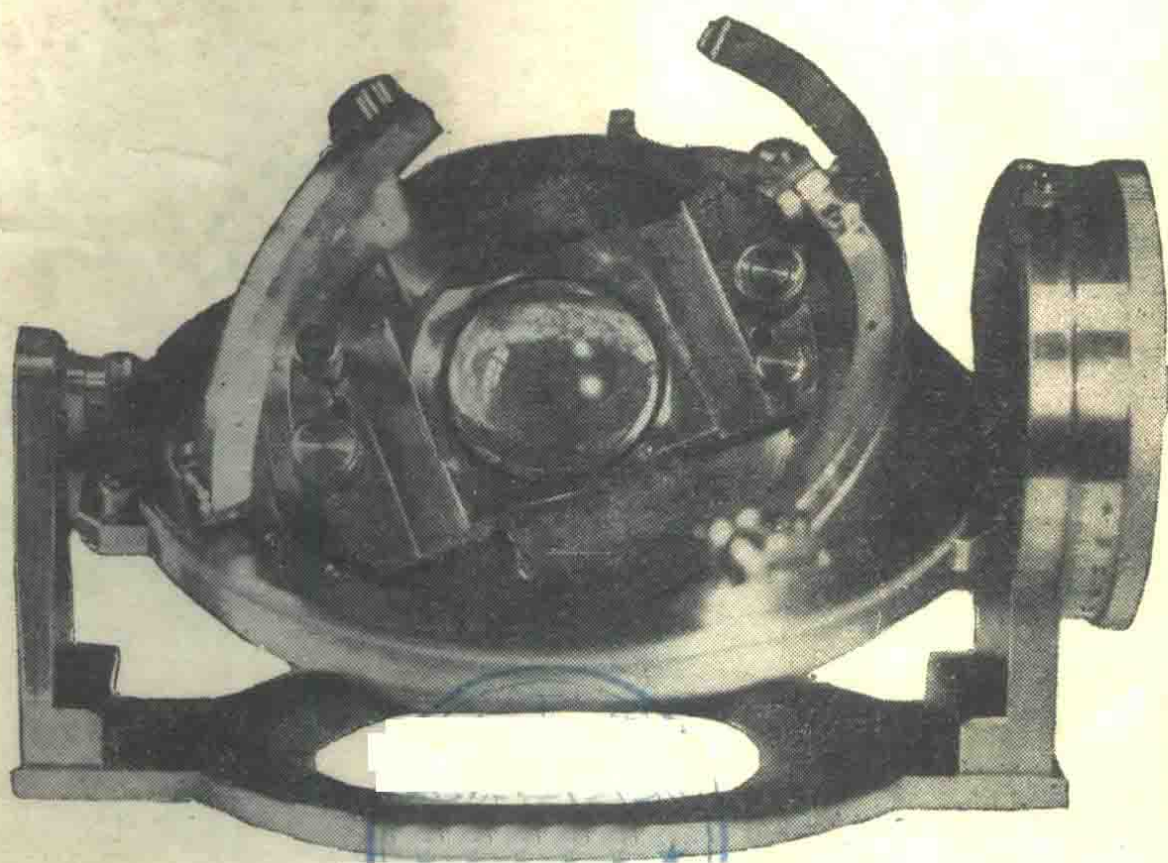


五軸費氏旋轉台

基本操作法

張保民 穆克敏 合著
王文遠 賀同興



地質出版社

五軸費氏旋轉台 基本操作法

張保民 穆克敏 合著
王文远 賀同兴

地質出版社

1956·北京

內 容 簡 介

本書簡要地闡述了費氏旋轉台操作的基本原理和方法。在操作步驟上作了詳細的敘述。在應用上簡單介紹了斜長石鑑定的主要方法。對具有結晶光學基礎的讀者，可作為掌握費多洛夫法的自修材料，並可作為地質院校學生學習參考材料。

五軸費氏旋轉台基本操作法

著 者	張保民、穆克敏、王文遠、賀同興
出版者	地 質 出 版 社 北京宣武門外永光寺西街3號 北京市書刊出版業營業許可證出字第050號
發行者	新 華 書 店
印刷者	地 質 印 刷 廠 北京廣安門內教子胡同甲32號

編輯：朱迺升	技術編輯：李靈如	校對：金伯璠
印數(京)1—5,300冊	1956年12月北京第1版	
開本31"×43"1/25	1956年12月第1次印刷	
字數50,000字	印張2 ² / ₃	插頁2
定價(10)0.36元		

