



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJF (机械) 1085—2023

车轮六分力传感器校准规范

Calibration Specification for Six-axis Wheel Force Transducer

2023-07-28 发布

2023-09-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



车轮六分力传感器校准 规范

Calibration Specification for Six-axis
Wheel Force Transducer

JJF (机械) 1085—2023

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院

中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

四川特思廷科技有限公司

山东尚检计量检测有限公司

本规范主要起草人：

丁 奕（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

虞跃凌（上海市计量测试技术研究院）

王海军 [中汽研汽车检验中心（天津）有限公司]

朱晟超（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

参加起草人：

蔡 波（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

张 强（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

朱本华（四川特思廷科技有限公司）

宋春光（山东尚检计量检测有限公司）

目 录

| | |
|------------------------------|------|
| 引言 | (II) |
| 1 范围 | (1) |
| 2 引用文件 | (1) |
| 3 术语和计量单位 | (1) |
| 4 概述 | (2) |
| 5 计量特性 | (2) |
| 6 校准条件 | (3) |
| 6.1 环境条件 | (3) |
| 6.2 校准用仪器设备 | (3) |
| 7 校准项目和校准方法 | (3) |
| 7.1 校准前准备 | (3) |
| 7.2 回零差 | (4) |
| 7.3 额定输出 | (4) |
| 7.4 重复性 | (5) |
| 7.5 滞后 | (5) |
| 7.6 示值误差 | (5) |
| 7.7 耦合误差 | (6) |
| 7.8 多分量校准综合误差 | (6) |
| 7.9 方位误差 | (7) |
| 8 校准结果表达 | (7) |
| 9 复校时间间隔 | (8) |
| 附录 A 校准记录 | (9) |
| 附录 B 示值误差校准结果的测量不确定度评定 | (12) |
| 附录 C 耦合误差校准结果的测量不确定度评定 | (15) |

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》，并参考 JJF 1560—2016《多分量力传感器校准规范》、JJG 455—2000《工作测力仪检定规程》、JJG 1146—2017《工作扭矩仪检定规程》、JJF 1115—2004《光电轴角编码器校准规范》中的术语、符号与定义以及相关的技术要求编制。

本规范为首次发布。



车轮六分力传感器校准规范

1 范围

本规范适用于车轮六分力传感器，即具有车轮六分力测量功能的多分量测力仪的静态校准（其他类似设备也可参照本规范进行校准）。

本规范规定了车轮六分力传感器的计量性能及校准方法。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 455—2000 工作测力仪检定规程

JJG 1146—2017 工作扭矩仪检定规程

JJF 1011—2006 力值与硬度计量术语及定义

JJF 1115—2004 光电轴角编码器校准规范

JJF 1560—2016 多分量力传感器校准规范

其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；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 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

单分量校准 **calibration of a component**

对车轮六分力传感器的某一个分量单独进行校准的过程。

3.2

多分量校准 **calibration of multi-component**

对车轮六分力传感器的两个或两个以上分量同时施加载荷进行校准的过程。

3.3

多分量力校准装置 **calibration equipment for multi-component**

使用多组砝码或多个串联标准测力仪的加载机构作为标准载荷源组，结合杠杆机构及力矩力臂，对车轮六分力传感器两个或两个以上分量同时施加标准载荷，实现多分量校准的标准装置。

3.4

耦合误差 **coupling error**

某分量负荷作用到车轮六分力传感器上时，引起其他分量负荷输出的变化与其他分量额定负荷作用下输出的百分比。

4 概述

车轮六分力, 即指车轮在其接地区域产生的纵向力 F_x 、侧向力 F_y 、法向力 F_z 以及翻转力矩 M_x 、滚动阻力矩 M_y 和回正力矩 M_z 六分量力值参数, 是使车辆发生驱动、制动和转向等运动的根本原因。车轮六分力坐标可参照 SAE 标准轮胎运动坐标系 (见图 1) 建立。

