

蛇 绿 岩

R.G. 科 尔 曼



地 质 出 版 社

S H E L Ü Y A N

蛇 绿 岩

R. G. Coleman 著

鲍 佩 声 译

袁 廷 佐 校

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书是一本研究蛇绿岩的基础理论著作。书中除了阐述蛇绿岩的概念和蛇绿岩与板块构造的理论以外,着重论述了蛇绿岩的岩石学,包括构成蛇绿岩套中所有岩石组合的岩石学、矿物学、地球化学和岩石成因以及变质作用等方面的问题;对与蛇绿岩有关的金属矿床和蛇绿岩的地质特征,侵位构造环境也作了简要介绍。最后并介绍了四个典型蛇绿岩实例。

本书适用于地质专业的科研、教学和生产各部门的工作人员和地质院校师生。

Ophiolites

Ancient Oceanic lithosphere

R.G. Coleman

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1977

蛇 绿 岩

R.G. Coleman 著

鲍佩声 译

袁廷佐 校

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑:马志先

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 $1/16$ 印张: 9 $1/8$ 字数: 210,000

1982年5月北京第一版·1982年5月北京第一次印刷

印数1—3,109册·定价1.40元

统一书号: 15038·新801

绪 言

我被邀请撰写此书作为由彼得 J. 怀利教授1974年主编的、由斯普林格——费尔拉格出版的矿物、岩石和有机原料丛书的一部分。从1948年我还是研究生时起，蛇绿岩就已经吸引了我，直到目前，它作为我在美国地质调查所研究工作的一部分。在这一段时期，蛇绿岩这样一个含糊的欧洲地质学名词，其重要意义不断增加，目前蛇绿岩一词系指包括已并入现代和古大陆边缘的造山带中的古大洋岩石圈的所有碎块，同时蛇绿岩也是板块构造范例的一个标准部分。

本书的目的是给任何对蛇绿岩（古大洋岩石圈）的学术背景和状况有兴趣的人提供一个起点。因为蛇绿岩代表古洋壳的碎块，它们的构造环境和时代，在重建古板块边界上是非常重要的。现代的板块构造理论涉及到大洋岩石圈的形成和格局，因此这些古大洋岩石圈的碎块能用来直接恢复古大洋的情况。

自1970年起，直接与蛇绿岩有关的许多会议和讨论会已经引起了对这个论题的世界性的兴趣。作为国际交往规划(International Correlation Program)的组成部分，“大陆蛇绿岩和可对比的大洋岩石”计划，已由莫斯科地质学院 N. 博格达诺夫博士创始。这个计划已经集合了一个国际组织，致力于一些突出的问题的研究，现在正在编制一幅蛇绿岩的世界分布图。在参加许多这样的会议中，使我得以交换意见，并学习到了关于许多蛇绿岩产出的大量地质的详细资料。对那些与我自由交换资料的同事们，我不自禁地说，你丰富了我的知识并增进了我的见识，这些是不易通过涉阅文献来获得的。——分别提及个人是困难的，然而我愿感谢每一个使我不断受到有关蛇绿岩方面教育的人，同时希望你们能在本书里找到一些反映我受了你们影响的内容。

在开始写此书时，我曾希望编纂一个几乎包括世界上全部有关蛇绿岩文献的文献目录，但是在工作过程中认识到，这项工作对一本简短的书来说是太大了。当然有很多参考文献未能列入，特别是俄国的和欧洲的，主要因为我缺少这些语言知识。我随意以1975年12月作为引证参考书目的截止日期。

我愿意把此书献给我的妻子凯塞林，她对我的工作不断支持是鼓舞我力量的源泉。有许多人帮助我为此书作准备。我特别要感谢以批评的态度阅读了手稿的全部或部分的那些人，因为他们确实是帮助改进了最终的成果。我感谢 W. 加赖 厄恩斯特，Ed. D. 格恩特，W. 彼得 欧文，泽尔 E. 彼得曼和韦恩 E. 霍尔。在最后的出版阶段，玛丽 多纳托给予很大帮助，校对了由劳拉·哈博很仔细打印的原稿。我也要感谢制图的非德利亚·波蒂洛和我的儿子德克 J. 科尔曼。这项工作是在韦恩 E. 霍尔的管理下进行的，他的鼓励和友谊促进了这一工作的圆满成功。本书出版业经地质调查所批准。

门洛公园 加利福尼亚

1977年4月

罗伯特 G·科尔曼

目 录

第一章 什么是蛇绿岩?	(1)
第二章 板块构造和蛇绿岩	(6)
第三章 火成岩岩石学	(12)
第一节 蛇绿岩组合的一般讨论	(12)
第二节 具有构造组构的橄榄岩	(14)
一 引言	(14)
二 构造	(14)
三 矿物学和岩石学	(16)
四 化学	(20)
第三节 堆积杂岩	(21)
一 引言	(21)
二 构造	(23)
三 矿物学和岩石学	(25)
四 化学	(29)
第四节 浅色组	(32)
一 引言	(32)
二 矿物学和岩石学	(32)
三 化学	(33)
第五节 岩墙群	(36)
一 引言	(36)
二 构造	(36)
三 矿物学和岩石学	(37)
四 化学	(37)
第六节 喷出岩体	(42)
一 引言	(42)
二 构造	(43)
三 矿物学和岩石学	(43)
四 化学	(46)
第七节 地球化学和岩石成因	(50)
一 引言	(50)
二 痕量元素	(50)
三 锶同位素	(55)
四 岩石成因	(60)

