

弗氏旋轉台用法說明

何作霖
著

國立中央研究院地質研究所印行

1933

56.717

293

版權所有

著
作
者

何
作
霖

發
行
者

中
央
研
究
院
地
質
研
究
所

銷
售
處

南
京
成
賢
街
本
院

弗氏旋轉台用法說明

何作霖 著

目 錄

	頁
一. 引言	1
二. 礦物光性略說	2
三. 礦物消光之意義	4
四. 球體平面投影圖及其用法	6
五. 旋轉台之構造	8
六. 旋轉台使用前之預備及校正法	10
七. 礦物品系之鑑別法	12
八. 光學對稱軸之測法	16
九. 光軸角之測法	21
十. 長石鑑別法	25
十一. 測驗之差誤及長石鑑別之難易	36

一 引言

弗氏 (von Fedorow) 旋轉台為研究礦物光性之利器。吾人鑑定岩石薄片內之礦物，因普通顯微鏡祇可使切片平行轉動，必將同種礦物之各個切面盡行觀察，偶得一合於光性方位之切面 (oriented section) 始可據之以定判斷。倘所遇之礦物切面無一合於光性方位者，則難作鑑定之標準；結果不能真實且各個切面外貌雖甚相似，而光性容或稍有出入，以此衡彼，當然含有不少誤謬，此鑑定長石時所常有之情形也。若遇稀罕礦物，切面不多，更難與以選擇之機會，普通顯微鏡已失其效用。

旋轉台除平行轉動外，更可使礦物切面任意傾側以合於光性方位。不但可省切面選擇之煩，更可免去因切面頻頻遞換

所生之錯誤。用法雖略涉繁複，實爲一最省時間之工具。此器發明迄今已三十餘年，近來用途漸廣，一九二八年愛孟氏 (R. C. Emmons) 又利用此器以指示液測驗礦物之折光率，並將此器更爲改良，亦此器用途上之一大進步。茲略述旋轉台之原理與用法，俾初學者得一梗概。

二 礦物光性略說

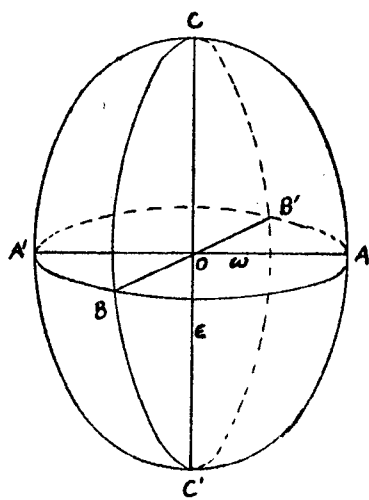
礦物就光性上言可分爲兩大類：

(一) 均質礦物 (Isotropic minerals). 礦物之各部份具有同一之光性，對於光波之擺動任何方向皆無難易之分，速度亦各相等，其光學上之關係可以一球體表示之。換言之即無論光線射入之方向如何，其光波面永爲一球形，故折光率只有一個。凡非晶質 (如玻璃蛋白石等) 與等軸晶系之礦物皆屬之。

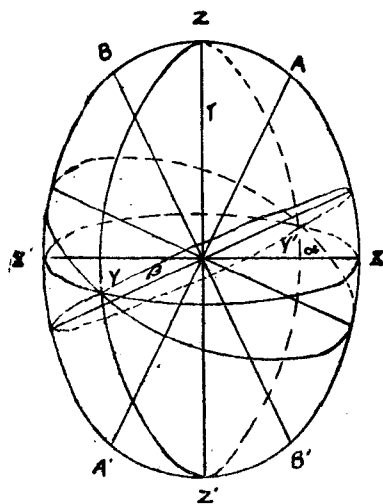
(二) 非均質礦物 (anisotropic minerals). 礦物之各部份具不同之光性，光波擺動因方向而有難易之分，速度各有大小，故折光率不只一個。此類礦物又可分爲 (A) 一軸晶與 (B) 二軸晶。

(A) 一軸晶包含正方晶系與六方晶系礦物。其光學上之關係可以一橢圓體 (ellipsoid of revolution) 表示之 (第一圖)。O C 爲光軸，平行於礦物之直立結晶軸。光線射入之方向如平行於光軸時，光波在 A B A' B' 平面內擺動無遲速之分，且無一定方位，與均質礦物同。但光線射入之方向如斜交於光軸，則光波擺動之方向經偏光作用 (effect of polarization) 一則限制於垂直於光軸的平面內 (即 A B A' B' 平面)，一則限制於光軸與射入方向所成之平面內，兩光波互相正交，具不等之速度。在 A B A' B' 平面者爲常光線 (ordinary ray)，其速度不因射入角之大小而變，折光率永爲 ω ，因 A B A' B' 切面爲一圓形。其他一光波名曰非常光線 (extraordinary ray) 則視射入角之大小速度有變更，殆射入光線垂直於光軸時，此光波擺動之方向即平行於光軸 O

C, 此時折光率為 ϵ 。 ω 與 ϵ 之關係視礦物之種類而不同, 如 $\epsilon > \omega$, 礦物為正光性(+); $\omega > \epsilon$, 礦物為負光性(-)。



第一圖



第二圖

(B) 二軸晶包含斜方單斜與三斜晶系礦物。二軸晶礦物皆有一最小折光率(α)中級折光率(β), 與最大折光率(γ)。 $\alpha\beta\gamma$ 名為主折光率。意即光波擺動之速度有最大最小與中級三種也。其光學上之關係可以一扁橢圓體表示之(第二圖)。O Z, O X, O Y 為扁橢圓體之三主軸名曰光學對稱軸(optic symmetry axis)。光波之速度在 O Z 方向為最小, O X 方向為最大, O Y 方向為中級。每兩軸合成一平面, 名為光學對稱面(optic symmetry plane)。在斜方晶系礦物內各主軸與各結晶軸相合; 單斜系礦物內, 光學對稱面之一與晶體對稱面(010)相合, 故有一主軸與一晶軸(b)相合; 三斜晶系礦物內各主軸皆不與結晶軸相合, 其關係視礦物之種類而有不同。

光線射入之方向平行於 O X 時, 光波擺動之方向一緣 O Z, 折光率為 γ , 一緣 O Y, 折光率為 β ; 射入之方向平行於 O Y, 光波擺動之方向一緣 O Z, 折光率為 γ , 一緣 O X 折光率為 α ; 射入之方向平行於 O Z 時, 光波擺動之方向一緣 O X, 折光率為 α ,

一線 OY, 折光率爲 β 。射入之方向如平行於一個光學對稱面時, 其光波擺動之方向一則限制於此入射面內與射入方向正交, 一則限制於其餘二面之交線上; 兩波互相正交, 具不等之速度。但平行於 XZ X' Z' 面時可有兩個射入方向 (AA' 與 BB') 不發生光波上速度之差, 即折光率爲 β , 乃因垂直於 AA' 或 BB' 之切面各爲一圓, 其半徑等於 OY。AA' 與 BB' 皆稱光軸。XZ X' Z' 又稱光軸面 (optic axial plane)。兩光軸所成之角名光軸角 (optic axial angle), 小於 90° 者曰銳角, 大於 90° 者曰鈍角。平分銳角之軸爲銳角等分線 (acute bisectrix), 平分鈍角者爲鈍角等分線 (obtuse bisectrix)。普通光軸角皆標記其小於 90° 者, 故銳角等分線有時爲 OZ, 有時爲 OX。如銳角等分線爲 OZ, 礦物之光性爲正 (+), 銳角等分線爲 OX, 光性爲負 (-)。光軸角可以下列公式計算之。

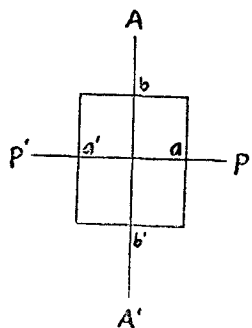
$$\tan V = \sqrt{\frac{\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}}{\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{\gamma^2}}} \quad 2V = \text{光軸角。}$$

三 礦物消光之意義

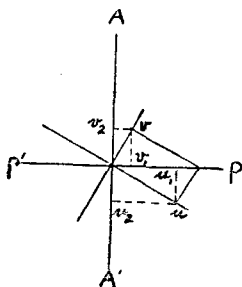
均質礦物因對於光波之擺動任何方向皆無難易之分, 且其擺動之方向亦無所限制, 任何方向之切面置於正交偏光鏡間不能影響於光波擺動之方向, 永呈黑暗不透明之象; 且切面任何傾側與轉動亦不生影響, 故其消光方向爲無限。

非均質礦物對於光波之擺動則大有差別。緣光軸射入之光線其光波擺動之方向爲無限; 而對於其他方向射入之光線, 則光波擺動之方向經偏光作用必限制於一定的兩個方向之內, 彼此互爲正交, 故切面 (除垂直於光軸者) 置於偏光鏡間轉動時即有明暗之分。光波擺動之方向平行於偏光鏡時, 則成消光, 如第三圖, b b' 與 a a' 爲切面上光波擺動之方向, AA' 與 PP' 爲

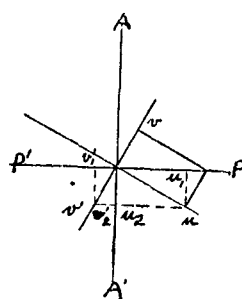
偏光鏡方向。彼此互相平行設平轉切面使光波擺動方向斜交於偏光鏡時，則由下偏光鏡所來之光線至切面即分爲二，及至



第三圖



第四圖



第五圖

上偏光鏡又各分爲二，其平行於上偏光鏡方向者則通過射出，其垂直者則由全反射作用消滅。倘切面對於光波之擺動有難易之別，故經過切面後之光波即起象差 (Phasal difference)，如其差爲 $N\lambda$ (λ 爲波長， N 爲整數) 則光波自 O 點同時齊發，一分爲 ov ，一爲 ou ，(第四圖) 既至上偏光鏡又各分爲二， ov_1 ， ov_2 ， ou_1 與 ou_2 。 ov_1 與 ou_1 由全反射消滅， ov_2 與 ou_2 透過偏光鏡，但因其方向相反，結果兩相抵消而呈黑暗，惟此黑暗並非消光現象，乃由象差而起。

