

文章编号: 1009-3850(2016)03-0066-11

新疆西博格达山周缘地区中生代沉积岩源区和构造背景

赵恒^{1,3}, 李艳杰^{2,3}, 关宝文^{1,3}, 郭建明¹, 郑有伟^{1,3}, 许世阳^{1,3}, 郑建京¹

(1. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中科院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 沉积岩中的碎屑组分及相对稳定的微量元素和稀土元素可以反映物源信息, 广泛应用于沉积源区的确定和构造背景的分析。本文通过对西博格达山周缘地区侏罗纪至古近纪沉积地层的碎屑岩岩石学和微量元素与稀土元素分析, 揭示盆地沉积岩的源岩来自上地壳, 岩性以长英质岩石为主, 混合部分安山质及基性岩石。源区构造背景应为岩浆弧和再循环造山带, 其中岩浆弧起主导作用。本文的分析结果为研究博格达山的构造演化过程及其机制提供了有力的证据, 并且对准噶尔盆地油气勘探具有一定指导意义。

关键词: 西博格达山; 构造背景; 物源属性; 碎屑组分分析; 微量及稀土元素分析

中图分类号: P534.6

文献标识码: A

博格达山位于东天山北缘, 是准噶尔盆地与柴窝堡盆地、吐哈盆地的界山, 构造上处于东、西天山过渡带内。博格达山自晚古生代以来经历初始造山、伸展调整和再造山3个大的演化阶段之后形成了构造活动性异常的陆内造山带, 其复杂的构造演化过程、隆升造山的时间及其造山机制长期以来是地学界的研究热点, 也存在很大分歧^[1-12]。碎屑岩的碎屑组分及地球化学数据可以反映地壳成分、构造演化等信息, 广泛用于研究沉积岩源区构造背景和物源属性^[13-35]。为了准确认识西博格达山在中生代的构造演化过程, 本文在野外调查的基础上, 利用岩石学及碎屑组份研究、微量元素与稀土元素分析对西博格达山周缘盆地侏罗系至古近系的沉积岩源区构造背景和源区属性进行了研究。

1 地质概况

1.1 地层特征

研究区内从石炭系到第四系地层均有出露, 其中白垩系和古近系的地层分布比较局限, 仅在达坂城、头屯河及阜康地区有出露。本文重点研究的中生代地层化石丰富、厚度巨大, 岩石类型以砂岩、泥页岩和砂砾岩为主。侏罗系地层中可见薄煤层, 古近系地层中有膏盐层出露。

1.1.1 古近系

自下向上为紫泥泉子组和安集海河组, 其与上覆第四系地层和下伏白垩系地层均为不整合接触。紫泥泉子组底界以一层粉红色、红灰色石灰质砾岩整合或平行不整合在东沟组之上, 主体岩性为暗红色、棕红色泥岩、砂质泥岩夹不规则的厚层块状砾

收稿日期: 2015-01-21; 改回日期: 2015-05-30

作者简介: 赵恒(1987-), 男, 硕士研究生, 构造地质学专业, 含油气构造方向。E-mail: 1031983157@qq.com

通讯作者: 郭建明(1973-), 男, 博士, 副研究员, 从事构造地质研究。E-mail: gjm2001cn@yahoo.com

资助项目: 战略性先导专项“构造作用对陆相页岩物性及含气性的影响”(Y413GJ1GJM)、中国科学院知识创新工程青年人才类重要方向项目(KZCX2-EW-QN112)、中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-12)、甘肃省重点实验室专项(1309RTSA041)

岩、含砾砂岩、砂岩透镜体,局部夹石膏和膏泥岩为其组合特征。安集海河组与紫泥泉子组连续沉积,是一套湖相沉积,岩性为暗灰绿色片状泥岩夹薄层-厚层状砂质介壳层。

1.1.2 白垩系

白垩系由下统吐谷鲁群(清水河组、呼图壁河组、胜金口组、连木沁组)和上统东沟组组成。吐谷鲁群不整合或假整合于侏罗系或更老地层之上,是一套以浅水湖泊相和沼泽相为主的杂色条带状泥质岩沉积。主要岩性为灰绿色、棕红色泥岩、砂岩、粉砂岩组成的不均匀互层。吐谷鲁群与上覆以红色碎屑岩为特征的东沟组呈整合或平行不整合接触。东沟组与上覆古近系紫泥泉子组呈整合或平行不整合接触关系,与下伏连木沁组整合或平行不整合接触关系。

1.1.3 侏罗系

侏罗系包括中下侏罗统水西沟群和中一上侏罗统艾维尔沟群。水西沟群是一套含煤碎屑岩组合,自下而上分为八道湾组、三工河组、西山窑组。中一上侏罗统艾维尔沟群自下而上包括头屯河组、齐古组、喀拉扎组。水西沟群主体为一套河流-沼泽相,多处可见含煤地层,是准噶尔地区最重要的烃源岩层系。

1.1.4 三叠系

三叠系主要由下统上苍房沟群(韭菜园子组、烧房沟组)和中一上统小泉沟群(克拉玛依组、黄山街组、郝家沟组)组成,在博格达山前地区沉积厚度最大。岩性以厚层块状砂岩、砂砾岩与灰绿色、泥岩为主。

1.1.5 二叠系

二叠系主要由下统下茈茈槽群(石人子沟组、塔什库拉组)、中统上茈茈槽群(乌拉泊组、井井子沟组、芦苇沟组、红雁池组)及上统下苍房沟群(泉子街组、梧桐沟组、锅底坑组)组成。下二叠统主要是一套由各类碎屑岩夹灰岩、泥质粉砂岩、硅质粉砂岩组成的陆相或海陆交互复理石建造,部分地区还出现山前磨拉石建造和主要由基性-酸性火山岩组成的陆内裂谷双峰式火山岩建造;中一上二叠统主要为在较稳定的陆内湖盆相沉积环境中形成的细碎屑岩、泥质岩、碳酸盐岩等^[8-9, 37]。

1.1.6 石炭系

石炭系是研究区内见到的最古老的盖层,是博格达山链最主要的地层,以中石炭统为主,下石炭统、上石炭统分布不太广泛^[37]。中石炭统总体上是

一套以玄武岩、安山岩为主的基性-中性-酸性火山岩系,间有数量不等的硅质岩、灰岩、碎屑岩夹层;下石炭统主要为一套海相基性-中性-酸性火山岩建造;上石炭统岩石组合以碎屑岩为主。碎屑岩中常见有大量的火山物质成分、碳酸盐岩和少量的辉石安山岩夹层。局部可见植物化石,总体为一套浅海相或浅海滨海相复理石建造。

