



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) 1110—2023

车辆悬架运动特性 (K&C) 试验台
校准规范

Calibration Specification for K&C of Vehicle Suspension

20**—**—**发布

20**—**—**实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

车辆悬架运动特性（K&C）

试验台校准规范

Calibration Specification for K&C of

Vehicle Suspension

JJF（机械）1110—2023

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：襄阳达安汽车检测中心有限公司

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：

叶仁根（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

陈曦（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）

参加起草人：

涂远扬（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

李 昕（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

刘 茹（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

贾莹莹（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

贾继勇（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

兰燕飞（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.....	1
5.1 适配车辆参数.....	1
5.2 中心平台.....	2
5.3 平台运动.....	2
5.4 车轮偏转位置测量系统.....	2
5.5 车轮加载.....	2
5.6 转动惯量.....	2
5.7 质心位置.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 标准装置.....	3
7 校准项目及方法.....	3
7.1 外观检查.....	3
7.2 适配车辆参数.....	3
7.3 中心平台.....	4
7.4 平台运动.....	5
7.5 车轮偏转位置测量系统.....	7
7.6 车轮加载.....	10
7.7 转动惯量.....	11
7.8 质心位置.....	12
7 校准结果的表述.....	14
8 复校时间间隔.....	14
附录 A（资料性）车辆悬架运动特性（K&C）试验台测量不确定度分析示例.....	15
附录 B（资料性）校准证书或校准报告内容.....	50

引 言

本规范依据 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》等编制。

《车辆悬架运动特性（K&C）试验台校准规范》用于车辆悬架运动特性（K&C）试验台校准的计量特性要求。

本校准规范给出了车辆悬架运动特性（K&C）试验台的校准条件，校准项目、校准方法及不确定度评定方法。

本规范为首次发布。

车辆悬架运动特性（K&C）试验台校准规范

1 范围

本文件规定了车辆悬架运动特性（K&C）试验台参数的技术要求和校准方法。

本文件适用于新制造，使用中和维修后的车辆悬架运动特性（K&C）试验台参数校准。（其它类似设备可参照本文件进行校准）。

2 引用文件

- 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
JJF1071-2010 国家计量校准规范编写规则
JJF1094-2002 测量仪器特性评定

使用本文件时，应注意使用上述引用文件的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 悬架 K 特性

即悬架运动学特性,是指车轮在垂直方向上往复运动的过程中,由于悬架导向机构的作用而导致车轮平面和轮心点产生角位移和线位移变化的特性。

3.2 悬架 C 特性

即悬架弹性运动学特性，是指地面作用于轮胎上的力和力矩所导致的车轮平面和轮心产生角位移和线位移变化的特性。

4 概述

车辆悬架运动特性（K&C）试验台（以下简称 K&C 试验台）是通过将车辆置于车辆悬架运动特性（K&C）试验台，对轮胎和底盘缓慢的施加力或位移，模拟车辆在路面行驶时的悬架变化情况，来测量关键的力、力矩、悬架和底盘的位置变化等参数的专用设备。

5 计量特性

5.1 适配车辆参数

5.1.1 车辆轴距各校准点示值误差应不大于 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

5.1.2 车辆轮距各校准点示值误差应不大于 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

5.2 中心平台

5.2.1 中心平台垂向位移（弹跳）各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.2.2 侧倾角各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.2.3 俯仰角各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.3 平台运动

5.3.1 纵向（X方向）运动位移各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.3.2 横向（Y方向）运动位移各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.3.3 Z向旋转角度各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.4 车轮偏转位置测量系统

5.4.1 相对车轮纵向偏转方向（X方向）位移各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.4.2 相对车轮横向偏转方向（Y方向）位移各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.4.3 相对车轮垂直偏转方向（Z方向）位移各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.3\text{FS}$ 。

5.4.4 转向角各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.4.5 外倾角各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.4.6 车轮转角各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.1^\circ$ 。

5.5 车轮加载

5.5.1 纵向力值各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.5\text{FS}$ 。

5.5.2 侧向力值各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.5\text{FS}$ 。

5.5.3 垂向力值各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.5\text{FS}$ 。

5.5.4 扭矩各校准点示值误差应不大于 $\pm 0.5\text{FS}$ 。

5.6 转动惯量

转动惯量各校准点示值误差应不大于 $\pm 1.5\%$ 。

5.7 质心位置

质心位置各方向三维坐标各校准点示值误差应不大于 $\pm 1.5\%$ 。

注：上述技术要求仅供参考

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

相对湿度： $\leq 85\% \text{RH}$

6.2 标准装置

表 3 标准装置及要求

序号	仪器设备名称	最大允许误差
1	激光跟踪仪	$\pm 0.01\%$
2	标准力传感器	$\pm 0.1\%$
3	标准扭矩传感器	$\pm 0.1\%$
4	标准转动惯量支架	$\pm 0.3\%$
5	标准质心位置支架	$\pm 0.3\%$

7 校准项目及方法

7.1 外观检查

车辆悬架运动特性（K&C）试验台应有唯一性的识别标识，各部件操作灵活，显示清晰，不应有影响校准的缺陷。，校准方可进行。

7.2 适配车辆参数

7.2.1 车辆轴距示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上，并对 K&C 试验台进行测量，设置并调节 K&C 试验台车辆轴距，在量程范围内，至少应选择 5 个校准点，待读数稳定后，分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值，每一校准点重复测量三次，按公式（7.1）计算车辆轴距示值误差，取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{L_{zi}} = \overline{L_{zi}} - \overline{L_{z0i}} \quad (7.1)$$

式中： Δ_{Lzi} --第 i 校准点 K&C 试验台车辆轴距示值误差，mm；

$\overline{L_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台车辆轴距 3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{z0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm。

7.2.2 车辆轮距示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上，并对 K&C 试验台进行测量，设置并调节 K&C 试验台车辆轮距，在量程范围内，至少应选择 5 个校准点，待读数稳定后，分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值，每一校准点重复测量三次，按公式（7.2）计算车辆轮距示值误差，取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{L_{li}} = \overline{L_{li}} - \overline{L_{l0i}} \quad (7.2)$$

式中： $\Delta_{L_{li}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台车辆轮距示值误差，mm；

$\overline{L_{li}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台车辆轮距 3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{l0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm。

7.3 中心平台

7.3.1 中心平台垂向位移（弹跳）示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上，并对 K&C 试验台进行测量，设置并调节 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳），在量程范围内，至少应选择 5 个校准点，待读数稳定后，分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值，每一校准点重复测量三次，按公式（7.3）计算中心平台垂向位移（弹跳）示值误差，取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{L_{ci}} = \frac{\overline{L_{ci}} - \overline{L_{c0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.3)$$

式中： $\delta_{L_{ci}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）示值误差，%FS；

$\overline{L_{ci}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{c0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --K&C 试验台中心平台垂向位移 (弹跳) 满量程值, mm。

7.3.2 侧倾角示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台侧倾角, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.4) 计算侧倾角示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{ci}} = \overline{\theta_{ci}} - \overline{\theta_{c0i}} \quad (7.4)$$

式中: $\Delta_{\theta_{ci}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台侧倾角示值误差, °;

$\overline{\theta_{ci}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台侧倾角 3 次示值算术平均值, °;

$\overline{\theta_{c0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, °。

7.3.3 俯仰角示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台俯仰角, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.5) 计算俯仰角示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{fi}} = \overline{\theta_{fi}} - \overline{\theta_{f0i}} \quad (7.5)$$

式中: $\Delta_{\theta_{fi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台俯仰角示值误差, °;

$\overline{\theta_{fi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台俯仰角 3 次示值算术平均值, °;

$\overline{\theta_{f0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, °。

7.4 平台运动

7.4.1 平台纵向 (X 方向) 运动位移示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点

重复测量三次,按公式(7.6)计算平台纵向(X方向)运动位移示值误差,取5个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{L_{Xi}} = \frac{\overline{L_{Xi}} - \overline{L_{X0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.6)$$

式中: $\delta_{L_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台纵向(X方向)运动位移示值误差, %FS;

$\overline{L_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台纵向(X方向)运动位移 3 次示值算术平均值, mm;

$\overline{L_{X0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --K&C 试验台平台纵向(X方向)运动位移满量程值, mm。

7.4.2 平台横向(Y方向)运动位移示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上,并对 K&C 试验台进行测量,设置并调节 K&C 试验台平台横向(Y方向)运动位移,在量程范围内,至少应选择 5 个校准点,待读数稳定后,分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值,每一校准点重复测量三次,按公式(7.7)计算平台横向(Y方向)运动位移示值误差,取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{L_{Yi}} = \frac{\overline{L_{Yi}} - \overline{L_{Y0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.7)$$

