

高等学校教材試用本

晶体的測量

北京地质学院矿物教研室編

只限学校内部使用



高等学校教材試用本



晶 体 的 测 量 改

北京地质学院矿物教研室編

中国工业出版社

本书对晶体的测量、投影、计算及测角鑑定等方面作了簡明的介紹。可作晶体的测量的教材，也可供从事結晶学、矿物学的研究人員及教学人員的参考。

本书由北京地质学院矿物教研室彭志忠、张静宜编写。

晶 体 的 测 量

北京地质学院矿物教研室編

*

地质部地质书刊編輯部編輯（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

（北京市书刊出版事业管理局登记证：10号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5\frac{3}{16}$ · 字数 136 000

1963年1月北京第一版·1964年1月北京第二次印刷

印数 891—1405 · 定价 (10-5) 0.78 元

*

統一书号：K 15165·1960(地质-197)

目 录

第一章 緒論	1
I. 矿物晶体形态测角研究的实践意义	1
II. 矿物形态研究的一般过程	2
III. 晶体测角研究簡史及测角仪的种类介紹	3
第二章 晶体的測量	4
I. 双圈反射测角仪的原理	5
II. 哥尔斯密特双圈反射测角仪	6
III. 測量晶体时的操作步驟	18
IV. 測量的精确度問題	29
第三章 晶体的投影	29
I. 极射赤平投影	29
II. 心射极平投影	43
III. 极射赤平投影与心射极平投影的对比	56
IV. 各晶系晶体心射极平投影的特点	60
第四章 在投影图上确定晶面符号的方法	67
I. 米氏符号	67
II. 在极射赤平投影图上定晶面符号	68
III. 哥氏符号	70
IV. 在心射极平投影图上确定晶面符号	73
V. 座标軸的轉換	76
第五章 晶体的立体图的繪制	78
I. 晶軸架方法	79
II. 根据极射赤平投影作品体的立体图	84
III. 根据心射极平投影画晶体的立体图	89
IV. 各种作图法的优缺点对比	94
V. 双晶的心射极平投影及立体图的繪制	95

第六章 晶体的計算.....	97
I. 引言	97
II. 各晶系的結晶要素的計算	99
第七章 晶体的測角鑑定	152
I. 手册	153
II. 杂志	153
III. 鑑定表	154

第一章 緒 論

測角法是研究晶体形态的一种重要方法。

矿物晶体形态是矿物的成分、构造（內因）和矿物生成时所处的地质环境（外因）相互作用的最終結果。因此，对矿物晶体形态特点进行研究可以帮助我們了解矿物的成分、构造和矿物的成因。

I. 矿物晶体形态测角研究的实践意义

主要有下列四方面：

一、鑑定矿物。矿物晶体生长时都遵循一定的規律（如晶面平行向外推移、面角恒等定律等），因之，根据晶体测量資料計算所得的結晶学数据（結晶要素）能帮助我們鑑定矿物。

利用測角法来鑑定矿物的优点是：用量少，并且不必破坏样品。缺点是：不能鑑定无完整晶体外形的矿物，不能鑑定等軸晶系的矿物，因为属于等軸晶系的所有矿物其結晶要素相同（ $a=b=c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ）；此外，对前人所未测量过的晶体，不能仅用測角法来鑑定，还必须配合用其它方法方可，因为利用此法鑑定矿物是将测量数据经过計算，与前人的資料作比較来确定所測矿物的名称，所以前人資料中未列入的矿物不能只用測角法来鑑定，但是遇到这种情况时，測角資料仍有意义，可以了解該矿物的結晶要素特点，也可以补充前人資料之不足。

二、提供矿物成因方面的資料，对矿物标型特征的研究可以帮助了解矿物成因并有助于找矿。

矿物的形态特点常常可以提供矿物生成条件（由气相、液相或固相生成；及矿物在生成过程中的发生、成长、变化——溶解、再生及同质多象转变等）；矿物生成时的物理化学环境（温度、压力、介质环境）；及成矿作用类型等方面的資料。

