



河北省地方计量技术规范

JJF(冀) 226-2024

塑料量器校准规范

Calibration Specification for Plastic Containers

2024-06-24 发布

2024-09-01 实施

河北省市场监督管理局 发布

塑料量器校准规范

Calibration Specification

for Plastic Containers

JJF（冀）226-2024

归口单位：河北省市场监督管理局

主要起草单位：邯郸市计量测试所

参加起草单位：河北大学化学与材料科学学院

本规范委托邯郸市计量测试所负责解释

本规范主要起草人：

温战龙（邯郸市计量测试所）

马静芳（邯郸市计量测试所）

孔繁森（邯郸市计量测试所）

参加起草人：

陈国锋（河北大学化学与材料科学学院）

宋焕亭（邯郸市计量测试所）

曹现立（邯郸市计量测试所）

刘振华（邯郸市计量测试所）

李振杰（邯郸市计量测试所）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 残留液.....	(1)
4 概述.....	(1)
4.1 塑料量器的分类.....	(1)
4.2 塑料量器的结构.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准前准备工作.....	(4)
7.2 容量示值误差.....	(4)
7.3 流出时间.....	(6)
8 校准结果表达.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 塑料量器容量校准操作步骤.....	(8)
附录 B 衡量法 $k(t)$ 值.....	(9)
附录 C 校准记录参考格式.....	(12)
附录 D 校准证书内页参考格式.....	(13)
附录 E 塑料量器容量测量结果的不确定度评定示例.....	(14)

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》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参考了 JJG 196—2006《常用玻璃量器》、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)》和 ISO 6706:1981《实验室塑料器皿-刻度量筒 (Plastics laboratory ware-Graduated measuring cylinders)》。

本规范为首次制定。

塑料量器校准规范

1 范围

本规范适用于由 PP（聚丙烯）、PMP（聚甲基戊烯）、PFA（全氟烷氧基树脂）材料制成的单标线容量瓶、分度吸量管、单标线吸量管、量筒等塑料量器的校准。由其他材料制成的塑料量器可参照本规范进行校准。

2 引用文件

JJG 196—2006 常用玻璃量器检定规程

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)

ISO 6706:1981 实验室塑料器皿-刻度量筒 (Plastics laboratory ware-Graduated measuring cylinders)

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

3.1 残留液 remaining liquid

对于吸量管，当液体自然流至流液口端不流时，流液口内残留的液体。

[JJG 196—2006《常用玻璃量器》，3.10]

4 概述

4.1 塑料量器的分类

塑料量器包括单标线容量瓶、分度吸量管、单标线吸量管、量筒等。按其型式分为量入式量器和量出式量器两种。其中标记为“**In**”的量器为量入式，标记为“**Ex**”的量器为量出式。单标线容量瓶按其准确度不同分为 A 级和 B 级。

4.2 塑料量器的结构

各类型塑料量器结构参见图 1～图 4。

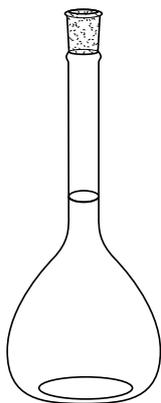


图1 单标线容量瓶



图2 分度吸量管



图3 单标线吸量管

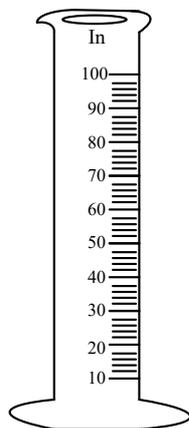


图4 量筒

5 计量特性

在标准温度 20 °C 时，分度吸量管的标称容量和零至任意分量，以及任意两校准点之间的最大误差，均应符合表2的规定。单标线容量瓶和单标线吸量管的标称容量允差，应符合表1和表3的规定。量筒的标称容量和任意分量的容量允差，应符合表4的规定。

表1 单标线容量瓶计量特性一览表

标称容量/mL		10	25	50	100	250	500	1000
容量允差 mL	A	±0.040	±0.040	±0.060	±0.100	±0.150	±0.250	±0.400
	B	±0.080	±0.080	±0.120	±0.200	±0.300	±0.500	±0.800

