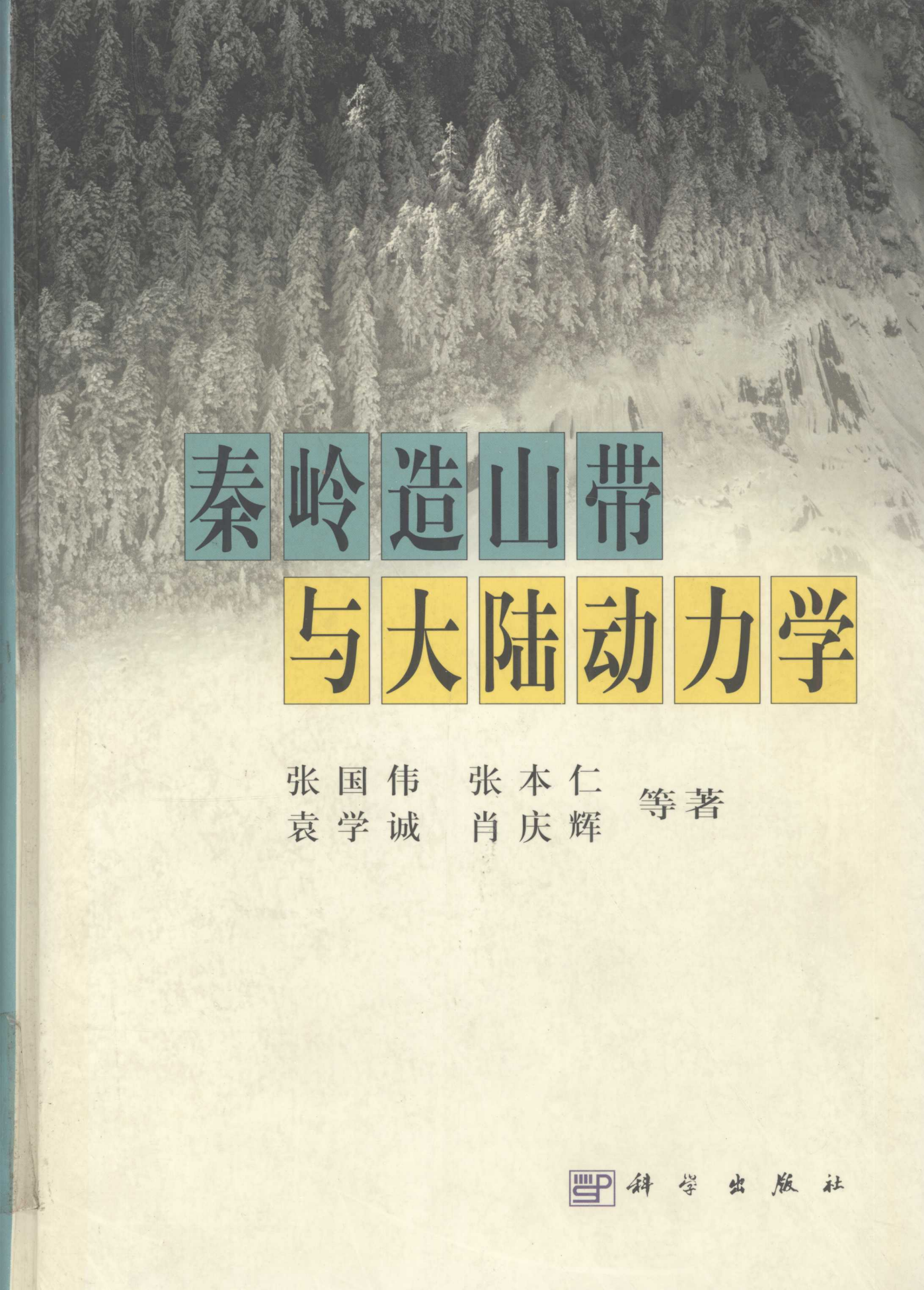




秦岭造山带 与大陆动力学

张 国 伟 张 本 仁 等 著
袁 学 诚 肖 庆 辉

 科 学 出 版 社



国家自然科学基金委员会资助出版

秦岭造山带与大陆动力学

张国伟 张本仁 等著
袁学诚 肖庆辉

国家自然科学基金资助重大项目

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书为国家自然科学基金重大项目研究成果总结。全书共分5篇,18章,重点论述了秦岭造山带岩石圈现今三维结构及其动力学特征,分析了秦岭造山作用和造山过程,并对秦岭造山模式与大陆动力学进行了探讨。

本书可供地质学、地球化学、地球物理学领域的科研人员以及主要院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

秦岭造山带与大陆动力学/张国伟等著. -北京:科学出版社,2001
ISBN 7-03-008868-9

I. 秦… II. 张… III. ①秦岭-褶皱带-研究②大陆-地球动力学-研究
IV. P544

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第51184号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2001年3月第一次印刷 印张:54 1/4 插页:4
印数:1—600 字数:1 283 000

定价:120.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(杨中))

