

# 基性超基性岩结构图册 及其成因意义

S. S. 奥古士梯蒂斯 著



64

地质出版社

# 基性超基性岩结构图册 及其成因意义

S.S.奥古士梯蒂斯 著

周济群 杜杨松 译

肖振民 顾连兴 校

地 质 出 版 社

**Atlas of the Textural Patterns of Basic and Ultrabasic Rocks  
and their Genetic Significance**

S. S. Augustithis

*Walter de Gruyter* Berlin New York

1979

**基性超基性岩结构图册及其成因意义**

S. S. 奥古士梯蒂斯 著

周济群 杜杨松 译

肖振民 顾连兴 校

\*

责任编辑：毕庶礼 王章俊

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：12<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 铜版插页：49页 字数 279,000

1987年5月北京第一版·1987年5月北京第一次印刷

印数：1—1,600册 国内定价：5.95元

统一书号：13038·新355

# 译 序

希腊国立雅典工业大学S. S. 奥古士梯蒂斯(S. S. Augustithis)教授是当代著名的地质学家,在岩石学领域造诣尤深,曾先后发表过许多富有见地的论文和专著。本书的姊妹篇《花岗岩和片麻岩及有关岩石结构图册》是作者交代学派学术思想的代表作,其中译本已于1979年由地质出版社出版。

1982年10月,奥古士梯蒂斯来中国参加“花岗岩地质和成矿关系国际讨论会”期间,他将新著《基性超基性岩结构图册及其成因意义》一书英文版本赠予随身翻译肖振民同志,并恳望有人将其译成中文。本专著总结了作者多年的研究成果,以丰富的实际资料介绍了基性岩和超基性岩中最常见、最重要的结构类型,并在实例研究的基础上,提出了部分基性岩和超基性岩的变质-交代成因假说,从而将作者的交代学派学术思想进一步推广到了基性岩和超基性岩研究领域。本书虽亦有瑕疵,如在探讨微观结构和某些岩体的成因时未能结合具体地质背景,但仍不失其一读之价值。

本书由周济群、杜杨松译,肖振民、顾连兴校,最后由周济群审核整理。书中的意大利文和德文段落分别由H. Bruno和顾巧根协助翻译。翻译过程力求忠于原意,行文风格及专业术语尽量与已出版的《花岗岩图册》保持一致,如照片的排列均采用图××而不用图版××。人名和地名分别以《英语姓名译名手册》\*和《世界地名译名手册》\*\*为准。《手册》中查不到的地名一般采用音译,个别也采用意译,如Red Hill译成红山,Dead Horse River译成死马河。人名及不常见地名在每一章中首次出现时均注以原文。

因译者水平及时间所限,谬误之处在所难免,敬请读者勿吝指正。

---

\* 辛华编,商务印书馆,1973年修订第2版。

\*\* 辛华编,商务印书馆,1976年第1版。

# 前 言

地球动力学的新进展变革了超基性和基性岩的成因概念。与超基性岩是基性岩浆分异产物的解释不同,地幔底辟作用或洋壳—上地幔抑冲作用的提出,可以解释超基性杂岩和岩石类型的成因。

在地球动力学进展的同时,岩石岩组分析的发展,对那些曾被认为是岩浆的(深成的)岩石类型提出了超变质的成因。以显微构造对比研究为基础的岩组分析,提供了大量支持花岗岩超变质成因的资料(见F. K. 德雷舍尔-卡登, F. K. Drescher-Kaden, 1948, 1969; S. S. 奥古士梯蒂斯, S. S. Augustithis, 1973)。

现有的岩组分析同样地提供了被称为副辉长岩和副苏长岩的许多基性和超基性岩的超变质成因的证据,这些岩石以前曾认为是深成岩浆岩。

然而,除了地幔来源和超变质的岩石类型以外,还存在着由熔融体固结而形成的岩石。因此,本图册还将研究并介绍基性和超基性火山岩和次火山岩中岩浆成因的结构类型(如辉绿结构和鬣刺结构),以及具有这种结构的岩石。

对于基性岩中岩浆成因结构的极其详尽的岩组分析,在《玄武岩结构图册及其成因意义》(奥古士梯蒂斯, 1978)一书中已作过介绍。因此,本图册所介绍的玄武岩的结构则为数有限。

由于基性和超基性岩是铁、铬、镍、钴和铂等矿床的主岩,所以,在讨论这些岩石的结构类型时,一定要研究上述元素,以及一些重要的矿物和结构。可是,本图册对这些内容的涉及是有限的,而侧重于基性-超基性岩中常见的重要结构类型及其岩石成因意义。

根据岩石结构所作的岩组分析表明,一些曾被认为是深成岩浆岩的岩石实际上属地幔来源或超变质成因,因此,本图册没有沿用基性和超基性岩的传统分类系统。根据岩组分析和结构类型所确定的结晶序列,同单纯地以矿物或化学的或两者结合的基性和超基性岩传统分类相比较,具有更为重要的成因意义。

基性和超基性岩的结构纷繁而复杂,本书虽主要介绍最常见的重要结构类型及其成因解释,以便弥补现有文献之空缺,但也详尽地论述了有些基性和超基性岩的地质背景、矿物学和地球化学。

