

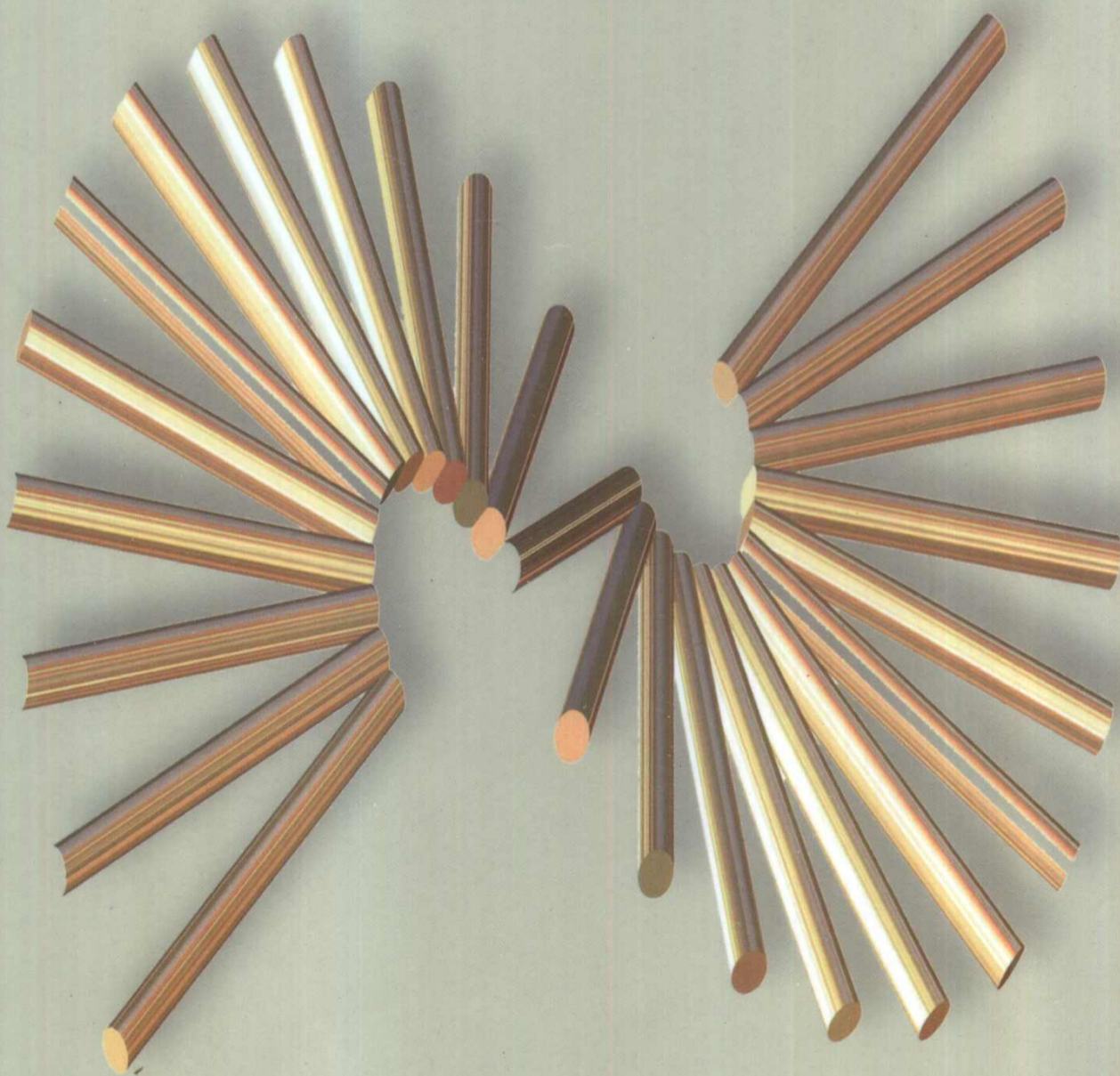
国家计量技术法规统一宣贯教材

密度计量

M I D U J I L I A N G

李兴华 编著

国家质量监督检验检疫总局计量司 审定



B922-43
35a

中国计量出版社

931

国家计量技术法规统一宣贯教材

密 度 计 量

李兴华 编著

国家质量监督检验检疫总局计量司 审定

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

密度计量/李兴华编著. —北京: 中国计量出版社, 2002. 7

国家计量技术法规统一宣贯教材

ISBN 7-5026-1653-5

I. 密… II. 李… III. 密度—计量—教材 IV. TB 933

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 042157 号

内 容 提 要

本书作为 JJG86—2001 标准玻璃浮计、JJG 42—2001 工作玻璃浮计和 JJF1074—2001 酒精密度—浓度测量用表的宣贯教材。书中在介绍了密度计量基本知识、密度标准及量值传递、玻璃浮计及其测量的基础上, 对这些计量技术法规的有关条文作了较详尽的解释, 并列举了有关实例, 在附录中列出了有关的标准及数据表。