目 錄

引 言	4
第一章 學習費氏旋轉台的結晶光学基礎	7
一、消光	7
二、干涉	8
第二章 五軸費氏旋轉台的構造和安裝	10
一、構造	10
二、旋轉台的安裝	13
三、旋轉台的檢查和校正	15
第三章 投影圖及其應用	18
一、赤平極射投影圖的構成及其特点	18
二、投影網	20
三、投影圖上投影点的轉動	23
四、投影圖的繪制与測量	25
第四章 晶体光性的測定	28
一、一軸晶礦物光軸方位的測定	29
I、一軸晶礦物切面种类的鑑別	29
II、一軸晶礦物光軸方位的測定	33
二、二軸晶礦物結晶要素与光性要素的測定	38
I、解理和結晶軸的測定	38
II、二軸晶礦物切面种类的鑑別	40
III、二軸晶礦物光学主軸的測定	44
IV、二軸晶礦物光軸角的測量及其折光率的校正	50
第五章 斜長石鑑定	58
一、瑞氏法鑑定斜長石	58
二、費氏法鑑定斜長石	58
附圖 (I) 吳氏投影網	
(II) 費氏投影網	
(III) 施氏等積投影網	
(IV) 斜長石双晶軸分布範圍圖	
(V) 斜長石双晶結合面極点分布圖	

引 言

由于結晶学、礦物学和岩石学的發展，对于礦物光学性質的研究日益深入，对于光性常数的測定日益精确。普通偏光顯微鏡已不能滿足工作上的要求。而費氏旋轉台遂成为測定礦物光性的重要工具。

研究任一礦物的光学特性，特別是鑑定（如長石等复雜矽酸鹽）固溶体的系列礦物学，因其礦物化学成分的改变，光学性質亦随之而变化。欲知其种类，就必須測定这些礦物的主要光学常数（如主要折光率、光軸角、消光角等）。

主要光学常数的測定，常須在定向切片中進行。定向切片有二种情形：一指結晶体的定向，如垂直于(010)晶面的切片或平行于(001)晶面的切片；一指光率体的定向，如垂直于光学主軸(X ，或 Y ，或 Z)或垂直于主要光学对称面(XY ，或 XZ ，或 YZ)。定向切片在一般岩石薄片極不易獲得。即使偶然得一定向的顆粒，由于顯微鏡載物台只能作水平轉动的限制，不可能使晶体切片作任意定向的轉动而進行測量，因此很难得到正确的結果以鑑別礦物的种类。

旋轉台的發明使礦物的研究方法起了决定性的变革。俄國地質学家費多洛夫(Е. С. Федоров)發明了旋轉台以后，便改变了顯微鏡載物台只能作水平轉动的限制，使任意礦物切片能在空間自由旋轉，而达到标准位置，（即相当于定向切片的位置），用以直接測量各种光学常数和光性方位。

为了紀念这位偉大學者的創造，人們把应用旋轉台研究礦物的方法称作費多洛夫法。

費氏在1891年已經开始了有关長石的研究工作。1892年—1894年間，費氏創造了二軸旋轉台，这便是今日五軸旋轉台的雛型。这种旋轉台能使薄片在旋轉台上作空間轉动，且有計算旋轉度数的設備。但是，在薄片傾斜时，由于入射綫对薄片底面成傾斜入射而發生折射，造成观察和測量时的障碍或誤差。为了避免这种缺点，費氏設計了具有一定折光率的一对玻璃半球，將薄片以甘油粘合其間。構成了旋轉

台的重要組成部分。

这种頗似經緯儀的簡單旋轉台，已可用來鑑別均質體与非均質體，鑑別一軸晶与二軸晶。应用弗來納尔 (Biot-Fresnel) 定律決定二軸晶位置，求出 N_g 或 N_p 。并可根據干涉色的变化，確定双晶軸和光軸等。而這些性質，過去只能在錐形光下才能進行確定。

1898年，費氏制成了三軸旋轉台，即補充了 H 軸 (南北軸)。这样，便能直接求出晶体的光学对称面和光軸，对于方法的改進达到了一个完整的階段。1903年，費氏有关論文十一篇公布于世，并对旋轉台的用法著書予以闡述。至此便完成了薄片中任一礦物光率体位置的鑑定工作。

以上費氏所稱的三軸旋轉台实际上已具有四个轉軸，即 N 軸 (內立軸)， H 軸 (南北軸)， M 軸 (外立軸)， J 軸 (东西軸)。

在这时期，晶体的光性方向如光軸，光学主軸等都只能單独的个别測定。而光軸角、光性方位以及結晶要素的測定都須靠單独操作，將測量結果繪于投影圖 (赤平極射投影圖) 上。应用投影網求出軸、面間的相对位置。因此，投影圖便成为費多洛夫法中的重要組成部分。

二十世紀初，經典的費多洛夫法在俄國得到了完全的承認。并且出現了詳細介紹这一方法的教科書。

1929年，艾孟斯 (R. C. Emmous) 在改善旋轉台方面作了新的貢獻。由于他增加了一水平轉軸后 (內东西軸) 使操作方法有了進一步的改善，使儀器的运用得到了很大的簡化。这便是今天的五軸費氏旋轉台。

我國學者何作霖教授对这种研究方法曾有了不少的貢獻，在二十余年前，他已在著作中介紹了費氏旋轉台的用法，并首先把它应用到岩組学研究上去。二十余年來，有关論文散見中外雜誌中。其中如四軸旋轉台代替五軸旋轉台之測定应用，河北房山周口店花崗閃長岩体的岩組研究部分，矽化木与瑪瑙之生長型以及國內若干地区斜長石的研究等，在科学上都有独到之处。

