



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJFZ (机械) XXXX-XXXX

汽车安全试验用碰撞台车校准规范

(报批稿)

Calibration Specification for Automobile Safety Test Crash Trolley

202X—XX—XX 发布

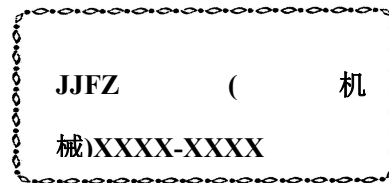
202X—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

汽车安全试验用碰撞台车校 准规范

Calibration Specification for

Automobile Safety Test Crash Trolley



归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

参加起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司

本规范委托中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

苏衡（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）

李在春（中国汽车工程研究院股份有限公司）

严晓东（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

韩艳祥（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）

参加起草人：

步雨辰（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

刘刚（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）

刘岫（大众汽车(安徽)有限公司）

叶仁根（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

目 录

引言.....II

1 范围..... 1

2 引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 概述..... 1

5 计量特性..... 2

6 校准条件..... 2

6.1 环境条件..... 2

6.2 校准项目和校准用标准器..... 2

7 校准项目和校准方法..... 2

7.1 外观检查..... 3

7.2 尺寸..... 3

7.3 质量..... 3

7.4 质心位置..... 4

7.5 弹簧刚度..... 6

8 校准结果表达..... 8

9 复校时间间隔..... 8

附录 A（资料性）尺寸校准结果不确定度评定示例..... 10

附录 B（资料性）质量校准结果不确定度评定示例..... 12

附录 C（资料性）质心位置校准结果不确定度评定示例..... 14

附录 D（资料性）弹簧刚度测量结果不确定度评定示例..... 17

附录 E（资料性）校准证书或校准报告内容..... 21

引 言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JT/T 887-2023 营运车辆质心位置测量方法、GB/T 13061-2017 商用车空气悬架用空气弹簧技术规范共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

汽车碰撞试验台车是一种用于模拟汽车碰撞的设备，它被广泛用于进行各类碰撞试验，例如正面碰撞、侧面碰撞和偏置碰撞等。此设备目前没有专门的校准规范，为了规范、统一汽车碰撞试验台车的校准，故编写本规范。

本规范为首次发布。

汽车安全试验用碰撞台车校准规范

1 范围

本规范规定了汽车安全试验用碰撞台车的计量特性；给出了汽车安全试验用碰撞台车的校准条件和校准方法。

本规范适用于新制造、使用中和维修后汽车安全试验用碰撞台车的校准（其它类似设备可参照本规范进行校准）。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 1958-2017 产品几何技术规范（GPS）几何公差 检测与验证

GB/T 13061-2017 商用车空气悬架用空气弹簧技术规范

JT/T 887-2023 营运车辆质心位置测量方法

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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 移动式可变形壁障 Mobile deformable barrier（MDB）

移动式可变形壁障是一种用于汽车碰撞测试的装置，由移动台车和可变形的蜂窝铝结构组成，用于模拟真实交通事故中车辆碰撞的动态过程

4 概述

汽车碰撞试验台车（见图 1）是组成移动式可变形壁障（MDB）的主要组成部分，作为模拟汽车碰撞的设备，它被广泛用于进行各类碰撞试验，例如正面碰撞、侧面碰撞和偏置碰撞等。此设备可以帮助我们评估汽车在各种可能的碰撞情况下的安全性能。