本书通俗易懂, 实用性强, 可供各级计量、检测和浮计生产部门及酿酒行业使用。

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲 2 号
邮政编码 100013
电话 (010) 64275360
E-mail jlfxb@263.net.cn
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 8 字数 190 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000 定价: 20.00 元

前 言

本教材是按照国家质量监督检验检疫总局计量司的要求编写的，用于新修订的 JJG86—2001 标准玻璃浮计、JJG42—2001 工作玻璃浮计和新制定的 JJF1074—2001 酒精密度—浓度测量用表的全国统一宣贯教材。

教材共 5 章。在介绍密度计量基本知识的基础上，着重对上述 3 个现行计量技术法规的有关条文作了较详尽的解释，并给出有关实例，以便大家更好地理解与贯彻有关法规，达到技术统一，提高密度计量水平的目的。

本教材可供各级计量检定、检测机构，计量管理部门以及浮计生产部门、酿酒行业使用。

本书在编写过程中，得到国家质量监督检验检疫总局计量司陈红副处长和中国计量科学研究院法制处白仲元处长的大力支持，质量密度计量委员会闫宝珠、罗志勇等同志的关心，以及李秀芝、吴淑荣、罗越涛和王红等同志的协助。在此一并表示感谢。

本教材由国家质量监督检验检疫总局计量司审定。

由于水平有限、时间仓促，书中难免有不足甚至错误之处，敬请读者批评指正。

编著者
2002 年 7 月于北京

目 录

| | |
|--|---------|
| 第一章 密度计量基础知识 | (1) |
| 第一节 密度基本概念及定义 | (1) |
| 第二节 密度与温度的关系 | (2) |
| 第三节 密度计量方法分类与特征 | (3) |
| 第四节 密度计量基本方法及其原理 | (4) |
| 第二章 密度标准及量值传递 | (10) |
| 第一节 密度标准参考物质 | (10) |
| 第二节 密度计量基准、标准 | (10) |
| 第三节 密度量值溯源及传递 | (12) |
| 第三章 玻璃浮计及其测量 | (15) |
| 第一节 常用名词术语 | (15) |
| 第二节 浮计基本理论基础 | (18) |
| 第三节 浮计种类与规格 | (22) |
| 第四节 浮计测量影响因素及修正 | (36) |
| 第四章 JJG86—2001 与 JJG42—2001 的宣贯 | (43) |
| 第一节 概述 | (43) |
| 第二节 浮计检定的一些实际问题 | (43) |
| 第三节 浮计检定结果的误差分析 | (48) |
| 第四节 规程中有关条文的解释 | (55) |
| 第五节 有关实例 | (65) |
| 第五章 JJF1074—2001 的宣贯 | (74) |
| 第一节 制定 JJF1074—2001 的目的与意义 | (74) |
| 第二节 酒精密度 - 浓度的测量 | (74) |
| 第三节 关于国际酒精表 | (81) |
| 第四节 关于规范中的三种酒精表 | (85) |
| 附录 A (0~40)℃ 纯水密度表 | (89) |
| 附录 B 20℃ 酒精水溶液体积分数 q 与密度 ρ 换算表 | (91) |
| 附录 C 20℃ 糖溶液质量分数 p 与密度 ρ 换算表 | (92) |
| 附录 D 20℃ 乳汁度 m° 与密度 ρ_{20} 换算表 | (93) |
| 附录 E 20℃ 土壤度 s° 与密度 ρ_{20} 换算表 | (94) |
| 附录 F 20℃ 波美度 Bh 与密度 ρ_{20} 换算表 | (95) |
| 附录 G 密度小于水的液体毛细常数 a | (96) |
| 附录 H 密度大于水的液体毛细常数 a | (98) |
| 附录 J 糖溶液毛细常数 a | (101) |
| 附录 K GB/T 15726—1995 “玻璃仪器内应力检验方法” (提示性) | (102) |

| | | |
|--------|---|-------|
| 附录 L | GB/T 16920—1997 “玻璃平均线热膨胀系数的测定” (提示性) | (105) |
| 附录 M | 有关国内、外标准 (资料性) | (111) |
| 附录 N | API 度与相对密度 $d_{15.56}^{15.56}$ 换算表 (资料性) | (115) |
| 附录 P | 小于 650kg/m^3 低密度量程石油密度计的校准方法 (资料性) | (119) |
| 主要参考文献 | | (122) |

第一章 密度计量基础知识

第一节 密度基本概念及定义

密度是表征物质内在特性的一个物理量。为描述各种物质的密度特性，以单位体积的物质质量来度量，其大小说明了物质分子排列的疏密程度。若某种物质在单位体积内的质量大，即分子排列紧密，则密度就大；反之，若物质在单位体积内的质量小，即分子排列疏松，则密度就小。它与物质组成的物系形状、光泽等外部特性无关。各种物质的密度是不同的，而且与它们所处的状态或条件密切相关，为正确表示密度量值，必须指明物质所处的状态或条件。一般来说，均匀物质的密度在一定的状态（如温度、压力等）下都有确定的值，但对于非均匀物质，例如多相物系、空气柱、烧结物和粉粒体等等，其密度就不确定。本教材所涉及的为大量存在的单相均匀的液体物系。

