

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0610-07

# 鄂尔多斯盆地南部延长组长 6 时期物源状况分析<sup>1</sup>

赵俊兴<sup>1</sup> 吕 强<sup>1,2</sup> 李凤杰<sup>1</sup> 申晓莉<sup>2</sup> 付 伟<sup>2</sup> 罗 媛<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059 2. 中国石油长庆油田分公司 西安 710021);

**摘 要** 为查明鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系的分布格局等问题, 通过常规矿物成分分析、重矿物特征、岩屑特征、地球化学特征和地震剖面等研究方法, 对鄂尔多斯盆地南部的物源及源区母岩性质等进行了系统研究。结果表明, 盆地南部地区主要受到 3 大物源主要控制, 可进一步再划分出 5 个次级物源, 即东北、北部、西部、西南、南部。古物源与沉积体系具有良好的空间配置关系, 决定了盆地长 6 时期的沉积体系分布格局。沉积物源的研究将有助于油气勘探的部署。

**关键词** 物源分析 鄂尔多斯盆地 延长组 沉积体系

**第一作者简介** 赵俊兴 男 1972 出生 副教授 博士后 沉积学与含油气盆地分析 E-mail zhaojx@cdut.edu.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 引言

鄂尔多斯盆地是一个中生界大型内陆拗陷盆地, 油气资源丰富, 晚三叠世延长组沉积时期是内陆湖盆发育的鼎盛时期, 盆地整体表现为西陡东缓, 由北西向南东倾伏的箕状<sup>[1,2]</sup>, 气候温暖潮湿, 大型陆相湖盆发育, 从长 10 沉积期到长 8 沉积期, 盆地充填由河流沉积体系逐渐演化为大型三角洲, 长 7 沉积期湖盆达到鼎盛时期, 而长 6 沉积期是鄂尔多斯盆地晚三叠世继长 7 期最大湖泛事件之后的大型三角洲主要建设时期<sup>[3]</sup>。对油气勘探来说, 长 7 油层组(烃源岩)与长 6 油层组(储层)具有最佳的成藏组合关系。因此, 弄清延长组早中沉积期的物源位置、阐明古物源与沉积体系的空间配置对远景区油气储层的准确预测具有重要意义<sup>[4]</sup>。随着现代分析测试手段的提高, 物源分析已从定性走向定量化<sup>[5,6]</sup>, 其研究方法日趋增多, 并不断地相互补充和完善<sup>[7]</sup>, 笔者主要从沉积学和岩石矿物学的角度寻找判别证据, 通过环境分析、砂体走向、常规矿物和重矿物特征分析、岩屑、地震剖面等判别古物源的有效方法来对盆地南部长 6 沉积物源进行分析。

## 1 砂岩碎屑组分特征

盆内陆源碎屑物是由物源区岩石提供的, 因此碎

屑物组分的组合特征与物源区有密切关系。镜下观察统计, 研究区晚三叠世延长组长 6 油层组以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主。长 6 油层组石英平均含量占全部碎屑平均含量的 31.63%; 长石的平均含量占 50.43%; 大多数砂岩中长石含量普遍很高, 以高含长石为一大特点, 含量普遍占岩石总量的 50%~70%, 最高达 83%; 岩屑在本地区长 6 砂岩中较为常见、具有分布广的特征, 平均含量在 17.94%, 少量岩石中岩屑最高值可达 27%。碎屑成分三角投点主要落在长石砂岩区, 其次落在岩屑长石砂岩区, 少数点投在长石岩屑区, 落在长石石英砂岩区的偶见。根据不同地区碎屑成分含量特点(图 1), 长 6 总体上表现出了北部“高长石、低石英”和南部“低长石、高石英”的特点。在渭北地区, 整个延长组岩石样品碎屑含量也表现出了同样的分布特点。

