

蛇绿岩 与地球动力学研究

张旗 主编

地质出版社

研讨会论文集 北京·1996

蛇绿岩与地球动力学研究

张 旗 主编

发起单位：

国家自然科学基金委员会地球科学部

中国科学院地质研究所

中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室

中国地质科学院地质研究所

北京大学地质系

中国地质大学(北京)

南京大学地球科学系

西北大学地质系



地质出版社

· 北京 ·

(京)新登字 085 号

内容提要

本书是为 1996 年在北京召开的“蛇绿岩与地球动力学研讨会”而撰写的。书中介绍了国内外蛇绿岩研究的最新进展,对兴蒙—北疆、特提斯、祁连山、秦岭等造山带的蛇绿岩及其所反映的板块构造格局进行了总结,从不同角度讨论了蛇绿岩的概念、分类、时代、地球化学问题,探讨了蛇绿岩所反映的地球动力学问题、蛇绿岩与非蛇绿岩的关系以及与蛇绿岩有关的矿产等问题。书中还介绍了某些新的研究领域和研究方法,并对中国蛇绿岩今后研究的方向进行了探索。本书适合于从事岩石、地球化学、构造和地层学的地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

蛇绿岩与地球动力学研究:蛇绿岩与地球动力学研讨会
论文集/张旗主编. —北京:地质出版社,1996.5

ISBN 7-116-02154-X

I. 蛇… II. 张… III. ①蛇绿岩-学术会议-文集②地球
动力学-学术会议-文集 IV. P588.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 07271 号

地质出版社发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:邵济安、白 铁

*

北京科地亚印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:360,000 字

1996 年 5 月北京第一版·1996 年 5 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:20.00 元

ISBN 7-116-02154-X
P·1615

序

蛇绿岩一词最早于 1827 年由 A. T. Brongniart 命名。G. Steinmann 于 1906 年将蛇绿岩定义为一种基性-超基性岩,并于 1927 年撰文,论述了蛇绿岩中蛇纹岩、辉绿岩与硅质岩的共生关系,认为它是地槽发展早期的产物,即所谓三位一体。把蛇绿岩或蛇绿岩套同构造发展联系起来,具有重要的意义。

60 年代,板块学说兴起,大洋壳的海底扩张是板块学说的重要支柱之一。1968 年,日本学者都城秋穗(A. Miyashiro)以新的观点对蛇绿岩作了回顾和界定。在 1972 年召开的彭罗斯会议上,R. G. Coleman 对蛇绿岩问题的岩石学方面和构造意义方面作了出色的概括和论述,成为现代蛇绿岩研究史上的一个里程碑。其后,由于美国深海钻探计划(DSDP)的陆续执行,导致在 70-80 年代曾多次召开了蛇绿岩与大洋岩石圈关系的国际研讨会,特别是对地中海特罗多斯蛇绿岩的研究,显示了它与大洋中脊有明显的差异,被认为是一种特殊的类型。几次研讨会得出的共同认识,是多数蛇绿岩主要代表板块消减带之上的岛弧和弧后盆地、大陆边缘盆地等小洋盆消减的构造环境。

80 年代后期到 90 年代初,在国际地学前缘研究中提出了地球动力学和地球各圈层相互作用系统。这就必然涉及地球深部,首先是地幔的作用问题。1990 年举行了阿曼蛇绿岩国际研讨会。这次会议涉及了深部过程和层圈相互作用,可能成为蛇绿岩研究中的第二个里程碑。会后,于 1991 年由 R. G. Coleman 等编辑出版了“蛇绿岩成因与大洋岩石圈演化”文集。书中将大洋壳扩张中心的作用过程明确分为地壳与地幔两部分,并有专门章节论及变质作用和古构造、古环境。

我国对超基性岩的研究起步较早,但研究工作都是从有关矿产和岩石学角度出发的。70 年代,肖序常从构造上提出了祁连山区的蛇绿岩问题;梅厚钧等从岩石学上初步研究了蛇绿岩在中国的分布;常承法在青藏的工作引起了对几个蛇绿岩带的注意。80 年代,王希斌等对藏南地区,张旗、莫宣学和邓万明等在青藏和三江地区做了蛇绿岩岩石学及其构造意义方面的工作。肖序常、李锦轶、何国琦、邵济安等在内蒙古-北疆地区,张本仁和邱家骧等在秦岭地区,周新民和徐备等在皖、赣地区都做了很好的工作,他们的工作涉及地质年代、岩石类型和构造意义等许多方面,成绩是显著的。

近年来,对我国蛇绿岩带的研究结果也大都证明其性质不同于大洋中脊,而是代表大陆边缘盆地和弧后盆地等小洋盆地消减的产物。我一向认为大陆边缘构造复杂,不仅会出现多列岛弧,还会有从大陆裂离出来的中、小型地块和由此形成的小洋盆。但使我长期困惑的是在当代陆壳范围内一直很少发现真正大洋盆消减的遗迹。这是否意味着古代陆间洋盆相对较少,或其范围相对较小?若果真如此,是否有古代地球表面积较现在为小,亦即地球曾经历过适度膨胀过程的可能?从各时期生物区系及分区看,如地球的表面积在古生代较现在小 25%,即地轴长度约小 5%,则生物古地理的解释会较为合理。我认为,这是一个值得认真探讨的问题。

