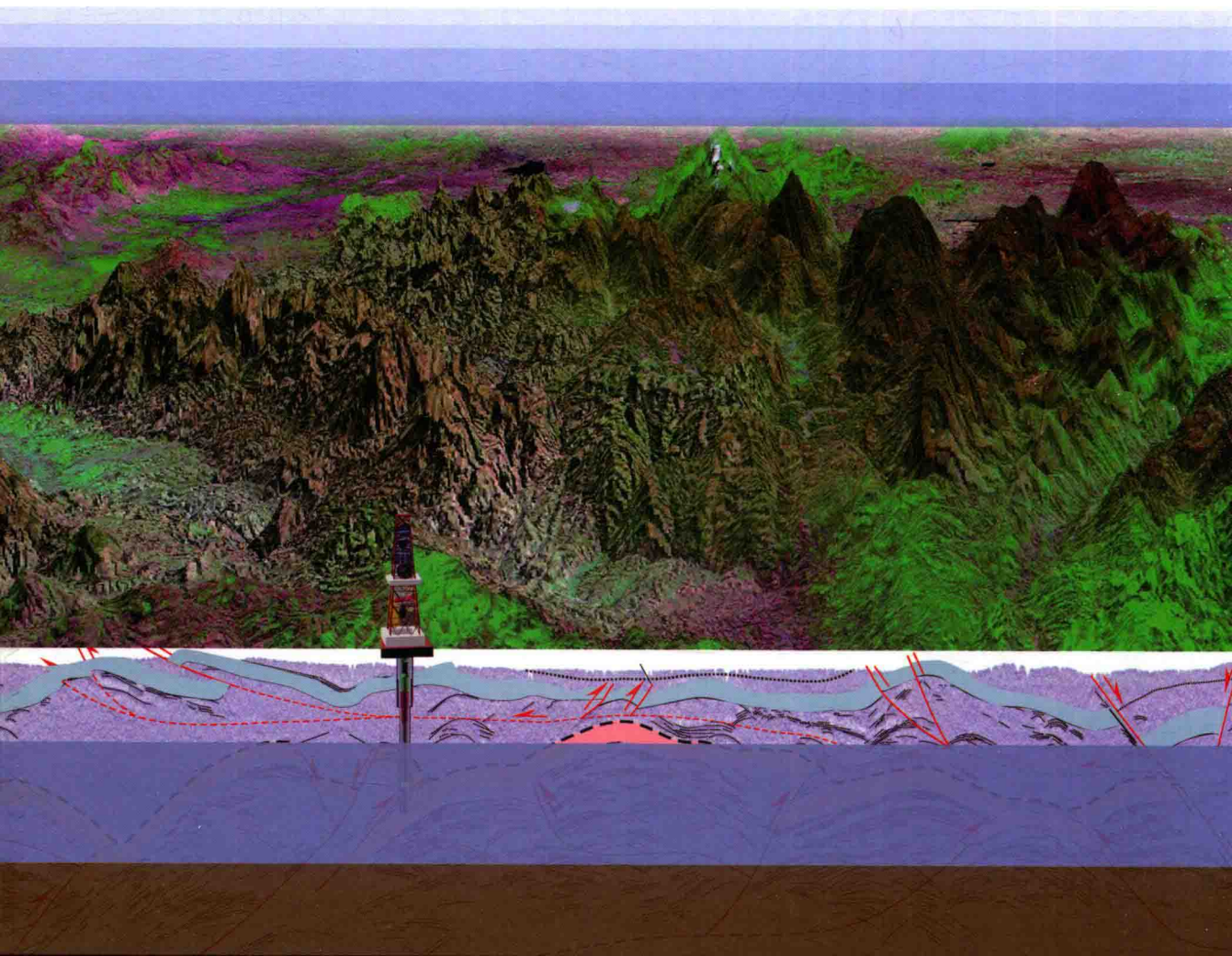




中国深部探测研究丛书

中国大陆中—新生代构造演化 与动力学分析

董树文 张岳桥 赵 越 张福勤 杨振宇 陈宣华 等/著



科学出版社

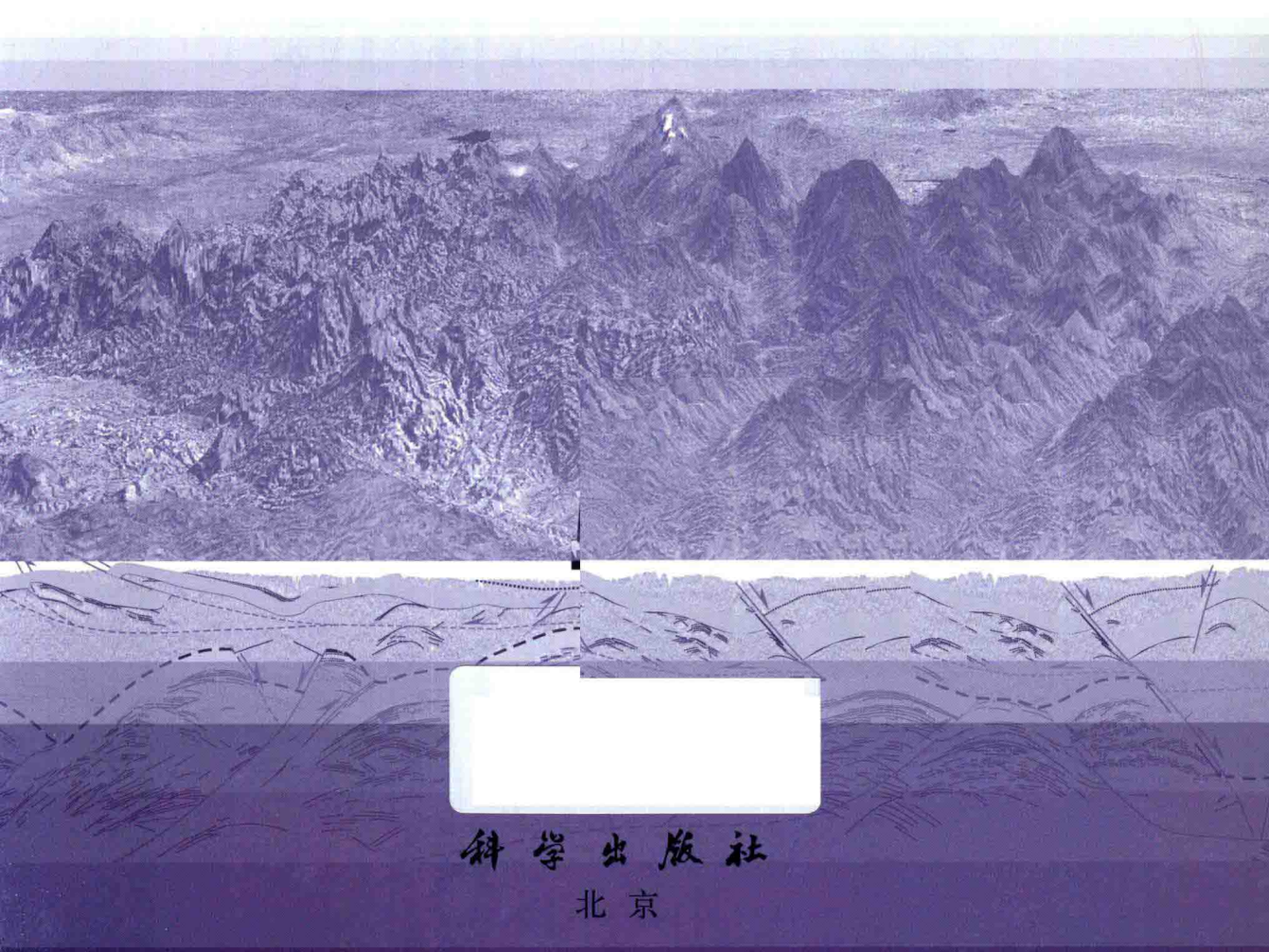
“十三五”国家重点出版物出版规划项目



中国深部探测研究丛书

中国大陆中—新生代构造演化 与动力学分析

董树文 张岳桥 赵 越 张福勤 杨振宇 陈宣华 等/著



科学出版社
北京

内 容 简 介

本书为深部探测技术与实验研究专项 (SinoProbe) 第八项目“大陆地壳的结构框架与演化探讨”课题研究的成果总结。作者以我国华南、华北、东北和西部地区为例,通过野外地表地质调查与精细构造解析、古地磁分析、地球化学测试分析、同位素年代学、高温高压实验,结合深部探测技术与实验研究专项 (SinoProbe) 采集的最新探测数据和研究成果,重新处理已有的深部探测资料,特别是重要造山带和关键构造部位的深地震反射剖面数据,进行数据融合与结构再造,构建中国大陆地壳与岩石圈三维结构框架,赋予深部地壳和岩石圈探测成果以地质构造含义,建立我国大陆主要地质构造单元中—新生代演化及其动力学过程,东亚主要构造域转换、复合与东亚汇聚及“燕山运动”的构造动力学模型,探讨我国大陆中—新生代大陆构造过程的全球构造意义。

本书可供地学科研人员和相关院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国大陆中—新生代构造演化与动力学分析 / 董树文等著. —北京: 科学出版社, 2016

(中国深部探测研究丛书)

ISBN 978-7-03-051466-0

I. ①中… II. ①董… III. ①中新生代—大陆—构造演化—研究—中国
②中新生代—大陆—地球动力学—研究—中国 IV. ①P534.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 317332 号

