队的，不通过。

5.3.1.2 动态组队

5.3.1.2.1 测试场景

测试道路至少为单向双车道，潜在领航车辆匀速行驶在长直车道上，同向车道有潜在跟随车辆以相同或相似车速匀速行驶。潜在领航车辆和潜在跟随车辆均以不低于30 km/h匀速行驶。领航车辆创建一个只包含自身的编队，组队需同时满足以下条件：

- 两车在同一车道内；
- 两车朝向角偏差范围为 $\pm 30^\circ$ ；
- 两车纵向距离不超过50 m，并且中间没有其他障碍物；
- 两车可正常进行V2V通信。

5.3.1.2.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆在行驶过程中，由领航车辆创建编队。领航车辆或跟随车辆发起组队指令，由跟随车辆判断满足组队条件后发出组队申请消息，领航车辆准入，领航车辆和跟随车辆进入编队自动驾驶模式。

5.3.1.2.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 领航车辆与跟随车辆无法组队的，不通过；
- b) 组队成功后，领航车辆和跟随车辆未以光学、声学或触觉提醒的方式发出组队成功提醒的，不通过；
- c) 从发起组队指令起超过10 s不能成功组队的，不通过。

5.3.2 编队解散

5.3.2.1 停车后领航车辆解散编队

5.3.2.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路，长度不低于300 m。

5.3.2.1.2 测试方法

测试车队以编队形式行驶100 m后停车，领航车辆发出解散编队指令。

5.3.2.1.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 无法结束编队模式的，不通过；
- b) 结束编队后，领航车辆和跟随车辆未能发出光学、声学或触觉提醒提示车上安全员、或者跟随车辆没有驻车的，不通过；
- c) 从领航车辆发出编队解散指令后不能实时退出编队状态的，不通过。

5.3.2.2 跟随车辆接管解散编队

5.3.2.2.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路，长度不低于300 m。

5.3.2.2.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆以30 km/h速度编队行驶，行驶过程中跟随车辆通过接管解散编队。

5.3.2.2.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 跟随车辆无法结束编队模式的，不通过；

- b) 结束编队模式后，领航车辆和跟随车辆未有车内语音提示车上安全员的，不通过。
- c) 从跟随车辆接管起超过10 s不能实时退出编队状态的，不通过。

5.3.3 跟随性能

5.3.3.1 概述

测试车队应分别以空载和满载形式按照JZ0301、JZ0302、JZ0303规定的测试方法和测试场景进行测试。

5.3.3.2 加减速

5.3.3.2.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路，长度不低于500 m。如图1所示。

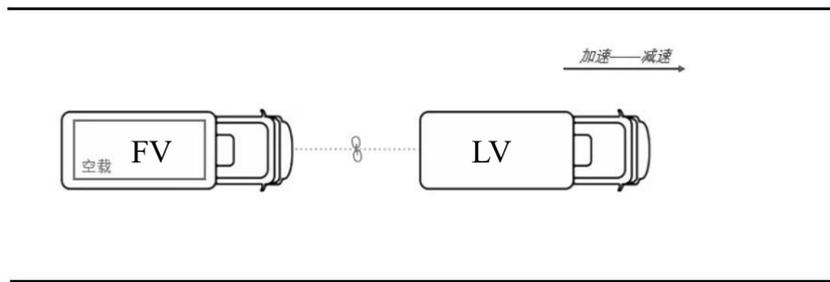


图1 加减速测试（跟随）

根据测试车队中车辆支持的最大行驶速度 V_{max} 在表2中选取相对应的任一组试验参数。

表2 测试要求速度选取参照表

单位为千米每小时

V_{max}	测试要求速度
$V_{max} \geq 80$	80
	60
$V_{max} < 80$	60
	40

5.3.3.2.2 测试方法

测试车队进入编队模式，以30 km/h的初始速度行驶，领航车辆加速至表2中测试要求速度，之后减速至初始速度30 km/h。

5.3.3.3 匀速直行

5.3.3.3.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向单车道的长直路，长度不低于500 m。如图2所示。

