

团 体 标 准

T/CSAE xx—20xx

乘用车智能底盘矢量控制及舒适加减速控制 驾驶员在环测试方法

Driver-in-the-Loop test method for intelligent chassis vector control and comfort
acceleration/deceleration control in passenger vehicles

(报批稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验对象要求	2
4.1 系统组成与存放要求	2
4.2 实时仿真系统要求	2
4.3 车辆动力学模型要求	3
5 底盘矢量控制试验方法	3
5.1 定速定方向盘转角绕圆试验	3
5.2 定轨迹加速绕圆试验	3
5.3 单移线试验	3
5.4 双移线试验	4
5.5 避障性能试验	5
5.6 蛇行绕桩试验	5
5.7 正弦扫频试验	6
5.8 高速制动转向阶跃试验	6
6 舒适加减速控制试验方法	7
6.1 舒适加速控制试验	7
6.2 舒适减速控制试验	7
7 数据处理	8
附录 A	9
A.1 通过时间	9
A.2 最大方向盘转角	9
A.3 最大横摆角速度	9
A.4 最大侧向加速度	9
A.5 平均车身侧倾角	10
A.6 最大通过车速	10
A.7 车身俯仰角	10
附录 B	11
附录 C	12
C.1 概述	12
C.2 峰值或平均值分析	12
C.3 过程曲线分析	12
参考文献	14

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。

本文件由电动汽车产业技术创新战略联盟提出。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：比亚迪汽车工业有限公司、中国科学院电工研究所、北京奥特尼克科技有限公司、广州汽车集团股份有限公司、清华大学、招商局检测车辆技术研究院有限公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、新兴际华（北京）智能装备技术研究院有限公司、上海市同驭汽车科技有限公司、北京经纬恒润科技股份有限公司、江苏大学、中国汽车工程研究院股份有限公司、吉利汽车研究院（宁波）有限公司、上海利氮科技有限公司、北京理工大学、武汉瑞立科德斯汽车电子有限责任公司、苏州英特模科技股份有限公司、苏州汇川联合动力系统股份有限公司、北京北方车辆新技术孵化器有限公司、浙江天行健智能科技有限公司、长城汽车股份有限公司、国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司、辰致科技有限公司。

本文件主要起草人：屈文英、廖银生、邱锟、王振峰、章翔、苟晋芳、王帅、袁世海、夏小均、何兵、何承坤、华旻、赵伟、张俊智、王丽芳、牛成勇、谢翔、彭玉钢、余颖弘、马媛媛、康润程、詹志辉、张伦维、何超、韩明佳、毕博威、李奥运、马超、韩东雪、马少崇、吴艳、孙晓强、范成建、张明、王政芳、舒强、彭玉钢、张超、马瑞海、施国标、苏干厅、张晓峰、毛敏捷、吴彦昭、周晓峰、张虎、包汉伟、程毅、丁娟、张宇、刘兵、杨蔓、杨雨圣、刘国芳、陆晓磊。

乘用车智能底盘矢量控制及舒适加减速控制驾驶员在环测试方法

1 范围

本文件规定了乘用车智能底盘协同控制功能底盘矢量控制和舒适加减速控制驾驶员在环测试的术语和定义、试验对象要求、测试设备要求、试验条件、测试方法和数据处理方法。

本文件适用于搭载智能底盘矢量控制及舒适加减速控制功能的控制系统。

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（包括所有修改单）适用于本文件。

JT/T 378 汽车驾驶培训模拟器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

车辆动力学模型 vehicle dynamics model

描述车辆或车辆子系统的一组方程，是计算系统状态变量的数学模型。

3.2

驾驶模拟器 driving simulator

与车辆动力学模型（3.1）驾驶视景和动态体感相匹配的驾驶员在环虚拟驾驶系统。

3.3

智能底盘 intelligent chassis

能为自动驾驶系统、座舱系统、动力系统、车身系统提供承载平台，具备认知、预判和控制车轮与地面间相互作用，具备管理自身运行状态的能力，具体实现车辆智能行驶任务的底盘。

