

亚洲重大地质问题研究系列著作

中国东南部及邻区中生代 岩浆作用与成矿

毛建仁 等 著



科学出版社

内 容 简 介

本书从大陆动力学、壳幔相互作用和洋陆过程以及与短暂挤压相伴随的伸展构造观点,研究了中国东南部及邻区(重点是日本和韩国)中新世代岩浆活动与成矿,系统总结了印支期、燕山期和喜马拉雅期花岗岩-火山岩的时空分布、地球化学特征、岩浆起源与岩石成因。全书共分8章34节,按照以成岩成矿时代为主线的统一思路,阐述了中国东南部(包括台湾岛)、日本和韩国花岗岩-火山岩地质地球化学特征与规律性的新认识(第2至第7章);特别是将印支期花岗岩分为越南-海南岛带、华南内陆带-武夷山脉带、浙闽沿海-台湾带和苏鲁-韩国带进行了系统总结和剖析,将东南沿海与日本白垩纪-古近纪花岗岩-火山岩带进行了系统对比。在综合研究和整合地质事实基础上,提出了有关华南中生代岩浆活动的多板块汇聚和深部物质上涌的四阶段动力学演化新模式(第8章)。

本书可供相关高等院校科研院所、地勘部门的地质调查研究人员和研究生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国东南部及邻区中新世代岩浆作用与成矿 / 毛建仁等著. —北京: 科学出版社, 2013. 3

(亚洲重大地质问题研究系列著作)

ISBN 978-7-03-037029-7

I. ①中… II. ①毛… III. ①新生代—岩浆作用—研究—东南丘陵②新生代—岩浆矿床—矿床成因—研究—东南丘陵 IV. ①P588.11②P611.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 046131 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 宋玲玲

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 34

字数: 790 000

定价: 228.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《亚洲重大地质问题研究系列著作》编委会

主 编：任纪舜

副主编(按拼音排序)

何国琦 洪大卫 陆松年 夏林圻

编 委(按拼音排序)

高林志 和政军 金小赤 李怀坤

李向民 毛建仁 牛宝贵 任留东

王 涛 邢光福 徐学义 杨崇辉

尹崇玉 张世红 赵 磊 周国庆

谨以本书向南京地质矿产研究所建所五十周年献礼

本书作者

毛建仁 邢光福 叶海敏 赵希林

余明刚 刘 凯 陈 荣

厉子龙 李寄嵎 徐维光

高桥浩 (Yutaka Takahashi)

奇洹叙 (Weon-Seo Kee)

出版说明

根据世界地质图委员会 (CGMW) 2004 年佛罗伦萨会议决议, 在中国地质调查局的全力支持下, 从 2005 年到 2012 年, 由 CGMW 南亚和东亚分会 (挂靠中国地质科学院地质研究所) 负责, 联合 CGMW 中东分会、北欧亚分会、海底图分会以及亚欧 20 个国家 100 余名地质学家共同编制了世界上第一份海陆地质同时表示的数字化 1:500 万国际亚洲地质图 (IGMA5000)。与此同时, 为了解决一些重要地质问题, 把编图与专题研究结合起来, 我们组织了包括早前寒武纪地质、晚前寒武纪地质、南华系—震旦系、显生宙地层、东亚中生代火山岩、中亚大陆火山岩、花岗岩、蛇绿岩和大地构造等研究项目。《亚洲重大地质问题研究系列著作》就是在这些项目总结报告的基础上撰写的。系列著作各专题将从 2013 年起陆续出版。

亚洲是世界上面积最大, 地质结构和演化历史最复杂的一个大陆, 有许多挑战性和前沿性的问题急需研究。我们期望系列专著随着研究工作的不断扩展和深化而延续, 使其成为了解和研究亚洲地质的重要参考。由于中国位于亚洲的中心位置, 本系列著作的出版必将有助于深化对中国地质的认识。

任纪舜

2012. 5. 10

前 言

花岗岩-火山岩是大陆地壳的重要组成部分，同时又常常与多金属矿产有着密切的成因联系。因此，长期以来一直是地质科学的主要研究对象之一，它的成因和成矿等问题也一直是重要的前沿研究课题，也是探讨地球动力学过程与机制、开发利用自然资源必不可少的研究工作内容。随着人们对花岗岩成岩成矿的认识不断深入，不断有新的问题产生。正是这样，国际花岗岩学术讨论会，特别是与国际奥林匹克运动会相似的四年一次的“Hutton 国际花岗岩及相关岩石成因”序列性学术讨论会在国际地质学界有着重要影响。

我国地质科学工作者长期重视花岗岩-火山岩的研究，华南花岗岩及相关岩石的研究曾达到国际水平。华南花岗岩的研究在 21 世纪初形成了新的热潮，由于控制亚洲显生宙构造演化的三大动力体系（古亚洲洋体系，特提斯-古太平洋体系和印度洋-太平洋体系）在中国东南部都有强烈表现，新生代古大陆的裂解，形成了世界上最宽阔的近海陆架和边缘海之一，原有的地质和地貌景象已被强烈破坏和改造，因缺少直接证据，故恢复中生代地质演化史的难度加大，中国东南部的构造演化就更显得极其复杂。因此，近 20 年来地质学家提出了各种推断和模式。

