

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

汽车操纵性转向中心区过渡特性试验方法

Road vehicles —Test methods for the
quantification of on-centre handling—transition test

(征求意见稿)

(本稿完成日期：201912)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语、定义和符号 | 1 |
| 4 测量变量 | 1 |
| 5 测量设备 | 2 |
| 6 试验条件 | 3 |
| 7 试验过程 | 4 |
| 8 试验数据分析 | 4 |
| 附 录 A（规范性附录） 试验报告——一般数据 | 7 |
| 附 录 B（规范性附录） 试验条件 | 9 |
| 附 录 C（规范性附录） 数据预处理要求 | 10 |
| 附 录 D（规范性附录） 试验开始条件 | 12 |
| 附 录 E（资料性附录） 数据处理方 | 14 |
| 附 录 F（资料性附录） 模拟信号滤波：巴特沃斯滤波器 | 15 |

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009和GB/T 20001.4-2015给出的规则起草。

本标准采用重新起草方法，参考国际标准化组织ISO 13764-2-2006《Road Vehicles — Test method for the quantification of on-centre handling — Part 2: Transition test》的内容，与其一致性程度为非等效。与原标准相比主要变化如下：

——与ISO13674-2相比，去除了ISO13674-2中的第4节Principle，第5.1节 Refernce system 和第7.3节Wind velocity中的表2部分；

——与ISO13674-2相比，去掉了对阵风条件要求；

——相对于在ISO 13764-2-2006标准中大量引用了ISO 15037-1-2006内容，本标准中充实了相关内容；

——本标准中加入了资料性附录E “数据处理方法”。

本标准由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本标准由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）归口。

本标准主要负责起草单位：国家汽车质量监督检验中心（襄阳）。

本标准参与起草单位：中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、泛亚汽车技术中心有限公司、吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室、南京汽车集团有限公司汽车工程研究院、东风汽车公司技术中心。

本标准主要起草人：王朝斌、吴旭、梁荣亮、杨万安、詹军、张丙军、杨建园、沙雷。

本标准为首次发布。

汽车操纵性转向中心区过渡特性试验方法

1 范围

本标准规定了汽车转向盘从直线行驶状态至离开中心区的试验方法。
本标准适用于M1和N1类车辆。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 3730.1 汽车和挂车类型的术语和定义
GB/T 3730.2 道路车辆 质量 词汇和代码
GB/T 12534 汽车道路试验方法通则
GB/T 12549 汽车操纵稳定性术语及其定义
GB/T 15089 机动车辆及挂车分类
GB/T 6323 汽车操纵稳定性试验方法

3 术语、定义和符号

GB/T 3730.1、GB/T 3730.2、GB/T 12549和GB/T 15089确立的术语和定义以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 转向中心区

