

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

张云鹏^{1,2}, 任建业^{1,3}, 侯艳平⁴, 王 珊¹, 杨承志¹

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
3. 教育部含油气盆地构造研究中心, 湖北 武汉 430074; 4. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:应用数理统计及Q型聚类分析方法,对大三江盆地群主要盆地20口钻井早白垩世城子河组和穆棱组砂岩中的重矿物进行了重矿物ZTR指数、稳定指数以及组合特征分析。城子河组和穆棱组重矿物ZTR指数等值线图都具有由边部向中心逐渐增大的趋势,而这两个组的重矿物稳定系数整体也较低,反映出成盆初期重矿物稳定性弱的特点,并根据重矿物种类将研究区分为六大重矿物组合带。最后,综合分析认为大三江盆地群城子河组和穆棱组物源方向上变化不大,两组之间是一种继承关系,主要存在3大物源体系:西部和西北部的物源主要来自小兴安岭-张广才岭;东部物源主要来自宝清地体及东三江隆起区;东南部物源主要由兴凯地体提供,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。

关键词:大三江盆地群,重矿物,物源分析,聚类分析

中图分类号:P588.21⁺2.3

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2011)04-0674-09

Heavy mineral characteristics and provenance analysis of Chengzihe and Muling Formations in Dasanjiang basin group, East Heilongjiang Province

ZHANG Yun-peng^{1,2}, REN Jian-ye^{1,3}, HOU Yan-ping⁴, WANG Shan¹ and YANG Cheng-zhi¹

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China; 3. Structural Research Center of Oil & Gas Bearing Basin, Ministry of Education, Wuhan 430074, China; 4. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield, Daqing 163712, China)

Abstract: Although Dasanjiang basin group is a residual basin at present, there existed a huge oil and gas potential in the uniform lake basin in Early Cretaceous, especially in the Chengzihe and Muling Formations, which now serve as important exploration strata. Based on mathematical statistics and Q type cluster analysis, the authors analyzed the heavy mineral ZTR indexes, stability coefficients and assemblage characteristics of the sandstones from Early Cretaceous Chengzihe and Muling Formations distributed in 20 drill holes in the main basins of Dasanjiang basin group, and then determined the direction of the provenance. The heavy mineral ZTR index contour maps of Chengzihe and Muling Formations are characterized by the gradually increasing trend from the edge towards the center, while their heavy mineral stability coefficients are relatively low, reflecting a lower heavy mineral stability at the early stage of the basin formation. According to the heavy mineral distribution, the study area can be divided into 6 heavy mineral assemblage zones. A comprehensive analysis shows that the provenance directions of Chengzihe and Muling Formations in Dasanjiang basin group did not change significantly, and both of the formations actually had an inheritance relationship. There mainly existed three provenance systems: the west and northwest provenance from Xiao Hinggan Mountain-Zhangguangcai Mountain, the east provenance mainly from Baoqing Block and Dongsanjiang uplift area and the southeast provenance mainly supplied by Xingkai Block. Nadanhada Block and Yanji fold belt provided source materials for northern Hulin Basin and

收稿日期:2010-01-20;修订日期:2011-04-13

基金项目:国家重大科技专项资助项目(2009ZX05009-001)

作者简介:张云鹏(1981-),男,博士研究生,主要从事含油气盆地沉积和构造方面的研究,E-mail:ypzhang518@tom.com.

southern Jixi Basin respectively, but the influence was limited.

Key words: Dasanjing basin group; heavy mineral; provenance analysis; cluster analysis

大三江盆地群位于黑龙江省东部,是中国东北唯一具有中生界海相和海陆交互沉积的地区。大三江盆地群在早白垩世为统一的大型拗陷湖盆(何玉平,2006和钟铎等,2008),之后经历了多期构造运动的改造,才形成现今残余盆地的面貌。经过50多年的勘探,根据新一轮资源评价的结果,大三江盆地群石油资源量丰富,油气潜力巨大,而统一湖盆发育时期的地层更是重要的勘探层组。因此,统一湖盆时期特别是城子河组和穆棱组时期的物源方向的研究对于该区今后的油气勘探开发具有重要的意

义,而本文正是从重矿物特征方面对该区城子河组和穆棱组的物源方向做分析和探讨。

1 研究区概况

大三江盆地群西部以张广才岭为界,东部与那丹哈达地体相接,南部至环太平洋-延吉褶皱带,北部为布列亚地体,包括了现今的三江、勃利、鸡西、虎林、鹤岗、汤原、方正等十余个中生代盆地,总面积约 $6.49 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。

