

大陆山链 变形构造动力学

许志琴 崔军文 著



冶金工业出版社



ISBN 7-5024-1814-8



9 787502 418144 >

ISBN 7-5024-1814-8
P·28 定价 30 元

大陆山链变形构造动力学

许志琴 崔军文 张建新 著



北京
冶金工业出版社
1996

责任编辑 姚参林

内 容 简 介

本书是作者 15 年来通过国内外十多个大陆山链的实践,从变形构造动力学角度,结合地学多学科的研究,阐述造山过程及造山机制,解析“碰撞型”及“非碰撞型”山链的形成过程及与之相伴随的变质、岩浆演化规律的一部力作。

本书在韧性剪切带、剪切应变、流体作用及动态部分熔融、大陆山链的造山作用、造山机制的转化及大陆山链类型的划分等方面有许多新的创见,结合当前大陆山链研究的新进展形成作者对大陆山链变形构造动力学自己的见解,为我国大陆山链的研究起到积极的推进和典范作用。

本书对从事大陆山链、构造地质、大地构造研究的人员具有重要参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

大陆山链变形构造动力学/许志琴,崔军文著. —北京
: 冶金工业出版社, 1995. 12
ISBN 7-5024-1814-8

I. 大… I. ①许… ②崔… III. 大陆型地壳-构造变形-构造动力学-研究 N. P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 22105 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
文物出版社印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
1996 年 5 月第 1 版, 1996 年 5 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 393 千字; 46 页; 1-700 册
30 元

序

当前,地球科学家们正面临新的挑战:地球科学领域的转折迫切需要地学理论的更新,被称为地学革命的“板块学说”上陆后遇到很多问题无法解释,一个从“大陆内部找驱动力”的大陆动力学思维正在萌生与发展,预示着一场新的地学革命将要来临!

在这样的转折时刻,我欣喜地看到我国中年地质科学家以新的构造观为指导,在大陆山链研究中所作的艰辛努力及获得的新成果、新思路及新创造。

十五年来,作者先后涉足于国内外十多个大陆山链,特别是对中国的典型山链:喜马拉雅、昆仑、唐古拉、祁连、阿尔金、松潘—甘孜及秦岭—大别等进行了变形构造、变形机制、韧性剪切带以及造山过程与造山机制的深入研究。在国内首次系统地“从变形动力学”的角度,运用岩石圈流变学理论,结合地学多学科的研究以及深部地球物理探测,解析了“碰撞型”及“非碰撞型”山链的造山过程及与之相伴随的变质、岩浆演化规律,以及深部构造物理作用,这无疑是当前地球科学研究的前沿领域之一。

本书主要的新创见有如下方面:

(一)“变形动力学”研究基础——韧性剪切带

1. 从动力学角度,系统提出按“构造应力作用方式”、“板块作用阶段”及“形成的热动力学条件”划分了韧性剪切带的新类型,并与同仁们一起初步确立了我国典型大陆山链中韧性剪切带类型、性质及形成机制。低压、高温的浅层($<5\text{km}$)韧性剪切带(川西, 1990)的发现修正了韧性剪切带形成于地壳深部($>10\sim15\text{km}$)的传统概念,超高压(含柯石英)俯冲型韧性剪切带的首次发现及提出(大别山岳西昌蒲, 1987.5)揭示了造山带根部重要信息。

2. 根据我国典型大陆山链中大型韧性剪切带的横向、纵向及斜向拉伸线理及剪切应变的大量测量,确定了大陆山链形成的板块运动矢量,包括板块会聚矢量、陆内俯冲矢量、隆升扩展矢量及地块之间旋转运动的矢量。

3. 剪切应变、流体作用及动态部分熔融:

