

doi: 10.12029/gc20160414

张云鹏, 任建业, 王珊, 等. 东北大三江盆地群早白垩世存在统一湖盆的沉积学证据[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1280–1290.

Zhang Yunpeng, Ren Jianye, Wang Shan, et al. The sedimentary evidence for the existence of unified basin in Early Cretaceous in Dasanjiang basin group, Northeast China[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1280–1290(in Chinese with English abstract).

东北大三江盆地群 早白垩世存在统一湖盆的沉积学证据

张云鹏¹ 任建业² 王珊³ 赵学钦⁴

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 大三江盆地群位于黑龙江省东部, 中生代以来经历了多期构造运动, 形成现今各自分割的 10 余个残余盆地。由于缺乏关键性证据, 前人对大三江地区早白垩世是否存在统一湖盆存在争议。本次研究通过野外地质调查和钻井岩心观察, 认为盆地总体缺乏边缘相沉积, 并且主要以三角洲平原亚相和滨浅湖亚相为主。古水流恢复和重矿物特征显示, 研究区主要存在西部和西北部、东部以及东南部三大物源体系, 并且平面上具有由四周向中心汇聚的特征。地震资料反射特征显示下白垩统具有典型的断陷-拗陷复合结构, 拗陷时期地层由各盆地中心至边部未出现明显的地层减薄现象, 现今的盆地边界断裂多为后期对盆地进行改造、破坏的逆冲断裂。这些证据都是对大三江地区早白垩世存在统一湖盆的有力支撑。本研究不仅能为大三江盆地群原型盆地的恢复提供重要依据, 也将为东北盆地群油气资源远景评价和进一步的勘探部署提供参考。

关键词: 大三江盆地群; 中国东北; 统一湖盆; 早白垩世; 沉积学证据

中图分类号: P534.53; P588.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)04-1280-11

The sedimentary evidence for the existence of unified basin in Early Cretaceous in Dasanjiang basin group, Northeast China

ZHANG Yun-peng¹, REN Jian-ye², WANG Shan³, ZHAO Xue-qin⁴

(1. Xi'an Geological Survey Center, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 4. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: Located in eastern Heilongjiang Province, the Dasanjiang basin group has experienced multiphase tectonic movement since Mesozoic, and formed a dozen of separated residual basins. Due to the lack of key evidence, there exists controversy concerning existence or nonexistence of a unified basin in Dasanjiang area during the early Cretaceous. The field geological survey

收稿日期: 2015-06-11; 改回日期: 2015-09-11

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05025001-006)及国家自然科学基金项目(41302047, 41502200)联合资助。

作者简介: 张云鹏, 男, 1981年生, 高级工程师, 从事含油气盆地沉积和构造方面的研究; E-mail: zypcgs@163.com。

and drilling core observation show that the basin lacks marginal facies, and is dominated by the delta plain subfacies and shore shallow lake subfacies. Paleocurrent recovery and heavy mineral characteristics show that the study area mainly has three major provenances existent respectively in the west and northwest, east and southeast, concentrated from the periphery to the center in space. The seismic reflection characteristics show that the lower Cretaceous strata have typical faulted-depression composite structure, and at the same time, the strata of the basin did not show obvious thinning from the center to the edge during the depression period. So the boundary faults of the basin mostly should be thrust faults which reformed the basin in later period. All the evidence strongly support the argument that the Dasanjiang area was a unified basin in the early Cretaceous. The results obtained by the authors provide an important basis for the restoration of prototype basin of Dasanjiang basin group and also offer a reference for the oil and gas resources substitution and exploration in Northeast China.

Key words: Dasanjiang basin group; Northeast China; unified basin; early Cretaceous; sedimentation evidence

About the first author: ZHANG Yun-peng, male, born in 1981, engineer, engages in research on deposition and structure in oil and gas basins; E-mail: zypcgs@163.com.

Fund support: Supported by National Major Science & Technology Special Project (No. 2016ZX05025001-006) and National Natural Science Foundation of China (No. 4130204, No. 41502200).

在构造复杂地区,盆地形成之后,由于多期构造运动的改造,最初的原型盆地常被破坏而形成现今的残留盆地。对于含油气盆地而言,原型盆地形成后不同构造作用的叠加一方面会造成对原来的油气系统造成破坏,重新组合形成新的油气系统及圈闭^[1-3]。另一方面,现今认为可能的油气发育不利区,在原型盆地时期可能是油气发育的有利地区,特别是对工作程度较低的地区已成为油气资源前景评价的重要依据。

大三江盆地群位于黑龙江省东部,包括三江、勃利、鸡西、虎林、鹤岗、汤原、方正等十余个中生代沉积盆地。与东北地区中、西带盆地相比,本地地区的盆地多而小、分割性较强、时间-空间上的跨度大,并且经历了多期构造运动的改造^[4-6]。各盆地的研究程度相差悬殊,地质调查及勘探难度大。前人对早白垩世大三江盆地的研究一种观点认为是分割的断陷盆地^[7,8],更多数的观点倾向于认为在这一时期大三江地区为统一的大型坳陷湖盆^[4,6,9-11],但缺乏关键性证据。如果是原始分割的盆地,则现今各盆地是独立的含油气系统,必须进行独立的评价。如果是统一的盆地,则需要将各盆地视为一个整体进行研究。因此早白垩世大三江盆地群是否为一个统一的盆地以及原型盆地的恢复,直接影响到中生代盆地古地理再造、生储盖组合评价及油气的生成、运移和储聚规律等的探索^[12]。

在充分吸收前人的研究成果的基础上,本次研究通过野外地质调查、岩心观察、地震资料解释等工作,从边缘相的发育、古水流、重矿物以及地层展

布特征等方面分析入手,确定大三江盆地在早白垩世城子河组和穆棱组时期是否为统一盆地。该研究不仅能为大三江盆地群原型盆地的恢复提供重要依据,也将为东北盆地群油气资源接替和下一步的勘探部署提供参考。

1 区域地质概况

大三江盆地群在大地构造上位于中亚造山带的东部,现今各盆地主要分布于布列亚—佳木斯地体之上,其东部、西部、南部分别与那丹哈达、兴凯和松嫩—张广才岭地体相邻,北部与俄罗斯布列亚地体接壤^[13](图1)。自板块拼贴形成基底后,地层的发育也跨越了较长的时间,中生代的地层在该区均有分布。区内侏罗系地层发育较局限,主要发育白垩系、古近系及新近系(表1)。其中,作为研究目的层的下白垩统在全区发育较全,分布广泛,沉积厚度大^[14-16]。滴道组岩性组合上主要由砾岩、砂岩、粉砂岩夹薄煤层及少量火山碎屑岩等组成。城子河组岩性组合主要由灰、灰白色粉砂岩、细砂岩及粗砂岩组成,底部常见砾岩或含砾砂岩,煤层较发育。穆棱组岩性组合为灰色、灰白色砂岩、粉砂岩及灰色、深灰色泥岩、炭质泥岩夹煤层,植物及孢粉化石丰富。穆棱组与城子河组多为连续沉积,岩性组合也比较相近,没有明显的分界标志,两组的区别主要是穆棱组比城子河组的岩石粒度更细。东山组岩性组合以中性火山角砾岩、集块岩为主,夹凝灰岩、砂岩和泥质岩薄层,产鱼、双壳类及植物化石,系一套以火山喷发岩相为主的火山碎屑岩夹

