



中华人民共和国工业和信息化部  
有色金属计量技术规范

JJF(有色金属) XXXX—XXXX

塑料容量瓶校准规范

Calibration Specification for Plastic Volumetric Flasks

(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

# 塑料容量瓶校准规范

Calibration Specification for  
Plastic Volumetric Flasks

JJF（有色金属）XXXX—XXXX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西安汉唐分析检测有限公司

西南铝业（集团）有限责任公司

国标（北京）检验认证有限公司

新疆湘润新材料科技有限公司

陕西有色榆林新材料集团有限责任公司

陕西亿创钛锆检测有限公司

中国石油集团工程材料研究院有限公司

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

贾梦琳（西安汉唐分析检测有限公司）

齐欢欢（西安汉唐分析检测有限公司）

郑 铨（西安汉唐分析检测有限公司）

刘泽晨（西安汉唐分析检测有限公司）

王晨曦（西安汉唐分析检测有限公司）

张国栋（西南铝业（集团）有限责任公司）

徐 青（国标（北京）检验认证有限公司）

张文梅（国标（北京）检验认证有限公司）

杜桃花（新疆湘润新材料科技有限公司）

席 洋（陕西有色榆林新材料集团有限责任公司）

杨 艳（陕西亿创钛锆检测有限公司）

李小龙（中国石油集团工程材料研究院有限公司）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 通用技术要求.....	(1)
4.1 外观.....	(1)
4.2 密合性.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(2)
7.1 校准项目.....	(2)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达 .....	(4)
9 复校时间间隔 .....	(5)
附录 A 常见塑料容量瓶的体胀系数.....	(6)
附录 B 常见塑料容量瓶的 $K(t)$ 值.....	(7)
附录 C 校准原始记录参考格式.....	(10)
附录 D 校准证书内页参考格式.....	(11)
附录 E 容量误差测量结果不确定度评定示例.....	(12)

# 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》和 JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了JJG 646-2006《移液器》。

本规范为首次发布。

# 塑料容量瓶校准规范

## 1 范围

本规范适用于塑料容量瓶的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 196—2006 常用玻璃量器

JJG 1036—2022 电子天平

GB/T 6682—2008 分析实验室用水规格和试验方法

ISO 4787: 2021 实验室玻璃和塑料器皿 容量仪器 容量测试和使用方法 (Laboratory glass and plastic ware-Volumetric instruments-Methods for testing of capacity and for use)

ISO 5215: 2022 实验室塑料器皿 容量瓶 (Laboratory plastic ware-Volumetric flasks)

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 概述

容量瓶主要用于准确配置一定物质的量浓度的溶液。当瓶内液体体积在所指定温度下达到标线处时，其体积即为所标明的容积数（即标称容量）。容量瓶的材质通常分为玻璃和塑料两类，其中塑料容量瓶常用于环保、医药、食品、化工、生化分析等领域的特殊分析方法，避免溶液受到玻璃材质的干扰。常见的塑料容量瓶材质有聚丙烯（PP）、聚甲基戊烯（PMP）和全氟烷氧基共聚物（PFA）。

## 4 通用技术要求

### 4.1 外观

4.1.1 刻度线应清晰、完整。

4.1.2 塑料容量瓶应具有以下标记：厂名或商标、标准温度（20℃）、塑料容量瓶材质（如PMP、PP或PFA）、标称容量与单位：××mL、容量误差：±××mL。

### 4.2 密合性

当水注入至标线，塞子盖紧后颠倒 10 次。每次颠倒时，在倒置状态下至少停留 10s，不应有水渗出。

## 5 计量特性

在标准温度 20℃时，塑料容量瓶计量特性见表 1，其中 A 级、B 级的容量误差要求应符合 ISO 5215:2022 表 A.1 的规定。

表 1 塑料容量瓶计量特性

mL

标称容量		10	25	50	100	250	500	1000
容量误差	A级	±0.04	±0.08	±0.06	±0.10	±0.15	±0.25	±0.40
	B级	±0.08	±0.08	±0.12	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80
	C级	±0.20	±0.20	±0.30	±0.60	±1.00	±1.60	±2.60

