

文章编号: 1000-0550(2007) 04-0535-10

# 鄂尔多斯盆地侏罗系直罗组砂岩发育特征

赵俊峰 刘池洋 喻林 黄雷 刘永涛 高飞

(大陆动力学国家重点实验室(西北大学) 西北大学含油气盆地研究所 西安 710069)

**摘要** 根据岩性旋回结构,在全盆地范围将直罗组划分为上、下两段。分段制图表明,直罗组上、下段地层厚度展布规律与全组厚度展布规律基本一致,均表现为西厚东薄;上段地层较下段厚。下段砂岩层数少、单层厚度大;而上段砂岩以层多、层薄为特点。直罗组砂岩总体成熟度较低,区域制图和碎屑组分等反映周缘存在多个源区。砂岩粒度分布表现为河道和分流河道等沉积特征。直罗组砂岩发育多种反映陆上河流沉积环境的层面和层理构造。综合分析认为,在今残留盆地范围内,直罗组下段以辫状河、曲流河沉积为主,东北部可见三角洲平原沉积。上段以辫状河、曲流河、三角洲和湖泊沉积为主。直罗组下段辫状河道砂岩具有良好的渗透性、连通性和成层性,是砂岩型铀矿和石油的良好储层。

**关键词** 鄂尔多斯盆地 侏罗系 直罗组 砂岩

**第一作者简介** 赵俊峰 男 1975 年出生 博士研究生 工程师 盆地分析与石油地质 E-mail zj2005@yeah.net

**中图分类号** TE12L.3 **文献标识码** A

砂岩是陆相含油气盆地最主要的储层类型,也是沉积型铀矿成矿流体的运移通道和铀成矿的储集空间<sup>[1-4]</sup>。对鄂尔多斯盆地侏罗系直罗组的研究可追溯到 20 世纪 70 年代,主要集中在盆地西缘灵(武)盐(池)定(边)和盆地西南等直罗组有油气发现的局部地区。此后随着勘探重心的转移,直罗组很少受到关注,故研究程度十分薄弱。近年来,在盆地东北、东南和西部等直罗组中发现特大型砂岩型铀矿床和多处铀矿(异常)点;同时随着石油勘探领域的扩大,盆地西缘、渭北等直罗组有油气产出的地区亦被重新审视和重视,故有必要深入研究该套地层特别是其中砂岩的发育特征与分布规律。本文以石油、煤炭和核工业部门的大量钻井、测井资料统计解释和 10 余处剖面观测及薄片鉴定、粒度分析等为基础,结合前人研究成果,在全盆地范围对直罗组进行了分段对比,在此基础上探讨了直罗组砂岩的空间展布规律、沉积特征及其成因类型等。

## 1 直罗组地层划分与对比

直罗组在今盆地呈大范围整体分布,总体西厚东薄。厚度一般在 150~400 m 之间,仅在鄂托克前旗

与苏里格庙间的小范围内厚度可达 500 m。自乌海向南经鄂托克前旗东、大水坑至镇原一线为厚度 400 m 左右的较厚带,构成近南北向的堆积中心。在此带以西或东,厚度均依次减薄,至东部残留边界一般为 100 m 左右<sup>[5,6]</sup>。

前人曾对盆地部分地区的直罗组进行过地层划分对比,如在盆地西缘某些地区可划分为 4 个油层组;东部据岩性可分为 2 个旋回<sup>[9]</sup>;东北部东胜地区可分为下、中、上 3 段<sup>[2,10,11]</sup>;但针对全盆地范围的分段对比未曾开展。在今残留盆地范围,直罗组底部普遍发育一套厚层含砾粗—中粒砂岩,与下伏延安组煤系地层呈平行不整合接触;上覆主要为安定组黑色页岩或紫红色厚层砂岩,在盆地南部和东北部可直接与下白垩统砾岩层不整合接触,故其顶底界线较易确定。直罗组岩性总体较单调,以砂岩广泛发育为特征,内部缺乏区域上稳定分布的标志层,仅在伊盟隆起和华池、庆阳一带下部零星发育 1~5 层褐煤级的煤线或薄煤层,可供局部地区分段对比参考。大量钻井和露头分析表明,直罗组旋回结构明显,不论在地层较厚的盆地西部还是较薄的东部,分别以 2 层较厚砂岩为底界(大致对应东部露头的“七里镇砂岩”和

国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号:2003CB214607)、长江学者和创新团队发展计划(编号:RT0559)和国家自然科学基金项目(批准号:40372096)共同资助

长庆油田三分部研究所区域组、灵盐定地区直罗组研究小结.内部科研报告.1973.

收稿日期:2006-11-28 收修改稿日期:2007-02-12

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“高桥砂岩”),一般都可分为 2 个由粗变细的正旋回(图 1, 2, 7, 8),在盆地边部某些露头或钻井剖面(如镇 4 华探 1Q 天深 1 盟 6 井及神山沟剖面等),上旋回也可包含 2 个次级正旋回或岩性段(图 1)。但从全盆地来讲,顶部岩性段受安定组沉积前抬升剥蚀的影响,保留不完整,不便进行区域对比。部分钻井资料显示,上旋回的底部为厚层含砾砂岩,暗示该界面代表直罗期内较大的一次构造转折,可作为分段优选界线。故本文采用“旋回控制,厚度检验,区域闭合”的原则,以“七里镇砂岩”和“高桥砂岩”及其大致对应的较厚层砂岩为旋回底界标志,结合地区性标志层(薄煤层及泥岩)和岩性、颜色变化特征,提出全盆地直罗组二分的方案。首先选择全盆地范围具控制性的 146 口钻井和东部 8 处直罗组露头资料点,将全盆地分为 8 个地层对比小区,在小区总结对比的

基础上建立 4 纵 4 横共 8 条对比剖面,经区域闭合确定上、下段的划分方案(图 1, 2)。

分段制图表明,直罗组上、下段厚度展布规律与全组展布规律基本一致,均表现为西厚东薄。下段地层厚度一般为 60~160 m,自北部伊 8 井—伊 5 井—鄂托克前旗与苏里格庙之间,向南到大水坑—平凉一线,为厚度 160~300 m 的较厚带。上段地层较下段厚,一般为 60~200 m,厚度较大带与下段分布一致,最厚处在鄂托克前旗与苏里格庙之间,达 340 m 以上。

