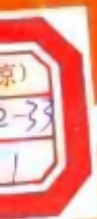


# 沉积岩实验技术

狄明信 主编 ●石油大学出版社



# 沉积岩实验技术

狄明信 主编

石油大学出版社

鲁新登字10号

### 内 容 提 要

本书是《沉积岩石学》教程的配套实验教材。详细介绍了沉积岩石学的实验内容、方法和基本原理,同时介绍了目前国内外有关沉积岩研究的先进技术,具有较高的学术水平和使用价值。其目的就在于提高有关地质人员鉴定岩石、分析成因的实际技能。

本书是学习《沉积岩石学》的重要工具,可供石油地质、油田开发地质人员及有关高等院校参考。

### 沉积岩实验技术

狄明信 主编

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

石油大学印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 7.875印张 202千字

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

印数1—1500册

ISBN 7-5636-0389-1/P ·13

定价: 5.60 元

## 序

《沉积岩石学及岩相古地理》是石油地质专业一门重要专业基础课，总学时数140学时，其中实验课约占1/3，故实验教学在本课中占有突出地位，自1954年我校前身北京石油学院为石油地质专业本科学子开出沉积岩实验课以来，已有近40年历史，经过几代人努力，为开出本课积累了丰富的实验教学资料，这当中为了实验教学需要曾几度编写和修改《沉积岩实验指导书》，但都未能正式公开出版。而由我室主编的《沉积岩石学》作为石油高校统编教材，自1961年正式公开出版已有30余年历史，并几经修订再版。这次在石油天然气总公司石油高校教材编审委员会支持下，与《沉积岩石学》相配套的《沉积岩实验技术》终于正式出版了。无疑，将对提高石油地质专业沉积岩石学的教学质量起重要作用。

值得指出的是，本教材系由石油大学岩矿教研室一批中青年教学骨干合作编写而成，是在以往历届沉积岩实验指导书的基础上经过充实、补充、反复修改后定稿的，这表明我校沉积岩石学及岩矿教学系列课程后继有人，年青的教学骨干正在茁壮成长。

该教材主要由碎屑岩、碳酸盐岩和与沉积岩有关的测试鉴定技术等三大部分组成。碎屑岩实验包括重矿物分析、油浸法鉴定、机械分析、沉积构造以及正常碎屑岩（主要是砂岩类）和火山碎屑岩的肉眼观察和镜下鉴定；碳酸盐岩实验包括成分、结构、构造和岩石类型的肉眼观察和镜下鉴定。在这两部分中均把成岩作用单独列出开设实验课，结合油气储层研究加强了这部分实验内容。随着科学技术的发展，许多先进测试手段陆续引入沉积岩的测试鉴定中来，这次纳入本教材的内容有制片技术、差热分析、电子显微镜、X射线衍射分析、原子吸收光谱、阴极发光、电子探针、包裹体分析、同位素分析、稳定同位素分析和射线照相法等。这部分内容既可用于本科生，也可用于研究生，乃至从事岩矿测试鉴定的现场科技人员。

总之，本教材文字简炼、内容充实、图文并茂、理论密切联系实际，具有较广泛的实用性，特撰此文加以推荐，并祝贺它的正式出版。

赵激林

1992. 12. 20

## 前 言

《沉积岩实验技术》是在我室多年教学实践中不断总结经验的基础上按《沉积岩石学》教学大纲要求编写而成的。1983年，1987年和1991年，曾先后由迟元苓、狄明信、姜在兴等同志执笔编写并在内部出版过《沉积岩实验指导书》。这次的修编工作是从专业需要出发，在教研室已编教材的基础上，充实和加强了成岩作用的观察描述，简要介绍了各种先进的实验技术与方法，重新编写了这本教材，应当说这本教材是岩矿教研室同志们多年来教学经验的积累。

本书共分三篇，第一篇“碎屑岩实验”，第二篇“碳酸盐岩实验”，第三篇“实验技术与方法”。为了便于学生掌握讲课和实验课的内容，每次实验之后都附有思考题。参加编写的人员有：狄明信、姜在兴、迟元苓、王留奇，全书由狄明信负责统稿。

本书在完稿后，由赵激林和管守锐两位教授审阅，并提出了许多宝贵意见，特此感谢。由于编者水平所限，加之编写时间仓促，书中谬误不当之处在所难免，衷心地欢迎读者批评指正。