(1) 解析韧性剪切带中长英脉与硅质脉的侵位机制与流体作用关系。

(2) 在国内首次发现了动态蠕英石,并把它作为剪切应变所产生的部分熔融后期交代产物及收缩与伸展应变转化的标志。

(3) 提出了剪切型“金矿”的脱硅作用及形成条件,岩石圈深层剪切和“铬铁矿床”成因模式。

(二)大陆山链的造山作用及造山阶段

提出“始造山、主造山、后造山及再造山”的新的造山作用划分阶段。

1. 提出初始洋内山链形成的“大洋幔内剪切动力学机制”(西藏:特提斯洋闭合阶段)与初始岛弧山链形成的“海沟倒退俯冲动力学机制”(北祁连:加里东俯冲阶段)。

2. 提出主造山阶段中“双向收缩造山”(松潘—甘孜、香港地区)及“叠置双向造山”(胶辽)的新概念。

3. 系统划分了后造山伸展作用的新类型:滞后伸展、热隆伸展及重力伸展,提出了早

造山收缩作用向晚造山伸展作用转化的十大标志。

4. 提出后造山阶段的大平移作用机制及中国华力西期以来中国西部地块之间发生的巨大旋转作用的重要认识。

(三) 大陆山链类型的新划分

在前人基础上进一步提出按“构造造型”划分：滑脱型（收缩滑脱及拉伸滑脱）、挤压型、叠覆型、平移型、热隆型山链；按“热结构”划分“冷型山链”及“热型山链”；并且把中国大陆复合山链类型划分为：增生型、双向型、叠置型复合山链及造山复合体四种类型。

(四) 建立中国某些典型大陆复合山链变形构造体制，提出造山机制的新构思

1. 松潘—甘孜双向型复合山链：三个板块会聚，具双向造山极性、双向收缩的双向变形构造体制，后造山伸展以及 20Ma 以来大平移及高原隆升、山体热扩展与前陆逆冲楔形成的新模式。

2. 秦岭增生型复合山链：“大推覆、大滑脱、大平移及前后陆双向逆冲”的基本变形构造体制，南北板块泥盆系已碰撞，华力西以来陆内“俯冲→斜冲”板块动力学模式，燕山期以来山体扩展及前、后陆逆冲岩片增生和盆地形成。

3. 中国东部中生代叠置型陆内山链的解析，提出了中生代以来除太平洋方向来的驱动力外，还有古生代板块之间继续近南北向陆内俯冲与会聚及印度板块向外推挤，中国大陆向东推出的来自西部的驱动力。

(五) 提出“特提斯—喜马拉雅造山复合体”的新概念

1. 由喜马拉雅逆冲叠覆体、青藏高原腹地及后陆“盆—山”体系组成的新生代宽 1500km 的“特提斯—喜马拉雅变形域”当作统一的“造山复合体”来考虑，是作者试图寻求“陆—陆碰撞”机制外的青藏高原隆升的大陆内部驱动力的基点。

2. 提出“造山复合体”周缘具多向“科帕构造”，其成因与岩石圈上部扩展、下部收缩（南部强收缩、北部弱收缩）有关。

3. 根据高原后陆阿尔金大断裂形成与东侧“盆—山”体系形成有关，提出阿尔金断裂形成与青藏高原增生同步的新论点（法国 Tapponnier 等也有此种认识）。

4. 提出喜马拉雅前陆逆冲带中岩石圈范围内不同构造层次的剪切流动与伴随的物质交换及派生的构造作用和下陆壳熔融垫的存在及岩石圈“回流作用”的新见解。

5. 根据“造山复合体”三维空间的变形与隆升的非线性不均一性及深部地球物理资料，提出青藏高原隆升的“岩石圈深层热扩展”的新的动力学模式。

本书是我国第一部系统地“从变形构造动力学”角度来阐述“大陆山链造山过程”的“理论与实践”相结合的著作，在本著中所反映的新思维及新创建无疑会给研究大陆山链的同仁们以新的启迪，为我国大陆山链的研究起到积极的推进和典范作用。

