

团 体 标 准

T/CSAEXX—2018

轮胎稳态复合滑移特性试验方法

Tire Steady State Test Method of Combined Slip Property

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2018-XX-XX 发布

2018-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 原则.....	1
4 术语和定义.....	1
4.1 车轮几何和轮胎坐标系 wheel Geometry and tire axis syste	1
4.2 轮胎的滚动和滑移特性 Tire rolling characteristics and tire slip	3
4.3 轮胎的力和力矩 tire force and moment	4
4.4 力和力矩系数 coefficients of force and moment	5
4.5 稳态 steady state	6
4.6 气压 inflation pressure	6
5 试验设备.....	6
6 试验方法.....	7
6.1 环境温度要求.....	7
6.2 试验准备.....	7
6.3 试验.....	8
7 试验数据及处理.....	9
7.1 试验数据	9
7.2 数据处理.....	9
7.3 指标计算.....	10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由轮胎动力学协同创新联盟提出。

本标准由中国汽车工程学会归口。

本标准起草单位：吉林大学、中国第一汽车集团有限公司、安徽佳通乘用车子午线轮胎有限公司。

本标准主要起草人：卢荡、张保军、李论、冯勇、吕满意、王伟、孙丽红。

轮胎稳态复合滑移特性试验方法

1 范围

本标准规定了轮胎稳态复合特性试验的方法。

本标准适用于所有类型轮胎。

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 6326 轮胎术语及其定义

GB/T 12549 汽车操纵稳定性术语及其定义

SAE J670 JAN2008 车辆动力学术语（Vehicle Dynamics Terminology）

3 原则

轮胎的复合滑移特性是影响车辆操纵稳定性重要因素，也是研究车辆操纵稳定性的基础。轮胎的复合滑移特性表征了轮胎在侧偏、侧倾及驱动（或制动）条件下的纵向力、侧向力、车轮扭矩、和回正力矩的特性。

本标准规定了轮胎稳态复合特性的测试方法。

4 术语和定义

GB/T 6326、GB/T 12549 和SAE J670 JAN2008界定的及下列术语和定义适用于本标准。

4.1 车轮几何和轮胎坐标系 wheel Geometry and tire axis syste

4.1.1

车轮中心平面 wheel plane

与车轮轮辋的两侧内边缘等距的平面，其法线为车轮的回转中心线。

[GB/T 12549,定义4.1.1]（见图1）

4.1.2

车轮中心 wheel center

车轮中心平面与车轮回转中心线的交点。

[GB/T 12549,定义4.1.1]（见图1）

4.1.3

轮胎接地中心 center of tire contact

车轮中心平面与地面的交线和车轮回转中心线在地面上的投影的交点。

[GB/T 12549,定义5.1.1] (见图1)

4.1.4

轮胎坐标系 (X,Y,Z) **tire axis system** (X,Y,Z)

以轮胎接地中心为原点的右手直角坐标系。 X 轴为车轮中心平面和道路平面的交线，以车轮中心平面的行进方向为正； Z 轴为道路平面的法线，向上为正； Y 轴在道路平面内，方向按照右手法则确定。

[GB/T 12549,定义5.1.2] (见图1)

