

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

轿车轮胎耐撞击性能摆锤式试验机校准规范

Calibration Specification for Pendulum Testing Machine
for Passenger Car Tyre Impact Performance

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

轿车轮胎耐撞击性能摆锤式试验机校准规范

Calibration Specification for Pendulum

Testing Machine for Passenger Car Tyre Impact

Performance

JJF XXXX—202X

本规范经国家市场监督管理总局于202X年X月X日批准，并自202X年X月X日起施行。

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范由全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 撞击锤角度 striker angle.....	1
3.2 外倾角 camber angle: CA.....	1
3.3 侧偏角 slip angle: SA.....	1
3.4 撞击角度 drop angle.....	1
4 概述.....	3
5 计量特性.....	3
5.1 撞击锤角度.....	3
5.2 撞击角度.....	3
5.3 摆杆摆动.....	3
5.4 撞击线速度.....	4
5.5 撞击质量.....	4
6 校准条件.....	4
6.1 环境条件.....	4
6.2 测量用标准器具或其他设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 撞击锤角度的校准.....	4
7.2 撞击角度的校准.....	4
7.3 摆杆摆动的校准.....	5
7.4 撞击线速度的校准.....	5
7.5 撞击质量的校准.....	6
8 校准结果表达.....	6
9 复校时间间隔.....	7
附录 A: 校准原始记录(推荐)格式.....	8

轿车轮胎耐撞击性能试验机校准记录	8
附录 B	10
校准证书内容及内页（参考）格式	10
附录 C	12
C.1 撞击锤角度测量结果不确定度的评定示例	12
C.2 撞击角度示值误差测量结果不确定度的评定示例	14
C.3 摆动周期示值误差测量结果的不确定度评定示例	16
C.4 撞击线速度示值误差测量结果的不确定度评定示例	18
C.5 撞击质量测量结果的不确定度评定示例	20
附录 D	24
撞击能量与撞击线速度	24
附录 E	30
轮胎轮辋组合体旋转轴与撞击锤中心高度差要求及校准方法	30

引 言

JJF 1001 《通用计量术语及定义》、JJF 1059 .1 《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》和 GB/T 6326 《轮胎术语及其定义》共同构成本规范制定工作的基础性系列标准。

本规范编制的主要技术参考为 GB/T 30195 《汽车轮胎耐撞击性能试验方法》和 GB/T 38528 《轿车轮胎耐撞击性能评价》。

本规范为首次发布。

轿车轮胎耐撞击性能摆锤式试验机校准规范

1 范围

本规范适用于轿车轮胎耐撞击性能摆锤式试验机（以下简称试验机）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1156 振动 冲击 转速计量术语及定义