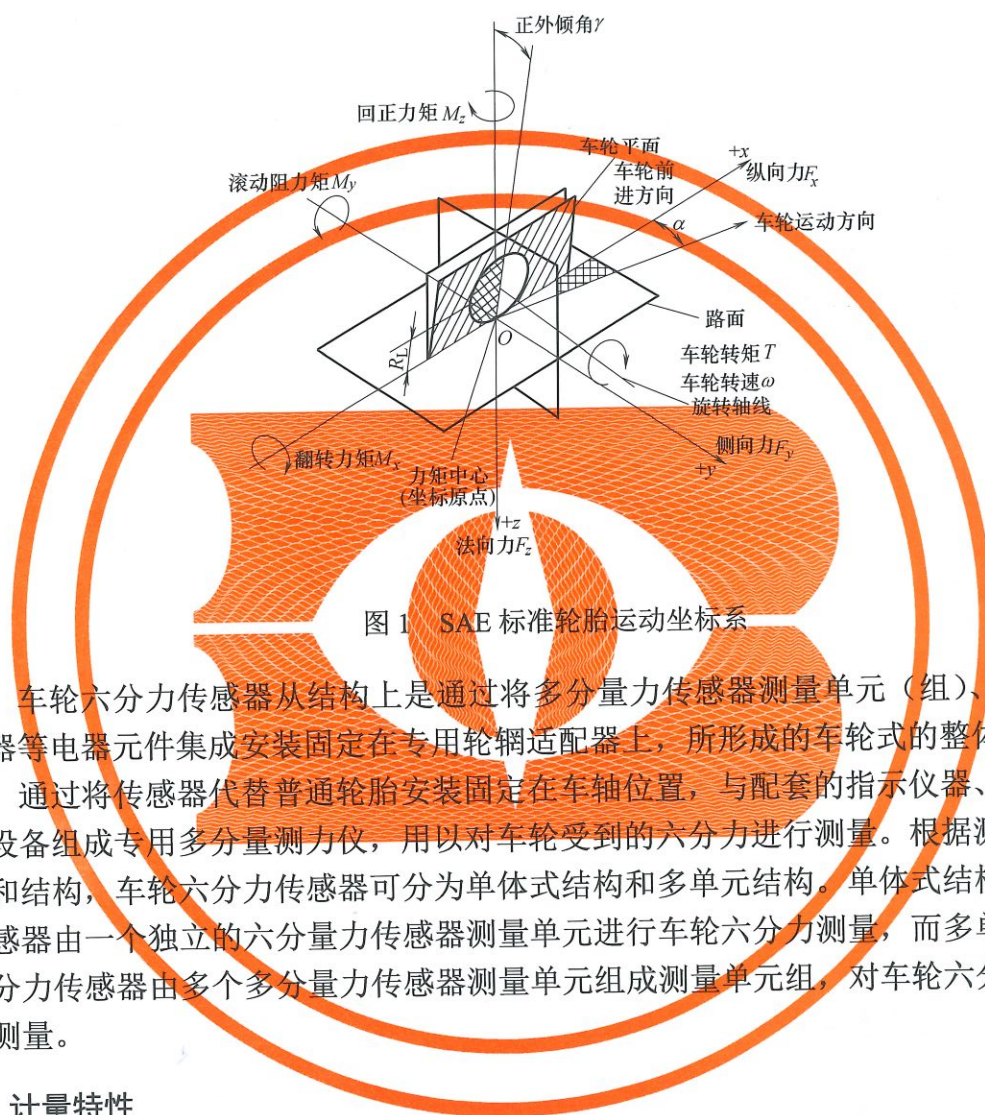


图 1 SAE 标准轮胎运动坐标系

车轮六分力传感器从结构上是通过将多分量力传感器测量单元 (组)、信号放大耦合器等电器元件集成安装固定在专用轮辋适配器上, 所形成的车轮式的整体多分量传感器, 通过将传感器代替普通轮胎安装固定在车轴位置, 与配套的指示仪器、数据采集器等设备组成专用多分量测力仪, 用以对车轮受到的六分力进行测量。根据测量单元的数量和结构, 车轮六分力传感器可分为单体式结构和多单元结构。单体式结构车轮六分力传感器由一个独立的六分量力传感器测量单元进行车轮六分力测量, 而多单元结构车轮六分力传感器由多个多分量力传感器测量单元组成测量单元组, 对车轮六分力进行组合式测量。

5 计量特性

车轮六分力传感器计量特性见表 1。

表 1 计量特性

| 序号 | 计量特性名称 |
|----|--------|
| 1 | 回零差 |
| 2 | 额定输出 |
| 3 | 重复性 |
| 4 | 滞后 |

表 1 计量特性 (续)

| 序号 | 计量特性名称 |
|----|-----------|
| 5 | 示值误差 |
| 6 | 耦合误差 |
| 7 | 多分量校准综合误差 |
| 8 | 方位误差 |

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3 其他条件：校准时不得有影响校准结果的干扰源。

6.2 校准用仪器设备

6.2.1 总体要求

校准所用设备应经过计量技术机构检定（或校准），满足校准使用要求，并在有效期内，量程范围应覆盖被校车轮六分力传感器测量范围。

6.2.2 多分量力校准装置

对多分量力校准装置中的标准砝码或标准测力仪、杠杆机构、力矩力臂长度、加载轴线空间位置度进行检定、校准或测量。根据测量结果，对各项误差引入的测量不确定度进行合成评估，求得多分量力校准装置各力/力矩分量复现量值的测量不确定度。

其各分量复现量值的测量不确定度小于被校车轮六分力传感器相应分量测量不确定度的 1/3。

6.2.3 力标准机

其力值测量不确定度小于被校车轮六分力传感器相应分量测量不确定度的 1/3。

6.2.4 扭矩标准机

其力矩测量不确定度小于被校车轮六分力传感器相应分量测量不确定度的 1/3。

6.2.5 专用夹具

专用夹具各个加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间的有效长度的相对测量不确定度应小于 0.05%（包含因子为 2）。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备

