

自动密度计

〔苏〕C. Ф. 斯考尔畢林著

林	庆	熙	譯
汪	时	雍	校
黄		恣	

輕工業出版社

自动密度计

〔苏〕C. Д. 斯考尔 著

林	庆	熙	譚
汪	时	雍	、
黄		松	校

輕工業出版社

一九五六·北京

內 容 介 紹

本書介紹了各種自動密度計（浮筒式、流体靜力式、重力式、熱力式等）的原理、構造和用途。對於測定溶液密度的方法以及各種自動密度計的應用和計算，有較詳盡的說明。本書適合於制糖廠、酒精廠、淀粉糖漿廠及其他類似企業的工程技術人員閱讀，並可供企業單位設置或改裝計量設備時的參考。

С. Ф. СКОРБИЛИН
АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОМЕРЫ
ПИЩЕПРОМИЗДАТ . 1955 МОСКВА

根據蘇聯食品工業出版社莫斯科一九五五年版譯出

自 動 密 度 計

〔蘇〕С. Ф. 斯考爾畢林著

林 庆 熙 譯

汪 时 雍 校

黃 淞

*

輕工業出版社出版

（北京西單皮庫胡同 52 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 062 號

北京市印刷二廠印刷

新華書店發行

統一書號：15042·食 22(82)·787×1092 耗 $1/32$ ·2 印張·38 千字

一九五六年九月北京第一版

一九五六年九月北京第一次印刷

印數：1—4,085 定價：（十）0.34 元

目 錄

第一章 概論	5
I. 基本概念和定义	5
II. 溶液及其基本性質	6
III. 溶液密度的自动控制的意义	7
IV. 溶液密度的測定方法	9
1. 比重瓶的方法	9
2. 測定比重的方法	10
3. 流体靜力学的方法	10
4. 以溶液热学性質为基础的方法	13
5. 以溶液光学性質为基础的方法	16
6. 以溶液电学性質为基础的方法 (电导計的方法)	17
第二章 自动密度計	20
I. 浮筒式密度計	20
1. 漂浮浮筒式密度計	21
2. 馮尔客瓦勒氏密度計	29
3. 具有漂浮浮筒和週期測量密度的密度計	31
II. 沉浸浮筒式密度計	32
1. 具有沉浸浮筒和溫度校正的密度計	32
2. 具有双沉浸浮筒和溫度校正的密度計	36
3. 測量悬浮液密度用的浮筒式密度計	38
4. 溫度校正的加入	40
III. 流体靜力式密度計	41
1. 具有溫度校正的流体靜力式密度計	41
2. 通气型流体靜力式密度計	44

IV. 重力式及热力式密度計	47
1. 彈簧重力式密度計	47
2. ПЛМ-1型密度計	49
3. 石灰乳密度計	50
4. 热力式密度計	51
V. 其他型式的密度計	55
1. 鹽度計 (电导計)	55
2. 光学仪器	58
3. 氮化合物研究所O.П.卡茨聶里松型的密度計	58
VI. 密度計的指示和記錄裝置	60
VII. 各种类型自动密度計的生产特性和相互評 价	61

第一章 概 論

I. 基本概念和定义

溶液密度的測量是液体濃縮和蒸發過程中的基本控制因素。在某些情況下，密度在其他控制數值中成為必要的指數。

密度 單位體積中所含物質的數量稱為密度。密度的單位，在 CGS 制中為克/厘米³，在 MKS 制中為千克/米³。

通常密度是以其他各種名稱來理解的，例如：波美度、白列克司糖度、薄林度、特氏酒度等。波美比重計是按食鹽水中含鹽的百分數刻度的，白列克司糖度計和薄林度計是按糖水溶液中含糖的百分數刻度的，特氏比重計則專供測量酒精濃度（酒度）之用。

重度 在單位體積中，物質所顯示的重量稱為重度，它和密度的單位相同。

比重 物體的重量和同體積的 4 °C 的水的重量之比稱為比重。比重和密度用同一數值表示，但比重是抽象數字，而密度則是具體數字。

同一物質在地球上不同的地點就有不同的重度——在兩極比在赤道上要大，而密度則不分時間、地點都保持不變的數值。測定密度要有專門的儀器，這種儀器稱為密度計。連續地或間歇地測量液体密度的儀器（不需工作者參加的）稱為自動密度計。

