

上黑龙江盆地中侏罗统绣峰组的沉积环境 与大地构造背景

赵寒冬^{1,2}, 尹志刚^{1,2}, 马丽玲², 周兴福^{1,3}, 谭成印^{1,3}, 赵焱³, 刘志逊^{1,3}, 刘勇¹
ZHAO Han-dong^{1,2}, YIN Zhi-gang^{1,2}, MA Li-ling², ZHOU Xing-fu^{1,3},
TAN Cheng-yin^{1,3}, ZHAO yan³, LIU Zhi-xun^{1,3}, LIU Yong¹

1. 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 岩石圈构造与深部过程及探测技术教育部重点实验室, 中国地质大学, 北京 100083;
2. 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161005;
3. 黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobeing Technology, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Qiqihar Branch of the Heilongjiang Institute of Geological Survey, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China;
3. Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, Heilongjiang, China

摘要:对上黑龙江盆地中侏罗统绣峰组的岩石学特征、砂岩类主要化学成分、微量元素、稀土元素及C、O同位素的定量分析表明,其主要化学成分具有K₂O/Na₂O、SiO₂较高和SiO₂/Al₂O₃、Fe₂O₃+MgO较低的特征,显示了活动大陆边缘的性质;微量元素中B、Sr/Ba值较低,Fe/Mn值高,C、O同位素Z值低,显示了内陆淡水沉积的特点;稀土元素具有轻稀土富集、分馏好,Eu弱亏损的特点,与活动大陆边缘及上黑龙江盆地南缘古生代花岗岩的稀土模式相似。综合分析绣峰组岩石学及岩石地球化学特征,认为绣峰组沉积于淡水河流环境,物质主要来源于蒙克山以南晚石炭世塔林超单元及中元古界—下寒武统大网子岩组;上黑龙江盆地的形成与蒙古—鄂霍次克造山作用有关,属活动大陆边缘盆地。

关键词:上黑龙江盆地;绣峰组;沉积环境;构造背景

中图分类号:P534.52;P512.2;P548 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2007)07-0823-07

Zhao H D, Yin Z G, Ma L L, Zhou X F, Tan C Y, Zhao Y, Liu Z X, Liu Y. Sedimentary environment and tectonic setting of the Middle Jurassic Xiufeng Formation in the Upper Heilongjiang River basin. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(7):823-829

Abstract: The petrological characteristics and major element, trace element, REE and C and O isotope quantitative analyses of sandstones of the Middle Jurassic Xiufeng Formation in the Upper Heilongjiang River basin indicate that: the major elements are characterized by higher K₂O/Na₂O and SiO₂ and lower SiO₂/Al₂O₃ and Fe₂O₃+MgO, showing the nature of the active continental margin; the trace elements are featured by lower B and Sr/Ba, higher Fe/Mn and lower Z values of C and O isotopes, indicating the features of inland fresh-water sediments; and REE are characterized by enrichment in LREE, good fractionation and weak Eu depletion and the REE patterns are similar to those of the active continental margin and Paleozoic granites on the southern margin of the Upper Heilongjiang River basin. An integrated analysis of the petrological and geo-

收稿日期:2006-11-01;修订日期:2007-05-08

地质项目:中国地质调查局基础地质调查《浅覆盖区1:25万区域地质调查填图方法研究》课题(编号:1996130000704)成果。

作者简介:赵寒冬(1963-),男,在读博士,高级工程师,从事区域地质调查研究及管理工作。E-mail:handonz@tom.com

chemical characteristics of the Xiufeng Formation suggests that Xiufeng Formation formed in a fresh-water river environment and that its materials mainly came from the Late Carboniferous Talin superunit and Mesoproterozoic-Lower Cambrian Dawangzi Formation-complex. The formation of the Upper Heilongjiang River basin is related to the Mongolia-Okhotsk orogeny, and this basin is an active continental-margin basin.

Key words: Upper Heilongjiang River basin; Xiufeng Formation; sedimentary environment; tectonic setting

