



内蒙古自治区地方计量技术规范

JJF (蒙) 077-2024

塑料量器校准规范

Calibration Specification for Plastic Container

2024-03-01 发布

2024-06-01 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发布

塑料量器校准规范

Calibration Specification for
Plastic Container

JJF(蒙)077—2024

归口单位：内蒙古自治区市场监督管理局

主要起草单位：乌海市检验检测中心

参加起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院

乌兰察布市产品质量计量检验检测中心

南京瑞尼克科技开发有限公司

本规范委托乌海市检验检测中心负责解释

本规范主要起草人：

安婷婷（乌海市检验检测中心）

党建华（乌海市检验检测中心）

程荟蓉（内蒙古自治区计量测试研究院）

参加起草人：

侯景清（乌海市检验检测中心）

温 馨（乌海市检验检测中心）

张冬冬（乌兰察布市产品质量计量检验检测中心）

路洪霞（南京瑞尼克科技发展有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 容量单位.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 外观.....	(2)
5.2 密合性.....	(2)
5.3 容量示值误差.....	(2)
5.4 流出时间.....	(3)
6 校准条件.....	(4)
6.1 环境条件.....	(4)
6.2 校准介质.....	(4)
6.3 校准设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
7.1 外观及密合性检查.....	(5)
7.2 容量校准.....	(5)
7.3 流出时间.....	(8)
8 校准结果表达.....	(9)
9 复校时间间隔.....	(10)
附录 A 纯水密度表.....	(11)
附录 B 校准原始记录参考格式.....	(12)
附录 C 校准证书内页参考格式.....	(13)
附录 D 塑料量器容量示值校准结果的不确定度评定示例.....	(15)

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》、JJF 1059.1《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。

本规范为首次发布。

塑料量器校准规范

1 范围

本规范适用于塑料量器（包括单标线容量瓶、分度吸量管、单标线吸量管、滴定管、量筒、量杯、烧杯等）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJG 196 常用玻璃量器检定规程

JJG 646 移液器检定规程

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

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 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 塑料量器 plastic container

由聚丙烯（PP）、聚甲基戊烯（PMP）、特氟龙（PFA）等材料制成用于量取液体容量的仪器。

3.1.2 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。

3.1.3 吹出式分度吸量管 blowing graduated pipette

对于分度吸量管，当液体自然流至流液口端不流时，即将流液口残留液排出。

3.1.4 流出式分度吸量管 outflow graduated pipette

对于分度吸量管，当液体自然流至流液口端不流时，口端应保留残留液。

3.2 容量单位 capacity unit

塑料量器的容量单位为毫升，符号为 mL。

4 概述

塑料量器应用在环保、医药、食品、化工、生化分析等领域，在 ICP 检测以及痕量分析等领域具有重要的应用。主要包括单标线容量瓶、分度吸量管、单标线吸量管、滴定管、量筒、量杯、烧杯。按其型式分为量入式量器和量出式量器两种。其中单标线容量瓶和标记为“**In**”的量器为量入式，标记为“**Ex**”的量器为量出式。

5 计量特性

5.1 外观

塑料量器主体应具有下列标记：制造厂或商标、标称容量（mL）、型式、材料等。目力观察内壁、口边应光滑、无毛刺，分度线与数值应清晰，量器的口应与轴线相垂直，不得有明显的缩痕、裂痕、气泡和变形等现象，吸量管吸液嘴无明显的弯曲，无影响计量特性的外观缺陷，分度线宽度不大于 0.4 mm。

5.2 密合性

5.2.1 塑料单标线容量瓶的密合性要求：将水注入至最高标线，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。

5.2.2 具塞塑料滴定管的密合性要求：当水注入至最高标线时，活塞在关闭情况下停留 50 min 后，渗漏量应不大于最小分度值。

5.2.3 其他塑料量器不需要进行密合性检查。

5.3 容量示值误差

在标准温度 20 °C 时，塑料量器容量示值误差应符合表 1~表 7 的要求。

5.4 流出时间

分度吸量管、单标线吸量管、滴定管的流出时间和等待时间均应符合表 2~表 4 的要求。

表 1 单标线容量瓶计量特性一览表

标称容量/mL	1	2	5	10	25	50	100	200	250	500	1000	2000
容量允差/mL	±0.02	±0.03	±0.04	±0.04	±0.06	±0.10	±0.20	±0.30	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20