在盆地东北部, 轻矿物特征显示, 东北部为高长石含量区, 长石含量一般为 51%~71%, 石英含量 12%~58%, 岩屑含量仅 9%~27%, 且岩屑中的白云岩岩屑含量极少。自北而南, 石英含量由 12% (青 11 井) 增加到 36% (塞 133), 岩石矿物成熟度有增高趋势。中部地区长石含量一般为 43%~74%, 平均含量 57.2%; 石英含量 10%~33%, 平均 23.46%; 岩屑含量 9%~34%; 成分成熟度 0.1~0.6 平均 0.33 相对于盆地东北部为长石含量降低, 石英含量增高,

<sup>1</sup> 国家自然科学基金青年基金项目“鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期几个关键性事件沉积及其与油气聚集关系研究”(批准号: 40602012)和四川省教育厅自然科学基金联合资助。

收稿日期: 2007-07-19 收修修改稿日期: 2007-11-21

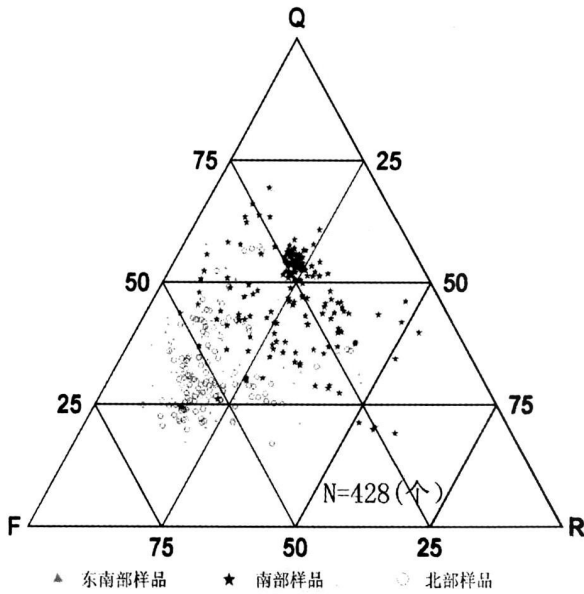


图 1 研究区延长组砂岩组分三角投点图

Fig 1 Triangles diagram showing the sandstone types of Yangchang Formation

成分成熟度增高。盆地西南部为石英相对高含量区, 石英含量为 17% ~ 78%, 平均含量 54.75%; 长石含量 15% ~ 71%, 平均 31.63%; 岩屑含量 7% ~ 16%, 平均 13.63%。

盆地中南部张岔—太白及其周边地区鉴定资料统计, 表明该地区在西南部石英含量相对较高, 如固城川、板桥、正宁等地区含量普遍在 30% ~ 50% (图 2), 而北部及东部的石英含量相对低, 如直罗、张家湾和沿河湾地区, 含量一般在 20% 左右; 相反地, 长石含量由北东向南西方向具有减小的趋势 (图 3), 如沿河湾地区长石平均含量可达 54% 以上, 而到了固城川地区, 长石含量仅不足 20%。这些特点表明了固城川地区物源主要受到了南部和西南部物源的控制, 物源方向自西南而东北。