7.1.1 确定校准项目

校准项目可根据被校车轮六分力传感器的预期用途选择，对校准规范的偏离应在校准证书中注明。

7.1.2 放置时间

被校车轮六分力传感器应在规定环境条件下放置足够长的时间，推荐放置时间不少

于 8 h。

7.1.3 多分量力传感器测量单元的输出灵敏度校准

用于车轮六分力测量的多分量力传感器测量单元(组), 安装前需单独对每个测量单元进行输出灵敏度的校准, 校准方法参照 JJF 1560—2016。

7.1.4 安装及加载条件

按照说明书的要求, 将专用夹具与车轮六分力传感器正确安装。

加载时应保证车轮六分力传感器各受力轴线与加载轴线相重合, 使倾斜负荷和偏心负荷的影响减到最小。

7.1.5 连接及预热

按照说明书的要求将车轮六分力传感器的传感器与其配套的指示仪器、数据采集器等设备正确连接, 并通电预热。预热时间应符合说明书的要求。

注: 说明书没有规定预热时间时, 车轮六分力传感器各设备组件一般预热 0.5 h~1 h。

7.1.6 预负荷

根据车轮六分力传感器说明书等资料确认校准各分量的测量范围。

在每一个分量的单分量校准之前或一组分量的多分量校准之前均应对车轮六分力传感器施加预负荷。

单分量校准时预负荷应为选定分量的额定负荷, 多分量校准时预负荷为所有选定分量的额定负荷的组合。

预负荷的保持时间一般为 30 s。

7.1.7 校准范围和校准点的选择

各分量的校准范围一般为零负荷至额定负荷, 或根据用户需要确定, 各分量的校准点一般不少于 5 点(包括零负荷点), 一般取额定负荷的 0%、10%、20%、50%、100%, 或根据用户需要确定。

7.2 回零差

7.2.1 按照 7.1.6 的规定进行预负荷, 读取最后一次预负荷前后指示器的零负荷输出值。

7.2.2 各分量的相对回零差按公式(1)进行计算。

$$Z_{ri} = \frac{\theta_{zi} - \theta'_{zi}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (1)$$

式中:

Z_{ri} ——第 i 个分量的相对回零差;

i ——分量序号;

θ_{zi} ——施加第 i 个分量最后一次预负荷后的相应分量零负荷下的读数, N 或 N·m;

θ'_{zi} ——施加第 i 个分量最后一次预负荷前的相应分量零负荷下的读数, N 或 N·m;

θ_{ni} ——第 i 个分量的额定输出, 即单独校准时额定负荷下输出的平均值, N 或

N·m。

7.3 额定输出

7.3.1 根据说明书确认被校分量, 调整指示装置的量程和零点等参数, 读取零负荷输出值。

7.3.2 连续施加 3 次预负荷, 每次卸载后, 检查指示装置的回零情况, 重新调整和记录零负荷输出值。

7.3.3 按负荷递增顺序对各校准点逐点施加载荷, 直到额定载荷。校准时在每一级载荷达到后, 保持一定时间, 待输出值基本稳定后进行读取, 保持时间一般取 30 s。

7.3.4 达到额定负荷后, 按负荷递减顺序卸载, 直到零负荷。校准时在每一级载荷达到后, 保持一定时间, 待输出值基本稳定后进行读取, 保持时间一般取 30 s。若不对“滞后”指标进行评价, 可直接卸载至零负荷。退回到零负荷后, 保持 30 s, 读取并调整指示装置零点。

7.3.5 重复进行 7.3.3 和 7.3.4 三次。

7.3.6 确定下一被校分量, 按 7.3.2~7.3.5 进行校准, 直至所有分量校准完毕。

7.3.7 各分量的额定输出按公式 (2) 进行计算。

$$\theta_{ni} = \overline{\theta_{si}} - \overline{\theta_{zi}} \quad (2)$$

式中:

$\overline{\theta_{si}}$ ——第 i 个分量单独校准时, 额定负荷下读数的平均值, N 或 N·m;

$\overline{\theta_{zi}}$ ——第 i 个分量单独校准时, 零负荷下读数的平均值, N 或 N·m。

7.4 重复性

7.4.1 重复性校准与 7.3 的校准同步进行。

7.4.2 各分量的相对重复性按公式 (3) 进行计算。

$$R_i = \frac{|\Delta\theta_{Ri}|}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (3)$$

式中:

R_i ——第 i 个分量的相对重复性;

$\Delta\theta_{Ri}$ ——第 i 个分量在进程重复校准时各负荷点输出的极差值, N 或 N·m。

7.5 滞后

7.5.1 滞后校准与 7.3 的校准同步进行。

7.5.2 各分量的相对滞后按公式 (4) 进行计算。

$$H_i = \frac{\Delta\theta_{Hi}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (4)$$

式中:

H_i ——第 i 个分量的相对滞后;

$\Delta\theta_{Hi}$ ——第 i 个分量的回程校准曲线与进程校准曲线偏差的最大值, N 或 N·m。

7.6 示值误差

7.6.1 示值误差校准与 7.3 的校准同步进行。

7.6.2 各分量的示值相对误差按公式 (5) 进行计算。

$$E_i = \frac{\Delta\theta_{Ei}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (5)$$

式中:

E_i ——第 i 个分量的示值相对误差;

$\Delta\theta_{Ei}$ ——第 i 个分量的各个负荷点的进程平均输出值与该点的实际载荷之间差值的最大值, N 或 N·m。

7.7 耦合误差

7.7.1 车轮六分力传感器的分量组合情况见表 2。

表 2 分量组合情况

| 主分量 | 影响分量 | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| F_x | — | + | + | + | + | + |
| F_y | + | — | + | + | + | + |
| F_z | + | + | — | + | + | + |
| M_x | + | + | + | — | + | + |
| M_y | + | + | + | + | — | + |
| M_z | + | + | + | + | + | — |

注:

- 1 表中“+”表示可实现组合,“—”表示不可实现组合。
- 2 主分量是指在校准过程中任意选定的一个分量,此时,选定另一分量作为影响分量进行加载,用来校准影响分量对选定的主分量的影响。

7.7.2 耦合误差校准与 7.3 的校准同步进行;在选择一个分量按 7.3.2~7.3.5 规定的程序进行额定输出校准时,该分量作为影响分量,按表 2,其他分量作为主分量,同时读取程序步骤中在影响分量逐级施加负荷、主分量零负荷作用下各分量的输出值,直至所有分量都作为影响分量校准完毕。

7.7.3 各分量的耦合相对误差按公式 (6) 进行计算。

$$C_{ij} = \frac{\Delta\theta_{Cij}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (6)$$

式中:

C_{ij} ——影响分量 j 对主分量 i 的耦合相对误差;

$\Delta\theta_{Cij}$ ——主分量 i 零负荷、影响分量 j 逐级施加负荷作用下,主分量 i 输出值变化的最大值, N 或 N·m。

7.8 多分量校准综合误差

7.8.1 按照用户要求,选择各校准分量负荷相对于额定负荷的比例,编制确定多分量校准组合方案。组合方案示例见表 3。

表3 多分量校准组合方案示例

| 方案 | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| 2 | 80% | 20% | 80% | 40% | 60% | 40% |

7.8.2 按照组合方案,依次实施组合加载,读取各分量的输出值。

7.8.3 多分量组合加载中各分量的相对综合误差按公式(7)进行计算。

$$E_{xi} = \frac{\Delta\theta_{Exi}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (7)$$

式中:

E_{xi} ——多分量组合加载中第*i*个分量的相对综合误差;

$\Delta\theta_{Exi}$ ——第*i*个分量在各校准组合方案中的输出值与实际载荷之间差值的最大值, N 或 N·m。

7.9 方位误差

7.9.1 对于带角度测量的旋转式车轮六分力传感器,需单独对角度测量装置进行校准,校准方法参照 JJF 1115—2004。

7.9.2 完成 7.1~7.8 校准项目后,按照用户要求并结合专用夹具结构情况,确定需校准的目标方位角,如 120°、240° 方位角,在保持角度测量装置位置不变的情况下,将车轮六分力传感器绕其旋转轴线依次转到目标方位角位置上,重新安装固定。每次转动后,实施校准前应施加一次预负荷,并按照 7.3 的方法完成一次额定输出校准(不包括回程),读取各分量输出值。

7.9.3 各分量的方位相对误差,按公式(8)进行计算。

$$E_{pi} = \frac{\Delta\theta_{Epi}}{\theta_{ni}} \times 100\%FS \quad (8)$$

式中:

E_{pi} ——第*i*个分量的方位相对误差;

$\Delta\theta_{Epi}$ ——第*i*个分量在施加同样载荷条件下各方位角位置的输出值之间的最大差值, N 或 N·m。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包括以下信息:

- 标题:“校准证书”或“校准报告”;
- 实验室名称和地址;
- 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- 校准证书或校准报告的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;

- e) 送校单位的名称和地址;
 - f) 被校对象的描述和明确标识;
 - g) 进行校准的日期, 若校准证书或校准报告与校准结果的有效性和应用有关, 应说明被校对象的接收日期;
 - h) 如果校准证书或校准报告与校准结果的有效性和应用有关, 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, 包括名称及编号;
 - 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, 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, 不得部分复制校准证书或校准报告的声明。
- 经校准的车轮六分力传感器, 发给校准证书或校准报告, 加盖校准印章。

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, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 复校时间间隔建议为1年。

附录 A

校准记录

送校单位: _____ 地址: _____
 产品名称: _____ 型号规格: _____ 出厂编号: _____
 制造厂名称: _____ 温度: _____ °C 相对湿度: _____ %
 校准依据: JJF (机械) 1085—2023 《车轮六分力传感器校准规范》
 校准用标准器:
 名称: _____ 产品编号: _____ 测量范围: _____
 准确度/不确定度: _____ 证书编号: _____ 有效期至: _____

单分量校准数据记录

测量分量:

| 负荷 | 试验次数/方位角位置 | 指示仪表读数 | | | | | | 额定输出 | 相对重复性 %FS | 相对滞后 %FS | 示值相对误差 %FS | 测量不确定度 ($k=2$) |
|--------------|------------|---|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|------|--------------|-------------|---------------|---------------------|
| | | 方向: 进程 <input type="checkbox"/> 回程 <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| | | F_x kN | F_y kN | F_z kN | M_x kN·m | M_y kN·m | M_z kN·m | | | | | |
| 第 1 次 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 第 2 次 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 第 3 次 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 方位角位置 (°) | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

单分量校准数据记录 (续)

测量分量:

| 负荷 | 试验次数/方位角位置 | 指示仪表读数 | | | | | | 额定输出 | 相对重复性 %FS | 相对滞后 %FS | 示值相对误差 %FS | 测量不确定度 ($k=2$) |
|--------------|------------|---|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|------|--------------|-------------|---------------|---------------------|
| | | 方向: 进程 <input type="checkbox"/> 回程 <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| | | F_x kN | F_y kN | F_z kN | M_x kN·m | M_y kN·m | M_z kN·m | | | | | |
| 预负荷前的零负荷下的读数 | | | | | | | | | 预负荷后的零负荷下的读数 | | | |
| 相对回零差 %FS | | | | | | | | | 方位相对误差 %FS | | | |

