第三十卷 第一期 地 球 学 报 Vol.30 No.1
二〇〇九年二月: 65-71 Acta Geoscientica Sinica Feb. 2009: 65-71
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

贺兰山中南段奥陶系米钵山组的沉积环境与构造背景分析

黄喜峰[1)]，钱壮志[1)]，逯东霞[2)]，吴文奎[1)]，王 成[3)]，陆彦俊[3)]

1)国土资源部成矿作用及其动力学重点实验室，长安大学地球科学与资源学院，陕西西安 710054；
2)陕西省地质矿产局，陕西西安 710054；
3)宁夏地质调查院，宁夏银川 750021

摘 要：贺兰山中南段奥陶系米钵山组的岩石地球化学研究表明，其砂岩 SiO_2 平均含量为 75.18%；Al_2O_3 为 6.26%～14.36%，变化范围不大，但含量较高；TiO_2/MnO 值为 3.05～58.00，变化范围较大。K_2O /Na_2O 值 0.63～9.13。页岩 SiO_2 含量在 68.77%～77.50%之间，TiO_2/MnO 值与 Al_2O_3/MnO 值都比较高，分别为 21.30～51.00 及大于 450.00。Na_2O 含量偏低，部分样品<0.01%，K_2O 含量偏高(3.05%～4.03%)，TiO_2 与 CaO 含量接近正常水平。砂岩稀土元素总量较高，在 144.80×10^{-6}～170.57×10^{-6} 之间，LREE/HREE 值为 9.68～16.49，δEu 为 1.01～1.31，具弱的正铕异常，无 Ce 负异常或负异常不明显；砂岩微量元素 Ni、V、Cu、Pb、Ba 特别是 Cr 的丰度大大高于上地壳丰度。Sr 及成矿元素 Zn、Ga 低于地壳丰度，V/(V+Ni)与 Ce/La 值均较高，这些数据说明本区沉积于还原、湿热环境，具有大陆型沉积特征。通过多种相关图解，均反映其物源形成于大陆岛弧和活动大陆边缘带的构造背景。

关键词：贺兰山；米钵山组；浊积岩；微量元素；地球化学；沉积环境
中图分类号：P595；P512.2 文献标志码：A 文章编号：1006-3021(2009)01-65-06

Element Geochemistry and Depositional Setting of Ordovician Miboshan Formation in Central-Southern Helan Mountain

HUANG Xi-feng[1)], QIAN Zhuang-zhi[1)], LU Dong-xia[2)], WU Wen-kui[1)], WANG Cheng[3)], LU Yan-jun[3)]

1) *Key Laboratory of Mineralization and Geodynamics, Ministry of Land and Resources, Faculty of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shanxi* 710054;
2) *Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources Prospecting, Xi'an, Shaanxi* 710054;
3) *Ningxia Institute of Geological Survery, Yinchuan, Ningxia* 750021

Abstract: The Ordovician Miboshan Formation widely distributed in the Helan Mountain is comprised of a series of detrital rocks interbedded with argillaceous rock and carbonate rock, with the development of flysch bedding and typical turbidite Bouma sequence. The average SiO_2 and Al_2O_3 content of sandstone is 75.18% and 6.26%~14.36%, respectively, and TiO_2/MnO and K_2O/Na_2O ratios range respectively from 3.05 to 58.00 and from 0.63 to 9.13. In addition, the content of SiO_2 in shale ranges from 68.77% to 77.50%, the TiO_2/MnO ratio is high, ranging from 21.30 to 51.00, while the Al_2O_3/MnO ratio is higher than 450.00. The content of Na_2O is relatively low, being lower than 0.01 in some samples. The content of K_2O is relatively high, ranging from 3.05 to 4.03. The content of TiO_2 and CaO is close to the normal level. The total content of REE in sandstone is relatively high, ranging from 144.80×10^{-6} to 170.57×10^{-6}. The LREE/HREE ratio is 9.68~16.49, and δ Eu is 1.01~1.31, exhibiting weak posi-

本文由国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(编号: 2003CB214600)资助。
收稿日期: 2008-04-15; 改回日期：2008-06-02。
第一作者简介：黄喜峰，男，1971 年生，博士研究生。主要从事区域构造与成矿的教学和科研工作。通讯地址：710054，陕西省西安市雁塔路 126 号。电话：029-82339060。E-mail：huangyan@chd.edu.cn。

CAGS

tive Eu anomaly. There exists no or only very weak negative Ce anomaly. The abundances of such trace elements in sandstone as Ni, V, Cu, Pb, Ba and, especially, Cr are much higher than their Clarke values in the Earth's crust. The abundances of Sr and ore-forming elements like Zn and Ga are lower than their Clarke values in the Earth's crust. The V/(V+Ni) ratio and Ce/La ratio are also high. All these data show that the sedimentation of this area occurred in a reducing, moist and hot environment, characterized by continental deposition. A variety of related diagrams suggest that the source material was formed in continental island arc belts and active continental margins.
Key words: Helan Mountain ; Miboshan Formation ; turbuitide ; trace element ; geochemistry ; sedimentary environment