式中: $\delta_{L_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台横向(Y方向)运动位移示值误差, %FS;

$\overline{L_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台横向(Y方向)运动位移 3 次示值算术平均值, mm;

$\overline{L_{Y0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --K&C 试验台平台横向(Y方向)运动位移满量程值, mm。

7.4.3 平台 Z 向旋转角度示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上,并对 K&C 试验台进行测量,设置并调节 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度,在量程范围内,至少应选择 5 个校准点,待读数稳定后,分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值,每一校准点重复测量

三次,按公式(7.8)计算平台 Z 向旋转角度示值误差,取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{xi}} = \overline{\theta_{xi}} - \overline{\theta_{x0i}} \quad (7.8)$$

式中: $\Delta_{\theta_{xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{x0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, ° 。

7.5 车轮偏转位置测量系统

7.5.1 相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上,并对 K&C 试验台进行测量,设置并调节 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移,在量程范围内,至少应选择 5 个校准点,待读数稳定后,分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值,每一校准点重复测量三次,按公式(7.9)计算相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移示值误差,取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{V_{xi}} = \frac{\overline{V_{xi}} - \overline{V_{x0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.9)$$

式中: $\delta_{V_{xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移示值误差, %FS;

$\overline{V_{xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移 3 次示值算术平均值, mm;

$\overline{V_{x0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --相对车轮纵向偏转方向 (X 方向)位移满量程值, mm。

7.5.2 相对车轮横向偏转方向 (Y 方向)位移示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上,并对 K&C 试验台进行测量,设置并调节 K&C 试验台相对车轮横向偏转方向 (Y 方向)位移,在量程范围内,至少应选择 5 个校准点,待读数稳定后,分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值,每

一校准点重复测量三次,按公式(7.10)计算相对车轮横向偏转方向(Y方向)位移示值误差,取5个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{V_{Yi}} = \frac{\overline{V_{Yi}} - \overline{V_{Y0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.10)$$

式中: $\delta_{V_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮横向偏转方向(Y方向)位移示值误差, %FS;

$\overline{V_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮横向偏转方向(Y方向)位移 3 次示值算术平均值, mm;

$\overline{V_{Y0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --K&C 试验台相对车轮横向偏转方向(Y方向)位移满量程值, mm。

7.5.3 相对车轮垂向偏转方向(Z方向)位移示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上,并对 K&C 试验台进行测量,设置并调节 K&C 试验台相对车轮垂向偏转方向(Z方向)位移,在量程范围内,至少应选择 5 个校准点,待读数稳定后,分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值,每一校准点重复测量三次,按公式(7.11)计算相对车轮垂向偏转方向(Z方向)位移示值误差,取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{V_{Zi}} = \frac{\overline{V_{Zi}} - \overline{V_{Z0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.11)$$

式中: $\delta_{V_{Zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮垂向偏转方向(Z方向)位移示值误差, %FS;

$\overline{V_{Zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮垂向偏转方向(Z方向)位移 3 次示值算术平均值, mm;

$\overline{V_{Z0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, mm;

(FS) --相对车轮垂向偏转方向(Z方向)满量程值, mm。

7.5.4 转向角示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台转向角, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.12) 计算转向角示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{zi}} = \overline{\theta_{zi}} - \overline{\theta_{z0i}} \quad (7.12)$$

式中: $\Delta_{\theta_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台转向角示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台转向角 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{z0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, ° 。

7.5.5 外倾角示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台外倾角, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.13) 计算外倾角示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{wi}} = \overline{\theta_{wi}} - \overline{\theta_{w0i}} \quad (7.13)$$

式中: $\Delta_{\theta_{wi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台外倾角示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{wi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台外倾角 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{w0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, ° 。

7.5.6 车轮转角示值误差

将激光跟踪仪按其使用说明安装在高三脚架上, 并对 K&C 试验台进行测量, 设置并调节 K&C 试验台车轮转角, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与激光跟踪仪的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.14) 计算车轮转角示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\Delta_{\theta_{czi}} = \overline{\theta_{czi}} - \overline{\theta_{cz0i}} \quad (7.14)$$

式中: $\Delta_{\theta_{czi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台车轮转角示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{czi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台车轮转角 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{cz0i}}$ --第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，°。

7.6 车轮加载

7.6.1 纵向力值示值误差

将标准力传感器与 K&C 试验台纵向力传感器串联安装并进行加载，在量程范围内，至少应选择 5 个校准点，待读数稳定后，分别读取并记录 K&C 试验台与标准力传感器的示值，每一校准点重复测量三次，按公式（7.15）计算纵向力值示值误差，取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{F_{Xi}} = \frac{\overline{F_{Xi}} - \overline{F_{X0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.15)$$

式中： $\delta_{F_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台纵向力值示值误差，%FS；

$\overline{F_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台纵向力值 3 次示值算术平均值，N；

$\overline{F_{X0i}}$ --第 i 校准点标准力传感器 3 次测量示值算术平均值，N；

(FS) --K&C 试验台纵向力值满量程值，N。

7.6.2 侧向力值示值误差

将标准力传感器与 K&C 试验台侧向力传感器串联安装并进行加载，在量程范围内，至少应选择 5 个校准点，待读数稳定后，分别读取并记录 K&C 试验台与标准力传感器的示值，每一校准点重复测量三次，按公式（7.16）计算侧向力值示值误差，取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{F_{Yi}} = \frac{\overline{F_{Yi}} - \overline{F_{Y0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.16)$$

式中： $\delta_{F_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台侧向力值示值误差，%FS；

$\overline{F_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台侧向力值 3 次示值算术平均值，N；

$\overline{F_{Y0i}}$ --第 i 校准点标准力传感器 3 次测量示值算术平均值，N。

(FS) --K&C 试验台侧向力值满量程值，N。

7.6.3 垂向力值示值误差

将标准力传感器与 K&C 试验台垂向力传感器串联安装并进行加载, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与标准力传感器的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.17) 计算垂向力值示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{F_{zi}} = \frac{\overline{F_{zi}} - \overline{F_{z0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.17)$$

式中: $\delta_{F_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台垂向力值示值误差, %FS;

$\overline{F_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台垂向力值 3 次示值算术平均值, N;

$\overline{F_{z0i}}$ --第 i 校准点标准力传感器 3 次测量示值算术平均值, N;

(FS) --K&C 试验台垂向力值满量程值, N。

7.6.4 扭矩示值误差

将标准扭矩传感器与 K&C 试验台扭矩传感器串联安装并进行加载, 在量程范围内, 至少应选择 5 个校准点, 待读数稳定后, 分别读取并记录 K&C 试验台与标准扭矩传感器的示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.18) 计算扭矩示值误差, 取 5 个校准点的最大示值误差作为示值误差校准结果。

$$\delta_{M_{zi}} = \frac{\overline{M_{zi}} - \overline{M_{z0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (7.18)$$

式中: $\delta_{M_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台扭矩示值误差, %FS;

$\overline{M_{zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台扭矩值 3 次示值算术平均值, Nm;

$\overline{M_{z0i}}$ --第 i 校准点标准扭矩传感器 3 次测量示值算术平均值, Nm;

(FS) --K&C 试验台扭矩满量程值, Nm。

7.7 转动惯量

7.7.1 X 方向转动惯量示值误差

将标准转动惯量支架安放在 K&C 试验台, 待读数稳定后, 读取并记录 K&C 试验台和标准转动惯量支架 X 方向转动惯量示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.19)

计算转动惯量示值误差。

$$\delta_{G_{Xi}} = \frac{\overline{G_{Xi}} - G_{X0i}}{G_{X0i}} \times 100\% \quad (7.19)$$

式中: $\delta_{G_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 X 方向转动惯量示值误差, %;

$\overline{G_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 X 方向转动惯量 3 次测量示值平均值, kgm^2 ;

G_{X0i} --第 i 校准点标准转动惯量支架 X 方向示值, kgm^2 。

7.7.2 Y 方向转动惯量示值误差

将标准转动惯量支架安放在 K&C 试验台, 待读数稳定后, 读取并记录 K&C 试验台和标准转动惯量支架 Y 方向转动惯量示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.20) 计算转动惯量示值误差。

$$\delta_{G_{Yi}} = \frac{\overline{G_{Yi}} - G_{Y0i}}{G_{Y0i}} \times 100\% \quad (7.20)$$

式中: $\delta_{G_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 Y 方向转动惯量示值误差, %;

$\overline{G_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 Y 方向转动惯量 3 次测量示值平均值, kgm^2 ;