表 2 分度吸量管计量特性一览表

标称容量/mL	0.1	0.2	0.25	0.5	1	2 或 3	5	10 或 15	20 或 25	50
容量允差/mL	±0.004	±0.006	±0.008	±0.010	±0.015	±0.025	±0.050	±0.10	±0.20	±0.20
流出时间/s	3~7			4~8	4~10	4~12	6~14	7~17	11~21	15~25

表 3 单标线吸量管计量特性一览表

标称容量/mL	1	2	3 或 5	10	15	20 或 25	50	100
容量允差/mL	±0.015	±0.020	±0.030	±0.040	±0.050	±0.060	±0.10	±0.15
流出时间/s	5~12		10~25	15~30		20~35	25~40	30~45

表 4 滴定管计量特性一览表

标称容量/mL	1	2	3	5	10	25	50	100
容量允差/mL	±0.020	±0.020	±0.020	±0.020	±0.050	±0.08	±0.10	±0.20
流出时间/s	15~35		20~45			35~70	50~90	60~100
等待时间/s	30							

表5 量筒计量特性一览表

标称容量/mL	5	10	10	20 或 25	50	100	200 或 250	500	1000	2000	4000
分度值/mL	0.1	0.1	0.2	0.5	1	1	2	5	10	20	50
容量允差/mL	± 0.10	± 0.10	± 0.20	± 0.50	± 0.50	± 1.0	± 2.0	± 5.0	± 10	± 20	± 50

表6 量杯计量特性一览表

标称容量/mL	5	10	25	50	100	200 或 250	500	1000	2000
容量允差/mL	± 0.2	± 0.4	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 3.0	± 6.0	± 10	± 20

表7 烧杯计量特性一览表

标称容量/mL	25	50	100	200	250	500	1000	2000	5000
容量允差/mL	± 2.5	± 5.0	± 10	± 20	± 25	± 50	± 100	± 200	± 500

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，且室温变化不大于 1°C/h ；水温与室温之差不得大于 2°C 。

6.2 校准介质

校准介质为纯水（蒸馏水或去离子水），应符合 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》第5条要求。

6.3 校准设备

校准设备、设施要求见表8。

表8 塑料量器校准设备、设施技术要求

仪器名称	测量范围	技术要求
电子天平	最大称量不小于 220 g	Ⅰ级
电子天平	最大称量不小于 1000 g	Ⅰ级
电子天平	最大称量不小于 5000 g	Ⅰ级
温度计	(0~50) °C	MPE: ±0.2 °C
电子秒表	(0~3600) s	MPE: ±0.10 s/h
附件	滴定架、有盖称量杯、放大镜等	

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及密合性检查

7.1.1 外观检查

用目测、触摸或使用放大镜观察被校塑料量器，其外观应符合 5.1 的要求。

7.1.2 密合性检查

结果应符合 5.2 的要求。

7.2 容量校准

塑料量器的容量采用衡量法进行校准。

7.2.1 校准前准备

校准前需将塑料量器清洗干净，以免校准过程中有挂壁的现象，量入式量器必须经过干燥处理，并至少提前 4 h 放置于实验室内进行恒温。校准用介质提前 24 h 放入实验室内，使其温度与室温相差不得大于 2 °C。

7.2.2 参考校准点的选取

按照表 9 选取校准点。

表9 塑料量器参考校准点一览表

仪器名称	标称容量	校准点				
单标线容量瓶	—	总容量				
单标线吸量管	—	总容量				
分度吸量管	0.5 mL 以下 (含 0.5 mL)	—	半容量 (半容量~流液口)			总容量
	0.5 mL 以上	总容量的 1/10 (或 1/5) 自流液口起		半容量 (半容量~流液口)		总容量
量筒、量杯、烧杯	—	总容量的 1/10 (或 1/5) 自底部起		半容量 (半容量~底部)		总容量
滴定管	(1~10)mL	—	半容量			总容量
	25 mL	5 mL	10 mL	15 mL	20 mL	25 mL
	50 mL	10 mL	20 mL	30 mL	40 mL	50 mL
	100 mL	20 mL	40 mL	60 mL	80 mL	100 mL

