

文章编号:1004-4116(2021)01-0041-08

西秦岭早石炭世巴都组碎屑岩地球化学特征 及对构造背景、物源区的指示

曾俊杰,李康宁,严 康,火兴达,张建鹏

(甘肃省地矿局第三地勘院,甘肃 兰州 730050)

摘 要:西秦岭早石炭世巴都组出露于夏河—合作断裂以北,为一套滨浅海相陆源碎屑岩建造,主要岩性为石英砂岩、长石石英砂岩。砂岩成熟度较高,总体上具有高硅低铝、高钾低钠的特点。 $\omega(\text{SiO}_2) = 76.47\% \sim 80.32\%$,平均 78.67% ; $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) = 9.32\% \sim 10.4\%$,平均 9.72% ; $\omega(\text{K}_2\text{O}) = 2.03\% \sim 2.33\%$,平均 2.15% ; $\omega(\text{Na}_2\text{O}) = 1.46\% \sim 1.87\%$,平均 1.64% 。稀土元素总量较低, ΣREE 为 $75.15 \times 10^{-6} \sim 107.26 \times 10^{-6}$,平均值 88.86×10^{-6} ,经球粒陨石标准化可以看出轻重稀土分异明显,Eu具有明显的负异常($\delta\text{Eu} = 0.76 \sim 1.13$,平均值 0.65),经北美页岩标准化Eu具有正异常($\delta\text{Eu} = 1.17 \sim 1.74$,平均值 1.32);亏损高场强元素Nb、Ta、Ti、HREE及Sr,富集大离子亲石元素Rb、U、Th、Zr,具有与大陆上地壳和PAAS相似的分布。通过碎屑岩主微量元素地球化学、结合区域地质背景综合判断,早石炭世巴都组源区构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧,碎屑来源于稳定沉积岩区,主要为北秦岭造山带,可能是前泥盆系再旋回沉积物或隆起的基底岩石提供。

关键词:西秦岭;巴都组;构造环境;物源

中图分类号:P56;P59

文献标志码:A

西秦岭是秦岭中央造山带的西延部分,处于祁连、昆仑和松潘—甘孜造山带交汇部位(图1a),总体上是由大小不等海陆相间的微板块组成的一个多岛小洋盆^[1-5],具有多期多阶段多旋回性、软碰撞的特点^[3-6],又因其蕴藏丰富的金及多金属矿产资源而为地学界所瞩目。西秦岭西北部夏河—合作地区广泛分布晚古生代—中生代的海相沉积(图1b),尤以海相复理石沉积建造最为发育,前人对该地层的沉积建造、古地理环境、地层时代等进行了详细研究,但对其成生构造背景仍在不同认识。秦峰等^[7]认为是属夏河、临潭混杂堆积区的一部分,徐学义^[8]、张新虎^[9]等人认为是稳定的滨浅海陆棚火山岩—碎屑岩—碳酸盐沉积。前人研究均基于区域地质调查的岩石地层对比,缺乏岩石化学方面的资料。本文选择夏河—合作北部巴都组碎屑岩进行系

统的地球化学测试分析,探讨其构造属性和物源组成,为研究西秦岭造山带盆地构造演化提供新的证据。

1 地质背景

研究区位于西秦岭西北部夏河—临潭一带,以夏河—合作断裂为界:北部为古生代地层,主要有泥盆系、石炭系、二叠系,为滨浅海相陆源碎屑岩夹碳酸盐岩建造^[9]。岩浆岩发育,北西向弧形断续分布,以石英闪长玢岩、花岗闪长岩组合为主。火山岩较少,主要分布在合作市德乌鲁岩体东部,主要为安山岩、流纹岩组合^[10]。侵入岩时代集中在 $210 \sim 250 \text{ Ma}$,形成于活动大陆边缘构造环境^[11]。南部主要为三叠系,为一套半海斜坡相细碎屑岩复理石建造,岩浆岩

收稿日期:2020-11-26

基金项目:本文为国家重点研发计划深地资源勘查开采专项“深部矿产资源三维找矿预测评价示范”课题(编号:2017YFC0601506)“甘肃省玛曲—合作地区资源潜力评价与深部找矿预测示范”专题;甘肃省基础地质调查研究项目“甘肃玛曲—合作整装勘查区深部找矿预测”;中国地质调查局项目“甘肃省夏河—合作地区金矿整装勘查区矿产调查与找矿预测”(编号:12120100000160901-60,12120100000160901-49)的成果。

作者简介:曾俊杰(1970~),男,硕士,高级工程师,从事地质矿产调查及技术管理工作。E-mail:436044828@qq.com

出露少,以中酸性小岩株、脉岩为主。

2 沉积地层及岩相学特征

2.1 地层特征

早石炭世巴都组分布在夏河—合作断裂以北,向东尖灭,向西分叉延伸。顶、底分别与二叠系、泥盆系呈断层接触。巴都组岩性为灰青灰色块状中—细粒石英砂岩、灰色厚层中—细粒长石石英砂岩,局部偶夹浅红色薄层细粒长石砂岩、灰色薄层粉砂岩,向上(长石)石英砂岩减少,粉砂岩增多,属向上粒度变细,层厚变薄的退积层序。由 3 种基本层序组成,纵向宏观上自下向上粒度逐渐变细(图 2)。

