

文章编号: 0253-9985(2009)05-0530-09

中国东北地区的构造格局与盆地演化

周建波, 张兴洲, 马志红, 刘立, 金魏, 张梅生, 王成文, 迟效果

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:东北地区不是海西期褶皱变质带(或造山带),而是早石炭世以来拼合成统一的复合地块,我们称为“佳木斯-兴蒙地块”。东北地区上古生界不是中-新生代盆地的结晶基底,而是具有准盖层性质的陆相-海相沉积盖层。晚古生代海相沉积建造中,暗色泥岩和碳酸盐岩发育,具有潜在的生烃潜力,是东北地区油气资源勘查的重要新层系。提出以嘉荫-牡丹江断裂和嫩江-开鲁断裂为界,将东北地区中-新生代盆地划分为西部、中部和东部三大盆地群,并确定了各盆地的成因类型、石油地质特征及时空演化规律。

关键词:油气新层系;盆地群;晚古生界;佳蒙地块;东北地区

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

Tectonic framework and basin evolution in Northeast China

Zhou Jianbo, Zhang Xingzhou, Ma Zhihong, Liu Li, Jin Wei

Zhang Meisheng, Wang Chengwen, Chi Xiaoguo

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China)

Abstract: The Northeast China is not a Hercynian folded metamorphic belt (or orogenic belt), but a compound terrain pieced together after the Early Carboniferous. We name it “Jiamusi-Xingmeng Terrain”. The Upper Paleozoic is not the crystalline basement for Meso-Cenozoic basins in Northeast China, but marine and continental sedimentary cover of para-caprock nature. The Late Paleozoic marine sequences have well-developed dark mudstones and carbonates, which is the evidence for hydrocarbon potential. These sequences are important new targets for exploring oil and gas in Northeast China. We propose that the Meso-Cenozoic basins in Northeast China could be divided into three basin groups—the west, the middle and the east separated by the Jiayin-Mudanjiang fault and the Nenjiang-Kailu fault. The genetic type, characteristics of petroleum geology and the temporal and spatial evolution pattern of each basin are also discussed in this paper.

Key words: new sequence for oil and gas; basin group; Late Paleozoic; Jiamusi-Xingmeng terrain; Northeast China

中国东北地区地处西伯利亚和华北两大古板块和太平洋板块所辖持的构造区域内(图 1),区内发育有以松辽盆地为代表的一系列中-新生代含油气盆地。特殊的大地构造位置和丰富的油气资源前景使该区成为发展基础地质和石油地质理论,实现中国陆上油气勘探新区、新领域和新层系突破的重要地区之一。

佳蒙地块的新认识改变了对该区传统大地构造观(即褶皱造山带)的认识;东北中生代盆地群的分区和演化的新思路,为大庆外围探区战略选区提出了重要的依据;东北地区晚古生界没有发生区域变质证据的提出,则为突破中-新生代盆地基底油气勘探禁区提供了可能。上述成果的提出对实现东北地区石油的二次创业具有重要的理论意义。

收稿日期: 2009-01-16

第一作者简介:周建波(1966—),男,博士,教授,大地构造学和同位素年代学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40739905 40672148 40872121);国家油气战略选区项目(XQ2004-07)。