## 2 砂岩空间分布特征

通过对控制性钻井和露头资料的解释统计,编制了直罗组上、下段砂岩累计厚度、层数分布(图 3, 4)和直罗组顶面埋深图,据此探讨其空间分布特征。总

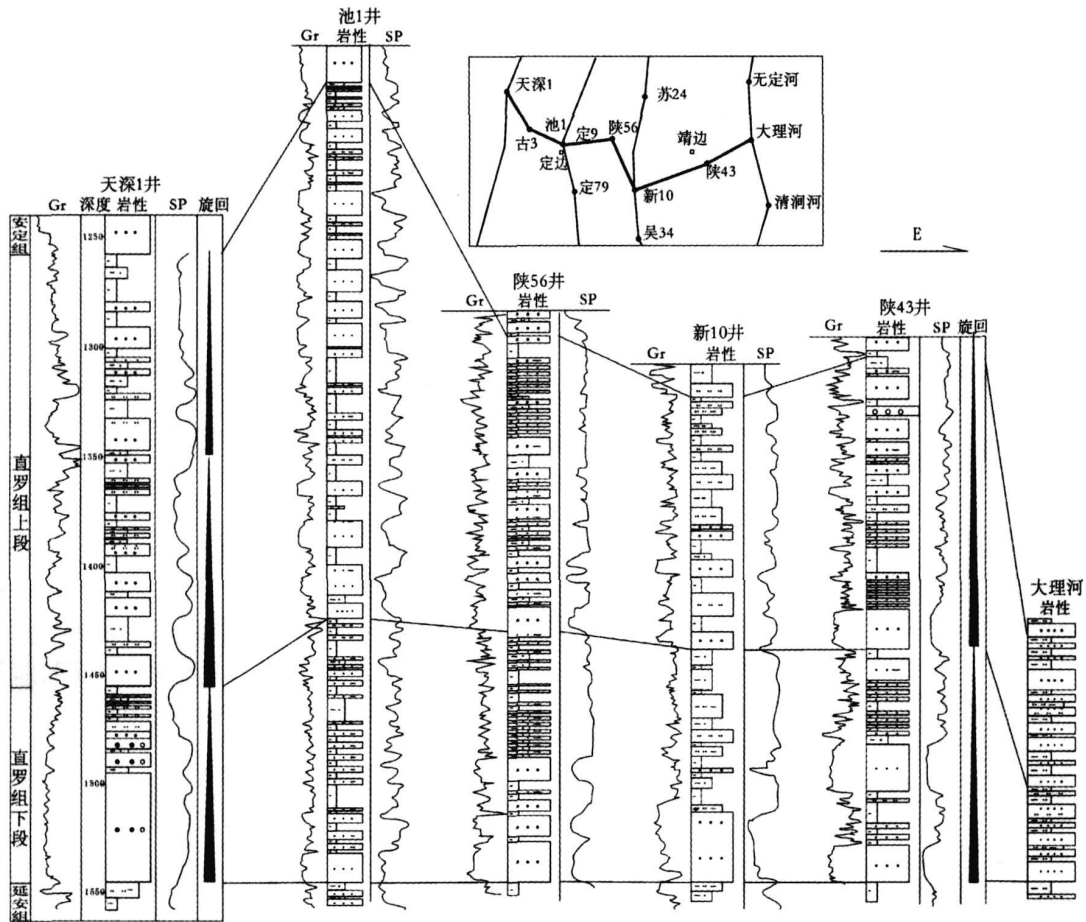


图 1 直罗组分段对比东西向剖面图

Fig 1 Cross section showing the partition and comparison of Zhiho Formation in W-E direction

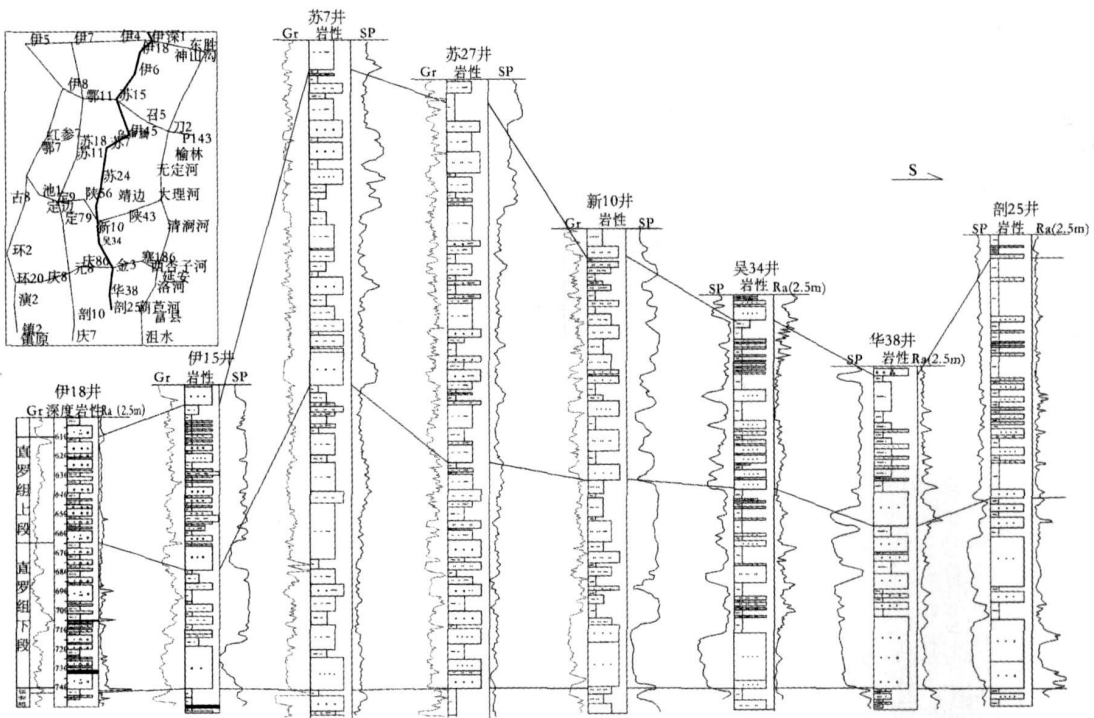


图 2 直罗组分段对比南北向剖面图

Fig 2 Cross section showing the partition and comparison of Zhiluo Formation in N-S direction

体来看,分段砂岩厚度与层数反映的变化趋势与全组地层厚度变化特征具一致性,地层厚处砂岩累计厚度大、层数多。直罗组顶面埋深反映了东浅西深的西倾单斜格局,东部伊金霍洛旗西—陕 244—陕 79—华 38—线以东顶面埋深小于 500 m,西部盐池、环县以西埋深大于 1 200 m。

### 2.1 下段砂岩分布特征

下段砂岩厚度一般为 30~100 m。东部露头区为 30 m 左右,向西厚度渐增。在伊金霍洛旗之西、乌海—苏里格庙南—靖边、大水坑—华池、镇原—庆阳东等地显示 4~5 个近北西—南东向条带状展布的厚度大于 50~70 m 的较厚带,其间为厚度 30~40 m 的较薄带分隔。在乌海、大水坑及镇原西,砂岩厚度可增至 120~150 m 左右。下段砂岩层数与厚度呈明显的正相关,展布规律一致,一般为 4~10 层,在盆地西北部可增至 20 层。