如象差爲 $\frac{1}{2}\lambda$ 或 $\frac{2N+1}{2}\lambda$ ，(第五圖) 一波自 o 出發至 v 而復歸於 o 點時，其他一波方至 o 點，殆前者行至 v' ，後者始達於 u 。既至遇上偏光鏡又各分爲二， ov_1' 與 ou_1 由全反射而消滅， ov_2' 與 ou_2 兩波透過，惟因其方向相同，結果相加而生光色。可見射入之光如用白光時，包含各種波長，其結果必有光色可見。

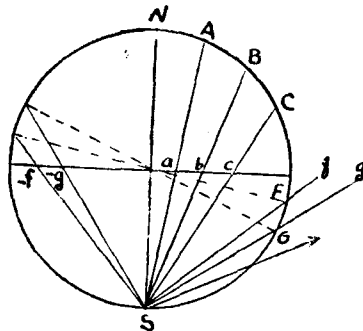
一軸晶對於光波擺動之方向有二(除平行於光軸之射入光線)，一在光軸與射入方向所成之平面內，一在垂直於光軸之平面內。故在一軸晶之任何切面(除垂直於光軸之切面)上其消光方向一爲光軸投影於切面上之方向，一則垂直於此。

二軸晶因有三個光學對稱面互相正交，故凡平行於一面之射入光線，光波擺動方向亦必限制於光學對稱面內；換言之

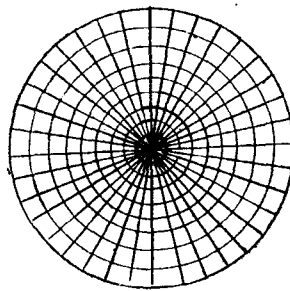
在垂直或平行於光學對稱面之切面上,其消光位必為光學對稱面交於切面上之方向也。但在斜交於光學對稱面之切面上,其消光位則不為切面與光學對稱面所交之方向矣,據 Biot-Fresnel 定律應為切面與二平面相交之線,此二平面必平分包含光軸與切面法線的兩個平面所成之角。(The two extinction directions in a given section of a biaxial mineral are the traces of the planes bisecting the dihedral angles formed by two planes, each determined by an optic axis and the normal to the section.) (註一)

四 球體平面投影圖及其用法 (註二)

礦物晶體置於球體之中心,晶體上任何一點或一平面皆可投影於球體面上。如為一點,連此點與球體之中心作一直線並引長之與球面相遇成兩點,一在球體之上半部,一在球體之下半部,皆表示此點之投影。如為一面,將此平面平行移於球體中心而延展之,與球面相交成一圓,此圓即面之投影;或垂直此平面作一直線經過中心與球面相交成兩點,名曰極點 (pole),乃表平面垂線之投影;故晶體上平面又可以極點示其關係。但實際上球體既不便於用,又難於註釋,故將球面上各點投影於



第六圖



第七圖

一平面上。置人目於球體之底,仰觀球面上各點其投影於赤道平面上之位置曰 stereographic projection。第六圖為一球體之直

立剖面，球體上半部各點 A, B, C... 皆落於球體之內；如 a, b, c... 下半部各點 F, G... 皆落於球體之外，如 f, g... 愈近 S, 其影愈遠。吾人所用之範圍則僅限於赤道切面以內，故其下半部各點應落於赤道外者則用其對蹠點之投影而以負號 (—) 名之，如 -f, -g, ...。

球體面上如有無數之經緯線，在投影圖上則經度線為直立之圓 (vertical circle) 圓之直徑各等於球體之直徑，稱大圓 (great circle)，其投影皆為直線，經過中心，等於直徑之長。緯度線皆為地平之圓 (horizontal circle)，除赤道為大圓外，緯度愈高，圓之直徑愈小稱小圓 (small circle)，其投影各為圓，直徑則視距赤道之遠近而定 (第七圖)。設球體傾側九十度，則緯度線成直立小圓 (除赤道)，而經度線皆為傾斜大圓如附圖 1。吾人定球面上一點或一線之位置，或量度球面角時，即以此圖為規尺，俾免器械繪畫之煩，為學者須臾不可離。普通所用者直徑為 20c m. 每二度繪一線，稱為吳氏投影圖 (Wulff stereographic net)。其用法如下：

(a) 知一極點，求其大圓。設極點在地平面上 30° ，方位角 (azimuth) 為 130° 。用透明紙蓋於吳氏投影圖上，繪 130° 之方向線通過中心，然後旋轉薄紙使此方向線與吳氏投影圖之 E W 線相合，其極點 P 即為 30° 大圓與 E W 線相交之點。距極點 90° 之大圓 a b c 即為所求之大圓 (第八圖)。

(b) 經過兩點作一大圓。旋轉透明紙使已知之二點 d e 在同一大圓上為止，此大圓即為所求之大圓。

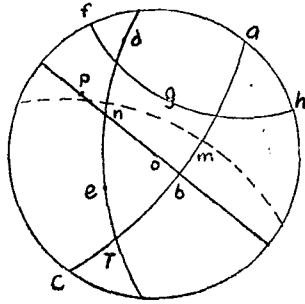
(c) 求已知大圓之極點。旋轉透明紙使已繪之大圓合於吳氏投影圖之一大圓為止，在 E W 線上距大圓 90° 度之點為極點。

(d) 繪一直立小圓，設小圓之半徑為 60° 。將小圓之中心點旋轉至 N 或 S，自此計其 60° 之直立小圓即為所求者，如第八圖之 f g h。

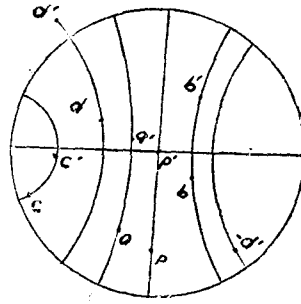
(e) 量度球面角法。兩大圓相交而成球面角,以交點為極作一大圓,其包含於前兩大圓間之弧長即等於球面角,如第八圖 $ntm = \widehat{nm}$ 。

(f) 量度二點間之角距。旋轉透明紙使二點在同一大圓上,其弧距即為二點之角距。

(g) 變換投影平面法。如欲將投影圖上之一點,遷移於某一定位置,其他相關各點亦必隨同遷移,是不啻將投影平面變換一新位置也。例如第九圖 P, a, b, c, d, 為投影點,欲將 P



第八圖



第九圖

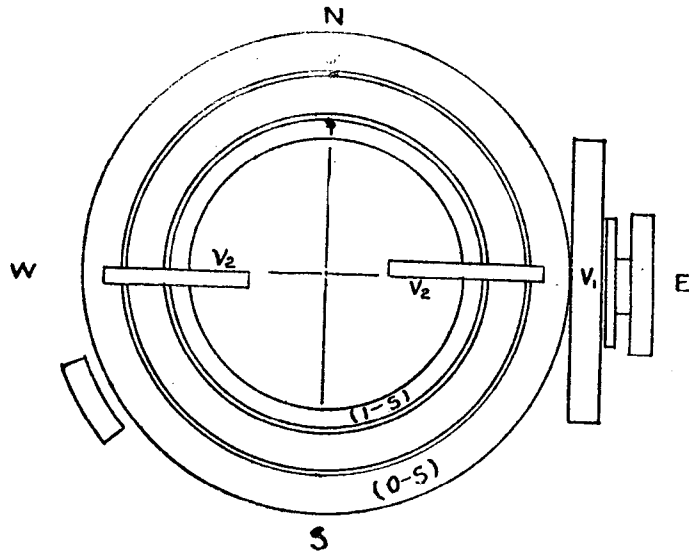
遷移至中心點 P'。乃旋轉吳氏投影圖(或旋轉透明紙)使 P 點在 E W 線上,將 P 遷於 P', 同時 a b c d 諸點各緣其直立小圓向同一方向遷移以相等之角度,而至 a' b' c' d'。遇 d' 點落於赤道大圓之外者,即以其對蹠點—d' 名之。

五 旋轉台之構造

旋轉台與顯微鏡相合共有五轉軸：

1. (M-S)為顯微鏡物台,其轉軸為顯微鏡中心之軸,名為轉軸(1)。
2. (E-W)為旋轉台之東西地平軸(或左右軸),此軸帶有一直立分度圈 V_1 , 由小數分度弧可讀至五分之差,名為轉軸(2)。

3. (O-S) 爲旋轉台之外圈,由旁之小數分度弧可讀至五分之差,其轉軸爲(3)。
4. (N-S) 爲旋轉台之南北地平軸,此軸帶有一圈,可上下傾側,由二直立分度弧 V_2 量度之,名爲轉軸(4)。
5. (I-S) 爲旋轉台之內圈,平載於(N-S) 軸所帶之圈上,圈



第十圖

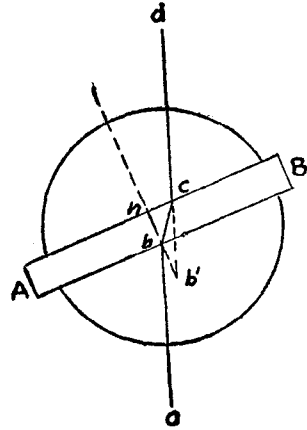
之外緣刻有直線,以指示其所轉之度數,其轉軸爲(5)。

此圈之內復平載一玻璃台,用以盛載岩石薄片者。玻璃台可以旋轉使之昇高或降低。

以上五軸凡奇數轉軸如(1)(3)(5)皆爲直立之軸,平時相合而爲一。偶數之軸如(2)(4)皆爲地平軸,平時相交爲(90°),在同一地平面內,且與顯微鏡內之十字絲及偏光鏡之方向平行。在此位置名曰零位(zero position)。

每當一軸轉動其軸數較高之各軸皆隨同轉動,較低各軸則無影響;例如(3)轉動時,(4)(5)亦必隨之,而(1)(2)則無關係。

此外附有半玻璃球 (glass hemisphere) 兩個,用以擴大顯微鏡之視域,並增加其光明程度,俾便觀察。一加於玻璃台之下,一加於岩石薄片之上,皆以甘油 (glycerine) 膠合之,以免去其間空氣層之折光。兩半玻璃球與玻台及岩石薄片之厚度相加得一完全球體,而礦物正居於球體之中心,故玻台與岩石薄片之總厚如為 2 mm 時,則兩半玻璃球必各磨去 1 mm; 而岩石薄片之放置又必使蓋玻璃 (cover glass) 向下,方可使礦物居於中心。但普通多以蓋玻璃向上,則上半玻璃球幾成為完全半球體,而下半玻璃球必創磨特多方能合成一球形。玻璃既為完全球形,則光線射至球面上(因垂直於球面)不生折屈,光線由中心射出亦不生折屈,故球體任何轉動對於平行光線不生折屈也。但玻璃之折光率未必與所測之礦物相同,則其間必有多少折屈現象發生,故所測直立之角 (verical angles) 皆為視角 (apparent angle), 必略加校正方得真角 (true angle)。如第十一圖 nbc 為真角, $nb'c$ 為視角。由公式 $n \sin V = m \sin H$ 可以求其真角。 n 為礦物之平均折光率, m 為所用玻璃之折光率, V 為真角, H 為視角。為避免計算之煩,可用附圖 II 求之。