运用費氏旋轉台不僅是准确鑑定礦物的光学性質和研究系列礦物

的主要方法；同时也是研究岩石中礦物自然生長型式和空間排列体系、沉積状态和变动状态的方法之一。在礦物和岩石的研究工作中，費氏旋轉台的应用將日益广泛。目前我國各地斜長石的系統研究，其他系列礦物如角閃石、輝石等的研究，岩組分析等工作，均尙待進行。

鑑于礦物学家、岩石学家和地質工作者必須熟練地掌握費多洛夫法，并把它运用到各种研究工作上的重要意义，我們寫此小册子，便是为了把五軸費氏旋轉台的基本操作法介紹出來，供初学者作为参考。

第一章 學習費氏旋轉台的結晶光學基礎

一、消 光

所有透明礦物，根據光學性質分為均質體與非均質體。非均質體中又分為一軸晶及二軸晶。高級晶系屬均質體，中級晶系屬一軸晶，低級晶系屬二軸晶。

晶體切片在直光鏡下，皆具有消光現象。凡均質體和非均質體之垂直光軸切片，呈永久消光。而非均質體之非垂直光軸各種切片，則呈四次消光現象。

具四次消光現象之切片，其光率體的截面必為橢圓。垂直切片入射光綫的振動方向為橢圓的長徑和短徑方向，亦即此切片的消光位。當消光位平行十字絲即呈消光現象。

一軸晶平行光軸切片及斜交光軸切片，二軸晶垂直光學主軸切片及垂直主要光學對稱面切片，在直光鏡間呈四次消光。當達到消光時，一軸晶的光軸或二軸晶的光學主軸必在南北或東西直立面內。（參看圖 1）因此，在費氏旋轉台上，常利用消光現象使此類定向切片達到標準位置而進行光軸或光學主軸方位的測定。

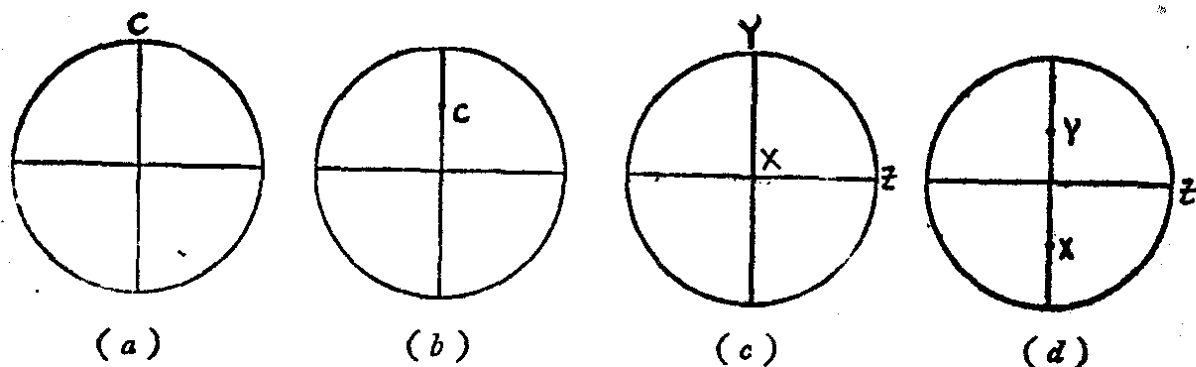


圖 1

二軸晶任意切片，在直光鏡間亦呈四次消光。但此種切片的消光位已與光學主軸無固定關係，其消光位服從于弗來納爾定律。即任意

切片的消光位，为入射光线与二光轴（ A 及 B ）所成二面夹角的平分线。参照图 2（ b ），任意切片在光率体上所截椭圆的长径和短径即为其消光位，而光学主轴在面上的投影皆与之斜交。由此可知，如图 2（ a ）所示，任意切片达到消光时，南北和东西直立立面内并无光学主轴。