G_{Y0i} --第 i 校准点标准转动惯量支架 Y 方向示值, kgm^2 。

7.7.3 Z 方向转动惯量示值误差

将标准转动惯量支架安放在 K&C 试验台, 待读数稳定后, 读取并记录 K&C 试验台和标准转动惯量支架 Z 方向转动惯量示值, 每一校准点重复测量三次, 按公式 (7.21) 计算转动惯量示值误差。

$$\delta_{G_{Zi}} = \frac{\overline{G_{Zi}} - G_{Z0i}}{G_{Z0i}} \times 100\% \quad (7.21)$$

式中: $\delta_{G_{Zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 Z 方向转动惯量示值误差, %;

$\overline{G_{Zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台 Z 方向转动惯量 3 次测量示值平均值, kgm^2 ;

G_{Z0i} --第 i 校准点标准转动惯量支架 Z 方向示值, kgm^2 。

7.8 质心位置

7.8.1 质心位置 X 方向三维坐标示值误差

将标准质心位置支架安放在 K&C 试验台，待读数稳定后，读取并记录 K&C 试验台和标准质心位置支架 X 方向三维坐标示值，每一校准点重复测量三次，按公式 (7.22) 计算质心位置 X 方向三维坐标示值误差。

$$\delta_{G_{Xi}} = \frac{\overline{H_{Xi}} - H_{X0i}}{H_{X0i}} \times 100\% \quad (7.22)$$

式中： $\delta_{H_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标示值误差，%；

$\overline{H_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标 3 次测量示值平均值，mm；

H_{X0i} --第 i 校准点标准质心位置支架 X 方向三维坐标示值，mm。

7.8.2 质心位置 Y 方向三维坐标示值误差

将标准质心位置支架安放在 K&C 试验台，待读数稳定后，读取并记录 K&C 试验台和标准质心位置支架 Y 方向三维坐标示值，每一校准点重复测量三次，按公式 (7.23) 计算质心位置 Y 方向三维坐标示值误差。

$$\delta_{G_{Yi}} = \frac{\overline{H_{Yi}} - H_{Y0i}}{H_{Y0i}} \times 100\% \quad (7.23)$$

式中： $\delta_{H_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 Y 方向三维坐标示值误差，%；

$\overline{H_{Yi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 Y 方向三维坐标 3 次测量示值平均值，mm；

H_{Y0i} --第 i 校准点标准质心位置支架 Y 方向三维坐标示值，mm。

7.8.3 质心位置 Z 方向三维坐标示值误差

将标准质心位置支架安放在 K&C 试验台，待读数稳定后，读取并记录 K&C 试验台和标准质心位置支架 Z 方向三维坐标示值，每一校准点重复测量三次，按公式 (7.24) 计算质心位置 Z 方向三维坐标示值误差。

$$\delta_{G_{Zi}} = \frac{\overline{H_{Zi}} - H_{Z0i}}{H_{Z0i}} \times 100\% \quad (7.24)$$

式中： $\delta_{H_{Zi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 Z 方向三维坐标示值误差，%；

$\overline{H_{zi}}$ --第*i*校准点 K&C 试验台质心位置 Z 方向三维坐标 3 次测量示值平均值，
mm；

H_{z0i} --第*i*校准点标准质心位置支架 Z 方向三维坐标示值，mm。

7 校准结果的表述

经校准的车辆悬架运动特性（K&C）试验台，出具校准证书或校准报告。注明校准项目，校准用测量标准的溯源性及有效性说明，测量不确定度等（详见附录 B）。

8 复校时间间隔

建议复校准时间间隔为 1 年。使用单位亦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）

车辆悬架运动特性（K&C）试验台测量不确定度分析示例

A.1 车辆轴距（或轮距）示值误差测量不确定度的评定示例

以车辆轴距示值误差测量不确定度的评定为例

A.1.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.2.1 所述。

A.1.2 数学模型

$$\Delta_{L_{zi}} = \overline{L_{zi}} - \overline{L_{z0i}} \quad (\text{A.1.1})$$

式中： $\Delta_{L_{zi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台车辆轴距示值误差，mm；

$\overline{L_{zi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台车辆轴距 3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{z0i}}$ ——第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm。

A.1.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A.1.2})$$

由（A.1.1）式得方差：

$$u_c^2(\Delta_{L_{zi}}) = c_1^2 u^2(\overline{L_{zi}}) + c_2^2 u^2(\overline{L_{z0i}}) \quad (\text{A.1.3})$$

式中： $u(\overline{L_{zi}})$ ——被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(\overline{L_{z0i}})$ ——标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial (\Delta_{L_{zi}})}{\partial (\overline{L_{zi}})} = 1 \quad (\text{A.1.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\Delta_{L_{zi}})}{\partial (\overline{L_{z0i}})} = -1 \quad (\text{A.1.5})$$

根据（A.1.4），（A.1.5）式得标准不确定度：

$$u_c^2(\Delta_{L_{zi}}) = u^2(\overline{L_{zi}}) + u^2(\overline{L_{z0i}}) \quad (\text{A. 1. 6})$$

A. 1. 4 标准不确定度评定

A. 1. 4. 1 由被校 K&C 试验台轴距测量引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{zi}})$ A. 1. 4. 1. 1 由被校 K&C 试验台轴距测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以轴距 4000mm 值校准点为例，进行 10 次独立、等精度测量，测量结果如表 A. 1. 1 所示。

表 A. 1. 1 轴距测量数据 (单位: mm)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_{zi} (mm)	4000.1	4000.0	4000.2	4000.1	4000.0	4000.1	4000.1	4000.0	4000.0	4000.1
L_{z0i} (mm)	4000.1	4000.2	4000.3	4000.4	4000.4	4000.3	4000.2	4000.3	4000.4	4000.4
$\Delta_{L_{zi}}$ (mm)	0.0	-0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{L_{zi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{L_{zi}} - \overline{\Delta_{L_{zi}}})^2}{9}} = 0.134\text{mm} \quad (\text{A. 1. 7})$$

在实际测量中，在重复条件下测量 3 次，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{L_{zi}})}{\sqrt{3}} = 0.078\text{mm} \quad (\text{A. 1. 8})$$

A. 1. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台显示仪表的分辨力为:0.1mm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.05mm 的区间内，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{ mm} \quad (\text{A. 1. 9})$$

A. 1. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 1. 4. 2. 1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{z0i}})$

查激光跟踪仪证书，其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u(\overline{L_{z0i}}) = 4000 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.115\text{mm} \quad (\text{A. 1. 10})$$

A. 1. 5 合成标准不确定度：

以上各项均不相关，列出轴距示值误差测量不确定度汇总表：

表 A. 1. 2 轴距示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台轴距测量						
1. 1	测量重复性	A	正态	1	u_1	1	0. 078mm
1. 2	轴距数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	1	0. 029mm
2	标准装置引入						
2. 1	激光跟踪仪	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{L_{z0i}})$	1	0. 115mm

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台轴距数显量化误差引入的不确定度。

由被校设备轴距测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{L_{zi}}) = u_1 = 0. 078\text{mm} \quad (\text{A. 1. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_{L_{zi}}) = \sqrt{u^2(\overline{L_{zi}}) + u^2(\overline{L_{z0i}})} = 0.14\text{mm} \quad (\text{A. 1. 12})$$

A. 1. 6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.14 = 0.28\text{mm} \quad (\text{A. 1. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台轴距示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$U=0. 28\text{mm}$ ，（ $k=2$ ）。

A.2 中心平台垂向位移（弹跳）示值误差测量不确定度的评定示例

A.2.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.3.1 所述。

A.2.2 数学模型

$$\delta_{L_{ci}} = \frac{\overline{L_{ci}} - \overline{L_{c0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (\text{A. 2. 1})$$

式中： $\delta_{L_{ci}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）示值误差，%FS；

$\overline{L_{ci}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{c0i}}$ ——第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm；

(FS) ——K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）满量程值，mm。

A.2.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 2. 2})$$

由（A. 2. 1）式得方差：

$$u_c^2(\delta_{L_{ci}}) = c_1^2 u^2(\overline{L_{ci}}) + c_2^2 u^2(\overline{L_{c0i}}) \quad (\text{A. 2. 3})$$

式中： $u(\overline{L_{ci}})$ ——被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(\overline{L_{c0i}})$ ——标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial (\delta_{L_{ci}})}{\partial (\overline{L_{ci}})} = \frac{1}{(FS)} \quad (\text{A. 2. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\delta_{L_{ci}})}{\partial (\overline{L_{c0i}})} = \frac{-1}{(FS)} \quad (\text{A. 2. 5})$$

根据（A. 2. 4），（A. 2. 5）式得标准不确定度：

$$u_c^2(\delta_{L_{ci}}) = \frac{u^2(\overline{L_{ci}}) + u^2(\overline{L_{c0i}})}{(FS)^2} \quad (\text{A. 2. 6})$$