第十一圖

六 旋轉台使用前之預備及校正法 (註三)

旋轉台除特別裝置可以用聚光外,普通皆用平行光線專以觀察消光現象。用時除去聚光鏡,用平面反射鏡與燈光。燈光經過毛玻璃一層,光線即可均勻堪用,在暗室內行之尤佳。對物鏡用 No. 2. 者為相宜。完善之顯微鏡物台下應有二重鎖光圈,一在偏光鏡下,一在偏光鏡上,俾得較優之平行偏光;對物鏡須帶有鎖光圈以免去玻璃面上之亂反射與物鏡本身之偏光性。目

鏡亦有鎖光圈俾得縮小視域,以直注其視線於所欲研究之礦物。如用此數重鎖光圈時,燈光往往失於薄弱,非直射太陽光或弧光等不足。

顯微鏡各部之檢查與校正。(a)偏光鏡是否正交。除去顯微鏡內之物鏡目鏡,直對太陽以察其是否完全黑暗,如不黑暗即轉偏光鏡以校正之。(b)十字絲是否與偏光鏡平行。用一軸晶之直立切面或硬石膏(anhydrite)之劈面驗之。(c)物鏡是否與顯微鏡軸(M-S)相合。用普通顯微鏡中心校正法行之。(d)物鏡是否有偏光性。物鏡因介於偏光鏡必須完全不帶偏光性方可應用。除去目鏡,旋轉物鏡於正交偏光鏡間,如有明暗變化,是具偏光性;但此弊如縮小光圈即可減少時,物鏡仍可使用。

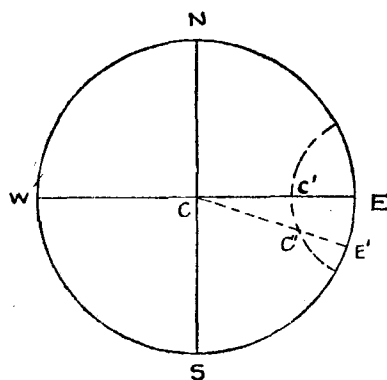
旋轉台各部之檢查與校正。(a)除去顯微鏡物台上中央鐵板,置旋轉台於其上,使直立圈 V_1 在右方;螺絲釘不可旋緊,以待更正。(b)(E-W)與(N-S)兩軸各置於0位,旋緊其旁之螺絲,使之不可轉動。(c)除去上偏光鏡(analyzer),焦對於玻台上一點或一小灰塵,轉動(O-S)或(I-S)以驗其轉軸是否與顯微鏡軸相合。如不相合則焦對之點環繞移動,然後推動旋轉台校正之,殆(M-S)與(O-S)兩軸相合為止。乃旋緊螺釘,使固定於物台上。(d)岩石薄片置於玻台上,以甘油膠合之,使欲研究之礦物居中心。放鬆(N-S)軸之螺絲釘並轉動之,察其焦對之點是否移動;如有移動是證礦物不在(N-S)軸內,應將玻台升高或降低以校正之。設(N-S)軸向左轉動而焦對之點亦向左移動,是礦物在(N-S)軸之下,應使玻台升高以校正之;反之應使之降低。既至確無移動,即是礦物已確在(N-S)軸內。此時若轉動(E-W)軸焦對之點亦必不移動,如有移動是因製造不精,兩軸未在同一平面之內。(e)再將上半玻球加於岩石薄片上,亦以甘油膠合之,上玻球不可旋緊,留待校正。轉(N-S)軸使玻台之底面向上,將下半玻球以甘油膠合之;然後恢復原位。(f)玻球加上後,往往見焦對之點不在(N-S)與(E-W)兩軸之地平面內,此時應照(d)法行。殆正確後,上半

玻球輕輕旋住,使薄片不致動轉為可,旋緊太甚,往往將薄片壓碎,或發生重屈折現象。(g)兩半玻球之折光率必相同,且與所測驗之礦物之平均折光率相差不可太多,愈近愈佳,但相差至0.1仍可得美滿結果。(h)轉(O-S)使 270° 或 90° 之刻度線對其旁小數分度弧之O點,此時(N-S)與(E-W)兩軸當為正交。提高物鏡,焦對於玻球面上一小灰塵,轉動(E-W)察此灰塵之移動是否平行鏡內十字絲之南北線;如不平行,則轉動物台(M-S)以校正之。此時(E-W)亦必與十字絲之東西線平行,再以(N-S)軸之轉動驗之,灰塵移動亦必平行於東西線,否則為製造不精,應略轉(O-S)以校正之;然後旋緊物台(M-S),並記其方位度數。

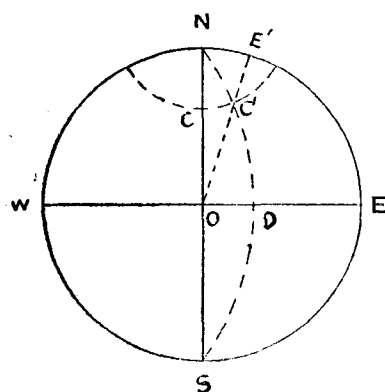
七 礦物晶系之鑑別法

A. 均質礦物之任何方向的切面置於旋轉台上皆呈消光現象,且對於旋轉台各軸之轉動亦不影響於消光現象。

B. 一軸晶之垂直於光軸的切面。切面平置於旋轉台上,光軸與(M-S)轉軸相合,故轉動任一直立軸如(I-S)不影響消



第十二圖



第十三圖

光現象。對於(E-W)或(N-S)軸之轉動亦無影響,因光軸未出偏光鏡之方向也(第十二圖)。但先轉(N-S)軸再轉(E-W)軸以

驗之，則消光位立變，是因光軸C先傾側至於C'，再傾側至於C''，此時消光位為CE'，已出偏光鏡之方向矣。

C. 一軸晶之平行於光軸的切面。切面平置於旋轉台上，轉動(I-S)軸每90°消光一次。當消光位時，對於任一地平軸(E-W)或(N-S)之轉動皆不變其消光現象。但轉動(N-S)軸後再轉(E-W)軸以驗之，則視光軸所居之位置而有消光與不消光之差別；如光軸平行於NS則不變其消光現象，乃因(E-W)軸任何轉動，光軸皆不出NS直立平面也；如光軸平行於EW，則光軸先由赤道大圓移至C'（同第十二圖），復至C''，於是消光位移至CE'。

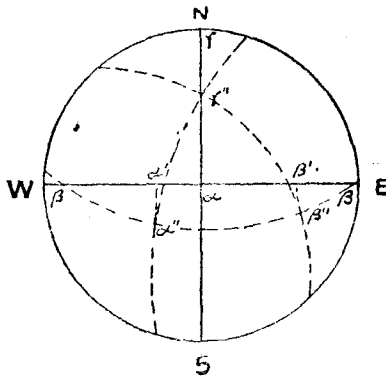
D. 一軸晶之斜交於光軸的切面。此類切面上消光方向已詳述於前，平置旋轉台上轉動(I-S)軸每90°消光一次。當消光位置後，祇對於一個地平軸之轉動可不影響於消光現象；例如光軸在NS直立平面內，則(E-W)軸之轉動不生變更（第十三圖），C為光軸在切面上之投影。但對於其他地平軸(N-S)之轉動則立變其消光方向。因光軸由C移至C'，消光位變為OE'。再轉(O-S)以復其消光位，光軸又入於NS直立平面內。對(E-W)之轉動仍是永久消光。由(O-S)所轉之角NOE'與(N-S)軸所轉之角 \widehat{OD} ，可求出C點；於是光軸對於切面法線傾斜之角 \widehat{OC} 亦可知，因 $\widehat{OC} = \widehat{DC'}$ ，或由球面三角公式求之。

$$\cot OC = \frac{\tan \alpha O-S}{\sin \alpha N-S}$$

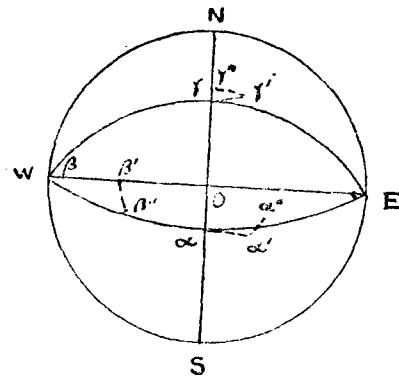
$\alpha O-S$ 為 (O-S) 所轉之角， $\alpha N-S$ 為 (N-S) 所轉之角。

E. 二軸晶切面平行於一個光學對稱面者。此種切面之法線為光學對稱軸之一，其餘二軸皆平行於切面。平轉(I-S)軸每90°消光一次。當消光位後，切面對於任一地平軸(E-W)或(N-S)之轉動，皆不影響於消光現象，與一軸晶切面平行於光軸者(C)相似（第十四圖）。但其所以區別於一軸晶者，即當(I-S)轉動時，切面不論在何種消光位置，若轉動(N-S)軸後再轉(E-W)軸驗之，則消光現象立變，乃因 $\alpha\beta\gamma$ 先則傾側至 $\alpha'\beta'\gamma'$ 再則傾

側至 $\alpha'' \beta'' \gamma''$ ，各光學對稱面皆已傾斜；按 Biot Fresnel 定律，消光方向當不在光學對稱面內，故此時消光位必不平行於偏光鏡方向。至於究應在某方向，視礦物光學對稱軸之位置與 $\alpha\beta\gamma$ 之值而定。



