



光性矿物学

(第三版)

王德滋 谢 磊 ◎ 编著

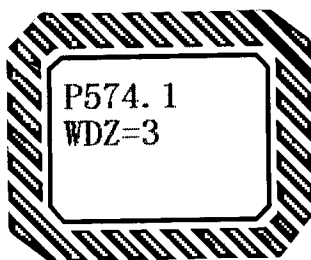


科学出版社
www.sciencep.com

光 性 矿 物 学

(第三版)

王德滋 谢 磊 编著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了 200 余种比较主要的造岩矿物的物理性质、光学性质、鉴定特征、变化和产状,并附有必要的图表。

本书可作为大专和高等院校地质、岩矿及地球化学等专业的教学参考书,也可供其他从事岩矿鉴定工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光性矿物学/王德滋,谢磊编著. —3 版. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-021291-7

I. 光… II. ①王…②谢… III. 光性矿物学 IV. P57

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 030898 号

责任编辑:罗 吉 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 5 月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:2

印数:1—2 500 字数:412 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

光性矿物学(Optical Mineralogy)是利用偏光显微镜作为研究手段,用晶体光学的原理和方法研究矿物(主要是透明造岩矿物)的光性并进行鉴定的一门科学,它已有一百多年的发展历史。光性矿物学与物理、化学、矿物学和岩石学有着密切联系。随着矿物测试技术日新月异的进步,一些精密仪器如电子探针(EMPA)、X 射线衍射仪(XRD)、扫描电镜(SEM)等应运而生,虽然它们能对矿物的形貌、成分等进行精确的测定,但是尚不能代替偏光显微镜的作用和功能。透明矿物的多色性、双折射、轴性、蚀变和同质多象等性质和现象在偏光显微镜下一望便知,既便捷,又准确,为进一步进行测试研究提供了必备的基础。从这个意义来衡量,光性矿物学乃是学习岩石学、材料学和现代测试技术等课程的先修课,特别是对于地质院校相关专业的本科生来说,更是一门必修的基础课程。

《光性矿物学》第一版于 1965 年由上海科学技术出版社出版,1975 年由上海人民出版社再版,修订再版期间,周新民教授曾给予了无私的帮助。本书为第三版,系统介绍了 200 余种比较主要的造岩矿物的物理性质、光学性质、鉴定特征、变化和产状,并且附有必要的图表。《光性矿物学》属于大学本科教材,同时又是广大岩矿鉴定工作者的参考书,需求量很大,前两版曾多次印刷。随着地球科学研究迅猛发展,作为地质工作基础的光性矿物学也有了一定的发展。《光性矿物学》从 1975 年再版至今已逾 30 年,迫切需要修订再版。值得指出的是,宝石学是我国改革开放以后新发展起来的新兴应用学科,它与光性矿物学有着紧密的联系。宝石基本上属于透明矿物,以其特有的光泽、色彩、硬度和透明度而具有很高的经济价值。掌握光性矿物学的理论和研究方法是研究宝玉石的重要支撑。

编著者长期从事花岗岩和火山岩的研究工作,对岩石学、矿物学前沿有很好的了解,由于教学的需要和社会的需求,决定再次修订该书。南京大学作为一个平台,为该书的再版提供了参考书和资料的查询,并提供计算机描绘图表,以及在偏光显微镜下拍摄显微照片等条件都为该书的第三版奠定了良好的基础。

在《光性矿物学》1975 年版的基础上,本书按照矿物类别分别描述了 200 余种矿物,新增加矿物种类 10 余种,如柯石英、多硅白云母、假蓝宝石等矿物。本书附图表 200 余幅,对上版的插图全部更新,改变原先均为手描图片的不精确性以及局限性;补充了部分矿物的新光性方位图;同时还增加了若干幅显微照片,以加强直观性。编著者希望这部新修订的《光性矿物学》教材,可以满足优化的教学内容,使得更多的地质院校的学生受益。同时,本书亦可供广大岩矿鉴定工作者和宝玉石研究者参考。

本书在修订过程中,周新民教授、罗谷风教授、王汝成教授、陈武教授和胡文瑄教授给予了无私的帮助,在此表示衷心的感谢!

编著者

2007 年 6 月于南京大学

目 录

前言

第一章 矿物的光学性质 1

1. 晶形 1
2. 颜色、多色性与吸收性 2
3. 突起和糙面 3
4. 解理和裂理 3
5. 干涉色和双折射率 4
6. 消光性质 5
7. 延长符号 7
8. 双晶 7
9. 光性符号 7
10. 光轴角 10
11. 色散 12
12. 光性方位 12
13. 测定折射率 13
14. 光性异常 14
15. 光性与成分的关系 15

第二章 矿物的光性分类 17

第三章 不透明矿物 22

- 石墨 22
- 自然金 22
- 黄铁矿 22
- 磁黄铁矿 23
- 黄铜矿 23
- 方铅矿 24
- 辉钼矿 24
- 赤铁矿 24
- 磁铁矿 25
- 钛铁矿 26
- 铬铁矿 27
- 褐铁矿 27
- 铌铁矿-钽铁矿 28
- 晶质铀矿 29

第四章 均质矿物 30

- 蛋白石 30
 - 萤石 31
 - 方沸石 32
 - 钾盐 32
 - 方钠石族 33
 - 方钠石 33
 - 黝方石 34
 - 蓝方石 34
 - 青金石 35
 - 白榴石 35
 - 钠榴石 37
 - 石盐 37
 - 香花石 37
 - 尖晶石 38
 - 方镁石 39
 - 石榴子石族 39
 - 镁铝榴石 40
 - 铁铝榴石 41
 - 锰铝榴石 42
 - 钙铝榴石 42
 - 钙铁榴石 43
 - 钙铬榴石 43
 - 日光榴石 44
 - 烧绿石 44
 - 细晶石 44
 - 方钍石 45
 - 闪锌矿 45
 - 钙钛矿 46
 - 钛铌钙钽矿 46
 - 金刚石 47
- ## 第五章 一轴晶矿物 48
- 方石英 48
 - 霞石族 48
 - 霞石 48