在極大多數的情況下，工業生產中的液體是固體、液體或氣體溶於水中的溶液。

測量工業生產中的液體密度的目的是確定溶質的濃度。濃度與溶液密度的關係，可以在各種化學手冊的有關表格中查出。

II. 溶液及其基本性質

溶液可分為真溶液、膠體溶液、懸浮液和乳濁液。

在真溶液中，溶質處在分子分裂狀態，每一個分子的大小為 $0.1 \sim 1$ 毫微米 ($m\mu$)，較大者可達 5 毫微米 (淀粉分子)。

真溶液是能夠在不定的長時間內保持自己性質的均勻穩定系。

在膠體溶液中 溶質成膠粒狀 (分子的聚合)，它的大小在 $1 \sim 100$ 毫微米的範圍內。

膠體溶液也是均勻的，但為非穩定系，它的性質隨時間而變化。

若膠體顆粒大小的範圍為 $0.1 \sim 0.2$ 微米 (μ) 或更大一些，則這種多相的 (不均勻的) 系叫作懸浮液或乳濁液，處於其中的固體或液體成為分散內相 (分裂內相)。

懸浮液和乳濁液 乃是不穩定、不均勻的系，其性質隨時間而變化。這些變化比在膠體溶液中發生的較為迅速。

物質的濃度，也就是單位體積 (或重量) 的溶液中所含的溶質數量，可用百分數或克分子數來表示。在工業的實際應用中，濃度大多用百分數表示。

真溶液的濃度和密度之間存在著一定的關係。對於在溶

液中不離解為離子的固體物質，例如糖，此種關係可用下列公式來表示：

$$\gamma = 1 + \alpha n \quad (1)$$

式中： γ ——溶液的比重；

α ——比例係數；

n ——固體溶質的克分子數。

若物質在溶液中離解，則公式就變成另一形式：

$$\gamma = 1 + n(\alpha + \beta) \quad (2)$$

式中： γ 和 n 的意義與上式相同；

α ——陰離子的比例係數；

β ——陽離子的比例係數。

物質的溶解度隨溫度而變化：固體物質的溶解度，在大多數情況下隨溫度的上升而增大；氣體的溶解度，則隨溫度的上升而減小。

同一溶液的密度隨溫度的上升而減小；溫度對密度的關係在各種手冊和生產檢驗指南的有關表格中均有記載。

懸浮液的密度決定於濃度和懸浮物質的分散度，而分散度對懸浮液的密度有很大影響：懸浮液在相同濃度時，其密度隨分散度的增加而增大。

III 溶液密度的自動控制的意義

生產的溶液對其密度的自動控制在於保證控制的連續性，這就有可能把通常用“手”控制時所不能發覺的密度的變化顯示出來。

圖1所示為浮筒式自動密度計所記錄的、由制糖廠中蒸發器末效排出的濃糖漿密度圖。從圖上可以看出：

