

柴窝铺盆地及其北缘地区中新世沉积岩 源区构造背景和物源属性研究

赵恒^{1,2}, 郭建明¹, 刘文汇³, 樊海龙^{1,2}, 许世阳^{1,2}, 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. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 沉积岩中的碎屑组分及主量元素、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、构造背景的分析。通过对柴窝铺盆地及北缘地区侏罗纪至古近纪沉积地层的碎屑岩岩石学和地球化学分析, 揭示了盆地沉积岩的原岩来自上地壳, 岩性以长英质岩石为主, 并混合进了部分安山质及基性岩石。源区构造背景为活动大陆边缘, 因其原岩是在大陆岛弧环境下形成的, 所以部分构造背景显示为大陆岛弧。本次研究不仅可以为柴窝铺盆地及北天山的构造演化过程及其机制提供有力证据, 并且对柴窝铺油气勘探具有一定指导意义。

关键词: 柴窝铺盆地; 源区构造背景; 物源属性; 碎屑组分; 微量及稀土元素; 主量元素

中图分类号: P588.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)03-0402-17

A study of tectonic setting and provenance of Mesozoic and Cenozoic sedimentary rocks in Chaiwopu Basin and its northern margin

ZHAO Heng^{1,2}, GUO Jian-ming¹, LIU Wen-hui³, FAN Hai-long^{1,2}, XU Shi-yang^{1,2} and ZHENG Jian-jing¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources of Gansu Province, Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China, 3. Sinopec Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Such factors as detrital composition, major elements, trace elements and rare earth elements of sedimentary rocks can reflect the information of provenance, and are hence widely used to determine sedimentary provenance type and tectonic setting. An analysis of detrital petrology and geochemistry shows that the provenance of the basin around west Bogda came from the upper earth crust, and felsic rocks were predominant, with the mixture of a small portion of andsitic and basic rocks. The tectonic setting of this area should be active continental margin; nevertheless, as the original rock was formed in a continental island arc environment, a part of the tectonic background displays the continental arc environment. This research provides evidence for studying the structural evolution of the Chaiwopu Basin and North Tianshan Mountains, and is also of great significance for the exploration of oil and gas resources in Chaiwopu Basin and Junggar Basin.

Key words: Chaiwopu Basin; provenance tectonic setting; provenance type; detrital composition; trace element and rare earth element; major element

Fund support: National Program on Key Basic Research Project of China (973 Program)(2012CB214801); The

收稿日期: 2016-08-15; 接受日期: 2017-03-20

基金项目: 国家“973”项目(2012CB214801); 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); 甘肃省油气资源研究重点实验室基金(135CCJJ20160517)

作者简介: 赵恒(1987-), 男, 汉族, 博士生, 构造地质学专业含油气构造方向, E-mail: zhaoheng12@mails.ucas.ac.cn; 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。

Western Action Plan of Chinese Academy of Sciences(KZCX2-XB3-12); Special Foundation for Key Laboratory of Gansu Province(1309RTSA041); The Foundation for Key Laboratory of Oil and Gas Resources Research in Gansu Province (135CCJJ20160517)

柴窝铺盆地处于准噶尔盆地南缘东部,地理位置在新疆乌鲁木齐市东南,大地构造位置北临博格达陆内造山带,南接依林黑比尔根山造山带,是一个经历多次构造演化的多旋回叠合盆地,拥有十分复杂的构造格局和演化历史(曹守连等, 1997; 陈发景等, 2005; 张朝军等, 2006; 崔泽宏等, 2007)。从宏观构造域上讲,柴窝铺盆地在演化过程中受到古亚洲洋构造域和特提斯构造域的控制和影响;从微观的盆山构造格架上讲,博格达造山带和依林黑比尔根山造山带作为天山山脉的分支与柴窝铺盆地之间的“盆山耦合”作用是盆地演化的直接动力学来源(王宗秀, 2003; 张朝军等, 2006; 陈发景等, 2005; 王宗秀等, 2008)。柴窝铺盆地的构造背景和沉积物源研究不仅可以丰富古亚洲洋构造域和特提斯构造域的研究,对于研究博格达山乃至北天山的构造隆升过程、隆升机制及盆山耦合过程也有重要的研究意义。此外,柴窝铺盆地与中国两大富油气盆地准噶尔盆地和吐哈盆地不仅在地理位置上相毗连,而且在构造演化过程上有着不可分割的联系和很大的相似性,研究柴窝铺盆地的构造演化可以为研究区的油气勘探提供理论支撑。

该区具有复杂的构造演化历史和演化机制,虽然很多学者利用古流向、重矿物、碎屑锆石定年等方法对博格达山周缘盆地的物源进行了研究,但仍存在较大争议,尤其是关于博格达山的隆升时间问题(Hendrix *et al.*, 2000; 柳永清等, 2004; 张传恒等, 2005; 汪新伟等, 2007; 陈熠等, 2012)。整体而言,大多数学者认为研究区在早侏罗世为准噶尔盆地的汇水中心,接受来自北侧的阿尔泰-克拉美丽等陆块以及南侧的北天山地区的物源供应;中晚侏罗世—白垩纪博格达山开始隆升并为两侧盆地提供物源(柳永清等, 2004; 张传恒等, 2005; 陈汉林等, 2006; 汪新伟等, 2007; 吴小奇, 2010)。

碎屑岩的碎屑组分及地球化学成分虽然在沉积过程中受到一定程度的改造,但仍主要受物源区的控制,因此可以反映地壳成分、构造演化等信息,已广泛用于研究沉积岩沉积构造背景和物源属性(Dickinson and Suczek, 1979; Dickinson *et al.*, 1983; Bhatia, 1983; 赵红格等, 2003; 马收先等,

2014)。为了准确认识柴窝铺盆地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分研究、主微量元素与稀土元素分析,对柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗纪至古近纪的沉积岩源区构造背景和源区属性进行了研究。

1 研究区地质概况

1.1 地层特征

柴窝铺盆地地表出露的最老地层为上石炭统,最新地层为第四系,中间除白垩系缺失严重外其它地层都有发育(表1)。

上石炭统:从下至上依次可分为柳树沟组、祁家沟组和奥尔吐组,是一套以碎屑岩为主的浅海相或浅海相—滨海相的复理石建造。碎屑岩中夹杂着大量火山质成分,少量碳酸盐岩碎屑夹杂其中。

二叠系:主要由下二叠统下茆茆槽群、中二叠统上茆茆槽群和上二叠统下苍房沟群组成。其中下二叠统下茆茆槽群是一套海相复理石建造,以深水油流沉积为主,岩性主要为泥岩与砂岩、粉砂岩互层;中二叠统上茆茆槽群为一套海陆过渡相沉积,岩性以深色泥岩、粉砂岩、含砾砂岩、砂砾岩为主;上二叠统下苍房沟群是一套陆相沉积,岩性以砂质泥岩、细砾岩、粉砂岩紫色泥岩为主,多为几种岩性互层。

三叠系:主要由下三叠统上苍房沟群和中上三叠统小泉沟群组成,是一套陆相沉积,岩性以厚层块状砂岩、砂砾岩与灰绿色、泥岩为主。

侏罗系:包括中下侏罗统水西沟群和中上侏罗统艾维尔沟群(也称石树沟群)。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,是一套在潮湿气候环境下发育的河流—沼泽相沉积,多处可见含煤地层。中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,岩性以干燥气候环境下典型的紫红色碎屑岩系为主。

古近系—新近系:主要出露于盆地腹部中心地带,是一套陆相沉积的碎屑岩,岩性以浅棕色、灰黄色砂砾岩、泥岩、砂岩为主,常见薄层发育的石膏夹层,多以角度不整合关系与下伏地层接触。

第四系:以坡积或洪积成因的砂砾岩为主,上覆

表 1 柴窝铺盆地地层划分(据郑庆华,2007)

Table 1 Stratigraphic division of Chaiwopu Basin (after Zheng Qinghua, 2007)