钙霞石	50	光卤石	85
钾霞石	51	硼砂	86
鱼眼石	51	硬硼钙石	87
玉髓	52	硬硼钙石	87
石英	53	沸石族	88
氢氧镁石	56	菱沸石	88
绿柱石	56	钠沸石	89
方柱石	57	钾钙十字沸石	89
明矾石	59	辉沸石	90
异性石	60	片沸石	91
磷灰石	60	交沸石	91
电气石族	62	中性针沸石	92
黑电气石	63	柱沸石	93
镁电气石	64	杆沸石	93
锂电气石	64	钙沸石	94
硅铍石	65	浊沸石	95
黄长石	66	透锂长石	95
碳酸盐类	67	石膏	96
方解石	68	长石族	97
菱锰矿	70	碱性长石亚族	103
白云石	71	透长石	109
菱镁矿	72	正长石	110
菱铁矿	72	微斜长石	112
氟碳钙铈矿	73	歪长石	113
氟碳铈矿	74	冰长石	114
符山石	74	条纹长石	115
刚玉	75	斜长石亚族	118
磷钇矿	76	钠长石	131
钽石	76	奥长石	132
黄钾铁矾	77	中长石	133
白钨矿	77	拉长石	134
锆石	78	培长石	135
锡石	79	钙长石	135
褐钇铈矿	80	堇青石	137
锐钛矿	81	黏土矿物	139
金红石	81	高岭石	140
第六章 二轴晶矿物	84	迪开石	141
冰晶石	84	珍珠陶土	142
磷石英	84	多水高岭石	143

水铝英石·····	143	葡萄石·····	179
微晶高岭石·····	144	重晶石·····	180
绿高岭石·····	144	红柱石·····	181
水白云母·····	145	夕线石·····	183
蛇纹石族·····	146	富铝红柱石·····	184
叶蛇纹石·····	146	勃姆铝矿·····	185
纤蛇纹石·····	147	绿层硅铈钛矿·····	185
胶蛇纹石·····	148	粒硅镁石族·····	186
滑石·····	149	粒硅镁石·····	186
叶蜡石·····	150	硅镁石·····	187
绿泥石族·····	151	斜硅镁石·····	188
叶绿泥石·····	152	硅硼钙石·····	189
斜绿泥石·····	153	硼镁石·····	190
蠕绿泥石·····	154	方硼石·····	190
鲕绿泥石·····	155	硬柱石·····	191
鳞绿泥石·····	155	角闪石族·····	192
云母族·····	156	直闪石·····	194
白云母·····	157	镁铁闪石·····	195
绢云母·····	159	铁闪石·····	195
钠云母·····	160	透闪石·····	196
鳞云母(锂云母)·····	160	阳起石·····	198
铁锂云母·····	161	普通角闪石·····	199
金云母·····	162	氧角闪石·····	202
黑云母·····	163	棕闪石·····	204
铁云母·····	167	蓝闪石·····	204
蛭石·····	167	钠闪石·····	205
脆云母族·····	168	钠铁闪石·····	207
珍珠云母·····	168	辉石族·····	208
绿脆云母·····	169	顽辉石·····	210
硬绿泥石·····	170	古铜辉石·····	212
黑硬绿泥石·····	171	紫苏辉石·····	212
水铝氧石·····	172	斜顽辉石·····	214
硬石膏·····	173	易变辉石·····	215
磷铝石·····	174	透辉石·····	216
羟硅铍石·····	175	钙铁辉石·····	218
钠锆石·····	175	普通辉石·····	219
海绿石·····	176	霓辉石·····	222
黄玉·····	177	霓石·····	222
天青石·····	179	硬玉·····	224

锂辉石·····	225	绿帘石·····	247
似辉石族·····	225	绿纤石·····	248
硅灰石·····	226	红帘石·····	249
蔷薇辉石·····	229	褐帘石·····	249
针钠钙石·····	230	水铝石·····	251
假蓝宝石·····	230	十字石·····	251
橄榄石族·····	231	闪叶石·····	253
镁橄榄石·····	232	金绿宝石·····	253
贵橄榄石·····	233	硅铍钇矿·····	254
铁橄榄石·····	234	独居石·····	255
钙镁橄榄石·····	235	硼镁铁矿·····	256
伊丁石·····	236	黑柱石·····	256
文石·····	237	楣石·····	257
菱锆矿·····	238	斜锆石·····	258
碳钡矿·····	239	黑稀金矿·····	259
斧石·····	239	铌钇矿·····	259
蓝线石·····	240	易解石·····	260
星叶石·····	241	板钛矿·····	260
蓝晶石·····	242	主要参考文献·····	262
绿帘石族·····	243	附录 A 样品制备·····	263
黝帘石·····	244	附录 B 鉴定表·····	265
斜黝帘石·····	246	附录 C 矿物名称索引表·····	275

第一章 矿物的光学性质

岩石是矿物的集合体,研究岩石首先必须研究其矿物组成。研究矿物的方法很多,其中包括:化学分析、光谱分析、电子探针显微分析、X 射线结构分析、差热分析、荧光分析以及晶体测量和比重、硬度的精确测定等。显然,这些方法对于全面研究矿物的晶体形态、化学组成、内部结构和各种物理性质是不可缺少的。此外,还用红外光谱、电子顺磁共振、核磁共振、穆斯鲍尔谱学、透射电子显微镜等方法研究矿物。这些方法除了能鉴定矿物外,还能有效地测定矿物中微量杂质的类质同象置换、晶体结构的有序-无序排列、矿物中水的存在形式等。