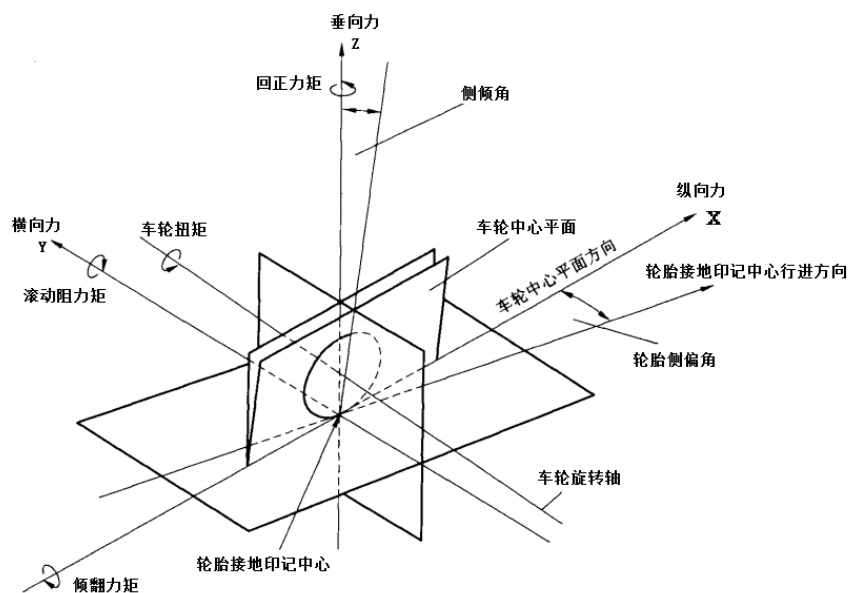


图 1 轮胎坐标系

4.1.5

负荷半径 (加载半径) **loaded radius**

R_l

车轮中心到轮胎接地中心之间的距离。

静态轮胎在垂直负荷作用下的加载半径，为静负荷半径 (static loaded radius)。

[GB/T 12549,定义5.1.5]

4.1.6

侧偏角 **slip angle**

α

轮胎接地中心的行进方向与轮胎坐标系 X 轴之间的夹角。

在轮胎坐标系中，从 X 轴转到轮胎接地中心的行进方向，按右手法则来判断其正负符号。

[GB/T 12549,定义5.1.3] (见图1)

4.1.7

侧倾角（外倾角） **inclination angle (camber angle)**

γ

轮胎坐标系的X-Z平面与车轮中心平面之间的夹角。

在轮胎坐标系下，从X-Z平面转向车轮中心平面，按照右手法则确定其正负符号。

[GB/T 12549,定义5.1.8]（见图1）

4.2 轮胎的滚动和滑移特性 **Tire rolling characteristics and tire slip**

4.2.1

自由滚动车轮 **free rolling wheel**

有垂直载荷，但没有驱动力矩或制动力矩作用的滚动车轮。

它即适用于沿直线自由滚动的车轮，称之为直线自由滚动车轮（straight free rolling tire），也适用于有侧偏角或者有外倾角作用下非直线运动的车轮。

4.2.2

车轮自由滚动角速度 **wheel rotation speed of free-rolling wheel**

自由滚动车轮的转动角速度。

当车轮直线自由滚动时，称为直线车轮自由滚动角速度（wheel rotation speed of straight free-rolling wheel）

4.2.3

滚动半径 **rolling radius**

在规定试验条件下，轮胎滚动一周轮胎接地中心移动的距离，为滚动周长（rolling circumference）。轮胎滚动周长除以 2π 所得的数值称为滚动半径。

4.2.3

轮胎行驶速度 **tire trajectory velocity**

轮胎的接地中心相对于参考路面的运动速度。

它在轮胎坐标系X方向的分量称为轮胎纵向速度（tire longitudinal velocity），它在轮胎坐标系Y方向的分量称为轮胎侧向速度（tire lateral velocity）。