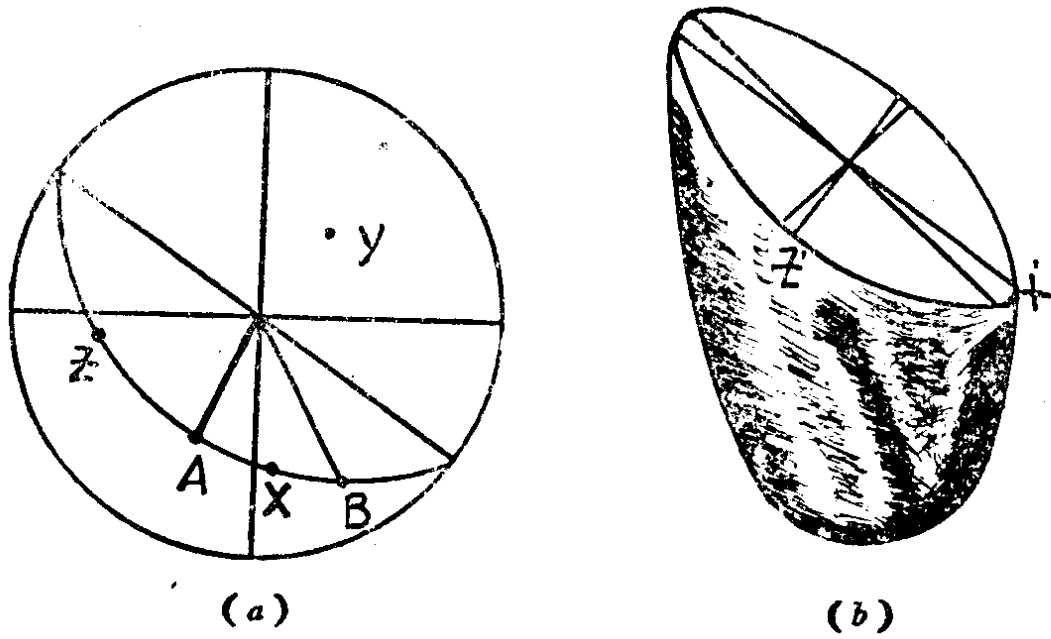


圖 2

一般岩石薄片，大多数矿物切片与光学主轴无平行的关系，而在这种任意切片的情况下，不可能测定任何光性常数。凡遇此种切片，在旋转台上如能利用各转轴分别转动，使其消光方向逐渐达到定向切片的消光位，即切片达到标准位置（如图 1（ c ）、（ d ）等）时，始可作光性方位的测定。（其操作步骤见第四章）。

二、干 涉

非均质体具四次消光现象的切片，在直光镜间明亮时，即呈现干涉色。干涉色的级序决定于光程差（ R ）。入射于晶体方向不同时，折光率不同，即双折射率（ $N_{g'} - N_{p'}$ ）不同，亦即影响光程差的不同，故干涉色亦因方向而不同。在费氏旋转台上，转动任一水平轴使切片倾斜时，无异于改变入射方向，故干涉色必发生变化。

欲使任意切片达到标准位置，在五轴费氏旋转台上则利用内立轴与内东西轴的联合转动，使某一光学对称面逐渐直立。在操作过程中，须注意切片干涉色的变化——逐渐依次色序升高或依次色序降低。此时对于干涉色的辨别能力甚关重要，当光学对称面已接近直立时，往往因继续转动度数稍大而致超过直立位置，复向对侧倾斜。仍显示干涉色而并不消光。若继续转动，光学对称面倾斜愈大，干涉色序则向反方向变化，即原来逐渐降低，此时则逐渐升高；若原来逐渐升高，则此时逐渐降低。设对于干涉色的辨别能力甚强，则可避免此种错误。

例如图3 (a) 为斜长石任意切片，干涉色为一级灰白色。当联合转动内立轴与内东西轴时，达至(b) 图情形，即 XZ 面已接近直立，呈暗灰色。若此时继续转动，可使达到直立。但若转动过大，则又复向北倾斜，如(c) 图情形，干涉色复升高至灰白色。