本书所介绍的限于矿物的光性鉴定法,该法的实质在于研究矿物的光学性质,借以达到鉴定矿物的目的。这种方法基本上属于一种物理方法,它与化学方法不同,可以不破坏原来矿物的结构而进行鉴定,因此是一种很好的物相研究法。它具有许多为化学分析所不能达到的优点。譬如说,在不同的温度压力下,从同一种成分的熔浆或溶液中可以结晶出不同的矿物组合,这种现象称为“同质异矿”现象,如一种由微斜长石和黑云母混合而成的熔体在化学成分上与一种由石榴石、橄榄石和磁铁矿混合而成的熔体没有什么区别。在这种情况下,只依靠化学分析就不能区分这两种不同成分的矿物集合体,而通过光性研究却很容易加以区别。然而也必须指出,光性鉴定不能代替化学分析,欲精确地测定一个矿物的组成,只有通过化学分析或仪器分析,而不能靠其他方法。任何一种矿物研究方法都是从不同角度研究矿物的某一个方面,从这一点来说,所有方法都不是孤立的,而是有着相辅相成的效果的。

造岩矿物分为透明矿物和不透明矿物两种,透明矿物按照光学性质又可分为均质矿物与非均质矿物,后者又分为一轴晶矿物和二轴晶矿物,而无论是一轴晶或二轴晶又有正晶与负晶之分。造岩矿物绝大部分都是透明的,只有少数不透明。不透明矿物一般有其特殊鉴定法,而在通常的岩石薄片中的一般只观察其颜色、光泽、形态等特点,观察时可设法将来自反光镜的光遮除,这时,光从载物台上方斜照到不透明矿物的表面上,通过反射,即能见到矿物的光泽和颜色。

透明矿物的显微镜下观察基本上分为两方面。一方面是把欲研究的矿物或岩石制成一定厚度(一般以 0.03mm 作为标准厚度)的薄片置于显微镜下,进行偏光镜下、正交偏光镜下或聚敛偏光下观察;另一方面则利用油浸法精确地测定矿物的折射率,当在油浸薄片测定折射率时,必须同时注意矿物的其他性质。也就是说,在任何时候都必须注意观察的全面性。

显微镜下主要观察的内容有以下几点:

1. 晶形 晶体在薄片中的形状决定于晶体所属晶系、晶体的对称形式、晶体的生成环境及切片的方位。我们在薄片中所见到的晶形并不是整个立体,而仅是某一剖面。同一晶体由于切片方位不同,在岩石薄片中可以表现出各种各样的形态(图 1-1)。矿物的形状按其晶形发育的程度分为自形、半自形及他形三种。自形晶体形状完整,例如某些结

晶片岩中的石榴子石变晶、花岗岩中的磷灰石均系自形晶体。半自形仅有部分轮廓具有晶形,其余部分则看不到晶体平整的轮廓,例如闪长岩中的角闪石多半是半自形,这些晶体的柱面发育较好,而两端较差。他形晶体完全不具晶形,例如花岗细晶岩中的石英、大理岩中的方解石均为典型的他形。在集合体中,矿物往往表现出一定的形态和排列方式,它们与矿物所属的晶系及矿物结晶时所处的物理化学条件有关。通常见到的形态有粒状、柱状、板状、叶片状、纤维状、针状、放射状、球粒状等。