A 型:由薄层砾岩—中—薄层细粒长石石英砂岩呈半韵律旋回组成,其中砂岩具粒序层理、平行层理、脉状—透镜状层理发育。

B 型:由厚层—块状中—细粒长石石英砂岩—中—薄层细粒长石砂岩—粉砂岩呈韵律旋回组成,其中砂岩具平行层理、粒序层理,粉砂岩、粉砂质板岩具水平层理。

C 型:分布在巴都组上部,由中—厚层细砂岩—粉砂岩、粉砂质板岩呈旋回组成。

砂岩局部具正粒序层理和平行层理,总体砂岩出露比例较大,粉砂岩、粉砂岩板岩出露比例较小。

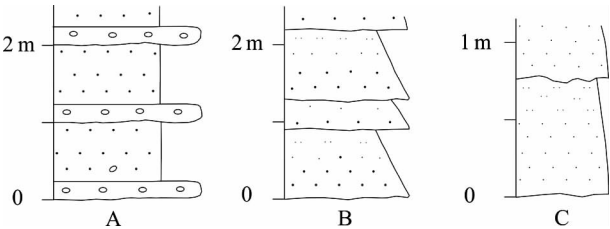


图 2 巴都组基本层序

Fig. 2 Basic sequences of the Badu Formation

2.2 岩相学特征

巴都组砂岩粒度范围变化较大,从细粒到粗粒均有,局部可见含砾砂岩。碎屑磨圆较差,常为次棱角状、棱角状,见少量次圆状、棱角状者、尖角状者。

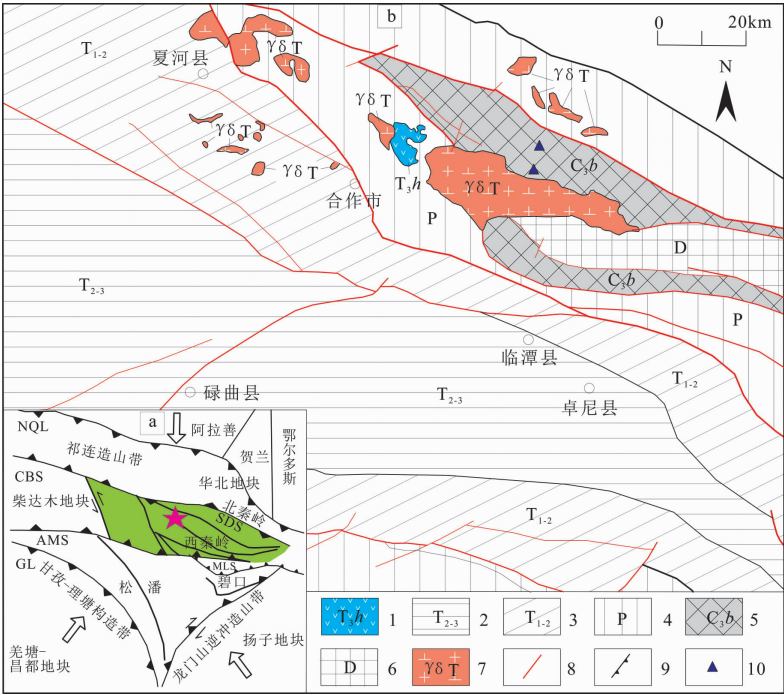


图 1 研究区地质简图^[12]

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

- 1—晚三叠世华日组;2—三叠系中上统;3—三叠系中下统;4—二叠系
5—晚石炭世区都组;6—泥盆系;7—三叠纪花岗岩闪长岩;8—断裂;
9—俯冲方向;10—采样位置及编号

CBS:柴北缘古缝合带;SDS:商丹古缝合带;KLS:东昆中古缝合带;
AMS:阿尼玛卿古缝合带;NQL:北祁连缝合带;MLS:勉略古缝合带;GL:甘孜—理塘缝合带

碎屑成分主要为石英,长石、岩屑少量。长石为斜长石和钾长石,发育有细密的聚片双晶,为钠—更长石,见绢云母化、粘土化,偶见钾长石。岩屑有硅质岩岩屑、泥质板岩岩屑和云母等。填隙物为泥质,泥质已变质重结晶成雏晶绢云母、绿泥石,雏晶颗粒极其细小,个体界限不易分清。岩石具颗粒支撑,接触式胶结。碎屑物质中石英 + 硅质岩屑含量 75% ~ 80%,长石含量约 10%,岩屑 + 白云母 5% ~ 10%,填隙物(氧化铁质 + 泥质)5% ~ 10%(图 3)。

3 样品采集与测试

本次用于砂岩地球化学研究的 4 件样品采自西秦岭夏河—合作断裂以北的早石炭世巴都组地层中,岩性均为长石石英砂岩。样品的主量元素、稀土元素、微量元素的地球化学分析在自然资源部兰州矿产资源监督检测中心完成,主量元素采用 X-射线荧光光谱法(XRF)分析,分析仪器为 X 荧光光谱仪(型号 RIX2 100),采 GB/T4 506. 28-93 硅酸盐岩石化学分析方法,FeO 采用容量滴定法测定,分析精度

