地 質 學 報
第33卷第4期，1953年12月

均質透明體及油液折光率測定的新方法……傾斜法

宋天銳
（中央地質部）

一、前　言

透明體折光率的變更，均與其物理化學之性質密切相關。無論均質體或非均質體之透明體，其折光率的測定已成爲近代普通光學研究及礦物鑑定中主要方法之一。透明體折光率的測定，已有多人研究過，1767年可奈斯（Chaulnes）開始用已知厚度的透明體求得其折光率，稱之爲可奈斯法。1813年伯如斯特（Brewster）又用已知折光率的液體，比較其折射情況，求得另一未知液體的折光率。該法在理論上雖可成立，但實用甚爲不便。復於1849年伯亭（Bertin）將透明體磨成薄片，置於顯微鏡台顯微尺上，然後移動接目鏡，以尺上刻度的放大情況來計算透明體的折光率。1877年斯貝（Sorby）略將此法改良，其設計圓形、十字形、長圓形各種圖形。在顯微鏡下觀察，此等圖形在透過透明體薄片時的改變程度，以計算其折光率。直到1877年貝克（Becke）氏發現，二折光率不同的透明體接觸時，其邊界生一亮線，謂之貝克線。自此，根據貝克線以比較，測定透明體的折光率遂成爲主要的方法。油浸法即爲典型範例。1894年，雖然魏奧拉（Viola）曾將可奈斯及貝克二氏的方法綜合而得出新方法，以測定透明體的折光率，但其法不够精確，後人多不用之。關於油液折光率的測定，雖也有阿貝（Abbe）等人創作多種折光儀（refractometer）及方法，但該等儀器測時亦非一般小型實驗室或野外地質隊均可配備。鑑於此，作者將簡單的測定折光率方法，經實驗後介紹出來。

二、傾斜法的基本原理

當光線由一介質射入另一介質時，若二者折光率不同則生折射，其折射依折

射律進行：

$$K \cdot \sin i = n \cdot \sin r = \text{恆量} \tag{1}$$

式中 K 及 n 爲二介質之不同折光率，i 及 r 爲光線在二介質中進行時，與入射點的法線之交角。

若光線由空氣中射入另一介質時，假定空氣的折光率爲 1（實際空氣的折光率（在 20 °C）對眞空言，折光率爲 1.00028），則（1）式即變爲

$$n = \sin i / \sin r \tag{2}$$

假使光線通過平行面的透明體時（圖 1），光線 LA 由空氣中射到面下 A 點，入射角爲 i，在透明體中折射角爲 r，光線再直線進行，與透明體面上相交於 B；入射角爲 r（在透明體中），在空氣中散出後，射線復離法線而折射；折射角爲 i（在空氣中），亦即原來的入射角。LA 平行 $L'B$，可見光線進行的方向毫未改變，但產生位移，其位移爲

$$V = d \sin (i-\gamma)/\cos r \tag{3}$$

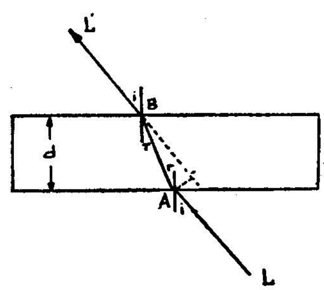

圖 1.

由上式可知透明體的厚度（d）及入射角（i）愈大，則光線所產生的位移（V）也就愈大。

傾斜法求透明體的折光率，即將均質性（isotropic）透明體磨成平行面的透明薄片，厚約 1 厘米以上（因厚度太小則不便於測其位移），置入射角測定器上，入射角測定器裝成刻有顯見的黑十字絲，用顯微鏡觀察。當透明薄片平置其上時，黑十字絲交點之影像雖因折射結果，使顯微鏡焦距有所變化，但其影像光線仍然直線進行。當薄片傾斜時，則黑十字絲交點的影像產生位移，圖 2 中 AB 示其位移，

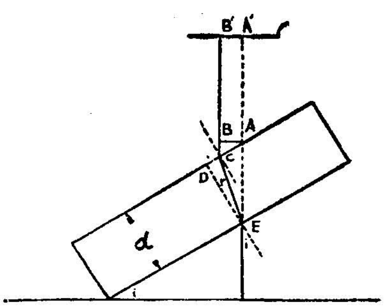

圖 2.

