



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 42—2011

工 作 玻 璃 浮 计

Working Glass Hydrometers

2011-09-20 发布

2012-03-20 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布



工作玻璃浮计检定规程

Verification Regulation of
Working Glass Hydrometers

JJG 42—2011
代替 JJG 42—2001

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 9 月 20 日批准，并自 2012 年 3 月 20 日起施行。

归口单位：全国质量、密度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：辽宁省计量科学研究院

冀州市耀华器械仪表厂

本规程委托全国质量、密度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

许常红（中国计量科学研究院）

陈朝晖（中国计量科学研究院）

顾英姿（中国计量科学研究院）

参加起草人：

孟淑燕（辽宁省计量科学研究院）

徐彦发（冀州市耀华器械仪表厂）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
4.1 几种常见浮计假定标尺与密度换算关系	(2)
5 计量性能要求	(3)
6 通用技术要求	(3)
6.1 外观	(3)
6.2 标准温度	(3)
6.3 标记	(3)
7 计量器具控制	(4)
7.1 检定条件	(4)
7.2 检定项目和检定方法	(7)
7.3 检定结果处理	(11)
7.4 检定周期	(11)
附录 A 0℃~40℃纯水密度表(不含空气)	(12)
附录 B 20℃时酒精水溶液体积分数 q 与密度 ρ 换算表	(14)
附录 C 20℃时糖溶液质量分数 p 与密度 ρ 换算表	(15)
附录 D 20℃时乳汁度(m°)与密度 ρ_{20} 换算表	(16)
附录 E 20℃时土壤度(s°)与密度 ρ_{20} 换算表	(17)
附录 F 20℃时波美度(Bh)与密度 ρ_{20} 换算表	(18)
附录 G 密度小于水的液体毛细常数 α	(19)
附录 H 密度大于水的液体毛细常数 α	(21)
附录 J 碘化钾、碘化汞水溶液毛细常数 α	(24)
附录 K 糖溶液毛细常数 α	(25)
附录 L 空气密度计算公式	(26)
附录 M 湿空气密度表	(27)
附录 N 静力称量法密度检定原始记录 1	(29)
附录 P 静力称量法密度检定原始记录 2	(30)
附录 Q 检定证书内页格式	(31)
附录 R 检定结果通知书内页格式	(32)

工作玻璃浮计检定规程

1 范围

本规程适用于密度计、石油密度计、酒精计、糖量计、乳汁计、土壤计等质量固定式工作玻璃浮计（以下简称浮计）的首次检定、后续检定和使用中检查。

本规程不适用小于 650 kg/m^3 低密度量程石油密度计的检定。

2 引用文件

JJF 1229—2009 质量密度计量名词术语及定义

JJG 2094—2010 密度计量器具检定系统表

GB/T 17764—2008 密度计的结构和校准原则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和计量单位

3.1 相对密度 relative density

在规定条件下，物质密度 ρ_1 与参考物质密度 ρ_2 之比，用 d 表示。见公式（1）：

$$d = \rho_1 / \rho_2 \quad (1)$$

注： d 为无单位，即无量纲的量。

在密度测量领域中，参考物质对于液体与固体通常采用纯水，对于气体通常采用与其气体的压力和温度相同的干燥空气。例如，本规程中海水密度计的标尺为相对密度单位，即指海水在 17.5°C 时密度与纯水在 17.5°C 时密度之比，用符号 $d_{17.5}^{17.5}$ 来表示。

3.2 液体静力称量法 hydrostatic weighing

基于阿基米德原理，通过称量浸入液体中的玻璃浮计在稳定状态下所受浮力的大小来确定其浸入部分的体积，并计算得到浮计该点密度值的方法。

4 概述

玻璃浮计是一种在液体中能垂直自由漂浮，由它浸没于液体中的深度来直接测量液体密度、相对密度或溶液浓度的仪器，其结构如图 1 所示。

图 1 中玻璃浮计上部干管为顶端密封、直径均匀的细长圆管，管内紧贴有按密度、相对密度或浓度标记的标尺。躯体是底部呈圆锥形或半球形（以避免附着气泡）的空心圆柱体，其下部是用玻璃隔板或其他结构制成的压载室，内部填满了小铅丸或其他适合填充物作压载物。



图1 玻璃浮计结构示意图

浮计测量的基本原理是根据阿基米德定律，即当浮计在液体中平衡时，它所排开的液体重量等于浮计本身的重量。这样由其浸没于液体中的深度，即可由标尺直接得到液体密度、相对密度或是浓度。

4.1 几种常见浮计假定标尺与密度换算关系

为便于测量，在实际工作中，常见以下几种具有假定标尺的浮计。

4.1.1 乳汁计

乳汁度与密度换算公式如下：

$$\text{乳汁度}(\text{m}^\circ) = \rho_{20} - 1\,000 \quad (2)$$

式中： ρ_{20} ——与乳汁度（ m° ）相对应 20℃ 的乳汁密度， kg/m^3 。

乳汁度（ m° ）与 ρ_{20} 的换算表见附录 D。

4.1.2 土壤计

4.1.2.1 甲种土壤计

$$\text{土壤度}(\text{s}^\circ) = \frac{\rho_{20} - 998.207}{0.623} \quad (3)$$

式中： ρ_{20} ——与土壤度（ s° ）相对应 20℃ 的土壤密度， kg/m^3 。

土壤度（ s° ）与 ρ_{20} 的换算表见附录 E。

4.1.2.2 乙种土壤计

乙种土壤计是以相对密度表示的，计算公式如下：

$$d_{20}^{20} = \rho_{20} / \rho_{20\text{水}} \quad (4)$$

式中： d_{20}^{20} ——乙种土壤计以相对密度值表示的示值；

ρ_{20} ——液体 20℃ 时的密度值， kg/m^3 ；

$\rho_{20\text{水}}$ ——纯水在 20℃ 时的密度值， kg/m^3 。

4.1.3 波美计

$$\text{波美度}(\text{Bh}) = 144.3 - \frac{144\,150}{\rho_{20}} \quad (5)$$

式中： ρ_{20} ——与波美度（Bh）相对应液体 20 °C 时的密度，kg/m³。

波美度（Bh）与 ρ_{20} 的换算表见附录 F。

5 计量性能要求

浮计示值的最大允许误差，除分度值为 0.5 kg/m³ 的石油密度计为 ±0.6 个分度值外，其他均不能大于 ±1 个分度值。

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 浮计的各部位应与其主轴线对称。

6.1.2 浮计内不应有油气、水气及其他杂质。干管顶端封口处不能有裂纹和变形。

6.1.3 压载物应固定在压载室内，压载物应为干燥清洁的金属弹丸（特殊情况下可用水银），弹丸不能有明显的移动。

6.1.4 用火漆固熔压载物时，火漆不能有翘起、松动。

6.1.5 浮计应用无色透明的优质玻璃制造，必须经良好的退火处理。

6.1.6 浮计玻璃的体膨胀系数 β 值应为 $(25 \pm 2) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

6.1.7 浮计的玻璃不能有影响强度和妨碍读数的缺陷（如条纹、节瘤、气线和气泡等）。

6.1.8 标尺必须牢固地粘贴在干管内壁上，不得有松动、扭曲、歪斜和皱缩等现象。

6.1.9 标尺应用平滑而无光泽的白色优质纸制作，其内不得有变形、褪色和碳化等现象。

6.1.10 标尺刻线必须均匀、清晰，不得有明显的断线及污点，刻线的宽度不能大于 0.2 mm。所有标尺刻线必须与浮计轴线相垂直。

6.1.11 标尺上的主刻线（最长的）、次刻线和最短的刻线长度分别至少应为干管周长的 1/2, 1/3, 1/4。

6.1.12 在标尺首末两端的主刻线外，应有两条以上的附加刻线。最上端的附加刻线与干管顶端的距离应不小于 15 mm，最下端的附加刻线与躯体和干管焊接处的距离应不小于 5 mm（总长不超过 150 mm 的小型浮计，上端可为 12 mm，下端可为 3 mm）。

