

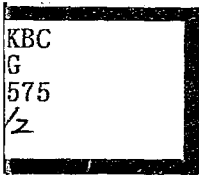
第25

31
212331

用弗氏旋轉台研究礦物 及岩石之方法

何 作 霖

摘印地質論評第一卷第二期



中 國 地 質 學 會

北平西城兵馬司九號地質圖書館

MG
P575
7/2



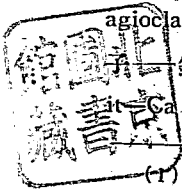
3 1773 5871 4

用弗氏旋轉台研究礦物及岩石之方法

何作霖

一 引言

弗氏旋轉台用法，作者前曾編輯小冊(1)說明其原理及用法，並備實例數種，略明其測驗長石之手續。近幾年來，關於此器之用法及其應用之範圍皆有進步。昔日認為不切實用之儀器（因其耗費時間太多），今則為研究岩石與礦物之惟一工具。我國治此學者已知此器之重要，三二年內學術機關前後設置此儀器者，計有六架之多，——實業部地質調查所有舊式旋轉台 (Zeiss) 一架，中央研究院地質研究所所有舊式 (Leitz) 與新式 (Bausch and Lomb) 者各一架，湖南地質調查所有舊式 (Leitz) 者一架，北平大學天津工學院 (北洋大學) 有舊式者 (Leitz) 一架，北京大學有新式者 (Leitz) 一架。“工欲善其事，必先利其器”此後我國學者，可以追隨於歐美先哲之後矣。1933年美國礦物學家 A. N. Winchell 發表論文，(2) 提出此後礦物研究之趨勢，漸注意其同系內各個礦物之關係。凡屬同系內之礦物，彼此之化學成分皆係連續的，因之其物理性狀之變化亦是連續的。例如斜長石系 (Plagioclase group) 內各礦物可視作由兩個較為單純之基本礦物分子——鈉長石 (albite— $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) 與鈣長石 (Anorthite— $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ——彼此以任何比例數化合而成者。又



(1) 何作霖：弗氏旋轉台用法說明，中央研究院地質研究所

(2) Winchell: A. N. The new mineralogy. American Mineralogist. 1933

立北平圖書館藏 京 525

如柘榴石系(garnet group)內各礦，可視作由四個較為單純之基本礦物分子——鈣鋁柘榴石(Grossularite $\text{Ca}_3 \cdot \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$)，鈣鐵柘榴石(Andradite $\text{Ca}_3 \text{Fe}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$)，鎂鐵錳鋁柘榴石(Pyroalpsite $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3 \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$)與鎂鐵錳柘榴石(理想柘榴石 $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3 \text{Fe}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$)——彼此以任何比例數化合而成者。換言之，同系內之各個礦物皆可認為形成所謂‘固形溶液’(Solid solution)是也。基本礦物之探討，實為新礦物學研究之目的。基本礦物，其成分不必單純，在天然礦物系中，基本礦物有時存在，例如斜長石系內之鈉長石與鈣長石，有時不能存在或迄至今日尚未經發見者，例如柘榴石系內之理想柘榴石。探求此基本礦物之法，惟有探討其化學成分上與物理性狀上變化之關係。前已云二者之變化，俱是連續的，於是分析之結果，可以察出每當某種成分增加若干分量則礦物之物理性狀即發生何種變更。反之由物理性狀之變更，亦可推求其基本礦物之化學性質。例如斜長石系內之礦物，專就其折光率之變更而言，每逢鈣長石分子($\text{CaO}, \text{Al}_2 \text{O}_3, 2\text{SiO}_2$)減少10%，亦即鈉長石分子($\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2 \text{O}_3, 6\text{SiO}_2$)增加10%，則折光率約減小0.005，又如輝石系(Clinoenstatite—Hedenbergite group)之各礦物，光軸角與光軸面隨FeO之多寡而有變更。FeO自0增至10%以前，則光軸角自 58° 減至 0° ，光軸面垂直於010面，但FeO自10%增加至30%時，則光軸角自 0° 又漸增至 58° ，而光軸面則變為平行於010面。是以新礦物學之研究方法，需要準確之化學分析自不待言，而物理性狀之精密測定尤為重要也。礦物之物理性狀以其光性為最重要，(指透明礦物言，至於不透明礦物之物理性質迄今尚少精密研究之方法)而測驗礦物之光性，捨旋轉台與顯微鏡外不能

奏功。

在昔研究岩石學者，對於火成岩凝結之情形及其分異作用，闡述無餘。就多量之分析，確知岩漿在將凝固而未凝固之前，常因礦物之比重不同，而行其重力分異作用，(Gravitational differentiation)，輕者上昇，重者下降；又因溫度降低之速率不同，及含水氣之多寡不均，影響於岩漿濃度與粘著性之變化，而發生分子或礦物晶體之流動。凡此皆由侵入體各部份之化學成分或礦物成分之變更而推論來者，但究竟岩漿在完全凝固之前，是否因上述之作用而有局部之流動，如有流動，其流動之趨向又如何。欲解決此重大問題，惟有精細觀察岩石內較先結晶之柱狀礦物或板狀礦物排列之方向，始能解答。至於火山岩流紋之構造，以及由何方流瀉而來，又非由其礦物排列之方向，不能確定，然則岩流之噴出地亦可尋覓矣。岩漿有酸性基性之分，於是流動有遲速之別，礦物排列即有優劣之不同。倘能多所觀察，亦未始不可以求出各種岩流滯性的比較。普通顯微鏡下之觀察，萬難成功，此乃旋轉台用途上最近擴充之闢地也。關於動力變質岩之研究，Sander 教授已有驚人之著述，闡明壓力與構造上之關係，發見二百數十種之岩石結構形式，某種形式是在某種動力環境之下產生，各有專論。此種偉大功績，皆藉旋轉台以成之。旋轉台之得用於研究岩石學，氏為第一人。

二 弗氏旋轉台之構造

弗氏旋轉台有舊式與新式之分。舊式者有四個轉軸，如第一圖。由外而內第一軸為東西軸 (E-W)，軸之右端帶有一刻度輪，可以前後轉動，由其旁之小數尺，可以讀至 20' 之差。第二軸為虛直立軸，附帶一刻度圈，可以水平轉動，為旋轉台最外之

刻度圈，稱爲(O—V)，由其旁之小數尺可讀至十分之一度。第三軸爲南北軸(N—S)，附帶一刻度圈，位於(O—V)刻度圈之

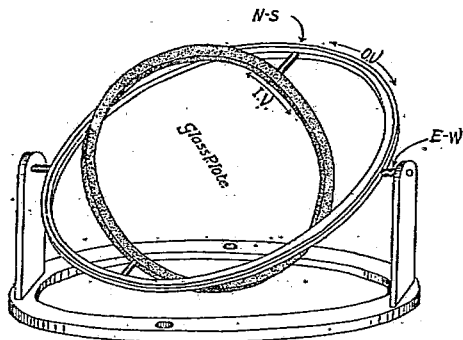


圖 一

內，可以左右傾轉，傾轉之角度可由(O—V)圈上左右兩個刻度弧讀出。第四軸爲虛直立軸，其所帶之圈係平嵌於(N—S)圓圈之內，圈上有小直柱一對或兩對，用以把持作水平轉動，稱爲(I—V)，其轉角可在(N—S)圈之內緣讀出。(I—V)圓圈之內，嵌有一玻璃平板，用以承載岩石薄片，此玻璃台與(I—V)係螺旋式之接合，可任意旋轉使之高低。新式旋轉台如圖二，係1929

