

# 鄂尔多斯盆地南部铜川组碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约

张瑜<sup>1</sup>, 杨华<sup>2,3</sup>, 王多云<sup>1</sup>, 付金华<sup>2,3</sup>, 姚泾利<sup>2,3</sup>, 辛补社<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 2. 中国石油长庆油田公司, 陕西 西安 710021;  
3. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710021)

**摘要:**通过主量元素、微量元素及稀土元素等地球化学分析手段,结合前人的研究成果,对鄂尔多斯盆地南部铜川组物源进行研究。碎屑岩地球化学特征分析结果表明,研究区碎屑岩主要为杂砂岩和岩屑砂岩。稀土元素标准化配分曲线呈轻稀土明显富集、重稀土平坦和弱 Eu 异常特征。沉积物源岩的原始物质应来自上地壳,以长英质岩石为主。常量和微量元素构造判别图显示物源区构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧。结合前人碎屑锆石研究成果,鄂尔多斯盆地南部铜川组碎屑物质主要来自早期沉积再循环,其初始沉积物质来自华北北缘,秦岭没有为鄂尔多斯盆地南缘铜川组沉积期提供物源。

**关键词:**鄂尔多斯盆地;铜川组;常量元素;微量元素;稀土元素

**中图分类号:**TE122.1<sup>+</sup>13 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-1926(2014)08-1233-09

**引用格式:**Zhang Yu, Yang Hua, Wang Duoyun, *et al.* Geochemical features of the detrital rocks of Tongchuan Formation in the southern Ordos Basin and its constrains on provenance[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1233-1241. [张瑜, 杨华, 王多云, 等. 鄂尔多斯盆地南部铜川组碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1233-1241.]

## 0 引言

物源分析是盆地分析不可或缺的内容和方法,是再现沉积盆地演化、恢复古环境的重要依据<sup>[1]</sup>。通过对盆地内沉积物的岩石学研究,可以揭示盆地充填物的源区性质、大地构造环境、不同构造单元物质组成空间变化、盆地内沉积历史及盆地周边各构造单元之间的相互关系<sup>[2]</sup>。20 世纪 80 年代以来,地质学家们通过对不同构造环境下砂岩的常量元素、微量元素及稀土元素的研究,总结出了形成于不同类型板块边界及其内部各类沉积盆地中砂岩组成特征<sup>[3-8]</sup>。经过 20 多年的发展,应用地球化学方法来判别盆地的物源及沉积构造背景已收到显著成效<sup>[2,9-12]</sup>。

前人<sup>[13-24]</sup>关于鄂尔多斯盆地南缘铜川组(长

10—长 8)物源问题作了大量的研究,取得了一定成果,但也存在一定争议。争议的焦点是盆地南部是否存在秦岭物源。本文以鄂尔多斯盆地南部铜川组砂岩(长 10—长 8)为研究对象,旨在通过对砂岩的主元素、微量元素和稀土元素地球化学特征进行分析,结合前人研究资料,探讨该区砂岩的构造背景和物源特征。

## 1 地质背景

鄂尔多斯盆地是我国陆上第二大沉积盆地及重要的能源基地,矿产资源十分丰富。该盆地先后经历了中元古代—新元古代裂陷槽、早古生代复合型克拉通拗陷、晚古生代—中三叠世联合克拉通拗陷、晚三叠世—白垩纪扭动型大型内陆拗陷盆地及新生

收稿日期:2013-09-02;修回日期:2013-10-29.

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2011ZX05044)资助.

作者简介:张瑜(1985-),男,陕西高陵人,博士研究生,主要从事石油地质学研究. E-mail: haishuixing2@163.com.

通讯作者:王多云(1956-),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,主要从事石油地质学研究. E-mail: wdy@bnu.edu.cn.

代扭张型周缘断陷盆地 5 大构造发展阶段<sup>[25-28]</sup>。根据岩性及古生物组合,将延长组分为 5 段( $T_3y_1$ — $T_3y_5$ ),并根据油层纵向分布规律自上而下划分为长 1—长 10 等 10 个油层组。长 10—长 7 沉积期是湖盆的形成期,在长 7 沉积时期,该湖盆范围达到最大,沉积了以张家滩油页岩为代表的区域性标志层。长 6—长 3 沉积期是湖盆的发展时期。从长 2 沉积期开始,湖盆逐渐萎缩,至长 1 沉积期湖盆衰亡。

研究区位于鄂尔多斯盆地南部(图 1),从大地构造位置来看,鄂尔多斯南缘为祁连山—秦岭构造带,西南则与六盘山构造带相邻,东侧为华北古板块内的吕梁山构造带、汾河断陷系和太行山构造带,处于中国东、西构造分区和南、北构造分区的交会部位。上三叠统延长组是在盆地持续拗陷和稳定沉降过程中堆积的一套冲积扇相与扇三角洲相—河流相—湖泊相陆源碎屑岩沉积体系<sup>[12]</sup>,其岩性主要为一套灰绿色、灰色中厚层—块状细砂岩、粉砂岩和深灰色、灰黑色泥岩组成的旋回性沉积。

过去,整个延长组的时代都被认为属于晚三叠世<sup>[29]</sup>,自中国地质科学院地质所三室将延长群底部另立铜川组以后,铜川组的时代常被认为属于中三叠世晚期。长庆油田将铜川组划为延长组,统一归为晚三叠世。Xie<sup>[30]</sup>通过对铜川漆水河剖面长 7 油层组底部凝灰岩进行 3 种年代学方法研究(SHRIMP、TIMS、ICP-MS),得出其年龄为  $240.66 \pm 0.75$  Ma,将铜川组正式划归为中三叠世。Wang 等<sup>[31]</sup>报道了鄂尔多斯盆地内部罗 36 井和庄 211 井延长组长 7 油层组底部凝灰岩年龄 $[(239.7 \pm 1.7) \sim (241.3 \pm 2.4)$  Ma],也将铜川组归为中三叠世。至此,铜川组的时代划分得以确定。

