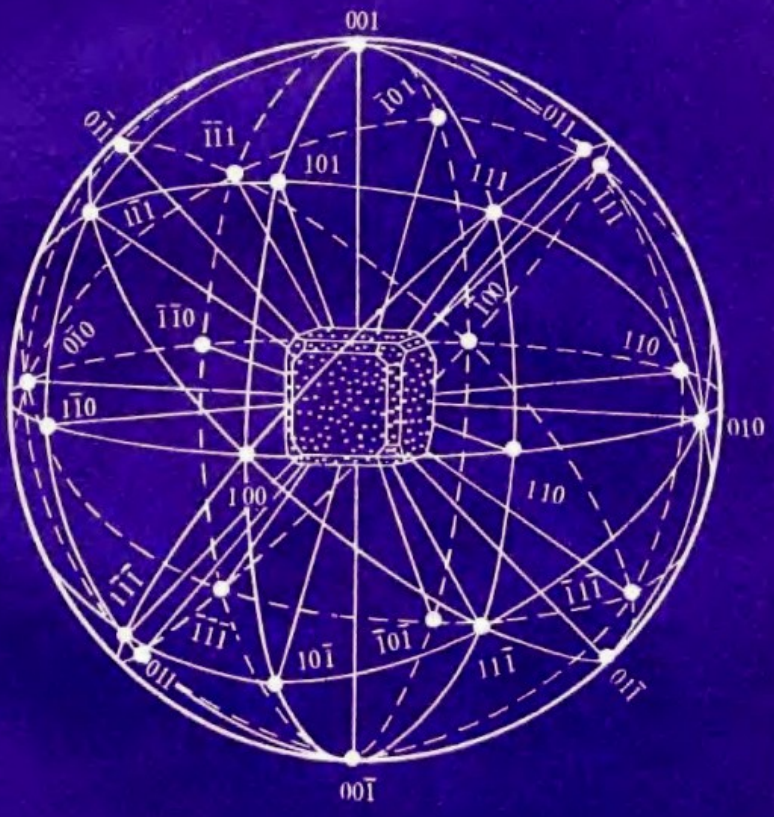
普通高等教育地质矿产类规划教材

费德洛夫法简明教程

常丽华　主编



地质出版社

072449

0064 3627

普通高等教育地质矿产类规划教材

费德洛夫法简明教程

长春地质学院 常丽华 主编

200390488

石油大学图书馆 藏书

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书主要介绍了旋转台的构造、安装、校正；吴氏网的应用；一、二轴晶光率体定位；光轴角的测定方法以及斜长石、碱性长石、主要暗色矿物的鉴定方法。其中重点是介绍斜长石成分、有序度和碱性长石成分、有序度、三斜度的测定方法。书中所选的矿物鉴定方法和图表都是经长期教学、科研实践证明最为实用、效果较好的内容。所引用的新方法也是经实际操作，认为是有效的。在介绍了矿物的每种鉴定方法之后，都附有实例，便于读者掌握。

本书主要作为地质、地球化学及岩矿等专业大学生和研究生教材，也可作为岩矿工作者的自学教材和参考书。

本书简明实用。全书约12万字，图 82 幅。

普通高等教育地质矿产类规划教材

费德洛夫法简明教程

地质矿产部教材编辑室编辑

长春地质学院　常丽华　主编

责任编辑：赵俊磊

地质出版社出版

（北京和平里）

北京地质印刷厂印刷

（北京海淀区学院路 29 号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092 1/16　印张：4.75　插页：12页　字数：109000

1993年 8 月北京第一版·1993年 8 月北京第一次印刷

印数：1—1400 册　　定价：3.15 元

ISBN 7-116-01348-2/P·1116

（另有附图一袋）

前　言

“费德洛夫法”又称“万能旋转台法”，它是根据晶体在偏光显微镜下的光学性质，配合费德洛夫旋转台（简称旋转台）在空间的转动，直接或间接测定其光学常数和光性方位的一种方法。它能精确鉴定岩石中的矿物成分及结构状态。具有精度高、操作方便、节省费用三大优势。自从1933年何作霖教授把该方法介绍到我国地质界以来，迅速得到普及，并成为广大岩矿工作者喜爱的常规测试手段。尽管目前用于岩矿鉴定的测试仪器如电子探针等越来越多，但它们仍不能完全代替费德洛夫法，例如要解决某些矿物特别是新矿物或人造矿物的解理、双晶与各光学主轴的关系，或测定某微小矿物的轴性、光性，就会显示出该方法的优越性。因此，目前费德洛夫法在我国地质类高等院校中已成为有关专业的大学生和研究生的选修和必修课。

本教材的编写是根据教学大纲的要求，严格按教学的程序并突出阐述了基本操作方法。书中所选用的矿物鉴定方法和图表都是经长期教学、科研实践证明简明实用，效果较好的内容。在教材编写过程中，我们对所有选入书中的方法都通过实际操作进行了验证整理，增加了大量新的实例，便于学生掌握。本书适用于大学本科生和研究生教学，亦可作为一般岩矿工作者的自学教材。

书中第三章到第八章由常丽华编写，第一章、第二章及第九章由洪景鹏编写，全书由常丽华统稿。书中插图由刘燕、欧向贤清绘。在本书编写过程中，得到了康维国、孟庆丽、刘雅芹、朱焕士等老师的热情支持和帮助，在此一并表示感谢。

中国地质大学叶德隆教授对本书进行了全面系统地审阅，并提出宝贵的修改意见，在此深表谢意。

编　者

1992年3月

目　　录

前言

第一章　旋转台的构造、安装和校正…… 1

第一节　旋转台的构造…… 1

第二节　旋转台的安装和校正…… 4

第三节　旋转台的维护…… 7

第二章　吴氏网在费德洛夫法中的应用及解理夹角测量…… 8

第一节　吴氏网——赤平投影网的构成及使用方法…… 8

第二节　赤平投影网的作用……11

第三节　解理夹角的测量……12

第三章　一轴晶光率体定位……13

第一节　一轴晶光率体定位原则……13

第二节　一轴晶光率体定位方法……13

第三节　某些碳酸盐矿物的鉴定——一轴晶定位的应用……14

第四章　二轴晶光率体定位……16

第一节　二轴晶光率体定位原则……16

第二节　二轴晶光率体定位方法……16

第三节　在旋转台上鉴别一轴晶和二轴晶……20

第五章　二轴晶光轴角的测定方法……23

第一节　直接测量光轴角法……23

第二节　间接测量光轴角法……25

第六章　斜长石成分的鉴定方法……28

第一节　斜长石鉴定的解理法……29

第二节　斜长石鉴定的双晶法……31

第三节　斜长石鉴定的消光角法……36

第七章　斜长石有序度的测定……42

第一节　有序度和长石有序度……42

第二节　斜长石双晶类型的判别……43

第三节　斜长石有序度的测定……45

第八章　碱性长石的鉴定方法……59

第一节　碱性长石鉴定的解理法和消光角法……59

第二节　碱性长石的有序度、三斜度的测定方法……63

第九章　暗色矿物的鉴定方法……66

第一节　单斜辉石（角闪石）的鉴定……66

第二节　橄榄石族和云母族矿物的鉴定……70

参考文献……72

图版

第一章　旋转台的构造、安装和校正

旋转台是安装于偏光显微镜上的一个附件，在费德洛夫法和岩组学研究中，是不可缺少的重要工具，必须切实掌握其性能。

第一节　旋转台的构造

旋转台由一套金属轴、环和玻璃半球系统组成。上、下玻璃半球夹持岩石薄片，使其能在三维空间任意转动。

目前生产的旋转台有四轴台和五轴台之分。现以德国莱兹厂生产的五轴旋转台为例（如图 1—1），加以介绍，其它厂家生产的旋转台，构造上大同小异。

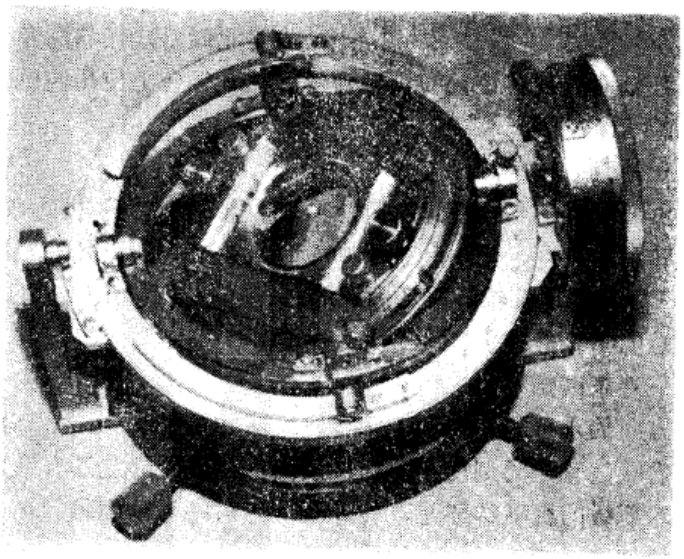


图 1—1　五轴旋转台

一、底座

底座用于支撑整个轴、环及玻璃半球系统，并通过其上的固定螺丝，将整个台子固定在偏光显微镜物台上。现今生产的旋转台，在底座上还配有带校正螺丝的附加底盘，用来校正旋转台中心。

二、轴、环系统

轴、环系统由五轴四环构成，从内向外依次为N轴（n环）、H轴（h环）、K轴（k环）、M轴（m环）、I轴（图 1—2）。

四轴台无K轴。

（一）N轴——内直立轴

此轴内环n的旋转轴，轴与薄片平面垂直。n环外侧有0°—360°刻度圈，可以读出

N轴旋转的角度。n环内侧镶有另一金属环，环内载有圆玻璃片，用以在其上放置薄片和半球，此金属环背面安有螺旋圈，拨动上面的四个小齿片，可调整半球系统（包括薄片）的高度。n环外侧右下方有一金属杆（有的台子上无此杆），拨动它可锁紧该轴，但一般操作时不必锁紧。

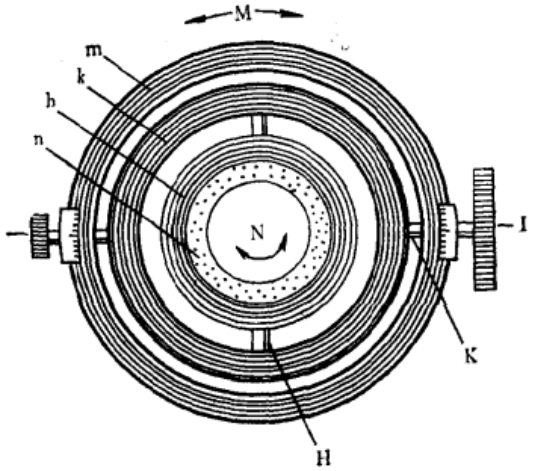


图 1—2　五轴旋转台的轴、环系统示意图

（二）H轴——南北轴

此轴为南北方向的水平轴，与对应的h环处于同一平面。转动H轴，使h环（并携带n环）向东或向西倾斜，转角可由东西两侧的刻度弧上读出。H轴的北端（或南端）有一制动螺丝，可将H轴锁住。

（三）K轴——内东西轴

此轴为东西方向的水平轴，与对应的k环处于同一水平面内。转动K轴，可使k环联同N、H轴和相应的n、h环向南或向北倾斜，倾斜的角度可以在南北两端的刻度弧上读出。K轴右端装有该轴的锁轴螺丝。在五轴台上使用四轴法工作时，需将其锁在0°位置。四轴台无该轴。

（四）M轴——外直立轴

此轴与对应的m环垂直，当m环水平时，M轴与显微镜轴重合。m环上刻有0°—360°刻度，可读出M轴转动的角度，当m环位于90°时，为M轴的原始位置即零位（原苏联产旋转台0°为原始位置）。转动M轴将带动内部的轴、环一并转动，影响H、K轴位置。M轴的固定螺丝在右端的I轴鼓轮上。

（五）I轴——外东西轴

此轴亦为东西方向的水平轴。转动I轴可使m环并携带k、h、n环向南或向北倾斜。I轴转动角度由其右端鼓轮上的刻度和游标尺读出。在鼓轮的北端有该轴的固定螺丝。

由上可知，轴环系统的机械特征是，转外轴（环），必带动内轴（环），而转内轴（环），不影响外轴（环）的位置。以上轴、环的空间关系参见图1—1和图1—2。

德国莱兹和我国浑江光学仪器厂生产的旋转台，除M轴原始位置为90°外，其它各轴均为0°。

三、玻璃半球系统

该系统由上、下玻璃半球和夹在其间的岩石薄片、圆玻璃片组成，构成一个完整的球体，其球心恰好设计在岩石薄片平面上（见图1—3）。

旋转台通常备有三对折射率不同的玻璃半球（如德制三对半球折射率分别为1.516、1.557、1.649）。上半

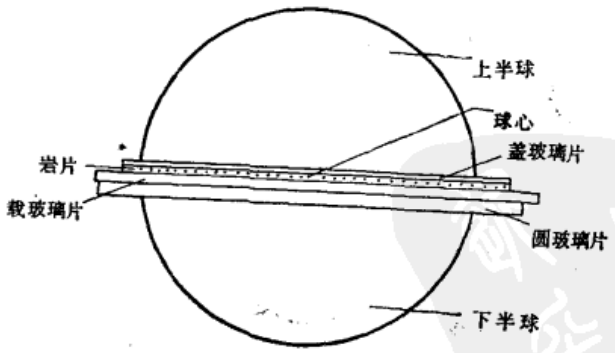


图 1—3　玻璃半球系统
下半球、圆玻璃片，岩石薄片和上半球各相邻面之间均涂有液体石蜡（或甘油）

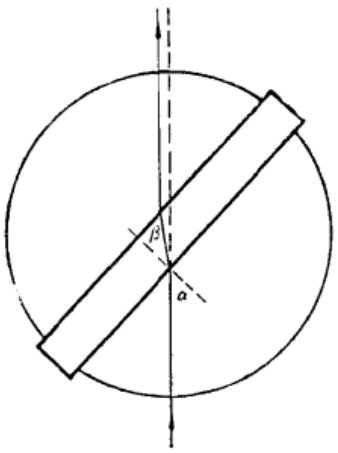


图 1—4　光通过半球、倾斜薄片时的光路示意图

虚线：$n_{半球}=n_{矿物}$时，不发生折射；实线：$n_{半球}$与$n_{矿物}$相差较大时，发生折射，α（假角）和β（真角）相差较大

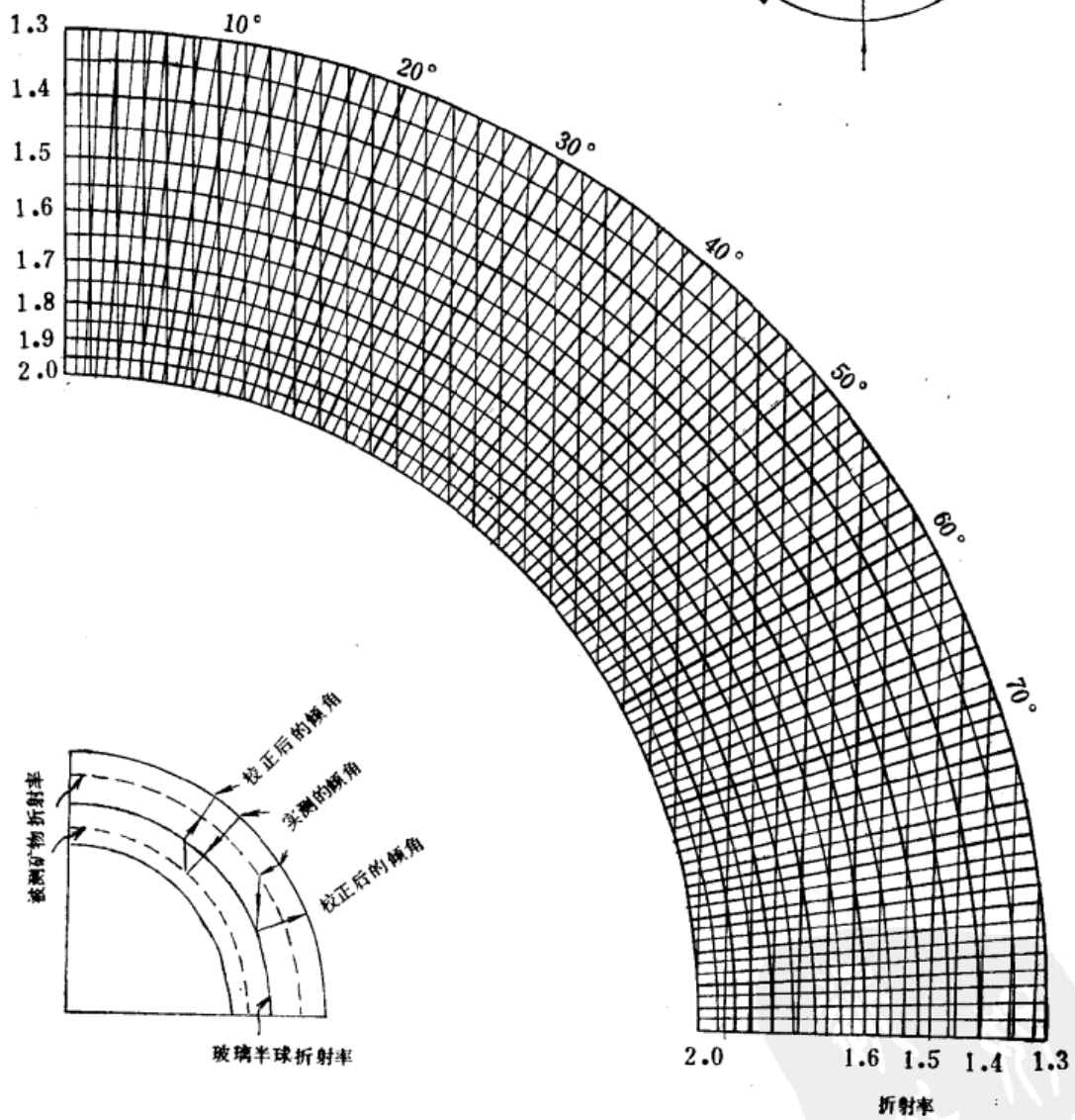


图 1—5　假角校正为真角的图解

（据费德洛夫，引自池际尚等，1983）

图的左下角为查图方法示意图，当$n_{矿}>n_{球}$，按示意图的左上方箭头指示方向查出校正后的转角值；当$n_{矿}<n_{球}$，按示意图右下方箭头指示方向查出校正后的转角。例$n_{矿}=1.8$，$n_{球}=1.65$，实测倾角45°，查图得校正后的倾角为40°

球嵌在一梭形或矩形金属板上，可由螺丝固定在n环上部；下半球嵌在一个圆形具弹性金属架上，可卡在n环的下部。金属板和金属架上分别标有上下半球的折射率值。

玻璃半球系统的作用是不论薄片如何倾斜，光线都是垂直球面透射到半球中，当选用的一对半球折射率值与待测矿物的折射率值相等或很接近时，在半球与矿物的界面上，光线并不发生折射，或不发生明显的折射；当半球与矿物折射率值相差较大时，光线通过半球和待测矿物晶体，就会发生明显的折射，导致测量的角度（假角）和真实角度有一定的差值（见图1—4）。因此，在测量时，必须尽量选用与被测矿物折射率相等或相近的一对玻璃半球，这样才能最大限度地提高测量精度。若欲测矿物（特别是暗色矿物）与配备的三对半球折射率值相差均较大（一般>0.05）时，旋转台上测量的I、H或K轴的转角（>40°）需要查图（图1—5）校正。

由于上半球的厚度超过了显微镜所附普通物镜的工作距离（焦准时，薄片到镜头的距离），无法焦准矿物，因此，旋转台配备了一套长工作距离的专用物镜，常用的有5×（UM_1）、10×（UM_2）、20×（UM_3）、30×（UM_4），有的附50×（UM_5）等。

第二节　旋转台的安装和校正

一、旋转台的安装

（一）准备工作

1．偏光显微镜的检查、调试。要求目镜十字丝严格平行南北和东西方向；上、下偏光振动方向平行十字丝；光学系统无障碍。

2．更换专用长焦距物镜和聚光镜。

3．检查薄片边部是否平滑，用镜头纸擦拭薄片。

（二）安装薄片和半球

1．装上n环内侧的金属环，使其边缘的两个缺口对准n环上的两个小螺孔。将圆玻璃片嵌于该金属环内，在圆玻璃片上滴1—2滴液体石蜡（或甘油，以下同）。

2．将擦干净的薄片盖玻璃朝上，使薄片的一个边先接触圆玻璃片和其上的液体石蜡，然后慢慢地放下整个薄片（斜放法），使液体石蜡由一边逐渐浸满薄片，以避免产生气泡。

3．在薄片上面滴1—2滴液体石蜡，选用与待测矿物折射率最接近的一对玻璃半球，按上述斜放法安装上半球，同样注意避免产生气泡。将上半球金属板两端的小孔和缺口对准n环上的小螺孔，用专用弹簧螺丝固定之，但不要太紧，以用手指可使薄片在半球下自由滑动为宜。

4．反转H轴180°（上半球球面向下），在圆玻璃上滴1—2滴液体石蜡，仍使用斜放法轻轻地将整个下半球（注意其折射率要与上半球相等）嵌入金属框中，恢复H轴零位。

（三）旋转台的安装

1．取下显微镜的物镜、薄片夹和物台中央的金属圆板。

2．提升显微镜的镜筒（或下降物台），到最大限度。物台锁在0°上。

3．使旋转台的I轴鼓轮在右侧，双手持旋转台轻轻地将其放到物台上，并使底座上的两个圆孔对准物台上正南北方向的两个螺孔，用固定螺丝将二者固定（带附加底盘者要拧紧，不带这种底盘者先不要拧紧，以便校正旋转台中心时移动底座，待校正后再拧紧）。

4．将旋转台专用物镜安装到显微镜上。

旋转台安装完毕，将旋转台各轴恢复零位（N轴不必，下同），也就是H、K、I轴位于0°，M轴固定于90°。

二、旋转台的校正

为保证测量精度，减少误差，工作前必须对旋转台作以下的检查校正。

（一）物镜中心校正

这是在进行旋转台校正之前必须作的，否则后面的校正操作将无任何意义。校正方法即一般显微镜的物镜中心校正（注意转物台时，旋转台各轴要位于零位）。所有待使用的物镜均需校正。

（二）旋转台中心校正

目的是使旋转台的直立轴与显微镜轴重合。

1．移动薄片使一微小矿物颗粒（以下简称质点）置十字丝交点上，各轴位于零位，物台锁在0°。

2．转N轴360°，若质点绕十字丝中心作圆周运动，表明中心不正，需要校正。方法原理同显微镜物镜中心校正，转N轴180°，质点距离中心最远，轻轻转动附加底盘的两个校正螺丝（无此底盘者，用双手轻轻推动尚未锁紧的底座），将质点移到距十字丝中心一半的位置，用手挪动薄片，使原质点或另选的质点置于视域中心。

3．再转N轴检查，若质点仍偏离十字丝中心运动，需再次调节旋转台的校正螺丝（或移动底座），直到视域中心的质点在转N轴检查时不偏离十字丝中心为止。对不具附加底盘的旋转台，此时一定要锁紧底座固定螺丝。

（三）旋转轴的校正

1．I轴的校正及物台零位的确定

目的是使I轴严格平行十字丝横丝。检查和校正的方法是：将各轴和物台锁在0°（M轴在90°）。提升镜筒（或下降物台）焦准上半球表面的尘点，放松I轴锁轴螺丝，往返转动I轴（最大限度），同时观察十字丝附近的尘点移动轨迹，如轨迹平行十字丝纵丝，说明I轴恰在东西方向（平行十字丝横丝），载物台的0°即为物台的零位。若尘点移动轨迹不平行十字丝纵丝（图1—6），说明I轴不在正东西位置，需要校正。方法是稍许转动物台，并转I轴观察尘点移动轨迹，直到转物台一定的角度时，尘点严格平行十字丝纵丝移动为止。物台此时的读数为物台的零位，记录之（如359°），只要台子不重新拆装，物台零位均按此（如359°）为准。

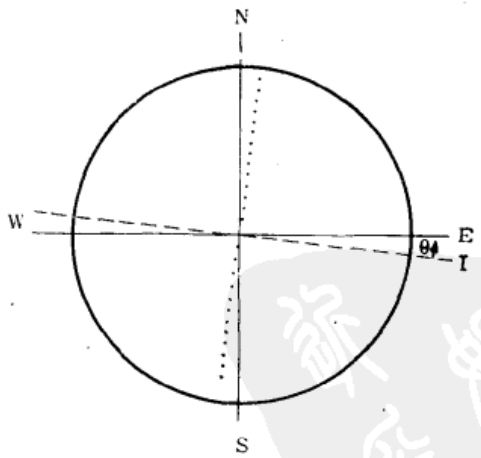


图 1—6　I轴的检查

I轴与十字丝横丝（EW）相差θ角转I轴时，见尘点按点线移动

2．H轴的校正和m环零点的确定

当各轴和物台位于零位时，H轴应与十字丝纵丝平行。检查和校正方法同上所述，但转H轴要观察尘点是否沿十字丝横丝移动，如有偏差，转M轴加以校正，校正后M

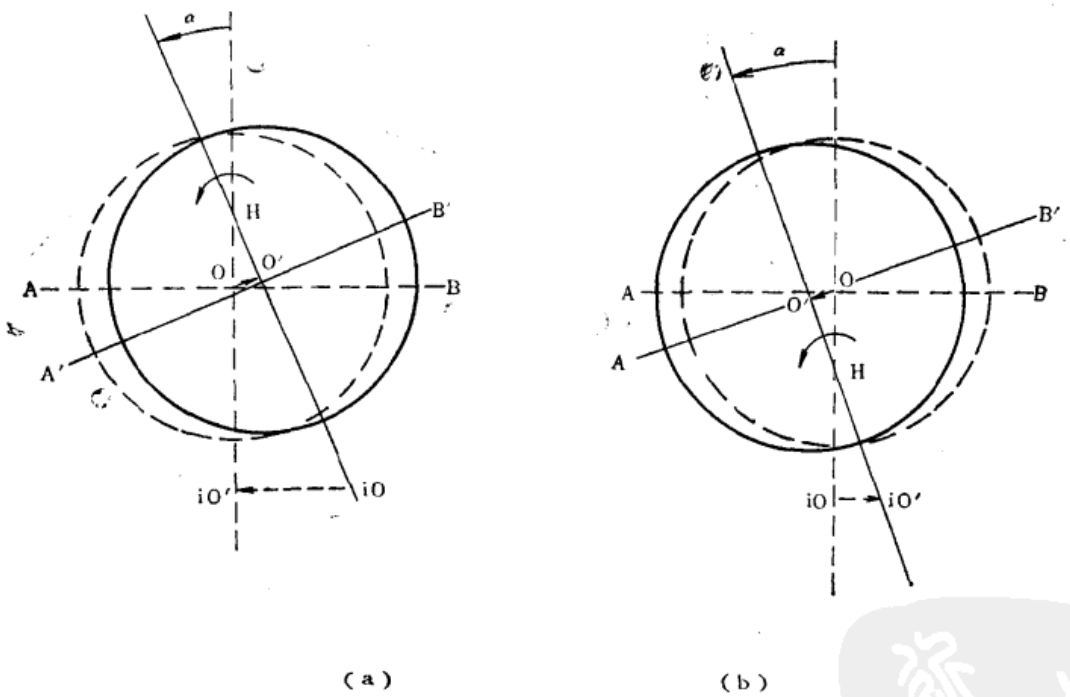
轴（m环）的刻度读数确定为零位（如89.5°），此数为该旋转台的基本常数，长期有效，不必每次装台均校正。

（四）球心高度（即薄片高度）的校正

半球系统的球心（在岩石薄片平面上）应与旋转台各轴的交点重合，但由于薄片（包括载玻璃和盖玻璃）往往略厚或略薄，以及其它机械误差的存在，球心常常稍高或略低于各轴交点，需要拨转n环背面的调节环加以校正。其步骤如下：

1．旋转台各轴处于零位。焦准薄片内一个小物点，置于视域中心。

2．转H轴，如该物点位置不变，说明球心高度适中，如该物点离开十字丝交点，说明球心高于或低于各轴交点，需要校正。若物点移动方向与H轴倾斜方向相同时（实际上二者方向相反，因为显微镜下看到的是倒像，如图1—7（a）所示），反映球心偏低（即薄片平面偏低），需要顺时针转动调节环（或反转n环180°，逆时针转动调节环），使球心升高。此时要注意，先适当放松控制上半球的螺丝，给球心升高留有余地。反之，当H轴倾斜方向与物点移动方向相反，表示球心偏高（薄片高于H轴，如图1—7（b）所示），需逆时针（反转n环180°，则顺时针）转动调节环，以降低球心的高度。



（a）　　（b）

图 1—7　球心高度校正示意图

（a）球心低于H轴；（b）球心高于H轴。*AB*—当H＝0°时，矿片位置；*A′B′*—H轴倾斜时，矿片位置。虚圆—H＝0°时，一对半球位置；实圆—H轴倾斜时，一对半球位置。实箭头—H轴转动方向和物点实际移动方向（O—O′）；虚箭头—显微镜下看到的物点移动方向（iO—iO′）

操作时注意，应固定n环，否则在拨动调节环时，会带动n环一起转动，起不到升降球心的作用。每转动调节环1—2周，进行一次转H轴的检查，如此反复几次，直到转H轴，小物点居于十字丝中心不动为止。

第三节　旋转台的维护

旋转台是一种精密贵重而又易受损伤的仪器，特别是由光学玻璃制成的半球和圆玻璃片，硬度特别小，极易磨损。因此，进行操作时，一定要严格遵守操作规程和实验室规章，随时注意仪器的维护和保养。

一、安装前，要将半球、圆玻璃、岩石薄片等擦拭干净，不可附有灰尘，否则尘粒会造成半球和圆玻璃上的显微划痕。所用薄片边角要圆滑，盖玻璃完整平滑。

二、安装薄片时一定要使盖玻璃朝上，否则不能准焦，而且极易发生物镜碰伤半球的事故。

三、装台时，要尽量的提升镜筒（或下降物台），同时取下物镜，避免上半球与显微镜相碰。

四、安装上半球时，不要将固定螺丝拧得过紧，以免将盖玻璃压碎，划伤半球。同时，液体石蜡也不要滴的太少，否则半球与薄片之间不润滑，产生磨损。

五、焦准时，要先下降镜筒（上升物台），并侧头观察物镜和上半球的距离，直到几乎接触时停住，然后，才看着视域并缓慢提升镜筒（或下降物台），焦准矿物，这样可避免镜头碰伤球面。

六、旋轴台各轴（尤其是最常用的H轴）的锁紧螺丝易于磨损失灵，必须注意保养。切记在转动各轴之前，先松开相应的锁螺丝，绝不可以在锁紧的状态下强力转动旋转轴。操作时，动作宜轻巧，用手指尖之力转动各轴，不可使用腕力，更不能用臂力。

七、装拆台等全部工作要在铺有胶皮垫的桌面上进行。使用过的光学部件（半球、圆玻璃片）都要用镜头纸（或脱脂棉）蘸酒精和乙醚的混合液加以擦拭干净，不得留有油污。金属部件也要经常擦拭，特别是粘有液体石蜡的部分，要用酒精-乙醚混合液及时擦洗。

思考与讨论

为什么要进行I、H轴的校正？当它们与十字丝不平行时，对光率体定位有何影响？

第二章　吴氏网在费德洛夫法中的应用及解理夹角测量

利用旋转台精确测定矿物的光学常数，主要是通过各轴的旋转，使原来非定向的颗粒转为定向，找出结晶要素和光率体要素在空间的位置。然后根据它们之间的关系（如斜长石的 $N_g \wedge \perp(010)$ 等）或光学常数来鉴定矿物。用旋转台达到上述目的有两种方法，一种是直接方法——五轴法，即通过五个轴的协同转动使光率体要素和结晶要素分别定位，并直接测出二者的夹角或光学常数。该方法简便，但误差一般较大。因此，鉴定矿物常用的是另一种方法——“四轴法”，这种方法是利用三个轴（N、H、I）的旋转分别测出光率体轴和各结晶要素的空间位置，然后通过投影作图，将其角度关系或光学常数求出，所以，投影作图是四轴法的重要组成部分。此外，费德洛夫法的许多测定原理和测定方法常用投影图表示，通过作图还可以发现测量误差，便于及时校正。因此，必须熟练掌握投影作图方法。旋转台专用的投影网为极射赤平投影网——吴氏网（Wulff，1902年首创）。

第一节　吴氏网——赤平投影网的构成及使用方法

一、赤平投影图

极射赤平投影图（以下简称赤平投影图）是由球面投影图演变而来。球面投影是将晶体的中心置于球心（图2—1），由球心向各个晶面作垂线，并且延伸使之与球面相交，交点称为晶面的极点。每个极点代表一个晶面。球面投影可以清楚地反映出各结晶要素的空间关系，但因它是立体图，使用不方便。因此，由该图进一步演变为赤平投影图，使之成为平面图。方法是：由球面投影上的每一极点向球体的南极（或北极）连线，它们与赤道平面的交点即为该球面极点在赤平面上的投影点，如图2—2所示。因为晶体多具有一个垂直 c 轴的对称面，所以当 c 轴与球体的南北极轴平行时，对称面与赤平面重合，所以在投影时一般只取晶体在北（上）半球的投影点，就足以代表整个晶体的特征了。

二、赤平投影网——吴氏网的构成

赤平投影网是为了进行赤平投影作图而设计的网格图，也是度量投影点空间关系的坐标底图，有几种形式，旋转台法鉴定中常用的是吴氏网（图版Ⅰ）。

吴氏网主要由五部分构成：

（一）基圆

基圆位于赤道平面的水平大圆，可与旋转台各水平轴零位时的n环、m环（和载物台）相对应，以南端为起点（0°），顺时针划分360°，恰与n环的刻度一致，用以表示N轴的转角。作图时将基圆作为被测薄片平面看待，如图2—3中 *ACBD* 圆。

