

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

王世虎¹, 焦养泉¹, 吴立群¹, 刘显阳², 杜金良², 黄锦绣²

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710021

摘要: 为了查明鄂尔多斯盆地西北部延长组沉积体系的分布格局等问题, 以上三叠统延长组中下部为目标, 通过常规矿物成分分析、重矿物特征研究、古水流测量、砂分散体系制图和古地貌恢复等方法, 对鄂尔多斯盆地西北部的物源及源区母岩性质等进行了系统研究。结果表明, 研究区主要受到4个物源的影响, 古物源与沉积体系具有良好的空间配置关系: 西北部的汝箕沟朵体受阿拉善古陆物源区控制, 它对研究区影响最大; 石沟驿朵体的物源来自大罗山逆冲席隆起; 东部的鄂托克旗朵体和定边朵体则受到鄂尔多斯盆地东北部物源的控制。四大物源区的母岩性质具有差异, 其中西部的阿拉善古陆物源区和大罗山逆冲席物源区的母岩以变质岩为主, 还有一定量的花岗岩和沉积岩; 而鄂尔多斯盆地东北部物源则以花岗岩和变质岩为主。沉积物源的研究有助于油气勘探的部署。

关键词: 物源分析; 延长组; 鄂尔多斯盆地西北部。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2007)02-0201-08

收稿日期: 2006-10-30

Spatial Combination of Paleoprovenance and Depositional Lobe of Mid Lower Yanchang Formation in the Northwest of Ordos Basin

WANG Shi hu¹, JIAO Yang quan¹, WU Li qun¹, LIU Xian yang², DU Jin liang², HUANG Jin xiu²

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Research Institute of Exploration & Development, Petro China Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China

Abstract: For determining the distribution pattern of the depositional system of Yanchang Formation in the northwest of Ordos basin, the authors chose mid lower Yanchang Formation and did a systematic research on the provenance and the characteristics of the mother rock by methods such as the analysis of rocks and minerals, heavy mineral analysis, paleocurrent survey, sand distribution system drawing and paleo topography reconstruction etc. The results indicate that the study area is mainly affected by four sediment sources, which have favorable spatial combination with depositional system; Rujigou lobe which has the largest influence on the study area is controlled by the Alxa Ancient Land; Shigouyi lobe develops from the overthrust sheet of Daluo Mountain; Otog Qi lobe and Dingbian lobe are controlled by the sedimentary sources in the northeast of Ordos basin. The mother rock properties of the four provenances are very different. The ones in the Alxa Ancient Land and in the overthrust sheet of Daluo Mountain mainly consist of metamorphic rocks, including some granite and sedimentary rocks. However, the ones in the northeast of Ordos basin are mainly made up of granite and metamorphic rocks. Provenance analysis is useful to reasonable deployment of oil and gas exploration.

Key words: provenance analysis; Yanchang Formation; northwest of Ordos basin.

基金项目: 长庆油田分公司勘探开发研究院外协项目(No. 2006026015); 国家重点基础研究发展计划项目(973计划 2003CB214600); 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金项目(No. GPM R200620); 湖北省油气勘探开发理论与技术重点实验室开放基金项目(No. YQ2006KF18)。

作者简介: 王世虎(1980-), 男, 中国地质大学在读硕士研究生, 主要从事盆地分析方向研究, E-mail: wangshihu123@163.com

随着鄂尔多斯盆地中生界油气勘探的发展, 延长组被确定为主要的目的层之一。目前在盆地的中东部、北部和西南缘等地区已经取得了丰硕的成果, 唯独盆地西北部研究程度较低, 但是作为油气的后备勘探区带已引起人们的高度重视(杨俊杰, 2002; 何自新, 2003; 赵文智等, 2006)。晚三叠世延长组沉积时期气候温暖潮湿, 大型陆相湖盆发育(长庆油田石油地质志编写组, 1992; 赵重远和刘池洋, 1992)。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的进积, 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, 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。

现代分析测试手段的提高, 物源分析已从定性走向量化(Weltje and Eynatten, 2004; Vezzoli *et al.*, 2004), 其方法日趋增多, 并不断地相互补充和完善。目前应用较多的有重矿物法(何钟铨等, 2001; 郭艳琴等, 2006)、碎屑岩类分析法、裂变径迹法(周祖翼等, 2001; Emmel *et al.*, 2006), 地球化学法等(Wanas and Abdel Maguid, 2006), 原理主要依据不同物源在沉积物的搬运和沉积过程中, 其岩性、岩相和地球化学等方面的响应来识别物源(刘宝群和曾允孚, 1985; 赵红格和刘池洋, 2003)。笔者则侧重于从沉积学和岩石矿物学的角度寻找判别证据, 其中砂分散体系与环境分析、野外古水流测量与砂体走向统计、常规矿物和重矿物特征分析、古地貌分析等均成为判别古物源的有效方法。

