

# 河北省地方计量技术规范

JJF (冀) 189—2021

---

## 自动稀释配标仪校准规范

**Calibration Specification for Automated Dilution and Standard Solution**

**Preparation Instrument**

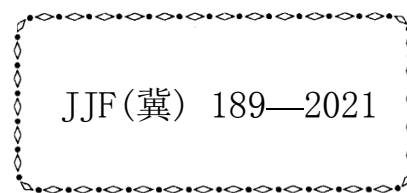
2021-02-04 发布

2021-05-01 实施

---

河北省市场监督管理局 发布

**自动稀释配标仪校准规范**  
**Calibration Specification for Automated Dilution**  
**and Standard Solution Preparation Instrument**



归口单位：河北省市场监督管理局  
主要起草单位：河北省产品质量监督检验研究院  
参加起草单位：河北省计量检测技术中心  
河北中检之星仪器仪表有限公司

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

曹 淼（河北省产品质量监督检验研究院）

杨 雪（河北省计量检测技术中心）

张冰喆（河北省产品质量监督检验研究院）

参加起草人：

牛聪敏（河北省产品质量监督检验研究院）

董 帅（河北省产品质量监督检验研究院）

于 坤（河北省产品质量监督检验研究院）

刘爱新（河北中检之星仪器仪表有限公司）

# 目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 仪器容量相对误差及测量重复性	(2)
5.2 仪器稳定性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准介质	(3)
6.3 校准用仪器设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准前准备	(3)
7.2 仪器容量误差及测量重复性	(3)
7.3 仪器稳定性	(5)
8 校准结果	(5)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 原始校准记录格式	(7)
附录 B 校准证书内页格式	(9)
附录 C $K(t)$ 值表	(10)
附录 D 仪器容量相对误差校准结果不确定度评定示例	(11)

# 引 言

本规范是依据 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》的规定而制定的。

本规范为首次制定。

# 自动稀释配标仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于自动液体样品稀释处理仪器和标准溶液稀释配制仪器的校准。

## 2 引用文件

- JJG 646-2006 移液器
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- ISO 4787 实验室玻璃量器的容量校准和使用方法(Laboratory glassware-Volumetric instruments-Methods for testing of capacity and for use)

