



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 42—2001

---

## 工作玻璃浮计

Working Glass Hydrometers

2001-07-06 发布

2001-10-01 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—2001

代替 JJG 42—1987

JJG 135—1987

---

本规程经国家质量监督检验检疫总局于2001年07月06日批准，并自2001年10月01日起施行。

**归口单位：** 全国质量计量技术委员会

**主要起草单位：** 中国计量科学研究院

**参加起草单位：** 浙江省技术监督检测研究院

本规程委托全国质量计量技术委员会负责解释

**本规程主要起草人：**

李兴华 （中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

罗越涛 （浙江省技术监督检测研究院）

## 目 录

1 范围·····	( 1 )
2 术语和计量单位·····	( 1 )
3 概述·····	( 2 )
4 计量性能要求·····	( 3 )
5 通用技术要求·····	( 3 )
6 计量器具控制·····	( 4 )
附录 A (0~40)℃纯水密度表·····	(12)
附录 B 20℃时酒精水溶液体积分数 $q$ 与密度 $\rho$ 换算表·····	(14)
附录 C 20℃时糖溶液质量分数 $p$ 与密度 $\rho$ 换算表·····	(15)
附录 D 20℃时乳汁度 $m^\circ$ 与密度 $\rho_{20}$ 换算表·····	(16)
附录 E 20℃时土壤度 $s^\circ$ 与密度 $\rho_{20}$ 换算表·····	(17)
附录 F 20℃时波美度 B <sub>h</sub> 与密度 $\rho_{20}$ 换算表·····	(18)
附录 G 密度小于水的液体毛细常数 $a$ ·····	(19)
附录 H 密度大于水的液体毛细常数 $a$ ·····	(21)
附录 J 糖溶液毛细常数 $a$ ·····	(24)
附录 K 检定证书格式·····	(25)

## 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）的首次检定和后续检定。

不适用小于  $650 \text{ kg/m}^3$  到  $600 \text{ kg/m}^3$  低密度量程石油密度计的检定。

### 2 术语和计量单位

#### 2.1 密度

液体质量  $m$  与其体积  $V$  之比。即：

$$\rho = m/V \quad (1)$$

单位为  $\text{kg/m}^3$ ，亦可用  $\text{g/cm}^3$ 、 $\text{g/ml}$  单位表示。

#### 2.2 相对密度

在规定条件下，液体密度  $\rho_1$  与参考物质纯水密度  $\rho_2$  之比。即：

$$d = \rho_1/\rho_2 \quad (2)$$

$d$  为量纲一的量。

#### 2.3 浓度

##### 2.3.1 质量分数

溶液中所含溶质质量  $m'$  与溶液质量  $m$  之比。即：

$$p = m'/m \times 100\% \quad (3)$$

$p$  为量纲一的量。用小数或%表示。

##### 2.3.2 体积分数

在一定温度下，溶液中所含溶质体积  $V'$  与溶液体积  $V$  之比。即：

$$q = V'/V \times 100\% \quad (4)$$

$q$  为量纲一的量。用小数或%表示。

#### 2.4 几种常见浮计假定标尺与密度换算关系

为测量便利，在实际工作中，常见以下几种具有假定标尺的浮计。

##### 2.4.1 乳汁计

$$m^\circ = \rho_{20} - 1000 \quad (5)$$

式中： $m^\circ$ ——乳汁度；

$\rho_{20}$ ——与  $m^\circ$  相对应 20℃ 的乳汁密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

1000——换算系数。

$m^\circ$  与  $\rho_{20}$  的换算表，见附录 D。

#### 2.4.2 土壤计

$$s^\circ = \frac{\rho_{20} - 998.202}{0.623} \quad (6)$$

式中： $s^\circ$ ——土壤度；

$\rho_{20}$ ——与  $s^\circ$  相对应的 20℃ 的土壤密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

0.623——换算系数；

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

$s^\circ$  与  $\rho_{20}$  的换算表，见附录 E。

#### 2.4.3 波美计

$$\text{Bh} = 144.3 - \frac{144150}{\rho_{20}} \quad (7)$$

式中：Bh——波美度；

$\rho_{20}$ ——与 Bh 相对应液体在 20℃ 的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

