

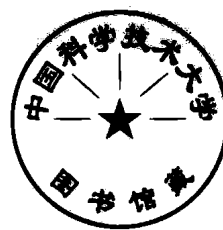


# 海底岩石学

[法] R·赫基尼安 著

张彦波 吕炳全 译

李继亮 李文范 校



海洋出版社

1989年·北京

## 内 容 简 介

本书是欧美在海洋考察和深海钻探方面的火成岩专著。它全面论述了洋底火成岩及其矿产资源的各个方面的问题,并有岩石学、地球化学和地球物理学等方面的丰富实际资料。该书的第一部分阐述了世界各大洋的各种构造单元的地理位置、地貌形态、地质构造和地球物理背景。然后,详细研究了构成各种构造单元的岩石类型、矿物共生组合和地球化学特征。第二部分论述了洋底岩石形成之后,在风化、热液和变质作用的影响下所经历的变化过程及其伴生的矿产资料。最后一章是全书的概括和总结。它用现代地球科学的理论,探讨了洋壳和上地幔的结构和演化过程。

本书可供从事海洋地质、岩矿、地球化学和地球物理等方面的广大科技人员,大专院校的师生和管理干部参考。

责任编辑:盖广生

### 海底岩石学

【法】R·赫基尼安 著

张彦波 吕炳全 译

李继亮 李文范 校

\*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

三河扬水站印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 390 千字

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

印数: 1—500

\*

ISBN7-5027-0388-8/P·46

¥: 6.80元

## 译 者 的 话

海洋是人类的聚宝盆。研究海洋具有巨大的理论和经济意义。目前,世界各国都把开发海洋放在了重要的战略地位,并集中于海洋石油、锰结核和多金属块状硫化物及其他海洋资源的开采和利用上。海洋占地球表面积的三分之二。任何地球科学理论不涉及海洋,其生命力是不堪设想的。改观地球科学理论的板块构造学说就是在大规模考察海洋的基础上诞生的。当前,上天、入地、下海是地球科学在时空上的延拓。元素及其同位素的研究是地球科学向更深层次前进的表现。定量化和多学科综合探索是地球科学向现代精密科学迈进的壮举。

本书是埃尔塞维尔(Elsevier)科学出版公司出版的海洋学丛书33,是欧美在海洋考察和深海钻探研究方面的岩石学专著。它全面阐述了海洋基底岩石——火成岩及其矿产资源各个方面的问题,并有岩石学、地球化学和地球物理学等方面的丰富实际资料。本书分两篇十二章。第一篇(第一章—第七章)论述海洋板块各种构造单元(例如大洋中脊和大洋盆地等)的地理分布、地貌形态、构造和地球物理背景、岩石类型和矿物共生组合以及地球化学特征。第二篇(第八—十一章)主要研究构成海洋地壳的岩石形成之后,在风化、热液和变质作用的影响下所经历的变化及其伴生的矿产资源。第十二章为独立的一部分,也可以说是全书的理论总结和概括。它在现代实验岩石学和地球物理、地球化学的基础之上,阐述了下地壳和上地幔的深部地质作用以及地壳的演化。

本书对大陆和海洋邻接处的地质作用论述得不足,缺少海洋沉积岩和石油方面的内容。这可能与它侧重洋底岩石学的研究有关。尽管有这些不足,但它有关洋底岩石学的实际资料丰富,理论完备,行文简练通俗,图文并茂。因此,它仍然是海洋火成岩专著方面的好书。可供从事海洋学、地质学、地球物理学等方面的广大科技人员、大专院校师生和管理干部参考。

吕炳全翻译了六一九章,其余均由张彦波翻译。由于译者水平有限,错误之处在所难免,希望广大读者批评指正。

译 者

一九八五年十二月于北京

## 序 言

《洋底岩石学》主要涉及海域的火山作用及其有关过程的研究,以及在与海水接触处所发生的地壳物质的生成和转变过程的研究。人们在洋底岩石学这一领域已经取得了进展,并且将随着采用更先进的技术钻探到更大的深度,继续取得迅速的发展。最初,打算把本书写成关于大洋壳矿物学和地球化学研究的主要进展的综合评论。但是,在汇集资料的过程中,为了进一步扩大我们有关洋壳的知识,增加了不少新的资料。

本书并不想把洋底成因的研究包罗无遗,只是想深入地了解与各种地质背景伴生的基底岩石成分的多样性。由于洋底岩石学的研究与其他学科密切相关,因此贯穿着这本著作,我们尝试概括有可靠数据和样品的大洋各种地质单元的形态与构造的普遍性质。人们知道,海底取样和其它地质资料的收集都是昂贵而困难的工作。实践已经证明,对于旨在开展与不同地质单元有关的岩浆作用、热液作用和构造过程的进一步详细研究的海洋探测来说,潜水观察和利用无人操作的海底航行器进行探测是行之有效的和必要的手段。

本书分为两大部分,共十二章。第一部分包括第一至第八章。它主要讨论现已公认和取过样的各种类型构造的洋底的成分。由于大洋中脊是海洋的主要构造单元之一,也是最容易取样的地方,所以人们了解得最清楚。即使如此,我们对于新地壳生长的深部过程仍然没有得到一幅清晰的图案。只有几段大洋中脊曾利用先进技术进行了详细研究。FAMOUS(法美联合大洋中部水下调查)计划和RITA(里韦拉和塔梅奥断裂带)研究计划,为了解大西洋和太平洋中不同速率增长的板块边界提供了新的构造和岩石资料。迄今已经证明,在其它取样方法无法奏效的厚层沉积地区,深海钻探是一种极其有效的方法。