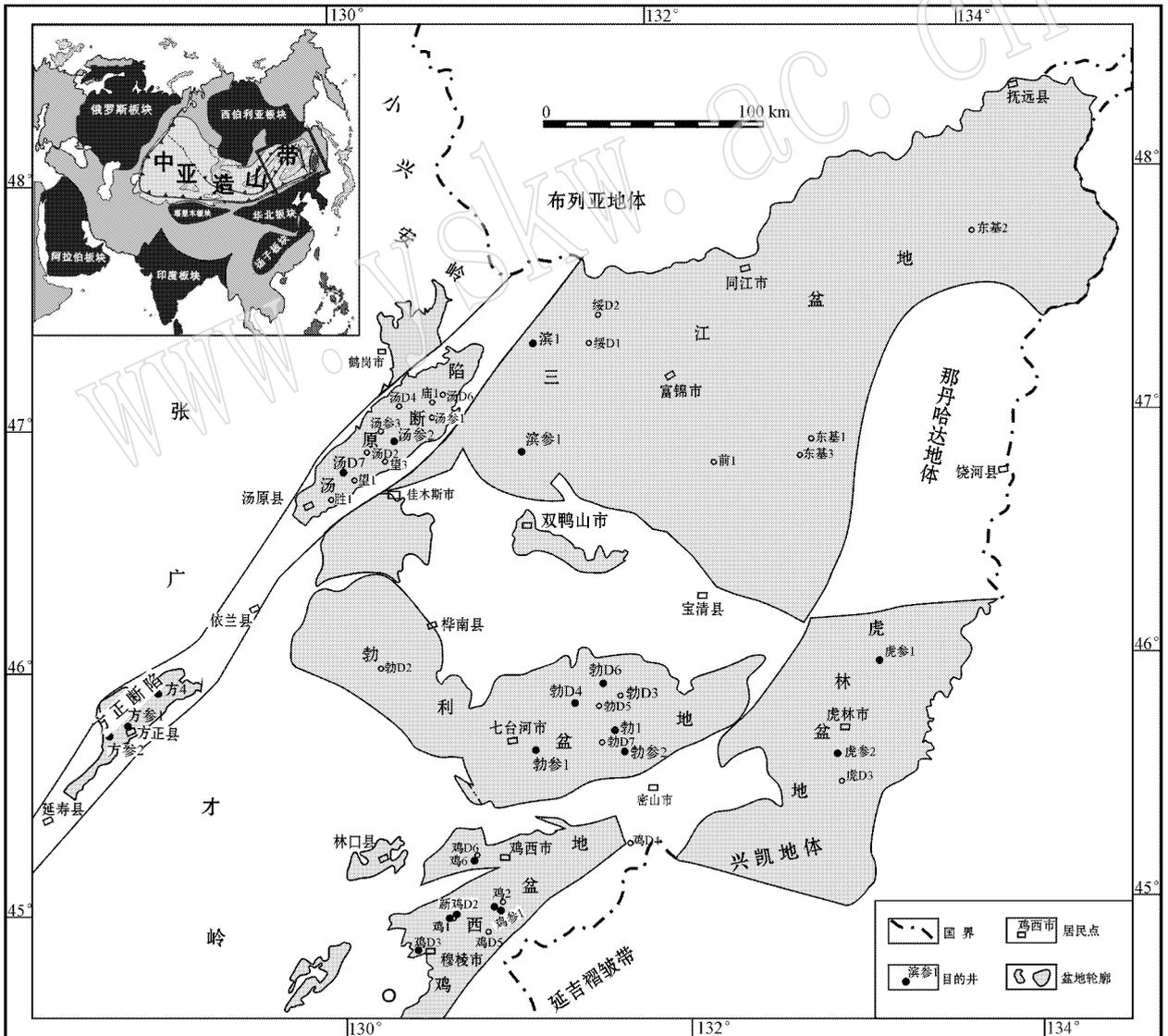


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

依据区域地层资料和生物地层资料划分和对比 结合区域动力学背景和前人认识(具然弘等, 1981;Sha Jingeng, 1992;何玉平, 2006;李仰春等, 2006;杨建国等, 2006;和钟铎等, 2008, 2009),总结了大三江盆地群主要盆地地层沉积序列(表1)。从表1中可以看出,研究区中-新生代共经历了4次构造反转,晚侏罗世地层分布局限,仅在三江盆地沉积,绥滨组和东荣组有分布;晚侏罗世末-早白垩世早期,蒙古-鄂霍次克洋闭合造山,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 and 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,其他盆地的新生代地层则不够完整。

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	三江盆地	鸡西盆地	勃利盆地		虎林盆地	汤原断陷	方正断陷	盆地发育阶段
					西部	东部				
新近系	上新统	5.3		道台桥组			道台桥组			构造反转 拗陷阶段
	中新统	23.0	富锦组				富锦组	富锦组		
古近系	渐新统	33.9	宝泉岭组	永庆组			虎林组	宝泉岭组	宝泉岭组	断陷阶段
	始新统	55.8						达连河组	达连河组	
								新安村组	新安村组	
	古新统	65.5							乌云组	
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		东山组	东山组		构造反转
			穆棱组	穆棱组	穆棱组	珠山组	珠山组	穆棱组		拗陷阶段
			城子河组	城子河组	城子河组	云山组	云山组			
侏罗系	上侏罗统	145.5	滴道组	滴道组		七虎林组	裴德组	裴德组	断陷阶段 构造反转	
			东荣组					拗陷阶段		
			绥滨组							

2 重矿物分析

碎屑岩中相对密度大于 2.86 g/cm^3 的矿物称为重矿物,它们在岩石中的含量很少,一般不超过1%。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(沈丽琪, 1985;和钟铎等, 2001;赵红格等, 2003)。Pettijohn(1972)根据重矿物的稳定性将其划分为超稳定、稳定、中等稳定、不稳定和极不稳定5个等级。稳定重矿物抵抗风化能力强,分布广泛,远离物源区其含量相对增大;不稳定重矿物抵抗风化的能力弱,分布局限,远离物源区其含量相对减小,甚至消失。

2.1 重矿物类型

对研究区20口钻井城子河组和穆棱组2个层位的400多个样品采用重矿物代表值法进行重矿物特征分析,即用某井同一层位的全部样品鉴定结果中各重矿物百分含量的算术平均值,来代表该点该层位重矿物组合类型和百分含量(张元等, 2007)。为了保证统计结果的准确性,需尽量使用岩心资料,并尽可能多的通过多样品数求取代表值,这样才能可靠反映其重矿物的总体特征。

研究区重矿物数据见表2。从表2中可以看出研究区主要的重矿物有锆石、磷灰石、楣石、电气石、黑云母、绿泥石、石榴子石、绿帘石、磁铁矿、白钛石、磁黄铁矿、钛铁矿、辉石、黝帘石、阳起石、锡石。按照碎屑重矿物在搬运过程中抗风化能力的大小,可

