

团体标准

T/CSAE xx—20xx

乘用车底盘域控动力学状态参数估计精度 测试方法

Test method for estimation accuracy of dynamic state parameters in
passenger vehicle chassis domain control

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 仪器设备	3
5 试验条件	3
5.1 试验车辆	3
5.2 试验场地与环境	4
6 试验方法	4
6.1 车辆纵向状态参数估计精度试验	4
6.2 车辆侧向状态参数和垂向状态参数估计精度试验	5
6.3 车辆质量估计精度试验	6
6.4 路面附着系数估计精度试验	7
6.5 道路坡度估计精度试验	8
附录 A (资料性) 试验一般数据	10

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：清华大学、比亚迪汽车工业有限公司、合肥工业大学、中国科学院电工研究所、南京航空航天大学、中国汽车工程研究院股份有限公司、东风汽车集团有限公司、上海同驭汽车科技有限公司、东南大学、吉利汽车研究院（宁波）有限公司、凯晟动力技术（嘉兴）有限公司、长城汽车股份有限公司、中国第一汽车集团有限公司、苏州汇川联合动力系统股份有限公司。

本文件主要起草人：王翔宇、魏恒、李亮、廖银生、苟晋芳、刘国芳、赵万栓、余颖弘、赵万忠、舒强、张俊智、陆晓磊、谷军庆、方海积、王丽芳、殷国栋、邓卫礼、王春燕、魏文鹏、罗振豪、马佳腾、栾众楷、李士盈、吴艳、李衡、赵翠发、魏文鹏、彭玉钢、杨文畅、李国铨、许克峰、宋禹、贾具宾、庄伟超、苗为为、张佳男、陈志贤、傅涛、李鑫、周晓峰、谢立炜、王力、曹振乾、刘李勃。

乘用车底盘域控动力学状态参数估计精度测试方法

1 范围

本文件描述了乘用车底盘域控动力学状态参数估计精度测试的仪器设备、试验条件和试验方法。
本文件适用于装备了底盘域控动力学状态参数估计模块的乘用车。

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。

GB/T 2978 轿车轮胎规格、尺寸、气压与负荷

GB/T 6323 汽车操纵稳定性试验方法

GB/T 12549 汽车操纵稳定性术语及其定义

GB/T 26987 道路汽车 路面摩擦特性测定

3 术语和定义

GB/T 12549中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

底盘域控 chassis domain control

能够实现底盘驱动、制动、转向、悬架等系统协同运作的控制架构。

4 仪器设备

试验所用仪器设备的测量参数范围和准确度应符合表 1 规定。

表1 仪器设备测量误差规定

序号	测量参数	范围	最大测量误差
1	纵向加速度、侧向加速度和垂向加速度	$-9.8 \text{ m/s}^2 \sim 9.8 \text{ m/s}^2$	$\pm 0.15 \text{ m/s}^2$
2	侧倾角速度、俯仰角速度和横摆角速度	$-50 (^{\circ})/\text{s} \sim 50 (^{\circ})/\text{s}$	$\pm 0.5 (^{\circ})/\text{s}$
3	车身侧倾角、俯仰角、质心侧偏角	$-15 (^{\circ}) \sim 15 (^{\circ})$	$\pm 0.15 (^{\circ})$
4	纵向速度	$0 \text{ km/h} \sim 200 \text{ km/h}$	$\pm 0.5 \text{ km/h}$
5	轮距、质心到前轴/后轴的距离	$0 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$	$\pm 1 \text{ mm}$
6	车辆质量	$0 \text{ kg} \sim 4500 \text{ kg}$	$\pm 1 \text{ kg}$
7	轮胎纵向力、侧向力、垂向力	纵、垂向力($\pm 62.2 \text{ kN}$)，侧向力($\pm 31.1 \text{ kN}$)	$\pm 10 \text{ N}$

5 试验条件

5.1 试验车辆

试验车辆应符合GB/T 6323中的试验车辆状态规定，车辆各轮胎压应符合GB/T 2978中的标准胎压要求。无特殊说明外，试验车辆质量应为半满载质量，开展试验前测量车辆质量、前轮轮距、后轮轮距、车辆质心到前轴距离、车辆质心到后轴距离等参数，并将结果记入附录A中的表A.1中。

5.2 试验场地与环境

试验场地与环境应符合GB/T 6323中的试验场地与环境规定，且符合以下规定：

- 无特殊说明外，试验场地为高附着路面，高附着路面的附着系数应大于0.8；
- 在开展6.4试验时，低附路面的附着系数应小于0.4；
- 在开展6.5试验时，应分别选取坡度为10%、20%、30%的试验道路。

