

内蒙古东北部中二叠统哲斯组砂岩地球化学特征 分析及物源区示踪

董策, 周建波

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 利用岩石地球化学示踪技术, 对内蒙古东北地区中二叠统哲斯组砂岩的物源区和构造背景进行了研究。对研究区中二叠统哲斯组砂岩常量元素、微量以及稀土元素的分析表明, 哲斯组砂岩样品的常量元素整体上 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量高(分别为 67.87% ~ 71.94%、14.57% ~ 15.61%、2.61% ~ 6.20%), CaO 、 MgO 含量低(分别为 0.31% ~ 0.58% 和 0.80% ~ 1.93%)。微量元素上呈大离子亲石元素 Ba、Sr 相对富集, 高场强元素除 Zr、Y 外相对较低, 并且具有轻稀土元素富集、重稀土元素亏损和明显负 Eu 异常的特点, 其中 $(\text{La}/\text{Yb})_n = 5.08 \sim 8.67$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.56 \sim 0.77$ 。认为研究区哲斯组砂岩的物源主要来自于上地壳长英质源区, 源岩可能为花岗岩, 其物源区的构造背景为大陆岛弧环境。

关键词: 中二叠统, 哲斯组, 砂岩, 地球化学特征, 沉积物源区

中图分类号: P588.21⁺2.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)05-0663-11

Geochemical characteristics analysis and provenance tracing of sandstone in Middle Permian Zhesi Formation, northeast Inner Mongolia

DONG Ce and ZHOU Jian-bo

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

Abstract: Using geochemical methods, the authors investigated the provenance of Middle Permian Zhesi Formation sandstone and its tectonic setting in northeast Inner Mongolia. By analyzing major elements, trace elements and rare earth elements, it is found that the sandstone samples are all characterized by high SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and low CaO , MgO , with their values being 67.87% ~ 71.94%, 14.57% ~ 15.61%, 2.61% ~ 6.20%, 0.31% ~ 0.58% and 0.80% ~ 1.93% respectively. The upper crust normalized spider diagrams are characterized by enrichment of LILE such as Ba and Sr and depletion of HFSE except for Zr and Y. The trace element analysis demonstrates the obvious enrichment of LREE relative to HREE, with significant Eu anomalies, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 5.08 \sim 8.67$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.56 \sim 0.77$. The provenance of the Middle Permian Zhesi Formation sandstone in the work area might have been derived from felsic rocks of the upper crust, including granites. The tectonic setting of the provenance of the Middle Permian sandstone in the work area was a continental island arc.

Key words: middle Permian; Zhesi Formation; sandstone; geochemical characteristics; sedimentary provenance

沉积岩包含地壳成分、构造演化和形成历史的重要信息(Dickinson and Suczek, 1979; McLennan, 1989), 例如沉积岩的化学成分被用来限制潜在物源区(Taylor and McLennan, 1985; Roser and Korsch, 1987)。

收稿日期: 2012-04-20; 修订日期: 2012-08-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40739905, 40872121); 国家油气专项资助项目(2009GYXQ12)

作者简介: 董策(1985-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业, E-mail: dongce8512@126.com。

1988)、重构沉积盆地的构造环境和显示可能的古气候条件(Nesbitt and Young, 1982)。砂岩由于具有高含量和化学性质相似的稀土元素的特点,因此它被视为进行物源示踪的理想碎屑岩(Nance and Taylor, 1976)。

中国东北地区中二叠统哲斯组主要分布在大兴安岭中段和内蒙古草原区(图 1),岩性主要为一套滨、浅海相碎屑岩和碳酸盐岩夹火山岩。传统的槽台理论认为东北地区晚古生代地层普遍遭受了海西期绿片岩相变质作用(董申保等, 1986; 程裕淇,

1994),因此长期以来它被作为东北中、新生代盆地的变质结晶基底而一直没有受到油气勘探的重视。近年来研究表明中国东北地区石炭系—二叠系在区域上发育 4 套源岩层,其中中二叠统哲斯组暗色泥岩单层和累计厚度大,区域分布广,根据有机质主要地球化学指标综合评价为中等—好烃源岩,是松辽盆地及外围地区石炭系—二叠系主力生烃层系(张兴洲等, 2008, 2011; 任收麦等, 2011; 张永生等, 2011)。哲斯组砂岩作为有利的储层,可能形成自生自储的油藏类型,具有良好的油气资源远景,然而对

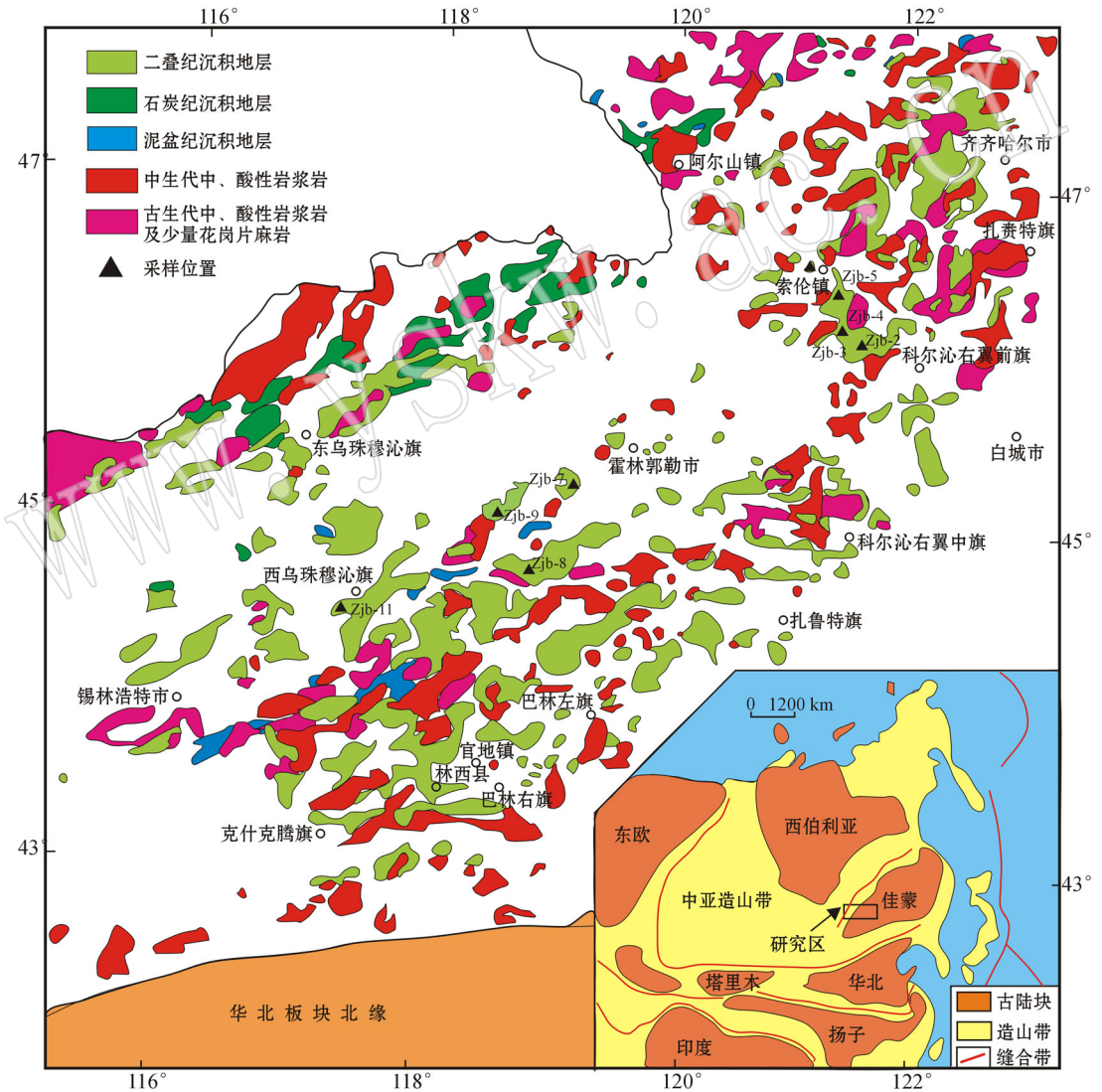


图 1 工作区地质略图(据内蒙古自治区地质矿产局, 1991)

