

文章编号: 1006-6616 (2010) 01-0011-40

东昆仑造山带纳赤台群形成的 大地构造环境探讨

倪晋宇, 胡道功, 周春景

(中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 纳赤台群是东昆仑造山带重要的岩石地层单位, 对恢复早古生代地质演化历史具有重要意义, 但对其形成构造环境分歧较大。在野外详细地质填图的基础上, 对东昆仑造山带奥陶—志留系纳赤台群碎屑岩进行地球化学分析, 以探讨东昆仑早古生代构造环境, 为东昆仑早古生代构造演化研究提供地球化学证据。研究结果表明, 纳赤台群形成于被动大陆边缘, 而非活动大陆边缘的弧前盆地沉积, 该结果与前人根据地质分析得出的结论一致。

关键词: 岩石地球化学; 构造环境; 纳赤台群; 东昆仑造山带

中图分类号: P595

文献标识码: A

东昆仑造山带经历了加里东期和印支期多次造山运动, 形成了典型的复合造山带^[1]。东昆仑山经历的历史长、构造运动次数多、改造作用强烈, 早古生代的地质历史以往知之甚少。虽然近年来区域地质填图和综合研究结果表明泥盆系牦牛山组磨拉石建造标志着早古生代造山运动的结束^[1-4], 但由于对纳赤台群形成构造环境存在认识上的分歧^[2,4], 制约了东昆仑早古生代构造演化的深入研究。李荣社等在综合分析昆仑山地区 1:250 000 地质填图成果基础上, 认为纳赤台群形成于弧前盆地沉积, 与超镁铁岩等共同组成弧前复理石增生楔杂岩带^[2]。在庫木庫里盆地以东, 纳赤台群与乌妥—诺木洪镁铁质—超镁铁质混杂岩紧密共生, 火山岩和碎屑岩地球化学及粒度分析显示为与岩浆弧关系密切的沉积环境^①。潘裕生等基于对东昆仑早古生代地质演化历史研究, 提出纳赤台群碎屑岩、碳酸盐岩和浊积岩组合形成于活动陆缘^[4]。许志琴等根据区域岩石、地层及地壳变形特征, 提出东昆仑南地体的早古生代构造体制为被动陆缘单元^[1]。

广泛分布于东昆仑东段的奥陶—志留系纳赤台群为早古生代构造演化重要的沉积记录。笔者所在的研究组最近对东昆仑造山带进行了多方面的研究^[5-11]。本文在野外详细地质填图的基础上, 选择格尔木水泥厂地区分布面积较大的纳赤台群碎屑岩进行地球化学分析, 以探讨东昆仑早古生代构造环境, 为东昆仑早古生代构造演化研究提供地球化学证据。

收稿日期: 2009-12-04

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (1212010711510) 资助。

作者简介: 倪晋宇 (1983-), 男, 硕士研究生, 构造地质学专业。E-mail: nijy83@163.com

① 中国地质大学 (武汉) 地质调查研究院. 1:250 000 阿拉克湖幅区域地质调查报告. 2003.

1 区域地质背景与采样点地质特征

研究区位于东昆仑造山带东段的东昆仑南地体,其南北两侧的巴颜喀拉地体和东昆仑北地体分别由昆南—阿里玛卿断裂和昆中断裂与之相隔^[1]。东昆仑北地体以出露古老变质岩为特征,主要由高角闪岩相—麻粒岩相变质的新元古界万宝沟群碎屑岩和碳酸盐岩所组成,上部被牦牛山组磨拉石建造不整合覆盖。早古生代及三叠纪花岗岩侵入其中。巴颜喀拉地体主要由三叠系巴颜喀拉山群和少量新生代地层所组成。东昆仑南地体下部由新元古界万宝沟群和奥陶—志留系纳赤台群浅变质碎屑岩、火山岩和碳酸盐岩组成,牦牛山组磨拉石建造和下三叠统洪水川组碎屑岩不整合在前泥盆系之上。

纳赤台地区的纳赤台群分布于青藏公路两侧、大干沟南北两侧和水泥厂东一带(见图1),由水泥厂组灰黑色灰岩、石灰厂组火山岩和碳酸盐岩、哈拉巴依沟组碎屑岩组成。其中火山岩和碳酸盐岩仅分布于水泥厂以北地区,其余均为哈拉巴依沟组灰—灰绿色含黄铁矿和菱铁矿颗粒的细砂岩,在小干沟南部被年龄为 $425.9 \pm 2.6 \text{ Ma}$ ^[5] 的流纹英安斑岩所侵入。

