



用相交偏光法测定非均质吸收性矿物的旋转性质

徐 国 凤

一、测定方法

非均质矿物在反射光下具有使偏光振动面发生非均性旋转的性质。即垂直入射的直线偏光经非均质矿物光片垂直反射后,反射偏光的振动面向非均质矿物较大主反射率轴方向旋转一定的角度。1950年美国学者E·N·卡梅伦和L·H·格林把非均质吸收性矿物的某些结晶学要素(晶体延长习性、解理、双晶等)和这种非均性旋转联系起来,规定结晶学要素方向的反射力大于其垂直方向反射力者为正旋性(图1),反之为负旋性(图2)。

为了更加实用,可以考虑规定离结晶学要素最近之消光位方向的反射力大于其垂直方向反射力者为正旋性,反之为负旋性。即反射偏光振动面趋向该最近消光位旋转者

为正旋性晶体,反之为负旋性晶体。因此,只要在反光显微镜下发现非均质吸收性矿物具有上述结晶学要素,就能确定其旋转性质的正、负符号以帮助鉴定矿物。

测定矿物旋转性质的方法有:

1. 单偏光法(双反射法) 于单偏光下在空气或浸油中将非均质吸收性矿物的某种结晶学要素方向(或离之最近的消光位方向)与前偏光镜振动方向一致时的反射力大于转动物台 90° 后的反射力者为正旋性;反之为负旋性。但此法的灵敏度太低,仅能测量双反射清晰的少数非均质性较强的矿物。

2. 直射正交偏光法 在直射正交偏光下置非均质吸收性矿物的某种结晶学要素方向(或离之最近的消光位方向)于I、Ⅲ象限 45° 位置上逆时针方向偏转上偏光镜显示

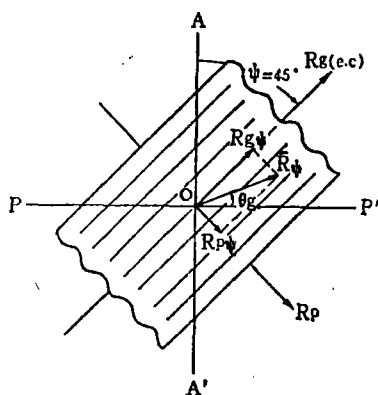


图1 正旋性晶体(石墨)的晶体延长(e)、底解理(c)方向与 R_g 一致,在第Ⅰ象限内($\Psi = 45^\circ$ 时) θ_g 逆时针方向旋转(趋向结晶学要素方向)示意图

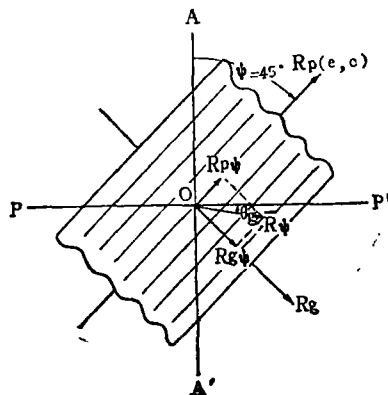


图2 负旋性晶体(铜兰)的晶体延长(e)、底解理(c)方向与 R_p 一致,在第Ⅰ象限内($\Psi = 45^\circ$ 时) θ_g 顺时针方向旋转(背向结晶学要素方向)示意图

*结晶学要素(晶体延长、解理、双晶)的方位经常与消光位(主反射率方向)的方向一致,但也有不一致的情况,“最近消光位”的概念就包括了两者完全一致和两者相交成小于 45° 角的情况。

“由亮到暗再到亮”过程者为正旋性，显示“由亮直接到更亮（不经过黑暗）”的过程者为负旋性。顺时针方向偏转上偏光镜则应得到相反的结论。但此法对弱非均质矿物难以确切看出上述暗亮变化过程。

3. 聚敛正交偏光法 在聚敛正交偏光下置非均质吸收性矿物的某种结晶学要素方向（或离之最近的消光位方向）于Ⅰ、Ⅲ象限45°位置上逆时针方向偏转上偏光镜显示“由双曲线暗带偏光像到暗十字偏光像”者为正旋性；顺时针方向偏转上偏光镜得到暗十字偏光像者为负旋性。但弱非均质矿物偏光像中双曲线分离度很小，以至难以与暗十字偏光像区分。

可以看出，上述三种方法对弱非均质矿物旋转性质的测定存在着困难。我们在工作中摸索到对弱非均质矿物具有一定意义的一种测定方法——相交偏光法（直射相交偏光法）。其实质是利用非均质吸收性矿物在不完全正交偏光下旋转物台一周显示的暗亮变化规律来确定旋转性质的正负符号。其操作步骤为：

（1）认定结晶学要素方向 在自然光或单偏光（对双晶有时还用正交偏光）下认定欲测非均质矿物的晶体延长习性、特征的解理或双晶的方向。再于正交偏光下选定与某种结晶学要素一致的消光位（或离之最近的消光位）、记下物台刻度盘的读数。

