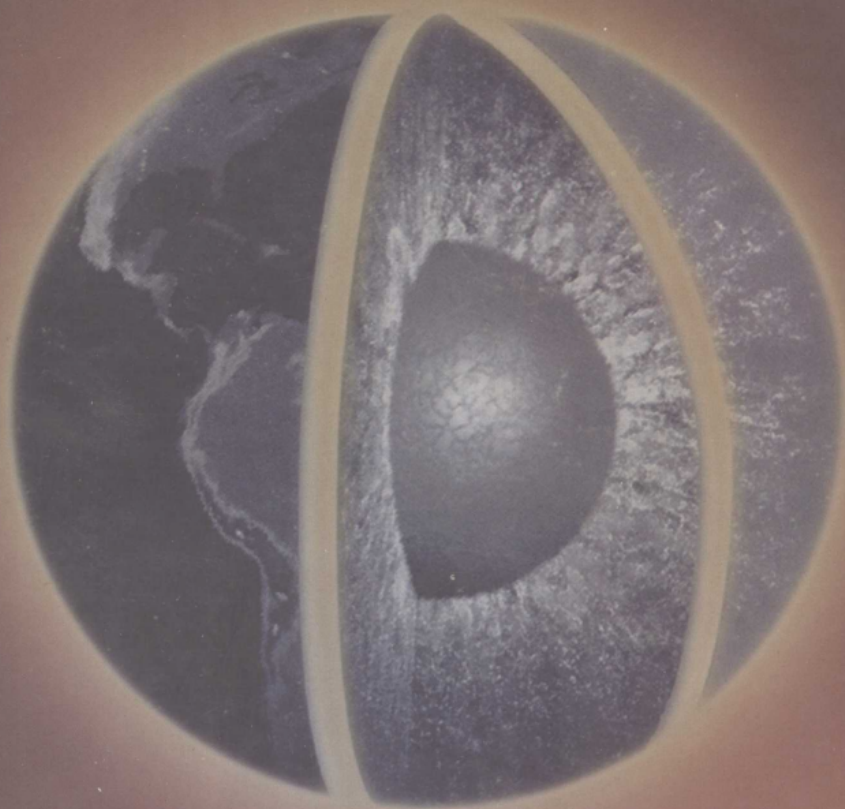


中国东部地幔置换作用 与中新生代岩石圈减薄

郑建平著

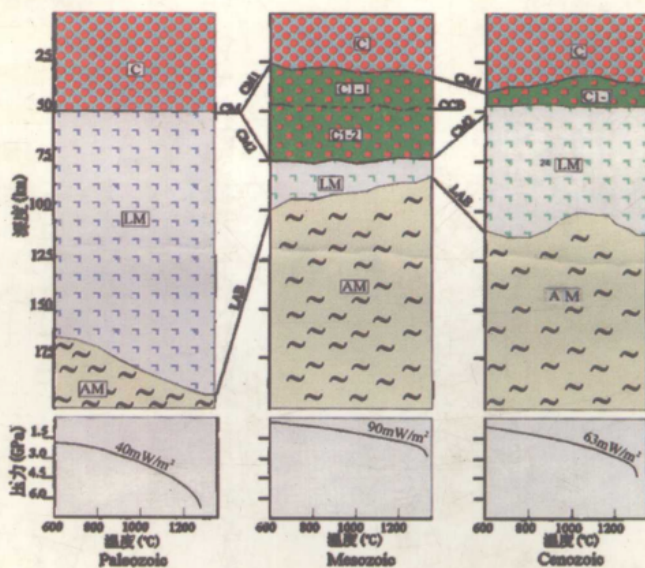
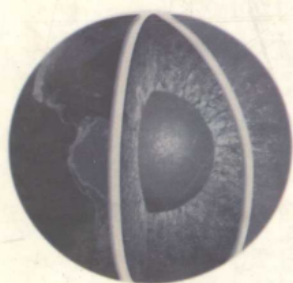


中国地质大学出版社

Mesozoic-Cenozoic Mantle Replacement and Lithospheric Thinning Beneath the Eastern China

Zheng Jianping

CHINA UNIVERSITY OF
GEOSCIENCES PRESS



ISBN 7-5625-1477-1



9 787562 514770 >



封面设计：梁书亭 定价：20.00元

国 家 自 然 科 学 基 金
国 土 资 源 部 青 年 地 质 学 家 基 金
国 土 资 源 部 壳 幔 体 系 组 成 物 质 交 换 及 联 合 资 助
动 力 学 开 放 研 究 实 验 室 研 究 基 金
中 国 地 质 大 学 学 术 著 作 出 版 基 金