中国科学院院士 萧序常

1995.3

前言

地球上存在两种重要的构造形迹：洋脊与山链。20 世纪 60 年代兴起的板块学说认为，洋脊是板块离散的产物，山链则是板块聚敛的结果。

现代古地磁研究表明板块聚敛速度与板块离散速度一样惊人：在陆陆聚敛而形成的特提斯—阿尔卑斯山系中，喜马拉雅的聚敛速度为 5cm/a ，伊朗高原（土耳其）为 2.5cm/a ；在洋陆聚敛的环太平洋山系中，东太平洋（南美） $10\sim 17\text{cm/a}$ ，西太平洋 10cm/a ，北太平洋 7cm/a 。由此可估计在 40Ma 期间喜马拉雅聚合量为 2000km ，南美安第斯的聚合量可达 4000km 。这个估量曾给人们这样的启示：山链研究离不开大洋；环太平洋山系的形成是太平洋扩张（ $10\sim 17\text{cm/a}$ ）的结果，阿尔卑斯山链的成因与大西洋打开（ $2\sim 4\text{cm/a}$ ）相关，喜马拉雅的发展则离不开印度洋洋脊的离散（ 2.5cm/a ）（图 1）。

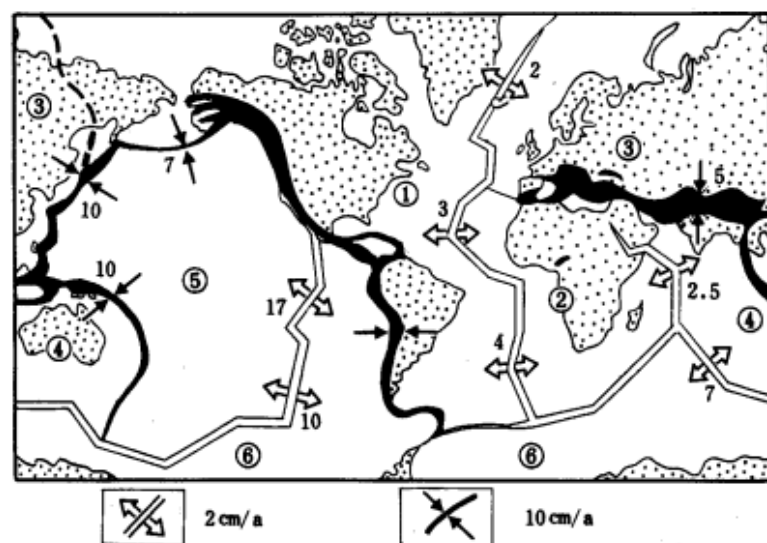


图 1 现代大洋离散及山链会聚速率示意图

(Mattaue, 1989)

①—美洲板块；②—非洲板块；③—欧洲板块；④—印度板块；⑤—太平洋板块；⑥—南极板块

左—离散板块边界；右—聚敛板块边界；图中 2.5~17 等数字为离散和聚敛速率

大陆山链一直是地球科学经久不衰的重要研究领域，本世纪 60 年代以前，“地槽说”把它看成是沉积槽地迥返成山的产物。60 年代以来，被称为“地学革命”的板块构造理论给其带来了新的内涵，即大陆山链是岩石圈板块相互运动及作用的结果。因为地质学家们通过大陆山链中各类古板块标志（古蛇绿岩带、古双变质带及古“沟—弧—盆”体系）来重塑大陆山链的古板块体制时发现：阿尔卑斯、喜马拉雅、秦岭、昆仑、阿帕拉契等山链不是原始古海槽褶皱迥返所致，而是以洋盆间的板块相互碰撞、会聚及陆壳增生的产物。板块构造学说使大陆山链成为研究岩石圈板块运动历史、进行全球古板块演化再造的信息库。

早期板块构造理论认为,地球岩石圈板块为抗扭(但不抗弯)的刚性块体,板块之间的运动是通过三种类型(离散型、会聚型及转换型)的边界进行的。地球的“造山”形变发生在上述板块边界(Monger et Francheteau, 1987, Sengor, 1990),至今某些学者还强调大陆山链的造山运动是一个用以表征“会聚板块边缘”所有地质过程的集合名词。

