

青海格尔木市黑海地区三叠系巴颜喀拉山群变质碎屑岩地球化学特征及物源分析

佟鑫¹, 周汉文¹, 朱云海¹, 林启祥¹, 李益龙¹, 毛武林¹, 张贇²,
吴继光³, 马智勇⁴

(1. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074;
3. 广东省核工业地质局二九三大队, 广东 广州 510800; 4. 辽宁地质工程职业学院, 辽宁 丹东 118008)

摘要: 巴颜喀拉地块位于青藏高原东北部, 是古特提斯的主体, 对其进行深入的研究不仅对确定古特提斯的演化过程与方式具有重要意义, 而且对探讨该地区与古板块演化有关的成矿地质作用和矿产分布规律具有重要的现实意义。巴颜喀拉山群位于巴颜喀拉地块, 对其物源研究较为薄弱。碎屑岩中的碎屑组分特征和地球化学特征可以反映物源区和沉积盆地的构造环境。本文通过对三叠系巴颜喀拉山群变质碎屑岩岩相学特征、沉积结构特征、地球化学判别参数以及地球化学判别图解的研究, 结合前人在这一地区所做的如古水流等相关工作, 认为巴颜喀拉沉积盆地是在古老基底裂解的基础上形成的, 存在裂隙扩张、海水加深的过程, 具有大陆岛弧和活动大陆边缘型物源的特征, 接受其北部东昆仑造山带碎屑的沉积, 沉积物来自亲上地壳长英质源区。

关键词: 碎屑岩; 岩石学; 地球化学; 巴颜喀拉山群; 青海省

中图分类号: P588.21; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)04-0630-15

Geochemical characteristics and provenance analysis of the Triassic metasedimentary rocks of Bayan Har Group in Heihai area, Golmud City, Qinghai Province

TONG Xin¹, ZHOU Han-wen¹, ZHU Yun-hai¹, LIN Qi-xiang¹, LI Yi-long¹, MAO Wu-lin¹,
ZHANG Yun-yun², WU Ji-guang³ and MA Zhi-yong⁴

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China; 3. No. 293 Geological Party, Guangdong Nuclear Industry Geological Bureau, Guangzhou 510800, China; 4. Liaoning Geological Engineering Vocational College, Dandong 118008, China)

Abstract: The Bayan Har block, as the main body of Tethys, is located in the northeast of the Tibetan Plateau. In-depth study in this area is not only of great importance for determining the evolution of Tethys but also of important practical significance for the research on metallogenesis related to tectonic evolution and minerals distribution in this area. The Bayan Har Group is located in the Bayan Har block, where the research on its provenance is insufficient. Its detrital and chemical components can reflect the features of the provenance and tectonic setting. The authors' researches on petrological characteristics, depositional setting, geochemical indices and geochemical discrimination diagrams of clastic rocks of the Bayan Har Group, together with previous researches on paleocurrent of Bayan Har Group clastic rocks, suggest that the Bayan Har Triassic sedimentary basin was based

收稿日期: 2013-10-22; 修订日期: 2014-05-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41202038); 国土资源部区域地质调查项目(1212011086011); 中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项资金(CUG110804)

作者简介: 佟鑫(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事变质岩岩石学的研究, E-mail: tong1015236@163.com; 通讯作者: 周汉文, 男, 教授, 主要从事岩石学的研究, E-mail: h wzhou@cug.edu.cn.

on the splitting of the old basement, the process of rift expansion did exist, the depth of water was increased, the tectonic setting was mainly characterized by the continental island arc and active continental margin, and the deposited sediments was derived from felsic rocks of upper continental crust of East Kunlun orogenic belt in the north.

Key words: clastic rocks; petrology; geochemistry; Bayan Har Group; Qinghai Province

巴颜喀拉地块位于青藏高原东北部,被其北面的木孜塔格-昆仑-阿尼玛卿构造带、南面的西金乌兰-玉树-金沙江断裂带和东面的龙门山断裂带围限,呈倒三角形(图1)。可可西里-巴颜喀拉三叠纪沉积盆地是古特提斯的主体范畴,对其进行深入的研究不仅对确定古特提斯的演化过程与方式具有重要意义,而且对探讨该地区与古板块演化有关的成矿地质作用和矿产分布规律具有重要的现实意义。地质学界对其形成、演化等非常关注,但对其物源研究相对较少,各相关专著及文章对其沉积物质来源及盆地类型亦是众说纷纭。任纪舜(1999)、任纪舜等(2004)认为巴颜喀拉沉积盆地是奠基在劳亚南缘大陆壳之上的浊积岩盆地,其沉积物质来自其北侧劳亚大陆的加里东和海西造山区,特别是其临近的昆仑-祁连-秦岭造山系。朱迎堂(2006)认为,巴颜喀拉盆地的陆源碎屑物主要来自盆地周边南北两条重要的造山带:昆仑造山带和西金乌兰-金沙江造山带,前者是主要物质来源区,可能还有大量来自秦岭一大别山的物源。张以弗等(1991,1997)将其划入海西造山后三叠纪裂陷盆地或活动型内陆海盆地。部分学者认为巴颜喀拉盆地具有残留洋盆的性质(Sengor, 1984; Yin *et al.*, 1993; Raymond *et al.*, 1995)。针对巴颜喀拉山群形成背景这一重要问题,笔者对青海省格尔木市黑海地区三叠系巴颜喀拉山群浅变质碎屑岩进行了岩相学和岩石地球化学研究,以探讨其盆地类型及沉积物质来源。

1 区域地质背景

巴颜喀拉地块自北而南包括木孜塔格-昆仑-阿尼玛卿构造带、巴颜喀拉构造区、西金乌兰-玉树-金沙江构造带,巴颜喀拉地块东以龙门山推覆构造与四川盆地相隔,西部被阿尔金断裂系左行错断(图1)。

研究区位于青海省境内,地处青藏高原东北缘,行政区划属青海省海西蒙古族藏族自治州格尔木市管辖,总体南北高中间低,北部为近东西向的高原边

缘山系,昆仑山主脊呈北西西-南东东向位于研究区北侧。研究区巴颜喀拉山群岩性单调,主要由砂岩板岩组成,褶皱、断层发育(图1),断层走向基本呈北西-南东向。岩体呈串珠状沿断裂带侵入。

2 岩石学特征

在研究过程中,对巴颜喀拉山群(TB)变碎屑岩进行了剖面实测(图2、图3),由底到顶将其分为巴颜喀拉山群一组(TB₁)、二组(TB₂)和三组(TB₃),各组之间为整合接触关系。三组(TB₃)向上未见顶,一组(TB₁)下伏中下二叠统树维门科组(P₁₋₂sh)灰褐色厚层状礁前角砾岩,二者为断层接触。

一组(TB₁)为“砂、板互层”组,常见砂岩与板岩互层,岩性组合为灰色中薄层含岩屑、钙质不等粒变砂岩、变粉砂岩与板岩互层夹变粉砂岩和含砾变细砂岩及薄层微晶灰岩。内部发育递变层理和水平层理等;

二组(TB₂)为“砂岩夹板岩”组,是本文的主要研究对象,岩性组合为灰色、灰紫色中厚层砾质不等粒变砂岩,含钙、泥质变细、粉砂岩夹灰色板岩。含砾砂岩中,砾屑为复成分,主要有石英岩砾、安山岩砾、粘土岩砾、绢云母岩砾、粉砂岩砾等,大小0.5~1 mm,最大可达1.3 cm,棱角-次棱角状。变质砂岩具有变余砂状结构、变余不等粒砂状结构,发生了强烈的板理化,具有变余层理构造、板理构造。通过偏光显微镜观察,其变余碎屑矿物及变晶矿物定向排列,变余碎屑含量60%~75%,粒度一般在0.1~0.3 mm,少量样品达0.6~1 mm,磨圆差,棱角-次棱角状,但部分样品后期经历强劈理化过程,使之构造磨圆呈椭圆状。变余填隙物达25%~40%。变余碎屑主要为石英(35%~45%)、长石(15%~20%)和岩屑(10%~30%),岩屑成分为安山岩、燧石岩、石英岩、灰岩等(图4a、4b、4c),部分样品中可见碳酸盐岩碎屑(15%~20%)。部分样品中可见碎屑黑云母等不稳定矿物(图4d)。变晶矿物主要为白云母和不透明矿物。