中国东部地幔置换作用 与中新生代岩石圈减薄

郑建平 著

中国地质大学出版社

(鄂)新登字 12 号

内 容 提 要

中国东部自中、新生代以来岩石圈发生了 50~120km 的不均匀减薄并伴随强烈的岩浆活动、盆地形成、高热流值。本专著以代表地幔物质的深源捕虏体、捕虏晶、金刚石及其包裹体作为直接的研究对象,重点对中国东部岩石圈地幔进行古生代至新生代的跨时代研究和对比。在地幔样品被赋予岩石圈剖面中的时、空定位及详细岩相学结构对比和岩石类型分析基础上,进行全面系统的地幔矿物化学特别是矿物微量元素(激光 ICP-MS 分析)、岩石地球化学特别是 Sr-Nd-Pb-O 同位素地球化学的配套研究,全面探讨地幔演化过程中地幔物质在时、空中的分布和物质移动规律。结合现代地球物理、地热成果对新老岩石圈地幔,特别是对南北重力梯度带以及邻庐深大断裂带内和带外岩石圈地幔特征进行重建和对比,提出新生地幔物质对古老岩石圈地幔的侵蚀改造及其所引起地幔混合和最终置换作用是实现岩石圈不均匀减薄作用的关键;同时强调指出新生地幔物质对古老岩石圈地幔侵蚀置换作用实现了地球系统圈层间的物质和能量交换,是引起中国东部中、新生代沉积盆地大规模形成、高热流、强烈火山活动和地震活动等异常现象的根本原因。幔内剪切带存在流体、热、化学及机械应力的平衡耦合和不平衡拆离作用。邻庐断裂带的深切作用把古老岩石圈中业已存在的幔内薄弱带更好地连通起来,以及由此所共同构成幔内薄弱带的网络,是新生地幔物质呈蘑菇云状上涌侵蚀古老岩石圈地幔并发生地幔置换和混合作用的通道。

本书内容丰富,资料翔实,富有创新,反映了深部地球科学研究领域的现代水平。它对从事地幔岩石学、地幔地球化学、矿床学、大地构造学和盆地动力学的研究人员以及相关专业的师生均有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄/郑建平著. —武汉:中国地质大学出版社, 1999. 12

ISBN7-5625-1477-1

I. 中…

II. 郑…

III. ①地幔-置换作用-中国东部②中生代-岩石圈-减薄-中国东部

IV. P5

中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄

郑建平 著

责任编辑:刘士东

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 31 号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:230 千字 印张:8.75 图版 3

版次:1999 年 12 月第 1 版

印次:1999 年 12 月第 1 次印刷

印刷:中国地质大学印刷厂

印数:1—300 册

ISBN 7 5625-1477-1/P·523

定价:20.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

中国东部岩石圈地幔演化是一个非常吸引人的研究课题,自80年代末国外一些著名的地幔岩石及地幔地球化学家,如Menzies已经注意到太古宇及新生代岩石圈地幔特征存在明显的差异,但在世界范围内它们发育于相距很远的地点,例如在研究古老地幔时,应用南非Kappvaal克拉通内金伯利岩中的幔源捕虏体作为对象,而在研究新生代地幔时则是应用澳大利亚东部碱性玄武岩中的幔源捕虏体作为对象,距离如此之远,难以获得可信的演化模型。中国东部,特别是华北地台东部是一个得天独厚的理想地区,它既发育了古生代侵位的含金金刚石伯利岩,其中的幔源捕虏体可以代表华北古老地台的地幔,又发育了新生代的碱性玄武岩,其中的幔源捕虏体反映了新地幔的特征,这种有利的地质环境为研究两个时代的地幔组成及演化提供了物质基础。尤其有意义的是,与上述火成活动相对应,华北地台东部自中、新生代以来岩石圈地幔发生了巨大的变化,地温升高,岩石圈受到拉伸与减薄,厚度从古生代的200km转变成80~150km,这种转变的机理是什么?因此这个地区也为研究岩石圈动力学提供了天然的地质实验室。

郑建平围绕这一热门问题在其博士学位论文的基础上撰写了这本专著,与相同领域的国内外著作相比,其特点为:

(1) 研究工作是以代表两个时代的岩石圈地幔样品为对象进行的,作者对大量的来自金伯利岩及玄武岩的幔源捕虏体做了扎实的矿物学、岩石学及地球化学的工作,并应用了最新的激光ICP-MS微区分析技术揭示了地幔矿物内部组成的变化规律,为建立实证性的演化模型奠定了基础。在我国金伯利岩中的绝大多数幔源捕虏体受到强烈的蚀变影响,因此这些系统的资料及详细的研究成果是十分珍贵的。

(2) 研究的结论有创新,作者强调了新生地幔物质对古老岩石圈地幔的置换和混合及相伴随的不均匀减薄作用是华北地台东部巨大变化的重要原因。从物质成分替换的角度来认识中国东部岩石圈减薄的机理可以为建立模型提供岩石学及地球化学依据,特别是作者强调了化学、机械应力、热的平衡耦合或不平衡折离现象,可以更深刻地理解地幔的深部作用过程。

(3) 研究中对地幔流体、地幔交代、地幔剪切带及郯庐断裂带在新生地幔置换作用中的重要地位予以足够的重视及恰当的评价,从而能够全面勾画出华北地台东部岩石圈演化及深部作用的全貌。