（二）南北和东西直径

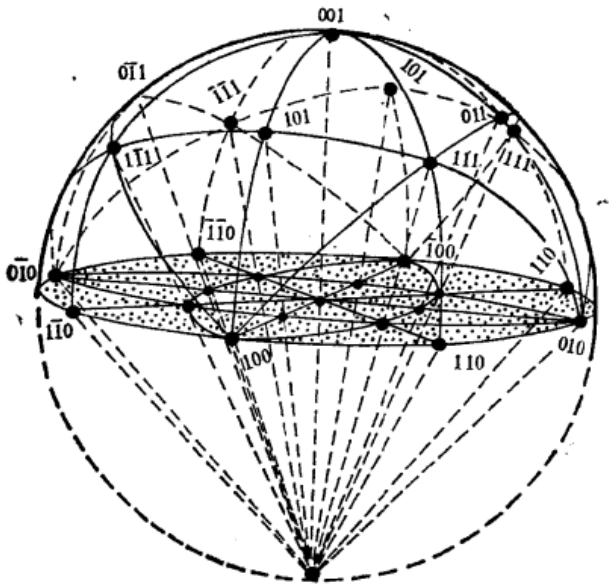


图 2—1　立方体{100}、八面体{111}与十二面体{110}的球面投影
（引自池际尚等，1983）

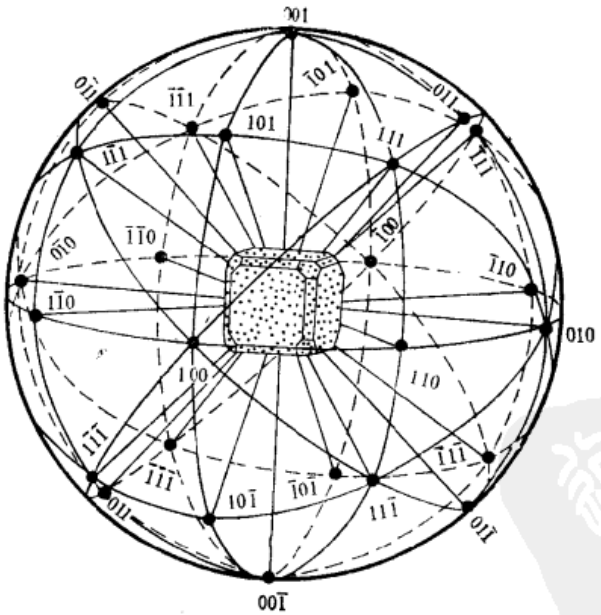


图 2—2　球面投影与赤平投影的关系
（引自池际尚等，1983）

PDG

南北和东西直径代表经过球心的直立大圆。南北直径与旋转台零位时的H轴对应，而东西径则与旋转台零位时的K、I轴对应。如图2—3中 CD 和 AB 直径。

（三）大圆弧（简称大圆）

大圆弧代表通过南北直径的一系列倾斜平面的投影，间隔角距2°，从中心向东西两侧各分成90°。一个与水平面相交60°且西倾的面的投影为自网心向东数30°的大圆。如图2—3中 $\overset{\frown}{CED}$ 圆弧。

（四）小圆弧（简称小圆）

小圆弧代表平行于东西直立面的一系列平面的投影，间隔角距2°，从中心向南北两侧各分成90°。如图2—3中 $\overset{\frown}{FG}$ 等圆弧。

（五）圆心（网心）

圆心与旋转台的中心相对应，也是旋转轴N、M（原始位置）和显微镜A轴的投影点。如图2—3中的O点。

在吴氏网上，点代表线的投影，线代表面的投影。

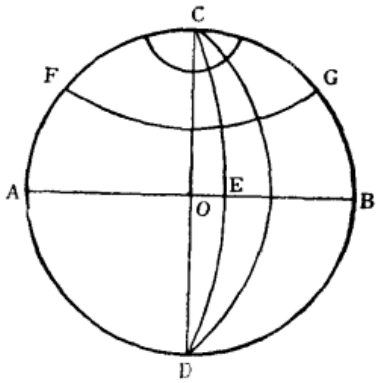


图 2—3 吴氏网的构成示意图

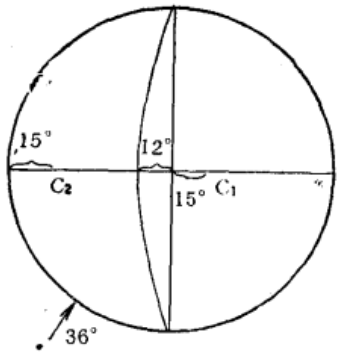


图 2—4 轴和面在吴氏网上的投影

三、吴氏网的使用方法

透明纸盖于网上，固定好，描下基圆，圆心作“+”记号。在圆外对准吴氏网的0°处划一个起始箭头“↑”，作为旋转台N轴的零位，其度数在基圆上度量。H轴和I轴转角分别在网的东西和南北径上度量。

（一）线（轴）的投影

线的投影例如N＝36°，$H=\overrightarrow{15}°$❶（表示h环连同薄片向箭头“→”所指方向翘起15°，即向西倾15°也可写为H＝15°W，光轴（C_1）直立。则光轴（C_1）的投影方法是：转透明纸将起始箭头“↑”指向基圆刻度36°处，然后在东西径上，从中心向箭头“→”方向即向东数15°得一点，为 C_1 投影点；若N＝36°，$H=\overrightarrow{15}°$，光轴（C_2）水平，则转透明纸使起始箭头“↑”指向36°，然后在东西径上，从西端向箭头“→”方向（即向东）数15°，得一点为光轴（C_2）的投影点（图2—4）。总之，经旋转台定位后，若晶体的某个轴（光轴、结晶轴等）直立，H（或I）轴的度数要从中心向两端数。若某轴水平，则H（或I）轴的

❶ 本书所注的箭头方向与一般文献所注相反。这样作的目的是使投影更方便，在投影图上直接按箭头所指方向数转轴的角度即可。

度数要从两端向中心数。其方向决定于H(或Ⅰ)轴转动的方向(亦即相应的环遇起的方向)。

(二) 面的投影

面的投影例如N＝36°，H＝$\overleftarrow{12}$°，解理面直立。该解理面的投影是：转透明纸使初始箭头"↑"指向36°，在东西径上，从中心向箭头"←"方向（即向西）数12°，描下相应的大圆弧，则该圆弧即为解理面原始位置的投影。如图2—4中的大圆弧。

第二节　赤平投影网的作用

一、基本作图和度量方法

(一) 已知大圆求极点

大圆代表一个通过圆心的平面的投影，其极点指该平面的垂线（法线）的投影。已知大圆时，转动透明纸，使该大圆与吴氏网某大圆重合，由此大圆弧沿东西径数 90°，得一点为该大圆的极点，例如N＝120°，H＝$\overrightarrow{30}$°，(010) 直立，求 (010)面及其法线(垂线)的投影，如图2—5所示。

(二) 已知极点求大圆

即已知面的法线，求面的投影。方法是：把极点转到东西径上，从此点沿东西径数90°得另一点.描下通过该点的大圆，即为所求之大圆。

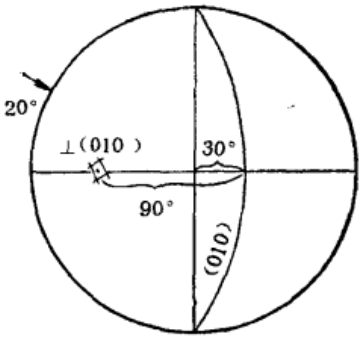


图 2—5　大圆和极点的投影

(三) 已知二点求其夹角

已知的二点可以是二平面的极点，也可以是某两个轴的投影点。例如已知结晶 c 轴和光学主轴 N_g 的投影点，求 $c \wedge N_g$ 夹角等。方法是：转动透明纸使已知的两点共大圆，在大圆上数二点的度数（角距）即得二点（二直线）的夹角。

(四) 已知两大圆求夹角

即求两个平面的夹角。按上述（一）的方法先分别求二个大圆的极点，然后再按上述（三）的方法求二极点的夹角即得两大圆的夹角。

二、吴氏网上对各点作相关移动（转图）的规则

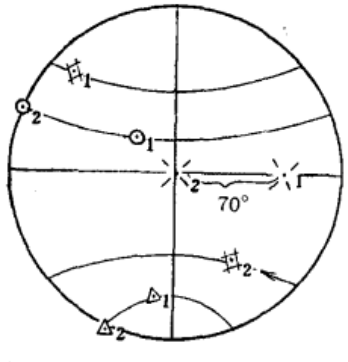


图 2—6　投影点的相关移动示意图

费德洛夫法使用的某些鉴定图需要首先将已投影在吴氏网上的各点作相关的移动（转图），以便附合其图表要求，如鉴定斜长石成分的卡登图，要求 N_m 轴位于网心，而在实测中往往不具这种定向性，因此需要将网上的各投影点，按规则作相关的移动，以使 N_m 点转移到网心。又如，若将某些矿物的特定晶面（如方解石的（0001）面）转到与吴氏网的赤道平面一致，则各晶面的对称关系和晶带关系表现得最清楚。所以，要学会在吴氏网上转图的方法。

设拟将 N_{m_1} 转到网心，方法是：转透明纸使 N_{m_1} 投影点（+₁）位于东西径上，度量

N_{m_1} 到网心的角度，如图 2—6 中所示为向西 70°，从 N_{m_1}（$+_1$）沿东西径向西数70°，网心即为转图后的N_m 投影点（N_{m_2}，$+_2$）。图上的其它各点 N_{g_1}（$\triangle_1$）、N_{p_1}（$\odot_1$）、解理极点（$\#_1$），均需自原位置沿各自所在的小圆弧向西移 70°，到达 N_{g_2}（$\triangle_2$）、N_{p_2}（$\odot_2$）和 $\#_2$ 点。需注意，$\#_1$ 点在向西数到 20°时达到基圆，继续数的 50°应在与该小圆对称（以东西径为对称面）的小圆弧上，按相同方向度量。如此转图后，N_{g_2}、N_{p_2} 应恰好位于基圆上，各点的角距关系保持不变。

第三节　解理夹角的测量

一、解理面（双晶面）的定位方法

（一）将待测矿物颗粒置于视域中心，各轴处于零位。

（二）转N轴使解理缝（或双晶缝）平行纵丝。

（三）转H轴（左、右转），仔细观察，当转H轴达一定角度，观察到解理（或双晶）缝最细、最清晰时，表示解理面（或双晶面）直立了，锁住H轴。（解理直立的另一标志是当稍微升降镜筒或物台时，解理缝不左右移动）。

（四）记录N和H轴的转角，并在吴氏网上进行解理面（或双晶面）的投影。

二、解理夹角的测量

有两种方法，其一是按上述方法，分别对两组解理进行定位，在吴氏网上投影二解理面的极点，然后按已知二点求夹角的办法，在吴氏网上度量二解理的夹角。其二是直接测量法，各轴位于零位，转N轴使第一组解理缝平行纵丝，转H轴使该组解理于南北直立，锁住H轴，再转 I 轴使第二组解理面直立，锁住 I 轴，最后转物台使第二组解理面与纵丝平行，读物台的转角，即得二组解理的夹角。测量时，一般应尽量选两组解理不过于倾斜的颗粒，以保证精度。

思考与讨论

1．根据数据投影或测量：

（1）N＝245°，H＝$\overleftarrow{40}$°，C 轴直立，求（001）面的投影（一轴晶矿物）。

（2）N＝69°，H＝$\overrightarrow{20}$°，（100）面直立，N＝101°，I＝10°↓，（010）面直立，求（100）和（010）面的夹角。

（3）N＝12°，H＝0°，N_g∥I；N＝4°，H＝$\overleftarrow{18}$°，（001）面直立，求（001）的法线 C 与 N_g 的夹角。

（4）N＝30°，H＝$\overleftarrow{30}$°，N_p∥I；N＝136°，H＝$\overleftarrow{25}$°，N_g∥I。求 N_m 的投影点。

（5）N＝40，H＝$\overleftarrow{32}$°，N_p∥I；N＝341°，H＝$\overleftarrow{13}$°，（010）直立，求（010）的极点与 N_p 的夹角。

（6）N＝326°，H＝$\overleftarrow{39}$°，N_g∥I；N＝56°，H＝$\overleftarrow{1}$°，N_p∥I，N＝251°，H＝$\overleftarrow{7}$°解理面直立，求 N_g∧#，N_p∧#，N_m∧#（#为解理面极点）。

2．在东西方向上倾斜 30°的一直线，分别说明在转H轴和 I 轴时，该直线投影点的运动轨迹各是怎样（其它各轴位于零位）？若当 I 轴有一定转角（α）的情况下，转 H 轴，上述直线投影点的运动轨迹又是怎样？

第三章　一轴晶光率体定位

第一节　一轴晶光率体定位原则

一轴晶光率体为旋转椭球体，其旋转轴既是光轴又是光率体对称轴。与光轴垂直的是一个圆切面，其任何直径都是光率体对称轴。所以一轴晶光率体定位的关键是确定光轴方向。一轴晶光率体任意切面，其二光波振动方向，一是光轴的投影方向，另一个则是其垂直方向。例如在投影图上A点为一轴晶任意切面（处于水平面）的光轴投影点，该切面的振动方向N_e'，N_o则如图3—1中A所示，根据消光原理，此时该切面在正交偏光镜下处于非消光位(明亮)；图中B、C点分别代表另两个任意切面的光轴投影点，其振动方向如图3—1中B、C所示，均处于消光位（偏光振动方向平行十字丝），当向东转动H轴一个角度（如20°），B、C点分别转到了B_1和C_1点，此时的二任意切面的光波振动方向有所改变，B_1所代表的任意切面仍处于消光位，而C_1所代表的任意切面则明亮。

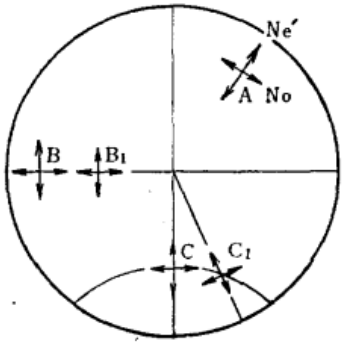


图 3—1　一轴晶光率体切面光波振动方向投影

一轴晶光率体定位就是利用消光原理，转动N、H轴，使光轴直立或东西方向（I、K）水平。

第二节　一轴晶光率体定位方法

一、常用方法

该方法适用于一轴晶的任何一个切面。现以某任意切面为例，说明具体步骤。

（一）将欲测颗粒置视域中心，使旋转台各轴位于零位。转N轴使矿物颗粒达消光，分别转I和H轴，检查消光情况。有以下两种可能：

1．转H轴消光不变，转I轴消光破坏（明亮），表明光轴位于东西直立面内（图3—1之B、B_1点）；

2．转I轴消光不变，转H轴消光破坏（明亮），表明光轴位于南北直立面内（图3—1之C、C_1）；

（二）上述1为定位所需位置（若定位时光轴处于2的位置，则转N90°），将H、I轴恢复零位，转I轴20°—30°，视域应明亮，锁住I轴。

（三）转H轴恢复消光，锁住H轴。

（四）松开I轴，反转I轴，观察视域是否明亮，如明亮，需再转H轴恢复消光（注意转

H轴前要松开其锁螺丝，以下同），再转Ⅰ检查，直到转Ⅰ轴消光不破坏为止，锁住H轴。

（五）转物台360°，若消光不变，表明光轴直立，若明亮说明光轴已东西水平。

（六）记录N、H轴的度数，注明光轴直立还是东西水平（‖I）。记录时不要忘记用箭头“←”或“→”标出h环翘起的方向，或用“E”、“W”标出h环倾斜方向，如H＝30°或H＝30°(W)表示h环东端翘起（或向西倾）30°。

（七）根据数据在吴氏网上投影

若欲定位的颗粒恰为平行光轴的切面，那么在转N轴达到消光后，分别转H和Ⅰ轴时，消光均不破坏。记录N轴的转角，而H＝0°（或Ⅰ＝0°）。吴氏网上该光轴的投影点应在东西直径（光轴在东西方向水平）或南北直径（光轴在南北方向水平）的端点处。因此对这种切面的光轴进行投影时，需首先确定光轴是在哪个方向水平，其方法是：在转N轴达消光后，转H轴一个角度如30°左右（此时仍为消光），转Ⅰ轴检查，若消光破坏了，表明光轴原来在东西方向水平；若消光不破坏，表明光轴原来在南北方向水平。

二、使光轴直立的方法 此法只适用于近于垂直光轴的切面。具体步骤如下：

（一）同常用方法中之(一)，转N达消光，分别转Ⅰ和H轴检查消光，有两种情况：

1．转H轴消光不变，转Ⅰ轴明亮即光轴位于东西直立面内。

2．转Ⅰ轴消光不变，转H轴明亮即光轴在南北直立面内。

（二）上述2为定位所需位置（若为1位置，则转N轴90°），即光轴在南北方向倾斜。逆时针转物台45°，光轴在北西—南东方向倾斜，消光破坏。

（三）转Ⅰ轴达消光，此时光轴直立。

（四）转物台360°，消光不破坏。

（五）记录N，Ⅰ轴度数（注意用“↓”“↑”标出n、m环翘起方向或用“N”“S”标出n、m环倾斜方向）并投影。

第三节 某些碳酸盐矿物的鉴定——一轴晶定位的应用

F. J. 特纳（F. J. Turner）于1949年提出用费德洛夫法鉴定白云石、铁白云石和方解石的一种简便方法。

一、鉴定方法原理

众所周知，白云石、铁白云石和方解石为一轴晶负光性矿物，$N_o > N_e$，双折射率大，并且该三种矿物的N_o均大于1.54（1.54为树胶折射率）N_e均小于1.54（表1）因此在N_o和N_e为半径的椭圆中可以找到一个N_e'，其值等于1.54（图3—2）。

根据椭圆公式：

$$N_e' = N_o \cdot N_e / \sqrt{N_o^2 \sin^2(90° - \phi) + N_e^2 \cos^2(90 - \phi)}$$

式中N_o、N_e为椭圆的长短半径，$\phi = N_e \wedge N_e'$（图3—2）。不同的矿物N_o，N_e值不同，故ϕ角也不同。通过旋转台的各轴旋转，分别将N_e和N_e'定位，就可测出ϕ角，已知ϕ角则可定出三种矿物（表1）。

二、鉴定方法

（一）选一闪突起明显且与树胶相接触的碳酸盐矿物颗粒，置视域中心。

表 1　白云石、铁白云石、方解石折射率与ϕ角

	N_e	N_o	ϕ
白云石	1.500	1.679	30°—21°
铁白云石	1.531	1.728	<20°
方解石	1.486	1.658	36°

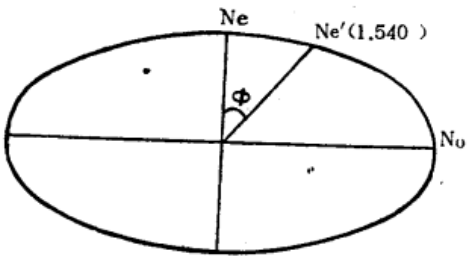


图 3—2　方解石、白云石、铁白云石平行光轴切面中 N_e' 位置

（二）根据一轴晶光率体定位方法，确定光轴位置，记录数据并投影。

（三）除N轴外，各轴恢复零位，此时光轴（N_e）在东西方向倾斜，转N轴90°，使N_e位于南北方向（显微镜下偏光振动方向应为南北向），在单偏光镜下，转I轴观察突起的变化，当突起几乎消失，矿物边缘出现色散时，表明N_e'（折射率等于1.54）在南北方向水平，锁住I轴。

（四）读I轴转角，记录N、I轴度数并注明N_e'平行南北方向。

（五）投影（注意在南北直径上度量I轴转角），求出$N_e \wedge N_e'$夹角即ϕ角。

测定ϕ角也可用直接测量法，在第（二）步光轴定位后锁住N，H轴，此时N_e在东西方向水平，转M轴90°，使N_e在南北水平，转I轴观察突起消失情况，当矿物边缘出现色散时，读I轴的转角即ϕ角。根据ϕ角值，在表1中查出矿物名称。

思考与讨论

1．一轴晶平行光轴的切面（不知其正负光性），在旋转台上如何确定出光轴方向？为什么？

2．菱铁矿、菱镁矿也属碳酸盐矿物，能用前述“某些碳酸盐矿物的鉴定“方法加以鉴定吗？为什么？

第四章　二轴晶光率体定位

第一节　二轴晶光率体定位原则

二轴晶光率体为三轴椭球体，三个主轴N_g、N_m、N_p与光轴的关系较一轴晶要复杂的多。所谓二轴晶定位就是确定N_g、N_m、N_p方向和位置。

如前所述，一轴晶任意切面其光波振动方向之一是光轴（主轴N_e）投影方向，故当该切面达消光时，N_e（光轴也是主轴）一定在东西或南北方向倾斜。对二轴晶来说，它的任意切面其光波振动方向服从拜阿特-弗仑涅尔（简称拜-弗）定律，即二轴晶任意切面其光波振动方向是入射光线与两个光轴所组成的两个平面夹角的等分线方向。如图4—1所示，其中A_1、A_2为某矿物的一任意切面的两个光轴出露点，根据拜-弗定律，该切面的振动方向如图中箭头所指，恰处于消光位（振动方向平行东西—南北），但该矿物的光学主轴N_g（△）和N_p（⊙）却并不在东西或南北方向倾斜。因此在利用消光原理进行二轴晶定位时，往往需要反复转动N、H轴，才可能使某光学主轴水平。

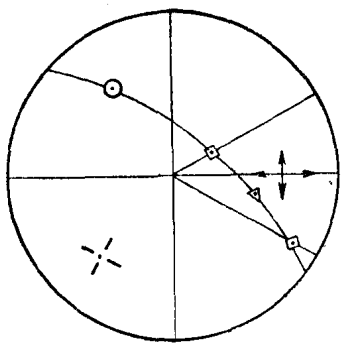


图 4—1　二轴晶光率体切面光波振动方向投影

第二节　二轴晶光率体定位方法

二轴晶的五种切面类型中，垂直光轴的切面不作定位颗粒。其它四种切面类型在旋转台上均可定位。其中平行光轴面、⊥Bxa、⊥Bxo切面属于一个光学主轴（即光率体对称轴）直立，另两个光学主轴水平的切面。斜交切面中又分为垂直主轴面的斜切面（一个光学主轴水平，另两个光学主轴在直立面内倾斜）和任意斜交切面。这里重点介绍任意斜交切面定位方法，因为其它切面可视为该切面的一种特殊情况。一般采用的定位方法有两种即四轴法和五轴法。

一、二轴晶光率体定位的四轴法

该方法是用N、H轴定位，Ⅰ轴检查，分别使两个光学主轴在东西方向水平（即∥Ⅰ），通过投影，在吴氏网上确定三个光学主轴的相对位置。

（一）使第一个光学主轴定位

1．各轴位于零位。转N轴使欲测颗粒（以任意斜切面为例）达消光。

2．转Ⅰ轴消光破坏，在破坏的位置锁住Ⅰ轴。

3．转H轴恢复消光，锁住H轴。

4．反方向转Ⅰ轴(转前松开锁螺丝,以下同),若消光仍破坏,在此破坏位置锁住Ⅰ轴。

5．转N轴少许,恢复消光。

6．再反方向转Ⅰ轴，若消光仍破坏，再重复3、4、5(注意H轴转动方向要同前次一致，在转H轴前亦需松开锁螺丝)，直到两个方向转Ⅰ轴，消光均不破坏为止，此时说明一个光学主轴平行Ⅰ轴。这种定位方法叫“逼近法”，各轴转动顺序可参看表2。

7．逆时针转动物台45°，视域最明亮，向两个方向最大限度地转Ⅰ轴，观察该切面是否出现消光，若出现消光，表明此时一个光轴直立，被定位的光学主轴为N_m,即$N_m \parallel$ Ⅰ；若不消光，表明被定位的光学主轴为N_g或N_p，而不会是N_m，插检板根据补色法则，确定$N_g \parallel$ Ⅰ还是$N_P \parallel$ Ⅰ。

8．记录N、H轴转角，注明哪个光学主轴平行Ⅰ（图4—3之附表)，并投影在吴氏网上（使用△、⊙、＋符号分别表示N_g、N_p、N_m的投影，以下同)。

（二）使第二个光学主轴定位

1．各轴恢复零位（N轴不动)。

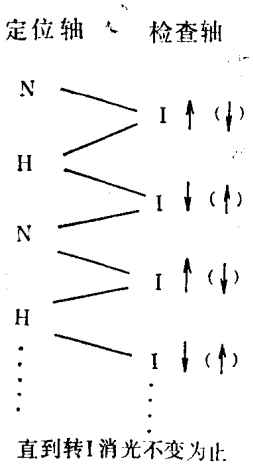
2．转N轴达第二个消光位（即转N轴90°左右，以达消光为准)。

3．用上述的逼近法使第二个光学主轴平行Ⅰ轴。

4．逆时针转物台45°，确定第二个光学主轴名称，方法同上述（一）之7。

5．记录N、H轴转角,哪个光学主轴平行Ⅰ(参看图4—3之附表),并投影在吴氏网上。

表 2



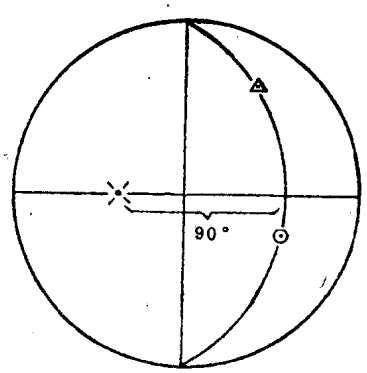


图 4—2 在投影图上找第三个光学主轴

（三）确定第三个光学主轴

在投影图上，将第一、二个光学主轴投影点转到一个大圆上（此时该二投影点应为90°关系，误差要<2°，否则需重新定位)，从大圆与东西径交点开始，向大圆凹向一侧数90°，为第三个光学主轴投影点（如图4—2中＋点)。

当定位的两个光学主轴之一是N_m时，顺便可测$2V$值，方法是：经定位，若$N_m \parallel$ Ⅰ，则在转物台（逆时针）45°，转Ⅰ轴到某一位置时，必然出现消光现象，表明一个光轴直立，此时转物台360°，看是否全消光，以检查光轴是否准确直立，记录光轴直立时的Ⅰ轴转角。若转Ⅰ轴出现两次消光，则两次Ⅰ轴转角之和（≤90°）为$2V$角。若只出现一次消光，则需用投影法求之。三个光学主轴投影在吴氏网上之后，转动透明纸，使起始箭头指

向 $N_m \parallel$ I 时的N轴度数，并使 N_g、N_p 共大圆（如果定位时出现小误差，以N_g、N_p 共大圆为准，起始箭头不恰指N轴度数），描下这个大圆，从大圆与东西径交点向上或向下（视I轴转动的方向而定），数I轴转角的度数，投影光轴。例如图4—3附表所示，N＝120°，H＝$\overrightarrow{12}$°，$N_m \parallel$ I，且 I ＝15°↓ N时光轴直立，欲投影光轴，则在三个光学主轴投影之后，转透明纸的起始箭头至120°处，使 N_g、N_p 共大圆，从大圆与东西径的交点向南数15°，即为该光轴投影点（如图4—3中⊡$_1$点），根据该点与 N_g 或 N_p 之间角度，在

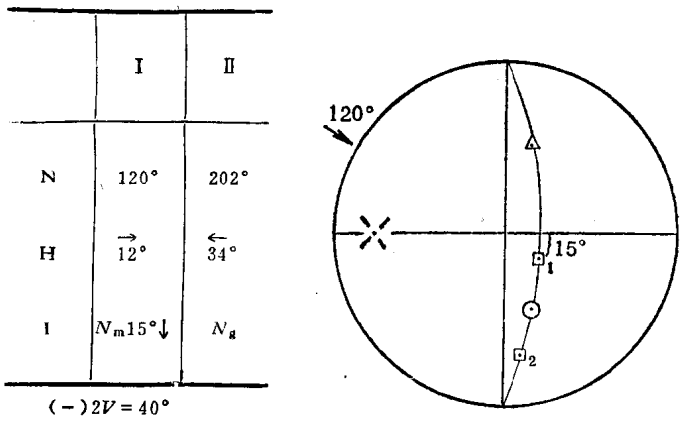


图 4—3 光轴的投影

$N_g N_p$ 大圆上的 N_g 或 N_p 投影点的另一侧，数相同角度，投出第二个光轴投影点⊡$_2$（例图4—3中$N_p \wedge OA_1 = 20° = N_p \wedge OA_2$），$2V$ 值等于二光轴投影点间夹角（取锐角）。同时，若N_g 投影点与一个光轴投影点之夹角（V）＜45°，为正光性；若 N_p 投影点与一个光轴投影点之夹角（V）＜45°，则为负光性。

对一个光学主轴直立的切面（即 $\parallel$ Ap、⊥Bxa、⊥Bxo 切面），无须用逼近法定位。转N轴消光，转I轴消光不破坏，逆时针转物台45°，确定与I平行的光学主轴名称（方法见上述（一）之7），记录N轴转角，H轴则为0°（H＝0°）；除N轴外，各轴恢复零位。转N轴90°至另一消光位，转I轴消光仍不变，表明另一光学主轴平行I轴，逆时针转物台45°，确定其光学主轴名称，记录N轴转角，H轴仍为0°（H＝0°）。投影时，转动透明纸，使起始箭头指向所测N轴度数，在东西直径的任何一端投影光学主轴位置。由此可见，对一个光学主轴直立的切面，其光学主轴定位后的投影是：两个主轴在基圆，一个主轴在网心。

对一个光学主轴水平的切面而言，其中有一个消光位在转I轴时，消光不破坏，直接测其轴名，记录N轴转角，H＝0°；另一个消光位，转I轴消光破坏，表明此时光学主轴倾斜，需按上述逼近法使其达到东西水平，记录N、H轴度数。投影时，只有一个光学主轴在基圆上。

二、二轴晶光率体定位的立轴法

该方法是用N、H和M、K轴定位，I轴检查，使两个光学主轴同时在南北和东西方向水平，以达到定位，不必投影。现仍以任意切面为例说明步骤。

（一）第一个光学主轴定位

操作方法同四轴法，即用逼近法使第一个光学主轴平行I和K轴，并确定出该光学主

轴名称（如图4—4（a）所示为N_m）。定位后锁住H轴，N轴不动。

（二）第二、三个光学主轴定位

1．逆时针转M轴90°，矿物消光（达第二个消光位），此时第一个光学主轴和K轴达南北方向，与I轴垂直。H轴则到了东西方向，与I轴平行（如图4—4(b)）。

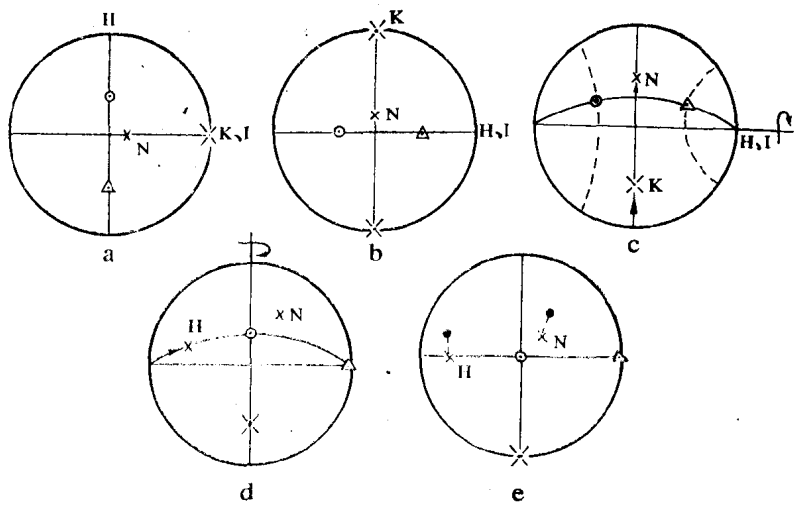


图 4—4 五轴法光率体定位步骤
（引自池际尚，1988）

2．转I轴视域明亮，锁住（图4—4之(c)）。

3．转K轴恢复消光，转I轴检查，若明亮，可再转K轴，直到转I轴消光不破坏为止，表明第二个光学主轴已东西水平（图4—4(d)），锁住K轴。此时，第三个光学主轴必然直立。

4．I轴恢复零位，逆时针转物台45°，确定第二个光学主轴名称（同四轴法），同时，第三个光学主轴即已确定。若这次定位为$N_m \parallel$ I，则可测$2V$值，I轴两边转角应相等，整个转角即两个光轴分别直立时，I轴的转角若$\leqslant 90°$，则为$2V$值；若$>90°$，取其余角为$2V$值。

用五轴法进行二轴晶光率体定位，到此完成。

（三）若需要投影，可记录N、H、K轴转角（恢复物台和I、M轴零位之后，再读转角和记录方向。如图4—5中附表所示）。根据N、H轴转角，投影第一个光学主轴。从该光学主轴投影点（在东西径上），向中心方向数90°，做大圆（即和第一个光学主轴垂直的平面投影），根据K轴的转角和k环翘起的方向（“↑”或“↓”），沿大圆投影第二个光学主轴。同样，在该大圆上，由第二个光学主轴投影点开始，数90°，得第三个光学主轴投影点（图4—5）。投影图中三个光学主轴投影点为定位前它们的原始位置。

无论一轴晶还是二轴晶定位，关键是定准消光位，若使用中村试板❶，可使消光位测量精度提高到±0.5°。

---

❶ 中村试板（Nakamuva Platc）也叫双石英试板。它是由石英的左旋和右旋两个半圆形晶片拼制而成，二者间有明显的分界线，当矿物处于非消光位时，两半视野亮度不等，当矿物处于准确消光位时，亮度完全相等。