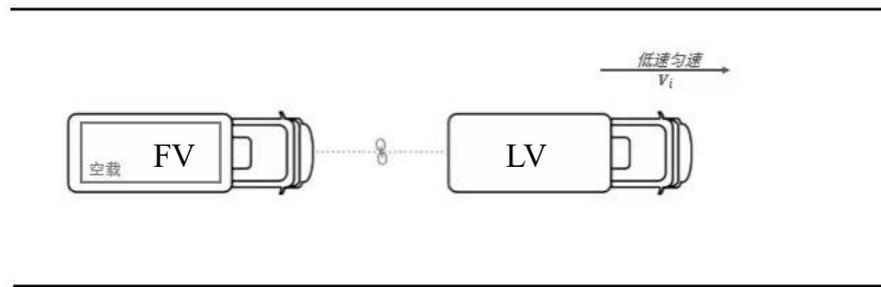


图2 匀速直行测试（跟随）

5.3.3.3.2 测试方法

测试车队进入编队模式，从起步加速至表2中测试要求速度，保持该速度行驶时长不小于5 s。

5.3.3.4 小曲率弯道

5.3.3.4.1 测试场景

测试道路选取包含一个或多个转弯半径小于300 m的弯道。如图3所示。

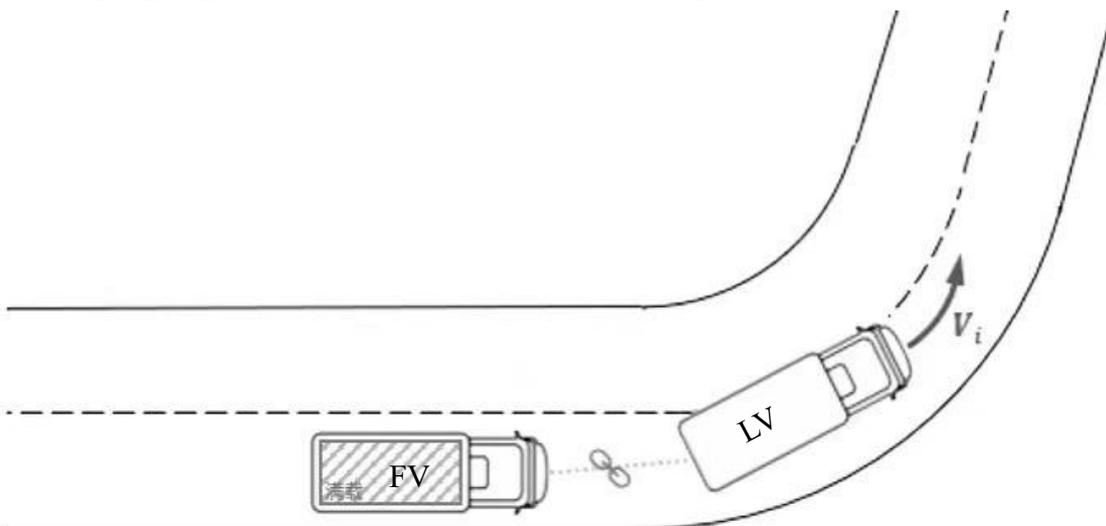


图3 小曲率弯道测试（跟随）

5.3.3.4.2 测试方法

测试车队进入编队模式，在测试道路上以初始速度20-30 km/h行驶，通过测试路段。

5.3.3.5 评估标准

测试车队跟随性能应满足表3要求：

表3 跟随性能评估数值指标

	加减速	匀速直行	小曲率弯道
横向偏差/cm	<50	<50	<50
纵向距离/m	<25	<25	<25

5.3.4 基础车辆能力

5.3.4.1 编队鸣笛与转向灯同步

5.3.4.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直道路，长度不小于300 m。如图4所示。

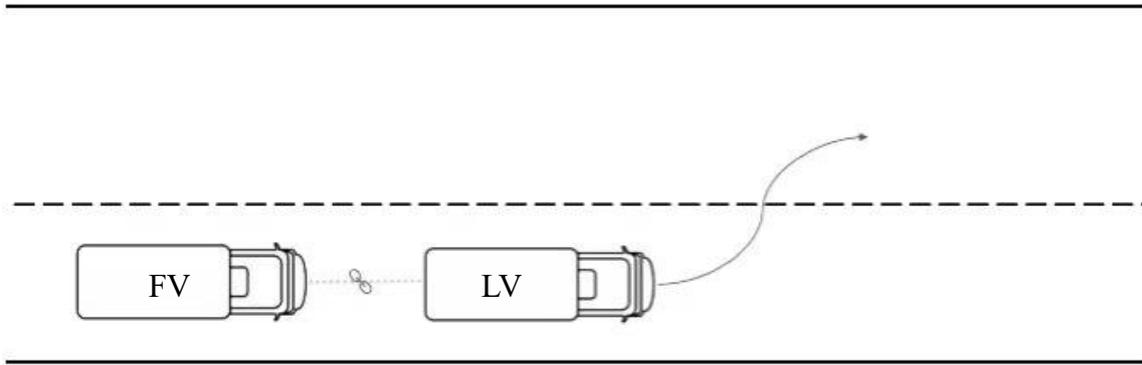


图4 编队鸣笛和转向灯同步测试

5.3.4.1.2 测试方法

测试车队进入编队模式行驶，领航车辆鸣笛，之后开启转向灯。

5.3.4.1.3 评估标准

领航车辆鸣笛后跟随车辆应鸣笛且延迟时间不大于1 s，领航车辆开启转向灯后跟随车辆应开启转向灯且延迟时间不大于1 s。

5.3.5 制动能力

5.3.5.1 跟随车辆空载

5.3.5.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向单车道的长直路，长度不低于500 m，如图5所示。

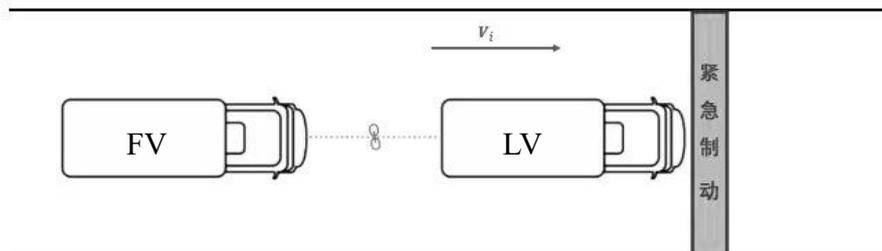


图5 跟随车辆空载测试

5.3.5.1.2 测试方法

测试车队进入编队模式以40 km/h的初始速度行驶，领航车辆驾驶员踩下制动踏板进行制动，减速度不低于3 m/s²。

5.3.5.2 跟随车辆满载

5.3.5.2.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向单车道的长直路，长度不低于500 m，如图6所示。

