

造山带、地质矿产研究的 理论与方法

地质矿产部秦巴协调领导小组

一九九〇年十二月

前 言

秦岭造山带横贯我国中部，是著名的大陆造山带之一，国内外地质学界对其极为关注。

为了揭示秦岭造山带形成与演化的历史及其对矿产的控制，深层次的掌握矿产形成的背景和规律，长期以来我国有关地质部门、科研单位、地质院校（系）及国外地质专家对其进行了持续的地质、矿产研究，并取得了丰硕的成果。特别是地质矿产部自一九八三年以来，为开创秦岭、巴山地质工作的新局面，制定了秦岭、巴山地区地质工作总体规划，并于一九八五年起开展了《秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律》的地质矿产部重点攻关科研项目。该项目实施结果，深化了对秦岭造山带形成与演化方面很多基础地质问题的认识，取得了丰硕的成果。

在秦岭造山带的研究中，除了有形的科研成果外，通过秦岭造山带研究的实践，也极大地丰富和提高了造山带研究的理论和方法，无疑，它对秦岭造山带在尔后的研究中及对其它造山带的研究都具有借鉴的意义。

为了充分发挥在造山带研究中已积累的新理论与方法的作用，实现理论方法意义上的科研向生产的转化，使其变为广大地质工作者，特别是第一线从事地质、矿产工作者的武器，出自为广大地质工作者服务的目的，特组织出版了《造山带地质矿产研究的理论与方法》一书。

造山带地质矿产研究涉及多种学科，本书欲概全其内容是困难的。从本书的内容看，只是涉及了其中的主要几个方面，所以无意将其变为一本学术专著。诚然，从本书的内容上，也不完全限于造山带。

本书共组织了七篇文稿，每篇都自成系统。

本书各篇的题目及主要执笔人分工如下：

第一篇：关于大陆造山带研究 西北大学地质系张国伟教授

第二篇：逆冲推覆构造研究 中国地质大学（北京）吴正文教授

第三篇：陆内蓝片岩特征兼论华中陆内板块裂撞带高压岩石特征 长春地质学院张树业教授

第四篇：区域地球化学研究的理论基础、方法及意义 中国地质大学（武汉）张本仁教授

第五篇：秦巴地区岩金矿床类型及控矿因素 成都地质学院栾世伟教授

第六篇：沉积—喷气成矿理论与秦岭泥盆系中的层控铅锌矿床 西安地质学院祁思敬教授

第七篇：隐伏矿床预测的理论和方法 桂林冶金地质学院隐伏矿床预测研究所刘家远研究员

地质矿产部秦巴协调领导小组郑延力教授级高级工程师担任了组稿与编辑工作。应该说明的是，编辑除在统编过程中，对有些篇删除了一些重复之处和局部对文字稍作修改外，对原稿未作变动。

本书的完成，得到了地质矿产部领导的支持。此外，本书的完成，还要感谢各位作者在百忙中付出的辛勤劳动。

我们虽然有一个良好的愿望，愿意为地质矿产研究方面的新理论与方法在地质战线上的传播穿针引线当红娘，但由于水平关系，无论在内容的策划上，还是在编辑过程中定会有不当之处。我们诚挚地希望读者提出批评和指正意见。如果本书能对广大地质工作者在地质、矿产研究中有所帮助，我们将感到十分欣慰。

目 录

前 言

第一篇: 关于大陆造山带研究	张国伟 (1)
一、造山带研究的学术思想与发展	(1)
二、大陆造山带研究的几个主要问题	(5)
三、造山带研究实例	(19)
第二篇: 逆冲推覆构造研究	吴正文 贾维民 (25)
一、有关逆冲推覆构造的某些术语和几何学特点	(26)
二、平衡剖面法	(34)
三、位移—距离法	(48)
四、研究逆冲推覆构造需注意的几个问题	(57)
第三篇: 陆内蓝片岩带特征	
一兼论华中陆内板块裂撞带高压岩石特征	张树业 康维国 胡 克 (61)
一、蓝片岩的一般特征及研究现状	(61)
二、华中陆内古板块裂撞带高压岩石矿物组合及控矿成矿作用	(63)
第四篇: 区域地球化学研究的理论基础、方法及意义	张本仁 (75)
一、区域地球化学研究的理论构想	(76)
二、区域岩石圈组成或元素丰度研究	(78)
三、区域构造地球化学研究	(88)
四、区域成矿特征与背景地球化学分析	(106)
第五篇: 秦巴地区岩金矿床类型及控矿因素	栾世伟 王奖臻 (116)
一、金矿化区域构造背景	(116)
二、秦巴地区岩金矿床类型及其主要特征	(120)
三、秦巴地区岩金矿床的成矿控制因素及分布特征	(130)
四、区域金矿化远景概述	(143)
第六篇: 沉积—喷气成矿理论与秦岭泥盆系中的层控铅锌矿床	祁思敬 李英 (148)
一、沉积—喷气成矿的提出和发展	(148)
二、沉积—喷气成矿的若干基本认识	(153)
三、秦岭泥盆纪沉积—喷气型铅锌矿床成矿背景和成矿特征	(157)
四、成矿控制因素和矿床对判别大地构造环境的意义	(163)
第七篇: 隐伏矿床预测的理论和方法	刘家远 (167)
一、隐伏矿床的定义和分类	(167)
二、运用成矿理论进行隐伏矿床预测	(170)
三、隐伏矿床预测方法	(178)
四、隐伏矿床预测的验证	(197)
五、近年来在隐伏、半隐伏矿床找矿工作中的若干新进展及其经验教训	(197)

第一篇 关于大陆造山带研究

张 国 伟

(西北大学地质系)

造山带一直是地质科学研究的中心课题，也是人类赖以生存的重要矿产资源基地，因此它一直是地球科学家，特别是地质学家最关心的基本地质问题之一。近代一百多年的研究，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。特别是八十年代以来，大陆地质和大陆造山带研究已成为固体地球科学新的发展的最主要前沿领域之一，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，推动固体地球科学的发展。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，就成为从事地质生产、教学和科研人员进行造山带新的研究的重要任务。这里根据本书的目的与要求，简要概略地介绍有关大陆造山带研究的最新发展与大陆造山带形成与演化研究的有关几个基本问题。

