

中生代以来华北地区 造山带与盆地的演化 及动力学

王 瑜 著

地质出版社

中生代以来华北地区 造山带与盆地的演化及动力学

王 瑜 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以华北地区造山与造盆的统一演化过程和动力学环境为分析研究的主题,采用深浅结合和分构造阶段精细分析的研究思路和方法,揭示了各演化阶段的构造、岩石学表现和构造应力场的跃变。

书中把构造演化的深层行为和浅层行为统一起来,把岩浆热事件与地壳下部和地幔的动态推论相结合,把构造应力场的转换与构造动力学环境的变迁相结合,把造山带研究与盆地构造及沉积研究相结合,深入阐述了华北地区中、新生代及其现今的动力学特征。从多种角度对大陆动力学研究的各个方面及岩石圈三个动力学界面进行了划分和探讨。另外,本书对华北地区四大构造边界的细微分析和展现全区构造演化的图景,会对油气资源、地震等不同领域的地质、地球物理和岩石化学的研究起到有益的促进和指导作用。

本书内容丰富,论述清晰,具有特色,可供地质领域科研工作者、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

中生代以来华北地区造山带与盆地的演化及动力学/王瑜著.-北京:地质出版社,1998.12

ISBN 7-116-02558-8

I. 中… II. 王… III. ①褶皱带-研究-华北地区②大陆-构造盆地-研究-华北地区 N. P544

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 33964 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:刘亚军 刘学琼

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:6.5 字数:152100

1998 年 12 月北京第 1 版 • 1998 年 12 月北京第 1 次印刷

印数 1—500 册

定价:15.00 元

ISBN 7-116-02558-8

P. 1886

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

华北地区是我国东部地质构造演化最具典型意义的地区,特别是中、新生代构造发展体制的巨大变革和大反转。本书以该区的造山与造盆的统一演化过程和动力环境为分析研究的主题,采用浅深结合和分构造阶段精细定年的研究思路和方法,相当全面地揭示了各演化阶段的构造、岩石学表现和构造应力场的跃变,这是中尺度岩石圈层构造演化研究的一个范例。

书中关于岩石圈层三个构造-地球物理界面的划分及分区的具体描述所阐明的大陆岩石圈层分层和整体构造动力研究的思想在大陆构造动力学的研究中具有广泛的意义;同样,把构造断裂的深层行为和浅层行为统一起来,把岩浆热事件与地壳下部和地幔的动态推论相结合,都是方法学上很有意义的尝试。本书对华北地区四大边界的细微分析和展现全区构造演化的图景,相信会对大陆构造、资源开发等不同领域的地质、地球物理和岩石化学的研究以许多联想、启发;一些理性认识上的矛盾和问题,无疑将会对深化本区大陆动力学的研究起到有力的推动作用。读书有感,草以为序。

马宗晋院士

1996. 12. 4.

前言

沉积盆地研究是 80 年代国际岩石圈计划的主要内容之一,无论是地球科学理论研究,还是矿产资源,或是减轻自然灾害,盆地地质在其中均处于十分重要的地位。造山带研究显然是地质学家们特别是大地构造学家们非常关注的。但如何把二者的研究结合起来,是未来发展的一大领域。本书所探讨的研究领域是基于如下考虑:(1)以往中国构造地质学的研究,很大程度上以构造的几何形态结合运动学的初步分析而去研究大陆动力学,这种单一学科的研究,导致其缺乏深入性;(2)不同的地震灾害与造山带和盆地区的构造作用特别是二者的过渡地带的深层构造有一定的关系;(3)中国能源的危机;(4)大陆动力学理论的匮乏;(5)具有演化思维的“将今论古”的趋势性研究是探讨中生代以来不同地质历史时期深层构造或物质变化的最好窗口;(6)提供大陆造山与成盆作用的完整的构造、沉积和地球物理场等的演化趋势,这是对大陆动力学研究的有益补充。

本书是造山演化与成盆作用的专著之一。基于对石油地质的思考——在单纯研究造山带或盆地构造的氛围中,如何把二者相互结合是本书研究的初衷所在,也是大陆动力学研究的重要方面;对大陆动力学的思考——大陆动力学的研究中,如何把时间序列、状态和演化序列有机地结合在一起是核心的问题,诸如深层构造与浅层构造的关系、造山演化与成盆作用的关系等;对于中国东部华北地区及相邻区域中、新生代构造演化的思考——中国东部华北地区中、新生代盆地构造的研究已有较为深入的研究成果,但对于其演化序列的研究相对来说是一个薄弱环节,特别是应用演化过程的思路研究中生代以来陆内与陆缘构造的关系、早期构造对晚期构造的制约和影响、深层构造对浅层构造的影响、上地幔对地壳构造的影响等是大陆动力学研究中的重要领域;基于对构造地质与地球物理信息如何相互映证的思考,而写成此书。