前 言

面向 21 世纪,人类生存条件和社会可持续发展日益成为全世界普遍关注的问题,也是对地球科学发展的严峻挑战!合理利用资源、减轻自然灾害和改善人类生存环境已成为地学发展的主要历史使命。20 世纪 80 年代以来,随着板块构造理论在大陆地质研究中的深入,人们逐渐发现简单应用板块构造理论解释大陆地质现象遇到很多困难,因此,大陆动力学等新的地学思维和研究成为当代地学发展的主要前沿探索领域。显然,全球变化和大陆地质研究是现今地球科学研究的两大主要前沿领域。

中国是一个多山的国家,既有世界瞩目的青藏高原诸雄伟山系,又有东西横贯中国大陆的天山-阴山和昆仑-秦岭山脉等。它们纵横交织,结构复杂,具有长期的形成和演化历史,独具特征,成为得天独厚的大陆造山带,是当代地球科学发展探索研究的良好场所。国家自然科学基金委员会根据社会发展和当代地学发展的需要,从 80 年代以来不失时机组织了一系列对中国各主要造山带的重大研究项目,旨在以新的学术思想为指导,从中国地质实际出发,揭示大陆造山带形成、演化和动力学等当代地球科学基本问题,参与国际地学发展与竞争,促使我国地球科学研究跻身于国际地学发展先进行列,为世界地学发展作出应有的贡献。国家自然科学基金重大项目“秦岭造山带岩石圈结构、演化及其成矿背景”(1992.6~1997.6)就是关于中国造山带重大研究项目中的一项。本书即是这一项目研究成果的综合总结与理论概括。

秦岭造山带是中国大陆的脊梁,在中国大陆形成与演化中占有突出的地位。秦岭造山带经历了长期发展和演化,具有复杂组成和结构,非为已有造山带模式所能完全概括。因此,它是一个独具特色的典型的复合型大陆造山带,是地学研究的天然实验室和造山带研究基地。对于秦岭造山带的研究历来受到重视,但因其复杂性,许多基本地质问题一直存在争议,悬而未决。国家自然科学基金“八五”秦岭重大项目是在前人成果,包括原地质矿产部、中国科学院、高等院校等大量研究的基础上,以大陆板块构造和大陆动力学探索为主导学术思想,组织来自全国 15 个单位,100 多位地质学家、地球化学家和地球物理学家组成多学科配套的研究群体,重点研究秦岭造山带现今三维结构及造山过程,探讨其动力学特征,进而探索大陆形成、增生、分离、拼合、演化、成因及动力学等大陆板块构造和大陆动力学基本问题。采用地质、地球化学与地球物理多学科紧密结合、相互渗透,共同探索的综合研究方法,不仅系统深入研究解决秦岭造山带的一些主要基本地质问题,而且通过秦岭研究探索当代地学发展前缘领域的一些基本科学问题。地表地质集中秦岭造山带地质的关键问题和长期争议悬而未决的重点问题,进行了地质多学科相配合的点、面相结合的精细解剖研究,重点探索研究秦岭造山带结构构造、造山过程及造山带属性、形成演化和动力学特征等,获取重要新发现、新认识,提出创新观点,深化提高了秦岭造山带研究,并使之推进到一个新的研究阶段和层次。地球化学则以造山带区域岩石圈为系统,以历史地球化学理论和观点为指导,以造山带壳幔演化与相互作用为主线,侧重运用微量元素与同位素示踪技术,综合研究了秦

岭的构造地球化学分区与造山带发展历史,开拓了秦岭地球化学断面、造山带岩石圈化学结构及古会聚带壳/幔再循环、大陆俯冲、底侵和拆沉、地幔柱等深部过程的研究,并厘定了秦岭主要构造地质年表。研究深化了秦岭造山带结构、演化及造山过程的认识,沟通了地表地质研究与地球物理测深的联系。并为造山带动力学研究提供了依据。地球物理以反射地震测深为主,采用多种地球物理方法相结合的探测手段,重点进行秦岭造山带三维结构与状态的地球物理研究。首次完成了横穿秦岭造山带的以反射地震和地震层析为主的综合地球物理探测研究,揭示出秦岭造山带测深断面带现今的地壳细结构、电性结构、热结构和区域岩石圈层析成像三维结构与状态等,为秦岭造山带结构、圈层关系和地幔动力学研究提供了最新的重要成果,为秦岭造山带总体研究奠定了前所未有的研究基础。地质、地球化学与地球物理多学科相结合进行的造山带研究,是秦岭重大项目在造山带理论与实践探索研究上取得富有创造性成果的基本保证。