1 砂分散体系与环境分析

砂分散体系分析可以为物源分析提供一定的证据, 其空间结构不仅可以指示古水流方向和物源区数量, 而且可以有效地揭示物源的影响范围及其随时间变化的稳定性。对同一个沉积体系而言, 一般的规律是距离物源区越近, 含砂率值或者砂体厚度越大, 它们通常为沉积物的主要搬运通道。因此, 砂分散体系的展布方向可以指示古水流方向, 从而进一步的指示物源方向。对于三角洲体系而言, 砂分散体系所显示的朵体与朵体之间的界线就是物源区影响的边界线。通过统计可以定量地了解物源的影响范

围(焦养泉等, 1998)。

以长 6 油层组为例, 如果以大于 45 m 的砂体厚度和大于 45% 的含砂率值作为界线, 那么鄂尔多斯盆地西北部长 6 油层组显示有 3 个高值区, 它们分别位于北部、西部及东南部(图 1)。北部的高值区位于汝箕沟-陶乐-三喜拉一带, 几乎占据研究区 1/3 的范围, 呈宽阔带状展布, 在高值区内砂体平均厚度为 69.2 m, 最厚为 80 m(三喜拉一带), 含砂率平均为 80%, 最高为 87%(三喜拉一带); 西部的高值区位于灵武-石沟驿一带, 向东主要有 2 个分支, 砂体平均厚度为 62 m, 最厚为 83 m(于家梁一带), 含砂率平均为 63%, 最高为 73%(于家梁一带); 东南部的高值区位于盐池-定边的东部, 往西南方向展布并频繁分叉, 砂体平均厚度为 60.4 m, 含砂率平均为 56%。这些高值区揭示了长 6 期几个主要三角洲朵体位置, 并指示了沉积物主要搬运通道和古水流主要优势流向。

通过大量的测井、岩心、露头等成因标志分析, 结合砂体厚度及含砂率的分布规律, 对延长组早中沉积期的沉积体系域分别进行了重建并识别出了 4 个三角洲朵体: 即东部的定边三角洲朵体和鄂托克旗三角洲朵体、西北部的汝箕沟三角洲朵体和西面的石沟驿三角洲朵体。在研究区内沉积相带从西北向东南方向、从西向东依次呈现为三角洲平原-三角洲前缘-半深湖的格局; 在东面的定边地区沉积相带自东北向西南呈现为三角洲前缘-湖泊的格局, 并频繁分叉, 说明这个朵体已接近三角洲的末端。这种格局预示着该时期控制研究区的物源主要来自西部和西北部, 东部物源的影响相对较小。需要说明的是, 在判断东北部鄂托克旗朵体及其外围物源时, 笔者不仅参考了研究区东北部外围的钻井信息, 同时还考虑到了该地区从长 10 期到长 6 期沉积过程中物源具有良好继承性这一事实。

对各个时期三角洲朵体进行了定量面积测量, 其中汝箕沟朵体的分布面积最大, 占总朵体面积的 39.5%; 其次是石沟驿朵体, 约占总朵体面积的 33.9%; 鄂托克旗朵体和定边朵体分布面积较小, 分别占总朵体面积的 15.3% 和 11.3%(表 1)。在不同时期各物源对研究区的影响是变化的, 但总体来看, 物源对盆地的充填在长 10、长 9 和长 6 期最大, 长 8 期较少, 长 7 期相对最少。汝箕沟和石沟驿地区的砂体在各个时期均有发育, 古水流方向相对稳定, 指示其物源比较稳定, 物质来源充足。相比而言, 定边地区的砂体和鄂托克旗地区的砂体发育欠

