

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

华北断块区中、新生代地质构造特征及 岩石圈动力学模型

张文佑 张 抗 赵永贵 蔡新平 王信和

徐贵忠 吴海威 韩贝传 曾湘山

(中国科学院地质研究所)

华北断块区是我国最古老的岩石圈断块。它经历了前古生代的形成及古生代的平稳发展阶段而进入中、新生代的激发阶段^[1]。我们运用地质历史分析与地质力学分析相结合的方法,在新的地质和地球物理资料基础上进一步研究了该区中、新生代的建造和改造历程、地壳和岩石圈结构,探讨了构造应力场的演化,建立了岩石圈动力学模型。

一、断裂和断块格局

我们对断裂的研究给以高度的重视。这不仅是由于断裂的形成、发展及组合反映了构造应力场的基本特征,而且也是由于断裂的存在对构造发育有明显的控制作用。本区

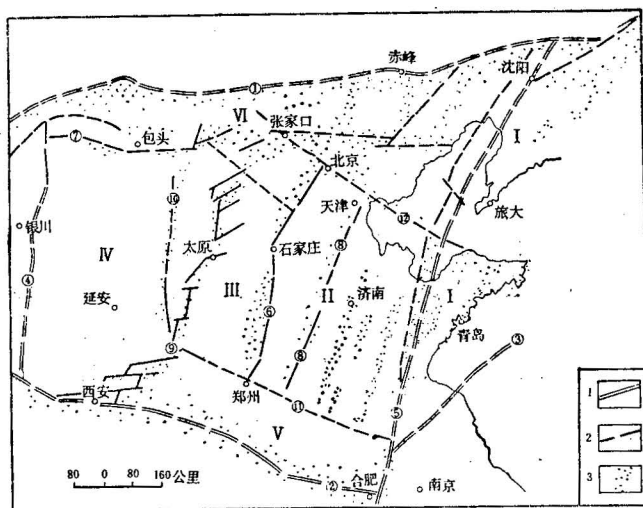


图 1 华北断块区中、新生代构造分区、主要断裂和岩浆岩带分布图

1. 岩石圈断裂; 2. 地壳断裂; 3. 岩浆岩带; 图中数字: I. 胶辽断块; II. 冀鲁断块; III. 太行断块; IV. 鄂尔多斯断块; V. 豫淮断块; VI. 内蒙断块; (1) 华北断块区北缘断裂; (2) 华北断块区南缘断裂; (3) 嘉-响水断裂; (4) 鄂尔多斯西缘断裂; (5) 郑庐断裂; (6) 太行山东缘断裂; (7) 河套断裂; (8) 沧东-聊考断裂; (9) 汾渭断裂; (10) 离石断裂; (11) 河淮断裂; (12) 张家口-汉沽断裂

的断块格局和多数断裂在中生代前均已形成。区内岩石圈断裂的活动表现出两种不同的方式。其一是象古生代南北边缘断裂活动那样,具有强烈的拉张性质。另一种是象中生代区内断裂活动那样,具有强烈的剪切伴随较弱的拉张的性质。由于古生代时期断裂被南北方向拉张,导致了南北边缘上地槽-地堑系的形成。从古生代末期到中生代,由于西伯利亚断块向南运动,南北向的挤压和东西向的拉张逐渐导致北北东向和南北向断裂带的剪切和拉张活动。本区有12条主要的岩石圈和地壳断裂,它们把断块区切割成六个断块(图1)。断裂组合关系的研究证明它们的形成与库仑破裂准则所描述的“X型”剪裂网格有关,并牵就这些破裂形成了锯齿状剪张断裂系统^[2]。这些断裂在中、新生代时期经历了新的发展过程。由于区内动力和边界力对不均一的地壳和岩石圈结构的联合作用,中生代早期的断裂活动受南北向挤压控制,从晚中生代以来,断裂活动在不同地段具有相对挤压和相对拉张,这导致了大型沉积盆地和地堑系的形成和演化。构造运动的这些特征从岩石圈结构和构造应力场的演化中得到了较好的解释。这些特点将在以下各有关部分得到论证。

