

文章编号:1000-0550(2017)01-0124-15

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.01.013

鄂尔多斯盆地西南缘泾河油田长7—长8古流向及沉积相分析

潘杰¹, 刘忠群², 蒲仁海¹, 周思宾², 范久霄², 刘祎楠¹

1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室/地质学系, 西安 710069

2. 中国石化华北分公司研究院, 郑州 450006

摘要 对泾河油田三维地震前积反射、钻井取芯砂岩轻重矿物分离测试和砂体剖面结构对比,并结合前人研究结果认为,泾河油田长8—长7砂岩碎屑主要来自于西南部陇西古陆,部分来自于南部秦岭物源,不受北东物源影响。结合物源、岩芯特征和测井相分析结果认为,泾河油田整个长8₁自下而上是河流—三角洲—半深湖的水进沉积过程,发育3条北东向和1条南北向河道。长8₂为滨浅湖相—三角洲—河流相沉积,发育(水下)分流河道砂岩;长8₁储层为浅湖—半深湖背景下中水进三角洲水下分流河道砂岩。长7₂为浊积砂岩储层,发育9个北东向浊积水道。

关键词 泾河油田;物源方向;长7—长8沉积相;重矿物分离;前积反射

第一作者简介 潘杰,男,1987出生,博士研究生,石油地质和地震资料解释,E-mail:420181295@qq.com

通讯作者 蒲仁海,男,博士生导师,E-mail:purenhai@nwu.edu.cn

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

泾河油田位于鄂尔多斯盆地西南缘泾川和正宁县之间(图1),长7—长8砂岩为主要的产油层,但目前对其沉积微相类型和沉积物来源尚无统一认识。部分学者通过测量西南缘露头古流向、分析砂岩轻重矿物组分和微量元素特征等认为盆地西南部晚三叠世早期(长10—长8)沉积物来源于西南的祁连山—秦岭造山带^[1-8],另一部分学者通过研究西南缘或秦岭碎屑锆石

年代学特征和其构造地质意义认为该时期盆地西南缘有水道与秦岭相通^[9-12],物源主要来自于盆地北部和东北部。关于盆地西南缘长8沉积相类型有学者认为是冲积扇—扇三角洲沉积^[4,13-14],有学者认为是河流三角洲沉积^[15-17],还有学者认为是浅水湖泊三角洲沉积^[18-19]。以上认识具有两个共同点:一是均依据录井暗色泥岩认为长8具有水下沉积背景;二是依

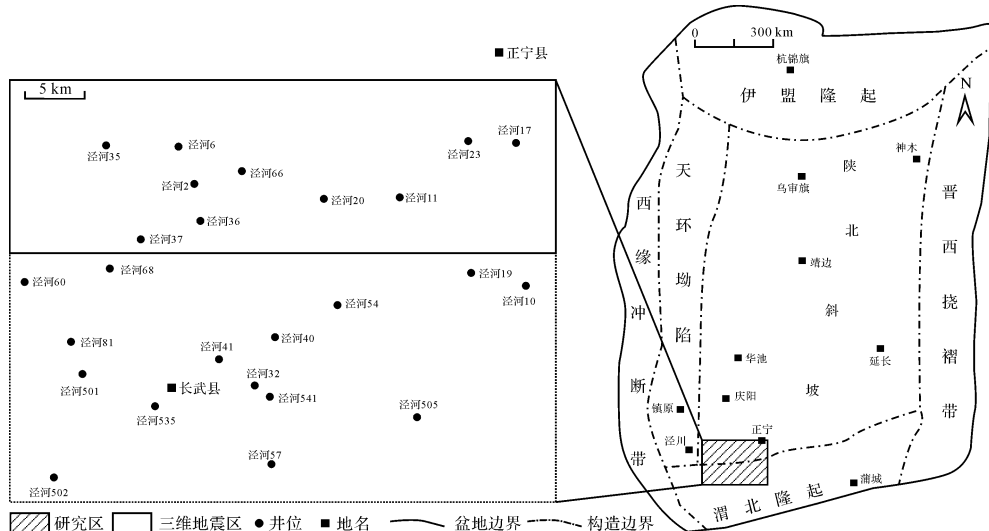


图1 鄂尔多斯盆地泾河油田位置及采样井

Fig.1 Location and sampling sites of Jinghe oilfield, Ordos Basin

收稿日期: 2016-02-24; 收修改稿日期: 2016-05-17

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(批准号:41390451);中石化华北分公司企业委托项目[Foundation: National Natural Science Foundation of China (Major Program) No. 41390451; Project Supported by North China Branch of SINOPEC]

据钻井统计砂岩含量较高,厚度较大认为长8砂体具近源特点。泾河油田靠近延长组湖盆南缘偏西,该区长8的研究成果对认识该区延长组沉积特征有重要参考意义。本文通过岩芯观察、岩矿分析结果、测井资料分析和三维地震解释主要解决三个问题,一是泾河油田长7、长8的古流向及砂体展布方向;二是泾河油田的长8河道砂岩沉积微相类型;三是接近湖盆南缘的长7砂岩微相是属于三角洲还是重力流?

1 泾河油田长7—长8物源与古流向分析

鄂尔多斯盆地三叠系延长组自下而上分为长10—长1共10个油层组^[2],泾河油田延长组长6以上地层大部分被剥蚀,局部残留,长6及少数残留长4+5地层与上覆延安组延10段呈不整合接触。此次研究的目的层长7、长8油层组保留完整,主力产层为长7₂、长8₁和长8₂三个油层。长8总体厚100~120 m,以灰色粉—细砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、砂质泥岩不等厚互层夹暗色泥岩为主。根据等厚法可将长8分为长8₁、长8₂两个亚段,根据旋回和等厚法又可将长8₂划分为长8₂¹、长8₂²、长8₂³三个小层,其中每个小层20~25 m左右,小层之间没有特殊明显标志层。长8₁亦3分,长8₁¹小层整体厚约20~25 m,长8₁²厚约10~20 m,以8₁²底部泥岩作为长分界,长8₁³厚约10~15 m,与上覆张家滩页岩“三高一低”电性特征明显不同,表现出中—低自然伽马、高密度,顶部多见泥岩、粉砂质泥岩夹层,自然伽马曲线形态锯齿化严重,以锯齿化箱形、漏斗形以及钟形等组合形态为主。研究区内长7厚约80~120 m,以暗色泥岩或灰色—深灰色粉砂岩为主,其中泥质粉砂岩和粉砂质泥岩常与细砂岩互层发育,局部可见碳质页岩和凝灰质泥岩夹层,自下而上可分为等厚的长7₃、长7₂和长7₁三个小层,长7₃底厚约10~25 m的张家滩页岩是泾河油田主力烃源岩。

此次古流向分析主要是依据三维地震剖面上的前积反射、泾河油田长7、长8岩芯砂岩样品的轻重矿物分离以及测井曲线砂体剖面结构横向对比三种方法。前积反射结构是沉积物沿古沉积斜坡向其下倾方向逐期向前推进的过程形成的一种反射现象,能够明确指示古流向和水动力大小^[20-23]。由于重力分异作用和抗风化程度的差异,轻重矿物随着离物源区距离的远近其种类和含量会发生规律性变化,据此可以判断物源和古流向^[24-29]。砂体剖面结构对比指同一微相类型的“箱型”分流河道砂体在平面上可以和

同类型的砂体对比,也可以与下游“漏斗型”河口坝砂体对比,但不能同虽有较高砂岩百分含量的“齿型”砂体对比^[30-35]。

1.1 前积反射指示的古流向

研究区内前积体主要发育在长6—长7段,三维地震数据较为完整的记录了前积体空间分布,可以从各个方向对前积体进行切片显示。泾河油田3维区面积约158 km²,此次研究分别从线和道方向每隔1线/道对前积反射进行追踪,解释出前积反射的平面展布,并通过不同色标显示前积体各点与长7底张家滩页岩强反射的时间距离如图2所示。泾河油田3维区存在4套前积反射,红黄色代表前积体顶端,蓝紫色表示前积体底端。其中东部发育两套(3、4号前积体),西部和中部各发育一套(1号和2号),图3为平行流向的各个前积体切片(已拉平长7底)。

