



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1130—2005

几何量测量设备校准中的 不确定度评定指南

Guide to the Estimation of Uncertainty in
Calibration of Geometrical Measuring Equipment

TB92-65
G376

2005 - 04 - 28 发布

2005 - 07 - 28 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布



几何量测量设备校准中 的不确定度评定指南

JJF 1130—2005

Guide to the Estimation of Uncertainty in
Calibration of Geometrical measuring Equipment

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2005 年 4 月 28 日批准，并自
2005 年 7 月 28 日起施行。

归口单位： 全国几何量长度计量技术委员会

起草单位： 中国计量科学研究院



0868113

本规范由全国几何量长度计量技术委员会负责解释

0889882-44



几何量计量技术规范

几何量计量技术规范

本规范起草人：

倪育才（中国计量科学研究院）

王为农（中国计量科学研究院）

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2005年4月28日批准，并自2005年7月28日起施行。

全国几何量计量技术委员会：归口单位

中国计量科学研究院：起草单位

本规范由全国几何量计量技术委员会归口

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和定义	(2)
3.1 不确定度评定的黑箱模型	(2)
3.2 不确定度评定的透明箱模型	(2)
3.3 测量任务	(2)
3.4 基本测量任务 (基本测量)	(3)
3.5 总体测量任务	(3)
3.6 (测量的) 扩展不确定度	(3)
3.7 真不确定度	(3)
3.8 约定真不确定度——GUM 不确定度	(3)
3.9 近似不确定度	(3)
3.10 (测量或校准的) 目标不确定度	(3)
3.11 要求的测量不确定度	(3)
3.12 不确定度管理	(4)
3.13 (测量或校准的) 不确定度概算	(4)
3.14 不确定度因素	(4)
3.15 不确定度因素的极限值 (变化限)	(4)
3.16 不确定度分量	(4)
3.17 测量仪器的影响量	(4)
3.18 工作的影响量	(4)
4 符号	(4)
5 用迭代 GUM 法评定测量不确定度的概念	(6)
6 不确定度管理程序——PUMA	(7)
6.1 概述	(7)
6.2 给定测量过程的不确定度管理	(7)
6.3 用于测量过程 (程序) 的设计和开发的不确定度管理	(8)
7 测量误差和测量不确定度来源	(10)
7.1 误差的类型	(10)
7.2 测量环境	(12)
7.3 测量设备的参考标准器	(12)
7.4 测量设备	(13)
7.5 测量配置 (被测件的装夹除外)	(13)
7.6 软件和计算	(13)
7.7 测量人员	(13)

7.8 测量仪器的特性	(13)
7.9 几何量测量仪器特性的定义	(14)
7.10 测量程序	(14)
7.11 物理常数和换算因子	(14)
8 不确定度分量, 标准不确定度和扩展不确定度的评定方法	(14)
8.1 不确定度分量的评定	(14)
8.2 不确定度分量的 A 类评定	(14)
8.3 不确定度分量的 B 类评定	(16)
8.4 A 类和 B 类评定的常见实例	(17)
8.5 不确定度评定的黑箱模型和透明箱模型	(20)
8.6 不确定度评定的黑箱模型——由不确定度分量合成得到合成标准 (u_c) 不确定度 u_c	(20)
8.7 不确定度评定的透明箱模型——由不确定度分量合成得到合成标准 (u_c) 不确定度 u_c	(20)
8.8 由合成标准不确定度 u_c 评定扩展不确定度 U	(21)
8.9 测量不确定度参数 u_c 和 U 的性质	(21)
9 不确定度的实际评定——PUMA 方法的不确定度概算	(21)
9.1 概述	(21)
9.2 不确定度概算的先决条件	(21)
9.3 不确定度概算的标准程序	(22)
10 应用	(25)
10.1 概述	(25)
10.2 文件编写和不确定度数值的评定	(25)
10.3 测量或校准过程的设计和文件编写	(25)
10.4 校准等级的设计、优化和文件编写	(26)
10.5 新测量设备的设计和文件编写	(26)
10.6 对环境的要求	(28)
10.7 对测量人员的要求	(28)
附录 A 不确定度概算实例——环规校准	(29)

几何量测量设备校准中的不确定度评定指南

本规范根据 ISO 14253 - 2: 1999 产品几何量技术规范 (GPS) —— 工件和测量设备的测量检验 —— 第二部分: 测量设备校准和产品检验中 GPS 测量的不确定度评定指南 (Geometrical Product Specifications (GPS) —— Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment —— Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification) 起草, 基本内容相同, 但只针对校准活动, 因此对产品检验相关的词语进行了删节。

