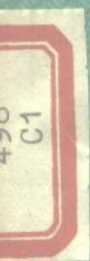


金属矿物的旋转性研究

徐国风 著

科学出版社



金属矿物的旋转性研究

徐 国 风 著

地质出版社

1982.5

内 容 简 介

本书较系统地介绍了金属矿物旋转性研究的基础理论,较深入地阐述了金属矿物在反光显微镜下的旋转光学效应,向读者推荐了鉴别金属矿物旋转性的一系列有意义的观测方法,列出了一百余种金属矿物的实测结果和六百余种金属矿物的旋转性资料,给出了二百余种非均质金属矿物的反射光性符号以及一百余种非均质金属矿物偏光色颜色指数的数据。本书对于利用旋转性研究来鉴别不透明和半透明的自然金属(单质和碳化物、氮化物、磷化物),氧化物和氢氧化物,含氧酸盐,硫化物和砷化物,铋化物,铊化物,硒化物,碲化物以及硫盐类(包括含锡、铜、铅、铋、银等的复杂硫盐)矿物具有实用意义。

可供冶金、地质、选矿、建筑材料及其它材料实验室的科技人员和有关高等院校的师生参考。

金属矿物的旋转性研究

徐 国 风 著

责任编辑 谢洪源

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年9月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1985年10月第一次印刷 印张:3 3/4

印数:0001—2,000 字数:82,000

统一书号:13031·2992

本社书号:4538·13-14

定价: 0.90 元

前 言

金属矿物的旋转性 (Rotation properties) 是指直线偏光作用于金属矿物磨光面(或天然晶面)后, 反射光偏振方向得到旋转的性质。对单色光来讲, 由于起因不同, 上述反射偏振方向旋转可分为矿物的“反射旋转”和“非均质旋转”两种。对白 光来讲, 则因不同波长光线的旋转量不等而造成“旋转色散效应”。这些旋转效应都可在矿相显微镜聚敛偏光下显示之“反射偏光图”进行观测。有意义的是, 金属矿物“偏光图”的观测内容不仅反映出在直射光下研究的矿物之反射率、反射色、内反射、双反射、非均质性、偏光色等一般矿相学鉴定特性, 而且还有矿物之“反射旋转和非均质旋转的综合色散”、旋转方向以至“反射光性符号”等较深入研究的内容。应该指出, 虽然金属矿物的旋转性研究在矿相学领域中属于传统性常规研究方法的范畴, 但由于不透明晶体光学和近代技术(光电学仪器、电子计算机技术等)的发展, 旋转性研究具有向“微区、定量化、自动化、电子计算机化”过渡的前景。不言而喻, 它不但对于鉴别金属矿物(特别是微粒金属矿物)具有实际意义, 而且还对不透明晶体光学、标型矿物学(同种不同成因类型矿物之旋转性等方面的差异性)等有关学科的发展具有理论意义。比如化学成分及其它一般光学性质都很相似, 而不易鉴别的六方铌铁矿和六方钽铁矿, 化学成分及许多一般光学性质、物理性质相近的硫砷铅矿和块硫砷铅矿以及一般物理性质和化学性质都相近, 但成因截然不同的热液硫铋铜矿和风化硫铋铜矿等, 在某些旋转性方面存在明显差异, 可

以看出旋转性研究意义之一斑(表1)。

表1 某些金属矿物的旋转性特征

数据 矿物	旋光性	反射旋转 色散符号	最大非均质 旋转角 $A_{\text{r.p.}}$	非均质旋转 色散符号	反射旋转和 非均质旋转 综合色散符 号
六方铌铁矿 Sysertskite		$r \geq v$	$2^{\circ}17'$	$r > v$	$r > v$
六方铌铁矿 Nevvanskite		$r \approx v$	$0^{\circ}34'$	$v > r$	$v > r$
硫砷铅矿 Dufrenoyite		$r > v$	$3^{\circ}8'$	$r \approx v$	$v > r$
块硫砷铅矿 Guitermanite		$v > r$	$1^{\circ}20'$	$r > v$	$r > v$
热液硫铋铜矿 Th-Wittichenite		$r \approx v$	$1^{\circ}25'$	$r \approx v$	$r \approx v$
风化硫铋铜矿 Wh-Wittichenite		$v \geq r$	$0^{\circ}58'$	$r > v$	$r > v$