描述在车辆直线行驶或在较小侧向加速度下高速通过大半径弯道时的转向感和转向精度。

3.2 纵坐标阈值

纵坐标上的一个参照值，是人可以感知的最小值。

3.3 横坐标死区

在横坐标上，两侧纵坐标阈值的水平间距。

3.4 梯度

纵坐标相对于横坐标的比率。在笛卡尔坐标系中对一组数据进行直线拟合，直线的斜率即为梯度。

4 测量变量

试验时，必须记录以下参数：

——转向盘转角， δ_H

——转向盘力矩， M_H

——横摆角速度， $\frac{d\psi}{dt}$

——侧向加速度， V_x

——车辆前进车速， a_V

以下变量也应测量：

——转向盘角速度， $\frac{d\delta_H}{dt}$

5 测量设备

5.1 试验所需的仪器如下：

- 1) 车速仪；
- 2) 转向盘力矩、转向盘转角测量仪；
- 3) 汽车操纵稳定性测试仪；
- 4) 多通道数据采集系统。

5.2 试验仪器设备应符合GB/T12534中第3.5条的规定。

5.3 试验用仪器的测量范围及最大误差满足表1的要求。

表1 传感器量程和推荐测量系统最大误差

| 变量 | 量程 | 测量系统最大误差 |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 转向盘转角 | $\pm 50^\circ$ | $\pm 0.1^\circ$ |
| 转向盘力矩 | $\pm 10\text{Nm}$ | $\pm 0.1\text{ Nm}$ |
| 横摆角速度 | $\pm 10^\circ/\text{s}$ | $\pm 0.1^\circ/\text{s}$ |
| 汽车前进车速 | 0 m/s -50 m/s | $\pm 0.5\text{ m/s}$ |
| 侧向加速度 | 5 m/s^2 | $\pm 0.1\text{ m/s}^2$ |
| 转向盘角速度 | $\pm 100^\circ/\text{s}$ | $\pm 0.1^\circ/\text{s}$ |
| 部分表中所列的测量传感器并未广泛使用，如果用户选择的仪器系统误差超过推荐值，试验报告中应该注出实际的误差（见附录A）。 | | |

备注：表中所涉及传感器的按制造商的说明安装，若传感器不能直接测量出所需的变量，可依据实际所测位置的变量，坐标转换至所需的位置。

5.4 数据预处理

按附录C要求进行。

6 试验条件

6.1 试验路面

试验场地应为干燥、平坦而清洁的，用水泥混凝土或沥青均匀铺设的道路，其任意方向（横向除外）的坡度不大于2%，且横向坡度不应超过1.0%。对于每次试验，测试报告应记录试验场地表面条件和道路材料，见附录B。

6.2 风速和大气温度

试验中环境风速应不超过5m/s（推荐风速不超过1.5m/s）。

大气温度在0℃~40℃范围内。

每次试验，试验报告均应记录测试时的气候条件，见附录B。

6.3 试验车辆

6.3.1 车辆参数

试验汽车的基本数据信息应该记录在附录A的测试报告中。任何汽车参数的变化（如载荷），均应再次记录基本数据信息。

车轮定位参数应满足产品设计要求。

6.3.2 轮胎

1) 轮胎应该按照汽车制造商的说明书选择新轮胎安装到试验汽车上，轮胎应该在被测试汽车或者相似汽车上磨合至少150km，但要保证无过度使用，如紧急刹车、急加速、急转弯、压路肩等等。磨合后，轮胎应该保持在相同的位置进行测试；

2) 轮胎花纹深度（包括轮胎整个接触地面的宽度及整个轮胎表面）应该是初始轮胎花纹深度90%以上；

3) 在试验测试条件中应记录轮胎的生产日期，见附录B。且试验轮胎距生产日期不应超过一年；

4) 轮胎应按照汽车制造商说明的对应试验环境温度的压力充气。对于胎压小于等于250kPa，冷充气压力的误差应为±5kPa；胎压超过250kPa时，误差应不超过2%；

5) 预热前的轮胎压力和轮胎胎面花纹深度应在试验报告中记录，见附录B；

6) 除基本轮胎条件外，其它条件下也可进行试验。具体的细节应在试验报告中记录，见附录B；

7) 试验前应对车轮/轮胎总成进行动平衡确认，避免车轮总成不平衡的现象。

6.3.3 试验载荷

试验车辆载荷介于车辆整备质量外加驾驶员和必要试验设备（不超过150kg）的质量与车辆最大允许总质量之间，但不允许超过车辆最大允许轴荷。推荐试验载荷为车辆整备质量外加1名驾驶员、1名试验员及必要的试验设备。