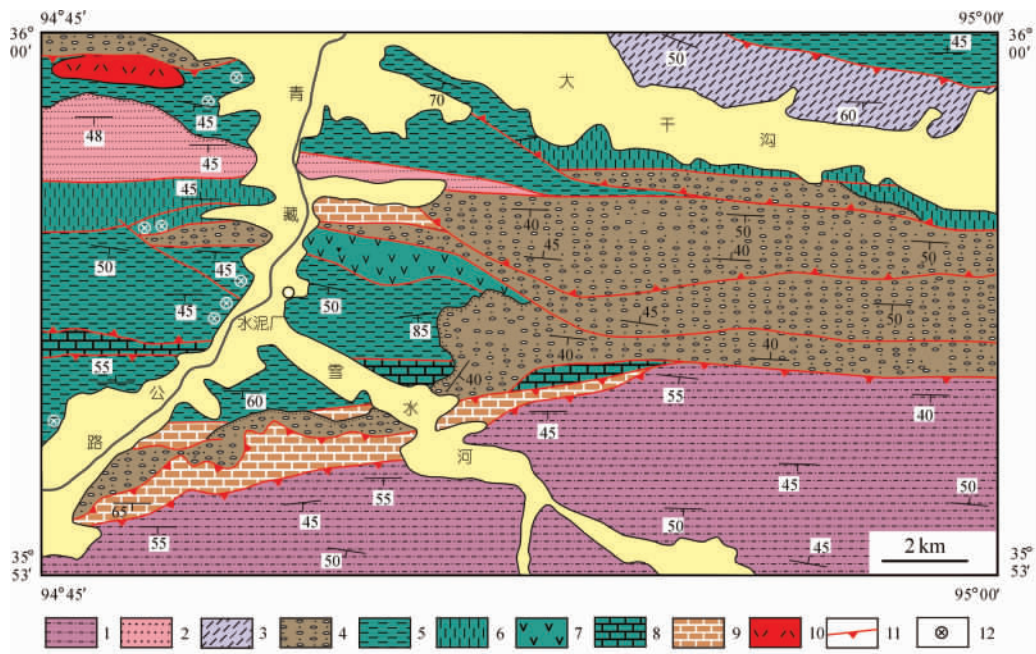


图1 格尔木南地质构造简图及采样点位置

Fig. 1 A map showing geology to south of Golmud and sample locations

- 1-中三叠统闹仓堡组; 2-下三叠统洪水川组; 3-上石炭统浩特洛洼组; 4-志留—泥盆系牦牛山组;
- 5-奥陶—志留系纳赤台群哈拉巴依沟组; 6-奥陶—志留系纳赤台群石灰厂组碳酸盐岩段; 7-奥陶—志留系纳赤台群石灰厂组火山岩段; 8-奥陶—志留系纳赤台群水泥厂组; 9-新元古界万宝沟群碳酸盐岩组;
- 10-志留纪花岗岩闪长斑岩; 11-逆断层; 12-采样点位置

本研究项目在青藏公路西侧哈拉巴依沟组碎屑岩分布区,沿露头连续的冲沟系统采集了12件灰色—灰绿色含有黄铁矿颗粒的砂岩样品。样品分析在国家地质试验测试中心完成,主量元素分析采用X荧光光谱仪(3080E)、稀土和微量元素分析采用等离子质谱(X-series)完成。

2 主量元素地球化学特征与构造背景判别

沉积岩中元素分布受诸多方面因素的影响和控制，并与构造环境密切相关^[12]。因此，沉积岩的主要元素可作为分析成因和构造环境的重要参数。

纳赤台群不同岩性段的砂岩样品主量元素分析结果如表 1。从表 1 可以看出，各样品的 SiO_2 含量较高，在 66.64% ~ 75.66% 之间。在 Bhatia^[13] 根据砂岩中各主量元素含量制定的 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ 物源区构造环境判别图（见图 2a）中，绝大多数点投入被动大陆边缘内，个别点落在被动大陆边缘边界，仅有 2 个点落在被动大陆边缘外附近；在 $(\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}) - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ 物源区构造环境判别图（见图 2b）中，绝大多数点落于被动大陆边缘内及其边界上，仅有 3 个点落于被动大陆边缘外附近。以 Bhatia^[13] 的砂岩 11 种主量元素含量作为判别砂岩物源区构造背景的主要参数、判别函数，计算出了判别函数（ F_1 、 F_2 ）值（见表 2），并根据两组函数值做出了物源区构造背景的主量元素判别图（见图 2c），该判别图中，除一个点落在被动大陆边缘边界上，其他所有点均落入被动大陆边缘内。在 Roser^[14] 的 $(\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O})$ 判别图解（见图 2d）中，大部分点落入被动大陆边缘内，个别点落在被动大陆边缘与主动大陆边缘的边界和主动大陆边缘内。综合上述各判别图，说明该地区纳赤台群砂岩物源区属于被动大陆边缘。

3 微量元素地球化学特征与构造背景判别

研究表明，砂岩的结构和主要元素的地球化学特征，均可作为判断构造环境和源区的参数，但微量元素，特别是不活动的微量元素，更为有效^[15]。一般认为，砂岩中一些不活泼的微量元素（如 La、Th、Y、Zr、Ti、Co、Ni）及其比值（如 Zr/Hf 、 Ta/Nb 、 La/Sc 、 Th/U 等）在沉积过程中不发生明显变化^[16]，因此，砂岩微量元素可以示踪物源区和构造环境。