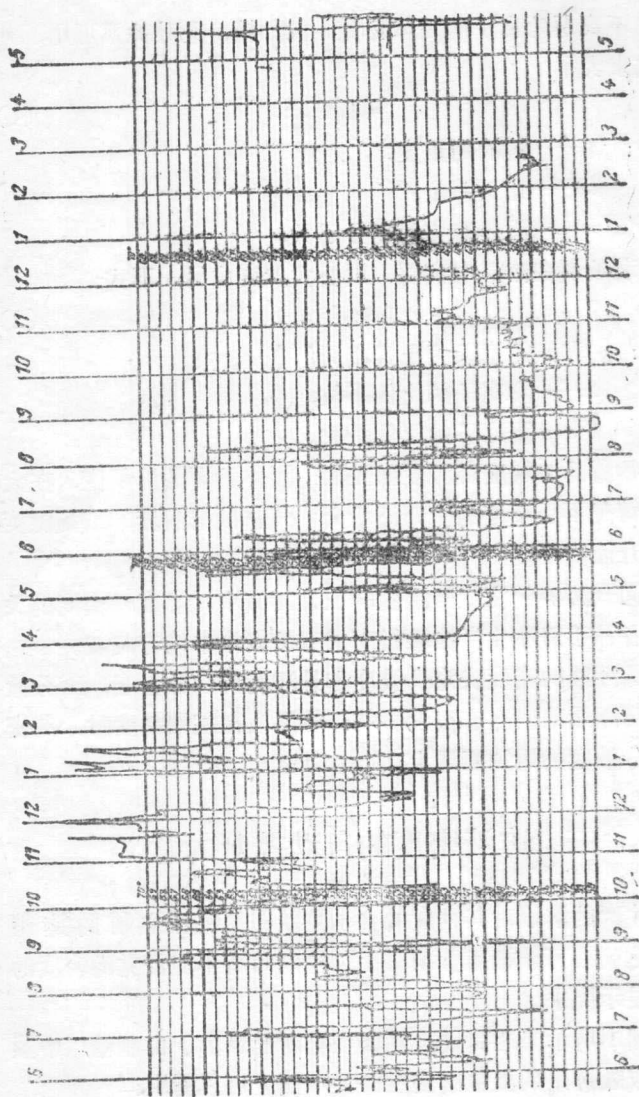


圖 1. 濃糖漿的密度圖

(1) 濃糖漿的密度在一晝夜中波動範圍很大，即為30~75°（糖漿中干物質的百分數）。

(2) 亦有此種情況，即在一小時內，密度自43%變化到75%干物量。

總圖形指示出急劇的、峯狀式的和極微小的密度波動。

在同一時間內，實驗室的控制發現不出這種波動。實驗室控制時，密度測定的精確度不超過干物質含量的 $\pm 0.1\%$ 。

連續控制提供了較精確地進行密度調節的可能性。

在連續自動控制時，如果獲得了很多的測量次數（值），則一小時內平均密度測量精確度要比 $\pm 0.1\%$ 大得多，此時所用的自動密度計的測量精確度，是在干物質含量0.1~0.2%的範圍內。

自動密度計可以加上指示和記錄裝置，這些裝置可安裝在測量地點附近，也可安裝在某一遠距離的地方。

密度的記錄可以比較全面和及時地反映出工藝過程的特點，因此使工人更正確地進行生產操作。

密度的自動控制可以消除控制的主觀性。

IV. 溶液密度的測定方法

1. 比重瓶的方法

測定溶液密度的基本方法是比重瓶的方法，測定時是測量已知的、一定體積的液體（溶液）的重量。這種方法應用於實驗室的精確研究工作，而在控制生產過程的大量分析時，則不予採用。

此外，也有根據稱量固定不變的液體體積的原理制成的

自动密度計。

2. 測定比重的方法

这种方法应用阿基米德原理，是最簡單而准确的方法，因而是在生产控制中測定密度的最通用的方法。

这种方法在实际应用上有几种不同的方式。通常比重計都制成固定的重量。这类比重計的沉浸深度与溶液的密度成反比例：密度愈大，沉浸深度愈小。

在比重計的頸部标有刻度，以不同的單位来表示溶液的密度，如：重度單位、溶液的濃度百分数、或某种特定單位（波美度）。比重計往往还附有密度的温度校正标度。

其他測定比重的方法，还有使浮筒沉浸部分的体积保持不变来改变浮筒的重量，而其重量即与溶液的密度成正比。

在应用比重法測量溶液密度而制造的自动密度計中，大多採用固定重量的浮筒；但也有採用使其浮筒沉浸部分的体积保持不变，而測量因溶液密度变化所产生的浮筒压力的方法：密度愈大，浮筒的压力亦愈大。

3. 流体靜力学的方法

应用流体靜力学測量液体密度的方法是根據帕斯卡定律的原理。此原理的內容是：沉浸於液体內的平面上的液体压力等於液柱的重量；液柱的底等於平面的面积，而高等於平面的沉浸深度。