4.2.4

轮胎纵向滑移速度 **tire longitudinal slip angular velocity**

驱动或制动条件下的车轮滚动角速度与车轮自由滚动角速度之差。

注：车轮滚动角速度与车轮自由滚动角速度应在保持轮胎纵向速度相同的条件下测得。

4.2.5

轮胎纵向滑移率 **tire longitudinal slip ratio**

$$S_x$$

轮胎纵向滑移速度与车轮自由滚动角速度的比值。

$$S_x = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$$

其中 ω_0 为车轮自由滚动角速度， ω 为任意时刻的车轮滚动角速度。

4.3 轮胎的力和力矩 **tire force and moment**

4.3.1

轮胎法向力（轮胎径向力） **tire normal force (tire radial force)**

$$F_z$$

路面作用在轮胎上的力沿Z轴的分量。轮胎法向力的绝对值，称为轮胎垂向负荷（tire vertical load）

4.3.2

轮胎侧向力（轮胎横向力） **tire lateral force**

$$F_y$$

路面作用在轮胎上的力沿Y轴的分量。

4.3.3

轮胎纵向力 **tire longitudinal force**

$$F_x$$

路面作用在轮胎上的力沿X轴的分量。

4.3.4

轮胎翻倾力矩 **tire overturning moment**

$$M_x$$

路面作用于轮胎上的力矩矢量使轮胎沿X轴旋转的分量。

4.3.5

轮胎滚动力矩（滚动阻力矩） **tire rolling moment (tire rolling resistance moment)**

$$M_y$$

路面作用于轮胎上的力矩矢量使轮胎沿Y轴旋转的分量。

4.3.6

轮胎回正力矩 **tire aligning torque**

M_z

路面作用于轮胎上的力矩矢量使轮胎沿Z轴旋转的分量。

4.3.7

车轮扭矩 **wheel torque**

由汽车作用在轮胎上相对于车轮旋转轴的外力矩。

如果该扭矩使轮胎产生驱动力（driving force），则称为驱动力矩(driving torque)。如果该扭矩使轮胎产生制动力（braking force），则称为制动力矩(braking torque)。

4.4 力和力矩系数 **coefficients of force and moment**

4.4.1

轮胎的纵向力系数 **tire longitudinal force coefficient**

轮胎纵向力与垂向负荷的比值。

4.4.2

轮胎驱动力系数 **tire driving force coefficient**

轮胎驱动力与径向力比值的绝对值。

4.4.3

轮胎制动力系数 **tire braking force coefficient**

轮胎制动力与垂向负荷的比值。

4.4.4

轮胎纵向刚度（轮胎制动/制动刚度） **tire longitudinal stiffness (tire braking / driving stiffness)**

轮胎纵向力相对于纵向滑移率的一阶导数。

轮胎纵向刚度通常在零侧偏、零外倾和零纵向滑移率下确定。

4.4.5

轮胎纵向刚度系数（轮胎制动/驱动刚度系数） **tire longitudinal stiffness coefficient (tire braking / driving stiffness coefficient)**