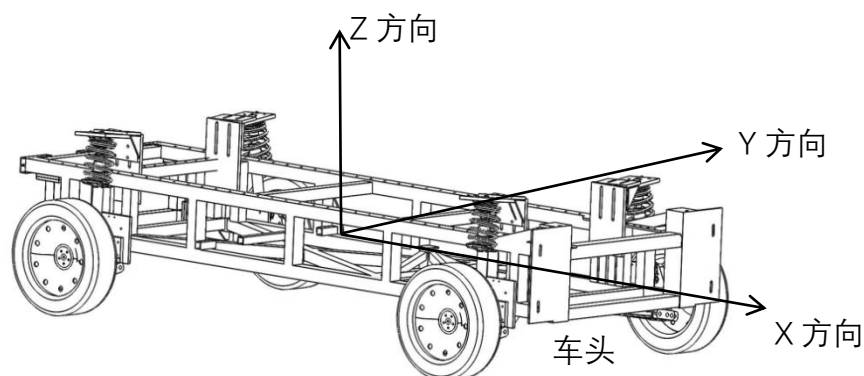


图 1 汽车碰撞试验台车及其质心坐标系示意图

5 计量特性

- 5.1 总质量允许误差为 $\pm 20\text{kg}$ ，前轴重允许误差为 $\pm 20\text{kg}$ ，后轴重允许误差为 $\pm 20\text{kg}$ 。
- 5.2 质心位置位于纵向垂直平面的最大允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ ，离地高度允许误差为 $\pm 30\text{mm}$ 。
- 5.3 台车的前、后轮距允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ ，轴距允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ ，外廓尺寸（长 $\times$ 宽 $\times$ 高）允许误差为 $\pm 5\text{mm}$ 。
- 5.4 台车悬架装置，其弹簧刚度允许误差为 $\pm 10\%$ 。

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

尺寸环境温度：(10~40) $^{\circ}\text{C}$

环境湿度：不高于 85%RH。

室外试验时，环境风速应不大于 5m/s，侧向风速应不大于 3m/s

6.2 校准项目和校准用标准器

台车校准项目为尺寸、质量、质心位置和悬架弹簧刚度，其中悬架弹簧刚度为客户选做项目。校准用标准器见表 1。允许使用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准。

表 1 校准用标准器

序号	校准项目	标准器	技术指标
1	尺寸（轮距/轴距/外廓尺寸）	钢卷尺	测量范围：（0~10）m；准确度等级：II 级，或同精度及以上的其他尺寸测量器具
2	质量	轮重仪或带质量测量功能的汽车侧倾试验台	质量测量范围应满足使用要求，单板质量测量最大允许误差：±2kg；或同精度及以上的其他质量测量器具
3	质心位置	轮重仪、钢卷尺、数显倾角仪	轮重仪：单板质量测量最大允许误差为±2kg； 钢卷尺：准确度等级 II 级及以上； 数显倾角仪：测量范围（-15~15）° 最大允许误差为 0.1°
		带质心测量功能的侧倾试验台或 K&C 试验台	质心位置测量最大允许误差：3mm
4	悬架弹簧刚度	液压伺服压力试验机	准确度等级：1 级及以上

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

台车应整齐完好，螺丝及其他配重零件等不应有松动情况，轮胎状态正常，焊接位置应光滑平整。

7.2 尺寸

将台车移动到测量平台上固定好，调整台车位置及胎压状况使台车水平。用钢卷尺测量轴距 L_1 、前后轴轮距 T_1 、 T_2 。轴距距离为前轴和后轴轴心的距离，轮距为左右轮胎中心线的间隔距离。外廓尺寸是台车的长度、宽度以及高度，测量时取点应为台车外廓最大点之间的距离。

7.3 质量

在进行测量前，先把轮荷仪按照台车轴距和轮距摆放好，用倾角仪将四个轮荷仪面板保持在同一水平，并在显示装置上进行质量值清零，将台车停放在轮荷仪面板传感器上使其轮胎接触面均处于轮荷仪面板的中央位置，调整台车姿态至水平（体现标准器水