A.2.4 标准不确定度评定

A. 2. 4. 1 由被校 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）测量引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{ci}})$

A. 2. 4. 1. 1 由被校 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以中心平台垂向位移（弹跳）满量程 190mm, 选择 180mm 校准点为例，进行 10 次独立、等精度测量，测量结果如表 A. 2. 1 所示。

表 A. 2. 1 中心平台垂向位移（弹跳）测量数据

（单位：mm）

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_{ci} (mm)	180.05	180.08	180.03	180.03	180.06	180.04	180.06	180.03	180.04	180.06
L_{coi} (mm)	180.03	180.04	180.12	180.21	180.18	180.03	180.18	180.18	180.17	180.21
绝对误差 $\Delta_{L_{ci}}$ (mm)	0.02	0.04	-0.09	-0.18	-0.12	0.01	-0.12	-0.15	-0.13	-0.15

得单次测量的实验标准差：

$$S(\Delta_{L_{ci}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{L_{ci}} - \overline{\Delta_{L_{ci}}})^2}{9}} = 0.080\text{mm} \quad (\text{A. 2. 7})$$

在实际测量中，在重复条件下测量 3 次，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{L_{ci}})}{\sqrt{3}} = 0.046\text{mm} \quad (\text{A. 2. 8})$$

A. 2. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）显示仪表的分辨力为:0.01mm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.005mm 的区间内，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{mm} \quad (\text{A. 2. 9})$$

A. 2. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A.2.4.2.1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{c0i}})$

查激光跟踪仪证书，其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u(\overline{L_{c0i}}) = 180 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.0052\text{mm} \quad (\text{A. 2. 10})$$

A.2.5 合成标准不确定度：

以上各项均不相关，列出中心平台垂向位移（弹跳）示值误差测量不确定度汇总表：

表 A.2.2 中心平台垂向位移（弹跳）示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	0.0052mm^{-1}	0.046mm
1.2	中心平台垂向位移（弹跳）数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	0.0052mm^{-1}	0.0029mm
2	标准装置引入						
2.1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{L_{c0i}})$	0.0052mm^{-1}	0.0052mm

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{L_{ci}}) = u_1 = 0.046\text{mm} \quad (\text{A. 2. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\delta_{L_{ci}}) = \frac{\sqrt{u^2(\overline{L_{ci}}) + u^2(\overline{L_{c0i}})}}{(FS)} = 0.024\%FS \quad (\text{A. 2. 12})$$

A.2.6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.024\%FS = 0.048\%FS \quad (\text{A. 2. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台中心平台垂向位移（弹跳）示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.048\%FS$ ，（ $k=2$ ）。

A.3 中心平台侧倾角(或俯仰角) 示值误差测量不确定度的评定示例

以中心平台侧倾角示值误差测量不确定度的评定为例

A.3.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.3.2 所述。

A.3.2 数学模型

$$\Delta_{\theta_{ci}} = \overline{\theta_{ci}} - \overline{\theta_{c0i}} \quad (\text{A. 3. 1})$$

式中: $\Delta_{\theta_{ci}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台中心平台侧倾角示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{ci}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台中心平台侧倾角 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{c0i}}$ —第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, ° 。

A.3.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 3. 2})$$

由 (A. 3. 1) 式得方差:

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{ci}}) = c_1^2 u^2(\overline{\theta_{ci}}) + c_2^2 u^2(\overline{\theta_{c0i}}) \quad (\text{A. 3. 3})$$

式中: $u(\overline{\theta_{ci}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量;

$u(\overline{\theta_{c0i}})$ —标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{ci}})}{\partial (\overline{\theta_{ci}})} = 1 \quad (\text{A. 3. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{ci}})}{\partial (\overline{\theta_{c0i}})} = -1 \quad (\text{A. 3. 5})$$

根据 (A. 3. 4), (A. 3. 5) 式得标准不确定度:

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{ci}}) = u^2(\overline{\theta_{ci}}) + u^2(\overline{\theta_{c0i}}) \quad (\text{A. 3. 6})$$

A.3.4 标准不确定度评定

A.3.4.1 由被校 K&C 试验台中心平台侧倾角测量引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{ci}})$

A.3.4.1.1 由被校 K&C 试验台中心平台侧倾角测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以中心平台侧倾角 8° 值校准点为例，进行 10 次独立、等精度测量，测量结果如表 A.3.1 所示。

表 A.3.1 中心平台侧倾角测量数据 (单位: $^\circ$)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_{ci} (^\circ)$	8.005	8.003	8.002	8.004	8.005	8.001	8.003	8.006	8.002	8.003
$\theta_{coi} (^\circ)$	7.998	7.996	7.993	7.991	8.022	8.018	8.018	8.023	8.021	7.987
$\Delta_{\theta_{ci}} (^\circ)$	0.007	0.007	0.009	0.013	-0.017	-0.017	-0.015	-0.017	-0.019	0.016

得单次测量的实验标准差：

$$S(\Delta_{\theta_{ci}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{\theta_{ci}} - \overline{\Delta_{\theta_{ci}}})^2}{9}} = 0.0147^\circ \quad (\text{A. 3. 7})$$

在实际测量中，在重复条件下测量 3 次，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{\theta_{ci}})}{\sqrt{3}} = 0.0085^\circ \quad (\text{A. 3. 8})$$

A.3.4.1.2 由被校 K&C 试验台中心平台侧倾角数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台中心平台侧倾角显示仪表的分辨力为: 0.001° ，其量化误差以等概率分布在半宽为 0.0005° 的区间内，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.00029^\circ \quad (\text{A. 3. 9})$$

A.3.4.2 标准装置引入的标准不确定度分量

A.3.4.2.1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{coi}})$

查激光跟踪仪证书，其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u(\overline{\theta_{coi}}) = 8 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.00025^\circ \quad (\text{A. 3. 10})$$

A.3.5 合成标准不确定度：

以上各项均不相关，列出中心平台侧倾角示值误差测量不确定度汇总表：

表 A. 3. 2 中心平台侧倾角示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台中心平台侧倾角测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	1	0.0085°
1.2	中心平台侧倾角数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	1	0.00029°
2	标准装置引入						
2.1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{\theta_{c0i}})$	1	0.00025°

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台中心平台侧倾角数显量化误差引入的不确定度。

由被校设备中心平台侧倾角测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{\theta_{ci}}) = u_1 = 0.0085^\circ \quad (\text{A. 3. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_{\theta_{ci}}) = \sqrt{u^2(\overline{\theta_{ci}}) + u^2(\overline{\theta_{c0i}})} = 0.0085^\circ \quad (\text{A. 3. 12})$$

A. 3. 6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0085 = 0.017^\circ \quad (\text{A. 3. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台中心平台侧倾角示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.017^\circ$ ，（ $k=2$ ）。

A. 4 平台纵向（X 方向）运动位移（或横向（Y 方向）运动位移）示值误差测量不确定度的评定示例

以平台纵向（X 方向）运动位移示值误差测量不确定度的评定为例

A. 4.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.4.1 所述。

A. 4.2 数学模型

$$\delta_{L_{Xi}} = \frac{\overline{L_{Xi}} - \overline{L_{X0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (\text{A. 4. 1})$$

式中： $\delta_{L_{Xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台平台纵向（X 方向）运动位移示值误差，%FS；

$\overline{L_{Xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台平台纵向（X 方向）运动位移 3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{L_{X0i}}$ ——第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm；

(FS) ——K&C 试验台平台纵向（X 方向）运动位移满量程值，mm。

A. 4.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 4. 2})$$

由（A. 4. 1）式得方差：

$$u_c^2(\Delta_{L_{Xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{L_{Xi}}) + c_2^2 u^2(\overline{L_{X0i}}) \quad (\text{A. 4. 3})$$

式中： $u(\overline{L_{Xi}})$ ——被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(\overline{L_{X0i}})$ ——标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial (\delta_{L_{Xi}})}{\partial (\overline{L_{Xi}})} = \frac{1}{(FS)} \quad (\text{A. 4. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\delta_{L_{Xi}})}{\partial (\overline{L_{X0i}})} = \frac{-1}{(FS)} \quad (\text{A. 4. 5})$$

根据（A. 4. 4），（A. 4. 5）式得标准不确定度：

$$u_c^2(\delta_{L_{Xi}}) = \frac{u^2(\overline{L_{Xi}}) + u^2(\overline{L_{X0i}})}{(FS)^2} \quad (\text{A. 4. 6})$$

A. 4. 4 标准不确定度评定

A. 4. 4. 1 由被校 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移测量引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{Xi}})$