1号前积体位于武2井西北部,面积约30 km²,坡度1.35°,前积方向为北东向,顺前积方向延伸较远约3.5~4 km,垂直前积方向延伸约9.5~10 km,平面上前积体呈平行于湖底斜坡的裙状分布。2号前积体位于泾河2井—泾河6井区,面积约26 km²,坡度1.5°,倾向北东,平行前积方向延伸约9~10 km,垂直前积方向延伸约7~8 km,平面上呈朵状分布。3号前积体位于泾河23井—泾河29井区,面积约36 km²,坡度0.6°,倾向为近北东,顺前积方向延伸较远约14 km,而垂直前积方向仅4~5 km。4号前积体位于泾河11井区,面积约25 km²,坡度0.65°,倾向北东,平行前积方向延伸9~10 km,垂直前积方向延伸5~6 km。平面上3号和4号前积均呈垂直湖岸线的窄带状延伸,且相互平行。前积方向即为古水流方向^[12-14],从4个前积体方向可以看出三维区长6—长7水流方向在研究区西部及中部为南西—北东,在工区东部为南西西—北东东。

1.2 重矿物类型与古流向

作者在泾河油田采集了31块岩芯砂岩样品进行轻重矿物分离分析,其中9块样品位于长7₂,22块样品位于长8₁。砂岩中重矿物类型及组合特征是沉积物搬运距离和岩性变化敏感的指示剂,是物源区分析的重要依据之一^[24-29]。

研究区内主要重矿物为锆石和石榴子石,二者含量之和占重矿物总量的80%以上;其次为金玉石、单斜辉石和白钛石,各矿物百分含量介于1%~5%,其中泾河41井长7₂白钛石含量较为异常高达21.36%。电气石、黄铁矿和磁铁矿含量变化较大,单矿物百分

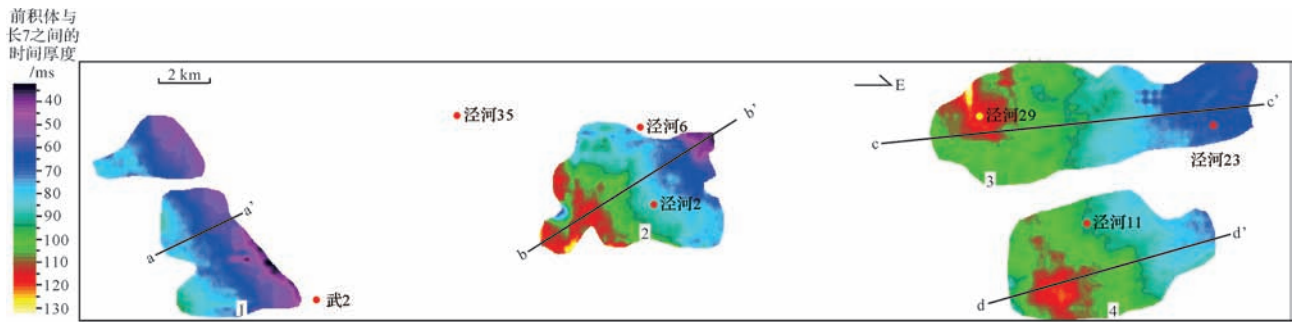


图2 径河油田北部三维地震区前积反射平面位置图

指示了长7—长6三角洲前缘—重力流的平面展布形态和古流向。前积体顶面与长7底的时间厚度由厚至薄反映了前积体的倾向,1、2号前积体指示古流向为SW—NE,3、4号前积体指示古流向为SWW—NEE。

Fig.2 Progradation reflections location in the 3-D seismic survey, north of the Jinghe oilfield

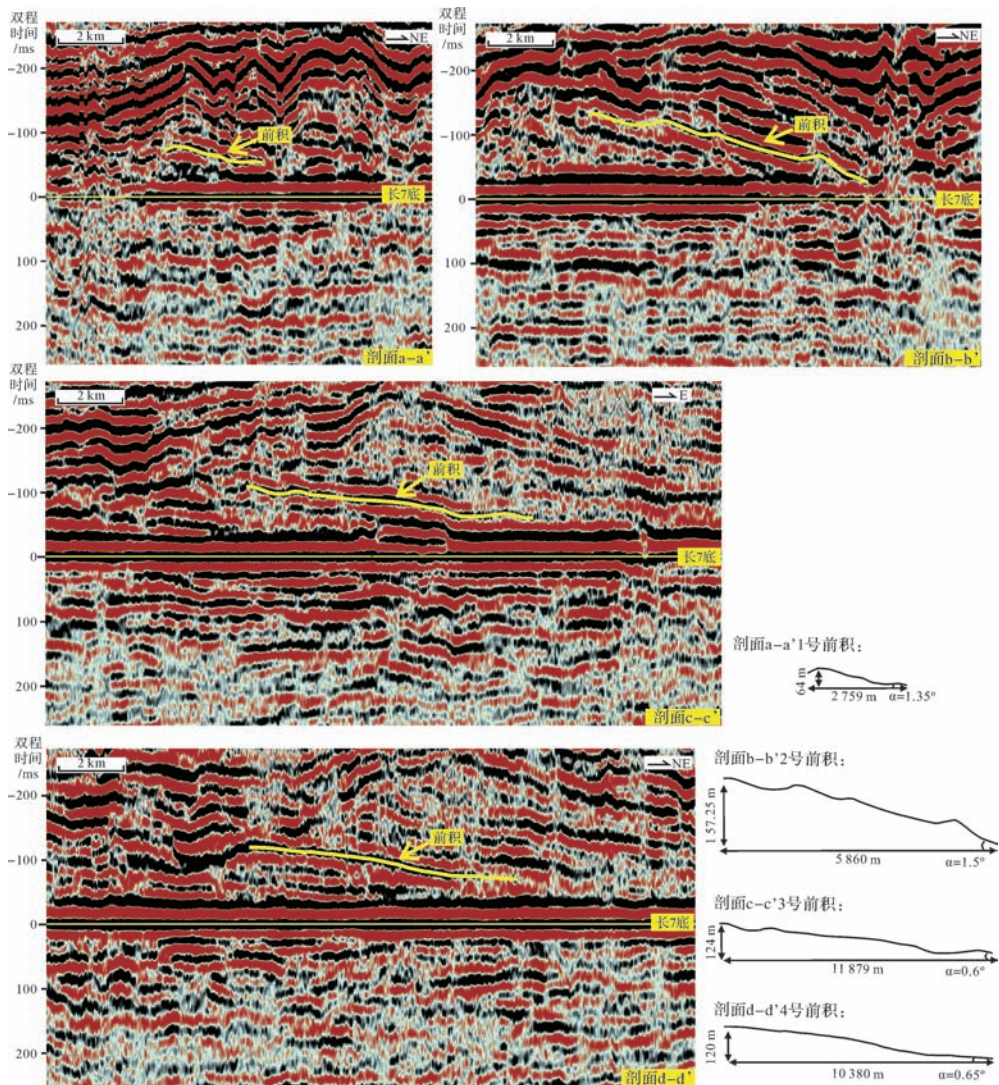


图3 长7底拉平的前积反射地震剖面

剖面a—a'上1号前积高64 m,长2 759 m,坡度为1.35°;剖面b—b'上2号前积高157 m,长5 860 m,坡度为1.5°;剖面c—c'上3号前积体高124 m,长11 879 m,坡度为0.6°;剖面d—d'上4号前积体高120 m,长10 380 m,坡度为0.65°。自西而东4套前积反射的坡度变缓,顺水流延伸距离变短。

Fig.3 3-D flattened seismic profiles of the progradation reflections

含量从百分之零点几到百分之十几不等,如泾河 19 井长 8₁电气石含量为 14%,泾河 541 井磁铁矿含量为 17%,泾河 41 井长 7₂黄铁矿含量高达 26%,其余如磷灰石、锐钛矿、独居石和钛铁矿等含量均小于 2%。样品中出现了大量岩浆岩矿物、高级变质矿物、低级变质矿物及蚀变矿物,因而推测母岩为岩浆岩及正变质母岩。锆石、电气石和锐钛矿等稳定重矿物含量越高表示离物源越远,石榴子石、独居石和磁铁矿等不稳定矿物含量越高表示离物源越近^[19-20]。轻矿物中石英的含量越高说明砂岩搬运越远,而长石、岩屑和云母的含量较高说明砂岩搬运距离较短。

相同物源的砂岩轻重矿物组分应该相似,研究区内稳定重矿物以锆石为主,不稳定重矿物以石榴子石为主。长 7 砂岩重矿物以锆石为主平均含量 58%,其次为石榴子石和白钛石,仅泾河 41 井和泾河 17 井锆石含量小于 50%(图 4)。长 8 砂岩轻矿物成分大致可以划分为 2 类 4 个相互大致平行的东北向条带(图 5): I 类条带石英含量>岩屑含量>长石含量,位于泾河 60 井—泾河 20 井—泾河 17 井一带和泾河 501 井—泾河 32 井—泾河 10 井一带; II 类条带岩屑含量>石英含量>长石含量,位于泾河 81—泾河 54 一线和泾河 502 井—泾河 505 井一线,位于 I 类条带的钻井较多。砂岩重矿物亦分为两类 4 个东北向条带(图