## 2 样品及分析方法

样品采自鄂尔多斯盆地南部铜川组,采样地点分别在陕西宜川仕望河剖面、陕西麟游澄河剖面、陕西韩城薛峰川剖面及甘肃华亭汭水河剖面。从各个剖面上选择具有代表性的 9 件新鲜样品进行了主量元素、微量元素及稀土元素测试。由于碎屑颗粒的大小影响沉积岩石地球化学特征<sup>[3]</sup>,为强调地球化学数据的可比性,本文 9 个岩石样品分析均选择中、细粒砂岩作为分析测试对象。样品分析在核工业 203 研究所进行。常量元素采用荷兰帕纳科的 AxiosX 射线光谱仪进行样品测试, $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $TFe_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $P_2O_5$ 、 $MnO$ 、 $TiO_2$  依据 GB/T14506. 28-2010; 烧失量依据 GB/T3257. 21-1987;

$FeO$  依据 GB/T14506. 14-2010。微量元素及稀土元素采用 Thermo Fisher 的 XSERIES2 型 ICP-MS 等离子体质谱仪进行样品测定,稀土元素及 Rb、Cs、Th、U、Co、Ni、Nb、Hf 依据 DZ/T0223-2001; Zr、Sc、V、Cr、Cu、Zn、Pb 依据 GB/T14506. 28-2010。

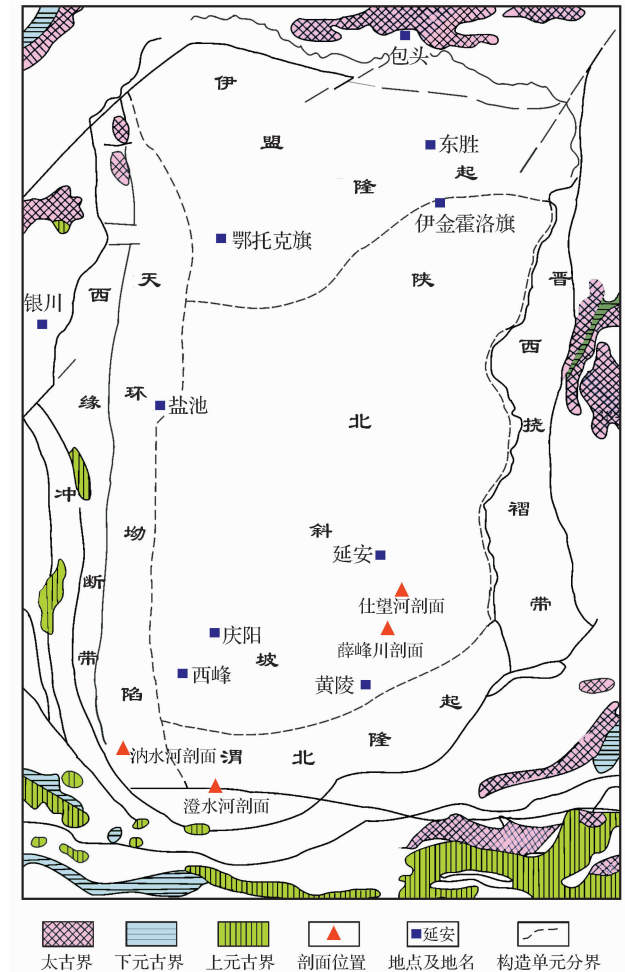


图 1 盆地周缘露头剖面<sup>[12]</sup>

Fig. 1 Location of the studied outcrops

## 3 测试结果

### 3.1 主量元素地球化学特征

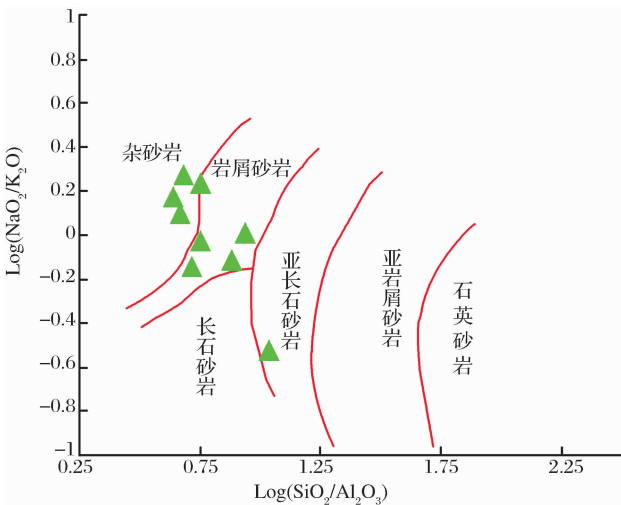
铜川组砂岩在主量元素成分上无明显的变化(表 1),总体上以较高的  $SiO_2$  含量( $Al_2O_3/SiO_2 = 0.09 \sim 0.23$ )和  $K_2O/Na_2O$  值( $0.96 \sim 3.33$ , 平均为 1.18),以及较高的  $Fe_2O_3^* + MgO$  含量(一般为  $2.49\% \sim 7.36\%$ , 平均为 4.59;  $Fe_2O_3^*$  指以  $Fe_2O_3$  形式表示的全铁含量)为特征。样品的  $Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3^*$  相对含量较高,说明这些样品中具有丰富的碎屑重矿物,如金红石、钛铁矿及钛磁铁矿。少数样品(HC-7, LY-7)具有较高含量  $CaO$ ,可能是样品中岩石以钙质胶结为主的缘故。样品中随着  $SiO_2$  含

表 1 鄂尔多斯盆地南缘铜川组砂岩主量元素分析结果

Table 1 Major elements compositions of sandstone from the Tongchuan Formation of the southern Ordos Basin

样品号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	烧失量	FeO	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
HC-6	77.58	9.15	1.24	1.25	3.01	1.48	1.43	0.03	0.05	0.13	4.43	0.48	0.37	0.49
HC-7	64.56	6.02	2.10	1.31	12.30	0.37	1.24	0.07	0.06	0.34	11.57	0.89	0.69	0.78
YC-3	66.50	14.41	3.54	1.09	3.56	3.23	2.60	0.13	0.06	0.48	4.19	0.78	0.61	1.87
RS-1	78.58	10.34	2.43	0.66	1.19	1.88	2.42	0.05	0.05	0.28	2.01	1.40	1.09	0.61
RS-2	72.68	12.78	3.01	0.89	1.52	2.75	2.94	0.07	0.07	0.34	2.80	0.79	0.61	1.49
LY-1	72.69	13.08	3.35	1.81	0.87	3.21	1.88	0.07	0.04	0.40	2.52	2.17	1.69	0.66
HC-8	66.04	12.95	4.17	2.32	3.79	1.77	2.46	0.12	0.04	0.61	5.61	2.33	1.81	1.10
LY-3	69.96	14.54	3.17	1.62	1.07	4.29	2.32	0.08	0.04	0.35	2.43	1.22	0.95	1.27
LY-7	55.61	12.86	4.66	2.69	9.43	2.10	1.41	0.15	0.23	0.54	10.22	2.64	2.05	1.21