3.4

驾驶员在环测试 driver-in-the-loop test

将驾驶员纳入决策循环，以获得更真实的人体感知和驾驶体验的测试方法。

3.5

底盘协同控制 integrated chassis control

通过集成和协调车辆底盘上的各种控制单元和系统，对车辆动态行为进行统一管理和优化的控制技术。

3.6

底盘矢量控制 chassis vector control

通过调用制动系统、驱动系统、转向系统和悬架系统，主动调节车辆纵向力矩、横摆力矩等来实现驾驶员所期望的车辆驾驶特性的控制技术。

3.7

舒适加减速控制 comfort acceleration/deceleration control

在确保加减速有效性和安全性的前提下，通过调用底盘各执行系统，降低车辆加减速过程对乘员冲击和不适感的控制技术。

4 试验对象要求

4.1 系统组成与存放要求

4.1.1 系统组成

驾驶模拟器系统组成应包括车辆实时动力学软件系统、虚拟场景软件系统、实时仿真计算系统、底盘控制系统和数据采集与传输系统。

硬件设备应包括显示器、制动踏板、加速踏板、方向盘、通信设备、驾驶位。

动力学模型应包括车辆动力学模型、动力系统模型、制动系统模型、传动系统模型、转向系统模型、悬架系统模型、轮胎模型。

4.1.2 存放要求

驾驶模拟器系统工作时的环境条件应满足以下要求：

a) 温度： $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ；

b) 相对湿度： $\leq 60\%$ 。

其余环境条件如工作电源与电路工作电压应满足 JT/T 378 中的要求。

4.2 实时仿真系统要求

实时仿真系统应能实时读取、输出车辆动力学模型仿真过程中表1所列举的底盘协同控制功能软件/控制器交互信号。

表1 底盘协同控制功能软件/控制器交互信号

车辆模型输入信号	车辆模型输出信号
方向盘转角($^{\circ}$)	车轮转角($^{\circ}$)
油门踏板开度(-)	行驶路径横纵坐标(m)
制动踏板深度(mm)	纵向车速(Km/h)
制动主缸压力(MPa)	侧向加速度(g)
车轮转角($^{\circ}$)	纵向加速度(g)
差速器输出轴扭矩(N·m)	横摆角速度($^{\circ}/\text{s}$)
减震器压缩力(N)	车身侧倾角($^{\circ}$)
	车身俯仰角($^{\circ}$)
	质心侧偏角($^{\circ}$)
	轮胎滑移率(-)

4.3 车辆动力学模型要求

车辆动力学模型精度应满足表2中的要求，精度应按照附录 A 给出的计算方法进行计算。

表2 车辆动力学模型精度要求

评价指标	单位	精度要求
稳态回转不足转向度 0.3 g	%g	90 %
稳态回转车身侧倾度	°/g	90 %
转向阶跃横摆角速度响应时间 0.3 g	s	90 %
转向阶跃侧向加速度响应时间 0.3 g	s	90 %
转向扫频横摆角速度峰值增益	1/s	90 %
小侧向加速度线性区转向灵敏度	g/100 °	90 %
加速俯仰梯度	°/g	90 %
制动俯仰梯度	°/g	90 %

5 底盘矢量控制试验方法

5.1 定速定方向盘转角绕圆试验

5.1.1 开启底盘矢量控制功能。

5.1.2 通过虚拟测试软件固定值输入将方向盘转角固定 90° 并控制油门开度使车速稳定在目标初始车速 V_0 为 (30 ± 1) km/h，绕圆行驶 3 圈，后续每增加 10 km/h 进行一次试验直至速度提升至 150 km/h。实验过程中车辆实际绕圆路线与标定路线的偏差大于 0.3 m 则试验无效。