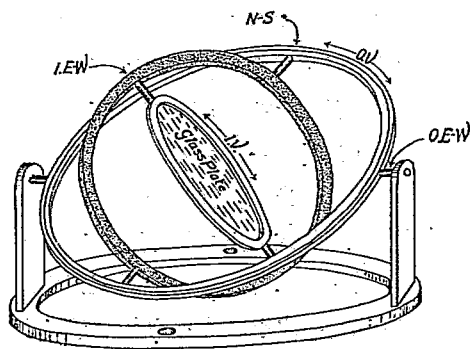


圖 二

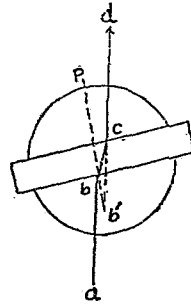
年 R. C. Emmons (3) 計畫改造者，在(I—V)與(N—S)之間加一東西轉軸，稱為I(E—W)，可以前後傾轉，其轉角則在(N—S)圈上前後之兩個直立刻度弧上讀出。使用時先將顯微鏡載物台上中央之鉄板除去，以防有碍光線之照射，然後將旋轉台置於載物台上，以螺絲釘固定之，但此時不可旋緊，留待校正後再旋緊之。旋轉台在顯微鏡台上須保持一定之位置，即直立各軸，如(O—V)，(I—V)，必須與顯微鏡軸相合（顯微鏡軸與載物台之轉軸，依照中心校正法使之相合），水平各軸如(E—W)，I(E—W)，(N—S)彼此互相正交，且(N—S)軸必平行於顯微鏡內之南北線，(E—W)與I(E—W)必平行於東西線，如此則水平各軸與顯微鏡內上下兩偏光鏡之偏光面互相平行或垂直矣。因有上述之種種條件，在使用之前，必經過精密的檢驗與校正，方能達此位置，是以旋轉台在校正之前不可十分固定於載物台上也。旋轉台每遇一軸轉動，居於其內之各軸，亦隨之轉動，但居於其外之各軸則不生影響，例如(O—V)轉動，則(N—S)，I(E—W)，(I—V)各軸皆隨之轉動；而(E—W)則無關係，故各軸轉動時彼此關係甚為複雜。欲使旋轉台在顯微鏡上保持上述位置時，須經過下述檢驗手續。旋轉台置於載物台上，使(E—W)軸轉至 O^0 ；(O—V)轉至 90^0 或 270^0 ，(N—S)轉至 O^0 （即水平位置），如係新式旋轉台，則I(E—W)亦轉至 O^0 （即水平位置）；將岩石薄片置於玻璃台上，以甘油(Glycerine)膠著，以免去岩石片與玻璃台間之空氣層。移動顯微鏡筒，準焦於岩石內一小礦物（對物鏡應用焦點距較長者）。第一步校正，係察看旋轉台之直立軸是否與顯微鏡軸相合，如係相合，則旋轉台之任何直立軸如(O—V)或

(3) Emmons, R. C., The modified universal stage. Am. min., 1929

(I—V) 之移動，不影響居於十字線交點之小礦物之位置，否則小礦物遁出交點之外，於是推動旋轉台少許使之相合。此時螺絲釘方行旋緊，使之固定於載物台上。第二步校正，係察看所欲鑑定之礦物是否居於水平各軸所包含之平面內，如係確在同一水平面內，則旋轉台之任何一水平軸如 (E—W)，(N—S)，或 I (E—W) 之轉動，不影響居於十字線交點之小礦物之位置，否則必見礦物左右或前後傾側，逃出十字線交點之外。如轉 (N—S) 軸向左，見礦物亦移於交點左方，是證該礦物居於水平面之下，(因顯微鏡所見為反像，實則礦物移於右方)，於是旋轉玻璃台使之昇高，迨礦物居於同一水平面內為止。此時 (E—W) 或 I (E—W) 之轉動，必不能影響於礦物之位置，如有移動，是儀器製造不精，各水平軸不在同一平面內也。第三步校正，係使 (E—W) 軸平行於東西十字線，(N—S) 軸平行於南北十字線。旋轉台常附有玻璃半球體一對，兩對，或三對，具有一定之折光率，如 1, 515, 1.554, 1.649 等，視所欲定之礦物之折光率而選用之。每對玻璃半球體，一加於岩石薄片之上，一加於玻璃台之下，皆以甘油膠著，以除去中間之空氣層。兩個半球體與玻璃台岩石薄片之厚度相合適成一球體，而礦物正居於球體之中心。玻璃半球體另有其主要用途，後當詳述，此處不過利用之以作第三段之校正耳。提高顯微鏡，準焦於上半球體之表面，當可見表面上有不少塵埃小點。若轉動 (E—W) 軸，則見塵埃小點前後移動，如 (E—W) 軸與東西十字線平行，塵埃前後移動之方向必與南北十字線平行，否則與南北十字線斜交，校正時可徐徐轉動載物台或左或右，再轉 (E—W) 軸以驗之，及至塵埃移動之軌跡與南北十字線平行，則鎖緊載物台，使之不可轉動，並記錄其方位角，以防遺

忘，此時(N—S)軸亦必與南北十字線平行，倘(N—S)軸轉動，而塵埃移動之軌跡不與東西線平行，是證儀器製造不精；(E—W)與(N—S)不正交也。遇此情形，即轉動(O—V)少許以校正之，蓋此種差誤不易發生也。經過三段校正後之位置，曰零位(zero position)。

玻璃半球體之主要用途為使光線不發生其大之折屈，以增加測量傾角之範圍也。設無此玻璃半球加於礦物片之上下，則礦片傾側時，透過之光線常因折屈之故不能入於顯微鏡內。玻璃半球加於礦片之上下，若半球之折光率與礦物之折光率完全相同，則光線可以直射於礦物，及其透出礦片亦不致發生折屈，所量度之仰角，即是礦物薄片之仰角，是以旋轉台備有不同折光率之半球體三對也。雖然，半球體之折光率總不能期其與所測之礦物完全相同，所測之仰角仍須略加改正始為正確。如圖三，設AB為礦片，其折光率為 n ， m 為半球體之折光率， p 為其垂線， ab 為入射線， abc 為折屈角，亦即真角 V ，但 cd 為射入顯微鏡內之光線， $pb'c$ 為假角 H ，亦即礦片傾轉之角，由下列公式可改正假角為真角。



圖三

$$n \sin V = m \sin H$$

為避免計算之煩，學者可自製一圖表。圖之製法，以10 cm為半徑作圓，以 $R = \frac{10}{n}$ cm，將半徑分為若干份，繪若干同心圓，註明各圓之數以表折光率 N ，以最外之圓代表1.00。再自中心繪出若干角度線。此圖製成裁出第一象限即足敷用，餘可棄置。例如假角為 30° ，礦物之折光率為1.40，半球體之折光率為1.515，

則自 30° 之半徑線與 $J.40$ 圓弧之交點，緣水平方向自右向左，尋出 1.515 圓弧與水平線之交點，即為真角之半徑線經過之處。如所用之半球體之折光率小於礦物折光率，則緣水平線自左向右求交點。

三 礦物光性方位之測驗

透明礦物對於光學性質，有均質體與非均質體之分，非均質體內又有一軸晶與二軸晶之別。就結晶系統論，除等軸晶系內之礦物屬於均質外，正方系與六方系屬於非均質體內之一軸晶類，斜方系單斜系與三斜系內之礦物概屬於非均質體內之二軸晶類。在六種晶系內，二軸晶礦物占有三系之多，可見礦物界內二軸晶礦物所居之位置之重要。前在引言內述及研究礦物除化學成分外，物理性狀以光性為最重要，蓋光性常有一定之值，不但可為鑑別礦物之用，並可由此推論礦物成分上變化之趨向。均質體係指光線在晶體內傳播之速度，不因方向而有難易之分，其波前為一圓，其波前面為一球形，換言之，即折光率有一個數值。非均質體對於光線在晶體內之傳播，則因方向而有難易之分，其中一軸晶對於平行 C 軸入射之光線，光波在晶體內傳播宛如均質體，除此方向外，則有遲速之分。故一軸晶內之光波面可視為由一橢圓繞一軸旋轉而成之橢圓體，橢圓之一軸平行 C 軸，換言之，即有兩個折光率。至二軸晶對於光波面亦類似一橢圓體而具有三個不等長之軸，彼此正交，換言之，即有三個折光率數值。此不等長之三軸常稱為 X, Y, Z 光學對稱軸， XY, YZ, XZ 稱為光學對稱面，相當此三軸之折光率則以 α, β, γ 稱之。 X, Y, Z 與結晶軸 a, b, c 之關係，因礦物所屬之晶系而有區別，且在同一礦物系內，又因成分之不同而有變更。光學對稱軸與結晶軸之關係名曰光性

方位 (optic orientation) 。光性方位為測驗二軸晶礦物最重要之事項。礦物切片對於結晶軸之關係，往往可以切片上顯露之劈紋推求之，因劈紋與晶軸在一種礦物上有其一定之關係也。惟 X, Y, Z 為想像之軸，不能直接察見，其對於任何切片之關係，乃由切片消光位間接推算而得，必須由立體圖上方可說明。

今以 X, Y, Z, 為軸，以 α, β, γ 之值表其相當各軸之長，作成一橢圓體，軸長之關係為 $\alpha < \beta < \gamma$ ，故 XZ 橢圓包括一最長與一最短之軸，在 XZ 橢圓內必有與 β 同長之半徑兩個。顯然在此橢圓體上可有兩個圓的切面通過 Y 軸，而圓切面之半徑等於 β 之長。圓切面之中心垂線亦必在 XZ 光學對稱面內；若光線緣此垂線入射於晶體；可見折光率只有一個數 β ，換言之，此垂線方向相當於一軸晶內之 C 軸方向或光軸方向也。XZ 面內有此兩個垂線，即有兩個光軸，是名為二軸晶，XZ 面特名為光軸面。設將此橢圓體經過中心作一切片，此切片上之消光位即按 Biot-Fresnel 定律求之，定律如下：

消光位為切片與包含切片法線之二平面相交之方向，此二平面乃平分包含光軸與切片法線之二平面所成之隅角。(切片法即代表光線入射之方向)