GB/T 6326 轮胎术语及其定义

GB/T 30195 汽车轮胎耐撞击性能试验方法

GB/T 38528 轿车轮胎耐撞击性能评价

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和定义

GB/T 6326、GB/T 30195 和 GB/T 38528 中界定的术语和定义适用于本文件。

3.1 撞击锤角度 *striker angle*

撞击锤中心平面和撞击锤前端曲面的交线与车轮中心平面的夹角，如图 1a)所示。

3.2 外倾角 *camber angle: CA*

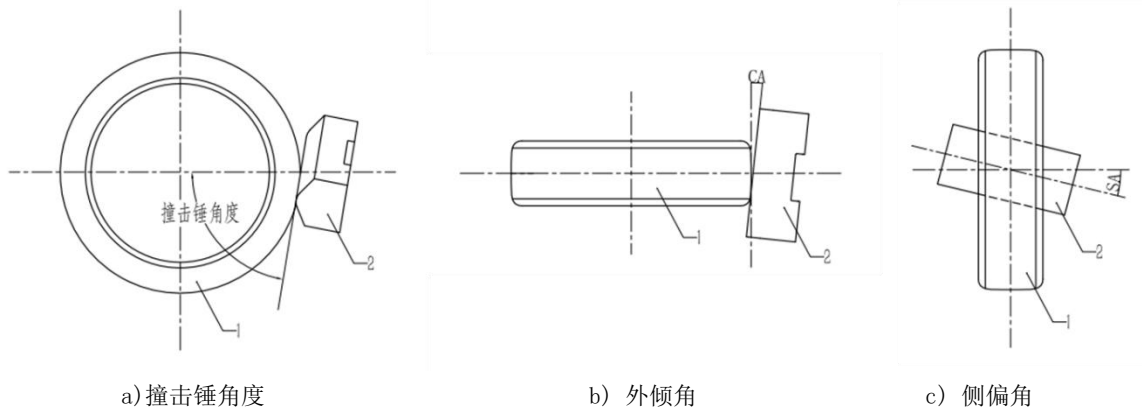
撞击锤角度在水平面上的投影，如图 1b)所示。

3.3 侧偏角 *slip angle: SA*

撞击锤角度在通过车轮旋转轴的铅锤面上的投影，如图 1c)所示。

3.4 撞击角度 *drop angle*

以摆杆自由铅锤时的角度为 0° ，撞击锤处于撞击高度时，摆杆对应的角度，如图 2 所示。



标引序号说明：

- 1——轮胎；
- 2——撞击锤。

图 1 撞击锤角度、外倾角和侧偏角

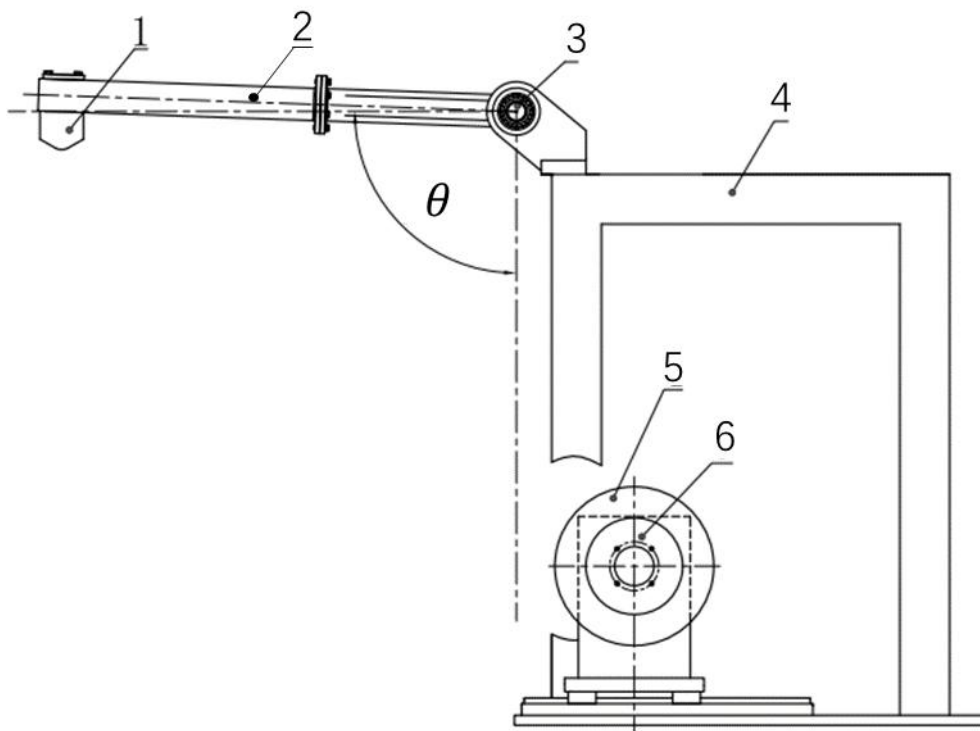
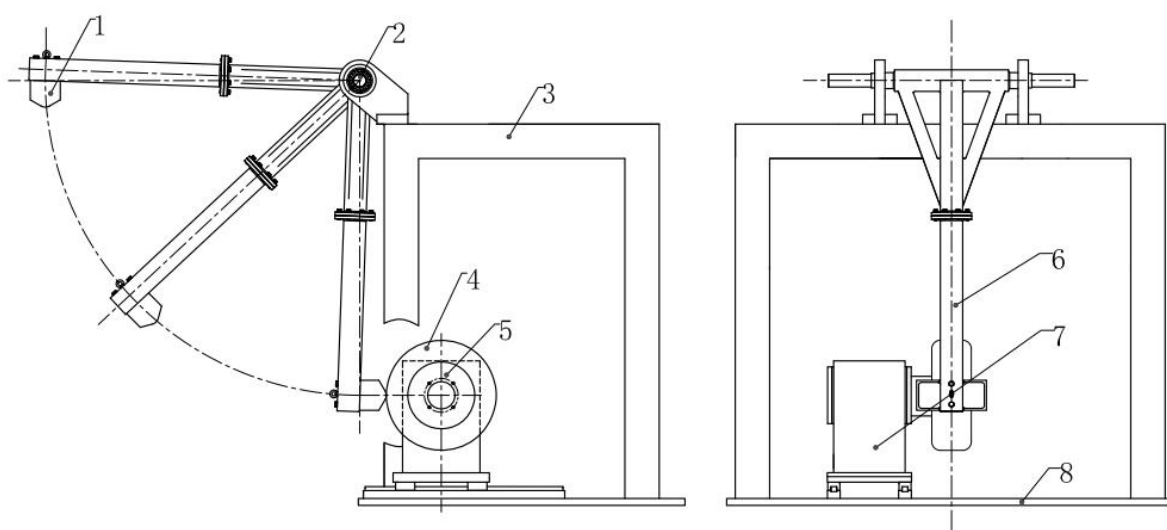


图 2 撞击角度

- 1——撞击锤；
- 2——摆杆；
- 3——支点；
- 4——框架；
- 5——轮胎；
- 6——轮辋；
- θ ——撞击角度

4 概述

试验机用于轿车轮胎耐撞击性能的试验和评价。试验机主要由前端正面撞击试验装置、轮胎轮辋组合体紧固装置、摆杆、支点、框架、底座、提起和释放摆杆的装置、锁定装置、撞击锤、撞击锤支架、撞击锤组合件以及控制系统等组成。试验机工作原理为：撞击锤通过撞击锤组合件安装在摆杆上，摆杆由电机驱动，调整高度，获得势能；释放摆杆，势能转换为动能，通过撞击锤撞击轮胎来模拟轮胎受到外力瞬间冲击所受到的破坏情况。试验机的工作原理见图3所示。



1——撞击锤；2——支点；3——框架；4——轮胎；5——轮辋；6——摆杆；7——前端正面撞击试验装置；8——底座

图3 轿车轮胎耐撞击性能试验机原理示意图

5 计量特性

5.1 撞击锤角度

5.1.1 撞击锤外倾角： $(6 \pm 0.5)^\circ$ ；

5.1.2 撞击锤侧偏角： $(0 \pm 0.5)^\circ$ ；

5.2 撞击角度

撞击角度示值最大允许误差为： $\pm 0.1^\circ$ 。

5.3 摆杆摆动

5.3.1 摆动周期示值最大允许误差： $\pm 0.07s$ ；

5.3.2 衰减次数： ≥ 20 次。

5.4 撞击线速度

5.4.1 撞击线速度示值最大允许误差： $\pm 3.0\%$ ；

5.4.2 撞击线速度测量重复性： $\leq \text{撞击线速度} \times 2.0\%$ 。

5.5 撞击质量

撞击质量： (62.0 ± 3.0) kg。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度： (23 ± 5) °C；

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ ；

6.1.3 供电电源：电压 (220 ± 22) V；

6.1.4 周围环境无影响校准的污染、振动、电磁干扰等。

6.2 测量用标准器具或其他设备

6.2.1 倾角仪，测量范围 $(0 \sim 90)$ °， $(90 \sim 0)$ °，分辨力： 0.01 °，最大允许误差不应超过 ± 2 个分辨力。

6.2.2 激光扫平仪，准确度等级：2级。

6.2.3 分辨力不低于 0.01 s的电子秒表或专用的周期测量仪器。

6.2.4 线速度仪：双点式，测量范围 $(0.3 \sim 10)$ m/s；示值误差为 $\pm 1.0\%$ ；分辨力 0.001 m/s。

6.2.5 标准测力仪：准确度等级：0.3级。

7 校准项目和校准方法

7.1 撞击锤角度的校准

7.1.1 撞击锤侧偏角

让摆杆自由悬挂，将倾角仪放置在撞击锤上平面，测量轮胎旋转轴平行方向角度三次，读取倾角仪在该方向的示值，取其算术平均值。

7.1.2 撞击锤外倾角

让摆杆自由悬挂，将倾角仪放置在撞击锤后面，调整倾角仪方向使其X轴方向角度为 0° 并固定，提升摆杆到水平位置，读取倾角仪在X轴方向的示值。重复三次，取其算术平均值。

