

团 体 标 准

T/CSAE xx—20xx

轿车轮胎附着系数 滑移率特性 试验方法

Test Method for Friction Coefficient-Slip Ratio Characteristics of Passenger Car Tires

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	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验条件	2
4.1 路面条件	2
4.2 环境条件	3
4.3 试验轮胎条件	3
5 试验设备	3
5.1 牵引车和拖车要求	3
5.2 试验测试仪器	4
6 试验原理	5
6.1 峰值制动力试验	5
6.2 滑移制动力试验	5
6.3 试验顺序	5
7 试验准备	6
7.1 试验轮胎准备	6
7.2 试验仪器准备	6
8 试验步骤	6
9 数据处理	7
9.1 轮胎制动力系数计算	7
9.2 试验轮胎等级计算	8
10 试验报告	9
附录 A	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。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、中汽研汽车试验场股份有限公司、中策橡胶集团有限公司、广州汽车集团股份有限公司、吉利汽车研究院(宁波)有限公司、一汽轿车股份有限公司、安徽江淮汽车集团股份有限公司、米其林轮胎研究开发中心(上海)有限公司、上汽通用五菱汽车股份有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、蔚来汽车科技(安徽)有限公司、山东玲珑轮胎股份有限公司、安徽佳通乘用车子午线轮胎有限公司、赛轮股份有限公司。

本文件主要起草人：梁荣亮、王文军、沙雷、郭东东、朱遥、吕剑、夏竞钧、唐腊梅、冯爱进、杜保祯、胡光辉、蔡凌杰、汪夏雨、程恒、黄流芳、郭世强、朱士斌、蒋高勇、葛荣瑞。

轿车轮胎附着系数 滑移率特性试验方法

1 范围

本文件规定了轿车轮胎附着系数-滑移率特性试验方法。
本文件适用于轿车轮胎，其他类型轮胎可参考执行。

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 6326 轮胎术语及其定义

GB 9743 轿车轮胎

ASTM F408 使用牵引拖车测试轮胎湿路面牵引力的试验方法

T/CMA-HG 014 P225/60R16 97S 标准测试轮胎技术规范

3 术语和定义

GB/T 6326 界定的及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

试验轮胎 test tyre

通过试验被评价的轮胎。

3.2

控制轮胎 control tyre

在评估体系中用作基准的一组专用试验轮胎，为了最大限度地减小其变化量，这些轮胎具有严格受控的设计特性，根据相关标准进行生产、控制和贮存。

3.3

轮胎制动力 braking force of a tyre

施加制动力矩所产生的轮胎纵向力。

3.4

垂直负荷 vertical load

轮胎在路面上的法向反作用力。

3.5

车轮抱死 lockup of a wheel

制动过程中车轮完全停止旋转，轮胎与路面由滚动摩擦转变为滑动摩擦的状态。

3.6

纵向滑移率 longitudinal slip

纵向滑移角速度与车轮直线自由滚动角速度的比值。

3.7

轮胎附着系数/制动力系数 adhesion /braking force coefficient of a tyre

轮胎制动力与垂直负荷的比值。

3.8

轮胎峰值制动力系数 peak braking force coefficient of a tyre

从施加制动力到车轮抱死，达到的轮胎最大制动力系数。

3.9

轮胎滑移制动力系数 slide braking force coefficient of a tyre

车轮被抱死后 0.2s~1.2s 内轮胎制动力与垂直负荷比值。

3.10

轮胎试验车辆 tyre test vehicle

可测量制动状态下单个轮胎垂直方向和行驶方向受力情况的专用车辆。

3.11

轮胎制动力系数等级 tyre braking force skid number

特定条件下，通过试验轮胎与控制轮胎的制动力系数对比计算，对试验轮胎制动力系数进行评级。

4 试验条件

4.1 路面条件

4.1.1 干地工况试验路面

试验路面应为干净、水平或有少许坡度的粗糙沥青混凝土路面。在该路面上采用符合 T/CMA-HG 014 要求的标准轮胎测试轮胎峰值制动力系数和滑移制动力系数应满足以下条件：

- 50km/h时峰值制动力系数：0.90 ± 0.05；
- 50km/h时滑移制动力系数：0.65 ± 0.05。

4.1.2 湿地工况试验路面

试验路面应为干净、水平的或有少许坡度的湿沥青混凝土路面。在该路面上采用符合T/CMA-HG 014要求的标准轮胎测试轮胎峰值制动力系数和滑移制动力系数应满足以下条件：