故顯然切片上有兩個消光位，互成 90° 也。由此定律又可見光線入射之方向如包含於一個光學對稱面內，則其消光位之方向一個必包含於此光學對稱面，另一方向必包含於垂直此面之內。如光線入射之方向與一個光學對稱軸相合，則其消光位必互相吻合於其餘之二個光學對稱軸，例如入射線與 X 相合，則其消光位一平行於 Y，一平行於 Z。如有一切片垂直於 X，平置載物台上旋轉於正交偏光鏡間 (crossed nicols,) 當 Y, Z 與偏光鏡之偏光面 (即

十字線代表之方向) 互相平行時, 即顯黑暗消光現象。此時如以東西爲軸前後傾側切片, 必不能影響於消光現象, 是因入射之光線仍包含於南北直立之光學對稱面內也; 或以南北爲軸左右傾側切片, 亦不能變更消光現象, 其理亦同。但垂直於一個光學對稱面之切片(不垂直於光學對稱軸), 當轉至消光位後時, 如欲不妨礙其消光現象, 則傾側之方向大有關係, 蓋轉軸之方向必與此直立之光學對稱面垂直方不變其消光位也。例如切片垂直之光學對稱面爲 XY , 在消光位時, XY 爲南北直立, 必以東西爲轉軸方不變更其消光位, 可見此時之轉軸必平行於一個光學對稱軸 Z 也。

礦物晶體之切片, 吾人不能先知其對於光學對稱軸之關係, 然則雖有清晰劈紋可以代表結晶軸之方向, 仍是不能定其光性方位也明甚。必也, 先求出光學對稱軸與切片之關係, 再求出切片與結晶軸之關係, 然後由計算或由作圖法間接求之。

光學對稱軸乃光學對稱面之交線, 故測知兩個光學對稱面與切片之關係, 則光學對稱軸與切片之關係亦可知矣。測驗光學對稱面非上述前後或左右傾側之方法不能察查, 此旋轉台所以有東西與南北各軸之設備也。惟旋轉台各軸之轉動, 連繫關係既已甚爲複雜, 而又用此關係複雜之轉動, 欲納一不可目觀之想像立體座標(X, Y, Z) 合於一定之方位(東西, 南北, 上下), 決非任意轉動各軸可以達到此目的者也。學者須謹守下列手續求之:

第一光學對稱面之測驗。先述舊式旋轉台之用法。岩石切片置於旋轉台之玻璃台上(旋轉台已經校正達於零位), 將欲測驗之礦物移至中心, 然後加上玻璃半球體一對, 皆以甘油膠合, 免除中間之空氣層, 上半球不可旋緊過甚, 以防壓碎岩片。轉動(I-V) 達於消光位; 如有一光學對稱面已經直立且平行於南北, 則轉動

(E—W) 軸或前或後，必不影響於消光現象。如消光現象變更，是證光學對稱面未達於南北直立方向也，於是轉 (N—S) 少許，使之右傾，則消光現象變更，再轉 (I—V) 向鐘針方向或向反鐘針方向以恢復其消光位。切片經此轉動，如光學對稱面適達於南北直立位置，則對於 (E—W) 軸之轉動，必不能變更其消光位。如光學對稱面雖未達南北直立之位置，但極近於此，則當 (E—W) 軸前後轉動時所見之干涉色必較切片未傾側時之色序為低，常見有淡灰色。於是 (N—S) 軸仍照前次傾側之方向轉動少許，再以 (I—V) 軸之轉動恢復消光位，則此光學對稱面必更近於南北直立位置，而 (E—W) 軸轉動時所見之干涉色序較前次愈低，(N—S) 與 (I—V) 依照前次之方向再繼續轉動，則光學對稱面徐徐可達於南北直立位置，對於 (E—W) 軸之轉動，則不變其消光現象矣。當切片第一次傾側於右方而又以 (I—V) 之轉動恢復消光位後，如 (E—W) 軸轉動時所見之干涉色較高於切片未傾側時對於 (E—W) 軸之轉動所生之干涉色，是證光學對稱面必距南北直立位置愈遠，可見此時 (N—S) 軸轉動之方向 (即右方) 愈使所希望之目的不能達到。於是 (N—S) 轉向左方，使切片之左半部向下傾側少許，再以 (I—V) 之轉動恢復其消光位，光學對稱面必較近於南北直立位置，是可由 (E—W) 軸之轉動驗知之。以後 (N—S) 與 (I—V) 之轉動即循前次之方向漸漸進行，光學對稱面可徐徐達於南北直立位置矣。當光學對稱面漸近於南北直立位置之際，(N—S) 軸所轉之角必須以次減小，否則光學對稱面一經越過希望之位置，則前功盡棄，初學者宜謹記之。至於光學對稱面是否達於真正南北直立，可當 (E—W) 軸轉動時插入石膏試片以驗之。(N—S) 傾側之角 (指真角言) 與 (I—V) 所轉之角皆錄

出，可以求出切片傾側之方向及角度之大小；換言之，所測各角乃第一光學對稱面對於切片傾斜之關係也。

第一光學對稱面雖已測定，但究為 XY , YZ , 或 XZ , 亦必定出。可放鬆顯微鏡載物台，轉 45° 後鎖緊之，此時必見有最強亮之干涉色。第一光學對稱面如是光軸面 XZ , 則 $(E-W)$ 軸平行於 Y , 此軸轉動時必可見有光軸兩個或一個，蓋光軸轉至直立時干涉色變為黑暗也。第一光學對稱面如不為光軸面，則為 YZ 或 XY 無疑。如為 YZ , 則 $(E-W)$ 軸平行於 X , 乃折光率最小 (α) 之方向，即是最速之光線方向也；如為 XY , 則 $(E-W)$ 軸平行於 Z , 乃折光率最大 (γ) 之方向，即是最遲之光線方向也。插入試片可以驗其遲速。第一光學對稱面既定，然後恢復顯微鏡載物台之原位，放平 $(N-S)$ 軸，繼續第二光學對稱面之測驗。

第二光學對稱面之測驗。放平 $(N-S)$ 軸後，轉 $(I-V)$ 軸約 90° 或左或右，達於另一消光位置。依照測定第一光學對稱面之法測定之， $(N-S)$ 軸與 $(I-V)$ 軸之轉角再記錄之，此表第二光學對稱面與切片之關係也。有以上兩個光學對稱面，其第三光學對稱面則不須再測，已可確定，如為覆驗正確之程度，亦當測出，因第三光學對稱面必包含第一與第二兩面之垂線也。

由量得之角度可用弧三角法計算之，(4) 但公式繁複不便於用，常用繪圖法代替之。先繪一圓，畫出 NS 與 EW 兩線，圖面代表切片水平位置，如第一光學對稱面在南北直立位置時，切片 $(N-S)$ 係向右方傾側 20° 者，則切片在水平位置時，此面必向左傾側 20° ，繪一大圓 NAS , 使之距 NS 線向左之弧距為 20° , 如圖四。

(4) Winchell, AN. Elements of optical mineralogy. I, P. 214.
(fourth edition)

其垂線出露之處在 E W 線上距 A 點 90° ，如已知為最速光線，此點即代表 X 出露之處。第二光學對稱面在南北直立位置時，切片 (N—S) 係向左傾側 40° 者，而 (I—V) 設又已向反鐘針方向轉過 70° ，則切片在水平位置時，此面必向右傾側 40° ，且與第一面之投影相交為 70° ，如以第一面之位置為標

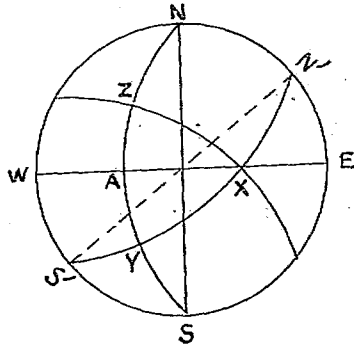


圖 四

準，則第二面 $N'XS'$ 必位於第一面之右， $NN' = 70^\circ$ 向鐘針方向，其垂線必包含於第一面內，如為最遲光線即是 Z 點。第一第二兩大圓之交點為 Y，可見第三面即經過 X Z 兩點之大圓也。X, Y, Z, 彼此之弧距各為 90° 。為節省時間計，特製一經緯圖，作為分度器，名曰赤平極射投影經緯圖 (Stereographic projection net)。凡講旋轉台用法之書內常附有此圖一幅，半徑為 10 cm。

光學對稱軸與切片之關係既定，於是定結晶軸或某結晶面與切片之關係，亦將結果繪於圖內，光性方位可以一目瞭然。前已言劈面常代表一晶面之方向，兩個劈面相交之線，常代表一晶軸方向。例如長石所具之劈面有兩種較清晰，一為 (001)，一為 (010)，二劈面相交之線即結晶軸 a 也。測驗劈面，較為易行，轉 (I—V) 使劈紋平於南北十字線，轉動 (N—S)，可使劈面直立，則所見劈紋最狹而清晰，若在正交偏光鏡間，顯出狹而清晰之黑紋。由 (N—S) 與 (I—V) 之轉角，將代表此劈面之大圓繪入圖內，仍以第一光學對稱面之位置為標準。其他方向之劈面，亦一