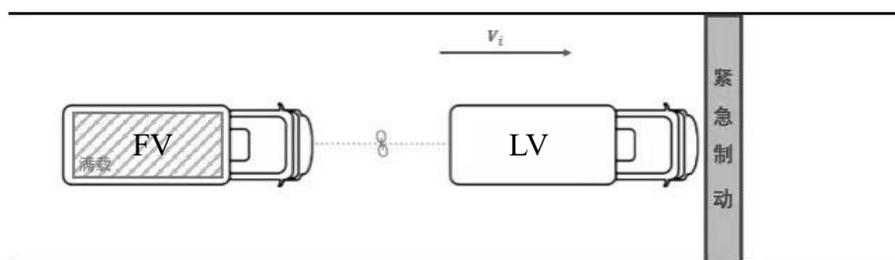


图6 跟随车辆满载测试

5.3.5.2.2 测试方法

测试车队进入编队模式以40 km/h的初始速度行驶，领航车辆驾驶员踩下制动踏板进行制动，减速度不低于 3m/s^2 。

5.3.5.3 评估标准

测试车队应满足以下要求：

- 测试车队不应发生碰撞；
- 跟随车辆空载时，制动距离差值应小于4 m；
- 跟随车辆满载时，制动距离差值应小于8 m。

5.3.6 起步

5.3.6.1 路侧停车起步

5.3.6.1.1 测试场景

测试道路选取含有路侧停车位或者单向双车道的道路，前方无障碍物或车辆停靠。如图7所示。

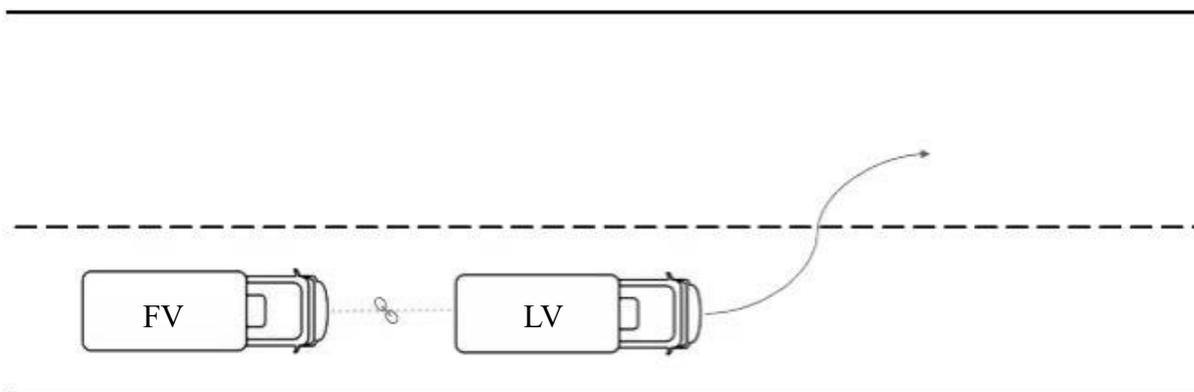


图7 路测停车起步测试

5.3.6.1.2 测试方法

测试车队进入编队模式，从右侧道路路侧起步。

5.3.6.2 左侧车辆通行起步

5.3.6.2.1 测试场景

测试道路选取含有单向双车道的道路。如图8所示。

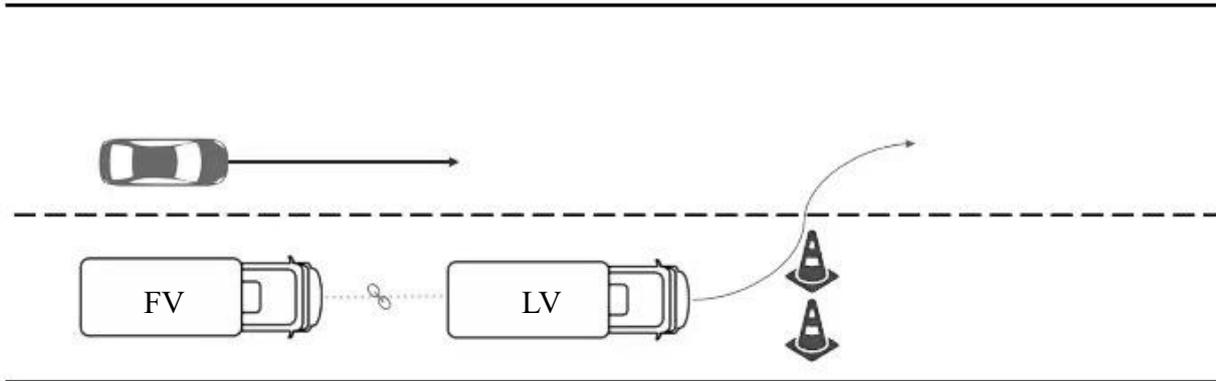


图8 左侧车辆通行起步测试

5.3.6.2.2 测试方法

测试车队进入编队模式后起步，目标车辆（VT）在测试车队左后方沿道路走向前进，在测试车队起步时经过跟随车辆；测试起点位于右侧车道锥桶前，测试终点在锥桶后方 100 m 以上。

5.3.6.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 测试车队与目标车辆（VT）发生碰撞或刮擦的，不通过；
- b) 测试过程中跟随车辆如果停车，待目标车辆（VT）安全通过后，跟随车辆大于8 s起步的，不通过。

5.3.7 直行

5.3.7.1 相邻车道车辆并行

5.3.7.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的道路，长度不低于 500 m。如图 9 所示。

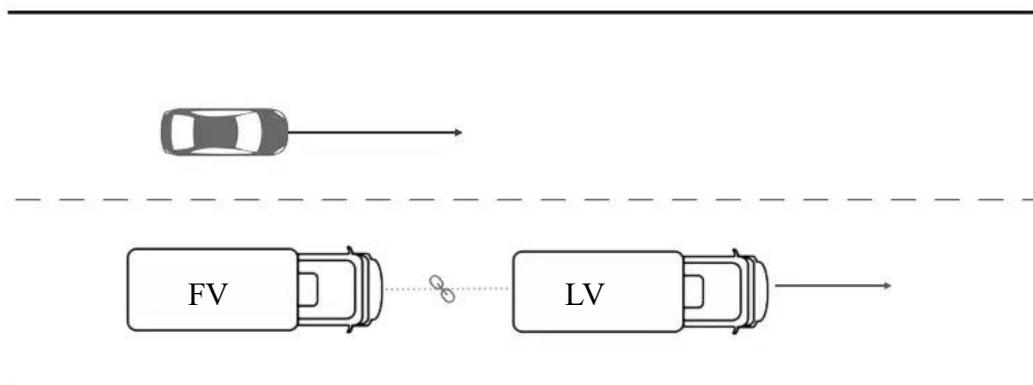


图9 相邻车道车辆并行测试

5.3.7.1.2 测试方法

目标车辆(VT)与测试车队(PUT)在相邻车道内保持同速并行,行驶200 m以上即可终止测试。

5.3.7.1.3 评估标准

测试车队(PUT)在测试车道内应稳定行驶,没有明显减速或者停车,未与目标车辆(VT)发生碰撞,方可通过测试。

5.3.7.2 相邻车道车辆切入

5.3.7.2.1 测试场景

测试道路选取至少为单向双车道的长直路段,长度不小于300 m,中间车道线为白色虚线。如图10所示。

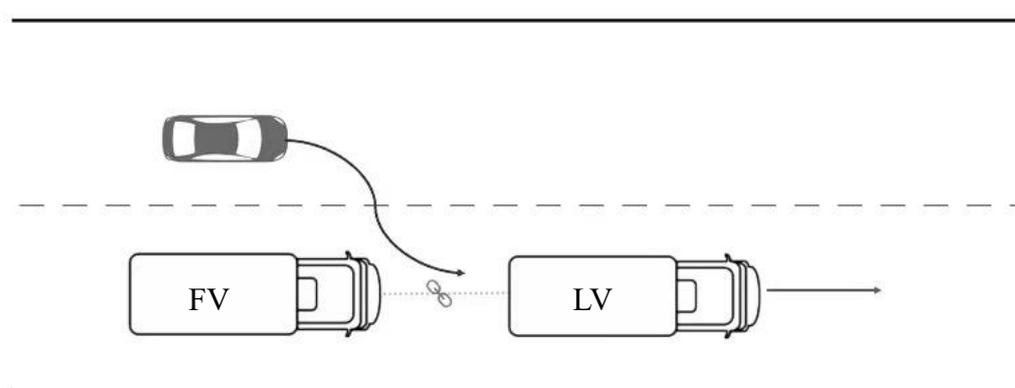


图 10 临车道车辆切入测试

5.3.7.2.2 测试方法

测试车队(PUT)进入编队模式,在右侧车道行驶。目标车辆(VT)在左侧车道内切入领航车辆(LV)与跟随车辆(FV)之间,与测试车队(PUT)同车道行驶至少100 m后切出。

5.3.7.2.3 评估标准

测试车队评估要求如下:

- a) 过程中测试车队无法保持在车道内行驶,跟随车辆车轮触轧车道线,不通过;
- b) 测试车队与目标车辆(VT)发生碰撞,或跟随车辆(FV)未减速,不通过。

5.3.7.3 后方车辆超车

5.3.7.3.1 测试场景

测试道路选取单向双车道路段。测试车队(PUT)在右侧车道以初始速度行驶。如图11所示。

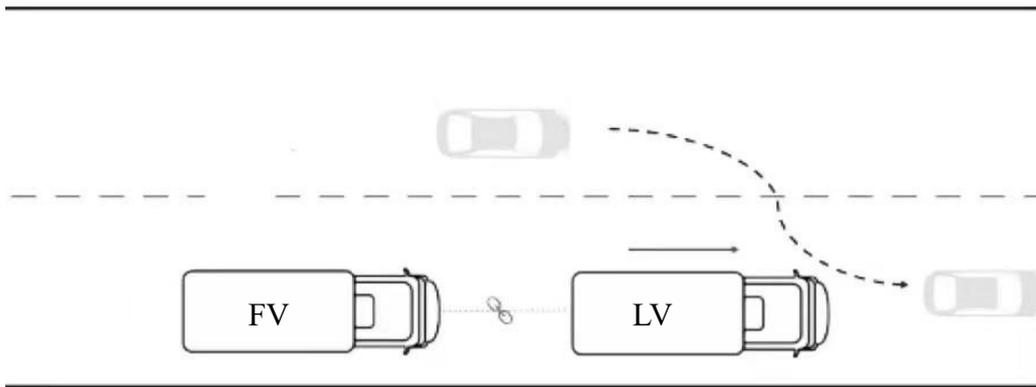


图 11 后方车辆超车测试

5.3.7.3.2 测试方法

目标车辆(VT)在跟随车辆(FV)侧后方行驶50 m以上后,超车切入测试车队(PUT)前方,同车道行驶100 m以上后测试结束。

5.3.7.3.3 评估标准

测试车队评估要求如下:

- a) 并行时,测试车队(PUT)明显减速或停车的,不通过;
- b) 测试车队(PUT)在目标车辆(VT)发生碰撞,不通过。

5.3.8 跟车

5.3.8.1 稳定跟车

5.3.8.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向单车道的长直路,长度不小于500 m。如图12所示。