例如生于伟晶岩脉中的錫石晶体往往是柱面短而錐面发育，生于热液脉中的錫石晶体则往往与此相反。

又如生长在不同界质条件下的螢石，晶体形态常常有所差异，生长在酸性介质中者八面体 $\{111\}$ 发育，生长在碱性介质中者立方体 $\{100\}$ 发育，生长在中性介质中者菱形十二面体 $\{110\}$ 发育。

三、为晶体内部构造提供线索。費多洛夫研究晶体外形并用数学的方法推导出晶体内部构造有230种对称就是一个范例。

在对矿物进行X光结构分析时，常常要研究矿物晶体形态特点。

四、精确地描述矿物外表形态特征。晶体形态的精确描述是矿物研究中不可缺少的内容之一。在测角法创造以前，人们对矿物形态的描写往往要用许多文字还不能十分确切地表达，有人认为：“从以测量矿物晶体代替了矿物文字描述时起矿物学才成为精确的科学。”

I. 矿物形态研究的一般过程

概括起来不外乎是在野外及室内结合矿物生长的时间、条件、地点来对矿物形态特点进行研究。

一、地质条件及矿物在时间及空间上的分布情况的研究。

研究内容有：矿床类型，母岩及围岩种类、晶体生长的位置，与基底矿物的关系（是否继承早生成的矿物），伴生及共生矿物、矿物生成顺序、世代等等。

二、晶体大小的描述。晶体长大以后，生长快的晶面可能消失，因而小晶体上的聚形常较大晶体复杂。晶体愈大，晶面生长愈易脱离理想位置，因而愈不平滑。大晶体往往经历的地质条件较小的复杂，晶面常出现条纹和蚀象。

按测角仪的特点来要求，1~10毫米最合适，称为中等晶体，小于1毫米为小晶体，大于10毫米为大晶体。

从测角仪的特点和性能来看，较小的晶体的测量比大晶体方

便、准确，但如果想了解成因，研究大晶体更能说明问题，所以测角时对晶体的选择要考虑研究的目的和测角仪的特点两个方面。

三、晶体外形及结晶习性的描述。

四、晶体的测角研究。是晶体形态研究的主要方面，详细内容及方法见以后章节。

五、其他研究。从成分、构造等其它方面研究各种矿物晶体形态的成因。

Ⅰ. 晶体测角研究简史及测角仪的种类介绍

自然界矿物晶体的美丽形态很早就为人们注意，自从17世纪面角恒等定律被发现和测角法被创造后，人们对矿物的了解一步步深入。矿物的测角研究促进了结晶学和矿物学的发展，在鉴定矿物和发现新的矿床方面曾起了积极的作用。

目前，由于其它矿物鉴定方法的陆续出现，测角法作为矿物鉴定手段的地位显得不那么突出了，但是正如前述，测角法仍然是矿物研究的一种不可少的方法。现在已转向利用测角法详细研究晶体形态特点、晶面细节以提供矿物成因的资料方面，但这方面的工作极为不够，应该加强。

关于测角方面的仪器有各色各样，这与晶体形态研究一步步的深入有关：

1669年丹麦斯丹诺在描绘不同矿床石英晶体轮廓时发现了面角恒等定律。

1748年，俄国罗蒙诺索夫第一次测量晶体（硝石，金刚石，石英）角度。他所用的测角方法未留传下来。

1772年法国机械工程师卡兰诺发明实用测角仪（即接触测角仪）。

1809年英国人沃拉斯顿发明单圈反射测角仪，这种测角仪只能测量面角，安装一次只能测量一个晶带上的各面，但是精确度较高。

19世紀末有双圈反射測角儀出現，這種測角儀能測量晶面的球面座標，安裝一次，可測量包括柱面在內的半个晶体上的晶面，避免了單圈反射測角儀安裝一次只能測量一個晶帶的缺點。

双圈反射測角儀首先是由俄國學者費多洛夫 (Е.С.Федоров) 在1889年發明的。

在1889年俄國礦物協會會議上，俄國學者費多洛夫提出了双圈反射測角儀的設計方案。由於當時的條件限制，拖延了這個方案的實現，另外兩個德國學者，一位是卡波斯基 (Czapshi)，一位是海德堡大學的礦物學和結晶學教授哥爾斯密特 (V. Goldschmidt)。他們利用了費多洛夫的思想而在他之前作出了兩種型式的双圈反射測角儀。現稱為卡波斯基式双圈反射測角儀和哥爾斯密特式双圈反射測角儀。