（2）偏转上偏光镜 逆时针方向偏转上偏光镜1~3°（对少数非均质性特强矿物可为5~8°）至旋转物台暗亮变化较显著为止。

（3）转动物台一周确定旋转性质的正、负符号 旋转物台一周，若矿物颗粒于Ⅰ、Ⅳ象限时显示“最亮”则为正旋性晶体；若于Ⅰ、Ⅲ象限显示“最亮”则为负旋性晶体。*

（4）复验 可顺时针方向偏转上偏光镜复验之。另再选同种矿物的其他颗粒再测

*本文一切分析结论以取前偏光镜（起偏振器）的偏振方向PP'系东西（左右）方向为前提。

数次以最后确定旋转性质的正、负符号。全部操作只需数分钟到十分钟时间即可完成。

二、相交偏光法的理论基础

非均质吸收性矿物在相交偏光下的光学效应决定于以下诸因素：

1. 非均质矿物的反射率 非均质矿物的反射率随其所处的方位而异，它在任意方位上的反射率 R_Ψ 可由下式表达：

$$\bar{R}_\Psi = R_1 \sin^2 \Psi + R_2 \cos^2 \Psi \\ = \frac{1}{2} \left[(R_1 + R_2) - (R_1 - R_2) \cos 2\Psi \right] \dots \dots (1)$$

（1）式中 $\bar{R}_\Psi$ ——非均质矿物于任意方位上的反射率；

R_1 及 R_2 ——非均质矿物最大及最小的主反射率；

Ψ ——非均质矿物的方位角，以光率体长轴方向于正北（前方）方向为零度。

2. 非均性旋转 非均性旋转角 θ_Ψ 随最大及最小主反射之相对差及所处之方位不同而异：

$$\tan \theta_\Psi = \tan \Psi \left(\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1 \right) \quad 1 + \\ \tan^2 \Psi \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \dots \dots \dots (2)$$

（2）式中 θ_Ψ ——非均质矿物于任意方位上之非均性旋转角；

R_1 、 R_2 、 Ψ 均同上。

3. 非均椭圆偏化旋转 垂直入射直线偏光经非均质吸收性矿物反射后之垂直反射偏光，一般因吸收性能的影响使反射光波产生周相差（数值不为0°、 π 、 $\frac{\pi}{2}$ ）而椭圆偏化。这种椭圆偏化的实际效果为至上偏光镜（分析镜）后“退偏化”成为振动面偏转一个角度的直线偏光。这个偏转的角度就是非均椭圆偏化旋转角 ρ_Ψ ，其计算公式比较复杂，在此从略。

4. 上偏光镜偏离其原与前偏光镜正交位置的偏离角 由这个偏离角 Θ 可以表示相交偏光系严格正交偏光（ $\Theta = 0^\circ$ ）或不正交

偏光 ($\Theta = 0^\circ$)，偏离角度的大小密切影响相交偏光下的光学效应。

根据物理光学中的马吕斯定律，相交偏光下非均质吸收性矿物光学效应的理论表达式为：

$$R_{\psi} = \bar{R}_{\psi} \cdot \sin^2 \left\{ \left| \theta_{\psi} + \Theta \right| + \left| \rho_{\psi} \right| \right\} \dots (3)$$