本书将对金属矿物旋转性研究的理论基础、观测方法作简要介绍。笔者除了自测的一百多种金属矿物的多种旋转性能外,还列出了经其多年收集的六百多种金属矿物较完整的旋转性资料,这些资料对金属矿物旋转性研究具有实用价值。

目 录

前言

第一章 金属矿物旋转性的理论基础.....	1
一、金属矿物的吸收性和复数光性指示体模型.....	1
二、金属矿物的反射旋转和反射椭圆偏光旋转.....	4
三、非均质旋转和非均椭圆偏光旋转.....	5
第二章 均质金属矿物的旋转性研究.....	8
一、均质(等轴)金属矿物旋转性的研究方法.....	8
二、均质(等轴)金属矿物旋转性的研究资料.....	26
第三章 非均质金属矿物的旋转性研究.....	27
一、非均质(非等轴)金属矿物旋转性的研究方法...	27
(一) 非均质矿物的反射旋转和反射椭圆偏光旋转	27
(二) 非均质矿物的非均质旋转和非均椭圆偏光旋转 ...	29
(三) 非均质金属矿物的反射聚敛偏光图	36
(四) 非均质金属矿物旋转性的观测内容和测定方法 ...	45
二、非均质(非等轴)金属矿物旋转性的研究资料...	65
结束语.....	98
参考文献.....	100
附录.....	105
一、某些非均质金属矿物的反射光性符号.....	105
二、某些非均质金属矿物的偏光色颜色指数.....	109

第一章 金属矿物旋转性的理论基础

众所周知,光是一种横波,其振动方向与传播方向垂直。自然光是包含有在所有各种平面内振动的光波,并且在各平面内的振动几率相等。平面偏光是严格地局限在一个平面内振动、在垂直其传播方向平面上的投影为一直线的偏振光,又称为直线偏光。椭圆偏光是在垂直其传播方向平面上其电矢量端点轨迹的投影呈一椭圆的偏振光。当置一“检偏振器”于光路中转动 360° 时,自然光不发生光强的变化;直线偏光出现两个“消光”位置(同一个方向);椭圆偏光显示两明两暗(不完全消光)。直线偏光投射到金属矿物表层反射后为直线偏光或椭圆偏光。

与金属矿物旋转性研究有关的基本理论问题,主要是复数光性指示体模型和四种旋转作用(反射旋转、非均质旋转、反射椭圆偏光旋转和非均椭圆偏光旋转)。现简介如下。

一、金属矿物的吸收性和复数光性指示体模型

金属矿物一般为不透明矿物或半透明矿物,其特点是吸收性较透明矿物强。大家知道,光波进入矿物后其振幅逐渐衰减的现象为吸收性,矿物的吸收性常用吸收系数 K 来表示。吸收系数 K 的物理含义为光波进入矿物内一个真空中波长距离 (λ_0) 时光强降为原值的 $1/e^{4\pi K}$ 。即吸收系数 K 越大,光波衰减越强,光强降低得越多。不透明矿物的 K 值大于 0.73,透明矿物的 K 值小于 0.025,半透明矿物的 K 值在 0.73 和 0.025

之间。

吸收性较强的不透明矿物和半透明矿物与透明矿物的重要区别之一为其具有复数折射率 N' ：

$$N' = N - iK。$$

式中 N 为折射率（表示光波在矿物中的传播速度）， K 为吸收系数（表示光波在矿物中的衰减）， i 为虚数 $\sqrt{-1}$ 。

人们知道，透明矿物的光学指示体为光率体，由折射率一项构成。用数学上的二次方程式可以表达其空间几何形态（如切面为圆、椭圆等光学指示面，可称为二级面）。不透明矿物和半透明矿物的光学指示体则由反射率 R 、吸收系数 K 、折射率 N 三项构成，它的空间几何形态复杂，有的需要数学上的高次方程式才能表达（如一轴晶的反射率光学指示体为复杂的旋转椭球体，其切面的数学表达式为 24 次幂的高级方程式，即为二十四级面），有的无法准确地用数学公式表达（如三斜晶系的金属矿物）。