图 12 稳定跟车测试

5.3.8.1.2 测试方法

目标车辆(VT)以20 km/h、30 km/h、40 km/h速度行驶,测试车队(PUT)在目标车辆后方稳定跟车行驶,行驶时间不低于10 s。

5.3.8.1.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 方向控制不稳，不能保持车队在车道内行驶的，不通过；
- b) 跟车速度不稳或不能根据前车行驶状态调整速度，造成碰撞的，不通过。

5.3.8.2 跟车时前车切出

5.3.8.2.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路，长度不低于500 m。如图13所示。

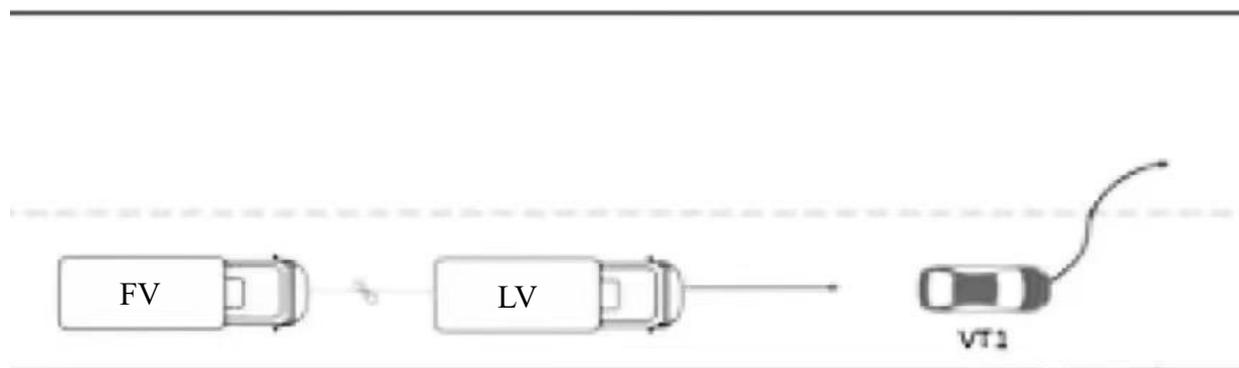


图 13 跟车时前车切出测试

5.3.8.2.2 测试方法

测试车队（PUT）跟随前方行驶目标车辆（VT1）在同一车道行驶，VT1 从本车道切出至相邻车道。

5.3.8.2.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 方向控制不稳，不能保持车队在车道内行驶的，不通过；
- b) 跟车速度不稳或不能根据前车行驶状态调整速度，造成碰撞的，不通过。

5.3.8.3 跟车停走

5.3.8.3.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向单车道的长直路，如图14所示。

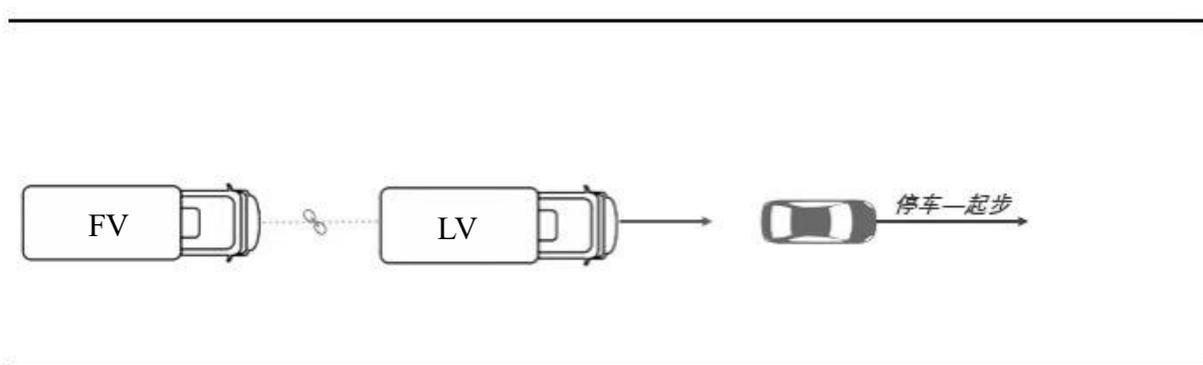


图 14 跟车停走测试

5.3.8.3.2 测试方法

目标车辆（VT）在测试车队（PUT）同车道内稳定跟车后 10s，减速停车。待测试车队（PUT）跟车停稳后，目标车辆（VT）起步行驶。测试车队（PUT）与目标车辆（VT）同时起步。

5.3.8.3.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 方向控制不稳，不能保持车队在车道内行驶的，不通过；
- b) 跟随车辆跟车速度不稳或不能根据领航车辆行驶状态调整速度，造成碰撞的，不通过；
- c) 领航车辆跟车起步后，跟随车辆未能根据领航车辆状态适时起步，起步时间大于6 s的，不通过。

5.3.9 变更车道

5.3.9.1 主动变道

5.3.9.1.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路段，如图15所示。

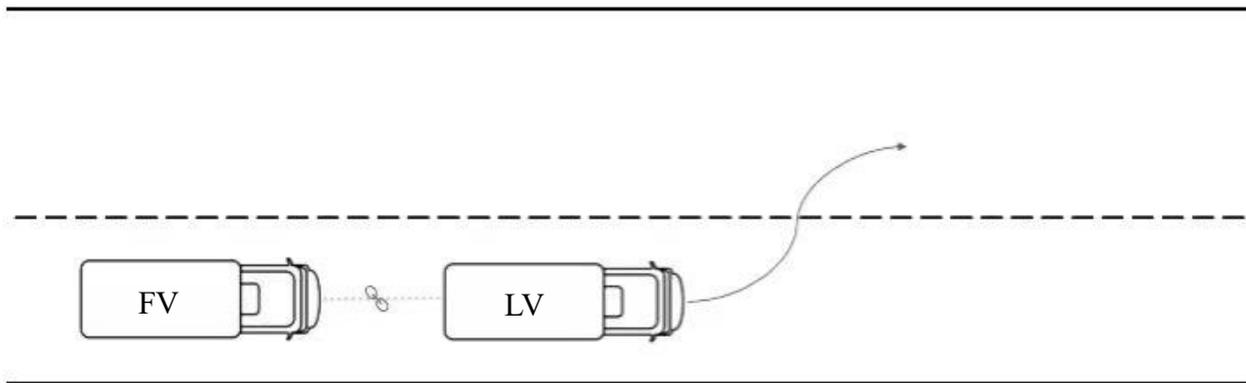


图 15 变更车道测试

5.3.9.1.2 测试方法

测试车队在右侧车道以初始速度行驶，通过测试路段时，变道至左侧车道。

5.3.9.2 避让障碍物变道

5.3.9.2.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的长直路段。锥桶分别摆放于两条车道，两处锥桶摆放位置纵向距离至少为测试车队总长的3倍。如图16所示。