表 1 纳赤台群砂岩氧化物含量分析结果

Table 1 The oxides contents in the sandstones of the Naij Tal Group

样号	B2019-1	B2019-2	B2019-3	B2020-1	B2021-1	B2030-1	B2033-1	B2035-1	B2038-1	B2040-1	B2527-1	B2527-2
$\text{SiO}_2 / \%$	72.24	71.31	71.03	69.13	73.16	69.28	75.66	75.49	75.26	73.05	70.03	66.64
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \%$	11.72	10.64	10.71	11.15	10.93	13.42	9.03	8.92	10.78	9.98	12.25	12.18
$\text{TiO}_2 / \%$	0.72	0.69	0.55	0.60	0.64	0.79	0.76	0.65	0.56	0.58	0.72	0.68
$\text{Fe}_2\text{O}_3 / \%$	1.62	0.44	0.06	1.76	0.88	1.44	0.08	0.22	2.35	0.05	0.04	0.20
$\text{FeO} / \%$	4.72	5.77	6.30	4.69	4.35	4.22	5.12	5.26	3.07	6.05	6.02	5.73
$\text{CaO} / \%$	0.64	0.96	0.88	2.16	1.96	1.08	1.30	1.58	0.82	0.70	0.91	1.82
$\text{MgO} / \%$	1.12	1.98	1.48	1.08	0.90	1.40	1.26	1.42	0.46	1.67	1.88	2.17
$\text{K}_2\text{O} / \%$	2.66	1.97	2.83	2.78	2.75	3.61	2.19	1.84	2.43	2.41	2.56	2.73
$\text{Na}_2\text{O} / \%$	1.67	1.76	1.35	1.39	1.59	1.76	1.31	1.63	2.15	1.36	1.97	1.97
$\text{MnO} / \%$	0.06	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.09	0.07	0.06	0.08	0.07	0.10
$\text{P}_2\text{O}_5 / \%$	0.12	0.12	0.09	0.11	0.15	0.16	0.13	0.11	0.13	0.09	0.12	0.11
$\text{H}_2\text{O}^+ / \%$	2.26	2.46	2.18	2.26	2.04	2.16	1.80	2.08	1.78	1.94	2.38	2.22
$\text{CO}_2 / \%$	0.69	1.21	1.81	3.02	1.03	1.21	0.95	1.03	0.60	1.72	0.95	2.93
$\text{LOI} / \%$	2.36	3.80	3.74	4.25	2.83	2.84	1.98	2.62	2.04	4.10	2.73	4.61

注：测试由国家地质试验测试中心完成

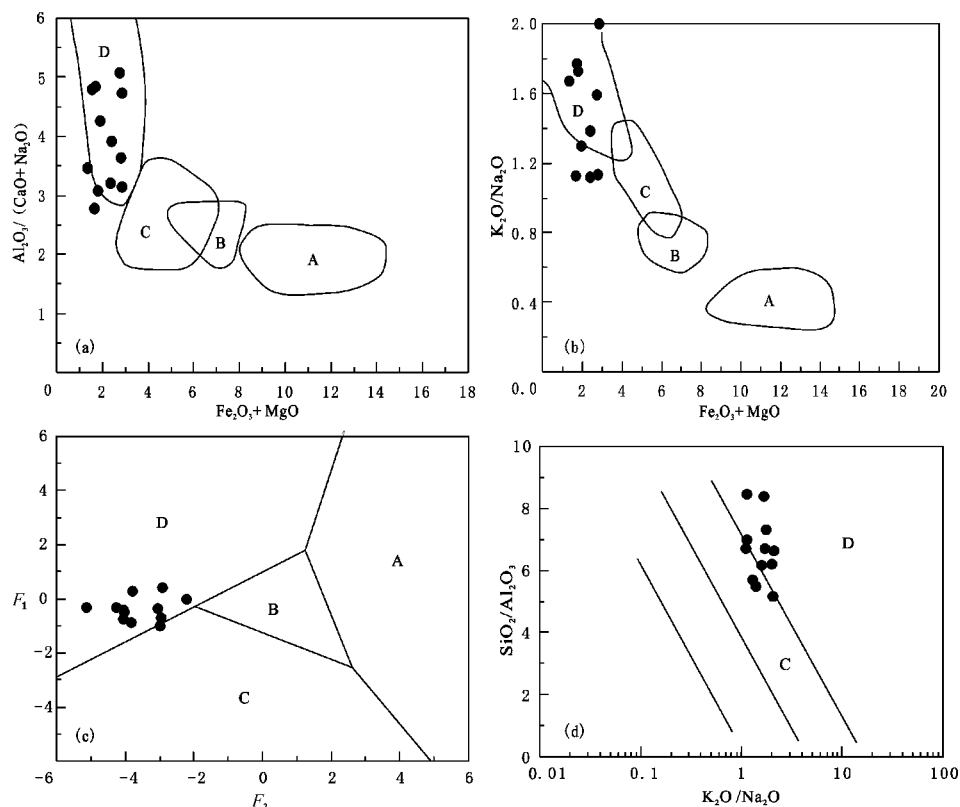


图2 纳赤群砂岩构造环境主量元素判别图 (a~c 图廓据文献 [13]; d 图廓据文献 [14])

Fig. 2 Discrimination for the tectonic setting of Naij Tal Group based on major element composition of sandstones

A-大洋岛弧; B-大陆岛弧; C-主动大陆边缘; D-被动大陆边缘

表2 判别函数值

Table 2 The values of discriminated function for the sandstones in Naij Tal Group

