

天津市地方计量技术规范

JJF(津) 3039-2025

附温比重瓶校准规范

Calibration Specification for Pycnometer with

Ground-in Thermometer

2025-09-29 发布

2025-11-01 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

附温比重瓶校准规范

Calibration Specification for

Pyknometer with Ground-in Thermometer

JJF(津) 3039-2025

归口单位：天津市流量容量计量技术委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

北京市计量检测科学研究院

河北省计量监督检测研究院

参加起草单位：天津市中西医结合医院（天津市南开医院）

本规范委托天津市流量容量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

路 遥 （天津市计量监督检测科学研究院）

张 璋 （天津市计量监督检测科学研究院）

赵 强 （北京市计量检测科学研究院）

王 婧 （河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：

王 喆 （天津市计量监督检测科学研究院）

刘 畅 （天津市计量监督检测科学研究院）

王泽慧 （天津市计量监督检测科学研究院）

王成罡 （天津市中西医结合医院（天津市南开医院））

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 计量单位	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 容量示值误差	(2)
5.2 玻璃液体温度计温度示值误差	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准介质	(3)
6.3 主标准器及配套设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准前的准备	(4)
7.2 校准项目	(4)
7.3 校准方法	(4)
8 校准结果的表达	(5)
8.1 实际容量计算	(5)
8.2 容量示值误差计算	(6)
8.3 温度示值误差计算	(6)
8.4 校准结果的表达	(6)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A K(t)值表	(8)
附录 B 附温比重瓶校准记录格式	(9)
附录 C 附温比重瓶校准证书内页格式	(10)
附录 D 附温比重瓶容量示值误差测量结果的不确定度评定	(11)
附录 E 附温比重瓶玻璃液体温度计温度示值误差测量结果的不确定度评定	(15)

引 言

本规范以 JJF 1071-2010《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文件。

本规范在技术方面主要参考了 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》、GB/T 6750-2007《色漆和清漆 密度的测定 比重瓶法》，参考了 ISO 3507《实验室玻璃仪器——比重瓶》（Laboratory glassware—Pyknometers）、ISO 3838《原油和液体或固体石油产品——密度或相对密度的测定——毛细管塞比重瓶和带刻度双毛细管 比重瓶法》（Crude petroleum and liquid or solid petroleum products—Determination of density or relative density—Capillary-stoppered pyknometer and graduated bicapillary pyknometer methods）。

本规范作为京津冀共建规范，为首次发布。

附温比重瓶校准规范

1 范围

本规范适用于附温比重瓶的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1009 容量计量术语及定义

JJG 99—2022 砝码

JJG 130 工作用玻璃液体温度计

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 6750-2007《色漆和清漆 密度的测定 比重瓶法》

ISO 3507 实验室玻璃仪器——比重瓶 (Laboratory glassware—Pyknometers)

ISO 3838 原油和液体或固体石油产品——密度或相对密度的测定——毛细管塞 比重瓶和带刻度双毛细管比重瓶法 (Crude petroleum and liquid or solid petroleum products—Determination of density or relative density—Capillary-stoppered pyknometer and graduated bicapillary pyknometer methods)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本使用于本规范；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 附温比重瓶 pyknometer with ground-in thermometer

带有玻璃液体温度计的用于测量液体密度的实验室玻璃材质的量器。

3.1.2 玻璃液体温度计 liquid-in-glass thermometer

利用在透明玻璃感温泡和毛细管内的感温液体随被测介质温度变化而热胀冷缩作用测量温度的温度计。

3.1.3 参考温度计 standard thermometer

用于测量校准介质温度的玻璃液体温度计。

3.2 计量单位

容量计量单位：毫升，符号：mL；温度计量单位：摄氏度，符号：℃。

4 概述

附温比重瓶是利用各种物质的固定比重，在一定的温度下，一定体积容器内的试验物与同体积的水在同等条件下进行称重质量的比较，即能测出该试验物的比重的玻璃量器，一般由比重瓶、温度计、毛细管组成。附温比重瓶是实验室里广泛使用的计量器具，适用于工业、农业粮食等领域。