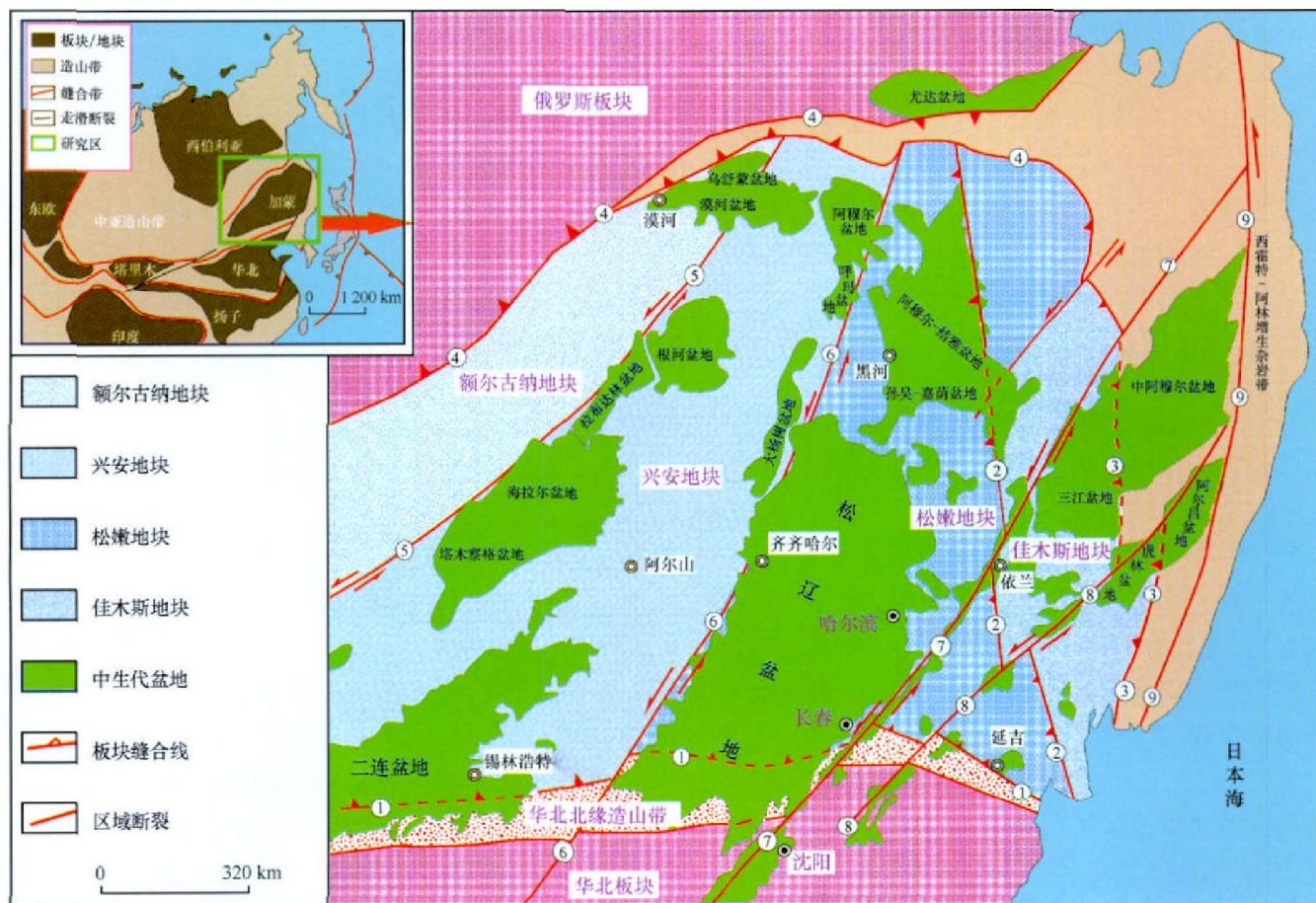


图 1 中国东北及邻区构造单元

Fig. 1 Structural units of Northeast China and its neighboring areas

①西拉木伦河—长春—延吉缝合带;②牡丹江缝合带;③同江—月季山缝合带;④蒙古—鄂霍次克缝合带;
⑤德尔布干断裂;⑥嫩江—开鲁断裂;⑦佳木斯—伊通断裂;⑧敦化—密山断裂;⑨西霍特—阿林中央断裂

1 海西期褶皱带的解体与佳蒙地块的建立

东北地区作为海西期褶皱造山带存在的理论根据主要包括:1)东北地区古生界为绿片岩相区域变质岩系;2)东北地区大面积分布有海西期花岗岩^[1~3]。但是本次工作证实,上述海西期褶皱造山带存在的主要证据值得商榷,东北地区并不是传统认识的海西期褶皱带,而是古生代以来相当稳定的陆块,我们暂称之为佳蒙地块。

1.1 海西期花岗岩带的解体

东北地区作为海西期地槽褶皱带最为直接的依据来源于该区花岗岩时代的确定。但是本次大量高精度锆石 U—Pb 的结果表明,原定义的晚古生代的花岗岩主要为中生代花岗岩。

系统的年代学测试结果显示^[4,5],东北地区的

花岗岩具有两个明显的特征。一是花岗岩的主体形成于中生代,而不是传统所认为的晚古生代;二是花岗岩的时空演化具有明显的阶段性和分区性。主要特征表现为:1)年龄范围 530~450 Ma 峰期年龄为 500 Ma 相当的地质年代为中寒武世—中奥陶世。佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳—兴安地块中均有分布。这一构造—岩浆事件与该区的兴凯运动,或更大区域的萨拉伊尔运动及泛非运动的事件基本一致^[6]。2)年龄范围 340~310 Ma 峰期年龄为 330 Ma 相当的地质年代为早石炭晚期—晚石炭世早期,主要发育在额尔古纳—兴安地块内,沿大兴安岭北东向展布。这一事件与松嫩地块和额尔古纳—兴安地块的拼合时间基本一致。3)年龄范围 270~240 Ma 峰期年龄为 260 Ma 相当的地质年代为晚二叠—早三叠世。这一事件与古亚洲洋的闭合时间基本一致。4)年龄范围 210~160 Ma 峰期年龄为 190 Ma 相当的地质年代为晚三叠—中侏罗世。主要分布在小兴