6.1.13 标尺上的主刻线，应标注完整清晰的数值，其余刻线可用不完整的数码标注。

6.1.14 标尺不能有任何移动。

6.1.15 浮计标尺间距的平均宽度不小于 1.2 mm（特殊要求的除外）。

6.1.16 浮计干管与液面间的垂直偏差除石油计不大于 0.1 个分度值外，其他均不大于 0.2 个分度值。

6.2 标准温度

除海水密度计标准温度为 17.5 °C 外，其他浮计的标准温度均为 20 °C。

6.3 标记

浮计应有以下清晰而持久的标记：

a) 浮计名称；

b) 浮计的标准温度；

c) 浮计内应标明单位，如 kg/m³ 等；

- d) 浮计的编号及出厂年月；
 e) 制造单位名称或商标；
 f) 按弯月面上缘读数的浮计应在浮计内注明。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 检定用标准器按“液体密度计量器具检定系统”的规定配置。见表1。

表1 检定用标准器

受检浮计名称		测量范围	计量基、标准名称	测量范围	扩展不确定度 ($k=2$)
精密密度计		650 kg/m ³ ~	一等标准密度计组	650 kg/m ³ ~2 000 kg/m ³	$(8\sim 20)\times 10^{-2}$ kg/m ³
密度计		2 000 kg/m ³	二等标准密度计组	650 kg/m ³ ~1 500 kg/m ³	20×10^{-2} kg/m ³
石油 密度 计	SY-02 型	650 kg/m ³ ~ 1 100 kg/m ³	一等标准密度计组	650 kg/m ³ ~1 100 kg/m ³	8×10^{-2} kg/m ³
	SY-05 型		二等标准石油计组	650 kg/m ³ ~1 100 kg/m ³	15×10^{-2} kg/m ³
	SY-10 型				
乳汁计		15 m°~40 m°	二等标准密度计组	1 010 kg/m ³ ~ 1 040 kg/m ³	20×10^{-2} kg/m ³
乳汁密度计		1 010 kg/m ³ ~ 1 040 kg/m ³			
精密酒精计		q : 0~100%	一等标准酒精计组	q : 0~100%	q : 0.04%
酒精计			二等标准酒精计组	q : 0~100%	q : 0.08%
糖量计		p : 0~80%	一等标准糖量计组	p : 0~80%	p : 0.03%
海水密度计		1.000~1.040	一等标准海水计组	1.000 0~1.040 0	4×10^{-5}
土壤计 (甲种)		-5 s°~50 s°	一等标准密度计组	995 kg/m ³ ~1 030 kg/m ³	8×10^{-2} kg/m ³
土壤计 (乙种)		0.995~1.030 (相对密度)			
蓄电池密度计		1 100 kg/m ³ ~ 1 300 kg/m ³	二等标准密度计组	1 000 kg/m ³ ~1 300 kg/m ³	20×10^{-2} kg/m ³
尿密度计		1 000 kg/m ³ ~ 1 050 kg/m ³			
波美计		0~70 Bh	一等标准密度计组	650 kg/m ³ ~2 000 kg/m ³	$(8\sim 20)\times 10^{-2}$ kg/m ³
			二等标准密度计组	650 kg/m ³ ~1 500 kg/m ³	20×10^{-2} kg/m ³
注: 1 在计量基、标准名称一栏中的浮计, 除一等标准海水密度计组标准温度为 17.5℃外, 其余均为 20℃。					
2 在受检浮计名称一栏中的乳汁计 (含乳汁密度计)、糖量计、尿密度计和土壤计均为“上缘读数”的浮计。					

7.1.2 检定用液体见表 2。

表 2 检定用液体

浮计名称	测量范围	液体名称	备 注
密度计	$650 \text{ kg/m}^3 \sim 800 \text{ kg/m}^3$	石油产品混合液（由石油醚、无铅汽油、煤油和柴油配制）	
	$810 \text{ kg/m}^3 \sim 950 \text{ kg/m}^3$	酒精水溶液（由乙醇和纯水配制）	
	$960 \text{ kg/m}^3 \sim 1\,000 \text{ kg/m}^3$	硫酸氢乙酯（由硫酸和为 q ：85% 的酒精水溶液配制）	
	$1\,000 \text{ kg/m}^3 \sim 1\,830 \text{ kg/m}^3$	硫酸水溶液（由硫酸和纯水配制）	需要用溢出法（见 7.2.4.3）检定
		硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到硫酸水溶液
	$1\,840 \text{ kg/m}^3 \sim 2\,000 \text{ kg/m}^3$	碘化钾、碘化汞水溶液（由碘化钾、碘化汞和纯水配制）	
		纯酒精（或其他合适液体）	静力称量法需将毛细常数修正到碘化钾、碘化汞水溶液
石油密度计	$650 \text{ kg/m}^3 \sim 800 \text{ kg/m}^3$	石油产品混合液	
	$810 \text{ kg/m}^3 \sim 950 \text{ kg/m}^3$	酒精水溶液	将毛细常数修正到石油产品混合液
	$960 \text{ kg/m}^3 \sim 1\,100 \text{ kg/m}^3$	硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到石油产品混合液
酒精计	q ：0~25%，相当于密度为 $998.2 \text{ kg/m}^3 \sim 968.1 \text{ kg/m}^3$	酒精水溶液	需用溢出法检定
		硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到酒精水溶液
	q ：26%~100%，相当于密度为 $967.0 \text{ kg/m}^3 \sim 789.2 \text{ kg/m}^3$	酒精水溶液	高浓度可加少许乙醚进行配制
糖量计	p ：0~80%	硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到糖溶液
海水密度计	1.000~1.040	硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到海水

表 2 (续)

浮计名称	测量范围	液体名称	备 注
乳汁计	15 m°~40 m°, 相当于密度 1 015 kg/m ³ ~1 040 kg/m ³	硫酸水溶液	需用溢出法检定
		硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到乳汁
乳汁密度计	1 010 kg/m ³ ~1 040 kg/m ³		
土壤计(甲种)	-5 s°~50 s°, 相当于密度 995 kg/m ³ ~1 030 kg/m ³	硫酸水溶液	需用溢出法检定
		硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到硫酸水溶液
土壤计(乙种)	0.995~1.030 (相对密度)		
波美计	0~65 Bh, 相当于密度 1 000 kg/m ³ ~1 830 kg/m ³	硫酸水溶液	需用溢出法检定
		硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到硫酸水溶液
	66 Bh~70 Bh, 相当于密度 1 840 kg/m ³ ~2 000 kg/m ³	碘化钾、碘化汞水溶液	—
		纯酒精 (或其他合适液体)	静力称量法需将毛细常数修正到碘化钾、碘化汞水溶液
注: 所用化学试剂均为化学纯。石油醚沸程 30℃~60℃。			

7.1.3 检定液体的配制

7.1.3.1 配制硫酸氢乙酯或硫酸水溶液时, 应将硫酸缓缓地注入 q : 85% 酒精水溶液或纯水中并不断地搅拌, 决不可反向操作。配制过程中, 液温不得超过 40℃, 否则应停止配制, 待冷却后再继续进行。