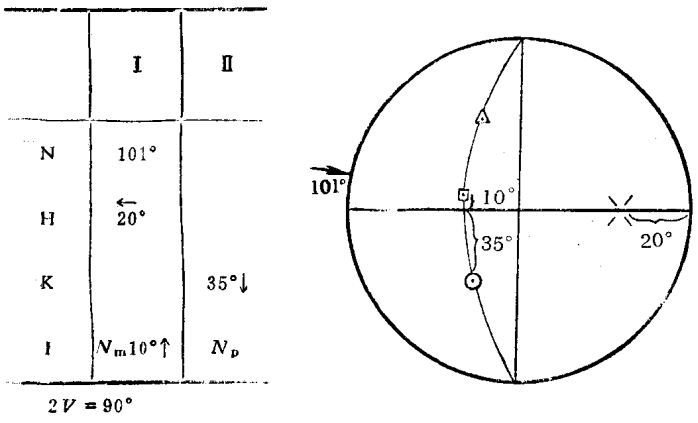


图 4—5　五轴法的投影

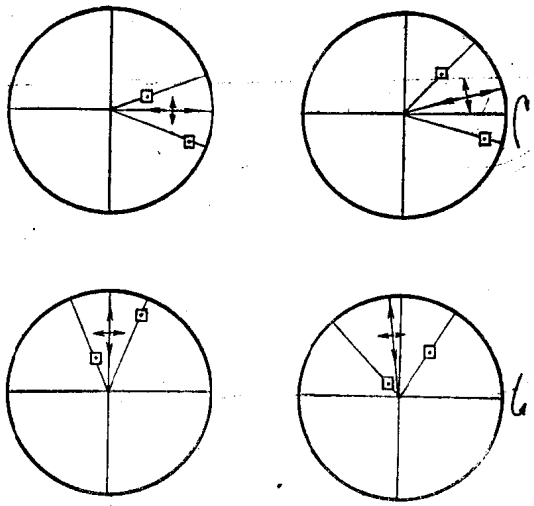
第三节　在旋转台上鉴别一轴晶和二轴晶

区别一、二轴晶矿物，本来在偏光显微镜下，观看其干涉图是容易解决的。但是，当矿物颗粒很小，或欲测矿物颗粒很少，且均为近平行光轴（或光轴面）的切面，用旋转台区别，就显得方便的多。鉴别方法如表 3 所示。首先使各轴位于零位，转N轴使矿物消光，转 I 轴检查两个消光位（即转N轴消光，转 I 轴检查，再转N轴90°，转 I 轴检查），若消光均破坏，则该矿物一定是二轴晶（图 4—6）；若有一个消光位消光不破坏，表明该

表 3　一、二轴晶的区别

鉴别步骤(1)	消光特征	鉴别步骤(2)	消光特征	轴　性	切面类型	参考图
各轴位于零位，转N轴使矿物消光，转 I 轴检查两个消光位	消光均破坏			二轴晶	任　意	图4—6
	有一个消光位消光不破坏	在转 I 消光不破坏的消光位转H轴30°±，转M轴恢复消光，转 I 轴检查	消光破坏	二轴晶	N_g 或 N_m 或 N_p 水平	图4—7(a)
			消光不破坏	一轴晶	任意	图4—7(b)
	消光均不破坏	在两个消光位分别转 H 轴 30°±，转 I 检查	消光均破坏	二轴晶	N_g 或 N_m 或 N_p 直立	图4—8(a)
			有一个消光位消光不破坏	一轴晶	平行光轴	图4—8(b)

矿物是二轴晶一个光学主轴水平的切面或一轴晶任意切面；若消光均不破坏，说明该矿物是二轴晶一个光学主轴直立或一轴晶平行光轴的切面。后两种情况，需要按表 3 中的鉴别步骤（2），进一步区别之（图4—7 和图 4—8）。



转N达消光　　转I消光破坏

图 4—6　二轴晶任意切面消光特征

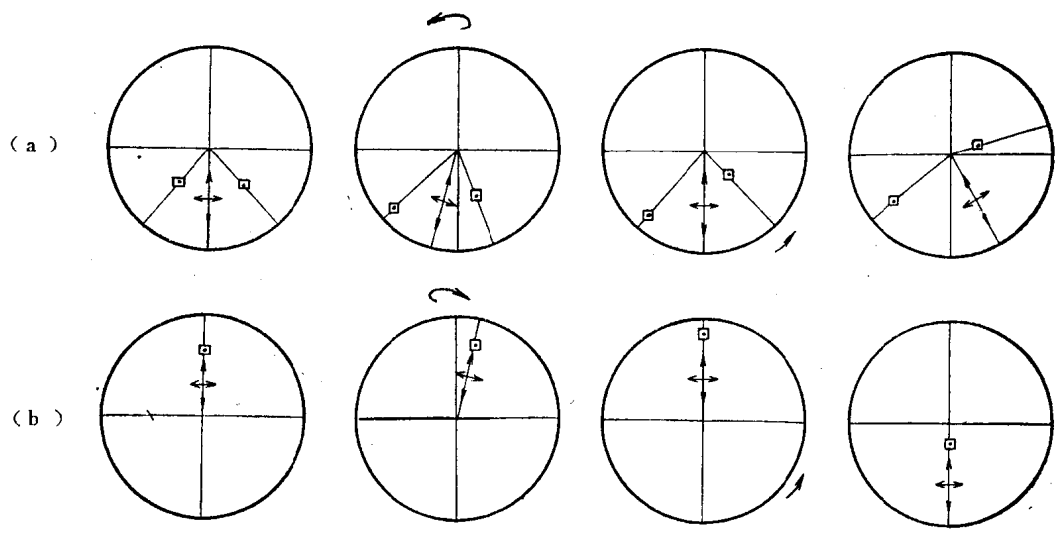


图 4—7　一轴晶任意切面和二轴晶一个光学主轴水平的切面鉴别步骤示意图
（a）二轴晶；（b）一轴晶

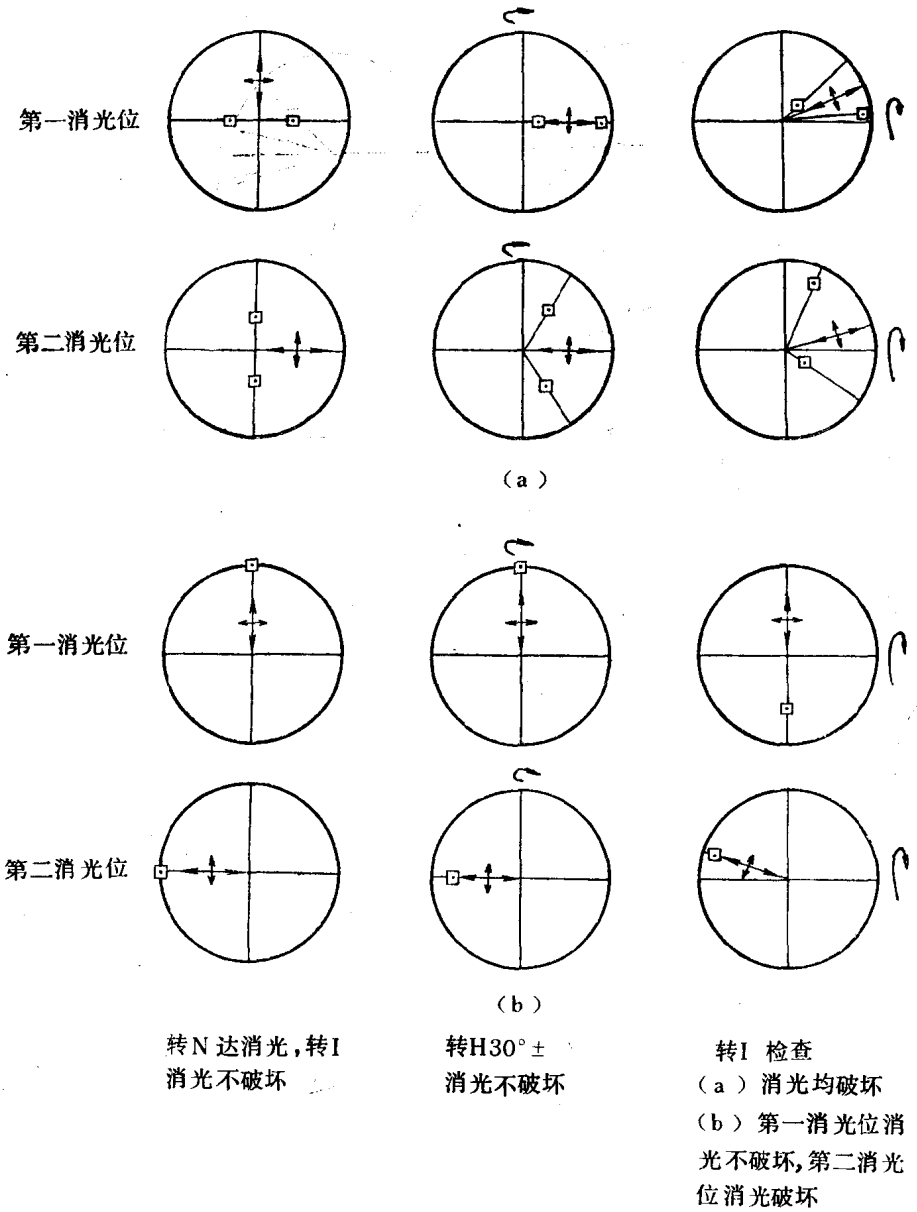


图 4—8 一轴晶平行光轴和二轴晶一个光学主轴直立的切面鉴别步骤示意图
（a）二轴晶；（b）一轴晶

思考与讨论

1．二轴晶任意切面，光波振动方向与光轴有何关系？与一轴晶有何不同？为什么需要用逼进法才能使其定位？

2．经二轴晶光率体四轴法定位后，定位的光学主轴一定位于什么位置？为什么？

第五章　二轴晶光轴角的测定方法

光轴角对某些矿物是重要的光学常数，例如利用光学方法区分橄榄石各变种除折射率外，就是$2V$值。又如光轴角对确定长石的有序度是一个较为灵敏的数据。因此要掌握光轴角的测定方法。

第一节　直接测量光轴角法

条件是定位时一定要有$N_m \| I$的情况。

一、旋转台上直接测量

经光率体定位，当$N_m \| I$时，转物台45°，最大限度地转Ⅰ轴出现两次消光，表示两个光轴分别直立。这种情况可直接测量$2V$。方法是：转Ⅰ轴使第一个光轴直立，记录Ⅰ轴的转角α_1；转Ⅰ轴使第二个光轴直立，记录Ⅰ轴的转角α_2，根据二转角求出$2V$。

Ⅰ轴同向转动$|\alpha_1-\alpha_2|=2V$

Ⅰ轴反向转动$|\alpha_1+\alpha_2|=2V$

亦可根据所测数据进行投影，在投影图上度量二光轴之夹角。

需要注意，当欲测矿物与所用半球折射率相差较大时，Ⅰ轴转角应进行校正，即查图1—5，用校正后的真角计算$2V$值。

二、投影图上测量

经光率体定位，当$N_m \| I$时，转物台45°，最大限度的转Ⅰ轴（两个方向转），只出现一次消光，即只有一个光轴直立，因此只能在投影图上测量$2V$，方法见第四章第二节和图4—3。

三、精确测定第一个光轴位置的光学曲线法

该方法是由N.乔尔（Joel.N.）和D.米尔（Muir,I.D.）于1957年提出的，可以验证或纠正已定位、投影出的光轴位置，提高$2V$值测量精度。利用该方法测定之前，先将被研究的矿物进行四轴法光率体定位（定位的光学主轴之一应为N_m）并投影（包括光轴的投影）。然后按以下步骤进行：

（一）物台及旋转台各轴位于零位，N轴转至$N_m \| I$时的位置（如实例1中N应转至19°位置），观察矿物是否消光，若明亮，则稍转N轴使之消光，记录Ⅰ＝0°时N轴的转角，作为N轴的初始位置。

（二）向南（S）转Ⅰ轴10°、20°、30°……等，在Ⅰ轴的每一个转角之后，转N轴使矿物消光，记录每一对转角（N_a、I_a）。

（三）Ⅰ轴恢复零位，N轴转至初始位置（如实例1为19°），向北（N）转Ⅰ轴10°、20°、30°……等，同样在Ⅰ轴每一个转角之后，转N轴使矿物消光，记录每一对转角（N_a、I_a）。

以上的每一对转角（N_a、I_a），代表波法线（垂直薄片平面）直立位置到转Ⅰ轴、N

轴后的位置。根据每对转角，将波法线的这些位置画到投影图上，这些投影点的轨迹就是光学曲线（图5—1）。

（四）I 轴恢复零位，N 轴转至初始位置（如实例 1 为19°），转物台（A）一个角度如10°或20°，锁住物台，再转N轴使晶体消光，记录 I ＝0°时，N 轴的转角（作为转A轴一个角度后，N 轴的初始位置，如实例 1 中的 39°或 359°），重复上述(二)、(三)步骤，获得第二条光学曲线。

如此再做几条光学曲线，所有这些曲线应交会于光轴投影点和薄片法线的投影点（在网心）。由于已实测出光轴并投影于吴氏网上，所以以上所作的光学曲线只需作光轴附近的部分。

实例 1．霞石正长岩中的正长石，其光率体定位结果和A＝0°、A＝20°（逆时针转物

$N = 19°$ $H = \overrightarrow{23°}$ $N_{\overline{A}=20°}{}^{20°\downarrow}_{27.5°\uparrow}$

$N = 288°$ $H = \overleftarrow{30°}$ N_g

A = 0°		A = 20°		$\overline{A}$ = 20°	
I	N	I	N	I	N
0°	19°	0°	39°	0°	359°
10°↑	9°	10°↑	30°	10°↑	351°
20°↑	359°	20°↑	19°	20°↑	344°
30°↑	345°	30°↑	3°	30°↑	340°
35°↑	339°	35°↑	339°	40°↑	339°
40°↑	327°	40°↑	332°	10°↓	11°
50°↑	312°	50°↑	328°	20°↓	29°
10°↓	33.5°	10°↓	47°	25°↓	50°
20°↓	45.5°	20°↓	58°	30°↓	64°
30°↓	62°	30°↓	64°	40°↓	84°
35°↓	82°	40°↓	68°		
40°↓	95°	50°↓	69°		
45°↓	113°				
50°↓	126°				

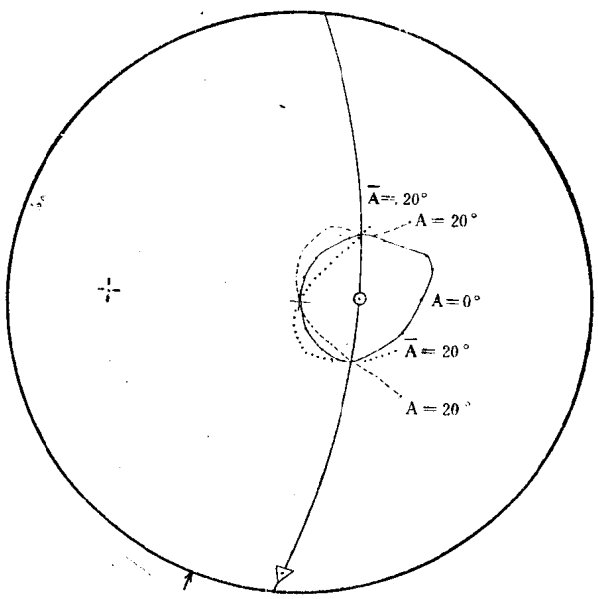


图 5—1　光学曲线法确定正长石光轴的位置

封闭曲线为物台位于 0°时的光学曲线；虚线为逆时针转物台 20°时的光学曲线；点线为顺时针转物台20°时的光学曲线。霞石正长岩中的正长石（－）$2V = 48°$

台），$\bar{A}$＝20°（顺时针转物台）的光学曲线测量数据及其投影见图5—1。由于A＝30°时测量数据的投影远离光轴点，故不取。详测结果该正长石（－）$2V$＝48°。

实例 2．辉长岩中的斜长石，其光率体定位和A＝10°、A＝20°、A＝30°的光学曲线测量数据及其投影见图5—2。详测结果该斜长石（＋）$2V$＝82°。

N = 325°　H = $\overrightarrow{5°}$　N_m 43°↑

N = 54°　H = $\overleftarrow{5°}$　N_g

A = 10°		A = 20°		A = 30°	
I	N	I	N	I	N
0°	332.5°	0°	344°	0°	352°
10°↓	333.5°	10°↓	344°	10°↓	353°
20°↓	334.5°	20°↓	342°	20°↓	352°
30°↓	334°	30°↓	342°	30°↓	350°
40°↓	333°	40°↓	339°	40°↓	346°
50°↓	332°	50°↓	335.5°	50°↓	341°
10°↑	331°	10°↑	341°	10°↑	350°
20°↑	329°	20°↑	336°	20°↑	345°
30°↑	326°	30°↑	330.5°	30°↑	337°
40°↑	320°	40°↑	323.5°	40°↑	326°
50°↑	315°	50°↑	312°	50°↑	309°

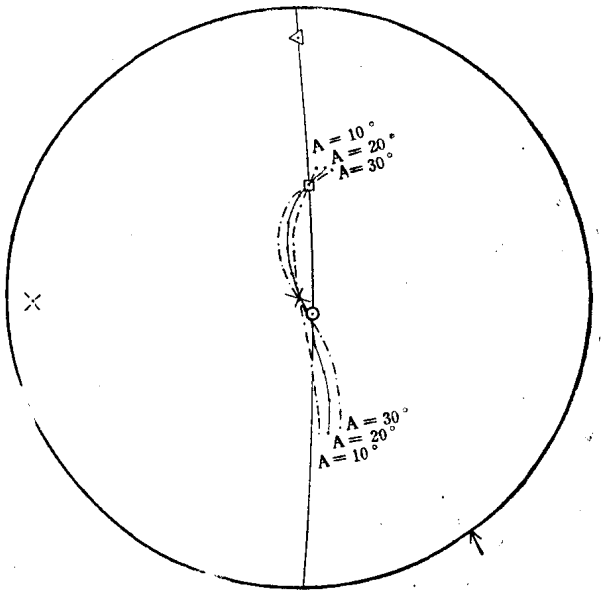


图 5—2　光学曲线法测定斜长石一个光轴的位置

投影图上测量出 $OA_1 \wedge N_g = 41°$。辉长岩中斜长石(+)$2V = 82°$

第二节　间接测量光轴角法

其测量方法较多，但效果较好的当推 A.H.札瓦里茨基（Заварицкий, A.H.）法，它适用于光轴面近于水平的颗粒，即颗粒具近于最高干涉色，在光率体定位过程中，无 $N_m \parallel$ I的情况。

（一）用五轴法进行光率体定位，并分别确定已水平的两个光学主轴名称。按要求，N_m定位后应直立。锁住N、H、K各轴。恢复M、I轴和物台零位。

（二）逆时针转物台45°并锁住，再顺时针转M轴45°，锁住。此时薄片仍定向，而I轴在NE—SW45°方向。

（三）转I轴40°或50°，视域明亮（光轴角越大越暗），记录I轴转角α。

（四）转物台一个小角度达消光，记录物台转角γ和转动方向。

（五）根据I轴转角α和物台转角γ查曲线图解（图5—3），求$2V$值。图中纵坐标为物台转角，曲线为I轴转角，横坐标为光轴角。亦可根据公式求$2V$：

$$\cos 2V = \frac{2\mathrm{tg}(2\gamma)}{\sin\alpha \mathrm{tg}\alpha}$$

（六）根据定位后主轴（N_g、N_p）位置和(四)步的物台转动方向，确定光性正负，当五轴法定位后I$\parallel N_g$也就是K轴（南北方向）$\parallel N_p$时，物台转动方向顺时针为正光性，逆时针为负光性。当定位后I$\parallel N_p$，情况则相反（表4）。

此法的误差与$2V$的大小有关。$2V$大者（60°—90°），误差2°左右，$2V$中等（45°±），误差3°左右，$2V$小者（<30°），误差4°±。

另外还有较小的光轴角测量方法。

本方法由Л. A. 瓦尔丹年茨（Варданянц, Л.А.）于1948年提出，适用光轴角小于 20°

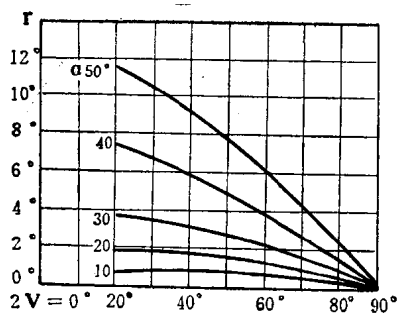


图 5—3 札瓦里茨基测定 $2V$ 图解
（据A.H.札瓦里茨基，1946）

表 4 光性正负的确定

物台转动方向 / 定位后 N_g N_p 位置 / 光性符号	I ∥ N_g	I ∥ N_p
正光性	顺时针	逆时针
负光性	逆时针	顺时针

的矿物，常用来测定黑云母和金云母等矿物的光轴角。

（一）选择垂直或近于垂直锐角等分线的颗粒，置视域中心，各轴位于零位。

（二）进行光率体定位，由于光轴角$2V$小，所以消光现象与一轴晶相似，只能尽量使“N_m”平行Ⅰ轴（实际的N_m有时不易达到平行Ⅰ，才有下面一系列做法）。定位后，锁位H轴。

（三）逆时针转物台45°，转Ⅰ轴记录开始消光和消光终了时两个读数。

（四）进行第一次投影

1．根据定位时N、H轴的转角，投出“N_m”（假N_m）位置（图5—4中1点）。

顺序	N	H	I
1	340°	←5°	6°↓12°↓
2	5°	←8°	3°↓ 9°↓
3	30°	←10°	4°↑ 8°↓
4	55°	←10°	10°↑ 3°↓
5	80°	←7°	12°↑ 2°↑
6	105°	←4°	6°↑13°↑
7	130°	←0°	6°↑12°↑

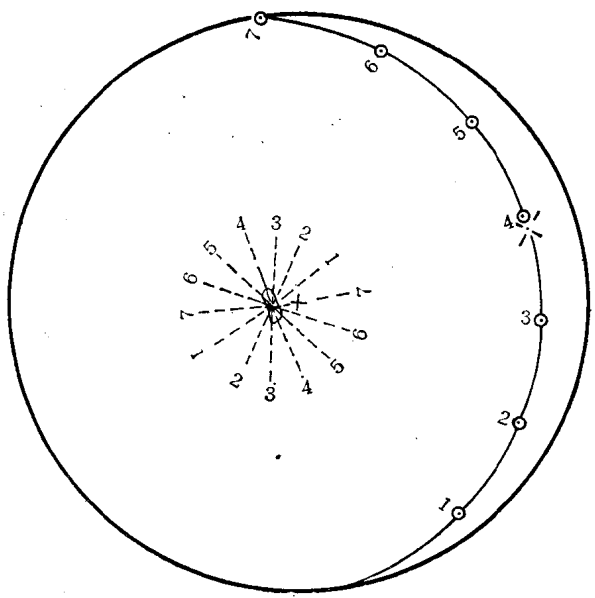


图 5—4 小$2V$角测量数据及投影
金云母：$A=14°$、$B=5°$，$2V=18.5°$

2．以该点为极点作其大圆，在大圆上根据Ⅰ轴的度数和方向投影出两个点。

（五）除N轴外，将各轴及物台恢复零位。转N轴20°—30°，消光破坏，转H轴使之消光，锁住H轴，转物台45°，转Ⅰ轴记录开始消光和消光终了两个度数。根据N、H、I

轴的度数进行第二次投影，方法同前。

（六）再转N轴20°—30°，重复上述步骤，在旋转台构造允许的条件下，尽量多作几次。最后把投影图上的各消光点联起来，得到“消光锥”投影图，一轴晶为圆形，二轴晶为“8”字形。“8”字形中心为锐角等分线投影位置。转动透明纸使“8”字形距离最大的两点置于一个大圆上，此时东西径与垂直锐角等分线主切面投影（图5—4中1、2，……17联结的大圆）的交点为N_m轴的投影（+）。

（七）投影图上测量“8”字形长直径（A）和短直径（B）的数值（转透明纸分别使两个直径与某大圆重合，度量其度数），根据公式：

$$2V=\sqrt{2(A^2-B^2)}$$

计算欲测矿物的$2V$值。

图5—4及其附表为金云母实测结果和投影。经度量得$A=14°$，$B=5°$，计算$2V=18.5°$。

思考与讨论

1．投影光轴时，须注意哪些问题？为什么？

2．用投影图说明间接测量光轴角法的道理。

第六章　斜长石成分的鉴定方法

斜长石是主要造岩矿物中极重要的矿物，它们的成分（一般称之为号码，牌号）与许多岩石的命名有关，其结构状态与许多岩石的成因密切相关。加之，斜长石成分具有递变性，其光性方位与各种光学常数亦具递变性和规律性从而容易利用旋转台等光学手段加以精确鉴定。因此，多年来关于斜长石的鉴定方法一直被国内外专家所瞩目。

图6—1表示钠长石至钙长石的光性方位。由该图明显地看出，酸性和中性斜长石（50号以下，钠、更、中长石）光轴面近于平行（001），即近于水平，而基性斜长石(拉、倍、钙长石），光轴面近于平行（100），即直立,表明三个光学主轴位置随成分而变化。因此，

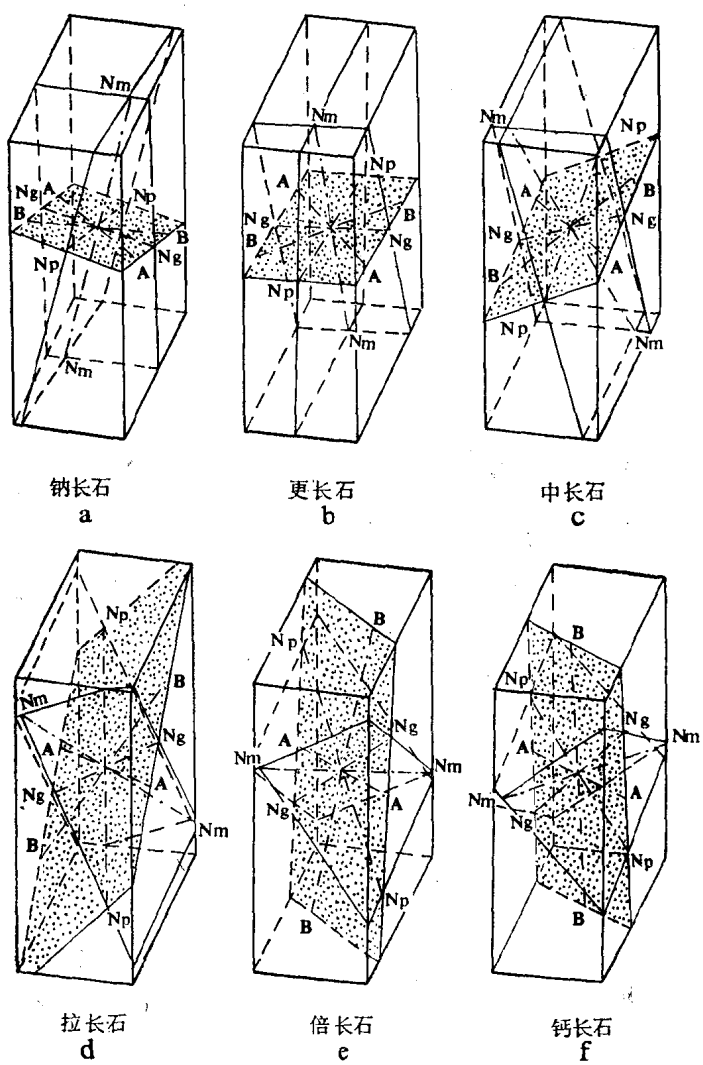


图 6—1　低温斜长石的光性方位图
（引自北京大学编“光性矿物学”，1979）

利用旋转台进行光学主轴和某结晶要素（如双晶面、双晶轴或解理面等）的定位，并求出它们之间的夹角，便可鉴定出斜长石成分（号码）。常用的鉴定方法有解理法，双晶法和消光角法。

第一节　斜长石鉴定的解理法

斜长石（010）和（001）解理发育，夹角86°—87°，有时还可见(100)，(110)和($1\bar{1}0$)解理，(100)∧(001)＝116°。

解理法就是根据解理面或解理面法线与光学主轴的夹角的递变规律鉴定其成分。

鉴定成分常用的是四轴法。其步骤如下：

（一）选择晶体较大（或双晶单体较宽）、消光均匀且有完好的一组或两组解理的颗粒，置视域中心。使旋转台各轴及物台位于零位。

（二）用四轴法进行光率体定位（若测定的颗粒具有双晶，仅做双晶的一个单体），记录、投影，并在吴氏网上检查三个光学主轴是否相互垂直（误差在2°之内）。

（三）各轴恢复零位，分别转N和H轴使解理平行南北十字丝并直立，记录和投影。若有两组解理，则分别定位。

（四）在吴氏网上分别测量解理极点与三个光学主轴的夹角（参看第二章第二节中已知二点求其夹角的测量方法）。若度量的夹角大于90°，取其补角。

以上定位和测量数据均应填入表格中（见图6—2所附记录表）。

（五）查鉴定图表，常用的有两种：

1．“尼基丁”图❶（图版Ⅱ、Ⅲ），解理法所得结果查该图中的实曲线，它们代表解

	I	II	解理
N	72°	156.5°	75°
H	$\overleftarrow{17°}$	$\overrightarrow{14°}$	$\overrightarrow{6°}$
I	N_g	N_p	⊥(010)

	N_g	N_m	N_p	解理名	成　分
＃①	23°	70°	80°	(010)	A_{n47}

①＃ 为解理极点符号

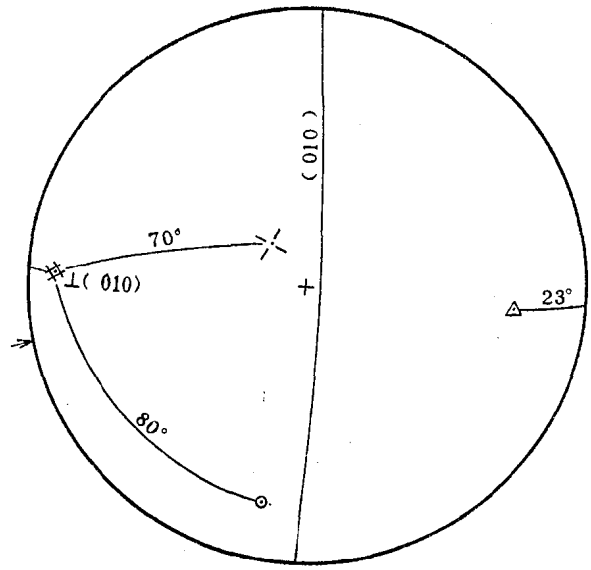


图 6—2　斜长石鉴定的解理法测量数据及投影
辉石闪长岩中的斜长石An_{47}

❶ 本书采用伯里（Burri, C.）于1967年改进的B. B. 尼基丁图。

理极点和垂直双晶（面律）的双晶轴的投影（后者的应用见下节），解理的名称在各相应的曲线两端加以注明。斜长石号码注在曲线上（如5代表50号）。粗实线代表最常见的解理，细实线代表不常见的解理。N_g、N_m、N_p轴投影点分别位于1/4赤平投影网的东端、中心和北端，以N_g、N_m、N_p各自为中心，分布有三组圆弧，自其中心向外，由0°到90°，这些圆弧用以确定某结晶要素投影点（如解理极点）的位置。例如在吴氏网上测得：$\#\wedge N_g=23°$，$\#\wedge N_m=70°$，$\#\wedge N_p=80°$，则该极点在尼基丁图上的位置应在自N_g向外数23°，自N_m向外数70°和自N_p向外数80°的三个大圆弧的交点上。如果测量无误，三弧交于一点，如有误差，三弧围成一误差三角形（若三角形过大，边长>5°，表明测量或定位过程中误差太大，需重作），取三角形的重心（三边中线交点），作为该点的位置（图6—3）。该点应落在某实线上或其附近，若在实线附近，则向实线作垂线，由其交点在曲线上的位置，读出斜长石号码；若投影点在实线上，该点在曲线上的位置即所求矿物的斜长石号码。从实线两端可确定解理名称。图6—3所示的斜长石为An_{47}中长石，所测解理为（010）。投影点经常不落在相应的实曲线上，原因除误差外，还和斜长石生成温度以及成分中有钾的混入所引起的光学常数变化有关。

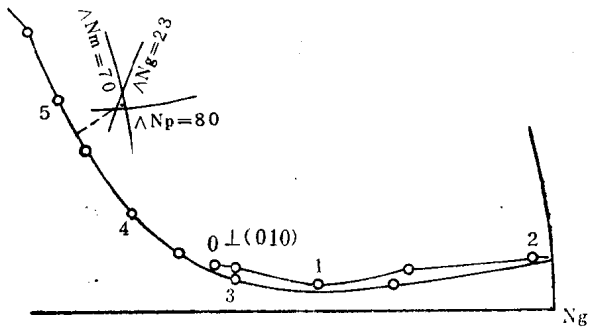


图 6—3　根据解理极点与三个光学主轴夹角，在尼基丁图上的投影情况

所测斜长石若为低温型（一般指深成岩和变质岩），查图版Ⅱ，高温型（一般指喷出岩），则查图版Ⅲ。实例为辉石闪长岩中斜长石，故需查图版Ⅱ。

2．U.D.卡登图（图版Ⅳ、Ⅴ），此图为一水平大圆，圆心是N_m轴位置，南北径为N_p轴，东西径为N_g，并有正、负之分。利用该图不但可定出斜长石成分，而且还可确定高、低温变种和有序度。尼基丁图只能在已知高、低温变种的情况下使用。

在查卡登图前，首先需进行转图，方法参看第二章第二节之二，将已投影在吴氏网上的N_g、N_m、N_p和解理极点按要求作相应的移动，使N_m转至网心，N_g、N_p必在水平大圆上。解理极点也作相应的移动。

将转好的图盖到卡登图上（解理法可用图版Ⅳ），使二者中心吻合，N_g、N_p平行一致。然后根据解理面极点在图上的位置（注意一定是转了图的极点位置），落在或接近某一曲线，确定其长石号码，得到第一个答案。平转透明纸180°，仍使二图中心重合，N_g、N_p平行一致，同样根据解理面极点的位置，得到第二个答案。将透明纸翻转过来，重复上面所作的两步，得到第三、第四个答案。整个过程，有时只有一个或两个答案，其余位置落空，最多得到四个答案。若只一个答案即作为结果，若两个以上答案，要结合其它方法所测结果或参考尼基丁图所查结果，决定取舍。上述斜长石实例，查卡登图只有两个答案，一为An_{28}（高温），一为An_{50}（低温），结合查尼基丁图所得结果和已知其为低温变种，故取An_{50}。解理极点落在虚线上为高温变种，落在实线上为低温变种，落在二曲线中间，则用内插法确定有序度（下面有关章节说明）。