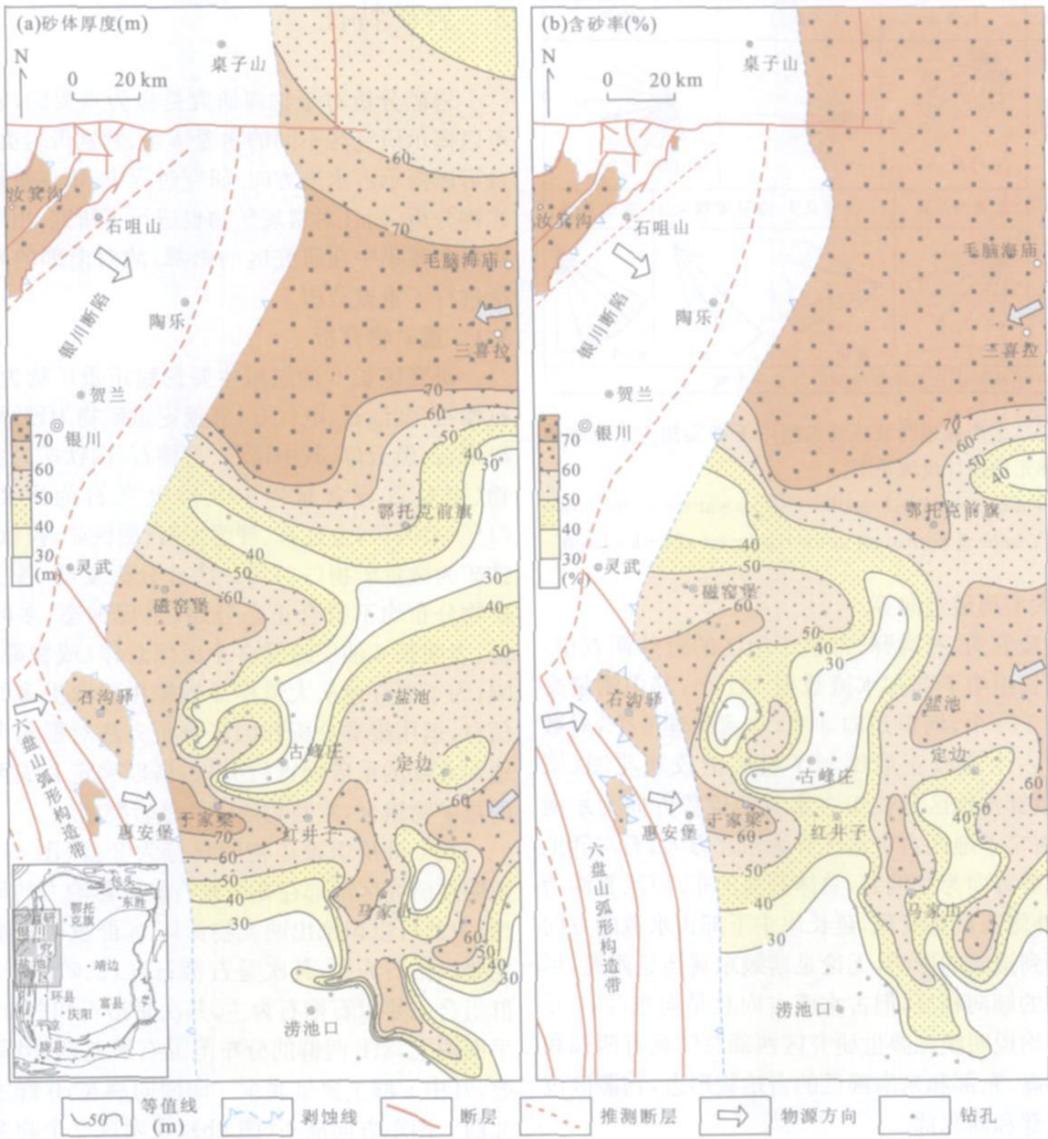


图 1 鄂尔多斯盆地西北部长 6 油层组砂分散体系

Fig. 1 Sand distributing system of the Chang 6 oilbed in the northwest of Ordos basin

表 1 鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部三角洲朵体发育规模统计

Table 1 Delta lobe scale statistic of mid lower Yanchang Formation in the northwest of Ordos basin

三角洲朵体	长 6 期	长 7 期	长 8 期	长 9 期	长 10 期	累积	比例 (%)
汝箕沟	9 153	7 209	13 932	6 885	8 343	45 522	39.5
石沟驿	5 994	1 944	6 318	12 474	12 312	39 042	33.9
定边	7 452	2 268	0	3 321	0	13 041	11.3
鄂托克旗	1 944	5 832	0	5 265	4 617	17 658	15.3

注: 研究区面积特指区域剥蚀线以东、铁克苏庙 - 伊 8 井以南地区, 总面积为 28 350 km²; 三角洲朵体面积为 km²。

稳定, 其物源对研究区影响有限。

2 野外古水流测量与砂体走向统计

露头古水流测量是揭示延长组古物源最直接和最有力的手段, 它是鉴定古沉积环境和重塑古地理景观方面的重要方法. 不仅如此, 古水流方向测量还可以探讨物源 - 沉积体系的空间配置关系、古斜坡位置、沉积盆地边界走向和位置等重要的内容. 露头区保存有一系列完整的指示古水流方向的沉积标志, 如大型槽状交错层理、水流线理、砾石的叠瓦状

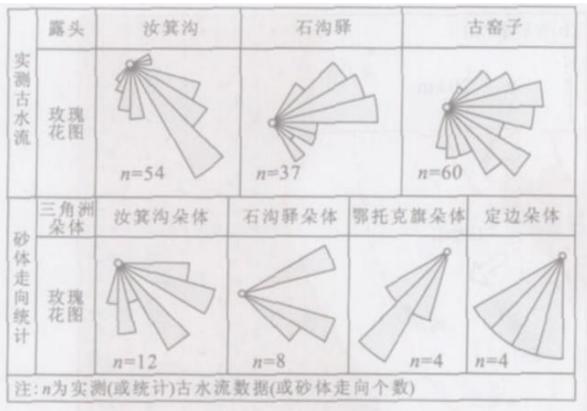


图 2 鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部实测古水流和砂体走向统计玫瑰花图

Fig. 2 Paleo-currents and sandbody strike statistic of mid lower Yanchang Formation in the northwest of Ordos basin