表 2 分度吸量管计量特性一览表

标称容量 mL	1	2	5	10	25	50
容量允差 mL	±0.020	±0.025	±0.050	±0.10	±0.20	±0.30
流出时间 s	2~10	2~12	2~14	3~17	5~21	8~25

表 3 单标线吸量管计量特性一览表

标称容量 mL	1	2	5	10	25	50
容量允差 mL	±0.020	±0.020	±0.030	±0.04	±0.06	±0.10
流出时间 s	2~12		4~25	4~30	5~35	6~40

表 4 量筒(量入式)计量特性一览表

标称容量 mL	10	10	25	50	100	250	500	1000	2000
分度值 mL	0.1	0.2	0.5	1	1	2	5	10	20
容量允差 mL	±0.1	±0.2	±0.5	±1	±1	±2	±5	±10	±20

注：以上计量特性指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：室温（20±5）℃，室温变化应不大于 1℃/h。

6.1.2 相对湿度：（30~80）%。

6.1.3 水温与室温之差不大于 2℃。

6.1.4 室内应清洁无灰尘，无强烈机械振动，无高温现象及强光直射。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测量标准

测量标准主要技术指标见表 5。

表 5 校准用测量标准一览表

序号	名称	技术要求
1	电子天平	最大称量：不小于 200 g，实际分度值：0.1 mg
2	电子天平	最大称量：不小于 500 g，实际分度值：1 mg
3	电子天平	最大称量：不小于 2500 g，实际分度值：10 mg

6.2.2 校准用介质

校准用介质应符合 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》要求的三级水，并提前 24 h 放入实验室内。

6.2.3 主要配套设备

主要配套设备及技术指标见表 6。

表 6 主要配套设备

序号	名称	技术要求
1	温度计	测量范围：(10~30) °C，分度值不大于 0.1 °C
2	电子秒表	分辨力不大于 0.1 s

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备工作

7.1.1 外观检查

检查塑料量器的材质、型式、标称容量、温度等标识，用目力观察内壁、口边是否光滑、有无毛刺，分度线与量的数值是否清晰，有无影响计量特性的外观缺陷。

7.1.2 密合性检查

校准具塞量器前，应检查密合性是否满足要求。当水注入至最高标线，塞子盖紧后颠倒 10 次。每次颠倒时，在倒置状态下至少停留 10 s，不应有水渗出。

7.2 容量示值误差

容量示值误差采用衡量法进行校准，校准方法及步骤如下：

7.2.1 校准前对塑料量器进行清洗，以免测量过程中有挂壁现象，量入式量器必须经过干燥处理，并按要求至少提前 4 h 放置于实验室内进行恒温。

7.2.2 量入式量器的校准：先对量器进行称量去皮，然后将水注至被测量刻度处，称量此时量器的质量，记录数值 m ，同时测量并记录水的温度 t 。

7.2.3 量出式量器的校准：取一只容量大于被测量器的干净有盖称量杯，先对称量杯进行称量去皮，然后将被测量器内的水放入称量杯，称得水的质量 m ，同时测量并记录水的温度 t 。

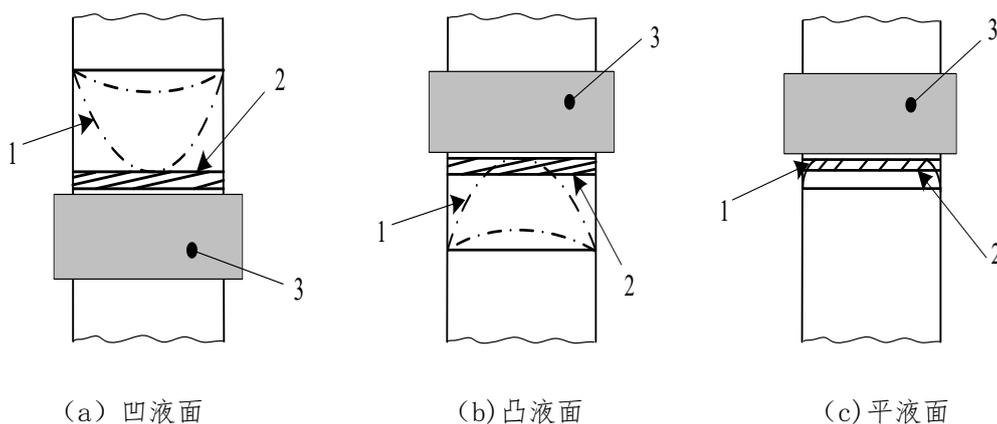


图 5 液面观察方法示意图

1—弯月面；2—刻度线；3—深色纸

注：液面的观察方法为凹液面的最低点应与分度线上边缘的水平面相切，凸液面或平液面的最高点应与分度线上边缘的水平面相切，视线应与分度线在同一水平面上，为使液面轮廓清晰地显现，可在分度线的正下方衬一深色纸带，见图 5。