四轴解理法优点是操作简单，鉴定速度快。缺点是准确性较差，因为解理定位操作总

不免产生误差。所以解理法在精确测量中，常作为双晶法的补充方法。

第二节　斜长石鉴定的双晶法

一、斜长石的双晶类型

斜长石的双晶类型较多且复杂。按照双晶轴与双晶结合面的关系即双晶律可将双晶分为三类。

（一）垂直双晶（面律）

双晶轴垂直双晶结合面。如钠长石双晶，其双晶结合面为(010)，双晶轴垂直(010)，用符号⊥（010）表示。又如底面双晶，双晶结合面（001），双晶轴⊥（001）。

（二）平行双晶（轴律）

双晶轴在双晶结合面内，且与某结晶轴平行。如卡斯巴双晶，其双晶结合面为(010)，双晶轴在（010）面内且平行 c 轴，用符号〔001〕表示。又如阿拉A双晶，双晶结合面为(001)，双晶轴为 a 轴，符号〔100〕。

（三）复杂双晶（复合律）

双晶轴在双晶结合面内，且与某结晶轴垂直。如卡钠双晶，其双晶结合面为（010），双晶轴在（010）面内且垂直 c 轴，用符号 $\frac{\perp〔001〕}{(010)}$ 表示，读作垂直 c，在（010）面内。

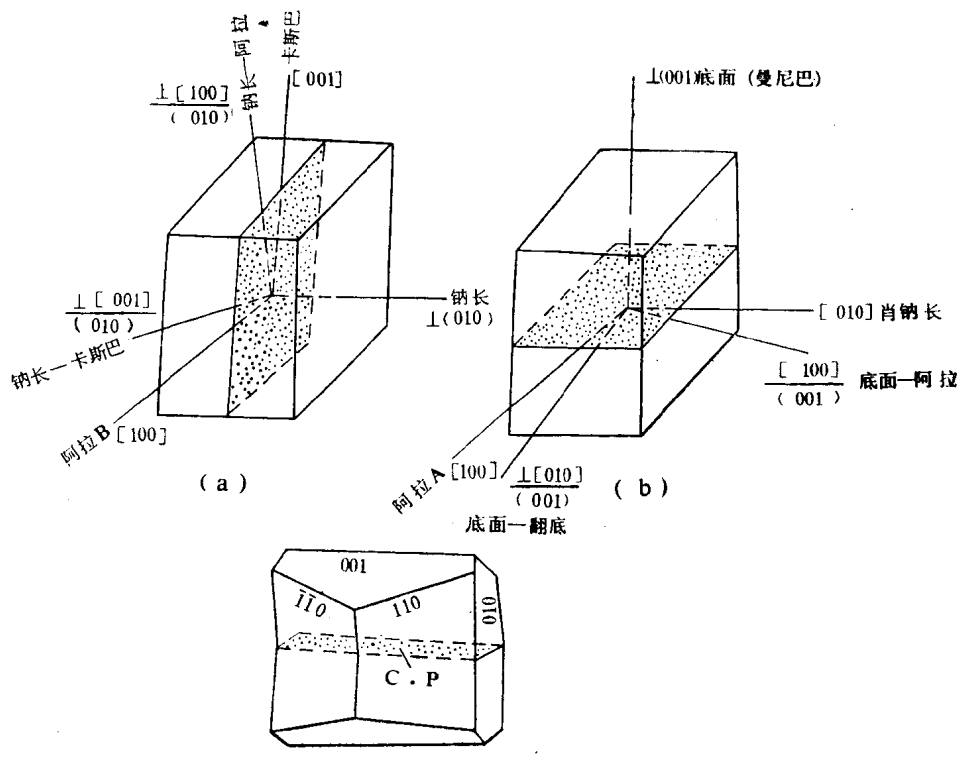


图 6—4　斜长石主要双晶类型示意图

（a）结合面为（010）的五种类型；(b) 结合面为（001）的五种类型；(c) 结合面为菱形切面的肖钠长石双晶

又如底面-翻底双晶，双晶结合面为（001），双晶轴垂直 b 轴，符号 $\frac{\perp[010]}{(001)}$。

斜长石的双晶结合面常见的有（010）、（001），其次为斜方切面（又称菱形切面）和（021）等。根据斜长石的这些双晶结合面，可进一步划分双晶类型，如表 5 和图 6—4 所示。

表 5　斜长石主要双晶类型

双晶结合面	双晶类型	双晶名称	双晶轴	说　明
(010)	面律	钠长石	$\perp(010)$	(010)为结合面的双晶。常见，其中钠长石，卡斯巴，卡钠最常见
	轴律	卡斯巴	[001] 即 c 轴	
		阿拉B	[100] 即 a 轴	
	复合律	卡钠	$\frac{\perp[001]}{(010)}$	
		钠长-阿拉	$\frac{\perp[100]}{(010)}$	
(001)	面律	底面(曼尼巴)	$\perp(001)$	(001)为结合面的双晶。不如上述双晶常见
	轴律	阿拉A	[100] 即 a 轴	
		翻底	[010] 即 b 轴	
	复合律	底面-翻底	$\frac{\perp[010]}{(001)}$	
		底面-阿拉	$\frac{\perp[100]}{(001)}$	
斜方切面	轴律	肖钠长石	[010] 即 b 轴	属常见双晶
021 $0\bar{2}1$	面律	斜坡(右)(巴温诺) 斜坡(左)	$\perp(021)$ $\perp(0\bar{2}1)$	简单双晶。不常见

二、斜长石鉴定的双晶法（四轴法）

双晶法鉴定斜长石成分多用四轴法，很少利用五轴法，故在此仅介绍四轴法。

（一）选择晶体具清晰的双晶，双晶各单体较宽，且消光均匀的颗粒，置视域中心。作一素描图，表示出欲测颗粒的双晶单体分布情况，并以数字注明之（图 6—6 中之素描图）。这对初学者尤为必要，因为在转动各轴过程中，双晶单体的位置和外貌随之改变，从而容易将正在定位和没有定位的双晶单体混淆。操作前将各轴处于零位。

（二）用四轴法进行光率体定位

1．对双晶第一组的单体用四轴法进行光率体定位，记录并投影，图上记以 $\triangle_1(N_{g_1})$、$\odot_1(N_{p_1})$、$+(N_{m_1})$。

2．对双晶第二组单体用四轴法进行光率体定位，记录并投影，图上记以 $\triangle_2(N_{g_2})$、$\odot_2(N_{p_2})$、$+_2(N_{m_2})$。恢复各轴零位。

（三）测定双晶结合面位置。转N、H轴使双晶结合面在南北方向直立，记录、投影（一般需将结合面及其极点均投影，并用虚线描绘结合面大圆，标以C.P.。若有另一组解理，也可将该组解理直立于南北，并记录和投影。

（四）在投影图上求双晶轴（T.A.），判断双晶律

1．求双晶轴

在投影图上分别使N_{g_1}(△1)和N_{g_2}(△2)；N_{m_1}（+1）和N_{m_2}（+2），N_{p_1}（⊙1）和N_{p_2}（⊙2）共大圆，三个大圆的交点即为双晶轴T.A.，如果测量无误，三个大圆交于一点，如有小的误差，可出现小的三角形，取其重心作为双晶轴T.A.（图6—5），若误差太大，出现大三角形（边长>10°），需重作。

2．判断双晶律

双晶轴T.A.与结合面极点（投影图上用◈符号，标以⊥C.P.）吻合或接近（即与结合面垂直或近垂直，误差小于10°），表明为面律双晶；双晶轴T.A.与结合面极点（◈⊥C.P.）为90°或近于90°（即在结合面内或接近，误差小于10°），表明为轴律或复合律（统称非面律）双晶。图6—5所示为非面律双晶。

（五）查鉴定图表，常用的有两种。

1．“尼基丁”图（图版Ⅱ、Ⅲ）

（1）在投影图上求出T.A.$\wedge N_g$、T.A.$\wedge N_m$、T.A.$\wedge N_p$值，方法是：N_{g_1}、N_{g_2}共大圆，度量$N_{g_1}\wedge N_{g_2}$的夹角，求出$T.A.\wedge N_g=\frac{N_{g_1}\wedge N_{g_2}}{2}$（T.A.投影点在$N_{g_1}$和$N_{g_2}$投影点之间时，如图6—6 $T.A.\wedge N_g=\frac{150}{2}=75°$）或$T.A.\wedge N_g=\frac{180°-(N_{g_1}\wedge N_{g_2})}{2}$（T.A.在$N_{g_1}$和$N_{g_2}$之外时，如图6—5$T.A.\wedge N_g=\frac{180-60}{2}=60°$）。同样方法度量$N_{m_1}\wedge N_{m_2}$夹角，求出T.A.$\wedge N_m$以及度量$N_{p_1}\wedge N_{p_2}$夹角，求出T.A.$\wedge N_p$。

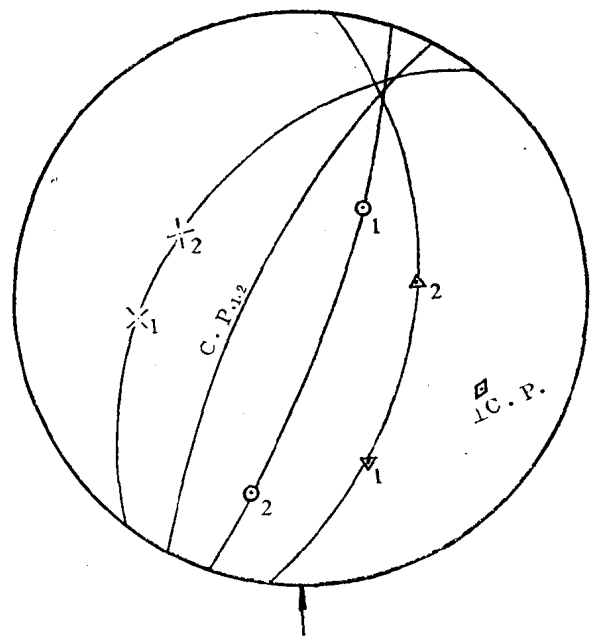


图 6—5 斜长石双晶单体（1）和（2）的光率体要素和双晶要素关系

（测得数据见图7—13之附表）

$$T.A.\wedge N_g=\frac{180°-60°}{2}=60°$$

$$T.A.\wedge N_m=\frac{180°-31°}{2}=74.5°$$

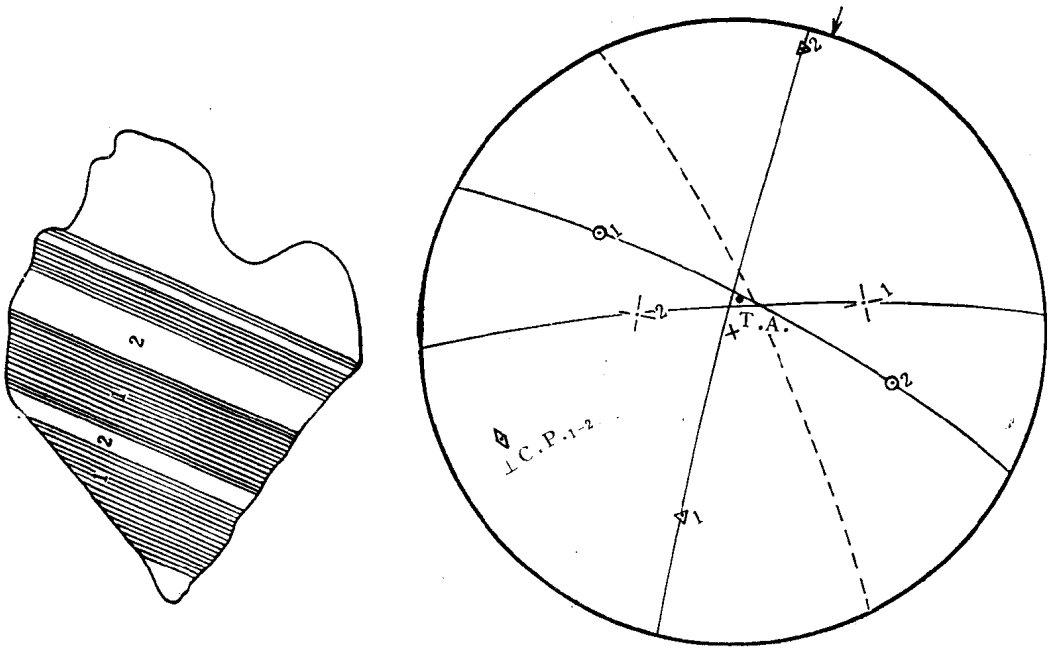
$$T.A.\wedge N_p=\frac{180°-110°}{2}=35°$$

An=63

（2）根据双晶轴T.A.与N_g、N_m、N_p的夹角，在尼基丁图上求得双晶轴的投影点。然后再根据已判断出的双晶律，如为面律，在该图上查实线，若为非面律则查点线（表示轴律）或虚线（表示复合律），从而确定斜长石号码（成分）和双晶名称。需要注意的是：

当双晶律已确定为面律时，即使双晶轴投影点落在虚线或点线上，也只能查其附近的实线（与解理法查图方法一样，由投影点向实线作垂线）。同样，若双晶律确定为非面律，即使点落在实线上，也只能查其附近的虚线和点线，并且两个线均要查，所得结果可以是几种，此时需用解理法得到的结果进行比较，取其中相互接近的答案，确定成分和双晶类型。如果没有其它方向的解理，可用双晶结合面极点代替解理面极点，查实线得成分，与查点线、虚线结果比较，决定取舍。

实例：辽宁某地辉长岩中的斜长石。用双晶法（四轴法）所测数据和投影见图6—6。



	单体（1）		单体（2）		C.P.$_{1-2}$
	I	II	I	II	
N	162°	273°	94°	180°	244°
	→	→	→	←	→
H	34°	26°	3°	34°	11°
I	N_{p_1}	N_{g_1}	N_{g_2}	N_{p_2}	⊥(010)

	N_{g1-2}	N_{m1-2}	N_{p1-2}	双晶律及双晶类型	成分
T.A.	75°	39°	55°	复合律，$\frac{\perp[001]}{(010)}$钠-卡钠律，[001]，卡斯巴	An_{57}
					An_{36}
⊥C.P.	(1)31°	62°	76°		An_{35}
	(2)33°	62°	75°		An_{56}

图 6—6　斜长石鉴定的双晶法数据及投影辉长岩中斜长石，An_{57}，$\frac{\perp[001]}{(010)}$，钠长-卡斯巴双晶

由投影图上看出其双晶轴T.A.接近于双晶结合面（C.P.大圆），故为非面律双晶。在图上度量双晶轴T.A.与三个光学主轴的夹角得 $T.A.\wedge N_{g_{1-2}}=\frac{150}{2}=75°$，$T.A.\wedge N_{m_{1-2}}=\frac{78°}{2}=39°$，$T.A.\wedge N_{p_{1-2}}=\frac{110°}{2}=55°$。根据这些数据在图版Ⅱ上求得双晶轴的投影点

(T.A.)，如图 6—7 所示，几乎落在实线上（⊥(100)解理），但投影图上已确定该双晶为非面律，所以不能查实线，要由 T.A.点分别向虚线和点线作垂线，得到两个结果：一是 An＝57，双晶类型为$\frac{\perp[001]}{(010)}$即卡钠双晶；另一个是 An＝36，双晶类型为[001]即卡斯巴双晶。又根据双晶结合面极点（◇⊥C.P.）与三个光学主轴的夹角（单体 1 和 2 分别测量，结果见图6—6中的附表），在尼基丁图上查得成分为55和56号。因此，所测斜长石应为An_{57}，属$\frac{\perp[001]}{(010)}$，钠长-卡斯巴双晶。

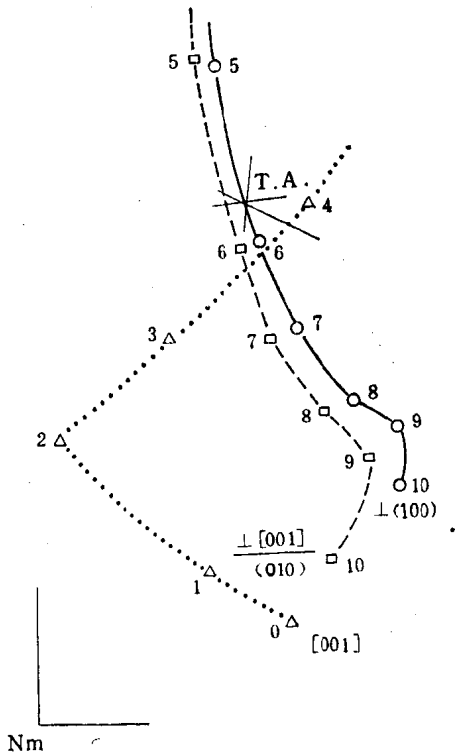


图 6—7　尼基丁图上T.A.的投影及成分的确定
数据见图 6—6 中之附表

2．U.D.卡登图（图版Ⅳ、Ⅴ）

分别对两个单体的各投影点和双晶轴按要求（N_m 在图心）转图，根据在投影图上判断的双晶律，选择卡登图，当双晶律为面律时，将转好的图蒙于卡登图图版Ⅳ上，若双晶律为非面律，将转好的图蒙于卡登图图版Ⅴ上。使用卡登图确定成分，双晶类型和有序度，最多可有四个答案，视具体情况并配合其它方法选择。上述双晶法测定斜长石成分实例，查卡登图所得结果列于表 6 中（查图版Ⅴ）。由表 5 可看出所测结果只有两个答案，参考用双晶结合面极点所查成分，该斜长石应为 An＝60，$\frac{\perp[001]}{(010)}$双晶，$S=1$。卡登图与尼基丁图比较，若转图后的双晶轴投影点落于或几乎落于卡登图的曲线上，或实、虚二曲线中，应取卡登图结果。

四轴双晶法精度高，因为利用投影作图求出双晶轴位置比其它方法中竖直结合面或解理面的精度要高（因为双晶轴是N_{g_1} N_{g_2}，N_{m_1} N_{m_2}，N_{p_1} N_{p_2}三个大圆的交点，其误差三角形过大时，表明误差大）。但是对于偏酸性斜长石（0—35 号），由于最常碰到钠长石

表 6　辉长岩中斜长石的双晶法查卡登图的答案

重合次数	双晶轴						结合面极点					
	单体（1）			单体（2）			单体（1）			单体（2）		
	成分	双晶律	有序度	成分	双晶律	有序度	成分		有序度	成分		有序度
1	An_{55}	$\frac{\perp[001]}{(010)}$	0.5	An_{60}	$\frac{\perp[001]}{(010)}$	1	An_{58}	(010)	1	An_{60}	(010)	1
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	$An_{?}$	(021)	1	$An_{?}$	(021)	1
4	$An_{?}$	[001]	1	An_{58}	[001]	1	—	—	—	—	—	—

双晶律，因此在投影图上会出现 N_{p_1} 和 N_{p_2} 投影点几乎重合，N_{g_1} N_{g_2} 和 N_{m_1} N_{m_2} 两大圆相交角度很小的情况，有时虽然测量的误差很小，却仍可能导致一个大的狭长的三角形，造成鉴定中的困难（不易确定 T.A.点）。

第三节　斜长石鉴定的消光角法

旋转台上鉴定斜长石的消光角法仍是偏光显微镜下使用的三种方法，即⊥〔100〕（a 轴）消光角法，⊥（010）晶带的最大消光角法和⊥（010）切面上卡钠双晶消光角法。不同的是通过旋转台可精确获得所需定向切面，并能在一个适合的⊥（010）切面的颗粒上找到最大消光角。测量出的结果仍查相应的鉴定图（偏光显微镜下测定所使用的图，如图 6—8，图 6—9，图 6—10）。此外，1963 年 A.C.托毕（Tobi，A.C.）设计了一种新的图解，在⊥（010）晶面的所有切面上测定的消光角值（010）∧N_p' 均可使用该图解。因此，上述三种方法测量结果均可在托毕图上查到成分，并同时可确定结构状态和切面方位。下面主要介绍这三种方法以及托毕图的使用。

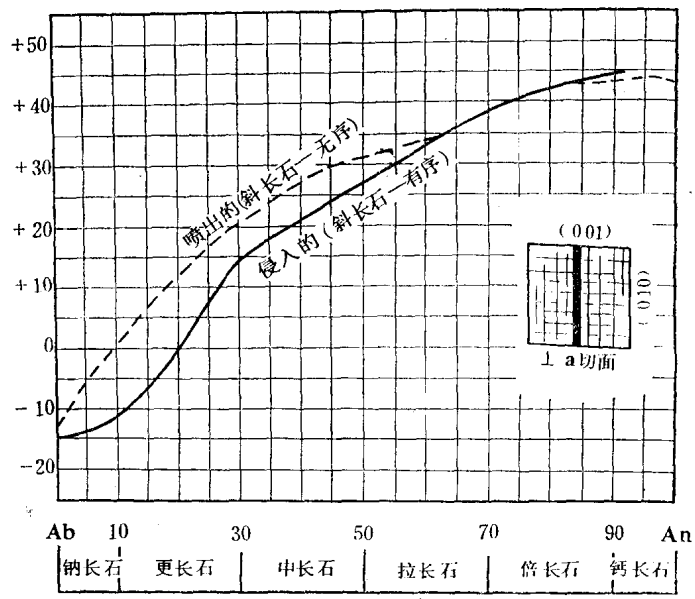


图 6—8　斜长石⊥〔100〕切面消光角 N_p'∧(010) 与成分关系
（据 Burri，C.，1967）

一、⊥〔100〕切面的消光角法

选择具两组近直交解理的颗粒，这种颗粒一般具有一组双晶，但必须是钠长石双晶，即当（010）在南北方向直立后，双晶两个单体干涉色相等，两个方向转 I 轴，其干涉色仍相等。选好的颗粒置视域中心。旋转台各轴位于零位。

（一）转N轴和H轴使第一组解理（或双晶结合面）在南北方向直立。

（二）鉴别该解理面（双晶结合面）为（010）还是（001），一般情况下，斜长石（010）比（001）解理要发育，而且（010）常为双晶结合面。为准确判断，对基性斜长石，只有用四轴解理法在尼基丁图上确定，对中、酸性斜长石可用以下方法：转动物台

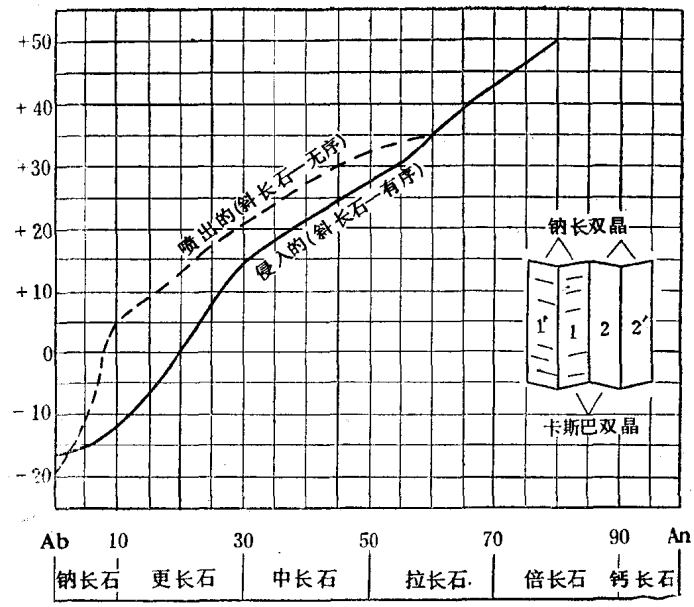


图 6—9　斜长石(010)晶带最大消光角$N_p'\wedge$(010)与成分关系
(据Burri, C., 1967)

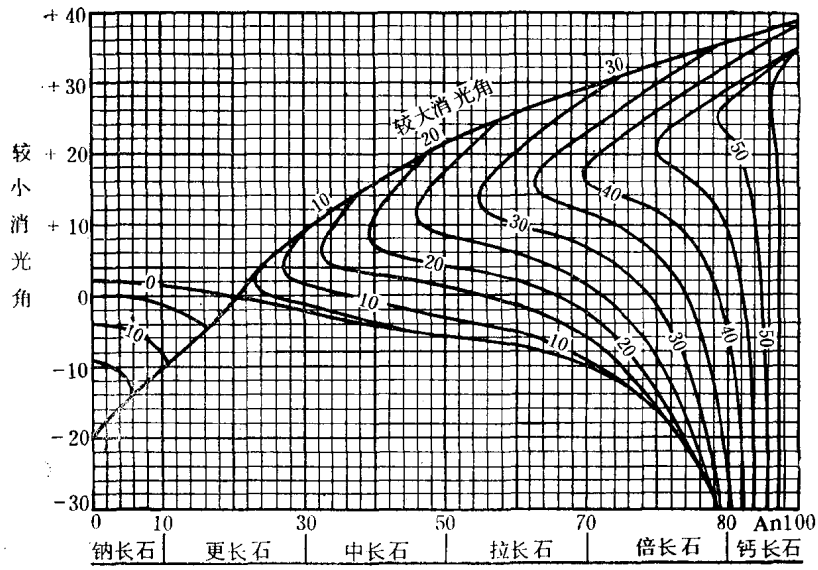


图 6—10　斜长石(010)切面上卡钠双晶消光角 $N_p'\wedge$(010)与成分关系（适用于低温）
(据Wright, F. E.)

45°，向两个方向最大限度地转Ⅰ轴，同时插入检板，观察干涉色升降情况，如果两个方向干涉色都升高，则为（010）；若一个方向升高，一个方向降低则为（001）。原因是在中、酸性斜长石中，其N_g与（010）面近于直交，而N_m与（001）面近于直交（参看图6—1a—c，斜长石光性方位图）。当（010）面直立时，N_g接近Ⅰ轴（图6—11a），因此转Ⅰ轴过程中，矿物的一系列光率体椭圆长、短半径总与试板光率体椭圆长、短半径一致，故干涉色升高；当（001）面直立时，N_m接近Ⅰ轴（图6—11b），转Ⅰ轴的过程中矿物的一系列光率体椭圆切面将出现其长、短半径交换位置的现象，故干涉色有升有降。

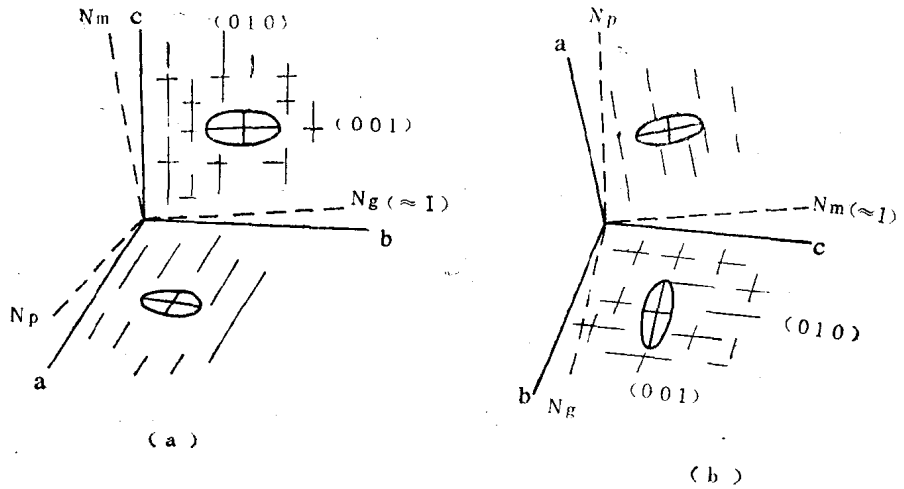


图 6—11 区别中酸性斜长石的（010）和（001）原理示意图

（三）鉴别后，要求（010）在南北直立（若最初定位的解理为（001），则转N和H轴使（010）南北直立），锁住H轴。

（四）转I轴使另一组解理即（001）直立，此时a轴直立，锁住I轴

（五）转物台一较小的角度达到消光，在物台上读消光角即$N_p'\wedge(010)$值，因为钾钙长石外，其余所有斜长石的$N_p'\wedge(010)<45°$。消光角$<17°$需要区分消光角的正、负，方法是：在$\perp a$的切面上，若N_p'位于两组解理夹角的锐角方向（如图6—12b所示），则为正消光角；相反，若N_p'位于两组解理夹角的钝角方向（图6—12a），则为负。也可以根据突起区分消光角正、负，正突起为正，负突起为负。

（六）根据结果查托毕图（或图6—8）

托毕图的横坐标为斜长石成分，纵坐标为垂直（010）的各种切面方位，用与$\perp c$（[001]）轴的角度表示，如$\perp c$的切面，其方位为0°，$\parallel c$的切面，其方位为90°，$\perp a$的切面，其方位则为64°（因为斜长石的$a\wedge c=64°$所以$\perp a\wedge\perp c$亦为64°），同时，它们都是$\perp$(010)的切面。图内虚线和实线为角度大小不等的两组消光曲线，代表$N_p'\wedge(010)$值，其角度大小注在上横框和右竖框上，并有正、负之分（图6—13）。

当已知斜长石为低温型查图6—14a，高温型查图6—14b。查图方法是：根据$\perp a$切面所测$N_p'\wedge(010)$值，找相应的代表实曲线，与“切面$\perp a$”的横线相交于一点，从该点作铅垂线，向下查An成分，如图6—13中之（2），$N_p'\wedge(010)=25°$，所查结果为An_{47}。

二、$\perp$（010）晶带最大消光角法

选择具一组（或两组）解理的颗粒，一般均具一组双晶，要求该组双晶必须为钠长石双晶。选好的颗粒置视域中心。各轴位于零位。

（一）根据上述$\perp$[100]切面消光角法中判断（010）和（001）的方法确定（010）面，转N和H轴使（010）在南北方向直立（若颗粒具钠长石双晶，此时应不显双晶。锁住H轴。

（二）测量$N_p'\wedge(010)$

自零位开始转I轴，每转10°测一次消光角（即转物台小的角度），作记录。当发现

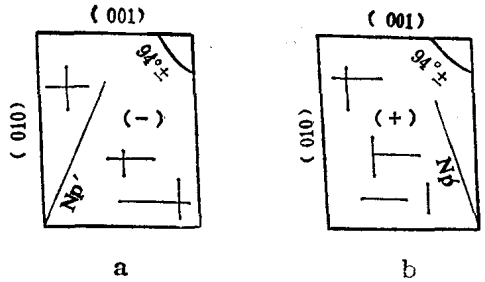


图 6—12 ⊥〔100〕切面上消光角正负的判断
（引自池际尚等，1982）

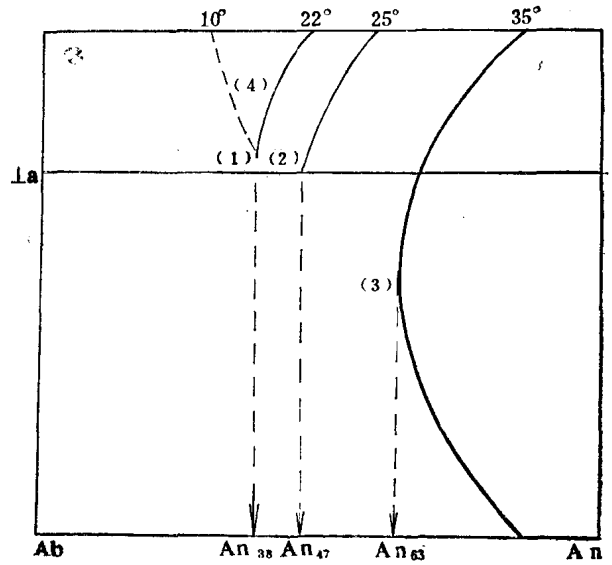


图 6—13 A.C. 托毕图解的查图方法（示意）
（1）⊥(010)卡钠双晶 $N_p'\wedge(010)$ 大小值曲线交点；（2）⊥ a 切面横线与 $N_p'\wedge(010)$ 曲线交点；（3）⊥(010) 切面最大消光角曲线的切点

消光角减小时，则反向转 I 轴进行测量，当发现消光角增大时，可每转 I 轴5°，测量一次消光角，直到测得最大值。表 7 为测量实例，I 轴向南转动（北部盘翘起）时消光角减小，反方向转 I 轴，在 25° 处得到最大消光角值 35°，该值即⊥(010) 晶带上的最大消光角值。应注意的是，有时向某个方向转 I 轴，所测消光角一直增大，不再减小，表明具最大消光角的切面过陡，无法使之平卧，只好另选颗粒。

（三）根据最大消光角值查托毕图（也可查图6—9）

根据所测斜长石为低温型还是高温型选择图 6—14 a 或 b。在图上根据最大消光角值（注意消光角＜17°时，要先分正、负，方法同前述），找相应的实曲线，在该曲线上突出处作一垂直切线，在底边得到长石成分，如图 6—13 之（3）。由该曲线突出处的切点所处的横线位置，在图左可查出该切面的方位，如所测 $N_p'\wedge(010)=35°$，低温型，查图6—14 a 得 An_{63}，切面方位为 45°。

三、⊥(010)切面上卡-钠双晶消光角法

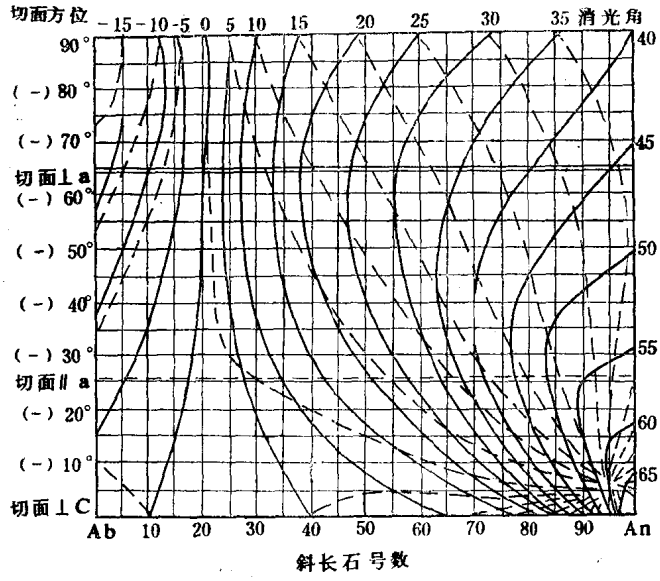
选择具卡钠双晶（或只具卡式双晶）的切面，双晶界线尽量清晰，即近于⊥(010)。各轴位于零位。