7 试验过程

7.1 预热

在试验开始之前,车辆应按照试验速度行驶10km或者以侧向加速度为 3m/s^2 的相应车速行驶500m(左转与右转各进行一次)对轮胎进行预热。

7.2 初始条件

车辆行驶初始条件参见附录D,采用横摆角速度作为判定初始条件的变量。

在 t_0 时刻按照7.3进行转向输入,在试验结束时可通过重新建立直线行驶稳态工况来结束7.3中规定的试验。

7.3 转向试验方法

试验时档位的选择:手动变速器在多个档位适用情况下应选用最高挡位,自动变速器应采用D挡。试验所选用档位及驾驶模式应当记录在试验报告中,见附录B。

试验标准车速是 100km/h ,其它车速参照标准车速以步长 $\pm 20\text{km/h}$ 变化确定。试验车速应在试验报告中记录,见附录B。

试验开始后,应完整记录传感器的信号。为保证所需数据不受仪器的影响,试验结束后应持续记录数据1s以上。

本试验检测的是由直线行驶进入弯道迟滞环的过渡过程,在7.2规定的初始行驶条件上以恒定的角速度转动转向盘,为了保证车辆轨迹由直线平滑的过渡到半径逐渐减小的曲线,转向盘角速度应由0平滑地增加到某一恒定值。从 t_0 时刻开始到车辆侧向加速度达到 1.5m/s^2 时,转向盘输入时间应不小于3s,并且角速度不超过 $5^\circ/\text{s}$ 。试验中,同样的输入条件下,左右每个方向的试验次数应足够。

试验过程中汽车前进车速的变化不能超过规定值的 $\pm 3\%$,考虑到侧风及路面侧向坡度对结果的影响,在试验道路两个方向上分别进行试验。

转向盘输入的角速度及时间历程都要记录在试验报告中,见附录B。

时域信号可用于监测试验过程及传感器工作状态。尤其是转向盘转角、转向盘角速度、汽车前进车速、侧向加速度的时域信号用于判定试验数据是否有效。每个转向方向至少有五次有效的试验数据。

8 试验数据分析

8.1 试验数据描述

将分析的各组数据绘制在笛卡尔坐标系中,如图1所示。

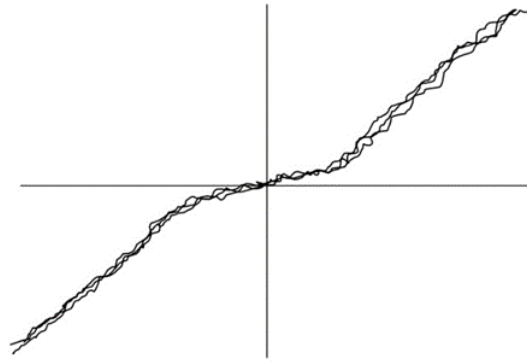
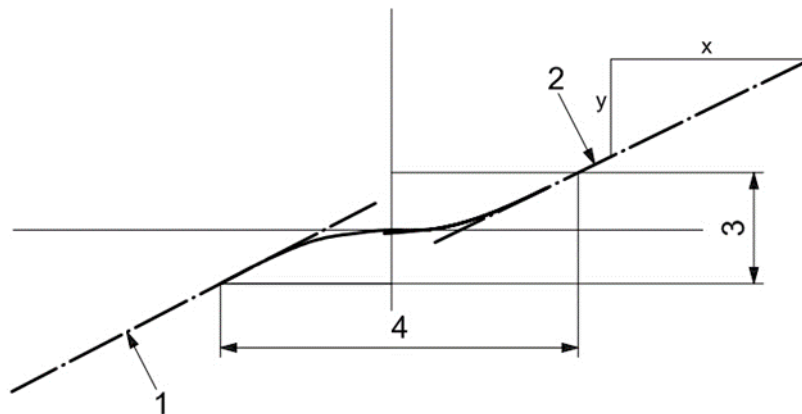


图1 多组试验数据绘制在同一卡迪尔坐标系

在每个图中，都要对两个转向方向的数据进行直线拟合（见图2）。直线拟合不包括非线性区域的数据（例如中心区域，尤其是侧向加速度在 ± 0.5 范围内的数据）和侧向加速度超过 ± 1.2 时采集的数据。直线拟合所用数据都要记录在试验报告中，见附录B。

注： ± 1.2 的限制值是一个推荐值。如果在该侧向加速度范围内线性度表现的不明显，则可根据特性曲线选择其他值。



图注：

- 1 右转数据直线拟合
 - 2 左转数据直线拟合
 - 3 纵坐标阈值
 - 4 横坐标死区
- 梯度= y/x

图2 参数定义示例

从每组图和直线拟合可以得出下列参数：

- 横坐标死区
- 梯度

8.2 特征值

下列变量数据需要根据 8.1 的要求，把测量数据绘制在笛卡尔坐标系中，并计算得到特征值，参见

附录 E。

8.2.1 转向力矩对应转向盘转角 (M_H vs δ_H)

