

# JJF(沪苏浙皖)

## 沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF(沪苏浙皖) 4011—2023

### 微波消解仪校准规范

Calibration Specification for Microwave Digestion Instrument

2023-8-31 发布

2024-2-29 实施

上海市市场监督管理局

江苏省市场监督管理局发布

浙江省市场监督管理局

安徽省市场监督管理局



# 微波消解仪校准规范

Calibration Specification for  
Microwave Digestion Instrument

JJF (沪苏浙皖) 4011-2023

**归口单位：**上海市市场监督管理局  
江苏省市场监督管理局  
浙江省市场监督管理局  
安徽省市场监督管理局

**主要起草单位：**宣城市标准计量所

**参加起草单位：**北京林电伟业电子技术有限公司  
山东中测华溯仪器仪表有限公司

本规范委托安徽省热工计量技术委员会负责解释



**本规范主要起草人：**

殷春前 (宣城市标准计量所)

郭 钧 (宣城市标准计量所)

李 征 (北京林电伟业电子有限公司)

**参加起草人：**

李易蔚 (宣城市产品质量监督检验所 (宣纸及文房用品质量检验检测中心))

吴 俊 (宣城市标准计量所)

徐 伟 (宣城市标准计量所)

李春明 (山东中测华溯仪器仪表有限公司)



# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 温度技术要求.....	(2)
5.2 压力技术要求.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 试验试剂.....	(3)
6.3 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准项目.....	(4)
7.2 校准前外观及功能显示检查.....	(4)
7.3 校准方法.....	(4)
7.4 数据处理.....	(5)
8 校准结果表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 微波消解仪校准原始记录参考格式.....	(8)
附录 B 微波消解仪校准证书内页参考格式.....	(9)
附录 C 微波消解仪温度偏差测量不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 微波消解仪压力示值误差测量不确定度评定示例.....	(12)

# 引 言

本规范以 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》为基础性系列规范进行编写。

本规范为首次发布。



# 微波消解仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于微波消解仪温度、压力参数（有压力要求时）的校准。其它类型的消解仪、微波消解萃取仪可以参照本规范进行校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 875—2019 数字压力计检定规程

JJF 1101—2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

GB/T 26814—2011 微波消解装置

SL 144.8—2008 微波消解仪校验方法

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

### 3.1 微波消解技术 microwave digestion technology

利用微波的穿透性和激活反应能力加热封闭容器中的消解液（各种酸、部分碱液以及盐类）和试样，在高温增压条件下使各种样品快速溶解的湿法消化。

### 3.2 消解罐 digestion tank

用于微波消解试验的密闭容器。

### 3.3 稳定状态 steady state

微波消解仪工作空间内任意点温度变化量达到设备本身性能指标要求时的状态。

[JJF1011-2019, 术语 3.3 修]

### 3.4 温度偏差 temperature deviation

微波消解仪稳定状态下，各消解罐内测量点在规定时间内实测最高温度和最低温度与设定温度的上下偏差。温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差。

[JJF1011-2019, 术语 3.4 修]

### 3.5 温度均匀度 temperature uniformity

微波消解仪稳定状态下，在某一瞬时任意两消解罐内温度之间的最大差值。

[JJF1011-2019, 术语 3.8 修]

### 3.6 温度波动度 temperature fluctuation

微波消解仪稳定状态下，在规定的时间内，任意一个消解罐内温度随时间的变化量。

[JJF1011-2019, 术语 3.6 修]

## 4 概述

微波消解仪指利用微波的穿透性和激活反应能力加热封闭容器（以下简称消解罐）中的消解液（各种酸、部分碱液以及盐类）和试样，在高温增压条件下使各种样品快速溶解的湿法消化的设备。在微波消解过程中，微波加热试剂的同时，增压迫使酸试剂和样品充分接触并最终迅速溶解样品。

微波消解仪主要由磁控管、波导管、微波腔体、负载盘和样品架、自动控制系统、排风系统、安全防护门、消解罐等组成。微波消解仪按照控温方式分为接触式和非接触式。微波消解仪结构示意图如下：