第四章 变质岩石学	(64)
第一节 引言	(64)
第二节 内变质作用	(64)
一 蛇纹石化作用	(64)
二 异剥钙榴岩	(69)
三 热液变质作用	(72)
第三节 外变质作用	(75)
一 变质晕圈	(75)
二 大陆边缘变质作用	(77)
第五章 蛇绿岩中的矿床	(82)
第一节 引言	(82)
第二节 块状硫化物	(82)
第三节 铬铁矿	(85)
第四节 次生作用形成的矿床	(88)
一 红土	(88)
二 石棉	(89)
第六章 地质特征	(92)
第一节 古老的聚合板块边缘(缝合线)	(92)
第二节 伴生的沉积物	(93)
第三节 混杂岩	(95)
第七章 侵位构造	(96)
第一节 引言	(96)
第二节 仰冲—俯冲	(96)
第三节 底辟	(100)
第四节 重力滑动、隆起、深断层	(101)
第八章 四个蛇绿岩的地质、构造和岩石的性质	(104)
第一节 引言	(104)
第二节 纽芬兰岛湾蛇绿岩	(104)
一 地质情况	(104)
二 内部特征	(106)
三 岩石、构造和地球物理的研讨	(109)
第三节 塞浦路斯特罗多斯蛇绿岩杂岩	(110)
一 地质情况	(110)
二 内部特征	(112)
三 岩石、构造和地球物理的研讨	(116)
第四节 阿曼塞迈尔蛇绿岩	(118)

一 地质情况	(118)
二 内部特征	(119)
三 岩石、构造和地球物理的研讨	(122)
第五节 新几内亚东巴布亚蛇绿岩	(123)
一 地质情况	(123)
二 内部特征	(126)
三 岩石、构造和地球物理的研讨	(128)
结 论	(129)
题目索引	(131)
参考文献 (略)	

第一章 什么是蛇绿岩？

科学术语在地质学上的应用有几个固有的问题，特别是在同时用于作用过程和实物描述的时候。在这方面，蛇绿岩有一个特别出名的历史，因为许多作者从各方面来应用它（Green,1971）。最初，布朗格尼尔特（Brongniart,1827）利用蛇绿岩来描述蛇纹岩。蛇绿岩一词来自希腊词“奥菲”（ophi），意思是蛇（snake or serpent），因为遭受剪应力作用的蛇纹岩其略带绿色的、斑纹状的和发亮的外貌近似于某些蛇。因此蛇绿岩被用来代替蛇纹岩，两者或多或少是同义语。达纳（Dana,1946）引用“古绿石”（verd antique）、“纤闪辉绿岩”（ophite）、“蛇绿岩”和“蛇纹大理岩”作为各种与碳酸盐矿物相混合的蛇纹岩的名称，结果使情况更加混乱。福魁（Fouque）和米歇尔·列维（Michel Levy,1879）用“蛇绿状”（ophitic）这个术语来描述辉绿岩（粒玄岩）的结构。自那时起，蛇绿岩就成了一个缺乏定义的术语，它被用来描述各种蛇纹石化的超基性岩。蛇纹石化作用是可以产生很多种产物的一种作用，因此，可能导致不分青红皂白地把蛇绿岩作为一个无所不包的术语使用，用来概括与蛇纹岩伴生的许多岩石，特别是在这些岩石由于构造作用已混杂在一起的那些地方。

在十九世纪末和二十世纪初，欧洲的矿物学家和岩石学家，每个人都以自己的想法，曾任意地扩大、限制或改变蛇绿岩一词的使用。至于蛇绿岩的涵义在地质文献中这样明显的混乱，并没有减少它的普及，而且任意应用的情况仍在继续。在一篇有关地中海山脉内蛇绿岩带的经典论文中，斯坦曼（Steinmann,1927）提出了一个值得注意的新概念，即把包括橄榄岩（蛇纹岩）、辉长岩、辉绿岩、细碧岩和有关的岩石都归属于一种有生成关系的岩石。这样，他就把蛇绿岩从一个岩石的术语提高成为一个岩石组合的术语。亚平宁山脉的无根冲断岩带内，这些有生成关系的岩石的共同产出给斯坦曼留下极深的印象，并对用作为成因术语的蛇绿岩作了如后的描述：“人们应该把主要为超基性岩的同源组合作为蛇绿岩的唯一特征，超基性岩中主要的一个成员永远是橄榄岩（蛇纹岩），其次为辉长岩、辉绿岩、细碧岩，或苏长岩和有关岩石。蛇绿岩一词不能用于仅仅是由成分和结构十分相近似的辉绿岩类的岩石所组成的那些岩石群”。可惜，该定义没有详细说明对这些岩石的成因起重要作用的化学的或物理的作用：大概斯坦曼认为蛇绿岩是由一种同源的火成作用形成的。

斯坦曼（1927）对蛇绿岩套的岩浆演化描述如下：“首先超基性岩浆主要固结为橄榄岩，然后为辉长岩（意大利文献中的‘Eufotide’）和伴生的辉石岩岩墙（现以软玉和Carcaro为代表），最后为具球状玄武岩边缘的辉绿岩—细碧岩（意大利文献中的‘红色的，和‘绿色的’辉长岩），在此之后有切穿辉长岩、辉绿岩—细碧岩和沉积围岩的含铜金属矿脉。所以首先固结的是最致密的和贫挥发份的组分，但这不能仅仅是由于重力分离所致，正如斯托布（Staub,1922）对阿尔卑斯蛇纹岩所设想的那样。不然，结晶出长石质岩石的静止的液态残余岩浆，应该总是在蛇纹岩之上，相反，长英质岩石实际上是从下面挤上来的。