一、造山带研究的学术思想与发展

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。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，是岩石圈中最强烈的活动带，因此也就成为岩石圈形成演化信息储存和记录最多的关键研究地带。

1. 造山带与造山作用

造山带 (orogenic belt) 是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、俯冲碰撞带、构造活动带等同义或近乎同义。关于它的定义和含意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（Epeirgenesis）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，隆升而成山。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等全是“造山的”的产物……”^{〔1,2〕}。所以可以说不仅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变形构造带。当然，就总体而言，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所说的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，而不只单单指隆升成山的作用；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。

2. 造山带研究学术观念与思路的新发展

大地构造学在其一百多年的发展中，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，巨大地推动了地质科学的发展。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体系迈进的标志。这场“地质革命”是地质科学发展史上划时代的重大事件。但板块构造运用于大陆地质时，所遇到的新问题与疑难，地球科学家们孜孜以求的新探索^{〔3〕}，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，包括板块构造在内的地球构造观，大地构造理论的诞生的前夜。已经提出了“全球性地球动力学”^{〔4〕}和“创立行星地球统一理论”的问题^{〔5,6〕}。现在的造山带研究与探索就正处在这样一个固体地球科学发展的总趋势背景下，新观念、新思路也正出于此。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 30 多年的迅速发展，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

六十年代板块构造说诞生以前,地槽说在地质学中占统治地位,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,即虽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的沉积槽地及其回返成山,着眼于槽地成因、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和造山作用等一系列地槽回返理论^[7,8,9]。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,从五十年代起到六十年代兴起了板块构造假说,并很快传遍全球,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,其相互间的作用,是洋与洋或洋壳对陆壳的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^[10],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七十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。八十年代以来,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迭覆堆置、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,随深度变化具明显塑性流变特征的固态介质材料,可以发生广泛弥散渗透性变形。因此大陆造山带的形成与演化,就不仅仅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^[11-17]。也出现了诸如马托埃(Mattauer)的俯冲型、仰冲型、碰撞型和陆内型的造山分类^[15]。许靖华的德国型、加利福尼亚型和阿尔卑斯型,其中又把阿尔卑斯型细分为:环太平洋型与特提斯型(碰撞型)。辛格(Senger 1990)的走滑挤压造山、仰冲造山、俯冲造山、碰撞造山等^[16],及其更详细地划分等等。显然造山带研究的学术思路与观念又发生了新的变化,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新的疑难,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。因此八十年代后期到九十年代将是地质学家重新认识大陆,进行新的探索的时期,将是大陆地质和深部地质的时代,问题的实质是已经得到基本验证的大洋经典板块构造如何在大陆地质重新研究认识的基础上,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。

3. 造山带研究的新起点

从以上可以看出,板块构造说兴起以来,现代固体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^[18,19,20]。关于地球和大陆的新认识、新进展,这里简要概括归纳为几点,供参考,作为现今对大陆造山带进行新的研究的基本基础与起点。

现代固体地球科学的发展,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;③地球及其外壳在组成与结构上纵横向都极不均一,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,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。岩石圈的构造运动是由许多地球的物理与化学过程所引起。洋、陆岩石圈具有本质差异;④流体在岩石圈的形成与演化、构造发展上起着重要的不可忽视的作用;⑤改变过去简单的稳态均变论,新的灾变论认为灾变形式是地球构造发展的重要质变形式之一。

大陆地质研究的新进展,它所具有的以下特性,已经开始为地学界所重视:①大陆是已经历了几十亿年长期发展演化所构成的复杂地质综合体系。由于其基本组成平均密度低,因而轻,具有巨大浮力,长期漂浮而不易俯冲回到地幔中去;②相对于大洋岩石圈,作为一个固态介质材料,其强度比较弱,易于发生地质尺度的快速变形;③大陆岩石圈具有不同的流变结构,不是一个简单“刚体”。其地壳与岩石圈地幔间并非是完整连续的刚性整体运动,却出现壳内、壳幔间和岩石圈地幔中多层次拆离滑脱的侧向大规模运动。表现出连续介质中包含着相对坚硬块体和垂向上的层状块体特征。因此,从运动学角度考虑涉及到连续介质的状态与流变,块体与相对运动,上部的脆性和中深部韧性流变及其两者的关系等等,而在动力学上则表现出其特殊的本构关系,漫长时间效应,动力学过程中一些基本因素和参数的多变与模糊不确定性,这就要求对大陆岩石圈构造变形的运动学和动力学全过程要有真实的了解与监测。总之表明大陆岩石圈具有特殊复杂性;④由于上述大陆岩石圈本身固有的习性,决定了它长期漂浮,遭受多次迭加构造变动与物质的多次复合活化和广阔发育渗透性多期变形变质,呈现出一种极不均一的复杂组成与结构状态;⑤由于大陆岩石圈的非均一性、复杂性和区域性,选择基地,进行深入系统综合精细研究,成为探索大陆地质,认识大陆,提出新观念,创立新理论的发源地,是当今大陆地质与大陆造山带研究的重要科学途径。

以上简短的回顾和简要概括,可以看出大陆造山带研究在最近三十多年内,在学术思想与观念和方法上,从固定论到活动论,从地槽回返造山、板块构造的俯冲碰撞造山到今天的多成因造山一直在不断发展变化,深化提高,可以预示在九十年代和下个世纪初,大陆造山带在新起点上的研究将会有更迅速的发展与巨大进展。因此,今天的大陆造山带研究应充分意识到这一科学发展的动态和趋势。我国有着得天独厚的丰富复杂的地质条件与众多各种类型的造山带,因而我国有条件,有可能,有必要开展大陆造山带的综合研究。综观全球与宇宙,立足于中国造山带实际,总结新发现,新认识,提出新观念,新理论,丰富和发展造山