转向刚度——每个转向方向下拟合直线的梯度。

8.2.2 横摆角速度对应转向盘转角 ($\frac{d\psi}{dt}$ vs δ_H)

横摆角速度对应转向盘转角的增益——每个转向方向下拟合直线的梯度。

转向盘转角对应横摆角速度的死区——纵坐标在 $\pm 1.1^\circ/s$ 间横坐标死区。

8.2.3 横摆角速度对应转向力矩 ($\frac{d\psi}{dt}$ vs M_H)

横摆角速度对应转向盘力矩的增益——每个转向方向下拟合直线的梯度。

转向盘力矩对应横摆角速度的死区——纵坐标在 $\pm 1.1^\circ/s$ 间横坐标死区。

8.2.4 侧向加速度对应转向盘转角 (a_Y vs. δ_H)

侧向加速度对应转向盘转角的增益——每个转向方向下拟合直线的梯度。

转向盘转角对应侧向加速度的死区——纵坐标在 ± 0.6 间横坐标死区。

8.2.5 侧向加速度对应转向盘力矩 (a_Y vs. M_H)

侧向加速度对应转向盘力矩的增益——每个转向方向下拟合直线的梯度。

转向盘力矩对应侧向加速度的死区——纵坐标在 ± 0.6 间横坐标死区。

附 录 A
(规范性附录)
试验报告——一般数据

表A.1 试验报告——一般数据模板

| | | | | |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|
| 汽车识别 | 汽车标号: | ..... |  |  |
| | 汽车类型: | ..... |  |  |
| | 生产厂家: | ..... |  |  |
| | 车型: | ..... |  |  |
| | 年款/首次登记日期: | ..... |  |  |
| 传动系统 | 驱动形式: | <input type="checkbox"/> 前驱 | <input type="checkbox"/> 后驱 | |
| | 四驱类型: | ..... |  |  |
| 发动机 | 特点: | ..... |  |  |
| | 识别码: | ..... |  |  |
| | 气缸的排量/数量: | cm ³ | 缸 | |
| | 最大功率/发动机转速: | KW | l/min | |
| 变速箱 | 最大扭矩/发动机转速: | Nm | l/min | |
| | 识别码: | ..... |  |  |
| | 前进挡的类型/数量: | <input type="checkbox"/> 手动 | | 挡 |
| | | <input type="checkbox"/> 自动 | | 挡 |
| | | 无级变速 (例如CVT) | | |
| | 传动比: | 1档: | : 1 | 2档: : 1 |
| 3档: | | : 1 | 4档: : 1 | |
| 5档: | | : 1 | 6档: : 1 | |
| | | : 1 | | |
| | | | | |
| 后桥 | 主传动比: | : 1 | | |
| | 后桥类型: | ..... |  |  |
| | 悬架/减振器: | ..... |  |  |
| 前桥 | 稳定杆: | <input type="checkbox"/> 是 | <input type="checkbox"/> 否 | |
| | 前桥的类型: | ..... |  |  |
| | 悬挂/减振器: | ..... |  |  |
| 转向 | 稳定杆: | <input type="checkbox"/> 是 | <input type="checkbox"/> 否 | |
| | 转向轴: | <input type="checkbox"/> 前轴 | <input type="checkbox"/> 后轴 | |
| | 助力: | <input type="checkbox"/> 是 | <input type="checkbox"/> 否 | |
| | 前轴总转向比: | ..... |  |  |
| 制动系统 | 转向盘直径: | mm | | |
| | 真空助力: | <input type="checkbox"/> 是 | <input type="checkbox"/> 否 | |
| | 制动防抱死系统: | <input type="checkbox"/> 是 | <input type="checkbox"/> 否 | |
| | 类型: | ..... |  |  |
| | 前轴车轮制动器类型: | <input type="checkbox"/> 鼓式 | <input type="checkbox"/> 盘式 | |
| 车轮 轮胎 | 后轴车轮制动器类型: | <input type="checkbox"/> 鼓式 | <input type="checkbox"/> 盘式 | |
| | 轮辋尺寸: | 前: | 后: | |
| | 尺寸: | 前: | 后: | |
| | 花纹深度 (新): | 前: | 后: | |
| | 汽车制造商说明的充气压力: | | | |
| | ——在整车整备质量时: | 前: kPa | 后: kPa | |
| ——在允许最大总质量时: | 前: kPa | 后: kPa | | |