从国际前沿研究的趋势,并结合我国的现实情况看,“九五”时期及其以后的 10 年,固体地球科学的基础研究,特别是岩石圈的研究,其重点应当是从大陆动力学和地球动力学的高度,

对大陆岩石圈的复杂结构和长期发展史进行多学科的综合研究,以求对中国以及全球的古构造格局及其阶段演化、壳幔演化及其相互关系有进一步的理解,从而揭示地球深部过程和地球各层圈之间的相互作用。只有这样,我们的研究才能真正与国际同步,同国际接轨。

在当前的人力、财力和技术水平条件下,我们的战略方针必须是有限目标,重点突破。应当看到:大陆上的蛇绿岩带,特别是那些大型陆间对接带,都有复杂的结构和漫长的历史。如能选取一些自然条件优越的重点区段,踏踏实实地从 1:25000 至 1:50000 比例尺的填图作起,运用岩石学、地球化学、同位素测年和地球物理等各种方法联合攻关,真正把地表和地下浅、深部的构造关系搞清,必能在蛇绿岩研究方面取得突破性的成果。

由国家自然科学基金委员会地球科学部和中国科学院地质研究所等单位联合发起,由张旗、邵济安等同志积极筹划的“蛇绿岩与地球动力学”研讨会即将召开,并将在会前出版文集,以求促进交流,扩大视野,推动中国的蛇绿岩研究与国际接轨。这是非常必要和十分及时的。张旗同志要我为文集写序,我深知自己在这方面所知过少,但又深感会议的重要,因而勉强应命。我相信这次会议必将是一次高起点、高水平和高效率的会议,提出的上述目标定可实现。敬谨预祝大会圆满成功。

王鸿祯

1996 年 3 月于北京

前 言

蛇绿岩研究虽一直受到地学界的广泛重视,但全国性的专门研讨蛇绿岩的学术会议尚未举办过。1986年在河北隆化召开的第2次全国基性-超基性岩和蛇绿岩会议,交流了各地蛇绿岩研究的进展。10年过去了,中国在蛇绿岩研究中又取得了长足的进步。许多学者在各自的研究领域都作出了出色的贡献,提出了许多有意义的认识;当然,在不少问题上也存在不同的意见和争论,这是不足为奇的。大家感到需要交流,这才萌发了开一次会的想法。“蛇绿岩与地球动力学研讨会”从筹备到召开仅用了半年多的时间,而且得到了许多单位和同行的热烈支持,可见这一举措已是水到渠成。此研讨会由国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)地球科学部、中国科学院地质研究所、中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究实验室、中国地质科学院地质研究所、北京大学地质系、中国地质大学(北京)、南京大学地球科学系、西北大学地质系和中国地质学会等9个单位联合发起,并于会前出版了本论文集,以促进研讨和交流。

本次研讨会的宗旨是:促进交流,扩大视野,推动中国蛇绿岩研究与21世纪国际研究接轨。蛇绿岩研究是造山带研究的主要支柱之一。基金委在“七五”和“八五”期间资助的几个重大基金项目,如滇川西部特提斯带岩石圈构造演化,中国东南部及相邻海域岩石圈结构、组成与演化,兴蒙-北疆古生代岩石圈的演化以及秦岭造山带岩石圈结构、演化及其成矿背景的研究等,蛇绿岩均是其中的核心问题之一。从基金委近年来支持的基金项目和本论文集所征集的论文来看,国内有关蛇绿岩的研究主要还是集中在古板块格局的再造上。当然,这方面的研究是很需要的,已经取得了不小的进展,在某些方面还获得较突出的成绩,这是全国地质界努力的结果。搞清一个造山带或一个地区某一时限的板块构造格架是十分重要的,今后仍要加强这方面的研究。同时,还需要认真研究怎样与21世纪国际蛇绿岩研究接轨的问题,应当更多地从蛇绿岩中去挖掘有关洋脊动力学和地幔动力学的信息,为探索板块扩张机制、壳幔演化和地球动力学做出贡献。本论文集在这方面作了有益的探索,尽管还不成熟。

中国蛇绿岩研究的总体水平还不尽如人意,一个很重要的原因是,还没有参加到国际蛇绿岩研究的潮流中去。例如,深海钻探计划、大洋钻探计划以及特罗多斯和阿曼蛇绿岩的国际合作研究就缺少中国人的声音。应尽快改变这种状况,而当务之急是做好中国自己的事,把中国的蛇绿岩搞清楚。在有限的条件下,把工作做得尽可能地好。不同行业、不同部门的有识之士应当携起手来,摒弃门户之见,共同为提高中国蛇绿岩研究的水平而努力。基金委地球科学部是为科学家服务的,愿意和大家一道来做好这件工作。