密度计量测试涉及到石油、化工、建材、轻工、商检、医疗、贸易、国防以及科学研究等诸领域，应用十分广泛。它不仅关系到半成品和成品数量与质量的控制、检测及生产过程管理，而且关系到科学技术、国际贸易的促进与发展。因此不论从经济或技术观点上看，准确的计量测试都是必不可少的。

一、密度

单位体积的某种物质的质量，称为这种物质的“密度”。其定义公式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中： ρ ——物质的密度；

m ——物质的质量；

V ——物质质量 m 的体积。

在国际单位制（SI）中，密度单位为千克每立方米（ kg/m^3 ），亦可用它的十进倍数或十进分数单位表示，其中十进倍数单位克每立方厘米（ g/cm^3 ）常用。它与 kg/m^3 的关系为

$$1\text{g}/\text{cm}^3 = 1000\text{kg}/\text{m}^3$$

根据我国在 1984 年颁布的法定计量单位，亦可使用 g/mL 和 t/m^3 等。它们与 kg/m^3 的关系为

$$1\text{g}/\text{mL} = 1\text{t}/\text{m}^3 = 1000\text{kg}/\text{m}^3$$

二、相对密度

在给定条件下，物质密度 ρ_1 与参考物质密度 ρ_2 之比，称为“相对密度”。其定义公式为

$$d = \rho_1 / \rho_2 \quad (1.2)$$

d 是量纲一的量。在这里，参考物质通常采用纯水。在定义纯水密度时，国际上以及不同的学科中参考温度有 4°C 、 15°C 、 15.56°C 、 17.5°C 、 20°C 、 23°C 和 27°C 等。但常用 15°C 、 15.56°C 、 17.5°C 和 20°C ，其密度值分别为 $999.099\text{kg}/\text{m}^3$ ， $999.012\text{kg}/\text{m}^3$ ， $998.686\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $998.203\text{kg}/\text{m}^3$ （见本书附录 A）。

从式 (1.2) 可知，若测定时，使参考物质的体积 V_2 与某种物质的体积 V_1 相同，则这时相对密度可看成某种物质的质量 m_1 与同体积参考物质的质量 m_2 ，在给定条件下的比值，这时式 (1.2) 变为

$$d = m_1/m_2 \quad (1.3)$$

以前常用的“比重”术语，不再使用。

三、标准密度

在规范规定的标准条件下的物质密度，称为“标准密度”。应用标准密度是便于各种物质的比较与计算。对于液体的标准条件通常为 20°C ，我国也采用这一温度，例如 20°C 时石油产品的标准密度， 20°C 时酒精溶液的标准密度等等。

四、参考密度

在一定状态（温度和压力）下参考物质的密度，称为“参考密度”。参考密度多在相对密度测量中使用，譬如，常用的 20°C 时的纯水密度。在密度计量中，参考密度是已知的量，可查相关表或预先测定。

五、质量分数

溶液中所含溶质质量 m' 与其溶液质量 m 的比，称为“质量分数”。其定义公式为

$$p = \frac{m'}{m} \times 100\% \quad (1.4)$$

p 为量纲一的量。用小数或%表示。例如，酒精溶液的浓度 $p = 0.43 = 43\%$ ，表示酒精在其相应溶液（如 100g ）中的质量为 43.0g 。

六、体积分数

在一定温度 $t^{\circ}\text{C}$ 下，溶液中所含溶质体积 V' 与其同温度下溶液体积 V 的比，称为“体积分数”。其定义公式为

$$q = \frac{V'}{V} \times 100\% \quad (1.5)$$

q 为量纲一的量。用小数或%表示。例如，在 20°C 时，酒精溶液的浓度 $q = 0.43 = 43\%$ ，表示酒精在其 20°C 的相应溶液（如 100mL ）中体积含量为 43.0mL 。

第二节 密度与温度的关系

在通常状态下，液体密度是随温度变化而变化的。其关系式为

$$\rho_{t_2} = \frac{\rho_{t_1}}{1 + \alpha_V (t_2 - t_1)} \quad (1.6)$$

式中： ρ_{t_1} 、 ρ_{t_2} ——分别为液体在温度 t_1 及 t_2 时的密度；

α_V ——液体的体膨胀系数（严格来讲，是指 $(t_1 \sim t_2)$ 温度范围内的平均值）；

t_1 、 t_2 ——单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

体膨胀系数表征了物质的热膨胀特性，是温度每变化 1°C 时，物质体积的相对变化率，即：

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt}$$

单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。例如，水在 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 间的体膨胀系数是 $0.15 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ （参见表 1-1）。

我们将式 (1.6) 展开并略去带有 α_V^2 以上的高次小项，则可得到下列近似数学表达式，即：

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha_V (t_1 - t_2)] \quad (1.7)$$

若 $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ，则上式变为

$$\rho_{t_2} = \rho_{20} [1 + \alpha_V (20 - t_2)] \quad (1.8)$$

式 (1.8) 是在实际工作中，常用的密度与温度关系式。据此可以很便利地从已知在 20°C 时的标准密度值，求得在任意温度下的密度值；反之亦然。一些液体的体膨胀系数见表 1-1。