为了保持文字的统一和国际交流的方便, 本规范中, 我们用 GUM 作为 1993 年 7 个国际组织联合发布的《测量不确定度表示指南》(简称 GUM) 或 JJF 1059—1999 所推荐的不确定度评定方法的简称。

1 范围

作为贯彻 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》基本概念在校准中应用的指南, 本规范适用于几何量测量设备特性评定(校准)活动。本规范目的是给出完成不确定度报告的全部信息, 并为测量结果及其不确定度(客户和供货商之间的关系)的国际比对提供基础。

本规范有助于对测量设备计量特性的最大允许误差(MPE)的理解。

本规范采用不确定度管理程序(PUMA), 它是以 JJF 1059—1999 为基础的用于评定测量不确定度的实用性迭代程序, 并且未对 JJF 1059—1999 的基本概念作任何改变。本规范通常用于下述情况的不确定度评定和给出不确定度报告:

- 单个测量结果;
- 两个或多个测量结果的比较;
- 由一个(或多个)测量设备得到的测量结果与规定的技术指标(即测量仪器或测量标准器计量特性的最大允许误差 MPE 等)的比较, 以判定是否满足要求。

本规范的迭代法基本上基于对不确定度的上界进行评定, 即在不确定度评定的各阶段高估其不确定度, 高估的程度由迭代次数来控制。为了避免由测量结果作出错误的判断, 对不确定度采取故意的高估。高估的程度决定于具体情况下的经济性评价。

在校准活动中, 迭代法是以最小的成本来获取最大收益的工具。迭代法或迭代程序在经济性上具有自我调节能力。为了降低校准成本, 迭代法是改变/减小测量不确定度的工具。测量不确定度评定和分配中, 迭代法使风险、效果和成本之间的协调成为可能。

2 引用文献

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件, 其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本规范, 然而, 鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引

用文件，其最新版本适用于本部分。

ISO 1: 1975 工业长度测量的标准参考温度

ISO 4288: 1996 产品几何量技术规范 (GPS) ——表面纹理：轮廓法——表面纹理评估的规则和程序

GB/T 19001—2000 质量管理体系 要求

GB/T 19004—2000 质量管理体系 业绩改进指南

GB/T 18779.1—2002 产品几何量技术规范 (GPS) ——工件和测量设备的测量检验——第一部分：按技术指标检验合格或不合格的判定规则 (idt ISO 14253 - 1: 1998 Geometrical Product Specifications (GPS) ——Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment——Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications)

ISO 14253 - 3: 2002 产品几何量技术规范 (GPS) ——工件和测量设备的测量检验——第三部分：达成测量不确定度表述协议的指南 (Geometrical Product Specifications (GPS) ——Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment——Part 3: Guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty statements)

GB/T 18780.1—2002 产品几何量技术规范 (GPS) ——几何特性——第一部分：通用术语和定义 (idt ISO 14660 - 1: 1999)

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

3 术语和定义

本规范采用 GB/T 18779.1, GB/T 18780.1, JJF 1059, JJF 1001 以及下面所给出的术语和定义。

3.1 不确定度评定的黑箱模型 black box model for uncertainty estimation

用于不确定度评定的方法或模型。在该模型中，由测量所得到的输出量的值与输入量（激励源）具有相同的单位，而不是通过测量与被测量有函数关系的其他量而得到的。

注：

- 1 在本技术规范的黑箱模型中，假设各不确定度分量具有可加性。影响量已被换算到被测量的单位，并且灵敏系数等于1。
- 2 在许多情况下，一个复杂的测量方法可以看作一个简单的黑箱，该黑箱具有激励源输入和测量结果输出。当打开黑箱时，它可以转化为若干个“小”黑箱和（或）若干个透明箱。
- 3 即使为了作相应的修正而有必要进行补充测量以确定影响量的数值，其不确定度评定的方法仍然是黑箱方法。

3.2 不确定度评定的透明箱模型 transparent box model for uncertainty estimation

用于不确定度评定的方法或模型。在该模型中被测量的值是通过测量与被测量有函数关系的其他量而得到的。

3.3 测量任务 measuring task

根据定义对被测量的定量确定。

3.4 基本测量任务 (基本测量) basic measurement task (basic measurement)