带理论,为世界固体地球科学的新发展作出我们应有的贡献,是时候了。

二、大陆造山带研究的几个主要问题

大陆造山带的研究是对造山作用的结果及其过程恢复的综合研究,并进而探讨大陆造山带形成与演化的规律,建立理论的模式,进行地球和岩石圈动力学的探索,为人类所需求的资源、能源、预防灾害、改善环境提供理论和实践的指导与依据。显然它涉及到固体地球科学的各个学科和方面,研究内容十分广泛和综合复杂,但概括起来,其基本研究内容可以归纳为以下诸方面:1. 造山带构造几何学、运动学与动力学研究;2. 造山带基本组成和地球化学研究;3. 造山带深部结构与状态模型研究;4. 造山带性质、类型、构造体制与动力学研究;5. 造山带形成与演化综合研究和造山带模拟实验研究;6. 造山带区域成矿地质背景与成矿作用和预测研究。限于篇幅,不能对造山带研究的基本内容一一综述,以下仅就现代大陆造山带研究的几个主要问题加以概述和讨论。

1. 造山带构造几何学、运动学与动力学研究

造山带构造研究是一项多学科、全方位的时空四维的综合研究,是造山带研究的主导方面。已如前述,造山带是岩石圈的强烈构造变形带,而且往往是由多期构造变动迭加复合而成。在其形成与演化的整个过程中,构造运动始终居于主导地位。广义的构造运动包含着物质的和结构的变动,也即包含着物理的和化学的运动,以及生物的作用,因此它是一项多学科综合研究。其中最基本的是造山带构造几何学、运动学与动力学研究。也可以说是狭义的造山带构造研究。根据现代板块构造发展与大陆地质的最新进展,狭义的造山带构造研究其现今重要的研究课题是:①造山带最基本的基础构造研究;②碰撞构造研究;③陆内造山构造,或者称大陆构造研究。

1) 造山带基础构造研究是指造山带中大量广泛发育的最基本构造现象——构造形迹和构造要素的几何学、运动学与动力学研究。其主要新进展有以下几方面。

①现代大陆造山带构造研究的一个突出特色是以中小露头尺度构造研究为基础,从显微、超显微到中小尺度,以至到宏观巨大尺度的构造研究,以现代构造地质理论最新进展为基础,各有其长,紧密配合,互相渗透,已成为一个统一的日益完整的科学研究系统^[21,22],迅速巨大的深化和提高了大陆造山带的构造研究。造山带构造几何学研究,中小尺度以各种不同构造形迹和要素的几何形态、性质、世代、成生关系、组合型式、构造样式与构造复合关系的系统调查研究和实际构造的观察、描述、测量与综合分析等为主要研究内容。在此基础上进行显微、超显微构造研究,其重点不仅是构造的微观几何性质、运动学与动力学特征的观察,更重要的是揭示天然变形岩石的微观变形机制,成为探讨构造地质学许多基本问题的不可缺少的重要基础研究,尤其是在探讨韧性变形机制与岩石圈固态流变性和变形变质关系及微观变形测量、动力学机制方面,具有重要意义。宏观大尺度构造研究,则是在显微超显微和中小尺度研究基础上,从岩石圈板块或陆内块体间的运动与相互作用,从构造动态演化,时空变化、迭加复合、构造层次和不同变形机制等多方面,结合地球物理与深部地质,进行三维构造分析,探索大陆造山带构造演化规律、成因及其动力学。这些都是造山带最基本的基础构造研究,既需要以板块构造、大陆地质和构造地质的最新进展和新的学术思路为指导,采用构造解析的方法进行系统精细研究,又需要从实际出发,有所新发

现, 新研究, 总结新认识, 新观念, 创造新理论, 充实丰富和提高推动大陆造山带的构造研究。

② 大陆造山带构造的有限应变测量与递进变形研究以及探索造山带平衡剖面的制作^[23,24], 是七十年代以来, 造山带构造研究的重要进展之一。通过不同方式进行天然变形岩石的有限应变测量, 了解区域应变场和应变状态, 掌握真实的变形途径与历史轨迹, 从而分析其所反映的相应构造应力场与应力状态, 进行变形过程、变形机制和动力学的分析。同时还可进行造山带地壳缩短量估算和逆冲推覆构造等具体构造的有限应变测量等等^[23,24]。标志着构造研究走向定量。显然, 岩石的有限应变测量已成为现代造山带构造研究的不可缺少的重要组成部分。

③ 造山带构造层次和岩层介质变形行为, 尤其是大陆岩石圈的固态流变性已为现今大陆造山带研究所普遍重视, 成为造山带研究中的基本概念和重要内容^[25]。构造层次概念虽早已为魏格曼 (Wegmann) 所提出 (1935), 并应用于造山带研究, 但真正被普遍接受采用, 却还是 70 年代以来的事。固态流变性与不同流变结构是大陆岩石圈的突出特点, 而且是重要的带有动力学意义的特性, 已成为造山带构造观察研究和变形机制分析的重要基础之一。现在造山带构造层次和大陆岩石圈固态流变性已不只是作为一般概念, 而是和地球物质的物理、化学性质随深度而变化, 大陆岩石圈深部分层性与非均一性, 深部流体作用, 以及大陆岩石圈中多层次拆离滑脱构造等多种不同构造型式的形成机制等一系列固体地球科学的新概念, 新理论密切相关, 而且它们实质上已成为涉及整个造山带形成、演化、成因及其动力学的重要研究内容, 也成为探讨大陆岩石圈特性的重要途径。

④ 大陆造山带构造研究愈益更加认识到造山带决非是两个刚性板块的简单相互作用及仅限于边界的构造变形, 而是在大陆特殊习性下所发生的板块间或板内 (陆内) 多个块体间, 多期次相互俯冲、碰撞、拼贴、迭覆的复杂过程和发散型的广泛构造变形, 也更加认识到大陆造山带的多样性, 区域性与复杂性。因此更加突出和重视造山带基础构造、碰撞构造与陆内构造的研究, 愈加重视依据造山带不同构造体制与构造动力学特征的综合研究与构造区划, 编制出造山带动力学构造图, 追索大陆造山带的真实构造过程, 探求其组成、结构、演化、成因与动力学规律。

