

中华人民共和国工业和信息化部

纺织计量技术规范

JJF（纺织）101-2021

杠杆式土工合成材料厚度仪

校准规范

Calibration specification for geosynthetics lever - Type thickness testers

(报批稿）

XXXX-XX-XX发布 XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

JJF（纺织）101-2021

**杠杆式土工合成材料厚度仪校准规范**

Calibration specification for

geosynthetics lever - Type

thickness testers

归 口 单 位：中国纺织工业联合会

起 草 单 位：安徽省中小企业发展促进中心

合肥鹏通电子科技有限公司

常熟市计量测试所

安徽省纺织计量站

温州际高检测仪器有限公司

莱州元茂仪器有限公司

纺织工业科学技术发展中心

本规范委托全国纺织计量技术委员会负责解

本规范主要起草人：

程训健（安徽省中小企业发展促进中心）

崔群海（合肥鹏通电子科技有限公司）

邵俊杰（常熟市计量测试所）

王 平 （安徽省纺织计量站）

吴政雨（安徽省中小企业发展促进中心）

仵建国（温州际高检测仪器有限公司）

李春钢（莱州元茂仪器有限公司）

王国建（纺织工业科学技术发展中心）

目 录

引言 ………………………………………………………………………………（Ⅱ）

1 范围……………………………………………………………………………（1）

2 引用文件………………………………………………………………………（1）

3 概述……………………………………………………………………………（1）

4 计量特性………………………………………………………………………（1）

5 校准条件………………………………………………………………………（2）

6 校准项目和校准方法 …………………………………………………………（2）

7 校准结果表达…………………………………………………………………（6）

8 复校时间间隔 …………………………………………………………………（6）

附录A 杠杆式土工合成材料厚度仪校准记录参考格式 ………………………(7)

附录B 杠杆式土工合成材料厚度仪校准证书（内页）参考格式………………(8)

附录C 杠杆式土工合成材料厚度仪测量不确定度评定示例 ……………（9）

引 言

本规范依据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》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》规定的规则编制。

本规范的技术指标参数采用GB/T 13761.1-2009 《土工合成材料 规定压力下厚度的测定 第1部分：单层产品厚度的测定方法》的相关内容。

本规范为首次发布。

杠杆式土工合成材料厚度仪校准规范

1. 范围

本规范适用于杠杆式土工合成材料厚度仪（以下简称“厚度仪”）的校准，其他类似仪器的校准可参照本规范。

1. 引用文件

本规范引用了下列文件：

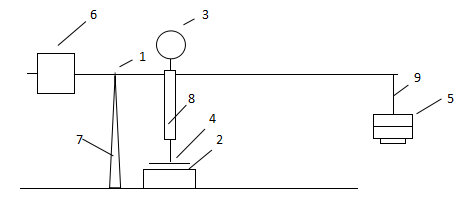
GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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，其最新现行有效版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

1. 概述

厚度仪用于测量在不同的压强（2kPa、20kPa、200kPa）下土工合成材料的厚度。厚度仪由杠杆式压力装置（包括压脚、加压杆、加压砝码、平衡锤等）、百分表、基准板等组成（见图1）。