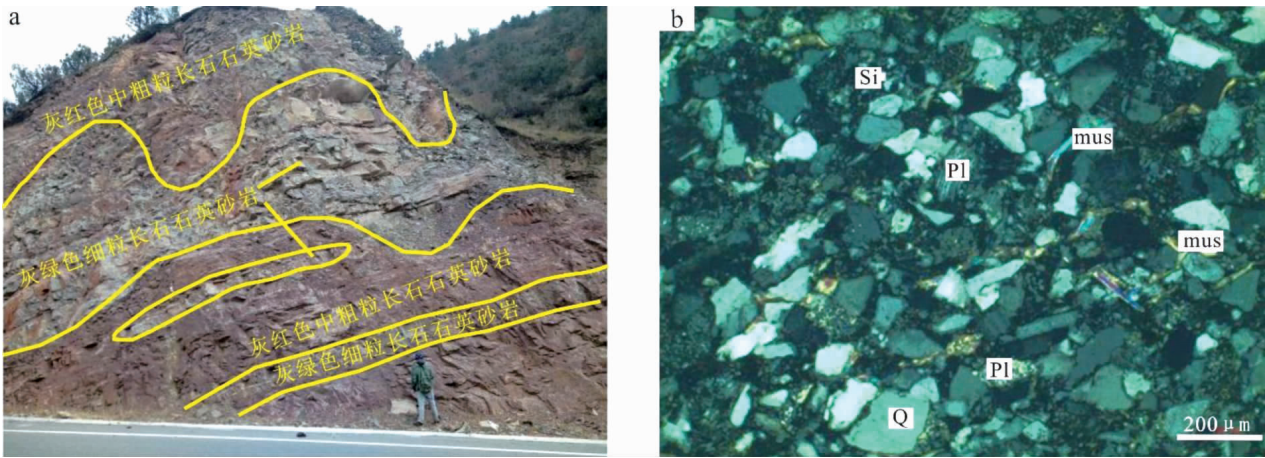


图 3 巴都组砂岩宏观露头、显微照片

Fig. 3 Macroscopic outcrop and micrograph of Badu Formation sandstone
Q—石英;Pl—斜长石;Mus—白云母;Si—硅质岩

表 1 巴都组砂岩主量元素(%)、微量元素(10⁻⁶)分析结果

Table 1 The contents of major elements (%) and trace elements (10⁻⁶) of Badu Formation sandstones

样号	2018X VI-17	2018X -18	2018X VI-19	2018X VI-20	大洋 岛弧	大陆 岛弧	活动大 陆边缘	被动大 陆边缘
SiO ₂	79.99	77.9	80.32	76.47	58.83	70.69	73.86	81.95
TiO ₂	0.38	0.41	0.38	0.43	1.06	0.64	0.46	0.49
Al ₂ O ₃	9.56	9.61	9.32	10.4	17.11	14.04	12.89	8.41
Fe ₂ O ₃	1.72	2.09	1.66	1.06	1.95	1.43	1.3	1.32
FeO	0.7	0.52	0.72	1.72	5.52	3.05	1.58	1.76
MnO	0.04	0.04	0.03	0.05	0.15	0.1	0.1	0.05
MgO	1.24	1.59	1.4	1.89	3.65	1.97	1.23	1.39
CaO	1.18	1.43	1.18	1.4	5.83	2.68	2.48	1.89
Na ₂ O	1.73	1.49	1.46	1.87	4.1	3.12	2.77	1.07
K ₂ O	2.03	2.33	2.15	2.08	1.6	1.89	2.9	1.71
P ₂ O ₅	0.11	0.13	0.12	0.13	0.26	0.16	0.09	0.12
烧失量	1.71	2.72	1.89	2.93				
Total	100.39	100.26	100.64	100.43				
Rb	62.5	67.4	68.3	68.4				
Ba	936	469	370	298				
Th	3.8	3.4	3.6	4.5				
U	1.37	1.13	1.34	1.32				
Nb	12.1	3.92	4.16	5.19	2	8.5	10.7	7.9
Ta	1.05	0.4	0.66	0.64				
Pr	4.18	4.38	3.88	5.22				
Sr	98.6	54.7	57.6	49.6				
Zr	164	97.8	126	123				
Hf	3.5	2.8	3.3	3.15				
Sm	2.78	2.77	2.72	3.46				
Eu	0.98	0.64	0.65	0.82				
Ti	2 290.09	2 469.94	2 284.1	2 577.85				
Co	14.2	18.6	23.3	20.5	18	12	10	5
Cr	38.5	32.3	33.6	48.4				
Cs	3.49	3.31	3.67	4.01				
Ga	10.5	7.8	7.4	10.9				
Hf	3.5	2.8	3.3	3.15				

Li	22.9	15.4	18.8	29.6	8	27	37	39
Ni	10.6	8.8	10.5	18.8	19	59	78	85
Sc	12.2	12.4	11.4	12.8	19.5	14.8	8	6
Ta	1.05	0.4	0.66	0.64				
Tl	0.37	0.44	0.43	0.43				
V	39.7	30.6	31.9	51.1				
Ce	35.4	38.5	29.8	46.6	19	59	78	85
Dy	2.06	1.82	2.16	2.32				
Er	1.13	1.06	1.18	1.32				
Eu	0.98	0.64	0.65	0.82				
Gd	2.51	2.31	2.45	3.14				
Ho	0.4	0.36	0.41	0.46				
La	17.8	19.7	16	23	8	27	37	39
Lu	0.17	0.15	0.18	0.18				
Nd	15	15.7	14	18.9				
Pr	4.18	4.38	3.88	5.22				
Sm	2.78	2.77	2.72	3.46				
Tb	0.34	0.3	0.35	0.4				
Tm	0.15	0.14	0.17	0.18				
Y	10.9	9.54	11.3	12.6				
Yb	1.22	1.07	1.2	1.26				
Fe ₂ O ₃ T+MgO	3.74	4.26	3.86	4.86	11.73	6.79	4.63	2.89
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.12	0.12	0.12	0.14	0.29	0.2	0.18	0.1
K ₂ O/Na ₂ O	1.17	1.56	1.47	1.11	0.39	0.61	0.99	1.6
Al ₂ O ₃ /(CaO+Na ₂ O)	3.29	3.29	3.53	3.18	1.72	2.42	2.56	4.15
ΣREE	84.12	88.9	75.15	107.26	58	146	186	210
LREE	76.14	81.69	67.05	98				
HREE	7.98	7.21	8.1	9.26				
LREE/HREE	9.54	11.33	8.28	10.58	3.8	7.7	9.1	8.5
La _N /Yb _N	10.47	13.21	9.56	13.09	28	7.5	8.5	10.8
δEu	1.11	0.75	0.75	0.75	1.04	0.78	0.6	0.56
Sc/Cr	0.32	0.38	0.34	0.26	0.6	0.3	0.3	0.2
Th/Sr	0.04	0.06	0.06	0.09	0.2	0.9	2.6	3.1
Th/U	2.77	3.01	2.69	3.41	2.1	4.6	4.8	5.6
Zr/Hf	46.86	34.93	38.18	39.05	45.7	36.3	26.3	29.5