责任编辑: 韦 沁 韩 鹏 / 责任校对: 贾娜娜 高明虎

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

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>

北京中科印刷有限公司印制

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年12月第一次印刷 印张: 45 1/2

字数: 1 080 000

定价: 558.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编辑委员会

主 编 董树文 李廷栋

编 委 (以姓氏汉语拼音为序)

白星碧	常印佛	陈群策	陈毓川	董树文
高 平	高 锐	黄大年	姜建军	李廷栋
李 勇	廖椿庭	刘嘉麒	龙长兴	吕庆田
石耀霖	汤中立	滕吉文	王学求	魏文博
吴珍汉	谢学锦	许志琴	杨经绥	杨文采
张本仁				

著 者 名 单

董树文	张岳桥	赵 越	张福勤	杨振宇
陈宣华	尹 安	金振民	张拴宏	苗来成
崔建军	施 炜	李建华	李振宏	黄始琪
吴 耀	吴 晨	李 勇	刘 健	裴军令
苏金宝	王雁宾	仝亚博	袁 伟	杨天水
李军鹏	胡修棉	叶 浩	吴 飞	张艳飞
王 艳	等			

丛书序

地球深部探测关系到地球认知、资源开发利用、自然灾害防治、国土安全和地球科学创新的诸多方面，是一项有利于国计民生和国土资源环境可持续发展的系统科学工程，是实现我国从地质大国向地质强国跨越的重大战略举措。“空间、海洋和地球深部，是人类远远没有进行有效开发利用的巨大资源宝库，是关系可持续发展和国家安全的战略领域”（温家宝，2009）。“国务院关于加强地质工作的决定”（国发〔2006〕4号文）明确提出，“实施地壳探测工程，提高地球认知、资源勘查和灾害预警水平”。