上黑龙江盆地(也称上黑龙江断(坳)陷^[1]、上阿穆尔盆地^[2])大地构造上归属蒙古-鄂霍次克褶皱带额尔古纳微板块(图1、图2)。关于其形成构造背景有如下观点:一种观点认为,受西伯利亚地块从深部地幔到上部地壳相对向南运动的影响,晚三叠世的伸展构造环境一直延续到早侏罗世,早(一中)侏罗世盆地属于伸展断陷盆地,盆地的沉降和沉积作用受张性断裂作用的控制^[3];与中国东北及邻区古生代末期全部克拉通化后,在统一陆壳基础上于侏罗纪开始的陆内断陷有关^[4];印支期中国大陆处于南北向挤压的构造体制下,形成近东西向的逆断层,而至燕山期时均转变为走滑-正断层,受此控制,在中国大陆东部形成了近东西向延伸的侏罗纪陆内断陷盆地^[5],等等。而和政军等^[6]、李锦轶等^[7]最近指出,在俄罗斯境内该盆地堆积物的下部发育上三叠统一中侏罗统的海相灰色陆源碎屑复理石,上部为一套中-上侏罗统的海陆交互相和陆相碎屑沉积物,该盆地沉积中心在俄罗斯境内,中国境内的为其南部边缘,是与蒙古鄂霍次克造山带有关的由与弧有关的盆地演化而成的前陆盆地,不是侏罗纪陆内断陷盆地,其内碎屑岩中的砂岩岩石化学也显示出类似前陆盆地的双源区特征。

绣峰组(J_2x)分布于上黑龙江盆地南缘(图1),与下伏古生代花岗岩及上覆晚侏罗世火山岩均呈不整合接触,既是上黑龙江盆地早期沉积的产物,也是额尔古纳地区中生代最老的地层单元。作为分隔古生代、中生代承前启后的沉积建造单元,对探讨该地区的大地构造背景具有重要意义。

研究区属典型的浅覆盖区,自然露头较少。以往的工作主要根据岩石组合特征、沉积构造等判别绣峰组为河流沉积环境,但对其岩石地球化学特征却研究极少。基于沉积盆地的碎屑沉积物主要来自于盆缘,其沉积物质的岩石地球化学特征取决于该区域上部地壳的物质组成,而上部地壳的物质组成又是区域岩石圈分异调整的直接产物,因此碎屑沉

积物可以反映区域构造背景^[6,8-10]。本文在分析绣峰组岩石特征的基础上,系统采集了砂岩(少量粉砂质

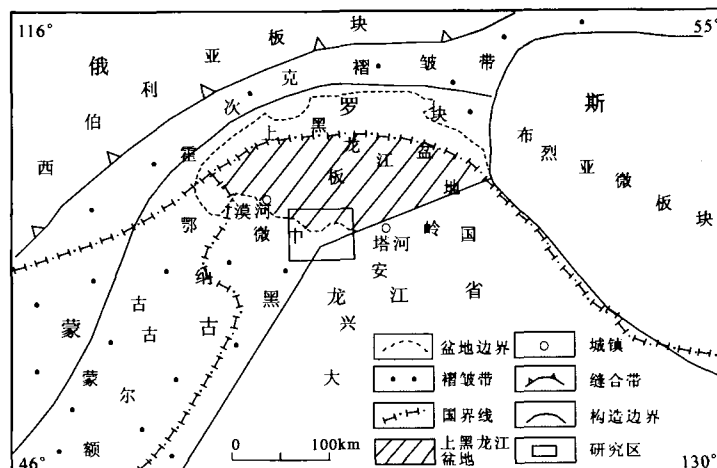


图1 漠河盆地地区构造位置图(据谢鸣谦,2002,略有修改)

Fig. 1 Location map of regional tectonics in the Mohe basin

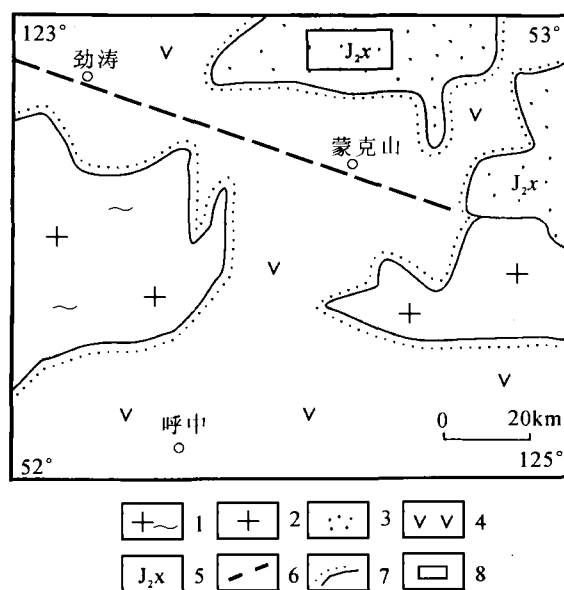


图2 研究区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Huzhong area

- 1—早寒武世盘古河超单元;2—晚石炭世塔林超单元;
- 3—上黑龙江盆地沉积岩;4—中生代火山岩;5—绣峰组;
- 6—盆缘断裂;7—不整合界线;8—采样范围