(3) 式中 R_{ψ} ——非均质吸收性矿物于任意方位上在相交偏光下的反射率；

$\bar{R}_{\psi}$ ——非均质吸收性矿物于任意方位上的反射率；

θ_{ψ} ——非均质矿物于任意方位上的非均质性旋转角，规定其

逆时针方向旋转为正值，

顺时针方向旋转为负值；

ρ_{ψ} ——非均质吸收性矿物于任意方位上的非均椭圆偏化旋转角，规定其逆时针方向旋转为正值，顺时针方向旋转为负值；

Θ ——上偏光镜偏离其原与前偏光镜正交位置的偏离角，规定其顺时针方向偏转为正值，逆时针方向偏转为负值；

Ψ ——非均质矿物的方位角，以其光率体长轴方向于正北(前方)为零度。

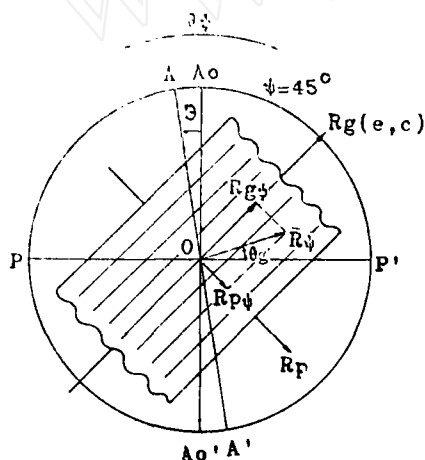


图3a 正旋性晶体在第 I 象限 θ 与 Θ 相消效应示意图

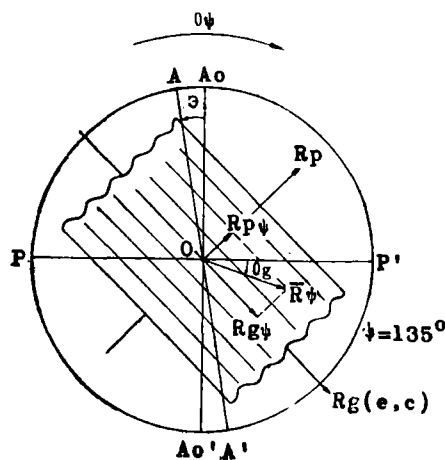


图3b 正旋性晶体在第 I 象限 θ 与 Θ 相加效应示意图

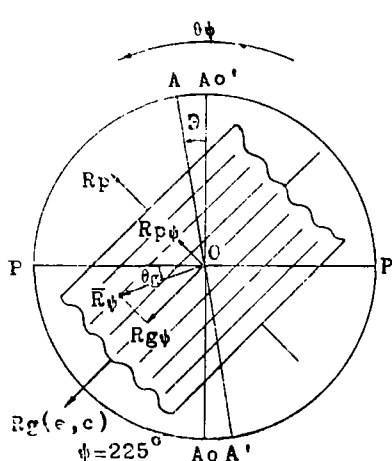


图3c 正旋性晶体在第 III 象限 θ 与 Θ 相消效应示意图

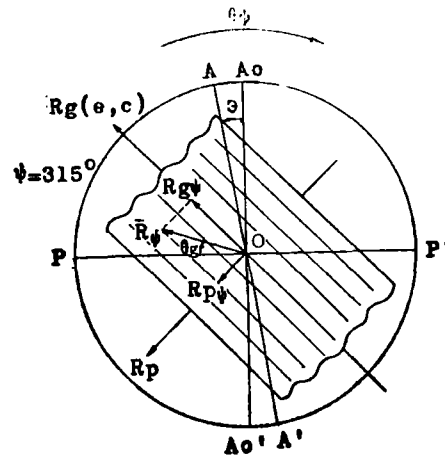


图3d 正旋性晶体在第 IV 象限 θ 与 Θ 相加效应示意图

由图3a、b、c、d及公式(2)看出,非均质旋转角 $\theta\psi$ 在I、III象限为正值,成逆时针方向旋转,在II、IV象限为负值,成顺时针方向旋转。若偏离角 Θ 系逆时针方向偏转(为负值),则由(3)式及图3可知在I、III象限内 $\theta\psi$ 与 Θ 为相消效应使 $R_{f\psi}$ 变小(显示“暗”),II、IV象限为相加效应使 $R_{f\psi}$ 变大(显示“亮”)。

又由(2)式可解析出 $\theta\psi$ 当 ψ 为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 时为 0° ,当 ψ 为 45° 、 135° 、 225° 、 315° 时,最大值 θg 为

$$\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}-1 \quad 1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\right)$$

结合(3)式可以引出以下结论:

(1) 当 $\Theta = 0^\circ$ (严格正交偏光)时 之分。 ω 与 ω' 可由下式求出:

$$\tan \omega = \frac{\left(\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}-1\right) - \sqrt{\left(1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\right)^2 - 4\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \cdot \tan^2 \Theta}}{2\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \cdot \tan \Theta} \dots \dots \dots (4)$$

$$\tan \omega' = \frac{\left(\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}-1\right) + \sqrt{\left(1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\right)^2 - 4\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \cdot \tan^2 \Theta}}{2\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \cdot \tan \Theta} \dots \dots \dots (5)$$

由于 ω' 比 ω 更近于 45° 位置,故 $\rho\omega' > \rho\omega$ 。

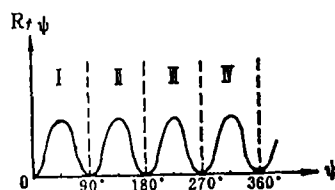


图4a* 当 $\Theta = 0^\circ$ 时,非均质矿物旋转物台一周显示“四明四暗”

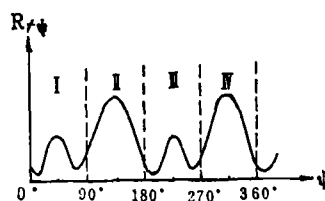


图4b 当 $\Theta < \theta g$ 时,非均质矿物旋转物台一周显示“歪四明四暗”

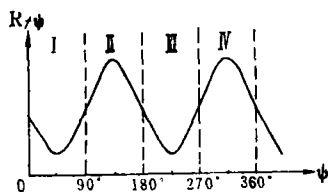


图4c 当 $\Theta = \theta g$ 时,非均质矿物旋转物台一周显示“两明两暗”

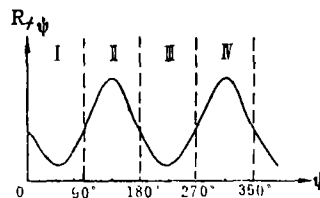


图4d 当 $\Theta > \theta g$ 时,非均质矿物旋转物台一周显示“两明两暗”

*取辉钼矿(正旋性)的某些资料制成此示意图: $\theta g = 9^\circ 50' 40''$, $\Theta = 5^\circ$ 时 ω 为 $12^\circ 35' 26.4''$, ω' 为 $72^\circ 25' 36''$ 。

(图4a)非均质矿物旋转物台一周显示“正四明(45°位置)四暗(正位置)”;

(2) 当 $\Theta = \theta g$ 时(图4b)非均质矿物旋转物台一周显“歪四明四暗”:四明仍在四个45°位置,其中两个45°位置为“最最亮”

$$\left[R_{fg} = \frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin^2(|\theta g + \Theta| + |\rho g|) \right],$$