Fig. 1 Sketch geological map of the work area (after Geology and Minerals Department in Inner Mongolia Autonomous Regions, 1991)

它的研究还有很多基础问题需要进一步深化,如其形成时代、物质来源及构造背景等。本文分析了内蒙古东北部中二叠统哲斯组砂岩的主量、微量、稀土元素地球化学特征,并结合区域地质背景和前人研究成果,探讨了该区哲斯组砂岩物源特征及其构造背景。这不仅是对东北地区古生界研究的重要补充,同时对进一步开展上古生界的石油地质综合研究也具有重要意义。

1 地质背景

研究区位于内蒙古东北部索伦和西乌旗地区,为古生界的典型出露区(黄本宏,1982;内蒙古自治区地质矿产局,1991;余和中,2001;Shi,2006;朱如凯等,2007a,2007b)(图1),构造上位于贺根山构造带的南侧,西拉木伦河构造的北缘,为华北板块与西伯利亚板块所夹持的中亚造山带东段(兴蒙造山带),其东部紧邻太平洋板块,成为东北亚大陆边缘“沟-弧-盆”体系的重要组成部分(王成文等,2008)。

研究区最古老的变质基底为古元古界的宝音图群和寒武系的温都尔庙群;奥陶系为火山岩和河流相砂砾岩,志留系下部具轻微的变质特征,上部为陆源碎屑占优势的浅海沉积并具有典型的介壳相特征,泥盆系浅海或滨海相碎屑岩在该区零星出露;上石炭统为海相火山碎屑沉积,下石炭统砂岩和灰岩占主要地位;二叠系在该区较为发育,广泛分布海相火山岩、碳酸盐岩和碎屑岩沉积组合,地层从下到上依次为大石寨组、哲斯组和林西组。其中大石寨组主要为海相中酸性熔岩及凝灰岩组合,喷发沉积环境为浅海、滨海相。空间上可以分为北、中、南3个岩带,并且具有由南向北显示从拉斑系列和钙碱性系列过渡到钙碱性系列的火山岩组合特征。哲斯组是研究区发育最为广泛的海相沉积地层,为海相砂岩、泥岩、板岩和灰岩透镜体的岩石组合,盛产腕足类、珊瑚化石。林西组岩性主要为黑灰色砂岩、粉砂岩、板岩,沉积环境主体为湖相和泻湖相,层理发育(内蒙古自治区地质矿产局,1991)。

2 实验样品与测试方法

样品采自内蒙古索伦镇好仁和西乌旗地区,具体位置见图1,岩性为砂岩、粗砂岩、杂砂岩。砂岩岩

相学特征为:碎屑结构,颗粒分选中等,磨圆度一般,以次棱角状-次圆状为主,颗粒支撑,以接触式胶结类型为主,胶结物多为泥质、钙质。颗粒成分主要为石英、长石、岩屑及少量白云母。岩屑成分复杂,主要以火山岩岩屑为主(图2、表1)。

样品的测试处理流程:首先将样品用蒸馏水洗净,然后用特制的刚玉瓷无污染颚式破碎机粗、中碎,用玛瑙球磨机细碎至少200目(0.74 mm)以下。全分析由中国科学院广州地球化学研究所完成,主量元素的分析在Rigaku RIX 2000型荧光光谱仪(XRF)上完成。样品含量由36种涵盖硅酸盐样品范围的参考标准物质双变量拟合工作曲线确定,基本校正根据经验的Traill-lanchance程序进行,分析精度优于1%~5%。微量和稀土元素分析采用Perkin-Elmer Sciencx ELAN 6000型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)。使用USGS标准W-2和G-2及国内标准GSR-1、GSR-2和GSR-3来校正所测样品的元素含量,分析精度一般为2%~5%。

3 常量元素分析

研究区哲斯组样品的常量元素特征基本一致(表2)。砂岩氧化物含量分析表明,中二叠统哲斯组砂岩中 SiO_2 含量较高,在67.87%~71.94%之间变化,平均值为69.59%。 Al_2O_3 含量为14.57%~15.61%,平均值为15.17%。 Fe_2O_3 含量为2.61%~6.20%,平均值为4.34%。 CaO 和 MgO 的含量均较低(其中 CaO 含量为0.31%~0.58%,平均值为0.44%; MgO 含量为0.80%~1.93%,平均值为1.22%),说明砂岩样品中碳酸盐岩的含量很低。根据 MnO 和 P_2O_5 含量少可推断砂岩中重矿物(如磷灰石、绿帘石)的存在。 SiO_2 的含量主要与富硅矿物(如石英、长石类)含量有关,而 Al_2O_3 含量则与长石、云母、粘土矿物等富铝矿物含量有关, Fe_2O_3 的含量与黑云母、赤铁矿、磁铁矿等等富铁矿物含量有关(张鑫等,2007)。根据Bailey图解,该研究区砂岩成分主要为富硅、富铝的长英质矿物及少量黑云母等矿物(图3)。