大洋的其它一些主要构造单元,诸如无震洋脊之类被认为是陆体分离早期活动阶段的隆起山链。在这些地区还没有进行过适当的取样。关于大洋海沟地壳成分的知识也很贫乏。为了更深入地了解岩石圈下插之前的地壳特征,在海沟的岛弧外缘,或大洋一侧的地区取得更多的样品是完全必要的。位于板块边界,既以引张又以压缩板块运动为特征的一些了解较差的地区,人们往往把它们称之为逆冲断裂区,在本书中也进行了讨论。

本书没有对陆上蛇绿岩的性质及其在海洋环境中的产出情况做深入的讨论。显然,这个课题对理解增生板块边界的洋底超镁铁质和镁铁质杂岩的早期就位作用有很大意义。迄今还缺乏穿透大洋壳2—3层的连续剖面,因而阻碍了海洋地质学家在陆上蛇绿岩和类似的海洋型岩石组合之间做出任何有意义的对比。

本书的第二部分(第九、十和十一章)主要阐述洋壳生成后受到风化作用、热液作用和变质作用的进一步影响时所发生的变化。

到目前为止,对大洋深处环境的经济开发工作集中在多金属锰结核(由Mn、Fe、Ni和Cu组成)的研究上。但是,洋底的矿产资源并没有得到很好的评价,只是最近(1979),人们才发现了在2600米的深度形成的金属含量比锰结核更高的块状硫化物矿床。为了对海洋和大陆地区的矿床成因进行更深入的了解,把未来的探测工作转向对大洋中脊及其伴生的断裂带进行系统的多学科的综合研究是非常必要的。

最后一章(第十二章)研究与增生板块边界区有关的下地壳和上地幔的深部作用过程。这一章是根据对大洋岩石及其环境进行的主要实验岩石学工作和地球物理探测所得出的推论而写出的。

随着我们海洋岩石学方面知识的增加,需要解答的问题越来越复杂。而我们深入研究的课题的难度也越来越大。于是过度简化的解释被迷惑不解的感觉所代替,尽管这种交替更趋向接近“真理”。由于海洋岩石学领域中问题的复杂性不断增加,因此在将来的工作中,跨学科的研究方法必然是最富有生命力的。

R·赫基尼安 (He'kinian)

1980年12月30日于圣·塞南 (St·Renan)

## 缩 写 词 组

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| DSDP    | 深海钻探计划                       |
| FAMOUS  | 法美联合大洋中部水下调查                 |
| IPOD    | 大洋钻探国际协作阶段                   |
| JOIDES  | 地球深部取样联合海洋机构                 |
| RITA    | (东太平洋隆起上里韦拉和塔梅奥断裂带名字的主要字母缩写) |
| TAG     | 横跨大西洋的地质测线                   |
| ALV     | “阿尔文”(潜水器)                   |
| AR, ARP | “阿基米德”(深海潜水器)                |
| CY, CYP | “赛依纳”(碟形潜水器)                 |

# 目 录

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 序言.....                      | I      |
| 缩写词组.....                    | Ⅱ      |
| 第一章 洋底岩石的矿物学和化学研究.....       | ( 1 )  |
| 超镁铁质岩类.....                  | ( 1 )  |
| 蛇纹石化橄榄岩.....                 | ( 1 )  |
| 超镁铁质岩的矿物学研究.....             | ( 5 )  |
| 辉长岩类.....                    | ( 6 )  |
| 玄武岩类.....                    | ( 12 ) |
| 玄武质岩石的分类.....                | ( 13 ) |
| 玄武岩类的矿物学研究.....              | ( 27 ) |
| 花岗质成分的岩类.....                | ( 31 ) |
| 富碱性火山岩类.....                 | ( 32 ) |
| 大洋安山岩.....                   | ( 35 ) |
| 第二章 世界大洋中脊系.....             | ( 37 ) |
| 大西洋中脊.....                   | ( 39 ) |
| 北纬45°附近的大西洋中脊.....           | ( 41 ) |
| 北纬22—23°附近的大西洋中脊.....        | ( 43 ) |
| 北纬36°附近的大西洋中脊: FAMOUS地区..... | ( 46 ) |
| 大西洋中脊的超镁铁质岩类.....            | ( 59 ) |
| 印度洋中脊.....                   | ( 59 ) |
| 卡尔斯伯格洋脊.....                 | ( 63 ) |
| 与印度洋中脊伴生的超镁铁质岩类.....         | ( 63 ) |
| 与印度洋中脊伴生的辉长岩类.....           | ( 65 ) |
| 东太平洋隆起.....                  | ( 67 ) |
| 在南纬5°至15°之间的东太平洋隆起.....      | ( 69 ) |
| 胡安德福卡洋脊.....                 | ( 69 ) |
| 北纬9°附近的东太平洋隆起.....           | ( 69 ) |
| 北纬21°附近的东太平洋隆起.....          | ( 74 ) |
| 不同活动扩张洋脊上喷出的火山岩的比较研究.....    | ( 81 ) |
| 钛和锆.....                     | ( 82 ) |
| 大离子亲石元素.....                 | ( 82 ) |
| 稀土元素.....                    | ( 84 ) |
| 铈元素的分布.....                  | ( 84 ) |
| 近代洋中脊的某些地段上火山岩的区域性变异.....    | ( 86 ) |