作为评估工件或测量设备复杂特性依据的 (一个或多个) 测量任务。

注: 基本测量的实例

a) 确定工件某特性的直线度偏差时, 若干次独立的偏差测量中的某一次测量;

b) 在测量千分尺示值误差范围时, 若干次独立的示值误差测量中的某一次测量。

3.5 总体测量任务 overall measurement task

需要若干个基本测量, 甚至可能是若干个各不相同的基本测量作为基础进行评价的复杂测量任务。

注: 总体测量任务实例

a) 工件某计量特性的直线度测量;

b) 千分尺示值误差的范围。

3.6 (测量的) 扩展不确定度 expanded uncertainty (of a measurement) U

[参见 JJF 1059—1999 2.16]

确定测量结果区间的量, 合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。

注: 总是用大写字母 U 表示测量的扩展不确定度。

3.7 真不确定度 true uncertainty U_A

由完善的不确定度评定所得到的测量不确定度。

注: 按其本性, 真不确定度是无法确定的。

3.8 约定真不确定度——GUM 不确定度 conventional true uncertainty—GUM uncertainty U_c

完全按照 GUM 或 JJF 1059 所规定的详细程序评定得到的测量不确定度。

注: 约定真不确定度可能不同于按照本规范评定得到的不确定度。

3.9 近似不确定度 approximated uncertainty U_{EN}

按照迭代法这种简化的方法评定得到的测量不确定度。

注: 脚标 N 表示 U_{EN} 是通过 N 次迭代评定得到的。当知道迭代次数不重要时, 可以使用不带迭代次数的符号 U_E 。

3.10 (测量或校准的) 目标不确定度 target uncertainty (for a measurement or calibration) U_T

对给定的测量任务所能得到的最佳不确定度。

注:

1 目标不确定度是管理决定的结果, 包括诸如设计、制造、质量保证、服务、市场、销售和分包等方面在内。

2 目标不确定度的决定应 (最好) 考虑到技术指标 (公差或最大允许误差 MPE)、工艺能力、成本、风险, 以及 GB/T19001: 2000 中的分条款 7.6, GB/T19004: 2000 中的分条款 7.6, GB/T18779.1 中 7.6 的要求。

3.11 要求的测量不确定度 required uncertainty of measurement U_R

对给定的测量过程和测量任务所要求的不确定度。

注: 参见 6.2。要求的不确定度可以由用户规定。

3.12 不确定度管理 uncertainty management

根据测量任务和目标不确定度，使用不确定度概算技术，给出合适的测量程序的过程。

3.13 (测量或校准的) 不确定度概算 uncertainty budget (for a measurement or calibration)

对不确定度分量评定的总结性表述。这些分量对测量结果的不确定度有影响。

注：

- 1 只有当测量过程（包括测量对象，被测量，测量方法和测量条件）确定时，测量结果的不确定度才是明确的。
- 2 “概算”一词的意思为根据测量程序、测量条件和假设，对不确定度分量以及它们的合成标准不确定度和扩展不确定度的数值进行分配。

3.14 不确定度因素 uncertainty contributor xx

测量过程的测量不确定度来源。

3.15 不确定度因素的极限值（变化限） limit value (variation limit) for an uncertainty contributor a_{xx}

不确定度因素 xx 极值的绝对值。

3.16 不确定度分量 uncertainty component u_{xx}

不确定度因素 xx 的标准不确定度。

注：在迭代法中，符号 u_{xx} 用于所有的不确定度分量，这与 JJF1059 现行版本是不一致的。后者有时用符号 s_{xx} 表示由 A 类评定得到的不确定度分量，而用符号 u_{xx} 表示由 B 类评定得到的不确定度分量。

3.17 测量仪器的影响量 influence quantity of a measurement instrument

测量仪器的特性，它能影响使用该仪器得到的测量结果。

3.18 工件的影响量 influence quantity of a workpiece

工件的特性，它能影响对该工件的测量结果。

4 符号

本技术规范采用表 1 给出的通用符号。

表 1 通用符号

符号	说 明
a	分布的极限值
a_{xx}	误差或不确定度因素的极限值（以被测量的单位表示）
a_{xx}^*	误差或不确定度因素的极限值（以影响量的单位表示）
α	线膨胀系数
b	由误差或不确定度因素的极限值 a_{xx} 到不确定度分量 u_{xx} 的换算系数
C	修正值
d	测量设备的分辨力
E	杨氏模量

表 1 (续)