注：1.刀口支点 2.基准板 3.百分表 4.压脚 5.加压砝码 6.平衡锤

7-立柱 8-加压杆 9-挂砣

图1 厚度仪测试原理示意图

1. 计量特性
   1. 压脚尺寸：面积（2500 ±20）mm2

直径（10±0.05）mm

* 1. 压脚压强相对误差：±0.5%
  2. 整机示值误差：≤0.10 mm

1. 校准条件

**5.1 环境条件**

厚度仪应置于稳固的水平基础上，校准环境应清洁，周围无腐蚀性介质，无影响使用的震源。

**5.2 测量标准及其他设备**

测量标准及其他设备见表1。

表1 测量标准及其他设备

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准器名称 | 测量范围、分度值或分辨力 | 最大允许误差或准确度或不确定度 | 数量 |
| 1 | 量块 | 测量范围：（0～10）mm | 4等 | 1 |
| 2 | 电子天平 | 测量范围：（5～1100）g，  e=0.1 g ， d=0.01 g |  | 1 |
| 3 | 掌上电子天平 | 测量范围：（5～500）g  e=0.1 g ， d=0.01 g |  | 1 |
| 4 | 砝码 | 20g |  | 2 |
| 5 | 游标卡尺 | 测量范围（0～200）mm，  分度值：0.02mm | MPE：±0.03 mm | 1 |
| 6 | 千分尺 | 测量范围：（0～25）mm，分度值：0.01mm | MPE：±0.004mm | 1 |
| 7 | 塞尺 | 测量范围0.01mm | *U*=2.0μm，*k*=2 | 1 |
| 注：主要测量标准及设备可选用本表所列；也可以选用其引入的测量不确定度*U*（*k*=2）不大于被校量的最大允许误差1/3的测量设备。 | | | | |

6 校准项目和校准方法

**6.1 校准前准备**

**6.1.1 厚度仪外观检查**

6.1.1.1 厚度仪在适当的部位应装有铭牌，铭牌上需标明型号、规格、制造厂、出厂编号和出厂年月等信息。

6.1.1.2 厚度仪显示百分表应完好无损、功能正常，并有检定合格证。

**6.1.2 厚度仪其他检查**

6.1.2.1 调整厚度仪底脚螺钉，观看水平器使之气泡居中，使厚度仪位置水平。

6.1.2.2调整杠杆上的平衡锤，实现厚度仪杠杆随意平衡。

6.1.2.3 转动凸轮手柄，厚度仪杠杆压脚抬起落下稳定、平缓、流畅。

6.1.2.4 基准板面积至少大于压脚面积的3 倍（基准板直径大于压脚直径的1.75倍）。

6.1.2.5 压脚与基准板的平行度：在挂砣上放置40g砝码，使压脚在一定压力下与基准板相接触，用厚度0.01mm的塞尺检查压脚与基准板之间四周间隔，要求两表面间隔不大于0.01mm。

**6.2 校准项目**

厚度仪校准项目对应本规范计量特性条款和校准方法条款见表2。

表2 厚度仪校准项目

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 计量特性条款 | 校准方法条款 |
| 1 | 压脚尺寸 | 4.1 | 6.3.1 |
| 2 | 压脚压强相对误差 | 4.2 | 6.3.2 |
| 3 | 整机厚度示值误差 | 4.3 | 6.3.3 |

**6.3 校准方法**

**6.3.1 压脚尺寸**

用游标卡尺(小压脚*Φ*10mm用千分尺）先测量压脚面任一处的直径，然后旋转压脚面约60°和约120°测量另二处压脚面的直径，计算三次测量结果的算术平均值即为压脚直径实测值，按公式（1）计算压脚的面积。

 （1）

式中：-压脚面积，单位mm2

-压脚直径实测值，单位mm

**6.3.2 压脚压强相对误差**

**6.3.2.1 百分表测量力**

从厚度仪上取下百分表，用量具支架固定在天平旁边，调整量具支架，使百分表测量头尽量接近天平称盘，但不接触天平称盘，调整百分表零位。

选用4mm量块，将百分表测量头抬起，并将该量块移到百分表测量头下，按天平去皮键，使天平示值为零；轻放百分表测量头，使百分表测量头接触量块，待天平显示稳定后，读取天平测量结果。重复测量三次，计算三次测量结果的算术平均值，单位为g，按1000g=9.8N折算为百分表在4mm时的测量力，单位为N。