7.2 撞击角度的校准

取撞击角度分别为 45° 、 90° 、 135° 的三个测量点。让摆杆自由悬挂，将倾角仪固定在

摆杆上靠近撞击锤的位置，记录倾角仪的示值。缓慢提升摆杆，当试验机撞击角度示值为设定值时，记录倾角仪的示值。每测量点重复测量三次，按公式（1）计算撞击角度误差。

$$\Delta a = a_0 - \bar{a}_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Δa ——第 i 测量点，试验机撞击角度示值误差，°； $i=45^\circ、90^\circ、135^\circ$

a_0 ——第 i 测量点，试验机撞击角度示值，°；

\bar{a}_i ——第 i 测量点，倾角仪3次测量值的算术平均值，°。

7.3 摆杆摆动的校准

7.3.1 摆动周期

让摆杆自由悬挂，缓慢提升摆杆，使撞击角度达到 5° ，释放摆杆让其自由摆动，用电子秒表记录自由摆动10个周期的时间，重复测量3次取算术平均值，同时记录试验机周期示值，按公式（2）计算摆动周期示值误差。

$$\Delta T = T_0 - \frac{\bar{t}_i}{10} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔT ——摆动周期示值误差，s；

T_0 ——试验机摆动周期示值，s；

\bar{t}_i ——电子秒表3次测量值的算术平均值，s。

7.3.2 衰减次数

让摆杆自由悬挂，缓慢提升摆杆，使撞击角度达到 5° ，释放摆杆让其自由摆动，直至人眼观察不到摆杆摆动为止，以一个摆动周期为一次摆动，记录摆杆自由摆动的次数，取其算术平均值。

7.4 撞击线速度的校准

7.4.1 撞击线速度示值误差

将用于进行缓冲的轮胎（宜采用轻型载重汽车轮胎）轮辋组合体装在试验机上，调整使其处于合适位置；让摆杆自由悬挂，布置好线速度仪，使其处于合适位置可以测量撞击锤前端中心在撞击角度为 0° 时的线速度，线速度仪两个测量点之间的距离宜为30mm。在 $0^\circ\sim 179^\circ$ 范围内取 $60^\circ、90^\circ$ 和 120° 三个测量点，缓慢提升摆杆到对应撞击角度，释放摆杆，记录试验机示值和线速度仪示值。每点重复测量三次，按公式（3）计算每个测量点试验

机撞击线速度示值最大允许误差。

$$\delta_i = \left(\frac{v_0 - \bar{v}_i}{\bar{v}_i} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

δ_i ——第 i 测量点，试验机撞击线速度示值最大允许误差； $i=60^\circ、90^\circ、120^\circ$

v_0 ——第 i 测量点，试验机撞击线速度示值，km/h；

\bar{v}_i ——第 i 测量点，线速度仪3次测量值的算术平均值，km/h。

7.4.2 撞击线速度测量重复性

按照 7.4.1 的校准方法，取 90° 测量点，用线速度仪重复测量 10 次该点的撞击线速度，按式 (4) 计算标准偏差即为撞击线速度测量重复性。

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

S_i ——撞击线速度 n 次测量的标准偏差，km/h；

v_i ——撞击线速度第 i 次的测量值，km/h；

\bar{v} ——撞击线速度 n 次测量的算术平均值，km/h；

n ——测量次数。

7.5 撞击质量的校准

让摆杆自由悬挂，将倾角仪固定在摆杆上，记录倾角仪示值 α' ；提升摆杆，使倾角仪示值为 $\alpha' + (90 \pm 0.05)^\circ$ ；调整测力仪支架，使测力仪支架上水平放置的测力仪缓慢靠近撞击锤前端中心线。释放摆杆，倾角仪示值仍然满足 $\alpha' + (90 \pm 0.05)^\circ$ ；记录测力仪相应示值，重复测量 3 次，取其平均值，按标准重力加速度 $g=9.80665$ 转换为千克。

8 校准结果表达

8.1 校准结果处理

经校准的轿车轮胎耐撞击性能试验机其校准结果应在校准证书上反映，校准证书应符合 JJF 1071-2010 中 5.12 的要求，并给出各校准项目名称和测量结果以及扩展不确定度。校准原始记录（推荐）格式见附录 A，校准证书内容及内页（参考）格式见附录 B。

8.2 校准结果的不确定度

轿车轮胎耐撞击性能试验机校准结果的不确定度按 JJF 1059.1-2012 的要求评定，校准结果不确定度评定示例见附录 C。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A：校准原始记录（推荐）格式

轿车轮胎耐撞击性能试验机校准记录

送校单位：_____ 样品接收日期：_____ 客户地址：_____ 记录编号：_____

生产厂家：_____ 规格型号：_____ 出厂编号：_____ 校准依据：_____

校准地点：_____ 温 度：_____ 湿 度：_____

主要计量标准器

名称/型号	设备编号/测量范围	溯源机构	证书编号/有效期	准确度等级/不确定度/最大允许误差

校准结果

校准项目		实测结果				
撞击锤角度	要求	第 1 次	第 2 次	第 3 次	算术平均值	示值误差
外倾角(°)	6±0.5					
侧偏角(°)	0±0.5					
撞击角度	最大允许误差	第 1 次	第 2 次	第 3 次	算术平均值	示值误差
45°	±0.1°					
90°	±0.1°					
135°	±0.1°					
摆杆摆动	最大允许误差 或要求	第 1 次	第 2 次	第 3 次	算术平均值	示值误差或是否合格
摆动 周期 (s)	设备 示值	±0.07s				
	测量 值					
衰减次数	≥20 次					
撞击线速度	最大允许相对 误差%	第 1 次	第 2 次	第 3 次	算术平均值	示值 相对误差

60°	设备示值	±3.0%							
	测量值								
90°	设备示值	±3.0%							
	测量值								
120°	设备示值	±3.0%							
	测量值								
撞击线速度 测量重复性	要求		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	标准 偏差	重复性
	≤2.0%		第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次		
撞击质量的 校准 (kg)	要求		第 1 次	第 2 次	第 3 次	算术平均值			
	62.0±3.0								

附录 B

校准证书内容及内页（参考）格式

B.1 校准证书或校准报告应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接受日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