7.2.3 单标线容量瓶容量示值的校准

7.2.3.1 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。

7.2.3.2 注纯水至容量瓶的标线处，称得纯水的质量 m 。

7.2.3.3 将温度计插入到容量瓶中，测量纯水的温度 t ，读数应准确到 0.1 °C。

7.2.3.4 按 7.2.7 计算容量瓶在标准温度 20 °C 时的实际容量。

7.2.4 分度吸量管、单标线吸量管

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

7.2.4.2 缓慢地将液面调整到被校准点分度线上，移去流液口的最后一滴水珠。

7.2.4.3 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。

7.2.4.4 将流液口与称量杯内壁接触，称量杯角度倾斜 30°，使水充分的流入称量杯中，

称得纯水的质量 m 。

7.2.4.5 同时，测量水温 t ，读数应准确到 0.1 °C。

7.2.4.6 按 7.2.7 计算吸量管在标准温度 20 °C 时的实际容量。

7.2.5 滴定管

7.2.5.1 将清洗干净的滴定管垂直夹在滴定架上，充水至最高标线以上 5 mm 处。

7.2.5.2 同时排出流液口中的空气，缓慢地将液面调整到零位，移去流液口最后一滴水珠。

7.2.5.3 取一只容量大于被校滴定管的带盖称量杯，称得空杯的质量。

7.2.5.4 完全开启活塞（对于无塞滴定管应用力挤压玻璃小球），使水充分地从流液口流出。

7.2.5.5 当液面降至校准点上约 5 mm 处，等待 30 s，然后 10 s 内将液面调至被校准点分度线上，移去流液口的最后一滴水珠，称量纯水的质量 m 。

7.2.5.6 同时，测量水温 t ，读数应准确到 0.1 °C。

7.2.5.7 按 7.2.7 计算滴定管在标准温度 20 °C 时的实际容量。

7.2.6 量筒、量杯、烧杯

7.2.6.1 对于量入式量筒、量杯、烧杯清洗干净并干燥处理后进行称量，称得空量筒（杯）的质量。

7.2.6.2 注纯水至校准点的标线处，称得纯水的质量 m 。

7.2.6.3 将温度计插入到量筒（杯）中，测量纯水的温度 t ，读数应准确到 0.1 °C。

7.2.6.4 按 7.2.7 计算在标准温度 20 °C 时的实际容量。

7.2.6.5 对于量出式量筒、量杯和烧杯，先充水至最高标线，然后将水从倒液嘴倒出，排空后等待 30 s。

7.2.6.6 取一只容量大于被校量器标称容量的带盖称量杯，称得空杯的质量。

7.2.6.7 充水至被校准点标线处，然后将水从倒液嘴倒入称量杯后，等待 30 s 待残留液流入称量杯，称得纯水的质量 m 。

7.2.6.8 将温度计插入到称量杯中，测量纯水的温度 t ，读数应准确到 0.1 °C。

7.2.6.9 按 7.2.7 计算在标准温度 20 °C 时的实际容量。

7.2.7 实际容量的计算

将执行第 7.2.3~7.2.6 条所测的质量值、温度值分别代入公式 (1)，即可求得被校塑料量器在标准温度 20 °C 时的实际容量。

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

式中： V_{20} ——标准温度 20 °C 时量器的实际容量，mL；

m ——被校准点纯水质量，g；

ρ_w ——纯水在 t °C 时的密度，g/cm³，见附录 A；

β ——被校量器的体积膨胀系数，°C⁻¹，一般 PP 为 45×10^{-5} °C⁻¹，PMP

为 11.7×10^{-5} °C⁻¹，PFA 为 1.1×10^{-5} °C⁻¹；

t ——校准时纯水的温度，°C。

7.2.8 容量示值误差的计算

$$\Delta V = V - V_{20} \quad (2)$$

式中： ΔV ——参考校准点的容量示值误差，mL；

V ——参考校准点的标称容量，mL。

7.3 流出时间

7.3.1 分度吸量管和单标线吸量管

7.3.1.1 注水至最高标线以上约 5 mm，然后将液面调至最高标线处。

7.3.1.2 将吸量管垂直放置，流液口轻靠接水器壁，此时接水器约倾斜 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，其流出时间应符合表 2 和表 3 中的要求。