144.3、144150——换算系数。

Bh 与  $\rho_{20}$  的换算表，见附录 F。

### 3 概述

浮计是用于测量液体密度、相对密度和溶液浓度的仪器，其结构如图 1 所示。

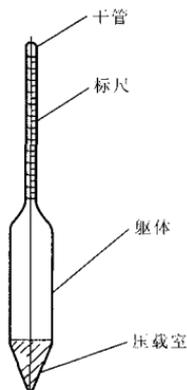


图 1

浮计基本原理是依据阿基米德定律，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、相对密度或浓度。

#### 4 计量性能要求

浮计示值的最大允许误差，对于首次检定与后续检定除分度值为  $0.5\text{kg}/\text{m}^3$  的石油密度计为  $\pm 0.6$  个分度值外，其它均不得大于  $\pm 1$  个分度值。若浮计内部带有温度计，则温度计示值的最大允许误差不能大于  $\pm 1$  个分度值。

#### 5 通用技术要求

##### 5.1 外观要求

5.1.1 浮计各部位应与其轴线对称。

5.1.2 浮计内不应有油气、水气和杂物。

##### 5.2 玻璃要求

5.2.1 浮计的玻璃不能有影响强度和读数的任何缺陷。

5.2.2 浮计应用无色透明的优质玻璃制造，其体膨胀系数应为  $(25 \pm 2) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

5.2.3 浮计应经良好的退火处理，其残余内应力单位厚度的光程差应不大于  $100 \text{ nm}/\text{cm}$ 。

##### 5.3 压载物要求

5.3.1 压载物应固定在压载室内即躯体底部。

5.3.2 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。

5.3.3 用火漆固熔压载物时，其软化温度应在  $70 \text{ } ^\circ\text{C}$  以上。

##### 5.4 标尺要求

5.4.1 标尺必须牢固地粘于干管内壁，不得有松动、皱缩和扭曲等缺陷。

5.4.2 浮计干管在  $70 \text{ } ^\circ\text{C}$  下保持 24 h，其标尺不应有碳化、褪色或变形等现象。

5.4.3 采用适宜的方法，使标尺有任何移动均易于发现，若发现标尺移动，则浮计不得使用。

5.4.4 浮计的干管与液面间的垂直偏差，除石油密度计为 0.1 个分度值外，其它均不大于 0.2 个分度值。

5.4.5 浮计标尺间距的最小宽度不能小于  $1.2 \text{ mm}$ （特殊要求的除外），内附温度计的标尺间距的宽度不能小于  $0.5 \text{ mm}$ 。

5.4.6 标尺上首末主标记及进位标记均应标注清晰完整的数码。

5.4.7 标尺首末两端各应有两条以上的附加标记，最上端的附加标记与干管顶端的距离不能小于  $15 \text{ mm}$ ，最下端的附加标记与躯体和干管焊接处的距离不能小于  $5 \text{ mm}$ （总长不超过  $150 \text{ mm}$  的小型浮计，上端可为  $12 \text{ mm}$ ，下端可为  $3 \text{ mm}$ ）。

