

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

显微镜下测定单斜系辉石和角闪石 最大消光角的新方法

傅 德 彬

(吉林省地质科学研究所, 长春)

本文所述新方法, 系利用作者新研究设计的显微镜操作与测算, 从测量 (110) 或 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 解理面在薄片中的倾角 (θ) 入手, 在 (110) 或 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 解理面与 (010) 面间存在的固定夹角 (β) 的基础上, 测算出 (010) 面在薄片中的倾角 (α) 。然后, 按视消光角 (φ') 与 α 角和最大消光角间的三角函数关系 $(\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi' / \cos \alpha)$, 求得最大消光角 φ , 即 $c \wedge Ng_{\max}$ (或 $c \wedge N\phi_{\max}$)。该方法简便、精确, 适用范围广, 尤其可用于 $\alpha \approx 0^\circ$ 的平行 c 轴的具一组柱状解理的任意方位矿物切面。

消光角, 是鉴定斜消光透明矿物的重要的光学常数之一, 尤其对于单斜晶系的辉石与角闪石类矿物, 消光角具有更重要的鉴定意义。

不同晶系的矿物, 或同一矿物的不同方向的切面具有不同的消光类型。斜消光的同一晶系的不同类矿物和同类不同种矿物有不同的消光角数值。同一种矿物的消光角是一个常数。但是, 具一定消光角数值的同一种矿物, 常常因其在薄片中的切片方向不同, 而呈现出一系列数值不等的视消光角, 而真正有鉴定意义的则是最大消光角 $(c \wedge Ng_{\max})$ 。

最大消光角只能在光轴面上或其它隶属于一定晶带的含有欲测光学主轴与结晶轴 c 的水平特定切面上测得, 在其它切面上测得的消光角均系视消光角。

迄今, 国内外测定矿物最大消光角, 除用费氏旋转台外, 尚无在显微镜下直接测定最大消光角的方法。而已往在以最高(相对的)干涉色为标志的平行薄片平面的光轴面上测定消光角的传统方法, 却常因所选矿物颗粒中的光轴面不真正平行于薄片平面而致使测定结果不准确, 并且该方法具有尽人皆知的局限性。

鉴于上述情况, 笔者把新近研究出来的, 直接在显微镜下测定单斜辉石和角闪石最大消光角的新方法阐述如下。

一、单斜辉石(角闪石)的消光特征简述

如所周知, 矿物的消光特征以及消光角的大小, 与其光性方位和切片方向密切相关。有关单斜辉石与单斜角闪石的光性方位见表1和图1, 因已多有著述, 此不赘言。

兹将不同方位切片的消光特点概述如下:

1. 在 $[100]$ 晶带内, 平行 (001) 的切面为对称消光(图2c); 平行 (011) 或 $(0kl)$ 者存在有两组斜交的解理缝, 既可呈现对称消光, 有时也可呈现平行某一组解理的消光^[1]。

2. 在 $[001]$ 晶带内, 平行于 (010) 的切面上可直接测得最大消光角 $c \wedge Ng$ (或 $c \wedge N\phi$) (图2B); 平行 (100) 的切面为平行消光(图2A)。该晶带的其它方向切片皆为斜消光(图2D), 如 (110)

面的消光角大小变化在零度与最大消光角之间。换言之, 平行 c 轴的切片, 其方位从 (100) 向 (010) 递变时, 其消光角亦随之递变, 变化特点是愈接近 (010) 面, 消光角愈大 (图3)。

3. 在 [010] 晶带内, 平行 (001) 的切面为对称消光 (图 2C); 平行 (100) 的切面为平行消光

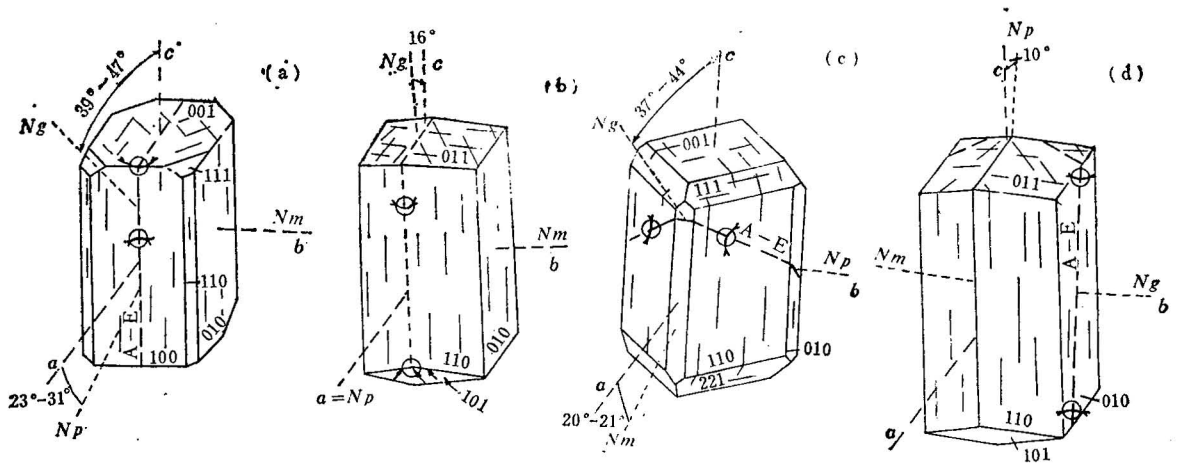


图 1 单斜辉石和单斜角闪石光性方位图^[2]