1899年斯密士 (Herbert Smith) 發明三軸測角儀，能量面角及球面座標，但因結構複雜未能推廣。

1925年羅斯 (S. Rosch) 發明照相測角儀，專門研究溶解再生時的晶体形態。

1929年蘇聯學者查瓦里茨基創造用費氏台測量小晶体的方法。

要使測角法更好地服務於科研和生產還必需在實踐中不斷地改進測角儀器。

第二章 晶体的測量

本章將介紹双圈反射測角儀的原理、哥爾斯密特双圈反射測角儀的主要結構和校正方法、儀器零點的確定法，以及利用哥爾斯密特双圈反射測角儀測量晶体的整個操作過程，最後還將提到測量的精確度問題。

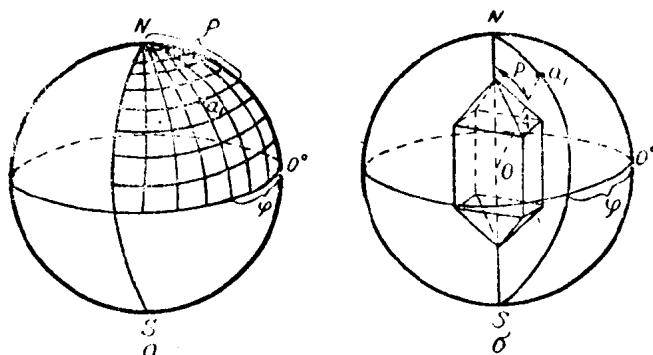


图 1 晶面的极点及其球面坐标

I. 双圈反射测角仪的原理

利用双圈反射测角仪对晶体进行测量时，测量的是晶面的球面坐标。

晶面的球面坐标。在晶体的球面投影中，晶面在球面上的分布是以极点来表示的。极点是自投影球心引晶面的法线，并延长之使其与球面相交，交点即称为晶面的极点，如图 1 b 中晶面 A 之极点为 a_1 。每一极点的位置可用球面坐标来确定，球面坐标包括两个数值：极距角 (ρ) 和方位角 (φ) (图 1 a、b)；

(1) 极距角(ρ) 晶面法线与投影轴之间的角度称极距角，也就是晶面极点与投影球北极之间的弧度。由北到南从 0° — 180° 。

(2) 方位角(φ) 包含晶面法线的子午面与零度子午面间的夹角。顺时针方向数由 0° — 360° 。

双圈反射测角仪可以测量出各晶面的方位角与极距角。

双圈反射测角仪有两个互相垂直的刻度圈 (H 和 V) (见略图 2)，晶体置于垂直圈的旋转轴上，使晶体之 Z 轴与旋转轴平行；与水平圈相连接的有光管 (F) 和视物管 (S)，由光管可射出平行的光束直照晶体，通过视物管可以观察晶面反射的光线。晶体一方面可以围绕垂直圈的轴 (水平轴 A_2) 旋转，又可

以围绕水平圈的轴（垂直轴 A_1 ）旋转，借助于这两个互相垂直的轴的旋转，可以把晶体上任何一个晶面的法线转到与光管（ F ）和视物管（ S ）的分角线平行。此时就可以从视物管中看到由晶面反射来的光线。这样，这个晶面的方位就可以用水平圈和垂直圈的读数来确定。由这些读数可以求出各晶面的球面坐标（ φ ， ρ ），关于这一点可以由图3中看出。