符号	说 明
ER	(测量) 误差
G	一组测量值的函数, $G(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots)$
h	滞后值, 安全因子
k	包含因子
m	置信区间之半中所包含的标准偏差数
MR	测量结果 (数值)
n	……的数目
N	迭代次数
ν	泊松系数
p	全部不相关的不确定度因素个数
r	全部相关的不确定度因素个数
ρ	相关系数
TV	测量的真值
u, u_i	标准不确定度 (标准偏差)
s_x	样本标准偏差
s_x^-	样本平均值的标准偏差
u_c	合成标准不确定度
u_{xx}	不确定度因素 xx 的标准偏差——不确定度分量
U	测量的扩展不确定度
U_A	测量的真不确定度
U_C	测量的约定真不确定度
U_E	测量的近似不确定度 (未说明迭代次数)
U_{EN}	迭代 N 次评定得到的近似不确定度
U_R	要求的不确定度
U_T	目标不确定度
U_V	(不是按照 JJF 1059 或本规范所评定的) 不确定度数值
X	测量结果 (未修正)
X_i	测量结果 (在不确定度评定的透明箱模型中)
Y	测量结果 (已修正)

5 用迭代 GUM 法评定测量不确定度的概念

完整地采用 JJF 1059 的方法,可以得到测量结果的约定真不确定度 U_c 。

本技术规范采用简化的方法——迭代法(程序),通过高估有影响的不确定度分量,而得到测量结果的近似不确定度 U_E ($U_E \geq U_c$)。高估为每一个已知的或能预期的不确定度分量提供了在最坏情况下可能出现的上界,从而确保了评定结果的安全可靠,即没有低估测量不确定度。本技术规范中所述的迭代法基于下述条件:

- 所有的测量不确定度因素均已被识别;
- 已经决定哪些可能的修正值需要修正(见 8.4.6);
- 每一个因素对测量结果不确定度的影响,均以标准不确定度 u_{xx} 给出,称为不确定度分量;

注:作为约定,迭代法中每一个因素的影响都必须通过有关的物理方程或公式以及灵敏系数换算到被测量的单位。

- 采用 PUMA 迭代过程(见第 6 节);
- 每一个测量不确定度分量(标准不确定度) u_{xx} 的评定,既可以用 A 类评定方法,也可以用 B 类评定方法;
- 为得到测量不确定度的粗略估计值以对其有一个总的了解,并且为节约成本,在进行不确定度的首次评定时,如果可能,应优先采用 B 类评定;
- 所有因素的总效果(称为合成标准不确定度)用下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + u_{x3}^2 + \cdots + u_{xn}^2} \quad (1)$$

- 仅在采用黑箱模型评定不确定度,并且所有不确定度分量 u_{xx} 均不相关时,式(1)才成立(更多细节和其他公式见 8.6 和 8.7);
- 为简单起见,各因素之间的相关系数仅取下列数值:

$$\rho = 1, 0, -1 \quad (2)$$

如果不知道各测量不确定度分量之间是否不相关,则假定它们是完全相关的,即 ρ 等于 1 或 -1。在将各分量代入式(1)进行计算之前,应先将相关分量算术相加;

- 扩展不确定度 U 用下式计算:

$$U = k \times u_c \quad (3)$$

此处 $k=2$, k 是包含因子(见 8.8)。

迭代法一般包括至少两次的各不确定度分量的重复评定:

- a) 第一次评定是十分粗略、快速以及低成本的,其目的是识别最大的几个不确定度分量(见图 1);
- b) 下一次评定,如果有的话,则仅将最大几个分量的“上界”重新进行更精确的评定,以将不确定度的估计值(u_c 或 U)减小到能被接受的程度。

迭代法可用于下述两种情况:

- a) 对一给定测量过程的结果进行不确定度管理(可用于一个给定测量过程的结果,或对两个或两个以上的测量结果进行比较);

b) 测量过程的不确定度管理, 寻求一个合适的测量过程, 即 $U_E \leq U_T$, 见 6.3。

6 不确定度管理程序——PUMA

6.1 概述

不确定度概算和管理的先决条件是清楚地识别和确定测量任务, 即要定量确定的被测量 (测量设备的计量学特性)。测量不确定度是按照测量设备计量特性的定义所得到的测量结果的质量的度量。

计量标准复现的计量特性“约定真值”通过校准链和全球化的计量体系得到。在许多情况下, 计量标准也规定了理想的, 或约定真的测量原理、测量方法、测量程序和标准“参考条件”。

