

沉积盆地形成的地球动力学机制及其分类

王东坡 刘立 薛林福 杨光 许敏 王骏

(长春科技大学 长春)

王德勤

(王氏有限公司 美国)

[内容提要] 沉积盆地的形成主要与地球内部的热和物质的对流密切相关,它是沉积盆地形成和演化的原始动力。软流圈上涌高度,莫霍面或地幔羽的位置是地幔对流的具体的表现。根据地球内部流变学界限,岩石圈的性质和厚度,板内应力和沉积负荷可以将原始盆地划分为克拉通盆地,拉张盆地,挤压盆地和走滑盆地。

关键词 地幔对流 流变学界限 岩石圈性质 板内应力 沉积负荷

1 引言

沉积盆地的形成机制和分类是当前盆地分析中热点课题,也是争议较大的主题。无疑,将来石油和天然气领域的重要成就,将要在有关盆地学说进一步发展的基础上获得。当前大多数学者都趋向于采用地球动力学分类原则^[1,2,3]。沉积盆地中的沉积岩是获得地球显生宙环境和生命演化的丰富知识的基础,受地球动力控制的盆地中的沉积物记录了动力学历史的时空细节。因此,沉积盆地保存了地球动力学作用过程的记录,特别是各种构造环境中岩石圈的热-力学行为。本文根据近来对东北中新生代盆地的研究,讨论了沉积盆地形成的地球动力学机制,并试图提出一个新的盆地分类方案。

2 沉积盆地形成的地球动力学机制

地球历史演化的动力是来自地核和地幔,通过地幔的热对流把地核产生的热量传递到地表,并通过不断变化的热对流和物质对流来达到地球内部的平衡。核-幔边界过剩的热通过地幔羽的形式或软流圈的区域性隆升形式传递到岩石圈上部,并使岩石圈隆起、遭受剥蚀,当热散失后在地表形成盆地。地幔热对流具体体现在软流圈上涌的高度或莫霍面位置,或以火山喷发作用将热直接传导到大气圈。软流圈和莫霍面的位置对中、新生代盆地的形成和演化具有明显的制约作用。地球内部热的演化是导致沉积盆地形成和演化的原动力。

岩石圈是地球的外层,也是沉积盆地的依托。它的上半部分(厚度一般在25~50km之间)是坚硬的,能贮存和传播应力,称为弹性岩石圈。在弹性岩石圈下部受应力则发生蠕变和

① 博士点基金资助项目(No. 9418701)。

② 本文1998年3月6日收稿。

释放应力,称热岩石圈。弹性岩石圈在受外力或沉积载荷的情况下能发生破裂或弯曲,并为沉积物提供堆积空间。岩石圈和软流圈之间的界线是主要的流变界限。岩石圈的厚度和弹性厚度以及岩石圈的性质控制着沉积盆地的形成,它们都受地幔热对流的影响。岩石圈的性质对盆地的形成有密切关系。

根据地球应力研究证明,应力可以从岩石圈板块边界通过漫长的距离波及到板块内部。对不同大陆和大洋地区应力方位的观察证明,这种具有大区域存在的优选应力方向是岩石圈板块的普遍特征,并且区域应力场是受作用在岩石圈之上大的板块构造力的支配^[4]。岩石圈板块内部应力影响着沉积盆地的形成。目前已了解到板内应力的存在对克拉通盆地、前陆盆地、裂谷盆地和走滑盆地的形成和演化都具有重要约束力。

在探讨盆地形成机制时,首先应当从全球动力学系统来考虑,任何类型盆地的形成都受到统一的地球动力学因素的控制。地球内部的热和物质对流是盆地形成的最根本的原因,热和物质对流具体体现在软流圈、莫霍面或地幔羽的位置或火山作用上,岩石圈是盆地形成的依托,又是盆地和地幔对流之间不可缺少的媒介;板内应力的差异是盆地多样性的原因;沉积载荷是盆地形成不可缺少的条件。

3 沉积盆地的分类

近年来业已提出许多沉积盆地分类方案,我们所提出的原型沉积盆地分类方案主要根据:①地幔岩石圈内流变性的界限,即软流圈或地幔羽的位置;②岩石圈的性质,厚度和弹性性质;③板内应力;④沉积载荷。根据原形盆地形成的地球动力学体系,可将盆地分为:(1)克拉通盆地;(2)拉张盆地;(3)挤压盆地和(4)走滑盆地(图1)。

