



中华人民共和国国家标准

GB/T 28782. 1—2023

液压传动 测量技术 第 1 部分 : 通则

Hydraulic fluidpower—Measurement techniques—
Part 1: General principles

(ISO 9110-1:2020, Hydraulic fluidpower—
Measurement techniques—
Part 1: General measurement principles, MOD)

2023-08-06发布

2023-08-06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 目标不确定度 2

5 测量要求 2

6 校准程序 4

7 仪器校准不确定度模型 5

8 读数能力引入的不确定度评定 7

9 保障措施 8

10 合成标准测量不确定度 9

附录 A (资料性) 最佳测量能力指南 10

附录 B (资料性) 不确定度传播律 13

附录 C (资料性) 测量系统验收信息表 14

参考文献 15

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 28782《液压传动 测量技术》的第1部分，GB/T 28782已经发布了以下部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：密闭回路中平均稳态压力的测量。

本文件修改采用 ISO 9110-1:2020《液压传动 测量技术 第1部分：通用测量准则》。

本文件与 ISO 9110-1:2020相比做了下述结构调整：

- 5.2~5.8对应 ISO 9110-1:2020 中的 5.1.1~5.1.7；
- 7.7.1、7.7.2对应 ISO 9110-1:2020 中 7.7的悬置段、7.7.1；
- 8.2.2~8.2.4、8.2.5、8.3对应 ISO 9110-1:2020 中的 8.2.1.1~8.2.1.3、8.2.2、8.3.1；
- 10.2、10.3对应 ISO 9110-1:2020 中的 10.1.1、10.1.2；
- 附录 A对应 ISO 9110-1:2020 中的附录 C，其中 A.2.1~A.2.14对应 ISO 9110-1:2020 中的 C.2.1~C.2.14；附录 C对应 ISO 9110-1:2020 中的附录 A。

本文件与 ISO 9110-1:2020的技术差异及其原因如下：

- 用规范性引用的 GB/T 17446替换了 ISO 5598（见第3章），以适应我国的技术条件，提高可操作性；
- 用规范性引用的 GB/T 17989.1替换了 ISO 7870-1（见第9章），以适应我国的技术条件，提高可操作性；
- 用规范性引用的 GB/T 17989.2替换了 ISO 7870-2（见第9章），以适应我国的技术条件，提高可操作性；
- 用规范性引用的 GB/T 27418替换了 ISO/IEC Guide 98-3（见 10.1、附录 B），以适应我国的技术条件，提高可操作性。

本文件做了下列编辑性改动：

- 删除了 ISO 和 IEC维护用于标准化的术语数据库地址；
- 将公式(2a)改为公式(2)，公式(2b)改为公式(3)，后续公式编号顺延。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国液压气动标准化技术委员会(SAC/TC3)归口。

本文件起草单位：广东省韶关市质量计量监督检测所、安徽佳乐矿山设备有限公司、浙江大学、油威力液压科技股份有限公司、厦门擎华智能传动有限公司、浙江海宏液压科技股份有限公司、宁波市产品质量检验研究院(宁波市纤维检验所)、厦门大学、青岛力沃液压机械有限公司、义乌源泰智能科技有限公司、西安立贝安智能科技有限公司、河南航天液压气动技术有限公司、宁波恒通诺达液压股份有限公司、广东亨鑫亚科技有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司。

本文件主要起草人：赵尚宇、徐兵、孙胜喜、林广、何贤剑、郑智剑、钱战、叶绍干、向大新、王华伟、邓卫红、刘松林、刘宝林、王东升、黄琼芳、曹巧会。

引 言

液压传动测量技术作为液压元件及液压系统研制和生产的关键技术,是验证产品性能指标、可靠性、寿命等的重要手段。液压元件和系统的性能特征只有通过量化,才能为行动或决策提供依据。

GB/T 28782《液压传动 测量技术》旨在对液压传动中的测量技术进行统一的规定,由两个部分构成。

- 第 1 部分:通则。目的是确定在静态或稳态工况下测量液压元件性能参数的通用准则。
- 第 2 部分:密闭回路中平均稳态压力的测量。目的是确定测量液压传动回路中平均稳态压力的程序。

液压传动 测量技术

第 1 部分 :通则

1 范围

本文件规定了在静态或稳态工况下测量液压元件性能参数的通用准则。
本文件给出了包含液压元件的系统的校准和测量过程中不确定度的来源和评定原则。
本文件适用于评估测量系统能力的实际要求以及不确定度,或建立满足目标不确定度的系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 17446 流体传动系统及元件 词汇(GB/T 17446—2012,ISO 5598:2008,IDT)

GB/T 17989.1 控制图 第 1 部分 :通用指南(GB/T 17989.1—2020,ISO 7870-1:2014,MOD)

GB/T 17989.2 控制图 第 2 部分 :常规控制图(GB/T 17989.2—2020,ISO 7870-2:2013,MOD)

GB/T 27418 测量不确定度评定和表示(GB/T 27418—2017,ISO/IEC Guide 98-3:2008,MOD)

3 术语和定义

GB/T 17446界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数值修约误差 data reduction errors