B.2 校准证书内页（参考）格式：

证书编号：XXXX-XXXX	
校准结果	
校准项目	校准结果
撞击锤侧偏角/°	
撞击锤外倾角/°	
撞击角度/°	

摆杆摆动周期/s	
摆杆衰减次数	
撞击线速度示值最大误差/%	
撞击线速度测量重复性	
撞击质量/kg	

撞击角度校准结果的不确定度：_____

摆杆摆动周期校准结果的不确定度：_____

速度示值误差校准结果的不确定度：_____

撞击质量校准结果的不确定度：_____

附录 C

C.1 撞击锤角度测量结果不确定度的评定示例

C.1.1 测量原理和方法

以撞击锤外倾角为例评定其测量结果的不确定度。

让摆杆自由悬挂，将倾角仪放置在撞击锤后面，调整倾角仪方向使其X轴方向角度为0°并固定，提升摆杆到水平位置，读取倾角仪在X轴方向的示值。重复三次，取其算术平均值。

C.1.2 测量模型

撞击锤外倾角测量模型见式 (C.1.1)：

$$\theta = \bar{\theta} \quad (\text{C.1.1})$$

式中：

θ ——撞击锤外倾角，°；

$\bar{\theta}$ ——倾角仪 3 次测得值的算术平均值，°。

依方程：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right\}^2 u^2(x_i) \quad (\text{C.1.2})$$

根据测量模型可得合成标准不确定度 $u_c(\theta)$ 为：

$$u_c(\theta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(\bar{\theta}) + c_2^2 u_2^2(\bar{\theta})} \quad (\text{C.1.3})$$

式中：

$u_1(\bar{\theta})$ ——重复性测量引入的标准不确定度；

$u_2(\bar{\theta})$ ——倾角仪最大允许误差引入的标准不确定度。

由灵敏系数计算公式： $c_i = \frac{\partial F}{\partial f}$ ，可得 $c_1 = c_2 = 1$

C.1.3 撞击锤外倾角测量结果不确定度的评定

C.1.3.1 不确定度来源

撞击锤外倾角测量结果的不确定度来源有重复性测量引入的不确定度分量和倾角仪

最大允许误差引入的不确定度分量。

C.1.3.2 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(\bar{\theta})$

撞击锤外倾角重复测量 10 次，测量数据见表 C.1.1。

表 C.1.1 撞击锤外倾角 10 次重复测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/°	6.05	6.11	6.09	6.07	6.04	6.05	5.86	5.90	6.03	5.94

用贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差：

$$s(\theta_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}{n-1}} = 0.084^\circ \quad (\text{C.1.4})$$

式中：

θ_i ——第 i 次测量结果，°；

$\bar{\theta}$ ——10 次测量结果的算术平均值，°；

n ——测量次数。

实际测量以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，则重复性测量引入的标准不确定度按式 (C.1.5) 计算：

$$u_1(\bar{\theta}) = \frac{s(\theta_i)}{\sqrt{3}} \approx 0.05^\circ \quad (\text{C.1.5})$$

C.1.3.3 倾角仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{\theta})$

倾角仪的最大允许误差为 $\pm 0.02^\circ$ ，则可能值区间的半宽度 a 为 0.02° ，认为其均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则倾角仪最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\bar{\theta}) = \frac{a}{k} = \frac{0.02^\circ}{\sqrt{3}} \approx 0.01^\circ \quad (\text{C.1.6})$$

C.1.3.4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C.1.2。

表 C.1.2 不确定度分量表

标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度的值/°	灵敏系数	不确定度分量的值/°
$u_1(\bar{\theta})$	重复性测量引入的不确定度	0.05	1	0.05
$u_2(\bar{\theta})$	倾角仪最大允许误差引入的不确定度	0.01	1	0.01

C.1.3.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c(\theta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(\bar{\theta}) + c_2^2 u_2^2(\bar{\theta})} = \sqrt{0.05^2 + 0.01^2} \approx 0.05^\circ \quad (\text{C.1.7})$$

C.1.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，撞击锤外倾角测量结果的扩展不确定度为：

$$U(\theta) = u_c(\theta) \times k = 0.05^\circ \times 2 = 0.1^\circ \quad (\text{C.1.8})$$

C.2 撞击角度示值误差测量结果不确定度的评定示例

C.2.1 测量原理和方法

选取撞击角度示值误差 90° 测量点时，进行校准不确定度评定的分析示例。

让摆杆自由悬挂，将倾角仪固定在摆杆上靠近撞击锤的位置，记录倾角仪的示值。缓慢提升摆杆，当试验机撞击角度示值为设定值时，记录倾角仪的示值。重复测量三次，计算示值相对误差。

C.2.2 测量模型

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \bar{\alpha}_i \quad \dots\dots\dots \quad (\text{C.2.1})$$

式中：

$\Delta\alpha$ ——第 i 测量点，试验机撞击角度示值误差， $^\circ$ ；

α_0 ——第 i 测量点，试验机撞击角度示值， $^\circ$ ；

$\bar{\alpha}_i$ ——第 i 测量点，倾角仪3次测量值的算术平均值， $^\circ$ 。

C.2.3 方差和灵敏系数

依方程

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad \dots\dots\dots \quad (\text{C.2.2})$$

可得

$$u^2(\Delta\alpha) = c_1^2 \times u^2(\alpha_0) + c_2^2 \times u^2(\bar{\alpha}_i) \quad \dots\dots\dots \quad (\text{C.2.3})$$

式中：

$u(\alpha_0)$ ——被校试验机撞击角度示值引入的标准不确定度分量， $^\circ$ ；

$u(\overline{\alpha}_i)$ ——倾角仪引入的标准不确定度分量，°。

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta \alpha}{\partial \alpha_0} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta \alpha}{\partial \alpha_i} = 1 \quad \dots\dots\dots \quad (\text{C. 2. 4})$$

C. 2. 4 标准不确定度的来源和评定

C. 2. 4. 1 标准不确定度一览表

表 C. 2. 1 标准不确定度分量一览表

不确定度分量来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分量
	符号	数值		
试验机示值分辨力	$u(\alpha_0)$	0.014°	1	0.014°
倾角仪	$u_1(\overline{\alpha}_i)$	0.006°	1	0.006°
测量重复性	$u_2(\overline{\alpha}_i)$	0.017°		0.017°

C. 2. 4. 2 输入量 α_0 的标准不确定度 $u(\alpha_0)$ 的评定

其不确定度主要来源于被校试验机分辨力，被校试验机撞击角度的示值分辨力为 0.05°，则认为其以均匀分布（矩形分布）落在宽度为 $0.05^\circ \div 2 = 0.025^\circ$ 的区间内。可以用 B 类方法评定 $u(\alpha_0)$ ：

其标准不确定度为：

$$u(\alpha_0) = 0.025 \div \sqrt{3} = 0.014^\circ$$

C. 2. 4. 3 输入量 $\overline{\alpha}_i$ 的标准不确定度 $u(\overline{\alpha}_i)$ 的评定

其不确定度主要来源于倾角仪自身引入的不确定度分量 $u_1(\overline{\alpha}_i)$ 和重复测量引起的重复性误差引入的标准不确定度分量 $u_2(\overline{\alpha}_i)$ 。