Fig. 1 Stereoscopic optical orientation diagram of the monoclinic pyroxene and monoclinic amphibole

(a)—普通辉石; (b)——普通角闪石; (c)——易变辉石 (贫钙的); (d)——钠铁闪石

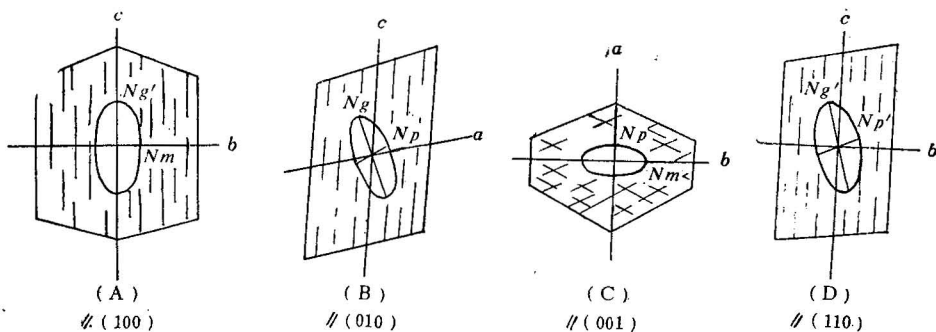


图 2 普通角闪石不同方位切面的消光类型

Fig. 2 Extinction types of different orientation sections of the common amphibole

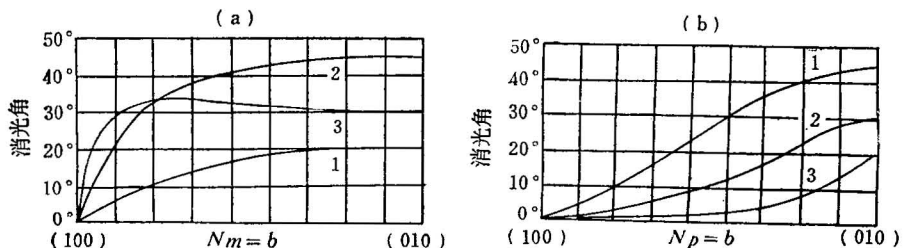


图 3 单斜晶系柱状晶体从 (100) 向 (010) 消光角的变化^[4]

Fig. 1 Variation of extinction angle of the monoclinic prismatic crystal from (100) to (010)

(a) 中曲线: 1— $c \wedge Ng = 0-20^\circ$; 2— $c \wedge Ng = 0-45^\circ$; 3—(010) 以外方向的切面给出的最大消光角, 变化在 $0-30^\circ$ 之间

(b) 中曲线: 1— $c \wedge Ng = 0-45^\circ$; 2— $c \wedge Ng = 0-30^\circ$; 3— $c \wedge Ng = 0-20^\circ$

表 1 单斜辉石、角闪石结晶要素与 Np 、 Nm 、 Ng 间的夹角^(*)
 Table 1 Angles between crystallographic elements and Np , Nm , Ng
 for common pyroxene and amphibole

矿 物	结 晶 要 素	光 学 主 轴			矿 物	结 晶 要 素	光 学 主 轴		
		<i>Ng</i>	<i>Nm</i>	<i>Np</i>			<i>Ng</i>	<i>Nm</i>	<i>Np</i>
单 斜 辉 石 类					单 斜 角 闪 石 类				
斜顽辉石	(110)*	75	50	43.5	铁闪石—镁铁闪石	(110)	72—81	62	34—40
	[001]	22	68	90		[001]	20—10	90	70—80
	[010]	90	90	0		[010]	90	0	90
易变辉石 (富钙)	(110)	—	43.5	—	透闪石—阳起石	(110)	72—81	62	30—34
	[001]	37—44	90	53—46		[001]	20—10	90	70—80
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
易变辉石 (贫钙)	(110)	—	—	43.5	普通角闪石	(110)	77—68	62	31—38
	[001]	37—44	53—46	90		[001]	15—26	90	75—64
	[010]	90	90	0		[010]	90	0	90
透 辉 石	(110)	65	43.5	57	玄武角闪石	(110)	90—85	62	28—29
	[001]	39	90	51		[001]	0—5	90	90—85
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
钙铁辉石	(110)	59	43.5	62	钛角闪石	(110)	—	62	—
	[001]	48	90	42		[001]	10	90	80
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
绿 辉 石	(110)	—	43.5	—	棕 闪 石	(110)	—	62	—
	[001]	39—43	90	51—46		[001]	20	90	70
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
硬 玉	(110)	70—67	43.5	53—56	钠铁闪石	(110)	34—29	62	72—81
	[001]	30—35	90	60—55		[001]	70—80	90	20—10
	[010]	90	0	90		[010]	0	90	90
普通辉石	(110)	63—56	43.5	59—67	富铁钠闪石	(110)	62	77	31
	[001]	42—54	90	48—36		[001]	90	15	75
	[010]	90	0	90		[010]	0	90	90
霓 辉 石	(110)	—	43.5	—	蓝 闪 石	(110)	84—86	62	28.5
	[001]	60—90	90	0—30		[001]	4—6	90	86—84
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
霓 石	(110)	87	43.5	47	钠闪石 (Ⅰ)	(110)	28—29	62	86—90
	[001]	85	90	5		[001]	85—90	90	0—5
	[010]	90	0	90		[010]	90	0	90
锂 辉 石	(110)	72	43.5	52	钠闪石 (Ⅱ)	(110)	62	28—28.5	85—90
	[001]	26	90	64		[001]	90	85—90	5—0
	[010]	90	0	90		[010]	0	90	90