A. 4. 4. 1. 1 由被校 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以平台纵向 (X 方向) 运动位移满量程 150mm, 选择 140mm 校准点为例, 进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果如表 A. 4. 1 所示。

表 A. 4. 1 平台纵向 (X 方向) 运动位移测量数据 (单位: mm)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_{Xi} (mm)	140.03	140.02	140.03	140.01	140.04	140.03	140.02	140.03	140.02	140.03
L_{X0i} (mm)	140.06	140.08	139.96	139.98	140.05	140.08	140.1	140.17	140.11	140.15
绝对误差 $\Delta_{L_{Xi}}$ (mm)	-0.03	-0.06	0.07	0.03	-0.01	-0.05	-0.08	-0.14	-0.09	-0.12

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{L_{Xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{L_{Xi}} - \overline{\Delta_{L_{Xi}}})^2}{9}} = 0.065 \text{ mm} \quad (\text{A. 4. 7})$$

在实际测量中, 在重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{L_{Xi}})}{\sqrt{3}} = 0.038 \text{ mm} \quad (\text{A. 4. 8})$$

A. 4. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移显示仪表的分辨力为: 0.01mm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.005mm 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ mm} \quad (\text{A. 4. 9})$$

A. 4. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 4. 4. 2. 1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{L_{X0i}})$

查激光跟踪仪证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u(\overline{L_{X0i}}) = 150 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.0043 \text{ mm} \quad (\text{A. 4. 10})$$

A. 4. 5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关, 列出平台纵向 (X 方向) 运动位移示值误差测量不确定度汇总表:

表 A. 4. 2 平台纵向 (X 方向) 运动位移示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移测量						
1. 1	测量重复性	A	正态	1	u_1	0.0067 mm^{-1}	0.038mm
1. 2	平台纵向 (X 方向) 运动位移数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	0.0067 mm^{-1}	0.0029mm
2	标准装置引入						
2. 1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{L_{X0i}})$	0.0067 mm^{-1}	0.0043mm

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移测量引入的标准不确定度为:

$$u(\overline{L_{Xi}}) = u_1 = 0.038 \text{ mm} \quad (\text{A. 4. 11})$$

合成标准不确定度:

$$u_c(\delta_{L_{Xi}}) = \frac{\sqrt{u^2(\overline{L_{Xi}}) + u^2(\overline{L_{X0i}})}}{(FS)} = 0.025\% \text{ FS} \quad (\text{A. 4. 12})$$

A. 4. 6 扩展不确定度评定:

按置信因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.025\% \text{ FS} = 0.050\% \text{ FS} \quad (\text{A. 4. 13})$$

结论: 上述分析及计算得到 K&C 试验台平台纵向 (X 方向) 运动位移示值误差测量

结果的扩展不确定度为： $U=0.050\%FS$ ，（ $k=2$ ）。

A.5 平台 Z 向旋转角度示值误差测量不确定度的评定示例

A.5.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.4.3 所述。

A.5.2 数学模型

$$\Delta_{\theta_{xi}} = \overline{\theta_{xi}} - \overline{\theta_{x0i}} \quad (\text{A. 5. 1})$$

式中： $\Delta_{\theta_{xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度示值误差，°；

$\overline{\theta_{xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度 3 次示值算术平均值，°；

$\overline{\theta_{x0i}}$ ——第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，°。

A.5.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 5. 2})$$

由（A. 5. 1）式得方差：

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{\theta_{xi}}) + c_2^2 u^2(\overline{\theta_{x0i}}) \quad (\text{A. 5. 3})$$

式中： $u(\overline{\theta_{xi}})$ ——被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(\overline{\theta_{x0i}})$ ——标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{xi}})}{\partial (\overline{\theta_{xi}})} = 1 \quad (\text{A. 5. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{xi}})}{\partial (\overline{\theta_{x0i}})} = -1 \quad (\text{A. 5. 5})$$

根据（A. 5. 4），（A. 5. 5）式得标准不确定度：

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{xi}}) = u^2(\overline{\theta_{xi}}) + u^2(\overline{\theta_{x0i}}) \quad (\text{A. 5. 6})$$

A.5.4 标准不确定度评定

A.5.4.1 由被校 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度测量引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{xi}})$

A.5.4.1.1 由被校 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以平台 Z 向旋转角度 75° 值校准点为例，进行 10 次独立、等精度测量，测量结果

如表 A. 5. 1 所示。

表 A. 5. 1 平台 Z 向旋转角度测量数据

（单位：°）

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_{zi} (^{\circ})$	75.005	75.006	75.001	75.004	75.008	75.006	75.009	75.003	75.002	75.004
$\theta_{zoi} (^{\circ})$	74.991	75.012	74.992	75.009	74.991	75.021	75.024	75.014	75.016	75.018
$\Delta_{\theta_{zi}} (^{\circ})$	0.014	-0.006	0.009	-0.005	0.017	-0.015	-0.015	-0.011	-0.014	-0.014

得单次测量的实验标准差：

$$S(\Delta_{\theta_{xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{\theta_{xi}} - \overline{\Delta_{\theta_{xi}}})^2}{9}} = 0.0127^{\circ} \quad (\text{A. 5. 7})$$

在实际测量中，在重复条件下测量 3 次，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{\theta_{xi}})}{\sqrt{3}} = 0.0074^{\circ} \quad (\text{A. 5. 8})$$

A. 5. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台平台 Z 向旋转角度显示仪表的分辨力为： 0.001° ，其量化误差以等概率分布在半宽为 0.0005° 的区间内，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.00029^{\circ} \quad (\text{A. 5. 9})$$

A. 5. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 5. 4. 2. 1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{xoi}})$

查激光跟踪仪证书，其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u(\overline{\theta_{xoi}}) = 75 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.0022^{\circ} \quad (\text{A. 5. 10})$$

A. 5. 5 合成标准不确定度：

以上各项均不相关，列出平台 Z 向旋转角度示值误差测量不确定度汇总表：

表 A. 5. 2 平台 Z 向旋转角度示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	1	0.0074°
1.2	平台 Z 向旋转角度数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	1	0.00029°
2	标准装置引入						
2.1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{\theta_{x0i}})$	1	0.0022°

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度数显量化误差引入的不确定度。

由被校设备平台 Z 向旋转角度测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{\theta_{xi}}) = u_1 = 0.0079^\circ \quad (\text{A. 5. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_{\theta_{xi}}) = \sqrt{u^2(\overline{\theta_{xi}}) + u^2(\overline{\theta_{x0i}})} = 0.0082^\circ \quad (\text{A. 5. 12})$$

A. 5. 6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0082 = 0.017^\circ \quad (\text{A. 5. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台平台 Z 向旋转角度示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.017^\circ$ ，（ $k=2$ ）。

A. 6 相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移（或相对车轮横向偏转方向（Y 方向）位移或相对车轮垂向偏转方向（Z 方向）位移示值误差测量不确定度的评定示例

以相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移示值误差测量不确定度的评定为例

A. 6.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.5.1 所述。

A. 6.2 数学模型

$$\delta_{V_{Xi}} = \frac{\overline{V_{Xi}} - \overline{V_{X0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (\text{A. 6. 1})$$

式中： $\delta_{V_{Xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移示值误差，%FS；

$\overline{V_{Xi}}$ ——第 i 校准点 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移 3 次示值算术平均值，mm；

$\overline{V_{X0i}}$ ——第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值，mm；

(FS) ——K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移满量程值，mm。

A. 6.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 6. 2})$$

由（A. 6. 1）式得方差：

$$u_c^2(\delta_{V_{Xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{V_{Xi}}) + c_2^2 u^2(\overline{V_{X0i}}) \quad (\text{A. 6. 3})$$

式中： $u(\overline{V_{Xi}})$ ——被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(\overline{V_{X0i}})$ ——标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial (\delta_{V_{Xi}})}{\partial (\overline{V_{Xi}})} = \frac{1}{(FS)} \quad (\text{A. 6. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\delta_{V_{Xi}})}{\partial (\overline{V_{X0i}})} = \frac{-1}{(FS)} \quad (\text{A. 6. 5})$$

根据（A. 6. 4），（A. 6. 5）式得标准不确定度：

$$u_c^2(\delta_{V_{Xi}}) = \frac{u^2(\overline{V_{Xi}}) + u^2(\overline{V_{X0i}})}{(FS)^2} \quad (\text{A. 6. 6})$$

A. 6. 4 标准不确定度评定

A. 6. 4. 1 由被校 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移测量引入的标准不确定度 $u(\overline{V_{Xi}})$

A. 6. 4. 1. 1 由被校 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移满量程 75mm, 选择 70mm 校准点为例, 进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果如表 A. 6. 1 所示。