二、沉积建造特征

1. 大型沉积盆地的发育和解体 晚古生代末期华北断块区是一个相对统一的大型沉积盆地,沉积南北分异。我们对三叠系的研究表明此时鄂尔多斯和山西地区仍然是一个统一的沉积盆地。有统一的古构造格局,除鄂尔多斯西缘较粗较厚外,整体上仍保持有南厚北薄,南细北粗的沉积特征。近年来地震勘探发现华北平原南部有厚为六千到八千米的中生界和上古生界沉积,而其同纬度的本区西部它们的厚度不到六千米,结合露头区的研究可以推断三迭纪从鄂尔多斯西缘至少到聊考断裂带为一大型沉积盆地。该断块区的南缘有三迭系海相沉积。侏罗纪本区南北边缘和太行山中北段开始隆起,大型盆地收缩并在隆起的轴部附近开始发育断陷型盆地。早白垩世大型沉积盆地开始解体,形成了一系列较小沉积盆地,而隆起带上的断陷型盆地进一步发育,特别是南北边缘和东部隆起的断陷活动更为强烈。

2. 大型地堑系的发育 到晚白垩世沉积仅局限于前边所述的断陷内。早第三纪是新生代断陷活动的高潮期。东西向的地堑系多发育在断块区南北边缘,但其位置略偏向断块区内部。在断块区西部吉兰泰至腾格里,东部下辽河至华北平原一系列断陷组成了北北东向的地堑系,后者的发育规模可以与世界上著名的裂谷系相比拟。晚第三纪至第四纪各地堑多继续发育,但活动强度明显减弱,沉积向外侧超覆。此时还形成了北北东向的汾渭地堑系。显然,中生代与新生代的地堑系在空间位置、构造格局、演化过程上均有所不同。

三、岩浆活动及火成岩分布

我们的研究表明,断块区内的岩浆活动规律并不符合“中国东部中、新生代岩浆活动受库拉、太平洋脊的潜没及太平洋板块俯冲的控制”^[3]这一简单模式。它实际上与断块

内岩石圈结构、构造格局和块内热动力学过程有更密切的关系。

就目前的区内资料得知,中生代的岩浆活动开始于三迭纪,在断块区的边缘地区有“S型”花岗岩侵入。其样品的 K-Ar 同位素年龄值大约为 160—213 百万年。如河南西部的南召花岗岩,山东玲珑花岗岩,冀北的四千顶花岗岩等。沿着深断裂的某些地段也发生了一些基性岩浆侵入。如山西平顺辉长岩,鲁西济南辉长岩等,其 K-Ar 和 Rb-Sr 同位素年龄为 180—238 百万年。早、中侏罗世岩浆活动急速扩展到除鄂尔多斯外的整个区域。晚侏罗世和早白垩世岩浆活动达到了高潮期。太行火成岩的高潮期时间为 120—140 百万年。山东火成岩的高潮期时间为 110—120 百万年。而东部岩浆活动的规模比西部大。这些事实说明岩浆活动从中部向东发展并且逐渐加强。由于基底构造的控制,断块区南北边缘地区的中生代岩浆岩分布表现为东西成带南北分异。而在断块区内则表现为南北成带东西分异。中生代有两大性质不同的构造岩浆组合,一个是由亚碱性系列火山岩和含有一定数量碱性岩类的深成花岗岩组成的,它分布在除西部以外的断块边缘地区。另一个是块内裂谷型岩浆组合,是由几种不同趋势的含少量亚碱性岩类的碱性系列岩石组成。将一千多个岩石样品投影到戈蒂尼-里特曼图上,可以看出两个构造岩浆组合有完全不同的变异趋势。这说明它们具有不同的成因机制。前一个构造岩浆组合的母岩浆是壳源型的和壳幔混合型的。而后者是幔源型的。如山西平顺西安里橄榄辉长岩和闪长岩及山东郯城玄武粗面岩和蒙阴花岗斑岩等几组样品铷同位素的初始比(Sr^{87}/Sr^{86})分别为 0.70582, 0.70682, 0.70492, 0.70503, 它们均属幔源型。在边缘隆起区岩浆活动序列是早期酸性、晚期中基性。断块区内部深断裂带上岩浆活动序列是早期基性,晚期有向中酸性演化的趋势。它们反映了断裂在不同构造环境下,在不同深度上(即在不同 P—T 条件下)产生的两种不同的活动方式。前一系列说明断裂由浅层向深部发展,后一序列说明断裂由深部向浅部发展。