在研究方法与思路上,以构造地质学为主线,构造地质与同位素年代学(包括热年代学)相结合、构造与地球物理学相结合、造山带与盆地构造研究相结合(涉及拉张作用与挤压作用的转换、拉张作用与剪切作用的转换)等基础上的综合研究。

采用区域板块构造运动(周边)同深部地球动力学和大陆板块内部局部地区的力学分析相结合的板块力学方法,研究大陆动力学;并进而研究和分析能源产区及有利区带的选择,然后根据陆内地质和地球物理及构造地质的演化序列的连续性和间断性,追溯和论证相邻板块运动特点、中生代期间的特征、造山作用与成盆作用的动力学基础及地球动力学状态。从造山与成盆作用相结合、深层与浅层构造演化相结合,反演过去不同地质时期深层构造特征,是研究大陆动力学的重要基础和范例。对于油气资源来说,这一地区的深层找油以及华北、东北地区的地壳结构的对比,如构造序列的研究、深层构造特征、远景的进一步评价、油源区的对比、含油气盆地形成和发育的构造背景等,也是一次十分有益的探索。

中国东部华北地区处于几大构造单元之中,造山与隆升、造山作用与成盆作用在中、新生代期间在不同地区均有发育。虽然中生代期间周边构造发展和改造不平衡,但是中生代的

隆起与剥蚀状态、隆起构造与沉降状态、中生代构造格局的重大转折,以及新生代和中生代之间的反转构造和新生代期间的断陷作用,新生代从早期的伸展构造尔后出现整个华北地区乃至中国东部地区所处的北西西—南东东向的挤压应力状态的存在,显然除了本区的早期及近期构造特征的差异外,周边构造作用的改造十分突出,尤其是西太平洋地区的影响十分巨大。同时中国东部在太行山以西地区还受到了印度板块的影响,而太行山以东地区并没有受到这一碰撞作用的改造。华北地区中、新生代沉积盆地和地质构造的形成和演化与周围板块的相对运动及其变化有着极为密切的关系。华北地区中生代前形成的地质构造是否制约着其后的构造作用和改造?是否与华北地区所处的周边造山带控制作用形成的框架有关?这种大陆边缘向华北大陆内部的应力传递,是一种什么样的介质在起作用?一系列的问题有待回答。

中国东部华北地区是一个多震区,同时新生代构造与中生代及其之前的构造叠加形成了现今所见的构造格局。然而,迄今为止,这一区域的地震活动与周边构造的关系如何、中生代以来不同时间形成的构造演化序列及其构造特征与地震活动的关系,仍然存在着有待解决的问题。

华北地区周边存在着几个较为发育、演化复杂的造山带,并各有特色。其相互关系到底如何,诸如燕山构造带与太行山陆内构造带、大别山造山带与郯庐断裂带等的关系,特别是不同方向不同构造性质的造山带的叠加等,是中国中新世代构造研究的重大课题。

深层与浅层的关系、地幔与地壳的构造关系、地幔与地壳的能量与物质转换、构造背景与岩浆热作用的关系、盆地沉降与山体抬升的关系等是地壳平衡作用以及壳-幔之间相互演化的基本依据。大陆块体周边构造动力与陆内构造动力的关系、远距离动力传递的力学介质、地球物理界面的动力学意义等,都是地质-地球物理,尤其是构造-地球物理演化的核心。这也是本书试图探讨的一个方面。

构造-地球物理学、构造-年代学和造山与成盆作用的相互结合,把不同时间演化的构造和不同性质的构造相互结合,中尺度构造与大地构造、宏观构造与微观构造的结合,是本书的一大特点。

本书是在博士后研究报告的基础上,吸收了新的资料和数据、进一步野外工作的基础上写成的。在华北地区,无论是盆地还是造山带的研究,以及已取得的成果已广泛地被地质学界所熟知,要想有所突破和创新更为困难。一个系列的造山带与盆地研究的理论方面探讨是十分必要的,而本书正是以华北地区为例进行的一个有益的尝试。在以后的研究中将更进一步地从不同的角度对中国大陆不同构造区的特征及其演化进行深入的阐述,并希望得到同行的支持。不妥之处敬请批评指正。