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

下列术语和计量单位适用于本规范。

### 3.1 注射泵

用于精确吸取和排出定量液体的泵，装有可更换的注射器。

### 3.2 机械臂

带动进样针移动的机械装置。

### 3.3 进样针

用于吸取和排出溶液的部件。

### 3.4 穿刺针

能够用于穿刺胶垫的进样针。

### 3.5 进液管

液体进入仪器的通道，与注射泵相连接；可分为多个通道，分别进入多种不同液体。

### 3.6 计量单位

自动稀释配标仪的计量单位为  $\mu\text{L}$  或  $\text{mL}$ 。

## 4 概述

自动稀释配标仪(以下简称仪器)是一种通用型智能实验室液体稀释配制系

统，利用注射泵带动注射器准确吸取和排出定量容积的液体的原理，通过软件控制提高自动化程度，精准定量，自动完成智能稀释、定容等液体样品的处理工作。

它通常由电脑控制系统、稀释仪主机台体及其附属设备组成。按其注射器容量及仪器材质可分为有机型和无机型。

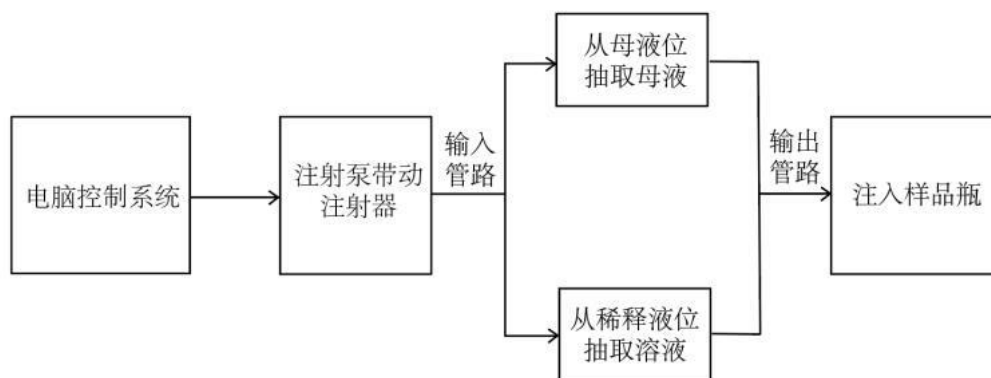


图1 仪器原理结构示意图

## 5 计量特性

### 5.1 仪器容量相对误差及测量重复性

仪器在标准温度 20℃ 时，容量允许误差和测量重复性见表 1。

表 1 仪器容量允许误差和测量重复性

仪器容量/ $\mu\text{L}$	标称容量/ $\mu\text{L}$	校准点/ $\mu\text{L}$	容量允许误差 $\pm$ (%)	测量重复性 $\leq$ (%)
1000	100	10	10.0	4.0
		50	3.0	1.5
		100	2.0	1.0
	1000	500	1.0	0.5
		1000	1.0	0.5
10000	1000	100	2.0	1.5
		500	1.0	0.5
		1000	1.0	0.5
	10000	5000	0.6	0.2
		10000	0.6	0.2

注：以上指标不做判断，仅作参考。

5.2 仪器稳定性：不大于校准点的容量允许误差的 1/2。

注：以上指标不做判断，仅作参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(20±5)℃，且室温变化不得大于 1℃/h；

6.1.2 额定交流电压：(220±22)V；频率：(50±1)Hz；

6.1.3 周围无爆炸性气体和腐蚀性气体；无强烈振动和气流存在。

### 6.2 校准介质

校准介质应符合 GB 6682-2008《分析实验室用水规格和试验方法》要求的去离子水，并提前 24 小时放入实验室内，使其温度与室温温差不得大于 2℃。

### 6.3 测量标准及其他设备

6.3.1 电子天平：测量范围为 (0~220)g，分度值：0.01mg/0.1mg；

6.3.2 温度计：(0~50)℃，分度值：0.1℃。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前准备

仪器外形应完整，各关键部件无裂损。仪器连续运行 10 分钟以上，观察各个连接处应无漏液，进样针无断裂；机械臂定位最大允许误差≤2.0mm，机械臂及各零件无摩擦碰撞的现象。

### 7.2 仪器容量相对误差及测量重复性

采用衡量法对仪器进行校准

#### 7.2.1 校准步骤：

(1) 按表 1，选取相应的校准点，每一校准点准备 6 个空样品瓶，分别放入电子天平中进行称量，待天平显示稳定后，分别记录质量为  $M_{01}$ 、 $M_{02}$ 、 $M_{03}$ 、 $M_{04}$ 、 $M_{05}$ 、 $M_{06}$ 。

(2) 把称量好的空样品瓶依次放到仪器样品盘的指定位置，通过软件设定程序，按照设定程序将去离子水分别注入相应的 6 个样品瓶中。

(3) 将注入去离子水后的样品瓶分别放入电子天平中称量，并记录质量  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$ 、 $M_5$ 、 $M_6$ ，同时测量去离子水的温度。

#### 7.2.2 数据处理

(1) 仪器在标准温度 20℃时的实际容量值。



$$V_{20} = \frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_w - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (1)$$

式中:

$V_{20}$ ——标准温度 20℃时仪器的实际容量值, mL;

$m$ ——仪器排出的去离子水的表观质量( $M_i - M_{0i}$ ), g;

$\rho_B$ ——砝码密度, 取 8.00g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_A$ ——校准时实验室内的空气密度, 取 0.0012 g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_w$ ——去离子水在  $t$ ℃时的密度, g/cm<sup>3</sup>;

