

沉积盆地的地球动力学*

王东坡 薛林福 刘 立 杨 光 许 敏

(长春科技大学, 吉林长春 130026)

王德勤

(王氏有限公司, 美国加州 理其蒙得)

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。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是盆地形成的地球动力学基本机制。

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

第一作者简介 王东坡 男 71 岁 教授 大陆构造沉积学

地球历史演化的动力来自地核和地幔,通过地幔的对流把地核产生的热量和地幔物质传递到地表,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-幔边界过剩的热量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、剥蚀,在热散失的过程中在地表形成盆地。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地球深部的热或物质直接传导到大气圈。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^[1]。

1 岩石圈的性质

岩石圈是地球的外层,是地幔热和物质对流的介质,也是沉积盆地的依托。岩石圈遭受三个不同应力的影响:一是来自软流圈的热应力;二是来自岩石圈板块边界的机械力,即板内应力;三是来自地壳表层沉积物的载荷力。在这三种不同应力的影响下岩石圈要不断地进行调整,并处于相对均衡状态。由于岩石圈在横向上和纵向上的不均一性,使得不同构造地区的岩石圈对这三种应力的反响也不同,因而形成不同类型的盆地^[2]。

1.1 物质组成、结构和厚度

岩石圈由地壳和岩石圈地幔组成,它们之间以莫霍面为界。岩石圈的下界是一个深度变化的不连续界面与软流圈相接^[3]。一般认为大陆地壳在垂向上存在明显的成分分带,即上地壳为花岗质岩层,中地壳是花岗闪长质-闪长质岩层和下地壳由玄武质岩-变质玄武质岩层组成,或认为地壳是二分。近年来,这种成分分带不断地被超深钻的结果所否定,认为地壳内地震波速的变化是一个连续的系列,不存在两个或三个层次的阶梯式跳跃,波速随深度增加主要

* 博士点基金资助项目(No. 9418701)

收稿日期: 1998-05-20

是由组成物质中孔隙压力变化所引起,而非化学成分变化所致^[4]。根据流变学和大地电磁测深的最新资料表明,上、下地壳之间确实存在明显的物性差别。不同性质的构造带内,上地壳组成是不一样的。例如,松辽盆地南部和辽西盆地岭区上地壳存在明显差别,在赤峰-开原断裂以南的华北板块由太古宙-早元古代结晶岩、中、晚元古代-古生代浅变质岩和中、新生代陆源碎屑岩组成;而位于中朝古陆上的松辽盆地则由前泥盆纪(晚元古代)的中间地块、晚古生代(石炭-二叠纪)浅变质岩系和中、新生代陆源碎屑岩组成。根据地球物理模型、地壳生长方式、下地壳包体和出露的大陆地壳剖面等资料分析,下地壳总体成分是长英质麻粒岩、闪长岩、斜长岩、角闪岩的某些组合,只是在古造山带和现今活动大陆边缘的下地壳底部可能存在基性麻粒岩。

一般认为地幔最上部主要是由纯橄榄岩和橄榄岩组成,榴辉岩只是作为局部分凝物而出现,所占比例很少^[5]。岩石圈的厚度因地而异,一般大陆地区厚度介于 25~150 km 之间。中国东北地区,由于中新世大陆伸展作用使岩石圈发生脆性减薄和塑性减薄,且二者减薄幅度不一致,加剧了岩石圈的不均一性。在赤峰-开原断裂以南的华北板块北缘岩石圈厚度达 80 km 以上,沿断裂带向凌源-北票一线以西岩石圈厚度由 90 km 增加到 120 km;断裂以北地区岩石圈厚度明显减薄为 60 km,再向北到松辽盆地逐渐减薄到 50 km。中生代以来该地区的软流圈上升的高度不同,造成这些地区岩石圈厚度的不同。岩石圈的厚度变化直接影响着沉积盆地构造类型(图 1, 2)。