表A.2 试验报告——一般数据模板（续）

| | | |
|-------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 质量 | 整车整备质量: | _____ kg |
| | 最大允许总质量: | _____ kg |
| 汽车尺寸 | 最大允许轴荷: | 前: _____ kg 后: _____ kg |
| | 用于质量代替的负载类型: | |
| | 试验汽车车轮荷载, 包括驾驶员和仪器设备: | FL: _____ kg FR: _____ kg |
| | | RL: _____ kg RR: _____ kg |
| | 总长: | _____ mm |
| | 总宽: | _____ mm |
| | 试验质量时的总高度: | _____ mm |
| | 轴距: | _____ mm |
| | 轮距: | 前: _____ mm 后: _____ mm |
| | 整车整备质量重心高度: | _____ mm |
| | X _v (离半轴距点): _____ mm | |
| | Y _v (离半轮距点): _____ mm | |
| | Z _v (离地面): _____ mm | |
| 测量变量的参考点坐标 | | |

总体描述和（或）其他相关细节

表A.3 传感器位置（参照参考点）

| 变量 | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
|-------|--------|--------|--------|
| 纵向速度 | | | |
| 横向速度 | | | |
| 侧偏角 | | | |
| 纵向加速度 | | | |
| 横向加速度 | | | |
| 横摆角速度 | | | |
| 俯仰角速度 | | | |
| 侧倾角速度 | | | |
| 侧倾角度 | | | |
| 俯仰角度 | | | |

附录 B
(规范性附录)
试验条件

试验条件记录模板见表 B.1。

表 B.1 试验条件记录模板

| | |
|-----------|--|
| 测试方法 | GB _____ |
| 试验场地 | 位置: _____ |
| | 道路半径: _____ |
| 环境条件 | 路面: _____ |
| | 类型: _____ |
| | 条件: _____ |
| | 道路温度: _____ °C |
| | 轮胎与地面最大摩擦系数: _____ |
| | 摩擦测量方法: _____ |
| 气候: | 空气温度: _____ °C |
| | 相对湿度: _____ % |
| | 风速: _____ m/s |
| | 风向: _____ |
| 轮胎 | 生产日期: _____ |
| | 花纹深度: _____ |
| | ——预热前: FL: _____ mm FR: _____ mm |
| | 轮胎压力: _____ |
| | ——预热前: FL: _____ kPa FR: _____ kPa |
| | RL: _____ kPa RR: _____ kPa |
| 驱动型式 | 手动变速器: 啮合挡位: _____ 挡 |
| | 自动变速器: 变速方案: _____ |
| | 换挡杆位置: _____ |
| 人员 | 驾驶员: _____ |
| | 工程师: _____ |
| | 数据分析人员: _____ |
| 试验方法的具体数据 | _____ |

附录 C

(规范性附录)

数据预处理要求

C.1 概述

测试、评价的频率范围 0Hz~5Hz。

C.2 模拟信号调试

C.2.1 传感器和采集系统的带宽要求

带宽应大于等于 8Hz

C.2.2 滤波器要求

对信号的滤波应采用低通滤波器。通频带宽（从 0Hz 到-3dB 的频率 f_0 ）不得小于 9Hz。在 0Hz~5Hz 频率范围内，幅值误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。所有模拟信号应使用具有相同相位特性的滤波器进行处理，以保证由于滤波带来的时间延迟是相同的。