项目在国家自然科学基金委员会的资助与指导下,经过全体成员的团结合作,共同努力,进行了一系列深入的实地调查、探测、测试、实验和综合研究,并通过与9个国家10余项国际合作研究项目及对世界主要造山带进行考察对比研究,完成了项目的任务,达到了预期研究目标,取得了重要成果,培养了人材,获得一批重要新发现,在多方面填补了秦岭研究的空白。项目成果主要包括:对造山带和大陆动力学的某些重要领域进行了创造性探索;在秦岭造山带三维结构与造山过程及其动力学特征诸方面获得了重要新进展和理论成果,显著地促进、深化、提高了秦岭造山带研究,不仅解决了秦岭研究中许多长期悬而未决的关键性问题,而且还提出了秦岭造山带“立交桥”式现今三维结构模型和秦岭造山细节过程与造山模式等新观点,取得了突破性进展,深化、丰富和提高了造山带以及大陆动力学的研究理论和方法。通过本项目地质、地球化学、地球物理紧密结合地研究,充分证明从我国大陆地质和造山带实际出发,对比全球,建立像秦岭造山带这样典型的“天然实验室”和研究基地,持续进行研究,必将会在当代地学发展前沿领域的探索研究中,创新和发展大陆造山带、大陆地质和大陆动力学的理论与方法,推动地学发展。秦岭项目已经结束,在由国家自然科学基金委员会组织的国家级验收评审会议上,专家们一致认为该重大项目圆满完成了预期目标与计划,其研究成果总体达到国际先进水平,在地质、地球化学、地球物理相结合的造山带三维结构研究方面处于世界领先水平。本专著正是对秦岭重大项目最终研究成果的综合性论述,是关于秦岭、大陆造山带和大陆动力学的最新探索性理论著作。主要内容包括秦岭造山带研究的学术指导思想和理论原则与方法;秦岭造山带的基本大地构造格局及其现今岩石圈三维结构与动力学特征;秦岭造山作用与造山过程;秦岭造山模式等,并论述了秦岭造山带与东古特提斯构造关系,与中国大地构造格局、演化关系和与世界主要典型造山带的对比,以及通过秦岭造山带研究,探索讨论了大陆动力学等当代地学发展前沿领域的一些重要基本科学问题。

秦岭项目虽已结束,但研究还将继续下去。我们深知,在当代地学发展的新形势下,秦岭造山带研究是一项探索性很强的研究,研究解决了一批问题,还遗留了一些问题,又发现了一批新的科学问题,探索、研究和争论还将继续下去,而且还将随着研究发展和知识的增长,将会在人类探求真理的认识长河中,不断地在新的科学层次上探索深化,逐渐接近客观真理。因此,本书是秦岭现阶段研究的成果,欢迎讨论指正。我们

仍将继续进行研究,期望在当代地学发展中共同探索,追求真理,造福人类,促进地学和社会发展。

本书的写作分工是:张国伟撰写前言,第一篇第一章第一、三节和第二章,第二篇、第三篇第五、六、九章,第四篇第十章、第十一章第一节、第十二章第一节、第十四章第三节、第十五章,第五篇第十六章第四节、第十七章第二、三节和第十八章;张本仁撰写第一篇第二章第一节部分内容,第三篇第八章,第四篇第十一章第二节、第十三章、第十四章第三节,第五篇第十七章第一节。袁学诚撰写第三篇第七章第二节;肖庆辉撰写第一篇第一章第二节,第五篇第十六章第一、二、三节;孙勇、赖绍聪、董云鹏撰写第四篇第十二章第二节;孟庆任撰写第四篇第十二章第三节;卢欣祥、王涛撰写第四篇第十二章第四节;于在平撰写第四篇第十二章第五节;夏林圻、夏祖春撰写第四篇第十四章第一节;周鼎武、刘良撰写第四篇第十四章第二节;程顺有撰写第三篇第七章第一节。全书分别由张国伟、张本仁、袁学诚、肖庆辉、董云鹏、姚安平统校修改和审查,最后由张国伟统一审核定稿。全书插图分别由各撰稿人绘制,最后主要由骆正乾绘制修改和张哲统一计算机修改校定。

秦岭重大项目在研究过程中,已有不少成果在《中国科学》、《科学通报》、《岩石学报》、《地球科学》等刊物上发表,是秦岭项目的重要成果,为避免过多重复,没有完全放入本书,主要作者如殷鸿福、游振东、李曙光、索书田、梅志超、张寿广、冯庆来、杜远生、刘良、袁帷正、许继峰等。读者如有兴趣,可参阅有关文献。