但是,近20多年来大陆山链岩石圈结构及深部物理状态的不断探测,变形构造动力学深入研究所导致的新理论,诸如韧性剪切带、薄皮构造、多层次滑脱、前陆逆冲扩展、地壳加积楔、变质核杂岩及后造山伸展的萌生以及鳄鱼构造、热涌与“拆沉”作用等新思维的出台,使人们对大陆山链成因机制有了新的思考,特别是具“三明治”及“多明治”结构的大陆岩石圈与具两重结构的大洋岩石圈流变学特征明显差异的揭示,使研究大陆山链的专家顿开茅塞地意识到,大陆板块岩石圈并非刚体,不能简单地运用经典的“板块”模式来解析大陆山链了。

印度板块与欧亚板块的边界为雅鲁藏布江缝合带,两板块的碰撞时限为80Ma,古地磁资料表明印度洋至今仍以50mm/a的速度扩张,“印度板块继续向北推进、以陆内俯冲的形式插入欧亚板块之下”的假设已为深部地震探测资料所证实(中法喜马拉雅考察,1984)。青藏高原及其前陆与后陆地质研究还揭示呈多重叠覆体的喜马拉雅前陆往南叠覆在中新世一早更新世西瓦里克磨拉石沉积之上,青藏高原腹地却以裂谷、伸展、高热流及走滑断层为特征,并含有厚达150km的岩石圈,由后陆盆地(柴达木及塔里木)及后陆逆冲带(天山、祁连、龙门山)组成的青藏高原后陆又表现了强烈的大陆变形效应。据估算,第四纪以来天山收缩速率为13mm/a,祁连山为15mm/a,塔里木南缘为6mm/a,喜马拉雅前陆为18mm/a;不仅如此,青藏高原周缘及内部还发生强烈旋转运动,阿尔金左行平移断裂的滑移速率为30mm/a,昆仑左行平移断裂为30mm/a至8mm/a,喀拉昆仑左行平移断裂的滑移速率为20mm/a,右行平移断裂为32mm/a。这种强大的板内变形究竟如何造成的呢?

长期以来地学家们所瞩目的青藏高原隆升问题尚未解决,以青藏高原为主体南北宽达1500公里的“新生代变形域”的成因又成了一个新的谜。人们不仅试问:广泛的大规模的变形是否只与板块碰撞有关?大陆内的深部构造物理作用是什么?变形扩散作用为何延续这么长的时间?

所以,在碰撞型大陆山链研究中,古板块体制的重塑固然十分重要,可是对于洋盆已经消失,又经历板块陆内碰撞和会聚而强烈改造的大陆山链来说,已远远不够了。因为它并不能完整地概括大陆山链形成及演化——即造山作用的全过程和造山机制,并不能反映出相互碰撞的不同块体在山链中的变化和它们的不同运动方式、变形特点及板块边界应力与应变的转换。

特别值得提出的是,由于造山过程强烈变形,尤其是巨大走滑作用影响,古板块标志可以受到破坏、移位甚至消失,给古板块体制的重塑带来许多困扰;陆内俯冲形成的深层滑脱带也可以伴随有高压变质矿物(如南秦岭的蓝闪石片岩带),而这一标志长期以来被认为是板块边界俯冲带的产物。

此外,变形构造动力学的深入研究,使人们开始注视与板块聚敛边界无关的山链及地台内的“台褶带”。譬如,欧洲比利牛斯山链形成前为中大西洋及阿尔卑斯洋盆扩张(J~K)造成的一条陆间转换型左行平移断裂带,沿转换带发育K₁的拉分沉积盆地,比利牛斯山链为第三纪比利牛斯陆内挤压作用的产物。被称作环太平洋构造体系的中国东部大陆,中

生代以来形成的宽达 2000km 变形域及盆—山体系是迭置在古亚洲构造体制（古生代碰撞山链及稳定陆块）之上，为此，陈国达先生（1953）曾称之为“活化区”或“地洼区”。东部山系具不同山链造型，如“滑脱型”（川东、川东北）、“迭覆型”（华南）、“伸展型”（鲁西）、“双向滑脱—逆冲型”（胶辽及“迭覆—转换型”（东南沿海），它们并不位于中生代以来板块边界及两侧的位置，研究表明中国东部山系形成的驱动力是多方位的，除与来自东面太平洋方向的陆内变形扩展效应有关外，还受西伯利亚板块、中朝板块、扬子板块与华南板块之间的近南北向陆内俯冲作用以及由于印度板块往北继续俯冲致使亚洲大陆向东挤出所造成来自西部驱动力影响。因此中国东部中生代山系主要为陆内造山作用产物。

