

ICS 83.160
G 41

团体标准

T/CSAE94—2018

轮胎稳态纵滑特性基础试验方法

Basic Tire Testing Method for Steady State Longitudinal Slip Property

2018-11-07 发布

2018-11-07 实施

中国汽车工程学会发布

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 车轮几何和轮胎坐标系 wheel geometry and tire axis system.....	1
3.2 轮胎的滚动和滑移特性 tire rolling characteristics and tire slip.....	3
3.3 轮胎的力和力矩 tire force and moment.....	4
3.4 力和力矩系数 coefficients of force and moment.....	5
3.5 稳态 steady state.....	7
3.6 充气压力 inflation pressure.....	7
4 试验设备.....	7
4.1 总则.....	7
4.2 加载及定位系统要求.....	7
4.3 试验路面要求.....	7
4.4 传感测量系统要求.....	7
4.5 数据采集系统要求.....	8
4.6 其他要求.....	8
5 试验方法.....	8
5.1 环境温度要求.....	8
5.2 试验准备.....	8
5.3 试验.....	8
6 试验数据.....	9
6.1 记录的试验数据.....	9
6.2 试验数据处理要求.....	10
6.3 指标计算.....	10

前 言

本标准按照 GB/T1.1—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。

本标准由吉林大学提出。

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、安徽佳通乘用车子午线轮胎有限公司、中国汽车技术研究中心。

本标准主要起草人：卢荡、孙丽红、李飞。

引 言

轮胎是汽车、摩托车等车辆及飞机甚至于航天器不可或缺的零件，是与路面接触的唯一部件，具有承载和运动功能。轮胎动力学涵盖试验、仿真及应用三方面理论与技术，是汽车、飞机等技术自主发展的重要瓶颈之一。

轮胎稳态纵滑特性表征的是在确定的路面、气压、负荷和速度条件下，直线滚动的轮胎受到驱动或制动力矩时的稳态力和力矩的响应特性。为了理解轮胎稳态纵滑特性的试验方法，并规范轮胎稳态纵滑特性试验所涉及到的专业术语，需要对其进行标准化。

轮胎稳态纵滑特性基础试验方法

1 范围

本标准规定了轮胎稳态纵滑特性试验的基础方法。

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

3 术语和定义

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

3.1 车轮几何和轮胎坐标系 **wheel geometry and tire axis system**

以下内容定义了车轮几何与轮胎坐标系的相关术语。

3.1.1

车轮中心平面 **wheel plane**

与车轮轮辋的两侧内边缘等距的平面,其法线与车轮的回转中心线平行。

[GB/T 12549-2013, 定义4.1.1] (见图1)

3.1.2

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 12549-2013, 定义4.1.1] (见图1)

3.1.3

轮胎接地中心 **center of tire contact**

车轮中心平面与路面的交线和车轮回转中心线在路面上的投影的交点。

[GB/T 12549-2013, 定义5.1.1] (见图1)

3.1.4

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路面的交线，以车轮中心平面的行进方向为正；Z轴为路面的法线，向上为正；Y轴在路面内，方向按照右手法则确定。

[GB/T 12549-2013, 定义5.1.2] (见图1)

