



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 24635.4—2020

---

## 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机(CMM) 确定测量不确定度的技术 第4部分:应用仿真技术评估特定任务 的测量不确定度

Geometrical product specifications (GPS)—Coordinate measuring machines  
(CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement—  
Part 4: Evaluating task-specific measurement uncertainty using simulation

(ISO/TS 15530-4:2008, MOD)

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



目 次

前言 ..... III

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 1

5 关于不确定度评估软件(UES)的要求 ..... 2

    5.1 说明 UES 使用范围的规范 ..... 2

    5.2 UES 的输入规范 ..... 2

    5.3 附加的 UES 文档 ..... 3

    5.4 对 GUM 标准的符合性 ..... 3

    5.5 UES 结果的应用 ..... 3

附录 A (规范性附录) 检查表:影响量的声明 ..... 4

附录 B (资料性附录) 不确定度评估软件(UES)的要素 ..... 7

附录 C (资料性附录) 测试不确定度评估软件(UES)的方法 ..... 9

附录 D (资料性附录) 示例:对单个坐标测量机进行实体测试 ..... 16

附录 E (资料性附录) 示例:计算机辅助验证和评估 ..... 18

附录 F (资料性附录) 示例:与特定参考结果的比较 ..... 20

附录 G (资料性附录) 描述性实例:长期统计调查 ..... 22

附录 H (资料性附录) 与 GPS 矩阵模型的关系 ..... 23

参考文献 ..... 24





## 前 言

GB/T 24635《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机(CMM) 确定测量不确定度的技术》分为以下几个部分:

- 第1部分:概要和计量特性;
- 第2部分:应用多次测量策略;
- 第3部分:应用已校准工件或标准件;
- 第4部分:应用仿真技术评估特定任务的测量不确定度;
- 第5部分:应用专家的判定。

本部分为 GB/T 24635 的第4部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分采用重新起草法修改采用 ISO/TS 15530-4:2008《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机(CMM) 确定测量不确定度的技术 第4部分:应用仿真技术评估特定任务的测量不确定度》。

本部分与 ISO/TS 15530-4:2008 的技术性差异及其原因如下:

——关于规范性引用文件,本部分做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”中,具体调整如下:

- 用等效采用国际标准的 GB/T 16857.1 代替 ISO 10360-1(见第3章);
- 用 JJF 1001—2011 代替 ISO/IEC 指南 99:2007(见第3章);
- 用 JJF 1059.1 代替 GUM(见第3章,5.4,5.5)。

本部分做了下列编辑性修改:

——按照 GB/T 1.1—2009 要求,在“范围”一章,增加了“本部分的附录 A 给出了检查表:影响量的声明;不确定度评估软件(UES)的要素参见附录 B。”“本部分适用于使用坐标测量机时应用仿真技术评估特定任务的测量不确定度”。

本部分由全国产品几何技术规范标准化技术委员会(SAC/TC 240)提出并归口。

本部分起草单位:深圳市中图仪器股份有限公司、中国计量科学研究院、山东理工大学、重庆市计量质量检测研究院、上海市计量测试技术研究院、中机生产力促进中心、陕西省计量科学研究院、卡尔蔡司(上海)管理有限公司。

本部分主要起草人:王为农、位恒政、李东兴、马俊杰、陈龙、陶磊、张辉、傅云霞、朱悦、费丽娜。

## 引言

GB/T 24635 的本部分是产品几何技术规范(GPS)的技术规范,被认为是通用的产品几何技术规范文件(参见 GB/T 20308)。它影响着标准链条的链环 G 的尺寸、距离、形状、方向、位置和跳动等。

使用坐标测量机(CMMs)检查公差,在进行合格/不合格测试时,根据 GB/T 18779.1 要考虑特定任务的测量不确定度。尽管掌握测量不确定度很重要,但到目前为止,只有少数过程能够给出特定任务的测量不确定度。

对于简单的测量设备,根据“测量不确定度表达指南”(JJF 1059.1)的建议,可以通过不确定度分量评估这种不确定度。然而,就坐标测量机而言,由于测量过程的复杂性,经典的不确定度评估方法对于大多数测量任务来说是不切实际的。

与 JJF 1059.1 一致的替代方法可用于评估坐标测量中特定任务的不确定度。考虑到不确定度的影响,GB/T 24635 的本部分描述了一种通过测量过程的数值仿真来评估不确定度的方法。

为了让坐标测量机用户能够轻松给出不确定度的值,坐标测量机供应商和其他第三方公司已经开发了不确定度评估软件(UES)。UES 是基于测量过程的计算机辅助数学模型。在这个模型中,复现了由被测量到测量结果输出的测量过程,考虑了过程中重要的影响量。

在仿真过程中,这些影响量在其可能的或假定的数值范围内(由概率分布描述)变化,并且使用这些影响量的可能组合来重复仿真测量过程。不确定度取决于最终结果的变化。

这一过程符合国际上有效的测量不确定度表达指南(JJF 1059.1)的基本原则。UES 的细节常常隐藏在经编译的计算机代码中,使得用户难以评估所计算的不确定度表达的可靠性。GB/T 24635 的本部分为 UES 供应商和坐标测量机用户提供了沟通和量化 UES 能力的术语和测试程序。

GB/T 24635 的本部分首先考虑影响量的声明。声明明确了 UES 在其不确定度评估中考虑了哪些影响量,以及它们值的范围。例如,某些 UES 考虑了坐标测量机测量过程中使用多个测针的影响,而另一些 UES 则不考虑。

类似地,一些 UES 考虑了空间温度梯度或温度随时间变化的影响,而另一些则不考虑。声明部分的目的是明确告知坐标测量机用户,UES 将在其不确定度评估中考虑哪些影响量及其量值的范围。

这使用户能够在做决定时心中有数。购买仅具有部分功能的 UES 产品,不确定度评定结果中不包含部分坐标测量机测量期间一些影响量的贡献,需要坐标测量机用户自行评估这些未计入的影响量,并且将它们与由 UES 评估的结果进行合成,以生成符合 JJF 1059.1 标准的不确定度声明。

GB/T 24635 的本部分还给出了四种可能的测试方法,并指出,从实用的角度看,没有任何一种方法是全面的。给出了每种方法的描述,并评论了其优点和缺点。每种方法也包含一个描述性的例子。

**产品几何技术规范(GPS)**  
**坐标测量机(CMM)**  
**确定测量不确定度的技术**  
**第4部分:应用仿真技术评估特定任务**  
**的测量不确定度**

## 1 范围

GB/T 24635 的本部分给出了用于评估特定任务测量不确定度的仿真技术的信息描述,并规定了基于仿真技术的不确定度评估软件(UES)用于坐标测量机测量时,对制造商和用户的要求。

本部分的附录 A 给出了检查表;影响量的声明;不确定度评估软件(UES)的要素参见附录 B。

此外,本部分还描述了这种仿真软件的测试方法,以及各种测试方法的优缺点,参见附录 C。

最后,通过模拟测量坐标测量机上执行的特定测量任务,并结合测量装置、环境、测量策略和测量对象,描述了各种特定任务的不确定度的测试程序,参见附录 D、附录 E、附录 F 和附录 G。本部分描述了一般程序,但没有限制技术实现的可能性,包括仿真包的验证和评估指南。