泥岩)岩石地球化学样品,通过主量元素、微量元素和稀土元素及稳定同位素等的系统测试分析,对上黑龙江盆地南部的沉积作用、沉积环境、盆地形成大地构造背景及物质来源等进行了尝试性的研究。

1 绣峰组的岩石学特征

绣峰组岩石以砂岩、砾岩类为主,夹薄层粉砂岩、泥岩。岩石风化面多呈土黄色、浅紫色、紫灰色、灰白色等,新鲜面多为灰色、灰黑色。

1.1 砾岩类

砾岩类从卵石砾岩—细砾岩均有出现,岩石分选较差,多为基质支撑结构,砾石含量45%~80%,填隙物主要为中粗砂,砾石球度及圆度较好,多呈次圆—次滚圆状,球度系数 $\Phi=0.68\sim0.8$,砾石成分以花岗岩、变酸性熔岩、变质砂岩、硅质岩为主。沉积构造以块状层理、平行层理、槽状交错层理、板状交错层理及冲刷构造为主,偶见粗大的植杆化石。反映了以滚动搬运为主、水动力较强的近源快速沉积环境。砾石成分说明物源区应为早期花岗岩及变质岩区。

1.2 砂岩类

砂岩是绣峰组最主要的岩石类型,主要为中粗粒—中细粒砂岩。岩石分选中等—较好,标准偏差多在0.7~1.2之间,平均0.78,岩石呈颗粒支撑结构,填隙杂基的含量多小于15%,平均7.3%(120个样)。胶结物含量小于5%,以铁质、钙质、硅质较常见,碎屑磨圆度变化较大,呈棱角—次棱角—圆状。沉积构造以块状层理、板状交错层理、冲刷构造为主,多见植物茎杆化石。上述沉积特征表明该类岩石为水动力较强、沉积速度较快的河流相的产物。砂岩由长石、石英与少许岩屑、黑云母组成。通过120个样品的薄片分析:长石平均含量为45%,石英含量为31%,岩屑含量为8%,为长石砂岩及岩屑长石砂岩,成分成熟度较低。石英颗粒在镜下具波状消光、质点状气液包裹体与高含量长石组合,反映了物源近、气候干燥、剥蚀作用强的花岗岩物源区的特征^[1]。通过砂岩矿物成分[(单晶)石英、长石、岩屑](据Dickinson等^[12])含量的统计分析,绣峰组砂岩的物源区为岩弧源区(图3)。这与作为物源区早寒武世

盘古河超单元岩石形成于大陆碰撞环境和晚石炭世塔林超单元岩石形成于大陆边缘弧或岛弧的认识是吻合的,说明古亚洲洋在古生代期间经历了复杂的演化历史。绣峰组砂岩的副矿物主要有锆石、磷灰石、石榴子石、磁铁矿、金红石、电气石等,其中锆石占无磁性矿物的65%~95%,部分已圆化。从矿物标型上分析,锆石、磷灰石、磁铁矿、金红石、电气石可反映酸性岩浆岩物源区的特征,石榴子石和磁铁矿则代表变质岩物源区的特征,部分圆化锆石说明来自于再改造的沉积岩区^[11]。

1.3 泥岩与粉砂岩

粉砂岩分选较好,磨圆度较低,以基底式胶结为主,碎屑以石英为主,长石次之,少见云母和岩屑,成分成熟度较高。泥岩分选较差,多含粉砂,以粘土矿物为主,炭质成分较高,局部夹煤线。粉砂岩与泥岩内多发育水平层理、爬升层理及泥裂构造,岩层上部多见植物立生根及叶片化石,代表了暴露的河漫滩、洪泛平原及沼泽沉积环境。

综合上述岩石学、沉积学特征和绣峰组内部含有丰富的*Coniopteris-Phonicopsis*植物群中期化石组合的事实,绣峰组碎屑岩应沉积于陆相河流环境,物质来源于盆缘花岗岩及变质岩区。

2 绣峰组的地球化学特征、沉积环境及大地构造背景

沉积岩的地球化学在不同构造环境及沉积环境中具有不同的特征。砂岩的化学成分与其所处的大地构造环境密切相关,用主量元素来反映砂岩的物源区及其构造背景已显示了良好的效果。本文在呼中地区绣峰组砂岩中采集20个岩石化学样品做了主

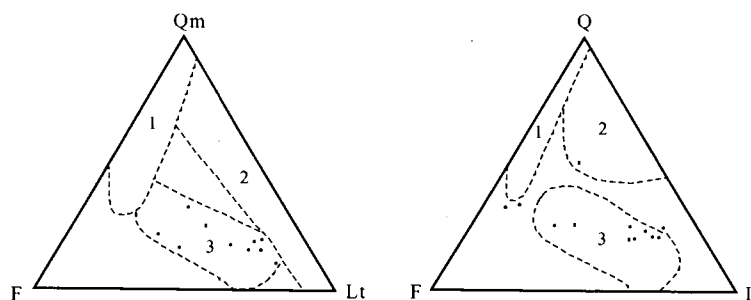


图3 绣峰组砂岩Qm-F-Lt与Q-F-L图^[12]