一測出，繪入圖內，利用經緯分度圖以量度各軸之關係，可定光性方位。在同一礦物系內之各礦，自然隨成分之變化光性方位亦各有不同，欲比較光性方位上之變化，常使光性方位上之投影面平行於其一定之晶面或某一定之光學對稱面，故繪成之光性方位圖有時需要轉變投影面，使圖上各點亦隨之轉變同等之角度。例如圖五為斜長石之光性方位投影於(010)面上之變化。迨至今

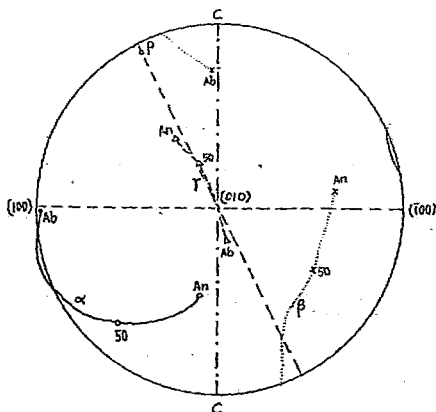


圖 五

日，光性方位，對於化學成分之變化之情形，研究最完全者却只有斜長石一系礦物，其他二軸晶各礦物系，尚多不明瞭或尚未完全明瞭，此乃新礦物學之目的也。用舊式旋轉台不能直接測定光學對稱軸

，必須佐以上述繪圖方法，由大圓之交點始能求得，因此，手續甚為繁複，久經歷練者測驗一片長石亦須二小時。故此器創出後，曾經甚長久之時期被學者棄置不用，即因其太費時間耳。

去歲春季，作者曾用地質調查所之舊式旋轉台試出一新法，刊登於美國礦物學會會誌，(5) 至此久已認為 X, Y, Z 不能用舊式

- (5) Ho, T. L. A Rapid method for the determination of Plagioclase by the Fedorow universal stage. American mineralogist, Vol. 20, No. 11, 1935.

旋轉台直接測定者，今已可行。並可免去繪圖之煩。略述此法於下。第一光學對稱面轉至南北直立位置後，其餘二面，一則傾向於南，一則傾向於北，其與第一面相交之線為其餘之二光學對稱軸，傾斜之角度互有大小。新法之目的係將南北傾斜之二光學對稱軸中之一軸（傾斜度較小者）納入於顯微鏡中軸，與之互相吻合，換言之，即使其中之一軸達於直立位置，同時其他二軸皆在水平位置，一則平行南北，一則平行東西。當第一面達於南北直立時，繼續轉動（I—V）軸數度或左或右，消光現象立時變更，因第一光學對稱面已出南北直立位置而變為傾斜矣，轉（O—V）以恢復消光位，但（E—W）軸轉動時，仍能變更其消光現象，是因第一面尚在傾斜。於是（N—S）軸按前次之方向再傾轉少許又以（O—V）之轉動，恢復其消光現象，如第一面又達於南北直立，則對於（E—W）軸之轉動不變更消光位，如有變更，則（N—S）與（O—V）二軸各繼續前次之轉動方向交互行之，徐徐可使第一面達於南北直立。如此時有一光學對稱軸合於顯微鏡中軸，則（O—V）再續轉 90° 後（或左或右），必另有一個光學對稱面入於南北直立位置，而對於（E—W）軸之轉動，仍能維持消光現象。如（E—W）軸轉動，仍可變其消光現象，是證尚未有成直立之光學對稱軸也，乃恢復（O—V）前次之位置，繼續轉（I—V）數度，以（O—V）與（N—S）之轉動，再使第一面達於南北直立。如此時有一光學對稱軸成直立，則（O—V）再續轉 90° 後（或左或右），（E—W）軸轉動時，必不變其消光位矣。否則恢復（O—V）前次之位置，依照上次各軸之轉法繼續行之，可有一個光學對稱軸徐徐達於直立位置，同時其他二軸，一則平行南北，一則平行東西。

最初 (I—V) 轉動向左或向右，雖皆能達於所希望之目的，但二光學對稱軸南北傾斜之角度既常互不相等，則近於直立之一光學對稱軸自易於使之直立，其遠於直立位置之一軸，非有較大之轉動不能達到，但最大之仰角在旋轉台用法上所宜忌避者也。然則 (I—V) 轉動究應向左或應向右，須在事前有所決定。第一應判斷某軸較近於直立位置，第二再定 (I—V) 轉動之方向。第一先轉載物台 45° 鎖緊之，轉動 (E—W)，必見干涉色變更，如第一光學對稱面為 XY，則轉動 (E—W) 既至 X 直立時，所見之干涉色最低，既至 Y 直立時，所見之干涉色最高，因重屈折率 $(r-\beta) < (r-\alpha)$ 。由 (E—W) 前後之轉角可知何者較近於直立位置。但干涉色之比較，甚不易準確，如用貝瑞克補色器 (Berek compensator) 測驗之，則大有補助，但仍是不甚精確，不過可知其傾斜角之近似值耳。如第一光學對稱面為 XZ，(E—W) 軸轉動時，常見有二個光軸，平分光軸角，即為一個光學對稱軸出露之處，距此 90° 為另一軸出露之處。倘只有一個光軸可見，則干涉色達於最高時，必有一個光學對稱軸直立，因重屈折率變化於 0 至 $(r-\beta)$ 或 $(\beta-\alpha)$ 之間也。今設較近直立之一軸 (X) 已知其傾斜向南大約 30° ，第二判斷則視切片已經傾測之方向而定。如切片已經向左傾側 20° ，(I—V) 軸必向反鐘針方向轉動，方能使此軸漸達於直立。學者試繪一圓，以南北線代表第一光學對稱面，繪一大圓徑線距南北線為 $E20^\circ$ ，代表切片之投影，以 P 表其垂線出露之處，亦即 (I—V) 軸出露之處，可見 (I—V) 非向反鐘針方向轉動不能使 X 漸近直立也。且由此圖亦可察出 (I—V) 應轉之角大約為若干，繪 PX 直線至圓周 Q 點，EPQ 約為 (I—V) 應轉之角。(理論上 PQ 線應經過代表切片之大圓與 PX 大圓弧之交點，不應

經過X點)。

用此新法測得之角有(I-V), (N-S), 與 (O-V) 三種, 在測驗終止之時, 三個光學對稱軸已成標準位置, 南北, 東西, 與直立。切片傾斜之角由(I-V), (N-S), 與(O-V)三軸上之記錄(假角)可以算得。繪成之投影圖, 圖面自然代表一個光學對稱面, 南北, 東西, 與中心點則代表三個光學對稱軸, 而切片傾斜之方向及角度則以一P點表其垂線, P點即由以上量得之各角求之。為避免計算之煩常用繪圖法。例如中心為X, 南北為Z, 東西為Y, (O-V)已向右轉30°, (N-S)向左轉25°(假角), 繪為投影圖如圖六, P'為假角, 設改正後(N-S)之真角為26°再繪一P點, 表其正確位置, 當標準位置時切片上難免有劈紋可見, 但劈面未必直立, 常傾斜。轉動(E-W)使之直立設在AB方向, 如圖六, 轉載物台量AB與EW所成之角, 即

知劈面之垂線(如OQ), 倘(E-W)係向南轉40°而使劈面直立者, 則當(E-W)恢復零位時, Q點則移至R', QR'小圓弧之弧鉅等40°。R'乃表示此劈面之垂線出露於YZ投影面之位置也。但QR'係屬假角, 尚未經過改正者。在改正此角之前, 學者須知當(E-W)向南轉40°時, 切片之垂直線

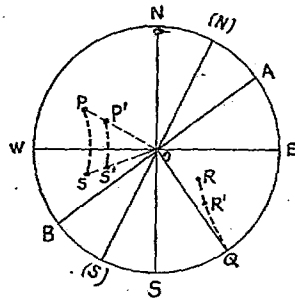


圖 六

由P'移至S'(P'S'=40°), (E-W)軸雖僅轉動40°, 但切片傾斜之角為OS'(假角), 故應先行改正OS'為真角OS, 於是PS小圓弧之弧鉅方為QR'之真角。OS', OS, PS皆用經緯分度圖量度得之。R'

應移至 R，始為其真實位置，(PS=QR)。光性方位至此始能確定。

新式旋轉台之構造 R. C. Emmons 發表於1929年，遠在作者新法之前。當時氏鑒於舊式旋轉台決不能直接測出 X, Y, Z 三軸之方向(見其原著引論中)，故在(N—S)與(I—V)之間又加一 I (E—W) 軸，便利多多矣。新式旋轉台測驗光學對稱面時，先將第一面達於東西直立之位置，其手續與舊式者測驗第一面相同，不過用 I (E—W) 軸轉動切片或前或後，而以(N—S)軸之轉動驗其是否入於東西直立之位置。既至第一面成東西直立，則其餘二光學對稱面，一則傾向於東，一則傾向於西，其走向皆平行於南北。故(N—S)轉向左或轉向右，必可使其一光學對稱面達於南北直立，此時(E—W)軸轉動亦不能影響於消光現象。欲使其一面成南北直立之位置，最捷之法，則先使(E—W)軸轉一相當角度(30°—40°)消光位立時變更，而現有干涉色，因第一面已成傾斜也。然後轉(N—S)軸以恢復消光現象，是證必有一面已達於南北直立矣。當(E—W)恢復 0° 時，則三個光學對稱軸已成標準位置，即平行於南北，東西，與直立矣。可見增加此一軸，時間可以節省數倍。切片傾側之方向與角度可由 I (E—W) 與(N—S)二軸之轉角(真角)求得。Emmons (6) 改正方法如圖七所示。oa' 為 I (E—W) 向南之轉角，a' b' 小圓弧為(N—S) 向右轉之角，b' 為切片垂線出露之處，經改正後移至 b 點。切片上如有劈面須測定其方向與傾斜角度，氏所用之方法係轉(O—V)軸，使劈

(6) Emmons, R. C. Plagioclase determination by the modified universal stage. American mineralogist. Vol. 19, No. 6, 1934.