本论文集是大家共同努力的结晶。尽管每篇文章的篇幅不大,但所包容的内涵较充实,基本上涵盖了国内蛇绿岩研究的各个领域,且有些是具有开拓性的领域。书中的论文大部分是作者按照研讨会的征稿范围自由撰写的,部分是学术委员会秘书组根据研讨会确定的主题约请若干作者撰写的,还有一部分选题是秘书组与作者共同切磋拟定的或由作者确定的。所收到的论文由出版组组织在京的部分专家进行了评审,由张旗和邵济安最终审定。本着文责自负的精神,出版组对选定的论文只作了部分文字和技术性的处理。由于时间仓促,不可能与作者仔细

切磋,只有部分论文与作者进行了讨论,作了某些修改;个别稿件由于基本资料可信度的疑虑或论据不够充分而未予采用;还有部分稿件与蛇绿岩无关,也未予录用。在论文编辑过程中,中国科学院地质所邓万明、中国地质科学院地质所李锦轶和国家基金委地学部姚玉鹏付出了辛勤的劳动,中国科学院地质所李永刚、陈雨、李秀云、石昕和刘文君协助做了许多具体的工作,在此表示衷心的感谢。本论文集从征稿到出书仅用了半年的时间,由于时间仓促,有些作者要写而来不及动笔的文章未能收入,这是十分遗憾的;此外,文中也难免会出现某些错误,热忱欢迎作者和读者的批评指正。

马福臣

1996年2月8日

目 录

蛇绿岩:壳-幔过程的地质记录	莫宣学(1)
蛇绿岩与板块扩张机制	张 旗(5)
现代洋壳和塞浦路斯特罗多斯蛇绿岩洋壳的二级特征	杨经绥(8)
蛇绿岩的概念及其演变	周国庆(15)
蛇绿岩研究中有关问题的讨论	杨芳林(21)
蛇绿岩和造山带研究中的若干判据	吴根耀(25)
中国镁铁-超镁铁岩组合及研究方向议	白文吉等(29)
绿岩、蛇绿岩和暗色岩的历史演变	梅厚钧(34)
放射虫硅岩与蛇绿岩	吴浩若(40)
蛇绿岩和蛇绿混杂岩时代研究中的几个问题	孙晓猛等(45)
蛇绿岩中地幔橄榄岩的显微构造特征及其地球动力学意义	董云鹏等(49)
蛇绿岩中上地幔橄榄岩动力学研究的新方向	金淑燕(53)
韧性变形中上地幔橄榄岩的部分熔融结构	金振民等(58)
蛇绿岩分类的回顾	周国庆(63)
试论中国蛇绿岩成因类型及其成矿专属性	王希斌等(69)
蛇绿岩建造与铜、铜镍、铜铁等矿产的成矿关系	姜福芝(75)
论玄武岩大地构造环境的地球化学研究方法	郑海飞等(79)
蛇绿岩的同位素地质研究问题	黄 莹等(84)
中子活化分析在蛇绿岩研究中的应用	韩 松等(89)
地幔橄榄岩的 REE 破坏中子活化分析(RNAA)研究	贾秀琴等(93)
玻安岩的地球化学特征及其构造意义	陈 雨(97)
中国蛇绿岩的时空分布	李锦轶(99)
兴蒙—北疆及邻区古生代蛇绿岩的对比研究及其大地构造意义	何国琦等(104)
古亚洲洋区蛇绿岩的某些特征与古洋演化	唐克东等(108)
中国西南天山的蛇绿岩带	李茂松等(112)
蛇绿岩与古蒙古洋的演化	邵济安等(117)
内蒙古恩格尔乌苏蛇绿混杂岩特征	高军平等(121)
新疆阿尔曼太蛇绿岩地球化学	金成伟等(125)
祁连地区蛇绿岩带划分及其构造意义	左国朝等(129)
蛇绿岩与造山作用—北祁连造山带例析	冯益民等(135)
北祁连西段超基性岩特征及纯橄岩成因分析	郭原生等(139)
老虎山蛇绿岩的特征及其形成环境	何世平等(143)
秦岭蛇绿岩的年龄:同位素年代学和古生物证据,矛盾及其理解	张宗清等(146)
东秦岭松树沟蛇绿岩中地幔橄榄岩的结构构造特征及其流变学意义	董云鹏等(150)
东秦岭商丹带变质玄武岩地球化学特征对丹凤蛇绿岩的限制	张成立等(154)

北秦岭松树沟蛇绿岩的地质地球化学特征及其形成环境	裴先治等(158)
勉略地区蛇绿岩的初步研究	许继锋等(163)
青藏高原蛇绿岩时空分布与特提斯演化	郭铁鹰等(167)
青藏古特提斯蛇绿岩与“冈瓦纳古陆北界”	邓万明(172)
东特提斯多弧-盆系统中的蛇绿岩	潘桂棠等(177)
古特提斯大洋岩石圈地幔的性质及下地幔的印记	张 旗等(181)
阿尼玛卿缝合带及“俯冲-碰撞”动力学	许志琴等(185)
西藏洞错蛇绿岩的地球化学及其生因	鲍佩声等(190)
西藏东部丁青—怒江蛇绿混杂岩带的地质特征	李秋生等(195)
青海可可西里蛇绿混杂岩中硅岩的地球化学特征	边千韬(199)
哀牢山蛇绿岩与金矿成矿类型	李定谋(203)
赣东北蛇绿混杂岩带的特征及其构造意义	赵崇贺等(208)
赣东北蛇绿岩及其地球动力学意义	李昌年等(213)
皖南地区变质火山岩与蛇绿岩套的关系	陈冠宝等(218)
胶东海阳所蛇绿岩套的逆变质作用	赖兴运等(222)
关于中国蛇绿岩今后研究方向的建议	张 旗等(226)
后记	(231)

