

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2014.03.014

青岛青山湾—垭口变沉积岩岩石地球化学特征及其物质来源

韩宗珠¹, 陈筱林¹, 许红², 周瑶琪³, 李敏¹, 张贺², 徐翠玲¹

(1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100;

2. 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室 国土资源部青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071;

3. 中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580)

摘要: 青岛青山湾—垭口出露一套浅变质的海相陆缘碎屑沉积岩, 上覆岩浆锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 (118.9 ± 3.3) Ma, 成熟度较低, 与中生代造山带砂岩类似。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线均为轻稀土明显富集的右倾型, 表明, 研究区碎屑岩具有相同的物源区和构造背景, 与活动陆缘的稀土元素配分曲线非常接近。Ce 具弱的负异常, 指示碎屑岩为大陆边缘海相成因, $(La/Ce)_N$ (PAAS) 表明陆缘碎屑物质对该区碎屑岩有明显的贡献。主微量元素构造环境判别图解表明, 研究区碎屑岩具有活动陆缘和大陆岛弧的特征, 经历了相对简单的沉积演化过程; 结合稀土元素配分曲线的特征, 该区碎屑岩更可能是活动大陆边缘沉积形成。主微量元素分析揭示研究区碎屑岩物源富长英质岩石, 镁铁质岩石作为物源也参与到成岩过程中。

关键词: 碎屑岩; 活动陆缘; 物源; 长英质岩石; 山东省

中图分类号: P584; P588.2 **文献标识码:** A

0 引言

由于砂岩、碎屑岩的原始结构和成分在成岩过程及后期受到多种地质因素的改造、破坏, 单纯利用岩石学方法研究碎屑沉积物的物源和构造背景已不能满足要求, 越来越多的地质工作者采用地球化学方法研究碎屑岩的物源和构造背景^[1-3]。因砂岩的地球化学特征不仅能够客观地揭示源区性质和构造环境, 还能为研究盆山耦合关系提供依据^[4-5]。

青岛崂山青山湾—垭口沿海一带分布有浅变质的碎屑岩, 其时代归属存在争议。山东省地质矿产局^[6]认为是下白垩统青山组的陆相地层; 而付永涛等^[7]则认为是扬子板块上奥陶统海相碎屑岩, 是发育于活动大陆边缘的浊积岩, 扬子板块向华北板块

俯冲时作为盖层向华北板块仰冲就位, 经过超高压变质后折返至地表。目前, 对于该碎屑岩的地球化学研究报道仅见付永涛等^[7]和吴拓宇等^[8]2 篇文献, 而对其物质来源没有研究报道。本文在对该套碎屑岩进行地球化学分析的基础上, 结合付永涛等^[7]和吴拓宇等^[8]报道的青岛垭口—八仙墩海相碎屑岩的地球化学特征, 探讨研究区碎屑岩的物质来源和构造背景。

1 研究区地质背景

研究区位于青岛崂山青山湾—垭口沿海, 处于苏鲁造山带, 北侧紧邻仰口高压—超高压变质岩, 西侧为崂山花岗岩, 东侧海区为千里岩隆起和南黄海盆地。

收稿日期: 2013-10-23; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41376053)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2012CB956004)联合资助。

作者简介: 韩宗珠(1964-), 男, 教授, 现从事岩石学和地球化学教学与研究。通信地址: 中国海洋大学海洋地球科学学院; 邮政编码:

266100; E-mail: endofapril@126.com

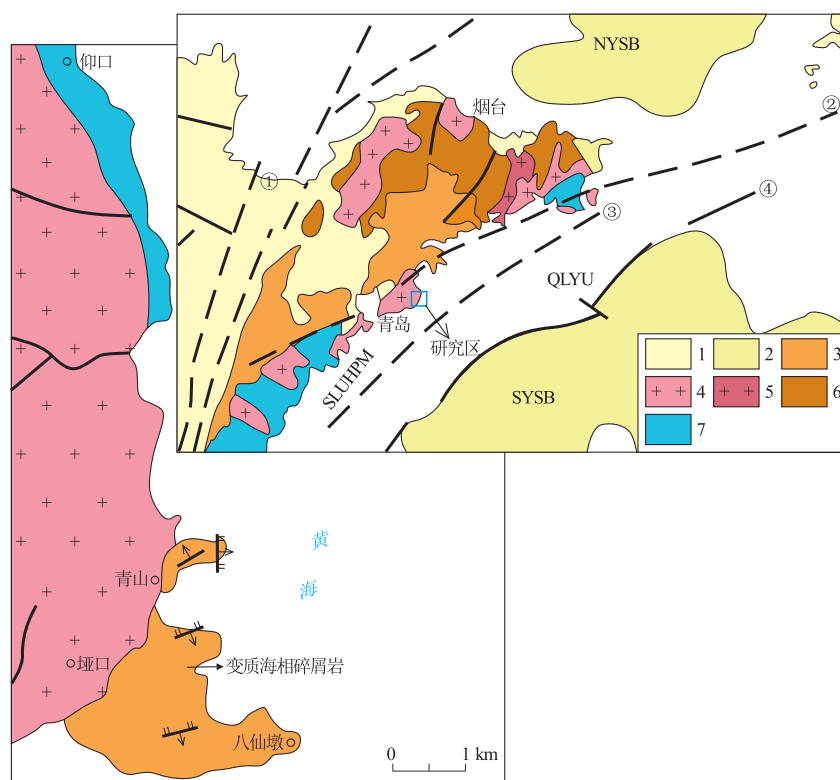


图 1 青岛崂山青山湾—八仙墩地质图(据文献[8],修改)

