消光角曲线法鉴定斜长石

杨合群

(地质矿产部西安地质矿产研究所)

当斜长石双晶片十分纤细时,在旋转台上用常规的双晶法、欧拉角法等进行鉴定是比较困难的,这时必须采用其它方法。常用的方法有:垂直(010)晶带最大消光角法、垂直a轴消光角法、卡斯巴双晶及卡钠复合双晶消光角法。在工作中笔者利用诹访兼位等日本学者根据 BPW数据在斜长石的消光角鉴定法研究方面取得的成果^[6],采用了又一种确定斜长石结构状态与成分的方法,据其原理称之为消光角曲线法,现将这种方法的原理和应用作如下介绍。

一、消光角曲线法的原理

对于任一斜长石晶体,消光角 δ の决定于其结构状态(L—H)、化学成分(Ab—An) 和切面方位(φ 、 λ),即: δ =f((L—H),(Ab—An),(φ 、 λ)] (1)

这里,斜长石任意切面方位以垂直于切面的方向表示。φ、λ即为斜长石晶体中各方向的 坐标角。若以平行于(010)的大圆为赤道,以通过c轴的子午线为初始子午线,则φ和λ分别 相当于各方向在球面投影中的纬度和 经度。若向前或通过ā轴测量,λ为正,若向(010)极点的 正端测量,φ为正。图1为一投影于垂直c轴的平面的赤平投影图,按上述定义,φ=0表示



(010)面, φ=0且λ=0表示c轴。

当成分与结构状态给定时,消光角就仅是切面方位 的函数。特别是对于 垂直(010)晶带的切面,φ=0,有

 $\delta = f(\lambda) \qquad (2)$

消光角曲线法就是利用旋转台对垂 直(010)晶带 的切面进行观测。观测时,可选择具有(010)结合 面 和(010)解理面的斜长石颗粒,可也选择二者仅具 有 其一的斜长石颗粒。

图 1 斜长石各方向的赤平投影图

当围绕一条垂直于(010)的轴旋转某一斜长石 晶体时,其消光角随旋转角θ而变 化。若以垂直于c轴的切面为起始旋转面(图2),则所 转过的角度θ正好等于λ的值。这时,有如下的关系:

 $\delta(\theta) = f(\lambda) = \frac{1}{2} \left\{ tg^{-1} \left[\frac{tg\varphi_A}{\sin(\lambda_A + \lambda)} \right] + tg^{-1} \frac{tg\varphi_B}{\left[\sin(\lambda_B + \lambda) \right]} \right\}$ (3)

● 指 Nq'与(010)的迹的夹角。 ● 据诹访兼位等,1974,表示法略有改动。

•72 • (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.



其中 φ_A 、 λ_A 和 φ_B 、 λ_B 分别为光轴A和光轴B的方 位。 对于一定成分和一定结构状态的斜长石, φ_A 、 λ_A 和 φ_B 、 λ_B 具有确定值、表1),将这些值代入上式,便可得一 系列函数关系式;