（一）转N和H轴使双晶结合面（010）在南北直立，锁住H轴。

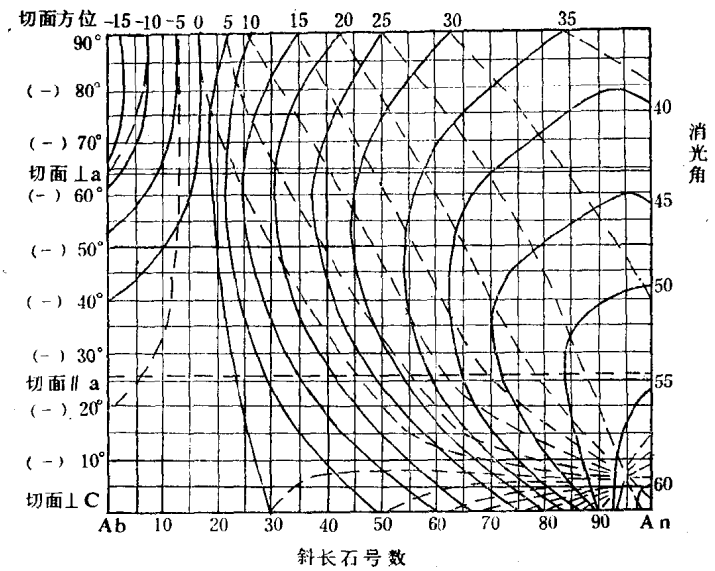
（二）转物台分别测量卡式双晶两部分的钠长石双晶单体的消光角 $N_p'\wedge(010)$，得到一大一小两个值（同一般偏光显微镜下测量方法）

（三）查托毕图（也可查图 6—10）

同样需事先选择高、低温图并在消光角＜17°时，确定其正、负。在图上大角查实线，小角查虚线。由所查实线和虚线的交点向横坐标作垂线，垂足指出斜长石成分（如图 6—13之（1））。由实线与虚线的交点向纵坐标作垂线，垂足指示该切面的方位。此法还可以在（010）直立的情况下，转 I 轴 20°或 30°，获得另一切面，又可测出一对 $N_p'\wedge(010)$消



(a)



(b)

图 6—14 ⊥ (010) 切面上 $N_p'\wedge(010)$ 与成分关系

(Tobi, A.C., 1963)

光角（与前次测值不同），在图上查到斜长石的第二个成分数据，若两次成分一致，表明测量无误，若不一致，须重新测量。

四、环带斜长石成分测定

选择具卡斯巴双晶又具环带构造的颗粒（双晶可不通过环带核部），置视域中心。各轴位于零位。

（一）转N和H轴使卡式双晶结合面（010）南北直立，锁住H轴。

（二）转物台，在具卡式双晶的各环上分别测量卡式双晶两部分的消光角 $N_p'\wedge(010)$，

表 7　⊥(010)切面消光角测量结果

I(↑)	$N_p'\wedge(010)$	I(↓)	$N_p'\wedge(010)$
0°	26°	10°	28°
10°	23.5°	20°	32.5°
20°	21°	25°	35°
		30°	33°
		40°	30°

它们在托毕图中实线与虚线的交点应当位于（或接近于）同一横线上，这条横线即为该颗粒的切面方位线。确定切面方位线后，其余环带只要测一个大的（或小的）消光角，就可以在图上找到实线（虚线）与方位横线的交点，并由交点向底边作垂线得到各环成分。例如一个具三个环带的斜长石（图 6—15），测得外环卡式双晶的消光角为 12° 和 19°，中环卡式双晶的消光角为 23° 和 30°。根据这两组消光角，查图 6—14 b（所测斜长石为高温型），得知外环成分为 An_{34}，中环为 An_{54}，同时查得该切面方位为 81°。环带的核部没有

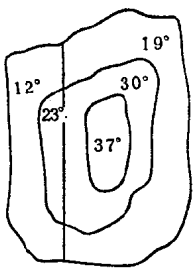


图 6—15　斜长石环带素描
（据 Tobi, A. C., 1963）

卡式双晶通过，只测得一个消光角 37°，但从它所处位置表明，此 37° 为大角值，因此在图 6—14 b 中查 37° 的实线，与 81° 方位的横线相交，由该交点的垂足得核部成分为 An_{79}。

在斜长石鉴定方法中，消光角法操作简单，鉴定迅速。但精度较双晶法要低。对酸性斜长石（An_{0-35}）利用消光角法再配合解理法可能比用双晶法效果还要好些。就消光角法中的三种方法比较，⊥〔100〕和⊥(010)卡钠双晶消光角法精度高些，特别是后者再结合查托毕图是能保证精度的，因为该方法能检查测量误差。

思考与讨论

1．斜长石解理法、双晶法各依据哪些要素之间的空间关系？
2．查卡登图前为什么要转图？怎样转图？除 N_m 外，各点为什么要沿小圆移动？
3．总结出现误差三角形原因（无论在尼基丁图上还是双晶法确定双晶轴时）。
4．总结斜长石的三种鉴定方法的主要优缺点。如何提高鉴定精度？

第七章　斜长石有序度的测定

第一节　有序度和长石有序度

所谓有序度，指的是矿物内部结构状态改变的情况，即组成实际晶体的质点如果和理想晶体一样，是严格的按周期性排列，称有序，否则称无序。具体的说，A离子被B离子替代时，如果B可以随便占据A的位置，则为无序，如果它只能按一定规律去占据A的位置，称有序，处于二者之间的则为部分无序或部分有序，即有序程度可以不等。用来衡量晶体结构有序程度的参数称为有序度，用S表示，$S=1$（或100）称完全有序，$S=0$称完全无序。有序度又分长程有序度和短程有序度。一般说的有序度是指长程有序度。

某一晶体的有序度在一定条件下是可以改变的，当无序结构在一定条件下（低于其临界温度）转化为有序结构时，称为有序化。

长石族主要的三个端员组分是钾长石（Or）$K[AlSi_3O_8]$，钠长石（Ab）$Na[AlSi_3O_8]$和钙长石（An）$Ca[Al_2Si_2O_8]$。长石属架状硅酸盐，Si，Al与O组成配位四面体，$[AlO_4]$和$[SiO_4]$的大小相近，可以相互替代。由于（Al+Si）：O＝1:2，故Al:Si＝1:3或1:1，每个硅氧四面体的顶角被氧离子占据而Si或Al则位于四面体中心T的位置（图7—1）。斜长石中的纯钙长石，由于Al:Si＝1:1，Si和Al在硅氧四面体中严格交替，因此钙长石仅以完全有序状态产出。除此之外的所有长石，因Al:Si＝1:3，Si和Al在硅氧四面体中分布就会出现不同情况，如钾长石晶体结构中，共有$T_1(o)$、$T_1(m)$、$T_2(o)$、$T_2(m)$等4个等效的四面体位置，假如Al在这四个位置的分布几率相等即均为0.25，这种情况属完全无序，

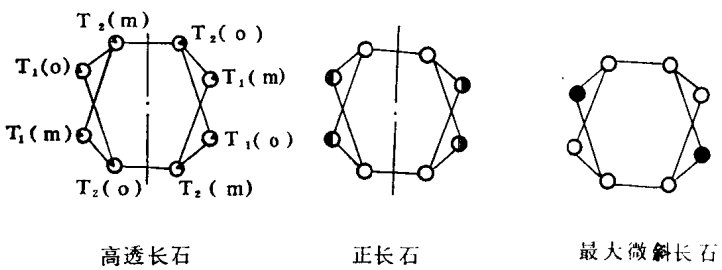


图 7—1　钾长石各多型中Al在四面体位置上的分布圆圈中涂黑程度表示Al的分布机率
（引自池际尚等，1983）

如图7—1中高透长石；假如Al在这四个位置的分布几率不等，在最极端的情况下，Al只占据$T_1(o)$的位置，而在$T_1(m)$、$T_2(o)$和$T_2(m)$三个位置，Al占据的可能性是零，Al完全被固定在$T_1(o)$的位置，不能有其它选择，这属于完全有序，如图7—1中最大微斜长石；介于上述完全无序和完全有序之间的其它状态，如图7—1中正长石，Al占据$T_1(o)$、$T_1(m)$位置的几率为0.5，而在$T_2(o)$和$T_2(m)$两个位置，Al占据的可能性是零，这属部分有序。

长石的有序度主要与温度，岩石年代，形成深度以及剪切应力等有关。一般讲，高温

长石（钙长石除外）表现为无序，低温长石表现为有序；较老时代的长石比较新时代长石有序度高；浅成岩比深成岩，岩浆花岗岩比花岗岩化的岩石中的长石有序度低。在钾长石有序化过程中，应变有时也起一定的作用，受力作用强者，其有序度，三斜度增高。总之，长石结构状态（有序度、三斜度）的研究可以为解决岩石成因问题提供参考。

第二节　斜长石双晶类型的判别

在斜长石有序度的鉴定中所使用的某些鉴定图或方法需要事先确定双晶类型。其次，近年来某些学者在对比不同地区、不同岩石类型中斜长石成分的同时，也开始注意到其双晶类型的某些规律性的变化。因此，掌握判别斜长石双晶类型的方法是十分必要的。

一、查鉴定表确定

根据双晶法所测结果，在尼基丁图或卡登图上查成分，同时确定其双晶类型。但要特别注意的是，非面律双晶有时出现多解，要与解理面或双晶结合面极点所得结果比较，决定取舍。这种方法常用，也没有条件限制。但是，如果只想判断双晶类型，这种方法显得过于繁琐。

二、里特曼（Rittmann, A.）法

条件：中酸性斜长石，垂直 a 轴或近于垂直 a 轴切面，即具两组近直交解理的切面（最少有一组双晶）。

（一）将具备上述条件的颗粒置视域中心，各轴位于零位。

（二）确定双晶结合面是（010）还是（001），方法详见第六章第三节之一。值得注意的是，若在转Ⅰ轴后，插检板，双晶两个单体干涉色不同，一个单体干涉色表现为升高，另一个单体表现为降低，则为斜坡双晶，这是与其它双晶的最主要区别。

（三）区分面律和非面律，转N、H轴使双晶结合面南北直立，锁住H轴。然后转Ⅰ轴观察，对比双晶两个单体干涉色的变化，若在转Ⅰ轴过程中，两个单体干涉色相同，则为面律（双晶轴平行Ⅰ轴），若两个单体干涉色在转Ⅰ轴的过程中，多数不同，则为轴律或复合律。

（四）测双晶两个单体的消光角 E，在上述双晶结合面南北直立的情况下，转Ⅰ轴使另一组解理直立，此时 a 轴直立，锁住H、Ⅰ轴，转物台测消光角 E，第一单体记为 E_1，第二单体记为 E_2。若二者消光位为同向（物台转动方向相同），记为 E_1 和 E_2，若二者消光位为异方向（物台转动方向相反），记为 E_1 和 $-E_2$。根据二单体消光角的关系，可以确定双晶类型，如表 8 所示。

三、马富宁（Марфунин, А. С.）法

条件同上述里特曼法。

（一）将具备条件的颗粒选好，置视域中心，各轴位于零位。

（二）确定结合面为（010）还是（001），方法见前。

（三）区分面律和非面律（见前）。

（四）确定双晶二单体 a 的相互关系

1．转N、H轴使双晶结合面南北直立，锁住H轴。

2．转Ⅰ轴使单体 1 的另一组解理直立，此时单体 1 的 a 轴直立，记下Ⅰ轴的读数如 a_1，并确定 a 的正负（方法同第六章第三节中一之（五）所述确定消光角正、负方法），若为

表 8　斜长石主要双晶判别的里特曼与马富宁法

双晶结合面	双晶类型	两单体消光角	双 晶 名 称	双 晶 轴	两单体中 a 轴的相互关系
(010)	面律	$E_1=-E_2$	钠长	⊥(010)	$a_1 \parallel \overline{a_2}$
	轴律或复合律	$E_1=-E_2$	钠长-阿拉	$\frac{\perp[100]}{(010)}$	$a_1 \parallel \overline{a_2}$
		$E_1=E_2$	阿拉B	[100]	$a_1 \parallel a_2$
		$E_1 \gtrless E_2$	卡钠	$\frac{\perp[001]}{(010)}$	$a_1 \wedge a_2 = 52°$
		$E_1 \gtrless -E_2$	卡斯巴	[001]	$a_1 \wedge \overline{a_2} = 52°$
(001)	面律	$E_1=-E_2$	底面（曼尼巴）	⊥(001)	$a_1 \parallel \overline{a_2}$
	轴律或复合律	$E_1 \lesseqgtr -E_2$	底面-阿拉	$\frac{\perp[100]}{(001)}$	$a_1 \parallel \overline{a_2}$
			翻底	[010]	$a_1 \wedge \overline{a_2} = 3°—5°$
		$E_1 \lesseqgtr E_2$	阿拉A	[100]	$a_1 \parallel a_2$
			底面-翻底	$\frac{\perp[010]}{(001)}$	$a_1 \wedge a_2 = 3°—5°$

正a，记为a_1，若为负a，记为$\bar{a}_1$。

3．转Ⅰ轴使单体2的另一组解理直立，此时单体2的a轴直立，记下Ⅰ轴的读数如a_2，并确定a的正负记以a_2或$\bar{a}_2$。

4．根据a_1和a_2关系（$a_1 \parallel a_2$，$a_1 \parallel \bar{a}_2$、$a_1 \wedge a_2$、$a_1 \wedge \bar{a}_2$）查表8确定双晶类型。

注意：有时某一个双晶单体，无论如何转Ⅰ轴都不见另一组解理，说明$a_1 \wedge a_2$大，应属卡钠或卡斯巴双晶。

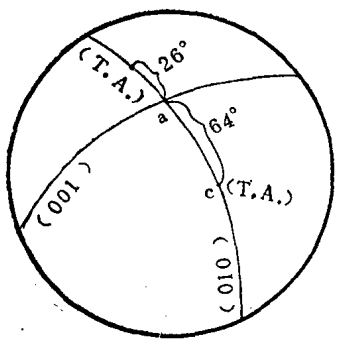


图 7—2　在(010)面上，双晶轴T.A.与c、a轴关系

四、投影图上判别

条件：欲测斜长石为非面律双晶，其结合面为(010)，而且具一组与(010)近垂直的(001)解理。

原理：利用斜长石$a \wedge c = 64°$，$a \wedge b = 87°—88°$的关系。

方法：双晶法测量结果进行投影，在投影图上找到T.A.（即$N_{g_1}N_{g_2}$、$N_{m_1}N_{m_2}$、$N_{p_1}N_{p_2}$三个大圆的交点），并进行(010)和(001)面的投影，获得两个大圆，该二大圆交点为a轴。T.A.应在(010)大圆上（因为非面律的双晶轴应在结合面(010)上）。度量a轴和T.A.之间的夹角，从而确定双晶类型。

根据$a \wedge c = 64°$，有以下几种情况（图7—2）：

（一）$a \wedge$T.A.$= 64°$，说明T.A.$\parallel c$，属轴律，[001]，卡式双晶。

（二）$a \wedge$T.A.$= 26°$，说明T.A.$\perp c$，属复合律，$\frac{\perp[001]}{(010)}$，钠长-卡斯巴双晶。

（三）$a\wedge$T. A. $=90°$，说明T. A. $\perp a$，属复合律，$\frac{\perp[100]}{(010)}$，钠长-阿拉双晶。

（四）$a\wedge$T. A. $=0°$，说明T. A. $\parallel c$，属轴律，〔100〕，阿拉B双晶。

第三节　斜长石有序度的测定

斜长石有序度测定方法有X射线粉晶法、X射线衍射法、红外吸收光谱法和核磁共振法。而光学测定法由于简单、省时，也被人们利用。

斜长石有序度的光学测定方法很多，各种方法的应用均有一定的局限性，需要针对不同组分的斜长石选择合适的方法，这里介绍的是既简便又实用的几种方法。

一、光轴角测定斜长石有序度

从物理光学角度，对斜长石有序度最灵敏的是光轴角。当已知光轴角（$2V$）和成分时，可查图7—3，确定其有序度S；也可根据光轴角（$2V$）和$\perp a$切面上$N_p'\wedge(010)$值查图7—4，确定其有序度。该方法主要适合于An_{40}以下的斜长石。号码越低，精度越高。关于光轴角的测定方法请参看本书第五章。

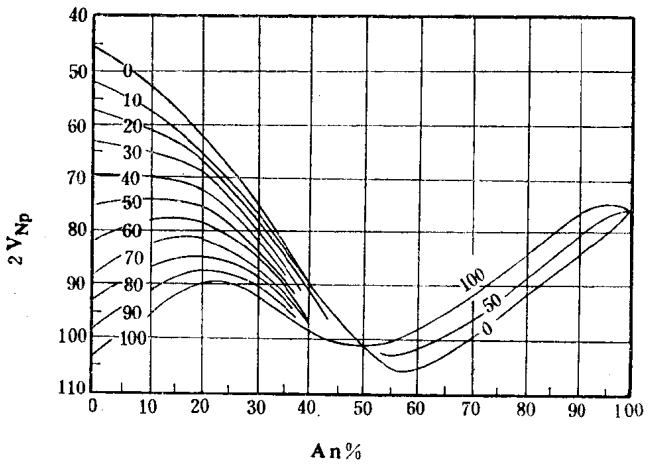


图 7—3　斜长石成分、$2V$与有序度关系

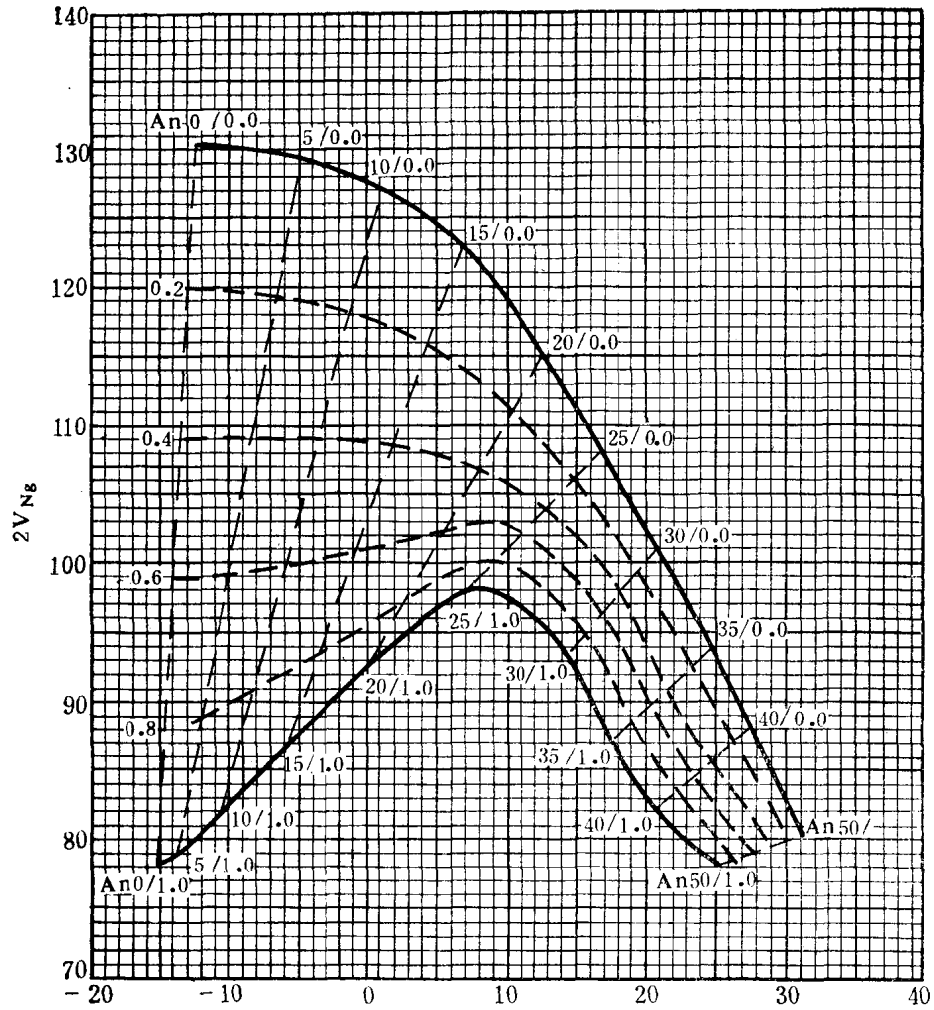
二、四轴双晶法和解理法鉴定斜长石有序度

（一）根据解理面极点或双晶轴与三个光学主轴之间的关系测定有序度。

双晶法或解理法（见第六章）测量结果（包括主轴、解理面、双晶结合面）投影到投影图上，找到双晶轴位置。根据双晶轴或解理面极点与三个光学主轴的关系，查鉴定图表：

1．卡登图，使用方法同前述，首先要进行转图，使N_m转到投影图的中心，其它各点作相应的移动。将转好的图蒙于卡登图上（注意根据解理或双晶律选择图版Ⅳ或Ⅴ），根据转图后的解理极点或双晶轴投影点所落位置确定成分和有序度。若投影点落于卡登图的实线上为低温，$S=1$，若落于虚线上为高温，$S=0$，若点落于二者之间，根据内插法确定之，如图7—5所示，点落于a处，其成分为An_{46}，有序度$S=0.65(65)$。

2．马富宁图（图版Ⅵ），只能用于具（010）解理或具钠长石双晶、卡斯巴双晶和卡钠复合双晶的颗粒。查图方法同卡登图（也需转图，使N_m位于网心）。图中40/0.0表示成



在⊥a 切面Np′∧(010)

图 7—4 斜长石成分和有序度鉴定图10/0.0表示10号斜长石，有序度$S=0.0$

(引自池际尚等，1983)

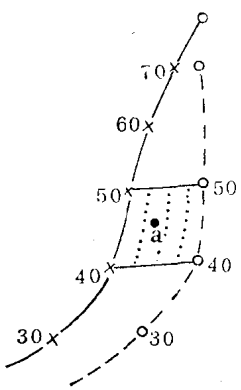


图 7—5 卡登图上查有序度方法举例

实线—低温；虚线—高温

分为An_{40}，有序度$S=0.0$，40/1.0表示An_{40}，$S=1.0$。

3．斯利蒙斯（Slemmons, D. B.)图（图7—6、7—7、7—8和7—9），这是根据斜长石每种双晶类型及$N_p\wedge T.A.$、$N_m\wedge T.A.$关系作出的一套图表。图中实线为火山型，虚线为深成型，曲线上1、2、3……表示斜长石号码为10、20、30……。

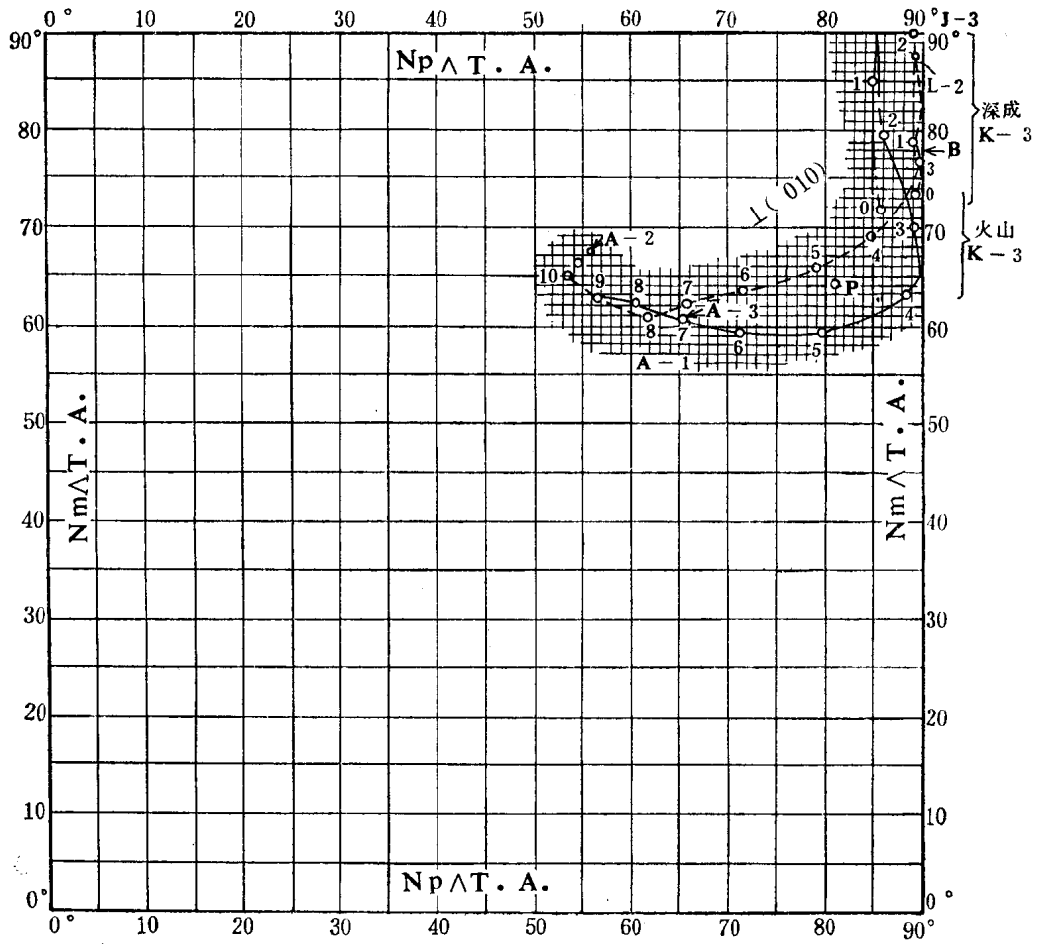


图 7—6　钠长石双晶律的双晶轴曲线

（据Slemmons, D. B., 1962）

C. P. = (010)，T. A. = ⊥(010)；实线为火山型斜长石，虚线为深成型斜长石

查这套图前，利用双晶法先求出$N_p\wedge T.A.$，$N_m\wedge T.A.$，并根据本章第二节所述方法确定所测斜长石颗粒的具体双晶类型。然后根据双晶类型、$N_p\wedge T.A.$、$N_m\wedge T.A.$查相应的鉴定图，确定成分和有序度。如所测斜长石为钠长石双晶，$N_p\wedge T.A.=81°$，$N_m\wedge T.A.=64°$，则选图7—6，在该图的横线上（$N_p\wedge T.A.$）查81°，纵线上（$N_m\wedge T.A.$）查64°，交于P点，由P点位置可确定成分为An_{49}，有序度$S=0.75$。

斯利蒙斯设计的这套图共计8张，其中具钠长石、底面、钠长-阿拉、肖钠长石、翻底、底面-阿拉双晶者，用该图鉴定有序度，效果较好，而具卡斯巴、卡钠、阿拉A、阿拉B、巴温诺双晶者，效果不佳（高、低温曲线距离太近）。为此，本书仅选用了鉴定效果

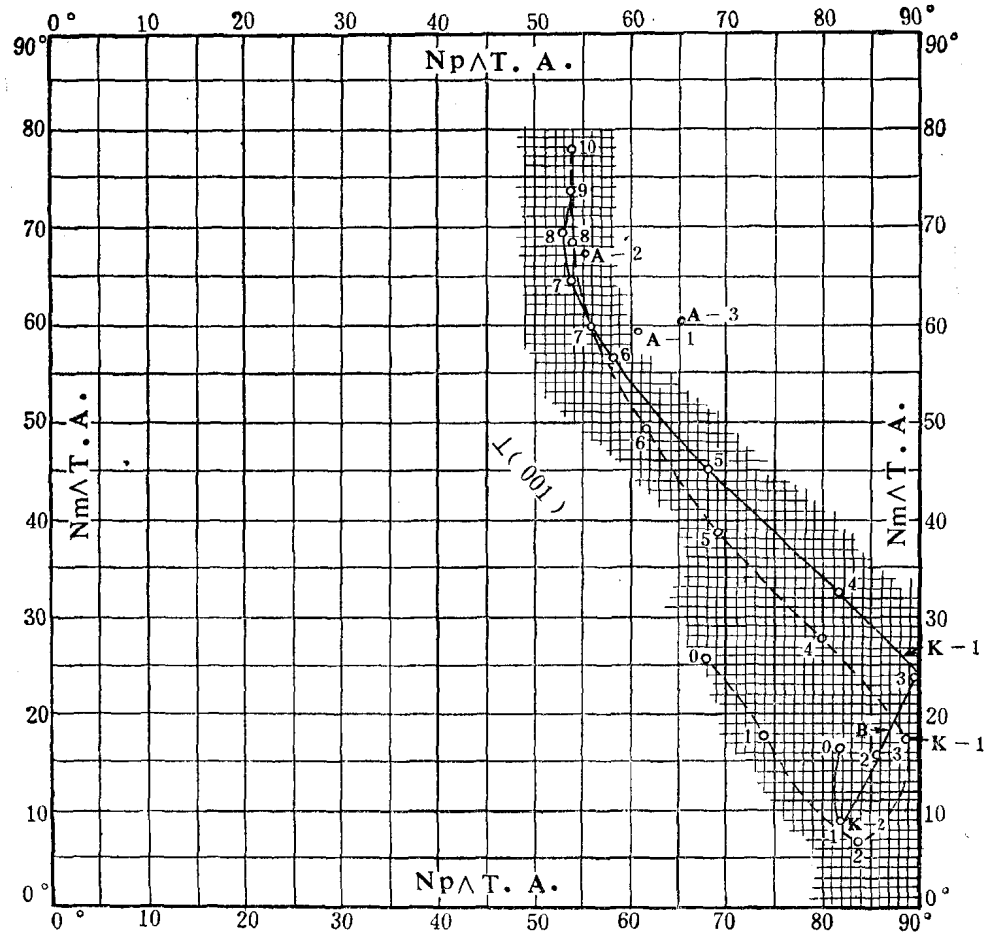


图 7—7　底面双晶律的双晶轴曲线

（据Slemmons, D. B., 1962）

C. P. =(001)，T. A. =⊥(001)；实线为火山型斜长石，虚线为深成型斜长石

好的那部分图解（图 7—6～图 7—9）。对常见的卡钠双晶和卡式双晶，利用下述方法效果更好。

（二）根据$N_{m_1}\wedge N_{m_2}$与$N_m\wedge[001]$鉴定成分和有序度

条件：颗粒必须具有卡斯巴双晶和卡钠复合双晶或具二者之一者。鉴定步骤分两种情况进行。

1．同时具有卡斯巴双晶和卡钠复合双晶

（1）对三组方位不同的双晶单体（图7—10）分别进行光率体定位(四轴法)，记录，投影。

（2）双晶结合面定位，投影。

（3）投影图上找到双晶轴（T. A.$_1$、T. A.$_2$、T. A.$_3$）。

（4）判断双晶类型，并确定哪个双晶轴是$\frac{\perp[001]}{(010)}$，哪个双晶轴是[001]。

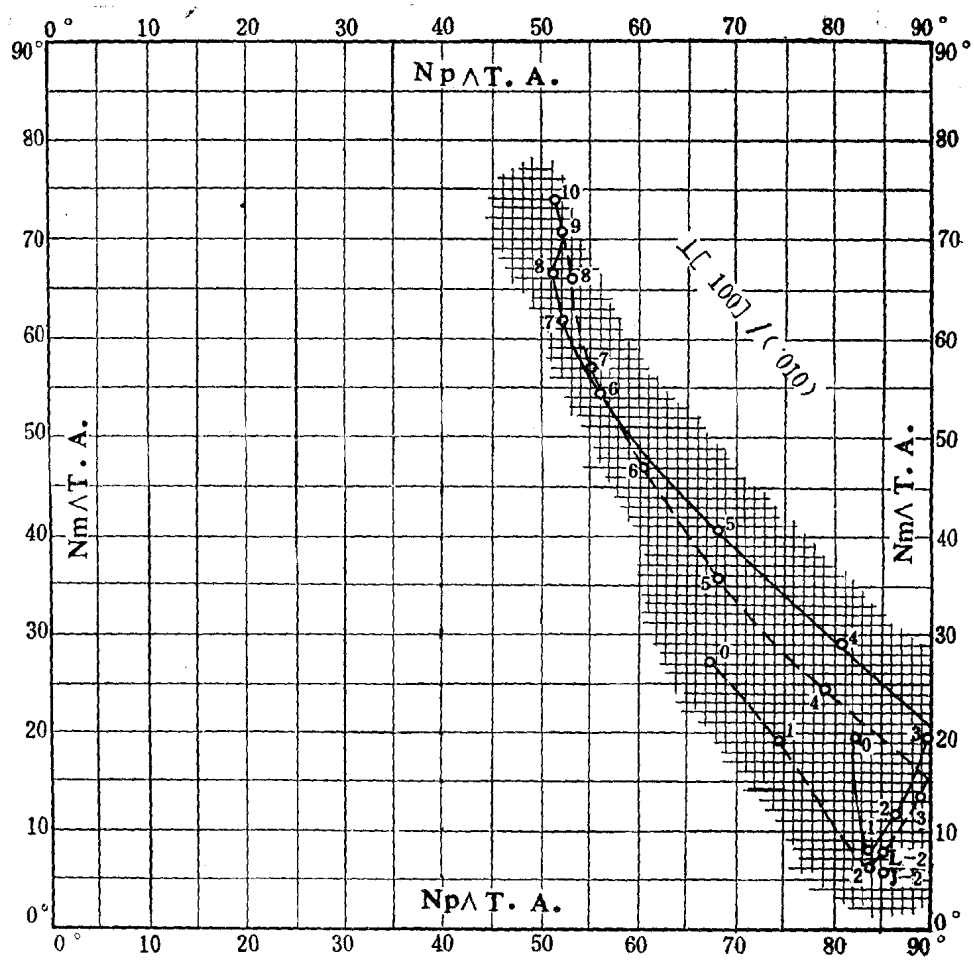


图 7—8 钠长-阿拉双晶律的双晶轴曲线

（据Slemmons, D. B., 1962）

C. P. =(010)，T. A. $=\frac{\perp〔100〕}{(010)}$；实线为火山型斜长石，虚线为深成型斜长石

（5）投影图上分别量出三组单体的 N_m 与 $\frac{\perp〔001〕}{(010)}$ 的夹角，取平均值乘 2 为卡钠律的 $N_{m_1}\wedge N_{m_2}$；再分别量度三组单体的 N_m 与〔001〕的夹角，取其平均值为 $N_m\wedge〔001〕$。