### 2.2 上段砂岩分布特征

与下段砂岩较厚带与较薄带交错分布的格局不同,上段砂岩的较厚带与较薄带发生东西分异。庆阳—华池—安边—乌审旗以东广大地区砂岩厚度一

般小于 30 m,为较薄带。此带以西的中北部、西南部构成两个较厚带。在盐池之南和苏里格庙之西南厚度最大,可达 80~90 m。下段砂岩层数与厚度亦呈较好的正相关性,在东部砂岩较薄带一般为 3~6 层,在盆地西部砂岩较厚带为 8~14 层。

综合分析上、下段地层厚度、砂岩累计厚度和层数分布发现,下段地层厚度较小,砂岩层数较少,但砂岩累计厚度较大,表明下段含砂率较高,且以厚层砂岩发育为特征;相反,上段地层厚度较大,砂岩层数较多,但砂岩累计厚度较小,表明上段含砂率有所降低,且砂岩以层薄、层多为特点。统计显示,各控制点下段单层砂岩平均厚度 8~18 m,而上段单层砂岩平均厚度一般小于 8 m。

## 3 沉积学特征

### 3.1 岩石学特征

通过对野外露头、岩心观察和盆地 5 个地区 500 个(其中东北部 21 个为本文鉴定)砂岩(主要为下段)薄片样品的鉴定统计,总结直罗组砂岩的岩石学特征(图 5)。

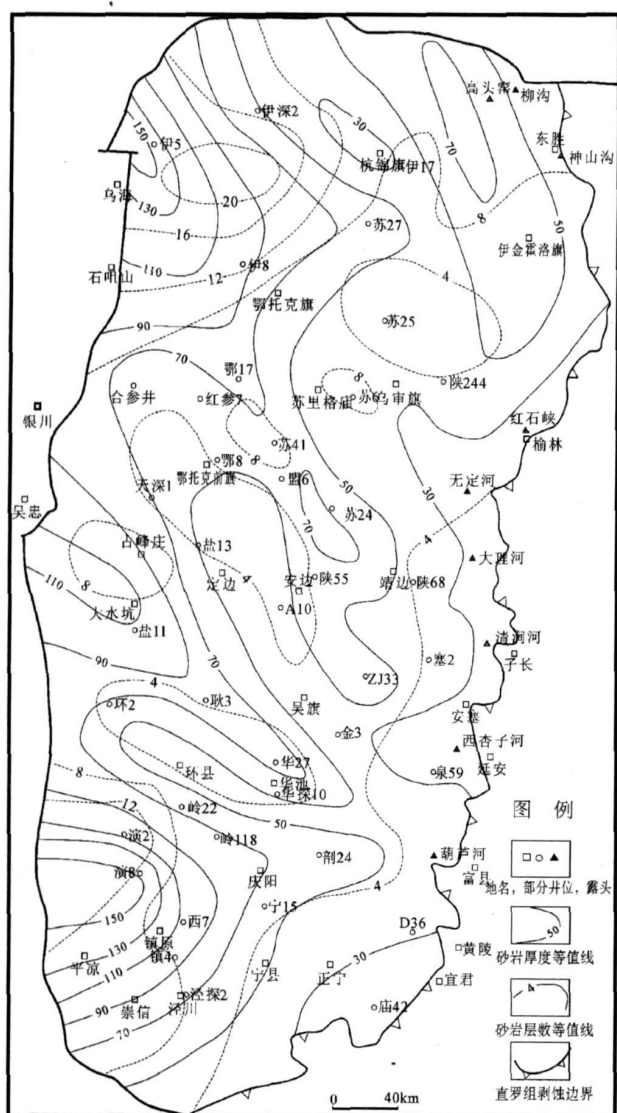


图 3 直罗组下段砂岩厚度与层数等值线图

Fig. 3 Isogram of thickness and layer number of sandstone of the lower member of Zhiluo Formation

直罗组砂岩岩石类型多样, 总体成熟度较低。盆地西缘古峰庄—候家河地区为长石砂岩 (186 个样品石英平均含量 46%, 长石 47%, 岩屑 7%); 西南部庆阳—马岭—华池地区主要为长石石英砂岩、长石砂岩 (256 个样品石英平均含量 61%, 长石 31%, 岩屑 8%); 东部露头区为长石砂岩、岩屑长石砂岩 (34 个样品石英平均含量 59%, 长石 35%, 岩屑 6%); 东北部东胜地区以长石岩屑砂岩为主 (21 个样品石英平均含量 37%, 长石 25%, 岩屑 38%); 西北部伊 8 井为岩屑长石砂岩 (3 个样品石英平均含量 37%, 长石 45%, 岩屑 18%)。由盆地西缘、东北、西北向盆地南部, 石英含量升高, 长石和岩屑含量降低, 表明盆地西

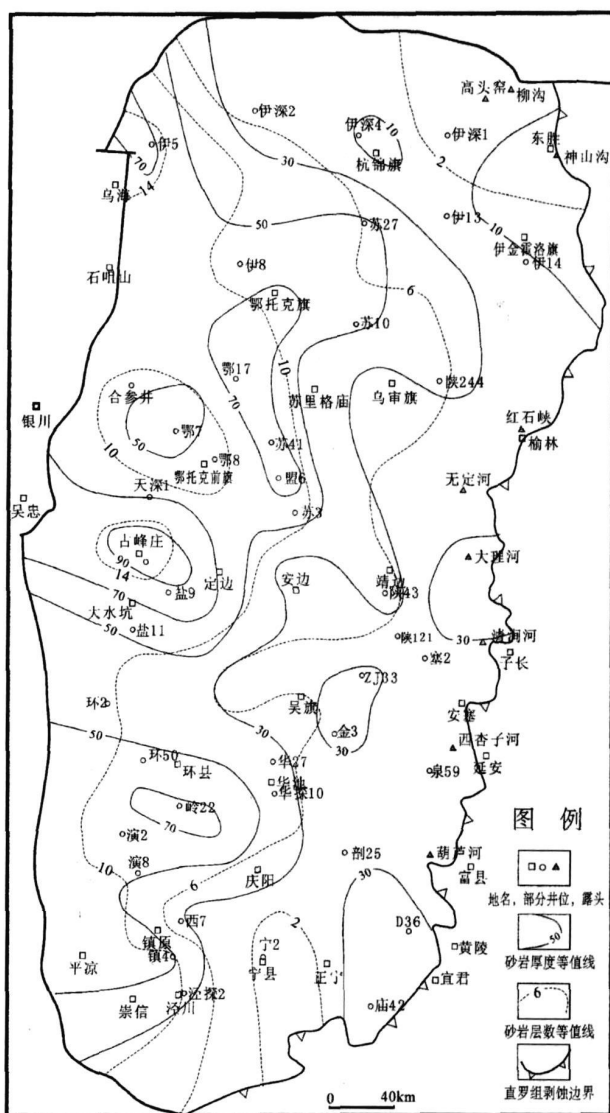


图 4 直罗组上段砂岩厚度与层数等值线图

Fig. 4 Isogram of thickness and layer number of sandstone of the upper member of Zhiluo Formation