表 1-1 一些液体的体膨胀系数

$10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$

| 名称 | α_V | 名称 | α_V | 名称 | α_V |
|------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| 乙醚 | 1.66 | 煤油 | 1.00 | 水银 | 0.18 |
| 戊烷 | 1.61 | 甲苯 | 1.09 | 水 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ | 0.14 |
| 氯仿 | 1.27 | 石油 (密度 $847\text{kg}/\text{m}^3$) | 0.96 | 水 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ | 0.15 |
| 汽油 | 1.24 | | | 水 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ | 0.25 |
| 苯 | 1.24 | 橄榄油 | 0.72 | 水 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ | 0.35 |
| 四氯化碳 | 1.24 | 盐酸 | 0.57 | 水 $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ | 0.46 |
| 二硫化碳 | 1.22 | 硫酸 | 0.56 | 水 $60 \sim 80^{\circ}\text{C}$ | 0.59 |
| 甲醇 | 1.20 | 乙酸 | 1.07 | 水 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ | 0.70 |
| 乙醇 | 1.10 | 甘油 | 0.50 | — | — |
| 石油醚 | 1.42 | 二甲苯 | 0.62 | — | — |

从上述显而易见，为正确的表达液体密度、相对密度以及浓度，必须同时注明测量时的温度，这是非常重要的。例如， ρ_{20} 表示液体在 20°C 时的密度；而 d_{15}^{20} 表示液体在 20°C 时的密度相对于参考纯水在 15°C 时密度的相对密度等。

第三节 密度计量方法分类与特征

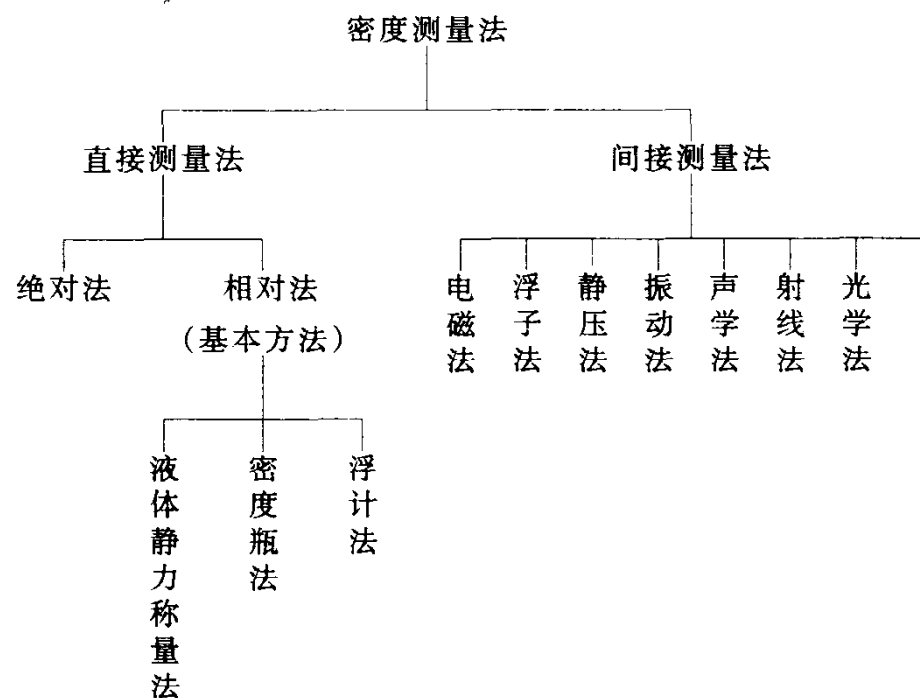
为测量物质的密度有各种各样的方法，但基本上可分为两类，即源于密度基本原理公式

的直接测量法和利用密度量与某些物理量关系的间接测量法。直接测量法又可分为绝对测量法（简称绝对法）与相对测量法（简称相对法）。相对法是在密度计量测试技术中常用的方法，它是一种与密度标准参考物质进行比较的测量。而绝对法则是通过直接测量物质的基本量质量和长度，而无需使用密度标准参考物质的一种测量，该法与相对法相比，由于是溯源于基本量的测量，从而更准确可靠。然而，由于相对测量比绝对测量省时且技术上简便，故在密度计量上被广泛采用（参见第一章第四节密度计量基本方法及其原理）。

