

〔日〕 裴 轮 善 藏 著

李 兴 华 译

# 密度和浓度

みつど および のりど

22

计 量 出 版 社

# 密度和浓度

(修订本)

〔日〕 袁翰 善藏 著

李兴华 译 张昭田 校

计量出版社

## 内 容 提 要

介绍了气、液、固三种状态的密度、比重、气液态浓度的基本知识及其各种测量仪器的原理、结构、测量方法和有关公式。给出了实际工作中常用的水、水银、空气的密度表和各种固体的比重表，以及一些常用物质的浓度-比重和单位之间的换算表。

本书可供石油、化工、冶金、交通运输、轻工、外贸、海洋、纺织、医疗、食品及国防等部门从事密度测量的工作人员、省市计量人员及有关高等院校师生参考。

[日] 斐翰 善藏 著

密度および濃度

(改訂)

コロナ社 1976

~~密度和浓度~~

(修订本)

[日] 斐翰 善藏 著

李兴华 译 张昭田 校

计量出版社出版

(北京和平里11区9号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所友行 各地新华书店经售

—+—

开本 787×1092 1/32 印张 5 7/8

字数 130 千字 印数 1—12,000

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷

统一书号 15210·30

定价 0.90 元

科技新书目：177—90

## 原出版者的话

当前，人们对计量管理工作的关心与日俱增，工厂、现场中的计量仪器以及操作的自动化也在迅速发展，从而大大地推动了产业管理的合理化，这是众所周知的。而在施工现场加强计量管理的思想和计量技术的普及也是很明显的。

但是，科学技术的急剧发展，一方面使历来所涉及的各种量的测量技术和计量仪器得到了很大的进步，另一方面，对新的状态量，例如粘度、色彩、光洁度、光泽等发展到有必要进行计量管理的程度，又如，由于原子物理学的发展，使得放射性同位素在计量方面的利用开辟了广阔的领域。因此，对于利用新技术或计量仪器的管理人员及技术人员，必须首先学习掌握选择适合于其管理规模和作业内容的计量仪器，计量仪器的正确安装、维护管理以及有关的法律上的约束和标准等全面的知识和技术，这一点自不待言。

然而，在计量领域中以往所涉及到的量很少有通俗易懂的专业书，而且有关新技术方面的实用性参考书目前也未出版，鉴于这种现状，有关方面一再向本协会发出呼吁要求出版有关书籍。

这套计量管理技术丛书，就是为了满足这方面的要求而计划出版的。并且要防止像以前有些书那样在一本书中收集太多的内容，也要避免受篇幅的限制，不是以理论而是以现场技术为重点加以通俗易懂地叙述，除了把实用的国产仪器作为重点外，还特别着重于从各产业生产管理 的角度来解释，尽量不偏向于只谈计量仪器的管理问题。本书的作者既

是对一切现场技术具有丰富经验的专业实干家，也是第一线的技术工作者。

根据以上目的，希望本书可作为工厂、现场的一切管理人员、技术人员以及学生等的参考书而得到有效的利用。

社团法人 计量管理协会

1958 年 11 月

## 修 订 词

初版在早些时候发行，至今已十年。开始不知如何写好此书，是在五里雾中写完的，但过后一看，要改的地方实在不少。现在说要修订，本考虑全部重写，但由于学习不够以及时间有限，所以只对其中的一部分作了修改。在这十年期间计量仪器的发展非常迅速，在密度和浓度方面新的测量仪器和新的测量方法也在开发之中，在这次修订中增加了一些新东西，但我想今后还可在适当的时机再增加些内容。再收集些资料准备重新改写。

希望诸读者多多指教。

另外，还要感谢编辑部对于修订工作的关照。

袁翰善藏

1968年10月

## 序

密度、比重不是决定物质的外部条件，然而却是决定物质性质所不可缺少的。为此，在各种的物理特性表中必然有密度、比重表。为了测量液体的比重、浓度，所使用的最普遍的仪器是浮计（液体比重计），日本至今关于这种浮计没有统一的书籍，而且关于密度、比重等的测量方法也没有大致的设想。密度、比重的测定，除特殊场合外一般关系不大，这也许是对其测定方法不怎么关心的原因之一吧！我想在这种情况下，对于密度、比重如能简单地归纳一下，也许在各方面还是较方便的，本人虽才疏学浅也未能推却接受本书的执笔任务。