图 2 垂直于(010)晶带中斜长石的光学

方位与切面方向的关系

(引自诹访兼位等,1974) PQ—切面方向,RS—光路

表1 斜长石光轴 方位*

单位:度

| An | 低 温 型 (L) | | | | 高 温 型 (H) | | | |
|--------|----------------|------|----------------|----------------|-----------|----------------|----------------|-------|
| (Mol%) | φ _A | λA | φ _B | λ _B | φA | λ _A | φ _B | λB |
| 0 | - 48.9 | 64.3 | - 47.4 | -76.9 | - 19.5 | 64.4 | 28.0 | 81.0 |
| 2.5 | - 48.8 | 64.4 | - 47.3 | -77.2 | - 19.9 | 67.0 | 28.9 | 79.0 |
| 5 | - 49.1 | 64.9 | - 47.4 | -78.8 | ~ 20.6 | 68.2 | 29.9 | 76.8 |
| 10 | - 47.9 | 66.1 | - 47.5 | - 88.0 | - 21.8 | 70.4 | 31.3 | 72.5 |
| 15 | - 45.5 | 67.3 | 46.8 | 82.0 | - 23.4 | 71.9 | 33.3 | 66.3 |
| 20 | - 42.6 | 68.4 | 45.0 | 70.0 | - 27.8 | 74.2 | 36.0 | 60.0 |
| 25 | - 40.4 | 71.8 | 41.1 | 58.5 | - 31.0 | 78.2 | 37.6 | 54.1 |
| 30 | - 42.0 | 77.0 | 41.3 | 48.8 | - 34.5 | 80.9 | 38.7 | 48.8 |
| 35 | - 44.9 | 77.6 | 42.2 | 41.1 | - 37.8 | 82.4 | 39.8 | 41.0 |
| 40 | - 48.5 | 77.7 | 40.8 | 32.5 | - 41.4 | 82.5 | 37.8 | 31.5 |
| 45 | - 51.8 | 77.4 | 37.9 | 25.6 | ~ 44.5 | 83.2 | 36.0 | 25.0 |
| 50 | - 54.4 | 76.3 | 34.7 | 19.6 | - 47.8 | 82.4 | 34.1 | 17.7 |
| 55 | - 56.4 | 73.8 | 30.3 | 14.3 | - 52.3 | 81.0 | 31.0 | 11.9 |
| 60 | - 56.4 | 71.5 | 25.5 | 8.4 | - 55.1 | 78.5 | 28.0 | 7.0 |
| 65 | - 57.3 | 70.5 | 19.2 | 4.5 | - 56.7 | 76.5 | 22.9 | 4.0 |
| 70 | - 58.0 | 68.6 | 14.2 | 0.7 | - 57.4 | 73.7 | 17.5 | 1.9 |
| 75 | - 57.7 | 66.8 | 11.0 | 0.4 | - 57.9 | 69.7 | 11.7 | -0.6 |
| 80 | - 57.6 | 65.0 | 6.3 | -1.2 | - 58.7 | 64.7 | 5.5 | -2.9 |
| 85 | - 58.4 | 64.1 | 2.8 | -3.2 | - 60.0 | 63.2 | 3.0 | -5.1 |
| 90 | -60.0 | 62.8 | 1.0 | -3.7 | - 59.9 | 61.9 | 1.9 | - 5.0 |
| 92.5 | - 60.3 | 61.7 | -0.2 | -4.3 | - 61.3 | 60.2 | 0.6 | -5.2 |
| 95 | | | | | - 62.6 | 58.5 | -1.7 | -6.3 |
| 100 | | | | | - 59.3 | 57.0 | -0.1 | -6.1 |

•表中数据引自文献〔6〕。

•73 •

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

| *** *** | |
|---|---|
| $ \begin{array}{l} \delta_{An} o_{L} = f(\lambda) \\ \delta_{An2.5L} = f(\lambda) \\ \delta_{An} 5L = f(\lambda) \end{array} \right) (4-L) $ | $ \begin{cases} \delta An & 0H = f(\lambda) \\ \delta An2.5H = f(\lambda) \\ \delta An & 5H = f(\lambda) \end{cases} $ (4H) |

依据这些关系式所绘制的函数图象,对低温型(L)与高温型(H)斜长石分别表现为一族 有规律变化的曲线(图3和图4中实线,利用诹访兼位等的工作成果^[0]绘制)这些曲线就是 垂直(010)晶带的理论消光角曲线。

只要成分和结构状态相同,任何斜长石垂直(010)晶带的消光角δ与λ的函数 关 系 都 相同,而与双晶类型无关。无双晶斜长石垂直(010)晶带的切面也具有相同的关系。

反过来,我们亦可利用旋转台测定δ与λ的一系列对应值,绘制未知斜长石的实测消光角 曲线,然后与理论曲线对比来确定其结构状态和成分。这就是消光角曲线法鉴定斜长石的基 本原理。