间接测量法种类较多，如利用电量、光学量、电离辐射量、振动量、声学量等与密度变化关系的各种方法。这类方法主要用于工业生产过程中的连续检测与控制流体的密度或浓度。

密度计量方法分类见表 1-2。

表 1-2 密度测量法分类简表



第四节 密度计量基本方法及其原理

在上节讲到，相对法在密度计量中常用，本节介绍它的 3 种基本方法，即表 1-2 中的方法。

一、液体静力称量法

它是利用阿基米德原理测量浸在液体中的浮子所受的浮力大小，求得液体密度的一种方法。特点是适用范围广，在实验室中可以达到较高的准确度。

测量装置主要由液体静力天平、浮子和恒温系统等组成。天平可用机械或电子静力天平，一般最大称量为 200g，分度值为 0.1mg。恒温系统通常为常温，控温要求可以达到 $(0.05\sim 0.1)^\circ\text{C}$ ，更高要求为 0.01°C 以上。通常使用如图 1-1 所示的中空玻璃浮子进行测量。为测量简便浮子参数质量与体积是预先精确确定的。为减少液体表面张力对吊丝称量的影响，让吊丝尽量细些，一般直径为 $(0.1\sim 0.2)\text{mm}$ 的金属丝（如，钨丝、镍铬丝和铂金丝），亦可用尼龙丝等。其测量装置如图 1-2 所示。



图 1-1 玻璃浮子

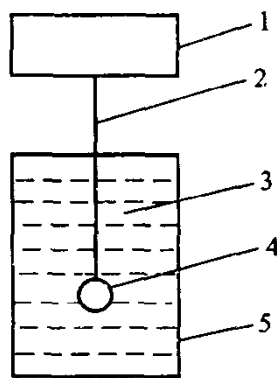


图 1-2 液体静力称量装置示意图

1—静力天平；2—吊丝；3—被测液体；4—玻璃浮子；5—恒温槽

在浮子的质量与体积已知时，测量时仅将浮子吊挂浸入被测液体中即可直接得到液体密度。其密度计算式为

$$\rho_t = \frac{\bar{M} - m(1 - \rho/\delta)}{\bar{V}_{20} [1 + \alpha_v(t - 20)]} \quad (1.9)$$

式中： ρ_t ——被测液体在 t 摄氏度时的密度；

\bar{M} ——浮子的平均质量（多次测量确定）；

\bar{V}_{20} ——浮子在 20°C 时的平均体积（多次测量确定）；

m ——在密度为 ρ 的空气中与浮子相平衡的砝码质量；

δ ——砝码材料的密度；

α_v ——玻璃浮子的体膨胀系数（通常为 $25 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）。

在浮子的质量与体积未知时，也可用如下的 3 组称量，即在空气中称量浮子，在水中称量浮子，以及在被测液体中称量浮子得到液体密度。显然，这时比上述方法相比麻烦许多。但在测量过程中，假若认为温度和空气密度变化可以忽略的话，可用下列简化式计算密度：

$$\rho_t = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} (\rho_w - \rho) + \rho \quad (1.10)$$

式中： ρ_t ——被测液体在 t 摄氏度时的密度；

m_1 ——在密度为 ρ 的空气中与温度 t 摄氏度的浮子相平衡的砝码质量；

m_2 ——在密度为 ρ 的空气中与温度 t 摄氏度水中浮子相平衡的砝码质量；

m_3 ——在密度为 ρ 的空气中与温度 t 摄氏度被测液体中浮子相平衡的砝码质量；

ρ_w ——纯水在 t 摄氏度时的密度；

ρ ——空气在 t 摄氏度时的密度。

由这种方法派生出的韦氏静力天平法，是 Westphal（韦斯特法尔）提出的。韦氏天平实际上是液体静力天平的一种变型，天平是不等臂的，在横梁上有 10 条刻线，并在刻线上方有放游码的“V”形槽。“V”形游码 4 个一组，其质量比为 $1:1/10:1/100:1/1000$ ，分别称为 1 号~4 号游码。本组游码应与本套仪器的浮子配套。我国游码组为 5g，500mg，50mg 和 5mg，浮子在 20°C 的体积为 5cm^3 （内部带有温度计）。

通常这种天平带有 2 个 1 号游码或 2 组游码，因而可以测量密度大于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 的液体，但最大到 $2\text{g}/\text{cm}^3$ 。这种方法由于测量简便可直接读数，故常用于石油、化工、商检以及酿酒等场合。详细内容请见主要参考文献 [1]。

二、密度瓶法

通过测量被测液体装在密度瓶内的质量及其体积得到密度。特点是适用范围广，在实验室中可以获得较高的准确度。密度瓶是玻璃材质吹制的，根据用途可有多种结构，其基本结构见图 1-3，它的特征与用途见表 1-3。