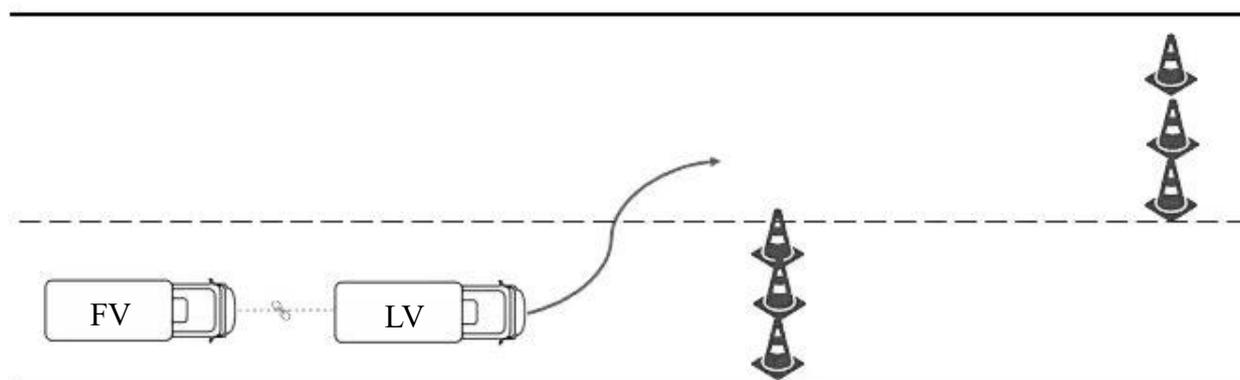


图 16 避让障碍物测试

5.3.9.2.2 测试方法

测试车队在右侧车道以初始速度行驶，通过测试路段。

5.3.9.3 避让低速行驶车辆变道

5.3.9.3.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的路段。如图17所示。

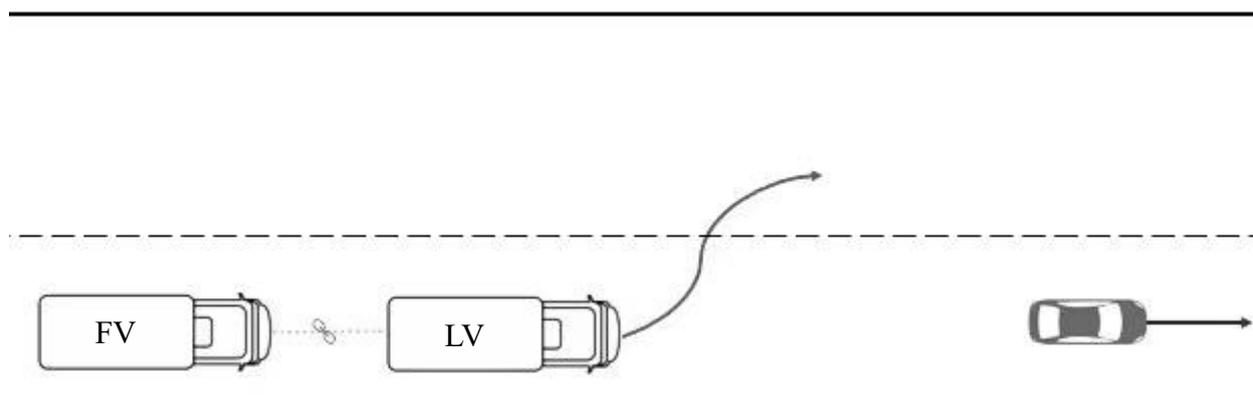


图 17 避让低速行驶车辆变道测试

5.3.9.3.2 测试方法

目标车辆（VT）在右侧车道于测试车队（PUT）前方以不大于10 km/h的速度低速行驶，测试车队（PUT）在右侧车道以初始速度行驶，通过测试路段。

5.3.9.4 相邻车道有车变道

5.3.9.4.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的路段。测试车队以30 km/h速度行驶。如图18所示。

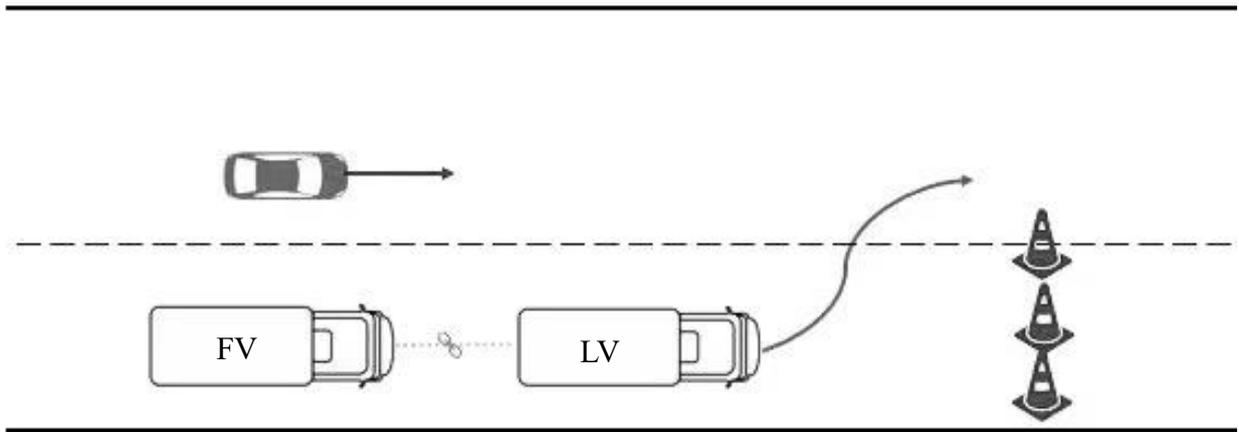


图 18 临近车道有车变道

5.3.9.4.2 测试方法

目标车辆（VT）在跟随车辆（FV）左后方行驶，调整目标车辆（VT）位置和车速，在领航车辆完成变道后并在跟随车辆（FV）变道前，加速超越跟随车辆。测试起点位于右侧车道，终点位于变道后跟随车辆行驶10 s以上位置。

5.3.9.5 前方车道减少变道

5.3.9.5.1 测试场景

测试道路选取带有车道减少的路段。目标车辆（VT）在左侧车道直行。如图19所示。

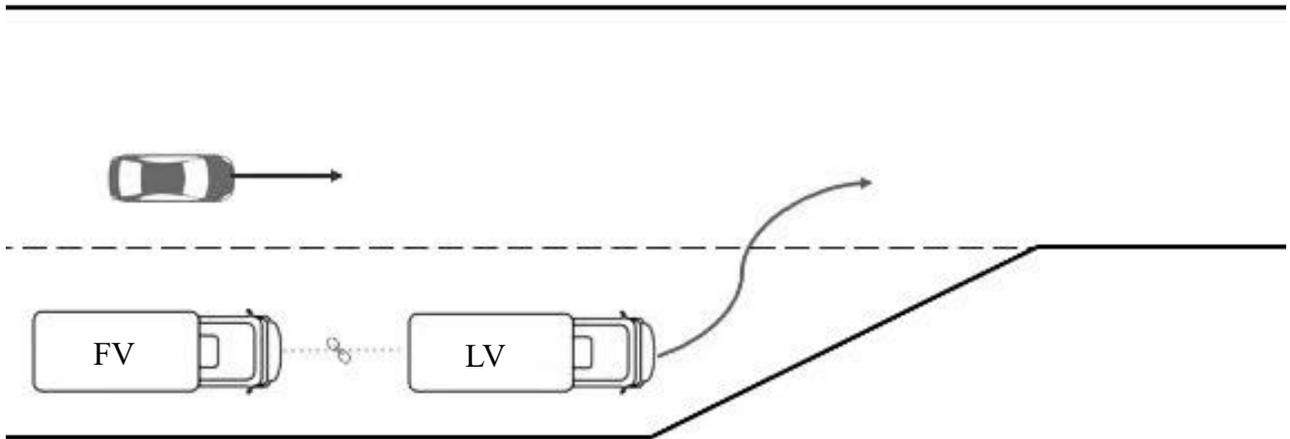


图 19 前车车道减少变道

5.3.9.5.2 测试方法

目标车辆（VT）调整车速保持在测试车队（PUT）中跟随车辆左侧前后 5m 区域内行驶。当测试车队（PUT）速减至初始速度40%以下时，目标车辆（VT）驶离。测试车队（PUT）在测试道路右侧车道内以初始速度行驶。

