

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

地面基本气象观测不确定度评定技术规范

Technical Specification for the Uncertainty of
Surface Basic Meteorological Observation

(草案)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

地面基本气象观测不确定度 评定技术规范

JJF XXXX-XXXX

Technical Specification for the Uncertainty of
Surface Basic Meteorological Observation

归口单位：全国测量不确定度计量技术委员会

主要起草单位：

中国气象局气象探测中心

参加起草单位：

江西省气象探测中心

江苏省气象探测中心

本规范委托全国测量不确定度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语与定义	1
3.1 地面气象观测	1
3.3 气象要素	2
3.4 气象仪器	2
3.5 地面气象自动观测	2
3.6 数据采集器	2
3.7 采样瞬时值	2
3.8 瞬时气象值	2
3.9 测量不确定度	3
3.10 标准不确定度	3
3.11 合成标准不确定度	3
3.12 扩展不确定度	3
4 观测数据不确定度的主要来源	3
4.1 观测结果重复性所引入不确定度	4
4.2 测量系统所引入不确定度	4
4.3 选址分类或观测环境等级所引入不确定度	5
4.4 其他不确定度来源	6
5 GUM 法评定观测数据不确定度的过程	6
5.1 分析不确定度来源	6

5.2 建立测量模型	6
5.3 标准不确定度的评定	7
5.4 合成标准不确定度的计算	9
5.5 扩展不确定度的计算	9
5.6 观测数据结果的表示	10
6 MCM 法评定观测数据不确定度的过程	10
6.1 分析不确定度来源	10
6.2 建立测量模型	11
6.3 输入量概率分布的抽样及模型值计算	11
6.4 观测数据结果的表示	12
7 用 MCM 验证 GUM 法的结果	12
7.1 适用情形	12
7.2 验证流程	12
7.3 结果处置	12
附录 A 观测数据不确定度的评定程序示意图	13
附录 B 常见的输入量概率密度函数	15
附录 C GUM 法与 MCM 法评定环境温度观测数据不确定度示例	15 错误！未定义书签。
附录 D GUM 法与 MCM 法评定大气压力观测数据不确定度示例	31

引 言

气象观测数据是气象预报预警、气候分析评估、气象科学研究、防灾减灾及公共气象服务等各项气象业务工作的核心资料，观测数据的准确性、可靠性与一致性直接决定气象业务成果的科学性和有效性。为统一规范地面气象观测中原位观测设备观测数据的测量不确定度评定方法，统一评定流程、技术要求与结果表达，规避评定工作的随意性和差异化问题，保障气象观测数据质量管控的标准化、规范化，为气象数据溯源、比对及应用推广提供统一的技术支撑，根据《中华人民共和国气象法》及世界气象组织（WMO）对气象观测数据质量管理的有关要求，并参照国际计量技术规范对测量不确定度评定的通用原则，制定《地面基本气象观测不确定度评定技术规范》（以下简称“本规范”）。

本规范规定了地面基本气象观测中原位观测设备获取的观测数据的测量不确定度评定方法，包括 GUM 法和 MCM 法两类评定方法及其适用条件，以及用 MCM 验证 GUM 法结果的程序和判定准则。第 4 章规定了观测数据不确定度的主要来源，包括测量系统、选址安装及其他因素等。第 5 章规定了 GUM 法评定观测数据不确定度的过程与要求。第 6 章规定了 MCM 法评定观测数据不确定度的过程与要求。第 7 章规定了用 MCM 法验证 GUM 法结果的适用情形、验证流程与结果处置要求。附录给出了观测数据不确定度的评定程序示意图、常见的输入量概率密度函数，以及 GUM 法与 MCM 法评定环境温度 and 大气压力观测数据不确定度的应用示例。

本规范为首次发布。

本规范编制所依据的基础性系列计量技术规范包括：

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1059.2-2012《用蒙特卡洛法评定测量不确定度》。

地面基本气象观测不确定度评定技术规范

1 范围

本规范适用于地面基本气象观测中原位观测设备获取的观测数据的测量不确定度评定。其他类型的气象观测场景（包括但不限于非原位气象观测、卫星及地基遥感观测等）获取的观测数据的测量不确定度评定可参照本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件。

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1059.2-2012 用蒙特卡洛法评定测量不确定度

GB/T 35221-2017 地面气象观测规范 总则

GB/T 37467-2019 气象仪器术语

GB/T 33703-2017 自动气象站观测规范

QX/T 702-2023 地面气象自动观测规范 总则

GB/T 35237-2017 地面气象观测规范 自动观测

WMO-No.8 Guide to Instruments and Methods of Observation(《仪器和观测方法指南》)

WMO-No. 182 International Meteorological Vocabulary (《国际气象词典》)

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。

3 术语与定义

3.1 地面气象观测 surface meteorological observation (GB/T 35221-2017, 3.2)

借助仪器和人工对地球表面一定范围内的气象状况及其变化过程进行系统地、连续

地观察和测定。

3.2 地面基本气象观测 surface basic meteorological observation

地面气象观测中，针对气温、气压、相对湿度、风向、风速、降雨量六个气象要素进行的原位观测。

注 1：原位观测指传感器直接放置在被测介质所在位置、与被测大气环境/介质直接接触开展的观测

3.3 气象要素 meteorological element （GB/T 37467-2019，2.2）

表征大气状况的基本物理量、基本天气现象和大气成分。

3.4 气象仪器 meteorological instrument （GB/T 37467-2019，2.8）

用来定量、定性测量一个或几个气象要素的仪器。

3.5 地面气象自动观测 surface meteorological automatic observation （QX/T 702-2023，3.2）

借助自动仪器对地球表面一定范围内的气象状况及其变化过程进行系统地、连续地观察和测定。

3.6 数据采集器 data logger （GB/T 35237-2017，3.1）

能够从传感器自动采集器电量信号，并自动对采集数据进行分析 and 处理的测量系统。

3.7 采样瞬时值 sampling instantaneous value （GB/T 35237-2017，3.2）

在采样过程中获取的某一时刻的气象要素单个测量值。

3.8 瞬时气象值 meteorological instantaneous value （GB/T 35237-2017，3.3）

又称气象要素瞬时值

气象要素在一定观测时段内的采样瞬时值的平均值或总量。

注 1：对多数气象要素，是指一分钟内的采样瞬时值的平均值。但有例外，如风有 2 min 和 10 min 的平均值。对有些气象要素，是指计算传感器输出脉冲数的总量，如雨量。需注意的是：不要与应

用领域所需的更长一段时间内的平均值或总量相混淆。

注 2：可以计算每个气象要素每一分钟的瞬时气象值，或是当前分钟内的采样瞬时值的平均值，或是之前若干分钟内的采样瞬时值的移动平均值。

3.9 测量不确定度 measurement uncertainty, uncertainty of measurement (JJF1059.1-2012, 3.12)

简称不确定度

根据所用到的信息，表征赋予被测量值分散性的非负参数。

3.10 标准不确定度 standard uncertainty (JJF1059.1-2012, 3.13)

全称标准测量不确定度 standard measurement uncertainty, standard uncertainty of measurement

以标准偏差表示的测量不确定度

3.11 合成标准不确定度 combined standard uncertainty (JJF1059.1-2012, 3.16)

全称合成标准测量不确定度 combined standard measurement uncertainty

由在一个测量模型中各输入量的标准测量不确定度获得的输出量的标准测量不确定度。

注：在测量模型中的输入量相关的情况下，当计算合成标准不确定度时必须考虑协方差。

3.12 扩展不确定度 expanded uncertainty (JJF1059.1-2012, 3.18)

全称扩展测量不确定度 expanded measurement uncertainty

合成标准不确定度与一个大于 1 的数字因子的乘积。

注：

- 1 该包含取决于测量模型中输出量的概率分布类型及所选取的包含概率。
- 2 本定义中术语“因子”是指包含因子。

4 观测数据不确定度的主要来源

地面气象观测中，被测量为随时间连续变化的局地气象要素值。观测站中的观测系

统以一定的采样间隔进行采样观测，观测得到的一个或一组采样值，经过质控、处理，最终获得瞬时气象值，代表该测量间隔区间该观测站网格点的观测数据。瞬时气象值在时间尺度和空间尺度都可能不完全代表所定义的被测量，因此气象观测数据质量受观测仪器和仪器布设暴露程度的共同影响。

地面基本气象观测不确定度按来源可分为：观测结果重复性所引入不确定度、测量系统所引入不确定度、选址分类或观测环境等级所引入不确定度引入不确定度以及其他因素所引入不确定度。

4.1 观测结果重复性所引入不确定度

4.2 测量系统所引入不确定度

4.2.1 测量系统和校准

- a) 气象仪器分辨力；
- b) 传感器和采集器校准；
- c) 线性度；
- d) 迟滞；
- e) 时间常数；
- f) 随温度的漂移；
- g) 采样方法；
- h) 采样频率；
- i) 处理算法；
- j) 数字化和舍入；
- k) 响应时间。

4.2.2 仪器耦合

- a) 百叶箱/防辐射罩；
- b) 静压头；

- c) 雨量器防风栅/保护罩。

4.2.3 校准（检定）/核查和维护

- a) 校准（检定）或核查频率；
- b) 维护频率；
- c) 维护质量；
- d) 仪器和系统随时间的漂移；
- e) 仪器和系统的老化；
- f) 仪器和场地的清洁度。

4.2.4 环境效应

- a) 仪器运输和操作中的机械应力；
- b) 百叶箱降水蒸发；
- c) 风对测量的影响；
- d) 温度仪表结露；
- e) 太阳辐射的影响。

4.3 选址分类或观测环境等级所引入不确定度

4.3.1 观测仪器的曝露程度

- a) 安装结构；
- b) 安装高度。

4.3.2 观测站或观测仪器附近物

- a) 地面平坦程度；
- b) 遮挡范围；
- c) 遮挡时间；
- d) 障碍物距离；
- e) 障碍物遮挡角度。

4.4 其他不确定度来源

4.4.1 极端天气对气象观测系统影响；

4.4.2 其他未考虑影响因素。

在实际开展不确定度评定工作过程中，需结合所用观测设备的性能指标、现场复杂观测环境、不确定度评定的具体技术要求、观测业务场景等实际因素，针对性地甄别和分析各类不确定度来源。