编 者

1992.12

# 目 录

## 第一篇 碎屑岩实验

第一部分	重矿物分析	1
实验一	均质体和一轴晶碎屑重矿物薄片鉴定	11
实验二	二轴晶重矿物薄片鉴定	12
第二部分	油浸法	13
实验三	油浸法鉴定一轴晶矿物	20
实验四	油浸法鉴定二轴晶矿物	21
第三部分	粒度分析	22
实验五	机械分析及资料整理	28
第四部分	沉积构造	30
实验六	沉积构造	34
第五部分	碎屑岩的肉眼观察及镜下薄片鉴定	35
实验七	碎屑岩结构组分	43
实验八	砾岩及石英砂岩类	44
实验九	长石砂岩类	45
实验十	岩屑砂岩类	46
实验十一	杂砂岩类	47
实验十二	粉砂岩和粘土岩	48
实验十三	碎屑岩镜下综合研究	49
第六部分	火山碎屑岩的肉眼观察及镜下鉴定	50
实验十四	火山碎屑岩	51
第七部分	碎屑岩成岩作用	52
实验十五	碎屑岩成岩作用(一)	55
实验十六	碎屑岩成岩作用(二)	56

## 第二篇 碳酸盐岩实验

第八部分	碳酸盐岩的肉眼观察及镜下鉴定	57
实验十七	碳酸盐岩结构组分	67
实验十八	化石碎片鉴定	68
实验十九	化石碎片鉴定及综合分析(供选修课使用)	69
实验二十	石灰岩(一)	70
实验二十一	石灰岩(二)	71
实验二十二	白云岩类	72
第九部分	碳酸盐沉积物沉积后作用的镜下观察和描述	73
实验二十三	碳酸盐岩成岩作用(一):白云岩化作用	78
实验二十四	碳酸盐岩成岩作用(二):溶解作用、矿物转化及重结晶作用	79
实验二十五	其它沉积岩类	81

### 第三篇 实验技术与方法

第十部分 沉积岩测试技术简介	82
I 一片多用新技术	82
II 差热分析	82
III 电子显微镜	83
IV X射线衍射分析	89
V 原子吸收光谱	93
VI 阴极发光 (CL) 显微镜	94
VII 电子探针波谱仪及能谱仪	98
VIII 包裹体分析	103
IX 激光显微镜探测分离技术	105
X 图象分析仪	105
XI 稳定同位素分析	107
XII 射线照相法	108
附录 I 目测估计百分率含量比较图	109
附录 II $\varphi$ 值与毫米换算表	110
附录 III 《沉积岩石学》复习思考题	112
参考文献	117

# 第一篇 碎屑岩实验

## 第一部分 重矿物分析

碎屑矿物按其比重可分为轻矿物和重矿物两类。前者比重 $<2.86$ ，主要为石英、长石；后者比重 $>2.86$ ，主要为岩浆岩中的付矿物、部分铁镁矿物以及变质岩中的变质矿物。此外，重矿物中还包括沉积和成岩过程中形成的比重大于 $2.86$ 的自生矿物（如黄铁矿、重晶石等），但它们属于化学成因物质范畴。

重矿物在岩石中含量很少，一般不超过 $1\%$ 。其分布的粒度受重矿物的晶粒大小、比重及硬度的控制。如石榴石因晶粒较粗，多分布在 $0.1$ 毫米以上的粒级中；锆石较细，主要分布在小于 $0.1$ 毫米的粒级中。总的来说，重矿物在细砂岩、粉砂岩中含量最高。

研究地层中的重矿物（成分、含量、特征及共生组合关系等），有助于判断母岩成分和物源方向，可以提供地层划分和对比方面的资料，分析同一地区在不同地质时期中的沉积速率、古地形、古气候和地壳运动的变化情况，恢复古地理景观，指导石油和其它沉积矿床的勘探，为寻找和评价各类矿床提供依据，因而在沉积盆地中研究重矿物具有相当重要的意义。

### 一、重矿物分离

#### （一）原理

把比重不同的矿物颗粒，置于一定比重值的重液中，自然会发生分离作用，比重小于重液比重的矿物浮于重液表面，比重与重液相近的矿物悬浮于重液之中，而比重大于重液的矿物沉落于重液底部。据此，可选择一系列比重不同的重液便能将轻、重矿物分开。由于它是使用重液来进行分离的，故又称为重液分离。

#### （二）重液选择

重液的种类很多，选择重液视研究目的而定，即要分离哪一级比重的矿物。一般来说，性能良好的重液必须具备下列条件：

1. 在分离过程中重液的比重应保持不变，通常用的比重为 $2.86$ 的重液。
2. 重液尽可能无色透明，无毒。
3. 挥发性小，粘度较低。
4. 不与要分离的矿物发生化学反应。
5. 化学性能稳定，在分离过程中不易分解。
6. 易溶于酒精和其它溶液中，使用后便于回收。
7. 价格低廉，经济方便。