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| 冰岛——雷克雅尼斯洋脊.....        | ( 87 )         |
| 亚速尔台地和其它大西洋中脊段.....     | ( 88 )         |
| 加拉帕戈斯区的扩张轴.....         | ( 92 )         |
| 成分变化与扩张速率的关系.....       | ( 93 )         |
| <b>第三章 无震洋脊.....</b>    | <b>( 95 )</b>  |
| 冰岛——费罗洋脊.....           | ( 95 )         |
| 科科斯和卡内基洋脊.....          | ( 99 )         |
| 东九十度洋脊(印度洋).....        | ( 102 )        |
| 沃尔维斯洋脊.....             | ( 108 )        |
| 塞拉利昂隆起.....             | ( 111 )        |
| 西阿拉隆起.....              | ( 113 )        |
| 里奥格兰德隆起(大西洋).....       | ( 114 )        |
| 无震洋脊与其它洋区的比较.....       | ( 114 )        |
| <b>第四章 逆冲断层区.....</b>   | <b>( 117 )</b> |
| 麦夸里洋脊.....              | ( 117 )        |
| 金斯海槽.....               | ( 119 )        |
| 帕尔默洋脊.....              | ( 119 )        |
| 霍尔西肖海山(戈伦治滩).....       | ( 121 )        |
| <b>第五章 大洋盆地和海山.....</b> | <b>( 123 )</b> |
| 印度洋.....                | ( 124 )        |
| 大西洋.....                | ( 126 )        |
| 太平洋.....                | ( 126 )        |
| 太平洋深海丘陵.....            | ( 128 )        |
| 东太平洋海山.....             | ( 129 )        |
| <b>第六章 大洋海沟.....</b>    | <b>( 136 )</b> |
| 日本海沟.....               | ( 139 )        |
| 马里亚纳海沟.....             | ( 140 )        |
| 汤加海沟.....               | ( 142 )        |
| 波多黎哥海沟.....             | ( 143 )        |
| <b>第七章 大洋断裂带.....</b>   | <b>( 145 )</b> |
| 侵入体的识别问题.....           | ( 146 )        |
| 北纬37°附近的断裂带“A”.....     | ( 146 )        |
| 中部转换断层的地质背景.....        | ( 148 )        |
| 岩石蚀变的程度.....            | ( 151 )        |
| 玄武岩类的矿物学和化学成分研究.....    | ( 151 )        |
| 岩浆的演变.....              | ( 154 )        |
| 裂谷与断裂带“A”的交会带.....      | ( 156 )        |
| 北纬53°附近的查理吉布斯断裂带.....   | ( 158 )        |
| “海洋学家”断裂带.....          | ( 159 )        |

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 罗曼希断裂带.....                  | ( 160 )        |
| 北壁的地质环境.....                 | ( 160 )        |
| 全岩的岩石学研究.....                | ( 163 )        |
| <b>第八章 洋底的风化作用.....</b>      | <b>( 166 )</b> |
| 喷出岩流的风化作用.....               | ( 167 )        |
| 识别风化岩石的化学准则.....             | ( 168 )        |
| 海洋地壳的递进风化作用.....             | ( 170 )        |
| 风化作用形成的矿物.....               | ( 172 )        |
| <b>第九章 洋底的变质作用.....</b>      | <b>( 177 )</b> |
| 与离散板块伴生的变质作用.....            | ( 177 )        |
| 大西洋中脊的变质岩.....               | ( 177 )        |
| 印度洋中脊: 卡尔斯伯格洋脊的变质岩类.....     | ( 179 )        |
| 与会聚板块伴生的变质作用.....            | ( 180 )        |
| 与板内地区伴生的变质作用.....            | ( 181 )        |
| 西大西洋海盆.....                  | ( 182 )        |
| 华顿海盆(东印度洋).....              | ( 182 )        |
| 变质作用相及其矿物组合.....             | ( 182 )        |
| 沸石相.....                     | ( 183 )        |
| 葡萄石——绿纤石相.....               | ( 184 )        |
| 绿片岩相.....                    | ( 185 )        |
| 闪岩相.....                     | ( 187 )        |
| 碎裂变质作用.....                  | ( 189 )        |
| 变质岩的成因.....                  | ( 193 )        |
| <b>第十章 洋底的热液作用.....</b>      | <b>( 196 )</b> |
| 热液矿床的区域分布.....               | ( 198 )        |
| 加拉帕戈斯地区(东太平洋).....           | ( 198 )        |
| 东太平洋隆起的热液矿田.....             | ( 201 )        |
| 亚丁湾.....                     | ( 206 )        |
| 北纬26—30°附近的大西洋中脊(TAG地区)..... | ( 208 )        |
| 北纬37°附近大西洋中脊的转换断层“A”.....    | ( 208 )        |
| 热液矿床的物质成分.....               | ( 209 )        |
| Fe——Mn物质.....                | ( 209 )        |
| 识别洋底热液矿床的准则.....             | ( 217 )        |
| 热液矿床与其它金属矿产物的比较.....         | ( 218 )        |
| 与热液矿床伴生的基底岩石.....            | ( 220 )        |
| 热液矿床的成因.....                 | ( 222 )        |
| 玄武岩类中元素的淋滤和运移.....           | ( 223 )        |
| 硅酸盐熔体的岩浆分凝作用.....            | ( 223 )        |
| 热液沉积物的沉淀作用.....              | ( 223 )        |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>第十一章 岩浆后期的蚀变作用</b> .....   | ( 225 ) |
| 岩浆后期蚀变的矿物成分 .....             | ( 225 ) |
| <b>第十二章 洋壳和上地幔成分的推断</b> ..... | ( 227 ) |
| 引言 .....                      | ( 227 ) |
| 没有裂陷谷的大洋中脊系 .....             | ( 229 ) |
| 具有轴部裂谷(裂陷谷)的大洋中脊系 .....       | ( 230 ) |
| 岩浆形成的深度 .....                 | ( 231 ) |
| 地球物理方法 .....                  | ( 231 ) |
| 矿物相的稳定性 .....                 | ( 232 ) |
| 玄武质岩浆的源区物质 .....              | ( 235 ) |
| 橄榄岩源区 .....                   | ( 235 ) |
| 榴辉岩源区 .....                   | ( 236 ) |
| 闪岩源区 .....                    | ( 236 ) |
| 洋底超镁铁质岩的起源 .....              | ( 240 ) |
| 岩浆作用过程 .....                  | ( 241 ) |
| 岩浆储集模式 .....                  | ( 243 ) |
| 大岩浆囊假说 .....                  | ( 244 ) |
| 小岩浆囊假说 .....                  | ( 244 ) |
| 岩浆上涌柱假说 .....                 | ( 245 ) |
| <b>附录</b> .....               | ( 246 ) |
| 分析步骤的说明 .....                 | ( 246 ) |
| 玄武岩类的蚀变作用 .....               | ( 246 ) |
| 结晶指数 .....                    | ( 246 ) |
| 分异指数 .....                    | ( 246 ) |
| 岩石的物理性质 .....                 | ( 247 ) |
| <b>参考文献</b> .....             | ( 248 ) |