安岭—张广才岭和东宁—延边地区。这一事件与古亚洲洋构造域转化为太平洋构造域的时间基本一致^[4]。5) 年龄范围 140 ~ 110 Ma 峰期年龄 115 Ma 相当的地质年代为早白垩世。花岗岩主要分布在大兴安岭地区, 呈北东向展布。这一事件与东北亚地区中生代重要的成盆期时间一致, 也是东北亚白垩纪大火山岩省的形成时间。

1.2 晚古生界地层未遭受区域变质作用

前人认为东北地区的晚古生代地层均发生了绿片岩相的区域变质作用。但是本次工作证实这些晚古生代地层并未发生区域变质作用, 局部发生的动力变质和接触变质影响范围非常有限。主要的特点包括: 1) 东北地区的晚古生代地层以海相为主, 主要有泥盆—下石炭统和中二叠统, 岩性以碎屑岩和灰岩为主, 没有遭受变质作用的改造。其中暗色泥岩及生物碎屑灰岩发育, 具有一定的生烃潜力^[7]。2) 晚古生界化石丰富, 保存完好, 泥盆—早石炭世地层中的化石门类众多。代表性化石包括三叶虫、腕足动物、珊瑚、苔藓虫等, 生物礁发育; 生物碎屑灰岩的生物碎屑结构保存完好。中二叠统以腕足类哲斯动物群为特征, 化石保存完好^[8]。说明东北地区存在一个 500 Ma 左右固结的变质地块, 晚古生界是该地块上规模最大、具有准盖层性质的沉积。局部发生的接触变质作用与中生代花岗岩侵入有关。

1.3 佳蒙地块的建立及其主要演化阶段

20世纪90年代初, 张贻侠等^[9] (1998) 就提出东北地区的佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳—兴安地块等曾是独立演化的微板块, 这些微板块于早石炭世拼合成一个统一的大陆。我们将复合地块称其为佳木斯—兴安地块^[7, 8], 包括目前的华北板块以北、蒙古—鄂霍次克缝合带以南、锡霍特—阿林地体增生带以西的广大地区^[10]。其板块构造演化存在截然不同的两期演化过程: 1) 前古生代的独立构造演化阶段。佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳—兴安地块的变质建造特征显示, 它们的变质基底具有明显不同的特征。Nd模式年龄显示, 佳木斯地块的变质岩系麻山群为 2 000 Ma 而额尔古纳—兴安地块的变质岩系兴华渡口群为 1 000 Ma 这说明麻山群的沉积源区老于兴华渡口群的沉积源区, 即佳木斯地块较额尔古纳地块具

有更为古老的基底。2) 晚石炭—早二叠世, 在佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳—兴安地块等地块上均发育相同的晚石炭—早二叠世沉积组合。特别是早二叠世沉积其分布范围广, 岩相稳定, 延伸稳定, 并均发育有中二叠世哲斯动物群, 具有较好的可比性。说明东北地区是经过加里东期构造—岩浆事件最终固结的两个相对独立的变质地块 (佳木斯—松嫩地块和额尔古纳—兴安地块) 在早石炭世沿黑河—扎兰屯—索伦一线碰撞拼合成为一个统一的复合地块, 并在这一复合地块之上发育了一套具有准盖层性质的上石炭—中二叠统沉积。

2 油气勘探新层系

东北地区晚古生界一直被认为是海西期褶皱带或碰撞造山带, 因此, 它被作为中、新生代盆地的变质结晶基底而成为油气勘探的禁区。研究结果表明, 东北地区晚古生界是复合地块基底之上的第一个具有区域性分布的准盖层沉积, 为东北地区油气资源勘探的新层系。

2.1 晚古生代地层的分布格局

东北地区具有区域性分布特征的上古生界主要有两套, 一套为海相沉积的泥盆系—下石炭统, 主要发育在大兴安岭地区, 沿黑河—阿荣旗—乌奴尔—伊尔施—东乌旗一线分布 (图 2a), 佳木斯地块东缘也有少量出露, 沿宝清—密山一线分布 (图 2a), 但二者岩石组合特征和生物化石组合特征明显不同, 不能对比^[2]; 另一套为海相沉积的中二叠统, 主要分布在东北地区的中部和南部 (图 2b), 沿松辽盆地和二连盆地周边出露较广。钻孔资料证实, 松辽盆地杜尔伯特县的杜 101 井在 1 662 ~ 1 946 m 深度的灰黑色泥灰岩中见有小石燕 (*Spiriferella*) 化石, 其化石特征与松辽盆地周边出露的中二叠世哲斯组相当。中二叠统分布的另一重要特征是, 在海相地层以北发育有同时代的陆相地层, 显示出中二叠世沉积环境具有北陆南海的古地理格局, 并发育完整的陆相至海相的沉积序列 (图 2b)。这些特征不仅说明东北地区上古生界不是中—新生代盆地的结晶基底, 而是具有准盖层性质的陆相—海相沉积盖层。