界	系	统	群	地层		主要岩性
新生界	第四系				Q	灰黄色砾石层
	古近-新近系				E	浅棕色、灰黄色泥岩与同色薄层粉砂岩、砂岩、砾岩互层
中生界	白垩系	下统	吐谷鲁群		K ₁ tg	暗灰、褐灰色砾岩夹泥灰岩
	侏罗系	上统	艾维尔沟群 (石树沟群)	喀拉扎组	J ₃ k	
				齐古组	J ₃ q	紫红色泥岩夹黄褐色细砾岩、灰色长石砾岩的不等厚互层
		中统		头屯河组	J ₂ t	紫红色、灰绿色泥岩细砾岩和砂岩
			水西沟群	西山窑组	J ₂ x	灰色、深灰色泥岩夹砂岩、细砾岩、炭质泥岩、煤层
		下统		三工河组	J ₁ s	深灰及灰黑色泥岩、炭质泥岩夹煤线、灰色粉砂岩和细砂岩
				八道湾组	J ₁ b	灰色、黑色泥岩和同色系细砾岩夹砂岩、薄层煤及煤线
	三叠系	上统	小泉沟群	郝家沟组	T ₃ h	深灰色厚层泥岩夹灰色薄层砂砾岩及粉砂质泥岩、粉砂岩
				黄山街组	T ₃ hs	深灰、灰黑色泥岩夹粉砂岩
		中统		克拉玛依组	T ₂ k	褐色、深灰色厚层泥岩、绿灰色粉砂质泥岩夹薄层棕褐色细砂岩和浅灰色细砾岩
		下统	上仓房沟群	烧房沟组	T ₁ sh	紫红色、灰色泥岩夹灰绿色、泥质粉砂岩、粉砂岩与细砂岩
				韭菜园组	T ₁ j	
古生界	二叠系	上统	下仓房沟群	锅底坑组	P ₃ g	紫色泥岩与紫灰色、灰紫色细砂岩、含砾细砂岩互层
				梧桐沟组	P ₃ w	
				泉子街组	P ₃ q	
		中统	上茆茆槽群	红雁池组	P ₂ h	深灰色、褐灰色泥岩与灰色含砾细砂岩、砂砾岩互层
				芦苇沟组	P ₂ l	灰紫、深灰色泥岩、泥质粉砂岩与含砾细砂岩、砂砾岩互层
				井井子沟组	P ₂ j	灰绿色、灰色钙质砂岩、钙质粉砂岩与泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩互层
				乌拉泊组	P ₂ w	深灰、灰色粉砂岩、含硅质泥灰岩，底为砾岩
		下统	下茆茆槽群	塔什库拉组	P ₁ t	浅红、灰黄、灰黑色细砂岩和粉砂岩夹砾岩，泥岩及凝灰岩
				石人子沟组	P ₁ s	灰色岩屑砂岩、粉砂岩和深灰、灰黑色泥岩、灰质泥岩
	石炭系	上统		奥尔吐组	C ₂ o	深灰色粉砂岩、钙质细砂岩、砾岩、凝灰岩夹生物灰岩
				祁家沟组	C ₂ q	生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩夹钙质细砂岩、滑塌砾岩
				柳树沟组	C ₂ l	暗紫色安山质熔结角砾岩

黄土,厚度变化较大。

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(王宗秀, 2003; 沈传波等,2005; 崔泽宏等, 2007; 汪新伟等, 2007; 王宗秀等, 2008)。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(王宗秀, 2003; 崔泽宏等, 2007; 王宗秀等, 2008)。

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且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模式火山岩建造,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。

2 采样及实验方法

研究区总共进行了11件砂岩(侏罗纪7件、白垩纪2件、古近纪2件)薄片碎屑颗粒统计,25件样品(侏罗纪12件、白垩纪6件、古近纪7件)的主量元素、微量元素与稀土元素分析。其中用于碎屑颗粒统计的样品多为中粗粒砂岩,且杂基小于25%,用于主量元素、微量与稀土元素分析的样品多为泥页岩及部分粉砂岩,采样位置见图1。主量元素分析采用顺序式X射线荧光光谱仪(XRF-1500),样品用熔融法通过M-4燃气自动熔样机制靶,前处理、制靶、测试均在中科院地质与地球物理研究所岩矿制样与分析实验室完成,测试精度可达0.1%~1.0%;微量及稀土元素数据通过电感耦合等离子体质谱分析(ICP-MS)获得,样品测试在中科院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心完成,微量元素和稀

土元素的测试精度可达到1%~5%。

3 岩石学及碎屑组分研究

岩石学及碎屑组分研究应用 Dickinson-Gazzi 点计法(Ingersoll *et al.*, 1984; 马收先等, 2014)对中粗粒砂岩样品进行碎屑成分统计分析。该方法对含矿物颗粒的岩屑成分与传统的计数法采取不同的处理方式:如果十字丝交点指向的岩屑中矿物颗粒大于0.0625 mm时,该颗粒被记为该矿物类型或小岩屑类型;若十字丝交点指向的岩屑中的颗粒小于0.0625 mm,或者说该岩屑内部颗粒为小于0.0625 mm的隐晶质,该颗粒记为整个岩屑的类型。该方法在一定程度上降低了样品颗粒大小对成分统计结果的影响,最大程度反映了物源组成,适用于构造背景的研究(马收先等, 2014)。每个样品所统计的总颗粒数不低于400个,并排除杂基含量高于25%的杂砂岩样品。砂岩碎屑组分统计表数据见表2。

3.1 物源分析

样品岩石类型主要为中粗粒长石岩屑砂岩,部分为中粗粒岩屑杂砂岩,分选性较好,磨圆度中等-较差,成熟度低,胶结类型多为钙质胶结和泥质胶

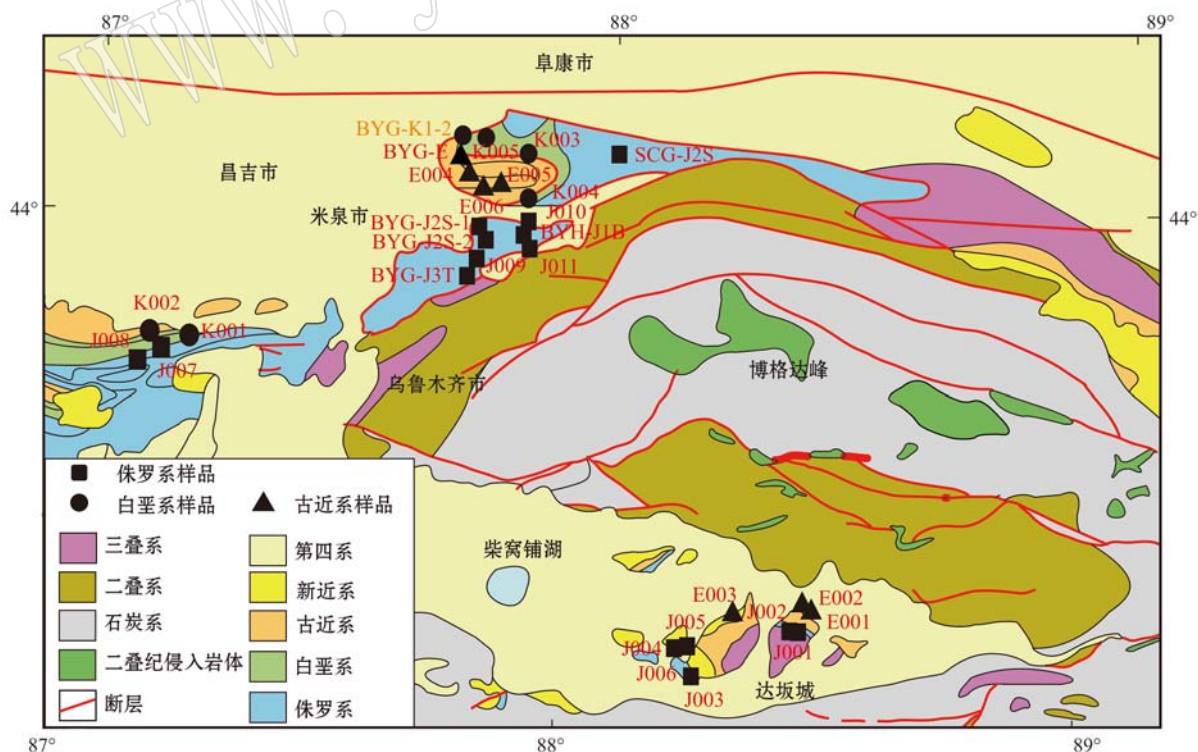


表 2 柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗系至古近系砂岩碎屑组分统计表

Table 2 Statistical table of detrital composition in Jurassic-Paleogene sandstone of Chaiwopu Basin and its northern margin

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	12
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

结。石英含量为 33%~68%，平均 46%，其中多晶石英含量较少，仅占石英总量的 11%。长石含量为 9%~31%，平均 21%，长石碎屑以钾长石为主，占长石总量的 64%。岩屑含量为 23%~45%，平均 33%，其中火山岩岩屑、沉积岩岩屑、变质岩岩屑含量分别占岩屑总量的 37%、54%、9%，沉积岩岩屑总量最多，以粉砂岩岩屑、硅质岩和泥岩岩屑为主，偶见灰岩岩屑。火山岩岩屑主要为微晶长英质火山岩岩屑和微晶石英集合体，含少量安山质火山岩岩屑及呈交织结构的板条状斜长石组成的安山岩岩屑（图 2）。样品表面光洁，常包含有气、液包裹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 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 Dickinson 三角图解（Dickinson and Suczek, 1979; Dickinson *et al.*, 1983）。Weltje 等利用对数比值法重新对 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，发现计算所得三大源区（稳陆块、岩浆弧和再旋回造山）边界与原图解存在一定差异，但大部分区域基本吻合（Weltje, 2002, 2006）。本文结合 Dickinson 三角图解和 Weltje 优化计算的结果，利用对源区辨别能力最强的 3 个图解进行了源区构造背景的分析（图 3）。