表 2 大三江盆地群城子河组和穆棱组重矿物统计表

$\omega_B/\%$

Table 2 Heavy mineral statistics of Chengzihe and Muling Formations in Dasanjiang basin group

井名	层位	锆石	磷灰石	楣石	电气石	黑云母	绿泥石	石榴子石	绿帘石	磁铁矿	白钛石	磁黄铁矿	钛铁矿	辉石	黝帘石	阳起石	锡石
滨参 1	K_1m	31.3	1.4	0.0	2.3	24.5	12.9	18.5	0.0	1.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
滨 1	K_1m	42.3	5.2	0.0	3.4	19.8	17.7	1.6	1.3	1.3	4.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
勃参 2	K_1z	20.5	3.8	8.5	3.0	6.9	1.8	6.5	3.1	16.3	5.1	23.2	25.4	0.0	0.0	0.0	0.0
勃参 1	K_1z	22.2	3.7	0.0	0.0	2.3	19.6	4.1	2.4	1.3	6.9	24.2	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0
勃 D6	K_1z	10.7	2.4	17.6	3.0	8.0	3.9	8.4	10.6	1.2	7.4	27.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
勃 1	K_1z	38.1	0.0	7.5	0.0	2.9	1.4	15.9	6.8	5.5	12.6	3.3	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡参 1	K_1m	25.6	7.2	0.0	0.0	49.0	0.0	2.8	2.6	6.6	2.7	2.8	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 D3	K_1m	18.9	0.0	0.0	2.4	4.8	1.9	8.9	0.8	0.0	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 1	K_1m	49.0	12.1	0.0	2.0	8.1	4.7	0.0	0.0	0.7	8.7	12.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
新鸡 D2	K_1m	31.9	5.3	0.0	3.2	2.8	11.0	0.0	3.9	2.2	16.0	26.7	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 6	K_1m	1.4	0.0	0.0	1.1	12.4	13.1	12.4	35.3	2.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2
汤参 2	K_1m	16.9	2.4	8.4	6.3	17.3	2.7	23.4	18.6	1.5	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
汤 D7	K_1m	16.8	1.3	0.0	0.3	1.4	0.7	2.8	1.0	2.6	2.7	3.8	68.8	0.0	0.0	0.0	0.0
方参 2	K_1f	28.2	2.5	0.0	0.0	1.6	4.3	2.6	3.1	53.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
方参 1	K_1f	21.4	0.9	8.6	0.6	0.5	0.0	2.6	6.9	56.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
方 4	K_1f	21.5	0.0	0.0	1.2	41.9	14.1	0.0	10.5	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5
滨参 1	K_1ch	50.6	2.8	0.0	2.8	21.0	11.7	3.5	3.4	5.0	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
滨 1	K_1ch	40.9	3.3	0.0	2.8	5.5	6.1	4.6	1.9	5.4	6.2	32.4	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
勃参 2	K_1ch	17.6	3.9	3.3	1.0	12.7	8.8	5.7	2.2	3.2	3.9	45.9	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
勃参 1	K_1ch	17.9	4.1	0.0	0.0	14.2	9.3	4.4	1.4	1.4	3.1	44.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
勃 D4	K_1ch	16.6	1.3	11.7	1.5	5.1	2.8	11.5	9.4	2.4	6.8	32.8	2.1	4.1	1.5	0.0	0.0
勃 1	K_1ch	10.0	0.0	45.3	0.0	7.0	1.5	6.6	16.2	4.3	3.1	1.2	2.3	1.5	0.0	0.0	0.0
鸡参 1	K_1ch	54.1	3.5	0.0	0.0	7.3	3.3	1.9	2.3	5.1	11.0	17.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 D3	K_1ch	23.5	0.0	0.0	0.9	9.4	4.4	4.0	2.1	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 6	K_1ch	9.7	0.0	0.0	1.5	0.8	0.7	0.5	0.8	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 2	K_1ch	42.2	7.3	0.0	2.6	0.0	6.3	2.7	2.3	3.6	10.6	26.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
鸡 1	K_1ch	40.3	2.2	0.0	1.2	11.5	6.5	0.0	0.0	1.0	4.1	35.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
虎参 1	K_1ch	37.6	2.5	0.0	2.1	0.0	0.0	0.5	3.6	5.0	10.8	40.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
虎参 2	K_1ch	4.1	2.8	8.6	0.5	0.0	2.3	35.7	5.3	13.6	1.0	9.1	8.4	1.6	6.2	0.5	0.0

注：原始分析数据来自大庆油田分析资料，表中 K_1z 、 K_1f 层组相当于 K_1m 。

将研究区的重矿物大致分为两类，超稳定和稳定的重矿物有锆石、电气石、楣石、石榴子石、磁铁矿、钛铁矿等；次稳定和不稳定的重矿物有磷灰石、黑云母、绿泥石、绿帘石、辉石、黝帘石、阳起石等。

2.2 重矿物 ZTR 指数分析

重矿物成熟度即 ZTR 指数是由 Hubert(1960)首先提出的，指的是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。沉积物在运移过程中随着搬运距离的增加，距离物源方向越来越远，本身所含的重矿物中不稳定重矿物含量减少，相应的稳定重矿物所占比重将增大，矿物成熟度增大 ZTR 值升高，反之亦然。因此，ZTR 指数被普遍用于指示沉积物搬运距离和物源方向(孙小霞等，2006；张元等，2007；白云凤等，2008)。通过分析得出，研究区城子河组的 ZTR 指数介于 4~51 之间，虎参 2 井数值最低，为 4.1，其余各井值都集中于 10