本专著是秦岭重大项目全体参加人员共同研究的集体成果。参加完成项目的主要人员来自全国 10 多个单位,他们是西北大学、中国地质大学、原地质矿产部中国地质勘查技术院、西安地质矿产研究所、河南地质科学研究所、中国地质矿产信息研究院、中国科学院地球物理研究所、中国科学技术大学、南京大学、中国地质科学院地质研究所、陕西地质矿产局、原地质矿产部物化探研究所、航空物探遥感中心、四川地质矿产局应用地球物理研究所等。主要参加人员有:张国伟、张本仁、袁学诚、殷鸿福、游振东、夏林圻、肖庆辉、梅志超、孙勇、卢欣祥、于在平、周鼎武、李曙光、陈家义、杨永成、李荣社、张寿广、任启江、陈毓川、高山、张宗清、韩吟文、欧阳建平、刘福田、李立、金昕、左愚、李善芳、路风香、杨辟元、袁帷正、伍宗华、刘建华、王方正、冯庆来、杨逢清、王治平、杜远生、索书田、钟增球、张宏飞、骆庭川、许继峰、凌文黎、夏祖春、赵子然、赵志丹、孟庆任、崔智林、刘良、张成立、徐兆文、王平安、程顺有、李晓波、刘树臣、白星碧、贾跃明等,还有一批博士后、博士、硕士研究生:陈岳龙、周建勋、赖绍聪、钟建华、刘少峰、陈世悦、李三忠、周文戈、匡耀求、徐守礼、徐勇、董云鹏、宋传中、王居里、宋宏儒、孙卫东、李亚林、柳小明、丁卫华等,他们都为项目研究作出了重要贡献,在此一并向他们表示诚挚感谢。对为项目管理作出重要贡献的姚安平、华九如先生等也表示衷心感谢。还要感谢中国科学院贵阳地球化学研究所深部物质实验室,中国地质科学院地质研究所 Sm-Nd 同位素年代学实验室,国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放实验室,国土资源部勘查地球物理、勘查地球化学研究所鄯明才协助完成组合样品的元素组成精确测定。

在本书即将出版之际,我们特别感谢支持和鼓励项目完成的叶连俊、王鸿祯、郭令智、孙枢、刘宝珺、李廷栋、肖序常、王德滋、马宗晋、陈运泰、汪集旻、钟大赉、李

思田、从柏林、朱炳泉、陈骏等学者。同时，国家自然科学基金委员会地球科学部钱祥麟、马福臣、田兴有、应思淮、刘长春、柴育成、姚玉鹏等为管理指导、帮助项目作出了巨大努力，在此一并致以真诚的感谢！对国家自然科学基金和地质行业基金资助表示衷心感谢！

我们还要对项目完成给予很大支持与帮助的河南、陕西、湖北、甘肃等原地质矿产部各省地质矿产厅（局），特别是对河南地质矿产厅罗铭玖总工程师表示衷心感谢！

作者

2000年4月

目 录

前 言

第一篇 导 论

第一章 关于造山带研究·····	(3)
第一节 造山带与造山作用·····	(3)
第二节 板块构造与大陆动力学·····	(9)
第三节 秦岭造山带研究概况·····	(17)
第二章 造山带研究的理论基础与方法·····	(31)
第一节 大陆造山带研究的主要内容和科学问题·····	(31)
第二节 造山带多学科综合研究的理论基础与方法·····	(65)

第二篇 中国及邻区大地构造与东特提斯

第三章 中国及邻区大地构造基本格局·····	(73)
第一节 中国大地构造演化阶段与构造单元划分·····	(73)
第二节 中国及邻区现今大地构造基本格局·····	(73)
第四章 东特提斯及其基本特征·····	(105)
第一节 特提斯概念及其研究学术思想的演变·····	(105)
第二节 东特提斯基本特征·····	(110)

第三篇 秦岭造山带岩石圈现今三维结构及其动力学特征

第五章 秦岭造山带地表地质基本组成·····	(117)
第一节 秦岭造山带构造单元划分·····	(117)
第二节 秦岭造山带地表地质组成与相关主要地质问题·····	(119)
第六章 秦岭造山带现今地壳上部构造几何学与运动学·····	(155)
第一节 秦岭造山带现今上部地壳三维结构的平面与剖面构造特征·····	(155)
第二节 秦岭造山带南北边界断裂与主干断裂和四大逆冲推覆构造系·····	(162)
第三节 秦岭造山带的伸展构造和穹隆构造·····	(272)
第四节 秦岭造山带的走滑剪切构造·····	(303)
第五节 秦岭造山带现今的叠加复合构造与新的构造演化趋势·····	(318)
第六节 秦岭造山带晚海西—印支期最后俯冲碰撞造山的基本构造格架·····	(320)

第七章 秦岭区域地球物理与深部探测·····	(322)
第一节 秦岭区域地球物理场特征及其地质意义·····	(322)
第二节 东秦岭地学断面带深部构造·····	(360)
第八章 岩石圈深部物质组成及区域构造—地球化学分区·····	(376)
第一节 地壳各结构层岩石与化学组成·····	(376)
第二节 地壳岩石的放射性及岩石圈热结构·····	(390)
第三节 秦岭及邻区上地幔岩石和化学组成特征·····	(392)
第四节 秦岭及邻区铅同位素填图及早期地幔化学不均一性·····	(396)
第五节 秦岭及邻区壳幔演化对构造—地球化学分区的约束·····	(404)
第九章 秦岭造山带岩石圈三维结构模型及其动力学特征·····	(410)
第一节 秦岭现今上部地壳结构构造·····	(410)
第二节 秦岭造山带深部结构与状态·····	(411)
第三节 秦岭造山带岩石圈现今壳幔三维结构模型·····	(415)
第四节 动力学特征分析·····	(417)

