

用显微镜筒捷测量液体折射率的浓度

胡德敬 陈玉萍 谢嘉祥

(上海同济大学物理系 上海 200092)

摘要 根据光学原理,推导出测量液体折射率公式。利用显微镜和一简单容器,通过一次测量,可求得液体折射率,由折射率可进一步求得有关液体浓度。方法简便、容易,是非接触测量,可用于在线检测,在生产和实验工作中有应用价值。

关键词 液体折射率 浓度 测量 显微镜

1 引言

在化工、医药、食品、石油等工业部门及高校实验中,经常要测定一些液体的折射率和浓度。不少液体折射率和浓度有一定量关系。如:甘油、乙醇、卤素酸、糖溶液等^[1],因此测出它们的折射率,就可求得浓度。通常测定液体折射率的仪器是阿贝折射仪,它的测量精度高,但不是普通的常用仪器,是接触式测量,使用时有一定的技术要求。又如,用瑞利干涉仪也可测量,但并不方便,也不是常规仪器。测量浓度的方法,有化学中的渗透法,测量糖溶液浓度的旋光仪法,光纤浓度测量技术等,它们各有特点,也有一定的局限性。我们在文献[2]的基础上,进一步对测量液体折射率方法进行改进。一方面是在与原来不同的条件下,根据几何光学,推导出测量公式;另一方面利用简单的容器,固定某些参数,使显微镜只要测量一次,就可求得待测液体的折射率。此法精度稍低,但仪器简单、测量方便,是非接触式,有自己的特点。在测量精度要求不高的生产部门和高校实验中有应用价值。目前浓度的在线检测有实际需要,本方法可适应此要求。

2 测量原理

在文献[2]中,我们运用显微镜调焦原理,推导出测量透明材料厚度和折射率的公式,文献[2]中的公式(1): $n = dl / (d - \Delta)$ 。式中 n 为液体的折射率, d 为厚度, $\Delta = u - u'$ 为盛放液

体的容器中,未注入和注入液体后,显微镜调焦于容器底部某一处时,镜头高度的改变值。 u 和 u' 分别为液体注入前和液体注入后镜头的高度值。此值测定方便,而 d 要快速准确测量不是一件易事,当容器面积不大时,液体表面张力会使液面不平整,更增添测量难度。为了进一步简化对液体的测量方法,使它更具有实用价值,我们设想用“密封的容器”来盛放待测液体。图1是测量公式推导图之一。图中 S 为显微镜调焦于容器底部的一测量参考点(即物), L_0 为显微镜物镜, S' 为 S 的像点。 d_1 为容器深度, d 为容器上面可覆盖密封的玻璃片厚度, n 为其折射率。 d_2 为玻片到镜头的距离。空气折射率为 n_0 (=1)。为讨论方便,我们考察一成像光线 SP ,在没有液体时,入射角为 θ_1 ,在玻片中折射角为 θ_2 ,通过玻片后的出射角为 θ_3 。玻片是平板, $\theta_1 = \theta_2$ 。物镜焦距为 f , R 、 O 两点间距为 h ,其它符号见图1所示位置。由图可得:

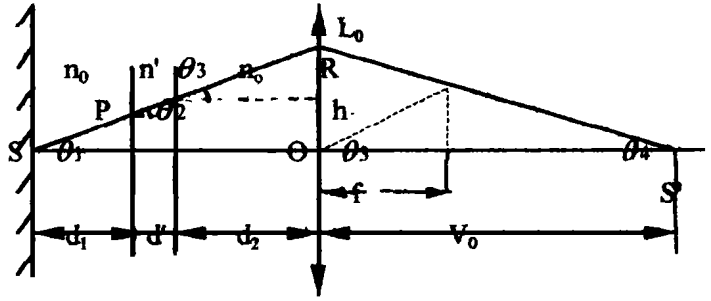


Fig.1 Measuring principle figure 1

我们设想用“密封的容器”来盛放待测液体。图1是测量公式推导图之一。图中 S 为显微镜调焦于容器底部的一测量参考点(即物), L_0 为显微镜物镜, S' 为 S 的像点。 d_1 为容器深度, d 为容器上面可覆盖密封的玻璃片厚度, n 为其折射率。 d_2 为玻片到镜头的距离。空气折射率为 n_0 (=1)。为讨论方便,我们考察一成像光线 SP ,在没有液体时,入射角为 θ_1 ,在玻片中折射角为 θ_2 ,通过玻片后的出射角为 θ_3 。玻片是平板, $\theta_1 = \theta_2$ 。物镜焦距为 f , R 、 O 两点间距为 h ,其它符号见图1所示位置。由图可得:

$$h = d_1 \cdot \text{tg}\theta_1 + d \cdot \text{tg}\theta_2 + d_2 \cdot \text{tg}\theta_3 = V_0 \cdot \text{tg}\theta_4 = V_0 \cdot \frac{f \cdot \text{tg}\theta_3}{V_0 - f} = \frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f} \cdot \text{tg}\theta_3$$

可化简为:

$$d_1 + d \cdot \frac{\text{tg}\theta_2}{\text{tg}\theta_3} + d_2 = \frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f} \quad (1)$$

对于近轴光线,即 θ_1 角度较小时,有 $\text{tg}\theta = \sin\theta$,

(1)式可变为:

$$d_1 + \frac{d}{n} + d_2 = \frac{V_0 f}{V_0 - f} \quad (2)$$

当显微物镜、目镜不变,容器和玻片不变,则 $\frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f}$ 、 d_1 、 d 、 n 也不变。容器中加入待测液体,如仍考察 SP 光线的成像过程,则进入玻片后的折射角为 θ_2' ,从玻片的出射角为 θ_3' ,很显然,如仍要清晰成像,镜头必须右移一距离 Δ ,各符号如图2所示。由图得:

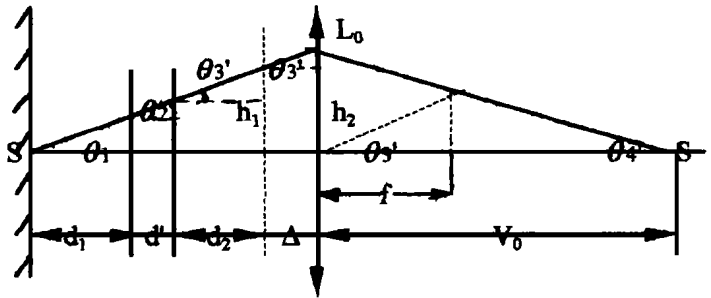


Fig.2 Measuring principle figure 2

容器中加入待测液体,如仍考察 SP 光线的成像过程,则进入玻片后的折射角为 θ_2' ,从玻片的出射角为 θ_3' ,很显然,如仍要清晰成像,镜头必须右移一距离 Δ ,各符号如图2所示。由图得:

$$h_2 = V_0 \cdot \text{tg}\theta_4 = \frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f} \text{tg}\theta_3$$

$$h_1 = d_1 \cdot \text{tg}\theta_1 + d \cdot \text{tg}\theta_2 + d_2 \cdot \text{tg}\theta_3$$

将(2)代入上式,并用近轴条件,则可得:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f} \cdot \text{tg}\theta_3 - d_1 \cdot \text{tg}\theta_1 - d \text{tg}\theta_2 - d_2 \cdot \text{tg}\theta_3$$

$$\Delta = \frac{\Delta h}{\operatorname{tg}\theta_3} = \frac{V_0 \cdot f}{V_0 - f} - d_1 \cdot \frac{\operatorname{tg}\theta}{\operatorname{tg}\theta_3} - d \cdot \frac{\operatorname{tg}\theta_2}{\operatorname{tg}\theta_3} - d_2$$

将(2)式代入上式,并用近轴条件,则可得:

$$\Delta = d_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n_1}\right), n_1 = \frac{d_1}{d_1 - \Delta} \quad (3)$$

(3)式中, n_1 为待测液体的折射率, d_1 为容器的深度,采用专用容器,可事先设定或测出, $\Delta = u - u_0$, u_0 为未加液体时,对 S 点调焦,物镜的高度值。如显微镜和容器组成的系统相对稳定,此值不变;也可事先测出;故只要测量注入液体后的 u ,就能方便的求出 n_1 ,这样测量既简单方便,又正确。