区内有三条走向近南北的中生代岩浆岩带,从西向东分别为:太行裂谷岩浆岩带,鲁西裂谷岩浆岩带和郯庐(只包括华北部分)裂谷岩浆岩带(图2)。这些裂谷型岩浆岩带都是受中生代的上地幔隆起控制的。而每个岩浆岩带轴部的岩浆活动都早于它的两翼。例如,太行带轴部的西安里辉长岩年龄为 160 百万年,而西翼的塔儿山碱性岩体年龄不到 140 百万年,东翼的(九龙山)碱性岩年龄不到 120 百万年。各轴部主要为 Coombs 趋势的低碱基性岩,到两翼岩浆岩的碱性(特别是钾含量)增加,而成为具有 Straddle 型趋势或 Kennedy 趋势的岩浆岩。金伯利岩和其它碱性超基性岩常与强碱性岩伴生。从轴部到翼部岩石化学指数有规律的变化(例如, ALK , ALK/SiO_2 , K_2O/SiO_2 , K_2O/Na_2O),说明岩浆源深度的增加。据此可以推断当时的岩石圈底界面的起伏形态。

中生代末期裂谷系的一些地段发生了花岗岩侵入,如太行山北段的蒗源花岗岩(钾-氩年龄为 100—60 百万年)。在这个阶段,由于华北平原深部的地幔上隆区中心区的强烈扩张,位

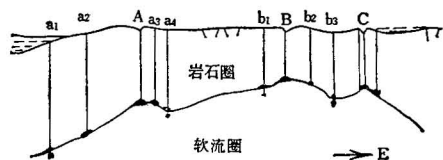


图 2 华北断块区内中生代裂谷型岩浆岩带与断裂、岩石圈结构和地幔隆起起伏特征间对应关系示意图

A. 太行山岩浆岩带轴部; a₁. 鄂尔多斯东缘断裂; a₂. 临汾—太原断裂; a₃. 武安—林县断裂; a₄. 太行山东缘断裂; B. 鲁西岩浆岩带轴部, b₁. 聊考断裂带; b₂. 莱芜—永城断裂带; b₃. 上五井断裂带; C. 郯庐断裂带(沂沭裂谷系岩浆岩带)。

于中心带两侧的几条裂谷带先后闭合。因此该阶段所发生的花岗岩侵入可以认为是反映了裂谷闭合阶段岩浆特征的。所谓的双众数型(有人译为双模式)岩浆组合实际上反映了裂谷早期拉张阶段的幔源基性岩浆与裂谷晚期挤压阶段的壳源中酸性岩浆在一条裂谷带内的共生状态。

新生代以来,区内东部地壳的减薄和拉张继续发展,在强烈地幔隆起区之上,基底和地壳断裂发展到上地幔和软流圈,广泛发育了伴随有断陷作用的火山活动。在早第三纪,在地堑区(华北平原和渤海断陷)发生广泛的拉斑玄武岩岩浆喷溢。晚第三纪和第四纪多为碱性玄武岩,分布在隆起区和某些深断裂带上,其中第四纪玄武岩的碱性更强,且多受北西—北北西向基底断裂的控制。