Fig. 1 Geological sketch of Qingshan-Baxiandun area, Laoshan Mountain, Qingdao

① 郯庐断裂;② 五莲—青岛—威海断裂;③ 海州—泗阳断裂;④ 嘉山—响水断裂;

NYSB. 北黄海盆地;SYSB. 南黄海北部盆地;

JLB. 胶莱盆地;SLUHPM. 苏鲁超高压变质带;QLYU. 千里岩隆起带

1. 第四系;2. 古近系;3. 白垩系;4. 白垩纪花岗岩;5. 元古宙花岗岩;

6. 五莲群和粉山群变质岩、混合岩;7. 超高压变质岩

研究区碎屑岩出露于青岛崂山青山—垭口—八仙墩沿海一带,面积 $>4\text{ km}^2$,地层厚度 $>2\text{ km}$,主要为海相的灰绿色砂岩与青灰色泥岩互层,夹粉砂岩、砾岩和富含白云质的岩层^[7],被早白垩世的崂山花岗岩侵入^[9],沉积时代应该早于早白垩世。由北向南,沉积岩呈粒度由粗变细的地层层序:在青山湾为砾岩和砂岩;垭口出露粗砂岩、泥岩、块状砂岩、条纹条带状细砂岩韵律层,夹有砾岩和含砾砂岩。地层 S 倾,自南向北逐渐平缓(倾角由 40° 变为 23°)。

2 岩相学特征及样品分析方法

大部分样品的手标本肉眼观察为灰色,有的微发绿,除观察到的云母已没有肉眼可分辨的颗粒,可能为变质砂岩,但变质不完全,应为浅变质岩。

样品 YK-1 具不等粒结构,矿物以石英、云母、

绿帘石为主,颗粒边缘比较整齐规则,粒径、分布十分均匀。石英(65%)颗粒大小比较均匀,长石(15%)分散排列。暗色矿物以黑云母(约 8%)、绿帘石(8%)为主,不透明暗色矿物约占 10%,样品应为角岩类。

其余样品具变余砂状结构,块状构造,少量条带状构造。主要成分为石英(65%)、长石(15%)、绿泥石(10%)、绢云母(5%)、绿帘石(5%);填隙物为石英,镜下可见石英的蚀变,表面模糊,分选好,大小均匀,没有明显的构造变形迹象;长石多为钾长石,具绢云母化、绿帘石化,样品定名为变质砂岩。

岩石标本采自青山湾—垭口,通过岩石显微镜下观察鉴定矿物的成分,确定其矿物组成、结构构造和岩石类型,并对其中的代表性岩石样品进行测试,主要元素采用 XRF 测定,微量及稀土元素采用 ICP-MS 测定。

3 岩石地球化学特征

青岛青山—垭口变质碎屑岩主量元素测试结果(表 1)表明,碎屑岩 $w(\text{SiO}_2)=51.78\%\sim 71.75\%$,平均 65.05% ,成分很接近古生代杂砂岩(66.1%); $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=12.47\%\sim 15.56\%$,平均 13.78% ,镜下特征和 Al_2O_3 质量分数均表明砂岩的成熟度低。另外, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 也可作为判断碎屑沉积物成熟度的指标^[11],研究区的碎屑岩 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 平均为 0.21 ,与杂砂岩(0.20 和 0.23)接近,成熟度较低。通过对比全球不同时代大陆造山带砂岩的化学成分,研究区砂岩样品应属于造山带砂岩,更接近于全球中新世造山带砂岩的化学成分,与本区所处的大地构造环境(苏鲁造山带为中生代形成的陆陆碰撞带)相吻合。根据砂岩的岩石类型判别图(图 2)可知,研究区碎屑岩主要为杂砂岩和长石砂岩,成熟度较低。样品 QS-3 由于 Na_2O 的质量分数过低而无法判别。

表 1 青山—垭口变质碎屑岩主量元素化学成分

Table 1 Major element composition of the metamorphic clastic rocks from Qingshan-Yakou area, Qingdao

样品编号	YK-1	QS-1	QS-2	QS-3	QS-4	QS-5	YK-2	YK-3	PR3	Pz	Mz-Kz
岩石名称	变质角岩	变质石英岩						造山带			
Na ₂ O	5	1.91	1	0.51	1.09	4.54	5.18	4.99	2.39	2.48	1.31
MgO	3.05	2.05	1.56	1.15	2.26	2.46	1.33	2.78	1.48	2.16	2.31
Al ₂ O ₃	15.56	13.73	12.97	12.47	13.29	13.65	14.72	13.87	10.47	10.62	10.43
SiO ₂	60.14	67.73	61.95	71.75	57.18	67.13	69.63	64.9	75.7	58.48	60.9
P ₂ O ₅	0.19	0.22	0.15	0.19	0.17	0.18	0.09	0.19	0.18	0.14	0.13
K ₂ O	1.96	4.39	7.29	5.23	5.84	3.01	3.56	2.68	2.47	1.73	1.77
CaO	6.08	5.72	5.62	3.4	6.59	3.78	2.56	4.92	1.72	9.73	8.57
TiO ₂	0.65	0.57	0.35	0.44	0.38	0.56	0.31	0.57	0.55	0.54	0.53
Fe ₂ O ₃	5.878	4.585	4.507	4.064	5.259	5.065	3.344	4.38	3	4.12	4.29