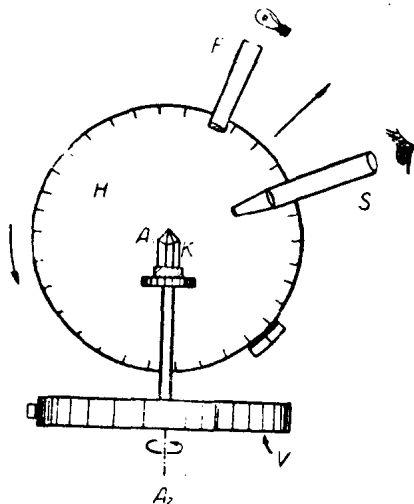


图2 双圈反射测角仪的略图

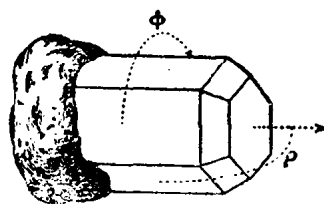


图3 在双圈反射测角仪上测量晶面的球面坐标示意图

用双圈反射测角仪测量晶体角度可以精确到 $1'$ 。将晶体安装好一次，可以测定晶体上一端所有晶面的球面坐标。

I. 哥尔斯密特双圈反射测角仪

一、仪器的主要结构。最新式的哥尔斯密特式双圈反射测角仪如图4所示，其主要部分说明如下：

（1）整个仪器借三个螺丝所构成的支架支持，调节这三个螺丝可以使支架处于水平位置，这一点可以从附于支架上的水平气泡看出。

（2）水平圈（ H ）可围绕轴 A_1 旋转，制动螺旋为 K_1 ，微

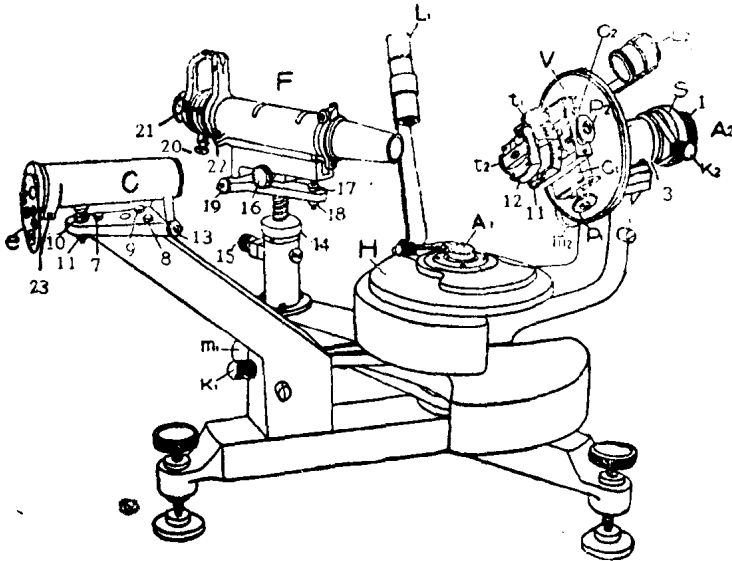


图4 哥尔斯密特双圈反射测角仪总图

动螺旋为 m_1 ；垂直圈（V）可围绕轴 A_2 旋转，由制动螺旋 K_2 和微动螺旋 m_2 来操作。微动螺旋只有在制动螺旋旋紧之后才能起作用，它可以使两圈准确地置于所需要的位置。如欲使两圈作较大的旋转动作，则需要将制动螺旋松开。在用手转动垂直圈的时候应用把手 S ，在两圈（H、V）上都有刻度，刻度划分到 $1/2$ 度。各圈皆附有游标，可以使读数达到 $1'$ 的精确度，用放大镜 L_1 、 L_2 进行读数。

水平圈的轴 A_1 是空心的，可以插入一个小台作调节用，小台的杆可用螺旋固定。

垂直圈的轴 A_2 连同垂直圈本身可以围绕 A_1 轴旋转， A_2 轴本身可以借螺丝1平行地移动。测角仪头安装在 A_2 轴的一端，晶体用胶泥固定在晶托上，晶托的杆插入测角仪头的小孔中，用螺旋固定。测角仪头上的定向滑板（简称瓦板） i_1 、 i_2 可以用定向螺丝 t_1 和 t_2 来调节，平滑板 C_1 、 C_2 可以用定中螺丝 P_1 、 P_2 调节。瓦板和平滑板是用来调节晶体的方向和位置的。 A_2 轴的方向可用螺

絲 3、4、5、6（在垂直圈的后面）来調节。

（3）光管（C）是水平的，它借螺絲 7、8、9 固定在支架上。光管的細节如图 5 所示：光縫板 e 可以自由地旋轉，应用四种不同的光縫可获得四种不同的信号，光縫用測角仪灯（图 6）