5.1.3 根据 5.1.2，目标初始车速从 30 km/h 到 150 km/h，每增加 10 km/h 为一种工况，每种工况至少进行 3 次有效试验。

5.1.4 采集试验过程中的行驶路径、方向盘转角、车速、横摆角速度、侧向加速度和质心侧偏角。

5.1.5 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.1.2 至 5.1.4。

5.2 定轨迹加速绕圆试验

5.2.1 开启底盘矢量控制功能。

5.2.2 定圆轨迹半径为 40 m。

5.2.3 控制方向盘转动角度，使虚拟车辆能够沿固定轨迹行驶，控制油门开度使车速均匀上升直至车辆行驶轨迹偏离预设轨迹 1.75 m，加速过程中应保持车辆纵向加速度不大于 0.25 m/s^2 。加速过程中车辆纵向加速度大于 0.25 m/s^2 则视为无效。

5.2.4 至少进行 3 次有效试验。

5.2.5 采集试验过程中的行驶路径、方向盘转角、车速、横摆角速度和质心侧偏角。

5.2.6 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.2.3 至 5.2.5。

5.3 单移线试验

5.3.1 开启底盘矢量控制功能。

5.3.2 单移线试验应按照图 1 在虚拟场景中布置桩桶，保证换道的纵向距离 $S=27.5\text{ m}$ ，车道桩桶横向距离 $W=3.7\text{ m}$ 。

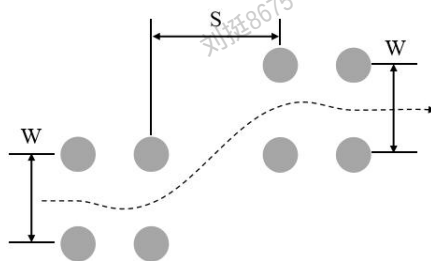


图 1 单移线试验桩桶的放置

5.3.3 通过驾驶模拟器控制车辆初始状态为等速直线行驶，进入第一段区间目标初始车速 V_0 宜为 $(80 \pm 2)\text{ km/h}$ 。以目标初始车速 V_0 通过通道后，可继续提高目标初始车速。后续每增加 10 km/h 进行一次试验，试验最高车速由试验组织者自定。

5.3.4 若试验过程中出现车辆轮胎离地，撞击桩桶、侧滑现象则视为无效。

5.3.5 根据 5.3.3，每次增加目标初始车速对应一种工况，每种工况至少进行 3 次有效试验。

5.3.6 采集试验过程中的通过车速、方向盘转角、横摆角速度、侧倾角和质心侧偏角。

5.3.7 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.3.3 至 5.3.6。

5.4 双移线试验

5.4.1 开启底盘矢量控制功能。

5.4.2 双移线试验按照图 2 在虚拟场景中布置桩桶，保证每组桩桶纵向距离 $S_0、S_1、S_2、S_3=27.5\text{ m}$ ，车道桩桶距离 $W=3.7\text{ m}$ ，松油门位置距第一个桩桶距离 $W_1=2.0\text{ m}$ ；

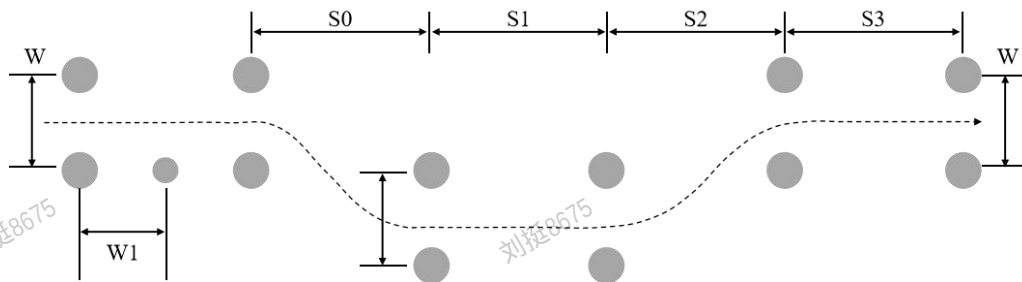


图 2 双移线试验桩桶的放置

5.4.3 驾驶员通过驾驶模拟器驾驶虚拟车辆从入口直线段加速至目标初始车速 V_0 ，当到达 W_1 位置时松油门并通过试验区域。后续逐渐增大目标初始车速直到试验最高车速 V_{max} ，试验最高车速由试验组织者自定。