世界各国近百年地球科学实践表明，要想揭开大陆地壳演化奥秘，更加有效的寻找资源、保护环境、减轻灾害，必须进行深部探测。自20世纪70年代以来，很多发达国家陆续启动了深部探测和超深钻探计划，通过“揭开”地表覆盖层，把视线延伸到地壳深部，获得了重大成果：相继揭示了板块碰撞带的双莫霍结构，发现造山带山根，提出岩石圈拆沉模式和大陆深俯冲理论；美国在造山带下找到了大型油田，澳大利亚在覆盖层下发现奥林匹克坝超大型矿床；苏联在超深钻中发现了极端条件下的生物、深部油气和矿化显示，突破了传统油气成藏理论，拓展了人类获取资源的空间，加深了对生命演化的认识。目前，世界主要发达国家都已经将深部探测作为实现可持续发展的国家科技发展战略。

我国地处世界上三大构造-成矿域交汇带，成矿条件优越，现金属矿床勘探深度平均不足500 m，油气勘探不足4000 m，深部资源潜力巨大。我国也是世界上最活动的大陆地块，具有现今最活动的青藏高原和大陆边缘海域，地震较为频繁，地质灾害众多。我国能源、矿产资源短缺、自然灾害频发成为阻碍经济、社会发展的首要瓶颈，对我国工业化、城镇化建设，甚至人类基本生存条件构成严峻挑战。

2008年，在财政部、科技部支持下，国土资源部联合教育部、中国科学院、中国地震局和国家自然科学基金委员会组织实施了我国“地壳探测工程”培育性启动计划——“深部探测技术与实验研究专项（SinoProbe）”。在科学发展观指导下，专项引领地球深部探测，服务于资源环境领域。围绕深部探测实验和示范，专项在全国部署“两网、两区、四带、多点”的深部探测技术与实验研究工作，旨在：自主研发深部探测关键仪器装备，全面提升国产化水平；为实现能源与重要矿产资源重大突破提供全新科学背景依据和基础信息；揭示成藏成矿控制因素，突破深层找矿瓶颈，开辟找矿“新空间”；把握地壳活动脉搏，提升地质灾害监测预警能力；深化认识岩石圈结构与组成，全面提升地球科学发展水平；为国防安全的需要了解地壳深部物性参数；为地壳探测工程的全面实施进行关键技术与实验准备。国土资源部、教育部、中国科学院和中国地震局，以及中国石化、中国石油等企业和地方约2000名科学家和技术人员参与了深部探测实验研究。

经过多年来的实验研究，深部探测技术与实验研究专项取得重要进展：①完成了总长

度超过 6000 km 的深反射地震剖面,使得我国跻身世界深部探测大国行列;②自主研制和引进了关键仪器装备,我国深部探测能力大幅度提升;③建立了适应我国大陆复杂岩石圈、地壳的探测技术体系;④首次建立了覆盖全国大陆的地球化学基准网(160 km×160 km)和地球电磁物性(4°×4°)标准网;⑤在我国东部建立了大型矿集区立体探测技术方法体系和示范区;⑥探索并实验了地壳现今活动性监测技术并取得重要进展;⑦大陆科学钻探和深部异常查证发现了一批战略性找矿突破线索;⑧深部探测取得了一批重大科学发现,将推动我国地球科学理论创新与发展;⑨探索并实践了“大科学计划”的管理运行模式;⑩专项在国际地球科学界产生巨大的反响,中国入地计划得到全球地学界的关注。

为了较为全面、系统地反映深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)的成果,专项各项目组在各课题探测研究工作的基础上进行了综合集成,形成了《中国深部探测研究丛书》。

我们期望,《中国深部探测研究丛书》的出版,能够推动我国地球深部探测事业的迅速发展,开创地学研究向深部进军的新时代。



2015年4月10日

前 言

上天、入地、下海是人类探索自然、认识自然的三大壮举，在人类发展与地球管理方面起着关键的作用。过去十多年，国际地球科学一个重要的进展，是认识到深部地球动力学过程与地表-近地表地质过程之间紧密关系的重要性。越来越多的证据表明，地球表层看到的现象，根子在深部；缺了深部，地球系统就无法理解。越是大范围、长尺度，越是如此。深部物质与能量交换的地球动力学过程，引起了地球表面的地貌变化、剥蚀和沉积作用以及地震、滑坡等自然灾害，控制了化石能源和地热等自然资源的分布，是理解成山、成盆、成岩、成矿、成藏和成灾等过程成因的核心。深部探测揭开地球深部结构与物质组成的奥秘、深浅耦合的地质过程与四维演化，为解决能源、矿产资源可持续供应、提升灾害预警能力提供深部数据基础，已成为地球科学发展的前沿之一。

2006年，“国务院关于加强地质工作的决定”（国发〔2006〕4号文）明确提出“实施地壳探测工程，提高地球认知、资源勘查和灾害预警水平”。2008年，在财政部、科技部支持下，国土资源部联合教育部、中国科学院、中国地震局和国家自然科学基金委员会，组织实施了地壳探测工程的培育性启动计划——“深部探测技术与实验研究专项（简称‘深部专项’，英文简写：SinoProbe）”，成为我国历史上在深部探测研究领域实施的规模最大的地学计划。深部专项的核心任务是，为“地壳探测工程”做好关键技术准备，围绕“地壳探测工程”的全面实施，研制深部探测关键仪器装备，解决关键探测技术难点与核心技术集成，形成对固体地球层圈的立体探测技术体系；在不同自然景观、复杂矿集区、含油气盆地深层、重大地质灾害区等关键地带进行实验、示范，形成若干深部探测实验基地；解决急迫的重大地质科学难题热点，部署实验任务；实现深部数据融合与共享，建立深部数据管理系统；积聚、培养优秀人才，形成若干技术体系的研究团队；完善“地壳探测工程”设计方案，推动国家立项。