耦合误差校准记录

| 主分量 | 影响分量 | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 耦合误差 | | | | | | 测量不确定度 ($k=2$) | | | | | |
| | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| F_x | — | | | | | | — | | | | | |
| F_y | | — | | | | | | — | | | | |
| F_z | | | — | | | | | | — | | | |
| M_x | | | | — | | | | | | — | | |
| M_y | | | | | — | | | | | | — | |
| M_z | | | | | | — | | | | | | — |

多分量校准记录

| 实际载荷 | | | | | | 指示仪表读数 | | | | | | 多分量校准相对综合误差 | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| kN | kN | kN | kN·m | kN·m | kN·m | kN | kN | kN | kN·m | kN·m | kN·m | %FS | %FS | %FS | %FS | %FS | %FS |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

校准证书内页格式

| 校准分量 | 额定输出 | 相对重复性 %FS | 相对滞后 %FS | 相对回零差 %FS | 示值相对误差 %FS | 方位相对误差 %FS | 测量不确定度 ($k=2$) |
|-------|------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------------|
| F_x | | | | | | | |
| F_y | | | | | | | |
| F_z | | | | | | | |
| M_x | | | | | | | |
| M_y | | | | | | | |
| M_z | | | | | | | |

| 主分量 | 影响分量 | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 耦合误差 | | | | | | 测量不确定度 ($k=2$) | | | | | |
| | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| F_x | — | | | | | | — | | | | | |
| F_y | | — | | | | | | — | | | | |
| F_z | | | — | | | | | | — | | | |
| M_x | | | | — | | | | | | — | | |
| M_y | | | | | — | | | | | | — | |
| M_z | | | | | | — | | | | | | — |

| 多分量校准 | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| 实际载荷 | | | | | | 相对综合误差 | | | | | | |
| F_x kN | F_y kN | F_z kN | M_x kN·m | M_y kN·m | M_z kN·m | F_x %FS | F_y %FS | F_z %FS | M_x %FS | M_y %FS | M_z %FS | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

附录 B

示值误差校准结果的测量不确定度评定

B.1 测量模型

$$E_i = \Delta\theta_{Ei} = \theta_{im} - \theta_{Eim}$$

式中:

E_i ——第 i 个分量的示值绝对误差, N 或 N·m;

$\Delta\theta_{Ei}$ ——第 i 个分量的各个负荷点的进程平均输出值与该点的实际载荷之间差值的最大值, N 或 N·m;

θ_{im} ——第 i 个分量的第 m 个负荷点的进程平均输出值, N 或 N·m;

θ_{Eim} ——第 i 个分量的第 m 个负荷点的实际载荷, N 或 N·m。

B.2 灵敏系数

$$c(\theta_{im}) = \frac{\partial E_i}{\partial \theta_{im}} = 1$$

$$c(\theta_{Eim}) = \frac{\partial E_i}{\partial \theta_{Eim}} = -1$$

B.3 不确定度来源分析

B.3.1 标准不确定度 $u(\theta_{Eim})$ 的主要来源如下:

- a) 由多分量力校准装置等力标准装置引入的标准不确定度 $u_1(\theta_{Eim})$;
- b) 由专用夹具引入的标准不确定度 $u_2(\theta_{Eim})$ 。

B.3.2 标准不确定度 $u(\theta_{im})$ 的主要来源如下:

- a) 由车轮六分力传感器示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(\theta_{im})$;
- b) 由车轮六分力传感器示值重复性引入的标准不确定度 $u_2(\theta_{im})$ 。

B.4 标准不确定度评定

B.4.1 由实际载荷引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(\theta_{Eim})$ 评定如下:

- a) 由多分量力校准装置等力标准装置引入的相对标准不确定度:

$$u_{1rel}(\theta_{Eim}) = \frac{U_F}{k_1}$$

式中:

$u_{1rel}(\theta_{Eim})$ ——由多分量力校准装置等力标准装置引入的相对标准不确定度;

U_F ——力标准装置的相对扩展不确定度;

k_1 ——包含因子。

- b) 由专用夹具引入的相对标准不确定度:

$$u_{2\text{rel}}(\theta_{Eim}) = \frac{U_J}{k_2}$$

式中:

$u_{2\text{rel}}(\theta_{Eim})$ ——由专用夹具引入的相对标准不确定度;

U_J ——专用夹具加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度;

k_2 ——包含因子。

c) 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_{Eim})$ 的计算:

$$u_{\text{rel}}(\theta_{Eim}) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\theta_{Eim}) + u_{2\text{rel}}^2(\theta_{Eim})}$$

B.4.2 由车轮六分力传感器示值引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_{im})$ 评定如下:

a) 由车轮六分力传感器示值分辨力引入的相对标准不确定度:

车轮六分力传感器示值分辨力为 r , 区间半宽度为 $r/2$, 假设其服从均匀分布, 则相对标准不确定度:

$$u_{1\text{rel}}(\theta_{im}) = \frac{r}{2\sqrt{3}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{1\text{rel}}(\theta_{im})$ ——由车轮六分力传感器示值分辨力引入的相对标准不确定度;