中生代块内幔源岩浆的总碱质、 K_2O 含量和 K_2O/Na_2O 比值在全区内总的从东向西逐渐增加的背景上又显示高低相间的变化。这一规律性的变化显然与这一时期相应岩石圈厚度变化密切相关。而中生代与新生代相比,碱度和 K_2O 含量则普遍降低,这反映了由于裂谷作用岩石圈随时间递新不断减薄。

无论是中生代还是新生代,事实上岩石化学指标(K_2O+Na_2O , K_2O/Na_2O 等)都没有展示出从中国东部的大陆边缘向大陆内部的简单的单方向变化。

综上所述,我们似乎可以得到一个结论:本区的中、新生代岩浆活动是由块内的断裂网格、岩石圈结构、构造应力场和热动力过程所控制的。岩浆活动的证据有利于下面的论点:华北断块区的扩张导致了大陆地壳向大洋地壳作迭瓦状仰冲,而不是太平洋板块向亚洲大陆作简单俯冲。

四、岩石圈结构、演化及其影响

地壳乃至整个岩石圈的不断发展和变化对地壳上部的构造发育和区域地球物理特征都有十分重要的影响。华北断块区平均岩石圈厚度约 80 公里^[4]。区内岩石圈厚度变化与次级断块分布有明显关系。根据稳态热传导理论所得的岩石圈厚度与区域热流和浅部温度场的关系推演出断块区东部岩石圈厚度在 50 公里到 110 公里之间(图 3)。

此外,根据电磁测深结果,鄂尔多斯断块岩石圈厚度约 100 公里,银川地堑为 70 多公里^[5]。图 4 是根据各方面的资料综合起来的区内地壳厚度图。可以看出,在东薄西厚的背景上地壳厚度有一定起伏变化,这个变化与岩石圈厚度的变化有某种相关性。

研究表明,岩石圈作为一个“超级构造层”,其平均厚度与构造活动的时间关系很密切(图 5)。在地球上与华北断块区的形成时代类似的古老地台岩石圈厚度都在 200 公里左右^[6]。华北断块区岩石圈平均厚度与图 5 所示的世界上中生代褶皱或活化区平均厚度相同。因此,在中生代激发活化之前本区可能也象世界上的稳定地台区一样,岩石圈厚度长达 200 多公里。岩石圈减薄主要是中生代以来发生的,减薄的厚度大约为 100 公里。结合区内构造运动史的分析,可将本区活化期的岩石圈演化划分为四个阶段:(1)岩石圈的初期熔蚀减薄阶段(中生代前的一段时间);(2)岩石圈穹窿形成阶段(三迭纪);(3)第一期岩石圈断裂贯通阶段(侏罗—白垩纪);(4)第二期岩石圈断裂贯通阶段(第三纪以来)。后两个阶段伴随着岩石圈的进一步减薄和不同格局的地堑系发育。当然,岩石圈减薄的历

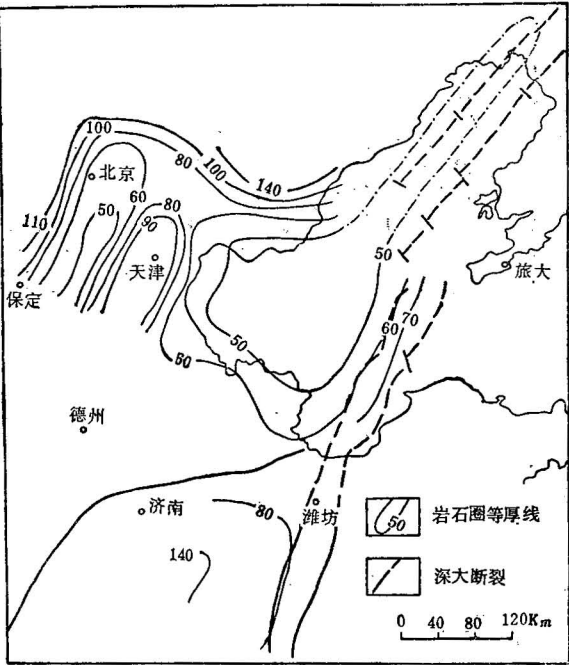


图 3 冀鲁平原和渤海地区岩石圈厚度图
(单位、公里,据王信和 1981)