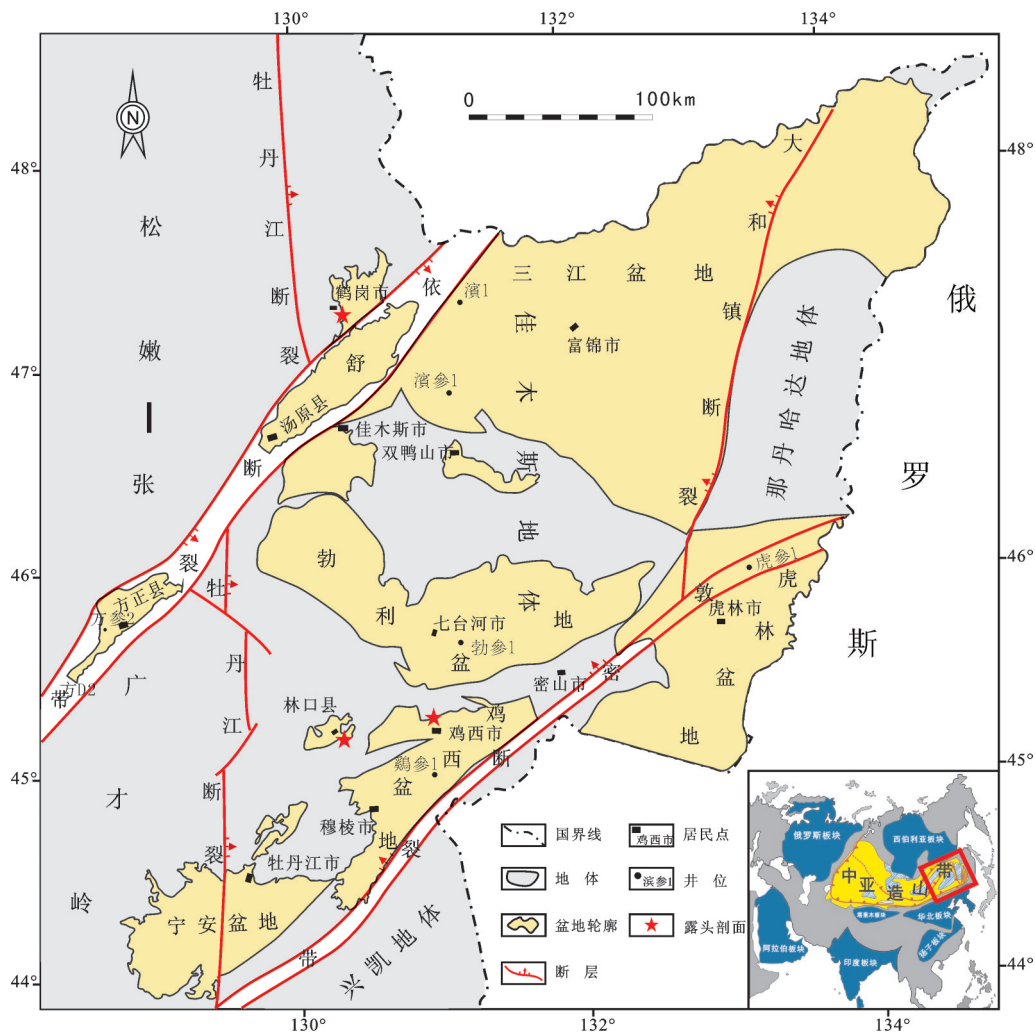


图1 大三江盆地群构造位置简图
 Fig.1 Geotectonic position of Dasanjiang basin group

正常碎屑沉积。

从古生代至今,该区大致经历了古亚洲洋构造域和环太平洋构造域两个构造演化阶段^[17,18]。大三江地区的盆地演化受到包括板块拼贴、蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山、中—新生代太平洋板块俯冲等多个大地构造事件联合作用与影响^[5,7,8,19-21]。大三江盆地群中—新生代共经历了4次构造反转期。晚侏罗世地层分布局限,仅在三江盆地沉积绥滨组和东荣组。晚侏罗世末—早白垩世早期,蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山,受其影响早白垩世地层发育较完整,除早期的滴道组分布局限外,其余组地层基本全区分布。早白垩世末,受东侧太平洋俯冲和地体拼贴等构造挤压事件的影响,盆地发生构造反转,盆内地

层普遍遭受抬升剥蚀。之后盆地进入裂后山间挤压阶段,仅在三江、鸡西、勃利盆地沉积以猴石沟组和海浪组为主的晚白垩世地层。进入新生代,本区也进入了一个走滑伸展裂陷的发育阶段,古近纪、新近纪地层发育以汤原、方正断陷和虎林盆地为主要发育区,其他盆地的新生代则不够完整。

2 沉积相证据

2.1 典型露头剖面

根据沉积相的发育规律,盆地边界应该表现为以冲积扇相为代表的较粗沉积,尤其是坳陷盆地,其边界位置多发育冲积扇或辫状河沉积体系,向着盆地中心逐渐过渡到半深湖(海)—深(海)湖沉积。

表1 大三江盆地群主要盆地地层充填序列
Table 1 Stratigraphic sequence of the main basins in Dasanjiang basin group

系	统	年龄 /Ma	三江盆地	鸡西盆地	勃利盆地 (西部)	盆地发育阶段
新近系	上新统	5.3		道合桥组		构造反转
	中新统		富锦组			拗陷阶段
古近系	渐新统	23.0	宝泉岭组	永庆组		断陷阶段
	始新统	33.9				
	古新统	55.8				
		65.5				构造反转
白垩系	上白垩统		雁窝组			裂后挤压山间盆地阶段
			七星河组			
			海浪组	海浪组	海浪组	
			猴石沟组	猴石沟组	猴石沟组	
	下白垩统	99.6	东山组	东山组	东山组	构造反转
			穆棱组	穆棱组	穆棱组	拗陷阶段
			城子河组	城子河组	城子河组	断陷阶段
			滴道组	滴道组		
侏罗系	上侏罗统	145.5	东荣组			构造反转
			绥滨组			拗陷阶段