但必须包含：观测结果重复性、仪器校准、传感器分辨力、校准（检定）或核查频率、处理算法、数字化和舍入、仪器修正值所引入的不确定度。

5 GUM 法评定观测数据不确定度的过程

评定过程：分析不确定度来源——建立测量模型——评定标准不确定度——计算合成标准不确定度——确定扩展不确定度——报告测量结果。

5.1 分析不确定度来源

依据第 4 章内容，从测量系统、观测站选址以及其他因素等方面，系统分析具体观测要素的影响因素，明确不确定度来源。

5.2 建立测量模型

在全面了解测量过程的基础上，明确观测量，包括观测量和它所依赖的输入量的关系(如待测量、常数、校准的标准值等)。确定观测量及其参数之间的关系，并对已知的系统性影响进行修正。建立被测对象和输入量的函数关系。

确定观测值及其参数之间的关系，并对已知的系统性影响进行修正后。当观测数据（即输出量）由 N 个其他量 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_N$ （即输入量），通过函数 f 来确定时，建立观测数据与输入量值的函数关系为：

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$$

式中大写字母表示量的符号， f 为测量函数。

通过分析 $X_1, X_2, X_3 \cdots$ 等每一个输入量的不确定度得到输出量 Y 的不确定度。

a) 对于具有确定物理含义的参数测量，测量过程有确切的测量模型或数学模型，在

这种情况下，可依据该模型和不确定度传播方法，计算或估计不确定度。

b) 在对观测数据进行分析时，有时观测量通过与相应的标准器相比较得到估计值，可按影响量得到测量模型。

c) 如果难以建立函数关系，就需要从实验或其他方式估计这些量对被测量的影响，最终合成给出被测量的不确定度。

5.3 标准不确定度的评定

测量不确定度通常由多个不确定度分量共同构成，各分量均以对应概率分布的标准偏差估计值作为表征量，定义为标准不确定度。在完成测量不确定度来源辨识后，需对各不确定度分量进行预先估算。

测量不确定度评定的核心原则为：重点辨识并量化评定对测量结果起主导作用、贡献占比显著的关键不确定度分量。

5.3.1 测量不确定度的 A 类评定

从重复测量的分散性实验估计得到的不确定度分量，单次测量结果的标准不确定度 (u_A) 以实验标准偏差表征 $[s(x)]$ ，对于经过平均的结果，平均值的标准不确定度 $[u_A(\bar{x})]$ 采用平均值的标准偏差 $[s(\bar{x})]$ 表示。计算公式如下：

$$u_A = s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

针对气象观测系统，气象观测数据的采集过程通常处于非重复测量条件或复现性测量条件下。理想情况下，气象观测系统可在上述条件下开展连续观测，能够完整捕捉气象要素随时间演变的连续变化特征。

而在实际地面气象观测业务中，数据采集器以设定固定采样频率开展时序采样，并依据要求对原始采样数据实施质量控制。因此，气象观测数据中的瞬时气象值并非单次采样结果，本质为多次采样数据的统计平均值，表征对应采样时间区间内气象要素的综合取值水平。

5.3.2 测量不确定度的 B 类评定

测量不确定度的 B 类评定一般是根据有关的信息或经验进行评定，主要依托现有相

关资料与经验，判定被测量的可能取值区间，再合理假设被测量服从的概率分布类型，根据概率分布和要求的概率确定 k 值，则测量不确定度的 B 类评定 (u_B) 计算公式如下：

$$u_B = \frac{a}{k} \quad (3)$$

式中 a 为观测数据可能值区间的半宽度；根据概率论获得的 k 称为置信因子，当 k 为扩展不确定度的倍乘因子时称为包含因子。

其中 a 的大小由以前的测量数据、对影响因素的定量分析、可根据经验推断某量值不会超出的范围、实验方法估计、技术说明书、校准证书、检定证书、测试报告、手册参考资料等材料获得。

a) 如从有关技术资料给出的结果和数据推出的不确定度估计值 $U(x_i)$ 是标准偏差的 k 倍，并指明了包含因子 k 的大小，则标准不确定度 $u_B(x_i) = U(x_i)/k$ 。

b) 如果不确定度估计值是在给出一个置信概率下的置信区间(表示为在 $p\%$ 下 $\pm a$) 时，一般按照正态分布考虑，评定其标准不确定度 $u_B(x_i) = U(x_i)/k_p$ ，其中置信概率与包含因子之间的关系见表 1。

表 1 正态分布情况下概率 p 与置信因子 k_p 之间的关系

$p\%$	50	68.27	90	95	95.45	99	99.73
k_p	0.67	1	1.64	1.96	2	2.58	3

c) 如果只给出 $+a$ 上下限而没有置信水平，并且假定每个值都以相同可能性落在上、下限之间的任何地方，即矩形分布或均匀分布，其标准不确定度为 $u_B(x_i) = a/\sqrt{3}$ 。

d) 如果只给出 $+a$ 上下限而没有置信水平，但如果已知测量的可能值出现在 $-a$ 至 $+a$ 中心附近的可能性最大，接近区间边界时可能性最小，一般假定为三角分布，其标准不确定度为 $u_B(x_i) = a/\sqrt{6}$ 。

e) 如果只给出 $+a$ 上下限而没有置信水平，但如果已知测量的可能值出现在 $-a$ 至 $+a$ 区间边界附近的可能性最大，在中心附近的可能性最小，一般假定为反正弦分布，其标准不确定度为 $u_B(x_i) = a/\sqrt{2}$ 。

f) 测量中常用非正态分布的置信因子 k 及 B 类标准不确定度 $u_B(x)$ 如表 2 所示。

表 2 常用非正态分布的置信因子 k 及 B 类标准不确定度 $u_B(x)$

分布类型	p (%)	k	$u_B(x)$
三角	100	$\sqrt{6}$	$a/\sqrt{6}$
梯形	100	2	$a/2$
矩形 (均匀)	100	$\sqrt{3}$	$a/\sqrt{3}$
反正弦	100	$\sqrt{2}$	$a/\sqrt{2}$
两点	100	1	a

5.4 合成标准不确定度的计算

当测量结果受一种或多种因素共同影响形成了多个不确定度分量时，测量结果的标准不确定度用各输入量的标准不确定度合成得到合成标准不确定度表示。

根据各输入量的标准不确定度，以及由测量模型或实际测量得到的灵敏系数，可以得到对应于各输入量的标准不确定度分量。当测量模型比较复杂而不便于通过偏导数得到灵敏系数时，灵敏系数也可以由测量模型通过数值计算得到。

计算合成标准不确定度时，首先应根据测量模型计算灵敏系数，对测量模型求偏导， $c_i = \partial f / \partial x_i$ 。然后根据测量不确定度传播率，计算合成标准不确定度。

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right) u(x_i, x_j) \quad (4)$$

5.5 扩展不确定度的计算

将合成标准不确定度乘以给出概率的包含因子，即得到扩展不确定度。计算公式如下：

$$U = k u_c(y) \quad (5)$$

式中 u_c 为合成标准不确定度，包含因子 k 值与自由度 ν 以及置信概率 p 有关。

包含因子 k 的值根据 $U=ku$ 所确定的区间 $y \pm U$ 需具有的包含概率来选取。 k 值一般取 2 或 3，当取其他值时，应说明其来源。对于大多数气象观测数据，假定其观测数据

服从正态分布，通常采用 $p=95\%$ ， $k=2$ 。

5.6 观测数据结果的表示

当给出完整的观测数据结果时，应报告观测数据及其不确定度，以便于使用者正确使用。

5.6.1 用合成标准不确定度表示

在报告中，当采用合成标准不确定度或相对不确定度表示结果时，可采用如下的形式：

观测数据结果：估计值(合成标准不确定度值) 单位。

例如：某一时刻环境温度为 t_s ，观测结果的估计值为 $22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，合成标准不确定度 $u_c(t_s) = 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则观测数据结果为： $t_s = 22.2(0.1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

括号内为合成标准不确定度的值，与前面结果有相同计量单位。

注：在使用合成标准不确定度时，不使用 $\pm$ 符号。

5.6.2 用扩展不确定度表示

一般情况下，扩展不确定度 U 与测量结果连在一起表示。其形式为：

结果：(估计值 $\pm$ 扩展不确定度) 单位， $k=2$ 或 3 。

注：通常情况下， k 取 2 。

例如：某一时刻环境空气温度为 t_s ，观测设备输出结果值为 $22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，扩展不确定度 $U = 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则观测数据最终结果为： $t_s = (22.2 \pm 0.2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $k=2$ 。

6 MCM 法评定观测数据不确定度的过程

评定过程：分析不确定度来源——建立测量模型——输入量概率分布的抽样及模型值计算——报告结果。

6.1 分析不确定度来源

包括重复性观测引入的不确定度，以及测量系统不确定度、选址测量不确定度和有可能影响观测数据的其他不确定度。

6.2 建立测量模型

在全面了解测量过程的基础上,明确观测量,包括观测量和它所依赖的输入量的关系(如待测量、常数、校准的标准值等)。确定观测量及其参数之间的关系,并对已知的系统性影响进行修正。建立被测对象和输入量的函数关系。

确定观测值及其参数之间的关系,并对已知的系统性影响进行修正后。当观测数据(即输出量)由 N 个其他量 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_N$ (即输入量),通过函数 f 来确定时,建立观测数据与输入量值的函数关系为:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$$