从测试数据到最终结果处理过程中产生的误差(如计算机分辨率、数值圆整以及模型曲线拟合和插值的不确定性)。

3.2

示值 indicated value

由测量仪器或测量系统给出的量值。

3.3

视差 parallax

指针的尖端与仪表刻度不在同一平面上时,观察者的视线不垂直于仪表表面且不直接与指针对齐导致的读数误差。

3.4

读数能力 readability

观察者识别仪器显示值的能力。

3.5

不确定度模型 uncertainty model

表示示值(3.2)和被测量参数测量值关系的图表、图形或方程式。

4 目标不确定度

4.1 通则

4.1.1 使用本文件作为规范性文件制定具体性能测试标准时,应按照 4.2 规定的三种测量准确度等级,制定相应的目标不确定度和选择测量仪器的依据。

4.1.2 液压传动试验测量中的目标不确定度由被测元件或系统、测试结果的使用目的以及测试程序的经济性来确定。

4.1.3 每次测试应绘制目标不确定度表,表中应规定与该测试相关的三种测量准确度等级的限值。限值基于每次测量的最大不确定度。

4.2 测量准确度等级

4.2.1 A级:适用于液压元件科学研究的测量。执行 A级测量所需的设备和技术能力要求最高。

4.2.2 B级:适用于液压元件定型、质量保证试验和用户的选择评定试验的测量。B级测量的要求宜基于多数液压传动检测实验室的能力确定。

4.2.3 C级:适用于液压元件的诊断测量,以确定功能是否正常,并适用于监控设备的运行状态。一般用户使用常规测量仪器即可具备所需的能力。

5 测量要求

5.1 测量系统固有的不确定度可能与该系统或整个系统中的单个元素相关。一般来说,校准和评定系统整体的不确定度会得到更小的误差并减少不确定度。

所有参考标准(如标准量块)和测量仪器应使用已知不确定度和环境影响可溯源的标准进行校准。参考标准如不能溯源到国家或国际认证的校准机构,可由自然物理常数或校准的修正系数推导而出。参考标准或物理常数是国际计量委员会(CIPM)、国际计量局(BIPM)或我国国家标准研究机构认可的标准或物理常数。应注明用于校准的参考标准。

测量和校准实验室宜建立测量保证程序。使用控制图方法分析校准数据可用于表征仪器的短期和长期计量特性。这种依赖于时间的计量特性可用于确定和验证校准间隔。

第 10章中,测量体系的合成标准不确定度包含的参考标准不确定度,由制造商或参考标准的认证机构提供。

5.2 参考标准的校准间隔由以下因素确定:

- a) 使用情况和环境因素;
- b) 制造商的建议;
- c) 管理合同、政府法规、特定行业规范、客户要求;
- d) 参考标准的固有稳定性。

5.3 应根据第 9章的期间核查结果确定测量仪器的校准间隔。校准间隔也可基于下列因素:

- 通过历史趋势的分析或控制图得到的仪器稳定性和漂移;
- 行业和政府相关组织的建议;
- 质量标准、客户/合同要求和行业法规;
- 仪器的使用经验和使用频率;
- 仪器使用的环境条件;
- 校准过程的重要性和复杂性;
- 使用未经校准的仪器所带来的风险;

— 仪器损坏的风险。

对于 A 级测量,宜在仪器使用前进行期间核查。如果测试条件不允许,例如由外部机构进行校准,在测试结束后宜进行期间核查。

对于 B 级和 C 级测量,期间核查通常按规定时间间隔进行。

注:如果在下一次校准时,结果超出了目标不确定度或控制图限值,那么在上一次校准间隔中获得的所有测试结果都是可疑的。

可以考虑以下因素来评估获取可疑数据的风险:

- a) 仪器制造商的建议和说明书;
- b) 仪器过去的运行经验和校准控制表;
- c) 现有类似仪器的历史校准数据。

5.4 新仪器或未经校准的仪器的校准点应不少于 10 个,每个校准点应重复试验 5 次。校准可在内部进行,也可通过仪器制造商或外部机构进行校准。

5.5 具有线性特性的仪表,应在量程范围内均匀选取校准点。对于非线性仪表,如涡轮流量计,宜采用等对数间距分布选取校准点,以便在非线性范围内提供更合理的校准点分布。选择的校准点应包括实际使用量程的首末两端点。对于之前有校准历史的仪器,按全量程的 25%、50%和 100%进行校准,重复试验 3 次即可。

5.6 通过调整仪器或修正所有获得的数据,消除校准过程中的系统误差。若不进行修正,则在计算合成标准不确定度(见第 10 章)时应包括系统误差引入不确定度分量的最大值。例如,如果一台仪器的校准结果显示中点偏差为 3%,端点偏差为 1%,而使用该仪器获得的数据不经修正即使用,则在不确定度计算中应使用 3%的偏差。

5.7 若标准不确定度由另一个独立变量的物理关系得到,应使用已知的数学函数进行修正。这类不确定度通常是由环境因素造成的,例如温度对传感器应变计电桥输出的影响。若测量中忽略了这类不确定度,且没有对其影响进行修正,则在计算第 10 章的合成标准不确定度时,应包含该类不确定度的最大值。

重力因地域差异而不同,因此,由于参考标准或仪器所在地的重力与国际公认的标准值不同,需进行重力修正。

本地重力值可按公式(1)、国际重力公式(IGF)和目前的世界大地测量系统模型 WGS84 计算,该模型考虑了地球的自转、海拔和地球的球面形状。

$$g_1 = 9.7803267714 \left\{ \frac{1 + 0.001\,938\,513\,863\,9 [\sin(\theta_1)]^2}{1 - 0.006\,693\,799\,901\,39 [\sin(\theta_1)]^2} \right\} \left(\frac{R}{R + e} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

g_1 —本地重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);