科学没有国界,但有水平之高低。我坚信中国地质工作者只要有恒心、有毅力,以忘我的敬业精神,勇于超越、敢于创新,一定会对大陆动力学的研究做出我们的贡献。

在本书的完成过程中,国家地震局地球物理研究所曾融生院士给予了很多热心指导;中国地质科学院地质研究所任纪舜院士给予了有益的启发;国家地震局地质研究所马宗晋院士阅读了初稿,提出了许多宝贵意见,并欣然作序;国家地震局地质研究所陈文奇教授多次热情鼓励和帮助;中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院宋建国教授、窦立荣高工、何登发博士、邓胜徽博士等给予了大力帮助;中国地质科学院地质研究所杨天楠提供了一些数据资料并进行过有益的讨论;中原油田石油勘探开发研究院周章保、南阳油田计算中

心李献甫、华北油田研究院的研究人员等提供了大量的帮助。

本书在完成过程中先后得到中国石油天然气总公司项目“中国东部含油气盆地构造研究”、中国博士后科学基金项目“中生代以来华北地区造山带与盆地演化中韧性剪切作用的动力学分析”等的资助。

值此,向所有关心、帮助过我的老师、朋友表示诚挚的谢意。

征得中原油田、南阳油田等单位的同意,书中引用和参考了一些未公开出版的含油气盆地、地震反射剖面等方面的资料,对于完成和编写这些资料的地质、地球物理工作者致以由衷的感激。

王 瑜

1998年2月

中 文 摘 要

中国东部华北地区(主要指太行山及其以东地区)东西两侧分别为郯庐断裂带和太行山带,南北为内蒙古-燕山造山带和秦岭-大别山造山带。这些构造带围限着华北、南华北及鄂尔多斯盆地等伸展、拗陷、克拉通、前陆、造山带后缘拉张、走滑拉分、火山岩型等构造-沉积盆地。不同时期的盆地特征不同。

燕山造山带于三叠纪(211Ma)形成深层韧性剪切带,中晚侏罗世形成浅层次的冲断作用。大别山造山带于三叠纪形成深层韧性剪切带,中晚侏罗世形成由南向北冲断推覆作用,晚侏罗世—早白垩世形成由北向南的大规模的推覆构造。太行山带演化过程中深层韧性剪切形成于163Ma、抬升作用时间为108Ma、发生左行滑移的时间为97.5Ma;郯庐断裂带形成演化时间为100~97.5Ma(左行)和63.5~45Ma(右行),左行走滑距离不大。

中下地壳的韧性剪切作用与燕山、大别山、太行山下地壳高压、超高压物质的抬升和变质核杂岩构造形成有关。韧性剪切带形成于不同的深度层次。大别山造山带及苏北-胶南地区的超高压物质的抬升经过至少两次重要的作用并与北东向构造带的形成关系密切。

华北地区于163Ma(J_2)开始形成北东向的构造格局,发生了深层韧性剪切带之上强烈的南东东($100-120^\circ$)向北西西方向旋转和挤压作用。晚中生代期间形成了华北盆地第三系之下北东向褶皱、北北东向褶皱和北北东向的走滑、伸展造成的断陷等一系列演化过程。北华北和南华北盆地的构造演化过程在中侏罗世—第三纪期间表现不同。

岩浆热事件表明造山期间和造山后期所形成的地壳重熔型花岗岩完全不同,而不同的伸展、裂陷期形成上地幔来源的超基性岩浆上涌,与浅层的拉张带、深层的莫霍面隆起带或幔隆、坎对应。

三叠纪至今的构造应力场表现不同:挤压应力从南北向→北西—南东向→东西向,而拉张作用也由南北向→南东向→向东。与此相对应,形成了三次剥蚀夷平和四次沉积。这与岩石圈层的流动作用形成的下地壳-上地幔“隆起、拗陷”相匹配。

华北地区深层地球物理特征从三叠纪至今不断发生着变化,一些地壳、上地幔结构于新生代才形成格局。造山带与盆地间不同时期的地球物理场演化特征不同:时间上相间出现,深层滑移表现为从造山带→盆地区,然后从盆地深层隆起区→造山带下部流动,从而形成间断出现的剥蚀作用。地球物理特征上呈现镜像关系,而构造动力上呈现反相关关系:亦即莫霍面及其下部发生挤压,下地壳之上区域拉张,反之亦然。

地壳-地幔间存在着三个构造-地球物理界面:中上地壳构造演化的应力传递带——韧性剪切(滑脱)面,构造动力转换带——韧性剪切(滑脱)面或莫霍面,岩浆热事件产生面——下地壳与莫霍面间的转换带等,从而形成了中上地壳的构造变形、下地壳的岩浆热作用、莫霍面隆凹及地幔层圈状流动等岩石圈多层次活动特征。

在上述基础上,重点讨论了华北地区造山带与盆地形成的构造-地球物理过程、造山与成盆的关系、华北地区不同时期的旋转作用的成因、造山与成盆作用的动力作用过程、华北地块中生代以来演化的动力学解释等。

EVOLUTIONAL PROCESSES AND DYNAMICS OF THE OROGENIC BELTS AND BASINS IN NORTH CHINA SINCE THE MESOZOIC

The North China block is rounded by different tectonic belts such as Yanshan and Dabie orogenic belts in north and south sides, Taihang uplift belt and Tan-Lu strike slip fault in west and east sides. Among these belts, there are various types of basins such as extensional, depressional, cratonic basins and so on.