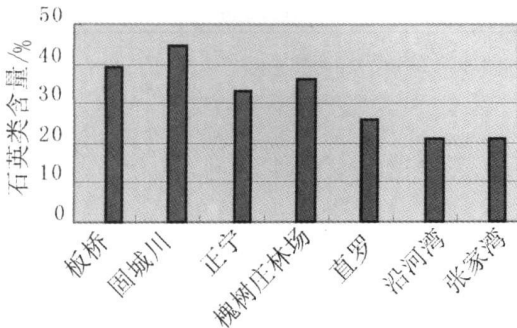


图 2 张岔—太白地区石英含量分布图

Fig 2 The quartz content distribution in

Zhangcha to Taibai Area

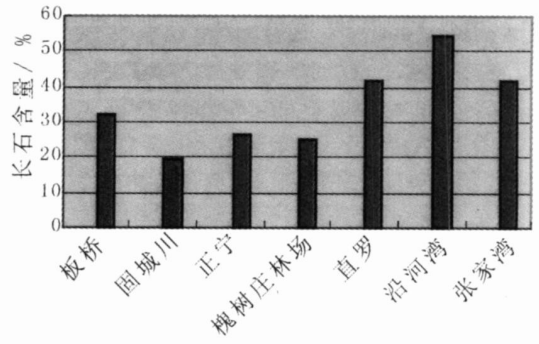


图 3 张岔—太白地区长石含量分布图

Fig 3 The feldspar content distribution in Zhangcha to Taibai Area

制, 物源方向自西南而东北。

## 2 重矿物分布特征

重矿物在岩石中的含量很少, 一般不超过 1%, 延长组由于多物源, 因此所含重矿物的种类也多。根据重矿物的稳定性可将其划分为: 超稳定重矿物, 如金红石、锆石、电气石; 稳定矿物, 如磷灰石、石榴子石 (铁少)、十字石、钛铁矿等; 中等稳定矿物, 如绿帘石、榍石、石榴石 (富铁) 等等; 不稳定矿物, 如角闪石、阳起石、辉石等; 超不稳定矿物, 如橄榄石。稳定

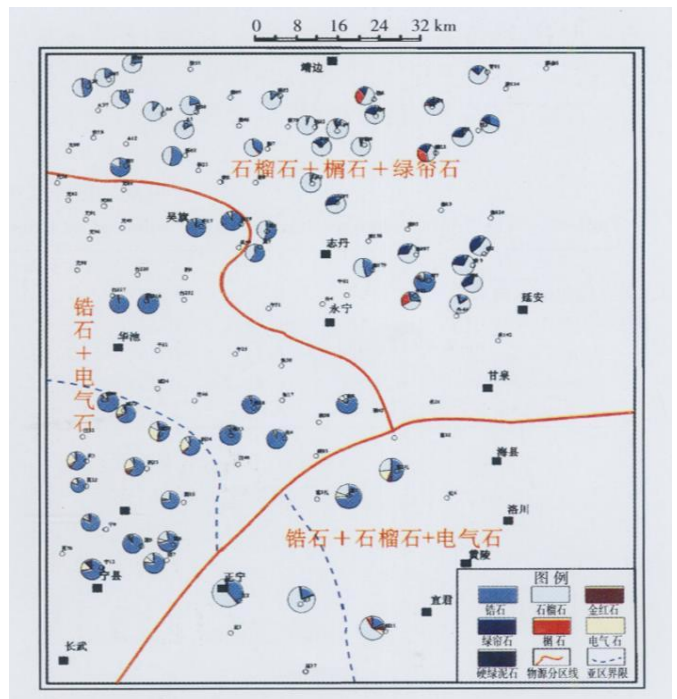


图 4 研究区重矿物成分与含量分布图

Fig 4 The heavy mineral content distribution chart of Chang 6 oil-bearing

矿物抗风化能力强、分布最广,随着远离物源区含量相对升高,相反,随着远离物源区,不稳定矿物含量降低。正是依据这一原理,重矿物研究是常用来判断物源方向的主要方法之一,是判断物源方向及物源分区的重要标志。

重矿物资料统计表明,长 6 油层组重矿物种类主要有锆石、电气石、金红石、石榴子石、绿帘石和榍石。从重矿物组合分布特征图上可以看出,盆地主要存在东北、西部(西南)和南部(东南)三大物源沉积方向,并且还可以进一步划分出 6 个亚区(图 4)。其中,东北地区重矿组合主要为“石榴子石 + 绿帘石 + 榍石 + 锆石”组合;西南地区重矿组合相对复杂,主要是“锆石 + 电气石 + 金红石 + 石榴子石”组合;南部及东南部重矿物特征主要表现为“锆石 + 石榴子石 + 电气石”组合,同时含有少量的金红石和榍石。这些特征在整个研究区对比明显,特征清晰,是划分研究区物源方向的主要判别依据之一。同时,针对这三大物源区重矿物特点各自还可以分别进一步划分出两个亚区,也说明了长 6 时期物源具有多样性。

在陕北地区,依据重矿物在平面上的分布情况来看,长 6 重矿物组合可分为四大区,即青阳岔—杨米涧“的石榴子石”区,大路沟—镰刀湾地区的“石榴子石 + 榍石、绿帘石”组合区,杏河—王窑—安塞地区的“锆石 + 石榴子石”组合区,双河—河庄坪地区的“锆石 + 石榴子石 + 榍石、绿帘石”组合区和太白—张岔