贺兰山中南段的奥陶系米钵山组地层沉积厚度较大，岩性变化明显，出露面积达 246 km^2，对分析贺兰山地区构造演化具有至关重要的作用，本组在贺兰山地区以阿左旗大十字沟剖面、什片梁剖面、柳树村剖面及高石墩剖面为代表(图 1)。自 20 世纪 50 年代以来，就有不同学者先后对该区的碳酸盐台地相、斜坡相及其产生的深水重力流、浊流等沉积进行了研究(边兆祥，1954；张抗，1983；顾其昌，1996；李天斌，1999；卢立伍等，2002；张进等，2006)。这些研究，对于进一步认识和分析该地区的沉积环境和构造背景具有重要意义。笔者在野外实地勘查的基础上，从元素地球化学分析入手，通过对贺兰山中南段米钵山组不同层位元素赋存与迁移规律的综合研究，探讨该区沉积环境、大地构造背景和物源区特征。

1 米钵山组岩石学特征

样品主要采自柳树村剖面和高石墩剖面，采样层位涉及米钵山组的各个层位。该组发育有复理石韵律层理及典型的浊积岩鲍马序列。岩石组成较为复杂，主要由泥质岩、碎屑岩和碳酸盐岩岩类组成，重力流和浊流沉积十分发育，岩相变化较大(图 2)。

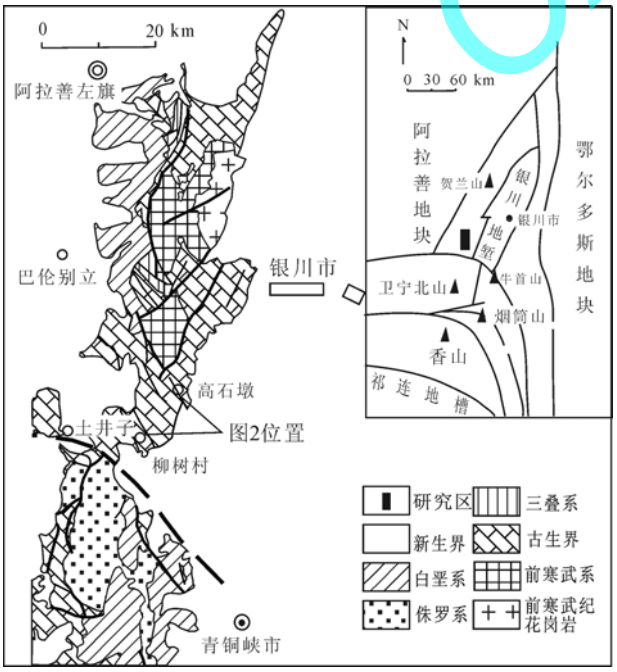


图 1 贺兰山中南段米钵山组分布略图
Fig. 1 Distribution of Miboshan Formation in central-southern Helanshan

2 岩石的地球化学特征

2.1 常量元素分布特征

笔者采集柳树村和高石墩剖面上的 15 件米钵山组砂页岩样品作常量元素分析测试，在西北大学大陆动力学国家重点实验室使用日本理学 RIX2100XRF 仪器完成，测试结果在允许误差范围内(表 1)。

从表 1 中可看出砂岩 SiO_2 含量在 68.77%～83.56%之间，平均含量为 75.18%，Al_2O_3 为 6.26%～14.36%，平均为 10.31%，变化范围不大，但含量较高，而且 Al_2O_3 和 TiO_2 具有相似的变化规律，二者呈正相关关系。TiO_2/MnO 值为 3.05～58.00，平均值为 24.11，变化范围较大。K_2O 含量变化较大，Na_2O 偏低，二者比值为 0.63～9.13，平均 4.16。Fe_2O_3、MnO、P_2O_5 含量相对稳定，平均值分别为 3.97%、0.03%、0.18%。页岩的 SiO_2 含量在 68.77%～77.50%之间，平均含量为 74.02%，TiO_2/MnO 值与 Al_2O_3/MnO 值都比较高，分别为 21.30～51.00 及大于 450.00。 $MgO/Al_2O_3\times100$ 的值为 14.80～19.28，平均值为 16.80。Na_2O 含量偏低，个别样品<0.01%，K_2O 含量偏高，TiO_2 与 CaO 含量接近正常水平。根据 Herron (1988)的 $Log(Na_2O/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3)$ 陆源砂岩—页岩分类图对米钵山组样品进行分类，结果显示样品的投点落于长石砂岩与岩屑砂屑岩区内(图 3)。

2.2 稀土元素及微量元素分布特征

稀土元素和微量元素由长安大学成矿作用及其动力学国土资源部重点实验室采用美国热电 X-7 型电感耦合等离子质谱分析仪测试(灵敏度：Be>7×10^9 cps/μg/ml ； In>60 × 10^9 cps/μg/ml ； U>60 × 10^9 cps/μg/ml)。米钵山组各段稀土元素分析结果见表 2，从表中可以看出，砂岩稀土元素总量平均值较高，

CAGS

为 144.80×10^{-6}～170.57×10^{-6}，LREE/ HREE 值为 9.68～16.49，δEu 为 1.01～1.31，具弱的正铕异常，$(La/Yb)_N$ 值为 11.7～25.6。样品的球粒陨石标准化图解可见米钵山组各段砂页岩的稀土分布模式基本相似，呈单斜曲线，表现为轻稀土明显富集(图 4(a))。

