

中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXX—202X

静态包裹计重系统校准规范

Calibration Specification for Static Dimensioning and
Weighing System

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

静态包裹计重系统校准规范

Calibration Specification for Static

Dimensioning and Weighing System

归口单位：全国衡器计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国衡器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	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	2
4 概述	2
5 计量特性	3
5.1 示值误差	3
5.2 不同位置的示值误差	错误！未定义书签。
6 校准条件	3
6.1 校准环境条件	3
6.2 标准测量块	3
6.3 其他有关测量用计量器具	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	4
8 校准结果	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 静态包裹计重系统校准记录格式（推荐性）	9
附录 B 静态包裹计重系统校准证书内页格式（推荐性）	11
附录 C 标准测量块的形式（推荐性）	12
附录 D 静态包裹计重系统不确定度评定方法	13

引言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了JJF 2005《多维尺寸(体积)测量仪校准规范》和JJG539《数字指示秤》的相关内容，并结合静态包裹计重系统的计量特性进行制定。

本校准规范给出了静态包裹计重系统的校准条件、校准项目、校准方法及不确定度评定方法。

本规范系首次制定。

静态包裹计重系统校准规范

1 范围

本规范适用于物流等行业中对物体同时进行静态称重、体积测量的包裹计重系统校准。

2 引用文件

本规范引用以下文件：

JJG 99 砝码

JJG 539 数字指示秤

JJF 1181 衡器计量名词术语及定义

JJF 2005 多维尺寸测量仪校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

JJF 1181 界定的以及下列术语和定义适用于本规范。。

3.1.1 外廓体积 cubical volume

包容被测物体的最小长方体体积。

3.1.2 计泡比 dimensional weight ratio

单位质量的物体所占的外廓体积，即物体外廓体积除以物体质量得到的数值，单位是 cm^3/kg 。

3.1.3 计泡系数 conversion factor

为获得最适当货物承运收益，物流企业制定的计泡比数值，单位是 cm^3/kg 。

3.1.4 体积重量 dimensional weight

物体外廓体积除以计泡系数得出的数值。

3.1.5 包裹计重系统 dimensioning and weighing system

实际应用中一种同时测量物体体积和质量的测量系统。

3.1.6 静态包裹计重系统. static dimensioning and weighing system

采用静态测量模式的包裹计重系统。

3.1.7 测量块 measurement object

具有固定的尺寸、质量、材质、形状等要求的物体。

3.1.8 标准测量块 standard measurement object

具有标准尺寸、质量的测量块。

3.1.8.1 规则标准测量块 regular standard measurement object

外形具有六个面，相对两面互相平行，每个面相邻边互相垂直的标准测量块。

3.1.8.2 非规则标准测量块 irregular standard measurement object

外形与规则标准测量块不同的标准测量块。

3.1.9 测量范围最小值 Min measurement unit

静态包裹计重系统可测量的最小质量值和最小几何尺寸值。小于相对应值时可能无数据显示或产生过大的误差。

3.1.10 测量范围最大值 Max measurement unit

静态包裹计重系统可测量的最大质量值和最大几何尺寸值。

3.2 计量单位

使用的计量单位应为法定计量单位，包括：

质量：千克 (kg)、克 (g)；

长度：毫米 (mm)、厘米 (cm)；

体积：立方毫米 (mm^3)、立方厘米 (cm^3)。

4 概述

结构：静态包裹计重系统主要由承载器、称重单元、体积测量单元和显示器等组成，图 1 为其结构方式。

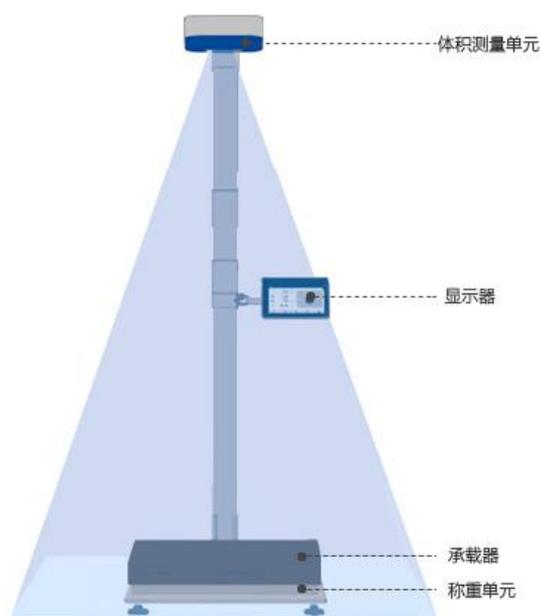


图1静态包裹计重系统结构图

原理：将物体放置于承载器，称重单元产生的电信号通过数据处理装置转换并计算，体积测量单元对被测物进行扫描，获取被测物体的外廓体积（以下简称体积），由显示器显示出物体的质量和体积。并可根据用户需要，按计泡系数计算出体积重量，并在主显示器上显示。用户取体积重量和物体质量大者来计算货物承运收益。

用途：主要应用于货物承运数据测量，广泛应用于电商、仓储、商超、航空货栈等物流领域。

5 计量特性

计量特性见表 1。

表1 计量特性

校准项目		技术指标
示值误差	质量	$\pm 0.5\%$
	体积	$\pm 1\%$
测量重复性	质量	$\leq 0.5\%$
	体积	$\leq 1\%$
不同位置示值误差	质量	$\pm 0.5\%$
	体积	$\pm 1\%$