现将常用的重液性能列如表1-1。



表1-1 重液特征表

名称	化学成分	比重	颜色	可溶性					挥发性	粘滞性	分解性	沸点 (°C)	臭味	其他特征
				水中	酒精	汽油	苯	乙醚						
三溴甲烷	CH <sub>2</sub> Br <sub>3</sub>	2.89	无色	稍溶	极易溶	溶	溶	极易溶	较大	很小	较大	151.2	很大	有毒性, 感光
四溴乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Br <sub>4</sub>	2.97	无色	溶	溶	溶	溶	极易溶	较小	小	较小	1	较小	
二碘甲烷	CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	3.32	黄色	稍溶	溶	溶	溶	极易溶	较大	较小	极大	180	很大	易水解, 毒性大, 感光

(三) 分离步骤

重矿物分离通常采用漏斗法。此方法简便快速。漏斗法分离重矿物的仪器和安装如图1-1。

具体操作程序如下:

1. 取样: 筛析后, 取80号和120号的砂样混在一起, 搅拌均匀, 用四分法从中取样2~3克, 然后用磁选分选, 除去磁铁矿、褐铁矿等不透明矿物。分选时, 用纸将磁铁两极包好, 易于刷掉。把磁选出来的矿物称重, 包好, 以备鉴定。

2. 选择重液。我们通常使用的重液为三溴甲烷, 比重为2.89, 恰好介于轻、重矿物比重之间。

3. 按图1-1安装好仪器并进行检查。察看仪器是否干燥, 是否漏液体, 检查后, 方能操作。

4. 将重液注入漏斗中, 液面达漏斗的1/3至2/3处, 样品少时相应减少。然后缓慢倾入砂样, 不要使砂样过多地粘在漏斗壁上。用玻璃棒上下不断搅拌, 使轻、重矿物充分分离, 然后盖上表面皿, 以防重液挥发, 静等2~3分搅拌一次, 搅拌数次, 直至轻、重矿物完全分离为止。

5. 轻、重矿分离好后松开夹子(3), 使重矿物流入漏斗(5), 重液浸入瓶(6)。重矿物留在漏斗内的滤纸上。然后将漏斗(2)移到漏斗(7)的上方, 滤出轻矿物, 重液流入瓶(8)内。

6. 用稀释剂(酒精)将滤纸上的重矿物冲洗干净, 并将冲洗的重液和稀释剂混合在瓶内, 以便回收。

7. 先用稀盐酸(浓度3%±), 再用清水冲洗重矿物, 烘干、称重(用1/10000的天平)。

8. 回收重液。将回收的液体倒入大玻璃瓶内, 加水到瓶子的三分之二处, 摇摆数分后, 酒精或盐酸溶于水中, 重液沉于瓶底。回收后的重液可在以后继续使用, 但需要测定和标定其比重。

9. 计算重矿物的百分含量。将烘干的重矿物称重后, 按下列公式计算:

$$\text{重矿物}\% = \frac{\text{取出重矿物分析用之某粒级砂样总重量} \times \text{重矿物重量}}{\text{筛析砂样总重量} \times \text{取作重矿物分析的砂样重量}} \times 100\%$$

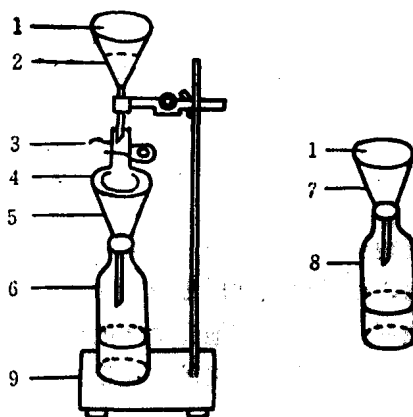


图1-1 重矿物分离仪

1. 表面皿; 2. 漏斗; 3. 夹子; 4. 细胶皮管; 5, 7. 装有滤纸的漏斗; 6, 8. 回收重液的玻璃瓶; 9. 支架。

## 二、重矿物鉴定

重矿物鉴定通常是用油浸法进行的。其方法是：取少许重矿物撒在载玻璃片上，滴入浸油。在偏光显微镜下测定折射率和其它光学性质，鉴定出矿物种类，描述出颜色、晶形、包裹体、表面磨蚀及特殊的结构构造等标型特征，然后统计各种矿物的颗粒数，并计算出百分含量。但由于同学们对重矿物鉴定是初学，故在实验中首先观察已选好的矿物薄片，认识常见重矿物的光性特征，标型特征，然后根据已掌握的重矿物知识，对未知名重矿物进行鉴定。为了便于同学们在镜下寻找，常在重矿物处用一铜丝将其圈着。

重矿物薄片的鉴定内容和顺序和在薄片人造岩矿物的鉴定基本一致，包括：颜色，多色性，晶形，解理，相对折射率，干涉色，消光类型，消光角大小，延性符号，轴性，光性， $2V$ 大小，色散现象等。所不同之处就在于，重矿物往往以整个颗粒出现，厚度相对较大，故干涉色偏高，颜色及多色性较显著，除此之外，重矿物鉴定的侧重点也不完全相同，兹分述如下：