50km/h 峰值制动力系数：0.75 ± 0.05

50km/h 滑移制动力系数：0.45 ± 0.05

100km/h 峰值制动力系数：0.60 ± 0.05

100km/h 滑移制动力系数：0.35 ± 0.05

为避免风速过大对湿滑路面的干扰，必要时可采用屏障装置。

湿路面的水控系统应提供合适的水膜厚度，水膜厚度要控制在1.0 mm ± 0.5mm。

湿路面应至少在试验前0.5h进行路面喷水或漫水，使水膜和路面温度达到稳定。

4.2 环境条件

试验过程中平均风速应不大于5 m/s，环境温度应在0℃～40℃范围内，无雨、无雪、无雾。

4.3 试验轮胎条件

4.3.1 控制轮胎的选择

4.3.1.1 宜使用T/CMA-HG 014规定的三角品牌，规格型号为225/60R16 97S的标准轮胎或者ASTM F2493规定的Uniroyal品牌，规格型号为P225/60R16 97S的标准轮胎作为控制轮胎。

4.3.1.2 如试验有特殊要求，也可按照客户要求自定义控制轮胎。

4.3.2 试验负荷及气压

试验前轮胎负荷和充气压力可参照表1调节，充气压力误差不应超过±5 kPa。如客户对轮胎负荷和充气压力有特殊要求，也可按照客户要求自定义试验负荷及气压，但需在试验记录表中注明相关信息。

表1 试验轮胎负荷和充气压力

轮胎类型	试验负荷	冷态充气压力
试验轮胎	轮胎最大负荷能力的70%	250kPa
控制轮胎	轮胎最大负荷能力的70%	250kPa

4.3.3 试验轮辋

将试验轮胎安装在符合GB/T 2978规定的轮辋上。为便于安装，允许使用合适的润滑剂，但润滑剂的使用不应过量以防轮胎装在轮辋上出现滑动。

5 试验设备

试验设备由牵引车和一辆拖车组成。系统中暴露在空气的部分应能承受100%湿度和其他恶劣的环境条件，如灰尘、冲击、振动以及其他可能遇到的条件。

5.1 牵引车和拖车要求

5.1.1 牵引车的基本要求

牵引车应具有足够大的功率,确保拖车在紧急制动时仍能保持测试系统可以按照规定的速度稳定行驶。

试验设备应安装以下附件:

- 进入试验路面时启动制动的装置;
- 如无外喷水设施需带有洒水装置,并可控制洒水量;
- 数据记录仪。

5.1.2 拖车的基本要求

5.1.2.1 最大负荷下,轮胎在试验路面的前束和外倾角最大变化应小于 $\pm 0.5^{\circ}$ 。悬架摆臂和衬套应有足够的刚度防止制动时产生的松动。试验车辆悬架系统应有足够的承载能力,以消除悬架装置的共振。

5.1.2.2 试验设备液压制动装置应具备自动启动功能,一旦进入试验路面应自动启动产生符合要求的制动力。

5.1.2.3 制动系统应按照规定,在制动开始到产生最大制动力时保持有效控制。

5.1.2.4 拖车应满足可装配多种规格试验轮胎。

5.1.2.5 拖车应具备力传感器采集功能,在试验过程测量轮胎受到制动力矩时的垂直力和纵向力。拖车应具备调节制动力施加和到达峰值制动力时间间隔的功能,要求制动装置开始制动到产生最大制动力的时间间隔为 $0.75 \pm 0.25\text{s}$ 。

5.1.2.7 拖车的设计应能够承受车轮上规定的静态垂直负荷,在拖车拖挂点时能承载垂直负荷的10%~15%冲击。

5.1.3 自喷水系统的要求

如果采用试验设备对试验路面洒水,则将贮水罐安装在牵引车上。洒水喷嘴应将水均匀地喷洒在试验轮胎将要通过的区域,且尽量少溅出水花。洒水方向与路面成 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 角,洒水应落在试验轮胎接地中心前方 $0.25\text{m} \sim 0.45\text{m}$ 。喷嘴安装高度距离路面 25mm ,为了防止喷嘴碰到障碍物,允许将喷嘴位置适当提高,但不应超过 100mm 。试验路面洒水区域应至少比试验轮胎的胎面宽度大 25mm 且保证洒水区域在胎面接地点两侧对称。输水量应能保证水膜深度在 $1.0 \pm 0.5\text{mm}$,洒水量与试验速度成对应关系,要达到水膜深度 $1.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$,每 1m 宽的试验路面所需要的洒水量应为 18L/s ,允许相差 $\pm 10\%$ 。