本书的另一个特点是研究并重新解释了一些举世闻名的超基性杂岩和岩带的岩石类型和结构。然而,应当承认,由此带来的后果往往加剧了业已存在的争论。

此外,如目录所示,本书还从结构上分析了各种各样的变质-超变质的、岩浆的(火山的)以及幔源的岩石类型。作者意识到,造岩矿物及这些岩石中的矿石所呈现的交生结构可能十分繁多,因而本图册仅对这一课题略作介绍。

为了研究基性和超基性岩的显微构造,作者用了四分之一世纪以上的时间收集资料,有些资料是同事们馈赠的。作者特别感谢下列人员的友好帮助:

西班牙的圣·米盖尔·阿里瓦斯(Alfredo San Miguel Arribas)教授,南非的博特西阿斯(D. S. Boutsias)先生,苏联的戈里格里耶夫(D. Grigoriev)教授,德国的德雷舍

尔-卡登 (F. K. Drescher-Kaden) 教授、博士，加拿大的米纳蒂梯斯 (D. Minatidis) 先生，希腊雅典的麦波斯科斯 (E. Mposkos) 博士，比利时的帕诺 (G. Panou) 教授，塞浦路斯的潘塔齐斯 (Th. Pantahis) 博士，雅典的斯帕西 (K. Spathi) 博士，雅典的弗吉诺波勒斯 (A. Vgenopoulos) 博士，英国的文森特 (E. A. Vincent) 教授。

# 目 录

|       |                                                  |       |
|-------|--------------------------------------------------|-------|
| 第一章   | 含纤状变晶透闪石橄榄石岩中的橄榄石变晶 (沿橄榄石岩剪切面生长的橄榄石巨变晶) .....    | (1)   |
| 第二章   | 大理岩的交代转变(橄榄石、辉石、闪石、云母和斜长石变晶生长) .....             | (4)   |
| 第三章   | 大理岩中交代的蛇纹石 .....                                 | (7)   |
| 第四章   | 与花岗岩有关的和在花岗岩中呈包裹体的基性和超基性岩 (以塞里福斯花岗岩和矽卡岩为例) ..... | (10)  |
| 第五章   | 两种榴辉岩 .....                                      | (14)  |
| 第六章   | 含直闪石变晶的浅成绿泥石中具钛铁矿出溶体的变晶磁铁矿 .....                 | (18)  |
| 第七章   | 镁铁质变晶 .....                                      | (23)  |
| 第八章   | 辉长质岩石——厄塞岩 .....                                 | (26)  |
| 第九章   | 苏长岩—橄长岩—等色岩—霞斜岩—钛铁霞辉岩 .....                      | (31)  |
| 第十章   | 橄榄岩 .....                                        | (37)  |
| 第十一章  | 煌斑岩 .....                                        | (42)  |
| 第十二章  | 长石化作用 (斜长岩化作用) .....                             | (46)  |
| 第十三章  | 金伯利岩 .....                                       | (49)  |
| 第十四章  | 层状基性和超基性杂岩 .....                                 | (55)  |
| 第十五章  | 基性和超基性侵入岩的火山或次火山假说 .....                         | (60)  |
| 第十六章  | 变质交代假说 (层状超镁铁侵入岩中的交代和变晶结构类型) .....               | (62)  |
| 第十七章  | 布什维尔德杂岩是火成的吗? .....                              | (64)  |
| 第十八章  | 含有铬铁矿条带的带状纯橄岩 .....                              | (67)  |
| 第十九章  | 太古代超基性绿岩中的橄榄质火山岩岩流及鬃刺结构的意义 .....                 | (70)  |
| 第二十章  | 环状侵入杂岩 .....                                     | (73)  |
| 第二十一章 | 基性和超基性岩中的构造变形结构 .....                            | (76)  |
| 第二十二章 | 与基性、超基性岩体伴生的矿石矿物和矿体的矿物学、地球化学和矿相学 .....           | (79)  |
| 第二十三章 | 超基性岩中的铬铁矿矿石 (纯橄岩中铬铁矿矿石成因的争论) .....               | (81)  |
| 第二十四章 | 基性和超基性岩中铂族元素和铂族矿物的分布 .....                       | (85)  |
| 第二十五章 | 基性和超基性岩体中硫化物的矿物学和地球化学特点 .....                    | (91)  |
| 第二十六章 | 基性和超基性岩中磁铁矿及其含钛“出溶体”的意义 .....                    | (94)  |
| 第二十七章 | 基性和超基性岩的蚀变和风化 .....                              | (97)  |
| 第二十八章 | 橄榄石蛇纹石化的结构 .....                                 | (100) |

|                 |                              |       |
|-----------------|------------------------------|-------|
| 第二十九章           | 铬铁矿-蛇纹石反应.....               | (102) |
| 第三十章            | 超基性岩中元素的差异淋滤和纯橄岩的蚀变橄榄岩化..... | (104) |
| 第三十一章           | 红土盖层中铂族元素的低温活化 (综论) .....    | (107) |
| 第三十二章           | 纯橄岩的蚀变及菱镁矿的形成.....           | (109) |
| 第三十三章           | 蛇纹石和蚀变纯橄岩的红土化作用.....         | (111) |
| 第三十四章           | 超基性岩的交代蚀变 (如异剥钙榴岩) .....     | (115) |
| 正文主要术语英汉对照..... |                              | (117) |
| 图的说明及图.....     |                              | (123) |