日本火山岩浆作用的研究起步较早、研究程度高。日本地质学家认为洋脊俯冲所引起的板片构造窗张开在西南日本白垩纪岩浆作用方面起了重要的作用（Kinoshita, 1995a, 1995b; Nakajima, 1994）。他们阐述了板片构造窗导致部分熔融的热软流圈上涌，并为花岗质岩浆源区的地壳提供热源，并进一步指出与白垩纪花岗岩相关的一些辉长岩可能源自上涌的软流圈。Tatsumi 和 Hanyu (2003) 及 Tatsumic 等 (2005) 根据日本国际科学计划中的海洋钻探计划成果提出全球系统变化的模式，用俯冲洋壳全地幔对流的观点来解释 HIMU 洋岛玄武岩形成和中白垩世超地幔柱的地球化学证据及“俯冲工厂”模式。Nakajima (1996) 提出日本岛最古老的花岗岩位于弧后的飞弹 (Hida) 高原，是年龄介于 270~200Ma B. P. 的深成岩-变质岩地体。日本最大规模的岩浆活动发生在 125~60Ma B. P.，特别是西南日本晚白垩世 (100~60Ma B. P.) 所形成的花岗质岩石约占日本花岗岩出露面积的 70%，花岗岩带在日本海扩张以前是亚洲大陆的组成部分，是同库拉-太平洋板块和欧亚大陆的俯冲-碰撞相联系的。

韩国中生代岩浆作用的研究程度较高，在 20 世纪 80~90 年代，许多学者研究了火山岩和花岗岩的形成时代，认为韩国显生宙的花岗岩主要包括较年轻的花岗岩（白垩纪—古近纪）和较老的花岗岩（二叠纪—侏罗纪），其中存在一个明显的岩浆活动间断（160~110Ma B. P.，Hee and Sung, 2005）。三叠纪、侏罗纪和白垩纪的岩浆活动分别与韩国的松里运动、大堡运动和沃国寺运动有关。对花岗岩的地球化学特征、成因及构造环境判别进行了研究与总结（Lee, 1987）。韩国印支期花岗岩的高精度锆石 SHRIMP 同位素年龄有三组：232~226Ma B. P.，227~226Ma B. P. 和 240~228Ma B. P.（Kim *et al.*，

2011)。大堡期花岗岩根据它们时空分布特征可以分为两组：早侏罗世花岗岩类（约 201~185Ma B. P.）主要产在朝鲜半岛南部的岭南地块，中侏罗世花岗岩类（180~168Ma B. P.）产出在京畿地块、沃川带和临津江带（Lee *et al.*, 2003; Hee and Sung, 2005; Park *et al.*, 2006; Kee *et al.*, 2010）。Lee 等（1992）对显生宙的岩浆活动与板块运动联系起来，提出北部花岗岩的形成时代主要是三叠纪，中部主要是侏罗纪，南部主要是白垩纪，这种时空分布特征可能与古太平洋板块俯冲的后撤有关。

尽管上述地区火山-侵入岩浆活动的研究取得显著成果，但将中国东南部以及韩国和日本作为东亚大陆东缘中生代岩浆活动的整体开展系统对比研究的工作不多，这些地区岩浆活动与周边板块运动关系的探讨还不够深入。中国东南部中生代岩浆活动的动力学问题是个长期有争议的重大地质问题。岩浆活动与古太平洋板块俯冲是否存在联系？如果存在联系，俯冲起始时间是什么时期？中国东南部中生代和真正与俯冲有关的日本、菲律宾等地区的火山-侵入岩的对比研究情况如何？近年来有关东南部印支期、燕山早期岩浆岩和下扬子地区高精度同位素定年数据与地球化学资料的积累，结合深部地球物理探测成果的揭示，使我们对中国东南部中生代火成岩的时空展布、物质来源和成因有了深入了解。结合周边国家和地区中生代岩浆活动地质地球化学研究的新进展，使我们有可能提出比较合理的中国东南部中生代岩浆活动的动力学模式。

本书以现代多源岩浆-成矿形成演化、壳幔作用以及大陆地壳生长和大陆动力学的新成果、新理论为指导，以中国东南部以及日本、韩国不同构造单元为研究基地，以中生代岩浆-成矿事件群与构造演化阶段的关系为研究核心，以室内总结与对比研究为重点、辅以适当的野外地质调查，对中国东南部、韩国、日本等国家和地区不同构造单元内火成岩-矿床类型和组合与构造发展阶段的关系进行对比研究，取得的主要进展为：

（1）建立了中生代构造-岩浆-热事件的年代学格架及时空演变规律。湖南道县-台湾东部构造-岩浆热事件年代学剖面图显示中生代构造-岩浆-成矿作用具有明显的阶段性特征，具有从华南内陆带经武夷-云开山脉带至沿海和台湾东部构造-岩浆事件逐渐变新的趋势。中生代岩浆活动大致可以分为三期六个阶段。印支期花岗岩同位素年龄值主要集中于两个峰值：早阶段（243~233Ma B. P.）和晚阶段（224~204Ma B. P.），~225Ma B. P. 是个重要的热事件分界期；在湖南内陆发生了岩浆底侵事件。燕山早期岩浆活动的同位素年龄数据主要集中在两个阶段：即 187~170Ma B. P. 和 168~150Ma B. P.；燕山晚期火山-侵入岩同位素年龄主要有两个阶段：即 147~124Ma B. P. 和 124~87Ma B. P.。系统总结了东南部中生代三期六个阶段岩浆岩的地质地球化学特征，同时也较系统地总结了日本、韩国印支期、燕山期和喜马拉雅期火山岩-侵入岩的地质地球化学特征。