（6）根据 $N_{m_1}\wedge N_{m_2}$ 和 $N_{m1}\wedge〔001〕$，查鉴定图表（图7—11），求出成分和有序度。

2．仅具钠长-卡斯巴双晶

若所测颗粒经上述（1）—（4）步测量，只有钠-卡律，则按下面方法继续鉴定。

（1）投影图上量度两个双晶单体 N_m 之间的夹角（这两个单体必须已经定下为卡钠律），此角即为卡钠律的 $N_{m_1}\wedge N_{m_2}$，再以 $\frac{\perp〔001〕}{(010)}$ 为极点，作其相应的大圆（二者 90°关系），此大圆与结合面C. P. 大圆交点为〔001〕，分别度量两个双晶单体的 N_m 与〔001〕的夹角，取平均值为 $N_m\wedge〔001〕$。

（2）根据 $N_{m_1}\wedge N_{m_2}$ 和 $N_m\wedge〔001〕$ 查鉴定图（图7—11）。

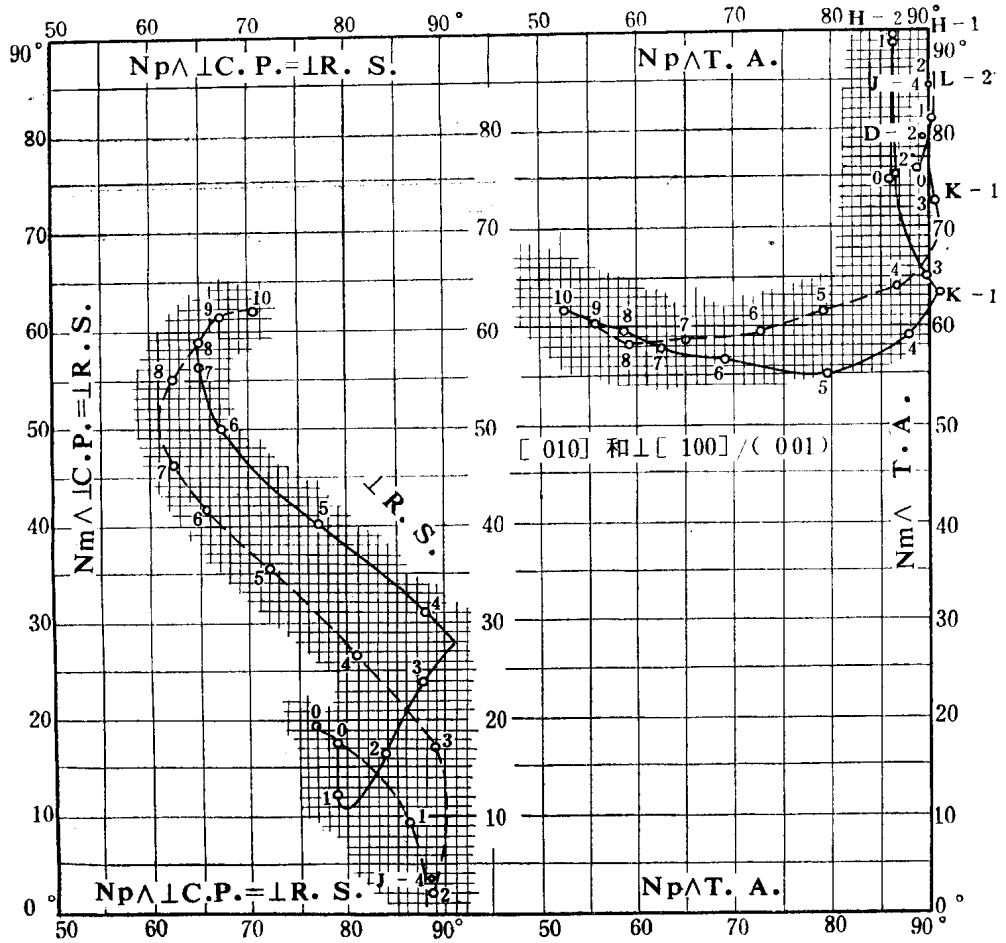


图 7—9

左图，斜方切面（肖钠长石双晶律）上，N_p、N_m与结合面极点（⊥C.P.）之间夹角的曲线
右图，肖钠长石双晶律的双晶轴曲线：C.P.=R.S.T.A.=[010]；翻底双晶律的双晶轴曲线：C.P.=(001)，T.A.=[010]；底面-阿拉双晶律的双晶轴曲线：C.P.=(001)，$T.A.=\frac{\perp[100]}{(010)}$。实线为火山型斜长石，虚线为深成型斜长石
（据Slemmons, D.B., 1962）

3．仅具卡斯巴双晶

若所测颗粒经上述（1）—（4）步测量，只有卡斯巴律，则按下面方法继续鉴定。

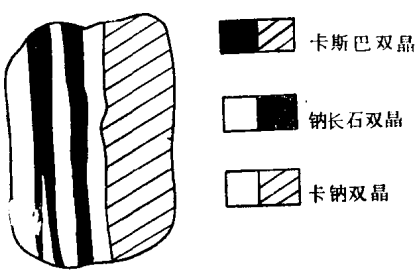


图 7—10 斜长石的三组双晶单体

（1）投影图上分别度量两个单体的N_m与[001]的夹角，取平均值得$N_m \wedge [001]$。再以[001]为极点作其相应的大圆，此大圆与结合面大圆的交点即为$\frac{\perp[001]}{(010)}$，分别度量两组单体的N_m与$\frac{\perp[001]}{(010)}$的夹角，两夹角之和为卡钠律的$N_{m_1} \wedge N_{m_2}$。

（2）根据$N_{m_1} \wedge N_{m_2}$和$N_m \wedge [001]$，仍查图7—11。

这种方法只适用于An_{30-70}的斜长石。

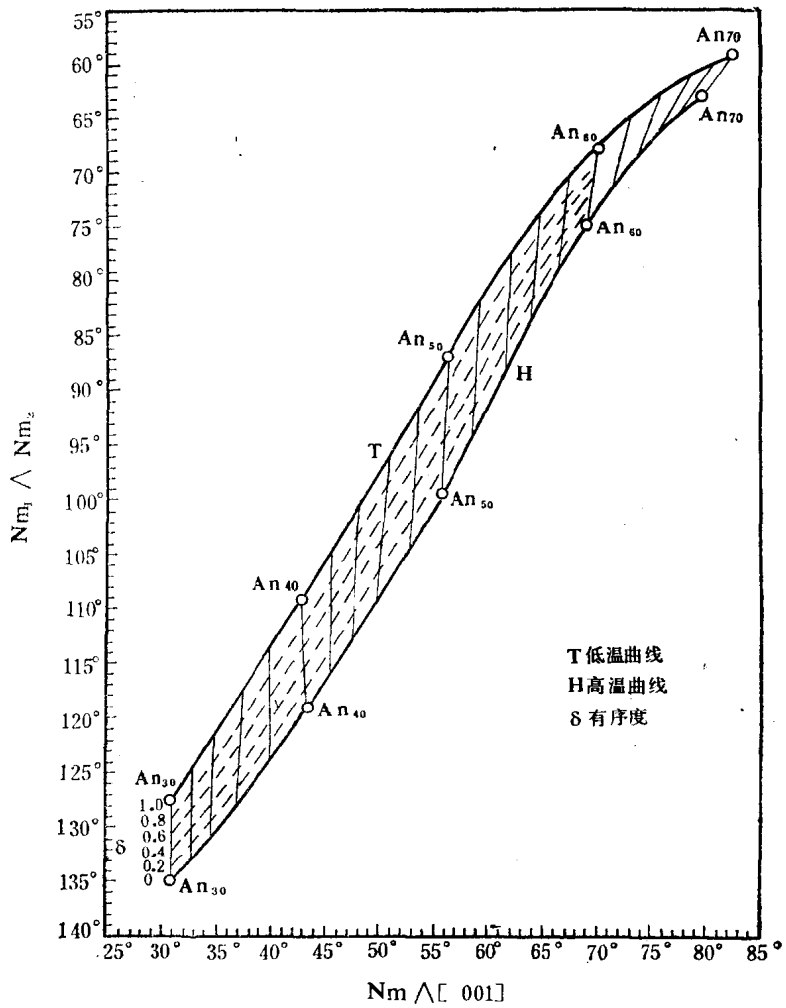


图 7—11 斜长石成分和有序度鉴定图

(据苏树春，1978)

限用于An_{30-70}，具卡式、钠-卡律双晶者

实例：山东某地辉长岩中的斜长石，具三组双晶如图7—12所示，四轴双晶法测量结果见图7—13之附表。经投影，在投影图上找出三组双晶的双晶轴T. A.$_{1-2}$、T. A.$_{1-3}$、T. A.$_{2-3}$以及结晶a轴或双晶结合面与前三者之间的关系（见图7—13），确定出单体1和单体3为钠长石双晶，单体1和单体2为卡斯巴双晶，单体2和单体3为卡钠复合双晶。因而，双晶轴T. A.$_{1-3}$为$\perp(010)$，双晶轴T. A.$_{1-2}$为〔001〕，双晶轴T. A.$_{2-3}$为$\frac{\perp[001]}{(010)}$。在投影图上分别度量三组单体的N_m与$\frac{\perp[001]}{(010)}$夹角为33°、33°、31°，取平均值乘2得$N_{m_1} \wedge N_{m_2}=65°$。再分别度量三个单体

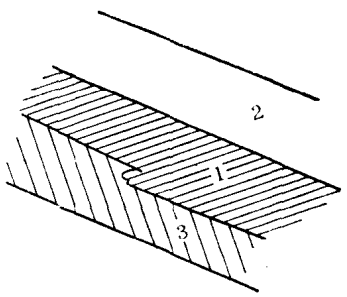
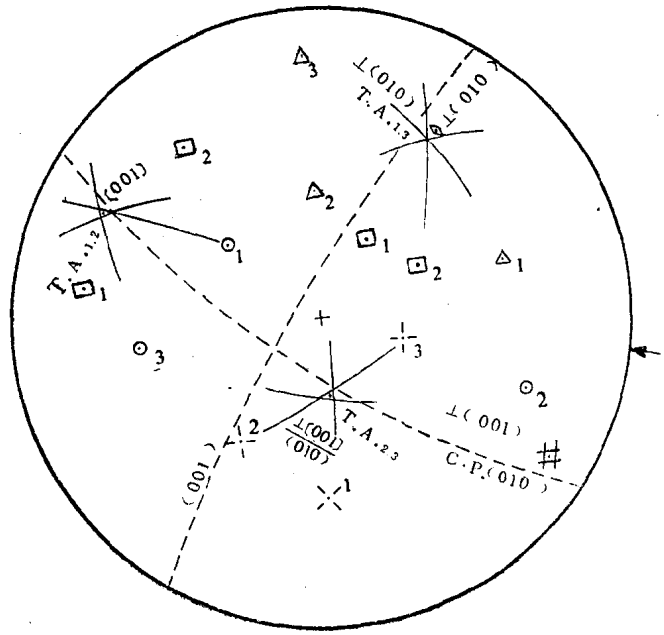


图 7—12 斜长石双晶素描图



	单体 1		单体 2		单体 3		双晶结合面	解理
	I	II	I	II	I	II		(001)
N	7°	292°	331°	256°	188.5°	285°	332°	66°
H	→30°	←26°	→39°	←19°	→10°	→29°	←19°	→10°
I	N_{m_1} 19°↓	N_{p_1}	N_{m_2} 16°↓	N_{p_2}	N_{g_3}	N_{p_3}	⊥(010)	⊥(001)

	N_m (平均)	N_p (平均)	$N_{m_1} \wedge N_{m_2}$	$N_m \wedge [001]$	成分	有序度	注
$T.A._{2-3}$ $\frac{\perp[001]}{(010)}$ $T.A._{1-2}$ [001]	32.3° 74.3°		65°	74.3°	An_{63}	0.8	查图7—11 所得结果
$T.A._{1-3}$ ⊥(010)	62°	69°			An_{63}	0.8	查图7—6 之结果

图 7—13 斜长石成分、有序度鉴定的双晶法数据和投影

辉长岩中斜长石An_{63}，$S=0.8$

的N_m与[001]夹角为74°、75°、74°，取平均值得$N_m \wedge [001]=74.3°$。根据以上两个数据，查鉴定图 7—11，求出成分为An_{63}，有序度$S=0.8$。

根据钠长石双晶在投影图中度量的数据：$T.A._{1-3} \wedge N_m=62°$，$T.A._{1-3} \wedge N_p=69°$，查斯里蒙斯图的钠长石双晶律的双晶轴曲线(图7—6)，求得成分为An_{63}，有序度$S=0.8$。

此外，在投影图上查得该斜长石（+）$2V=82°$。

三、D. C. 诺布尔五轴法鉴定斜长石有序度

该方法由诺布尔（Noble, D. C.）于1965年提出，其实质是五轴解理法。主要测定的光学常数有⊥(010)∧N_p、⊥(010)∧N_m、⊥(001)∧N_p、$2V$及补充常数$|\Delta K_{N_m}|$和$|\Delta K_{N_p}|$。测定步骤是：

（一）选择具有较清晰的（010）解理的颗粒，最好同时能见到（001）解理，将选好的颗粒置视域中心。旋转台各轴及物台位于零位。

（二）区别颗粒中（010）和（001）解理（方法见第六章第三节）。

（三）确定（010）解理后，使旋转台和物台恢复零位。转N轴使（010）大致平行横丝，以满足最后定位要求。

（四）用五轴法进行光率体定位（参看第四章第二节）。定位后要求N_g∥Ⅰ轴，N_m（N_p）∥K轴，N_p(N_m)∥A轴（显微镜轴），（010）面置于近纵丝方向。这样定位的结果，当颗粒同时具有（010）和（001）解理时，N_m必与K轴重合，N_p必与A轴重合(图6—1)。当颗粒中只有（010）解理时，则N_m∥A轴，N_p∥K轴（注意五轴法定位后，K轴在南北方向)。

（五）在同时具（010）和（001）解理的颗粒上，测定⊥(001)∧N_p、⊥(010)∧N_m、⊥(010)∧N_p、$|\Delta K_{N_p}|$及$2V$（若只见（010）解理，请按（六）操作)。

1．上述第（四）步定位后锁住H、K轴，此时N_g∥Ⅰ、N_m∥K、N_p∥A(M)。

2．测定⊥(001)∧N_p值

转M轴和Ⅰ轴，使（001）解理平行横丝并直立，此时Ⅰ轴转角为（001）面与N_p的夹角（因为N_p∥M，所以M轴无论如何转动，N_p仍直立），Ⅰ轴转角的余角即为⊥(001)∧N_p值。

3．测定⊥(010)∧N_p值

转M轴和Ⅰ轴，使（010）解理平行横丝并直立，此时Ⅰ轴转角的余角即为⊥(010)∧N_p值。

4．测定⊥(010)∧N_m和$|\Delta K_{N_p}|$值

转M和K轴，使（010）面平行纵丝并直立，此时M轴转角的余角即为⊥(010)∧N_m值（因为N_m∥K轴，K轴无论如何转动，N_m仍平行K轴)。K轴转角的绝对值为：$|\Delta K_{N_p}|$值[1]。

5．测定$2V$

顺时针转M轴90°，使N_m∥Ⅰ。逆时针转物台45°，转Ⅰ轴分别使二光轴直立，读其转角确定$2V$值。如果转Ⅰ轴只见到一个光轴（由于定位时各环倾斜，Ⅰ轴向某个方向转动受限制造成）则Ⅰ轴转角的2倍为$2V$。

（六）在只见（010）解理的颗粒上测定⊥(010)∧N_{m_1}、⊥(010)∧N_p和$|\Delta K_{N_m}|$值及$2V$值。

1．上述第（四）步定位后，锁住H、K轴，此时N_g∥Ⅰ、N_p∥K、N_m∥A(M)。

2．测定⊥(010)∧N_m值

---

[1] 五轴法定位时，K轴有一个转角，这里使解理直立，又有一个K的转角，二转角之差的绝对值即$|\Delta K_{N_p}|$值或$|\Delta K_{N_m}|$值。

转M轴和I轴使（010）平行横丝并直立，此时I轴转角的余角为⊥(010)∧N_m值。

3．测定⊥(010)∧N_p和$|\Delta K_{N_m}|$值

转M和K轴，使（010）平行纵丝并直立，此时M轴转角的余角为⊥(010)∧N_p值，而K轴转角的绝对值为$|\Delta K_{N_m}|$。

4．测定$2V$。

（七）查鉴定图，求出斜长石成分和结构状态。

该方法使用的鉴定图共4个，图7—14～图7—17。第五步测量结果查图7—14、7—15、7—16；第（六）步测量结果查图7—14和图7—17。图中虚线代表侵入岩（中、深成）中斜长石光性方位的平均曲线（即有序斜长石曲线）；实线代表火山岩中斜长石光性方位的

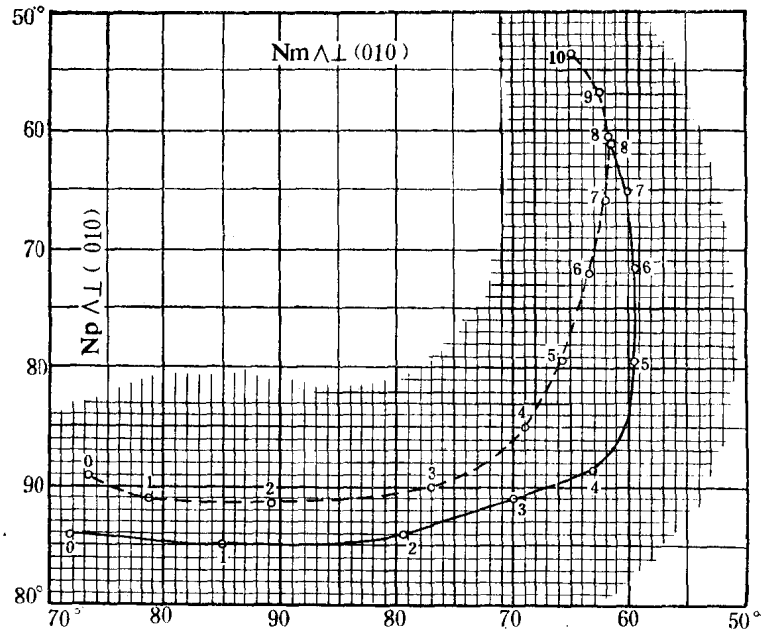


图 7—14 五轴法鉴定斜长石成分和有序度

（据Noble, O. C., 1965）

斜长石成分与⊥(010)∧N_m和⊥(010)∧N_p关系曲线。虚线代表深成型；实线代表火山型

平均曲线（即无序斜长石曲线）。曲线上0、1、2，……，10分别表示An_0，An_{10}，An_{20}，……，An_{100}。查图方法是：例如所测⊥(010)∧N_p为75°，⊥(010)∧N_m为64°，在图7—14上，根据二数据找到测点，正好落在5—6之间的虚线上，根据内插法，求得An为56的低温斜长石。又如若⊥(010)∧N_p为90°，⊥(010)∧N_m为72°，在图7—14上，找到该测点位于虚、实二曲线的近中间，表明斜长石的有序度近于0.5(50)，又由于该点位于3—4之间，确定其成分时，需分别连结两曲线上的3、4点（即3和3和相连，4和4相连），用内插法求得An为30.5°。

使用这些图时，有时会出现多解现象，这时要注意区分深成岩An_{20}和火山岩An_{13}上、下的斜长石。一般的方法是判断欲测斜长石正、负突起，若为负突起，查上述图表时，其纵坐标取90°（或0°）以下，横坐标取90°（或0°）的左侧。若为正突起，横坐标取90°（0°）的右侧，而纵坐标取值则要配合其它方法决定。如利用两对测值，分别查图，对比

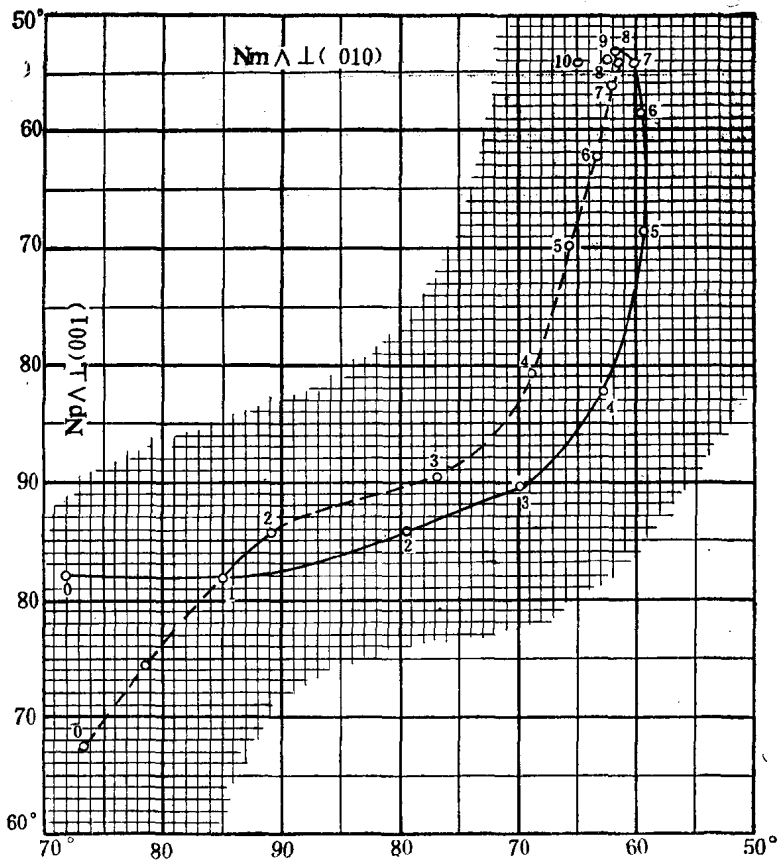


图 7—15　五轴法鉴定斜长石成分和有序度

（据Noble, D. C.，1965）

斜长石的成分与⊥(010)∧N_m和⊥(001)∧N_p关系曲线。虚线代表深成型；实线代表火山型

答案决定取舍。或是根据数据投在图上后，位于曲线外的点则舍去。例如某斜长石正低突起，⊥(010)∧N_m=75°，$|\Delta K_{N_p}|$=3°，在图7—16上，⊥(010)∧N_m取90°右侧的75°坐标，$|\Delta K_{N_p}|$取0°上和下3°的坐标，得二个投影点，其中一点在曲线外，表明0°以上的3°坐标无解，故该斜长石为An_{25}的高温变种。

该方法操作简便，但测量误差无法检验。当需作大量斜长石有序度统计工作时，只要操作细心，实践证明其测量效果较好。

四、消光角法鉴定斜长石有序度

消光角法是由里特曼（Rittman, A. 1961）提出，苏树春1978年作了改进，现介绍改进后的方法。

条件：所测斜长石应为酸性，$An_{0\sim30}$，且具钠长石双晶和（001）解理（或双晶）。

方法：

（一）测定⊥〔100〕切面的消光角E

1．确定（010）和（001）解理（双晶），方法同前述。

2．转N、H轴使（010）面在南北直立。锁住H轴。

3．转Ⅰ轴使（001）面直立。此时〔100〕直立。锁住Ⅰ轴。

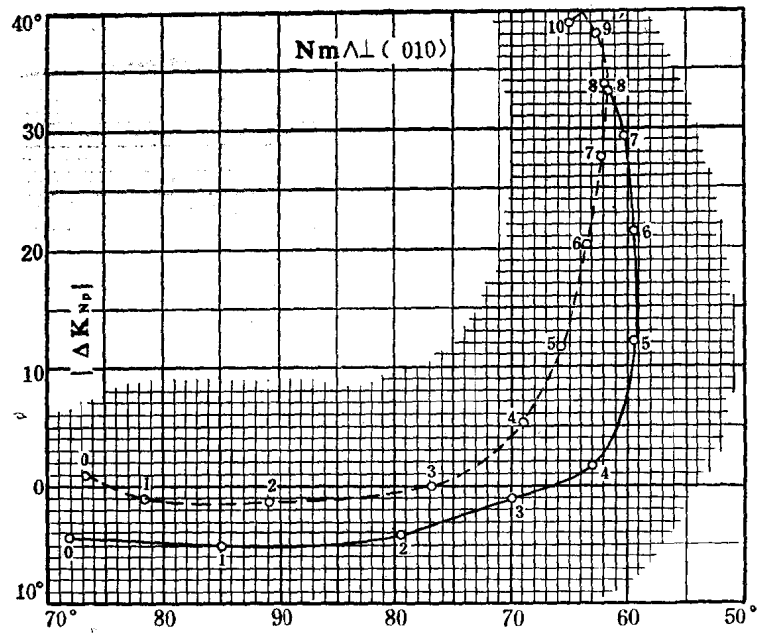


图 7—16　斜长石⊥(010)∧N_m和$|\Delta K_{N_p}|$与斜长石成分关系
(据Noble, D. C., 1965)
虚线代表深成型；实线代表火山型

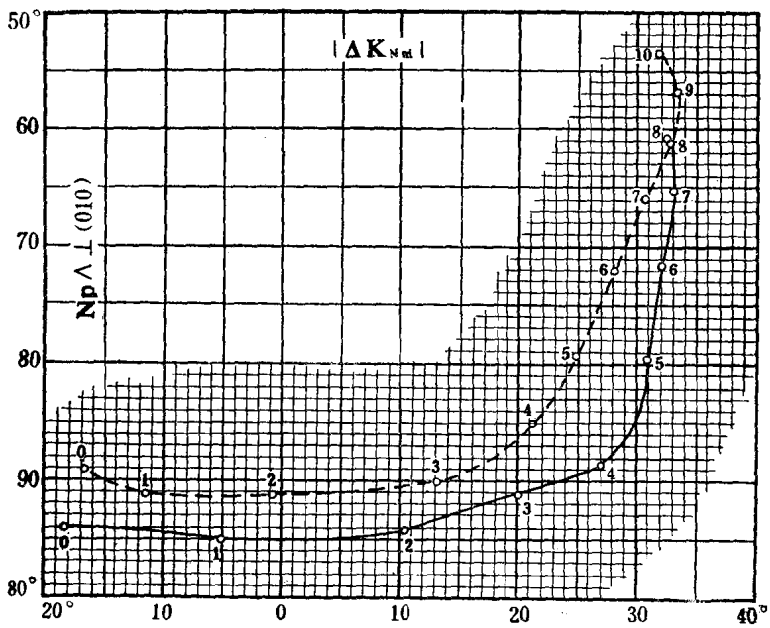


图 7—17　斜长石⊥(010)∧N_p和$|\Delta K_{N_m}|$与斜长石成分关系
(据Noble, D. C., 1965)
虚线代表深成型；实线代表火山型

4．转物台测量（010）∧N_p'，并确定其正、负。为了提高精度，要求测双晶相邻二单体的消光角，取其平均值为E。

（二）测量E'和E''

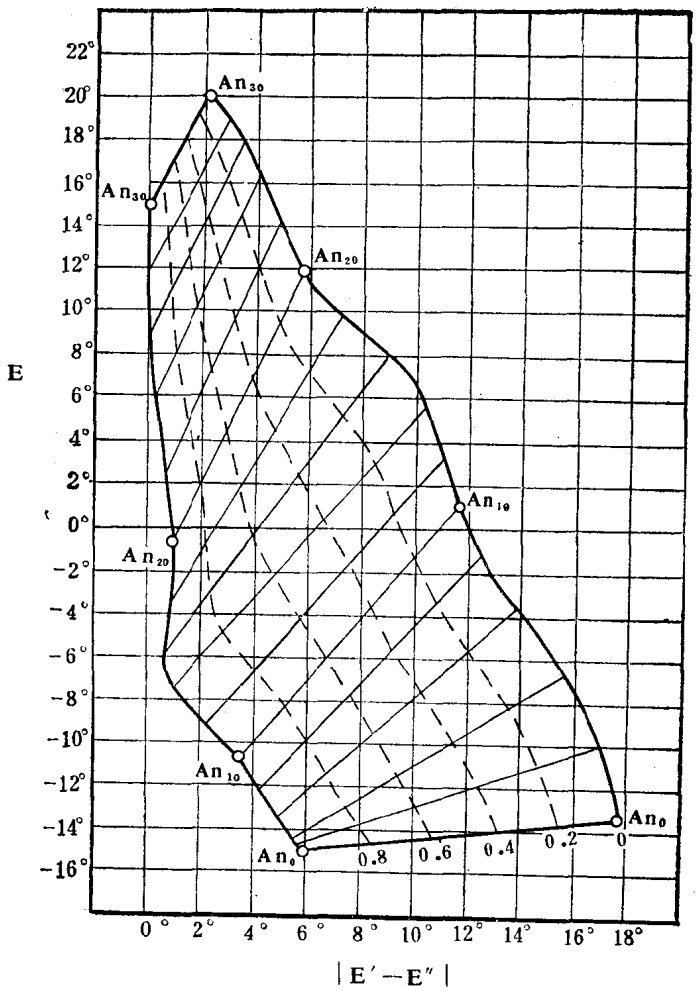


图 7—18　消光角鉴定酸性斜长石有序度和成分

（据苏树春，1978）

1．在上述⊥〔100〕切面基础上，向任何一方向转Ⅰ轴20°，然后转物台测其消光角E'。转Ⅰ轴至〔100〕直立时的位置，物台恢复零位。

2．向相反方向转Ⅰ轴20°，转物台测其消光角E''。

3．计算$|E'-E''|$，计算时注意两次物台的转动方向（指上述1、2步），若两次方向相同则E'和E''相减取绝对值，若两次方向相反则E'和E''相加。

（三）确定有序度和成分

在鉴定图表（图7—18）上，根据E和$|E'-E''|$，查成分和有序度，例如测定结果$E=-2°$，$|E'-E''|=7°$，查图得An＝12，$S=0.45$。

思 考 与 讨 论

1．讨论研究长石结构状态的意义。

2．为什么以$\frac{\perp[001]}{(010)}$为极点，作相应之大圆，该大圆与结合面大圆的交点为[001]？

3．说明诺布尔法测定斜长石的步骤中为什么颗粒同时具（010）和（001）解理时，$N_m \| K$，$N_p \| A$？而只具（001）解理时$N_m \| A$，$N_p \| K$？

4．如何提高光轴角的测量精度？

第八章　碱性长石的鉴定方法

随着先进科学技术的引进和碱性长石结构状态的深入研究，关于碱性长石亚族的分类命名，越来越多的趋向于不仅依据钾、钠成分比，还要考虑它们的结构状态和晶体交生的性质。据目前掌握的资料，1962 年 A. C. 马富宁（图 8—1）和 1980 年苏树春在其基础上提出的分类方案较全面、适用。本书将重点介绍并采用后种分类方案（表 9）。该方案提出的碱性长石主要变种是富钾的透长石、正长石、正微长石、微斜长石和富钠的歪长石、钠长石。每个变种又根据有序度、光轴角分出高、中、低亚种。此外，只有三个亚种即正条纹长石、中条纹长石和反条纹长石没有列于表中。方案中的正长石应为次X光双晶（超显微双晶）的微斜长石，属假单斜晶系。是否存在真正单斜晶系的正长石，目前尚无定论。方案中的正微长石是低温条件下结晶的、富钾的三斜晶系稳定相变体，具不平衡的超显微双晶，相当于马富宁分类中的三斜正长石。正微长石的三斜度Δ 总是小于三斜有序度 S_T，以此区别于正长石和微斜长石。

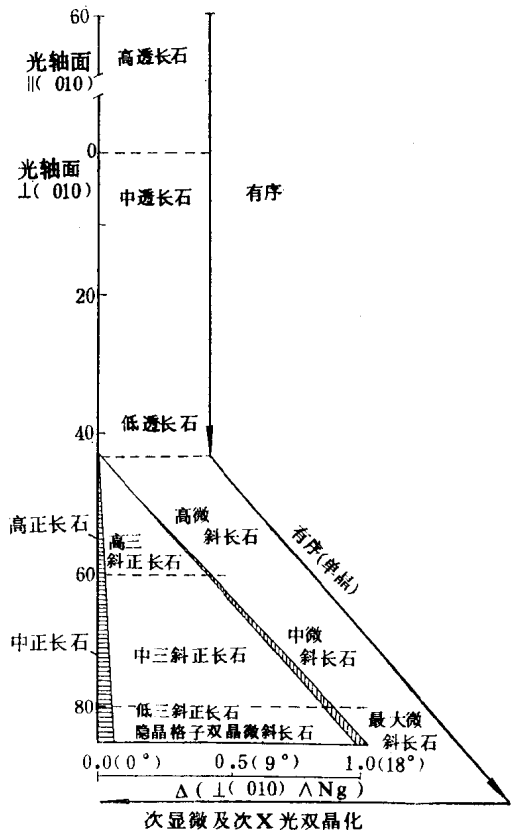


图 8—1　马富宁提议的钾长石分类
(Марфунин, А. С., 1962)

由于碱性长石成分，结构状态复杂，特别是碱性长石有序化过程中所产生的超显微双晶和微细连晶对其光学性质的影响，因此多年来碱性长石光学鉴定方法一直不如斜长石那样系统，成熟，所使用的鉴定图表多数不够理想或不够全面，因此本章仅介绍碱性长石鉴定的解理法和消光角法，建议结合 $2V$ 值等其它有关光性方位特点，参考表 9 加以鉴定。

第一节　碱性长石鉴定的解理法和消光角法

一、碱性长石鉴定的解理法

碱性长石中（001）解理最发育，其次为（010），二者夹角 89°30′—90°。此外还可见（110）、（$1\bar{1}0$）以及（$1\bar{5}02$）解理。（110）∧（$1\bar{1}0$）＝60°。