对于特性标准化约定真值等理想要素的偏离对测量不确定度有影响。

6.2 给定测量过程的不确定度管理

图 1 给出给定测量任务 (图 1 中框 2) 和给定测量过程 (框 1) 的不确定度管理框图。测量原理 (框 3), 测量方法 (框 4), 测量程序 (框 5) 和测量条件 (框 6) 是给定的和不变的, 或是在此情况下已经确定, 不能改变的。惟一的任务是要估计其测量不确定度。要求的不确定度 U_R 可以是给定的, 也可以是待定的。



图 1 给定测量过程的测量结果不确定度管理

采用迭代法时, 第一次迭代仅是方向性的, 是为了找到占优势的不确定度因素。如果有必要的话, 在此情况下管理程序要做的仅是改进对占优势不确定度分量的评定, 使其更接近于不确定度分量的真值, 从而避免过于高估这些不确定度分量。

给定测量过程的不确定度管理程序如下:

a) 最好采用不确定度评定过程的黑箱模型进行首次迭代, 并且建立初步的不确定度概算 (框 7~9), 得到扩展不确定度的首次粗略估计值 U_{E1} (框 10)。不确定度评定的详细过程见第 9 章。对不确定度 U_{EN} 的所有评定是通过对不确定度的上界进行评定而完成的。

b) 将首次评定得到的不确定度 U_{E1} 与实际测量任务所要求的不确定度 U_R (框 A) 进行比较:

①如果 U_{E1} 是可以接受的 (即 $U_{E1} \leq U_R$), 则首次评定的不确定度概算证明了给定的测量过程对于测量任务来说是合适的 (框 11);

②如果 U_{E1} 不可接受 (即 $U_{E1} > U_R$), 或不存在所要求的不确定度, 但是希望其更

小并更接近于真不确定度,则继续进行迭代过程。

c) 在进行新的评定之前,对所有不确定度分量的相对大小进行分析。在许多情况下,只有很少几个不确定度分量在合成标准不确定度和扩展不确定度中占优势。

d) 改变假设或改进有关不确定度分量的知识(框 12),以得到最大的(占优势)不确定度分量的更精确的不确定度上界估计值。

改用更精细的不确定度评定过程的模型,或更高分辨力的测量过程(框 12)。

e) 作第二次评定的不确定度概算(框 7~9),得到更小和更准确的测量不确定度上界估计值 U_{E2} (框 10)。

f) 将第二次评定得到的不确定度 U_{E2} (框 A)与实际测量任务所要求的不确定度 U_R 进行比较:

①如果 U_{E2} 是可以接受的(即 $U_{E2} \leq U_R$),则第二次评定的不确定度概算证明给定的测量过程对于测量任务来说是合适的(框 11);

②如果 U_{E2} 是不可接受的(即 $U_{E2} > U_R$),或不存在所要求的不确定度,但是希望其更小和更接近于真不确定度,则需要再次进行迭代过程。对不确定度分量的大小重新进行评定,同时改变假设,改进知识,改变模型等(框 12),并专注于此时最大的不确定度分量。

g) 为得到更准确的(更低的)测量不确定度上界的估计值,当所有能改进的可能性都已考虑过,同时仍没有得到可以接受的测量不确定度 U_{EN} ,使 $U_{EN} \leq U_R$,则证明现有的测量过程不可能满足所要求的测量不确定度 U_R 。

6.3 用于测量过程(程序)的设计和开发的不确定度管理

在这种情况下,不确定度管理是用来开发一个合适的测量程序(校准规范)。不确定度管理是针对一个给定的测量任务(图 2 中框 1)和一个给定的目标不确定度 U_T 而进行的(框 2)。测量任务和目标不确定度的确定是实验室的决定。一个合适的测量过程,评定得到的测量不确定度应小于或等于目标不确定度。如果评定得到的不确定度大大小于目标不确定度,则对于完成测量任务来说,该测量过程在经济上并不是最佳的。也就是说,该测量过程成本太高。

对于给定测量任务(框 1)和给定目标不确定度 U_T (框 2)的不确定度管理程序(PUMA)包括下述内容:

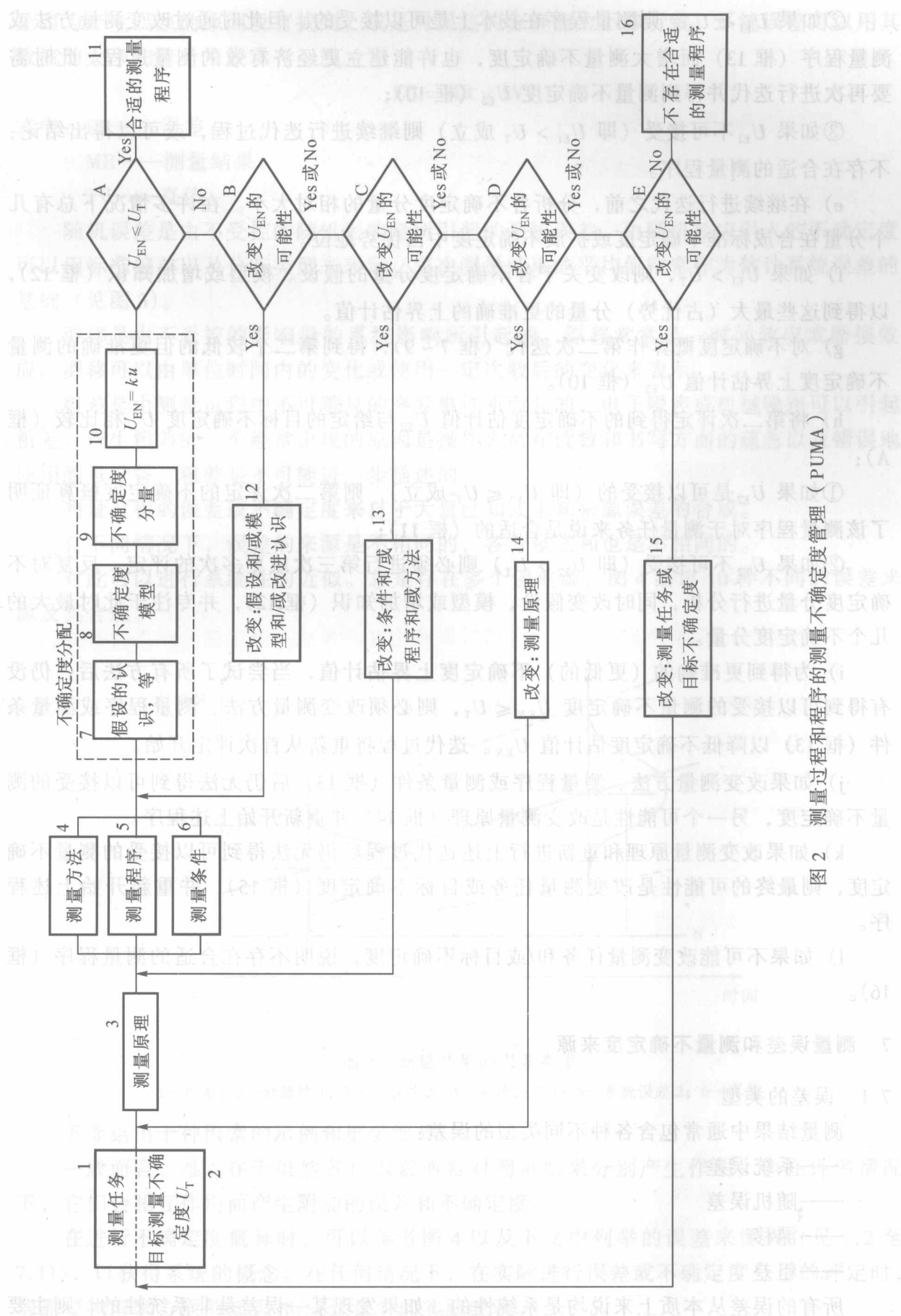
a) 根据经验和实验室内现存的可用测量仪器,选择测量原理(框 3)。

b) 根据经验和可能,确定初步的测量方法(框 4)、测量程序(框 5)和测量条件(框 6),并形成文件。

c) 最好采用不确定度评定过程的黑箱模型进行首次评定,建立初步的不确定度概算(框 7~9),得到扩展不确定度的首次粗略估计值 U_{E1} (框 10)。不确定度评定的详细过程见第 9 节。对不确定度 U_{EN} 的所有评定是通过不确定度的上界进行评定而完成的。

d) 将首次评定得到的不确定度 U_{E1} 与给定的目标不确定度 U_T 进行比较(框 A):

①如果 U_{E1} 是可以接受的(即 $U_{E1} \leq U_T$ 成立),则首次评定的不确定度概算证明了该测量过程对于测量任务来说是合适的(框 11);



②如果 $U_{E1} \leq U_T$ ，则测量程序在技术上是可接受的。但此时通过改变测量方法或测量程序（框 13）而增大测量不确定度，也许能建立更经济有效的测量过程。此时需要再次进行迭代并得到测量不确定度 U_{E2} （框 10）；