注：以上所有计量特性指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 校准环境条件

6.1.1 校准应在被校设备规定的工作温度范围内进行，校准期间温度变化不大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6.1.2 振动、气流、声光、电磁干扰、使用场地的稳定性等其他影响量不得对测量结果产生影响。

6.2 标准测量块

6.2.1 标准测量块质量参数的最大允许误差不应超过 JJG99 中 M_{12} 等级砝码的最大允许误差。

6.2.2 标准测量块的三维几何尺寸应为几何参数分辨力的整数倍，其误差应不大于 1mm 。

6.3 其他有关测量用计量器具

- a) 分度值不大于 0.2℃ 的温度计；
- b) 最大允许误差不大于 ±5%RH 的湿度计；

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准测试项目包括：示值误差。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备

a) 校准应在被校准设备正常使用和运行条件下进行，如处于关机状态，应开机预热，预热时间应等于或大于制造厂商规定的预热时间，一般不超过 30 分钟。

b) 校准前将静态包裹计重系统调整到水平位置。

7.2.2 质量参数示值化整误差的消除

如果被校计量器具称重指示装置具有扩展指示功能，则可用此功能来确定实际质量参数示值误差，若该功能在校准中使用，则应在校准证书中注明，实际质量参数示值误差 E_m 计算方法如下：

$$E_m = P_m - m_{\text{ref}} \quad (1)$$

式中：

P_m ——标准测量块化整前的质量参数示值；

m_{ref} ——标准测量块参考质量值。

对于不具备扩展指示功能的被校计量器具，应利用闪变点方法来确定实际质量参数示值化整误差，方法如下：对于静态包裹计重系统上某一确定的载荷 m_{ref} ，其质量参数示值为 I_m 。逐一加放 $0.1d_m$ 的附加砝码，直至示值明显地增加了一个分度值，变成 $(I_m + d_m)$ 。所加的附加砝码为 Δm ，可用下述公式得到化整前的质量参数示值 P_m ：

$$P_m = I_m + 0.5d_m - \Delta m \quad (2)$$

式中：

P_m ——标准测量块化整前的质量参数示值；

I_m ——标准测量块质量参数示值；

d_m ——标准测量块质量测量单元显示分度值；

Δm ——附加砝码质量。

那么实际质量参数示值化整前的误差 E_m 计算方法为：

$$E_m = P_m - m_{\text{ref}} = I_m + 0.5d_m - \Delta m - m_{\text{ref}} \quad (3)$$

式中：

m_{ref} ——标准测量块质量参考值。

7.2.3 示值误差

7.2.3.1 各参数的示值和所施加试验测量块的参考值之间的差值。

7.2.3.2 按照用户的要求选取标准测量块。如用户无特殊要求，可以根据静态包裹计重系统的计量特性，建议选取一个客户常用测量范围的非规则标准测量块和以下三个规则标准测量块进行校准：接近测量范围最小值、50%以上测量范围最大值、客户常用测量范围。

7.2.3.3 从零点起从小到大逐步施加单个标准测量块。每次测量完成后都应卸载标准测量块，卸载后需检查零点，如果零点示值不为零，应将示值置零。

7.2.3.4 记录零点和每个标准测量块的质量参数示值和几何量参数示值。

7.2.3.5 对每一标准测量块，按本规范 7.2.2 的方法确定实际质量参数示值误差 E_m 。

7.2.3.6 数据处理：

按照公式（3）计算每个标准测量块的实际质量参数示值误差 E_m 。

按照公式（4）计算每个标准测量块的体积参数示值误差 E_V 。

$$E_V = V - V_{\text{ref}} \quad (4)$$

其中： $V = L \times W \times H$

$$V_{\text{ref}} = L_{\text{ref}} \times W_{\text{ref}} \times H_{\text{ref}}$$

式中：

V ——标准测量块体积示值；

V_{ref} ——标准测量块体积参考值；

L ——标准测量块长度方向示值；

L_{ref} ——标准测量块长度方向参考值；

W ——标准测量块宽度方向示值；

W_{ref} ——标准测量块宽度方向参考值；

H ——标准测量块高度方向示值；

H_{ref} ——标准测量块高度方向参考值。

7.2.4 重复性

7.2.4.1 在重复性条件下,以实际一致的方法将同一单个测量块多次地放置在承载器上,静态包裹计重系统提供相互一致结果的能力,用标准偏差表示。

7.2.4.2 用单个规则标准测量块对静态包裹计重系统进行重复性测试,规则标准测量块的详细信息应与客户商定或在客户常用测量范围内选取。

7.2.4.3 在每次测量之前,应将示值置零,在承载器中间放置单个规则标准测量块,稳定后记录静态计重包裹系统的质量参数示值和三维几何量参数示值。照此方法至少重复测量 6 次

7.2.4.4 对每一次规则标准测量块的测量,按本规范 7.2.2 的方法确定化整前的质量参数示值 P_m 。

7.2.4.5 数据处理:

按照公式 (2) 计算每次规则标准测量块化整前的质量参数示值 P_m 。

按照公式 (5) 计算规则标准测量块质量参数示值重复性标准偏差 $s(P_m)$ 。

$$s(P_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{mi} - \bar{P}_m)^2} \quad (5)$$

$$\text{质量参数示值平均值: } \bar{P}_m: \bar{P}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{mi}$$

式中:

P_{mi} ——第 i 次规则标准测量块化整前的质量参数示值;