* (110)与光学主轴的角度关系是指(110)解理面法线与 Ng 、 Nm 、 Np 间的角度，下同。

(图2A)；其它方向的切面或是对称消光，或是平行消光。

4. 斜切三个结晶轴的任意方向切面皆呈斜消光现象，惟此类任意切面上的解理缝或晶面边缘不代表 c 轴，加以光率率轴是 Np' 、 Nm' 、 Ng' ，而不是 Np 、 Nm 、 Ng ，故此类消光角无实际意义。

综上所述，测定单斜晶系的辉石、角闪石类矿物的最大消光角，实际上是在[100]与[001]二晶带的公共面，即主轴面(010)上测定的。在实际岩矿鉴定工作中，薄片内(010)面真正水平

的矿物颗粒甚少,最为多见的是(010)面任意倾斜的矿物颗粒。那么,如何用偏光显微镜直接测定这些矿物的最大消光角便是本文研究的重点。

二、最大消光角的测定

直接用偏光显微镜测定(010)面倾斜的单斜辉石与单斜角闪石的最大消光角,关键在于解决(010)面的倾角(α)问题。

无庸讳言,除了在特殊情况下(如至底面上见有结合面(100)直立的面律双晶时),一般在偏光显微镜下是难以直接测得(010)面的确切空间位置的,直接测量其倾角则无从谈起。所以,作者利用矿物中(010)面与(110)或($\bar{1}\bar{1}0$)解理面间的夹角(β)(图4)关系、从研究(110)解理面的倾角(θ)入手解决(010)面的倾角问题。

由表1不难看出,在单斜辉石与单斜角闪石中,(110)或($\bar{1}\bar{1}0$)解理面与可测最大消光角的(010)面的夹角(β)是不等的,即在单斜辉石中是 $43^{\circ}30'$,在单斜角闪石中是 62° (图5)。这样,当解理面的倾角(θ)不同时,其与(010)面倾角(α)的数学关系也不尽相同。

当单斜辉石与单斜角闪石中的 θ 角分别小于 $43^{\circ}30'$ 与 62° 时,则

$$\alpha = \beta - \theta \tag{1}$$

当 θ 角分别大于 $43^{\circ}30'$ 与 62° 时,则

$$\alpha = \theta - \beta \tag{1'}$$

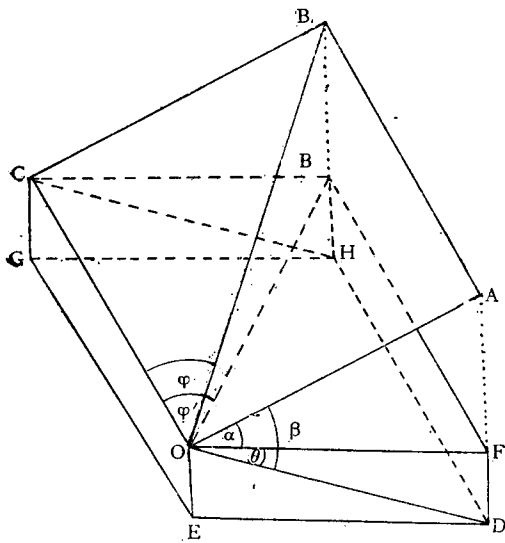


图 4 单斜辉石、单斜角闪石的(010)面、(110)解理面及消光位的几何结构

Fig. 4 Relation of solid geometry between the (010), (110) and angles (α , β , φ , φ') for monoclinic pyroxene and amphibole
O $\overline{F}$ B'C—薄片平面; OABC—(010)面, ODHC—(110)或($\bar{1}\bar{1}0$)解理面; OB—光学主轴 Ng (或 Np); OB'—OB在薄片平面上的投影; OC—解理面(110)与矿物切片的交线,亦即c轴; OE—显微镜微动螺旋升降距离(a); ED—目镜测微尺读数(b); θ —(110)或($\bar{1}\bar{1}0$)解理在薄片中的倾角; β —(010)面与(110)面夹角; α —(010)面在薄片中的倾角; φ' —视消光角; φ —最大消光角

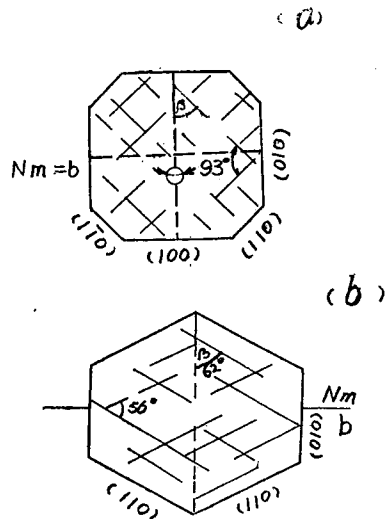


图 5 单斜辉石和单斜角闪石的垂直c轴切面
Fig. 5 Section of perpendicular to c-axis of the monoclinic pyroxene (a) and amphibole (b)

(a)—普通辉石, $\beta = 43^{\circ}30'$; (b)—普通角闪石, $\beta = 62^{\circ}$

显而易见，欲获得 α 角的数值，首先要取得 θ 角的数值。

为了取得 θ 角数值，作者研究设计了下面的显微镜操作和计算。

(1) 选择沿 c 轴伸长，具一组 (110) 或 ($\bar{1}\bar{1}0$) 倾斜的柱状解理的欲测矿物颗粒，置于视域中心的十字丝交点上，并使解理缝与目镜纵丝平行。