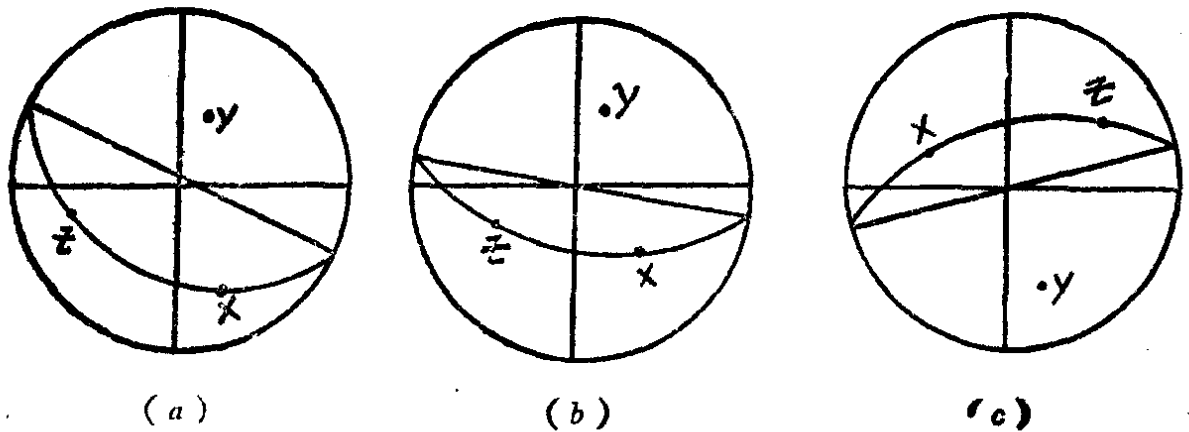


圖 3

第二章 五軸費氏旋轉台的構造和安裝

一、構造

旋轉台的主要構成部分為旋轉軸和玻璃半球。有不同直徑的金屬圓環，中央裝置玻璃半球，再加其他必要的附件便組成旋轉台。使用時固定於偏光顯微鏡載物台上。

I、旋轉軸

五軸費氏旋轉台，具有二直立轉軸、二東西軸及南北軸。每軸具有一固定金屬圓環，轉動時可自其外側圓環或金屬弧上讀出旋轉的角度。各軸的名稱及其代表符號如下表：

旋轉軸的名稱及符號

表 1

符 號 名 稱	旋轉軸的名稱及符號							本書用
	費多洛夫 尼基丁	頓巴克 萊茵哈	烏路夫 茵 克	貝瑞克	萊茵哈	艾孟斯		
內立軸	N	N	N	A ₁	N	I—S	A ₁	
內東西軸	—	—	—	—	—	I, E—W	A ₂	
南北軸	H	H	H	A ₂	H	N—S	A ₃	
外立軸	M	M	M	A ₃	A	O—S	A ₄	
外東西軸	J	J	J	A ₄	K	W—E	A ₅	
顯微鏡軸	—	—	T	A ₅	M	M	M	

內立軸 (A_1) 即最內圈之金屬環，作水平轉動。環上有一黑綫，指向其外圈刻度環。黑綫指 0° 時為原始位置。轉動內立軸時，由黑綫所指度數可知其轉動的角度。記錄 $A_1 = m^\circ$ 。

內立軸金屬環或稱內台。左右各具一螺絲孔，備固定玻璃半球之用。內台的內圈尚鑲有另一金屬環，系鑲嵌玻璃半球及薄片之用。同時具有升降薄片之裝置。德國制旋轉台的內台，有鎖緊器。用以管制內台之轉動。用時應加注意，用力稍大則極易損壞。

內立軸的轉動，僅攜帶薄片作水平旋轉，不影響其他旋轉軸。

內東西軸(A_2)即為艾孟斯增加的東西水平軸。轉動內東西軸時，既使內台外圈的刻度環作南北傾斜。內東西軸的右端，在其外側金屬環上有一旋緊螺絲，用以固定內東西軸的轉動。在同一金屬環之南北兩端，各具一刻度弧，(用時掀起)，內東西軸金屬環之南北兩端，各有一金屬柱，上有黑綫，與刻度弧相對。從黑綫所指刻度，得知內東西軸轉動的度數。記錄為 $A_2 = n^\circ$ 。當內東西軸向南傾斜時，用北端刻度弧。而向北傾斜時，則用南端刻度弧。內東西軸水平時，黑綫對零度。

內東西軸轉動時，內立軸隨之傾斜。

南北軸(A_3)即為固定內東西軸之外側金屬環。南北二端固定於其外側另一金屬環上。轉動南北軸，使薄片東西傾斜。旋緊螺絲在南端。刻度弧在東西兩方。自東西二金屬柱的黑綫指刻度，得出南北軸轉動角度。南北軸向東傾斜時，用西方刻度弧。而向西傾斜時，用東方刻度弧。水平時，黑綫對零度。