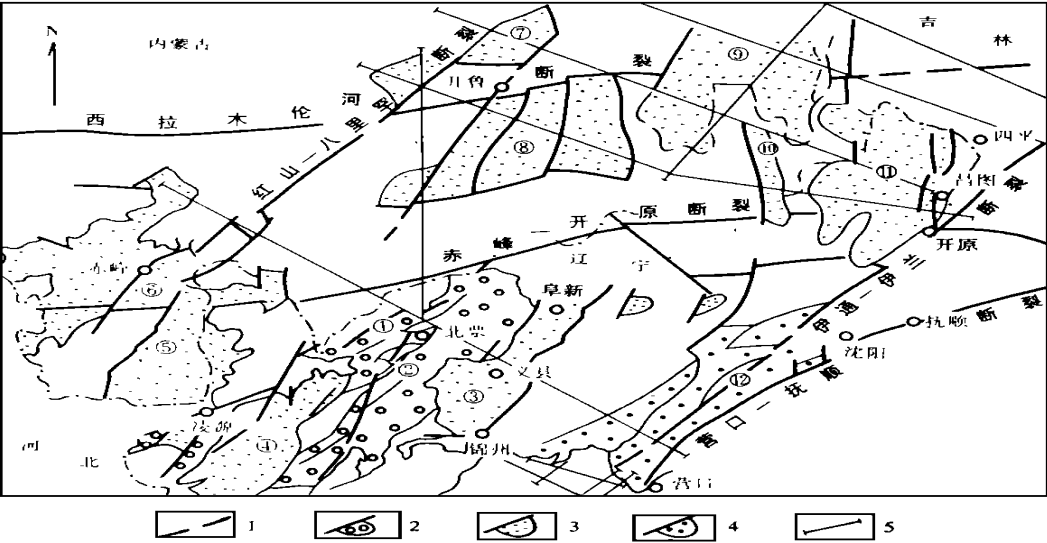


图 1 辽西地区中生代盆地的构造式样简图

1—断层; 2—早中侏罗世断陷盆地; 3—早白垩世断陷盆地; 4—第三纪盆地; 5—剖面位置

- ①北票-朝阳盆地; ②金岭寺-羊山盆地; 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张强凹陷; ⑪铁岭-昌图盆地; ⑫下辽河盆地

1.2 流变性

随着岩石圈成分分层不断受到冲击,岩石圈的流变学分层在沉积盆地动力学研究中愈来愈成为热点,因为岩石圈流变性质直接影响了岩石圈的强度。Ranalli^[6]将流变学系统引入地质学,并提出了岩石圈分层流变模式,即大陆岩石圈是由两个韧性层分隔两个脆性地壳层和一

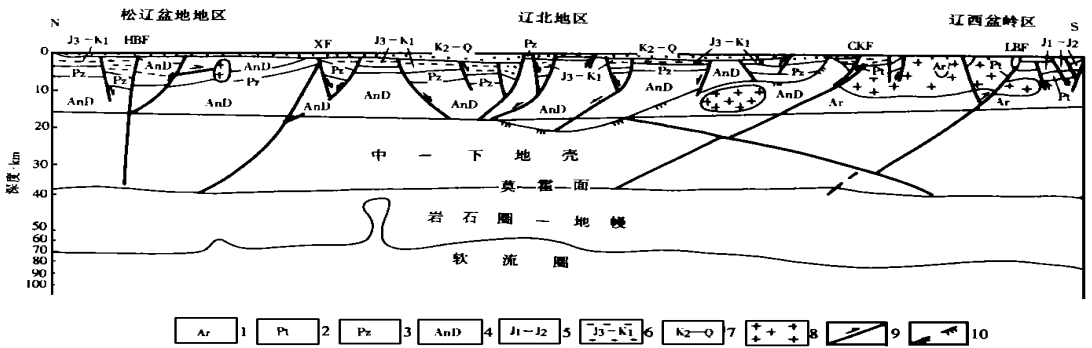


图2 辽西地区地质-地球物理综合解释剖面图

HBF—红山—八里罕断裂; XF—西拉木伦河断裂; CKF—赤峰—开原断层; LBF—陵源—北票断裂

1—太古代; 2—元古代; 3—上古生界; 4—前泥盆系; 5—中下侏罗统; 6—下白垩统; 7—上白垩统—第四系;