6): I 类石榴子石百分含量>锆石百分含量区,位于泾河 60 井—泾河 37 井—泾河 66 井和泾河 501—泾河 54—泾河 17; II 类锆石百分含量>石榴子石百分含量区,位于泾河 81 井—泾河 20 井—泾河 23 井和泾河 502—泾河 505 井。研究区内轻重矿物条带位置接近,仅个别井轻重矿物分类有差异,如泾河 20 井属于轻矿物的 I 类,重矿物的 II 类,泾河 541 属于轻矿物的 II 类、重矿物的 I 类。

在晚三叠世延长组地层沉积时期,鄂尔多斯盆地存在北部阴山古陆、西北阿拉善古陆、西南陇西古陆和南部秦岭褶皱带 4 个供源古陆^[5]。晚三叠世中期(长 7—长 4+5)秦岭造山带活动增强^[9],盆地西缘抬升加剧^[1],南部秦岭带物源开始发育,造成鄂尔多斯盆地西南缘晚三叠世早期(长 10—长 8)沉积地层中砂岩重矿物组合以不稳定石榴子石为主^[2-3,36],晚三叠世中期砂岩重矿物以稳定的锆石为主^[2-6,37]。

张才利^[23]对盆地延长组长 7 物源进行深入研究后认为,长 7 时期存在西北、东北、西南、西部和南部五个方向的物源,其中西北和东北物源锆石平均含量小于 38%,西南和南部物源平均锆石含量大于 58%,西南物源平均白钛石含量小于 5%,南部物源平均白钛石含量大于 10%。研究区 9 口长 7 采样井砂岩重矿物锆石含量较高,其中泾河 41 井白钛矿含量为

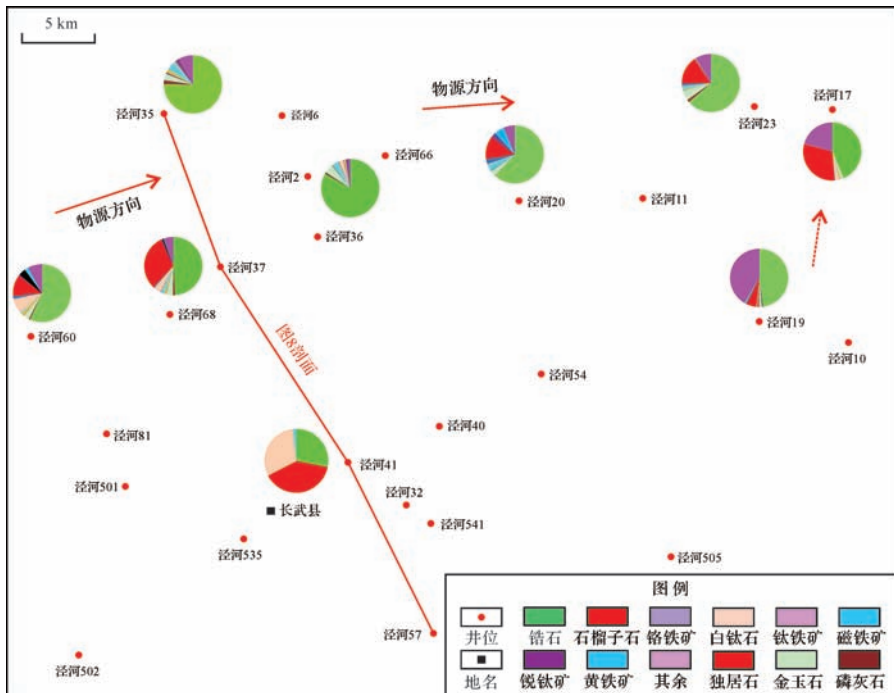


图 4 泾河油田长 7 重矿物含量图

(长 7 重矿物以锆石为主,指示流向为 SW—NE)

Fig.4 Distribution of heavy mineral assemblages of Chang 7 Member in Jinghe oilfield

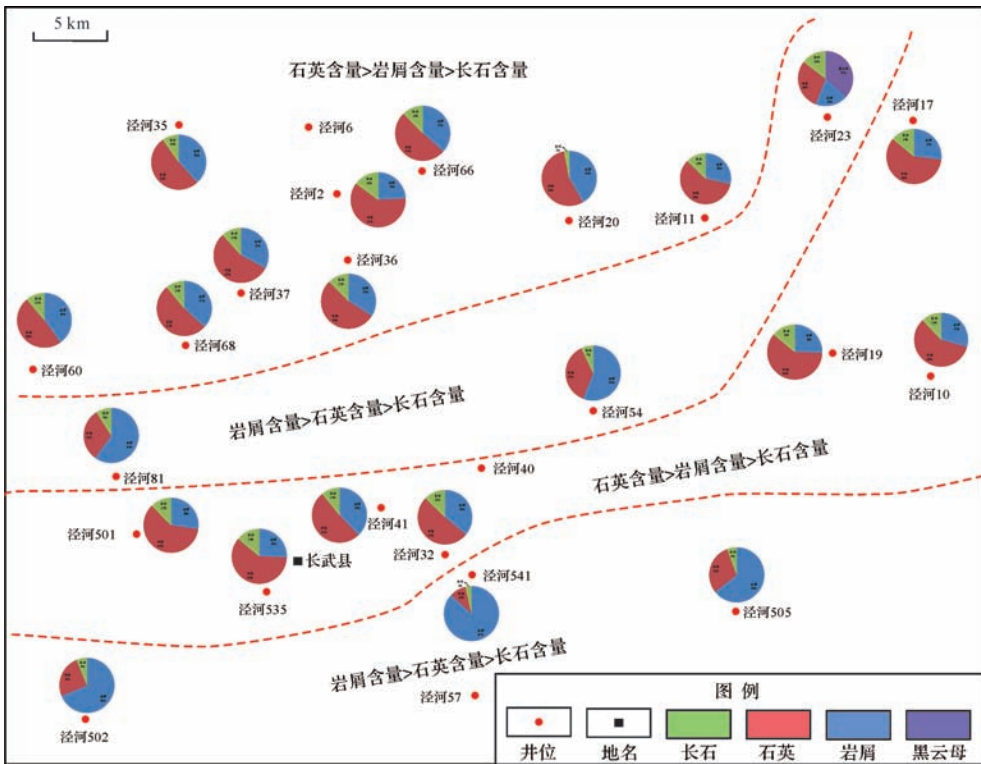


图 5 泾河油田长 8₁ 骨架矿物含量分布图

(长 8₁ 砂岩成份按轻矿物分为两个类型条带, 条带呈 NEE 向延伸)

Fig.5 Distribution of matrix mineral assemblages of Chang 8₁ Member in Jinghe oilfield

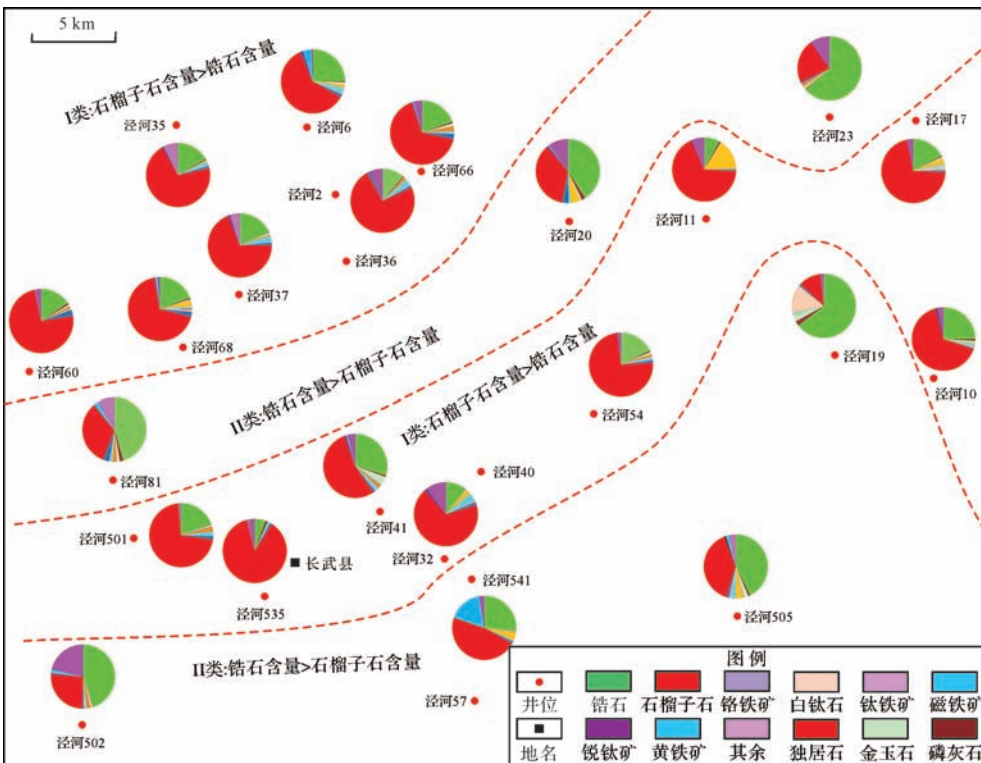


图 6 泾河油田长 8₁ 重矿物含量图

Fig.6 Distribution of heavy mineral assemblages of Chang 8₁ Member in Jinghe oilfield