(2) 转载物台测量视消光角 φ' (即 $c \wedge Ng'$) 后恢复原位。

(3) 把物镜焦点平面焦准在矿物切片适当深度的平面上 (或表面上)，具体可以升、降镜筒前后解理缝均保持清晰可见为准。

(4) 提升或下降镜筒适当距离¹⁾，在微动升降螺旋上读出上升或下降的距离 a (图4上的OE)，同时，用目镜测微尺量出提升 (或下降) 镜筒后解理缝向左或右移动的距离 b (图4上的ED)。

(5) 计算解理面倾角 θ 。

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{OE}{ED} = \frac{a}{b} \quad (2)$$

$$\theta = \arctg \frac{a}{b} \quad (2')$$

(6) 按公式 (1) 或 (1') 求出 α 角数值。

(7) 根据 φ' 与 α 角计算最大消光角 φ (图6)^[5]。

由图6：

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{B'C}{CO}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{BC}{CO}; \quad \cos \alpha = \frac{B'C}{BC}$$

这样，

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{B'C}{BC}$$

即：

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi} = \cos \alpha$$

故，

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \alpha} \quad (3)$$

$$\varphi = \arctg \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \alpha} \right) \quad (3')$$

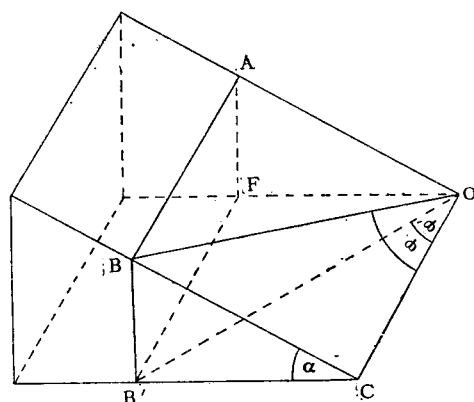


图 6 φ' 、 α 与 φ 角间的三角函数关系
Fig. 6 Relation of trigonometric function between the angles φ' , α and angle φ
(图例同图4)

在上述最大消光角测算过程中，为简化程序，提高精度和效率，作者令目镜测微尺读数恒为 0.5 个格，把 b 值变为一个常数。如用 $\times 10$ 目镜与 $\times 45$ 物镜组合，目镜测微尺每格为 0.0029mm 时， b 值为 0.00145mm。这样可直接依 a 值在表 2 上查出 θ 角数值，不必进行运算了。

附带说明，表 2 中 θ 角小于 25° 者无实际意义。因 $N \approx 1.65 \pm$ 的角闪石类矿物和 $N \approx 1.70 \pm$ 的辉石类矿物的解理缝可见临界角分别为 25° 和 30° 。因此，单斜角闪石解理倾角小于 25° ，单斜辉石解理倾角小于 30° 时，在镜下均见不到解理。

以单斜辉石、单斜角闪石的 θ 角求 α 角可查作者按公式 (1) 编制的表 3。

应用作者按公式 (3) 编制的 φ' 、 α 与 φ 角间的函数关系表 (表 4)，可径直依 φ' 与 α 角的数值迅速查出最大消光角 φ 值。

总而言之，所述在 (010) 面上测定单斜辉石与角闪石最大消光角的新方法，只要在镜下测

(1) 控制在解理缝在目镜测微尺上向左或右移动 0.5 格时的镜筒升降距离。

表 2 a值与θ角的函数关系*
Table 2 Relation of function between the value a and angle θ

a (格数)	a 值 (mm)	θ°	a (格数)	a 值 (mm)	θ°
0.5	0.000 5	19°02′	10.5	0.010 5	82°08′
1	0.001 0	34°35′	11	0.011 0	82°29′
1.5	0.001 5	45°58′	11.5	0.011 5	82°49′
2	0.002 0	54°03′	12	0.012 0	83°07′
2.5	0.002 5	59°53′	12.5	0.012 5	83°23′
3	0.003 0	64°12′	13	0.013 0	83°38′
3.5	0.003 5	67°27′	13.5	0.013 5	83°52′
4	0.004 0	70°04′	14	0.014 0	84°05′
4.5	0.004 5	72°08′	14.5	0.014 5	84°17′
5	0.005 0	73°49′	15	0.015 0	84°29′
5.5	0.005 5	75°13′	15.5	0.015 5	84°39′
6	0.006 0	76°23′	16	0.016 0	84°49′
6.5	0.006 5	77°25′	16.5	0.016 5	84°59′
7	0.007 0	78°17′	17	0.017 0	85°07′
7.5	0.007 5	79°03′	17.5	0.017 5	85°16′
8	0.008 0	79°43′	18	0.018 0	85°24′
8.5	0.008 5	80°19′	18.5	0.018 5	85°31′
9	0.009 0	80°58′	19	0.019 0	85°38′
9.5	0.009 5	81°19′	19.5	0.019 5	85°45′
10	0.010 0	81°44′	20	0.020 0	85°51′

* 不问显微镜厂家、型号及目、物镜组合如何，只要微动升降螺旋每格为0.001mm，就可直接以格数查θ角，否则需用a值查θ角。

表 3 单斜辉石、角闪石的θ角与α角间的函数关系

Table 3 Relation of function between the angle-θ and angle-α for monoclinic pyroxene and amphibole