第十四圖

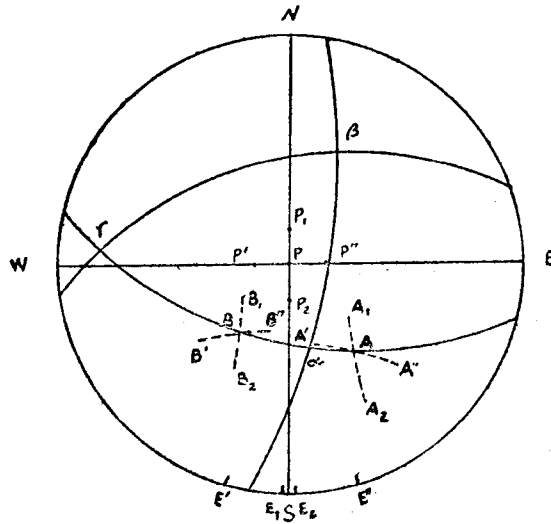


第十五圖

F. 二軸晶切面垂直於一個光學對稱面者。此類切面之消光方向前已言之。平轉 (I-S) 軸每 90° 消光一次。當消光位後，切面祇對於一個地平軸之轉動不變其消光現象，如第十五圖 $\alpha\gamma$ 為垂直於切面之光學對稱面，平行於 NS 者，對於 (E-W) 軸之轉動不變其消光位，而對於 (N-S) 軸之轉動則消光位立變。此與一軸晶切面斜交於光軸者 (D) 相似。其所以區別於一軸晶者，即 (N-S) 軸轉動後，雖亦有消光位之變化，但轉 (O-S) 軸恢復其消光位後，此時切面對於 (E-W) 軸之轉動已不成永久消光現象矣，是因 $\alpha\beta\gamma$ 先則傾側至 $\alpha' \beta' \gamma'$ ，再則轉移至 $\alpha'' \beta'' \gamma''$ ，雖可達消光位而各光學對稱面仍成傾斜之勢，故對於 (E-W) 軸之轉動必不能永久消光也。倘垂直於切面之光學對稱面為光軸面又平行於 (N-S)，則 (E-W) 軸轉動時，往往見有一點或兩點呈低度光明 (但光軸甚大而切面又偏於垂直鈍角等分線時此現象不可見)，即因光軸周圍之內圓錐形屈折 (internal conical refraction) 作用也。此為一軸晶所絕無。

G. 二軸晶切面垂直於一個光軸者。此類切面與F同,不過光軸適當切面之垂線。平轉 (I-S) 軸皆為消光,惟切面祇對於一個地平軸之轉動不變其消光現象,是與一軸晶(B)之區別也。

H. 二軸晶切面之斜交於各光學對稱面者。此類切面上之消光方向依 Biot Fresnel 定律可定之,如第十六圖。A 與 B 為光軸, P 為切面法線與 (M-S) 軸相合。其消光方向為 NS 與 EW, 平轉 (I-S) 軸每 90° 消光一次。當消光位後,切面對於任何地平軸 (E-W) 或 (N-S) 之轉動,皆可變其消光現象,且因轉動之方向與角度大小之不同,消光現象亦因而有遲速強弱之變



第十六圖

化。例如 (N-S) 軸向左轉動,切面傾側其法線至於 P', 此時應相當一新切面光軸為 A' 與 B', 其消光位應移至 P E'; (N-S) 軸向右轉動,切面法線至 P'', 光軸至 A'' 與 B'', 其消光位應移至 P E''。更以 (E-W) 軸之轉動試之,切面法線至 P₁, 光軸至 A₁ 與 B₁, 消光位移至 P E₁; 切面法線至 P₂, 光軸至 A₂ 與 B₂, 消光位為 P E₂。

以上數項可簡述其手續如下：

1. 礦物切面在正交偏光鏡間平轉 (I-S) 軸任何角度皆為消光時，應區別其是否為均質礦物 (A) 或為一軸晶 (B)，或為二軸晶 (G) 之切面。
2. 平轉 (I-S) 軸每 90° 消光一次，且對於任何一個地平軸之轉動亦不變其消光現象時，應區別其是否為一軸晶 (C) 或二軸晶 (E) 之切面。
3. 平轉 (I-S) 軸每 90° 消光一次，但切面祇對於某一個地平軸之轉動不變其消光現象時，應區別其是否為一軸晶 (D) 或二軸晶 (F) 之切面。
4. 平轉 (I-S) 軸每 90° 消光一次，但切面對於任何一個地平軸之轉動，皆變其消光現象時，即為二軸晶 (H) 之切面。

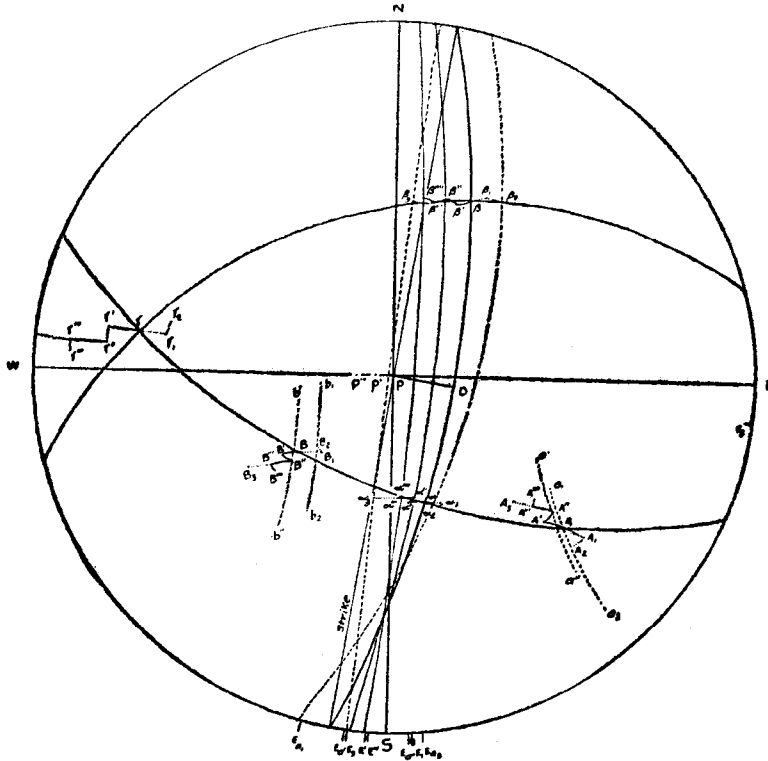
八 光學對稱軸之測法 (註三)

二軸晶礦物之光學上的鑑定，不外光軸角之大小， $\alpha\beta\gamma$ 之值，光性之正負，與光學對稱軸對於結晶軸之關係等事。但光軸角 (除直接測定外) 與光性之正負皆可以 $\alpha\beta\gamma$ 之值計算之，如第二節所述 $\alpha\beta\gamma$ 可沿光學對稱軸之方向以指示液測定之，可見光學對稱軸之位置必先行測定，然後方可論及其他；至結晶軸之位置乃以劈紋或晶面定之。光學對稱軸為光學對稱面之交線，欲知光學對稱軸必由光學對稱面求之，故光學對稱面之測定為鑑定二軸晶之惟一要事。

在岩石薄片內吾人所遇之二軸晶礦物切面，實以斜交於光學對稱面者為多。光學對稱面既無實體可見，而測定之法端賴其消光位之關係；蓋消光位一入於光學對稱面內，則垂直於此面之軸任何轉動，皆不變其消光現象也。換言之即消光現象對於一軸之轉動永不變更時，必有一光學對稱面垂直於此轉軸矣。理雖至淺，但如何方可使切面達於此位，亦有一定之手續

與方法，庶可敏於操作，俾免反覆試驗之苦。其手續概可分為下列五步：

(a) 切面置於旋轉台上，先定其是否為斜交於光學對稱面之切面，如為斜切面，遂平轉 (I-S) 至消光位。如第十七圖，為一負光性礦物之切面，A 與 B 為光軸。PS 平分 APB 角，PS 平行於 NS 時，名曰第一次消光。



第十七圖

(b) 轉 (N-S) 軸使切面之左半部向下傾側數度，光軸移至 A' 與 B'，消光位因而變遷至 P E'；各光學對稱軸亦有相當之遷移而至 α' β' γ' ，此時 (I-S) 軸已傾側至 P'。

(c) 轉 (I-S) 向反鐘針方向，使 P E' 復合於 NS 又至消光位。名曰第二次消光。光軸又移至 A'' 與 B''，各光學對稱軸亦有

相當之轉移而至 $\alpha'' \beta'' \gamma''$ 。圖上各點之轉移係以 P' 為轉軸，故所轉之角不為 $SP E'$ 明甚。由圖上 $\alpha'' \beta''$ 光學對稱面之位置，顯然可見此面之傾斜已漸近於直立，且其走向 (strike) 亦漸趨合於 NS 方向，即消光位漸近於光學對稱面也。

但此時所當注意者 (b) 次轉動 ($N-S$) 軸時，亦或令切面之右半部向下傾側，($I-S$) 軸向鐘針方向亦可達於第二次消光位置；即光軸先至 A_1 與 B_1 ，再轉移至 A_2 與 B_2 ，消光位由 PE_1 復合於 NS ； $\alpha \beta$ 由 $\alpha_1 \beta_1$ 轉移至 $\alpha_2 \beta_2$ 。但由圖上之位置已見 $\alpha_2 \beta_2$ 面漸遠於直立位置，且其走向距 NS 愈遠，顯然不為所欲要之位置。但光學對稱面既無實體可見，欲知其傾斜之緩急，走向之方向與夫消光位之是否漸近於光學對稱面，可應用 ($E-W$) 軸之轉動即足確定，其法如下。

(d) 當第二次消光後，轉 ($E-W$) 軸向前或向後 (假定各轉 20°)，光軸 A'' 與 B'' 向前可移至 a' 與 b' 向後可移至 a'' 與 b'' ；其影響於消光位者向前為 PEa' ，向後為 PEa'' 。

倘第二次消光係將切面之右半部向下傾斜者，則光軸 A 與 B_2 向前可移至 a_1 與 b_1 向後可移至 a_2 與 b_2 ；其影響於消光位者向前為 PEa_1 ，向後為 PEa_2 。

由圖上可見消光角之變更 $Ea_1 PEa_2$ 大於 $Ea' PEa''$ 。消光位近於光學對稱面時，所見之光亮程度低微，明暗變化遲緩；反之所見之光亮程度高強，明暗變化急劇。因而知切面轉移與傾側之方向何者為正確何者為誤謬。