量的增加, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* 含量一致降低, 表明随着 SiO<sub>2</sub> 含量增高, 不稳定成分降低, 砂岩成熟度增大。将砂岩样品投到砂岩岩石地球化学分类图上, 显示多数样品为杂砂岩和岩屑砂岩(图 2), 与野外观察所获得的结果一致。

图 2 鄂尔多斯盆地南缘铜川组碎屑岩类型判别<sup>[32]</sup>Fig. 2 The distinction of the Tongchuan Formation detrital rocks from the southern Ordos Basin<sup>[32]</sup>

### 3.2 稀土元素及微量元素地球化学特征

砂岩稀土元素含量和特征参数见表 2。利用 Sun 等<sup>[33]</sup>球粒陨石进行标准化, 得到砂岩稀土元素配分模式(图 3)。研究区砂岩稀土总量变化较大,  $\sum\text{REE}$  值为  $(99.30 \sim 200.10) \times 10^{-6}$ , 平均为  $128.77 \times 10^{-6}$ ;  $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$  值为 9.65~11.55, 平均为 10.48;  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值为 10.68~16.41, 平均为 14.21; 除 YC-3 样品外, 均具有一定的  $\delta\text{Eu}$  负异常(0.60~0.85); 所有样品无明显的 Ce 异常。

微量元素分析数据见表 3。研究区砂岩中的 Sc、V、Co、Cr、Ni 等铁镁族元素和 Zr、Hf、Th 等高

场强元素的含量, 以及 Zr/Hf、Zr/Th、La/Th、La/Y、Th/Sc、Sc/Ni、Sc/Cr、Ti/Zr、Cr/Ni、Ni/Co 等比值尽管显示一定变化, 但上地壳成分总体类似<sup>[34]</sup>, 或稍有差别。

## 4 物源分析

沉积物中 REE 的含量主要受到源区岩石的控制, 而诸如搬运、沉积和成岩过程等因素对沉积物中 REE 含量的改变很小。因此源区岩石 REE 特征能够被可靠保存在沉积物中, 砂岩的 REE 被广泛用作判别源区岩石的主要标志<sup>[4,34-35]</sup>。研究区砂岩的球粒陨石标准化曲线以轻稀土富集、重稀土平坦和负 Eu 异常为特征(图 3), 这与上地壳相似<sup>[34]</sup>。稀土元素特征表明鄂尔多斯盆地南部在铜川组沉积时期, 其物源主要来自于由长英质组分构成的古老的上地壳。

Roser 等<sup>[36]</sup>根据已知构造背景的不同碎屑岩组合的地球化学特征, 进行多变量(7 个氧化物)判别方程分析(表 4), 综合出 4 种混合物源模型。P1 为镁铁质火成物源区, 具有不成熟的海洋岛弧性质; P2 为中性岩火成物源区, 砂岩中火山碎屑主要是安山岩, 属于成熟的岩浆弧和不成熟的大陆边缘岩浆弧; P3 为长英质火成物源区, 属于成熟的大陆边缘弧和大陆转换边缘拉分盆地, 主动的并且是被切割的大陆岩浆弧; P4 为石英岩沉积物源区, 克拉通内部沉积盆地和再循环的造山带, 属于成熟的大陆源区, 源区属于深度风化的花岗岩一片麻岩地质体, 或者古老的沉积体。在物源区方程判别图上(图 4), 鄂尔多斯盆地南缘铜川组砂岩样品主要落在 P4 源区, 表明铜川组物源来自克拉通内部沉积盆地或再循环的造山带。

研究区铜川组砂岩的稀土元素分布曲线特征相似, 说明沉积物具有同源性, 可以应用该稀土元素特

征进一步判断物源区的性质。 $La/Yb-\Sigma REE$  图解用来反映岩石大类的成因特征。在  $La/Yb-\Sigma REE$  图上(图 5), 研究区样品大多落在花岗岩区域, 说明其

碎屑源主要为花岗岩类。鄂尔多斯盆地南部秦岭造山带及华北北缘阴山—燕山造山带均有大面积花岗岩出露, 盆地碎屑物质可能来自于这 2 个地方。

表 2 鄂尔多斯盆地南缘铜川组砂岩稀土元素含量( $\mu g/g$ )

Table 2 REE compositions of sandstone from the Tongchuan Formation of the southern Ordos Basin

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma REE$	LREE	HREE	LREE/HREE	$La_N/Yb_N$	$\delta Eu$
HC-6	22.6	39.0	4.69	19.9	3.25	0.87	3.26	0.41	2.17	0.50	1.19	0.16	1.14	0.16	12.5	99.30	90.31	8.99	10.05	14.22	0.81
HC-7	25.9	51.6	5.56	25.0	4.44	0.98	3.45	0.54	3.13	0.54	1.88	0.26	1.74	0.22	18.4	125.24	113.48	11.76	9.65	10.68	0.74
YC-3	28.6	58.2	6.20	26.0	3.87	1.41	4.61	0.52	3.26	0.62	1.62	0.19	1.55	0.17	14.1	136.82	124.28	12.54	9.91	13.24	1.02
RS-1	24.2	47.6	4.85	19.9	3.19	0.77	2.78	0.41	2.32	0.38	1.24	0.19	1.20	0.18	10.8	109.21	100.51	8.70	11.55	14.47	0.77
RS-2	23.8	47.8	5.26	20.6	3.70	1.00	3.38	0.37	2.34	0.47	1.50	0.19	1.11	0.21	11.6	111.73	102.16	9.57	10.68	15.38	0.85
LY-1	24.5	50.8	5.26	21.1	3.45	0.82	3.00	0.48	2.52	0.49	1.28	0.23	1.25	0.19	12.2	115.37	105.93	9.44	11.22	14.06	0.76
HC-8	43.7	85.4	9.11	38.1	6.15	1.18	5.74	0.76	4.04	0.76	2.24	0.31	2.35	0.26	19.9	200.10	183.64	16.46	11.16	13.34	0.60
LY-3	20.7	40.6	4.56	19.2	2.95	0.87	3.08	0.39	2.45	0.40	1.29	0.14	0.92	0.13	9.31	97.68	88.88	8.80	10.10	16.14	0.88
LY-7	35.0	69.3	7.10	31.3	4.57	1.32	5.51	0.80	3.91	0.46	2.17	0.22	1.53	0.27	19.1	163.46	148.59	14.87	9.99	16.41	0.80