按上述方法分别测量百分表在2mm、6mm、8mm、10mm、时的测量力，单位为N。

**6.3.2.2 杠杆比**

取下百分表，调整厚度仪平衡锤，使加压杠杆随意平衡。转动凸轮手柄，抬起厚度仪压脚，将掌上电子天平放置在基准板与压脚之间，调整掌上电子天平，使压脚位于掌上电子天平称盘中心。回转凸轮手柄，放下压脚，在杠杆挂铊上放置2个20g砝码，待掌上电子天平示值稳定后读取掌上电子天平读数，重复测量三次，计算三次测量结果的算术平均值，单位为g，按1000 g=9.8 N折算为2个20g砝码对应的压脚压力 ，单位为N。按公式（2）计算杠杆比。

 （2）

式中：—杠杆比

—加压砝码的质量标称值,单位N

—压脚压力实测值，单位N

**6.3.2.3 加压重锤杠杆压脚压力**

用电子天平称量压强2kPa（压力5N））加压重锤质量，重复测量三次，其算术平均值为2kPa加压重锤质量，单位g。按1000g=9.8N将加压重锤质量折算为重力，单位N。

2kPa加压重锤经杠杆装置施加到压脚压力按公式（3）计算。

 （3）

式中：—加压重锤相应杠杆压脚压力，单位N

—加压重锤重量，单位N

—杠杆比

按上述方法，分别测量20kPa（压力50N）和200kPa（压力500N）加压重锤对应的压脚压力，单位为N。

**6.3.2.4 压脚总压力**

压脚总压力由百分表测量力和加压重锤杠杆压脚压力组成，可按公式（4）计算。

 （4）

式中：—压脚总压力，单位N

—加压重锤杠杆压脚压力，单位N

—百分表测量力，单位N

**6.3.2.5 压脚压强**

压脚压强按公式（5）计算

 （5）

式中：-压脚压强，单位kPa

-压脚总压力，单位N

-压脚面积，单位mm2

**6.3.2.6 压脚压强相对误差**

压脚压强相对误差按公式（6）计算

 （6）

式中：—压脚压强相对误差

—压脚压强，单位kPa

—加压重锤标称压强，单位kPa

**6.3.3 厚度仪整机示值误差**

调整杠杆平衡，在挂砣上放置40g砝码，使压脚在一定压力下与基准板相接触。转动凸轮手柄，抬起压脚或放下压脚，用量块校准厚度示值误差。校准从零开始，每隔1 mm，用相应标称值量块校准一次，直到10 mm，校准10 mm后，再校准零位一次，每个校准点重复测量三次。每个校准点示值误差按公式7计算，厚度仪整机示值误差按公式8计算，即厚度仪整机示值误差为12个校准点中厚度示值误差最大值减去厚度示值误差最小值。