1) 倾角仪按本规范要求其最大允许误差为 $\pm 0.01^\circ$ ，认为其均匀分布（矩形分布），可按 B 类方法评定 $u_1(\overline{\alpha}_i)$ ：

其标准不确定度为：

$$u_1(\overline{\alpha}_i) = 0.01 \div \sqrt{3} = 0.006^\circ$$

2) 在重复性条件下进行 3 次测量，其值分别为：90.00°、90.05°、90.05°，最大值与最小值之差为 0.05°，对于单个测量值的实验标准偏差可按极差法进行计算（系数 $C=1.69$ ），

则重复测量引起的重复性误差引入的标准不确定度分量 $u_2(\bar{\alpha}_i)$:

$$u_2(\bar{\alpha}_i) = s(\bar{\alpha}_i) = s(\alpha_i) / \sqrt{n} = \frac{R}{C\sqrt{n}} = \frac{0.05}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.017^\circ$$

C.2.5 合成标准不确定度的评定

合成标准不确定度为:

$$u(\Delta\alpha) = \sqrt{u_1(\alpha_0)^2 + u_1(\alpha_i)^2 + u_2(\bar{\alpha}_i)^2} = 0.02^\circ$$

C.2.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 $U = u \times k = 0.02 \times 2 = 0.04^\circ$ 。

C.3 摆动周期示值误差测量结果的不确定度评定示例

C.3.1 测量原理和方法

让摆杆自由悬挂, 缓慢提升摆杆, 使撞击角度达到 5° , 释放摆杆让其自由摆动, 用电子秒表记录自由摆动10个周期的时间, 重复测量3次取算术平均值, 同时记录试验机周期示值, 按公式计算摆动周期示值误差。

C.3.2 测量模型

摆动周期示值误差测量模型见式 (C.3.1):

$$\Delta T = T_0 - \frac{\bar{t}}{10} \quad (\text{C.3.1})$$

式中:

ΔT ——摆动周期示值误差, s;

T_0 ——试验机周期示值, s;

\bar{t} ——电子秒表3次测得值的算术平均值, s。

依方程:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right\}^2 u^2(x_i) \quad (\text{C.3.2})$$

根据测量模型可得合成标准不确定度 $u_c(\Delta T)$ 为:

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(T_0) + c_2^2 u_1^2(\bar{t}) + c_2^2 u_2^2(\bar{t})} \quad (\text{C.3.3})$$

式中:

$u_1(T_0)$ ——试验机示值分辨力引入的标准不确定度；

$u_1(\bar{t})$ ——重复性测量引入的标准不确定度；

$u_2(\bar{t})$ ——电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度。

由灵敏系数计算公式： $c_i = \frac{\partial F}{\partial f}$ ，可得 $c_1 = 1$ ， $c_2 = -0.1$

C.3.3 摆动周期示值误差测量结果不确定度的评定

C.3.3.1 不确定度来源

摆动周期示值误差测量结果的不确定度来源有试验机示值分辨力引入的不确定度分量、重复性测量引入的不确定度分量和电子秒表最大允许误差引入的不确定度分量。

C.3.3.2 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(\bar{t})$

电子秒表重复测量 10 次，测量数据见表 C.3.1。

表 C.3.1 电子秒表 10 次重复测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/s	24.9	24.9	24.6	24.9	24.8	24.9	24.7	24.8	24.8	24.9

用贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差：

$$s(t_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.1 \text{ s} \quad (\text{C.3.4})$$

式中：

t_i ——第 i 次测量结果，°；

\bar{t} ——10 次测量结果的算术平均值，°；

n ——测量次数。

实际测量以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，则重复性测量引入的标准不确定度按式 (C.3.5) 计算：

$$u_1(\bar{t}) = \frac{s(\bar{t})}{\sqrt{3}} \approx 0.06 \text{ s} \quad (\text{C.3.5})$$

C.3.3.3 电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{t})$

电子秒表的最大允许误差为 $\pm 0.05 \text{ s}$ ，则可能值区间的半宽度 a 为 0.05 s ，认为其均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\bar{t}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05 \text{ s}}{\sqrt{3}} \approx 0.03 \text{ s} \quad (\text{C.3.6})$$

C.3.3.4 试验机示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(T_0)$

试验机示值分辨力为 0.0001 s ，则可能值区间的半宽度 a 为 0.00005 s ，认为其均匀

分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则试验机示值分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_1(T_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.00005}{1.732} \approx 0.00003 \quad (\text{C. 3. 7})$$

C. 3. 3. 5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C. 3. 2。

表 C. 3. 2 不确定度分量表

标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度的值/s	灵敏系数	不确定度分量的值/s
$u_1(\bar{t})$	重复性测量引入的不确定度	0.06	-0.1	0.006
$u_2(\bar{t})$	电子秒表最大允许误差引入的不确定度	0.03	-0.1	0.003
$u_1(T_0)$	试验机示值分辨力引入的不确定度	0.00003	1	0.00003

C. 3. 3. 6 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(T_0) + c_2^2 u_1^2(\bar{t}) + c_2^2 u_2^2(\bar{t})} = \sqrt{0.003^2 + 0.006^2 + 0.00003^2} \approx 0.007\text{s} \quad (\text{C. 3. 8})$$

C. 3. 3. 7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，摆动周期示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U(\Delta T) = u_c(\Delta T) \times k = 0.007\text{s} \times 2 \approx 0.02\text{s} \quad (\text{C. 3. 9})$$

C. 4 撞击线速度示值误差测量结果的不确定度评定示例

C. 4. 1 测量原理和方法

将用于进行缓冲的轮胎（宜采用轻型载重汽车轮胎）轮辋组合体装在试验机上，调整使其处于合适位置；让摆杆自由悬挂，布置好线速度仪，使其处于合适位置可以测量撞击锤前端中心在撞击角度为 0° 时的线速度，线速度仪两个测量点之间的距离宜为 30mm。以 90° 测量点为例，缓慢提升摆杆到对应撞击角度，释放摆杆，记录试验机示值和线速度仪示值。重复测量三次，按公式计算该测量点试验机撞击线速度示值允许误差。

C. 4. 2 测量模型

撞击线速度示值误差测量模型见式（C.4.1）：

$$\delta = \left(\frac{v_0 - \bar{v}}{\bar{v}} \right) \times 100\% \quad (\text{C. 4. 1})$$