1.2 岩浆岩特征

研究区岩浆岩主要分布在晚古生代地层中,中生代地层中鲜有分布。岩浆岩以喷出岩为主,侵入岩较少。喷出岩岩性种类较多,玄武岩、安山岩、流纹质火山岩均有出露,但空间上岩相变化较大,基本以中酸性喷出岩及火山碎屑岩为主。本区很少有大规模的中酸性侵入岩体,只有一些规模很小的岩体零星分布。岩石类型主要为花岗岩、钾长花岗岩、二长英安岩、花岗闪长岩、闪长岩和石英闪长岩等^[7-9, 36-37]。

泥盆系以玄武岩、安山岩、流纹质火山岩、火山碎屑岩为主,但空间上岩相变化较大,有些地段缺乏流纹岩及流纹质火山碎屑岩。大量的岩石化学资料都反映泥盆纪火山岩属于钙碱性系列,在岩石组合中含有大量的安山岩、安山质火山碎屑岩,具有岛弧型火山岩的性质与特征。

石炭系是一套含有大量安山岩、安山质火山岩、火山碎屑岩的钙碱质基性-中性-酸性火山岩建造,显示这里曾是一个广阔的岛弧环境。

二叠系岩浆岩主要为基性-酸性火山岩组成的陆内裂谷双峰式火山岩建造,空间上岩相变化较大,部分地区缺乏基性喷出岩及火山碎屑岩。

1.3 构造演化

整个博格达山地区自晚古生代以来大致经历了初始造山、伸展调整和再造山3个大的演化阶段。西博格达山地区具体的演化过程虽然还存在争议,但主流观点认为西博格达山的构造演化过程可分为以下几个阶段:(1)泥盆纪一早二叠世,西博格达为陆内裂谷阶段,在石炭纪晚期可能存在弱造山活动,但仍为水下低隆;(2)晚二叠世—侏罗纪,西博格达为裂谷后拗陷阶段,该时期逐渐由海相沉积过渡为陆相沉积,在中一早侏罗世该区成为整个准噶尔地区的汇水中心;(3)侏罗纪末期—第四纪,西博格达裂谷开始回返隆升成山,博格达周缘地区形成前陆盆地及类前陆盆地^[2, 7-9, 36-38]。

2 采样及实验方法

研究区总共进行了11件砂岩薄片碎屑颗粒统

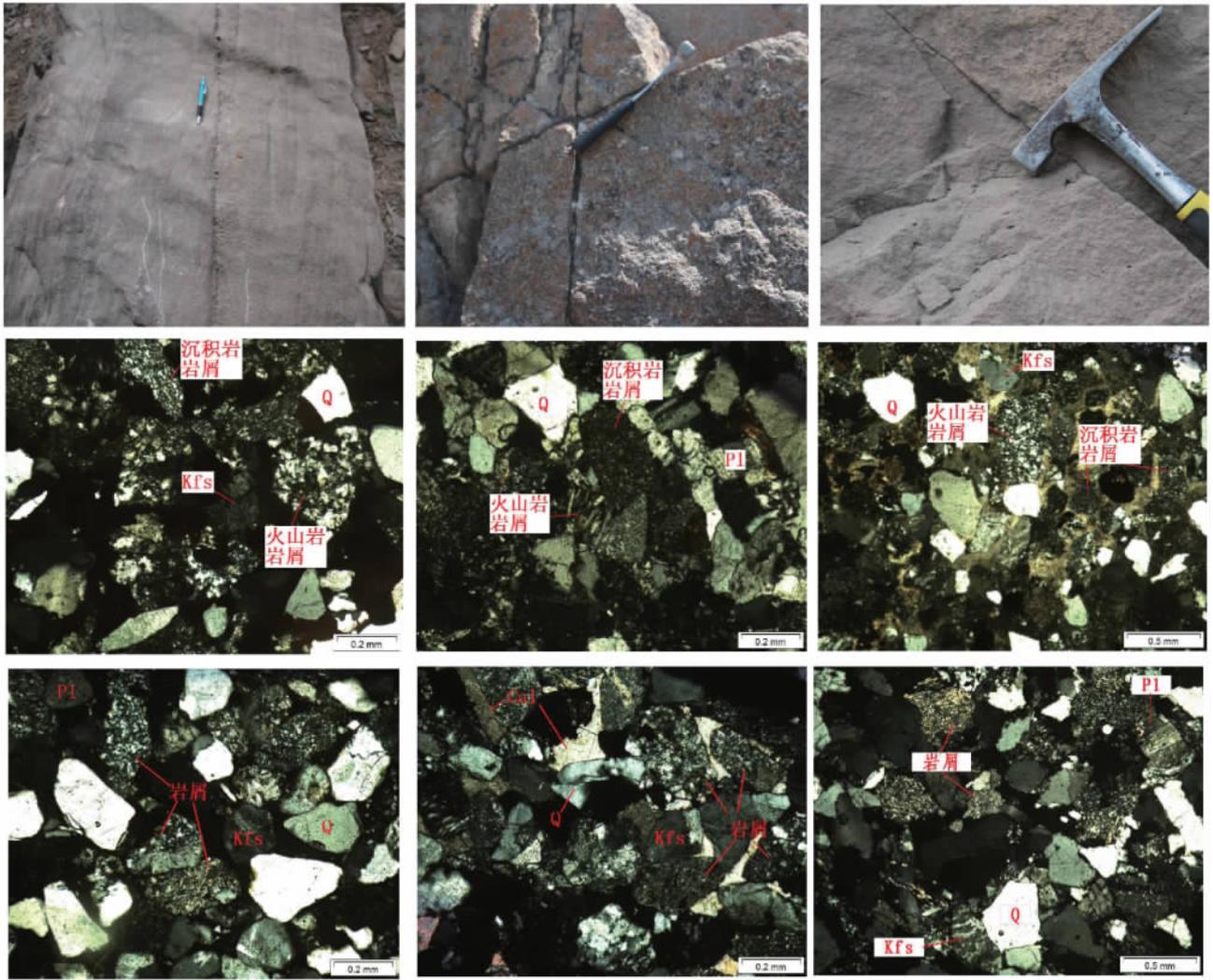


图 2 西博格达山周缘地区侏罗系至古近系砂岩野外照片及镜下照片

Q. 石英; Pl. 斜长石; Kfs. 钾长石; Cal. 方解石; Lv. 火山岩和变火山岩岩屑; Ls. 沉积岩和变沉积岩岩屑

Fig.2 Field pictures and photomicrographs of the Jurassic to the Palaeogene sandstones around the western Bogeda Mountains in Xinjiang

体的单晶石英表明原岩为岩浆岩,微晶长英质火山岩岩屑和微晶石英集合体进一步证实原岩为酸性火山岩,少量安山质火山岩岩屑表明有一定安山质岩石的混入。

3.2 构造背景分析

Dickinson^[34-35] 根据对世界上典型地区砂岩碎屑成分的统计和划分,建立了用于判断源区构造背景的图解—Dickinson 三角图解。Weltje、Weltje 和 Eynatten^[40-41] 利用对数比值法对 Dickinson 图解的各构造环境边界进行了优化计算,并对图解的大地构造环境分辨能力进行了检验,发现计算所得 3 大源区(稳定陆块、岩浆弧和再旋回造山带)边界与原图解存在一定差异,但大部分区域基本吻合(图 3)^[16]。此外,对 4 个图解的源区辨别能力进行了研