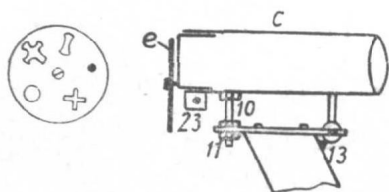


图 5 光管的細节

（測角仪灯口置有毛玻璃，这样可以射出均匀的光束，光之强度可以用小型变压器来調节）来照亮，由光縫发出的光縫經過透鏡 λ 的作用变成平行光束，透鏡 λ 与信号的距离可借螺旋 23 来調节，光管之軸可以用螺絲 10、11 作傾伏的調动，用螺絲 12、13 左右調动。

（4）視物管（F）見图 7。整个的視物管部分可以圍繞 A_1 軸旋轉。可以用制動螺絲 K_s 与微动螺絲 m_s 調动（ K_s 和 m_s 在視物管的下方，图中看不見），一般使視物管 F 之軸与光管 C 之軸交角大約为 60° 。

視物管可以用升降螺絲 14 上下移动，当調动到所須的位置后，則要用螺絲 15 固定，用螺絲 16 可将視物管前后移动。

在調节視物管的时候可用螺旋 17、18 作傾伏方向的調节，螺絲 19 作左右方向的調节。

視物管中有复杂的光学体系，接物鏡有两个： ob_1 和 ob_2 ， ob_2

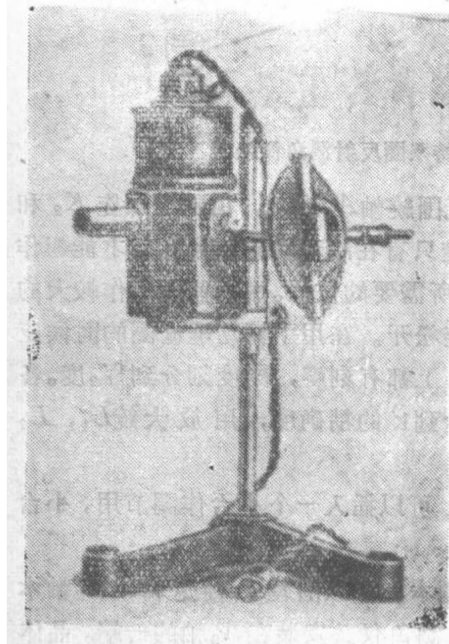


图 6 測角仪灯

可以撤开，接目鏡 oc 亦是可撤开的；此外，还有褶入透鏡 E_1 、 E_2 ；視物管中有兩組十字絲， F_1 和 F_2 ，它們分別地落于 oc 和 ob_2 的焦点。

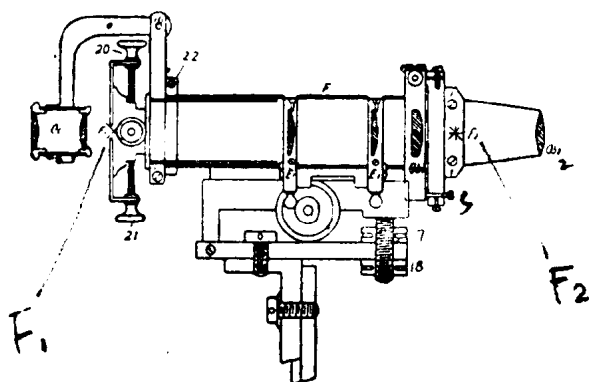
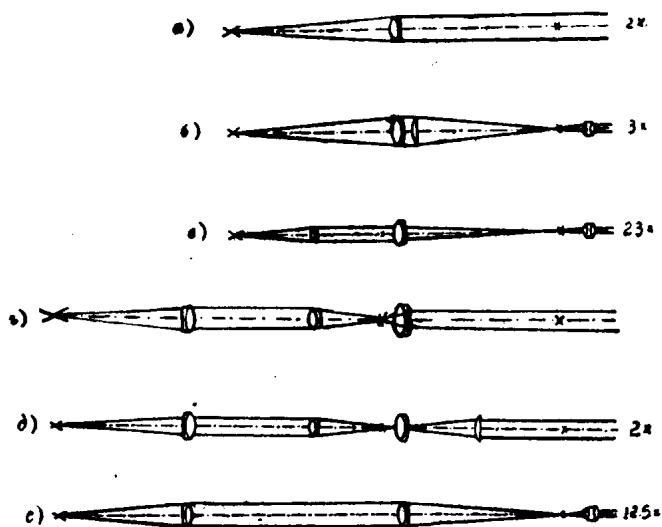