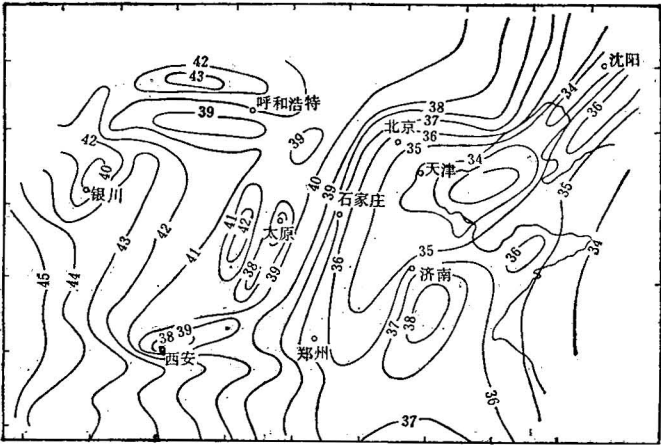


图 4 华北断块区地壳厚度略图
(单位公里, 据多种资料编制,赵永贵·1981)

程与强度在各断块上并不一致。东部深部活动开始较早,强度也较大;西部较晚,活动强度也较小,从而造成中生代大型沉积盆地逐渐向西退缩并转化为大型隆起,也使冀鲁平原和渤海地区产生持续沉降的裂谷型地堑系。另外,据新构造运动和地球物理资料,本区新第三纪(约 20 百万年),深部热活动前有一阶段时间的减弱,但至晚期(约 8 百万年),深部热活动却又有所增强。除了冀中和渤海地幔隆起带继续发展外,区内又发育了几条新的

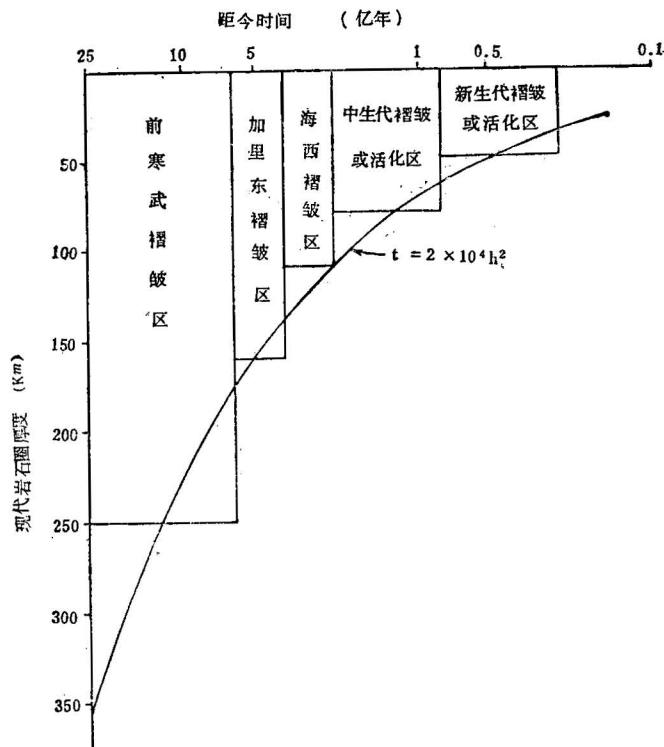


图5 不同类型构造单元的岩石圈厚度与构造活动时间的关系
(据王信和 1981)