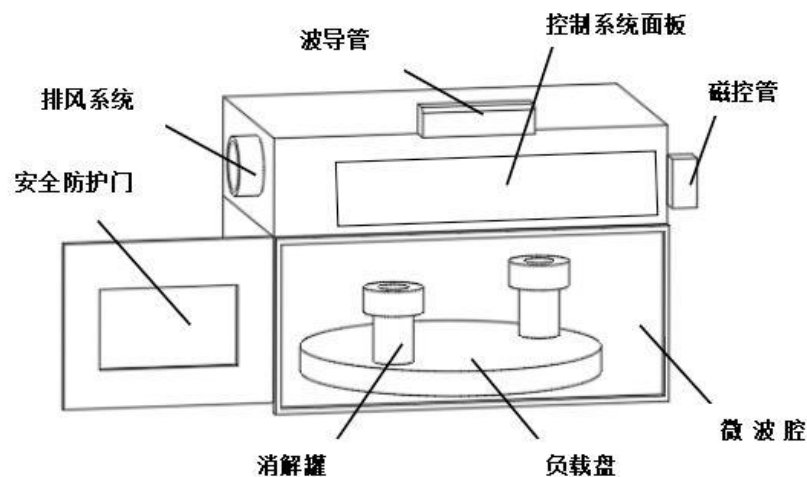


图 1 微波消解仪结构示意图

## 5 计量特性

### 5.1 温度技术要求

表 1 温度技术要求

校准项目	温度范围/°C	技术要求/°C
温度偏差	≤100	±3
	100~200	±5
温度均匀度	≤100	6
	100~200	10
温度波动度	≤100	±3
	100~200	±5

## 5.2 压力技术要求

表 2 压力技术要求

校准项目	压力范围/ MPa	选择压力点/ MPa	技术要求/ MPa
压力示值误差	$\leq 5.0$	0.5	$\pm 0.1$
		2.5	$\pm 0.1$
		$P_{\max} - 0.5$	$\pm 0.2$
	$\leq 10.0$	0.5	$\pm 0.1$
		4.5	$\pm 0.2$
		$P_{\max} - 0.5$	$\pm 0.5$
$> 10.0$	0.5	$\pm 0.1$	
$> 10.0$	8.5	$\pm 0.5$	
	$1/2 (10 + P_{\max})$	$\pm 0.6$	
	$P_{\max} - 0.5$	$\pm 0.7$	

注：1、 $P_{\max}$  为微波消解仪标称最大压力测量值。

2、温度、压力技术要求不用于合格判断，仅供校准及测量不确定度评定时参考。

## 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度：不大于 85%；

气压： $80\text{kPa} \sim 106\text{kPa}$ ；

6.1.2 其他：室内应无腐蚀性及易燃易爆气体，应有良好的通风装置；设备应放置于平稳的工作台上，不应受强光直射、强烈振动和电磁干扰；装置周围应至少保留 10cm 空间，用于空气流通。

## 6.2 试验试剂

在微波消解仪标称的温度范围内，消解罐添加的试验试剂为不分解且无毒的试剂，一般选择为纯净水（或去离子水）。

## 6.3 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 3。

表 3 测量标准及其他设备

序号	测量标准及其他设备名称	测量范围	技术要求
1	微波专用温度数据记录器	$(0 \sim 200)^{\circ}\text{C}$	分辨力：不低于 $0.1^{\circ}\text{C}$ 最大允许误差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
2	数字压力计	$(0 \sim 25)\text{MPa}$	准确度等级 0.2 级
3	移液器	$(0 \sim 10)\text{mL}$	容量允许误差： $\pm 4.0\%$

注：允许使用满足测量不确定度要求的其它测量标准及其他设备进行校准。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

微波消解仪校准项目为温度偏差、温度均匀度、温度波动度和压力示值误差。

### 7.2 校准前外观及功能检查

仪器外观应整洁，不应有刻痕和脱漆，主机箱体、连接线、玻璃部件等应无划痕或破损，产品铭牌及标志应耐久和清楚。各功能键、开关应能正常调节，通电时指示灯和液晶显示屏能正常显示。消解罐应完好无变形变色。