~50 之间，由于该组在汤原、方正断陷一带无数据，故未做讨论。总体上看，城子河组时期 ZTR 指数在平面上主要分为 1 个低值区和 3 个高值区，低值区主要存在于勃利盆地中东部，ZTR 平均值约为 15；其他 3 个高值区分别位于三江盆地西部、鸡西盆地及虎林盆地中部，它们的 ZTR 平均值分别为 42.6、46.0、37.8，数值相差不大(图 2a)。穆棱组的 ZTR 指数介于 2~51 之间，ZTR 值的分布趋势和城子河组相差不大，除鸡 6 井 ZTR 值为 2.7 稍低以外，其他各井值主要分布于 10~40 之间，分为 2 个低值区和 2 个高值区，一个低值区为汤原断陷、方正断陷一带，ZTR 平均值为 21.5，另一个低值区还是位于勃利盆地中东部，ZTR 平均值为 22.9，2 个高值区分别位于三江盆地西部和鸡西盆地，ZTR 平均值分别为 39.4 和 36.9(图 2b)。对城子河组和穆棱组的 ZTR 数值进行综合分析，做 ZTR 等值线图(图 2c)，由于

本区钻井较少,无钻井地区的 ZTR 值主要通过有井地区的 ZTR 等值线趋势来进行估算。通过 ZTR 等值线图可以看出:北部汤原、方正断陷一带,ZTR 值表现为自西北向东南逐渐变大的趋势;东部三江盆地和虎林盆地北部地区 ZTR 值由北向南逐渐增大,虎林盆地南部地区则表现为自东向西 ZTR 值由小变大的趋势,南部鸡西盆地由南向北 ZTR 值依次升高,而西部林口盆地 ZTR 值则是由西向东逐渐增大的。总体上看,大三江盆地群 ZTR 值具有由边部向

中心逐渐增大的特征,即有从上述周边盆地向勃利盆地逐渐增大的趋势(图 2c),这也与研究区在该时期存在统一湖盆的观点相一致。

2.3 重矿物稳定系数分析

确定重矿物的搬运方向和搬运距离的另一个指标是重矿物稳定系数,计算公式为:稳定系数 = 稳定型重矿物相对含量 / 不稳定型重矿物相对含量(沈丽琪,1985;张元等,2007)。通过该公式计算研究区各盆地钻井的稳定系数并做柱状图,结果如图 3。