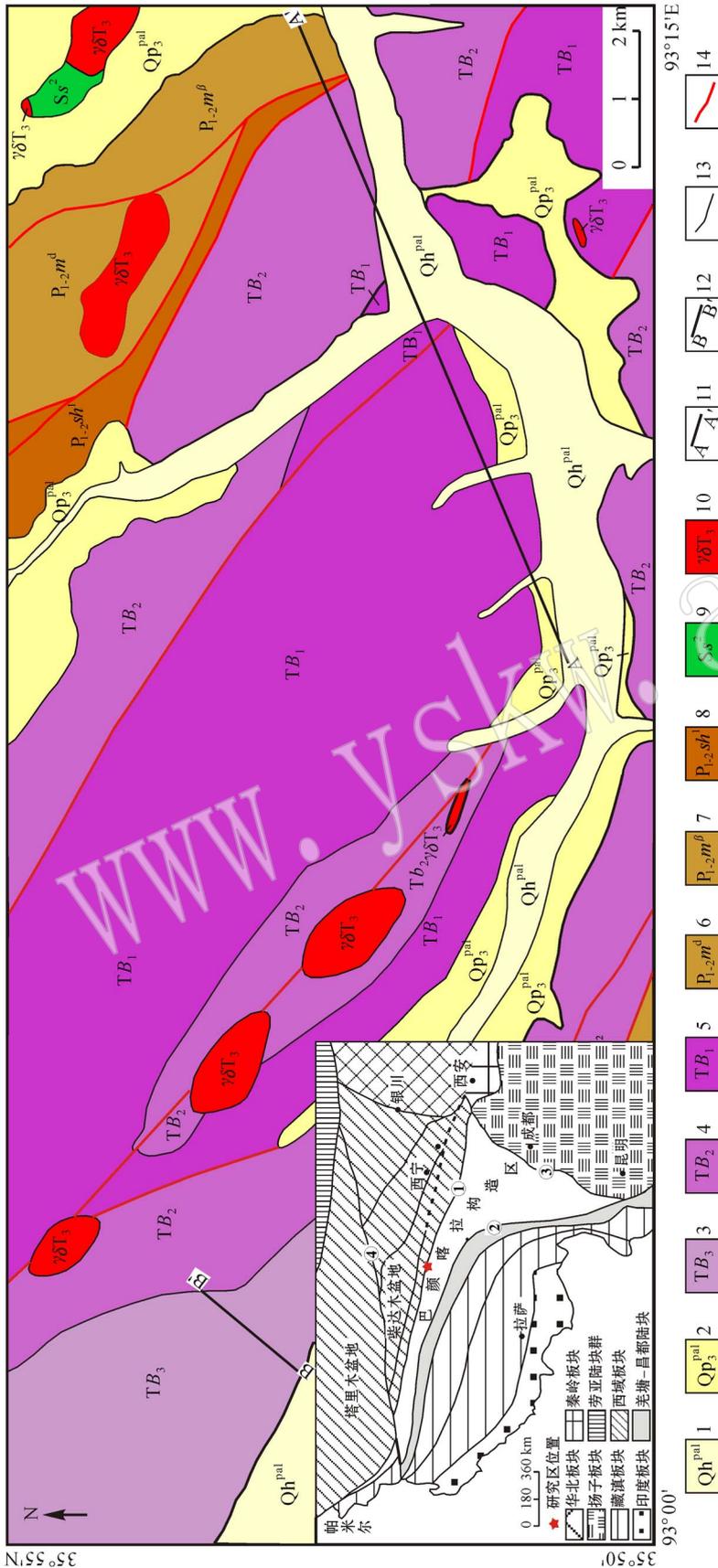


图 1 巴颜喀拉及邻区地层区划示意图[据程裕洪等(1994)、张雪亭(2005)修改]与研究区地质简图(据实测)

Fig. 1 Map of stratigraphic zoning in Bayan Har and its adjacent areas (modified after Cheng Yuqi *et al.*, 1994; Zhang Xueting *et al.*, 2005)

and simplified geological map of the study area (after field survey)

1—全新统洪冲积物; 2—上新统洪冲积物; 3—三叠系巴颜喀拉山群三组; 4—三叠系巴颜喀拉山群二组; 5—三叠系巴颜喀拉山群一组; 6—下中二叠统马尔争组碎屑岩段; 7—下中二叠统马尔争组玄武岩段; 8—下中二叠统树维门科组一段; 9—志留系寨什腾组二段; 10—晚三叠世中粗粒花岗岩闪长岩; 11—剖面 PM017 位置; 12—剖面 PM019 位置; 13—地质界线; 14—断层; ①—木孜塔格-昆仑-阿尼玛卿构造带; ②—西金乌兰-玉树-金沙江构造带; ③—龙门山断裂带; ④—阿尔金山断裂带

1—Holocene alluvium; 2—upper Pleistocene alluvium; 3—3rd formation of Triassic Bayan Har Group; 4—2nd formation of Triassic Bayan Har Group; 5—1st formation of Triassic Bayan Har Group; 6—classolite member of Lower-middle Permian Ma' erzhang Formation; 7—basalt member of Lower-middle Permian Ma' erzhang Formation; 8—1st member of Lower-middle Permian Shuweisienke Formation; 9—2nd member of Silurian Saishiteng Formation; 10—Late Triassic medium-coarse granodiorite; 11—location of profile PM017; 12—location of profile PM019; 13—geological boundary; 14—fault; ①—Muztagh-Kunlun-Anne Machin tectonic belt; ②—Xijir Ulan-Yushu-Jinshajiang tectonic belt; ③—Longmenshan fault belt; ④—Altun fault belt

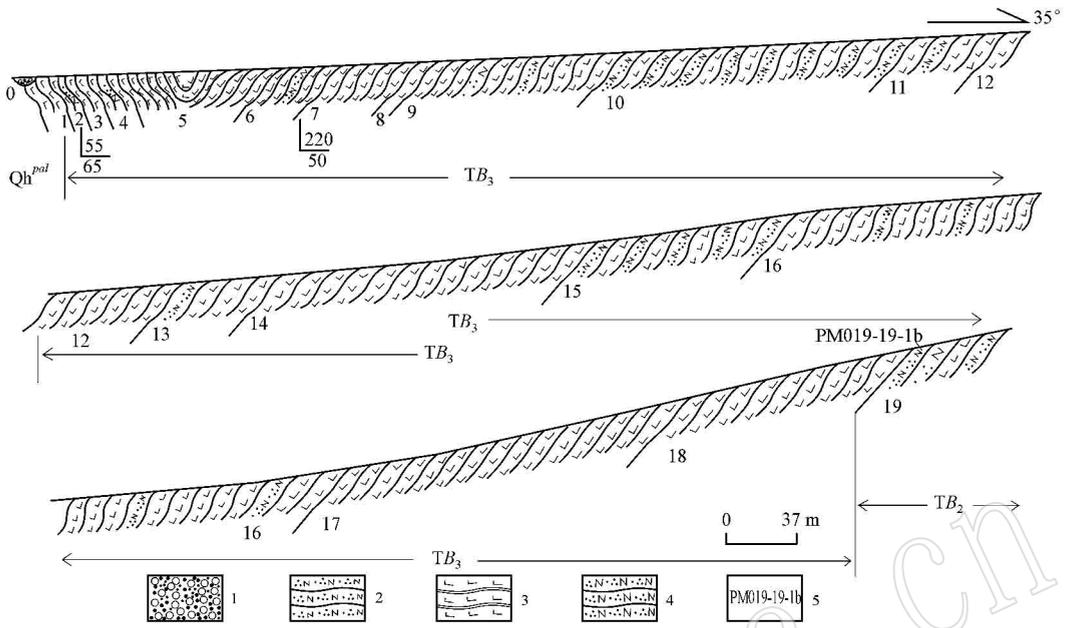


图 3 青海格尔木红石沟三叠系巴颜喀拉山群三组实测剖面图(PM019)

Fig. 3 Measured profile of Hongshigou 3rd Formation of Triassic Bayan Har Group, Golmud, Qinghai (PM019)

1—砂砾石层; 2—变细粒长石石英砂岩; 3—钙质板岩; 4—变中粗粒长石石英砂岩; 5—采样位置

1—gravel; 2—fine-grained feldspathic quartz meta-sandstone; 3—calcareous slate; 4—medium-coarse grained feldspathic quartz meta-sandstone;