$\beta$ ——仪器的体胀系数, 取  $4.5 \times 10^{-4}/\text{℃}$ ;

$t$ ——校准时去离子水的温度, ℃。

为简便计算过程, 也可将式 (1) 简化为下列形式:

$$V_{20} = m K(t) \quad (2)$$

其中: 
$$K(t) = \frac{(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_w - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)]$$

$K(t)$ 值列于附录 C 中, 根据测定值  $m$  和校准时去离子水的温度所对应的  $K(t)$  值, 即可求出被校准仪器在标准温度 20℃时的实际容量值。

(2) 仪器容量相对误差

$$E = \frac{V - \bar{V}}{\bar{V}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$E$ ——仪器容量相对误差

$V$ ——仪器容量设定值,  $\mu\text{L}$ ;

$\bar{V}$ ——6 次测量的算数平均值,  $\mu\text{L}$ ;

$K(t)$ ——数值见附录 C。

(3) 仪器测量重复性

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$S = \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{V}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$S$ ——仪器测量重复性

$\sigma_{n-1}$ ——标准偏差

$n$ ——校准次数

### 7.3 仪器稳定性

#### 7.3.1 校准步骤

(1) 将空样品瓶放满样品盘, 并对样品盘中所有位置依序编号, 称取样品盘中前 6 个样品位及最后 6 个样品位上的样品瓶, 并记录其质量  $M_{01} \sim M_{012}$ 。

(2) 选取仪器最大标称容量的十分之一作为校准点, 设定程序, 依序分别注入去离子水, 同时测量去离子水的温度。

(3) 将注入去离子水后, 特定位置上事先称重过的样品瓶放入电子天平中称量, 并记录质量  $M_1 \sim M_{12}$ 。

#### 7.3.2 数据处理

仪器稳定性按式 (6) 计算:

$$\delta = \frac{\bar{V}_1 - \bar{V}_2}{\bar{V}_1} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

$\delta$ ——仪器稳定性, %;

$\bar{V}_1$ ——仪器前 6 个样品位上的样品瓶所注入的去离子水容量的算数平均值,  $\mu\text{L}$ ;

$\bar{V}_2$ ——仪器最后 6 个样品位上的样品瓶所注入的去离子水容量的算数平均值,  $\mu\text{L}$ ;

## 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) 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收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校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；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 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自动稀释配标仪的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定，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，建议不超过 1 年。如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

## 附录 A

## 原始校准记录格式

校准日期\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日 原始记录号\_\_\_\_\_

客户名称		型号规格	
客户地址		出厂编号	
制造厂		温度	℃
校准员		核验员	
技术依据		主要测量标准	
校准证书号			

A1、校准前准备：\_\_\_\_\_；进样针规格\_\_\_\_\_  $\mu\text{L}$ ；

## A2、仪器容量相对误差及测量重复性

序号	校准点/ $\mu\text{L}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	空瓶质量 $M_0/\text{g}$	瓶+水质 量 $M_i/\text{g}$	去离子水 质量/ $\text{g}$	$K(t)$ 值	$V_{20}$ 时实际 容量/ $\mu\text{L}$	校准结果	
1								$\bar{V}=\$	
2									
3									$E=\$
4									
5									
6									$S=\$
7								$\bar{V}=\$	
8									
9									$E=\$
10									
11									
12									$S=\$
13								$\bar{V}=\$	
14									
15									$E=\$
16									
17									
18									$S=\$

序号	校准点/ $\mu\text{L}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	空瓶质量 $M_{0i}/\text{g}$	瓶+水质 量 $M_i/\text{g}$	去离子水 质量/g	$K(t)$ 值	$V_{20}$ 时实际 容量/ $\mu\text{L}$	校准结果
19								$\bar{V} =$
20								
21								
22							$E =$	
23								
24							$S =$	
25								$\bar{V} =$
26								
27								
28							$E =$	
29								
30							$S =$	