紋平行於東西線，然後轉 (E—W) 使之直立；(O—V) 與 (E—W) 必須同時相互轉動，始能成功。如 (O—V) 係向右轉 70° ，(E—W) 向北轉 40° ，劈面始成直立者，則當 (E—W) 與 (O—V) 恢復原位時，此劈面之垂線亦將由 Q 變至 R' 再轉至 R。但 Q

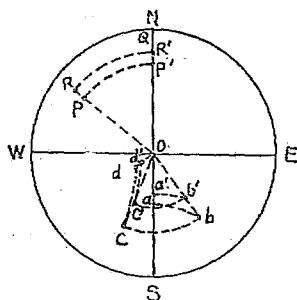


圖 七

R' 為假角，必須改正。當 (O—V) 向右轉 70° 時，b' 轉至 c'，(E—W) 向北轉 40° 時，切片垂線由 c' 轉至 d'，改正 od' 至 od ，改正 oc' 至 oc ，QR' 之真角 (QP') 等於 cd 小圓弧之弧距。則 P 為劈面垂線之真實位置。光性方位即此而定。學者測驗劈面時，最好用作者所擬方法，以載物台與 (E—W) 之轉動測量較為省事。校正仰角之煩，於此可見一般，然而精確之工作乃必不可缺之手續也。

四 雙生晶之研究

礦物雙晶之生成，乃結晶構造上之變化，與分子間引力有關係，此處專論雙晶之形態與結晶軸之關係，而不究其生成之原因。雙晶乃晶體之一部分以一定之方向為轉軸而旋轉 180° ，復合併於原晶體上之形狀也。扭轉之軸曰扭轉軸，垂直此軸之平面曰扭轉面，其與晶體接合之面曰組合面。凡組合面與扭轉面平行之雙晶稱為正雙晶類，組合面與扭轉面垂直相交者，稱為平行雙晶類或混合雙晶類。等軸系與一軸晶系礦物雙晶甚簡單，多屬正雙晶類，惟二軸晶礦物——尤以三斜系——雙晶較為複雜。上述雙晶之分類，乃長石系內各礦所常見者也。其他礦物系尚未發見有

如此繁複之雙晶，故就長石雙晶論。晶體之一部既扭轉 180° ，其光性方位與未扭轉之部分亦必有 180° 扭轉之差。今離開晶體，設想 X, Y, Z 為三座標，互成 90° 相交，此代表晶體未扭轉時之光學對稱軸，通過原點 O 作任一直線 OT，代表扭轉軸，通過 OT，與 OX, OY, OZ 各作一平面，使座標繞此軸轉動 180° 後變為 X', Y', Z' 方向，代表晶體扭轉部份之光學對稱軸，OX' 必包含於 TOX 平面內，OY' 必包含於 TOY 平面內，OZ' 必包含於 TOZ 平面內，在投影圖上 X, Y, Z 與 X', Y', Z' 既皆投影於切片平面上，而 X', Y', Z' 之方位角又皆以未扭轉之部分為標準，故 X X', Y Y', 與 Z Z' 三大圓必相交於 T 點，如圖八，扭轉軸之位置即定。組合

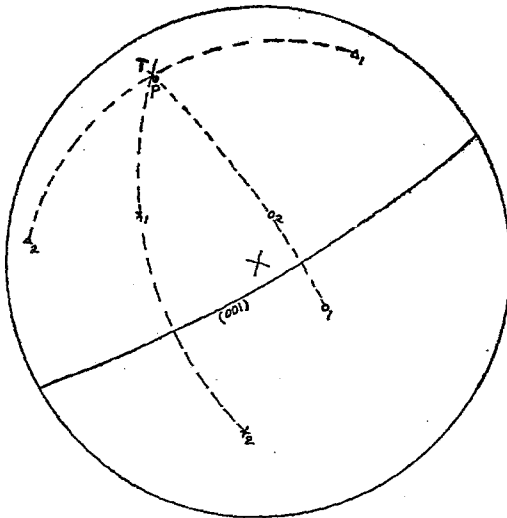


圖 八

面為兩部份所共同，其垂線 P 如與 T 點相合，則為正雙晶類，如圖八，如與 T 點相距 90° (亦即 T 點在劈面大圓之上)，則屬平

行雙晶類或混合雙晶類，如圖九。已知組合面平行於某晶面，則

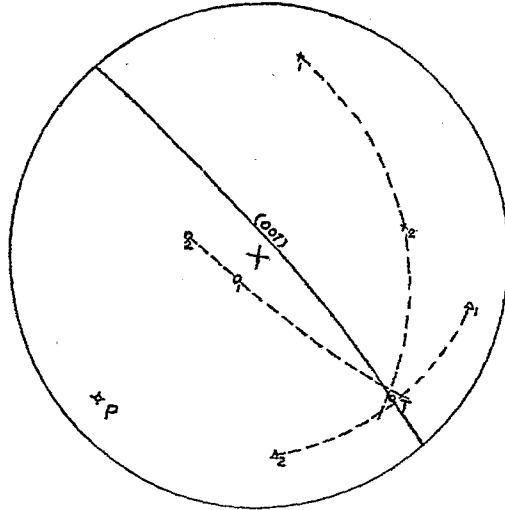


圖 九

雙晶之名稱可定。長石雙晶已知者有十三種，列為下表。

雙晶種類	扭轉軸	組合面	名 稱
正 雙 晶	⊥ 010	010	Albite.
	⊥ 001	001	Manebach.
	⊥ 021	021	Baveno.
平行雙晶	c	010	Carlsbad A.
	c	100	Carlsbad B.
	a	001	Ala A.
	a	010	Ala B.
	b	001	Acline. A.
b	001 ±	Pericline.	
混合雙晶	⊥ cin 010	010	Albite—Carlsbad A.
	⊥ ain 010	-010	Albite—Ala B.
	⊥ ain 001	001	Manebach—Ala A.
	⊥ bin 001	001	Manebach—Acline A.

用作者所擬新法測定之光性方位，其投影面為一個光學對稱面。在投影圖上雙晶之兩部分各光學對稱軸相合時，前後兩次切片傾側之方向與角度必不相同，換言之，代表切片垂線之點必不能相合，如圖十 P_1 與 P_2 ，而(O—V)軸前後兩次位置亦必不同，

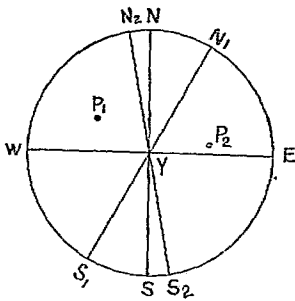


圖 十

一為 N_1S_1 ，一為 N_2S_2 ，(I—V) 兩次之位置亦必不同。比較兩部光性方位之關係，最好使投影面平行於切片，且以測驗第一部分時之切片位置為標準。是以投影面應先轉變為平行於切面，再轉 P_1 與 P_2 至中心。平轉 N_2S_2 與 N_1S_1 使之相合，如測驗第二部時 (I—V) 軸已向右轉 θ 角，則

平轉第二部之投影面 θ 角向左以合於標準位置。當各投影面轉變時，其光學對稱軸與組合面之極點等等皆須隨之轉變一個相等之角度，於是兩次所測組合面之位置至此已合而為一，與八九兩圖相似。按八九兩圖求扭轉軸法定雙晶之種類。既以第一部分之投影圖為比較標準，則事實上只轉變第二部分投影圖至標準位置後，再以 N_1S_1 為軸轉使 P_2 合於 P_1 已可定扭轉軸與組合面之關係，故第一部分投影圖常省略不必轉變。

用新式旋轉台測定光性方位圖，圖面亦平行於一個光學對稱面，但 (O—V) 軸之位置在測驗雙晶之兩部分時並不變更。只 (I—V) 略有不同，故第二部分之投影面以 EW 與 NS 為軸線轉至與切片平行(即 P_2 至中心)時，再平轉之至於標準位置，(I—V) 如已向右轉 θ 角，則平轉投影面 θ 角向左。然後再以 EW 與 NS 為