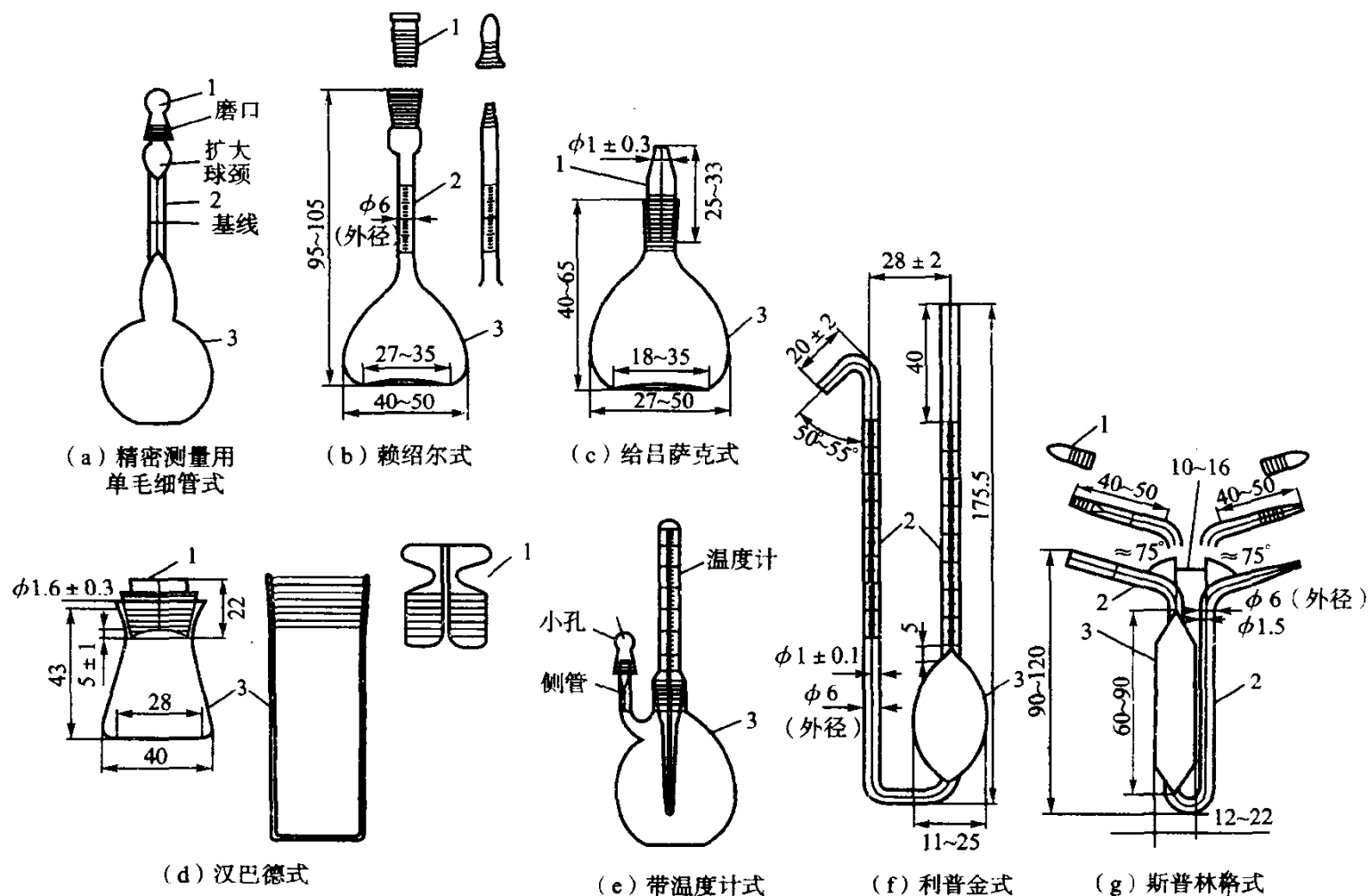


图 1-3 几种常见密度瓶

1—瓶塞或毛细管塞；2—毛细管；3—瓶体

表 1-3 几种常见密度瓶的特征及用途

| 序号 | 名称 | 毛细管直径 | 标称容积 (20℃) | 特点 | 用途 |
|----|--------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 精密测量用单毛细管密度瓶 | 一般为 1~2mm, 更细为 0.5~1.0mm | 通常为 10~50cm ³ , 或专门设计 | 毛细管对温度变化灵敏度高, 结构见图 1-3(a) | 用于精密测量, 但对粘性液体不适用 |
| 2* | 赖绍尔式密度瓶 | 通常内径为 2.2~3.8mm | 25; 50cm ³ | 瓶体上方毛细管较长, 结构见图 1-3(b) | 用于一般测量液体密度 |

续表

| 序号 | 名称 | 毛细管直径 | 标称容积 (20℃) | 特点 | 用途 |
|----|----------|----------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| 3* | 给吕萨克式密度瓶 | 1mm | 10; 25; 50cm ³ | 带有毛细管塞, 结构见图 1-3(c) | 用于一般液体, 对某些固体密度也可测量 |
| 4* | 汉巴德式密度瓶 | 1.6mm | 25cm ³ | 带有毛细管塞, 但瓶口广, 瓶易洗涤、干燥和灌注试样方便, 结构见图 1-3(d)** | 主要用于测量高粘度(如重油)液体, 对固体试样大的样品也可以测量 |
| 5 | 带温度计的密度瓶 | 侧毛细管直径约为 1.5mm | 10; 25; 50cm ³ | 可以用温度计直接观测瓶内液体温度, 结构见图 1-3(e) | 主要用于测量液体密度, 对某些固体试样也可测量 |
| 6* | 利普金式密度瓶 | 1mm | 1; 2; 5; 10cm ³ | 双毛细管结构, 灌注液体容易, 结构见图 1-3(f) | 主要用于测量易挥发的石油和化工产品的液体密度 |
| 7* | 斯普林格式密度瓶 | 1.5mm | 5; 10; 25cm ³ | 同上, 结构见图 1-3(g) | 主要用于测量易挥发的石油和化工产品的液体密度 |