## A3、仪器稳定性

位置	前 6 位						校准结果	备注		
校准点	1	2	3	4	5	6				
$M_{0i}/\text{g}$							$\bar{V}_1 =$			
$M_i/\text{g}$										
去离子水质量/g										
温度/ $^{\circ}\text{C}$										
$K(t)$ 值										
$V_{20}$ 时实际容量/ $\mu\text{L}$										
位置	后 6 位								$\bar{V}_2 =$	
校准点	1	2	3	4	5	6				
$M_{0i}/\text{g}$										
$M_i/\text{g}$										
去离子水质量/g										
温度/ $^{\circ}\text{C}$										
$K(t)$ 值										
$V_{20}$ 时实际容量/ $\mu\text{L}$										

## A4、仪器容量相对误差测量结果的不确定度

## 附录 B

## 校准证书内页格式

B1、校准条件:

B2、校准结果:

仪器容量 /μL	标称容量 /μL	校准点 /μL	仪器容量相 对误差/%	仪器测量测 量重复性/%	仪器稳定性 /%	备注

B3、仪器容量相对误差测量结果的不确定度

## 附录 C

## K(t)值表

 $(\beta=0.00045/^{\circ}\text{C})$ 

水温/ $^{\circ}\text{C}$	K(t)/( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	水温/ $^{\circ}\text{C}$	K(t)/( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	水温/ $^{\circ}\text{C}$	K(t)/( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
15.00	1.004213	18.40	1.003261	21.80	1.002436
15.10	1.004183	18.50	1.003235	21.90	1.002414
15.20	1.004153	18.60	1.003209	22.00	1.002391
15.30	1.004123	18.70	1.003184	22.10	1.002369
15.40	1.004094	18.80	1.003158	22.20	1.002347
15.50	1.004064	18.90	1.003132	22.30	1.002325
15.60	1.004035	19.00	1.003107	22.40	1.002303
15.70	1.004006	19.10	1.003082	22.50	1.002281
15.80	1.003977	19.20	1.003056	22.60	1.002259
15.90	1.003948	19.30	1.003031	22.70	1.002238
16.00	1.003919	19.40	1.003006	22.80	1.002216
16.10	1.003890	19.50	1.002981	22.90	1.002195
16.20	1.003862	19.60	1.002956	23.00	1.002173
16.30	1.003833	19.70	1.002931	23.10	1.002152
16.40	1.003805	19.80	1.002907	23.20	1.002131
16.50	1.003777	19.90	1.002882	23.30	1.002110
16.60	1.003749	20.00	1.002858	23.40	1.002089
16.70	1.003720	20.10	1.002834	23.50	1.002068
16.80	1.003693	20.20	1.002809	23.60	1.002047
16.90	1.003665	20.30	1.002785	23.70	1.002026
17.00	1.003637	20.40	1.002761	23.80	1.002006
17.10	1.003610	20.50	1.002737	23.90	1.001985
17.20	1.003582	20.60	1.002714	24.00	1.001965
17.30	1.003555	20.70	1.002690	24.10	1.001945
17.40	1.003528	20.80	1.002666	24.20	1.001924
17.50	1.003501	20.90	1.002643	24.30	1.001904
17.60	1.003474	21.00	1.002619	24.40	1.001884
17.70	1.003447	21.10	1.002596	24.50	1.001864
17.80	1.003420	21.20	1.002573	24.60	1.001845
17.90	1.003393	21.30	1.002550	24.70	1.001825
18.00	1.003367	21.40	1.002527	24.80	1.001805
18.10	1.003340	21.50	1.002504	24.90	1.001786
18.20	1.003314	21.60	1.002481	25.00	1.001766
18.30	1.003288	21.70	1.002459		