更为可能的是，我们正在研究的一种不受重力成层性支配的分异作用，它使较轻的物质永远停留在岩浆房的较深处。第二个分异作用以同样的方式相继而来，辉绿岩—细碧岩和矿化液体停留在深处，而辉长岩上升。系列的最终组分内比较富含挥发分，这可由细碧岩枕状间隙的充填物、球陨具次生矿物、铜矿脉中的石英和围岩的块滑石化作用以及与细碧岩伴生的某些接触变质现象明显地看出来”。

斯坦曼进一步强调了被蛇绿岩侵位或贯入其中的深水沉积物。这些深海沉积物主要为燧石（放射虫岩）、远海粘土和含丁丁虫的石灰岩。因此，由蛇纹岩、辉绿岩—细碧岩、和燧石组成的“斯坦曼三位一体”逐渐地结合成蛇绿岩，这样，蛇绿岩就发展成为一个岩石的成因组合。这就引出一个综合的概念，即蛇绿岩代表了在优地槽发育早期侵位的巨厚的海底岩浆侵入体。欧洲的地质学家通常采用斯坦曼的蛇绿岩概念，因为看来它能满意地解释阿尔卑斯造山带内的镁铁和超镁铁岩石组合。与此同时，本生（Benson, 1926）提出了他的关于橄榄岩和蛇纹岩的概念，认为它们在性质上是深成的，而且是侵入到造山带内褶皱了的地槽沉积物中的，并称它们为“阿尔卑斯型”。然而在美国，鲍文（Bowen, 1927）提出了他的分离结晶作用的概念，该作用提供了一个以玄武质岩浆分离出的橄榄石晶体的晶“粥”，而且通过少量残余岩浆液体的润滑，得以侵入到上部地壳。鲍文的实验工作清楚地指出，一个液态橄榄岩浆在地壳内存在，将需要一个极高的温度的环境。鲍文的概念集中注意到成问题的橄榄岩浆的生成问题上，而美国的研究者都倾向于把橄榄岩与伴生的辉长岩、辉绿岩和枕状玄武岩分开，并把橄榄岩看作为深成的结晶堆积物。不用说，美国和欧洲橄榄岩的产状和共生情况都是很不相同的，因而导致了至今仍旧存在的矛盾。因此，作为最初由斯坦曼给蛇绿岩术语下的定义，对美国学者来说并不是十分重要的。

从1930—1960年期间的岩石学主要集中于花岗岩和火成岩的研究方面，仅有少数研究者把注意力集中于蛇绿岩套上。一个显著的例外是赫斯（Hess, 1938, 1955a, b）的工作，他无法把鲍文实验的研究结果与他从许多镁铁和超镁铁岩石产状所得出的野外观察结果协调起来。橄榄岩周围明显地缺乏高温接触晕圈，以及它们几乎普遍转变成蛇纹岩，这些导致赫斯（1938）提出存在一个低温的原生橄榄岩浆的观点：“如果假定超镁铁岩浆含有相当多的水（百分之五至十五），那么它就可能在必需低的温度条件下保持这样一种岩浆液体。这种关于水的含量的假定与蛇纹石化作用的明显事实相一致，这种蛇纹石化表明该作用是在岩浆结晶作用的较晚期发生的。

具有作为晚期形成矿物蛇纹石的含水橄榄岩浆的概念，是鲍文和塔特尔（Tuttle, 1949）已经指出的，根据实验含水的橄榄岩熔体在1000℃以下是不可能存在，而且即使在1000℃以上存在的可能性也很小的结论后才废弃的。显然，无论是野外观察或者他们的解释都不能与有关橄榄岩形成的实验工作相吻合。有关橄榄岩成因的部分问题是发展了，这是因为讨论已扩大到成因上无关的一些超镁铁岩了。欧洲地质学家强调橄榄岩、辉长岩和枕状玄武岩（蛇绿岩）的紧密伴生，而美国的地质学家倾向于把橄榄岩与伴生的镁铁岩分开。布鲁恩（Brunn, 1940, 1960, 1961）由于他在希腊—特别是在沃里诺斯（Vourinos）的研究结果，强调上面提到的紧密伴生，同时认为蛇绿岩套是作为一种巨厚的海底岩浆溢流物而形成的。布鲁恩认为溢流物是玄武质的，而且是在地槽盆地边缘沿着断裂构造发生的（Aubouin, 1965）。侵位之后的玄武质岩浆的分异作用被认为对从橄榄岩向上到辉长岩以致最后到玄武岩的明显的地层学的层序的形成起重要作用（Brunn, 1960）。因此，蛇绿

岩的概念就发展了,即蛇绿岩代表在优地槽形成的早期分异的玄武质溢流物(Aubouin, 1965),而且,在当时这个概念曾被欧洲地质学家广泛采用。然而,橄榄岩与镁铁岩的比例(近3:1)不能用一种玄武质岩浆的正常的分异作用来解释。把蛇绿岩作为单一的同源成因的倾向是不幸的,因为它把最后将引导出可能是更合理的解释的重要事实搞模糊了。

在最近十五年期间,由于广泛地开展了地质学交流,以及对这些岩石更加深入细致的研究,使欧洲和美国关于蛇绿岩成因的见解得以靠拢。与全球构造的新概念相结合的这种见解已经基本上背离了先前掌握的概念。

标志着蛇绿岩问题这种集中倾向早期形势的经典刊物(Wyllie,1967)是一部搜集了33位作者的论文的著作,它提供了超镁铁岩和有关岩石新的有意义的事实。在该刊物中,作了区分超镁铁岩组合的尝试。因此,从怀利(1967)所提供的特定组合,就可能更清楚地集中到蛇绿岩问题上。这些组合的简略说明如下。