1. 颜色及多色性：重矿物的颜色是矿物对白光的选择吸收造成的。对于非均质体矿物而言，随光波振动方向不同呈现出不同颜色的现象称为多色性。由于重矿物颗粒较厚，故颜色和色散性要比在标准薄片更为明显。如紫苏辉石，在岩石薄片为淡红—淡绿色多色性，对于初学者不易观察到颜色变化，但作为重矿物，这种多色性就更加显著。

2. 晶形：重矿物的晶体形态不仅能够反映出矿物的结晶习性，而且也能说明它在破碎、搬运、沉积过程中所经受的各种变化。一般来讲，硬度大、化学成分稳定的重矿物抗磨蚀性强，多保存有完整的晶体，如锆石和锡石常为柱状或双锥状；那些硬度较小，抗磨蚀性差的重矿物常呈浑圆状，如磷灰石等。

3. 包裹体：很多重矿物都含有包裹体，包裹体可分为气体、液体和固体。由于不同重矿物的生成条件不同，可含有不同的包裹体，同时，来自不同母岩的同种成分的重矿物可能含有不同的包裹体。因此，通过对包裹体的研究，不仅可以鉴定矿物，而且可以判断母岩的成分。

4. 解理和断口：有些重矿物的解理和断口较为特征，如蓝晶石作为重矿物出现时，几乎总能见到一组解理；石榴石重矿物具贝壳状断口；重晶石的断口往往参差不齐。

5. 突起：矿物的突起反映它的相对折射率，由于重矿物颗粒较厚，其突起要比在岩石薄片更为显著。

6. 干涉色：矿物的干涉色是由光的干涉现象造成的。由于重矿物颗粒较厚，干涉色要比标准薄片增高，因此在测定矿物干涉色的级序时，应充分考虑到厚度较大这一因素。一般把重矿物的干涉色分为低、中、高三个级别。低干涉色：一级干涉色，如磷灰石；中干涉色：二、三级干涉色，如蓝晶石、普通角闪石、辉石、电气石等；高干涉色：高级白干涉色，如锆石、独居石、榍石等。

7. 次生变化：不同的矿物可以发生不同的次生变化，如透辉石易发生绿帘石化，橄榄石的蛇纹石化。即使同一种矿物，由于发生次生变化的程度不同，可能反映来自不同的母岩。

8. 重矿物的特殊结构、构造等，又可称为“标型特征”。它不仅可鉴定矿物，而且还可以用来划分对比地层或者判断物源方向。

### 三、常见的重矿物及其主要特征

#### (一) 均质体重矿物

##### 1. 磁铁矿 (Magnetite)

$\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。晶体常呈八面体，少数呈菱形十二面体。在切面中常呈菱形、三角形或四边形，集合体常呈粒状或致密块状。铁黑色。半金属光泽。反射光下钢灰色。

##### 2. 黄铁矿 (Pyrite)

$\text{FeS}_2$ 。晶体常为立方体、五角十二面体，有时可见八面体和菱形十二面体。晶面上具有条纹，它是由于在生长过程中立方体与五角十二面体晶面反复出现所致。切面形状多为三角形、正方形或不规则形。集合体常呈致密块状、浸染状、散布粒状或球形结核体。浅铜黄色，反射光下亮黄色。强金属光泽。无解理，断口参差状。易遭受氧化为褐铁矿。

##### 3. 石榴石 (Garnet)

$\text{R}_3^+ \text{R}_2^+ [\text{SiO}_4]_3$ ,  $\text{R}^{2+} = \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$ ;  $\text{R}^{3+} = \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}$ 。  
常见晶形为菱形十二面体、四角三八面体及它们的聚形，重砂中的石榴石呈破碎的棱角状或磨圆状，并常见特殊的阶梯状构造。石榴石的颜色随成分不同而有所变化，镁铝榴石呈玫瑰红色，铁铝榴石浅红至褐色，锰铝榴石黄色，钙铝榴石无色、浅黄色。无解理，可有不规则裂纹。高正突起。正交光下全消光。

#### (二) 一轴晶重矿物

##### 4. 赤铁矿 (Hematite)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。三方晶系。晶形呈菱面体及板状，集合体为鲕状、豆状、肾状。钢灰色至铁黑色，薄片边缘见血红色，反射光下黑色带红，半金属光泽。无解理。一轴晶负光性。

##### 5. 磷灰石 (Apatite)

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ 。六方晶系。晶形为长短不一的六方柱状，两端被双锥面或底轴面所限，集合体为粒状、致密块状、土状或结核状。薄片无色，有时带微弱不均匀的粉红、褐、淡蓝或灰色，中正突起，糙面较明显，常呈自形晶、短柱状、长柱状或锥状，横切面为六边形。一级干涉色。平行消光。负延性。一轴晶负光性。