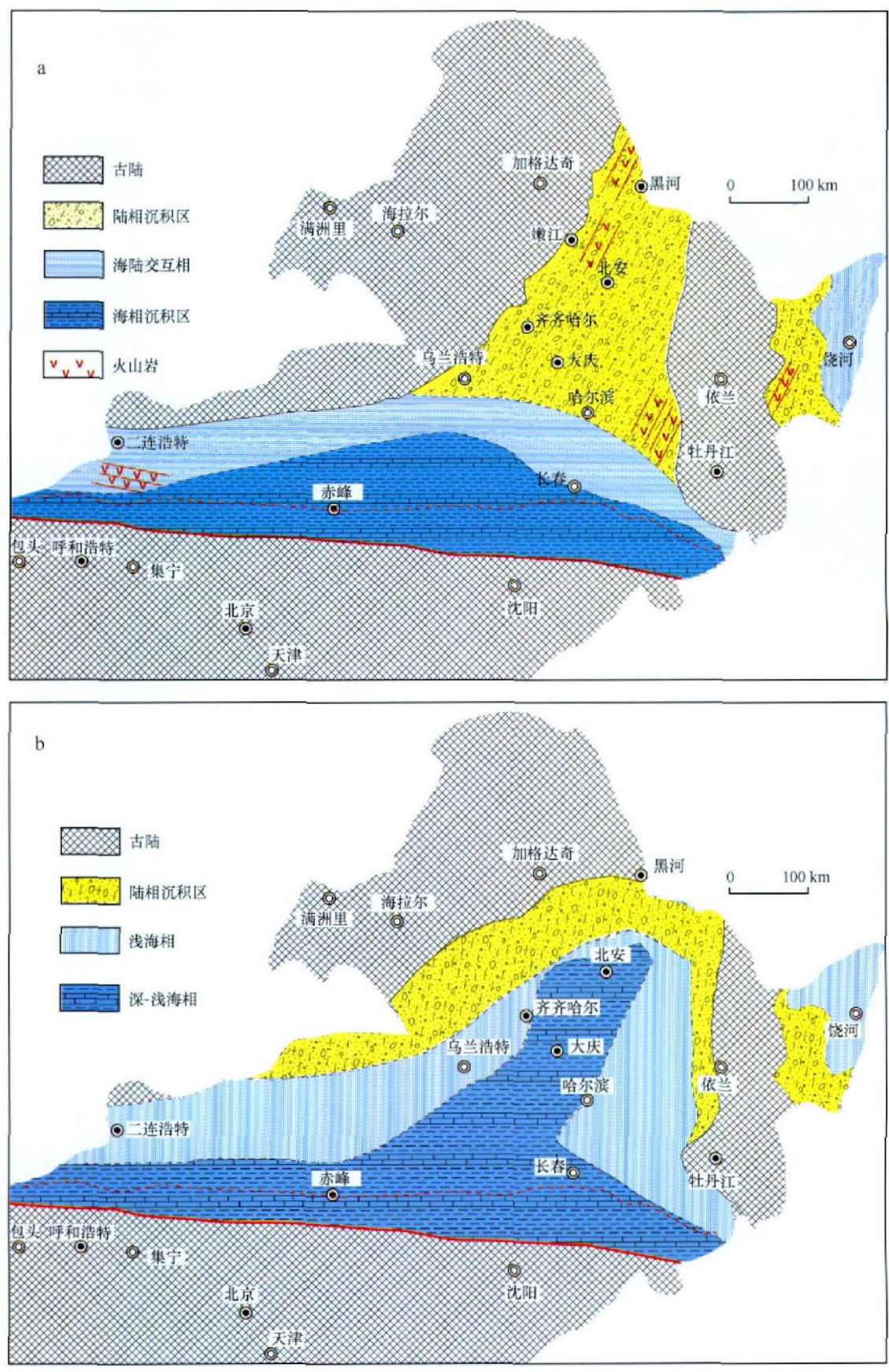


图 2 东北地区晚古生代岩相古地理简图^[7]

Fig. 2 Schematic map of the Late Paleozoic lithofacies-paleogeography in Northeast China

a. 晚石炭世; b. 早-中二叠世

2.2 晚古生代地层的含油气建造

为了解上古生界的成岩作用特征及其与含油气建造的关系,文中选择上古生界泥质岩进行伊利石结晶度分析测试。1)上古生界各时代地层中选择 47 件泥岩样品,结果表明研究区晚古生代地层的伊利石结晶度分布范围为 0.28~0.89。根据目前普遍采用的是大于 0.42 作为高级成岩,小于 0.42 为低级近变质成岩的划分标准,所测样品中有 66% 的样品伊利石结晶度大于 0.42 (图 3),表明多数泥岩处于高级成岩阶段。这些特征表明,上古生界没有遭受区域变质作用,主体处于高级成岩阶段;晚古生代海相沉积建造中暗色泥岩和碳酸盐岩发育,具有潜在的生烃潜力,是东北地区油气资源勘查的重要新层系。2)钻探资料证实,松辽盆地有 19 口井获得了盆地之下上古生界的 R_o 数据,其中 11 口井的 R_o 值小于 2.5%。根据成岩与变质作用划分方案(小于 2.5% 为成岩作用阶段,大于 2.5% 为变质作用阶段),盆地下部的上古生界即使有几千米的覆盖,主体也都处于高级成岩阶段,并具有一定的生烃潜力。