本部分的目的不是定义评估坐标测量机测量精度的新参数。

本部分适用于使用坐标测量机时应用仿真技术评估特定任务的测量不确定度。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 16857.1 产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第1部分:词汇(GB/T 16857.1—2002,eqv ISO 10360-1:2000)

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

## 3 术语和定义

GB/T 16857.1、JJF 1059.1 和 JJF 1001—2011 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CVE 计算机辅助验证和评估(Computer-aided Verification and Evaluation)

UES 不确定度评估软件(Uncertainty Evaluating Software)

注:没有给出这些缩略语的定义。缩略语及其相关短语在本文件使用时给出。

## 5 关于不确定度评估软件(UES)的要求

### 5.1 说明 UES 使用范围的规范

UES 的制造商应明确声明软件的适用范围。应包括下列内容：

- 软件适用的坐标测量机类型；
- 适用的坐标测量机配件；
- 考虑的坐标测量机误差；
- 考虑的环境条件,包括坐标测量机和工件；
- 适用的探头类型和附件；
- 包含的相关要素；
- 允许的几何公差；
- 涵盖的测量程序和策略；
- 涵盖的操作员的影响；
- 影响 UES 输出测量不确定度的其他因素。

特别说明,制造商应采用检查表的形式(见附录 A)说明软件考虑了哪些不确定度分量。

注 1: 假设 UES 仅考虑这里列出的和附录 A 中列出的部分影响因素。

注 2: 附录 A 中的检查表包括上面列出的类别。

示例 1: UES 可能考虑影响因素的示例：

- 坐标测量机的几何偏差；
- 探测系统的偏差；
- 时间和空间温度梯度对工件和坐标测量机的影响。

对于附录 A 检查表上的每个影响因素,制造商应在使用时应规定有效范围。声明中规定的范围包括但不限于：

- a) 允许的零件类型(例如不包括可弯曲的钣金件,圆的最小弧长,最大锥顶角等)；
- b) 允许的任务类型(例如不包括扫描或形状测量)；
- c) 允许的温度范围；
- d) 允许的时间温度梯度  $dT/dt$ ；
- e) 允许的空间温度梯度  $dT/dx$ ；
- f) 其他许可的环境条件。

示例 2: 如果在检查表中声明“温度偏离 20 °C”,则可以这样定义有效范围:室内温度在 15 °C 至 30 °C 范围内,在空间和时间上是稳定的。此范围也可能因坐标测量机而异。

### 5.2 UES 的输入规范

UES 制造商应详细说明(或参考适当的文件)需要哪些输入量来表征测量系统以及如何获得这些输入量。

注 1: UES 用这些量值来表征坐标测量机、环境、操作人员影响等。

示例 1: UES 可能首先要求在某些位置上测量已校准的标准器,由此获得的信息用以表征坐标测量机的部分性能,输入软件。

示例 2: UES 表征某些坐标测量机性能的另一个例子是,要求输入指定的 MPE 值。

示例 3: 评估操作人员影响的例子包括:标准重复性和复现性研究(即 GR&R),方差分析(即 ANOVA)和/或来自专家判断(即“B 型评估”)。

注 2: 本规范要求包含所有需要的信息(例如坐标测量机类型)。

### 5.3 附加的 UES 文档

以下要求为 UES 基本特性提供了一定程度的透明度。UES 的制造商应提供：

- 描述影响量变化的文件(作为规则,应说明概率分布)；
- 描述不确定度是如何从仿真样本中导出的文件；
- 描述模型基本特征的文件。

模型的透明度增加了用户对不确定度报告的信心。模型和程序的文档应该足以使用户能够提供符合这一要求的不确定度报告证明。这对于 GB/T 19000 来说尤其重要,因为它要求记录用于评定不确定度的程序文档。

### 5.4 对 GUM 标准的符合性

制造商应确保不确定度说明符合 JJF 1059.1。这包括置信水平或包含因子的说明。

除了扩展测量不确定度之外,还可给出合成标准不确定度。

### 5.5 UES 结果的应用

UES 报告的不确定度仅适用于软件(见 5.1)的范围。尤其是,在使用 UES 时,测量不确定度应由 UES 评估的不确定度和 UES 未考虑的、已通过其他适当方式进行评估获得的其他影响量的不确定度组成。这些不确定度应以符合 JJF 1059.1 的方式进行合成。

注：不确定度评估软件(UES)的要素参见附录 B。

附 录 A  
(规范性附录)  
检查表:影响量的声明

表 A.1 有助于通过主要影响因素识别不确定度评估软件的范围。在 GB/T 24635.1 和 GB/T 18779.1 中也包括各种检查表。表 A.1 列出的坐标测量机类型摘自 GB/T 16857.1。

表 A.1

选择框	影响因素	附加信息
	坐标测量机类型(见 GB/T 16857.1)	
	移动桥式	
	固定桥式	
	柱式	
	移动工作台悬臂式	
	固定工作台悬臂式	
	水平悬臂移动式	
	移动工作台水平悬臂式	
	固定工作台水平悬臂式	
	L 型桥式	
	龙门式	
	双主轴式	
	坐标测量机配件	
	旋转工作台	
	坐标测量机误差	
	刚体误差	
	静态,非刚体几何误差	
	动态机器几何误差	
	零件装载影响	
	坐标测量机环境条件	
	温度偏离 20 °C	范围:
	使用坐标测量机的温度补偿	范围:
	空间梯度	上限:
	随时间的温度变化	上限:
	算法软件准确性	

表 A.1 (续)

选择框	影响因素	附加信息
	迟滞	
	<b>探测系统配件</b>	
	多个测针	最大长度：
	多个测头	
	万向探测系统	
	测针更换系统	
	测头更换系统	
	<b>几何公差</b>	
	基准参考框架	
	形状	
	尺寸	
	位置	
	方向	
	有最大/最小实体要求的方向	
	有最大/最小实体要求的位置	
	<b>工件环境和条件</b>	
	温度偏离 20 °C (与坐标测量机相同)	
	温度偏离 20 °C (独立于坐标测量机)	范围：
	使用工件的热补偿	
	空间热梯度 (例如：最高 2 °C/m)	上限：
	给定时间的热变化 (例如：最高 1 °C/小时)	上限：
	清洁度	
	振动影响	上限：
	表面粗糙度	上限：
	表面波纹度	上限：
	形状	上限：
	装夹	
	材料组成 (热膨胀系数等)	
	<b>测量程序和策略</b>	
	采样策略	

表 A.1 (续)