地幔隆起带,如北西向的渤海-昌平-延庆带,东西至北北东向的汾渭地堑系。银川地堑的现代深部热活动也正处于加强过程中。

五、构造应力场的演化及岩石圈动力模型

地壳和岩石圈的构造运动及构造应力场是动力作用和地质体力学效应的综合反映。揭示构造应力场的展布规律及其演化,不但有助于对构造运动现象的空间分布及随时间的演化进行综合分析,而且有助于对构造运动的动力学过程的认识,进而促进对构造运动驱动力机制的研究。

通过对本区沉积建造、岩浆活动、断浆活动,地壳岩石圈结构等基本特征的研究,我们用数学-力学模拟研究了华北断块区中、新生代的构造应力场及其演化,探讨了断块间及岩石圈和软流圈间的相互作用和相对运动,从而建立了岩石圈构造运动的动力学模型。本区中、新生代的构造运动与构造应力场的演化大体经历了三个阶段。

1. 三迭纪—早白垩世

这一时期控制本区构造应力场的主要因素来自北部西伯利亚断块向南的挤压,从构造形迹分析得知,这个挤压力在北部边界上的分布是西端大,东端小。由于软流圈的粘滞阻力使本区北部岩石圈中的压应力较大、南部压应力较小,形成北高南低的地势,造成沉

积南厚北薄。在本区边缘挤压形成隆起和二个纵张的断裂。后者控制了近东西向的地堑系。由于这个西大东小的向南挤压作用,作为粘弹体的岩石圈向东南方向蠕散并牵动软流圈作同向运动。在本区东部与太平洋岩石圈断块向西北方向的运动相抵,形成了以冀鲁断块为轴、走向北东的大规模岩石圈隆起,从而造成沉积向鄂尔多斯断块的西部退缩。而在隆起的轴部产生断陷盆地,隆起的两翼发生断裂活动和岩浆活动。该期岩石圈相对软流圈的运动以南东向为主。

2. 晚白垩世—老第三纪

这一时期西伯利亚断块向南的作用方式没有明显的变化,太平洋岩石圈断块的北西向的作用逐渐消失。本区东部的原隆起区软流圈物质开始向两侧扩张,在张应力和热熔蚀的作用下,岩石圈隆起并明显减薄,从而产生了一系列的断陷并有着程度不同的火山活动,直到大规模的华北地堑系形成。同时,这个侧向扩张力推格太行山断块剧烈隆起,形成本时期具有代表性的隆起和沉降相间分布的格局。这个侧向挤压力和来自西伯利亚的挤压力的作用使鄂尔多斯断块逐渐隆起。根据华北地堑系北部和西部山地的隆起程度比东南部强烈的事实,推断软流圈侧向扩张力的合力向北西方向。由于这个力和相对运动速度的梯度成正比,可以判定岩石圈相对软流圈向南东方向蠕散。

3. 新第三纪以来

本期应力场的主要变化是西伯利亚断块的作用有所减弱,太平洋岩石圈断块东西向的挤压作用增强,华北地堑系深部软流圈物质的运动虽有所减弱但对构造运动仍然起一定的控制作用。南部边界,特别是西段,受青藏岩石圈断块的影响挤压力增大,本区构造应力场因而有所变化。在边界力和区内动力的联合作用下,本区的最大主压应力方向在东部为近东西向,向西渐转为北东和北北东(图 6)。计算表明,在地堑系深部,软流圈对岩石圈的作用力大约为 250 公斤/厘米²,软流圈物质的最大运动速度可达 1 厘米/年,岩