样品编号	判别函数 I (F_1)	判别函数 II (F_2)
B2019-1	-0.8695	-3.81949
B2019-2	-0.03518	-2.21155
B2019-3	-0.30753	-5.14782
B2020-1	-0.74394	-4.05372
B2021-1	-0.32706	-4.27205
B2030-1	-0.38786	-4.05076
B2033-1	-0.70125	-2.95303
B2035-1	-0.36615	-3.06974
B2038-1	-1.02432	-2.99432
B2040-1	-0.50085	-4.01773
B2527-1	0.272919	-3.80751
B2527-2	0.404782	-2.9178

$$F_1 = -0.0447\text{SiO}_2 - 0.972\text{TiO}_2 + 0.008\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.267\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.208\text{FeO} - 3.082\text{MnO} + 0.14\text{MgO} + 0.195\text{CaO} + 0.719\text{Na}_2\text{O} - 0.032\text{K}_2\text{O} + 7.51\text{P}_2\text{O}_5 + 0.303$$

$$F_2 = -0.421\text{SiO}_2 + 1.988\text{TiO}_2 - 0.526\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.551\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.61\text{FeO} + 2.72\text{MnO} + 0.881\text{MgO} - 0.907\text{CaO} - 0.177\text{Na}_2\text{O} - 1.84\text{K}_2\text{O} + 7.244\text{P}_2\text{O}_5 + 43.57$$

注: 判别函数公式据文献 [13]

纳赤台群 12 件砂岩样品主要以岩屑砂岩为主，微量元素含量分析结果见表 3。由表 3 可以看出，大部分样品间的微量元素化学成分无显著差异。将 12 件砂岩样品的微量元素含量和相关比值（见表 3）同 Bhatia 和 Crook^[16]所发表的砂岩微量元素含量与构造环境关系（见表 4）相对照，发现绝大部分样品结果反映了物源区为被动大陆边缘性质，极个别反映为主动大陆边缘，与通过主量元素对物源区性质进行判别的结果基本一致。

表 3 纳赤台群砂岩微量元素含量分析结果

Table 3 Contents of trace element of sandstones in Naij Tal Group

含量/ 10^{-6}	B2019-1	B2019-2	B2019-3	B2020-1	B2021-1	B2030-1	B2033-1	B2035-1	B2038-1	B2040-1	B2527-1	B2527-2	平均值
Th	20.80	16.40	15.90	16.50	19.90	14.40	22.30	18.90	17.60	15.50	18.10	16.50	17.73
U	3.01	2.20	2.29	2.26	2.58	2.87	2.94	2.91	2.70	2.09	2.91	2.33	2.59
Zr	301.00	270.00	183.00	284.00	335.00	286.00	372.00	322.00	241.00	188.00	260.00	179.00	268.42
Rb	106.00	81.50	115.00	103.00	93.60	138.00	89.70	75.80	86.70	99.20	106.00	111.00	100.46
Cs	5.82	4.50	6.58	9.52	5.67	7.80	8.22	5.22	4.84	5.35	6.32	6.63	6.37
Y	27.70	24.50	24.30	21.10	25.50	30.00	26.20	21.70	21.80	21.40	27.80	24.70	24.73
Mo	0.61	0.58	0.70	3.20	1.47	6.34	0.68	0.45	1.34	0.52	0.54	0.51	1.41
Ba	316.00	243.00	260.00	333.00	456.00	278.00	386.00	292.00	430.00	399.00	403.00	449.00	353.75
Co	13.90	5.08	8.21	18.50	9.27	15.20	13.60	12.40	7.07	4.86	18.20	16.60	11.91
Cr	74.00	81.00	61.40	65.80	67.50	506.00	72.40	66.40	62.90	60.70	81.10	72.20	105.95
Li	24.90	34.80	16.00	7.48	16.60	12.30	23.70	24.00	18.90	17.70	31.10	29.60	21.42
Sr	51.90	57.70	87.70	79.30	42.20	31.80	45.80	68.30	70.40	66.30	66.00	98.80	63.85
V	86.30	80.30	66.40	70.40	65.00	99.80	73.20	71.60	62.20	70.80	95.80	88.20	77.50
Sc	12.60	11.20	9.82	9.79	9.35	14.30	10.40	9.79	9.07	10.60	13.60	13.10	11.14
Nb	11.90	11.00	10.80	11.30	11.80	13.00	11.50	10.70	10.40	9.71	11.50	10.70	11.19
Hf	7.55	6.78	5.22	6.92	7.94	6.89	8.84	7.72	6.03	5.21	6.25	5.15	6.71

注：测试由国家地质试验测试中心完成

表 4 纳赤台群砂岩微量元素与构造性质的关系^[16]

Table 4 The relationship between the trace element contents and ratios for sandstone and tectonics