5.4.8 标尺标记须清晰、宽度均匀，不得有明显的断线及污点，所有标记均应与浮计

轴线相垂直，其宽度不应大于 0.2 mm。

5.4.9 标尺标记应有主要、次要和普通之分，其长度分别应不小于干管周长的 1/2、1/3 和 1/4。

### 5.5 标准温度

浮计的标准温度应为 20 ℃，其中海水密度计为 17.5 ℃（特殊要求的除外）。

### 5.6 标记

浮计应有以下清晰而持久的标记。

5.6.1 浮计名称。

5.6.2 浮计的标准温度。

5.6.3 浮计内应标明单位，如  $\text{kg}/\text{m}^3$  等。

5.6.4 浮计的编号及出厂年月。

5.6.5 制造厂名或商标， 标记。

5.6.6 按弯月面上缘读数的浮计应在浮计内注明。

## 6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定和后续检定。

### 6.1 首次检定和后续检定

首次检定只有当浮计通过定型鉴定或样机试验，并取得了制造许可证才可进行。后续检定的规定与要求和首次检定一致。但检定项目有所减少（见 6.1.2）。

#### 6.1.1 检定条件

6.1.1.1 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。

6.1.1.2 检定用液体见表 2。

表 1

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
精密密度计		650~2000 $\text{kg}/\text{m}^3$	一等标准密度计组	650~2000 $\text{kg}/\text{m}^3$	$(8 \sim 20) \times 10^{-2} \text{kg}/\text{m}^3$
密度计			二等标准密度计组		
石油密度计	SY-02 型	600~1100 $\text{kg}/\text{m}^3$	一等标准密度计组	650~1500 $\text{kg}/\text{m}^3$	$8 \times 10^{-2} \text{kg}/\text{m}^3$
	SY-05 型		二等标准石油密度计组	600~1100 $\text{kg}/\text{m}^3$	$15 \times 10^{-2} \text{kg}/\text{m}^3$
	SY-10 型				
精密乳汁密度计		1010~1040 $\text{kg}/\text{m}^3$	一等标准密度计组 (密度连续型)	700~1100 $\text{kg}/\text{m}^3$	$8 \times 10^{-2} \text{kg}/\text{m}^3$

表 1 (续)

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
乳汁密度计	1010~1040 kg/m <sup>3</sup>	二等标准乳汁密度计组	1010~1040 kg/m <sup>3</sup>	10 × 10 <sup>-2</sup> kg/m <sup>3</sup>
乳汁计	15~40 m°			
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: 0.08%
精密糖量计	ρ: (0~80)%	一等标准糖量计组	ρ: (0~80)%	ρ: 0.03%
糖量计		二等标准糖量计组		ρ: 0.08%
海水密度计	1.000~1.040	一等标准海水密度计组	1.0000~1.0400	4 × 10 <sup>-5</sup>
土壤计	-5~50 s°	二等标准密度计组	650~2000 kg/m <sup>3</sup>	20 × 10 <sup>-2</sup> kg/m <sup>3</sup>
蓄电池密度计	1100~1300 kg/m <sup>3</sup>			
尿密度计	1000~1050 kg/m <sup>3</sup>			
波美计	0~70 Bh			
胶量计	ρ: (0~50)%			
重液密度计	2000~3000 kg/m <sup>3</sup>			
水密度计	995~1000 kg/m <sup>3</sup>	基准密度计组	650~3000 kg/m <sup>3</sup>	(2~20) × 10 <sup>-2</sup> kg/m <sup>3</sup>