Fig. 3 Qm-F-Lt and Q-F-L diagrams for sandstones of the Xiufeng Formation

1—陆块来源区;2—再旋回造山来源区;3—岩浆弧来源区

要化学成分及14种微量元素、15种稀土元素的定量分析。分析结果见表1和表2。

2.1 沉积环境

沉积过程和沉积环境能够影响沉积物的地球化学特征,同样沉积物的地球化学特征也能记录环境的特征及其变化情况。

B在表生作用中为不稳定元素,它与离子化合

力强的Na及其他强阳离子形成的多硼酸盐易在冷水中溶解,被循环水淋滤,以致全部带走。河水中B的含量低,只有海水的1/400,所以B在陆相中含量较少,大部分被河流搬运到海洋中,陆相岩石中B一般低于 70×10^{-6} ,海相岩石中B一般大于 100×10^{-6} 。绣峰组15个样品中(表1)B最高 56×10^{-6} ,平均 26.7×10^{-6} ,显示明显的陆相沉积特点。

表1 绣峰组微量元素及稀土元素分析结果

Table 1 REE and trace element analyses of sedimentary rocks of the Xiufeng Formation

样品 编号	N ₇ P ₂₀ W ₁₉	N ₇ P ₂₀ W ₃₁	N ₇ P ₂₀ W ₆₆	N ₇ P ₂₀ W ₂₀₅	N ₇ P ₂₀ W ₁₀₃	N ₇ P ₂₀ W ₁₃₆	N ₇ P ₂₀ W ₁₅₇	N ₇ P ₂₀ W ₁₈₆	N ₇ P ₄ LT ₂ W ₁₂	N ₇ P ₄ LT ₁ W ₂₈	N ₇ P ₄ LT ₄ W ₃₁	N ₇ 2762 W ₂	N ₇ 2765 W ₂	N ₇ P ₂₀ W ₇	N ₇ P ₄₀ W ₄₆	均值
Ba	634.6	635.7	661.4	501.7	671.2	643.2	686.5	536	610	950	710	1010	860	540.4	625.6	685.07
Co	8.73	9.49	8.54	6.99	6.67	8.86	10.7	6.98	8.0	4.0	3.0	4.0	4.0	7.89	7.58	7.03
Cr	156.7	129.7	152.3	101.2	222.4	195.6	190.2	137.8	117	147	128	242	74	139.7	96.48	148.67
Cu	20.48	20.89	15.03	13.89	18.84	18.93	22.43	17.55	71	30	17	15	10	17.14	13.05	21.42
Ga	13.58	14	14.47	10.91	12.68	13.05	14.15	9.61	20	16.4	20	22	17.5	13.78	13.47	15.04
Ni	20.21	25.34	17.64	16.64	14.84	23.24	23.77	21.26	25	19	14	11	12	24.46	15.32	18.91
Sr	251	200.2	230.2	256.4	241.7	228.8	195.3	268	220	230	200	270	150	184.8	207.2	222.24
Th	11.89	10.93	11.85	8.4	9.54	11.43	9.38	9.97	9.4	7.2	5.4	7.8	8.6	9.48	9.56	9.39
V	71.6	72.49	58.26	48.66	49.05	64.63	57.64	56.56	65	40	38	29	39	62.47	61.37	54.25
U	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	2.3	1.4	1.4	1.7	1.5	<5	<5	3.89
Rb	99	106	98	67	85	96	79	24	101	96	88	113	89	102	93	89.07
B	36	45	20	24	15	44	30	32	3.5	13	23	11	20	56	28	26.7
