

文章编号: 1001-1986(2008)02-0001-06

东北北部中新生代盆地群构造与深部结构特征

曹成润, 董晓伟

(吉林大学东北亚国际地学研究与教学中心, 吉林 长春 130026)

摘要: 松辽盆地及其东西两侧的中、新生代盆地群的形成与演化表现为两大盆地构造旋回, 包括两次成盆期和两次反转期。由于所处大地构造位置的岩石圈厚度、软流圈的起伏、莫霍面的埋深、岩石圈有效弹性厚度等的差异, 导致 3 个盆地群的时空演化及其盆地结构特征的规律性变化。研究表明, 浅层次盆地类型、断陷样式、反转构造组合以及盆地构造演化规律等明显地受深部岩石圈结构的控制和制约。

关 键 词: 中新生代盆地; 岩石圈结构; 有效弹性厚度; 构造层序; 构造反转

中图分类号: P548; P618.1102 **文献标识码:** A

Tectonics and deep structure features of Meso-Cenozoic basin groups, northern NE China

CAO Cheng-run, DONG Xiao-wei

(International Centre for Geosciences Research and Education in NE Asia, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: The formation and evolution of Meso-Cenozoic basin groups in Songliao basin and its both side areas appear two tectonic evolution cycles including two basin formation periods and two inversion periods. The differences of lithosphere thickness, asthenospheric rolling, depth of Mohr and effective elastic thickness of lithosphere in the tectonic place resulted in regularly changes of space-time evolution of three basin groups and structure features. Our study results show that the basin type, rift-depression style, inversion structure system and structural evolution regularity of shallow seated basins were evidently controlled by deep geodynamic structure of lithosphere.

Key words: Meso-Cenozoic basin ; lithosphere structure ; effective elastic thickness ; structure sequence ; structural inversion

中、新生代时期, 东北北部地区形成了大小不等、有规律分布的含煤和含油气盆地群。它们的形成与演化是晚中生代和新生代滨太平洋构造域横向伸展与剪切裂陷、垂向冷缩坳陷的结果。区域断裂的分布及活动特点、软流圈的起伏、岩石圈结构、板块动力学环境与应力场分布特点等, 决定着盆地群的形成与演化、盆地类型及断陷样式及其构造组合。总体上, 可把该区盆地群划分为东、中、西 3 个盆地群带^[1]。本文拟探讨 3 个区带的浅层次盆地构造的差异与深层动力学结构特征及其内在联系。

1 盆地群的时空分布特征及构造样式

1.1 中生代盆地群

晚中生代是东北全区范围内大规模的成盆期, 以形成 NE-NNE 向总体展布的裂陷盆地群为其特征

(图 1), 该期也是我国北方重要的煤炭和油气的生成阶段。

构造古地理研究表明, 牡丹江断裂以东地区(东带)盆地群为早期的以北部近 SN-NNE 向军川断裂和南部敦-密断裂所控制的, 在布列亚-佳木斯拼合地块上发育起来的三江-穆棱河联合陆缘裂陷盆地^[2], 与现今分割独立的盆地群的面貌大不相同。其结构样式以高角度($>50^\circ$)正断层控制的复合型箕状断陷为主, 盆地内存在早期的高角度双断型地堑式断陷, 但它们在垂向上普遍呈反向叠加型(如虎林盆地的七虎林坳陷、三江盆地的绥滨断陷等较为典型)(图 2a)。断陷或裂陷层序发育而坳陷层序极不发育, 而且控盆断裂的拆离面深度也较大。在晚白垩世的构造反转形成一系列分割并独立演化的小型盆地群。

收稿日期: 2007-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372060); 中国石油天然气总公司“九五”科技攻关项目(970206-01)