θ_{ni} ——第 i 个分量单独校准时额定负荷下输出的平均值, N 或 N·m。

b) 由车轮六分力传感器示值重复性引入的相对标准不确定度:

$$u_{2\text{rel}}(\theta_{im}) = \frac{\Delta\theta_{im}}{b_n \sqrt{n}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{2\text{rel}}(\theta_{im})$ ——由车轮六分力传感器示值重复性引入的相对标准不确定度;

$\Delta\theta_{im}$ —— θ_{im} 多次校准数据的极差, N 或 N·m;

b_n ——根据测量次数查表得到的极差系数;

n ——测量次数。

c) 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_{im})$ 的计算:

$$u_{\text{rel}}(\theta_{im}) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\theta_{im}) + u_{2\text{rel}}^2(\theta_{im})}$$

B.5 相对合成标准不确定度

$$u_{\text{crel}}(E_i) = \sqrt{c^2(\theta_{Eim}) \cdot u_{\text{rel}}^2(\theta_{Eim}) + c^2(\theta_{im}) \cdot u_{\text{rel}}^2(\theta_{im})}$$

B.6 相对扩展不确定度

测量结果按正态分布, 取包含因子 $k=2$, 所确定的区间具有的包含概率约为 95%,

则相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}}(E_i) = 2u_{\text{crel}}(E_i)$$

B.7 测量不确定度评定示例

B.7.1 采用多分量力校准装置对车轮六分力传感器 F_x 分量进行校准, 得到的试验数据见表 B.1。

表 B.1 示值误差校准结果的不确定度评定示例校准数据

| 测量分量 F_x | F_x 分量指示仪表读数 (进程) kN | | | |
|------------|------------------------|--------|--------|--------|
| 负荷 kN | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均值 |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 5.032 | 5.041 | 5.018 | 5.030 |
| 10 | 10.033 | 10.081 | 10.055 | 10.056 |
| 25 | 25.129 | 25.184 | 25.224 | 25.179 |
| 50 | 50.164 | 50.421 | 50.318 | 50.301 |

B.7.2 相对标准不确定度的计算

采用三次测量得到的试验数据, 极差系数 $b_3=1.69$; 多分量力校准装置 F_x 分量的单分量校准时的测量不确定度为 0.2% (包含因子为 2); 车轮六分力传感器 F_x 分量示值分辨力为 0.001 kN; 专用夹具中 F_x 分量的加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度为 0.03% (包含因子为 2)。根据 B.4.1a)、B.4.1b)、B.4.2a)、B.4.2b) 计算出相对标准不确定度 $u_{1\text{rel}}(\theta_{Eim})$ 、 $u_{2\text{rel}}(\theta_{Eim})$ 、 $u_{1\text{rel}}(\theta_{im})$ 、 $u_{2\text{rel}}(\theta_{im})$, 并根据 B.4.1c)、B.4.2c)、B.5 计算出 F_x 分量示值误差校准结果的相对合成标准不确定度, 见表 B.2。

表 B.2 示值误差校准的相对标准不确定度、相对合成标准不确定度汇总

| 额定负荷 kN | $u_{1\text{rel}}(\theta_{Eim})$ | $u_{2\text{rel}}(\theta_{Eim})$ | $u_{1\text{rel}}(\theta_{im})$ | $u_{2\text{rel}}(\theta_{im})$ | $u_{\text{rel}}(\theta_{Eim})$ | $u_{\text{rel}}(\theta_{im})$ | $u_{\text{crel}}(E_i)$ |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 50 | 0.100% | 0.015% | 0.001%FS | 0.175%FS | 0.101% | 0.175%FS | 0.202%FS |

B.7.3 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则该车轮六分力传感器 F_x 分量示值误差校准结果的相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}}(E_i) = 2u_{\text{crel}}(E_i) = 0.404\%FS$$

取

$$U_{\text{rel}}(E_i) = 0.5\%FS \quad (k=2)$$

附录 C

耦合误差校准结果的测量不确定度评定

C.1 测量模型

$$C_{ij} = \Delta\theta_{Cij} = \theta_{ij} - \theta_i$$

式中:

C_{ij} ——影响分量 j 对主分量 i 的耦合绝对误差, N 或 N·m;

$\Delta\theta_{Cij}$ ——主分量 i 零负荷、影响分量 j 逐级施加负荷作用下, 主分量 i 输出值变化的最大值, N 或 N·m;

θ_{ij} ——主分量 i 零负荷、影响分量 j 逐级施加负荷作用下, 主分量 i 的输出值, N 或 N·m, 取试验过程中影响分量加载与主分量单独校准时主分量 i 零负荷输出偏差最大的进程平均输出值来进行计算;

θ_i ——主分量 i 单独校准时零负荷的进程平均输出值, N 或 N·m。

C.2 灵敏系数

$$c(\theta_{ij}) = \frac{\partial C_{ij}}{\partial \theta_{ij}} = 1$$

$$c(\theta_i) = \frac{\partial C_{ij}}{\partial \theta_i} = -1$$

C.3 不确定度来源分析

C.3.1 标准不确定度 $u(\theta_{ij})$ 的来源如下:

- a) 影响分量 j 加载时, 由车轮六分力传感器主分量 i 示值重复性引入的标准不确定度 $u_1(\theta_{ij})$;
- b) 多分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置引入的标准不确定度 $u_2(\theta_{ij})$;
- c) 由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的标准不确定度 $u_3(\theta_{ij})$;
- d) 由专用夹具引入的标准不确定度 $u_4(\theta_{ij})$ 。

