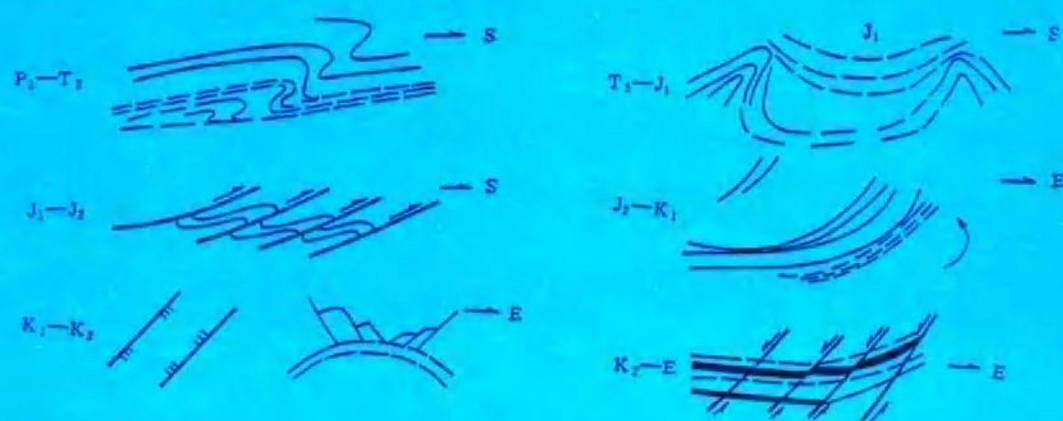


中国东部内蒙古-燕山造山带晚古生代晚期—中生代的造山作用过程

王 瑜 著



地质出版社

学(北京)

8.22

101

中国东部内蒙古-燕山造山带 晚古生代晚期—中生代的 造山作用过程

王 瑜 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以造山带的造山作用过程为主线,以变形演化、岩浆热事件、沉积作用和变质作用过程为依据,并以时-空四维空间的演化序列作为重塑造山带演化历史的根本手段,在造山不同深度层次的构造变形及变形机制、动力学分析的基础上,进行造山带造山作用过程及动力作用过程的研究。

本专著将内蒙古和燕山地区的构造演化有机地结合起来,在研究造山带古板块构造问题的基础上,全方位地论述了晚古生代晚期—中生代不同空间、不同时间的构造格局、运动学特征、造山极性和不同层次的动力作用过程,早期褶皱推覆和晚期冲断推覆的叠加改造,不同阶段的收缩作用、伸展作用、平移作用及相伴随的沉积作用、岩浆作用和变质事件,东西向欧亚构造域和北东向西太平洋构造域的叠加及二者的空间转换时间、特征。通过综合分析,对该地区造山作用的全过程、造山带的演化及其动力学提出了新的模型。

本书是作者对一个争议颇多、几何形态复杂的造山带进行艰苦劳动的结晶。其内容丰富,论述清晰,具有特色,可供地质学领域科研工作者、院校师生及野外地质工作者参考、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

中国东部内蒙古-燕山造山带晚古生代晚期—中生代的造山作用过程/王瑜著.

-北京:地质出版社,1996.7

ISBN 7-116-02201-5

I. 中… II. 王… III. 褶皱带-造山运动-古生代~中生代-中国-华北地区 IV. P548.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 12839 号

地质出版社出版

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:张荣昌 王璞

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 铜版:4 页 字数:218000

1996 年 7 月北京第 1 版 1996 年 7 月北京第 1 次印刷

印数 1—500 册 定价:12.00 元

ISBN 7-116-02201-5

P.1650

前 言

地质学研究是一个以实践为基础的不断思考和不断创新的过程,是一个把残存的混杂的个别现象串联起来反演其本质的认识过程。造山带的演化过程及其动力学的研究正是建立于这一思维结构之上的。

科技的进步导致新的构造概念和模式不断涌现。但任何一个造山带或大陆岩石圈演化过程及其动力作用的研究,都必须强调演化过程、时间序列、四维空间、多角度分析、尊重客观证据、思考与超越的并举。本书正是以此思路完成的。

内蒙古-燕山造山带是以内蒙古高原、燕山山脉为主体所构成的一个长期演化的地质单元。中生代以来的地质演化受到了西太平洋板块俯冲作用的叠加和改造。造山作用过程的时间、空间跨度比较大。本书把争议颇多的内蒙古、燕山两地区结合起来作为一个构造地质有关联的整体进行了研究。

本书是在博士学位论文的基础上,又进行了几次野外工作、室内年代学测试和大量资料的补充及修改而完成的。作者十分感谢中国地质科学院地质研究所任纪舜研究员给予的指导和帮助,这是本书所以能面世的前提条件。

在本书的完成过程中,先后得到过许多前辈、同行、朋友的指导和帮助。在野外工作中,中国地质科学院地质研究所李锦轶博士、和政军博士,以及中国地质大学(北京)地质矿产系李述靖教授、高德臻副教授、张维杰讲师、赵国春讲师、蒋干清博士、郭华博士等给予了帮助。在室内工作中,先后得到中国地质科学院研究生部诸位老师,中国地质科学院地质研究所K-Ar室,中国科学院地质研究所任胜利博士,中国地质大学(北京)磨片室、探针室、绘图室以及国家地震局地质研究所同位素室等的大力协助。

在成文过程中,中国地质大学(北京)吴正文教授、王鸿祯教授(院士)、孙善平教授、邓晋福教授、莫宣学教授、李述靖教授、宋鸿林教授,中国地质科学院地质研究所姜春发研究员,中国科学院地质研究所李继亮研究员,国家地震局地质研究所马宗晋研究员(院士),北京大学地质系钱祥麟教授、郑亚东教授、李茂松教授,西北大学地质系车自成教授等先后提出了许多宝贵意见和给予了热情鼓励。