1.较大侵入体中的层状辉长岩—苏长岩—橄榄岩组合。实例:斯梯尔沃特,大岩墙,布什维尔德,马斯考克斯和斯科加尔德。

2.分异的基性岩床和较小侵入体中的超镁铁岩。实例:斯凯。

3.同心带状纯橄岩—橄榄岩组合。实例:德克岛,阿拉斯加,乌拉尔。

4.阿尔卑斯型橄榄岩—蛇纹岩组合(蛇绿岩)。实例:巴布亚,纽芬兰,塞浦路斯,阿曼。

5.岩基状杂岩的小型组合。实例:内华达山。

6.环状杂岩中的碱性超镁铁岩。实例:马格内特湾,克拉半岛。

7.金伯利岩。实例:南非,亚特桑那。

8.超镁铁熔岩。实例:加拿大,西澳大利亚,南非。

9.超镁铁岩结核。实例:世界各地的碱性玄武岩,即夏威夷,利桑那。

以上的分类第一次清楚地把阿尔卑斯型橄榄岩与过去被混在一起的其它产出体分开。例如,斯梯尔沃特杂岩(stillwater complex)内的特征以前曾被用来解释出现在阿尔卑斯型橄榄岩中的相关关系(赫斯,1938,p.335)。

在怀利(Wyllie)编的书中,塞耶(Thayer,1967)是唯一的美国地质学家,他认为橄榄岩和伴生的镁铁组合之间的同源关系是重要的,而且提出“阿尔卑斯镁铁质岩浆系”。他强调指出,辉长岩、辉绿岩和伴生的浅色岩石可以想象是来源于一个单一的原始的橄榄岩浆。塞耶的关于阿尔卑斯型超镁铁岩套是同源的这一坚定主张,激励了美国的地质学家,使他们重新考虑欧洲蛇绿岩的概念。

怀利(1967)得出的关于超镁铁岩成因的各种假说的一些结论,揭示了大多数研究者赞同的一种地幔成因,但是在关于包括什么样的地幔作用的见解方面却存在着广泛的分歧。实际上,至少能包括两种岩浆作用:(1)基性熔体的分异而形成一种超镁铁“粥”,它或者形成序列的堆积,或者作为侵入作用的“润滑剂”;(2)地幔内形成原生橄榄岩浆,然后是晶粥侵入到地壳内,或呈固体因构造运动而侵位。然而,关于深成(来自地幔)橄榄岩这令人为难的只具有轻微接触变质作用或者根本无变质作用的基本问题,在此时还没有解决。在这个阶段,至于橄榄岩侵位的机制同样是悬而未解的问题。板块构造的概念提供了一个新的构思,其中考虑了阿尔卑斯型橄榄岩的侵位。几乎同时,一些文章发表了(Coleman,1971a; Dewey和Bird,1971; Davies,1971; Moores和Vine,1971; Church,

1972), 这些文章主张大洋岩石圈的碎块曾经上冲或进入 (仰冲) 到消亡的板块边缘的大陆边缘中。对于洋壳所作的总的岩性学对比揭示了这样一点, 即总的来说洋壳与世界造山带内如此丰富的橄榄岩—辉长岩—辉绿岩—枕状熔岩序列 (蛇绿岩) 的情况是很相似的。在这方面就又回到了斯坦曼 (1927) 的最初的概念上来了, 当然还要按现代的岩石学的和板块构造的观点加以修改。紧接着这些文章发表之后, 在美国地质学会的彭罗斯会议 (Penrose Conferences) (Anonymous, 1972) 的赞助下, 召集了有关蛇绿岩的国际范围的会议。这次会议的参加者在蛇绿岩一词的概念、成因和应用方面取得了一致的见解, 即允许它继续应用, 但是和早期欧洲的应用之间提供了联系。

按照出席美国地质学会彭罗斯会议有关蛇绿岩会议的代表意见, 蛇绿岩应该是一种特殊的镁铁岩至超镁铁岩组合。不能把它用作一个岩石的名称或在填图中作为一个岩性单位。在一个发育完全的蛇绿岩中, 岩石类型按下列顺序产出, 从底部开始向上由下列岩石组成。

超镁铁杂岩由不同比例的斜辉橄榄岩, 二辉橄榄岩和纯橄岩组成, 常具变质组构 (或多或少蛇纹石化);

辉长杂岩一般具有堆积结构, 通常包含堆积的橄榄岩和辉石岩, 它们经常比超镁铁杂岩变形程度差;

镁铁席状岩墙杂岩;

镁铁火山杂岩, 通常为枕状;

伴生的岩石类型包括 (1) 上覆的沉积剖面典型的是包括带状燧石、薄层页岩夹层和少量灰岩; (2) 普遍与纯橄岩伴生的豆荚状铬铁矿体和 (3) 钠长英质侵入岩和喷出岩。

填图单位之间的断层接触是普遍

的。完整的剖面可能见不到。一种蛇绿岩可以是不完全的、解体的, 或是变质了的蛇绿岩。虽然蛇绿岩一般被解释成是洋壳和上地幔, 但该术语的应用将不受它的假定成因的支配。

要查明这种意见取得一致的蛇绿岩定义是否能被广泛采纳是困难的; 然而, 最近在莫斯科 (Anonymous, 1973) 和巴黎 (Mesorian等, 1973,) 的关于这个题目的专题讨论会上, 建议广泛采用代表洋壳的这个蛇绿岩概念。 (都城秋穗, 1973a, 1975a, b, c) 总的来说已放弃了上面的定义, 而且感到必需要建立一个分类, 该分类看来使我们又回到了斯坦曼的最初的概念上来。都城秋穗的分类完全忽略了大多数蛇绿岩的异地生成的性质以及总是与深水远海沉积物伴生的情况。他把明显地与复理石层序成互层的火成岩都包括在内