式中：

δ ——撞击线速度示值误差；

v_0 ——试验机线速度示值，km/h；

\bar{v} ——线速度仪 3 次测得值的算术平均值，km/h。

依方程：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right\}^2 u^2(x_i) \quad (\text{C. 4. 2})$$

根据测量模型可得合成标准不确定度 $u_c(\delta)$ 为：

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(v_0) + c_2^2 u_1^2(\bar{v}) + c_2^2 u_2^2(\bar{v})} \quad (\text{C. 4. 3})$$

式中：

$u_1(v_0)$ ——试验机线速度示值分辨力引入的标准不确定度；

$u_1(\bar{v})$ ——重复性测量引入的标准不确定度；

$u_2(\bar{v})$ ——线速度仪最大允许误差引入的标准不确定度。

由灵敏系数计算公式： $c_i = \frac{\partial F}{\partial f}$ ，可得 $c_1 = 0.04 \text{ h/km}$ ， $c_2 = -0.04 \text{ h/km}$

C. 4. 3 撞击锤外倾角测量结果不确定度的评定

C. 4. 3. 1 不确定度来源

撞击线速度示值误差测量结果的不确定度来源有试验机线速度示值分辨力引入的不确定度分量、重复性测量引入的不确定度分量和倾角仪最大允许误差引入的不确定度分量。

C. 4. 3. 2 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(\bar{v})$

撞击线速度重复测量 3 次，其值分别为 23.32km/h、23.42km/h、23.50km/h，最大值与最小值之差为 0.18km/h，对于单个测量值的实验标准偏差可按极差法进行计算（系数 $C=1.69$ ），则重复性测量引入的标准不确定度按式（C.4.4）计算：

$$u_1(\bar{v}) = s(\bar{v}) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{3}} = \frac{R}{C\sqrt{n}} = \frac{0.18\text{km/h}}{1.69 \times \sqrt{3}} \approx 0.06 \text{ km/h} \quad (\text{C. 4. 4})$$

C. 4. 3. 3 线速度仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{v})$

线速度仪的最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ ，则可能值区间的半宽度 a 为 0.36km/h (0.1m/s)，认为其均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则线速度仪最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\bar{v}) = \frac{a}{k} = \frac{0.36}{\sqrt{3}} \approx 0.208 \text{ km/h} \quad (\text{C. 4. 5})$$

C. 4. 3. 4 试验机线速度示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(v_0)$

试验机线速度示值分辨力为 0.1km/h, 则可能值区间的半宽度 a 为 0.05km/h, 认为其均匀分布, 取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则试验机线速度示值分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_2(v_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.05\text{km/h}}{\sqrt{3}} \approx 0.029 \text{ km/h} \quad (\text{C. 4. 6})$$

C. 4. 3. 5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C. 4. 1。

表 C. 4. 1 不确定度分量表

标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度的值/ (km/h)	灵敏系数/ (h/km)	不确定度分量的值/%
$u_1(\bar{v})$	重复性测量引入的不确定度	0.06	-0.04	0.2
$u_2(\bar{v})$	线速度仪最大允许误差引入的不确定度	0.136	-0.04	0.8
$u_1(v_0)$	试验机线速度示值分辨力引入的不确定度	0.029	0.04	0.1

C. 4. 3. 6 合成标准不确定度

合成标准不确定度为:

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(v_0) + c_2^2 u_1^2(\bar{v}) + c_2^2 u_2^2(\bar{v})} = \sqrt{0.2^2 + 0.8^2 + 0.1^2} \approx 0.8\% \quad (\text{C. 4. 7})$$

C. 4. 3. 7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 撞击线速度示值误差测量结果的扩展不确定度为:

$$U(\delta) = u_c(\delta) \times k = 0.8\% \times 2 = 1.6\% \quad (\text{C. 4. 8})$$

C. 5 撞击质量测量结果的不确定度评定示例

C. 5. 1 测量原理和方法

让摆杆自由悬挂, 将倾角仪固定在摆杆上, 记录倾角仪示值 α' ; 提升摆杆, 使倾角仪示值为 $\alpha' + (90 \pm 0.05)^\circ$; 调整测力仪支架, 使测力仪支架上水平放置的测力仪缓慢靠近撞击锤前端中心线。释放摆杆, 倾角仪示值仍然满足 $\alpha' + (90 \pm 0.05)^\circ$; 记录测力仪相应示值,

重复测量 3 次，取其平均值，按标准重力加速度 $g=9.80665$ 转换为千克。

C.5.2 测量模型

撞击质量测量模型见式 (C.5.1)：

$$M = \bar{m} \quad (\text{C.5.1})$$

式中：

M ——撞击质量，kg；

\bar{m} ——测力仪 3 次测得值的算术平均值，kg。

依方程：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right\}^2 u^2(x_i) \quad (\text{C.5.2})$$

根据测量模型可得合成标准不确定度 $u_c(M)$ 为：

$$u_c(M) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(\bar{m}) + c_2^2 u_2^2(\bar{m})} \quad (\text{C.5.3})$$

式中：

$u_1(\bar{m})$ ——重复性测量引入的标准不确定度；

$u_2(\bar{m})$ ——测力仪最大允许误差引入的标准不确定度。

由灵敏系数计算公式： $c_i = \frac{\partial F}{\partial f}$ ，可得 $c_1 = c_2 = 1$

C.5.3 撞击锤外倾角测量结果不确定度的评定

C.5.3.1 不确定度来源

撞击质量测量结果的不确定度来源有重复性测量引入的不确定度分量和测力仪最大允许误差引入的不确定度分量。

C.5.3.2 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(\bar{m})$

撞击质量重复测量 10 次，测量数据见表 C.5.1。

表 C.5.1 撞击质量 10 次重复测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/kg	61.26	61.43	61.30	62.11	61.65	60.10	62.05	61.54	62.03	61.82

用贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差：

$$s(m_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.6 \text{ kg} \quad (\text{C. 5. 4})$$

式中：

m_i ——第 i 次测量结果，kg；

\bar{m} ——10 次测量结果的算术平均值，kg；

n ——测量次数。

实际测量以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，则重复性测量引入的标准不确定度按式 (C.5.5) 计算：

$$u_1(\bar{m}) = \frac{s(m_i)}{\sqrt{3}} \approx 0.35 \text{ kg} \quad (\text{C. 5. 5})$$

C. 5. 3. 3 测力仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{m})$

测力仪的最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ ，则在 62 kg 测量点可能值区间的半宽度 a 为 0.186kg，认为其均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则测力仪最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\bar{m}) = \frac{a}{k} = \frac{0.186\text{kg}}{\sqrt{3}} \approx 0.1\text{kg} \quad (\text{C. 5. 6})$$