4 微量及稀土元素分析

研究区哲斯组砂岩样品的微量及稀土元素特征相近(表3)。其中Cr、V、Ni、Ti相对富集,而Sc、Cu

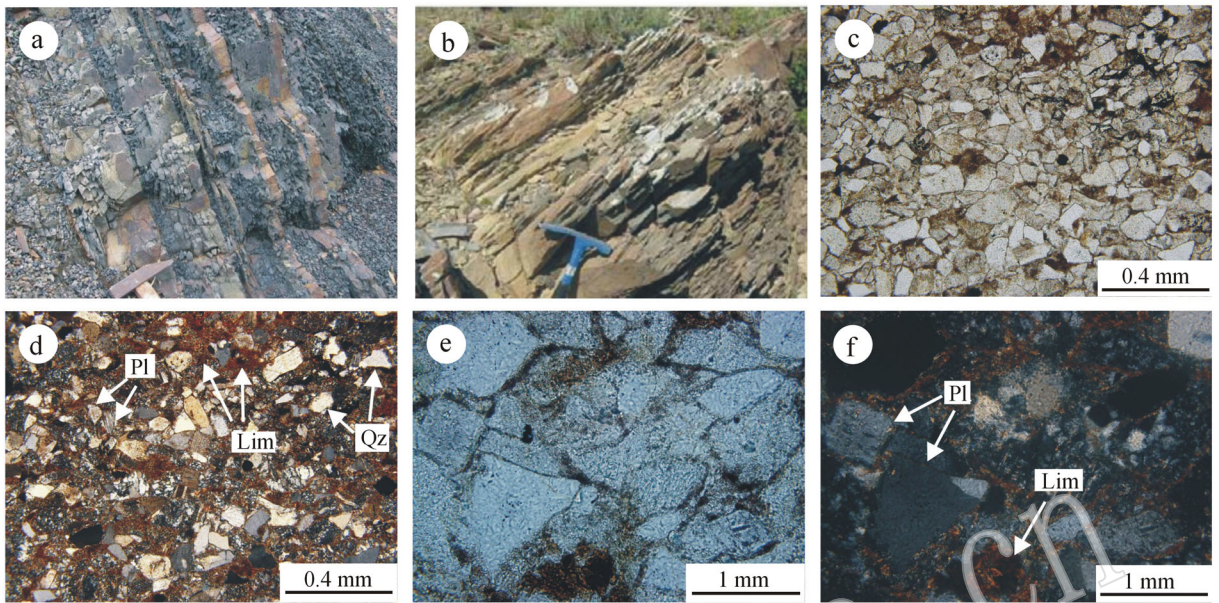


图 2 研究区中二叠统哲斯组砂岩岩石学特征

Fig. 2 Lithofacies characteristics of Zhesi Formation sandstone in the work area

a—索伦地区中二叠统哲斯组砂岩野外照片；b—西乌旗地区中二叠统哲斯组砂岩野外照片；c—索伦地区中二叠统哲斯组砂岩显微照片（单偏光）；d—索伦地区中二叠统哲斯组砂岩显微照片（正交偏光）；e—西乌旗地区中二叠统哲斯组粗砂岩显微照片（单偏光）；f—西乌旗地区中二叠统哲斯组粗砂岩显微照片（正交偏光）

a—field photograph of Middle Permian Zhesi Formation sandstone in Suolun area; b—field photograph of Middle Permian Zhesi Formation sandstone in Xiwuqi area; c—microphotograph of Middle Permian Zhesi Formation sandstone in Suolun area (plainlight); d—microphotograph of Middle Permian Zhesi Formation sandstone in Suolun area (crossed nicols); e—microphotograph of Middle Permian Zhesi Formation coarse-grained sandstone in Xiwuqi area (plainlight); f—microphotograph of Middle Permian Zhesi Formation coarse-grained sandstone in Xiwuqi area (crossed nicols)

表 1 研究区中二叠统哲斯组砂岩详细描述一览表

Table 1 Detailed description of Zhesi Formation sandstone in the work area

地区	样品号	岩性	岩相学特征
索伦	ZJB-2	砂岩	细粒碎屑结构, 颗粒分选较好, 磨圆一般, 以次圆状为主, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为泥质, 成分主要为石英约 40%, 长石以斜长石为主, 含量约 25%, 岩屑成分复杂约 30%, 杂基约 5%。
	ZJB-3	砂岩	细粒碎屑结构, 颗粒分选较好, 磨圆较好, 以次圆状为主, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为泥质, 成分主要为石英约 35%, 长石以斜长石为主, 含量约 30%, 岩屑成分复杂约 30%, 及少量杂基。
	ZJB-4	粗砂岩	中粗粒碎屑结构, 颗粒分选差, 磨圆较差, 多呈次棱角状-次圆状, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为泥-钙质, 成分主要为石英约 45%, 长石以斜长石为主, 含量约 30%, 岩屑成分以火山岩岩屑为主约 20%。
	ZJB-5	砂岩	细粒碎屑结构, 颗粒分选较好, 磨圆较好, 以次圆状为主, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为泥质, 成分主要为石英约 40%, 长石以斜长石为主, 含量约 30%, 含岩屑约 25%, 云母含量约 5%。
	ZJB-7	杂砂岩	细粒碎屑结构, 颗粒分选较好, 磨圆一般, 以次圆状为主, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为泥质, 成分主要为石英约 35%, 长石以斜长石为主, 含量约 25%, 岩屑含量约 20%, 杂基约 20%。
西乌旗	ZJB-8	粗砂岩	中粗粒碎屑结构, 颗粒分选差, 磨圆一般, 多呈次棱角状-次圆状, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为铁质, 成分主要为石英约 45%, 长石以斜长石为主, 含量约 30%, 岩屑成分含量约 20%, 及少量杂基。
	ZJB-9	粗砂岩	中粗粒碎屑结构, 颗粒分选一般, 磨圆一般, 多呈次棱角状-次圆状, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为钙质, 成分主要为石英约 35%, 长石含量约 30%, 岩屑成分以火山岩岩屑为主约含 30%。
	ZJB-11	粗砂岩	中粗粒碎屑结构, 颗粒分选较差, 磨圆一般, 多呈次棱角状-次圆状, 颗粒支撑, 接触式胶结, 胶结物多为铁质, 成分主要为石英约 40%, 长石含量约 30%, 岩屑成分以火山岩岩屑为主约含 25%。

表 2 研究区中二叠统哲斯组常量元素分析数据 $w_B/\%$

Table 2 Major element analyses of Middle Permian Zhesi Formation in the work area

样号	ZJB-2	ZJB-3	ZJB-4	ZJB-5	ZJB-7	ZJB-8	ZJB-9	ZJB-11
SiO ₂	67.87	68.38	69.32	68.53	70.24	71.94	70.85	69.59
Al ₂ O ₃	15.05	14.97	15.12	14.57	15.61	15.30	15.47	15.25
TiO ₂	0.65	0.65	0.59	0.56	0.55	0.65	0.59	0.61
Fe ₂ O ₃	6.20	5.87	4.20	5.02	3.53	2.61	2.65	4.65
P ₂ O ₅	0.18	0.17	0.12	0.18	0.13	0.12	0.08	0.14
MnO	0.06	0.06	0.06	0.14	0.04	0.02	0.02	0.07
CaO	0.43	0.42	0.37	0.57	0.38	0.31	0.58	0.47
MgO	1.25	1.20	1.43	1.93	1.06	0.80	0.88	1.18
K ₂ O	1.94	1.95	2.86	1.78	1.91	2.59	2.70	2.34
Na ₂ O	3.03	3.08	2.59	2.87	3.74	2.73	3.54	2.95
L.O.I	2.80	2.69	2.77	3.40	2.19	2.30	2.01	2.58
Total	99.45	99.44	99.44	99.55	99.40	99.36	99.36	99.83

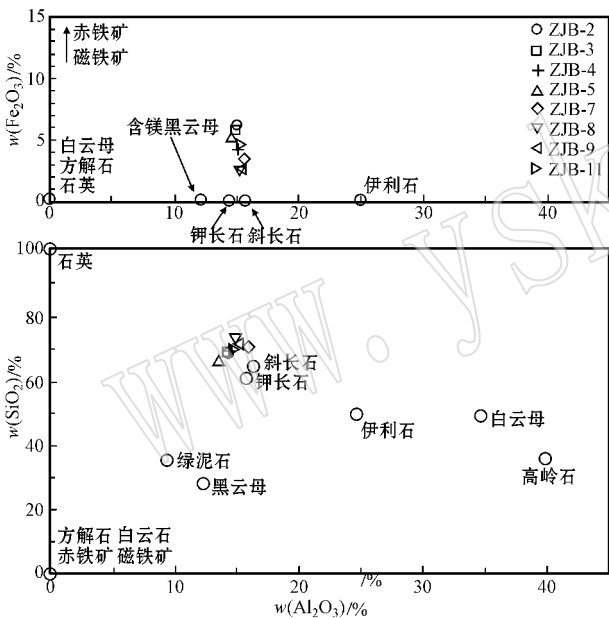


图 3 研究区哲斯组砂岩主量元素 Fe₂O₃ - Al₂O₃ 及 SiO₂ - Al₂O₃ 图解(据 Bailey, 1981)