8—花岗岩类; 9—断层; 10—韧性剪切带

个上地幔脆性层所构成。Molnar^[7]也建立了大陆岩石圈的深度-强度结构剖面,由下地壳韧性层和其上、下两个脆性层构成“三明治”结构。近年来地质学家和地球物理学家通过研究剥露在地表的下地壳高级变质岩及深源包体和深地震反射剖面,进一步证实了大陆下地壳具有十分显著的流变性,只是不同构造单元,各流变层的埋深、厚度等有所不同。大陆岩石圈在垂向和横向上均显示出不均一性和差异流变性,这种差异性与盆地类型密切相关。一般认为,岩石圈上部(厚度一般在25~50 km之间)是坚硬的,能在较长的地质时期内贮存和传播应力,称为弹性岩石圈。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。弹性岩石圈下部称热岩石圈,受应力则发生蠕变作用和释放应力^[8]。岩石圈和软流圈之间的界线是主要的流变界限。影响岩石圈这种流变性质变化的主要因素是岩性、岩石各向异性、应变速率或伸展速率、孔隙度及流体、温度、熔体、颗粒度等。薛林福^{*}的研究表明,伸展速率高时其温度场的变化与瞬时伸展的温度场的变化相当,伸展速率低时与有限伸展的温度场变化相当。在伸展量相同条件下,有限伸展能更有效地降低岩石圈强度。构造沉积学综合分析表明辽西盆岭区有较高的伸展速率和较小的伸展量,因而具有较大的岩石圈强度,使得辽西地区伸展后的挠曲沉降不发育,只发育断陷盆地。

滑脱面作为深层流变界面直观地将岩石圈分为上部脆性层与下部塑性层,受到应力后脆性层发生弹性应变,应力增加至一定强度岩石圈发生破裂,而下部的塑性层蠕变作用有效地缓和了弹性应力^[9-11]。根据大地电磁测深实测和以450℃等温面为界计算,辽西盆岭区滑脱面深度大,岩石圈有效弹性厚度为22~27 km,而松辽盆地的滑脱面深度浅,其岩石圈有效弹性厚度为15~20 km。

岩石圈屈服强度包络线是描述岩石圈强度随深度变化的重要参数。松辽盆地和辽西盆岭区的屈服强度曲线与深度关系曲线有许多相似之处,但辽西盆岭区韧性带从15 km开始,而松辽盆地始于10 km,辽西盆岭区地幔韧性带与松辽盆地深度近似,但两地区的屈服强度的深

* 薛林福. 大陆伸展盆地构造沉积学模拟及其在下辽河外围盆地综合研究中的应用. 长春地质学院博士研究生论文, 1995

度不同。辽西盆岭区在近 80 km 深度时屈服强度为 0, 而松辽盆地至 60 km 时屈服强度就已降到 0(图 3)。可见两个地区在岩石圈强度上存在差别, 影响两个地区沉积盆地在盆地样式上的不同。

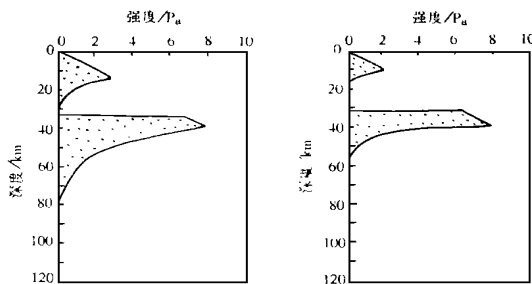


图 3 不同构造单元岩石圈的屈服强度与深度的关系曲线

(a) —辽西盆岭区; (b) —辽北和松辽地区

2 板内应力

在盆地研究中, 近年来人们越来越注意到板内应力对盆地形成的影响。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^[12]。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, 其区域应力场受作用在岩石圈之上大的板块构造力的支配。岩石圈板块内部应力影响着沉积盆地的形成。板内应力作用的结果一方面取决于板内应力的方向、强度及引起的应变速

率; 一方面取决于岩石圈的弹性和粘弹性性质, 因为不同性质的岩石圈对应力的变形响应不同。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。在会聚板块边缘不仅产生挤压应力, 使岩石圈发生挠曲形成挠曲盆地, 如前陆盆地; 而且这种应力还可以通过弹性岩石圈传递很远的距离。现已发现中、上地壳拆离滑脱面, 在一些裂谷区由正断层引起地壳的减薄、沉陷和热流上升, 均表明这些引张作用与远场应力有关。我国东北地区自中生代以来盆地形成所受到的板内应力主要是太平洋板块和西伯利亚板块相互作用的结果。晚侏罗世—早白垩世早期由于库拉—太平洋板块以 NNW 方向向欧亚板块俯冲, 在亚洲大陆东北部形成了平行于亚洲大陆边缘宽达 1 000 km 的左旋剪切带和岩石圈的减薄作用, 进而引起岩石圈下部的减压, 促使软流圈被动隆升形成被动的松辽裂谷盆地和规模巨大的郯庐走滑断裂带。