C.3.2 标准不确定度 $u(\theta_i)$ 的来源如下:

- a) 主分量单分量校准时, 由车轮六分力传感器示值重复性引入的标准不确定度 $u_1(\theta_i)$;
- b) 主分量单分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置引入的标准不确定度 $u_2(\theta_i)$;

- c) 由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的标准不确定度 $u_3(\theta_i)$;
 d) 由专用夹具引入的标准不确定度 $u_4(\theta_i)$ 。

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_{ij})$ 评定如下:

a) 影响分量 j 加载时, 由车轮六分力传感器主分量 i 示值重复性引入的相对标准不确定度:

$$u_{1\text{rel}}(\theta_{ij}) = \frac{\Delta\theta_{ij}}{b_n \sqrt{n}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{1\text{rel}}(\theta_{ij})$ —— 影响分量 j 加载时, 由车轮六分力传感器主分量 i 示值重复性引入的相对标准不确定度;

$\Delta\theta_{ij}$ —— θ_{ij} 多次校准数据的极差, N 或 N·m;

b_n —— 根据测量次数查表得到的极差系数;

n —— 测量次数;

θ_{ni} —— 第 i 个分量单独校准时额定负荷下输出的平均值, N 或 N·m。

b) 多分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置引入的相对标准不确定度:

$$u_{2\text{rel}}(\theta_{ij}) = \frac{U_{FM}}{k_1}$$

式中:

$u_{2\text{rel}}(\theta_{ij})$ —— 多分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置示值引入的相对标准不确定度;

U_{FM} —— 多分量校准时, 力标准装置的相对扩展不确定度;

k_1 —— 包含因子。

c) 由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的相对标准不确定度:

车轮六分力传感器主分量示值分辨力为 r , 区间半宽度为 $r/2$, 假设其服从均匀分布, 则相对标准不确定度:

$$u_{3\text{rel}}(\theta_{ij}) = \frac{r}{2\sqrt{3}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{3\text{rel}}(\theta_{ij})$ —— 由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的相对标准不确定度。

d) 由专用夹具引入的相对标准不确定度:

$$u_{4\text{rel}}(\theta_{ij}) = \frac{U_j}{k_2}$$

式中:

$u_{4\text{rel}}(\theta_{ij})$ ——由专用夹具引入的相对标准不确定度;

U_j ——影响分量 j 加载时, 专用夹具中影响分量 j 的加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度;

k_2 ——包含因子。

e) 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_{ij})$ 的计算:

$$u_{\text{rel}}(\theta_{ij}) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\theta_{ij}) + u_{2\text{rel}}^2(\theta_{ij}) + u_{3\text{rel}}^2(\theta_{ij}) + u_{4\text{rel}}^2(\theta_{ij})}$$

C.4.2 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_i)$ 评定如下:

a) 主分量单分量校准时, 由车轮六分力传感器示值重复性引入的相对标准不确定度:

$$u_{1\text{rel}}(\theta_i) = \frac{\Delta\theta_i}{b_n \sqrt{n}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{1\text{rel}}(\theta_i)$ ——主分量单分量校准时, 由车轮六分力传感器示值重复性引入的相对标准不确定度;

$\Delta\theta_i$ —— θ_i 多次校准数据的极差, N 或 $N \cdot m$ 。

b) 主分量单分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置引入的相对标准不确定度:

$$u_{2\text{rel}}(\theta_i) = \frac{U_F}{k_3}$$

式中:

$u_{2\text{rel}}(\theta_i)$ ——主分量单分量校准时, 由多分量力校准装置等力标准装置引入的相对标准不确定度;

U_F ——主分量单分量校准时, 力标准装置的相对扩展不确定度;

k_3 ——包含因子。

c) 由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的相对标准不确定度:

车轮六分力传感器示值分辨力为 r , 区间半宽度为 $r/2$, 假设其服从均匀分布, 则相对标准不确定度:

$$u_{3\text{rel}}(\theta_i) = \frac{r}{2\sqrt{3}\theta_{ni}} \times 100\% \text{FS}$$

式中:

$u_{3\text{rel}}(\theta_i)$ ——由车轮六分力传感器主分量示值分辨力引入的相对标准不确定度。

d) 由专用夹具引入的相对标准不确定度:

$$u_{4\text{rel}}(\theta_i) = \frac{U_j}{k_4}$$

式中:

$u_{4\text{rel}}(\theta_i)$ ——由专用夹具引入的相对标准不确定度;

U_j ——专用夹具中主分量加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度;

k_4 ——包含因子。

e) 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\theta_i)$ 的计算:

$$u_{\text{rel}}(\theta_i) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\theta_i) + u_{2\text{rel}}^2(\theta_i) + u_{3\text{rel}}^2(\theta_i) + u_{4\text{rel}}^2(\theta_i)}$$

C.5 相对合成标准不确定度

$$u_{\text{crel}}(C_{ij}) = \sqrt{c^2(\theta_{ij}) \cdot u_{\text{rel}}^2(\theta_{ij}) + c^2(\theta_i) \cdot u_{\text{rel}}^2(\theta_i)}$$