5.4.4 若试验过程中出现车辆轮胎离地，撞击桩桶、侧滑现象则视为无效。

5.4.5 根据 5.4.3，每次增加目标初始车速对应一种工况，每种工况应至少进行 3 次有效试验。

5.4.6 采集试验过程中的通过车速、方向盘转角、横摆角速度、侧倾角和质心侧偏角。

5.4.7 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.4.3 至 5.4.6。

5.5 避障性能试验

5.5.1 开启底盘矢量控制功能。

5.5.2 在虚拟场景中，避障性能试验应按照图 3 安放桩桶，桩桶间距 $S_0 = 12\text{ m}$ 、 $S_1 = 13.5\text{ m}$ 、 $S_2 = 11\text{ m}$ 、 $S_3 = 12.5\text{ m}$ 、 $S_4 = 12\text{ m}$ ，车道桩桶距离 $W = 3.7\text{ m}$ 。

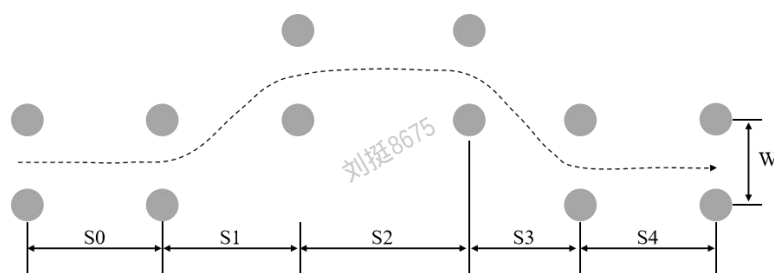


图 3 避障性能试验桩桶的放置

5.5.3 驾驶员通过驾驶模拟器驾驶虚拟车辆从入口直线段加速至目标初始车速 V_0 （应大于 70 km/h ），保持车速恒定进入变道区直至通过试验区域。后续逐渐增大目标初始车速直到试验最高车速 V_{max} ，试验最高车速由试验组织者自定。

5.5.4 若试验过程中出现车辆轮胎离地，撞击桩桶、侧滑现象则视为无效。

5.5.5 根据5.5.3，每次增加目标初始车速对应一种工况，每种工况至少进行 3 次有效试验。

5.5.6 采集试验过程中的通过车速、方向盘转角、横摆角速度、侧倾角和质心侧偏角。

5.5.7 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.5.3 至 5.5.6。

5.6 蛇行绕桩试验

5.6.1 开启底盘矢量控制功能。

5.6.2 蛇行绕桩试验按照图 4 在虚拟场景中布置桩桶，桩桶间距 $S = 18\text{ m}$ ，桩桶数量为 10 个， n 为桩桶编号。

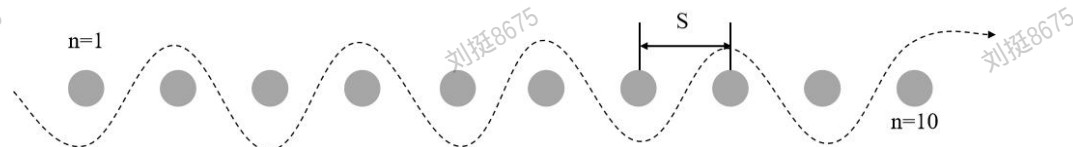


图 4 蛇形绕桩试验桩桶的放置

5.6.3 驾驶员通过驾驶模拟器驾驶虚拟车辆从起点加速至目标初始车速 V_0 ，保持车速波动范围 $\pm 2\text{ km/h}$ 进入绕桩区域。车辆沿“S”形轨迹连续绕过所有桩桶。后续逐渐增大目标初始车速 V_0 直到 V_{max} ，试验最高车速由试验组织者自定。