# 第一章 含纤状变晶透闪石

## 橄榄石岩中的橄榄石变晶\* (沿橄榄石 岩剪切面生长的橄榄石巨变晶)

鲍文 (Bowen) 和谢勒 (Schairer, 1935) 的实验表明人工合成的橄榄石 构成一个完整的固溶体系列, 纯的镁橄榄石熔点为 $1890^{\circ}\text{C}$ , 纯的铁橄榄石为 $1205^{\circ}\text{C}$ 。

与这些人工合成橄榄石的高温条件不同, 橄榄石可以在变质-交代条件下结晶。蒂利 (Tilley, 1947) 描述了在圣·波尔洛克 (St. Paul's Rocks) 地区由纯橄榄岩质 糜棱岩变质而成的镁橄榄石变斑晶, 这种橄榄石的 (010) 晶面与岩石的片理平行。

哈克 (Harker, 1950) 论述了由不纯镁质灰岩热变质作用形成的镁橄榄石。迪尔 (Deer) 等 (1962) 也提到镁橄榄石是不纯白云质灰岩热变质的一种早期产物, 可见于许多大理岩和蛇纹大理岩中。此外, 威克斯 (Weeks, 1956) 对硅质碳酸盐岩石变质作用相平衡关系的热化学研究表明, 镁橄榄石很可能在比不纯的钙质岩石发生“前进变质作用的”过程中结晶出来的, 其结晶温度比透辉石高 $80^{\circ}\text{C}$ 的温度时结晶。

德雷舍尔-卡登 (Drescher-Kaden, 1961, 1969) 描述了意大利基亚文纳南部普拉塔地区 (Prata South Chiavenna) 一种令人难忘的橄榄石巨变晶, 其含铁量约 17.5%。这种橄榄石变晶被认为是后构造的局部交代作用的产物。现将 德雷舍尔-卡登 (1969) 的论述援引如下:

“另一方面, 所有这些滑石片岩都是强烈的渗透作用及随后在强烈片理化条件下发生滑石化的结果。至今的观察表明, 如果存在橄榄石的结晶, 其形成时间在蛇纹石和滑石形成之前。因此, 确定一个较晚的橄榄石变晶是特别令人注目的。问题在于确实有一个橄榄石世代形成于片岩变形及其矿物集合体的转变之后, 因为这种橄榄石是沿裂隙发育的, 而裂隙形成于片岩变形过程的末期。由于局部还有后期的运动作用于裂隙及其形成的充填物, 而产于裂隙充填物中的橄榄石粗晶 (局部有几厘米大) 的大部分没有受到岩石晚期变形的影响, 因此, 它们明显是最晚的产物。这种橄榄石变晶的生成是极有意义的, 它提出了一个还没有完全弄清楚的问题。虽然被橄榄石充填的裂隙很短, 距离较小, 充填物无疑地不能搬运得很远, 而只能产于裂隙的附近。尽管如通常假定的那样, 决定这个过程的首先是温度, 然而, 十分明显的是镁交代作用开始时形成了橄榄石, 然后是由它被破坏而形成的蛇纹石和滑石, 最后是橄榄石。”

\* 卡斯韦尔 (Carswell) 等 (1974) 提出的顽火辉石化作用支持了超基性岩的变质-交代成因说。关于超基性岩体中顽火辉石的交代成因, 卡斯韦尔等指出, 在挪威南部基底片麻岩分布区内, 顽火辉石、直闪石、透闪石和绿泥石的带状脉横切一个橄榄岩体。他们认为这是在温度 $700^{\circ}\text{C}$ 左右和总压力 6 千巴以上的主要区域变质作用时期形成的。关于顽火辉石的成因, 卡斯韦尔等指出: “顽火辉石这种环带状矿物的确实存在, 是研究工作中有趣的重要发现。因此, 顽火辉石可以在交代过程中以如此小的规模形成, 而且, 在挪威南部的这个地区中, 某些地段所发育的富含顽火辉石的超基性岩体很可能也以同样的或类似的机制形成。”

现已确定,在镁交代作用开始期间的第一个橄榄石世代比晚期的更有代表性。由于随后的蛇纹石化及滑石化使橄榄石大大减少,这也就是纯的橄榄石岩在围岩中很难见到的原因。相反地,在糜棱岩中,即由于分异渗透作用而从中产生橄榄石岩的原始地层中却还能见到纯的橄榄石岩。”

在德雷舍尔-卡登描述的橄榄石变晶的启示下,奥利弗 (Oliver) 和内斯比特 (Nesbitt, 1972) 阐述了澳大利亚西部超变质岩石中的橄榄石变晶:

奥利弗和沃德 (Ward, 1971) 指出了这样的可能性,即橄榄石大晶体不是斑晶的残余,而实际上是变质成因的变斑晶。在橄榄石中常见大量柱状透闪石包体,其大小、形状和排列方向均与基质中的透闪石类似,这表明橄榄石“吞蚀”了基质中的柱状透闪石,或者是与之同时结晶的。

如同意大利基亚文纳橄榄石变晶的例子一样,澳大利亚岩带中也有一种高铁含量的铁橄榄石,含铁13—25%。然而,应当指出,奥利弗和内斯比特认为橄榄石变晶是由绿泥石-橄榄石转变而成的,这说明元素有相当大的活动性。此外,根据他们的论述,橄榄石与透闪石之间的视平衡关系以及单斜辉石的几乎缺失,均表明橄榄石的形成温度在420℃与770℃之间(压力2千巴),而派尼厄地区 (Pioneer) (即澳大利亚西部岩带) 一些岩石中直闪石的存在,意味着橄榄石的形成温度接近这个范围的上界。