在图 3 的 QFL 图解中，按照 Dickinson 的实线

分界，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；而按照 Weltje（2006）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 的分界，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 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 的分界，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 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。综上分析，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循环造山带，其中以岩浆弧为主。

4 微量元素与稀土元素分析

沉积物中的微量元素和稀土元素由于在沉积过程中十分稳定，只随陆源碎屑沉积物搬运，并且在水体中停留时间短，对层内容蚀作用也不敏感，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（Bhatia, 1983; Bhatia and Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1993; 毛光周等, 2011）。研究区侏罗系至古近系沉积岩样品微量元素及稀土元素分析数据见表 3。

4.1 物源分析

稀土元素分布模式从原岩到沉积物没有明显变化，是十分可靠的物源指示剂。如图 4 所示，柴窝

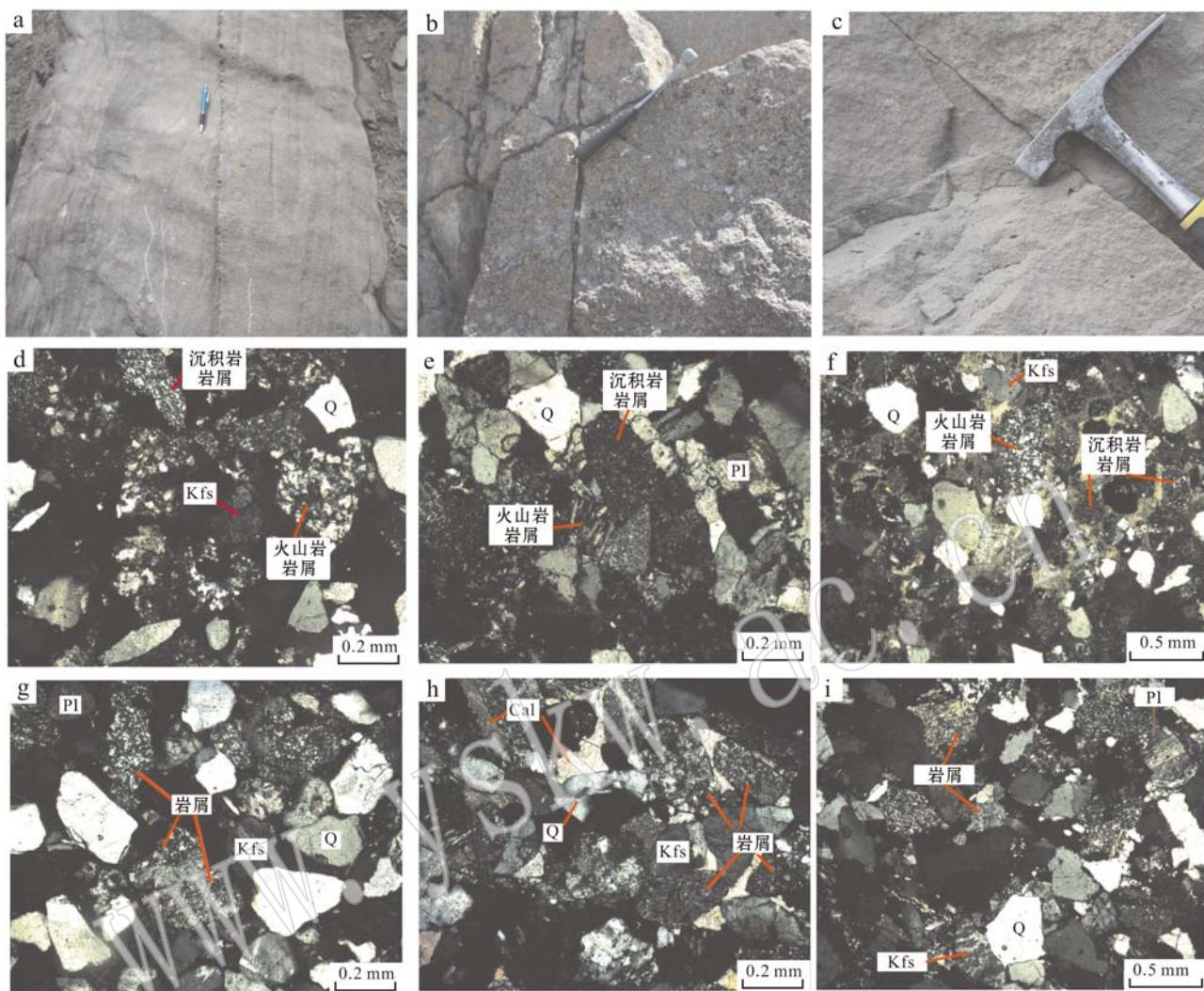


图2 柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗系至古近系砂岩野外照片及镜下照片

Fig. 2 Photos of Jurassic-Paleogene sandstones of Chaowopu Basin and its northern margin in the field and under the microscope

Q—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Cal—方解石

Q—quartz; Pl—plagioclase; Kfs—potassium feldspar; Cal—calcite

铺盆地及其北缘自侏罗系至古近系的沉积岩中稀土元素的分配模式基本一致,具有富集轻稀土元素、重稀土元素含量稳定、具负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4,相对不活泼的元素比值,如Th/Sc、La/Sc、Co/Th、Cr/Th等指示柴窝铺盆地及其北缘中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生代沉积岩的物源来自上地壳。

为进一步研究原岩的属性,利用La/Th-Hf和Co/Th-La/Sc原岩属性判别图解,对沉积岩的原始属性进行了分析。图5a中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。图5b中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源区,反映原岩以长英质岩为主,可能尚有安山质岩石的混入。

表3 柴窝铺盆地及其北缘侏罗系至古近系沉积岩微量元素及稀土元素分析数据
Table 3 Trace element and REE data of Jurassic-Paleogene sedimentary rocks in Chaivopu Basin and its northern margin

$w_B/10^{-6}$

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 岩性	J ₁₋₂ 灰色 泥岩	J ₁₋₂ 红色 泥岩	J ₁₋₂ 黄色 泥岩	J _{3k} 土黄色 细砂岩	J _{3q} 灰绿色 细砂岩	J _{1b} 黄绿色 细砂岩	J _{2s} 灰绿色 泥岩	K ₁ 灰绿色 细砂岩	K ₁ 灰绿色 泥岩	K ₁₋₂ 灰色 泥岩	K ₁₋₂ 灰色 细砂岩	K ₁₋₂ 灰色 泥岩	E ₁₋₂ 红褐色 粉砂岩	E ₁₋₂ 粉砂质 页岩	E ₁₋₂ 灰色 泥岩	E ₁₋₂ 红色 泥岩	E ₁₋₂ 红色 细砂岩	E ₁₋₂ 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

续表 3
Continued Table 3

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 岩性	J ₁₋₂ 灰色 泥岩	J ₁₋₂ 红色 泥岩	J ₁₋₂ 黄色 泥岩	J _{3^k} 土黄色 细砂岩	J _{3^q} 灰绿色 细砂岩	J _{1^b} 黄绿色 细砂岩	J _{2^s} 灰绿色 泥岩	K ₁ 灰绿色 细砂岩	K ₁ 灰绿色 泥岩	K ₁₋₂ 灰色 泥岩	K ₁₋₂ 灰色 细砂岩	K ₁₋₂ 灰色 泥岩	E ₁₋₂ 红褐色 粉砂岩	E ₁₋₂ 粉砂质 页岩	E ₁₋₂ 灰色 泥岩	E ₁₋₂ 红色 泥岩	E ₁₋₂ 红色 细砂岩	E ₁₋₂ 红色 粉砂岩
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
U	1.91	2.62	3.11	2.19	1.39	1.33	3.04	1.18	4.01	3.39	4.38	1.85	1.61	2.58	4.13	1.80	3.11	2.37
ΣREE	105.99	156.61	159.58	98.44	72.84	88.06	166.76	85.40	142.44	171.72	93.12	152.59	87.33	132.63	150.22	111.48	165.27	138.76
LREE	92.07	134.86	137.64	84.88	63.65	78.73	142.90	73.42	126.14	151.29	82.66	134.26	74.05	111.66	131.08	93.69	143.87	119.60
HREE	13.91	21.75	21.95	13.56	9.20	9.33	23.86	11.98	16.30	20.43	10.47	18.34	13.28	20.97	19.14	17.80	21.40	19.16
L/H	6.62	6.20	6.27	6.26	6.92	8.43	5.99	6.13	7.74	7.41	7.90	7.32	5.58	5.32	6.85	5.26	6.72	6.24
(La/Sm) _n	3.45	3.50	3.69	3.17	3.54	4.47	2.94	3.15	3.80	3.81	3.73	2.82	3.15	3.18	3.84	2.39	2.71	2.23
(La/Yb) _n	7.41	6.99	6.58	5.96	6.84	8.87	6.54	6.57	8.74	7.48	9.59	7.05	5.77	5.60	6.57	4.27	5.26	4.68
(Gd/Yb) _n	1.59	1.44	1.28	1.41	1.43	1.34	1.76	1.69	1.67	1.40	1.95	1.56	1.52	1.45	1.23	1.41	1.59	1.63
δEu	0.78	0.64	0.61	0.66	0.76	0.70	0.69	0.71	0.65	0.63	0.70	0.66	0.74	0.66	0.62	0.74	0.73	0.89