部和东北部更靠近物源。由于统计样品主要集中在直罗组下段, 故骨架组分的垂向变化不甚明显。

直罗组砂岩岩屑类型在不同地区有明显差别, 结合前文 2.1.2.2 砂岩空间分布特征, 应是源区性质不同的反映。古峰庄—候家河地区的岩屑以变质岩为主; 庆阳—华池地区的岩屑兼有千枚岩、石英岩及变质砂岩等变质岩屑和粉砂岩、泥岩等沉积岩屑。盆地东北部岩屑为花岗岩、花岗质片麻岩、云母石英片岩、炭质板岩屑及炭屑等为主; 其源岩可能为乌拉山群、色尔腾群等太古代高级变质岩和印支期的侵入岩<sup>[7]</sup>。盆地直罗组砂岩碎屑颗粒的磨圆度以次圆—次棱角状为主。胶结物类型较为丰富, 以方解石、白

云石、粘土质和粘土重结晶而成的长石胶结物等, 伊 8 井还出现沸石。胶结物含量一般为 5% ~ 20%。颗粒间以点—线接触为主。受成岩后生作用的影响, 直罗组砂岩蚀变强烈, 胶结疏松, 多层姜黄色的砂岩有“豆腐渣砂岩”之称, 成为该组野外识别标志之一。

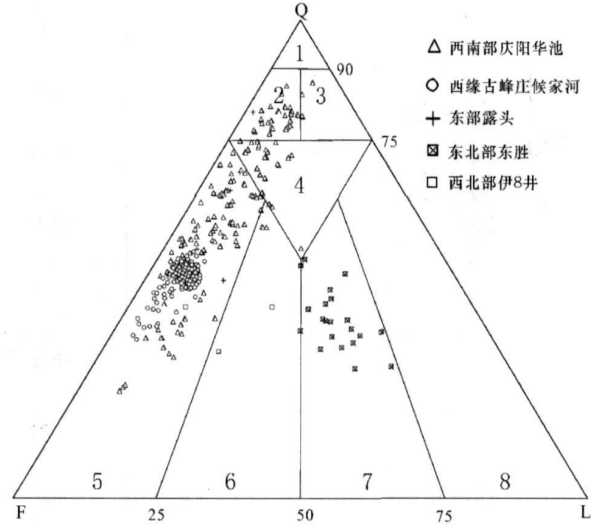


图 5 直罗组砂岩岩石类型三角图(据 Folk 1974)

Fig 5 Triangular plot of sandstone type of Zhiluo Formation( after Folk, 1974)

### 3.2 粒度特征

沉积岩的粒度受控于搬运介质、搬运方式及沉积场所等因素, 因此粒度分布特征也可作为确定沉积环境的依据。据盆地东部露头区 8 个<sup>[8]</sup>、西部盐池地区 2 个均采自直罗组下段砂岩样品的薄片粒度统计, 砂岩的概率累计曲线全部为两段型(包括上三段型), 由跳跃、悬浮两种组份构成(图 6)。西部样品 2 个次总体的截点为 2.8 $\phi$  左右, 跳跃组分含量约 50% ~ 70%, 悬浮组分含量为 10% ~ 30%。东部样品 8 个次总体的截点为 1.20~2.25 $\phi$ , 与延安组底部的宝塔山砂岩类似, 跳跃组分含量约 45% ~ 75%, 悬浮组分含量普遍较西部增加, 为 15% ~ 50%, 说明东部更接近沉积中心。上述样品粒度特征反映为河道沉积, 且以急流型为主。采自盆地东北部神山沟直罗组下段薄煤层之上和上段的 2 个砂岩样品表现为较小斜率的三段式, 以跳跃组分为主, 对照 Visher G (1969) 判别模式, 与三角洲分流河道的典型特征相似; 另 1 个位于薄煤层之下的细砂岩样品累计曲线近似一段式, 反映了快速堆积的特征, 推测为三角洲平原决口扇沉积的产物。

### 3.3 沉积构造

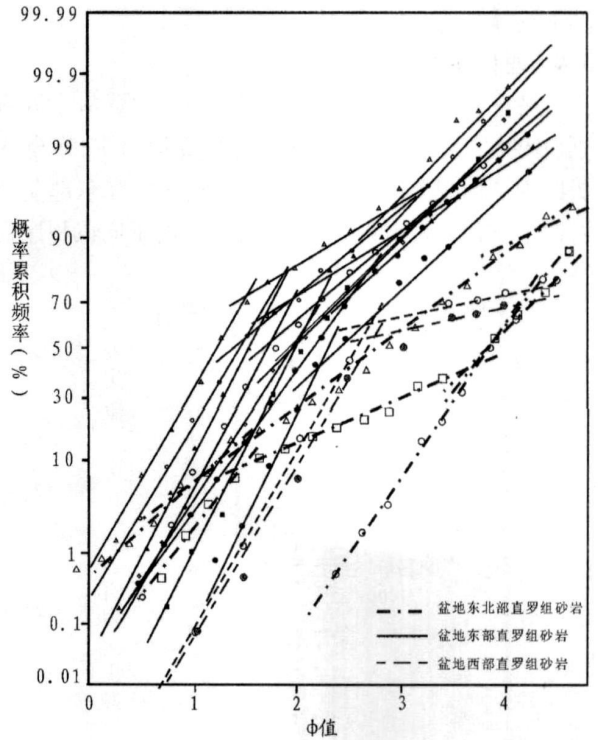


图 6 直罗组砂岩粒度概率累计曲线

Fig 6 Grain size cumulative curves of Zhiluo Formation

露头和岩心观察发现, 直罗组砂岩发育多种层面和层理构造。冲刷面是强水流侵蚀下伏沉积物表面形成凹凸不平的面, 一般发育在河道的底部。直罗组砂岩冲刷构造主要发育在其底部砂岩与延安组的接触面之上; 在上段的底砂岩底面也有发育。冲刷面之上常有粒径 0.5~3 cm 左右的铁锰质结核和石英岩质砾岩沉积。在铜川玉华镇白垩系直罗组之下的直罗组上段紫红、兰灰色粉细砂岩中, 可见泥裂构造, 反映该组沉积后期气候向干燥转变。