本章的研究(图1)表明在基亚文纳含透闪石橄榄石岩\* (Olivinefels) 破碎带中发育着橄榄石变晶。显微照片(图2和图3)表示与橄榄石岩相接触的橄榄石变晶,特别是图3中的透闪石纤状变晶穿切橄榄石岩中的橄榄石颗粒,并延伸至附近的橄榄石变晶内。显然,这种透闪石变晶形成于橄榄石之后,而且,因透闪石纤状变晶的巨大变晶生长力而穿过了橄榄石(见图4)。与此不同,图5表示居于橄榄石岩和橄榄石变晶之间的透闪石纤状变晶。

透闪石纤状变晶在橄榄石岩中的排列方式明显地表明它是一种形成于橄榄石之后的变晶。它在橄榄石变晶中的排列方式(见图7和图8)清楚地说明它们优先选择了晶内的两组可渗透的方向,而不是如想象的那样被后期的橄榄石包裹和包围而杂乱无章地排列。此外,这种纤状变晶也可在橄榄石中呈笔直延伸的针状体,并经常切穿橄榄石的边界而无溶蚀现象(图9、10)。这样的形状和大小均说明透闪石纤状变晶的形成晚于橄榄石,它不仅晚于橄榄石阶段,而且晚于金云母的云母阶段(图11、12)。这种金云母出现于橄榄石岩中,并可与橄榄石变晶伴生。另外,有一个透闪石变晶穿过了两个不同方向排列的金云母之间的边界,这亦表明其生成晚于金云母。

图13中的变形效应表明,与橄榄石岩和橄榄石变晶伴生的金云母是前构造的。有时,金云母还与橄榄石变晶交生。图14表示经过构造变形的金云母,其生成应早于构造运动。橄榄石和变形金云母的交生也具有成因意义(图15),如有些橄榄石集合体具有与变形金云母解理平行的,并伸入解理内的凸出部分(图16、17)。

相反地,有时橄榄石集合体沿金云母的解理(图18)且以此为界而发育。

根据上述的观察,可以认为橄榄石变晶(橄榄石大晶体)反映了橄榄石岩中的变晶作用,并可归因于橄榄石岩中的局部交代作用(橄榄石的一种重结晶作用)。金云母是一种

\* 橄榄石岩 (Olivinefels) 是一种变质成因的粒状橄榄石角岩。这种岩石有时具有“纯橄岩特征,”见图392、393。粒状橄榄石岩在本图册中常被描述为橄榄岩类的一种(见图1、2、3、4、5、10)。

前构造的矿物相，常被后期重结晶的橄榄石所贯穿。

与奥利弗和内斯比特的解释不同，基亚文纳的透闪石并不早于橄榄石，根据橄榄石岩和橄榄石变晶中透闪石的定向特征，我们认为透闪石是晚于橄榄石的变晶相。基亚文纳的橄榄石“角砾岩”与此类似，那里由镶嵌的橄榄石巨晶组成的橄榄石碎块均由透闪石变晶胶结。图19表示橄榄石“角砾岩”，即大的橄榄石碎块均由放射状排列的透闪石纤状变晶组成的基质胶结，这种变晶还伸入橄榄石碎块的内部。

图20表示橄榄石大颗粒（一个橄榄石碎块）边缘被后期的透闪石变晶所贯入。图21为后期透闪石变晶的典型例子，透闪石纤状变晶穿切了橄榄石颗粒，有一处还穿切了两个不同方位橄榄石间的边界。

透闪石的变晶生长也可形成“鬣刺结构”。这种结构常表现为放射状的透闪石嵌布于橄榄石的大颗粒中。图22和图23表示放射状排列并插入橄榄石中的透闪石纤状变晶。由于变晶生长力的影响，透闪石经常从橄榄石碎块的边缘向其内部延伸。

透闪石的“鬣刺”结构肯定地属于变晶成因；除了闪石的放射状排列以外，透闪石还往往具有内部渗透作用（图24和图25）。（在淡斜绿泥石-直闪石岩石转变时，直闪石具有类似的内部渗透的“鬣刺”结构类型，见第六章。）如图25所示，放射状透闪石的内部渗透作用，在橄榄石大颗粒内形成了一种变晶成因的“鬣刺结构”，这是它们变晶成因的又一佐证。

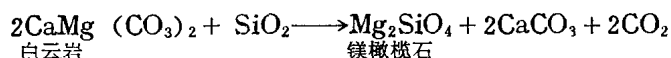
在基亚文纳的橄榄石-透闪石交生结构中，橄榄石与透闪石未达平衡。同样，在透闪石胶结橄榄石碎块的情况下，由于矿物是从液相中结晶出的，所以橄榄石和透闪石之间也未达到平衡。

## 第二章 大理岩的交代转变（橄榄石、辉石、闪石、云母和斜长石变晶生长）

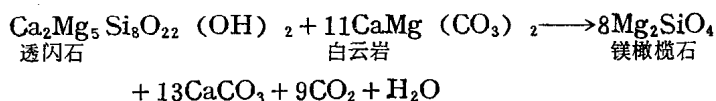
许多学者如鲍文 (Bowen, 1940)、哈克 (Harker, 1950)、迪尔 (Deer) 等 (1962) 和韦克斯 (Weeks, 1965) 等都讨论过白云质大理岩中透辉石和镁橄榄石的生长。