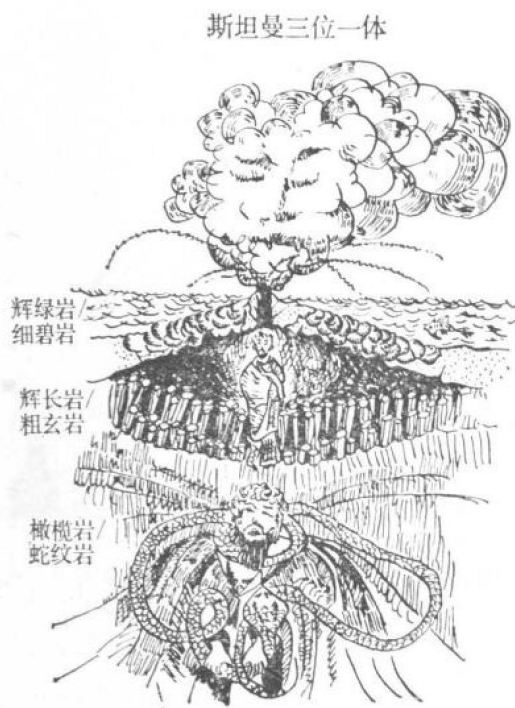


图1 描写一位地质学家的斯坦曼三位一体观点的漫画
(按E·dentex教授)

了，而那些岩石在成因上决不可能与复理石楔状体有关。都城秋穗分类的重要性是指出了某些蛇绿岩的总化学成分不同于当代产于扩张中心的火山岩。

关系蛇绿岩的基本的形成作用和侵位作用方面可能从未取得过一致的意见。在说明蛇绿岩特征的时候，最大的问题就是由于侵蚀、风化、构造解体和(或)褶皱作用以及变质作用对它们所进行的改造。因此，发育不完全的或受改造的蛇绿岩层序是代表洋壳的一部分还是代表了由另外的地质作用所形成的岩石，这就难以鉴别了。由于缺乏清楚地记载洋壳转换到大陆边缘上或进入大陆边缘的实际地点，以致使作为洋壳的蛇绿岩的成因也只有留待间接证据来说明。本专著的主要目的是介绍板块构造概念中的详细证据。

第二章 板块构造和蛇绿岩

近十几年来板块构造学说的发展,在地质的信条中产生了一些使人震惊的变化。长期存在的具有多种理论的蛇绿岩的争论,是首要的岩石构造问题之一,这些问题在板块构造理论的体系内给予了新的解释(Gass,1963; Dietz 1963; Hess,1965; Thayer,1969; Coleman,1971a; Dewey和Bird 1971; Moores,Vine,1971)。现代的例子认为蛇绿岩是作为在大洋中脊处产生的洋壳而形成的,从那里,由于洋底扩张它就慢慢地向大陆边缘迁移——在那里俯冲进入地幔。在板块边缘的某些环境中,大洋岩石圈板块已分开并叠覆(仰冲)大陆边缘(Coleman, 1971a)。蛇绿岩沿着大陆边缘侵位的机制是激烈争论的问题,然而,大多数地质学者同意蛇绿岩的板块是异地的,而且它们是在和它们现在出现的地方显然不同的一种环境中形成的(Davies,1971; Zimmerman, 1972; Gass 和 Smewing, 1973; Mesorian等, 1973; Dewey,1974; Coleman和Irwin,1974)。现代的这个观点与注重蛇绿岩的超镁铁岩部分的老的争论相反,老的争论集中在它们作为岩浆侵入的概念上(Hess,1938)。认为蛇绿岩代表一个硅铝层地槽的最早岩浆期的这些过去的概念,就要求蛇绿岩是原地的,而且应与地槽沉积物成互层(Kay,1951; Brunn,1961; Aubouin,1965)。虽然,斯坦曼(Steinmann,1906)和休斯(Suess,1909)了解到与蛇绿岩伴生的深海沉积(燧石)是外源的性质,但它们能进行构造上的运移的可能性在那时却没有追究。在五十年代和六十年代期间,在蛇绿岩区详细进行制图的报告开始揭示了它们的异地性质,以及它们与混杂岩紧密伴生的情况(De Roever,1957; Gansser,1959; Morton,1959; Coleman,1963, 1966; Graciansky,1967; Decandia和Elter, 1969)。现代的地震带代表缝合线,那里是坚硬的板块之间发生构造运动的地方,这一点一旦被证实(Isacks等,1968),便把人们的注意吸引到作为运移洋壳到大陆边缘之上或进入大陆边缘的机制的板块的相互作用方面去了(Coleman,1971a; Dewey and Bird,1970,1977; Bailey等, 1970)。这样一个假说解决了在沉积物内,高温超镁铁岩和镁铁岩没有接触变质的自相矛盾的产状。根据该假说,蛇绿岩主要是代表在一个增大的板块边界(那里发生很多的火成活动)形成的大洋岩石圈。随着扩张洋脊的增大,冷的大洋岩石圈作为一个低温的分离的板块侵位到大陆边缘的沉积物中。除了蛇绿岩(大洋岩石圈)的侵位之外,板块边界几乎所有的构造面貌都有实际的现代的对对应物。由于蛇绿岩一大洋岩石圈示例大都据有详细的证据,所以就应该摆出来进行仔细的研究和评论。