究,由强到弱依次为 QpLvLs、QFL、QmFLt、QmPK。本文结合 Dickinson 三角图解^[34-35] 和 Weltje^[41] 优化计算的结果,利用对源区辨别能力最强的 3 个图解 QpLvLs、QFL 和 QmFLt 进行源区构造背景的分析。

由图 3 可见,在 QFL 图解中,按照 Dickinson^[34-35] 的划分区域,大部分样品落在再旋回造山带区域内,只有 3 个点落在岩浆弧中的切割弧区域内;然而按照 Weltje^[41] 的点线分界,大部分样品落在岩浆弧区域内,只有 4 个样品落在再旋回造山带区域。在 QmFLt 图解中,按照 Dickinson^[34-35] 的划分区域,样品大部分落在切割弧以及切割弧与再旋回造山带的混合区内;按照 Weltje^[41] 的点线分界,约半数样品落入岩浆弧区域,半数样品落在再旋回造山带区域内。在 QpLvLs 图解中,按照

Dickinson^[34,35]的划分区域,4个样品落在岛弧造山带区域,4个样品落在混合造山带内,3个样品落在碰撞造山带内;而按照Weltje^[41]的点线分界,大部分样品落在岩浆弧内,只有3个样品落在再旋回造

山带中。综上所述,研究区侏罗系至古近系砂岩的源区构造背景应该为岩浆弧和再旋回造山带,其中岩浆弧起主导作用。

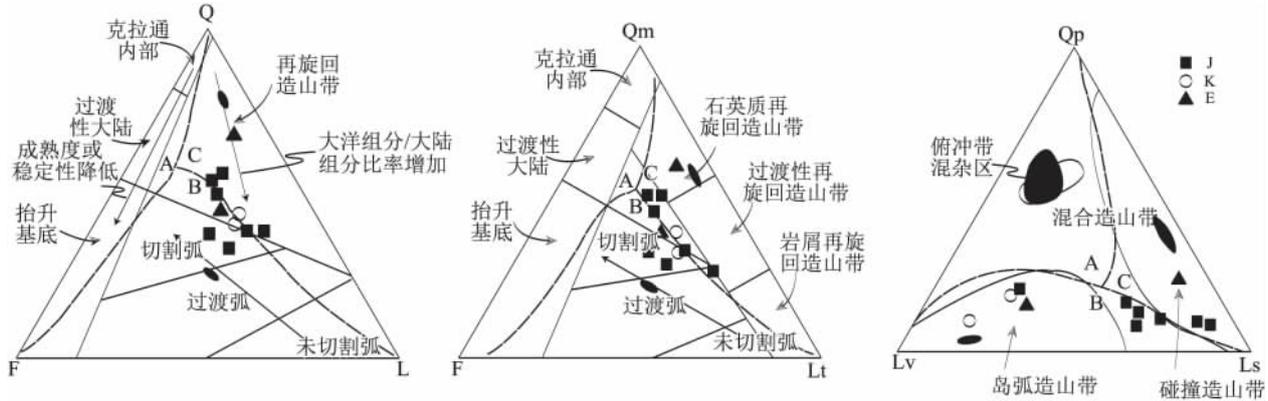


图3 西博格达山周缘地区砂岩 Dickinson 图解^[34-35,41]

Q. 石英总量 ($Q = Q_m + Q_p$); F. 长石 ($F = P + K$); L. 不稳定岩屑 ($L = L_v + L_s$); Q_m . 单晶石英; Q_p . 多晶石英(包括燧石); L_v . 火山-变火山岩屑; L_s . 沉积-变沉积岩屑; L_t . 岩屑总量 ($L_t = L + Q_p$); P. 斜长石; K. 碱性长石。点线分界为 Weltje^[41]的计算结果, A. 稳定陆块; B. 岩浆弧; C. 再旋回造山带。黑色区域为 99% 置信度的平均值。正方形为侏罗系样品, 圆形为白垩系样品, 三角形为古近系样品

Fig. 3 Dickinson plots for the Jurassic to the Palaeogene sandstones along the western Bogeda Mountains in Xinjiang (after Dickinson et al., 1983, 1979; Weltje, 2006)

表1 西博格达山周缘地区侏罗系至古近系砂岩碎屑组分统计表

Table 1 Statistics of the detrital compositions from the Jurassic to the Palaeogene sandstones along the western Bogeda Mountains in Xinjiang

样品号	样品时代	岩性	斜长石	钾长石	长石	单晶石英	多晶石英	总石英	岩屑	岩屑总量	火山岩	沉积岩	变质岩	总颗粒数
J001	J ₁₋₂	灰色岩屑砂岩	35	48	83	143	57	200	236	293	152	67	17	519
J003	J ₁₋₂	砖红色杂砂岩	23	68	91	261	22	283	130	152	37	77	16	504
J004	J ₁₋₂	黄褐色砂岩	56	69	125	295	12	307	137	149	40	90	7	569
J007	J _{3k}	土黄色砂岩	33	71	104	174	22	196	208	230	23	178	7	508
J008	J _{3q}	灰绿色砂岩	36	79	115	123	15	138	161	176	12	143	6	414
J009	J _{1b}	黄绿色砂岩	43	84	127	261	17	278	154	171	32	109	13	559
J011	J _{2s}	土黄色砂岩	32	122	154	169	20	189	158	178	39	95	24	501
K001	K ₁	灰绿色砂岩	57	45	102	205	19	224	186	205	140	29	17	512
K004	K ₁₋₂	灰色砂岩	46	71	117	173	37	210	190	227	118	46	26	517
E001	E ₁₋₂	红褐色砂岩	24	28	52	342	36	378	129	165	13	103	13	559
E005	E ₁₋₂	红色砂岩	44	64	108	177	22	199	138	160	81	42	15	445

注:岩屑总量 = 岩屑 + 多晶石英

4 微量元素与稀土元素分析

由于在沉积过程中沉积物中的微量元素和稀土元素十分稳定,只随陆源碎屑沉积物搬运,并且在水体中停留时间短,对层内溶蚀作用也不敏感,因而能反映源区的地球化学性质,广泛应用于沉积源区的确定、构造背景及大陆生长的分析^[13-15,21,42-43]。

4.1 物源分析

稀土分布模式从源岩到沉积物没有明显变化,是最可靠的物源指示剂。如图4所示,西博格达山周缘侏罗系至古近系沉积岩中稀土元素的分配模式基本一致,具有富集轻稀土、重稀土含量稳定和负Eu元素异常等特征。样品中 $(La/Yb)_n$ 值为4.68~9.59,平均值为6.71,表明轻重稀土元素的分馏程度较高。 $(La/Sm)_n$ 值为2.23~4.47, $(Gd/$