Fig. 3 Diagram of Fe₂O₃ - Al₂O₃ and SiO₂ - Al₂O₃ for Zhesi Formation sandstone in the work area (after Bailey, 1981)

相对较低。砂岩样品中少数大离子亲石元素 Ba、Sr 相对 Rb 富集,其中 Ba 的含量为 $379.8 \times 10^{-6} \sim 767.1 \times 10^{-6}$,平均值为 549.17×10^{-6} ,Sr 的含量为 $104.9 \times 10^{-6} \sim 315.9 \times 10^{-6}$,平均值为 160.78×10^{-6} ,而 Rb 的含量为 $47.32 \times 10^{-6} \sim 75.21 \times 10^{-6}$,平均值为 61.4×10^{-6} 。砂岩样品中高场强元素除 Zr、Y 外,其它元素(如 Th、Nb、Hf、Ta 和 U 等)含量均较低。其中 Zr 的含量为 $157.5 \times 10^{-6} \sim 255.3$

$\times 10^{-6}$,平均值为 220.44×10^{-6} ,Y 的含量为 $18.44 \times 10^{-6} \sim 26.7 \times 10^{-6}$,平均值为 24.24×10^{-6} 。

二叠系哲斯组砂岩样品的微量元素数据经上地壳岩石平均值标准化(图 4)结果表明,样品的微量元素特征具有相似性,各样品均表现出 Cs 明显偏高,而 Rb、Nb、Ta、Sr 具有明显负异常,其它微量元素含量与上地壳微量元素的含量基本一致。由于砂岩样品的微量元素显示相似的特征,表明其源区具有亲缘性,均为上地壳岩石。

稀土元素中的 $(La/Yb)_n$ 比值可以作为轻重稀土元素分馏程度的判别标志(阚泽忠等,2006)。研究区哲斯组砂岩的 $(La/Yb)_n$ 为 $5.08 \sim 8.67$,平均值为 6.68,表明轻重稀土元素的分馏程度较高。轻稀土元素的 $(La/Sm)_n$ 为 $2.59 \sim 3.78$,重稀土元素的 $(Gd/Yb)_n$ 为 $1.20 \sim 1.58$,表明轻稀土元素的分馏程度较高,重稀土元素的分馏程度低。从样品的稀土元素配分模式图(图 5a)和平均大陆上地壳标准化图解(图 5b)可以看出,样品具有明显的相似性。在图 5a 中呈现轻稀土元素富集、重稀土元素亏损和明显的 Eu 异常, Eu/Eu^* 的比值介于 $0.56 \sim 0.77$ 之间,整体均成“V”字形;在图 5b 中轻重稀土元素分配大致相同,重稀土元素较轻稀土元素相对富集。

5 源岩特征

稀土元素的特征对于指示源岩具有重要意义。 Eu/Eu^* 比值是表示 Eu 异常程度的参数(王中刚等,1989),它可以灵敏地反映体系内的地球化学状态并鉴别物质来源。中酸性侵入岩(如花岗岩)和火山岩、长英质变质岩以及来自大陆源区的沉积岩等均显示负 Eu 异常的特点。研究区哲斯组砂岩的 Eu/Eu^* 比值介于 $0.56 \sim 0.77$ 之间,显示负异常,记录了源岩的 Eu 亏损。

研究区哲斯组砂岩的稀土元素配分模式(图 5a)均呈轻稀土元素富集、重稀土元素亏损和明显 Eu 负异常的特征,说明其物源主要来自于上地壳。上地壳中大离子亲石元素的含量相对于原始地幔明显偏高,因而显示轻稀土元素富集和重稀土元素亏损。上地壳内缺少使重稀土元素分馏的因素,因而重稀土元素含量均匀。Eu 的负异常是由于元素分异作用使上地壳中 Eu 元素缺失而地下壳中 Eu 元素富集而形成的(McLennan et al., 1993)。

在稀土元素配分模式相似的情况下,用稀土元

表 3 研究区中二叠统哲斯组微量和稀土元素分析数据

 $\omega_B/10^{-6}$

Table 3 Rare earth element and trace element analyses of Middle Permian Zhesi Formation in the work area

样号	ZJB-2	ZJB-3	ZJB-4	ZJB-5	ZJB-7	ZJB-8	ZJB-9	ZJB-11
Sc	7.62	7.49	7.05	6.90	5.55	7.50	6.07	7.38
Ti	3 764.90	4 026.80	3 443.70	3 360.00	3 104.80	3 909.00	3 497.80	3 565.3
V	69.00	68.76	53.84	58.68	44.08	60.18	65.96	63.47
Cr	42.83	51.95	40.07	33.52	61.72	58.41	38.01	49.53
Mn	451.30	420.90	463.00	1 227.80	310.30	142.60	110.50	473.29
Co	9.63	8.51	5.33	10.52	4.91	4.32	4.21	7.88
Ni	15.60	16.87	19.77	16.32	29.57	11.81	6.13	18.51
Cu	8.43	8.34	10.30	8.90	8.94	8.59	6.95	8.63
Zn	71.23	68.77	61.92	74.6	45.53	55.39	53.38	58.98
Ga	17.13	17.93	16.63	16.39	16.14	17.95	16.95	18.03
Ge	1.41	1.39	1.00	1.35	1.78	1.43	1.22	1.14
Rb	57.80	59.03	75.21	47.32	61.09	73.72	53.56	63.43
Sr	108.40	119.60	187.00	315.9	127.50	104.90	155.60	167.34
Y	25.93	24.62	25.51	26.70	23.55	23.8	18.44	25.37
Zr	242.50	242.30	216.20	199.20	157.50	255.30	214.00	235.6
Nb	10.32	10.94	10.53	9.42	10.19	10.66	7.44	9.97
Cs	8.23	7.91	5.49	4.27	5.57	7.26	7.56	6.78
Ba	445.50	493.60	767.10	609.00	379.80	490.20	594.80	613.37
Hf	6.25	6.45	6.11	5.37	4.56	6.73	5.64	5.97
Ta	0.81	0.85	0.85	0.73	0.79	0.81	0.59	0.83
Pb	13.87	15.85	16.14	21.71	9.92	14.23	10.14	18.61
Th	10.26	9.82	10.49	8.95	10.99	10.76	7.20	10.39
U	2.68	2.70	2.73	2.36	2.59	2.55	2.01	2.43
La	27.95	27.39	21.88	29.80	21.94	35.88	24.16	28.75
Ce	59.8	58.66	48.38	62.46	47.87	71.68	51.56	56.73
Pr	7.48	7.57	6.31	7.67	6.02	8.92	6.36	7.39
Nd	27.55	27.19	24.22	28.36	21.86	32	22.97	26.91
Sm	5.48	5.51	5.31	5.69	4.61	5.97	4.47	5.37
Eu	1.22	1.21	1.05	1.35	0.80	1.20	1.04	1.09
Gd	4.74	4.84	4.84	5.36	4.11	4.89	3.76	4.37
Tb	0.82	0.80	0.86	0.88	0.72	0.79	0.60	0.85
Dy	4.85	4.82	5.09	5.09	4.32	4.65	3.53	5.08
Ho	0.99	0.98	1.00	1.00	0.90	0.93	0.73	0.97
Er	2.751	2.72	2.83	2.78	2.56	2.61	2.11	2.67
Tm	0.43	0.42	0.43	0.42	0.40	0.42	0.33	0.39
Yb	2.84	2.91	2.91	2.75	2.77	2.79	2.29	2.81
Lu	0.45	0.45	0.45	0.43	0.43	0.44	0.36	0.42
Σ REE	147.35	145.47	125.56	154.02	119.29	173.16	124.27	143.80
L/H	7.25	7.11	5.82	7.24	6.37	8.89	8.06	7.19
$(La/Yb)_h$	6.64	6.35	5.08	7.32	5.34	8.67	7.12	6.90
$(La/Sm)_h$	3.21	3.13	2.59	3.30	3.00	3.78	3.40	3.37
$(Gd/Yb)_h$	1.35	1.34	1.34	1.58	1.20	1.42	1.33	1.26
Eu/Eu*	0.73	0.72	0.63	0.75	0.56	0.68	0.77	0.69
Ce/Ce [#]	0.90	0.89	0.90	0.90	0.91	0.87	0.91	0.85
$(La/Yb)_{\text{occ}}$	0.72	0.69	0.55	0.80	0.58	0.94	0.77	0.75