构造、大型河道走向等。

在汝箕沟、石沟驿、古窑子地区的野外调查中,实测延长组中下部古水流数据 151 个,其中测量交错层理 140 个,河道走向 5 个,水流线理 6 个,对数据进行古水流校正后编制了相应的玫瑰花图(图 2)。在汝箕沟地区延长组古水流的优势方向为东南方向;古窑子地区古水流优势为东北方向,石沟驿地区的优势方向为东偏北,总体趋势向东。以汝箕沟为例,野外露头调查发现,延长组中下部古水流的方向并未受到褶皱的影响,无论是褶皱东翼还是西翼,尽管地层的倾向相反,但古水流方向总是向东(图 3)。这一切均说明晚三叠世研究区西部总体具有西部和西北部高、东部和东南部低的古地貌形态,物源区位于其西部和西北部。

对延长组中下部砂分散体系的优势走向进行统计可见,汝箕沟朵体的走向为南东方向;石沟驿朵体的走向在 $49^{\circ} \sim 104^{\circ}$ 之间,主体为南东向;定边朵体的走向在 $193^{\circ} \sim 247^{\circ}$ 之间,主体为西南方向;鄂托克旗朵体的走向也为西南方向(图 2)。其中,汝箕沟朵体和石沟驿朵体的走向与在野外露头区(汝箕沟、石沟驿、古窑子 3 个露头区)实测的古水流方向基本吻合。这进一步说明在鄂尔多斯盆地西北部晚三叠纪早—中期受到 4 个物源的共同影响,并由此构成了四大古物源—沉积体系的空间配置组合,即西北部的阿拉善古陆物源—汝箕沟朵体组合、西部的大罗山逆冲席物源—石沟驿朵体组合,东北部物源—鄂托克旗朵体组合、东北部物源—定边朵体组合。

3 岩矿特征

岩矿分析对于物源研究是极为重要的,它不仅可以揭示研究区不同的物源体系、判别母岩类型,而且可以揭示古水流方向。研究过程中,不仅重视了重矿物分析,而且对常规矿物也进行了研究。由于数据资料主要集中在研究区的南部,故对南部的岩矿特征进行了重点分析。

3.1 重矿物分析

研究区长 6 油层组主要的稳定重矿物为锆石、石榴石、金红石、电气石;非稳定重矿物为硬绿泥石、绿帘石、黑云母;其中锆石、石榴石、白钛矿为主要矿物(相对百分含量 $> 10\%$),电气石为次要矿物($1\% \sim 10\%$),金红石、硬绿泥石、磁铁矿、锐钛矿、褐铁矿为微量矿物($< 1\%$)。统计分析发现,各主要重矿物分布均不符合正态分布,呈现偏态、多峰的特征,表明长 6 油层组受多个成因总体(或物源)的影响;为了更好地从大量样品数据中提取更多的有用信息,运用聚类分析和因子分析方法对鄂尔多斯盆地西北部的重矿物进行分析,借以确定有成因联系的重矿物组合,判断物源区的母岩类型。

长 6 油层组重矿物明显分为 2 群(图 4a, 4b),说明在研究区南部存在 2 种有较大影响力的母岩类型,由此可以识别出两大物源区。a 群重矿物组合中主要以锆石为主,其次是石榴石、白钛矿、电气石; b 群组合主要以石榴石为主,其次是锆石和白钛矿。在平面图上, a、b 两群的分布范围有所差别,但局部重叠,其中 a 群主要呈北东—南西向展布, b 群主要呈北西—南东方向展布(图 4b),说明这 2 个物源提供的碎屑物在此有叠加或改造的影响。

长 6 油层组主要重矿物平面分布也具较好的规律性可循。锆石含量总体上呈现西北低、东南高的趋势,石榴石的展布特征正好与锆石相反,呈现北西高、东南普遍较低(图 4c, 4d)。锆石集中区与聚类分析结果的 a 群基本吻合,代表了长程远源搬运的结果,母岩以花岗岩和中—深变质岩为主,物源可能来自东面;而石榴石集中区则与 b 群基本吻合,代表了一种短程近源搬运的特点,母岩以中—深变质岩为主,物源区位于其西面。

事实上,如果与砂分散体系进行对比就不难给 a 群和 b 群以准确的物源归类。从其走向和分布区域来看, a 群对应于东部的定边物源体系(朵体), b 群则对应于西部的石沟驿物源体系(朵体)。所以重