砂岩微量分析结果见表 2，其标准化分布型式曲线见图 4(b)。从图中可以看出，本区砂岩微量元素中 Ni、V，特别是 Cr 的丰度大大高于上地壳丰度。而 Co 在下段地层低于上地壳丰度，在上段地层丰度变大，略高于上地壳。Sr 远远低于地壳丰度值，而 Ba 高于地壳丰度值；成矿元素除 Zn、Ga 略低于地壳丰度值外，其余元素如 Cu、Pb 均高于地壳丰度值。

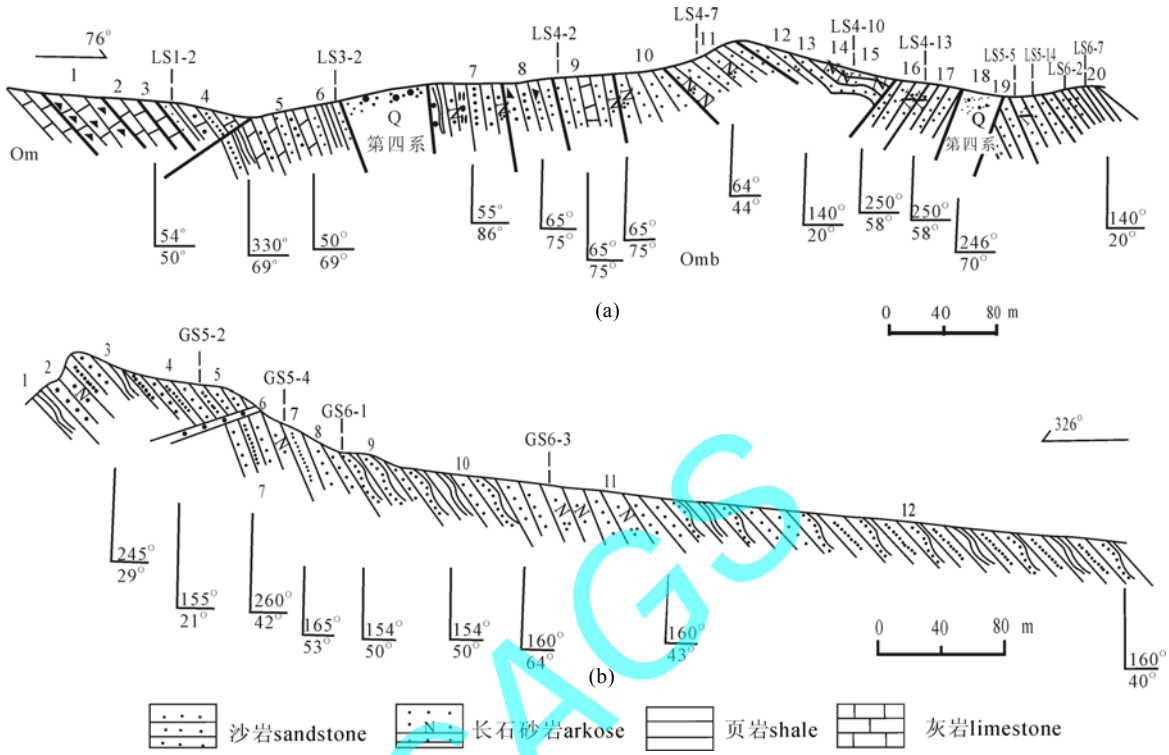


图 2　贺兰山中南段米钵山组柳树村(a)及高石礅剖面图(b)

Fig. 2　Measured Liushucun and Gaoshidun section of Miboshan Formation in central-southern Helanshan

表 1　米钵山组岩石化学分析结果/%

Table 1　Results of chemical analysis of rocks of Miboshan Formation/%

岩　性	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	TOTAL
页岩	LS1-2	76.10	0.40	9.55	4.40	0.01	1.51	1.43	0.04	3.26	0.03	3.01	99.74
砂岩	LS3-2	73.95	0.58	13.33	2.95	0.01	1.10	0.25	0.54	3.07	0.15	3.61	99.54
砂岩	LS4-2	83.56	0.29	6.26	2.51	0.04	0.71	1.51	0.86	2.41	0.16	1.69	100.00
页岩	LS4-7	77.50	0.51	10.27	3.46	0.01	1.98	0.44	<0.01	3.05	0.09	2.92	100.23
砂岩	LS4-10	69.63	0.60	12.14	5.31	0.02	2.38	2.06	0.58	3.16	0.17	4.17	100.22
砂岩	LS4-13	68.77	0.66	14.36	5.41	0.02	2.23	0.47	1.07	3.64	0.16	3.47	100.26
砂岩	LS5-5	78.80	0.34	7.84	3.34	0.02	1.66	1.83	0.97	1.69	0.15	2.95	99.59
砂岩	LS5-14	79.06	0.50	9.87	3.01	0.01	1.41	0.34	0.44	3.66	0.15	1.91	100.36
砂岩	LS5-17	72.99	0.58	11.33	4.69	0.02	2.48	0.45	0.38	3.47	0.20	2.98	99.57
砂岩	LS6-2	75.21	0.51	10.79	4.59	0.03	1.79	0.36	0.61	3.56	0.21	2.22	99.88
页岩	LS6-7	73.69	0.57	12.25	3.49	0.02	2.12	0.34	0.06	4.03	0.15	2.83	99.55
页岩	GS5-2	68.77	0.64	13.78	5.28	0.03	2.04	0.43	0.65	3.78	0.22	4.39	100.01
砂岩	GS5-4	76.42	0.46	9.48	4.00	0.04	1.44	1.56	1.24	1.90	0.20	2.80	99.54
砂岩	GS6-1	78.40	0.47	9.53	4.23	0.05	1.52	0.49	1.62	1.96	0.19	1.71	100.17
砂岩	GS6-3	70.19	0.52	8.51	3.61	0.17	1.32	6.06	2.27	1.42	0.23	5.97	100.27
平均值		74. 90	0.51	10.60	4.02	0.03	1.71	1.20	0.76	2.94	0.16	3.10	99.95