附温比重瓶通常配备玻璃液体温度计，用于测量瓶内介质温度，如图 1 所示。

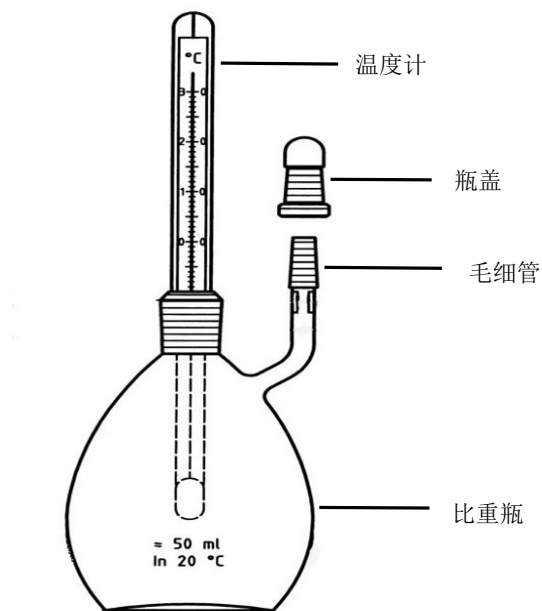


图 1 附温比重瓶

5 计量特性

5.1 容量示值误差

附温比重瓶在标准温度 20℃时，其标称容量最大允许误差应符合表 1 的要求。

表1 附温比重瓶标称容量最大允许误差表

标称容量/mL	容量允差/ mL
5	±0.5
10	±1.0

表 1(续) 附温比重瓶标称容量最大允许误差表

标称容量/mL	容量允差/ mL
25	± 2.0
50	± 3.0
100	± 3.0

5.2 玻璃液体温度计温度示值误差

玻璃液体温度计温度最大允许误差为： $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 。

注：章节 5.1 和 5.2 所述的技术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 ） $^{\circ}\text{C}$ ，室温变化应不大于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6.1.2 相对湿度：30%~80%。

6.2 校准介质

介质应符合 GB/T 6682《分析实验用水规格和试验方法》中三级水的要求，并提前放入实验室内，使其温度与室温之差不得大于 2°C 。

6.3 主标准器及配套设备

校准用设备的技术指标应符合表 2 中的要求并有效溯源，也可用扩展不确定度满足要求的其他测量标准。

表 2 主标准器和配套设备一览表

类型	仪器名称	测量范围	技术要求	用途	备注
主标准器	天平	(0~200) g	①级，实际分度值 $\leq 0.1\text{mg}$	测量质量	/
	参考温度计	(0~50) $^{\circ}\text{C}$	实际分度值 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ ，扩展不确定度 $\leq 0.2^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)	测量水温	/
	标准水银温度计	(0~50) $^{\circ}\text{C}$	示值修正值符合 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$	校准附温比重瓶的温度计	也可使用扩展不确定度不大于被校温度计最大允许误差三分之一的其它设备

表 2(续) 主标准器和配套设备一览表

类型	仪器名称	测量范围	技术要求	用途	备注
配套设备	有盖容器、针筒、滤纸等	/	/	测量水温、调节液位、擦拭水渍等	/
	恒温槽	(0~50)°C	工作区域水平温差 $\leq 0.02^{\circ}\text{C}$ 工作区域最大温差 $\leq 0.04^{\circ}\text{C}$ 温度波动性 $\leq 0.04^{\circ}\text{C}/10\text{min}$	校准附温比重瓶的温度计	也可使用满足技术要求的其它液体恒温设备作为热源, 0°C也可使用装有冰水混合物的冰瓶
	读数装置	/	放大倍数 5 倍以上, 可调水平	温度计读数装置	/