平仪)。等待轮荷仪显示器示数稳定之后读出总载荷质量和各轮质量。

7.4 质心位置

质心位置测量前须检查四轮轮胎压力，使其胎压保持 250kPa。

(1) 轮重法

质心坐标系示意图如图 1 所示

7.4.1 质心在 X 轴位置

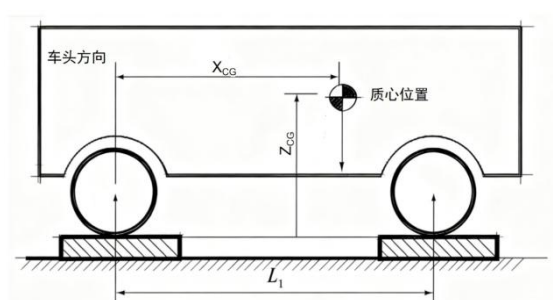


图2 质心在X轴的坐标距离

在进行测量前，先把轮荷仪按照台车轴距和轮距摆放好并在显示装置上进行质量值清零，将台车停放在轮荷仪面板传感器上使其轮胎接触面均处于轮荷仪面板的中央位置，调整台车姿态至保持水平。前轴左侧轮荷仪质量记为 m_1 ，前轴右侧轮荷仪质量记为 m_2 ，后轴左侧轮荷仪质量记为 m_3 ，后轴右侧轮荷仪质量记为 m_4 ，按公式（1）计算质心在 X 轴的坐标距离，重复上述操作，取三次结果平均值作为最终校准结果。

$$X_{CG} = \frac{m_3 + m_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \cdot L_1 \quad (1)$$

X_{CG} -质心在X轴的坐标距离, mm;

m_1 -前轴左侧轮荷仪质量, kg;

m_2 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

m_3 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

m_4 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

L_1 -前后轴轴距, mm

$$\overline{X}_{CG} = \frac{X_{CG1} + X_{CG2} + X_{CG3}}{3} \quad (2)$$

$\overline{X}_{CG}$ -质心在X轴的坐标距离平均值, mm;

X_{CG1} -第1次测量时质心在X轴的坐标距离, mm;

X_{CG2} -第2次测量时质心在X轴的坐标距离, mm;

X_{CG3} -第3次测量时质心在X轴的坐标距离, mm;

7.4.2 质心在Y轴位置

台车姿态与X轴质心位置测量时一致,按公式(3)计算质心在Y轴的坐标距离,重复上述操作,取三次结果平均值作为最终校准结果。

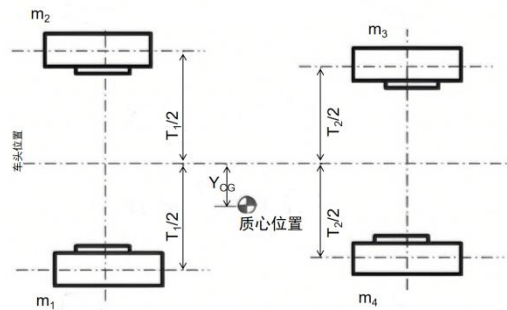


图3 质心在Y轴的位置

$$Y_{CG} = \frac{T_1 \times (m_1 - m_2) + T_2 \times (m_3 - m_4)}{2(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)} \quad (3)$$

Y_{CG} -质心在Y轴的坐标距离, mm

m_1 -前轴左侧轮荷仪质量, kg

m_2 -前轴右侧轮荷仪质量, kg

m_3 -前轴右侧轮荷仪质量, kg

m_4 -前轴右侧轮荷仪质量, kg

T_1 -前轴轮距, mm

T_2 -后轴轮距, mm

$$\bar{Y}_{CG} = \frac{Y_{CG1} + Y_{CG2} + Y_{CG3}}{3} \quad (4)$$

$\bar{Y}_{CG}$ -质心在Y轴的坐标距离平均值, mm;

Y_{CG1} -第1次测量时质心在Y轴的坐标距离, mm;

Y_{CG2} -第2次测量时质心在Y轴的坐标距离, mm;

Y_{CG3} -第3次测量时质心在Y轴的坐标距离, mm;