作者简介: 曹成润(1957—), 男, 黑龙江勃利县人, 教授, 博士, 从事盆地构造研究与教学。

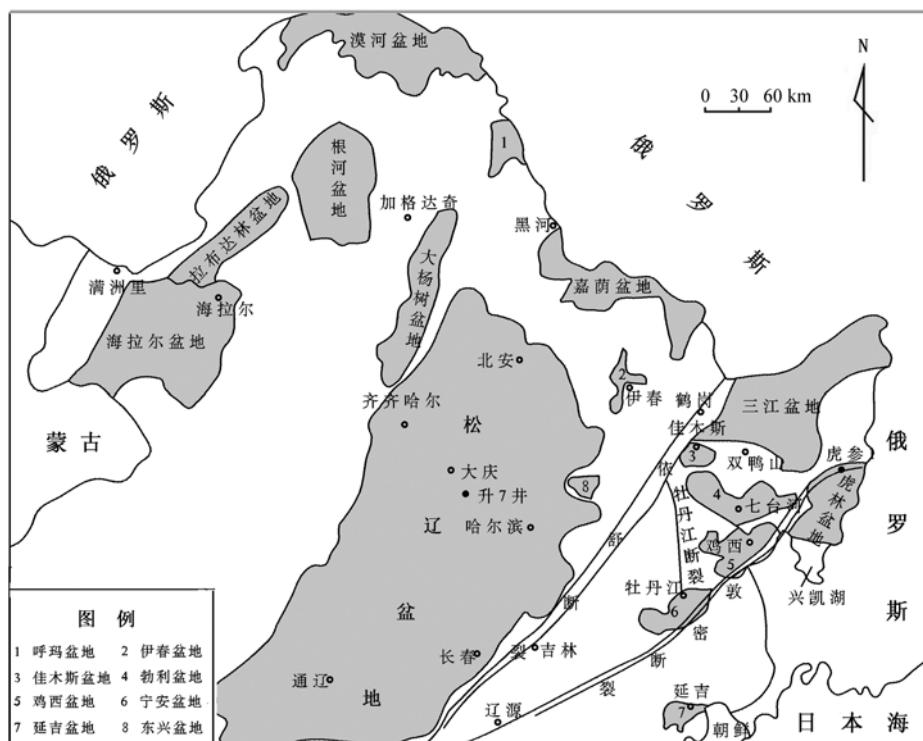


图 1 东北北部中新生代盆地群分布图

Fig.1 The distribution map of Meso-Cenozoic basin groups, northern NE China

注：图中灰色部分表示盆地。

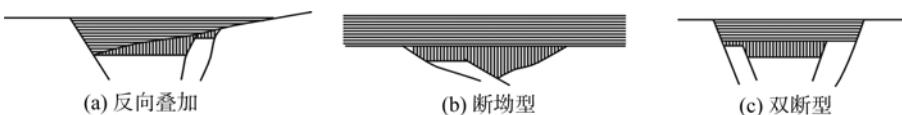


图 2 中新生代沉积盆地结构样式

Fig.2 Structure styles of sedimentary basin in Meso-Cenozoic era

横穿盆地的综合地质剖面表明，松辽盆地地层格架为断-坳型，具有典型的二元结构(图 2b)。在早期(同裂谷阶段，早白垩世登娄库组沉积之前)典型盆地样式为 40 多个 NNE 向展布的箕状为主的断陷盆地群，主要由西侧铲状基底断裂控制的箕状断陷群，没有形成明显的反向叠加。在此断陷群上上覆了统一的大厚度坳陷层序(登娄库组-嫩江组)。