（2）以位于武夷山脉印支期桂坑岩体为例，系统研究了岩体地质年代学、岩石学和地球化学特征；以武夷-云开山脉带印支期的富城-红山岩体和十万大山-大容山岩体、华南内陆带湖南省的两类印支期花岗岩体以及苏鲁-韩国带印支期花岗岩为例，系统总结了华南印支期岩浆作用和动力学演化。印支早期，华南陆块过铝质花岗岩的形成与陆内碰撞变形有关；印支晚期，华南内陆带碰撞后有小规模岩浆底侵，形成有极少量幔源组分加入的准铝-弱过铝质壳源型花岗岩；在武夷-云开山脉带碰撞后的应力松弛，形成具有后碰撞型的过铝质壳源型花岗岩。华北和下扬子陆块与华南陆块具有完全不同的前寒武纪变质基底

及其动力学演化史,前者至今尚未发现类似于华南出露的印支期壳源型强过铝质花岗岩类,后者缺少类似于苏鲁-韩国带与伸展构造伴生的富集岩石圈地幔源的岩石组合。

(3) 通过对越南、海南岛、日本和韩国以及华南内陆带、武夷-云开山脉带和东南沿海印支期花岗岩时空分布特征的系统对比研究,认为单一太平洋板片俯冲模式无法解释我国东南部印支期花岗岩的时代、岩性特征和分布规律;湖南郴州存在软流圈上涌柱和燕山早期金属矿集区,约在 225Ma B. P. 时湘东南出现小规模岩浆底侵事件;将日本飞弹带花岗岩同中朝地台的韩国-苏鲁带、华南地块的湖南内陆带以及中亚造山带的佳木斯地块系统对比后认为,飞弹带是从中亚造山带东部边缘佳木斯地块分离出来的;结合浙东地区印支期花岗岩的出露,尤其是在韩国岭南地块存在早于华北和扬子地块碰撞的印支期花岗岩,表明存在古太平洋板块与东亚大陆边缘的碰撞,印支期花岗岩的形成是其周边板块边界的俯冲-碰撞-伸展的结果。

(4) 将我国东南沿海岩浆岩带与西南日本白垩纪火山-侵入岩带作了系统对比研究,提出东南沿海岩浆岩带经历韧性剪切变形后(120~117Ma B. P.),随时间推移,经历了同造山、造山后和非造山阶段,由挤压转换为扩张,晚期出露碱性 A 型花岗岩,壳幔作用增强,岩石中幔源组分贡献增大;西南日本岩浆岩带经历了韧性剪切变形后(90~87Ma B. P.),随时间推移,晚期出露过铝质细粒石榴子石-白云母花岗岩,火山-侵入岩在主量元素组成上变化不大,花岗岩的 Sr 初始值增加。高镁安山岩和埃达克岩(120~105Ma B. P.) 是日本大面积白垩纪岩浆作用开始阶段由俯冲板片在高温条件下部分熔融形成的。日本领家带和山阳带花岗岩类是由古太平洋板块俯冲条件下由较年轻地壳部分熔融形成的。结合下扬子沿江地区岩浆-成矿活动在 124Ma B. P. 已结束的地质事实,可以认为我国东南部晚中生代大规模岩浆作用的开始与古太平洋板块俯冲没有直接联系,是在板块构造围限下陆内构造体系的产物,是先前存在的断裂再活化的结果,大约在早白垩世晚期(~120Ma B. P.) 火山-侵入岩带遭受动力变形之后,在中国东部和海南岛、韩国、日本和越南等地进入了古太平洋板块的正向俯冲构造体系。

(5) 提出中国东南部中生代岩浆活动四阶段成因模式:

A. 华南周边多板块汇聚, Sibumasu 地块与印支-华南板块的碰撞(258~243Ma B. P.)、古太平洋板块向西运动(253~239Ma B. P.) 以及华北板块与扬子块体的碰撞(236~230Ma B. P.);

B. 特提斯(EW 向线性分布)构造体系向环太平洋活动边缘(NE 向面型分布)构造体系转换转换开始时间约 165 ± 5 Ma B. P., 燕山期构造运动是长期伸展与短期挤压交替伴随(168~150±5Ma B. P.);

C. 陆内构造体系,大陆边缘造山后岩石圈减薄,华南各陆块间从深部到浅部的动力学不平衡,地壳伸展导致陆内深断裂活化(150~125Ma B. P.);

D. 板块构造体系,大陆边缘与古太平洋板块正向俯冲构造体系有关的挤压-伸展造山作用,日本海和台湾海峡、红色断陷盆地的形成,以及发生在我国东部和海南岛、韩国、越南、日本以及楚科奇-锡霍特-阿林地区的火山-侵入作用(125~60Ma B. P.)。

该模式基于以下几点地质事实:

(a) 中国东南部中生代以长期伸展和短期挤压相互交替为特色,至少存在三期挤压构

造运动,印支期挤压构造变形表现为近东西向褶皱和北东向断裂发生右旋走滑运动(239~230Ma B. P.),指示中国东南部早中生代遭受南北向挤压作用,其动力源是印板块与华南板块的南缘发生碰撞以及华北板块与扬子块体的陆-陆碰撞;中侏罗世挤压构造变形表现为NE向褶皱和NE向断裂朝SE的逆冲推覆(169~161Ma B. P.);早白垩世长乐-南澳断裂带左旋走滑和动力变质变形作用(121~117Ma B. P.)造成先前岩石变形,形成片理化火山岩和片麻状花岗岩,后两期挤压的动力源自古太平洋板块的碰撞-挤压或是古太平洋上的古陆块朝东亚陆缘的正向俯冲碰撞-拼贴增生,在韩国、日本也存在类似的挤压变形构造。