③如果 U_{E1} 不可接受（即 $U_{E1} > U_T$ 成立）则继续进行迭代过程，或可以得出结论：不存在合适的测量程序。

e) 在继续进行迭代之前，分析各不确定度分量的相对大小。在许多情况下总有几个分量在合成标准不确定度或扩展不确定度中占优势地位。

f) 如果 $U_{E1} > U_T$ ，则改变关于各不确定度分量的假设、模型或增加知识（框 12），以得到这些最大（占优势）分量的更准确的上界估计值。

g) 对不确定度概算作第二次迭代（框 7~9），得到第二个较低的但更准确的测量不确定度上界估计值 U_{E2} （框 10）。

h) 将第二次评定得到的不确定度估计值 U_{E2} 与给定的目标不确定度 U_T 相比较（框 A）：

①如果 U_{E2} 是可接受的（即 $U_{E2} \leq U_T$ 成立），则第二次评定的不确定度概算证明了该测量程序对于测量任务来说是合适的（框 11）；

②如果 U_{E2} 不可接受（即 $U_{E2} > U_T$ ）则必须进行第三次或更多次的评定。反复对不确定度分量进行分析，同时改变假设、模型或增加知识（框 12），并专注于此时最大的几个不确定度分量。

i) 为得到更准确的（更低的）不确定度上界估计值，当尝试了所有方法后，仍没有得到可以接受的测量不确定度 $U_{EN} \leq U_T$ ，则必须改变测量方法、测量程序或测量条件（框 13）以降低不确定度估计值 U_{EN} 。迭代过程将重新从首次评定开始。

j) 如果改变测量方法、测量程序或测量条件（框 13）后仍无法得到可以接受的测量不确定度，另一个可能性是改变测量原理（框 14）并重新开始上述程序。

k) 如果改变测量原理和重新进行上述迭代过程后仍无法得到可以接受的测量不确定度，则最终的可能性是改变测量任务或目标不确定度（框 15），并重新开始上述程序。

l) 如果不可能改变测量任务和/或目标不确定度，说明不存在合适的测量程序（框 16）。

7 测量误差和测量不确定度来源

7.1 误差的类型

测量结果中通常包含各种不同类型的误差：

——系统误差

——随机误差

——漂移

——粗差

所有的误差从本质上来说均是系统性的。如果发现某一误差是非系统性的，则主要

是因为产生误差的原因没有找到，或是对误差的分辨能力不够所致。系统误差可以用其数值的大小和符号来表示（+ 或 -）。

$$ER = MR - TV$$

式中：ER——误差；

MR——测量结果；

TV——真值。

随机误差是由不受控的随机影响量所引起的系统误差。由随机效应引入的不确定度可以用标准偏差以及分布类型来表示。多次测量结果的平均值常常作为估计系统误差的基础（见图 3）。

漂移是由不受控的影响量的系统影响所引起的。漂移常常是一时间效应或磨损效应。漂移可以由单位时间内的变化或使用一定次数后的变化来表示。

粗差是由测量过程中不可重复的突发事件所引起的。电子噪声或机械噪声可以引起粗差。产生粗差的一个经常出现的原因是操作人员在读数和书写方面的疏忽以及错误地使用测量设备。粗差是不可能进一步描述的。