7.2.4 实际容量的计算

将所测得的质量值、温度值分别代入式 (1)，即可求得被测量器在标准温度 20 °C 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} ——20 °C 时校准点的实际容量，mL；

m ——被校准点水的质量，g；

ρ_B ——砝码密度，取 8.00 g/cm³；

ρ_A ——校准时实验室内的空气密度，取 0.0012 g/cm³；

ρ_W ——水在 t °C 时的密度，g/cm³；

β ——被测量器的体胀系数，°C⁻¹；

t ——测量时水的温度，°C。

为简便计算过程，也可将式 (1) 化为下列形式：

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

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

$K(t)$ 值列于附录 B 中。根据测量的质量值 m 和测量水温所对应的 $K(t)$ 值，即可由式 (2) 求出被测量器该校准点在 20 °C 时的实际容量。

每个校准点重复测量两次，两次测量的差值应不超过该点容量最大允许误差的四分之一，取两次测量结果的平均值 \bar{V}_{20} 作为该校准点的实际容量值。

7.2.5 容量示值误差的计算

按式 (4) 进行计算：

$$\Delta V = V - \bar{V}_{20} \quad (4)$$

式中：

ΔV ——校准点的容量示值误差，mL；

V ——校准点的标称容量值，mL；

\bar{V}_{20} ——温度 20 °C 时校准点的实际容量平均值，mL。

7.2.6 校准点的选取

塑料量器校准点的选取见表 7。

表 7 塑料量器校准点一览表

仪器名称	校准点		
分度吸量管	总容量的 1/10 (或 2/10, 自流液口起)	半容量 (半容量~流液口)	总容量
量筒	总容量的 1/10 (或 2/10, 自底部起)	半容量 (半容量~底部)	总容量

7.3 流出时间

将分度吸量管和单标线吸量管注水至最高标线以上约 5 mm 处，然后将液面调至最高标线处；吸量管垂直放置，流液口轻靠接水器壁，此时接水器倾斜约 30°，在保持不动的情况下流出并开始计时，以流至口端不流时为止，测量其流出时间。

8 校准结果表达

经校准的塑料量器出具校准证书，校准证书至少包括以下信息：

- 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，应说明被校对象的可接收日期；

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

复校时间间隔建议一般不超过 12 个月，由于复校时间间隔的长短是由塑料量器的使用情况、使用者、量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

塑料量器容量校准操作步骤

A.1 清洗

将塑料量器在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 环境温度下泡入中性或者碱性洗涤剂约 $(20 \sim 30)$ min, 洗干净后使用流动水冲洗, 最后再使用蒸馏水清洗。如有顽固残留物, 可升高浸泡温度 (不高于 60°C) 与延长浸泡时间。清洗完之后自然晾干或者不高于 60°C 的温度烘干。

A.2 容量瓶

A.2.1 对清洗干净并干燥处理过的容量瓶进行称量, 称得空容量瓶的质量;

A.2.2 注水至容量瓶的标线处, 称得水的质量;

A.2.3 将温度计插入到容量瓶中, 测量水的温度, 读至 0.1°C ;

A.2.4 计算容量瓶在标准温度 20°C 时的实际容量。

A.3 分度吸量管和单标线吸量管

A.3.1 对清洗干净的吸量管垂直放置, 充水至最高标线以上约 5 mm 处, 擦去吸量管流液口外面的水;

A.3.2 缓慢地将液面调整到被校准分度线上, 移去流液口的最后一滴水珠;

A.3.3 取一只容量大于被校吸量管的带盖称量杯, 称得空杯的质量;

A.3.4 将流液口与称量杯内壁接触, 称量杯倾斜 30° , 使水充分地流入称量杯中, 当水流至流液口口端不流时, 近似等待 3 s , 随即用称量杯移去流液口的最后一滴水;