(b) 中国东南部中生代玄武岩的时空分布及其成因研究表明,华南内陆带和武夷-云开山脉带在早侏罗世时地幔相对均一,没有受到俯冲体系的改造,基性岩浆作用及其底侵作用是后印支运动伸展的结果,并可能引起燕山早期晚阶段(中侏罗世)大规模花岗质岩浆作用;燕山早期晚阶段花岗岩(168~150Ma B. P.)具有两种不同的分布格局:一种是武夷山褶皱带两侧呈NE向展布,另一种在华南内陆的南岭山脉地区以EW向展布为主,出现交切和重叠,它既不同于印支期的面式分布,也不同于燕山晚期单一的NE向分布,指示了从印支期特提斯构造域转换为燕山期太平洋构造域早期阶段的特点,该时期在钦(州)-杭(州)结合带的岩浆活动同样表证了太平洋构造域早期阶段的特点。

(c) 东亚大陆边缘在燕山晚期进入太平洋俯冲构造体系,但不同地段的表现不同。那丹哈达,日本本州等存在有代表洋壳俯冲的岩石组合,如蛇绿混杂岩带、大洋深水沉积岩等,东亚大陆边缘古太平洋板块对欧亚大陆俯冲与否关键在于是否存在有代表洋壳俯冲的岩石组合。陆-陆或洋-陆板块间碰撞挤压后的伸展,导致岩石圈拆沉减薄,基性岩浆的底侵作用和深断裂的再活化等都可以使稳定地块遭受岩浆活动的破坏,可以非常好地揭示中国东南部中生代岩浆活动的成因。

本书是“中国东南部和日本中生代火山-侵入作用与成矿对比研究”和“海峡两岸地质矿产对比研究”两个项目研究成果的总结,同时也是全体研究人员集体劳动的结晶。本书分八章三十四节,具体编写分工如下:

前言、后语,毛建仁。第1章,毛建仁,徐维光。2.1、2.2,毛建仁;2.3,叶海敏;2.4,赵希林;2.5,李寄嵎。3.1、3.2,邢光福、余明刚、陈荣;3.3、3.4,叶海敏。4.1、毛建仁、高桥浩;4.2~4.5,赵希林。5.1~5.3、厉子龙;5.4、5.5,叶海敏。第6章,毛建仁、奇洹叙、刘凯。7.1,毛建仁、高桥浩;7.2,毛建仁、刘凯;7.3,毛建仁、高桥浩。第8章,毛建仁、叶海敏、高桥浩、奇洹叙。

各章初稿完成后毛建仁研究员和叶海敏副研究员对所有章节进行了修改和补充,胡青副研究员负责文字编辑,刘凯对书中所有图件进行了核对清理,本书大部分图件由曹兴进、杨芳和袁媛清绘。

在本书写作修改定稿过程中,项目首席科学家任纪舜院士和李廷栋院士自始至终给与亲切指导和诸多帮助,他们那种为追求科学真理而顽强拼搏的精神和求实求真的学风给我们树立了榜样;肖序常院士、莫宣学院士、邓晋福研究员、陆松年研究员、肖庆辉研究员、陆志刚研究员、陶奎元研究员、谢谏克研究员、杨天南研究员、牛宝贵研究员、王军研究员曾给与多方面亲切指导;南京地质调查中心陈国栋所长、郭坤一副所长、李君泮副

所长、陈冰处长、陈国光处长、曾勇处长、董永观处长、余根峰处长，国土资源部科技司彭齐鸣司长，中国地质调查局叶建良主任、卢民杰副主任、连长云副主任、肖桂义处长、刘凤山处长，中国地质科学院地质研究所侯增谦所长、耿元生副所长、王涛处长、姚培毅处长、迟振卿副处长等曾多次给予指导和关心。中国地质调查局科技外事部、中国地质科学院地质研究所科技处和南京地质调查中心总工办曾给予大力支持和帮助。值得一提的是中国地质调查局科技外事部外事处蒋仕金处长和柏琴处长凭着他们在外事工作的多年经验积累和专业技能给予我们诸多行之有效的指导，使得我们与日本和韩国的国际合作研究项目得以顺利执行，并圆满完成目标任务。