式中大写字母表示量的符号, f 为测量函数。

通过分析 $X_1, X_2, X_3 \cdots$ 等每一个输入量的不确定度得到输出量 Y 的不确定度。

a) 对于具有确定物理含义的参数测量,测量过程有确切的测量模型或数学模型,在这种情况下,可依据该模型和不确定度传播方法,计算或估计不确定度。

b) 在对观测数据进行分析时,有时观测量通过与相应的标准器相比较得到估计值,可按影响量得到测量数学模型。

c) 如果难以建立函数关系,就需要从实验或其他方式估计这些量对被测量的影响,最终合成给出被测量的不确定度。

6.3 输入量概率分布的抽样及模型值计算

6.3.1 构建输入量的概率分布及确定蒙特卡洛试验次数

利用可获信息,为输入量 X_i 设定概率密度函数,如正态分布、均匀分布等。另外,选择蒙特卡洛试验样本量的大小 M 。

测量中常用的概率密度函数见附录 B

6.3.2 输入量概率分布的抽样

从输入量的概率密度分布函数中抽取 M 个样本值。

6.3.3 模型值计算

对每个样本向量计算对应的 Y 的模型值。

6.3.4 MCM 传播与输出

将这些 M 个模型值按照严格递增次序排序, 通过这些排序的模型值而得到输出量 Y 的分布函数的离散表示 G 。

6.4 观测数据结果的表示

由 G 计算 Y 的估计值 y 以及 y 的标准不确定度 $u(y)$, 并给出包含概率 p 时的包含区间 $[y_{low}, y_{high}]$

7 用 MCM 验证 GUM 法的结果

7.1 适用情形

当测量模型非线性较强、输入量分布明显不对称, 或 GUM 法中正态近似假设存疑时, 应采用 MCM 法对 GUM 法结果进行验证。

7.2 验证流程

- a) 对同一观测数据, 分别按第 5 章、第 6 章完成 GUM 法和 MCM 法评定;
- b) 对比两种方法输出的估计值、标准不确定度及指定包含概率的包含区间;
- c) 参照 JJF 1059.2 判定准则, 差异在允许范围内则认可 GUM 结果有效性, 否则以 MCM 结果为准, 并重新核查不确定度来源与测量模型。

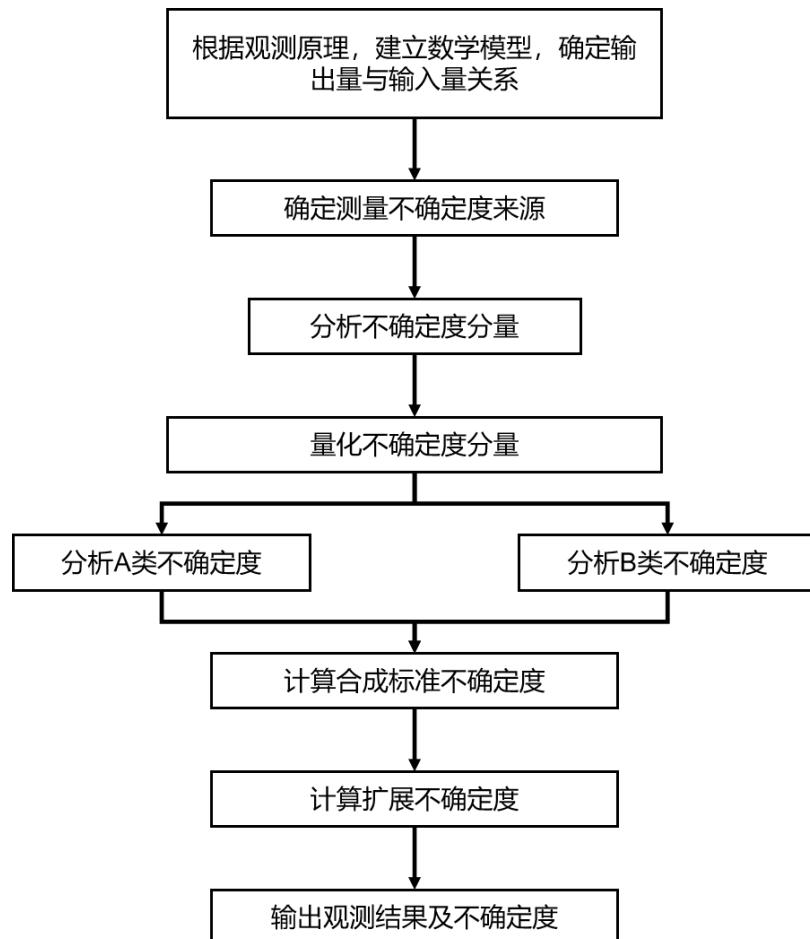
7.3 结果处置

验证通过的场景, 日常评定可采用 GUM 法; 验证不通过的, 需采用 MCM 法。

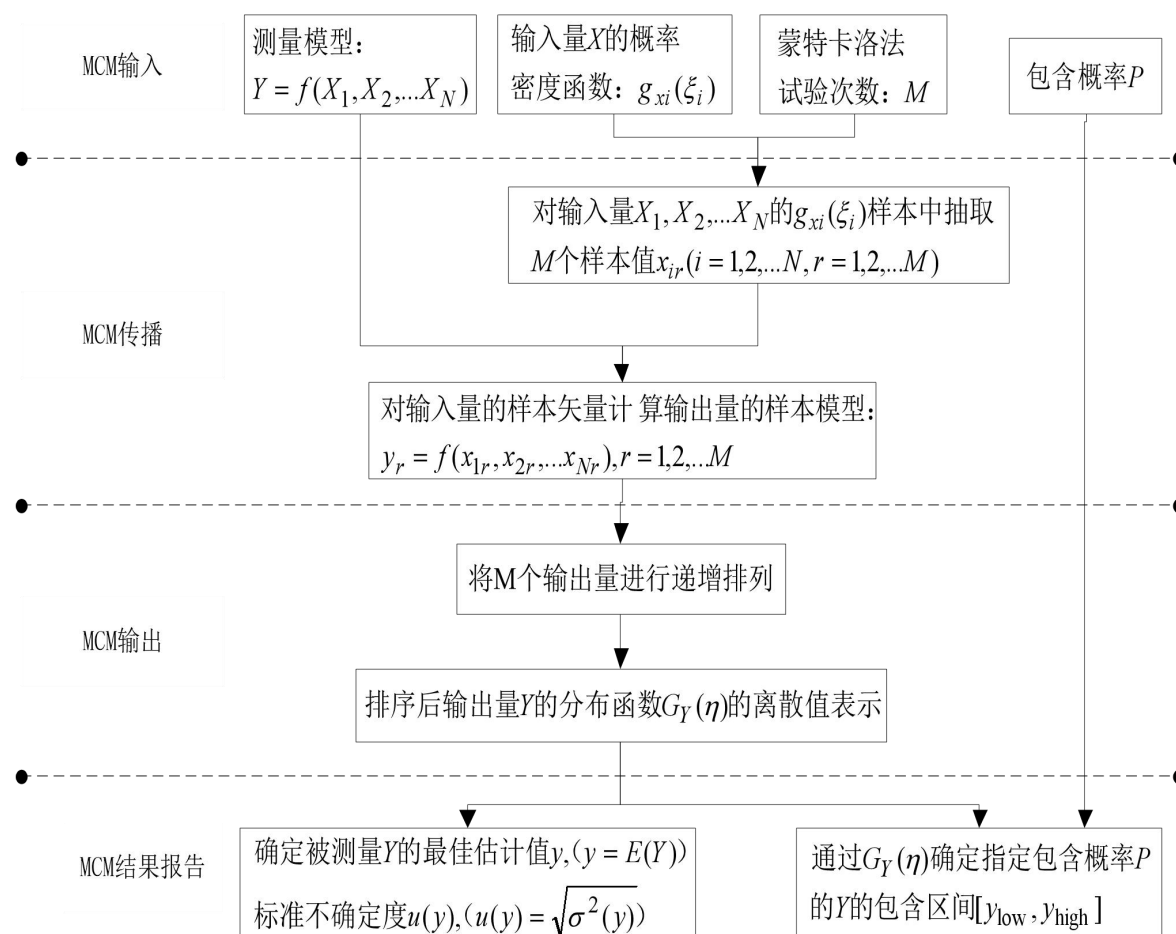
附录 A

观测数据不确定度的评定程序示意图

A.1 GUM 评定观测数据不确定度



A.2 MCM 评定观测数据不确定度

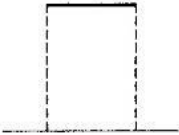
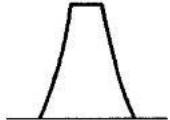


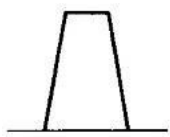
附录 B

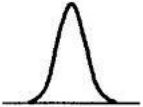
常见的输入量概率密度函数

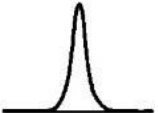
X,独立时，可根据一系列测量值的分析， 或根据某些历史数据、 校准数据和专家经验之类的信息所得到的科学判断，为各 X,设定 PDF_{g_x}(ξ), 见表 B.1。

表B1 可获信息及据此设定的PDF

某量 X 的可获信息	X 所设定的分布	PDF	图示(未按比例绘制)
对于某量 X,仅知其下限为 a,上限为 b,a<b	矩形分布：R(a,b)	$g_x(\xi) = \begin{cases} 1/(b-a), & a \leq \xi \leq b \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$	
已知一个量 X 位于下限 A 与上限 B 之间,A< B,且 A 位于区间 [a-d,a+d],B 位于区间 [b-d,b+d],这里 a、 b 和 d 确定，且规定 d>0、 a+d<b-d。	曲线梯形分布： Trap(a,b,d)	$g_x(\xi) = \frac{1}{4d} \begin{cases} \ln[(w+d)/(x-\xi)], & a-d \leq \xi \leq a+d \\ \ln[(w+d)/(w-d)], & a+d < \xi < b-d \\ \ln[(w+d)/(\xi-x)], & b-d \leq \xi \leq b+d \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ 式中，$x=(a+b)/2, w=(b-a)/2$	