$(Yb)_n$ 值为 1.23 ~ 1.95,表明轻稀土元素的分馏程度较高,重稀土元素的分馏程度低。上述特征均与上地壳中稀土元素的分布形态几乎完全一致。另外如表 2 相对不活泼的元素比值,如 Th/Sc、La/Sc、Co/Th、Cr/Th 等指示西博格达山周缘中一新生代沉积岩的上述元素比值均与大陆上地壳的特征值十分相近,而与大陆下地壳和洋壳的特征值相差很大。综合分析,可以推断柴窝铺盆地中一新生代沉积岩的物源来自上地壳。

表 2 西博格达山周缘侏罗系至古近系沉积岩元素比值
Table 2 Element ratios for the Jurassic to the Palaeogene sandstones around the western Bogeda Mountains in Xinjiang

元素比值	J(7)	K(5)	E(6)	UCC	LCC	OC
La/Sc	2.90	2.89	1.91	2.7	0.3	0.1
Sc/Th	1.53	1.10	1.60	1	34	1.73
Cr/Th	5.36	3.88	4.70	3.3	222	1227
Co/Th	1.59	1.32	1.68	0.9	33	214
Eu/Eu*	0.69	0.67	0.73	0.65	1.07	1.02

注:UCC. 大陆上地壳; LCC. 大陆下地壳; OC. 洋壳(数据引自 McLennan 等,1983^[44])。大陆上地壳的 Eu/Eu* 值采用 Boynton (1984) 推荐的球粒陨石平均值计算的结果;括号内为样品数

为进一步研究源岩的属性,利用 La/Th-Hf(图 5a)和 La/Sc-Co/Th(图 5b)源岩属性判别图解,对沉积岩的原始属性进行了分析。在图 5a 中,侏罗系至古近系的样品大多数沉积岩落在长英质源区,少部分落在混合长英质/基性源区内,并且接近安山弧源的边缘地带,反映可能有安山质岩石的混入。在图 5b 中,侏罗系至古近系的样品位于长英质火山岩源区与安山岩源区之间,其中 Co/Th 的平均

值为 1.57,明显偏向长英质火山岩源区,反映源岩以长英质岩为主,可能尚有安山质岩石的混入。

综合分析,西博格达山周缘地区中一新生代沉积岩的源岩来自上地壳,岩性以长英质岩石为主,混合部分安山质及基性岩石。区域资料也证实,研究区在古生代火山岩普遍发育,岩性以酸性凝灰岩为主,局部发育安山岩和花岗岩以及少量的辉长闪长岩,为中一新生代沉积岩提供了物源^[9,33,45]。

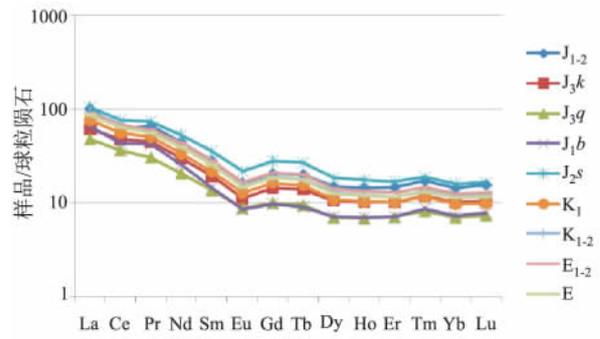


图 4 球粒陨石标准化稀土元素分配图解

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Jurassic to the Palaeogene sandstones around the western Bogeda Mountains in Xinjiang

4.2 构造背景分析

将西博格达山周缘沉积岩的稀土元素与 Bhatia^[46]总结的 4 类典型构造环境沉积岩的稀土元素含量进行对比,发现研究区沉积岩的平均稀土元素非常接近于大陆岛弧,表明柴窝铺盆地中一新生代沉积岩的源岩可能是在大陆岛弧构造背景下形成的(表 3)。

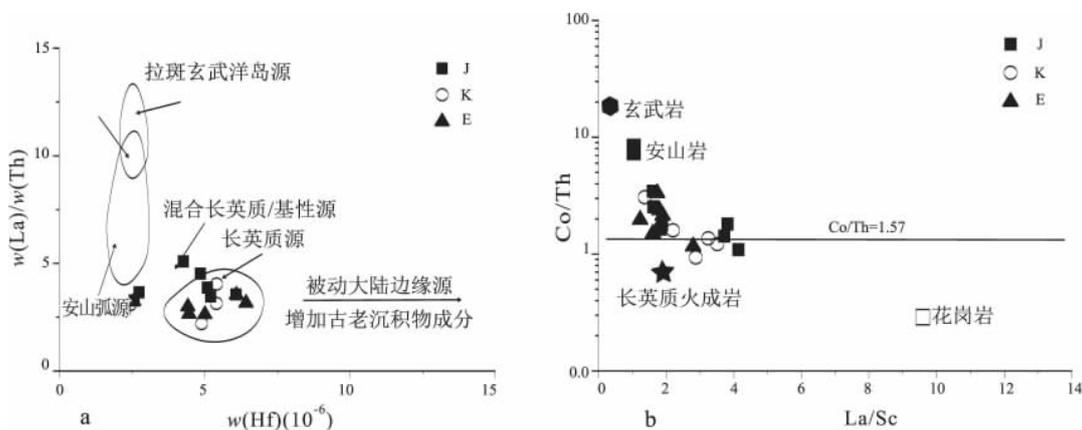


图 5 侏罗系至古近系沉积岩 La/Th-Hf(a)和 La/Sc-Co/Th(b)源岩判别图解(正方形为侏罗系样品,圆形为白垩系样品,三角形为古近系样品)^[44]

Fig. 5 $w(La)/w(Th)$ vs. $w(Hf)$ (a) and La/Sc vs. Co/Th (b) diagrams for the tectonic interpretation of the provenance of the Jurassic to the Palaeogene sedimentary rocks around the western Bogeda Mountains in Xinjiang (base map from Gu et al., 2002)

表3 西博格达山周缘中生代沉积岩与典型构造背景沉积岩的REE特征对比^[46]

Table 3 REE correlation of the Mesozoic to Cenozoic sedimentary rocks around the western Bogeda Mountains in Xinjiang and representative tectonic settings in the world(after Bhatia , 1985)

构造背景类型	La	Ce	ΣREE	La/Yb	(La/Yb)N	LREE/HREE	δEu
大洋岛弧	8.0	19.0	58.0	4.2	2.8	3.8	1.04
大陆岛弧	27.0	59.0	146.0	11.0	7.5	7.7	0.79
活动大陆边缘	37.0	78.0	186.0	12.5	8.5	9.1	0.60
被动大陆边缘	39.0	85.0	210.0	15.9	10.8	8.5	0.56
研究区样品平均值	25.0	49.7	126.6	10.0	6.7	6.6	0.70