总之, 由于固体地球科学的新发展、板块构造、大陆地质和深部地质的重大进展与新发现, 冶金物理学、材料科学、塑性流变学、物理化学、计算数学等现代科学基本理论的日益深入应用, 大量观测, 探测与测试技术新方法的发明与应用, 固体地球科学中新观念、新思路、新理论的涌现, 已使得大陆造山带构造研究从超微观到巨大宏观, 乃至到地外天体宇宙, 从表层到深部, 从脆性到固态流变, 从定性到定量, 从几何学、运动学到动力学开展了全方位深入综合系统研究^[21]。表明现今造山带构造研究从地球的地质动态过程和岩石圈介质材料实际出发, 在物理、化学、数学等当代科学知识的新层次上, 作为新的起点开展了全面研究。在研究技术路线上正在走一条选择建立研究基地, 探索大陆特殊固有性状与地质规律, 总结新发现, 新认识, 创立区域构造演化理论模式, 进行全球验证对比, 发展固体地球科学的道路, 迎接地学的更大发展。

2) 碰撞构造研究

板块构造认为造山带即是板块间的相互作用, 是俯冲碰撞造山。所以从板块构造观点解释大陆地质时起, 就已开始了大陆造山带中碰撞构造的研究, 并认为是大陆造山带研究的基

本点。作为大陆造山运动的主要机制之一，迄今碰撞构造仍是地质构造研究的热点和大陆造山带研究的基本内容，受到普遍重视。1983年曾在英国召开了碰撞构造的专门学术会议，1986年出版了该会议的学术论文集^[10]，至今仍有很多专门论著发表。

碰撞构造是关于碰撞造山带形成及其有关地质演化过程的多学科综合研究。碰撞构造研究的新进展表明，它不但包括经典板块构造模式中的洋内俯冲碰撞，洋与大陆边缘岛弧的碰撞，岛弧与大陆，大陆与大陆的碰撞，而且更多发现大陆造山带中也包括了各类地体、微型地块间的拼贴碰撞和大陆内块体间的碰撞，因此，不仅是板块俯冲碰撞造山，而且也为大陆的多成因造山所重视。碰撞构造研究的中心问题是如何认识侧向运动的板块、地体或大陆块体间的相互作用，如何研究与认识板块、地体与地块的运动、位移方向和速率怎么转化为汇聚拼贴碰撞边界上的应变与应变速率，转变为造山带和广泛发散性构造变形，以及如何导出相关的有规律的岩浆活动，成矿作用与变质作用等物质和地球化学的再分配与重建。这涉及到碰撞前、碰撞过程中与碰撞后所发生的一系列造山构造变动及其动力学问题。

大陆造山带构造研究新进展表明，碰撞构造研究面临着不同性质和类别的碰撞构造。其中一类是明确主导属于单次板块碰撞造山，如喜马拉雅造山带，它们保存有典型的从大洋俯冲到陆—陆碰撞造山的物质记录和构造特征，诸如板块碰撞缝合带、洋脊蛇绿岩、碰撞构造混杂带、碰撞变质作用与钙碱性岩浆活动，以及古地磁资料等等地质、地球化学、地球物理的可靠碰撞构造证据，可以恢复其板块构造体制与演化。其构造研究的关键是：①如何划分板块，确定碰撞缝合带，即如何从造山带具体实际，从地质、地球化学与地球物理等多学科综合研究确定板块缝合带或接合带，研究其碰撞构造几何学、运动学特征、基本组成及其演化与成因；②古洋盆、古大陆边缘地质的恢复重建和碰撞前俯冲阶段的构造演化与作用；③碰撞构造过程及不同类型与方式碰撞构造特征及判定标志，包括板块仰冲等各类不同碰撞构造变形识别，形成机制，板块运动速率与构造应变关系，岩浆活动与变质作用及其地球化学示踪标记等等；④俯冲碰撞、岩石圈强烈变形，加厚、隆升成山的机制；⑤大陆碰撞带的动力学研究等。关于这些研究课题，已有不少成果，这里仅选择几幅有代表性的图表（图1.2.3.4.）供参考。关于这一类确系主导属单次板块碰撞造山的构造研究，虽然可以更多借鉴1.7亿年以来现今大洋经典板块构造模式，但还应充分考虑以下方面：①大陆造山带形成与演化的大陆地质特征背景；②运用现代经典板块构造与标志研究前中生代，甚至前寒武纪大陆造山带的适用程度与演化差异。由此可见，即就是明确是板块碰撞造山的大陆造山带，在碰撞构造研究中也要从造山带实际出发，创造性运用板块模式，探索大陆造山带的大陆板块构造模式，发展大地构造学说。

碰撞构造研究的另一类是在大陆造山带中，更多不具有典型板块碰撞造山特征，而是介于板块碰撞造山与真正陆内造山之间的具复杂过渡性特征的造山带和具有不同演化阶段不同构造体制的复合造山带。例如中国的秦岭、新疆北半部的诸山系等就更多具有这样造山带的特征。在它们的演化过程中无真正开阔大洋，只有有限洋盆或多个小洋盆，甚或无洋盆基本属于陆内等等不同岩石圈板块、微型地块、大陆壳块体间的相互作用与碰撞迭覆成山，它们往往既有板块碰撞造山的某些特征与标志，又更多的具有陆内造山的特点，两者复合交织，呈现出一种特殊复杂的造山带特征。这可能正是大陆地质和大陆造山带固有性状及其特殊复杂性的表现。也应是重新认识大陆岩石圈，探索大陆地质和大陆造山带新问题，发展提高板块构造，创立适用于洋陆整个岩石圈的新构造观与理论的重要研究探索领域。因此我们应当