以大兴安岭为界的西带盆地群以海拉尔盆地为例，在构造特征和分布上均表现为明显的规律性：

a. 断陷群总体以 NE 向展布的单断箕状断陷为主，由西向东表现为西断东超型和双断地堑型(图 2c)——东断西超与西断东超交替出现——东断西超型断陷带；

b. 中西部断陷西侧由 SE 倾向、大倾角断裂控制，而东部呼伦湖断陷东侧则由 NW 倾向、倾角相对较小的断裂控制，不对称断陷结构表明该期上地壳以简单剪切活动为特征；

c. 中、东部断陷在平面上右行雁列式分布，显示右行拉张过程。

上述断陷带的总体走向为由东向西依次为东带的近 SN 向($5\sim15^\circ$)—中带的 NNE 向($15\sim25^\circ$)—西带的 NE 向($45\sim60^\circ$)，而且控盆断裂的倾角由东带的高角度($50\sim70^\circ$)—中带松辽盆地的缓倾($20\sim30^\circ$)—西带海拉尔盆地的高角度($45\sim70^\circ$)有规律地变化。

1.2 新生代裂陷

东北地区新生代盆地的形成主要是依-舒断裂带和敦-密断裂带的古近纪右行走滑-伸展活动的产物。因此，研究区新生代的裂陷带就是由此两条高角度区域断裂所控制的串珠状分布的古近纪始新世-渐新世 NNE-NE 向裂陷带，其结构类型为单断箕状和双断地堑型裂陷，它们以平面不同位置上的交替出现和剖面上垂向叠加的交替出现为特征(图 2c)。古近纪的控盆控坳断裂为高角度($60\sim75^\circ$)同向或反向的斜滑断层系^[2]。始新世-渐新世 NNE-NE 向裂陷带中坳陷层序

不发育。

在方正断陷内近 EW 走向的松花江断裂是一条重要的调节断层，其南为较典型的新生代双断断陷，以北为高角度单断箕状断陷，且以 T₂₋₂ 反射层(始新统达二段与达三段分界面)为界早期为东断、后期西断为主的垂向反向叠加型断陷。

2 中新生代盆地的形成与演化规律

2.1 盆地形成与演化阶段

盆地构造演化的综合研究表明，松辽盆地及其邻区的成盆与构造演化过程总体上可分为第 1 成盆期(J₃-K₁)、第 1 反转期(K₂-E₁)、第 2 成盆期(E₂-E₃)和第 2 反转期(N)等 4 个阶段。从构造演化角度来看，这 4 个阶段反映了两大成盆构造演化旋回。从古构造发育史平衡剖面和主要盆地沉降史、伸展史来看，中、新生代盆地群普遍经历了早期快速沉降(断陷期)—稳定沉降(坳陷期)—盆地衰减与抬升剥蚀—快速沉降—稳定衰减(或抬升剥蚀)等 5 个阶段或演化模式。但在不同地区、不同阶段的表现形式和反转强度相差较大。例如，东带盆地的演化缺少缓慢沉降阶段，而中、西带缺少第 2 次快速沉降曲线(图 3)。

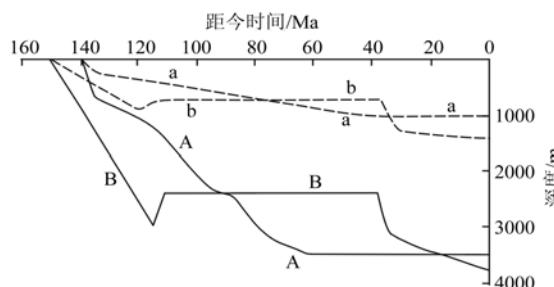


图 3 松辽盆地和东带沉降曲线

Fig.3 Subsidence curves of Songliao basin and east zone
A—松辽盆地升 7 井区总沉降曲线; B—虎林盆地虎参 1 井区总沉降曲线;
a—松辽盆地升 7 井区构造沉降曲线；b—虎林盆地虎参 1 井区构造沉降曲线