7.4.3 质心在Z轴位置

在进行测量前, 先把台车后轴位置对应的两轮荷仪分别放置在液压小车上并按照台车轴距和轮距要求将另外两个轮荷仪摆放好, 轮荷仪摆放完毕后进行载荷清零。将台车停放在轮荷仪面板传感器上使其轮胎接触面均处于轮荷仪面板的中央位置, 调整台车姿态至保持水平。此时前轴左侧轮荷仪质量记为 m_1 , 前轴右侧轮荷仪质量记为 m_2 , 后轴左侧轮荷仪质量记为 m_3 , 后轴右侧轮荷仪质量记为 m_4 , 记录完数据后, 升高后轴使台车倾角为 10° 。此时记下前轴左右载荷分别为 m'_1 和 m'_2 按公式 (5) 计算质心距地面的纵向距离, 然后继续升高液压小车使台车倾斜角度为 12° 和 15° , 重复上述操作, 取三次结果平均值作为最终校准结果。

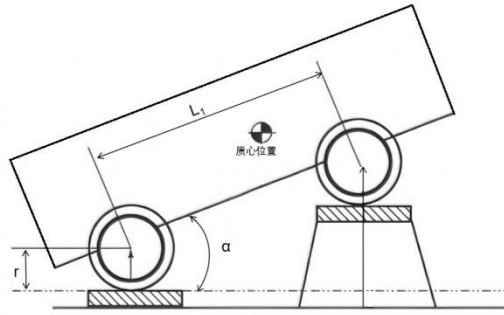


图4 质心在Z轴的位置

$$z_{CG} = r + \frac{[(m'_1 + m'_2) - (m_1 + m_2)] \times L_1}{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \times \tan \alpha} \quad (5)$$

式中,

z_{CG} -质心在Z轴的坐标距离, mm;

r -前轴轮胎半径, mm;

m_1 -前轴左侧轮荷仪质量, kg;

m_2 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

m_3 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

m_4 -前轴右侧轮荷仪质量, kg;

m'_1 -抬高后轴后, 前轴左侧轮荷仪质量, kg;

m'_2 -抬高后轴后, 前轴右侧轮荷仪质量, kg;

L_1 -前后轴距, mm;

α -台车升高后的车身倾角, °

$$\bar{z}_{CG} = \frac{z_{CG1} + z_{CG2} + z_{CG3}}{3} \quad (6)$$

$\bar{z}_{CG}$ -质心在Z轴的坐标距离平均值, mm;

z_{CG1} -第1次测量时质心在Z轴的坐标距离, mm;

z_{CG2} -第2次测量时质心在Z轴的坐标距离, mm;

z_{CG3} -第3次测量时质心在Z轴的坐标距离, mm;

(2) 侧倾台法

质心位置测量时若采用带质量测量功能的侧倾台或者 K&C 测试台, 实际测量时将台车胎压调至 250kPa, 水平置于测试台上, 直接测量台车质心位置。

7.5 弹簧刚度

将悬架弹簧两端固定至液压伺服试验机伸缩腔, 调弹簧至标准高度, 以 0.9 倍弹簧满载负荷和 0.6 倍弹簧满载荷, 0.6 倍弹簧满载荷和 0.3 倍弹簧满载荷三个载荷点的相邻两点力差值与分别对应的变形差值之比为该力点刚度, 各力点刚度平均值表示总成刚度, 见公式 (4)

$$\varphi = \frac{1}{2} \times \left(\frac{F_{0.6} - F_{0.3}}{\Delta L_1} + \frac{F_{0.9} - F_{0.6}}{\Delta L_2} \right) \quad (4)$$

式中,

φ -悬架弹簧刚度, N/mm

$F_{0.9}$ -0.9倍弹簧满载荷, N

$F_{0.6}$ -0.6倍弹簧满载荷, N

$F_{0.3}$ -0.3倍弹簧满载荷, N

ΔL_1 -试验机施加力值由0.3倍满载荷变为0.6倍满载荷前后弹簧的位移变化量, mm

ΔL_2 -试验机施加力值由0.6倍满载荷变为0.9倍满载荷前后弹簧的位移变化量, mm

8 校准结果表达

经校准的台车, 出具校准证书或校准报告, 并注明校准项目、校准用标准器的溯源性及有效性说明、测量不确定度等。(测量不确定度详见附录 A 至附录 D)。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由设备的使用情况、使用者、设备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（资料性）