因此,在同一地层组中往往以底部发育的粗粒沉积作为确定这一时期盆地边界的重要证据。

本次在林口盆地、鸡西盆地、勃利盆地、三江盆地等主要盆地开展野外地质调查。从调查情况看,城子河组和穆棱组时期鸡西盆地、勃利盆地、三江盆地在沉积环境上以三角洲相沉积为主,河道沉积以灰黄色中-细砂岩为主,泛滥平原沉积则以砂岩、粉砂岩与泥岩互层为特征,常发育水平层理,并含煤层或夹煤线。但在林口盆地的穆棱组底部观测到一套冲积扇相沉积(图2),该剖面位于林口县069县道旁,出露花岗岩基底及下白垩统穆棱组地层。穆棱组角度不整合于基底之上,穆棱组主要为一套砾石沉积,砾石层中间加砂岩夹层,砾石以混杂堆积为特点,砾石砾径从几厘米到几十厘米不等,最大可达50 cm,显示了近距离搬运的特征,局部砾石可见定向排列,总体上由砾石层和砂岩夹层构成多个旋回。

综合考虑穆棱组整体以细粒沉积为主,该套冲积扇相沉积发育在穆棱组底部,并且其西部接近大

三江盆地重要物源区——张广才岭,因此,可以将这套冲积扇确定为该时期整个大三江盆地的西部边界或接近西部边界的位置。

2.2 钻井岩心对比

选取了主要盆地的钻井进行岩心观察及对比。城子河组时期,盆地性质总体上是由断陷向拗陷的过渡阶段。鸡参1井城子河组岩性组合底部以含砾砂岩和砂岩为主,以扇三角洲沉积为主,向上泥岩含量增多,代表了水体加深的过程。勃参1井底部则是以泥岩含量较多的滨浅湖-半深湖亚相为主,向上逐渐转变为三角洲平原-三角洲前缘亚相沉积。滨1井由于靠近现今东部边界,沉积面貌上则以三角洲平原-三角洲前缘亚相岩性组合为特点(图3)。总体上,城子河组和穆棱组沉积时期,各盆地主要以细粒沉积面貌为主,沉积相上主要表现以含煤系地层的三角洲平原亚相-半深湖亚相为主的沉积体系,这种大区域范围内各个残余盆地同时代的沉积相的一致性极有可能意味着当时的这些盆地就是一个统一的湖盆。

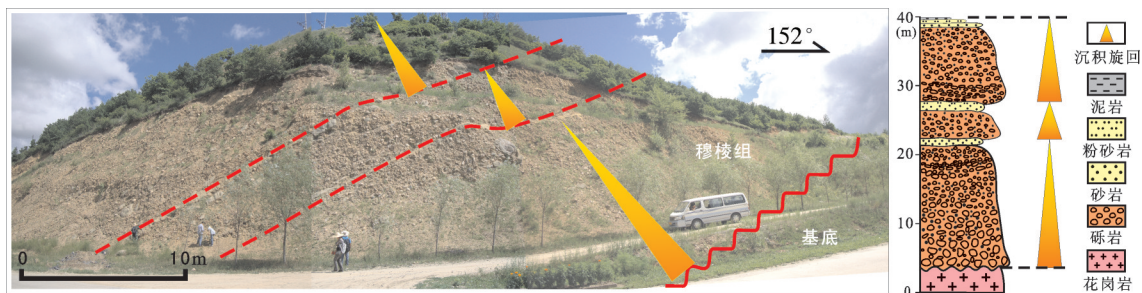


图2 林口盆地穆棱组冲积扇相露头剖面
Fig.2 Alluvial fan outcrops of Muling Formation in Linkou basin

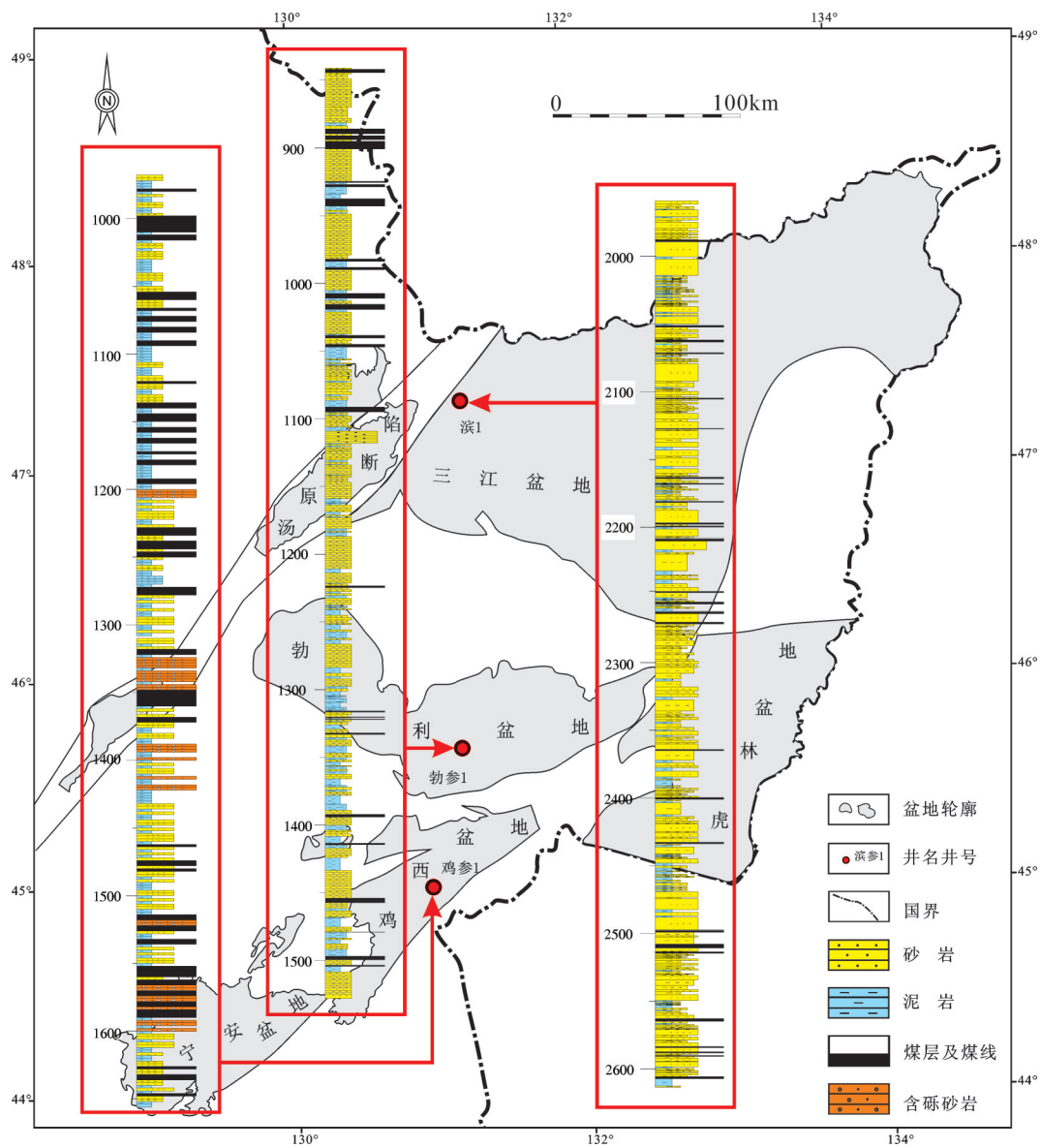


图3 大三江盆地群早白垩世城子河组岩性组合特征
Fig.3 Lithologic characteristics of Early Cretaceous Chengzihe Formation in Dasanjiang basin group