θ°	α °Cpx	α °Amon
0	43.5	62
10	33.5	52
20	23.5	42
28	15.5	34
30	13.5	32
40	3.5	22
43.5	0.0	18.5
46.5	3.0	15.5
50	6.5	12
60	16.5	2
62	18.5	0.0
70	26.5	8.0
80	36.5	18
90	46.5	28

Cpx—单斜辉石，Amon—单斜角闪石

量出视消光角φ'及镜筒升降距离a，便可利用2—4表在1—2分钟内迅速、准确地测算出最大消光角c\Ng (或c\Np)。不言而喻，求得最大消光角数据后，便可利用W. E. Tröger^[2]，W. R. Phillips和D. T. Griffen^[6]等编制的(010)面上的消光角图表鉴定单斜辉石与单斜角闪石的成分和亚种了。

三、测算实例

为便于进一步掌握本文介绍的新方法，并论证新方法的精确度，兹举例说明如下。

例如，使用×10目镜与×45物镜组合，目镜测微尺每格是0.0029mm，微动升降螺旋每格是0.001mm，镜下测得某单斜辉石视消光角φ'=36°，微动升降螺旋读数为四个格，目镜测微尺读数是0.5格。

1. 求(110)或(110)解理面倾角(θ)。
按公式(2)，

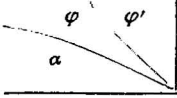
表 4 最大消光角 ($\varphi = \arctg \frac{\lg \varphi'}{\cos \alpha}$) 数值表*

Table 4 Value of the maximum extinction angles ($\varphi = \arctg \frac{\lg \varphi'}{\cos \alpha}$)

$\varphi \backslash \begin{matrix} \varphi' \\ \alpha \end{matrix}$	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
1°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
2°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
3°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
4°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
5°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1
6°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1
7°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1
8°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1
9°	1.0	2.0	3.0	4.0	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2
10°	1.0	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2
11°	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.3	15.3
12°	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.3	13.3	14.3	15.3
13°	1.0	2.1	3.1	4.1	5.1	6.2	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.3	13.3	14.4	15.4
14°	1.0	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.2	8.2	9.3	10.3	11.3	12.4	13.4	14.4	15.4
15°	1.0	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.3	11.4	12.4	13.4	14.5	15.5
16°	1.0	2.1	3.1	4.2	5.2	6.2	7.3	8.3	9.4	10.4	11.4	12.5	13.5	14.5	15.6
17°	1.0	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.4	11.5	12.5	13.6	14.6	15.7
18°	1.1	2.1	3.2	4.2	5.3	6.3	7.4	8.4	9.5	10.5	11.6	12.6	13.6	14.7	15.7
19°	1.1	2.1	3.2	4.2	5.3	6.3	7.4	8.5	9.5	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8	15.8
20°	1.1	2.1	3.2	4.3	5.3	6.4	7.4	8.5	9.6	10.6	11.7	12.7	13.8	14.9	15.9
21°	1.1	2.1	3.2	4.3	5.4	6.4	7.5	8.6	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.0
22°	1.1	2.2	3.2	4.3	5.4	6.5	7.5	8.6	9.7	10.8	11.8	12.9	14.0	15.1	16.1
23°	1.1	2.2	3.3	4.3	5.4	6.5	7.6	8.7	9.8	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.2
24°	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.7	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.3
25°	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.0	12.1	13.2	14.3	15.4	16.5
26°	1.1	2.2	3.3	4.4	5.6	6.7	7.8	8.9	10.0	11.1	12.2	13.3	14.4	15.5	16.6
27°	1.1	2.2	3.4	4.5	5.6	6.7	7.8	9.0	10.1	11.2	12.3	13.4	14.5	15.6	16.7
28°	1.1	2.3	3.4	4.5	5.7	6.8	7.9	9.0	10.2	11.3	12.4	13.5	14.7	15.8	16.9
29°	1.1	2.3	3.4	4.6	5.7	6.9	8.0	9.1	10.3	11.4	12.5	13.7	14.8	15.9	17.0
30°	1.2	2.3	3.5	4.6	5.8	6.9	8.1	9.2	10.4	11.5	12.7	13.8	14.9	16.1	17.2
31°	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7.0	8.2	9.3	10.5	11.6	12.8	13.9	15.1	16.2	17.4
32°	1.2	2.4	3.5	4.7	5.9	7.1	8.2	9.4	10.6	11.7	12.9	14.1	15.2	16.4	17.5
33°	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.1	8.3	9.5	10.7	11.9	13.0	14.2	15.4	16.6	17.7
34°	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0	13.2	14.4	15.6	16.7	17.9
35°	1.2	2.4	3.7	4.9	6.1	7.3	8.5	9.7	10.9	12.1	13.3	14.5	15.7	16.9	18.1
36°	1.2	2.5	3.7	4.9	6.2	7.4	8.6	9.9	11.1	12.3	13.5	14.7	15.9	17.1	18.3
37°	1.3	2.5	3.8	5.0	6.3	7.5	8.7	10.0	11.2	12.5	13.7	14.9	16.1	17.3	18.5
38°	1.3	2.5	3.8	5.1	6.3	7.6	8.9	10.1	11.4	12.6	13.9	15.1	16.3	17.6	18.8
39°	1.3	2.6	3.9	5.1	6.4	7.7	9.0	10.3	11.5	12.8	14.0	15.3	16.5	17.8	19.0
40°	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	11.7	13.0	14.2	15.5	16.8	18.0	19.3
41°	1.3	2.6	4.0	5.3	6.6	7.9	9.2	10.5	11.9	13.2	14.4	15.7	17.0	18.3	19.5
42°	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7	8.1	9.4	10.7	12.0	13.3	14.7	16.0	17.3	18.5	19.8
43°	1.4	2.7	4.1	5.5	6.8	8.2	9.5	10.9	12.2	13.6	14.9	16.2	17.5	18.8	20.1
44°	1.4	2.8	4.2	5.6	6.9	8.3	9.7	11.1	12.4	13.8	15.1	16.5	17.8	19.1	20.4
45°	1.4	2.8	4.2	5.6	7.1	8.5	9.9	11.2	12.6	14.0	15.4	16.7	18.1	19.4	20.8