尽管岩石圈地幔演化问题的研究还需继续深入,但作为一个阶段性的成果,这本著作有事实依据,有理论模型,有创新见解,是一本可读性强的科学专著。

路 凤 香

1999年6月

前 言

人类实施可持续发展战略对地球物质科学研究提出了更高的要求,地球系统的内在演化规律表现为不同圈层之间持续不断的相互作用及由此所产生不同尺度的不均一性。古生代含金刚石及捕虏体的金伯利岩和新生代含捕虏体的玄武岩先后侵位于中国东部(太行山以东地区),提供了研究岩石圈地幔特征特别是自古生代以来板内岩石圈地幔特征及其演化的深源岩石探针。古生代含金刚石及捕虏体的金伯利岩侵位,显示华北地台东部自古元古代至中奥陶世金伯利岩侵位时,岩石圈地幔总体上是“稳定的”,200多公里厚的低密度大陆岩石圈根具低热流值及由亏损的方辉橄榄岩和二辉橄榄岩组成的特征;中、新生代华北地台东部构造活动强烈,岩浆活动频繁,软流体上涌,顶部最浅处抬升至60~80km深处,新生代时有大量含“具大洋地幔性质的”深源捕虏体的玄武岩喷发。新生地幔物质对古老岩石圈地幔的置换和混合作用及其所伴随的不均匀减薄作用,是引起华北地台东部沉积盆地大规模形成、高热流值、强烈火山活动和地震活动等异常现象的根本原因,正是由于地幔置换作用使得不同圈层的物质和能量发生强烈的双向交换作用。地幔流体及由地幔流体所引发的地幔交代、出熔岩浆作用是实现圈层相互作用和地幔不均一的关键因素,地幔熔/流体来自地幔演化又作用于地幔演化,并赋有时、空层次含义。本专著以代表地幔物质的深源捕虏体、捕虏晶、金刚石及其包裹体作为直接的研究对象,参照其具原生岩浆性质的寄主岩源区反演结果,对华北地台东部岩石圈地幔进行自古生代至新生代的跨时代研究和对比。在地幔样品被赋予岩石圈地幔剖面中的时、空定位及详细岩相学结构对比和岩石类型分析基础上,进行全面系统的地幔物质矿物化学(常量和微量元素)、岩石化学、全岩微量元素和同位素地球化学的配套研究,为全面探讨地幔演化过程中地幔物质在时、空中的分布和物质移动提供了可靠的基础资料。结合现代地球物理、地热成果对新老岩石圈地幔特别是新生代郯庐断裂带内和带外以及南北重力梯度带上的岩石圈地幔特征进行重建和对比,表明幔内剪切带存在流体、热、化学及机械应力的平衡耦合和不平衡拆离作用。郯庐断裂带的深切作用把古老岩石圈地幔中业已存在的薄弱带更好地连通起来,以及由此所共同构成幔内薄弱带的网络,是新生地幔物质上涌顶蚀古老岩石圈地幔并发生地幔置换和混合作用的通道。通过对华北地台地幔置换作用时限、规模、强度的研究和确定,为岩石圈不均匀减薄作用研究和残留太古宙岩石圈根的圈定并进而为原生金刚石找矿提供依据,也为寻找因地幔置换作用而引发的矿产资源富集作用提供背景资料。

本专著是作者多年科研工作的一个阶段性成果,是科研集体成果的一部分,是在路凤香教授悉心指导下所完成的题为“华北地台东部岩石圈地幔特征及显生宙演化”博士学位论文基础上撰写而成的,因此本专著得以出版凝聚着我的导师路凤香教授的大量心血,同时也感谢她在百忙之中为本书作序。澳大利亚O'Reilly、Griffin教授以及张明博士、香港孙敏博士提供了笔者近年多次访问Macquarie大学和香港大学的机会,为本专著丰富资料和理论提高奠定了坚实基础。中国地质大学(武汉)於崇文、张本仁院士及游振东、邱家骧、莫宣学、金振民、王方正、钟增球、高山、李昌年、鲍征宇、叶德隆、李思田、费琪、刘庆生等教授和凌文黎副教授、任迎新高级工程师,中国科学院地质研究所鄂莫岚、周新华等研究员和陈绍海博士,中国科学院大地构造研究所范蔚茗研究员,南京大学周新民教授和徐夕生副教授,中国科技大学支霞臣教授,国家地震局地质研究所陈文奇研究员,长春科技大学许文良教授,国

土资源部宜昌地质研究所刘观亮研究员,美国 Michigan 大学 Sam Mukasa 博士都先后给予作者许多帮助并提出宝贵的修改意见。辽宁瓦房店金刚石股份有限公司李荣总经理、丛者君副总经理以及我的好朋友辽宁地矿局冯闯工程师和中国非金属总公司 701 矿宋更河工程师提供了诸多方便。

本专著的研究和出版先后得到了国家自然科学基金重点项目、面上项目和国际合作项目,国土资源部青年地质学家基金项目,国土资源部壳幔体系物质组成与交换研究开放实验室基金项目和地质大学学术专著出版基金的联合资助。中国地质大学出版社耿小云总编和刘士东编辑,地球科学学院曾广策教授以及研究生余淳梅、张静和郑红林同学为本专著的出版付出了辛勤劳动,在此一并表示感谢!最后特别感谢王柏轩女士的大力支持。