以数学等式来表示，即：

$$P = F H \gamma \times 0.001 + p \quad (3)$$

式中：

F ——沉浸於液体中平面的面积（厘米²）；

H ——平面在液面下的沉浸深度（厘米）；

γ ——待檢液的密度（克/厘米³）；

p ——大气压力（千克/厘米²）。

面积 F 、沉浸深度 H 和大气压力 p 保持常值，仅液体的密度在改变。

压力 p 可用各种方法来测定，如图 2~5 所示。

在圖 2 中：測量的液体由管道 a 进入容器 A ，充满容器后，由圓錐体 b 的邊緣溢出而离开容器，容器 A 中的液位保持不变。

压力 p 以橡皮球 c 来测量，橡皮球上連有管子 d ，內中

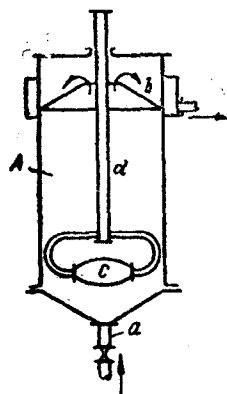


圖 2. 以橡皮球測量压力

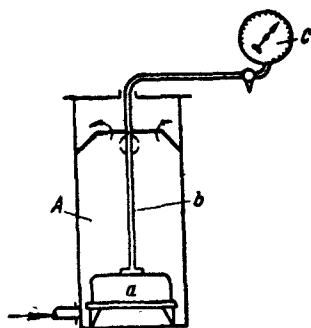


圖 3. 以鐘罩測量压力

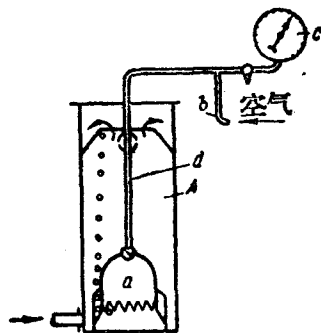


圖 4. 以吹气鐘罩測量压力

充滿固定密度的液体。被测液体密度的变化改变着管子 d 中液位的高低，由此进行测定。

在圖 3 中：待檢液从底部进入容器 A ，由錐体邊緣溢出。为了測定液柱压力，在容器 A 的底部裝置一个帶脚的、下面开敞的、或以柔軟的皮膜封閉的容器 a （鐘罩），在鐘罩上部由細管 b 与压力計 c 相連。

鐘罩 a 中的空气被液柱压缩，压缩的程度用刻有密度單位的压力計 c 測定。

圖 4 所示为类似的裝置。鐘罩 a 的下面敞开着，邊緣上並有鋸齒。空气由管道 b 吹入鐘罩 a ，使气泡在液体 A 中上升，吹气速度不能太大，以能数出气泡为度。鐘罩 a 中的空气压力以压力計測出。

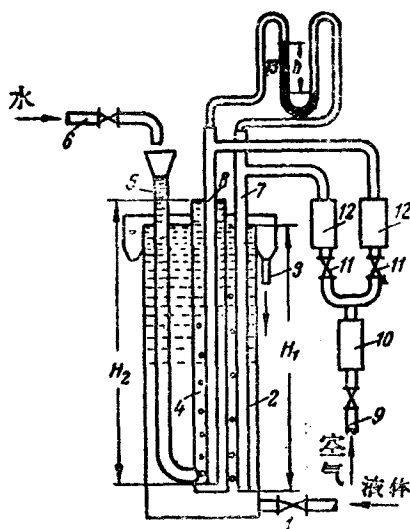


圖 5. 以吹气法測量双液柱的压力差

圖 5 所示是具有吹氣裝置和溫度校正的密度計簡圖。所檢驗的液體沿着裝有閥門的管道進入容器 2 中，上升至頂部后，即由容器邊緣溢出至箱匣中，再從箱匣中由管道 3 排出。容器 2 中放有容器 4，水（來自管道 6）一滴一滴地沿管道 5 進入其中，上升至頂部后，即由邊緣溢出與待檢液一同離開容器。容器 2 中插有幾乎達到器底的細管 7，容器 4 中插有細管 8。在細管 7 和細管 8 中送入空氣，其速度以使通過液體的气泡可以計數為準。具有一個大氣壓力左右的恒壓空氣沿管道 9 送入，通過過濾器 10 后分成兩個以手閥 11 調節的支流，而后分別通過兩個指示容器 12，空氣進入的速度視指示容器中气泡的情況而定。在管道 7 和 8 中的空氣壓力差用壓力計 13 來測定。在檢驗液體的溫度下待檢液的密度是與水的密度相比較的。在上述簡圖中，檢驗液體的液位保持不變。

以上列舉的方法，在設計自動密度計時都可採用。

4. 以溶液熱學性質為基礎的方法

溶液熱學性質之一是溶液的沸點高於溶劑的沸點，同時溶液的沸點隨濃度的增大而升高，但沸點的升高不與濃度的增大成比例。根據蓋爾良赫（Герлях）、弗勞倫斯（Флоуренс）和克拉新——蓋爾曼（Класен—Герман）等人在大氣壓力下所獲得的不同濃度的糖溶液的沸點數據列如表 1。