二、消光角曲线法的应用及实例

由于许多文献[2、4、5]对在旋转台上鉴别(010)双晶结合面及(010)解理都有叙述,因 而我们假定读者已具有这方面的知识,在此基础上介绍消光角曲线法鉴定斜长石的一般步骤:

(一)(010)面定位

旋转台各轴及物台位于零点,将具有(010)双晶结合面或(010)解理的颗粒移至视域 中心,转动N和H轴,使(010)面在平行纵丝的方向直立。这时,双晶结合面变成一条清晰 的细线。若为钠长律双晶,相邻晶片的干涉色正好变为完全相同,转动I轴,各晶片的干涉 色仍能互相保持一致。如果(010)方向上见到的是解理,则当解理细而清晰,且微微升降 镜筒不向两侧移动时,即可以认为切面垂直(010)。这时转I轴便可获得一系列垂直(010) 晶带的切面。

(二)测定垂直(010)晶带的消光角

一般以I轴位于零度位置开始,转物台以较小角度(<45°)使晶片消光,得消光角δ或 δ-90°。然后自零点每转10°或5°测一次。假设I轴先向南倾,10°S,20°S……直到最大限度 为止,再由零度向北倾,也依次测至I轴转到最大限度为止。当I轴每转10°或5°时,各组晶 片的消光角均应予以测量和记录。在具钠长律双晶的斜长石中,观测到的消光角是对称的, 而在钠长律以外的具(010)结合面的其它双晶律的斜长石中观测的消光角是不对称的。在 测量消光角时,我们规定顺时针从(010)的迹测到Np[']为正.逆时针测为负。

(三)绘制实测消光角曲线

以图3或图4的方格为坐标,纵坐标为δ,横坐标为θ,将所测数据投于适明纸上,并以光 滑的曲线连结数据点,即得斜长石的实测消光角曲线。

依据上述测量消光角的方法及消光角符号的规定,当δ<45°时,我们测得δ,而当δ>45°时,则测得δ-90°,二者在作图前不必区别,δ-90°在δ—θ图上会以异常曲线表现出来,而且这种异常是有规律性的,若将异常曲线沿纵轴反向平移90°,则正好与正常曲线 重合。为了使用方便,我们已在图3和图4中用虚线标绘出了δ>45°时的异常曲线。从图中可以看出,



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

有An含量高于75%的斜长石才可测得异常曲线。

(四)确定成分与结构状态

由于c轴位置事先未知,因此实测消光角曲线δ-θ图与理论消光角曲线δ-λ图相比,θ与 λ之间往往有个差值,然而我们可沿水平轴(δ=0)平移图象,使其与理论消光角曲线 族 在 某一位置吻合。若图象与低温型曲线族吻合,所 测 斜 长 石为低温型;若图象与高温型曲线族 吻合,则所测斜长石为高温型。然后根据图象在曲线族中的位置求出斜长石的牌号。

如果图象与两曲线族都格格不入,可将图象倒转或翻转(倒转或翻转透明纸即可),然后再 沿水平轴移动。这里通过下面一些有代表性的实例来进一步说明。

1.产于加拿大魁北克省拉图克斜长岩中的斜长石(标本编号KS—72081705),其光学鉴定数据列于表2,由这些数据所作的图象(图5)与理论消光角曲线对比确定,该斜长石为低温型,An_{53.5}。经电子探针微区分析,颗粒(A)与(B)的成分分别为An_{64.6}和 An_{55.00}