CAGS

表 2 岩石微量元素、稀土元素分析结果/$\times 10^{-6}$

Tabele 2 Analytical results of REE elements and trace elements in Miboshan Formation/$\times 10^{-6}$

地层	omb-1	omb-2	omb-3	omb-4	地层	omb-4	omb-3	omb-2	omb-1	上地壳
岩性	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	岩性	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	
La	30.14	33.09	36.31	32.50	Sc	14.11	16.35	13.90	15.32	10.00
Ce	69.06	72.55	77.73	70.13	V	88.12	103.50	60.85	215.50	60.00
Pr	6.89	7.24	7.89	7.24	Cr	75.03	71.13	49.32	272.60	35.00
Nd	24.40	26.34	28.13	26.67	Mn	120.20	101.10	162.40	45.35	600.00
Sm	4.67	6.16	5.08	5.60	Co	7.84	6.90	5.97	3.64	10.00
Eu	1.37	2.58	1.95	1.91	Ni	23.58	26.53	12.47	16.15	20.00
Gd	3.38	6.09	3.76	4.09	Zn	55.84	65.09	30.79	34.10	71.00
Tb	0.57	0.77	0.75	0.59	Ga	14.70	17.44	12.93	13.99	17.00
Dy	1.94	3.30	3.34	3.58	Rb	148.80	163.70	122.30	134.20	110.00
Ho	0.33	0.64	0.67	0.69	Sr	124.80	110.10	62.67	88.68	350.00
Er	0.99	2.22	2.29	2.21	Y	16.91	16.47	15.92	5.07	22.00
Tm	0.12	0.26	0.27	0.28	Zr	156.5	130.10	186.10	86.99	240.00
Yb	0.80	1.77	2.08	1.67	Nb	11.07	13.25	10.07	8.91	25.00
Lu	0.15	0.29	0.31	0.32	Cs	5.48	7.08	4.53	6.80	3.70
ΣREE	144.80	163.29	170.57	157.50	Ba	643.80	756.90	1332	1472.00	700.00
LREE/HREE	16.49	9.68	11.63	10.72	Ta	0.84	1.02	0.83	0.79	
δEu	1.01	1.28	1.31	1.17	Th	13.45	14.86	13.76	10.47	10.50
$(La/Yb)_N$	25.60	12.55	11.77	13.12	U	2.19	2.99	5.44	1.64	2.50

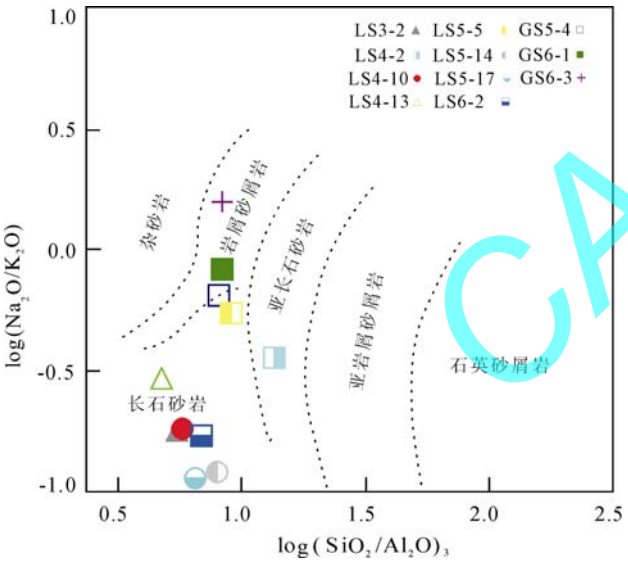


图 3 柳树村－高石墩米钵山组砂岩类型主元素判别图(据 Herron, 1988)

Fig. 3 Discrimination diagram of sandstone types based on major elements in Liushucun-Gaoshidun area (From Herron, 1988)

3 讨论

稀土元素除在特殊的风化壳或大陆上强烈的风化残余物中发生富集或贫化外，一般在沉积物中受成岩及后生改造作用的影响很小，在表生条件下，沉积物中稀土元素的含量主要受它们的母岩中原始丰度的控制，而原始丰度又受物源区构造背景的制约，故稀土元素含量及其配分类型可提供物源区的构造信息(Bhatia et al.,1986)。微量元素与稀土元素一样对构造环境具有有效的指示作用。由于沉积物在风化、再沉积、成岩乃至变质过程中除了常量元素(特别是 Si)的组成发生变化外，化学活动性相对较弱的微量元素如 La、Ce、Nd、Yb、Th、Zr、Hf、Co、Ni 等，在沉积作用中迁移能力较弱，在海水中停留时间较短，因而在风化、搬运再沉积过程中能定量地从母岩转入碎屑沉积物中(Bhatia et al.，1986)。故这些微量元素的组合特征对沉积物的构造环境具有重要的指示意义。