A.3.5 将吸量管内的水放入称量杯后, 称得水的质量;

A.3.6 在调整吸量管液面的同时, 应观察测量筒内的水温, 读至 0.1°C ;

A.3.7 计算吸量管在标准温度 20°C 时的实际容量。

A.4 量筒 (量入式)

A.4.1 对于量入式量筒清洗干净并干燥处理后进行称量, 称得空量筒的质量;

A.4.2 注水至校准点的标线处, 称得水的质量;

A.4.3 将温度计插入到量筒中, 测量水的温度, 读至 0.1°C ;

A.4.4 计算量筒在标准温度 20°C 时的实际容量。

附录 B

衡量法 $K(t)$ 值B.1 聚丙烯 (PP) 体胀系数 $\beta=240\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 空气密度 0.0012 g/cm^3

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/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.00316	18.7	1.00291	22.4	1.00258
15.1	1.00315	18.8	1.00290	22.5	1.00258
15.2	1.00314	18.9	1.00290	22.6	1.00258
15.3	1.00313	19.0	1.00289	22.7	1.00257
15.4	1.00312	19.1	1.00289	22.8	1.00257
15.5	1.00311	19.2	1.00289	22.9	1.00257
15.6	1.00311	19.3	1.00288	23.0	1.00257
15.7	1.00310	19.4	1.00288	23.1	1.00257
15.8	1.00309	19.5	1.00287	23.2	1.00257
15.9	1.00308	19.6	1.00287	23.3	1.00257
16.0	1.00307	19.7	1.00287	23.4	1.00257
16.1	1.00307	19.8	1.00286	23.5	1.00256
16.2	1.00306	19.9	1.00286	23.6	1.00256
16.3	1.00305	20.0	1.00286	23.7	1.00256
16.4	1.00304	20.1	1.00285	23.8	1.00256
16.5	1.00304	20.2	1.00285	23.9	1.00256
16.6	1.00303	20.3	1.00285	24.0	1.00256
16.7	1.00302	20.4	1.00284	24.1	1.00256
16.8	1.00302	20.5	1.00284	24.2	1.00256
16.9	1.00301	20.6	1.00284	24.3	1.00256
17.0	1.00300	20.7	1.00283	24.4	1.00256
17.1	1.00300	20.8	1.00283	24.5	1.00256
17.2	1.00299	20.9	1.00283	24.6	1.00256
17.3	1.00298	21.0	1.00283	24.7	1.00254
17.4	1.00298	21.1	1.00283	24.8	1.00256
17.5	1.00297	21.2	1.00282	24.9	1.00256
17.6	1.00297	21.3	1.00282	25.0	1.00257
17.7	1.00296	21.4	1.00282	—	—
17.8	1.00295	21.5	1.00282	—	—
17.9	1.00295	21.6	1.00282	—	—
18.0	1.00294	21.7	1.00281	—	—
18.1	1.00294	21.8	1.00281	—	—
18.2	1.00293	21.9	1.00281	—	—
18.3	1.00293	22.0	1.00259	—	—
18.4	1.00292	22.1	1.00258	—	—
18.5	1.00292	22.2	1.00258	—	—
18.6	1.00291	22.3	1.00258	—	—

B.2 聚甲基戊烯 (PMP) 体胀系数 $\beta=360\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 空气密度 $0.0012\text{ g}/\text{cm}^3$