蛇绿岩:壳-幔过程的地质记录

莫宣学^①

(中国地质大学,北京 100083)

关键词:蛇绿岩 壳-幔过程

摘 要:蛇绿岩是地球壳-幔系统层圈间相互作用的产物,它含有代表地球壳-幔系统不同层圈的岩石单元,从形成到定位的过程跨越了板块运动的不同阶段与不同的构造环境,因此它记录着壳-幔系统不同层圈及其相互作用、板块运动学与动力学的丰富信息。通过详细的工作,尽可能充分地识别与挖掘出这些重要的信息,并给予科学的解释,是深化蛇绿岩研究的一个重要方向。

一、引 言

地球作为一个整体系统的思想和地球系统中各层圈间相互作用的思想,是当今地球科学最基本的观点。从这样的高度来认识蛇绿岩,可以将蛇绿岩理解为地球壳-幔系统层圈间相互作用的产物,它保存着壳-幔作用过程中许多重要的信息。通常认为,蛇绿岩由地幔橄榄岩、堆晶杂岩、岩墙群、火山岩、沉积岩等多个代表不同层圈的岩石单元组成,其形成时间与定位时间不同,形成地点与定位地点也不一致,分别属于威尔逊旋回的不同阶段;蛇绿岩可以形成于洋中脊、弧前盆地、弧后盆地及其他边缘海盆地及拉张岛弧等多种构造环境,通过陆-陆碰撞、陆-弧碰撞或弧-弧碰撞作用在大陆上定位,常以蛇绿混杂岩的形式出现,标志着不同级别的板块缝合带。正是由于蛇绿岩包含着代表地球壳-幔系统不同层圈的岩石单元,从形成到定位的过程跨越了板块运动的不同阶段与不同的构造环境,因此它记录着壳-幔系统不同层圈及其相互作用、板块运动学与动力学的丰富信息。蛇绿岩中的地幔橄榄岩单元,记载着扩张脊下地幔深部过程的各种信息;其上的岩浆产物:堆晶杂岩、岩墙群、火山岩等单元,记录着扩张脊之下地幔→洋壳转换过程以及岩石圈-水圈之间相互作用的种种信息;最上部的沉积物单元,则包含着蛇绿岩形成的古地理与古环境信息;同时,蛇绿岩的各单元中,都含有其定位过程中洋壳→陆壳转换的信息,甚至可以含有海洋岩石圈通过俯冲作用返回地幔的过程的某些信息。通过详细的工作,尽可能充分地识别与挖掘出这些重要的地球动力学信息,并给予科学的解释,是深化蛇绿岩研究的一个重要方向。世界各国学者已经开始重视这一方向的研究,并取得了一些重要的进展^[1-6],但仍有进一步强调的必要。下面仅就蛇绿岩所反映的地幔深部过程及板块运动学与动力学信息,试作一些分析。

二、蛇绿岩中所包含的地幔深部过程的信息

蛇绿岩中的变质橄榄岩单元,与玄武岩和金伯利岩所含的橄榄岩包体一样,都是地幔岩石

^① 莫宣学,男,57岁,教授,岩石学专业。

在地壳中出露的直接标本,因而,都可以当作窥探地幔的“窗口”与“探针”。然而,二者相比,蛇绿岩中变质橄榄岩的“窗口”与“探针”作用,远不及橄榄岩包体那样受到重视。原因之一可能是因为蛇绿岩中的地幔橄榄岩大多已蚀变为蛇纹岩,原岩结构构造遭到了破坏。其实,世界上并不乏新鲜的蛇绿岩岩石,例如阿尔卑斯-喜马拉雅、地中海及环太平洋山链中的蛇绿岩,岩石就比较新鲜,其中包含着十分丰富和宝贵的关于地幔及其中所进行的深部过程的印记,尤其是海洋岩石圈地幔及其中深部过程的印记,是不应当受到忽视的。

(一) 关于海洋地幔的岩石类型

现已知道,大多数蛇绿岩的基底岩石以方辉橄榄岩为主,只有极少数蛇绿岩的基底岩石以二辉橄榄岩为主;而从海洋钻探与打捞所获得的样品却表明,现代洋盆下面地幔岩石的主要类型是二辉橄榄岩(Coleman, 1984)。那么,为什么会形成这样明显的差别?这种差别的地球动力学内涵是什么?是反映了古海洋地幔与现代海洋地幔岩石组成的固有差别,还是反映了二者热状态与海洋扩张速率的不同而造成的部分熔融程度的差异,抑或暗示古洋盆与现代洋盆在规模上的重大差别?这些都是应该弄清楚的问题,通过研究蛇绿岩所蕴含的有关信息将有助于弄清这些重要的问题。