The ductile shear zones in Yanshan orogenic belt was formed at 211Ma and the brittle thrust system developed in the mid-late Jurassic. The ductile shear zones of the Dabie orogenic belt were formed during Triassic and thrusts verging toward north formed at Mid-Late Jurassic and verging toward south at Late Jurassic—Early Cretaceous. In Taihang Shan belt, deep layer compression and NE trend ductile shear zones were taken place at 163Ma, uplifted at 108Ma. The diabbases were erupted in the Tan-Lu strike slip fault at 103Ma, sinistral strike fault slipped at 100~97.5Ma and the dextral strike faults formed at 63.5~45Ma.

The ductile shearing is an important medium for the uplift of the high-grade metamorphics in the mid-lower crust during the syn-or post-orogeny. The uplift of the UHP (ultra-high pressure) materials were evolved for at least two stages: E-W trend tectonic formation and NE trend tectonic formation.

From Middle Jurassic (163Ma) on, the NE trend tectonic framework was formed in the eastern China and also illustrate the 45° counterclockwise rotation. Then, the North China developed the NE—NNE strike fold and thrust, NNE strike-slipping and the rift-depression.

The magmatic events illustrate that the different basic and ultrabasic rocks from the upper mantle are compared to the extensional belts and uplift belts of the Moho planes.

From the Triassic on, in different evolutionary processes, the tectonic stresses are various: the compressional stress is from SN (T_1-T_3 , J_1-J_2) to NW—SE (J_2-J_3) then to E—W (K_2-E) and the extensional stress is from SN (T_3-J_1) to SE (J_3-K_1) then to east. This matches with the lower crust—upper mantle "uplift-down" style developed by the flowing of the lithospheric layers. The rheological flow is from the orogenic belts' areas to basins, then from uplift place under basins to the regions under orogenic belts in continuously evolutionary processes. On the geophysics, this is a mirror-like relationship for the crust and the mantle but the tectonic dynamics is the reverse relationship, that is to say, when the Moho plane and its beneath part is in the extensional state, the crust is in the compressional state; otherwise, the reverse characteristics.

The geophysical features changed continuously in continental interiors and margin of

North China. The upper mantle texture was formed in the Cenozoic. Between the crust and the mantle, there are three tectono-geophysical media: ductile shear zones—stress transmitting zone of the mid-upper crust tectonic events, the Moho—the transformational zone of tectonic dynamics, the magma developing place—the hot-fluid transformed region of the lower crust and the upper mantle. The activation and movement of the poly-layers in the lithosphere such as deformation, magmatism and so on are continuously evolved.

Based on these geological and geophysical data, the author analyses the tectono-geophysical processes and dynamics of the formation and evolution of the orogenic belts and basins in North China since the Mesozoic.

目 录

序

前言

中文摘要

英文摘要

第一章 造山带与盆地演化的关系	(1)
一、引言	(1)
二、造山带与盆地研究的统一性	(2)
三、造山带与盆地形成的关系及二者的耦合	(8)
四、盆地与造山带演化关系的研究方法在能源勘探中的应用	(11)
第二章 中生代以来构造应力场时-空转换与岩浆-热作用过程	(13)
第一节 构造应力场的时-空转换	(13)
一、华北地区中生代不同时期的构造应力场特征	(14)
二、华北地区新生代构造应力场特征	(17)
三、华北地区现今构造应力场特征	(18)
四、中生代以来构造应力场特征	(20)
第二节 中生代以来的岩浆-热作用过程	(21)
第三章 盆地构造及形成演化	(25)
一、盆地形成时间及类型	(25)
二、中生代末—新生代盆地形成和分布的构造基础	(29)
三、中生代以来的裂陷型盆地的分布	(40)
四、盆地形成和演化的动力学分析	(40)
第四章 造山(构造)带及相邻区域的演化序列	(46)
一、华北地区周边不同块体中生代以来的演化	(47)
二、太行山构造带及其邻区形成、演化	(49)
三、燕山造山带形成、演化序列	(51)
四、郯庐断裂带形成、演化序列及与周边构造之关系	(52)
五、秦岭-大别山造山带形成、演化序列及与周边构造之关系	(56)
第五章 现今深部地球物理状态及动力学特征	(62)
第一节 深部地球物理状态	(62)
一、布格重力异常分布特征	(62)
二、地壳厚度特征	(62)
三、重力、磁场特征	(64)
四、不同深度层次的滑脱面的信息和岩性变异面	(64)
五、其它的地球物理特征	(64)
第二节 华北地区现今动力学特征	(68)
一、大陆动力学研究的关键要素	(68)