注:大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘、被动大陆边缘数据来源于文献[13]

优于1%且误差小于5%。稀土元素和微量元素采用等离子体质谱法(ICP-MS),仪器为Agilent公司等离子体质谱仪(型号Agilent 7 500 a),分析误差为5%~10%。样品测试结果见表1。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

巴都组砂岩SiO₂含量较高,均大于76%(76.47%~80.32%,平均78.67%);Al₂O₃普遍较低,为9.32%~10.4%,平均9.72%;低FeO(0.52%~1.72%,平均0.91%),高Fe₂O₃(1.06%~2.09%,平均1.65%);Na₂O含量较低(1.46%~1.87%,平均1.64%);K₂O含量2.03%~2.33%,平均2.15%;TiO₂含量0.38%~0.43%,平均0.40%;CaO含量1.18%~1.43%,平均1.30%。Al₂O₃/SiO₂=0.12%~0.14%,平均0.12%,说明未经强烈蚀变、搬运或再改造使其成熟度增大。

4.2 稀土元素、微量元素

巴都组稀土元素总量较低, Σ REE为75.15×10⁻⁶~107.26×10⁻⁶,平均值88.86×10⁻⁶,LREE/HREE比值为8.28~11.33,平均值9.93;La含量为16×10⁻⁶~23×10⁻⁶,平均值19.13×10⁻⁶;Ce含量为29.8×10⁻⁶~46.6×10⁻⁶,平均值37.58×10⁻⁶;La/Yb比值为13.33~18.41,平均值15.65。经球粒陨石标准化的配分曲线(图4a),可见曲线明显右倾,富集轻稀土,与上地壳具有相似分布; δ Eu值为0.76~1.13,平均值0.65,除一个样(2018XVI-17)外,其它样品均具有明显的负异常; δ Ce值为0.93~1.04,平均值1,基本不具有异常;(La/Yb)_N

值为9.56~13.21,平均值11.58;(La/Sm)_N值为3.80~4.59,平均值4.2;(Gd/Lu)_N值为1.68~2.16,平均值1.89。经北美页岩标准化(图4b),可见曲线近似平行且向右倾斜,(La/Yb)_S值为1.26~1.74,平均值1.52;(La/Sm)_S值为1.10~1.33,平均值1.22;(Gd/Lu)_S值为1.15~1.48,平均值1.30; δ Eu值为1.17~1.74,平均值1.32,具有正异常; δ Ce值为0.90~1.10,平均值0.97,基本不具有异常。Y/Ho比值为26.5~27.56,平均值27.16,与地壳接近,表明物源为陆源碎屑物质。与代表上地壳平均成分的北美页岩相比,明显看出右倾,且比值低于1,说明来源较为复杂,可能也有后期改造影响。

在微量元素的原始地幔标准化蛛网图(图4c)中,表现为高场强元素Nb、Ta、Ti、HREE及Sr等相对亏损,而大离子亲石元素Rb、U、Th、Zr等则相对富集。Nb为3.92×10⁻⁶~12.1×10⁻⁶,平均6.34×10⁻⁶;Th为3.4×10⁻⁶~4.5×10⁻⁶,平均3.83×10⁻⁶;U=1.13×10⁻⁶~1.37×10⁻⁶,平均1.29×10⁻⁶;Ta=0.4×10⁻⁶~1.05×10⁻⁶,平均0.69×10⁻⁶;Zr=97.8×10⁻⁶~165×10⁻⁶,平均135.16×10⁻⁶;Co为14.2×10⁻⁶~23.3×10⁻⁶,平均19.15×10⁻⁶。Sc/Cr为0.26~0.38,平均0.33;Th/Sr为0.04~0.09,平均0.06;Th/Ur为2.69~3.41,平均2.97;Zr/Hf为34.93~46.86,平均36.76。