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 室温（20±5）℃，且室温变化应不大于 1℃/h。

6.1.2 校准介质符合 GB/T 6682-2008 第 5 章规定的三级纯水。

### 6.2 测量标准

所需测量标准见表 2。

表 2 测量标准

仪器名称	测量范围	技术要求
电子天平	（0~200）g	分度值：0.1mg，Ⅰ级
电子天平	（0~1000）g	分度值：1mg，Ⅱ级
电子天平	（0~2000）g	分度值：10mg，Ⅱ级
温度计	（10~30）℃	分度值为 0.1℃，最大允许误差±0.2℃

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

容量误差。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前准备

校准用纯水应提前 24h 放入实验室，使其温度与室温温差不大于 2℃，校准前需将容量瓶洗净并干燥，且提前 4h 放入实验室。

#### 7.2.2 容量误差

将洗净并干燥的容量瓶塞上瓶塞放入电子天平，待示值稳定后取下，记录空瓶质量  $m_0$ 。注纯水至被校容量瓶标线处，若产生弯月面，则使弯月面的最低点与标线上边缘的水平面相切，若未产生弯月面，则使得液面与标线上边缘的水平面相切。注入纯水后，瓶内不应有气泡产生，有气泡产生时，应静置直到气泡消失。盖上瓶盖，将装有纯水的容量瓶放入电子天平，称得装载水后的容量瓶质量  $m_1$ ，塑料容量瓶内所容纳纯水的表观质量  $m$  为装载纯水后的容量瓶质量  $m_1$  减去空瓶质量  $m_0$ 。将温度计插入容量瓶中，测得纯水温度  $t$ ，读数精确至  $0.1^\circ\text{C}$ 。

在标准温度  $20^\circ\text{C}$  时的实际容量值计算见公式 (1)：

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

式中：

$V_{20}$ ——标准温度  $20^\circ\text{C}$  时的被校容量瓶的实际容量，mL；

$m$ ——塑料容量瓶内所容纳纯水的表观质量，g；

$\rho_B$ ——是将重量调整到其标称质量时的实际密度，或用于修正质量的参考密度（使用电子天平称量，取  $8.00\text{g/mL}$ ）， $\text{g/mL}$ ；

$\rho_A$ ——测定时实验室内的空气密度，取  $0.0012\text{g/mL}$ ；

$\rho_W$ ——纯水  $t^\circ\text{C}$  时的密度， $\text{g/mL}$ ；

$\beta$ ——塑料容量瓶的体胀系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

$t$ ——测定时纯水的温度， $^\circ\text{C}$ 。

为简便计算过程，也可将公式 (1) 化为公式 (2)：

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

其中， $K(t)$  为常数，表达式见公式 (3)：

$$K(t) = \frac{\rho_B - \rho_A}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (3)$$

常见塑料容量瓶材质聚丙烯 (PP)、聚甲基戊烯 (PMP)、全氟烷氧基共聚物 (PFA) 的体胀系数和  $K(t)$  值分别见附录 A、附录 B，其他材质塑料容量瓶的实际容量可参照公式 (1) 进行计算。根据测定的表观质量  $m$  和测定水温、容量瓶材质所对应的  $K(t)$  值，即可由公式 (2)

求出被校容量瓶在20℃时的实际容量。

容量误差 $\Delta V$ 计算见公式(4)：

$$\Delta V = V_0 - V_{20} \quad (4)$$

式中：

$\Delta V$ ——被校容量瓶的容量误差，mL；

$V_0$ ——被校容量瓶标称容量，mL；

$V_{20}$ ——标准温度20℃时被校容量瓶的实际容量，mL。

## 8 校准结果表达

经校准的塑料容量瓶出具校准证书，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) 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) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期；
- 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声明。

校准原始记录参考格式见附录C，校准证书参考格式见附录D。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为12个月，也可由送校单位根据实际情况自行决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 常见塑料容量瓶的体胀系数

常见塑料容量瓶的体胀系数参照 ISO 4787: 2021 附录 D, 详见表 A.1。

表 A.1 常见塑料容量瓶的体胀系数表

材料	体胀系数/ ( $\times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
聚丙烯 (PP)	240
聚甲基戊烯 (PMP)	360
全氟烷氧基共聚物 (PFA)	390