注:表中量纲为 10^{-6}

La、Th、Y、Zr、Ti、Co 和 Ni 等不活泼的微量元素在判别构造背景方面也起着至关重要的作用^[14]。本文利用 Bhatia 等提出的最具构造背景判别意义的 La-Th, La/Y-Sc/Cr, Ti/Zr-La/Sc, La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 和 Th-Sc-Zr/10 等图解对柴窝铺盆地的构造背景进行分析(图 6)^[14]。

在 La/Th 图解(图 6a)中,大部分样品落在大陆岛弧区,只有 4 个样品落在 La/Th 大于 4 的区域。在 La/Y-Sc/Cr 图解(图 6b)中,接近半数样品落在大陆岛弧区,其余样品多数落在活动大陆边缘及其周边区域。在 Ti/Zr-La/Sc 图解(图 6c)中,几乎全部样品都落在大陆岛弧区,只有 4 个样品落在活动大陆边缘及其周边区域。在 La-Th-Sc(图 6d)、Th-Co-Zr/10(图 6e)和 Th-Sc-Zr/10(图 6f)中,几乎所有样品全部落在大陆岛弧区。

综上所述,研究区侏罗系至古近系沉积岩源岩主要是在大陆岛弧构造背景下形成的,可能有少量活动大陆边缘源区混入。

5 讨论

砂岩岩相学研究表明,西博格达山周缘侏罗系至古近系砂岩主要为中粗粒长石岩屑砂岩,成分成熟度与结构成熟度都较低,显示碎屑物质为短距离搬运、快速堆积,具近源沉积特征^[13]。微晶长英质火山岩岩屑和微晶石英集合体进一步证实,源岩为酸性火山岩,少量安山质火山岩岩屑表明有一定安山质岩石的混入。微量元素和稀土元素分析结果表明,柴窝铺盆地侏罗系至古近系沉积岩的源岩来自上地壳,岩性以长英质岩石为主,并混进了部分安山质及基性岩石。区域资料也证实了研究区在古生代火山岩普遍发育,岩性以中酸性凝灰岩为主,局部发育安山岩和花岗岩以及少量的辉长闪长岩,为中—新生代的沉积岩提供了物源。

砂岩碎屑组分统计结果表明,研究区侏罗系至古近系砂岩的源区构造背景应该为岩浆弧和再旋

回造山带,其中岩浆弧起主导作用。微量元素和稀土元素分析结果表明,研究区中生代沉积岩主要是在大陆岛弧构造背景下形成的,可能有少量活动大陆边缘源区混入。这两方面的数据分析结果相互吻合,砂岩碎屑统计得出的岩浆弧和再旋回造山带分别对应于微量元素和稀土元素分析得出的大陆岛弧和活动大陆边缘,可以推测研究区侏罗系至古近系物源的再旋回造山带应该是在活动大陆边缘背景下形成的。

本次分析结果还可与西博格达山地区的构造演化过程相互耦合。侏罗纪时期,博格达地区作为汇水盆地中心,接收来自北侧的阿尔泰-克拉美丽等陆块以及南侧的北天山地区的物源供应。本文得出的侏罗纪时期西博格达山地区长英质物源和大陆岛弧为主的构造背景与阿尔泰-克拉美丽及北天山的晚古生代长英质火山岩及其岛弧背景相吻合^[1, 2, 9, 47-48]。白垩纪至古近纪,博格达山已经隆升造山,因此博格达山链便成为博格达周缘盆地主要物源供给区。本文得出的该时期长英质物源和大陆岛弧为主的构造背景应该反映了博格达山在泥盆纪至二叠纪期间形成的中酸性岛弧火山岩^[8, 9, 33, 45, 49]。此前就博格达山晚古生代的构造属性存在很大分歧,主要分为裂谷、岛弧和海相前陆盆地 3 种截然不同的观点^[7, 9, 33, 36],本文的分析结果为解决这一争议问题提供了参考性依据。

此外,本次分析结果与 Graham(1993)、柳永清(2004)对天山南北两侧物源与构造属性的研究结果以及邵磊等(1999)对吐哈盆地的研究结果相一致^[2, 11, 32],说明西博格达山在演化过程及机制上与东博格达及整个天山山脉具有不可分割的联系。

综上所述,西博格达山周缘盆地侏罗系至古近系沉积岩的源岩来自上地壳,岩性以长英质岩石为主,混合部分安山质及基性岩石。源区构造背景应为岩浆弧和再旋回造山带,其中岩浆弧起主导作用。

表4 西博格达山周缘侏罗系至古近系沉积岩微量元素及稀土元素分析数据(10^{-6})Table 4 Trace element and rare earth element analyses(10^{-6}) of the Jurassic to the Palaeogene sedimentary rocks along the western Bogeda Mountains in Xinjiang