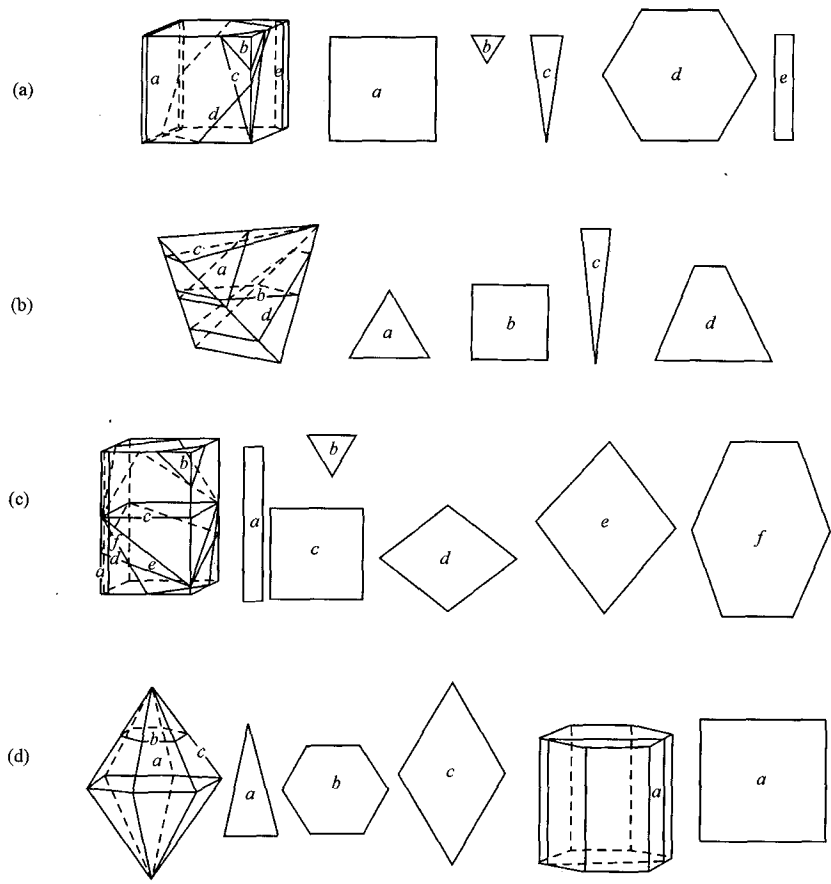


图 1-1 薄片晶形与切片方位的光系
(a) 立方体;(b) 四面体;(c) 四方柱;(d) 六方双锥及六方柱

2. 颜色、多色性与吸收性 造岩矿物在薄片大多数是透明的。当白光透过薄片时,如果矿物对白光的所有组成光波吸收很少,并且吸收程度相同,矿物即呈现无色透明。假如矿物对各种颜色光波吸收的程度有不同,矿物即呈现颜色。在一个偏光镜下,均质矿物的颜色不因方向而变化。非均质矿物的颜色随方向而不同,一轴晶具有对应于 N_e 和 N_o 振动方向的两种颜色,二轴晶具有对应于 N_g 、 N_m 和 N_p 振动方向的三种颜色,这种性质称为多色性。同时,不同的振动方向,光被吸收的程度也不同,强烈吸收时,矿物即好像不透明,吸收弱时,矿物就呈现透明,这种性质称为吸收性。观察非均质矿物的多色性和吸收性,必须找到矿物的主切面,测出它们的轴名,然后分别将主折射率的振动方向与下偏光镜的振动方向平行,记下矿物的颜色和吸收性,然后写出多色性吸收性公式。

3. 突起和糙面 矿物的突起决定于矿物折射率与树胶折射率之差(标准树胶的折射率为 1.54),差数愈大,则突起愈高。矿物的折射率大于树胶折射率则为正突起,反之即为负突起。糙面是矿物表面对人的视觉产生的一种现象。有些矿物表面,糙面不明显,看起来好像很光滑,有些矿物表面好像很粗糙,凹凸不平。一般突起愈高,糙面亦愈显著。按突起和糙面程度可约略估计矿物的折射率,突起可分为七类,如表 1-1 所列。

表 1-1 矿物的突起与折射率的关系

类	突起性质	折射率范围	代表矿物
第一类	负突起中	1.41~1.47	蛋白石,萤石
第二类	负突起低	1.47~1.53	沸石,钾长石
第三类	无突起	1.535~1.545	钠长石,霞石
第四类	正突起低	1.55~1.60	石英,白云母
第五类	正突起中	1.61~1.66	磷灰石,透闪石
第六类	正突起高	1.66~1.78	普通辉石,橄榄石
第七类	正突起很高	1.80 左右或更高	锆石,榍石

决定突起正负,可利用贝克线。首先找到矿物与树胶接界处,将光圈缩小,使入射光减少发散,视域照明变暗,此时界线即显得格外清楚。然后徐徐转动粗动螺旋或微动螺旋,使镜筒上移,若贝克线向矿物移动,则表示矿物的折射率大于树胶;若移动方向相反,则表示矿物之折射率较树胶为小。

在集合体中,矿物与矿物的折射率亦可相互比较。如果其中一矿物的折射率已知,那么另一矿物的折射率也就不难估计。此时要求被比较的两种矿物应该同时消光,并且切面应该与矿物的主切面或圆切面平行,这样才能保证所比较的是矿物的主折射率。

4. 解理和裂理 晶体沿某一晶面方向分裂的性质,称为解理。解理程度分为完全、中等、不完全和极不完全四类。完全解理在薄片看来,解理裂缝呈细而连续或比较连续的直线,裂缝与裂缝之间距离比较均匀,例如云母。中等解理在薄片表现为解理裂缝往往不能贯穿整个晶体而有中断现象,例如角闪石和辉石。不完全解理表现为解理裂缝少而断断续续,仅能勉强看出大致方向,例如橄榄石。极不完全解理实际上等于无解理,例如石英。当解理面与薄片成正交或近于正交时,解理裂缝最细,并且清晰。当解理面与薄片成斜交时,解理缝往往不清晰,而超过一定角度,解理缝即消失不见,这个角度即解理面与薄片法线的夹角称为解理缝可见临界角或解理倾斜临界角。它与矿物和树胶折射率的差值有关,差值大,临界角也大。如折射率为 1.55~1.60 的中、基性斜长石、方柱石等矿物的解理倾斜临界角为 15°~20°左右,折射率为 1.60~1.70 的黑云母、红柱石、角闪石、辉石、镁橄榄石等矿物则为 25°~35°左右,折射率大于 1.70 的十字石、绿帘石等矿物的解理倾斜临界角可达 40°左右。负突起矿物情况也类似,如钾长石解理倾斜临界角为 15°左右,萤石为 25°左右。有些矿物具有两组以上解理,此时必须注意测定解理角。

如果矿物不沿解理方向而分裂成光滑的平面则称为裂理。在薄片裂理缝可略有弯曲,不如解理缝平直。有些矿物的裂理是因很细的包裹体成定向排列所致,而有些矿物的裂理则与应力条件下形成的薄层状聚片双晶的发育有关。在异剥石中裂理特别发育。解理有助于测定消光角、光性方位和晶系,因此必须很好地加以研究。