 （7）

式中： —厚度示值误差，单位mm。

—厚度仪对应量块时三次示值的平均值，单位mm。

—量块标称值，单位mm。

 （8）

式中： —厚度仪整机示值误差，单位mm。

—厚度仪示值误差最大值，单位mm。

—厚度仪示值误差最小值，单位mm。

7 校准结果表达

**7.1 数值修约**

数值修约按GB/T 8170执行，末位数修约到被校厚度仪各参数最大允许误差绝对值的1/10位。

**7.2 校准记录**

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。推荐的校准记录格式见附录A。

**7.3 校准证书**

经校准的抱合仪应出具校准证书，校准结果应在校准书上反映。校准证书包括的信息应符合JJF 1071-2010中的5.12的要求。推荐的校准证书内页格式见附录B。

**7.4 不确定度**

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录C。

8 复校时间间隔

在定期进行期间核查的条件下，建议复校时间间隔一般不超过1年。

**注：**由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A

杠杆式土工合成材料厚度仪校准记录表参考格式

委托方： 发证编号： 原始记录编号：

型号规格： 出厂编号： 出厂日期：

制造厂： 环境温度： ℃ 湿度： %RH

主标准器名称; 型号规格： 测量范围：

准确度等级： 有效期： 校准依据：

校准日期： 年 月 日 校准地点：

一、校准前准备：

二、计量特性校准：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 技术要求 | | 实测结果 | | | | | 扩展不确定度（*k*=2） |
|  |  |  | 直径平均 | 面积 |
| 1 | 压脚尺寸 | 面积(2500 ±20)mm2 | |  |  |  |  |  | *U*= |
| 直径（10±0.05）mm | |  |  |  |  |  | *U*= |
| 2 | 压脚压强相对误差 | 杠杆比 |  | 1 | 2 | 3 | 平均值 | 杠杆比 | *U*= |
| 加压砝码质量 |  | | |  |  |
| 压脚压力 |  |  |  |  |
| 加压重锤总质量 | 标称值 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |  |
| 5 N |  |  |  |  |  |
| 50 N |  |  |  |  |  |
| 50N×10 |  |  |  |  |  |
| 允差±0.5% | | 百分表测量力 N | 压脚杠杆压力N | 压脚总压力 | 压强kPa | 相对误差 |
| 2kPa时 | |  |  |  |  |  |
| 20kPa时 | |  |  |  |  |  |
| 200kPa时 | |  |  |  |  |  |
| 3 | 整机示值  误差 | ≤0.10mm | 标称值 | 0mm | 1mm | 2mm | 3mm | 4mm | *U*= |
| 实测值 |  |  |  |  |  |
| 标称值 | 5mm | 6mm | 7mm | 8mm | 9mm |
| 实测值 |  |  |  |  |  |
| 标称值 | 10mm | 0mm |  |  |  |
| 实测值 |  |  |  |  |  |
| 整机示值误差（示值误差最大值减去厚度示值误差最小值）： | | | | | |

校准单位： 校准员： 审核员：

附录B

杠杆式土工合成材料厚度仪校准证书（内页）参考格式

校 准 结 果

证书编号：XXXXXXXX 原始记录编号：XXXXXXXX 第×页，共×页

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准项目 | 技术要求 | 校准结果 | 测量结果  扩展不确定度 |
| 压脚尺寸 | 面积(2500 ±20)mm2 |  |  |
| 直径（10±0.05）mm |  |  |
| 压脚压强相对误差 | ±0.5% |  |  |
| 整机示值误差 | ≤0.10 mm |  |  |

以下空白

附录C

杠杆式土工合成材料厚度仪测量不确定度评定（示例）

C.1 厚度仪压脚面积测量不确定度的评定

**C.1.1 概述**

校准依据：依据本规范的校准方法校准。

校准标准器：游标卡尺，测量范围：（0～200）mm，分度值：0.02mm，MPE：±0.03 mm。

被测厚度仪压脚标称面积：2500 mm2。

测量过程：用游标卡尺先测量压脚面任一处的直径，然后旋转压脚面约60°和约120°测量另二处压脚面的直径，计算三次测量结果的算术平均值即为压脚直径的实测值，按公式计算压脚的面积。

**C.1.2 测量模型**

 （C1-1)

式中：-压脚面积，单位mm2

—压脚直径实测值，单位mm

由于游标卡尺与厚度仪彼此独立，互不相关，因此，厚度仪压脚面积的相对标准不确定度可由公式（C1.2)计算：

则 

故  （C1-2)

**C.1.3 输入量相对标准不确定度的评定**

**C.1.3.1 输入量标准不确定度来源分析**

输入量的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项、数显游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项和数显游标卡尺分辨率引起的标准不确定度分项。

**C.1.3.2 输入量各分量标准不确定度的评定**

（1） 测量重复性引起的标准不确定度分项的评定

可采用连续重复多次测量，直接求出标准不确定度，即采用A类方法进行评定。

在重复性条件下用数显游标卡尺直接测量厚度仪压脚直径，连续10次测量，得到一测量列（单位mm）：56.43、56.42、56.42、56.43、56.43、56.44、56.43、56.43、56.44、56.43。

则单次测量结果的实验标准偏差为：

单次平均值  （C1-3)

单次标准差  （C1-4)

实际测量试验情况：厚度仪压脚直径实测值在重复性条件下连续测量3次,以三次测量算术平均值为测量结果，则可以得到：

压脚直径测量重复性引起的标准不确定度：

 （C1-5)