围绕总体目标与核心任务，深部专项设置了九大项目49个课题，在全国部署了“两网、两区、四带、多点”的探测实验，建立了全国大地电磁参数网和地球化学基准网，完成了约6160 km长的深地震反射剖面，矿集区立体探测、大陆科学钻探和异常验证孔钻探实验获得重要发现，地应力监测、岩石圈动力学模拟和大陆构造演化研究取得长足进展，深部探测关键仪器装备研制取得了重要突破。深部专项广泛汲取了其他许多国家和国际地球物理探测计划的经验，应用了大尺度、多学科、系统性的岩石圈深部探测的先进技术，指引了未来地球物理探测的发展方向。深部探测为研究大陆地震活动、火山喷发、岩浆作用和流体成矿作用等深部过程提供了关键地球物理信息。

“大陆地壳的结构框架与演化探讨”课题是深部专项第八项目的第一课题（编号：SinoProbe-08-01），旨在揭开我国大陆地壳结构与构造演化的奥秘，推动大陆构造研究的

新思维和理论创新。本课题针对我国中生代以来的大地构造关键科学问题,开展了华南、华北、东北和西部地区中、新生代构造演化与动力学分析;结合深部专项最新探测数据和成果,重新处理已有深部探测资料,特别是深地震反射剖面数据,在综合分析集成地表地质调查和测试分析数据的基础上,进行了深浅联合的数据融合与结构再造,构建了我国大陆地壳/岩石圈的结构框架;通过地壳演化的时间-深度转换,赋予了深部地壳/岩石圈探测成果的地质构造含义;建立了我国大陆主要地质构造单元中生代以来构造演化及其动力学过程、东亚主要构造域转换、复合的构造动力学模型;确定了主要造山带的时间-深度剖面,初步揭示东亚大陆构造过程的四维结构模型,同时探讨中生代以来东亚大陆构造变动的全球意义。

中生代是我国大陆地壳/岩石圈深部结构发生重大变化、逐步定型并形成统一陆体的重要地质变革时期,也是重要的成矿大爆发时期,导致了重要生物群落、构造地貌和气候、环境的重大演替。根据岩石圈结构性质,我国大陆具有较稳定地块和褶皱变形带相间的镶嵌地块群特征。在东亚多板块汇聚的地球动力学背景下,大陆地壳经历了古亚洲洋、古特提斯洋、新特提斯洋的演化与闭合消亡,古亚洲、特提斯构造域与太平洋构造域的构造复合与动力学机制转换,以及由此引发的一系列大陆碰撞造山、陆内挤压造山、伸展构造与盆地形成过程,构成了完整的构造-岩浆-沉积-成矿-成藏演化序列和建造与改造(破坏)的循环。中生代以来、特别是新生代以来发生在东亚地区的多块体拼贴及后续构造过程,造成了世界屋脊青藏高原的崛起和我国独特的地质地貌特征,极大地影响了全球大气循环系统和气候、环境变化,为地球系统科学研究提供了一个极佳的“天然实验室”,从而使得中国大陆成为当代地球科学前沿的热点研究地区和国际地球科学研究的中心之一。

本书是“大陆地壳的结构框架与演化探讨”课题组五年多来科研成果的系统总结。其中,前言、第一章和第六章由董树文、陈宣华、黄始琪、崔建军、李振宏等著;第二章由张岳桥、李建华、崔建军、施炜、李勇、苏金宝等著;第三章由赵越、张拴宏、刘健、裴军令、叶浩、吴飞、李振宏等著;第四章由张福勤、苗来成、金振民、吴耀、王雁宾、张艳飞等著;第五章由杨振宇、仝亚博、袁伟、杨天水、李军鹏、胡修棉、王艳、尹安、吴晨等著,全书由董树文、陈宣华统稿。围绕我国大陆中生代以来大地构造研究的关键科学问题,课题组全体同仁团结一致、精诚合作、勤奋工作、潜心研究,开展了一系列野外地质调查、室内测试分析和深入研究,圆满完成了深部专项设置的课题目标任务和实物工作量,取得了一系列研究成果与新的认识(详见本书正文)。但由于我国地域广大、结构复杂,加之时间仓促、我们的研究水平有限,新资料及新数据较多,与地球物理资料、特别是深部专项近年来所取得的深部地球物理探测资料的结合方面还显不足,书中错误与不当之处在所难免,敬请批评指正。

深部专项在实施过程中得到了财政部、科技部的大力支持和资助;受到国土资源部徐绍史部长、姜大明部长、贡小苏副部长、汪民副部长、徐德明副部长、张少农副部长的关怀和扶植;他们多次听取汇报,亲临年会会场和野外现场,视察深部专项办公室,给广大科技人员以极大的鼓励和鞭策。国土资源部原总工程师张洪涛和中国地质调查局局长、国土资源部原总工程师钟自然为组长的两届专项领导小组(含办公室),李廷栋、孙枢、马