另两个45°位置为“次最亮”

$$\left[R'_{fg} = \frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin^2(|\theta g - \Theta| + |\rho g|) \right].$$

四暗则不在正位置且其间不隔 90° 角,也有

$$\text{“最最暗”} \quad \left[R_{fp} = \bar{R}_\omega \cdot \sin^2 \rho \omega \right]$$

$$\text{和“次最暗”} \quad \left[R'_{fp} = \bar{R}'_\omega \cdot \sin^2 \rho \omega' \right]$$

(3) 当 $\Theta = \theta_g$ 时 (图4c) 非均质矿物旋转物台一周只显“两明两暗”：两明在两个 45° 位置

$$\left[R_{fg} = \frac{1}{2} (R_1 + R_2) \cdot \sin^2 (|2\theta_g| + |\rho_g|) \right],$$

两暗却在另两个 45° 位置

$$\left[R_{fp} = \frac{1}{2} (R_1 + R_2) \cdot \sin^2 \rho_g \right].$$

(4) 当 $\Theta > \theta_g$ 时 (图4d) 非均质矿物旋转物台一周也只显“两明两暗”：两个 45° 位置显示的最大亮度 R_{fg} 为

$$\frac{1}{2} (R_1 + R_2) \cdot \sin^2 (|\theta_g + \Theta| + |\rho_g|),$$

另两个 45° 位置的最小亮度 R_{fp} 为

$$\frac{1}{2} (R_1 + R_2) \cdot \sin^2 (|\Theta - \theta_g| + |\rho_g|).$$

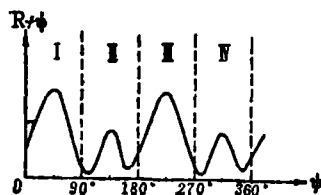


图5a* 负旋性晶体当 $\Theta < \theta_g$ 时, 旋转物台一周显示“歪四明四暗”(“最最亮”在I、II象限, “最暗”和“次最亮”在I、IV象限)

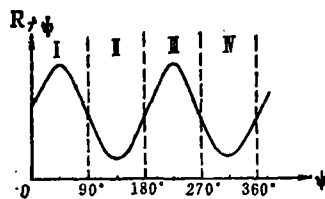


图5b 负旋性晶体当 $\Theta > \theta_g$ 时, 旋转物台一周显示“两明两暗”(两“明”在I、II象限, 两“暗”在I、IV象限)

因此, 可以利用在相交偏光下转动物台一周上述暗亮变化规律来鉴别非均质矿物的正、负旋性。可将这种判断标志归结为下表:

非均质矿物正、负旋性在相交偏光下的区分标志表

观察条件 光学现象 旋转性质符号	直射相交偏光下观察 (逆时针方向偏转上偏光镜)	
	上偏光镜偏离角 (Θ) 大于或等于最大非均质性旋转角 (θ_g)	上偏光镜偏离角 (Θ) 小于最大非均质性旋转角 (θ_g)
正旋性	I、II象限暗, III、IV象限亮。	I、II象限显最暗及次最亮, III、IV象限显最大亮度。
负旋性	I、II象限亮, III、IV象限暗。	I、II象限显最大亮度, III、IV象限显最暗及次最亮。

* 取铜碲矿 (负旋性) 的某些资料制成此图: $\theta_g = 4^\circ 22'$, 当 Θ 为 2° 时 $\omega = 104^\circ 4' 20''$, $\omega' = 165^\circ 22'$ 。

在实测工作中的简单记法是：Ⅰ、Ⅲ象限（东北—西南方向）与显示“最亮”的两象限方向构成之“+”、“-”符号即为矿物旋转性质的正、负符号。当然，若顺时针方向偏转上偏光镜则应得出相反的结论。

从理论上分析，相交偏光法与单偏光法相比，亮暗间亮度差别前者较后者明显得多。后者暗亮差别由 R_g 与 R_p 之相对差

$$\Delta R' \left[\Delta R' = 2 \frac{R_g - R_p}{R_g + R_p} \cdot 100\% \right]$$

决定；前者却由 R_{tg} 与 R_{tp} 之相对差

$$\Delta R' \left[\Delta R' = 2 \frac{R_{tg} - R_{tp}}{R_{tg} + R_{tp}} \cdot 100\% \right]$$

决定。由于 $R_g, R_p \gg R_{tg}, R_{tp}$ ，故 $\Delta R' \gg \Delta R'$ 。

相交偏光法与直射正交偏光法相比，其亮暗间亮度差别也明显得多。最大的暗亮差后者为

$$\frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin(|\theta_g| + |2\rho_g|) \cdot \sin\theta_g^* ;$$

前者则为

$$\frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin(|2\theta| + |2\rho_g|) \cdot \sin 2\theta_g^* \quad (\theta > \theta_g \text{ 时}),$$

$$\frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin(|2\theta_g| + |2\rho_g|) \cdot \sin 2\theta_g^* \quad (\theta = \theta_g \text{ 时}),$$

或大于

$$\frac{1}{2}(R_1 + R_2) \cdot \sin(|\theta_g + \theta| + |2\rho_g|) \cdot \sin(\theta_g + \theta)^*$$