θ_1 —地理纬度;

e —海拔,单位为米(m);

R —地球的名义半径:6 378 137.0 m。

重力修正采用公式(2)、公式(3)中的比率法来完成。例如,在与自重相关的扭矩或压力测量校准中,应用以下修正关系。

$$m_c = \frac{m \cdot g_1}{g_s} \dots\dots\dots (2)$$

$$p_c = \frac{p \cdot g_1}{g_s} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

m_c, p_c —质量和压力的修正值;

- m — 标准条件下的质量,单位为千克(kg) ;
- p — 压力,单位为兆帕(MPa) ;
- g_s — 标准重力加速度:9.808 665 m/s²。

重力修正适用于压力计等依赖液柱高度的仪器。重力修正通过公式(4) 中的关系来实现的。

$$h_{c,t} = \frac{h_t \cdot g_1}{g_s} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $h_{c,t}$ — 指示液高度修正值,单位为厘米(cm) 或米(m) ；
- h_t — 指示液高度,单位为厘米(cm) 或米(m) 。

5.8 若测试机构不具备进行期间核查或全面校准的条件,可与仪器制造商或其他机构签订合同,由其提供这些服务。测试机构及其独立承包商不能免除本文件规定的任何要求。

6 校准程序

6.1 参考标准的选择

参考标准应满足以下要求：

- a) 无物理损伤,或该损伤已在校准记录中注明,且不影响其功能；
- b) 按照第 5 章的要求,经过校准和可以溯源；
- c) 对其合成标准不确定度进行了评定和记录。

6.2 步骤

- 6.2.1 按校准记录中标明的状态或其制造商的建议安装参考标准。
- 6.2.2 选择需要校准的测量仪器。
- 6.2.3 将测量仪器以制造商推荐的状态安装,或以测量情况下预期的状态安装。
- 6.2.4 在测量仪器无负载影响的情况下进行零位检测。
- 6.2.5 将测量仪器与参考标准连接,并开始采集校准数据。
- 6.2.6 对于受滞环(如材料特性或静态摩擦)影响的仪器,通过增加和减少参考值进行校准,并评估第一次校准试验的结果,以评估滞环的影响。
- 6.2.7 使用通过校准参考标准得到的校准图或不确定度模型,修正系统误差引入的不确定度。
- 6.2.8 在仪器校准时物理变量本身是已知的(已被测量),并且该物理变量与其他物理变量的关系是已知的,则对任何其他系统误差引入的不确定度参考值进行修正。在不要求进行读数修正或参考标准存在不可控变化的情况下,在第 10 章计算合成标准不确定度时,应包括系统误差引入的不确定度的最大预期值。
- 6.2.9 记录按 6.2.7 和 6.2.8 修正后的参考值,以及每个校准点的相应仪器示值。
- 6.2.10 根据第 7 章建立不确定度模型。
- 6.2.11 校准记录应记录所用参考标准有关的信息、被校准仪器的物理损伤或异常特性、环境条件以及参考标准和仪器的安装状态,并在校准记录上签字、注明日期。将这些记录放入永久档案或仪器校准数据库中。
- 6.2.12 建议在仪器上贴上标签。将标签贴在仪器的读数装置上,避免脱落,且应不影响读数。标签宜包含以下信息：
 - a) 最后一次完整校准的日期；
 - b) 仪器识别信息；
 - c) 负责仪器校准的人员或机构的身份。

这些信息也可输入仪器校准数据库中。

7 仪器校准不确定度模型

7.1 概述

本章规定了建立测量仪器不确定度模型的程序,并规定了评价环境因素影响的程序。根据选择的测量模型,可评定测量仪器校准的不确定度。

7.2 程序

7.2.1 从一阶(7.3)、二阶(7.5)或三阶(7.7)中选择一个合适的 不确定度模型。

注:大多数仪器校准的测量不确定度取决于所选择的模型。高阶模型产生的不确定度更小。

7.2.2 在模型中输入仪器校准记录或数据库中得到的测量不确定度。

7.3 一阶不确定度模型

一阶不确定度模型直接采用仪器读数装置的示值,不对测量值进行任何修正。该模型由测量仪器、连接线和读数装置组成测量系统。

7.4 一阶模型的测量不确定度评定

7.4.1 使用第 6 章中记录的校准数据。

7.4.2 按公式(5)计算 5 次试验中各校准点的示值与参考值之差。

$$\Delta x = (x_i - x_r)$$

.....(5)

式中:

x_i — 第 i 次试验的示值;

x_r — 参考值。

7.4.3 按公式(6)计算 6.2.9 中所有试验在参考值总范围内的每个校准点重复试验的标准差。

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_r)^2}{n - 1}}$$

.....(6)

式中:

s_j — 第 j 点的标准差;

n — 各校准点重复性试验的次数。

7.4.4 通过读数装置读取的示值进行计算。

7.4.5 按 7.4.3 计算得到的最大标准差 $s_j (s_1, s_2, \dots, s_j)$ 的 4 倍计算,可得到 95%置信度的测量不确定度。

7.5 二阶不确定度模型

二阶不确定度模型在测量过程中对仪器测量读数进行点对点修正。假设示值在各校准点之间,那么修正采用线性的方式。假设示值不在校准点之间,各离散校准点采用线性插值的方法进行修正。

7.6 二阶模型的测量不确定度评定

7.6.1 使用第 6 章中记录的校准数据。

7.6.2 对于每个校准点:

- a) 计算各校准点每次试验示值的算术平均值;

b) 按公式(7)计算每次试验各示值与示值的算术平均值之差。

$$\Delta x_{k,i} = (x_{k,i} - \bar{x}_k) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\bar{x}_{k,i}$ —第 k 个校准点第 i 次试验的示值；

\bar{x}_k —第 k 个校准点示值的算术平均值。

7.6.3 按公式(8)计算 6.2.9 中各校准点 n 次重复性试验时的标准差。

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{k,i} - \bar{x}_k)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

s_k —第 k 个校准点的标准差；

n —各校准点重复性试验的次数。

7.6.4 采用 7.6.2 中得到的示值的算术平均值与参考值构建图表进行计算。在测量过程中,将示值转换为实际值的最佳估计值。在离散数据中使用线性插值得出实际值。

7.6.5 按 7.6.3 计算得到的最大标准差 $s_k (s_1, s_2, \dots, s_k)$ 的 4 倍计算,可得到 95%置信度的测量不确定度。

7.7 三阶不确定度模型

7.7.1 假设相关环境因素与物理变量的约定量值之间存在数学关系,三阶不确定度模型应将相关环境因素纳入考虑。通过类似于二阶模型的方式,对示值进行修正可得到修正后的值。三阶不确定度模型实际上是一个对环境因素进行额外修正的二阶模型。

应采用线性回归分析法建立一个表达变量之间关系的公式。

7.7.2 用以下一种或多种方法确定环境因素与示值的关系：

- a) 在物理原理的基础上,采用经过验证的数学关系；
- b) 使用测量仪器校准时进行的控制实验中测得的经验数据；
- c) 使用制造商的数据(如因温度而产生的零位漂移,或因黏度而产生的量程漂移等)；
- d) 当环境因素在校准过程中对测得值的影响一致时,以及其他对示值影响不大的因素,均可忽略。

7.8 三阶模型的测量不确定度评定

7.8.1 按公式(9)计算试验中每个校准点的示值和由数学公式推导的预估值之差：

$$\Delta x_{l,i} = (x_{l,i} - \bar{x}_p) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\bar{x}_{l,i}$ —第 l 个校准点第 i 次试验的示值；

\bar{x}_p —预估平均示值。

7.8.2 按公式(10)计算 7.8.1 中时各校准点每次重复性试验的标准差。

$$s_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{l,i} - \bar{x}_p)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

s_l —第 l 个校准点预估值的标准差；

n —各校准点预估测量次数。

7.8.3 将示值和环境因素造成影响 的数值代入数学公式进行计算,得到测量时实际值的估计值。按 7.8.2 计算得到的最大标准差 $s_l (s_1, s_2, \dots, s_l)$ 的 4 倍计算,可得到 95%置信度的测量不确定度。

8 读数能力引入的不确定度评定

8.1 概述

使用以下程序评定读数能力引入的测量不确定度。产生这类误差的原因是仪器对被测量的示值存在最小分辨力。

8.2 指示式测量仪器

8.2.1 指针式测量仪器读数能力引入的测量不确定度 u_r 按公式(11) 计算。

$$u_r = \frac{x_{ssd}}{(f_{r,d} \times f_{r,p} + 2.0)} + f_{r,\theta} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$f_{r,d}$ ——表盘的读数能力引入的系数；

$f_{r,p}$ ——指针的读数能力引入的系数；

$f_{r,\theta}$ ——角度或视差引入的系数；

x_{ssd} ——分度值。

读数能力引入的不确定度可按公式(12) 来估算。

$$u_r = \frac{x_{ssd}}{2} + f_{r,\theta} \quad \dots\dots\dots (12)$$

公式(12) 估算得出的读数能力引入的测量不确定度最大。因此,如果用该估算值作为读数能力引入的测量不确定度,得出的测量不确定度是保守的。

8.2.2 若读数装置配备了视差最小化功能,则按标尺间距的 10%确定 w 的值(单位为 mm)。将 w 的值代入相应的公式(13) 或公式(14) 中计算出 $f_{r,d}$ 。

$$f_{r,d} = 3(1 - e^{0.5 - 1.1w}) (w \geq 0.5) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$f_{r,d} = 0 (w < 0.5) \quad \dots\dots\dots (14)$$

此时：

$$f_{r,p} = 0$$

若 指 针 在 读 数 区 间 内,且 指 针 的 宽 度 约 为 0.25 mm。按公式(15) 将标尺间距除以指针宽度,得到比率 α 。

$$\alpha = \frac{w_{ssd}}{w_p} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

w_{ssd} ——标尺间距；

w_p ——指针宽度。

并用公式(16) 或公式(17) 计算 $f_{r,p}$ (见图 1)：

$$f_{r,p} = 1 - e^{0.6(1-\alpha)} (\alpha > 1.0) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$f_{r,p} = 0 (\alpha \leq 1.0) \quad \dots\dots\dots (17)$$