(二) 关于海洋地幔的地球化学特性

许多中外学者通过对幔源火山岩的同位素研究发现,冈瓦纳古陆地幔和劳亚古陆地幔在地球化学上有重大的差异,前者是含有 DUPAL 异常的较富集地幔,后者接近亏损的 MORB 型地幔(DMM)。但是,现在还不太清楚,在两大古陆之间的特提斯洋之下的地幔属于何种地球化学域;也不太清楚,在大陆裂解、向海洋转化的过程中,大陆地幔原有地球化学特性是否还能够继承下来,扩张速度与洋盆规模是否会对其地球化学继承性产生影响。这些,也是普遍关心的基本问题,也可以从蛇绿岩所蕴含的有关信息中找到解决问题的线索或钥匙。

(三) 关于地幔中岩石的部分熔融与岩浆作用过程。

这是一种重要的壳-幔相互作用过程,极大地影响着壳-幔之间物质与能量的再分配及其地球物理性质,因而一向受到重视,其研究也已相当深入,尤其近年来关于熔融动力学的研究,已成为地幔动力学研究的一个重要内容(如 Jin Zhenmin et al., 1994, 见本论文集:金振民等)。近年来,通过蛇绿岩研究扩张脊下地幔中岩浆源区的性质、岩浆起源条件及熔融动力学等方面也有许多新的成果。例如,周德进等(1995)对云南双沟蛇绿岩的变质橄榄岩中保存完好的部分熔融现象及形态多样的初始熔融体的研究;Dobretsov 等(1991)关于蛇绿岩及幔源岩石包体所包含的岩浆过程信息异同的对比;Ceuleneer(1991)关于地幔底辟作用与扩张脊下岩浆过程之间关系的研究等,都很有新意。

(四) 关于地幔中的变形与变质作用

对蛇绿岩中变质橄榄岩的结构构造与矿物学研究,有助于了解地幔的流变学性质,恢复地幔变形与运动过程。例如通过对岩石中各种面理、线理的岩组学测量以及位错、晶畴、亚颗粒的研究,判定各次重大变形的性质及运动方向;通过对橄榄石扭折带(kink band)等塑性形变现象的测量与研究,判断应力方向,估算应力差值及蠕变速率;应用矿物温度与压力计结合同位

素测年或地质关系,建立 P - T - t 轨迹。还应注意到,一些特殊矿物的出现是壳幔运动的良好指示,如西藏罗布莎超镁铁岩中金刚石的存在,暗示着这一岩块曾经历过先快速低温增压,后快速低温减压(快速折返)的过程(Fang et al., 1981; Nixon et al., 1991)。蛇绿岩中的铬铁矿床也是地幔深部过程的产物(张浩勇等, 1996)。一些研究者(如 Nicolas et al., 1991)认为,蛇绿岩是否具有形成工业铬铁矿床的条件,主要取决于扩张速率。因为,扩张速率直接影响到形成铬铁矿的深部过程。快速扩张(但不是很快)有利于铬铁矿的形成。

三、蛇绿岩中所包含的板块运动学与动力学信息

已有的研究表明,蛇绿岩能够提供的关于板块运动学与动力学的信息有:扩张脊下岩浆房的有无、大小与位置;扩张脊的方向、扩张速率、洋盆的宽度与时限、形成的构造环境;成对出现的蛇绿岩与俯冲岩浆弧,还可判断古活动大陆边缘与海沟的相对位置、板块俯冲方向、角度与速度、板块消减的宽度等。

蛇绿岩中堆晶杂岩的有无,通常被认为是洋脊下岩浆房存在与否的证据,其定位深度可以通过热力学方法或上覆地层厚度进行估算,其存在时间的长短从理论上说可以用同位素测年方法获取,但实际上比较困难。至于岩浆房的大小,过去通常从堆晶岩的体积和厚度来估算,所依据的模式是在扩张脊下存在一个巨大而稳定的岩浆房,通过结晶作用形成堆晶岩。然而这种模式既与一些地质事实相矛盾,也与多数现代洋脊下的地球物理观测资料不符。因而现在认为多数扩张脊下不存在巨大而稳定的岩浆房,堆晶岩是多次岩浆事件(呈岩席侵入)叠加的产物,因而堆晶岩的厚度可以大大超过岩浆房的高度。

席状岩墙群的存在通常表示比较快速的扩张;岩墙群的延伸方向一般认为与扩张脊平行。然而, Nicolas 等(1991)通过对阿曼蛇绿岩的详细研究,指出席状岩墙群根带的复杂性及特殊意义。这些作者认为,席状岩墙群根带有着复杂的相互侵入与反应关系,位于一个具有极高热梯度($\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{m}$)的层带内(约 100m 厚),代表其下的对流岩浆房与其上的对流水热通道之间的热界面。

蛇绿岩中火山岩与侵入岩单元的岩石组合、岩浆系列、岩石化学、痕量元素、稀土元素与同位素地球化学特征、矿物学特点,配以上覆沉积岩的岩相与古地理特点及古生物特点,是分析蛇绿岩形成的构造环境、确定其形成时代、估算扩张速率与洋盆宽度的主要依据,同时也是研究地幔及其深部过程的重要依据。邓晋福等(1992)、莫宣学等(1993)在研究“三江”与西藏特提斯演化时,还提出和运用了成对出现的蛇绿岩与俯冲岩浆弧的概念,以便更加充分地利用岩石学信息来研究扩张与俯冲消减过程,再造洋-陆转换、壳-幔转化的历史。