二、中上地壳的热异常和应力状态与深部热结构	(69)
三、华北地区现今动力学特征及形成原因	(70)
四、周边构造作用所提供的构造动力和反映的动力学作用特点	(72)
第六章 华北地区造山与成盆演化的动力学	(74)
一、造山与成盆作用的动力学特征	(74)
二、韧性剪切(拆离)面可能是地壳中的应力传递面	(81)
三、华北地区陆内动力学特征的形成	(84)
四、华北地区中生代以来不同时期动力学演化过程	(84)
参考文献	(91)

第一章 造山带与盆地演化的关系

一、引言

造山带和盆地的形成是研究地球尤其是大陆动力学演化过程中的两个重要方面。地壳及上地幔的热结构、应力状态、流变特征(rheological characteristics)、物质组成(物理特性和地球化学特性)以及组成地球不同圈层空间的构造几何形态和运动学特征等是研究大陆动力学及不同地质历史时期深部地球物理状态的主要依据。华北地区的造山带及盆地的形成和演化已有几十年的研究历史,中外地质学家们在地质构造、大地构造学、岩石学、石油地质学和地球物理学等方面取得了公认的进展,并且有大量的研究成果问世(丁国瑜主编,1991;马杏垣等,1983;李德生,1980;漆家福、陈发景,1995;薛爱民,1994)。以往对于浅层次的构造变形、沉积盆地分析及一些地区的岩浆-热事件的研究较深入,而对于产生浅层次的构造变形的原因、浅层次的变形和沉积作用与深部不同圈层构造-热事件的演化关系、中上地壳的拉张-挤压-剪切等作用的转换过程和相关性、不同地质时期的深部地球物理特征的一致与不一致性等仍然有待做深入系统和综合的研究。有关华北及东亚地区不同地质时期尤其是中生代以来许多重大地质问题——中国东部中生代以来大规模的火山喷发、岩浆侵入、岩石圈的“去根作用”的形成,大地构造域转变的时间、空间展布规律和动力学机制,华北地区周边的构造演化是如何影响陆内应力等的变化的,造山带及盆地所反映的拉张与挤压作用是如何转换(transformation)的,华北地区不同方向展布、不同时间形成的地壳不同深度的韧性剪切带的作用特点等一系列问题没有得到解决。而华北地区中生代以来不同构造空间的拉张、挤压、深部中下地壳和上地幔的演化过程、不同造山带的抬升和盆地的沉降机制、东西向的欧亚构造域向东北—北北东向的西太平洋构造域的转换的动力学,以及不同时期地壳及地幔的演化对现今华北地区及相邻区域的影响和对未来演化的制约作用等方面的研究具有重要的理论意义和现实意义。

构造地质与地球物理学的结合和相互印证是一个复杂的过程。地质学特别是构造地质学研究的是不同演化时期的产物,而地球物理学如重力、地震等反映的是现今的特征。地球物理学研究的是不同地质时期演化的最终的相对静态的产物,而构造地质学所强调和研究的是地质演化的过程和序列,二者之间存在着必然的差别。因此,“时间”是二者结合的关键。对一个地区或范围给以动力学作用过程的研究,是地质和地球物理学相结合的核心。构造地质学的研究中试图把现今所见到的地表的构造几何形态给以历史的恢复,而如果地球物理学研究能提供精细的深层地壳、地幔的结构和状态,则以时间为轴、以三维演化为特征,进行不同地质历史时期动力学的反演将成为可能。在这里,演化序列和过程是地质学研究的基本前提。

现今大陆动力学的研究,是以地球物理学中不同的研究手段和先进的技术为先导的。对于大陆某一区域的不同地质时期漫长的演化过程中的动力学行为的研究,单纯的浅层次的地质研究和缺乏“演化过程”的地球物理学研究难以解决问题。因此,必须把构造变形分析与

岩石-地球化学、地球物理学等学科相结合,从古至今、由今及古、从浅层次到深层次的时-空四维进行研究。在华北地区的造山带与盆地演化关系及动力学研究中,以现今深部地球物理信息所对应的中浅层次的应力状态和深部热-物质结构去反演中生代以来不同时期的构造变形、岩浆热事件等所对应的深部地球物理特征,以便反映华北地区不同地质演化进程中地壳-上地幔的热结构、运动状态和动力学特征;对构造变形特别是地壳不同深度的韧性剪切带的形成年代、动力作用、流变过程、抬升过程和机制、 P - T - t - D 轨迹和 P - T - σ 环境等进行详细的研究,以了解韧性剪切对浅层次变形的制约作用和应力传递过程;按照岩浆热事件和构造运动的时间演化序列、变形和岩浆作用中的流体及岩石等的物理参数与深部地球物理信息的制约关系,从而建立不同地质时期华北地区的地壳-上地幔的三维结构剖面 and 四维演化趋势剖面。在上述研究基础上分析华北地区中生代以来的动力作用过程以及东亚地区构造演化的动力学。这是本书研究华北地区乃至大陆动力学过程的基本思维框架。