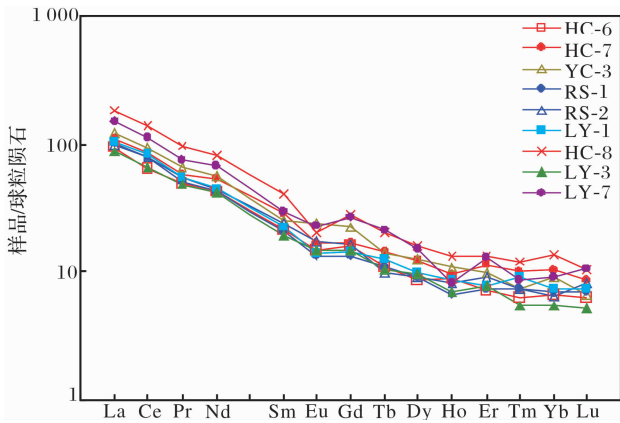


图 3 鄂尔多斯盆地南缘铜川组碎屑岩 REE 分布模型

Fig. 3 Chondrite-normalized REE diagrams of the Tongchuan Formation detrital rocks in the southern Ordos Basin

Floyd 等<sup>[10]</sup>通过对苏格兰西北部早元古代变质沉积岩地球化学特征研究, 提出利用  $Hf-La/Th$  判别图解对不同构造环境沉积物源进行判别。在

$Hf-La/Th$  图解上(图 6), 大多数样品落在长英质与基性岩混合区, 反映其来源于火山弧物质和大陆上地壳长英质物质为主的混合物源区。说明其原始物质应来自上地壳, 以长英质岩石为主, 并混合有含长石较高的中基性岩浆岩。

## 5 物源区构造背景

Bhatia<sup>[4]</sup>归纳总结了不同构造背景下的砂岩 REE 特征值(表 5), 认为从次稳定的被动大陆边缘到非稳定的大陆岛弧区,  $\Sigma REE$  值、 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$  值、 $La/Yb$  值等明显降低。研究区铜川组砂岩 REE 参数与各种构造背景下砂岩的参数相比, 其岩石化学成分与活动大陆边缘和大陆岛弧比较相似, 说明其物源区构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧。

Bhatia 等<sup>[5]</sup>对澳大利亚东部古生代浊积岩微量元素地球化学特征的研究, 建立了一系列判别图解,

表 3 鄂尔多斯盆地南缘铜川组砂岩微量元素组成

Table 3 Trace elements compositions of sandstone from Tongchuan Formation of the southern Ordos Basin

样品号	Zr	Sc	V	Cr	Cu	Zn	Pb	Rb	Cs	Th	U	Co	Ni	Nb	Hf
HC-6	78.9	3.6	16.3	18.1	7.9	24.5	12.4	53.0	1.81	16.6	1.20	3.12	8.85	3.33	1.68
HC-7	198	8.3	31.5	33.4	11.4	29.3	18.5	51.0	2.22	9.83	1.62	4.33	15.4	8.28	1.88
YC-3	140	6.6	55.6	47.3	27.2	48.2	12.8	77.2	2.70	7.21	2.42	10.2	21.5	6.91	1.53
RS-1	113	6.2	40.9	30.2	6.9	29.0	15.6	69.0	1.38	6.24	1.80	6.17	13.4	5.75	2.11
RS-2	125	7.8	45.4	36.0	8.0	39.7	18.6	81.6	1.87	4.64	0.94	8.41	11.7	6.37	2.16
LY-1	143	5.9	54.3	37.2	10.6	47.0	15.7	56.4	1.42	9.22	1.74	9.21	17.5	6.98	2.41
HC-8	252	9.2	54.8	47.2	11.9	59.2	14.6	99.8	4.78	14.1	3.71	8.86	19.9	11.8	3.10
LY-3	130	7.1	52.0	45.6	8.8	37.9	13.3	55.4	0.83	7.10	1.88	7.23	24.0	4.38	1.61
LY-7	154	10.5	65.7	75.1	29.0	69.8	21.9	46.5	2.12	8.02	2.72	13.8	29.7	6.77	1.76

表 4 砂岩源区判别函数的变量及其系数<sup>[36]</sup>

Table 4 Variables and their coefficient of discriminant function for provenance of sandstone<sup>[36]</sup>

变量	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	常数
F1 系数	-1.773	0.607	0.760	-1.500	0.616	0.509	-1.224	-9.090
F2 系数	0.445	0.070	-0.250	-1.142	0.438	1.475	1.426	-6.861

注:判别公式= $a_1x_1+a_2x_2+\dots+a_nx_n+C$ ,其中: $x_1-x_n$ 为  $n$  个判别变量; $a_1-a_n$ 为相应系数; $C$ 为常数

该图解很好地区分出大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘(安第斯型盆地)和被动大陆边缘 4 种构造背景下的砂岩。在 Th—Sc—Zr/10 和 La—Th—Sc 图解上,研究区铜川组砂岩样品大部分位于大陆岛弧区,少部分位于活动大陆边缘区及被动大陆边缘区(图 7)。这一特征表明鄂尔多斯盆地铜川组碎屑岩的形成与岛弧关系密切。