量 X 为两个独立量 X_1 和 X_2 的和，X 服从下限为 a、上限为 b 的矩形分布 $R(a, b)$，$i=1, 2$	梯形分布: $\text{Trap}(a, b, \beta)$ 其中，$a=a_1+a_2$，$b=b_1+b_2$ $\beta = \frac{ (b_1-a_1)-(b_2-a_2) }{b-a}$	$g_X(\xi) = \begin{cases} (\xi-x+\lambda_2)/(\lambda_2^2-\lambda_1^2), & x-\lambda_2 \leq \xi < x-\lambda_1 \\ 1/(\lambda_1+\lambda_2), & x-\lambda_1 < \xi < x+\lambda_1 \\ (x+\lambda_2-\xi)/(\lambda_2^2-\lambda_1^2), & x+\lambda_1 < \xi \leq x+\lambda_2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ 其中 $\lambda_1 = \frac{ (b_1-a_1)-(b_2-a_2) }{2}$，$\lambda_2 = \frac{b-a}{2}$，且 $0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$，$x=(a+b)/2$	
量 X 为两个独立量 X_1 和 X_2 的和，X 服从下限为 a、上限为 b 的三角形分布 $T(a, b)$，$i=1, 2$，且 $b_1-a_1=b_2-a_2$	三角分布: $T(a, b)$ 其中， $a=a_1+a_2$， $b=b_1+b_2$	式中 $x=(a+b)/2$，$w=(b-a)/2$	
量 X 在下限 a、上限 b ($a < b$) 之间以未知相位 Φ 正弦周期变化，Φ 服从矩形分布 $R(0, 2\pi)$，$X = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} \sin \Phi$	反正弦(U形)分布: $U(a, b)$	$g_X(\xi) = \begin{cases} (1/\pi)[(b-\xi)(\xi-a)]^{-1/2}, & a < \xi < b \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$	

量 X 的信息仅已知其最佳估计值 x 和标准不确定度 $u(x)$	正态分布： $N(x, u^2(x))$	$g_X(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}u(x)} \exp\left[-\frac{(\xi-x)^2}{2u^2(x)}\right]$	
如果仅知 N 维量 $X=(X_1, \dots, X_N)$ 的最佳估计 $x=(x_1, \dots, x_N)$ 及 (严格的) 正定不确定度矩阵 $U_x = \begin{bmatrix} u^2(x_1) & u(x_1, x_2) \\ u(x_2, x_1) & u^2(x_2) \\ \vdots & \vdots \\ u(x_N, x_1) & u(x_N, x_2) \end{bmatrix}$	多元正态分布： $N(x, U_X)$	$g_X(\xi) = \frac{1}{[(2\pi)^N \det U_x]^{1/2}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}(\xi-x)^T U_x^{-1} (\xi-x)\right]$	

可获得 n 个测量值 $x_1, \dots, x_n$, 这些测量值独立来自于服从正态分布 $N(\mu_0, \sigma^2)$ 的量, 但期望 μ_0、方差均未知。 X 为 μ_0	缩放位移 t 分布: $t_{n-1}(x, s^2/n)$ 其中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$ $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	$g_X(\xi) = \frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma((n-1)/2) \sqrt{(n-1)\pi}} \times$ $\frac{1}{s/\sqrt{n}} \times \left[1 + \frac{1}{n-1} \left(\frac{\xi - \bar{x}}{s/\sqrt{n}} \right)^2 \right]^{-n/2}$ 其中, $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt, z > 0$	
有关 X 量的信息来自于给出了最佳估计值 x、扩展不确定度 U_p、包含因子 k 和有效自由度 ν_{eff} 的校准证书	缩放位移 t 分布: L. $(x, (U_p/k)^2)$	$g_X(\xi) = \frac{\Gamma(\nu_{\text{eff}}/2)}{\Gamma((\nu_{\text{eff}}-1)/2) \sqrt{(\nu_{\text{eff}}-1)\pi}}$ $\times \frac{1}{U_p/k_p} \times \left[1 + \frac{1}{\nu_{\text{eff}}-1} \left(\frac{\xi - x}{U_p/k_p} \right)^2 \right]^{-\nu_{\text{eff}}/2}$	
仅知非负量 X 的最佳估计值 $x > 0$	指数分布: $\text{Ex}(1/x)$	$g_X(\xi) = \begin{cases} \exp(-\xi/x)/x, & \xi \geq 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$	

注: t 分布的概率密度函数为

$$g(\xi) = \frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\Gamma(\frac{\nu}{2})\sqrt{\nu\pi}} \left(1 + \frac{\xi^2}{\nu} \right)^{-\frac{\nu+1}{2}}$$

附录 C GUM 法与 MCM 法评定环境温度观测数据不确定度示例

C.1 GUM 法评定示例

C.1.1 观测数据不确定度评定方法

按照本规范的“5.GUM 法评定观测数据不确定度的过程”，对气象观测中使用的智能气温测量仪观测分钟观测数据的不确定度进行评定。

智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件，采样频率为 30 次/分钟，在 2s 的整数倍时刻进行 1 次采样，直接测量百叶箱内的空气温度，输出气温分钟平均值，保留一位小数。其传感器与采集器为一体化设计，测量范围为-50 °C~50 °C；分辨力：0.1 °C；最大允许误差：±0.1 °C。因此在分析其不确定度来源时，需考虑取平均值所引入不确定度，以及测量系统不确定度、选址测量不确定度和有可能影响观测数据的其他不确定度。

C.1.2 观测数据不确定度来源

C.1.2.1 观测结果重复性所引入不确定度

C.1.2.2 测量系统所引入的不确定度

- a) 温度传感器分辨力引入的不确定度；
- b) 传感器和采集器校准引入的不确定度；
- c) 仪器耦合引入的不确定度；
- d) 线性度引入的不确定度；
- e) 迟滞引入的不确定度；
- f) 传感器漂移引入的不确定度；
- g) 校准（检定）或核查频率；
- h) 处理算法引入的不确定度；
- i) 数字化和舍入引入的不确定度；
- j) 环境效应引入的不确定度。

C.1.2.3 选址分类或观测环境等级所引入不确定度

C.1.2.4 其他不确定度来源

a) 自热效应所引入不确定度;

C.1.3 建立观测测量模型

由于智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件,直接测量百叶箱内的空气温度,观测值为一分钟时间内温度观测系统连续采样结果的平均值,其观测测量模型为:

$$T_{air} = T_0 + \Delta T_0 + \zeta + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n \quad (C.1)$$

式中 T_{air} 为温度采样瞬时值, °C; T_0 为观测设备在该温度点的观测值, °C; ΔT 为观测设备检定或校准时在该温度点的修正值, °C; ζ 为观测设备仪器耦合在该温度点的修正值, °C; $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ 为不确定度来源对应输入量的估计值, °C。

$$T = \frac{\sum T_{air}}{n} \quad (C.2)$$

式中 T 为温度观测瞬时气象值; n 为采样次数。

C.1.4 不确定度分量计算

C.1.4.1 测量不确定度的 A 类评定

温度观测值满足重复性测量条件,其对应的标准不确定度 $u(T)$ 为 A 类标准不确定度 u_A 。实际地面基本气象观测是在非重复性或复现性测量条件下,数据采集器按固定采样频率进行数据采集,获得采集时刻的采样瞬时值,并按要求对采样瞬时值进行质控、处理。在温度观测中,观测值为一分钟时间内温度观测系统连续采样 30 次。观测数据如表 C.1.1。

表 C.1 一分钟内温度观测值 (单位: °C)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.1	27.0	27.0	27.0
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0

1 分钟内观测值最大值为 27.1 °C，最小值为 27.0 °C，算术平均值为 27.0 °C，单次测量的标准偏差为 0.02°C，算术平均值的标准差为 0.004 °C。

因此，温度观测值对应的标准不确定度 $u(T)=u_A=0.004$ °C。

C.1.4.2 测量不确定度的 B 类评定

C.1.4.2.1 测量系统不确定度

a) 智能气温测量仪分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta_1)$;

智能气温测量仪的对输入量检测分辨力为 0.1°C，依据经验满足在[-0.05°C, 0.05°C]区间内的均匀分布，对应区间半宽度为 0.05°C，其对应的包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。

因此，智能气温测量仪分辨力引入的不确定度 $u(\delta_1)=0.05^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.029^\circ\text{C}$

b) 智能气温测量仪检定校准引入的标准不确定度 $u(\Delta T)$;

若在观测数据产生过程中已使用了校准结果（修正值设置进智能气温测量仪或测量系统），则校准引入的不确定度可使用校准证书报告的测量结果不确定度评定；若在观测数据产生过程中未使用校准结果，则校准引入的不确定度可使用设备的最大误差进行计算；若在测量仪实际观测业务计量维护中采用的检定或核查比对方式，则引入的不确定度可使用观测仪器最大允许误差进行评定。

本示例中所使用智能气温测量仪，通过查询温度传感器校准证书，其对应的修正值 $\Delta T=0.0^\circ\text{C}$ ，在-50°C~80°C之间，对应的扩展不确定度（ $k=2$ ）最大值为 0.05°C，按正态分布计算标准不确定度。

因此，由智能气温测量仪校准引入的不确定度 $u(\Delta T)=0.05^\circ\text{C}/2=0.025^\circ\text{C}$

c) 仪器耦合引入的标准不确定度 $u(\xi)$;

本示例中智能气温测量仪观测时设置于自然通风百叶箱内，根据观测实验统计，在常规观测环境下（平均风速不超过 5m/s 时），智能气温测量仪通过自然通风百叶箱耦合气象环境，引入的误差值为-0.1°C，其对应的修正值 $\xi=0.1^\circ\text{C}$ 。该修正值的不确定度 $u(\xi)=0.17^\circ\text{C}$ ，不确定度服从 $N(0^\circ\text{C}, 0.17^\circ\text{C})$ 正态分布。

d) 线性度引入的标准不确定度 $u(\delta_2)$;