如图 1 所示，金属矿物的复数光学指示体共有五种，可切出三种类型（同半径的、对称的和不对称的）的光性切面：

1) 等轴晶系复数光学指示体——系圆球状 R 壳层，其光学对称要素为 $(\infty L^\infty + \infty P + C)^{\text{D}}$ ，所有切面都是圆切面（同半径的切面），都有无数个光学对称面（图 1 下部）。

2) 一轴晶复数光学指示体——三方、四方、六方晶系金属矿物的复数光学指示体系旋转束腰椭球体状 R 壳层，其光学对称要素为 $[L^\infty + \infty L^2 + (\infty + 1)P + C]$ ，可切出三种光性切面（图 1 下部）。

3) 斜方晶系复数光学指示体——系非旋转的束腰椭球体状 R 壳层，其光学对称要素为 $(3L^2 + 3P + C)$ ，可切出另

1) L 代表光学对称轴， P 代表光学对称面， C 代表光学对称中心。

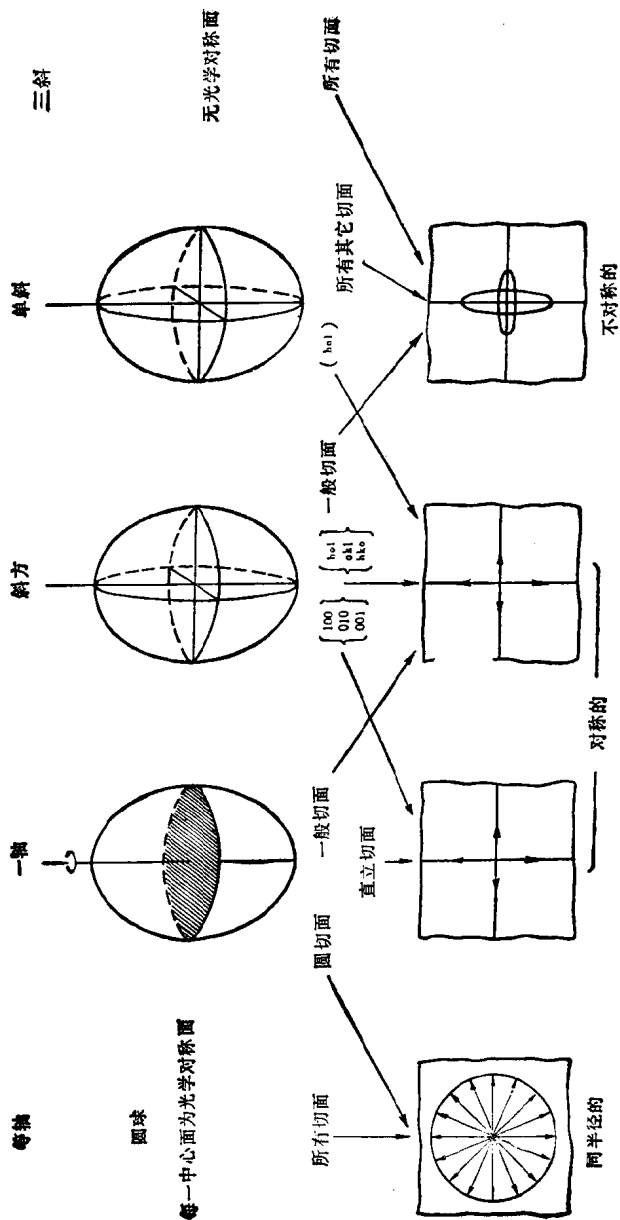


图 1 金属矿物的五种复数光学指示体和三种类型光学性切面示意图^[42]

等的原理斜反射出去。如图 2 所示, 设入射面为 XX' , 由于垂直入射面之分振动的振幅 OR_{SX} 大于平行入射面之分振动的振幅 OR_{PX} , 因此合成振动的振幅 $O\bar{R}$ 方向偏向 OR_{SX} , 使原入射光的振动方向 PP' 旋转至 $O\bar{R}$ 方向, 产生反射旋转作用。反射旋转角为 $R_{r\beta}$ 。由于此时 $O\bar{R}$ 为直线偏光, 因此当偏振器垂直 $O\bar{R}$ 方向时可显示完全的消光。