5 讨论

5.1 源区构造环境判别

Al₂O₃/SiO₂反映了石英、黏土矿物以及长石类矿物成分的富集,Na₂O/K₂O指示其化学成熟度,Fe₂O₃/

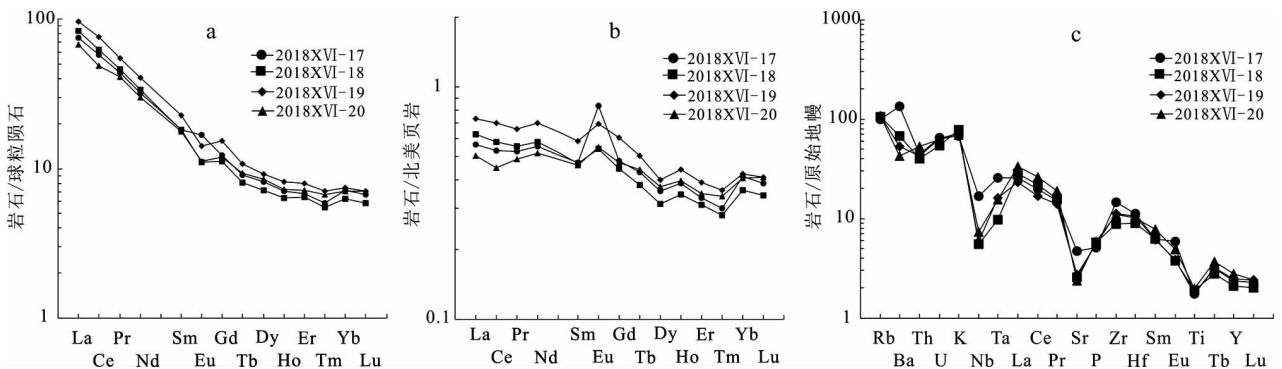


图4 稀土元素球粒陨石标准化(a)、北美页岩标准化(b)配分图解和微量元素原始地幔标准化蛛网图(c)^[14]

Fig. 4 REE diagrams of Chondrite-normalized pattern (a) and North American shale-normalized pattern (b), and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (c)

K_2O 指示了砂岩在风化过程中铁、镁质矿物的稳定程度, $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ 值则是反映最稳定元素与最不稳定元素关系的参数。因此利用砂岩中这几种主量元素的氧化物含量作为参数, 能够很好地反映源区性质及其构造背景。将本巴都组砂岩常量元素参数与大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘参数进行对比(表 1), 可以看出巴都组不能与上述任何典型构造环境产物相对应, 源区可能比较复杂。

利用 F3-F4 和 $K_2O/Na_2O - SiO_2$ 构造环境判别图解(图 5 a,b), 判别结果显示巴都组岩石源区构造环境复杂, 活动大陆边缘、大陆岛弧、被动大陆边缘都有样品落入, 但均与洋岛无关。从 $Al_2O_3/SiO_2 - (TFe_2O_3 + MgO)$ (图 5c) 和 $TiO_2 - (TFe_2O_3 + MgO)$ (图 5 d) 图解中看出, 巴都组样品均落入活动大陆边缘弧区域。

碎屑沉积岩中稀土元素含量主要受沉积物源区性质的影响, 而成岩过程、构造活动对其影响很小,

所以稀土微量元素地球化学特征可以很好地指示物源区原始沉积、构造环境等。碎屑岩稀土元素特征与不同源区构造背景下砂岩的稀土元素判别值进行对比(表 1), 巴都组砂岩 La、Ce、 ΣREE 、LREE/HREE 值非常接近活动大陆边缘统计值, Th、Zr、Ti、Co 和 Ni 等不活泼的微量元素也具有相似的特点。利用微量元素对构造环境进行分析约束(图 6), 在 La-Th-Sc 判别图中, 巴都组落入大陆岛弧; 在 Th-Co-Zr/10 判别图中, 落入大陆岛弧及其附近; 在 Th-Sc-Zr/10 判别图中, 落入大洋岛弧区域。可见, 巴都组构造环境复杂, 主要为大陆岛弧和活动大陆边缘。

5.2 碎屑来源

由于主量、微量元素在沉积期受构造环境的控制, 可继承的源岩物质组成受一定影响, 沉积物的化学组成对源岩物源有不同程度的影响。所以, 可以根据源岩与碎屑砂岩化学组分较好的对应性, 综合主量、微量、稀土元素地球化学特征来探讨物源的制

