

密度計量技术

〔苏〕И·К·土魯宾涅尔 著
М·Д·依比茨



机械工业出版社

76

密度計量技術

〔蘇〕 И·К·土魯賓涅尔 著
М·Д·依比茨

国家計量局譯



机械工业出版社

DT18/CS
本书叙述固体和液体密度的测定方法。介绍密度计、酒精计、糖量计及其他各种浮计的构造，并具体规定了怎样使用这类仪器。书中还研究了温度和毛细现象对密度计量的影响。并且每章都附有习题。

本书内容所涉及的方面，是比较全面的，从密度计量的一般知识，浮计构造设计及其检定，一直到具体计量工作的进行，均包括在内。书末并附有供实际工作需要的各种常用数据表。

本书可供各方面与密度计量有关的技术人员以及浮计的制造和检定人员参考。

本书由姜执中、陈嘉新两同志翻译，李燕同志校订。

И. К. Турубинер, М. Д. Иппин
ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ

• Машгиз 1949

(根据苏联国立机器制造科技书籍出版社一九四九年版译出)

* * *

密度计量技术

[苏] И. К. 土鲁宾涅尔 М. Д. 依比茨 著

国家计量局译

*

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同141号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 4 · 字数 99 千字

1957年11月北京第一版·1964年9月北京第二次印刷

印数 2,001—6,000 · 定价 0.75 元

*

统一书号: 15033·737(1614)

目 次

前言	5
第一章 密度計量概述	7
1 密度概念及密度、質量、体积之間的关系	7
2 密度的單位	8
3 測定固体和液体密度的方法	9
第二章 浮計	13
4 浮計的構造	13
5 浮計的分类	14
6 浮計的構造原理	15
7 浮計在液体中平衡的基本方程式的推証	16
第三章 浮計的設計	20
8 浮計在液体中的穩定状态	20
9 浮計在液体中保持穩定状态的条件对其形狀的关系	22
10 浮計的干管直徑、分度表長度和軀体体积之間的相互关系	23
11 浮計分度表的計算	26
12 利用分度机进行分度表的分度	29
第四章 温度对浮計示值的影响	33
13 温度对液体密度、液体的标准温度和浮計的标准温度	33
14 在非标准温度下使用浮計时, 对其示值的改正	33
15 在比較浮計时, 对不同的标准温度的改正	36
16 用两种不同單位表示的密度的換算	38
17 对于实施温度改正所用圖、表的認識	46
第五章 毛細現象	51
18 随着浮計浸入液体中同时發生的現象	51
19 沾湿現象和不沾湿現象、凹下弯月面和凸起弯月面	54
20 毛細常数的概要	56
21 弯月面对于浮計示值的影响	58
22 考慮到弯月面質量之后, 浮計在液体中平衡的基本方程式	60

1101037

23 关于硫酸氢乙酯混合液以及在此种液体中进行浮計檢定	63
24 实施毛細改正用的圖解和表	65
第六章 金屬酒精計	69
25 概要說明和作用原理	69
26 限界酒精	71
27 限界酒精的計算	72
28 金屬酒精計沉錘質量的确定	75
29 表标上各中間分度的密度計算	76
30 金屬酒精計示值对照表	77
31 金屬酒精計的使用	78
32 金屬酒精計的檢定	79
第七章 測定密度用的衡量法	82
33 液体靜力衡量法	82
34 固体密度的測定	83
35 液体密度的測定	86
36 对进行液体靜力衡量的具体規定	88
37 比重瓶測定密度法	91
38 利用比重瓶測定液体的密度	93
39 利用比重瓶測定固体的密度	96
40 关于实际使用比重瓶的規定	98
41 專門的液体靜力衡量天平	102
第八章 关于实际操作的一些規定	109
42 檢定浮計用的設備, 仪器和材料	109
1. 房屋的選擇及其設備(109)——2. 仪器和其他設備(109)——3. 供檢定浮計用的材料(112)	
43 檢定用混合液的配制	113
44 关于在液体中进行被檢浮計和标准浮計示值比較工作的規定	116
1. 浮計度标分度值的确定(116)——2. 根据証書对标准浮計进行改正(117)	
45 密度計量技术应用的文件目录	119
附录	122