华北地块作为东亚地区一个构造域,其形成和演化具有普遍性,因此本书中试图解释和阐述清楚下列几个重要问题:

- (1)东西向和北东向两个构造域叠加和改造的形成、演化及深层动力学;
- (2)华北地区中生代以来造山演化与成盆作用的动力学解释;
- (3)造山抬升与盆地沉降作用的关系及制约作用;
- (4)拉张、挤压和剪切三种动力作用的转换、过渡;
- (5)边缘构造作用与大陆内部作用间、外界应力与内部圈层应力的叠加和改造;
- (6)构造空间的转换、层圈应力传递;
- (7)中生代以来不同时期动力学系统的转换。

书中涉及四个主题:

- 造山/成盆作用过程
- 构造-地球物理过程
- 深层与浅层制约
- 造山与成盆作用的动力学

试图解决一个问题——大陆内部造山带与盆地形成和演化的动力学。

书中涉及的概念:

- 旋转构造(rotation tectonics)——层圈旋转、陆块旋转、断块旋转
- 转换作用(transformation)——构造性质、应力场转换
- 应力传递作用(transmission)——水平方向、垂直方向、边缘向内部
- 构造-地球动力学界面和介质(geodynamic interface and media)

二、造山带与盆地研究的统一性

造山带与盆地是大陆块内及其边缘分布的两个构造单元,是大陆动力学乃至地质学研究的重要方面。美国大陆动力学计划中将其列为两个重要的部分(Phinney, 1989),中国自然科学基金委员会也将其列为主要的研究项目。除此而外,有识之士已意识到造山带与盆地研究的结合,是大陆能源、大地构造理论与模式以及其它地质理论发展的关键。以往的盆地研究很少注重造山带演化过程的研究,而造山带研究中对盆地内部沉积、热事件等的研究也无法与地质及能源勘探相适应。因此造山带与盆地研究相结合是今后若干年甚至长期研

究的科学生长点。

沉积盆地的形成、演化代表了岩石圈各种流变动力学过程的产物,是不同能源的聚集之地。本世纪 80 年代中期以前,沉积盆地的沉积学、岩相古地理学、构造地质学、大地构造背景和 下伏岩石圈动力学的研究是分别进行的,而且各自缺乏足够的证据和事实依据。1985 年以来,国际盆地研究专家认识到,这种单一的研究不能全面地认识盆地的成因和演化历史。因此,对于盆地构造的研究已不单是其内部的构造几何形态、样式、沉积环境、热沉降史等方面的分析,而是与周边的构造带、造山带相结合,建立盆地形成和演化的综合模式(肖庆辉等,1991)。

目前,盆地研究的问题主要集中于:(1)沉积盆地演化与岩石圈动力学有什么关系;(2)盆地形成的力源是什么;(3)造成盆地形成的内部应力和外部作用力之间的相互关系;(4)不同时期、不同类型盆地叠加的动力学和对能源的保存、破坏作用;(5)造山作用过程与盆地形成演化过程之间的关系;(6)岩浆活动在盆地形成和演化中所起的作用;(7)盆地形成、演化中拉张、挤压、剪切等力学过程的转化机制与沉积机理。这些问题的解决与相邻或相关造山带演化序列的精细研究十分密切。

造山带研究所要解决的主要问题是:(1)造山带造山作用过程的建立;(2)造山演化与构造抬升;(3)造山作用的动力学过程;(4)造山过程中岩浆-热作用与构造应力的相互作用关系;(5)深层构造作用与浅层构造的关系等等。

(一)盆地与造山带的空间关系

造山带是地球上(而非地壳上)具有较强变形作用、变质作用和岩浆活动的巨大而窄长的条带状构造,并以磨拉石沉积盆地、弧后复理石建造等造山沉积而表现出来,而且是形成于一定的区域或全球规模的造山运动。而盆地是大陆内部及大陆边缘相对凹陷(拗陷)的具有不同时期沉积的相对负地形区,也是能源储集之地。盆地是深部热、构造事件作用对岩石圈上部的一种响应。造山带和盆地二者正是相互依存的两个端元。没有山脉的物源供应,沉积盆地相对来说不会沉积多深。沉积在大陆边缘如条件受动力控制的盆地中的沉积物的堆积,记录了大陆动力学历史的时-空细节,许多盆地中特别是含油气盆地保存了岩石圈动力学和板块作用过程的记录(Phinney,1989)。各种构造环境中的盆地构造和地层的一般特征还比较清楚,但是盆地 下沉或沉积之前和下沉过程中的岩石圈力学性质,盆地形成之后的沉积,特别是造山变形作用对沉积盆地的改造还无法知道。因此,盆地构造和演化的研究中,要求从造山带的研究中提供一定的线索和大地构造演化趋势。