地质出版社张荣昌先生为文字的润色、章节编排等花费了大量的时间,并提出了许多宝贵的意见。

值此,对上述诸老师、同仁一并表示诚挚的谢忱。

纵观本书,对于内蒙古-燕山造山带这样一个地形及地质构造均较复杂的地区,书中只能提供其演化历史过程的一部分。作者提出了许多重要的大陆造山带、大陆动力学及岩石圈演化的论点,并试图对一些地质规律提出合理的解释,祈求能在地质理论方面有所突破和创新。但由于水平有限,加之经验不足,定然存在疏漏,望有关同行给予热情的指正或进行商讨。

作 者

一九九五年十一月

目 录

前言

第一章 概论	(1)
一、大陆造山带的研究现状	(1)
二、研究的意义	(3)
三、研究思路	(4)
四、新的进展和重要的认识	(5)
第二章 内蒙古—燕山地区的古板块构造问题	(10)
一、不同类型蛇绿岩带的空间分布.....	(10)
二、岛弧火山岩、侵入岩及沉积岩的分布特征	(15)
三、西伯利亚与中朝大陆之间的板块俯冲作用特点.....	(16)
四、俯冲结束、碰撞开始的时间范围	(17)
五、板块碰撞的类型.....	(17)
六、造山带中次级构造单元的空间划分.....	(19)
第三章 造山作用过程中的沉积盆地特征	(21)
一、残余弧后盆地.....	(22)
二、磨拉石沉积盆地.....	(27)
三、早侏罗世上叠式含煤盆地.....	(29)
四、晚侏罗世—白垩纪断陷盆地.....	(30)
五、内蒙古—燕山造山带中的沉积盆地演化特征	(30)
第四章 内蒙古造山带的弧后及碰撞带的变形几何形态	(32)
一、残余弧后盆地及岛弧火山岩地区的变形几何形态.....	(32)
二、碰撞带中弧盆地的变形几何形态.....	(35)
三、苏尼特左旗—贺根山碰撞带核部的变形几何形态	(38)
四、白云鄂博韧性剪切及逆冲断裂带.....	(46)
五、温都尔庙—西拉木伦河构造带的韧性剪切、冲断带	(50)
六、碰撞带及岛弧区的构造格局.....	(50)
第五章 内蒙古南部—燕山地区中侏罗世前的构造格局	(52)
一、褶皱变形.....	(55)
二、深层高温韧性剪切带的几何形态及逆冲推覆构造格局.....	(59)
三、内蒙古南缘—燕山地区的构造格局.....	(68)
第六章 内蒙古—燕山地区 NE 走向的构造格局	(71)
一、内蒙古—燕山地区沉积、岩浆作用的特征	(71)
二、燕山地区 NE 向变形的几何形态	(72)
三、内蒙古地区 NE—NNE 向变形的几何形态	(74)
四、辽西、辽东地区 NE 向变形的几何形态	(76)
五、内蒙古—燕山地区 NE 向构造特点及大地构造格局.....	(80)

第七章 造山带的运动学特征及时间演化	(81)
一、内蒙古-燕山造山带的造山极性及其运动方向	(83)
二、造山带形成演化的时间序列分析	(89)
三、造山带不同单元、不同层次的收缩作用及其规模	(97)
第八章 造山带形成过程中的深部韧性作用及其力学分析	(100)
一、不同类型和产状糜棱岩的分布特征	(100)
二、韧性剪切带的几何形态和显微变形构造的分析	(101)
三、内蒙古-燕山地区晚古生代晚期—中生代的变质作用	(102)
四、韧性剪切带形成的压力、温度条件	(103)
五、韧性剪切带形成过程中糜棱岩的岩石、矿物成分的变化	(106)
六、韧性剪切带形成过程中能量(应力、热)的存在特点及传递	(109)
第九章 造山带形成过程中的岩浆热作用及大地构造属性	(114)
一、不同的火山岩和花岗岩系列形成年龄划分的归类	(114)
二、不同类型的火山岩、花岗岩与同时期构造演化过程的对应性	(116)
三、不同时代的火山岩、岩浆岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值所反映的岩浆背景	(118)
四、其它的岩石化学、地球化学分析的支持	(121)
五、内蒙古-燕山造山带造山过程中下地壳及上地幔的热结构	(122)
六、热结构与中上地壳变形之间的关系以及变形演化—岩浆作用间的应力传递	(124)
第十章 造山带的造山作用过程及动力学分析	(125)
一、内蒙古-燕山造山带的造山作用	(125)
二、周边的构造作用	(126)
三、造山作用中变形过程的连续性	(129)
四、燕山构造带的形成	(130)
五、古欧亚构造域向西太平洋构造域的转化	(130)
六、中国东部内蒙古—燕山地区构造格局分异的时间范围	(131)
七、岩石圈不同圈层之间的热-动力作用行为	(131)
八、洋壳消失、陆壳增生与分解转化之时-空四维垂直、水平运动的分析	(132)
参考文献	(133)
英文摘要	(136)
图版说明	(143)

Contents

Preface

Chapter 1 Outline	(1)
1 Current research improvement of the continental orogenic belts	(1)
2 Significance	(3)
3 Research thought	(4)
4 New viewpoints and breakthrough	(5)
Chapter 2 Ancient Plate Tectonics of the Inner Mongolia-Yanshan Orogenic Belt	(10)
1 Distribution of different type ophiolitic suites	(10)
2 Distributed Characteristics of island arc volcanics, intrusive rocks and sediments ...	(15)
3 Subducting features between Siberian and Sino-Korean Plates	(16)
4 Ages of the end of subduction and initiation of collision	(17)
5 Style of plates collision	(17)
6 Subdivision of tectonic units in the orogenic belt	(19)
Chapter 3 Features of Sedimentary Basins in the Orogenic Processes	(21)
1 Relict back-arc basins	(22)
2 Molasse basins	(27)
3 Up-piled and syn-orogeny rift basins of Early Jurassic	(29)
4 Rift-depressional basins of Late Jurassic—Cretaceous	(30)
5 Evolutional characteristics of basins within the Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt	(30)
Chapter 4 Deformational Geometry of Back-Arc Basins and Collisional Belt in the Inner Mongolia Orogenic Belt	(32)
1 Deformational geometry of relict back-arc basins and island arc areas	(32)
2 Deformation of the island-arc basins in collisional belt	(35)
3 Deformation of the core of collisional belt	(38)
4 Ductile shear and thrust zones in Baiyunebo area	(46)
5 Ductile shear and thrust zones in Wenduermiao-Xilamulonghe fault zone	(50)
6 Tectonic framework of collisional zone and island arc areas	(50)
Chapter 5 Tectonic Framework of South of the Inner Mongolia-Yanshan Orogenic Belt Prior to Middle Jurassic	(52)
1 Fold deformation	(55)
2 Geometry of ductile shear zones under lower levels with high temperature conditions and thrust systems	(59)