7.1.3.2 配制碘化钾、碘化汞水溶液, 将质量比约为 7/10 的化学纯碘化钾和碘化汞放入烧杯, 并加纯水不断搅拌, 若呈现红色沉淀需加碘化钾, 若呈现白色沉淀需加碘化汞。配好的溶液呈透明的柠檬黄色, 开始配制的溶液密度应大于 2 000 kg/m³, 而后加纯水配到所需的密度。这种溶液见光后容易变深红色, 影响读数, 需在棕色瓶或放在黑暗处保存。另外该溶液有毒性, 应注意人身安全及环境污染。

7.1.3.3 新配制的检定液 (指硫酸氢乙酯、硫酸水溶液和 q 为 0~25% 低浓度酒精水溶液) 必须稳定 12 h 后才能使用。

7.1.4 主要配套设备及仪器

7.1.4.1 内径 90 mm~100 mm, 高 450 mm~500 mm 的玻璃检定筒若干个。或内径 100 mm~110 mm, 高 500 mm~510 mm 的简易玻璃溢出筒 2 个, 如图 2 所示。

7.1.4.2 0℃~50℃, 分度值为 0.1℃ 的水银温度计或分辨力为 0.01℃ 数显温度计 2 支。

7.1.4.3 200 g (或以上) 天平, 分辨力为 0.01 g。

7.1.4.4 200 g (或以上, 可根据需要配置) 天平, 分辨力 0.1 mg 及配套砝码 (如用液体静力称量法需要此仪器)。

7.1.4.5 (0~25) mm±0.01 mm 千分尺或 (0~200) mm±0.02 mm 游标卡尺。

7.1.4.6 恒温水浴槽，在 20℃ 液体控温波动应不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.4.7 实心玻璃搅拌器数支。

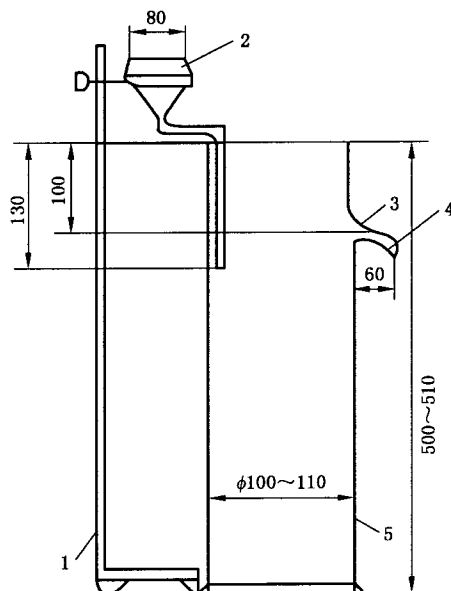


图 2 玻璃溢出筒

1—支架；2—漏斗；3—溢出管；4—溢出口；5—溢出筒

7.1.5 辅助设备及材料

7.1.5.1 玻璃漏斗、浮计架、移液管、烧杯和盛放液体的玻璃瓶等。

7.1.5.2 毛巾、绸布、脱脂棉、滤纸和计算器等。

7.1.6 检定环境条件

实验室内温度要相对稳定，不能有阳光直射，检定时液温与室温之差不得大于 5°C 。如使用静力称量法进行检定，室温需控制在 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于 85%。

实验室内应装有通风设备、水源与防火设施。

7.2 检定项目和检定方法

检定项目见表 3。

表 3 检定项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观检查	+	+	+
示值误差	+	+	—

注：“+”表示应检定项目，“—”表示可不检定项目。

7.2.1 技术要求的 6.1.1~6.1.4，6.1.7，6.1.8，6.1.13，6.1.14，6.2 和 6.3 均以目测法进行检查。若其中有一条不符合要求，即不再进行示值检定。

7.2.2 技术要求的 6.1.16，可将浮计浸在相应的液体中，用标尺的两侧读数之差来判断。

7.2.3 示值误差的检定

7.2.3.1 检定前的清洁准备工作

a) 浮计在检定前应用合成洗涤剂、酒精或汽油等充分清洗,以便使浮计的干管能与液体较好地浸润。清洗合格的浮计应使平衡位置的液体弯月面形状不呈现类似锯齿状的不规则形状。

清洗后的浮计只允许用手持干管最上端标记以上部位。

b) 检定前所用的检定筒、搅拌器等玻璃仪器必须洗涤干净并干燥,清洗合格的仪器其器壁应不挂水珠。

c) 采用液体静力称量法测量大密度范围时,应先将天平预热半小时以上并校准后方可使用。

7.2.3.2 读数方法

浮计读数时,除浮计标明按弯月面上缘读数外,其余均按弯月面下缘读数。读数方法如图3所示。

a) 上缘读数方法见图3(a)。眼睛稍高于液面,能见到自然光或灯光所反射的一条发亮的细线或小光点儿(灯光照射位置与液面的角度应小于 45°),即为弯月面上缘与浮计干管相接之处。读出此处所对应的分度值,然后计算出浮计示值。

b) 下缘读数方法见图3(b)。眼睛稍低于液面,可见椭圆形液面,然后慢慢地抬高眼睛至椭圆形液面变成一直线时为止。读出此时所对应的分度值,然后计算出浮计示值。

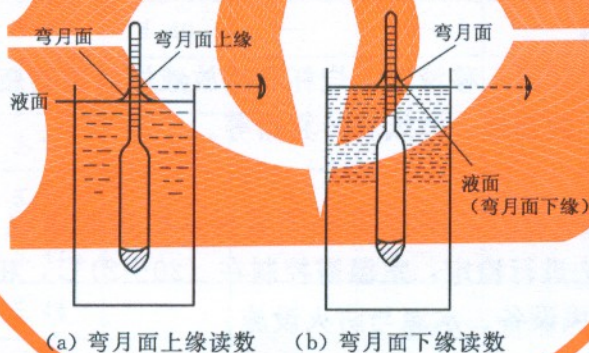


图3 读数方法示意图

7.2.3.3 检定方法

a) 直接比较法

1) 浮计检定通常采用直接比较法,即将标准浮计与被检浮计同时浸入同一检定液中,直接比较它们标尺的示值,从而得到被检浮计的修正值。为尽量避免液体表面张力变化的影响,检定时可用“溢出法”。所谓溢出法即是用溢出筒(见图2)溢出一层表面以形成新的液面再进行检定的方法。根据表1选好标准器,根据表2选用检定液。

2) 在 $1\,000\text{ kg/m}^3 \sim 1\,830\text{ kg/m}^3$ 硫酸水溶液中检定密度计,在 $q: 0 \sim 25\%$ 酒精水溶液中检定酒精计,均需采用溢出法,亦可用硫酸氢乙酯进行检定,但后者需作毛细常数修正。

3) 检定液体应上下搅拌均匀,搅拌器底部不能露出液面,以免带入气泡。检定液应调整到标准浮计检定点的上下两个分度之内。

4) 浮计在液体中应自由漂浮,不得与任何物体相接触。漂浮时允许在检定点上下

3 个分度值内波动,待稳定 1 min~3 min 后,方可读数。

5) 每一支工作浮计至少检定 3 个点,即首末 2 个点及中间任选一个主要刻线点(特殊规定除外)。每一检定点至少检定两次。当两次检定修正值之差大于 0.2 个分度值时,应再检一次,这时如果单次修正值与平均修正值之差大于 0.2 个分度值,则须重新清洗后再检定。

6) 对于土壤计(甲种)在 0~50 s°,相当于密度 1 000 kg/m³~1 030 kg/m³;土壤计(乙种)在 1.000~1.030 范围内,选取首末 2 个点及中间任一主要刻线点作为检定点。

7) 检定时如果标准浮计与被检浮计的标准温度不同,应按下式对被检浮计示值进行温度修正。

$$\Delta\rho_t = \rho_{t1}\beta(t_1 - t_2) \quad (6)$$

式中: $\Delta\rho_t$ ——被检浮计的温度修正值, kg/m³ 或 g/cm³;