试验场地及环境的数据应记入附录A中的表A.1中。

6 试验方法

6.1 车辆纵向状态参数估计精度试验

按以下步骤进行试验：

- 将仪器设备接通电源，使之预热至正常工作温度；
- 在直行道路工况下，试验车辆初始状态为静止状态，试验驾驶员以加速踏板开度 $(50 \pm 5)\%$ 将车辆加速至目标车速 (100 ± 5) km/h，若车辆最高车速 V_{max} 不大于 100 km/h，则以 $(V_{max} \pm 5)$ km/h 为目标车速，然后以制动踏板开度为 $(50 \pm 5)\%$ 将车辆减速至 (10 ± 5) km/h，再以加速踏板开度为 100%将车辆加速至 (100 ± 5) km/h 或 $(V_{max} \pm 5)$ km/h，最后以制动踏板开度为 100%将车辆制动至完全静止；
- 记录以下车辆纵向状态参数：纵向车速、车身俯仰角、轮胎纵向力的参数实测值和参数估计值，提取车辆开始起步至完全静止之间的数据，按公式(1)计算各车辆纵向状态参数的估计精度，结果记入表 2 中；

$$\xi_x = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{xii} - P_{xi}}{P_{xi}} \right| 100\% \dots\dots\dots(1)$$

式中，

- ξ_x —— 车辆纵向状态参数的估计精度；
 P_{xii} —— 第 i 个采样点的车辆纵向状态参数估计值；
 P_{xi} —— 第 i 个采样点的车辆纵向状态参数实测值；
 n —— 采样点数。

- 重复 6.1b)至 6.1c)，共进行 3 次有效试验，并计算 3 次估计精度的算术平均值作为车辆纵向状态参数的最终估计精度，结果记入表 2 中。

表2 车辆纵向状态参数估计精度记录表

目标车速	纵向状态参数	估计精度 (第 1 组)	估计精度 (第 2 组)	估计精度 (第 3 组)	估计精度 算术平均值
100 km/h 或 V_{max} km/h	纵向车速/(km/h)				
	车身俯仰角/ (°)				
	左前轮胎纵向力/N				
	右前轮胎纵向力/N				
	左后轮胎纵向力/N				
	右后轮胎纵向力/N				

6.2 车辆侧向状态参数和垂向状态参数估计精度试验

按以下步骤进行试验：

- 仪器设备接通电源，使之预热至正常工作温度；
- 按照 GB/T 6323 中蛇行试验要求，布置标桩；
- 试验车辆分别以试验车速 (50 ± 5) km/h、 (60 ± 5) km/h、 (70 ± 5) km/h 开展蛇行工况试验，若试验车辆蛇行工况最高车速 V_{max} 不大于 70 km/h，则以试验车辆 (50 ± 5) km/h、 (60 ± 5) km/h、 $(V_{max} \pm 5)$ km/h 开展试验；
- 记录以下车辆侧向状态参数：车辆横摆角速度、质心侧偏角、车身侧倾角、轮胎侧向力的参数实测值和参数估计值，提取车辆进入第一个标桩至驶出最后一个标桩之间的数据，按公式(2)计算车辆侧向状态参数的估计精度，结果记入表 3 中；

$$\xi_y = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{yti} - P_{yi}}{P_{yi}} \right| 100\% \dots\dots\dots(2)$$

式中，

- ξ_y —— 车辆侧向状态参数的估计精度；
 P_{yti} —— 第 i 个采样点的车辆侧向状态参数估计值；
 P_{yi} —— 第 i 个采样点的车辆侧向状态参数实测值；
 n —— 采样点数。

- 记录以下车辆垂向状态参数：车辆轮胎垂向力的参数实测值和参数估计值，提取车辆进入第一个标桩至驶出最后一个标桩之间的数据，按公式(3)计算车辆垂向状态参数的估计精度，结果记入表 4 中；

$$\xi_z = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{zti} - P_{zi}}{P_{zi}} \right| 100\% \dots\dots\dots(3)$$

式中，

- ξ_z —— 车辆垂向状态参数的估计精度；
 P_{zti} —— 第 i 个采样点的车辆垂向状态参数估计值；
 P_{zi} —— 第 i 个采样点的车辆垂向状态参数实测值；
 n —— 采样点数。

- 重复 6.2c)至 6.2e)，共进行 3 次有效试验，并计算 3 次估计精度的算术平均值作为车辆侧向状态参数或垂向状态参数的最终估计精度，结果记入表 3 和表 4 中。