（2） 游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项的评定

根据检定证书/校准证书给出的游标卡尺最大允许误差为±0.03 mm，即 mm，在区间内服从均匀分布，即包含因子，则标准不确定度：

 (C1-6)

（3） 游标卡尺分辨力引起的标准不确定度的评定

游标卡尺分辨力为0.01 mm，其量化误差以等概率分布在半宽为 mm的区间内，属于均匀分布，即包含因子，则引入的不确定度为：

 (C1-7)

此次不确定度评定中，测量重复性引入的不确定度分量大于游标卡尺分辨力所引入的不确定度分量，此时重复性中已经包含分辨力校准结果的影响，故不应当再考虑分辨力所引入的不确定度分量。

**C.1.3.3 标准不确定度分量汇总**

由于游标卡尺与厚度仪仪彼此独立，互不相关，标准不确定度、也相互独立，各分量的标准不确定度汇总如表C1-1。

表C1-1 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(mm) |
| 1 | 测量重复性 |  | A | 正态 | 1 | 0.004 |
| 2 | 游标卡尺示值误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.017 |

**C.1.3.4 输入量标准不确定度来源计算**

 (C1-8)

输入量相对标准不确定度：

 （C1-9）

因为 

所以 ， 

又因为： （C1-10）

由此得厚度仪压脚面积的标准不确定度：



 (C1-11)

**C.1.5 测量结果不确定度的报告与表示**

厚度仪压脚面积测量结果扩展不确定度为：

 。

C.2 杠杆式土工合成材料厚度仪压脚压强相对误差测量不确定度的评定

**C.2.1 概述**

校准依据：按本规范的校准方法校准。

校准标准器：20g砝码2个 等级；

电子天平：测量范围：（5～1100）g， e=0.1 g ，

d=0.01 g ；

掌上电子天平：测量范围：（5～500）g， e=0.1 g ，

d=0.01 g 

被测厚度仪压脚压强：以4mm量块为例,测量压脚压强（标准压强为2kPa）。

测量过程：

（1）压脚总压力由百分表测量力和加压重锤杠杆压脚压力组成。

百分表压力测量：从厚度仪上取下百分表，用量具支架固定在天平旁边，调整量具支架，使百分表测量头尽量接近天平称盘，但不接触天平称盘，调整百分表零位。选用4mm量块，将百分表测量头抬起，并将该量块移到百分表测量头下，按天平去皮键，使天平示值为零；轻放百分表测量头，使百分表测量头接触量块，待天平显示稳定后，读取天平测量结果。重复测量三次，计算三次测量结果的算术平均值，按1000g=9.8N折算为百分表在4mm时的测量力，单位为N。

加压重锤杠杆压脚压力测量：杠杆放大压力与加压重锤、杠杆比有关，一台厚度仪杠杆比k是不变的，用掌上电子天平称量加压重锤是20g×2标准砝码时对应的压脚压力，单位g通过1000g=9.8N转换成N，通过公式计算出杠杆比。用电子天平称量压强2kPa（压力5N））加压重锤质量，重复测量三次，其算术平均值为2kPa加压重锤质量，单位g。按1000g=9.8N将加压重锤质量折算为重力，单位N。2kPa加压重锤经杠杆装置施加到压脚压力按公式计算可得。

压脚总压力： 

式中：- 压脚总压力实测值，单位N

- 加压重锤杠杆压脚压力，单位N

- 百分表测量力，单位N

- 三次百分表测量力测量结果的算术平均值，单位N

- 三次加压重锤质量测量结果的算术平均值，单位N

- 杠杆比

（2）压脚面积在“C.1厚度仪压脚面积测量不确定度的评定”中,公式（C1-10）可知：



**C.2.2 测量模型**

 （C2-1）

式中：-压脚压强，单位kPa

-压脚总压力，单位N

-压脚面积，单位mm

由于电子天平、游标卡尺与厚度仪彼此独立，互不相关，因此，厚度仪压脚压强的标准不确定度可由公式（C2-2）计算：

 （C2-2）

**C.2.3 压脚总压力标准不确定度评定**

因为 

所以  （C2-3）

因为 

所以  （C2-4）

**C.2.3.1 输入量标准不确定度来源分析**

输入量的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项、电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项和电子天平分辨率引起的标准不确定度分项。