注：为保存低频信号，信号应采用直流耦合。由于包含不同频率成分的模拟信号滤波处理会发生相移，推荐采用 B.3 节中描述的数字信号处理方法。

C.3 混叠误差及抗混叠滤波器

C.3.1 模拟信号处理

模拟信号处理的准备包括：选择避免混叠误差的采样频率和滤波器幅值衰减特性、滤波器的相位滞后和时间延迟特性。

C.3.2 采样和数字化总体要求

采样和数字化应考虑的内容：保证数字化误差最小的预采样放大率、每次采样的位数、每个周期的采样数、采样和保持放大器、样本空间。对于其它无相移数字滤波器应考虑通带、阻带、衰减、允许纹波的选择，以及滤波器相位滞后的校正。

为了实现整体数据达到 $\pm 0.5\%$ 的采集精度，上述因素十分重要。

特沃斯滤波器的衰减和相移信息参见附录 E。应避免无法校正的混叠误差，在采样和数字化之前对模拟信号应正确滤波。滤波器阶次及其通带的选择应该根据关注频率范围和对应采样频率下信号平整度的要求来确定。最低滤波特性和最小采样频率应满足：

a) 在 0Hz~ $f_{\max}=5\text{Hz}$ 的频率范围内，模拟信号的最大衰减量应小于信号数字化的分辨率；

b) 在二分之一采样频率处（即奈奎斯特频率或折叠频率），信号和噪声的所有频率成分的大小要减小到小于数字化分辨率。

示例：对于 0.05% 的分辨率，在 5Hz 范围内滤波器的幅值衰减应该小于 0.05%。对于二分之一采样频率以上的所有频率处幅值衰减应该大于 99.95%。

C.3.3 滤波器阶次要求

为保证数据处理效果，推荐抗混叠滤波器是四阶或者更高，参见附录 E。

应抗混叠滤波，也应避免过度的模拟信号滤波。此外，所有的滤波器应具有相同的相位特性，以确保信号之间的时间延迟差异满足时域测量精度的要求。

注：因为被测变量幅值相乘时，相移及相应的时间延迟会增加，因此当被测变量相乘后形成新的变量时，相移尤其应注意。通过增加滤波器的截止频率 f_0 可以降低相移及时间延迟。

C.4 采样及数字化

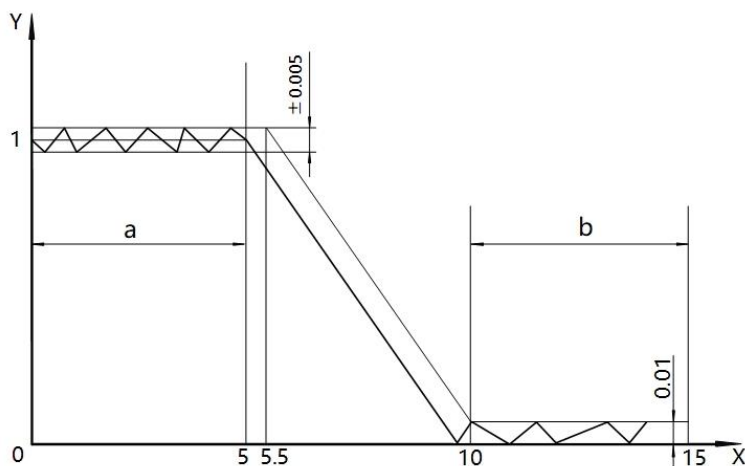
应限制模拟输入变化超过 0.1% 而引起的动态误差，采样或数字化的时间应小于 $32\mu\text{s}$ 。每一对或一组要比较的样本数据应同时或在足够短的时间内采集。

数字化应采用 14 位或更高分辨率 ($\pm 0.05\%$)，2LSB ($\pm 0.1\%$) 精度的系统。数字化前模拟信号的放大应该保证：在数字化过程中，由于有限分辨率和数字化的不准确而导致的综合误差应小于 0.25%。

C.5 无相移数字滤波器

对于用于评价的数据的滤波，无相移 (0 相移) 数字滤波器应该具有以下特点 (见图 C.1)：

- 通带的范围应是 0Hz~5Hz；
- 阻带应在 10Hz~15Hz 之间开始；
- 通带滤波器增益应是 1 ± 0.005 ；
- 阻带滤波器增益应是 ± 0.01 。