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/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.00376	18.7	1.00306	22.4	1.00229
15.1	1.00374	18.8	1.00305	22.5	1.00228
15.2	1.00372	18.9	1.00303	22.6	1.00226
15.3	1.00370	19.0	1.00301	22.7	1.00225
15.4	1.00368	19.1	1.00300	22.8	1.00223
15.5	1.00366	19.2	1.00298	22.9	1.00222
15.6	1.00364	19.3	1.00297	23.0	1.00221
15.7	1.00361	19.4	1.00295	23.1	1.00219
15.8	1.00359	19.5	1.00293	23.2	1.00218
15.9	1.00357	19.6	1.00292	23.3	1.00217
16.0	1.00355	19.7	1.00290	23.4	1.00216
16.1	1.00354	19.8	1.00289	23.5	1.00214
16.2	1.00352	19.9	1.00287	23.6	1.00213
16.3	1.00350	20.0	1.00286	23.7	1.00212
16.4	1.00348	20.1	1.00284	23.8	1.00211
16.5	1.00346	20.2	1.00282	23.9	1.00209
16.6	1.00344	20.3	1.00281	24.0	1.00208
16.7	1.00342	20.4	1.00279	24.1	1.00207
16.8	1.00340	20.5	1.00278	24.2	1.00206
16.9	1.00338	20.6	1.00277	24.3	1.00204
17.0	1.00336	20.7	1.00275	24.4	1.00203
17.1	1.00335	20.8	1.00274	24.5	1.00202
17.2	1.00333	20.9	1.00272	24.6	1.00201
17.3	1.00331	21.0	1.00271	24.7	1.00197
17.4	1.00329	21.1	1.00269	24.8	1.00199
17.5	1.00327	21.2	1.00268	24.9	1.00197
17.6	1.00325	21.3	1.00266	25.0	1.00196
17.7	1.00324	21.4	1.00265	—	—
17.8	1.00322	21.5	1.00264	—	—
17.9	1.00320	21.6	1.00262	—	—
18.0	1.00318	21.7	1.00261	—	—
18.1	1.00317	21.8	1.00260	—	—
18.2	1.00315	21.9	1.00258	—	—
18.3	1.00313	22.0	1.00235	—	—
18.4	1.00311	22.1	1.00233	—	—
18.5	1.00310	22.2	1.00232	—	—
18.6	1.00308	22.3	1.00230	—	—

B.3 全氟烷氧基树脂 (PFA) 体胀系数 $\beta=390\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 空气密度 $0.0012\text{ g}/\text{cm}^3$

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/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.00391	18.7	1.00310	22.4	1.00222
15.1	1.00388	18.8	1.00308	22.5	1.00220
15.2	1.00386	18.9	1.00306	22.6	1.00218
15.3	1.00384	19.0	1.00304	22.7	1.00217
15.4	1.00381	19.1	1.00302	22.8	1.00215
15.5	1.00379	19.2	1.00301	22.9	1.00213
15.6	1.00377	19.3	1.00299	23.0	1.00212
15.7	1.00374	19.4	1.00297	23.1	1.00210
15.8	1.00372	19.5	1.00295	23.2	1.00209
15.9	1.00370	19.6	1.00293	23.3	1.00207
16.0	1.00368	19.7	1.00291	23.4	1.00205
16.1	1.00365	19.8	1.00289	23.5	1.00204
16.2	1.00363	19.9	1.00287	23.6	1.00202
16.3	1.00361	20.0	1.00286	23.7	1.00201
16.4	1.00359	20.1	1.00284	23.8	1.00199
16.5	1.00356	20.2	1.00282	23.9	1.00198
16.6	1.00354	20.3	1.00280	24.0	1.00196
16.7	1.00352	20.4	1.00278	24.1	1.00195
16.8	1.00350	20.5	1.00276	24.2	1.00193
16.9	1.00348	20.6	1.00275	24.3	1.00191
17.0	1.00345	20.7	1.00273	24.4	1.00190
17.1	1.00343	20.8	1.00271	24.5	1.00189
17.2	1.00341	20.9	1.00269	24.6	1.00187
17.3	1.00339	21.0	1.00268	24.7	1.00183
17.4	1.00337	21.1	1.00266	24.8	1.00184
17.5	1.00335	21.2	1.00264	24.9	1.00183
17.6	1.00333	21.3	1.00263	25.0	1.00181
17.7	1.00331	21.4	1.00261	—	—
17.8	1.00328	21.5	1.00259	—	—
17.9	1.00326	21.6	1.00258	—	—
18.0	1.00324	21.7	1.00256	—	—
18.1	1.00322	21.8	1.00254	—	—
18.2	1.00320	21.9	1.00253	—	—
18.3	1.00318	22.0	1.00229	—	—
18.4	1.00316	22.1	1.00227	—	—
18.5	1.00314	22.2	1.00225	—	—
18.6	1.00312	22.3	1.00223	—	—

注：体胀系数引用数据来源 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)》附录 D, $K(t)$ 值按式 (3) 计算得到。