Fe*	2.72	3.0	2.69	2.94	3.15	3.03	3.23	2.45	1.98	3.08	1.97	2.4	2.19	3.12	3.66	2.78
Mn*	0.04	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05
Fe/Mn	68	60	38.4	49.1	45.1	50.5	53.9	40.8	33	44.02	98.64	120	109.4	62.5	73.3	63.1
B/Ga	2.65	3.21	1.38	2.2	1.18	3.37	2.12	3.33	1.75	0.79	1.15	0.5	1.14	4.06	2.08	2.06
Sr/Ba	0.4	0.32	0.35	0.53	0.36	0.36	0.29	0.5	0.36	0.24	0.28	0.27	0.17	0.34	0.33	0.34
Th/U	2.38	2.19	2.37	1.68	1.91	2.29	1.88	1.99	4.09	5.14	3.86	4.59	5.73	1.90	1.91	2.93
La	38.48	51.01	44.82	44.68	35.39	46.32	41.73	43.11	40.9	32.5	43.8	32.6	41.8	37.63	45.6	41.36
Ce	67.03	86.24	76.21	66.24	57.78	73.25	57.97	63.25	70.3	62.4	77.8	72.7	74.7	73.67	80.6	70.68
Pr	7.59	9.69	8.26	7.99	6.71	8.83	7.64	8	7.86	5.6	7.67	4.66	6.64	7.67	10.0	7.65
Nd	31.85	40.21	33.95	34.50	27.01	36.84	31.31	34	32.4	24.1	28.6	18.1	28.9	32.52	43.2	31.83
Sm	6.11	7.39	6.19	6.11	5.07	6.7	5.61	6.23	6.06	3.93	4.95	3.76	4.50	6.16	7.46	5.75
Eu	1.29	1.42	1.10	1.43	1.0	1.44	1.17	1.33	1.24	1.13	1.04	0.74	1.07	1.18	1.42	1.2
Gd	5.14	5.82	4.71	4.59	3.93	5.54	4.86	5.22	4.29	2.59	2.92	2.08	2.82	4.89	6.18	4.37
Tb	0.76	0.91	0.66	0.64	0.52	0.87	0.67	0.70	0.72	0.44	0.51	0.34	0.5	0.67	1.04	0.66
Dy	4.22	5.02	3.95	3.86	3.32	4.59	3.52	4.34	4.70	2.81	2.82	2.32	3.23	4.18	5.86	3.92
Ho	0.92	1.07	0.85	0.74	0.70	0.92	0.7	0.93	0.85	0.47	0.50	0.44	0.54	0.93	1.28	0.79
Er	2.40	2.86	2.23	2.12	1.9	2.65	1.95	2.47	2.26	1.28	1.33	1.2	1.52	2.43	3.48	2.14
Tm	0.37	0.41	0.31	0.31	0.27	0.41	0.29	0.33	0.34	0.21	0.21	0.18	0.24	0.36	0.48	0.31
Yb	2.25	2.66	2.09	1.93	1.82	2.41	1.78	2.29	2.16	1.34	1.31	1.10	1.55	2.42	2.92	2.0
Lu	0.47	0.29	0.27	0.35	0.27	0.36	0.31	0.34	0.32	0.19	0.19	0.16	0.22	0.34	0.44	0.30
Y	24.78	26.89	21.36	21.36	18.51	25.65	20.53	26.54	22.5	13.2	13.0	10.7	14.2	23.32	23.0	20.37