迪尔等 (1962) 在讨论不纯白云质大理岩中橄榄石的生长和沉积岩中橄榄石的再生长时论述如下：

“(Mg, Fe)-橄榄石在许多变质岩中发育。镁橄榄石是不纯白云质灰岩热变质作用的早期产物,可在许多大理岩和蛇纹大理岩中见到。在蛇纹大理岩中,它大部分已转变成蛇纹石。镁橄榄石还可以由不纯的白云质灰岩通过区域变质作用结晶形成,在这种条件下,其结晶晚于透闪石或浅闪石质的闪石。根据硅质灰岩和白云岩进变质作用的研究,鲍文 (1940) 认为在这些岩石的去碳酸盐化进变质作用过程中,镁橄榄石的结晶早于透辉石,但是,后来对硅质碳酸盐岩石变质过程相平衡关系的热化学研究 (韦克斯, 1956) 表明,在一定的压力下,镁橄榄石形成温度大约比透辉石的结晶温度高80℃。在无水条件下,镁橄榄石的形成过程如下列反应式所示：



如果变质过程中有水存在时,镁橄榄石的形成过程则经历了更复杂的反应。



前已指出,哈克 (1950) 也讨论了在不纯镁质灰岩单纯的热变质和区域变质过程中透辉石和镁橄榄石的生长。在讨论不纯镁质灰岩热变质作用时,哈克指出：

“白云岩和部分含各种杂质的白云质灰岩的变质作用显示出一些很有意义的特点。显而易见的事实是,与钙质碳酸盐相比,二氧化硅优先与镁质碳酸盐反应。所以,如果二氧化硅的含量不足以使岩石彻底地去碳酸盐化,那么,变质作用所造成的事件只是去白云岩化。作者在一些不纯灰岩中,已经观察到这种作用的结果,这是由于镁质碳酸盐本身比钙质碳酸盐更易分解的缘故。

首先讨论以二氧化硅作为唯一杂质的白云质岩石。以这种岩石作原料可构成许多化合物,如简单的钙质偏硅酸盐硅灰石和正硅酸盐斜硅钙石;重硅酸盐透辉石、透闪石和钙镁橄榄石;以及纯粹的镁质硅酸盐顽火辉石、直闪石和镁橄榄石。然而,作者实际上发现首先形成的矿物是镁质的镁橄榄石,而且,当二氧化硅含量不高时,镁橄榄石也是仅有的矿物”。

此外,哈克 (1950) 在他的著作“变质作用 (第十六章),钙质沉积岩的区域变质作用”中讨论不纯镁质灰岩的变质作用时提出：

“在部分或完全白云岩化的灰岩中,变质作用经历了不同的过程,因为白云石比方解

石具有相对较低的分解压力，通常不可避免地要与各种游离态存在的二氧化硅发生反应。然而，与简单的热变质作用不同，首先形成的不是镁橄榄石，而是应力矿物闪石。这种早阶段的无铝闪石，通常为许多针状或棒条状透闪石，有时为浅绿色的阳起石。与之伴生的还有一些白云母、黑云母和磁铁矿，这表明原岩中含有云母、绿泥石和铁质等杂质。随着变质作用的进一步发展，通过与这些矿物的反应，透闪石被绿色的含铝角闪石所替代。但是，如果原来的镁质灰岩只含硅质而无其它杂质，那么，逐渐增大的透闪石晶体仍有发育，直至进入石榴石带（如同泥质沉积岩中所见的那样），然后被透辉石和镁橄榄石所交代。”

哈克（1950）和迪尔等（1962）都把镁橄榄石的形成归因于不纯的钙镁质灰岩（即白云岩）中镁的存在。与之不同，德雷舍尔-卡登（1961，1969）在讨论特里韦纳（Trivena）阿达梅洛、瓦尔的伯尔格兹佐、马尔加特里韦纳 Malga Trivena, Val di Breguzzo, Adamello）三叠纪大理岩的交代作用时，指出了Mg-SiO<sub>2</sub>交代作用的毋庸置疑的证据。图26和图27表示形成辉石、角闪石、橄榄石、绿泥石和叶蛇纹石的交代溶液的扩散前缘。

本章着重讨论特里韦纳三叠纪大理岩中镁橄榄石的生长及其结构类型。这些细致的现象显示了从“孤立的”镁橄榄石变晶到镁橄榄石花岗变晶结构的整个转变过程（图28、29）。

图28表示自形变晶橄榄石的晶面与大理岩内花岗变晶状方解石的解理方向一致，这种橄榄石是交代的产物。方解石的解理极有可能起了限制橄榄石生长的作用。

与上述不同，花岗变晶状橄榄石部分沿着方解石解理生长，部分任意生长，如图30所示。图31表示花岗变晶状橄榄石穿过了方解石的菱形完全解理。

图32a和图32b是粗粒大理岩中花岗变晶状橄榄石的典型实例，其中橄榄石单体的晶面受到方解石菱形解理的限制。

上述橄榄石变晶的形态受到方解石解理的影响，这是从橄榄石晶面与方解石解理一致的意义说的。图33和图34则表示橄榄石变晶与菱形方解石双晶之间也有着类似的关系。

花岗变晶状橄榄石时常切穿两个不同方位的方解石之间的边界，见图35。图36表示一种很有意义的球粒状橄榄石花岗变晶。“橄榄石滴”是由于方解石被交代置换而形成的。从这个意义上说，图36表示了从方解石到橄榄石的全部转变过程。