南北軸轉動時，影響內立軸和東西軸。

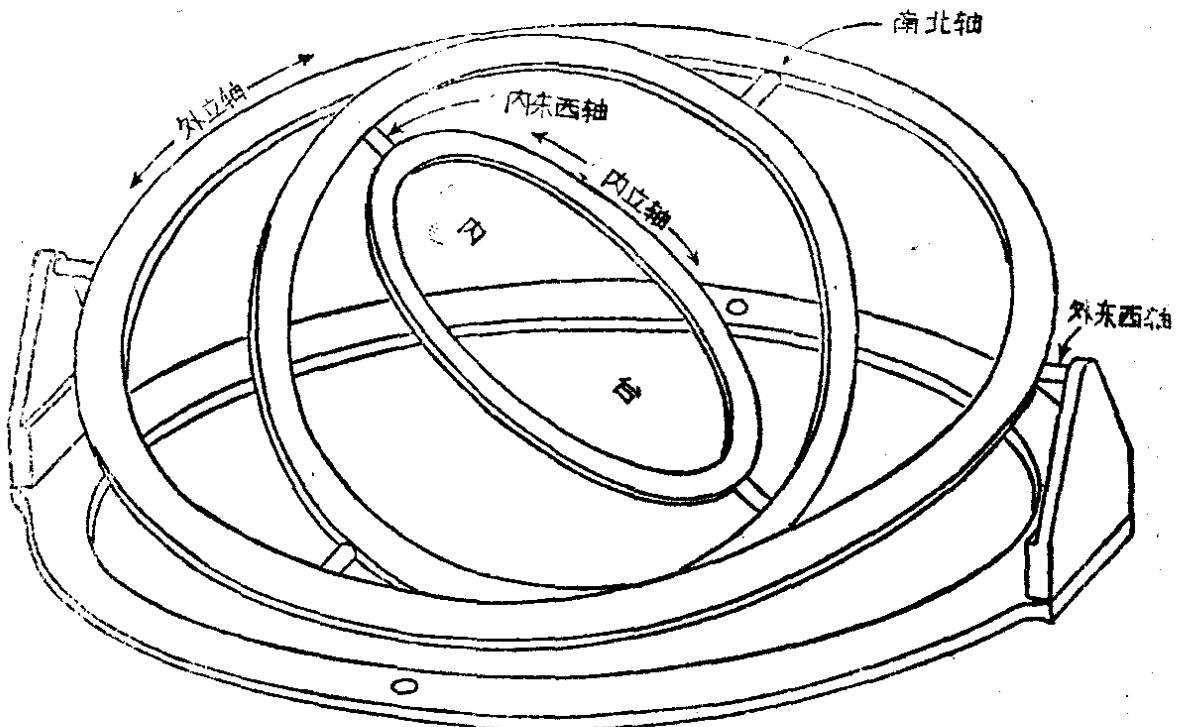


圖 4. 五軸費氏旋轉台圖解

外立軸 (f_4) 为最外圈刻度金屬环。可水平旋轉。环外左方有一标尺，指示外立軸旋轉角度。原始位置应使刻度环上零度对准标尺零位。外立軸之右側有一旋轉輪，輪之外側中心为固定外立軸的旋緊螺絲。

外立軸轉动时，能影响內立軸、內东西軸和南北軸。

外东西軸 (f_5) 即为前述的外側旋轉輪軸，作东西水平。轉动时，携帶全部作南北傾斜。其轉动度数可由旋轉輪上讀出。旋轉輪上具有旋緊螺絲，固定其轉动。

由上可知，每一轉动軸的轉动，必影响居于其內的各軸的位置。而对其外側各軸，則毫无影响。

II、玻璃半球

用光学玻璃制成玻璃半球，具一定折光率。中間夾一岩石薄片，連合玻璃台的厚度，适成完整球形。礦物正居于球体中心。下半球鑲于圓形金屬环上。环之外圈具一缺口，用时可卡緊于內台之內环上。上半球則鑲于長方形金屬板中。板之左端有一圓孔，右端有一缺口，各与內立軸圓环上之螺絲孔相对。可用彈簧螺絲固定之。

鑲嵌上半球之金屬板上左右側各有一槽，加入固定薄片小尺，用以标记薄片之移动位置。

每一旋轉台，皆备有三对玻璃半球。各具一定折光率（德制有 $n=1.516$ ， $n=1.557$ ，及 $n=1.648$ 三对）。

应用玻璃半球的意義，即当薄片旋轉傾斜时使入射垂直球面入射，避免發生折射而造成誤差和观察的障碍。若礦物折光率与玻璃半球折光率相等，則入射綫完全不發生折射現象。在此情况下，所測得結果最正确。然因不同礦物其折光率不同，且同一礦物顆粒（非均質体）在不同方向，其折光率值亦有差異。欲使礦物折光率与半球折光率相等常不可能。因而入射綫在經過玻璃半球与礦物薄片时，折射現象不能避免。为了减少誤差，应当尽可能選擇使用与礦物折光率相近的玻璃半球。例如二軸晶礦物，可使用与其 N_m 最相近的玻璃半球。

即使玻璃半球与礦物間折光率相近，但入射綫仍然發生折射，如

圖 5 (a) 为礦物折光率小于玻璃半球折光率时的折射情况。(b) 为礦物折光率大于玻璃半球折光率时的情形。顯然 (a) 圖情形，实测角 θ 較真傾角 ϕ 小。而 (b) 圖情形，实测角 θ 較真傾角 ϕ 大。兩種情形都影响測量結果的正确度。故必加以校正。其校正方法見第四章。