尺寸校准结果不确定度评定示例

A.1 测量方法

以前轴轮距为例，评估尺寸测量结果的不确定度，测量方法如正文 7.2 所述。

A.2 尺寸测量模型

$$L = l \quad (\text{A. 1})$$

式中：

L ——前轴轮距，mm

l ——钢卷尺测量读数值，mm

A.3 灵敏系数按公式（A.2）计算得到：

$$c = \frac{\partial L}{\partial l} = 1 \quad (\text{A. 2})$$

A.4 不确定度来源

不确定度的主要来源有：测量重复性、标准器钢卷尺引入的不确定度、钢卷尺读数分辨力引入的不确定度。

A.5 标准不确定度分量的评定

A.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在重复性条件下，连续测量前轴轮距 10 次，用贝塞尔公式 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算标准偏差 s ，测量结果见表。

表 A.1 重复性测量结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
尺寸/mm	1601	1603	1602	1601	1603	1602	1601	1602	1601	1601

实际测量时取单次测量结果作为最终结果，故由重复性引入的不确定度为 $u_1 = s = 0.82\text{mm}$ 。

A.5.2 标准器钢卷尺引入的不确定度

采用 B 类评定方法, 最大允许误差为 $\pm 0.5\text{mm}$, 服从均匀分布, 取包含因子 $k=2$ 则钢卷尺引入的标准不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{mm}$$

A. 5. 3 钢卷尺的读数分辨力引入的不确定度

钢卷尺最小分度值 1mm , 分辨力误差半宽为 0.5mm 服从均匀分布, 取包含因子 $k=2$ 则钢卷尺读数分辨力引入的标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{mm}$$

A. 6 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立, 则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 [c_i \bullet u(x_i)]^2} = \sqrt{(1 \times 0.82)^2 + (1 \times 0.29)^2 + (1 \times 0.29)^2} = 0.91\text{mm}$$

A. 7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则台车尺寸校准结果的扩展不确定度

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 0.91 \approx 2\text{mm};$$

附录 B（资料性）

质量校准结果不确定度评定示例

B.1 测量方法

以台车总质量校准为例，评估质量测量结果的不确定度，测量方法如正文 7.3 所述。

B.2 测量模型

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (\text{B. 1})$$

式中：

m ——台车总重，kg；

m_1 -前轴左侧轮荷仪质量，kg

m_2 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

m_3 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

m_4 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

B.3 不确定度来源

不确定度的主要来源有：测量重复性、标准器轮荷仪引入的不确定度、台车水平度偏差引入的不确定度。

B.4 灵敏系数

各输入量的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{m}{m_1} = 1 \quad (\text{B. 3})$$

$$c_2 = \frac{m}{m_2} = 1 \quad (\text{B. 4})$$

$$c_3 = \frac{m}{m_3} = 1 \quad (\text{B. 5})$$

$$c_4 = \frac{m}{m_4} = 1 \quad (\text{B. 6})$$

B.5 标准不确定度分量的评定

B.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在重复性条件下, 连续测量 5 次, 用贝塞尔公式 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算标准偏差 s ,

测量结果见表。

表 B.1 重复性测量结果

序号	1	2	3	4	5
质量/kg	1703	1703	1703	1703	1701

实际测量时取单次测量结果作为最终结果, 故由重复性引入的不确定度为
 $u_1 = s = 0.89\text{kg}$

B.5.2 测量器具轮荷仪引入的不确定度 u_2

采用 B 类评定方法, 轮荷仪的最大允许误差为 $\pm 2\text{kg}$, 服从均匀分布, 则单个轴荷仪引入的标准不确定度分量为:

$$u'_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15\text{kg}$$

总质量由 4 个轮荷质量合成, 则全部轮荷仪引入的标准不确定度分量为:

$$u_2 = \sqrt{4 \times 1.15^2} = 2.30\text{kg}$$

B.5.3 台车水平度偏差引入的不确定度 u_3

倾角仪测量水平度偏差 $\leq 0.1^\circ$, 估算轮荷偏差 $\leq 1\text{kg}$, 服从均匀分布, 取包含因子 $k=2$ 则水平度偏差引入的标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58\text{kg}$$