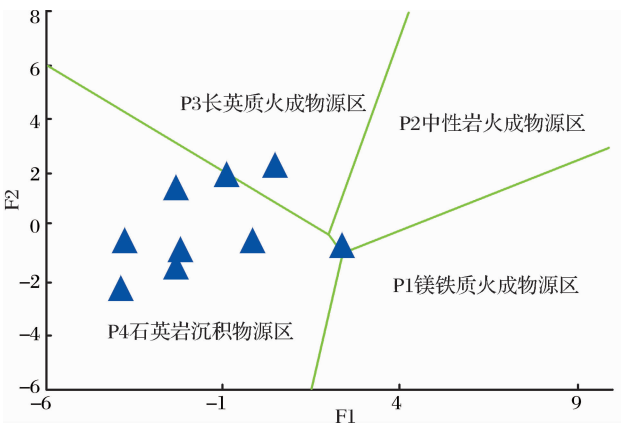


图 4 物源 F1—F2 判别图<sup>[36]</sup>

Fig. 4 F1-F2 discrimination diagrams on the provenances<sup>[36]</sup>

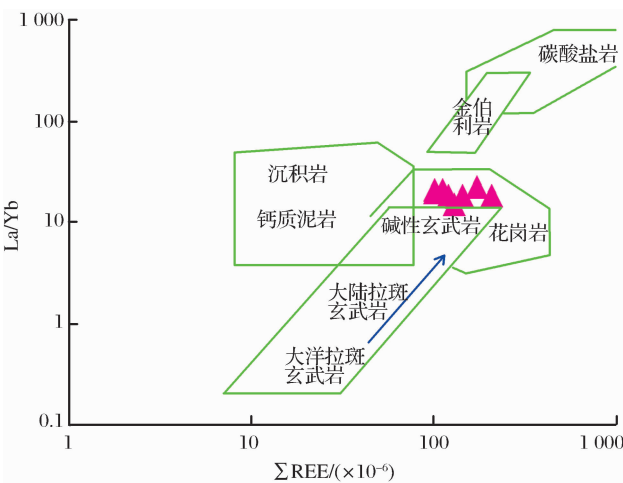


图 5 鄂尔多斯盆地南部铜川组砂岩 La/Yb— $\Sigma$ REE 图解<sup>[37]</sup>

Fig. 5 La/Yb— $\Sigma$ REE discrimination diagram of sandstones from the Tongguan Formation of the southern Ordos Basin<sup>[37]</sup>

沉积物中 Fe、Ti 元素不易流失,且在海水中滞留时间较短,可以较好地反映其物源性质,Mg 虽不

如 Fe 和 Ti 但也基本可以代表母源的原始含量<sup>[2]</sup>。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> 值可用来判别砂岩中石英的富集程度;K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值可以反映岩石中钾长石、云母与斜长石的含量;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O)值则是反映最稳定元素与最不稳定元素关系的参数。因此,利用砂岩中这几种元素氧化物的含量作为研究参数,能够较好地反映源区性质及其构造背景<sup>[2]</sup>。在 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O—(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)、TiO<sub>2</sub>—(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+CaO)—(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>—(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)和判别图解中(图 8),研究区铜川组砂岩样品主要落在大陆岛弧和活动大陆边缘上。这与微量元素和稀土元素所揭示的大地构造背景一致,进一步说明了鄂尔多斯盆地铜川组沉积时构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧。

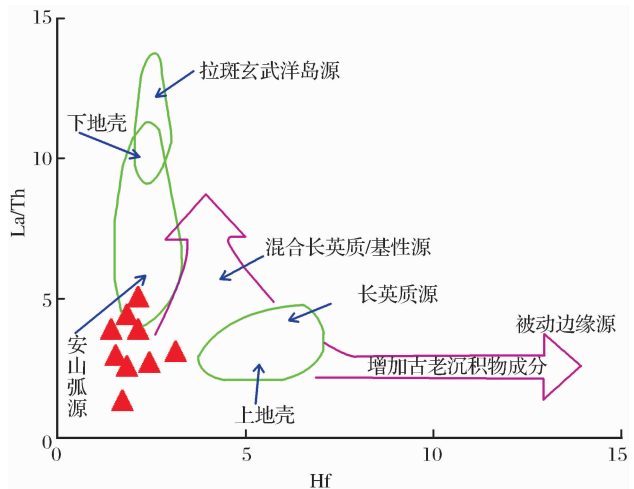


图 6 鄂尔多斯盆地南部铜川组砂岩 La/Th—Hf 源区环境判别图<sup>[10]</sup>

Fig. 6 La/Th-Hf discrimination diagram of sandstones from the Tongguan Formation of the southern Ordos Basin<sup>[10]</sup>

## 6 讨论

对鄂尔多斯盆地南部铜川组物源的分歧主要集中在北部物源(华北北缘)和南部物源(秦岭造山带)。砂岩主量元素、微量元素及稀土元素一致判断该区铜川组沉积时期物源构造背景为活动大陆边缘和大陆岛弧。但仅仅凭借这些特征难以真正确定盆地沉积时的物源区。已有研究结果表明,鄂尔多斯

盆地南北可能的物源区都具有活动大陆边缘和大陆岛弧的构造背景。研究区南部为秦岭造山带,秦岭造山带于新元古代和早古生代期间处于洋—陆相互作用阶段,早古生代,北秦岭洋关闭,沿华北南缘秦岭—大别一线形成了一条火山弧<sup>[38]</sup>。中晚三叠世,秦岭和华北地块自东向西呈剪刀式闭合,秦岭造山带也在此时全面隆升成山。研究区北部为华北板块北缘,早中泥盆世期间。在华北克拉通北缘发育了年龄为 410~380Ma 的碱性杂岩,可能与弧陆碰撞后的伸展有关,从晚石炭世开始华北克拉通北缘发

展为安第斯型活动大陆边缘,古亚洲洋向南俯冲在华北克拉通之下<sup>[39]</sup>。至此,单纯依靠碎屑岩地球化学特征已无法判别物源是来自盆地北部的华北板块北缘还是来自盆地南部的秦岭造山带。因此,利用碎屑岩地球化学特征进行沉积物源区分析是有一定局限性。当存在多个地球化学特征具有相似的物源区时,仅仅依靠碎屑岩地球化学特征无法确定沉积物的真正物源区和母岩组成。在这种情况下,就需要结合重矿物、古水流,碎屑锆石年代学等多种物源分析方法进行综合判定。

表 5 各种构造背景下砂岩的 REE 参数<sup>[4]</sup>

Table 5 The REE geochemical parameter of sandstone in different tectonic settings<sup>[4]</sup>