陆内造山的成因机制无疑将作为大陆山链研究的新领域。

大多数碰撞型或者陆内型山链的造山作用均包括了地壳的增厚及上升剥蚀的过程。研究表明不同层次的板片及岩席不仅存在于板块收缩过程而且在伴随大规模地壳收缩作用（包括碰撞后地壳收缩）形成多层次滑脱—逆冲叠置构造后，造山并未中止，前陆逆冲、大规模块体的旋转、岩浆侵位及不同层次的伸展构造均发生在“后造山”阶段，实际上这种后造山的构造效应使山体的隆升幅度远远超过了早期造山，如作为松潘—甘孜印支山链的前陆逆冲带，龙门山崛起的主要时间为 20Ma 以来。后造山变形构造的研究表明，山体的上升剥露过程包含丰富的深部构造物理作用，而这种作用至今仍是一个探索的难题。

因此，造山作用、造山机制及深部构造物理过程的定性及定量研究，特别是后造山阶段构造—热演化的探索，不仅蕴育着新造山理论的滋生，而且预示着一个大陆山链研究新阶段的开启，为大陆动力学研究及矿床资源的开发和成因探讨开辟了新的途径。

以“变形构造动力学”为纲，运用岩石圈流变学理论，结合岩石学、地球化学、流体作用的研究以及深部地球物理探测，解析中国典型“碰撞型”及“陆内型”山链的造山过程、造山机制、变质和岩浆演化规律以及深部构造物理作用，建立大陆山链的“构造—热”演化模型，探讨造山作用与盆地形成之间的联系及大陆动力学的关系，已成为当前地质学研究领域的前沿之一。

15 年来，笔者先后涉足于中国的喜马拉雅山、横断山、秦岭、大别山、祁连山、天山、阿尔金山、昆仑山、松潘—甘孜及中国东部的中生代陆内山链（胶辽、西山及香港等地），参观、考察及研究了国外的阿尔卑斯山、欧洲华力西山、比利牛斯山以及阿帕拉契山等，并有幸考察了中国唯一的现代板块活动的窗口——台湾弧陆碰撞山链。对大陆山链的变形构造、变形机制、应变分析以及造山过程与造山机制进行了研究及探索，大陆山链中极为丰彩的构造景观及其所反映的壮阔的造山作用的内涵令笔者如痴如迷，一种献身于大陆山链研究的使命感使笔者将十余年的积累成果，结合当前大陆山链研究的新进展而形成的对“大陆山链变形构造动力学”的浅见汇成此书，以求与研究大陆山链的同仁们共同切磋与探讨。

目 录

第一篇 大陆山链变形构造动力学的理论基础

第一章 大陆山链岩石圈及其流变学	(3)
第一节 岩石圈、大陆岩石圈	(3)
一、岩石圈	(3)
二、大陆山链岩石圈	(4)
第二节 流变学、大陆山链流变学	(6)
一、流变学	(6)
二、岩石圈流变剖面确定	(6)
三、大陆岩石圈流变学	(8)
四、大陆山链岩石圈流变学	(8)
第三节 岩石变形的物理条件及变形机制	(13)
一、岩石变形的物理条件	(13)
二、变形机制	(14)
第四节 大陆山链的几何学——构造指向、造山极性、科帕构造	(15)
一、“陆陆碰撞型”科帕构造	(16)
二、“非碰撞型”科帕构造	(16)
第五节 大陆山链的三维运动及其转换观	(18)
第六节 大陆山链的楔体构造及地壳增生	(18)
第七节 “壳根”及“根”的消融	(19)
第八节 微观构造到宏观构造 ($10^{-8}\text{cm} \rightarrow 10^{+8}\text{cm}$) ——大陆山链变形构造动力学研究的基本方法	(20)
第二章 大陆山链的韧性剪切带	(21)
第一节 韧性剪切带的基本特征	(21)
第二节 韧性剪切带的类型	(22)
一、按“产状”分类	(23)
二、按“构造应力作用方式”分类	(26)
三、按“在岩石圈中所在部位”分类	(27)
四、按板块作用阶段分类	(28)
五、按形成的热动力条件分类	(29)
第三节 韧性剪切带的剪切运动矢量——拉伸线理	(31)
一、拉伸线理的不同形式	(31)
二、拉伸线理的伴生构造	(32)