\bar{P}_m ——规则标准测量块化整前的质量参数示值的算术平均值。

按照公式 (6) 计算规则标准测量块体积参数示值重复性标准偏差 $s(V)$ 。

$$s(V) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad (6)$$

$$\text{体积参数示值平均值: } \bar{V}: \bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

式中:

V_i ——第 i 次规则标准测量块体积参数示值;

\bar{V} ——规则标准测量块体积参数示值的算术平均值。

7.2.5 不同位置的示值误差

7.2.5.1 同一测量块在承载器不同位置上的各参数示值与中心位置 (图 2 位置 5)

各参数示值之间的差值。

7.2.5.2 将同一规则标准测量块放在承载器的不同位置，放置方式需确保施加的标准测量块中心在图 2 中所示的位置，或尽可能接近的同等位置。在每次测量之前，应将示值置零。

7.2.5.3 规则标准测量块的详细信息应与客户商定或在客户常用测量范围内选取。

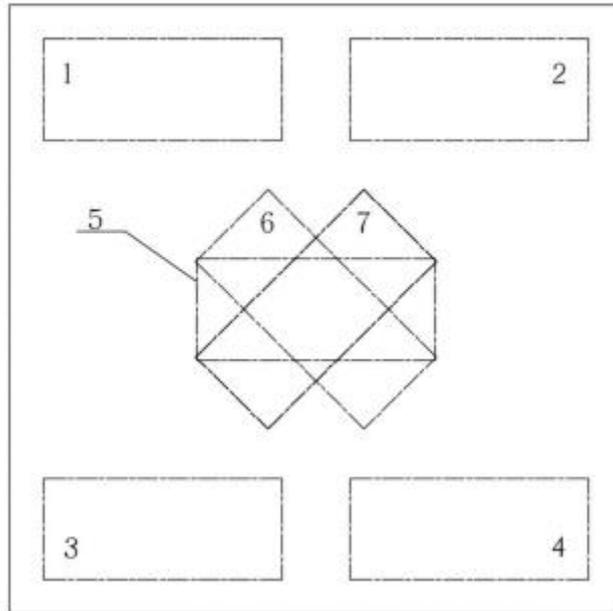


图2规则标准测量块放置示意图

7.2.5.4 对每一位置的标准测量块，按本规范 7.2.2 的方法确定不同位置质量参数示值误差 $E_{m_{ecc}}$ 。

7.2.5.5 数据处理：

按照公式（1）计算各位置的质量参数示值误差 $E_{m_{ecc}}$ 。

按照公式（4）计算各位置的体积参数示值误差 $E_{V_{ecc}}$ 。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括如下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；

-
- 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和应用有关时, 应说明被校对象的接受日期;
 - h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
 - i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
 - j) 校准环境的描述;
 - k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
 - l) 对校准规范的偏离说明;
 - m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
 - 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, 不得部分复制证书的申明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短是由静态包裹计重系统的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的。送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

附录 A

静态包裹计重系统校准记录格式（推荐性）

仪器名称		仪器出厂编号			
型号规格		制造企业			
测量范围 最小值	最小称量	测量范围 最大值	最大称量		
	最小测量尺寸 ($L \times W \times H$)		最大测量尺寸 ($L \times W \times H$)		
质量参数分度值		几何量参数分度值 ($L \times W \times H$)			
校准依据					
校准日期		温度	湿度		
主要计量标准器	名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书号	检校期
送校单位名称					
送校单位地址					
校准地点					
校准员			核验员		

示值：

标准测量块序号	参数	标准值	示值			示值误差	u	$U_{k=2}$
			示值	附加载荷	化整前示值			
规则标准测量块 1	质量 (kg)		示值	附加载荷	化整前示值			
	长 (cm)							
	宽 (cm)							
	高 (cm)							
	体积 (cm ³)							
规则标准测量块 2	质量 (kg)		示值	附加载荷	化整前示值			
	长 (cm)							
	宽 (cm)							
	高 (cm)							
	体积 (cm ³)							
规则标准测量块 3	质量 (kg)		示值	附加载荷	化整前示值			
	长 (cm)							
	宽 (cm)							
	高 (cm)							
	体积 (cm ³)							
非规则标准测量块	质量 (kg)		示值	附加载荷	化整前示值			
	长 (cm)							

	宽 (cm)					
	高 (cm)					
	体积 (cm ³)					

重复性:

规则标准 测量块	标准质量值 (kg)			标准长 (cm)	标准宽 (cm)	标准高 (cm)	标准体积 (cm ³)
	质量示值 (kg)			长示值 (cm)	宽示值 (cm)	高示值 (cm)	体积 (cm ³)
序号	示值	附加载 荷	化整前示 值				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
平均值							
重复性标准 偏差							

不同位置:

规则标准 测量块	标准质量值 (kg)			标准长 (cm)	标准宽 (cm)	标准高 (cm)	标准体积 (cm ³)
	质量示值 (kg)			长示值 (cm)	宽示值 (cm)	高示值 (cm)	体积 (cm ³)
位置序号	示值	附加载 荷	化整前示 值				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
不同位置示 值误差							

附录 B

静态包裹计重系统校准证书内页格式（推荐性）

校准结果

质量参数分度值：

几何量参数分度值($L \times W \times H$):

试验测量块参考质量值	标准质量值	质量示值	质量示值误差 E_m	测量不确定度 U_m	包含因子 k
规则标准测量块 1					
规则标准测量块 2					
规则标准测量块 3					
非规则标准测量块					
试验测量块参考体积值	标准体积值	体积值	体积误差 E_v	测量不确定度 U_v	包含因子 k
规则标准测量块 1					
规则标准测量块 2					
规则标准测量块 3					
非规则标准测量块					