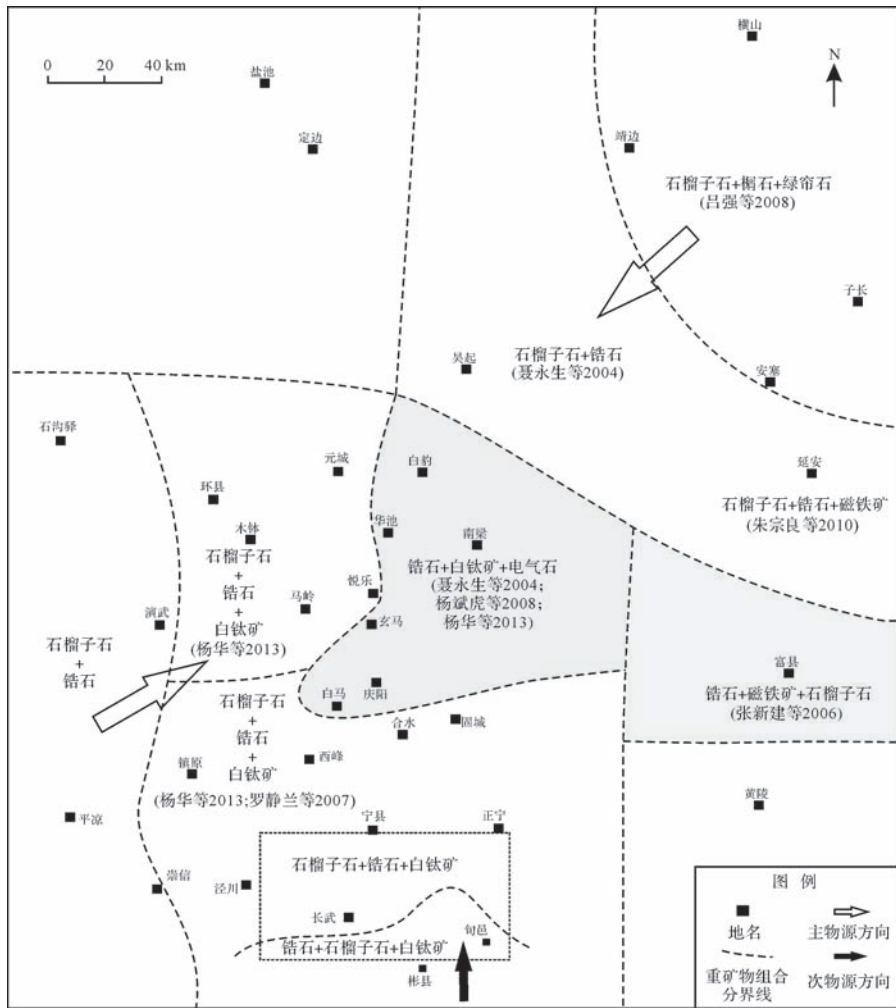


图 7 鄂尔多斯盆地延长组长 8 重矿物平面分布图(据罗静兰等,2007;杨华等 2013;吕强等,2008;聂永生等,2004;张建新等,2006;杨斌虎等,2008)

Fig.7 Distribution of heavy mineral assemblages of the Chang 8 Member

21%,总体表现为自西南至东北,自南向北石榴子石含量降低,锆石含量增高,研究区长 7 时期沉积受西南和南部物源共同影响。

盆地西南缘长 8 物源方向争议较大,一种认为以西南物源为主,西南缘东北部亦受北东物源影响;一种认为以北东物源为主,西南物源为次。文中结合前人对鄂尔多斯盆地长 8 重矿物组合研究成果和研究区资料分析研究区乃至盆地西南缘物源方向。盆地西南缘环县—马岭—西峰—宁县和东北部横山—延安—吴起长 8 砂岩重矿物均以石榴子石为主^[1-2,38-39],而白豹—南梁—玄马—庆阳一带和富县地区长 8 砂岩重矿物则已锆石为主^[3-4,40]。即从西南缘平凉—镇原—白马—南梁、自定边—吴起—白豹—华池和自安塞—延安—富县地区砂岩重矿物中不稳定的石榴子石含量减少,稳定的锆石和白钛矿等含量

增加(图 7)。根据砂岩中各重矿物含量变化推断,盆地西南缘长 8 时期应以西南物源为主,白豹—南梁—玄马—庆阳一带为西南物源和北东物源混合的混源区。若以北东物源为主则南梁—白马地区锆石含量低于镇原—泾川地区,这不符合长 8 砂岩重矿物分布规律。

研究区长 8 砂岩重矿物分为 2 类 4 个条带,其中 I 类条带各井点石榴子石含量均大于 60%,其次为锆石和白钛矿,与前人研究西南物源重矿物组合一致。II 类条带重矿物组合与长 7 类似,且表现为自工区南部至北部石榴子石含量降低,锆石含量增加,物源可能来自南部。研究区长 8 物源以西南物源为主,其次为南部物源,几乎不受北东物源影响。

1.3 砂体剖面结构对比与河道延伸

所谓砂体剖面结构指的是砂岩粗细旋回变化及

其组合,即通常在自然电位或自然伽马测井曲线上所看到的箱型、漏斗型、钟型和齿型及组合^[26-31]。同一时代的相同微相往往具有相似的剖面结构或测井相。根据井点砂岩累加厚度勾绘小层砂岩厚度等值线和河道延伸时,到底河道如何延伸?这时参考砂岩剖面结构可以给出较合理的勾绘结果。例如长 8_1 水下河道具箱型剖面结构,决口河道或浅滩砂则为齿形组合,尽管两口井的长 8_1 累加砂厚或砂地比相同,但剖面结构不同,则不能作为同一河道微相连接起来,只有均为箱型组合或箱型与钟形组合时才能连接成河道。顺直河道形成箱型组合(心滩),弯曲河道形成钟形组合(边滩或点坝)。由于三角洲平原分流河道的箱型可以向下游演变为三角洲前缘的河口坝漏斗型砂岩结构,所以,同样砂厚的箱型和下游方向的漏斗型可以连成同一分流河道—河口坝组合。根据这种思路,我们在制作长 8_1 砂岩剖面结构(测井相)平面图的基础上,勾绘了泾河油田长 8_1 河道砂岩的延伸,此时,只能连成北东向,才能符合上述要求。所以,由此反推可知,长 8 的河道古流向为南西—北东向,自然伽马曲线平面图见后文。

2 沉积相类型及特征

鄂尔多斯盆地受晚三叠世印支运动的影响,形成

西南部陡、东北部缓,具多水系的大型不对称箕状前陆盆地^[1-2,41]。西南向和北东向的两大水体系为西南向近源辫状河三角洲和南西向远源三角洲沉积体系提供了物质基础^[2,41]。长 9 —长 8 时期造山带快速隆升,沉积物供给充分,盆缘拗陷沉降速率加快,导致湖岸线向西南方向迁移^[1-2],至长 7 时期湖盆面积最大。长 8 时期多条山间主河流提供了大量粗碎屑物质,在盆地西南缘形成南西—北东、自西向东和北西—南东向的辫状河三角洲沉积^[2,41]。辫状河平原分流河道进入盆地内,迅速变为辫状河三角洲前缘沉积。来自盆地西南物源的辫状河三角洲前缘沉积在悦乐—玄马—固城一带,而来自东北物源方向的曲流河三角洲前缘沉积在白豹—纸坊—五谷城一带^[2]。泾河油田处于三角洲平原和三角洲前缘的过渡地带,尽管从长 8_3 到长 8_2 再到长 8_1 表现为水体逐渐变深和湖盆变大,由水上辫状河三角洲前缘渐变为浅湖—半深湖沉积,但由于水体整体较浅和河流的注入,形成了水进型浅水三角洲特征,水上三角洲平原和水下三角洲前缘分流河道较为发育,在测井曲线上表现为砂岩顶底突变箱型剖面结构,河口坝整体不发育(图8)。长 7_3 时期湖盆面积最大,研究区为深湖沉积,可见灰黑色张家滩页岩,长 7_2 时期湖盆面积较长 7_3 时期有所收缩^[2,41],但该时期泾河油田主要为半深湖沉积。