图注：

- X——频率, f (Hz)；
- Y——滤波器增益；
- a——通带；
- c——阻带。

图 C.1 无相移数字滤波器特点要求

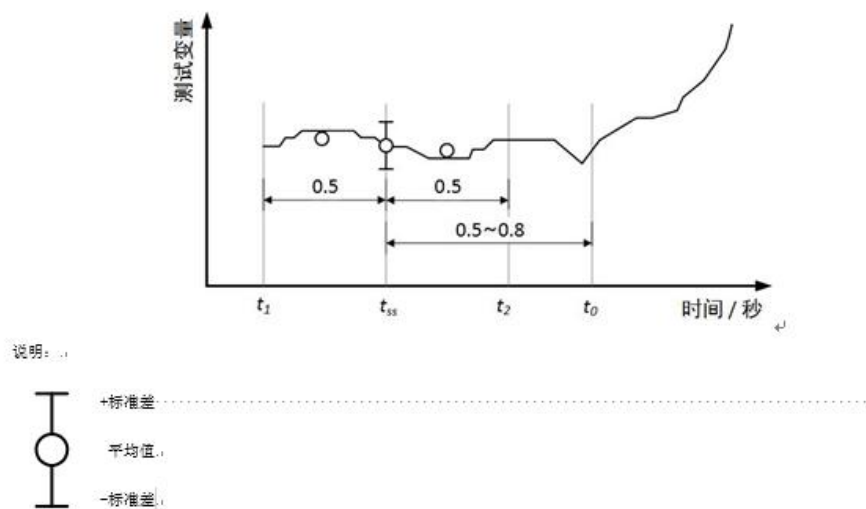
附录 D (规范性附录) 试验开始条件

D.1 概述

大部分汽车操纵稳定性试验都规定了初始稳定要求，它可以是稳态直线行驶也可以是稳态圆周行驶。

在初始行驶条件下，转向盘的位置以及加速踏板的位置应该尽可能的保持不变。用来估计稳态条件的观测时刻 t_{ss} 定义为参考时间点 t_0 之前 $0.5s \sim 0.8s$ 之间的时间点。观测时刻 t_{ss} 达到附录 D.2 的要求（如图 2 所示，定义的 t_1 和 t_2 ），应认为初始条件是稳定的。

注：如果仅是用来确定稳态值的试验方法，观测时刻 t_{ss} 与参考时间 t_0 相同。



—— t_0 试验中的时刻；

—— t_1 测量时间1；

—— t_2 测量时间2；

—— t_{ss} 估计稳态工况的观测时刻

图D.1 试验观测时域历程

D.2 稳态直线行驶

在 t_1 到 t_2 时间段内初始行驶的纵向速度不应超过标称值的 $\pm 1\text{km/h}$ （速度超过 100km/h 时，偏差不得超过 $\pm 2\text{km/h}$ ），侧向加速度的平均值应保持在 $-0.3\text{m/s}^2 \sim 0.3\text{m/s}^2$ 的范围内，侧向加速度标准差不应超过 0.3m/s^2 。作为侧向加速度限制的替代，可以选择限定横摆角速度的平均值在 $-0.5^\circ/\text{s} \sim 0.5^\circ/\text{s}$ 范围内，横摆角速度的标准差不超过 $0.5^\circ/\text{s}$ 。

在时间段 $t_1 \sim t_{ss}$ 及 $t_{ss} \sim t_2$ 内，纵向速度的平均值偏差不应超过 $\pm 1\text{km/h}$ （速度超过 100km/h 时，偏差不应超过 $\pm 2\text{km/h}$ ）。