在以往的盆地研究中,往往对于盆地形成背景和基底构造,通常引用的是从造山带研究而来的资料。单靠昂贵的地球物理反射测量只能提供一个 Y-Z 轴方向的剖面,而无法提供相关的 X、Y、Z、t 的四维剖面;过去的几十年研究中,盆地发育的地球物理模型急剧增加,但限定这些模型的数据还很缺乏(Phinney,1989)。弧前盆地、弧后盆地、克拉通盆地、前陆盆地、拉分盆地等有关盆地背景、物源、不同沉积期的气候条件、构造或区域不整合、储运油期间的构造变化,这些数据的最重要的来源一般一直是石油研究者收集的大量钻探和地球物理数据,但这些数据并不能覆盖许多关键地区。因而综合的研究必须充分利用野外地质,特别是盆地周边的造山带研究的丰富的事实。这是一个重要的了解盆地形成期次、埋深、成因机制以及岩石圈响应、盆地内二次运移力学分布及应力状态的必不可少的定量化数据的来源地。

在研究断陷和裂谷盆地演化方面的一个重要线索是,按照热、构造和沉积历史的思路来了解盆地形成历史的最早的构造事件(裂谷或裂陷),为了确定这些模型,需要采取一种整体研究的方法了解其演化,即把地层记录、断层构造(特别是地壳深部的断层)和岩石圈的成分与流变学作为研究对象进行综合研究。而对于其形成时的构造背景、深层的动力学过程则必须结合相邻或相关造山带区域的演化序列。这只是盆地和造山带形成、演化的一个相关联或同时性构造事件发展的阶段而已,如何把造山作用过程中的大陆边缘沉积层序、形态识别出来(如中国东部南华北盆地边缘)则是关键。

(二)造山带与盆地的演化关系

造山带与盆地的依存关系包括:动力环境——拉张、挤压和剪切作用;物质环境——深部补偿、浅部直接的剥蚀和给予;互相间的流体作用——层间流动;应力参与——直接参与和应力传递。

盆地形态、空间分布和构造型式的变化说明有构造事件控制。重要的构造变化期沉积了相应的构造充填层序,并形成了每一层序的主要的不整合面。盆地构造发展中的主要变化与大陆边缘及大陆内部构造的主要变化是同时发生的。这说明,外界构造因素提供了一个驱动机制,又控制了盆地演化过程中沉积层序的形态变化和空间分布。

1. 几种典型盆地的形成和演化与造山带的关系

前陆盆地的下沉是板块碰撞时因负荷加载而发生挠曲的结果(Price, R. A., 1973)。然而,目前已有的数据不足以限定地下的模型,如相邻的造山作用怎样控制负荷?次一级的基底构造对盆地几何形态改造的重要性如何?弧后挤压体系中的前陆盆地(弧后前陆盆地)与下沉板块边缘中的前陆盆地(边缘前陆盆地)是否有着根本的不同?综合性的构造图像是必要的,从而有助于更好地解释地球物理模型(Phinney, 1989)。正是因为造山带边缘大量而丰富的地质细节,有利于在地震反射剖面解释中提供合理的几何形态和运动学的素材。如塔里木盆地南缘和北缘、华北盆地南部区域以及喜马拉雅造山带南缘,大量的造山带构造数据和运动学分析有助于相关的前陆盆地的结构和构造的研究。

目前建立的克拉通盆地的模型强调了板内应力以及深层作用,该应力在盆地发育过程中起重要作用。据 Ziegler(1988)研究,在 1300km 范围内可有感板内造山作用的撞击。Cloetingh(1988)支持这一观点,并认为西欧汇聚边界处引发的应力场可扩展到板块内部,而影响被动边缘和克拉通内盆地,板内应力分布面积很大。如现今北美东部、中部和北大西洋均可由大陆边缘板块作用而形成构造应力场。中国西部塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等克拉通型盆地基底均受到了分别来自印度-欧亚板块碰撞、西太平洋板块俯冲和印度-欧亚板块碰撞的共同影响,以及其它远距离应力传递的响应。