的数值($\theta < \theta_g$ 时)。

由于前者必然大于后者决定了相交偏光法的灵敏度比直射正交偏光法要高，特别是对弱非均质矿物(θ_g 小，通常为 $\theta > \theta_g$)更显示出相交偏光法的优点。

相交偏光法与聚敛正交偏光法相比，前者利用在运动过程中的 θ 和 θ 的相消及相加关系比起后者单纯利用静止状态的 θ 和 θ 的相消关系在理论上优越一些。

三、非均质矿物旋转性质的测定资料

现将利用相交偏光法对某些非均质矿物光片的实测结果和综合文献记载中用其它方法的某些测定结果合并制成表1供鉴定矿物时参考：

由表1可以看出，利用非均质矿物的正、负旋转符号的不同，能够区分某些其它性质近似的矿物组（对）。如水锰矿〔 γ -MnOOH〕（+）与锰榴石（grontite）〔 α -MnOOH〕（-），斜方砷铁矿（-）和白铁矿（+），硫铜铋矿（-）与脆硫铜铋矿（+），脆硫锑铅矿（-）与硫锑铅矿（+），硫锡铅矿（-）与硫锡矿（+）等等。特别是对硫酸盐类矿物和含钴、镍、锡、铋、铂、碲、硒、银、金等较少见的矿物细小颗粒的鉴别具有相当重要的意义。

* 这里引用了数学公式 $\sin^2\alpha - \sin^2\beta = \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin(\alpha - \beta)$ 。

附：吸收性矿物非均性旋转角的测定

非均质吸收性矿物的任意切面一般能使垂直入射的直线偏光经矿物反射后之垂直反射偏光的振动面旋转一定的角度，这就是非均性旋转角(θ)。在反光显微镜下测定矿物最大的非均性旋转角对于鉴别矿物和矿相学理论研究具有一定的意义。已有的主要测定方法如下表：

吸收性矿物非均性旋转角的主要测定方法

方法大类 方法名称 方法特点	在正交偏光(严格正交下)		在相交偏光(不完全正交)下	
	(1)暗位法	(2)偏光象定位法	(3)直射相交偏光法	(4)聚敛相交偏光法
操作要点	于45°位置上转动上偏光镜至一最暗位置，此时上偏光镜偏离其原位置与偏光镜正交位置的偏离角即为该矿物切面内的最大非均性旋转角(一般切面为 $\theta/2$ ，主切面为 θ)。	在聚敛正交偏光下旋转物台至显示最大分离度的双曲线暗带偏光象(即45°位置)后转动上偏光镜至显示暗十字偏光象(即最暗位置)，上偏光镜偏转的角度即为该切面内最大的非均性旋转角。	转动上偏光镜一个很小的角度(从0.5°开始)后在直射相交偏光下旋转物台一周观察暗亮变化特征，逐渐加大上偏光镜的偏离角，由显“歪四明四暗”转变为“两明两暗”时的上偏光镜偏离角即为矿物该切面内最大的非均性旋转角。	转动上偏光镜(从0.5°开始)后在聚敛相交偏光下旋转物台一周观察偏光象变化特征，逐渐加大上偏光镜的偏离角，由显“歪四合四分”(双曲线暗带在视域内四个象限内移动)转变为“两合两分”(双曲线暗带只在某两个象限内移动)时的上偏光镜偏离角即为最大非均性旋转角。