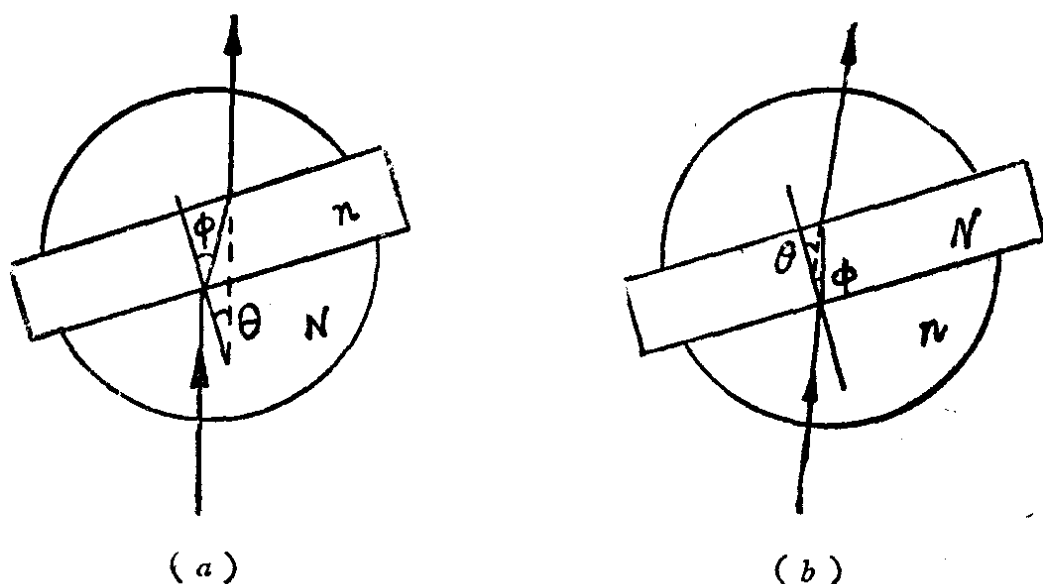


圖 5

旋轉台的主要構造已如上述。此外还附有專用的对物鏡和聚光鏡等。五个旋轉軸的金屬环互相牽制，而五个軸都必嚴格的交于玻璃半球的球心一点。直立軸（內立軸 A_1 ，外立軸 A_4 与顯微鏡軸 M ）都必完全重合一致。兩組水平軸（东西軸 A_2 、 A_3 与南北軸 A_5 ）必在同一絕對水平面內而且相互正交。所測礦物置于半球的中心。只有在此种条件下，轉动任一軸时，始能使礦物只作方位的轉变而不离开顯微鏡的中心。

二、旋轉台的安裝

使用旋轉台之前，除將顯微鏡、旋轉台及其必要附件准备好外，在安裝、校正、操作和記錄作圖过程中，尚須事先准备好下列备用品：

1. 对物鏡用前焦距較長的才不会接触玻璃球。測定解理面、双晶結合面等时可用高倍接目鏡及对物鏡。作光性方位的測定时，可用低

倍对物鏡。接目鏡可用(8×)或(12×)

2. 光源：一般用太陽光，必要時用50—100瓦日光灯。

3. 薄片：岩石或礦物薄片，底玻璃厚度不大于1.2公厘。

4. 甘油或液体石蠟一瓶：用以粘合玻璃半球和薄片。

5. 滴管：尖端要处理圓滑，以防划刻旋轉台上的玻璃板，用以滴入甘油。

6. 二甲苯：清洗旋轉台上甘油或液体石蠟用。

7. 藥棉或鏡頭紙：擦干用。

8. 烏氏投影網：半徑为10公分。若作岩組圖，尚須准备施氏(Schmidt)等積投影網及岩組繪圖器。

9. 繪圖透明紙：紙上作半徑10公分之大圓。圓心对准投影網中心，并在大圓外标志南北东西。

由于仪器的复雜精密，工作要求十分嚴格。故在安裝旋轉台时，手續亦甚繁复。茲將安裝过程及其应注意事項簡述如下：

(一) 顯微鏡的准备：事先將顯微鏡各部加以檢查，选用合适的接目鏡和对物鏡。將对物鏡作好中心校正。上下偏光鏡正交。取下载物台中央空心鉄板及薄片夾子。提升鏡筒达相当高度，可能时下降载物台至适当低度。

(二) 安裝下半球：苏联制旋轉台的下半球，直接放置在内立軸内环中，平面向上即可。而德制旋轉台的下半球須進行以下安裝手續：取出旋轉台后，放松南北軸或内东西軸之旋緊螺絲。选好适用的玻璃半球。將玻璃圓板置内环上放平。安裝薄片和上半球在中央圓玻璃板上，滴甘油数滴，將薄片稍稍傾斜，先使薄片一边接触甘油，然后随甘油的浸潤，緩慢平置其上，再滴甘油于薄片上，將上半球粘合于薄片上面。也使玻璃球的一边先接触甘油，以防气泡混入。上半球金屬板長边为东西方向，圓孔在右，缺口在左，各以彈簧螺絲固定于内环上。此时薄片可以移动而不致自由滑走。

(三) 返轉内立軸环180°，底面向上。以滴管向圓玻璃面上滴入甘油数滴。然后將下半球緩緩扣入内环，使半球平面緊密粘合于圓玻璃上，中間应防止有气泡存在，以免入射光綫產生折射。

下半球扣緊后，迴轉內環，恢復原位。

(四) 固定旋轉台：將裝好薄片的旋轉台置顯微鏡載物台上。使旋轉台底盤的南北二圓孔對准載物台南北二螺絲孔，以螺絲固定之。但此時并不旋緊，以備檢查校正。

最后，旋轉載物台一周，旋轉台若有障礙不能通過，即升高載物台或降低載物台，使旋轉台自由通過為止。然后下降鏡筒，對光焦准。安裝手續即已完成。

三、旋轉台的檢查和校正

旋轉台固定在顯微鏡上，其各部機構，均須有固定的關係。任一條件發生差誤，直接影響工作結果。因而在安裝前后，必須對各部效能作精密的檢查和校正工作。

(一) 上下偏光振動面是否正交：在安裝旋轉台之前，將鏡筒直對光源，加入上偏光鏡，若不黑暗，即不正交，下偏光鏡使之南北平行，調整上偏光鏡使之全黑暗，則已正交。

(二) 接目鏡十字絲是否正交南北和東西，亦應檢查。

(三) 對物鏡在安裝旋轉台前必須作好中心校正。

(四) 對物鏡和玻璃半球是否具非均質性：各鏡頭玻璃，必須是完全均質體。在直光鏡間，安裝被檢查的鏡頭或玻璃半球，加入貝氏補色器，轉動被檢查鏡頭或半球，若有非均質性，其雙折射產生的光程差即使是 $1/4\mu$ （或 1μ ），亦可呈現類似二軸晶干涉象之黑帶開合的現象。具有此性質的鏡頭和玻璃半球，不能應用。

