

文章编号:1671-4814(2012)03-0198-08

贺兰山中段奥陶系米钵山组砂岩地球化学 及构造背景分析*

王浩霖^{1,2}, 常山¹

(1 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

(2 河南煤田地质局一队, 河南 新郑 451150)

摘要: 本文利用奥陶系米钵山组砂岩地球化学分析, 结合区域地质研究, 探讨贺兰山中、晚奥陶世的构造环境。贺兰山中段奥陶系米钵山组砂岩的地球化学研究表明, 砂岩的 SiO_2 平均含量为81.3%; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 值0.07~0.11, 平均值为0.08; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值变化较大, 最大60.7, 一般介于4.79~7.81; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 含量较低, 介于2.1%~2.81%。砂岩微量元素Nb丰度及 $\text{V}/(\text{V} + \text{Ni})$ 与 Ce/La 、 Sr/Ba 值均较高, 说明砂岩沉积于湿热、还原、低盐度环境, 具有大陆型沉积特征。砂岩稀土元素富集, 含量在 $116 \times 10^{-6} \sim 195 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 158×10^{-6} ; δEu 为0.52~0.58, 具显著的负铕异常。这些数据指示了米钵山组具有重力流快速堆积的特征和大量陆源补给, 浊流沉积作用是重力流携带陆源物质的主要途径。通过多种构造环境判别图解分析, 显示物源区地质构造具有被动大陆边缘性质。

关键词: 贺兰山; 米钵山组; 地球化学; 构造背景

中图分类号: P534.42

文献标识码: A

在中晚、奥陶世时期, 贺兰山地区受阿拉善地块裂解及华北陆块和秦祁地槽碰撞挤压作用的影响, 贺兰海槽剧烈拉张沉降, 海侵达到高潮, 沉积巨厚的

米钵山组地层。黄喜峰等^[1]对贺兰山中南段米钵山组的研究发现其构造背景为大陆岛弧和活动大陆边缘。本次研究区位于贺兰山中段, 位置如图1。通过

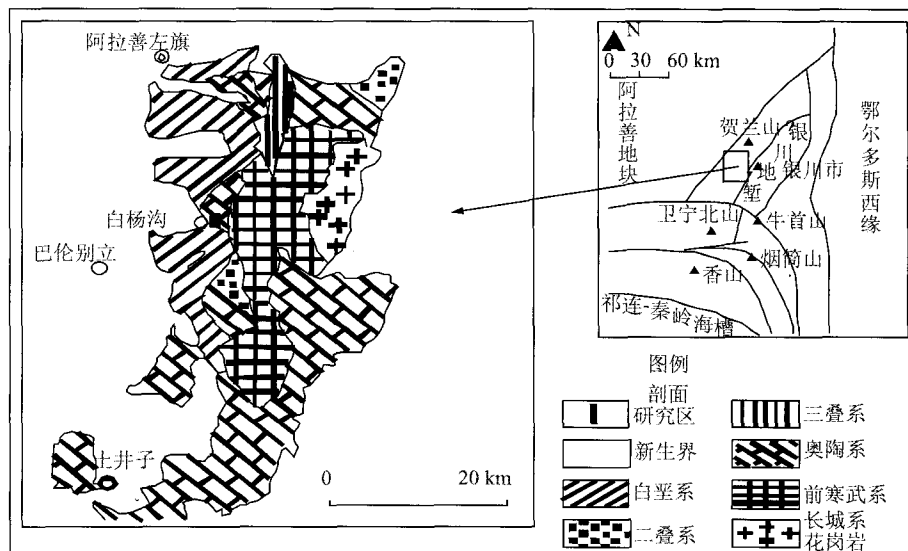


图1 贺兰山中段米钵山组分布图(据黄喜峰等修改, 2009)

Fig. 1 Distribution map of Miboshan Formation in the middle section Helan Mountain (after Huang Xifeng, et al., 2009)

* 收稿日期: 2011-10-24

基金项目: 宁夏腰坝等四图幅1:5万区域地质调查资助。

第一作者简介: 王浩霖(1984~)男, 硕士研究生, 研究方向: 沉积与地层学。

对研究区米钵山组地层特征的区域调查和地层剖面的深入研究以及岩石薄片分析的研究,发现其中缺少火山等活动型陆缘物质的证据,地层总体上是一套巨厚的滑塌、浊流及正常深海相沉积,具有被动大陆边缘构造背景性质。在野外地质勘查及沉积特征研究基础之上,本文从元素地球化学分析的角度,探讨贺兰山中段奥陶系米钵山组的大地构造背景特征。

1 米钵山组沉积特征

本文是宁夏腰坝等四图幅1:5万区域地质调查的成果。地质调查研究发现贺兰山中段出露的米钵山组地层广泛发育典型浊积岩鲍马序列及滑塌沉积碎屑岩。厚层粗粒的块状沉积物及鲍马序列是海底扇重要标志之一^[2],因此推测米钵山组属深裂陷陡坡—深海平原相沉积。在贺兰山西麓白杨沟实测一条剖面(图2),地层出露相对较好,内部连续,重力流和浊流沉积发育,岩相变化剧烈。