##### 6. 电气石 (Tourmaline)

$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Al})_6[\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6(\text{O}, \text{OH})_{30}]$ 。三方晶系。晶体呈柱状、三方柱、六方柱与三方双锥的聚形，横切面呈球面三角形。集合体呈棒状、针状、放射状。薄片呈淡棕色或灰色、蓝色。当晶体延长方向与下偏光镜振动方向垂直时颜色最深，为深蓝色。横切面为六边形或三角形，中央具蓝色黑心，纵切面为长方形。中正突起。最高干涉色二级至三级顶，常被本身颜色所掩盖。平行消光。负延性。一轴晶负光性。

##### 7. 锆石 (Zircon)

$\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ 。四方晶系。晶形为四方柱与四方双锥或复四方双锥的聚形，薄片呈具有锥面的柱状或柱面不发育的双锥状自形晶。一般无解理。通常为无色，有时为淡红色、淡褐及绿色，颜色有时呈带状分布。极高正突起，糙面十分显著。最高干涉色可达四级。平行消光。正延性。一轴晶正光性。

##### 8. 金红石 (Rutile)

$\text{TiO}_2$ 。四方晶系。晶体常呈柱状或细长针状，柱面有纵纹。常见膝状双晶，三连晶或六连晶。薄片呈黄色或红褐色，极高正突起，糙面显著。最高干涉色高级白，但常被本身

颜色所掩盖。平行消光。正延性。一轴晶正光性。

#### 9. 锡石 (Cassiterite)

$\text{SnO}_2$ 。四方晶系。晶形为四方柱或四方双锥的聚形。膝状双晶发育。薄片为淡黄至淡棕色，有不同颜色的带状。极高正突起，糙面显著。最高干涉色为高级白，但常被本身颜色掩盖。平行消光。正延性。一轴晶正光性。

#### (三) 二轴晶重矿物

#### 10. 普通角闪石 (Common Hornblende)

$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ 。单斜晶系。晶形呈柱状，横切面呈假六边形和菱形，薄片为淡黄色、黄绿色至绿色，多色性明显。两组柱状解理，相交成 $56^\circ$ 或 $124^\circ$ 。中正突起。最高干涉色二级，但被本身颜色掩盖。以斜消光为主，横切面为对称消光。正延性。二轴晶负光性。

#### 11. 紫苏辉石 (Hypersthene)

$(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 。斜方晶系。晶体常呈短柱状，横切面近于正方形或八边形或不规则的颗粒状。薄片呈淡红色至淡绿色多色性。两组解理，夹角 $87^\circ$ 或 $93^\circ$ 。高正突起，糙面显著。最高干涉色为一级顶。平行消光。正延性。二轴晶负光性。

#### 12. 蓝晶石 (Kyanite)

$\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ 。三斜晶系。晶体沿 $c$ 轴延伸，形成平行(100)的板状，集合体有时呈放射状。薄片无色，薄片较厚时呈淡蓝色，具多色性。可见解理，常具裂开。高正突起，糙面显著。最高干涉色一级顶。斜消光， $c \wedge Ng = 30^\circ$ 。二轴晶负光性。

#### 13. 绿帘石 (Epidote)

$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$ 。单斜晶系。晶体常沿 $b$ 轴延伸的柱状、纤维状或板状。集合体呈粒状，有时呈放射状。薄片无色，淡黄或黄绿色，颜色不均匀。高正突起，糙面显著。可见两组解理，夹角 $65^\circ$ 。最高干涉色可达三级，但干涉色很不均匀。平行消光和斜消光，以平行消光为主， $a \wedge Ng = 25^\circ \sim 30^\circ$ 。二轴晶负光性， $2V$ 大。

#### 14. 榍石 (Sphene)

$\text{CaTi}[\text{SiO}_4](\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ 。单斜晶系。晶体常呈信封状、菱形、楔状或不规则的粒状。薄片无色或具有淡褐色、棕色及黄色，色深时具微弱的多色性。常具裂开。高正突起，糙面十分显著。最高干涉色为高级白。斜消光， $c \wedge Ng = 47^\circ \sim 57^\circ$ ，横切面对称消光。色散很强。二轴晶正光性。

#### 15. 独居石 (Monazite)

$(\text{Ce}, \text{La} \dots \dots) \text{PO}_4$ 。单斜晶系。晶体呈板状或近各向等长的球状，在薄片晶形为带双锥的短柱状，板状或粒状。淡褐色，淡红色或无色。两组解理。高正突起，糙面显著。最高干涉色可达三级以上。一般为斜消光， $N_m \wedge a = 8^\circ \sim 11^\circ$ 。二轴晶正光性。