## 附录 B

常见塑料容量瓶的  $K(t)$  值

聚丙烯（PP）、聚甲基戊烯（PMP）、全氟烷氧基共聚物（PFA）塑料容量瓶的  $K(t)$  值分别见表B.1~B.3。

表B.1 聚丙烯（PP）塑料容量瓶的  $K(t)$  值

水温/（℃）	$K(t)$ /（mL/g）	水温/（℃）	$K(t)$ /（mL/g）	水温/（℃）	$K(t)$ /（mL/g）
15.0	1.003157	18.4	1.002922	21.8	1.002813
15.1	1.003148	18.5	1.002917	21.9	1.002812
15.2	1.003140	18.6	1.002912	22.0	1.002811
15.3	1.003132	18.7	1.002907	22.1	1.002809
15.4	1.003123	18.8	1.002903	22.2	1.002808
15.5	1.003115	18.9	1.002898	22.3	1.002807
15.6	1.003107	19.0	1.002894	22.4	1.002806
15.7	1.003098	19.1	1.002889	22.5	1.002805
15.8	1.003090	19.2	1.002885	22.6	1.002805
15.9	1.003082	19.3	1.002881	22.7	1.002804
16.0	1.003074	19.4	1.002877	22.8	1.002804
16.1	1.003067	19.5	1.002873	22.9	1.002803
16.2	1.003059	19.6	1.002869	23.0	1.002803
16.3	1.003052	19.7	1.002865	23.1	1.002803
16.4	1.003045	19.8	1.002862	23.2	1.002803
16.5	1.003037	19.9	1.002859	23.3	1.002803
16.6	1.003030	20.0	1.002856	23.4	1.002803
16.7	1.003023	20.1	1.002853	23.5	1.002804
16.8	1.003016	20.2	1.002849	23.6	1.002804
16.9	1.003009	20.3	1.002846	23.7	1.002777
17.0	1.003003	20.4	1.002843	23.8	1.002805
17.1	1.002996	20.5	1.002840	23.9	1.002805
17.2	1.002990	20.6	1.002838	24.0	1.002806
17.3	1.002983	20.7	1.002835	24.1	1.002807
17.4	1.002977	20.8	1.002832	24.2	1.002807
17.5	1.002971	20.9	1.00283	24.3	1.002808
17.6	1.002965	21.0	1.002828	24.4	1.002810
17.7	1.002959	21.1	1.002825	24.5	1.002811
17.8	1.002954	21.2	1.002823	24.6	1.002813
17.9	1.002949	21.3	1.002821	24.7	1.002814
18.0	1.002943	21.4	1.002819	24.8	1.002816
18.1	1.002938	21.5	1.002817	24.9	1.002817
18.2	1.002933	21.6	1.002816	25.0	1.002819
18.3	1.002927	21.7	1.002815		