测量过程的误差或不确定度来自于大量已知或未知来源误差的合成。

在不同情况下，误差的来源是不相同的，各分量之和也是不相同的。

对此可以进行系统性的近似。总是存在多个误差源，图 4 给出 10 种不同的误差来源及其合成。

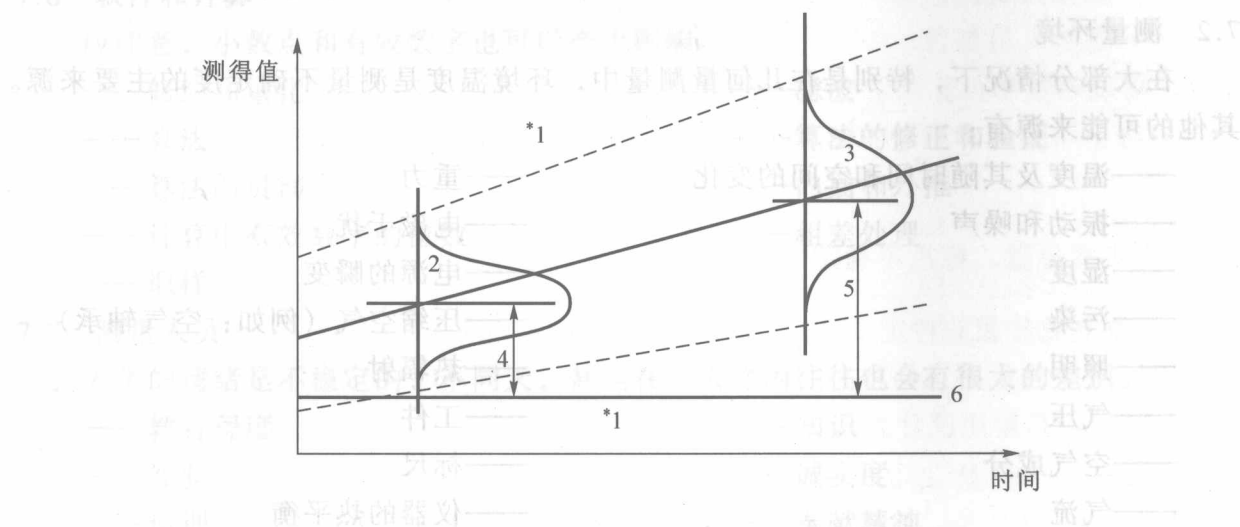


图 3 测量结果的误差类型

1—粗差；2—分散性 1；3—分散性 2；4—系统误差 1；5—系统误差 2；6—真值

下面给出十种因素的示例和更多细节。

一般而言，难点在于虽然各种因素通常对测量结果分别产生作用，但在许多情况下，它们会相互作用而产生附加的误差和不确定度。

在进行不确定度概算时，可以参考图 4 以及下文中列举的误差来源表（见 7.2 至 7.11），以获得系统的概念。在任何情况下，在实际进行误差或不确定度分量的评定时，均需要物理学方面的知识和/或计量学的实践经验。

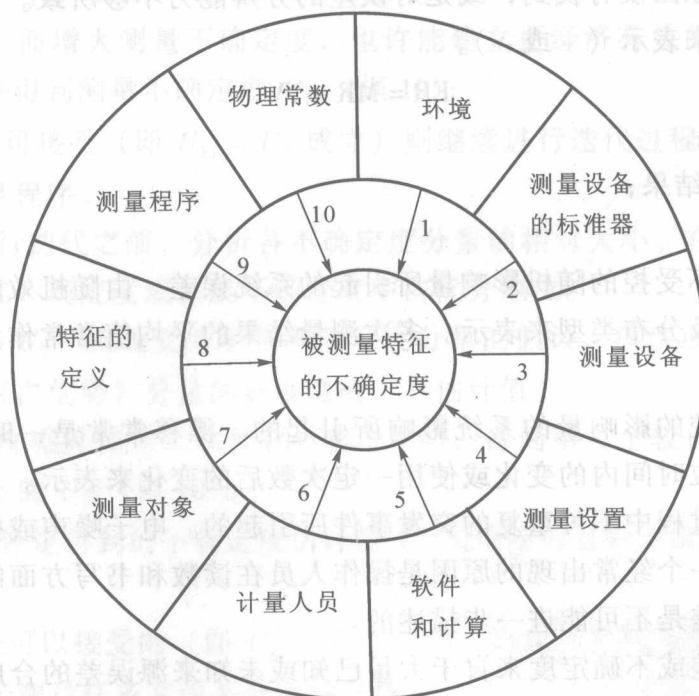


图4 测量中的不确定度来源

为方便起见，在不确定度概算中可以对不确定度因素或不确定度分量进行分类。

7.2 测量环境

在大部分情况下，特别是在几何量测量中，环境温度是测量不确定度的主要来源。

其他的可能来源有：

- | | |
|-----------------|-----------------|
| ——温度及其随时间和空间的变化 | ——重力 |
| ——振动和噪声 | ——电磁干扰 |
| ——湿度 | ——电源的瞬变 |
| ——污染 | ——压缩空气（例如：空气轴承） |
| ——照明 | ——热辐射 |
| ——气压 | ——工件 |
| ——空气成分 | ——标尺 |
| ——气流 | ——仪器的热平衡 |

7.3 测量设备的参考标准器

测量设备常常分为“参考标准器”和“其他设备”：

- | | |
|------------------------------------|------------------|
| ——稳定性 | ——CCD（电荷耦合器件）技术 |
| ——刻度的质量 | ——校准不确定度 |
| ——温度膨胀系数 | ——主标尺的分辨力（模拟或数字） |
| ——物理原理：线纹尺，光学数字标尺，磁数字标尺，轴，齿轮齿条，干涉仪 | ——自上次校准以来的时间间隔 |
| | ——波长误差 |