3	Tectonic framework of south of the Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt	··· (68)
Chapter 6	NE Trend Tectonic Framework	····· (71)
1	Sedimentary and volcanic characteristics of NE trend tectonic belts in Inner Mongolia, Yanshan and Liaoning	····· (71)
2	NE—NNE trend deformation of Inner Mongolia	····· (72)
3	NE trend deformation of Yanshan area	····· (74)
4	NE trend deformational framework of Liaoning Province	····· (76)
5	NE trend tectonic characteristics and framework in Inner Mongolia and Yanshan areas	····· (80)
Chapter 7	Kinematic Features and Time Sequences of Orogenic Belt	····· (81)
1	Orogenic vergence and moving direction	····· (83)
2	Analysis of time sequences	····· (89)
3	Shortening features and scales in different tectonic units and crustal levels	····· (97)
(1)	shortening of collisional zone	····· (97)
(2)	shortening of relict back-arc basins	····· (98)
(3)	shortening of south of Inner Mongolia and Yanshan	····· (98)
(4)	shortening of northeastern trend continental margin during Late Jurassic—Early Cretaceous	····· (98)
(5)	Differences between extending and shortening scales	····· (98)
(6)	Shortening of the various crustal levels and three dimensional comparison of strain within the orogenic belt	····· (99)
(7)	Time restrict for strain ratio, extension and compression in orogenic processes	····· (99)
Chapter 8	Ductile Shearing and its Dynamic Analysis in Orogenic Processes	····· (100)
1	Distribution of mylonites with different types and states	····· (100)
2	Geometry of ductile shear zones and microstructural characteristics	····· (101)
3	Metamorphic features from Late Paleozoic to Mesozoic	····· (102)
4	Forming conditions (pressure and temperature) of ductile shear zones	····· (103)
5	Changes of mylonitic compositions during the formation of mylonites	····· (106)
6	Characteristics of energy (stress, hot fluid etc.) and its transmission during the formation of ductile shear zones	····· (109)
(1)	energy transmission	····· (109)
(2)	ductile shear heat fluid	····· (112)
(3)	three dimensional stress-strain and deformation analysis of ductile shear zones	····· (112)
(4)	ductile shear zones in different environments and their stress features	····· (113)
(5)	styles of stress or energy transmission in deformation with different sites and levels	····· (113)

Chapter 9 Magmatic Events and Their Tectonic Properties in Orogenic Processes	
.....	(114)
1 Volcanic and granitic classification by formation ages	(114)
2 Correspondences between different magmatic events and tectonic evolutionary processes	(116)
3 Magmatic background illustrated by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratios	(118)
4 Lithochemical and lithopetrological analysis	(121)
5 Hot texture and structure of the lower crust and the upper mantle during the orogenic processes	(122)
6 Relationship between the crust-upper mantle hot state and the mid-upper crust deformation, stress transmission medium	(124)
Chapter 10 Orogenic Processes and Dynamics	(125)
1 Orogenic processes of the Inner Mongolia—Yanshan orogenic belt	(125)
2 Tectonic dynamics in the adjacent areas	(126)
3 Continuity and episode of deformation and evolution during the orogenic processes	(129)
4 Formation of Yanshan tectonic belt	(130)
5 Tectonic territory transformation from Eurasia to the west Pacific	(130)
6 Time restrict of tectonic framework transformation for Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt	(131)
7 Hot and dynamic activated styles among lithospheric levels	(131)
8 Vertical and horizontal movement transformation in time-space dimensions	(132)
References	(133)
English Abstract	(136)
Photographic Illustration	(143)

第一章 概 论

一、大陆造山带的研究现状

大陆造山带的几何形态及其物质组成是研究地球演化过程的一个重要窗口。从一条造山带的演化过程中可以追溯某一区域地球不同圈层演化的一个或几个阶段,亦即变化着的时间—空间领域。60年代,板块构造学假说给全球地学界带来了一场革命,其意义不仅在于对全球大地构造学观念的一些否定和重新认识,而且给人们提供了一种系统认识地球演化动力及其演化特征的新理论。70年代以来,板块构造假说应用于大陆地质演化中,人们获得了许多大陆边缘及造山带构造的新认识。这不仅反映在对造山带几何形态的重新描述,更为重要的是重新评价和了解造山带的造山作用过程(orogenic processes)。70年代中期(1974年),COCORP计划对美国阿巴拉契亚山的地球物理研究,在所谓的阿巴拉契亚山结晶轴的Blue Ridge(蓝山)之下,发现了一条巨大的近水平的逆冲拆离断层。该断层使前寒武纪变质岩系远距离地推覆于下古生界之上。这一重大发现,随即引起全球(首先是欧美)对逆冲推覆构造研究的高潮(F. A. Cook et al., 1978; D. Elliott and M. R. W. Johnson, 1980; P. E. Gretener, 1981; R. A. Price, 1981)。对大规模低角度正断层(G. A. Davis and G. S. Lister, 1988)、大规模韧性推覆剪切带(N. A. Mattauer, 1980; R. G. Gibson and D. R. Gray, 1985)、薄皮构造、前陆逆冲扩展等的研究给造山带某些构造单元或构造形态的研究提供了新的视角。尤其是使造山带的变形研究“更侧重于在造山带挤压体制下形成的褶皱和断层”的认识扩大到不同体制下构造的研究,以及不同作用体制下的造山作用,诸如收缩构造造山、伸展构造造山、走滑造山及隆升造山等的研究。特别是突破了以往单纯性的从几何形态到动力学分析的模式,进而渗透进了造山作用过程的概念。这些研究使得对造山带的演化分析得以向定量化过渡,如变质核杂岩(G. S. Lister and G. A. Davis, 1989)、推覆构造、韧性剪切带以及平衡剖面复原等的集几何形态、运动过程、动力学为一体的模式。后造山伸展的萌生、鳄鱼构造、热涌与拆沉构造、三明治及多明治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,使得地质学家们透过板块构造的“光环”开始认识大陆岩石圈中不同时期、不同层次演化的过程,并寻求地球演化的真谛。因而大陆动力学的研究正广泛开展(A. Phinney, et al., 1989)。