ρ_{t1} ——被检浮计的示值, kg/m³ 或 g/cm³;

β ——玻璃浮计的体膨胀系数(通常为 $25 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

t_1 ——被检浮计的标准温度, $^\circ\text{C}$;

t_2 ——标准浮计的标准温度, $^\circ\text{C}$ 。

8) 检定时如果标准浮计与被检浮计的标准温度与密度单位均不同,应按式(7)对标准浮计示值进行换算。

$$d_{T_2}^{\rho_{t1}} = \frac{\rho_{t1}}{\rho_{T_2}}\beta(t_1 - t_2) \quad (7)$$

式中: $d_{T_2}^{\rho_{t1}}$ ——标准浮计示值按标准温度和密度单位换算的相对密度值;

ρ_{t1} ——标准浮计的示值, kg/m³ 或 g/cm³;

ρ_{T_2} ——纯水在 T_2 ($^\circ\text{C}$) 时的密度(见附录 A), kg/m³ 或 g/cm³;

β ——玻璃浮计的体膨胀系数(通常为 $25 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

t_1 ——标准浮计的标准温度, $^\circ\text{C}$;

t_2 ——被检浮计的标准温度, $^\circ\text{C}$ 。

9) 检定时当浮计浸入的检定液体与浮计实际使用的液体毛细常数不一致时,必须进行毛细常数修正。其计算公式如下:

$$\Delta\rho_a = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)\pi D\rho^2}{m} \quad (8)$$

式中: $\Delta\rho_a$ ——浮计毛细常数修正值, g/cm³;

α_1 ——实际使用或适合浮计的液体毛细常数, mm²;

α_2 ——浮计检定时所用的液体毛细常数, mm²;

D ——被修正浮计干管在检定点处的平均直径, 准确到 0.05 mm;

m ——被修正浮计的质量, 准确到 100 mg;

ρ ——液体密度, 准确到 0.01 g/cm³;

π ——圆周率, 取 3.14。

b) 静力称量法

本方法主要适用于密度范围为 $1\,840\text{ kg/m}^3 \sim 2\,000\text{ kg/m}^3$ 的密度计。此范围密度计也可以用直接比较法进行检定，直接比较法作为仲裁方法。

1) 浮计的质量测量值 m_0

① 将浮计竖直放置在天平秤盘中心（可以定制一浮计底托以便浮计可以竖直站立），关闭天平两侧防风门，待稳定后记录天平读数 I_{11} ；

② 取下玻璃浮计，待天平稳定后记录此时读数 I_{12} ，天平清零；

③ 重复①、②，进行两次测量；

④ 取两次测量平均值为浮计在空气中的质量测量值 m_0 。

2) 吊挂器具（如皮筋、夹具等）的质量测量值 m_r

① 用天平称量待用吊挂器具，稳定后天平读数为 I_{21} ；

② 取下吊挂器具，待天平稳定后记录此时读数 I_{22} ，天平清零；

③ 重复①、②，进行两次测量；

④ 取两次测量平均值为吊挂器具的质量测量值 m_r 。

3) 被测浮计各点修正值 $\Delta\rho_{hi}$

① 将吊挂器具固定在浮计干管顶部没有刻度的地方，调整使其可以垂直浸没于恒温液体中，同时选择合适范围的标准密度计放入液体中。

② 搅拌液体后，将浮计挂到天平下（注意排除浮计体表气泡），通过调整使浮计浸到要检定的刻度上，弯月面下缘读数正好对准刻线中心位置，液体温度稳定在 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ，待天平稳定后记录读数 I_{31i} ，并同时记录下液体温度 t_i 和液体密度 ρ_i 。

③ 取下浮计，待天平稳定后记录此时读数 I_{32i} 。

④ 重复①、②、③，进行三次测量，若三次测量结果最大值与最小值之差经计算后大于 0.2 个分度值，则该被测点需要重新检定。记录格式见附录 N、附录 P。

⑤ 取三次测量结果的平均值作为浮计该点的修正值。

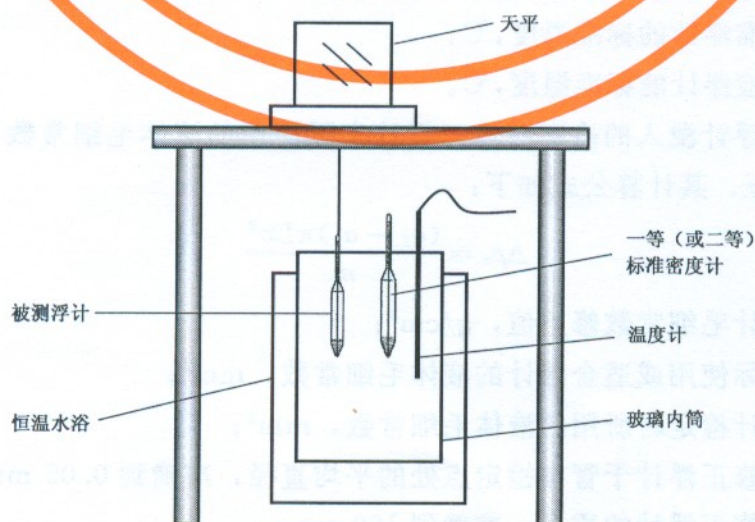


图 4 液体静力称量法示意图

7.2.3.4 数据处理

a) 直接比较法

1) 被检浮计修正值 $\Delta\rho$ 等于标准浮计修正后示值 $\rho_{\text{标}}$ (示值加上证书修正值, 或加上温度、毛细常数修正值) 减去被检浮计修正后示值 $\rho_{\text{被}}$ (或加上温度、毛细常数修正值), 即:

$$\Delta\rho = \rho_{\text{标}} - \rho_{\text{被}} \quad (9)$$

2) 取同一检定点各次修正值的算术平均值, 并将尾数修约到分度值的十分之一, 作为该检定点的修正值。

b) 静力称量法

1) 浮计标定刻度点以下的体积 V_i (cm^3)

$$V_i = \frac{(m_0 - m_i) \left(1 - \frac{e_0}{\rho_i}\right) + \pi D \rho_i \alpha_i}{\rho_i - e_0} \quad (10)$$

式中: V_i ——浮计标定刻度点以下的体积值, cm^3 ;

m_0 ——浮计在空气中的质量, $I_{11} - I_{12}/2$, g;

m_i ——浮计检定点在液体中的质量, $(I_{31i} - I_{32i}/2) - m_r$, g;

m_r ——吊挂器具的质量, $I_{21} - I_{22}/2$, g;

e_0 ——空气密度值 (可直接测得, 也可根据空气温度、湿度及大气压力经计算得到, 见附录 L、附录 M), g/cm^3 ;

ρ_i ——液体密度, g/cm^3 ;

ρ_i ——砝码密度, 通常为 $8.0 \text{ g}/\text{cm}^3$;

α_i ——检定时使用液体的毛细常数, mm^2 ;

D ——浮计干管在检定点的直径, m。

注: 公式 (10) 出自 Metrologia, 2000, 37, 141-147, Bilateral comparisons of hydrometer calibrations between the IMGC-LNE and IMGC-MIKES.