著 者

1999 年 5 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究现状	(1)
一、古老岩石圈地幔特征研究.....	(1)
二、中、新生代岩石圈地幔特征研究.....	(1)
三、显生宙地幔演化研究.....	(2)
第二节 研究背景及选题依据	(3)
第三节 研究方法	(5)
第二章 不同时代地幔岩的岩石学特征	(6)
第一节 地幔岩石类型及组合	(6)
一、古生代金伯利岩中的深源捕虏体.....	(6)
二、新生代玄武岩中的深源捕虏体.....	(8)
第二节 地幔岩石的结构特征	(10)
一、结构划分依据.....	(10)
二、古生代岩石圈地幔岩石的结构特征.....	(10)
三、新生代岩石圈地幔岩石的结构特征.....	(12)
第三章 不同时代地幔矿物化学成分对比	(13)
第一节 橄榄石	(13)
第二节 斜方辉石	(18)
第三节 单斜辉石	(21)
一、分析样品的基本地质背景.....	(21)
二、主量元素.....	(25)
三、微量元素.....	(26)
四、地幔改造作用和地幔置换作用信息.....	(29)
第四节 石榴石	(30)
一、主量元素.....	(30)
二、微量元素.....	(38)
第五节 铬尖晶石类矿物	(43)
一、主量元素.....	(43)
二、微量元素.....	(47)
第四章 深源捕虏体的地球化学特征	(50)
第一节 主量元素特征	(50)
第二节 微量元素特征	(53)
一、相容元素.....	(56)
二、放射性生热元素.....	(56)
三、高场强元素 (HFSE).....	(57)
四、大阳离子亲石元素 (LILE).....	(57)

五、稀土元素 (REE)	(58)
第三节 同位素特征	(60)
一、Rb - Sr 同位素	(64)
二、Sm - Nd 同位素体系	(64)
三、Pb 同位素体系	(64)
四、O 同位素	(64)
五、多元同位素体系	(64)
第五章 多层次活动的地幔熔/流体与幔内薄弱带	(69)
第一节 地幔岩石与所揭示的地幔熔/流体	(69)
一、橄榄岩中的交代现象	(69)
二、交代型捕虏体与地幔伟晶岩	(72)
第二节 地幔矿物中的不纯净组分与地幔流体	(77)
一、金刚石中的流体包裹体	(77)
二、金刚石中表征流体存在的其他组分	(79)
三、流体存在形式的制约因素	(80)
第三节 金伯利岩中的自然元素和元素互化物与地幔流体	(82)
第四节 橄榄岩中自然铁-透铁橄榄石文象交生体与超深地幔流体作用	(82)
一、含交生体的橄榄岩特征	(82)
二、样品处理和分析结果	(83)
三、自然铁-透铁橄榄石文象交生体与超深地幔流体作用	(84)
第五节 金伯利岩中流体活动的岩相学证据	(86)
第六章 不同时代地幔源区地球化学对比: 岩浆岩探针	(87)
第一节 少量元素与地幔源区	(87)
第二节 不相容元素与地幔源区	(88)
第三节 同位素与地幔源区	(89)
第四节 地幔源区定量反演: 以金伯利岩为例	(90)
一、金伯利岩的形成机理判别	(90)
二、源区微量元素丰度的估算	(91)
第七章 地幔置换作用与中生代岩石圈减薄	(94)
第一节 古生代岩石圈地幔中存在复杂的多发事件	(94)
一、金伯利岩侵位年龄的确定	(94)
二、古老岩石圈存在多发地幔事件	(95)
第二节 古生代与新生代岩石圈地幔特征对比	(97)
一、岩石圈地幔岩石组成和结构复杂性对比	(97)
二、岩石圈地幔性质对比	(98)
三、岩石圈地幔热状态对比	(99)
第三节 中生代是中国东部地幔置换作用发生的关键时期	(105)
一、信阳基性麻粒岩与岩浆底侵作用	(105)
二、巨量混合花岗岩中的基性岩浆端员包体与壳-幔相互作用	(106)
第四节 地幔熔/流体在岩石圈演化中的意义	(109)

一、地幔熔/流体与大陆克拉通造陆抬升	(109)
二、地幔多发事件与幔内薄弱带	(109)
三、地幔置换作用与岩石圈减薄	(110)
主要参考文献	(113)
英文摘要	(121)
图版说明及图版	(125)