地区的“锆石 + 电气石”组合区(表 1)。

重矿物含量及组合平面变化规律显示,陕北地区长 6 油层组重矿物组合沿北东方向具明显的分带性,自北而南,不稳定重矿物(榍石、绿帘石)、次稳定重矿物(石榴子石)含量降低,稳定重矿物(锆石、电气石、金红石)含量升高(图 5)。依据沿物源方向远离物源区稳定重矿物含量增加,而不稳定重矿物含量减少的基本规律,北东方向是陕北地区长 6 油层组的主要物源供给方向。

### 3 岩屑分布与稀土元素特征

碎屑岩石中岩屑的类型与物源区母岩的性质息息相关,因此,通过对盆地不同地区岩石轻矿物组分中岩屑类型及各自含量的分析,也可以得到一些有关物源方向的信息。

从岩屑含量特征图上(图 6)可以看出,盆地明显地存在东北、西南两大物源供给方向。其中,东北三角洲沉积体系岩屑组合主要为“火成岩屑 + 变质岩屑”组合;西南三角洲沉积体系岩屑组合主要为“沉积岩屑 + 火成岩屑 + 变质岩屑”组合,西南地区以明显含沉积岩屑而区别于东北物源。这种分布特征在盆地表现得特别明显,对比清楚。再从东北部以长石含量较高、沉积岩屑含量甚少且基本不含白云岩屑,而西南物源以较高的石英含量和高白云岩屑含量的情况看(图 7),两大物源区母岩性质是有本质差别的。

表 1 陕北地区延长组长 6 重矿物分区变化表

Table 1 The zoning change chart of heavy mineral in Chang6 section of Yangchang Formation, Shaanxi Northern Region

地区	锆石	金红石	电气石	石榴子石	榍石	绿帘石	重矿物组合分区	物源方向
青阳岔—杨米涧	6.94	0.27	6.36	63.70	4.08	7.10	石榴子石	
大路沟—镰刀湾	8.45	0.39	0.32	53.25	5.86	8.48	石榴子石 + 榍石、绿帘石	北东
杏河—王窑—安塞	17.69	0.19	0.36	46.32	1.26	9.11	锆石 + 石榴子石	↓
双河—河庄坪	14.63	0.62	0.43	44.35	3.86	12.85	锆石 + 石榴子石 + 榍石、绿帘石	南西
太白—张岔	64.39	1.124	4.17	7.024	0	0.02	锆石 + 电气石	

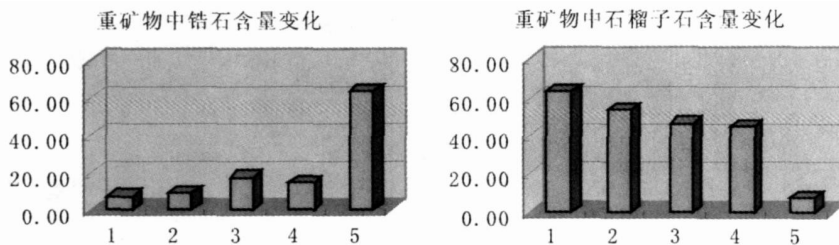


图 5 陕北地区重矿物中锆石、石榴子石由北向南变化趋势

1. 青阳岔—杨米涧地区; 2 大路沟—镰刀湾地区; 3 杏河—王窑—安塞地区; 4 双河—河庄坪地区; 5 太白—张岔

Fig 5 The trend zircon and garnet content of heavy mineral from north to south in north Shaanxi