微量元素 含量或比值	大洋岛弧		大陆岛弧		活动大陆边缘		被动大陆边缘		纳赤台群
	$\bar{X}$	$\pm L$	$\bar{X}$	$\pm L$	$\bar{X}$	$\pm L$	$\bar{X}$	$\pm L$	
Th/ 10^{-6}	2.72	0.70	11.10	1.10	18.80	3.00	4.70	1.30	17.73
U/ 10^{-6}	1.09	0.21	2.53	0.24	3.90	0.50	3.20	0.80	2.59
Zr/ 10^{-6}	96.00	20.00	229.00	27.00	179.00	33.00	298.00	80.00	268.42
Hf/ 10^{-6}	2.10	0.60	6.30	2.00	6.80	—	10.10	—	6.71
Sc/ 10^{-6}	19.50	5.20	14.80	1.70	8.00	1.10	6.00	1.40	11.14
Cr/ 10^{-6}	37.00	13.00	51.00	6.50	26.00	4.90	39.00	8.50	105.95
Co/ 10^{-6}	18.00	6.30	12.00	2.70	10.00	1.70	5.00	2.40	11.91
Y/ 10^{-6}	19.50	5.60	24.20	2.20	24.90	3.60	27.30	5.30	24.73
La/ 10^{-6}	8.72	2.50	24.40	2.30	33.00	4.50	33.50	5.80	36.04
Ce/ 10^{-6}	22.53	5.90	50.50	4.30	72.70	9.80	71.90	11.50	67.72
Nd/ 10^{-6}	11.36	2.90	20.80	1.60	25.40	3.40	29.00	5.03	30.23
Sc/Cr	0.57	0.16	0.32	0.06	0.30	0.02	0.16	0.02	0.15
Zr/Th	48.00	13.40	21.50	2.40	9.50	0.70	19.10	5.80	15.09
La/Th	4.26	1.20	2.36	0.30	1.77	0.10	2.20	0.47	2.04
La/Y	0.48	0.12	1.02	0.07	1.33	0.09	1.31	0.26	1.46

注： $\bar{X}$ 表示平均值； L 表示误差

利用砂岩中 La、Th、Sc 元素含量及 La/Y、Sc/Cr 比值做出 La-Th-Sc 图 (见图 3a) 和 (La/Y) — (Sc/Cr) 图 (见图 3b)。从 La-Th-Sc 图中可以看出, 绝大多数点投入被动大陆边缘范围内, 极少数点落入主动大陆边缘内。(La/Y) — (Sc/Cr) 图中也清晰地反映出了被动大陆边缘的构造性质, 所有点均落在被动大陆边缘内或附近。

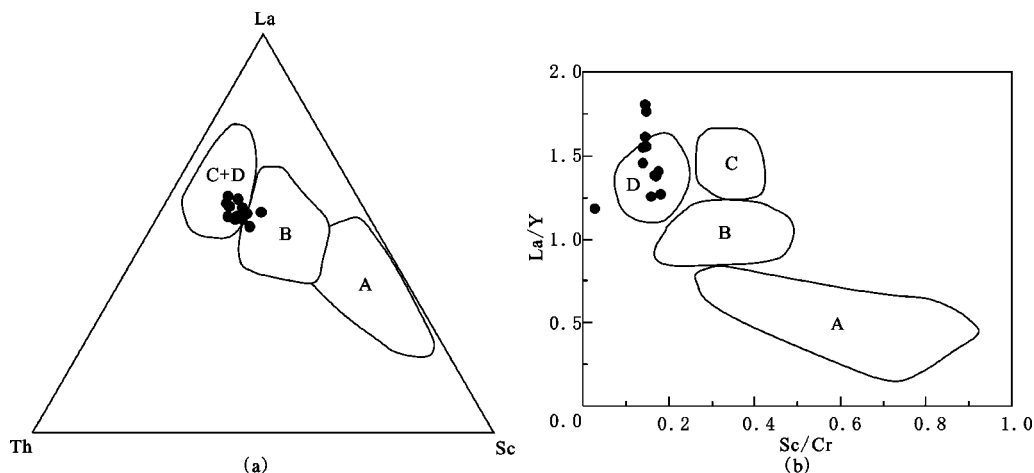


图 3 水泥厂纳赤台群砂岩构造环境微量元素判别图 (图廓据文献 [14])

Fig. 3 Discrimination for tectonic setting of Naij Tal Group based on trace element composition of sandstones at a cement factory in East Kunlun Mountains

A-大洋岛弧; B-大陆岛弧; C-主动大陆边缘; D-被动大陆边缘

被动大陆边缘杂砂岩的 La/Y 比值 (1.0 ~ 1.5) 类似于活动大陆边缘杂砂岩, 但可以根据其低的 Sc/Cr 比值 (一般低于 0.2) 相区别。被动大陆边缘杂砂岩的 La/Sc 比值较高 (一般 3 ~ 9 之间), Zr/Th 比值为 19.1 ± 5.8 (见表 4), 区别于其他环境的杂砂岩^[7]。纳赤台群砂岩样品 La/Y 比值介于 1.18 ~ 1.81, 平均 1.46; Sc/Cr 比值在 0.15 左右波动, 极个别偏小, 总体介于 0.03 ~ 0.18, 平均 0.15; La/Sc 比值介于 2.40 ~ 4.55, 平均 3.31; Zr/Th 比值介于 10.85 ~ 19.86, 平均 15.09。从数据结果来看, 各比值均反映了被动陆缘性质的构造背景。