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的标准温度为 17.5℃ 外, 其余均为 20℃。

2 在受检浮计名称一栏中的乳汁密度计 (含乳汁计)、糖量计、尿密度计和土壤计均为“上缘读数”的浮计。

表 2 检定用液体

浮计名称	测量范围	液体名称	备注
密度计	650~800 kg/m <sup>3</sup> 810~950 kg/m <sup>3</sup> 960~1000 kg/m <sup>3</sup> 1000~1830 kg/m <sup>3</sup> 1840~2000 kg/m <sup>3</sup>	石油产品混合液 (由石油醚、无铅汽油、煤油和柴油配制) 酒精水溶液 (由乙醇和纯水配制) 硫酸氢乙酯 (由硫酸和 $q$ 为 85% 酒精水溶液配制) 硫酸水溶液 (由硫酸和纯水配制) 硫酸氢乙酯 碘化钾、碘化汞水溶液 (由碘化钾、碘化汞和纯水配制)	需用溢出法检定 (见 6.1.2.7 (C)) 将毛细常数修正到硫酸水溶液
石油密度计	650~800 kg/m <sup>3</sup> 810~950 kg/m <sup>3</sup> 960~1100 kg/m <sup>3</sup>	石油产品混合液 酒精水溶液 硫酸氢乙酯	将毛细常数修正到石油产品混合液 将毛细常数修正到石油产品混合液
重液密度计	2000~3000 kg/m <sup>3</sup>	碘化钾、碘化汞水溶液	
酒精计	$q$ : (0~25)% (相当于密度为 998.2~968.1 kg/m <sup>3</sup> ) $q$ : (26~100)% (相当于密度为 967.0 kg/m <sup>3</sup> ~789.2 kg/m <sup>3</sup> )	酒精水溶液 硫酸氢乙酯 酒精水溶液	需用溢出法检定 将毛细常数修正到酒精水溶液 高浓度可加少许乙醚进行配制
糖量计	$\rho$ : (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
乳汁计 乳汁密度计	15~40 m° (相当于密度 1015 kg/m <sup>3</sup> ~1040 kg/m <sup>3</sup> ) (1010~1040) kg/m <sup>3</sup>	硫酸水溶液 硫酸氢乙酯 硫酸水溶液 硫酸氢乙酯	需用溢出法检定并将毛细常数修正到乳汁 将毛细常数修正到乳汁 需用溢出法检定并将毛细常数修正到乳汁 将毛细常数修正到乳汁
土壤计 (甲种)	-5~50 s° (相当于密度 995 kg/m <sup>3</sup> ~1030 kg/m <sup>3</sup> )	硫酸水溶液 硫酸氢乙酯	需用溢出法检定 将毛细常数修正到硫酸水溶液
波美计	0~70 Bh (相当于密度 1000 kg/m <sup>3</sup> ~2000 kg/m <sup>3</sup> )	硫酸水溶液 硫酸氢乙酯	需用溢出法检定 将毛细常数修正到硫酸水溶液

注: 所用化学试剂均为化学纯。

## 6.1.1.3 检定液的配制

## a) 硫酸氢乙酯和硫酸水溶液的配制

配制硫酸氢乙酯或硫酸水溶液时，应将硫酸缓缓地注入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，待冷却后再进行。

b) 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 12h 后才能使用。

## c) 碘化钾、碘化汞水溶液的配制

用质量比 7:10 的化学纯碘化钾和碘化汞放入烧杯里并加纯水不断搅拌，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  $2000\text{kg}/\text{m}^3$ （对于重液密度计的检定其溶液密度应大于  $3000\text{kg}/\text{m}^3$ ），而后加纯水配制所需的密度。

这种溶液见光后易变深红色，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。

## 6.1.1.4 主要检定设备及仪器

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

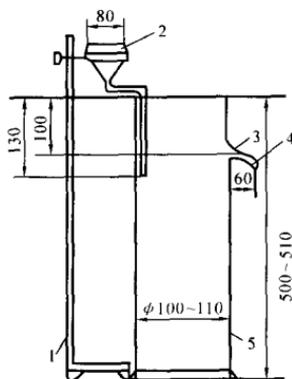


图 2

1. 支架 2. 漏斗 3. 溢出管 4. 溢出口 5. 溢出筒

- b) 盛放检定液的 3~5 L 磨口玻璃瓶若干个。
- c) 0~50℃，分度值 0.1℃ 的实验室温度计 2 支。
- d) 200 g 天平（分度值  $e$  为 100 mg）及配套砝码。
- e) (0~25) mm  $\pm$  0.01 mm 千分尺。
- f) 实心玻璃搅拌器数支。

g) (0~200) mm  $\pm$  0.02 mm 游标卡尺。

h) 偏光应力仪 (可作定量测定的应力仪) 及超声波厚度仪 (用于测定被检浮计光通过被测部位即最大应力点的总厚度)。

#### 6.1.1.5 辅助设备材料

a) 安放浮计用的架子或盘子若干个。

b) 毛巾、亚麻布、脱脂棉、砂芯漏斗、量杯、计算器等。

#### 6.1.1.6 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℃。

室内应装有通风设备、水源及防火设施。

#### 6.1.2 检定项目和检定方法

对于首次检定应执行本条的全部规定。对于后续检定按 5.1.2, 5.2.1, 5.3.2, 5.4.1, 5.4.3 和 5.4.4 进行检查以及按 6.1.2.7 进行检定。