解理法操作步骤如下：

表 9 碱性长石的光学性质

（据苏树春，1980）

亚类	矿物名称		晶系	光轴角	光轴面	光学有序度 S		光学三斜度	光性方位		双晶
	种	亚种		$(-)2V$	方位	S_M	S_T	Δ	$N_g \wedge \perp (010)$	$N_g \wedge \perp (001)$	
富钾长石	透长石	高透长石	单斜	0°—63°	∥(010)	0—0.6	—	0	90°	3°—12°	简单双晶
		低透长石	单斜	0°—44°	⊥(010)	0.6′—1.0	—	0	0°	90°	
	正长石	高正长石	假单斜	44°—54°	⊥(010)	—	0—0.25	0	0°	90°	简单双晶
		中正长石	假单斜	54°—74°	⊥(010)	—	0.25—0.75	0	0°	90°	
		低正长石	假单斜	74°—84°	⊥(010)	—	0.75—1.00	0	0°	90°	
	正微长石	高正微长石	三斜	44°—54°	～⊥(010)	—	0—0.25	0—0.25	0°—3.6°	90°—87.5°	格子双晶
		中正微长石	三斜	54°—74°	～⊥(010)	—	0.25—0.75	0—0.75	0°—14.4°	90°—82.5°	
		低正微长石	三斜	74°—84°	～⊥(010)	—	0.75—1.00	0—1.00	0°—18°	90°—80°	
		高微斜长石	三斜	44°—54°	～⊥(010)	—	0—0.25	0—0.25	0°—3.6°	90°—87.5°	格子双晶
		中微斜长石	三斜	54°—74°	～⊥(010)	—	0.25—0.75	0.25—0.75	3.6°—14.4°	87.5°—82.5°	
		低微斜长石	三斜	74°—84°	～⊥(010)	—	0.75—1.00	0.75—1.00	14.4°—18°	82.5°—80°	
富钠长石	歪长石	歪长石	三斜	30°—60°	～⊥(010)			—	5°±	85°±	格子双晶
	钠长石	高钠长石	三斜	50°—60°	～⊥(010)	0—0.2		—	19°—18.5°	76°—76.5°	聚片双晶或简单双晶
		过渡钠长石	三斜	60°—90°	～⊥(010)	0.2—0.8		—	18.5°—17°	76.5°—78°	
		低钠长石	三斜	90°—102°	～⊥(010)	0.8—1.0		—	17°—16.5°	78°—78.5°	

（一）选择一组或两组解理的颗粒，置视域中心。各轴位于零位。

（二）转N轴和H轴使解理面南北直立（若具两组解理，则分别使之直立），记录、投影，在投影图上绘出解理面极点。

（三）进行四轴法光率体定位并投影。

（四）查有关鉴定图表。

1．卡登图上定变种，查图前先进行转图（N_m移至中心，其它要素相应移动），然后将投影图盖到卡登图上（图版Ⅳ），根据转图后的解理极点位置得出结果（参看第六章第一节斜长石解理法查图方法）。卡登图上的NaOr-Or-AOr-Mi曲线为碱性长石曲线，NaOr——钠质正长石，Or——正长石，AOr——歪长石，Mi——微斜长石。

2．因为碱性长石经常见到的是（001）或（010）解理，当已知欲测颗粒的解理是这两组解理或其中之一时（判断解理为（010）或（001）的方法同酸性斜长石，参看第六章第三节），在投影图上测量⊥(001)或⊥(010)与N_g的夹角，结合$2V$值等，在表10或图8—4中查出碱性长石的亚种。在一般的鉴定中，正微长石（马富宁分类中的三斜正长石）和微斜长石不必分开，统称微斜长石。若确需区别（研究岩石成因有一定的意义），可根据本章的下一节所述方法求出碱性长石的三斜度Δ和三斜有序度S_T，当$S_T>\Delta$时为正微长石。

二、碱性长石鉴定的消光角法

主要包括测量（001）面和（010）面中的消光角。(001）面中的消光角指位于该面内的N'_p与（010）解理在(001)面上的迹(a轴)之间的夹角$N'_p\wedge(010)$，可写作$\frac{N'_p\wedge(010)}{(001)}$；

（010）面中的消光角指位于该面内的N'_p（三斜晶系）或N_p（单斜或假单斜晶系）与（001）解理在（010）面上的迹（a轴）之间的夹角$N'_p\wedge(001)$或$N_p\wedge(001)$，可写作$\frac{N'_p\wedge(001)}{(010)}$或$\frac{N_p\wedge(001)}{(010)}$。

条件：所测颗粒必须具有（001）和（010）两组解理（二组解理夹角近90°）；再者，定位时，一定有$N_m\parallel I$的情况。

鉴定步骤：

（一）选择具两组近直交解理的颗粒，置视域中心，旋转台各轴位于零位。

（二）转N和H轴，分别使两组解理在南北方向直立，并分别判断其解理是（010）还是（001），将两次定位的数据记录并投影，在投影图上作出二解理面的投影大圆，二大圆的交点为a轴投影点，即所求（010）面上的（001）解理迹和（001）面上的（010）解理迹。

（三）各轴恢复零位。进行四轴法光率体定位，记录并投影（包括光轴的投影）

（四）绘出两个光轴为极点的大圆（即二轴晶光率体之圆切面的投影），二大圆分别与（010）相交于两点l_1、l_2，沿（010）大圆取$l_1\wedge l_2$的锐角和钝角两个中点，得N'_g和N'_p（据拜-弗定律），这两个点何者为N'_g何者为N'_p，根据与该点最接近的光学主轴的轴名判断，如图8—2所示，两个点中的一个接近N_p(⊙)，另一个接近N_m(十)，所以接近N_p的点应为N'_p，另一个则为N'_g。此N'_g、N'_p为（010）面上光率体椭圆切面的长、短半径。同样方法可找出（001）面上的光率体椭圆切面的长短半径N''_g和N''_p。

（五）沿大圆度量自a点至N''_p夹角，有两种情况：

	I	II	解理1	解理2
N	10°	272°	87°	0°
H	→20°	→22°	←4°	→20°
I	N_m14°↑	N_g	⊥(010)	⊥(001)

(－) $2V = 36.5° \times 2 = 73°$

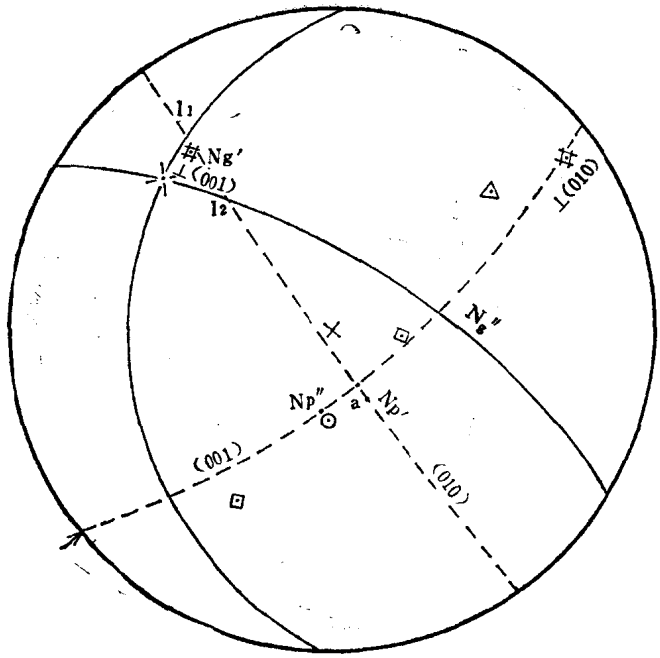


图 8—2 投影图上求（001）面和（010）面中的消光角

花岗岩中的微斜长石，$N_g \wedge \perp(010) = 18°$，$N_m \wedge \perp(001) = 9°$

$$\frac{N'_p \wedge (001)}{(010)} = 6°, \quad \frac{N''_p \wedge (010)}{(001)} = 15.5°$$

1．当 $N''_p \wedge a$ 即 $N''_p \wedge (010)$ 等于 0° 或<3°—4°，表明所测碱性长石为单斜晶系或接近于假单斜晶系（据苏树春）。此时，沿（010）大圆度量自 a 至 N_p（不是 N'_p）的夹角 $N_p \wedge a$ 即 $N_p \wedge (001)$，查图 8—3 确定成分和有序度。使用该图需注意，第一，此图只适用于光学为单斜或假单斜的碱性长石；第二，$N_p \wedge a$ 对出溶作用的存在与否及发育强度十分

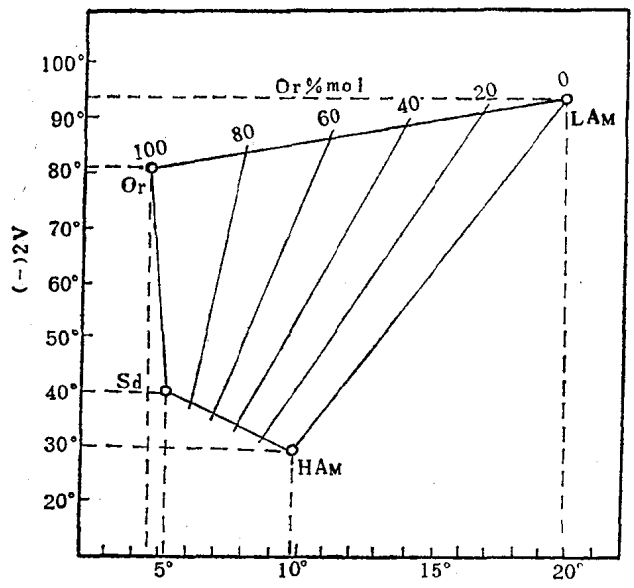


图 8—3 光性上为单斜或假单斜晶系的碱性长石及隐纹长石鉴定图

（引自苏树春，1982）

Or—正长石；LAM 假单斜低钠长石；Sd—透长石；HAM 假单斜高钠长石

敏感，真正均匀的不含出溶相的富钾碱性长石，$N_p \wedge a < 7°$。若已知所测矿物为单斜晶系或假单斜晶系富钾的碱性长石，而$N_p \wedge a > 7°$，表明该矿物发生出溶作用，$N_p \wedge a$角度越大，其出溶作用强度越大。

2．当$N''_p \wedge a$即$N''_p \wedge (010) > 4°$，表明该碱性长石为三斜晶系。沿（010）大圆度量a至N'_p夹角$N'_p \wedge a$即$N'_p \wedge (001)$。该消光角与成分关系图较陈旧，本书不再引用。据池际尚（1962）资料：微斜长石$N'_p \wedge (001) = 5°—6°$，$N'_p \wedge (010) = 15°—19°$；歪长石$N'_p \wedge (001) = 4°—12°$，$N'_p \wedge (010) = 1°—3°$。

第二节　碱性长石的有序度、三斜度的测定方法

碱性长石的有序化较斜长石要复杂。其中完全无序的钠长石属三斜晶系，有序化过程中晶体对称性不变，为一步有序化。所以对钠长石的有序度的测定可采用斜长石的光学鉴定方法，这里不再赘述。

钾长石有序化过程不同于钠长石，为两步有序化，无序透长石变为有序透长石（各种“正长石”），晶体保持单斜对称，这是有序化的第一步，称为单斜有序化。当矿物由有序透长石变为微斜长石，晶体对称性由单斜晶系降低为三斜晶系，这是有序化的第二步，称为三斜有序化。因此，对钾长石（或富钾的碱性长石）的有序度需分单斜有序度（S_M）和三斜有序度（S_T）测定。旋转台上主要是精确测定$2V$值（见第五章），并确定光轴面方位，利用公式计算：

$$S_M = 0.0093\ (63° - 2V_{N_p}) \quad \text{光轴面} \parallel (010) \text{ 时}$$

$$S_M = 0.0093\ (63° + 2V_{N_p}) \quad \text{光轴面} \perp (010) \text{ 时}$$

$$S_T = 0.025\ (2V_{N_p} - 44°)$$

三斜度（Δ）是指钾长石（富钾的碱性长石）有序化过程中，晶体偏离单斜对称的程度。有序化程度越高，三斜度也越高。计算公式是：

$$\Delta = 0.0555[N_g \wedge \perp (010)] = 0.1[90° - N_g \wedge \perp (001)]$$

式中的$N_g \wedge \perp (010)$或$N_g \wedge \perp (001)$可按上节“碱性长石鉴定的解理法”，进行光率体定位和解理面定位（条件是所测颗粒必须具（001）或（010）解理或双晶），在投影图上测量解理面极点与N_g的夹角即$N_g \wedge \perp (001)$或$N_g \wedge \perp (010)$。

对钾长石或富钾碱性长石，除按上述公式计算外，还可根据所测$2V$值和$N_g \wedge \perp (010)$或$N_g \wedge \perp (001)$，查图8—4（苏树春，1980）确定三斜度，有序度及某种属。

实例：山西某地霓辉正长岩中的钾长石。解理法和消光角法测量的原始数据及其投影见图8—5。用光学曲线法验证了二光轴位置。测得主要数据：（－）$2V = 62°$，$N_g \wedge \perp (010) = 6°$，$N_g \wedge \perp (001) = 86°$，在（001）面上的消光角$N''_p \wedge (010) = 0°$，在（010）面上的消光角$N_p \wedge (001) = 14°$（投影的$N_p$与$N'_p$重合），$\Delta = 0.3$，$S_T = 0.5$。根据$N \perp (010) = 6°$，$N_g \wedge \perp (001) = 86°$，在表9中查出三种矿物：中正微长石，低正微长石、中微斜长石。根据$2V = 62°$，排除了低正微长石，最后由$\Delta < S_T$，确定为中正微长石。由于$\frac{N_p \wedge (001)}{(010)} = 14°$，大于7°，表明该矿物出溶作用强烈。根据以上数据也可查图8—4，得到同样结论。

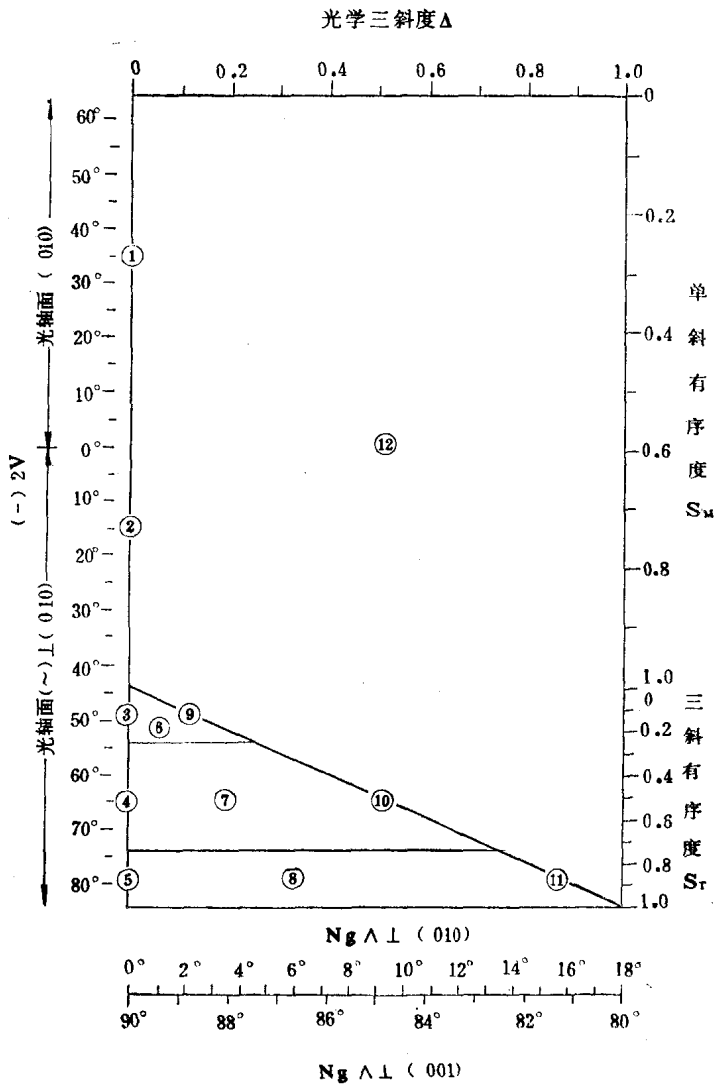


图 8—4　钾长石各种属的有序度、三斜度及光学性质

（据苏树春，1982）

① 高透长石；② 低透长石；③ 高正长石；④ 中正长石；⑤ 低正长石；⑥ 高正微长石；⑦ 中正微长石；⑧ 低正微长石；⑨ 高微斜长石；⑩ 中微斜长石；⑪ 低微斜长石；⑫ 透微长石❶

❶ 目前，在天然岩石中未见该矿物，形成于人工加热微斜长石的实验中。

	I	II	解理₁	解理₂
N	39°	310°	45°	315°
H	→ 8°	← 2°	← 6°	← 2°
I	N_m 29°/33°	N_g	⊥(001)	⊥(010)

(-) $2V = 62°$

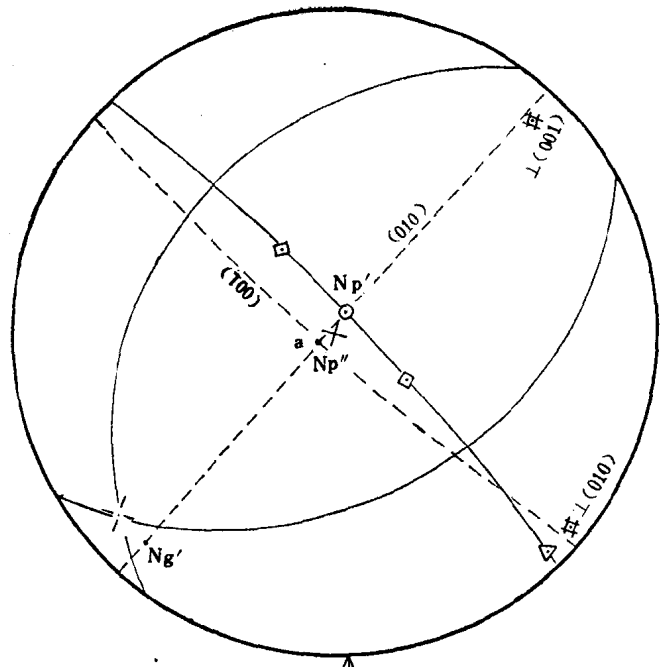


图 8—5 钾长石的解理法和消光角法测量数据和投影

霓辉正长岩中的正微长石 $N_g \wedge \perp(010) = 6°$，$N_g \wedge \perp(001) = 86°$，$\frac{N''_p \wedge (010)}{(001)} = 0°$，$\frac{N_p \wedge (001)}{(010)} = 14°$，$\Delta = 0.3$，$S_T = 0.5$

思 考 与 讨 论

1．碱性长石的分类依据是什么？与斜长石比较，为什么光学方法鉴定碱性长石较困难？

2．碱性长石和斜长石的消光角法，在测量方法上有何不同？$\frac{N'_p \wedge (001)}{(010)}$ 和 $\frac{N''_p \wedge (010)}{(001)}$ 各表示什么函意？在投影图上确定 N'_g，N'_p，N''_g，N''_p 的方法原理是什么？

通413号

第九章　暗色矿物的鉴定方法

暗色矿物一般折射率值大，吸收性强，光率体色散明显，从而造成在旋转台上定位较困难，限制了它的应用范围。为了提高定位精度，最好采用单色光源（如钠光灯等）。

利用旋转台鉴定暗色矿物最主要的是单斜辉石或单斜角闪石各变种的鉴定；其次是橄榄石族和云母族的鉴定。

第一节　单斜辉石（角闪石）的鉴定

单斜辉石和单斜角闪石具有相似的光性方位，它们的大多数变种 $N_m \parallel b$，光轴面 $\parallel$ (010)。二者均具（110）和（1$\bar{1}$0）完全解理，单斜辉石 (110)∧(1$\bar{1}$0)＝87°(93°)，单斜角闪石 (110)∧(1$\bar{1}$0)＝56°(124°)。

一、单斜辉石（角闪石）$N_g \wedge c$ 的解理法

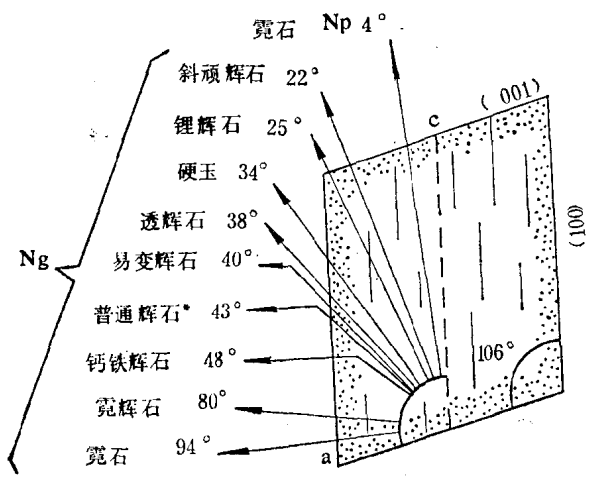
光轴面即（010）面上的 $N_g \wedge c$ 或 $N_p \wedge c$ 是区分单斜辉石（角闪石）的主要种属的重要光学常数。旋转台上测量 $N_g \wedge c$ 夹角常用的是解理法，因为该方法的关键是确定 c 轴位置，而该类矿物的（110）和（1$\bar{1}$0）两组解理的交线，或者它们的一组解理和光轴面（即(010)面）的交线为 c 轴方向。根据所测颗粒的解理组数，一般有两种测量方法。

（一）两组解理法

1．选择具两组清晰解理的颗粒置视域中心。各轴位于零位。

2．四轴法进行光率体定位，记录并投影。

3．转N和H轴，使两组解理分别于南北方向直立，记录、投影，绘出解理面大圆及其极点，两大圆交点即为 c 轴投影点，该点应落在光轴面大圆上，如图9—3，9—4所示，若偏离光轴面大圆过大（>5°），表明误差大，需重作。



* 包含有：深绿辉石，绿辉石，钛辉石

图 9—1　单斜辉石在（010）面上平均消光角
（据 Trōger, W. E., 1971）

4．在投影图上度量 $N_g \wedge c$ 的角度。

5．查鉴定图表（图9—1，9—2），确定变种。

实例 1．金云母透闪石岩中的透闪石，无色，(110)、(1$\bar{1}$0) 解理发育，利用两组解理法测得：$N_g \wedge c$＝17°，(－)$2V$＝82°（图 9—3）。根据其消光角查图9—2，并考虑该矿物的颜色、光性、光轴角等特征，稳定为透闪石。

实例2．红宝石浅闪岩中的浅闪石，无色，(110)、(1$\bar{1}$0) 解理发育，似透闪石。利用两组解理法测得 $N_g \wedge c = 19°$，$(+)2V = 74°$（图9—4）。根据其消光角查图9—2，并考虑该矿物的颜色、光性（不同于透闪石，为正光性）和光轴角等特征，确定为浅闪石。

（二）一组解理法

各步骤同上，但由于仅一组解理进行定位，所以在投影图上只能由一组解理大圆和光轴面（N_g N_p 面）大圆的交点确定 c 轴，因而不能检验定位误差，测量精度不如两组解理法高。在找不到两组清晰解理的情况下，才使用此方法。

二霓辉石系列的 $OA_1 \wedge c$ 的鉴定

这是由 B. C. 金（King, B. C.）于1962年提出的一种鉴定霓辉石变种的方法。利用该方法可以准确测定霓辉石系列矿物的霓石分子百分含量，是研究霓辉石的一个有效方

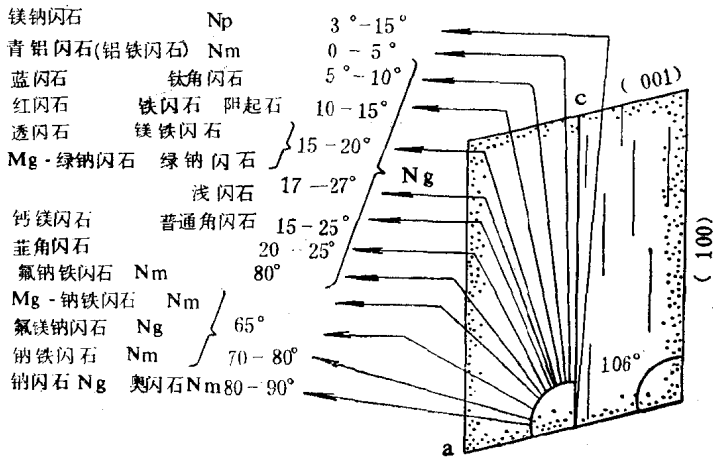


图 9—2 单斜角闪石在（010）面上的平均消光角
（据 Tröger, W. E., 1971 略修改）

	I	II	井1	井2
N	130°	219°	249°	192°
H	← 5°	→ 19°	→ 3°	0°
I	N_m 31°↓	N_p	⊥(1$\bar{1}$0)	⊥(110)

(－) $2V = 82°$

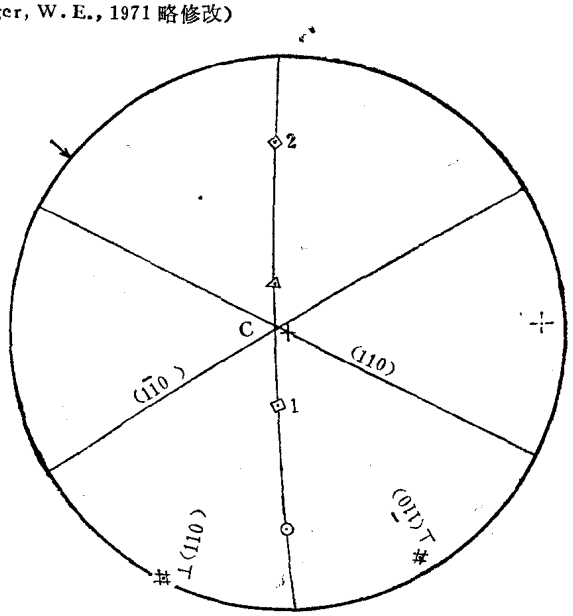


图 9—3 两组解理法鉴定单斜闪石的消光角法数据和投影
透闪石 $N_g \wedge c = 17°$，$(-)2V = 82°$，$(110) \wedge (1\bar{1}0) = 56°$

	I	II	井₁	井₂
N	130°	217°	156°	100°
H	←20°	→8°	→2°	←4°
I	N_p	N_m17°↓	⊥(110)	⊥(1$\bar{1}$0)

(+) $2V=74°$

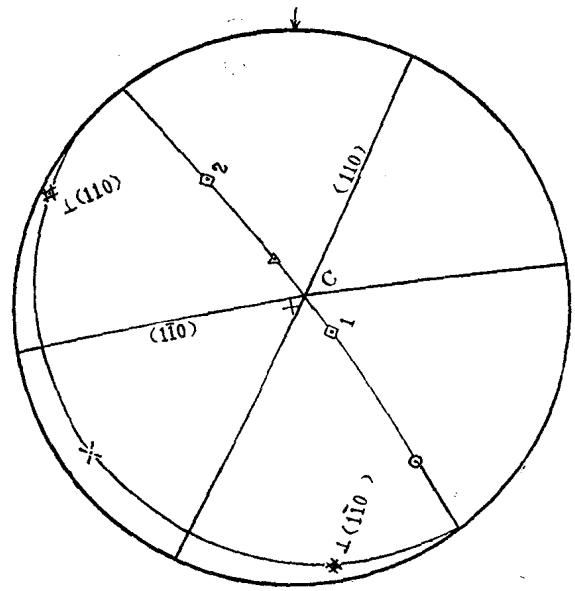


图 9—4 两组解理法鉴定单斜闪石的消光角测量数据和投影

浅闪石，$N_g \wedge c = 19°$，(+)$2V=74°$，(110)∧(1$\bar{1}$0) = 56°

法。实际资料表明，在霓辉石系列矿物中，一根光轴（OA_1 或 OA_2）与 c 轴夹角（OA_1 为距离 c 轴较近的光轴，OA_2 为距离 c 轴较远的光轴），随霓石组分含量变化而有规律地变化（图9—5），因此，该方法主要是测量 $OA_1 \wedge c$ 和 $OA_2 \wedge c$ 值，以确定霓辉石中的霓石分子含量。具体鉴定步骤如下：

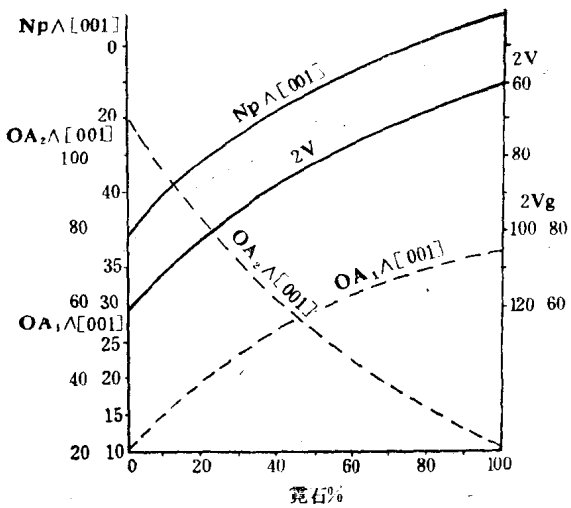


图 9—5 霓辉石系列中 $N_p \wedge [100]$、$2V$、$OA_1 \wedge [001]$、$OA_2 \wedge [001]$与霓石%关系图

(引自King, B. C., 1962，苏树春等译文，1975略修改)

（一）选择具两组清晰解理的颗粒，置视域中心。各轴位于零位。

（二）转N和H轴，分别使两组解理于南北方向直立，记录并投影。二解理大圆的交点为 c 轴投影。

（三）进行四轴法光率体定位，一般在有两组解理的切面上，定位结果一定能获得$N_m \parallel$ I 的情况，此时注意将光轴直立时的 I 轴转角，联同各定位轴（N. H.）转角都记录下来，并投影光率体轴和光轴（方法见第四章）。

（四）在投影图上度量光轴（OA_1 或 OA_2）与 c 轴夹角即 $OA_1 \wedge c$ 或 $OA_2 \wedge c$。顺便度量 N_p 与 c 轴夹角和求出 $2V$ 值。

（五）根据 $OA_1 \wedge c$ 或$OA_2 \wedge c$、$N_p \wedge c$、$2V$ 等，查图9—5中的有关曲线，确定霓辉石成分。如果测量无误，以上所测数值应得到同一结果。

实例 1．霓辉粗面岩中的霓辉石，解理和光率体定位数据和投影见图 9—6。在投影

	Ⅰ	Ⅱ	井₁	井₂
N	315°	37°	276°	358°
H	←20°	→16°	←18°	→5°
I	N_g	N_m19°↓	⊥(1$\bar{1}$0)	⊥(110)

(－) $2V=80°$

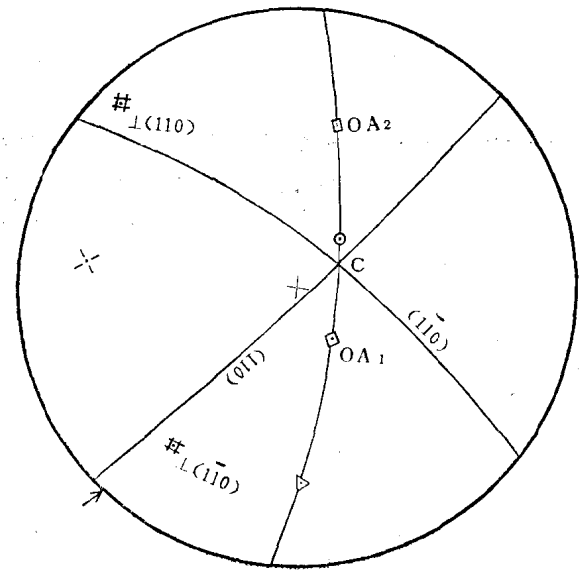


图 9—6 霓辉石的光学主轴及解理测量数据和投影

$OA_1 \wedge c=30°$、$OA_2 \wedge c=50°$，$N_p \wedge c=10°$ (－) $2V=80°$，Ae＝52%

上，(110)、(1$\bar{1}$0) 两组解理大圆和光轴面大圆相交于一点（c 轴），表明测量无误。测得 $OA_1 \wedge c=30°$，$OA_2 \wedge c=50°$，$N_p \wedge c=10°$，(－) $2V=80°$，根据这些数据查图 9—5，所得结果一致，霓石分子（Ae）含量为 52%。

实例 2．霓辉正长岩中霓辉石，解理和光率体定位结果和投影见图 9—7。在投影图上，(110) 和 (1$\bar{1}$0) 两组解理大圆和光轴面大圆交于一点（c 轴），表明测量无误。测得 $OA_1 \wedge c=18°$，$OA_2 \wedge c=88°$，$N_p \wedge c=37°$，(＋) $2V=70°$。根据以上数据查图 9—5，所得结果近一致，霓石分子（Ae）含量为 15%。

	Ⅰ	Ⅱ	井₁	井₂
N	310°	34°	87°	175°
H	←9°	→37°	→8°	→6°
I	N_m17°↓	N_g	⊥(110)	⊥(1$\bar{1}$0)

(＋) $2V=70°$

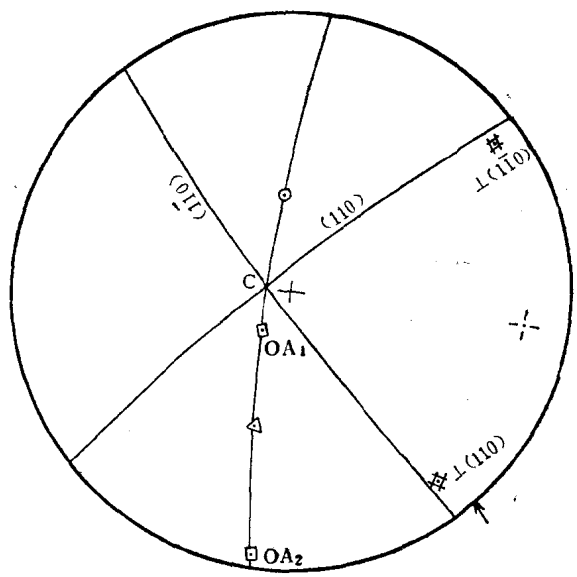


图 9—7 霓辉石的光学主轴及解理测量数据及投影

$OA_1 \wedge c=18°$，$OA_2 \wedge c=88°$，$N_p \wedge c=37°$，(＋) $2V=70°$，Ac＝15%

第二节　橄榄石族和云母族矿物的鉴定

由图 9—8、9—9、9—10 不难看出，对橄榄石族或云母族矿物，用光学方法区分其变种主要是根据折射率和光轴角。其中折射率的测定需专门的油浸法，不属本书涉及的内容。因此对这两个族的矿物鉴定，在旋转台上就是测定其 $2V$ 值。