附录 C

校准记录参考格式

记录编号	证书编号		地 址										
委托单位	地 址		校 准 依 据										
校准地点	型 号	最大称量											
标准器名称	溯源证书号	有效期至											
不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	温 度	相对湿度											
校准介质	校准日期												
校准员	核 验 员												
量器 名称	厂家	编号	材质	规格 mL	校准点 mL	水温 °C	流 出 时 间/s	质量 g	$K(t)$	V_{20} mL	\bar{V}_{20} mL	示值误 差/mL	扩展不 确定度 mL

附录 D

校准证书内页参考格式

校 准 结 果

量器 名称	厂家	编号	材质	规格	校准点 mL	\bar{V}_{20} mL	示值误差 mL	扩展不确定 度/mL

——以下空白——

附录 E

塑料量器容量测量结果的不确定度评定示例

E.1 测量方法

E.1.1 环境条件：温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，室内温度变化不大于 1°C/h ，校准用介质的温度与室温之差不得大于 2°C ；相对湿度： $(30 \sim 80)\%$ 。

E.1.2 测量标准：电子天平，最大称量：220 g，实际分度值：0.1 mg。

E.1.3 测量对象：A 级 50 mL 塑料容量瓶，材质：PFA。

E.1.4 测量过程：将容量瓶清洗干净并经过烘干处理，待电子天平稳定后，进行称量去皮，将水注至容量瓶被测量刻度处，称量此时容量瓶的质量，记录数值 m ，同时测量并记录此时水的温度 t 。

E.2 测量模型

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

式中：

V_{20} ——温度 20°C 时校准点的实际容量，mL；

m ——被校准点水的质量，g；

ρ_B ——砝码密度，取 8.00 g/cm^3 ；

ρ_A ——校准时实验室内的空气密度，取 0.0012 g/cm^3 ；

ρ_W ——水在 $t^\circ\text{C}$ 时的密度， g/cm^3 ；

β ——被测量器的体胀系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

t ——测量时水的温度， $^\circ\text{C}$ 。

E.3 方差及灵敏度系数

由于公式 (E.1) 中各输入量相互独立，计算得到相应的灵敏系数为：

$$c_m = \frac{\partial V_{20}}{\partial m} = \frac{1}{(\rho_W - \rho_A)} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times [1 + \beta(20 - t)]$$

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

$$c_{\rho_A} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_A} = \frac{m}{(\rho_W - \rho_A)^2} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times [1 + \beta(20 - t)]$$

$$\begin{aligned}
c_{\rho,W} &= \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_W} = \frac{m}{(\rho_W - \rho_A)^2} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times [1 + \beta(20 - t)] \\
c_{\beta} &= \frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = \frac{m}{(\rho_W - \rho_A)} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times (20 - t) \\
c_t &= \frac{\partial V_{20}}{\partial t} = \frac{m}{(\rho_W - \rho_A)} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times \beta \\
u_c &= \sqrt{c_m^2 u^2(m) + c_{\rho,B}^2 u^2(\rho_B) + c_{\rho,A}^2 u^2(\rho_A) + c_{\rho,W}^2 u^2(\rho_W) + c_{\beta}^2 u^2(\beta) + c_t^2 u^2(t)} \quad (\text{E.2})
\end{aligned}$$

E.4 不确定度来源

塑料容量瓶测量结果不确定度的主要来源:

- (1) 水的质量测量引入的不确定度分量 $u(m)$
- (2) 砝码密度引入的不确定度分量 $u(\rho_B)$
- (3) 空气密度引入的不确定度分量 $u(\rho_A)$
- (4) 水密度引入的不确定度分量 $u(\rho_W)$
- (5) 体胀系数引入的不确定度分量 $u(\beta)$
- (6) 温度测量引入的不确定度分量 $u(t)$

E.5 输入量的标准不确定度评定

E.5.1 水的质量测量引入的不确定度分量 $u(m)$

- (1) 测量重复性引入的不确定度分量 $u(m_1)$

重复性引入的不确定度采用 A 类方法进行评定。在相同测量条件下, 对 50 mL 塑料容量瓶进行连续 10 次测量, 测量值为 49.8913 g、49.8772 g、49.8904 g、49.9089 g、49.8813 g、49.8881 g、49.9082 g、49.8808 g、49.8967 g、49.9041 g, 平均值为 49.8927 g