 （C2-5）

(1) 测量重复性引起的标准不确定度分项的评定

可采用连续重复多次测量，直接求出标准不确定度，即采用A类方法进行评定。

在重复性条件下用电子天平测量加压砝码（标称值5N）的质量，连续10次测量，得到一测量列（单位g）：86.56、86.56、86.55、86.57、86.56、86.57、86.55、86.56、86.57、86.56则单次测量结果的实验标准偏差为：

单次平均值  （C2-6)

单次标准差  （C2-7)

实际测量试验情况：加压砝码测量在重复性条件下连续测量3次,以三次测量算术平均值为测量结果，则可以得到：

加压砝码测量重复性引起的标准不确定度：

 （C2-8)

(2) 电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项的评定

依据JJG 1036-2008《电子天平》检定规程，在86.56g时电子天平，e=0.1g,MPE：±0.5e，即 ，在区间内服从均匀分布，包含因子，则电子天平在86.56g校准点校准点最大允许误差引起的示值标准不确定度：

（C2-9)



(3) 电子天平分辨力引起的标准不确定度的评定

电子天平分辨力,其量化误差以等概率分布在半宽为的区间内，服从均匀分布，包含因子，则由天平分辨力引入的不确定度为：

 (C2-10)

此次不确定度评定中，测量重复性引入的不确定度分量大于电子天平分辨力所引入的不确定度分量，此时重复性中已经包含分辨力校准结果的影响，故不应当再考虑分辨力所引入的不确定度分量。

(4） 标准不确定度分量汇总

由于电子天平与厚度仪彼此独立，互不相关，标准不确定度、、也相互独立，各分量的标准不确定度汇总如表C2-1。

表C2-1 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(g) |
| 1 | 测量重复性 |  | A | 正态 | 1 | 0.0043 |
| 2 | 电子天平最大允许误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0289 |

（5） 输入量标准不确定度来源计算

 (C2-11)

得： (C2-12)

**C.2.3.2 输入量杠杆比标准不确定度来源分析**

因为

所以  (C2-13）

1. 输入量的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项、掌上天平最大允许误差引起的标准不确定度分项和掌上天平分辨率引起的不确定度。

 (C2-14)

(a) 测量重复性引起的标准不确定度分项的评定

可采用连续重复多次测量，直接求出标准不确定度，即采用A类方法进行评定。

在重复性条件下用掌上天平测量压脚的压力（标称值40g×*k*），连续10次测量，得到一测量列（单位g）：200.64、200.65、200.65、200.64、200.65、200.66、200.65、200.64、200.66、200.65则单次测量结果的实验标准偏差为：

单次平均值  （C2-15)

单次标准差  （C2-16)

实际测量试验情况：加压砝码测量在重复性条件下连续测量3次,以三次测量算术平均值为测量结果，则可以得到：

加压砝码测量重复性引起的标准不确定度：

 （C2-17)

(b) 掌上天平最大允许误差引起的标准不确定度分项的评定

依据JJG 1036-2008《电子天平》检定规程，在200.65g时电子天平，e=0.1g,MPE：±0.5e，即 ，在区间内服从均匀分布，包含因子，则电子天平在200.65g校准点校准点最大允许误差引起的示值标准不确定度：

（C2-18)



(c) 掌上天平分辨力引起的标准不确定度的评定

掌上天平分辨力,其量化误差以等概率分布在半宽为的区间内，服从均匀分布，包含因子，则由天平分辨力引入的不确定度为：

 (C2-19)

此次不确定度评定中，测量重复性引入的不确定度分量大于掌上天平分辨力所引入的不确定度分量，此时重复性中已经包含分辨力校准结果的影响，故不应当再考虑分辨力所引入的不确定度分量。

