



中华人民共和国工业和信息化部  
建材计量技术规范

JJF(建材) 265—202X

土壤渗透仪校准规范

Calibration Specification for Soil Permeability Meters

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



# 土壤渗透仪 校准规范

JJF(建材)265—202X

Calibration Specification for Soil Permeability

Meters

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司

参与起草单位：中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释



**本规范主要起草人：**

王 彬 [中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司]

吕晓芳 [中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司]

**参加起草人：**

梁抗抗 [中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司]

张志红 [中国建材检验认证集团（山东）计量检测有限公司]



# 目 录

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 引 言                           | (II) |
| 1 范围                          | (1)  |
| 2 引用文献                        | (1)  |
| 3 概述                          | (1)  |
| 4 计量特性                        | (2)  |
| 4.1 常水头渗透仪                    | (2)  |
| 4.2 变水头渗透仪                    | (2)  |
| 5 校准条件                        | (3)  |
| 5.1 环境要求                      | (3)  |
| 5.2 校准用标准器具及其他设备              | (3)  |
| 6 校准项目和校准方法                   | (3)  |
| 6.1 校准前检查                     | (3)  |
| 6.2 测压管示值误差                   | (4)  |
| 6.3 盛水器示值误差                   | (4)  |
| 6.4 秒表示值误差                    | (4)  |
| 7 校准结果表达                      | (4)  |
| 8 复校时间间隔                      | (5)  |
| 附录 A 适用温度下纯水密度对照表             | (6)  |
| 附录 B 土壤渗透仪校准原始记录参考格式          | (7)  |
| 附录 C 土壤渗透仪校准证书内页参考格式          | (8)  |
| 附录 D 土壤渗透仪测压管示值误差测量结果不确定度评定示例 | (9)  |
| 附录 E 土壤渗透仪盛水器示值误差测量结果不确定度评定示例 | (9)  |

## 引 言

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参考了 GB/T 9357-2008 《土工试验仪器 渗透仪》和 JTG 3430-2020《公路土工试验规程》的术语和试验方法等内容。

本规范为首次发布。

# 土壤渗透仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于土壤渗透仪（包括常水头渗透仪和变水头渗透仪）的校准。

## 2 引用文献

本规范引用了下列文件：

JJF 2195 秒表校准规范

GB/T 9357-2008 土工试验仪器 渗透仪

JTG 3430-2020 公路土工试验规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；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 概述

土壤渗透仪（以下简称渗透仪）是进行土壤渗透试验的专用仪器，按结构型式不同可分为常水头渗透仪和变水头渗透仪。

常水头渗透仪主要由土样筒（金属孔板、滤网）、测压板（刻度板、测压管）、量筒、秒表等部分组成。试验时，通过测量测压管的水位差，以及一定时间的渗透水量来计算渗透系数。