表3 车辆侧向状态参数估计精度记录表

蛇行车速	侧向状态参数	估计精度 (第 1 组)	估计精度 (第 2 组)	估计精度 (第 3 组)	估计精度 算术平均值
50 km/h	横摆角速度/[(°) /s]				
	质心侧偏角/ (°)				
	车身侧倾角/ (°)				
	左前轮胎侧向力/N				
	右前轮胎侧向力/N				
	左后轮胎侧向力/N				
60 km/h	右后轮胎侧向力/N				
	横摆角速度/[(°) /s]				
	质心侧偏角/ (°)				

表3 车辆侧向状态参数估计精度记录表（续）

蛇行车速	侧向状态参数	估计精度 (第1组)	估计精度 (第2组)	估计精度 (第3组)	估计精度 算术平均值
60 km/h	车身侧倾角/ (°)				
	左前轮胎侧向力/N				
	右前轮胎侧向力/N				
	左后轮胎侧向力/N				
	右后轮胎侧向力/N				
70 km/h 或 V_{max} km/h	横摆角速度/[(°) /s]				
	质心侧偏角/ (°)				
	车身侧倾角/ (°)				
	左前轮胎侧向力/N				
	右前轮胎侧向力/N				
	左后轮胎侧向力/N				
	右后轮胎侧向力/N				

表4 车辆垂向状态参数估计精度记录表

蛇行车速	垂向状态参数	估计精度 (第1组)	估计精度 (第2组)	估计精度 (第3组)	估计精度 算术平均值
50 km/h	左前轮胎垂向力/N				
	右前轮胎垂向力/N				
	左后轮胎垂向力/N				
	右后轮胎垂向力/N				
60 km/h	左前轮胎垂向力/N				
	右前轮胎垂向力/N				
	左后轮胎垂向力/N				
	右后轮胎垂向力/N				
70 km/h 或 V_{max} km/h	左前轮胎垂向力/N				
	右前轮胎垂向力/N				
	左后轮胎垂向力/N				
	右后轮胎垂向力/N				

6.3 车辆质量估计精度试验

将车辆质量估计精度试验中的试验车辆质量分别设置为半满载质量、满载质量，并按以下步骤进行试验：

- 测量试验车辆质量，记录车辆质量的实测值；
- 将仪器设备接通电源，使之预热至正常工作温度；
- 在直行道路工况下，试验车辆初始状态为静止状态，试验驾驶员以加速踏板开度为 $(50 \pm 5)\%$ 将车辆加速至 (60 ± 5) km/h，然后以制动踏板开度为 $(50 \pm 5)\%$ 将车辆减速至完全静止；
- 记录车辆质量的参数估计值，提取车辆开始起步至完全静止之间的数据，按公式(4)计算车辆质量的估计精度，结果记入表5中；

$$\xi_M = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{Mti} - P_M}{P_M} \right| 100\% \cdots \cdots (4)$$

式中,

ξ_M —— 车辆质量的估计精度;

P_{Mti} —— 第 i 个采样点的车辆质量估计值;

P_M —— 车辆质量的实测值;

n —— 采样点数。

- e) 重复 6.3c)至 6.3d), 共进行 3 次有效试验, 计算 3 组估计精度的算术平均值作为最终估计精度, 结果记入表 5 中。
- f) 在直行道路工况下, 试验车辆初始状态为静止状态, 试验驾驶员以加速踏板开度为 $(100 \pm 5)\%$ 将车辆加速至 (60 ± 5) km/h, 然后以制动踏板开度为 $(100 \pm 5)\%$ 将车辆减速至完全静止;
- g) 记录车辆质量的参数估计值, 提取车辆开始起步至完全静止之间的数据, 按公式(4)计算车辆质量的估计精度, 结果记入表 5 中;
- h) 重复 6.3f)至 6.3g), 共进行 3 次有效试验, 计算 3 组估计精度的算术平均值作为最终估计精度, 结果记入表 5 中。

表5 车辆质量估计精度记录表

加速踏板开度	车辆质量	估计精度 (第 1 组)	估计精度 (第 2 组)	估计精度 (第 3 组)	估计精度 算术平均值
50%	半满载质量/kg				
	满载质量/kg				
100%	半满载质量/kg				
	满载质量/kg				

6.4 路面附着系数估计精度试验

6.4.1 高附着路面到低附着路面

按以下步骤进行试验:

- a) 试验道路为对接路面, 低附着路面的附着系数应小于 0.4, 高附着路面的附着系数不小于 0.8, 依据 GB/T 26987 测得路面附着系数的实际值;
- b) 仪器设备接通电源, 使之预热至正常工作温度;
- c) 试验车辆分别以试验车速 (40 ± 5) km/h、 (50 ± 5) km/h、 (60 ± 5) km/h 匀速行驶在高附着路面, 在距离路面对接处 (1 ± 0.2) m 位置, 试验驾驶员以制动踏板开度为 100%驶入低附着路面, 直至车辆完全静止, 若试验车辆最高车速 V_{max} 不大于 60 km/h, 则以试验车速 (40 ± 5) km/h、 (50 ± 5) km/h、 $(V_{max} \pm 5)$ km/h 开展试验;
- d) 记录路面附着系数的估计值, 提取车辆开始制动到完全静止之间的数据, 按公式(5)计算路面附着系数的估计精度, 结果记入表 6 中;

$$\xi_\mu = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{\mu i} - P_\mu}{P_\mu} \right| 100\% \cdots \cdots (5)$$

式中,

ξ_μ —— 路面附着系数的估计精度

$P_{\mu i}$ —— 第 i 个采样点的路面附着系数估计值;

$P_{\mu i}$ —— 第 i 个采样点的路面附着系数实测值;

n —— 采样点数。

- e) 重复 6.4.1c)至 6.4.1d), 共进行 3 次有效试验, 计算 3 次估计精度的算术平均值作为路面附着系数的最终估计精度, 结果记入表 6 中。

6.4.2 低附着路面到高附着路面

按以下步骤进行试验:

- a) 试验道路为对接路面, 低附着路面的附着系数应小于 0.4, 高附着路面的附着系数不小于 0.8, 依据 GB/T 26987 测得路面附着系数的实际值;
- b) 仪器设备接通电源, 使之预热至正常工作温度;
- f) 试验车辆分别以试验车速(40±5) km/h、(50±5) km/h、(60±5) km/h 匀速行驶在低附着路面, 在距离路面对接处(1±0.2)m 位置, 试验驾驶员以制动踏板开度为 100%驶入高附着路面, 直至车辆完全静止, 若试验车辆最高车速 V_{max} 不大于 60 km/h, 则以试验车速(40±5) km/h、(50±5) km/h、(V_{max} ±5) km/h 开展试验;
- c) 记录路面附着系数的估计值, 提取车辆开始制动到完全静止之间的数据, 按公式(5)计算路面附着系数的估计精度, 结果记入表 6 中;
- d) 重复 6.4.2c)至 6.4.2d), 共进行 3 次有效试验, 计算 3 次估计精度的算术平均值作为路面附着系数的最终估计精度, 结果记入表 6 中。

表6 路面附着系数估计精度记录表

试验车速	路面附着系数	估计精度 (第 1 组)	估计精度 (第 2 组)	估计精度 (第 3 组)	估计精度 算术平均值
40 km/h	从低到高				
	从高到低				
50 km/h	从低到高				
	从高到低				
60 km/h 或 V_{max} km/h	从低到高				
	从高到低				

6.5 道路坡度估计精度试验

道路坡度估计精度试验分别以坡度为10%、20%、30%的道路为试验区域, 并按以下步骤进行试验:

- a) 仪器设备接通电源, 使之预热至正常工作温度;
- b) 试验车辆在水平道路由静止状态起步, 水平道路上车辆行驶车速稳定在(10±5) km/h, 然后驶入坡道, 试验驾驶员以加速踏板开度为(100±5)%加速至(50±5) km/h;
- c) 记录进入坡道后的道路坡度参数估计值, 提取车辆开始加速到行驶车速第一次达到50 km/h之间的数据, 按公式(6)计算道路坡度的估计精度, 结果记入表7中;

$$\xi_{\phi} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{\phi i} - P_{\phi}}{P_{\phi}} \right| 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中,

ξ_{ϕ} —— 道路坡度的估计精度;

$P_{\phi i}$ —— 第 i 个采样点的估计值;

P_{ϕ} —— 道路坡度的实测值；
 n —— 采样点数。

- d) 重复6.5b)至6.5c)，共进行3次有效试验，计算3组估计精度的算术平均值作为该参数的最终估计精度，结果记入表7中。

表 7 道路坡度估计精度试验数据

道路坡度	估计精度 (第 1 组)	估计精度 (第 2 组)	估计精度 (第 3 组)	估计精度 算术平均值
10%				
20%				
30%				

附录 A
(资料性)
试验一般数据

测量参数、试验场地与环境、试验车辆及其他数据记录见表 A. 1。

表 A.1 试验一般数据记录表

测量参数	类型	记录项目	数值
	试验场地与环境	试验路面	
		大气温度 (°C)	
		风速 (m/s)	
		天气	
	试验车辆	试验车辆型号	
		各轮胎压 (kpa)	
		车辆质量 (kg)	
		前轮轮距 (mm)	
		后轮轮距 (mm)	
		车辆质心到前轴距离 (mm)	
		车辆质心到后轴距离 (mm)	
	其他	试验驾驶员	
		数据处理人员	
		试验日期	