表 A. 6. 1 相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移测量数据 (单位: mm)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_{xi} (mm)	70.01	70.03	70.02	70.04	70.05	70.03	70.02	70.04	70.03	70.02
V_{x0i} (mm)	70.05	70.08	70.02	70.00	70.03	70.09	70.08	70.09	70.11	70.13
绝对误差 $\Delta_{V_{xi}}$ (mm)	-0.04	-0.05	0.00	0.04	0.02	-0.06	-0.06	-0.05	-0.08	-0.11

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{V_{Xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{V_{Xi}} - \overline{\Delta_{V_{Xi}}})^2}{9}} = 0.047\text{mm} \quad (\text{A. 6. 7})$$

在实际测量中, 在重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{V_{Xi}})}{\sqrt{3}} = 0.023\text{mm} \quad (\text{A. 6. 8})$$

A. 6. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2 。

K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移显示仪表的分辨力为: 0.01mm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.005mm 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不

确定度为:

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ mm} \quad (\text{A. 6. 9})$$

A. 6. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 6. 4. 2. 1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{V_{X0i}})$

查激光跟踪仪证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u(\overline{V_{X0i}}) = 75 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.0021 \text{ mm} \quad (\text{A. 6. 10})$$

A. 6. 5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关, 列出相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移示值误差测量不确定度汇总表:

表 A. 6. 2 相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向(X 方向)位移测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	0.0133 mm^{-1}	0.023mm
1.2	相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	0.0133 mm^{-1}	0.0029mm
2	标准装置引入						
2.1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{V_{X0i}})$	0.0133 mm^{-1}	0.0021mm

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向 (X 方向) 位移数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向(X 方向) 位移测量引入的标准不确定度为:

$$u(\overline{V_{Xi}}) = u_1 = 0.023 \text{ mm} \quad (\text{A. 6. 11})$$

合成标准不确定度:

$$u_c(\delta_{V_{Xi}}) = \frac{\sqrt{u^2(\overline{V_{Xi}}) + u^2(\overline{V_{X0i}})}}{(FS)} = 0.031\% \text{ FS} \quad (\text{A. 6. 12})$$

A. 6. 6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U=2\times 0.031\%FS=0.062\%FS \quad (A. 6. 13)$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台相对车轮纵向偏转方向（X 方向）位移示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.062\%FS$ ，（ $k=2$ ）。

A.7 车轮转向角(或车轮外倾角或车轮转角) 示值误差测量不确定度的评定示例

以车轮转向角示值误差测量不确定度的评定为例

A.7.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.5.4 所述。

A.7.2 数学模型

$$\Delta_{\theta_{zi}} = \overline{\theta_{zi}} - \overline{\theta_{z0i}} \quad (\text{A.7.1})$$

式中: $\Delta_{\theta_{zi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台车轮转向角示值误差, ° ;

$\overline{\theta_{zi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台车轮转向角 3 次示值算术平均值, ° ;

$\overline{\theta_{z0i}}$ —第 i 校准点激光跟踪仪 3 次测量示值算术平均值, ° 。

A.7.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A.7.2})$$

由 (A.7.1) 式得方差:

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{zi}}) = c_1^2 u^2(\overline{\theta_{zi}}) + c_2^2 u^2(\overline{\theta_{z0i}}) \quad (\text{A.7.3})$$

式中: $u(\overline{\theta_{zi}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量;

$u(\overline{\theta_{z0i}})$ —标准激光跟踪仪误差的不确定度分量。

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{zi}})}{\partial (\overline{\theta_{zi}})} = 1 \quad (\text{A.7.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\Delta_{\theta_{zi}})}{\partial (\overline{\theta_{z0i}})} = -1 \quad (\text{A.7.5})$$

根据 (A.7.4), (A.7.5) 式得标准不确定度:

$$u_c^2(\Delta_{\theta_{zi}}) = u^2(\overline{\theta_{zi}}) + u^2(\overline{\theta_{z0i}}) \quad (\text{A.7.6})$$

A.7.4 标准不确定度评定

A.7.4.1 由被校 K&C 试验台车轮转向角测量引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{zi}})$

A.7.4.1.1 由被校 K&C 试验台车轮转向角测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以车轮转向角 40° 值校准点为例,进行 10 次独立、等精度测量,测量结果如表 A.7.1 所示。

表 A.7.1 车轮转向角测量数据 (单位: $^\circ$)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_{zi} (^\circ)$	40.003	40.006	40.005	40.008	40.004	40.002	40.003	40.005	40.006	40.005
$\theta_{zoi} (^\circ)$	40.012	39.989	39.993	40.028	40.023	39.996	39.989	40.023	40.023	40.031
$\Delta_{\theta_{zi}} (^\circ)$	-0.009	0.017	0.012	-0.02	-0.019	0.006	0.014	-0.018	-0.017	-0.026

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{\theta_{zi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{\theta_{zi}} - \overline{\Delta_{\theta_{zi}}})^2}{9}} = 0.0165^\circ \quad (\text{A.7.7})$$

在实际测量中,在重复条件下测量 3 次,以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果,其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{\theta_{zi}})}{\sqrt{3}} = 0.0095^\circ \quad (\text{A.7.8})$$

A.7.4.1.2 由被校 K&C 试验台车轮转向角数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台车轮转向角显示仪表的分辨力为: 0.001° , 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.0005° 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.00029^\circ \quad (\text{A.7.9})$$

A.7.4.2 标准装置引入的标准不确定度分量

A.7.4.2.1 标准激光跟踪仪误差引入的标准不确定度 $u(\overline{\theta_{zoi}})$

查激光跟踪仪证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u(\overline{\theta_{zoi}}) = 40 \times 0.005\% / \sqrt{3} = 0.0012^\circ \quad (\text{A.7.10})$$

A.7.5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关，列出车轮转向角示值误差测量不确定度汇总表：

表 A. 7. 2 车轮转向角示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台车轮转向角测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	1	0.0095°
1.2	车轮转向角数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	1	0.00029°
2	标准装置引入						
2.1	激光跟踪仪误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{\theta_{z0i}})$	1	0.0012°

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台车轮转向角数显量化误差引入的不确定度。

由被校设备车轮转向角测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{\theta_{zi}}) = u_1 = 0.0095^\circ \quad (\text{A. 7. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_{\theta_{zi}}) = \sqrt{u^2(\overline{\theta_{zi}}) + u^2(\overline{\theta_{z0i}})} = 0.0096^\circ \quad (\text{A. 7. 12})$$

A. 7. 6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0096 = 0.020^\circ \quad (\text{A. 7. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台车轮转向角示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.020^\circ$ ，（ $k=2$ ）。

A.8 车轮加载力值示值误差测量不确定度的评定示例

以纵向力值示值误差测量不确定度的评定为例

A.8.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.6.1 所述。

A.8.2 数学模型

$$\delta_{F_{Xi}} = \frac{\overline{F_{Xi}} - \overline{F_{X0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (\text{A.8.1})$$

式中: $\delta_{F_{Xi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台纵向力值示值误差, %FS;

$\overline{F_{Xi}}$ —第 i 校准点纵向力值 3 次示值算术平均值, N;

$\overline{F_{X0i}}$ —第 i 校准点标准力传感器 3 次示值算术平均值, N;

(FS)—K&C 试验台纵向力值满量程值, N。

A.8.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A.8.2})$$

由 (A.8.1) 式得方差:

$$u_c^2(\delta_{F_{Xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{F_{Xi}}) + c_2^2 u^2(\overline{F_{X0i}}) \quad (\text{A.8.3})$$

式中: $u(\overline{F_{Xi}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量;

$u(\overline{F_{X0i}})$ —标准力传感器误差的不确定度分量。

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial (\delta_{F_{Xi}})}{\partial (\overline{F_{Xi}})} = \frac{1}{(FS)} \quad (\text{A.8.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\delta_{F_{Xi}})}{\partial (\overline{F_{X0i}})} = \frac{-1}{(FS)} \quad (\text{A.8.5})$$

根据 (A.8.4), (A.8.5) 式得标准不确定度:

$$u_c^2(\delta_{F_{Xi}}) = \frac{u^2(\overline{F_{Xi}}) + u^2(\overline{F_{X0i}})}{(FS)^2} \quad (\text{A.8.6})$$

A. 8. 4 标准不确定度评定

A. 8. 4. 1 由被校 K&C 试验台纵向力值测量引入的标准不确定度 $u(\overline{F_{Xi}})$

A. 8. 4. 1. 1 由被校 K&C 试验台纵向力值测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以 K&C 试验台纵向力值满量程 20000N, 选择 18000N 校准点为例, 进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果如表 A. 8. 1 所示。