注:样品 PR3,Pz,M-Kz 的数据据文献[10]。量的单位:ω_B/ %。

表 2 青山—垭口碎屑岩微量及稀土元素化学成分

Table 2 Trace element and the REE compositions of the clastic rocks

样品编号	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
QS-1	25.3	1.93	9.61	70.7	41.1	8.08	15.4	21.3	28.1	34.9	64.4	7.78	29.3	5.27	1.21	4.59
QS-2	10.4	1.39	6.85	46.5	38.5	4.46	9.23	18	69	51.6	87.4	9.92	34.5	5.05	0.96	4.53
QS-3	11.1	1.43	8.01	42.5	39.2	7.21	16.8	23.2	75.2	37.9	71.5	8.55	31.5	5.5	1.15	4.7
QS-4	26.1	1.94	9.3	69.4	34.5	9.97	16.4	27.2	123.9	39.3	68.8	8.14	29.2	4.62	1.07	4.16
YK-1	49.5	2.79	12.5	78.9	49.3	11.8	27.4	9.84	85.8	44.7	84.4	9.51	34.6	6.1	1.2	5.26
YK-2	7.67	2.43	6.01	27.7	22.3	4.85	7.88	6.52	41.7	75	142.9	15.3	53	9.03	1.38	7.64
YK-3	8.32	3.27	12.9	72.4	46.3	7.05	17.6	16.5	60.3	43	81.8	9.98	37.4	6.82	1.35	6.05
样品编号	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE	HREE	L/H	La _N /Yb _N	δ(Eu)	δ(Ce)	
QS-1	0.68	3.67	20.4	0.73	2.03	0.31	1.98	0.3	157.15	0.00	0.00	10.00	11.88	0.74	0.90	
QS-2	0.58	2.89	16.3	0.55	1.59	0.23	1.47	0.23	201.50	146.82	192.26	15.69	23.67	0.60	0.87	
QS-3	0.67	3.46	19.1	0.68	1.87	0.28	1.86	0.28	169.90	106.93	276.43	11.31	13.74	0.68	0.92	
QS-4	0.57	2.99	16.8	0.6	1.72	0.26	1.74	0.28	163.45	115.15	254.50	12.27	15.23	0.73	0.88	
YK-1	0.77	4.2	22.8	0.82	2.38	0.37	2.42	0.37	197.10	141.51	302.23	10.88	12.45	0.63	0.94	
YK-2	1.07	5.53	27.6	1.04	2.82	0.42	2.7	0.39	318.22	182.69	276.15	13.73	18.73	0.50	0.96	
YK-3	0.94	5.25	29.8	1.07	3.06	0.49	3.19	0.49	200.89	71.17	344.83	8.78	9.09	0.63	0.92	

量的单位:ω_B/10⁻⁶。

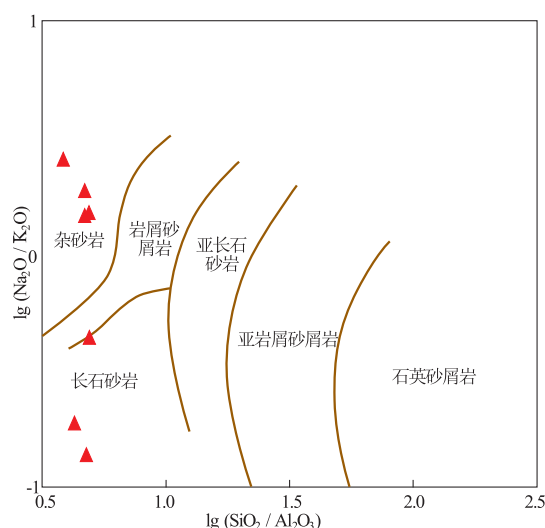
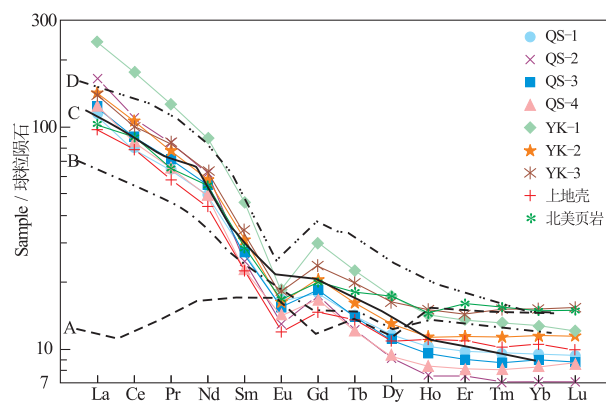
图 2 lg(Na₂O/K₂O)—lg(SiO₂/Al₂O₃)图解^[12]Fig. 2 lg(SiO₂/Al₂O₃)-lg(Na₂O/K₂O) diagram图 3 球粒陨石标准化模式配分曲线^[18]