显然,如果现代的大洋岩石圈代表古大洋岩石圈(蛇绿岩),那么对它们进行岩石学上、地质学上和地球物理性质上的比较就会揭示出明显的相似性。在这种推理中的主要缺点是假定了产生新洋壳的现代的作用与过去产生蛇绿岩的那些作用相同,而且能直接对比。在对陆地上的蛇绿岩和现代大洋岩石圈之间进行对比时,产生了若干问题。可能最重要的问题就是现代大洋扩张中心和形成于现在已经消失了的古海洋中的陆地上蛇绿岩之间的巨大时间差别。曾作过这样的假定,产生现代洋壳的作用在整个显生宙都同样地发生过。对于

扩张中心及其产物洋壳的内部性质所进行的一些地球物理测量和估计,仅代表观察时间的很小的一段,可能最多不过100—150万年。要假定这种作用没有长期的变化,只能引起混乱。例如,几乎所有扩张中心的模式都是从大西洋中脊推导出来的(Talwani,等1965, 1971; Cann,1970,1974; Miyashiro等, 1970; Aumento等, 1971),但至今还没有8000万年以前发育起来的大西洋洋壳由于板块构造而被运移到大陆边缘之上,所以我们没有一个可利用的出露在陆地上的大西洋洋壳的剖面供详细研究。在地中海区内,由特提斯海(Tethyan Ocean)产生的蛇绿岩出露完好,而且多年来作了深入细致的研究(Moore, 1969; Gass和Smewing, 1973; Mesorian等, 1973)。从特提斯蛇绿岩所取得资料的大部分已被用于推导现代扩张中心的模式(Cann, 1974)。这些特提斯蛇绿岩被认为代表在一个侏罗纪的大洋中由于扩张而形成的洋壳,由于非洲和欧洲之间板块相互作用的结果,这个侏罗纪的大洋现在已完全消失。人们可能要问这样一个问题:“特提斯海产生侏罗纪洋壳的扩张中心与大西洋中脊内现在形成洋壳的那些扩张中心是否相同?”。把从古代陆地上蛇绿岩观察得来的特征用来推导现代扩张中心的隐伏部分的模式时,或者是反过来进行推导时,无疑都将产生混乱(实例见Cann, 1974, p. 187)。虽然如此,这种对比在建立地质模式中还是有效的,但必须永远非常小心地应用。

在除了大洋中脊之外的其它构造条件下,当对蛇绿岩和大洋岩石圈之间进行对比时,大洋岩石圈的形成也必须小心地考虑。例如,料想某些洋壳是在大洋岛弧的后面,而且可能在俯冲带之上的边缘盆地内形成,是十分合理的(Karig, 1971; Dewey和Bird, 1971)。可惜的是,对边缘盆地并没有同时进行充分详细的研究,借以提出一个能充分解释在这种情况下洋壳形成的模式。像红海这样的小型洋盆至今正在扩张,而且正在形成新洋壳,但是,与当前对大西洋中脊所掌握的那些相似的扩张作用和产物是不清楚的。有关在红海扩张早期形成的一个中新世蛇绿岩的一份最新报导,叙述了在构造上和化学成分上与以前已描述过的扩张洋脊模式不同的变化(Coleman等, 1975a)。洋壳形成的另一个可能变化是洋壳沿着裂开的转换断层发育(Van Andel等, 1969)。

到目前为止,我们还没有提出过在大洋范围内的对这些不同的构造情况之间进行区别的化学的、地质的或物理的方法。在洋壳构造叠加在岛弧火山岩之上,或是岛弧火山岩建造在大洋岩石圈之上的那些地方,可以预料会更加混乱(Ewart和Bryan, 1972; Miyashiro, 1975a, b, c)。在这些情况下,在利用详细的化学对比以建立任何特指的蛇绿岩系统之前,应进行仔细的地质学研究。那么,这就使我们兜了一圈又回到地槽沉积物内的火山岩上来,在那里,优地槽以有早期的镁铁火山岩夹层为特征(Kay, 1951)。这些巨厚的海底玄武岩的堆积有时是在沿着以前的大陆边缘发育的复理石沉积物内成夹层(Sugisaki等, 1971, 1972; Suzuki等, 1972; Cady, 1975)。这些玄武岩在化学成分上与大洋玄武岩近似,但并不一定非与席状岩墙、层状辉长岩和橄榄岩伴生。显然,这些火山作用与大洋岩石圈无关,而是代表与大陆边缘和碎屑楔状建造的形成作用相伴生的一种特殊的火山作用类型。遗憾的是,都城秋穗(1975a)把大陆边缘碎屑楔状体内的原地玄武岩归为无层序的蛇绿岩,又恢复了过去围绕斯坦曼三位一体的混乱。我没有采纳都城秋穗的蛇绿岩分类,而且把这些碎屑楔状体中的原地的玄武岩看作是一种火山岩族,应与蛇绿岩分开而且它与蛇绿岩不同。