附录 C

标准测量块的形式（推荐性）

C.1 标准测量块的材质要求

C.1.1 标准测量块应坚固且不易变形，通常采用金属或合金制造。

C.1.2 标准测量块材质表面应无光反射或吸收效应。

C.2 标准测量块的形状要求。

标准测量块的形状分规则和非规则两种类型，各面之间应互相垂直。

注：规则标准测量块（图1）；非规则标准测量块（图2）。非规则标准测量块推荐在规则标准测量块的基础上至少切除一个角，其长、宽、高的变化应至少大于一个分度值。

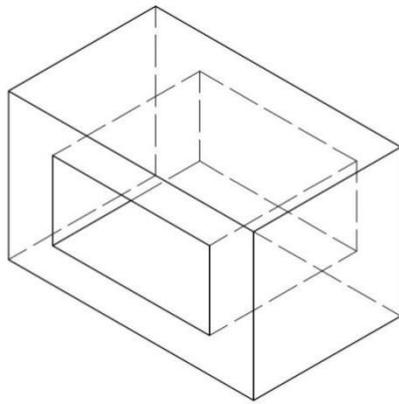


图1规则标准测量块

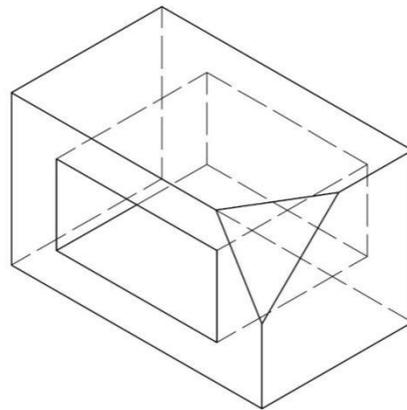


图2非规则标准测量块

附录 D

静态包裹计重系统不确定度评定方法

D.1 概述

D.1.1 测量对象：静态包裹计重系统。

D.1.2 测量标准：标准测量块。

D.1.3 测量依据：JJFXXXX—20XX 《静态包裹计重系统校准规范》。

D.1.4 环境条件： $(-10\sim+40)^{\circ}\text{C}$ ，温度变化一般不超过 5°C/h 。

D.1.5 测量过程：在规定的环境条件下，在静态包裹计重系统上从零点起从小到大逐步施加单个规则标准测量块。在测量过程中的每一步都应卸载标准测量块，卸载后需检查零点，如果零点示值不为零，应将示值置零。

D.2 质量参数示值不确定度评定

D.2.1 测量模型和灵敏系数

D.2.1.1 质量参数测量模型

$$E_m = I_m + 0.5d_m - \Delta m - m_{\text{ref}} \quad (\text{D.1})$$

式中：

I_m ——标准测量块质量参数示值；

d_m ——标准测量块质量测量单元显示分度值；

Δm ——附加砝码质量；

m_{ref} ——标准测量块质量参考值。

当静态包裹计重系统称重指示装置具备扩展指示功能时，公式(D.1)可直接简化为：

$$E_m = I_m - m_{\text{ref}} \quad (\text{D.2})$$

如果静态包裹计重系统称重指示装置不具备扩展指示功能，采用公式(D.1)计算误差。

D.2.1.2 灵敏系数

$$I_m \text{ 的灵敏系数: } c_{m1} = \frac{\partial E}{\partial I_m} = 1 \quad (\text{D.3})$$

$$m_{\text{ref}} \text{ 的灵敏系数: } c_{m2} = \frac{\partial E}{\partial m_{\text{ref}}} = -1 \quad (\text{D.4})$$

D.2.2 测量不确定度的来源

D.2.2.1 测量不确定度的来源有：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度；
- b) 标准测量块质量参考值引入的标准不确定度；
- c) 称重指示装置分辨力引入的标准不确定度；
- d) 标准测量块在不同位置测量引入的标准不确定度。

D.2.3 测量不确定度的评定

D.2.3.1 质量参数测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{m1}

质量参数重复性引入的标准不确定度分量采用 A 类不确定度评定方法计算，由贝塞尔公式确定：

$$u_{m1} = s_m(P) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{mi} - \bar{P}_m)^2} \quad (\text{D.5})$$

$$\text{质量参数示值平均值： } \bar{P}_m : \bar{P}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{mi}$$

式中：

P_{mi} ——第 i 次规则标准测量块化整前的质量参数示值；

\bar{P}_m ——规则标准测量块化整前的质量参数示值的算术平均值。

D.2.3.2 标准测量块质量参考值引入的标准不确定度分量 u_{m2}

标准测量块质量参考值与实际值存在误差，采用 B 类不确定度评定方法计算，对于标准测量块采用均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，因此标准测量块质量参考值引入的标准不确定度分量 u_{m2} 由公式(D.6)确定：

$$u_{m2} = \frac{|\text{MPE}|}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.6})$$