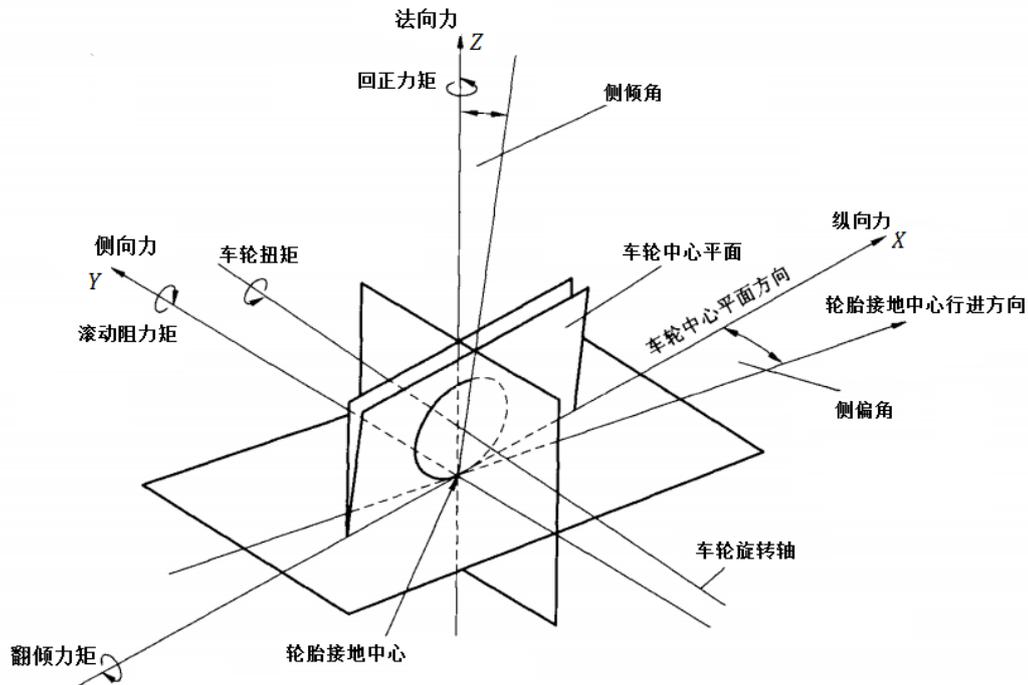


图 1 轮胎坐标系

3.1.5

负载半径 loaded radius

R_l

车轮中心到轮胎接地中心之间的距离。

静态轮胎在垂向载荷作用下的负载半径，为静负载半径（static loaded radius）。

[GB/T 12549-2013, 定义5.1.5]

3.1.6

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，图1中所示侧偏角为负值。

[GB/T 12549-2013, 定义5.1.3] (见图1)

3.1.7

侧倾角 inclination 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，图1中所示侧倾角为正值。

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

3.2.1

自由滚动轮胎 **free rolling tire**

有垂向载荷（见3.3.2），但没有驱动力矩（见3.3.11）或制动力矩（见3.3.12）作用的滚动轮胎。自由滚动轮胎可以有侧偏角和侧倾角，且轮胎接地中心在路面上的轨迹可以是直线也可以是曲线。

3.2.2

轮胎自由滚动速度 **tire free rolling speed**

V_r

滚动轮胎的转动角速度与轮胎有效滚动半径（见3.2.3）的乘积。

3.2.3

轮胎有效滚动半径 **tire effective rolling radius**

R_e

自由滚动轮胎滚动一周轮胎接地中心移动的距离除以 2π 所得的数值称为轮胎有效滚动半径。

3.2.4

轮胎行驶速度 **tire trajectory velocity**

轮胎的接地中心在路面上的运动速度。

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）。

3.2.5

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

V_{sx}

驱动或制动条件下的轮胎自由滚动速度与此时轮胎纵向速度之差。

3.2.6

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

S_x 或 κ

轮胎纵向滑移率 S_x 为轮胎纵向滑移速度与轮胎自由滚动速度的比值，表示为：

$$S_x = \frac{V_{sx}}{V_r}$$

轮胎纵向滑移率 κ 为轮胎纵向滑移速度与轮胎纵向速度的比值，表示为：

$$\kappa = \frac{V_{sx}}{V_x}$$

式中：

V_x ——轮胎纵向速度。

3.3 轮胎的力和力矩 **tire force and moment**

3.3.1

轮胎法向力 **tire normal force**

F_z

路面作用在轮胎上的力沿Z轴的分量。

3.3.2

轮胎垂向载荷 **tire vertical load**

轮胎法向力的绝对值。

3.3.3

轮胎侧向力 **tire lateral force**

F_y

路面作用在轮胎上的力沿Y轴的分量。

3.3.4

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。

3.3.5

驱动力 **driving force**

正的轮胎纵向力（X方向）。

注：改写GB/T 12549-2013，定义5.2.6。

3.3.6

制动力 **braking force**

负的轮胎纵向力（X方向）。

注：改写GB/T 12549-2013，定义5.2.7。

3.3.7

轮胎翻倾力矩 **tire overturning moment**

M_x

路面作用于轮胎上的力矩矢量沿X轴的分量。

3.3.8

轮胎滚动阻力矩 **tire rolling resistance moment**

 M_y

路面作用于轮胎上的力矩矢量沿Y轴的分量。

3.3.9

轮胎回正力矩 **tire aligning torque**

 M_z

路面作用于轮胎上的力矩矢量沿Z轴的分量。

3.3.10

车轮扭矩 **wheel torque**

作用在车轮轮辋上绕车轮旋转轴的外力矩（见图1）。

注：改写GB/T 12549-2013，定义5.3.4。

3.3.11

驱动力矩 **driving torque**

等于正的车轮扭矩。

[GB/T 12549-2013，定义5.3.5]

3.3.12

制动力矩 **braking torque**

等于负的车轮扭矩。

[GB/T 12549-2013，定义5.3.6]