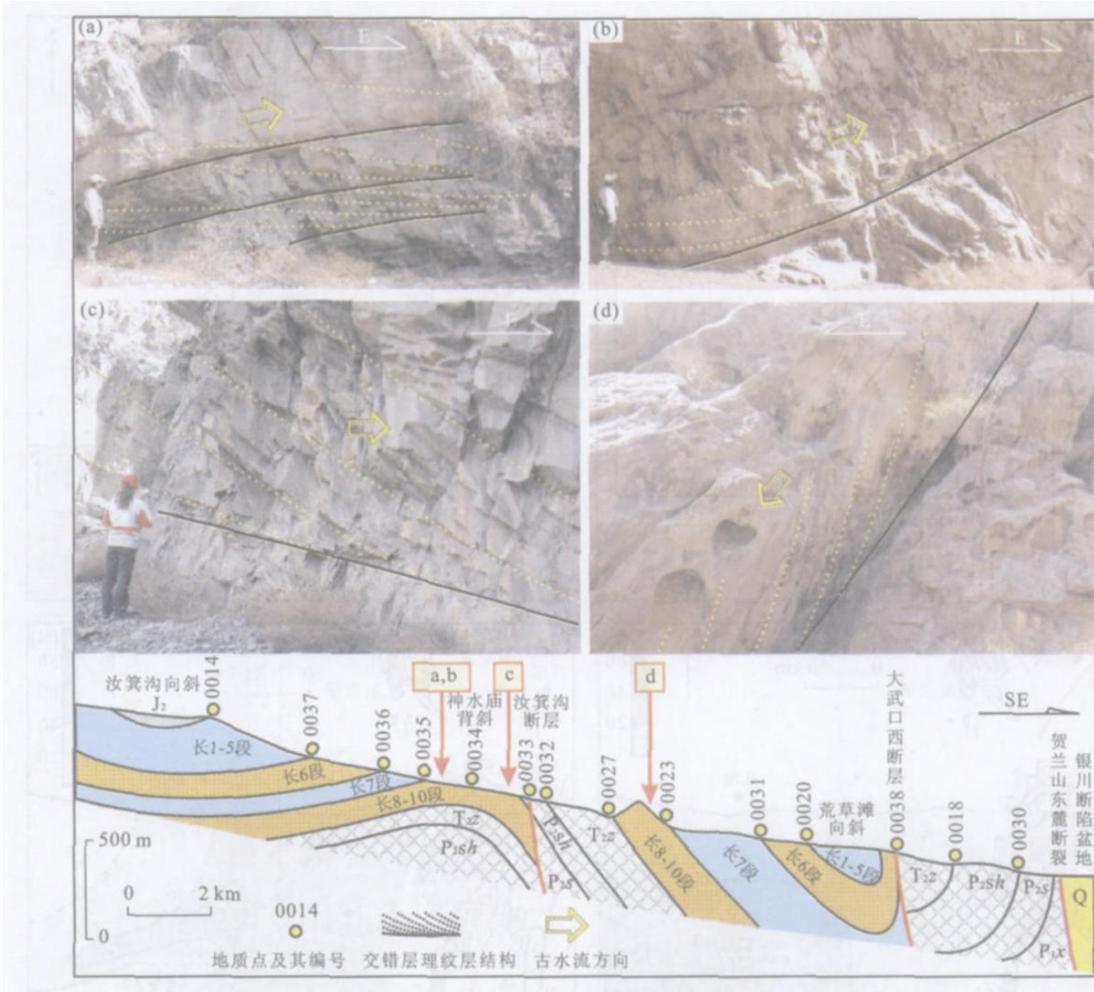


图 3 汝箕沟露头区褶皱与延长组古水流关系

Fig. 3 Relationship of the folds and paleocurrents of Yanchang Formation in the Rujigou outcrop

a. 神水庙背斜西翼, 长 10-8 油层组上部; b. 神水庙背斜西翼, 长 10-8 油层组上部; c. 神水庙背斜东翼, 长 8 油层组; d. 荒草滩向斜西翼, 长 10-8 油层组上部

矿物的平面分布规律再次佐证了上述物源分析的确
定性。

3.2 常规矿物分析

研究区长 6 油层组砂岩类型以长石砂岩和岩屑
长石砂岩为主, 砂岩成分成熟度和结构成熟度均很
差, 短源搬运特征明显。鉴于岩屑类型对母岩有重要
指示意义, 分别对石沟驿朵体和定边朵体的各类岩
屑进行统计发现, 2 区都以变质岩屑为主。在石沟驿
朵体分布区还含有较多沉积岩屑和火成岩屑, 而在
定边朵体分布区沉积岩屑和火成岩屑明显减少。因
此推测研究区西部母岩类型以变质岩为主, 同时还
有一定量岩浆岩和再改造的沉积岩, 而东部母岩主
要为变质岩。

4 古地貌特征

古地貌是古构造和沉积充填响应的记录, 它往
往代表了一个时期沉积盆地原型的某些信息。详细
的古地貌分析能够在盆地级别范围内判别古物源的
相对位置(焦养泉等, 2006; 郭少斌和孙绍寒, 2006)。

近年来, 赵文智等(2006)就晚三叠世延长组沉
积期的鄂尔多斯盆地西部沉积边界和原型盆地开展
了大量细致的研究工作, 认为六盘山西缘大断裂和
贺兰山西缘断裂分别构成晚三叠世沉积盆地的西南
与西北边界, 走廊过渡区与盆地内部沉积具有连通
性(苏春乾等, 2004; 刘池洋等, 2005; 白云来等,
2006)。焦养泉等(2006)通过在汝箕沟、石沟驿、古窑
子、铜川-耀县等地的野外调查, 结合延长组的地层