三、拉伸线理的成因类型	(32)
第四节 剪切转移体系的运动学	(33)
一、变斑晶旋转与雪球构造	(34)
二、不对称碎斑体系	(36)
三、不对称压力影构造	(38)
四、不对称布丁构造	(39)
五、剪切层劈理及多米诺骨牌式旋转	(43)
六、复杂情况下的剪切指向判断	(43)
第五节 韧性剪切带的矿物组构动力学	(46)
一、中、上地壳韧性剪切带中矿物组构动力学	(46)
二、下地壳韧性剪切带中斜长石的组构动力学	(53)
第六节 大陆山链大型韧性剪切带的研究意义	(54)
一、大陆山链中的拉伸线理	(55)
二、大陆山链的韧性剪切带及其动力学	(58)
第三章 剪切应变、流体作用及动态局部熔融	(62)
第一节 剪切应变中的流体作用	(62)
一、流体的成分、性质及起源	(62)
二、韧性剪切带中岩石—流体相互作用方式	(63)
三、流体作用的研究方法	(64)
四、流体对韧性剪切带变形作用的控制	(65)
第二节 动态部分熔融	(68)
一、滑脱带内长英质脉体及侵位机制	(68)
二、长英脉形成过程中的流体作用	(70)
三、动态蠕英构造——部分动态重熔的交代标志	(71)
第三节 同构造花岗岩的侵位	(74)
一、鲜水河韧性平移剪切带同构造花岗岩	(74)
二、长乐—南澳韧性平移剪切带同构造花岗岩	(76)
三、丹巴高温韧性滑脱构造后缘(根部)的同构造花岗岩	(76)
第四节 脱硅作用及“剪切型”金矿的形成	(77)
一、脱硅作用	(77)
二、“剪切型”金矿的成因	(78)
第五节 岩石圈深层剪切和“铬铁矿床”的形成机制	(80)
一、阿尔卑斯型铬铁矿床地质特征	(80)
二、纯橄岩脉和纯橄岩分离体	(80)
三、剪切应变场中铬离子的运移、富集机制	(81)
四、深层剪切及铬铁矿成因	(82)

第二篇 大陆山链的造山作用及造山机制

第四章 大陆山链的收缩作用	(89)
第一节 收缩作用的构造标志——褶皱及推覆	(89)
一、大陆山链的褶皱类型及收缩机制	(89)
二、大陆山链的逆冲、推覆构造	(96)
第二节 陆陆碰撞前的聚敛收缩——初始收缩	(99)
一、洋盆闭合动力学—洋内剪切收缩作用	(99)
二、大洋岩石圈板块俯冲动力学—洋陆聚敛收缩作用	(104)
三、弧陆碰撞的收缩作用	(109)
第三节 陆陆碰撞及会聚造山过程中的收缩作用	(113)
一、大陆山链的收缩性滑脱构造	(113)
二、单向收缩	(119)
三、双向收缩	(121)
第五章 大陆山链的伸展作用	(127)
第一节 大陆裂谷区的伸展构造	(127)
第二节 大陆山链的伸展构造	(129)
一、滞后伸展构造	(129)
二、热隆伸展构造	(133)
三、重力伸展构造	(136)
四、拆离伸展与变质核杂岩构造	(137)
第三节 大陆山链中深部变质体的“折返”及上隆机制	(139)
一、晚造山伸展与深部变质体上隆（以辽南金州隆起为例）	(140)
二、平移—伸展作用与深部变质体的上隆（以欧洲华力西黑山中央轴部带为例）	(144)
三、德国大陆科学钻探（KTB）所揭示的华力西变质地块上隆速率	(145)
第六章 大陆山链的平移作用	(150)
第一节 平移构造的组合	(150)
第二节 平移构造及应力场的确定	(151)
第三节 平移构造的滑移量估算	(153)
第四节 离散板块边界之间的平移构造——转换断层	(153)
一、圣安德烈斯转换断层	(153)
二、北比利牛斯转换断层	(154)
第五节 板块俯冲—会聚边界的平移构造	(155)
第六节 陆内会聚造山过程中的平移构造	(156)
一、鲜水河平移构造	(156)