最初，只打算写液体的密度和比重方面的内容，但后来又增加了浓度以及固体和气体方面的内容，但这些方面缺乏知识和资料，显得很不完善，实感惭愧。

考虑到关心密度和比重方面的读者之便，尽可能多地收集归纳一些表格，若有几分用处则感幸甚。

希望众贤多批评指教。

菱輪善藏

1959年2月

# 目 录

<b>1. 密度、浓度和比重单位</b> .....	( 1 )
1.1 密度 .....	( 1 )
1.2 浓度 .....	( 2 )
1.2.1 质量百分数 .....	( 2 )
1.2.2 体积百分数 .....	( 2 )
1.2.3 克分子浓度 .....	( 3 )
1.2.4 当量浓度 .....	( 3 )
1.2.5 千克每立方米 .....	( 3 )
1.2.6 pH .....	( 4 )
1.2.7 重量克分子浓度 .....	( 4 )
1.2.8 克分子分数 .....	( 4 )
1.2.9 稀释度 .....	( 4 )
1.3 比重 .....	( 4 )
<b>2. 水、水银和空气密度</b> .....	( 6 )
2.1 水密度 .....	( 6 )
2.2 水银密度 .....	( 7 )
2.3 空气密度 .....	( 9 )
<b>3. 固体密度、比重的测定</b> .....	( 11 )
3.1 用天平测定 .....	( 11 )
3.2 用尼科耳森秤测定 .....	( 14 )
3.3 用弹簧秤测定 .....	( 15 )
3.4 用扭力天平测定 .....	( 16 )
3.5 用直读比重仪测定 .....	( 17 )
3.6 用固体比重天平测定 .....	( 18 )
3.7 利用两种液体的浮力进行测定 .....	( 19 )



3.8	用波义耳定律测定	(21)
3.9	用比重瓶法测定	(23)
3.10	用勒夏德利比重瓶测定	(25)
3.11	用漂浮法测定	(25)
3.12	用射线法测定	(27)
<b>4.</b>	<b>液体密度、比重的测定</b>	<b>(29)</b>
4.1	用比重瓶法测定	(30)
4.2	用比重天平测定	(36)
4.3	用韦斯特法尔比重天平测定	(45)
4.4	浮计	(46)
4.4.1	浮计的种类	(49)
4.4.2	密度计	(53)
4.4.3	比重计	(63)
4.4.4	糖量计	(63)
4.4.5	硫酸计和醋酸计	(64)
4.4.6	酒精计	(67)
4.4.7	波美计	(70)
4.4.8	特沃德尔计和乳汁计	(74)
4.4.9	浮计的校准	(74)
4.4.10	浮计的检定和检查	(80)
4.4.11	一般说明及使用方法	(86)
4.4.12	金属浮计	(89)
4.5	稠液比重计	(89)
4.6	硫酸比重计	(92)
4.7	尼科耳森秤	(93)
4.8	全浸式浮计	(94)
4.9	液柱法	(95)
4.10	振动法	(97)
4.10.1	振动式密度计	(97)
4.10.2	安托帕尔密度计	(99)
4.10.3	阿加 (Agar) 密度计	(101)

<b>5. 液体浓度的测定法</b> .....	(104)
5.1 电导式浓度计 .....	(104)
5.2 电磁浓度计 .....	(110)
5.3 旋光法 .....	(112)
5.3.1 偏振光 .....	(113)
5.3.2 旋光率 .....	(113)
5.3.3 旋光计的构造 .....	(114)
5.3.4 糖量计 .....	(115)
5.3.5 糖量计的构造 .....	(116)
5.4 光学法 .....	(118)
5.4.1 杜包氏寇比色计 .....	(119)
5.4.2 红外线吸收法 .....	(119)
<b>6. 气体密度、比重的测定法</b> .....	(123)
6.1 比重瓶法 .....	(123)
6.2 气体天平 .....	(123)
6.3 勒克斯式气体天平 .....	(124)
6.4 气体流出法 .....	(125)
6.5 杜馬 (Dumas) 法 .....	(125)
6.6 气柱秤 .....	(126)
<b>7. 气体浓度的测定法</b> .....	(127)
7.1 痕柏尔气体分析器 .....	(127)
7.2 奥萨特气体分析器 .....	(128)
7.3 热传导法 .....	(128)
7.4 声速法 .....	(131)
7.5 光学气体分析器 .....	(132)
7.6 其它分析法 .....	(132)
<b>参考文献</b> .....	(134)
<b>附 录</b> .....	(136)
附录 1. 计量法要点 .....	(136)
附录 2. 日本工业标准 (JIS) .....	(142)
附录 3. 常数表、浓度-比重及单位换算表 .....	(150)

## 1. 密度、浓度和比重单位

目前采用密度、浓度和比重的单位有很多种。除了在日本计量法中所规定的单位外，还有其它单位，各领域常使用本领域惯用的单位。

### 1.1 密 度

一般说，一个量分布在空间或线上时，各微小部分所包含的量对其体积、面积和长度之比称为密度，在计量法中认为其中对于体积的比是密度。规定以每立方米体积中所含质量为1千克作为密度的基本单位（ $\text{千克}/\text{米}^3$ ）。而规定克/ $\text{米}^3$ 、微克/ $\text{米}^3$ 、毫克/ $\text{米}^3$ 、克/ $\text{厘米}^3$ 和克/ $\text{分米}^3$ 等作为该单位的辅助单位。