5—sampling location

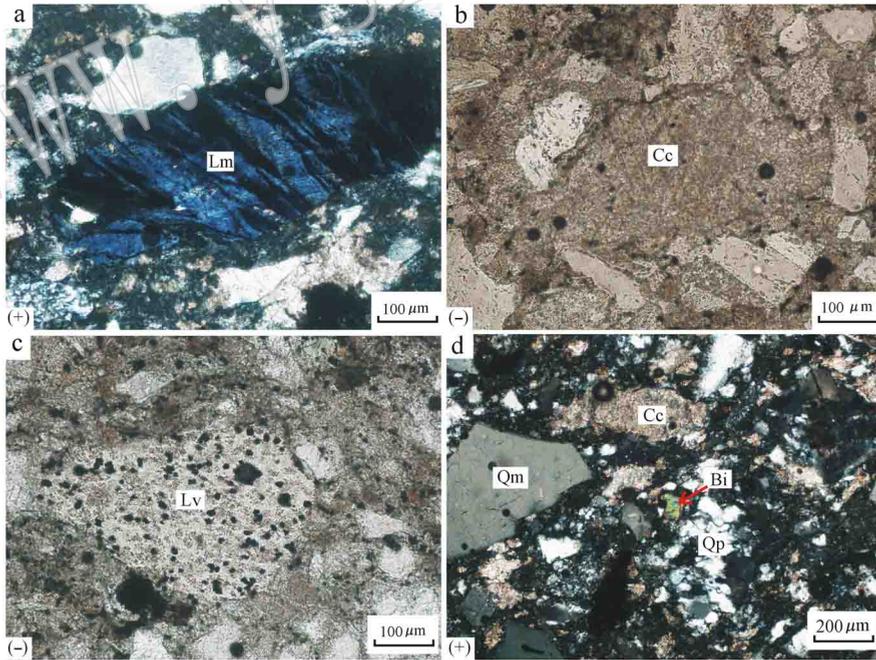


图 4 巴颜喀拉山群(TB)变碎屑岩镜下特征 (PM017-83-1)

Fig. 4 Photomicrographs of Bayan Har Group (PM017-83-1)

a—变质岩岩屑; b—灰岩岩屑,成分为方解石,可见菱形解理; c—火山岩岩屑; d—泥晶灰岩岩屑,黑云母等; (-)代表单偏光;

(+)代表正交偏光; Qm—单晶石英; Qp—多晶石英; Lv—火山岩岩屑; Lm—变质岩岩屑; Cc—方解石; Bi—黑云母

a—metamorphic lithic fragment; b—limestone lithic fragment, mainly composed of calcite, visible rhombus cleavages; c—volcanic lithic fragment;

d—micrite limestone lithic fragment, biotite etc.; (-): under plainlight; (+): under crossed nicols; Qm—monocrystalline quartz; Qp—poly-

crystalline quartz; Lv—volcanic lithic fragment; Lm—metamorphic lithic fragment; Cc—calcite; Bi—biotite

三组(TB₃)为“板岩夹砂岩”组,以深灰色板岩、砂质板岩与灰色板岩互层夹变细、粉砂岩。砂质板岩内部发育水平层理。

从一组(TB₁)、二组(TB₂)至三组(TB₃)粒度有变细的趋势,钙质含量增加。

作者应用计算像素的方法对巴颜喀拉山群变质砂岩的 9 件样品进行了骨架碎屑统计,结果见表 1。计算像素的方法是在偏光显微镜下对岩石薄片进行拍照,再利用 Photoshop 图像处理软件分别计算石

英、长石、岩屑等所占的像素进行统计。该方法相对于传统的计点统计更适合分选较差、矿物碎屑大小不一的岩石。在 Qm-F-Lt 图解(图 5)中,样品投点多数落在石英-岩屑旋回过渡区,部分落在混合区及过渡岛弧区,说明样品多数来自再旋回的造山带,同时也有岛弧物质的加入。对于多物源的砂岩,由于构造作用的叠加,可能导致 Qm-F-Lt 图产生错误的判别结果,因此笔者选取了部分样品进行化学分析,进一步确定其物源。

表 1 巴颜喀拉山群变质砂岩碎屑统计数据

Table 1 Content of detrital composition from Bayan Har Group meta-sandstone

样号	Qm(像素)	F(像素)	Lt(像素)	Qm+F+Lt(像素)	Qm/%	F/%	Lt/%
PM017-77-1	849 824	126 757	751 239	172 782 0	49.18	7.34	43.48
PM017-83-1	1 772 192	5 532 80	1 937 067	4 262 539	41.58	12.98	45.44
PM017-108-1	1 623 483	5 981 81	1 208 436	3 430 100	47.33	17.44	35.23
PM017-130-1	1 037 666	2 394 75	6 232 50	1 900 391	54.60	12.60	32.80
PM017-133-1	9 726 10	3 455 91	4 415 09	1 759 710	55.27	19.64	25.09
PM017-149-1	1 963 95	2 812 4	1 481 70	3 726 89	52.70	7.55	39.76
PM017-45-1	6 394 26	1 742 87	5 976 29	1 411 342	45.31	12.35	42.34
D2337-1	6 230 32	3 308 96	7 114 00	1 665 328	37.41	19.87	42.72
D2340-1	9 964 69	7 430 45	1 857 641	3 597 155	27.70	20.66	51.64

注：每个样品的统计数据为每张薄片下多个不同视域图片的相应矿物所占像素的累加和；Qm—单晶石英；F—长石总量；Lt—多晶石英和岩屑。

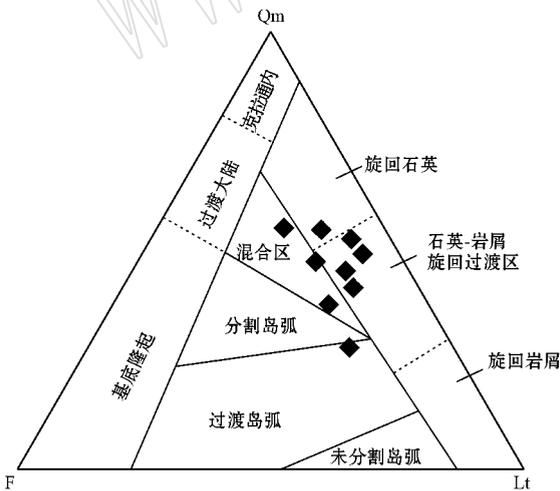


图 5 巴颜喀拉山群变碎屑岩 Qm-F-Lt 判别图 (据 Dickson 等, 1983)

Fig. 5 Qm-F-Lt discrimination diagram of Bayan Har Group meta-clastite (after Dickson et al., 1983)

Qm—单晶石英；F—长石总量；Lt—多晶石英和岩屑总量
Qm—monocrystalline quartz；F—feldspar；Lt—polycrystalline quartz and lithic fragment

3 地球化学特征

碎屑岩的地球化学成分主要受物源区控制,沉积过程中的改造作用对其影响不大,并且一些微量元素的比值不发生明显改变(Bhatia, 1983, 1985; Bhatia and Crook, 1986)。因此,通过对三叠系巴颜喀拉山群变碎屑岩进行地球化学成分测定,从而为判断其母岩区的岩性特征及大地构造位置、演化背景等问题提供了有力的证据。

对青海格尔木黑海地区三叠系巴颜喀拉山群变质砂岩取样,并对其中 14 件样品进行主量元素、微量元素和稀土元素测试分析。样品分析测试工作由澳实分析检测(广州)有限公司完成,全程均为无污染操作。全岩主量元素采用 X 荧光光谱分析(XRF),首先将样品粉末熔制成玻璃片,然后采用 3080E 型 X 射线荧光光谱仪分析,该分析法具有制样简单、分析速度快、结果重现性好以及准确度高等优点。微量及稀土元素采用 ICP-MS 方法测定,所

用仪器为 Agilent7500a 型等离子质谱仪。实验获得数据的相对标准偏差小于 5%。分析结果分别见表 2、表 3、表 4。

主量元素分析结果表明,巴颜喀拉山群变碎屑岩 SiO_2 含量较低,介于 56.81%~74.32% 之间,平均值为 68.56%,接近杂砂岩的 SiO_2 含量,明显低于典型的石英砂岩(平均值为 91.5%)和长石砂岩(平均值为 77.1%)(Condie, 1993)。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 值可作为碎屑沉积物成熟度的指标。巴颜喀拉山群变质砂岩 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 值介于 0.1~0.24 之间,平均值为 0.17。