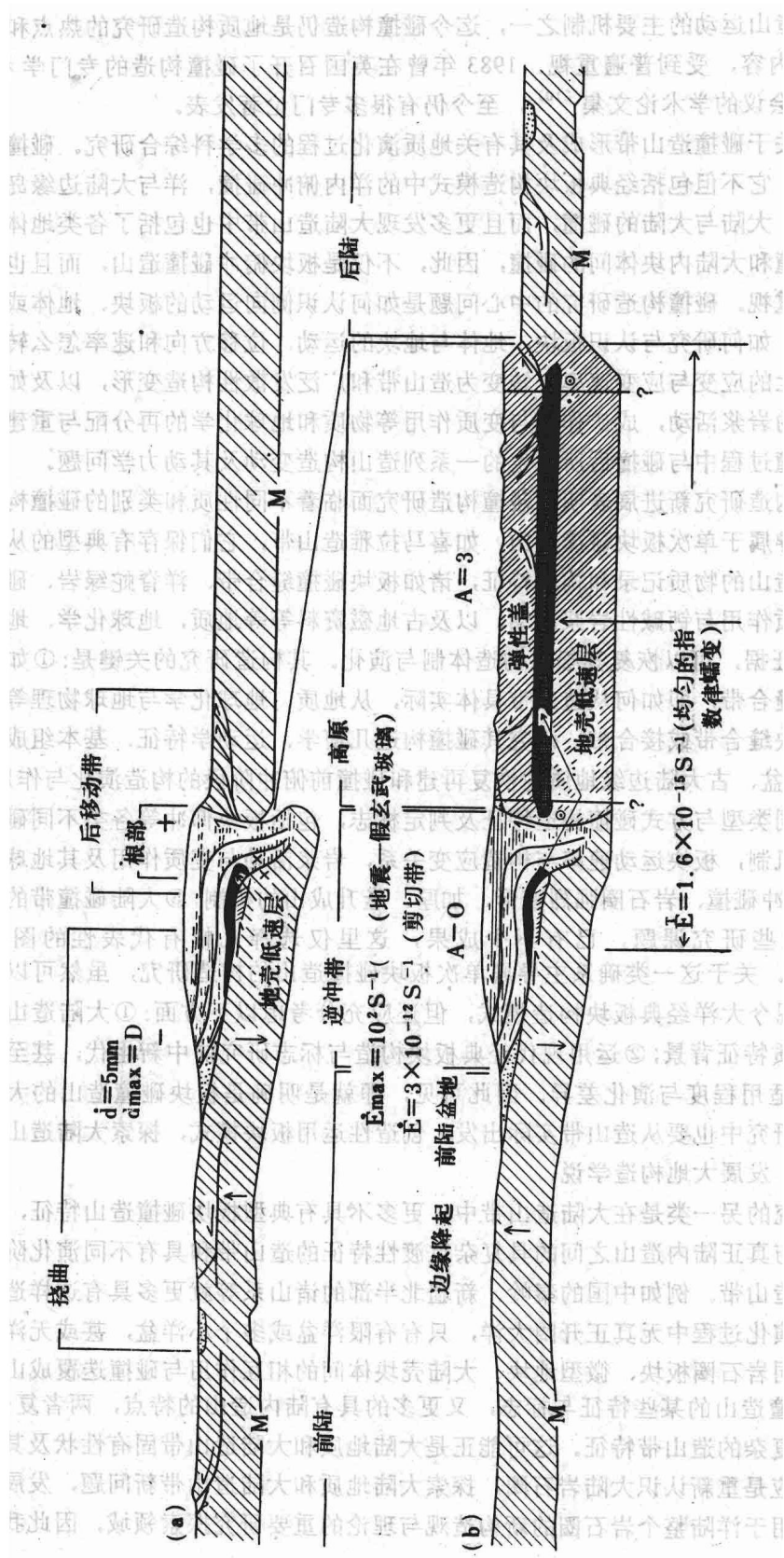


图 1 表示碰撞造山单元的构造剖面示意图

(a) 阿尔卑斯类型, b 喜马拉雅类型)。正、负号表示均衡重力异常。前陆与后陆地壳用斜线表示, 加厚的地壳与高原用密斜线表示, 逆冲片用水平线表示。A 表示 Argand 数 (由地壳厚度差引起的应力与继续会聚需要的应力之比) (England 和 McKenzie, 1982)