3 物源证据

3.1 古水流

古水流分析是确定盆地充填物的搬运走向,追溯沉积充填物的物源区的一种重要手段^[22,23]。大三江地区盆地群古水流分析数据主要来自于野外岩石露头中的交错层理、砾石倾向、槽模等一些古水流方向的测定以及地震剖面中的特征反射结构。

城子河组古水流特征:利用地震反射特征勾勒的三角洲朵体的形态判断城子河组时期三江盆地古水流优势方向有2个,一个是从南向北方向,另一

个是从东南向西北方向。鸡西盆地根据古水流测点所测数据显示该区古水流方向为西北到东南和东南到西北。勃利盆地古水流所测数据显示可能存在自东南向西北方向的水流。这些工作进一步证实了前人曾对该区的古水流方向所做的结果(刘招君等,2005)^①,即城子河组时期盆地周边的水系流向具有由四周向中心汇聚的特征,显示出当时应该具有统一的汇水中心。穆棱组古水流特征:穆棱组时期古水流基本上继承了城子河组的特征。鸡西盆地西部古水流方向显示古水流为自东南向西北和东北向西南(图4)。

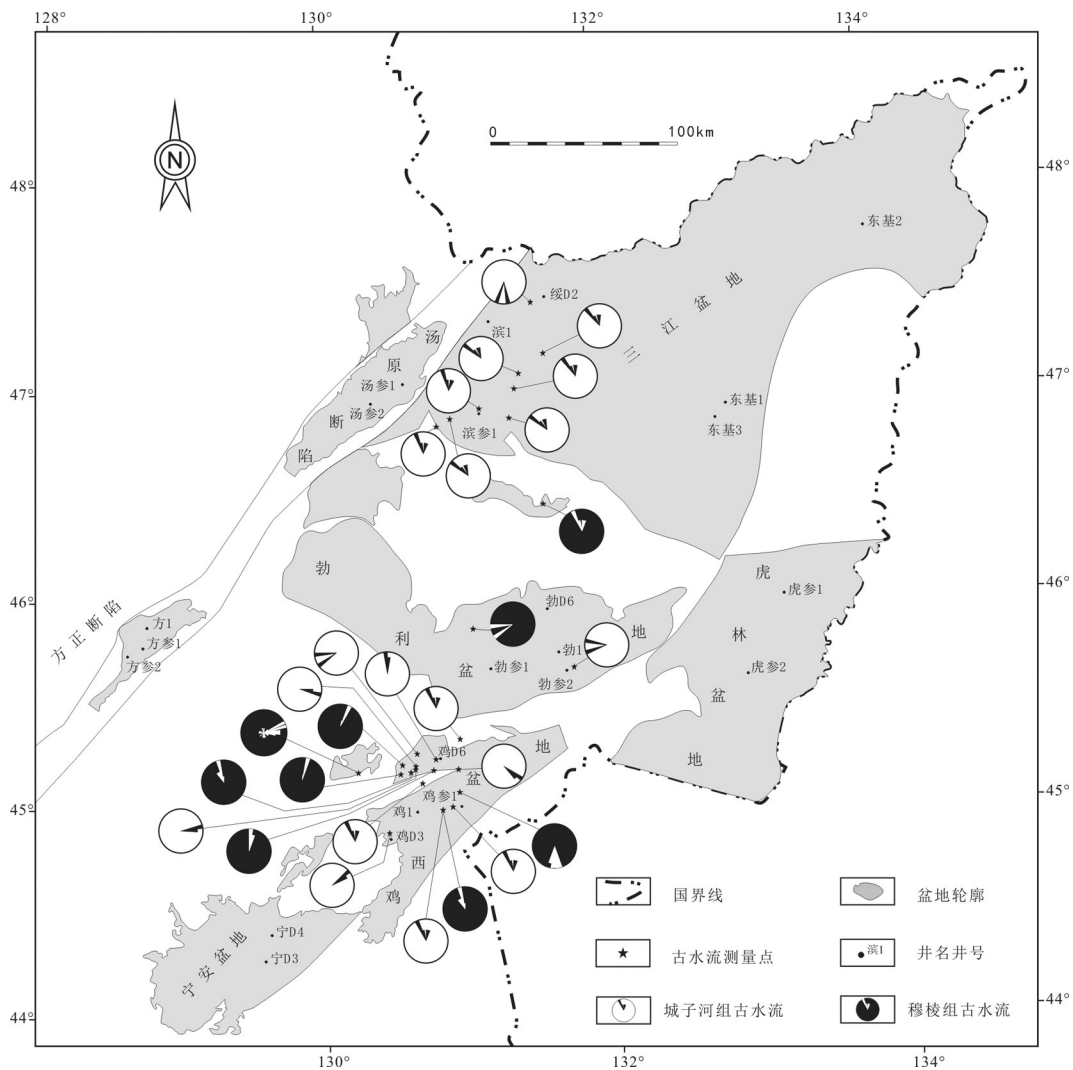


图4 大三江盆地群城子河组、穆棱组古水流方向
(资料来自野外实测及前人成果资料^①)

Fig.4 Palaeocurrents of Chengzihe and Muling Formation in Dasanjiang basin group

①刘招君,方石,和钟铎,等. 三江地区中生代成盆机制分析[R]. 长春:吉林大学,2005.