531

密度計量技術

[蘇] И·К·土魯賓涅尔 著
М·Д·依比茨

国家計量局譯



机械工业出版社

本书叙述固体和液体密度的测定方法。介绍密度计、酒精计、糖量计及其他各种浮计的构造，并具体规定了怎样使用这类仪器。书中还研究了温度和毛细现象对密度计量的影响。并且每章都附有习题。

本书内容所涉及的方面，是比较全面的，从密度计量的一般知识，浮计构造设计及其检定，一直到具体计量工作的进行，均包括在内。书末并附有供实际工作需要的各种常用数据表。

本书可供各方面与密度计量有关的技术人员以及浮计的制造和检定人员参考。

本书由姜执中、陈嘉新两同志翻译，李燕同志校订。

И. К. Турубинер, М. Д. Иппин
ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ

• Машгиз 1949

(根据苏联国立机器制造科技书籍出版社一九四九年版译出)

* * *

密度计量技术

[苏] И. К. 土鲁宾涅尔 М. Д. 依比茨 著

国家计量局译

*

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同141号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 4 · 字数 99 千字

1957年11月北京第一版 · 1964年9月北京第二次印刷

印数 2,001—6,000 · 定价 0.75 元

*

统一书号: 15033 · 737(1614)

目 次

前言	5
第一章 密度計量概述	7
1 密度概念及密度、質量、体积之間的关系	7
2 密度的單位	8
3 測定固体和液体密度的方法	9
第二章 浮計	13
4 浮計的構造	13
5 浮計的分类	14
6 浮計的構造原理	15
7 浮計在液体中平衡的基本方程式的推証	16
第三章 浮計的設計	20
8 浮計在液体中的穩定状态	20
9 浮計在液体中保持穩定状态的条件对其形狀的关系	22
10 浮計的干管直徑、分度表長度和軀体体积之間的相互关系	23
11 浮計分度表的計算	26
12 利用分度机進行分度表的分度	29
第四章 温度对浮計示值的影响	33
13 温度对液体密度和浮計的标准温度和浮計的标准温度	33
14 在非标准温度下使用浮計时，对其示值的改正	33
15 在比較浮計时，对不同的标准温度的改正	36
16 用两种不同單位表示的密度的換算	38
17 对于实施温度改正所用圖、表的認識	46
第五章 毛細現象	51
18 随着浮計浸入液体中同时發生的現象	51
19 沾湿現象和不沾湿現象、凹下弯月面和凸起弯月面	54
20 毛細常数的概要	56
21 弯月面对于浮計示值的影响	58
22 考虑到弯月面質量之后，浮計在液体中平衡的基本方程式	60

23 关于硫酸氢乙酯混合液以及在此种液体中进行浮計檢定	63
24 实施毛細改正用的圖解和表	65
第六章 金屬酒精計	69
25 概要說明和作用原理	69
26 限界酒精	71
27 限界酒精的計算	72
28 金屬酒精計沉錘質量的确定	75
29 表标上各中間分度的密度計算	76
30 金屬酒精計示值对照表	77
31 金屬酒精計的使用	78
32 金屬酒精計的檢定	79
第七章 測定密度用的衡量法	82
33 液体靜力衡量法	82
34 固体密度的測定	83
35 液体密度的測定	86
36 对进行液体靜力衡量的具体規定	88
37 比重瓶測定密度法	91
38 利用比重瓶測定液体的密度	93
39 利用比重瓶測定固体的密度	96
40 关于实际使用比重瓶的規定	98
41 專門的液体靜力衡量天平	102
第八章 关于实际操作的一些規定	109
42 檢定浮計用的設備, 仪器和材料	109
1. 房屋的選擇及其設備(109)——2. 仪器和其他設備(109)——3. 供檢定浮計用的材料(112)	
43 檢定用混合液的配制	113
44 关于在液体中进行被檢浮計和标准浮計示值比較工作的規定	116
1. 浮計度标分度值的确定(116)——2. 根据証書对标准浮計进行改正(117)	
45 密度計量技术应用的文件目录	119
附录	122