选择框	影响因素		附加信息	
	点数		范围：	
	点在工件坐标系中的位置		限制：	
	工件在机床坐标中的位置和方向			
	滤波/异常值剔除			
	探测速度			
	探测加速度			
	操作员影响			
	操作员的影响(特定)			
	其他影响			
	(特定)			
探头类型(选择框)：				
	离散点采样	离线扫描	在线扫描	
接触式触发测头				
接触式模拟测头				
非接触式测头				
相关特征(复选框)：				
	最小二乘	最小区域	最大内接(切)	最小外接
线				
圆				
平面				
球				
圆柱				
锥				
圆环				
曲线(特定)				
其他(特定)				



附录 B  
(资料性附录)  
不确定度评估软件(UES)的要素

B.1 概述

仿真软件可以集成到坐标测量机的控制和评估软件中(在线),也可以作为独立系统在另外的计算机上实现(离线)。本附录对两种形式均适用。

B.2 UES 模型

UES 所采用的测量过程模型描述了输入量(包括被测量和影响量)与输出测量结果之间的数学关系。UES 不要求用闭合的数学表达式描述模型。因此,模型中可以包含数值算法,如相关特征的计算或测量点的过滤。这使得 UES 特别适合于复杂的测量过程,如坐标测量。

坐标测量机上的一些测量所使用的 UES 模型可以用流程图来描述,其中绘制了测量过程的影响量。图 B.1 显示了一个典型的流程图。

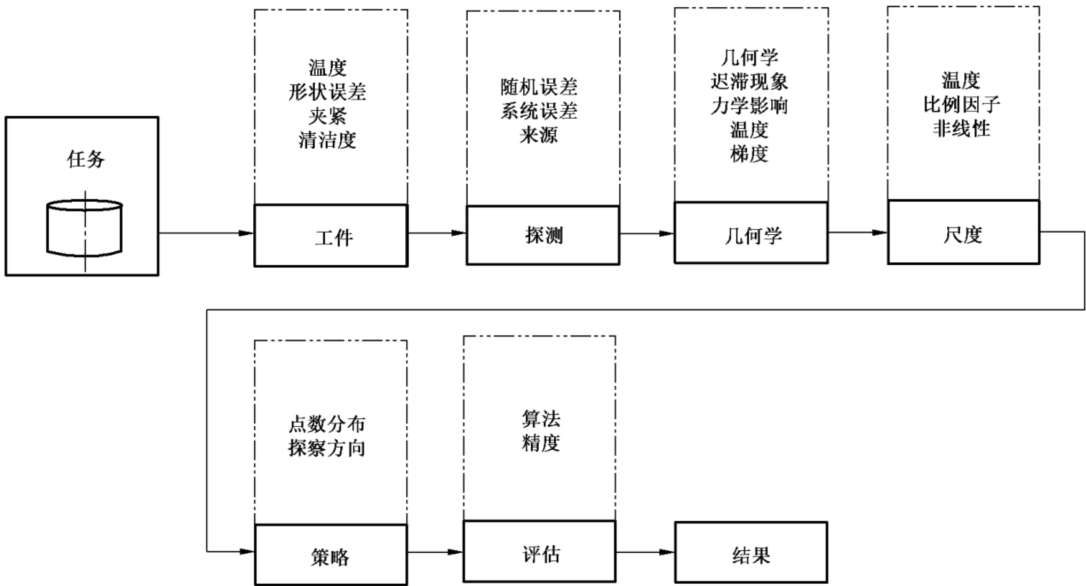


图 B.1 坐标测量机上测量的流程图

在模型中通常并不考虑所有可能的不确定度影响。未考虑的影响量通过其他程序进行评估,并添加到总的不确定度中(参见 B.3)。

B.3 确定特定任务的测量不确定度

从计量学角度来看,模拟测量的参数很重要,它应该与实际测量的参数尽可能相似。测量结果  $y$  的标准不确定度由下列部分组成:

- 由模拟确定的不确定度  $u_{\text{sim}}$  ；
  - 在模拟中未考虑的影响量的不确定度  $u_i$  ,通过其他适当的方法进行了评估。
- 然后通过式(B.1)计算合成标准不确定度  $u$  (假设  $u_i$  不相关)：

$$u = \sqrt{u_{\text{sim}}^2 + \sum u_i^2} \dots\dots\dots (\text{ B.1 } )$$

借助包含因子,该标准不确定度可以换算到所需的置信水平。根据规定,可以采用式(B.2)：

$$U = 2 \times u \dots\dots\dots (\text{ B.2 } )$$

对应的置信水平为 95 %。如果模拟给出的不确定度已经是扩展不确定度  $U_{\text{sim}}$  ,那么模拟不确定度  $u_{\text{sim}}$  将除以适当的包含因子计算获得。

## 附录 C (资料性附录)

### 测试不确定度评估软件(UES)的方法

#### C.1 概述

UES 应考虑 5.1 给出的所有影响量的影响。测试 UES 的目的是验证当说明部分声明的所有影响量在允许范围内变化时,由 UES 考虑所有影响因素的不确定度计算获得的扩展不确定度包含了大部分(通常为 95%)的测量误差。考虑到 CMM 测量中可能出现的大量显著不同的被测量和影响量组合,每种组合都会导致一个不同的测量误差,并需要将其与由 UES 计算的扩展不确定度进行比较。因此,测试 UES 的任务量是巨大的。

在一个理想的测试中,对于每个被测量,所有可能的影响量都在其允许范围内变化。以圆柱体的直径作为被测量,说明这个任务的繁重。为了测试 UES 对于这个被测量的能力,理想情况下,人们会想要在各种温度条件下,在很多不同的坐标测量机上测量一个经过校准的圆柱体,其中每台坐标测量机具有说明部分所允许的不同几何误差和探测误差组合。同时,在每台坐标测量机上,要测量很多具有不同长径比和形状误差的圆柱体,对每个圆柱体,要在许多不同的位置和方向上,使用不同的探针和采样策略进行测量。将所有这些测量中所获得的误差与 UES 计算获得的扩展不确定度进行比较。显然,这个单一被测量的测试会涉及大量坐标测量机的数千次测量,实际测试的成本太高。因此,UES 测试通常采用包括实际测试和软件测试的测试组合。

UES 的全面测试是一项非常大的任务,本附录讨论了可用于 UES 测试的四种方法,力求尽可能全面。这四种方法中的任何一种都不能单独用作综合测试。然而,虽然一个测试合格并不能保证软件全面完美,但重要的是 UES 在测试中的失败说明发现了问题。而且,通过多个测试比仅有一个测试合格更全面,这可以增加用户对软件的信心。

这些方法最适合于识别 UES 低估不确定度时的案例。评估 UES 的高估值很复杂,因为不知道 UES 报告的大的不确定度是由于某些错误还是由于正确使用了有限的信息,这可能导致更大的不确定度值。

对于每种方法,都给出了描述,并给出了关键要点和特定测试方法的优缺点。各测试方法的描述性示例参见附录 D 至附录 G。

#### C.2 单个坐标测量机的实际测试

##### C.2.1 概述

该技术使用已校准的工件进行多次测量,将所得到的对校准值偏离的统计结果与由不确定度评估软件报告的不确定度进行比较。可以使用 5.1 中允许的任何工件。该工件应通过独立的方法进行校准。在附录 D 中的示例中,使用了一个圆柱体,其过程显示利用 UES 评估了许多测量任务,并且这些测量任务还可以通过独立程序以足够的精度进行校准。对这类物体的测量,采用不同的测量策略(测试物体的位置和方向,测量点的分布)以检查其对给出的测量不确定度的影响。