5.5.4 若试验过程中出现车辆撞击桩桶则视为无效。

5.6.5 根据5.6.3, 每次增加目标初始车速对应一种工况, 每种工况至少进行 3 次有效试验。

5.6.6 采集试验过程中的通过车速和方向盘转角。

5.6.7 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.6.3 至 5.6.6。

5.7 正弦扫频试验

5.7.1 开启底盘矢量控制功能。

5.7.2 初始状态虚拟车辆静止, 调整方向盘至中间位置, 汽车加速至 100 km/h 等速直线行驶(车速偏差 ± 3 km/h), 以缓慢速度转动方向盘, 同时观察此时的侧向加速度, 当其达到 0.35 g 时, 记录此时的方向盘转角大小, 以同样的试验方法记录另一方向的方向盘转角大小。取左右方向盘转角的平均值作为 5.7.4 的转角输入幅值。

5.7.3 车速 $V=100$ km/h 等速行驶, 从方向盘中间位置缓慢连续的进行正弦扫频输入, 方向盘转动幅值为 5.7.2 确定的转角。开始的输入频率尽量低, 然后输入频率缓慢增加, 频率范围覆盖从 0.2 Hz 至 3 Hz。方向盘转角输入随时间的变化曲线见图 5。如果采用驾驶员转动方向盘的方式, 应至少进行 6 组试验。

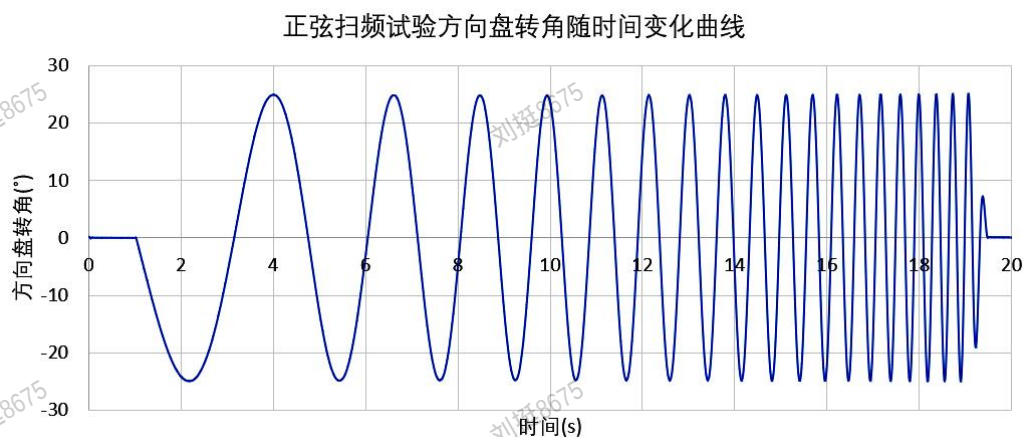


图 5 正弦扫频试验方向盘转角输入曲线

5.7.4 至少进行 3 次有效试验。

5.7.5 采集试验过程中的方向盘转角、横摆角速度、侧向加速度和侧倾角。

5.7.6 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.7.2 至 5.7.5。

5.8 高速制动转向阶跃试验

5.8.1 开启底盘矢量控制功能。

5.8.2 车速为 $V=120$ km/h 的全力制动工况, 制动踏板开始输入时, 方向盘在 1 s 内由 0° 转到 90° 。

5.8.3 至少进行 3 次有效试验。

5.8.4 采集试验过程中的行驶路径、车速、侧向加速度和横摆角速度。

5.8.5 在底盘矢量控制功能关闭的情况下重复 5.8.2 至 5.8.4。

6 舒适加减速控制试验方法

6.1 舒适加速控制试验

6.1.1 开启舒适加减速控制功能。

6.1.2 舒适加速控制稳态测试按以下步骤进行：

- 车辆以 $10 \text{ km/h} \pm 1 \text{ km/h}$ 的车速沿直线稳定行驶。
- 以 $0.05 \text{ g} \pm 0.005 \text{ g}$ 的恒定加速度使车辆直线行驶，读取加速度曲线，保持恒定加速度 $1 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 之后松开油门，松开油门状态保持 $2 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 后踩制动踏板停车。
- 以 0.1 g 、 0.15 g 、 0.2 g 的纵向加速度重复进行上述步骤，误差波动范围为工况要求加速度 $\pm 10\%$ 以内。