以上是偏光镜下观察的主要内容。除此之外,有时还需注意观察矿物中有无包裹体以及包裹体的形状和排列的形式。经常还需要注意矿物表面有无蚀变或风化痕迹等。

5. 干涉色和双折射率 矿物的双折射率等于最大折射率与最小折射率之差。一轴晶矿物的双折射率等于 $N_e - N_o$ (正晶) 或 $N_o - N_e$ (负晶), 二轴晶矿物则为 $N_g - N_p$ 。双折射率是鉴定非均质矿物的重要光学参数。正交偏光镜间矿物干涉色的产生是由于白光通过矿物切片时产生双折射, 二偏振光波之间发生一定的光程差, 通过上偏光镜时两光波在同一平面内振动而相互干涉所致。当矿物的二振动方向与上下偏光镜的振动方向呈 45° 时, 干涉色的亮度最强。矿物的干涉色决定于双折射率和薄片厚度。如果厚度相同, 双折射率愈大, 干涉色的级序也就愈高。同一种矿物, 如果按一定方向切取不同厚度, 则厚度愈大, 干涉色即愈高。干涉色的高低, 还决定于薄片切取的方位。在通常的岩石薄片, 同一矿物往往有许多个切面, 因此有各式各样的干涉色, 此时必须注意寻找该矿物的最高干涉色。对于一轴晶矿物来说, 平行于光轴的切面干涉色最高; 对于二轴晶矿物来说, 平行于光轴面的切面干涉色最高。确定干涉色级别可用边缘色带法: 观察矿物边缘有几条红色的色带, 红带数目加 1, 就是该颗粒的干涉色级别。如矿物呈现翠绿干涉色, 边缘有两条红色色带, 则此绿为三级绿。但要注意边缘红带往往不连续或很窄, 且一级紫红色带常与二级蓝混合, 呈暗蓝色。

按双折射率的大小可将非均质矿物的双折射强度分为弱、中、强和很强四类, 在每一类中还可考虑再分为强弱二级。这样, 根据矿物在正交偏光镜间干涉色的表现, 即可直接估计矿物的双折射率的范围。有时由于薄片稍厚于标准厚度, 可使表 1-2 中所列矿物的干涉色级序略为升高。

表 1-2 矿物的干涉色与双折射率的关系

双折射强度		干涉色	双折射率范围	代表矿物
弱	一	一级灰色、白色	0~0.009	磷灰石, 长石, 石英
	二	一级黄、橙、红、紫	0.009~0.020	紫苏辉石, 红柱石, 夕线石
中	三	二级蓝、青、绿、黄绿	0.020~0.029	普通辉石, 透闪石
	四	三级黄、橙、红、紫	0.029~0.037	透辉石, 橄榄石, 粒硅镁石
强	五	三级蓝、绿	0.037~0.046	白云母, 滑石
	六	三级绿黄、猩红、淡紫	0.046~0.055	锆石, 霓石, 黑云母
很强	七	四级紫灰、青灰、蓝绿、淡绿	0.055~0.066	铁闪石, 氧闪石
	八	淡黄至高级白色	0.066 以上	楣石, 锡石, 方解石

利用贝瑞克补色器测定非均质矿物双折射率的方法如下: ①在正交偏光镜下找到需测双折射率矿物(设为 x) 的最高干涉色切面, 并将它移至视域中心。②插入贝瑞克补色器, 慢慢地转动鼓轮, 观察该矿物干涉色变化, 若逐渐升高, 则表示补色器的快光恰巧与矿物的快光平行。此时应转载物台 90° , 使矿物慢光与补色器快光平行。然后, 先后向两个不同方向旋转贝瑞克补色器鼓轮, 使该矿物消色(呈灰黑色), 并分别记下这两次鼓轮上的读数(读数精度为 0.1°), 称作 a_1 和 b_1 。若矿物颗粒很大, 则应使消色斜带通过矿物所占的十字丝中心位置, 才算是真正的消色位。③寻找与该矿物相邻近的具有最高干涉色的

石英颗粒(在基性岩中可寻找相邻近的成分已知的具最高干涉色的斜长石),用第②步相同的方法,使它消色,记下二次鼓轮读数,称作 a_2 和 b_2 。④将测到的数据代入公式(1-1),即可算出矿物(x)的双折射率。

$$\lg(N_g - N_p)_x = \lg f\left(\frac{a_1 - b_1}{2}\right) + \lg 0.0091 - \lg f\left(\frac{a_2 - b_2}{2}\right) \tag{1-1}$$

将 $\lg(N_g - N_p)_x$ 求反对数,即为所求。式中, $f\left(\frac{a_1 - b_1}{2}\right)$ 或 $f\left(\frac{a_2 - b_2}{2}\right)$ 称作 $f(i)$, 它的对数值 $\lg f(i)$ 在一般晶体光学书中可以查到; 0.0091 为石英的双折射率, 如第③步测定的为斜长石, 则以该斜长石成分所查得的双折射率代替 0.0091 数字。

用贝瑞克补色器测定矿物的双折射率时, 如手头一时没有对数表或没有查阅贝瑞克补色器 $\lg f(i)$ 值表, 则可依公式(1-2)简便地求得矿物双折射率近似值。

$$(N_g - N_p)_a = \frac{(N_g - N_p)_b \cdot (i_a - \epsilon_a)^2}{(i_b - \epsilon_b)^2} \tag{1-2}$$

式中, a 为双折射率未知的矿物; b 为双折射率已知的矿物(如石英、斜长石); i 为 a 、 b 两种矿物被补偿时贝瑞克补色器鼓轮旋转角; ϵ 为 i 的修正值, ϵ_a 和 ϵ_b 分别与 i_a 和 i_b 相关。 ϵ 和 i 的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 利用贝瑞克补色器测定双折射率时 i 与 ϵ 值的关系

i 值范围	ϵ 值	i 值范围	ϵ 值
$<16.5^\circ$	0.0°	$28.7^\circ \sim 30.7^\circ$	0.5°
$16.6^\circ \sim 20.6^\circ$	0.1°	$30.8^\circ \sim 32.0^\circ$	0.6°
$20.7^\circ \sim 24.0^\circ$	0.2°	$32.1^\circ \sim 33.7^\circ$	0.7°
$24.1^\circ \sim 26.8^\circ$	0.3°	$33.8^\circ \sim 34.5^\circ$	0.8°
$26.9^\circ \sim 28.6^\circ$	0.4°		