东北地区上古生界以陆相—海相沉积为主,地层出露连续,岩相稳定,分布范围广。其中二叠系哲斯组在西部露头区的暗色泥岩总出露厚度为 1 123 m,其中单层厚度 120~180 m 的灰黑色泥岩及粉砂质泥岩就有 5 层以上。这些岩石主体处于

高级成岩阶段,且发育大量的暗色泥岩和碳酸盐岩,为东北地区油气勘查值得注意的新层系。

2.3 中生代盆地之下隐伏的古生界

东北地区二叠系北界大致沿阿尔山—加格达奇—依兰—牡丹江一线呈弧形分布,而南界大致沿华北板块北缘分布(图 2b)。盆地的沉积中心范围大致沿二连浩特—乌兰浩特—北安—哈尔滨—长春—延吉一线分布。在该晚古生代沉积中心发育区域,覆盖有松辽盆地、二连盆地、延吉盆地等多个中—新生代盆地区。目前已经证实,松辽盆地杜 101 井已发现盆地之下存在确切的二叠纪海相地层,与盆地周边出露的中二叠统化石特征完全一致,因此,有理由把盆地周边出露的上古生界推延到盆地中—新生界之下^[7]。

以松辽盆地和二连盆地等为代表的中—新生代盆地是在统一的东北亚大陆裂谷背景下形成的,它们的分布范围和形态与晚石炭—二叠纪海相沉积盆地基本一致。这说明松辽盆地和二连盆地均属叠合盆地,它们是在一个巨大的晚古生代海相沉积盆地基础上发展起来的。根据区域上晚古生界主体处于成岩阶段,其中以暗色泥岩和碳酸盐岩为代表的潜在烃源岩发育,以及叠合盆地具有形成有利油气储、盖组合的条件分析,东北地区中—新生代盆地深部的晚古生界具有巨大的油气资源潜力,应成为重要的油气勘探新领域。

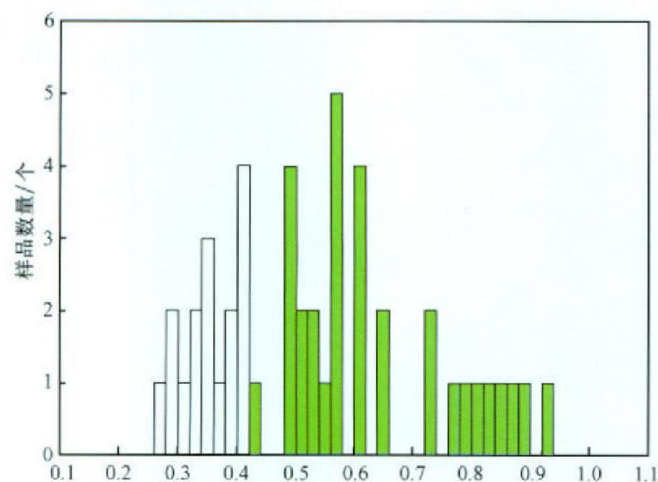


图 3 晚古生界泥质岩伊利石结晶度数据分布频率^①

Fig. 3 Histogram of illite crystallinity of the mudstones in the Upper Paleozoic in Northeast China

3 中生代盆地的构造分区与演化

以北纬 42° 线以北中国境内及部分跨国境的中生代盆地为研究对象,针对大庆探区外围面积大于 1 600 km² 的 13 个盆地进行了系统调研。具体包括:东部的汤原盆地、方正盆地、三江盆地、勃利盆地、鸡西盆地、虎林盆地、宁安盆地和延吉盆地;中部的孙吴—嘉荫盆地;西部的大杨树盆地、漠河盆地、根河盆地和拉布达林盆地。在总结前人相关研究的基础上^[11~15],系统总结盆地的构造特征、沉积作用、岩浆活动、烃源岩分布(图 4 图 5)。并在综合研究和对比基础上,进行了盆地分区与演化特征研究。