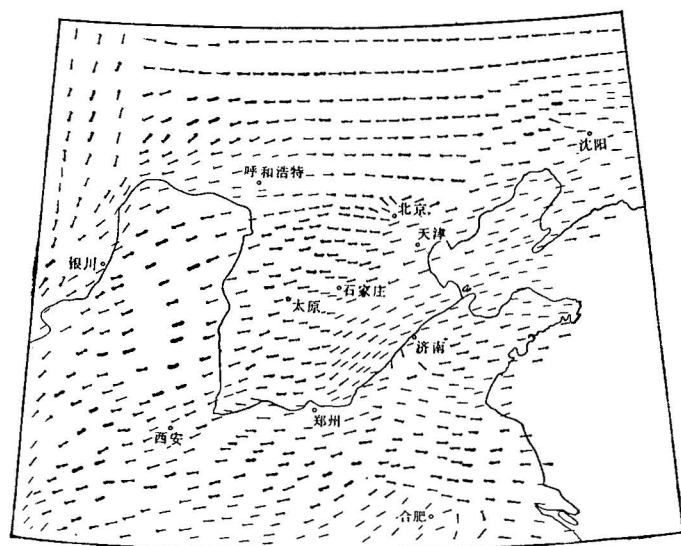


图 6 华北断块区新第三纪以来构造应力场分布

/·表示最大压应力方向

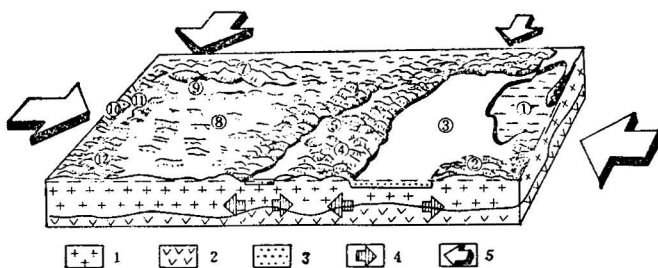


图 7 华北断块区新第三纪以来岩石圈动力学模型

1. 地壳; 2. 上地幔; 3. 沉积层; 4. 由地幔物质运动产生的块内驱动力; 5. 由块间相互作用产生的边界力; (1) 渤海; (2) 鲁西山; (3) 华北平原(一个大型地堑系); (4) 太行山; (5) 汾渭地堑; (6) 吕梁山; (7) 阴山; (8) 鄂尔多斯高原; (9) 河套地堑; (10) 贺兰山; (11) 燕山; (12) 六盘山

石圈相对软流圈的运动速度平均为 1 毫米/年。新生代以来华北断块区东部的岩石圈大约向大洋方向蠕散了 70 公里。其构造动力学模型见图 7。该动力学模型表示了边界力和块内动力的联合作用方式及其所产生的构造运动和构造应力场的分布图象, 反映了断块之间的相互作用和断块内部深部物质运动对地壳和岩石圈结构演化的影响。

构造应力场的研究表明, 本区早期的构造运动主要是由相邻断块区间的相互作用引起的。在白垩纪以后新地堑系的发育中, 区内动力起主要作用。新生代时期太平洋岩石圈断块和华北断块的相互作用次于青藏断块的作用力。

综上所述, 华北断块区的构造特征, 岩石圈结构和构造应力场都经历了一个复杂的演化过程。地球自转速度的变化, 岩石圈软流圈的热动力学过程以及重力调整可能是引起这一演化过程的主要原因。本区中、新生代构造运动的激化方式与东亚—西太平洋中新世代构造运动特征相吻合。

参 考 文 献

- [1] 张文佑等, 1980, 华北断块区的形成与发展, 科学出版社。
- [2] 张文佑等, 1977, 中国断裂构造体系的发展, 地质科学, 第三期。
- [3] 上田诚也、都城秋穗, 1973, 板块构造と日本列岛, 科学, Vol. 43, No. 6。
- [4] 冯锐等, 1981, 利用地震面波研究中国地壳结构, 地震学报, 第 3 卷第 4 期。
- [5] 顾群等, 1980, 华北、西北一些地区地壳和上地幔高导层, 地震地质, 第 2 卷第 2 期。
- [6] Adam, A., 1978, Geothermal effects in the formation of electrically Conducting Zones and temperature distribution in the Earth, Phys. Earth Planet. Inter., Vol. 17, P. 21—P28。