2.2 主要成盆期

盆地群东带，在第 1 成盆期主要为陆缘-陆内(海相-海陆过渡相-陆相)裂陷沉积环境^[2-3]。鸡西盆地和勃利盆地西部发育的滴道组属盆地沉降初期边缘充填型沉积。该时期气候温暖潮湿，植物繁盛，成为东北地区重要的成煤期。第 2 成盆期均为陆相碎屑岩沉积，以湖沼相最为发育，主要受 NE 向右行-伸展断裂控制，形成了依-舒断裂带的伊通断陷、胜利断陷、方正断陷、汤原断陷和敦-密断裂带的鸡西盆地平阳断陷、虎林盆地七虎林断陷等。巨厚的陆相碎屑岩快速充填堆积局限在 NE 向区域断裂带内(厚度达 3 000

m)，为新生界油气藏的形成与该区中生界油气的保存奠定了物质条件。

松辽盆地在第 1 成盆期经历了两个演化阶段，即早期快速沉降的裂谷期(140~132 Ma, 火石岭组-营城组沉积时)和稳定沉降的坳陷期(132~77 Ma, 登娄库组-嫩江组沉积时)。这两种沉降在空间上有很大的构造迁移，前者沉降区域很大，但空间上不连续，充填堆积只发生在断陷内，而后一阶段的沉降速率虽小，但沉降幅度很大(图 3 中 B 曲线)。后一阶段以热沉降为主，形成了大范围、大厚度(达 3 000 多 m)的坳陷层序，形成了多套生储盖组合。

盆地群西带的海拉尔盆地，其第 1 成盆期构造演化过程与盆地群东带相似，晚中生代以裂陷作用为主。上白垩统青元岗组底界(反射面)为强烈的削截不整合面，与下伏地层以较大的角度交截，代表海拉尔盆地从断陷向坳陷的转化界面。另外，成盆过程表现为由西向东、由北向南构造演化的规律性。也即，总体由 NW 向 SE 方向递进发展。例如，西部扎赉诺尔断陷的发育早于东部的贝尔湖断陷，在扎和庙-伊敏河断裂以北断陷的发育早于南部断陷。这与断裂同生活动性的时空分布有关。在北东向裂陷带中充填了最厚可达 5 000 m 的陆相碎屑岩。

2.3 主要反转期

在第 1 反转期，盆地群东带发生一系列近 EW、NW 向的逆冲断裂活动，从而使统一的陆缘原型盆地被分割成独立发展的小型湖泊环境，且以后期的大面积抬升剥蚀为特征。第 1 成盆期充填堆积的裂陷层序在第 1 反转期发生变形、变位，在第 2 反转期进一步改造。盖层褶皱变形表现出明显的规律性：a. 在依-舒和敦-密两条区域走滑-伸展断裂内的盖层褶皱轴线，总体平行于断裂带走向或小角度相交；b. 在断裂带外侧的盆地盖层褶皱长轴方向，总体近 EW 向与主断裂带以较大角度斜交。这明显地反映该断裂带的左行走滑运动方向。盖层构造样式中，还普遍发育花状构造、同向断阶构造以及平面上的雁列式褶皱与断裂组合等，这些均表明其普遍经历过扭动应变。夹持在依-舒断裂和敦-密断裂带之间的勃利盆地盖层构造，主要由此两条断裂的平移速度和平移距离的差异造成，从而呈现其东部与西部沉积与构造变形方位的明显差异，也造成其间地块的逆时针旋转趋势^[3]。在第 1 成盆期形成的 J₃-K₁ 沉积层序经历两次较大规模的构造反转后，盆地内部断裂、褶皱强烈，破坏或改造了原有的盆地沉积体系的分布格局，鸡西、勃利等盆地成为断-褶型残留盆地。

研究表明，在松辽盆地中的构造反转主要在第 1 反转期，所卷入的最新地层为早白垩世嫩江组，其反转构造以由 NNE 向基底断裂控制的带状分布为特征。自西向东分别是泰康-北正镇断裂带控制的林甸-红岗-大安构造带、孙吴-双辽基底深断裂带控制的大庆长垣、明水-孤店断裂控制的任民镇-孤店构造带，以及朝阳沟-长春岭构造带和朱尔山-农安基底断裂带控制的万金塔-农安构造带^[4]。这些反转构造带是松辽盆地重要的油气聚集带。