D.2.3.3 称重指示装置分辨力引入的标准不确定度分量 u_{m3}

称重指示装置分辨力引入的标准不确定度分量符合均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，因此 u_{m3} 由公式(D.7)确定：

$$u_{m3} = \frac{d_m}{2\sqrt{3}} \quad (\text{D.7})$$

D.2.3.4 标准测量块质量参数在不同位置测量引入的标准不确定度分量 u_{m4}

ΔP_{me} 表示标准测量块在不同位置测量引入的最大质量参数示值偏差， u_{m4} 与放置的标准测量块质量参数值成比例，假设为均匀分布，其标准不确定度为：

$$u_{m4} = P_m \frac{|\Delta P_{me}|_{max}}{2\sqrt{3} P_{me}} \quad (\text{D.8})$$

标准测量块在不同位置质量参数示值偏差 ΔP_{me} ： $\Delta P_{me} = P_{mi偏} - P_{m5}$

P_m ——被校准点的化整前质量参数示值；

P_{mc} ——不同位置示值误差试验所用标准测量块质量参数参考值；

$P_{m i \text{偏}}$ ——不同位置示值误差试验时各个位置上标准测量块化整前的质量参数示值；

P_{m5} ——不同位置示值误差试验时标准测量块在承载器上位置 5（中心位置）时化整前的质量参数示值。

D.2.3.4 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式 (D.9) 计算：

$$u_{mc} = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2 + u_{m3}^2 + u_{m4}^2} \quad (\text{D.9})$$

注： u_{m1} 和 u_{m3} 取大者带入公式 (D.9) 中计算。

D.2.3.4 扩展不确定度

扩展不确定度取 $k = 2$ ，按公式 (D.10) 计算：

$$U_m = 2u_{mc} \quad (\text{D.10})$$

D.3 几何量参数示值不确定度评定

D.3.1 测量模型和灵敏系数

D.3.1.1 几何量参数测量模型

由测量原理和测量方法，得到测量模型：

$$E_V = V - V_{\text{ref}} \quad (\text{D.11})$$

其中： $V = L \times W \times H$

$$V_{\text{ref}} = L_{\text{ref}} \times W_{\text{ref}} \times H_{\text{ref}}$$

式中：

V ——标准测量块体积参数示值；

V_{ref} ——标准测量块体积参考值；

L ——标准测量块长度方向示值；

L_{ref} ——标准测量块长度方向参考值；

W ——标准测量块宽度方向示值；

W_{ref} ——标准测量块宽度方向参考值；

H ——标准测量块高度方向示值；

H_{ref} ——标准测量块高度方向参考值。

D.3.1.2 灵敏系数

$$V \text{ 的灵敏系数: } c_{V1} = \frac{\partial E}{\partial V} = 1 \text{ (D.12)}$$

$$V_{\text{ref}} \text{ 的灵敏系数: } c_{V2} = \frac{\partial E}{\partial V_{\text{ref}}} = -1 \text{ (D.13)}$$

D.3.2 测量不确定度的来源有:

- a) 体积参数示值测量重复性引入的标准不确定度;
- b) 几何量参数示值分辨力引入的标准不确定度;
- c) 标准测量块在不同位置测量引入的标准不确定度;
- d) 标准测量块几何量参考值引入的标准不确定度;
- e) 现场环境下温度梯度变化引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度;
- f) 现场环境温度偏离实验室温度, 膨胀系数引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度。

D.3.3 测量不确定度的评定

D.3.3.1 体积参数示值 V 引入的标准不确定度 $u(V)$

D.3.3.1.1 体积参数测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{V1}

体积参数重复性引入的标准不确定度分量采用 A 类不确定度评定方法计算, 由贝塞尔公式确定:

$$u_{V1} = s(V) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \text{ (D.14)}$$

$$\text{体积参数示值平均值: } \bar{V}; \bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

式中:

V_i ——第 i 次规则标准测量块体积参数示值;

\bar{V} ——规则标准测量块体积参数示值的算术平均值。

D.3.3.1.2 体积参数示值分辨力引入的标准不确定度 u_{V2}

三维几何量参数示值分辨力引入的标准不确定度分量符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则标准测量块长、宽、高方向示值分辨力引入的标准不确定度 $u(d_L)$ 、 $u(d_W)$ 、 $u(d_H)$ 分别为:

$$u(d_L) = \frac{d_L}{2\sqrt{3}} \text{ (D.15)}$$

式中:

d_L ——标准测量块长度方向显示分度值。

$$u(d_w) = \frac{d_w}{2\sqrt{3}} \quad (\text{D.16})$$

式中：

d_w ——标准测量块宽度方向显示分度值。

$$u(d_H) = \frac{d_H}{2\sqrt{3}} \quad (\text{D.17})$$

式中：

d_H ——标准测量块长度方向显示分度值。

标准测量块体积参数示值 V 是由三个量乘积得出，所以 u_{V2} 可以直接写成相对标准不确定度的形式：

$$\begin{aligned} u_{V2} &= V \sqrt{\left[\frac{u(d_L)}{L}\right]^2 + \left[\frac{u(d_w)}{W}\right]^2 + \left[\frac{u(d_H)}{H}\right]^2} \\ &= V \sqrt{\left[\frac{d_L}{2\sqrt{3}L}\right]^2 + \left[\frac{d_w}{2\sqrt{3}W}\right]^2 + \left[\frac{d_H}{2\sqrt{3}H}\right]^2} \quad (\text{D.18}) \end{aligned}$$