Fig. 3 Chondrite normalized REE patterns

A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动陆缘; D. 被动陆缘

表 3 不同构造背景下的 t, s, m 值^[18]

Table 3 The t, s, m values of different tectonic backgrounds

参数	大洋岛弧	大陆岛弧	活动陆缘	稳定陆缘	研究区砂岩
$t = K_2O/TiO_2$	1.51	2.95	6.3	3.5	10.05
$s = 7lg K_2O/Na_2O + SiO_2/Al_2O_3$	≤ 2	2~6	2~6	≥ 6	6.45
$m = (Sc + Co)/(Th + La + Zr/10)$	1.87	0.46	0.26	0.14	

青山—垭口变质碎屑岩稀土元素测试结果(表 2)表明,碎屑岩的稀土元素配分型式均为轻稀土明显富集的右倾型(图 3),说明研究区碎屑岩具相同的物源区,与来自大陆边缘弧的现代深海浊积岩的稀土配分曲线一致^[13];稀土总量较高, $w(\sum REE) = 157.15 \times 10^{-6} \sim 318.22 \times 10^{-6}$,说明原岩为沉积岩中的砂岩或页岩;轻稀土明显富集, $\delta(Eu) = 0.5 \sim 0.74$,平均 0.64,接近 Condie^[14] 的古生代平均杂砂岩 $\delta(Eu)$ 值(0.62),具明显的负异常,表明研究区碎屑岩的源区地壳有强烈的深熔作用^[15]; $\delta(Ce) = 0.87 \sim 0.96$,平均 0.91,具弱的负异常,接近大陆边缘(1.03)而明显高于大洋中脊和大洋盆地(0.29, 0.60),指示研究区碎屑岩为大陆边缘的海相成因。球粒陨石标准化碎屑岩 $(La/Yb)_N = 14.97$,显示研究区具有被动大陆边缘的特征^[16-17];按 PAAS 标准化碎屑岩 $(La/Ce)_N = 1.09 \sim 1.23$,表明陆缘碎屑物质对该区的贡献较大。

4 构造环境及源区分析

碎屑岩的地球化学特征主要由其物质组成决定,而物源和构造环境又与物质组成有着非常密切的关系,可用碎屑岩的地球化学数据来恢复构造背景^[16,19]。根据前人关于砂岩的岩石化学、地球化学等资料,可以有效恢复砂岩沉积时的构造背景以及源区的地壳活动性。由表 3 可知,研究区碎屑岩 $s = 6.45$,为稳定陆缘环境; $t = 10.05$,为活动大陆边缘环境。

碎屑岩的主量元素比值常作为判断其构造背景的证据。因主量元素 CaO 和 Na_2O 极易迁移,会影响判断结果,本文采用迁移性弱或没有迁移性的 $Fe_2O_3, MgO, TiO_2, Al_2O_3, SiO_2$ 进行判别。主量元素 $TiO_2-(Fe_2O_3 + MgO)$ 图解(图 4)及 $Al_2O_3/SiO_2-(Fe_2O_3 + MgO)$ 构造环境判别图解(图 5)显示,研究区碎屑岩具有大陆岛弧和活动大陆边缘背景的源区。在微量元素 $La-Th-Sc$ 判别图解(图 6)中,研究区碎屑岩构造环境主要为活动大陆边缘和大陆岛弧,与主量元素判别结果一致。

Al_2O_3/SiO_2 可大致反映石英与长石及层状硅酸盐矿物之间的含量变化,进而可反映源区供源成分的变化^[20]。研究区碎屑岩平均 $Al_2O_3/SiO_2 = 0.21$,接近活动大陆边缘或岛弧的 $0.18 \sim 0.29$ ^[16],明显区别于被动大陆边缘的 Al_2O_3/SiO_2 值(0.1)。

上述多种地球化学分析结果的一致性,从总体上反映研究区碎屑岩是在活动大陆边缘或大陆岛弧环境下堆积的产物。研究区碎屑岩的稀土元素球粒陨石标准配分曲线与活动陆缘非常接近,而与其他构造背景的配分曲线区别明显,说明研究区碎屑岩很可能是在活动大陆边缘背景下沉积的。 La/Sc 值作为区分超基性-基性与酸性物质成分的判别指标^[22],对判别平均源区成分较为敏感。在 $La/Sc-Co/Th$ 图解(图 7)中,从中性岩浆到酸性岩浆, La/Sc 值增大而 Co/Th 值减小。研究区碎屑岩 $Co/Th = 0.34 \sim 1.08$, $La/Sc = 3.33 \sim 12.48$,多在 $3.33 \sim 4.73$,在 $La/Sc-Co/Th$ 图解中,样品点主要投影在模式岩浆系列成分的酸性火山岩和显生宙克拉通砂岩之间,说明其化学成熟度为中等。

由于 U 的氧化作用($U^{4+} \rightarrow U^{6+}$)以及在风化过程中会流失,沉积岩的 Th/U 值会随着风化作用强度的增加而增加。 $Th/U > 4$,沉积岩的形成过程与风化历史有关;而 $Th/U > 5$,说明沉积岩的母岩曾