則　$\cos \angle BAC = \cos i = AB/AC$，

故　$AC = AB/\cos i$;

又　$\tan \angle AED = \tan i = AD/DE$，

故　$AD = DE \cdot \tan i$.

又　$DC = AD - AC$

$\quad = DE \cdot \tan i - AB/\cos i$

則　$\sin r = \sin \angle CED = DC/CE$

$$=DC/\sqrt{DC^2+DE^2}=(DE\cdot\tan i-AB/\cos i)/\sqrt{(DE\cdot\tan i-AB/\cos i)^2+DE^2},$$

於是透明體的折光率即可算出。根據式 (2)

$$n=\sin i/\sin r=\sin i\cdot\sqrt{(DE\cdot\tan i-AB/\cos i)^2+DE^2}/(DE\cdot\tan i-AB/\cos i)$$

式中位移 AB 由顯微鏡接目顯微尺直接測得，透明薄片厚度 DE 可用顯微鏡的微動螺旋尺求得，入射角 i 以入射角測定器測之，則 $\sin r$ 值可知。$\sin i$, $\tan i$ 及 $\cos i$ 之值可查三角函數表求得，則透明體折光率 n 可算出。

若測得薄片的厚度爲 d，査得 $\sin i$ 之值爲 Q_1，$\tan i$ 之值爲 Q_2，$\cos i$ 之值爲 Q_3，以顯微鏡接目顯微尺，測得十字絲交點影像之位移 AB 爲 T，

則上式可書爲:

$$n=Q_1\cdot\sqrt{(dQ_2-T/Q_3)^2+d^2}/(d\cdot Q_2-T/Q_3) \qquad (4)$$

傾斜法求油液的折光率，即先製一玻璃夾槽，此夾槽即將二玻璃片中夾相當厚度（約 1 毫米）的玻璃片，使成一槽，然後將三者以水玻璃或加拿大樹膠粘合，則此夾槽面上下平行（圖 3)。求夾槽的厚度，可將槽之上下底玻璃裏面，刻橫豎二線，轉動顯微鏡的微動螺旋，測得二線完全對焦的間隔，即夾槽的厚度。測定時以同法先測得夾槽之上下底玻璃折射所生的位移，然後，將油液注入至滿，再測與前相同入射角時所生的位移，則兩次所測位移之差，即油液折射影響所生的位移，圖 4 中 $A'B'$ 示此位移。

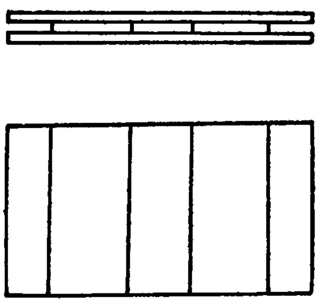

圖 3.

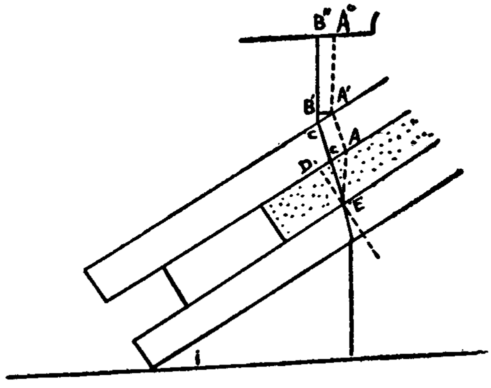

圖 4.