式中：

V ——标准测量块体积参数示值；

L ——标准测量块长度方向示值；

W ——标准测量块宽度方向示值；

H ——标准测量块高度方向示值。

D.3.3.1.3 标准测量块体积参数在不同位置测量引入的标准不确定度分量 u_{V3}

ΔV_e 表示标准测量块在不同位置测量引入的最大体积参数示值偏差，静态包裹计重系统体积参数不同位置示值误差与放置的标准测量块体积参数示值成比例，假设为均匀分布，其标准不确定度为：

$$u_{V3} = V \frac{|\Delta V_e|_{\max}}{2\sqrt{3}V_e} \quad (\text{D.19})$$

标准测量块在不同位置体积参数示值偏差 ΔV_e ： $\Delta V_e = V_{i\text{偏}} - V_5$

V ——被校准点的体积参数示值；

V_e ——不同位置示值误差试验所用标准测量块体积参数参考值；

$V_{i\text{偏}}$ ——不同位置示值误差试验时各个位置上标准测量块的体积参数示值；

V_5 ——不同位置示值误差试验时标准测量块在承载器上位置5（中心位置）时的体积参数示值。

D.3.3.1.4 合成标准不确定度 $u(V)$

合成标准不确定度 $u(V)$ 按公式 (D.20)计算:

$$u(V) = \sqrt{u_{V1}^2 + u_{V2}^2 + u_{V3}^2} \quad (\text{D.20})$$

注： u_{V1} 和 u_{V2} 取大者带入公式 (D.20) 中计算。

D.3.3.2 体积参考值 V_{ref} 引入的标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$

根据标准测量块体积参考值 V_{ref} 的测量模型得出 V_{ref} 的标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$ ，由于是三个量的乘积，可以直接写成相对标准不确定度的形式：

$$\frac{u(V_{\text{ref}})}{V_{\text{ref}}} = \sqrt{\left[\frac{u(L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}}}\right]^2 + \left[\frac{u(W_{\text{ref}})}{W_{\text{ref}}}\right]^2 + \left[\frac{u(H_{\text{ref}})}{H_{\text{ref}}}\right]^2} \quad (\text{D.21})$$

式中：

V_{ref} ——标准测量块体积参考值；

$u(L_{\text{ref}})$ ——标准测量块长度方向参考值的标准不确定度；

L_{ref} ——标准测量块长度方向参考值；

$u(W_{\text{ref}})$ ——标准测量块宽度方向参考值的标准不确定度；

W_{ref} ——标准测量块宽度方向参考值；

$u(H_{\text{ref}})$ ——标准测量块高度方向参考值的标准不确定度；

H_{ref} ——标准测量块高度方向参考值。

以标准测量块长度方向参考值的标准不确定度 $u(L_{\text{ref}})$ 为例，不确定度分量来源主要由以下几点：

- 1) 标准测量块校准证书中给出的长度方向参考值标准不确定度 $u_s(L_{\text{ref}})$ 、
- 2) 现场环境下温度梯度变化引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}})$ ；
- 3) 现场环境温度偏离实验室温度，膨胀系数引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{s\alpha}(L_{\text{ref}})$ 。

D.3.3.2.1 标准测量块校准证书中给出的长度方向参考值标准不确定度 $u_s(L_{\text{ref}})$

如果标准测量块校准证书中给出的长度方向参考值的扩展不确定度为 $U_s(L_{\text{ref}})$ ，包含因子为 k ，其标准不确定度为：

$$u_s(L_{\text{ref}}) = \frac{U_s(L_{\text{ref}})}{k} \quad (\text{D.22})$$

D.3.3.2.2 现场环境下温度梯度变化引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}})$

在对静态包裹计重系统测量过程中，温度变化为 Δt ，标准测量块线膨胀系数为 α ，按均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，因此 $u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}})$ 由公式(D.23)确定：

$$u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}}) = \frac{\Delta t \alpha L_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.23})$$

式中：

L_{ref} ——标准测量块长度方向参考值。

D.3.3.2.3 现场环境温度偏离实验室温度，膨胀系数引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{s\alpha}(L_{\text{ref}})$

标准测量块线膨胀系数为 α ，实验室环境温度和现场校准时温度相差 δt ，按均匀分布，其标准不确定度为：

$$u_{s\alpha}(L_{\text{ref}}) = \frac{\delta t \alpha L_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.24})$$

D.3.3.2.4 合成标准不确定度 $u(L_{\text{ref}})$

合成标准不确定度 $u(L_{\text{ref}})$ 按公式 (D.25) 计算：

$$u(L_{\text{ref}}) = \sqrt{u_s^2(L_{\text{ref}}) + u_{s\Delta t}^2(L_{\text{ref}}) + u_{s\alpha}^2(L_{\text{ref}})} \quad (\text{D.25})$$

以相同的方法分别得到宽度（ W ）、高度（ H ）方向上的几何量参考值合成标准不确定度 $u(W_{\text{ref}})$ 、 $u(H_{\text{ref}})$ 。

D.3.3.2.5 合成标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$

由公式 (D.26)得 $u(V_{\text{ref}})$ ：

$$u(V_{\text{ref}}) = V_{\text{ref}} \sqrt{\left[\frac{u(L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}}}\right]^2 + \left[\frac{u(W_{\text{ref}})}{W_{\text{ref}}}\right]^2 + \left[\frac{u(H_{\text{ref}})}{H_{\text{ref}}}\right]^2} \quad (\text{D.26})$$