5.2 试验测试仪器

5.2.1 基本要求

拖车或轮胎试验车的试验工位应装有轮速传感器和测量制动力、垂直负荷的传感器。

- 力的测量精度:垂直负荷或制动力满量程的 $\pm 1.5\%$;
- 速度的测量精度: $\pm 0.5\text{km/h}$ 或满量程的 $\pm 1\%$,取数值较大者。

5.2.2 制动力传感器

制动力传感器应能测量 $0 \sim 9\text{kN}$ 范围内轮胎制动时轮胎与路面间产生的纵向力。制动力传感器的设计和安装位置应使惯性效应和机械共振的影响最小化,输出的制动力数据滞后应小于 1% ,满量程时非线性失真应小于 1% ,满量程时两轴向力之间产生的交扰应小于 2% 。在产生最大制动力矩时,传感器与试验轮胎的转动轴的转动角度不应超过 1° 。

5.2.3 垂直负荷传感器

垂直负荷传感器用于测量车轮制动期间轮胎上的垂直负荷，垂直负荷传感器应符合 5.2.1 的要求。

5.2.4 车辆速度传感器

要求车速能在试验时直接显示出来且同时被记录。当瞬时施加制动力矩时，连接在车轮主轴的车轮速度传感器分辨率和精确度应控制在 $\pm 0.5 \text{ km/h}$ 。

5.2.5 其他试验仪器

轮胎气压、风速以及温度试验仪器的测量范围及最大误差应满足表2的要求。

表2 其他测试设备测量范围及最大误差

测试项目	测量范围	测量仪器最大误差
轮胎气压	0 ~ 500kPa	$\pm 5 \text{ kPa}$
风速	0 ~ 10 m/s	$\pm 1 \text{ m/s}$
温度	0~100℃	$\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

5.2.6 信号处理和记录装置

数据处理和记录装置应满足以下要求：

- 满量程的1%之内的最低相应率为0Hz-100Hz；
- 信噪比不小于20/1；
- 增益应足以满量程输入信号提供满量程的显示；
- 输入阻抗应不小于输出信号源阻抗的10倍；
- 测试设备应能承受振动、加速和环境温度的变化。

数字信号的最低采样频率为100Hz，记录的垂直负荷、制动力、速度与时间的相位误差应小于0.1rad。

6 试验原理

本方法通过把试验轮胎安装在试验拖车上，由牵引车辆带动试验拖车来完成的，当试验拖车以一定的速度匀速通过试验路面时，测量从开始制动到车轮抱死时的最大制动力或车轮抱死后 1.5s 整个过程的制动力，并记录测试过程中的垂直负荷、车速以及轮速，计算得出轮胎不同滑移率对应的制动力系数。主要有两种试验工况，分别为峰值制动力试验和滑移制动力试验。

6.1 峰值制动力试验

整个测试系统置于指定试验车速下工作，逐渐施加制动力，直到产生足够的制动力矩超过了轮胎制动力（最大牵引力）后立即释放制动。

6.2 滑移制动力试验

整个测试系统置于指定试验车速下工作，逐渐施加制动力，直到产生足够的制动力矩超过了轮胎制动力（最大牵引力）后，制动一直不释放，车轮抱死滑移并持续 1.5s 以上。

6.3 试验顺序

所有的控制轮胎和试验轮胎都应该先进行 50km/h 和 100 km/h 的湿路面轮胎附着系数-滑移率测试, 然后进行干路面轮胎附着系数-滑移率试验, 以减少由于试验过程引起胎面磨损造成试验结果的不稳定。试验顺序如表 3 所示。在干地试验前, 应该对湿地制动力系数进行分析, 来确保试验结果的变异系数符合要求 9.1.3 的要求。

如果不符合要求, 则需要对轮胎湿地性能进行重复试验。

如试验厂商对试验工况及试验速度有特殊要求, 按照其要求执行, 但是需在试验需求、检测报告等地方进行书面说明并记录。

表 3 试验顺序

试验次序	试验类型	试验路面	试验速度
1	滑移/峰值制动力试验	湿路面	50km/h
2	滑移/峰值制动力试验	湿路面	100km/h
3	峰值制动力试验	干路面	50km/h
4	峰值制动力试验	干路面	100km/h
5	滑移制动力试验	干路面	50km/h

7 试验准备

7.1 试验轮胎准备

7.1.1 按照 4.3.3 要求, 将验轮胎和控制轮胎安装在规定的轮辋上。

7.1.2 装配好的试验轮胎应放置在试验环境条件下至少 2h, 以保证轮胎与周围环境温度相同, 避免受阳光直射。

7.2 试验仪器准备

7.2.1 将试验轮胎安装在试验拖车上, 并施加规定的负荷。如试验拖车有支撑工位, 需安装一个和试验轮胎拥有相同负荷半径和转向特性的轮胎, 来保证拖车水平, 使拖车在制动时的横摆角最小。