图 7 視物管的裝置



信 号	光 管 透 鏡	晶 体	接 物 鏡	十 字 絲	接 物 入 鏡	接 物 入 透	接 物 入 透	十 字 絲	接 目 鏡
			ob_1	F_1	ob_2	E_1	E_2	F_2	OC

图 8 視物管的透鏡的組合

将上述透镜进行各种组合，可以获得各种不同大小的信号象和晶体象。

视物管透镜的组合根据目的不同一般采用下列六种（图8）

观察晶体时采用以下三种组合：

（1）只用接物镜 ob_1 ，可看见晶体，作一般观察用，起弱透镜的作用（图8,a）。

（2）用接物镜 ob_1 、目镜 oc 和褶入透镜 E_2 观察较大的晶体象（图8,b）。

（3）用接物镜 ob_1 、 ob_2 及接目镜 oc ，观察更大的晶体象，在观察细小晶体或晶面细节时用（图8,b）。

观察信号时采用以下三种组合：

（4）用接物镜 ob_1 和 ob_2 观察缩小的反射信号（图8,r）。

（5）用接物镜 ob_1 和 ob_2 及褶入透镜 E_1 观察稍大的反射信号象（图8,π）。

（6）用接物镜 ob_1 及接目镜 oc 观察放大12.5倍的信号象（图8,e）。

二、仪器的校正

仪器的校正须要满足下列要求：

- （1）视物管 F 与光管 C 的光轴及水平轴 A_2 在同一平面中；
- （2）上述平面要与垂直轴 A_1 垂直；
- （3）上述四轴应交于一点；
- （4）视物管与光管皆准焦至无穷远，即十字丝和信号光缝位于接物镜系统的主交点上。

仪器校正的步骤和方法如下：

（1）接目镜 oc 的调整。接目镜的焦点应落在十字丝 F_1 上。将视物管对准亮的物件，如白纸等，通过接目镜可以看到十字丝 F_1 ；将接目镜 oc 在小把手 O 中移动，使眼睛能最清晰地看清十字丝。这种调整因人而异。因各人的眼睛有所不同。

（2）视物管的调整。把视物管准焦至无穷远。这一校正须要分两步进行：粗调与细调。

a、粗調：將測角儀移至窗戶附近（最好放置在測角儀的暗室里靠近測角儀開一小窗，不用時可以關閉）。越過開著的窗口，用接物鏡 ob_1 和接目鏡 oc 看清戶外遠處的物件（如電線杆或旗杆），移動眼睛，則會發現物象與十字絲 F_1 有相對移動，即有視差，這表示物象與十字絲 F_1 不在一個平面中；鬆開螺絲22，使接目鏡 oc 、小把手 O 以及十字絲 F_1 等在筒內前後微微移動。使得遠處物體的象與十字絲不發生視差（或無顯著視差）然後將螺絲22固緊。