D.3.4 合成标准不确定度计算公式

$$u_{\text{vc}} = \sqrt{u(V)^2 + u(V_{\text{ref}})^2} \quad (\text{D.27})$$

D.3.5 扩展不确定度计算公式，取 $k = 2$

$$U_{\text{vc}} = 2u_{\text{vc}} \quad (\text{D.28})$$

D.4 不确定度评定示例

D.4.1 校准对象

最大秤量 30kg，质量参数分度值 d_m 为 10g；最大测量尺寸（ $L \times W \times H$ ）为 100cm×80cm×80cm，几何量参数分度值（ $L \times W \times H$ ）为 0.5cm×0.5cm×0.5cm。

D.4.2 标准测量块的选取

选取实际质量为 10kg，几何量尺寸（ $L \times W \times H$ ）为 20cm×30cm×50cm 的不锈钢材质规则标准测量块进行测量。

D.4.3 质量参数示值不确定度评定

D.4.3.1 质量参数示值测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{m1}

6次测量的质量参数数据分别为10.001kg、9.999kg、10.000kg、9.999kg、10.001kg、9.998kg。根据公式(D.5)重复性引入的标准不确定度分量计算如下：

$$s_m(P) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{mi} - \bar{P}_m)^2} = 1.2 \text{ g (D.29)}$$

D.4.3.2 标准测量块质量参考值引入的标准不确定度分量 u_{m2}

标准测量块质量参考值为10kg，符合M₁等级。其最大允许误差绝对值为0.5g。

由公式(D.6)确定 u_{m2} ：

$$u_{m2} = \frac{|\text{MPE}|}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ g (D.30)}$$

D.4.3.3 称重指示装置分辨力引入的标准不确定度分量 u_{m3}

称重指示装置分辨力引入的标准不确定度分量符合均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ， d_m 为10g，采用闪变点法，因此 u_{m3} 由公式(D.7)确定：

$$u_{m3} = \frac{0.1d_m}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ g (D.31)}$$

D.4.3.4 标准测量块在不同位置测量引入的标准不确定度分量 u_{m4}

标准测量块在不同位置化整前质量参数示值见表 E.1

表 E.1 标准测量块在不同位置化整前质量参数示值

位置	化整前质量参数示值(kg)
1	10.004
2	10.006
3	9.999
4	10.004
5	10.002
6	10.002
7	10.002

由公式(D.8) 确定 u_{m4} 为：

$$u_{m4} = P_m \frac{|\Delta P_{me}|_{\max}}{2P_{me}\sqrt{3}} = 10000 \text{ g} \times \frac{|6-2|}{2 \times 10000 \text{ g} \times \sqrt{3}} = 1.2 \text{ g (D.32)}$$

D.4.3.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式 (D.9)计算:

$$u_{mc} = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2 + u_{m4}^2} = 1.7 \text{ g (D.33)}$$

注: u_{m1} 和 u_{m3} 取大者带入公式 (D.9)中计算。

D.4.3.6 扩展不确定度

扩展不确定度取 $k=2$,

静态包裹计重系统在 10kg 这个点的质量参数示值扩展不确定度为

$$U_m = 2u_{mc} = 3.4 \text{ g (D.34)}$$

D.4.4 几何量参数示值不确定度评定

D.4.4.1 体积参数示值 V 引入的标准不确定度 $u(V)$

D.4.4.1.1 体积参数测量重复性引入的标准不确定度分量

6 次测量的几何量参数($L \times W \times H$)数据见表 E.2

表 E.2 标准测量块几何量参数数据

序号	长 (cm)	宽 (cm)	高 (cm)	体积 (cm ³)
1	20.0	30.0	50.0	30000
2	20.5	30.0	50.0	30750
3	20.0	30.5	50.0	30500
4	20.0	30.5	50.0	30500
5	20.0	30.0	50.0	30000
6	20.0	30.0	50.0	30000
平均值	20.08	30.17	50.0	30291.7

根据公式 (D.14):

体积参数示值测量重复性引入的标准不确定度分量

$$u_{v1} = s(V) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \approx 3.3 \times 10^2 \text{ cm}^3 \text{ (D.35)}$$

D.4.4.1.2 体积参数示值分辨力引入的标准不确定度分量

三维几何量参数测量分辨率($L \times W \times H$) 为 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, 由公式

(D.18)得:

$$u_{v2} = V \sqrt{\left[\frac{d_L}{2\sqrt{3}L} \right]^2 + \left[\frac{d_W}{2\sqrt{3}W} \right]^2 + \left[\frac{d_H}{2\sqrt{3}H} \right]^2} \approx 2.4 \times 10^2 \text{ cm}^3 \text{ (D.36)}$$

D.4.4.1.3 标准测量块在不同位置测量引入的标准不确定度分量 u_{L3}

标准测量块在不同位置体积参数示值见表 E.3

表 E.3 标准测量块在不同位置体积参数示值

位置	体积参数示值 (cm ³)
1	30500
2	30750
3	30500
4	30500
5	30000
6	30000
7	30000

由公式(D.19) 计算得:

$$u_{V3} = V \frac{|\Delta V_e|_{\max}}{2V_e\sqrt{3}} = \frac{|\Delta V_e|_{\max}}{2\sqrt{3}} = \frac{750}{2\sqrt{3}} \approx 2.2 \times 10^2 \text{ cm}^3 \text{ (D.37)}$$

D.4.4.1.4 合成标准不确定度 $u(V)$

由公式 (D.20) 得:

$$\begin{aligned} u(V) &= \sqrt{u_{V1}^2 + u_{V3}^2} \\ &= \sqrt{(3.3 \times 10^5)^2 + (2.2 \times 10^5)^2} \text{ (D.38)} \\ &\approx 4.0 \times 10^2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