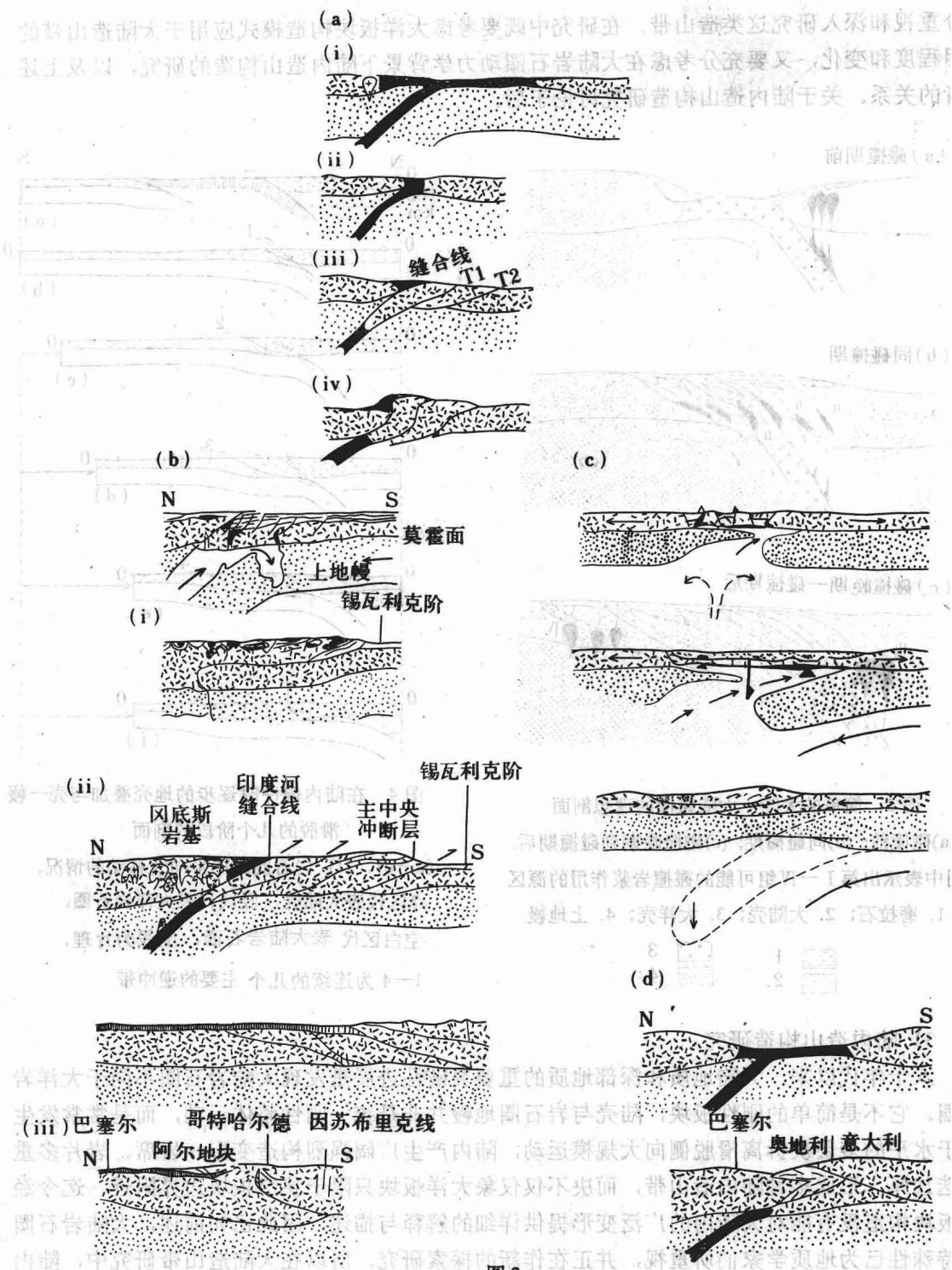


图2

(a) B型俯冲的碰撞前阶段和碰撞阶段; (b) 西藏碰撞构造的解释: (i) 据 Bird (1978); (ii) 据 Shackleton (1981); (iii) 阿尔卑斯构造, 据 Hsu (1979); (c) 纳米比亚达马里德 (Damaride) 带的演化, A型俯冲, 据 Kroner (1983); (d) 薄片构造模式, 据 Oxburgh (1972).

充分重视和深入研究这类造山带。在研究中既要考虑大洋板块构造模式应用于大陆造山带的适用程度和变化，又要充分考虑在大陆岩石圈动力学背景下陆内造山构造的研究，以及上述两者的关系。关于陆内造山构造研究讨论于后。

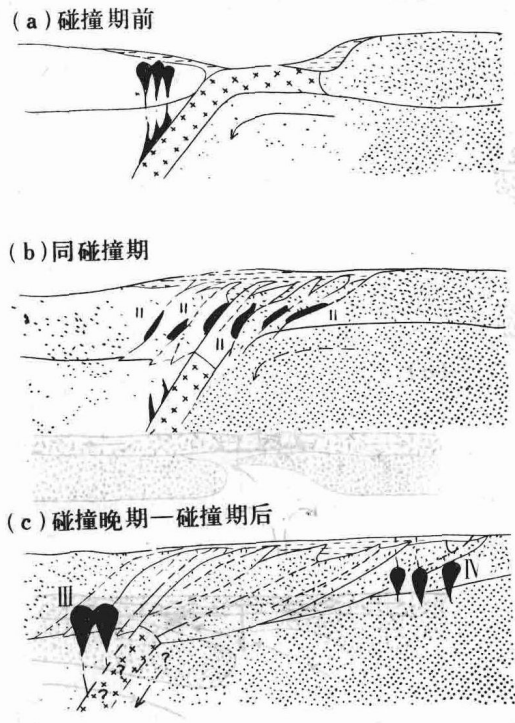
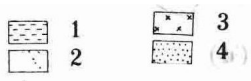


图3 简单的大陆—大陆碰撞的理想剖面
(a)碰撞前；(b)同碰撞期；(c)碰撞晚期到碰撞期后。
图中表示出第I—IV组可能的碰撞岩浆作用的源区
1. 磨拉石；2. 大陆壳；3. 大洋壳；4. 上地幔



3) 陆内造山构造研究

八十年代以来，大陆地质和深部地质的重要突破性进展是发现大陆岩石圈不同于大洋岩石圈。它不是简单的刚性板块；陆壳与岩石圈地幔并非是一统一刚性整体运动，而是常常发生近于水平的多层次拆离滑脱侧向大规模运动；陆内产生广阔强烈构造变形，岩席、岩片多重堆迭加厚，形成多种陆内造山带，而决不仅仅象大洋板块只限于狭窄板块边界附近。迄今经典板块构造没有能对大陆内的广泛变形提供详细的解释与描述，因此已如前述，大陆岩石圈的特殊性已为地质学家们所重视，并正在作新的探索研究。所以在大陆造山带研究中，陆内造山构造就成为普遍关注的热门课题，也是期待取得重大进展的一个重要关键研究课题。

陆内造山构造是指大陆岩石圈内（或称板内）在大陆岩石圈动力学背景下所发生的不同造山运动所形成的各种构造。它们造成和组成了陆内的岩石圈构造变形，滑脱位移与加积加厚，并伴随变质、岩浆活动构成陆内造山带。它们主要包括有大陆构造的陆内俯冲，大陆多

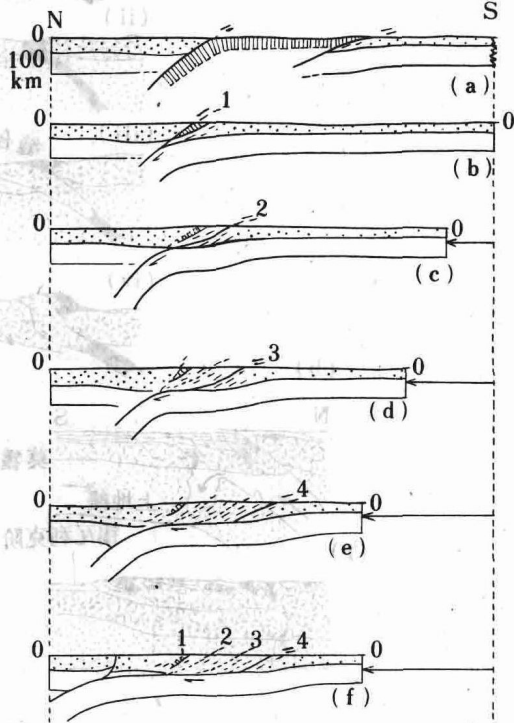


图4 在陆内俯冲时逐步的地壳叠加与壳—幔滑脱的几个阶段的剖面
(a—e)，(f) 岩石圈俯冲带向北移动的情况。
点区代表大陆壳，竖线代表大洋岩石圈，空白区代表大陆岩石圈，虚线为片理，
1—4 为连续的几个主要的逆冲带