入射光線通過玻璃夾槽之底玻璃產生折射，再射入油液後產生之折射角，與空氣直接對油的折射角相等。假定油液的折光率爲 n_1，入射角爲 i_1，玻璃的折光率爲 n_2，光線由空氣直接射入油液產生的折射角爲 r_1，光線由空氣射入玻璃產生

的折射角爲 i_2，光線經玻璃間接射入油液產生的折射角爲 r_2。根據式（2），光線直接射入油液時，依公式 $n_1=\sin i_1/\sin r_1$ 進行，

折射角

$$r_1=\sin^{-1}\frac{\sin i_1}{n_1}.$$

光線由空氣射入玻璃，其折射依 $n_2=\sin i_1/\sin i_2$ 進行，

亦即

$$\sin i_1=n_2\cdot\sin i_2.$$

光線由玻璃間接射入油液時，其折射依 $n_2\cdot\sin i_2=n_1\cdot\sin r_2$ 進行，

則

$$\sin r_2=\frac{n_2\cdot\sin i_2}{n_1}=\frac{\sin i_1}{n_1},$$

故

$$r_2=\sin^{-1}\frac{\sin i_1}{n_1},$$

則 $r_2=r_1$　　（圖5）。

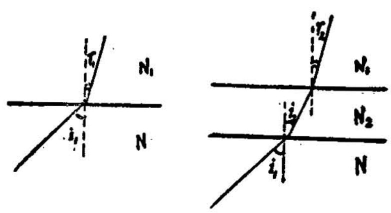

圖5（錄自 Д. С. Белянкин: Кристаллооптика 第15頁）

是已證明，光線在油液內產生的折射角，不因通過玻璃有所改變。因此求油液的折光率亦可代入式（4）求之。

三、兩種入射角測定器的設計

1. 雙變測角器：此入射角測定器即以二平行鐵板製成，上下板間裝有轉軸，並可以由帶齒輪的固定橫軸轉動，使上板與下板成一定交角，顯見之黑十字絲即裝於下板的入射孔上，而欲測折光率的透明薄片或玻璃夾槽，即平行固定於上板，則上板與下板之交角亦即入射角。爲便於精密測定，將固定横軸上釘一指針，使横軸穿過一圓等分的刻度盤，指針可隨横軸轉動。若求出上板轉動半徑與横軸半徑之比，則當横軸轉動時，指針所指的角度，即上板與下板交角（亦即入射角）度數的擴大，因而可計及分、秒（圖.6）。

2. 單板測角器：即將一較大之底玻璃代替下板，而將欲測折光率的透明體薄片或玻璃夾槽，以一定高度的支持物架起。若支持物與薄片在底玻璃上支點之水平距離保持一定，則所得的入射角亦爲固定之值。

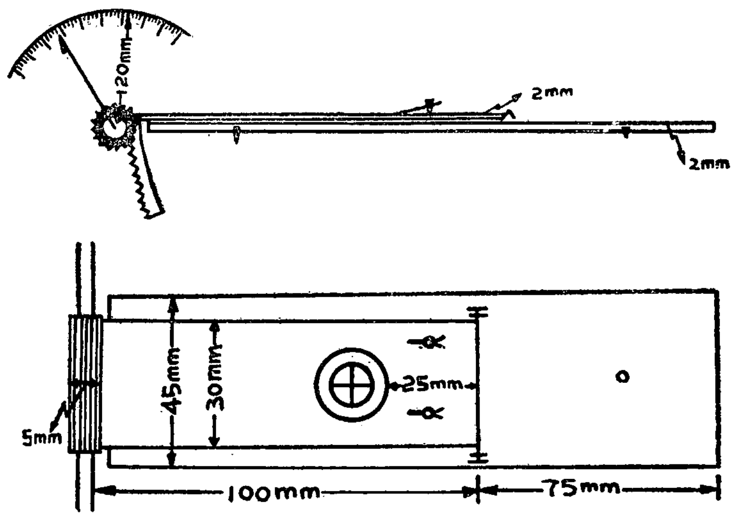

圖 6.

其入射角可由

$$i=\tan^{-1} v/h$$

求之，式中 v 爲支持物架起之一定高度，h 爲支持物與薄片在底玻璃上支點的水平距離，若固定 v 值。再以不同角度計算所需 h 之長，刻標於底板之上，則入射角亦可酌情更變（圖7）。

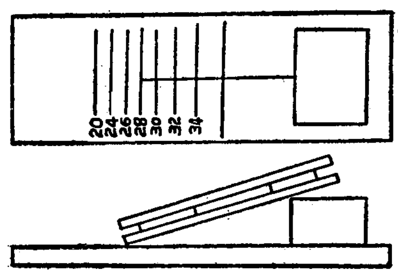

圖 7.