表 A. 8. 1 K&C 试验台纵向力值测量数据

(单位: N)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_{Xi} (N)	18003	18005	18003	18006	18010	18004	18006	18002	18003	18004
F_{Xoi} (N)	18021	18026	18015	17995	18031	18022	18018	17996	17993	18011
绝对误差 $\Delta_{F_{Xi}}$ (N)	-18	-21	-12	11	-21	-18	-12	6	10	-7

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{F_{Xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{F_{Xi}} - \overline{\Delta_{F_{Xi}}})^2}{9}} = 12.70\text{N} \quad (\text{A. 8. 7})$$

在实际测量中, 在重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{F_{Xi}})}{\sqrt{3}} = 7.33\text{N} \quad (\text{A. 8. 8})$$

A. 8. 4. 1. 2 由被校 K&C 试验台纵向力值数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台纵向力值显示仪表的分辨力为: 1N, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.5N 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ N} \quad (\text{A. 8. 9})$$

A. 8. 4. 2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 8. 4. 2. 1 标准力传感器误差引入的标准不确定度 $u(\overline{F_{Xoi}})$

查标准力传感器证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u(\overline{F_{X0i}}) = 18000 \times 0.1\% / \sqrt{3} = 10.39\text{N} \quad (\text{A. 8. 10})$$

A. 8. 5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关, 列出 K&C 试验台纵向力值示值误差测量不确定度汇总表:

表 A. 8. 2 K&C 试验台纵向力值示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台纵向力值测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	0.000056N^{-1}	7.33N
1.2	K&C 试验台纵向力值数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	0.000056N^{-1}	0.29N
2	标准装置引入						
2.1	标准力传感器误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{F_{X0i}})$	0.000056N^{-1}	10.39N

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑 K&C 试验台纵向力值数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台纵向力值测量引入的标准不确定度为:

$$u(\overline{F_{Xi}}) = u_1 = 7.33\text{N} \quad (\text{A. 8. 11})$$

合成标准不确定度:

$$u_c(\delta_{F_{Xi}}) = \frac{\sqrt{u^2(\overline{F_{Xi}}) + u^2(\overline{F_{X0i}})}}{(FS)} = 0.071\%FS \quad (\text{A. 8. 12})$$

A. 8. 6 扩展不确定度评定:

按置信因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.071\%FS = 0.15\%FS \quad (\text{A. 8. 13})$$

结论: 上述分析及计算得到 K&C 试验台纵向力值示值误差测量结果的扩展不确定度为: $U=0.15\%FS$, ($k=2$)。

A.9 车轮扭矩示值误差测量不确定度的评定示例

A.9.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.6.4 所述。

A.9.2 数学模型

$$\delta_{M_{zi}} = \frac{\overline{M_{zi}} - \overline{M_{z0i}}}{(FS)} \times 100\% \quad (\text{A.9.1})$$

式中: $\delta_{M_{zi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台加载扭矩示值误差, %FS;

$\overline{M_{zi}}$ —第 i 校准点扭矩 3 次示值算术平均值, Nm;

$\overline{M_{z0i}}$ —第 i 校准点标准扭矩传感器 3 次示值算术平均值, Nm。

(FS) —K&C 试验台加载扭矩满量程值, Nm。

A.9.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A.9.2})$$

由 (A.9.1) 式得方差:

$$u_c^2(\delta_{M_{zi}}) = c_1^2 u^2(\overline{M_{zi}}) + c_2^2 u^2(\overline{M_{z0i}}) \quad (\text{A.9.3})$$

式中: $u(\overline{M_{zi}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量;

$u(\overline{M_{z0i}})$ —标准扭矩传感器误差的不确定度分量。

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial (\delta_{M_{zi}})}{\partial (\overline{M_{zi}})} = \frac{1}{(FS)} \quad (\text{A.9.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial (\delta_{M_{zi}})}{\partial (\overline{M_{z0i}})} = \frac{-1}{(FS)} \quad (\text{A.9.5})$$

根据 (A.9.4), (A.9.5) 式得标准不确定度:

$$u_c^2(\delta_{M_{zi}}) = \frac{u^2(\overline{M_{zi}}) + u^2(\overline{M_{z0i}})}{(FS)^2} \quad (\text{A.9.6})$$

A.9.4 标准不确定度评定

A.9.4.1 由被校 K&C 试验台扭矩测量引入的标准不确定度 $u(\overline{M_{zi}})$

A.9.4.1.1 由被校 K&C 试验台轴距测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以 K&C 试验台扭矩满量程 700Nm, 选择 600Nm 校准点为例, 进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果如表 A.9.1 所示。

表 A.9.1 K&C 试验台加载扭矩测量数据

(单位: N)

分量	测量值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M_{zi} (Nm)	600.2	600.0	600.3	599.8	600.4	600.3	599.7	599.9	600.3	600.5
M_{z0i} (Nm)	600.6	600.9	600.8	601.0	600.3	600.1	599.6	599.7	600.9	601.2
绝对误差 $\Delta_{M_{zi}}$ (Nm)	-0.4	-0.9	-0.5	-1.2	0.1	0.2	0.1	0.2	-0.6	-0.7

得单次测量的实验标准差:

$$S(\Delta_{M_{zi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_{M_{zi}} - \overline{\Delta_{M_{zi}}})^2}{9}} = 0.499 \text{ Nm} \quad (\text{A.9.7})$$

在实际测量中, 在重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\Delta_{M_{zi}})}{\sqrt{3}} = 0.288 \text{ Nm} \quad (\text{A.9.8})$$

A.9.4.1.2 由被校 K&C 试验台扭矩数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台扭矩显示仪表的分辨力为: 0.1Nm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.05Nm 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ Nm} \quad (\text{A.9.9})$$

A.9.4.2 标准装置引入的标准不确定度分量

A.9.4.2.1 标准扭矩传感器误差引入的标准不确定度 $u(\overline{M_{z0i}})$

查标准扭矩传感器证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标

准不确定度分量:

$$u(\overline{M_{z0i}}) = 600 \times 0.1\% / \sqrt{3} = 0.346 \text{ Nm} \quad (\text{A. 9. 10})$$

A. 9. 5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关, 列出 K&C 试验台加载扭矩示值误差测量不确定度汇总表:

表 A. 9. 2 K&C 试验台加载扭矩示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台加载扭矩测量						
1. 1	测量重复性	A	正态	1	u_1	$0.0014 (\text{Nm})^{-1}$	0.288 Nm
1. 2	K&C 试验台扭矩数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	$0.0014 (\text{Nm})^{-1}$	0.029 Nm
2	标准装置引入						
2. 1	标准扭矩传感器误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(\overline{M_{z0i}})$	$0.0014 (\text{Nm})^{-1}$	0.346 Nm

重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑 K&C 试验台扭矩数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台扭矩测量引入的标准不确定度为:

$$u(\overline{M_{zi}}) = u_1 = 0.288 \text{ Nm} \quad (\text{A. 9. 11})$$

合成标准不确定度:

$$u_c(\delta_{M_{zi}}) = \frac{\sqrt{u^2(\overline{M_{zi}}) + u^2(\overline{M_{z0i}})}}{(FS)} = 0.064\% \text{ FS} \quad (\text{A. 9. 12})$$

A. 9. 6 扩展不确定度评定:

按置信因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.064\% \text{ FS} = 0.13\% \text{ FS} \quad (\text{A. 9. 13})$$

结论: 上述分析及计算得到 K&C 试验台扭矩示值误差测量结果的扩展不确定度为:
 $U=0.13\% \text{ FS}$, ($k=2$)。

A. 10 转动惯量示值误差测量不确定度的评定示例

以 X 方向转动惯量示值误差测量不确定度的评定为例

A. 10.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.7.1 所述。

A. 10.2 数学模型

$$\delta_{G_{Xi}} = \frac{\overline{G_{Xi}} - G_{X0i}}{G_{X0i}} \times 100\% \quad (\text{A. 10. 1})$$

式中： $\delta_{G_{Xi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台 X 方向转动惯量示值误差，%；

$\overline{G_{Xi}}$ —第 i 校准点 K&C 试验台 X 方向转动惯量 3 次测量示值平均值， kgm^2 ；

G_{X0i} —第 i 校准点标准转动惯量支架 X 方向示值， kgm^2 。

A. 10.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A. 10. 2})$$

由 (A. 10. 1) 式得方差：

$$u_c^2(\delta_{G_{Xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{G_{Xi}}) + c_2^2 u^2(G_{X0i}) \quad (\text{A. 10. 3})$$

式中： $u(\overline{G_{Xi}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(G_{X0i})$ —标准转动惯量支架 X 方向误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial(\delta_{G_{Xi}})}{\partial(\overline{G_{Xi}})} = \frac{1}{G_{X0i}} \quad (\text{A. 10. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial(\delta_{G_{Xi}})}{\partial(G_{X0i})} = \frac{-\overline{G_{Xi}}}{G_{X0i}^2} \quad (\text{A. 10. 5})$$