大家知道，体积单位一般采用毫升（ml），所以密度单位通常用克/毫升表示。根据1901年第三届国际计量大会决定，升（l）定义为：“在标准大气压下，密度最大时的1千克纯水所占的体积”。而后，1950年国际计量委员会作出决定采用：

$$1 \text{ 升} = 1.000028 \text{ 分米}^3$$

然而，又担心立方分米和升之间的关系会发生误解和混乱，为此，1960年国际计量大会，要求国际计量委员会就其问题的解决进行讨论研究。后来，又在1964年10月的第十二届国际计量大会上，通过了如下的决议：

（1）宣布“升”，作为立方分米的专门名称，它是国际单位制体积单位（立方米）的 $10^{-3}$ 倍。

(2) 废除1901年第三届国际计量大会所规定的“升”的定义。

(3) 建议不用“升”来表示高精度的体积测量结果。

以上决议，附加了如下的注解：

为了避免在高精度测量时可能引起的混乱，上述(1)中所定义的“升”，必要的话，在其过渡期间可称为“新升”（简写为ln）。

由于这个决议，计量法也作了修改，“升”成了立方分米的别名，规定克/升和千克/升也作为密度的辅助单位。

## 1.2 浓 度

表示混合物等的混合程度有很多方法。日本计量法规定了如下6种(1.2.1~1.2.6)。

### 1.2.1 质量百分数

物质所含成分的质量和此物质的质量之比的100倍称为质量百分数。例如，在 $\omega$ 克溶液中，若含有溶质 $\omega'$ 克，则该溶质的质量百分数以

$$\frac{\omega'}{\omega} \times 100$$

表示。

其辅助计量单位有质量千分数、质量百万分数以及质量十亿分数。另外，当把质量百分数作成浮计分度时，有下面的单位：

(1) 蔗糖度：为纯蔗糖水溶液所含纯蔗糖的质量百分数。

(2) 硫酸度：为硫酸水溶液所含纯硫酸的质量百分数。

(3) 醋酸度：为醋酸水溶液所含醋酸的质量百分数。

### 1.2.2 体积百分数

物质所含成分的体积和此物质的体积之比的 100 倍称为体积百分数。例如，在  $v$  厘米<sup>3</sup> 溶液中，若含有溶质  $v'$  厘米<sup>3</sup>，则该溶质的体积百分数以

$$\frac{v'}{v} \times 100$$

表示。

其辅助计量单位有体积千分数、体积百万分数以及体积十亿分数。另外，当把体积百分数作成浮计分度时，有下面的单位。

酒精度：为 15℃ 酒精和水混合液所含酒精的体积百分数。

前面所说的质量百分数即使温度改变它也不变化，而体积百分数则变化。这是两者的重要区别。

### 1.2.3 克分子浓度

在 1 立方米溶液中含有 1000 克分子溶质的溶液浓度称为 1 克分子浓度。它是化学上所用的单位。通常在化学上，将 1 升溶液中含有 1 克分子溶质叫 1 克分子浓度。例如，在 1 米<sup>3</sup> 或 1 升硫酸水溶液中含有 1000 克分子（98.078 千克）或 1 克分子（98.07 克）硫酸称为 1 克分子浓度。

### 1.2.4 当量浓度

在 1 立方米溶液中含有 1000 克当量溶质的溶液浓度称为 1 当量浓度。它与克分子浓度一样，在化学上用得很多，通常是 1 升溶液中含有 1 克当量溶质的浓度。例如，所谓 1 当量浓度的硫酸溶液，是指 1 立方米硫酸水溶液中，含有硫酸 49.039 千克或是 1 升中含有 49.039 克的浓度。

### 1.2.5 千克每立方米

千克每立方米是指在 1 立方米物质中含某种成分为 1 千克的浓度。该单位与密度单位具有相同名称，但它是作为密度单位，还是浓度单位来使用呢？这是容易区分的。

### 1.2.6 pH

pH 是用当量浓度表示的氢离子浓度值的负常用对数所表示的浓度。

作为评价溶液的酸、碱性惯用的单位为  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 。

上述六种浓度单位是在计量法中所规定的单位，除此之外还有下面的单位。

### 1.2.7 重量克分子浓度

表示在 1 千克的溶剂中，所溶解溶质的克分子数。

### 1.2.8 克分子分数

一种溶质的克分子数与溶液中溶剂和溶质的总克分子数之比称为克分子分数。

### 1.2.9 稀释度

把浓度的倒数称为稀释度。一般用克分子浓度的倒数表示。

## 1.3 比 重

比重用物质的质量与同体积标准物质的质量之比来表示。一般用水作为标准物质。根据日本计量法，比重被定义为物质的质量和在 1.013250 巴压力下同体积的纯水质量之比。由于比重是质量之比值，所以是无名数。