① 张兴州,金魏,张梅生,等.大庆外围油气战略选区项目报告.吉林大学,2008

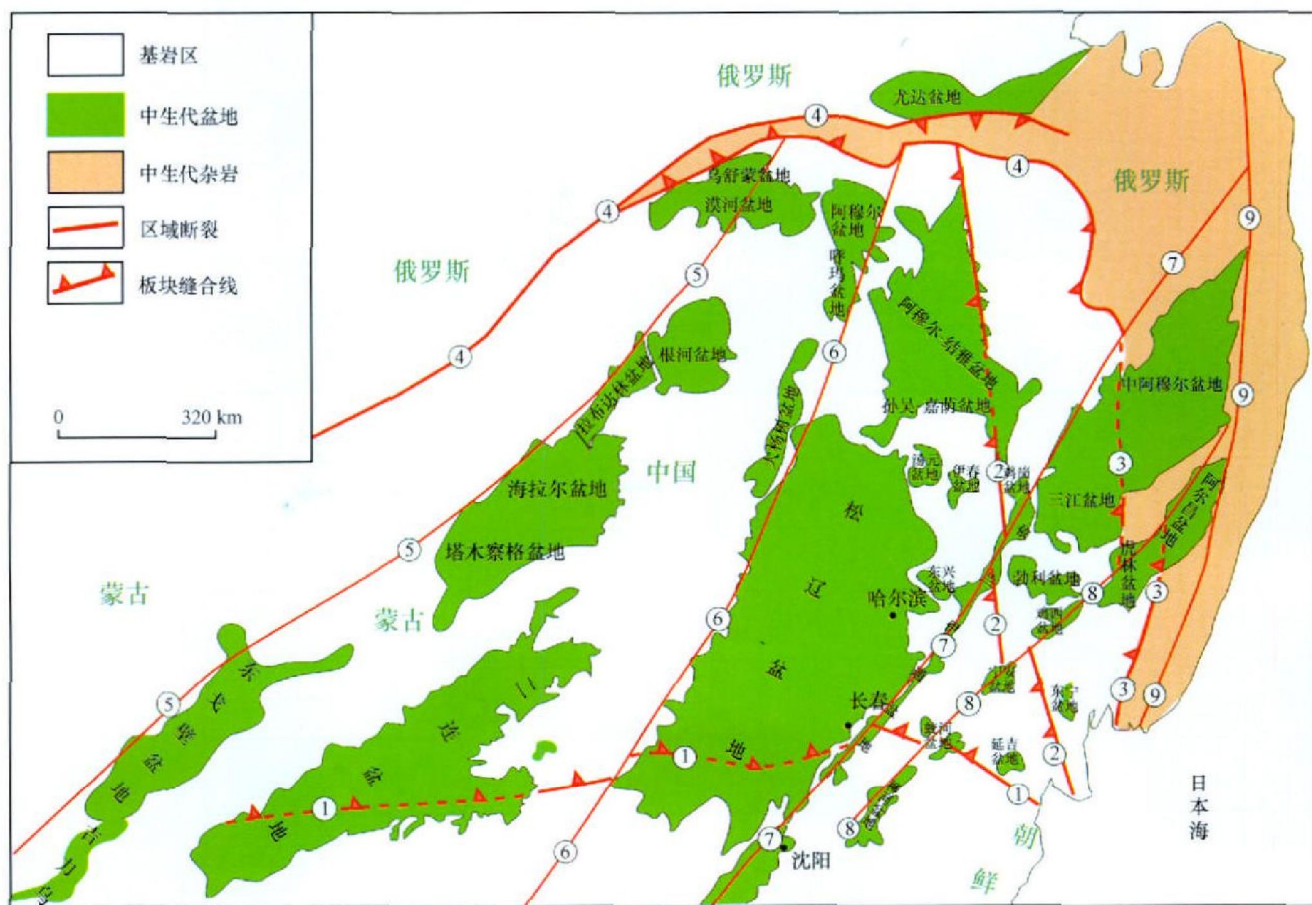


图 4 东北地区中—新生代盆地群与主干断裂分布

Fig. 4 The Meso-Cenozoic basin groups and main faults in Northeast China

① 华北板块北缘缝合带;② 嘉荫—牡丹江缝合带;③ 佳木斯地块东缘地体拼贴带;④ 蒙古—鄂霍次克缝合带;⑤ 东戈壁—得尔布干断裂;⑥ 嫩江—开鲁断裂;⑦ 佳木斯—伊通断裂;⑧ 敦化—密山断裂;⑨ 中央锡或特—阿林断裂;⑩ 嘉荫—共青城断裂

3.1 中生代盆地的分区及其边界断裂性质

东北地区的中—新生代盆地及山系在空间上总体呈北东向展布,与全球最具代表性的西太平洋大陆边缘沟—弧—盆体系展布方向一致,并明显受北东向走滑断裂构造的控制(图 4)。1)盆地群的东、西边界均受控于北东向巨型走滑断裂。西部的北东向东戈壁—得尔布干断裂和东部的中央锡霍特—阿林断裂分别构成中—新生代盆地群分布的西部边界和东部边界。2)北东向的嫩江—开鲁断裂和佳木斯—伊通断裂分别作为松辽盆地的西部边界和东部边界,并将东北地区盆地群分隔为西部盆地群、中部盆地群和东部盆地群。其中西部盆地群(主要包括蒙古境内的东戈壁盆地、中蒙交界处的海拉尔—塔木察格盆地和我国境内的拉布达林盆地、根河盆地和二连盆地)和中部盆地群(松辽盆地和孙吴—嘉荫盆地)规模大、形态完整,总体呈北东向分布,其南部边界明显受近东西