Contents

Chapter 1 Introduction	(1)
Section 1 Researching level	(1)
1. The nature of the paleo-lithospheric mantle	(1)
2. The nature of the Mesozoic-Cenozoic lithospheric mantle	(1)
3. Phanerozoic mantle evolution	(2)
Section 2 Researching background	(3)
Section 3 Research method	(5)
Chapter 2 Petrology of mantle rock from different ages mantle	(6)
Section 1 Type and assemblage of mantle rock	(6)
1. Deep-seated xenoliths in Paleozoic kimberlite	(6)
2. Deep-seated xenoliths in Cenozoic basalt	(8)
Section 2 Texture of mantle rock	(10)
1. Divided foundation on rock structure	(10)
2. Rock texture of Paleozoic lithospheric mantle	(10)
3. Rock texture of Cenozoic lithospheric mantle	(12)
Chapter 3 Comparison on the mineral chemistry from different ages	(13)
Section 1 Olivine	(13)
Section 2 Orthopyroxene	(18)
Section 3 Clinopyroxene	(21)
1. Geological setting of analyzed samples	(21)
2. Major element	(25)
3. Trace element	(26)
4. Information on mantle modification and mantle replacement	(29)
Section 4 Garnet	(30)
1. Major element	(30)
2. Trace element	(38)
Section 5 Chrom-spinel group minerals	(43)
1. Major element	(43)
2. Trace element	(47)
Chapter 4 Geochemical characteristics of deep-seated xenoliths	(50)
Section 1 Major element geochemistry	(50)
Section 2 Trace element geochemistry	(53)
1. Compatible element	(56)
2. Radioactive element	(56)
3. High field strength element (HFSE)	(57)
4. Large ion lithophile element (LILE)	(57)

5. Rare earth element (REE)	(58)
Section 3 Isotope geochemistry	(60)
1. Rb-Sr isotope	(64)
2. Sm-Nd isotope	(64)
3. Pb isotope	(64)
4. O isotope	(64)
5. Multi-end isotope system	(64)
Chapter 5 Multi-cycle activity of mantle melt/fluid and mantle weak zone	(69)
Section 1 Mantle rock and mantle melt/fluid	(69)
1. Metasomatic texture in peridotite	(69)
2. Metasomatic xenolith and mantle pegmatite	(72)
Section 2 Impure constituents in mantle minerals and mantle fluid	(77)
1. Fluid inclusions in diamonds	(77)
2. Other constituents revealing the existing fluid in diamonds	(79)
3. Controlling factor of fluid existing formation	(80)
Section 3 Natural element and its compound	(82)
Section 4 Iron-hyalosiderite intergrowth in peridotite	(82)
1. Nature of peridotite bearing the coexisting body	(82)
2. Processes dealing with the sample	(83)
3. Iron-hyalosiderite intergrowth and super-deep mantle fluid	(84)
Section 5 Petrography evidence of fluid activity from kimberlite	(86)
Chapter 6 Comparison on the source geochemistry for different times: igneous probe	
.....	(87)
Section 1 Minor element and its mantle source	(87)
Section 2 Incompatible element and its mantle source	(88)
Section 3 Isotope and its mantle source	(89)
Section 4 Fixed quantity inversion on source; take kimberlite as an example	(90)
1. Judge on the formation process of kimberlite	(90)
2. Estimate on the contents of the trace elements	(91)
Chapter 7 Mantle replacement and Mesozoic-Cenozoic lithospheric thinning	(94)
Section 1 Complex multi-cycle processes in Paleozoic lithospheric mantle	(94)
1. Determining on the kimberlite eruption	(94)
2. Multi-cycle processes existing in the paleo-lithospheric mantle	(95)
Section 2 Comparison on the natures between Paleozoic and Cenozoic mantle	(97)
1. Comparison on the component and texture complexity of mantle rock	(97)
2. Comparison on the lithospheric mantle nature	(98)
3. Comparison on the lithospheric heat state	(99)
Section 3 Mesozoic time is the key of mantle replacement beneath eastern China	
.....	(105)
1. Xinyang granulitic xenoliths and Mesozoic underplating	(105)

2. Mafic magma inclusion in mixed granite and crust-mantle interaction	(106)
Section 4 Significance of mantle melt/fluid during lithospheric evolution	(109)
1. Mantle melt/fluid and its role on the cratonic rifting	(109)
2. Multi-mantle events and mantle weak zone	(109)
3. Mantle replacement and lithospheric thinning	(110)
References	(113)
Abstract	(121)
Plate explanation and plates (I—III)	(125)

第一章 绪 论

中国东部的含能源盆地的大量形成、大型矿床的富集、强烈的火山活动、岩石圈的巨厚减薄、构造活动和巨量花岗岩的形成甚至中国东部块体的拼合都开始于中生代,可见中生代的壳-幔相互作用在东部岩石圈演化中占据重要位置,然而引起如此强烈壳-幔相互作用的深层原因是什么,一直困扰着固体地球科学家们。本专著旨在通过对不同时代特别是古生代和新生代地幔物质的研究和对比,探讨其深部作用机制。