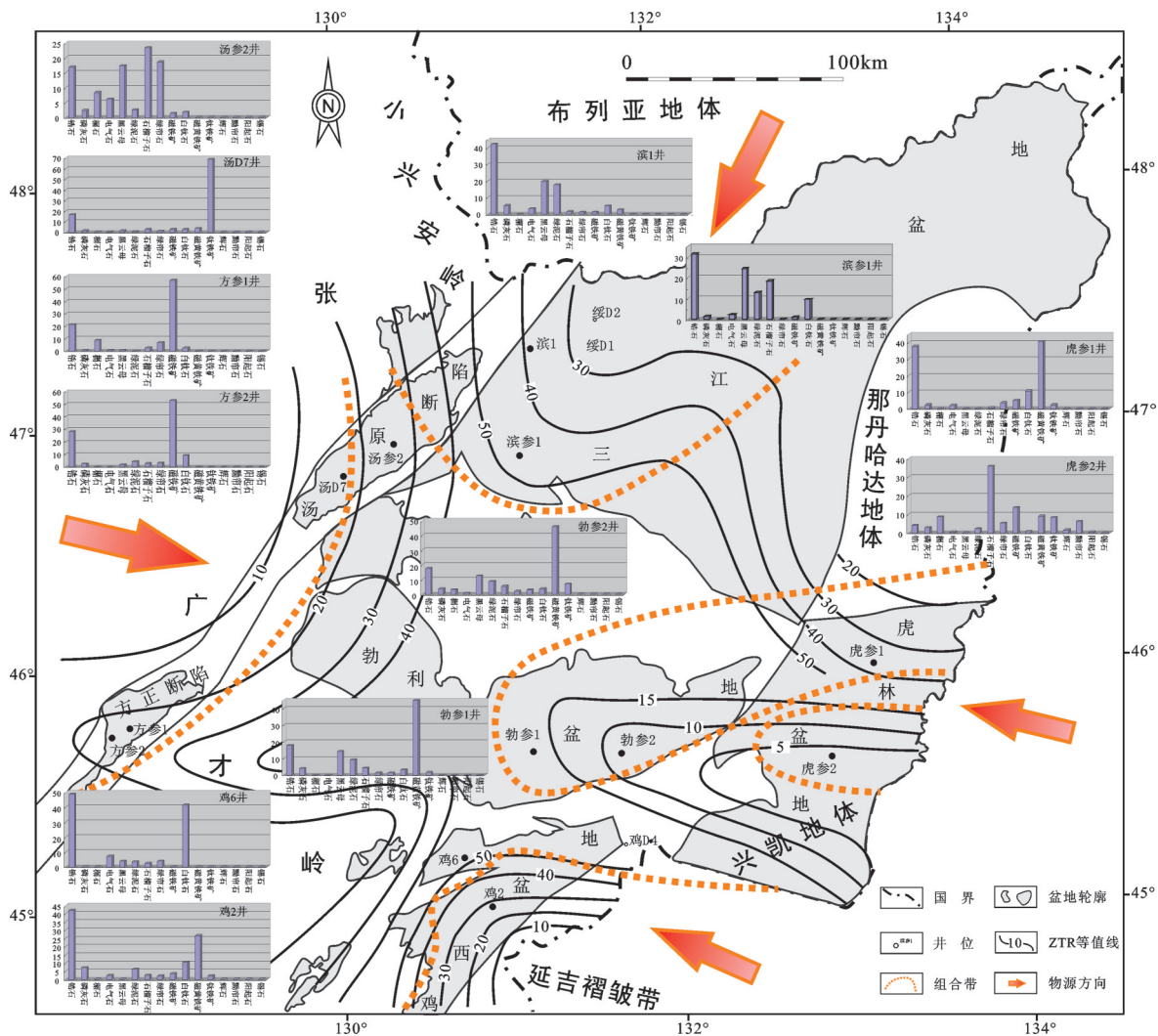


图5 大三江盆地群重矿物特征

Fig.5 Heavy mineral characteristics in Dasanjiang basin group

3.2 重矿物

重矿物一般具有耐磨蚀、稳定性强的特点,由于其能较多的保留母岩的特征,因此是物源区的重要标志,在物源分析中占有重要地位^[24-27]。本次研究对大三江盆地20口钻井城子河组和穆棱组2个层位的400多个样品进行重矿物ZTR指数(重矿物中超稳定矿物锆石、电气石和金红石组成的透明矿物的百分含量)、稳定指数(稳定型重矿物与不稳定型重矿物的含量比值)以及组合特征分析(图5)。

通过分析可以看出大三江盆地ZTR指数总体上具有由边部向中心逐渐增大的特征,即有从上述周边盆地向勃利益地逐渐增大的趋势。城子河组和穆棱组的重矿物稳定系数整体都较低,反映出成

盆初期重矿物稳定性弱的特点。结合重矿物组合特征综合分析认为:大三江盆地群城子河组和穆棱组物源方向变化不大,两组之间是一种继承关系,这两个时期研究区主要存在三大物源体系。西部的鸡西盆地,西北部的汤原、方正断陷的母岩岩性与张广才岭造山带基本一致,说明研究区西部和西北部的物源主要来自小兴安岭—张广才岭;东部物源主要来自三江盆地富锦及东三江隆起区。东南部物源较复杂,从重矿物组合来看,该方向的物源主要来自兴凯地体,其提供的物源搬运距离较长,可一直到达勃利益地,那丹哈达地体和延吉褶皱带分别向虎林盆地北部和鸡西盆地南部提供物源,但影响范围有限(图5)。