样品 La 含量在 19.69×10^{-6} ~ 29.71×10^{-6} 之间,平均值为 25.92×10^{-6} ;Th 含量在 5.28×10^{-6} ~ 12.7×10^{-6} 之间,平均值为 8.43×10^{-6} ;Nb 含量在 4.00×10^{-6} ~ 11.00×10^{-6} 之间,平均值为 8.94×10^{-6} 。从巴颜喀拉山群变质砂岩微量元素平均地

壳标准化蛛网图(图 6a)可见,巴颜喀拉山群变质砂岩总体具有 Ba、Nb、Zr 的亏损,其它微量元素含量与平均地壳微量元素的含量基本一致。

样品稀土元素总量($\sum\text{REE}$)在 97.02×10^{-6} ~ 148.36×10^{-6} 之间,平均值为 128.77×10^{-6} 。LREE/HREE 在 2.57~3.38 之间,平均值为 2.98。Eu/Eu* 值在 0.66~0.83 之间,平均值为 0.73。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值在 2.85~4.04 之间,平均值为 3.58, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值在 4.95~10.21 之间,平均值为 8.36, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值在 1.49~2.04 之间,平均值为 1.66,基本分布在 1.0~2.0 之间。在球粒陨石标准化图(图 6b)上也可以看出,绝大多数样品的稀土元素配分模式相似,属轻稀土元素富集型,并显示出相互平行的特点,表明稀土元素含量大致同步变化,轻稀土元素相对陡峻,重稀土元素平坦,轻稀土元素相对重稀土元素富集,存在 Eu 负异常。

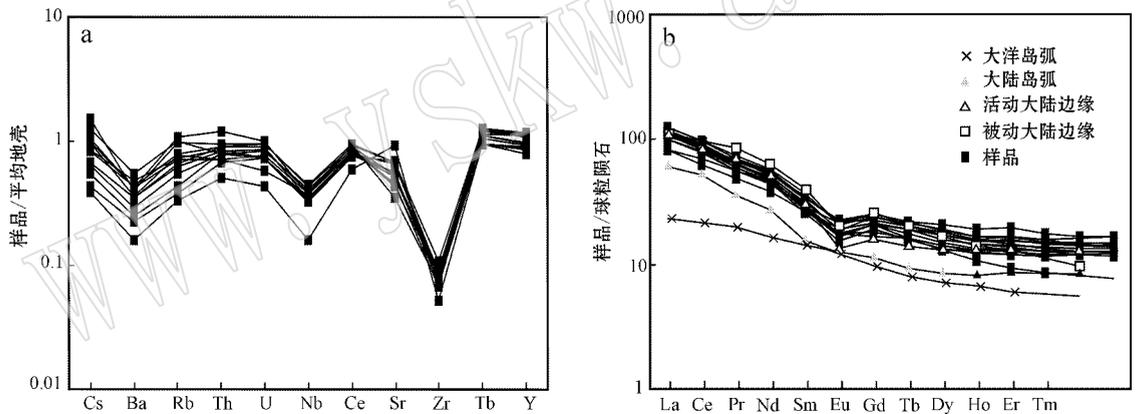


图 6 巴颜喀拉山群变砂岩微量元素平均地壳标准化蛛网图(a, 平均地壳标准化数据参考 Hamilton, 2000)和稀土元素球粒陨石标准化分布曲线(b, 据 Bhatia, 1985; 球粒陨石标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Mean crust-normalized trace element distribution patterns (a, normalizing values after Hamilton, 2000) and chondrite-normalized REE distribution patterns (b, after Bhatia, 1985; normalizing values after Sun and McDonough, 1989) of Bayan Har Group meta-sandstone and sandstone in typical tectonic setting

4 讨论

4.1 物源特征及沉积背景

表 5 全面对比了巴颜喀拉山群变质砂岩与不同构造背景下杂砂岩的地球化学组成。巴颜喀拉山群变质砂岩的 SiO_2 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 、Eu/Eu*、LREE/HREE、Th/U、Zr/Hf、Th/Sc 等参数与大陆岛弧型砂岩相似, Al_2O_3 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 、La/Y 等与活动大陆边缘型砂岩相似,个别参数值介于二

者之间,如 $\sum\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 和 La/Yb 等。上述特征表明巴颜喀拉山群碎屑岩具有多物源性,其构造背景以大陆岛弧和活动大陆边缘为主。

从 Bhatia(1983)的砂岩 TiO_2 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 对 $\sum\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 以及 Murphy(2000)砂岩的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 对 SiO_2 的构造判别图(图 7)上可以看出,巴颜喀拉山群砂岩大多数样品具活动大陆边缘和大陆岛弧物源区特点,同样表明巴颜喀拉山群碎屑岩具有多物源性,其大地构造背景应为活动大陆边缘和大陆岛弧。

$w_B/\%$

表 2 巴颜喀拉山群变质砂岩主量元素分析结果

Table 2 Major element analyses of Bayan Har Group meta-sandstone

样号	PM017-52-1	PM017-77-1	PM017-83-1	PM017-108-1	PM017-112-1	PM017-117-1	PM017-130-1	PM017-133-1	PM017-135-1	PM017-149-1	PM017-45-1	D2337-1	D2340-1	PM019-19-1b
SiO ₂	69.09	65.82	56.81	72.62	74.32	72.37	72.84	69.47	70.19	67.40	59.88	69.64	68.72	70.60
Al ₂ O ₃	11.70	12.96	13.87	11.46	10.64	10.11	10.14	12.35	11.43	14.05	13.93	13.76	12.36	6.84
Fe ₂ O ₃	3.76	3.50	10.19	3.58	3.01	3.75	4.53	4.65	4.76	5.21	7.90	5.40	3.80	3.50
CaO	3.66	3.33	2.49	2.17	1.91	2.63	1.92	1.87	1.75	1.70	3.18	0.57	2.61	4.99
MgO	1.71	1.73	4.70	1.44	1.30	1.23	1.64	1.41	1.72	1.69	3.49	2.02	1.66	2.19
Na ₂ O	2.48	2.70	4.76	3.42	3.67	2.76	3.17	2.90	2.83	2.91	2.51	3.19	3.34	2.38
K ₂ O	1.94	2.03	0.06	1.18	0.92	1.46	0.85	1.79	1.41	2.20	1.44	1.59	1.57	0.69
TiO ₂	0.53	0.64	1.23	0.50	0.46	0.48	0.50	0.70	0.58	0.61	0.90	0.65	0.55	0.35
MnO	0.04	0.06	0.13	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.08	0.06	0.07	0.06	0.05	0.11
P ₂ O ₅	0.12	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	0.14	0.17	0.15	0.16	0.14	0.16	0.14	0.10
LOI	4.90	6.60	5.46	3.18	3.17	5.11	3.91	4.37	4.59	3.82	6.00	2.52	4.89	7.89
Total	99.97	99.57	99.88	99.75	99.58	100.10	99.72	99.78	99.53	99.84	99.45	99.53	99.65	99.60
K ₂ O/Na ₂ O	0.78	0.75	0.01	0.34	0.25	0.53	0.27	0.62	0.50	0.76	0.57	0.50	0.47	0.29
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.17	0.20	0.24	0.16	0.14	0.14	0.14	0.18	0.16	0.21	0.23	0.20	0.18	0.10