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

3.4.1

轮胎纵向力系数 **tire longitudinal force coefficient**

轮胎纵向力与轮胎垂向载荷的比值。

3.4.2

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

轮胎驱动力与轮胎垂向载荷的比值。

3.4.3

轮胎制动力系数 tire braking force coefficient

轮胎制动力与轮胎垂向载荷的比值。

3.4.4

轮胎纵滑刚度（轮胎制动/制动刚度） tire longitudinal slip stiffness (tire braking / driving stiffness)

轮胎纵向力相对于轮胎纵向滑移率的一阶导数。

轮胎纵滑刚度通常在零侧偏角、零侧倾角和零轮胎纵向滑移率下确定。

3.4.5

轮胎纵滑刚度系数（轮胎制动/驱动刚度系数） tire longitudinal slip stiffness coefficient (tire braking / driving stiffness coefficient)

轮胎纵滑刚度与轮胎垂向载荷的比值。

3.4.6

驱动峰值摩擦系数 peak friction coefficient of driving force

在确定的使用条件下，轮胎驱动力系数所能达到的最大值。

3.4.7

制动峰值摩擦系数 peak friction of braking force

在确定的使用条件下，轮胎制动力系数所能达到的最大值。

3.4.8

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

在确定的使用条件下，大驱动力矩作用导致轮胎空转状态时的轮胎的驱动力系数。

3.4.9

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

在确定的使用条件下，大制动力矩作用导致轮胎抱死状态时的轮胎制动力系数。

3.4.10

驱动摩擦特性比 peak-to-slide ratio of driving force

驱动峰值摩擦系数与驱动滑移摩擦系数的比值。

3.4.11

制动摩擦特性比 peak-to-slide ratio of braking force

制动峰值摩擦系数与制动滑移摩擦系数的比值。

3.4.12

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

在确定的轮胎纵向滑移率下，轮胎纵向力相对于轮胎垂向载荷的一阶导数。

3.5 稳态 **steady state**

轮胎运动状态及由此运动状态导致的轮胎的力和力矩在轮胎坐标系中不随时间发生变化的状态。

3.6 充气压力 **inflation pressure**

3.6.1

冷充气压力 **cold pressure**

环境温度下的轮胎内压，不包括因行驶时温度升高而增加的气压。

[GB/T 6326-2014, 定义11.2.7]

3.6.2

热气压 **warm pressure**

在确定的使用条件下，轮胎因运动生热所达到的平衡气压。

4 试验设备

4.1 总则

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试验的试验设备，应满足下文所述要求。

4.2 加载及定位系统要求

试验设备应具备加载及定位系统，且应满足以下要求：

- a) 在试验路面上实现轮胎垂向载荷的加载、设定轮胎侧倾角，并可施加制动力矩或驱动力矩；
- b) 满足轮胎稳态纵滑特性试验对设备加载及定位系统量程的要求。

4.3 试验路面要求

室内试验设备应具备均一、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与试验轮胎接触的路面发生弯曲、侧向偏移、剧烈磨损、裂缝、污染以及表面过热等影响试验结果可靠性的情况；
- b) 试验路面应具有一定的粗糙度，以保证轮胎稳态纵滑特性试验实施；
- c) 保证试验轮胎相对于试验路面的轮胎行驶速度可以满足轮胎稳态纵滑特性试验的要求。

室外试验设备的试验路面为真实路面，根据实际试验需求选择。

4.4 传感测量系统要求

试验设备应具备准确可靠的传感测量系统，且应满足以下条件：

- a) 满足轮胎稳态纵滑特性试验对传感测量系统量程的要求；
- b) 精确测量试验轮胎的转动角速度、轮胎行驶速度、侧倾角、负载半径、轮胎垂向载荷、轮胎纵

向力及充气压力数据。

4.5 数据采集系统要求

试验设备应具备精确的数据采集系统，采样频率满足轮胎滚动一周最少采集 32 个点。

4.6 其他要求

试验设备还应满足以下要求：

- a) 设备应定期进行监控、维护和标定检查，以保证试验数据的稳定可靠；
- b) 若为控压试验，则试验设备应具有控压机构。

5 试验方法

5.1 环境温度要求

根据试验要求设定环境温度，应确保温度变化不影响试验过程的正常实施。

5.2 试验准备

试验前宜对试验轮胎进行必要的准备，这包括试验胎的选择、胎面油污等的清洁、试验轮胎的存放、轮胎轮辋的装配与停放、必要试验信息的记录、轮胎动平衡试验、轮胎预跑以及在试验设备上正确安装试验轮胎等。

试验前宜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，包括规格、花纹、品牌、负荷指数、速度级别、最大气压、产地、生产时间（DOT）；
- c) 试验轮辋类型和尺寸；
- d) 充气压力。