构造背景	物源区类型	La	Ce	∑REE	La/Yb	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	∑LREE/∑HREE	Eu/Eu*
大洋岛弧	未切割的岩浆弧	8±1.7	19±3.7	58±10	4.2±1.3	2.8+0.9	3.8±0.9	1.04±0.11
大陆岛弧	切割的岩浆弧	27±4.5	59±8.2	146±20	11±3.6	7.5±2.5	7.7±1.7	0.79±0.13
活动大陆边缘	基底隆起	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6
被动大陆边缘	克拉通内构造高地	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.56
研究区		38.00	81.50	128.77	19.82	14.21	10.48	0.80

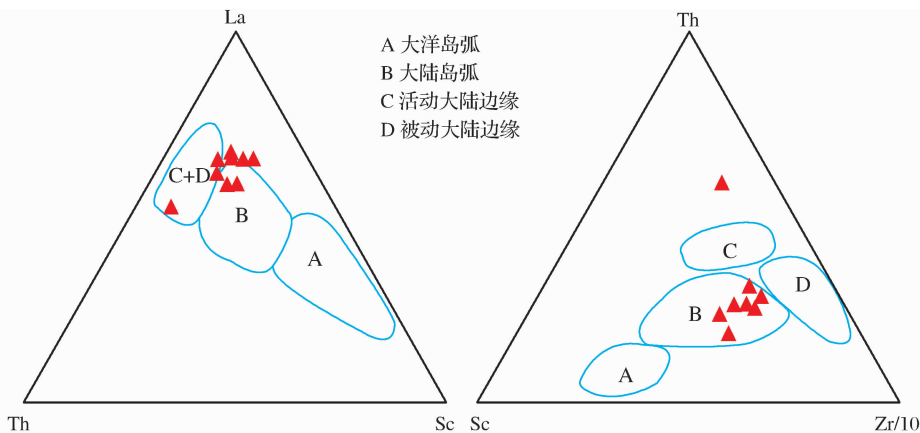


图 7 砂岩 Th—Sc—Zr/10 和 La—Th—Sc 源区构造背景判别图<sup>[5]</sup>

Fig. 7 Th-Sc-Zr/10 and La-Th-Sc plots of sandstones for tectonic setting discrimination<sup>[5]</sup>

关于鄂尔多斯盆地南缘碎屑锆石已有不少学者<sup>[23-24]</sup>进行了研究。Xie 等<sup>[23]</sup>对鄂尔多斯盆地南部铜川漆水河、华亭汭水河剖面长 8 砂岩开展了碎屑锆石年代学工作,测年结果显示碎屑锆石年龄主要分布在以下 6 个区间,即: 250~300Ma、320~380Ma、380~420Ma、420~500Ma、1.7~2.1Ga 及 2.3~2.6Ga。延安延河剖面延长组早期碎屑锆石主要分布在 238~363Ma、1.5~2.1Ga 和 2.2~2.6Ga 3 个区间<sup>[24]</sup>。碎屑锆石测年结果没有新元古代年龄,表明秦岭没有为鄂尔多斯盆地南缘提供物源,因为新元古代年龄在秦岭较为普遍<sup>[23,40-41]</sup>。同时,结合前人<sup>[23-24]</sup>对鄂尔多斯盆地周缘沉积岩碎屑

锆石研究,认为鄂尔多斯盆地南缘碎屑锆石主要来自华北克拉通早期沉积再循环。结合本文砂岩地球化学分析,笔者认为鄂尔多斯盆地南缘铜川组碎屑物质主要来自华北克拉通早期沉积物质再循环,其初始沉积物质来自华北北缘,秦岭造山带未对鄂尔多斯盆地南缘铜川组沉积期提供物源。

## 7 结论

本文对鄂尔多斯盆地南部铜川组砂岩常量元素和微量元素地球化学特征进行了测试分析,结合前人发表的鄂尔多斯盆地南缘延长组早期碎屑锆石年代学数据,获得了如下结果和认识:碎屑岩地球化

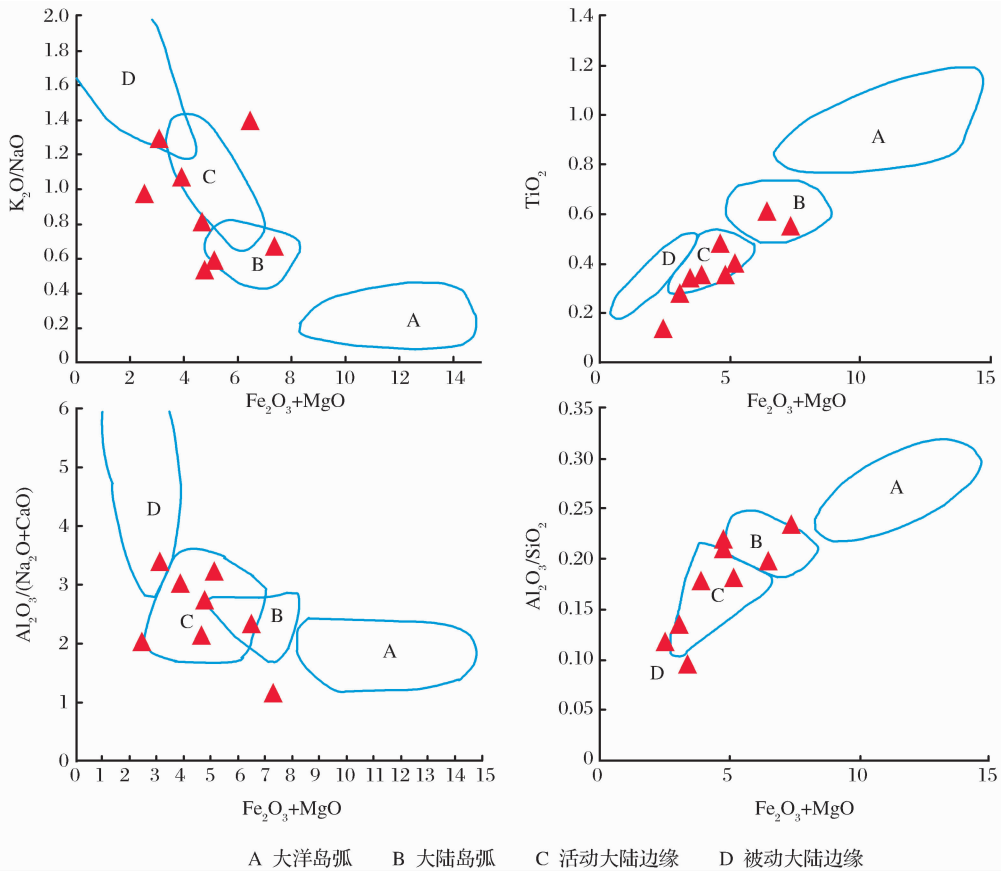


图 8 砂岩源区大地构造背景主量元素判别<sup>[3]</sup>

Fig. 8 Major elements composition of sandstones for tectonic setting discrimination<sup>[3]</sup>