2) 浮计检测点的修正值 $\Delta\rho$

$$\Delta\rho = \frac{m_0 \left(1 - \frac{e_0}{\rho_i}\right) + \pi D \rho_i \alpha_i}{V_i} + e_0 - \rho_i \quad (11)$$

式中: α_i ——被检浮计实际使用时的毛细常数, mm^2 ;

ρ_i ——被检浮计的标称密度, g/cm^3 。

7.3 检定结果处理

经检定合格的工作玻璃浮计, 发给检定证书 (证书格式见附录 Q), 检定不合格的发给检定结果通知书。

7.4 检定周期

工作玻璃浮计的检定周期为 1 年, 但根据其使用及稳定性等情况可为 2 年。

附录 A

0℃~40℃纯水密度表（不含空气）

kg/m³

$t_{30}/^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.843	9.850	9.856	9.862	9.869	9.874	9.880	9.886	9.891	9.897
1	999.902	9.907	9.911	9.916	9.920	9.924	9.928	9.932	9.936	9.940
2	999.943	9.946	9.949	9.952	9.955	9.957	9.959	9.962	9.964	9.965
3	999.967	9.969	9.970	9.971	9.972	9.973	9.974	9.974	9.975	9.975
4	999.975	9.975	9.975	9.974	9.974	9.973	9.972	9.971	9.970	9.968
5	999.967	9.965	9.963	9.961	9.959	9.957	9.954	9.952	9.949	9.946
6	999.943	9.940	9.937	9.933	9.929	9.926	9.922	9.918	9.913	9.909
7	999.904	9.900	9.895	9.890	9.885	9.880	9.874	9.869	9.863	9.857
8	999.851	9.845	9.839	9.833	9.826	9.819	9.813	9.806	9.798	9.791
9	999.784	9.776	9.769	9.761	9.753	9.745	9.737	9.728	9.720	9.711
10	999.703	9.694	9.685	9.676	9.666	9.657	9.648	9.638	9.628	9.618
11	999.608	9.598	9.588	9.577	9.567	9.556	9.545	9.534	9.523	9.512
12	999.500	9.489	9.477	9.466	9.454	9.442	9.430	9.418	9.405	9.393
13	999.380	9.367	9.355	9.342	9.329	9.315	9.302	9.289	9.275	9.261
14	999.247	9.233	9.219	9.205	9.191	9.176	9.162	9.147	9.132	9.118
15	999.103	9.087	9.072	9.057	9.041	9.026	9.010	8.994	8.978	8.962
16	998.946	8.930	8.913	8.897	8.880	8.863	8.846	8.829	8.812	8.795
17	998.778	8.760	8.743	8.725	8.707	8.689	8.671	8.653	8.635	8.617
18	998.598	8.580	8.561	8.542	8.523	8.505	8.485	8.466	8.447	8.427
19	998.408	8.388	8.369	8.349	8.329	8.309	8.288	8.268	8.248	8.227
20	998.207	8.186	8.165	8.144	8.123	8.102	8.081	8.060	8.038	8.017
21	997.995	7.973	7.951	7.929	7.907	7.885	7.863	7.841	7.818	7.796
22	997.773	7.750	7.727	7.704	7.681	7.658	7.635	7.612	7.588	7.564
23	997.541	7.517	7.493	7.469	7.445	7.421	7.397	7.372	7.348	7.323
24	997.299	7.274	7.249	7.224	7.199	7.174	7.149	7.124	7.098	7.073
25	997.047	7.021	6.996	6.970	6.944	6.918	6.891	6.865	6.839	6.812

表 (续)

kg/m³

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26	996.786	6.759	6.732	6.706	6.679	6.652	6.624	6.597	6.570	6.543
27	996.515	6.488	6.460	6.432	6.404	6.376	6.348	6.320	6.292	6.264
28	996.235	6.207	6.178	6.150	6.121	6.092	6.063	6.034	6.005	5.976
29	995.946	5.917	5.888	5.858	5.828	5.799	5.769	5.739	5.709	5.679
30	995.649	5.619	5.588	5.558	5.527	5.497	5.466	5.435	5.404	5.373
31	995.342	5.311	5.280	5.249	5.217	5.186	5.154	5.123	5.091	5.059
32	995.027	4.996	4.963	4.931	4.899	4.867	4.834	4.802	4.769	4.737
33	994.704	4.671	4.638	4.605	4.572	4.539	4.506	4.473	4.439	4.406
34	994.372	4.339	4.305	4.271	4.237	4.204	4.170	4.135	4.101	4.067
35	994.033	3.998	3.964	3.929	3.894	3.860	3.825	3.790	3.755	3.720
36	993.685	3.650	3.614	3.579	3.543	3.508	3.472	3.437	3.401	3.365
37	993.329	3.293	3.257	3.221	3.184	3.148	3.112	3.075	3.039	3.002
38	992.965	2.929	2.892	2.855	2.818	2.781	2.744	2.706	2.669	2.632
39	992.594	2.557	2.519	2.481	2.443	2.406	2.368	2.330	2.292	2.253
40	992.215	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：1 t_{90} 为 1990 年国际温标 (ITS-90)。										
2 水密度值采用 CIPM 2001 推荐计算公式。										

附录 B

20 ℃ 时酒精水溶液体积分数 q 与密度 ρ 换算表

$q/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$q/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$q/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$q/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
0	998.20	—	—	—	—	—	—
1	996.70	26	966.96	51	928.16	76	870.15
2	995.23	27	965.81	52	926.15	77	867.48
3	993.80	28	964.64	53	924.12	78	864.77
4	992.41	29	963.44	54	922.05	79	862.04
5	991.05	30	962.21	55	919.96	80	859.27
6	989.73	31	960.95	56	917.84	81	856.46
7	988.43	32	959.66	57	915.70	82	853.62
8	987.16	33	958.34	58	913.53	83	850.74
9	985.92	34	956.98	59	911.33	84	847.82
10	984.71	35	955.58	60	909.11	85	844.85
11	983.52	36	954.15	61	906.87	86	841.83
12	982.35	37	952.68	62	904.60	87	838.77
13	981.21	38	951.17	63	902.31	88	835.64
14	980.08	39	949.63	64	899.99	89	832.45
15	978.97	40	948.04	65	897.65	90	829.18
16	977.87	41	946.42	66	895.28	91	825.83
17	976.78	42	944.75	67	892.89	92	822.39
18	975.70	43	943.05	68	890.47	93	818.84
19	974.63	44	941.31	69	888.03	94	815.18
20	973.56	45	939.54	70	885.56	95	811.38
21	972.48	46	937.73	71	883.06	96	807.42
22	971.40	47	935.88	72	880.54	97	803.27
23	970.31	48	934.00	73	877.98	98	798.90
24	969.21	49	932.09	74	875.40	99	794.25
25	968.10	50	930.14	75	872.79	100	789.23
注：采用国际温标 (ITS-90)。							

附录 C

20 ℃ 时糖溶液质量分数 p 与密度 ρ 换算表

$p/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$p/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$p/\%$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
0	998.20	27	1 112.86	54	1 251.96
1	1 002.06	28	1 117.55	55	1 257.64
2	1 005.95	29	1 122.27	56	1 263.36
3	1 009.87	30	1 127.03	57	1 269.11
4	1 013.81	31	1 131.82	58	1 274.91
5	1 017.79	32	1 136.64	59	1 280.74
6	1 021.79	33	1 141.50	60	1 286.61
7	1 025.82	34	1 146.40	61	1 292.52
8	1 029.89	35	1 151.32	62	1 298.48
9	1 033.98	36	1 156.29	63	1 304.47
10	1 038.10	37	1 161.29	64	1 310.50
11	1 042.25	38	1 166.33	65	1 316.56
12	1 046.43	39	1 171.40	66	1 322.67
13	1 050.64	40	1 176.51	67	1 328.82
14	1 054.88	41	1 181.65	68	1 335.00
15	1 059.15	42	1 186.84	69	1 341.23
16	1 063.45	43	1 192.06	70	1 347.49
17	1 067.79	44	1 197.31	71	1 353.79
18	1 072.15	45	1 202.61	72	1 360.13
19	1 076.54	46	1 207.94	73	1 366.51
20	1 080.97	47	1 213.31	74	1 372.93
21	1 085.43	48	1 218.72	75	1 379.38
22	1 089.92	49	1 224.16	76	1 385.87
23	1 094.44	50	1 229.64	77	1 392.40
24	1 099.00	51	1 235.17	78	1 398.97
25	1 103.59	52	1 240.73	79	1 405.57
26	1 108.21	53	1 246.33	80	1 412.21