# 第一章 洋底岩石的矿物学和化学研究

## 超镁铁质岩类

在洋底发现的大多数超镁铁质岩类都不同程度地遭受了蛇纹石化作用。还可以看到, 在许多情况下, 从洋底各种构造位置上收集的蛇纹石化橄榄岩伴生有辉长岩, 有时还有少量斜长岩。玄武质岩类也以不同比例混合在超镁铁质岩的一网打捞样品中。这表明在这些不同类型的岩石之间, 可能存在着某种相关关系。洋底超镁铁质岩的分布表示在图1-1的世界地图上。

### 蛇纹石化橄榄岩

确定蚀变橄榄岩的原始成分往往是困难的。假定大洋橄榄岩的蛇纹石化作用是在等化学条件下进行的, 因此为了获得橄榄岩物质的原始标准成分, 我们可以把这种岩石的硅酸盐分析换算成无水的剩余物。表1-1表示某些蛇纹石化橄榄岩的化学分析数据。

表1-1 北纬53°和30°附近的大西洋中脊的蛇纹石化橄榄岩的化学分析结果(He'kinian和Aumento, 1973; Miyashiro等, 1969a)。凯恩和维马斯断裂带的的数据选自都城秋穗(Miyashiro)等(1969a)及汤普森(Thompson)和梅尔森(Melson)(1971)。97和93号样品是取自印度洋的二辉橄榄岩(C. G. Engel和Fisher, 1969)

|                                | 北纬<br>53°大西<br>洋中脊 | 北纬<br>30°大<br>西洋<br>中脊 | 凯恩<br>(kane)<br>断裂带 | 维马<br>(Vema)<br>断裂带 | 罗曼希<br>(Romanche)<br>断裂带 | 罗德里格<br>斯(Rod-<br>riguez)<br>断裂带 | 印度洋<br>中脊 |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------|
|                                | CM4-DR2-1          | A150-6 AM-3            | V25-8-T20           | AII-20-9-1          | CH80-DR10-15             | 97-W                             | 12°S 93-3 |
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)        | 37.80              | 41.76                  | 40.68               | 39.71               | 43.00                    | 4.5                              | 38.29     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.75               | 2.30                   | 2.86                | 2.59                | 1.08                     | 3.59                             | 2.74      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.73*             | 5.66                   | 4.69                | 7.31                | 10.29                    | 1.60                             | 4.65      |
| FeO                            | —                  | 3.14                   | 3.43                | 1.30                | 1.12                     | 5.23                             | 2.25      |
| MnO                            | 0.10               | 0.11                   | 0.10                | 0.12                | 0.12                     | 0.10                             | 0.06      |
| MgO                            | 32.29              | 33.83                  | 33.20               | 33.15               | 31.87                    | 34.84                            | 35.32     |
| CaO                            | 1.87               | 1.53                   | 2.05                | 1.52                | 0.08                     | 5.50                             | 3.75      |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.21               | 0.23                   | 0.12                | 0.28                | 0.29                     | 0.19                             | 0.20      |
| K <sub>2</sub> O               | 0.52               | 0.03                   | 0.03                | 0.06                | 0.03                     | 0.20                             | 0.20      |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.22               | 0.14                   | 0.12                | 0.06                | 0.05                     | 0.03                             | 0.01      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | —                  | 0.02                   | 0.01                | 0.02                | 0.08                     | —                                | —         |
| H <sub>2</sub> O               | 12.95              | 11.41                  | 12.03               | 13.88               | 12.19                    | 4.52                             | 11.46     |
| 总计                             | 100.44             | 100.16                 | 99.32               | 100.00              | 100.20                   | 98.78                            | 98.75     |
| Cr (ppm)                       | n.d                | 3700                   | 3600                | 3300                | 2520                     | 6400                             | 4800      |
| Ni                             | n.d                | 1500                   | 2500                | 2300                | 2238                     | 3500                             | 3300      |
| Co                             | n.d                |                        |                     |                     |                          |                                  |           |
| 7                              | 6                  | 6                      | 6                   | 6                   | 9                        | 6                                | 6         |

n.d代表未测定, \* 表示以Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>计算的全铁含量, Wt.%为重量百分比, 下同