因晶粒之间和晶粒内部的扩散作用而形成的前移溶液（advancing solution）或溶液前锋，可以解释方解石被橄榄石交代的过程。图26和图27即是这种交代溶液前锋的例证。

特里韦纳三叠纪大理岩中还有一个变晶相是金云母（图37）。在某些情况下，金云母的变晶生长早于橄榄石，如图38和图39所示。橄榄石变晶可穿切金云母，并常以云母的解理为界或沿其解理生长。特里韦纳大理岩中的花岗变晶状橄榄石相和金云母相均属交代成因。特别有意义的是，橄榄石变晶可以造成橄榄石的局部富集，从而使大理岩几乎变成了橄榄石岩（见图29、40、41、42）。

在特里韦纳大理岩中，除了橄榄石、透辉石、金云母以外，钙铝榴石变晶亦相当发育，有时还形成非常特征的变嵌晶。

图43和44表示细粒方解石-镁铁质矿物的花岗变晶结构，其中有一个粗大的钙铝榴石变嵌晶。石榴石通过对花岗变晶状方解石的同化作用而生长；而镁铁质矿物的花岗变晶（镁橄榄石、透辉石等）则呈包体残留于石榴石变嵌晶中。在含粒状镁铁质矿物相的粗粒等粒大理岩中，钙铝榴石变晶内同样含有镁铁质矿物颗粒的残留体（见图45、46）。

图47和图48说明瓦尔帕洛比亚 (Val Palobia) 含细粒花岗变晶状镁铁质矿物的粒状方解石中, 也有类似的变嵌晶钙铝榴石的变晶生长。石榴石同化了方解石, 使镁铁质矿物呈石榴石变晶中的残留包体而被保留下来。

除了钙铝榴石变嵌晶以外, 还存在着包裹粒状镁铁质矿物的角闪石变嵌晶。在钙铝榴石变嵌晶与角闪石变嵌晶的接触部位, 石榴石部分地伸入闪石, 并包裹了粒状的镁铁质矿物 (图49、50)。

石榴石变晶与大理岩中花岗变晶状方解石的关系不尽相同。图51和图52表示含镁铁质矿物残留体的钙铝榴石变嵌晶的突出部分伸入到等粒的花岗变晶状方解石 (大理岩) 内。与之不同, 图53和图54表示在具菱形六面体双晶的粗粒结构方解石中的钙铝榴石自形变晶。除了他形变晶的钙铝榴石变嵌晶 (他形晶) 以外, 变嵌晶石榴石也可表现为自形晶 (见图55、56)。

在被交代的特里韦纳大理岩中, 花岗变晶序列确有一系列变晶成因的矿物相, 并可形成橄榄石或石榴石相的局部富集。有时, 在由方解石、镁铁质矿物和云母类矿物 (金云母) 组成的花岗变晶相中, 发育着富钙斜长石的花岗变晶, 见图57和图58。

有时, 在靠近钙铝榴石变晶的粗粒方解石中可见富钙斜长石的生长 (见图59), 这种斜长石可以形成斜长石-方解石结构。如果局部以富钙斜长石相为主, 则形成似斜长石岩相 (见图60)。

事实上, 大理岩中橄榄石变晶的蚀变可以认为是一种后期的退化交代作用 (甚至是表生条件下的矿物分解)。从沿裂隙和边缘蛇纹石化的橄榄石直到方解石中孤立的完全蛇纹石化的橄榄石的这种蚀变可造成各种过渡相 (图61、62)。

如果大理岩中发生花岗变晶状橄榄石的局部富集, 随后的橄榄石蛇纹石化可以形成蛇纹石或含方解石的蛇纹石, 或橄榄石-方解石-蛇纹石组合 (即蛇纹大理岩岩石类型), 见图63和64。

### 第三章 大理岩中交代的蛇纹石

蛇纹石与大理岩的伴生在成因上有许多可能性。

传统的观点认为蛇纹石-方解石伴生是火成活动不同阶段的产物。人们可以将基性岩浆的侵入活动作为第一阶段，随后是侵入岩的蛇纹石化，到了最后一个阶段，“热液”活动导致了主要呈“热液”脉产出的方解石相。此后，由于构造运动的影响，可形成复杂的蛇纹石-方解石组合。然而，暂且不论这种假说的合理性如何，它不能解释大理岩与蛇纹石的伴生，也就是说，它不能解释诸如匹兹隆欣 (PiE Lunghin) 地区 (by Maloja, 阿尔卑斯山) 那样的钙质岩相含有蛇纹石，甚至从大理岩向蛇纹岩转化的现象。

值得注意的是，传统观点将这种伴生 (大理岩与蛇纹石的伴生，以及大理岩向蛇纹岩的转化) 解释为与沉积作用同时的基性火成喷出物或析出物，这种基性物质随后又发生了蛇纹石化。另一种解释归因于大理岩中基性岩相的侵入作用，以及随后由物质活化作用引起的构造混合。传统观点的特点是不论岩石成因和地质关系如何，都认为蛇纹石是基性岩浆侵入物或喷出物的派生产物，钙质岩相则属早期的沉积成因 (如果钙质相是大理岩)，或为热液脉的充填物。