所有这些研究领域的突破都包含着对一些造山带几何形态的重新描述,或者对造山作用过程中几个构造事件的重新认识。倘若将这些变形研究与造山带的整个演化过程相结合,并与其完整的几何形态和构成这些几何形态的三维空间的物质相联系,借以重现造山带的动力作用过程,看来还相差甚远。因此国际地质学界,尤其是岩石圈演化研究较先进国家的地质学家先后提出了“大陆动力学”的研究(A. Phinney, et al., 1989),并付诸以实施。大陆

造山带、陆壳的形成、大陆岩石圈不同圈层的演化等的研究方兴未衰(P. F. Hoffman, 1990; V. G. Krishna, 1992; P. T. Tackley, 1993)。目前,一些新的研究领域涉及大陆岩石圈及其边缘的构造、大陆地壳的形成与演化、下地壳及上地幔的构造作用过程和动力学机制等。这涉及到一些新的探测技术和实验手段,如变质作用过程中和造山作用中的 P-T-t 轨迹,岩浆作用的物理过程等新的研究课题。这些必将为大地构造学及全球动力学(而非大陆动力学)的研究提供新的理论和演化模式。

目前,对于造山带的分类主要有如下几类:

- (1) J. F. Dewey 和 J. M. Bird (1970):
 - 大陆边缘岩浆弧造山带
 - 岛弧造山带
 - 陆-陆碰撞形成的碰撞造山带
 - 大陆-岛弧碰撞形成的碰撞造山带
 - 蛇绿岩仰冲以至变形的造山带
- (2) V. E. Rhain (1984):
 - 大陆边缘造山带——仰冲造山带
 - 大陆之间造山带——碰撞造山带
- (3) A. M. C. Sengor (1990):
 - 转换挤压型造山带
 - 不对称转换挤压型造山带
 - 转换挤压型造山带
 - 与俯冲有关的造山带
 - 张性岩浆弧造山带
 - 中性岩浆弧造山带
 - 压性岩浆弧造山带
 - 碰撞造山带
- (4) 杨巍然 (1991)*:
 - 岩石圈“大开大合”俯冲造山带
 - 碰撞造山带(小开小合)
 - 断裂造山带(顺层开合)
 - 推覆造山带(切层开合)
 - 断块造山带(地体开合)
 - 增生造山带
- (5) 崔盛芹 (1994)*:
 - 大洋造山带
 - 洋底挤压型——洋内岩浆岛弧造山带
 - 洋底扩张型——全球洋脊造山带、洋底滑移型造山带
 - 大陆造山带
 - 陆缘型
 - 被动陆缘型造山带
 - 活动陆缘型造山带
 - 陆间型——俯冲、仰冲、碰撞造山带
 - 陆内型
- (6) 李继亮 (1995)*:
 - 环太平洋型造山带(岛弧造山作用形成)
 - 阿尔卑斯型或喜马拉雅型造山带(碰撞造山带)
 - Ganos Dag 型或阿尔金型造山带
 - 大洋岛弧型造山带(大洋岩石圈板块与大洋岩石圈板块汇聚)

* 据 1995 年中国地质学会构造地质专业委员会“大陆岩石圈构造学术讨论会”会间报告。

所有这些分类都是从造山带的形成位置、性质等考虑划分的,但对于一个造山带的形成来说是不完善的。造山带是在一定的动力作用下,经长期演化(时间)包括沉积与变质,也包括热演化(岩浆作用)和运动学过程所形成的多期、多层次、不同方向的几何形态和物质组成,并具有不同方向收缩造山极性的统一体,决不能摘其某一阶段或某一构造时期的构造就称为一个造山带。造山作用包括了地壳的增厚及上升剥蚀的过程,板块边缘(或大陆边缘)存在造山作用,在远离板块边缘的地方同样也具有大规模的造山演化。造山作用过程涉及到造山带及相邻区域的三维几何形态、四维时-空格局及不同时期、不同层次、不同方向的运动学特征;并涉及到长时间的演化进程中沉积、构造、岩浆、变质等事件;也同样涉及地壳深层物理场、物质流变、成分变化、应力传递等作用过程。因此,造山过程是一个综合过程。

中国的造山带有其丰富的内涵,与世界诸多造山带一样有着相似的发展演化过程。几十年来,中国的地质工作者(尤其是构造变形的研究者)在对先辈的观点证明与反驳中,在验证国外的理论假说中,建立起一系列造山带的演化模式和思维方式。由于重视了某一方面的描述,或以某种观点去筛选资料,得出的结论往往不免偏颇。