C.6 相对扩展不确定度

测量结果按正态分布, 取包含因子 $k=2$, 所确定的区间具有的包含概率约为 95%, 则相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}}(C_{ij}) = 2u_{\text{crel}}(C_{ij})$$

C.7 测量不确定度评定示例

C.7.1 采用多分量力校准装置对 F_y 分量进行加载, 读取车轮六分力传感器 F_x 分量指示仪表读数, 评价 F_y 分量对 F_x 分量的耦合误差, 得到的试验数据见表 C.1。

表 C.1 耦合误差校准结果的不确定度评定示例校准数据

| 加载分量 F_y | F_x 分量指示仪表读数 (进程) kN | | | |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|
| 负荷 kN | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均值 |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2.5 | 0.182 | 0.193 | 0.203 | 0.193 |
| 5 | 0.333 | 0.146 | 0.262 | 0.247 |
| 12.5 | 0.167 | 0.102 | 0.083 | 0.117 |
| 25 | 0.275 | 0.164 | 0.354 | 0.264 |

C.7.2 相对标准不确定度分量的计算

采用三次测量得到的试验数据, 极差系数 $b_3=1.69$; 多分量力校准装置 F_x 分量在单分量校准时的测量不确定度为 0.2% (包含因子为 2), F_x 分量在多分量校准时的测量不确定度为 0.3% (包含因子为 2); 车轮六分力传感器 F_x 分量示值分辨力为 0.001 kN; 专

用夹具中 F_x 分量的加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度为 0.03% (包含因子为 2), F_y 分量的加载位置与车轮六分力传感器本身受力点之间有效长度的相对测量不确定度为 0.02% (包含因子为 2); F_x 分量单分量校准数据见表 B.1。根据 C.4.1a)、C.4.1b)、C.4.1c)、C.4.1d)、C.4.2a)、C.4.2b)、C.4.2c)、C.4.2d) 计算出相对标准不确定度 $u_{1rel}(\theta_{ij})$ 、 $u_{2rel}(\theta_{ij})$ 、 $u_{3rel}(\theta_{ij})$ 、 $u_{4rel}(\theta_{ij})$ 、 $u_{1rel}(\theta_i)$ 、 $u_{2rel}(\theta_i)$ 、 $u_{3rel}(\theta_i)$ 、 $u_{4rel}(\theta_i)$, 并根据 C.4.1e)、C.4.2e)、C.5 计算出 F_y 分量对 F_x 分量的耦合误差校准结果的相对合成标准不确定度, 见表 C.2。

表 C.2 耦合误差校准的相对标准不确定度、相对合成标准不确定度汇总

| F_x 额定 负荷 kN | %FS | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | $u_{1rel}(\theta_{ij})$ | $u_{2rel}(\theta_{ij})$ | $u_{3rel}(\theta_{ij})$ | $u_{4rel}(\theta_{ij})$ | $u_{rel}(\theta_{ij})$ | $u_{1rel}(\theta_i)$ | $u_{2rel}(\theta_i)$ | $u_{3rel}(\theta_i)$ | $u_{4rel}(\theta_i)$ | $u_{rel}(\theta_i)$ | $u_{crel}(C_{ij})$ |
| 50 | 0.129 | 0.150 | 0.001 | 0.015 | 0.198 | 0.175 | 0.100 | 0.001 | 0.010 | 0.202 | 0.283 |

C.7.3 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则该车轮六分力传感器 F_y 分量对 F_x 分量的耦合误差校准结果的相对扩展不确定度:

$$U_{rel}(C_{ij}) = 2u_{crel}(C_{ij}) = 0.566\%FS$$

取

$$U_{rel}(C_{ij}) = 0.6\%FS \quad (k=2)$$

C.8 依据以上方法, 同理可求得其余各分量间耦合误差相对扩展不确定度数据, 并形成矩阵表, 见表 C.3。

表 C.3 耦合误差相对扩展不确定度矩阵

| 耦合误差相对扩展不确定度 $U_{rel}(C_{ij})$ ($k=2$) | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 主分量 | 影响分量 | | | | | |
| | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| F_x | — | 0.6%FS | 0.5%FS | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.8%FS |
| F_y | 0.5%FS | — | 0.5%FS | 0.8%FS | 0.7%FS | 0.8%FS |
| F_z | 0.5%FS | 0.6%FS | — | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.7%FS |
| M_x | 0.7%FS | 0.8%FS | 0.7%FS | — | 0.6%FS | 0.7%FS |
| M_y | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.8%FS | 0.7%FS | — | 0.6%FS |
| M_z | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.7%FS | 0.6%FS | — |

中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范
车轮六分力传感器校准规范
JJF(机械) 1085—2023

*

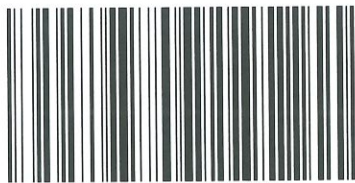
机械工业出版社出版发行
北京市百万庄大街 22 号
邮政编码: 100037

*

210 mm×297 mm·1.75 印张·49 千字
2023 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
定价: 34.00 元

*

书号: 15111·J-0085
网址: <http://www.cmpbook.com>
编辑部电话: (010) 88379399
直销中心电话: (010) 88379399
封面无防伪标均为盗版



JJF(机械)1085-2023



版权专有 侵权必究