向展布的华北板块北缘断裂带的限制;东部盆地群(主要包括三江盆地、汤原盆地、方正盆地、勃利盆地、宁安盆地、鸡西盆地、虎林盆地和延吉盆地等)规模小、形态复杂,其东部边界受南北向的嘉荫—牡丹江断裂所制约。这些盆地的沉积充填序列、火山活动以及含油气等方面均有较大的不同。

3.2 中—新生代盆地群形成与演化的差异性

1) 盆地内火山活动时限的差异

西部大兴安岭地区的火山活动开始于 160 Ma 的晚侏罗世,到早白垩世早期(130 ~ 120 Ma)达到火山活动峰期。中部松辽盆地的火山活动开始于 125 Ma 到 110 ~ 100 Ma 的早白垩世晚期达到活动峰期。如果将裂谷盆地的形成与火山活动联系起来,则大兴安岭地区断陷盆地形成的主要时代为早白垩世巴列姆—阿普特期,而松辽地区断陷盆地形成的主要时代为早白垩世末的阿尔必期(图 5)。

2) 白垩世的沉积岩相及岩浆活动的差异

西部盆地以火山岩和陆源碎屑沉积为主,而东部盆地以煤系地层,特别是发育海相和海陆交互相沉积明显不同于西部。其中早白垩世火山岩的锆石 U—Pb 年龄显示,西部盆地群的峰期为 130~120 Ma 松辽盆地及其以东地区的峰期为 110~100 Ma 松辽盆地及其以东地区的火山岩形成时间滞后大兴安岭地区约 15~20 Ma 表现出火山活动从大兴安岭地区向松辽盆地地区迁移,并且强度逐渐减弱(图 5)。

3) 盆地隆升和沉降历史的差异

裂变径迹分析结果表明,140~125 Ma 之间为大兴安岭及其西部盆地快速隆升期,松辽盆地在此期间为快速沉降时期,之后二者均进入相对稳定的升降阶段,但松辽盆地的在早白垩世早期(100 Ma 之前)的沉降幅度明显大于大兴安岭的沉降。这一特点显示西部盆地群与中部盆地群存在动力学背景的差异。

4) 盆地形成地球动力学背景的差异

东部盆地群以三江盆地为代表,具有前陆盆地性质。碎屑锆石年代学研究表明,在穆棱组碎屑锆石年龄均集中在 170 Ma 左右,没有发现大于 400 Ma 属于佳木斯变质基底的碎屑锆石,说明穆棱组沉积时佳木斯地块仍处于水下接受沉积,并未遭受隆升剥蚀。结合双鸭山盆地、勃利等盆地的早白垩世海相沉积均直接发育在佳木斯地块变质基底之上的特点,笔者提出这些孤立分隔的盆地形成初期应为统一的盆地,称为“大三江”盆地。大三江盆地在早白垩世早期具有前陆盆地性质。正是由于锡霍特—阿林地体向佳木斯地块东缘的逆冲,导致嘉荫—牡丹江断裂以东的佳木斯地块弯曲下沉,形成东部大三江统一近海盆地。

3.3 中生代盆地形成演化的动力学背景

东北地区位于华北板块和西伯利亚板块之间,同时又位于环太平洋构造带的西缘。特殊的大地构造位置使该区记录和遭受了古亚洲构造域的小陆块的拼合、环太平洋构造域的地体增生以及两大构造域的叠加和转换等重大地质过程。

3.3.1 侏罗纪

东北地区的沉积分区开始于早三叠—中侏罗世。其中西部以早—中侏罗世陆相含煤沉积为特征,而东部持续处于隆升剥蚀环境,东缘晚三叠世南双鸭山组海陆交互相沉积的存在说明,东部地区的东缘当时处于大陆边缘环境。中侏罗世末—晚侏罗世初期,东部地区的锡霍特—阿林地体的增生使该区东部的嘉荫—牡丹江蓝片岩带抬升剥露,成为控制该区西部和东部沉积分区的主要断裂,形成了控制中生代盆地群演化差异的雏形。