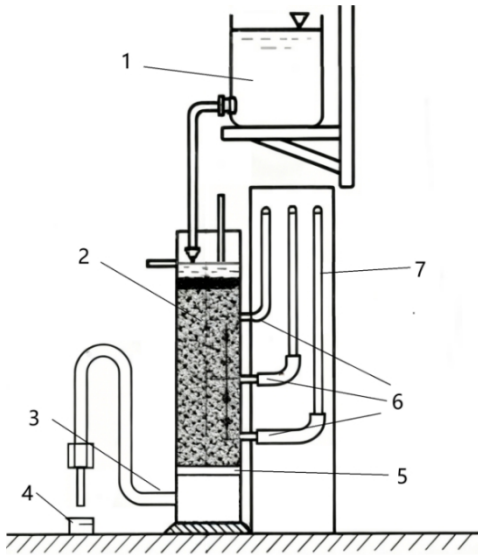


图 1 常水头渗透仪

- 1——供水桶；
- 2——土样筒；
- 3——渗水孔；
- 4——盛水器；
- 5——金属孔板
- 6——测压孔；
- 7——测压管

变水头渗透仪由土样容器（上下盖、密封圈、环刀、透水板）、供水瓶、测压管、秒表等组成，通过测量测压管内的起始和终止的水头高度与测读时间来计算渗透系数。

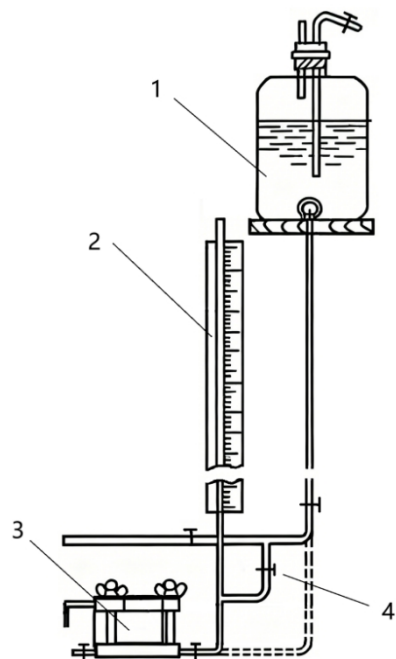


图 2 变水头渗透仪

1——供水瓶；                      2——测压管；                      3——土样容器；                      4——进水管夹

4 计量特性

4.1 常水头渗透仪

常水头渗透仪计量特性见表 1

表 1 常水头渗透仪计量特性

| 项目                                | 计量特性     |
|-----------------------------------|----------|
| 测压管示值误差                           | ±2mm     |
| 盛水器示值误差                           | ±5mL     |
| 秒表示值误差                            | ±0.10s/h |
| 注                                 |          |
| 1 对计量特性另有要求的渗透仪，按有关技术文件规定的要求进行校准。 |          |
| 2 以上指标要求不用于合格性判定，仅供参考。            |          |

4.2 变水头渗透仪

变水头渗透仪计量特性见表 2

表 2 变水头渗透仪计量特性

| 项目                                | 计量特性     |
|-----------------------------------|----------|
| 测压管示值误差                           | ±2mm     |
| 秒表示值误差                            | ±0.10s/h |
| 注：                                |          |
| 1 对计量特性另有要求的渗透仪，按有关技术文件规定的要求进行校准。 |          |
| 2 以上指标要求不用于合格性判定，仅供参考。            |          |

## 5 校准条件

### 5.1 环境要求

校准温度范围应为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，室温变化不大于 $1^{\circ}\text{C/h}$ ，相对湿度不大于80%。

### 5.2 校准用标准器具及其他设备

校准用标准器具及其他设备见表3

表3 校准用标准器具及其他设备

| 序号 | 名称      | 技术要求                                                                                      | 用途      |
|----|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1  | 卡尺      | $(0\sim 200)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.03\text{mm}$                                          | 校准前检查   |
|    | 钢直尺     | $(0\sim 500)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.15\text{mm}$                                          |         |
|    | 内径千分尺   | $(50\sim 75)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.005\text{mm}$                                         |         |
|    | 壁厚千分尺   | $(0\sim 25)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.004\text{mm}$                                          |         |
|    | 外径千分尺   | $(0\sim 25)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.004\text{mm}$                                          |         |
| 2  | 钢直尺     | $(0\sim 2000)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.35\text{mm}$                                         | 测压管示值误差 |
|    | 钢直尺     | $(0\sim 500)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.15\text{mm}$                                          |         |
|    | 放大镜     | /                                                                                         |         |
| 3  | 电子天平    | $(0\sim 2000)\text{g}$ ，分辨力 $0.01\text{g}$                                                | 盛水器示值误差 |
|    | 数字温度计   | $(10\sim 30)^{\circ}\text{C}$ ，MPE： $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，分辨力 $0.01^{\circ}\text{C}$ |         |
| 4  | 时间检定仪   | $1\text{s}\sim 1\text{d}$ ，MPE： $\pm (1\times 10^{-7}+3\text{ms})$                        | 秒表示值误差  |
|    | 瞬时日差测量仪 | $(-9.99\sim 9.99)\text{s}$ ，MPE： $\pm 0.05\text{s}$                                       |         |