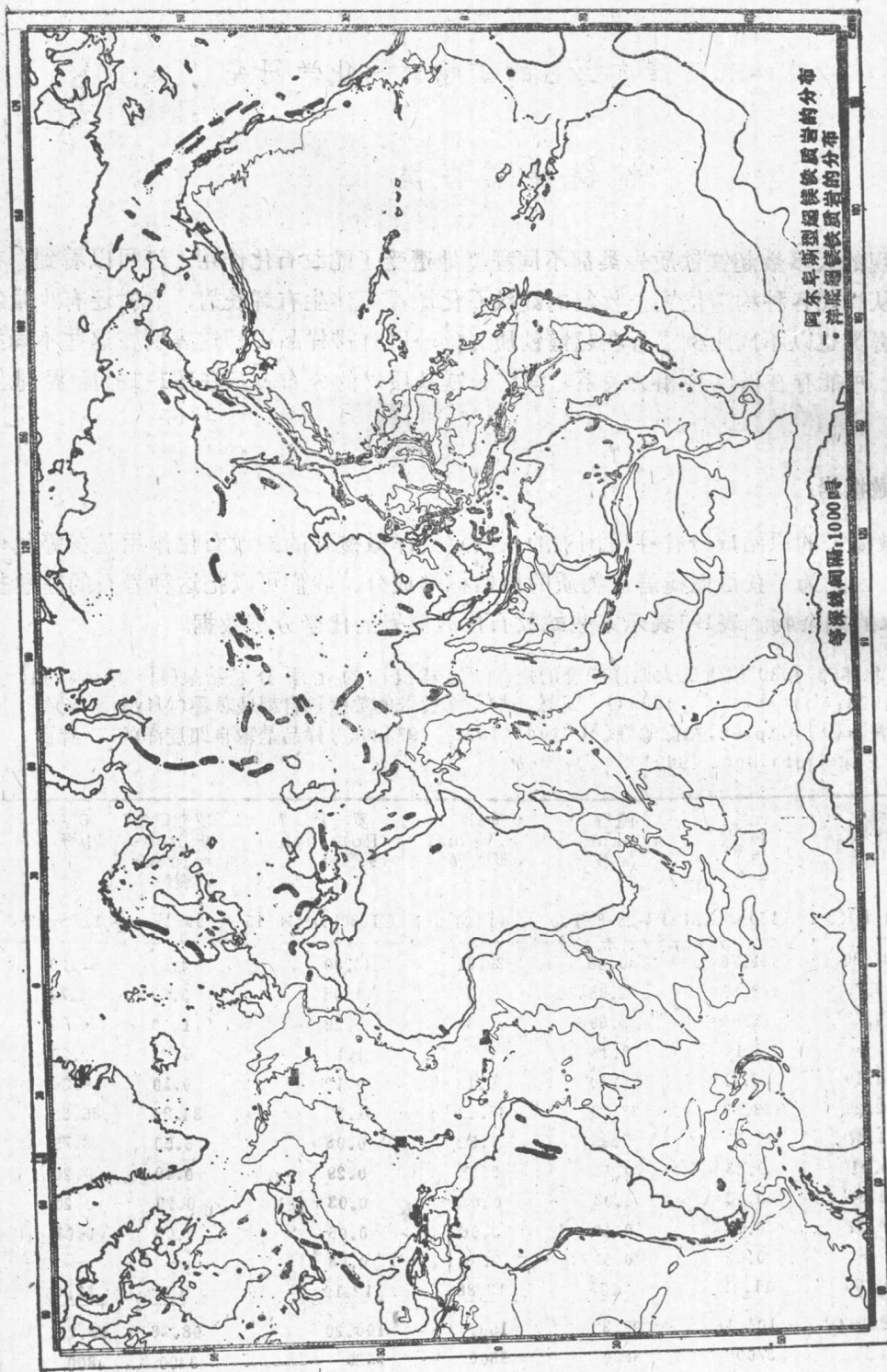


图1.1 洋底超镁铁质岩类的分布图。大陆区的黑点和线条是欧文 (Irwin) 和科尔曼 (Coleman) (1974) 报道的阿尔卑斯型超镁铁质岩

蛇纹石化作用是原生矿物(通常是辉石或橄榄石)的蚀变过程。这种作用形成不同类型的蛇纹石矿物和不同类型的构造。原岩的构造和矿物轮廓往往被保留下来,有时可再现幻影矿物。这里给出了两个容易识别的实例,一个是由辉石形成绢石;另一个是通过交代许多橄榄石晶体而形成氧化铁矿物,并且后者很好地保留了前者的晶体轮廓。

蛇纹石化橄榄岩的结构是各种各样的。有由他形多边形橄榄石残余和晶体以及非定向他形板状辉石组成的一些块状变种。其它结构的特征例如在蛇纹石化岩石的标本中,常常可以看到矿物颗粒的线性定向排列或发生扭曲。某些辉石晶体显示出变形双晶条纹,还可以看到破碎的斜长石晶体,以及粒化作用对镁铁质矿物的碎裂的影响。后面这此结构的特征是由于碎裂变质作用形成的(见第九章)。