注: 括号内数字表示样品数据小于标样。

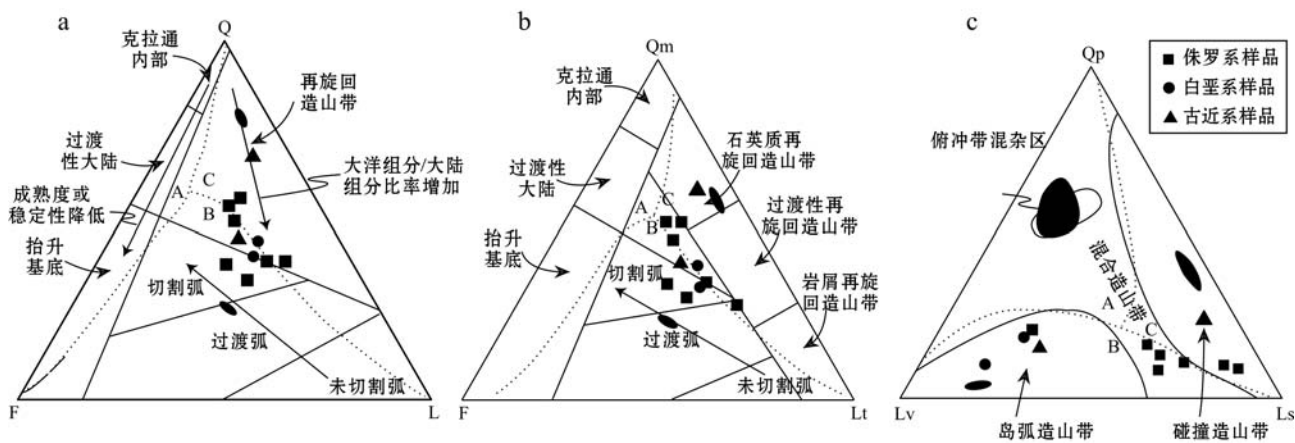


图 3 柴窝铺盆地及其北缘地区砂岩 Dickinson 图解(据 Dickinson 等, 1979, 1983; Weltje, 2006)

Fig. 3 The Dickinson plot of sandstone samples in Chaiwopu Basin and its northern margin (after Dickinson, 1979, 1983; Weltje, 2006)

实线是 Dickinson 划分方案, 点线为 Weltje 的划分方案; Q—石英总量($Q = Q_m + Q_p$); F—长石($F = P + K$); P—斜长石; K—碱性长石; 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($L_t = L + Q_p$); 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

The solid lines are boundaries of Dickinson, the point lines are boundaries of Weltje; Q—total quartz($Q = Q_m + Q_p$); F—feldspar ($F = P + K$); P—plagioclase; K—alkali feldspar; L—unstable rock fragment ($L = L_v + L_s$); Q_m —quartz grain; Q_p —polycrystalline quartzose grain; L_v —volcanic-metavolcanic rock fragment; L_s —sedimentary-metasedimentary rock fragment; L_t —total rock fragment ($L_t = L + Q_p$); A—stable continental block; B—magmatic arc; C—recycled orogen; the black areas are averages of 99% credibility

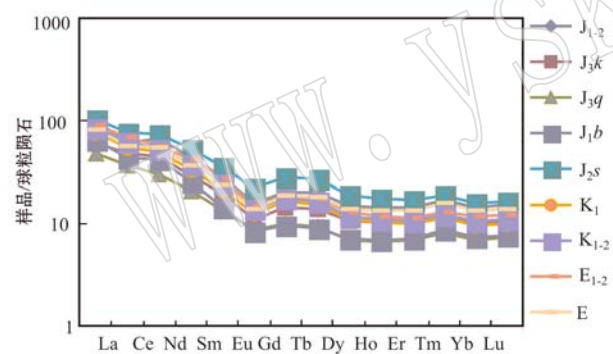


图 4 柴窝铺盆地及其北缘地区中生代沉积岩球粒陨石标准化稀土元素分配图解

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of Mesozoic and Cenozoic sedimentary rocks of Chaiwopu Basin and its northern margin

表 4 柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗系至古近系沉积岩元素比值

Table 4 The element ratios of Jurassic-Paleogene sedimentary rocks in Chaiwopu Basin and its northern margin

元素比值	J(7)	K(5)	E(6)	大陆上地壳	大陆下地壳	洋壳
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	1 227
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

大陆上地壳、大陆下地壳和洋壳数据引自 McLennan 和 Taylor (1983); 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。

综合分析, 柴窝铺盆地及其北缘地区中生代沉积岩的原岩来自上地壳, 岩性以长英质岩石为主, 并混合进了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, 岩性以中酸性凝灰岩为主, 另外局部还发育安山岩和花岗岩以及少量的辉长闪长岩, 这些为中生代沉积岩提供了物源(方国庆, 1993; 马瑞士等, 1997; 汪新伟等, 2007)。

4.2 构造背景分析

将柴窝铺盆地及其北缘沉积岩与 Bhatia 总结的 4 类典型构造环境沉积岩的稀土元素含量(Bhatia, 1985)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, 表明柴窝铺盆地中生代沉积岩的原岩可能是在大陆岛弧构造背景下形成的(表 5)。

La、Th、Y、Zr、Ti、Co、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。本文利用 Bhatia 等提出的最具构造背景判别意义的 La-Th、La-Th-Sc、Ti/Zr-La/Sc、La/Y-Sc/Cr、Th-Sc-Zr/10 和 Th-Co-Zr/10 等图解对柴窝铺盆地的构造背景进行了分析(Bhatia and Crook, 1986)(图 6)。

图 6a 中大部分样品落在大陆岛弧区, 只有 4 个样品落在 $La/Th > 4$ 的区域; 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

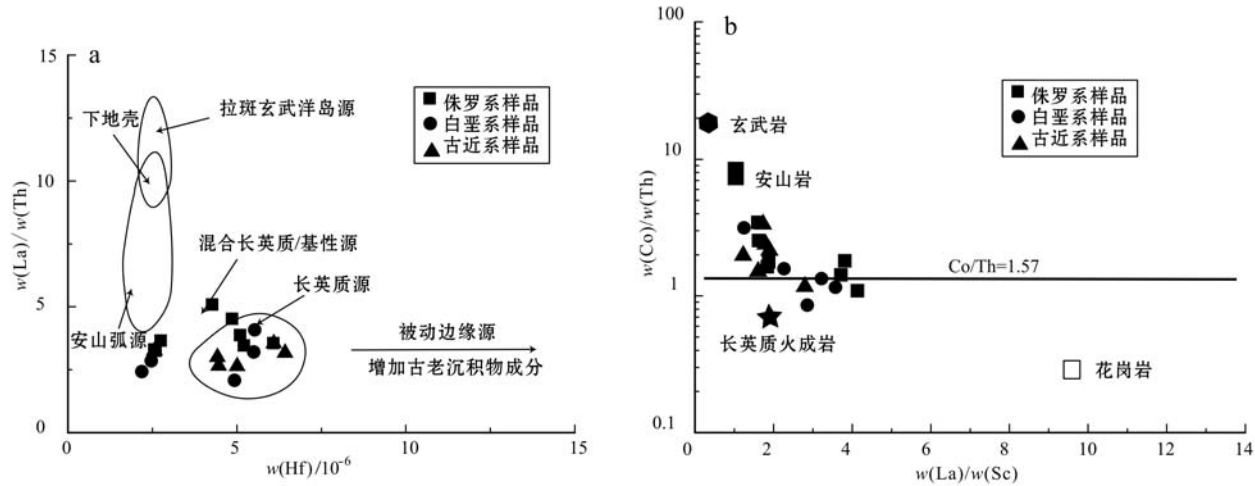


图 5 侏罗系至古近系沉积岩 La/Th - Hf(a)和 Co/Th - La/Sc(b)原岩判别图解(Gu 等, 2002)
Fig. 5 La/Th - Hf (a)and Co/Th - La/Sc (b) provenance discrimination plot of Jurassic-Paleogene sedimentary rocks (after Gu *et al.*, 2002)

表 5 西博格达周缘中新世沉积岩与典型构造背景沉积岩的 REE 特征对比(据 Bhatia, 1985) $w_B/10^{-6}$
Table 5 The contraposition of REE features between the sedimentary rocks around West Bogda Basin and those from typical tectonic settings(after Bhatia, 1985)

构造背景类型	La	Ce	Σ REE	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

边缘及其周边区域;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;图 6d、6e、6f 中几乎所有样品全部落在大陆岛弧区。

综上所述,认为研究区侏罗系至古近系沉积岩原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 主量元素分析

碎屑沉积岩中的主量元素在风化、剥蚀、搬运及沉积过程中容易受到改造,因此主量元素数据在判定物源及构造背景时一般只作为微量元素的补充。但是主量元素在判别物源属性和构造背景时也有自