任何造山带的演化过程及其动力学分析都依赖于造山带几何形态即构造格局的正确描述,以及对沉积、变质、岩浆作用演化过程的正确研究。其中沉积作用的研究可提供造山带及相邻地区地壳变动的规模及时间的制约因素;变质、岩浆作用的研究提供深部热作用条件。研究组成造山带基本物质结构的地球化学和地球物理特征,它的空间几何形态变化过程以及确切的时间演化序列,亦即时-空四维空间($t-x-y-z$)的演化过程,是重塑造山带演化的根本手段。没有时间概念而研究造山带,就没有必要奢谈运动学过程和造山演化。一个造山带的研究,如果只注重于构造单元的划分,构造格局的分析和认识,单纯对某一造山带的某一段时间的演化过程而建立模式,则难以解决大陆造山带及岩石圈的根本问题,如上地壳的褶皱、断裂与中地壳的脆性-韧性变形之关系,中、下地壳的变形及演化与上地幔的热演化、地幔的不均一性以及上地幔的演化过程的关系等。

二、研究的意义

以内蒙古高原、燕山山脉为主体所组成的中国东部内蒙古-燕山造山带是一个以太古宙—早古生代演化为背景,以晚古生代晚期—中生代演化为主体而形成的复合型造山带。北侧以贺根山—索伦山一线为界与蒙古高原为邻,西侧相连于北天山-哈萨克斯坦构造带,向南进入稳定的中朝大陆板块,而向东则被辽河平原及西太平洋活动大陆边缘所截(图 1-1)。

内蒙古-燕山造山带造山作用过程包括了晚二叠世以来(亦即传统所称的“晚海西”运动以来)西伯利亚和中朝陆块之间洋盆的消失,陆-弧-弧-陆的碰撞、拼贴及整个碰撞过程和其后长期的岩石圈各圈层的收缩作用、伸展作用、平移-剪切作用、深层次的韧性剪切滑脱作用,以及下地壳—上地幔的热事件、伴随的岩浆作用和变形-变质作用的全过程;也包括从欧亚岩石圈地球动力学体系向西太平洋动力学体系的转化过程,其间可能还包括有特提斯构造域动力体系的作用过程。

内蒙古—燕山一带经受到了西伯利亚、中朝大陆之间的相互作用,以及环太平洋板块动力的作用,也有可能还受到印度板块的作用等所有块体之间合力的共同影响。重塑这一造山带的形成过程,对于探讨中国东部大陆岩石圈的演化,两个不同动力学体系之间的作用特

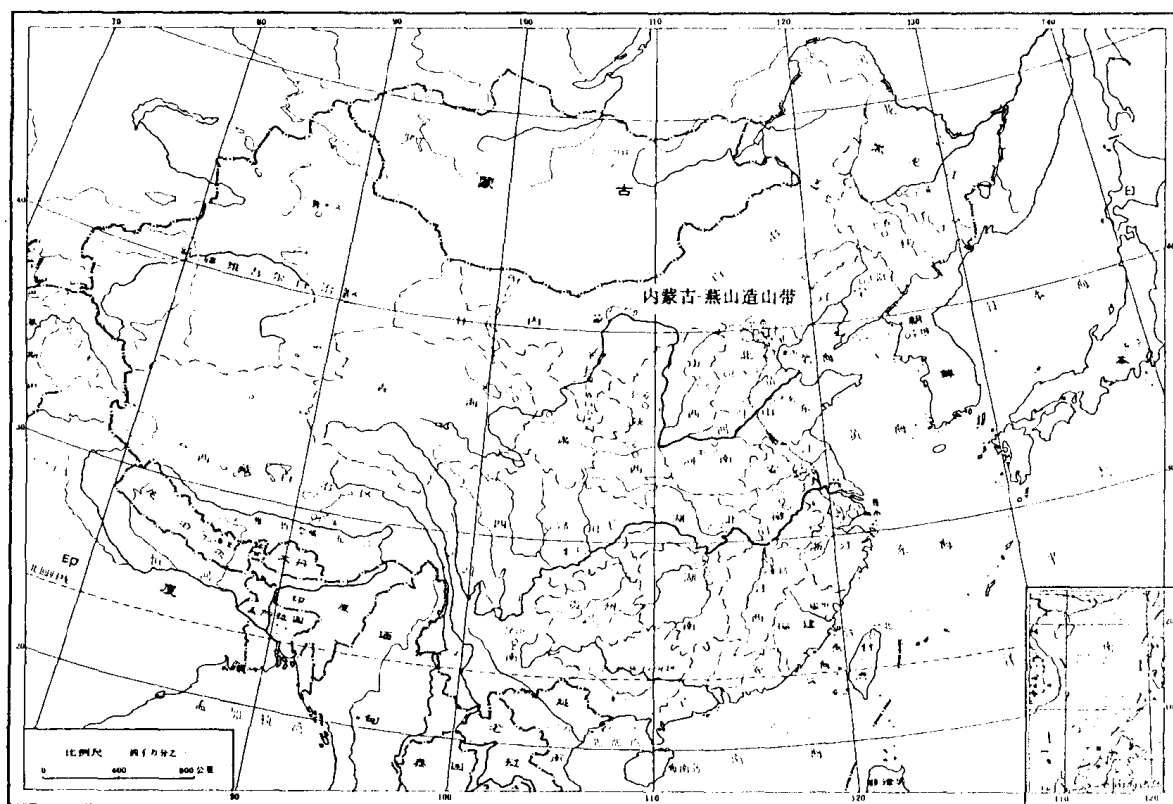


图 1-1 内蒙古-燕山造山带位置图

Fig. 1-1 Tectonic site of the Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt

地理底图为 1981 年 6 月地理出版社出版

点,特别是对于了解全球动力作用过程有着十分重要的理论意义和经济、现实意义。而且对于内蒙古-燕山造山带的研究,可提供丰富的和系统的理论模式。

三、研究思路

板块构造理论假说应用于大陆造山带的研究以来,中国学者对内蒙古地区的地质演化历史的研究做了大量的工作,但主要的集中于找寻有关中朝板块和西伯利亚板块之间的缝合线位置,以及残存的蛇绿岩等(刘家义,1983;胡晓等,1990;邵济安,1991;王荃等,1991;唐克东等,1992;内蒙古自治区区域地质志,1991);另外一些学者对该带的演化提出了一些看法(王鸿祯等,1981;李春昱等,1982、1983;任纪舜等,1990)。对于燕山构造带的研究,已有上百年的历史,尤其是以其命名的“燕山运动”而闻名。燕山运动(或燕山造山运动)是翁文灏先生于 1926 年在第三届太平洋科学会议上首次提出来的。其后,一直有人对此带太古宙—白垩纪期间的演化历史、沉积变质和构造变形加以研究,特别是对该带燕山运动期次的划分、构造-沉积特点、时-空间演化以及它的影响范围,是否存在有印支运动等有过一定的阐述(黄汲清,1945;赵宗溥,1959、1959、1963;潘广,1963;环文林等,1982;崔盛芹、李锦蓉,1983;鲍亦冈等,1983;聂宗笙,1985;李之彤、赵春荆,1985;任纪舜,1987;任纪舜等,1980、1990)。

尽管如此,对内蒙古地区晚古生代晚期—中生代的构造演化仍然了解的较差,对于燕山

构造带的形成、演化也没有深入的研究。横跨西伯利亚板块和中朝板块之间的这一区域,遭受过挤压、拉张及剪切作用。由于构造应力的变化、大地构造域的转变,该地区中下地壳物质与浅层次物质均有出露,其演化时间长,构造变形、沉积、岩浆作用复杂,许多问题均有待研究。内蒙古—燕山地区有一系列问题没有得到解决。主要集中于:

1. 作为西伯利亚与中朝板块最终“焊合”而成为统一的欧亚巨板块的接合地带一侧的兴蒙带,自从洋壳消失以后,两大板块之间发生了怎样的碰撞?其碰撞特征、时-空间展布如何?

2. 作为一个巨大的内蒙古-燕辽造山带,其几何格局、运动学特征如何?经过怎样的动力学演化过程?以及该造山带形成有何突出的动力学特点?

3. 作为欧亚动力学体系与西太平洋俯冲动力学体系的交叉复合部位的内蒙古-燕山造山带,它们之间的交叉、相互作用的时-空展布有何特点?

4. 该造山带的三维演化过程及其上地壳—中地壳的变形与中—下地壳和上地幔的热、作用力演化之间的关系如何?

5. 造山带中不同层次的构造样式,伸展、挤压、水平剪切等体制的转化是在怎样的造山过程中的热动力条件下及大陆岩石圈动力学机制下形成的?

大陆造山带是地球科学家一直研究的主要课题,而造山带的动力学及其造山作用过程则是研究的根本目的。有相当多的人认为中国北方海洋板块消失之后,内蒙古—燕山地区的构造变形及造山作用已经是非常简单的了。并且认为该区已进入陆内造山阶段(肖序常等, 1991、1992)。以往对内蒙古带的研究只是集中于寒武纪以来至晚古生代海洋板块的俯冲、消减、拼贴、增生,找寻海洋板块残存的蛇绿岩套及相关的层位并恢复其演化为主要目的,从而找寻出若干条蛇绿岩带或板块缝合线,涉及的时间局限于寒武纪—早二叠世(王荃等, 1986; 肖序常等, 1991)。

然而,恰恰是这样的研究和分析,并没有解释洋壳消失以后,大陆板块是如何继续作用的?有无类似喜马拉雅山或阿尔卑斯山,或阿巴拉契亚型的碰撞带? P_1 之前是造山过程还是非造山过程? P_2 — K 时又是怎样的演化形式以及它属于怎样的动力环境或大地构造单元?后续的动力作用特点又怎样,不得而知。内蒙古—燕山地区广泛的大规模的变形是否与板块碰撞有关?洋壳消失后,板块边缘及大陆内部的深部构造、物理作用是什么?变形扩散为何延长从晚古生代末一直到中生代中晚期?应力扩散、应力传递又是怎样的一种力学行为?蒙古弧又是如何形成的?很明显,对于洋盆消失之后,陆块与火山岛弧之间发生的碰撞汇聚以及被陆内会聚强烈改造的碰撞带来说研究是远远不够的,何况无论是俯冲带还是碰撞作用总是具有着强烈过程(processes)的概念。两大陆块之间洋壳的俯冲(subduction)从开始发生到洋壳的完全消失是一个漫长而又连续的过程(J. G. Dennis et al., 1979)。同样的,碰撞从陆块和岛弧相接触或陆块与陆块相接到应力消失,直到动力学体系的转换同样是一个过程。而这二者之间是连续发生的两个事件。以往的研究思路和工作成果并不能完整地概括造山带形成演化的全过程;也不能完全反映相互碰撞的不同地块、陆块在造山带中的变化,以及它们的不同动力作用、运动方式和变形特点。因此,毫无疑问直接影响着对整个区域构造格架(几何形态)、古板块边界性质和位置的后期变化改造、各类变质岩石、沉积盆地及岩相带的原始展布空间,以及造山带的动力学完整作用过程等的认识。同样,对于燕山及辽宁地区来说,以往的研究往往只局限于燕山山脉本身以及只注重于侏罗纪以来(亦即燕山运动

和喜山运动)的沉积、岩浆作用和变形演化,而对于 P_2-T 时的变形改造,与区域动力演化的关系,深部的韧性剪切、热事件等与中上地壳的构造变形的关系等这些动力学分析缺乏系统认识,甚至于对基本几何形态的正确描述都莫衷一是。

总的来说,燕山、内蒙古地区自晚古生代晚期以来,形成了不同层次的构造样式,并且形成了错综复杂的、独特的但却与世界其它造山带一样有规律的造山作用过程,而且透过构造的几何形态以及岩浆侵入作用,可以发现其特独的并和世界或全球造山带演化中相似的并且是相互关联的热动力条件和板块动力学机制、大陆岩石圈演化程式。

本书是以造山带的造山作用过程为主线,以变形演化、岩浆热事件、沉积作用、变质作用过程及其相互关系等为依据,利用宏观构造与微观变形的结合,变形构造与造山带组成岩体和沉积盆地的结合,对不同的构造、岩浆及沉积、变质各单元用时间的演化序列相联系,充分利用地球化学及地球物理资料,对内蒙古—燕山地区 $P-K$ 以来的造山全过程及成因机制的动力作用加以研究,揭示了造山带的形成和演化以及地球块体演化的动力学机制。