样品号	j002	j005	j006	j007	j008	j009	j010	k001	k002	k003	k004	k005	e001	e002	e003	e004	e005	e006
样品时代	J ₁₋₂	J ₁₋₂	J ₁₋₂	J _{3k}	J _{3q}	J _{1b}	J _{2s}	K ₁	K ₁	K ₁₋₂	K ₁₋₂	K ₁₋₂	E ₁₋₂					
岩性	灰色泥岩	红色泥岩	黄色泥岩	土黄色细砂岩	灰绿色细砂岩	黄绿色细砂岩	灰绿色泥岩	灰绿色细砂岩	灰绿色泥页岩	灰色泥岩	灰色细砂岩	灰色泥岩	红褐色粉砂岩	粉砂质页岩	灰色泥岩	红色泥岩	红色细砂岩	红色粉砂岩
Li	25.75	23.68	40.78	12.33	13.39	9.45	28.47	12.89	26.36	42.06	12.76	56.67	15.70	30.20	35.61	22.59	19.35	22.59
Be	1.57	2.23	1.76	0.70	1.14	0.71	1.87	0.84	0.83	1.65	0.84	3.11	0.99	1.46	1.29	1.30	1.09	1.03
Sc	12.39	16.36	16.92	4.31	3.73	4.95	17.35	4.48	8.69	14.59	6.36	18.45	8.62	13.23	10.30	14.73	13.23	12.02
Ti	3843	3952	3449	1312	1365	2623	4353	1205	2580	3743	1209	4153	1690	4401	5091	4152	4175	5005
V	100.7	111.8	144.9	34.6	25.0	43.7	105.7	32.2	49.4	97.6	38.4	128.1	32.7	83.8	114.9	123.0	98.1	121.0
Cr	37.54	44.11	48.16	12.28	22.94	30.30	49.06	13.47	39.28	44.29	14.73	78.18	18.71	38.53	44.74	51.87	22.65	35.30
Mn	290.4	(0.1)	921.8	0.9	137.0	122.6	409.1	471.1	1.8	425.9	(0.5)	478.4	(0.3)	7.1	211.2	364.4	506.3	509.8
Co	14.18	12.88	13.13	4.56	5.22	5.80	19.27	5.39	8.30	14.75	5.40	33.64	14.23	16.54	8.37	13.47	10.01	12.94
Ni	24.08	32.60	40.08	9.07	15.51	9.10	41.49	10.15	16.99	31.60	13.40	47.59	25.86	35.37	18.20	16.30	23.92	27.15
Cu	39.35	119.49	44.39	5.42	6.59	9.34	37.40	14.02	17.53	36.26	15.80	42.33	8.59	29.04	33.75	25.68	26.14	24.26
Zn	84.3	60.1	122.7	39.2	25.9	41.6	101.8	32.8	54.7	109.4	29.4	84.7	45.7	105.3	88.7	52.4	70.5	58.3
Ga	14.11	17.20	20.03	9.37	9.89	8.98	17.24	9.71	11.17	15.74	8.51	15.64	8.68	15.13	16.23	10.26	13.36	12.05
Ge	0.72	1.40	1.05	0.64	0.65	0.68	1.01	0.65	0.75	1.06	0.53	1.43	0.52	0.89	1.09	1.13	0.86	0.95
As	7.65	4.58	7.06	1.89	6.09	3.47	2.81	2.73	9.79	6.74	3.41	6.09	9.70	7.28	7.66	7.82	9.45	14.47
Rb	48.65	83.75	108.88	26.05	65.57	51.73	84.55	68.34	62.35	68.39	59.21	78.52	64.52	60.60	64.68	48.24	54.56	52.61
Sr	132.6	190.0	100.3	193.8	159.5	131.3	106.7	150.8	467.0	214.6	335.5	195.7	137.6	84.8	48.9	123.4	176.8	199.1
Y	16.41	29.76	28.38	17.78	11.29	11.52	27.57	14.39	20.91	27.72	12.43	25.16	18.76	25.56	24.10	21.79	25.86	26.17
Zr	190.5	190.6	198.2	89.4	94.2	145.1	195.2	87.5	202.4	179.0	81.0	214.2	93.2	243.0	194.6	191.8	165.0	190.3
Nb	10.71	12.24	10.13	4.98	5.52	6.50	12.90	4.81	8.12	11.10	5.52	14.01	5.26	11.67	12.14	7.56	8.05	7.24
Mo	1.67	1.69	0.35	1.00	3.98	0.62	0.36	0.61	0.79	80.70	0.52	0.26	1.14	1.02	0.73	0.59	0.86	1.14
Cd	0.09	0.10	0.12	0.06	0.03	0.03	0.15	0.03	0.08	0.16	0.15	0.09	0.05	0.16	0.09	0.09	0.09	0.10
In	0.10	0.13	0.18	0.05	0.04	0.06	0.13	0.04	0.07	0.12	0.04	0.12	0.06	0.12	0.13	0.07	0.10	0.08
Sn	1.38	2.16	2.99	0.98	1.04	1.04	2.34	0.98	1.45	2.32	1.06	3.95	1.14	2.28	2.41	1.78	1.56	2.00
Sb	(0.03)	0.04	0.25	(0.03)	(0.01)	(0.08)	0.07	(0.09)	0.03	0.03	(0.02)	0.26	0.06	0.11	0.03	0.08	(0.05)	0.42
Cs	3.11	5.82	10.65	1.98	3.29	1.14	5.78	2.83	2.87	8.25	2.82	14.41	2.38	5.42	8.44	3.67	3.27	3.19
Ba	432.4	362.4	359.4	354.9	655.9	400.0	443.4	583.1	610.0	582.3	342.2	334.4	352.2	972.3	263.9	209.9	280.2	247.8
La	22.93	34.75	35.36	18.88	14.77	20.12	32.35	16.85	30.35	35.78	19.86	29.81	17.02	26.99	31.32	18.09	24.51	19.60
Ce	38.29	54.28	55.95	38.32	29.51	34.70	61.62	32.39	57.44	69.61	38.19	58.45	32.95	46.31	59.07	43.39	80.39	63.54
Pr	5.81	8.98	9.37	5.45	3.73	5.12	9.02	4.58	7.64	9.33	4.83	6.72	4.47	7.32	8.46	4.70	7.10	5.41
Nd	19.80	29.30	29.73	17.67	12.36	15.34	31.38	15.41	24.62	29.47	15.86	31.31	15.34	24.48	26.07	21.56	24.75	23.88
Sm	4.18	6.25	6.03	3.75	2.63	2.83	6.92	3.37	5.02	5.90	3.30	6.64	3.40	5.34	5.13	4.75	5.69	5.54
Eu	1.07	1.30	1.20	0.82	0.65	0.62	1.62	0.82	1.07	1.20	0.76	1.33	0.87	1.22	1.04	1.18	1.42	1.65
Tb	0.72	1.09	1.03	0.66	0.45	0.43	1.27	0.63	0.83	0.98	0.58	0.95	0.67	1.05	0.86	0.84	1.11	0.97
Gd	4.10	5.98	5.77	3.73	2.58	2.53	7.28	3.62	4.85	5.61	3.32	5.52	3.74	5.84	4.91	5.01	6.18	5.70
Dy	3.42	5.48	5.43	3.41	2.24	2.29	5.99	2.99	4.13	5.09	2.65	4.71	3.36	5.28	4.78	4.78	5.45	5.10
Ho	0.73	1.18	1.20	0.73	0.49	0.50	1.25	0.62	0.86	1.11	0.54	0.94	0.73	1.13	1.05	0.96	1.15	1.01
Er	2.13	3.47	3.61	2.15	1.48	1.51	3.57	1.80	2.46	3.27	1.50	2.51	2.10	3.31	3.19	2.54	3.31	2.65
Tm	0.38	0.62	0.66	0.39	0.26	0.28	0.61	0.31	0.43	0.60	0.25	0.43	0.36	0.59	0.59	0.42	0.57	0.43
Yb	2.08	3.35	3.62	2.13	1.46	1.53	3.34	1.73	2.34	3.23	1.40	2.85	1.99	3.25	3.21	2.86	3.14	2.82
Lu	0.35	0.58	0.62	0.35	0.24	0.26	0.55	0.28	0.39	0.54	0.22	0.44	0.32	0.53	0.54	0.39	0.49	0.48
Hf	4.86	5.10	6.08	2.75	2.57	4.27	5.21	2.45	5.41	5.41	2.26	4.90	2.56	6.43	6.09	4.46	4.42	5.01
Ta	0.53	0.84	0.71	0.34	0.32	0.54	0.71	0.32	0.53	0.79	0.36	0.91	0.34	0.71	0.94	0.57	0.48	0.52
W	2.77	2.58	1.40	4.22	7.23	6.60	3.30	4.86	6.24	2.37	3.31	2.67	4.84	2.23	2.88	1.54	1.50	8.46
Tl	0.24	0.38	0.63	0.31	0.41	0.32	0.50	0.38	0.31	0.50	0.30	0.61	0.30	0.40	0.58	0.33	0.40	0.30
Pb	12.76	23.81	40.38	11.63	15.83	11.00	19.34	15.24	15.53	21.28	12.38	21.93	11.61	17.97	21.50	10.06	17.68	13.69
Bi	0.14	0.28	0.73	0.10	0.11	0.06	0.23	0.11	0.18	0.32	0.11	0.55	0.06	0.23	0.39	0.23	0.20	0.22
Th	5.07	8.98	9.94	5.16	4.51	3.96	9.35	5.47	7.52	11.41	7.14	13.58	5.25	8.53	8.84	6.82	8.18	7.43