#### 16. 叶绿泥石 (Penninite)

$(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ 。单斜晶系。晶体常呈叶状集合体。薄片多呈淡绿色，多色性强。一级干涉色，常出现褐色或静蓝色干涉色。平行或近于平行消光。延性可正可负。二轴晶，光性可正可负。

#### 17. 普通辉石 (Augite)

$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ 。单斜晶系。晶体沿 $c$ 轴发育成短柱状，横切面为四边形或八边形。在薄片无色，有时具淡绿、淡紫或淡黄色调。无多色性，含钛和富铁的

变种具微弱的多色性。两组解理，夹角为 $87^\circ$ 。高正突起，糙面显著。最高干涉色可达二级。斜消光为主， $c \wedge Ng = 39^\circ \sim 47^\circ$ ，横切面为对称消光。二轴晶正光性。光轴角中等。

#### 18. 橄榄石 (Olivine)

$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ 。斜方晶系。薄片一般无色透明。解理不发育，常见裂纹。高正突起，糙面显著。最高干涉色可达三级。平行消光。二轴晶负光性，有时为正光性。光轴角近于 $90^\circ$ 。

#### 19. 红柱石 (Andalusite)

$Al_2[SiO_4]O$ 。斜方晶系。薄片一般无色，有时呈淡红色及淡绿色。晶体呈柱状，横切面近于正方形，可见两组解理，其夹角 $89^\circ$ 。常含石英及碳质包裹体，在横切面上沿着两个对角线的方向排成十字形。中正突起。最高干涉色一级。平行消光，横切面为对称消光。负延性。二轴晶负光性。

#### 20. 透闪石—阳起石 (Tremolite—Actinolite)

$Ca_2(Mg, Fe)_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$ 。单斜晶系。在薄片无色。晶体常呈长柱状，具有两组解理，其夹角为 $56^\circ$ 。中正突起。最高干涉色一级至二级。斜消光， $c \wedge Ng = 15^\circ \sim 20^\circ$ 。二轴晶负光性。光轴角 $85^\circ \sim 90^\circ$ 。

为了便于查阅常见重矿物的主要光性特征，列简表1-2。

### 四、重矿物资料应用

重矿物资料的应用与薄片资料相类似，实际上二者是互相配合互相补充的。一般来讲，陆源重矿物用于判断母岩成分和物源方向；自生重矿物用于判断环境的沉积介质的物理化学性质和气候条件，二者均可用来进行地层划分和对比。另外，还可以用重矿物资料来寻找古隆起区。这是因为古隆起地区遭受较长时期的风化剥蚀，或者沉积缓慢，不稳定的重矿物多被风化而消失或者转化为次生矿物，因而重矿物的种类和数量有所减少，但稳定性重矿物相对有所富集，并可有次生矿物。在隆起高点周围的斜坡上，重矿物较为富集。

在具体应用重矿物资料时，常采用下列几种方法：

1. 按母岩类型来划分矿物组合。因为很多重矿物并非为某种母岩所特有，因此用单一重矿物很难来判断母岩成分，最好利用矿物组合。划分矿物组合时，要参考盆地周缘山区和基岩的岩石资料，并且将轻、重矿物结合起来考虑，效果才好。

2. 比较矿物的稳定度。按矿物的抗风化能力把重矿物分为稳定矿物（如锆石、电气石、金红石），次稳定矿物（如石榴石、磁铁矿）和不稳定矿物（如角闪石、辉石、橄榄石、绿帘石）等级别。

在地层剖面上，划分稳定矿物和不稳定矿物层段，以反映同一地区在不同地质时期中沉积快慢、古地形、古气候和地壳运动的变化。

在同一地层中，分别作出稳定矿物、不稳定矿物的含量等值线图，根据各自的变化趋势，可以追索物源方向。一般来讲，随着搬运距离的增加，稳定性重矿物的含量增高，不稳定性重矿物的含量相对减少。

3. 标型重矿物的应用。某些重矿物是某种母岩所特有，这种矿物可单独用来判断母岩和物源方向。如蓝晶石、硅线石是高级变质岩的标志变质矿物，可以单独使用。若对盆地周缘山区的岩性研究较清楚时，那么母岩中的某种特殊矿物或某些特殊的标型特征都可以用来与盆地中的重矿物相对比。