前 言

密度計量广泛地应用于工業、科学和技术的各个部門中。

在国民經济中，几乎沒有一个部門不进行液体或固体的密度測定工作。

許多具有重要国民經济意义的产品的統計精度，都与密度測定的准确程度有关。足以說明問題的例子是，当以容量法計算石油和石油产品时，一定要預先进行密度的測定。

計量密度的仪器，其中特別是浮計，由于其簡單、方便，更重要的是使用起来迅速，所以在国民經济的各个部門中，已成为必不可缺的仪器。

在外国，浮計多由小型手工業来制造。同时，这种使用水銀的生产是有害健康的。在苏联已經建立了以最新科学根据为基础的、大工業性質的仪器生产。在社会主义的企業中，采取了一切措施，以使工人的劳动得到最大限度地減輕和安全。

在資本主义国家的企業中，供測定密度用的仪器有着很大的差异。这些仪器上裝有各种按照極不相同的假定密度單位和在不同的溫度条件下来刻划分度的。

由私营厂商的竞争而帶來的这种多样性，不仅使浮計的使用复杂化，并且在計量結果的相互对照上造成混乱，因而需要編制大量的換算表。

在資本主义国家中，虽然非只一次地提出整頓密度計量方面的这种極端混乱状态，但是，像其他技术領域的問題一样，生产力的进步为生产关系桎梏束縛着。对这种重要措施的实行，資本主义制度本身便注定了不可克服的障碍。

在社会主义获得胜利的国家中，技术的發展是国家的的事情。在苏联政府的各項決議、法律和国民經济計劃中，具体地体现了

6
这一点。

在资本主义社会无法进行的密度计量的整顿，但在社会主义国家却能成功地实现了这种整顿。

苏联禁止制造和采用一切假定分度表，规定了统一的、适用于一切液体密度计量（海水密度计除外）的标准温度 20°C 。

应该指出，門捷列夫全苏度量衡科学研究所的浮计实验室在整顿苏联密度计量方面所做的重大工作。该院制定了所有密度分度表的密度计校准器，制定了密度计量方面的严整的检定系统，同时还编订了多种为国民经济所必须的液体比重表格。

本书的目的在于给读者介绍一些密度计量原理和仪器，同时也介绍一些必要的理论根据和计算方法。

本书第一至五章和第八章是土鲁宾涅尔写的，第六和第七章是依比茨写的。

第一章 密度計量概述

1 密度概念及密度、質量、体积之間的关系

物体密度系物体質量与其体积之比。若兩物体具有同样的体积，而第一物体的質量較第二物体的質量大一倍，則第一物体的密度較第二物体的大一倍。若兩物体具有同一的質量，而第一物体的体积較第二物体的体积大一倍，則第一物体的密度为第二物体之半。

显然，物体密度与其質量成正比，而与体积成反比，即密度、質量、体积三者之間的关系依下式确定：

$$D = K \frac{m}{V}, \quad (1)$$

式中 K ——比例系数； D ——物体密度；

m ——物体質量； V ——物体体积。

假定 $K = 1$ ，則得
$$D = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

即系以單位体积具有單位質量的物質的密度作为密度單位。

如下所述，实际用水在溫度 4°C 时的密度为密度單位。在此溫度下，一立方厘米水的質量等于一克。

由公式 (2) 得出
$$m = VD, \quad (3)$$

即物体的質量等于其体积与密度的乘积。

若 $V = 1$ (參閱公式 2)，則按質量的数值來說， $m = D$ ，由此可見，物体的密度是用 1cm^3 此种物体的質量來計量的。

因为用衡量法确定物体的体量，故常常用“重量”一詞代替“質量”。可是，同一物体的質量和重量，虽說在 45° 的緯度上表現为相同的数值，但在本質上兩者的概念根本不同。由于重力加速度的变化，重量随緯度不同而变，至于質量則在任何处所均保持不变。重量和質量数值之間差別的極限，对于每 1kg 來說，可

达 $0.0025g$ 。設 m ——質量， G ——重量和 g ——重力加速度：

$G = mg$ ，即物体重量等于質量乘重力加速度，因此 $m = \frac{G}{g}$ 。

同样，“密度”和“比重”的概念也常被混淆起来。如上所述，密度是以單位体积的質量来表示的，但比重是以單位体积的重量来表示的，即密度 $D = \frac{m}{V}$ （見公式 2），而比重 $\gamma = \frac{G}{V}$ 。或以 mg （ g ——重力加速度）代替 G ，得比重 $\gamma = \frac{mg}{V}$ 。因为在比重公式內含有变量 g ，所以比重同样地也是变量。但由于目前关于比重的研究一般不列于度量衡学之內，故下文中也將只談物体的密度。