B.6 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立, 则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{(1 \times 0.89)^2 + (1 \times 2.30)^2 + (1 \times 0.58)^2} = 2.5\text{kg}$$

B.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则台车质量校准结果的扩展不确定度

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 2.5 = 5\text{kg};$$

附录 C（资料性）

质心位置校准结果不确定度评定示例

C.1 测量方法

以台车 Z 轴方向质心位置校准为例，评估质心位置测量结果的不确定度，测量方法按规范 7.4.3 要求，台车置于于轮荷仪上，先测水平状态下各轴轮荷 m_1, m_2, m_3, m_4 ；再抬高后轴使台车倾角 $\alpha = 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ$ ，测对应前轴轮荷 m'_1, m'_2 ，结合轴距 L_1 、轮胎半径 r 计算 Z 轴质心高度 Z_{CG} 。

C.2 测量模型

$$Z_{CG} = r + \frac{[(m'_1 + m'_2) - (m_1 + m_2)] \times L_1}{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \times \tan \alpha} \quad (C.1)$$

式中，

Z_{CG} -质心在 Z 轴的坐标距离，mm

r -前轴轮胎半径，mm

m_1 -前轴左侧轮荷仪质量，kg

m_2 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

m_3 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

m_4 -前轴右侧轮荷仪质量，kg

m'_1 -抬高后轴后，前轴左侧轮荷仪质量，kg

m'_2 -抬高后轴后，前轴右侧轮荷仪质量，kg

L_1 -前后轴轴距，mm

C.3 灵敏系数

设输入量：

$$x_1 = r \text{（轮胎半径）}$$

$$x_2 = (m'_1 + m'_2) - (m_1 + m_2) \text{（轮荷差，记为 } \Delta m \text{）}$$

$$x_3 = L_1 \text{（轴距）}$$

$$x_4 = m_{\text{总}} (\text{总质量})$$

$$x_5 = \alpha (\text{倾斜角度})$$

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial Z_{CG}}{\partial r} = 1 \quad (\text{C. 2})$$

$$c_2 = \frac{\partial Z_{CG}}{\partial \Delta m} = \frac{L_1}{m_{\text{总}} \cdot \tan \alpha} \quad (\text{C. 3})$$

$$c_3 = \frac{\partial Z_{CG}}{\partial L_1} = \frac{\Delta m}{m_{\text{总}} \cdot \tan \alpha} \quad (\text{C. 4})$$

$$c_4 = \frac{\partial Z_{CG}}{\partial m_{\text{总}}} = -\frac{\Delta m \cdot L_1}{m_{\text{总}}^2 \cdot \tan \alpha} \quad (\text{C. 5})$$

$$c_5 = \frac{\partial Z_{CG}}{\partial \alpha} = -\frac{\Delta m \cdot L_1}{m_{\text{总}} \cdot \tan^2 \alpha} \cdot \frac{\pi}{180} (\text{角度转弧度}) \quad (\text{C. 6})$$

C. 4 不确定度来源

不确定度的主要来源有: 轮胎半径测量 r 引入的不确定度, 改变角度后质量差引入的不确定度, 轴距测量引入的不确定度, 质量测量引入的不确定度, 倾斜角度测量引入的不确定度。

C. 5 标准不确定度分量的评定

C. 5. 1 轮胎半径引入标准不确定度分量 $u(x_1)$

用游标卡尺测量轮胎半径, 最大允许误差 $\pm 0.05\text{mm}$, 均匀分布 ($k=3$):