3.3.2 白垩纪

东北地区的白垩纪构造演化明显受控于古太平洋板块的俯冲方向、俯冲速度等的制约。145~135 Ma 的早白垩世初,大洋板块以很慢的速率向该区作正向俯冲,该区内部仍处于挤压环境。这与获得的火山岩年龄数据均小于 135 Ma 结果完全一致。130~120 Ma 大洋板块以极高的速率对该区斜向俯冲,为加厚地壳区伸展作用的发生提供了动力学背景,造成早白垩世大规模盆地形成之后的第一次区域性的构造反转作用;120~100 Ma 大洋板块快速向正北运动,使该区东缘处于强烈左行走滑背景,这标志着俯冲带的向东退却,同时导致火山活动和断陷构造的向东迁移,也是松辽盆地由断陷转为坳陷的时期。晚白垩第二次区域性的构造反转发生在晚白垩世末期,此时大洋板块俯冲方向有正北转为正西(85~70 Ma)。由于西部持续处于隆升状态,所以这次事件只表现在松辽盆地及其以东地区。

3.3.3 古近纪

古太平洋板块在古近纪的俯冲方向为由北西(约 75~50 Ma)并逐渐转向北东(48~50 Ma),以佳依断裂为代表的古近纪走滑盆地系开始形成,并成为古近纪以来的重要盆地分区断裂。它不但控制了中部盆地群和东部盆地群古近系的充填,而且控制了新一渐新统油页岩等在东部盆地群广

① 张兴州,金魏,张梅生,等.大庆外围油气战略选区项目报告.吉林大学,2008

泛发育。第三次区域性的构造反转发生在古近纪末期,与古太平洋板块俯冲方向由北西逐渐转为向西俯冲密切相关。至此,基本奠定了东北地区的盆地格局。

4 结束语

基础地质理论的创新是实现石油二次创业的基础。大庆油田是在陆相生油地质理论指导下发现的迄今为止世界上最大的陆相油田。在其勘探开发过程中,中国石油地质学家不但提出了陆相生油和成油系统等石油地质理论,而且完善了陆相特大油田的开发理论,使东北成为我国重要的石油工业基地。但由于传统大地构造理论认识的束缚,东北地区中—新生代盆地基底一直被作为变质结晶基底而成为油气勘探的禁区。第一轮战略选区研究提出了“佳蒙地块”的新认识改变了对该区传统大地构造观(即褶皱造山带)的认识;东北中生代盆地群的分区和演化的新思路,为大庆外围探区战略选区提出了重要的依据;东北地区晚古生界没有发生区域变质这证据的提出,为突破中—新生代盆地基底油气勘探禁区提供了可能。因此,项目完成了预期的国家目标,为实现东北地区石油的二次创业具有重要的理论意义。

致谢:本论文是《大庆探区外围中、新生代断陷盆地群演化与油气前景》项目的集体研究成果,需要指出的是,文中不能体现项目的所有代表性成果,也不能反应所有项目成员的最新观点。参加项目工作的还有刘招君、刘财、薛林福、张凤旭、许文良、葛文春、孙德有、孙家鹏等60余位师生。项目承蒙地矿部油气中心的领导和专家组的指导,王庭斌主编的盛情约稿和建议,在此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志. 北京:地质出版社, 1988
- 2 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志. 北京:地质出版社, 1993
- 3 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志. 北京:地质出版社, 1991
- 4 Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z. The onset of Pacific margin accretion in NE China: evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt [J]. *Tectonophysics*, 2009, 10: 1 016
- 5 周建波, 张兴洲, Wilde S A, 等. 黑龙江群碎屑锆石年代学及其大地构造意义 [J]. *岩石学报*, 2009, 25(8): 1 924 ~ 1 936
- 6 Wilde S, Zhang X Z, Wu F Y. Extension of a newly identified 500Ma metamorphic terrane in North East China: further U-Pb SHRMP dating of Mashan Complex Heilongjiang Province, China [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328: 115 ~ 130
- 7 张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 东北地区晚古生代构造—沉积特征与油气资源 [J]. *吉林大学学报(地学版)*, 2008, 38(5): 719 ~ 725
- 8 王成文, 马志红, 孙跃武, 等. 晚古生代海相地层——东北地区油气勘查的一个新层系 [J]. *世界地质*, 2008, 27(2): 113 ~ 118
- 9 张贻侠, 孙运生, 张兴洲, 等. 中国满洲里—绥芬河地质断面 [M]. 北京:地质出版社, 1998
- 10 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴蒙—吉黑地区岩石圈结构基本特征 [J]. *中国地质*, 2006, 33(4): 816 ~ 823
- 11 王庭斌. 正确的勘探战略、决策是我国油气勘探持续发展的关键 [J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 557 ~ 563
- 12 康玉柱. 中国古生代海相油气田发现的回顾与启示 [J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 570 ~ 575
- 13 郭占谦, 刘俊峰; 李贵顺. 对大庆油田深层气田气源的讨论 [J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(4): 441 ~ 448
- 14 谢晓安, 周卓明. 松辽盆地深层天然气勘探实践与勘探领域 [J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 113 ~ 119
- 15 李春昱, 汤耀庆. 亚洲古板块划分以及有关问题 [J]. *地质学报*, 1983, 57(1): 1 ~ 10

(编辑 高 岩)