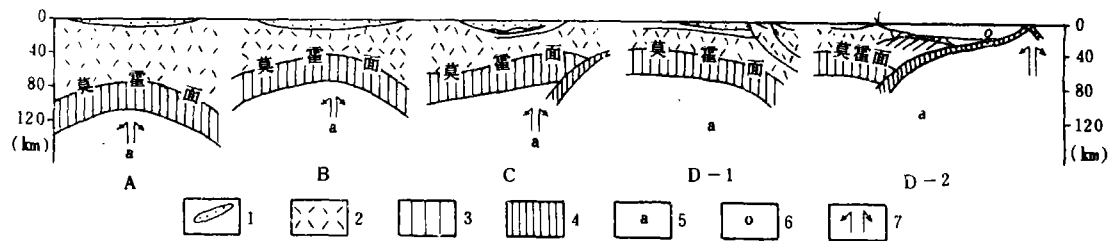


图1 地球动力学的盆地分类模式

A. 克拉通盆地; B. 拉张盆地; C. 走滑盆地; D-1. 前陆盆地; D-2. 弧前盆地;

1. 盆地充填物; 2. 岩石圈; 3. 地幔岩石圈; 4. 海洋岩石圈; 5. 软流圈; 6. 海洋; 7. 地幔对流

Fig. 1 Model for the classification of sedimentary basins based on geodynamic mechanisms

A=cratonic basin; B=extensional basin; C=strike-slip basin; D-1=foreland basin; D-2=fore-arc basin

1=basin fills; 2=lithosphere; 3=mantle lithosphere; 4=oceanic lithosphere;

5=asthenosphere; 6=ocean; 7=mantle convection

原形盆地是地球内部动力学机制控制下所形成的盆地,其演化过程中未发生动力学机制转化或叠加的盆地。若发生地球动力学体制的转化或叠加,则是转化盆地或复合盆地。

3.1 克拉通盆地

是位于大陆板块内部,其基底为前寒武纪结晶岩,第一构造不整合面以上的碟形盆地,如古生代时期的塔里木盆地。关于克拉通盆地的形成机制虽然存在争议,但基本上符合上述四个条件。首先是软流圈的区域性隆升或有地幔羽的侵入,使岩石圈受热发生隆起,从而使

隆起的地表遭受剥蚀,但由于岩石圈的弹性厚度大,由深处来的热力不足以使岩石圈发生破裂,经过长期的热散失和沉积负荷,以及板内应力的叠加使岩石圈在垂向应力作用下发生弯曲形成盆地。

克拉通盆地的沉积特征:①一般为近圆形、椭圆形的浅碟状盆地;②沉积厚度变化不大,一般厚度在3~4km;③沉积时间比较长,可延续2~3个地质时期,一个纪的沉积厚度可达1km左右;④盆地内沉积相变不大,总体上为浅海相沉积。由于克拉通盆地形成于稳定的大陆板块内部,地势平坦,长期稳定、均匀、缓慢地沉降。盆地内不发育断裂活动,也没有火山喷发和岩浆活动,因而形成了稳定型的内源沉积和陆源沉积以及与板块边缘无关的沉积矿产。

3.2 拉张盆地

是位于板块边部,由于软流圈隆升使岩石圈伸展、变薄或由于板内应力使岩石圈伸展而形成的盆地。关于岩石圈伸展的机制的研究在80年代和90年代进展极为迅速,提出了纯剪模式^[5]、简单剪切模式^[6]、层圈拆离模式^[7]和悬臂模式^[8]。

3.2.1 拉张盆地的演化序列

从断陷盆地发展到洋中脊,可分为五个阶段:(1)大陆断陷阶段,通常与软流圈隆起有关,但由于岩石圈厚度和弹性厚度大,在岩石圈伸展过程中,地幔热通过火山作用迅速散失,岩石圈仅发生断裂,形成盆岭构造,如辽西地区的断陷盆地群。(2)大陆裂谷阶段,通常与软流圈隆起有关,软流圈隆起的高度要比前一阶段高,因此岩石圈的厚度要相对薄些,弹性厚度也相应薄些,火山活动弱,形成断拗盆地,如辽北的开鲁盆地、松辽盆地。有的大陆裂谷形成在地幔羽热点之上具有三叉构造,并形成三支裂谷系,其中两支在大陆裂解阶段继续扩张,相继形成大陆边缘盆地和洋盆,另一支停止发育形成夭折裂谷或拗拉槽伸向大陆内部,如西非的贝努埃夭折裂谷。(3)陆间海阶段,大陆漂移开始,洋壳开始侵位,形成混合壳,如现代的红海和亚丁湾。(4)大陆边缘盆地阶段,大陆漂移,大规模扩张,沉积作用速率超过沉降速率,较厚的滨海沉积楔状体超覆在裂谷沉积之上,如东海陆架盆地。(5)大洋中脊阶段,大陆大规模漂移最终形成洋中脊,如西非和南美在三叠纪开始裂开,形成今日的大西洋中脊。