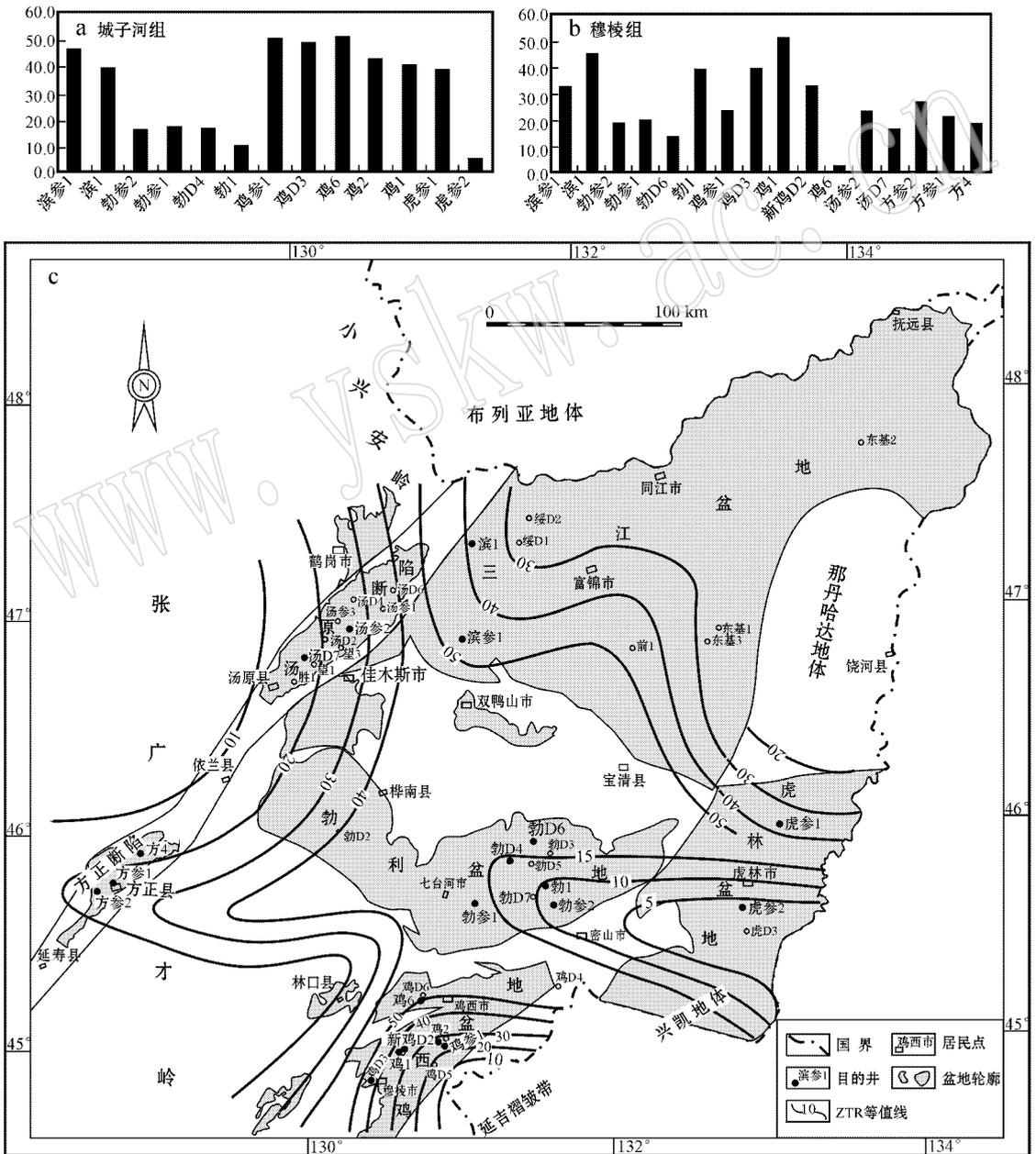


图 2 大三江盆地群重矿物 ZTR 指数特征

Fig. 2 Heavy mineral ZTR index characteristics of Dasanjiang basin group

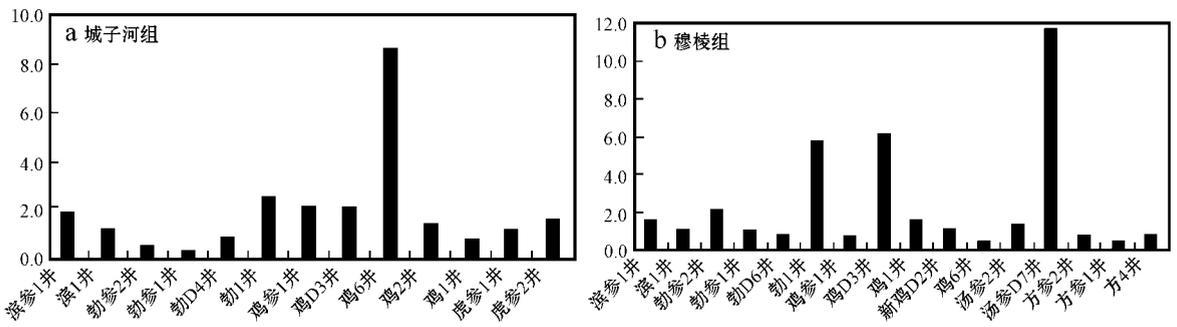


图 3 大三江盆地群重矿物稳定系数特征

Fig. 3 Heavy mineral stability coefficient characteristics of Dasanjiang basin group

城子河组时期,除了鸡 6 井数值较高,达到 8.7 以外,其余各井稳定系数的值都在 0~3.0 左右,最高值为勃 1 井和虎参 2 井的 2.6,最低值为勃参 1 井的 0.4,总体上看,勃盆地数值最低,平均为 1.1,鸡西盆地出去特高值的鸡 6 井,平均值为 1.7,虎林盆地平均值为 1.5,三江盆地平均值为 1.65,总体显示稳定系数较低(图 3a)。

穆棱组时期稳定系数也较低,除勃 1 井、鸡 D3 井和汤 D7 井数值较高外,其余各井稳定系数的值都介于 0~2.0 之间,最高值为勃参 2 井的 2.2,最低值为鸡 6 井和方参 1 井的 0.5,勃盆地平均值为 1.4,鸡西盆地平均值为 1.0,三江盆地平均值为 1.35,汤原断陷除去异常值后平均值为 1.4,方正断陷平均值为 0.65,总体显示稳定系数较低(图 3b)。

影响稳定系数的因素主要有两个:一是构造运动,二是沉积环境的变化。通过前面的分析得知,城子河组、穆棱组时期,研究区重矿物稳定系数大多介于 0~2.0 左右,总体呈现低值特征,并且城子河组整体稳定系数大于穆棱组稳定系数。研究区在这两个时期属于拗陷盆地阶段,构造活动不强,比较同一口井这两个组的重矿物含量(如滨 1 井、滨参 1 井)发现,不稳定重矿物含量变化不大,因此研究区的稳定系数应该主要是由沉积环境的变化所引起的。以三江盆地滨 1 井为例,城子河组时期,其沉积相主要为三角洲前缘-滨浅湖相,至穆棱组时期,由于湖盆范围的扩大,沉积环境逐渐转变为滨浅湖-半深湖环境,但由于城子河组埋藏较穆棱组深,地层中不稳定重矿物会随埋藏深度的增加逐渐减少,重矿物稳定系数相应增大,因而,城子河组稳定系数大于穆棱组稳定系数。

2.4 重矿物组合分析

根据砂岩重矿物出现的类型及组合,可以确定

砂岩的物源及源区岩石类型。通过重矿物的矿物学研究和统计学分析,确定有成因联系的重矿物组合,并借此推断物源区的母岩类型(表 3),应用重矿物、重矿物组合及不同稳定性重矿物空间分布特征,确定物源方向(和钟铎等 2001,何玉平 2006)。

表 3 不同母岩的重矿物组合(据何玉平 2006)

Table 3 Heavy mineral assemblages in different parent rocks (after He Yuping, 2006)

母岩	重矿物组合
中酸性岩浆岩	磷灰石、独居石、金红石、榍石、锆石、黑云母
中基性岩浆岩	磁铁矿、白钛石、钛铁矿、少量辉石、角闪石
酸性侵入岩	黑云母、锆石、磷灰石、榍石
中高级变质岩	绿帘石、石榴子石、蓝晶石、绿泥石、锆石、黑云母
低级变质岩	白钛石、蓝闪石、蓝晶石、绿泥石、黑云母、锆石
沉积岩	锆石、电气石、金红石

应用 Q 型聚类分析法(陆明德等,1991;武法东等,1996;王洪伟等,2007)对研究区重矿物进行分析,根据每口井各种重矿物所占比重,可将研究区的重矿物分为六大组合带(表 4),第 I 类是以滨 1 井、滨参 1 井为代表的锆石+黑云母+绿泥石组合带,主要分布在三江盆地绥滨拗陷一带,稳定矿物和不稳

表 4 研究区重矿物组合分类表

Table 4 Heavy mineral combinational classification of the study area

序号	重矿物组合	代表井
I	锆石+黑云母+绿泥石	滨 1 滨参 1
II	锆石+白钛石	鸡 6 鸡 D3 勃 1
III	锆石+磁黄铁矿+绿泥石	鸡 1 鸡 2 新鸡 D2 鸡参 1
IV	磁铁矿+锆石	方参 1 方参 2 汤 D7
V	磁黄铁矿+锆石+黑云母	勃参 1 勃参 2 勃 D4 勃 D6 虎参 1
VI	石榴子石	虎参 2 汤参 2