对克拉通盆地下伏地壳和地幔的结构、岩性和流变学特征的成像研究会有助于我们进一步了解这些盆地的演化过程,如美国密歇根和威利斯顿盆地(Klein, G. D., 1993),它们的演化时间长达 1 亿年以上,似乎可以作为克拉通地幔、热演化的指示剂。中国的鄂尔多斯盆地、塔里木盆地等均是指示中国大陆一些块体地幔、演化的重要标志。然而作为克拉通盆地的边缘造山带对盆地大范围的改造特别是对油气藏的破坏,仍是有待深入解决的问题。

与转换运动有关的走滑盆地,通常是快速形成和短命的,应力场的转向出现在邻近的脆弱断层上(Nilsen, T. H. and Sylvester, A. G., 1993)。但走滑作用可以造成先存盆地内部构造的反转和储油、运移的压力盖,有利于油气的圈闭。人们在研究这些走滑作用的同时,对走

滑之前所发生的一切构造或沉积事件考虑并不多,也没有认识到走滑作用过程中的块体间的相互制约和变化,如所发生的旋转作用及其对走滑盆地所产生的重要影响。在中国东部,旋转和走滑作用对二连盆地、松辽盆地、苏北盆地等的影响和制约的研究相对较少。

裂谷盆地和断陷盆地的研究,很大程度上解决的是盆地开始形成后的沉积序列、构造演化,对于盆地形成时的构造背景、盆地的基底构造及后期改造的动力学来源,仍然需要造山带演化的信息。

因此,沉积盆地的成因和后期的构造演化,需把大范围的地质观察、地球化学数据同地球物理模型统一起来,以了解盆地三维应变的时空演化和了解沉积盆地中垂直运动的时空变化原因。水平方向的拉张和挤压作用与垂直方向的沉降的相互制约、岩浆-热历史和构造应力场的变化与沉积盆地沉降中心的迁移,是造山带和盆地研究相统一和有机联系的重要组成部分。

2. 造山带与盆地演化的物质关系

当盆地沉积速率与周围的构造隆起直接有关系时,则砾岩的进积可能说明构造活动的次数。这种关系体现的是同构造期沉积。

山脉隆升速度与盆地剥蚀速度的对应性关系,可以从山脉的剥蚀量、盆地沉降量和沉降热历史中体现出来。华北与东北地区不同时期成盆作用的气候与物质来源特征在不同区域存在着差异。华北地区动力学研究包括了构造作用过程,岩浆热作用过程、物质沉降与山体抬升、边界应力与陆内应力作用过程以及现今地球物理状态形成的过程;反转、递变、变异与转换的过程。沉降/剥蚀速率、沉积中心的迁移、盆地格局的变化等的不同,同样可以反映在构造作用过程的差异上(图 1-1)。综合建立一个具有动力作用阶段性划分的动力作用模式组系、沉积/沉降和剥蚀/抬升体系以及构造流变模式问题,也正是大陆岩石圈几何学和运动学研究的复杂性所在。以往偏重于一个造山带或盆地或同样局部区域的构造及其演化的局部模式的建立,无法解决造山带与盆地演化的相互关系。

3. 造山带演化与含油气盆地的关系

造山带演化不光提供盆地演化的形成期次、特征,也提供构造圈闭与非构造圈闭的距离和特征。因而研究造山带的演化历史对相邻的盆地,特别是对于有利或不利区域的远景评价、勘探等,在理论和经济效益方面的成果将是非常有益的。国外对于造山带(如阿尔卑斯、海西、阿巴拉契亚及南美安第斯造山带)等的研究非常深入;同样,对于北海、密歇根盆地及中东等地区,由于经济需要,研究相当深入,而且也重视造山带与盆地的演化关系。如伊利诺伊克拉通盆地的后期构造改造与阿拉巴契亚的形成(Heidlauf, D. T. et al., 1986)、中东油田长垣的形成与阿拉伯板块演化和阿尔卑斯造山带的关系。特别是前陆盆地的研究,更是把盆地的形成演化与造山带的形成演化相结合,提供了盆地演化的基底构造、成因机制和后期若干次演化的综合模式。地球物理反射剖面只能提供二维演化,大于 15km 的反射带有很大的推测性,无法分出变形的期次。至少整合、不整合、岩浆作用、构造期次、应力作用的性质、方向和范围可以通过造山带来研究。尤其是盆地的基底构造及其演化、沉积物源供给、盆地发生沉降和沉积过程中气候环境的变化等,单纯的盆地内部沉积序列和沉积热历史无法提供完整的和系统的盆地形成与演化过程序列。

盆地构造或含油气盆地研究的基本框架是构造地质特征及演化序列,涉及到盆地内不同阶段的不整合。而剥蚀不整合或角度不整合的出现,往往代表着不同的生油岩形成、演化