3 实验和数据

通常显微镜不具有镜筒高度改变时,合适的测量读数装置。为此,配上数显测微头,其测读范围为 $0 \sim 25\text{mm}$,显示精度为 0.01mm 。为了验证测量方法的正确性,我们采用一大小合适的、底面平整的塑料盖作容器,注入折射率已知的水,可看到此时液面凸起,再用一平整的玻璃片轻轻放上,把高出的水挤去,就形成一密闭的容器。水的厚度即为盖子的深度,在盖底用笔做上易于测量的标志。在容器中不加水 and 加水后,分别测出镜头的高度值 u_0 和 u ,每个数值都是十次的平均值: $d_1 = 5.18\text{mm}$ 。测量条件:室温 26°C ,在钠光下照明测量,此时水的 $n = 1.332$ 。数据和结果列表如下:

Table 1 Test result

No.	u_0 (mm)	u (mm)	Δ (mm)	n	E_0 (%)
1	6.68	5.35	1.33	1.325	0.6
2	6.78	5.41	1.37	1.345	0.9
3	6.63	5.36	1.27	1.360	2
4	6.78	5.50	1.28	1.328	0.4
5	6.42	5.13	1.29	1.332	0.1

4 讨 论

1、为了考察新方法使用的方便程度,实验时,我们不刻意要求条件的最佳化和严格,而是在随意和宽松的条件下测量。例如:玻片就是已有的一块玻片,平整度并不很理想;塑料盖因要盛水,是放在一玻璃皿中,而玻璃皿底部明显不平整,我们五次测量都是随意放在各处,因此,显微镜和容器并不是严格的相对固定,从而造成表格中, u_0 和 u 五次测量的平均值并不一致,而 Δ 值各次也稍有不同。只要显微镜和容器及其它条件相对固定,其一致性肯定会提高。即使这样,它对测量结果的影响也不大。五次测量结果,四次的百分差均小于 1% ,说明该方法简单、方便、可靠。

2、由测量方法可知,要提高测量的准确度, d_1 应大好,这要求物镜的工作距离要大。这时数值孔径小,这是有利的。但调焦精度低,限制了测量精度的提高。所用数显测微头,精度基本

上适应,下一步准备研究用光电检测及精度更高的读数装置来提高测量精度。

3、只要用有机玻璃制成合适的测量容器,使被测液体从一端进入,另一端流出,再配以相对固定的显微镜测量装置,只要很快测量 u 数值,由已知的 d_1 和 u 就能求得 n 。这样就可用于某些生产过程浓度和折射率的在线检测。如按文献[2]中提出的用 CCD 摄像头和监视器,在线测量就更方便;如进一步采用自动调焦系统和数据处理电子装置,还可自动测量并显示出密度值或折射率,这就更为先进。

4、文献[2]是为解决生产实践中的难题而提出的一种新方法,本文又是对上述方法用于液体测量时的改进。两篇文章运用的都是基本的光学知识和常规仪器,又能测量实际工作中的一些物理参数,所以把它们用于高校甚至高中的物理实验,特别是培养创造能力的设计性实验是很有价值的。

参 考 文 献

- 1 李伯骥编.化学化工手册.大连:大连理工大学出版社,1996
- 2 胡德敬等.CCD 微摄像系统在透明物体厚度和折射率测量中的应用.光学学报.1997,26ZI:339~342

Simple and Speedy Measurement Refractive Index and Density of Fluid Through a Microscope

HU De-Jing, CHEN Yu-Ping, XIE Jia-Xiang

(*Department of Physics, Tongji University, Shanghai 200092*)

Abstract

In this paper, based on optical principle, a formula of measuring the refractive index of fluid has been derived. Using microscope and a simple container, the refractive index of fluid can be measured by one-kick measuring, or the related density can be calculated furtherly. The method has features of easy, simple and non-contact measurement, and can be used in real-time measurement. It has use value in process of production and experiment.

Key words: Refractive index of fluid, Density, Measure, Microscope

胡德敬 男,1941年1月生,同济大学物理系教授,硕士生导师,长期从事光学教学和科研,在各种刊物和国内外学术会议上发表文章近50篇。曾获上海市优秀发明奖二等奖两项,上海市优秀教学成果奖二等奖一项。