层次拆离滑脱和逆冲推覆构造,大陆伸展构造和剪切走滑构造等,它们可以是地表浅层次脆性构造,也可以是中深层次脆—韧性、韧性构造,具有多种构造组合形式,在其形成的特殊条件与成因机制。

伸展构造由于其作为全球性基本构造型式之一广泛发育和伸展拉张与挤压收缩都作为岩石圈的基本构造作用往往同时并存,因而日益受到重视,开展了专门研究^(26,27,28)。同时现今关于大陆造山带中的伸展构造也已引起了广泛注意。在美国西部盆岭山地,在我国的喜马拉雅、燕山、秦岭等造山带中及世界其它一些造山带中,都发现与研究了造山带内的不同伸展构造系统。它们有造山带形成早期阶段的伸展构造,如陆内、陆间裂谷构造与伸展剥离构造。也有造山带演化过程中伴随总体收缩挤压构造而出现的同期伸展构造,例如裂陷、变质核杂岩与低角度正断层。还有在造山带末与期后隆升中发生的断陷、剥离断层与其它重力滑动构造等等。总之伸展构造已成为造山带构造研究的重要内容。其关键问题是,造山带形成与演化过程中什么阶段,什么动力学背景下,什么构造部位产生何种类型与型式的伸展构造,造山带的收缩挤压与拉张伸展作用的关系与两者的转化关系,以及挤压构造与伸展构造的时空组合关系,它们在什么程度上揭示着大陆造山带与大陆岩石圈的特殊性状等。此外还有如伸展构造在造山带形成与演化中的作用,造山带中伸展构造模式等等也都是值得进一步探讨研究的问题。可以看出,造山带内不同伸展构造的研究必将会获得新的重要信息,丰富促进大陆造山带的研究。

大陆岩石圈的分层性及大陆的多层次拆离滑脱构造和逆冲推覆构造是大陆造山带形成的主要机制之一,自七十年代以来,已取得突破性重大进展,它是大陆造山带研究中的重要内容也已为地学界所公认^(29,30)。世界绝大多数的大陆造山带,均以不同型式的逆冲推覆构造迭置而成,如著名的阿尔卑斯,阿帕拉契亚等典型的逆冲推覆造山带。我国造山带众多,也多发育逆冲推覆构造,如秦岭一大别造山带就是一例。它们虽与世界典型逆冲推覆构造山脉遵循相同、相似的基本规律,但它们更有区域性的,因而也具普遍意义的独特的新特点,需要我们从实际出发,总结推覆山脉的新特点,新内容,探索大陆造山带的新规律。由于本书另有专门论述,这里不再赘述。

剪切走滑构造也是大陆构造的一种主要型式,继本世纪40—50年代 Moddy 和 Hill (1956)⁽³¹⁾ 等的关于走滑断层构造学的总结性论述之后,由于板块构造和大陆地质的新进展,使其再度引起地学界重视。在大陆地质中 Tapponnier 等提出的滑线场理论与著名的模拟实验,就是一例证。剪切走滑构造往往构成一个脆性或韧性的断层系列,其走滑活动不只是直线平移,而且常常引起侧旁地块的旋转运动,其本身具有双层结构,具有压扭收敛性走滑与张扭离散性走滑等等,共同形成一系列重要派生构造组合,诸如拉伸—挤压结构、拉分盆地、花状构造、雁列构造及旋转构造等等,使其成为大陆构造中一个重要独立的构造单位,具有重要意义。走滑断层构造在大陆造山带中也占有突出地位,大型剪切走滑可以直接单独造山。除此而外,它在造山带中或以主导构造的派生构造和造山带演化特定阶段的产物而出现,或以单独构造成分以迭加复合型式而出现,往往它能直接影响控制着造山带的形成与演化。因此,剪切走滑不但是大陆造山的主要造山机制之一,而且也是大陆造山带的主要构造成分和构造型式之一。在我国众多的造山带中,普遍发育多期次不同性质的走滑断层构造,具有重要作用,所以在大陆造山带研究中,重视剪切走滑构造是显而易见的。研究的主要内容有,研究其几何学特点,包括其形态、组合型式、分布规模与等级、脆性—韧性双层

结构等; 研究其收敛和离散性滑移运动学特点及导生构造与拉伸—挤压结构等; 研究其形成机制, 成因与动力学特点; 研究其在造山带中的作用及其与其它构造, 如俯冲碰撞、逆冲推覆构造等的相互关系等等, 使之成为探索大陆造山带形成与演化的重要内容。如上述, 我国的大多数造山带中剪切走滑构造异常发育, 独具特色, 更有必要进行系统研究。Tapponnier 的关于西藏高原的制模软泥模拟实验, 滑线场理论与一系列走滑断裂系, 值得思考借鉴, 但同时 Mckenzie 等的同一地区的粘性薄层模拟实验也应同时介绍^[3], 但更重要的是需从我国整个区域构造的实际出发, 总结出更为符合实际的理论解释与认识。

2. 造山带基本组成与地球化学研究

造山带基本物质构成研究包括岩石地层及其时空分布与层序、沉积作用、岩浆活动、变质作用、成矿作用, 以及造山带地球化学特征与演化。它们是造山带形成与演化的物质记录, 无疑是造山带最主要的基础研究。造山带的这些物质记录常常是残缺不全和几经变动, 程度不等的变质变形变位, 乃至面目全非, 所以研究既需要从识别追索到恢复重建, 又特别需要从残存者追踪缺失消亡者, 只有把残存和消亡两方面综合加以研究分析, 才能比较客观全面的探索重建造山带形成与演化的真实进程。以下仅就几个问题作一简要介绍讨论。