軸線使 P_2 合於 P_1 。所有第二投影面上各點皆依次轉變位置，將第二部分之光性方位投影於第一光性方位投影圖內，二者之關係亦按八，九兩圖法則定之。

五 光軸角之量度

當光軸面成南北直立位置後，載物台轉 45° 鎖緊之，則轉動(E—W)軸往往可見有兩個光軸出露，前後之轉角(假角)再以 $\beta \sin v = m \sin H$ 公式改正為真角。若光軸角太大，或只有一個光軸可以察看時，不能以上述方法直接量度，況旋轉台水平各軸轉角之最大限度雖為 90° ，事實上甚大之轉角，常使觀察上發生極大困難，故仰角愈小結果愈精確。間接測量之法有多種，以貝瑞克(6) (Berek)之消光位法應用之範圍較廣，其後又經 T.A. Dodge (7) 之增補，更臻完善。其測算法，如下：光學對稱軸已經測定後，然後依照投影圖上之位置，旋轉切片使其各光學對稱軸達於標準位置(彼此平行於南北，東西，直立)，如用作者新法或新式儀器則直接可測出標準位置，已如前所述。轉(O—V)向反鐘針方向 45° ，直立兩光學對稱面與偏光面互成 45° 。然後轉(E—W)軸向南 54.7° ，於是X, Y, Z 三軸對於顯微鏡中軸(即投影圖之中心)成相等之傾斜，如圖十一。此為貝瑞克測算光軸角之標準位置。消光角量度時永以其反鐘針方向之消光位為標準，換言之，即使載物台向鐘針方向轉動以量度其消光角也。此法乃由 Biot-Fresnel 定律(參看第三節)推算而得。其算理之推演，視光軸面所居之位置

- (6) Berek, M. Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. 1924
- (7) Dodge, T.A. The determination of optic angle with the universal stage. America mineralogist. Vol. 19. No 2. 1934

而有區別。例如第十一圖，光軸面原為水平，銳角等分線 (Bx a) 在 NW 方向。設 A 與 B 為二光軸， $AB=2V$ ； $\bar{\varphi}$ 為 (O—V) 所轉之角；P Y 為 (E—W) 之轉角 (真角)，以 x 表之；PE 平分 A P B 角為其一消光位 (反鐘針方向之消光位)，以 θ 表之。

$$\theta = APE + K.$$

$$\theta = K' - EPB$$

$$\text{故 } \theta = \frac{K+K'}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{弧三角 APD; } \sin(90^\circ - x) = \tan(\bar{\varphi} - V) \cot K$$

$$\text{故 } \tan K = \frac{\tan(\bar{\varphi} - v)}{\cos x} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{弧三角 BPD: } \tan K' = \frac{\tan(\bar{\varphi} + v)}{\cos x} \dots\dots\dots(3)$$

假設銳角等分線在 NE 方向，則 θ 在 NS 線之右方，故其反鐘針之消光角為 $(90 - \theta)$ 。又例如第十二圖，光軸面原為西北直立

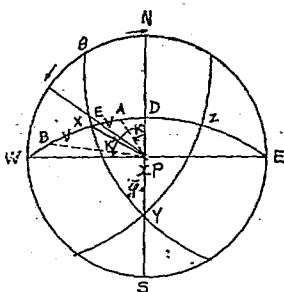


圖 十一

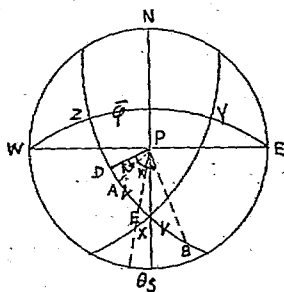


圖 十二

者。設 EPX 為其一消光位，以 θ 表之。在此條件下算式之推演甚為煩雜，其結果為

$$\text{Sec } v = \sqrt{\sin^2 \bar{\varphi} + \frac{\cos 2\bar{\varphi}}{\sin^2 x} - \frac{\cos x}{\sin^2 x} \sin 2\theta \cot 2\theta} \dots\dots\dots(4)$$

按貝瑞克法 $\gamma = \varphi = 45^\circ$, $\alpha = 54.7^\circ$, 則(1), (2), (3), (4)各式光軸角自 0° 至 90° 間之消光角可以逐一求出, 繪成第十三圖。圖內虛線係依照Dodge方法增添者, 用以測量光軸角較小之礦物。圖上 α 各角皆指真角而言, 故(E—W)應轉之角(假角), 須先知切片傾斜之角度與方向及礦物與玻璃半球之折光率。改正法已詳於前節, 學者可以類推。此法之差誤率, 最大為 2° 。

六 測驗折光率

折光率為礦物之重要性質, 一種礦物有其一定之折光率。礦物之化學成分若有變更, 其折光率亦隨之改變。故由折光率之變化, 常可測知礦物成分上變更之趨向。均質體礦物只有一個折光率, 一軸晶有兩個, 二軸晶有三個。在普通顯微鏡下測驗非均質礦物之折光率時, 完全由統計上而得。例如一軸晶之折光率分為 ω 與 ϵ , ω 乃垂直C軸方向之折光率, ϵ 乃平行C軸方向之折光率; 礦物碎屑浸入油內, 任何一塊皆包含垂直C軸之方向。如礦物為正光性, 則速光位垂直於C軸, 所測之折光率為 ω , 但不平行C軸之礦物碎塊, 必不能多得, 尤以不俱柱面劈紋之礦物為尤難得, 用普顯微鏡尋覓平行C軸之碎片, 惟一方法即用迅變干涉圈(flash frigure)為標準, 作過礦物光性實習者無不知此種干涉圈之難於辨識, 故定 ϵ 時, 皆就所見之礦物碎塊, 逐一測定其兩個方向之折光率, 其一為 ω , 數值永不變更, 其一數值則各有不同, 在數十或數百個測驗內, 取其最大之值(如礦物為正光性)或最小之值(如礦物為負光性)作為 ϵ 。至於二軸晶之折光率, 測驗手續自然更覺困難, 而所得結果, 誤謬之處必更多。其主要原因為C軸(一軸晶)或光性方位(二軸晶)之不能確定。今有旋轉台可以使切片或礦物碎塊任意轉動於顯微鏡下, 一轉晶之C軸或

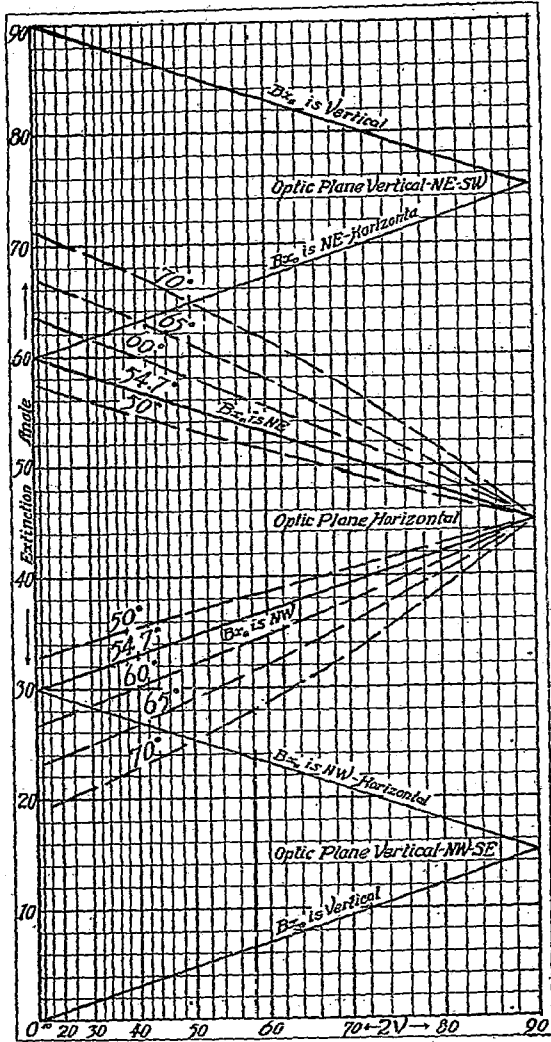


圖 十 三

二軸晶之 X, Y, Z, 在數分鐘內可以測定無誤, 折光率準確之程度自然增高。

旋轉台備有一個溫度盒(Bausch and Lomb)或電熱台(Leditz), 用以變更浸油之溫度, 使油之折光率隨溫度增高而減小。蓋一軸晶之 C 軸或二軸晶之 X, Y, Z, 一經測定, 祇變更溫度一項, 即足定某方向之折光率, 不需頻頻掉換油液矣。溫度盒由一金屬環頂底鑲以甚薄之玻璃片作成, 盒之直徑在 2 cm 左右, 高與普通岩石玻璃片之厚度等, 盒壁有二管, 連通橡皮管以備熱水之循環, 管旁有溫度表, 以測驗盒內之溫度。此盒置旋轉台之玻璃台上, 以甘油或其他油液膠著之。盒之頂上, 散布三五粒礦物碎塊或薄片, 以適當之油浸潤之, 上加一蓋玻璃片(cover glass), 以防礦物擦損上半玻璃球; 為防止礦物損及溫度盒頂上之玻璃, 亦常用一蓋玻璃片置於盒上, 使礦物碎屑不與溫度盒接觸。加上上半玻璃球, 不可過於壓緊。至於溫度盒, 玻璃台, 蓋玻璃片, 與玻璃球體間最好用同一之浸油代替甘油, 以免旋轉台傾側時彼此攪混, 失去浸油之標準。