盆地群西带的海拉尔盆地中的构造反转比较弱，仅有零星分布的正反转断层和新生的逆断层。

显然，新生代时期的第 2 次反转与依-舒和敦-密断裂的左行压扭活动有关，因为其压扭强度由东向西减弱，导致反转强度为东强西弱的结局。除了盆地群东带沉积盖层的强烈变形、变位之外，研究区沿深断裂带深源基性(玄武岩)火山喷发为特征，如松辽盆地内沿孙吴-双辽岩石圈断裂带的岩浆喷发、沿依-舒断裂带和敦-密断裂带的火山喷发等。尤其是东带盆地反转构造层序中几乎都有玄武岩层，如虎林盆地中的宁安玄武岩、勃利益盆地中的大罗密玄武岩和宁安玄武岩、鸡西盆地中的鸡东玄武岩以及依-舒断裂带中的大罗密玄武岩等。依-舒断裂带南段以碧玄岩为主，北段以碱性橄榄玄武岩和碱性玄武岩为主，其时代集中在新近纪^[1]。

3 深部结构特征

成盆动力学机制应包括平面上的板块运动学特征以及由此导致的板内应力场和垂向上的岩石圈结构特征。它们是成盆动力的根本来源，也是盆地类型、盆地结构及其盆地构造演化的控制与影响因素。近 20 a 来，很多学者对我国大陆东部地球动力学机制提出了重要的见解^[5-11]。

东北地区盆地群的形成与演化是晚中生代、新生代滨太平洋构造域伸展与剪切裂陷的结果。研究区区域断裂的分布及活动特点、软流圈的起伏、岩石圈结构、板块动力学环境与板内应力场分布特点，这些均决定着盆地群的形成与演化、盆地类型和断陷样式及其构造组合。

3.1 岩石圈结构特征

盆地群西带位于大兴安岭以西，莫霍面深度变化在 40~43 km 之间，总体向西倾斜并呈 NE 走向，海拉尔盆地呈局部隆起，隆起幅度很小。盆地群中带位于嫩江断裂带和牡丹江断裂带之间，深度变化在 29~35 km 之间，35 km 等深线范围与松辽盆地现今边界相当，莫霍面起伏轴线呈 NNE 向，最高点对应

于松辽盆地中央坳陷区。牡丹江断裂带以东地区，深度变化范围为 31~38 km，总体呈 NE 走向。其北部对应于三江盆地，为莫霍面局部隆起，隆起中心在绥滨断陷，最高点 31 km；南部为莫霍面局部坳陷，中间为过渡带。另外，区域上的主要断裂与莫霍面变化梯度带相对应，如依兰-伊通断裂、敦化-密山断裂、大兴安岭断裂等。

不同热力学结构或不同厚度的岩石圈对盆地形成与演化过程中构造应力与热作用的贡献(或响应)差别较大。松辽盆地岩石圈厚度 65 km 左右，盆地中心不足 50 km。松辽盆地以西的大兴安岭岩石圈厚度为 70~85 km，海拉尔盆地最薄处厚 65 km 左右，其厚度明显较松辽盆地大。东带三江—穆棱河地区岩石圈厚度为 60~80 km，三江地区为 60 km 左右，向南逐渐增大到约 80 km(表 1)。

表 1 动力学结构参数与第 1 成盆期构造层序
Table 1 Parameters of dynamic structure and structural sequence of the first period of basin formation

盆地名称	岩石圈厚度/km	地壳厚度/km	有效弹性岩石圈厚度/km	坳陷层序厚度/m	裂陷层序厚度/m
海拉尔盆地	65~80	40~43	15~20	150~260	2 200~4 800
松辽盆地	50~70	29~35	5~15	1 500~3 200	1 500~3 500
东带盆地	60~80	31~38	10~20	200~400	2 000~3 900