$$u(x_1) = 0.05/\sqrt{3} = 0.03\text{mm}$$

C. 5. 2 轮荷差引入的标准不确定度分量 $u(x_2)$

引用质量校准评定结果 $u(x_2) = 0.25\text{kg}$

C. 5. 3 轴距测量引入的标准不确定度分量 $u(x_3)$

引用尺寸校准评定结果 $u(x_3) = 0.91\text{mm}$

C.5.4 总质量引入的标准不确定度分量 $u(x_4)$

引用质量校准评定结果 $u(x_4) = 0.25\text{kg}$

C.5.5 倾斜角度引入的标准不确定度分量 $u(x_5)$

倾角仪最大允许误差 $\pm 0.1^\circ$ ，转换为弧度 $0.1^\circ = 0.001745\text{rad}$ ，服从均匀分布 ($k=3$)，则不确定度为：

$$u(x_5) = 0.001745/\sqrt{3} = 0.001\text{rad}$$

C.6 合成标准不确定度

所上校准点依次为轴距 $L_1=2600\text{mm}$ ，质量变化值 $\Delta m = 80\text{kg}$ ，台车总质量 $m=1700\text{kg}$ ，台车倾斜角度 $\alpha=10^\circ$ ，则灵敏系数及各不确定度分量见表 C.1

表 C.1 各不确定度分量一览表

序号	来源	符号	数值	灵敏度系数 c_i	$ c_i \times u(x)$
1	轮胎半径测量	$u(x_1)$	0.03mm	$c_1 = 1$	0.03mm
2	轮荷差测量	$u(x_2)$	0.25kg	$c_2 = 8.67\text{mm} \cdot \text{kg}^{-1}$	2.17mm
3	轴距测量	$u(x_3)$	0.91mm	$c_3 = 0.27$	0.25mm
4	总质量测量	$u(x_4)$	0.25kg	$c_4 = -0.41\text{mm} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.10mm
5	倾斜角度	$u(x_5)$	0.001rad	$c_5 = -68.68\text{mm}$	0.07mm

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{0.03^2 + 2.17^2 + 0.25^2 + 0.1^2 + 0.07^2} = 2.2\text{mm}$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 4.4\text{mm}$$

附录 D（资料性）

弹簧刚度测量结果不确定度评定示例

D.1 测量方法

测量方法如正文 7.5 所述。

D.2 测量模型

$$\varphi = \frac{1}{2} \times \left(\frac{F_{0.6} - F_{0.3}}{\Delta L_1} + \frac{F_{0.9} - F_{0.6}}{\Delta L_2} \right) \quad (\text{D. 1})$$

式中，

φ - 悬架弹簧刚度，N/mm

$F_{0.9}$ - 0.9倍弹簧满载荷，N

$F_{0.6}$ - 0.6倍弹簧满载荷，N

$F_{0.3}$ - 0.3倍弹簧满载荷，N

ΔL_1 - 试验机施加力值由0.3倍满载荷变为0.6倍满载荷前后弹簧的位移变化量，mm

ΔL_2 - 试验机施加力值由0.6倍满载荷变为0.9倍满载荷前后弹簧的位移变化量，mm

简化数学模型如下：

$$\varphi = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\Delta F_1}{\Delta L_1} + \frac{\Delta F_2}{\Delta L_2} \right) \quad (\text{D. 2})$$

式中，

ΔF_1 - 0.6倍弹簧满载荷和0.3倍弹簧满载荷差值，N

ΔF_2 - 0.9倍弹簧满载荷和0.6倍弹簧满载荷差值，N

D.3 灵敏系数

设输入量：

$$x_1 = \Delta F_1$$

$$x_2 = \Delta L_1$$

$$x_3 = \Delta F_2$$

$$x_4 = \Delta L_2$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \varphi}{\partial \Delta F_1} = \frac{1}{2\Delta L_1} \tag{D. 3}$$

$$c_2 = \frac{\partial \varphi}{\partial \Delta L_1} = -\frac{\Delta F_1}{2\Delta L_1^2} \tag{D. 4}$$

$$c_3 = \frac{\partial \varphi}{\partial \Delta F_2} = \frac{1}{2\Delta L_2} \tag{D. 3}$$

$$c_4 = \frac{\partial \varphi}{\partial \Delta L_2} = -\frac{\Delta F_2}{2\Delta L_2^2} \tag{D. 4}$$