己的优势,当盆地中碎屑岩的原岩形成时的构造背景与碎屑岩沉积时构造环境差别很大时,主量元素因为受到沉积过程改造比较大,受原岩之前构造属性的影响反而比微量元素和稀土元素要小。

主量元素因为在沉积过程中风化作用改造严重,可以用 CIA(chemical index alteration)指数确定源区的风化强度,其定义为: $CIA = n(Al_2O_3)/n(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$, CaO^* 是指去除生物成因 CaO 之后仅存在于硅酸盐矿物中的 CaO (毛光周等,2011)。研究区侏罗系至古近系沉积岩样品主量元素分析数据及相关参数见表 6。

Bhatia (1983)研究认为用主量元素进行构造背景判别效率最高的图解为 $Al_2O_3/SiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 图解、 $K_2O/Na_2O - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 图解、 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O) - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 图解和 $TiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ 图解(注: $Fe_2O_3^*$ 为全铁),并将构造背景分为大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘 4 类,其中源自大洋岛弧的砂岩主要由钙碱性安山岩演化而来的,主量元素数据以富含 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 Na_2O 而缺少 SiO_2 和 K_2O 为特征;大陆岛弧的砂岩主要来自于长英质火山岩,主量元素数据与大洋岛弧砂岩相比具有更高的 SiO_2 、 K_2O 含量和 K_2O/Na_2O 值(约为 0.6)以及较低的 $Fe_2O_3^* + MgO$;活动大陆边缘的砂岩主要来自抬升的基底,并以较高的 SiO_2 、 K_2O 含量和 K_2O/Na_2O 值(约为 1)反映上地壳的组分;被动大陆边缘的主量元

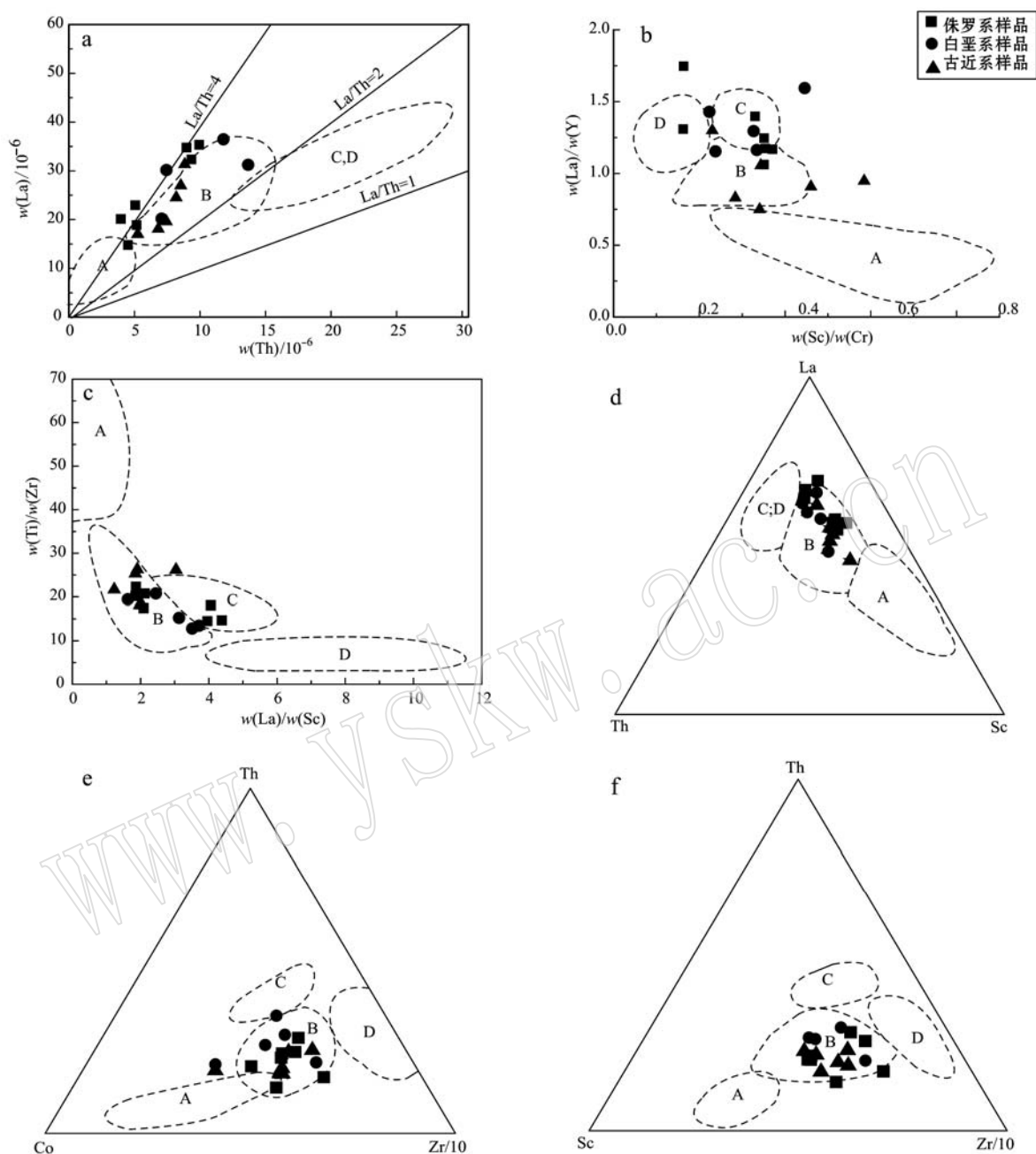


图 6 微量元素构造背景判别图(据 Bhatia and Crook, 1986)

Fig. 6 Tectonic setting discrimination plots of trace elements(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

素特征变化较大,且会与活动大陆边缘、大陆岛弧的信息特征重叠,不过总体而言被动大陆边缘以 SiO_2 含量很高而 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 、 CaO 亏损为特征,且 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值大于 1(Bhatia, 1983)。

此外,由于主量元素在沉积过程中的不稳定性导致其对源区和构造背景的辨别能力下降,Roser 和 Korsch 等提出利用对于源区判定比较有效的几种元

素建立判别方程,判别公式定义为 $F = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c$,其中 $x_1 \sim x_n$ 为 n 个不同的判别变量, $a_1 \sim a_n$ 为相应各变量的判别系数, c 为常数(Roser and Korsch, 1988)。然后在此基础上建立两对判别方程, F_1 、 F_2 和 F_1' 、 F_2' ,其中前者用于构造背景的判别,后者则用于碎屑岩源区属性的判别(Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1988)。

表6 柴窝铺盆地及其北缘侏罗纪至古近纪沉积岩主量元素分析数据

 $w_B/\%$

Table 6 The major element data of Jurassic-Paleogene sedimentary rocks

样品名	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TF ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL	CIA
J002	灰色泥岩	64.60	0.87	16.20	5.91	0.05	1.36	0.49	2.09	2.40	0.12	5.74	99.83	0.77
J005	红色泥岩	62.77	0.81	15.69	8.47	0.23	1.33	0.89	1.51	2.44	0.20	5.86	100.20	0.76
J006	黄色泥岩	57.84	0.68	19.02	6.96	0.13	2.01	0.52	1.46	3.59	0.17	6.22	98.60	0.77
J007	土黄色细砂岩	68.28	0.30	11.98	1.76	0.19	0.68	5.20	3.98	2.61	0.10	5.18	100.26	0.53
J008	灰绿色细砂岩	78.75	0.28	10.89	1.46	0.02	0.60	0.46	3.29	2.93	0.07	1.50	100.25	0.62
J009	黄绿色细砂岩	76.32	0.54	12.45	2.29	0.02	0.77	0.38	2.84	2.38	0.10	2.10	100.20	0.69
J010	灰绿色泥岩	62.60	0.91	16.45	6.67	0.06	1.57	0.44	1.63	2.84	0.15	5.20	98.53	0.77
SCG-J2S	灰黄色泥岩	69.11	0.77	14.50	4.22	0.03	1.48	0.50	2.15	2.54	0.16	4.66	100.12	0.74
BYG-J2S-1	黄色细砂岩	80.89	0.26	10.05	2.36	0.02	0.51	0.25	2.23	2.41	0.06	1.74	100.79	0.67
BYG-J2S-2	灰色泥岩	59.49	1.02	19.19	7.62	0.05	1.92	0.45	1.25	2.97	0.16	6.45	100.57	0.80
BYG-J3T	红色泥岩	63.50	0.61	15.02	4.47	0.11	1.82	1.54	2.88	3.60	0.15	4.36	98.07	0.65
BYH-J1B	灰黄色细砂岩	64.64	0.64	13.15	2.64	0.24	1.06	5.57	3.05	2.53	0.13	6.54	100.19	0.60
J 平均		67.40	0.64	14.55	4.57	0.10	1.26	1.39	2.36	2.77	0.13	4.63	99.80	0.70
K001	灰绿色细砂岩	77.88	0.27	10.51	1.98	0.07	0.860	1.34	2.92	2.93	0.10	2.34	101.19	0.59
K002	灰绿色泥页岩	61.42	0.54	11.10	2.87	0.19	1.35	8.59	3.42	2.40	0.15	8.41	100.44	0.55
K003	灰色泥岩	61.22	0.75	15.17	5.16	0.06	2.50	2.98	3.34	2.87	0.19	5.56	99.80	0.62
K004	灰色细砂岩	50.46	0.27	9.73	1.76	0.50	0.76	17.53	3.26	2.20	0.09	14.69	101.25	0.53
BYG-k1-2	灰色泥岩	55.22	0.73	16.39	6.87	0.07	3.04	3.90	2.68	3.31	0.16	7.92	100.29	0.65
K 平均		61.24	0.51	12.58	3.73	0.18	1.70	6.87	3.12	2.74	0.14	7.78	100.59	0.59
E001	红褐色粉砂岩	55.75	0.38	10.18	6.15	0.24	0.67	11.35	0.97	2.18	0.10	12.49	100.46	0.71
E003	灰色泥岩	62.99	1.00	17.83	3.74	0.03	1.23	0.31	1.30	2.61	0.08	8.52	99.64	0.81
BYG-E	红色细砂岩	58.61	0.86	11.71	4.96	0.07	2.44	6.12	2.72	1.72	0.07	10.75	100.03	0.62
E004	红色泥岩	60.91	0.85	13.62	5.84	0.06	2.76	3.38	2.54	2.10	0.09	7.31	99.46	0.66
E005	红色细砂岩	61.47	0.92	12.51	5.14	0.08	2.54	4.95	2.89	1.82	0.08	8.47	100.87	0.62
E002	粉砂质页岩	65.80	0.99	17.17	5.12	0.16	1.22	0.26	1.39	2.17	0.06	6.24	100.58	0.82
E 平均		60.92	0.83	13.84	5.16	0.11	1.81	4.40	1.97	2.10	0.08	8.96	100.18	0.71