第一节 研究现状

一、古老岩石圈地幔特征研究

自1986年第4届金伯利岩国际会议闭幕词中所表达的该领域的研究将进入“岩石圈与上地幔”以来,国内外已有大量成果问世。Boyd (1986)和Haggerty (1986)分别提出了金刚石形成于加厚的岩石圈底部的观点。Ringwood (1992)根据金刚石中发现高压成因的majorite(石榴石与辉石的高压固溶体)包裹体以及近年来地震层析的结果,提出了含金刚石的金伯利岩浆来自过渡层的假说;Haggerty (1994)进一步把金伯利岩和金刚石作为地核地球动力学的窗口,并总结了全球金伯利岩浆作用时代与地核的形成、演化、地磁极性倒转频率及磁流体动力学活动(magneto-hydrodynamic activity)的联系,提出了超金伯利岩(superkimberlite)的概念,用以强调其来源于D”层及其在研究全球动力学中的重要意义;此外,Menzies (1987)、Nixon (1987)及Mitchell (1986)等也分别从金伯利岩地球化学及捕虏体的工作中建立了南非、西伯利亚古老克拉通岩石圈地幔模型,并反演了相关的深部作用过程。

在辽宁复县地区古生代岩石圈地幔特征重建的基础上(路凤香等,1991),初步再造了华北地台古生代时的岩石圈地幔特征和深部过程(路凤香、郑建平,1996)。在古老岩石圈地幔流体研究方面,近年来通过金刚石中包裹体的测定取得的一系列可靠的地幔流体证据,表明金刚石形成时的地幔流体中含有水(Navon and Hutcheon, 1988; 郑建平等, 1994; Zheng, *et al.*, 1994)、氟(陈丰等, 1992)、固体CO₂(Schrandner, 1994)、分子氢(陈丰等, 1994)和羟基(薛理辉等, 1994)。郑建平等(1995、1996a)进一步建立了金伯利岩中的捕虏体以及金刚石中的不纯净组分与地幔流体的联系及其在地幔演化中的意义。

二、中、新生代岩石圈地幔特征研究

中国东部中、新生代,特别是新生代的岩浆作用、岩石圈地幔特征及地幔流体的研究取得了长足的进展,代表性的系统成果有:池际尚(1987)、鄂莫岚和赵大升(1987)、周新华(1985)、刘若新(1990、1992)、杜乐天等(1996)、邓晋福等(1996)的著作;此外,还有大量的论文发表于各种刊物上。如在玄武岩浆形成条件分析(莫宣学,1987),宽甸玄武岩捕

虏体的 Sm-Nd 计时 (刘丛强、解广袁, 1993), 巨晶研究 (邱家骧, 1987), 火山作用与资源灾害 (李兆甯, 1998), 橄榄石位错流变学 (林传勇, 1990; 金振民、Green, 1989), 软流圈性质与埋深 (邓晋福、赵海玲, 1990), 地幔岩中的自然元素和还原气体研究 (杜乐天等, 1996), 地幔流体的稳定同位素及稀土元素研究 (刘若新等, 1993、1996), 幔源包体中的 K、Na 玻璃体及地幔流体对地球物理性质的关系 (林传勇等, 1994、1996), 动态部分熔融及熔融流体的流变学定量约束作用研究 (金振民等, 1996), 地幔岩石中的岩浆包裹体 (夏林圻等, 1996), 源区特征推测 (邓晋福, 1987) 及中生代深源岩石包体研究 (许文良、林景仟, 1991) 等方面取得了重要成果。这些成果无疑为本文的完成提供了坚实的研究基础, 但也不难看出以往的研究很少进行跨时代的对比研究。从发表的有关演化方面有限成果 (如 Menzies, *et al.*, 1993; 邓晋福等, 1996; Griffin, *et al.*, 1998; Menzies and Xu, 1998) 看, 以地幔直接样品 (捕虏体) 作为对比研究对象的还相当少, 特别是把地幔流体的研究引入地幔演化中的研究则也相当薄弱。

三、显生宙地幔演化研究

华北地块东部岩石圈中、新生代的巨厚减薄、地幔转型 (克拉通型地幔被大洋型地幔置换, mantle replacement) 及其对区域构造—岩浆和浅部地质演化的影响是近年深部地质研究所取得的重要成果。这主要得益于现代地球物理的应用和对新生代、古生代地幔特征和深部作用的深入研究结果。新生代和现今岩石圈与古老岩石圈相比, 最直观的变化是岩石圈厚度已明显减薄, 不过不同作者有不同的厚度减薄估计值, 对减薄时间的估计至少也有开始于侏罗纪和开始于第三纪两种观点。全球中、新生代以来一系列重大的构造事件、岩浆事件、成矿事件、环境变化事件和古地磁极性频繁倒转时期同步耦合 (李兆甯, 1998), 笔者认为存在着一定的内在联系和更深层次的驱动机制。中国东部大陆晚中生代以来多次大面积岩浆活动、盆地形成 (李思田等, 1997), 构造变形与成矿条件不同于世界上典型的地台, 也不同于典型的地槽, 可能属陆下新生地幔物质对古老岩石圈的地幔置换作用所引发: 由于地幔置换作用引起深部物质、流体和能量的巨大传输和转变, 导致上覆岩石圈不稳定和强烈的壳幔相互作用, 诱发持续的多次大面积岩浆—构造—盆地—成矿事件的发生, 同时, 由于地幔置换作用强度也存在时间和空间上的不均匀性, 因此进行深入的研究可为资源、环境、灾害研究和预测提供动力学背景资料。如通过对置换作用较弱地区的残存古地幔根研究, 将对原生金刚石找矿具明显的现实意义, 而对强烈置换作用地区流体介质移动规律的认识, 能够提供成矿作用研究的深部背景资料。