| | ₩ K | 石 (A | .) | 余 | 半长 石 | (В |) |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| θ | δ(L) | δ(R) | δ(av.) | θ | δ(L) | δ(R) | δ(av.) |
| 45°N | +26.9 | - 26.7 | 26.8 | 45°N | + 6.2 | - 9.2 | 7.7 |
| 4 0 °N | + 27.0 | - 27.3 | 27.2 | 40°N | + 3.4 | - 5.5 | 4.5 |
| 35°N | + 27.4 | - 29.2 | 28.3 | 35°N | + 1.4 | - 2.8 | 2.1 |
| 30°N | + 28.2 | - 29.7 | 29.0 | 30°N | - 1.5 | 0.0 | 0.8 |
| 25 ° N | + 28.5 | - 30.0 | 29.3 | 25 ° N | - 3.6 | + 2.6 | 3.1 |
| 2 0 °N | + 27.9 | - 30.0 | 29.0 | 20°N | - 4.9 | + 4.0 | 4.5 |
| $15^{\circ}N$ | + 27.4 | - 29.9 | 28.7 | 15°N | - 6,9 | + 5.8 | 6.1 |
| 10°N | + 25.8 | - 28.5 | 27.2 | 10°N | - 8.5 | + 7.8 | 8.2 |
| 5°N | + 24.5 | - 27.6 | 26.1 | 5°N | - 9.3 | + 8.9 | 9.1 |
| 0 ° | + 23.2 | - 25.9 | 24.6 | 0° | - 10.7 | + 11.0 | 10.9 |
| 5°S | + 20.0 | - 22.9 | 21.5 | 5°S | - 11.6 | +11.8 | 11.7 |
| 10°S | + 17.7 | - 20.7 | 19.2 | 10°S | - 12.4 | + 13.8 | 13.1 |
| 15°S | + 14.1 | - 17.9 | 16.0 | 15°S | - 13.4 | +14.8 | 14.1 |
| 20°S | + 11.5 | - 14.1 | 12.8 | 20°S | - 14.4 | + 16.1 | 15 3 |
| 25 ° S | + 7.7 | - 11.3 | 9.5 | 25°S | - 15.6 | + 17.7 | 16.7 |
| 30°S | + 5.0 | - 7.9 | 6.5 | 30°S | - 16.6 | + 19.2 | 17.9 |
| 35°S | + 2.0 | - 5,1 | 3.6 | 35°S | - 17.5 | +20.6 | 19 1 |
| 40°S | + 0.3 | - 2.2 | 1.3 | 40°S | - 20.0 | +22.7 | 21.5 |
| 45°S | - 2.0 | + 1.3 | 1.7 | 45°S | - 20.3 | +23.7 | 22 0 |
| 50°S | - 3.7 | + 3.2 | 3.5 | 50°S | - 22.2 | + 25.6 | 23.9 |

表 2 加拿大魁北克省拉图克斜长岩中的斜长石光学鉴定数据 *

(标本编号KS—72081705)

单位:度

注: θ-旋转台外东西轴的 转角, δ(L)-左侧晶片消光角, δ(R)-右侧 晶片消光角; δ(av.) 一左侧与右侧晶片的平均消光角。

• 表中数据引自文献〔6〕。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.



图 5 加拿大魁北克省拉图克斜长岩中的 斜长石(A)和(B)鉴定说明图 (图中"×"为数据点,以下图6和7同此)

角曲线,但根据其内在规律的互相联系,依 然可按上述方法沿水平轴平移图象使大多数 点同时与低温型或高温型消光角曲线族中某 一成分线(包括没有画出的线)吻合。若有 包括垂直 a 轴切面在内的的消光角值,则有 两个数据点就可同时确定结构状态和成分。 方法是沿水平轴平移图象,使垂直 a 轴切面 的数据点位于图3或图4中的 a 轴线(λ≈64) 上。这时,若两数据点同时与低温型曲线族 的某一成分线吻合,则其为低温型,若两数 据点同时与高温型曲线族的某一成分线吻 合,则其为高温型,所吻合成分线的值即为 斜长石的牌号,下面实例将进一步说明这个问题。 X射线衍射图的分离 角 为: 2θ (220) -2 θ (1 $\overline{3}$ 1) = 1.28°, 2θ (1 $\overline{3}$ 1) - 2 θ (1 $\overline{3}$ 1)) = 1.80°, 2θ (1 $\overline{3}$ 1) + 2 θ (220) - 4 θ (1 $\overline{3}$ 1) = 0.525°.折射率为NgD = 1.563 ± 0.001, NmD = 1.558 ± 0.001, NPD = 1.551 ± 0.001。由这些数据可知,消光角曲线法的 鉴定结果是比较准确可信的。