如表6所示,本区侏罗纪至古近纪碎屑岩CIA指数介于0.53~0.82之间,一般认为当碎屑沉积岩的CIA为0.50左右时其原岩未遭受化学风化,当CIA值达到1时其原岩遭受的化学风化已经很剧烈(毛光周等,2011)。研究区侏罗纪、白垩纪、古近纪样品的平均CIA指数差别不大,可见其原岩都遭受到一定程度的化学风化,但强度不是很大。样品的CaO含量较低,平均含量为3.46%,仅有样品K004的CaO含量超过了12%,说明生物成因CaO对本区样品影响很小,可以忽略。样品SiO₂含量中等,为50.46%~78.75%,平均64.23%。

5.1 物源分析

图7a的碎屑岩源区性质函数判别图是一个由F1'和F2'组成的双变量判别图解,判别变量为对物源判别较敏感的7种常量元素的氧化物成分,包括TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂O(Bhatia, 1983; 毛光周等,2011)。从图中可见,不同地层样品在各区域混乱分布没有明显区分,说明物源属性没有大的变动可作为一个整体进行判定;绝大多数样品分布在P3区域及其附近,在23个样品中有14个

样品处于P3区域及相邻区域交界处;7个样品落在P2区域内及其相邻区域;2个样品落在P1区域及其附近;2个样品落在P4区域及其附近。从数据分布情况可以推论柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗纪至古近纪碎屑岩原岩以P3区域的酸性火山岩物源为主,混入了少部分P2区域的中性火山岩,P1区域内的基性火山岩和P4内的成熟大陆石英质物源混入量很少。

如CaO-Na₂O-K₂O三角组分图解(图7b)中显示,样品基本分布在英安岩、花岗闪长岩、花岗岩源区附近,且绝大多数样品位于花岗岩源区附近,仅有两个样品位于安山岩源区附近,由此可推论柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗纪至古近纪碎屑岩原岩以英安岩、花岗闪长岩、花岗岩等长英质岩石为主,其中花岗岩所占比重很大,同时有可能混入了部分安山质岩石。

综合图7物源属性研究结果,可以认为柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗纪至古近纪碎屑岩原岩以英安岩、花岗闪长岩、花岗岩等酸性火山岩为主,同时混入了少部分的中性火山岩。

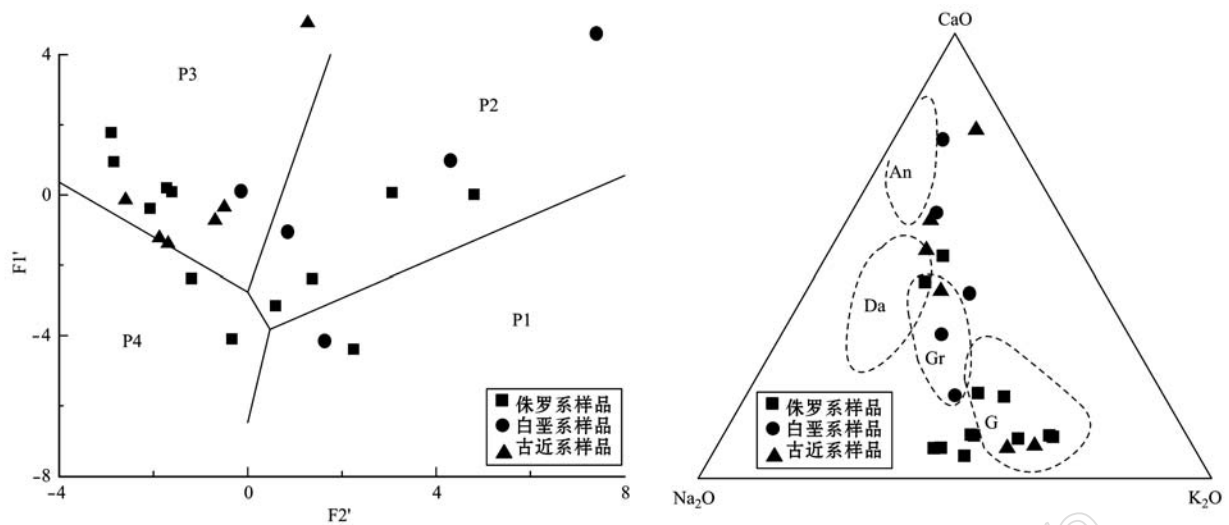


图 7 主量元素物源属性判别图 (Bhatia, 1983; 毛光周等, 2011)

Fig. 7 Provenance discriminant diagram based on major elements (after Bhatia, 1983; Mao *et al.*, 2011)

a 中, P1—基性火山岩物源区; P2—中性火山岩物源区; P3—酸性火山岩物源区; P4—成熟大陆石英质物源区; b 中, An、Da、Gr、G 分别为安山岩、英安岩、花岗闪长岩、花岗岩的平均组分

In Fig. a, P1 represents basic volcanic rock provenance; P2 represents intermediate volcanic rock provenance; P3 represents acid volcanic rock provenance; P4 represents mature continental quartz provenance; In Fig. b, An, Da, Gr, and G represent the average composition of andesite, dacite, granite diorite and granite respectively

5.2 构造背景分析

如图 8 所示, 研究区绝大部分样品位于活动大陆边缘区域内, 小部分样品位于大洋岛弧, 仅有 4 个样品落在被动大陆边缘区域及其附近, 且侏罗纪至

古近纪样品在各区域混乱分布没有明显区分, 说明物源构造背景没有大的变动可作为一个整体进行判定。此图解指示研究区侏罗纪—古近纪碎屑岩的构造背景以活动大陆边缘为主, 可能混入了部分来自岛弧的物质。而图 9 所示, 研究区大部分样品位于被动大陆边缘, 小部分样品无规律分布在活动大陆边缘、大陆岛弧和大洋岛弧区。由图 10 可见, 侏罗纪

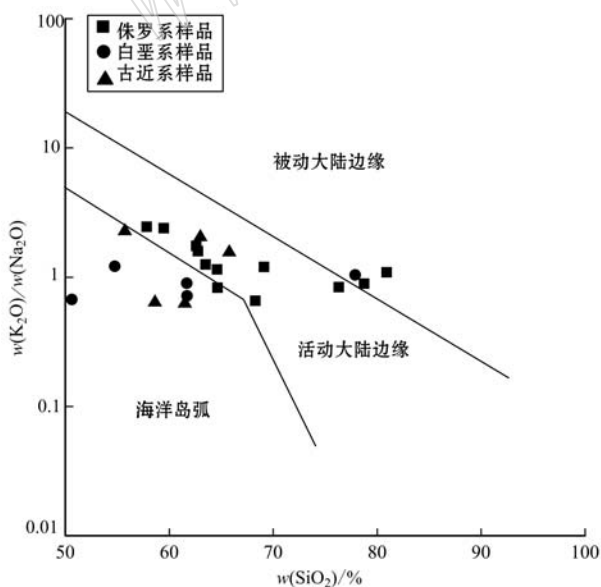


图 8 $K_2O/Na_2O - SiO_2$ 构造背景判定图解 (Roser 和 Korsch, 1988)