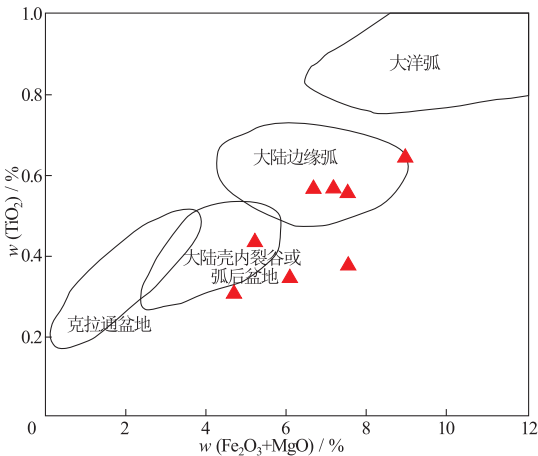


图 4 $TiO_2-(Fe_2O_3 + MgO)$ 图解^[21]

Fig. 4 $TiO_2-(Fe_2O_3 + MgO)$ diagram

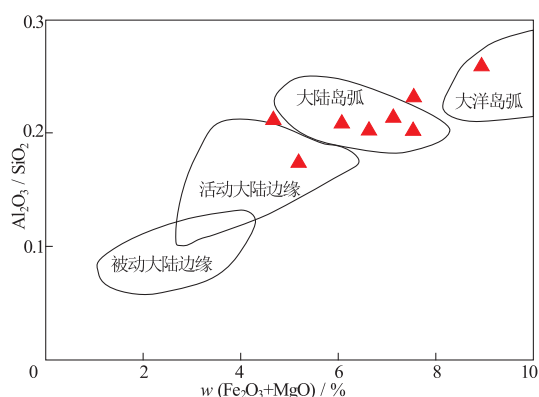
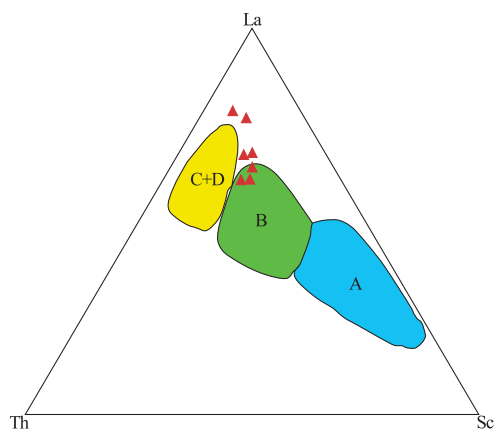
图 5 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ 图解^[16]Fig. 5 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ diagram

图 6 La—Th—Sc 图解

Fig. 6 La—Th—Sc 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

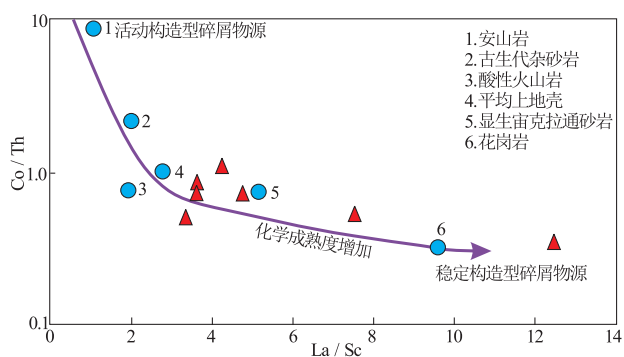
图 7 La/Sc—Co/Th 图解^[19]

Fig. 7 La/Sc—Co/Th diagram

经历了明显的风化作用^[19]。Th/U—Th 图解显示 (图 8), 研究区碎屑岩的 $\text{Th}/\text{U} > 3.8$ (上地壳平均值), 接近 PAAS (4.97)^[23], 反映该套碎屑岩经历了相对简单的沉积演化过程。

Roser 和 Korsch^[24] 根据砂岩和泥岩的主量元素判别函数, 将碎屑岩的源岩分为 4 个主要源区, 在

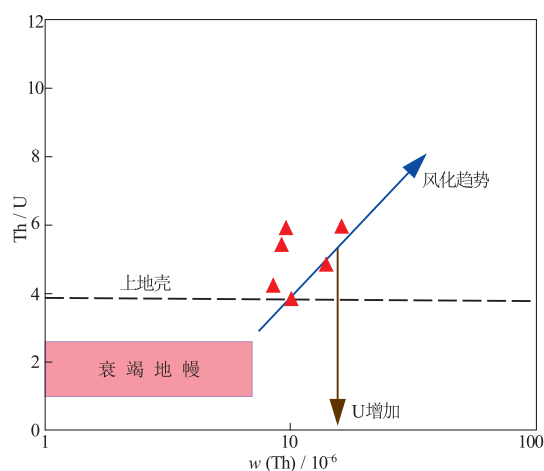


图 8 Th/U—Th 图解

Fig. 8 Th/U—Th diagram

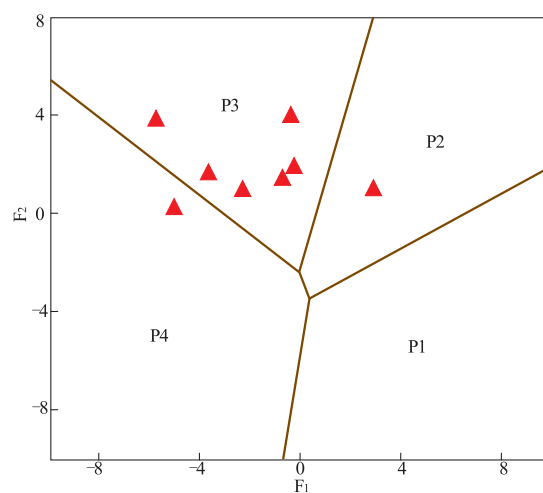
图 9 碎屑岩 F1—F2 判别图^[24]