第四篇 秦岭造山作用和造山过程

第十章 秦岭造山带大地构造演化阶段·····	(421)
第一节 秦岭造山带大地构造演化阶段划分原则和依据·····	(421)
第二节 秦岭造山带构造演化阶段划分·····	(430)
第十一章 秦岭中生代陆内造山作用与过程·····	(432)
第一节 中生代陆内造山过程·····	(432)
第二节 秦岭碰撞后陆内造山阶段壳-幔调整的初步地球化学研究·····	(438)
第十二章 秦岭主造山期板块构造基本特征·····	(450)
第一节 秦岭板块构造单元恢复·····	(450)
第二节 秦岭蛇绿岩及其相关火山岩系·····	(452)
第三节 沉积体系与盆地·····	(494)
第四节 秦岭花岗岩及其对秦岭造山带构造演化的揭示与约束·····	(519)
第五节 秦岭板块构造主缝合带·····	(558)
第十三章 主造山期构造格局和岩石圈深部过程的地球化学约束和证据·····	(582)
第一节 主造山期构造格局的地球化学约束·····	(582)
第二节 主造山期岩石圈深部过程的地球化学证据·····	(602)
第十四章 秦岭中—新元古代陆壳构造格局探索恢复·····	(629)
第一节 中新元古代火山岩及其形成的大地构造背景·····	(629)
第二节 商南松树沟蛇绿岩及其大地构造意义·····	(655)
第三节 北秦岭早期构造归属及其新元古代演变探讨·····	(683)

第四节 秦岭造山带中新元古代构造体制·····	(698)
第十五章 秦岭造山过程和特征·····	(706)
第一节 不同构造发展阶段以不同构造体制演化·····	(706)
第二节 秦岭主造山期板块俯冲碰撞造山细节过程·····	(708)
第三节 秦岭造山过程特征·····	(722)
第五篇 秦岭造山带模式与大陆动力学探讨	
第十六章 秦岭造山带与全球典型造山带的对比·····	(727)
第一节 科迪勒拉造山系·····	(727)
第二节 阿巴拉契亚造山带·····	(737)
第三节 阿尔卑斯—喜马拉雅造山系·····	(743)
第四节 秦岭造山带的对比分析·····	(766)
第十七章 秦岭与东古特提斯造山作用基本特征·····	(773)
第一节 秦岭古洋幔与特提斯洋幔的地球化学对比·····	(773)
第二节 秦岭造山带与东古特提斯·····	(781)
第三节 秦岭造山模式·····	(787)
第十八章 秦岭造山带与大陆动力学探讨·····	(792)
第一节 关于大陆增生——以秦岭为例·····	(792)
第二节 关于大陆演化与保存方式·····	(798)
第三节 动力学分析·····	(801)
主要参考文献·····	(806)

第一篇 导 论

外 早 餘一葉

第一章 关于造山带研究

造山带是地球科学研究的最基本内容之一,尤其在当代地学最新发展中更是其前沿主要研究领域之一。地球科学是一门古老的科学,也是一个蓬勃发展的科学。它随着社会的发展而发展,为人类社会进步和文明发展作出了光辉卓著的贡献。现在这门科学在 20 世纪末到 21 世纪初期,又正处于一个重大发展转折的关键时期。人类社会新的发展需求已向地球科学发出了严峻挑战。资源、能源、人口、土地、粮食、环境、灾害、生态等等已成为人类社会可持续发展和人类生存的突出问题。人类的活动已成为一种巨大地质营力作用于地球,并以前所未有的方式改变影响着地球自身的自然变化的动态进程。人们已觉察和认识到人类活动已成为不可忽视的认识地球系统运动新的重要因素。于是人类正面临着重大抉择,重新认识,开始调整自身许多现在和未来的活动,以便维护、治理自己赖以生存的地球,使之能够继续成为人类可居住、生息繁衍发展的宇宙处所,保障社会可持续发展。这一切都要求人们要重新认识了解地球,首先最重要的是了解整体地球所发生的过程。因此这就使处于世纪之交的当代地球科学进入到一个关键转折时期,调整转换故有轨道,拓宽领域,增强参与社会重大决策的功能,确定新的目标方向,探索新领域,建立新理论、新方法。同时作为 20 世纪地球科学重大成果的板块构造理论,在带动整个地学尤其是地质科学发生革命性的变革过程中,使之也得到巨大发展,今天它仍是国际地学界公认的占主导的学术理论思想,并且它仍在深化、发展、提高之中。但是它在经过 20 世纪 70~80 年代以来在应用于大陆的验证过程中,逐渐发现大陆地质远比大洋复杂,简单地用经典板块构造模式解释认识大陆地质及其动力学过程等方面都遇到了很多疑难,显示了板块构造理论的局限性。因此,国际地学界在深入发展,广泛应用板块构造的进程中,在新的研究层次上提出了新的地学思维和探索,全球动力学和大陆动力学便成为最瞩目的前沿探索领域,尤其大陆动力学被许多国家列为国家最优先发展的前缘研究领域,标志着地球科学又进入到一个理论和观念的重大飞跃发展时期,这不是对板块构造的否定和摒弃,而恰恰正是在板块构造理论基础上,在更高层次上的深入发展,也是地球科学在人类认识未知世界中的一次重要理论探索发展。大陆地质和造山带研究就是其中一个重要前沿课题。