可使用 UES 声明范围内的任何物体,可能包括量块、量规、球板、球杆、形状误差标准器和其他标准器。然而,任何特定对象仅在有限的范围内适用于测试特定任务的不确定性声明。

对已校准物体的测量是在实际的坐标测量机上进行的,测量不确定度是由实际的坐标测量机决定

的。通过实际测量计算结果  $y$ ，并通过仿真确定测量相关的特定任务的不确定度  $U$ 。

对已校准物体进行多次测量，检查不确定度的覆盖范围，见图 C.1。对于适当的概率百分比（ $k = 2$  时为 95%），应该满足合理性判据。这个判据是，在下列情况下，不确定度陈述是合理的：

$$|y - y_{\text{cal}}| / \sqrt{U_{\text{cal}}^2 + U^2} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中：

- $y$  —— 测量结果；
- $y_{\text{cal}}$  —— 校准值；
- $U_{\text{cal}}$  —— 已校准物体的扩展不确定度；
- $U$  —— 特定任务的测量扩展不确定度。

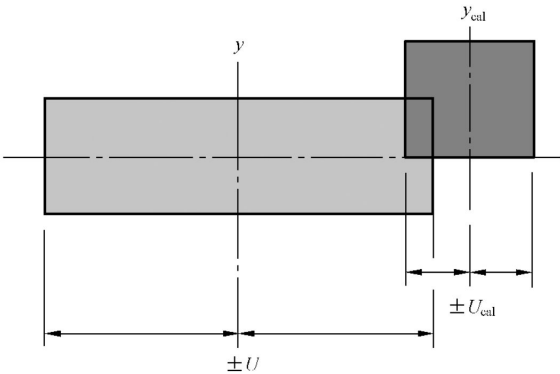


图 C.1 结合不确定度

校准的不确定度和单次测量的不确定度之间必须具有合理的比例。作为规定，必须保证关系式  $U_{\text{cal}} \ll U$  成立。测试对象的校准不确定度  $U_{\text{cal}}$  越大，测试的意义越小。

在 GB/T 24635 的本部分，每当出现  $U$ （具有或不具有下标的扩展不确定度）时，均采用一致的置信水平（例如 95%）。

### C.2.2 周期测试

由于此方法基于特定坐标测量机对 UES 进行测试，所以即使 UES 未做调整，定期进行周期测试也很重要。下列情况下应进行执行周期测试：

- 当坐标测量机被调整后；
- 当 UES 模型的一个或多个输入参数发生改变时；
- 当环境条件超出规定的范围时；
- 当由于任何原因，对所确定的不确定度存在疑虑时。

对新安装的坐标测量机，周期测试的时间间隔应比较短（ $\leq 3$  个月）。如果可能的话，每次期间核查应改变测试件在测量空间中的位置，以确保尽可能多的独立试验。当获得足够的测量稳定性数据后，可以延长时间间隔。

### C.2.3 输入量的期间核查

在期间核查过程中，要确定坐标测量机的现状符合假设的程度。过程必须证明对影响量的评估是否仍然有效。应特别注意以下影响量：

- 标尺系数；
- 垂直度；
- 探测误差；

——温度和温度梯度。  
应采用适合坐标测量技术的方法监控输入量(如 GB/T 16857 第 2 部分~第 5 部分)。

C.2.4 注意事项

通常情况下,不确定度评估软件只报告部分影响量引入的不确定度,没有包括全部影响量。测量不确定度实际上是软件报告的不确定度与其他影响量的不确定度评估的合成,如公式(假设  $u_i$  不相关)所示:

$$u = \sqrt{u_{\text{sim}}^2 + \sum u_i^2} \dots\dots\dots (C.2)$$

为了不影响  $u_{\text{sim}}$  值的有效性,所有其他  $u_i$  的值应比  $u_{\text{sim}}$  小。

C.2.5 方法的优缺点

- 优点是:
- 该测试符合不确定度评估软件实际使用的目的;
  - 测试是在真实的坐标测量机上进行的,通常是所关注的坐标测量机;
  - 测试包括从机器收集输入数据,因此在测试过程中可能会出现错误。
- 缺点是:
- 实际测量是耗时且昂贵的。需要进行多次测量来建立可靠的,具有统计意义比对。即使仅测试几个影响因素的几个组合都具有巨大的工作量;
  - 测试各种各样的被测量需要许多可作为标准器的已校准的工件(例如,仅仅测试锥体,就可能需要多种锥角,尺寸和长径比的工件);
  - 在一个坐标测量机上进行测试并不能保证 UES 可以在其他坐标测量机上工作,因为它们的误差来源可能不同。

C.2.6 示例

有关示例参见附录 D。

C.3 计算机辅助验证和评估

C.3.1 概述

本技术使用计算机模拟方法测试和评估 UES。其概念是模拟测量符合 5.1 声明的测量任务。因为测量任务是模拟的,所以在 CVE 测量过程中的真值是已知的,从而可以发现模拟测量的误差。UES 为该测量产生一个不确定度,通过简单的比较可以确定模拟测量的误差是否包含在被测软件报告的不确定度区间内。该过程可以在不同的条件下重复数百次或数千次,可以统计确定测量误差在报告的不确定度区间内的频率。

C.3.2 CVE 技术说明

以使用给定的坐标测量机来评估量块的点到点长度测量的不确定度为例。不确定度评估软件显然必须输入各种数据,包括坐标测量机性能的信息。但是软件接收到了坐标测量机的哪些信息,软件是否能够正确应用这些信息。

- UES 需要的有关坐标测量机性能的信息如下(但不限于这些):
- 根据 GB/T 16857.2 验收合格的坐标测量机的最大允许误差  $MPE_{E,0}$ ;
  - 上述信息,加上  $MPE_{E,0X}$ ,  $MPE_{E,0Y}$ ,  $MPE_{E,0Z}$  (沿 CMM 轴测量的性能指标);

- 上述信息,加上最大允许极限  $MPL_{r,0}$  (测量重复性指标);
- 没有上述数据,但有少量由 UES 指定的,对已校准的标准器进行的测量数据;
- 没有上述数据,但有大量由 UES 指定的,对已校准的标准器进行的测量数据。

这些例子中的任何一个都可以将坐标测量机的性能信息传输到软件中。同样明确的是,这五个例子传输的信息量不同。这就导致了几个问题,比如:

- UES 是否得到了足够的坐标测量机信息来计算足够大的不确定度值;
- 只收集少量的信息是否会导致不确定度值过大。

例如,坐标测量机可能具有比  $MPE_{E,0}$  小得多的  $MPE_{E,0X}$ 。当考虑沿坐标测量机的  $X$  轴方向测量量块的长度时,如果 UES 仅依靠  $MPE_{E,0}$ ,那么它可能会报告比一个  $MPE_{E,0X}$  大得多的不确定度值。