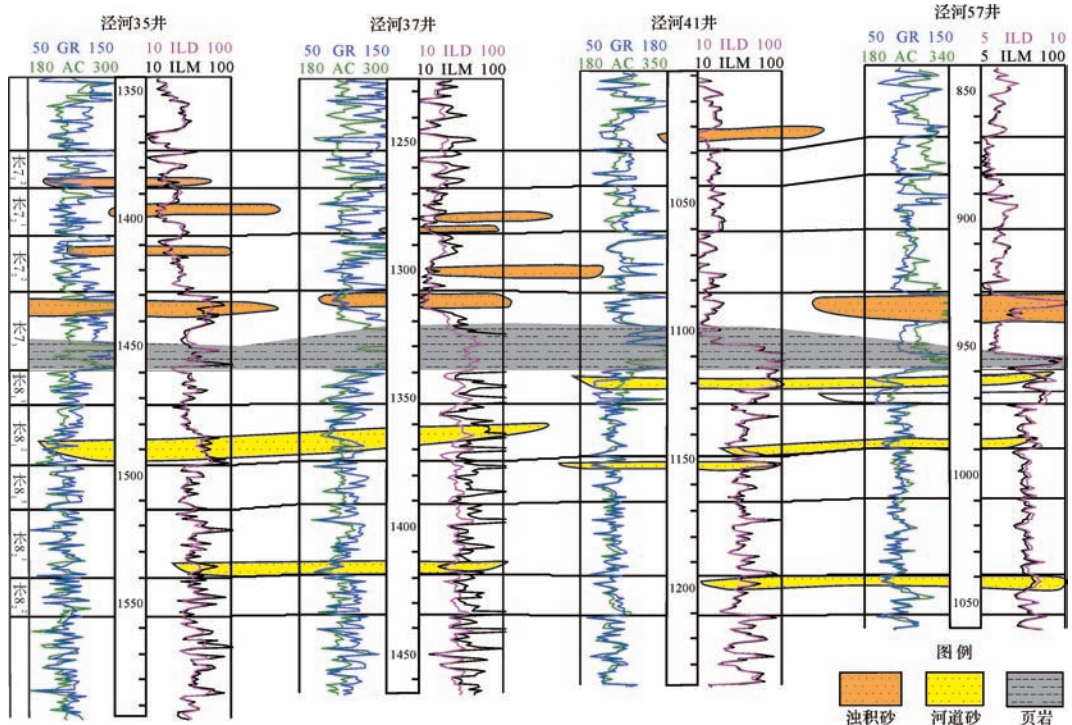


图8 泾河35井—泾河37井—泾河41井—泾河57井长 7 —长 8 沉积相对比剖面图(井位平面位置见图4)

Fig.8 A cross well profile of Well Jinghe 35-Jinghe 37-Jinghe 41-Jinghe 57 of the Chang 7-Chang 8 Member

(Well Location in Fig.4)

在钻井取芯上既可见长 8₂²暴露标志,又可见长 8₁²水下标志,二者在平面上没有清晰的界线。暴露标志如漫滩泥质粉砂岩见分支状植物根须(图 9 下),

细砂岩底界与泥岩之间多呈突变或冲刷接触,为分流河道特征(图 9 上)。水下标志主要为较常见的生物扰动、生物钻孔粉砂质泥岩(图 10a)和深灰色水平层

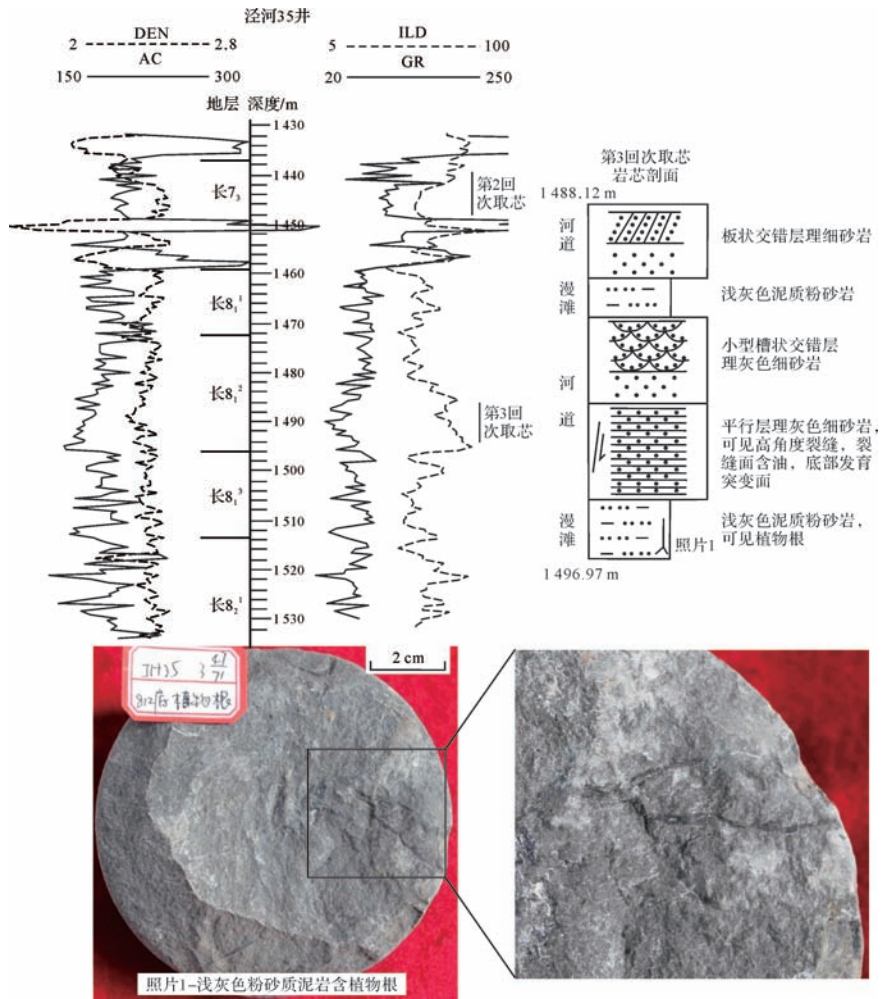


图 9 泾河 35 井长 8₁²测井曲线特征、第 3 回次岩芯剖面和植物根须岩芯照片

Fig.9 The lithological profile and core images of Chang 8₁² of Well Jinghe 35

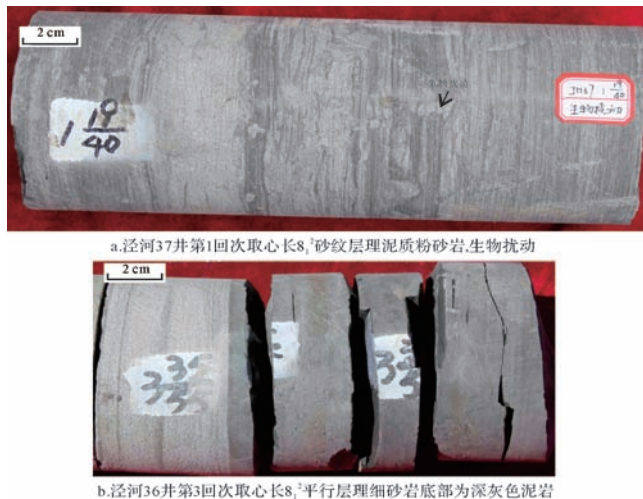


图 10 泾河 37 井、泾河 36 井长 8₁²浅湖相沉积岩芯照片

Fig.10 The core images of the shallow lake facies of Chang 8₁² of Well Jinghe 37 and Jinghe 36

理泥岩(图 10b),反映了浅湖—半深湖沉积。随着湖平面上升和湖盆范围扩大,泾河油田至长₈¹沉积时进入浅湖—半深湖环境。主要沉积了浅湖相灰色粉砂质泥岩和深灰色泥岩,夹水下分流河道细砂岩,砂岩底部与泥岩突变接触,含棱角状泥砾(图 11)。指示较安静深水环境的标志主要为区域上只在长₇段深湖中常见的凝灰岩薄纹层(图 12a)和深灰色、黑色水平层理泥页岩(图 12b)。指示浅水环境的标志主要为泾河 32 井 1 回次长₈¹灰色粉砂质泥岩中存在大

量发育的介形虫化石^[42](图 12c)和十分常见的波状沙纹层理和生物扰动十分普遍的灰色泥质粉砂岩和粉砂质泥岩沉积。

泾河油田长₇整体为深—浅湖相沉积,长₇₃深湖相中可见砂质碎屑流、浊流等砂岩,长₇₂为半深湖沉积相,砂体为浊流和砂质碎屑流沉积。单砂体最厚处可达十几至二十几米,但其向四周迅速尖灭,延伸较短。长₇₁则发育五种微相砂岩,即水下分流河道、砂质碎屑流、浊流、河口坝、浅滩等,其中前三种较多见,