5.3.9.6 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 跟随车辆未能提前发出人可感知到的接管提醒的或未能提前开启危险警告信号灯的，不通过；
- b) 变更车道过程中，控制行驶速度不合理或判断车辆安全距离不合理，妨碍其他车辆正常行驶的，不通过；
- c) 跟随车辆无法完成变道的，不通过；
- d) 测试车队与障碍物、目标车辆等发生碰撞的，不通过；
- e) 条件允许的情况下，跟随车辆变更车道或借道行驶骑轧虚线超过10 s的，不通过；
- f) 非特殊场景，连续变更两条或两条以上车道的，不通过。

5.3.9.7 相邻车道车辆横向挤压

5.3.9.7.1 测试场景

测试道路选取双向两车道，不小于200 m，中间车道线为虚线。如图20所示。

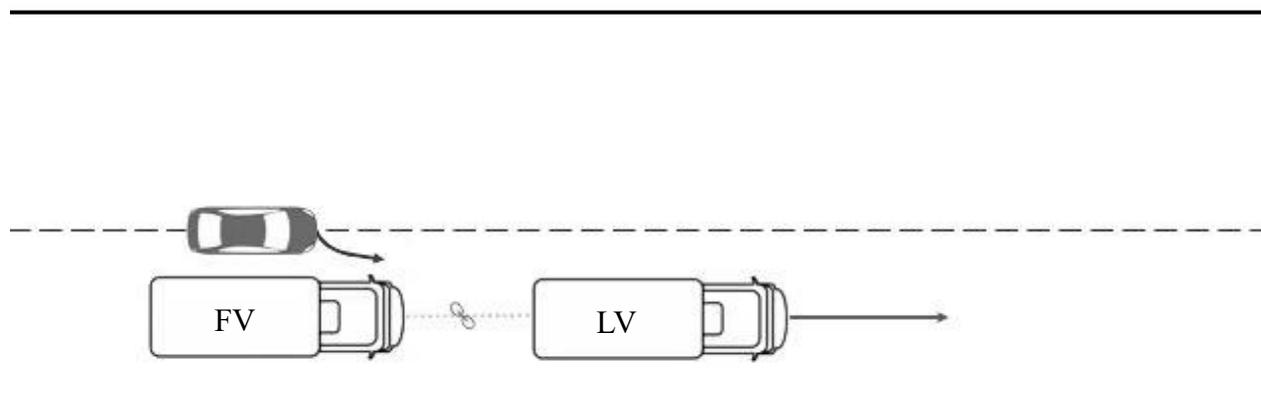


图 20 相邻车道车辆横向挤压

5.3.9.7.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆以30 km/h速度行驶在右侧车道行驶，目标车辆横向挤压跟随车辆行驶路径，并与跟随车辆的横向距离小于1 m。

5.3.9.7.3 评估标准

跟随车辆应合理避让，不与目标车辆发生碰撞或刮蹭，车轮不触轧车道边缘线，方可通过测试。

5.3.9.8 靠边停车

5.3.9.8.1 测试场景

测试道路选取至少包含单向双车道的路段。如图21所示。

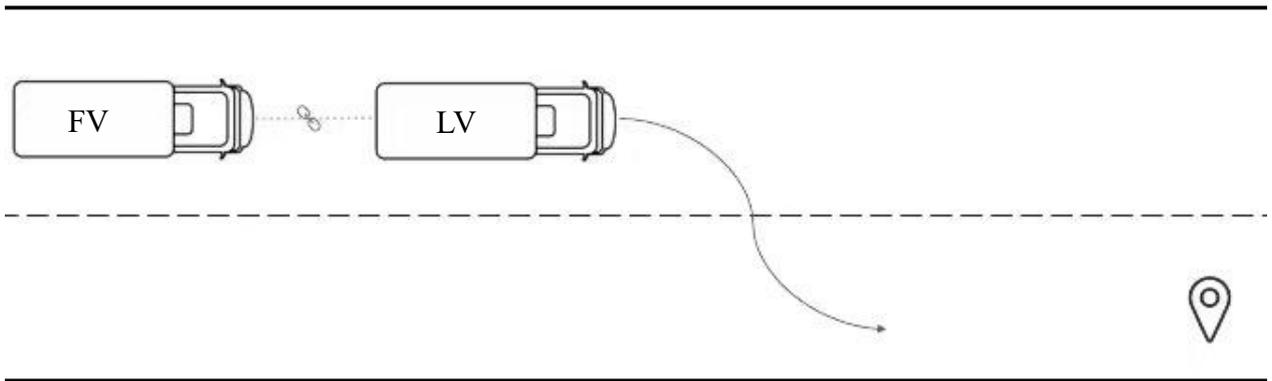


图 21 靠边停车测试

5.3.9.8.2 测试方法

测试车队在测试道路上以初始速度行驶，接到指令后在指定最右侧车道的测试路段内完成靠边停车。

5.3.9.8.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 停车后，跟随车辆车身超过道路右侧边缘线或人行道边缘的，不通过；
- b) 停车后，跟随车辆车身距离道路右侧边缘线或人行道边缘大于0.5 m的，不通过。

5.3.10 高速专项

5.3.10.1 驶入匝道

5.3.10.1.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道并与一条不少于100 m的匝道相连接，匝道入口处设置限速标志牌。如图22所示。

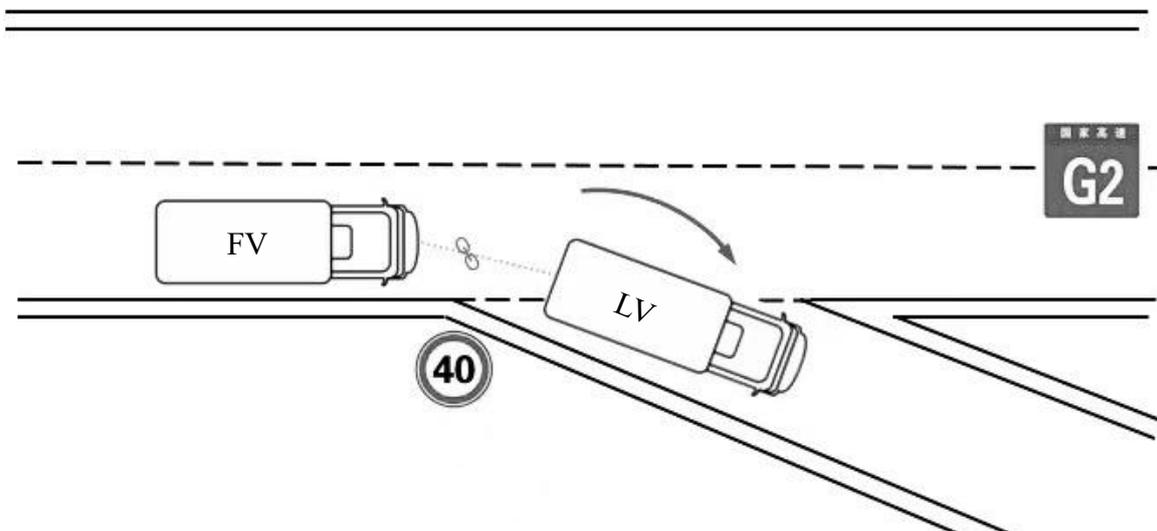


图 22 驶入匝道场景示意图

5.3.10.1.2 测试方法

测试车队并入最右侧车道后由长直道驶入匝道。

5.3.10.1.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- 行驶过程中发生碰撞的，不通过；
- 测试车队不能在车道内稳定行驶或出现超速情况的，不通过；
- 跟随车辆和领航车辆未能在切换车道过程中及时、同时正确使用转向灯的，不通过。