轮胎纵滑刚度与轮胎垂向负荷的比值。

4.4.6

驱动峰值摩擦系数 **peak coefficient of driving adhesion**

在规定的使用条件下，驱动力系数所能达到的最大值。

4.4.7

制动峰值摩擦系数 peak coefficient of braking adhesion

在规定的使用条件下，制动力系数所能达到的最大值。

4.4.8

驱动滑移摩擦系数 slide coefficient of driving adhesion

在规定的使用条件下，车轮处于大驱动力矩作用下的空转状态时的驱动力矩系数。

4.4.9

制动滑移摩擦系数 slide coefficient of braking adhesion

在规定的使用条件下，车轮处于紧急制动抱死状态时的驱动力矩系数。

4.4.10

驱动峰值摩擦系数与驱动滑移摩擦系数的比值 peak-to-slide ratio of driving adhesion

驱动工况下的轮胎峰值摩擦系数与滑移摩擦系数的比值。

4.4.11

制动峰值摩擦系数与制动滑移摩擦系数的比值 peak-to-slide ratio of braking adhesion

制动工况下的轮胎峰值摩擦系数与滑移摩擦系数的比值。

4.4.12

轮胎纵向力载荷敏感度 tire longitudinal force load sensitivity

在任意给定的纵向滑移率下，轮胎纵向力相对于垂向负荷的一阶导数。

4.5 稳态 steady state

轮胎所受外力、外力矩及轮胎本身的惯性力、惯性力矩所形成的合力和合力矩在轮胎坐标系中不随时间发生变化的运动状态。

4.6 气压 inflation pressure

4.6.1

冷气压 cold inflation pressure

在正常环境温度且使用条件不改变胎压的情况下，轮胎内的气压。

4.6.2

热气压 warm inflation pressure

在特定的使用条件下，轮胎因运动生热所达到的平衡气压。

5 试验设备

为确保试验的完整性和可靠性，用于实施轮胎稳态纵滑特性测试的试验设备，应满足以下要求：

5.1 具备精确的机械加载及定位系统，且应满足以下条件：

- a) 实现轮胎相对于试验路面的加载、绕 Z 轴的侧偏、绕 X 轴的侧倾，以及绕 Y 轴的驱动与制动；
- b) 满足轮胎纵滑特性试验对设备量程的要求，同时可以实现对加载半径、垂向负荷、侧偏角、侧倾角、车轮转速和车轮扭矩的精确控制。（最低精度应满足：垂向载荷不低于 $\pm 1\%$ ，侧偏角不低于 $\pm 0.1^\circ$ ，侧倾角不低于 $\pm 0.1^\circ$ ，车轮扭矩不低于 $\pm 50\text{Nm}$ ，加载半径不低于 $\pm 0.25\text{mm}$ ，车轮转速不低于 $\pm 15\text{rpm}$ 。）

5.2 具备均一、稳定可靠的试验路面，且应满足以下条件：

- a) 保证在试验过程中不会出现接触面发生弯曲、漂移、磨损、裂缝、污染以及表面过热等影响试验结果可靠性的情况；
- b) 保证轮胎相对于试验路面的行驶速度可以满足轮胎纵滑特性试验的要求，且能准确控制。（最低精度不应低于 $\pm 1\text{kph}$ ）。

5.3 具备准确可靠的传感测量系统，且应满足以下条件：

- a) 满足轮胎纵滑特性试验对传感器量程的要求；
- b) 精确测量加载半径、垂向负荷、侧偏角、侧倾角、车轮转速、侧向力、纵向力、回正力矩、翻倾力矩、车轮扭矩、滚动力矩等变量。（任何单一测试变量在无其他干扰的情况下的精度应不小于满量程的 $\pm 1\%$ ）。

5.4 具备精确的数据采集系统，能实现转数平均的采样方式，同时要求轮胎旋转一周最少采集 32 个点。

5.5 具备精确的胎压控制系统，能满足轮胎纵滑特性试验对胎压量程和控制精度要求。（最低控制精度不低于 $\pm 5\text{kpa}$ ）

5.6 设备应根据其运转负荷情况，定期进行监控、维护和标定检查，以保证试验数据的稳定可靠。

6 试验方法

6.1 环境温度要求

常用的试验环境温度为 $15^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$ ，而对于特殊的试验研究，用户可能会根据自己的需求来设定环境温度，但必须保证 1 小时内的环境温度梯度变化不大于 1°C 。

6.2 试验准备

6.2.1 总则

试验前应对试验轮胎进行必要的测试前准备，这包括试验胎的选择与存放、轮胎轮辋的装配与停放、参考试验条件的确定、必要试验信息的记录和轮胎预跑。

6.2.2 试验胎的挑选和存放

a) 试验胎的挑选

轮胎的纵滑特性试验对轮胎胎面的磨损较为严重，若试验过程涉及到多条轮胎的替换，为确保试验数据的可比性，应选择具有相近生产日期、相同批次、相同存储环境、相似使用历史及相似均匀性的轮胎。

b) 试验胎的存放

试验前，轮胎应在温度不超过设备环境温度 ± 5 度的区域，至少放置24小时。

6.2.3 轮胎与轮辋的装配

a) 试验轮辋的尺寸

试验轮辋的直径和宽度应符合测试要求，轮辋凸缘轮廓应符合T&RA标准或其他标准。

b) 轮胎与轮辋的装配

将轮胎安装到轮辋上时，需要遵循标准的安装程序，诸如Rubber Manufacturer's Association发布的标准。同时还需要：确保轮胎与轮辋的接触面上没有损伤、缺陷和杂质；不能过度润滑，否则引起胎圈的滑移；在必要时采用合适的适配器，以确保车轮总成能顺利安装到转轴上，且保证转向中心位置不变。

c) 充气停放

应给装配好的轮胎充气，使之充分稳定，一般为3个小时。

注：如果轮胎在24小时内曾装配和充过气，则无需停放。

6.2.4 参考试验条件的确定

轮胎的参考负荷由用户根据试验胎的负荷指数和实车载荷确定。

轮胎的参考气压（特指冷气压）由用户根据试验胎的最大气压和实车气压确定。

6.2.5 试验信息记录

应记录必要的试验信息，包括以下内容：

- a) 轮胎编号
- b) 轮胎的基本信息，包括尺寸、花纹、品牌、负荷指数、速度级别、最大气压
- c) 试验轮辋尺寸
- d) 充气气压

6.2.6 预跑

在正式试验前应对轮胎进行预跑，预跑程序可由用户根据设备的试验能力和工作效率来设计，但需要确保达到以下预跑效果：

- a) 已消除轮胎由于包装、存储等因素引起的内部残余应力；
- b) 已消除因橡胶材料的粘弹性产生的迟滞力；
- c) 已使轮胎达到所需的预跑温度；
- d) 胎面未出明显的磨损。