(d） 标准不确定度分量汇总

由于掌上天平与厚度仪彼此独立，互不相关，标准不确定度、、也相互独立，各分量的标准不确定度汇总如表C2-2。

表C2-2 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(g) |
| 1 | 测量重复性 |  | A | 正态 | 1 | 0.0043 |
| 2 | 电子天平最大允许误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0289 |

（e） 输入量标准不确定度来源计算

 (C2-20)

(2)输入量的标准不确定度计算

根据标准砝码：20g×2个，等级， MPE：±2.5 mg。则40g时，  ，

在区间内服从均匀分布，包含因子，则40g最大允许误差引起的示值标准不确定度

（C2-21)



(3)根据公式(C2-13)，计算输入量杠杆比的相对标准不确定度

 (C2-22)





**C.2.3.3 根据公式（C2-4），** **计算相对不确定度**

 （C2-23）

所以 

又因为  (C2-24)



所以 

**C.2.3.3 输入量标准不确定度来源分析**

输入量的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项、电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项和电子天平分辨率引起的标准不确定度分项。

 (C2-25)

（1） 测量重复性引起的标准不确定度分项的评定

可采用连续重复多次测量，直接求出标准不确定度，即采用A类方法进行评定。

借助量具支架，在重复性条件下用电子天平测量百分表测量力（以量块4mm为例），连续10次测量，得到一测量列（单位g）：69.61、69.61、69.62、69.63、69.63、69.61、69.62、69.63、69.62、69.61则单次测量结果的实验标准偏差为：

单次平均值  （C2-26)

单次标准差  （C2-27)

实际测量试验情况：加压砝码测量在重复性条件下连续测量3次,以三次测量算术平均值为测量结果，则可以得到：

加压砝码测量重复性引起的标准不确定度：

 （C2-28)

（2）电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项的评定

依据JJG 1036-2008《电子天平》检定规程，在69.62g时，电子天平，e=0.1g,MPE：±0.5e，即 ，在区间内服从均匀分布，包含因子，则电子天平在69.62g校准点最大允许误差引起的示值标准不确定度：

（C2-29)



（3） 电子天平分辨力引起的标准不确定度的评定

电子天平分辨力,其量化误差以等概率分布在半宽为的区间内，服从均匀分布，包含因子，则由天平分辨力引入的不确定度为：

 (C2-30)

此次不确定度评定中，测量重复性引入的不确定度分量大于电子天平分辨力所引入的不确定度分量，此时重复性中已经包含分辨力校准结果的影响，故不应当再考虑分辨力所引入的不确定度分量。

(4) 标准不确定度分量汇总

由于电子天平与厚度仪彼此独立，互不相关，标准不确定度、、也相互独立，各分量的标准不确定度汇总如表C2-3。

表C2-3 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(g) |
| 1 | 百分表测量力测量重复性 |  | A | 正态 | 1 | 0.0051 |
| 2 | 天平最大允许误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0289 |

1. 输入量标准不确定度来源计算

 (C2-31)



**C.2.3.4 压脚总压力的标准不确定度的计算**



又因为 434.2073+0.0088=434.2161g

所以  (C2-32)

**C.2.4 压脚压强标准不确定度来源计算**

 （C2-33）

又因为（C1-10）： 

可得： 

所以： 

**C.2.5 厚度仪压脚压强测量结果示值误差相对扩展不确定度的报告与表示**

取 

则  （C2-34）

厚度仪压脚压强测量结果示值误差相对扩展不确定度为：

  。

C.3 土工合成材料厚度仪整机示值误差测量不确定度的评定

**C.3.1 概述**

校准依据：按本规范的校准方法校准。

校准标准器：量块（4等）

被厚度仪：示值分辨力0.01 mm（指针式百分表）

测量过程：在挂砣上放置40g砝码，使压脚在一定压力下与基准板相接触。转动凸轮手柄，抬起压脚或放下压脚，用量块校准厚度示值误差。校准从零开始，每隔1 mm，用相应标称值量块校准一次，直到10 mm，校准10 mm后，再校准零位一次，每个校准点重复测量三次。厚度仪整机示值误差为12个校准点中厚度示值误差（即示值减标称值）最大值减去厚度示值误差最小值。