橄榄石族矿物 $2V$ 较大，最好能在定位时有 $N_m \parallel I$ 的情况，这样可直接测量 $2V$（参看第五章第一节），为了获得这种切面需选择中等偏低干涉色的颗粒。若定位时不能使 $N_m \parallel I$，则可用札瓦里茨基提出的较大光轴角测量方法（见第五章第二节之一）。测量结果查图 9—8 定变种。

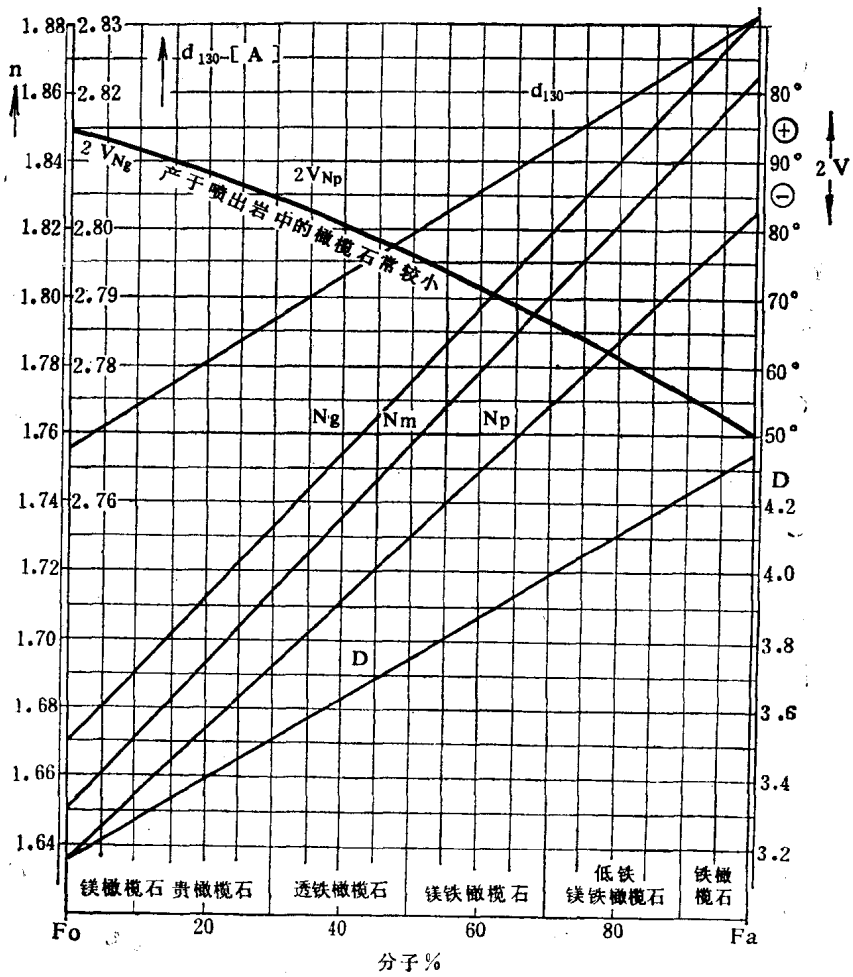


图 9—8　橄榄石族光性与成分的关系
（据 Tröger, W. E., 1971）

云母族矿物 $2V$ 较小，测量时选择无解理的近⊥Bxa 的颗粒。若 $2V$ 值<20°，用瓦尔丹年茨的较小光轴角测量方法。若 $2V$>20°，用直接法测量，近⊥Bxa 切面，定位时一定有 $N_m \parallel I$ 的情况。测量结果查图 9—9 或图 9—10 定变种。

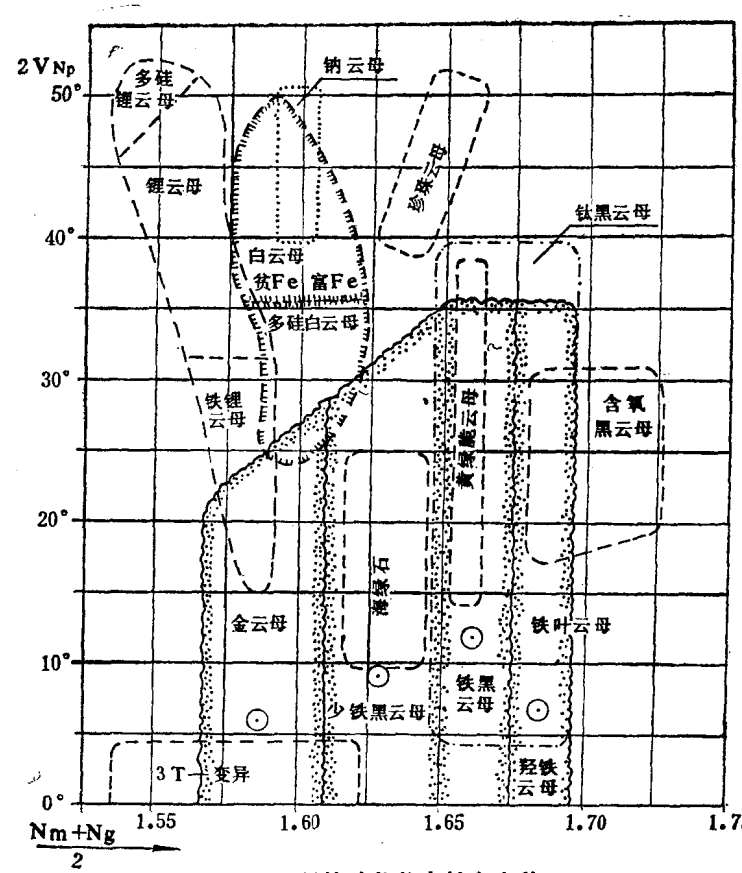


图 9—9 云母族矿物的光性和变种

(据 Tröger, W. E., 1971)

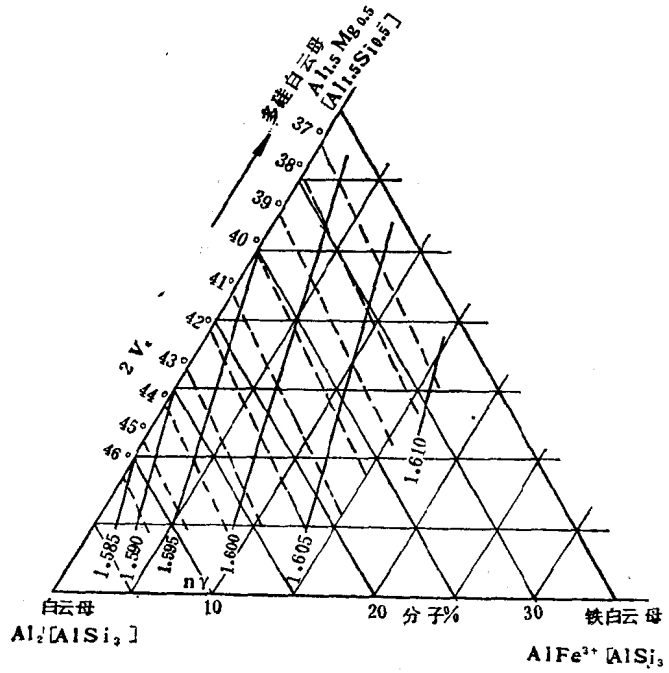


图 9—10 白云母亚族成分与光性关系

(据 Tröger, W. E., 1971)

0064 3627
072449

参 考 文 献

池际尚（1962），费德洛夫法，地质出版社。

池际尚、吴国忠（1983），费德洛夫法，地质出版社。

长春地质学院费德洛夫法及油浸法编写组（1979），综合岩矿鉴定（一），长春地质学院。

苏树春（1978），鉴定酸性斜长石结构状态和成分的新方法，地质学报52卷4期。

苏树春（1980），斜长石光学图表——斜长石⊥(010)晶带消光角新鉴定图，地质出版社。

苏树春（1982），碱性长石的光学鉴定，地质出版社。

苗春省、高新国（1983），长石有序度测定法及在地质上的应用，地质出版社。

王德滋（1974），光性矿物学，地质出版社。

穆克敏、常丽华等（1988），透明矿物薄片鉴定，长春地质学院。

北京大学岩矿教研室（1979），光性矿物学，地质出版社。

桂林冶金地质研究所（1974），岩矿鉴定和物质成分研究参考手册。

王曙（1978），偏光显微镜和显微摄影，地质出版社。

苏树春、张绍宗等译（1975），旋转台鉴定法译文集，地质出版社。

Joel, N., Muir, I. D. (1958) New techniques for the universal stage. Ⅱ. the determination of $2V$ when only one optical axis is accessible. Min. Mag.

King, B. C. (1962) Optical determination of aegerine-augite with the universal stage. Min. Mag. Vol. 33.

Noble, D. C. (1965) Determination of composition and structural state of plagioclase with the five-aixs universal staga. Am. min., Vol. 50, No. 3,4.

Slem mons, D. B. (1962) Determination of volcanic and plutonic plagioclases using a three or four-axis universal stage. Geol. Soc. Amer.

Tobi, A. C. (1961) Recognition of plagioclase twins in sections normal to the composition plane. Am. Min., Vol. 46.

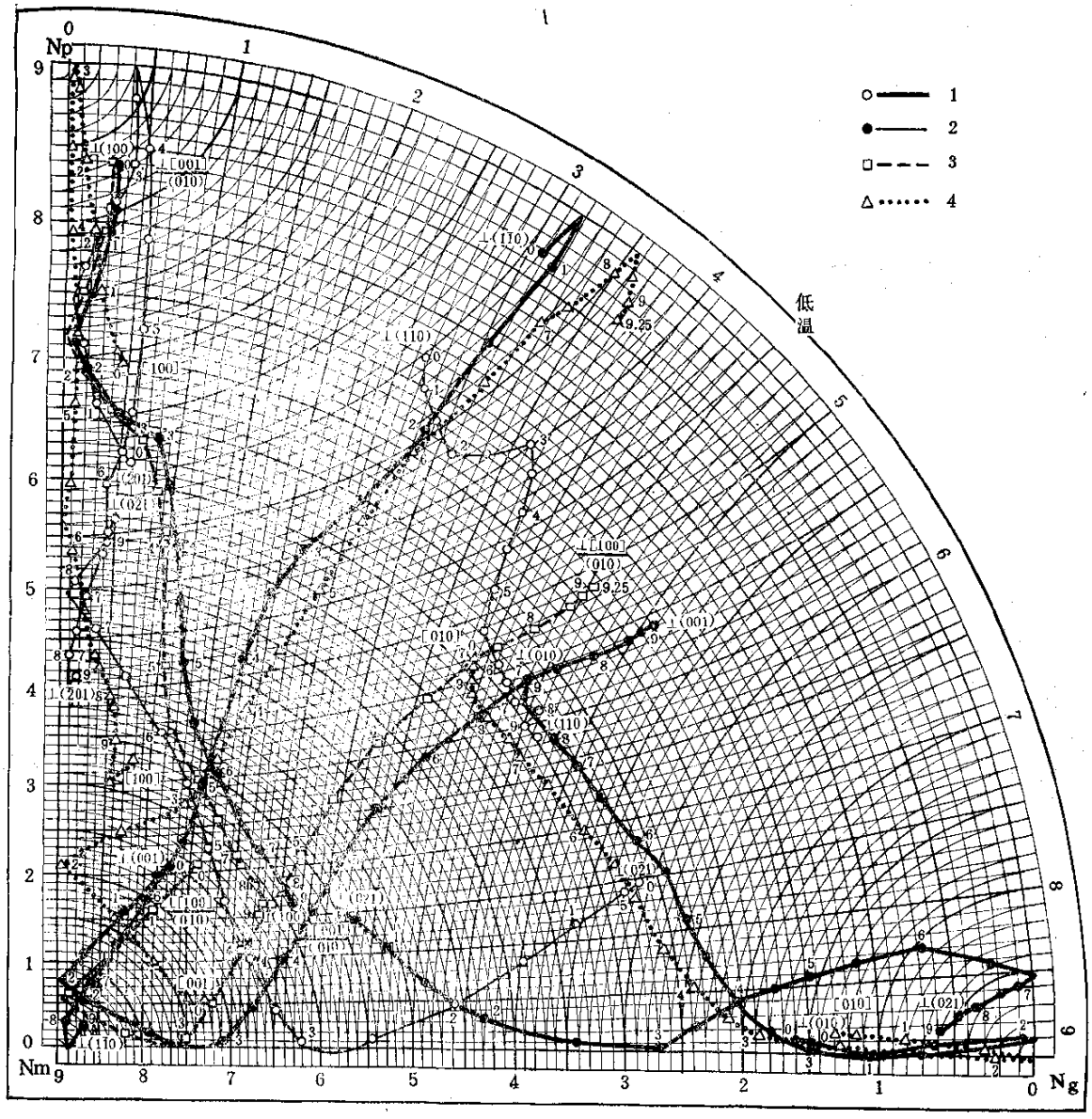
Tobi, A. C. (1963) Amer. Jour. Sci. Vol. 261, No. 2.

Tröger, W. E. (1971) Optische Bestimmung der gesteinsbildenden minerale, Teil 1 Bestimmung stabellen, 4. neu bearbeitete Auflage, E. SCHWEIZERBART'、STUTTGART.

Варданянц. Л. А. (1948) Спбсоб Исследования Двуосности Минералов при Малот угле оптических осей. Изв. АН. АРМ. СССР., Т. 1, No. 1.

Марфунин, А. С. (1961) Зависитость оптической ориентировки калинатриевых полевых шпатов от различных факторов Изв. А. Н. СССР., Сер. Геол. No. 2.

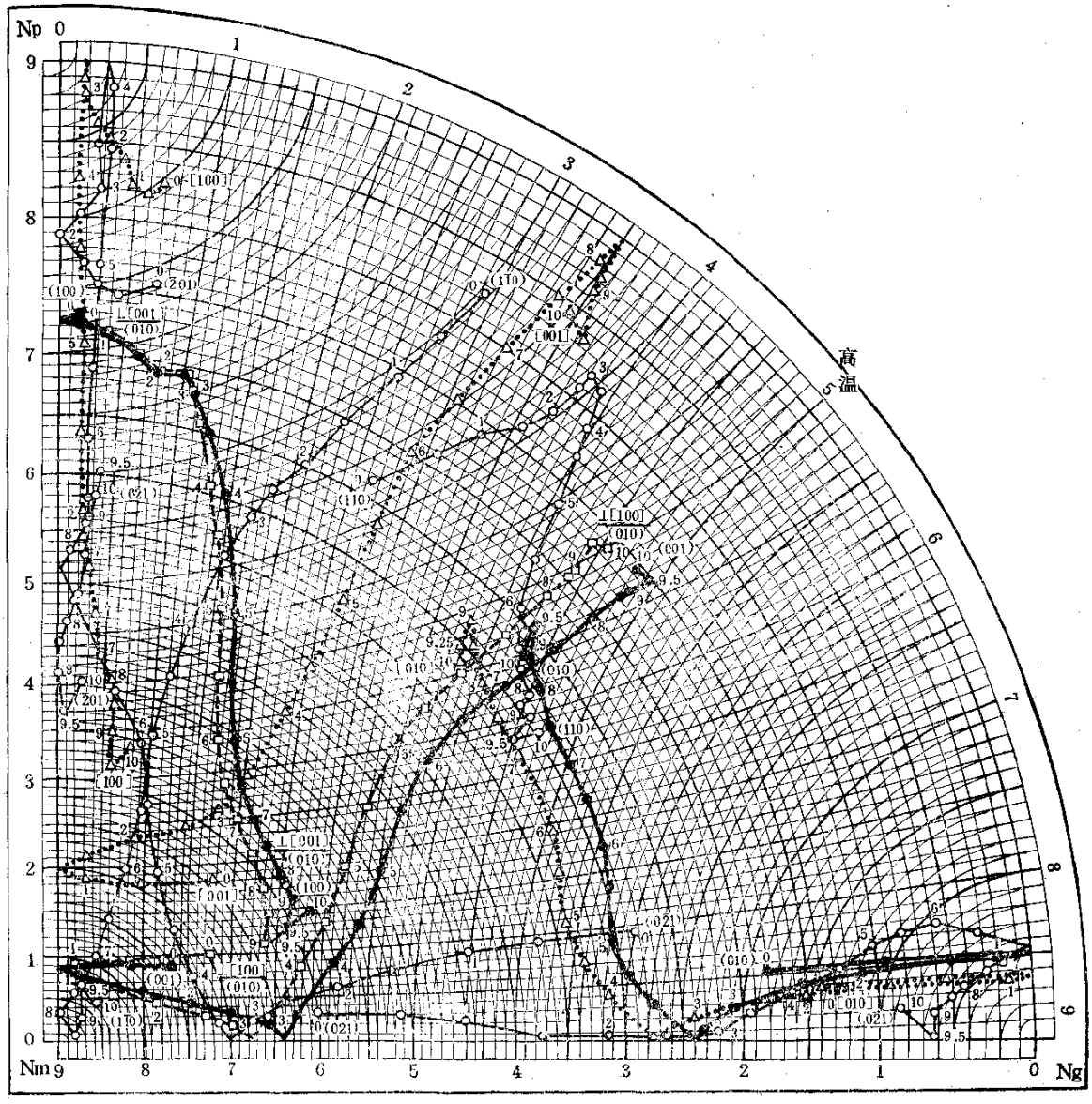




图版II 低温斜长石的结晶方向与光率体对称轴Ng、Np、Nm关系图

（据伯里等1967的资料编制）

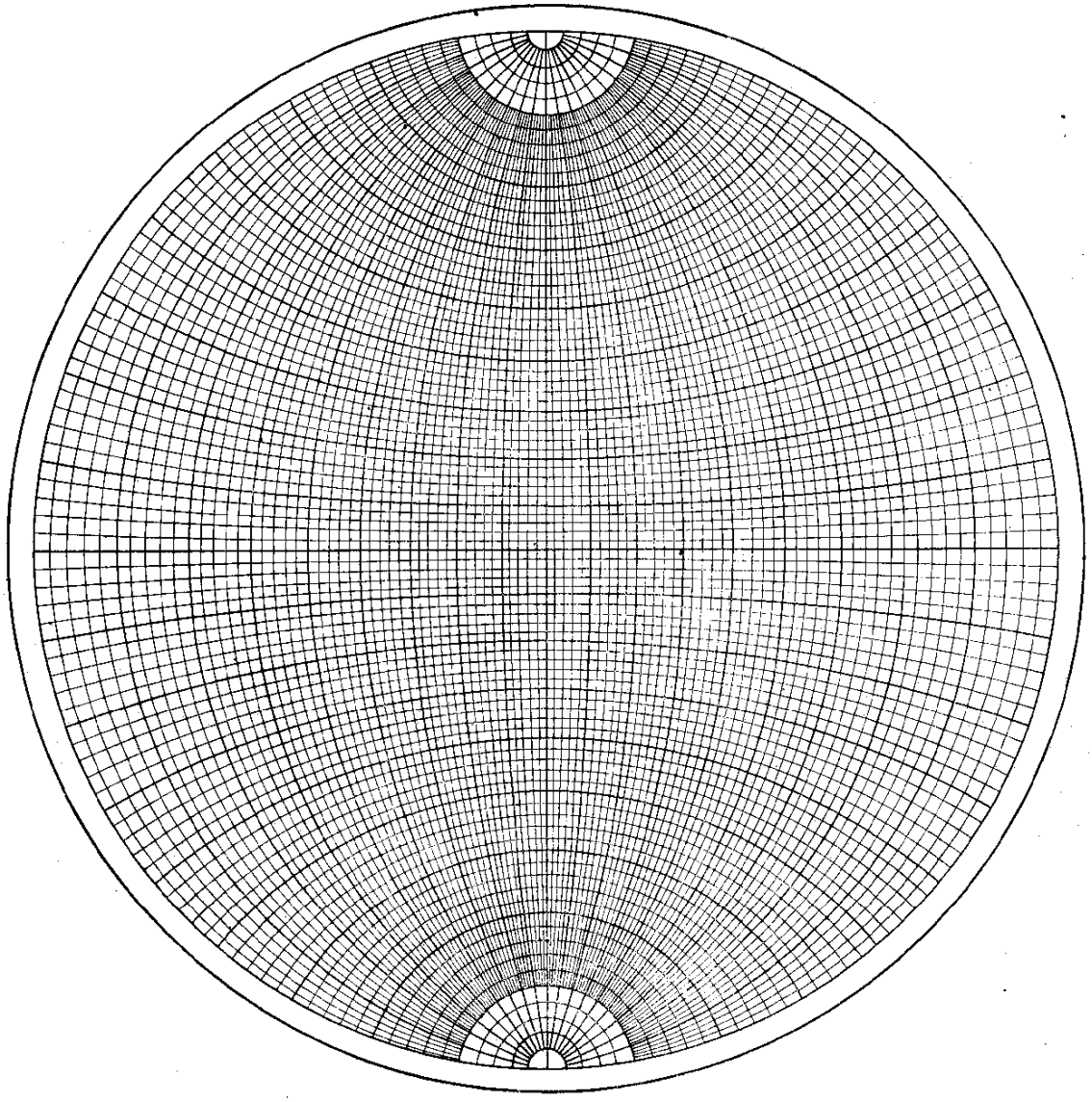
1. 常见的解理面、双晶结合面的极点，或常见的面律双晶轴；2. 少见的解理面及极点或双晶面极点；3. 复合律双晶的双晶轴；4. 轴律双晶的双晶轴



图版III　高温斜长石的结晶方向与光率体对称轴 Ng、Nm、Np 关系图

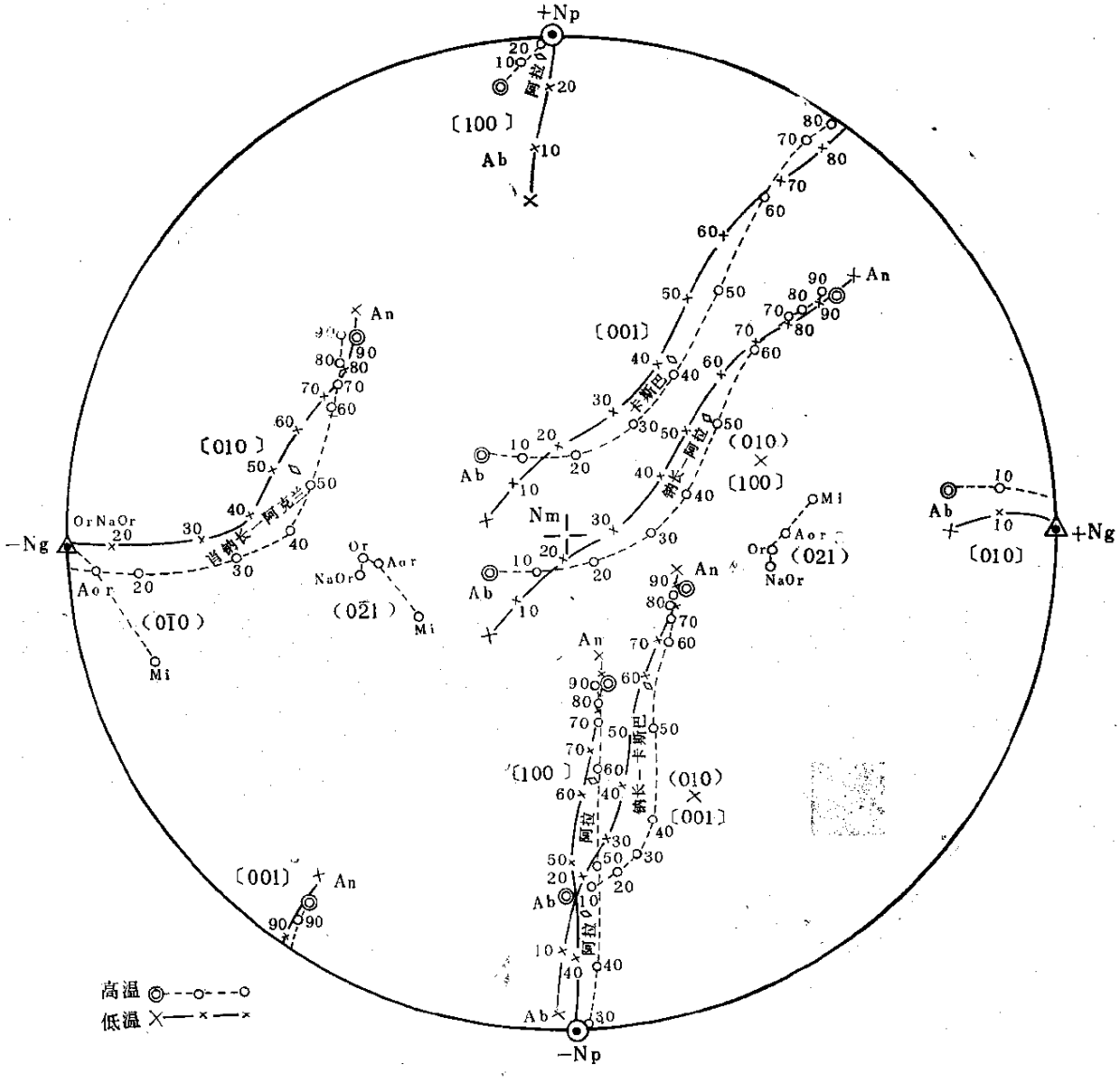
（根据伯里等1967的资料编制）图例见图版II

072449



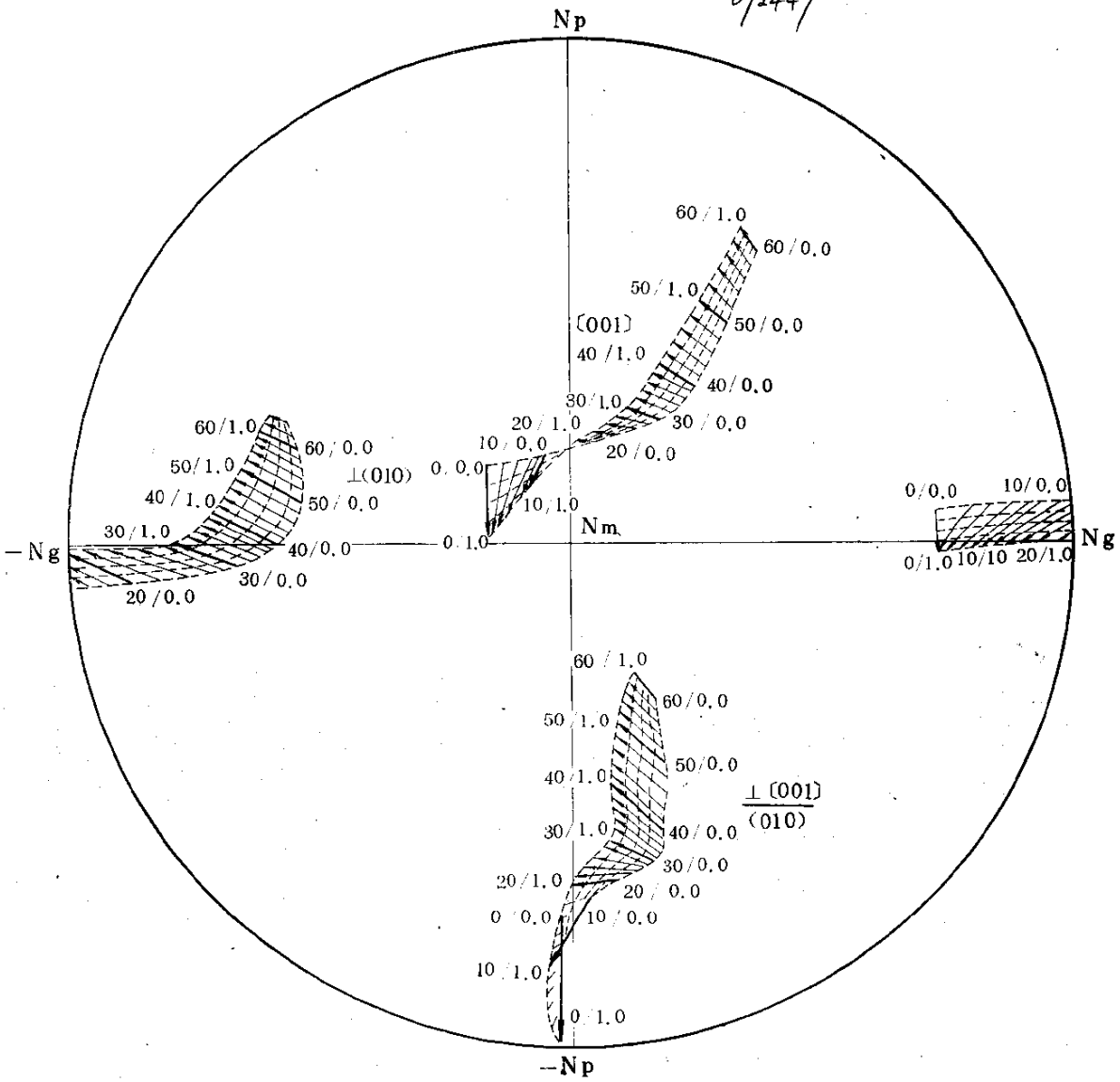
图版Ⅰ赤平投影网（吴氏网）

072449



图版 V　长石鉴定图 (据U. D. 卡登1951) 轴律或复合律

071449

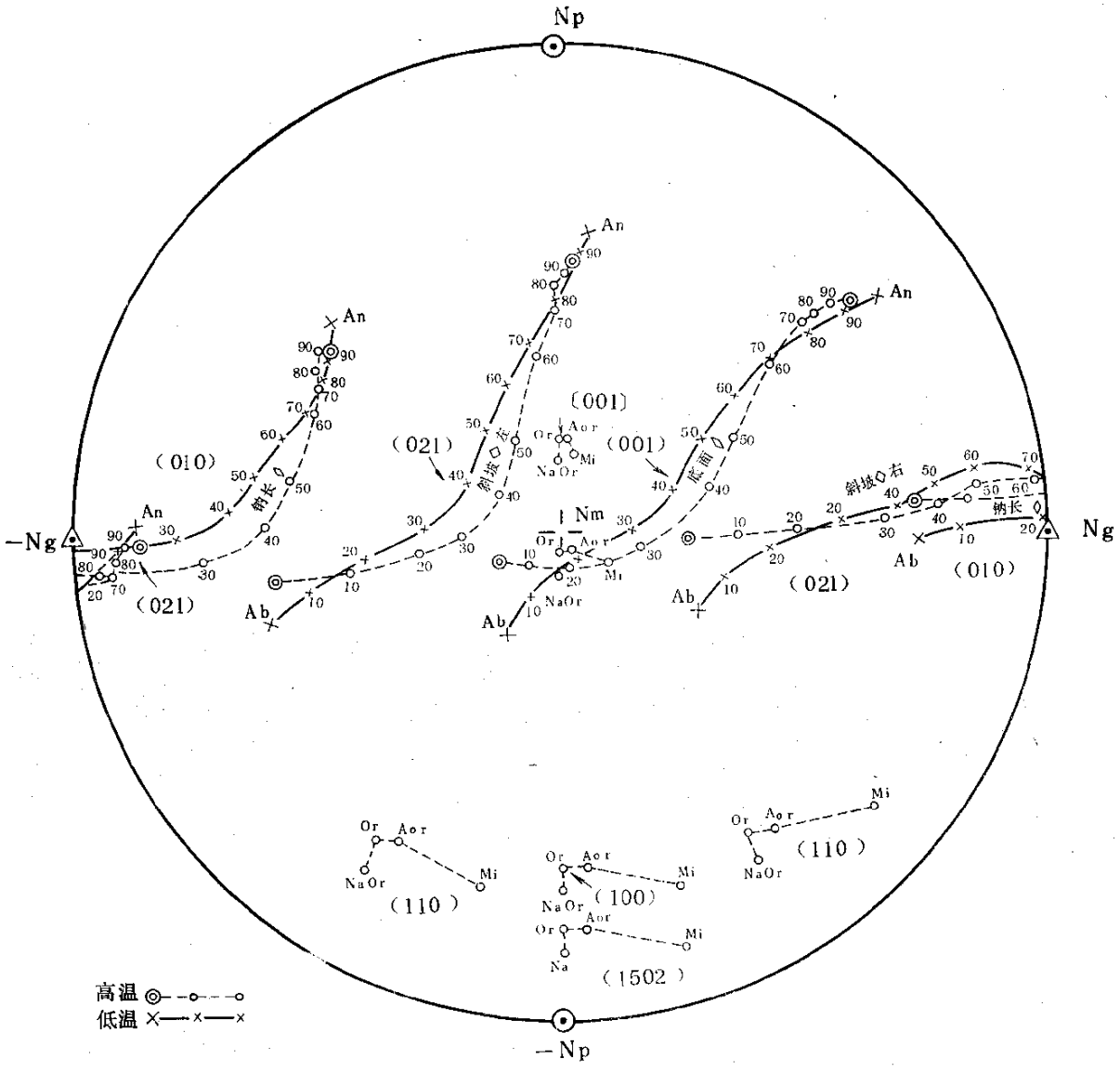


图版Ⅵ 酸性及中性斜长石《成分，有序度和光性方位》图（据A．C．马富宁 1958）.

实线箭头—等成分线 虚线—等有序度线

60 /1.0 —代表60号斜长石，完全有序，有序度为1.0 60 / 0.0 —代表60号斜长石，完全无序有序度为0.0 60 / 0.5 —代表60号斜长石，部分有序，有序度为0.50

07449



图版Ⅳ 长石鉴定图(据U.D.卡登1951)面律