6.1.3 舒适加速控制瞬态测试按以下步骤进行。

- 车辆以 $10 \text{ km/h} \pm 1 \text{ km/h}$ 的车速沿直线稳定行驶。
- 1 s 内迅速将加速踏板踩至 100% 行程。
- 保持加速踏板处于 100% 行程 $2 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 且车辆加速度达到最大值后松开油门。
- 保持松油状态 $2 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 后，踩下制动踏板至车辆静止。

6.1.4 全油门加速测试：使虚拟车辆分别从车速 0 km/h 全油门加速至 100 km/h ，从 30 km/h 全油门加速至 60 km/h 。

6.1.5 每种工况至少进行 3 次有效试验。

6.1.6 采集试验过程中的车身俯仰角、车速、加速度和踏板行程。

6.1.7 在舒适加减速控制功能关闭的情况下重复 6.1.2 至 6.1.6。

6.2 舒适减速控制试验

6.2.1 开启舒适加减速控制功能。

6.2.2 舒适减速控制稳态测试按以下步骤进行。

- 车辆以 $30 \text{ km/h} \pm 2 \text{ km/h}$ 的车速沿直线稳定行驶。
- 以 $0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ 的恒定减速度使车辆直线行驶，保持恒定减速度 $1 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 之后松开制动踏板，松开制动踏板状态保持 $2 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$ 后踩制动踏板停车。
- 以 0.3 g 、 0.5 g 、 0.7 g （误差波动范围为工况要求加速度 $\pm 10\%$ 以内）的纵向减速度重复进行上述步骤。

6.2.3 舒适减速控制瞬态测试按以下步骤进行。

- 车辆以 $30 \text{ km/h} \pm 1 \text{ km/h}$ 的车速沿直线稳定行驶。
- 1 s 内迅速将制动踏板踩至 100% 行程。

c) 保持制动踏板处于 100% 直至车辆静止。

6.2.4 全力制动测试按以下步骤进行。

a) 车辆以 $100 \text{ km/h} \pm 2 \text{ km/h}$ 的车速沿直线稳定行驶。

b) 1s 内迅速将制动踏板踩至 100% 行程。

c) 保持制动踏板处于 100% 直至车辆静止。

6.2.5 每种工况至少进行 3 次有效试验。

6.2.6 采集试验过程中的车身俯仰角、车速、减速度和踏板行程。

6.2.7 在舒适加减速控制功能关闭的情况下重复 6.2.2 至 6.2.6。

7 数据处理

试验数据应按照附录 A 进行处理，按照附录 B 记录试验结果，按照附录 C 进行试验结果分析。

附录 A (规范性) 试验数据处理

A.1 通过时间

从进入试验区开始，至离开试验区为止所需要的时间，其值按公式(A.1)确定。

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i| \quad \cdots \cdots \cdots (A.1)$$

式中，

- t —— 通过时间均值，单位为秒(s)；
- t_i —— 第 i 次试验的通过时间，单位为秒(s)；
- n —— 进行有效试验的试验次数，无单位。

A.2 最大方向盘转角

方向盘转角最大值分左、右两个方向，两者均按公式(A.2)确定。

$$\theta_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\theta_i| \quad \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

式中，

- θ_{max} —— 最大方向盘转角，单位为度(°)；
- θ_i —— 第 i 次试验，在有效标桩区内的方向盘转角时间历程曲线峰值，单位为度(°)；
- n —— 进行有效试验的试验次数，无单位。