Fig. 8 Tectonic setting discriminant diagram of $K_2O/Na_2O - SiO_2$ (after Roser and Korsch, 1988)

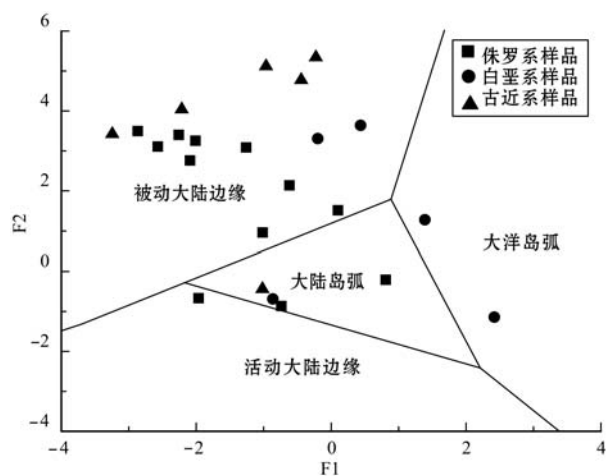


图 9 碎屑岩构造背景函数判别图解 (Bhatia, 1983)

Fig. 9 Tectonic setting discriminant function of clastic rock (after Bhatia, 1983)

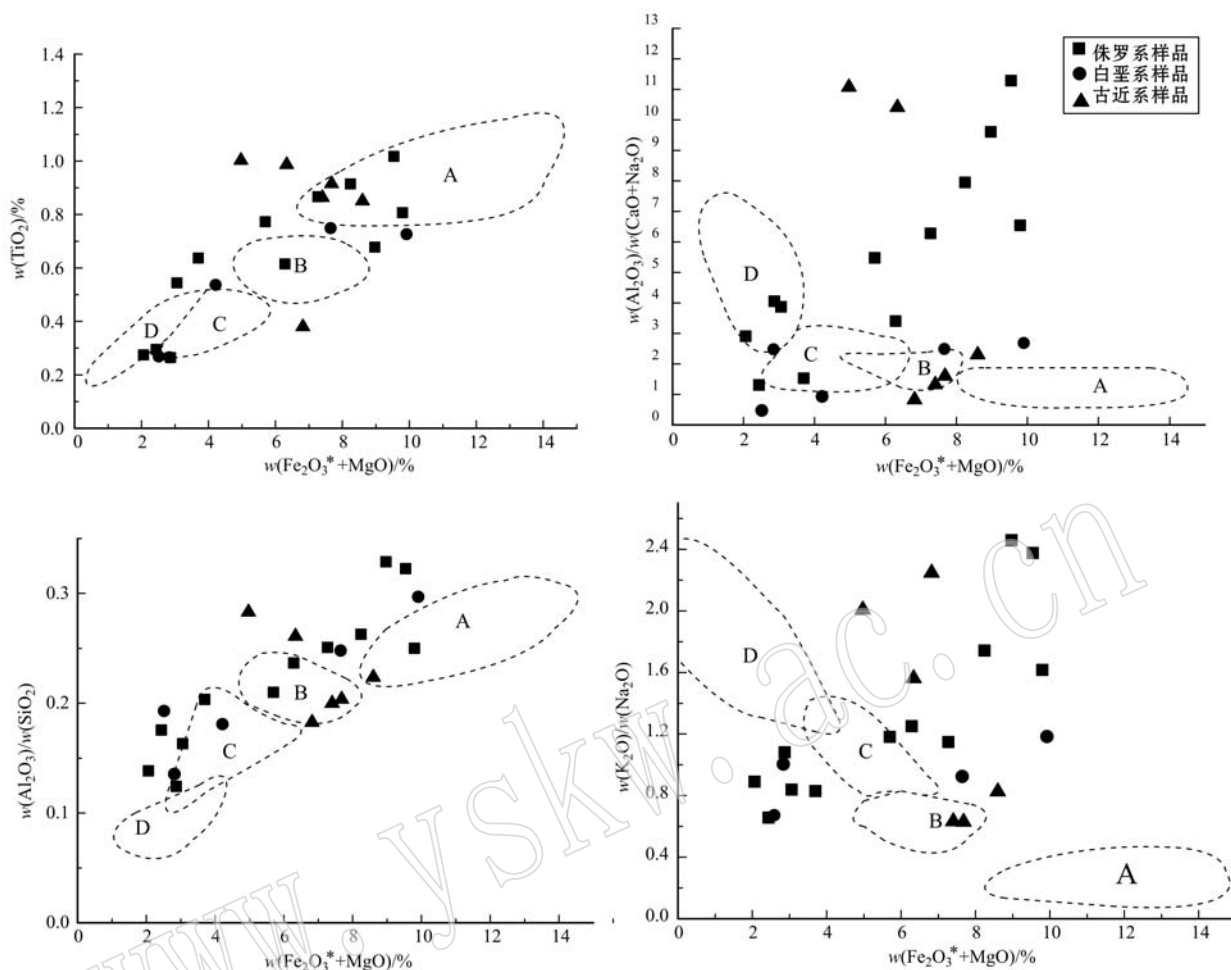


图 10 主量元素构造背景判别组图

Fig. 10 Tectonic setting discriminant diagram of major 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

A—ocean island arc; B—continental island arc; C—active continental margin; D—passive continental margin

至古近纪样品在各区域混乱分布没有明显区分,说明物源构造背景没有大的变动可作为一个整体进行判定。其中 $\text{TiO}_2-(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ 图解中大部分样品落在大洋岛弧区域及其附近,有少部分样品集中分布在被动大陆边缘区域及其附近; $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})-(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ 图解中样品分布比较散乱,但总体来说有规律分布的样品可分为两部分,一部分集中在被动大陆边缘附近,另一部分分布在大洋岛弧与大陆岛弧交界位置; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2-(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ 图解中大部分样品位于大陆岛弧区域及其附近,少部分样品分布在活动大陆边缘及其附近; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ 图解中样品分布也比较杂乱,基本在活动大陆边缘的周缘地区。

6 讨论

沉积构造背景和物源属性研究要考虑两方面因素:一方面是物源区的属性,可称之为继承性因素;另一方面是风化剥蚀、搬运、成岩条件等后生因素。利用碎屑岩的碎屑组分及地球化学信息判断构造环境及物源属性的前提是物源区的属性与沉积盆地的构造背景相一致。当碎屑岩原岩的沉积构造背景与碎屑岩的沉积构造背景差别很大时,投图的结果会不同程度地反映原岩沉积时构造环境,继而影响现今构造环境的判别。而风化剥蚀、搬运、成岩等因素也会改变碎屑组分、主量元素、微量元素及稀土元素

的含量。因此在利用碎屑组分及地球化学数据研究沉积构造背景和物源属性时一定要结合构造演化情况,并进行多方面证据对比,才能够去伪存真恢复原岩的真实信息。

6.1 物源属性分析

砂岩岩相学研究表明西博格达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。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。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原岩来自上地壳,岩性以长英质岩石为主,并混合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,另外局部还发育安山岩和花岗岩以及少量的辉长闪长岩,这些为新生代的沉积岩提供了物源。

6.2 构造背景分析

在地球化学数据对沉积构造背景的约束方面,微量元素和稀土元素数据显示研究区侏罗纪至古近纪沉积岩原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;而主量元素数据所显示的沉积构造背景比较散乱,利用不同主量元素的图解所得出的构造背景有较大差别,但总体来看活动大陆边缘占主要优势。另外结合砂岩岩相学研究结果,其石英含量中等、短距离搬运、快速堆积的特点也与活动大陆边缘相符。这说明侏罗纪之后博格达裂谷开始回返隆升成山,博格达周缘地区形成陆内前陆盆地,这类盆地和与俯冲有关的盆地相对应,属于活动大陆边缘的范畴,在构造演化史上也能与活动大陆边缘相对应。微量元素和稀土元素显示的大陆岛弧的构造背景可能是因为侏罗纪至古近纪沉积物的原岩是在大陆岛弧环境下形成的,因为准噶尔盆地在古生代经历了多旋回洋盆的俯冲消减和多个地体的拼接事件,微陆块、大陆岛弧拼接等增生现象十分普遍。从其物源主要为长英质酸性火山岩也能看出原岩受到了大陆岛弧的影响。

本次分析结果还可以与西博格达山地区的构造演化过程相互印证: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,本文得出的侏罗纪西博格达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(柳永清等,2004;张传恒等,2005;陈汉林等,2006;汪新伟等,2007;吴小奇,2010);白垩纪至古近纪,博格达山已经隆升造山,博格达山链便成为博格达周缘盆地主要物源供给区,而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(李继亮,1989;方国庆,1993;许靖华,1993;崔泽宏等,2007;汪新伟等,2007,)。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(方国庆,1993;沈传波,2005;汪新伟,2007;王宗秀等,2008),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等(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,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。