+ 如精确到0.5°, 可用内插法查表。

续表 4

	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°
1°	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
2°	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
3°	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
4°	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1
5°	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1
6°	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1
7°	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.2	29.2	30.2
8°	16.1	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.2	29.2	30.2
9°	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3
10°	16.2	17.2	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.4	28.4	29.4	30.4
11°	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5
12°	16.3	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5	29.5	30.6
13°	16.4	17.4	18.4	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6
14°	16.5	17.5	18.5	19.5	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.8
15°	16.5	17.6	18.6	19.6	20.6	21.7	22.7	23.7	24.7	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.9
16°	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7	21.8	22.8	23.8	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	30.0	31.0
17°	16.7	17.7	18.8	19.8	20.8	21.9	22.9	23.9	25.0	26.0	27.0	28.0	29.1	30.1	31.1
18°	16.8	17.8	18.9	19.9	20.9	22.0	23.0	24.1	25.1	26.1	27.2	28.2	29.2	30.2	31.3
19°	16.9	17.9	19.0	20.0	21.1	22.1	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.3	29.4	30.4	31.4
20°	17.0	18.0	19.1	20.1	21.2	22.2	23.3	24.3	25.4	26.4	27.4	28.5	29.5	30.5	31.6
21°	17.1	18.1	19.2	20.2	21.3	22.4	23.4	24.5	25.5	26.5	27.6	28.6	29.7	30.7	31.7
22°	17.2	18.2	19.3	20.4	21.4	22.5	23.5	24.6	25.7	26.7	27.7	28.8	29.8	30.9	31.9
23°	17.3	18.4	19.4	20.5	21.6	22.6	23.7	24.8	25.8	26.9	27.9	29.0	30.0	31.1	32.1
24°	17.4	18.5	19.6	20.7	21.7	22.8	23.9	24.9	26.0	27.0	28.1	29.2	30.2	31.2	32.3
25°	17.6	18.6	19.7	20.8	21.9	23.0	24.0	25.1	26.2	27.2	28.3	29.3	30.4	31.5	32.5
26°	17.7	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.4	27.4	28.5	29.5	30.6	31.7	32.7
27°	17.8	18.9	20.0	21.1	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.6	28.7	29.8	30.8	31.9	32.9
28°	18.0	19.1	20.2	21.3	22.4	23.5	24.6	25.7	26.8	27.8	28.9	30.0	31.1	32.1	33.2
29°	18.2	19.3	20.4	21.5	22.6	23.7	24.8	25.9	27.0	28.1	29.1	30.2	31.3	32.4	33.4
30°	18.3	19.4	20.6	21.7	22.8	23.9	25.0	26.1	27.2	28.3	29.4	30.5	31.5	32.6	33.7
31°	18.5	19.6	20.8	21.9	23.0	24.1	25.2	26.3	27.4	28.5	29.6	30.7	31.8	32.9	34.0
32°	18.7	19.8	21.0	22.1	23.2	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0	32.1	33.2	34.2
33°	18.9	20.0	21.2	22.3	23.5	24.6	25.7	26.8	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4	33.5	34.5
34°	19.1	20.2	21.4	22.6	23.7	24.8	26.0	27.1	28.2	29.4	30.5	31.6	32.7	33.8	34.9
35°	19.3	20.5	21.6	22.8	24.0	25.1	26.3	27.4	28.5	29.7	30.8	31.9	33.0	34.1	35.2
36°	19.5	20.7	21.9	23.1	24.2	25.4	26.5	27.7	28.8	30.0	31.1	32.2	33.3	34.4	35.5
37°	19.8	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.8	28.0	29.1	30.3	31.4	32.5	33.7	34.8	35.9
38°	20.0	21.2	22.4	23.6	24.8	26.0	27.1	28.3	29.5	30.6	31.8	32.9	34.0	35.1	36.2
39°	20.3	21.5	22.7	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.1	33.3	34.4	35.5	36.6
40°	20.5	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.3	32.5	33.6	34.8	35.9	37.0
41°	20.8	22.1	23.3	24.5	25.7	27.0	28.2	29.4	30.5	31.7	32.9	34.0	35.2	36.3	37.4
42°	21.1	22.4	23.6	24.9	26.1	27.3	28.5	29.7	30.9	32.1	33.3	34.4	35.6	36.7	37.8
43°	21.4	22.7	24.0	25.2	26.5	27.7	28.9	30.1	31.3	32.5	33.7	34.9	36.0	37.2	38.3
44°	21.7	23.0	24.3	25.6	26.8	28.1	29.3	30.5	31.8	33.0	34.1	35.3	36.5	37.6	38.8
45°	22.1	23.4	24.7	26.0	27.2	28.5	29.7	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	36.9	38.1	39.2