东北地区岩石圈弹性有效厚度等值线图(图 4)显示：**a.** 总体上松辽盆地及其东带的有效弹性厚度较薄(10~20 km)，大兴安岭及其西带厚度较大(15~30 km)；**b.** 等值线总体展布方向为 NNE-NE 向，这与区域控盆断裂的展布方向相吻合。例如，在依-舒断裂带位置及敦-密断裂带位置呈 NE 方向，而沿牡丹江断裂带及大和镇断裂带呈近 SN-NNE 向。这说明东带伸展断层走向主要为 NE 向和近 SN 向两大类，

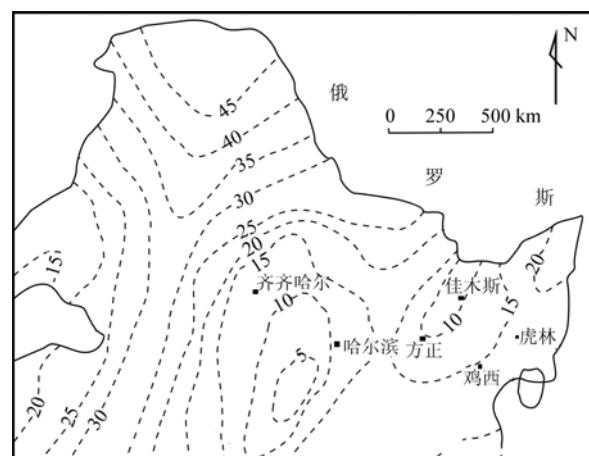


图 4 东北北部有效弹性岩石圈厚度等值线图

Fig.4 The thickness contour map of effective elastic lithosphere in northern NE China

且拆离面深度较西带浅。在某种程度上也表现为东部在中、新生代尤其是新生代构造变动强烈的结构反映。

3.2 深部圈层结构与盆地断-坳演化的关系

岩石圈是地球的外层，也是沉积盆地形成和发展的依托。岩石圈受3种应力影响：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^[9]。在这3种应力影响下，岩石圈结构将重新调整，并达到应力相对平衡状态。由于岩石圈在纵、横向上的不均一性，使得不同地区的岩石圈对这3种应力的响应也不同，从而形成不同结构类型的盆地。

在漫长的地质历史时期中，深部热动力和物质对流的结果一般以岩石圈的结构参数和多样的浅部构造形式保存下来，二者之间具有必然的内在成生联系。

松辽盆地的岩石圈结构是以较薄的岩石圈和有效弹性岩石圈、较浅的幔内高导层为特征。在早白垩世登娄库组沉积之前，松辽盆地主沉降地区的构造沉降曲线陡直；但在登娄库组沉积开始，随时间推移，该沉降曲线呈指数形式衰减。前期沉降是因岩石圈变薄和发生热膨胀引起岩石圈及有效弹性岩石圈厚度变化而产生裂陷调整的结果，其特点是以裂陷沉降为主，沉降速率大，但持续时间短（时间域为35 Ma）；后期沉降是岩石圈的失热垂向收缩产生的，其特点是沉降速率随时间减小、但持续时间长（时间域为60多Ma）。正是这两种相继发生的沉降机制，导致松辽盆地形成断坳型地层格架样式。尤其在后一阶段，由于岩石圈冷却和热收缩导致松辽地区整体下沉，形成了联合裂陷群的大型坳陷盆地。松辽盆地软流圈顶界面的起伏与坳陷的幅度具有明显的对应关系。例如，南部坳陷的沉降中心在乾安附近，岩石圈厚度为55 km，向北西和南东两侧盆缘过度为110~120 km，具有很小坳陷幅度的科左后旗则为60 km，坳陷区内岩石圈厚度一般不超过65 km。另外，坳陷区随岩石圈厚度的增加，坳陷阶段发生的时间推迟。如乾安地区登娄库组沉积初就开始坳陷沉降，而向南西方向梨树—奈曼一线则在泉头组沉积时期开始坳陷沉降^[11]。