表B.2 聚甲基戊烯 (PMP) 塑料容量瓶的 $K(t)$ 值

水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)	水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)	水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)
15.0	1.003759	18.4	1.003114	21.8	1.002596
15.1	1.003738	18.5	1.003097	21.9	1.002583
15.2	1.003717	18.6	1.003080	22.0	1.002570
15.3	1.003697	18.7	1.003063	22.1	1.002556
15.4	1.003676	18.8	1.003047	22.2	1.002543
15.5	1.003656	18.9	1.003030	22.3	1.002530
15.6	1.003636	19.0	1.003014	22.4	1.002517
15.7	1.003615	19.1	1.002997	22.5	1.002504
15.8	1.003595	19.2	1.002981	22.6	1.002492
15.9	1.003575	19.3	1.002965	22.7	1.002479
16.0	1.003555	19.4	1.002949	22.8	1.002467
16.1	1.003536	19.5	1.002933	22.9	1.002454
16.2	1.003516	19.6	1.002917	23.0	1.002442
16.3	1.003497	19.7	1.002901	23.1	1.002430
16.4	1.003478	19.8	1.002887	23.2	1.002417
16.5	1.003458	19.9	1.002871	23.3	1.002405
16.6	1.003439	20.0	1.002856	23.4	1.002393
16.7	1.003420	20.1	1.002841	23.5	1.002382
16.8	1.003401	20.2	1.002825	23.6	1.002370
16.9	1.003382	20.3	1.002810	23.7	1.002358
17.0	1.003364	20.4	1.002795	23.8	1.002347
17.1	1.003345	20.5	1.002780	23.9	1.002335
17.2	1.003327	20.6	1.002766	24.0	1.002324
17.3	1.003308	20.7	1.002751	24.1	1.002313
17.4	1.003290	20.8	1.002736	24.2	1.002301
17.5	1.003272	20.9	1.002722	24.3	1.002290
17.6	1.003254	21.0	1.002708	24.4	1.002280
17.7	1.003236	21.1	1.002693	24.5	1.002269
17.8	1.003218	21.2	1.002679	24.6	1.002258
17.9	1.003201	21.3	1.002665	24.7	1.002247
18.0	1.003183	21.4	1.002651	24.8	1.002237
18.1	1.003166	21.5	1.002637	24.9	1.002226
18.2	1.003149	21.6	1.002624	25.0	1.002216
18.3	1.003131	21.7	1.002610		

表B.3 全氟烷氧基共聚物(PFA)塑料容量瓶的 $K(t)$ 值

水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)	水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)	水温/ (°C)	$K(t)$ / (mL/g)
15.0	1.003909	18.4	1.003162	21.8	1.002542
15.1	1.003885	18.5	1.003142	21.9	1.002526
15.2	1.003861	18.6	1.003122	22.0	1.002510
15.3	1.003838	18.7	1.003102	22.1	1.002493
15.4	1.003814	18.8	1.003083	22.2	1.002477
15.5	1.003791	18.9	1.003063	22.3	1.002461
15.6	1.003768	19.0	1.003044	22.4	1.002445
15.7	1.003744	19.1	1.003024	22.5	1.002429
15.8	1.003721	19.2	1.003005	22.6	1.002414
15.9	1.003698	19.3	1.002986	22.7	1.002398
16.0	1.003675	19.4	1.002967	22.8	1.002383
16.1	1.003653	19.5	1.002949	22.9	1.002367
16.2	1.003630	19.6	1.002930	23.0	1.002352
16.3	1.003608	19.7	1.002911	23.1	1.002337
16.4	1.003586	19.8	1.002893	23.2	1.002321
16.5	1.003563	19.9	1.002874	23.3	1.002306
16.6	1.003541	20.0	1.002856	23.4	1.002291
16.7	1.003519	20.1	1.002838	23.5	1.002277
16.8	1.003497	20.2	1.002819	23.6	1.002262
16.9	1.003475	20.3	1.002801	23.7	1.002220
17.0	1.003454	20.4	1.002783	23.8	1.002233
17.1	1.003432	20.5	1.002765	23.9	1.002218
17.2	1.003411	20.6	1.002748	24.0	1.002204
17.3	1.003389	20.7	1.002730	24.1	1.002190
17.4	1.003368	20.8	1.002712	24.2	1.002175
17.5	1.003347	20.9	1.002695	24.3	1.002161
17.6	1.003326	21.0	1.002678	24.4	1.002148
17.7	1.003305	21.1	1.002660	24.5	1.002134
17.8	1.003284	21.2	1.002643	24.6	1.002120
17.9	1.003264	21.3	1.002626	24.7	1.002106
18.0	1.003243	21.4	1.002609	24.8	1.002093
18.1	1.003223	21.5	1.002592	24.9	1.002079
18.2	1.003203	21.6	1.002576	25.0	1.002066
18.3	1.003182	21.7	1.002559		

## 附录 C

## 校准原始记录参考格式

原始记录编号				证书编号		
送校单位				校准依据		
被校设备信息						
器具名称				出厂编号		
型号/规格				设备编号		
制造厂家						
校准地点				环境条件	℃	%RH
测量标准信息						
名称	型号	编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	有效期至
1. 外观:						
2. 密合性:						
3. 容量误差:						
标称容量/mL						
容量瓶质量 $m_0$ /g						
容量瓶加水质量 $m_1$ /g						
水的表观质量 $m$ /g						
水温/℃						
$K(t)$ 值/ (mL/g)						
实际容量 $V_{20}$ /mL						
容量误差 $\Delta V$ /mL						
扩展不确定度			$U=$ mL, $k=2$			