7.3.2 滴定管

7.3.2.1 将滴定管垂直夹在滴定架上，活塞处不应有水渗出。

7.3.2.2 充水于最高标线，流液口不应接触接水器壁。

7.3.2.3 将活塞完全开启并计时（对于无塞滴定管应用力挤压玻璃小球），使水充分地
从流液口流出，直到液面降至最低标线为止的流出时间应符合表 4 的要求。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书内页格式参见附录 C。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

由于复校间隔时间的长短是由塑料量器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定,用户可根据实际使用情况确定复校时间间隔,一般建议校准间隔不超过 1 年。

附录 A

纯水密度表

温度/ °C	密度/ (g/cm ³)	温度/ °C	密度/ (g/cm ³)	温度/ °C	密度/ (g/cm ³)	温度/ °C	密度/ (g/cm ³)
15.0	0.999099	17.8	0.998632	20.6	0.998077	23.4	0.997442
15.1	0.999084	17.9	0.998613	20.7	0.998056	23.5	0.997417
15.2	0.999069	18.0	0.998595	20.8	0.998035	23.6	0.997393
15.3	0.999053	18.1	0.998576	20.9	0.998013	23.7	0.997396
15.4	0.999038	18.2	0.998557	21.0	0.997991	23.8	0.997344
15.5	0.999022	18.3	0.998539	21.1	0.997970	23.9	0.997320
15.6	0.999006	18.4	0.998520	21.2	0.997948	24.0	0.997295
15.7	0.998991	18.5	0.998501	21.3	0.997926	24.1	0.997270
15.8	0.998975	18.6	0.998482	21.4	0.997904	24.2	0.997246
15.9	0.998959	18.7	0.998463	21.5	0.997882	24.3	0.997221
16.0	0.998943	18.8	0.998443	21.6	0.997859	24.4	0.997195
16.1	0.998926	18.9	0.998424	21.7	0.997837	24.5	0.997170
16.2	0.998910	19.0	0.998404	21.8	0.997815	24.6	0.997145
16.3	0.998893	19.1	0.998385	21.9	0.997792	24.7	0.997120
16.4	0.998876	19.2	0.998365	22.0	0.997769	24.8	0.997094
16.5	0.998860	19.3	0.998345	22.1	0.997747	24.9	0.997069
16.6	0.998843	19.4	0.998325	22.2	0.997724	25.0	0.997043
16.7	0.998826	19.5	0.998305	22.3	0.997701	25.1	0.997018
16.8	0.998809	19.6	0.998285	22.4	0.997678	25.2	0.996992
16.9	0.998792	19.7	0.998265	22.5	0.997655	25.3	0.996966
17.0	0.998774	19.8	0.998244	22.6	0.997631	25.4	0.996940
17.1	0.998757	19.9	0.998224	22.7	0.997608	25.5	0.996914
17.2	0.998739	20.0	0.998203	22.8	0.997584	25.6	0.996888
17.3	0.998722	20.1	0.998182	22.9	0.997561	25.7	0.996861
17.4	0.998704	20.2	0.998162	23.0	0.997537	25.8	0.996835
17.5	0.998686	20.3	0.998141	23.1	0.997513	25.9	0.996809
17.6	0.998668	20.4	0.998120	23.2	0.997490	/	/
17.7	0.998650	20.5	0.998099	23.3	0.997466	/	/

附录 B

校准原始记录参考格式

原始记录(证书)编号:

第 页共 页

委托单位					
器具名称		型号规格			
出厂编号		制造厂商			
校准日期		校准地点			
温度		湿度			
校准员		核验员			
校准依据					
标准器名称	出厂编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	溯源单位及 证书编号	证书有效期至

1. 外观检查:

2. 密合性检查:

3. 流出时间:

4. 容量校准:

标称容量: _____ mL

材质: _____

校准点/mL	纯水质量/g	水温/°C	纯水密度/(g/cm ³)	V ₂₀ /mL	示值误差/mL
扩展不确定度:					

附录 C

校准证书内页参考格式

证书编号：

校准机构授权说明：					
校准依据：					
测量标准及其他设备					
标准器名称	出厂编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级/最大允许误差	溯源单位及证书编号	证书有效期至
校准环境条件及地点：					
温度：_____℃ 湿度：_____ %RH		校准地点：_____ 其他条件：_____			

校准结果

证书编号：

1.外观检查：		
2.密合性检查：		
3.流出时间：		
4.容量校准结果：		
校准点/mL	V_{20} /mL	示值误差/mL
扩展不确定度：		

以下空白

附录 D

塑料量器容量示值校准结果的不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 测量依据:

依据本规范进行校准。

D.1.2 测量方法:

采用衡量法对 100 mL 单标线塑料容量瓶进行容量示值校准。即将容量瓶清洗干净并经过烘干处理,待电子天平稳定后,置于电子天平中,称得空的容量瓶的质量,记录数值 m_1 ;将纯水注至容量瓶刻线处,用电子天平称量此时的容量瓶的质量,记录数值 m_2 ; m_2 与 m_1 的差值即为纯水的质量 m ;同时测量并记录此时纯水的温度 t 。

D.1.3 测量标准:

电子天平:测量范围(0.01~220)g, ㊟级;

水银温度计:测量范围(0~50)℃, MPE: ± 0.2 ℃。

D.1.4 被测对象:

单标线容量瓶:100 mL(材质 PP)

D.1.5 环境条件:

室温(20 \pm 5)℃,且室温变化不大于1℃/h,水温与室温之差不大于2℃。

D.2 测量模型

依据校准规范和校准方法,建立如下测量模型

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

式中: V_{20} —— 标准温度 20℃时量器的实际容量, mL;

m —— 被校准点纯水质量, g;

ρ_w ——纯水在 t °C 时的密度 (21.3°C 时纯水密度 0.997926 g/cm³) ;

β ——被校量器的体积膨胀系数, °C⁻¹, PP 为 0.00045°C⁻¹;

t ——校准时纯水的温度, °C。

D.3 方差及灵敏度系数

根据公式:

$$u_c^2(\Delta) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \Delta}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (\text{D.2})$$

由于各影响量相互独立, 根据测量模型, 计算得到相应的灵敏系数为:

$$c_m = \frac{\partial V_{20}}{\partial m} = \frac{1}{\rho_w} \times [1 + \beta(20 - t)] \quad (\text{D.3})$$

$$c_{\rho_w} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w} = -\frac{m}{\rho_w^2} \times [1 + \beta(20 - t)] \quad (\text{D.4})$$

$$c_{\beta} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = \frac{m}{\rho_w} \times (20 - t) \quad (\text{D.5})$$

$$c_t = \frac{\partial V_{20}}{\partial t} = -\frac{m}{\rho_w} \times \beta \quad (\text{D.6})$$

D.4 输入量的标准不确定度评定

D.4.1 输入量 m 的标准不确定度 $u(m)$ 的评定

D.4.1.1 容量瓶内纯水质量值的测量重复性引入的标准不确定度 $u(m_1)$

采用 A 类评定方法。在重复性条件下, 连续测量 10 次得到测量值分别为 99.6586 g, 99.6539 g, 99.6370 g, 99.6609 g, 99.6596 g, 99.6486 g, 99.6380 g, 99.6612 g, 99.6459 g, 99.6495 g (水温 21.3 °C), 测量结果的标准不确定度按下式计算:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 9.07 \times 10^{-3} \text{ g}$$

实际测量中, 每点测量 1 次。因此, 测量结果的标准不确定度为:

$$u(m_1) = s = 9.07 \times 10^{-3} \text{ g}$$

D.4.1.2 电子天平引入的标准不确定度 $u(m_2)$

采用 B 类评定方法。测量范围为 (0.01~220) g, 分度值 0.1 mg, 该电子天平的最大允许误差为 ± 1.0 mg, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则电子天平引入的标准不确定度为

$$u(m_2) = \frac{1.0}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-4} \text{ g}$$

D.4.1.3 液面观察与调定引入的标准不确定度 $u(m_3)$

采用 B 类评定方法。由于操作者的个人习惯及眼睛分辨能力的差异, 调定液面时, 视线与弯液面相切的水平面偏离, 液面可能高于或低于真实的分度线位置。观察具有围线塑料量器时, 由于围线前后部分的不重合, 也会产生液位视差。一般操作者在调定液面时产生的读数误差 h 最大为 0.2 mm。即液面观察与调定引入的不确定度为 $u(m_3) = \frac{1}{4 \times \sqrt{3}} \pi D^2 h$, 它与容量瓶刻线处的内直径 D^2 成正比。100 mL 容量瓶的内直径 D 一般为 (12~14) mm, 这里取 $D=13$ mm。属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则液面观察与调定引入的标准不确定度为

$$u(m_3) = \frac{1}{4 \times \sqrt{3}} \pi D^2 h = 1.53 \times 10^{-2} \text{ mL}$$