现在让我们考虑一下在大洋壳和陆地上玄武岩之间已作过的重要对比。在海上的许多

地震反射研究，最近已由克里斯坦森 (Christensen) 和索尔兹伯里 (Salisbury, 1975) 进行了总结，它提供了能证明洋壳是比较简单的层状构造的间接证据。这些地震资料与200多个深海钻探现场的资料相结合，提供了一个将洋壳细分成三个不同层的证据。顶部层在各种情况下都称为沉积层或第一层，由各种固结状态的沉积物组成；当火成岩壳远离扩张中心时，在火成岩壳上的这些沉积物的固结作用随着时间而增加。沉积物的厚度也随洋壳的年龄和大洋范围内沉积物的来源而变化。平均厚度为0.3公里，而且地震波速 (V_p) 介于1.5和3.4公里/秒之间 (Shor和Raitt, 1969)。第二层被认为主要是海底枕状玄武岩，其磁性特征对于平行于扩张脊的线状磁异常的形成起很大作用 (Vine和Matthews, 1963; Heirtzler和Le pichon, 1965; Cann, 1968)。第二层的平均厚度为 1.39 ± 0.50 公里，而且具有一平均为 5.04 ± 0.69 公里/秒的地震波速 (V_p) (Christensen和Salisbury, 1975)。第二层的上部已被深海钻探穿透，同时证实了它属于玄武质，至少在它的顶部是这样。第三层有时称为大洋层，平均厚度为 4.97 ± 1.25 公里，平均地震波速 (V_p) 为 6.73 ± 0.19 公里/秒 (Christensen和Salisbury, 1975)。没有通过钻探直接对三层取样，但是挖泥机捕获物无疑已获得第三层碎块。萨顿等人 (Sutton, 1971) 在第三层的底部发现一个基底层一厚3公里，在太平洋各部分内它是具有异常高的波速 (7.1—7.7公里/秒) 的一个层。当第三层在一个扩张洋脊内形成之后，在4000万年时间里增厚了2公里，而且在它形成之后，随之地震波速 (V_p) 也降低，从6.8公里降低至6.5公里/秒，大约相当8000万年 (Christensen和Salisbury, 1975)。直接位于现代扩张洋脊之下，变薄的第三层位于异常的地幔之上，后者的压缩波速 (V_p) 很低 (7.2—7.7公里/秒) (Talwani等, 1965)；然而，1500万年或更老的洋壳位于波速为8.0—8.3公里/秒的地幔之上 (Christensen和

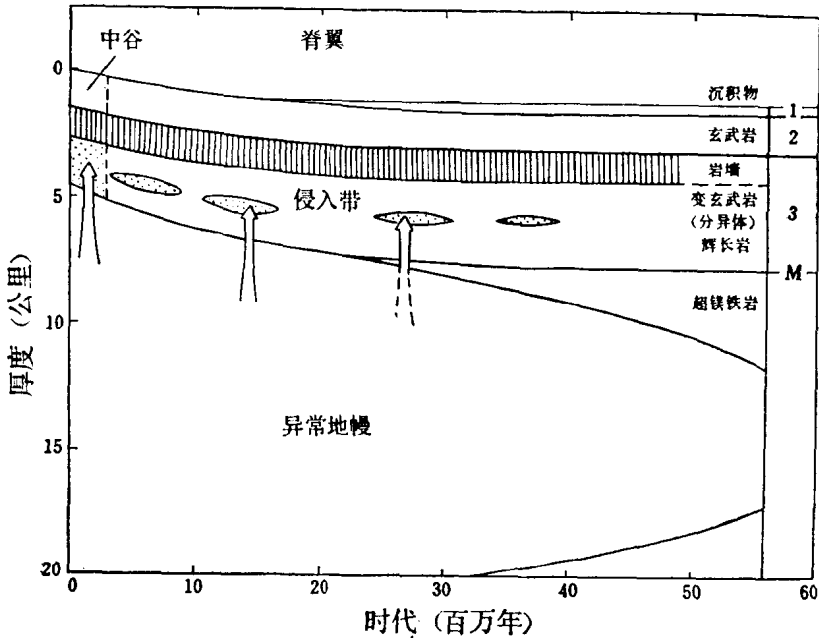
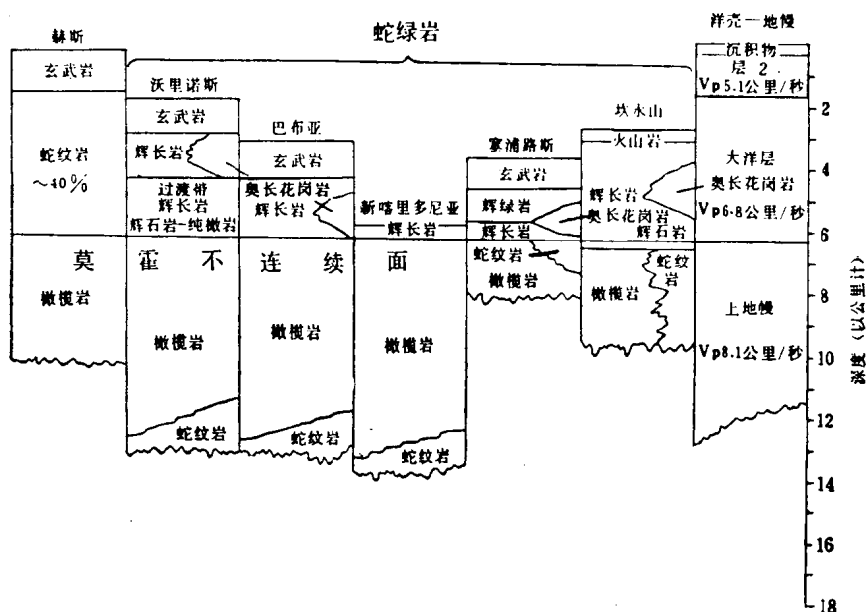


图2 洋壳的形成和演化。壳 (1, 2) 的上层位大部分在中谷之下形成的，但是由于来自异常地幔的间歇的外侵入，使3层连续变厚近四千万年
(按Christensen和Salisbury, 1975)