蛇绿岩的定位机制研究是蛇绿岩研究中的重要内容,主要通过仔细研究蛇绿岩的变形变质记录、尤其是高压变质岩石、矿物及构造岩等来进行。这一方面的研究,现在还很薄弱,需要大力加强。

四、结 语

由上可知,蛇绿岩中确实蕴含着壳-幔系统层圈及其相互作用、板块运动学与动力学的丰富信息。如果能够充分挖掘出这些信息,就可以更好地发挥蛇绿岩在研究地球动力学过程、再

造古构造格局中的重要作用。同时,也只有充分研究这些信息,弄清其真正的内涵,不但知其然,而且知其所以然,才能科学地理解与阐明蛇绿岩的一些基本问题,深化对蛇绿岩的研究。

参 考 文 献

- 1 Coleman, R. G. , 1981, Oman Ophiolite, *J. Geophys. Res.* , 86, (B4): 1—2782.
- 2 Peters, Tj. , Nicolas, A. , Coleman, R. G. (eds.), 1991, *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- 3 RIDGE Office, RIDGE Science Plan 1993-1997. Woods Hole Oceanographic Institution for the RIDGE Program, 1—101.
- 4 肖序常等(主编), 1995, 蛇绿岩专集, *岩石学报*, 11(增刊)1—240.
- 5 莫宣学, 路凤香, 邓晋福等, 1993, “三江”特提斯火山作用与成矿, 北京: 地质出版社.
- 6 张旗, 张魁武, 李达周, 1992, 横断山区镁铁质-超镁铁质岩, 北京: 科学出版社.

OPHIOLITE AS A RECORD OF THE MANTLE-CRUST PROCESSES

Mo Xuanxue

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: Ophiolites; Mantle-crust processes

蛇绿岩与板块扩张机制^①

张 旗^②

(中国科学院地质研究所 北京, 100029)

关键词: 蛇绿岩 板块扩张机制 双沟 下地幔

摘 要: Nd 和 Sr 同位素资料表明, 双沟蛇绿岩的洋壳是亏损的软流圈地幔部分熔融的产物。而双沟地幔橄榄岩中却保存了来自下地幔的信息, 暗示蛇绿岩的形成以及洋底扩张作用可能与超级地幔柱的上升有关。推测是来自核/幔边界的地幔柱流体上升触发了软流圈地幔的部分熔融, 从而产生了 MORB 岩浆, 并导致了地幔对流和洋底扩张。

板块构造学说已得到全球地质学家的公认。深海钻探计划(DSDP)和大洋钻探计划(ODP)对于确认洋底形成于大洋中脊作出了巨大的贡献, 但却未能解释大陆为什么张裂并怎样张裂的。国际上对板块扩张的机制十分重视, 已把它列入未来 10 年的国际岩石圈计划。该项研究的目的是探讨板块扩张的机制, 了解板块为什么会扩张的, 其最初的动力是什么? 最近的研究表明, 地幔对流是由于洋底扩张所诱发的, 而不是地幔对流导致了洋底扩张^[1]。板块扩张的最初原动力要到下地幔中去找。

一、蛇绿岩中来自下地幔的信息

众所周知, 在扩张脊喷出的岩浆是 MORB 型的, 它们通常是 LREE 亏损或平坦的型式, 且亏损大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE), 具有高的 Nd、低的 Sr 和中等的 Pb 同位素比值。通常认为 MORB 是亏损的软流圈地幔中等至高程度部分熔融的产物。MORB 可分为 N-MORB 和 E-MORB, 后者与前者相比, LREE、LILE 和 HFSE 丰度较高, Nd 同位素比值较高但变化范围较大, 通常解释为来自富集地幔的洋岛玄武岩(OIB)岩浆与 N-MORB 岩浆混合形成的, 而 OIB 型岩浆据认为是来自上地幔与下地幔之间的界面处(约 670km)^[2], 这表明在洋中脊之下可以有来自下地幔物质的加入。

我们在对云南双沟蛇绿岩的研究中, 发现在变质橄榄岩中存在地幔部分熔融生成的超镁铁质的熔体及其分凝物(MgO 含量高达 24%)。经过详细的微量元素和同位素地球化学研究, 发现在这种熔体和分凝物中有来自下地幔的信息, 如: 其 REE 分布为 LREE 明显亏损的型式($La_N/Yb_N=0.19\sim0.33$), ΣREE 丰度低, 仅为球粒陨石的 3~4 倍^[3], Nd 和 O 同位素比值低, Sr 同位素比值较高。从 Sr-Nd 图(图 1a)中看出, 双沟蛇绿岩的洋壳成员(包括玄武岩、辉绿岩以及闪长岩)的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值较高, 指示来自强烈亏损的地幔源岩; 而熔体及其分凝物的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值很低, 在 +3~-1 之间, 靠近第 2 类富集地幔端元(EMII)。再看 O 同位素和 Sr 同位素的信息, 如