定矿物总量相当,说明搬运距离较短,距离物源较近,物源有可能来自小兴安岭或布列亚地体;第Ⅱ类是以鸡6井、鸡D3井为代表的锆石+白钛石组合带,主要分布在鸡西盆地西部靠近边部的地区,以稳定矿物为主,不稳定矿物含量少,说明经历了长距离的搬运,距离物源较远;第Ⅲ类是以鸡1、鸡2等鸡西盆地中部各井为代表的锆石+磁黄铁矿+绿泥石组合带,相对于鸡6井、鸡D3井稳定重矿物减少,次稳定和不稳定矿物增加,表明距离物源方向缩短;第Ⅳ类是以方参1井、方参2井为代表的磁铁矿+锆石组合带,主要分布在汤原、方正断陷一带,稳定矿物含量高,说明也经历了长距离的搬运;第Ⅴ类是以勃利盆地各井为代表的磁黄铁矿+锆石+黑云母组合带,磁黄铁矿含量较高,锆石次之,在距离物源的远近上要比方正地区近,但比三江盆地绥滨拗陷距离物源远;第Ⅵ类主要是以虎参2井为代表的高石榴子石组合,在重矿物分布特点上与上面五类不同,故单独列为一类,汤参2井的石榴子石含量也较高。

结合重矿物组合特征和表2中的重矿物数据,综合分析得出:三江盆地城子河组重矿物组合以锆石、黑云母、白钛石为主,说明碎屑岩母岩物质主要来自中高级变质岩和酸性岩浆岩。穆棱组重矿物以锆石、黑云母和石榴子石为主,其次为白钛石和绿泥石,说明碎屑岩母岩主要来自中高级变质岩、低级变质岩,其次为中酸性-中基性岩浆岩和沉积岩。城子河组—穆棱组碎屑岩母岩经历了中高级变质岩、中酸性岩浆岩-中基性岩浆岩的变化,鸡西盆地城子河组与穆棱组时期鸡西地区母岩物质和物源区基本上保持稳定,碎屑岩母岩成分相对复杂,既有中高级变质岩、又有中酸性-中基性岩浆岩,勃利地区碎屑物的母岩以中基性岩浆岩为主,还有中高级变质岩和酸性岩浆岩;虎林盆地的碎屑岩母岩主要为中基性岩浆岩和中高级变质岩。

3 物源分析

根据以上重矿物稳定系数,ZTR指数以及重矿物组合特征,认为研究区主要有三大物源方向(图4),一个物源在研究区的西部和西北部,西部地区ZTR指数较高,西北部在ZTR指数上则整体偏低。从重矿物组合来看,鸡西盆地城子河组母岩类型以中酸性火成岩和中低级变质岩为主,穆棱组母岩类

型以中酸性火成岩为主,其次为中高级变质岩。汤原、方正断陷母岩也具有类似特征,主要为中高级变质岩和中酸性火成岩。而西部的张广才岭造山带是古生代时期佳木斯地块向松嫩地块俯冲形成的构造杂岩带,经历了由被动陆缘到活动陆缘的转变,并最终沿小兴安岭至张广才岭西坡发育一长达800 km的具陆缘岛弧性质的早古生代花岗岩(李锦轶等,1999)。这两个盆地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。王杰等(2006)通过地球化学的方法也得到了相似的结论。

另一个物源来自研究区的东部,以滨参1、滨1井为代表,重矿物组合上表现为锆石+黑云母+绿泥石的组合特征,稳定矿物和不确定矿物含量相当,说明搬运距离不长,距离物源较近,但由于锆石含量高,因此ZTR指数大。从重矿物组合看,三江盆地城子河组碎屑岩母岩物质主要来自中高级变质岩和酸性岩浆岩,穆棱组碎屑岩母岩主要来自中高级变质岩、低级变质岩,其次为中酸性-中基性岩浆岩。城子河组—穆棱组碎屑岩母岩经历了中高级变质岩、中酸性岩浆岩-中基性岩浆岩的变化。根据区域地质资料(黑龙江省地质矿产局,1993),认为具有大陆岛弧性质的宝清地体及东三江隆起区应该是主要物源供给区。

第三个物源主要来自研究区的东南部,以勃利盆地各井为代表,表现为磁黄铁矿+锆石+黑云母的组合特征,磁黄铁矿的含量远远高于锆石含量,ZTR指数小。另外,从本区的ZTR指数等值线图上可以看出该方向上有3个不同的等值线,说明该方向上的物源方向不一。从重矿物组合来看,勃利盆地碎屑岩母岩类型与兴凯地体基本一致,说明母岩主要来自兴凯地体;虎林盆地北部的碎屑岩母岩主要为中基性岩浆岩和中高级变质岩,在虎林盆地周围出露的地层中,中基性岩浆岩分布在那丹哈达地区,说明其母岩主要来自那丹哈达。张世红等(1999)对虎林盆地裴德组砾岩段的砾石成分做了研究,认为虎林盆地早在裴德组沉积时期,那丹哈达地体就已经为其提供物源。因此,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,可一直到达勃利盆地,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,但影响范围较小。