续表 4

φ α φ'	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	45°
1°	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0
2°	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0
3°	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0
4°	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1
5°	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1
6°	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.2	38.2	39.2	40.2	41.2	42.2	43.2	44.2	45.2
7°	31.2	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.2	40.2	41.2	42.2	43.2	44.2	45.2
8°	31.2	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.3	41.3	42.3	43.3	44.3	45.3
9°	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.3	41.4	42.4	43.4	44.4	45.4
10°	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.4	39.4	40.4	41.4	42.4	43.4	44.4	45.4
11°	31.5	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.5	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5	45.5
12°	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	45.6
13°	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.7	45.7
14°	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.8	40.9	41.9	42.9	43.9	44.9	45.9
15°	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0
16°	32.0	33.0	34.0	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1	46.1
17°	32.1	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.2	40.3	41.3	42.3	43.3	44.3	45.3	46.3
18°	32.3	33.3	34.3	35.3	36.4	37.4	38.4	39.4	40.4	41.4	42.4	43.4	44.4	45.4	46.4
19°	32.4	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	45.6	46.6
20°	32.6	33.6	34.6	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.8	41.8	42.8	43.8	44.8	45.8	46.8
21°	32.8	33.8	34.8	35.8	36.9	37.9	38.9	39.9	40.9	41.9	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0
22°	32.9	34.0	35.0	36.0	37.1	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1	43.2	44.2	45.2	46.2	47.2
23°	33.1	34.2	35.2	36.2	37.3	38.3	39.3	40.3	41.3	42.4	43.4	44.4	45.4	46.4	47.4
24°	33.3	34.4	35.4	36.4	37.5	38.5	39.5	40.5	41.6	42.6	43.6	44.6	45.6	46.6	47.6
25°	33.5	34.6	35.6	36.7	37.7	38.7	39.7	40.8	41.8	42.8	43.8	44.8	45.8	46.8	47.8
26°	33.8	34.8	35.8	36.9	37.9	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.1	46.1	47.1	48.1
27°	34.0	35.0	36.1	37.1	38.2	39.2	40.2	41.2	42.3	43.3	44.3	45.3	46.3	47.3	48.3
28°	34.2	35.3	36.3	37.4	38.4	39.4	40.5	41.5	42.5	43.5	44.6	45.6	46.6	47.6	48.6
29°	34.5	35.5	36.6	37.6	38.7	39.7	40.7	41.8	42.8	43.8	44.8	45.8	46.8	47.8	48.8
30°	34.8	35.8	36.9	37.9	39.0	40.0	41.0	42.1	43.1	44.1	45.1	46.1	47.1	48.1	49.1
31°	35.0	36.1	37.1	38.2	39.2	40.3	41.3	42.3	43.4	44.4	45.4	46.4	47.4	48.4	49.4
32°	35.3	36.4	37.4	38.5	39.5	40.6	41.6	42.7	43.7	44.7	45.7	46.7	47.7	48.7	49.7
33°	35.6	36.7	37.8	38.8	39.9	40.9	41.9	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
34°	35.9	37.0	38.1	39.1	40.2	41.2	42.3	43.3	44.3	45.3	46.4	47.4	48.4	49.4	50.3
35°	36.3	37.3	38.4	39.5	40.5	41.6	42.6	43.6	44.7	45.7	46.7	47.7	48.7	49.7	50.7
36°	36.6	37.7	38.8	39.8	40.9	41.9	43.0	44.0	45.0	46.0	47.1	48.1	49.1	50.0	51.0
37°	37.0	38.0	39.1	40.2	41.2	42.3	43.3	44.4	45.4	46.4	47.4	48.4	49.4	50.4	51.4
38°	37.3	38.4	39.5	40.6	41.6	42.7	43.7	44.8	45.8	46.8	47.8	48.8	49.8	50.8	51.8
39°	37.7	38.8	39.9	41.0	42.0	43.1	44.1	45.2	46.2	47.2	48.2	49.2	50.2	51.2	52.1
40°	38.1	39.2	40.3	41.4	42.4	43.5	44.5	45.6	46.6	47.6	48.6	49.6	50.6	51.6	52.5
41°	38.5	39.6	40.7	41.8	42.9	43.9	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0	51.0	52.0	53.0
42°	39.0	40.1	41.1	42.2	43.3	44.4	45.4	46.4	47.5	48.5	49.5	50.5	51.4	52.4	53.4
43°	39.4	40.5	41.6	42.7	43.8	44.8	45.9	46.9	47.9	48.9	49.9	50.9	51.9	52.9	53.8
44°	39.9	41.0	42.1	43.2	44.2	45.3	46.3	47.4	48.4	49.4	50.4	51.4	52.4	53.3	54.3
45°	40.4	41.5	42.6	43.6	44.7	45.8	46.8	47.9	48.9	49.9	50.9	51.9	52.8	53.8	54.7

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= \frac{a}{b} = \frac{0.001 \times 4}{0.0029 \times 0.5} = \frac{0.004}{0.00145} \\ &= 2.7586 \\ \theta &= \operatorname{arctg} 2.7586 = 70^{\circ} 30' \end{aligned}$$

2. 计算 (010) 面的倾角(α)。

因为单斜辉石的β角为43°30′, 故θ>β, 按公式(1)得:

$$\alpha = \theta - \beta = 70^{\circ} 30' - 43^{\circ} 30' = 27^{\circ}$$

3. 按公式(3)计算最大消光角(φ)。

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \alpha} = \frac{\operatorname{tg} 36^{\circ}}{\cos 27^{\circ}} = \frac{0.7526}{0.8910} \\ &= 0.8154 \\ \varphi &= \operatorname{arctg} 0.8154 = 39^{\circ} 12' \end{aligned}$$