注：采用国际温标（ITS-90）。

附录 D

20 ℃ 时乳汁度 (m°) 与密度 ρ_{20} 换算表

乳汁度 /m°	ρ /(kg·m ⁻³)	乳汁度 /m°	ρ /(kg·m ⁻³)	乳汁度 /m°	ρ /(kg·m ⁻³)
15.0	1 015.0	23.5	1 023.5	32.0	1 032.0
15.5	1 015.5	24.0	1 024.0	32.5	1 032.5
16.0	1 016.0	24.5	1 024.5	33.0	1 033.0
16.5	1 016.5	25.0	1 025.0	33.5	1 033.5
17.0	1 017.0	25.5	1 025.5	34.0	1 034.0
17.5	1 017.5	26.0	1 026.0	34.5	1 034.5
18.0	1 018.0	26.5	1 026.5	35.0	1 035.0
18.5	1 018.5	27.0	1 027.0	35.5	1 035.5
19.0	1 019.0	27.5	1 027.5	36.0	1 036.0
19.5	1 019.5	28.0	1 028.0	36.5	1 036.5
20.0	1 020.0	28.5	1 028.5	37.0	1 037.0
20.5	1 020.5	29.0	1 029.0	37.5	1 037.5
21.0	1 021.0	29.5	1 029.5	38.0	1 038.0
21.5	1 021.5	30.0	1 030.0	38.5	1 038.5
22.0	1 022.0	30.5	1 030.5	39.0	1 039.0
22.5	1 022.5	31.0	1 031.0	39.5	1 039.5
23.0	1 023.0	31.5	1 031.5	40.0	1 040.0

附录 E

20 ℃ 时土壤度 (s°) 与密度 ρ_{20} 换算表

土壤度 /s°	ρ /(kg·m ⁻³)	土壤度 /s°	ρ /(kg·m ⁻³)	土壤度 /s°	ρ /(kg·m ⁻³)	土壤度 /s°	ρ /(kg·m ⁻³)
-5	995.09	9	1 003.81	23	1 012.54	37	1 021.26
-4	995.72	10	1 004.44	24	1 013.16	38	1 021.88
-3	996.34	11	1 005.06	25	1 013.78	39	1 022.50
-2	996.96	12	1 005.68	26	1 014.41	40	1 023.13
-1	997.58	13	1 006.31	27	1 015.03	41	1 023.75
0	998.21	14	1 006.93	28	1 015.65	42	1 024.37
1	998.83	15	1 007.55	29	1 016.27	43	1 025.00
2	999.45	16	1 008.18	30	1 016.90	44	1 025.62
3	1 000.08	17	1 008.80	31	1 017.52	45	1 026.24
4	1 000.70	18	1 009.42	32	1 018.14	46	1 026.87
5	1 001.32	19	1 010.04	33	1 018.77	47	1 027.49
6	1 001.95	20	1 010.67	34	1 019.39	48	1 028.11
7	1 002.57	21	1 011.29	35	1 020.01	49	1 028.73
8	1 003.19	22	1 011.91	36	1 020.64	50	1 029.36

附录 F

20 ℃ 时波美度 (Bh) 与密度 ρ_{20} 换算表

波美度 /Bh	ρ /(kg · m ⁻³)	波美度 /Bh	ρ /(kg · m ⁻³)	波美度 /Bh	ρ /(kg · m ⁻³)	波美度 /Bh	ρ /(kg · m ⁻³)
0	998.96	19	1 150.44	38	1 356.07	57	1 651.20
1	1 005.93	20	1 159.69	39	1 368.95	58	1 670.34
2	1 013.00	21	1 169.10	40	1 382.07	59	1 689.92
3	1 020.17	22	1 178.66	41	1 395.45	60	1 709.96
4	1 027.44	23	1 188.38	42	1 409.09	61	1 730.49
5	1 034.82	24	1 198.25	43	1 423.00	62	1 751.52
6	1 042.30	25	1 208.30	44	1 437.19	63	1 773.06
7	1 049.89	26	1 218.51	45	1 451.66	64	1 795.14
8	1 057.59	27	1 228.90	46	1 466.43	65	1 817.78
9	1 065.41	28	1 239.47	47	1 481.50	66	1 841.00
10	1 073.34	29	1 250.22	48	1 496.88	67	1 864.81
11	1 081.40	30	1 261.15	49	1 512.59	68	1 889.25
12	1 089.57	31	1 272.29	50	1 528.63	69	1 914.34
13	1 097.87	32	1 283.62	51	1 545.02	70	1 940.11
14	1 106.29	33	1 295.15	52	1 561.76	71	1 966.58
15	1 114.85	34	1 306.89	53	1 578.86	72	1 993.78
16	1 123.54	35	1 318.85	54	1 596.35	—	—
17	1 132.36	36	1 331.02	55	1 614.22	—	—
18	1 141.33	37	1 343.43	56	1 632.50	—	—

附录 G

密度小于水的液体毛细常数 α mm²

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	石油产品 混合液	酒精水溶液	乙醚、乙醇 混合液	硫酸氢乙酯
0.60	2.48	—	—	—
0.61	2.54	—	—	—
0.62	2.58	—	—	—
0.63	2.62	—	—	—
0.64	2.66	—	—	—
0.65	2.70	—	—	—
0.66	2.75	—	—	—
0.67	2.80	—	—	—
0.68	2.83	—	—	—
0.69	2.87	—	—	—
0.70	2.91	—	—	—
0.71	2.94	—	2.46	—
0.72	2.98	—	2.50	—
0.73	3.02	—	2.54	—
0.74	3.06	—	2.54	—
0.75	3.10	—	2.59	—
0.76	3.13	—	2.64	—
0.77	3.16	—	2.70	—
0.78	3.19	—	2.76	—
0.79	3.22	2.89	2.84	—
0.80	3.25	2.91	2.95	—
0.81	3.28	2.94	—	—
0.82	3.30	2.97	—	—
0.83	3.34	3.00	—	—
0.84	3.36	3.03	—	—

表 (续)

mm²

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	石油产品 混合液	酒精水溶液	乙醚、乙醇 混合液	硫酸氢乙酯
0.85	3.38	3.06	—	3.05
0.86	3.40	3.08	—	3.03
0.87	3.42	3.10	—	3.01
0.88	3.44	3.12	—	2.99
0.89	3.46	3.14	—	2.97
0.90	3.48	3.17	—	2.95
0.91	3.49	3.20	—	2.94
0.92	3.50	3.24	—	2.93
0.93	3.50	3.31	—	2.92
0.94	3.49	3.39	—	2.91
0.95	3.48	3.54	—	2.91
0.96	3.47	3.78	—	2.90
0.97	3.46	4.22	—	2.90
0.98	3.44	4.97	—	2.90
0.99	3.42	6.13	—	2.91
1.00	3.38	7.45	—	2.92