与上述观点不符的是，蛇纹石-大理岩的伴生似乎更为复杂，以镁质交代作用为主要成因机制的观点可以解释许多结构和构造问题。在元素的活化过程中，下列的转化过程是可以理解的——镁质交代作用为主要过程：

a) 镁质灰岩——>变质作用 (或是镁质的活化作用，或是镁质的再活化作用) 形成镁橄榄石 (橄榄石变晶) ——>蛇纹石化。

b) 大理岩中的  $Mg-SiO_2$  交代作用——>橄榄石、透辉石等变晶生长——>蛇纹石化。

c) 大理岩中的  $Mg-SiO_2$  交代作用——>蛇纹石变晶生长 (透闪石变晶生长) ——>大理岩的蛇纹石化。

本章试图展示大理岩中蛇纹石的变晶生长现象，并一般地论述交代成因蛇纹石-大理岩的伴生，以及这些物质在构造活化过程中可能形成的结构。

变晶成因的叶蛇纹石既可呈孤立的变晶，又可呈集合体产出，这种集合体可能是在大理岩完全转变为蛇纹石的过程中由孤立的蛇纹石小颗粒发展而成的 (图65)。

大理岩中蛇纹石的结构现象支持了叶蛇纹石变晶成因的观点。一组显微照片 (图66、67、68、69) 表示重结晶方解石 (大理岩) 中巨大的叶蛇纹石变晶。在图68中，叶蛇纹石接近于达到自形变晶的晶形，而图66和67则为他形的叶蛇纹石。

最特征的变晶成因的结构类型是叶蛇纹石变晶的间片结构。这为叶蛇纹石的局部发育 (生长) 提供了有力的证据 (见图70、71)。与此相类似，大理岩中变晶成因的蛇纹石显示有放射状 (指它们的定向排列) 的叶蛇纹石变晶 (图72、73)。这些结构可与变质成因的正统的放射状变晶相比拟。

除了这些矿物的放射状排列以外，图74和75还表示了叶蛇纹石的变晶和类似的变晶成因结构，图中可见叶蛇纹石的团块或条带。大理岩中交代蛇纹石极为常见的结构类型是放

射状的或相互穿插的蛇纹石叶片（见图76和77）。

定向排列的叶蛇纹石变晶也说明了蛇纹石的交代成因。图78和79表示在粗粒结构的重结晶方解石中定向平行排列的叶蛇纹石大变晶。蛇纹石变晶的定向排列和纤维状叶蛇纹石平行排列的事实说明了交代蛇纹石的同构造成因。

蛇纹石的同构造成因使大理岩中产生了蛇纹石“结核”的构造类型。这种构造类型标志着构造运动、破裂作用和大理岩中蛇纹石的活化作用（见图65）。

变晶成因的叶蛇纹石穿切两个方解石晶体间的边界，这也是其变晶成因和交代生长的证据（图80）。此例子中的叶蛇纹石变晶在方解石之后形成，并在变晶的作用下穿过了两颗方解石间的边界。

德雷舍尔-卡登（Drescher-kaden, 1969）也同样发现过叶蛇纹石变晶叶片穿切一个粗粒方解石的菱形双晶（见图81）。

为了支持德雷舍尔-卡登关于大理岩中蛇纹石交代成因的观点，一组照片（图82a、82b、83和84）均表示方解石形成以后蛇纹石沿着方解石的菱形双晶交代生长。

在图82b中，蛇纹石化受到方解石双晶和解理面的限制。图83也表示沿方解石菱形双晶和解理交代的蛇纹石，但与图82b相比，叶蛇纹石化更加发育，且未受到方解石解理和双晶面的限制。

与图82b和83相比，图84中的叶蛇纹石更加强烈地沿菱形解理和双晶交代方解石。在这个例子中，叶蛇纹石沿方解石内部的菱形结构面（双晶和解理）交代而不受此结构面的限制，故交代作用十分强烈。

图85、86与图84相似，亦表示叶蛇纹石沿着方解石内部原有的菱形结构面（解理和双晶）交代方解石。叶蛇纹石的交代作用在方解石内部形成了菱形六面体的交代体。此外，如图87和88所示，叶蛇纹石的交代使方解石完全变成了叶蛇纹石，但在蛇纹石中仍有“菱形六面体”方解石的残留体。

由于蛇纹石的交代利用了方解石的菱形解理和双晶，便形成了沿方解石菱形解理和双晶定向平行排列的叶蛇纹石粗大变晶（图89）。这种蛇纹石也晚于方解石，并沿方解石的菱形解理和双晶生长。

交代的叶蛇纹石有时伴有透闪石变晶。图90、91和92表示大理岩中透闪石变晶与交代的叶蛇纹石伴生。透闪石变晶的局部富集符合这样一种假说，即由于交代溶液的扩散作用和进变质-交代作用，形成了一系列的镁铁质矿物。

为了证实大理岩中形成交代蛇纹石的可能性（尽管叶蛇纹石和方解石在矿物学上均为“活动的矿物相”，即可能有后期的活化作用），一系列图片（图93、94a、94b、95和96）表示了大理岩中叶蛇纹石的脉状交代渗透。图93特别清楚地表示了叶蛇纹石细脉旁侧发育着与脉壁近乎垂直并相互交错的叶蛇纹石小片。这种脉状叶蛇纹石及其旁侧叶蛇纹石小片的排列方式、相互交错均有力地证明了大理岩中后期蛇纹石的渗透作用。