注: ①表中标有“*”者为 ISO 3507“密度瓶”采用的密度瓶(见附录 M-2)。

②表中标有“**”者为图 1-3(d)右边的瓶。它是 GB 2540—1992 使用的瓶(见附录 M-1)。

在密度瓶参数质量与容积已知时, 测量时仅将被测液体灌满至标线处便可求得密度。其密度计算式为

$$\rho_t = \frac{m(1 - \rho/\delta) - \bar{M}(1 - \rho/D)}{\bar{V}_{20}[1 + \alpha_V(t - 20)]} + \rho \quad (1.11)$$

式中: ρ_t ——被测液体在 $t^\circ\text{C}$ 时的密度;

\bar{M} ——密度瓶的平均质量(多次测量);

\bar{V}_{20} ——密度瓶在 20°C 时的平均容积(多次测量);

m ——在密度为 ρ 的空气中与灌满被测液至标线处的密度瓶相平衡的砝码质量;

α_V ——玻璃密度瓶的体膨胀系数(通常, 对于钠钙玻璃为 $25 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$; 对于硅硼玻璃为 $10 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$);

δ ——砝码材料的密度；

D ——玻璃密度瓶的密度。

在密度瓶的质量与容积未知时，也可用如下的3组称量，即在空气中称量空密度瓶，在空气中称量灌满纯水至标线处的密度瓶，以及在空气中称量灌满被测液体至标线处的密度瓶得到液体密度。显然，这时比上述方法相比麻烦许多。在测量过程中，假若认为温度和空气密度变化可以忽略的话，可用下列简化式计算密度：

$$\rho_t = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} (\rho_w - \rho) + \rho \quad (1.12)$$

式中： ρ_t ——被测液体在 t 摄氏度时的密度；

m_1 ——在密度为 ρ 的空气中称量 t 摄氏度时空密度瓶的质量；

m_2 ——在密度为 ρ 的空气中称量灌满纯水至密度瓶标线处时的质量；

m_3 ——在密度为 ρ 的空气中称量灌满被测液体至密度瓶标线处时的质量；

ρ_w ——纯水 t 摄氏度的密度；

ρ ——空气 t 摄氏度的密度。

三、浮计法

利用阿基米德定律测量浸在液体中的玻璃浮计的深度变化即体积变化求得密度。特点是测量范围广和简便，在通常情况下，几乎可以用于一切液体而且可以达到较高的准确度。本教材所述的浮计是质量固定、体积可变的质量固定式玻璃浮计（简称浮计）。

浮计构造很简单，主要由干管与躯体组成。其代表形式如图 1-4 所示。干管内壁粘牢标尺，躯体下部的压载室内装满小铅丸并用玻璃隔板或火漆封死不动。图中 (c) 是一种内部带有温度计的“热式浮计”（见第三章、第一节、一）。

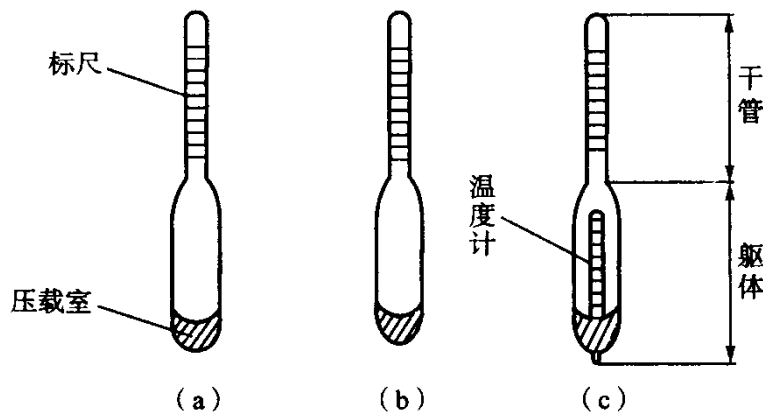


图 1-4 浮计基本结构图

浮计是一种垂直漂浮于液体中，用来测量液体密度，相对密度或浓度的仪器统称。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。这时液体密度 ρ 等于浮计的质量 m 除以浮计浸没于密度为 ρ 的液体体积 V' ，即 $\rho = m/V'$ 。显然，当浮计的质量一定时，浮计浸入液体中的体积与液体密度成反比关系，即液体密度愈大，浮计浸入液体中的体积愈小；反之，液体密度愈小，浮计浸入液体中的体积愈大。

浮计种类较多，按其用途和标尺大体上可以分为密度计（含相对密度计）、浓度计和假定分度的3种类型浮计。密度计是以密度或相对密度单位分度的，有通用密度计和通用相对密度计，以及以所测液体命名的专用密度计，例如海水密度计、乳汁密度计和石油密度计