注:带*的元素含量为%,其余元素含量 10^{-6} ;样品由宜昌地质矿产研究所测定

表2 绣峰组砂岩主要化学成分及有关参数

Table 2 Chemical composition and parameters of sandstones of the Xiufeng Formation

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Los	K ₂ O/ Na ₂ O	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	K ₂ O/ (Na ₂ O+CaO)
N ₇ P ₂ G ₇	含细砂泥质粉砂岩	70.28	0.5	14.42	1.68	2.66	0.06	1.52	0.73	2.95	2.3	0.20	2.64	0.77	4.76	0.63
N ₇ P ₂ G ₁₉	粉砂质泥岩	71.86	0.4	12.96	0.87	2.98	0.05	1.36	1.75	3.30	1.8	0.15	2.52	0.55	5.56	0.36
N ₇ P ₂ G ₃₁	粉砂岩	68.96	0.25	14.64	1.29	2.88	0.06	1.94	0.88	2.95	2.90	0.15	3.16	0.98	4.76	0.76
N ₇ P ₂ G ₆₆	粉砂岩	66.64	0.55	14.39	1.06	2.68	0.09	2.17	2.44	2.95	3.10	0.15	3.72	1.05	4.55	0.58
N ₇ P ₂ G ₂₀₅	钙质粉砂岩	70.58	0.45	13.55	1.55	2.54	0.07	2.04	1.09	3.03	3.33	0.15	2.10	1.09	5.26	0.81
N ₇ P ₂ G ₁₂₅	泥质粉砂岩	67.68	0.50	12.63	2.86	2.32	0.06	1.78	2.55	2.43	3.08	0.20	3.58	1.27	5.26	0.62
N ₇ P ₂ G ₁₃₆	含微砂粉砂岩	68.90	0.55	13.92	1.05	3.16	0.07	1.70	1.49	2.80	2.80	0.18	2.84	1.00	5.0	0.65
N ₇ P ₂ G ₁₅₉	粉砂岩	72.40	0.4	12.26	1.76	2.73	0.07	1.86	1.02	2.35	2.50	0.20	2.26	1.06	5.88	0.74
N ₇ P ₂ G ₂₀₁	微砂粉砂岩	66.14	0.55	14.57	2.29	3.18	0.08	2.41	1.49	2.88	3.23	0.20	3.00	1.12	4.55	0.74
N ₇ P ₂ G ₂₂₂	泥质粉砂岩	71.58	0.50	13.33	1.55	2.89	0.07	1.78	0.91	2.78	2.75	0.15	1.82	0.99	5.26	0.75
N ₇ P ₂ G ₆₀ ^c	细砂质粉砂岩	67.24	0.40	14.72	2.90	2.30	0.06	0.91	2.65	2.03	3.25	0.20	2.72	1.60	4.55	0.69
N ₇ 1142	粉砂岩	68.04	0.50	14.66	1.33	3.22	0.01	1.18	1.45	4.50	3.50	0.27	1.70	0.78	4.55	0.59
N ₇ 2756	细砂岩	73.0	0.50	13.0	1.10	1.94	0.02	0.86	0.67	3.91	2.94	0.15	2.00	0.75	5.56	0.64
N ₇ 2762	中细粒长石砂岩	72.96	0.30	13.55	1.75	1.58	0.02	0.34	0.77	3.85	3.79	0.08	1.26	0.98	5.26	0.82
N ₇ P ₂ G ₁₀₃	细粒岩屑长石砂岩	66.64	0.45	13.28	1.58	2.80	0.08	1.68	3.42	2.90	3.10	0.18	3.82	1.07	5.0	0.49
N ₇ P ₄ G ₃₃	粉砂细砂岩	68.80	0.50	15.01	2.57	1.90	0.02	0.27	3.00	1.36	4.00	0.25	2.64	2.94	4.55	0.92
N ₇ P ₄ G ₄₆	粉砂细砂岩	67.68	0.50	14.77	3.17	1.92	0.06	1.00	2.05	1.28	3.53	0.20	3.34	2.76	4.55	1.06
N ₇ P ₄ G ₆₁	中细粒长石砂岩	70.56	0.50	14.38	3.70	1.10	0.02	0.22	2.00	1.17	3.50	0.20	2.88	2.99	5.0	1.10
N ₇ P ₄ G ₄₁	粗中粒长石砂岩	74.12	0.2	13.4	2.21	1.14	0.03	0.41	3.28	0.79	2.63	0.10	1.70	3.33	5.56	0.97
N ₇ P ₄ G ₁₈	含砾粗砂岩	74.12	0.1	13.52	0.62	1.02	0.02	0.50	0.84	3.33	4.35	0.10	0.98	1.31	5.56	1.04
平均值		69.9	0.43	13.85	1.84	2.35	0.05	1.29	1.72	2.68	3.12	0.17	2.53	1.42	5.0	0.75

注:氧化物含量%;样品由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院化验室测定

与B相反,Ga在沉积作用中的地球化学行为最明显的表现是与Al、Si相联系,一般淡水(河湖)较海水具有多量的Al、Si及伴随的Ga。因此B、Ga含量的比值可指示古盐度。陆相环境中B/Ga值一般为3.0~3.3,海相环境中B/Ga大于4.5~5.0^[13]。对15个样品做B/Ga比值分析(表1),有12个比值小于3.3,3个显示过渡特征,总体表现为陆相沉积的特征。

Rb的离子半径较大,易被粘土吸收,所以Rb多滞留在大陆上。陆相沉积物中Rb的含量在 50×10^{-6} ~ 70×10^{-6} 之间,海相沉积物中Rb一般小于 60×10^{-6} ^[13]。从表1可见15个样品有14个Rb含量大于 67×10^{-6} ,也显示为陆相沉积环境。

Ba极易被水解沉积物吸附,当淡水与海水相混时,淡水中的Ba²⁺与海水中的SO₄²⁻结合生成BaSO₄沉

淀,而SrSO₄溶解度较大,可以被迁移到远海。所以Ba多滞留在近海,而Sr多沉积在深海中。一般淡水沉积物中Sr/Ba小于1,而海相沉积物中Sr/Ba大于1^[13],绣峰组15个样品的Sr/Ba比值均小于1,显示了淡水沉积的特征。