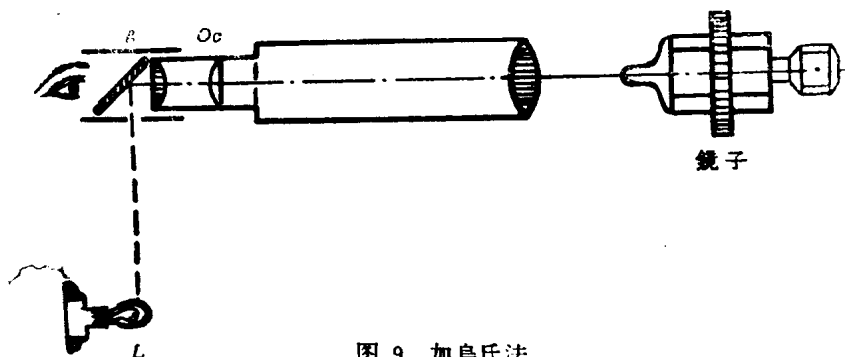


圖 9 加烏氏法

b、細調：在暗室中，在 Oc 上套上加烏氏法所用的斜玻璃裝置（圖9），斜玻璃（ g ）與視物管的軸之間為 45° 。在其旁置有一光源（ L ）。

將調節小鏡（圖10）插在測角儀頭的小孔中，用螺絲固定。

將調節小鏡的鏡面正對着視物管 F 。視物管採用第6種組合，即只用接物鏡 ob_1 和接目鏡 oc 。此時，通過斜玻璃 g 在視野中可以看到兩個十字絲。一個是真正的十字絲 F_1 ，很清楚，而另一個則非常模糊，它是由鏡面反射而來的十字絲 F_1 的象 F_1' （圖11），當眼睛移動的時候這兩個十字絲會有相對移動；

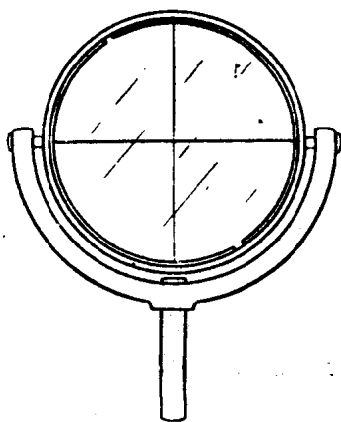


圖 10 調節小鏡

這說明了視物管尚未准焦到无穷远。此时就須要再把螺絲 22 松开，使十字絲 F_1 稍稍移动，直到两个十字絲无相对移动为止。然后将螺絲 22 固紧，在固紧后要再进行一次观察，看是否因固紧螺絲而引起視差，如果发生了視差，則要重新进行上述操作。

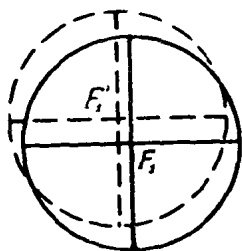


图 11 在視物管中所看到的
真十字絲和反射的十字絲

的水平絲之間的狹縫將时而閉合，时而分开；此时則要将螺絲 22 松开，將十字絲 F_1 稍稍轉动（此时須特別注意不要因此而产生視差，如果出現了視差应馬上消除）。直到当水平圈旋轉的时候， F_1 和 F_1' 的水平絲之間小縫的寬度保持不变为止。

十字絲 F_1 方向的調整的这一步驟，可以和視物管的細調結合起来进行，即在進行視物管的細調时，在消除視差的同时，也注意十字絲 F_1 方向的調整，这样可以避免在单独調整 F_1 方向时重新引起視差。

(4) 安装視物管 F_1 使其軸与 A_1 軸垂直。視物管的透鏡組合仍如前。轉动調整小鏡，使鏡面与 A_2 軸平行、將 A_2 軸置于視物管的右方，使它們之間的交角为 90° 左右，观察两个十字絲 F_1 和 F_1' ，用垂直圈上的微动螺旋 m_2 使两个十字絲的水平絲互相重合，然后把 A_2 軸圍繞 A_1 軸轉 180° ，当視野中再出現 F_1' 时一般两个十字絲的水平絲已經分开了。在这种情况下要用垂直圈的微动螺絲 m_2 消除誤差的一半，另一半則要靠轉动螺絲 17 和 18 使視物管在傾斜方向移动来消除。用手將視物管的一端輕輕地一按，就可以判断視物管應該向上翹起还是要向下傾伏。如果要使視物管向

(3) 十字絲 F_1 的方向的調整。

十字絲 F_1 的垂直絲应与 A_1 軸平行。

在进行这一步驟时，視物管的組合，加烏氏斜玻璃及調整小鏡的安置仍如前所述，不要改变。用水平圈和垂直圈的少許旋轉使 F_1 和 F_1' 的水平絲之間有一條狹窄的縫。此时，再使小鏡圍繞 A_1 軸轉动。如果十字絲 F_1 的垂直絲与 A_1 軸不平行，則 F_1 和 F_1'