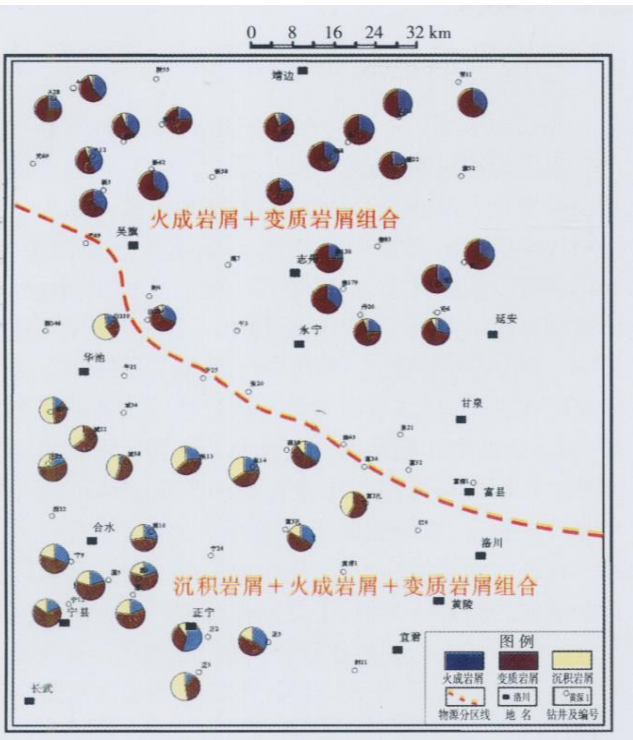


图 6 研究区长 6 岩屑含量分布图

Fig 6 The rock debris content distribution chart of Chang 6 oil-bearing layer

元素地球化学方法应用原理是表生地球化学环境中元素的地球化学行为的差异, 一些元素在母岩风化、剥蚀、搬运、沉积及成岩过程中不易迁移, 它们几乎被等量地转移到碎屑沉积物中, 因而可作为沉积物物源的示踪物, 稀土元素 (REE) 因其特殊的地球化学性质而在判别岩石类型、分析物源方向方面得到广泛运用<sup>[8]</sup>。

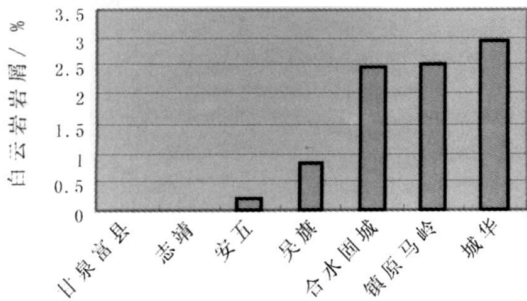


图 7 延长组砂岩中白云岩岩屑含量分布直方图

Fig 7 The distribution histogram of dolomite debris of sandstone of Yanchang Formation

碎屑岩中 REE 含量主要受控于它的物源区岩石成分, REE 主要以颗粒态搬运沉积, 反映了它们物源

区的地球化学特征 (Fleet 1984, Mclellan 1989), 风化和成岩作用的效应是次要的, 它们对沉积岩中 REE 再分配影响不大 (Nesbitt 1979, 1990)。因而 REE 可作为一种重要的物源示踪物。

利用 Boynton (1984) 推荐的球粒陨石 REE 数据作为标准化数值, 对鄂尔多斯盆地中部延长组长 6 岩石样品进行标准化, 作出 REE 分配模式图。东北地区延长组长 6 砂岩稀土元素地球化学特征反映为 LREE 富集, HREE 严重亏损, 轻稀土中的铈轻微亏损、铈亏损, LREE/HREE 为 12.2。REE 配分模式表现为“右倾斜”、LREE 富集、HREE 平坦型 (图 8)。在盆地南部地区, 延长组长 6 稀土元素地球化学特征反映为 LREE 富集, HREE 亏损, 轻稀土中的铈基本上表现不出亏损, 但铈亏损严重, 稀土元素配分模式向右倾斜幅度没有研究区北部严重, 另外一个突出特点是 HREE 特征明显不同 (图 9), HREE 呈平坦状,