### 7.3 校准方法

#### 7.3.1 温度参数校准

包含温度偏差、温度均匀度和温度波动度。

##### 7.3.1.1 温度数据记录器放置位置和数量

微波消解仪校准测量点的数量与位置分布，要满足对称、均匀这两个条件。测量点数量不少于 4 个，也可以根据客户需求适当增加测量点数量。其测量点布点示意图：

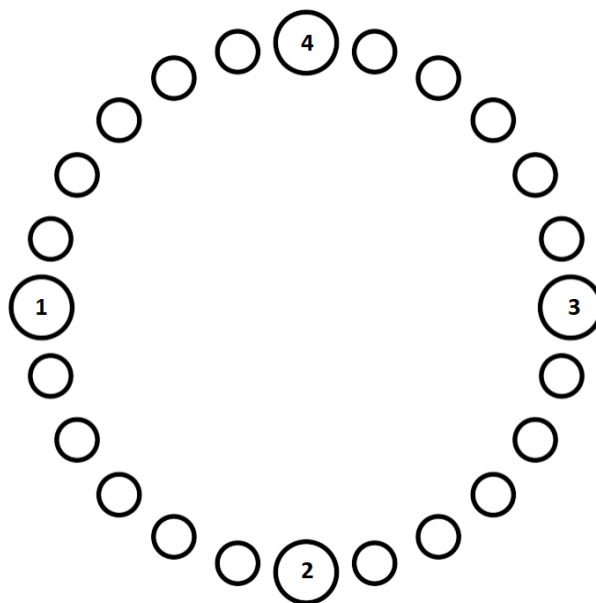


图 2 24 罐微波消解仪布点示意图

##### 7.3.1.2 参数设置

根据客户需求选择微波消解仪的校准温度点，每个校准温度点设定温度持续时间不低于 10min。

在消解程序开始前，设置温度数据记录器的数据记录开始的时间和结束的时间以及记录间隔等运行的必要参数，通常记录间隔设置不超过 10s，数据记录时间大于微波消解仪运行时间。

### 7.3.1.3 校准过程

在微波消解开始前，应将消解罐按照实验室的要求进行清洗和处理。根据消解罐的大小，用移液器加入适量的试验试剂，加入的试剂量应保证数据记录器的测温部分完全浸没于试剂中，最大不超过消解罐容量的 1/3。有主控罐的微波消解仪，主控罐中也要加入同等量的试验试剂。设定微波消解仪控制程序，开启运行。

取微波消解仪进入设定温度 3min 后的时间点作为稳定状态，所记录的温度数据作为校准数据，共记录 30 组数据。也可以根据用户校准需求确定时间间隔和数据记录次数，在原始记录 and 校准证书中加以说明。

温度偏差、温度均匀度和温度波动度分别按数据处理中的公式 (1)、(2)、(3) 和 (4) 计算。

### 7.3.2 压力参数校准

对于有压力参数要求的微波消解仪，应该进行压力参数的校准。

将微波消解仪的压力测量系统的压力传感器通过液压装置与数字压力计连接，根据微波消解仪的压力范围，在 5.2 压力技术要求表 2 中选择压力点（可根据客户要求选择压力点）。向压力测量系统和数字压力计同时施加压力到规定的压力点并达到平衡，记录数字压力计的压力值，每个压力点重复测量 3 次，取压力的平均值。压力参数的示值误差按数据处理中的公式 (5) 计算。

## 7.4 数据处理

### 7.4.1 温度参数数据处理

#### 7.4.1.1 温度偏差

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (1)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (2)$$

式中：

$\Delta t_{\max}$ —温度上偏差，℃；

$\Delta t_{\min}$ —温度下偏差，℃；

$t_{\max}$ —各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

$t_{\min}$ —各测量点规定时间内测量的最低温度，℃；

$t_s$ —设备设定温度, °C;

#### 7.4.1.2 温度均匀度

微波消解仪在稳定状态下,各测量点在设定的时间内每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值。

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n (t_{i \max} - t_{i \min}) / n \quad (3)$$

式中:

$\Delta t_u$ —温度均匀度, °C;

$t_{i \max}$ —各测量点在第  $i$  次测的最高温度, °C;

$t_{i \min}$ —各测量点在第  $i$  次测的最低温度, °C。

$n$ —测量次数;

#### 7.4.1.3 温度波动度

微波消解仪在稳定状态下,各测量点在设定的时间内实测最高温度与最低温度之差的一半,冠以“±”号,取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果。

$$\Delta t_f = \pm \max \left[ \frac{(t_{j \max} - t_{j \min})}{2} \right] \quad (4)$$

式中:

$\Delta t_f$ —温度波动度, °C;

$t_{j \max}$ —测量点  $j$  在  $n$  次测量中的最高温度, °C;

$t_{j \min}$ —测量点  $j$  在  $n$  次测量中的最低温度, °C。

#### 7.4.2 压力示值误差

$$\Delta P = \bar{P} - \bar{P}_s \quad (5)$$

式中:

$\Delta P$ —压力示值误差, MPa;

$\bar{P}$ —设备显示的压力示值的平均值, MPa;