白杨沟剖面地层顶部见石炭系上统太原组,二者呈断层接触。断层面上下地层变形较小,地层产状基本一致。结合华北西缘整体缺失奥陶系上统至石炭系上统之间地层的特征,断定该剖面的顶即为米钵山组的顶部。底部与古元古界赵池沟组变质岩呈断层接触。整个剖面沉积特征呈现下部颗粒粗、上部颗粒细。由此推断白杨沟剖面地层应为米钵山组的中上部地层,工作过程中发现整个地区缺失下部地层。

剖面研究发现沉积相类型丰富。斜坡碎屑流相包括:外源碎屑流沉积-灰质(角)砾岩;内源碎屑流沉积-灰质砂砾岩、石英质砂砾岩;深海浊流相,包含完整的A、B、C、D、E段及组合;正常沉积深水相。次深海深裂陷槽陡坡、深海坡脚及延伸地带的重力流沉积和深海平原正常深水沉积的组合,代表当时贺兰地区强烈沉陷的古地理环境。

经过对剖面岩性描述和观察分析,发现这套巨厚的地层内岩性表现出多个砾石含量逐渐减少,粒度由粗变细的岩性段,即岩性变化的旋回性,而且旋回具有多期次性,地层显示为多个旋回的叠加。可以解释为沉积基准面旋回变化,即海平面升降的表现^[3]。通过对岩石粒度变化和砾石含量统计分析,把白杨沟地质剖面的沉积变化共划出三个次一级旋回(图2、图3),即三个有规律岩性段:第一旋回段5~10层,地层真厚0~500 m、第二旋回段11~15,地层真厚500~660 m、第三旋回段16~27层,地层真厚660~1271 m。

由下往上三个岩性旋回层岩性变化具有一致性,下部砾石含量高、磨圆差、分选差,以近源沉积为主,可见由含砾砂岩突然转化为灰质砾岩,继而又转化为砂砾岩、含砾砂岩与砂岩;上部砾石含量剧减,主要见含砾砂岩、中—细砂岩、粉砂岩板岩及板岩,磨圆较好,分选性、成熟度相对提高,以远源沉积为主,三旋回段岩石特征具相似性(表1)。反映了贺兰海槽至少经历3次以上的较大规模海平面动荡。

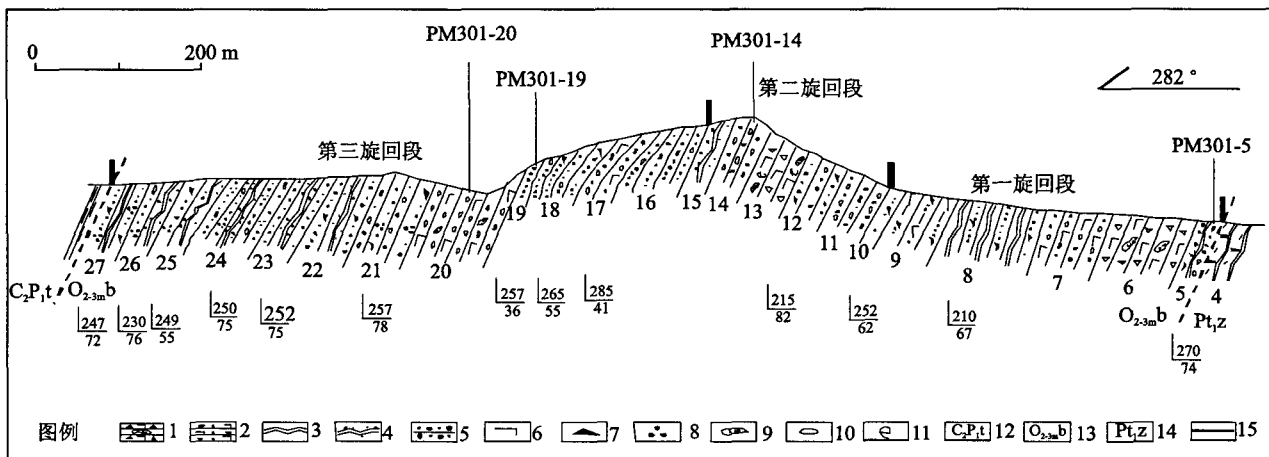


图2 白杨沟米钵山组地质剖面

Fig. 2 Geological profile of Miboshan Formation in Baiyanggou aea

- 1-灰质角砾岩;2-灰质砂砾岩;3-板岩;4-砂板岩;5-不等粒砂岩;6-钙质胶结;7-岩屑;8-石英;
- 9-砂岩透镜体;10-砾石;11-生物碎屑;12-太原组;13-米钵山组;14-赵池沟组;15-地化样品编号