8.2.3 对于无视差最小化功能的读数装置,观察者的视场应在图 1所示范围内。

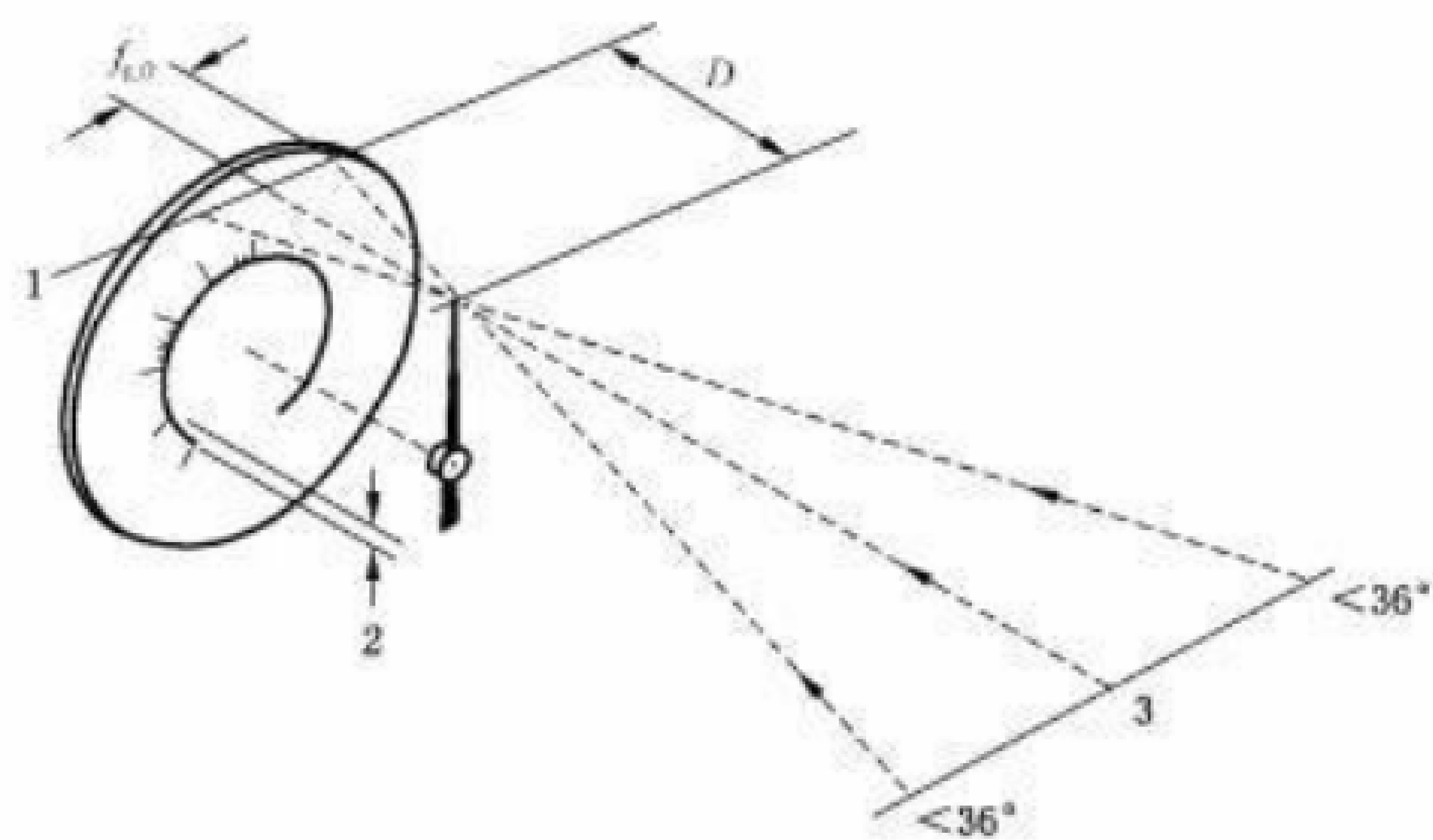
按照 8.2.2 来确定 $f_{r,d}$ 和 $f_{r,p}$ 。

测量或估算指针与刻度面之间的距离 D ,观察者的视角 θ ,如图 1所示。按公式(18) 计算 $f_{r,\theta}$ (单位与最小分度值单位相同)：

$$f_{r,\theta} = D \tan \theta \times f_s \quad \dots\dots\dots (18)$$

比例系数 f_s 可通过参考仪器制造商的规格或通过测量获得。比例系数以单位长度(mm) 的测量

量为单位表示。例如,刻度面上每毫米代表 0.85 MPa。



标引说明：
1 — 刻度面；
2 — 比例系数(MPa/mm)；
3 — 正常视线；
D — 指针与刻度面的距离(mm)。

图 1 读数装置视差

8.2.4 按公式(11),以及 8.2.2 和 8.2.3 中的公式计算读数装置的读数能力引入的测量不确定度 u_r 。

8.2.5 以液柱作为指示器的读数装置(如液体压力计)读数能力引入的测量不确定度按公式(19)计算。

$$u_r = \frac{2 \times x_{ssd}}{(f_{r,d} + 2.0)} \dots\dots\dots (19)$$

注： $f_{r,d}$ 的确定方法同 8.2.2。

8.3 显示式测量仪器

读数能力引入的测量不确定度按公式(20)或公式(21)计算。

$$\text{末位直接舍去得到: } u_r = \frac{\Delta_{s,lsd}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{末位经过圆整得到: } u_r = \frac{\Delta_{s,lsd}}{\sqrt{12}} \dots\dots\dots (21)$$