A.3 最大横摆角速度

横摆角速度最大值分左、右两个方向，两者均按公式(A.3)确定。

$$r_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |r_i| \quad \cdots \cdots \cdots (A.3)$$

式中，

- r_{max} —— 最大横摆角速度，单位为度每秒(°/s)；
- r_i —— 第 i 次试验，在有效标桩区内的横摆角速度时间历程曲线峰值，单位为度每秒(°/s)；
- n —— 进行有效试验的试验次数，无单位。

A.4 最大侧向加速度

第 i 次试验侧向加速度最大值，分左、右两个方向，两者均按公式(A.4)确定。

$$a_{ymax} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_{yi}| \quad \cdots \cdots \cdots (A.4)$$

式中，

- a_{ymax} —— 最大侧向加速度，单位为米每二次方秒(m/s^2)；
- a_{yi} —— 第 i 次试验，在有效标桩区内的侧向加速度时间历程曲线峰值，单位为米每二次方秒(m/s^2)；
- n —— 进行有效试验的试验次数，无单位。

A.5 平均车身侧倾角

平均车身侧倾角按公式(A.5)确定。

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中,

- $\bar{e}$ —— 平均车身侧倾角, 单位为度(°);
- $|e_i|$ —— 第 i 次试验, 在有效标桩区内的车身侧倾角时间历程曲线峰值, 单位为度(°);
- n —— 进行有效试验的试验次数, 无单位。

A.6 最大通过车速

在避障性能试验中, 定义第一区间结束、开始打转向瞬间的时速为本次试验的通过车速, 完成试验的最高车速为最大通过车速。

A.7 车身俯仰角

车身俯仰角最大值按公式(A.6)确定。

$$\phi_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\phi_i| \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中,

- ϕ_{max} —— 最大车身俯仰角, 单位为度(°);
- ϕ_i —— 第 i 次试验, 在有效标桩区内的车身俯仰角时间历程曲线峰值, 单位为度(°);
- n —— 进行有效试验的试验次数, 无单位。

附录 B
(规范性)
试验结果记录

底盘协同控制功能通过信号的发送、接收和反馈，监测各执行系统的执行情况，应按照图 B.1 绘制控制过程曲线。

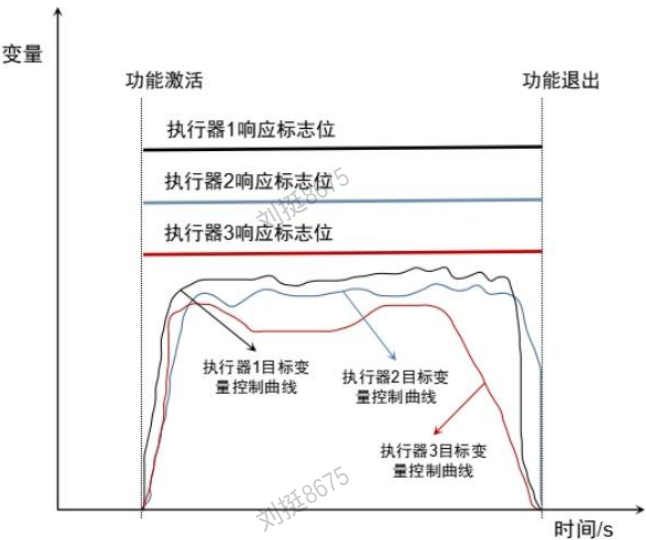


图 B.1 多执行器的底盘协同控制功能激活、执行与退出

确认底盘协同控制功能的执行情况后，应在表 B.1 中记录相关的车辆参数。

表B.1 车辆参数试验结果记录

类目	工况 1		备注
	功能开启	功能关闭	关于车辆运动模式等的说明
第一次测试			
第二次测试			
第三次测试			
平均值 σ			
注：本表中的平均值 σ 作为附录 C 中的计算对象。			