近年来,我们在辽西地区应用非震地球物理方法测出该地区深部的层圈结构,发现在赤峰-开源断裂以南地区的软流圈深度大于80km,以北地区为60km,换句话说在该断裂带以南地区岩石圈的厚度为80km,以北为60km。中生代以来该地区的软流圈上升的高度不同,造成该区不同地带岩石圈温度场的差异,岩石圈温度场的差异又引起了岩石圈力学性质的差异,并控制着盆地的构造样式和盆地形成机制(图2)。非震地球物理方法的综合研究结果表明,赤峰-开源断裂以南的辽西地区壳内拆离带深度为20~27km,岩石圈的弹性厚度为22~27km,该断裂以北的松辽盆地南部地区壳内拆离带的深度为13~27km,岩石圈的弹性厚度为15~20km,壳内拆离带7~10km的深度差异使辽西地区的构造形式主要表现为壳内拆离,松辽盆地南部主要表现为下部地壳和岩石圈地幔纯剪变形,松辽盆地南部岩石圈弹性厚度较小使其具有发育的拗陷演化阶段,因而形成了断拗型盆地,而辽西地区由于岩石圈的弹性厚度较大,软流圈的上升幅度较小,在热冷缩过程中,拗陷作用不发育,所以在辽西地区仅发育断陷盆地。地幔热对岩石圈的影响不同。由于岩石圈厚度和弹性性质的差别,故在形成盆地的式样也有差别,在断裂带以南的辽西盆岭区发育断陷盆地,以北地区则发育断拗盆地—裂谷盆地(图3)。