等；浓度计是以质量分数与体积分数单位分度的，用以测量各种溶液的浓度，例如酒精计和糖量计等；假定分度的浮计是以假定（人为约定）单位分度的，例如，乳汁计、土壤计和波美计等等。后两种类型的浮计，由于浓度和假定分度均与密度有着一定的换算关系，实际上也是属于密度计的范畴。有关浮计的详细内容请见第三章，这里不再赘述。

第二章 密度标准及量值传递

第一节 密度标准参考物质

在密度计量测试中，常用某些物质的密度作为标准参考值进行测量。密度标准参考物质一般是指易获得、纯度高、性能稳定且密度已知的物质。在密度计量领域，这种物质主要是纯水，其次是纯汞或其他一些物质。

纯水密度是密度计量最重要而且使用最为广泛的参考物质，通常使用的（0~40）℃（1990年国际温标）纯水密度表是国际上公认的（见附录A）。

第二节 密度计量基准、标准

在密度计量中，研究建立密度基准关系到密度量值的溯源性和量值传递的可靠性，是十分重要的。下面就我国的液体密度计量的基准与标准加以介绍。

我国的液体密度基准是用前述的密度测量基本方法的液体静力称量法与密度瓶法建立的。国家液体密度基准包括基准装置、基准密度计组和副基准酒精计组。它是作为统一国家液体密度量值的最高依据。

基准装置复现液体密度的范围为（650~3 000） kg/m^3 （20℃与101325 Pa），扩展不确定度为（7~20） $\times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^3$ （覆盖因子 $k=3$ ）；基准密度计组是一组具有不同计量特定值的玻璃浮计，共137支。测量范围为（650~3 000） kg/m^3 （标准温度为20℃），扩展不确定度为（2~20） $\times 10^{-2}\text{kg}/\text{m}^3$ （ $k=3$ ），其标尺是用基准装置定度的，即确定它们的修正值。定度时将基准装置测量得到的液体密度标准值，与基准密度计的读数在相同条件（20℃与101325 Pa）下作比较。根据基准密度计组的测量范围，共用了4种定度液体，即石油产品混合液、酒精水溶液、硫酸氢乙酯（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OSO}_3\text{H}$ ，乙醇与硫酸作用酯化的结果。）和碘化钾、碘化汞水溶液。关于基准密度计组的特性及定度液体见表2-1。

表 2-1 基准密度计组特性及定度液体

| 基准密度计组测量范围 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 分度值 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 支数/支 | 定度液体 | 密度范围 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) |
|--|---|------|------------|--|
| 650~780 | 0.1 | 7 | 石油产品混合液 | 650~780 |
| 780~1040 | 0.05 | 51 | 酒精水溶液 | 780~960 |
| 1040~1500 | 0.1 | 42 | 硫酸氢乙酯 | 960~1830 |
| 1500~2000 | 0.2 | 17 | 碘化钾、碘化汞水溶液 | 1840~3000 |
| 2000~3000 | 0.5 | 20 | | |

副基准酒精计组是一组具有不同计量特定值的玻璃浮计，共 25 支。测量范围 q 为 (0~100)% (标准温度为 20℃)，分度值为 0.05%，扩展不确定度为 (0.014~0.026)% ($k=3$)，其标尺是用基准密度计直接比较标定的。用直接比较法，通过副基准酒精计可以直接检定一等标准酒精计，这样方便快捷。

国家液体密度基准用于复现和保存密度量值，以保证国家液体密度单位的溯源性，使其量值在规定的误差范围内准确统一。它建立并保存在中国计量科学研究院。

我国液体密度计量标准主要由浮计式玻璃浮计组成，分为一等与二等标准浮计。一等标准浮计由一等标准密度计组、一等标准酒精计组、一等标准糖量计组和一等标准海水密度计组等 4 种构成；二等标准浮计由二等标准密度计组、二等标准酒精计组、二等标准糖量计组、二等标准石油密度计组和二等标准乳汁密度计组等 5 种构成。关于标准浮计的特性见表 2-2。

表 2-2 标准玻璃浮计特性

| 标准浮计名称 | 测量范围 | 分度值 | 支数/支 | 标准温度/℃ | 扩展不确定度 ($k=3$) | 备注 |
|------------------|------------------------------|---|------|--------|---|------------|
| 一等标准密度计组 | (650~2000) kg/m ³ | (650~1500) kg/m ³ 为 0.2kg/m ³ ; (1500~2000) kg/m ³ 为 0.5 kg/m ³ | 39 | 20 | (8~20) × 10 ⁻² kg/m ³ | 用基准密度计组检定 |
| 一等标准密度计组 (密度连续型) | (700~1100) kg/m ³ | 0.2 kg/m ³ | 20 | 20 | 8 × 10 ⁻² kg/m ³ | |
| 一等标准酒精计组 | q : (0~100)% | 0.1% | 10 | 20 | 0.04% | 用副基准酒精计组检定 |
| 一等标准糖量计组 | p : (0~80)% | 0.1% | 8 | 20 | 0.03% | 用基准密度计组检定 |
| 一等标准海水密度计组 | 1.0000 ~ 1.0400 | 0.0001 | 5 | 17.5 | 4 × 10 ⁻⁵ | 用基准密度计组检定 |