后续检定的最大允许误差同于首次检定。

6.1.2.1 技术要求的 5.2.2, 5.3.3 和 5.4.2 应由生产厂保证, 对新制的工作浮计对此必须附有相应的出厂证书。

6.1.2.2 技术要求的 5.1, 5.2.1, 5.3.1, 5.3.2, 5.4.1, 5.4.3, 5.4.6, 5.5 和 5.6 均以目测法进行检查。若其中有一条不符合要求, 即不再进行示值误差的检定。

6.1.2.3 技术要求的 5.4.5 和 5.4.7~5.4.9 均以测长法进行检查。若其中有一条不符合要求, 即不再进行示值误差的检定。

6.1.2.4 技术要求的 5.2.3 按 GB/T15726—1995《玻璃仪器内应力检验方法》进行检查。

6.1.2.5 技术要求的 5.4.4, 可将浮计浸在相应的液体中, 用眼睛读标尺的两侧读数之差来判别。

6.1.2.6 计量性能要求 4 按 6.1.2.7 进行检定。

#### 6.1.2.7 示值误差的检定

a) 检定前的清洁准备工作

1) 浮计在检定前应用合成洗涤剂、酒精或汽油等充分清洗, 经清洗后的浮计只允许用手持干管最上端标记以上部位。

2) 检定前对所用的检定筒、搅拌器等玻璃仪器必须洗涤干净并干燥, 以防污染产生液体表面张力的变化。清洗合格的仪器其器壁应不挂水珠。

b) 读数方法

除浮计内标明按“弯月面上缘读数”外, 其他均按“弯月面下缘读数”。读数方法如图 3 所示。

1) 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 (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。

2) 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。

### c) 检定方法

1) 浮计检定采用直接比较法, 即将标准浮计与工作浮计同时浸入同一检定液中, 直接比较它们标尺的示值, 从而得到被检工作浮计的修正值。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。

根据检定系统表选好标准器和根据表 2 选用检定液。

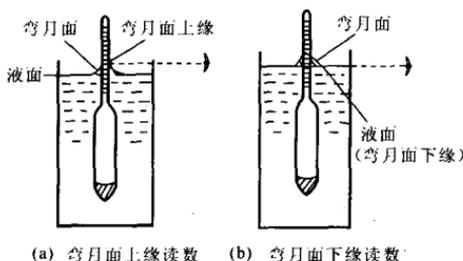


图 3 读数方法示意图

2) 在  $1000 \sim 1830 \text{ kg/m}^3$  硫酸水溶液中检定密度计, 和在  $q$  为  $(0 \sim 25)\%$  酒精水溶液中检定酒精计, 可采用溢出法, 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值之内。

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的上下 3 个分度值内波动, 待稳定后观察弯月面是否正常, 若发现弯月面与干管接触处呈类似锯齿形时, 应重新清洗, 如弯月面正常, 即可开始检定。

5) 每一支工作浮计检定 3 个点, 即首末 2 个点及中间任选一个主要标记点。每一检定点必须检定 2 次, 当修正值之差大于 0.2 个分度值, 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, 则须重新清洁后再检定。

6) 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。

$$\Delta\rho_t = \rho_t \beta (t_1 - t_2) \quad (8)$$

式中:  $\Delta\rho_t$ ——被检浮计的温度修正值;

- $\rho_{t_1}$ ——被检浮计的示值；  
 $\beta$ ——浮计玻璃的体膨胀系数（通常为  $25 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）；  
 $t_1$ ——被检浮计的标准温度；  
 $t_2$ ——标准浮计的标准温度。

7) 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，应按下式对标准浮计示值进行修正。

$$\Delta d_{r_2}^{t_2} = \frac{\rho_{t_1}}{\rho_{T_2}} \beta (t_1 - t_2) \quad (9)$$

- 式中： $\Delta d_{r_2}^{t_2}$ ——标准浮计的温度与密度单位的修正值；  
 $\rho_{t_1}$ ——标准浮计的示值；  
 $\rho_{T_2}$ ——纯水在  $T_2$  °C 时的密度（查附录 A）；  
 $t_1$ ——标准浮计的标准温度；  
 $t_2$ ——被检浮计的标准温度；  
 $\beta$ ——浮计玻璃的体膨胀系数（通常为  $25 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）。