3.2.2 拉张盆地的沉积特征

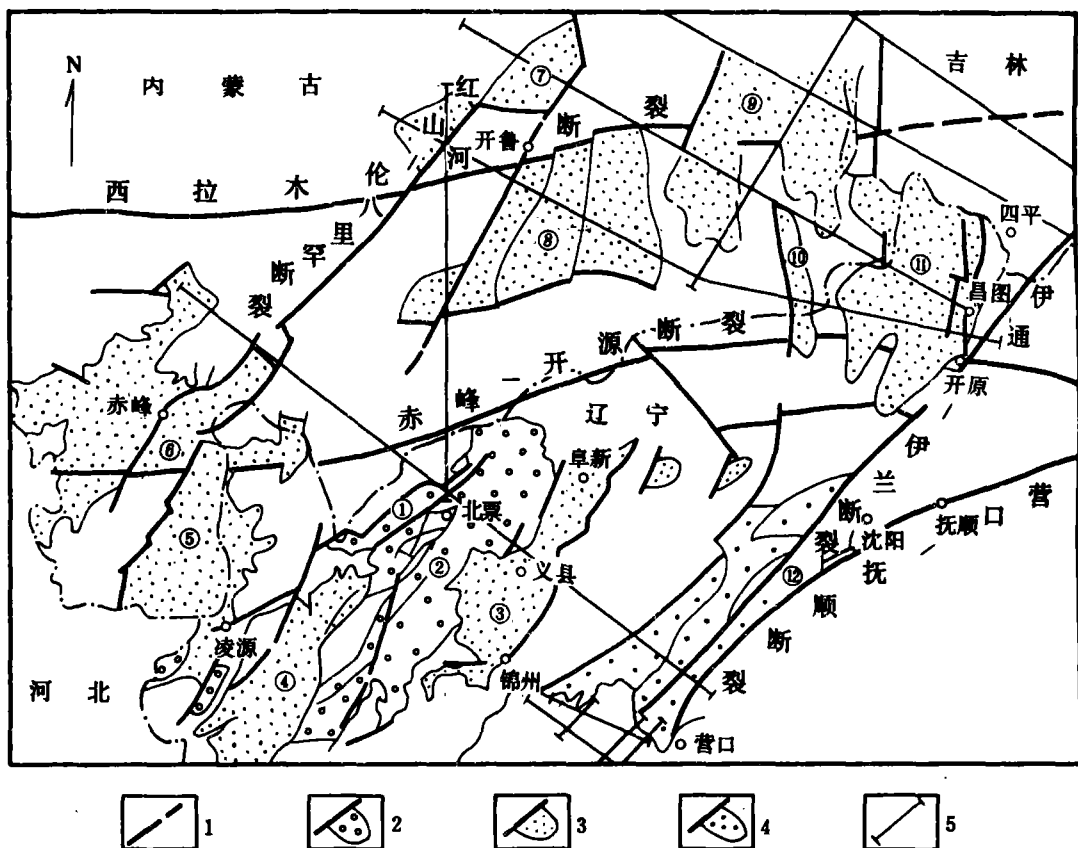


图2 辽西地区中生代盆地的构造式样简图

1. 断层; 2. 早中侏罗世断陷盆地; ①北票-朝阳盆地; ②金岭寺-羊山盆地; 3. 早白垩世断陷盆地; ③阜新-义县盆地; ④建昌-喀左盆地; ⑤平庄盆地; ⑥赤峰-元宝山盆地; ⑦陆家堡坳陷; ⑧哲中坳陷; ⑨双辽坳陷; ⑩张强坳陷; ⑪铁岭-昌图盆地; 4. 第三纪盆地; ⑫下辽河盆地; 5. 剖面位置

Fig. 2 Structural patterns of the Mesozoic basins in western Liaoning

1=fault; 2=Early and Middle Jurassic fault basins; ①=Beipiao-Chaoyang Basin;

②=Jinlingsi-Yangshan Basin; 3=Early Cretaceous fault basins; ③=Fuxin-Yixian Basin;

④=Jianchang-Kazuo Basin; ⑤=Pingzhuang Basin; ⑥=Chifeng-Yuanbaoshan Basin; ⑦=Lujiapu depression;

⑧=Zhezong depression; ⑨=Shuangliao depression; ⑩=Zhangqiang depression;

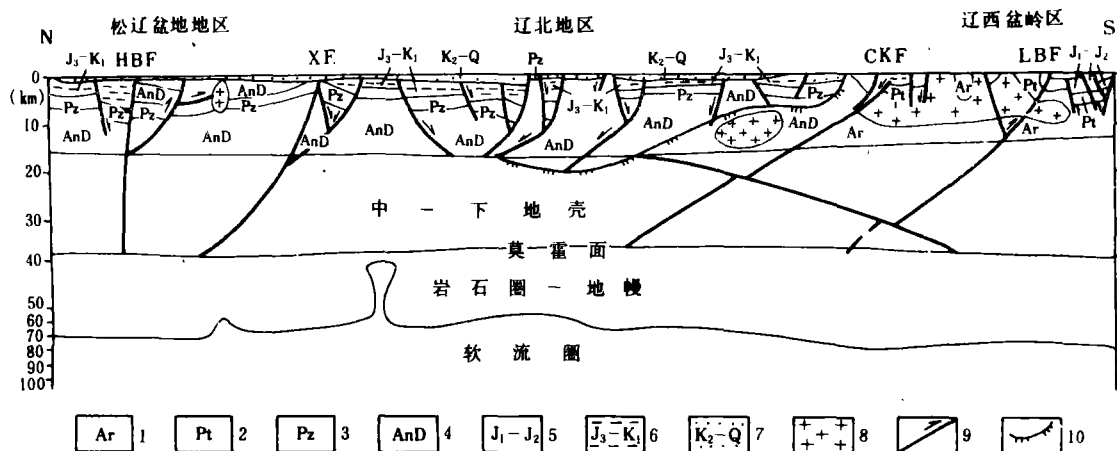
⑪=Tieling-Changtu Basin; 4=Tertiary basin; ⑫=Xialiaohu Basin; 5=section locality

(1) 垂向沉积序列的双层结构: 大陆伸展盆地的发展一般都具有两个阶段, 如断陷盆地的早期的引张作用和晚期的挤压作用, 裂谷盆地的断陷阶段和拗陷阶段。这两个阶段的构造活动性质的物质表现反映在沉积序列的双层构造上。

(2) 双水流体系: 古水流流向是伸展盆地的重要特征。它们一般具有两个水流体系, 一是内部水流系统, 水流由周围分水岭流入盆地, 其中以轴向水流尤为重要; 另一是外部水流系统, 水流由隆起区向两侧海盆泄流。

(3) 同沉积断裂活动: 在伸展盆地发育过程中, 断裂活动和沉积作用经常是相伴发生的。同生断裂的重要标志是巨厚的冲洪积扇和扇三角洲沉积, 以及沉积重力构造和浊流沉积。