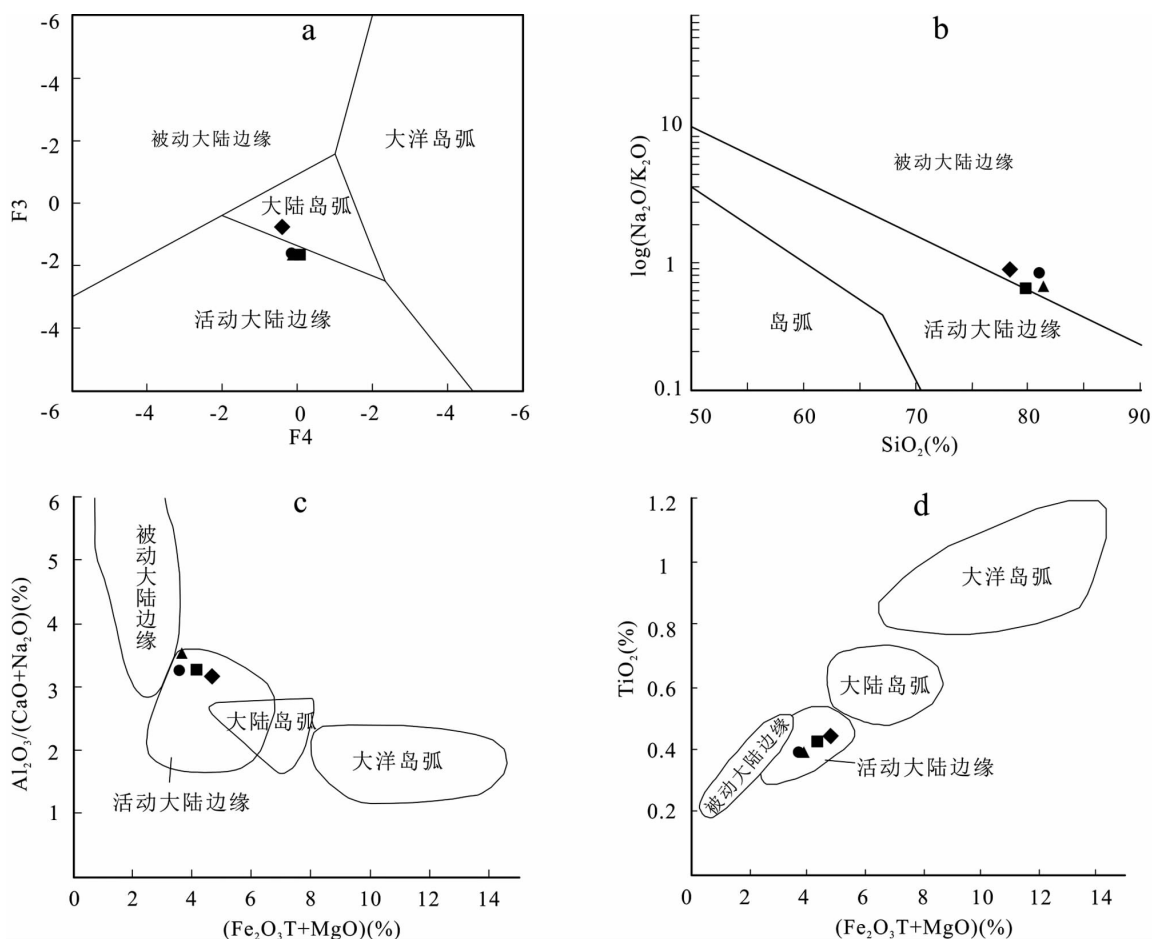


图 5 碎屑岩构造环境主量元素判别图解^[13,15-16]

Fig. 5 Discriminant diagram of clastic rock tectonic environment in terms of major elements

约。

在主要元素 $\text{Log}(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})-\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (图 7 a), 样品落入石质岩屑砂岩区。在 $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})-\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图解中(图 7 b), 样品落入石质砂岩中。

Rorer 等^[16]将碎屑沉积物源划分为长英质火成物源区、中性岩火成物源区、镁铁质火成物源区和石英沉积岩物源区 4 种, 并提出了主要元素判别函数 F1-F2(图 8), 可以看出, 巴都组砂岩物源单一, 均落在石英岩沉积物源区, 说明巴都组地层来自下伏沉积地层再旋回。

由于沉积岩中稀土及微量元素, 特别是 Rb、La、Ce、Hf、Ti 和 Sc 等活动性较弱, 且在沉积过程中有

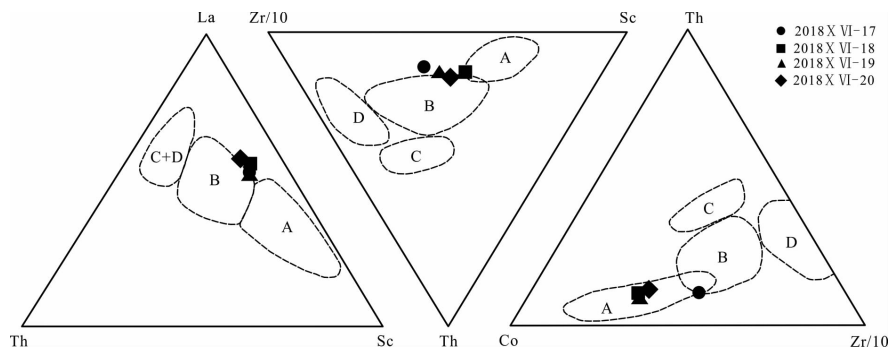


图 6 碎屑岩构造环境微量元素判别图解^[15]

Fig. 6 Discrimination diagram of clastic rock structural environment in terms of trace elements
A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

相对较小迁移率及成岩后具相对稳定性, 元素的组合特征可以很好地反应母岩性质和沉积盆地特征是推断物源的最佳元素。K-Rb 砂岩源区判别图解不仅可以判别碎屑物源区, 还可以区分砂岩类型, 在 K-Rb 图解(图 9 a)上, 巴都组全部来自于中酸性

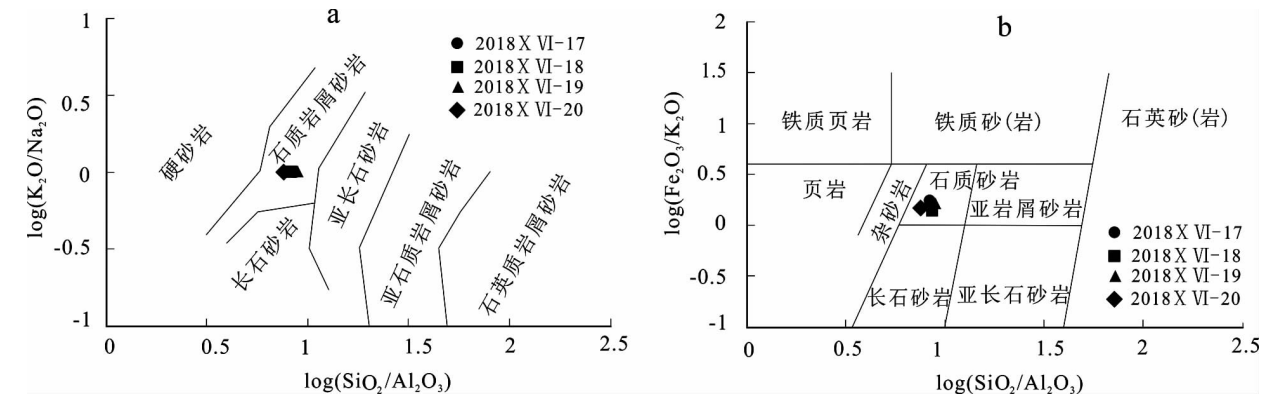


图 7 碎屑岩分类图解^[17-18]