附录 C
(规范性)
试验结果分析

C.1 概述

车速、纵向加速度、车身俯仰角、横摆角速度、侧向加速度、车身侧偏角、车身侧倾角和垂向加速度适用于 C.2 的分析方法。定圆-固定车速行驶轨迹适用于 C.3 的分析方法。

C.2 峰值或平均值分析

按公式(C.1)计算底盘协同控制功能开启前后相关车辆性能参数的变化幅度。

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\sigma_0} \quad (\text{C.1})$$

式中,

- σ —— 车辆参数(车速、纵向加速度、车身俯仰角、横摆角速度、侧向加速度、车身侧偏角、车身侧倾角、垂向加速度等)3次有效试验结果的平均值,具体见表 B.1;下标 0 代表功能关闭,1 代表功能开启,单位为车辆参数所对应的国际制单位;
- ε —— 车辆参数的变化幅度,无单位。

C.3 过程曲线分析

在定速定方向盘转角绕圆试验与定轨迹加速绕圆试验中,通过积分量化轨迹实际曲线与目标轨迹曲线的累积偏差,反映全程跟踪精度。

按公式(C.2)计算底盘协同控制功能开启后相关车辆性能参数的变化幅度。

$$S = \int_0^L |R_{\text{实际}} - R_{\text{圆}}| \quad (\text{C.2})$$

式中,

- $R_{\text{实际}}$ —— 车辆所在位置距定圆圆心距离,单位为米(m);
- $R_{\text{圆}}$ —— 定圆半径,单位为米(m);
- S —— 轨迹曲线累计偏差,单位为米(m);
- L —— 所绕圆的圆周长度,单位为米(m)。

表 C.1 为底盘矢量控制功能车辆参数提升效果表,试验人员在相关工况试验完毕并进行试验结果分析后,将提升幅度填写至表 C.1。

表C.1 底盘矢量控制功能车辆参数提升效果

车辆参数	提升幅度
定方向盘转角匀速绕圆车辆回转半径	
定方向盘转角匀速绕圆车辆回转半径质心侧偏角平均值	
定方向盘转角绕圆极限侧向加速度	
定方向盘转角绕圆线性区范围	
定轨迹加速绕圆车辆侧滑失控临界车速	
定轨迹加速绕圆极限侧向加速度	

表 C.1 底盘矢量控制功能车辆参数提升效果（续）

车辆参数	提升幅度
定轨迹加速绕圆线性区范围	
定轨迹加速绕圆质心侧偏角平均值	
单移线最大通过车速	
单移线方向盘转角最大值	
单移线横摆角速度最大值	
单移线质心侧偏角最大值	
双移线最大通过车速	
双移线方向盘转角最大值	
双移线横摆角速度最大值	
双移线质心侧偏角最大值	
避障性能最大通过车速	
避障性能方向盘转角最大值	
避障性能横摆角速度最大值	
避障性能质心侧偏角最大值	
蛇行最大通过车速	
蛇行方向盘转角最大值	
蛇行横摆角速度最大值	
蛇行质心侧偏角最大值	

表 C.2 为舒适加减速控制功能车辆参数提升效果表，试验人员在相关工况试验完毕并进行试验结果分析后，将提升幅度填写至表 C.2。

表C.2 舒适加减速控制功能车辆参数提升效果

车辆参数	提升幅度
0.1g 俯仰角峰值	
0.1g 俯仰角速度峰值	
0.3g 俯仰角峰值	
0.3g 俯仰角速度峰值	
0.5g 俯仰角峰值	
0.5g 俯仰角速度峰值	
0.7g 俯仰角峰值	
0.7g 俯仰角速度峰值	
全力制动俯仰角峰值	
全力制动俯仰角速度峰值	
全油门加速俯仰角峰值	
全油门加速俯仰角速度峰值	

参 考 文 献

- [1] GB/T 40521.2 乘用车紧急变线试验车道 第2部分：避障
 - [2] T/CSAE 407—2025 汽车智能底盘术语和定义
 - [3] GB/T 40521.2 乘用车紧急变线试验车道 第2部分：避障
-