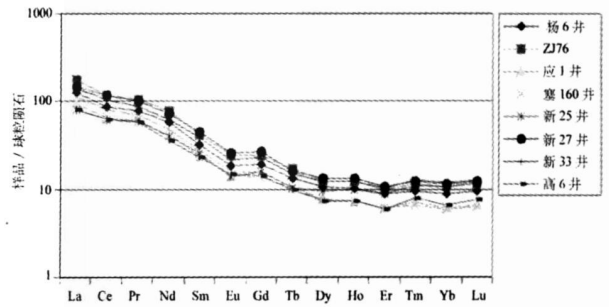


图 8 东北地区延长组长 6 砂岩稀土元素分配曲线

Fig. 8 The normalized REE pattern of Chang 6 sandstone in northeast study area

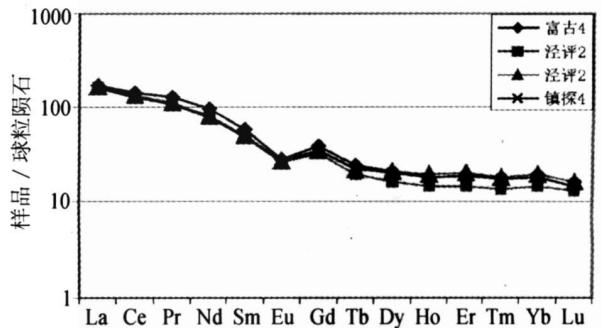


图 9 南部地区延长组长 6 泥岩稀土元素分配曲线

Fig. 9 The normalized REE pattern of Chang 6 shale in northeast study area

但在末端下凹。上述特征表明, 陕北地区延长组长 6 砂岩和泥岩的 REE 地球化学特征及 REE 配分模式曲线与盆地东北缘太古代及早元古代变质岩之间具有较

大的亲缘关系,长 6 物源来自盆地东北缘—东缘;而西南部物源则来自不同方向的西部或西南古陆。

### 4 地震资料的前积反射

从沉积背景来看,长 6 期是湖泊三角洲建设发育期,沉积作用以进积作用为主,同样地在地震资料上这些进积作用特点也有明显的显示,地震成果为我们提供了又一证据。

在盆地西南部,在地震剖面中的前积反射时有发生,而在东北地区则显得要少,地层发育平缓。这些前积反射多出现在三角洲前缘的斜坡地带,这些前积反射可以直接指示古流向。在研究区西南的白马一带长 6 长 7 段可见明显的前积反射,如陇东的八珠地区北西—南东向 89MC-DJG 地震剖面显示向东北方向前积特征(图 10),揭示了该地区物源方向为来自西部及南西地区。在南部地区的宁 9—剖 21 井的南北向地震剖面中(L01 dz24 地震剖面)也可以清楚地看出长 6 长 7 沉积三角洲砂体进积方向是由南而北,与下伏地层成一定角度相交,最大角度 0 4°,说明了南部物源是该地区主要物源之一。总体来看,研究区北部地震显示进积作用不明显,仅在南北两侧沉积体系交汇地带的个别地区有不明显的表现,总体上呈现平行展布。相比之下,南部、西南地区则有强烈的进积反射特征,这也进一步说明了盆地形态具有南陡

北缓的特点。

### 5 物源与砂体展布

在长 6 早期(长 6<sup>1</sup>),东北三角洲体系向南西方向发生大面积进积,安塞、志靖、安边三大三角洲开始建设性发育,三角洲前缘前端由长 7 的延安—志丹一线南移至吴旗—永宁—甘泉北一带,水下分流河道、河口坝等沉积砂体发育,砂地比一般在 30% 以上,砂体累积厚度一般大于 15 m,平均 10~20 m,最厚可达 30 m,河道呈条带状北东向展布;南部三角洲体系在研究区在正宁、长武以南发育一条带状三角洲前缘亚相,而三角洲主体则推测在更南部(相当于现在的渭河平原),研究区西南部更发育的一类沉积体系是为半深湖浊积岩,在研究区南部分布广,为南部及西南部三角洲前缘垮塌浊积岩,同时也构成了研究区南部长 6 主要的储集体类型,主要发育有黄陵水下浊积扇及合水—固城川深湖浊积砂体沉积微相类型,另外在研究区西部的庆阳、华池、马岭、城壕等地也大量发育了浊流沉积,为西部三角洲前缘垮塌形成的浊积岩;南北体系之间的过渡带则主要是一些浅湖—半深湖沉积,其中零星分布一些浊积岩和远砂坝砂体。这些特点表明,古物源与沉积砂体具有良好的空间配置关系(图 11)。