标准物质采用水时，由于水在不同温度下具有不同的体积，因此，为了表示比重必须标明作为标准的水的温度。通常，这一温度是采用水具有最大密度时的温度——4℃。这种情况是最普遍的，仅将这种情况下的比重叫做比重。当作为标准的水温在 4℃ 之外时，采用比重 15/15℃，比重 60/60°F 的形式表示比重，其分子表示测定温度，分母表示作为标准的水的温度。

另外，与比重之间具有一定关系的单位，其中下面这些

单位为浮计所用的单位。

(1) 重波美度

从1减去表示比重值倒数所得值的144.3倍称为重波美度。

(2) 轻波美度

从表示比重值的倒数减去1所得值的144.3倍加上10称为轻波美度。

(3) 日本酒度

从表示比重值的倒数减去1所得值的144.3倍称为日本酒度。

(4) API度

把水的温度指定为140/9度时，所表示的比重值的倒数减去1所得值的141.5倍再加上10称为API度。

(5) 特沃德尔度

从所表示的比重值减去1所得值的200倍称为特沃德尔度。

(6) 乳汁度

从所表示的比重值减去1所得值的1000倍称为乳汁度。

## 2. 水、水银和空气密度

最好是从基本单位——长度和质量来确定物质的密度，但由于这是非常困难而费劲的，故现在采用比较法，亦即，与非常精密测定过的水、水银和空气等的密度相比较的方法。这些密度的精密测量，对科学贡献很大。如用于气压计的水银和用于体积测定的水，就是其典型的事例。水和水银的纯化比较简单这是它们的优点。不论在工业上还是在实验室里都可以简单的蒸馏，而且在通常情况下，认为是稳定的。

### 2.1 水 密 度<sup>1)</sup>

自古以来水的密度测定是与水的膨胀测定同时进行的。在1881年由Broch确定了0~30度纯水的比容和比质量的表，从而导出了下面的膨胀式：

$$V_t = V_0 (1 - 0.000060306 t + 0.0000079279 t^2 - 0.000000042604 t^3)$$

该式，是由Munche, Stampfer, Kopp和Pierre等人的观测结果的平均值算出的。几年后，M. Marek在国际计量局，用400克的石英片在各种温度下，对Broch给出的表作了检查，发表了在17度时其体积仅有百万分之十八之差的结论。M. M. F. Maly采用1千克的石英片，把温度扩大到-1度和31度之间确认与M. Marek的测定结果相一致。

在1887年Thiesen用1千克石英作过测定。而后，在1891，1892和1897年法国的Chappieus用水银膨胀测定装置和1升的铂铱容器也十分仔细地作了测定，发表了膨胀公



式和水的密度表。现在，作为最精密的水密度表就是采用 Chappieus 的表。以下是 Chappieus 的膨胀式：

对  $0 \sim 10.3^\circ\text{C}$  的范围是：

$$V_t = V_0 (1 - 67.464645 t \times 10^{-6} + 8.934223 t^2 \times 10^{-6} - 0.07891946 t^3 \times 10^{-6})$$

对  $10.3 \sim 13^\circ\text{C}$  的范围是：

$$V_t = V_0 (1 - 54.7835 \times 10^{-6} - 55.242760 t \times 10^{-6} + 7.945055 t^2 \times 10^{-6} - 0.04800150 t^3 \times 10^{-6})$$

对  $13 \sim 41^\circ\text{C}$  的范围是：

$$V_t = V_0 (1 - 114.5565 \times 10^{-6} - 42.940141 t \times 10^{-6} + 7.106115 t^2 \times 10^{-6} - 0.02905759 t^3 \times 10^{-6})$$

关于 Chappieus 的比重表见附录 3 的表 1 (a)。

## 2.2 水银密度<sup>2)</sup>

水银也和水一样，作为密度标准使用，很久以前就进行过精密测定。这显然是因为它用作为气压计或压力计的标准。以前水银的密度是与水比较而求得，现在也可单独进行绝对测定了。

用与水相比较的方法测定水银密度时，采用分别在空气中和水中称量的比重天平法和比重瓶法两种。

现在，就历史上的测定者和测定结果等加以评价，最初，在 1883 年 Marck，就 5 个试样，用比重天平与比重瓶两种方法进行了测定。这时，在 0 度时水的比容采用 1.0001172，以后在 1926 年由 Scheel 和 Blankenstein 测得为 1.0001324。将它们之间的差值修正到 Marek 所发表的数值上，得到下面的表 1。

1898 年 Tiesen 和 Scheel 所得值为：

13.59545 克/毫升