式中：
 $\Delta_{s,lsd}$ — 数字显示装置示值的最小变化量。

8.4 读数装置的记录

将 8.2 或 8.3 中确定的测量不确定度写入读数装置的校准记录或数据库以及标签(如有)中。

9 保障措施

按第 6 章校准程序开展期间核查,利用统计质量控制图评估其结果,以确定是否需要进行全面校准,从而建立对于测量系统是否处于受控状态的验证程序,如出现漂移、趋势变化或移动等表明出现失控状况时应进行调查和纠正。此方法适用于有明确定义的稳定和可重复的测量系统。控制图极值可与仪器制造商指定的不确定度或用户建立的仪器测量不确定度进行比较。应采用 GB/T 17989.1 和 GB/T 17989.2 中规定的统计质量控制图。

10 合成标准测量不确定度

10.1 测量系统合成标准不确定度通过对各种标准不确定度分量求和确定。这种求和是通过应用 GB/T 27418 中的平方和的平方根(RSS)法完成的。该方法要求将每个标准测量不确定度分量定性为 A 类评定(对在规定测量条件下测得的量值用统计分析的方法进行的测量不确定度分量的评定)或 B 类评定(用不同于测量不确定度 A 类评定的方法对测量不确定度分量进行的评定)。

详见附录 A。

10.2 从仪器的校准记录、本文件或参考本文件的其他标准,或从仪器制造商处确定不确定度来源。确定测量系统合成标准不确定度的计算方法是将以下所有标准不确定度分量相加:

- a) 参考标准的不确定度;
- b) 被校准仪器的不确定度;
- c) 读数装置的读数能力引入的不确定度;
- d) 热效应和环境敏感效应引入的不确定度;
- e) 其他的不确定因素,如环境因素(温度)、仰角误差、测压点引起的误差、数据采集误差等。

10.3 合成标准不确定度应包括下列不确定度分量的总和:

- a) 没有直接测量的推导量的传播不确定度(见附录 B);
- b) 数值修约误差引入的不确定度。

记录合成标准测量不确定度(见附录 C)。

如果实际测量不确定度在所选准确度等级的目标不确定度范围内,或在管理文件或系统文件中规定的限值内,则可判定该试验条件下得出的测量结果符合要求。

当测量不确定度超过目标不确定度限值时,应通过将测量系统作为一个整体重新校准,选择高阶测量不确定度模型、改变测量系统或最大限度地减少/降低数据还原误差来降低测量不确定度。

附 录 A
(资料性)
最佳测量能力指南

A.1 概述

在过去,测量的重点是得出数据而不注重数据的评价。在目前质量越来越受到重视的情况下,需要重视对测量数据的评价。研究测量不确定度的原因是认识到数据的测量结果和测量过程同样重要。提高产品质量需要更可靠、更准确的测量数据。

测试和数据收集的目的是为行动或决策提供依据。如果忽视对测量不确定性的分析,测试结果的有效性就会受到影响。如果不对数据的测量不确定度进行评定,就不能做出可靠的决策。本附录的目的是提供相应的方法,使试验数据的使用者能够评估该数据包含的全部信息。

注:本附录提供了大量信息,能够帮助使用者更全面地理解获得试验中良好测量程序的最佳方法。

A.2 测量指南

A.2.1 通常情况下,测量不确定度的最大来源之一来自校准中使用的参考标准(或校准器)。因此需要为每次测量选择一个合适的参考标准。仅仅使用制造商的技术参数作为参考,并且多年来一直使用该参数作为参考标准的不确定度是不够的。参考标准宜在有能力(不确定度足够小)的校准实验室定期进行校准,使其量值得到有效的溯源。宜关注校准实验室提供的参考标准的不确定度,并使用质量统计控制图跟踪参考标准在其定期校准之间的稳定性。

A.2.2 编写仪器校准的作业指导书,为技术人员提供参考,从而确保测量结果的一致性。作业指导书宜包括不确定度的限值,以及当结果不在限值内时的应对措施。

A.2.3 编写开展测量的操作程序,为技术人员提供参考,从而确保测量结果的一致性。在开展测量前,宜评估技术员的培训情况和使用测量系统的资格。

A.2.4 不确定度的长期意义在于控制,很难评判其经济性。在每次测量之前进行校准是不经济的,在没有仪器校准的情况下进行测量同样也是不经济的。需要评估使用校准不当的设备所带来的风险和成本。

A.2.5 质量统计控制图技术已被证明是大规模生产中的一种经济控制手段,同样适用于测量实践。控制图方法研究得很透彻,发表的文章也很多。在控制图中记录和分析由此产生的校准数据,可以用来确定测量仪器的短期和长期的行为。

A.2.6 参照标准和测量仪器的校准间隔可以通过各种方法来确定:

- a) 统计过程控制图法;
- b) 利用可靠性威布尔(Weibull)分析法;
- c) 周期性的时间间隔;
- d) 根据使用频率或使用时间;
- e) 仪器厂家的性能规格和用户使用经验;
- f) 具体的校准间隔取决于一些因素,包括:
 - 客户、合同或法规的要求;
 - 具体仪器或设备的内在稳定性;
 - 可能影响稳定性的环境因素;
 - 仪器的储存和使用。