(e) 由 (d) 次試驗確定 (b) 與 (c) 轉動之方向後，乃繼續傾側之，可使光學對稱面 $\alpha \beta$ 由 $\alpha' \beta'$ ， $\alpha'' \beta''$ ， $\alpha''' \beta'''$ ，... 而達於直立且平行於 NS 方向，此時 ($E-W$) 軸之轉動即不影響於消光現象矣。當切面繼續傾側與轉移時，其傾側之角度應愈行愈微，偶一不慎傾側過多，則失其所要之位置，反難於測定。如圖上所示切面傾側過多，光軸 $A'' B''$ 即逕至 A_3 與 B_3 ，各光學對稱軸亦移至 $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ ； $\alpha_3 \beta_3$ 面已顯然踰越直立位置而向反對方向傾斜，

此時消光位為 PE_3 ；可見消光位之變更已大於前次傾側時之消光位 PE' ，更以(E-W)軸之轉動驗之尤著。若切面仍繼續此方向轉動不止，則愈行愈遠，徒費工夫。故(N-S)軸之轉動應加慎審。

將(N-S)軸所轉之角度(真角)與(I-S)軸所轉之角度繪於圖上，即得第一光學對稱面之投影，其極點為垂直於此面之光學對稱軸。

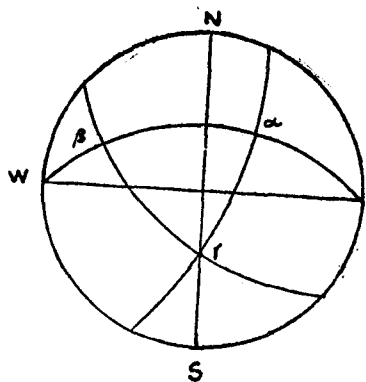
設第一光學對稱面為光軸面($\alpha\gamma$)，當(E-W)軸轉動時，往往見有一點或兩點呈低度光明(如光軸角過大而切面又近於垂直鈍角等分線時，無此現象)，即知垂直於此面之光學對稱軸(即極點)必為 β 之方向。此種現象更可變其方向而觀察之，尤為清晰易識；放鬆物台(M-S)，旋轉 45° ，使第一光學對稱面在NE-SW方向，轉動(E-W)極易驗其是否為光軸面。如為光軸面往往見有一點或兩點(即光軸)呈黑暗；且借此更可試驗第一光學對稱面是否完全垂直於轉軸(E-W)，若所測之位置無大差誤，切面轉至黑暗時，光軸必與鏡軸相合，則(M-S)軸之轉動仍不變其黑暗程度也。

如不為光軸面，則必為 $\beta\gamma$ 或 $\beta\alpha$ 。此時(E-W)軸必平行於 α 或 γ 。用Berek Compensator或石膏片(gypsumplate)驗之，若垂直於此面之方向如為大彈性軸即是 α ，否則為 γ 。

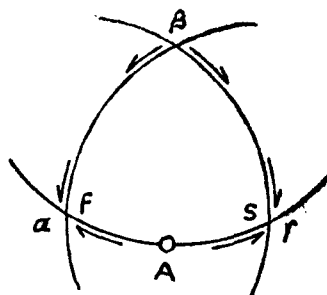
第一光學對稱面既經測定，再定第二面，始可知各光學對稱軸之位置。轉動(N-S)軸，使切面恢復地平位置，再轉(I-S)軸 90° 使第一光學對稱面傾斜於南(或傾斜於北)如第十八圖。乃依照第一光學對稱面尋求之手續行之。將(N-S)與(I-S)所測之角度(真角)繪於圖上，並驗此面之垂直方向為某光學對稱軸。

如遇光軸面無法確定時，則各光學對稱軸之名稱仍不能決定，乃察其干涉色(birefringence)之變遷以確定之。蓋直立光學對稱面為 $\beta\gamma$ ，轉動(E-W)軸其干涉色向 γ 方向增加因 $(\beta-\alpha) < (\gamma-\alpha)$ (第十九圖)；如為 $\beta\alpha$ ，干涉色向 α 方向增加因 $(\gamma-\beta) <$

($\gamma-\alpha$)；如爲 $\alpha\gamma$ ，干涉色可向 α 方向增加，亦可向 γ 方向增加，因 A 爲光軸也。故當測驗第一第二兩面時，若將其干涉色增加之



第十八圖



第十九圖

方向亦隨同記出，由第十九圖即可確定 β 之位置。再使包含 β 之一個光學對稱面直立並平行於 NE-SW，用試片定出大小彈性軸方向，由此圖即知 α 與 γ 之位置。

第一第二兩面若無大差誤，則所繪之兩個大圓必各經過極點，且二圓相交之點亦必距其已定之二極點各爲 90° 。故第二面測定後即可知誤謬之程度如何。

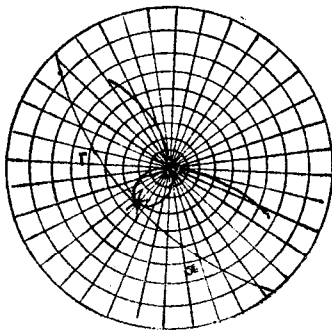
測驗第一光學對稱面時，(N-S) 軸所轉之角如大於 30° (視角)，則可於切面恢復地平後，更向反對方向傾側使此光學對稱面成地平位置與第十四圖 (E) 相同。此時其餘二光學對稱面必皆直立，故轉 (M-S) 一測其消光角即可定此二面之位置，是則無須重複以前之手續矣。

愛孟氏 (R. C. Emmons) 新式旋轉台之構造，(註四) 在 (N-S) 軸與 (I-S) 之間又增一 (e-w) 轉軸，第一光學對稱面尋求時，係先轉動此新增之 (e-w) 軸而以 (N-S) 軸驗之，令此面直立平行於 EW。復徐徐轉動 (N-S) 而以 (E-W) 軸驗之，令第二光學對稱面直立平行於 NS，故 $\alpha\beta\gamma$ 之方向可以直接定出，無須圖繪，此器之主要用途爲以指示液定 $\alpha\beta\gamma$ 之值，若欲定光學對稱面與結晶軸之關係，仍不能免圖繪之煩。

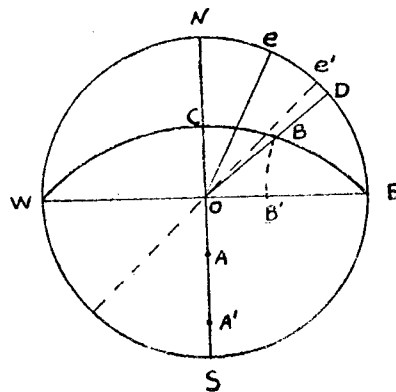
九 光軸角測法 (註五)

當測驗光學對稱面時,二光軸之位置有時可以直接量度;但遇二光軸皆不能確定或只有一光軸可見時,必用間接方法始可求之。

(a) 消光角曲線法。將二軸晶晶體依無限的方法作數多切面,各切面對於某一定之晶軸方向必有一定的消光角,將等消光角之各切面的極點相連必成無數曲線。又因垂直於光軸之切面,其消光角無限,故各曲線必皆相交於光軸。依此原理,將礦物切面,轉至消光位後,轉動(O-S)軸每 5° 為一次,或左或右,每次之後再轉動(E-W)以復其消光位;更轉(E-W)軸每 5° 為一次,或前或後,每次之後再轉(O-S)軸以復其消光位;將每次之角度(真角)繪於圖上再得一曲線,必經過圖之中心與光軸。於是更將偏光鏡旋轉使之與(E-W)軸成 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ \dots$ 等之位置,每一位置依上法得一曲線。如是行之即可得數條曲線皆經過圖之中心與光軸。但實際上往往不交於一點是測驗之誤差也。即取其平均之處作為光軸位置。以此法所得之光軸位置極為精確,但只限於一個光軸或兩個光軸皆在視域內者用之。(第廿圖)。



第廿圖

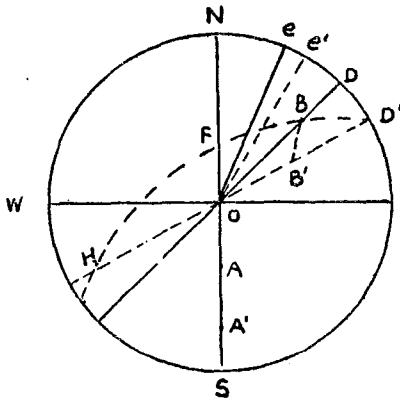


第廿一圖

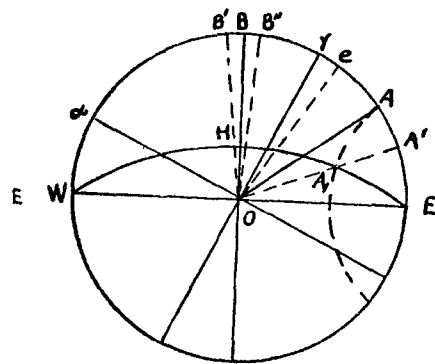
(b) 第二光軸測法。切面在地平位置,使已經測定之一光軸A在NS直立平面內(第廿一圖),測其消光角為Oe。依 Biot-

Fresnel 定律其第二光軸必在 OD 直立平面內，因 $NOe = eOD$ 。轉動偏光鏡，使其消光角為 45° 達 Oe' 方向，然後轉 $(E-W)$ 軸至於消光現象，此時光軸 A 至 A' ，第二光軸必在 OE 直立平面內，因 $NOe' = e'OE$ 。切面仍恢復地平位時， OE 平面必傾斜成 CE ， \widehat{OC} 為 $(E-W)$ 軸所轉之角度（真角）。 CE 與 OD 相交於 B ，即為所求之光軸位置。 CE 大圓往往省去不繪，只在 OD 與 OE 之間求一小圓之弧 $\widehat{BB'}$ 等於 $(E-W)$ 軸所轉之角度（真角）可也。

(c) 有時 $(E-W)$ 軸轉動已至極限而仍未達消光現象，則可應用 (b) 法原理略為變通 NOe' 不必一定為 $45'$ 。微轉偏光鏡使其消光角略大於前如 Oe' 方向（第廿二圖），殆 $(E-W)$ 軸轉至消光現象時，光軸 A 至 A' ，其他一光軸必在 OD' 直立平面內，因 $NOe' = e'OD'$ 。切面恢復地平， OD' 平面即成 FH 。 FH 與 OD 相交之點 B 為所求之光軸位置。 FH 大圓亦可省去不繪，只在 OD 與 OD' 之間求一小圓之弧 $\widehat{BB'}$ 等於 $(E-W)$ 軸所轉之角（真角）即可。欲其精確，可多行數次，偏光鏡每轉一次得一交點，取其平均之處作為光軸位置。