2 密度的單位

我国規定了兩种密度單位：（1）每立方厘米克（ g/cm^3 ）和（2）每毫升克（ g/ml ）。若將公式（2）中所含的兩种量——質量（ m ）和体积（ V ），用 CGS 制对此种量所采用的單位代入，即以克（ g ）代質量和以立方厘米（ cm^3 ）代体积，或以容量單位“毫升”（ ml ）（因为对于液体除体积單位外同时采用容量單位）代体积，則在此情况下，密度 D 表现为同制（CGS 制）的基本密度單位，其符号为： g/cm^3 和 g/ml 。

上面提到的單位 g/cm^3 和 g/ml 是不相等的，它們有如下的对比关系： $1 g/cm^3 = 1.000028 g/ml$ 或 $1 g/ml = 0.999972 g/cm^3$ ，这是由于 $[升]$ 不等于 $1 dm^3$ ，而等于 $1.000028 dm^3$ ，因此 $1 ml = 1.000028 cm^3$ 。

計量密度时所采用的兩种單位 g/ml 和 g/cm^3 中，前者用于高精度的液体密度計量。标准浮計的分度也用这种單位。当液体密度的計量精度，要求高于 0.01% 时，一般地采用單位 g/ml 。在一切密度計量所需的精度不高于 0.01% 的情况下，由于用兩种密度單位所表示出来的密度数字在这一精度的範圍內是一致的，故采用第二种密度單位 g/cm^3 。

可是，由于不久以前还使用过其他密度單位，目前还可以在

技术手册和其他技术書籍中遇到这些單位，因此，对于它們有加以介紹的必要。

直到現在，在密度計量領域內所使用的單位，是在4；15；17.5；20°C等不同溫度下的分別以1.0；0.99913；0.99872；0.99823等数字表示的蒸餾水密度，而以等于1.0的水在4°C（即其最大密度时的溫度）时的密度作为密度的基本單位。

除了量的基本計量單位外，与之并存的还有其倍数价值和分数值，在实行米突制后，它們之間都是十进制的关系。例如：長度計量中除米突外，与其并存的还有厘米、毫米等等；質量計量中除克外，还有千克、毫克等等。

在各种密度單位之間，沒有像十进位这样簡單的关系。由上面所列举的密度單位值看来，它們相互間的差別很小，并表现为很不方便的数字。这当然会在比較不同計量結果时造成混乱。

随着米突制的实施，所采用的各种密度單位在数量上已逐漸开始减少，力求达到仅仅保留一个基本單位，即在4°C和标准气压下的水的密度，这个單位用数字1表示。

但目前海水密度仍用作密度單位，其数值为0.99872，即蒸餾水在17.5°C时的密度。

現在，一切不按基本密度單位定分度的器具（除海水密度計外）均不制造。

用各种不同單位表示的密度值的換算，在第四章中叙述。

3 測定固体和液体密度的方法

由公式 $D = \frac{M}{V}$ 可以看出，为了确定液体的密度，就必须精确地測定此液体的体积以及确定其質量。例如：設放于容器中的液体重量为121.5 g，而此液体的体积为116.2 ml；則液体的密度为

$$\frac{121.5}{116.2} = 1.046。$$

上文指出：物体的密度用單位体积的質量来度量；照这种說

法，为了确定液体的密度，只要准确地量出 1 ml 液体并确定其质量，似乎就够了。当然，这在道理上是正确的；但准确地量出 1 ml 液体极为困难，因此，应另用更好的方法，即量出一定体积的液体，例如 100 ml （这可用量瓶做到高度的准确），确定其质量，并以该一定体积除之。

但由于水在 4°C 时的密度（非常准确地）等于 1 g/cm^3 ，如所周知，容积测定的准确度远落后于质量的测定，因此，可用称量法代替几何法来测定量瓶的容积，即将空量瓶及其盛水时分别进行称量。这时，须将结果换算成 4°C 时的值，即得出以克数表示的、相当于量瓶容积的水的质量值。其数值等于水在瓶中所占容积的毫升数。

利用比重瓶[●]测定液体密度，即以此为根据。

用比重瓶测定密度的方法如下：取一清洁而干燥的空比重瓶，用称量法确定其质量，以试验液充入瓶内称量一次，然后改充蒸馏水再进行称量。令空比重瓶的质量为 m ，盛有试验液时的质量为 m_1 ，盛有蒸馏水时的质量为 m_2 。