注：如果试验胎在30分钟内曾实施过相同或相近的预跑程序，则无需重复预跑。

6.3 试验

轮胎稳态复合特性试验过程应包含以下步骤：

6.3.1 测试开始时轮胎不应与路面接触，进行传感器清零；

6.3.2 启动试验台，使试验路面沿既定的方向运动并到达要求的试验速度；

6.3.3 使试验轮胎压向路面，达到试验要求的垂直负荷，待状态稳定后进行下一步操作；

6.3.4 使试验轮胎达到指定侧偏角和侧倾角，待试验轮胎状态稳定后进行下一步操作；

6.3.5 使试验轮胎产生纵向滑移运动并达到指定纵向滑移率，待纵向力稳定后（例如试验轮胎滚动1.5周后）连续记录一周以上的测试结果，完成此纵向滑移率下的测试；

6.3.6 重复 6.3.5 中的操作，直至完成所有的纵向滑移率序列；

6.3.7 重复 6.3.4 至 6.3.6 的操作，完成其它试验序列；

6.3.8 重复6.3.3到6.3.7的操作，直至完成所有的垂向负荷序列；

6.3.9 去除载荷，使轮胎脱离试验路面；

6.3.10 停止试验路面。

注：若试验涉及多个气压条件，则应将胎压调整到目标值后，多次重复 6.3.3 到 6.3.8 中的步骤。

7 试验数据及处理

7.1 试验数据

轮胎稳态纵滑特性试验，应记录如下试验数据：

- a) 轮胎纵向力 (F_x)；
- b) 轮胎侧向力 (F_y)；
- c) 轮胎法向力 (F_z)；
- d) 回正力矩 (M_z)；
- e) 翻倾力矩 (M_x)；
- f) 车轮扭矩 (T_w)；
- g) 滚动力矩 (M_x)
- h) 轮胎行进速度 (V)
- i) 加载半径 (R_l)
- j) 车轮转速 (V_s)
- k) 侧偏角 (α)；
- l) 侧倾角 (γ)；
- m) 纵向滑移率 (S_x)
- n) 胎压 (P_t)；
- o) 环境温度 (T_a)

注：各变量的数据单位为公制。

7.2 数据处理

应对一个完整周期的测试数据进行滤波、野点剔除和平均处理，以得到平滑的轮胎力和力矩特性曲线。

稳态试验的采样采用转数平均的方式，在正式采样之前，轮胎至少稳定 2 圈，然后采集轮胎转动一圈的数据做平均。考虑到轮胎均匀性对试验数据的影响，要求轮胎旋转一周至少采集 32 个点。

7.3 指标计算

7.3.1 绘制图标

试验数据处理，宜绘制以下曲线：

- a) 绘制轮胎纵向力随纵向滑移率变化的曲线；
- b) 绘制轮胎纵向力系数随纵向滑移率变化的曲线；
- c) 绘制轮胎纵向力载荷敏感度随纵向滑移率变化的曲线。

7.3.2 计算指标

试验数据处理，宜计算以下指标：

- a) 轮胎纵向刚度；
- b) 轮胎纵向刚度系数；
- c) 轮胎纵向力载荷敏感度；
- d) 驱动峰值摩擦系数；
- e) 制动峰值摩擦系数；
- f) 驱动滑移摩擦系数；
- g) 制动滑移摩擦系数；
- h) 驱动峰值摩擦系数与驱动滑移摩擦系数的比值；
- i) 制动峰值摩擦系数与制动滑移摩擦系数的比值。