宗晋院士为主任的专项专家委员会，有效指导了深部专项的探测实验，确保了专项顶层设计与高端综合。由多部门两千多名科技人员组成的强有力深部探测研究团队，为深部专项的成功运行和探测研究成果的取得做出了巨大努力。课题执行过程中得到了国土资源部、中国科学院、中国工程院、教育部、中国地震局、国家自然科学基金委员会等多部门的关心和支持，以及国土资源部财务司、科技与国际合作司、中国地质调查局、中国地质科学院、中国地质科学院地质力学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质科学院地质研究所、中国地质大学（北京）、中国地质大学（武汉）、南京大学、中南大学、中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院、中国地震局地球物理研究所、华东师范大学、东北大学秦皇岛分校、中国石油吉林油田公司等单位的领导和同仁的大力支持和帮助。同时开展了与美国洛杉矶加利福尼亚大学、密苏里哥伦比亚大学、南加州大学、俄罗斯全俄地质研究所、德国地学研究中心、韩国地质矿产研究院、蒙古科技大学等的国际合作与学术交流。在此一并表示衷心的感谢！

目 录

丛书序

前言

第一章 中国大陆的定型构造	1
第一节 印支运动与中国大陆主体的形成	1
第二节 “燕山运动”与东亚板块汇聚构造体系	11
第三节 侏罗纪晚期和早白垩世早期的多板块会聚造山与变形	12
第四节 早白垩世岩石圈垮塌与伸展盆地的发育	23
第五节 小结	28
第二章 华南地区中生代构造演化与动力学过程	30
第一节 概述	30
第二节 三叠纪特提斯洋关闭与变形	40
第三节 晚侏罗世—早白垩世陆内造山作用与变形	50
第四节 白垩纪区域伸展作用与构造隆升	79
第五节 东南沿海晚中生代陆缘造山带构造演化	175
第六节 华南中生代构造—岩浆—沉积序列与动力学过程	220
第七节 小结	253
第三章 华北地区中生代构造演化与动力学过程	256
第一节 概述	256
第二节 三叠纪挤压变形与造山作用	257
第三节 晚侏罗世—早白垩世陆内造山与“燕山运动”	258
第四节 白垩纪伸展作用与岩石圈垮塌	265
第五节 华北中生代构造—岩浆—沉积序列与动力学过程	266
第六节 小结	404
第四章 东北地区中生代构造恢复与大陆动力学背景	407
第一节 概述	407
第二节 蒙古—鄂霍次克碰撞带艾伦达瓦变质带构造演化	410
第三节 华北北缘构造带挤压变形与构造演化	424
第四节 西太平洋活动大陆边缘增生构造恢复	444
第五节 白垩纪伸展构造体制恢复	458
第六节 高温高压实验及其对东北深部过程的制约	486
第七节 小结	501

第五章 中国西部大陆新生代构造格局与演化	503
第一节 概述	503
第二节 印度-亚洲碰撞的沉积记录与初始碰撞时间	506
第三节 古亚洲南缘拉萨地体白垩纪古地磁研究	512
第四节 缅泰地块与印支地块白垩纪以来构造运动的古地磁研究	540
第五节 中国西部中生代以来主要地块构造格局的古地磁约束	596
第六节 印度-亚洲碰撞与青藏高原的崛起	601
第七节 小结	615
第六章 我国关键地质问题新认识和中生代以来构造演化	616
第一节 我国大陆地壳结构的新认识	616
第二节 我国重要地质问题的新见解	617
第三节 晚侏罗世地球动力学分析	621
参考文献	627

第一章 中国大陆的定型构造

第一节 印支运动与中国大陆主体的形成

中国大陆（或东亚大陆）是一个年轻的大陆，是由多个微陆块自中生代以来拼贴、生长而形成的。

一、古大洋的闭合与陆-陆碰撞

（一）古亚洲洋的闭合与中亚造山带的形成

中亚造山带（也即乌拉尔-蒙古褶皱带），自欧亚交界的乌拉尔山脉，向东经哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦，延伸至我国新疆、甘肃北部、内蒙古西部，俄罗斯南部和蒙古国，东西延伸超过 5000 km，主要发育天山、阿尔泰山等山脉和蒙古高原等，是世界上最大、也是最活动的陆内造山带系统（De Grave *et al.*，2007）。华北与西伯利亚之间古亚洲洋的闭合（P—T₁），导致了我国西北和中亚地区一系列晚古生代—早中生代大型走滑断裂的形成，以及华北克拉通北部早中生代后碰撞碱性岩浆岩带的发育。

晚古生代末（约 290 ~ 280 Ma B. P.），在新疆北部的阿尔泰山发育了 NW-SE 走向的左行走滑断裂（剪切）带，在西准噶尔地区发育了 NE-SW 走向的左行走滑断裂带。晚二叠世，西太平洋板块开始了向欧亚大陆东缘之下的俯冲作用，与布列亚-佳木斯-兴凯地块东缘发育的二叠纪以来岩浆弧相一致；同时形成华北东北缘晚古生代—早中生代松江河蛇绿岩（260 ~ 245 Ma B. P.）。在东天山及整个中亚地区，大型右行走滑断裂开始形成的时间可能在距今 250 ~ 245 Ma（Laurent-Charvet *et al.*，2002）。

河西走廊-阿拉善地块东部早石炭世、晚二叠世和中三叠世视极移曲线（以 44°N，84°E 为参考欧拉极）与华北地块的对比结果表明，中三叠世之后，特别是印支运动使得阿拉善地块相对华北地块发生了 32°逆时针旋转并最终与华北地块拼合形成统一地块（拼合边界可能位于贺兰山与桌子山之间）。