$\bar{P}_s$ —数字压力计的示值的平均值, MPa;

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反应。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- c) 校准地点（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) 被校准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，应说明被校准对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校准样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识、包括名称及代号；
- j) 本次校准所用的测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- o) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明；

## 9 复校时间间隔

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。建议复校时间间隔不超过 12 个月。

## 附录 A

## 微波消解仪校准原始记录参考格式

委托单位							记录编号					
设备	名称						型号规格					
	制造厂						出厂编号					
	消解罐数量						测量点数量					
标准器	名称	证书编号			有效期至		准确度等级/最大允许误差/扩展不确定度			溯源单位		
校准技术依据												
校准地点					校准环境		温度: °C; 相对湿度: %;					
温度设定值/°C		试验试剂					试剂量					
测量次数	实测温度值/°C						每次测量最大值/°C	每次测量最小值/°C	第 i 次温度最大值与温度最小值之差/°C			
	1	2	3	4	5	.....						
1												
2												
.....												
29												
30												
平均值												
每个温度点最大值/°C												
每个温度点最小值/°C												
测量点温度波动度/°C												
温度偏差/°C			上偏差/°C			下偏差/°C						
温度均匀度/°C						温度波动度/°C						
温度偏差校准结果不确定度 $U/^\circ\text{C}$ , ( $k=2$ )												
压力示值 (MPa)	压力点		标准器显示值			标准器显示平均值	仪器显示值			仪器显示平均值	压力示值误差	
压力示值误差校准结果不确定度 $U/\text{MPa}$ , ( $k=2$ )												

校准员:

核验员:

校准时间:



## 附录 B

## 微波消解仪校准证书内页参考格式

1. 校准试剂:
2. 校准结果:

校准参数		结果
温度 (°C)	设定值	
	上偏差	
	下偏差	
	均匀度	
	波动度	
	温度偏差校准结果不确定度 ( $k=2$ )	
压力示值 误差 (MPa)	压力点	结果
	1	
	2	
	3	
	4	
	压力示值误差校准结果不确定度 ( $k=2$ )	

## 附录 C

## 微波消解仪温度偏差测量不确定度评定示例

## C.1 概述:

C.1.1 被校对象: 微波消解仪, 温度设定分辨力为  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 微波消解仪设定的温度校准点为  $160.0^{\circ}\text{C}$ 。

C.1.2 测量环境: 温度:  $20^{\circ}\text{C}$ ; 湿度:  $51\%RH$ 。

C.1.3 测量标准: 无线微波消解仪温度校准装置的温度数据记录器, 测温范围: ( $0\sim 200$ )  $^{\circ}\text{C}$ , 分辨力为  $0.001^{\circ}\text{C}$ ; 温度数据记录器的最大允许误差:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

C.1.4 测量方法: 按照本规范对温度偏差的校准要求, 温度数据记录器按规范规定的要求布置 (实际工作中也可根据客户需求), 这里布置 4 个温度测量点, 微波消解仪的设定温度为  $160.0^{\circ}\text{C}$ 。当温度到达  $160.0^{\circ}\text{C}$  的 3min 后, 每个温度数据记录器每隔 5s 记录温度数据, 共记录 30 组数据。

计算各温度测量点在规定时间内测量的最高温度与设定温度的差值, 即为温度上偏差; 各温度测量点在规定时间内测量的最低温度与设定温度的差值, 即为温度下偏差。

## C.2 测量模型

温度上偏差公式

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{C.1})$$

式中:  $\Delta t_{\max}$  — 微波消解仪的温度上偏差,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\max}$  — 各测量点规定时间内测量的最高温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_s$  — 微波消解仪的设定温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

## C.3 标准不确定度来源

- (1) 被校对象测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ;
- (2) 标准器量值溯源引入的标准不确定度  $u_2$ ;

由于上偏差与下偏差不确定来源和数据相同, 因此本文仅以温度上偏差为例进行不确定度评定。

## C.4 标准不确定度的评定

C.4.1 被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

对微波消解仪作 10 次独立重复测量, 记录每次测量的温度值, 分别为  $157.301^{\circ}\text{C}$ 、 $157.310^{\circ}\text{C}$ 、 $157.432^{\circ}\text{C}$ 、 $157.351^{\circ}\text{C}$ 、 $157.173^{\circ}\text{C}$ 、 $157.210^{\circ}\text{C}$ 、 $157.241^{\circ}\text{C}$ 、 $157.142^{\circ}\text{C}$ 、 $157.100^{\circ}\text{C}$ 、