D.4.2 校准介质纯水密度引入的标准不确定度 $u(\rho_w)$

采用 B 类评定方法。介质为纯水, 采用 BIPM 推荐的 Tanaka 纯水密度公式进行计算, 在测量过程中水温大约有 0.2 °C 的变化, 水密度变化约为 0.00003 g/cm³, 属均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则标准不确定度分量

$$u(\rho_w) = \frac{0.00003}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$$

D.4.3 体胀系数引入的标准不确定度 $u(\beta)$

采用 B 类评定方法。测量过程中体胀系数变化为 $\beta=80 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 属均匀分布, 包

含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量

$$u(\beta) = \frac{0.000008}{2\sqrt{3}} = 2.31 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

D.4.4 温度变化引入的标准不确定度 $u(t)$

D.4.4.1 温度计引入的标准不确定度 $u(t_1)$

采用 B 类评定方法。在测量中，采用量程范围（0~50） $^\circ\text{C}$ 的水银温度计，其最大允许误差为 $\pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，属均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则温度计引入的标准不确定度为

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

D.4.4.2 温度变化引入的标准不确定度 $u(t_2)$

采用 B 类评定方法。由于实验室温度分布不均匀，将会造成被测水温的变化，其变化大小与被测容量的大小有关，会引起约 $\pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的变化，属均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则温度变化引入的标准不确定度为

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

由于 $u(t_1)$ 和 $u(t_2)$ 两者无相关性，且灵敏系数均为 1，故将二者进行合成，即

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} = 0.1633 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.5 灵敏系数的确定

被校 100 mL 塑料单标线容量瓶，其材质为 PP，体胀系数 β 取 $0.00045 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，测得纯水质量 m 为 99.6513 g，水温 $21.3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，则

$$\begin{aligned} c_m &= \frac{\partial V_{20}}{\partial m} = \frac{1}{\rho_w} \times [1 + \beta(20 - t)] = 1.00149 \text{ cm}^3/\text{g} \\ c_{\rho_w} &= \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w} = -\frac{m}{\rho_w^2} \times [1 + \beta(20 - t)] = -100.00740 \text{ cm}^3/\text{g} \\ c_\beta &= \frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = \frac{m}{\rho_w} \times (20 - t) = -129.81593 \text{ cm}^3/\text{g} \\ c_t &= \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w} = -\frac{m}{\rho_w} \times \beta = -0.04494 \text{ cm}^3/\text{g} \end{aligned}$$

D.6 各标准不确定度分量汇总

表 D.1 不确定度分量汇总表

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 \cdot u(x_i)$
$u(m)$	$u(m_1)$	测量重复性	$9.07 \times 10^{-3} \text{ g}$		$1.00149 \text{ cm}^3/\text{g}$	$9.08 \times 10^{-3} \text{ mL}$
	$u(m_2)$	电子天平	$5.77 \times 10^{-4} \text{ g}$		$1.00149 \text{ cm}^3/\text{g}$	$5.78 \times 10^{-4} \text{ mL}$
	$u(m_3)$	液面观察与调定	$1.53 \times 10^{-2} \text{ mL}$		1	$1.53 \times 10^{-2} \text{ mL}$
$u(\rho_w)$		纯水密度	$1.73 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$		-100.00740 $(\text{cm}^3)^2/\text{g}$	$1.73 \times 10^{-3} \text{ mL}$
$u(\beta)$		体胀系数	$4.62 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$		-129.81593 $\text{cm}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$	$6.00 \times 10^{-3} \text{ mL}$
$u(t_w)$	$u(t_{w1})$	温度计	$0.1155 \text{ }^\circ\text{C}$	0.1633°C	$-0.04494 \text{ cm}^3/^\circ\text{C}$	$7.34 \times 10^{-3} \text{ mL}$
	$u(t_{w2})$	温度变化	$0.1155 \text{ }^\circ\text{C}$			

D.7 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} = 0.02 \text{ mL}$$

D.8 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2u_c = 0.04 \text{ mL}$$

D.9 测量不确定度报告

100 mL 塑料容量瓶的容量示值的测量结果扩展不确定度为

$$U = 0.04 \text{ mL} \quad (k = 2)$$