## 附录 D

## 校准证书内页参考格式

校准结果			
外观			
密合性			
容量误差	标称值（mL）	校准值（mL）	容量误差（mL）
扩展不确定度		$U=$ mL, $k=2$	

## 附录 E

## 容量误差测量结果不确定度评定示例

## E.1 概述

本次评定以 100mL PMP 容量瓶的容量误差测量结果不确定度评定为例，其他容量的容量瓶可参照此附录作类似评定。

## E.1.1 环境条件

温度为（23.5~24.0）℃；相对湿度为 51%。

## E.1.2 测量标准

电子天平，测量范围：0.1mg~220 g

## E.1.3 测量过程

将洗净并干燥的容量瓶盖上瓶盖放入电子天平，待示值稳定后取下，记录空瓶质量  $m_0$ 。注纯水至被校容量瓶标线处，若存在弯月面，则使弯月面的最低点与标线上边缘的水平面相切，若没有弯月面产生，则使得液面与标线相切。注入纯水后，瓶内不得有气泡产生。盖上瓶盖，放入电子天平，称得装载纯水后的容量瓶质量  $m_1$ ，塑料容量瓶内所容纳纯水的表观质量  $m$  为装载纯水后的容量瓶质量  $m_1$  减去空瓶质量  $m_0$ 。将温度计插入容量瓶中，测得纯水温度  $t$ ，读数精确至 0.1℃。

## E.2 测量模型及不确定度来源分析

## E.2.1 测量模型

容量误差测量模型见公式（E.1）。

$$\Delta V = V_0 - V_{20} \quad (\text{E.1})$$

其中：

$$V_{20} = m \bullet K(t) \quad (\text{E.2})$$

$$K(t) = \frac{\rho_B - \rho_A}{\rho_B(\rho_w - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (\text{E.3})$$

式中：

$V_0$ ——被校容量瓶标称容量，mL；

$V_{20}$ ——标准温度 20℃时的被校容量瓶的实际容量，mL；

$m$ ——塑料容量瓶内所能容纳纯水的表观质量，g；

$K(t)$ ——校准时纯水温度对应的修正值，mL/g；

$\rho_B$ ——是将重量调整到其标称质量时的实际密度，或用于修正质量的参考密度（使用电子天平称量，取 8.00g/mL），g/mL；

$\rho_A$ ——测定时实验室内的空气密度，取 0.0012g/mL；

$\rho_w$ ——纯水  $t$ ℃时的密度，g/mL；

$\beta$ ——塑料容量瓶的体胀系数，℃<sup>-1</sup>；

$t$ ——测定时纯水的温度，℃。

灵敏系数计算如下：

$$c_1 = \frac{\partial V_{20}}{\partial m} = K(t)$$

$$c_2 = \frac{\partial V_{20}}{\partial K(t)} = m$$

## E.2.2 测量结果不确定度的主要来源分析

容量误差测量结果不确定度的主要来源有：

- （1）输入量  $m$  引入的标准不确定度  $u(m)$ ；
- （2）输入量  $K(t)$  引入的标准不确定度  $u(k)$ 。

## E.3 输入量 $m$ 引入的标准不确定度 $u(m)$ 的评定

$u(m)$  引入的不确定度主要有电子天平引入的标准不确定度分量  $u(m_1)$  和测量重复性引入的标准不确定度分量  $u(m_2)$ 。

### E.3.1 电子天平引入的标准不确定度分量 $u(m_1)$

使用测量范围 0.1mg~220 g 的电子天平称量，根据 JJG 1036-2022 中 5.6 可知，该电子天平的最大允许误差为 ±1.0mg，则区间半宽  $a=1.0\text{mg}$ ，假设服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(m_1) = \frac{a}{k} = \frac{1.0}{\sqrt{3}} = 0.58\text{mg}$$