这些问题可以使用一个简单的计算机过程来解答。利用刚提到的示例,测量量块的点对点长度,输入 UES 上述选项 1) 的信息,即 MPE 值。

可以利用计算机程序模拟坐标测量机的一些常见行为和错误来源。为这种模拟的 CMM 赋予 MPE 值。该值用作 UES 的输入。利用具有 MPE 的仿真坐标测量机程序按照要求测量量块,并获得测量误差。这样就可以很容易了解测量误差是否在报告的不确定度范围内。图 C.2 以流程图的形式展示了这个过程。应该注意的是,这种方法的结果取决于所使用的模型、参数值的保真度以及参数本身的选择。

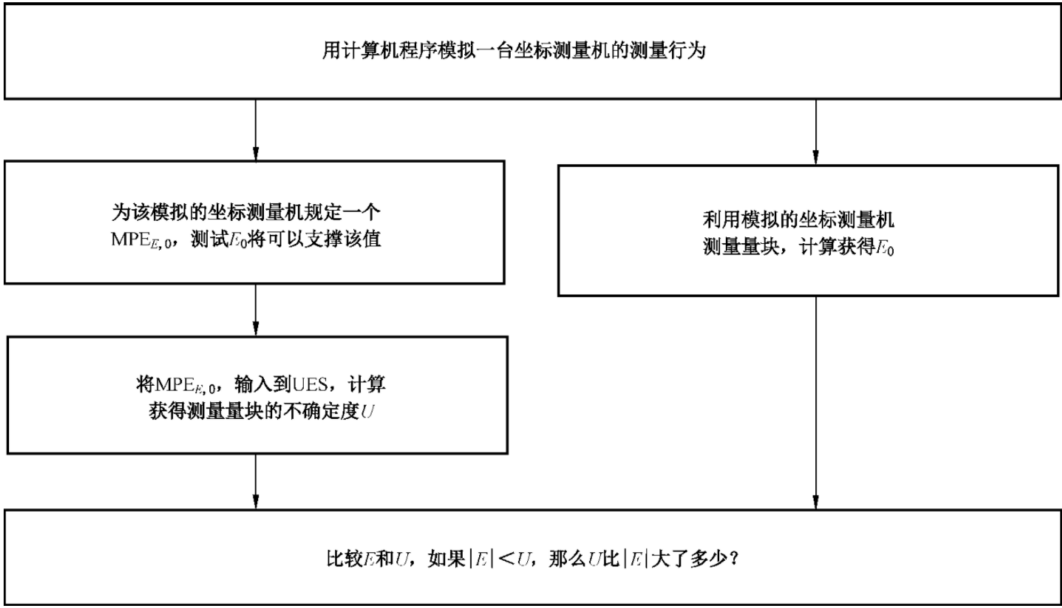


图 C.2 一个简单的 CVE 流程图

这个简单的过程可以重复使用相同的仿真坐标测量机进行多次测量。对于每次迭代, MPE 不需要重新计算。绝对误差与扩展不确定度进行比较(图 C.2 的最后一步), 合格的百分比应达到要求( $k=2$  时为 95%)。

此外, 可以使用几个仿真的坐标测量机来轻松地覆盖 UES 的大量测试。附录 E 中的例子给出了包含这些迭代的更大的流程图。

CVE 技术具有很好的实用性, 因为它可以扩展到覆盖更多的情况。选择这个简单的流程是为了使步骤更清晰。扩展可以包括各种几何形状、长宽比、采样策略、位置和方向等等。

C.3.3 CVE 中使用的模拟测量实例的创建

在计算机程序中创建模拟坐标测量机涉及创建与探测相关的误差矢量(在  $x, y$  和  $z$  中的变化)。

误差向量可以被编程为依赖与位置、探测方向和时间等的因素。尽管在任何计算机程序中都不可能考虑到所有现实环境的影响,在仔细测试错误来源和其他理想化条件的情况下,测试有很大的价值。例如,所测量的部件在模拟测量中不存在形式误差,而另一个测试可以包括部分的模拟形状误差。

就 CVE 而言,5.1 的声明确定了可以用来定义误差向量的影响的范围。例如,如果零件形式误差包含在声明部分中并且被仿真,则与特定探测相关的误差向量将取决于零件在测量空间中的位置。这允许测试软件报告的不确定度不与其他不确定度相结合。

### C.3.4 创建输入量

声明部分包括对 UES(5.2)要求的输入数量的指示。这些输入量可能来自特别校准的工件或者指定的 MPE 值。可以通过下述方式获得合适的输入量:在计算机程序中创建的模拟坐标测量机可以用来仿真已校准的工件的检测或者产生适当的 MPE 值。因此可以获得 UES 所需的输入量。

注:这些条件可能与检查表中给出的范围不同(例如,输入量可能接近 20 °C,而软件可能允许在更宽的温度范围内进行测量)。

为了应用 CVE 测试,UES 应该具有交换创建输入量所需信息的手段。如果 UES 要求 MPE 值作为输入量,则必须有输入该值的方法。如果需要测量某些工件,则 UES 必须能够交换关于模拟测试的误差向量的信息。

### C.3.5 注意事项

该技术取决于模型——通常是坐标测量机的模型,也可能是其他影响量的影响模型。这些模型应该很好理解,并且应该与被测软件要求覆盖的影响量的范围一致。尽管 CVE 测试模型的影响因素可能比(5.1)UES 要求的少,但它不能包含任何未声明的内容。

### C.3.6 该方法的优点和缺点

该方法的优点是:

- 在没有充足的时间和成本的情况下,也可以进行大量的模拟测量;
- 可以模拟大量具有计量学差异的坐标测量机,并且不需要改变校准过程即可使用多个仿真标准器;
- 参数和影响因素可以被互相隔离,并在很大范围进行变化,以对针对软件的特定目标进行测试;
- 无论报告的不确定度过高或过低,均可以很容易获取所预期的量化指标。

该方法的缺点是:

- 仅部分影响因素和参数具有易于理解的模型;
- 计算机模拟的测量情况无法涵盖所有实际的影响因素(当某些参数可以使用这种方法进行隔离和检查时,这一点可能是优点也可能是缺点);
- 该方法需要与被测软件进行信息交换的工具。

### C.3.7 示例

有关示例参见附录 E。

## C.4 与特定参考结果进行比较

### C.4.1 概述

这种方法涉及将被测软件报告的不确定度与已知的参考结果进行比较。例如,参考结果可以通过

报告受限条件下不确定度的专门程序获得。也可以从可靠的公开参考结果中获得参考值。在这些条件下,UES 报告的不确定度应不低于参考值(参见图 C.3)。

也可以使用 GB/T 24635 系列的另一部分来获得参考结果。但是,应该意识到这种比较是复杂的,因为不确定度的评估与可用信息有关。例如,两次评估可以正确给出不同的不确定度,因为收集更多有关坐标测量机的信息。既然这两者都是对不确定度的正确评估,则来自这种比较的有意义的信息是有限的,并且应该小心谨慎地进行处理。