附录 H

密度大于水的液体毛细常数 α

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	mm^2								
	硫酸 氢乙酯	硫酸 水溶液	硝酸 水溶液	盐酸 水溶液	甘油 水溶液	石油产品 混合液	海水	尿	乳汁
1.00	2.92	7.42	7.53	7.53	7.45	3.38	7.53	7.37	4.59
1.01	2.93	7.35	7.45	7.45	7.33	3.34	7.51	6.80	4.54
1.02	2.93	7.28	7.37	7.36	7.21	3.32	7.49	6.27	4.50
1.03	2.94	7.21	7.29	7.27	7.09	3.29	7.47	5.77	4.45
1.04	2.95	7.15	7.21	7.18	6.97	3.26	7.45	5.28	4.41
1.05	2.96	7.09	7.12	7.09	6.85	3.24	—	—	4.37
1.06	2.97	7.03	7.04	7.01	6.74	3.22	—	—	—
1.07	2.99	6.97	6.96	6.92	6.62	3.20	—	—	—
1.08	3.00	6.92	6.87	6.92	6.50	3.16	—	—	—
1.09	3.02	6.87	6.79	6.74	6.38	3.14	—	—	—
1.10	3.04	6.82	6.71	6.66	6.26	3.12	—	—	—
1.11	3.06	6.77	6.63	6.57	6.15	—	—	—	—
1.12	3.08	6.72	6.55	6.48	6.04	—	—	—	—
1.13	3.10	6.67	6.46	6.40	5.92	—	—	—	—
1.14	3.13	6.62	6.38	6.31	5.81	—	—	—	—
1.15	3.15	6.57	6.30	6.22	5.70	—	—	—	—
1.16	3.17	6.53	6.22	6.13	5.59	—	—	—	—
1.17	3.19	6.49	6.13	6.04	5.49	—	—	—	—
1.18	3.21	6.44	6.05	5.95	5.40	—	—	—	—
1.19	3.23	6.40	5.97	—	5.33	—	—	—	—
1.20	3.25	6.36	5.89	—	5.31	—	—	—	—
1.21	3.27	6.31	5.81	—	—	—	—	—	—
1.22	3.28	6.27	5.72	—	—	—	—	—	—
1.23	3.29	6.23	5.64	—	—	—	—	—	—
1.24	3.30	6.19	5.56	—	—	—	—	—	—
1.25	3.31	6.15	5.48	—	—	—	—	—	—

表 (续)

mm²

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	硫酸 氢乙酯	硫酸 水溶液	硝酸 水溶液	盐酸 水溶液	甘油 水溶液	石油产品 混合液	海水	尿	乳汁
1.26	3.32	6.11	5.40	—	—	—	—	—	—
1.27	3.32	6.07	5.32	—	—	—	—	—	—
1.28	3.33	6.03	5.23	—	—	—	—	—	—
1.29	3.33	5.99	5.15	—	—	—	—	—	—
1.30	3.33	5.95	5.07	—	—	—	—	—	—
1.31	3.34	5.91	4.99	—	—	—	—	—	—
1.32	3.33	5.87	4.90	—	—	—	—	—	—
1.33	3.33	5.83	4.82	—	—	—	—	—	—
1.34	3.33	5.79	4.74	—	—	—	—	—	—
1.35	3.32	5.75	4.66	—	—	—	—	—	—
1.36	3.32	5.71	4.58	—	—	—	—	—	—
1.37	3.31	5.67	4.49	—	—	—	—	—	—
1.38	3.30	5.63	4.40	—	—	—	—	—	—
1.39	3.29	5.59	4.31	—	—	—	—	—	—
1.40	3.28	5.55	4.22	—	—	—	—	—	—
1.41	3.27	5.51	—	—	—	—	—	—	—
1.42	3.26	5.47	—	—	—	—	—	—	—
1.43	3.24	5.44	—	—	—	—	—	—	—
1.44	3.23	5.40	—	—	—	—	—	—	—
1.45	3.22	5.36	—	—	—	—	—	—	—
1.46	3.21	5.32	—	—	—	—	—	—	—
1.47	3.20	5.28	—	—	—	—	—	—	—
1.48	3.18	5.25	—	—	—	—	—	—	—
1.49	3.17	5.21	—	—	—	—	—	—	—
1.51	3.14	5.13	—	—	—	—	—	—	—
1.52	3.12	5.09	—	—	—	—	—	—	—
1.53	3.11	5.05	—	—	—	—	—	—	—
1.54	3.10	5.01	—	—	—	—	—	—	—
1.55	3.08	4.97	—	—	—	—	—	—	—

表 (续)

mm²

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	硫酸 氢乙酯	硫酸 水溶液	硝酸 水溶液	盐酸、 水溶液	甘油 水溶液	石油产品 混合液	海水	尿	乳汁
1.56	3.07	4.93	—	—	—	—	—	—	—
1.57	3.06	4.89	—	—	—	—	—	—	—
1.58	3.05	4.85	—	—	—	—	—	—	—
1.59	3.04	4.80	—	—	—	—	—	—	—
1.60	3.03	4.76	—	—	—	—	—	—	—
1.61	3.02	4.72	—	—	—	—	—	—	—
1.62	3.01	4.68	—	—	—	—	—	—	—
1.63	3.00	4.63	—	—	—	—	—	—	—
1.64	2.99	4.59	—	—	—	—	—	—	—
1.65	2.99	4.55	—	—	—	—	—	—	—
1.66	2.98	4.50	—	—	—	—	—	—	—
1.67	2.98	4.50	—	—	—	—	—	—	—
1.68	2.97	4.42	—	—	—	—	—	—	—
1.69	2.97	4.37	—	—	—	—	—	—	—
1.70	2.97	4.33	—	—	—	—	—	—	—
1.71	2.97	4.28	—	—	—	—	—	—	—
1.72	2.97	4.23	—	—	—	—	—	—	—
1.73	2.97	4.17	—	—	—	—	—	—	—
1.74	2.98	4.12	—	—	—	—	—	—	—
1.75	2.98	4.07	—	—	—	—	—	—	—
1.76	2.99	4.01	—	—	—	—	—	—	—
1.77	3.00	3.95	—	—	—	—	—	—	—
1.78	3.01	3.88	—	—	—	—	—	—	—
1.79	3.02	3.80	—	—	—	—	—	—	—
1.80	3.04	3.71	—	—	—	—	—	—	—
1.81	3.05	3.61	—	—	—	—	—	—	—
1.82	3.07	3.50	—	—	—	—	—	—	—
1.83	3.08	3.36	—	—	—	—	—	—	—
1.84	3.10	3.20	—	—	—	—	—	—	—

附录 J

碘化钾、碘化汞水溶液毛细常数 α mm²

密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	碘化钾、碘化汞 水溶液	密度 $\rho_{20}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	碘化钾、碘化汞 水溶液
1.84	3.10	1.93	2.84
1.85	3.08	1.94	2.79
1.86	3.06	1.95	2.76
1.87	3.04	1.96	2.73
1.88	3.00	1.97	2.68
1.89	2.97	1.98	2.67
1.90	2.95	1.99	2.66
1.91	2.90	2.00	2.62
1.92	2.85		

附录 K

糖溶液毛细常数 α mm²

$p/\%$	α	$p/\%$	α	$p/\%$	α	$p/\%$	α
0	7.43	21	6.90	41	6.46	61	6.04
1	7.40	22	6.88	42	6.43	62	6.02
2	7.38	23	6.86	43	6.41	63	6.00
3	7.35	24	6.83	44	6.39	64	5.98
4	7.32	25	6.81	45	6.37	65	5.96
5	7.30	26	6.78	46	6.35	66	5.94
6	7.27	27	6.76	47	6.33	67	5.92
7	7.24	28	6.74	48	6.31	68	5.90
8	7.22	29	6.72	49	6.29	69	5.88
9	7.19	30	6.70	50	6.26	70	5.86
10	7.17	31	6.67	51	6.24	71	5.84
11	7.14	32	6.65	52	6.22	72	5.82
12	7.12	33	6.63	53	6.20	73	5.80
13	7.10	34	6.60	54	6.18	74	5.78
14	7.07	35	6.58	55	6.16	75	5.76
15	7.04	36	6.56	56	6.14	76	5.74
16	7.02	37	6.54	57	6.12	77	5.72
17	7.00	38	6.52	58	6.10	78	5.70
18	6.97	39	6.50	59	6.08	79	5.68
19	6.95	40	6.48	60	6.06	80	5.66
20	6.92	—	—	—	—	—	—