若系光线斜射到金属矿物光面上, 则因 OR_{SX} 和 OR_{PX} 之间的周相差不为零、 $\frac{\pi}{2}$ 、 π 而产生椭圆偏光旋转作用。此时之“反射视旋转角 R_r ”系原入射偏光的 PP' 方向与反射偏光的电矢量端点轨迹椭圆长轴之间的夹角。在这种情况下, 当检偏振器垂直椭圆长轴时显示“不完全的黑暗”。上述反射旋转角 $R_{r\beta}$ 和反射视旋转角 R_r 还与斜入射光线的入射角有关。入射角越大, $R_{r\beta}$ 和 R_r 越大; 入射角越小, $R_{r\beta}$ 和 R_r 越小; 入射角为零(垂直入射)时 $R_{r\beta}$ 和 R_r 为零(不产生反射旋转和反射椭圆偏光旋转作用)。

三、非均质旋转和非均椭圆偏光旋转

为了说明金属矿物的非均质旋转作用和非均椭圆偏光旋转作用, 需先阐明一轴晶透明矿物的非均质旋转作用。如图 3 所示, 当 AA 、 CC 与前偏光镜振动方向 PP 成 45° 交角时, 入射光 E 投射到矿物光片后被分解成为两组互相垂直的平面偏光 (OE_1 和 OE_2), 经反射后为 OR_1 和 OR_2 。根据平面四边形合成原理合成为 OP 。由于 OR_1 大于 OR_2 , 因此合成的 OP 偏向 OR_1 一侧。即导致反射偏光 OP 不能与入射振动 OE 重合而旋转一个角度 $A_{r\beta}(\angle POE)$, 即产生非均质旋转作用, 图 3 中之 $A_{r\beta}$ 为非均质旋转角。此角度与

OR_1 、 OR_2 的相对大小有关。 OR_1 和 OR_2 相差越大, $A_{r\beta}$ 越大; OR_1 和 OR_2 相差越小, $A_{r\beta}$ 越小; OR_1 与 OR_2 相等则 $A_{r\beta}$ 为零(即不发生非均质旋转作用)。

金属矿物则如图 4 所示, 入射光 E 投射到金属矿物表面经反射后分解成为 OR_1 和 OR_2 。此时 OR_1 和 OR_2 不但

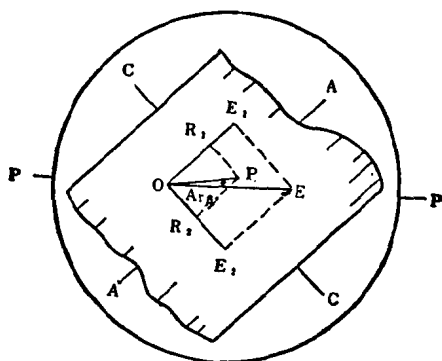


图 3 一轴晶透明矿物的非均质旋转示意图

图中 PP 为前偏光镜振动方向; CC 代表矿物的 C 轴方位; AA 代表水平轴方位; OE 为入射光的振幅(与 PP 平行)。 OP 为反射光的振幅; OE_1 和 OE_2 为平行 AA 方向和 CC 方向的分入射光的振幅; OR_1 和 OR_2 为平行 AA 方向和 CC 方向的分反射光的振幅; $A_{r\beta}(\angle POE)$ 为非均质旋转角。

有大小的差别 ($OR_1 > OR_2$), 而且两者之间的周相差不为零、 π 、 2π , 故形成椭圆偏光。反射椭圆偏光电矢量端点轨迹椭圆长轴与原入射偏光的振动方向 OE 之间的夹角为金属矿物的“非均质视旋转角 A_r ” ($\angle \alpha OE$)。轨迹椭圆外切四边形近长轴对角线与原入射偏光的振动方向 OE 之间的夹角为“非均质旋转角 $A_{r\beta}$ ” ($\angle POE$)。此即为金属矿物的非均质旋转和非均椭圆偏光旋转作用的实质。经王曙计算, 中等非均质性的赤铁矿在用干镜头时的反射椭圆偏光电矢量端点轨迹椭圆短轴与其长轴的比值为 1:385, 即接近于“直线式