表1 米钵山组三个沉积旋回段比较

Table 1 Comparison of lithologic layers formed in three sedimentary cycles of Miboshan Formation

旋回段	岩石类型	结构	构造
第三段	上部:含砾中—细粒砂岩、粉砂—细砂岩、粉砂质板岩; 下部:灰岩质角砾岩、中—细砂岩、粉砂—细砂岩、泥质胶结灰岩质砂砾岩、细—中粒砂砾岩;	上部:薄层—中厚层状互层,灰绿色,少量成灰黄色,砂泥比为1:3至1:5; 下部:中厚层—巨厚层块状,灰色、浅灰色、灰绿色,少数呈灰黄色,砾石含量达40%,一般在10%左右;	粉砂岩、板岩显微细水平纹理,韵律层理、板劈理发育; 砂岩发育平行层理及鲍马序列构造,见AB、CD、CE组合; 砾岩具底蚀面,含滑塌构造;
第二段	上部:粉—细砂岩、粉砂质板岩; 下部:砂砾岩、生屑灰质角砾岩、岩屑细砂岩、砾质不等粒砂岩、细—中粒砂砾岩;	上部:细粒段以薄层状韵律性互层产出,砂质段颜色为黄绿色和泥质段为灰绿色; 下部:粗粒段独立产出,薄层少,常中厚—厚层,个别呈块状,黄绿色、浅灰色及灰色夹灰绿色;	粉砂质板岩显微水平纹层,韵律层理、板劈理发育; 砂岩发育鲍马序列B、CD、CE段; 砂砾岩见槽模及递变层理构造,砾石具定向性排列;
第一段	上部:云母化细砂—粉砂岩、细砂岩、岩屑细砂—粉砂岩、粉砂质板岩; 下部:灰岩质砂砾岩、灰质角砾岩、含砾中—细砂岩、含岩屑中砂质砾岩;	上部:薄层—中厚层状互层产出,灰绿色,少量成灰黄色、黄色,砂泥比为1:4至1:6; 下部:中厚层—巨厚层块状,灰色、灰黄色、黄色夹灰绿色,砾石含量高,部分层位达60%以上,一般在10%~20%;	粉砂岩及粉砂质板岩显微细水平纹理,韵律层理、板劈理发育; 砂岩发育递变层理、平行层理、变形层理及沙纹层理等鲍马序列沉积构造; 砾岩底见槽模,砾石具定向性排列,砂砾岩发育递变层理构造;

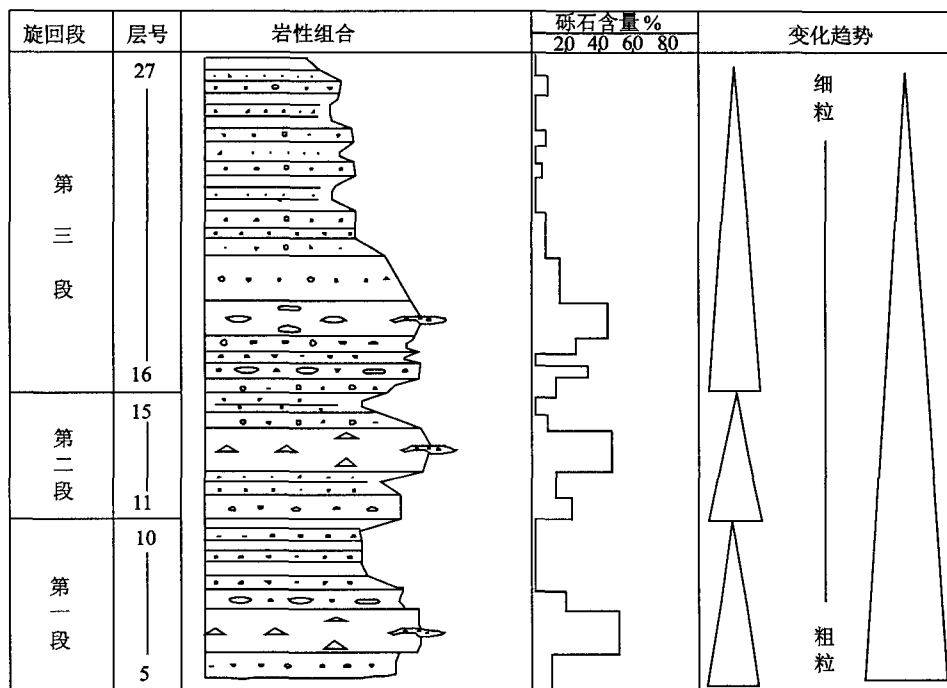


图3 米钵山组岩性旋回性变化

Fig. 3 Cyclical variation of the lithologic characters of Miboshan Formation

2 砂岩地球化学特征

选取测试地球化学数据的砂岩样品共四件,分别来自三个岩性旋回段,具体为第 5、14、19、20 层各一件(图 2)。实验测试是在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,数据特征及分析如下:

2.1 常量元素特征

米钵山组部分层位砂岩常量元素含量分析结果见表 2, SiO₂ 含量中等,介于 84.20%~76.57%之间,平均值 81.3%; TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅ 平均值分别为 0.365%、6.52%、1.795%、0.02425%、0.6175%、2.4325%、0.3735%、3.2575%、0.135%。Al₂O₃/SiO₂ 值 0.07~0.11,平均值为 0.08; K₂O/Na₂O 值变化较大,最大 60.7,一般介于 4.79~7.81; Fe₂O₃+MgO 含量较低,介于 2.1%~2.81%,平均 2.41%,推测与沉积时的深海还原环境有关; CaO% 含量变化较大,低值为 0.84%,高值为 6.67%,平均 2.43%。据 Herron (1988)^[4]利用 Log(Fe₂O₃/K₂O)和 Log(SiO₂/Al₂O₃) 的陆源砂岩与页岩分类方法,对米钵山组砂岩样本进行投图(图 4),发现投点基本落于亚长石砂岩和长石砂岩区域内。

表 2 米钵山组砂岩常量元素分析结果(%)

Table 2 Major elements of sandstones of Miboshan Formation

样号	PM301-5	PM301-14	PM301-19	PM301-20
SiO ₂	80.34	84.10	84.20	76.57
Al ₂ O ₃	8.50	5.86	6.53	5.19
Fe ₂ O ₃	1.97	1.74	2.06	1.41
MgO	0.55	0.48	0.75	0.69
CaO	0.84	1.60	0.62	6.67
Na ₂ O	0.074	0.37	0.52	0.53
K ₂ O	4.49	2.89	3.11	2.54
TiO ₂	0.45	0.34	0.38	0.29
P ₂ O ₅	0.15	0.13	0.14	0.12
MnO	0.014	0.035	0.019	0.029
H ₂ O	0.12	0.06	0.08	0.02
烧失量	2.16	2.18	1.54	5.98
TOTAL	99.658	99.785	99.949	100.039

Al₂O₃/MnO 值在 167~607 之间, Mn 的亲海性及 Al₂O₃ 的示陆源性,说明陆源物质供给充足,但比值没有明显规律性,表明其旋回性特征,即沉积和水体的旋回变化。由于 Mn 为典型海洋沉积的元素,而 Ti 为大陆元素, MnO/TiO₂ 值越低,则反映的沉

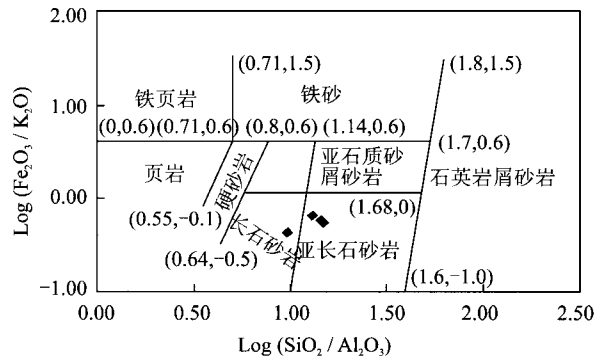


图 4 米钵山组砂岩 Log(Fe₂O₃/K₂O)对 Log(SiO₂/Al₂O₃)变异图(据 Herron,1988)

Fig. 4 Log(Fe₂O₃/K₂O) vs. Log(SiO₂/Al₂O₃) diagram of sandstones of Miboshan Formation (from Herron,1988)

积速率就越快,米钵山组砂岩的 MnO/TiO₂<0.1,说明沉积速率快,具斜坡重力流快速堆积特征。

2.2 微量及稀土元素特征

米钵山组部分层位砂岩微量元素含量分析结果见表 3,从表中看出,微量元素 Sc,Co,Zr,Ti,Th 等含量变化较小,据 W. F. McDonough 标准值^[5],对层位砂岩微量元素进行标准化后,总体变化趋势基本一致(图 5),说明砂岩物源变化较小,物源较稳定。

矿物中含 Nb、Ta 等元素一般耐风化,但在炎热潮湿的环境条件下易分解,且 Nb 较 Ta 活动性大,易迁移、富集,因此具有环境指示剂的作用,可分解形成有机酸盐类,或被粘土和有机物质等吸附带入海洋并富集,在潮湿环境中 Nb、Ta 平均丰度值高于干燥环境^[6]。米钵山组砂岩普遍富集 Nb,且 Nb 含量高于 5×10⁻⁶以上,指示沉积时湿热的气候环境,与剖面岩性特征指示的一致,即地层中大量发育深灰色、灰黑色内碎屑砂砾灰岩和泥岩、沙泥岩,地层整体呈现灰绿色。Hatch 等(1992)^[7]研究表明 V/(V+Ni) 值为环境氧化还原条件的反映,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;低值时(0.46~0.60)为弱的贫氧环境。从图 6 中可以了解到米钵山组砂岩的 V/(V+Ni) 值在 0.7 以上,反应沉积时的沉积界面以还原性为主。