现将吸收性矿物非均性旋转角的测定资料列出(表2)供参考。

正旋性晶体 (结晶学要素)		负旋性晶体 (结晶学要素)	
自然硒 (片状晶体延长)	硒铋矿 (延长)	自然砷 (延长)	
自然硫 (锥状晶体延长)	副硒铋矿 (Paraguajonatite)	自然铋 (延长)	
石墨 (延长、底解理)	($\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$) (底解理)	自然铊 (延长)	
锡石 (延长)	铜硒铁矿 (Eskebornite)	自然碲 (柱状晶体延长)	
红锌矿 (底解理)	(CuFeSe_2) (底解理)	金红石 (延长)	
埃斯科拉矿 (Fskolaite)	基特卡矿 (Kitkaite)	黑铜矿 (延长)	
(Cr_2O_3) (板状晶体延长)	(NiTeSe) (底解理)	黑锰矿 Δ (延长)	
赤铁矿 (延长、双晶)	碲铋矿 (延长、解理)	锰榴石 (Groutite) (板状晶体延长)	
针铁矿 (延长、双晶)	多碲铋矿 (延长)	($\alpha\text{-MnOOH}$) (底解理)	
黑锰矿 Δ (底解理)	辉碲铋矿 (延长)	基性锰铅矿 (底解理)	
水锰矿 (柱状晶体延长)	碲镍矿 (板状晶体延长)	菱锰矿 (延长)	
褐锰矿 (延长)	叶碲矿 (解理)	水钴矿 (延长)	
硬锰矿 (针状晶体延长)	碲金矿 (延长)	菱锌矿 (延长)	
软锰矿 (柱状晶体延长)	硫砷铜矿 (延长、解理)	菱铁矿 (延长)	
铋矿 (延长)	硫铜矿 (延长、底解理)	孔雀石 (延长)	
锰铁矿 (解理)	辉铁铋矿 (延长)	兰铜矿 (延长)	
黑铋矿 (延长、底解理)	硫铋矿 (针状晶体延长)	菱镍矿 (底解理)	
黑铅铋铁矿 (板状晶体延长)	碲铁矿 (延长)	磁铅铋铁矿 (桶状晶体延长)	
钛铁矿 (延长、双晶)	斜方硫铋矿 (延长)	黑柱石 (延长)	
钨锰矿 (延长、解理)	硫铋矿 (板状晶体延长、解理)	钒铅矿 (柱状晶体延长)	
钨铋矿 (延长、解理)	斜硫铋矿 (延长)	重铋铁矿-四方铋铁矿 (延长)	
高德弗罗伊矿 (Gaufroyite)	斜辉铋矿 (延长)	辉铋矿 Δ (延长)	
$\text{Ca}_4\text{Mn}_{3-x}[(\text{BO}_3)_3/(\text{CO}_3)/(\text{O}, \text{OH})_3]$ (延长)	单斜辉铋矿 (延长)	辉铋矿 Δ (//{001}的窄双晶片)	
硼铋矿 (延长)	单斜辉铋矿 (延长)	磁黄铁矿 Δ (底解理、板状晶体延长)	
彩铅矿 (板状晶体延长)	别捷赫琴矿 (Betekhtinite)	铜兰 (底解理、板状晶体延长)	
硫氧铋矿 (延长)	($\text{Pb}_2(\text{Cu}, \text{Fe})_{21}\text{S}_{16}$) (柱状晶体延长)	纤铋矿 (延长)	
黄铜矿 (双晶)	块状硫砷矿 (延长)	辰砂 (延长)	
辉铜矿 Δ (解理)	辉铋矿 (针状晶体延长)	雌黄 (延长)	
辉铋矿 Δ (延长、解理)	泡铋矿 (延长)	毒砂 (延长)	
辉铋矿 (延长、解理)	针硫铋矿 (延长)	斜方砷铁矿 (延长)	
辉铋矿 (延长、底解理)	硫铋矿 (解理)	六方硫铁矿 (延长)	
辉铋矿 (延长、底解理)	斜方辉铋矿 (延长)	黝锡矿 (片状晶体延长)	
辉铋矿 (延长、底解理)	灰硫铋矿 (Bursaitite)	方黄铜矿 (延长)	
绿硫铁矿 (延长、解理)	($5\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$) (延长)	针镍矿 (延长)	
雷金矿 (Raguinite)	脆硫铜矿 (延长、解理)	红砷镍矿 (柱状晶体延长)	
(TiFeS_2) (延长)	硫铋矿 (延长)	红砷镍矿 (针状晶体延长)	
白铁矿 (延长)	延廷钠矿 (Tintinaite)	尼格里矿 (六方锡铂矿) (延长)	
磁黄铁矿 Δ (锥状晶体延长)	($5\text{PbS} \cdot 4(\text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$) (延长)	碲铜矿 (板状晶体延长、底解理)	
微晶砷铜矿 (延长)	针铅铋银矿 (延长)	红碲铜矿 (延长)	
墨铜矿 (延长)	硫银铋矿 (Pavonite)	铜碲矿 (延长)	
砷镍矿 (延长)	($\text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$) (解理)	车轮矿 (板状晶体延长)	
斜方砷镍矿 (延长)	辉铋银矿 (延长)	脆硫铋矿 (延长、底解理)	
副斜方砷镍矿 (延长)	硫银铁矿 (板状晶体延长、底解理)	辉铋锡矿 (板状晶体延长)	
硫锡矿 (板状晶体延长)	富硫银铁矿 (底解理)	硫锡矿 (延长)	
红砷镍矿 (板状晶体延长)	砷硫铋银矿 (底解理)	硫铜矿 (延长、底解理)	
斜方砷镍矿 (延长)	硫银矿 (Matildite)	淡红银矿 (针状晶体延长、双晶)	
	($\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$) (延长)	深红银矿 (柱状晶体延长、双晶)	
		硫铜银矿 (延长)	