所測之礦物如為一軸晶正光性, 則轉 (I—V) 使速光位平行於南北線, C 軸則位於東西直立面內, 如 C 軸平行於 (E—W) 軸, 則對於 (E—W) 軸之轉動, 必不影響於消光現象, 否則轉 (N—S) 或左或右, 迨 C 軸平行於 (E—W) 為止。此時變更油之溫度, 及至貝克氏線 (Beck line) 不見時, 則油與礦物之折光率相等, 換言之, 油在此溫度時之折光率即為礦物之折光率。下偏光鏡之偏光面如為南北方向, 則折光率為 ω 之值, 轉 (O—V) 90° 後, 所測之折光率為 ϵ 之值。

所測之礦物如為二軸晶, 則按第三節內所述 X, Y, Z 測驗之

方法測定之。南北方向如為 X ，則折光率為 α ，轉 $(O-V)90^\circ$ 後，南北方向如為 Y ，則折光率為 β ，其直立之 Z 可用 $(E-W)$ 或 $(N-S)$ 之轉動使之平行於南北線或東西線，以測其折光率 γ 。但有時 $(E-W)$ 或 $(N-S)$ 經過甚大之傾側，往往觀察十分困難，甚至於不能觀察，於是 $(E-W)$ 轉以適當之角度，由測定之折光率與 Z 傾斜之角度可以算得 γ 之值。Emmons (7) 曾製成一圖表，可省計算之煩。旋轉台應用於折光率之測量上，即利用其能够各方旋轉，以減少測驗上之誤差。其他關於折光率之測驗者，雖出乎旋轉台自身之外，但亦有擇要敘述之必要，以備初學者作為參考。

無論一軸晶或二軸晶礦物在用旋轉台測驗之前，須先將其折光率之近似值測出，所用之浸油在溫度變化於 50°C 以內時之折光率須能包含礦物折光率之近似值為合適。浸油之折光率對於溫度之變化率愈大愈佳。精確之測驗應用單色光。油液之分光性較大於固體，若溫度保持一定，祇變更光波之長短，亦有得到貝克氏線消滅之可能，故油液之分光性亦愈大愈佳。二者連用，無非為擴大其折光率數值包括之範圍，雖遇重屈折率甚大之礦物，在旋轉台上一次亦可測量完備，否則視 α, β, γ 或 ω, ϵ 之值每次掉換浸油一次，每次測定光性方位一次，不但浪費時間甚為浩大，亦難免因操作手術上發生不可覺察之誤差。變更溫度可用熱水，亦可用電力；變更光波之長短，可用分光器(monochromator)。此法首由Emmons 試用於旋轉台上，稱為雙變法(double variation method)。

浸油與礦物之折光率相同時（即貝克氏線消滅之際）浸油折

(7) Emmons. R. C. Am. min. 1929 見前

光率之測量法有二。一為直接測定，一為間接測定。直接測法係用愛貝折光率測驗儀(Abbe's refractometer)一具，連於溫度盒之橡皮管上，使熱水經過測驗儀至溫度盒，兩者之溫度常相同，則當貝克氏線消滅時，用相同之光照射於測驗儀上，讀出其折光率。間接測法為所用之油的分光性與折光率對於溫度之變化率預先測出，則由貝克氏線消滅之際的溫度與波長，可以查知其折光率。

愛貝折光率測驗儀最高限度為 1.7000，高於此值之油液即不能測量，故用直接測量法只限低於此值之礦物。1933 日人 T. Sueno (8) 創出一法，用兩種標準玻璃粉與礦物碎屑相混，浸入油內，由標準玻璃之折光率及分光性定出浸油之分光性間接定出礦物之分光性。以均質體礦物作例，略述其測法如下。礦物折光率之近似值先行測定，然後用兩種玻璃粉 A, B, 各數粒相混，一高於礦物，一低於礦物。設溫度在 30°C 時，對於 550 $\mu\mu$ 之折光率為 a, 對於 490 $\mu\mu$ 之折光率為 b, 如圖十四；a b 為表示浸油之分光性，在此溫度用 F

光線時礦物與油間之貝克氏線可以消滅，於是 N_F 點為其折光率；溫度降至 20°C 時，A 之折光率為 c, B 之折光率為 d, 又得浸油之分光性 c, d, 在此溫度用 R 光線

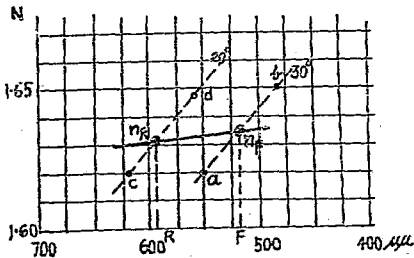


圖 十 四

(8) Sueno T. The use of the standard glass powder in the determination of refractive index. Am. min. 10 1933

則礦物與油相同，求得之折光率爲 N_R 。 N_R N_F 線即表礦物之分光性。Sueno 作出廿餘種標準玻璃粉，最高可測至 1.820。此法雖甚準確，但標準玻璃之製造，手續繁重，非有相當之設備不成。

利用旋轉台之半玻璃球之臨界角可以測量浸油之折光率，數年前德國 Leitz 公司曾經製造。即用最高折光率之玻璃球體，當 (E—W) 轉至臨界角時，光線即不能透過，顯微鏡現黑暗，由 (E—W) 之轉角計算油之折光率，於是浸油內之礦物亦可定出。其理與愛貝儀器相同，但所測之折光率不能甚精，因 (E—W) 軸之轉角不能測至極微也。

七 岩組學之研究

岩組學原名爲 Gefügekunde der Gesteine，英文譯名爲 Petrofabrics，乃研究岩石之顯微鏡下的組織構造，以探討其造成此結構時之物理環境，並推求其與大的地質構造，造山運動等等之關係。岩漿冷凝之前無論發生流動與否，必影響其已經結晶或行將結晶之礦物之排列與發育；至於已經凝固之岩石又因壓力或動力之影響，常使礦物組織重行排列，或爲適應此壓力環境而重行結晶，其結果則皆可給予岩石以清晰之層理構造；他如再造岩之成於風力與水力者，又因視搬運力之動向，所成之岩石結構亦互有不同，例如河流停積者，因水流動向爲切線方向，礦物多水平排列，湖沼之水靜止不動，其沉澱皆自上而下，動向爲直立者，礦物排列則多直立的。以上各種構造皆由具有方向性之礦物（如板狀，鱗片狀，柱狀礦物）顯示者，但粒狀礦物外貌雖無方向性質可見，若就晶體構造上言，亦隨造岩時之環境有其一定之排列形狀。測量礦物之排列，常以晶體之某一結晶軸或某晶面之垂

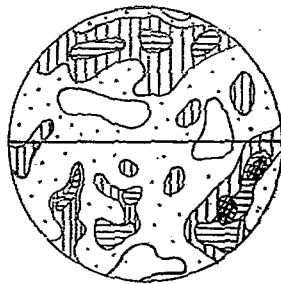
線方向為標準，遇粒狀礦物，則以其光性之某一方為標準。由多數測驗之結果以定此礦物在岩石內排列之方向與優劣程度。故為研究岩組學之岩石標本，當採集時必註明其在岩層上之位置與存在之方向(東西南北上下)，岩石薄片則須依一定之方向切製，以便比較岩石之組織與地質上之關係。岩片之方向在旋轉台上確定後，每一視域內之礦物測驗完備，則平行推移岩片或前或後，或左或右，務須保持其原來之方向，繼續測量。Leitz公司近出售一種滑動台(guiding-sledge)裝於上半玻璃球下，用以平行推動岩片。測驗之礦物如為鱗片狀，則常以其劈面之垂線方向表之，如為柱狀，則以柱稜之方向表之，如為一軸晶之粒狀礦物，則常以其光軸方向表之。所測之角度，則以極點表示於投影圖內，由極點在圖內分佈之疏密，可定此礦物在岩石內排列之方向與程度之優劣，宛然如岩石標本置在球體之中心所顯示之某礦排列之投影圖也。定極點在投影圖內分佈之疏密，常以圖面百分之一面積內所包含之極點數為比較標準，如投影圖之半徑為10 cm，則以 $10\sqrt{\pi}$ cm 為邊繪一方，分為百份，以此圖數計各方格內之極點，凡極點數相同之部份，以曲線圈括之，於是可得一類似等高線之圖形，極點密度以百分率示之，密度最大之部份稱曰最密部(Maximum)，由最密部之位置可察知岩石結構與地質上之關係。量度極點分佈之疏密既用等邊之小方格為規尺，則投影圖面上各部份所代表之面積必皆相等始能準確，否則球面上之一小面積，其投影於中央部份與投影於邊部之面積不同。普用之經緯分度圖中央面積較邊部面積為小，換言之，極點在球面上雖分佈均勻，其投影於赤道平面者，近中心部密度較大，遠中心部密度較小，為免此弊，常用等面積經緯分度圖(equal-area equatorial projec-

tion), 此圖上各種分度線與中心之距為 $R (= 2a \sin \frac{\theta}{2})$, a 為球體之半徑, θ 為分度, 故投影圖之半徑為 $20 \sin 45^\circ \text{ cm}$, 設若球體之半徑為 10 cm。因造岩之原因不同, 排列之形式亦互有區別。茲將 Sander 所分之三大類形式略述如下,