Ba 相对 Sr 的迁移能力弱,淡水与海水混和时,形成 BaSO₄ 沉淀,因此,当为淡水沉积时,Sr/Ba 值小于 1,而在海水中沉积则大于 1^[8]。米钵山组砂岩的 Sr/Ba 值均小于 1,趋近 0.1,说明沉积时低盐度环境背景,指示陆源背景。

表3 米钵山组砂岩微量元素分析结果(10⁻⁶)

Table 3 Trace elements of sandstones of Miboshan Formation (10⁻⁶)

样号	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr
PM301-5	9.89	1.20	7.08	37.8	35.6	34.9	12.1	9.96	27.3	10.2	139	42.2
PM301-14	10.1	0.81	5.30	24.5	21.5	33.6	9.12	6.45	17.9	6.90	95.9	44.7
PM301-19	16.6	0.85	5.96	29.7	25.0	27.1	11.1	6.14	20.4	7.60	96.3	45.0
PM301-20	12.3	0.57	4.76	19.9	17.5	31.3	8.03	5.25	16.5	5.70	79.0	87.6
样号	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Tl	Pb	Th	U
PM301-5	254	8.75	0.34	2.03	2.44	567	6.91	0.83	0.56	14.0	17.2	2.77
PM301-14	238	5.99	0.28	1.48	1.56	428	6.35	0.67	0.43	13.7	13.7	2.08
PM301-19	312	8.41	0.27	1.63	1.57	460	8.31	0.79	0.44	15.2	17.3	2.40
PM301-20	226	5.69	0.48	1.22	1.50	407	6.17	0.62	0.39	13.1	17.4	1.79

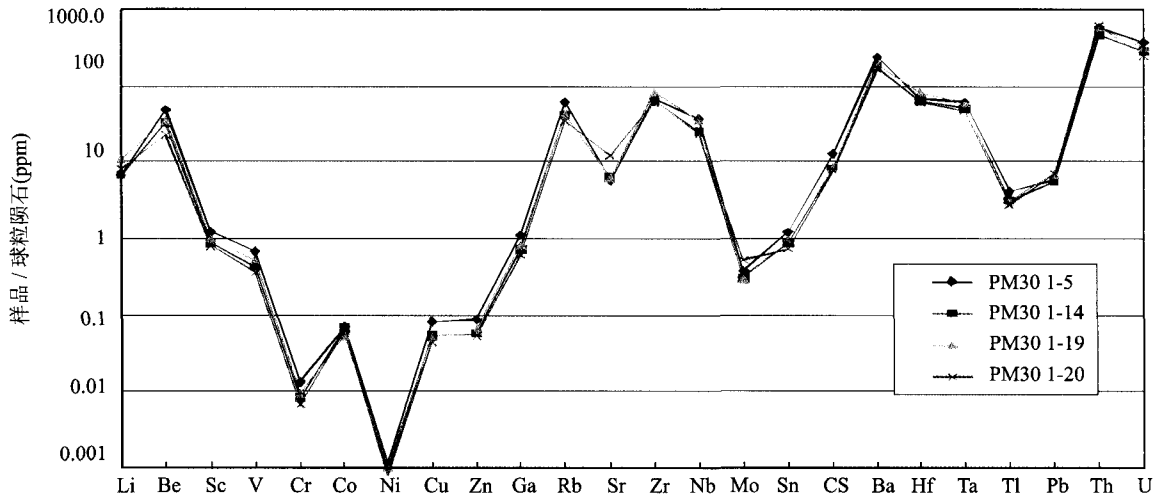


图5 米钵山组砂岩微量元素球粒陨石标准化蛛网图解(据W. F. McDonough^[5])

Fig. 5 Chondrite-normalized trace element spidergram of sandstones of Miboshan Formation (from W. F. McDonough^[5])

地层	Nb × 10 ⁶			Sr × 10 ⁶	V / (V+Ni)
	4	8	12		
PM301-20	■			■	■
PM301-19		■		■	■
PM301-14	■			■	■
PM301-5		■		■	■

图6 米钵山组砂岩沉积环境的地球化学判别(据刘英俊等,1984^[6])

Fig. 6 Geochemical discrimination of sedimentary settings of sandstones of Miboshan Formation (from Liu Yingjun, et al., 1984^[6])

米钵山组稀土元素分析结果见表4,可以看出,砂岩稀土元素总量较高,在116×10⁻⁶~195×10⁻⁶之间,平均值为158×10⁻⁶;LREE/HREE比值为3.08~4.39之间;δEu为0.5左右,变化不大;δCe为1左右,异常不明显;(La/Yb)_N值在7.9~12.1