由于岩石的蛇纹石化作用的程度不同,所以有些作者(Dmitriev和Sharaskin, 1975)主张蛇纹石化作用至少有两个阶段。第一阶段由矿物均匀的蛇纹石化作用(假像)组成,没有显示出原岩组构变化的迹象。第二阶段由脉状和细脉状物质加上许多新生的矿物相组成。这些新矿物是由于蛇纹石的重结晶作用形成的。在岩脉中,人们发现了辉石的蚀变作用产物——透闪石,这表明强烈定向应力作用的影响(Aumento和Loubat, 1971)。但是,这并不能排除在橄榄岩蚀变作用的最初和最后阶段之间,有可能出现许多蛇纹石化作用的过渡阶段。人们可以观察到,在较低的围压条件之下,蛇纹石化作用的最后阶段出现了伊丁石、赤铁矿和碳酸盐矿物(Aumento和Loubat, 1971)。

人们曾对各种类型的蛇纹石化橄榄岩作了描述。但是,根据它们的矿物成分,可以把洋底最常见的超镁铁质岩分成四大类型:纯橄榄岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩和蛇纹大理岩(见图1-2)。其他次要类型的超镁铁质岩包括辉石岩、异剥橄榄岩和二辉岩(见图1-3)。

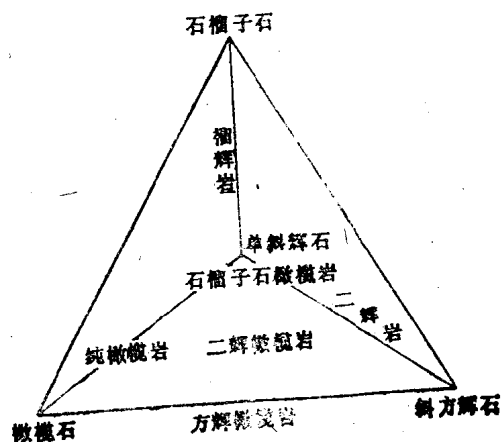


图1-2 表示各种类型超镁铁质岩类成分分布的石榴子石——橄榄石——单斜辉石——斜方辉石组合的四体面图解(Yoder, 1975)

**纯橄榄岩** 它几乎全部由遭受了不同程度蛇纹石化作用的橄榄石组成。在超镁铁质岩中,纯橄榄岩是最少见的岩石,通常与方辉橄榄岩和二辉橄榄岩伴生。在卡尔斯伯格洋脊和印度洋中脊的西支上发现了纯橄榄岩(Dmitriev和Sharaskin, 1975)。另外一些纯橄榄岩产于中大西洋和北大西洋地区(Bonatti等, 1970; Aumento和Loubat, 1971)。矿物学上,纯橄榄岩以其较高的橄榄石含量可与方辉橄榄岩、二辉橄榄岩区别开。除此之外,纯橄榄岩还含有尖晶石、通常是铬铁尖晶石。当纯橄榄岩遭受次生蚀变作用时(这是在海洋环境

中经常发生的现象)，它还含有绿泥石、蛇纹石(利蛇纹石)、滑石和水榴石。在蛇纹石—绿泥石伴生的岩脉里，也可以观察到石榴子石(Aumento和Loubat, 1971)。从化学成分上看，在纯橄榄岩和其它蛇纹石化橄榄岩类(方辉橄榄岩和二辉橄榄岩)之间，人们并没有发现它们有什么重大的差别。但是，德米特里夫和沙拉斯金(1975)报道过，印度洋所产的纯橄榄岩清楚地显示出比其它相伴生的蛇纹石化橄榄岩类的全铁含量较低(<7%)。

方辉橄榄岩 它是蛇纹石化橄榄岩的变种，其特征是具有相对高的绢石含量(占全岩体积的25—30%)。实际矿物和标准矿物的含量都表明，在这种岩石中橄榄石占60—80%，辉石占20—40%，尖晶石占0.5—2%。从理论上讲，与蛇纹石化二辉橄榄岩变种相比，方辉橄榄岩应当含有比单斜辉石更多的斜方辉石。方辉橄榄岩变种通常以其较高的全铁含量(8—11%，把全铁换算成FeO的形式)和较高的MgO含量(35—55%)以及较低的CaO含量(<3%)，有别于二辉橄榄岩。赤道中大西洋的许多蛇纹石化橄榄岩由下述的矿物组合组成：橄榄石(85—95%)；具有单斜辉石出溶条纹的顽火辉石；铬尖晶石(Bonatti等, 1970)。

表1-2 在南纬0°05′，西经18°29′，大约4500米的深度上，罗曼希断裂带的蛇纹大理岩的化学分析结果

|                                | CH80-DR10-13 | CH80-DR10-12 |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)        | 40.00        | 35.07        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.34         | 1.14         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6.06         | 10.35*       |
| FeO                            | 1.17         | —            |
| MnO                            | 0.09         | 0.10         |
| MgO                            | 25.59        | 27.05        |
| CaO                            | 10.24        | 3.22         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.11         | 0.23         |
| K <sub>2</sub> O               | 0.01         | 0.02         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.10         | 0.06         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.08         | 0.13         |
| H <sub>2</sub> O               | 13.71        | 16.46        |
| 总计                             | 99.50        | 98.83        |
| Cr(ppm)                        | 2043         | 2932         |
| Ni                             | 1507         | 2100         |
| CO                             | 101          | 90           |