在华北地区，早中生代构造变形主要分布在华北克拉通边缘。以盘山复背斜和马兰峪复背斜为代表的近 EW 向褶皱和逆冲断裂变形形成于 214 ~ 210 Ma B. P.。燕山褶断带冀北下板城盆地清楚地记录了内蒙古隆起晚三叠世—早侏罗世的逆冲及快速剥露，下板城盆地杏石口组的沉积时代为早侏罗世（198 Ma B. P. 之后）；在距今约 198 ~ 180 Ma 期间发生

了区域弱伸展和基性岩脉侵入。

地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素分析表明, 华北克拉通北部碱性岩主要来自于一个被交代的富集岩石圈地幔, 部分来源于亏损的上涌软流圈地幔。软流圈与岩石圈的相互作用, 导致了俯冲增厚岩石圈地幔根部的拆沉、岩石圈减薄与破坏。其中, 几个碱性杂岩的锆石和斜锆石 U-Pb 定年, 给出该碱性岩带的形成时代为距今约 235 ~ 220 Ma (晚三叠世), 说明该地区岩石圈减薄与破坏的时间较华北克拉通其他地区为早 (Zhang S. H. *et al.*, 2012)。

在东北地区, 古亚洲洋是在二叠纪—三叠纪沿大兴安岭中、南部 NE 向延伸的索伦主缝合线消亡的; 主缝合线的主体位于蒙古—鄂霍次克构造带, 沿缝合线分布有二叠纪残留海盆地黑色页岩建造和 230 ~ 205 Ma B. P. 同造山花岗岩 (Chen *et al.*, 2000; 石玉若等, 2007; Miao *et al.*, 2008), 中生代残留的古俯冲带形成直达核幔边界的“冷地幔柱” (van der Voo *et al.*, 1999)。蒙古—鄂霍次克构造带的艾伦达瓦变质带东南侧青格勒地块之上发育大规模的二叠纪—三叠纪岛弧火山岩, 表明蒙古—鄂霍次克板块在二叠纪—三叠纪时期存在 SE 向 (现今方位) 的俯冲作用。此外, 松辽盆地内部也可能存在二叠纪—三叠纪残留盆地, 其沉积建造包括洋壳残片 (蛇绿岩)、硅质岩、含碳粉砂岩等, 代表古亚洲洋最后封闭的场所。

由于蒙古—鄂霍次克洋板块在洋盆闭合前存在 SE 向的俯冲作用, 使得我国大兴安岭北部地区发育了三叠纪斑岩型铜 (钼) 矿成矿带。例如, 大兴安岭北部西坡的乌努格吐大型斑岩铜 (钼) 矿床和额尔古纳地块的太平川斑岩型铜钼矿床, 其成矿时代均为三叠纪 (230 ~ 202 Ma B. P.; 陈志广等, 2010)。此外, 处于蒙古—鄂霍次克碰撞带马蹄形转弯部位的蒙古国额尔登特大型斑岩型铜钼矿床, 其形成时代为 240 ~ 215 Ma B. P. (江思宏等, 2010), 也同属三叠纪。这些矿床的容矿斑岩具有岛弧型及埃达克岩的地球化学特征 (陈志广等, 2010); 因此, 它们的形成与蒙古—鄂霍次克洋板块的俯冲作用有关。

(二) 古特提斯洋的闭合与华北—华南地块的拼合

古特提斯洋盆的闭合导致华北克拉通与扬子 (华南) 地块的碰撞 (T_2-J_1)、诸多微块体的碰撞 (T_3-J_2)、全球最大规模的大别—苏鲁高压超高压变质带和东亚南部巨型印支造山系的形成 (Dong *et al.*, 2008a; 许志琴等, 2012), 形成新的中国大陆。华南向华北地块俯冲碰撞过程中依次经历了进变质作用、超高压变质作用和退变质作用三个阶段。红安—大别地区进变质作用年代主要为 257 ~ 242 Ma B. P., 超高压变质作用年代为 244 ~ 226 Ma B. P., 造山后剥蚀抬升与退变质作用年代为 220 ~ 214 Ma B. P.; 苏鲁地区进变质作用发生在 247 ~ 244 Ma B. P., 超高压变质年龄集中在 225 ~ 243 Ma, 退变质作用发生在 219 ~ 202 Ma B. P. (Liu *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008; Liou *et al.*, 2009; Liu and Liou, 2011; Mary *et al.*, 2012)。

华北克拉通三叠纪—早侏罗世 ($T-J_1$) 变形主要出现在克拉通的边缘; 在华北北缘, 早—中三叠世为挤压变形, 晚三叠世—早侏罗世发育伸展构造 (Zhang *et al.*, 2014b)。在华北克拉通, 三叠纪—早白垩世岩浆岩只分布在华北北缘、南缘和东缘 (Zhang *et al.*, 2014b)。

在华南 (扬子) 地块, 中—晚三叠世碰撞造山形成近 EW 向褶皱构造, 扬子地块西缘伴

随着松潘-甘孜褶皱造山带的形成,发育了龙门山-锦屏山逆冲-推覆构造带及川滇前陆盆地,奠定了川-渝-黔-滇大型沉积盆地,构成四川盆地的原形(T_3-J_{1-2})。在晚三叠世—早侏罗世(T_3-J_1),作为秦岭-大别造山带的前陆,大巴山表现为近SN向至NNE-SSW的挤压缩短,形成EW向延伸的褶皱构造(Shi *et al.*, 2012);扬子克拉通中北部的当阳盆地表现为近SN向的挤压缩短(Shi *et al.*, 2013b)。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学给出南秦岭(北大巴山)与华北和扬子地块碰撞有关的逆冲推覆作用时间为245~189 Ma B. P.,上层向SW逆冲(Li *et al.*, 2013a)。在华南地块中部的衡山地区,晚三叠世有岩浆作用(232~228 Ma B. P.; Li *et al.*, 2013b)。