表 3 巴颜喀拉山群变质砂岩微量元素分析结果

Table 3 Trace element analyses of Bayan Har Group meta-sandstone

样号	PM017-52-1	PM017-77-1	PM017-83-1	PM017-108-1	PM017-112-1	PM017-117-1	PM017-130-1	PM017-133-1	PM017-135-1	PM017-149-1	PM017-45-1	D2337-1	D2340-1	PM019-19-1b
Ba	295.00	281.00	41.80	205.00	175.50	243.00	158.50	301.00	245.00	386.00	251.20	293.20	336.30	113.50
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.36	9.78	9.23	2.97
Cr	60.00	90.00	140.00	70.00	60.00	70.00	70.00	90.00	80.00	70.00	82.80	56.80	45.40	34.60
Cs	3.92	5.65	1.35	2.36	2.01	2.52	1.60	3.10	2.51	4.63	3.58	3.67	3.14	1.44
Ga	15.00	16.30	22.20	12.80	10.90	11.30	11.50	15.60	14.30	18.10	18.51	15.79	14.38	6.92
Hf	5.70	5.90	4.30	4.60	5.10	5.20	5.20	6.80	5.60	4.40	4.40	4.90	5.00	3.70
Nb	9.30	10.70	8.70	8.80	8.60	8.60	8.20	11.00	9.80	10.30	9.31	9.52	8.37	4.00
Rb	96.40	87.50	2.20	49.00	38.70	59.60	34.10	70.90	56.00	88.90	68.68	63.62	65.56	29.73
Sc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.76	12.61	9.23	6.06
Sn	3.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.03	1.90	0.84	1.04
Sr	150.50	186.00	218.00	195.50	230.00	189.50	241.00	235.00	234.00	161.00	158.60	123.60	182.20	320.50
Ta	0.80	0.70	0.70	0.60	0.70	0.70	0.70	0.80	0.70	0.70	0.87	0.91	0.77	0.36
Th	12.70	9.89	6.46	8.20	8.62	9.54	7.05	9.44	8.85	8.19	7.55	7.39	8.86	5.28
U	2.52	2.38	1.66	1.81	1.81	2.25	1.85	2.36	2.13	2.08	1.45	1.95	1.84	1.09
V	71.00	78.00	285.00	62.00	54.00	60.00	60.00	88.00	75.00	84.00	137.00	79.60	64.50	34.40
Y	20.90	24.00	29.50	17.60	21.60	19.20	20.50	25.80	23.70	24.40	24.88	25.65	19.64	18.87
Zr	201.00	220.00	172.00	188.00	188.00	197.00	193.00	257.00	208.00	162.00	162.30	168.70	181.10	124.00

$w_B/10^{-6}$

$w_B/10^{-6}$

表4 巴颜喀拉山群变质砂岩稀土元素分析结果

Table 4 REE analyses of Bayan Har Group meta-sandstone

样号	PM017-45-1	PM017-52-1	PM017-77-1	PM017-83-1	PM017-108-1	PM017-112-1	PM017-117-1	PM017-130-1	PM017-133-1	PM017-135-1	PM017-149-1	D2337-1	D2340-1	PM019-19-1
La	26.65	27.60	28.50	19.80	24.00	26.10	25.90	24.00	29.50	29.50	25.60	29.71	26.37	19.69
Ce	53.69	55.60	56.90	43.60	48.90	50.90	51.90	48.60	60.20	59.90	54.20	59.89	50.94	38.14
Pr	6.48	6.09	6.42	5.41	5.43	5.66	5.69	5.38	6.68	6.66	6.02	7.17	6.04	4.69
Nd	24.65	22.90	25.10	20.60	20.90	22.00	22.00	21.50	26.30	25.90	23.60	27.28	22.44	18.06
Sm	5.36	4.41	5.08	4.49	3.96	4.26	4.18	4.39	5.21	5.28	4.80	5.68	4.56	4.08
Eu	1.28	1.00	1.10	1.24	0.90	1.13	0.98	1.03	1.30	1.29	1.13	1.21	1.02	1.04
Gd	4.64	4.31	4.95	5.26	3.95	4.47	4.26	4.33	5.20	5.05	4.45	4.92	3.71	3.41
Tb	0.76	0.71	0.78	0.83	0.6	0.71	0.61	0.67	0.82	0.76	0.72	0.80	0.61	0.60
Dy	4.62	4.02	4.38	5.27	3.43	4.05	3.59	3.85	4.74	4.43	4.37	4.87	3.60	3.34
Ho	0.89	0.82	0.90	1.09	0.70	0.82	0.74	0.76	0.96	0.87	0.88	0.96	0.71	0.62
Er	2.42	2.38	2.75	3.25	1.99	2.27	2.08	2.25	2.80	2.59	2.58	2.68	2.01	1.57
Tm	0.34	0.35	0.38	0.45	0.30	0.32	0.31	0.32	0.40	0.37	0.38	0.41	0.30	0.22
Yb	2.18	2.27	2.56	2.87	2.02	2.15	2.07	2.07	2.75	2.43	2.47	2.44	2.03	1.38
Lu	0.32	0.34	0.37	0.43	0.31	0.32	0.31	0.31	0.42	0.36	0.38	0.36	0.29	0.20
Σ REE	134.27	132.80	140.17	114.59	117.39	125.16	124.62	119.46	147.28	145.39	131.58	148.36	124.62	97.02
Eu/Eu*	0.77	0.69	0.66	0.78	0.69	0.79	0.70	0.71	0.76	0.75	0.73	0.68	0.73	0.83
(Gd/Yb) _N	1.76	1.57	1.60	1.52	1.62	1.72	1.70	1.73	1.56	1.72	1.49	1.67	1.51	2.03
(La/Sm) _N	3.21	4.04	3.62	2.85	3.91	3.96	4.00	3.53	3.66	3.61	3.44	3.38	3.74	3.11
(La/Yb) _N	8.76	8.72	7.99	4.95	8.52	8.71	8.97	8.32	7.69	8.71	7.43	8.74	9.30	10.21

表5 巴颜喀拉山群变质砂岩与不同构造背景下杂砂岩地球的化学参数对比

Table 5 Comparison of geochemical parameters between Bayan Har Group meta-sandstone and sandstone in different tectonic settings

	巴颜喀拉山群 变质砂岩	显生宙不同构造背景下杂砂岩			
		大洋岛弧	大陆岛弧	活动大陆边缘	被动大陆边缘
SiO ₂	68.56	58.83	70.69	73.86	81.95
Al ₂ O ₃	11.83	17.11	14.04	12.89	8.41
CaO	2.48	5.83	2.68	2.48	1.89
MgO	2.00	3.65	1.97	1.23	1.39
Na ₂ O	3.07	4.10	3.12	2.77	1.07
K ₂ O	1.37	1.60	1.89	2.90	1.71
TiO ₂	0.62	1.06	0.64	0.46	0.49
MnO	0.06	0.15	0.10	0.10	0.05
P ₂ O ₅	0.14	0.26	0.16	0.09	0.12
∑Fe ₂ O ₃ + MgO	5.79	11.73	6.79	4.63	2.89
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.17	0.29	0.20	0.18	0.10
K ₂ O/Na ₂ O	0.47	0.39	0.61	0.99	1.60
Al ₂ O ₃ /(CaO + Na ₂ O)	2.22	1.72	2.42	2.56	4.15
<i>n</i>	14	7	9	7	7
La	25.92	8.20	27.00	37.00	39.00
Ce	52.38	19.40	59.00	78.00	85.00
Nd	23.09	11.16	28.30	35.80	42.00
Tb	0.71	0.50	0.78	0.80	1.20
∑REE	128.77	58.00	146.00	186.00	210.00
Eu/Eu*	0.73	1.04	0.80	0.60	0.55
La/Yb	11.65	4.20	11.00	12.50	15.90
(La/Yb) _N	8.36	2.80	7.50	8.30	10.80
(Gd/Yb) _N	1.66	1.31	1.49	1.26	2.75
LREE/HREE	7.26	3.80	7.70	9.10	8.50
Rb	57.90	18.00	67.00	115.00	61.00
Sr	201.80	637.00	250.00	141.00	66.00
Ba	237.60	370.00	444.00	522.00	253.00
Rb/Sr	0.30	0.05	0.65	0.89	1.19
Ba/Rb	5.20	21.30	7.50	4.50	4.70
U	1.90	1.09	2.53	3.90	3.20
Th	8.40	2.27	11.10	18.80	16.70
Zr	186.20	96.00	229.00	179.00	298.00
Hf	5.10	2.10	6.30	6.80	10.10
Nb	8.90	2.00	8.50	10.70	7.90
Th/U	4.40	2.10	4.60	4.80	5.60
Zr/Hf	36.80	45.70	36.30	26.30	29.50
Zr/Th	22.40	48.00	21.50	9.50	19.10
Zr/Nb	21.30	49.30	31.50	16.70	37.20
La/Th	3.20	4.26	2.36	1.77	2.20
La/Y	1.20	0.48	1.02	1.33	1.31
Nb/Y	0.40	0.11	0.36	0.43	0.30
V	88.00	131.00	89.00	48.00	31.00
Cr	72.80	37.00	51.00	26.00	39.00
<i>n</i>	14	1	32	10	15
Sc	11.90	19.50	14.80	8.00	6.00
Co	9.60	18.00	12.00	10.00	5.00
La/Sc	2.40	0.55	1.82	4.55	6.25
Th/Sc	0.70	0.15	0.85	2.59	3.06
Sc/Cr	0.20	0.57	0.32	0.30	0.16
<i>n</i>	4	11	32	10	15