以上三步运算完全可用查表2—4代替, 工作中无需逐一计算。

为论证本方法的精度, 作者列举了部分单斜辉石与单斜角闪石的最大消光角的测定结果(表5), 并在表5中同时与旋转台测定的结果进行了对比。显然, 这两种方法测定的数据颇相近似, 偏差不足0.5°, 这足以证明本文介绍的新方法的精度已达到、甚至超过了旋转台测定的精度, 传统的方法是望尘莫及的。这是因为新方法读数与计算准确, 而旋转台, 尤其是传统的方法有一定的读数和操作误差之故。

表 5 镜下直接测定法与费氏台法测定结果对比表
Table 5 Correlation of results determined by direct measurement
under polarizing microscope and by universal stage

序号	岩石	矿物	显微镜下直接测定结果								费氏台测定结果			偏差
			φ'	a × 0.001 (mm)	b × 0.0029 (mm)	a / b	θ	α	φ (计算)	φ (查表4)	φ'	θ*	φ	
1	橄榄辉长岩	单斜辉石	36°	0.004	0.00145	2.7586	70°04'	26°34'	39°04'	39°06'	36°00'	20°00'	39°00'	4'—6'
2			40°	0.003	"	2.0690	64°12'	26°42'	41°53'	42°00'	36°30'	26°30'	41°30'	23'—30'
3			38°	0.004	"	2.7586	70°04'	26°34'	41°08'	41°06'	37°00'	20°30'	40°30'	36'—38'
4			31°	0.004	"	2.7586	70°04'	26°34'	33°54'	33°54'	32°30'	21°00'	34°00'	6'—7'
5			36°	0.006	"	4.1379	76°25'	32°55'	40°37'	40°54'	35°00'	14°30'	40°30'	7'—14'
6	斜长角闪岩	单斜角闪石	16°	0.006	"	4.1379	76°25'	14°25'	16°10'	16°30'	15°30'	12°30'	16°00'	10'—33'
7			21°30'	0.0035	"	2.4138	37°30'	5°35'	21°35'	21°30'	20°30'	16°00'	21°30'	0'—5'
8			6°00'	0.0025	"	1.7421	30°53'	2°06'	6°00'	6°00'	9°00'	25°30'	6°00'	0'
9			20°30'	0.004	"	2.7586	70°04'	8°04'	21°41'	20°36'	20°00'	20°30'	21°30'	6'—11'

* 费氏台上测定的θ角恰是镜下测定的θ角的余角。

为填补直接在偏光显微镜下精确测定最主要造岩矿物的最大消光角这一空白, 作者曾从仪器与方法两个途径入手进行研究。六十年代初, 作者曾把显微镜固定的平面旋转载物台改革为可以倾斜的载物台¹⁾, 借以达到直接在镜下通过直立双晶结合面与解理面测定斜长石、辉石与角闪石类矿物的最大消光角的目的。此后, 则一直试图从方法上突破, 研究解决在镜下直接测定最大消光角问题。本文即此项研究工作的部分研究成果的总结, 尚远非成熟, 如有不妥, 请读者惠于指正。

1) 傅德彬, 1960, 偏光显微镜载物台的改进及应用。中国地质, 第6期。

参 考 文 献

- [1] 成都地质学院岩石教研室, 1979, 晶体光学。地质出版社。
- [2] Tröger, W. E., 1952, Tabellen zur optischen bestimmung der gesteinsbildenden minerale stuttgart.
- [3] Соболев, В. С., 1954, Федоровский метод. Госгеолитехиздам.
- [4] 都城秋穗、久城育夫, 1984, 岩石学。科学出版社。
- [5] Мольчанов, В. И., 1964, К Методаке Определения углов оптические осей косвенным способом на Столике Е. С. Федорова. Зап. Всесоюз. Минер. общ, No. 1.
- [6] Phillips, W. R. and Griffen, D. T., 1981, Optical mineralogy, printed in the USA.

A NEW METHOD OF MEASURING THE MAXIMUM EXTINCTION ANGLES OF CLINOPYROXENE AND AMPHIBOLE UNDER THE POLARIZING MICROSCOPE

Fu Debin

(Jilin Institute of Geological Sciences, Chungchun)

Abstract

The maximum extinction angle of the section of a mineral grain with the inclined (010) plane was not able to be measured directly under the polarizing microscope. In order to solve this problem the author has developed a new method. One may start with measuring the dip angle (θ) of the cleavage planes (110) and ($\bar{1}\bar{1}0$), according to the definite angle (β) between the cleavage plane (110) or ($\bar{1}\bar{1}0$) and the cleavage plane (010), the dip angle (α) of the (010) plane in the thin section can be measured. Then the maximum extinction angle can be calculated according to the trigonometric function;

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \alpha},$$

where φ' is apparent extinction angles and φ is the maximum extinction angle; thus $c\wedge Ng_{\max}$ (or $c\wedge Np_{\max}$).

In the operation, so long as φ' and α are obtained, φ can be directly obtained through reading the table.

Practice shows that this new method is simple, convenient, accurate and widely applicable, especially applicable in measuring randomly oriented sections of mineral grains parallel to the c-axis with the (010) plane unparallel to the thin-section plane (i. e. $\alpha \neq 0^\circ$) and with a set of columnar cleavages.