*表中“.”符号者系笔者用相交偏光法测定的矿物，其余文献中用其它方法测定的矿物。

标“ Δ ”符号的矿物对不同的结晶学要素旋转性质符号不同，应确切查明系何种结晶学要素才不致发生错误。

吸收性矿物非均性旋转角 (°g 或 °g') 测定数据

表2

石 墨	20'10'	红铜矿	4'0'	黑 锰 矿	2'25'	铋铋银矿	1'48'	砷铜金矿(Kostovite)	1'15'	黄铜矿	0'53'	贝里矿(Berryite)	
铜 兰	20'0'	铁 锰 矿	3'59'	脆硫铜矿	2'24'	双硫铜矿(530nm)	1'47'	砷 银 矿	1'13'	磷 铁 矿	0'51'	Pb ₂ (Cu,As) ₃ BiS ₁₁	
兰铜矿	16'42'	纤 铁 矿	3'51'	泡状铜矿(Cesarolite)	2'23'	辉铜矿	1'45'	硫 砷 矿	1'14'	硫 铜 矿	0'49'	或Pb ₂ (Cu,As) ₃ BiS ₁₄	
辉铜矿	14'24'	辉 砷 矿	3'54'	劳内铜矿(Launayite)	2'22'	六方硫铜矿	1'45'	辉砷铜矿(Lengenbachite)	1'14'	斜硫铜矿(530nm)	0'49'	(546nm)	0'24'
黑铜矿	13'50'	硫 砷 矿	3'49'	22PbS-13(Sb,As) ₂ S ₃	2'22'	磷 铁 矿	1'40'	砷 铁 矿	1'13'	砷 铁 矿	0'48'	硫铜银矿	0'20'
六方硫铜矿	13'39'	辉砷银矿	3'48'	硫 砷 矿	2'22'	砷 铁 矿	1'39'	硫铜银矿	1'12'	砷 铁 矿	0'48'	纤 铁 矿	0'19'
辉铜矿	11'32'	砷 铁 矿	3'46'	硫 砷 矿	2'19'	砷 铁 矿(600nm)	1'38'	辉砷银矿	1'12'	斜硫铜矿	0'47'	砷 铁 矿	
四方硫铜矿(Mackinawite)		硫 砷 矿	3'44'	砷 铁 矿	2'17'	块状硫铜矿	1'38'	自 然 砷	1'12'	(Getchellite)	0'47'	(Oregonite)	0'18'
FeS	10'19'	兰 铜 矿	3'36'	砷 铁 矿	2'17'	电 气 石	1'37'	砷 铜 矿	1'12'	自 然 砷(Indium)	0'46'	硫 砷 矿	0'18'
斜方硫铜矿(Ramsdellite)	10'17'	白 铜 矿	3'25'	硫 砷 矿	2'16'	砷 铁 矿	1'37'	砷 铜 矿	1'12'	硫铜银矿(Roquesite)	0'46'	黑铜银矿	0'18'
辉 铜 矿	9'8'	戴氏铜矿	3'20'	硫铜银矿(Dadsonite)	2'15'	砷 铁 矿	1'36'	砷 铜 矿	1'11'	车 轮 矿	0'44'	砷 铁 矿	0'18'
角 砷 矿	8'55'	硫 砷 矿	3'14'	硫 砷 矿	2'14'	块状硫铜矿	1'35'	砷 铜 矿	1'11'	硫铜银矿(546nm)	0'44'	白 铜 矿	0'17'
黑 柱 石	7'31'	砷 铁 矿	3'12'	砷 铁 矿(530nm)	2'12'	斜硫铜矿	1'35'	砷 铁 矿	1'11'	砷 铁 矿	0'44'	钙 铁 矿	0'14'
砷 白 云 石	6'39'	砷 铁 矿	3'11'	砷 铁 矿	2'10'	硫 砷 矿 B	1'35'	三砷二硫二砷	1'10'	砷 铁 矿	0'42'	辉铜银矿	0'12'
麦 铁 矿	6'48'	砷 铁 矿	3'6'	砷 铁 矿	2'10'	砷 铁 矿	1'34'	(Pd,Pt,Ni) ₂ (Sb,Sn) ₁₀	1'9'	砷 铁 矿	0'42'	块状硫铜矿	0'12'
硫铜银矿(Vulcanite)	6'47'	水 砷 矿	3'5'	重 砷 矿	2'9'	砷 铁 矿	1'34'	硫铜银矿(Wodginite)	1'9'	硫铜银矿	0'41'	砷 铁 矿	0'10'
白 云 石	6'40'	砷 铁 矿	3'3'	硫铜银矿	2'6'	砷 铁 矿(530nm)	1'33'	块状硫铜矿	1'9'	单 硫 矿	0'40'		
麦 铁 矿	6'15'	伊 达 矿(Idaite)		砷 铁 矿	2'6'	砷 铁 矿	1'33'	砷 铁 矿	1'8'	基 特 卡 矿			
黑 铜 矿	6'14'	Cu ₃ FeS ₄	3'2'	双 晶 矿(Twinningite)		砷 铁 矿	1'32'	红 砷 矿	1'7'	(Kitikite)NiTeSe	0'40'		
孔雀石	6'14'	高德罗伊矿(Gaude[royite])		PbS-(Sb,As) ₂ S ₃	2'6'	黄铜矿(Xanthoconite)	1'32'	砷 铁 矿	1'6'	砷 铁 矿	0'39'		
般 石	6'11'	Cu ₄ Mn ₃ As ₃ (BO ₃) ₃	3'2'	文 砷 矿(Veenite)		砷 铁 矿	1'30'	砷 铁 矿 A	1'6'	绿 砷 矿(Eskolaite)	0'39'		