库拉—太平洋板块俯冲和印度—欧亚板块碰撞的远程效应 (Menzies, *et al.*, 1993), 板内热地幔柱 (Francois, 1994), 岩石圈的去根拆沉作用 (邓晋福等, 1996) 等观点在探讨东部岩石圈减薄作用及其动力学背景方面起着积极推动作用。根据地幔单斜辉石 Sr-Nd 同位素研究, Fan 和 Menzies (1994) 推测在华北地块具“大洋”性质的亏损岩石圈地幔可以与太古宙—元古宙的陆壳直接接触的设想, 以及 Xu 等 (1999) 提出的年轻岩石圈地幔概念和徐义刚 (1999) 提出的热—机械侵蚀和化学侵蚀的耦合模型都是对东部岩石圈减薄作用和地幔转型研究的有益探讨。

中生代是地幔置换研究的关键环节, 但由于深源样品难以获得而进展较慢, 并直接制约着人们对地幔置换作用过程细节的深入研究; 古生代岩石圈地幔作为减薄前的物质和结构基础, 对置换作用研究有重要的指示意义。现有的有关减薄作用和地幔转型的认识, 主要是通

过古生代和新生代两大历史时期岩石圈厚度、物质组成和热状态宏观对比获得的；而对地幔转型机制的认识，则仅有来自于对新生代捕虏体的初步研究，还没有建立在详细岩相学和微观结构研究基础上直接的古生代、中生代和新生代地幔岩石、熔/流体、矿物及其微区的地球化学研究和对比，因而地幔转型的细节不免还存在值得进一步思考的地方：具复杂演化历史的低密度古老岩石圈地幔如何向演化历史相对简单的新生“大洋”地幔转变，包括新生地幔物质的形成、岩石圈热结构、流变学性质、熔/流体成分以及地幔岩石（包括矿物及微区）的主量、微量元素和同位素演变关系。根据笔者初步的研究（郑建平等，1999a；郑建平、路凤香，1999），在同一地质时期的捕虏体中多种岩石类型并存以及在同一捕虏体中多旋回组构的并存是地幔所经历的复杂作用过程的表现，提供了进一步开展研究（如微区）的有利条件；同时发现长期稳定的陆下岩石圈地幔（subcontinental lithospheric mantle, SCLM）可能通过伸展、离散和热侵蚀被饱满的显生宙岩石圈地幔改造（modify）甚至完全置换（replace），因此新生地幔物质对古老岩石圈地幔置换作用研究属软流体（圈）与岩石圈强烈相互作用的科学范畴。

第二节 研究背景及选题依据

基于现代大洋及其边缘的地质、地球物理研究发展起来的板块构造理论，解释了全球构造的许多现象；然而由于大陆的年龄要远远大于大洋，大陆地幔明显较大洋地幔复杂得多，应用板块构造理论去解释大陆岩石圈的复杂特征和现象时，遇到了诸多新的挑战（马杏垣，1992）。80年代开始，国际岩石圈的研究重点已由大洋转向大陆。特别是近年来，首先从美国开始，许多国家都纷纷提出要针对大陆地质的独特状况，建立大陆动力学理论。

与人类生存息息相关的资源、环境、灾害无不与圈层相互作用和不均一性研究相联系，特别是随着地球物理手段、地球化学理论、高温高压实验以及计算机模拟技术的迅猛发展，促使人们对地球内部的圈层结构、物质组成和各圈层之间相互作用的认识不断深化，加深了对地球内部动力学的了解。三维地震层析提供了现今地球的深部结构模型，但在恢复反演地质历史时期岩石圈状态时遇到了困难；然而，通过对由不同时代深源岩浆所携带的地幔物质（捕虏体和捕虏晶）的直接研究和对比，可以获得不同时期岩石圈地幔特征和深部作用过程的信息。中国大陆特别是华北地台东部是进行大陆动力学理论研究良好的天然实验室：古生代含金刚石及捕虏体的金伯利岩和新生代含捕虏体的碱性玄武岩先后共同侵位于华北地台东部（太行山以东地区），提供了研究岩石圈地幔特征特别是自古生代以来板内岩石圈地幔特征及其演化的深源岩石探针。地幔恢复的手段包括：①直接的地幔取样（捕虏体和/或捕虏晶）；②幔源原生岩浆对源区的反演；③应用高温高压实验成果；④应用现代地球物理及地热资料。其中①是最直接的，特别是对于古生代前的地幔特征恢复，由于华北地台东部受地幔置换作用的影响，与新生代时相比，地球物理和地热的资料显得力不从心；所幸的是古生代侵位金伯利岩中的捕虏体、捕虏晶，特别是作为封闭条件封存于金刚石中的包裹体，对于了解古老的地幔信息，显示其明显优势。