4 稀土元素地球化学特征

在稀土元素示踪物源研究中, 配分模式曲线的几何形态比稀土元素的绝对丰度更有意义^[15]。纳赤台群砂岩稀土元素含量及特征参数见表 5。除个别样品稀土元素含量与平均含量相差较多外, 绝大多数样品稀土元素含量较稳定, 全部样品介于 138.85×10^{-6} ~ 215.71×10^{-6} 之间, 平均值为 167.992×10^{-6} , 样品稀土总量平均值基本与北美页岩平均值 (173.2×10^{-6}) 相当。从稀土元素球粒陨石标准化图 (见图 4) 中可以看出, 所有样品的稀土元素配分模式相似, 均表现为富集轻稀土, 重稀土元素分布模式平坦, 并且各样品间相同元素含量变化较小, 总体变化趋势趋于一致。12 件样品的 LREE/HREE 为 6.794 ~ 9.135, 平均为 7.86, 轻、重稀土分异度较大。Eu 表现出明显的负异常, δEu 值为 0.179 ~ 0.219, 平均 0.20, 远小于北美页岩标准值 ($\delta\text{Eu} = 0.65$)。Ce 表现出强烈的富集, δCe 为 1.911 ~ 2.056, 平均 1.982。各样品的 Ce_{anom} 值介于 0.281 ~ 0.313, 平均 0.297, Ce_{anom} 均大于 0。

表 5 纳赤台群砂岩稀土元素含量及特征参数

Table 5 REE contents and major parameters of the sandstones in Naij Tal Group

元素	B2019-1	B2019-2	B2019-3	B2020-1	B2021-1	B2030-1	B2033-1	B2035-1	B2038-1	B2040-1	B2527-1	B2527-2	平均值
La/ 10^{-6}	38.10	35.60	30.40	37.20	39.50	35.50	47.30	33.80	35.10	30.10	38.50	31.40	36.04
Ce/ 10^{-6}	74.30	69.70	56.30	68.60	74.70	64.80	90.20	63.40	63.20	54.40	74.20	58.80	67.72
Pr/ 10^{-6}	8.67	8.03	6.88	8.21	8.59	7.93	10.50	7.65	7.70	6.72	8.62	7.15	8.05
Nd/ 10^{-6}	32.60	30.50	26.20	30.40	32.50	30.30	38.50	28.70	28.50	25.20	32.40	27.00	30.23
Sm/ 10^{-6}	6.28	5.85	4.99	5.70	6.14	5.89	7.02	5.42	5.49	5.02	6.39	5.51	5.81
Eu/ 10^{-6}	1.35	1.15	1.00	0.98	1.21	1.16	1.30	1.03	1.08	1.01	1.31	1.06	1.14
Gd/ 10^{-6}	6.05	5.50	5.00	5.26	5.81	6.13	6.39	5.06	5.11	4.80	6.16	5.64	5.58
Tb/ 10^{-6}	0.94	0.82	0.80	0.73	0.83	0.93	0.92	0.74	0.74	0.72	0.90	0.83	0.83
Dy/ 10^{-6}	5.77	5.04	5.00	4.18	5.07	5.97	5.54	4.50	4.51	4.27	5.55	5.18	5.05
Ho/ 10^{-6}	1.18	1.00	1.01	0.85	1.02	1.21	1.07	0.89	0.89	0.88	1.12	1.01	1.01
Er/ 10^{-6}	3.35	2.97	2.87	2.47	3.01	3.48	3.12	2.64	2.64	2.60	3.26	2.96	2.95
Tm/ 10^{-6}	0.46	0.42	0.41	0.36	0.43	0.49	0.44	0.38	0.38	0.37	0.47	0.41	0.42
Yb/ 10^{-6}	3.18	2.78	2.72	2.34	2.88	3.09	2.96	2.49	2.51	2.41	3.01	2.83	2.77
Lu/ 10^{-6}	0.47	0.41	0.39	0.35	0.43	0.45	0.45	0.38	0.36	0.35	0.45	0.41	0.41
Σ REE/ 10^{-6}	182.70	169.77	143.97	167.63	182.12	167.33	215.71	157.08	158.21	138.85	182.34	150.19	167.99
LREE/ 10^{-6}	161.30	150.83	125.77	151.09	162.64	145.58	194.82	140.00	141.07	122.45	161.42	130.92	148.99
HREE/ 10^{-6}	21.40	18.94	18.20	16.54	19.48	21.75	20.89	17.08	17.14	16.40	20.92	19.27	19.00
δ Eu	0.22	0.20	0.20	0.18	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.19	0.20
δ Ce	2.05	2.06	1.94	1.96	2.01	1.92	2.03	1.98	1.92	1.91	2.03	1.96	1.98
Ce _{anom}	0.31	0.31	0.29	0.29	0.30	0.28	0.31	0.30	0.28	0.28	0.31	0.29	0.30