A.2.7 使用人工制品作为参考标准,可以非常有效地验证测量系统。人工制品可以是一个仅用于以上

目的的实际测试单元。当使用控制图方法或任何用于比较数据的统计方法验证结果时,可以在进行广泛的测试和数据采集之前确定测量系统出现的任何问题。人工制品需要定期校准。

A.2.8 数据采集的必要前提是建立稳定、可重复的测量系统,并使用统计过程控制法进行统计控制。这项工作随着时间的推移而进行,而不是单独开展。

A.2.9 观察校准和测量过程中环境条件之间的任何差异,并对这些差异如何影响所采集数据的完整性进行评估。

A.2.10 虽然有些测试标准中选择通过严格控制测试系统误差的方法来解决不确定度问题,本标准做法不同。在测量过程中,系统误差、随机误差、测量误差、环境因素(在许多情况下是最大的,且经常被忽略)都会导致测量结果的不确定性。在数据处理时,还存在数据推导和数值修约误差导致的测量不确定度。忽略其中的一个或多个因素,就会忽略该因素导致的测量不确定度。但如果将测量结果的测量不确定度作为首要关注问题,这就需要分析和量化所有可能的不确定度来源。

A.2.11 附录 C提供了在特定测量情况下选择仪器的实用方法。在大多数情况下,除测量系统不确定度外,其他所有不确定度都是固定的,这些不确定度主要取决于所选仪器的功能。与规定准确度等级相对应的目标不确定度与合成标准测量不确定度进行比较,如果测量系统的合成标准测量不确定度等于或小于目标不确定度,则该测量系统被判定为符合要求。

A.2.12 图 A.1描述了标准不确定度的各种来源。它可作为确定合成标准不确定度中可能包含的不确定度分量的指南。

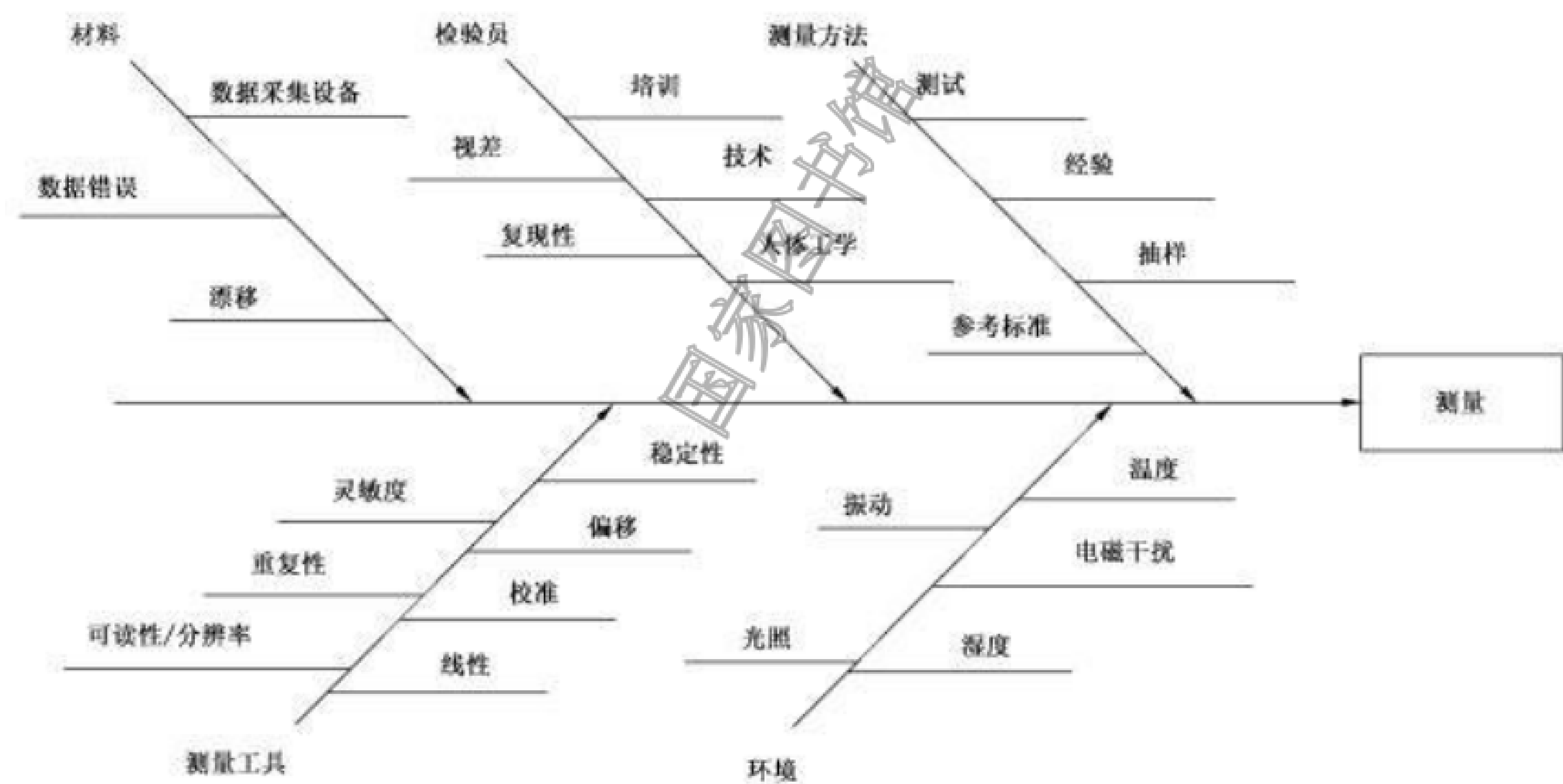


图 A.1 测量不确定因素

A.2.13 计算合成标准不确定度的最佳方法是使用一种称作不确定度预算的方法。不确定度预算是一个标准不确定度的分量表,这些不确定度分量组成了测量结果的合成标准不确定度。表中列举了识别、量化和分析每个不确定度分量重要信息。它还可以用来提高测量过程的质量。不确定度预算的目的是使用结构化的方法有效地计算测量不确定度。它的好处是提供了一个正式的分析过程。它显示了重要的信息,可以识别、量化和描述每个独立的不确定度贡献者。它还可以用来提高测量过程的质量。不确定度预算的目的是使用结构化的方法有效地计算测量不确定度。它的好处是提供了一个正式的分析过程。某标准与技术研究院的一个例子如图 A.2所示。