## 附录 D

## 仪器容量相对误差校准结果不确定度评定示例

## D.1 概述

D.1.1 环境条件：温度  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，室温变化不得大于  $1^\circ\text{C/h}$ ，水温与室温之差不大于  $2^\circ\text{C}$ 。选取介质为去离子水，符合 GB 6682-2008《分析实验用水规格和试验方法》要求。

## D.1.2 测量标准

电子天平，测量范围：0.1mg~220g，分度值 0.1mg。

## D.1.3 被测对象

自动稀释配标仪，示例标称容量 1mL。

## D.2 测量过程

通过设定程序，使仪器分配 1mL 去离子水，用天平称出被测样品瓶内去离子水的质量，乘以测量温度下的修正值  $K(t)$ ，即得到  $20^\circ\text{C}$  时的实际容量。重复测量 6 次，其算术平均值即为被测设备  $20^\circ\text{C}$  时的实际容量。

## D.3 数学模型

$$V_{20} = m \cdot K(t) \quad (1)$$

$$K(t) = \frac{(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_w - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (2)$$

式中：

$V_{20}$ ——标准温度  $20^\circ\text{C}$  时的实际容量值，mL；

$m$ ——仪器所排出的去离子水表观质量，g；

$\rho_B$ ——标准砝码密度，取  $8.00\text{g/cm}^3$ ；

$\rho_A$ ——检定时实验室内的空气密度，取  $0.0012\text{g/cm}^3$ ；

$\rho_w$ ——去离子水  $t^\circ\text{C}$  时水的密度， $\text{g/cm}^3$ ；

$\beta$ ——仪器的体胀系数， $4.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ；

$t$ ——校准时蒸馏水的温度， $^\circ\text{C}$ 。



方差

$$[u_c(V)]^2 = u[V]^2 + c_1^2 [u(m)]^2 + c_2^2 [u(\rho_B)]^2 + c_3^2 [u(\rho_A)]^2 + c_4^2 [u(\rho_W)]^2 + c_5^2 [u(\beta)]^2 + c_6^2 [u(t)]^2$$

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial m} = \frac{\rho_B - \rho_A}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} \times [1 - \beta(t - 20)]$$

$$c_2 = \frac{\partial V}{\partial \rho_B} = -\frac{m\rho_A}{\rho_B^2(\rho_W - \rho_A)} \times [1 - \beta(t - 20)]$$

$$c_3 = \frac{\partial V}{\partial \rho_A} = \frac{m(\rho_B - \rho_W)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)^2} \times [1 - \beta(t - 20)]$$

$$c_4 = \frac{\partial V}{\partial \rho_W} = -\frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)^2} \times [1 - \beta(t - 20)]$$

$$c_5 = \frac{\partial V}{\partial \beta} = -\frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} \times (t - 20)$$

$$c_6 = \frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} \times \beta$$

#### D.4 不确定度来源

容量测量的 A 类不确定度:

容量重复测量引起的不确定度分量  $u(a)$ 。

容量测量的 B 类不确定度:

- 1、电子天平的准确度引起的不确定度分量  $u(m)$ 。
- 2、温度计的标准不确定度分量  $u(t)$ ;
- 3、砝码密度的标准不确定度分量  $u(\rho_B)$
- 4、空气密度的标准不确定度分量  $u(\rho_A)$ ;
- 5、水密度的标准不确定度分量  $u(\rho_W)$ ;
- 6、热膨胀系数的标准不确定度分量  $u(\beta)$ 。

#### D.5 标准不确定度的评定

##### D.5.1 标准不确定度 $u(a)$ 的评定

水温 20.20℃, 对仪器 1000μL 点进行 6 次测量, 结果如下: 1004.8μL、1003.0μL、1001.6μL、1002.4μL、1000.9μL、1002.1μL, 用标准不确定度的 A