则 $m_1 - m$ 为相当于比重瓶容积的试验液的质量； $m_2 - m$ 为同容积水的质量，其数值等于比重瓶容积的毫升数。

根据关系式 $D = \frac{M}{V}$ ，所求密度可用下式表示

$$D = \frac{m_1 - m}{m_2 - m}.$$

用比重瓶测定固体密度的方法如下：先称量被测固体，然后，确定其体积，再将此固体和盛有水的比重瓶同置于天平盘上，利用砝码使之平衡。然后，取下比重瓶和被测物，将后者放入比重瓶内。使瓶内的水面和以前的标线齐平，将瓶擦干，再置于天平盘上。

比重瓶内所减少的水量，相当于被测物体积的水的质量，因

● 比重瓶——一定容量的器皿，供测定液体和固体密度之用。

此，为了恢复平衡而向盤中加放的砝碼質量，在数值上与相当于物体体积的水的質量相等。若水的質量为 $m_1 g$ ，則被測物的体积为 $m_1 ml$ ，或此物体的密度 (D) 为 $\frac{m}{m_1}$ 。

在用重量法測定物体密度的其他方法中，以阿基米德定律为根据的液体靜力称量法是人所共知的；依照这一定律，浸在液体內的任何物体，都要受到一个浮力的作用，这个力等于它所排开的液体的重量。

按此方法測定固体的密度，須分別在空气和水中称量此固体。

这样，第一次衡量得到在空气中測定的物体質量 m ，第二次衡量得到在水中測定的物体質量 m_1 。二者之差 $m - m_1$ 为物体在水中失去的重量，即为相当于物体体积的水的質量，因此，物体的密度为

$$D = \frac{m}{m - m_1}。$$

为使用液体靜力称量法測定液体密度，特采用帶挂鈎的玻璃圓筒（浮子）（圖 1），借金屬絲和挂鈎將浮子挂于固定在天平橫梁吊耳上的小鈎上。依次在空气中、蒸餾水中和被測液体中称量浮子，并以 m 、 m_1 及 m_2 代表称量結果，則可得出相当于浮子体积的液体質量 $m - m_2$ 和相当于浮子体积的水的質量 $m - m_1$ 。因此，液体的密度为

$$D = \frac{m - m_2}{m - m_1}。$$

測定液体和固体的密度，也可以采用特制的液体靜力天平（圖 29 及 32）。

按照上述液体靜力称量法，把悬于这种天平橫梁一端的玻璃浮子，在空气中、水中和被測液体中进行衡量。

利用这种天平进行密度測定的精度很差，远不如用液体靜力衡量法那样准确。

可是利用这种天平能迅速得出密度的測定結果，这是因为这种天平構造簡單和附有按密度單位分划的砝碼組。

利用浮計測定液体密度的方法，是最簡單和最普遍的方法，浮計的構造也是以阿基米德定律為根據的。

浸浮計于液体中，當浮計的重量和被其浸沒部分所排开液体（等于該部分的体积）的重量相等時，它便漂浮在該液体中。

在不同密度的液体中，浮計浸沒的深度不同，因此，可按封在浮計干管中的分度表直接讀出液体的密度。

還有其他很少採用的液体密度測定法，例如，聯通管法，此法的依據是：若以不同的液体注入聯通管，則各液柱的高度（由液体接觸面算起）與其密度成反比。

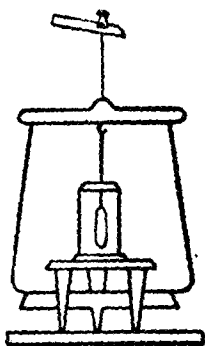


圖1 用液体靜力稱量法測定液体的密度。

復習題

1. 何謂物体密度？
2. 現時採用何種密度單位？
3. 列舉現有測定固体和液体密度的主要方法。

習題

1. 密度為 1.4 的液体 203 g 占有若干容積？

答： 145 ml 。

2. 注入量瓶達到瓶頸刻綫的液体質量為 72 g ，設充滿到此同一刻綫的水的質量為 50 g 。問此液体的密度為若干？

答： 1.44 g/cm^3 。