单次测量值的实验标准偏差 $s=0.0115$ g

实际测量时, 以 2 次测量值的算术平均值为测量结果, 则重复性引入的不确定度分量为:

$$u(m_1) = \frac{s}{\sqrt{2}} = 0.0082 \text{g}$$

- (2) 电子天平引入的不确定度分量 $u(m_2)$

最大称量为 220 g, 分度值为 0.1 mg 电子天平的最大允许误差为 ± 1.5 mg, 按均匀分布, 实际测量时进行了去皮和称量 2 次测量, 则电子天平引入的标准不确定度分量为:

$$u(m_2) = \frac{0.0015}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 0.0012 \text{ g}$$

水的质量测量引入的不确定度分量:

$$u(m) = \sqrt{u(m_1)^2 + u(m_2)^2} = 0.0083 \text{ g}$$

E.5.2 砝码密度引入的不确定度分量 $u(\rho_B)$

采用 JJG 99-2022 《砝码》，标准砝码密度引入的不确定度为 $U=0.14 \text{ g/cm}^3$ ($k=2$)，则:

$$u(\rho_B) = \frac{0.14}{2} = 0.07 \text{ g/cm}^3$$

E.5.3 空气密度引入的不确定度分量 $u(\rho_A)$

空气密度通常为 $(0.00115 \sim 0.00123) \text{ g/cm}^3$ ，温度变化 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 时，空气密度差值为 0.00003 g/cm^3 ，属均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度分量:

$$u(\rho_A) = \frac{0.00003}{\sqrt{3}} = 1.7 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$$

E.5.4 水密度引入的不确定度分量 $u(\rho_W)$

采用 BIPM 推荐的 Tanaka 纯水密度公式进行计算，在测量过程中，水温变化约 $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，水密度变化为 0.00003 g/cm^3 ，属均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度分量:

$$u(\rho_W) = \frac{0.00003}{\sqrt{3}} = 1.7 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$$

E.5.5 体胀系数引入的不确定度分量 $u(\beta)$

塑料容量瓶的材质是 PFA，体胀系数 $\beta=390 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，按 $\Delta\beta/\beta = 25\%$ 估计，则:

$$\Delta\beta = 390 \times 10^{-6} \times 25\% = 97.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

假设服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则:

$$u(\beta) = \Delta\beta / \sqrt{3} = 56 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

E.5.6 温度测量引入的不确定度分量 $u(t)$

测量中，采用分度值为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 的水银温度计，最大允许误差为 $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$u(t_1) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.1155 \text{ }^\circ\text{C}$$

实验室温度分布不均匀引起被测水温的变化约 $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$u(t_2) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.1155 \text{ }^\circ\text{C}$$

温度测量引入的不确定度分量:

$$u(t) = \sqrt{u(t_1)^2 + u(t_2)^2} = 0.17^\circ\text{C}$$

E.6 标准不确定度一览表

表 E.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	c_i	$ c_i u(x_i)$ mL
$u(m)$	水的质量引入的标准不确定度	0.0083 g	1.00265 cm ³ /g	8.4×10^{-3}
$u(\rho_B)$	砝码密度引入的标准不确定度	0.07 g/cm ³	0.00009(cm ³) ² /g	6.7×10^{-5}
$u(\rho_A)$	空气密度引入标准不确定度	1.7×10^{-5} g/cm ³	50.1848(cm ³) ² /g	8.5×10^{-4}
$u(\rho_W)$	水密度引入的标准不确定度	1.7×10^{-5} g/cm ³	50.1848 (cm ³) ² /g	8.5×10^{-4}
$u(\beta)$	体胀系数引入的标准不确定度	56×10^{-6} /°C	-50.0448 cm ³ ·°C	2.8×10^{-3}
$u(t)$	温度测量引入的标准不确定度	0.17°C	0.0195 cm ³ /°C	3.3×10^{-3}

E.7 合成标准不确定度的计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得到

$$u_c = \sqrt{c_m^2 u^2(m) + c_{\rho_B}^2 u^2(\rho_B) + c_{\rho_A}^2 u^2(\rho_A) + c_{\rho_W}^2 u^2(\rho_W) + c_t^2 u^2(t)} = 0.0095 \text{ mL}$$

E.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，扩展不确定度为:

$$U = 2 \times u_c = 0.020 \text{ mL}$$

50mL 塑料容量瓶测量结果的扩展不确定度为 $U=0.020\text{mL}$ ， $k=2$