根据 (A. 10. 4)，(A. 10. 5) 式得标准不确定度：

$$u_{cr}^2(\delta_{G_{Xi}}) = \frac{u^2(\overline{G_{Xi}})}{G_{X0i}^2} + \frac{\overline{G_{Xi}}^2 u^2(G_{X0i})}{G_{X0i}^4} \quad (\text{A. 10. 6})$$

A. 10.4 标准不确定度评定

A. 10.4.1 由被校 K&C 试验台 X 方向转动惯量测量引入的标准不确定度 $u(\overline{G_{Xi}})$

A. 10.4.1.1 由被校 K&C 试验台 X 方向转动惯量测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以 K&C 试验台 X 方向加载 399.77kgm² 转动惯量校准点为例, 进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果如表 A. 10.1 所示。

表 A. 10.1 K&C 试验台 X 方向转动惯量测量数据 (单位: kgm²)

399.1	398.9	399.6	399.9	399.5	399.3	398.8	398.6	398.9	399.9
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

得单次测量的实验标准差:

$$S(\delta_{G_{Xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (G_{Xi} - \overline{G_{Xi}})^2}{9}} = 0.462 \text{ kgm}^2 \quad (\text{A. 10.7})$$

在实际测量中, 在重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\delta_{G_{Xi}})}{\sqrt{3}} = 0.267 \text{ kgm}^2 \quad (\text{A. 10.8})$$

A. 10.4.1.2 由被校 K&C 试验台 X 方向转动惯量数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台 X 方向转动惯量显示仪表的分辨力为: 0.1kgm², 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.05kgm² 的区间内, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ kgm}^2 \quad (\text{A. 10.9})$$

A. 10.4.2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 10.4.2.1 标准转动惯量支架 X 方向误差引入的标准不确定度 $u(G_{x0i})$

查标准转动惯量支架证书, 其最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ 。服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u(G_{x0i}) = 399.77 \times 0.3\% / \sqrt{3} = 0.692 \text{ kgm}^2 \quad (\text{A. 10.10})$$

A. 10.5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关, 列出 K&C 试验台 X 方向转动惯量示值误差测量不确定度汇总表:

表 A. 10.2 K&C 试验台 X 方向转动惯量示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台 X 方向转动惯量测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	$0.0025 (\text{kgm}^2)^{-1}$	0.267 kgm^2
1.2	K&C 试验台 X 方向转动惯量数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	$0.0025 (\text{kgm}^2)^{-1}$	0.029 kgm^2
2	标准装置引入						
2.1	标准转动惯量支架 X 方向误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(G_{X0i})$	$0.0025 (\text{kgm}^2)^{-1}$	0.692 kgm^2

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台 X 方向转动惯量数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台 X 方向转动惯量测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{G_{Xi}}) = u_1 = 0.267 \text{ kgm}^2 \quad (\text{A. 10. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\delta_{G_{Xi}}) = \sqrt{\frac{u^2(\overline{G_{Xi}})}{G_{X0i}^2} + \frac{\overline{G_{Xi}}^2 u^2(\overline{G_{X0i}})}{G_{X0i}^4}} = 0.19\% \quad (\text{A. 10. 12})$$

A. 10.6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.19\% = 0.38\% \quad (\text{A. 10. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台 X 方向转动惯量示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.38\%$ ，（ $k=2$ ）。

A.11 质心位置三维坐标示值误差测量不确定度的评定示例

以质心位置 X 方向三维坐标示值误差测量不确定度的评定为例

A.11.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.8.1 所述。

A.11.2 数学模型

$$\delta_{H_{Xi}} = \frac{\overline{H_{Xi}} - H_{X0i}}{H_{X0i}} \times 100\% \quad (\text{A.11.1})$$

式中： $\delta_{H_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标示值误差，%；

$\overline{H_{Xi}}$ --第 i 校准点 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标 3 次测量示值平均值，mm；

H_{X0i} --第 i 校准点标准质心位置支架 X 方向三维坐标示值，mm。

A.11.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{A.11.2})$$

由 (A.11.1) 式得方差：

$$u_c^2(\delta_{H_{Xi}}) = c_1^2 u^2(\overline{H_{Xi}}) + c_2^2 u^2(H_{X0i}) \quad (\text{A.11.3})$$

式中： $u(\overline{H_{Xi}})$ —被校 K&C 试验台的不确定度分量；

$u(H_{X0i})$ —标准质心位置支架 X 方向三维坐标误差的不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial(\delta_{H_{Xi}})}{\partial(\overline{H_{Xi}})} = \frac{1}{H_{X0i}} \quad (\text{A.11.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial(\delta_{H_{Xi}})}{\partial(H_{X0i})} = \frac{-\overline{H_{Xi}}}{H_{X0i}^2} \quad (\text{A.11.5})$$

根据 (A.11.4)，(A.11.5) 式得标准不确定度：

$$u_c^2(\delta_{H_{Xi}}) = \frac{u^2(\overline{H_{Xi}})}{H_{X0i}^2} + \frac{\overline{H_{Xi}}^2 u^2(H_{X0i})}{H_{X0i}^4} \quad (\text{A.11.6})$$

A. 11.4 标准不确定度评定

A. 11.4.1 由被校 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标测量引入的标准不确定度 $u(\overline{H_{Xi}})$

A. 11.4.1.1 由被校 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以加载标准质心位置支架，质心位置 X 方向三维坐标 496.00mm 校准点为例，被校 K&C 试验台进行 10 次独立、等精度测量，测量结果如表 A. 11.1 所示。

表 A. 11.1 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标测量数据 (单位: mm)

497.2	496.5	496.0	495.4	496.3	495.3	496.1	496.8	495.4	495.8
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

得单次测量的实验标准差:

$$S(\delta_{H_{Xi}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (H_{Xi} - \overline{H_{Xi}})^2}{9}} = 0.634\text{mm} \quad (\text{A. 11.7})$$

在实际测量中，在重复条件下测量 3 次，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{S(\delta_{H_{Xi}})}{\sqrt{3}} = 0.367\text{mm} \quad (\text{A. 11.8})$$

A. 11.4.1.2 由被校 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2

K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标显示仪表的分辨力为:0.1mm, 其量化误差以等概率分布在半宽为 0.05mm 的区间内，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mm} \quad (\text{A. 11.9})$$

A. 11.4.2 标准装置引入的标准不确定度分量

A. 11.4.2.1 标准质心位置支架 X 方向三维坐标误差引入的标准不确定度 $u(G_{X0i})$

查标准质心位置支架证书，其最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ 。服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量:

$$u(H_{X0i}) = 496.00 \times 0.3\% / \sqrt{3} = 0.859\text{mm} \quad (\text{A. 11.10})$$

A. 11.5 合成标准不确定度:

以上各项均不相关，列出 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标示值误差测量不确定

度汇总表：

表 A. 11.2 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标示值误差测量不确定度汇总表

序号	来源	类型	分布	包含因子	符号	灵敏系数	标准不确定度
1	被校 K&C 试验台 质心位置X方向三维坐标测量						
1.1	测量重复性	A	正态	1	u_1	$0.0020(\text{mm})^{-1}$	0.367mm
1.2	K&C 试验台 质心位置X方向三维坐标数显量化误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_2	$0.0020(\text{mm})^{-1}$	0.029mm
2	标准装置引入						
2.1	标准质心位置支架 X 方向三维坐标误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$u(G_{X0i})$	$0.0020(\text{mm})^{-1}$	0.859mm

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标数显量化误差引入的不确定度。

由被校 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标测量引入的标准不确定度为：

$$u(\overline{H_{Xi}}) = u_1 = 0.367\text{mm} \quad (\text{A. 11. 11})$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\delta_{H_{Xi}}) = \sqrt{\frac{u^2(\overline{H_{Xi}})}{H_{X0i}^2} + \frac{\overline{H_{Xi}}^2 u^2(\overline{H_{X0i}})}{H_{X0i}^4}} = 0.19\% \quad (\text{A. 11. 12})$$

A. 11.6 扩展不确定度评定：

按置信因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.19\% = 0.38\% \quad (\text{A. 11. 13})$$

结论：上述分析及计算得到 K&C 试验台质心位置 X 方向三维坐标示值误差测量结果的扩展不确定度为： $U=0.38\%$ ，（ $k=2$ ）。

附录 B

（资料性）

校准证书或校准报告内容

校准证书或校准报告的内容应包括但不限于以下项目：

- 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，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- 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) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m) 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；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。