**C.3.2 测量模型**

 （C3-1）

式中： —厚度仪整机示值误差，单位mm。

—厚度仪示值误差最大值，单位mm。

—厚度仪示值误差最小值，单位mm。

示值误差根据公式（C3-2)求得。

 （C3-2）

式中： —厚度示值误差，单位mm。

—厚度仪对应量块时三次示值的平均值，单位mm。

—量块标称值，单位mm。

由于标准量块与厚度仪彼此独立，互不相关，因此，厚度仪整机示值误差的测量标准不确定度可由公式（C3-3)计算：

 （C3-3)

灵敏系数： ， 

因为 

则  (C3-4)

 (C3-5)

灵敏系数： ， 

**C.3.3 输入量****标准不确定度来源分析**

输入量的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项、示值显示器分辨率引起的标准不确定度分项和百分表示值误差引起的标准不确定度分项。

C.3.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项的评定

可采用连续重复多次测量，直接求出标准不确定度，即采用A类方法进行评定。

在重复性条件下测量4mm量块厚度（标称值4mm量块为例），连续10次测量，得到一组测量数据（单位mm）：3.980、3.985、3.985.3.980、3.985、3.985、3.985、3.985、3.980、3.980（分度值0.01mm，按分度估读）。则单次测量结果的实验标准偏差为：

单次平均值  （C3-6)

单次标准差  （C3-7)

实际测量试验情况：厚度示值的实测值在重复性条件下连续测量3次,以三次测量算术平均值为测量结果，则可以得到：

厚度示值校准测量重复性引起的标准不确定度：

 （C3-8)

C.3.3.2 百分表分度值误差引起的标准不确定度分项 的评定

百分表分度值为0.01 mm,按分度估读，其估读误差分布在半宽为的区间内，属于均匀分布，即包含因子，则引入的不确定度为：

 (C3-9)

C.3.3.3 百分表示值误差引起的标准不确定分项 的评定

根据JJG34-2008《指示表（指针式、数显式）》，测量范围3mm＜S≤5mm，百分表示值最大允许误差为±0.016mm，即 ，在区间内服从均匀分布，包含因子，则百分表在4mm校准点最大允许误差引起的示值标准不确定度：

 (C3-10)

C.3.3.4由于标准量块与厚度仪彼此独立，互不相关，标准不确定度、 也相互独立，各分量的标准不确定度汇总如表C3-1。

表C3-1 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(mm) |
| 1 | 测量重复性 |  | A | 正态 | 1 | 0.0015 |
| 2 | 百分表分度值误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0029 |
| 3 | 百分表示值误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0092 |

**C.3.4 输入量****标准不确定度来源分析**

输入量的标准不确定度来源于量块误差引起的标准不确定度分项。

C.3.4.1量块误差引起的标准不确定度分项的评定

根据JJG146-2003量块检定规程，4等量块，L≤10mm， 测量不确定度 *U*=0.22 um，*k*=2.576 （*p*=0.99)。

可得： （C3-11）

C.3.4.2标准不确定度如表C3-2。

表C3-2 标准不确定度分量汇总一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | 类别 | 分布 | 灵敏系数 | 标准不确定度(mm) |
| 1 | 量块误差 |  | B | 均匀 | 1 | 0.0001 |

**C.3.5 合成标准不确定度计算**

 (C3-12)

由此得厚度仪整机示值误差的标准不确定度：

 （C3-13）

**C.3.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子，扩展不确定度为：

 (C3-14)

**C.3.6 测量结果不确定度的报告与表示**

厚度仪整机示值误差测量结果扩展不确定度为：

 。