注:红色数字表示样品数据小于标样

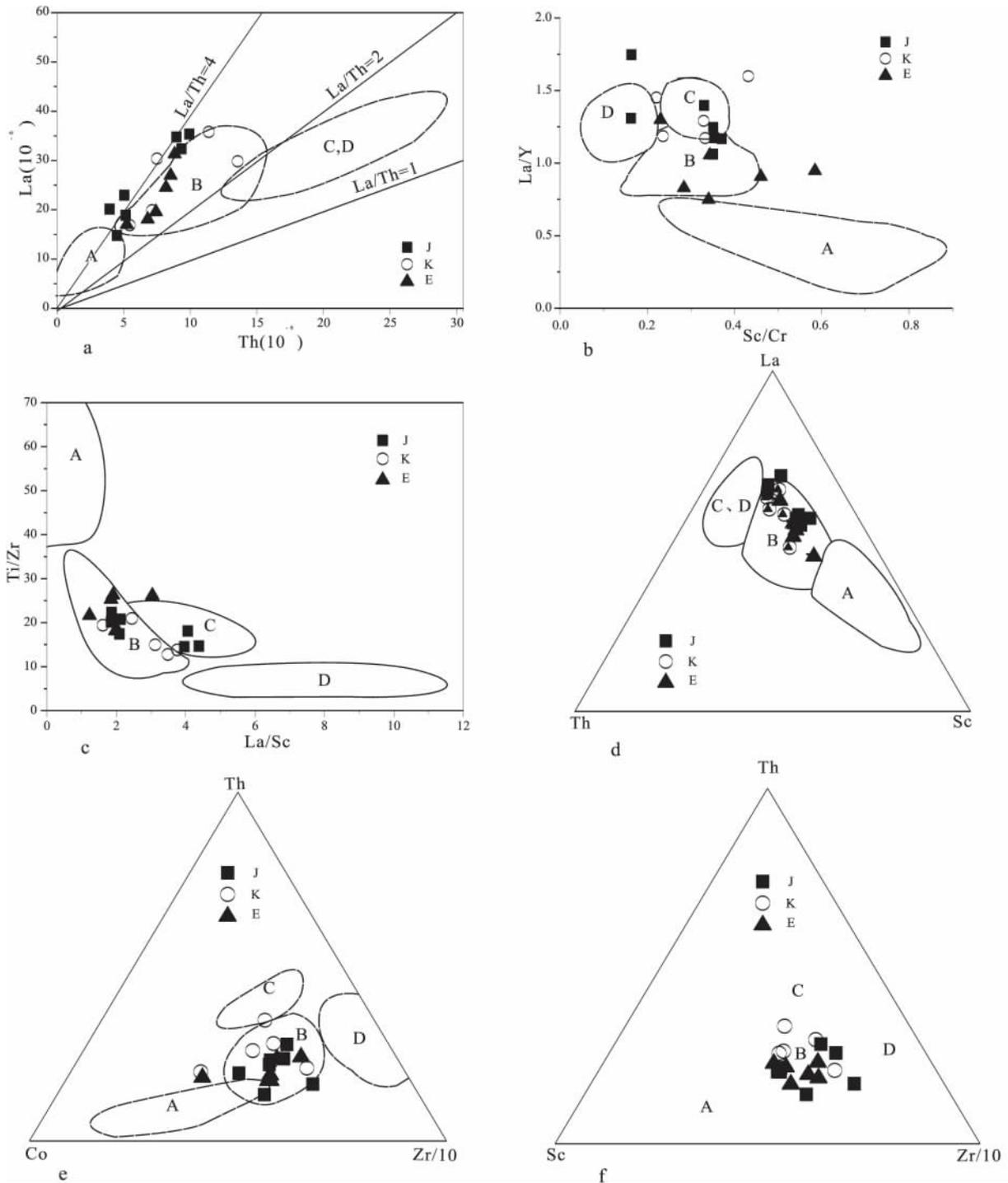


图6 微量元素构造背景判别图^[14]

A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘。正方形为侏罗系样品, 圆形为白垩系样品, 三角形为古近系样品

Fig. 6 Trace element discrimination plots (after Bhatia and Crook, 1986)

参考文献:

[1] 张传恒, 刘典波, 张传林, 等. 新疆博格达山初始隆升时间的地层学标定[J]. 地学前缘, 2005, 12(1): 294-302.
 [2] 柳永清, 王宗秀, 金小赤, 等. 天山东段晚中生代-新生代隆升

沉积响应、年代学与演化研究[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 319-331.
 [3] 张原庆, 钱祥麟, 李江海. 造山作用概念和分类[J]. 地质论评, 2002, 48(2): 193-197.
 [4] 张原庆, 钱祥麟, 李江海. 造山作用的两大类型与成因差异[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(1): 5-10.
 [5] 杨志华, 李勇, 苏生瑞, 等. 论陆内造山作用和陆内造山带[J].