直罗组层理类型包括槽状、板状、楔状交错层理, 平行层理及粒序层理等。槽状交错层理是露头区(如: 榆林红石峡、达拉特旗高头窑、安塞延水河及富县葫芦河等剖面)最为常见的层理类型, 主要发育在底部砂岩及中部厚层砂岩中, 以大型(层系厚度 > 10 cm)为主。单个层系厚度 10~80 cm, 常呈多层系叠加, 形成于厚层中、粗粒砂岩中, 由层理底部向上粒度减小。板状、楔状交错层理和平行层理多发育在直罗组中、上部较薄的砂岩中, 也可发育于与槽状交错层理共存的厚层砂岩上部或穿插其中。粒序层理主要发育在底部厚层砂岩冲刷面之上的滞留沉积中, 表现为砂岩中砾石含量向上变少、粒度变小。上述冲刷面、泥裂和各类层理构造反映直罗组砂岩主要形成于

陆上河流环境。

3.4 垂向序列

考虑到直罗组在盆地内赋存特点和资料来源有别(中西部深埋覆盖区以钻、测井资料为主,东部露头区为剖面观测资料),选择西部盐 9 井和东部葫芦河两个有代表性资料点,剖析直罗组的垂向沉积序列特征(图 7、8)。

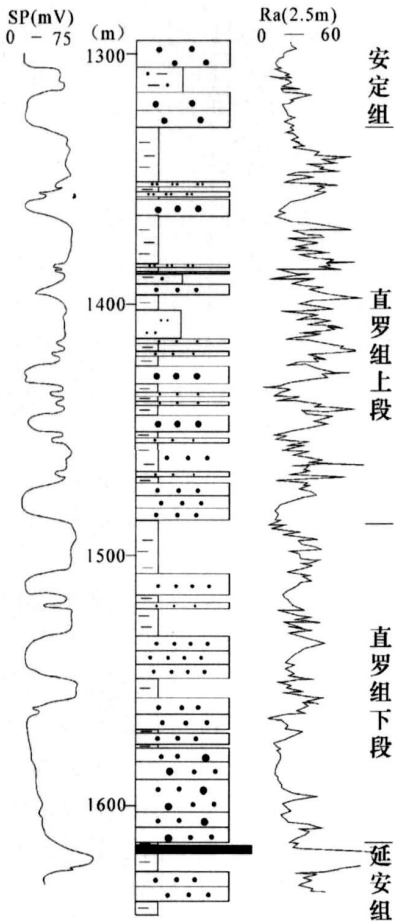


图 7 盐 9 井直罗组岩电组合图  
Fig 7 The lithology-electric composite graph of Zhi Luo Formation of Well Yan 9

富县葫芦河剖面直罗组累厚 135 m。下段下部由多层砂体叠加而成,为黄绿色厚层块状中—粗粒砂岩,底部含石英岩质砾石,具冲刷面;发育大型槽状、板状交错层理和平行层理,向上部层理规模变小,砂岩厚 34 m。砂岩之上为灰绿、紫红色粉砂质泥岩夹粉砂岩,含蕨类、裸子植物孢粉化石,厚 21.8 m。上段底部为 7.1 m 厚的灰白色细粒长石砂岩,发育板状、槽状交错层理。之上为灰绿、紫杂色泥岩与细粉砂岩互层,厚 15.8 m。上段中部为 6.1 m 厚的浅黄色细粒长石砂岩、灰绿色长石石英粉砂岩,上部为灰

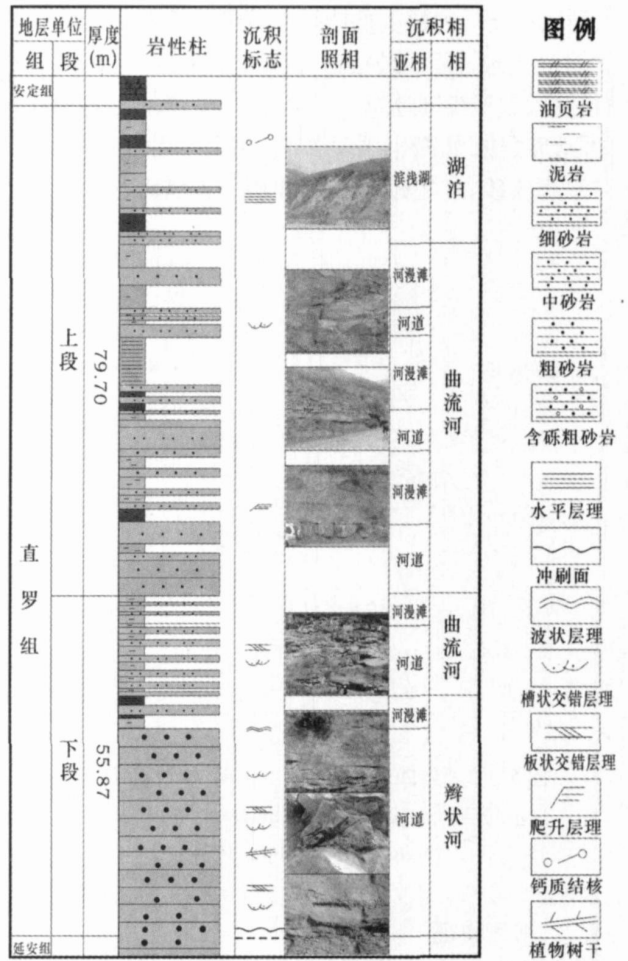


图 8 葫芦河剖面直罗组岩性柱状图

Fig 8 Lithological column of Zhiluo Formation of Huluhu section

紫、灰绿色泥岩夹粉砂质泥岩、粉砂岩及细粒长石砂岩,泥岩中见双壳类化石,局部含钙质团块,厚 51 m。

盐 9 井直罗组累厚 286 m。下段由 2 个岩性段组成,下部为灰色厚层中砂岩,底部含石英岩质砾石,间夹薄层灰绿色泥岩。砂岩以泥质充填为主,局部含炭质条带,胶结坚硬,厚 57.5 m,自然电位曲线表现为箱型。其上为深灰绿色泥岩间夹浅灰绿色细砂岩,厚 71.5 m。上段下部为暗绿色泥岩与灰绿色细—中砂岩互层。砂岩含少量绿色矿物及白云母碎片,厚 62.5 m。上段上部为灰绿色泥岩、粉砂岩,夹浅灰绿色细—中砂岩,厚 59.5 m。顶部为浅灰、微带红色粉—中砂岩,过渡为兰灰、灰绿色泥岩、砂质泥岩,厚 35 m。上段自然电位曲线表现为多个钟型的叠加,越向上部,砂岩厚度、含砂率越低。