观测设备线性度所引入不确定度已经包于设备校准所引入不确定度之中, 无需再次计算。若必要时, 可通过实验获得, 因此 $u(\delta_2)=0^\circ\text{C}$ 。

e) 迟滞引入的标准不确定度 $u(\delta_3)$;

观测设备出厂实验得到设备迟滞效应所对应扩展不确定度小于 0.005°C , 服从正态分布。

因此, 智能气温测量仪迟滞效应引入的不确定度 $u(\delta_3)=0.005^\circ\text{C}/2=0.0025^\circ\text{C}$ 。

f) 随温度的漂移引入的标准不确定度 $u(\delta_4)$;

观测设备随温度的漂移引入的不确定度已经包含于设备校准所引入不确定度之中, 无需再次计算。若必要时, 可通过实验获得。因此 $u(\delta_4)=0^\circ\text{C}$ 。

g) 传感器校准(检定)或核查频率引入的标准不确定度 $u(\delta_5)$;

若设备首次送检后, 则不考虑长期稳定性所引入不确定度; 若设备已送检多次, 可采用最新相邻两次送检的差值, 或多次送检最大差值表示观测设备长期稳定性所引入不确定度, 若设备送检多次后, 长时间未送检, 漂移量引入的不确定度可按“年漂移量*校准间隔”进行估计, 年漂移量可使用送检记录中相邻两次的最大偏差值。按照其服从矩形分布, 其对应的包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。

本示例中智能气温测量仪为首次送检, 因此未考虑该项。因此 $u(\delta_5)=0^\circ\text{C}$ 。

h) 处理算法引入的标准不确定度 $u(\delta_6)$;

当气象观测数据为平均值时, 需考虑采样瞬时值取平均所引入的不确定度; 当气象观测数据为累加值时, 需考虑单次采样瞬时值累加所引入不确定度。

本示例中智能气温测量仪数据处理算法是将一分钟内采样所得温度瞬时值取平均。因此, 采样算法引入不确定度可按照瞬时气象值的标准偏差进行估计。本示例中智能气温测量仪当前输出瞬时气象值的标准偏差为 0.036°C , 其包含于重复性测量引入的确定度之中, 无需再次计算。

i) 数字化和舍入引入的标准不确定度 $u(\delta_7)$;

观测设备最终输出温度值保留一位小数, 因此数据取舍误差最大值为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, 服从均匀分布。

因此, 由智能气温测量仪数字化和舍入引入的不确定度为: $u(\delta_7)=0.05^{\circ}\text{C}/\sqrt{3}=0.029^{\circ}\text{C}$ 。

j) 环境效应引入的标准不确定度 $u(\delta_8)$;

本示例中智能气温测量仪受影响的环境效应包括: 百叶箱降水蒸发、风对测量的影响、温度仪表结露、太阳辐射的影响等, 这些因素大多已通过仪器耦合装置大部分消除, 但残余影响仍不可避免。考虑到此部分影响量分量相对仪器耦合不确定度分量较小, 且与特定复合气象条件相关, 示例暂不进行环境效应分量的评定。

C.1.4.2.2 选址分类或观测环境等级所引入不确定度

由台站选址所引入的测量不确定度主要为观测仪器的曝露程度或附近有无遮挡物影响。计算时, 可采用气象设备元数据信息(观测环境等级)或通过实验计算该影响因素所引入不确定度大小。

本示例中智能气温测量仪安装在国家级观测站, 安装地面平坦, 周围无遮挡, 观测场草地铺装, 因此可不考虑该分量所引入不确定度。

C.1.4.2.3 其他不确定度来源

本示例中智能气温测量仪工作时并未遇到极端天气等特殊情况, 因此无需计算该分量所引入不确定度。

但在使用时, 应考虑传感器自热效应所产生影响。

自热效应所引入标准不确定度 $u(\delta_9)$;

智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件, 因此需要考虑自热效应所产生的影响, 实验得到所用铂电阻传感器的自热效应影响小于 0.004°C , 服从均匀分布, 其对应的包含因子 $k=\sqrt{3}$

因此，由传感器自热效应所引入的不确定度 $u(\delta_9)=0.004^{\circ}\text{C}/\sqrt{3}=0.0023^{\circ}\text{C}$

C.1.5 合成标准不确定度

根据本示例测量模型，上述各标准不确定度对应的灵敏度系数均为 1；且各标准不确定度分量彼此互不相关，按不确定度传播率计算如下：

$$\begin{aligned} u(T_0) &= \sqrt{\left[\frac{\partial T_0}{\partial T}\right]^2 u(T)^2 + \left[\frac{\partial T_0}{\partial \Delta T}\right]^2 u(\Delta T)^2 + \left[\frac{\partial T_0}{\partial \xi}\right]^2 u(\xi)^2 + \sum_{i=1}^9 \left[\frac{\partial T_0}{\partial \delta_i}\right]^2 u(\delta_i)^2} \\ &= \sqrt{u(T)^2 + u(\Delta T)^2 + u(\xi)^2 + \sum_{i=1}^9 u(\delta_i)^2} \\ &= \sqrt{0.004^2 + 0.025^2 + 0.17^2 + 0.029^2 + 0.0025^2 + 0.0023^2 + 0.029^2} \approx 0.1767 \approx 0.18^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

C.1.6 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度乘包含因子 k 得到。 k 值一般取 2 或 3，当取其他值时，应说明其来源。对于大多数气象观测数据，假定其观测数据服从正态分布，通常采用 $k=2$ 。

本示例计算如下：

$$U_{95}=ku(T_0)=2\times 0.1767^{\circ}\text{C}=0.3535^{\circ}\text{C}\approx 0.35^{\circ}\text{C}$$

C.1.7 气象观测结果表示

本示例观测结果的最佳估计值为 27.10°C ，扩展标准不确定度保留一位有效数字为 0.4°C ，观测数据结果为： $t_s=27.0(0.4)^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 。

C.2 用 MCM 法评定示例

C.2.1 观测数据不确定度评定方法

按照本规范的“6.MCM 法评定观测数据不确定度的过程”，对气象观测中使用的智能气温测量仪观测数据的不确定度进行评定。

智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件，采样频率为 30 次/分钟，在 2s 的整数倍时刻进行 1 次采样，直接测量百叶箱内的空气温度，输出气温分钟平均值，保留一位小数。其传感器与采集器为一体化设计，测量范围为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；分辨力： 0.1°C ；

最大允许误差： $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此在分析其不确定度来源时，需考虑取平均值所引入不确定度，以及测量系统不确定度、选址测量不确定度和有可能影响观测数据的其他不确定度。

C.2.2 观测数据不确定度来源

C.2.2.1 重复观测引入的不确定度

C.2.2.2 测量系统所引入的不确定度

- a) 温度传感器分辨力引入的不确定度；
- b) 传感器和采集器校准引入的不确定度；
- c) 仪器耦合引入的不确定度；
- d) 线性度引入的不确定度；
- e) 迟滞引入的不确定度；
- f) 传感器漂移引入的不确定度；
- g) 校准（检定）或核查频率；
- h) 处理算法引入的不确定度；
- i) 数字化和舍入引入的不确定度；
- j) 环境效应引入的不确定度。

C.2.2.3 选址分类或观测环境等级所引入不确定度

C.2.2.4 其他不确定度来源

- a) 自热效应所引入不确定度；

C.2.3 建立观测测量模型

由于智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件，直接测量百叶箱内的空气温度，观测值为一分钟时间内温度观测系统连续采样结果去除最大值和最小值后的平均值，其观测测量模型为如公式 C.1 所示。

C.2.4 输入量概率分布的抽样及模型值计算

C.2.4.1 重复性观测对应输入量 T

实际地面基本气象观测是在非重复性或复现性测量条件下，数据采集器按固定采样频率进行数据采集，获得采集时刻的采样瞬时值，并按要求对采样瞬时值进行质控、处理。在温度观测中，观测值为一分钟时间内温度观测系统连续采样 30 次，结果去除最大值，最小值后的平均值。观测数据如表 C.1。

1 分钟内观测值最大值为 27.1 °C，最小值为 27.0 °C，算术平均值为 27.0 °C，算术平均值标准差为 0.004 °C。

观测数据结果 T 满足正态分布，以均值作为期望，实验标准差为方差，则 T 对应的 PDF 为 $N(27.0^{\circ}\text{C}, 0.004^{\circ}\text{C})$ ， N 为正态分布符号。

C.2.4.2 非重复性观测对应输入量

C2.4.2.1 测量系统不确定性对应输入量

a) 智能气温测量仪分辨力对应的输入量 δ_1 ;

智能气温测量仪的对输入量检测分辨力为 0.1°C，依据经验满足在 $[-0.05^{\circ}\text{C}, 0.05^{\circ}\text{C}]$ 区间内的均匀分布，其对应的期望为 0°C，区间半宽度为 0.05°C，则 δ_1 对应的 PDF 为 $R(0^{\circ}\text{C}, 0.05^{\circ}\text{C})$ ， R 为均匀分布符号。

b) 智能气温测量仪校准不确定性对应输入量 ΔT ;

若在观测数据产生过程中已使用了校准结果（修正值设置进智能气温测量仪或测量系统），则校准引入的不确定度可使用校准证书报告的测量结果不确定度评定；若在观测数据产生过程中未使用校准结果，则校准引入的不确定度可使用校准证书报告各校准点不确定度的最大值评定；若在测量仪实际观测业务计量维护中采用的检定或核查比对方式，则校准引入的不确定度可使用观测仪器最大允许误差的半宽度评定。