注：测试由国家地质试验测试中心完成

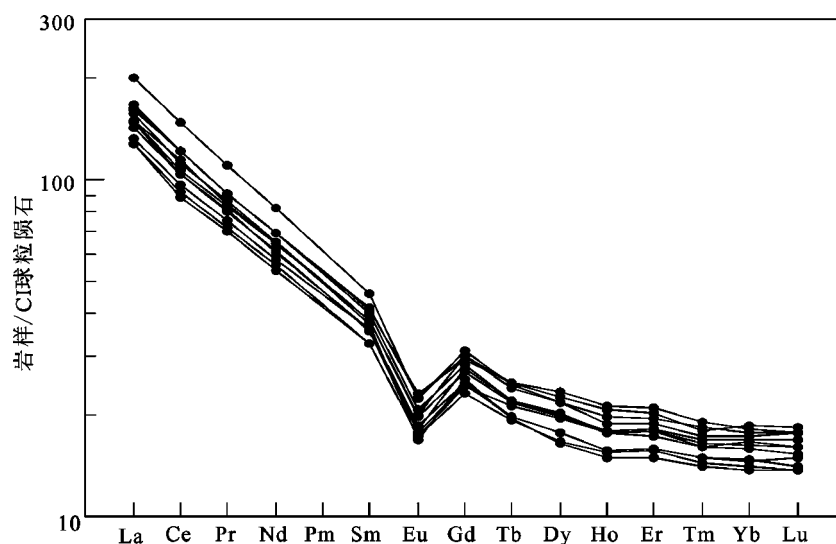


图 4 纳赤台群砂岩稀土元素配分模式曲线

Fig. 4 REE patterns of the sandstones in Naij Tal Group

从稀土元素配分模式曲线（见图 4）来看，该地区砂岩表现为被动大陆边缘沉积的沉积物特征^[15]，即富集轻稀土元素，重稀土元素分布模式平坦并普遍存在 Eu 负异常。

5 讨论与结论

目前在区域地质填图和综合研究中,大部分学者都将纳赤台群形成环境与昆中缝合带相联系,从而得出纳赤台群形成于活动大陆边缘的弧前盆地沉积^[2]或岛弧之间的活动类型沉积建造^[17]的认识。而目前对昆中缝合带的性质及形成时代争议很大^[18~22]。如高延林等认为属早古生代^[19];姜春发等认为属石炭纪^[21];而解玉月将其归入中元古代^[22]。因此,根据纳赤台群与昆中缝合带的空间配置关系判断纳赤台群形成构造环境还不能得出可靠的结论。

另一方面,地球物理资料证实,昆中缝合带深部向北陡倾,近地表向南倾斜。缝合带南部地壳平均厚度 55 km,北部地壳平均厚度 40 km,莫霍面沿断裂出现 7~10 km 的陡坎和台阶,两侧布格重力异常相差 80 mmT,电性层位发生错动。地表观察发现,沿缝合带发育大型断层带,北部的元古宙变质基底向南逆冲到中生代地层之上。沿断裂带蛇绿岩出露较少,由于未见超基性岩体伴生的深海远洋沉积物,沿断裂带分布的超基性岩体被认为是变薄了的陆壳下底辟侵位的上地幔物质^[4]。因此,纳赤台群是否构成弧前复理石增生楔杂岩带值得进一步研究。

东昆仑南地体中的纳赤台群碎屑岩地球化学分析结果表明,纳赤台群哈拉巴依沟组碎屑岩形成于被动大陆边缘,而非活动大陆边缘。这进一步佐证了前人根据区域地质分析所得出的东昆仑南地体的早古生代板块体制属于被动陆缘单元的结论。

参 考 文 献

- [1] 许志琴,杨经绥,李海兵,等. 造山的高原——青藏高原地体的拼合、碰撞造山及隆升机制 [M]. 北京:地质出版社,2007. 1~458.
XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, LI Hai-bing, et al. Orogenic plateaux-terrane amalgamation, collision and uplift in the Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. 1~458.
- [2] 李荣社,计文化,赵振明,等. 昆仑早古生代造山带研究进展 [J]. 地质通报,2007, 26 (4): 373~381.
LI Rong-she, JI Wen-hua, ZHAO Zhen-ming, et al. Progress in the study of the Early Paleozoic Kunlun orogenic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (4): 373~381.
- [3] 张雪亭,杨生德. 青海省区域地质概论 [M]. 北京:地质出版社,2007. 98~108.
ZHANG Xue-ting, YANG Sheng-de. The regional geology of Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. 98~108.
- [4] 潘裕生,周伟明,许荣华,等. 昆仑山早古生代地质特征与演化 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (4): 302~307.
PAN Yu-sheng, ZHOU Wei-ming, XU Rong-hua, et al. Geological features and evolution of Early Paleozoic in Kunlun orogenic belt [J]. Science in China (Series D), 1996, 26 (4): 302~307.
- [5] 周春景,胡道功,Barosh P J,等. 东昆仑三道湾流纹英安斑岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 28~35.
ZHOU Chun-jing, HU Dao-gong, Barosh P J, et al. Zircon U-Pb dating of the rhyolite-dcite porphyry in the Sandaowan of east Kunlun MTS and its geological significance [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 28~35.
- [6] 吴芳,张绪教,张永清,等. 东昆仑闹仓坚沟组流纹质凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 44~50.
WU Fang, ZHANG Xu-jiao, ZHANG Yong-qing, et al. Zircon U-Pb ages for rhyolite tuff of the Naocangjiangou Formation in the east Kunlun orogenic belt and their implication [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 44-50.