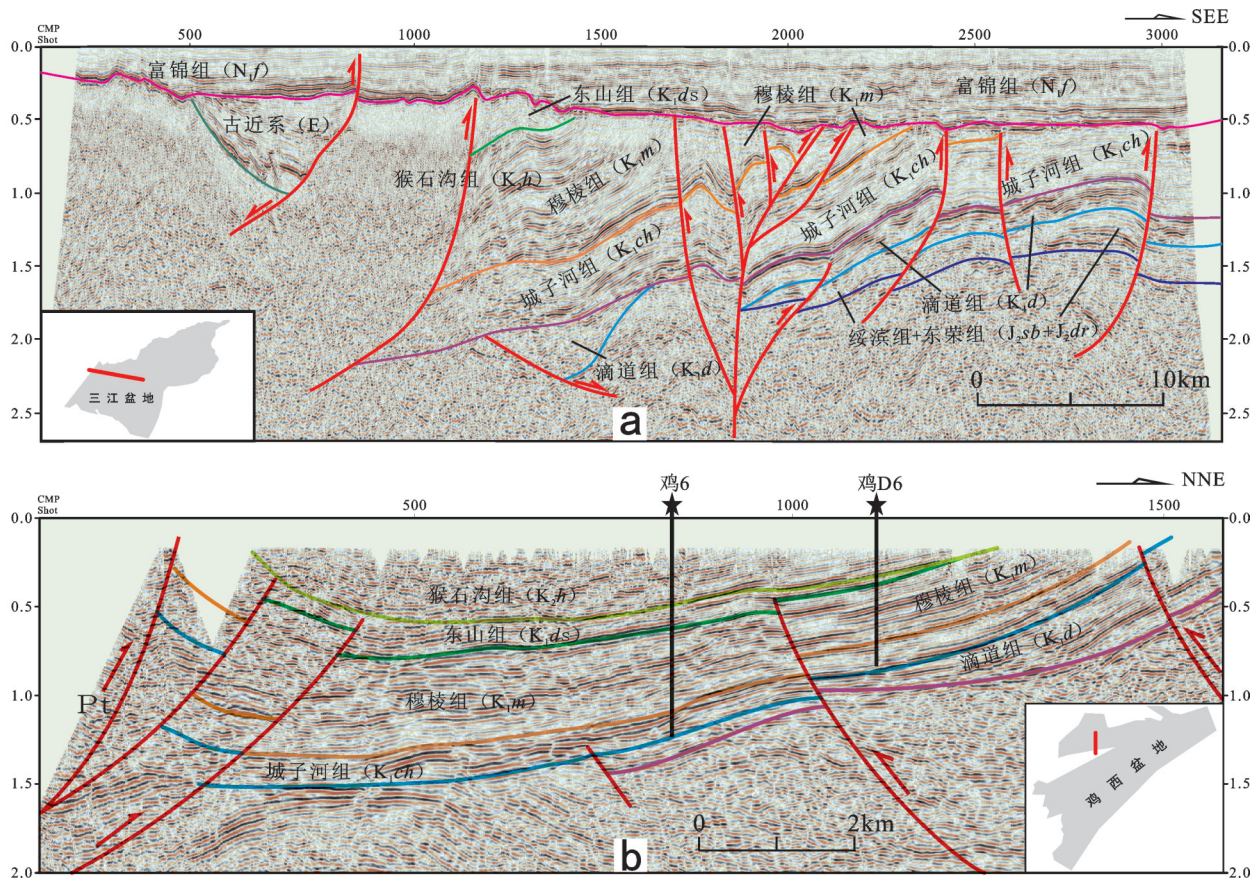


图6 大三江盆地群下白垩统地层反射特征

a—三江盆地穿过盆地西部边界地震测线解释剖面;b—鸡西盆地穿过盆地北部边界地震测线解释剖面

Fig.6 Lower Cretaceous strata reflection characteristics in Dasanjiang basin group

a—Interpretation section of seismic survey line in the west of Sanjiang basin;b—Interpretation section of seismic survey line in the north of Jixi basin

4 地震资料证据

通过地震测线解释发现,下白垩统滴道组在地震剖面上表现为断陷性质,盆地边界为控制断陷发育的正断层,而正断层一般向上延伸到城子河组的底部被截切终止。城子河组常跨过下部断陷盆地的边界断层广泛覆盖在断陷盆地之间的地垒或半地垒隆起区,展示了典型的断陷-坳陷复合结构。盆地的边界断裂以破坏性的逆冲断层为主,并且各个残余盆地的城子河组和穆棱组地震反射特征相似,显示出地层厚度在该盆地中心到边界范围内基本等厚或者厚度变化不大,说明这些边界断层在城子河组和穆棱组沉积时期对盆地沉积并没有明显的控制作用,而是后期对这两个组地层进行的改

造。如图6-a为三江盆地过盆地西部边界地震测线,地震剖面上边界断层性质表现为明显的逆断层。东端处于盆地坳陷内,整体上整个下白垩统地层受逆冲推覆作用影响,城子河组、穆棱组地层发生了强烈的抬升剥蚀,甚至有些地区穆棱组地层已经剥蚀殆尽。图6-b为穿越鸡西盆地北部边界地震测线,与三江盆地地震剖面特征类似,其南端同样为近东西向的逆断层,各组地层遭受强烈挤压抬升。

根据钻井、地震剖面解释和区域地质图(盆地区城子河组和穆棱组的分布范围主要根据钻井资料和地震测线的反射特征进行勾绘制图),以及露头区区域地质图中的城子河组和穆棱组地层分布分析(图7),表明除了现今盆地范围内这套地层广泛分布之外,在现今的隆起区和其他造山带内也有