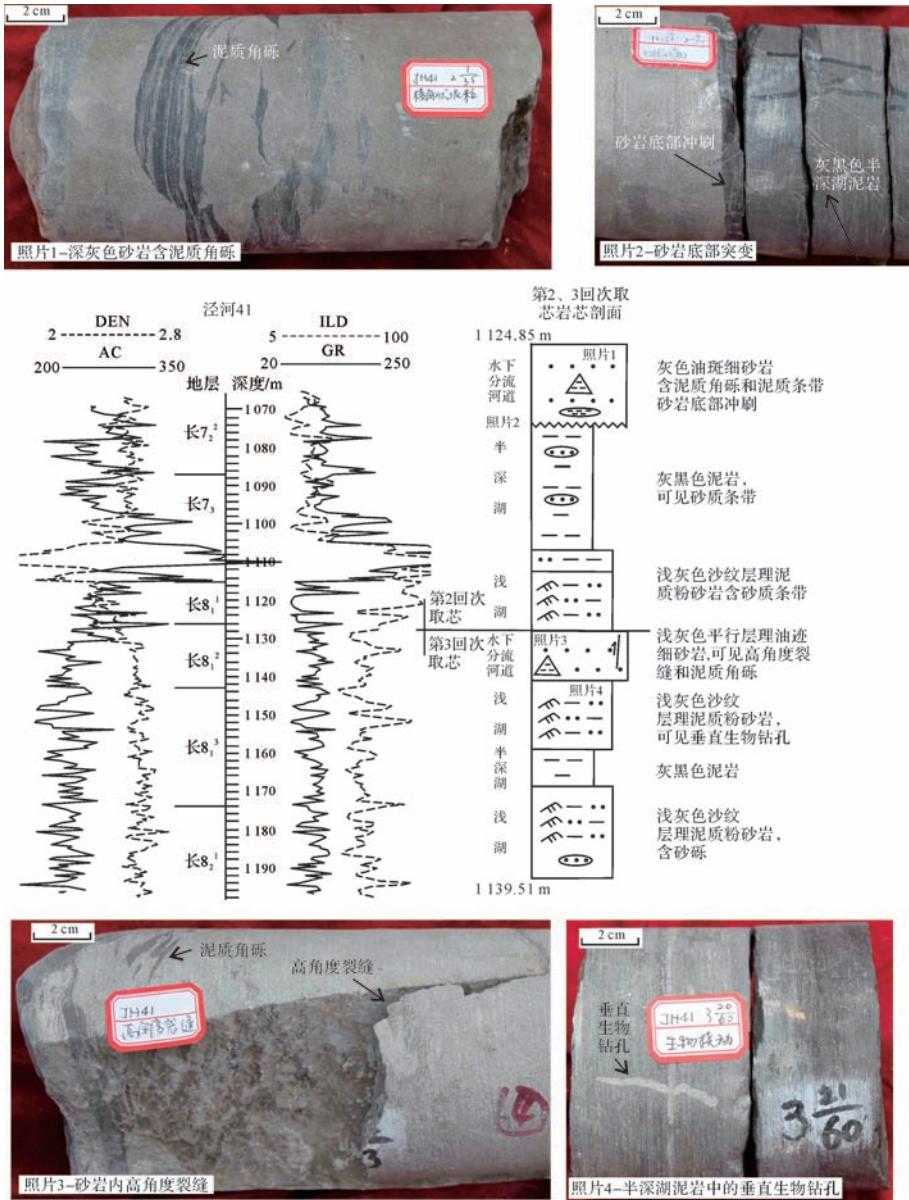


图 11 泾河 41 井第 2、3 回次延长组长₈¹—长₈²浅湖—半深湖沉积岩芯剖面图和岩芯照片

2、3 回次连续取芯。3 回次岩芯以沙纹层理泥质粉砂岩为主,夹灰黑色泥岩和浅灰色平行层理细砂岩。粉砂岩中见垂直生物钻孔(照片 4),细砂岩中含泥质角砾,发育高角度裂缝(照片 3)。2 回次底部为灰黑色泥岩,顶部为含泥质角砾的深灰色细砂岩(照片 1),砂岩底部冲刷(照片 2)。

Fig.11 The lithological profile and core images of Chang 8₁—Chang 8₂ of Well Jinghe 41



图 12 泾河 41、泾河 36 井和泾河 32 井长 8₁浅湖—半深湖沉积岩芯照片

a. 泾河 41 井 2 回次长 8₁取芯中可见褐色凝灰岩薄、纹层;b. 泾河 36 井 2 回次长 8₁取芯见灰黑色半深湖泥岩夹斜层理细砂岩, 灰黑色泥岩底部为泥质粉砂岩;c. 在泾河 32 井 1 回次长 8₁灰色粉砂质泥岩沿层面分布大量介形虫。

Fig.12 The core images of the shallow lake-semi-deep lake facies of Chang 8₁ of Wells Jinghe 41, Jinghe 36 and Jinghe 32

后两种较少^[43]。研究区浊流沉积多可见鲍马序列^[44]B段、C段和D段,A段较为少见,测井曲线呈齿状漏斗(图13)。鲍马A段为块状油迹中—细砂岩,底部发育冲刷面(图13下泾河29井岩芯),B段平行层理细砂岩、C段波状层理粉砂岩、D段水平层理泥岩呈薄层交互,单个岩性段厚度一般为10~50cm不等。岩芯可见重荷模、槽模、火焰构造和包卷层理等^[45]。

此外泾河油田长8砂岩粒度累计概率曲线表现为河道的两段式特征,跳跃总体与悬浮总体的交点在4.5~5.5φ区间内,分选中等。长7浊流砂岩粒度累

计概率曲线呈很缓的多段式组合,分选很差(图14)。在长7₁和长7₂取芯中局部也见到具有交错层理的水下分流河道砂岩,但比例较少。

3 长7₂与长8₁砂体展布

根据古流向分析、岩芯观察、测井相和钻井砂厚统计等资料绘制了长7₂和长8₁沉积相平面图。长8分流河道砂地比大于15%(图15),河道内砂地比大于15%。研究区内长8₁河道砂岩自然伽马测井曲线一般为箱型或者钟型,漫滩泥质含量较高的区域GR曲线表现为齿状(图6,15)。研究区长8₁发育3条北

东向河道,南边两个河道交汇于泾河 41 井和泾河 32 井附近,中部和北部河道交汇于泾河 36 井和泾河 2 井附近,河道沉积较厚的地方分别位于泾河 6 井—泾

河 2 井、泾河 535 井、泾河 32 井及泾河 22 井周围。工区东缘接近延长湖盆的正南位置,泾河 64 井—泾河 18 井—泾河 53 井—线河道可能呈南北向。

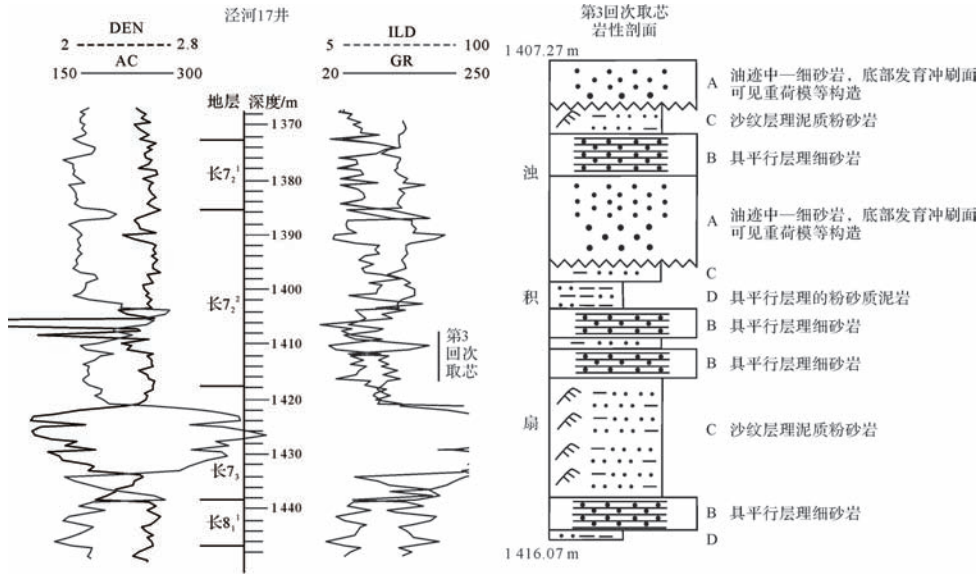


图 13 泾河 17 井第 3 回次延长组长 7₂齿化箱型测井相与岩芯剖面
 泾河 17 井第 3 回次长 7₂取芯见浊积沉积,多见鲍马序列 B、C、D 段,A 段较为少见。