贝瑞克补色器一般用来测定双折射率 0.009 以上的矿物的双折射率, 双折射率小于 0.009 的矿物, 需用其他方法和仪器测定之。

6. 消光性质 非均质矿物在正交偏光镜下均有消光现象。当矿物处于消光时, 表明矿物中的两振动方向与偏光镜的振动面一致。当转动载物台 360° 时, 消光共有四次。按照矿物处于消光位时, 晶形延长方向或解理缝与目镜十字丝(代表上、下偏光镜的振动方向)的关系可以分为三种(图 1-2): ① 平行消光——消光时晶形或解理平行于十字丝。主要见于一轴晶和斜方晶系矿物中, 但在单斜晶系矿物的特定切面上也有表现。如具{110}解理的单斜晶系矿物(角闪石、辉石等), 平行(100)或近于平行(100)切面为平行消光。② 倾斜消光——消光时晶形或解理与十字丝成一定角度相交。主要见于单斜晶系和三斜晶系矿物中, 但斜方晶系斜交三个晶轴的切面, 以及中级晶族斜交各个晶轴的某些切面, 也均可表现为较小角度的倾斜消光。单斜晶系和三斜晶系倾斜消光角的大小, 必须在包含欲测主折射率和晶轴的切面上才能测定, 其他切面上测到的消光角数值与其真实值相比, 多数偏小, 少数偏大。因此在单斜角闪石和辉石中, 当不能肯定观察切面属[001]晶带时, 不宜使用最大消光角的概念。至于三斜晶系斜长石 $\perp$ (010) 晶带上最大消光角法鉴定斜长石成分, 则是经常使用的统计的方法。应用

最大消光角概念必须要有前提,限于特定晶带之内。③对称消光——消光时晶体轮廓对称面或解理角的分角线平行于十字丝。主要见于一轴晶、斜方晶系和单斜晶系垂直于柱面解理的切面。

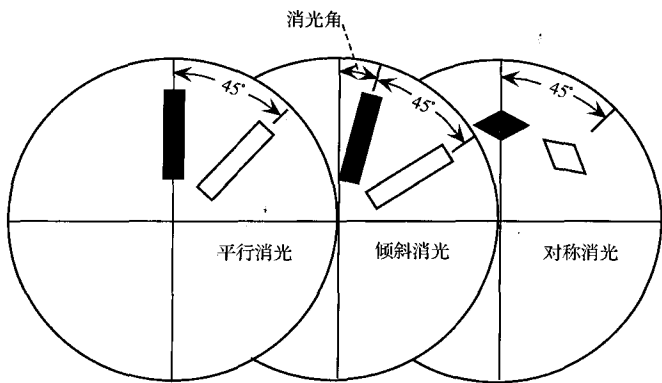


图 1-2 矿物的消光种类

倾斜消光角有正、负之分。单斜晶系矿物如单斜辉石、单斜角闪石等,在 a 轴与 c 轴所夹的钝角范围内测得的消光角为正;锐角内测得的为负。三斜晶系矿物消光角的正负比较复杂,如斜长石,从结晶轴正 b 、正 c 或负 a 端看去,自解理起(负 a 端看去时,自 $\{010\}$ 解理起)消光位顺时针方向分布的为正消光角;逆时针方向分布的为负消光角。在斜长石的垂直 a 轴切面上,由于同时见到 $\{010\}$ 和 $\{001\}$ 两组解理,因此消光角的正负还可按如下方法确定: N'_p 分布于两组解理相交的锐角中为正消光角;分布于钝角中为负消光角。消光角的正负通常只具描述上的意义(斜长石除外),镜下不易区分。即使在斜长石的垂直 a 轴切面上,一般也是借其突起正负判断消光角的正负(图 1-3)。

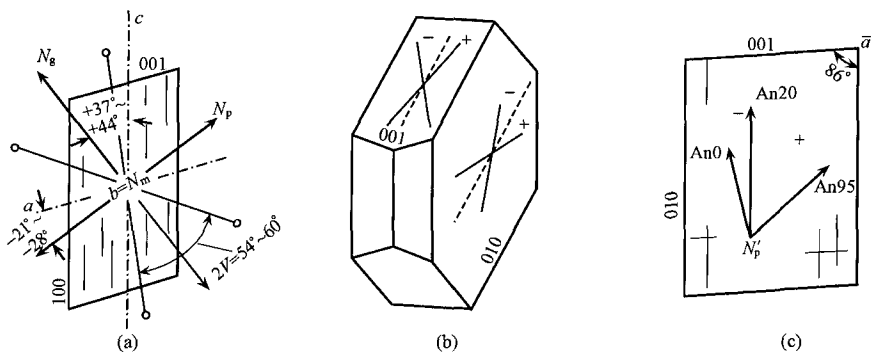


图 1-3 消光角的正负

- (a) 透辉石(单斜晶系), $c \wedge N_g = +37^\circ \sim +44^\circ$, $a \wedge N_p = -21^\circ \sim -28^\circ$;
- (b) (c) 斜长石(三斜晶系), 从结晶轴正 b 、正 c 端看去(图 b)和负 a 端看去(图 c)确定消光正负

为了鉴定矿物,一般要求测出光率体主轴与晶轴之间的夹角,为此要求在岩石薄片中寻找特定切面测量消光角。以测单斜辉石和角闪石的消光角 $c \wedge N_g$ 或 $c \wedge N_p$ 为例,列举测定步骤如下:①在正交偏光镜间找到被测矿物的最高干涉色切面(这种切面在聚敛偏光