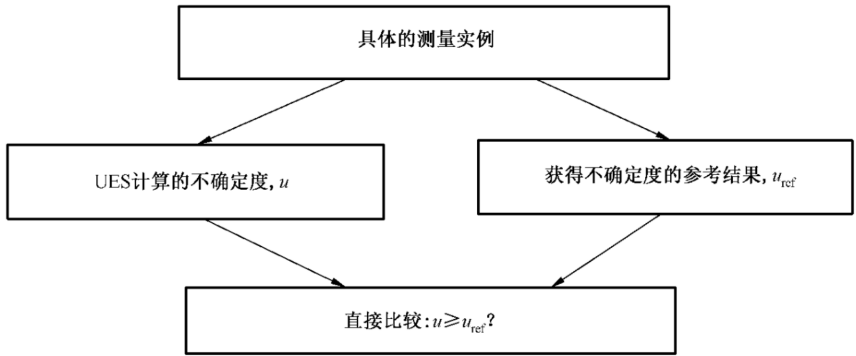


图 C.3 使用参考值的简化示意图

#### C.4.2 注意事项

这种方法主要假设是:参考结果是正确的,即使遗漏了一些因素,其结果差异也在合理的范围内。例如,当条件限制到某个点时,参考程序的验证变得足够简单。在一些简单的情况下,封闭的形状评估甚至可能不需要软件来设置参考值。

参考程序的一个例子是利用一台完美的坐标测量机使用  $n$  个等距点测量三叶圆(相对于圆点任意旋转),评估其形状、中心位置和直径测量的不确定度。在这个例子中可以看出,通过简化工件的形状,将不确定度分量进行分离,从而简化了问题。这种简化使得参考结果可以从一个简单的程序获得,而该程序的创建仅为了做到这一点。在三叶部分形状大于所有坐标测量机误差的情况下,这种情况是与实际一致的。

#### C.4.3 方法的优缺点

该方法的优点是:

——该方法在两个不确定度值之间直接进行比较。

该方法的缺点是:

——由于参考值的可获得性有限,该测试仅适用于被测软件所涵盖的非常有限的范围。

#### C.4.4 示例

有关示例参见附录 F。

### C.5 长期统计研究

#### C.5.1 概述

这项技术利用了一个结果集合,该集合是在被测软件所允许的不同时间段、不同 CMM 和不同条件下,对一个单一的、定义明确的测量任务进行测量所获得的。该方法类似于 C.2 的实体测试,但包含了在宽泛的条件和很长时间范围进行测量的结果。所以即使这个方法部分依赖于 C.2,它也具有更多的



优点。C.2.1 的合格标准应得到满足( $k=2$  时为 95%)。

例如,每天都可以使用已校准的检查标准检查 CMM。可以保留测量值、校准值、测量误差和 UES 报告的不确定性的历史记录。这段历史记录可以让人们了解 UES 在几个月和几年的各种条件下的表现。人们也可以使用覆盖几个 CMM 的数据,这是这种方法的一个优点。

但该示例本身也显示了该方法的一个弱点。如果长期研究的结果表明,UES 报告的不确定度几乎总是包含测量误差,那么可以得出这样的结论:对于类似物体的所有测量,这都是正确的。但事实上,如果每天(例如在启动时的早晨)同时测量检查标准,那么长期研究中可能不会反映某些测量环境条件。应注意记录在记录历史记录的时间段内测量条件的变化范围。

### C.5.2 注意事项

测量状态应有明确的定义,并为相关联的、可比较的结果创建适当的类别。应当注意,不要随便假设,大量的测量就一定意味着一个覆盖了所有的测量条件(例如附录 E 中的例子)。

### C.5.3 方法的优缺点

该方法的优点是:

——该测试允许对许多参数进行大量测量。

该方法的缺点是:

——如果测量结果在统计上与 UES 报告的不确定度不一致,则可能很难确定问题的原因,因为从测量之间的变化是允许的;

——除了一些特定的测量外,大量的历史数据可能并不正常。

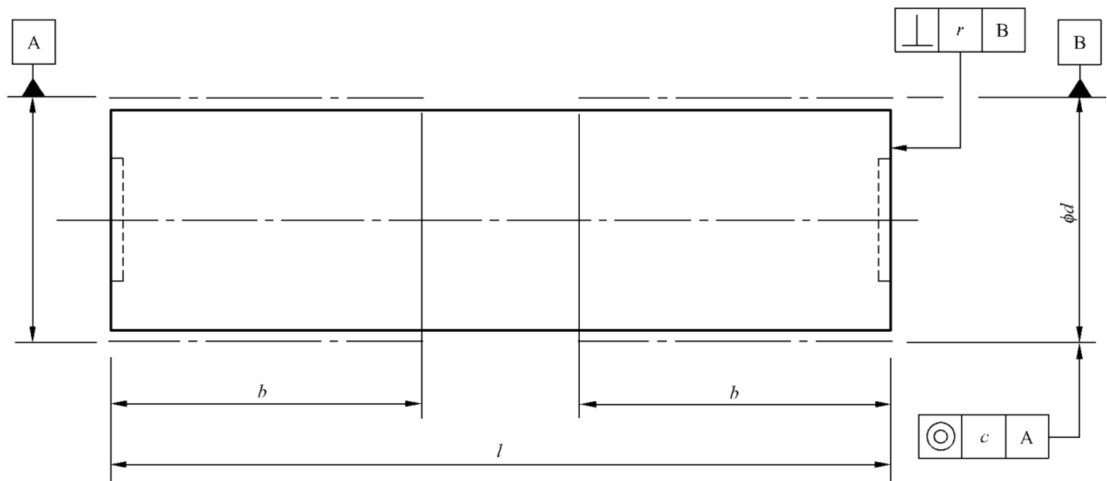
### C.5.4 示例

有关示例参见附录 G。

附录 D  
(资料性附录)

示例：对单个坐标测量机进行实体测试

本示例中，利用包括坐标测量机、坐标测量机软件和 UES 组成的整个系统对不确定度的声明进行测试。该测试基于对已校准的物体进行的实际测量。在这个例子中，采用不同的位置、方向，以及不同的探头配置，在单个圆柱体上进行测量（参见图 D.1）。



说明：  
 $l$ ——端面距离；  
 $d$ ——圆柱直径；  
 $r$ ——端面相对于圆柱轴线的垂直度；  
 $c$ ——轴的同轴度；  
 $b$ ——根据 GB/T 1182 测量同轴度和垂直度的参考长度（非特性）。

图 D.1 验证仿真的测试圆柱

图 D.2 说明在测试过程中，测试圆柱（如图 D.1 所示）可以放置在测量空间的不同位置和方向（图 D.2 所示的位置 1 到位置 4）。此外，可以采用不同的探头配置进行各种测量。利用多探针系统显示，并且可以用标记为 A、B 和 C 的探针的各种组合来进行测量。