本示例中智能气温测量仪未直接进行数据修正，通过查询温度传感器校准证书，在 $-50^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间，对应的扩展不确定度（ $k=2$ ）最大值为 0.05°C，其对应的标准不确定度为 $u_c = 0.05^{\circ}\text{C} / 2 = 0.025^{\circ}\text{C}$ ，满足正态分布，标准不确定度为方差，则 ΔT 对应的 PDF 为 $N(0^{\circ}\text{C}, 0.025^{\circ}\text{C})$ 。

c) 仪器耦合引入的标准不确定度 ξ ;

本示例中智能气温测量仪观测时设置于自然通风百叶箱内, 根据观测实验统计, 在常规观测环境下 (平均风速不超过 5m/s 时), 智能气温测量仪通过自然通风百叶箱耦合气象环境, 其对应的修正值 $\xi=0.1^{\circ}\text{C}$, 引入的不确定度 $u(\xi)=0.17^{\circ}\text{C}$, 因此, ξ 服从 $N(0.1^{\circ}\text{C}, 0.17^{\circ}\text{C})$ 正态分布。

c) 线性度对应的输入量 δ_2 ;

观测设备线性度所对应的输入量已经包于观测数据的偏差值对应输入量之中, 无需再次计算。若必要时, 可通过实验获得。因此, δ_2 对应为常数 0°C 。

d) 迟滞对应的输入量 δ_3 ;

观测设备出厂实验得到设备迟滞效应其对应扩展不确定度小于 0.005°C , 因此, 智能气温测量仪迟滞效应引入的不确定度小于 0.0025°C , 服从正态分布, 期望为 0°C , 标准不确定度为方差, 则 δ_3 对应的 PDF 为 $N(0^{\circ}\text{C}, 0.0025^{\circ}\text{C})$ 。

e) 随温度的漂移对应的输入量 δ_4 ;

观测设备随温度的漂移引入的不确定度已经包于设备校准所引入不确定度之中, 无需再次计算。若必要时, 可通过实验获得。因此, δ_4 对应为常数 0°C 。

f) 传感器校准 (检定) 或核查频率引入的标准不确定度 δ_5 ;

若设备首次送检后, 则不考虑长期稳定性所引入不确定度; 若设备已送检多次, 可采用最新相邻两次送检的差值, 或多次送检最大差值表示观测设备长期稳定性所引入不确定度, 若设备送检多次后, 长时间未送检, 漂移量引入的不确定度可按 “年漂移量*校准间隔” 进行估计, 年漂移量可使用送检记录中相邻两次的最大偏差值。按照其服从矩形分布, 本示例中智能气温测量仪为首次送检, 因此未考虑该项。 δ_5 对应为常数 0°C 。

g) 处理算法对应的输入量 δ_6 ;

当气象观测数据为瞬时气象值时, 需考虑采样瞬时值取平均所引入的不确定度; 当气象观测数据为累加值时, 需考虑单次采样瞬时值累加所引入不确定度。

本示例中智能气温测量仪数据处理算法是将一分钟内采样所得温度瞬时值去掉最大值和最小值后取平均。

采样算法引入不确定度可按照瞬时气象值的标准偏差进行估计。本示例中智能气温测量仪当前输出瞬时气象值的标准偏差为 $0.036\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，其包含于重复性测量引入的不确定度之中，无需再次计算。因此， δ_6 对应为常数 0°C 。

h) 数字化和舍入对应的输入量 δ_7 ;

观测设备最终输出温度值保留一位小数，因此数据取舍误差最大值为 0.1 ，满足 $[-0.05^{\circ}\text{C}, 0.05^{\circ}\text{C}]$ 均匀分布，其对应的期望为 0°C ，区间半宽度为 0.05°C ，则 δ_7 对应的 PDF 为 $R(0^{\circ}\text{C}, 0.05^{\circ}\text{C})$ 。

j) 环境效应引入的标准不确定度 δ_8 ;

本示例中智能气温测量仪受影响的环境效应包括：百叶箱降水蒸发、风对测量的影响、温度仪表结露、太阳辐射的影响等，这些因素大多已通过仪器耦合装置大部分消除，但残余影响仍不可避免。考虑到此部分影响量分量相对仪器耦合不确定度分量较小，且与特定复合气象条件相关，示例暂不进行环境效应分量的评定。

C.2.4.2.2 选址测量不确定度

由台站选址所引入的测量不确定度主要为观测仪器的曝露程度或附近有无遮挡物影响。计算时，可采用气象设备元数据信息或通过实验计算该影响因素所引入不确定度大小。

本示例中智能气温测量仪安装在国家级观测站，安装地面平坦，周围无遮挡，因此无需计算该分量所引入不确定度。

C.2.4.2.3 其他不确定度来源

本示例中智能气温测量仪工作时并未遇到极端天气等特殊情况，因此无需计算该分量所引入不确定度。

但在使用时，应考虑传感器自热效应所产生影响。

自热效应所引入标准不确定度 δ_9 ;

智能气温测量仪采用铂电阻作为直接感应元件, 因此需要考虑自热效应所产生的影响, 实验得到所用铂电阻传感器的自热效应影响小于 0.004°C , 服从均匀分布, δ_9 对应的 PDF 为 $R(0^{\circ}\text{C}, 0.04^{\circ}\text{C})$

表 C.2 输入量 X_i 及其服从的 PDF

X_i	符号	分布	参数				
			正态分布		均匀分布		常数
			期望	标准偏差	期望	半宽度	
重复性观测	T	$N(\mu, \sigma^2)$	27.00°C	0.004°C	——	——	——
传感器分辨力	δ_1	$R(a, b)$	——	——	0°C	0.05°C	——
仪器耦合	ζ	$N(\mu, \sigma^2)$	0.1°C	0.17°C	——	——	——
观测数据的偏差值	ΔT	$N(\mu, \sigma^2)$	0°C	0.025°C	——	——	——
线性度	δ_2	C	——	——	——	——	0°C
迟滞	δ_3	$N(\mu, \sigma^2)$	0°C	0.0025°C	——	——	——
温度的漂移	δ_4	C	——	——	——	——	0°C
校准或核查频率	δ_5	C	——	——	——	——	0°C
处理算法	δ_6	C	——	——	——	——	0°C
数字化和舍入	δ_7	$R(a, b)$	——	——	0°C	0.05°C	——
环境效应	δ_9	$R(a, b)$	——	——	——	——	——
自热效应	δ_{10}	$R(a, b)$	——	——	0°C	0.004°C	——

注: N 为正态分布, R 为矩形分布, C 为常数。

C.2.5 输入量概率分布的抽样、模型值计算以及 MCM 传播与输出

首先, 选择蒙特卡洛试验样本量的大小 $M=10^6$; 其次, 从输入量的概率密度分布函数中抽取 M 个样本值; 再次, 对每个样本向量计算对应的 Y 的模型值; 最后, 将这些

M 个模型值按照严格递增次序排序，通过这些排序的模型值而得到输出量 Y 的分布函数的离散表示 G 。

C.2.6 报告结果

由 G 计算 Y 的估计值 y 以及 y 的标准不确定度 $u(y)$ ，并给出包含概率 $p=95\%$ 时的包含区间 $[y_{low}, y_{high}]$

得出报告结果： $y=27.1000^{\circ}\text{C}$ 、 $u(y)=0.1766^{\circ}\text{C}$ 、 $y_{low}=26.6545^{\circ}\text{C}$ 、 $y_{high}=27.3468^{\circ}\text{C}$

C.2.7 气象观测结果表示

本示例观测结果的最佳估计值为 27.10°C ，其 95% 的包含区间为 $[26.75^{\circ}\text{C}, 27.45^{\circ}\text{C}]$ 。

C.3 用 MCM 验证 GUM 的结果

对本示例气温观测数据，两种方法的评定结果对比如表 C.3，为了便于验证结果更加准确，我们将包含区间保留至小数点后四位：

表 C.3 GUM 和 MCM 评定结果

评定方法	最佳估计值/ $^{\circ}\text{C}$	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$	95%包含区间/ $^{\circ}\text{C}$
GUM	27.10	0.1767	[26.7536, 27.4464]
MCM	27.10	0.1766	[26.7545, 27.4468]

计算端点偏差： $d_{low} = |26.7536 - 26.7545| = 0.0009^{\circ}\text{C}$ ； $d_{high} = |27.4464 - 27.4468| = 0.0004^{\circ}\text{C}$ 。取 $u(y) = 0.18^{\circ}\text{C}$ ，根据修约规则，不确定度取 2 位有效数字，则对应的容差 $\delta = 0.005^{\circ}\text{C}$ 。此处 d_{low} 和 d_{high} 均小于 0.005°C ，GUM 法通过验证。因此，本示例中 GUM 法评定结果与 MCM 一致，可接受。

附录 D GUM 法与 MCM 法评定大气压力观测数据不确定度示例

D.1 GUM 法评定示例

D.1.1 观测数据不确定度评定方法

按照本规范的“5.GUM 法评定观测数据不确定度的过程”，对气象观测中使用的智能气压测量仪观测分钟观测数据的不确定度进行评定。

常见的智能气压测量仪通常采用硅谐振器件、压敏电容、压敏电阻、石英晶体、振筒为感应元件，主要适用于陆地上气压的观测。本示例所用智能气压测量仪采用压敏电容原理进行大气压力测量，采样频率为 30 次/分钟，在 2s 的整数倍时刻进行 1 次采样，直接测量大气环境压力，输出气压分钟平均值，保留一位小数。其传感器与采集器为一体式设计，测量范围为 450 hPa~1100 hPa；分辨力：0.1 hPa；最大允许误差： ± 0.20 hPa。因此在分析其不确定度来源时，需考虑取平均值所引入不确定度，以及测量系统不确定度、选址测量不确定度和有可能影响观测数据的其他不确定度。