间呈现瞬变干涉图)。由于大多数单斜辉石和角闪石的 $b \parallel N_m$, 因此该切面必包含 N_g 和 N_p , 也包含 c 轴, 即切面上柱面解理缝的方向。②旋转载物台, 使解理缝方向或切面轮廓的长边平行目镜纵丝, 记录载物台上读数。③旋转载物台, 使矿物消光。再读一次度数, 两次读数之差即为消光角数值。为使矿物消光, 载物台可以顺时针方向旋转, 也可以逆时针方向旋转, 一般选择小角度 ($<45^\circ$) 旋转后就出现矿物消光的方向。④自消光位旋转载物台 45° 左右, 借补色器测定原纵丝方向的光率体轴名, 由此知道第三步中测到的消光角为 $c \wedge N_g$, 还是 $c \wedge N_p$ 的角度。

除了在定向切面中求消光角而外, 有时为了鉴定目的, 经常利用统计方法在平行某一晶轴或某一晶面法线的晶带上各个切面中多次测量消光角, 然后挑选其中最大值作为鉴定矿物的常数。当鉴定三斜晶系矿物例如斜长石时经常使用这种方法。

7. 延长符号 非均质矿物常具沿某一晶轴方向延长的特性。测定延长符号能够帮助鉴定矿物。延长符号有两种: 当切面内较大折射率的振动方向 (即慢光) 与延长方向平行或接近平行时称为正延长; 反之, 当较小折射率的振动方向 (即快光) 与延长方向平行或接近平行时则称负延长。因一轴晶矿物往往沿 c 轴延长, 因此通常在一轴晶中, 正光性矿物具有正延长符号, 负光性矿物具有负延长符号; 但少数矿物有相反的情况, 如四方晶系黄长石, 呈 (001) 板状, 延长符号的正负和光性正负正好相反, 因此延长符号还与晶体习性有关。在二轴晶中, 当 N_g 平行或接近平行于切面延长方向时, 此时延长符号为正; 当 N_p 平行延长方向时, 则延长符号为负; 当 N_m 平行延长方向时, 则同一矿物有的切面为正延长, 有的切面为负延长, 故在矿物集合体中有时用统计法研究许多个切面的延长符号有助于确定矿物的光性方位。

测定延长符号的步骤是: 首先找到被测矿物的延长形切面, 使延长方向平行南北十字丝, 然后在正交偏光镜间测定平行或近于平行延长方向的光率体轴名, 即求得矿物的延长符号。

8. 双晶 矿物的双晶在正交偏光镜间表现清楚。组成双晶的单体消光一般不一致, 各表现为不同亮度的干涉色, 从而能清楚地察见双晶构造。有些矿物根据特有的双晶即不难识别, 例如微斜长石具有一种特征的方格状双晶, 见到这种双晶立即可认识微斜长石。双晶可分为接触式和贯穿式, 也可分为简单双晶、聚片双晶和复合双晶。两个单体相互连生称为简单双晶; 两个以上单体连生在一起, 接合面互相平行, 称为聚片双晶; 对于后一种情况, 如果接合面不互相平行, 则称为轮式双晶。按照双晶轴与接合面的关系, 双晶又可分为两大类型: 一种是正交双晶, 其双晶轴与接合面彼此正交; 一种是平行双晶和混合双晶, 双晶轴位于接合面中。有时在同一矿物颗粒上能出现不同类型的双晶。由于双晶面一般总是平行某一晶面或垂直某一晶棱, 双晶轴总是垂直某一晶面、平行或垂直某一晶棱, 因此研究双晶有助于确定矿物的光性方位。

9. 光性符号 非均质矿物分为一轴晶和二轴晶。它们又各有正负之分。对于一轴晶矿物, 当 $N_e > N_o$ 时属于正光性; 反之, 当 $N_o > N_e$, 则属于负光性。对于二轴晶矿物, 当 $N_g - N_m > N_m - N_p$, 即 N_g 为光轴角的锐角等分线时属于正光性; 反之, 当 $N_g - N_m < N_m - N_p$, 即 N_p 为光轴角的锐角等分线时则为负光性。

根据矿物在聚敛偏光间的干涉图可以测定矿物的轴性和符号。一轴晶垂直于光轴的切面, 其干涉图中具有一个呈黑十字状的消光影, 当矿物的双折射较强时, 同时还出现同

心圆状的等色曲线。由光锥上升至薄片的每一光线均分为非常光和常光。非常光在半径方向振动,常光则在切线方向振动。如果干涉图不出现任何等色曲线,可用石膏试板测定正负。自二、四象限插入石膏试板,如试板长边为快光,二、四象限变黄,一、三象限变蓝为正光性;反之则为负光性。如果干涉图中出现等色曲线,则可用云母试板或石英楔子测定正负。插入云母试板(设试板长边为快光),应注意补偿黑点的位置,如黑点在二、四象限为正光性,反之则为负光性。应用石英楔子时,如石英楔长边为慢光,二、四象限的等色曲线向内移动则为正,向外移动则为负(图 1-4)。在矿物集合体中,如果同一矿物的晶体有很多个,为了找到光轴干涉图,此时可在正交偏光间选择一块干涉色接近于黑色的切面,因为这种切面必然接近与光轴垂直,然后改用聚敛偏光,即可看到光轴干涉图。因切面不一定恰好与光轴垂直,故黑十字的交点常偏在一边,假如交点在视域中则问题简单,可直接定出正负。若交点在视域之外,则首先要确定交点的位置,然后才能定出视域中象限的名称。欲确定黑十字交点(即光轴的露点),应记住,交点的移动和载物台的转动一定在同一方向。