D.4.4.2 V_{ref} 引入的标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$ D.4.4.2.1 标准测量块校准证书中给出的几何量参考值标准不确定度 $u_s(L_{\text{ref}})$ 、

$u_s(W_{\text{ref}})$ 、 $u_s(H_{\text{ref}})$

标准测量块校准证书中给出的几何量参考值的扩展不确定度为:

$$U_s(L_{\text{ref}}) = U_s(W_{\text{ref}}) = U_s(H_{\text{ref}}) = 0.06 \text{ mm } (k = 2) \text{ (D.39)}$$

其标准不确定度为:

$$u_s(L_{\text{ref}}) = u_s(W_{\text{ref}}) = u_s(H_{\text{ref}}) = \frac{0.06 \text{ mm}}{2} = 0.03 \text{ mm} \text{ (D.40)}$$

D.4.4.2.2 现场环境下温度梯度变化引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的

标准不确定度 $u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{s\Delta t}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{s\Delta t}(H_{\text{ref}})$

在对静态包裹计重系统测量过程中, 标准测量块几何量参数($L \times W \times H$)为 $20 \text{ cm}(0.2 \text{ m}) \times 30 \text{ cm}(0.3 \text{ m}) \times 50 \text{ cm}(0.5 \text{ m})$, 其环境温度变化 Δt 一般不会超过

2°C/小时，测量时间按 1 小时计算，标准测量块线膨胀系数为 $17 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ ，按均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，由公式(D.23)计算得：

$$u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}}) = \frac{2 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.2}{\sqrt{3}} = 3.9 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.01 \text{ mm} \quad (\text{D.41})$$

$$u_{s\Delta t}(W_{\text{ref}}) = \frac{2 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.3}{\sqrt{3}} = 3.9 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.01 \text{ mm} \quad (\text{D.42})$$

$$u_{s\Delta t}(H_{\text{ref}}) = \frac{2 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.5}{\sqrt{3}} = 3.9 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.01 \text{ mm} \quad (\text{D.43})$$

D.4.4.2.3 现场环境温度偏离实验室温度，线膨胀系数引起的标准测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{sa}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{sa}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{sa}(H_{\text{ref}})$

标准测量块线膨胀系数为 $17 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ ，实验室环境温度为 $(20 \pm 5) \text{°C}$ ，现场校准时温度为 15°C ，最大偏离 $\delta t = 10 \text{°C}$ ，按均匀分布处理：

$$u_{sa}(L_{\text{ref}}) = \frac{10 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.2}{\sqrt{3}} = 2 \times 10^{-5} \text{ m} = 0.02 \text{ mm} \quad (\text{D.44})$$

$$u_{sa}(W_{\text{ref}}) = \frac{10 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.3}{\sqrt{3}} = 3 \times 10^{-5} \text{ m} = 0.03 \text{ mm} \quad (\text{D.45})$$

$$u_{sa}(H_{\text{ref}}) = \frac{10 \times 17 \times 10^{-6} \times 0.5}{\sqrt{3}} = 5 \times 10^{-5} \text{ m} = 0.05 \text{ mm} \quad (\text{D.46})$$

D.4.4.2.4 合成标准不确定度 $u(L_{\text{ref}})$ 、 $u(W_{\text{ref}})$ 、 $u(H_{\text{ref}})$

由公式 (D.25)计算得：

$$u(L_{\text{ref}}) = \sqrt{0.03^2 + 0.01^2 + 0.02^2} = 0.036 \text{ mm} \quad (\text{D.47})$$

$$u(W_{\text{ref}}) = \sqrt{0.03^2 + 0.01^2 + 0.03^2} = 0.044 \text{ mm} \quad (\text{D.48})$$

$$u(H_{\text{ref}}) = \sqrt{0.03^2 + 0.01^2 + 0.05^2} = 0.059 \text{ mm} \quad (\text{D.49})$$

D.4.4.2.5 合成标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$

$$V_{\text{ref}} = L_{\text{ref}} \times W_{\text{ref}} \times H_{\text{ref}} = 200 \times 300 \times 500 = 3 \times 10^7 \text{ mm}^3 \quad (\text{D.50})$$

$$\frac{u(L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}}} = \frac{0.036}{200} = 1.8 \times 10^{-4} \quad (\text{D.51})$$

$$\frac{u(W_{\text{ref}})}{W_{\text{ref}}} = \frac{0.044}{300} = 1.5 \times 10^{-4} \quad (\text{D.52})$$

$$\frac{u(H_{\text{ref}})}{H_{\text{ref}}} = \frac{0.059}{500} = 1.2 \times 10^{-4} \quad (\text{D.53})$$

由公式 (D.26) 得：

$$u(V_{\text{ref}}) = 3 \times 10^7 \times \sqrt{(1.8 \times 10^{-4})^2 + (1.5 \times 10^{-4})^2 + (1.2 \times 10^{-4})^2} \approx 7.9 \text{ cm}^3 \quad (\text{D.54})$$

D.4.4.3 合成标准不确定度计算

$$\begin{aligned}u_{V_c} &= \sqrt{u(V)^2 + u(V_{\text{ref}})^2} \\ &= \sqrt{(4.0 \times 10^2)^2 + 7.9^2} \text{ (D.55)} \\ &\approx 4.0 \times 10^2 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

D.4.4.4 扩展不确定度计算，取 $k = 2$

$$U_{V_c} = 2u_{V_c} = 8 \times 10^2 \text{ cm}^3 \text{ (D.56)}$$