表1-2 常见重矿物的主要光学性特征

矿物名称	编号	主要光学性特征			产状及其稳定性
		单偏光	正交光	锥光	
磁铁矿 $Fe_3O_4$ 等轴晶系	1	切面为菱形、三角形、四边形或不规则粒状。完好晶体为八面体或菱形十二面体	不透明。反射光下钢灰色，强金属光泽		岩浆岩、变质岩中常见之副矿物，砂岩中亦为广泛分布之重矿物，常变化为褐铁矿，稳定重矿物。
黄铁矿 $FeS_2$ 等轴晶系	2	晶体为立方体、五角十二面体及其聚形，表面常见条纹，切面多为正方形、三角形或不规则粒状	不透明。反射光下亮黄色，强金属光泽		岩浆岩、变质岩、沉积岩中都有，沉积岩中的自生黄铁矿可具良好晶形。黄铁矿易变化为褐铁矿
石榴石 $R_3^{2+}R_2^{3+}Si_3O_{12}$ $R^{2+}=Ca, Fe, Mg, Mn$ $R^{3+}=Al, Fe, Cr$ 等轴晶系	3	视成分不同有不同颜色，无色、浅红或棕色，菱形十二面体、四角三八面体或不规则粒状。无解理，常有各种粗细阶梯状构造。高正突起	均质体，全消光，可见光性异常	无干涉图	主要产于变质岩，广泛分布重砂中，稳定重矿物
赤铁矿 $Fe_2O_3$ 三方晶系	4	不规则粒状、土状、鲕状及豆状	不透明或半透明，褐红色、黄色或灰黄色。反射光下黑色带红，金属光泽		变质岩，沉积岩中常见，有时可作砂岩的胶结物
磷灰石 $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ 六方晶系	5	无色透明，柱状，横切面六边形，解理不发育。中正突起，隐面显著	一级灰白。平行消光，负延性	一轴负晶	广泛分布于各类岩浆岩中，重砂中常见，稳定重矿物
电气石 $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_3Al_3Si_6(O, OH)_{30}]$ 三方晶系	6	多色性显著，蓝色电气石， $N_0$ 一蓝色， $N_1$ 一浅紫，长柱状，横切面复三角形或六边形，有环带构造。中正突起	干涉色一至三级。平行消光，负延性	一轴负晶	伟晶花岗岩中常见，亦是常见之重矿物，稳定重矿物

矿物名称	编号	主要光学特征			产状及其稳定性
		单偏光	正交光	锥光	
锆石 $Zr[SiO_4]$ 四方晶系	7	无色、浅棕或浅红色, 具良好的四方双锥柱形, 高正突起, 常含包裹体, 显多色晕	干涉色高级白, 正延性	一轴正晶	岩浆岩中常见之副矿物亦是常见之重矿物, 稳定重矿物
金红石 $TiO_2$ 四方晶系	8	棕红色, 反射光下有金刚光泽, 柱锥状晶体, 或不规则粒状, $//(110)$ 及 $//(100)$ 解理完善, 极高正突起, 尤其在重矿物中可见显著的黑轮廓边	干涉色高级白, 常被本身颜色所掩盖。平行消光, 正延性。双晶常见	一轴正晶	分布于角闪岩、榴辉岩、伟晶花岗岩中, 重砂中常见稳定重矿物
锡石 $SnO_2$ 四方晶系	9	淡黄棕色, 四方柱及四方双锥形或不规则粒状, 膝状双晶常见, 高正突起, 糙面显著	干涉色高级白, 但常被本身颜色所掩盖, 正延性	一轴正晶	伟晶花岗岩、重砂中常见稳定重矿物
普通角闪石 $Ca_2Na(Mg, Fe)_4(Al, Fe)[(Si, Al)_4O_{11}]_2(OH)_2$ 单斜晶系	10	绿色, 深绿至亮黄之多色性显著, 长柱状, 纵切面见一组中等解理, 横切面两组柱面解理夹角为 $56^\circ$ 和 $124^\circ$ ; 中正突起, 常见绿泥石化	干涉色二级中部, 多具对称消光和斜消光, $c \wedge N_g < 30^\circ$ ; 正延性	二轴负晶, $2V$ 中等	产于各类岩浆岩及片岩、片麻岩中, 重矿物中也常见, 不稳定重矿物
紫苏辉石 $(Fe, Mg)_2[Si_2O_6]$ 斜方晶系	11	淡绿至浅玫瑰色的多色性, $N_p$ 一致玫瑰红, $N_g$ 和 $N_m$ 亮绿或淡绿, 柱状不规则粒状, 横切面近四边形或八边形, 两组柱面解理近直角( $87^\circ$ 和 $93^\circ$ )。中正突起, 糙面显著, 具席勒构造	最高干涉色一级黄至红, 平行消光, 正延性	二轴负晶, $2V$ 较大	多产于基性岩, 也见于结晶片岩中, 重矿物中常见, 不稳定重矿物