大量剖面分析对比表明,直罗组下段下部普遍发育厚层灰白、黄绿色(含砾)中、粗粒砂岩,之上为薄

层泥岩、粉砂岩或砂、泥岩互层,单旋回砂岩百分含量一般为 50% ~ 70%,形成“砂包泥”的组合,具有辫状河沉积的岩性组合特征。下段的上部和上段,砂岩厚度普遍减薄,泥岩厚度增加,砂岩百分含量一般为 20% ~ 40%,形成“泥包砂”的组合,具有明显的多阶二元结构,反映多期河道或分流河道叠置沉积序列特征。在盆地中、东部直罗组的顶部,可演变为泥页岩、粉砂岩为主的湖相沉积序列。

## 4 沉积环境及演化

### 4.1 下段沉积环境

基于 146 口控制性钻井和东部 8 处露头的统计解释和制图(图 9)表明,多数地区直罗组下段砂地比值在 40% ~ 60% 之间。比值 30% ~ 40% 的区域主要分布在杭锦旗—苏里格庙—陕 55 一线以东、环县以西等地。比值 60% ~ 80% 的区域主要分布在盆地东北、西北、西缘和西南部,与下段砂岩厚度高值区一致,另在盆地东南宜君之西也有一高值区。

各资料点相分析表明,下段砂地比值大于 40% 的广大地区,厚层(含砾)中—粗粒砂岩发育,一般单层厚 20~70 m 左右,横向延伸较稳定;测井曲线表现为典型的高幅箱形特征;其上为 2~3 个较小的箱形或钟型组合。砂地比值小于 40% 的东北部地区,底部砂岩厚度 15~25 m 左右,测井曲线以钟型组合为主。伊金霍洛旗以东地区下段泥岩含量显著增加,较大比例制图显示出鸟足状的砂体分散体系,剖面岩性组合显示先倒粒序后正粒序的垂向序列,表现为三角洲前缘的特征<sup>[2]</sup>。综合单剖面相分析、砂地比、砂岩厚度与层数分布、沉积构造、粒度特征及垂向序列等,认为在今残留盆地范围内,直罗组下段以辫状河、曲流河沉积为主,局部发育(曲流或辫状)河流三角洲相。在鄂托克旗—伊金霍洛旗以北、鄂托克旗—鄂托克前旗以西、镇原南及黄陵以南,厚层含砾粗砂岩广泛发育,表明距物源不远,结合平面制图和岩石类型分析,认为有来自东北、西北、西南和东南方向的 4~5 个物源区。早期辫状河沉积可占据残留盆地 2/3 的地区,向东部远离物源区和下段沉积的后期演化为曲流河。东北部东胜西、西部乌海—苏里格庙南、大水坑—华池、西南部镇原—庆阳东以及东南宜君西北,分别为多期河道叠加发育区。河道亚相之间为河漫滩亚相发育区,以灰黑、深灰及灰绿色泥岩为主,夹薄层细—中砂岩。在鄂托克旗—伊金霍洛旗一线以北,10 口钻井和柳沟、神山沟等剖面均显示直罗组下

段发育薄煤层或煤线,一般 1~5 层,单层厚度 0.5~2 m。在盆地西南部华池、庆阳一带,少数钻井亦揭示有薄煤层或煤线存在,说明直罗组早期尚有一定的聚煤古气候和地理环境,但主要局限在河漫滩地带(如伊 7、伊深 4 井一带)和三角洲平原区(如神山沟),难以形成工业性煤层。笔者与前人<sup>[10]</sup>(对东部富县葫芦河—东胜高头窑 12 个剖面的古流向观测结果显示,下段砂岩总体具向东、东南的流向特征。结合剖面沉积相和区域制图等推测,下段沉积时的湖盆中心位于今剥蚀边界之东,且略偏北部。

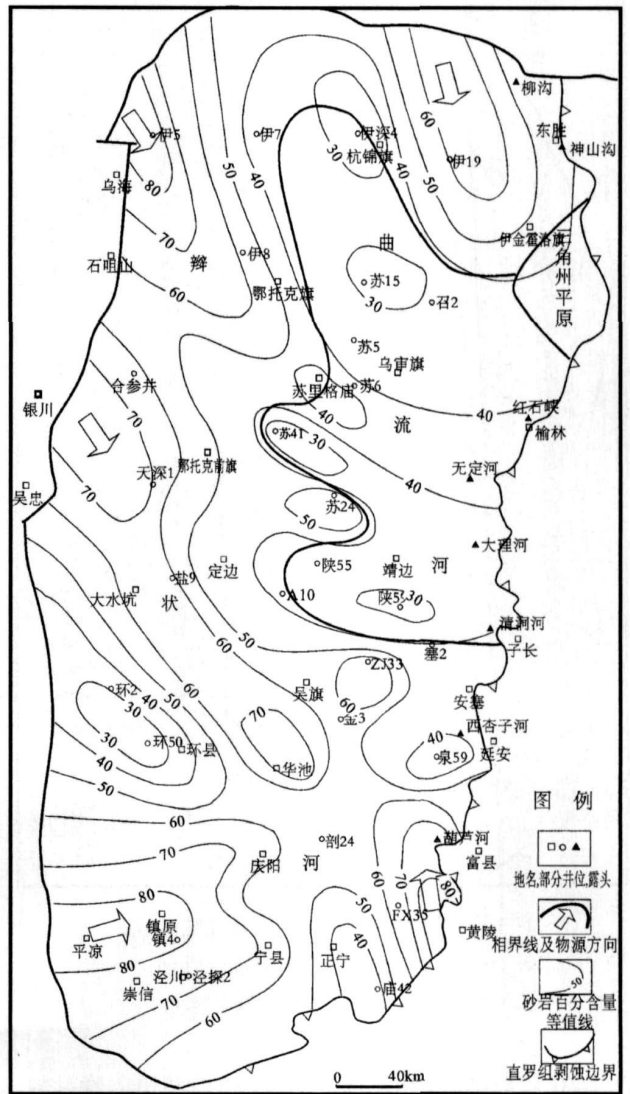


图 9 鄂尔多斯盆地直罗组下段沉积相图

Fig 9 Sedimentary facies distribution of lower member of Zhiluo Formation of Ordos basin

### 4.2 上段沉积环境

直罗组上段砂地比值(图 10)明显降低,多数地



区小于 40%，在定边—靖边一线以南，环县—华池—富县以北的广大地区，砂地比值小于 20%；东胜西北、乌海—合参井—大水坑、庆阳西、宜君西北及榆林—子长一带，比值为 40%~50%；与上段砂岩厚度和层数分布反映的趋势基本一致。