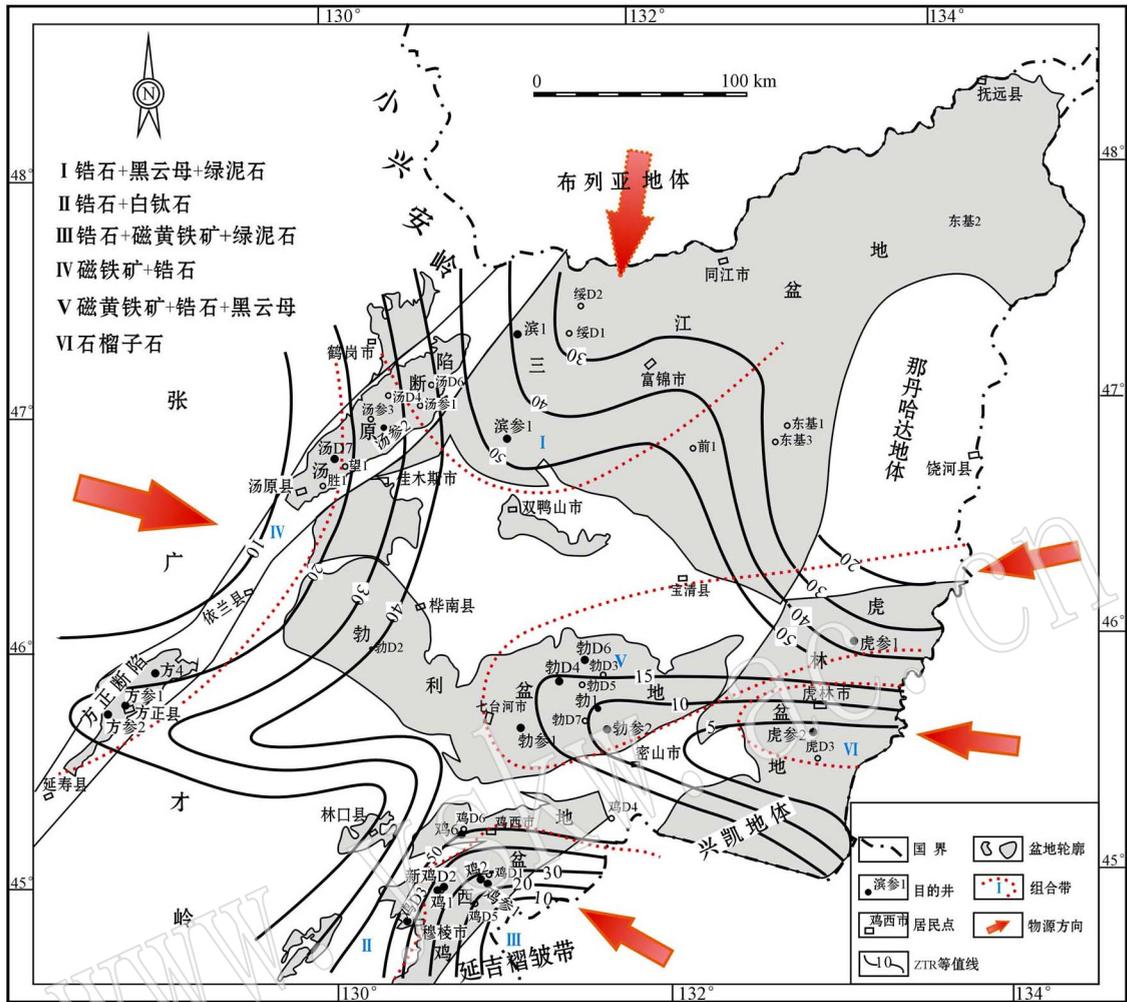


图4 大三江盆地群物源分析图

Fig. 4 Provenance analysis of Dasanjiang basin group

4 结论

(1) 大三江盆地群城子河组和穆棱组重矿物 ZTR 指数值相差不大,都具有由边部向中心逐渐增大的特征,即有从周边盆地向勃利盆地逐渐增大的趋势。

(2) 大三江盆地群城子河组稳定系数介于 0~3.0 之间,穆棱组稳定系数介于 0~2.0 之间,总体上城子河组稳定系数大于穆棱组稳定系数,这种变化主要是由沉积环境的变化所引起。

(3) 根据重矿物种类将大三江盆地群分为六大组合带,并结合重矿物 ZTR 指数和稳定系数,认为大三江盆地群主要有三个大方向的物源,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

主要来自宝清地体及东三江隆起区;东南部物源主要由兴凯地体提供,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。

References

Bai Yunfeng, Wang Zhensheng, Wei Ajuan, *et al.* 2008. Time and space distribution characteristics and material resource system of heavy minerals in Dongying Formation of Huanghua Depression[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 27(2): 39~42(in Chinese).

Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*[M]. Ministry of Geology and Mineral Resources, Peoples' Republic of China, Geological Memoirs, No. 33. Beijing: Geological Publishing House, 354~601(in Chinese).

He Yuping. 2006. The Early Cretaceous sedimentary characteristics and prototype basin restoration in Eastern Heilongjiang Province[D].