在日本工作期间，得到了日本地质调查所特别顾问石原舜三教授 (Prof. Shunso Ishiihara)，日本地质和地质情报研究所前所长富坚茂子博士 (Dr. Shigeko Togashi)、现任所长加藤栞一博士 (Dr. Hirokazu Kato)、副所长栗本史雄博士 (Dr. Chikao Kurimoto)，日本地质调查所所长佃荣吉博士 (Dr. Eikichi Tsukuda)，地质信息中心主任 Wakita1 博士 (Dr. Koji Wakita)，外事部门负责人高田亮博士 (Dr. Akira Takada)、渡边宁博士 (Dr. Yashushi Watanabe) 等的诸多指导和关心，在日本野外地质调查工作期间，日方项目组成员高桥浩博士、中岛隆博士 (Dr. Takashi Nakajima)、西岗芳晴博士 (Dr. Yoshiharu Nishioka) 和御子紫真澄博士 (Dr. Masumi Uijie- Mikoshiba) 以及日本神户大学田结庄良昭教授 (Prof. Tainisho Yoshiaki)，九州大学渡边公一郎教授 (Prof. Koichiro Watanabe)、高桥亮平博士 (Dr. Ryohei Takahashi)，岩手大学土谷信高教授 (Prof. Nobutaka Tsuchiya) 等提供诸多方便和大力帮助。在韩国工作期间，得到了韩国地质资源研究院前院长李泰燮博士 (Dr. Tai Sup Lee)、副院长辛性天博士 (Dr. Seong-Cheon Shin)、院国际合作办公室主任张世元博士 (Dr. SeWon Chang)、地质基础研究部主任金福哲博士 (Dr. Bok-Chul Kim) 等的诸多指导和关心，在韩国野外地质调查工作期间，韩方项目组成员奇洹叙博士 (Dr. Weon-Seo Kee)、李承烈博士 (Dr. Seung Ryeol Lee)、高喜在博士 (Dr. Hee-Jae Koh)、金成原博士 (Dr. Sung-Won Kim)、金寰喆博士 (Dr. Hyeon-Cheol Kim)、赵腾龙博士 (Dr. Deung-Lyong Cho)、宋教荣博士 (Dr. Kyo-Young Song) 和 Dr. You-Hong Kihm 等提供诸多方便和大力帮助。在此对日本和韩国的同行表示诚挚的感谢！台湾大学地质科学系陈正宏教授、陈文山教授、宋圣荣教授和邓属于教授以及台湾地质研究所蓝晶莹研究员等提供诸多支持和大力帮助，在此表示诚挚的感谢！因此，本书也是中日韩三国和海峡两岸地质学家真诚合作、辛勤工作的结晶。

中日韩三国地质学家在中国东南部野外地质调查工作期间，得到福建省、安徽省、江西省、浙江省和湖南省地质调查院、福建省闽西地质大队、福建省第八地质大队和江西省赣南地质大队的大力支持和帮助。本项目的单矿物 Ar-Ar 测年工作在中国地质科学院地质研究所同位素实验室完成、锆石 SHRIMP 测试工作在北京离子探针中心完成、主量元素和稀土元素测试工作由南京地质矿产研究所实验测试中心承担、微量元素以及 Nd, Sr 同位素在中国科学院地质与地球物理研究所完成，单矿物选样工作是在河北省区调所实验室完成，感谢上述单位领导和老师们给予的支持和帮助。此外，本专著还引用了有关地质调查和研究部门未公开发表的相关文献资料，本书作者对各位专家、同行老师和有关单位表示衷心感谢！

目 录

出版说明

前言

第1章 中国东南部和邻区的地质背景	1
1.1 中国东南部和日本-台湾岛弧带在东亚构造中的位置	1
1.1.1 中国东南部和东海地区地质构造	2
1.1.2 台湾地区地质构造	6
1.1.3 日本岛弧区地质构造	9
1.2 区域断裂构造	11
1.2.1 概况	11
1.2.2 区域断裂主要特征	11
1.2.3 日本的主要区域断裂	14
1.3 中国东南部及邻区中生代岩浆活动区的基底特征	16
1.3.1 中国东南部前侏罗纪双层基底构造	16
1.3.2 中国东南部中生代岩浆活动区基底的分区性特征	20
1.3.3 台湾地层区	21
1.3.4 日本中生代岩浆活动区的基底特征	25
1.3.5 韩国中生代岩浆活动区的基底特征	28
第2章 中国东南部中生代侵入岩的地质地球化学特征	30
2.1 概述	30
2.1.1 印支期花岗质岩浆活动	30
2.1.2 燕山早期岩浆活动	31
2.2 印支期花岗岩的地质地球化学特征——以桂坑岩体为例	33
2.2.1 桂坑岩体的地质学、岩石学和年代学特征	34
2.2.2 桂坑岩体的地球化学特征	39
2.2.3 桂坑岩体的成因讨论	49
2.2.4 与华南和苏鲁-韩国印支期花岗岩体的区域对比	51
2.2.5 构造意义	56
2.3 燕山早期早阶段岩浆岩的地质地球化学特征	58
2.3.1 地质背景	59
2.3.2 燕山早期早阶段岩浆活动时空分布特征	61
2.3.3 燕山早期早阶段岩浆活动的岩石学和岩相学特征	63
2.3.4 燕山早期早阶段岩浆岩的地球化学特征	66
2.3.5 岩石成因及动力学背景	86

2.4	燕山早期晚阶段侵入岩的地质地球化学特征	91
2.4.1	侵入岩的地质学和岩石学特征	92
2.4.2	侵入岩的同位素年代学和冷却速率	94
2.4.3	侵入岩的地球化学特征	105
2.4.4	岩浆分异作用及其含矿性分析	112
2.4.5	岩浆源区和构造环境	118
2.5	燕山晚期晚阶段火山-侵入岩的地质地球化学特征	128
2.5.1	镁铁质岩石的地质特征和侵位时间	129
2.5.2	矿物学和地球化学特征	132
2.5.3	镁铁质岩石和片麻岩成因以及造山阶段的构造演化	135
第3章	中国东南部中生代火山岩地质地球化学特征	139
3.1	中生代火山岩地质特征	139
3.1.1	火山活动旋回特征和年代学格架	139
3.1.2	浙江中生代火山活动旋回特征	141
3.2	中生代火山岩的地球化学特征	143
3.2.1	第 I 火山活动旋回 (早侏罗世, 200~175MaB. P.)	144
3.2.2	第 II 火山活动旋回 (中-晚侏罗世, 162~150MaB. P.)	144
3.2.3	第 III 火山活动旋回 (早白垩世早期, 143~117MaB. P.)	146
3.2.4	第 IV 火山活动旋回 (早白垩世晚期, 117~85MaB. P.)	148
3.2.5	Sr-Nd 同位素特征	149
3.3	中生代玄武质岩石的地质特征	151
3.3.1	中生代玄武质岩石的时空分布特征	151
3.3.2	中生代玄武质岩石的岩石学特征	155
3.4	中生代玄武质岩石的地球化学和源区特征	155
3.4.1	中生代玄武质岩石的地球化学特征	155
3.4.2	中生代玄武质岩石的源区特征及构造环境	161
3.4.3	台湾地区玄武质岩石的地球化学特征及源区特征	165
第4章	日本中生代侵入岩的地质地球化学特征	171
4.1	概述	171
4.2	印支期-燕山早期侵入岩的地质地球化学特征	173
4.2.1	地质概况和岩石学特征	173
4.2.2	同位素地质年代学	174
4.2.3	地球化学特征	179
4.2.4	讨论	186
4.3	燕山晚期早阶段侵入岩的地质地球化学特征	188
4.3.1	东北日本北上地区	188
4.3.2	西南日本九州地区	201
4.4	燕山晚期晚阶段侵入岩的地质地球化学特征	213