D. 4 不确定度来源

不确定度的主要来源有：力差值 ΔF_1 引入的不确定度，位移差 ΔL_1 引入的不确定度，力差值 ΔF_2 引入的不确定度，位移差 ΔL_2 引入的不确定度。

D. 5 标准不确定度分量的评定

D. 5. 1 力差值 ΔF_1 引入的不确定度分量 $u(x_1)$

在重复性条件下，连续测量 5 次，用贝塞尔公式 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算标准偏差 s ，
测量结果见表。

表 D. 1 重复性测量结果

序号	1	2	3	4	5
力值/N	6002	6016	6006	6052	6038

取 5 次测量结果作为最终结果，故由重复性引入的不确定度为 $u_1 = s/\sqrt{5}$

$$u(x'_1) = 10\text{N}$$

试验机力值最大误差为 $\pm 20\text{N}$ ，服从均匀分布（ $k=3$ ），则不确定度为：

$$u(x''_1) = 20/\sqrt{3} = 11.5\text{N}$$

则力差值引入的不确定度合成结果为:

$$u = \sqrt{u_1'^2(x_1) + u_1''^2(x_1)} = 15.2\text{N}$$

由于力差值 ΔF_1 含两个力值测量结果, 故力差值 ΔF_1 不确定度为:

$$u(x_1) = \sqrt{2 \times 15.2^2} = 21.5\text{N}$$

D. 5. 2 位移差值 ΔL_1 引入的不确定度分量 $u(x_2)$

位移由位移传感器测量, 复性条件下, 连续测量 5 次, 用贝塞尔公式 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

计算标准偏差 s , 测量结果见表。

表 D. 1 重复性测量结果

序号	1	2	3	4	5
位移差 /mm	5.121	5.141	5.112	5.111	5.156

取 5 次测量结果作为最终结果, 故由重复性引入的不确定度为 $u_1 = s/\sqrt{5}$

$$u(x_1') = 0.009\text{mm}$$

位移传感器最大误差为 $\pm 0.05\text{mm}$, 服从均匀分布 ($k=3$), 则不确定度为:

$$u(x_2'') = 0.05/\sqrt{3} = 0.029\text{mm}$$

则位移差值引入的不确定度合成结果为:

$$u = \sqrt{u_1'^2(x_2) + u_1''^2(x_2)} = 0.04\text{mm}$$

由于位移差 ΔL_1 含两个力值测量结果, 故位移值 ΔL_1 不确定度为:

$$u(x_2) = \sqrt{2 \times 0.04^2} = 0.06\text{mm}$$

D. 5. 3 力差值 ΔF_2 引入的不确定度分量 $u(x_3)$

引用 ΔF_1 校准评定结果 $u(x_3) = 21.5\text{N}$

D. 5. 4 位移差值 ΔL_2 引入的不确定度分量 $u(x_4)$

引用 ΔL_1 校准评定结果 $u(x_4) = 0.06\text{mm}$

D.6 合成标准不确定度

灵敏系数及各不确定度分量见表 C.1

表 C.1 各不确定度分量一览表

序号	来源	符号	数值	灵敏度系数 c_i	$ c_i \times u(x)$
1	ΔF_1	$u(x_1)$	21.5N	$c_1 = 0.0167\text{mm}^{-1}$	0.359N/mm
2	ΔL_1	$u(x_2)$	0.06mm	$c_2 = -1.67\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	0.100N/mm
3	ΔF_2	$u(x_3)$	21.5N	$c_3 = 0.0167\text{mm}^{-1}$	0.359N/mm
4	ΔL_2	$u(x_4)$	0.06mm	$c_4 = -1.67\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	0.100N/mm

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 [c_i \bullet u(x_i)]^2} = \sqrt{0.129^2 + 0.010^2 + 0.129^2 + 0.010^2} = 0.53\text{N/mm}$$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 1.1\text{N/mm}$$

附录 E（资料性）

校准证书或校准报告内容

校准证书或校准报告至少包含以下内容：

- a) 标题，如“校准证书”“或校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- 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) 对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) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准方法的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。