2.一人工合成斜长石,其光学鉴定结 果列于表3,R₁晶片与R₂晶片为钠长律双 晶,由两晶片消光角绝对值的平均值所作 的图象(图6)确定,该斜长石为高温型, An_{610}

3.甘肃金川斜长二辉橄榄岩中的斜长 石(标本编号No42—B),垂直(010)晶 带观测,消光角随外东西轴转角的变化情 况是: 40°S为34°,35°S为35.5°,30°S为 36.5°,25°S为35.8°,20°S为36.3°,10° S为34.5°,0°为31.5°,10°N为27.5°, 20°N为13°,30°N为3°。依据上述方法,可 以确定该斜长石为低温型,An₃₆。

值得指出的是,并非所有斜长石的鉴 定都要测很多数据。在一般性的鉴定中, 外东西轴以20°的间隔测4—5个消光角值 即可。这些数据点虽不足以作出实测消光



• 77 •

| 涱 | 3 | 合成双 | 晶斜长 | 石的光 | 学鉴定 | 数据* |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|

单位:度

| θ | δ(L) | 8(R ₁) | δ(R ₁) | δ (Rav |
|----------------|--------|--------------------|--------------------|---------|
| 45°N | - 27.2 | + 26.4 | - 27.4 | 26.9 |
| 40°N | - 24.6 | + 28.5 | - 28.7 | 28.6 |
| 35°N | - 22.3 | + 30.3 | - 31.9 | 31.1 |
| 30°N | - 21.1 | + 31.0 | - 31.3 | 31.2 |
| 25°N | - 19.7 | + 31.2 | - 31.8 | 31.5 |
| 2 0 ° N | - 17.8 | +31.5 | - 32.8 | 32.2 |
| 15°N | - 16.3 | + 31.7 | - 32.7 | 32.2 |
| 10°N | - 14.1 | +32.4 | - 3 3. 3 | 32.9 |
| 5°N | - 11.8 | + 31.4 | - 32.8 | 32.2 |
| 0° | - 9.7 | + 30.0 | - 29.2 | 29.6 |
| 5°S | - 7.8 | +28.8 | - 27.7 | 28.3 |
| 10°S | - 7.0 | + 27.4 | - 26.2 | 26.8 |
| 15°S | - 3.8 | +24.2 | - 23.0 | 23.6 |
| 20°S | - 2.5 | + 23.2 | - 21.3 | 22.3 |
| 25°S | + 2.2 | + 17.7 | - 16.6 | 17.2 |
| 30°S | + 3.0 | + 16.1 | - 14.9 | 15.5 |
| 35°S | + 6.2 | + 12.3 | - 12.1 | 12.2 |
| 40°S | + 9.5 | + 8.7 | - 7.6 | 8.0 |
| 45°S | + 13.4 | + 6.3 | - 3.6 | 5.0 |
| | | I | 1 | |

 注: θ-旋转台外东西轴的转角; δ(L)
一右侧晶片消光角; δ(R₁)-右1晶片消
光角; δ(R₂)-右2晶片消光角δ; (Rav.)-右1与右2晶片的平均消光 角。

• 表中数据引自文献〔6〕。

4.新疆喀拉通克含橄苏长岩中的斜长石(标本编号No21-K)。垂直(010)面转动斜长石,
当外东西轴转角为30°N(垂直a轴切面)和20°S;
时,消光角分别为32°和19°,如图7所示,由此二,
数据点确定,该斜长石为低温型,An₅。