- Changchun: Jilin University (in Chinese).
- He Zhonghua, Liu Zhaojun, Chen Xiuyan, *et al.* 2008. Sedimentary facies characteristics and their evolution of the Early Cretaceous relict basins in eastern Heilongjiang Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 10(2): 151~158 (in Chinese).
- He Zhonghua, Liu Zhaojun and Zhang Feng. 2001. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis [J]. *Geological Science and Technology Information*, 20(4): 29~32 (in Chinese).
- He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Xiaodong, *et al.* 2009. Subdivisions of structural layers and tectonic-sedimentary evolution of eastern basins in Heilongjiang in Late Mesozoic [J]. *Global Geology*, 28(1): 20~27 (in Chinese).
- Hubert J F. 1960. Petrology of the Fountain and Lyons formations, Front Range, Colorado [J]. *Quarterly of Colorado School of Mines*, 55(1): 238~242.
- Ju Ranhong, Zheng Shaolin, Yu Xihan, *et al.* 2006. Subdivision of the Longzhaogou Group and its Correlation with the Jixi Group in eastern Heilongjiang, China [J]. *Geological Review*, 27(5): 391~401 (in Chinese).
- Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao, *et al.* 1999. Crust Formation and Evolution of Northern Changbai Mountain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 110~114 (in Chinese).
- Li Yangchun, Yang Xiaoping, Zhou Xingfu, *et al.* 2006. Integrated stratigraphic correlation of the Jixi Group and Longzhaogou Group in eastern Heilongjiang [J]. *Geology in China*, 33(6): 1312~1320 (in Chinese).
- Lu Mingde and Tian Shiyun. 1991. *Mathematical Geology Oil and Gas* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House (in Chinese).
- Pettijohn F J. 1972. *Sand and Sandstone* [M]. New York: Springer-Verlag.
- Sha Jingeng. 1992. A Different Opinion on the Geological Age of the Longzhaogou and Jixi Groups of Eastern Heilongjiang, China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 5(2): 209~218.
- Shen Liqi. 1985. Sedimentary heavy mineral study and application of several important concepts [J]. *Science China (B Series)*, 1: 70~78 (in Chinese).
- Sun Xiaoxia, Li Yong, Qiu Dongzhou, *et al.* 2006. The heavy minerals and provenances of the Neogene Guantao Formation in the Huanghua depression [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(3): 61~66 (in Chinese).
- Wang Hongwei, Yang Jianguo and Lin Dongcheng. 2007. Combination of paleogene sandstone heavy mineral and source analysis in Tangyuan Rift [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 26(3): 39~42 (in Chinese).
- Wang Jie, He Zhonghua, Liu Zhaojun, *et al.* 2006. Geochemical characteristics of Cretaceous detrital rocks and their constraint on provenance in Jixi Basin [J]. *Global Geology*, 25(4): 341~348 (in Chinese).
- Wu Fadong, Lu Yongchao and Ruan Xiaoyan. 1996. Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation [J]. *Geoscience*, 10(3): 397~402 (in Chinese).
- Yang Jianguo, Wu Heyong and Liu Junlai. 2006. Stratigraphic correlation of the Mesozoic and Cenozoic in the outer basins of the Daqing exploration area [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(9~10): 1088~1093 (in Chinese).
- Zhang Shihong, Zhang Chuanheng and Li Hongsheng. 1999. Discovery of the radiolarians from the conglomerate of the Peide Formation in eastern Heilongjiang and its tectonostratigraphical significance [J]. *Journal of Stratigraphy*, 23(3): 201~205 (in Chinese).
- Zhang Yuan, Guo Xiang, Liu Hongyan, *et al.* 2007. Analysis for heavy mineral combination characteristics and detritus sources in malang depression of Santanghu basin [J]. *Sino-Global Energy*, 12: 48~51 (in Chinese).
- Zhao Hongge and Liu Chiyang. 2003. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2(13): 409~410 (in Chinese).

附中文参考文献

- 白云凤, 王振升, 韦阿娟, 等. 2008. 黄骅坳陷东营组重矿物时空展布特征及物源体系分析 [J]. *大庆石油地质与开发*, 27(2): 39~42.
- 何玉平. 2006. 黑龙江省东部早白至世沉积特征与原型盆地恢复 [D]. 长春: 吉林大学.
- 和钟铨, 刘招君, 陈秀艳, 等. 2008. 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*, 10(2): 151~158.
- 和钟铨, 刘招君, 张峰. 2001. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展 [J]. *地质科技情报*, 20(4): 29~32.
- 和钟铨, 刘招君, 张晓冬, 等. 2009. 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*, 28(1): 20~27.
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志 [M]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报——区域地质第33号. 北京: 地质出版社, 354~601.
- 具然弘, 郑少林, 于希汉, 等. 1981. 黑龙江省东部龙爪沟群的划分及其与鸡西群对比 [J]. *地质论评*, 27(5): 391~401.
- 李锦轶, 牛宝贵, 宋彪, 等. 1999. 长白山北段地壳的形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 110~114.
- 李仰春, 杨晓平, 周兴福, 等. 2006. 黑龙江省东部鸡西群与龙爪沟群综合地层对比研究 [J]. *中国地质*, 33(6): 1312~1320.
- 陆明德, 田时芸. 1991. *石油天然气数学地质* [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 沈丽琪. 1985. 沉积岩重矿物研究中的几个重要概念及其应用 [J]. *中国科学(B辑)*, 1: 70~78.
- 孙小霞, 李勇, 丘东洲, 等. 2006. 黄骅坳陷新近系馆陶组重矿物特征及物源区意义 [J]. *沉积与特提斯地质*, 26(3): 61~66.
- 王洪伟, 杨建国, 林东成. 2007. 汤原断陷古近纪砂岩重矿物组合与物源分析 [J]. *大庆石油地质与开发*, 26(3): 39~42.
- 王杰, 和钟铨, 刘招君, 等. 2006. 鸡西盆地白垩纪碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约 [J]. *世界地质*, 25(4): 341~348.
- 武法东, 陆永潮, 阮小燕. 1996. 重矿物聚类分析在物源分析及地层对比中的应用——以东海陆架盆地西湖凹陷平湖地区为例 [J]. *现代地质*, 10(3): 397~402.
- 杨建国, 吴河勇, 刘俊来. 2006. 大庆探区外围盆地中、新生代地层对比及四大勘探层系 [J]. *地质通报*, 25(9~10): 1088~1093.
- 张世红, 张传恒, 李红生. 1999. 黑龙江省东部裴德组砾石中放射虫的发现及其意义 [J]. *地层学杂志*, 23(3): 201~205.
- 张元, 郭翔, 刘宏彦, 等. 2007. 三塘湖盆地马朗地区重矿物特征及物源分析 [J]. *中外能源*, 12: 48~51.
- 赵红格, 刘池洋. 2003. 物源分析方法及研究进展 [J]. *沉积学报*, 2(13): 409~410.