Fig. 7 Classification diagram of clastic rock

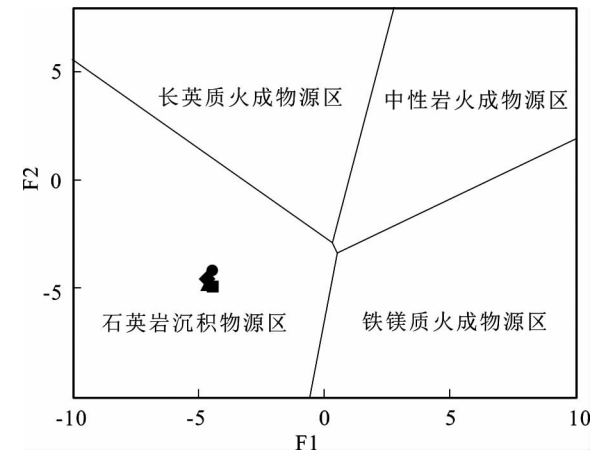


图 8 砂岩物源区 F₁ - F₂ 判别图解^[15]

Fig. 8 F₁-F₂ discrimination diagram of sandstone provenance

岩, 并且所有样品均落在长石砂岩与变质杂砂岩交汇的公共区域。在 La/Th-Hf 源岩属性判别图上(图 9 b), 样品落入长英质与基性岩的混合区域。巴都组的物源均与铁镁质无关, 其构造环境不可能为大洋岛弧。

陈岳龙等^[19]对西秦岭沉积地层进行了系统的锆石 U-Pb 定年, 结果显示西秦岭的碎屑沉积岩直到石炭纪末其物源主要是秦岭造山带或扬子克拉通。但进一步考虑二叠纪勉略洋的存在, 则可以排除扬子地块提供陆源碎屑的可能性。因此, 我们认为巴都组碎屑物源主要为北秦岭造山带, 可能是前泥盆系再旋回沉积物或隆起的基底岩石提供。

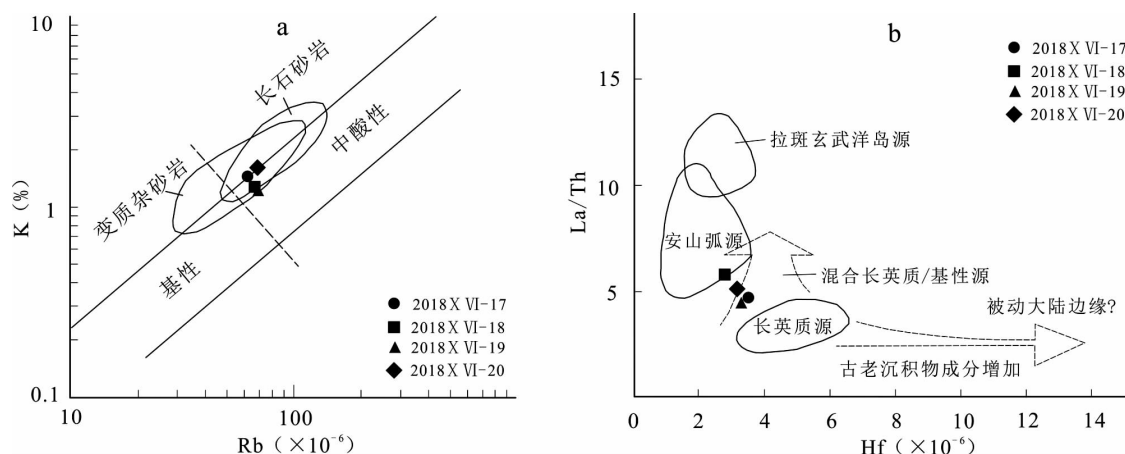
图9 砂岩物源区K-Rb(a)和La/Yb-Hf(b)判别图解^[20-21]

Fig. 9 Discrimination diagram of K-Rb (a) and La/Yb-Hf (b) in sandstone provenance

6 结论

(1)西秦岭夏河—合作地区早石炭世巴都组主要岩性组合为灰青灰色块状中—细粒石英砂岩、灰色厚层中—细粒长石石英砂岩,局部偶夹浅红色薄层细粒长石砂岩、灰色薄层粉砂岩。向上(长石)石英砂岩减少,粉砂岩增多,属向上粒度变细,层厚变薄的退积层序。

(2)西秦岭早石炭世巴都组碎屑岩总体上高硅(SiO_2 含量76.47%~80.32%,平均78.67%)低铝(Al_2O_3 含量9.32%~10.4%,平均9.72%),高钾低钠($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.11\sim1.56$,平均1.33),岩石总体成熟度较高。稀土元素总量较低(ΣREE 为 $75.15\times10^{-6}\sim107.26\times10^{-6}$,平均值 88.86×10^{-6}),轻重稀土分异明显,轻稀土较重稀土分馏程度高, Eu 球粒陨石标准化具有明显的负异常,北美页岩化具有正异常;亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、HREE 及 Sr,富集大离子亲石元素 Rb、U、Th、Zr,具有与大陆上地壳和 PAAS 具有相似分布。