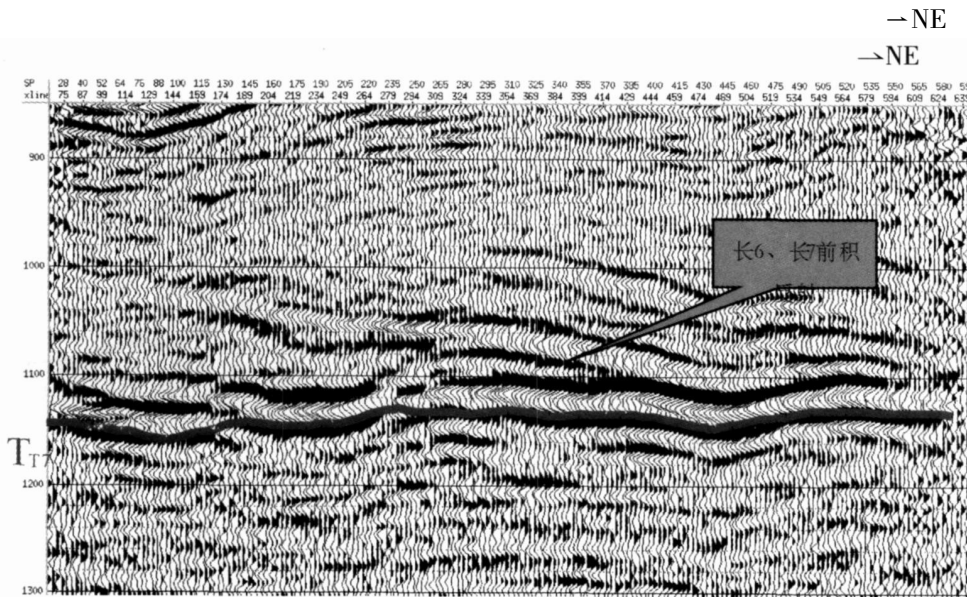


图 10 研究区西南部八珠地区 89MC-DJG 线南西—北东向地震剖面东北方向前积特征

Fig 10 The southwest-northeast direction seismic section( line 89MC-DJG) showing the foreset character to northeast Bazhu area in southwest study area

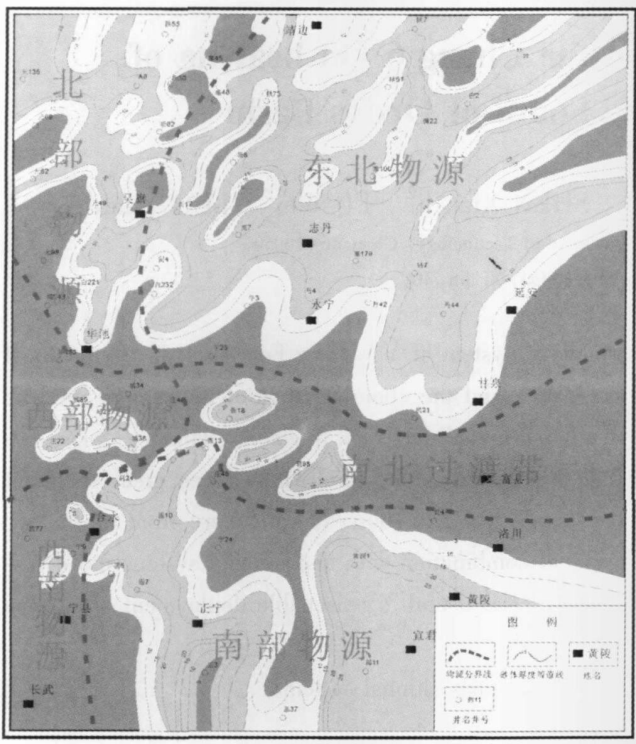


图 11 长 6 砂体分布与物源分区匹配关系图

Fig 11 The matching relation between the sand body distribution and provenance of Chang 6<sup>1</sup> layer