在晚中生代裂陷期，盆地群东、西两带仅发生了浅层次的脆性伸展，而盆地群中带的松辽盆地不仅发生了强烈的浅层次脆性伸展，而且发生了强烈的深层次岩石圈塑性减薄，下地壳和壳下岩石圈伸展系数最大达2.0，而上地壳最大伸展系数为1.02~1.45^[10]。

从深部结构来看，盆地群东带的岩石圈和弹性岩石圈有效厚度较盆地群中带的松辽盆地区域的要大。因而，盆地群东带成盆过程以脆性伸展为主、断陷或裂陷层序发育（一般达3 000 m左右），但坳陷层序极

不发育（一般为几百m），且控盆断裂的拆离面深度也较大。从满-绥地学断面^[12]上看，盆地群西带的裂陷作用比东带强烈。影响这种差异的主要因素是岩石圈减薄程度和有效弹性厚度的大小。

4 结论

a. 松辽盆地及其邻区中新生带盆地群的形成与演化过程经历了2个构造旋回：第1成盆期（J₃-K₁）—第1反转期（K₂-E₁）—第2成盆期（E₂₋₃）—第2反转期（N）。

b. 盆地群中带的松辽盆地岩石圈及有效弹性岩石圈的厚度较薄，壳内和幔内高导层埋深较浅，因此该区由铲形正断层控制的箕状断陷层序及巨厚的上覆坳陷层序构成，形成断-坳结构样式。

c. 盆地群东、西两带的岩石圈及有效弹性岩石圈的厚度较大，壳内和幔内高导层埋深较大，因而盆地群以高角度单断式箕状断陷为主，部分为高角度双断型，裂陷层序非常发育，但坳陷层序极不发育，拆离面深度大。盆地群东带多以反向叠加型箕状断陷为特征。

d. 由东向西，盆地构造反转的强烈程度由强变弱，且第2成盆及第2反转过程主要控制在东带右行走滑-伸展和左行-压扭的依-舒断裂带和敦-密断裂带内。

参考文献

- [1] 翟光明. 中国石油地质志(二)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [2] 曹成润, 郑庆道. 黑龙江省东部残留盆地群构造演化特征及其油气勘探意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(2): 167-172.
- [3] CAO CHENG-RUN, SAN XUAN-LONG, WANG DONG-PO. The fault blocks' framework and its control over the deposition in Boli basin[J]. Jour. Geosci. Res. NE Asia, 2001, 4(1): 13-18.
- [4] 张功成, 徐宏, 刘和浦, 等. 松辽盆地反转构造与油气田分布[J]. 石油学报, 1996, 17(2): 9-14.
- [5] 马杏垣, 刘和浦, 王维襄, 等. 中国东部中生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 22-32.
- [6] 陈发景. 含油气盆地地球动力学模式[J]. 地质论评, 1996, 42(4): 304-309.
- [7] 刘池洋, 赵重远, 王维襄. 活动性强、深部作用活跃-中国沉积盆地的两个重要特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1-10.
- [8] 李思田. 沉积盆地的动力学分析[J]. 地学前缘, 1995, 2(3-4): 1-8.
- [9] 王东坡, 薛林福, 王德勤, 等. 岩石圈组构对沉积盆地的制约[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(专辑): 1-9.
- [10] 张功成, 蔡希源, 周保章. 裂陷盆地分析原理和方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [11] 刘立, 王东坡, 薛林福, 等. 松辽盆地的深部层圈结构与盆地演化[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(专辑): 10-14.
- [12] M-SGT 地球物理课题组. 满洲里—绥芬河地学断面地球物理场及深部构造特征研究[M]. 北京: 地震出版社, 1994.