(3)岩石地球化学显示早石炭世巴都组源区构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧,碎屑来源于沉积岩区,主要为北秦岭造山带,可能是前泥盆系再旋回沉积物或隆起的基底岩石提供。

参考文献

[1] 任纪舜,张正坤,牛宝贵,等.论秦岭造山带—中朝与扬子陆块的拼合过程[C].//叶连俊,钱祥麟,张国伟.秦岭造山带学术讨论会论文集[M].西安:西北大学出版社,1991,99-110

[2] 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].北京:地质出版社,1997,86-97

[3] 殷鸿福,黄其胜,杨逢清,等.秦岭及邻区的三叠系[M].武汉:中国地质大学出版社,1993

[4] 闫臻.西秦岭晚古生代弧前盆地沉积与成矿作用[D].北京:中国科学院研究生院地质与地球物理研究所,2002,1-150

[5] 许志琴,杨经绥,李海兵,等.青藏高原与大陆动力学—地体拼合、碰撞造山及青藏高原隆升的深部驱动力[J].中国地质,2006,33(2):221-238

[6] 殷鸿福,张克信.中央造山带的演化及其特点[J].地球科学:中国地质大学学报,1998,23(5):437-442

[7] 秦锋,甘一研.西秦岭古生代地层[J].地质学报,1976(01):76-123

[8] 徐学义,何世平,王洪亮,等.中国西北部地质概论[M].北京:科学出版社,2008:1-347

[9] 张新虎,刘建宏,梁明宏,等.甘肃省区域成矿与找矿[M].北京:地质出版社,2013:1-633

[10] 李注苍,李永军,齐建宏,等.西秦岭下三叠统华日组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J].西北地质,2016,19(1):26-32

[11] 刘伯崇,李康宁,史海龙,等.西秦岭甘青交界一带晚三叠世火山岩岩石成因及构造指示意义[J].现代地质,2018,32(4):704-717

[12] 李康宁,李鸿睿,刘伯崇,等.西秦岭 TTG 质脉岩地球化学特征及其与金矿化的关系[J].科学技术与工程,2019,19(12):52-62

[13] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611-627

[14] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotope systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D and Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins [J]. Geological Society Special Publication, 1989, 42: 313-345

[15] Rorer B P, Korsch R J. Provenance signature of sandstone mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. Chemical Geology, 1988, 67: 119-139

[16] Bhatia M R. Rare Earth Elements Geochemistry of Au-Stralian Paleozoic Graywacks and Mudstones Provenance and Tectonic Control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45(1/2): 97-113

- [17] Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone [M]. New York: Springer Verlag, 1973: 1–618
- [18] Herron M M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data [J]. Journal of sedimentary petrology, 1988, 58(5): 820–829
- [19] 陈岳龙, 李大鹏, 周建, 等. 中国西秦岭碎屑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 88–107
- [20] Floyd P A, Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones [J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144(4): 531–542.
- [21] Taylor S R, McLennan S M. The composition and evolution of continental crust, rare earth element evidence from sedimentary rocks [J]. Ureat Britain, 1981, 301: 81–399

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS, CONSTRAINTS ON PROVENANCE AND TECTONIC SETTING OF EARLY CARBONIFEROUS BADU FORMATION IN THE WESTERN QINLING MOUNTAINS

ZENG Jun-jie, LI Kang-ning, YAN Kang, HUO Xing-da, ZHANG Jian-peng
(The Third Institute Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral
Exploration and Development, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Early Carboniferous Badu Formation in the West Qinling is a set of shore shallow marine terrigenous clastic rock formation exposed to the north of Xiahe–Hezuo fault, and its main lithology is quartz sandstone and feldspathic quartz sandstone. The maturity of sandstone is high, which has the characteristics: SiO_2 and K_2O is higher, Al_2O_3 and Na_2O is lower. SiO_2 contents range from 74.47% to 80.32%, 78.67% on average; Al_2O_3 contents range from 9.32% to 10.4%, 9.72% on average; K_2O contents range from 2.03% to 2.33%, 2.15% on average; Na_2O contents range from 1.46% to 1.87%, 1.64% on average. The total amount of rare earth elements is relatively low, ΣREE contents range from 75.15×10^{-6} to 107.26×10^{-6} , with an average of 88.86×10^{-6} . It can be seen from the chondrite standardization that the heavy and light rare earth differences are obvious, Eu has obvious negative anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.76 \sim 1.13$, with an average of 0.65), Eu has positive anomalies ($\text{Eu} = 1.17 \sim 1.74$, with an average of 1.32) through the North American shale standardization, and Nb, Ta, Ti, HREE and Sr have high field strength loss, Rich in large ion lithophile elements as Rb, U, Th and Zr, it has similar distribution with the continental upper crust and PAAS. According to the geochemistry of the major and trace elements of the clastic rocks and the comprehensive judgment of the regional geological background, the structural background of the source area of Badu formation in the Early Carboniferous is the active continental margin and the continental island arc, and the clastic rocks are mainly from the stable sedimentary rock area, which is mainly provided by the North Qinling Orogenic Belt, possibly the pre Devonian gyrating sediments or the uplifted basement rocks.

Key words: West Qinling; Badu Formation; provenance; tectonic setting