4.4.1	西南日本内带侵入岩的区域性特征	213
4.4.2	西南日本领家带代表性岩体	224
4.5	喜马拉雅期花岗岩的地质地球化学特征	238
4.5.1	花岗岩的地质学和岩石学特征	238
4.5.2	地球化学特征	238
4.5.3	岩石成因	245
第5章	日本中生代火山岩的地质地球化学特征	246
5.1	日本中生代火山地质概述	246
5.1.1	西南日本燕山晚期火山旋回和时空分布	246
5.1.2	日本燕山晚期火山旋回划分对比	249
5.2	日本燕山晚期早阶段火山岩的地质地球化学特征	250
5.2.1	东北日本北上地区火山岩的地质地球化学特征	250
5.2.2	西南日本中国地区火山岩的地质地球化学特征	257
5.3	日本燕山晚期晚阶段火山岩的地质地球化学特征	265
5.3.1	岩相学特征和年代学	265
5.3.2	地球化学特征	269
5.4	日本新生代火山岩的地质地球化学特征	272
5.4.1	地质背景和新生代火山岩时空分布	272
5.4.2	西南日本新生代火山岩岩石学和地球化学特征	277
5.4.3	东北日本新生代火山岩岩石学和地球化学特征	289
5.5	新生代火山岩源区特征和构造环境	309
5.5.1	西南日本火山岩源区特征和构造环境	309
5.5.2	东北日本火山岩源区特征及构造环境	311
第6章	韩国中生代岩浆岩的地质地球化学特征	317
6.1	韩国中生代岩浆岩的时空分布特征	317
6.1.1	中生代侵入岩的时空分布	317
6.1.2	中生代火山岩的时空分布	322
6.2	印支期侵入岩的地质地球化学特征	324
6.2.1	地质概况、年代学和岩石学特征	325
6.2.2	地球化学特征	325
6.2.3	岩浆源区和构造环境	337
6.3	燕山早期侵入岩的地质地球化学特征	340
6.3.1	地质概况	340
6.3.2	岩石学特征	341
6.3.3	地球化学特征	342
6.3.4	岩浆源区和构造环境	351
6.4	燕山晚期侵入岩的地质地球化学特征	355
6.4.1	地质概况、地质年代学和岩石学特征	356

6.4.2	地球化学特征	358
6.4.3	岩石成因和形成的构造环境	370
6.5	中生代火山岩的地质地球化学特征	374
6.5.1	白垩纪—古近纪火山活动	374
6.5.2	新近纪火山活动	383
第7章	中国东南部和日本中生代岩浆-成矿作用及典型矿床	393
7.1	中国东南部和日本中生代成矿作用的地质背景	393
7.1.1	中国东南部中生代矿床基本特征	393
7.1.2	日本金属矿床的时空分布特征	398
7.2	中国东南部中生代典型矿床的地质特征	407
7.2.1	银山铜铅锌金银多金属矿床	407
7.2.2	西华山钨矿	412
7.2.3	冷水坑银铅锌矿床	416
7.2.4	紫金山铜金矿田	420
7.2.5	奇美铜矿	424
7.2.6	金瓜石金铜矿床	426
7.3	日本中生代典型矿床的地质特征	432
7.3.1	小坂黑矿型铜多金属矿田	432
7.3.2	日立别子型铜铁多金属矿床	435
7.3.3	菱刈岩浆热液型金矿床	435
7.3.4	釜石接触交代型矿床	438
7.3.5	秩父砂卡岩型矿床	441
7.4	中国东南部和日本中生代岩浆成矿作用的对比	443
第8章	中国东南部中生代岩浆活动与板块构造动力学演化	446
8.1	中国东南部中生代岩浆活动的基本地质事实	447
8.1.1	中生代岩浆活动的多期性和迁移性	447
8.1.2	中国东南部及周边地区印支期花岗岩	452
8.1.3	华南有侏罗纪古太平洋板块俯冲吗?	457
8.2	中国东南部中生代岩浆活动的动力学特征-周边地区对比研究的启示	458
8.2.1	印支期多板块汇聚的地质事实	458
8.2.2	中国东南沿海与日本白垩纪—古近纪火山-侵入岩带韧性变形 和成岩方式的启示	465
8.2.3	动力变形期及其后的地壳伸展作用	470
8.3	中国东南部中生代岩浆活动与板块构造动力学演化模式	471
8.3.1	晚中生代岩浆活动沉寂期及其动力学原因	472
8.3.2	中国东南部中生代岩浆活动的四阶段动力学演化模式	474
参考文献		477
后记		525