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准前检查

6.1.1 校准前应先检查设备外观结构，确认无影响正常使用的缺陷后再进行校准。

6.1.2 测压管示值刻线应清晰均匀且平直，不应有污损、倾斜。

6.1.3 校准前应清洗盛水器，器壁上不应有挂水等沾污现象，使液面与器壁接触处形成正常弯月面。将电子天平、温度计、纯水、清洗后的盛水器放置在校准环境下恒温，纯水水温与室温相差不超过 $2^{\circ}\text{C}$ 。

### 6.1.4 结构尺寸

#### 6.1.4.1 常水头渗透仪

渗透仪的圆筒内径使用卡尺测量，应符合 $\Phi 100_0^{+0.22}\text{mm}$ ；圆筒高度使用钢直尺测量，应符合 $(400\pm 4)\text{mm}$ ；测压孔中心距使用卡尺测量，测量时先测量两个测压孔内壁的最近尺寸和最远尺寸，计算测压孔中心距，应符合 $\Phi 100_0^{+0.44}\text{mm}$ 。

### 6.1.4.2 变水头渗透仪

渗透仪的环刀内径使用内径千分尺测量，应符合 $\Phi(61.8 \pm 0.06)$  mm；环刀高度使用卡尺测量，应符合 $(40 \pm 0.08)$  mm；圆筒内径使用卡尺测量，应符合 $\Phi(100 \pm 0.5)$  mm。测量渗透仪的变水头管的内径时，先使用外径千分尺测量管外径，再使用壁厚千分尺测量管壁厚，计算变水头管的内径，应 $\leq 10$  mm。

### 6.2 测压管示值误差

常水头渗透仪校准点选择 100mm、200mm、250mm，变水头渗透仪校准点选择 500mm、1000mm、1500mm，也可根据客户要求选取。使用钢直尺比对测量，将测压管起点刻线中线与钢直尺起点对齐，读取测压管校准点相应刻线中线对应的钢直尺实测值。读数时，视线应与刻线平面保持垂直，必要时使用放大镜。按公式（1）计算示值误差

$$\Delta H = H_s - H$$

式中：

$\Delta H$  ——测压管示值误差，mm；

$H_s$  ——测压管标称值，mm；

$H$  ——钢直尺实测值，mm。

### 6.3 盛水器示值误差

校准点选择 100mL、500mL、1000mL，也可根据客户要求选取。

使用电子天平称量空盛水器，示值稳定后去皮，用数字温度计测量纯水的温度。向盛水器中加水至校准点，液面弯月面的最低点应与校准点相应的分度线上边缘的水平面相切，观察时，视线应与分度线在同一水平面上。称量此时盛水器的质量  $m$ ，按公式（2）计算示值误差

$$\Delta V = V - \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

式中：

$\Delta V$  ——盛水器示值误差，mL；

$V$  ——盛水器示值标称值，mL；

$m$  ——加纯水至校准点后的盛水器质量，g；

$\rho$  ——纯水的密度，根据水温由附录 A 查表得，g/mL；

### 6.4 秒表按照 JJF 2195《秒表校准规范》进行校准。

## 7 校准结果表达

经校准的土壤渗透仪发给校准证书。证书中至少应包括以下信息：

- 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) 委托单位名称和地址；
- f) 设备的名称、制造商、型号规格、编号；
- g) 进行校准的日期；
- 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期说明；
- 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) 校准证书或校准报告签发人签名或等效标识；
- m) 校准人和核验人签名；
- n) 校准结果仅对该被校对象有效的声明；
- o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书。

## 8 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 1 年。

## 附录 A

## 适用温度下纯水密度对照表

适用温度下纯水的密度取值见表A.1

表 A. 1 适用温度下纯水密度对照表 (g/mL)