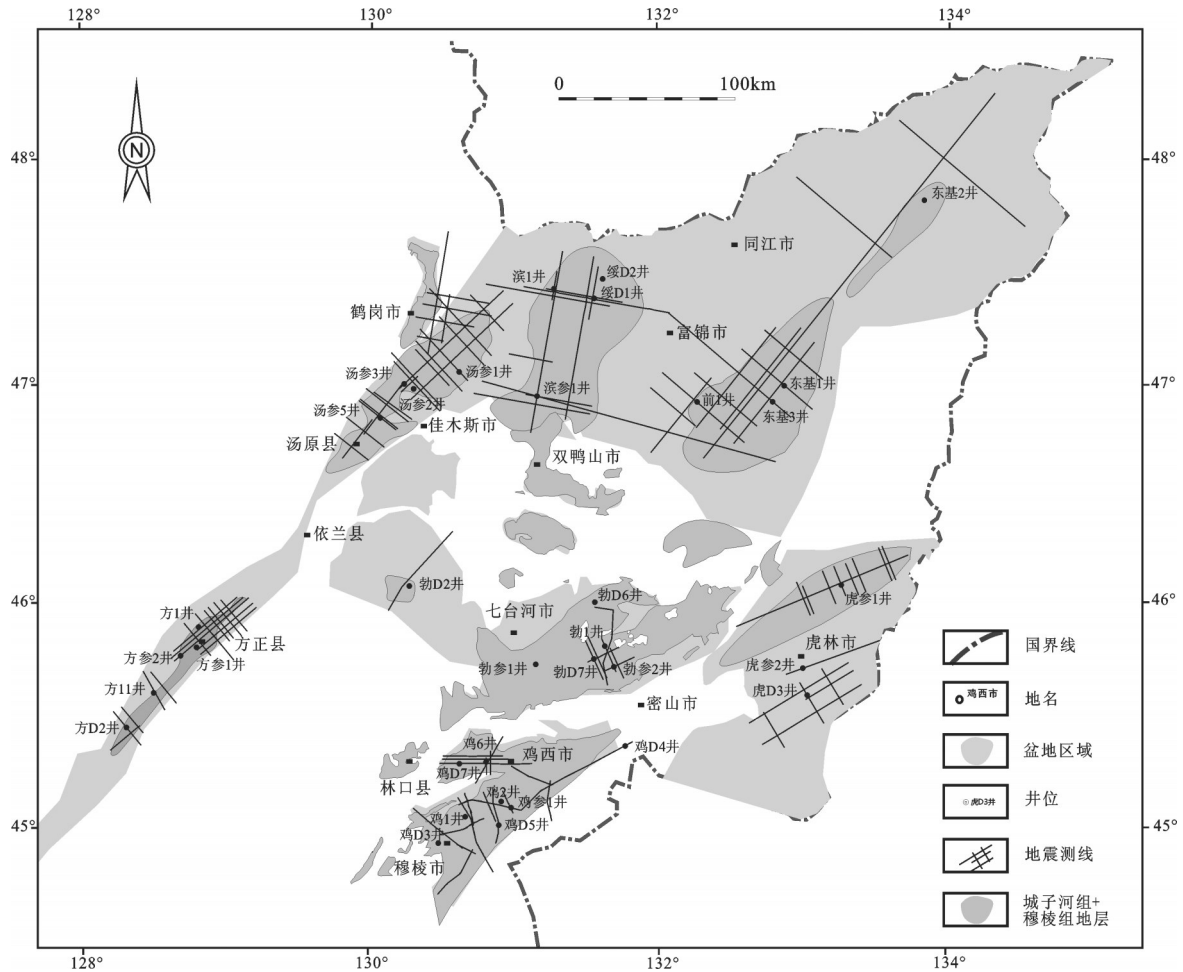


图7 大三江盆地群早白垩世城子河组、穆棱组残余地层分布范围

Fig.7 Residual stratigraphic distribution of Lower Cretaceous Chengzihe and Muling Formation in Dasanjiang basin group

同样的地层露头分布,说明当时这些隆起区和造山带应该同为接受沉积的地区。这也表明桦南隆起、佳木斯隆起是后来到晚白垩世时期盆地发生强烈反转的时期才隆起的^[28,29]。

5 结论

(1)野外地质调查发现早白垩世城子河组和穆棱组时期现今各盆地边部缺少较粗的边缘相沉积,仅在林口盆地穆棱组底部发现了一套冲积扇相沉积。不同盆地的钻井岩心观察也发现该时期主要的沉积相以三角洲平原亚相和滨浅湖亚相为主,局部发育半深湖—深湖亚相,并且全区范围内地层可对比,显示出这一时期一种泛盆沉积特征。

(2)古水流特征显示城子河组和穆棱组时期古水流为一种继承性关系,主要的古水流方向为从南

向北、从东南向西北、从北东向西南以及从西北向东南四个方向。这与重矿物特征显示的研究区这一时期具有主要存在西部和西北部、东部以及东南部三大物源体系相对应,源区主要为周缘分布的小兴安岭—张广才岭、布列亚地体、那丹哈达地体以及兴凯地体。古水流和重矿物特征都显示了这一时期沉积搬运具有由四周向中心汇聚的特征,显示出当时应该具有统一的汇水中心。

(3)地震资料显示,在不同盆地的城子河组和穆棱组时期,地层与下部滴道组之间显示为典型的断陷—拗陷复合结构,现今盆地边部断裂主要为破坏性的逆冲断裂,这两个时期的地层由盆地中心至边部未出现明显的地层减薄现象,并且根据现今残留地层的分布范围以及前人对盆地之间隆起时限的研究证据,认为当时城子河组和穆棱组地层应为

全区分布,当时研究区存在大范围接受沉积的统一湖盆。

致谢:感谢审稿专家提出的宝贵修改意见!

参考文献(References):

- [1] 朱夏. 多旋回构造运动与含油气盆地[J]. 中国地质科学院院报, 1984, (02): 197-209.
Zhu Xia. The polycyclic tectonic theory and the evolution of petroliferous basins[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1984, (02): 197-209(in Chinese with English abstract).
- [2] 庞雄奇, 周新源, 姜振学, 等. 叠合盆地油气藏形成、演化与预测评价[J]. 地质学报, 2012, (01): 1-103.
Pang Xiongqi, Zhou Xinyuan, Jiang Zhenxue, et al. Hydrocarbon reservoirs formation, evolution, prediction and evaluation in the superimposed basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, (01): 1-103 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王定一. 改造型含油气盆地类型及研究思路[J]. 石油与天然气地质, 2000, (01): 19-23.
Wang Dingyi. Research thinking and types of reformed petroliferous basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, (01): 19-23(in Chinese with English abstract).
- [4] 温泉波, 刘永江, 韩国卿, 等. 黑龙江东部盆地群中、新生代构造演化[J]. 世界地质, 2008, (04): 370-377.
Wen Quanbo, Liu Yongjiang, Han Guoqing, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the basin group in eastern Heilongjiang, China[J]. World Geology, 2008, (04): 370-377(in Chinese with English abstract).
- [5] 和钟铎, 刘招君, 张晓冬, 等. 黑龙江东部晚中生代盆地群构造层划分及构造沉积演化[J]. 世界地质, 2009, (01): 20-27.
He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Xiaodong, et al. Subdivisions of structural layers and tectonic-sedimentary evolution of eastern basins in Heilongjiang in late Mesozoic[J]. World Geology, 2009, (01): 20-27(in Chinese with English abstract).
- [6] 贾承造, 郑民. 东北白垩纪大三江盆地沉积构造演化及其残留盆地群的油气勘探意义[J]. 大庆石油学院学报, 2010, (06): 1-12.
Jia Chengzao, Zheng Min. Sedimentary history, tectonic evolution of Cretaceous Dasanjiang basin in northeast China and the significance of oil and gas exploration of its residual basins [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010, (06): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张兴洲, 马志红. 黑龙江东部中-新生代盆地演化[J]. 地质与资源, 2010, (03): 191-196.
Zhang Xingzhou, Ma Zhihong. Evolution of Mesozoic-Cenozoic basins in the eastern Heilongjiang Province, Northeast China[J]. Geology and Resources, 2010, (03): 191-196(in Chinese with English abstract).
- [8] 周建波, 张兴洲, 马志红, 等. 中国东北地区的构造格局与盆地演化[J]. 石油与天然气地质, 2009, (05): 530-538.
Zhou Jianbo, Zhang Xingzhou, Ma Zhihong, et al. Tectonic framework and basin evolution in Northeast China [J]. Oil & Gas Geology, 2009, (05): 530-538(in Chinese with English abstract).
- [9] 方石, 张培震, 刘招君, 等. 东三江盆地南部白垩纪以来的沉积特征及其演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, (01): 66-76.
Fang Shi, Zhang Peizhen, Liu Zhaojun, et al. Sedimentation features and its evolution since Cretaceous in the south of eastern Sanjiang Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012, (01): 66-76 (in Chinese with English abstract).
- [10] 徐汉梁, 范超颖, 高璇. 吉林东部盆地群早白垩世原型盆地恢复[J]. 世界地质, 2013, (02): 263-272.
Xu Hanliang, Fan Chaoying, Gao Xuan. Early Cretaceous prototype restoration of the basin group in eastern Jilin [J]. World Geology, 2013, (02): 263-272(in Chinese with English abstract).
- [11] 何玉平. 黑龙江省东部早白垩世沉积特征与原型盆地恢复[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
He Yuping. The Early Cretaceous Sedimentary Characteristics and Prototype Basin Restoration in eastern Heilongjiang Province[D]. Changchun: Jilin University, 2006(in Chinese with English abstract).
- [12] 吴河勇, 王世辉, 杨建国, 等. 大庆外围盆地勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2004, (04): 23-30.
Wu Heyong, Wang Shihui, Yang Jianguo, et al. Analysis of exploration potential in surrounding basins of Daqing oilfield [J]. China Petroleum Exploration, 2004, (04): 23-30 (in Chinese with English abstract).
- [13] 叶茂, 张世红, 吴福元. 中国满洲里-绥芬河地学断面域古生代构造单元及其地质演化[J]. 长春地质学院学报, 1994, (03): 241-245.
Ye Mao, Zhang Shihong, Wu Fuyuan. The classification of the Paleozoic tectonic units in the area crossed BYM-SGGT[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1994, (03): 241-245(in Chinese with English abstract).
- [14] 季汉成, 门相勇, 翁庆萍, 等. 东北大三江地区早白垩世岩相古地理研究[J]. 地球科学与环境学报, 2013, (02): 81-91.
Ji Hancheng, Men Xiangyong, Weng Qingping, et al. Study on Early Cretaceous lithofacies paleogeography in Dasanjiang area of northeast China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, (02): 81-91(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈秀艳, 刘招君, 何玉平, 等. 黑龙江东部盆地群晚中生代层序地层学研究[J]. 断块油气田, 2011, (02): 158-161.
Chen Xiuyan, Liu Zhaojun, He Yuping, et al. Research on sequence stratigraphy of Late Mesozoic in basin groups of east Heilongjiang [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2011, (02): 158-161(in Chinese with English abstract).
- [16] 和钟铎, 刘招君, 陈秀艳, 等. 黑龙江省东部残留盆地群早白垩世沉积相特征及演化[J]. 古地理学报, 2008, (02): 151-158.
He Zhonghua, Liu Zhaojun, Chen Xiuyan, et al. Sedimentary