二、阿尔金左行走滑断裂系	(159)
三、阿尔金断裂系的形成机制	(162)

第七章 大陆山链的造山阶段及造山机制转化的因素 (166)

第一节 大陆山链的造山阶段	(166)
一、早造山阶段	(166)
二、晚(后)造山阶段	(167)
三、叠置造山作用及再造山阶段	(167)
第二节 造山过程中造山机制转化的因素	(169)
一、热转化	(169)
二、PTt 轨迹的转化	(170)
三、应力的转化	(175)

第三篇 大陆山链的类型及典型实例

第八章 大陆山链的类型 (179)

第一节 山链的成因类型	(179)
一、按板块运动阶段划分山链的类型	(179)
二、按“构造造型”划分山链类型	(179)
三、按“热结构”划分山链类型	(181)
第二节 大陆复合山链的类型	(182)
一、“增生型”复合山链	(182)
二、“双向型”复合山链	(183)
三、“叠置型”复合山链	(183)
四、造山复合体	(184)

第九章 “增生型”秦岭—大别复合山链 (185)

第一节 山链的结构及类型	(185)
一、结构与几何学	(185)
二、“山链”造型	(186)
第二节 古板块体制及构造单元	(186)
一、商丹俯冲带及俯冲体系	(186)
二、南大别俯冲带	(187)
第三节 基本构造格架及构造单元划分	(188)
一、“北秦岭—北淮阳”古生代“推覆—逆冲”叠置岩片	(188)
二、“南秦岭—南大别”印支“滑脱—逆冲”叠置岩片	(191)
三、大别楔形岩片	(191)
四、前陆及后陆逆冲体系	(192)
第四节 秦岭—大别山链早造山期的造山过程及动力学	(193)

一、秦岭主造山期的造山过程及动力学·····	(193)
二、大别山主造山期的造山过程·····	(195)
第五节 晚造山期的山体隆升及动力学·····	(196)
第十章 “双向型”“松甘—巴颜喀拉”大陆复合山链 ·····	(198)
第一节 古板块体制·····	(198)
一、劳亚板块(昆—祁地体)·····	(198)
二、唐古拉—羌塘微板块(地体)·····	(199)
三、扬子板块·····	(201)
第二节 双向造山极性 & 双向变形构造体制·····	(201)
第三节 造山过程·····	(204)
一、古特提斯造山过程(印支—燕山阶段)·····	(205)
二、新特提斯造山事件·····	(207)
第十一章 特提斯—喜马拉雅造山复合体 ·····	(209)
第一节 概述·····	(209)
第二节 喜马拉雅前陆逆冲叠覆体·····	(210)
一、喜马拉雅前陆逆冲叠覆体的组成·····	(210)
二、喜马拉雅前陆逆冲叠覆体构造演化·····	(213)
第三节 青藏高原腹地·····	(215)
一、新生代变形·····	(215)
二、青藏高原的隆升特征·····	(216)
第四节 青藏高原隆升的后陆效应·····	(217)
一、后陆盆地的形成及变形·····	(217)
二、后陆逆冲带·····	(219)
第五节 特提斯—喜马拉雅造山复合体的岩石圈组构·····	(220)
第六节 岩石圈深层热隆扩展与特提斯—喜马拉雅造山复合体的隆升·····	(222)
一、陆壳增厚和隆升的动力学模式—岩石圈深层热隆扩展模式·····	(222)
二、陆陆碰撞后造山期岩石圈热构造作用—“回流”作用·····	(226)
三、岩石圈深层热隆扩展的力学模型验证·····	(226)
结束语 ·····	(230)
图版说明 ·····	(231)
参考文献 ·····	(241)