古生代含金刚石及捕虏体的金伯利岩侵位，显示华北地台东部自古元古代至中奥陶世金伯利岩侵位时，岩石圈地幔总体上是“稳定的”，200多公里厚的岩石圈根具低热流值及由亏损的方辉橄榄岩和二辉橄榄岩组成的特征（路凤香等，1991；路凤香、郑建平，1996）；中、新生代华北地台东部活化，构造活动和岩浆活动频繁，软流体上涌，软流圈（体）顶面最浅处抬升至60~80km深处（马杏垣等，1991），并有新生代含深源捕虏体的玄武岩喷发。自燕

山期以来，华北地台东部岩石圈不均匀减薄了上百公里，这种减薄作用是引起东部沉积盆地大量形成、高热流值、强烈火山活动和地震活动等异常现象的根本原因（邓晋福等，1996）。但是什么原因引起岩石圈地幔减薄作用，减薄作用的机制、发生的部位以及深部作用是如何影响浅部的，还需作深入的研究。

本书基于古生代的岩石圈地幔物质与新生代的是否相同以及新生代的岩石圈地幔物质在不同的构造部位是否相同的考虑，主要选择了山东蒙阴、辽宁复县两个古生代侵位的含矿及捕虏体、捕虏晶的金伯利岩区(图1-1)，作为研究古生代金伯利岩侵位时及其以前岩石圈地幔特征的代表；同时选取了山东临朐山旺—昌乐、栖霞—蓬莱和河南鹤壁三个含捕虏体的玄武

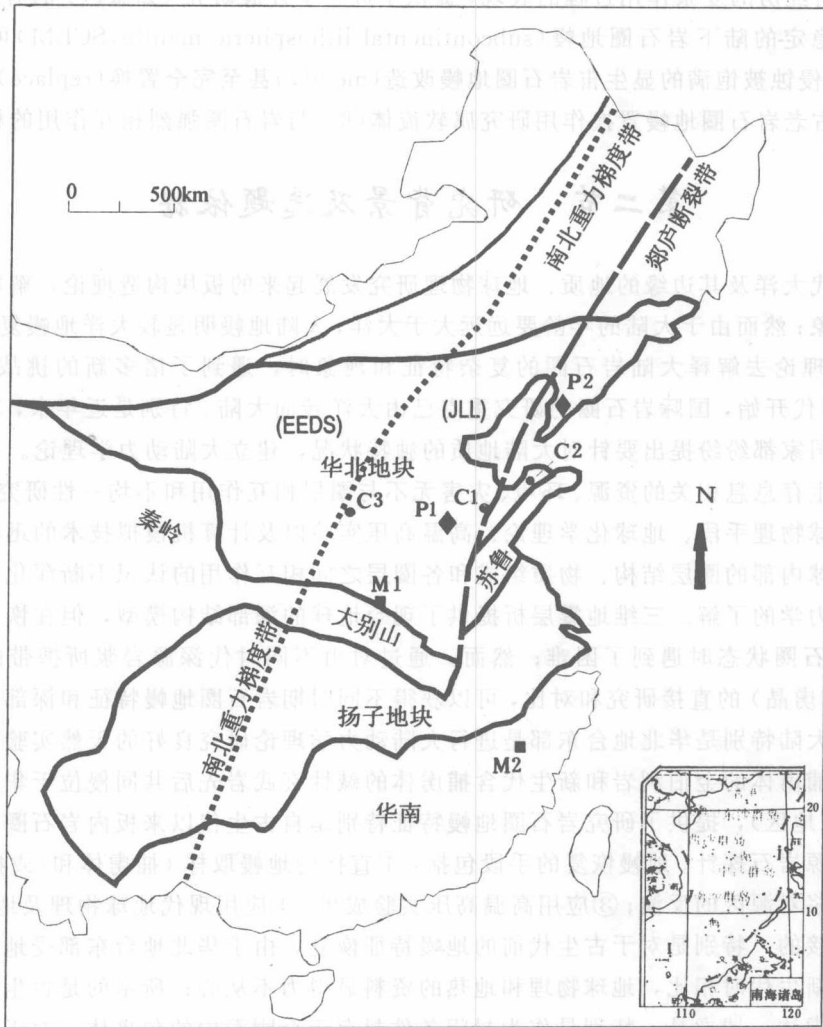


图 1-1 中国东部构造位置图

Fig. 1-1 Map showing tectonic domains in eastern China

图中 P、M、C 分别代表古生代、中生代、新生代样品的取样点；P1. 山东蒙阴古生代金伯利岩区；P2. 辽宁复县古生代金伯利岩区；C1. 山东山旺—昌乐新生代玄武岩区；C2. 山东栖霞—蓬莱新生代玄武岩区；C3. 河南鹤壁中生代金伯利岩—新生代玄武岩区；M1. 河南信阳含基性麻粒岩的中生代基性—超基性火山角砾岩区；M2. 江西灵山中生代含基性岩浆端员包体巨量混合花岗岩；EEDS. 鄂尔多斯陆核；JLL. 冀鲁辽陆核

江西灵山中生代含基性岩浆端员包体巨量混合花岗岩；EEDS. 鄂尔多斯陆核；JLL. 冀鲁辽陆核