- [7] 高万里, 张绪教, 王志刚, 等. 基于 ASTER 遥感图像的东昆仑造山带岩性信息提取研究 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 59 ~ 69.
GAO Wan-li, ZHANG Xu-jiao, WANG Zhi-gang, et al. ASTER remote sensing image-based lithologic information extraction of the east Kunlun orogenic belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 59 ~ 69.
- [8] 张紫程, 张绪教, 高万里, 等. 东昆仑左行韧性剪切带形成时代的锆石 U-Pb 年龄证据 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 51 ~ 58.
ZHANG Zi-cheng, ZHANG Xu-jiao, GAO Wan-li, et al. Evidence of zircon U-Pb ages for the formation time of the east Kunlun left-lateral ductile shear belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 51 ~ 58.
- [9] 张耀玲, 张绪教, 胡道功, 等. 东昆仑造山带纳赤台群流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 21 ~ 27, 50.
ZHANG Yao-ling, ZHANG Xu-jiao, HU Dao-gong, et al. SHRIMP-based zircon U-Pb ages for rhyolite of the Nachitai Group in the east Kunlun orogenic belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 21 ~ 27, 50.
- [10] 薛腊梅, 赵希涛, 张耀玲, 等. 遥感技术在东昆仑新生代地质填图中的应用 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 70 ~ 77.
XUE La-mei, ZHAO Xi-tao, ZHANG Yao-ling, et al. Application of remote sensing technique in the east Kunlun Cenozoic geological mapping [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 70 ~ 77.
- [11] 陆露, 胡道功, 张永清, 等. 昆中断裂带同构造花岗岩斑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 36 ~ 43.
LU Lu, HU Dao-gong, ZHANG Yong-qing, et al. Zircon U-Pb age for syntectonic granitic porphyry and its tectonic significance in the middle Kunlun fault belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 36 ~ 43.
- [12] Siever R. Plate-tectonic controls on diagenesis [J]. Journal of Geology, 1979, 87 (2): 126 ~ 155.
- [13] Bhatia M R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones [J]. Journal of Geology, 1983, 91 (6): 611 ~ 627.
- [14] Roser B P, Korsch R J. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: A discussion [J]. Journal of Geology, 1985, 93 (1): 81 ~ 84.
- [15] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 125 ~ 129.
ZHAO Zhen-hua. Geochemical principles of trace elements [M]. Beijing: Science Press, 1997. 125 ~ 129.
- [16] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary Basin [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92 (2): 181 ~ 193.
- [17] 殷鸿福, 张克信, 陈能松, 等. 1:25 万冬给措纳湖幅 (I47C001002) 区域地质调查报告 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003.
YIN Hong-fu, ZHANG Ke-xin, CHEN Neng-song, et al. Regional geological report of Donggi Conag Hu Map (1:250 000) [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2003.
- [18] 王国灿, 张天平, 梁斌, 等. 东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“东昆中断裂带”地质涵义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24 (2): 129 ~ 133.
WANG Guo-can, ZHANG Tian-ping, LIANG Bin, et al. Composite ophiolitic mélangé zone in central part of eastern section of eastern Kunlun orogenic zone and geological significance of “Fault belt in central part of eastern section of eastern Kunlun orogenic zone” [J]. Earth Science-Journal of China University, 1999, 24 (2): 129 ~ 133.
- [19] 高延林, 吴向农, 左国朝. 东昆仑山清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义 [R]. 西安: 中国地质科学院西安地质矿产研究所, 1988. 17 ~ 28.
GAO Yan-lin, WU Xiang-nong, ZUO Guo-chao. The characters and tectonic significance of ophiolite first discovered in the east Kunlun area [R]. Xi'an: Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1988. 17 ~ 28.
- [20] 古风宝. 东昆仑地质特征及晚元古代-中生代构造演化 [J]. 青海地质, 1994, (4): 4 ~ 13.
GU Feng-bao. Geological characteristics of east Kunlun and tectonic evolution in late Palaeozoic-Mesozoic era [J]. Qinghai Geology, 1994, (4): 4 ~ 13.
- [21] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1 ~ 224.

JIANG Chun-fa , YANG Jing-sui , FENG Bing-gui , et al. Opening-closing tectonics of Kunlun orogenic zone [M]. Beijing: Geological Publishing House , 1992. 1 ~ 224.

[22] 解玉月. 昆中断裂东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境 [J]. 青海地质, 1998, (1): 27 ~ 36.

XIE Yu-yue. Features of ophiolite with different period in the Eastern sector of middle Kunlun fault and its original environment [J]. Qinghai Geology, 1998, (1): 27 ~ 36.

TECTONIC ENVIRONMENT OF NAIJ TAL GROUP IN THE EAST KUNLUN OROGENIC BELT

NI Jin-yu , HU Dao-gong , ZHOU Chun-jing

(*Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 , China*)

Abstract: The Naij Tal Group , an important stratigraphic unit , is of great significance to reconstruction of the geological evolution of the East Kunlun orogenic belt during the Early Paleozoic , but divergent opinions have been proposed about its tectonic environment. Based on close geological survey , a geochemical analysis has been made on the clastic rocks in the Ordovician–Silurian Naij Tal Group in East Kunlun orogenic belt , and the results demonstrate that this group was formed in passive continental margin , rather than in fore-arc basin on active continental margin. The study provides geochemical evidence for the study of early Paleozoic tectonic evolution in east Kunlun orogenic belt.

Key words: litho-geochemistry; tectonic setting; Naij Tal Group; East Kunlun orogenic belt