D.1.2 观测数据不确定度来源

D.1.2.1 重复观测引入的不确定度

D.1.2.2 测量系统引入的不确定度

- a) 传感器分辨力引入的不确定度
- b) 仪器校准（检定）引入的不确定度；
- c) 线性度引入的不确定度；
- d) 迟滞引入的不确定度；
- e) 处理算法引入的不确定度；
- f) 数字化和舍入引入的不确定度；
- g) 仪器耦合所引入不确定度；
- h) 校准（检定）或核查频率；
- i) 传感器漂移引入的不确定度

j) 环境效应

D.1.2.3 选址分类或观测环境等级所引入不确定度

D.1.2.4 其他因素所引入不确定度

D.1.3 建立观测测量模型

智能气压测量仪采用压敏电容原理进行大气压力测量，直接测量环境大气压力，观测值为一分钟时间内大气压力观测系统连续采样结果的平均值，其观测测量模型为：

$$P = \frac{\sum (p_{air} + \Delta p_i + \delta p_i)}{n} \quad (D.1)$$

式中 P 为环境大气压力瞬时观测值，hPa； p_{air} 为大气压力采样瞬时值，hPa； Δp 观测设备在该压力点的修正值，hPa； δp_i 为不确定度来源对应输入量的估计值，hPa； n 为采样次数。

D.1.4 不确定度分量计算

D.1.4.1 测量不确定度的 A 类评定

大气压力观测值满足重复性测量条件，其对应的标准不确定度 $u(P)$ 为 A 类标准不确定度 u_A 。实际地面基本气象观测是在非重复性或复现性测量条件下，数据采集器按固定采样频率进行数据采集，获得采集时刻的采样瞬时值，并按要求对采样瞬时值进行质控、处理。在大气压力观测中，观测值为一分钟时间内大气压力观测系统连续采样 30 次，采样瞬时值的平均值。观测数据如表 D1。

表 D.1 一分钟内大气压力观测值（单位：hPa）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.8	996.7	996.7	996.7	996.7

1 分钟内观测值的算数平均值为 996.8 hPa，算术平均值标准差为 0.035 hPa，大气压

力单次观测值对应的标准不确定度 0.035 hPa，算术平均值的标准偏差 $u(p)=u_A=0.007$ hPa。

D.1.4.2 测量不确定度的 B 类评定

D.1.4.2.1 测量系统不确定度

a) 传感器分辨力引入的不确定度 $u(\delta_1)$

智能气压测量仪的对输入量检测分辨力为 0.1 hPa，依据经验满足在[-0.05 hPa, 0.05 hPa]区间内的均匀分布，对应区间半宽度为 0.05 hPa，其对应的包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。

因此，智能气压测量仪分辨力引入的不确定度 $u(\delta_1)=0.05 \text{ hPa}/\sqrt{3}=0.029 \text{ hPa}$

b) 仪器校准（检定）引入的不确定度 $u(\Delta p)$

若在观测数据产生过程中已使用了修正值，则需要考虑修正值校准所引入的不确定度，其值可采用证书报告中给出的测量结果不确定度；若在观测数据产生过程中未使用修正值，则校准引入的不确定度可使用设备的最大误差进行计算；若在测量仪实际观测业务计量维护中采用的检定或核查比对方式，则校准引入的不确定度可使用观测仪器最大允许误差进行计算。

本示例中智能气压测量仪未直接进行数据修正，通过查询温度传感器检定证书，智能气压测量仪满足 0.02 级数字气压计测量性能要求，观测仪器最大允许误差为 0.20 hPa，按均匀分布计算标准不确定度。

因此，由智能气压测量仪校准引入的不确定度 $u(\Delta P)=0.20 \text{ hPa}/\sqrt{3}\approx 0.116 \text{ hPa}$

c) 线性度引入的标准不确定度 $u(\delta_2)$;

观测设备线性度所引入不确定度已经包于设备校准所引入不确定度之中，无需再次计算。若必要时，可通过实验获得，因此 $u(\delta_2)=0 \text{ hPa}$ 。

d) 迟滞引入的标准不确定度 $u(\delta_3)$;

观测设备在进行计量检定时，采用正反形成进行测量，测量结果包含了设备的迟滞效应所带来的影响，因此，智能气压测量仪检定结果的不确定度包含了迟滞效应引入的

不确定度。

e) 处理算法引入的标准不确定度 $u(\delta_4)$;

当气象观测数据为平均值时, 需考虑采样瞬时值取平均所引入的不确定度; 当气象观测数据为累加值时, 需考虑单次采样瞬时值累加所引入不确定度。

本示例中智能气压测量仪数据处理算法是将一分钟内采样所得温度瞬时值取平均。因此, 采样算法引入不确定度可按照瞬时气象值的标准偏差进行估计。本示例中智能气压测量仪当前输出瞬时气象值的标准偏差为 0.007 hPa, 其包含于重复性测量引入的确定度之中, 无需再次计算。

f) 数字化和舍入引入的标准不确定度 $u(\delta_5)$;

观测设备最终输出温度值保留一位小数, 因此数据取舍误差最大值为 0.05 hPa, 服从均匀分布。

因此, 由智能气压测量仪数字化和舍入引入的不确定度为: $u(\delta_5)=0.05 \text{ hPa}/\sqrt{3}=0.029 \text{ hPa}$ 。

g) 仪器耦合引入的标准不确定度 $u(\delta_6)$;

本示例中智能气压测量仪观测时设置于采集器机箱内与大气直接联通, 未使用静压管, 根据观测实验统计, 在常规观测环境下 (平均风速不超过 5m/s 时), 智能气压测量仪不经过耦合装置 (静压管) 直接与气象环境联通, 引入的标准不确定度 $u(\delta_6)=0.05 \text{ hPa}$ 。

若观测设备安装了静压管, 则该分量可取 0。

h) 校准 (检定) /核查和维护引入的标准不确定度 $u(\delta_7)$;

若设备首次送检后, 则不考虑长期稳定性所引入不确定度; 若设备已送检多次, 可采用最新相邻两次送检的差值, 或多次送检最大差值表示观测设备长期稳定性所引入不确定度, 若设备送检多次后, 长时间未送检, 漂移量引入的不确定度可按 “年漂移量*校准间隔” 进行估计, 年漂移量可使用送检记录中相邻两次的最大偏差值。按照其服从

矩形分布，其对应的包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。

本示例中智能气压测量仪为首次送检，因此未考虑该项。因此 $u(\delta_7)=0$ hPa。

i) 传感器漂移引入的标准不确定度 $u(\delta_8)$;

观测设备随环境的漂移引入的不确定度已经包含于设备校准所引入不确定度之中，无需再次计算。若必要时，可通过实验获得。因此 $u(\delta_8)=0$ hPa。

D.1.4.2.2 选址测量不确定度

由台站选址所引入的测量不确定度主要为观测仪器的曝露程度或附近有无遮挡物影响。计算时，可采用气象设备元数据信息或通过实验计算该影响因素所引入不确定度大小。

本示例中智能气压测量仪安装在国家级观测站，安装地面平坦，周围无遮挡，且在大气压力观测中，除了风对观测结果的影响较大，其他选址分类或观测环境等级对气压观测的影响较小，可不进行选址分类或观测环境等级所引入不确定度评定。因此无需计算该分量所引入不确定度。

D.1.4.2.3 其他不确定度来源

其他因素所引入不确定度，包括但不限于季节、时间、日照、特殊天气现象、极端天气等一个或多个特定气象条件，需要多种复合条件的实验进行评估。

本示例中智能气压测量仪工作时并未遇到极端天气等特殊情况，因此无需计算该分量所引入不确定度。

D.1.5 合成标准不确定度

根据本示例测量模型，上述各标准不确定度对应的灵敏度系数均为 1；且各标准不确定度分量彼此互不相关，按不确定度传播率计算如下：

$$\begin{aligned} u(P) &= \sqrt{u(p)^2 + u(\Delta p)^2 + \sum_{i=1}^8 u(\delta_i)^2} \\ &= \sqrt{0.007^2 + 0.029^2 + 0.116^2 + 0.029^2 + 0.05^2} \approx 0.1325 \text{ hPa} \approx 0.13 \text{ hPa} \end{aligned}$$

D.1.6 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度乘包含因子 k 得到。 k 值一般取 2 或 3，当取其他值时，应说明其来源。对于大多数气象观测数据，假定其观测数据服从正态分布，通常采用 $k=2$ 。

本示例计算如下：

$$U = ku(P) = 2 \times 0.1325 \text{ hPa} = 0.265 \text{ hPa} \approx 0.26 \text{ hPa}$$

D.1.7 气象观测结果表示

本示例观测结果的最佳估计值为 996.8 hPa，扩展标准不确定度 0.26 hPa，观测数据结果为： $P_s=996.8(0.26) \text{ hPa}$ ， $k=2$ 。

D.2 用 MCM 法评定示例

D.2.1 观测数据不确定度评定方法

按照本规范的“6.MCM 法评定观测数据不确定度的过程”，对气象观测中使用的智能气压测量仪观测数据的不确定度进行评定。

常见的智能气压测量仪通常采用硅谐振器件、压敏电容、压敏电阻、石英晶体、振筒为感应元件，主要适用于陆地上气压的观测。本示例所用智能气压测量仪采用压敏电容原理进行大气压力测量，采样频率为 30 次/分钟，在 2s 的整数倍时刻进行 1 次采样，直接测量大气环境压力，输出气压分钟平均值，保留一位小数。其传感器与采集器为一体设计，测量范围为 450 hPa~1100 hPa；分辨力：0.1 hPa；最大允许误差： $\pm 0.20 \text{ hPa}$ 。因此在分析其不确定度来源时，需考虑取平均值所引入不确定度，以及测量系统不确定度、选址测量不确定度和有可能影响观测数据的其他不确定度。