素全球平均大陆上地壳成分标准化图解可得到不同的分异形式,这样可以对源岩特征做进一步区分。在哲斯组砂岩的平均大陆上地壳标准化图解(图 5b)中,整体呈轻稀土元素亏损、重稀土元素相对富集的左倾模式($(La/Yb)_{\text{occ}} < 1$),除 ZJB-7 外均有不同程度的 Eu 正异常,这说明物源发生了变化,还可能来自下地壳或幔源的深部物质加入,导致物源发生

了很大的变化。

为进一步揭示源岩的属性,利用 La/Th - Hf 源岩属性判别图解(Floyd and Leveridge, 1987)对研究区哲斯组砂岩的源岩属性进行了分析。在 La/Th - Hf 图解(图 6)上,样品均落入长英质物源区,说明其物源主要来自于上地壳长英质源区。砂岩岩相学研究表明,研究区哲斯组砂岩的结构成熟度和成分成

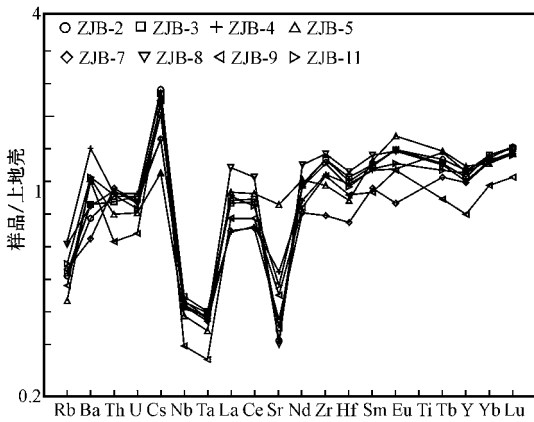


图 4 研究区哲斯组砂岩微量元素上地壳岩石标准化模式图(上地壳标准化值据 Taylor 和 McLennan ,1985)

Fig.4 Upper crust normalized trace element spider diagram of Zhesi Formation sandstone in work area (Upper crust value after Taylor and McLennan , 1985)

熟度均较低,说明源区碎屑物质被快速剥蚀,离开源区后经短距离运移并近源快速堆积。区域资料也显示,研究区早二叠世大世寨组火山岩普遍发育,岩性主要为细碧岩、角斑岩、少量基性、大量中酸性火山熔岩及凝灰岩。在大石寨组火山岩喷发之后研究区进入相对稳定的沉积期,因此其作为物源进一步沉积了中二叠世的海相哲斯组和晚二叠世的湖相、泻湖相林西组。

6 大地构造背景

碎屑沉积岩的地球化学特征主要取决于其组成成分,而成分与其物源和大地构造环境有着非常密切的关系。许多研究表明,砂岩的结构和主要元素的地球化学特征均可用来判断构造环境和源区参数,但应用微量元素和稀土元素,特别是不活动的微

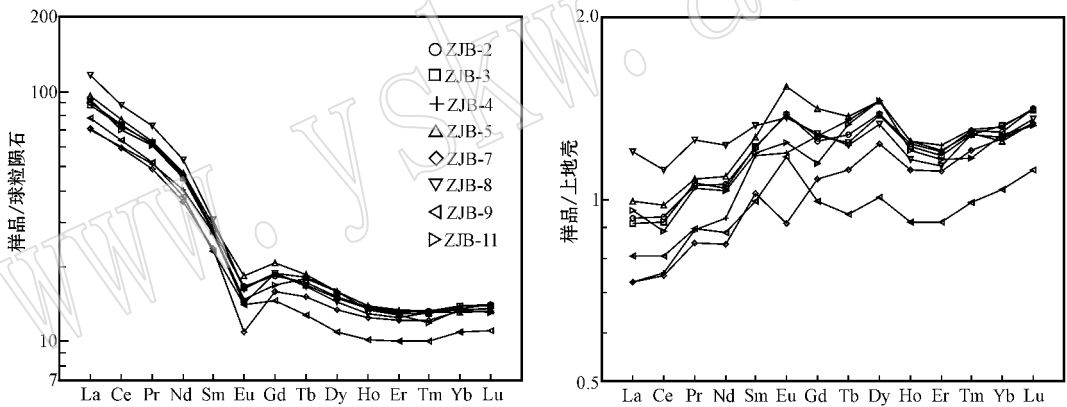


图 5 研究区哲斯组砂岩稀土元素配分模式图(a)及平均大陆上地壳标准化图解(b)(球粒陨石标准化值据 Boynton , 1984 ; 上地壳标准化值据 Taylor 和 McLennan , 1985)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns and UCC-normalized REE patterns of Zhesi Formation sandstone in the work area (chondrite value after Boynton ,1984 ; Upper crust value after Taylor and McLennan , 1985)

量元素,更为有效(Bailey, 1981)。

Bhatia(1983)通过对澳大利亚东部古生代浊积岩中砂岩的主量元素化学成分分析,建立了一系列判别图和判别函数,并划分出4种不同的物源区及其构造背景。这4种砂岩的沉积构造环境分别为:大洋岛弧(OIA)、大陆岛弧(CIA)、活动大陆边缘(ACM)和被动大陆边缘(PM)。研究区哲斯组砂岩主量元素地球化学数据分析结果表明,绝大多数岩样落入大陆岛弧及活动大陆边缘物源区域内(图7)。稀土元素特征常被用来判断现代和古沉积物的