Fig. 9 F1—F2 discrimination diagram of the clastic rocks

P1. 主要为基性及少许中性火成岩源区; P2. 主要为安山质源区 (中性); P3. 长英质源区 (活动大陆边缘弧); P4. 成熟大陆源区或再旋回造山带源区石英沉积物

F1—F2 判别图 (图 9) ($F1 = -1.773 \text{TiO}_2 + 0.607 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76 \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})} - 1.5 \text{MgO} + 0.616 \text{CaO} + 0.509 \text{Na}_2\text{O} - 1.224 \text{K}_2\text{O} - 9.09$; $F2 = 0.445 \text{TiO}_2 + 0.07 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25 \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})} - 1.142 \text{MgO} + 0.438 \text{CaO} + 1.475 \text{Na}_2\text{O} + 1.426 \text{K}_2\text{O} - 6.861$) 中, 研究区碎屑岩基本都落在长英质火山岩的源区, 构造环境属于成熟的大陆边缘弧和大陆转换边缘, 主动的、被切割的大陆岩浆弧, 说明研究区的碎屑沉积岩可能来自切割的岩浆岛弧源区。

Shaw^[25] 和 Floyd 等^[26] 研究认为, 碎屑岩中 K 和 Rb 的含量可反映碎屑沉积岩的物源特征。研究区碎屑岩的 K_2O 和 Rb 含量说明其碎屑物质主要来

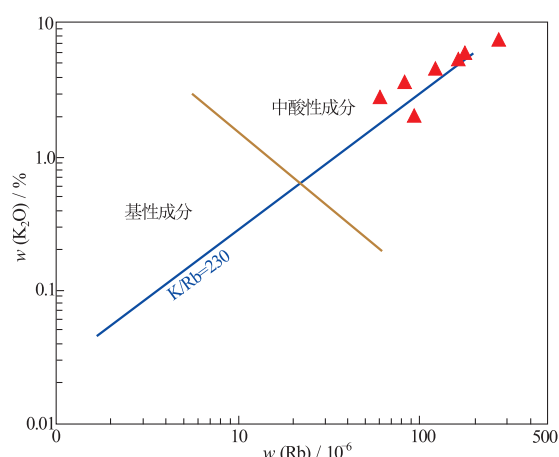
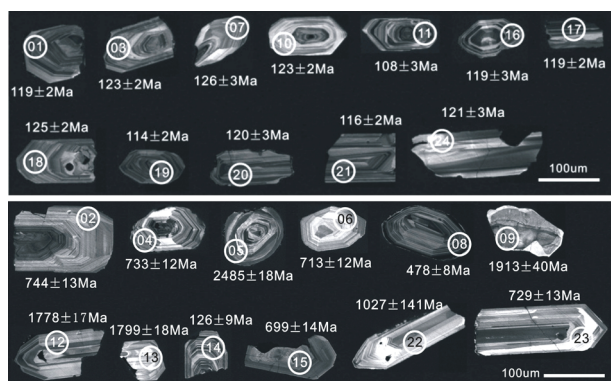
图 10 K₂O—Rb 图解Fig. 10 K₂O-Rb diagram

图 11 崂山垭口 LSYK 的岩浆锆石和碎屑锆石 CL 图像

Fig. 11 CL Image of zircon and detrital zircon from magma of Qingshan bay-Yakou area, Qingdao

- a. 崂山 LSYK 的岩浆锆石 CL 图像;
b. 崂山 LSYK 的碎屑锆石 CL 图像

自中-酸性的火成岩源区(图 10)。

Co, Ni 具有亲铁性, 其含量多少与岩石中镁铁质组分密切相关^[27]。页岩和黏土中富集 Co 和 Ni, 砂岩中则很低 (0.3×10^{-6} 和 2×10^{-6})。研究区碎屑岩 Co, Ni 质量分数平均值分别为 7.63 和 15.82, 这种高含量反映了物源的成分, 即镁铁质岩石作为碎屑岩的物源参与了沉积成岩过程。

5 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄

对崂山垭口凝灰岩样品 LSYK 中 24 粒锆石点进行 LA-ICP-MS U-Pb 测试, 在锆石 CL 发光图像中, 可见大部分无色透明, 颗粒形状规则, 金刚光泽, 晶体呈柱状, 自形-半自形, 粒径 $80 \sim 150 \mu\text{m}$ (图