方 砷 石	5'49'	(CO ₃)/(O,OH) ₃		2PbS-(S,As) ₂ S ₃	2'4'	砷 铁 矿	1'30'	锡伊德矿(Stannoidite)	1'6'	锡伊德矿(Ganite)			
砷 铁 矿	5'46'	砷 铁 矿	2'58'	砷 铁 矿	2'1'	斜方硫铜矿	1'29'	Cu ₂ Sn(Fe,Zn) ₂ S ₃	1'6'	Bi ₄ xTe _{1-x} S ₈	0'39'		
砷 铁 矿	5'30'	砷 铁 矿	2'56'	砷 铁 矿(Nuffieldite)	2'1'	砷 铁 矿(530nm)	1'29'	霍卡特矿(Hocartite)	1'6'	砷 铁 矿	0'38'		
砷 铁 矿	5'30'	自 然 砷	2'48'	砷 铁 矿	2'1'	砷 铁 矿	1'29'	Ag ₃ SnFeS ₄	1'6'	砷 铁 矿	0'37'		
砷 铁 矿	5'30'	砷 铁 矿(546nm)	2'45'	砷 铁 矿	2'0'	砷 铁 矿	1'29'	砷 铁 矿	1'6'	砷 铁 矿(Syranite)	0'37'		
白 砷 矿	5'27'	砷 铁 矿	2'44'	白 砷 矿	2'0'	二砷二硫二砷	1'29'	富铜砷矿(Stannite jaune)	1'6'	红 砷 矿	0'36'		
砷 铁 矿	5'21'	砷 铁 矿	2'42'	砷 铁 矿	2'0'	斜方硫铜矿	1'27'	砷 铁 矿	1'6'-0'47'	六方硫铜矿	0'36'		
砷 铁 矿	5'20'	砷 铁 矿	2'42'	砷 铁 矿	2'0'	砷 铁 矿	1'27'	砷 铁 矿	1'6'	砷 铁 矿(530nm)	0'34'		
麦 铁 矿	5'19'	砷 铁 矿	2'39'	砷 铁 矿	2'0'	砷 铁 矿	1'27'	砷 铁 矿	1'5'	砷 铁 矿	0'34'		
砷 铁 矿	5'19'	砷 铁 矿	2'38'	砷 铁 矿	2'0'	砷 铁 矿	1'27'	砷 铁 矿(Merrite)(530nm)	1'4'	砷 铁 矿	0'34'		
砷 铁 矿	5'6'	砷 铁 矿	2'36'	砷 铁 矿	1'59'	砷 铁 矿	1'27'	莫森矿(Mawsonite)		砷 铁 矿	0'32'		
水 砷 矿	5'6'	金 红 石	2'36'	砷 铁 矿	1'59'	普莱费尔矿(Playfairite)	1'27'	Cu ₂ xSn _{1-x} FeS ₄	1'4'	砷 铁 矿	0'30'		
砷 铁 矿	5'4'	砷 铁 矿	2'36'	砷 铁 矿	1'58'	16PbS-9(Sb,As) ₂ S ₃	1'27'	砷 铁 矿	1'2'	砷 铁 矿	0'30'		
砷 铁 矿	5'0'	自 然 砷	2'36'	砷 铁 矿(530nm)	1'58'	砷 铁 矿	1'26'	斯特里矿(Sterryite)		砷 铁 矿	<0'30'		
水 砷 矿	4'52'	砷 铁 矿	2'36'	四方硫铜矿(Staringite)	1'58'	(Heteromorphite)	1'25'	17PbS-11(Sb,As) ₂ S ₃	1'1'	砷 铁 矿	0'30'		
自 然 砷	4'47'	砷 铁 矿	2'36'	砷 铁 矿	1'55'	砷 铁 矿	1'24'	砷 铁 矿	1'1'	砷 铁 矿	<0'30'		
雷金矿(Raguinite)		砷 铁 矿	2'36'	砷 铁 矿	1'54'	砷 铁 矿	1'24'	砷 铁 矿	1'0'	砷 铁 矿	<0'30'		
TlFeS ₂	4'46'	9PbS-8(Sb,As) ₂ S ₃	2'36'	砷 铁 矿	1'54'	砷 铁 矿	1'24'	砷 铁 矿	1'0'	砷 铁 矿	<0'30'		
自 然 砷	4'44'	砷 铁 矿	2'34'	砷 铁 矿	1'54'	砷 铁 矿	1'24'	砷 铁 矿	0'57'	砷 铁 矿	<0'30'		
砷 铁 矿	4'30'	砷 铁 矿	2'30'	砷 铁 矿	1'53'	砷 铁 矿	1'22'	砷 铁 矿	0'57'	砷 铁 矿	0'29'		
砷 铁 矿	4'30'	砷 铁 矿	2'30'	砷 铁 矿	1'51'	砷 铁 矿	1'20'	砷 铁 矿	0'54'	砷 铁 矿	0'27'		
砷 铁 矿	4'24'	砷 铁 矿	2'30'	砷 铁 矿	1'50'	砷 铁 矿	1'18'	砷 铁 矿(546nm)	0'54'	砷 铁 矿	0'27'		
砷 铁 矿	4'22'	砷 铁 矿	2'29'	砷 铁 矿	1'48'	砷 铁 矿	1'17'	砷 铁 矿		砷 铁 矿	0'25'		
		砷 铁 矿	2'26'	砷 铁 矿	1'48'	砷 铁 矿	1'16'	砷 铁 矿		砷 铁 矿	0'24'		
		砷 铁 矿		砷 铁 矿		砷 铁 矿	1'16'	砷 铁 矿		砷 铁 矿	0'24'		

表2中有“.”符号的矿物笔者用(3)、(4)方法进行测量,其余矿物为文献中(1)、(2)方法的测定数据和由R_g、R_p(°g'、R_p')数值计算获得的°g(°g')数据。表中一栏为黄光或白光下的测量数据。个别矿物为其他波长光波的测量数据(已注明)。