(1) 在沉积过程中，V、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Pb 等铁族和亲硫元素的再富集往往距源区较远，并与还原介质关系密切，还原性越强，金属元素含量越高(Alberdi-Genolet，1999) 。研究表明 V/(V＋Ni)值为氧化还原条件环境的反映，通常认为高的 V/(V＋Ni)值(0.84～0.89)反映水体分层，底层水体出现厌氧环境；中等值(0.54～0.82)反映为不强烈的厌氧环境；低值时(0.46～0.60)为弱的贫氧环境(Hatch et al.，1992)。米钵山组砂岩中，V/(V＋Ni)值均比较高，所有样品比值大于 0.59，部分达到 0.88(图 5)，说明当时沉积界面以还原性为主，局部还原环境较强。这一点与岩石主体以灰绿色、灰黑色相符。在海水及沉积物中稀土元素主要呈三价离子形式存在，它们的地球化学行为极为相似，常作为一个“整体”活动。但铈的化学行为与其他稀土元素有所差异，氧化还原条件的变化可以使其相对于其他稀土元素选择性析出，而呈四价离子形式存在于海水及沉积物中。

CAGS

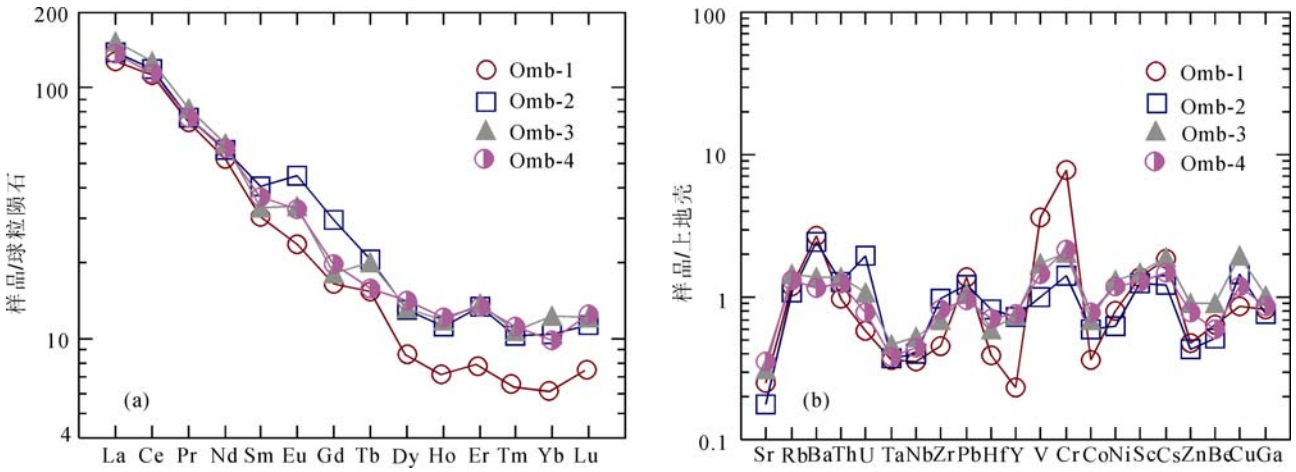


图 4　球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图(a)和上地壳标准化的微量元素配分曲线图(b)

Fig. 4　Chondrite-normalized REE(a)and upper-crust normalized trace element distribution pattern(b)

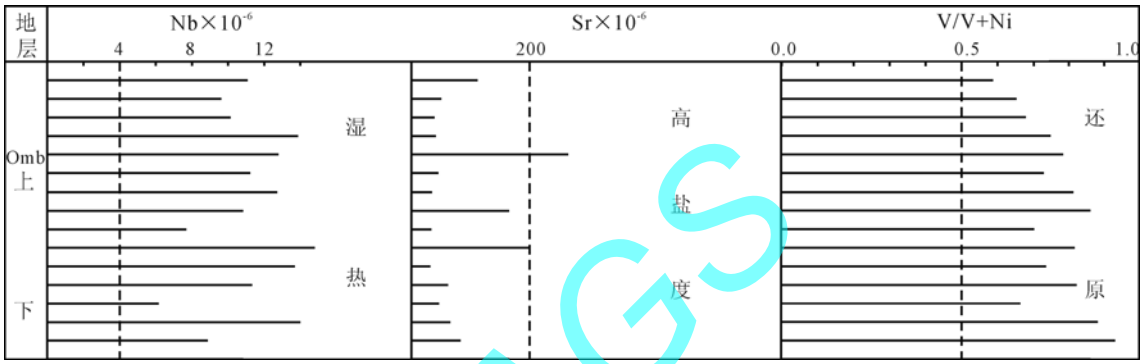


图 5　米钵山组砂岩沉积环境的地球化学判别(据刘英俊等，1984)

Fig. 5　Geochemical discrimination of tectonic settings in Biboshan Formation(from et al., 1984)