第一节 造山带与造山作用

造山带是地球上部地壳和大陆的最基本构成单元,也是人类赖以生存的重要矿产资源基地和全球变化、灾害与环境的主要控制因素,是探索认识地球,建立地学理论与方法的主要发源地之一。因而它一直是地质科学研究的中心课题,因此也是地球科学家,特别是地质学家最关心的基本地质问题之一。近代 100 多年的研究、实际的调查、理论的探

索,已有大量的积累与成果,提出了多种造山带理论,但迄今造山带仍是一个还未根本解决的现代地质科学的基本研究命题和热点。特别是 90 年代以来,大陆地质和大陆造山带研究已成为固体地球科学发展新的最主要的前沿领域之一,使其更加引人注目。人类的需要,科学的发展,促使和要求人们必须充分利用当代最新知识和技术,以宇宙和全球的观点,用新的学术思想与观念,从实际出发在新的起点上对造山带进行新的探索,以促进地球科学的发展。因此重新认识分析已有的地质理论与知识,了解掌握新的学术思想与理论,就成为进行造山带新的研究的首要任务。

一、造山带与造山作用概念

按照现代固体地球科学的基本认识,依据板块构造观点,全球岩石圈的最大构造单元就是岩石圈板块。现今正在发生进行着的地质作用与过程,主要是这些板块以侧向运动为主的分离、剪切转换与会聚的相互作用及其产物,自然界正在发生着的造山作用与造山带的形成就包含在其中。但从全球历史的演化和大陆造山带的形成与演化来考虑,也可以说全球岩石圈的基本结构单元是大陆岩石圈和大洋岩石圈。依地壳而言,即大陆地壳和大洋地壳,简称陆壳和洋壳。两者之间常有过渡性地壳,简称过渡壳。概括大陆和大洋岩石圈的基本构造单位总体说主要是两个类型:活动构造带和稳定地块,即造山带和克拉通。也即地貌上的山脉和盆地或高原,或大洋的中脊、俯冲带、转换断层带、洋岛山脉和深海盆地与高原等。它们组成了固体地球外壳的基本结构和地貌。不言而喻,它们是作为宇宙天体一员的地球在其长期形成与演化过程中所造成与发展变化的。自然它们就成为探索研究地球形成与演化的主要内容之一。其中造山带是研究岩石圈和地壳形成、演化、成因及其动力学的最重要地带。如果我们把地球当作一个复杂的物理、化学、生物的综合体系,则造山带就是这一体系长期发展演化、波澜壮阔剧烈变动的集中表现,是岩石圈和地壳中最强烈的活动带,因此也就成为岩石圈和地壳形成演化信息储存和记录最多的关键研究地带。

造山带(orogenic belt)是地球上部由岩石圈构造运动所造成的狭长强烈构造变形带,并往往在地表形成线状相对隆起的山脉,一般与褶皱带、构造活动带等同义或近乎同义。关于它的定义和含义有不同的意见和争论,这里暂不去追究和评述它们。迄今通常认为造山带是地壳挤压收缩的变形带,是挤压性构造运动所造成,并把这种造成构造山脉的作用叫作造山作用或造山运动(orogenesis, orogeny),与地壳运动中的造陆运动(epeirogenesis)相对而提。造山运动是在地球深部构造动力学背景下所发生的岩石圈剧烈构造变动和其物质与结构的重新组建的复杂地质过程,造成岩石圈横向收缩、垂向增厚,隆升成山。实际上,大陆、大洋中都存在有多种类型的山脉。大陆上有诸如著名的阿尔卑斯—喜马拉雅山系,洋陆交接地带的环太平洋山系,以及如大陆上横贯我国中部的大别—秦岭—昆仑山系等等,它们主要是地壳挤压收缩,岩层褶皱、断裂,并伴随岩浆活动与变质作用所形成的山脉。但还有如东非裂谷、德国莱茵地堑构造等所形成的裂谷侧旁山系,它们显然是由于地壳拉张而造成。在拉伸构造形成裂谷、裂陷盆地的同时,相对造成周边抬升,构成山系。其中最突出的是全球型的大洋中脊,它们是宏伟巨大的洋底山系,无疑属地球最大的拉张伸展构造单元。此外,还有如夏威夷那样的由洋底火山活动所形成的山脉,以及像西

南太平洋中的洋内俯冲所造成的洋岛山链,显然后者又属洋内挤压性山脉。因此,按照造山带的原来含意“在严格的词源意义上,褶皱作用、挠曲作用、断裂作用和火山活动全是“造山”的产物……”(Blackwelder, 1914; Dennis, 1982)。所以可以说不但是挤压断裂褶皱成山,而且扩张拉伸,剪切走滑,火山活动同样可以造山。故可以把造山带广泛理解为呈狭长隆起山脉的由造山作用所形成的岩石圈和地壳变形构造带。当然,就总体而言,尤其在大陆上,造山带主要是岩石圈或地壳收缩增厚构造变形所造成。