8) 检定时如果检定液与浮计实际使用的液体不同，应按下式进行毛细常数修正。

$$\Delta \rho_a = \frac{(a_2 - a_1) \pi D \rho^2}{M} \quad (10)$$

- 式中： $\Delta \rho_a$ ——浮计的毛细常数修正值， $\text{g}/\text{cm}^3$ ；  
 $a_1$ ——浮计实际使用液体的毛细常数， $\text{mm}^2$ ；  
 $a_2$ ——浮计检定时所用检定液的毛细常数， $\text{mm}^2$ ；  
 $\pi$ ——圆周率，取 3.14；  
 $D$ ——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；  
 $\rho$ ——液体密度，准确到  $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

#### d) 数据处理

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

$$\Delta \rho = \rho_{\text{标}} - \rho_{\text{被}} \quad (11)$$

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。

检定点的实际值等于浮计示值加修正值。

## 6.2 检定结果处理

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

## 6.3 检定周期

工作浮计检定周期为 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

kg/m<sup>3</sup>

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.840	9.846	9.853	9.859	9.865	9.871	9.877	9.883	9.888	9.893
1	999.898	9.904	9.908	9.931	9.917	9.921	9.925	9.929	9.933	9.937
2	999.940	9.943	9.946	9.949	9.952	9.954	9.959	9.959	9.961	9.962
3	999.964	9.966	9.967	9.968	9.969	9.970	9.971	9.971	9.972	9.972
4	999.972	9.972	9.972	9.971	9.971	9.970	9.969	9.968	9.967	9.965
5	999.964	9.962	9.960	9.958	9.956	9.954	9.951	9.949	9.946	9.943
6	999.940	9.937	9.943	9.930	9.926	9.923	9.919	9.915	9.910	9.906
7	999.901	9.897	9.892	9.887	9.882	9.877	9.871	9.866	9.860	9.854
8	999.848	9.842	9.836	9.829	9.823	9.816	9.809	9.802	9.795	9.788
9	999.781	9.773	9.765	9.758	9.750	9.742	9.734	9.725	9.717	9.708
10	999.699	9.691	9.682	9.672	9.663	9.654	9.644	9.634	9.625	9.615
11	999.605	9.595	9.584	9.574	9.563	9.533	9.542	9.531	9.520	9.508
12	999.497	9.486	9.474	9.462	9.450	9.439	9.426	9.414	9.402	9.389
13	999.377	9.364	9.351	9.338	9.325	9.312	9.299	9.285	9.271	9.258
14	999.244	9.230	9.216	9.202	9.187	9.173	9.158	9.144	9.129	9.114
15	999.099	9.084	9.069	9.053	9.038	9.022	9.006	8.991	8.975	8.959
16	998.943	8.926	8.910	8.893	8.876	8.860	8.843	8.826	8.809	8.792
17	998.774	8.757	8.739	8.722	8.704	8.686	8.668	8.650	8.632	8.613
18	998.595	8.576	8.557	8.539	8.520	8.501	8.482	8.463	8.443	8.424
19	998.404	8.385	8.365	8.345	8.325	8.305	8.285	8.265	8.244	8.224
20	998.203	8.182	8.162	8.141	8.120	8.099	8.077	8.056	8.035	8.013
21	997.991	7.970	7.948	7.926	7.904	7.882	7.859	7.837	7.815	7.792
22	997.769	7.747	7.724	7.701	7.678	7.655	7.631	7.608	7.584	7.561
23	997.537	7.513	7.409	7.466	7.442	7.417	7.393	7.369	7.344	7.320
24	997.295	7.270	7.246	7.221	7.195	7.170	7.145	7.120	7.094	7.069

表 (续)