在一定的 pH 条件下，若海水缺氧，Ce 浓度增高，反之，若为氧化环境，Ce 浓度就则降低，因此，沉积体系中 Ce 的异常也可以直接反映介质 Eh 条件的变化(吴明清等，1992)。在正常的海相环境中，沉积物常具有 Ce 的负异常，而在一些相对封闭的海水中，Ce 浓度正常。白顺良等(1989)认为 Ce 异常值可用 Ce/La 值代替，Ce/La 值 1.8 和 2.0 分别代表 Ce 异常值–0.1 和 0。当 Ce/La<1.5 时为富氧环境，1.5～1.8 时为贫氧环境，大于 2.0 时为厌氧环境(Bai et al.，1994；姜立君等，2004)。米钵山组砂岩 Ce/La 值都大于 2.0，说明了厌氧环境，与 V/(V+Ni)值可以相互印证。

(2) Sr 相对 Ba 的迁移能力强，淡水和海水相混时，易成 $BaSO_4$ 沉淀，因此，在淡水沉积中 Sr/Ba 值小于 1，而在海水中沉积则大于 1(赵振华，1997)。米钵山组泥岩的 Sr/Ba 值均小于 1，另据李天斌(1999)在分析天景山一带米钵山地层地球化学特征发现，在研究的样品中 Sr/Ba 值在板岩中小于 1，而在碳酸盐岩中皆大于 1。这种变化说明 Sr、Ba 与来源环境有较大关系。来自陆源的泥质岩类具较低的 Sr/Ba 值(<1)，而内源沉积的碳酸盐岩类具较高的 Sr/Ba 值(>1)。

(3) Sr、Ti、Al、Nb、Ta、Th 等元素在风化作用中较稳定、不易迁移，是气候效应最灵敏的指示元素，多富集于湿热地区的海水中，尤其 Ca、Sr、C 构成组合，与生物成因的碳酸盐有关，其丰度一般在湿热地区明显增高(赵一阳等，1994)。另外，含 Nb、Ta 等稀土元素的矿物一般耐风化，但在炎热潮湿的条件下也易分解，使这些元素从矿物中解脱出来，形成有机酸盐类或者被黏土、有机质等吸附流入海洋发生富集，可见 Nb、Ta 平均含量一般在潮湿环境中高于干燥环境的丰度值，而 Nb 较 Ta 活动性大，易迁移、富集(刘英俊等，1984)。米钵山组地层中 Nb、Ta 普遍富集(图 5)，指示湿热环境，这与该剖面岩性特征氟化物所示的标志一致，沉积了深灰色、灰黑色薄层灰岩和泥岩。

(4) 在碱性溶液中，稀土元素易形成 $[REE(CO_3)_3]^{3-}$ 和 $[REE(CO_3)_4]^{5-}$ 两种形式的络阴离子。用轻、重两种稀土作为络合物进行迁移能力的实验表明，两者溶解度有较大的差异。在碱性碳酸介质中，重稀土的溶解度大，尤其是在低于 300℃时，重稀

CAGS

土络合物还是稳定的。这说明在酸性介质中(pH=4.7～5.6)先沉淀的是轻稀土元素，最后才是重稀土元素(鲁洪波等，1999)。米钵山组砂岩的 w(LREE)/w(HREE)值为 9.3～16.4 之间，轻重稀土的分异度变化很大，总体上是一种不同于海相的轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的沉积环境。

(5) 微量元素 La、Th、Ti、Zr、Sc 等在风化搬运和沉积过程中很少受其他地质作用的影响。因此，陆源碎屑的微量元素地球化学特征更适宜于研究源区类型及其大地构造背景。Bhatia 等(1986)通过对东澳大利亚 5 个已知构造背景的古代杂砂岩套的微量元素地球化学特征进行研究，提出了一套判别物源区类型和大地构造背景的准则。应用 Bhatia 等(1986)的图解(图 6)，在 La-Th-Sc 图解中样品大部分落在大陆岛弧区域，在 Th-Co-Zr 图解中样品落在大陆岛弧及活动大陆边缘结合部。上述特征表明米钵山组浊积岩物源区具有大陆岛弧及活动大陆边缘的构造背景。

浊积岩的常量元素地球化学特征在一定程度上能反映物源区的性质和古生代沉积盆的构造背景(Bhatia et al., 1986 ;刘刚，2007)。同时 Bhatia 等(1986)据现代和古代不同构造部位大量杂砂岩的岩石地球化学资料所总结出的大洋岛弧(OIA)、大陆岛弧(CIA)、活动大陆边缘(ACM)和被动大陆边缘(PCM)4 种典型构造背景下杂砂岩的平均化学成分和具判别意义的几种比值。其中，Fe 和 Ti 由于迁移能力较低，在海水中停留时间较短而具判别意义 ;Mg 在海水中停留时间较长，但因浊流沉积的大陆边缘型砂岩在埋藏期间由于渗透性差而保持不变。因而也具有判