| T/<br>℃ | 0.0      | 0.1      | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      | 0.8      | 0.9      |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 15      | 0.999099 | 0.999084 | 0.999069 | 0.999053 | 0.999038 | 0.999022 | 0.999006 | 0.998991 | 0.998975 | 0.998959 |
| 16      | 0.998943 | 0.998926 | 0.998910 | 0.998893 | 0.998876 | 0.998860 | 0.998843 | 0.998826 | 0.998809 | 0.998792 |
| 17      | 0.998774 | 0.998757 | 0.998739 | 0.998722 | 0.998704 | 0.998686 | 0.998668 | 0.998650 | 0.998632 | 0.998613 |
| 18      | 0.998595 | 0.998576 | 0.998557 | 0.998539 | 0.998520 | 0.998501 | 0.998482 | 0.998463 | 0.998443 | 0.998424 |
| 19      | 0.998404 | 0.998385 | 0.998365 | 0.998345 | 0.998325 | 0.998305 | 0.998285 | 0.998265 | 0.998244 | 0.998224 |
| 20      | 0.998203 | 0.998182 | 0.998162 | 0.998141 | 0.998120 | 0.998099 | 0.998077 | 0.998056 | 0.998035 | 0.998013 |
| 21      | 0.997991 | 0.997970 | 0.997948 | 0.997926 | 0.997904 | 0.997882 | 0.997859 | 0.997837 | 0.997815 | 0.997792 |
| 22      | 0.997769 | 0.997747 | 0.997724 | 0.997701 | 0.997678 | 0.997655 | 0.997631 | 0.997608 | 0.997584 | 0.997561 |
| 23      | 0.997537 | 0.997513 | 0.997490 | 0.997466 | 0.997442 | 0.997417 | 0.997393 | 0.997369 | 0.997344 | 0.997320 |
| 24      | 0.997295 | 0.997270 | 0.997246 | 0.997221 | 0.997195 | 0.997170 | 0.997145 | 0.997120 | 0.997094 | 0.997069 |
| 25      | 0.997043 | 0.997018 | 0.996992 | 0.996966 | 0.996940 | 0.996914 | 0.996888 | 0.996861 | 0.996835 | 0.996809 |

## 附录B

## 土壤渗透仪校准原始记录参考格式

第 页 共 页

|            |      |                             |       |      |        |
|------------|------|-----------------------------|-------|------|--------|
| 记录编号       |      |                             | 委托者地址 |      |        |
| 委托者        |      |                             | 接收日期  |      |        |
| 仪器名称       |      |                             | 规格型号  |      |        |
| 仪器编号       |      |                             | 制造单位  |      |        |
| 校准日期       |      |                             | 校准地点  |      |        |
| 校准依据       |      |                             |       |      |        |
| 校准环境条件     | 温度:  |                             | 相对湿度: |      |        |
| 本次校准使用的设备: |      |                             |       |      |        |
| 仪器名称       | 测量范围 | 测量不确定度/<br>准确度等级/最<br>大允许误差 | 证书号   | 有效期至 | 溯源机构名称 |
|            |      |                             |       |      |        |
|            |      |                             |       |      |        |
|            |      |                             |       |      |        |
|            |      |                             |       |      |        |
|            |      |                             |       |      |        |

校准前检查:

测压管示值误差(mm):

| 标称值 | 技术要求 | 实测值 | 示值误差 | 扩展不确定度 $U$ |
|-----|------|-----|------|------------|
|     |      |     |      |            |
|     |      |     |      |            |
|     |      |     |      |            |

盛水器示值误差:

| 标称值<br>(mL) | 技术要求<br>(mL) | 水温<br>(°C) | 实测质量<br>(g) | 密度<br>(g/mL) | 示值误差<br>(mL) | 扩展不确定度 $U$<br>(mL) |
|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
|             |              |            |             |              |              |                    |
|             |              |            |             |              |              |                    |
|             |              |            |             |              |              |                    |

秒表示值误差(s):

| 标称值 | 技术要求 | 实测值 | 示值误差 | 扩展不确定度 $U$ |
|-----|------|-----|------|------------|
|     |      |     |      |            |
|     |      |     |      |            |
|     |      |     |      |            |

校准员:

核验员:

## 附录C

## 土壤渗透仪校准证书内页参考格式

## 校准结果

| 项目          | 技术要求 | 校准结果 | 扩展不确定度 $U$ |
|-------------|------|------|------------|
| 测压管示值误差(mm) |      |      |            |
|             |      |      |            |
|             |      |      |            |
| 盛水器(mL)     |      |      |            |
|             |      |      |            |
|             |      |      |            |
| 秒表(s)       |      |      |            |
|             |      |      |            |
|             |      |      |            |