\* 表示全铁换算为Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

二辉橄榄岩 当把二辉橄榄岩的岩石化学成分换算成无水成分、并标准化到100%时，它比方辉橄榄岩含有更多的辉石(35—45%)和橄榄石(58—70%)标准分子。斜方辉石和单斜辉石的残余晶体通常是可以辨认的。这两种辉石之间的鉴定工作是在有绢石的解理面上进行的。在顽火辉石条纹内有透辉石的出溶纹(Aumento和Loubat, 1970)。在二辉橄榄岩型的蛇纹石化橄榄岩中，偶尔可以看到被铁的氧化物的小斑片和细脉环绕的大量透辉石——普通辉石或普通辉石的晶体残余。

蛇纹大理岩 这个术语是布朗尼阿特(Brongniat)于1813年提出的，意指方解石型的蛇纹岩。在赤道大西洋断裂带打捞的蛇纹大理岩(“Charcot”号第80次航行, 1977)由淡棕色——红色叶理状或块状岩石构成。其主要成分是方解石、蛇纹石、铁的氧化物、

蚀变的斜方辉石和单斜辉石、绿泥石和滑石。标本呈现出的淡红色是由于含铁矿物的氧化造成的。这些蛇纹大理岩的化学成分，以其较高的CaO(7—10%)和较低的MgO含量(<30%) (表1-2)，可与其它蛇纹石化橄榄岩区别开。

表1-3 产于洋底超镁铁质岩中的尖晶石和辉石的化学分析结果 (除了样品5324以外，都以FeO的形式计算全铁)

|                                | 尖晶石   |       |        |        |       |       | 蛇纹石化橄榄岩中的辉石 |              |           |        |       |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------------|--------------|-----------|--------|-------|
|                                | 5325  | 165-8 | 159-10 | 156-10 | 165-1 | 165-2 | V30-DR5     | CH77-DR10-96 | A150-DR20 |        |       |
|                                |       |       |        |        |       |       | cpx         | opx          | cpx       | opx    | cpx   |
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)        | 2.11  | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 52.36       | 55.67        | 51.85     | 55.65  | 51.58 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.69 | 20.6  | 25.0   | 32.4   | 23.9  | 24.1  | 3.38        | 2.33         | 4.58      | 3.54   | 4.57  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.71  | —     | —      | —      | —     | —     | —           | —            | —         | —      | —     |
| FeO                            | 14.70 | 26.9  | 22.9   | 14.1   | 21.3  | 21.4  | 2.76        | 6.14         | 2.93      | 5.82   | 2.66  |
| MnO                            | 0.33  | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 0.08        | 0.13         | 0.25      | 0.15   | 0.08  |
| MgO                            | 13.26 | 11.6  | 11.7   | 15.2   | 14.2  | 14.4  | 17.07       | 32.85        | 17.28     | 33.30  | 17.98 |
| CaO                            | —     | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 21.12       | 1.68         | 21.76     | 1.56   | 20.49 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.05  | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 0.37        | 0.03         | 0.25      | 0.01   | 0.25  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.02  | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 0.00        | 0.00         | 0.00      | 0.00   | 0.00  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.12  | n.d   | n.d    | n.d    | n.d   | n.d   | 0.57        | 0.21         | 0.13      | 0.04   | 0.08  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 46.78 | 40.7  | 40.8   | 38.7   | 39.7  | 39.9  | 1.34        | 0.75         | 1.15      | 0.61   | 1.40  |
| 总计                             |       |       |        |        |       |       | 99.42       | 100.23       | 99.67     | 100.62 | 99.10 |
| Wo                             | —     | —     | —      | —      | —     | —     | 44.84       | 3.25         | 45.92     | 3.00   | 43.02 |
| En                             | —     | —     | —      | —      | —     | —     | 50.45       | 87.42        | 49.99     | 88.32  | 52.50 |
| Fs                             | —     | —     | —      | —      | —     | —     | 4.71        | 9.34         | 4.32      | 8.87   | 4.48  |

样品 5324 (呈X多边形) 取自蛇纹石化橄榄岩，这种岩石采自南纬 28°22'，东经 62°36.7' 附近的印度洋中脊 (Dmitriev, 1975)。样品 165-8, 159-10 和 156-10 是从北纬 45° 收集的蛇纹石化橄榄岩 (Aumento 和 Loubat, 1971)，样品 165-1 和 165-2 是从北纬 45° 收集的纯橄榄岩 (Aumento 和 Loubat, 1971)。样品 V30-DR05 是从北纬 01°31'，西经 19°06' 的罗曼希断裂带上收集的 (深 4125 米)。CH77-DR10-96 取自北纬 10°41.50'，西经 42°40.80' 的维马断裂带上 (深 4125 米)，A150-DR20 采自大西洋断裂带 (蒙承 R. Hebert 提供电子探针分析)。

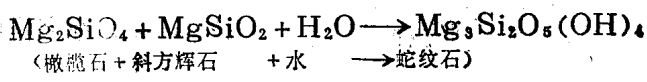
### 超镁铁质岩的矿物学研究

由于大多数蛇纹石化橄榄岩遭受了明显的蚀变作用，因此难以估价各种矿物的原始成分。次生矿物，例如蛇纹石、绿泥石、韭闪石、水云母、滑石、水镁石、方解石、磷灰石、角闪石、云母、葡萄石、赤铁矿等的生成作用是显著的。在这些岩石里，也发现了原生矿物 Cr-Al 尖晶石、单斜辉石、斜方辉石和橄榄石的残余，也许它们代表了未蚀变橄榄岩的主要成分。