在沉积过程中Fe和Mn的分离受Eh、pH值的控制,Fe与O的亲合力高于Mn与O的亲合力,所以Fe易氧化成Fe³⁺,Fe³⁺在pH>3时形成Fe(OH)₃沉淀,因此Fe的化合物易在富O的滨海及大陆环境聚集,而Mn却能在离子溶液中比较稳定地存在,即使在有其他阴离子(HCO₃⁻、SO₄²⁻)时,可溶性Mn的稳定性也比可溶性Fe的稳定性大,所以Mn多聚集在深海环境中,因此陆相沉积物的Fe/Mn比值要比海相沉积物的大得多。大洋中Mn\Fe结核的Fe/Mn比值

平均为0.9^[9], 绣峰组15个样品Fe/Mn比值平均为63.1, 远远高于大洋中的比值, 也反映其形成于内陆环境。

2.2 构造背景及物质来源

利用砂岩的主要化学成分可以判断沉积盆地的构造环境^[14]。与大洋岛弧砂岩相比, 活动大陆边缘具有K₂O/Na₂O、SiO₂值较高和SiO₂/Al₂O₃、Fe₂O₃+MgO较低的特点^[15]。绣峰组砂岩中K₂O/Na₂O多大于0.75, SiO₂平均含量高达69.9%, 而SiO₂/Al₂O₃平均5.48, 较低(表2), 均显示活动大陆边缘的特征。

根据主要氧化物及参数进行构造背景^[16-17]分析(图4), 绣峰组20个样品大多投入ACM及ACM(I)区内, 表现出明显的活动大陆边缘的特征。

稀土元素具有稳定的地球化学性质, 一般在沉积岩中受成岩及成岩后的各种改造作用很小, 因此沉积岩中稀土元素的特征可以反映建造的原始性

质和物源特点^[14]。

绣峰组具有轻稀土元素富集、分馏明显、重稀土元素分馏不明显、Eu弱亏损的特征(图5), 总体上与Bhatia^[18]的活动大陆边缘稀土元素模式相似, 表明绣峰组形成于活动大陆边缘环境。

上述分析表明, 绣峰组的沉积物质主要来源于花岗岩及变质岩区。结合上黑龙江盆地南部绣峰组内的古流向(NNE、NW)●和盆缘断裂的分布位置, 物质应来自于蒙克山以南晚石炭世塔林超单元、早寒武世盘古河超单元及新元古界一下寒武统大网子岩组、下石炭统红水泉组。从重稀土元素与Eu亏损特征主要与塔林超单元及大网子岩组相似来看, 其物质可能主要来自这2个地质单元, 盘古河超单元及红水泉组因距盆地较远(后者分布零星), 可能只有少量物质被搬运至盆地内, 因此对绣峰组稀土元素的特征影响不大。

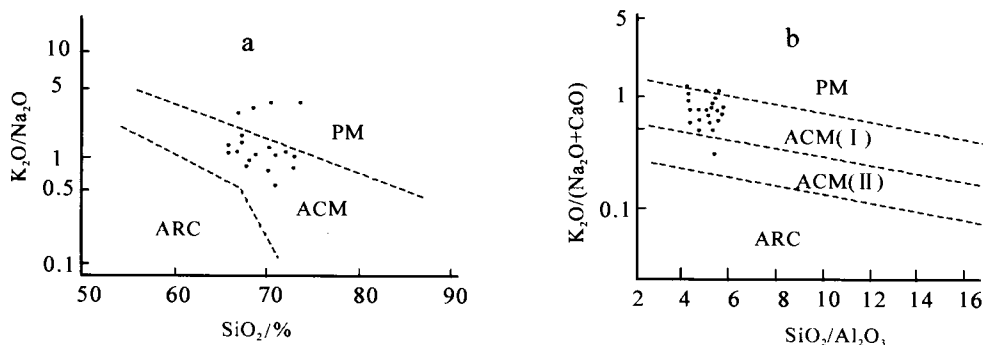


图4 构造背景判别图解(a—据Roser等, 1986; b—据方国庆, 1989)

Fig. 4 Tectonic setting discrimination diagram

ARC—大洋岛弧; PM—被动大陆边缘; ACM(I)—安第斯型; ACM(II)—岛弧型

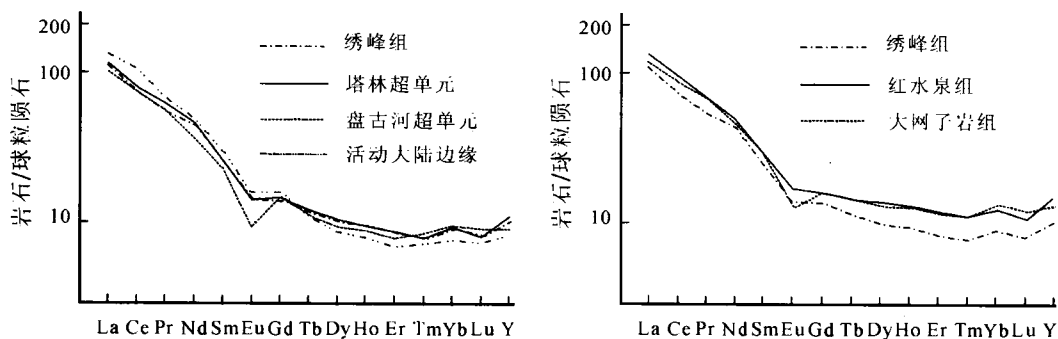


图5 绣峰组与主要物源稀土元素配分模式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of the Xiufeng Formation and its provenance rocks