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
25	997.043	7.018	6.992	6.966	6.940	6.914	6.888	6.861	6.835	6.809
26	996.782	6.755	6.729	6.702	6.675	6.648	6.621	6.594	6.566	6.539
27	996.511	6.484	6.456	6.428	6.401	6.373	6.344	6.316	6.288	6.260
28	996.231	6.203	6.174	6.146	6.117	6.088	6.059	6.030	6.001	5.972
29	995.943	5.913	5.884	5.854	5.825	5.795	5.765	5.735	5.705	5.675
30	995.645	5.615	5.584	5.554	5.523	5.493	5.462	5.431	5.401	5.370
31	995.339	5.307	5.276	5.245	5.214	5.182	5.151	5.119	5.087	5.055
32	995.024	4.992	4.960	4.927	4.895	4.863	4.831	4.798	4.766	4.733
33	994.700	4.667	4.635	4.602	4.569	4.535	4.502	4.469	4.436	4.402
34	994.369	4.335	4.301	4.267	4.234	4.200	4.166	4.132	4.098	4.063
35	994.029	3.994	3.960	3.925	3.891	3.856	3.821	3.768	3.751	3.716
36	993.681	3.646	3.610	3.575	3.540	3.504	3.469	3.433	3.397	3.361
37	993.325	3.289	3.253	3.217	3.181	3.144	3.108	3.072	3.035	2.999
38	992.962	2.925	2.888	2.851	2.814	2.777	2.740	2.703	2.665	2.628
39	992.591	2.553	2.516	2.478	2.440	2.402	2.364	2.326	2.288	2.250
40	992.212	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注： $t_{90}$ 为1990年国际温标（ITS-90）。

## 附录 B

20 ℃时酒精水溶液体积分数  $q$  与密度  $\rho$  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：温标为 ITS-90。

## 附录 C

20 ℃时糖溶液质量分数  $\rho$  与密度  $\rho$  换算表

$\rho/\%$	$\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\rho/\%$	$\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\rho/\%$	$\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
0	998.20	27	1112.86	54	1251.96
1	1002.06	28	1117.55	55	1257.64
2	1005.95	29	1122.27	56	1263.36
3	1009.87	30	1127.03	57	1269.11
4	1013.81	31	1131.82	58	1274.91
5	1017.79	32	1136.64	59	1280.74
6	1021.79	33	1141.50	60	1286.61
7	1025.82	34	1146.40	61	1292.52
8	1029.89	35	1151.32	62	1298.48
9	1033.98	36	1156.29	63	1304.47
10	1038.10	37	1161.29	64	1310.50
11	1042.25	38	1166.33	65	1316.56
12	1046.43	39	1171.40	66	1322.67
13	1050.64	40	1176.51	67	1328.82
14	1054.88	41	1181.65	68	1335.00
15	1059.15	42	1186.84	69	1341.23
16	1063.45	43	1192.06	70	1347.49
17	1067.79	44	1197.31	71	1353.79
18	1072.15	45	1202.61	72	1360.13
19	1076.54	46	1207.94	73	1366.51
20	1080.97	47	1213.31	74	1372.93
21	1085.43	48	1218.72	75	1379.38
22	1089.92	49	1224.16	76	1385.87
23	1094.44	50	1229.64	77	1392.40
24	1099.00	51	1235.17	78	1398.97
25	1103.59	52	1240.73	79	1405.57
26	1108.21	53	1246.33	80	1412.21

注：温标为 ITS - 90。

## 附录 D

20℃时乳汁度  $m^\circ$  与密度  $\rho_{20}$  换算表

乳汁度 ( $m^\circ$ )	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	乳汁度 ( $m^\circ$ )	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	乳汁度 ( $m^\circ$ )	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
15.0	1015.0	23.5	1023.5	32.0	1032.0
15.5	1015.5	24.0	1024.0	32.5	1032.5
16.0	1016.0	24.5	1024.5	33.0	1033.0
16.5	1016.5	25.0	1025.0	33.5	1033.5
17.0	1017.0	25.5	1025.5	34.0	1034.0
17.5	1017.5	26.0	1026.0	34.5	1034.5
18.0	1018.0	26.5	1026.5	35.0	1035.0
18.5	1018.5	27.0	1027.0	35.5	1035.5
19.0	1019.0	27.5	1027.5	36.0	1036.0
19.5	1019.5	28.0	1028.0	36.5	1036.5
20.0	1020.0	28.5	1028.5	37.0	1037.0
20.5	1020.5	29.0	1029.0	37.5	1037.5
21.0	1021.0	29.5	1029.5	38.0	1038.0
21.5	1021.5	30.0	1030.0	38.5	1038.5
22.0	1022.0	30.5	1030.5	39.0	1039.0
22.5	1022.5	31.0	1031.0	39.5	1039.5
23.0	1023.0	31.5	1031.5	40.0	1040.0