### E.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(m_2)$

电子天平分辨力、水分蒸发等引入的测量不确定度，包含在质量重复性测量中，故不单独评定。

本实验在水温 24.0℃时，用电子天平称量连续 10 次的测量结果为：99.8428g、99.8514g、99.8524g、99.8457g、99.8487g、99.8547g、99.8324g、99.8468g、99.8524g、99.8404g。测量平均值为 99.8478g。根据贝塞尔公式，计算得标准偏差  $s$  为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0068\text{g}$$

实际测量中，实测值取 1 次测量结果的值，取  $n=1$ ，故：

$$u(m_2) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0068}{\sqrt{1}} = 6.8\text{mg}$$

### E.3.3 不确定度 $u(m)$ 的合成

因各输入量互不相关，则：

$$u(m) = \sqrt{u^2(m_1) + u^2(m_2)} = \sqrt{0.58^2 + 6.8^2} = 6.8\text{mg}$$

## E.4 输入量 $K(t)$ 引入的标准不确定度 $u(k)$ 的评定

根据公式 (E.3) 可知， $K(t)$  与空气密度、称量密度、体胀系数、纯水密度有关，其中空气浮力、体胀系数等均在表中已进行修正，因此与  $K(t)$  有关的标准不确定度  $u(k)$  由温度引入。根据温度测量过程可知，主要有温度计最大允许误差引入的不确定度分量  $u(k_1)$ ，被测介质温度不均匀性引入的不确定度分量  $u(k_2)$  以及温度计分辨力引入的不确定度分量  $u(k_3)$ ，均采用 B 类方法进行评定。

### E.4.1 温度计最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(k_1)$

温度计的最大允许误差为  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，则区间半宽  $a=0.2^\circ\text{C}$ ，假设服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(k_1) = \frac{a}{k} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12^\circ\text{C}$$

### E.4.2 被测介质温度不均匀性引入的标准不确定度分量 $u(k_2)$

校准过程中，由于容量瓶内纯水温度不均匀且会随时间缓慢变化，经测量容量瓶内纯水的温场均匀性不超过  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，则区间半宽  $a=0.05^{\circ}\text{C}$ ，假设服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(k_2) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

#### E.4.3 温度计分辨力引入的标准不确定度分量 $u(k_3)$

测温使用的温度计分辨力为  $r=0.1^{\circ}\text{C}$ ，则其区间半宽为  $a=\frac{r}{2}$ ，假设服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{r}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

#### E.4.4 不确定度 $u(k)$ 的合成

因各输入量互不相关，则：

$$u(k) = \sqrt{u^2(k_1) + u^2(k_2) + u^2(k_3)} = \sqrt{0.12^2 + 0.03^2 + 0.03^2} = 0.13^{\circ}\text{C}$$

根据实验室温度条件可知，温度范围在  $(23.5\sim 24)^{\circ}\text{C}$ ，该范围下温度每变化  $0.1^{\circ}\text{C}$ ， $K(t)$  值变化不大于  $0.00002\text{mL/g}$ ，故有：

$$u(k) = 0.13 \times 0.00002 / 0.1 = 0.000026\text{mL/g}$$

#### E.5 测量不确定度汇总

各输入量标准不确定度汇总见表 E.1。

表E.1 各输入量标准不确定度汇总一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$		不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $c_i$
$u(m)$	$u(m_1)$	电子天平	0.58mg	1.00232mL/g
	$u(m_2)$	测量重复性	6.8mg	
$u(k)$	$u(k_1)$	温度计最大允许误差	$0.12^{\circ}\text{C}$	99.8478g
	$u(k_2)$	被测介质温度不均匀性	$0.03^{\circ}\text{C}$	
	$u(k_3)$	温度计分辨力	$0.03^{\circ}\text{C}$	

#### E.6 合成标准不确定度计算

100mL PMP容量瓶容量误差的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(m) + c_2^2 u^2(k)} = \sqrt{(1.00232)^2 \times 0.0068^2 + (99.8478)^2 \times 0.000026^2} = 0.008\text{mL}$$

## E.7 扩展不确定度计算

取包含因子  $k=2$ ，则容量误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.008 = 0.02\text{mL} \quad (k = 2)$$

---