157.201℃。

采用贝塞尔公式分别计算单次的实验标准差：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.10^\circ\text{C}; \quad (\text{C.2})$$

在微波消解仪的校准工作中，每次都是取最大偏差，所以 $u_1=0.10^\circ\text{C}$ ；

#### C.4.2 标准器量值溯源引入的标准不确定度分量 $u_2$

温度数据记录器的最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，其半宽为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，在区间内认为服从均匀分布，则标准器量值溯源引入的不确定度分量：

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29^\circ\text{C} \quad (\text{C.3})$$

#### C.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 C.1 所示：

**表 C.1 温度上偏差校准标准不确定度分量汇总表**

单位：℃

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u_1$	被校对象测量重复性	0.10
$u_2$	标准器量值溯源	0.29

#### C.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.31^\circ\text{C} \quad (\text{C.4})$$

#### C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ 则温度偏差的扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 0.62^\circ\text{C} \quad (\text{C.5})$$

## 附录 D

## 微波消解仪压力示值误差测量不确定度评定示例

## D.1 概述:

D.1.1 被校对象: 微波消解仪, 压力示值分辨力为 0.1MPa, 压力校准点为 4.5MPa。

D.1.2 测量环境: 温度: 20℃; 湿度: 51%RH。

D.1.3 测量标准: 数字压力计, 测温范围: (0~10) MPa, 分辨力为 0.01MPa; 准确度等级为 0.2 级。

D.1.4 测量方法: 将微波消解仪的压力测量系统的压力传感器通过液压装置与数字压力计连接, 根据微波消解仪的压力范围, 确定压力校准点, 一般选择最大的压力校准点。向压力测量系统和数字压力计同时施加压力到规定的压力点并达到平衡, 记录数字压力计压力示值。微波消解仪显示的压力示值的平均值与数字压力计示值的平均值为压力示值误差。

## D.2 测量模型

压力示值误差公式

$$\Delta P = \bar{P} - \bar{P}_s \quad (\text{D.1})$$

式中:  $\Delta P$ —压力示值误差, MPa;

$\bar{P}$ —设备显示的压力示值的平均值, MPa;

$\bar{P}_s$ —数字压力计的示值的平均值, MPa;

## D.3 标准不确定度来源

- (1) 被校对象测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ;
- (2) 被校对象分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ;
- (3) 标准器准确度等级引入的标准不确定度  $u_3$ ;

## D.4 标准不确定度的评定

D.4.1 被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

对微波消解仪的压力测量系统施加压力, 作 10 次独立重复测量, 记录每次测量的压力值, 分别为 4.57MPa、4.54MPa、4.56MPa、4.56MPa、4.57MPa、4.55MPa、4.56MPa、4.54MPa、4.56MPa、4.57MPa。

采用贝塞尔公式分别计算单次的实验标准差:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.011\text{MPa} \quad (\text{D.2})$$

在微波消解仪的压力校准工作中，微波消解仪的压力示值是取三次的平均值，所以

$$u_1 = \frac{0.011}{\sqrt{3}} = 0.006\text{MPa};$$

#### D.4.2 被校对象分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

被校对象微波消解仪的压力示值分辨力为 0.1MPa，区间半宽为 0.05MPa，服从均匀分布，则：

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{MPa} \quad (\text{D.3})$$

#### D.4.3 标准器准确度等级引入的标准不确定度分量 $u_3$

数字压力计的准确度等级为 0.2 级，数字压力计的允许误差为 ± (10×0.2%) = 0.02MPa，半宽为 0.02MPa，在该区间内服从均匀分布。取  $k=\sqrt{3}$ ，则标准器准确度等级引入的不确定度分量：

$$u_3 = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012\text{MPa} \quad (\text{D.4})$$

#### D.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 D.1 所示：

**表 D.1 压力示值误差校准标准不确定度分量汇总表**

单位：MPa

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u_1$	被校对象测量重复性	0.006
$u_2$	被校对象分辨力	0.029
$u_3$	标准器准确度等级	0.012

考虑到被校对象测量的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定时将二者中较小的值舍去。

#### D.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = 0.032\text{MPa} \quad (\text{D.5})$$

#### D.7 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$  则压力示值误差的扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 0.07\text{MPa} \quad (\text{D.6})$$

---

沪苏浙皖地方校准规范

微波消解仪校准规范

JJF(沪苏浙皖)4011-2023