测量结果单位：					测量范围和参数：						
不确定度来源	符号	目标不确定度	单位	自由度	测量单元中的预估不确定度()	类型(A,B)	概率分布	因子	标准不确定度()	相对作用%	解释/来源/备注
简介：完成选择或评估结果值									简介：结果数据输入		
最小自由度	v										
有效自由度	Veff										
合成标准不确定度,uc										解析：在报告四舍五入结果之前评估数据输入和值	
包含因子,k,使用有效自由度											
扩展不确定度,U											
扩展不确定度,U,四舍五入到2位有效数字											

图 A.2 测量不确定度预算示例

A.2.14 标准不确定度分类为 A类或 B类(见 10.1)有时难以确定。表 A.1 列出的标准不确定度可能有助于这一过程。

表 A.1 标准不确定度分类表

性质	标准不确定度分类
偏移	A
漂移	A
滞环	B
负载	B
非线性	B
可读性	B
参照标准	B
参照标准稳定性	B
重复性	A
复现性	A
分辨力	B
灵敏度	B
稳定性	A
温度影响	B
零位偏移	B

附录 B
(资料性)
不确定度传播律

在某些测量情况下,有些被测量的物理量不能直接测量,必须通过推导才能得出最终结果。例如,泄漏量是通过记录体积和时间间隔进行计算得到。在其他情况下,需要几个测量参数来计算结果,例如泵的总效率。

在这些情况下,还宜评定最终结果的测量不确定度。首先,按第 10 章的程序评定每个主要被测量的合成标准不确定度;其次,本附录中包含的方法(程序)用于确定主要不确定度如何传播到计算的最终结果。计算值的不确定度宜按照 GB/T 27418 规定的方式表达。

表 B.1 总结了计算最终结果时可能使用的数学函数(公式)的一般形式,以及给定了相应的不确定度传播律公式。

表 B.1 数学函数和不确定度传播律

公式	不确定度传播律公式
C = 单个变量的通用函数	$u_C = u_x \frac{\partial C}{\partial x}$
C = 多个变量的通用函数	$u_C = \left\{ \left(u_x \frac{\partial C}{\partial x} \right)^2 + \left(u_l \frac{\partial C}{\partial l} \right)^2 + \left(u_a \frac{\partial C}{\partial a} \right)^2 + \left(u_b \frac{\partial C}{\partial b} \right)^2 + \left(u_d \frac{\partial C}{\partial d} \right)^2 \right\}^{1/2}$
注：如果推导结果是用左侧给出的公式计算的,那么采用右侧相应的不确定度传播律公式计算,式中各符号定义如下： C 为独立计算变量； x、l、a、b、d 为因变量,代表主要被测量； u_x 、 u_l 、 u_a 、 u_b 、 u_d 为输入量 x、l、a、b、d 的测量不确定度； u_C 为各不确定度分量的合成标准测量不确定度。	

附 录 C
(资料性)
测量系统验收信息表

表 C.1 为测量系统验收信息表。

表 C.1 测量系统验收信息表

变量	准确度等级 (A、B、C)	目标不确定度	合成标准不确定度
输入信号			
流量			
压力			
压差			
温度			
扭矩			
速度			
时间			
力			
直线距离			

参 考 文 献

- [1] ISO 10012 Measurementmanagementsystems—Requirementsformeasurementprocesses and measuring equipment
 - [2] M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement United Kingdom Accreditation Service
 - [3] OIML D10InternationalDocumentILAC-G24 Guidance Series Guidelines for the determination ofcalibration intervals ofmeasuring instruments
 - [4] NCSL InternationalIRP-1 Establishmentand AdjustmentofCalibration Intervals
 - [5] ANSIZ540.3 Requirements for the calibration ofmeasuring and testequipment
 - [6] NGA, STND. 0036_ 1. 0. 0_ WGS84 Geospatial-Intelligence Agency (NGA) Standardization DocumentIts Definition and Relationships with LocalGeodetic Systems
 - [7] NationalGeospatial-Intelligence Agency Gravity Station Data Format& Anomaly Computations
 - [8] NIMA TR8350 2 World Geodetic System. Its Definition and Relationship with Local Geodetic Systems,1984
 - [9] An Investigation into the Required Equipment and Procedures for the Accurate MeasurementofPressurein HydraulicFluidPowerSystems,byTheFluidPowerInstitute,Milwaukee Schoolof Engineering, 27 May 1976, under Contract Number DAAG53-76-C-0036 to the U. S. Army Mobility EquipmentResearch and DevelopmentCenter,Ft.Belvoir,Va. Defense Technical Information CenterAD No. A244165.
 - [10] How precise is Earth's Gravity Paper,Glen Thorncroft,ME Department,CaliforniaPolytechnic State University San Luis Obispo,California93407.
 - [11] NIST TechnicalNote12971994Edition GuidelinesforEvaluating and Expressing the Uncertainty ofNIST MeasurementResults.
-