注：主量元素单位为 $w_B/\%$ ，稀土和微量元素单位为 $w_B/10^{-6}$ ； n = 样品个数；球粒陨石标准化数据参考 Sun 和 McDonough (1989)；显生宙不同构造背景杂砂岩数据参考 Bhatia (1983, 1985) Bhatia 和 Crook (1986)。

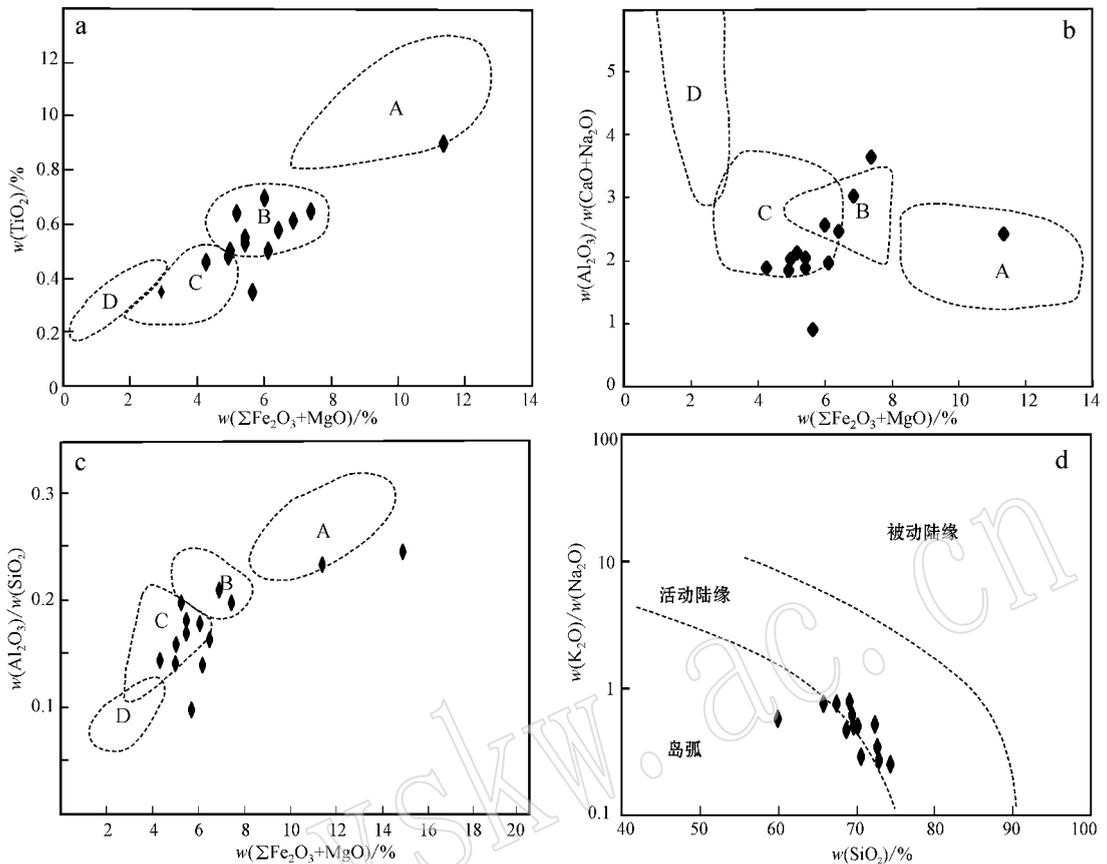


图 7 巴颜喀拉山群变质砂岩主量元素构造背景判别图

Fig. 7 Major element diagrams of Bayan Har Group meta-sandstone for tectonic setting discrimination

a— $\text{TiO}_2 - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 图解(据 Bhatia, 1983); b— $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 图解(据 Bhatia, 1983); c— $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 图解(据 Bhatia, 1983); d— $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解(据 Murphy, 2000); A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘; $\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$ —全铁

a— $\text{TiO}_2 - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ diagram (after Bhatia, 1983); b— $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ diagram (after Bhatia, 1983); c— $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ diagram (after Bhatia, 1983); d— $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ diagram (after Murphy, 2000); A—oceanic island arc; B—continental island arc; C—active continental margin; D—passive margin; $\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$ —total iron

La-Th-Sc 三角图可以很好地判别大陆岛弧环境, Th-Sc-Zr/10 和 Th-Co-Zr/10 三角图能够区分活动大陆边缘和被动大陆边缘(Bhatia and Crook, 1986)。图 8 显示巴颜喀拉山群碎屑岩物源以大陆岛弧为主。

在图 6b 中可以看出, 巴颜喀拉山群变质砂岩稀土元素的配分曲线样式多数与活动大陆边缘构造背景砂岩曲线一致, 个别样品不具有典型构造背景砂岩的曲线特征, 显示巴颜喀拉山群碎屑岩沉积物主要来自活动大陆边缘, 但其物源并不是单一的。

气候的分化作用通过控制成土作用来影响砂岩的成分进而影响物源区的解释(赵红格等, 2003), 所

以在对盆地沉积物的研究中, 经常通过一些指数来判断母岩的古风化强度和化学蚀变强度。化学蚀变指数 CIA 能够定量地反映化学风化程度以及对碎屑岩再沉积、再循环作用(Nesbitt and Young, 1982)。

CIA 值一般在 50~100 之间变化。大部分新鲜的未风化的火成岩的 CIA 值约为 50 左右, 而超镁铁岩的 CIA 值低于 50, 而未经交代作用的砂岩 CIA 值可达 80 左右, 而遭受强烈风化的风化壳的 CIA 值接近 100。巴颜喀拉山群变质砂岩的 CIA 值在 50~80 之间(图 9a), 接近理想风化趋势线。绝大多数样品 CIA 值较低, 只有两件样品超过 70, 反映了化学风化弱, 沉积盆地处于较强烈的构造环境。

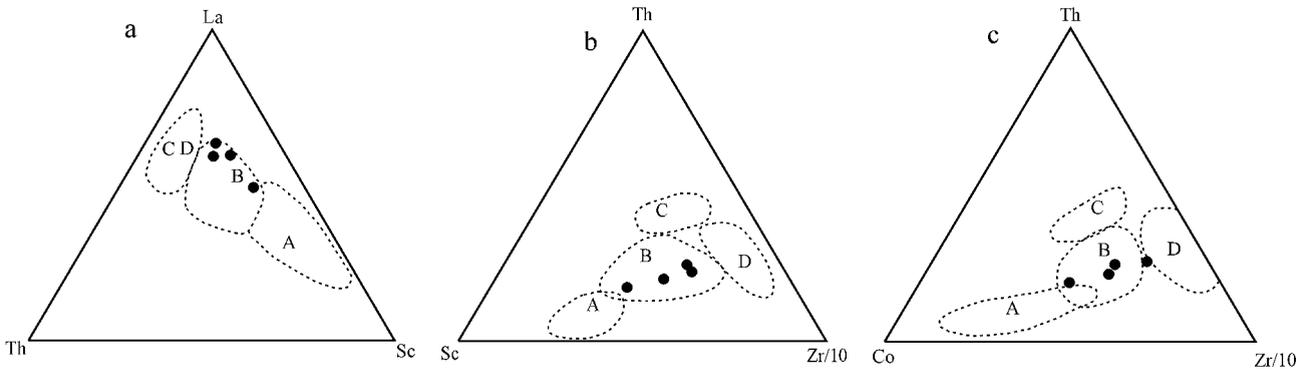


图8 巴颜喀拉山群变质砂岩微量元素构造判别图(据 Bhatia and Crook, 1986)

Fig. 8 Trace element diagrams of Bayan Har Group meta-sandstone for tectonic setting discrimination (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 continental margin; D—passive margin