之间。其球粒陨石标准化后的稀土配分曲线显示(图7),轻稀土元素相对富集,重稀土段平坦,各段砂岩的稀土分布模式基本相似。

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^[9]。米钵山组砂岩

Ce/La 值都大于 1.98,说明了厌氧环境,与 V/(V+Ni)值可以相互印证; δEu 的显著负异常和相对富集

的轻稀土,指示了大量的陆源物质补给,浊流沉积作用是携带陆源物质的主要途径。

表4 米钵山组砂岩稀土元素含量(10^{-6})

Table 4 Rare elements of sandstones of Miboshan Formation (10^{-6})

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
PM301-5	38.6	76.4	8.30	29.8	5.46	0.97	4.60	0.68	3.83	0.75	2.15
PM301-14	26.9	54.0	6.27	22.3	4.40	0.72	3.95	0.62	3.80	0.76	2.18
PM301-19	31.0	64.5	7.26	26.5	4.96	0.80	4.28	0.62	3.60	0.69	2.11
PM301-20	20.8	41.5	4.96	18.2	3.47	0.58	3.12	0.47	2.68	0.56	1.61
样号	Tm	Yb	Lu	Y	Σ	δCe	LREE/HREE	$(La/Yb)_N$	δEu		
PM301-5	0.34	2.15	0.31	21.5	195.8	0.98	4.39	12.1	0.58		
PM301-14	0.36	2.29	0.33	23.2	152.1	0.97	3.06	7.9	0.52		
PM301-19	0.31	2.06	0.32	21.1	170.1	1.0	3.85	10.1	0.52		
PM301-20	0.25	1.64	0.25	16.4	116.5	0.95	3.32	8.6	0.53		

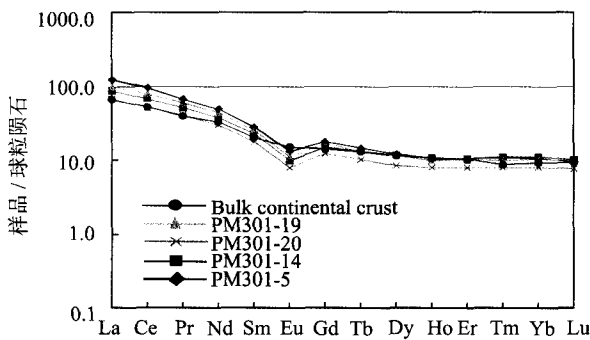


图7 米钵山组砂岩稀土元素球粒陨石标准化曲线

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of sandstones of Miboshan Formation

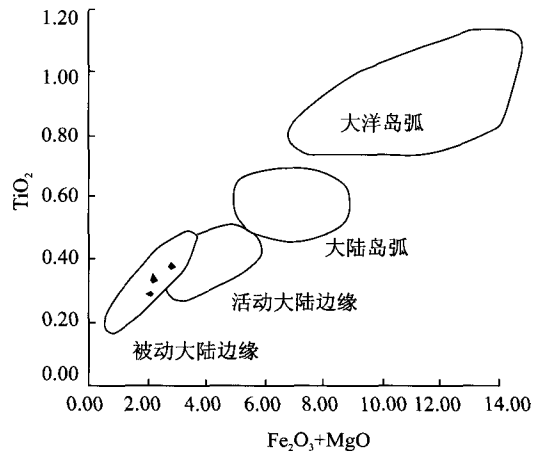
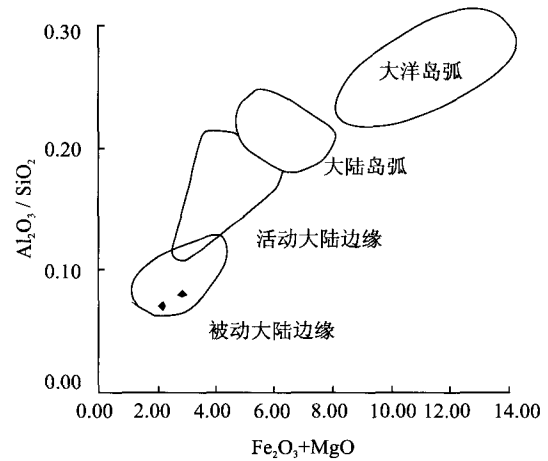


图8 米钵山组砂岩($Fe_2O_3 + MgO$)— Al_2O_3/SiO_2 和 ($Fe_2O_3 + MgO$)— TiO_2 构造环境判别图解(据 Bhatia, 1983^[10])

Fig. 8 ($Fe_2O_3 + MgO$) vs. Al_2O_3/SiO_2 and ($Fe_2O_3 + MgO$) vs. TiO_2 tectonic setting discrimination diagrams for sandstones of Miboshan Formation (from Bhatia, 1983^[10])

3 构造背景探讨

陆源沉积物形成有关的主要因素,如物源类型、风化条件、搬运过程以及成岩后生作用等,主要受沉积盆地的构造环境控制^[10],可以利用陆源沉积物的化学组成研究板块构造暨沉积盆地构造环境^[10, 11]。因此沉积岩的某些主量元素和微量元素在判别古代沉积盆地的构造性质中发挥了重要作用。