THE MESOZOIC AND CENOZOIC GEOTECTONIC CHARACTERISTICS AND DYNAMICAL MODEL OF THE LITHOSPHERE IN NORTH CHINA FAULTBLOCK REGION

Zhang Wenyong Zhang Kang Zhao Yonggui Cai Xinping Wang Xinhe Xu Guizhong
Wu Haiwei Han Beichuan and Zeng Xiangshan
(*Institute of Geology, Academia Sinica*)

Abstract

Essential change in tectonic features of North China had taken place during Mesozoic and Cenozoic in contrast with the steady development in Palaeozoic era. The great unified fault-block region had gradually disrupted to form a series of large grabens. Correspondingly, the thicknesses of the crust and lithosphere as well as their modes of movements had also changed. This process is difficult to be interpreted simply by the underthrusting of Pacific plate underneath the Asian continent, for it might evolve through causes attributive to the change in speed of earth's rotation and the thermal activity within lithosphere and asthenosphere, resulting in the manifestation of block-faulting movement, both horizontal and vertical.

In the early Mesozoic, tectonic pattern in present region inherited the Palaeozoic era. Later, the great sedimentary basins gradually reduced in their size and disrupted, and the east-west differentiation began to predominate. Since the Jurassic period, a series of grabens in various directions had developed in uplifted areas, in which volcanic and detrital rocks of great thickness were accumulated. The great sedimentary basins vanished after the early Cretaceous, and grabens in dominant NNE and EW directions occurred, making up rhombic configurations.

The regional magmatism had its peculiar characteristics. Temporally, it started from the Triassic, and reached its climax during J₃-K₁. Spatially, the marginal and the internal tectono-magmatic associations can be recognized. The former consists of granitoids and intermediate-acidic rocks, the latter formed along three continent-rift zones. Geochronologically, rocks become younger sideward from axes of these zones, with the alkalinity (especially, K₂O) correspondingly increasing.

The Eogene magmatic rocks are mainly tholeiitic, distributed in graben areas, whereas the Neogene and Quaternary ones are alkalic basalts distributed in uplifted areas and inter-block fracture zones. Compared with the Cenozoic magmatic rocks, the Mesozoic ones are more alkalic.

The development of the sedimentary and magmatic formations had obviously been controlled by the activities of the crustal fractures. Some of intensely active grabens are of the nature of continental refts.

The mean thickness of the regional lithosphere is about 80 km. On the whole, the lithosphere is thicker in the western part than that in the eastern part. The thickness of the crust also has the same features. The lithospheric thickness in present region is comparable with the mean thickness in Mesozoic folded and reactivated regions over the world. As compared with the Precambrian stable platforms, however, the lithosphere had undergone an evolutionary process of thinning during the Mesozoic and Cenozoic, with a lithospheric attenuation of about 100 km. This process accounted for the reactivation of preceding fractures, controlling the development of various graben systems.

In correspondence with the development of formations, the evolution of the regional stress fields may be divided into three stages. In early stage, the regional stress field resulted mainly from the compression of Siberian Fault-block Region toward the south, stronger in the west and weaker in the east. Therefore, the lithosphere of the present region, as a visco-elastic body crept to the south-east, and resulted in its impacting and interaction with Pacific Lithosphere Fault-block Region. In the later stage, the direction of the interaction changed from SE to EW. Moreover, the material of the asthenosphere beneath the uplifted area of the lithosphere continued spreading, causing the stretching, thinning and fracturing of the lithosphere. In the last stage, during the Neogene and Quaternary, the actions of Pacific Fault-block Region further strengthened. Simultaneously, the North China Fault-block Region is compressed by Qinghai-Tibet Fault-block Region.

Thus, the stress field of the region shows some variations.