C. 5. 3. 4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C. 5. 2。

表 C. 5. 2 不确定度分量表

标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度的值/kg	灵敏系数	不确定度分量的值/kg
$u_1(\bar{m})$	重复性测量引入的不确定度	0.35	1	0.35
$u_2(\bar{m})$	测力仪最大允许误差引入的不确定度	0.1	1	0.1

C. 5. 3. 5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c(M) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(\bar{m}) + c_2^2 u_2^2(\bar{m})} = \sqrt{0.35^2 + 0.1^2} \text{ kg} \approx 0.36\text{kg} \quad (\text{C. 5. 7})$$

C. 5. 3. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，撞击质量测量结果的扩展不确定度为：

$$U(M) = u_c(M) \times k = 0.36\text{kg} \times 2 \approx 0.7 \text{ kg} \quad (\text{C. 5. 8})$$

附录 D

撞击能量与撞击线速度

D.1 基本原理

GB/T 30195《汽车轮胎耐撞击性能试验方法》(2022年重新修订,目前正在批准)和 GB/T 38528《轿车轮胎耐撞击性能评价》两个国家标准用于评价轮胎耐撞击性能的主要评价指标都是轮胎耐撞击因子。影响该因子的主要物理量之一,就是轮胎耐撞击破坏能。根据试验方法对撞击试验机的基本原理,将摆杆提升到某一高度,使其获得相对于受测试轮胎的重力势能,释放摆杆,势能转变为动能,即撞击能量。当撞击能量足够使轮胎产生鼓包破坏时,称该能量为轮胎耐撞击破坏能。

摆杆势能的表达式为式 (D.1):

$$E_p = 9.80665 \times m \times h \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

E_p ——摆杆势能,单位为焦(J);

m ——摆杆总质量,单位为千克(kg);

h ——撞击高度,单位为米(m)。

忽略能量损失,可视撞击动能与摆杆势能相等,见式 (D.2):

$$E_k = E_p \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

E_k ——撞击动能,单位为焦(J);

E_p ——摆杆势能,单位为焦(J)。

摆杆质量 m ,重心到摆杆支点的距离 a ,将摆杆提升到撞击角度 DA ,即可计算得到其势能(式D.3),并将其视为摆杆释放后撞击轮胎的撞击能量:

$$E_p = 9.80665 \times m \times a \times (1 - \cos DA) \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

E_p ——摆杆势能,单位为焦(J);

m ——摆杆总质量,单位为千克(kg);

a ——重心到摆杆支点的距离,单位为米(m);

DA ——摆杆撞击角度,单位为弧度(rad)。

重心到摆杆支点的距离 a 满足力矩平衡方式:

$$a = \frac{fL}{9.80665 \times m} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

a ——重心到摆杆支点的距离, 单位为米 (m);

f ——支持撞击质量对应的作用力, 单位为牛顿 (N);

L ——撞击锤中心到摆杆支点的距离, 单位为米 (m);

m ——摆杆总质量, 单位为千克 (kg)。

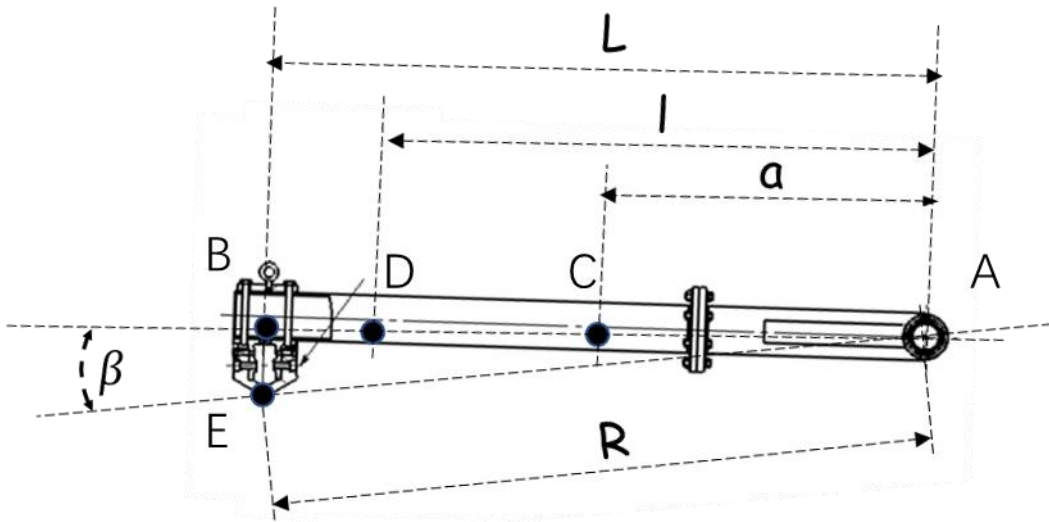


图 D.1 摆杆和撞击锤

A——支点; B——通过摆杆支点的铅垂线与撞击锤中心线的交点; C——重心; D——撞击中心;
E——撞击锤前端中心

式 (D.4) 中, L 为 A 点到 B 点的距离 (图 D.1), 通过测量摆杆支点与撞击质量中心连线和摆杆支点与撞击锤前端中心连线的夹角 β (图 D.1), 和 A 点到 E 点的距离 R (图 D.1), 由式 (D.5) 计算:

$$L = R \times \cos\beta \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

L ——A 点到 B 点的距离, 单位为米 (m);

R ——A 点到 E 点的距离, 单位为米 (m);

β ——摆杆支点与撞击质量中心连线和摆杆支点与撞击锤前端中心连线的夹角, 单位为

弧度 (rad)。

由式 (D.1) ~ (D.5)

$$E_p = f \times R \times \cos\beta \times (1 - \cos DA) \dots \dots \dots (D.6)$$

式中:

E_p ——摆杆势能, 单位为焦 (J);

f ——支持撞击质量对应的作用力, 单位为牛顿 (N);

β ——摆杆支点与撞击质量中心连线和摆杆支点与撞击锤前端中心连线的夹角, 单位为弧度 (rad);

DA ——摆杆撞击角度, 单位为弧度 (rad)。

式 (D.6) 中, 摆杆支点 (图 D.1, A 点) 到撞击锤前端中心 (图 D.1, E 点) 的距离 R 如果采用直接测量点到点间距离的方式, 计算得到的摆杆撞击动能与摆杆的运动状况完全无关, 摆杆支点的摩擦损失, 空气阻尼, 以及摆杆下落过程中摆杆变形带来的能量损失, 都不能得到有效补偿。因此, 需要引入式 (D.7), 通过对摆杆最高速度的标定, 获得等效的回转半径 (即摆杆支点到撞击锤前端中心的距离) R :

$$R = \frac{v}{\omega} \dots \dots \dots (D.7)$$

式中:

R ——摆杆支点到撞击锤前端中心 (A 点到 E 点) 的距离, 单位为米 (m);

v ——摆杆从撞击角度 DA 处落下, 撞击到轮胎时撞击锤顶部的测量线速度, 单位为米每秒 ($m \cdot s^{-1}$);

ω ——摆杆从撞击角度 DA 处落下, 撞击到轮胎时的理论撞击角速度, 单位为弧度每秒 ($rad \cdot s^{-1}$)。

根据钟摆原理, 有:

$$l = \frac{9.80665}{4 \times \pi^2 \times n^2} \dots \dots \dots (D.8)$$

l ——支点到撞击中心距离, 单位为米 (m);

n ——频率, 单位为摆/秒 (oscillations/s)。

令:

$$l = a + c \dots \dots \dots (D.9)$$

$$k^2 = a \times c \dots \dots \dots (D.10)$$

则得到与 GB/T 30195 相同的另一表达式:

$$n = \frac{\sqrt{\frac{9.80665 \times a}{k^2 + a^2}}}{2\pi} \dots\dots\dots (D.11)$$

式 (D.9) ~ (D.11) 中:

- l ——支点到撞击中心距离, 单位为米 (m);
- k ——通过中心绕轴的旋转半径, 单位为米 (m);
- a ——重心到支点的距离, 单位为米 (m);
- c ——重心到撞击中心的距离, 单位为米 (m);
- n ——频率, 单位为摆/秒 (oscillations/s)。

撞击中心处等效质量的计算见式 (D.12):

$$p = m \times \frac{a}{l} \dots\dots\dots (D.12)$$

式中:

- p ——撞击中心处等效质量, 单位为千克 (kg);
- m ——摆杆总质量, 单位为千克 (kg);
- a ——重心到支点的距离, 单位为米 (m);
- l ——支点到撞击中心距离, 单位为米 (m)。

摆杆支点转动惯量的计算见式 (D.13):

$$I = p \times l^2 \dots\dots\dots (D.13)$$

式中:

- I ——摆杆支点转动惯量, 单位为千克平方米 ($kg \cdot m^2$);
- p ——撞击中心处等效质量, 单位为千克 (kg);
- l ——支点到撞击中心距离, 单位为米 (m)。

撞击动能是撞击锤撞击轮胎时的撞击能量, 其计算见式 (D.14):

$$E_k = \frac{1}{2} \times I \times \omega^2 \dots\dots\dots (D.14)$$

结合式 (D.12) ~ 式 (D.14), 有:

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times a \times l \times \omega^2 \dots\dots\dots (D.15)$$

式 (D.14) 和式 (D.15) 中:

- E_k ——撞击动能, 单位为焦 (J);

- m ——摆杆总质量，单位为千克 (kg)；
- a ——重心到支点的距离，单位为米 (m)；
- l ——支点到撞击中心距离，单位为米 (m)；
- ω ——撞击角速度，单位为弧度/秒 (rad/s)。

由公式 (D.2)、(D.3) 和 (D.15)，在摆杆没有能量损失的情况下，存在：

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times 9.80665 \times (1 - \cos DA)}{l}} \dots\dots\dots (D.16)$$

或：

$$\omega = \sqrt{8 \times \pi^2 \times n^2 \times (1 - \cos DA)} \dots\dots\dots (D.17)$$

由公式 (D.7)，有

$$R = \frac{v}{\sqrt{8 \times \pi^2 \times n^2 \times (1 - \cos DA)}} \dots\dots\dots (D.18)$$

式 (D.16) ~ 式 (D.18) 中：

- R ——修正的摆杆支点到撞击锤前端中心的距离，单位为米 (m)；
- ω ——摆杆从撞击角度 DA 处落下，撞击到轮胎时的理论撞击角速度，单位为弧度/秒 (rad/s)；
- v ——摆杆从撞击角度 DA 处落下，撞击到轮胎时撞击锤顶部的测量线速度，单位为米每秒 ($m \cdot s^{-1}$)；
- n ——频率，单位为摆/秒 (oscillations/s)；
- DA ——摆杆撞击角度，单位为弧度 (rad)。

令：

$$E_0 = 2 \times f \times R \times \cos\beta \dots\dots\dots (D.19)$$

结合式 (D.2) 和 (D.6)，有：

$$E_k = \frac{1}{2} \times E_0 \times (1 - \cos DA) \dots\dots\dots (D.20)$$

式 (D.19) 和式 (D.20) 中：

- R ——修正的摆杆支点到撞击锤前端中心的距离，单位为米 (m)；
- f ——支持撞击质量对应的作用力，单位为牛顿 (N)；
- β ——摆杆支点与撞击质量中心连线和摆杆支点与撞击锤前端中心连线的夹角，单位为弧度 (rad)；

E_k ——任意撞击角度 DA 对应的撞击动能，单位为焦 (J)；

E_0 ——试验机最大势能，对应撞击角度为 180° ，单位为焦 (J)；

DA ——摆杆撞击角度，单位为弧度 (rad)。

D.2 数据处理示例

试验机最大势能的计算					
项目	测量与计算				
摆杆支点到撞击锤前端中心的距离 R	测量摆动周期 (s)	2.519	计算频率 (s^{-1})	0.3970	
	撞击角度 ($^\circ$)		60	90	120
	测量平均撞击线速度		16.60	23.46	28.76
	计算撞击角速度 ($rad \cdot s^{-1}$)		2.494	3.528	4.320
	最小二乘法计算结果 (m)		1.851		
支持撞击质量对应的作用力 f	撞击质量 (kg)	59.33	对应的作用力 (N)	581.8	
β 角 ($^\circ$)	4.36				
最大势能 (J)	2148				

附录 E

轮胎轮辋组合体旋转轴与撞击锤中心高度差要求及校准方法

E.1 轮胎轮辋组合体旋转轴与撞击锤中心高度差要求为： $\leq 2\text{mm}$ 。

E.2 校准方法：将摆杆调整到自由悬挂状态，调整激光扫平仪，使其水平线通过撞击锤中心，检查其与轮胎旋转中心是否处于同一水平线上。

中华人民共和国
国家计量技术规范
轿车轮胎耐撞击性能试验机校准规范
JJF ××××—202×
国家市场监督管理总局发布