在朝鲜半岛,前寒武纪正片麻岩基底在中-高级变质温压条件下发生强烈的糜棱岩化变形和变质作用,时代可能为中—晚三叠世(约239~229 Ma B. P.; Kim *et al.*, 2011)。

(三) 华南地块与印支地块的碰撞

华南地块与印支地块(Indochina)的构造边界可能在金沙江缝合线、松麻(Song Ma)构造带和松查(Song Chay)蛇绿混杂岩带。越南北部的松麻和松查构造带均具有向北逆冲推覆(仰冲)的特征,它们可能是被红河断裂左行错断(约600~700 km)的同一个构造带,是华南与印支地块之间的缝合线,反映了华南地块向SW的俯冲;同构造变质作用发生在250~230 Ma B. P.,说明华南与印支地块的陆-陆碰撞是古特提斯洋的一个分支在中三叠世关闭的结果。这之后,出现了华南地块在印支-羌塘地块之下的南向俯冲。晚三叠世—早侏罗世,中缅甸马苏(Sibumasu)与印支地块之间完成最终的碰撞。

印支半岛是由多个小块体拼贴组成的弧形板块,主要块体有滇缅泰马(或中缅甸马苏, Sibumasu)、素可泰(Sukhothai)和印支地块(Indochina),它们之间由不同的缝合带连接,由西向东分别是长宁-孟连-清迈(Changning-Menglian-Chiangmai)、景洪(Jinghong)、哀牢山-松麻(Ailaoshan-Song Ma)缝合带,它们在晚二叠世至早—中三叠世陆续向NE聚合拼贴在一起,与华南地块组成新的大陆(Carter *et al.*, 2001; Metcalfe, 2006, 2011, 2013; Carter and Clift, 2008; Masatoshi and Metcalfe, 2008; Shu *et al.*, 2008, 2009a, 2009b, 2012)。哀牢山-松麻缝合带将华南与印支地块连接在一起,走向NW-SE,具有高应变韧性变形和变质的特点,发育糜棱岩,主要发生在早—中三叠世(Lepvrier *et al.*, 2004; Roger *et al.*, 2007)。受构造热事件影响,越南中北部结晶基底Kon tum地块变质相达到麻粒岩相,发生了地壳增厚(Carter *et al.*, 2001; Tich *et al.*, 2012)。印支早期,印支地块松麻缝合带西南的Truong Son构造带存在两期俯冲挤压环境下的岩浆活动,分别是280~270 Ma B. P.和250~245 Ma B. P. (Liu *et al.*, 2012)。

二、华南地区印支造山作用

经典印支运动的提出始于Deprat(1914)和Fromaget(1932),原指发生于越南北部上三叠统Pre-Norian与下伏Pre-Rhaetian之间的构造不整合及区域韧性剪切和高温变质事件(Carter *et al.*, 2001),其形成与印支地块和华南地块之间的陆-陆碰撞有关。华南内部

也普遍存在这个不整合面。华南地区的印支运动主要受华南-华北碰撞和印支-华南碰撞等南北边缘碰撞造山事件的制约(张岳桥、董树文, 2008; He *et al.*, 2010)。印支地块与华南地块的碰撞形成印支造山带(Lepvrier *et al.*, 1997, 2004; Carter *et al.*, 2001)。羌塘地块与华南地块的碰撞形成松潘-甘孜褶皱逆冲带(Chen and Wilson, 1996; Jia *et al.*, 2006)。华南地块与华北克拉通的碰撞形成秦岭-大别造山带(Li and Zheng, 1993; Hacker *et al.*, 1998; Meng and Zhang, 2000)。

印支运动使华南地区普遍发育褶皱和断裂作用, 不仅发育在盖层之中, 而且也卷入基底(任纪舜, 1984)。华南地块内部, 特别是雪峰山以东的华夏地块内, 三叠纪变形和岩浆岩呈面状广泛分布。褶皱构造形态相对宽缓, 三叠纪花岗岩类岩体沿其轴向分布, 褶皱轴为近EW向(万天丰, 1989; 王清晨, 2009; 张岳桥等, 2009; Li *et al.*, 2010)。从北向南, 可分为五个近EW向褶皱带, 分别为扬子前陆褶皱带、江南褶皱带、南岭褶皱带、十万大山-云开大山褶皱逆冲带以及南盘江盆地褶皱带。同时发育雪峰山、云开和武夷山等一系列韧性剪切带, 十万大山-云开大山-武夷山一带发育强烈的由南向北的逆冲作用(Zhou *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007a, 2007b; 徐先兵等, 2009a; 张岳桥等, 2009; Chu *et al.*, 2012)。