7 结论

柴窝铺盆地具有复杂的构造格局和演化史,其构造背景和物源属性的研究具有很高的理论研究和油气勘探应用价值。本文在结合该区构造演化史的基础上,利用柴窝铺盆地周缘新生代沉积岩的碎屑组分及主量元素、微量元素和稀土元素对其沉积源区和构造背景进行了研究,研究结果为:柴窝铺盆地及其北缘地区侏罗纪至古近纪沉积物原岩来自上地壳,岩性以长英质岩石为主,并混合进了部分安山质及基性岩石;源区构造背景应该为在活动大陆边缘构造环境,因其原岩是在大陆岛弧环境下形成的,所以部分构造背景显示为大陆岛弧。

References

- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemistry composition of sandstone[J]. *Journal of Geology*, 91: 611~628.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic garywackes and mudrocks: provenance and tectonic control[J]. *Sedimentary Geology*, 45: 97~113.
- Bhatia M R and Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of

- graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 92: 181~193.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 63~114.
- Cao Shoulian and He Dengfa. 1997. The evolution of Chaiwopu Basin, Xinjiang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 3: 262~269 (in Chinese with English abstract).
- Chen Fajing, Wang Xinwen and Wang Xinwei. 2005. Prototype and tectonic evolution of the Junggar Basin, northwestern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 77~89 (in Chinese with English abstract).
- Chen Hanlin, Yang Shufeng, Li Zilong, *et al.* 2006. Geochemistry and tectonic setting of early Late Paleozoic felsic volcanic rocks from the Altai Orogenic Belt, North Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 38~42 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yi, Fang Xiaomin, Song Chunhui, *et al.* 2012. The uplift and erosion of the Tianshan Mountains recorded by detrital zircon geochronology from the Cenozoic sediments in the southern Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 225~233 (in Chinese with English abstract).
- Cui Zehong, Tang Liangjie and Wang Zhixin. 2007. Basin formation evolution and its effect on petroleum formation in the southern and northern margins of Bogda [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(1): 59~64, 98 (in Chinese with English abstract).
- Dickinson W R, Beard L S and Brakenridge G R. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 94: 222~235.
- Dickinson W R and Suczek C A. 1979. Plate Tectonics and sandstone Compositions [J]. *AAPG Bull.*, 63(2): 2164~2182.
- Fang Guoqing. 1993. Sedimentary petrological evidence of the Late Paleozoic island arcs of the Bogda [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 11(3): 31~36 (in Chinese with English abstract).
- Graham S A, Hendrix M S and Wang L B. 1993. Collisional successor basin of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 105: 323~344.
- Gu X X, Liu J M and Zheng M H. 2002. Provenance and tectonic setting of the proterozoic turbidites in Hunan, south China [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 72(3): 393~407.
- Hendrix M S. 2000. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, southern Junggar, northern Tarim, and western Turpan basins, northwest China: a detrital record of the ancestral Tian Shan [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3): 520~532.
- Ingersoll R V, Bullard T F and Ford R L. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point-counting method [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 103~116.
- Li Jiliang. 1989. Relationship between the Junggar post-arc residual basin and the tectonics of the Tianshan Mountains [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 7: 753~762 (in Chinese).
- Liu Yongqing, Wang Zongxiu, Jin Xiaochi, *et al.* 2004. Evolution, chronology and depositional effect of uplifting in the eastern sector of the Tianshan Mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 319~331 (in Chinese with English abstract).
- Ma Ruishi, Shu Liangshu and Sun Jiaqi. 1997. Tectonic Evolution and Mineralization of Eastern Tianshan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~202 (in Chinese with English abstract).
- Ma Shouxian, Meng Qingren and Qu Yongqiang. 2014. Development on provenance analysis of light minerals [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(2): 597~608 (in Chinese with English abstract).
- Mao Guangzhou and Liu Chiyang. 2011. Application of geochemistry in provenance and depositional setting analysis [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33(4): 337~348 (in Chinese with English abstract).
- McLennan S M, Hemming S and McDaniel D K. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [J]. *Special Paper of the Geological Society of America*, 284: 21~40.
- McLennan S M and Taylor S R. 1983. Geochemical evolution of Archean shales from South Africa, the Swaziland and Ponggola supergroups [J]. *Precambrian Research*, 22: 93~124.
- Roser B P and Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major-element data [J]. *Chemical Geology*, 67: 119~139.
- Shao Lei, Li Wenhui and Yuan Mingsheng. 1999. Sedimentary environments and source rock analysis of the Turpan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 435~441 (in Chinese with English abstract).
- Shen Chuanbo, Mei Lianfu, Liu Lin, *et al.* 2005. Characteristics of fission track age of Bogdashan in Xinjiang and its structural significance [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 27(2): 11~14, 5 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xinwei, Wang Xinwen and Ma Yongsheng. 2007. The tectonic evolution of Bogda Mountain, Xinjiang, Northwest China and its relationship to oil and gas accumulation [J]. *Geoscience*, 21(1): 116~124 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zongxiu. 2003. Orogeny, Formation and Evolution in the Bogda Mountain Chains, Northwestern China [D]. Beijing: Institute of Geology, China Seismological Bureau, 1~119 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zongxiu, Li Tao, Zhang Jin, *et al.* 2008. The uplifting process of the Bogda Mountain during the Cenozoic and its tectonic implication [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 51(4): 579~

- 596.
- Weltje G J. 2002. Quantitative analysis of detrital modes: Statistically rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology[J]. *Earth Science Reviews*, 57 (3~4): 211~253.
- Weltje G J. 2006. Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the "Dickinson model" [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 264 (1): 79~99.
- Wu Xiaoli. 2010. Post-collisional Tectonic Magmatism and Its Regulation of Volcanic Hydrocarbon Accumulation in Karamayi Suture Zone, Northern Xinjiang[D]. Hefei: China University of Science and Technology(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chaojun, He Dengfa, Wu Xiaozhi, *et al.* 2006. Formation and evolution of multicycle superimposed basins in Junggar Basin[J]. *Petroleum Geology*, 1: 47~58, 7(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chuanheng, Liu Dianbo, Zhang Chuanlin, *et al.* 2005. Stratigraphic constraints on the initial uplift age of Bogda Shan, Xinjiang, northwest China[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(1): 294~302(in Chinese with English abstract).
- 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).
- Zheng Qinghua. 2007. Study on High Resolution Sequence Stratigraphy and Reservoir Heterogeneity of Loucaogou Formation of Middle Permian in Chaiwopu Basin[D]. Xi'an: Northwest University(in Chinese with English abstract).
- 曹守连, 何登发. 1997. 柴窝堡盆地的构造演化[J]. *大地构造与成矿学*, 3: 262~269.
- 陈 熠, 方小敏, 宋春晖, 等. 2012. 准噶尔盆地南缘新生代沉积物碎屑锆石记录的天山隆升剥蚀过程[J]. *地学前缘*, 19(5): 225~233.
- 陈发景, 汪新文, 汪新伟. 2005. 准噶尔盆地的原型和构造演化[J]. *地学前缘*, 12(3): 77~89.
- 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 等. 2006. 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*, 80(1): 38~42.
- 崔泽宏, 汤良杰, 王志欣. 2007. 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*, 25(1): 59~64, 98.
- 方国庆. 1993. 博格达晚古生代岛弧的沉积岩石学证据[J]. *沉积学报*, 11(3): 31~36.
- 李继亮. 1989. 准噶尔残留弧后盆地与天山大地构造的关系[J]. *沉积学报*, 7: 53~62.
- 柳永清, 王宗秀, 金小赤, 等. 2004. 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*, 78(3): 319~331.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1~202.
- 马收先, 孟庆任, 曲永强. 2014. 轻矿物物源分析研究进展[J]. *岩石学报*, 30(2): 597~608.
- 毛光周, 刘池洋. 2011. 地球化学在物源及沉积背景分析中的应用[J]. *地球科学和环境学报*, 33(4): 337~348.
- 邵 磊, 李文厚, 袁明生. 1999. 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*, 17(1): 435~441.
- 沈传波, 梅廉夫, 刘 麟, 等. 2005. 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)*, 27(2): 11~14, 5.
- 汪新伟, 汪新文, 马永生. 2007. 新疆博格达山的构造演化及其与油气的关系[J]. *现代地质*, 21(1): 116~124.
- 王宗秀, 李 涛, 张 进, 等. 2008. 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)*, 38(3): 312~326.
- 王宗秀. 2003. 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, 1~119.
- 吴小奇. 2010. 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.
- 许靖华. 1993. 残余弧后盆地及其辨识准则和实例[J]. *石油学报*, 14(1): 1~13.
- 张朝军, 何登发, 吴晓智, 等. 2006. 准噶尔多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. *中国石油勘探*, 1: 47~58, 7.
- 张传恒, 刘典波, 张传林, 等. 2005. 新疆博格达山初始隆升时间的地层学标定[J]. *地学前缘*, 12(1): 294~302.
- 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.
- 郑庆华. 2007. 柴窝堡盆地中二叠统芦草沟组高分辨率层序地层与储层非均质性研究[D]. 西安: 西北大学.

附中文参考文献