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前的准备

采用目测的方法检查附温比重瓶的外观, 附温比重瓶应标记标称容量、计量单位等信息, 无可见缺陷, 玻璃应透明, 无条纹和气泡, 且标记的刻度应清晰、均匀及不可擦除。

7.2 校准项目

附温比重瓶的标称容量示值误差、玻璃液体温度计温度示值误差。

7.3 校准方法

7.3.1 实际容量值的校准

采用衡量法对附温比重瓶的实际容量值进行校准。校准方法及步骤如下:

7.3.1.1 将附温比重瓶清洗干净并经过干燥处理 (按要求提前放置于实验室进行恒温), 待电子天平稳定后置于电子天平上并清零;

7.3.1.2 去除附温比重瓶温度计, 将蒸馏水注入附温比重瓶到溢流状态, 然后插回温度计, 并擦干溢流的水, 用电子天平称量此时的附温比重瓶的质量, 记录数值 m , 同时使用参考温度计测量并记录此时蒸馏水的温度。

7.3.1.3 每个校准点测量两次。

7.3.2 玻璃液体温度计温度示值误差

7.3.2.1 校准温度点一般为: 0°C、20°C和 40°C, 也可根据实际使用需求选取其它温度点, 玻璃液体温度计示值误差的校准结果以修正值形式给出。

7.3.2.2 标准温度计和被校温度计应按规定的浸没方式垂直插入恒温槽中。标准水银温度计露出液柱高度应不超过 10mm；被校玻璃液体温度计应按浸没标志要求插入恒温槽中。校准顺序一般以零点为起始，升温逐点进行。开始读数时，恒温槽实际温度偏离校准点应不超过 0.2℃。

7.3.2.3 温度计插入恒温槽中要稳定 10min 以上才可读数。读数时视线应与玻璃温度计感温液柱上端面保持在同一水平面，读取感温液柱上端面的最高处（水银）或最低处（有机液体）与被测温度点刻线的偏差，并估读到分度值的十分之一。先读取标准示值（或偏差），再读取各被校的偏差，顺序：标准→被校，然后再按相反顺序读数返回到标准。分别计算标准示值（或偏差）的算术平均值和各被校示值偏差的算术平均值。

7.2.3.4 标准温度计和被校温度计读数两次。读数要迅速、准确、时间间隔要均匀。校准温度计一个温度点校准完毕，恒温槽温度变化应符合表 2 温度波动性的要求。温度计在测量零点前应在冰水中预冷 10min。被校温度计零点的示值误差校准可以在冰点器或恒温槽中用比较法进行。

8 校准结果的表达

8.1 实际容量计算

将上述方法所测得的质量值、温度值分别带入式（1），可求得被测附温比重瓶在标准温度 20℃时的实际容量值。

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

式中：

V_{20} ——温度 20℃时附温比重瓶的实际容量，mL；

m ——所注入的蒸馏水质量，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 ——蒸馏水在 t ℃时的密度，g/cm³；

β ——被校附温比重瓶的体胀系数，取 $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ；

t_w ——校准时介质水的温度，℃。

为简便计算过程，也可将式（1）化为下列形式：

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

其中：

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

$K(t)$ 值见附录 A。根据测量值 m 和蒸馏水的温度所对应的 $K(t)$ 值，即可求出被校附温比重瓶在标准温度 20℃ 时的实际容量。容量测定次数一般为两次，两次测量的差值应不超过被测量点容量允差的 1/4，取两次测量结果的平均值。