构造背景或物源区性质。Murry(1990)对加利福尼亚海岸圣弗兰斯科湾的燧石和页岩(侏罗纪和白垩纪)的研究表明,Ce异常与沉积盆地的构造背景有关,以北美页岩作为标准化值,距洋脊顶400 km 之内的扩张脊附近,有明显的Ce负异常,Ce/Ce[#]为0.29;大洋盆地为中等Ce负异常,Ce/Ce[#]为0.55;大陆边缘区(陆块1000 km之内)的Ce负异常消失或为正异常,Ce/Ce[#]为0.9~1.3。研究区哲斯组砂岩的Ce/Ce[#]比值为0.85~0.91之间(表3),为大陆边缘环境。

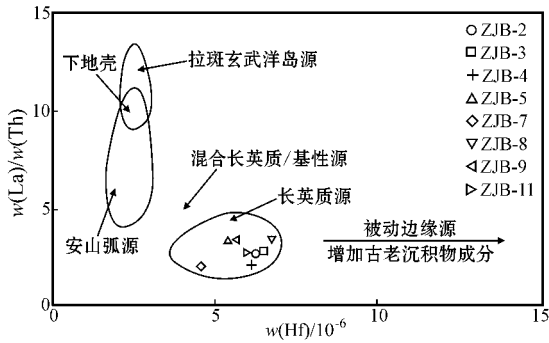


图 6 研究区哲斯组砂岩 La/Th - Hf 判别图解
(据 Floyd 和 Leveridge, 1987)

Fig. 6 La/Th - Hf discrimination diagrams of Zhesi Formation sandstone in the work area (after Floyd and Leveridge, 1987)

Bhatia (1985) 归纳总结了不同构造背景下的砂岩 REE 特征值(表 4),认为从次稳定的被动大陆边缘到非稳定的大陆岛弧区, Σ REE、LREE/HREE、La/Yb 值等明显降低。研究区哲斯组砂岩有关参数与各种构造背景下砂岩的参数相比,显示其岩石化学成分与活动大陆边缘和大陆岛弧比较相似。

Bhatia 和 Crook (1986) 以及 Taylor 和 McLennan (1985) 认为,一些不活泼微量元素(如 La、Th、Y、Zr、Ti、Co、Ni)及其比值(如 Zr/Hf、Eu/Eu*、Ta/Nb、La/Sc、Th/U 等)在沉积过程中不发生明显改变,在判别砂岩物源区和构造环境上作用很大。本文利用 La - Th - Sc 图解和 Ti/Zr - La/Sc 图解对研究区哲斯组砂岩样品进行了投点分析,结果表明:在 La -

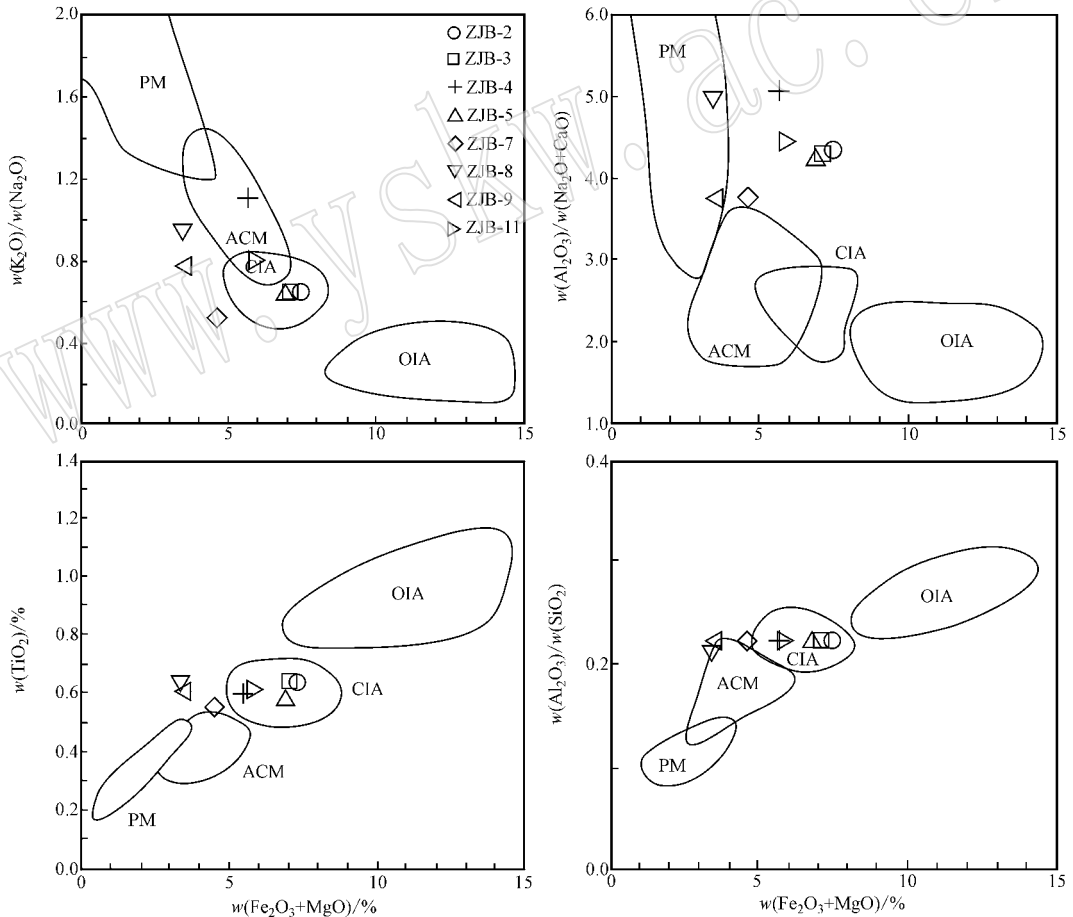


图 7 研究区哲斯组砂岩样品主要元素的构造环境判别图解(据 Bhatia, 1983)

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagrams of major elements of Zhesi Formation sandstone in the work area (after Bhatia, 1983)

OIA—大洋岛弧; CIA—大陆岛弧; ACM—活动大陆边缘; PM—被动大陆边缘

OIA—oceanic island arc; CIA—continental island arc; ACM—active continent margin; PM—passive continent margin

表 4 各种构造背景下砂岩的 REE 参数表(据 Bhatia , 1985)

$w_B/10^{-6}$

Table 4 REE geochemical parameters of sandstone in different tectonic settings(after Bhatia , 1985)

构造背景	物源区类型	La	Ce	Σ REE	La/Yb	$(La/Yb)_N$	L/H	Eu/Eu*
大洋岛弧	未切割的岩浆弧	8 ± 1.7	19 ± 3.7	58 ± 10	4.2 ± 1.3	4.2 ± 1.3	3.8 ± 0.9	1.01 ± 0.11
大陆岛弧	切割的岩浆弧	27 ± 4.5	59 ± 8.3	146 ± 20	11.0 ± 3.6	7.5 ± 2.5	7.7 ± 1.7	0.79 ± 0.13
活动大陆边缘	基底隆起	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6
被动大陆边缘	克拉通内构造高地	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.82
研究区	哲斯组	27.47	58.77	147.11	9.36	6.31	6.52	0.65