四、實 驗

（一） 欲測定折光率的透明體爲玻璃片，其步驟如下：

1. 求厚度：用顯微鏡微動螺旋，測得其厚度爲 1 毫米。

2. 求入射角：將玻璃支起高 $v=14.1$ 毫米，支持物與玻片接下底玻璃處相距 $h=34.9$ 毫米，則其入折射角爲：

$$i=\tan^{-1} 14.1/34.9=\tan^{-1} 0.4040=22°$$

3. 求位移：將玻璃平置於下玻片時，其下影像點在接目顯微尺上的位置爲零點，傾斜 20° 後影像位移爲 0.1380毫米。

4. 求折光率：直接代入（4）式則可得其折光率，但因須經乘方及開方，計算甚繁，故可先以下列關係求得透明體內的折射角再計算之，

$$\tan r=(d\cdot Q_2-T/Q_3)/d。$$

其折射角

$$r=\tan^{-1}(d\cdot Q_2-T/Q_3)/d=\tan^{-1}(0.404-0.14883)/1$$
$$=\tan^{-1}0.25517=14°10'55'',$$

則查得

$$\sin r=0.2473,$$

故折光率

$$n=\sin i/\sin r=\frac{0.3746}{0.2473}=1.5147.$$

(二) 欲測定折光率的油液爲汽油，其步驟如下：

1. 求厚度：以前述之法求得夾槽厚度爲 0.9 毫米
2. 求入射角：入射角爲 22°，以其下影像點在接目顯微尺上的位置爲零點，將汽油注入槽內至滿。
3. 求位移：位移爲 0.1084 毫米
4. 求折光率：

$$\tan r=(d\cdot Q_2-T/Q_3)/d$$
$$r=\tan^{-1}(d\cdot Q_2-T/Q_3)/d=\tan^{-1}(0.3636-0.1169)/0.9$$
$$=\tan^{-1}0.2741=15°20'$$

則查得

$$\sin r=0.2644,$$

故折光率

$$n=\sin i/\sin r=\frac{0.3746}{0.2644}=1.4168$$

如代入 (4)，式折光率

$$n=Q_1\cdot\sqrt{(d\cdot Q_2-T/Q_3)^2+d^2}/(d\cdot Q_2-T/Q_3)$$
$$=\frac{0.3746\times0.9329}{0.2467}=1.41656$$

數種物質測定值的對比，如表 I 所示：

表 I

測定的物質	阿貝氏折光儀測定的折光率値	傾斜法測定的折光率値	差誤	溫度	備註
玻璃	1.515	1.5147	0.0003	31°C	減差
酒精	1.3605	1.3615	0.0010	31°C	增差
汽油	1.4165	1.4168	0.0003	31°C	增差
液體石臘	1.4738	1.4740	0.0002	31°C	增差
氯代苯 (Chlorobenzene)	1.5210	1.5215	0.0005	31°C	減差
溴代萘 (Bromonaphthalene)	1.6540	1.6548	0.0008	31°C	增差
二碘代甲烷 (Methylene iodide)	1.7370*	1.7370	0.0000	31°C	無差

*此折光率值係根據書中記載。

五、結語

傾斜法的理論精確，若在實際操作時能儘量減少差誤，則所求折光率的值亦甚爲準確。除此以外，此法尙具所用器件簡單的優點，故當折光儀及測角儀或其他測定儀器不備時，則更感到此法可“近水解渴”了。然而，傾斜法亦存甚多缺點，如計算繁瑣、及過小位移不易精測等等，皆須今後再加改進。再如應用其理以測定一、二軸晶礦物的折光率，甚或在薄片下測定礦物的折光率等等，更待繼續予以發展，使其法成爲簡捷、確用、可行之方法。

本法主要部份曾得何作霖先生多方教導，又附圖係張大炳同志代繪，謹致謝意。

参考文獻

[1] Johannsen, Manual of Petrographic Method.

[2] E. Grimsell (葉蘊理譯述), A Textbook of Physics, Volume IV, Optics.

[3] Белянкин, Д С., Кристаллооптика.