11); 过半数锆石具清晰生长环带, 其中 12 粒 (01, 03, 07, 10, 11, 16~21, 24) 为典型岩浆型锆石, 其 U, Th 含量范围较大 ($w(\text{U}) = 205 \times 10^{-6} \sim 1\,134 \times 10^{-6}$, $w(\text{Th}) = 252 \times 10^{-6} \sim 1\,560 \times 10^{-6}$), $\text{Th}/\text{U} = 0.59 \sim 2.24$, 且 Th 与 U 表现为一定的正相关; 这些岩浆锆石年龄为 $108 \sim 126 \text{ Ma}$, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄 ($118.9 \pm 3.3 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 5.6$ ($n = 12, 2\sigma$)), 该年龄代表了晶屑凝灰岩的结晶年龄 (图 11a)。另有 11 粒锆石磨圆度较好, 为继承性锆石, CL 图像明显发光暗, 环带结构不甚清楚, U 和 Th 含量分别 $106 \times 10^{-6} \sim 895 \times 10^{-6}$ 和 $68 \times 10^{-6} \sim 509 \times 10^{-6}$, $\text{Th}/\text{U} = 0.69 \sim 5.82$, Th 和 U 之间有良好的正相关性, 继承性锆石的年龄由老到新为 ($2\,490 \pm 37$) $\sim$ (487 ± 8) Ma (图 11b)。

凝灰岩样品 LSYK 中共 24 个锆石测点获得的锆石 U-Pb 年龄, 分为岩浆锆石年龄和继承性锆石年龄。岩浆锆石的加权平均年龄为 (118.9 ± 3.3) Ma (图 12), 对应地质时代早白垩世 Aptian 阶 ($112 \sim 125 \text{ Ma}$), 代表了晶屑凝灰岩锆石的结晶年龄 (即沉积年龄) 为早白垩世。继承性锆石所记录年龄信息复杂, 从寒武纪一直到古元古代: $487 \sim 2\,490 \text{ Ma}$, 主要年龄段集中在中新元古代, 缺乏古生代和早-中中生代的继承性锆石, 说明当时的物源主要为前古生界变质岩系, 这一推论还需继续大量收集继承性锆石年龄数据证实。崂山垭口锆石的最大年龄为 ($2\,490 \pm 37$) Ma, 指示当时下地壳古老的碎屑锆石抬升至地表, 作为主要物源区向盆地供应物源; 缺乏古生界和早-中中生界的碎屑锆石, 说明在该套地层沉积时, 物源区主要出露前古生界地层, 古生界—中生界缺失的原因或因源区持续隆起未接受沉积, 或因原有地层已被剥蚀殆尽。

6 结论

(1) 青岛青山湾—垭口碎屑岩主要为杂砂岩和长石砂岩, 成熟度较低, 与中生代造山带砂岩类似, 岩浆锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄 (118.9 ± 3.3) Ma, 地质年代早白垩纪。轻稀土明显富集, Eu 负异常明显, Ce 具弱的负异常, 指示该白垩纪碎屑岩或为大陆边缘海相成因。

(2) 多种构造环境判别图解及元素比值反映出研究区碎屑岩是活动大陆边缘或大陆岛弧环境下堆积的产物, 稀土元素球粒陨石标准化配分曲线进一

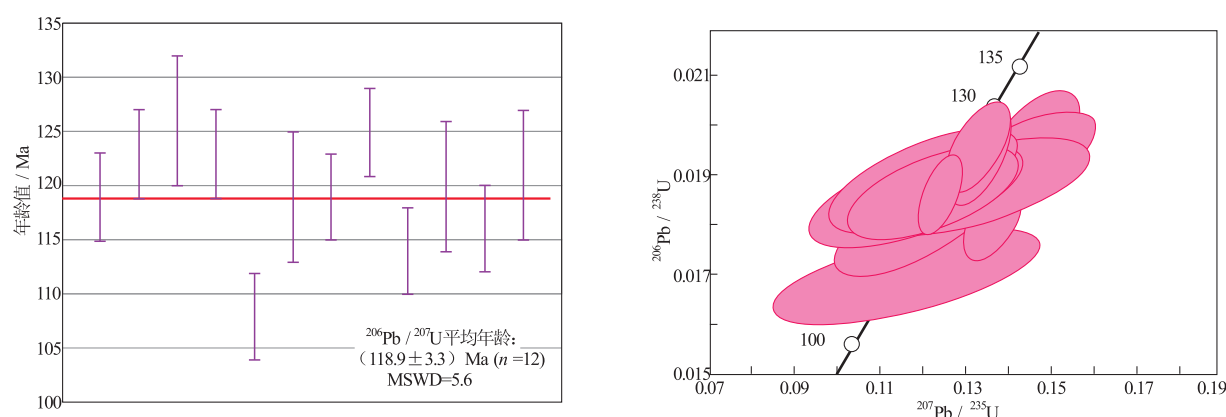


图 12 崂山凝灰岩中岩浆锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 12 LA-ICP-MS U-Pb age dating concordant diagram of zircon from magma in tuff of Qingshan bay-Yakou area, Qingdao

步说明研究区碎屑岩很可能是在活动大陆边缘的背景下沉积的,经历了相对简单的沉积演化过程。

(3)主微量元素分析揭示研究区碎屑岩的物源主要来自富含长英质的火成岩区,亲铁性的 Co, Ni 含量较高说明铁镁质岩石也作为物源参与到碎屑岩的沉积成岩过程中。

致谢:中国地质调查局、青岛海洋地质研究所和实验中心为本项目的开展提供了大力支持和帮助,在此深表感谢。

参考文献:

- [1] 李双应,岳书仓,杨建. 皖北新元古代刘老碑组页岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 地质科学, 2003, 38(2): 241-253.
- [2] Cullers R L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies[J]. Lithos, 2000, 51(3): 181-203.
- [3] Yan Q R, Gao S L, Wang Z Q, et al. Geochemical constraints on the provenance, depositional environment and tectonic settings of the Songliao Prototype Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(4): 455-462.
- [4] Dickinson W R, Valloni R. Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins[J]. Geology, 1980, 8: 82-86.
- [5] Zerk H, Chemale Jr F, Schultz C L, et al. Tectonics and sedimentation in southern South America during Triassic[J]. Sedimentary Geology, 2004, 166: 265-292.
- [6] 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991: 1-639.
- [7] 付永涛,虞子冶. 青岛垭口一八仙墩变质海相碎屑岩的属性和构造意义[J]. 地质科学, 2010, 45(1): 207-227.
- [8] 吴拓宇,赵淑娟,付永涛. 青岛八仙墩海相碎屑岩的岩石地球化学特征及其油气研究意义[J]. 地质科学, 2010, 45(4): 1156-1169.
- [9] 赵广涛,曹钦臣,王德滋,等. 崂山花岗岩锆石 U-Pb 年龄测定及其地质意义[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3): 382-388.
- [10] 李双应,李任伟,岳书仓,等. 安徽肥西中生代碎屑岩地球化学特征及其对物源制约[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 667-676.
- [11] Roser B P, Korsch R J. Geochemical characterization, evolution and source of a Mesozoic accretionary wedge: the Torlesse terrane, New Zealand[J]. Geological Magazine, 1999, 136(5): 493-512.
- [12] Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and sandstone[J]. Berlin: Springer-Verlag, 1972, 62.
- [13] McLennan S M, Talor S R, McCulloch M T, et al. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1990, 54: 2015-2050.
- [14] Condie K C. Chemical composition and evolution of upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales[J]. Chem. Geol., 1993, 104(1/4): 1-37.
- [15] 刘飞. 松潘—甘孜及龙门山地区碎屑沉积岩地球化学研究[D]. 北京:中国地质大学, 2006.
- [16] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91(6): 611-627.
- [17] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1986, 92: 181-193.
- [18] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Province and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97-113.
- [19] McLennan S M, Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends[J]. Jour. Geol., 1991, 99: 1-21.
- [20] Floyd P A, Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscottho basin, south Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones[J]. Jour. Geol. Soc. London, 1987, 144(4): 531-535.

- [21] Bhatia M R, Talor S R. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: A study from the Tasman geosyncline, Australia [J]. *Chemical Geology*, 1981, 33: 115–125.
- [22] Taylor S R, McLennan S M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*[M]. London: Blackwell Scientific Publication, 1985: 9–140.
- [23] 龙晓平. 新疆阿尔泰古生代碎屑沉积岩的沉积时代、物质来源及其构造背景[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007.
- [24] Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suits determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. *Chemical Geology*, 1988, 67: 119–139.
- [25] Shaw D M. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1968, 32: 573–602.
- [26] Floyd P A, Winchester J A, Park R G. . Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the early Proterozoic Loch Lomond group of Gairloch, Scotland[J]. *Precambrian Research*, 1989, 45(1/3): 203–214.
- [27] 李双应, 李任伟, 孟庆任, 等. 大别山东南麓中生代碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1157–1166.

Petrogeochemical characteristics and provenance of matasedimentary rocks in Qingshan bay-Yakou area, Qingdao

HAN Zongzhu¹, CHEN Xiaolin¹, XU Hong²,

ZHOU Yaoqi³, LI Min¹, ZHANG He¹, XU Cuiling¹

(1. *Marine geology, Ocean University of China, Qingdao, 266100, Shandong, China;*

2. *Key Laboratory of Marine Resources & Environmental Geology, Ministry of Land & Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao, 266071, Shandong, China;*

3. *China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong China*)

Abstract: There is a shallow metamorphosed sedimentary sequences of terrigenous siliciclastic rocks in Qingshan bay-Yakou area, Qingdao. LA-ICP-MS U-Pb dating age of zircon of the overlying magma is (118.9 ± 3.3) Ma. The clastic rocks are in low maturity similar to Meso-Cenozoic sandstones from orogenic belt. Curve of the chondrite-normalized REE patterns of the clastic rocks are characterized by decline to right and enrichment of LREE similar to those of the active continental margin indicating that they share the same tectonic setting. Weak negative Ce anomaly of the patterns implies the terrigenous contribution, as well as marine origin. $(La/Ce)_N(PAAS)$ show the major contribution of terrigenous clastic materials to these clastic rocks. The geotectonic discrimination diagrams of major and trace elements characterize the active continental margin and island arc environment and simple sedimentary evolution of the clastic rocks in the study area. Combined with characteristics of the REE patterns the clastic rocks may be deposited at the active continental margin. The analysis of major elements and trace element reveals that the provenance of the clastic rocks is rich in felsic materials and mafic materials incorporated with the rock-forming process.

Key Words: clastic rocks; active margins; provenance; felsic rock; Shandong province