5.3.10.2 驶出匝道

5.3.10.2.1 测试场景

测试道路为至少包含一条不少于100 m的匝道与一条车道的长直道相连接。如图23所示。

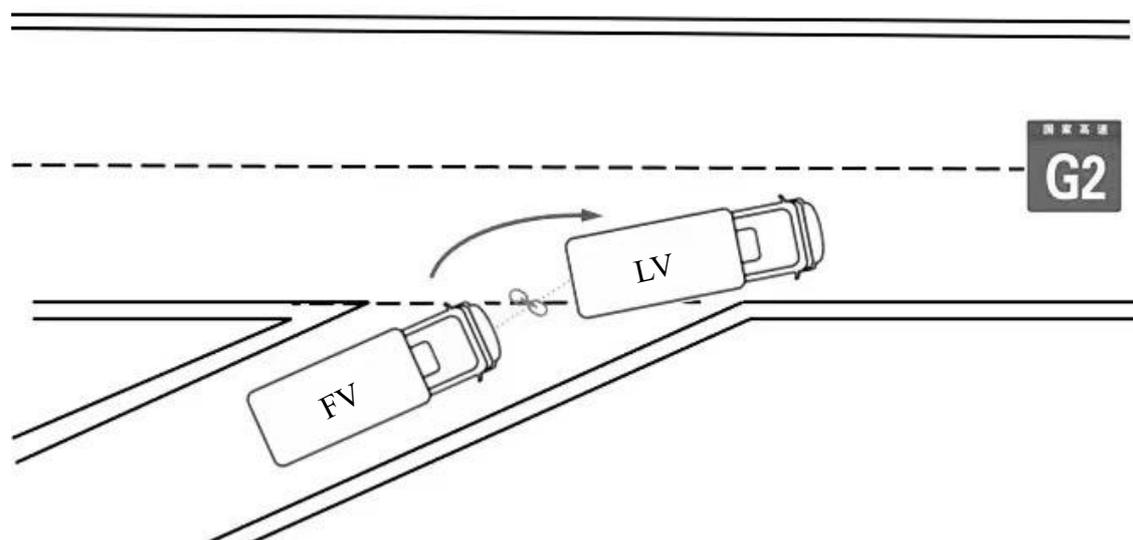


图 23 驶出匝道测试

5.3.10.2.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆驶出匝道，驶入长直道。

5.3.10.2.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- 行驶过程中发生碰撞的，不通过；
- 测试车队不能在车道内稳定行驶或出现超速情况的，不通过；
- 跟随车辆和领航车辆未能在切换车道过程中及时、同时正确使用转向灯的，不通过。

5.3.10.3 通过高速收费站

5.3.10.3.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道与ETC收费口。如图24所示。

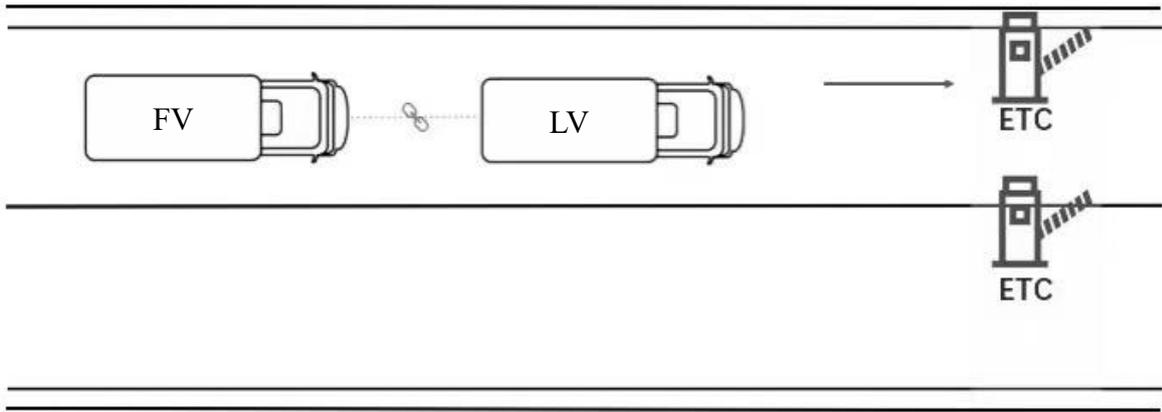


图 24 通过高速收费站测试

5.3.10.3.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆以40 km/h的初始速度驶向 ETC 收费口，当领航车辆最前端与收费站升降杆最小距离为20-30 m时升降杆下降并于领航车辆速度降为0 km/h后升起。领航车辆通过后且跟随车辆通过前，升降杆再次下降并于跟随车辆速度降为0 km/h后升起。跟随车辆通过收费站。

5.3.10.3.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 跟随车辆不按规定减速慢行的，不通过；
- b) 道闸开启后，跟随车辆6 s内未起步的或无法自动通过道闸的，不通过；
- c) 与道闸发生碰撞的，不通过。