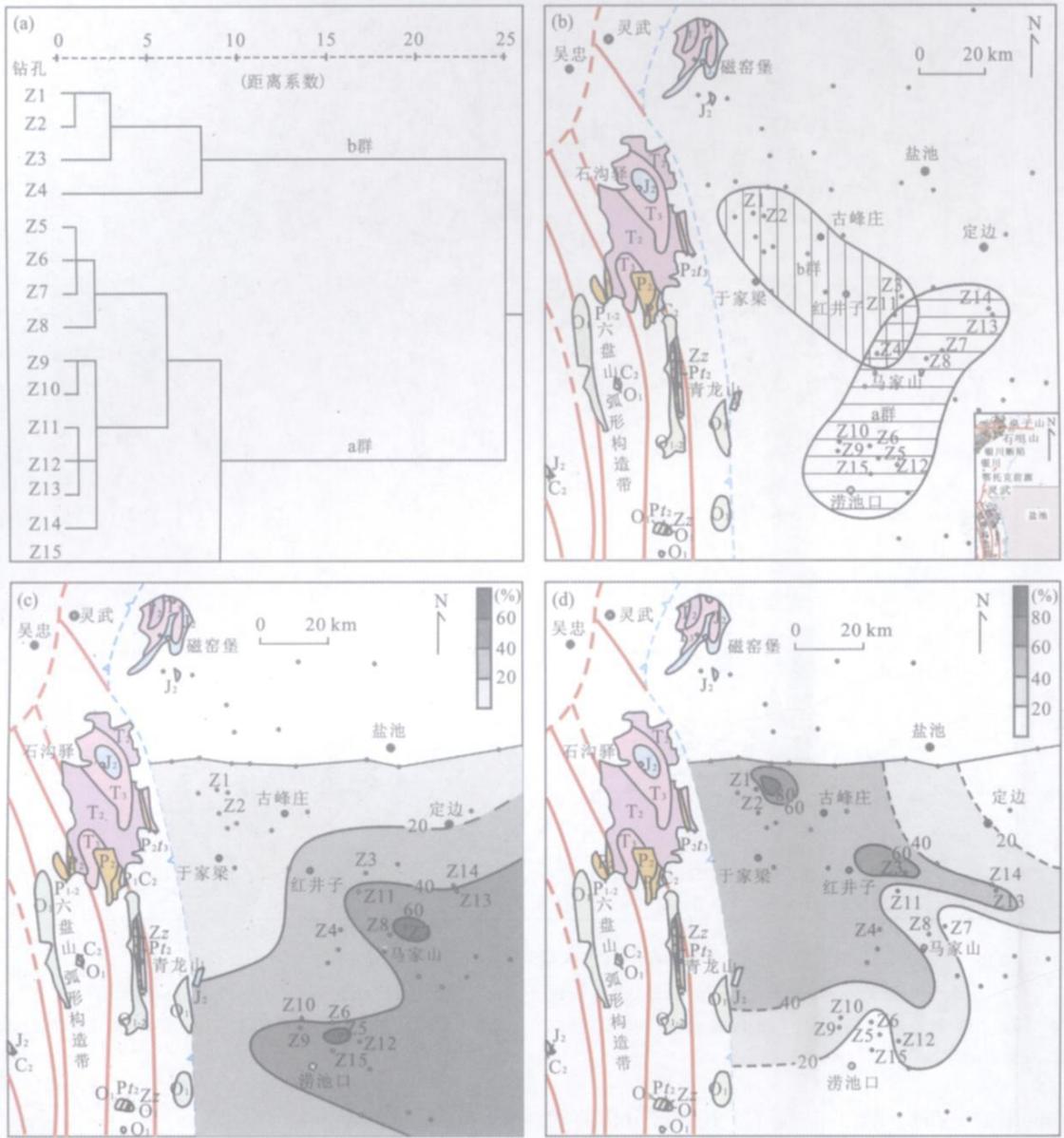


图 4 研究区南部长 6 油层组重矿物聚类谱系 (a, b) 和平面展布图 (c, d)

Fig. 4 Cluster lineage (a, b) and distribution map (c, d) of heavy minerals of Chang 6 oilbed in the south of study area
a. 重矿物聚类谱系树; b. 重矿物聚类平面分区; c. 锆石百分含量 (%); d. 石榴石百分含量 (%)

厚度、古水流和砂分散体系分析及延长期前地质学的研究, 推测在延长组沉积期盆地西部发育有 2 个沉降中心: 一个在走廊过渡区, 受六盘山西缘大断裂控制; 另一个在西北缘汝箕沟地区, 受鸽子山 - 青龙山断裂和贺兰山西缘断裂联合控制 (图 5)。

鄂尔多斯盆地西北部晚三叠世的古地貌主要受到了鸽子山 - 青龙山断裂和贺兰山西缘断裂的联合控制, 盆地沉降中心 (第 2 沉降中心) 贴近断裂带发育, 由北而南再向东南方向延伸。沉降中心的西北面

为阿拉善古陆隆起, 石沟驿西面为大罗山逆冲席隆起, 沉降中心东面为一宽缓的西倾斜坡 (图 5)。这样的古地貌形态控制了沉积体系的发育, 长 10 到长 6 油层组叠合砂体模型很清晰地显示了 4 个物源 - 朵体组合: 阿拉善物源 - 汝箕沟朵体, 大罗山逆冲席物源 - 石沟驿朵体, 东北部物源 - 鄂托克旗朵体, 东南部物源 - 定边朵体。这与古水流测量具有良好的一致性, 进一步说明阿拉善与大罗山逆冲席是影响研究区的 2 个主要物源; 东北部物源对研究区也有影