这里应特别强调的是:

(1) 造山作用或造山运动是指形成造山带的构造过程,一个复杂的地质过程。造山运动从全球看,应不是简单的全球性同时幕式的发生发展,而往往是不同地方此起彼伏的不断发生,但就具体地区而言又是有阶段性、周期性的以相对和缓平静与剧烈的量变到质变的不同形式在发生发展,是一个地壳和岩石圈成分重组、结构重建的复杂的物理、化学的漫长连续地质作用过程,更决不只是单单指隆升成山的作用。地貌上高起成山脉,只是造山作用的最终产物之一,既不是造山作用全貌,也不是其本质,而是造山运动最终结果的一种明显表现形式,成山不成山并非关键,更不应成为判别造山作用的主要标准。往往造山运动最终导致成山脉,隆升高起,但并非都要成山。

(2) 大洋造山带与大陆造山带虽然含义相同,但两者形成与发展差异显著。大洋中的造山带以大洋中脊伸展增生构造成山、洋底火山山脉和边界俯冲碰撞造山为特征。大陆虽然也有重要巨大的伸展构造,但更以收缩挤压性造山带为突出特色。自然这是由大洋与大陆岩石圈间的本质差异及其构造动力学背景的不同所决定的。

二、造山带研究学术观念与思路的新发展

大地构造学在其长期发展中,关于造山带的假说争论很多,但其中对地学界影响最广泛、最深刻的学说理论,要属地槽说和板块说。它们是人类对于地球认识在不同阶段的总结和知识的结晶,巨大地推动了地球科学的发展。但像现有的事实已证明的那样,它们都不是认识的终结,它们都只是人类对于地球的形成、生命的起源等基本科学命题的不断探索认识的长河中一定阶段的成果,它们本身也在不断发展变化。现代板块构造理论取代地槽说而在地学领域占据支配地位,这就是发展提高,并使之成为地质科学向现代科学理论迈进的标志。这场“地学革命”是地质科学发展史上划时代的重大事件。但板块构造说运用于大陆地质时,所遇到的新问题与疑难,已成为地球科学家们孜孜以求的新探索,正标志着地质科学又一次重大发展的到来。今天正处在不是在板块构造基础上使其重大发展提高,就是处在一个新的,包括板块构造说在内的地球构造观,新的大地构造理论诞生的前夜。已经提出了“全球性地球动力学”、“大陆动力学”和“创立行星地球统一理论”的问题。现在的造山带研究与探索就正处在这样一个地球科学发展的总趋势背景下,新思维、新观念、新思路正在涌现。所以在这里简短回顾历史,分析造山带研究观点与思路的发展变化,会有有益的启示。

大地构造是地质科学中最活跃的学科,占有举足轻重的地位。概括其近半个世纪来的迅速发展,关于造山带基本学说与观念的发展,可以归纳为以下三种基本造山带观念:

1. 地槽说的地槽回返造山说

20 世纪 60 年代板块构造说诞生以前,地槽说在地质学中占统治地位。它支配与渗透到各个地质学科,促进了地质科学的发展,作出了不可磨灭的历史贡献。但今天来看,其历史的局限性是显而易见的。可以概括地说,它总的基本出发点是固定论,即认为地壳与地幔密切相关,但岩石圈地壳相对于地幔不可能发生任何大规模的水平位移,因此其地球构造观便立足于造山带是地壳内相对固定的沉积槽地及其垂向回返成山,着眼于地槽成因、类型、性质和分布演化的研究,发展了古生物地层对比、沉积岩相与建造学说及造山作用等一系列地槽回返理论(Kay, 1951; Велюсов, 1962; Dana, 1973)。然而不论怎样,20 世纪中叶的地槽说始终没有使地质科学摆脱其与现代科学技术相脱节处于描述为主的状态。当然这与当时对于海洋和深部地质知之甚少的客观情况也是直接相关的。

2. 板块构造的俯冲碰撞造山说

随着海洋地质和地球物理研究的发展,从 50 年代起到 60 年代兴起了板块构造学说,并很快传遍全球,渗透到地质科学的各个学科,推动着地质科学飞速发展,使之进入一个新的科学发展阶段。板块构造说以活动论的基本观点,认为造山带是岩石圈板块在其侧向运动中的相互间的作用,是洋与洋或洋对陆的板块俯冲和陆与陆碰撞的构造产物。也即造山带的形成与演化主要决定于岩石圈板块相对运动及相互作用,是板块间俯冲碰撞造山(Coward et al., 1986),从而根本改变了地槽说的壳内槽地的沉积堆积作用和回返造山作用的学术观念。因此造山带研究的中心和方法,也必然随之而发生改变,转向着眼于板块的形成与演化,古大陆边缘地质,蛇绿岩及混杂岩带,主缝合带和俯冲碰撞构造作用及与之相关的岩浆活动、变质作用与成矿作用等等基本问题。总之,形成了板块构造的基本造山带成因学术观念,即板块俯冲碰撞造山说。