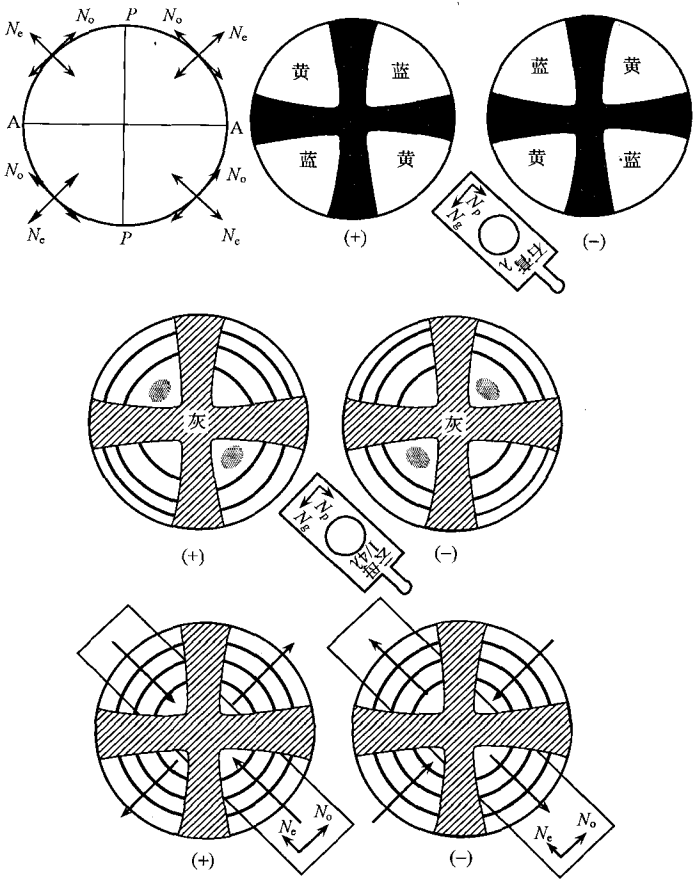


图 1-4 一轴晶光性符号的测定

欲测定二轴晶的光性符号,最好是通过锐角等分线干涉图与光轴干涉图,而后者较前者鉴定矿物正负时更为优越,在岩石薄片中寻找起来也最为方便。锐角等分线干涉图与

光轴角的锐角等分线垂直,具有这种干涉图的矿物切面,干涉色中等偏低。锐角等分线干涉图系由一对双曲线状的消光影所组成。当转动载物台时,此二消光影时分时合,合的时候像一黑十字,分的时候则为一对双曲线,或在一、三象限,或在二、四象限。当用 45 倍接物镜观察,光轴角小于 40° 左右时,转动载物台消光影能不出视域。但当光轴角超过 70° 时,锐角等分线干涉图即不易与钝角等分线干涉图相互区别。因此当光轴角大小在中等以上时,必须用光轴干涉图确定正负,以免错误。测定的具体步骤如下:首先在薄片先用正交偏光,再用聚敛偏光,对同一矿物的若干个切面逐个地进行检查(从干涉色最低的切面检查起),直至找到垂直锐角等分线的切面为止。这种切面的干涉色低于垂直钝角等分线切面的干涉色,一般是中等偏低一些。然后在聚敛偏光间将消光影转至一、三象限(或二、四象限),双曲线的顶点为光轴的露头,二露头的联接线即光轴面与矿物切面的交

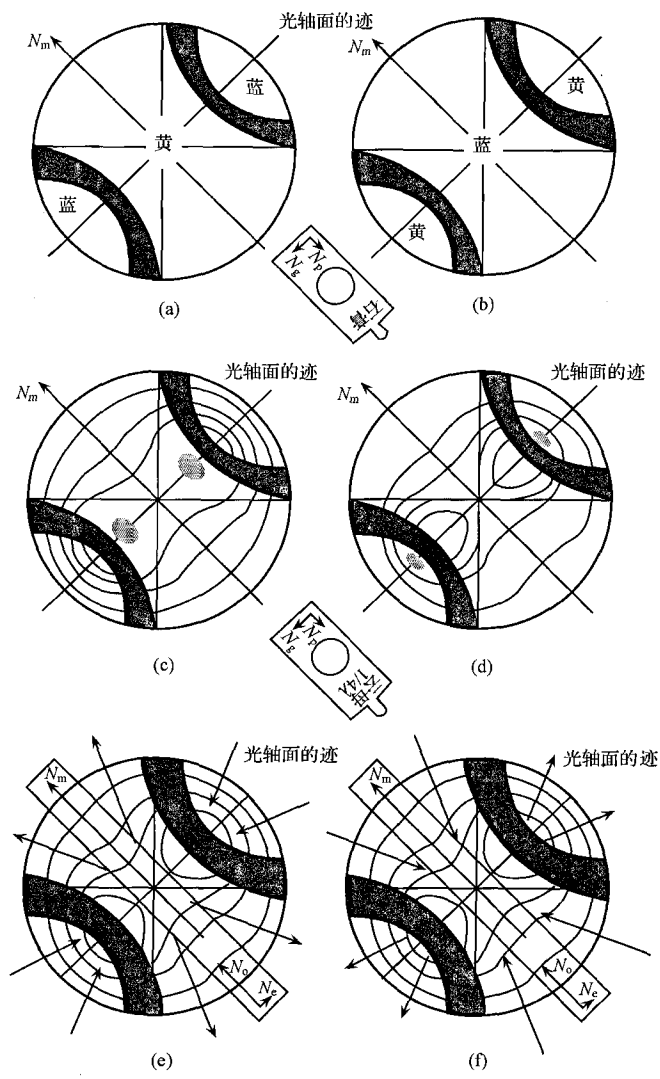


图 1-5 在二轴晶的锐角等分线干涉图上测定光性符号
(a)、(c)、(e)为正;(b)、(d)、(f)为负