第 廿 二 圖



第 廿 三 圖

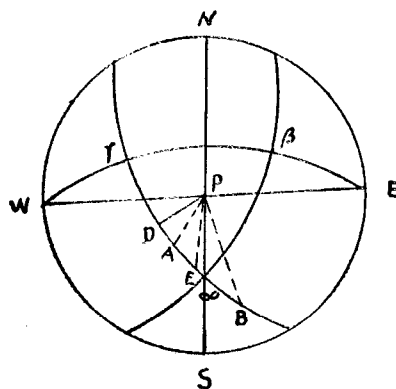
(d) 切面之近於垂直 β 方向者，光軸皆在視域之外，用上法必傾側甚大方可求其位置，常為旋轉台所不可能。乃將 $\alpha\beta\gamma$ 之位置先由前述之方法定出；利用 $(N-S)$ 軸與 $(I-S)$ 軸之轉

動,將 β 置於鏡軸之內(第廿三圖),光軸面已成地平,故光學對稱面 $\beta\alpha$ 與 $\beta\gamma$ 皆直立正交。設 γ 為銳角等分線, B 為一光軸,由 (E-W) 軸與 (O-S) 軸之轉動,數次試驗可使之平行於 NS 方向。假定 B 確平行於 NS 方向時(即垂直於 E-W 軸),消光位為 $O\gamma$,其他光軸必在 A 點;若 (E-W) 軸轉動,使光軸面傾斜成 WHE ,則 B 至 H , A 至 A_1 ,此時之消光位 Oe 必平分 BOA' 。如不平分,是光軸 B 不在 NS 方向; BOe 太大時,是證光軸偏於 OB' 一邊,太小時,是證光軸偏於 OB' 一邊。如此反覆試驗可至正確位置,測其消光角即知光軸角。

(e) 貝氏(M. Berek)光軸角曲線法。(註三)各光學對稱軸測定後,利用 (N-S) 軸之轉動使一光學對稱軸合於鏡軸 (M-S) 其餘二軸合於 NS 與 EW,然後平轉 (O-S) 軸 45° ,以試片定其彈性軸,再轉 (E-W) 軸 54.7° ,如第廿四圖。因

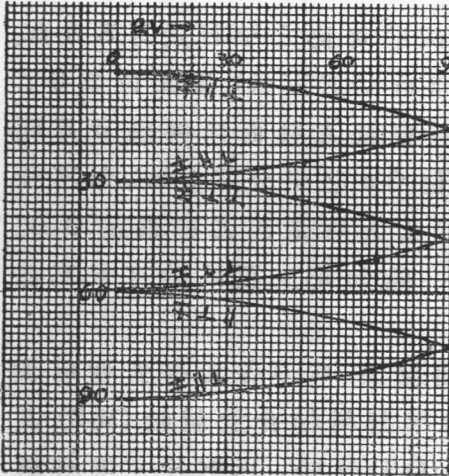
$$\cot P\alpha = \frac{\cos P\alpha D}{\tan D \alpha} = \frac{\cos 45^\circ}{\tan 45^\circ}, P\alpha = 54.7^\circ$$

(切面傾側應使法線近於鏡軸)。於是轉 (M-S) 軸測其反鐘針方向之消光角,用貝氏曲線表(第廿五圖)查得其光軸角,並可知光性之正負與 $\alpha\beta\gamma$ 之位置。此法不但可得光軸角,如遇 $\alpha\beta\gamma$ 之位置無法決定時,更可同時推求。

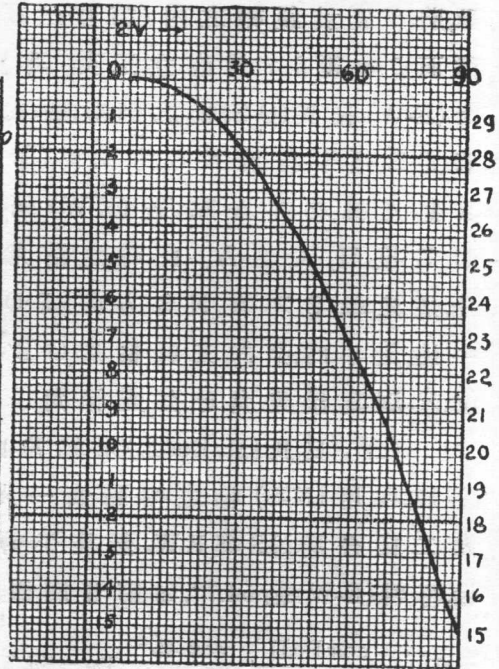


第廿四圖

第廿六圖為一部之擴大者,俾得詳讀其光軸角之值。由第廿四圖可見當光學對稱面對於鏡軸成同等之傾斜時,光軸角若自 0° 增至 90° 其消光位距銳等分線之方向必自 0° 增至 15° 為限。其理可以下述算式說明之。設 α 為銳等分線, $\widehat{AB} = 2V$, PE 為消光位,平分 APB 。 PD 垂直於 $\alpha\gamma$ 大圓。



第廿五圖



第廿六圖

$$\tan PD = \frac{\sin D \alpha}{\cot D \alpha P} = \frac{\sin 45}{\cot 45}$$

$$PD = 35.3^\circ$$

$$\cot DPA = \frac{\sin PD}{\tan DA}$$

$$= \frac{\sin PD}{\tan \frac{1}{2}(90-2V)}$$

$$\therefore \cot DPA = \frac{\sin PD}{\tan (45-V)} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{同理 } \cot DPB = \frac{\sin PD}{\tan (45+V)} \dots \dots \dots (2)$$

由 (1) (2) 可知 $APB = DPB - DPA$

$$DPE = DPA + \frac{1}{2} (APB)$$

$$\therefore DPE = \frac{1}{2} (DPA + DPB) \dots (3)$$

$$\text{但 } EP\alpha = DP\alpha - DPE$$

$$EP\alpha = 60^\circ - DPE \dots \dots (4)$$

(1) (2) 兩式內祇有一個不知數 V 可以變化。故光軸角 (2V) 自 0° 遞增至 90° 時 $EP\alpha$ 之值可以一一求出，繪為第廿六圖。更變換銳等分線之位置，使 $\alpha\beta\gamma$ 之方位彼此交換，再逐次求其消光位，則得第廿五圖。

圖內曲線上註有三種符號，如 \mp , \parallel , \perp 等是。用法如下：

第一符號 (\mp 或 \pm) 表示礦物光性之正負，符號之上部 (- 或 +) 表示遲光線 (slow ray) 在 NW-SE 方向時所測定者。下半部 (+ 或 -) 表示速光線 (fast ray) 在 NW-SE 方向時所測定者。

第二符號 (\parallel 或 \perp) 表示 (E-W) 軸未轉時銳角等分線與鏡軸之關係。

第三符號 (\perp 或 \parallel) 表示 (E-W) 軸未轉時鈍角等分線與鏡軸之關係。

十 長石鑑別法 (註三)

弗氏旋轉台之主要用途，為鑑定長石。蓋長石為造岩礦物之最主要者，岩石分類，端以長石為標準。數十年來學者對此研究，不遺餘力，取天然長石定其光性與化學成分上之關係，復按化學成分人工製造，以驗其變化；至此極難區別之斜長石，借此器已可確定其成分與光性矣。附圖 III 為各種長石光性方位之投影圖。他如長石之十數種雙生晶離却此器更難鑑別。

用前述各法既經測定長石光學對稱軸後，至少尚須測定其一個晶面或一個晶軸，方得區別其種屬。因長石之光性方位 (optic orientation) 各有不同也。晶軸與晶面皆可以劈紋方向定

之；長石劈紋有三，平行於 001 者為最完全(perfect)，平行於 010 者仍甚清晰(distinct)，平行於 110 者則不完全或不清晰(imperfect or indistinct) 且往往缺如。既測知一種或兩種劈面對於切面之傾斜方向，晶面或晶軸與光學對稱軸之關係，亦可推求，於是光性方位可得。

劈紋為晶體內之裂縫，當切面垂直於劈面時，在平行偏光鏡間為狹細裂紋，在正交偏光鏡間呈一黑線；但切面斜交於劈面時，劈紋為切面所掩蓋，在平行偏光鏡間往往不著，且隨焦點之上下而左右移動，在正交偏光鏡間無痕跡可見，或為暗色條帶。

測驗劈紋時轉 (I-S) 軸使劈紋平行於 N S 線，再轉 (N-S) 軸以定其傾斜之方向及角度。長石概不俱顏色，在平行偏光鏡間劈紋甚不易觀察，故在正交偏光鏡間測驗為宜；但遇礦物劈紋近於消光位置，可轉動偏光鏡使切面明亮，黑線劈紋立時顯著。劈紋測定後亦繪於圖內。旋轉投影平面，使 β 至於圖之中心， α 與 γ 則移至圓周；光性方位可以了然。然後蓋於附圖 III 上翻覆旋轉，使之合於圖上 α 與 γ ，察其劈面極點與圖上同名曲線之某點相合，如合於 (001) 3，此長石為 andesine (30%An)。

雙晶之測法 長石之雙晶約有十數種，概可分為 (1) 正雙晶 (normal twinning) (2) 平行雙晶 (parallel twinning) 與 (3) 混合雙晶 (complex twinning) 三類：

I. Normal Twinning.

Twinning axis 雙生晶軸	Composition face 聚合面	Name 名稱
\perp 010	010	Albite
\perp 001	100	Manebach
\perp 021	021	Baveno

II. Parallel Twinning.

Twinning axis 雙生晶軸	Composition face 聚合面	Name 名稱
c	010	Carlsbid A
c	100	Carlsbid B
a	001	Ala A
a	010	Ala B
b	001	Acline A
b	001 ±	Pericline

III. Complex Twinning.

Twinning axis 雙生晶軸	Composition face 聚合面	Name 名稱
c and \perp 010 or \perp c in 010	010	Albite-Carlsbid A
a and \perp 010 or \perp a in 010	010	Albite-Ala B
a and \perp 001 or \perp a in 010	001	Manebach-Ala A
b and \perp 001 or \perp b in 001	001	Manebahcacline A