附录 L

空气密度计算公式

$$\rho = [3.483\,740 + 1.444\,6(x_{\text{CO}_2} - 0.000\,4)] \frac{p}{ZT} (1 - 0.378\,0x_v) \quad (\text{L. 1})$$

式中： ρ ——湿空气密度， $10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

p ——大气压力，Pa；

Z ——压缩系数；

T ——热力学温度， $T = 273.15 + t$ ，K；

x_v ——水蒸气摩尔系数；

x_{CO_2} ——空气中的 CO_2 含量， $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；

h ——空气的相对湿度， $0 \leq h \leq 1$ ；

其中：

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} (d + ex_v^2) \quad (\text{L. 2})$$

$$x_v = hf(p, t) \frac{p_{\text{sv}}(t)}{p} \quad (\text{L. 3})$$

$$f(p, t) = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (\text{L. 4})$$

$$p_{\text{sv}}(t) = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right) \quad (\text{L. 5})$$

以上公式 (L. 2) 至 (L. 5) 中的常数项数值如下：

$$a_0 = 1.581\,23 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1}；$$

$$a_1 = -2.933\,1 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}；$$

$$a_2 = 1.104\,3 \times 10^{-10} \text{ K}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}；$$

$$b_0 = 5.707 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1}；$$

$$b_1 = -2.051 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}；$$

$$c_0 = 1.989\,8 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{Pa}^{-1}；$$

$$c_1 = -2.376 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}；$$

$$d = 1.83 \times 10^{-11} \text{ K}^2 \cdot \text{Pa}^{-2}；$$

$$e = -0.765 \times 10^{-8} \text{ K}^2 \cdot \text{Pa}^{-2}；$$

$$\alpha = 1.000\,62；$$

$$\beta = 3.14 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}；$$

$$\gamma = 5.6 \times 10^{-7} \text{ K}^{-2}；$$

$$A = 1.237\,884\,7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-2}；$$

$$B = -1.912\,131\,6 \times 10^{-2} \text{ K}^{-1}；$$

$$C = 33.937\,110\,47；$$

$$D = -6.343\,164\,5 \times 10^3 \text{ K}。$$

注：公式出处：CIPM-2007 推荐公式，Metrologia 45 (2008) 149-155。

附录 M

湿空气密度表

表 M.1 相对湿度 50%, CO₂ 含量 0.04% 在 t_{90} 和压力 p 的空气密度 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	p/kPa										
	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
18.0	1.073	1.097	1.121	1.145	1.169	1.193	1.217	1.241	1.265	1.288	1.312
18.2	1.072	1.096	1.120	1.144	1.168	1.192	1.216	1.240	1.264	1.288	1.311
18.4	1.071	1.095	1.119	1.143	1.167	1.191	1.215	1.239	1.263	1.287	1.311
18.6	1.070	1.094	1.118	1.142	1.166	1.190	1.214	1.238	1.262	1.286	1.310
18.8	1.070	1.093	1.117	1.141	1.165	1.189	1.213	1.237	1.261	1.285	1.309
19.0	1.069	1.093	1.117	1.140	1.164	1.188	1.212	1.236	1.260	1.284	1.308
19.2	1.068	1.092	1.116	1.140	1.163	1.187	1.211	1.235	1.259	1.283	1.307
19.4	1.067	1.091	1.115	1.139	1.163	1.186	1.210	1.234	1.258	1.282	1.306
19.6	1.066	1.090	1.114	1.138	1.162	1.186	1.209	1.233	1.257	1.281	1.305
19.8	1.066	1.089	1.113	1.137	1.161	1.185	1.209	1.232	1.256	1.280	1.304
20.0	1.065	1.089	1.112	1.136	1.160	1.184	1.208	1.231	1.255	1.279	1.303
20.2	1.064	1.088	1.112	1.135	1.159	1.183	1.207	1.231	1.254	1.278	1.302
20.4	1.063	1.087	1.111	1.135	1.158	1.182	1.206	1.230	1.253	1.277	1.301
20.6	1.062	1.086	1.110	1.134	1.157	1.181	1.205	1.229	1.252	1.276	1.300
20.8	1.062	1.085	1.109	1.133	1.157	1.180	1.204	1.228	1.252	1.275	1.299
21.0	1.061	1.085	1.108	1.132	1.156	1.179	1.203	1.227	1.251	1.274	1.298
21.2	1.060	1.084	1.107	1.131	1.155	1.179	1.202	1.226	1.250	1.273	1.297
21.4	1.059	1.083	1.107	1.130	1.154	1.178	1.201	1.225	1.249	1.272	1.296
21.6	1.058	1.082	1.106	1.129	1.153	1.177	1.201	1.224	1.248	1.272	1.295
21.8	1.058	1.081	1.105	1.129	1.152	1.176	1.200	1.223	1.247	1.271	1.294
22.0	1.057	1.081	1.104	1.128	1.151	1.175	1.199	1.222	1.246	1.270	1.293

表 M.2 不同温度和湿度下空气密度的修正值

 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	空气相对湿度/%										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
18.0	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
18.2	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
18.4	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
18.6	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
18.8	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
19.0	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
19.2	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
19.4	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
19.6	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005
19.8	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.006
20.0	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.006
20.2	0.006	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005	-0.006
20.4	0.006	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005	-0.006
20.6	0.006	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005	-0.006
20.8	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
21.0	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
21.2	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
21.4	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
21.6	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
21.8	0.006	0.005	0.004	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.006
22.0	0.006	0.005	0.004	0.003	0.001	0.000	-0.001	-0.003	-0.004	-0.005	-0.006

附录 N

静力称量法密度检定原始记录 1

器号: _____ 测量范围: _____ 检定日期: _____

浮计空气中 质量 m_0	天平读数/g	1	2	平均值
	I_{11}			—
	I_{12}			—
	$I_{11} - I_{12} / 2$			
	天平读数/g	3	4	
	I_{11}			
	I_{12}			
	$I_{11} - I_{12} / 2$			
	吊挂器具 质量 m_r	天平读数/g	1	2
I_{21}				—
I_{22}				—
$I_{21} - I_{22} / 2$				
天平读数/g		3	4	
I_{21}				
I_{22}				
$I_{21} - I_{22} / 2$				
		天平读数/g	1	2
	天平读数/g	3	4	

检定员 _____

第 _____ 页 共 _____ 页

附录 P

静力称量法密度检定原始记录 2

器号：_____ 测量范围：_____ 检定日期：_____

标称值/(g/cm ³)	天平读数 m_i /g		液体温度 t_i /℃	液体密度 ρ_i /(g/cm ³)
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			
	I_{31i}			
	I_{32i}			
	$I_{31i} - I_{32i}/2 - m_r$			

检定员_____

第____页 共____页

附录 Q

检定证书内页格式

证书编号××××-××××

检 定 结 果

外 观：合格

标准温度：

分度值：

读数方法：

工作用液：

器 号	计量范围 ()	标称值 ()	修正值 ()

[以下空白]

第 页 共 页

附录 R

检定结果通知书内页格式

证书编号××××-××××

检 定 结 果

外 观：

标准温度： 分度值： 读数方法：

工作用液：

器 号	计量范围（ ）
以上×××经检定，在工作用液中其示值误差超出±×××个分度，检定结果不合格。	

[以下空白]

第 页 共 页