学特征分析结果表明,研究区碎屑岩主要为杂砂岩和岩屑砂岩;鄂尔多斯盆地南部铜川组砂岩地球化学投点主要落在活动大陆边缘和大陆岛弧,在多种构造环境判别图解上,具有高度的一致性;鄂尔多斯盆地南部铜川组物质主要来自盆地北部、东北部早期沉积再循环,其初始沉积物质来自华北北缘,秦岭没有为鄂尔多斯盆地南缘铜川组沉积期提供物源。

#### 参考文献 (References):

- [1] Xu Yajun, Du Yuansheng, Yang Jianghai. Prosects of sediment provenance analysis[J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(3): 26-32. [徐亚军, 杜远生, 杨江海. 沉积物物源分析研究进展[J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 26-32.]
- [2] Yan Zhen, Fang Aimin, Pan Yusheng, *et al.* Detrital modal, geochemical characteristics and tectonic setting of Dajin marine clastic rocks, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4): 949-960. [闫臻, 方爱民, 潘裕生, 等. 西藏达金海相碎屑岩的组成、地球化学特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 949-960.]
- [3] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. The Journal of Geology, 1983, 91(6): 611-628.
- [4] Bhatia M R. Rare earth elements geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudstone, Provenance and tectonic

control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97-113.

- [5] Roser, B P, Korsch R J. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: A discussion[J]. The Journal of Geology, 1985, 93: 81-84.
- [6] Bhatia M R, Crook K A. Trace-element characteristics of greywackes and tectonics setting discrimination of sedimentary basin[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181-193.
- [7] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio[J]. The Journal of Geology, 1986, 94: 635-650.
- [8] McLennan S M, Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution; Tectonic setting and secular trends[J]. The Journal of Geology, 1991, 99: 1-21.
- [9] Luo Yuan, Zhao Junxing, Lü Qiang, *et al.* Provenance analysis of Chang 6 formation in the Ningxian-Qingyang region, southwest Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(6): 907-915. [罗媛, 赵俊兴, 吕强, 等. 鄂尔多斯盆地西南部宁县一庆阳地区长 6 期物源状况分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 907-915.]
- [10] Floyd P A, Winchester J A, Park R G. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, N. W. Scotland [J]. Precambrian Research, 1989, 45(1-3): 203-214.

- [11] Luo Jinglan, Li Zhongxing, Shi Cheng'en, *et al.* Depositional systems and provenance directions for the Chang 6 and Chang 8 reservoir groups of the Upper Triassic Yanchang Formation in the south western Ordos Basin, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(1): 101-111. [罗静兰, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统延长组长 8、长 6 油层组的沉积体系与物源方向[J]. 地质通报, 2008, 27(1): 101-111.]
- [12] Liu Ruie, Wei Xiaofeng, Wang Yali, *et al.* The geochemical characteristics of RARAE earth elements of the shale rock in the geological signification of the analysis of the sedimentary provenance: An example in the Upper Paleozoic in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(6): 788-791. [刘锐娥, 卫孝峰, 王亚丽, 等. 泥质岩稀土元素地球化学特征在物源分析中的意义——以鄂尔多斯盆地上古生界为例[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 788-791.]
- [13] Song Kai, Lü Jianwen, Du Jinliang, *et al.* Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(3): 59-66. [宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系[J]. 古地学报, 2002, 4(3): 59-66.]
- [14] Wei Bin, Wei Honghong, Chen Quanhong, *et al.* Sediment provenance analysis of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2003, 33(4): 447-450. [魏斌, 魏红红, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2003, 33(4): 447-450.]
- [15] Nie Yongsheng, Tian Jingchun, Xia Qingsong, *et al.* Source analysis of Yanchang Formation in Baibao-Jiyuan region, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(5): 4-6. [聂永生, 田景春, 夏青松, 等. 鄂尔多斯盆地白豹一姬源地区上三叠统延长组物源分析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(5): 4-6.]
- [16] Lü Qiang, Zhao Junxing, Chen Hongde, *et al.* Analysis of the provenance and basin bottom shape of Yanchang Epoch of Mesozoic in Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2008, 35(6): 610-616. [吕强, 赵俊兴, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界延长组物源与盆地底形分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 610-616.]
- [17] Chen Fei, Fan Tailiang, Gao Zhiqian, *et al.* Analysis of the provenance direction and the depositional systems of Yanchang Formation of Upper Triassic in the southern Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2009, 24(6): 24-32. [陈飞, 樊太亮, 高志前, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源方向与沉积体系分析[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2009, 24(6): 24-32.]
- [18] Zhu Zongliang, Li Wenhui, Li Keyong, *et al.* Provenance analysis of Late Triassic sediments in the southern Ordos Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2010, 16(4): 547-555. [朱宗良, 李文厚, 李克永, 等. 鄂尔多斯盆地南部晚三叠世物源分析[J]. 高校地质学报, 2010, 16(4): 547-555.]
- [19] Deng Kun, Zhang Shaonan, Ding Xiaoqi, *et al.* Provenance analysis of Chang 8 and Chang 6 members of Yangchang Formation in Fuxian exploration area of Ordos Basin[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2012, 32(1): 29-35. [邓昆, 张哨楠, 丁晓琪, 等. 鄂尔多斯盆地富县探区延长组长 8 长 6 物源分析来自岩石地球化学及重矿物的证据[J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(1): 29-35.]
- [20] Zhao Yunxiang, Wang Jianfeng, Ding Xiong, *et al.* Provenance analysis Upper Triassic Chang 9 reservoir in Ordos Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(4): 7-13. [赵云翔, 王建峰, 丁熊, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统长 9 油层组物源分析[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(4): 7-13.]
- [21] Shang Ting, Chen Gang, Li Wenhui, *et al.* Provenance analysis of Chang 6 reservoir in Fuhuang exploration area of Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(1): 33-40. [尚婷, 陈刚, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地东南部富黄探区延长组长 6 段物源分析[J]. 地质科技情报, 2012, 31(1): 33-40.]
- [22] Yang Hua, Liu Ziliang, Zhu Xiaomin, *et al.* Provenance and depositional systems of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern Ordos Basin, China[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 10-18. [杨华, 刘自亮, 朱敏敏, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组物源与沉积体系特征[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 10-18.]
- [23] Xie Xiangyang, Heller P L. U-Pb Detrital zircon geochronology and its implications: The Early Late-Triassic Yanchang Formation, south Ordos Basin, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 64(5): 86-98.
- [24] Li Hongyan, Huang Xiaolong. Constraints on the paleogeographic evolution of the north China Craton during the Late Triassic-Jurassic [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, (70/71): 308-320.
- [25] Zhang Fuli. Relation of multicycles tool and natural gas in the Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2006, 26(2): 138-142. [张福礼. 多旋回与鄂尔多斯盆地石油天然气 [J]. 石油实验地质, 2006, 26(2): 138-142.]
- [26] Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, *et al.* Space-Time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-638. [刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638.]
- [27] Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the Late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos Basin [J]. Geology China, 2006, 33(1): 28-40. [张岳桥, 廖昌珍. 晚中生代—新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造 [J]. 中国地质, 2006, 33(1): 28-40.]
- [28] Yang Minghui, Liu Chiyang, Zheng Menglin, *et al.* The sequence contexture of two different kinds of margins in the Middle-Late Triassic in Ordos Basin and their response to tectonic activities [J]. Science China: Series D, 2007, 37(supplement 1): 173-184. [杨明慧, 刘池洋, 郑孟林, 等. 鄂尔多斯盆地中晚三叠世两种不同类型边缘层序构成及对构造活动响应