(五) 所有直立軸的重合校正：顯微鏡軸 M 和旋轉台直立軸 A_1 和 A_2 都必須嚴格的重合在同一直立綫上。即旋轉台的中心點必須與接目鏡十字絲的交點重合。檢查時，先焦准薄片，旋轉台各軸鎖在零位。轉動旋轉台的 A_1 ，視薄片迴轉中心，即旋轉台中心是否與十字絲交點重合。若不重合，可移動旋轉台（因安裝時，旋轉台底盤螺絲并未旋緊），使二者重合。然后旋緊固定螺絲。

此步校正，往往須返復多次。直達到二個中心完全重合，或者距

离不超过 50μ 始可。

(六) 内立轴与外立轴的检查: 经过上述(五)的检查后, 立即分别转动内立轴和外立轴, 视中心是否仍重合, 二者中心距误差亦不能大于 50μ , 否则旋转台不好使用。

(七) 校正东西轴和南北轴: 旋转台东西轴 A_2 和 A_5 , 必平行东西线; 南北轴 A_3 必平行南北线。检查时, 先聚焦玻璃半球表面某一尘埃, 各转轴保持零位。转动南北轴, 视小尘埃是否东西移动。若南北轴不在南北方向, 则尘埃移动线不平行东西线, 如图 6 (a), 同时旋转东西轴, 尘埃移动亦不平行南北线, 如图 (b)。转动载物台, 直至移动线完全平行十字丝为止。即水平转轴与十字丝互相平行, 锁紧载物台, 并记标尺所指载物台刻度。

若为初次使用的旋转台, 则必检查东西轴与南北轴是否正交, 及二东西轴 A_2 与 A_5 是否重合一致。检查时, 首先转外东西轴, 使尘埃沿南北线移动。再转内东西轴, 若仍沿南北线移动,

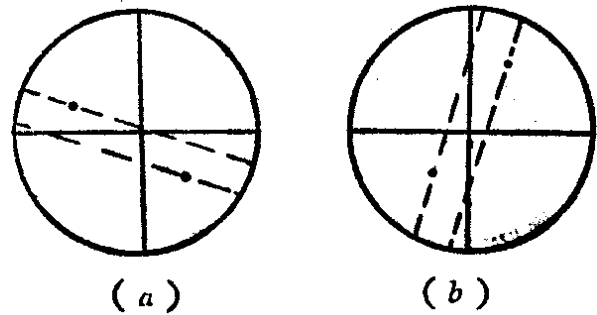


圖 6

则 A_2 与 A_5 一致。最后转南北, 若沿东西线移动, 即南北轴与东西轴正交。设发现 A_2 与 A_5 不一致时, 转动外东西轴尚可有些微校正, 当 A_3 与 A_2 不正交时, 旋转台不好使用。

(八) 矿物位于水平轴平面内的校正: 把薄片中的矿物校正在与各水平转轴位于同一平面内是很重要的工作。

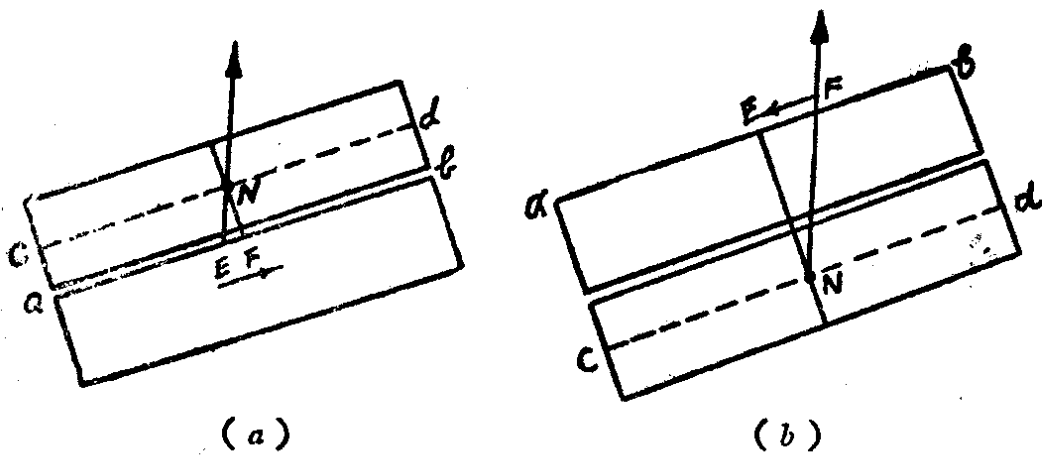


圖 7