四、新的进展和重要的认识

内蒙古—燕山造山带造山作用过程的时间、空间跨度比较大,本书中把争议颇多的内蒙古和燕山两地区结合起来作为一个构造地质有关联的整体进行了研究。1992年8月中旬—10月中旬、1993年5月—11月进行了详细的野外工作,在室内样品分析、综合研究的基础上完成了博士学位论文。1994年8月—11月、1995年8月—9月又对关键地区进行了构造地质填图、沉积盆地和岩浆作用的野外观察与分析、岩石化学样和构造演化的年龄测定。在野外工作中,主要对于内蒙古中东部、燕山地区、太行山北段、辽宁等地区的造山带通过几条横穿大剖面进行了线上追踪和点上重点解剖的研究(图1-2);对重点区域的1:50000地质图进行了详细野外和室内研究;厘定了若干条不同层次、不同规模、不同方位延伸的大型韧性剪切带和逆冲、逆掩断层,并对其几何形态、运动过程、动力学特征和基本单元的元素作用过程进行了分析,研究了其形成的热动力条件和演化时代,并探讨和阐述了它们与深部及韧性剪切等作用的关系;对不同单元不同时代的岩浆作用过程进行了重新分析和认识。在室内分析中先后完成了近500个薄片的镜下观察;对燕山、太行山北段太古宙片麻岩中糜棱岩的形成年代用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄法进行了测定(2个);对内蒙古地区韧性剪切带的形成年代用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄法进行了测定(1个);对内蒙古—燕山地区不同类型糜棱岩的形成年龄用K-Ar法进行了测定(6个);对内蒙古地区白云母花岗岩的侵入年龄用Rb-Sr等时线法进行了测定(3个);变形与非变形岩体及花岗岩岩体全岩岩石化学分析等(11个),C/O同位素测定14个,单矿物电子探针分析点40个。通过上述分析和研究,取得了一系列新的进展和新的认识。

(一)造山带形成前的古板块俯冲-碰撞体制的重新认识

海水最终退出该区的时间为 P_1 末— P_2 早中期。板块俯冲-碰撞机制为活动大陆边缘与活动大陆边缘之间陆-弧-弧-陆的碰撞。西伯利亚与中朝两大陆板块并没有直接发生碰撞(collision)或拆离俯冲(underthrust)。碰撞作用始于 P_1 末— P_2 早期,强烈作用时期为 P_2-T_2 ;可以肯定以往所认为的古欧亚洋板块最后俯冲消失于贺根山-索伦山一带;其碰撞作用十分强烈地波及到南部的华北北缘古老地块及西伯利亚南缘。中下三叠统与下部地层为整

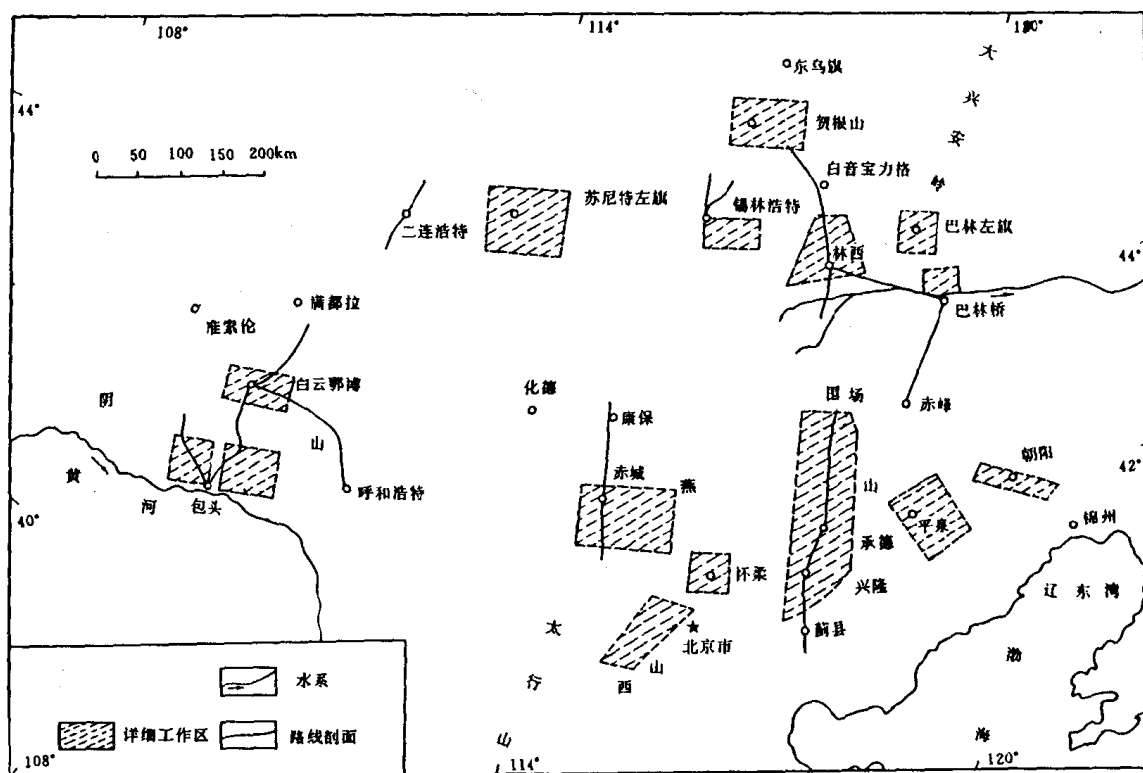


图 1-2 工作区路线图

Fig. 1-2 Diagram of working places

合或平行不整合接触,尤其是与上二叠统为连续过渡,上三叠统与下部地层为角度不整合接触。

(二)造山带几何形态的重新描述以及各自单元变形构造体制及形成过程特征的确定

1. 对于 $C-P_2$ 、 T 、 J_1-J_2 、 J_2-J_3 、 J_3-K 不同构造层位以及不同时限中褶皱变形的样式、形成机制给予了详细的划分,主要为韧性剪切面之上的滑脱型褶皱、韧性状态下的剪切褶皱、纵弯褶皱、伴随逆冲推覆作用过程的挤压-剪切型褶皱及其它一些不规则型褶皱。