Th - Sc 图中(图 8a), 砂岩样品均落入大陆岛弧区或其边界位置 ; 在 Ti/Zr - La/Sc 图中(图 8b), 砂岩样品均落入活动大陆边缘区和大陆岛弧区内。

近年来研究表明 , 大兴安岭地区晚古生代火山岩自北向南可划分出 3 条火山岩带 : ①贺根山-嫩江-黑河以北的大兴安岭泥盆纪-早石炭世火山带 ; ②东乌旗-大石寨-黑河晚石炭世火山带 ; ③苏左旗-扎鲁特旗-大石寨晚石炭世-早二叠世火山岩带(陈斌等 , 2001 ; 吕志成等 , 2002 ; 石玉若等 , 2004 , 2005 ; 刘建峰 , 2009 ; Chen *et al.* , 2000 , 2009)。其中对林西-东乌旗地区晚古生代岩浆作用研究显示 , 在早石炭世末-晚石炭世初 , 古亚洲洋向“佳-蒙地块”南缘俯冲形成苏左旗-西乌旗大陆边缘弧。早二叠世早期俯冲板片后弯 , 在弧后拉伸背景下在贺根山地区形成 SSZ 型蛇绿岩以及白音乌拉-东乌旗后造山碱性-碱长花岗岩带。在早二叠世中晚期由于古亚洲洋板块的持续、快速俯冲 , 区域上形成以大石寨组

火山岩为代表的广泛岩浆活动。靠近俯冲带的西拉木伦河到林西地区形成与俯冲作用有关的拉斑玄武岩系列和钙碱性系列火山岩 , 与此同时或稍晚时期 , 俯冲板片发生断离造成软流圈上涌 , 在靠近上涌中心的锡林浩特-西乌旗地区形成具有类似双峰式特征的火成岩组合(刘建峰 , 2009)。对哲斯组砂岩锆石年代学的研究也证明其物源具有北侧苏尼特左旗-锡林浩特-西乌旗火山弧和南侧华北板块北缘的混合物源特征(韩国卿等 , 2011)。因此 , 综合区域地质资料 , 推测研究区哲斯组砂岩物源区的构造背景为大陆岛弧环境。

7 结论

内蒙古东北部中二叠统哲斯组砂岩整体具有高 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、低 CaO、MgO 的特点。微量元素中 Cr、V、Ni、Ti 相对富集 , 而 Sc、Cu 含量相对较低 ,

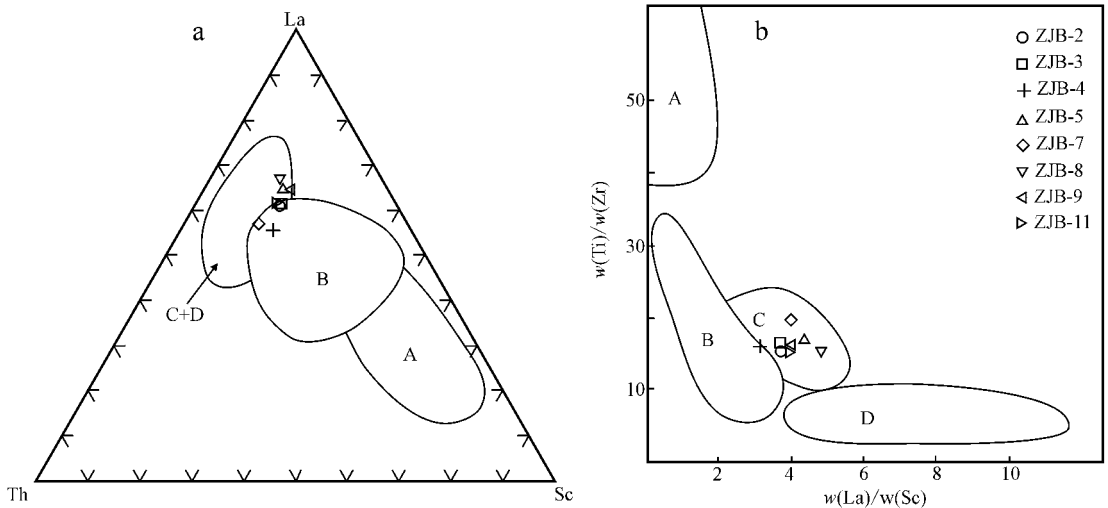


图 8 研究区哲斯组砂岩地球化学构造背景判别图(据 Bhatia 和 Crook , 1986)

Fig. 8 Tectonic setting discrimination diagram for Zhesi Formation sandstone in the work area(after Bhatia and Crook , 1986)

A—大洋岛弧 ; B—大陆岛弧 ; C—活动大陆边缘 ; D—被动大陆边缘

A—oceanic island arc ; B—continental island arc ; C—active continent margin ; D—passive continent margin

大离子亲石元素 Ba、Sr 相对 Rb 富集,高场强元素除 Zr、Y 外,其它元素(如 Th、Nb、Hf、Ta 和 U 等)的含量均较低。稀土元素呈轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损和明显的负 Eu 异常。研究区哲斯组砂岩的物源主要来自于上地壳长英质源区,源岩可能为花岗岩,其物源区的构造背景为大陆岛弧环境。

References

- Bailey J C. 1981. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites[J]. *Chem. Geol.*, 32 : 139~154.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. *Journal of Geology*, 91 : 611~628.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth elements geochemistry of Australian Paleozoic graywacks and mudrocks : Provenance and tectonic control[J]. *Sedimentary Geology*, 45 : 97~113.
- Bhatia M R and Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92 : 181~193.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements : meteorite studies[A]. Henderson P. *Rare Earth Elements Geochemistry* [C]. Amsterdam : Elsevier, 63~114.
- Chen B, Jahn B M and Tian W. 2009. Evolution of the Solonker suture zone: constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction-and collision-related magmas and forearc sediments[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 245~257.
- Chen B, Jahn B M, Wilde S A, *et al.* 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China : petrogenesis and tectonic implication[J]. *Tectonophysics*, 328(1~2): 157~182.
- Chen Bin, Zhao Guochun and Wilde S A. 2001. Subduction-and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia, isotopic ages and tectonic implications[J]. *Geological Review*, 47(4): 361~367 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi. 1994. *Chinese Metamorphic Rocks, Metamorphic Belt and Metamorphic Evolution* [A]. Cheng Yuqi. *Concise Regional Geology of China* [C]. Beijing : Geological Publishing House, 432~447 (in Chinese).
- Dickinson W R and Suczek C A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. *AAPG Bull.*, 63 : 2164~2182.
- Dong Shenbao, Shen Qihan and Sun Dazhong. 1986. *The Instructions of Chinese Metamorphic Map* [M]. Beijing : Geological Publishing House, 1~37 (in Chinese).
- Floyd P A and Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho Basin, South Cornwall : framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones[J]. *Journal of the Geological Society of London*, 144 : 531~542.
- Geology and Minerals Department in Inner Mongolia Autonomous Regions. 1991. *Regional Geology in Inner Mongolia Autonomous Regions* [M]. Beijing : Geological Publishing House, 210~215 (in Chinese).
- Han Guoqing, Liu Yongjiang, Wen Quanbo, *et al.* 2011. LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons from the permian sandstones in north side of Xar Moron river suture belt and its tectonic implication[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 36(4): 687~702 (in Chinese).
- Huang Benhong. 1982. Permo-Carboniferous terrestrial deposits and paleogeographic features in the northern part of northeast China[J]. *Geological Review*, 28(5): 395~401 (in Chinese).
- Kan Zezhong, Liang Bin, Wang Quanwei, *et al.* 2006. Geochemistry of the Shaximiao Formation in a dinosaur fossil site, Guangyuan, Sichuan, and its implications for the source area and paleoweathering [J]. *Geology in China*, 33(5): 1023~1029 (in Chinese).
- Liu Jianfeng. 2009. *Late Paleozoic Magmatism and Its Constraint on Regional Tectonic Evolution in Linxi-Dongwuqi Area, Inner Mongolia* (Doctor thesis) [D]. Changchun : Jilin University (in Chinese).
- Lü Zhicheng, Hao Libo, Duan Guozheng, *et al.* 2002. Lithogeochemical characteristics and tectonic implications of two series of volcanic rocks from early permian Dashizai formation in the south section of Da Hinggan mountains[J]. *Geochemica*, 31(4): 338~346 (in Chinese).
- McLennan S M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks : influence of provenance and sedimentary processes[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 21 : 169~200.
- McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, *et al.* 1993. *Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics* [A]. Jonhanson M J and Basu A. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments Boulder* [C]. Colorado : Geological Society of America Special Paper 284, 21~40.
- Murry R W. 1990. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 18 : 268~271.
- Nance W B and Taylor S R. 1976. Rare earth element patterns and crustal evolution Australian post-Archean sedimentary rocks[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40 : 1539~1551.
- Nesbitt H W and Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 199 : 715~717.
- Ren Shoumai, Qiao Dewu, Zhang Xingzhou, *et al.* 2011. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(2/3): 197~204 (in Chinese).
- Roser B P and Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. *Chemical Geology*, 67 : 119~139.
- Shi G R. 2006. The marine Permian of East and Northeast Asia : an overview of biostratigraphy, palaeobiogeography and palaeogeographical implication[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26 :