**蛇纹石** 这是由水与原生镁铁质矿物特别是辉石和橄榄石反应而形成的含水矿物。假定镁橄榄石和水可在小约 350—400℃ 的条件下进行反应，生成蛇纹石和水镁石 (Johannes, 1968):



假设橄榄石与斜方辉石之比大约是 1:1，则可以写出如下反应:



在洋底蛇纹石化橄榄岩的标本里,发现有各种类型的蛇纹石矿物:利蛇纹石、纤蛇纹石和叶蛇纹石。利蛇纹石和叶蛇纹石显示出板状结构特征,而纤蛇纹石是纤维状结构。在确定蛇纹石化作用的压力/温度条件时,鉴别各种类型的蛇纹石可能是有重要价值的(Coleman, 1977)。利蛇纹石和纤维蛇纹石可以在350℃到围岩温度的范围内形成(Barnes 和 O'Neil, 1969),而叶蛇纹石直到温度稍高于500℃的条件下都是稳定的。

**橄榄石** 这种矿物很少保存下来,一般作为被尘土状铁的氧化物包围的细小晶体出现。薄片中的橄榄石无色,突起高,折光率 $N_r = 1.685 - 1.690$ ,  $N_z = 1.645 - 1.662$ , 光轴角 $2V$ 接近于90°。通常,橄榄石中镁橄榄石分子接近于 $F_{0.90}$ 。

在洋底发现的两个主要类型蛇纹石化橄榄岩是二辉橄榄岩和方辉橄榄岩。这两种岩石之间的区别是:通常二辉橄榄岩比方辉橄榄岩含有较多的单斜辉石,较少的橄榄石。矿物相对丰度的证据是由肉眼观察和换算成无水相的实际成分分析计算的。

**尖晶石** 这个矿物通常作为铬铁矿和普通尖晶石的混合物产出,呈自形晶或他形晶。主要化学组分是 $Cr_2O_3$  (35—41%) 和  $Al_2O_3$  (20—33%) (表1-3)。产于方辉橄榄岩里的铬尖晶石比纯橄榄岩、橄榄辉石岩,以及橄榄辉长岩里的铬尖晶石有较低的 $FeO$ 和 $Cr_2O_3$ 含量,其晶胞参数变化范围也较小(8.20—8.23 Å),而后两种岩石里的尖晶石有较大的晶胞参数(8.23—8.29 Å)。尖晶石或者以堆晶颗粒产出,或者呈分散状与橄榄石残余晶体伴生。

**辉石** 斜方辉石和单斜辉石通常是具有扭曲解理面的他形晶体,并部分遭受页硅酸盐蚀变作用。薄片中的斜方辉石常常是无色的,消光角 $CA_r = 0^\circ$ 变到7—10°。折光率 $N_r = 1.665 - 1.682$ ,  $N_z = 1.650 - 1.665$ ,  $2V = 75 - 90^\circ$ 。若干个斜方辉石的光性和化学分析结果表明,它们属于顽火辉石变种。单斜辉石在薄片中也无色的,并与斜方辉石具有相近的折光率。但是,单斜辉石有较大的消光角: $Cr = 20 - 50^\circ$ 。

## 辉长岩类

在AMF三角图解即 $(Na_2O + K_2O) - MgO - FeO$  (全铁换算为 $FeO$ )图上,大洋辉长岩类的成分沿该图的 $MgO - FeO$ 边附近散布,并常常与洋底的玄武岩有相似的变化(图1-3)。

取自大西洋中脊和印度洋中脊的辉长岩,其 $FeO/MgO$ 的值有一个较宽的变化范围(0.30—2.90)。这暗示它有一个显著的分离结晶作用趋势(图1-3)。这种趋势伴随着斜长石中钙长石分子含量的减少,从该图解中位于 $MgO$ 角附近的辉长岩一直演变到铁质辉长岩,这时斜长石大约从 $An_{79}$ 变到 $An_{47}$  (Miyashiro等, 1970b)。人们发现,辉长岩类大都与蛇纹石化橄榄岩系列的超镁铁质岩类伴生。一般说来,未蚀变的辉长岩是由斜长石、橄榄石、单斜辉石、斜方辉石以及副矿物例如榍石、角闪石、磷灰石、钛铁矿组成的。上述各种矿物的相对比例可以区分不同类型的辉长岩。

**标准辉长岩** 它主要由斜长石和单斜辉石组成。斜长石成分变化在 $An_{45} - An_{70}$ 之间,占全岩的百分比可达40—60%。单斜辉石通常是他形晶,占全岩体积的百分比为25—35%。单斜辉石是透辉石或普通辉石,光轴角 $2V$ 变化在38—56°之间。次要组分主要是无色橄榄石(体积百分比为5%)。与大洋中脊的玄武岩相比,这些辉长岩的特点是,具有较低的 $K_2O$ 含量(0.06—0.15%)和低的 $TiO_2$ 含量(0.2—0.5%) (表1-4)。

含有斜方辉石的辉长岩 人们经常看到这种岩石遭受了不同程度的蚀变作用。紫苏辉石