8.2 容量示值误差计算

容量示值误差按式（4）进行计算：

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

式中：

ΔV ——附温比重瓶的容量示值误差，mL；

V ——标称容量，mL；

$\bar{V}_{20}$ ——附温比重瓶在 20℃ 时实际容量值，mL。

8.3 温度示值误差计算

温度示值误差计算按式（5）进行计算：

$$x = \bar{\delta}_{ts} + \Delta_{ts} - \bar{\delta}_t \quad (5)$$

式中：

x ——被校温度计修正值，应修约到分度值的 1/10 位，℃；

$\bar{\delta}_{ts}$ ——标准水银温度计示值偏差平均值，℃；

Δ_{ts} ——标准水银温度计的示值修正值，℃；

$\bar{\delta}_t$ ——被校温度计温度示值偏差的平均值，℃。

8.4 校准结果的表达

8.4.1 经校准后的附温比重瓶应出具校准证书。

8.4.2 校准证书内容

校准证书应至少包含以下信息：

- 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和应用有关时，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。

附录 A

 $K(t)$ 值表 $(\rho_A = 0.0012 \text{ g/cm}^3 \quad \beta = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C})$

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/ $^\circ\text{C}$	$K(t)/(\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.00200	18.4	1.00254	21.8	1.00322
15.1	1.00201	18.5	1.00256	21.9	1.00324
15.2	1.00203	18.6	1.00258	22.0	1.00327
15.3	1.00204	18.7	1.00260	22.1	1.00329
15.4	1.00206	18.8	1.00262	22.2	1.00331
15.5	1.00207	18.9	1.00264	22.3	1.00333
15.6	1.00209	19.0	1.00266	22.4	1.00335
15.7	1.00210	19.1	1.00267	22.5	1.00337
15.8	1.00212	19.2	1.00269	22.6	1.00339
15.9	1.00213	19.3	1.00271	22.7	1.00341
16.0	1.00215	19.4	1.00273	22.8	1.00343
16.1	1.00216	19.5	1.00275	22.9	1.00346
16.2	1.00218	19.6	1.00277	23.0	1.00349
16.3	1.00219	19.7	1.00279	23.1	1.00351
16.4	1.00221	19.8	1.00281	23.2	1.00353
16.5	1.00222	19.9	1.00283	23.3	1.00355
16.6	1.00224	20.0	1.00285	23.4	1.00357
16.7	1.00225	20.1	1.00286	23.5	1.00359
16.8	1.00227	20.2	1.00288	23.6	1.00362
16.9	1.00229	20.3	1.00290	23.7	1.00364
17.0	1.00230	20.4	1.00292	23.8	1.00366
17.1	1.00232	20.5	1.00294	23.9	1.00369
17.2	1.00234	20.6	1.00296	24.0	1.00372
17.3	1.00235	20.7	1.00298	24.1	1.00374
17.4	1.00237	20.8	1.00300	24.2	1.00376
17.5	1.00239	20.9	1.00303	24.3	1.00378
17.6	1.00240	21.0	1.00305	24.4	1.00381
17.7	1.00242	21.1	1.00307	24.5	1.00383
17.8	1.00244	21.2	1.00309	24.6	1.00386
17.9	1.00246	21.3	1.00311	24.7	1.00388
18.0	1.00247	21.4	1.00313	24.8	1.00391
18.1	1.00249	21.5	1.00315	24.9	1.00394
18.2	1.00251	21.6	1.00317	25.0	1.00397
18.3	1.00253	21.7	1.00319	/	/

附录 B

附温比重瓶校准记录格式（仅供参考）

记录（证书）编号：

第 1 页 共 1 页

委托单位				地址		
被校准 计量器具	名称			型号规格		
	制造厂			出厂编号		
标准器名称	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/证书号	有效期至	
依据				校准地点		
结果不确定度				环境条件	温 度： °C	
					相对湿度： %	
校准日期				建议下次校准		
校准员				核验员		

校准用介质						
编号	测 量 点 /mL	水温/°C	质量值/g	$K(t)$ 值	V_{20} /mL（应）	$\bar{V}_{20}$ /mL
扩展不确定度 U/mL ($k=2$) :						

校准温度点/°C	标准温度计/°C	被校温度计/°C			
平均值/°C					
校准结果	被校温度计修正值/°C				
	证书给出值/°C				
扩展不确定度 $U/^\circ\text{C}$ ($k=2$) :					