3 沉积物载荷

沉积盆地的形成是在地幔对流引起岩石圈性质的变化和板内应力以及沉积物负荷等因素的综合作用的结果。由岩石圈板内应力发生构造沉降后形成的盆地空间被沉积物充填后, 沉积物的重量使盆地基底发生进一步沉降。虽然沉积物载荷在盆地形成过程中不起主导作用, 但是在不同构造带内, 沉积物的数量和沉积序列具有很大差别。因此, 沉积物负荷是盆地形成不可缺少的条件。

4 地幔对流

岩石圈板块运动与地幔对流密切相关, 但在地幔对流的规模上尚有不同的认识, 以 McKenzie^[13, 14]为代表的双层或多层对流, 以 Davies^[15]为代表的整体地幔对流和 Khain^[16]的整体、分层对流二者兼而有之, 而且交替出现。不管是整体对流还是分层对流, 或是兼而有之, 地幔对流应是地球活动的原动力。地幔对流的本质是热对流和物质对流, 热对流引起岩石圈的厚度、流变性、弹性厚度等等性质的改变, 进而影响盆地性质的变化; 物质对流表现为火山作用和岩浆侵入, 火山作用将地幔物质通过火山喷发带到地表, 同时也将地幔热流快速散失, 使地幔热流没有对岩石圈起什么作用, 而深部的岩浆侵入, 其热流则长期对岩石圈产生影响, 可

使岩石圈的流变性产生变化, 并进而影响到盆地的类型。

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^[17]。地球内部的热和物质对流是盆地形成的最根本的原因; 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; 沉积负荷是沉积盆地形成不可缺少的条件。

参 考 文 献

- 1 王东坡, 刘立, 薛林福, 等. 大陆构造沉积学. 地球科学进展, 1995, 3(6): 612~ 614
- 2 Wang Dongpo, Liu Li, Xue Linfu, et al. Geodynamic mechanism of sedimentary basin formation and basin classification. Progress in Geology of China(1993~ 1996)- Paper to 30th IGC. Beijing: China Ocean Press, 1996. 669~ 671
- 3 黄怀曾, 吴功建. 岩石圈动力学研究. 北京: 地质出版社, 1994
- 4 Mooney W D, Brocher T M. Composition of the lower crust: inferences from coincident seismic reflecto/refraction profiles. IUGG 19 General Assembly Abstr., 1987, 1: 55
- 5 Ringwood A E. Composition and petrology of the earth's mantle. New York: Mc Graw Hill, 1975
- 6 Ranalli C, Murphy D C. Rheological stratification of the lithosphere. Tectonophysics, 1987, 132: 281~ 295
- 7 Molnar P. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics. Nature, 1988, 335: 131~ 137
- 8 Allen P A, Allen J R. Basin analysis, principles and application. Oxford, London: Blackwell Scientific Publications, 1990
- 9 McKenzie D P. Some remarks on the development of sedimentary basins. Earth Planetary Sci Letters, 1978, 40: 25~ 32
- 10 Wernick B. Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. Canadian J Earth Sci, 1985, 22: 108~ 125
- 11 Lister G S, Etheridge M A, Symonds P A. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins. Geology, 1986, 14: 246~ 250
- 12 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~ 57
- 13 McKenzie D P, Roberts J M, Weiss N O. Convection in the earth's mantle: toward a numerical simulation. J Fluid Mech, 1974, 62: 465~ 538
- 14 McKenzie D P. Surface deformation, gravity anomalies and convection. Royal Astron Soc Geophys Jour, 1977, 48: 211~ 238
- 15 Davies G F. Whole-mantle convection and plate tectonics. Geophys J, 1977, 49: 459~ 486
- 16 哈因 V E. 大地构造学和地球动力学现代问题——从板块构造学到全球动力学. 长春地质学院学报, 1996, 26(4): 361~ 367
- 17 王东坡, 薛林福, 刘立, 等. 中国东北中生代盆地形成的地球动力学机制. 长春地质学院学报, 1997, 27(增刊 II): 1~ 7

GEODYNAMICS OF SEDIMENTARY BASIN

Wang Dongpo Xue Linfu Liu Li Yang Guang Xu Min

(Changchun Univ. of Sci. & Tech., Changchun)

Wang Deqin

(Wang, Inc. Richmond, CA, U. S. A.)

Abstract

The formation of sedimentary basin is mainly related to the thermal and material convection of the earth interior, and that is the primary driving force causing the formation of sedimentary basin. The rise of the asthenosphere, the position of Moho and mantle plume are the indication of the mantle convection. The rheology boundary within the mantle lithosphere, the nature of the lithosphere, the intraplate stress and thickness, the sedimentary loading are the important geodynamic factors of sedimentary basin.