## 附录 E

20℃ 时土壤度  $s^\circ$  与密度  $\rho_{20}$  换算表

土壤度 ( $s^\circ$ )	密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$						
-5	995.09	9	1003.81	23	1012.53	37	1021.25
-4	995.71	10	1004.43	24	1013.15	38	1021.88
-3	996.33	11	1005.06	25	1013.78	39	1022.50
-2	996.96	12	1005.68	26	1014.40	40	1023.12
-1	997.58	13	1006.30	27	1015.02	41	1023.74
0	998.20	14	1006.92	28	1015.65	42	1024.37
1	998.82	15	1007.55	29	1016.27	43	1024.99
2	999.45	16	1008.17	30	1016.89	44	1025.61
3	1000.07	17	1008.79	31	1017.52	45	1026.24
4	1000.69	18	1009.42	32	1018.14	46	1026.86
5	1001.32	19	1010.04	33	1018.76	47	1027.48
6	1001.94	20	1010.66	34	1019.38	48	1028.11
7	1002.56	21	1011.28	35	1020.01	49	1028.73
8	1003.19	22	1011.91	36	1020.63	50	1029.35

## 附录 F

20 ℃时波美度 Bh 与密度  $\rho_{20}$  换算表

波美度 (Bh)	密度 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	波美度 (Bh)	密度 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	波美度 (Bh)	密度 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	波美度 (Bh)	密度 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
0	998.96	19	1150.44	38	1356.07	57	1651.20
1	1005.93	20	1159.69	39	1368.95	58	1670.34
2	1013.00	21	1169.10	40	1382.07	59	1689.92
3	1020.17	22	1178.66	41	1395.45	60	1709.96
4	1027.44	23	1188.38	42	1409.09	61	1730.49
5	1034.82	24	1198.25	43	1423.00	62	1751.52
6	1042.30	25	1208.30	44	1437.19	63	1773.06
7	1049.89	26	1218.51	45	1451.66	64	1795.14
8	1057.59	27	1228.90	46	1466.43	65	1817.78
9	1065.41	28	1239.47	47	1481.50	66	1841.00
10	1073.34	29	1250.22	48	1496.88	67	1864.81
11	1081.40	30	1261.15	49	1512.59	68	1889.25
12	1089.57	31	1272.29	50	1528.63	69	1914.34
13	1097.87	32	1283.62	51	1545.02	70	1940.11
14	1106.29	33	1295.15	52	1561.76	71	1966.58
15	1114.85	34	1306.89	53	1578.86	72	1993.78
16	1123.54	35	1318.85	54	1596.35	—	—
17	1132.36	36	1331.02	55	1614.22	—	—
18	1141.33	37	1343.43	56	1632.50	—	—

## 附录 G

密度小于水的液体毛细常数  $a$ mm<sup>2</sup>

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)

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  $a$ mm<sup>2</sup>

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
1.00	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	6.83	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	—	—	—	—	—	—

表 (续)

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
1.25	3.31	6.15	5.48	—	—	—	—	—	—
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	—	—	—	—	—	—	—
1.50	3.15	5.17	—	—	—	—	—	—	—
1.51	3.14	5.13	—	—	—	—	—	—	—
1.52	3.12	5.09	—	—	—	—	—	—	—

表 (续)

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
1.53	3.11	5.05	—	—	—	—	—	—	—
1.54	3.10	5.01	—	—	—	—	—	—	—
1.55	3.08	4.97	—	—	—	—	—	—	—
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	4.46	—	—	—	—	—	—	—
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

糖溶液毛细常数  $a$ mm<sup>2</sup>

$p/\%$	$a$	$p/\%$	$a$	$p/\%$	$a$	$p/\%$	$a$
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	—	—	—	—	—	—