形成于岛弧及大陆边缘的现代砂岩,其化学成分变化较大,尤其是 $Fe_2O_3 + MgO$, Al_2O_3/SiO_2 , K_2O/Na_2O 等值, Bhatia (1983)^[10]利用这个化学变异特征来区分出大陆岛弧、大洋岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘四种不同构造背景。对米钵山组砂岩样本分析数据进行投图,结果如图8。并利用 Roser 和 Korsch (1986)^[11]砂岩沉积构造环境的 $\log(K_2O/Na_2O) - SiO_2$ 判别图解进行校正,结果如图9。上述两种方法所得判别图结果基本一致,投点均落在被动大陆边缘区,说明研究区贺兰山中段中上奥陶统米钵山组砂岩主要形成于被动大陆边缘环境。

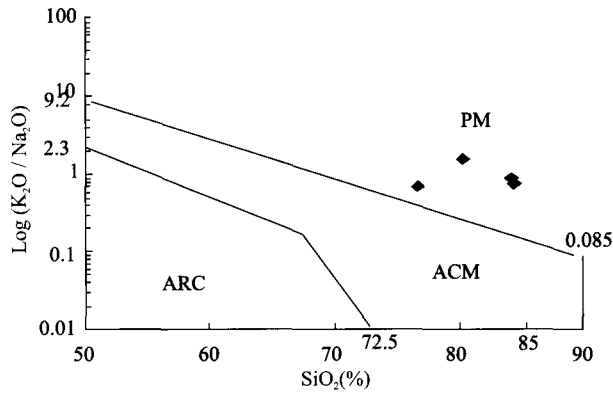


图9 米钵山组砂岩 $\text{Log}(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$ - SiO_2 构造环境判别图(据 Roser 等,1986^[11])

Fig. 9 $\text{Log}(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$ - SiO_2 tectonic setting discrimination diagram of sandstones of Miboshan Formation (from Roser, et al., 1986^[11])

ARC:岛弧; ACM:活动大陆边缘; PM:被动大陆边缘

沉积岩中的微量元素,尤其是 La、Ce、Y、Th、Zr、Hf、Ti 和 Sc 等活动性较弱,且在海水中停留时间较短,元素能定量地转移到碎屑沉积物中,受其它地质因素的影响较少,因而能良好地反映母岩性质和沉积盆地的构造环境^[10]。Roser 等(1986)、Bhatia 等(1983, 1986)^[10, 12]、Murray 等(1990)^[13] 研究发现,在不同构造环境中,浊积岩石中 Sc, Th, Zr, Co 等微量元素在沉积、成岩过程具有较低的活动性,并提出了一些重要的经验判别参数和图解对其形成环境进行判别。利用 Bhatia 和 Crook(1986)的 La—Th—Sc、Th—Sc—Zr/10 三角形构造环境判别图进行投图,结果如图 10 所示,投点主要落入被动大陆边缘区,显示米钵山组砂岩主要形成于被动大陆边缘环境。

在沉积特征方面,米钵山组为典型的复理石建造,火山岩碎屑贫乏、以陆源物质为主。由半深海、深海相沉积所构成的韵律层系,内部发育大量的碎屑流和浊流沉积,尤其以浊流与正常深水沉积构成的韵律层理,在整个地区的地层中随处可见,反映了沉积时强烈的构造环境,是贺兰海槽拉张裂隙活动的沉积记录。在被动大陆边缘,浊流沉积占有重要地位,在造山带地层中,大部分复理石建造可解释为浊流沉积。

综合上述,地球化学元素的构造背景判别图具有很高的吻合性,都反映出米钵山组砂岩主要形成于被动大陆边缘的构造环境。结合其沉积特征,认为米钵山组砂岩沉积时的构造背景为被动大陆边缘环境,而不是前人认为的大陆岛弧和活动大陆边缘环境^[1]。

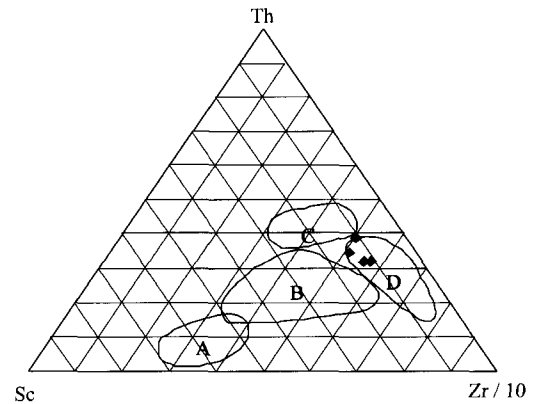
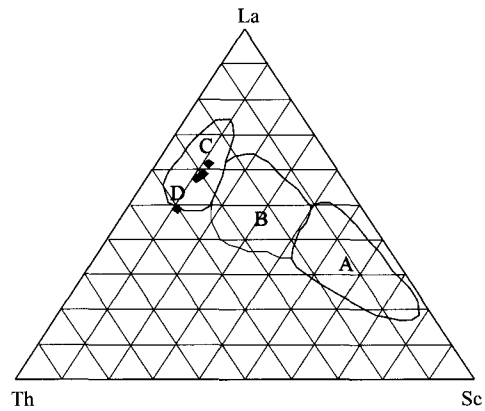