以下空白

## 附录D

## 土壤渗透仪测压管示值误差测量结果不确定度评定示例

## D.1 测量方法

在温度 19.0℃，相对湿度 44% 的环境条件下，使用 2m 钢直尺，测量型号为 TST-55 型的变水头渗透仪测压管 500mm 校准点的示值误差。其他校准点测量结果的不确定度评定可参考本示例。

## D.2 数学模型

$$\Delta H = H_s - H \quad (D.1)$$

式中：

$\Delta H$  ——测压管示值误差，mm；

$H_s$  ——测压管标称值，mm；

$H$  ——钢直尺实测值，mm。

## D.3 合成标准不确定度计算公式

由公式 (D.1) 可见，测压管示值误差  $\Delta H$  测量结果不确定度的来源主要有：测压管刻线引入的不确定度分量  $u(H_s)$ ，钢直尺测量引入的不确定度分量  $u(H)$ ；

因输入量  $t$  与  $\bar{t}$  之间互不相关，所以合成标准不确定度的计算公式为：

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{c_1^2 u^2(H_s) + c_2^2 u^2(H)}$$

式中：

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta H)}{\partial H_s} = 1; c_2 = \frac{\partial(\Delta H)}{\partial H} = -1。$$

故合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{u^2(H_s) + u^2(H)} \quad (D.2)$$

## D.4 不确定度评定

D.4.1 测压管刻线引入的不确定度  $u(H_s)$ 

测压管的刻线宽度约为 0.1mm，区间半宽 0.05mm，服从均匀分布，则测压管的刻线引入的不确定度

$$u(H_s) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mm}$$

D.4.2 钢直尺测量引入的不确定度 $u(H)$ D.4.2.1 钢直尺测量重复性引入的不确定度 $u(H_1)$ 

在重复条件下，测量10次得到测量数据如表D.1所示

表 D.1 单次测量值

| 次数      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 结果 (mm) | 500.2 | 500.2 | 500.2 | 500.2 | 500.3 | 500.2 | 500.2 | 500.2 | 500.3 | 500.2 |

按贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差，则钢直尺测量重复性引入的不确定度

$$u(H_1) = s = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{n - 1}} = 0.043\text{mm}$$

D.4.2.2 钢直尺分辨力引入的不确定度 $u(H_2)$ 

钢直尺分度值为1mm，分辨力按0.5mm计，区间半宽 $a=0.25\text{mm}$ ，按均匀分布，则钢直尺分辨力引入的不确定度

$$u(H_2) = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = 0.144\text{mm}$$

因 $u(H_2) > u(H_1)$ ，故 $u(H_1)$ 舍去。

D.4.2.3 钢直尺测量误差引入的不确定度 $u(H_3)$ 

钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.35\text{mm}$ ，区间半宽 $a=0.35\text{mm}$ ，按均匀分布，则钢直尺测量误差引入的不确定度

$$u(H_3) = \frac{0.35}{\sqrt{3}} = 0.202\text{mm}$$

则钢直尺测量引入的不确定度 $u(H)$

$$u(H) = \sqrt{0.144^2 + 0.202^2} = 0.248\text{mm}$$

D.4.3 合成标准不确定度 $u_c(\Delta H)$ 

根据公式 (D.2)，合成标准不确定度

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{u^2(H_s) + u^2(H)} = 0.25\text{mm}$$

## D.4.4 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U=ku_c(\Delta H)=0.5\text{mm}$

## 附录E

## 土壤渗透仪盛水器示值误差测量结果不确定度评定示例

## E.1 测量方法

在温度 19.0℃，相对湿度 44% 的环境条件下，使用量程为 2000g，分度值为 0.01g 的电子天平测量型号为 TST-70 的常水头渗透仪盛水器 1000mL 校准点的示值误差。其他校准点测量结果的不确定度评定可参考本示例。

## E.2 数学模型

$$\Delta V = V - \frac{m}{\rho} \quad (\text{E.1})$$

式中：

$\Delta V$  ——盛水器示值误差，mL；

$V$  ——盛水器示值标称值，mL；

$m$  ——加纯水至校准点后的盛水器质量，g；

$\rho$  ——纯水的密度，根据水温由附录 E 查表得，g/mL；

## E.3 合成标准不确定度计算公式

由公式 (E.1) 可见，盛水器示值误差  $\Delta V$  测量结果不确定度的来源主要有：盛水器液面读数引入的不确定度分量  $u(V)$ ，电子天平测量引入的不确定度分量  $u(m)$ ，纯水密度测量引入的不确定度分量  $u(\rho)$ ；