① 国家自然科学基金项目的成果之一

② 张 旗, 男, 58 岁, 研究员, 岩石学专业。

图 1b 所示,熔体及其分凝物的 Sr 同位素比值较高,既不是蚀变和混染作用造成的,也不是由于消减作用使沉积物加入的结果,而是富集地幔自身的特点,也许它们也来自 670km 深度的上地幔与下地幔之间的界面处?意味着哀劳山洋盆的扩张有下地幔物质的参与^[4]。

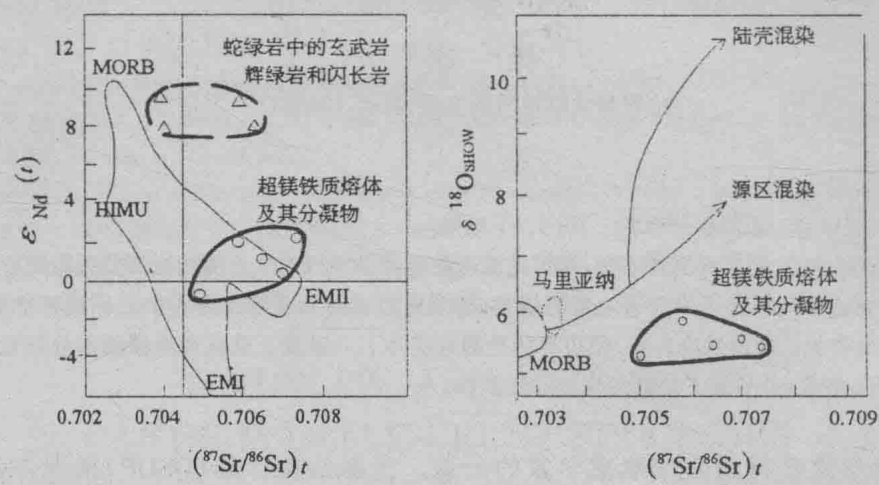


图 1 双沟蛇绿岩和地幔橄榄岩中的超镁铁质熔体及其分凝物的 Sr-Nd(a)和 Sr-O(b)同位素图
a: MORB, 亏损的地幔端元; HIMU, 高 μ 异常地幔端元; EMI, 第 1 类富集地幔端元; EMII, 第 2 类富集地幔端元
b: AFC, 同化混染-分离结晶作用趋势

类似双沟的信息在深海钻探中也可以找到线索,只是未引起足够的重视。例如:在大西洋中脊的深海钻探中发现了 LREE 强烈富集的玄武岩和碱性玄武岩,La 的丰度约为球粒陨石的 100 倍^[5],认为仍属于 E-MORB,与地幔热柱或热点有关。此外,赤道大西洋附近的 St. Paul 岩礁和红海 Zabargad 岛的地幔橄榄岩普遍含角闪石,这种含角闪石橄榄岩的 REE 分布为 LREE 强烈富集型的(约为球粒陨石的 20 倍),认为与碱性岩浆作用有关^[6]。可能是来自下地幔的流体交代作用所形成的,均与地幔热柱的成因有关。

二、新的全球构造假说

最近,一些地质学家提出了一种新的全球构造猜想^[1,6]。他们指出,地球是由圈层构造组成的:地球的表面为板块构造,中部(下地幔)为地幔柱构造(plume tectonics);地核部分(2900km 以下)为生长构造(growth tectonics)。地震层析成像研究发现,在大西洋中脊之下存在一个热地幔柱,一直可以达到核/幔边界处,推测大西洋板块的扩张可能就是由核/幔边界处形成的地幔柱所引发的^[7]。他们指出,超级大陆的解体即可能是由于地幔热柱的上升而引起的^[1,6]。上述新的全球构造假说主要是根据地球物理调查得出的,企图从新的角度来解释板块构造学说解释不了的问题,已引起国际学术界的广泛兴趣。该假说也引起了我们的极大兴趣,因为它恰与我们在双沟蛇绿岩研究中所获得的认识相吻合。

三、板块扩张的模式

新的全球构造假说尝试用地幔柱构造来解释超级大陆的解体和洋盆的扩张,认为是由于

超级地幔柱的上升所造成的^[1]。这个模式似乎过于简单。我们知道,大陆拉张阶段的大陆溢流玄武岩(CFM)与洋盆中 MORB 的成因是不同的。通常认为,前者来自上地幔与下地幔边界上的富石榴石的橄榄岩层,而后者为上地幔中亏损的软流圈地幔部分熔融的产物。因此,CFB 和 MORB 有不同的来源。如果大陆拉张作用和洋盆扩张作用都与地幔柱活动有关的话,MORB 的形成也必定不是地幔柱物质直接部分熔融形成的。可能的机制是来自核/幔边界的地幔柱流体上升触发了软流圈地幔的部分熔融,从而产生了 MORB 岩浆,并导致了地幔上涌和洋底扩张。上述模式肯定了洋盆扩张早期阶段下地幔物质对软流圈部分熔融的作用。可以这样说,双沟的实例提供了板块扩张机制的地球化学证据。双沟地幔橄榄岩中的超镁铁质熔体为什么可以解释为与板块扩张的机制有关呢?关键在于,在双沟蛇绿岩的洋壳(玄武岩、辉绿岩以及闪长岩等)中仅见到具 MORB 特征的岩石,而没有与超镁铁质熔体有关的岩浆岩产出(如碱性玄武岩)。一种可能的推断是,这类来自下地幔的物质仅仅起到了促使上地幔软流圈部分熔融的作用,而本身并未参与洋壳的组成。这种推断是否合理还不清楚,而来自下地幔的流体如何促使了上地幔的部分熔融也仍然是一个谜。