5.3.10.4 通过隧道

5.3.10.4.1 测试场景

选取模拟隧道测试路段。如图25所示。

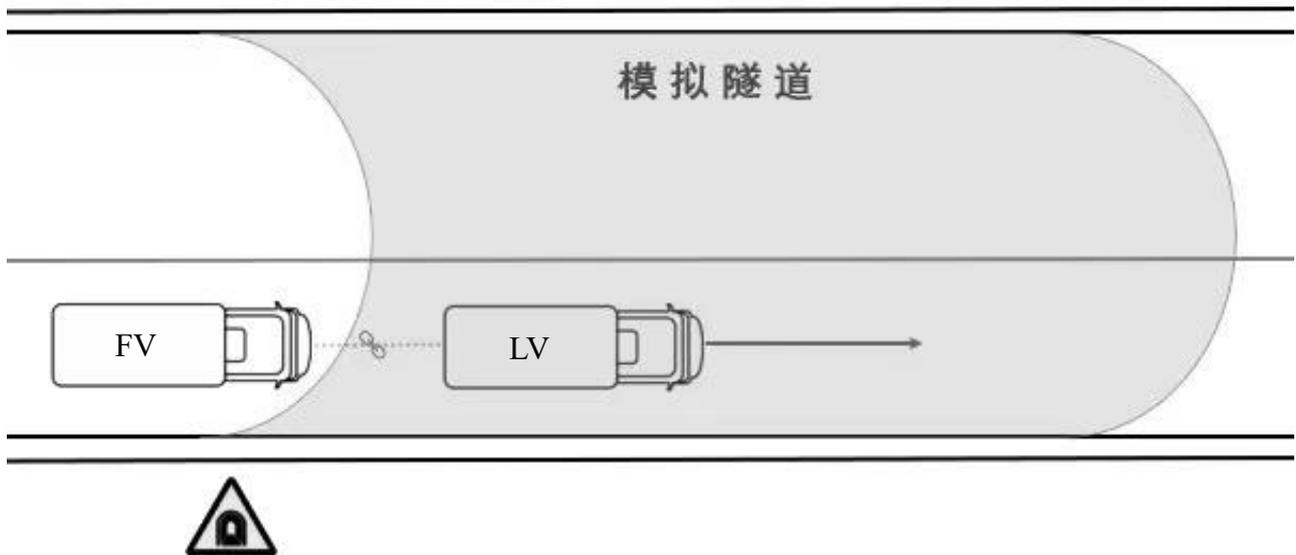


图 25 通过隧道测试

5.3.10.4.2 测试方法

领航车辆和跟随车辆进入编队模式，以初始速度匀速驶入隧道。

5.3.10.4.3 评估标准

测试车队评估要求如下：

- 驶抵隧道时，领航车辆和跟随车辆未减速或开启前照灯的，不通过；
- 驶入隧道后不按规定行驶、变道的，跟随车辆压线的，不通过；
- 测试车队无法通过隧道或中途停车的，不通过；
- 行驶过程中，跟随车辆和领航车辆横向偏差不超过50 cm，匀速行驶过程中跟随车辆和领航车辆纵向距离小于25 m，且不发生碰撞，否则不通过；
- 驶出隧道后领航车辆及跟随车辆未能及时关闭前照灯的，不通过。

5.3.11 紧急情况处置

5.3.11.1 车辆或系统故障

5.3.11.1.1 测试方法

测试过程中人为设置车辆或系统故障，包括通信、传感器、计算平台等。比如罩住激光模拟传感器故障，检查感知系统是否报故障。

5.3.11.2 系统无法处置的场景

5.3.11.2.1 测试方法

根据测试主体提供的ODD，设置ODD边界范围外的场景。

5.3.11.2.2 自动紧急避让机动车

5.3.11.2.3 测试场景

测试道路选取单向单车道路段。如图26所示。



图 26 自动紧急避让机动车测试

5.3.11.2.4 测试方法

测试车队（PUT）在测试道路上以初始速度30-40 km/h行驶。目标车辆（VT）切入到跟随车辆（FV）前方，与测试车队（PUT）同速低速行驶，共同行驶超过50 m后，目标车辆（VT）在1 s内达到减速度4~6 m/s²急刹停车。

5.3.11.2.5 评估标准

测试车队评估要求如下：

- a) 测试车队与前方障碍物、行人或车辆发生碰撞的，不通过；
- b) 车辆或系统故障和系统无法处置的场景中，未有光学、声学 and（或）触觉等人可感知的提醒的，或感知内容或形式不能吸引安全员注意力的，不通过。

附录 A
(规范性)
V2V 通信测试方法

A.1 有效发送频率：

V2V通信能力测试的有效发送频率不低于20 Hz。

A.2 丢包率：

在前后车OBU间距为50 m和150 m时，统计两车信息包递交的丢包率。丢包率计算方法为10分钟内丢失帧数/总发送帧数。

A.3 延迟：

在前后车OBU间距为50 m和150 m时，领航车辆通过数据回环模式给跟随车辆发送数据包，计算10分钟内平均时间差。

附录 B
(规范性)
感知能力测试方法

B.1 交通目标物类别感知（机动车）

B.1.1 测试方法

测试车队进入编队自动驾驶模式后静止停放于测试道路上。将机动车作为目标物放置于跟随车辆正前方距离车身边缘8 m处。检查感知系统在1 s内是否对目标物正确分类。

依次进行正左方、正右方、左前方、左后方、右前方和右后方的测试。

B.1.2 评价标准

测试目标物类别正确。

B.2 交通目标物距离感知（机动车）

B.2.1 静态距离感知测试方法

测试车队进入自动编队模式后静止停放于测试道路上。将机动车作为目标物放置于跟随车辆正前方。调整目标物在车辆正前方的位置，由远到近逐渐接近跟随车辆，直到跟随车辆感知系统能正确稳定识别目标物至少5 s为止，记录此时目标物距离跟随车辆正前方边缘的距离。

依次进行正左方、正右方、左前方、左后方、右前方和右后方的测试。

B.2.2 动态距离感知测试方法

测试车队进入自动编队模式后静止停放于测试道路上，车队纵向轴平行于车道线，安装定位设备。将机动车作为目标物放置于跟随车辆正前方距车身边缘200 m处，安装定位设备。测试车队以10 km/h的速度向目标物移动，当测试车队稳定识别目标物时记录为时刻T并停止测试，通过测试车队和目标物在 T 时刻的定位数据换算出车辆和目标物距离。

重复进行30 km/h车速的测试。

B.3 交通目标物感知范围

B.3.1 感知最大范围测试方法

测试车队跟随车辆进入自动驾驶驻车模式后静止停放于测试道路上，领航车辆驶离至不干扰位置。将机动车作为目标放置于车辆正前方1 km处，安装定位装置。将机动车慢慢驶近跟随车辆车头位置，当跟随车辆刚出现感知时停车，记录此时两车位置。

附录 C
(规范性)
人工介入后的可操作性测试方法

C.1 制动踏板介入

C.1.1 测试方法

测试道路选取长直路段。测试车队进入编队模式起步后，跟随车辆通过制动踏板介入，进入人工驾驶模式。之后根据评估人员指令，再次进入编队模式。

C.2 方向盘介入

C.2.1 测试方法

测试道路选取长直路段。测试车队进入编队模式起步后，跟随车辆通过转动方向盘介入，进入人工驾驶模式。人工介入后，根据评估人员指令，再次进入编队模式。

C.3 硬或软开关介入

C.3.1 测试方法

测试道路选取长直路段。测试车队进入编队模式起步后，跟随车辆通过硬或软开关介入，进入人工驾驶模式。人工介入后，根据评估人员指令，再次进入编队模式。

C.4 油门踏板介入

C.4.1 测试方法

测试道路选取长直路段。测试车队进入自动驾驶模式起步后，跟随车辆通过油门踏板介入，进入人工驾驶模式。人工介入后，根据评估人员指令，再次进入编队模式。

C.5 驾驶模式连续切换

C.5.1 测试方法

测试道路选取长直路段。测试车队进入编队模式起步后，通过各种介入方式，进入人工驾驶模式。人工介入后，根据评估人员指令，再次进入编队模式，测试车队应连续进行不少于10次的驾驶模式切换。

C.6 评估标准

自动驾驶车辆人工介入后判定标准如下：

- a) 人工介入后，自动驾驶系统未实时退出或自主恢复车辆控制权限的，不通过；
- b) 人工介入后，无法按评估人员指令进入自动驾驶模式的，不通过；
- c) 人工介入后，车辆动力、制动、转向和灯光等系统出现异常的，不通过；
- d) 人工介入后的行驶过程中，出现闯红灯、逆行、超速等严重违章行为的，不通过。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局. 智能网联汽车 自动驾驶功能场地试验方法及要求:GB/T 41798-2022[S]. 2022.
 - [2] 自动驾驶车辆封闭试验场地技术要求:T/CMAA 116-02-2018[S]. 2018.
-