- facies characteristics and their evolution of the Early Cretaceous relict basins in eastern Heilongjiang Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, (02): 151–158(in Chinese with English abstract).
- [17] 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. *地学前缘*, 1999, (03): 85–93.
Ren Jishun, Niu Baogui, Liu Zhigang. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, (03): 85–93(in Chinese with English abstract).
- [18] Jianye R, Kensaku T, Sitian L, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in eastern China and adjacent areas[J]. *Tectonophysics*, 2002, 344(3): 175–205.
- [19] 吴根耀. 白垩纪: 中国及邻区板块构造演化的一个重要变換期[J]. *中国地质*, 2006, 33(1): 64–77.
Wu Genyao. Cretaceous: A key transition period of the plate tectonic evolution in China and its adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2006, 33 (1): 64–77(in Chinese with English abstract).
- [20] 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 等. 中国东部中—新生代大陆构造的形成与演化[J]. *中国地质*, 2014, 41(01): 19–38.
Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, et al. The Formation and evolution of the Mesozoic–Cenozoic continental tectonics in eastern China[J]. *Geology in China*, 2014, 41(1):19–38 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张雪峰, 张世红, 孟宪刚, 等. 太平洋板块中生代俯冲构造事件的响应: 来自黑龙江东部饶河三叠纪层状燧石的古地磁证据[J]. *中国地质*, 2014, 41(6): 2019–2027.
Zhang Xuefeng, Zhang Shihong, Meng Xiangang, et al. The identification of Mesozoic Pacific plate subduction: Evidence from paleomagnetism of the Late Triassic bedded cherts in Raohe area, eastern Heilongjiang Province[J]. *Geology in China*, 2014, 41(6): 2019–2027(in Chinese with English abstract).
- [22] 赵学钦, 杨树锋, 陈汉林, 等. 中国黑龙江东部鸡西盆地白垩纪多期砾岩特征及古地理意义[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2012, (03): 419–432.
Zhao Xueqin, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. Features of multistage Cretaceous conglomerate deposition and its palaeogeographic significance in Jixi basin of eastern Heilongjiang, NE China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, (03): 419–432(in Chinese with English abstract).
- [23] 张云鹏, 任建业, 赵学钦, 等. 黑龙江东部林口地区下白垩统穆棱组砾岩的成因及其意义[J]. *地质通报*, 2012, (10):1731–1738.
Zhang Yunpeng, Ren Jianye, Zhao Xueqin, et al. Genesis and significance of conglomerate in Lower Cretaceous Muling formation of Linkou area, Heilongjiang Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, (10): 1731–1738(in Chinese with English abstract).
- [24] 和钟铎, 刘招君, 张峰. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J]. *地质科技情报*, 2001, (04): 29–32.
He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Feng. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, (04): 29–32(in Chinese with English abstract).
- [25] 张云鹏, 任建业, 侯艳平, 等. 黑龙江东部大三江盆地群城子河组和穆棱组时期重矿物特征及物源分析[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, (04): 674–682.
Zhang Yunpeng, Ren Jianye, Hou Yanping, et al. Heavy mineral characteristics and provenance analysis of Chengzihe and Muling formation in Dasanjiang basin group, east Heilongjiang Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, (04): 674–682(in Chinese with English abstract).
- [26] 王珊, 任建业, 张云鹏, 等. 鸡西盆地早白垩世城子河组和穆棱组物源分析[J]. *沉积学报*, 2012, (04): 661–671.
Wang Shan, Ren Jianye, Zhang Yunpeng, et al. Provenance analysis of Chengzihe and Muling formation in Jixi basin, Northeastern China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, (04): 661–671(in Chinese with English abstract).
- [27] 曹全斌, 李昌, 孟祥超, 等. 准噶尔盆地南缘中段紫泥泉子组三段物源体系分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 367–372.
Cao Quanbin, Li Chang, Meng Xiangchao, et al. A material source system analysis of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central part of southern margin of Junggar Basin [J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 367–372(in Chinese with English abstract).
- [28] 韩国卿, 刘永江, 李俊杰, 等. 黑龙江省东北部桦南隆起的隆升时期[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2008, (03): 389–397.
Han Guoqing, Liu Yongjiang, Li Junjie, et al. Uplifting time of Huanan uplift in the northeastern Heilongjiang, China [J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2008, (03): 389–397 (in Chinese with English abstract).
- [29] 刘志宏, 周飞, 吴相梅, 等. 东北地区佳木斯隆起与周缘中新生代盆地群的耦合关系[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2011, (05):1335–1344.
Liu Zhihong, Zhou Fei, Wu Xiangmei, et al. Structural features, formation mechanism of Hulin basin and deformation time of northeastern segment of Dunhua–Mishan fault zone in northeast China[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2011, (05): 1335–1344(in Chinese with English abstract).