2. 以时间演化序列和空间展布为主线,对区域内的不同变形块体进行了构造格局和单元的划分,分出碰撞带、弧盆地、扇状仰冲-韧性剪切叠置带、残余弧后盆地、安山岩浆-火山弧、活动大陆边缘多层次滑脱-逆冲叠置岩片及薄壳脆性冲断缩短带、上地壳旋转滑脱-叠置逆冲岩片带,组成了一复杂的构造-物质-时空的构造格局。具有造山带的早期深部韧性剪切、滑脱褶皱形成的褶皱推覆被晚期浅层次的脆性冲断-推覆叠加、造山极性方向明显的特征。

3. 从造山带的不同单元中分出不同层次、不同温压条件下的深、中、浅层韧性剪切带,并且分出高温高压-低应变速率型深层次韧性剪切带,低温低压-高应变速率型浅层韧性推覆剪切带和处于中间层次的韧性走滑、旋转滑脱带。探讨了不同层次的韧性剪切带之相关关系。

4. 确定了韧性剪切带的形成时间。E-W 向分布的韧性剪切带主要形成于 P_1 (与仰冲就位同时)和 P_2 (240Ma)— T_2 (200—195Ma); NE 向分布的韧性剪切带为 161—135Ma 时形成。韧性剪切作用方向主要为由北向南、由南向北和由南东向北西三种。

(三)重新论定了中国东部内蒙古—燕山地区的大地构造格局

1. 中—下地壳环境中形成的糜棱岩、麻粒岩、片麻岩的出露为韧性剪切、褶皱上拱、逆掩、逆冲联合作用向上叠置的结果。其形成可分三个阶段:a. 韧性剪切、滑脱褶皱;b. 可能的拉伸作用;c. 脆性逆掩、冲断上叠。该地区是在 P_2 以后抬升的。

2. 变形事件具连续性,构造域的改变表现出大的阶段性,如欧亚构造域向 NE 向西太平洋构造域的转换。

3. 三叠纪时中国东部内蒙古—燕山地区并非差异升降,而是其基底的强烈韧性剪切作用及相伴随褶皱造成的地壳抬升、剥蚀!大地构造格局的东西分异并非始于“印支运动”,而是从 J_2 的强烈的韧性旋转、滑脱作用开始的——上地壳在中下地壳之上发生不同层次滑脱旋转,相对稳定的基底的走滑造成上部地壳的滑脱旋转。构造动力学系统的转换特征亦就是西太平洋板块作用的动力学体系的真正开始,欧亚古动力体系的结束。

(四)盆地成因方面的分析

下二叠统沉积环境为岛弧环境的弧间及上覆盆地;上二叠统的沉积环境为残余弧后盆地;中、下三叠统磨拉石盆地为造山过程中形成的同褶皱磨拉石沉积,平行不整合于中奥陶统马家沟组等沉积层之上;下侏罗统含煤盆地为滑脱褶皱之上的上叠式盆地和断陷盆地,部分盆地的基底具有拉张环境中形成的玄武岩;中侏罗统为山间红色磨拉石沉积盆地;上侏罗统一白垩系为断陷盆地。

(五)内蒙古—燕山地区火山岩-花岗岩系列的形成与造山作用的关系

内蒙古—燕山地区的火山岩-花岗岩系列分为韧性剪切作用形成前的花岗岩、韧性剪切形成后的花岗岩、逆冲推覆前和同时(或稍后)的花岗岩等四种类型。同时期的火山岩与花岗岩的形成源区直接相关;而且这些类型又和大地构造的动力作用过程的挤压-剪切性质和伸展作用,尤其是与深部下地壳—上地幔的热作用直接相关。

(六)造山作用全过程及造山带的演化

内蒙古—燕山地区晚古生代晚期—中生代的造山带造山作用过程包括韧性、脆性收缩过程,伸展作用过程,旋转剪切过程以及相伴随的变质-岩浆热事件。

1. 俯冲结束—碰撞开始的过程 海水逐渐退出,扇状逆冲-碰撞式板块边界形成,并且形成规模巨大的内蒙古、燕山等地区 280—260Ma(250Ma $\pm$)时形成的不同成分花岗岩。花岗岩的成分在构造带中由北向南有所不同,它们主要是上地幔构造热扰动造成的。

2. 韧性剪切收缩过程 不同温压条件、不同层次、不同岩性层形成的韧性剪切带,深度范围为 3(或 2.5)—25km,韧性剪切方向均表明由北向南;与此同时,其上部地层形成大规模的向南倒倾的褶皱及部分断展褶皱;而且同时还形成不同分带环境的花岗岩。

3. 伸展作用过程 “伸展体制下”的早侏罗世(J_1)南大岭玄武岩的形成,以及大规模上叠式盆地的存在,形成了自造山带中心—火山岩区(弱变形带)—活动大陆边缘褶冲带—稳定陆块区的沉积盆地系列。从内蒙古地区的贺根山—索伦山—线分别向西伯利亚和中朝大陆两侧都有分布。

4. 浅层次脆性收缩过程 早侏罗世末—中侏罗世(J_1 — J_2)之间分布广泛的東西走向,以北倾为主、部分南倾或对冲的逆冲—逆掩推覆构造;NE 走向、向 SE 逆冲的构造等形成了造山带现在所见的浅表层次主体构造格局,而且不同层次的脆性冲断层又明显不同。与此同时或稍后大规模的花岗岩形成,其北缘则形成诸如二连盆地(J_3 —K)的含油气盆地之基