类评定方法

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = 1002.5 \mu\text{L}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} = 1.347 \mu\text{L}$$

$$u(a) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.426 \mu\text{L}$$

#### D. 5.2 标准不确定度分量 $u(m)$ 的评定

1000 $\mu\text{L}$  仪器采用 0.1mg~220g 电子天平测量, 引起的标准不确定度可根据天平最大允许误差, 用 B 类方法评定。该天平在此称量段的最大允许误差为  $\pm 1.0\text{mg}$ , 均匀分布

$$u(m) = \frac{1.0\text{mg}}{\sqrt{3}} = 0.577\text{mg}$$

#### D. 5.3 标准不确定度分量 $u(t)$ 的评定

温度计测量水温引入的不确定主要来源温度计的测量误差, 检定证书给出的温度计测量误差为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ , 服从均匀分布

$$u(t) = 0.1/\sqrt{3} = 0.06^\circ\text{C}$$

#### D. 5.4 标准不确定度分量 $u(\rho_B)$

砝码密度的误差为  $\pm 0.2\text{mg}/\text{cm}^3$ , 服从均匀分布

$$u(\rho_B) = 0.2/\sqrt{3} = 0.115 \text{ mg}/\text{cm}^3 = 1.2 \times 10^{-4} \text{ g}/\text{cm}^3$$

#### D. 5.5 标准不确定度分量 $u(\rho_A)$

空气密度的测量误差为  $\pm 1.73 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^3$ , 服从均匀分布

$$u(\rho_A) = 1.73 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 1 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^3$$

#### D. 5.6 标准不确定分量 $u(\rho_w)$

水密度采用国际实用温标水密度值, 其测量不确定度为  $5 \times 10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^3$ , 按照均匀分布

$$u(\rho_w) = \frac{5 \times 10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^3}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^3$$

D. 5.7 标准不确定分量  $u(\beta)$ 

仪器体膨胀系数的误差为  $\pm 2.5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布

$$u(\beta) = 2.5 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 1.4 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

## D. 5.8 仪器的标准不确定度

水温在  $20.20^\circ\text{C}$  时，纯水密度值为  $0.9981909\text{g}/\text{cm}^3$ ，称得仪器所排出的水质  
量平均值为  $0.9997\text{g}$

仪器的标准不确定度见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i = \frac{\partial V}{\partial x_i}$	标准不确定度分量 $c_i \times u(x_i) / \text{mL}$
$u(a)$	容量测量重复性	$0.426\mu\text{L}$	1.000	$4.26 \times 10^{-4}$
$u(m)$	天平的准确度	$0.577\text{mg}$	$1.003\text{cm}^3/\text{g}$	$5.79 \times 10^{-4}$
$u(\rho_B)$	砝码密度	$1.2 \times 10^{-4}\text{g}/\text{cm}^3$	$1.89 \times 10^{-5}\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3/\text{g}$	$2.25 \times 10^{-9}$
$u(\rho_A)$	空气密度	$1.0 \times 10^{-7}\text{g}/\text{cm}^3$	$0.8827\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3/\text{g}$	$8.83 \times 10^{-8}$
$u(\rho_w)$	水密度测量	$2.9 \times 10^{-6}\text{g}/\text{cm}^3$	$1.01\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3/\text{g}$	$2.93 \times 10^{-6}$
$u(\beta)$	体膨胀系数	$1.4 \times 10^{-7}^\circ\text{C}^{-1}$	$0.2011\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	$2.82 \times 10^{-6}$
$u(t)$	水温度测量	$0.06^\circ\text{C}$	$4.52 \times 10^{-3}\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	$2.71 \times 10^{-4}$
$u_c(V) = 0.768\mu\text{L}$				

## D. 5.9 扩展不确定度：

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(V) = 2 \times 0.768\mu\text{L} = 1.6\mu\text{L}, \quad k=2$$

$$U_{\text{rel}} = 1.6 / 1002.5 \times 100\% = 0.16\%$$

## D. 6 测量不确定度的报告与表示

$1000\mu\text{L}$  仪器容量相对误差测量结果的相对扩展不确定度为  $U_{\text{rel}}=0.16\%$   $k=2$