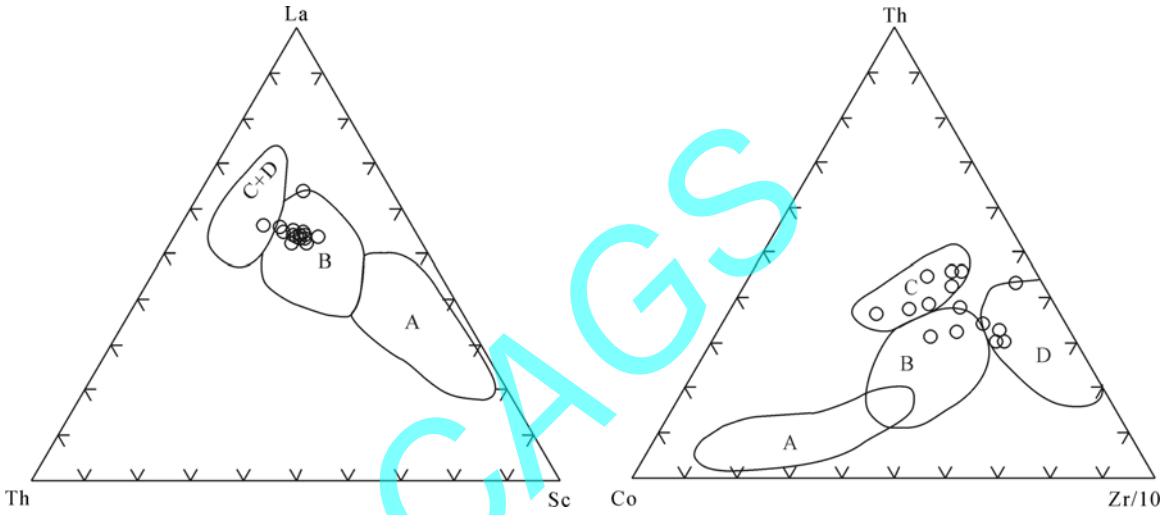


图 6 判别构造环境 La-Th-Sc 与 Th-Co-Zr/10 关系图

Fig. 6 La-Th-Sc and Th-Co-Zr/10 diagram, showing tectonic environment of siliceous rocks

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 continental margin; D-passive continental Margin

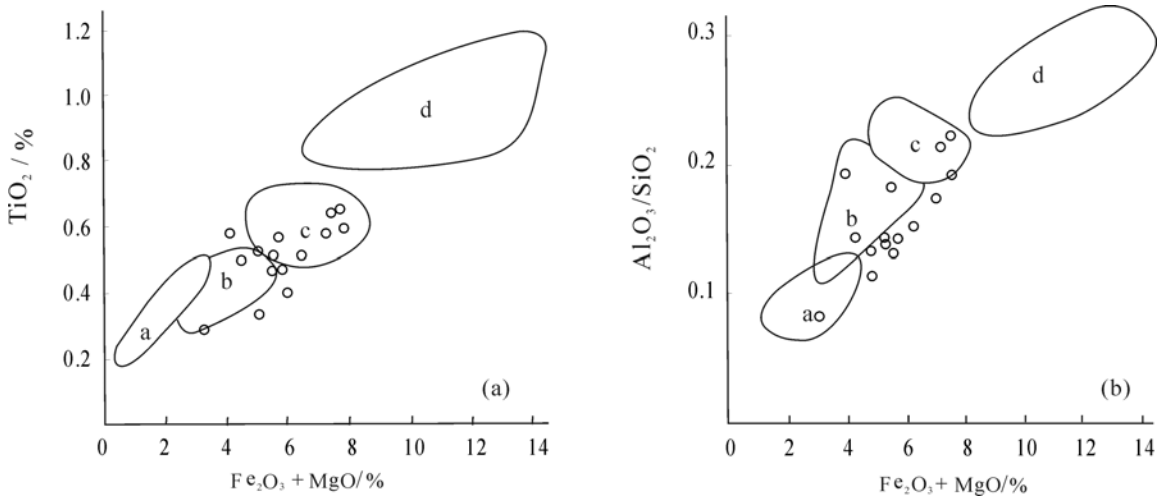


图 7 TiO_2-Fe_2O_3+Mg 与 Al_2O_3/SiO_2-(Fe_2O_3+MgO)关系图

Fig. 7 TiO_2-Fe_2O_3+Mg and Al_2O_3/SiO_2-(Fe_2O_3+MgO) diagram

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 continental margin; d-passive continental Margin

CAGS

别意义；Al_2O_3/SiO_2 值代表砂岩中石英的富集程度；K_2O/Na_2O 值是岩石中钾长石和云母对斜长石含量比的量值；$Al_2O_3/(Na_2O+CaO)$则代表是最不活跃组分与最活跃组分的比值。利用 Bhatia 等(1986)构造环境判别图解对米钵山组砂岩主量元素进行分析，大多落于大陆弧和活动大陆边缘内(图 7)。

4　结论

通过对贺兰山米钵山组沉积地球化学特征的研究，得出以下结果：

(1)根据岩石学、微量元素 V/(V＋Ni)值及稀土元素 Ce/La 值，可以判断出本区沉积环境为高能、还原、湿热环境。

(2)该组样品分析表明，其稀土总量较高，轻稀土较重稀土明显富集，分异度大，Eu 具有弱的正异常，这暗示了大陆型沉积的特征。

(3)地球化学特征与大陆岛弧和活动大陆边缘沉积物特征一致，反映其物源区的性质为大陆岛弧和活动大陆边缘背景。

参考文献：

边兆祥. 1954. 宁夏南山系[J]. 地质知识.