附录 C

附温比重瓶校准证书内页格式（仅供参考）

一、容量实际值：

校准用介质：

编号	标称值/mL	容量实际值/mL	扩展不确定度 U /mL ($k=2$)

二、玻璃液体温度计温度示值误差：

校准温度点/℃			
示值修正值/℃			

扩展不确定度 U /℃ ($k=2$)：

注：实际温度=示值+示值修正值。

附录 D

附温比重瓶容量值测量结果的不确定度评定示例

D.1 校准方法

依据正文 7.2, 针对 1 个编号 06 标称容量 100mL 附温比重瓶, 进行 10 次测量。

D.2 测量模型

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

式中:

V_{20} ——为 20℃ 温度下的容量值, mL;

m ——被校附温比重瓶所容纳水的表观质量, mg;

ρ_B ——砝码密度, 取值为 8.00g/cm³;

ρ_A ——空气密度, g/cm³;

ρ_W ——水密度, g/cm³;

β ——热膨胀系数, 取值为 $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

t ——测定介质水的温度, °C。

D.3 灵敏系数

根据测量模型得到灵敏系数为

$$c_M = \frac{\partial V_{20}}{\partial m} = \frac{(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (D.2)$$

$$c_t = \frac{\partial V_{20}}{\partial t} = -\frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} \beta \quad (D.3)$$

$$c_\beta = \frac{\partial V_{20}}{\partial \beta} = \frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} (20 - t) \quad (D.4)$$

$$c_{\rho_B} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_B} = \frac{m\rho_A}{\rho_B^2(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (D.5)$$

$$c_{\rho_W} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_W} = -\frac{m(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)^2} [1 + \beta(20 - t)] \quad (D.6)$$

$$c_{\rho_A} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_A} = \frac{m[1 - \beta(t - 20)]}{\rho_B} \left[-\frac{1}{(\rho_W - \rho_A)} + \frac{(\rho_B - \rho_A)}{(\rho_W - \rho_A)^2} \right] \quad (D.7)$$

各测量量之间不相关，相关系数为 0。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 标准不确定度 A 类评定

按照实施方案的要求，对 100mL 附温比重瓶进行 2 次独立的重复测量，数据见表 D.1。

表 D.1 附温比重瓶校准数据

序号	校准点 (mL)	表观 质量 (g)	砝码 密度 (g/cm ³)	空气密度 (g/cm ³)	环境 温度 (°C)	水温 (°C)	水密度 (g/cm ³)	体胀系数 (°C ⁻¹)	V_{20} (mL)
1	100	100.0288	8	0.00119	21.5	20.5	0.9980961	10×10^{-6}	100.3439
2	100	100.0365	8	0.00119	21.5	20.5	0.9980961	10×10^{-6}	100.3516

V_{20} 平均值： $\bar{V} = 100.3478\text{mL}$

单次测量的实验标准偏差，采用极差法： $s(V) = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{C_2} = 0.0068\text{mL}$

测量重复性引入的标准不确定度为： $u_A(\bar{V}) = \frac{s(V)}{\sqrt{2}} = 0.0014\text{mL}$ ，灵敏系数为 1。

D.4.2 标准不确定度 B 类评定

(1) 水质量称量引入的不确定度 $u(m)$ 的评估

附温比重瓶内的水质量通过电子天平称量获得，因此水质量测量不确定度取决于天平的测量误差。天平测量不确定度影响因素主要有天平重复性、偏载误差和示值误差，分别由 u_1 、 u_2 和 u_3 表示。根据电子天平的检定证书给出的最大允许误差，天平重复性为 $\pm 20\text{mg}$ ，偏载误差为 $\pm 100\text{mg}$ ，示值误差为 $\pm 150\text{mg}$ ，服从均匀分布分别除以 $\sqrt{3}$ ，则：

$$\text{那么 } u(m) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.105\text{g}$$