图10 米钵山组砂岩La-Th-Sc 和Th-Sc-Zr/10 构造环境判别图解(据 Bhatia 等,1986^[10])

Fig. 10 La-Th-Sc and Th-Sc-Zr/10 tectonic setting discrimination diagrams of sandstones of Miboshan Formation (from Bhatia, et al., 1986^[10])

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

4 认识

(1)根据岩石主量元素 MnO/TiO_2 值,微量元素 Nb 含量、 $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ 值及 Sr/Ba 值,认为该地区是重力流快速堆积为特征的高能环境,物源区古地理背景为湿热环境,以还原性沉积界面为主,低盐度环境。

(2)对样品分析结果表明,轻稀土元素相对富集,重稀土段平坦,分异度大,弱负 Ce 异常及 Eu 的显著负异常,指示了大陆型沉积的特征,重力流是携带陆源物质的主要途径。

(3)元素地球化学特征显示物源区地质构造具有被动大陆边缘性质,结合区域构造背景,沉积物可能来自华北陆块西缘。

(4)构造背景的认识证实,受加里东期北祁连造山运动影响,北祁连弧后盆地的弧后扩张挤压,以及

阿拉善地块与华北陆块之间的相对运动,贺兰海槽开始拉张沉降,形成被动型陆缘深海环境,并接受沉积,贺兰山南北向构造开始形成。

参考文献

- [1] 黄喜峰,钱壮志,逯东霞,等. 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[J]. 地球学报, 2009(01): 65-71.
- [2] 蔡雄飞,刘德民. 东昆仑三叠系下、上浊积扇体的识别及研究意义[J]. 海洋地质动态, 2008(06): 1-8.
- [3] 王鸿祯,史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别—旋回周期的成因讨论[J]. 现代地质, 1998(01).
- [4] 张鑫,张金亮. 东营凹陷南坡沙河街组四段砂岩地球化学特征[J]. 地质科学, 2007(02): 303-318.
- [5] W. F. McDonough. The composition of the Earth[J]. *Chemical Geology*, 1995(120): 223-253.
- [6] 刘英俊. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [7] 赵振华,周玲棣. REE geochemistry of some alkaline intrusive rocks in China[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 1997(02): 145-158.
- [8] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [9] 柏道远,周亮,王先辉,等. 湘东南南华系—寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代—早古生代构造背景的制约[J]. 地质学报, 2007(06): 755-771.
- [10] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. *Geology*, 1983, 91(6): 611-627.
- [11] Roser B P K R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio[J]. *Journal of Geology*, 1986, 94: 635-650.
- [12] Al. B M R. Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin [J]. *Contribution to mineralogy and Petrology*, 1986, 92(2): 181-193.
- [13] Murray R W B M R J. Rare earth elements an indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 1990, 18(228-271).

Analysis on geochemistry and tectonic setting of sandstones from the Ordovician Miboshan Formation in the middle section of Helan Mountain

WANG Hao-lin^{1, 2}, CHANG Shan

(1 Faculty of Earth Sciences; China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China;)

(2 No. 1 Team; Henan Bureau of Coal Geology, Xinzheng, 451150, China)

Abstract

Using the geochemical analysis of sandstones from the Ordovician Miboshan Formation and combining with the regional geology of the Helan Mountain, this paper approaches the tectonic setting of the Helan Mountain during the Middle-Late Ordovician. The geochemical study of the sandstones from the middle section of the Helan Mountain suggests that the sandstones have average SiO₂ content of 81.3%, Al₂O₃/SiO₂ = 0.07~0.11 (average, 0.08), K₂O/Na₂O = 4.79~7.81, low Fe₂O₃ + MgO contents of 2.1%~2.81%. The sandstones have relatively higher contents of Nb and higher ratios of V/(V+Ni), Ce/La and Sr/Ba, indicating a humid tropical, reducing and low salinity environment during the deposition of the sandstones, suggesting characteristics of the continent-type sedimentary origin. The sandstones are enriched in rare earth elements, with total REE contents of 116~195 ppm (average, 158 ppm), and prominently negative Eu anomalies of 0.52~0.58. All the geochemical data indicate that the Miboshan Formation shows characteristics of the quick accumulation of gravity current and large terrigenous supply, the turbidity sedimentation is the main way to carry terrigenous materials. The analysis of various tectonic setting discrimination diagrams shows that the geological structure of provenance exhibits a nature of passive continental margin.

Key words: Helan Mountain; Miboshan Formation; geochemistry; tectonic setting