因各输入量之间互不相关，所以合成标准不确定度的计算公式为：

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{c_1^2 u^2(V) + c_2^2 u^2(m) + c_3^2 u^2(\rho)} \quad (\text{E.2})$$

式中：

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial V} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial m} = -\frac{1}{\rho}; \quad c_3 = \frac{\partial(\Delta V)}{\partial \rho} = \frac{m}{\rho^2}。$$

## E.4 不确定度评定

E.4.1 盛水器液面读数引入的不确定度分量  $u(V)$ 

盛水器的分度值为 10mL，按 1/10 估读，区间半宽 0.5mL，服从均匀分布，则盛水器液面读数引入的不确定度

$$u(V) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ mL}$$

E.4.2 电子天平测量引入的不确定度分量  $u(m)$

E.4.2.1 电子天平测量重复性引入的不确定度 $u(m_1)$ 

在重复条件下，测量10次得到测量数据如表E.1所示

表 E. 1 单次测量值

| 次数        | 1       | 2       | 3      | 4       | 5       | 6       | 7       | 8      | 9       | 10      |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| 结果<br>(g) | 1000.59 | 1000.96 | 999.61 | 1001.26 | 1000.41 | 1001.28 | 1000.75 | 999.86 | 1001.40 | 1000.64 |

按贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差，则电子天平测量重复性引入的不确定度

$$u(m_1) = s = \sqrt{\frac{\sum (m_i - \bar{m})^2}{n - 1}} = 0.596\text{g}$$

E.4.2.2 电子天平分辨力引入的不确定度 $u(m_2)$ 

电子天平分辨力为0.01g，区间半宽 $a=0.005\text{g}$ ，按均匀分布，则电子天平分辨力引入的不确定度

$$u(m_2) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{g}$$

因 $u(m_2) < u(m_1)$ ，故 $u(m_2)$ 舍去。

E.4.2.3 电子天平测量误差引入的不确定度 $u(m_3)$ 

电子天平在测量 $g$ 时误差为 $\pm 0.15\text{g}$ ，区间半宽 $a=0.15\text{g}$ ，按均匀分布，则电子天平测量误差引入的不确定度

$$u(m_3) = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.087\text{g}$$

则电子天平测量引入的不确定度 $u(m)$

$$u(m) = \sqrt{0.596^2 + 0.087^2} = 0.603\text{g}$$

E.4.3 纯水密度测量引入的不确定度分量 $u(\rho)$ 

纯水密度测量引入的不确定度主要由温度计测温引入，温度计的最大允许误差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，引入的密度误差在 $\pm 0.000027\text{g/mL}$ 以内，按均匀分布，

$$u(\rho) = \frac{0.000027}{\sqrt{3}} = 0.0000156\text{g/mL}$$

E.4.4 合成标准不确定度 $u_c(\Delta V)$ 

标准不确定度汇总见表E.2

表 E. 2 标准不确定度汇总表

| 序号 | 不确定度来源                    | 不确定度分量 $u_i$  | 灵敏系数 $ c_i $              | 标准不确定度 $ c_i u_i$ |
|----|---------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|
| 1  | 盛水器液面读数引入的不确定度分量 $u(V)$   | 0.289mL       | 1                         | 0.289mL           |
| 2  | 电子天平引入的不确定度 $u(m)$        | 0.603g        | 1.0015mL/g                | 0.604mL           |
| 3  | 纯水密度测量引入的不确定度分量 $u(\rho)$ | 0.0000156g/mL | 1003.52mL <sup>2</sup> /g | 0.016mL           |

合成标准不确定度 (D.2)

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{c_1^2 u^2(V) + c_2^2 u^2(m) + c_3^2 u^2(\rho)} = 0.67\text{mL}$$

#### E.4.4 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U=ku_c(\Delta V)=1.4\text{mL}$