第二章 均质金属矿物的旋转性研究

一、均质(等轴)金属矿物旋转性的研究方法

由于等轴晶系金属矿物的复数光学指示体为圆球状壳层,因此其任何切面都是对称的均质切面,只产生反射旋转和反射椭圆偏光旋转作用。这决定了此类矿物需在聚敛光下研究其“反射偏光图”。

“反射聚敛偏光图”系 Neuerburg 于 1947 年无意中发现的^[54]。Cameron 等于 1950 年首次对这种偏光图在理论上作了一般定性的解释^[52]。此后, Cameron、Green、Eales、Hase、Hutchinson、Carpenter、Rensburg 等于 1951—1973 年陆续利用偏光图观测了一些金属矿物的旋转性,为在矿相显微镜下鉴别金属矿物开辟了一条新的途径。

反射聚敛偏光图是采用高倍接物镜来研究的。在矿相显微镜下,高倍物镜产生一束圆锥形入射光,光线投射到矿物光面再反射出去。物镜中心(即视域中心)的光线为垂直入射、垂直反射。物镜(视域)的其它位置则系成各种不同角度的斜入射、斜反射。前已述及,斜入射光分解为平行入射面的 R_p 和垂直入射面的 R_s 。由于 OR_s 大于 OR_p , 因此导致合成振动面产生趋向于 OR_s 的反射旋转(图 2)。如图 5 所示,这种反射旋转由于视域中每一点的入射角 ϕ 和取向角 α 不同而造成反射旋转量不等。光线越靠近物镜圆边部,入射角 ϕ 越大,反射旋转角 R_{ϕ} 也越大。在入射角相等条件下,取向角 α (入射面法线 $\bar{X}\bar{X}'$ 与前偏光镜 PP' 振动方向的夹角(图 2))

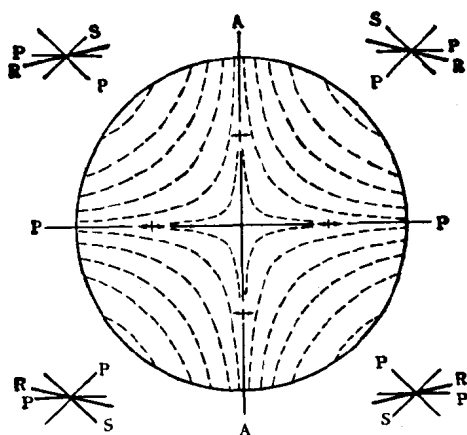


图5 聚敛光下反射旋转量在物镜圆中分布的示意图
图中圆圈为物镜圆(显微镜视域); PP 为前偏光镜振动方向;
 AA 为上偏光镜振动方向; 双箭头黑线表示经反射旋转作用后的
反射直线偏光的振动方向; P 线代表入射光的的振动方向;
另一 P 线代表平行入射面的分反射光; 与之垂直的线代表垂
直入射面的分反射光; R 粗黑线为经反射旋转后的反射光振
动方向; 虚线为反射旋转角的等值线。

越趋近 45° 角, 即入射面法线越接近视域 45° 线, 反射旋转角 $R_{r\beta}$ 越大; 越接近与 PP 平行和垂直, 反射旋转角 $R_{r\beta}$ 越小直至为零。图5中圆圈内的虚曲线为反射旋转角 $R_{r\beta}$ 的等值线, 表示反射旋转量由视域边缘到中心, 由视域 45° 线到目镜十字丝处由大到小直至为零的分布特点。同时圆圈四角的 R 线还表示反射旋转作用的旋转方向: 东北、西南两象限为顺时针方向旋转, 西北、东南两象限为逆时针方向旋转。

如图6所示, 在严格正交聚敛偏光下均质矿物的“反射聚敛偏光图”为“黑十字”偏光图。在十字丝区域反射旋转角 $R_{r\beta}$ 为零, 此区内反射光的振动方向都与上偏光镜振动方向 AA 垂直, 即产生“消光”现象。视域的其他地点反射振动方向都不与 AA 垂直, 即不同程度地都有一部分光线通过上偏光镜