(4) 纵向和横向上的相变剧烈: 由于伸展盆地的一般都呈线状的窄长盆地, 地形梯度大, 相带窄, 相变快, 常出现高能沉积与低能沉积共生现象。



源快速堆积于盆地中,形成磨拉石沉积和膏盐沉积组合;②沉积相在时空分布上的不对称性,早期以非补偿型的深海沉积和台地沉积为主,到了中晚期则以近补偿和超补偿型的陆相沉积为主;③由于前陆盆地在地形上的不对称,靠近褶皱山系一侧为陡坡地形,靠近台地一侧为缓坡地形。由于地形上的不对称性,致使盆地发育过程中,靠近褶皱山系一侧,早期以深海浊积扇沉积向大陆斜坡沉积过渡,晚期转向陆相的扇三角洲沉积;靠近台地一侧则以浅水台地相沉积向三角洲河流沉积过渡,晚期则为河流、沼泽沉积;④物源区也随着发育时期而变迁。盆地发育早期,沉积物主要来自稳定的地台区,中晚期则来自褶皱山系;⑤沉积物厚度也呈明显的不对称性。

3.4 走滑盆地

与走滑断裂系密切共生,走滑盆地是通过地壳或岩石圈之间的侧向运动产生。岩石圈的侧向运动常伴随有一定数量的正向的或逆向的倾向分量,当在张扭应力场下产生的由正断层组成的向形构造和负花状构造,形成走滑-拉分盆地。在压扭应力场下产生的由向上分叉的逆断层组成的背形构造和正花状构造,形成走滑造山带,在其相邻一侧形成走滑-挠曲盆地。

走滑盆地的沉积特征:走滑盆地在许多方面与拉张盆地十分相似,特别是走滑拉分盆地。①同沉积构造活动强烈、沉积速度快,横向相变剧烈,常出现冲积扇直接入湖;②在控盆断裂一侧分布有边缘冲积沉积,而在另一侧以河流相沉积为主,盆地中心为湖相沉积;③物源区的侧向迁移,造成在垂向上物源区的明显差别;④由于物源区的迁移同时也形成冲积扇的斜向向上迁移,造成冲积扇或扇三角洲以偏斜的体态迁移和叠覆。特别是后两点加上花状构造是走滑盆地的最主要的特征。

上述四个分类准则是从地球整体出发,将岩石圈表面的各式各样的盆地统一在共同的分类准则下,可以毫无困难地进行原型盆地的分类。地球动力学理论已经向我们表明,这四种参数都能随时间而变化,在板块演化的过程中,也就是在变化的地球动力学环境下原型盆地可以反转或叠覆在一起,形成由上述两种或两种以上的原型盆地组合成反转盆地或复合盆地。

参 考 文 献

- 1 Allen P A & Allen J R. Basin analysis, principles and application. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, 1990
- 2 陈发景、汪新文、张光亚等. 中国中、新生代含油气盆地构造和动力学背景. 现代地质, 1992, 6(3), 317~327
- 3 刘和甫. 沉积盆地地球动力学分类及构造样式分析. 地球科学-中国地质大学学报, 1993, 18(6), 699~724
- 4 刘立、王东坡. 板内应力在盆地分析中的应用. 世界地质, 1994, 13(3), 51~557
- 5 McKenzie D P. Some remarks on the development of sedimentary basins. Earth Planet Sci. Letters, 1978, 40, 25-32
- 6 Wernick B. Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. Can. J. Earth Sci. 1985, 22, 108-125
- 7 Lister G S, Etheridge M A & Symonds P A. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins. Geology, 1986, 14, 246-250
- 8 Kusznir N J & Ziegler P A. The mechanics of continental extension and sedimentary basin formation, a simple-shear/pure-shear flexural cantilever model. Tectonophysics, 1992, 215, 117-131

Geodynamic mechanisms for the formation of sedimentary basins and their classification

Wang Dongpo Liu Li Xue Linfu Yang Guang Xu Min Wang Jun

Changchun University of Science and Technology

Wang Deqin

D. C. Wang Inc. Boise ID, 83725, U. S. A.

ABSTRACT

The formation of sedimentary basins is considered to be closely related to the thermal and material convection in the Earth's interior. The mantle convection is the primary driving force for the formation and evolution of sedimentary basins, and manifested in the position of the asthenosphere, Moho discontinuity and mantle plume. The ancestral basins have been classified, in this paper, into cratonic, extensional, compressional and strike-slip basins according to the rheologic boundary within the mantle lithosphere, the nature and thickness of the lithosphere, intraplate stress, and sedimentary loading.

Key words: mantle convection, rheologic boundary, nature of the lithosphere, intraplate stress, sedimentary loading