四、结 论

蛇绿岩是研究地幔过程的最佳窗口。蛇绿岩中不仅有来自亏损的软流圈地幔的信息,也有来自富集的下地幔的信息,看来,在蛇绿岩中还可能找到板块为什么扩张的信息。深海钻探很难钻到洋壳底部,地球物理探测也存在多解性。蛇绿岩的研究可弥补上述之不足。把蛇绿岩研究与地球物理及深海钻探结合起来,可以更好地了解洋脊扩张的动力学、地幔层圈构造作用,也必将对创立新的全球构造理论作出重要的贡献。

参 考 文 献

- 1 Maruyama, S., 1994, Plume tectonics, *J. Geol. Soc. Japan*, 100: 24—49.
- 2 Ringwood, A. E., 1990, Slab-mantle interactions. 3. Petrogenesis of intraplate magmas and structures of the upper mantle, *Chem. Geol.*, 82: 187—207.
- 3 周德进, 张旗, 李秀云等, 1995, 双沟地幔岩中初始熔融物的地球化学, *岩石学报*, 11(蛇绿岩专集): 203—211.
- 4 张旗, 1995, 蛇绿岩研究中的几个问题, *岩石学报*, 11(蛇绿岩专集): 228—240.
- 5 亨德森, 1984, 稀土元素地球化学, 北京:地质出版社.
- 6 Maruyama, S., Kumazawa, M., Kawakami, S., 1994, Towards a new paradigm on the Earth's dynamics, *J. Geol. Soc. Japan*, 100: 1—3.
- 7 Schilling, J., 1991, Fluxes and excess temperatures of mantle plumes inferred from their interaction with migrating mid-ocean ridge, *Nature*, 352: 397—403.

OPHIOLITE AND PLATE SPREADING MECHANISM

Zhang Qi

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Key words: Ophiolite; Plate spreading mechanism; Shuanggou; Lower mantle.

现代洋壳和塞浦路斯特罗多斯 蛇绿岩洋壳的二级特征

杨经绥^①

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

关键词: 洋壳 蛇绿岩 洋壳建成作用

摘 要: 文中给出了现代洋壳形成时沿扩张脊方向的扩张旋回和喷发特征及作者近年研究特罗多斯蛇绿岩洋壳所发现的岩墙密度与海底热液蚀变分带和硫化物矿床分布的规律性。

一、前 言

一个典型发育的蛇绿岩杂岩通常其最上部的喷出岩层主要是枕状的和席状的岩流,其下是席状岩墙群,然后是堆积的辉长岩和超镁铁质岩层,最下层则是上地幔构造岩。这些区域上假地层层序可以被描述为洋壳的一级构造在蛇绿岩中的表现,而这些层序中的变化则被描述为二级特征。举例来说,二级特征包括喷出岩层序中的岩石类型及其厚度的侧向变化,岩墙丰度的侧向的及随深度的变化,蚀变作用的分带以及块状硫化物矿体在喷出岩层序中的空间分布特征及其与其它二级特征之间的关系等等^[1]。这些变化可分别从沿扩张方向和轴方向探讨。

通过研究洋壳的二级特征,可以了解洋壳在扩张脊的形成背景和形成过程及背离扩张轴后发生的演变。以海底形成硫化物矿床为例,当其在洋中脊形成后,是如何在其背离洋中脊的过程中会被保存下来而不被海底的剥蚀作用所破坏?而又在何种情况下,不被下部上来的晚期的岩墙穿切所破坏掉?通过二级特征的研究,找出其中的规律性,则可以指导找矿^[2,3]。

现代洋壳与古洋壳的残留物-蛇绿岩在许多方面可以类比,比较蛇绿岩和现代洋壳中的二级特征,可以更好地了解蛇绿岩洋壳的形成环境及供研究现代洋壳参照。

二、现代洋壳的二级特征研究进展

海底直接观察或照相、地震的反射和折射以及深海钻探,是现代海底调查的三个主要手段。通过对洋壳二级特征的研究,人们对发生在扩张脊的洋壳的形成作用和三维特征的了解已取得显著进展。

观察表明,海底扩张作用和火山喷发沿扩张脊存在周期性变化。例如,大西洋中脊的 FAMOUS 和 AMAK 两个地区,分别代表海底扩张周期性变化的两个不同阶段^[4]。前者代表一个相对新的火山建造事件而后者则代表一个构造拉伸为主的阶段。Karson 等人将这种多少连续

^① 杨经绥,男,45岁,研究员,岩石学专业。