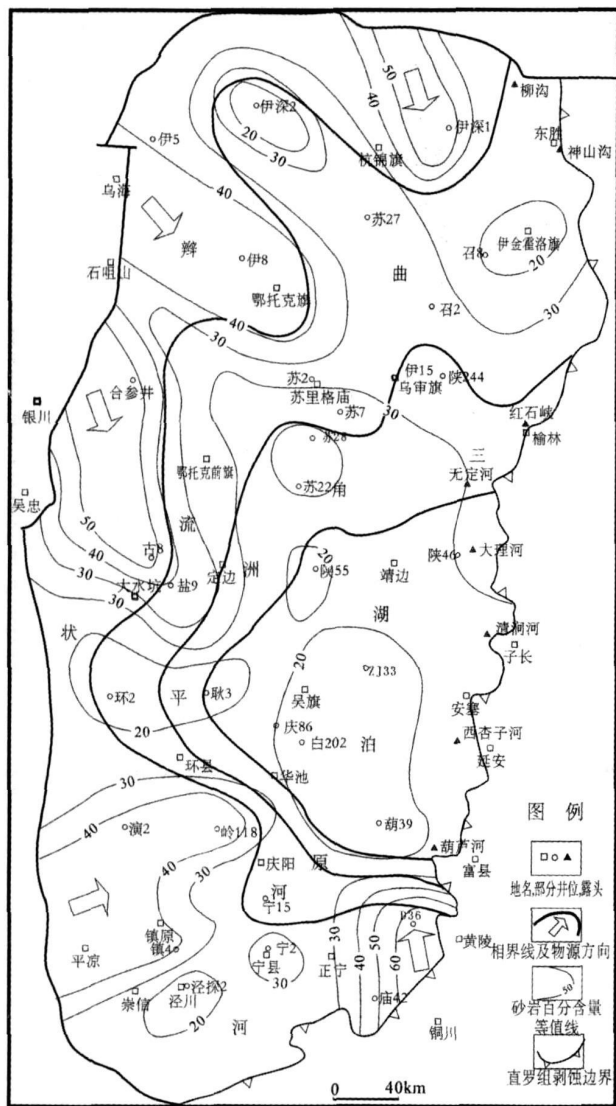


图 10 鄂尔多斯盆地直罗组上段沉积相图

Fig. 10 Sedimentary facies distribution of upper member of Zhiluo Formation of Ordos basin

在镇原西北、盐池西、鄂托克旗西和伊盟隆起地区，上段底部测井曲线形态仍以箱形为主，岩性为灰白色含砾粗砂岩或砾状砂岩，其上为薄层粉砂岩或泥岩，反映为辫状河沉积特征。上述地区上段中上部及以东广大地区，以钟型组合为主，对应岩性为中—细砂岩，横向可追踪性差，夹较厚层粉砂岩或泥岩，表现为曲流河或三角洲分流河道沉积特征。在靖边—定

边—华池—富县包络范围，以厚层灰黑、黄绿色、兰灰及紫红色泥页岩、粉砂岩夹灰绿、黄绿色硬砂质长石砂岩为主，部分地区顶部有薄层泥灰岩，泥岩中含少量完整植物化石，软体、叶肢介及零星鱼鳞、软骨针化石，反映湖相沉积特征。在湖区边缘，部分测井曲线表现为由细变粗、再由粗变细的若干个反、正旋回的组合，具有三角洲前缘的响应特征。综合单剖面相分析、砂地比分布等区域制图和其它指相标志等，认为在今残留盆地范围，上段以河流、湖泊和小规模三角洲相发育为特征。上段沉积时主要物源方向与下段具较好的继承性，仍以盆地东北部、西北部、西南部和东南部为主；沉积中心有所扩大且向。值得注意的是，东部榆林—子长一带砂地比值由东向西增加。前人在大理河、无定河的古流向观测<sup>[8]</sup>显示有多期向西、西南的古流向。笔者等在山西宁武—静乐盆地和大同地区的野外观察和古流向测定亦显示晋北同期地层与鄂尔多斯东部具原始沉积统一性。此外，镜下观察发现，大理河、无定河地区砂岩碎屑中黑云母含量较东胜地区明显增高。故榆林—子长一带较高的砂地比值可能代表有来自东部物源的作用。总体来看，上段沉积时，反映近源、水动力作用强的辫状河流不再盛行，代之以“源远流长”的曲流河沉积为主。在河湖过渡地带，有湖泊三角洲和湖湾沉积，但由于水体较浅，入湖河流的冲蚀作用较强且碎屑物供应不足，导致河口坝不很发育。上段岩性出现紫红色、紫杂色等砂泥岩互层（东胜地区）或厚层状的紫红色砂岩（铜川西北地区），成煤作用完全消失，在盆地东南部发育大型泥裂，反映气候进一步向干旱氧化环境演变。

#### 4.3 沉积环境演化与砂岩储集性

在延安组沉积后受东强西弱、南强北弱差异抬升剥蚀的改造作用<sup>[6]</sup>，直罗组沉积早期盆地周缘地貌高差较大，物源供给充分，对延安期温暖湿润的成煤古气候环境具一定延续性，在今盆地以辫状河流沉积为主；晚期向曲流河过渡。从中生代鄂尔多斯大型克拉通内盆地演化的规律看，直罗组沉积早期盆地范围仍然较为广阔，向东可及山西中北部地区，推测其沉积中心位于今残留盆地之东。上段沉积时，周缘地貌高差减小，气候干旱，物源供给不足，以曲流河和湖泊沉积为主，三角洲规模不大，聚煤条件完全丧失。从层序地层的角度讲，下段以辫状—曲流河为主的河流相沉积可代表低位体系域，下段上部和上段曲流河—湖泊沉积体系可作为湖进体系域，而在盆地西部、东



北部部分地区上段上部保留的以砂岩为主的粗碎屑沉积可作为高位体系域的代表。因此, 直罗组沉积记录了一个完整的三级层序演化过程。

沉积环境及其演化决定了砂岩的空间展布特征, 进而直接关系到其中沉积矿产的富集程度。直罗组下段辫状河道砂岩具有良好的渗透性、连通性和成层性, 空间分布稳定<sup>[10-13]</sup>。下段砂岩结构疏松, 孔隙发育, 渗透率一般大于  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 物性远优于其下部的延长、延安组。勘探表明, 盆地东北部特大型砂岩型铀矿、盆地西缘和渭北已发现的直罗组油层均赋存于下段以辫状河道沉积类型为主的砂岩。

## 5 结论

(1) 直罗组垂向旋回结构明显, 依据旋回性结合标志层等, 将全盆地范围直罗组划分为上、下两段。

(2) 直罗组下段地层厚度较小, 砂岩层数较少, 但砂岩累计厚度较大, 以厚层砂岩发育为特征; 而上段地层厚度较大, 砂岩层数较多, 但砂岩累计厚度较小, 砂岩以层薄、层多为特点。