并计算 $c_m = 1.00295\text{mL/g}$ 。

(2) 砝码密度引入的不确定度分量 $u(\rho_B)$

根据 JJG 99—2022 《砝码》得到砝码密度的不确定度为 0.14g/cm^3 , $k=2$, 所以,

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

计算 $c_{\rho_B} = 0.004659\text{mL}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ 。

(3) 空气密度引入的不确定度 $u(\rho_A)$

按照 CIPM-2007 推荐使用的空气密度的计算公式, 分析计算可得到空气密度的标准不确定度为:

$$u(\rho_A) = 6.7 \times 10^{-7}\text{g/cm}^3$$

计算 $c_{\rho_A} = 220.01\text{mL}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$

(4) 水密度引入的不确定度 $u(\rho_W)$

测量介质为蒸馏水, 所以水密度采用了国际实用温标水密度值, 其允差为 $\pm 1 \times 10^{-4}\text{g/cm}^3$, 服从均匀分布, 其测量标准不确定度为:

$$u(\rho_W) = 1 \times 10^{-4} / \sqrt{3}\text{g/cm}^3 = 5.77 \times 10^{-5}\text{g/cm}^3$$

计算 $c_{\rho_W} = -251.334\text{mL}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ 。

(5) 附温比重瓶膨胀系数引入的不确定度 $u(\beta)$

附温比重瓶的热膨胀系数为: $10 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$, 根据经验值, 取附温比重瓶膨胀系数引入的不确定度: $u(\beta) = 1.0 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$

计算 $c_\gamma = -125.279\text{C}\cdot\text{mL}$ 。

(6) 水温度测量引入的不确定度 $u(t)$ 的评估

水温度测量按照检定证书给出误差为 $\pm 0.10\text{C}$, 服从均匀分布, 其测量标准不确定度为:

$$u(t) = 0.10 / \sqrt{3}\text{C} = 0.057\text{C}$$

计算 $c_t = -0.002506\text{mL/C}$ 。

(7) 不确定度分量汇总情况

表 D.2 不确定度分量汇总

不确定度来源	不确定度分量	不确定度值	灵敏系数 c_i
测量重复性引入	$u_A(\bar{V})$	0.0068mL	1
水质量称量引入	$u(M)u(m)$	0.105g	1.00295mL/mg
砝码密度引入	$u(\rho_B)$	0.07g/cm ³	0.004659mL·cm ³ /g
空气密度引入	$u(\rho_A)$	6.7×10 ⁻⁷ g/cm ³	220.01mL·cm ³ /g
水密度引入	$u(\rho_W)$	5.77×10 ⁻⁵ g/cm ³	-251.334mL·cm ³ /g
附温比重瓶膨胀系数引入	$u(\beta)$	1.0×10 ⁻⁶ °C ⁻¹	-125.279°C·mL
水温度测量引入	$u(t)$	0.057°C	-0.002506mL/°C

D.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_A(\bar{V})^2 + u(m)^2 c_M^2 + u(\rho_B)^2 c_{\rho_B}^2 + u(\rho_A)^2 c_{\rho_A}^2 + u(\rho_W)^2 c_{\rho_W}^2 + u(\beta)^2 c_{\beta}^2 + u(t)^2 c_t^2}$$

$$= 0.11\text{mL}$$

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ 则, 扩展不确定度: $U = 2 \times u_c = 0.22\text{mL}$ ($k=2$)