礦物發生雙晶時,不啻將礦物晶體緣某晶面平分爲兩部,使一部分依一定之軸旋轉 180° 而復合併之。其兩部連合之面爲聚合面 (composition face), 即吾人在正交偏光鏡下所見兩部之分界線也; 旋轉之軸爲雙晶軸 (twinning axis), 垂直於此雙晶

軸之平面爲雙晶面(twinning plane)。雙晶軸垂直於聚合面時爲正雙晶；平行於聚合面時爲平行雙晶或混合雙晶；平行雙晶與混合雙晶之區別又視雙晶軸與結晶軸之關係而定。如雙晶軸平行於一個結晶軸(a, b或c), 即屬平行雙晶之類, 如雙晶軸垂直於一個結晶軸, 即屬混合雙晶之類。故欲定雙晶之種類, 必先知聚合面與雙晶軸之位置。

聚合面之測法 聚合面每與晶面平行, 依照劈紋測法即可定之。旋轉(I-S)軸使聚合面之走向平行於NS線轉動(N-S)軸測其傾側之方向與度數。如爲正雙晶, 殆兩部分光色相同時, 則聚合面已成直立。如爲平行雙晶或混合雙晶兩部光色程度不相同。故又可轉動偏光鏡使兩部明暗程度達於極點後, 乃轉動(N-S)軸以驗其聚合面之傾斜方向與角度, 當聚合面直立時, 兩部之界線最爲清晰平齊。

雙晶軸之測法 雙晶之一部分既以雙晶軸爲轉軸而旋轉, 其兩部分上之光學方位(α, β, γ)必以雙晶面爲其對稱面。又因其一部分既旋轉 180° , 故凡同名光學對稱軸($\alpha_1 \alpha_2, \beta_1 \beta_2$, 或 $\gamma_1 \gamma_2$)與雙晶軸必在一平面之內。若知兩部分上之光學對稱軸之位置, 則連各同名光學對稱軸作三個平面(在投影圖上爲三個大圓), 其交點必爲雙晶軸在投影圖上之出露點。雙晶軸既經測定, 察其與晶軸及聚合面之關係, 雙晶種屬即定。茲舉數例以明長石之鑑別及圖繪法則:

例一。

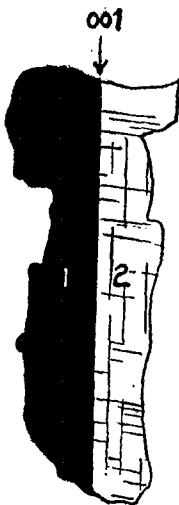
輝長岩(gabbro)

熱河朝陽縣賈家店玉皇廟。

長石切面如第廿七圖。

旋轉台上所用之玻璃球折光率=1.56

假定此片長石平均折光率 = $1.56 \pm$



第二十七圖 顯微鏡物台起始點爲 0.6°

Individual 1

N.	5°	pole = β	A. K. 316.5°
H. E.	35.8°		B. K. 68.0°
N.′	270.0°	pole = γ	
H.′ E.	5.8°		

Individual 2

N.	292.0°	pole = β	A. K. 47.5°
H. W.	21.8°		B. K. 303.0°
N.′	20.8°	pole = γ	
H.′ E.	5°		

Composition face of 1 and 2

N.	327.2°
H. E.	10.3°

Cleavages on individual 1

N.	010	61.5°	N.	001	327.2°
H. W.		1.9°	H. E.		10.3°

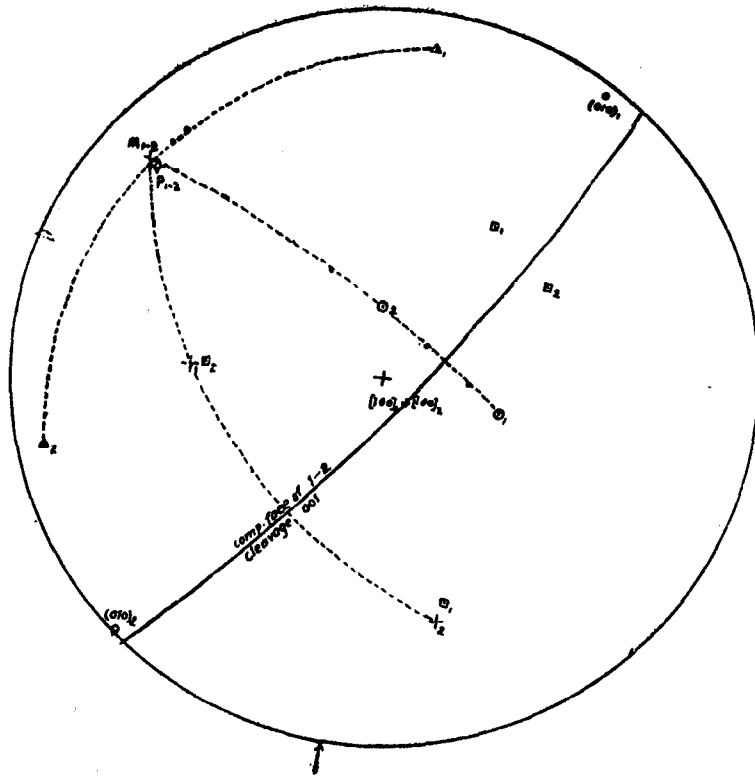
Cleavages on individual 2

N.	010	53.0°	N.	001	327.2°
H. E.		0.8°	H. E.		10.3°

N = (I-S) 軸, H = (N-S) 軸, E, W, = 直立分度弧 V_2 .

A, B, = 軸光, K = (E-W) 軸.

將所測各點繪為投影圖如第廿八圖。連各同名光學對稱軸作三個大圓(圖內點線所指之大圓), 相交於一點或一小三角形, 取其中心點 M_{1-2} , 為雙晶軸。



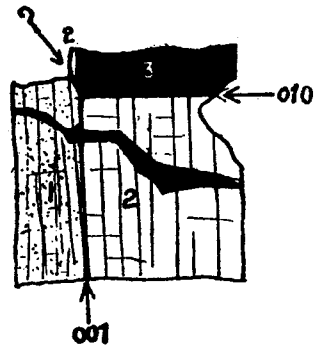
第二十八圖

- ⊙ = α
- ⊕ = β
- △ = γ
- = A or B
- ⊛ = 聚合面之極點
- OM = 雙晶軸
- O = 劈面或晶面之極點
- [100] = 結晶軸 a

P_{1-2} 與 M_{1-2} 幾可相合, 故 1 與 2 為正雙晶, 因聚合面為 001, 故屬於 Manebach 雙晶。至於長石種類之鑑別, 可將 β 移至圖之中

心, α_1 與 γ_1 各移至圓周上, $[100]_1, (010)_1, (001)_1$ 與 M_{1-2} 亦各移至於相當位置, 然後蓋於附圖 III 上, 察其各點所居之位置, 是否與圖上同名曲線相合; 如不相合, 則反覆蓋於附圖上再試驗之。既至各點與同名曲線相合, 其各點所指之處長石成分大致相同。再將 β_2 移至中心, α_2 與 γ_2 移至圓周上, $[100]_2, (010)_2, (001)_2$, 與 M_{1-2} 各點亦轉移至相當位置, 又以附圖 III 驗之。長石成分應無大差異。此例係以 $[100]$ 為標準, 其結果如下:

- Individual 1 . . . 53% An.
(+) $2V = 78.5^\circ$
- Individual 2 . . . 55% An.
(+) $2V = 75.5^\circ$



第二十九圖

例二。輝長岩(全上)
長石切面如第廿九圖。

Individual 1.

N.	16.0°	pole = γ	
H. W.	8.5°		
N.'	107.5°	pole = β	A. K. 44.5°
H.' W.	12.0°		B. K. 299.5°

Individual 2.

N.	40.5°	pole = β	A. K. 37.5°
H. W.	29.0°		B. K. (295° -)
N.'	123.2°	pole = γ	
H.' E.	13.9°		

Individual 3.

N.	100.0°	pole = β	A. K.	41.6°
H. W.	11.0°		B. K.	296.5°
N.′	178.6°	pole = γ		
H.′ E.	10.0°			

Composition face of 1 and 2.

N.	249.5°
H. W.	9.0°

Composition face of 2 and 3.

N.	157.7°
H. E.	15.5°

(?) Composition face of 1 and 3.

N.	121.0°
H. W.	1.5°

Cleavages on individual 1.

N.	⁰¹⁰ 156.5°	N.	⁰⁰¹ 249.5°
H. E.	16.0°	H. W.	9.0°

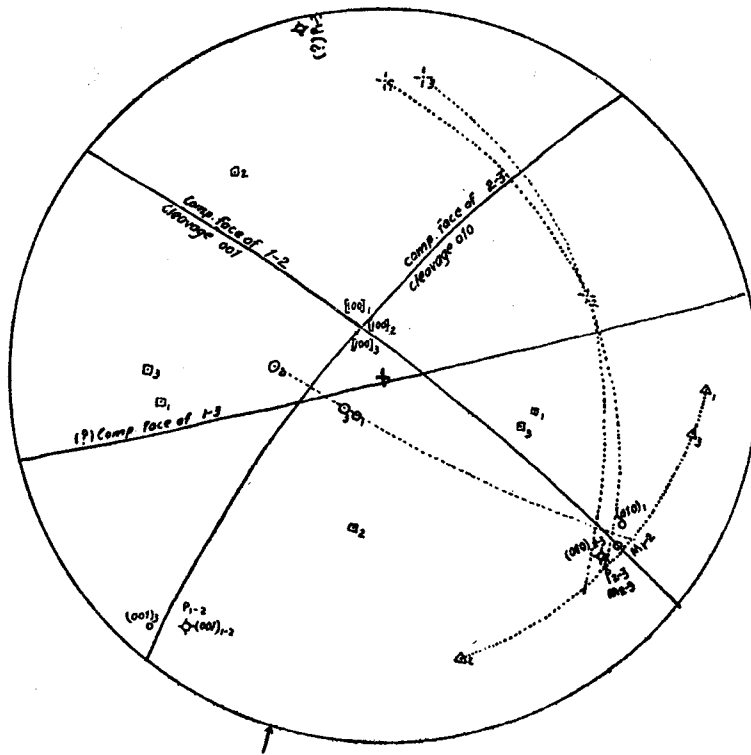
Cleavages on individual 2.