3. 现今的多成因造山说

板块构造说在经历了 70 年代大洋与大陆研究的验证,有了新的发展,板块构造得到了进一步肯定,但同时也遇到了新的挑战和问题。80 年代以来,在把经典板块构造理论运用于大陆地质过程中,在新的地球物理探测技术迅速发展和深部地质新的发现不断涌现的情况下,愈来愈多发现和认识到大洋岩石圈和大陆岩石圈有本质的差别,大陆上的许多造山带都是由一系列不同层次的板片岩席不但在板块消减带边缘,而且在大陆内、板块内也发生了大规模侧向位移而形成叠覆堆置、构造变形和地壳增厚,从而构成山系。发现大陆岩石圈不是简单的像大洋岩石圈那样的刚体,而是极其不均一,随深度变化具明显粘弹性、塑性流变特征的固态介质材料,具有广泛的分层结构,可以发生广泛弥散渗透性变形,而且还具有突出的壳幔相互作用的垂向加积增生构造作用。因此大陆造山带的形成与演化,就不单单是俯冲碰撞造山所能全部解释,而是可以由包括板块俯冲碰撞造山在内的多种多样地质机制所造成。所以应运而生提出了“内硅铝造山作用”,也即“陆内造山作用”、“薄皮板块构造”、“滑线场理论”、“地体”说,“碎裂流说”、“岩石圈分层说”等等多种成因造山说(Kroner, 1983; Hsu, 1979; Tapponnier et al., 1986; Gallagher, 1984; Mattauer, 1984; Sengor, 1990; Плѣбе, 1983)。也出现了诸如 M. Mattauer (1990) 的俯冲型、

仰冲型、碰撞型和陆内型的造山分类,许靖华的板内变形多岛海造山模式和大地构造相方法论,划分出阿勒曼相、凯尔特相与雷特相研究(许靖华,1994,1998;李继亮,1992;Robertson,1994),Sengor(1990)的走滑挤压造山、仰冲造山、俯冲造山、碰撞造山,Howell(1991)的拉张、挤压、横推、热隆等等类型。显然造山带研究的学术思路与观念又发生了新的重要变化,形成了多成因造山说。

从地槽回返造山、板块构造的俯冲碰撞造山到提出多成因造山,从经典板块构造解释大陆地质遇到的疑难,再次突出了大陆地质问题。很明显大陆地质与大陆造山带已成为固体地球科学新发展的主要前沿研究领域之一。因此20世纪80年代后期、90年代以来到21世纪初期将是地质学家重新认识大陆,进行新的探索研究的时期,将是大陆地质和深部地质得到重大发展的时代,问题的实质是已经得到基本验证的大洋经典板块构造说如何在大陆地质重新研究认识的基础上,面对宇宙与全球,以新思维新观念产生和建立囊括整个地球洋陆长期发展演化的统一行星地球构造观与理论,使固体地球科学再进入一个新的发展阶段。

三、造山带研究的新起点

综上所述可以看出,板块构造说兴起以来,尤其20世纪80年代后半期和90年代以来,面对人类社会对地球科学提出的严峻新挑战和板块构造解释大陆地质遇到的新问题,提出大陆动力学等新的地学思维之后,现代地球科学和大地构造学对于地球及其固体外壳—岩石圈的认识,已经跨入了一个新的知识基础上。因此,关于地球和大陆的新认识、新思维、新方法,已成为现今对大陆造山带进行研究的新起点。

现代地球科学的发展,使地质科学已充分认识到:

- (1)地球,包括固体外壳,是一个整体的物理、化学、生物的行星综合体系;
- (2)地球物质的物理、化学性质随深度在变化,其组成、行为及其表现形式也随之而发生变化。从深部到上部表层流体在岩石圈的形成、演化与构造发展上起着重要不可忽视的作用,是重要的新的研究领域;
- (3)地球内部及其外壳在组成与结构上纵横向极不均一,地球内部的基本特点是化学组分和物理结构与状态的非均匀性,地球的圈层多级分层性与相互作用及差异运动,具有重要动力学意义。地球和岩石圈是一个高度活动的动力学体系。岩石圈的构造运动主要是由地球内部核、幔及岩石圈本身的物理与化学过程所引起;
- (4)地球上部表生系统和过程,包括人类活动,已成为人类生存和社会可持续发展的日益突出的重要研究领域;
- (5)洋、陆岩石圈具有重要差异。洋、陆岩石圈作为地球最外层统一的固体外壳组成部分,无疑具有共同的基本特点,但它们又作为地球外壳基本组成的两个端元,在地壳及壳下地幔的组成成分、结构、物理与化学行为等方面都存在有重要的差异,并导致在构造变形行为、运动方式及动力来源方面都有很大差别。例如,大洋板块岩石圈存留时间短,时代较新,以硅镁质成分为主,结构相对简单,薄而冷(5~20km),具有刚性块体特征,刚性大洋板块相互作用及其碰撞效应主要发生在相对简单而狭窄的边界内。而大陆岩石圈则是不同时代的拼合体,长期保存,硅铝质成分占很大比例、结构复杂,呈多层块体,具脆