在低濃度時，溶液沸點和溶劑沸點相較，其升高數值不大。

在高濃度時，例如從濃度 75%（干物量）以上開始的糖溶液，提高它的沸點就足可根據這個沸點來確定它的濃度，其精確度可達 $\pm 1\%$ （干物量）以上。

表 1

糖溶液的沸点 (压力: 0.76 米汞柱)

濃 度 糖的克数/100克 溶液	溶 液 的 沸 点(°C)		
	盖 尔 良 赫	葛 劳 倫 斯	克拉新一盖尔曼
10	100.4	100.1	100.1
20	100.6	100.3	100.3
30	101.0	100.6	100.6
40	101.5	101.1	101.05
50	102.0	101.9	101.8
60	103.0	103.1	103.0
70	106.5	105.3	105.1
75	109.0	107.4	107.0
80	112.2	110.4	109.4
85	117.5	114.9	113.0
90	127.0	122.6	119.6
92	---	127.9	124.0

这种测量的精确度已可充分满足生产上的需要。

溶液的另一性質如下所述:

若溶液在同一压力下沸騰, 則溶液蒸汽压力較純溶剂蒸汽压力为低。

这个現象和拉烏尔定律 (закон Рауля) 是一致的。拉烏尔定律的内容是: 溶液蒸汽压力的降低^①值对溶剂蒸汽压力的比值与溶質分子数对溶剂及溶質分子之和的比值 (即溶質的克分子分数) 成正比。

这个定律以数学等式表示, 即:

$$\frac{P - P_0}{P} = \frac{n_0}{N + n_0} = C \quad (4)$$

式中:

①原文是 *повышение* (增高), 但根据拉烏尔定律应系 *понижение* (降低) 之誤, 茲訂正为“降低”。——譯者

P ——溶剂的蒸汽压力；

P_0 ——溶液的蒸汽压力；

n_0 ——溶質的分子数；

N ——溶剂的分子数。

低濃度的溶液准确地遵守此定律，而高濃度的溶液則对此定律有偏差。

为了以溶質在溶液中的重量百分数来计算溶質的濃度，应將方程式的右端作如下的改变：

設在溶質溶解度范围内的溶液中任意选取定量的溶液，例如在 0.1 千克的溶液中，溶質的重量为 g 克，已知其分子量等於 M ；溶剂为水，其分子量为 18；則在此种溶液中溶質的分子数为：

$$n_0 = \frac{g}{M}$$

溶剂的分子数为：

$$N = \frac{100 - g}{18}$$

將 n_0 和 N 的数值代入方程式 (4) 中，則方程式右端可改为：

$$C = \frac{g}{M} : \left(\frac{100 - g}{18} + \frac{g}{M} \right) \quad (5)$$

整理后，則为：

$$C = \frac{18g}{100M - g(M - 18)}$$

从上式可以确定：

$$g = \frac{100MC}{18 + C(M - 18)} \quad (6)$$

方程式(6)中, 数值 g 表示每 100 克溶液中溶質的克數, 也就是重量的百分数。

如果溶剂不是水, 而是具有分子量 m 的其他物質, 則:

$$N = \frac{100 - g}{m}$$

其余的推演与上相同。

方程式(4)还可作如下的变换: 即用 ΔP 表示 $(P - P_0)$ 並得出比例式:

$$\frac{\Delta P}{P - \Delta P} = \frac{n_0}{N}$$

$$\text{或} \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{n_0}{N} \quad (7)$$

若物質在溶解时离解, 而由一个分子分解成 m 个分子或离子, 並且其离解度为 α , 則方程式(4)和(7)应写成下列形式:

$$\frac{P - P_0}{P} = \frac{i n_0}{N + i n_0} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{i n_0}{N} \quad (9)$$

式中 $i = 1 + \alpha(m - 1)$ 。

5. 以溶液光学性質为基础的方法

折光計測定法 在同一种物質的溶液中, 光線的折射率和溶質的濃度及溶液的温度有关。根据这个性質可以測定溶質的濃度。

以此法为基础測定濃度用的仪器称为折光計; 这种測定濃度的方法称为折光計測定法。