N.	⁰¹⁰ 157.7°	N.	⁰⁰¹ 249.5°
H. E.	15.5°	H. W.	9.0°

Cleavages on individual 3.

N	010	157.7°	N	001	65.0°
H. E.		15.5°	H. E.		5.0°

投影圖如第卅圖



第三十圖

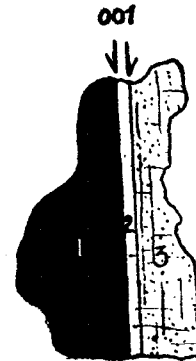
$$M_{1-2} = \frac{\perp [100]}{(001)} \text{ Manebach-Ala A. 聚合面} = 001, \text{ 雙晶軸} = \perp [100]$$

$$M_{2-3} = (010) \text{ albite.}$$

1 與 3 由圖上不能定其雙晶軸,彼此關係不明。

轉移投影平面,以附圖 III 驗之,以 [100] 為標準其結果如下:

- Individual 1 55 % An.
 (+) $2V = 75^\circ$
- Individual 2 53 % An.
 (+) $2V = (77.5^\circ -)$
- Individual 3 55 % An.
 (+) $2V = 74.9^\circ$



例三。輝長岩(全前)。
 長石切面如第卅一圖。

第三十一圖

Individual 1

N	353.5°	pole = β	A. K.	338.0°
H. E.	15.5°		B. K.	
N'	255.5°	pole = γ		
H'. W.	24.0°			

Individual 2

N	264.0°	pole = α		
H. W.	24.0°			
N'	2.1°	pole = γ		
H'. W.	16.0°			

Individual 3

N	267.1°	pole = β	A. K.	328.0°
H. W.	10.5°		B. K.	
N'	1.0°	pole = γ		
H'. W.	19.5°			

Composition faces of 1 and 2, and 2' and 3.

N	312.5°
H. E.	7.0°

Cleavages on individual 1.

N	010	43.8°	N	001	312.5°
H. W.		25.0°	H. E.		7.0°

Cleavages on individual 2.

N	010	35.5°	N	001	312.5°
H. W.		25.0°	H. E.		7.0°

Cleavages on individual 3.

N	010	34.0°	N	001	312.5°
H. W.		25.0°	H. E.		7.0°

$$M_{1-2} = \frac{\perp [100]}{(001)} \text{ Manebach-Ala. A.}$$

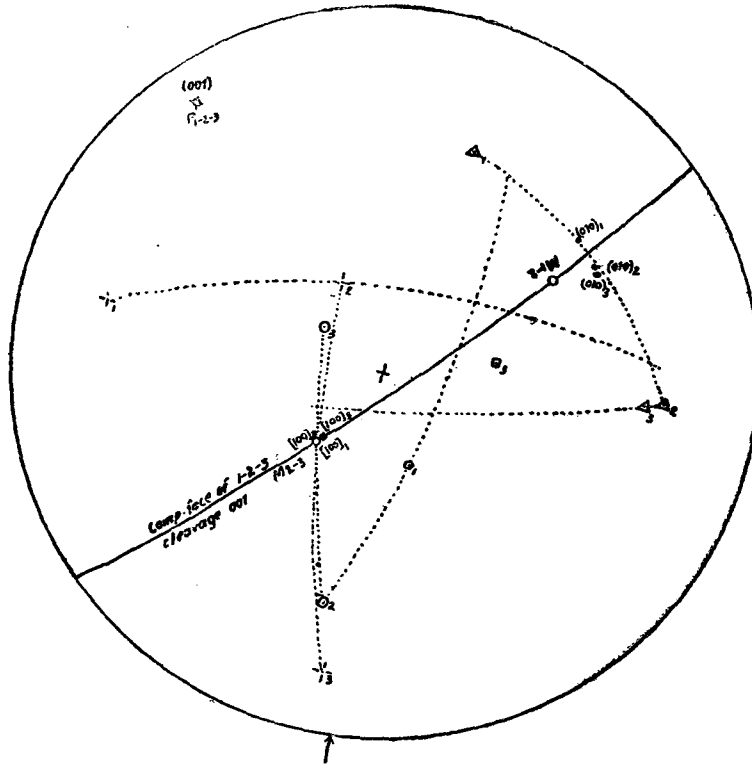
$$M_{2-3} = \frac{[100]}{(001)} \text{ Ala A. 聚合面} = 001, \text{ 雙晶軸} = (100)$$

此長石斑晶微俱環帶構造,但無清晰界限可分,在顯微鏡下只略呈波形消光現象 (wavy extinction),且 2 部狹隘,旋轉台傾斜過甚,常為其旁兩部之干涉色所遮掩,故所得結果不甚吻合;觀 1 與 2 兩部同名軸之各大圓相交不為一點而成一大三角形可知;但三角形之中心適居於聚合面之投影線上,且距 [100] 為 90°,姑以此作為 1 與 2 之雙晶軸。

變更投影平面以附圖 III 驗之,以 [100] 為標準其結果如下:

- Individual 1 52% An.
- Individual 2 60% An. approx.
- Individual 3 56% An. approx.

投影圖如第三十二圖



第三十二圖

十一 測驗之差誤及長石鑑別之難易

用旋轉台鑑別礦物，專以消光位為標準；切片當轉至漸近消光位時，光度逐漸減低，吾人在此際常失其區別能力，其完全黑暗位置，目力已不可辨；二三度之差雖云微小，而結果往往謬之千里，且當切片傾側過甚之時，消光位置更難確定。凡此皆差誤之原。欲減少此弊，普通常以石膏片 (gypsum plate) 插於正交偏光鏡間，因吾人區別顏色之力較為強銳，且同時更可以礦物

旁之空地爲其對照之標準,如第廿九圖,切面之裂縫,爲絕好例證。

以吳氏投影圖爲規度時,大約可有半度之差誤,影響於實際無甚關係。其最重要者爲以附圖 III 確定長石成分之際。在 40% An 以下之各種長石往往甚不易區別,因晶面 (010) 與 [100] 大致與座標平行也。其尤難者,則爲 [010] 與 $\frac{\perp [100]}{(001)}$ 兩種雙晶之區別。故雙晶種類之確定,必須以繪圖方法爲準繩,然後再以附圖 III 驗之,方可免於疑誤。長石成分之區別,前已言在 40% An 以下者附圖 III 失其精確之程度,學者可將附圖 III 之投影平面轉動,使 (010) 極點移至中心又可得附圖 IV。更使 (001) 極點移至中心又可得附圖 V。此二圖不但精確之程度增高;同時更可以確定雙晶之種類,(註六)此爲萊氏 (Reinhard) 最近之作。

岩石切片內之長石,變化程度劇烈者,往往現有土狀物質而成半透明狀,甚或有爲高岑土微細晶片之散光作用,現有紅褐色者,以鹼性長石爲特甚。凡此情形皆爲測消光時之障礙,故應取其較爲鮮明者用之。長石切面上現有劈紋愈密方向愈多者,則標準點愈多,所得之結果愈爲精確。倘無劈紋可見,取其雙晶軸或聚合面之位置亦可推定。

長石之雙晶過於發達者,往往各部甚狹隘,旋轉台傾側稍大則彼此遮掩不可測定。惟雙晶種類尚可區別其是否爲正雙晶;(註七)如爲正雙晶,當聚合面直立且平行於 N-S 時,雙晶軸必平行於 (E-W) 軸,若轉動 (E-W) 軸兩部之光色變化相同,否則即屬於平行雙晶或混合雙晶。

長石雙晶兩部往往不甚整合,(註七)意即發生雙晶時,其一部分之扭轉未必爲 180°, 往往有 5° 或 6° 之差;遇此情形則雙晶軸位置未可確定矣。故測驗長石之成分,應以其劈面或晶軸爲標準,較爲可靠。

長石晶體之各部,成分未必相同,(註七)以灰鹼系長石爲著。凡環帶構造與波狀消光現象皆爲成分不同之證。常爲測驗之

障礙。但欲研究長石之環帶構造離却旋轉台幾無法可以解決之。

長石成分除環帶構造可以現然表示其部位之變化外,雙晶各部之成分亦往往稍有出入,(註七)鑑定長石亦當注意之。

遇長石無劈紋可見又無雙晶可據以爲標準時,前法皆失其效用。晚近貝氏 (M. Berek) (註三) 以長石干涉色爲標準,亦可確定其成分,惟方法更爲繁複,涉及單色光之預備及切片厚度之測定等手續,茲不具述。

附圖 III 各曲線示長石內所含之灰長石(anorthite)17.分子

Albites	0-5 %	An.
Acid oligoclases	5-15 %	An.
Oligoclases	15-30 %	An.
(basic oligoclases)	(20-25 %)	
Andesines	30-45 %	An.
Labradorites	45-70 %	An.
Bytownites	70-95 %	An.
Anorthites	95-100 %	An.

() 表示晶面極點,與正雙晶之雙晶軸。

[] 表示晶軸 ($[100]=a$, $[010]=b$, $[001]=c$), 與平行雙晶分雙晶軸。

$\frac{\perp []}{()}$ 表示混合雙晶,上部爲雙晶軸下部爲聚合面之極點。

P.B. Pericline twinning, Becke.

P.W. Pericline twinning, Wulffing.

參 考 書

- 註一。Johannsen: Manual of Petrographic Methods.
Chapter XXVIII.
- 註二。Johannsen: Chapter II.
翁文灝: 國立北平研究院院務彙報第一卷第三期。
Penfield: Am. J. Sc., V. XI. No. 61. 1901.
- 註三。Berek: Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der
Universaldrehtischmethoden.
Duparc and Reinhard: Memoires de la Société de physique,
Vol. 40. 1924.
Johannsen: Chapter XXXV.
Winchell: Elements of Optical Mineralogy. Part I. 1928.
- 註四。Emmons: The American Mineralogist. Vol. 13, No. 10,
p. 504, 1928; Vol. 14, No. 12, p. 441, 1929.
- 註五。Wright: Am. Jour. Sci. Vol. XXIV, 1907.
Berek: 全註三。
- 註六。Reinhard: Universal Drehtischmethoden, 1931.
- 註七。Coulson: Records of the Geological Survey of India. Vol.
LXV., Part I, pp. 163-184, 1931.