Fig.13 The lithological profile and core images of Chang 7₂ of Well Jinghe17

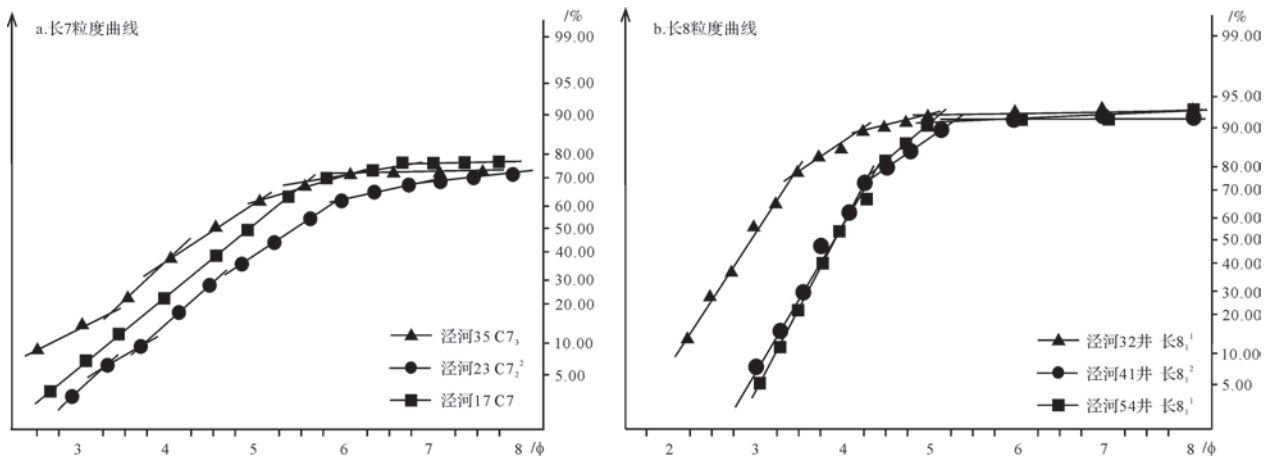
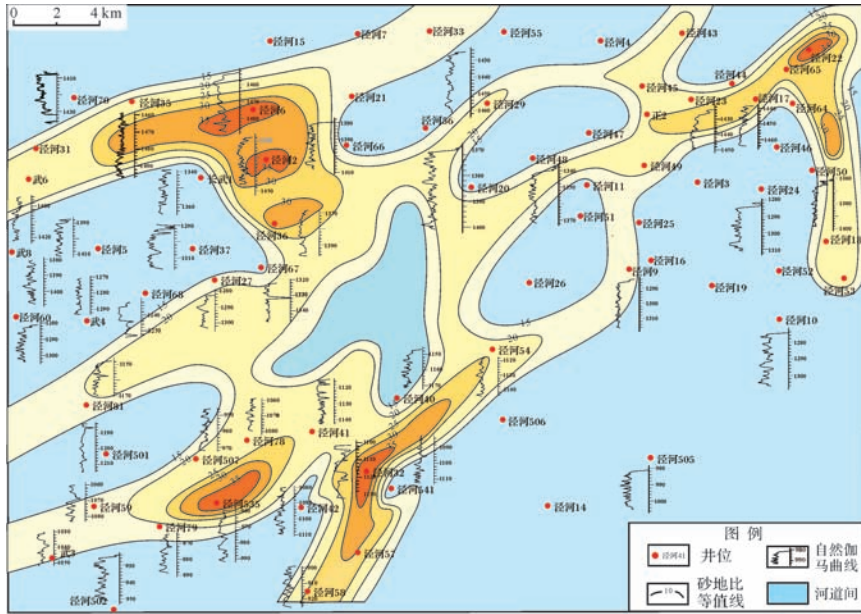


图 14 长 7、长 8₁ 粒度累计概率曲线图

a.长 7 为低缓多段式;b.长 8₁ 为具混合段的两端式

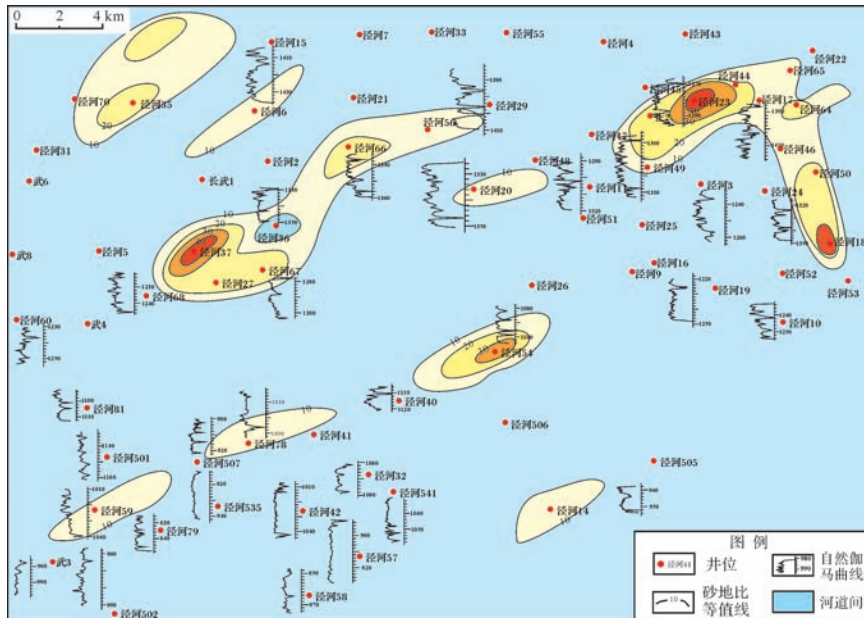
Fig.14 The cumulative probability curves of the Chang 7, Chang 8₁ sandstone grain size



注:自然伽马曲线(GR)统一左值为50,右值为250

图 15 泾河油田长 8₁自然伽马测井曲线与沉积相平面图
(长 8₁发育四条北东—南西向河道,在研究区东北部出现南北向河道)

Fig.15 The Gamma Ray curves and sedimentary facies map of Chang 8₁, Jinghe oilfield



注:自然伽马曲线(GR)统一左值为50,右值为250

图 16 泾河油田长 7₂自然伽马测井曲线与沉积相平面图
(长 7₂发育 9 个北西—南东向浊积水道)

Fig.16 The Gamma Ray curves and sedimentary facies map of Chang 7₂, Jinghe oilfield

研究区内长 7₂浊积水道的砂地比大于 10% (图 16)。半深湖浊流砂岩最厚处可达二十余米,但其砂体连通性差,向四周迅速尖灭,延伸较短(图 8)。长 7₂发育 9 个北东向朵状砂体,泾河 53 井—泾河 62 井—线砂体为近南北向,其中泾河 17 井区与泾河 2 井区的朵状砂体厚度大,延伸较远,砂地比值最高达

40%,自然伽马曲线以箱型和齿状箱型为主(图 16)。

4 结论

(1) 研究区内长 7 和长 8 砂岩碎屑主要来自于西南部陇西古陆,其次来自于南部秦岭物源,长 7 和长 8 I 类条带稳定重矿物锆石百分含量高,搬运距离

长,离物源距离较远;长8Ⅱ类条带不稳定的重矿物石榴子石含量高,说明砂岩搬运距离短,离物源较近。长8—长7河流方向均为南西—北东向,局部为北东东和北北东向。

(2) 整个长8₁是河流相—三角洲—半深湖的过渡型沉积。长8₂为河流—水进型三角洲—滨浅湖沉积,可见植物根古土壤暴露标志,同时见深灰色泥岩、具沙纹层理的泥质粉砂岩等。长8₁为浅湖—半深湖背景,取芯见大量介形虫化石的粉砂质泥岩、深灰色水平层理泥岩等,主要发育浅水三角洲型的水下分流河道砂岩,一般具箱型或者钟型测井曲线形态,砂地比大于15%。

(3) 长7₂为半深湖沉积相,砂体为浊流和砂质碎屑流沉积,发育9个北东向延伸的浊积水道砂体,砂体测井曲线为齿化漏斗型,砂地比大于10%。虽然岩芯也可见到含交错层理的水下分流河道砂岩,但比例较少。

参考文献 (References)