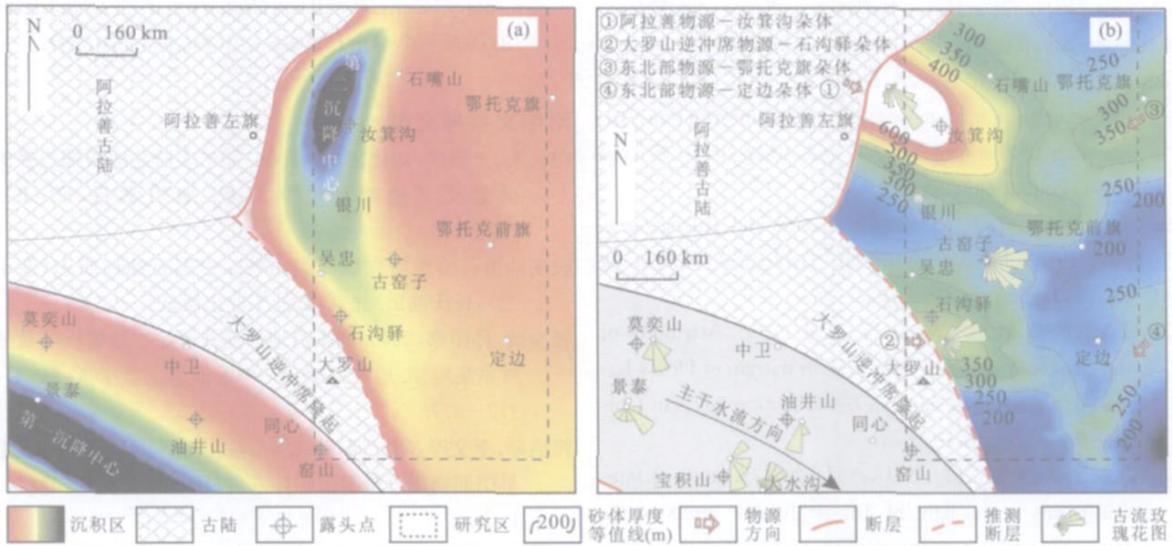


图 5 鄂尔多斯盆地西北部古地貌形态 (a) 及其与砂分散体系和古物源配置关系 (b) (河西走廊区的古流资料据赵文智等, 2006)

Fig.5 Paleo topography and superposed relationship with sand distributing system (a) and paleoprovenance in the northwest of Ordos basin (b)

响,但程度有限。

值得说明的是,在鄂尔多斯盆地西北部从长 10 期到长 6 期控制研究区的 4 个物源具有良好的继承性,只是不同时期每个物源的影响程度不同而已。此成果对于该区潜在优质储层的预测具有借鉴意义。

5 结论

鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部主要受 4 个物源影响:西北部汝箕沟朵体由阿拉善物源区控制,西部石沟驿朵体主要受大罗山逆冲席物源区影响,东部的鄂托克旗朵体和定边朵体主要受鄂尔多斯盆地东北部物源区的影响。比较而言,汝箕沟朵体的发育规模最大,显示阿拉善物源区的影响范围最广,其次是石沟驿和鄂托克旗朵体,定边朵体在研究区出露较小。四大物源区的母岩性质具有差异,其中西部的阿拉善古陆物源区和大罗山逆冲席物源区的母岩以变质岩为主,还有一定量的花岗岩和沉积岩,而鄂尔多斯盆地东北部物源区则以花岗岩和变质岩母岩为主。

致谢:本文在研究和成文过程中得到长庆油田分公司付金华书记,勘探开发研究院席胜利副院长、喻建总地质师,石油勘探室蔺晓、刘显阳、罗安湘主任及杜金良、黄锦秀高级工程师、张燕工程师等同事给予大力协助,在此表示诚挚感谢!

References

Bai, Y. L., Wang, X. M., Liu, H. Q., et al., 2006. Determination of the borderline of the western Ordos basin and its geodynamics background. *Acta Geologica Sinica*, 80 (6): 792-813 (in Chinese with English abstract).

Compilation Group of Petroleum Geology of Changqing Oil field, 1992. *Petroleum geology of China*, Vol. 12. Petroleum Industry Press Beijing (in Chinese).

Emmel, B., Geiger, M., Jacobs, J., 2006. Detrital apatite fission track ages in Middle Jurassic strata at the rifted margin of W Madagascar—Indicator for a protracted re-sedimentation history. *Sedimentary Geology*, 186: 27-38.

Guo, S. B., Sun, S. H., 2006. Rebuilding paleogeomorphology of pre Jurassic and oil gas accumulation regulation in Zhoujiawan area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(3): 372-377.

Guo, Y. Q., Li, W. H., Hu, Y. Z., et al., 2006. Source analysis and depositional systems of Upper Triassic early and mid term Yanchang Formation in Longdong area. *Coal Geology & Exploration*, 34(1): 1-4 (in Chinese with English abstract).