3 初步讨论及结论

蒙古-鄂霍次克造山带的发育和封闭时间一直是地质学家关注和研究的重点,上述讨论表明,中国境内上黑龙江盆地最下部的沉积体系绣峰组碎屑岩形成于活动大陆边缘的淡水河流环境,物质主要来源于盆地南侧早期形成的岛弧或陆缘弧岩浆岩及其变质基底岩石。就中国境内盆地的发育来分析,笔者认为,其形成与蒙古-鄂霍次克洋在早一中侏罗世由西向东封闭而洋壳向中国东北拼贴板块之下俯冲有关,是在蒙古-鄂霍次克洋盆中侏罗世闭合之后开始形成并接受沉积的^①,为活动大陆边缘盆地。盆地的箕状发育及控盆南缘劲涛-蒙克山深大断裂的存在导致盆地早期发育了绣峰组底部的一套粗碎屑岩;而随着盆地的演化其沉积中心也逐渐向北或北西方向迁移,依次沉积了二十二站组、额木尔河组、开库康组和塔木兰沟组碎屑堆积物。晚侏罗世一早白垩世西伯利亚板块向南的挤压致使盆地发育了由北向南的大型逆冲推覆构造,强烈改造了原型盆地的沉积面貌,使中、晚侏罗世盆地沉积物逆冲于早白垩世火山岩之上^[9]。由盆地发育典型的二元型结构及复杂的构造变形形迹可知,盆地后期曾遭受了强烈的改造,进而说明该地区可能直至早白垩世一直受控于近东西向展布的鄂霍次克构造体制之下。这为备受关注的古亚洲洋体制和滨太平洋体制构造域转换时限的讨论也提供了有益的启示。

致谢:在成文过程中得到邓晋福教授、肖庆辉研究员的审阅、指导并提出许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1]黑龙江省地质矿产局.黑龙江省区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [2]Moiseyenko V G, Nuzhnov S V, Sarakin A P. Geological evaluation and Diwa processes in Amur (heilongjiang) geoblock, Russia [J]. 大地构造与成矿学, 1992, 16(3/4): 113-126.
- [3]孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 等. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 224-231.
- [4]谢鸣谦. 拼贴板块构造及其驱动机理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 161-170.
- [5]万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [6]和政军, 李锦铁, 莫申国, 等. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1219-1226.
- [7]李锦铁, 和政军, 莫申国, 等. 大兴安岭北部绣峰组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 120-129.
- [8]匡耀求, 张本仁, 欧阳建平. 南秦岭古生代沉积岩的地球化学特征及其反映的区域地壳活动性[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 203-211.
- [9]邵磊, Statterger K, 李文厚. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背景[J]. 科学通报, 1998, 43(9): 985-988.
- [10]邵磊, 刘志伟, 朱伟林. 陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 297-303.
- [11]孙永传, 李惠生. 碎屑岩沉积相和沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1986: 13-25.
- [12]Dickinson W R, Suzek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 1979, 63: 2164-2182.
- [13]刘英俊, 曹立明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 360-428.
- [14]孟祥化. 沉积盆地与建造层序[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 25-36.
- [15]朱立华, 张传林, 仲建华, 等. 下扬子地区上泥盆统五通组沉积构造及其地球化学特征[J]. 沉积学报, 1999, (3): 355-360.
- [16]Roser B P, et al. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂-content and K₂O/Na₂O Ratio [J]. J. Geology, 1986, 94: 635-650.
- [17]方国庆. 博格达晚古生代岛弧的沉积岩石学证据[J]. 沉积学报, 1993, (3): 31-36.
- [18]Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control [J]. Sediment Geol., 1985, 45: 97-113.
- [19]张顺, 林春明, 吴朝东, 等. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化[J]. 高校地质学报, 2003, 9(3): 411-418.

① 赵春荆, 马俊孝, 苏养正, 等. 大兴安岭北端中生代火山岩浆作用及其构造背景. 地质矿产部沈阳地质矿产研究所, 1998: 4-5.