## 6 结论

以上研究表明, 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积是多物源的, 整个延长组的发展历史中有较好的继承性。一是盆地周缘存在多个古陆, 包括北部的阴山古陆、西北缘的阿拉善古陆、南部的祁连—秦岭古陆及西南的陇西古陆等, 它们都是盆地碎屑沉积物的主要来源, 另外此时吕梁山北段 (宁武以北) 也开始隆起, 这也加大了东北方向物源的供给。通过轻、重矿物、岩屑分布、地球化学、地球物理、砂体展布等特征研究, 可以看出, 盆地南部延长组长 6 沉积时期主要受到了东北、西部和南部三大物源的总体控制, 西部物源对研究区内影响不大。在三大物源方向的基础上进一步再划分出了 5 个次级物源, 即东北、北部、西部、西南、南部。这些古物源与沉积体系具有良好的空间配置关系, 决定了盆地长 6 时期的沉积体系分布格局, 这将有助于下一步盆地油气勘探的部署。

致谢 本文在研究和成文过程中得到了长庆油田分公司勘探开发研究院付金华院长、姚涇利总地质师, 石油勘探室刘显阳主任、罗安湘主任等给予大力协助, 在此表示诚挚感谢!

## 参考文献 (References)

- 1 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003 [He Zixin. The Evolution and Oil gas of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 2 赵俊兴, 陈洪德, 向芳. 鄂尔多斯盆地中部延安地区中侏罗统延安组高分辨率层序地层研究 [J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 307-312 [Zhao Junxing, Chen Hongde, Xiang Fang. The high-resolution sequence stratigraphy feature of Yan'an Formation in Yan'an Area, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 307-312]
- 3 郭艳琴, 李文厚, 胡友洲, 等. 陇东地区上三叠统延长组早中期物源分析与沉积体系 [J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(1): 1-4 [Guo Yanqin, Li Wenhou, Hu Youzhou. Source analysis and depositional systems of Upper Triassic early and Mid-term Yanchang Formation in Longdong area [J]. Coal Geology & Exploration, 2006, 34(1): 1-4]
- 4 王世虎, 焦养泉, 吴立群, 等. 鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部古物源与沉积体空间配置 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2007, 32(2): 201-208 [Wang Shihu, Jiao Yangquan, Wu Lijun, et al. Spatial combination of paleoprovenance and depositional lobe of Mid-Lower Yanchang Formation in the northwest of Ordos Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(2): 201-208]
- 5 Weltje G J, Eynatten H V. Quantitative provenance analysis of sediments: Review and outlook [J]. Sedimentary Geology, 2004, 171: 1-11
- 6 Vezzoli G, Garzanti E, Monguzzi S. Erosion in the western Alps (Dora Baltea basin): quantifying sediment provenance [J]. Sedimentary Geology, 2004, 171: 227-246
- 7 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 [Zhao Hongge, Liu Chiyang. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 409-415]
- 8 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]. 古地理学报, 2002, 4(3): 59-65 [Song Kai, Lu 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 Paleogeography, 2002, 4(3): 59-65]

## Sediment Provenance Analysis of the Chang 6 Oil-bearing of Yanchang Formation in the South of Ordos Basin

ZHAO Jun-xing<sup>1</sup> LV Qiang<sup>1,2</sup> LI Feng-jie<sup>1,2</sup> SHEN Xiao-li<sup>2</sup> FU Wei<sup>2</sup> LUO Yuan<sup>1</sup>

(1 Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

2 Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an 710021)

**Abstract** For determining the distribution pattern of the depositional system of Yanchang Formation in the south of Ordos basin, the authors did a systematic research on the provenance and the characteristics of the mother rock by many methods such as the analysis of rocks and minerals, heavy mineral analysis, rock fragment character, geochemical and seismic profile analysis etc. The results indicate that there is mainly controlled by three great sediment source regions in the south of Ordos basin and more detailed divide five sub-sources which are from northeast, north, west, southwest and south. Provenance have favorable spatial combination with depositional system and determine the depositional system pattern of Chang6 oil-bearing. Provenance is useful to reasonable deployment of oil-gas exploration.

**Key words** provenance analysis, Ordos Basin, Yanchang Formation, depositional system