A 自然生長形式 (growth orientation), 礦物晶體發育時不受任何外力, 自由生長所成之結構。例如斑晶之在靜止之岩漿內, 石英與長石之共結構造 (Eutectic structure)、長石之虫蛆又生構造 (myrmeketic intergrowth), 岩脈內之櫛狀構造 (comb structure), 孔隙內之簇狀構造 (Drusy structure), 以及岩石內之結核構造 (concretion) 等, 晶體雖自由發育, 但因生長之地位不同, 亦可影響其排列之形式。斑晶生長於岩漿內, 有如塵埃之浮游於空中, 不受任何拘束, 晶體雖具有延展性, 而排列則甚形紊亂, 圖十五(9) 乃表示中性長石在一斑岩內之排列形式, 甚密部散佈於圖之各處, 是其特徵。附着於一個平面生長之礦物, 彼此常有規則, 圖十六(10) 乃表示羽狀石英著生於黃鐵礦晶面之上,



圖十五
Andesine (101)
in diorite



圖十六
193 Quartz
> 4-3-2-1-0%

- (9) Knopf, E. B. Petrotectonics American journal of science. 1913
(10) Pabst A. Pressure shadows and the measurement of the orientation of minerals in rocks Am. min. 1931

等高線表其光軸分佈之情形，最密部分佈於黃鐵礦晶面之兩側。

B 沉積形式 (Depositional orientation) 在造岩時期礦物碎粒受遷運力之影響所成之某種排列形式曰沉積形式。在靜止不動之液體內，如潮沼，岩蓋等，細粒之沉積完全由於重力關係，其遷運力之動向為重力方向，具延展性之礦物細粒多直立排列；在流動之液體內，如河，洋流，岩流，岩層以及風力等，其遷運力之動向，對於地球表面常為切線的，礦物或岩石碎塊之排列與遷運力及重力二力之合力方向平行，故就礦物碎粒排列之方向與重力方向所成之角度，又可推求其遷運力之大小及方向，以及岩層之地質變更。圖十七(11) 表示玄武岩內鈉鈣長石 (Labradorite) 之 (010) 垂線之分佈，長石多為板狀，平行於 (010) 且向 a 軸延長，圖面為直立面，長石之排列，大致為水平而微向南偏西傾斜，可見岩流必自東北向西南流動也。

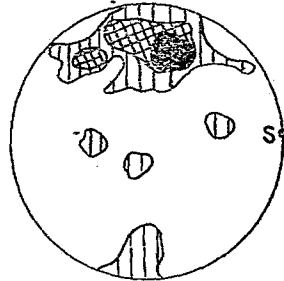


圖 十 七

224(010)poles of Labr. in
Basalt. > 5—3—1—0%

C 構造形式 (Tectonite orientation), 岩石受壓力後，其礦物組織間發生微分的移動，一部分滑動於另一部分之表面上，以期適應於壓力之動向；此種微分的移動漸積漸增，終致岩石內原來之構造改變形態，甚或有一部分礦物重行結晶，以平衡此壓力。岩石經過外力之影響，最常見之結果為褶頁構造 (foliation)，礦物碎粒之排列與褶頁構造之關係，視壓力之強弱而有種種形

(11) Pabst A. the measurement of flow structures. Am. min. No. 41934

式。當固體（均質性）受壓力（pressure）時，其對方亦產生一等量相反之應力（stress），二力之結果，迫令物體向垂直壓力之方向膨脹，改變原有之形狀。若所加之力過其彈性限度（elastic limit），則物體不能恢復其原來形狀；若物體之容積不變時，則此類形變（strain）只包含切變（shearing strain）一種，即物體分子緣一定之方向發生微分的移動以致變形，此方向常與壓力方向約成 45° 相交，稱為切變平面（shearing surface）或滑動面（slip plane）。在滑動面上往往可見有分子滑動之痕跡，即所謂呂得爾氏線（Lüders' line）。滑動面又常與其分子間引力最小之方向垂直，換言之滑動面即平行於結合力最小之層面也。造成地殼之岩層多屬非均質之固體，且又具天然層理（如水成層，變質岩層等），切變平面與外力之關係雖不能與均質性之固體相同，但滑動面必往往為天然之層理平面，因層面間之結合力最弱也。滑動之結果遂造成魁偉之褶襞。至於岩石因壓力而緣滑動面滑動時，礦物碎粒常被滾動或變形，使其長軸平行於動向，動力愈大則平行排列之程度愈高，動力愈小，則排列之程度愈低。Sander 分此類構造形式為二，一為 S 構造式（S-tectonite），一為 B 構造式（B-tectonite）。S 構造式之投影圖之徵特為極點之分佈圍繞一點，此點常代表動力之方向。如以 a 表動力方向，b 表轉動之軸，ab 即為滑動平面，c 垂直於 ab，a, b, c, 與褶襞（fold）之關係，則 a 表岩層傾向，b 表褶軸或走向，c 表面層之線垂。S 構造式與 a b c 之關係大約如圖十八所示。B 構造式與 abc 之關係大約如圖十九所示，最密部約成一環帶狀（girdle）可見無論其極點之分布是否與動力方向一致，但最密部永不出 ac 大圓附近，換言之，b 軸出露之處永不為最密部，是構造形式之特徵也。礦物晶體多有具滑

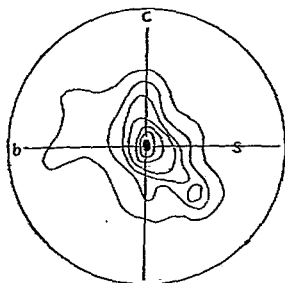


圖 十八

158 poles of Quartz
in granulite

>20-16-12-8-5-3-1-0%

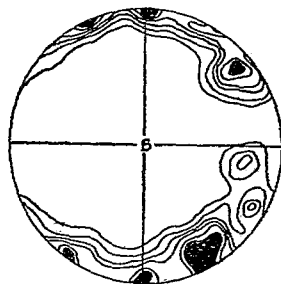


圖 十九

158 poles of Mica in
Mica-schist

>6-5-4-3-2-1-0%

脫面 (gliding plane) 者，當礦物碎粒滾動時，如其結果恰足使結晶體緣其一滑面滑動時，則所有該礦碎粒即全數滑動，變為延長或展開形狀，可見此時岩石之形變完全由於各層滑動之力而成，宛如千層紙片平行推移所成之結果。結晶體之滑脫面 (gliding plane) 既與晶軸有一定關係，故礦物結晶軸與滑動平面 (slip plane) 或褶頁 (foliation) 亦有一定關係，造成 S 構造式，可見 S 構造式代表滑動力較強之結果也。若礦物滾動在未達上述之程度時動力即歸消滅，則礦物之排列必不甚規則，造成 B 構造式，可見 B 構造式代表滾動之力較強也。由此方法常能得知動力之方向，對於研究大的地質構造，造山運動等皆有莫大之補助。

取石英卵石，可知其為石英脈岩或變質石英岩，取灰岩卵石，可知其為結晶石灰岩或為大理石，捨此種新穎之研究法不能奏功。此亦是岩組學上有趣的試驗之一。

北京大學地質系，二十五年三月

實業部地質調查所 刊物總目
國立北平研究院地質學研究所

地質彙報 已出至第二十六號售價除將售罄各號爲四元餘均每號二元

地質專報 分甲，乙丙三種共出二十六號售價見詳目

土壤專報 已出至第十二號售價見詳目

土壤特刊 已出至第三號售價見詳目

地震專報 已出至第三卷第一期售價見詳目

燃料專刊 已出至第十七號每號價一元

中國地質史 上下冊售價精裝本十九元平裝本十七元

中國古生物誌 分甲(古植物)乙(無脊椎動物)丙(脊椎動物)丁(古人類)四門已出八十四冊售價見詳目

中國百萬分之一地質圖及說明書 已出北京濟南幅，南京開封幅，太原榆林幅三份每份價四元五角

中國模型地圖 石膏質縮尺七百五十萬分之一長八十二公分寬六十四公分厚三公分售價二十元國內加裝運費一成

其餘尚有實用叢刊及地圖等多種價均見詳目

欲購書及詢詳細書目並售價者請函總發行處并附郵票二分

總發行處 南京珠江路九四二號地質圖書館

分發行所 北平西四馬路四九號地質圖書館



京525

35

2 1 2 2 2

(3)