1) 造山带的岩石地层研究

大陆地质研究最新进展证明, 造山带的岩石地层不仅是多期变质变形, 形成复杂的不同变质地体, 包括块状变质杂岩系和层状变质岩系, 失去其原岩地层特点, 而且常常以脆性断层或韧性剪切带为界面, 形成多层次拆离滑脱构造、逆冲推覆构造、走滑剪切构造、伸展构造和地体构造等等, 发生等级、规模不等的位移旋转、迭加变质变形、拼贴迭覆。因此应特别指出, 大陆造山带的岩石地层研究, 不但不能简单一般采用沉积岩区方法, 且也不能仅只按照通常变质岩石学方法恢复原岩建立层序, 而必需以新的大陆造山带学术思路为指导, 首先进行系统构造研究^[32], 其中最主要的是: ①通过精细构造研究, 确定基本构造格局与构造型式, 正确认识划分不同板块和构造岩片、岩块、推覆体、微型地块或地体, 进而依据各自不同特征, 分别进行研究, 恢复追索建立各自的岩石地层单位与层序, 并加以区域对比; ②造山带的中深构造层次, 强烈构造置换与变形, 岩石普遍发生固态流变, 形成不同尺度和强度的剪切流变褶叠^[33], 岩层已非原状, 不具原始沉积地层层序意义, 在这种情况下, 最重要的是识别划分构造岩石地层单位, 准确建立构造岩石单位, 而后再进行岩石地层恢复重建; ③正确认识与处理造山带中原生地层层序与新生构造岩石单位关系, 以及不同地质体、块体的构造岩石地层单位间的关系与对比, 是一个极重要的研究课题, 这不仅对于区域地质填图, 而且对于造山带基础研究都是至关重要的。

2) 古海盆恢复研究

造山带古海盆恢复研究, 关键在于确定古海盆性质、类型、规模及其发展演化。关于古海盆研究自板块学说兴起和沉积岩石学与大陆边缘地质学迅速发展以来, 有重大进展和大量文献可资学习、借鉴与运用, 不再赘述。这里仅强调: ①古海盆研究应以活动论为指导, 以构造为主线, 以沉积学, 包括火山岩石学研究为主要内容, 结合区域地质构造、蛇绿岩、地球化学与同位素年代学、古地磁学等多学科综合研究, 研究沉积体系与岩相古地理, 特种岩类及其形成构造环境^[34,37], 研究火山岩石学与地球化学及其形成构造环境, 研究古生物地层学、构造地层学、地震地层学与层序地层学^[35], 进行不同沉积体系划分, 识别其形成的不同构造背景, 探索沉降盆地形成过程, 进行盆地分析, 判定古海盆性质, 查明其是否发

育不同性质的古大陆边缘, 有无大洋, 什么样的大洋, 广阔大洋或有限窄大洋还是小洋盆, 或者只是陆表海、残余海盆, 而后动态恢复古海盆及其演化; ②古海盆研究需要有活动论的恢复重建。对于大陆造山带而言, 应特别充分考虑到在大陆岩石圈动力学背景下古海盆、古板块、古地块、微型地块、地体的多种多样古地理环境^[34,36]和极其复杂的古构造组合与发展演化, 因此需要从具体造山带的具体实际出发分析研究, 恢复其共同与特有的古海盆形成与演化特征, 采用多种方法编制出活动论的演化古图, 这也是九十年代国际岩石圈计划中的重要内容之一。

3) 大陆造山带蛇绿岩系研究

蛇绿岩从六十年代到八十年代一直是热门的研究课题。认为大陆造山带的蛇绿岩是造山带板块俯冲碰撞造山的可靠证据, 是洋壳的残片。但是从都城秋穗最初提出新见解^[38]到八十年代中后期以来关于大陆造山带中的蛇绿岩的最新研究, 认识上有了新的明显变化。新的研究的最大进展是愈益普遍认识到蛇绿岩可以形成于不同构造环境下, 有不同的类型, 如大洋中脊型、岛弧型、边缘海型等。或按地球化学特征划分为高钛、低钛、非常低钛、(boninitic)^[39-43], 有的作了更洋细划分 (Leitch 1984)。不同类型的蛇绿岩具有不同的岩石组合与地球化学特征及形成机制, 具有具体不同的地质意义。这样就把蛇绿岩的概念, 地质意义延伸扩大深化, 使其研究发展到一个新的阶段, 标志着以新的思路和观念, 重新认识研究大陆造山带中残存的镁铁质与超镁铁质岩石及其组合, 探究其岩石学与地球化学特征、变质变形特征、构造形态与产出状态、构造就位机制及其类型与在造山带中的地质演化意义, 其中研究不同类型蛇绿岩的岩石学与地球化学特征及其判别标志, 陆缘型蛇绿岩与岛弧火山岩的关系与区分, 形成机制与地质含义就是当前需要的重要研究课题。总之蛇绿岩按大陆造山带中的镁铁质和超镁铁质岩石组合的广义概念理解与新的探索, 仍是大陆造山带和板块构造研究中最重要的基本研究内容, 具有特殊重要意义, 仍有很多科学问题有待深入细致研究。

4) 大陆造山带中的花岗岩

造山带中广泛发育不同时代、期次和不同成因与类型的花岗岩, 包括有造山环境下生成的和非造山环境下生成的, 并在时空上呈有规律的分布与演化, 为造山带形成与演化研究提供了大量重要信息和动力学的特殊证据。岩石圈板块运动及陆内块体间的运动及其相互作用, 导致壳幔、壳内物质的相互作用与分异交换, 其中花岗岩就是其主要产物之一, 而造山带正是这一过程的集中表现, 因此花岗岩成为造山带的真实地质记录, 加之它与地壳的演化及成矿作用密切相关, 所以造山带中花岗岩历来受到重视, 也是现代大陆造山带研究的重要基本内容。

七十年代以来, 用板块构造俯冲碰撞造山观点和广泛应用稀有稀土元素及同位素地球化学方法, 使花岗岩研究有重要进展, 形成一系列新观点、新认识和新的不同分类方案, 诸如有关花岗岩的成因、物源、定位机制及形成环境等, 分类上出现了有代表性的花岗岩 I 型、S 型、M 型和 A 型分类, 以皮尔斯为代表的按形成构造环境的洋脊、火山弧、板内和碰撞带花岗岩的四大类十三亚类的划分 (Pearce 1984) 及国内涂光炽、徐克勤、莫柱逊等的不同成因分类等^[44,45,46]。尤其值得特别重视的是花岗岩研究的重要新进展, 已使人们现在不仅把花岗岩当作岩体, 而且从其与岩石圈形成演化的内在关系, 把花岗岩当作地质体, 进行花岗岩的岩石学、地球化学、成因、形成机理、定位机制与形成构造环境, 以及其同位素年