(3) 区域制图、碎屑组分分析等表明, 直罗组砂岩沉积时以多物源、近物源为特点。砂岩粒度分析显示河道和分流河道等沉积特征。直罗组砂岩发育多种反映陆上河流沉积环境的层面和层理构造。

(4) 在今残留盆地范围, 下段以辫状河、曲流河沉积为主, 东北部发育三角洲沉积。上段以辫状河、曲流河、三角洲和湖泊沉积为主。直罗组下段辫状河道砂岩具有良好的渗透性、连通性和成层性, 是砂岩型铀矿和石油的良好储层。

## 参考文献 (References)

- 1 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法. 北京: 地质出版社, 1985 [Liu Baojun, Zeng Yunfu. The Base and Operating Practice of Lithofacies Paleogeography. Beijing: Geological Publishing House, 1985]
- 2 焦养泉, 陈安平, 王敏芳, 等. 鄂尔多斯盆地东北部直罗组底部砂体成因分析—砂岩型铀矿床预测的空间定位基础. 沉积学报, 2005, 23(3): 371-379 [Jiao Yangquan, Chen Anping, Wang Minfang, et al. Genetic analysis of the bottom sandstone of Zhiluo Formation, Northeastern Ordos Basin—predictive base of spatial orientation of sandstone-type uranium deposit. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(3): 371-379]
- 3 田兆成, 姜秀萍. 砂体及其研究价值. 吉林地质, 2002, 21(4): 20-25 [Tian Zhaocheng, Jiang Xiuping. The sand body (sand bed) and its research value. Jilin Geology, 2002, 21(4): 20-25]
- 4 孙卫国, 杨成顺. 砂岩透镜体储油机理新认识. 油气地球物理,

- 2005, 3(2): 57-59 [Sun Weiguo, Yang Chengshun. A new understanding of the oil storage mechanism in sand lens. Petroleum Geophysics, 2005, 3(2): 57-59]
- 5 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. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638 [Liu Chiayang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization respond in Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-638]
- 6 赵俊峰, 刘池洋, 喻林, 等. 鄂尔多斯盆地中侏罗世直罗—安定期沉积构造特征. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 159-166 [Zhao Junfeng, Liu Chiayang, Yu Lin, et al. Sedimentary tectonic features of Ordos basin in Middle Jurassic Zhiluo-An ding stages. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 159-166]
- 7 张复新, 乔海明, 贾恒. 内蒙古东胜砂岩型铀矿床形成条件与成矿作用. 地质学报, 2006, 80(5): 733-739 [Zhang Fuxin, Qiao Haiming, Jia Heng. The metallogenic condition and epigenetic alteration mineralization of Dongsheng Uranium Deposit in the Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 733-739]
- 8 陈庸勋, 戴东林, 杨昌贵. 岩相古地理研究方法—以鄂尔多斯盆地为例. 北京: 地质出版社, 1981, 96-115 [Chen Yongxun, Dai Donglin, Yang Changgui. The Study Method of Lithofacies Paleogeography—A Case Study from Ordos Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1981, 96-115]
- 9 长庆油田地质志编写组. 中国石油地质志(卷十二): 长庆油田. 北京: 石油工业出版社, 1992, 51-55 [Editorial Committee of Petroleum Geology of Changqing Oil Field. Petroleum Geology of China (Vol 12). Changqing Oil Field. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992, 51-55]
- 10 焦养泉, 吴立群, 杨生科, 等. 铀储层沉积学——砂岩型铀矿勘查与开发的基础. 北京: 地质出版社, 2006, 213-304 [Jiao Yangquan, Wu Liqun, Yang Shengke, et al. Sedimentology of Uranium Reservoir: The Exploration and Production Base of Sandstone-type Uranium Deposits. Beijing: Geological Publishing House, 2006, 213-304]
- 11 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一——鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨. 铀矿地质, 2005, 21(1): 8-15 [Jiao Yangquan, Chen Anping, Yang Qin, et al. Sandbody heterogeneity—one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8-15]
- 12 吴仁贵, 陈安平, 余达淦, 等. 沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中新世盆地东胜地区为例. 铀矿地质, 2003, 19(2): 94-99 [Wu Renji, Chen Anping, Yu Dagan, et al. Analysis on depositional system and discussion on ore-formation conditions of channel sandstone type uranium deposit taking Dongsheng area. Ordos Mesozoic basin as an example. Uranium Geology, 2003, 19(2): 94-99]
- 13 吴仁贵, 余达淦. 辫状沉积砂体与砂岩型铀矿的关系剖析. 铀矿地质, 2005, 21(1): 8-15 [Wu Renji, Yu Dagan. Discussion on relationship between sand body of braided stream channel sandstone-type uranium deposit. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8-15]

## Distributional and Sedimentary Characteristics of Sandstones in Jurassic Zhiluo Formation, Ordos Basin

ZHAO Jun-feng LU Chiyang YU Lin HUANG Lei LU Yong-tao GAO Fei

(State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Institute of Oil and Gas Basins, Northwest University, Xi'an 710069)

**Abstract** According to the cycle architecture of lithology, the Zhiluo Formation is divided into two members (named upper and lower ones) in the scale of whole basin. The figures about member thickness, sandstone thickness and layer numbers of sandstone indicate that the thickness distribution patterns of sandstone about both upper and lower members are consistent with that of the whole formation, all of them show it is thicker in the west while thinner in the east; the thickness of upper member are thicker than that of lower member generally. The lower member has less layer numbers of sandstone and bigger thickness of single sandstone layer, while the upper member holds the opposite characteristics. The analysis of detrital components, detritus type, supporting style and regional mapping indicate that the sandstone of Zhiluo Formation has the characteristics of multi-provenances and proximal deposition. The analysis of grain size shows that the sandstone has the characteristic of fluvial channel deposition. Several types of surface and bedding structures existed in the sandstone of Zhiluo Formation, which reflect the fluvial deposit environment. The vertical sequence of lower member has the typical characteristic of braided stream system, while the upper member reflects the combination characteristic of superimposition of multiple phase meandering-braided stream system. Via comprehensive analysis, it is considered that the main sedimentary facies of lower member of Zhiluo Formation is braided stream system, and transitioned to meandering river at latter in the residual basin. While that of the upper member are mainly braided-meandering stream system, delta and lake. The sandstone deposited in braided channel of lower member of Zhiluo Formation has excellent permeability, connectedness and well bedding, so it is the well reservoir of sandstone-type uranium deposits and hydrocarbon.

**Key words** Ordos Basin, Jurassic, Zhiluo Formation, sandstone