- [J]. 中国科学: D辑, 2007, 37(增1): 173-184.]
- [29] Liu Jun, Wu Xiaochun, Li Jinling. The first reptile from the Tongchuan Formation and its stratigraphical significance[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2001, 39(1): 67-71. [刘俊, 吴肖春, 李锦玲. 北铜川组爬行动物化石的首次发现及其地层意义[J]. *古脊椎动物学报*, 2001, 39(1): 67-71.]
- [30] Xie Xiangyang. Sedimentary Record of Mesozoic Intracontinental Deformation in the South Ordos Basin, China[D]. Laramie: The University of Wyoming, 2007.
- [31] Wang Duoyun, Xin Bushe, Yang Hua, *et al.* Zircon SHRIMP U-Pb age and geological implications of tuff at the bottom of Chang-7 member of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Science China Earth Sciences*, (in press).
- [32] Mao Guangzhou, Liu Chiyang. Application of geochemistry in provenance and depositional setting analysis[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33(4): 337-348. [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.]
- [33] Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implication for the Mantle Composition and Process[M]. Saunders A D, Norry M J. London: Magmatism in the Ocean Basins Geological Society of London Special Publication, 1989: 313-345.
- [34] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific, 1985: 1-312.
- [35] McLennan S M, Hemming S R, Taylor S R, *et al.* Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nd-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America[J]. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 1153-1177.
- [36] Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. *Chemical Geology*, 1988, 67: 119-139.
- [37] Allegre C T. Quantitative models of trace planet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1978, 38(1): 1-25.
- [38] Li Hongyan, Xu Yigang, Huang Xiaolong, *et al.* Activation of northern margin of the north China Craton in Late Paleozoic: Evidence from U-Pb dating and Hf isotopes of detrital zircons from the Upper Carboniferous Taiyuan Formation in the Ningwu-Jingle Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(4): 677-686.
- [39] Zhao Yue, Chen Bin, Zhang Shuanghong, *et al.* Pre-Yanshanian geological events in the northern margin of the north China Craton and its adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 900-915. [赵越, 陈斌, 张拴宏, 等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 900-915.]
- [40] Diwu Chunrong, Sun Yong, Zhang Hong, *et al.* Episodic tectonothermal events of the western north China Craton and north Qinling Orogenic Belt in central China: Constraints from detrital zircon U-Pb ages[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 47: 107-122.
- [41] Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huaikun, *et al.* Constraining the role of the Qinling orogen in the assembly and break-up of Rodinia: Tectonic implications for Neoproterozoic granite occurrences[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, (28): 99-175.

## Geochemical Features of the Detrital Rocks of Tongchuan Formation in the Southern Ordos Basin and Its Constrains on Provenance

ZHANG Yu<sup>1</sup>, YANG Hua<sup>2,3</sup>, WANG Duo-yun<sup>1</sup>, FU Jin-hua<sup>2,3</sup>, YAO Jing-li<sup>2,3</sup>, XIN Bu-she<sup>1</sup>

(1. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China; 3. National Engineering Laboratory

for Exploration and Development of Low-permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Based on the analysis of major elements, trace elements and rare earth elements (REE), combined with previous results, the source of Tongchuan Formation in the southern Ordos Basin has been investigated. Geochemical analysis shows that sandstones consist mainly greywacke and lithic arenite. The rare earth element (REE) patterns are characterized by enriched light rare earth element (LREE), flat heavy light element (HREE) and poor negative Eu anomalies. The primary materials of sedimentary rocks should come from the upper continental crust, and are mainly composed of felsic rocks. According to the structure discriminant figure, the tectonic settings of source rock area for Tongchuan Formation sandstones in the southern Ordos Basin belong to active continental margin and continental island arc. In combination with previous data of the detrital zircons, we suggest that the source of the Tongchuan Formation is most likely recycled from previous sedimentary rocks from the North China Block. The initial source for the Tongchuan Formation is the northern margin of the North China Block. The Qinling orogen did not provide source for the Tongchuan Formation.

**Key words:** Ordos Basin; Tongchuan Formation; Major elements; Trace elements; Rare earth elements