7.2.2 如果牵引轮胎的轨迹与试验轮胎的轨迹重叠, 在湿路面场地试验时, 应将拖车进行偏移安装, 避免牵引车的轮胎轨迹影响试验轮位轨迹的水膜均匀性。建议试验轮位与牵引车轮胎横向偏移距离是 305 ~ 406 mm。

7.2.3 检查牵引车与拖车线路连接, 预热试验所用电子设备以达到稳定状态。

7.2.4 进行垂直负荷校准, 通过调节试验拖车的悬架装载高度使所有部件的垂直负荷清零, 检查并调整试验拖车作用于试验轮胎上的静态负荷满足 4.3.2 里的规定值, 记录相应的载荷数据。

7.2.5 在任何轮胎试验前进行拖车轮速和牵引车车速之间的校准。

8 试验步骤

8.1 试验车辆按照规定的试验速度直线行驶至测试区域。

8.2 开启数据记录系统。

8.3 如使用试验设备自带的喷水系统, 则启动制动进行试验之前约 0.5s 对试验路面洒水。

8.4 当试验轮胎驶入测试点即启动制动直至轮胎达到峰值制动力或者抱死, 记录测试过程中的制动力、垂直负荷、车速以及轮速, 要求每次试验严格控制在试验路面的同一区域。

- 8.5 停止数据记录系统并保存试验数据。
- 8.6 每条轮胎应重复 8.1~8.5 步骤至少 6 次，每次测试的行驶方向相同。
- 8.7 试验轮胎与控制轮胎应按照规定的排序交替进行测试，最多做完 2 组试验轮胎后再测试控制轮胎。试验排列次序举例如下：C1-T1-T2-C2-T3-T4-C3, Cn 表示控制轮胎，Tn 表示试验轮胎。
- 8.8 整个循环测试的环境温度变化应控制在 10℃ 之内。

9 数据处理

9.1 轮胎制动力系数计算

9.1.1 确定和计算峰值制动力系数

9.1.1.1 按照公式 (1) 计算制动力系数。

$$\mu_{(t)} = \left| \frac{f_h(t)}{f_v(t)} \right| \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\mu_{(t)}$ ——(瞬间)制动力系数；

$f_h(t)$ ——(瞬间)制动力，单位为牛顿(N)；

$f_v(t)$ ——(瞬间)垂直负荷，单位为牛顿(N)。

9.1.1.2 对测量数据进行处理，模拟数据应先过滤掉噪声产生的干扰，而数字信号采用 5 点移动平均值计算方法进行处理，参照公式 (1) 计算出 $\mu_{(t)}$ 最大值即为每次测试的峰值制动力系数 μ_{peak} 。

9.1.1.3 控制轮胎和试验轮胎至少应保证 6 次有效测试，将 6 次有效数据的平均值作为该组轮胎的峰值制动力系数的最终测试结果 $\mu_{peak.avg}$ 。

9.1.2 确定和计算滑移制动力系数

9.1.2.1 按照式 (2) 计算制动力系数。

$$\mu_{(s)} = \left| \frac{f_{h.avg}(t)}{f_{v.avg}(t)} \right| \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\mu_{(s)}$ ——制动力系数；

$f_{h.avg}(t)$ ——1s 内平均制动力，单位为牛顿(N)；

$f_{v.avg}(t)$ ——1s 内平均垂直负荷，单位为牛顿(N)。

9.1.2.2 在车轮抱死 0.2s 后，应对之后 1s 内的测量数据进行处理，模拟数据应先过滤掉噪声产生的干扰，而数字信号采用计算 5 点移动平均值进行处理，参照公式 (2) 计算出的 1s 内平均制动力系数 $\mu_{(s)}$ 。

9.1.2.3 控制轮胎和试验轮胎至少应保证 6 次有效测试，将 6 次有效数据的平均值作为该组轮胎的滑移制动力系数的最终测试结果 $\mu_{s.avg}$ 。

9.1.3 试验结果检验

对于控制轮胎：如果测得的峰值或滑移制动力系数的变异系数(标准偏差/平均值×100)大于 5%，则所有测试数据均无效，应重新试验。

对于试验轮胎：如果测得的峰值或滑移制动力系数的变异系数(标准偏差/平均值×100)大于 5%，则该试验轮胎的所有测试数据均无效，应重新试验。

9.2 试验轮胎等级计算

9.2.1 控制轮胎加权计算

设 C_1 为控制轮胎第一组的平均制动力系数, C_2 为控制轮胎第二组的平均制动力系数, C_3 为控制轮胎第三组的平均制动力系数。则所有控制轮胎以及相邻两组控制轮胎进行加权平均计算公式如下:

9.2.2.1 控制轮胎 C_1 、 C_2 、 C_3 平均加权 $C_{(1,2,3)}$:

$$C_{(1,2,3)} = \frac{C_1 \frac{\sqrt{N_1}}{\sigma_1} + C_2 \frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2} + C_3 \frac{\sqrt{N_3}}{\sigma_3}}{\frac{\sqrt{N_1}}{\sigma_1} + \frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2} + \frac{\sqrt{N_3}}{\sigma_3}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

9.2.2.2 控制轮胎 C_1 、 C_2 平均加权 $C_{(1,2)}$:

$$C_{(1,2)} = \frac{C_1 \frac{\sqrt{N_1}}{\sigma_1} + C_2 \frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2}}{\frac{\sqrt{N_1}}{\sigma_1} + \frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

9.2.2.3 控制轮胎 C_2 、 C_3 平均加权 $C_{(2,3)}$:

$$C_{(2,3)} = \frac{C_2 \frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2} + C_3 \frac{\sqrt{N_3}}{\sigma_3}}{\frac{\sqrt{N_2}}{\sigma_2} + \frac{\sqrt{N_3}}{\sigma_3}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

C_n ——控制轮胎第 n 次试验中制动力系数的平均值;

σ_n ——控制轮胎第 n 次试验中制动力系数的标准偏差;

N_n ——控制轮胎第 n 次试验中制动力系数的有效试验次数。

9.2.2 试验轮胎制动力系数结果修正

按照表4进行试验轮胎制动力系数结果修正。

表4 试验轮胎制动力系数结果修正

试验排序方式	试验轮胎制动力系数	修正公式
C1-T1-C2	T1	$T_{1.align} = T_1$
C1-T1-T2-C2	T1	$T_{1.align} = T_1$
	T2	$T_{2.align} = T_2$
C1-T1-T2-C2-T3-C3	T1	$T_{1.align} = T_1 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(1,2)}}$
	T2	$T_{2.align} = T_2 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(1,2)}}$
	T3	$T_{3.align} = T_3 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(1,2)}}$
C1-T1-T2-C2-T3-T4-C3	T1	$T_{1.align} = T_1 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(1,2)}}$
	T2	$T_{2.align} = T_2 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(1,2)}}$

	T3	$T_{3.align} = T_3 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(2,3)}}$
	T4	$T_{4.align} = T_4 \times \frac{C_{(1,2,3)}}{C_{(2,3)}}$
注： $T_{n.align}$ (n为1, 2, 3, 4) 表示第n组通过控制轮胎修正后试验轮胎的制动力系数。		

9.2.3 试验轮胎制动力系数等级计算

试验轮胎制动力系数等级计算参照公式（6）进行计算：

$$G = T_{n.align} \div \frac{C_1 \times N_1 + C_2 \times N_2 \dots + C_n \times N_n}{N_1 + N_2 \dots + N_n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

G ——试验轮胎制动力系数等级；

$T_{n.align}$ ——第n组通过控制轮胎修正后试验轮胎的制动力系数；

C_n ——控制轮胎第n次试验中制动力系数的平均值；

N_n ——控制轮胎第n次试验中制动力系数的有效试验次数。

10 试验报告

试验报告内容及样式参见附录A。

附录 A

(资料性附录)

轿车轮胎附着系数-滑移率特性测试方法试验报告

A. 1 测试条件

试验人员		试验日期	
试验路面		试验类型	
试验设备		环境温度/°C	
路面温度/°C		水膜厚度/mm	
试验车速(km/h)		风速/(m/s)	

A. 2 试验轮胎信息

轮胎品牌	
规格型号	
花纹型号	
轮胎分类	
轮胎用途	
轮胎类型	
测试轮辋	
试验负荷	
试验气压	
样品编号	

A. 3 控制轮胎信息

控制轮胎信息	
规格型号	
测试轮辋	
样品编号	

A. 4 试验结果

试验车速 (km/h)	测试 轮胎	制动 次数	峰值制 动系数 均值	峰值制 动系数 标准偏 差	滑移制 动系数 均值	滑移制 动系数 标准偏 差	峰值处 滑移率 均值(%)	试验轮胎等级	
								峰值 工况	滑行 工况
	C1							—	—
	T1								
	T2								
	C2							—	—

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

T/CSAE xx—20xx

	T3								
	C3							—	—

刘挺8675

以下空白

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675

刘挺8675