车辆达到稳态直线行驶状态时方可开始进行试验，采用横摆角速度作为判定开始条，见附录D。

在时间段 t_1 和 t_2 之间，转向盘力矩输入应为0，推荐在这段时间采用撒手的方式驾驶。

在该试验中，撒手操作方式并不适用于所有车辆，如有些车辆在 t_1 和 t_2 之间不能满足横摆角速度变量限制条件，对此应检查车辆及轮胎导致过多侧向偏离的原因。

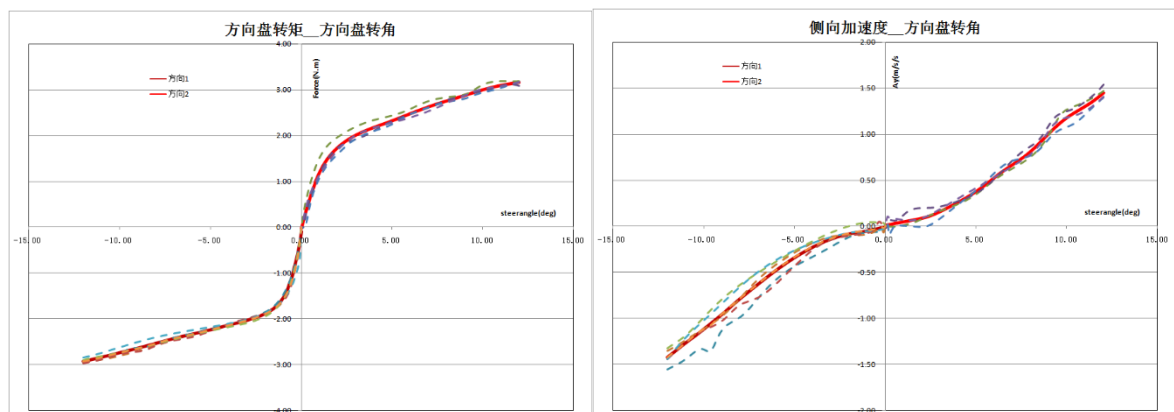
附录 E (资料性附录) 数据处理方

对本标准8.2条款求特征值时，建议如下计算

E.1 数据平均

多次采集的有效数据会有一些的离散性，建议对多次采集的数据进行平均处理，用平均后的数据进行特征值的提取，推荐平均方法如下：

以转向盘的转角为基准，以转角不大于 0.1° 的间隔进行插值，后对二个方向的所有数据进行平均，取得二个方向的平均值，如下图所示（实线为平均后的数据曲线）。



图D.1 试验数据的平均求值

E.2 求特征值

本标准8.2条款中规定，对平均后的二个方向数据求取特征值，即用平均后的数据“拟合直线梯度”和“横坐标死区”。

附录 F

(资料性附录)

模拟信号滤波：巴特沃斯滤波器

F.1 对于巴特沃斯滤波器，其衰减为：

$$A^2 = \frac{1}{1 + (f_{\max}/f_0)^{2n}} \text{ 和 } A^2 = \frac{1}{1 + (f_N/f_0)^{2n}}$$

其中：

- n为滤波器阶数；
- f_{max}为相关的频率范围（5Hz）；
- f₀为滤波截止频率；
- f_N为奈奎斯特或者“折叠”频率。

F.2 对于四阶滤波器：

- 对于A=0.9995: f₀=2.37×f_{max}=11.86Hz；
- 对于A=0.0005: f_s=2×(6.69×f₀)=158Hz，其中，f_s为采样频率：f_s =2×f_N。

F.3 在滤波器幅值特性保持平滑的频率范围内，巴特沃斯滤波器的移相Φ可以近似为：

- 对于二阶：Φ=81×(f/f₀)度；
- 对于四阶：Φ=150×(f/f₀)度；
- 对于八阶：Φ=294×(f/f₀)度。

F.4 对于所有阶次的时间滞后为：

$$t=(\Phi/360^\circ) \times (1/f_0)$$

F.5 死结滤波器采样率设置

对于四阶滤波器，数据采样频率f_s应该大于13.4×f₀，如果相位误差在随后的数字数据处理中进行调节，通带频率f₀（从0Hz到f₀）应该大于2.37×f_{max}，否则应当大于5×f_{max}。其它阶次滤波器，f₀和f_s的选择应使得响应曲线有足够的平坦度及抗混叠误差。