5.3 试验

5.3.1 总则

轮胎稳态纵滑特性受充气压力、轮胎行驶速度、侧倾角、轮胎垂向载荷、轮胎纵向滑移率、胎面磨损量、环境温度等多维输入变量的影响。轮胎稳态纵滑特性试验方法规定了满足胎面磨损量要求且正确安装到试验设备上的试验轮胎，在确定的其他输入变量条件下完成一次轮胎稳态纵滑特性试验的步骤。

5.3.2 试验步骤

5.3.2.1 使完成试验准备、满足胎面磨损量要求且正确安装到试验设备上的试验轮胎处于与试验路面不接触状态；

5.3.2.2 检查并调整试验轮胎充气压力、侧倾角、环境温度使之达到要求的数值；

5.3.2.3 进行零标：记录试验数据；

5.3.2.4 使试验轮胎相对于试验路面产生既定方向的运动，并达到要求的轮胎行驶速度；

5.3.2.5 给试验轮胎施加垂向载荷，并使之达到要求的数值；

5.3.2.6 满足上述试验条件的自由滚动轮胎达到稳态后，记录试验数据；

5.3.2.7 控制试验轮胎的转动角速度以达到试验要求的纵向滑移率，待满足上述试验条件的试验轮胎达到稳态后，记录试验数据，完成一次轮胎稳态纵滑特性试验。

5.3.3 试验程序示例

试验程序是由多次轮胎稳态纵滑特性试验组成的，一般采用输入变量嵌套循环的模式构造每次试验的输入变量组合。通过改变输入变量在嵌套循环中的位置，可设计出多种试验程序。表1为轮胎稳态纵滑特性的试验程序示例。

表 1 轮胎稳态纵滑特性试验程序示例

	循环顺序：外 \longrightarrow 内				
程序编号	输入变量1	输入变量2	输入变量3	输入变量4	输入变量5
1#	充气压力	轮胎行驶速度	侧倾角	轮胎垂向载荷	轮胎纵向滑移率
2#	充气压力	轮胎行驶速度	轮胎垂向载荷	侧倾角	轮胎纵向滑移率
3#	充气压力	轮胎行驶速度	侧倾角	轮胎纵向滑移率	轮胎垂向载荷
.....

1#程序的试验步骤应包含以下内容，其他程序可参照实施：

- a) 选择一个充气压力；
- b) 选择一个轮胎行驶速度；
- c) 选择一个侧倾角；
- d) 选择一个轮胎垂向载荷；
- e) 选择一个轮胎纵向滑移率；
- f) 根据步骤a)到e)确定的输入变量条件，按5.3.2所述的试验步骤完成一次轮胎稳态纵滑特性试验；
- g) 选择另一个轮胎纵向滑移率，重复步骤f)，直至完成所有的轮胎纵向滑移率序列；
- h) 选择另一个轮胎垂向载荷，重复步骤e)到g)，直至完成所有的轮胎垂向载荷序列；
- i) 选择另一个侧倾角，重复步骤d)到h)，直至完成所有的侧倾角序列；
- j) 选择另一个轮胎行驶速度，重复步骤c)到i)，直至完成所有的轮胎行驶速度序列；
- k) 选择另一个充气压力，重复步骤b)到j)，直至完成所有的充气压力序列；
- l) 完成1#程序的试验。

6 试验数据

6.1 记录的试验数据

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) 轮胎法向力 (F_z);
- c) 轮胎行驶速度 (V);
- d) 轮胎转动角速度 (Ω);
- e) 侧倾角 (γ);
- f) 充气压力 (P_t);
- g) 环境温度 (T_a)。

注：各变量的数据单位为公制。

其他推荐记录的试验数据包括：

- a) 轮胎侧向力 (F_y);
- b) 轮胎回正力矩 (M_z);
- c) 轮胎翻倾力矩 (M_x);
- d) 车轮扭矩 (T_w);
- e) 轮胎滚动阻力矩 (M_y);
- f) 负载半径 (R_l)。

注：各变量的数据单位为公制。

6.2 试验数据处理要求

应对记录的试验数据进行滤波、野点剔除和平均处理，以得到准确的轮胎力和力矩特性。
应剔除轮胎均匀性对试验数据的影响。

6.3 指标计算

6.3.1 绘制曲线

试验数据处理后宜绘制以下曲线：

- a) 轮胎纵向力与轮胎纵向滑移率关系的曲线；
- b) 轮胎纵向力系数与轮胎纵向滑移率关系的曲线；
- c) 轮胎纵向力载荷敏感性与轮胎纵向滑移率关系的曲线。

6.3.2 计算指标

试验数据处理后宜计算以下指标：

- a) 轮胎纵滑刚度；
- b) 轮胎纵滑刚度系数；
- 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) 驱动摩擦特性比；
- i) 制动摩擦特性比。