上地壳火山岩的 Th/U 平均值为 3.8。由于风化作用将难溶的 U^{4+} 氧化为易溶的 U^{6+} , U 元素会在风化过程中流失, 因此沉积岩的 Th/U 值会随着风化作用强度的增强而增大 (McLennan and Taylor, 1991)。具火山物质背景的沉积岩 Th/U 值 < 3.0 ; 当 Th/U 值 > 4.0 时, 沉积岩的形成就与母岩的风化历史有关, 而当 Th/U 值 > 5.0 时, 表明母岩经历了明显的风化作用过程。巴颜喀拉山群砂岩样品 Th/U 值在 3.8~5.2 之间。在图 9b 中, 多数样品的 Th/U 接近上地壳平均值 3.8, 个别样品具有较高的 Th/U , 接近 5.0, 反映了巴颜喀拉山群碎屑岩总体风化程度较低, 沉积盆地处于相对强烈的构造环境当中, 经历了快速剥蚀和沉积的过程, 沉积物质可能来自于上地壳。

Roser 和 Korsch (1988) 根据已知构造背景的不同碎屑岩并结合岩石主量元素的化学特征, 进行多变量(7个氧化物)判别方程分析, 综合出 4 种混合物源模型。在 F2-F1 物源方程判别图(图 9c)上巴颜喀拉山群变质砂岩样品投点主要落在石英岩沉积物源区, 说明巴颜喀拉山群碎屑岩物源区具有大陆边缘的特征, 一般认为其物源区为被动大陆边缘。但在岩石薄片出现了碎屑黑云母等不稳定矿物, 说明岩石成分成熟度较低, 其物源区处于化学风化较弱、构造活动相对强烈的环境, 结合相关地球化学参数及构造判别图解的研究, 认为其物源区为被动大陆边缘的可能性不大。笔者认为, 在图 9c 中样品

投点主要落在石英岩沉积物源区, 可能是反映了其物源来自再旋回的造山带。

在 $La/Th-Hf$ 图(图 9d)中, 样品投点基本落在酸性岛弧物源区, 反映原岩主要来自岛弧环境下形成的酸性岩石。部分样品的投点位置接近上地壳, 说明其物质来源可能为大陆上地壳。

Eu/Eu^* 值可以灵敏地反映体系内的地球化学状态, 并可作为鉴别物质来源的重要参数 (Allegre, 1978)。源自基性岩石的稀土元素具有较低的 LREE/HREE, 并且无 Eu 异常; 而长英质岩石通常具有较高的 LREE/HREE, 具 Eu 负异常 (Gu, 2002)。研究区砂岩样品具有 Eu 的负异常 (Eu/Eu^* 值在 0.66~0.83 之间, 平均值为 0.73), 表明其物质主要来自于酸性母岩。

4.2 可能的物源区

有关研究表明, 巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的沉积物可能的来源区有华北板块(中朝克拉通)、扬子板块, 还可能有西秦岭造山带或祁连造山带 (Bruguier, 1997)。

研究区内巴颜喀拉山群砂岩化学风化指数及 Th/U 值总体较低, 从其岩石学的特征来看, 其成分成熟度与结构成熟度较低, 均表明巴颜喀拉山群碎屑岩属于快速剥蚀沉积的近源堆积物, 沉积物搬运距离不会太远。

在中国地质大学(武汉)1:25万阿拉克湖幅区域地质调查^①中, 以扎拉依-哥琼尼洼断裂构造带为界

① 中国地质大学(武汉). 2003. 青海省 1:25 万阿拉克湖幅区域地质调查报告.

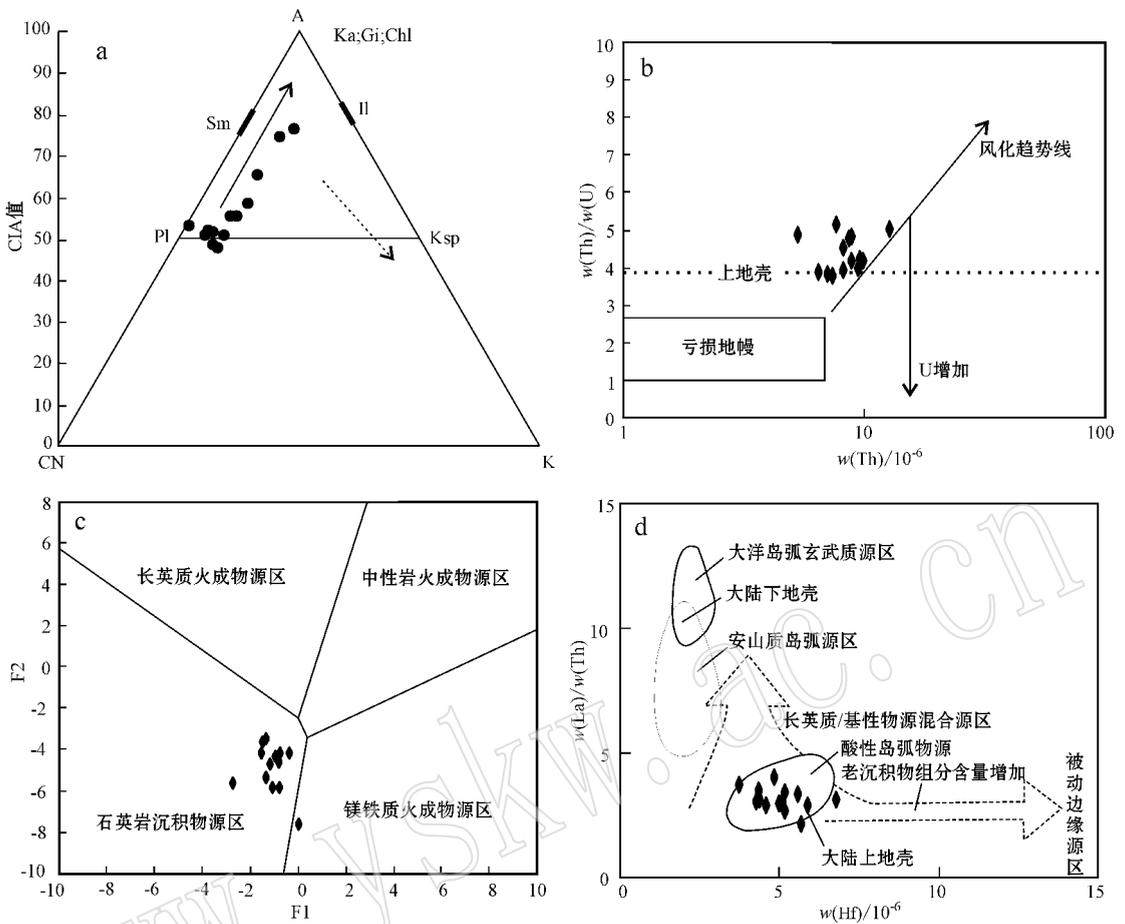


图 9 巴颜喀拉山群变质砂岩物源区判别图

Fig. 9 Discriminatory plots of provenance from Bayan Har meta-sandstone

a—A—CN—K [摩尔组成 $Al_2O_3 - (Na_2O + CaO) - K_2O$ 图解] 据 Nesbitt and Young, 1989): Pl—斜长石; Ksp—钾长石; Sm—绢云母; Il—伊利石; Ka—高岭石; Gi—三水铝矿; Chl—绿泥石; 图中实线和虚线箭头分别指示理想化的岩石风化趋势和钾交代作用对样品的影响; b—Th/U—Th 图解 据 Gu *et al.*, 2002); c—F2—F1 物源方程判别图解(据 Roser 和 Korsch, 1988); d—La/Th—Hf 图解(据 Floyd 和 Leveridge, 1987)

a—A—CN—K [molar $Al_2O_3 - (Na_2O + CaO) - K_2O$ composition] diagram (after Nesbitt and Young, 1989): Pl—plagioclase; Ksp—K-feldspar; Sm—sericite; Il—illite; Ka—kaolinite; Gi—gibbsite; Chl—chlorite; the solid line refers to predicted weathering trend, the dotted line refers to the effect of metasomatism of K on the sample; b—Th/U—Th diagram (after Gu *et al.*, 2002); c—F2—F1 discrimination function diagram of provenance (after Roser and Korsch, 1988); d—La/Th—Hf diagram (after Floyd and Leveridge, 1987)