第 1 章 中国东南部和邻区的地质背景

1.1 中国东南部和日本-台湾岛弧带在东亚构造中的位置

中国东南部和台湾-日本岛弧带位于亚洲大陆东部、太平洋西缘，同属环太平洋大陆边缘的沟-弧-盆体系（图 1.1）。

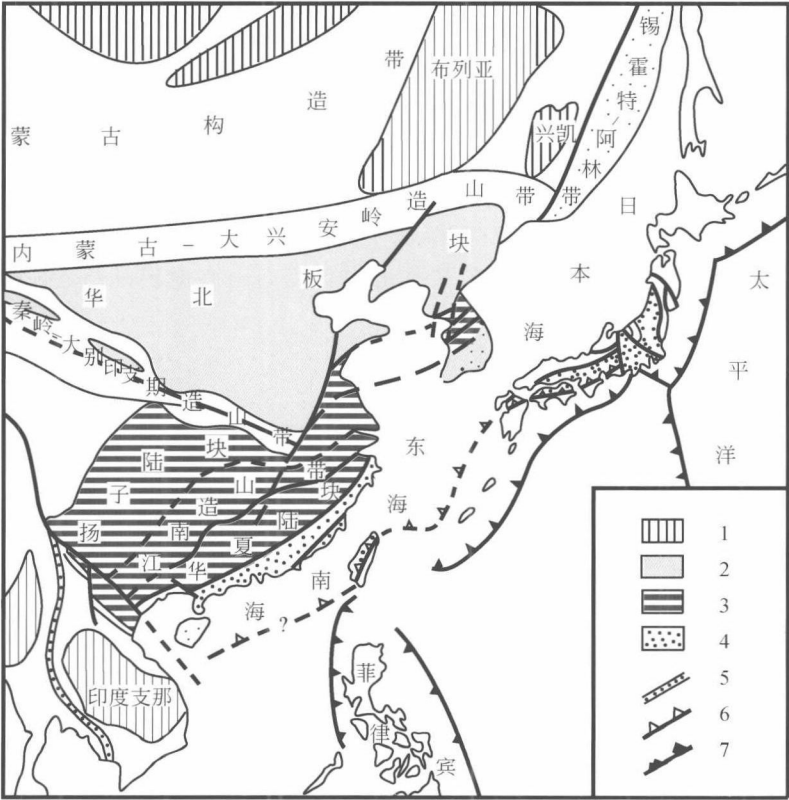


图 1.1 东亚大陆边缘构造纲要图（据舒良树、周新民，2002；舒良树等，2001，有修改）

- 1. 前寒武纪地块；2. 华北板块；3. 华南板块；4. 中生代火成岩带；5. 印支期缝合带；
- 6. 中生代缝合带；7. 新生代板块俯冲带

1.1.1 中国东南部和东海地区地质构造

中国东南部由华北、扬子、华夏三大陆块于不同时期碰撞拼合而成(图 1.1、图 1.2)。在大地构造上,与中国东南部晚中生代构造-岩浆岩带有密切成因联系的构造单元有两个:前侏罗纪东西向构造域和中、新生代北东向东亚陆缘带(黄汲清等,1997;任纪舜等,1999)(图 1.2),前者分布地域广,经历了元古代、早古生代、晚古生代和中生代等多期构造-岩浆热事件的演化(Wang and Mo, 1995)。后者地域相对狭窄,构造作用主要受中生代以来的太平洋板块活动制约(Charvet *et al.*, 1999;任纪舜等,1999)。东西向构造域存在两种地球动力学体制:古生代,主体受南北向应力机制控制,从晚三叠世开始,东亚构造域受特提斯洋和古太平洋的联合作用。如在南岭地区,既有近东西向延伸的燕山早期花岗岩(西段居多),又发育了 NE 向燕山晚期花岗岩(东段);沿金沙江-哀牢山断裂带有印支期蛇绿混杂岩和韧性剪切带(Lu *et al.*, 1990)。

东海地质构造总体上具有东西分带、南北分块的特点(图 1.3)。

I 级单元:由西向东为浙闽隆起区—东海陆架盆地—钓鱼岛隆褶带—冲绳海槽盆地—琉球隆褶带—琉球海沟,呈 NNE 向正负相间的带状分布特征(图 1.4)。

II 级单元:以 NW 向渔山-久米大断裂为界,由北向南可分为浙东拗陷、台北拗陷、北冲绳拗陷及南冲绳拗陷。南冲绳拗陷为目前正在发展中的现代裂谷型拗陷,水深超过 2200m,深部地幔隆起,地壳减薄,莫霍厚度仅为 1.1km。

III 级单元:为凸起与凹陷,东海陆架盆地内自北向南有虎皮礁凸起、海礁凸起、渔山凸起和观音凸起等。

IV 级单元为构造带(背斜带和向斜带)。

V 级单元为局部构造(背斜和断块构造圈闭)。

东海陆架盆地自晚白垩世以来,随着欧亚大陆边缘在张应力的作用下,地壳逐渐减薄张开,在现今的东海陆架地区出现了若干小型的断陷盆地。随着拉张作用的进一步加强,这些小型的断陷盆地合并、发展,成为一个大型的沉积盆地。盆地从早期拉张断陷,到后期拗陷、扩展及晚期抬升褶皱,先后经历了三个阶段:

第一阶段(晚白垩世—始新世末期):盆地断陷阶段。

在此阶段的早期(晚白垩世—古新世末期)为盆地形成的初期阶段,主要沉积了一套浅海相的上白垩统及古新统灵峰组。在古新世的晚期由于受到瓯江运动的影响,盆地被抬升剥蚀,出现了区域不整合。在此一阶段的晚期(古新世末期—始新世末期)为断陷盆地的发展阶段,主要沉积了一套滨海相、浅海相及海陆交互相的平湖组(台北拗陷为瓯江组)。

在始新世末期由于受到规模较大的区域构造运动——玉泉运动的影响,盆地再次被抬升,遭广泛的侵蚀与剥蚀,出现了广泛的区域不整合面,从而基本上结束了盆地的断陷发展阶段,并开始转入盆地拗陷发展阶段。

第二阶段(始新世末期—中新世末期):盆地拗陷、扩展阶段。

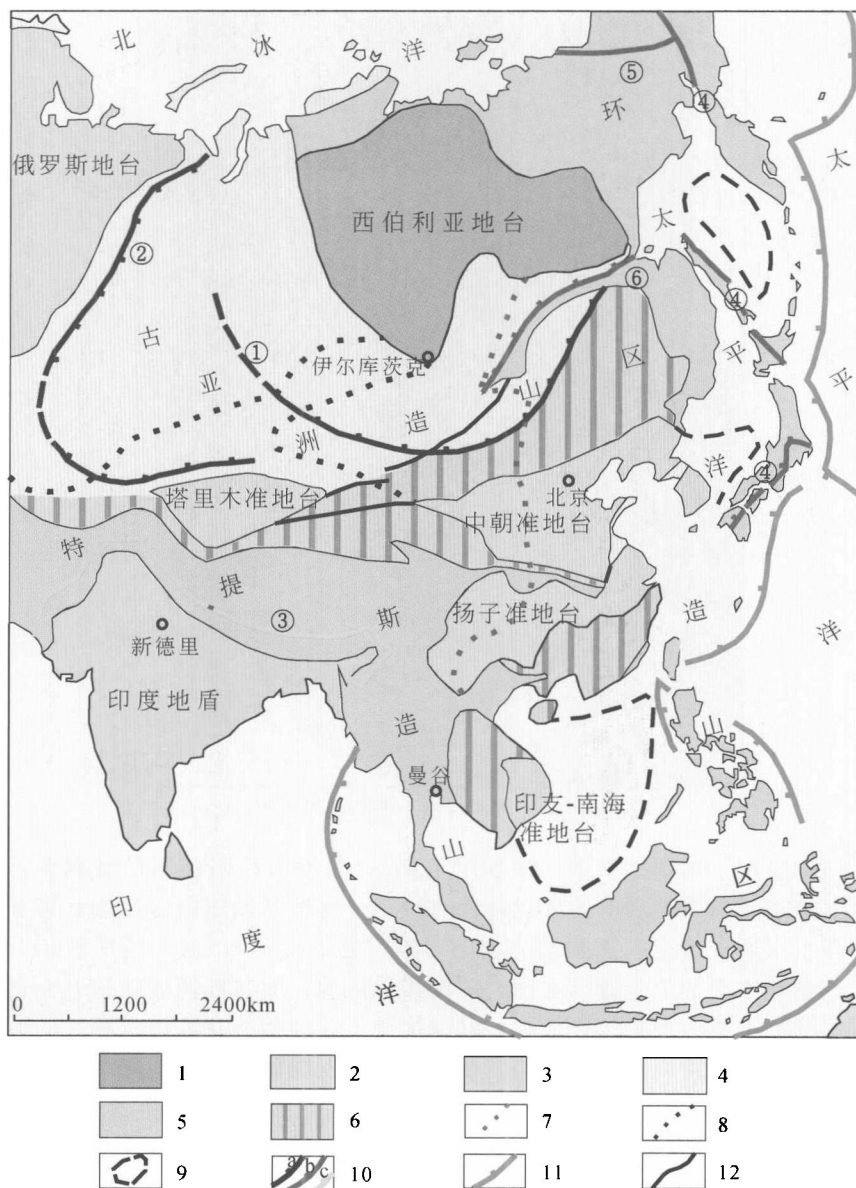


图 1.2 亚洲地质构造简图 (据任纪舜, 1997)

前寒武纪形成和再循环的大陆壳: 1. 西伯利亚陆块 (形成于 1900~1700Ma B.P.), 2. 古中华、俄罗斯陆块群 (形成于 1000~800Ma B.P.), 3. 冈瓦纳陆块 (形成于 540Ma B.P.); 显生宙形成和再循环的大陆壳: 4. 劳亚大陆上的古生代 (萨拉伊尔或兴凯、加里东、华力西) 造山带, 5. 特提斯和环太平洋中新生代 (印支、燕山、喜马拉雅) 造山带, 6. 特提斯和古太平洋叠覆 (230~150Ma B.P.) 造山带; 构造活动界线: 7. 滨太平洋陆缘活化界线 (140Ma B.P. 以来), 8. 滨特提斯陆缘 (新生代复活山系) 活化界线 (40Ma B.P. 以来), 9. 裂解沉没陆块的推测界线, 10. 主要缝合带: a. 华力西期, b. 燕山期, c. 喜马拉雅期, 11. 贝尼奥夫带, 12. 构造分区界线; 缝合带名称: ① 额尔齐斯-佐伦-黑河缝合带, ② 乌拉尔-南天山缝合带, ③ 印度河-雅鲁藏布缝合带, ④ 古太平洋缝合带, ⑤ 阿纽伊缝合带, ⑥ 蒙古-鄂霍次克缝合带