有时可见蛇纹石化大理岩中的磁铁矿被交代活化，且叶蛇纹石小片与之垂直地交生（见图97）。在蛇纹石化大理岩中，常见铁氧化物的活化作用（图98）。

德雷舍尔-卡登对大理岩中交代蛇纹石的地球化学研究和对比表明，随着Mg的交代活化作用，除Fe以外，大理岩中还有Ni和Cr的交代带入；表1为交代蛇纹石中Ni和Cr的化学分析结果。

至此，我们讨论了细粒和粗粒镶嵌结构大理岩中的蛇纹石化。然而，为了获得蛇纹石交代作用的最令人信服的证据，不妨去论述在方解石晶粒粒间含有交代蛇纹石的粗粒大理岩（其中的方解石颗粒清楚地显示带状生长）。如图99所示，方解石-蛇纹石粒状结构反映了构造破碎和活化作用。

上述结构特征和野外关系（从大理岩中的斑点状蛇纹石过渡到大理岩完全转变成蛇纹石，见图65），似能证实大理岩中蛇纹石的交代和变晶成因。然而，也可见到方解石大理岩中存在“蛇纹石”或绿色岩石碎块这样的结构。这种结构纵然可被理解为构造活化的方解石中交代蛇纹石的碎块，但似乎仍与交代观点相矛盾。

图100为构造再活化的方解石中的蛇纹石碎片（由条带状和褶皱的蛇纹石组成）。图101为重结晶大理岩中与自形尖晶石-磁铁矿伴生的一个浑圆状蛇纹石碎块。重结晶的方解石条带构成蛇纹石碎块的周边。与切穿大理岩的蛇纹石细脉不同，再活化的方解石细脉既可穿过蛇纹石脉（图95），又可穿切蛇纹石块体（图102）。

表 1 在灰岩的MgO-SiO<sub>2</sub>交代作用过程中形成的交代成因蛇纹岩及其原岩灰岩中Ni-Cr的测定  
(分析者: 吉宾)

| 产 地                           | 含量 (ppm) |      | 岩 石                                      |
|-------------------------------|----------|------|------------------------------------------|
|                               | Ni       | Cr   |                                          |
| 阿尔卑斯西部                        |          |      |                                          |
| 1. 泼拉乌.达.来依, 齐尔色湖, 奥伯兰格丁      | <10      | <10  | 灰岩, 属匹兹隆欣, 格莱瓦扎尔瓦斯三叠纪里阿斯灰岩带, 不含明显的蛇纹石包裹物 |
| 2. 泼拉乌.达.来依                   | 120      | 240  | 炭岩, 具轻微的重结晶, 含极小的蛇纹石叶片                   |
| 3. 泼拉乌.达.来依                   | 425      | 730  | 灰岩, 较强烈的重结晶, 含细小的蛇纹石团块                   |
| 4. 泼拉乌.达.来依                   | 117      | 1550 | 灰岩, 明显的大理岩化, 含较大的蛇纹石包裹体                  |
| 5. 匹兹隆欣, 奥伯兰格丁                | 1420     | 2400 | 大理岩, 细粒, 含强烈片理化的均质蛇纹石                    |
| 6. 匹兹隆欣                       | 1650     | 2900 | 暗色的致密灰岩                                  |
| 7. 兰扎达, 基扎东部, 瓦尔, 马来可         | 35       | 40   | 三叠纪大理岩, 含大量叶片状蛇纹石                        |
| 8. 兰扎达                        | 750      | 960  | 大理岩, 粒度较细, 含大量叶片状蛇纹石, 其中, 有些呈硬币大小的包裹体    |
| 9. 兰扎达                        | 1100     | 2000 | 蛇纹石片岩, 含薄层灰岩                             |
| 阿尔卑斯东部                        |          |      |                                          |
| 10. 嘎依也尔峰, 塔兰塔勒.阿尔卑斯          | 10       | 未测   | 里阿斯灰岩, 致密                                |
| 11. 嘎依也尔峰                     | 2200     | 未测   | 炭岩中的团块状蛇纹石                               |
| 12. 玛脱拉依.阿姆.勃来纳, 史陆施别尔格       | 120      | 未测   | 里阿斯灰岩, 致密                                |
| 13. 玛脱拉依.阿姆.勃来纳               | 520      | 950  | 里阿斯灰岩, 含少量细小的蛇纹石晶体                       |
| 14. 玛脱拉依, 阿姆.勃来纳              | 3000     | 未测   | 里阿斯在岩中的蛇纹石团块                             |
| 对比:                           |          |      |                                          |
| 冯齐特勒.布赫特                      |          |      |                                          |
| 15. 史丹玛斯, 菲希特尔山霍伦勃隆附近         | <10      | <10  | 细粒结晶的大理岩 (阿尔岗纪), 含米粒大小的中等致密的直立的蛇纹石薄层     |
| 16. 派萨乌附近奥勃尔采尔的玛莫尔的“始新流巴伐里亚期” | <10      | <10  | 中等结晶的阿尔岗纪大理岩, 含花斑状蛇纹石链球状变晶               |

据 F. K. 德雷舍尔-卡登, 1969.