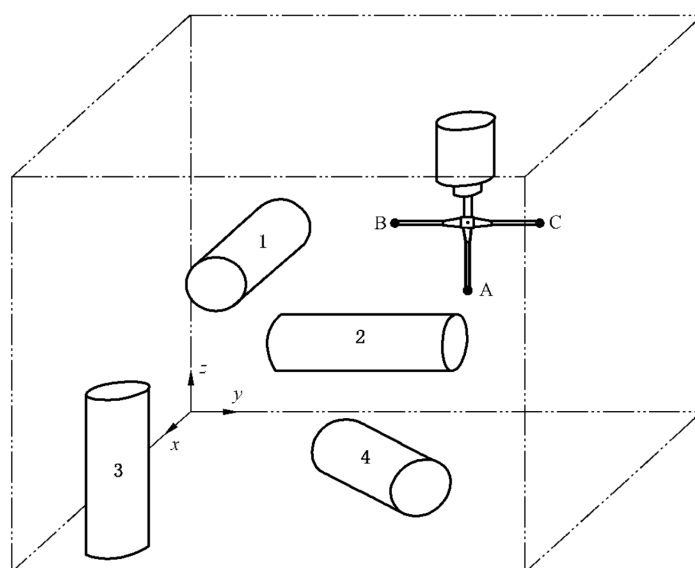


图 D.2 测试圆柱在测量空间和探头配置中的位置

附录 E  
(资料性附录)

示例:计算机辅助验证和评估

图 E.1 说明了计算机辅助验证和评估在点到点长度测量中的应用。

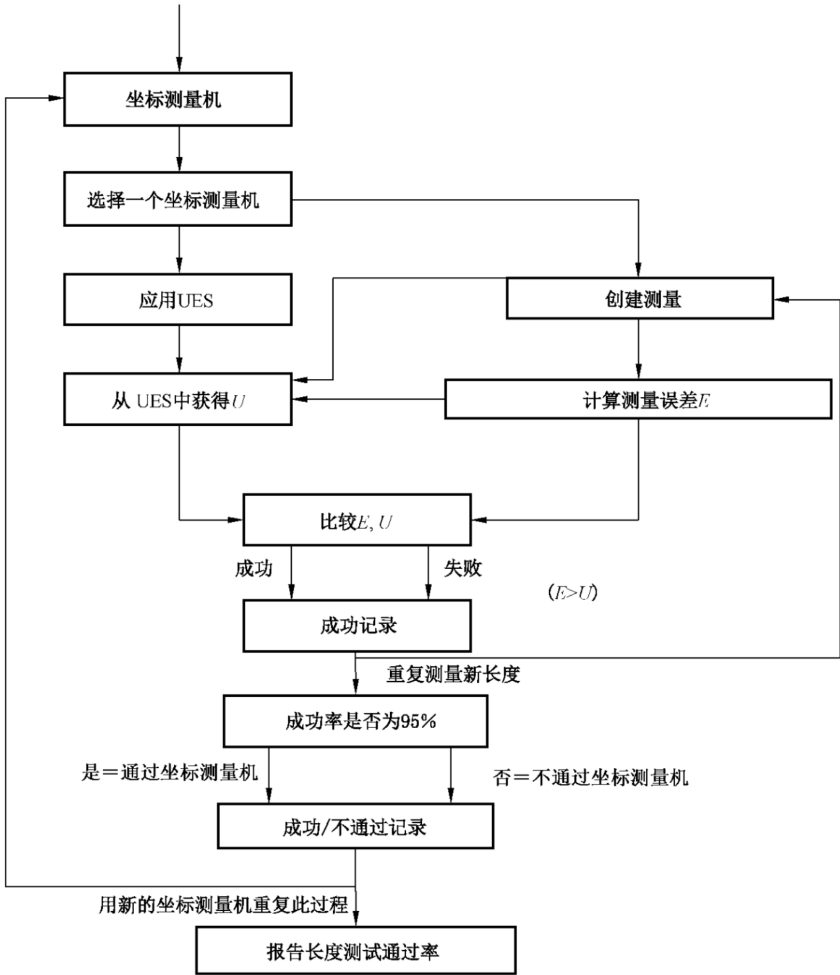


图 E.1 计算机辅助验证和评估 CVE 在点对点长度测量中的应用

流程图工作如下:给定一个坐标向量机,更准确地说,定义坐标向量机模拟行为的向量场,执行两个任务:

- 在进行坐标测量机评估时,考虑坐标测量机的模拟行为(这可能涉及对数学生成形状进行的模拟测量,模拟已校准的工件);
- 在进行模拟测量时,考虑坐标测量机的模拟行为(同样使用数学生成的长度)。

一旦坐标测量机被评估并且理解了测量任务,则 UES 使用该信息来报告不确定度  $U$ 。此外,还计算模拟的测量误差。这是通过从测得值(考虑坐标测量机模拟行为的模拟测量值)中减去真值(由数学生成的长度获得)获得的。

根据 UES 报告的测量不确定度和相应的测量误差,就可以确定测量误差的大小是否小于报告中的不确定度。该过程可以通过其他长度测量重复进行,同时保存对比记录。然后可以按照下面的描述记

录统计数据,并且可以使用不同的模拟坐标测量机再次执行整个过程。

CVE 的结果包括以下信息:

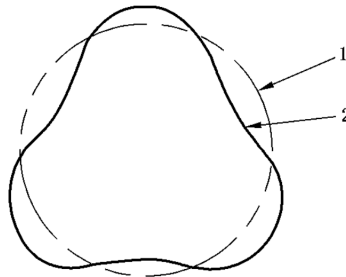
- 表示真值落在由 UES 给出的不确定度区间内的百分比,例如,对于“好的”UES,阈值应为 95%;
- 不确定度的高估平均量,即真值包含在不确定度区间内,平均值与最近的不确定度区间界限的距离;
- 不确定度的低估平均量,即当真值不在不确定度区间内时,平均值与最近的不确定度区间界限的距离。

附录 F  
(资料性附录)

示例：与特定参考结果的比较

F.1 概述

可以编写一个简单的程序,将 7 个点等距离放置在一个直径为 200 mm 的圆上,该圆具有 0.1 mm 的三叶形误差,如图 F.1 所示。此示例是利用最小二乘法拟合的形状测量。七个等间隔点相对于三叶图案随机旋转。测量中不考虑形状之外的其他误差源。



说明:

1——理想圆;

2——三叶圆。

注:三叶圆的形状在尺寸上被放大,以显示其对理想圆的偏差。

图 F.1 圆上的三叶形状误差

该例中的叶形公式利用极坐标中的式(F.1)给出:

$$r = 100 + 0.05 \sin(3\theta) \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

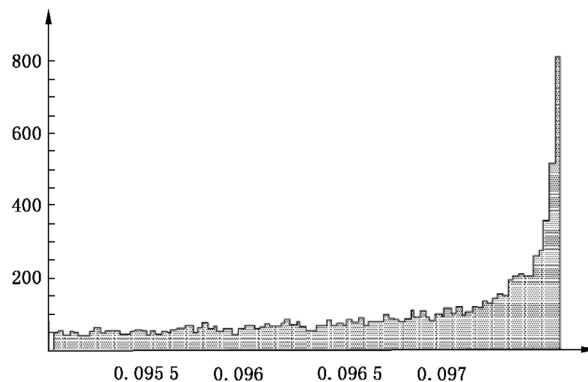
式中:

$r$  ——极径;

$\theta$  ——极角。

F.2 使用评价良好的参考程序或可靠的已发表的结果获得参考结果。

在这种情况下,测得值的分布(由七个点相对于叶形的随机旋转偏移产生)不是正态分布(参见图 F.2)。该分布甚至不包含 0.1 mm 的真值。参考结果可以描述为系统误差和标准差(区间)的组合。



注:该直方图不是正态分布,并且不包含 0.1 mm 的真值。

图 F.2 测量形式值的直方图

有关误差分布的参考结果：

——包含 95% 测得值的最小区间是 $[0.095\ 3, 0.097\ 5]$ ；

——包含 95% 误差的最小区间是 $[-0.004\ 7, -0.002\ 5]$ 。

### F.3 从 UES 的相同测量情况中获得不确定度值

在本例中，UES 报告称：

$$U(95\%) = 0.004\ 7$$

### F.4 比较结果

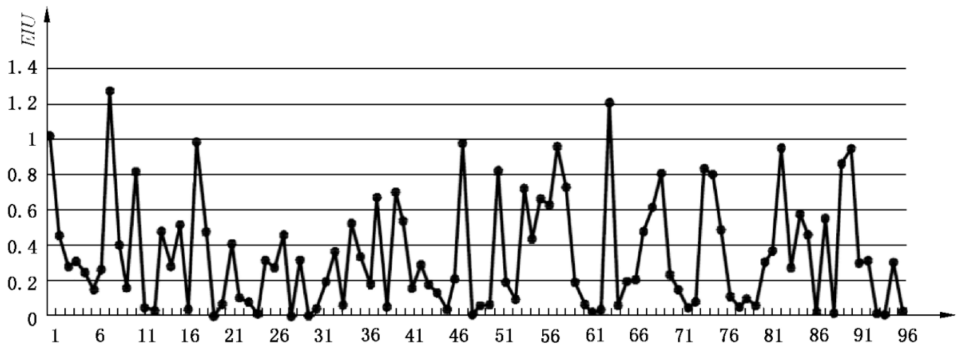
由于 95% 的测得值大于 0.095 3 (从上述步骤 1 开始)，因此在 95% 的情况下，真值 (0.1 mm) 包含在区间 $[\text{测量值} - U, \text{测量值} + U]$ 内。因此，UES 的报告值与本案中的参考值一致。

附录 G  
(资料性附录)

描述性实例：长期统计调查

坐标测量机上经常使用已校准的圆柱体作为检查标准。保留测量值，校准值，测量误差和 UES 报告的不确定度的历史记录，该历史数值可以提供对在不同条件下经过数月和数年的 UES 性能参数。也可使用跨越多个坐标测量机的数据，这是该方法的一个优势。

图 G.1 显示了在 100 个圆柱体直径测量中观察到的数据的示例。需要注意的是，UES 对每个测量实例单独评估一个  $U$  (95%)。为了在图上直观显示这些结果，采用每个观测误差的绝对值除以 UES 报告的该特定测得值的  $U$  (图中指示的  $E/U$ ) 表示。数据表明，在这些情况下，UES 报告的不确定性足够大。在这个例子中，UES 没有考虑影响因素的不确定度贡献。如果考虑其影响，UES 报告的  $U$  会更大。因此，报告的  $U$  对于这些情况已经足够大了。



注：该历史数据显示 1.0 点以上的点数表明 UES 在这些情况下报告了足够大的不确定度。

图 G.1 在超过 100 个圆柱体直径测量中观察到的历史数据示例



附 录 H  
(资料性附录)  
与 GPS 矩阵模型的关系

H.1 概述

关于 GPS 矩阵模型的完整细则,参见 GB/T 20308。  
GB/T 20308 中的 GPS 矩阵模型对 GPS 体系进行了综述,本部分是该体系的一部分。除非另有说明,GB/T 4249 给出的 GPS 基本规则适用于本部分,GB/T 18779.1 给出的缺省规则适用于按照本部分制定的规范。

H.2 关于标准及其使用的信息

本部分规定了坐标测量机获得的测量结果的测量不确定度评估,以及使用(基于仿真的)不确定度评估软件(UES)对坐标测量机进行测量所得到的测量结果的评估,并给出了用于评估特定任务测量不确定度的信息描述。

H.3 在 GPS 矩阵模型中的位置

本部分是一项 GPS 通用标准。本部分给出的规则和原则适用于 GPS 矩阵中所有标有实心点(•)的部分。见表 H.1。

表 H.1 GPS 标准矩阵模型

几何特征	链环						
	A	B	C	D	E	F	G
	符号和标注	要素要求	要素特征	符合与不符合	测量	测量设备	校准
尺寸							•
距离							•
形状							•
方向							•
位置							•
跳动							•
轮廓表面结构							
区域表面结构							
表面缺陷							

H.4 相关的标准

表 H.1 所示标准链涉及的标准为相关的标准。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 1182—2018 产品几何技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注
- [2] GB/T 4249 产品几何技术规范(GPS) 基础 概念、原则和规则
- [3] GB/T 16857.2 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第2部分:用于测量线性尺寸的坐标测量机
- [4] GB/T 16857.3—2009 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第3部分:配置转台的轴线为第四轴的坐标测量机
- [5] GB/T 16857.4—2004 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第4部分:在扫描模式下使用的坐标测量机
- [6] GB/T 16857.5—2017 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第5部分:使用单探针或多探针接触式探测系统的坐标测量机
- [7] GB/T 18779.1—2002 产品几何技术规范(GPS) 工件与测量设备的测量检验 第1部分:按规范检验合格或不合格的判定规则
- [8] GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
- [9] GB/T 19765—2005 产品几何技术规范(GPS) 产品几何量技术规范和检验的标准参考温度
- [10] GB/T 20308 产品几何技术规范(GPS) 矩阵模型
- [11] GB/T 24635.1 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机(CMM) 确定测量不确定度的技术 第1部分:概要和计量特性
- [12] JJF 1059.2—2012 用蒙特卡洛法评定测量不确定度技术规范
-



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
产品几何技术规范(GPS)  
坐标测量机(CMM)  
确定测量不确定度的技术  
第4部分:应用仿真技术评估特定任务  
的测量不确定度

GB/T 24635.4—2020

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

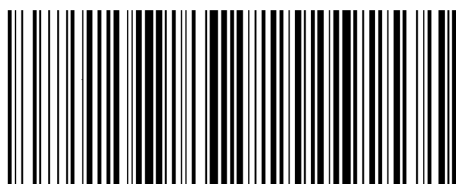
服务热线:400-168-0010

2020年12月第一版

\*

书号:155066·1-66706

版权专有 侵权必究



GB/T 24635.4—2020