矿物名称	编号	主要光学特征			产状及其稳定性
		单偏光	正交光	锥光	
蓝晶石 $Al_2[SiO_4]O$ 三斜晶系	12	无色至淡蓝色, 有弱多色性, 板状或狭长形, 解理完全和中等, 有// (001) 的横裂开, 高正突起	最高干涉色可达一级红。斜消光为主, $c \wedge N_g = 30^\circ$ ; 正延性	二轴负晶, 2V大	典型变质矿物, 产于结晶片岩及片麻岩中, 重矿物中常见, 稳定重矿物
绿帘石 $Ca_2(Al, Fe^{3+})Al_2[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$ 单斜晶系	13	淡黄至黄绿色, 颜色常不均匀, 有弱多色性。板状、柱状及不规则粒状, 横切面显六边形, 有完全解理, 高正突起	最高干涉色可达三级中部, 干涉色常不均, 各色混杂, 色彩鲜艳, 有异常干涉色。柱面平行消光, 其他切面斜消光	二轴负晶, 2V中, 色散强 (出现彩色消光影)	在岩浆岩及变质岩中均有分布, 多属变质矿物, 重矿物中常见, 不稳定重矿物
榍石 $CaTi[SiO_4]O$ 单斜晶系	14	亮黄色及棕色, 多色性微弱。自形晶为信封状, 横切面为菱形、楔形或不规则形, 高正突起, 糙面显著	干涉色高级白 (正交光及单偏光下均显亮黄色)。斜消光, $c \wedge N_g = 47 \sim 57^\circ$	二轴正晶, 2V中等, 色散强, $r > v$	中一酸性侵入岩中常见的副矿物, 重矿物中亦常见, 稳定重矿物
独居石 $(Ce, La, \dots) PO_4$ 单斜晶系	15	无色至淡黄色、淡黄绿色, 有弱多色性, 常呈自形晶, 重砂中多呈圆形或椭圆形, 突起高	干涉色高, 重砂中高级白。消光角小	二轴正晶, 2V小, 色散强, $r < v$	产于伟晶花岗岩, 重砂中常见, 稳定重矿物
绿帘石族 (成分复杂) 单斜晶系	16	淡绿—淡黄色, 具微弱多色性, 薄片状、鳞片状或放射状集合体, 亦有蠕虫状及蠕虫状的。// (001) 解理极完全, 突起随含铁量而增加, 低中正突起	干涉色低。一级灰, 有时可见靛蓝色的异常干涉色。上 (001) 切面平行消光, 延性可正可负	二轴晶, 正或负光性, 2V较小	叶绿帘石及斜绿帘石主要见于浅变质岩中, 绿帘石及磷绿石是沉积矿物, 不稳定重矿物



矿物名称	编号	主要光性特征			产状及其稳定性
		单偏光	正交光	锥光	
普通辉石 $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})[(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6]$ 单斜晶系	17	无色至淡绿, 含铁者有多色性, 横切面近八边形, 具辉石解理, 中正突起。次生变化有纤闪石化、绿帘石化	对称及斜消光, 最高干涉色二级中部, $c \wedge N_g = 39 \sim 47^\circ$ 。含铁的普通辉石常具环带构造, 双晶常见	三轴正晶, $2V$ 中等	常见于超基性及基性的岩浆岩中, 不稳定重矿物
橄 榄 石 $(\text{Fe}, \text{Mg})_2[\text{SiO}_4]$ 斜方晶系	18	无色透明, 有时微显淡绿, 具不规则裂开, 解理不发育。高正突起。蛇纹石化、伊丁石化常见	最高干涉色达三级, 对晶棱是平行消光	二轴晶, 正或负光性, $2V$ 大, 近 $90^\circ$ , 光性难定	主要产于基性、超基性岩, 变质岩有时亦可见, 不稳定重矿物
红 柱 石 $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ 斜方晶系	19	无色, 或淡红、淡绿色, 柱状, 横切面近于正方形, 在横切面上两组解理近直交, 常含石英及碳质包裹体, 碳质包裹体在晶体内部呈定向分布的红柱石称为空晶石。有色红柱石有多色性、中正突起	最高干涉色一级灰白至黄, 平行消光, 负延性	二轴负晶, $2V$ 较大	产于富Al岩石的接触变质带, 为典型变质矿物, 常与硅线石、蓝晶石、堇青石、石榴石等共生, 不稳定重矿物
透闪石—阳起石 $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ 单斜晶系	20	是类质同象的两种矿物。无色至浅绿色(阳起石), 弱多色性, 长柱状、针状、纤维状或放射状集合体, 横切面具角闪石式解理, 解理夹角 $56^\circ$ 与 $124^\circ$ 。中正突起	最高干涉色可至二级中部, $c \wedge N_g = 15 \sim 20^\circ$ ; 透闪石约为 $18^\circ$ 左右, 阳起石约为 $16^\circ$ 左右, 常见双晶。正延性	二轴负晶, $2V$ 大	主要产于接触变质岩中, 在变质灰岩中常见, 不稳定重矿物