第一篇

大陆山链变形构造 动力学的理论基础

第一章 大陆山链岩石圈及其流变学

第一节 岩石圈、大陆岩石圈

一、岩石圈

岩石圈为地球的外部壳层，包括了地壳及上地幔两部分，厚度约 60~180km，板块构造学说认为，由于岩石圈具有正向及负向载荷的弹力，使其保持在流动的粘性带或软弱带——软流圈之上。软流圈厚度为 40~160km，P 波速 7.85~8.05km/s，其位于波速为 8.1~8.7km/s 的“收缩圈”（Bucher, 1956）的硬层之上。

岩石圈中地壳与地幔的关系并非绝然，自 1958 年 Revelle 发现东太平洋隆起南部存在波速 7.0~7.8km/s 的异常壳幔透镜体以来，在大陆裂谷之下，乃至大陆山链岩石圈中也发现类似的透镜体。如美国西部横穿内华达洲的 COCORP 剖面中发现的至少延伸 450km 水平的连续的莫霍面反射带，这一反射带为由两条平行反射波组成的透镜状“壳—幔过渡带”。青藏高原陆壳下部也存在厚达 29km 的透镜状“壳—幔过渡带”。

G. Ranalli (1987) 对岩石圈曾下过这样的定义：在地震意义上，是指上地幔低速带以上的物质；构造意义上，指板块运动时参与移动的外部壳体；流变意义上，可把岩石圈看作位于某一深度以上由于热控制而具一定塑性行为（可用有效粘度和蠕变强度来测量）的物质。板块学家认为，岩石圈是板块构造的基础，根据板块模式，岩石圈板块是在洋脊上形成，而在俯冲带内沉入地球深部，板块运动的基本驱动机制为岩石圈在软流圈上的水平滑移及软流圈内部的物质对流。

60 年代初板块构造学说曾把岩石圈板块视作刚体，认为变形作用主要发生在板块边界较狭窄地带。近代岩石圈流变学研究及地震反射剖面与大陆超深钻的揭示表明大陆岩石圈与刚性的大洋岩石圈不同之处在于它不具“均一刚性”，大陆地壳也并非具双层结构，它是一个不均一、不连续的、具多层结构及复杂流变学的“弹—塑—粘”性综合体。研究表明，在占地球岩石圈 40% 的大陆岩石圈中，前寒武系地盾占 20%，地台占 45%，1.4 亿年中形成的大陆山链占 35%。大陆岩石圈的稳定型地盾及地台区地壳厚度薄，地温梯度低及波速梯度高，而活动型山链及裂谷区是地温梯度高、波速梯度低及厚度变化大。大陆山链的地壳厚度可达 50~80km（如阿尔卑斯、天山为 50km，喜马拉雅为 60~80km），但大陆裂谷厚度只有 25km 左右；地热梯度在古生代山链平均 1.5HFU，中生代山链为 1.8HFU，而大陆裂谷可大于 2.5HFU。

大陆地壳以存在结晶基底（过去称花岗岩层）为特征，但实际上这种基底除一部分为正常的花岗岩外，还有片麻岩、结晶片岩及散布较广的深熔花岗岩，其一般组分为花岗质—花岗闪长质，该层的地震 P 波速为 5.6~6.4km/s。结晶基底组成的上地壳下部在地震反射剖面是以“透明”为特征。下地壳的地震 P 波速较高（欧洲华力西山链平均为 6.5km/s，某些地区可达 7.0km/s），在下地壳内经常出现多层高低速相间的地震反射纹层，蠕变强度低。根据目前资料分析，下地壳成分为角闪岩、紫苏花岗岩、长英质麻粒岩，可能还有