顾其昌. 1996. 宁夏回族自治区岩石地层[M]. 武汉：中国地质大学出版社.

姜立君，张卫华，高慧，杨瑞东. 2004. 贵州新元古代陡山沱期碳酸盐岩帽沉积地球化学特征[J]. 地球学报. 25(2): 170-176.

李天斌. 1999. 宁夏天景山—米钵山奥陶纪地层地球化学特征[J]. 地层学杂志, (1): 16-22.

刘刚，2007，运用地球化学分析研究潜江凹陷潜江组沉积环境[J]. 地球学报 28(04): 335-340.

刘英俊，曹励明. 1984. 元素地球化学[M]. 北京：科学出版社.

鲁洪波，姜在兴. 1999. 稀土元素地球化学分析在岩相古地理研究中的应用[J]. 石油大学学报, 23(1): 6-9.

卢立伍，方晓思，姬书安，庞其清. 2002. 宁夏纳缪尔期含鱼地层新知[J]. 地球学报. (04): 165-168.

吴明清，欧阳自远. 1992. 铈异常—— 一个寻迹古海洋氧化还原条件变化的化学示踪剂[J]. 科学通报, 37(3): 242-244.

赵一阳，鄢明才. 1994. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京：科学出版社.

赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京：科学出版社.

张进，马宗晋，任文军. 2006. 试论宁夏地区始新统寺口子组沉积的构造背景[J]. 地质论评, 52(2): 207-214.

张抗. 1983. 论贺兰裂堑. 鄂尔多斯盆地西缘地区石油地质论文集[C]. 呼和浩特：内蒙古人民出版社.

References:

ALBERDI-GENOLET M.1999. Trace Metals and Geochemistry of the Machiques Member(Aptian-Albian) and La Luna Formation (Cenomanian-Campanian), Venezuela [J]. Chemical Geology, 160: 19-38.

BAI S L, BAI Z O, MA X P. 1994. Devonian Events and Biostratigraphy of South China, Chapter3: Ce/La a Ratio as Marker of Paleoredox [M]. Beijing: Peking Univ. Press, 21-24.

BHATIA M R, CROOK K A W. 1986. Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonics Setting Discrimination of Sedimentary Basins [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 181-193.

GU Qi-chang. 1996. Stratigraphy of Ningxia Hui Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese with English abstract).

BIAN Zhao-xiang. 1954. Ningxia Nanshan System. Geological Knowledge (4).

HATCH J R, LEVENTHAL J S. 1992. Relation between Inferred Redox potential of the Depositional Environment and Geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansasm U.S.A [J]. Chemical Geology, 99: 21-24.

HERRON M M. 1988. Geochemical classification of terrigeous sands and shales from core orr log data[J]. J. Sed. Petrol., 58: 820-829.

JIANG Li-jun, ZHANG Wei-hua, GAO Hui, YANG Rui-dong. 2004. Sedimentary Geochemical Characteristics of the Cap Carbonate of the Doushantuo Formation in Guizhou Province [J]. Acta Geosicientica Sinica, 25(2): 170-176 (in Chinese with English abstract).

LI Tian-bin. 1999. The Geochemical Features of the Ordovician Strata in Tianjing and Miboshan Mountains, Ningxia[J]. Journal of Stratigraphy. (1): 16-22 (in Chinese with English abstract).

LIU Gang. 2007. The Application of Geochemical Analysis to the Study of Sedimentary Environment of Qianjiang Formation in Qianjiang Depression[J]. Acta Geosicientica Sinica, 28(04): 335-340 (in Chinese with English abstract).

LIU Ying-jun, CAO Li-ming. 1984. Element Geological Chemisrty [M]. Beijing: Science Publishing House (in Chinese).

LU Hong-bo, JIANG Zai-xing. 1999. Application of Geochemical analysis of Rare Earth Elements in the Study of Lithofacies Paleogeography [J]. Journal of China University of Petroleum 23(1): 6-9 (in Chinese with English abstract).

LU Li-wu, FANG Xiao-si, JI Shu-an, PANG Qi-qing. 2002. A Contribution to the Knowledge of the Namurian in Ningxia [J]. Acta Geoscientica Sinica, (04): 165-168 (in Chinese with English abstract).

WU Min-qing, OUYANG Zi-yuan. 1992. Ce anomaly--A track Finding of Ancient Ocean Redox Condition in the Chemical Tracer [J]. Chinese Science Bulletin, 37(3): 242-244(in Chinese with English abstract).

ZHAO Yi-yang, YAN Ming-cai. 1994. Geological Chemistry of Sedimentary in Shallow sea of China [M].Beijing: Science Publishing House (in Chinese).

ZHAO Zhen-hua. 1997, Geochemical Theory of Trace element[M]. Beijing: Science Publishing House (in Chinese).

ZHANG Kang. 1983. The collection of Petroleum geology on the Helan Graben and the Western Margin of the Ordos Basin[C]. Hohhot: Inner mongolia People's Publishing House.

ZHANG Jin, MA Zong-jin, REN Wen-jun. 2006. Discussion on the Tectonic Setting of Deposition of the Eocene, Sikouzi Formation in Ningxia Region[J]. Geological Review, 52(2): 207-214. (in Chinese with English abstract).

CAGS