- 175~206.
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Jian Ping, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP dating of K-rich granites in Sonidzuoqi, central Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 24(5):424~428(in Chinese).
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Zhang Qi, *et al.* 2004. SHRIMP dating of diorites and granites in southern Suzuoqi, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 78(6):789~799(in Chinese).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks[M]. Oxford London: Blackwell Scientific Publication, 1~301.
- Wang Chengwen, Jin Wei, Zhang Xingzhou, *et al.* 2008. New understanding of the late Paleozoic tectonics in Northeastern China and adjacent areas[J]. Journal of Stratigraphy, 32(2):119~136(in Chinese).
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan and Zhao Zhenhua. 1989. REE Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1~93(in Chinese).
- Yu Hezhong. 2001. Sedimentary facies and palaeogeography of the Songliao Basin and its peripheral areas during Carboniferous-Permian time[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 21(4):70~83(in Chinese).
- Zhang Xin, Zhang Jinliang and Qin Lijuan. 2007. Petrological characteristics and provenance analysis of sandstones in the Kepingtage Formation of Silurian in the Tarim Basin[J]. Journal of Mineral and Petrology, 27(3):106~115(in Chinese).
- Zhang Xingzhou, Qiao Dewu, Chi Xiaoguo, *et al.* 2011. Late-Paleozoic tectonic evolution and oil-gas potentiality in northeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 30(2/3):205~213(in Chinese).
- Zhang Xingzhou, Zhou Jianbo, Chi Xiaoguo, *et al.* 2008. Late Paleozoic Tectonic Sedimentation and Petroleum Resources in Northeastern China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 38(05):719~725(in Chinese).
- Zhang Yongsheng, Wang Yanbin, Lu Zhenquan, *et al.* 2011. Characteristics of source rocks from Carboniferous-Permian in Songliao Basin and its peripheral area, northeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 30(2/3):214~220(in Chinese).
- Zhu Rukai, Xu Huaixian, Deng Shenghui, *et al.* 2007a. Lithofacies palaeogeography of the Carboniferous in northern China[J]. Journal of Palaeogeography, 9(1):13~24(in Chinese).
- Zhu Rukai, Xu Huaixian, Deng Shenghui, *et al.* 2007b. Lithofacies palaeogeography of the Permian in northern China[J]. Journal of Palaeogeography, 9(2):133~142(in Chinese).
- 程裕淇. 1994. 中国的变质岩系、变质带及变质作用演化[A]. 程裕淇. 中国区域地质概论[C]. 北京:地质出版社, 432~447.
- 董申保, 沈其韩, 孙大中. 1986. 中国变质地质图说明书[M]. 北京:地质出版社, 1~37.
- 韩国卿, 刘永江, 温泉波, 等. 2011. 西拉木伦河缝合带北侧二叠纪砂岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 36(4):687~702.
- 黄本宏. 1982. 东北北部石炭二叠纪陆相地层及古地理概况[J]. 地质论评, 28(5):395~401.
- 阚泽忠, 梁斌, 王全伟, 等. 2006. 广元恐龙化石埋藏地沙溪庙组地球化学特征及对物源区和古风化作用的指示[J]. 中国地质, 33(5):1023~1029.
- 刘建峰. 2009. 内蒙古林西-东乌旗地区晚古生代岩浆作用及其对区域构造演化的制约[博士学位论文][D]. 长春:吉林大学.
- 吕志成, 郝立波, 段国正, 等. 2002. 大兴安岭南段早二叠世两类火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. 地球化学, 31(4):338~346.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 210~215.
- 任收麦, 乔德武, 张兴洲, 等. 2011. 松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J]. 地质通报, 30(2/3):197~204.
- 石玉若, 刘敦一, 简平, 等. 2005. 内蒙古中部苏尼特左旗富钾花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 24(5):424~428.
- 石玉若, 刘敦一, 张旗. 2004. 内蒙古苏左旗地区闪长-花岗岩类 SHRIMP 年代学[J]. 地质学报, 78(6):789~799.
- 王成文, 金巍, 张兴洲, 等. 2008. 东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识[J]. 地层学杂志, 32(2):119~136.
- 王中刚, 于学元, 赵振华. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1~93.
- 余和中. 2001. 松辽盆地及周边石炭纪-二叠纪岩相古地理[J]. 沉积与特提斯地质, 21(4):70~83.
- 张鑫, 张金亮, 覃利娟. 2007. 塔里木盆地志留系柯坪塔格组砂岩岩石学特征与物源分析[J]. 矿物岩石, 27(3):106~115.
- 张兴洲, 乔德武, 迟效国, 等. 2011. 东北地区晚古生代构造演化及其石油地质意义[J]. 地质通报, 30(2/3):205~213.
- 张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 2008. 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(地球科学版), 38(05):719~725.
- 张永生, 王延斌, 卢振权, 等. 2011. 松辽盆地及外围地区石炭系-二叠系烃源岩的特征[J]. 地质通报, 30(2/3):214~220.
- 朱如凯, 许怀先, 邓胜徽, 等. 2007a. 中国北方地区石炭纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 9(1):13~24.
- 朱如凯, 许怀先, 邓胜徽, 等. 2007b. 中国北方地区二叠纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 9(2):133~142.

附中文参考文献

- 陈斌, 赵国春, Wilde S A. 2001. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 47(4):361~367.