(一) 扬子前陆褶皱构造带与江南褶皱构造带

1. 扬子前陆褶皱构造带

发育于江南隆起以北和大别-苏鲁超高压变质带之间的地区, 以郯庐断裂南端为界, 划分成东西两段。东段即为著名的下扬子前陆地区, 褶皱轴向为NE至NEE向, 卷入地层主要为古生界到三叠系, 且早、中侏罗世陆相地层也卷入其中。最近的研究表明下扬子地区印支期褶皱轴为近EW向, 并在燕山早期受到了NE向褶皱的横跨叠加(Li *et al.*, 2010)。研究表明, 下扬子前陆褶皱带受南北两侧对冲作用控制, 南部江南隆起北缘向北逆冲, 北部的张八岭隆起向南逆冲, 晚三叠世—早侏罗世的黄马青组构成了前陆磨拉石盆地沉积。西段为中扬子褶皱带, 由一系列近EW向线性褶皱构造组成, 卷入的地层为古生界至三叠系, 在江汉盆地隐伏于晚中生代—新生代地层之下。在江汉盆地的西部地区, 近EW向褶皱构造较易识别, 但到上扬子地区, 受到后期NE向褶皱构造的叠加作用, 早期近EW向褶皱构造形迹基本被改造。总体来说, 扬子前陆褶皱带的构造样式属于薄皮构造, 主要受基底-盖层间主滑脱界面和盖层内部次级滑脱界面的控制(Yan *et al.*, 2003)。在大别山以南地区, 滑脱面向北缓倾, 其形成演化与大别-苏鲁造山带演化密切相关; 而在下扬子地区, 前陆褶皱构造则受南北方向上对冲作用的控制。与之同时的郯庐陆内转换断层的大规模走滑运动控制了侧向斜列分布的黄马青群沉积盆地和同期构造的发育。弧形的下扬子褶皱冲断系的框架也形成于这个时期。

2. 江南褶皱构造带

为沿江南隆起南缘发育的近EW向褶皱构造带, 主体沿江-绍断裂带北侧发育, 由东、中、西三段组成。

江南褶皱构造带东段称为浙西北褶皱带, 主体走向NE, 卷入的地层主要为古生界至

三叠系。该褶皱带受到倾向 SE 的滑脱面控制,南部华夏地块向北逆冲,或北部江南隆起带向 SSE 俯冲,形成滑脱型褶皱带 (Xiao and He, 2005)。主体形成于中—晚三叠世的印支运动,晚三叠世类磨拉石沉积地层超覆在不同时代的地层之上。燕山早期,印支期褶皱带发生同轴叠加复活,早—中侏罗世地层发生同轴褶皱。

江南褶皱构造带中段对应于萍乡—乐平褶皱带,通常称为萍乡—乐平凹陷,张岳桥等 (2009) 认为这是一个残留的褶皱凹陷,不是真正意义上的沉积凹陷。与浙西北褶皱带相比,该褶皱带走向更偏东 (NEE 向),卷入的地层主要为晚古生代海相地层。褶皱呈线状展布,为幅度中等的对称褶皱。褶皱带北缘发育向南逆冲的断裂带,南缘发育向北倾的正断拆离带,该拆离带构成了南部武功山变质核杂岩构造的北界 (Faure *et al.*, 1996)。研究表明,萍乡—乐平褶皱带主体形成于中—晚三叠世的印支运动时期,晚三叠世—早侏罗世陆相地层不整合超覆在晚古生代海相地层之上。

江南褶皱构造带西段沿雪峰山北段发育。在江南隆起带上,近 EW 向褶皱构造非常明显,很少受到 NNE 向褶皱构造的叠加。但在靠近南部“湘中凹陷区”的晚古生代和早中生代地层中,早期 NWW 向褶皱构造受到晚期 NNE 向褶皱构造叠加改造,使褶皱轴发育沿 EW 向波状舒缓状。湘中地区早晚两个世代的褶皱叠加形成典型的盆—穹构造型式。南岭褶皱构造带,并不是指广义的南岭构造带 (舒良树等, 2006),而是特指发育在晚古生代至早—中三叠世构造层中的近 EW 向褶皱构造迹线 (张岳桥等, 2009)。总体上说,大致以东经 111°和 115°为界,将南岭褶皱构造带划分为东、西两段。南岭褶皱带西段 EW 向褶皱构造表现为特征的弧形弯曲型式,线性特征清楚,没有后期岩浆侵入。位于东经 111°和 115°之间的南岭褶皱带东段,表现为复式背斜和复式向斜构造,形态宽缓,但受到后期 NNE 至 NS 向褶皱和燕山期岩浆侵入活动的强烈改造。

(二) 四川盆地的原型

四川盆地是在扬子克拉通台地基础上形成和发展起来的复合型或叠合型盆地。受到中特提斯洋扩张的影响,晚二叠世在扬子地块西部地带发生强烈的伸展裂解,诱发了广泛的玄武岩喷发,可能与地幔柱活动有关 (徐义刚, 2002)。早—中三叠世的扬子地块古地貌格局表现为中部为陆、四周为洋 (刘宝珺、许效松, 1994; Wang and Mo, 1995)。

中三叠世晚期,扬子地块顺时针旋转,导致中特提斯洋 (秦岭洋) 的剪刀式闭合、华北地块的碰撞和陆—陆深俯冲作用 (Lin *et al.*, 1985; Zhao and Coe, 1987; Huang and Opdyke, 1991; Yang *et al.*, 1992; Enkin *et al.*, 1992; Yokoyama *et al.*, 2001; Meng *et al.*, 2007), 造成中央造山带的形成和大别—苏鲁超高压变质带的快速折返 (Li S. G. *et al.*, 1993, 1997; Hacker *et al.*, 1998)。受金沙江洋向东俯冲和增生造山作用的影响,松潘—甘孜“地槽”褶皱造山,增生到扬子地块的西部边缘。同时,位于印支半岛的中缅甸苏地块与印支地块碰撞,一同增生到扬子地块的南缘 (Andrew *et al.*, 2001)。印支期造山作用使得扬子地块从古生代的台地相沉积演化为晚三叠世—侏罗纪的陆相盆地沉积,成为现今四川盆地的原型,其展布范围比现今的大很多 (张渝昌, 1997)。

四川盆地西部的川西前陆褶皱带和龙门山山前带是一个复合型前陆带,其雏形形成于