附录 E

附温比重瓶用玻璃液体温度计温度示值误差测量结果的不确定度评定

E.1 校准方法

依据正文 7.2，进行测量。被测对象为一支附温比重瓶用玻璃液体温度计，其测量范围为（0~40）℃，分度值为 0.5℃。

E.2 测量模型

$$x = \bar{\delta}_{ts} + \Delta_{ts} - \bar{\delta}_t \quad (\text{E.1})$$

式中：

x ——被校温度计修正值，应修约到分度值的1/10位，℃；

$\bar{\delta}_{ts}$ ——标准水银温度计示值偏差平均值，℃；

Δ_{ts} ——标准水银温度计的示值修正值，℃；

$\bar{\delta}_t$ ——被校温度计温度示值偏差的平均值，℃。

E.3 灵敏系数

根据测量模型得到灵敏系数为

$$C_1 = \partial x / \partial \bar{\delta}_{ts} = 1 \quad (\text{E.2})$$

$$C_2 = \partial x / \partial \Delta_{ts} = 1 \quad (\text{E.3})$$

$$C_3 = \partial x / \partial \bar{\delta}_t = -1 \quad (\text{E.4})$$

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 标准水银温度计读数分辨力（估读）引入的标准不确定度，采用 B 类方法评定。

标准水银温度计的读数分辨力为其分度值的 1/10，即 0.01℃，则不确定度区间半宽为 0.01℃，按均匀分布计算：

$$u_1 = 0.01 / \sqrt{3} \approx 0.006^\circ\text{C}$$

E.4.2 恒温槽温场不均匀引入的标准不确定度，采用 B 类方法评定。

由恒温槽的技术指标可知，其工作区域最大温差≤0.04℃，则不确定度区间半宽为 0.02℃，按均匀分布计算：

$$u_2 = 0.02/\sqrt{3} \approx 0.012^\circ\text{C}$$

E.4.3 恒温槽温度波动引入的标准不确定度，采用 B 类方法评定。

由恒温槽的技术指标可知，其温度波动性 $\leq 0.04^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，则不确定度区间半宽为 0.02°C ，按均匀分布计算：

$$u_3 = 0.02/\sqrt{3} \approx 0.012^\circ\text{C}$$

E.4.4 标准水银温度计的修正值引入的标准不确定度，采用 B 类方法评定。

由标准水银温度计不确定度分析可知，在 $(0\sim 50)^\circ\text{C}$ 范围，标准水银温度计的扩展不确定度 $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，其该分量为：

$$u_4 = 0.04/2 \approx 0.020^\circ\text{C}$$

E.4.5 被测温度计示值重复性引入的标准不确定度，采用 A 类方法评定。

将标准水银温度计和被检温度计同时放入恒温槽中，待示值稳定后，重复测量 10 次，分别计算修正值。通过贝塞尔公式法计算得到该分量为：

$$u_5 = s/\sqrt{2} \approx 0.009^\circ\text{C}$$

E.4.6 被校温度计读数（估读误差）引入的标准不确定度，采用 B 类方法评定。

被测温度计的分度值为 0.5°C ，读数分辨力为其分度值的 $1/10$ ，即 0.5°C ，则不确定度区间半宽为 0.05°C ，按均匀分布计算：

$$u_6 = 0.05/\sqrt{3} \approx 0.029^\circ\text{C}$$

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 各标准不确定度分量，见分量汇总表表 E.1：

表 E.1 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	不确定度分量/ $^\circ\text{C}$	灵敏系数
u_1	标准水银温度计读数分辨力（估读）引入	0.006	1
u_2	恒温槽温场不均匀引入	0.012	1
u_3	恒温槽温度波动引入	0.012	1
u_4	标准水银温度计的修正值引入	0.020	1

表 E.1(续) 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	不确定度分量/°C	灵敏系数
u_5	被测温度计示值重复性引入	0.009	-1
u_6	被校温度计读数（估读误差）引入	0.029	-1

E.5.2 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{(c_1 \cdot u_1)^2 + (c_2 \cdot u_2)^2 + (c_3 \cdot u_3)^2 + (c_4 \cdot u_4)^2 + (c_5 \cdot u_5)^2 + (c_6 \cdot u_6)^2} = 0.04^\circ\text{C}$$

E.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度： $U = 2 \times u_c = 0.08^\circ\text{C}$ 。