三、对消光角曲线法的评价

本文提出的消光角曲线法实用范围比较广。 斜长石双晶律已知有18种之多^[3],其中具(010) 结合面的钠长律、卡斯巴律、卡钠复合律、埃拉 B律和钠长—埃拉B律在自然界的出现频率大约 可达70—90%^[0]。同时(010)解理又是斜长石 中两组最常见的解理之一。这些都为垂直(010) 晶带消光角曲线法的广泛应用提供了有利条件。

人们通常认为消光角法的鉴定精度不如常规 的双晶法、欧拉角法。但是当双晶单体十分纤细 时,情况则恰恰相反,后二者的精度低于前者。 这是因为在双晶单体不足够宽时,常规的双晶法

欧拉角法的测定精度随单体宽度的减小而急剧下降,直到完全失效,而消光角法则仅略微下降。消光角曲线法与其它消光角法相比,其优点是利用一系列测定数据,并非仅使用某位置的单个测定值,因而有利于消除偶然性误差。

使用消光角曲线法进行鉴定,可以一次同时确定低温型或高温型斜长石的结构状态和成分,而不必根据地质产状来推测斜长石的结构状态,然后以这种推测为前提确定成分。

• 78 •

金矿学术会议论文选集出版

1983年10月在山东举行了"全国金矿矿床矿物成因矿物学学术会议",共收到各类论文 102篇,总计约80万字,这些论文基本反映了我国当前这个领域研究的最新水平。

陕西地矿局地矿处及第八地质队受专业委员会及地矿部地矿司的委托,负责 汇 集 出 版 《全国金矿矿床矿物成因矿物学学术会议论文选集》。本书共收入论文54篇(包括插图91幅、 插表253个),另附摘要45篇,累计47万字。

选集包括:金矿物分类、自然金形态学、矿物标型特征、同位素地质、金矿床类型、伴 生金矿床、矿物成因组合及金矿床成因研究等八个方面。选集付印前,中国矿物岩石地球化 学学会矿床矿物学及成因矿物学专业委员会主任委员陈光远教授进行了审定。

(陕西地矿局第八地质队 郭贤才)

消光角曲线法对于鉴定过渡类型的斜长石还有不足之处,尚待进一步完善。

影响该鉴定法测定精度的关键主要有两方面。其一是(010)面的准确直立;其二是消光 位的准确确定。由此可知,本法对于具钠长律双晶的斜长石鉴定效果最佳。因为当(010) 面在0°或45°位置直立时,钠长律双晶两组晶片的干涉色变得完全相同,转I轴互相保持一 致,同时还可插入一级红补色器提高45°位置上的灵敏度。这种方法定位甚为精确。为了提高测 量精度,还可对每一消光角反复测量 3—4次,取其平均值作为测定结果。工作中使用穿 孔目镜和中村试板能够迅速准确地确定消光位。这样,可减少所取数据点的数目和每一位置 的测定次数,使鉴定工作的质量和效率更高。

本文撰写过程中承蒙李先梓副研究员的关怀和指导; 夏祖春工程师审阅了本文初稿, 并 提出了宝贵的修改意见; 文中图件均由刘燕同志协助绘制, 在此一并致谢。

主要参考文献

- 〔1〕北京大学地质系岩矿教研室, 1979. 光性矿物学。地质出版社。
- 〔2〕池际尚, 1962, 费德洛夫法简明教程。中国工业出版社。
- 〔3〕何作霖,1965,赤平极射投影在地质科学上的应用。科学出版社。
- 〔4〕苏树春,1980,斜长石上(010)晶带消光角新鉴定图,斜长石光学图表。地质出版社。
- 〔5〕桂林冶金地质研究所,1974,岩矿鉴定与物质成分研究参考手册。
- [6] 诹访兼位、水谷伸治郎、都筑芳邸, 1974,斜长石双晶律光学鉴定的新方法, 斜长石 光**学**图表。地质出版社。
- (7) Paul H. Ribbe, 1975, Feldspar Mineralogy.

• 79 •