将巴颜喀拉山群砂岩分为南北两区。北区较南区分选差,说明北区更靠近物源区。北区砂岩锆石颗粒裂变迹迹年龄具有非常明显的 282.2~292.4 Ma 峰值年龄,与东昆仑地区暴露的岩石年龄具有一致性,而且非常接近东昆仑地区石炭纪—早中二叠世花岗岩侵入高峰期的时间。邹定邦等(1983)、杜德勋等(1998)等人研究,松潘-甘孜盆地内砂岩中的古流向统计主要为北、北西-南-南东以及少数的北东-南西,而没有来自南西羌塘地块的古流向。

基于此,笔者认为巴颜喀拉山群碎屑岩主体部

分最有可能来自于其北面的东昆仑造山带。

4.3 盆地性质

根据前人研究,巴颜喀拉地区出露的印支期花岗岩的 Nd 模式年龄为 1.1~1.5 Ga,远大于其成岩年龄,地球化学数据分析结果表明,巴颜喀拉地块中的岩体来自于中下地壳的部分熔融和少量地幔物质的混染,从而证明了其基底存在古老大陆地壳;朱迎堂(2006)通过对巴颜喀拉地区地层层序和沉积相研究提出,巴颜喀拉沉积盆地是在泥盆纪的浅海被动陆缘裂隙、拉开的基础上形成的。在中国地质大学

(武汉)1:25万阿拉克湖幅区域地质调查^①中发现了巴颜喀拉山群分布区数条可与马尔争-布青山构造混杂岩带面貌相对比的断夹块,反映了研究区巴颜喀拉山群下部存在更广义上的马尔争-布青山构造混杂岩系。因此,可以认为巴颜喀拉沉积盆地是在古老基底裂解的基础上形成的。

5 结论

(1) 研究区内巴颜喀拉山群变碎屑岩岩屑单调,主要为砂板岩,具有典型的复理石沉积特征。分选、磨圆差,部分样品含碎屑黑云母等不稳定矿物,成熟度较低,为近源的快速堆积物。从底到顶碎屑的粒度有变细的趋势,岩石中钙质含量增高,反映构造裂隙海盆沉积建造,是裂隙扩张、海水加深的过程。

(2) 巴颜喀拉山群变质砂岩地球化学研究表明,物源区构造背景为岛弧-活动陆缘,其沉积物来自亲上地壳长英质源区。

(3) 巴颜喀拉三叠纪沉积盆地是在古老陆壳基底裂解的基础上形成,并接受北部东昆仑造山带的近源堆积。

致谢 西安地质调查中心李荣社研究员对本工作给予指导,青海省地质调查院对野外工作给予协助,匿名审稿老师提出了宝贵的修改意见和建议,使本文得以完善,在此一并致以衷心的感谢!

References

- Allegre C T. 1978. Quantitative models of trace planet[J]. *Earth Planet.*, 38(1): 1~25.
- Bhatia M R and Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181~193.
- Bhatia M R. 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones[J]. *The Journal of Geology*, 91: 611~627.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australia Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J]. *Sedimentary Geology*, 45: 97~113.
- Bruguier O, Lancelot J R and Malavieille J. 1997. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch(central China): provenance and tectonic correlations[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217~231.
- Cheng Yuqi. 1994. Concise regional geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Condie K C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales[J]. *Chemical Geology*, 104: 1~37.
- Dickson W R, Harbaugh D W, Shaller A H, et al. 1983. Detrital modes of upper Paleozoic sandstones derived from Antler orogen in Nevada: implications for nature of Antle Orogeny[J]. *American Journal of Science*, 283: 481~509.
- Du Dexun, Luo Jianning and Hui Lan. 1998. Sedimentary facies and palaeogeography of the Triassic sedimentary basins in the Bayan Har mountainous area: an example from the Aba-Zoige Basin, Sichuan[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 18(1): 1~18(in Chinese with English abstract).
- Floyd P A and Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho Basin, South Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstone[J]. *Journal of Geology Society London*, 144(4): 531~542.
- Geology and Mineral Exploration Development Authority of Qinghai Province. 1991. Regional Geology of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Gu X X, Liu J M, Zheng M H, et al. 2002. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: Geochemical evidence[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 72(3): 393~407.
- Hamilton E I. 2000. Environmental variables in a holistic evaluation of land contaminated by historic mine wastes: a study of multi-element mine wastes in West Devon, England using arsenic as an element of potential concern to human health[J]. *The Science of the Total Environment*, 249: 171~221.
- McLennan S M and Taylor S R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends[J]. *The Journal of Geology*, 99: 1~21.
- Murphy J B. 2000. Tectonic influence on sedimentation along the southern flank of the late Paleozoic Magdalen basin in the Canadian Appalachians: Geochemical and isotopic constraints on the Horton Group in the St. Marys basin, Nova Scotia[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 112(7): 997~1011.
- Nesbitt H W and Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 299: 715~717.

① 中国地质大学(武汉). 2003. 青海省1:25万阿拉克湖幅区域地质调查报告.

- Nesbitt H W and Young G M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles[J]. *The Journal of Geology*, 97: 129~147.
- Raymond V I, Stephan A G and William R D. 1995. Remnant ocean basins[A]. Busby C J and Ingersoll R Y. *Tectonics of Sedimentary Basins*[C]. *GSA Bulletin*, 263~391.
- Ren Jishun. 1999. Tectonic Structure of China in Global(Manual of Geotectonic Map in China and Its Adjacent Areas)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Ren Jishun and Xiao Liwei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250 000 geological mapping[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 1~11(in Chinese with English abstract).
- 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.
- Sengor A M C. 1984. The Cimmerides of Eastern Asia: history of the eastern end of Paleo-Tethys[J]. *Geo. Soc. France Mem. N. S.*, 147: 139~167.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geo. Soc. Lond. Spec. Pub.*, 42: 313~345.
- Yin A and Nie S Y. 1993. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tanlu and Hunan fault system eastern Asia[J]. *Tectonics*, 12: 801~813.
- Zhang Xueting, Wang Bingzhang, Yu Jian, *et al.* 2005. Sedimentary characteristics of the Bayan Har remnant ocean basin, northwestern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(7): 613~620(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yifu. 1991. The characteristics of Tethys of Hoh Xil-Bayan Har and its adjacent areas[J]. *Tibet Geology*, 6(2): 62~72(in Chinese).
- Zhang Yifu. 1997. Formation and Evolution of Hoh Xil-Bayan Har Triassic Sedimentary Basin[M]. Xining: Qinghai People's Publishing House(in Chinese).
- Zhao Hongge and Liu Chiyang. 2003. Approaches and prospects of provenance analysis[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(3): 409~415(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yingtang. 2006. Formation and Evolution of Hoh Xil-Bayan Har Triassic Sedimentary Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Zou Dingbang, Rao Rongbiao, Chen Yongming, *et al.* 1984. On the Triassic turbidite in the southern Bayan Har Mountains region[A]. *Essays of Qinghai-Tibet Plateau Geology*[C], 27~42(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社.
- 杜德勋, 罗建宁, 惠 兰. 1998. 巴颜喀拉三叠纪沉积盆地岩相与古地理——以阿坝-若尔盖盆地为例[J]. *岩相古地理*, 18(1): 1~18.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 任纪舜. 1999. 从全球看中国大地构造(中国及邻区大地构造图说明书)[M]. 北京: 地质出版社.
- 任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. *地质通报*, 23(1): 1~11.
- 张雪亭, 王秉璋, 俞 建, 等. 2005. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J]. *地质通报*, 24(7): 613~620.
- 张以蓓. 1991. 可可西里—巴颜喀拉及邻区特提斯海的特征[J]. *西藏地质*, 6(2): 62~72.
- 张以蓓. 1997. 可可西里—巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的形成和演化[M]. 西宁: 青海人民出版社.
- 赵红格, 刘池洋. 2003. 物源分析方法及研究进展[J]. *沉积学报*, 21(3): 409~415.
- 朱迎堂. 2006. 可可西里—巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的形成及演化[D]. 成都: 成都理工大学.
- 邹定邦, 饶荣标, 陈永明, 等. 1984. 南巴颜喀拉山三叠系浊积岩[A]. *青藏高原地质文集*[C], (2): 27~42.