Salisbury, 1975), 见图 2。在第三层以下, 或莫霍不连续面之下, 一般都同意, 地震性质上不均匀的地幔是由一个枯竭的已遭受亚固相变形的橄榄岩组成(Christensen 和 Salisbury, 1975)。应该了解在洋壳内取得的地震数据乃是洋壳内不规则性的一种平均趋势值, 正如处理大陆壳的数据一样。这就产生了一个过分简单化的层状层序, 在地壳的任何部分通过对地震剖面的恢复都能导出这个层序, 然而, 不断地利用关于洋壳的更加完善的地球物理研究成果将会获得新的资料, 这些资料无疑会表明洋壳内更加复杂。



(Davies, 1971)。这个问题的一部分是由于蛇绿岩的超镁铁堆积剖面包括到大洋层内而得到解决, 正如穆尔斯和杰克逊 (1974) 所认为的那样。然而, 这种类推似乎是有效的, 但是, 将来的对比则应建立在洋壳内的变化的基础上, 这里指的是与有可能形成蛇绿岩的那些地方有关的边缘盆地、小型洋盆或深海盆地的洋壳。构造的叠加作用或者与剥蚀改造作用相结合的减薄作用也能改变陆地上的蛇绿岩。

样物质的地震速度测量,能允许把这些岩石归属于由它们的岩性所决定的各个不同的大洋地震层(Christensen和Salisbury,1975)。对比工作正在继续进行,直到此时在一般示例中还未发觉较大的不符情况。后面的章节将更详细地讨论蛇绿岩的岩石学特点。然而,洋壳岩石学以及它的详细对比的题目,超出了本书的范围。

不整合地沉积在蛇绿岩枕状熔岩的上部表面之上,或在它们之中成互层的远海沉积物的存在,是一个重要的方面,同时常常提供了蛇绿岩为异地性质的证据,特别是当蛇绿岩与浅海相沉积物呈构造接触时更是如此(Abbate等,1973)。曾发现在蛇绿岩枕状熔岩内部的小洼地中沉积的棕色土(铁-锰沉积物),它们相当于在现代洋壳上找到的含金属的沉积物,这一发现提供了与大洋区域的另一个联系(Corliss,1971; Spooner和Fyfe,1973; Bonatti,1975; Robertson, 1975)。与这些含金属沉积物有关的是洋壳有广泛的热液蚀变,这是由靠近扩张中心循环的热海水引起的(Gass和Smewing,1973; Spooner和Fyfe, 1973; Miyashiro等, 1971)。在靠近扩张中心的上部2—3公里处,大洋镁铁岩蚀变成沸石和绿片岩的集合物,这在许多蛇绿岩内受变质的枕状熔岩和席状岩墙层序中,都有它的对应物(Gass和Smewing,1973; Bonatti,1975; Magaritz和Taylor,1976; Bailey和Coleman,1975)。蛇绿岩枕状熔岩内块状的层控型硫化矿床的产出与热液蚀变有关,这一点说明了与例如像在红海的这种地方,目前正在发生的大洋作用之间的一种明显的联系(Sillitoe,1972,1973; Duke和Hutchison,1974)。遭受热液蚀变的蛇绿岩镁铁岩内,稳定同位素的分馏作用明确地指出,它们的蚀变与大洋水有关系,同时在块状黄铁矿中,硫是还原的海水硫酸盐(Johnson,1972; Heaton和Sheppard,1974; Bachinski,1976)。

在蛇绿岩洋壳的实例中有几个前后矛盾之处,这些矛盾需要讨论,而且当然可以提供一些有意义的地区供作补充的研究。正如在本章的前面提到过的,还没有令人信服的证据能证明,在整个显生宙时所发生的都是千篇一律地像现代增大的板块边界的那种作用。扩张速率的变化、局部熔化的程度,特别是软流圈的流动和岩浆成分的变化,它们都能各自地或一起明显地改变洋壳的厚度、形状和成分。这可由太古代“洋壳”和显生宙蛇绿岩之间的显著差别所看出来,正如由维尔乔恩父子(Viljoen和Viljoen,1969)、格利克森(Glikson,1972)和纳尔德雷特(Naldrett,1972,1973)所论证的那样。由都城秋穗指出的大洋中脊的火成岩和蛇绿岩之间在化学上和岩石学上的差异需要进一步的研究。这能导出下面的可能结论,即洋壳可以在很多构造情况下发育,而且化学上近似于现代大洋中脊岩石的玄武岩,也可能是在大洋范围内其它的构造情况下形成的。在大多数特提斯蛇绿岩中有席状岩墙的出现,以及它们特别是在环太平洋的蛇绿岩中的明显缺失表明,要求有一个共轭的岩墙系统的扩张机制并不是增大的边缘的普遍的特征,正如穆尔斯和瓦因(1971)曾提出过的那样。与平均洋壳相比,蛇绿岩层序的总厚度表现出明显的不足,因而重提出了由史密斯(Smith,1974)提出过的问题:“直到现在,对任何人来说,显然都不会产生蛇绿岩层序究竟能不能与洋底的正确模式进行比较的问题”。实际上,大部分有关扩张洋脊的模式看来都需要从陆地上蛇绿岩获得了解,因此模式的派生性质需要更多的独立资料,或者至少是能够说明前后矛盾的一些变化情况的资料。在某些蛇绿岩的产出中,远海沉积物缺失,而且位于海底枕状熔岩顶部的沉积层可以是大陆火山碎屑或碎屑物质(Bailey等,1970; Dewey,1974; Hopson等,1975)。另外,在增大的板块边缘的轴部形成的枕状熔岩可以被不同成分的轴外的厚层海底玄武岩覆盖,这种海底玄武岩需要一种不同于产