而显一定的亮度。由图 5 可知，越靠近视域边部和 45° 线处亮度越大。从前面分析光学指示体的光学对称要素可知，均质矿物在严格正交聚敛光下的“黑十字”反射偏光图转动载物台不发生变化。但在转动上偏光镜使之偏离其与前偏光镜正交的位置之后，则如图 7 所示产生“双曲线暗带”偏光图。此

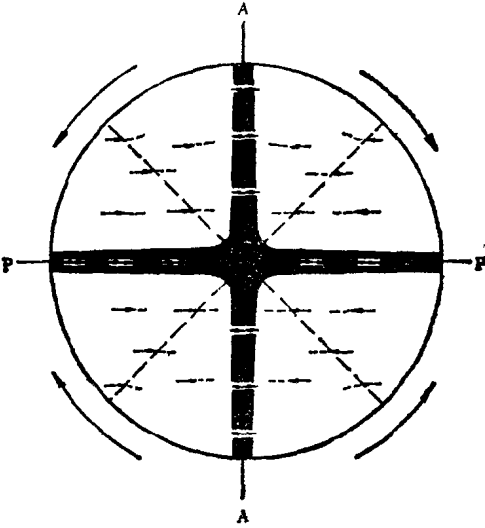


图 6 在严格正交聚敛偏光下均质矿物的偏光图^[11]

黑十字处未产生反射旋转，反射偏光的振动方向用双箭头线表示。其余地方有反射旋转，实线表示入射光振动方向；虚线表示反射光振动方向；圆圈外的四个弧形箭头表示四个象限的反射旋转方向。

时双曲线暗带中每一点的反射光振动方向，因反射旋转作用而都与 A_1A_1 垂直(即每一点的 $R_{r\theta}$ 都等于 $\angle A_1OA$)。双曲线暗带以外各点都显示一定的亮度，在西北、东南两象限内由双曲线暗带向视域边缘和视域中心、向目镜十字丝和 45° 线处越来越亮；在东北、西南两象限内由视域中心到视域边缘，由目镜十字丝到 45° 线处亮度增大。

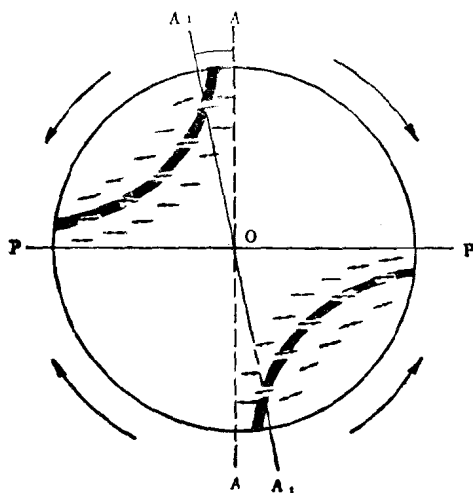


图7 偏转上偏光镜时均质矿物的聚敛偏光图^[11]

图中 PP 为前偏光镜振动方向； AA 为正交的上偏光镜的振动方向； A_1A_1 为偏转上偏光镜一个角度 ($\angle A_1OA$) 后的振动方向；双箭头线代表反射光的振动方向。双曲线暗带中的每一点的反射光振动方向都与 A_1A_1 垂直。

随着上偏光镜偏离与前偏光镜正交的角度 (Θ) 加大,双曲线将增大分离度直至逸出视域 (图 8、9、10、11)。

由于均质金属矿物(不透明和半透明矿物)的 R_s 和 R_p 两分振动的周相差不为零、 π 、 2π , 因此产生反射椭圆偏光旋转作用, 暗带内与上偏光镜振动方向垂直的是反射椭圆偏光电矢量端点轨迹椭圆的长轴方向, 即还有一部分光线通过上偏光镜而得不到真正的“消光”, 将显示“暗十字”偏光图和“双曲线暗带”偏光图(不是“黑十字”和“双曲线消光带”)。这就影响到暗带边界有些模糊而不易准确度量双曲线暗带的分离度和精确测定双曲线暗带逸出视域时的 Θ 角。因而均质金属矿物反射聚敛偏光图的实用意义, 主要在观测矿物的反射