He, Z. X., 2003. *Evolution and oil gas reservoirs in Ordos basin*. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

He, Z. H., Liu, Z. J., Zhang, F., 2001. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis. *Geological Science and Technology Information*, 20(4): 29-32 (in Chinese with English abstract).

Jiao, Y. Q., Li, Z., Zhou, H. M., 1998. The integrated study of sediment sources in sedimentary basin. An example from the Eo-

- cene Nanpu rift subbasin. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 18(5): 16–20 (in Chinese with English abstract).
- Jiao, Y. Q., Zhu, P. M., Lei, X. R., et al., 2006. 3D modeling and visualization of geosciences spatial information; Application to the Ordos basin and other fields. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Liu, B. J., Zeng, Y. F., 1985. Lithofacies and paleogeography: Principle and approach. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Liu, C. Y., Zhao, H. G., Wang, F., et al., 2005. Attributes of the Mesozoic structure on the west margin of Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 737–747 (in Chinese with English abstract).
- Su, C. Q., Yang X. K., Liu, J. Q., et al., 2004. A study of foreland basins in the light of Triassic Jurassic strata of the Helan Mountain. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(4): 318–326 (in Chinese with English abstract).
- Vezzoli, G., Garzanti, E., Monguzzi, S., 2004. Erosion in the western Alps (Dora Baltea basin) quantifying sediment provenance. *Sedimentary Geology*, 171:227–246.
- Wanas, H. A., Abdel Maguid, N. M., 2006. Petrography and geochemistry of the Cambro Ordovician wajid sandstone, southwest Saudi Arabia: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(4): 416–429.
- Weltje, G. J., Eynatten, H. V., 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: Review and outlook. *Sedimentary Geology*, 171:1–11.
- Yang, J. J., 2002. Tectonic evolution and oil gas reservoirs distribution in Ordos basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, H. G., Liu, C. Y., 2003. Approaches and prospects of provenance analysis. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(3): 409–415 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. Z., Wang, X. M., Guo, Y. R., et al., 2006. Restorational and tectonic reworking of the Late Triassic basin in western Ordos basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 6–13 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. Y., Liu, C. Y., 1992. Basins in the residual craton and their petroleum prospect—Example with Ordos basin and Sichuan basin. In: China Geology Academy, ed., Dissertation anthology at the academic communion conference in “seven five” geology technological important fruits. Science and Technology Publishing Company, Beijing, 610–613.
- Zhou, Z. Y., Liao, Z. T., Yang, F. L., et al., 2001. Fission track analysis and its application in the study of sedimentary basins. *Petroleum Geology and Experiment*, 23(3): 332–338 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白云来, 王新民, 刘化清, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景. *地质学报*, 80(6): 792–813.
- 长庆油田石油地质志编写组, 1992. 中国石油地质志(卷十二), 长庆油田. 北京: 石油工业出版社.
- 郭少斌, 孙绍寒, 2006. 周家湾地区前侏罗纪古地貌恢复及油气富集规律. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(3): 372–377.
- 郭艳琴, 李文厚, 胡友洲, 等. 2006. 陇东地区上三叠统延长组早中期物源分析与沉积体系. *煤田地质与勘探*, 34(1): 1–4.
- 何钟铎, 刘招君, 张峰, 2001. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展. *地质科技情报*, 20(4): 29–32.
- 何自新, 2003. 鄂尔多斯盆地演化与油气. 北京: 石油工业出版社.
- 焦养泉, 李珍, 周海民, 1998. 沉积盆地物质来源综合研究—以南堡老第三纪亚断陷盆地为例. *岩相古地理*, 18(5): 16–20.
- 焦养泉, 朱培民, 雷新荣, 等. 2006. 地学空间信息三维建模与可视化—鄂尔多斯盆地及相关领域的实践. 北京: 科学出版社, 171–188.
- 刘宝麟, 曾允孚, 1985. 岩相古地理基础和工作方法. 北京: 地质出版社.
- 刘池洋, 赵红格, 王峰, 等. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. *地质学报*, 79(6): 737–747.
- 苏春乾, 杨兴科, 刘继庆, 等. 2004. 从贺兰山区的三叠侏罗系论国内前陆盆地的研究. *岩石矿物学杂志*, 23(4): 318–326.
- 杨俊杰, 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京: 石油工业出版社.
- 赵红格, 刘池洋, 2003. 物源分析方法及研究进展. *沉积学报*, 21(3): 409–415.
- 赵文智, 王新民, 郭彦如, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世原型盆地恢复及其改造演化. *石油勘探与开发*, 33(1): 6–13.
- 赵重远, 刘池洋, 1992. 残延克拉通内盆地及其含油气性——以鄂尔多斯盆地和四川盆地为例. 见: 中国地质学会编“七五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集. 北京: 科学技术出版社, 610–613.
- 周祖翼, 廖宗廷, 杨凤丽, 等. 2001. 裂变径迹分析及其在沉积盆地研究中的应用. *石油实验地质*, 23(3): 332–338.