D.2.2 观测数据不确定度来源

D.2.2.1 重复观测引入的不确定度

D.2.2.2 观测系统引入的不确定度

- a) 传感器分辨力引入的不确定度
- b) 仪器校准（检定）引入的不确定度；

- c) 线性度引入的不确定度;
- d) 迟滞引入的不确定度;
- e) 处理算法引入的不确定度;
- f) 数字化和舍入引入的不确定度;
- g) 仪器耦合所引入不确定度;
- h) 校准(检定)或核查频率;
- i) 传感器漂移引入的不确定度
- j) 环境效应

D.2.2.3 观测站选址测量所引入不确定度

D.2.2.4 其他因素所引入不确定度

D.2.3 建立观测测量模型

智能气压测量仪采用压敏电容原理进行大气压力测量,直接测量环境大气压力,观测值为一分钟时间内大气压力观测系统连续采样结果的平均值,其观测测量模型如公式 D.1 所示。

D.2.4 输入量概率分布的抽样及模型值计算

D.2.4.1 重复性观测对应输入量 P

实际地面基本气象观测是在非重复性或复现性测量条件下,数据采集器按固定采样频率进行数据采集,获得采集时刻的采样瞬时值,并按要求对采样瞬时值进行质控、处理。在大气压力观测中,观测值为一分钟时间内大气压力观测系统连续采样 30 次,采样瞬时值的平均值。观测数据如表 D1。

1 分钟内观测值的算数平均值为 996.8 hPa,算术平均值标准差为 0.035 hPa。因此,温度观测值对应的标准不确定度 $u(p)=u_A=0.035$ hPa。

观测数据结果 P 满足正态分布,以均值作为期望,实验标准差为方差,则 P 对应的 PDF 为 $N(996.8 \text{ hPa}, 0.035 \text{ hPa})$, N 为正态分布符号。

D.2.4.2 非重复性观测对应输入量

D2.4.2.1 测量系统不确定性对应输入量

a) 智能气压测量仪分辨力对应的输入量 δ_1 ;

智能气压测量仪的对输入量检测分辨力为 0.1 hPa, 依据经验满足在[-0.05 hPa, 0.05 hPa]区间内的均匀分布, 其对应的期望为 0 hPa, 区间半宽度为 0.05 hPa, 则 δ_1 对应的 PDF 为 $R(0 \text{ hPa}, 0.05 \text{ hPa})$, R 为均匀分布符号。

b) 智能气压测量仪校准不确定性对应输入量 Δp ;

若在观测数据产生过程中已使用了修正值, 则需要考虑修正值校准所引入的不确定度, 其值可采用证书报告中给出的测量结果不确定度; 若在观测数据产生过程中未使用修正值, 则校准引入的不确定度可使用校准证书报告各校准点不确定度的最大值计算; 若在测量仪实际观测业务计量维护中采用的检定或核查比对方式, 则校准引入的不确定度可使用观测仪器最大允许误差的半宽度评定。

本示例中智能气压测量仪未直接进行数据修正, 通过查询温度传感器检定证书, 智能气压测量仪满足 0.2 级数字气压计测量性能要求, 观测仪器最大允许误差为 0.20 hPa, 满足正态分布, 标准不确定度为方差, 则 Δp 对应的 PDF 为 $N(0 \text{ hPa}, 0.20 \text{ hPa})$ 。

c) 线性度对应的输入量 δ_2 ;

观测设备线性度所对应的输入量已经包于观测数据的偏差值对应输入量之中, 无需再次计算。若必要时, 可通过实验获得。因此, δ_2 对应为常数 0 hPa。

d) 迟滞对应的输入量 δ_3 ;

观测设备在进行计量检定时, 采用正反形成进行测量, 测量结果包含了设备的迟滞效应所带来的影响, 因此, 智能气压测量仪检定结果的不确定度包含了迟滞效应引入的不确定度。

e) 处理算法对应的输入量 δ_4 ;

当气象观测数据为平均值时, 需考虑采样瞬时值取平均所引入的不确定度; 当气象

观测数据为累加值时，需考虑单次采样瞬时值累加所引入不确定度。

本示例中智能气压测量仪数据处理算法是将一分钟内采样所得温度瞬时值取平均。因此，采样算法引入不确定度可按照瞬时气象值的标准偏差进行估计。本示例中智能气压测量仪当前输出瞬时气象值的标准偏差为 0.035 hPa，其包含于重复性测量引入的确定度之中，无需再次计算。

f) 数字化和舍入对应的输入量 δ_5 ;

观测设备最终输出温度值保留一位小数，因此数据取舍误差最大值为 0.1，满足[-0.05 hPa, 0.05 hPa]均匀分布，其对应的期望为 0 hPa，区间半宽度为 0.05 hPa，则 δ_5 对应的 PDF 为 $R(0 \text{ hPa}, 0.05 \text{ hPa})$ 。

g) 仪器耦合引入的标准不确定度 δ_6 ;

本示例中智能气压测量仪观测时设置于采集器机箱内与大气直接联通，未使用静压管，根据观测实验统计，在常规观测环境下（平均风速不超过 5m/s 时），智能气压测量仪不经过耦合装置（静压管）直接与气象环境联通，引入的标准不确定度 $u(\delta_6)=0.05 \text{ hPa}$ ，服从 $N(0.00 \text{ hPa}, 0.05 \text{ hPa})$ 正态分布。

若观测设备安装了静压管，则该分量可取 0。

h) 校准（检定）/核查和维护引入的标准不确定度 δ_7 ;

若设备首次送检后，则不考虑长期稳定性所引入不确定度；若设备已送检多次，可采用最新相邻两次送检的差值，或多次送检最大差值表示观测设备长期稳定性所引入不确定度，若设备送检多次后，长时间未送检，漂移量引入的不确定度可按“年漂移量*校准间隔”进行估计，年漂移量可使用送检记录中相邻两次的最大偏差值。按照其服从矩形分布。

本示例中智能气压测量仪为首次送检，因此未考虑该项。因此 δ_7 为常数 0.00 hPa。

i) 随环境的漂移所对应的输入量 δ_8 ;

观测设备随环境的漂移引入的不确定度已经包含于设备校准所引入不确定度之中，

无需再次计算。若必要时，可通过实验获得。因此 $\delta_4 = 0 \text{ hPa}$ 。

D.2.4.2.2 选址测量不确定度

由台站选址所引入的测量不确定度主要为观测仪器的曝露程度或附近有无遮挡物影响。计算时，可采用气象设备元数据信息或通过实验计算该影响因素所引入不确定度大小。

本示例中智能气压测量仪安装在国家级观测站，安装地面平坦，周围无遮挡，因此无需计算该分量所引入不确定度。

D.2.4.2.3 其他不确定度来源

本示例中智能气压测量仪工作时并未遇到极端天气等特殊情况，因此无需计算该分量所引入不确定度。

表 D.2 输入量 X_i 及其服从的 PDF

X_i	符号	分布	参数				
			正态分布		均匀分布		常数
			期望	标准偏差	期望	半宽度	
重复性观测	P	$N(\mu, \sigma^2)$	996.8 hPa	0.035 hPa	——	——	——
传感器分辨力	δ_1	$R(a,b)$	——	——	0 hPa	0.05 hPa	——
校准引入不确定度	Δp	$R(a,b)$	——	——	0 hPa	0.20 hPa	——
线性度	δ_2	C	——	——	——	——	0 hPa
迟滞	δ_3	C	——	——	——	——	0 hPa
处理算法	δ_4	C	——	——	——	——	0 hPa
数字化和舍入	δ_5	$R(a,b)$	——	——	0 hPa	0.05 hPa	——
仪器耦合	δ_6	$N(\mu, \sigma^2)$	0 hPa	0.05 hPa	——	——	——
校准/核查和维护	δ_7	$R(a,b)$	——	——	0 hPa	0.0 hPa	——
传感器漂移	δ_8	C	——	——	——	——	0 hPa

注： N 为正态分布， R 为矩形分布， C 为常数。

D.2.5 输入量概率分布的抽样、模型值计算以及 MCM 传播与输出

首先，选择蒙特卡洛试验样本量的大小 $M=10^6$ ；其次，从输入量的概率密度分布函数中抽取 M 个样本值；再次，对每个样本向量计算对应的 Y 的模型值；最后，将这些 M 个模型值按照严格递增次序排序，通过这些排序的模型值而得到输出量 Y 的分布函数的离散表示 G 。

D.2.6 报告结果

由 G 计算 Y 的估计值 y 以及 y 的标准不确定度 $u(y)$ ，并给出包含概率 $p=95\%$ 时的包含区间 $[y_{low}, y_{high}]$

得出报告结果： $y=996.7999$ hPa、 $u(y)=0.1135$ hPa、 $y_{low}=996.5778$ hPa、 $y_{high}=997.0222$ hPa

D.2.7 气象观测结果表示

本示例观测结果的最佳估计值为 996.80 hPa，其 95% 的包含区间为 [996.58 hPa, 997.02 hPa]。

D.3 用 MCM 验证 GUM 的结果

对本示例气温观测数据，两种方法的评定结果对比如表 D.3，为了便于验证结果更加准确，我们将包含区间保留至小数点后四位：

表 D.3 GUM 和 MCM 评定结果

评定方法	最佳估计值/ hPa	标准不确定度/ hPa	95%包含区间/ hPa
GUM	996.80	0.1325	[996.5404 , 997.0596]
MCM	996.80	0.1325	[996.5571, 997.0431]

计算端点偏差： $d_{low}=|996.5404-996.5571|=0.0167$ hPa； $d_{high}=|997.0596-997.0431|=0.0165$ hPa。取 $u(y)=0.13$ hPa，根据修约规则，不确定度取 2 位有效数字，则对应的容

差 $\delta=0.005$ hPa。此处 d_{low} 和 d_{high} 均大于 0.005 hPa，GUM 法未通过验证。因此，建议使用 MCM 方法。

中华人民共和国
国家计量技术规范
地面基本气象观测不确定度评定技术规范
JJFXXXX—XXXX
国家市场监督管理总局发布