- 矿物岩石, 2001, 21(3):169-172.
- [6] 崔盛芹. 论全球性中-新生代陆内造山作用与造山带[J]. 地学前缘, 1999, 6(4):283-293.
- [7] 王宗秀, 李涛, 张进, 等. 博格达山链新生代抬升过程及意义[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2008, 38(3):312-326.
- [8] 崔泽宏, 汤良杰, 王志欣. 博格达南、北缘成盆过程演化及其对油气形成影响[J]. 沉积学报, 2007, 25(1):59-64+98.
- [9] 汪新伟, 汪新文, 马永生. 新疆博格达山的构造演化及其与氧气的关系[J]. 现代地质, 2007, 21(1):116-124.
- [10] HENDRIX M S, DUMITRU T A, GRAHAM S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tian Shan: An early effect of the India-Asia collision [J]. *Geology*, 1994, 22(6):487-490.
- [11] GRAHAM S A, HENDRIX M S, WANG L B. Collisional successor basin of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1993, 105(3):323-344.
- [12] WINDLEY B F, ALLEN M B, ZHANG C. Paleozoic accretion and Cenozoic redeformation of the Chinese Tian Shan Range, central Asia [J]. *Geology*, 1990, 18(2):128-131.
- [13] MCLENNAN S M, HEMMING S, MCDANIEL D K. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [M]. Colorado: Geological Society of American Special Paper 284, 1993.
- [14] BHATIA M R, CROOK K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, 92(2):181-193.
- [15] BHATIA M R. Plate tectonics and geochemistry composition of sandstone [J]. *Journal of Geology*, 1983, 91(4):611-628.
- [16] 马收先, 孟庆任, 曲永强. 轻矿物物源分析研究进展[J]. 岩石学报, 2014, 30(2):597-608.
- [17] 宋春彦, 王剑, 付修根, 等. 羌塘盆地藏夏河组砂岩地球化学特征及意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2013, 38(3):508-518.
- [18] 胡楠, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山得力斯坦地区马尔组物源分析及其构造背景研究[J]. 地质学报, 2013, 87(11):1731-1747.
- [19] 董策, 周建波. 内蒙古东北部中二叠统哲斯组砂岩地球化学特征分析及物源区示踪[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(5):663-673.
- [20] 赵国连. 塔里木盆地白垩系—古近系砂岩岩石学及地球化学[J]. 矿物岩石, 2012, 32(4):81-93.
- [21] 毛光周, 刘池洋. 地球化学在物源及沉积背景分析中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4):337-348.
- [22] 蔡福龙, 丁林, 张清海, 等. 雅鲁藏布江周缘前陆盆地物源分析及构造演化[J]. 岩石学报, 2008, 24(3):430-446.
- [23] 赵小明, 王建雄, 牛志军, 等. 青海南部治多—杂多地区石炭纪—三叠纪砂岩地球化学特征与构造背景探讨[J]. 沉积学报, 2008, 26(1):11-20.
- [24] 刘士林, 刘蕴华, 林舸, 等. 南堡凹陷新近系馆陶组砂岩地球化学、构造背景和物源探讨[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(3):475-478+481-483+505.
- [25] 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1032-1044.
- [26] 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, 81(6):755-771.
- [27] 刘飞, 陈岳龙, 苏本勋, 等. 松潘—甘孜地区三叠系碎屑沉积岩地球化学特征及其锆石年龄研究[J]. 地球学报, 2006, 27(4):289-296.
- [28] 曾宜君, 黄思静, 阚泽忠, 等. 四川西部三叠系西康群地球化学特征与大地构造背景[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1):22-29.
- [29] 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报, 2003, 21(3):409-415.
- [30] 李志明, 刘家军, 胡瑞忠, 等. 兰坪中生代盆地沉积岩源区构造背景和物源属性研究——砂岩地球化学证据[J]. 沉积学报, 2003, 21(4):547-552.
- [31] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 物源分析的研究与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4):104-110.
- [32] 邵磊, 李文厚, 袁明生. 吐鲁番—哈密盆地陆源碎屑沉积环境及物源分析[J]. 沉积学报, 1999, 17(1):435-441.
- [33] 方国庆. 博格达晚古生代岛弧的沉积岩石学证据[J]. 沉积学报, 1993, 11(3):31-36.
- [34] DICKINSON W R, BEARD L S, BRAKENRIDGE G R. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1983, 94(2):222-235.
- [35] DICKINSON W R, SUCZEK C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(2):2164-2182.
- [36] 沈传波, 梅廉夫, 刘麟, 等. 新疆博格达山裂变径迹年龄特征及其构造意义[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2005, 27(2):11-14+5.
- [37] 王宗秀. 博格达山的造山活动与山体形成演化[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2003. 1-119.
- [38] 吴孔友, 查明, 王绪龙, 等. 准噶尔盆地构造演化与动力学背景再认识[J]. 地球学报, 2005, 26(3):217-222.
- [39] INGERSOLL R V, BULLARD T F, FORD R L. The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point-counting method [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1984, 54:103-116.
- [40] WELTJE G J. Quantitative analysis of detrital modes: Statistically rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology [J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 57(3-4):211-253.
- [41] WELTJE G J. Ternary sandstone composition and provenance: An evaluation of the 'Dickinson model' [J]. *Geological Society*, 2006, 264(1):79-99.
- [42] CONDIE K C. Another look at rare element in shales [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55(9):2527-2531.
- [43] MCLENNAN S M, TAYLOR S R. Geochemical evolution of Archean shales from South Africa, the Swaziland and Pongola supergroups [J]. *Precambrian Research*, 1983, 22(1):93-124.
- [44] GU X X, LIU J M, ZHENG M H. Provenance and tectonic setting

- of the Proterozoic turbidites in Hunan ,south China [J]. Journal of Sedimentary Research ,2002 ,72(3) :393 -407.
- [45] 马瑞士,舒良树,孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社,1997. 1 -202.
- [46] BHATIA M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control [J]. Sedimentary Geology ,1985 ,45(s1 -2) :97 -113.
- [47] 吴小奇. 新疆北部卡拉麦里缝合带后碰撞构造岩浆作用及其对火山岩油气成藏的制约[D]. 合肥:中国科学技术大学 2010.
- [48] 陈汉林,杨树锋,厉子龙,等. 阿尔泰晚古生代早期长英质火山岩的地球化学特征及构造背景[J]. 地质学报,2006,80(1) :38 -42.
- [49] 李继亮. 准噶尔残留弧后盆地与天山大地构造的关系[J]. 沉积学报,1989,7:53 -62.

Provenance and tectonic setting of the Mesozoic to Cenozoic sedimentary rocks around the western Bogeda Mountains , Xinjiang

ZHAO Heng^{1 3} , LI Yan-jie^{2 3} , GUAN Bao-wen^{1 3} , GUO Jian-ming¹ , ZHENG You-wei^{1 3} , XU Shi-yang^{1 3} , ZHENG Jian-jing¹

(1. Gansu Key Laboratory of Oil and Gas Resources/Key Laboratory of Oil and Gas Resources under the Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , Gansu , China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden under the Chinese Academy of Sciences , Mengla 666303 , Yunnan , China; 3. University of the Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract: The integration of petrological , trace element and rare earth element analysis for the Jurassic to the Palaeogene sedimentary rocks around the western Bogeda Mountains , Xinjiang shows that the source rocks of the sedimentary rocks should be derived from the upper crust , and consist dominantly of felsic rocks with the mixtures of andesitic and basic rocks. The tectonic settings of the provenance should be represented by the magmatic arcs and recycled orogens. The results of research in this study may provide essential improvements for the study of tectonic evolution and attributes of the provenance of the Jurassic to the Palaeogene sedimentary rocks around the western Bogeda Mountains , and thus are of great significance to the oil and gas exploration in the Junggar Basin , Xinjiang.

Key words: western Bogeda Mountains; tectonic setting; provenance type; detrital composition; trace element and rare earth element analysis