- [1] 罗静兰,史成恩,李博,等. 鄂尔多斯盆地周缘及西峰地区延长组长8、长6沉积物源——来自岩石地球化学的证据[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2007,37(增刊1):62-72. [Luo Jinglan, Shi Cheng'en, Li Bo, et al. Provenance for the Chang 6 and Chang 8 Member of the Yanchang Formation in the Xifeng area and in the periphery Ordos Basin: Evidence from petrologic geochemistry[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(Suppl.1): 62-72.]
- [2] 杨华,刘自亮,朱筱敏,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. [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.]
- [3] 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. [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.]
- [4] 杨斌虎,白海强,戴亚权,等. 鄂尔多斯盆地庆阳地区晚三叠世延长组长8沉积期物源与沉积体系研究[J]. 古地理学报,2008,10(3):251-259. [Yang Binhu, Bai Haiqiang, Dai Yaquan, et al. Provenance and depositional systems during the depositional period of Interval 8 of Upper Triassic Yanchang Formation in Qingyang area, Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(3): 251-259.]
- [5] 朱筱敏,刘芬,朱世发,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组物源区构造属性研究[J]. 高校地质学报,2015,21(3):416-425. [Zhu Xiaomin, Liu Fen, Zhu Shifa, et al. On the tectonic property of the provenance area of the Upper Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2015, 21(3): 416-425.]
- [6] 张才利,张雷,陈调胜,等. 鄂尔多斯盆地延长组长7沉积期物源分析及母岩类型研究[J]. 沉积学报,2013,31(3):430-439. [Zhang Caili, Zhang Lei, Chen Diaosheng, et al. Provenance and parent-rock types of Member 7 of Yanchang Formation (Triassic), Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(3): 430-439.]
- [7] 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. [Zhu Zongliang, Li Wenhou, 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.]
- [8] 吴立群,焦养泉,杨琴,等. 鄂尔多斯盆地富县地区延长组物源体系分析[J]. 沉积学报,2010,28(3):434-440. [Wu Liqun, Jiao Yangquan, Yang Qin, et al. Provenance system analysis of Yanchang Formation in Fuxian area of Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 434-440.]
- [9] 宋立军,陈隽璐,张英利,等. 鄂尔多斯盆地西南部泗水河地区上三叠统碎屑锆石U-Pb年代学特征及其地质意义[J]. 地质学报,2010,84(3):370-386. [Song Lijun, Chen Juanlu, Zhang Yingli, et al. U-Pb chronological characteristics of Late Triassic sediment in southwestern Ordos and its tectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(3): 370-386.]
- [10] 陈岳龙,李大鹏,周建,等. 中国西秦岭碎屑锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 地学前缘,2008,15(4):88-107. [Chen Yue-long, Li Dapeng, Zhou Jian, et al. U-Pb ages of zircons in western Qinling Mountain, China, and their tectonic implications [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 88-107.]
- [11] Weislogel A L, Graham S A, Chang E Z, et al. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China Blocks[J]. Geology, 2006, 34(2): 97-100.
- [12] 邓飞,贾东,罗良,等. 晚三叠世松潘甘孜和川西前陆盆地的物源对比:构造演化和古地理变迁的线索[J]. 地质评论,2008,54(4):561-573. [Deng Fei, Jia Dong, Luo Liang, et al. The contrast between provenances of Songpan-Garze and western Sichuan foreland basin in the Late Triassic: clues to the tectonics and palaeogeography [J]. Geological Review, 2008, 54(4): 561-573.]
- [13] 翟光明. 中国石油地质志[M]. 北京:石油工业出版社,1996:65-83. [Zhai Guangming. Petroleum Geology of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 65-83.]
- [14] 付金华,郭正权,邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报,2005,7(1):34-44. [Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin[J]. Journal of Palaeo-

- geography, 2005, 7(1): 34-44.]
- [15] 张峭楠,胡江奈,沙文武,等. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(4): 25-30. [Zhang Shaonan, Hu Jiangnai, Sha Wenwu, et al. The sedimentary characteristics of Yanchang Formation in Zhenyuan and Jingchuan area, southern part of Ordos Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(4): 25-30.]
- [16] 王志坤,王多云,郑希民,等. 陕甘宁盆地陇东地区三叠系延长统长6—长8储层沉积特征及物性分析[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 380-385. [Wang Zhikun, Wang Duoyun, Zheng Ximin, et al. Depositional characteristics and physical behavior analysis of the Chang 6-8 reservoir of Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Shanganning Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(5): 380-385.]
- [17] 郑希民,宋广寿,王多云,等. 陕甘宁盆地陇东地区长8油组厚层非均质砂体的沉积学解剖[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 272-277. [Zheng Ximin, Song Guangshou, Wang Duoyun, et al. Sedimentary anatomy of thick anisotropic sandstones for Chang 8 oil formation in Longdong area, Shaan-Gan-Ning Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 272-277.]
- [18] 邓秀芹,李文厚,刘新社,等. 鄂尔多斯盆地中三叠统与上三叠统地层界线讨论[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1089-1096. [Deng Xiuqin, Li Wenhou, Liu Xinshe, et al. Discussion on the stratigraphic boundary between Middle Triassic and Upper Triassic[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1089-1096.]
- [19] 刘学清,王彦春,龚幸林,等. 地震储层预测技术在AMH地区碳酸盐岩中的应用[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(8): 73-77. [Liu Xueqing, Wang Yanchun, Gong Xinglin, et al. The application of seismic reservoir prediction technology in AMH carbonate rocks[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(8): 73-77.]
- [20] 朱筱敏,信荃麟. 利用地震反射前积结构确定古水流体系[J]. 石油大学学报:自然科学版, 1989, 13(1): 9-14. [Zhu Xiaomin, Xin Quanlin. Application of seismic clinoform reflection to the determination of ancient flow system[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1989, 13(1): 9-14.]
- [21] 蒲仁海. 前积反射的地质解释[J]. 石油地球物理勘探, 1994, 29(4): 490-497. [Pu Renhai. Geological interpretation of progradational reflections[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1994, 29(4): 490-497.]
- [22] 李慧琼,蒲仁海,王大兴,等. 鄂尔多斯盆地延长组地震前积反射的地质意义[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(5): 985-996. [Li Huiqiong, Pu Renhai, Wang Daxing, et al. Progradational reflection from lacustrine Yanchang Formation in Ordos Basin, China[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(5): 985-996.]
- [23] 张金伟,王军,吴明荣. 利用地震前积反射特征确定古水流方向的沉积几何方法[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(5): 53-55. [Zhang Jinwei, Wang Jun, Wu Mingrong. A geometrical method of calculating paleocurrent direction using seismic progradation reflection characteristics[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(5): 53-55.]
- [24] Got H, Monaco A, Vittori J, et al. Sedimentation on the Ionian active margin (Hellenic arc)-provenance of sediments and mechanisms of deposition[J]. Sedimentary Geology, 1981, 28(4): 243-272.
- [25] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones[M]//Zuffa G G. Provenance of Arenites. NATO ASI Series. Dordrecht: Springer, 1985, 148: 333-361.
- [26] Morton A, Hurst A. Correlation of sandstones using heavy minerals: an example from the Stafford Formation of the Snorre Field, northern North Sea[C]//Dunay R E, Hailwood E A. Non-biostratigraphical Methods of Dating and Correlation. London: Geological Society Special Publication, 1995, 89: 3-22.
- [27] 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.]
- [28] 付玲,关平,赵为永,等. 柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2867-2875. [Fu Ling, Guan Ping, Zhao Weiyong, et al. Heavy mineral feature and provenance analysis of Paleogene Lulehe Formation in Qaidam Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(8): 2867-2875.]
- [29] 马收先,孟庆任,曲永强. 轻矿物物源分析研究进展[J]. 岩石学报, 2014, 30(2): 597-608. [Ma Shouxian, Meng Qingren, Qu Yongqiang. Development on provenance analysis of light minerals[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(2): 597-608.]
- [30] Serra O. 测井资料地质解释[M]. 肖义越,译. 北京:石油工业出版社, 1992: 153-155. [Serra O. Geological Explanation of Logging Data[M]. Xiao Yiyue, Trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 153-155.]
- [31] 周远田. 测井相分析简介[J]. 地质科技情报, 1992, 11(2): 89-93. [Zhou Yuantian. Facies analysis from wireline logs[J]. Geological Science and Technology Information, 1992, 11(2): 89-93.]
- [32] 陈钢花,王中文,王湘文. 河流相沉积微相与测井相研究[J]. 测井技术, 1996, 20(5): 335-340. [Chen Ganghua, Wang Zhongwen, Wang Xiangwen. Study of sedimentary microfacies of river facies and electrofacies[J]. Well Logging Technology, 1996, 20(5): 335-340.]
- [33] 杨凤丽,张善文,才巨宏,等. 曲流河砂体的沉积相、测井相、地震相研究及预测——渤海湾南部埕岛油田实例[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(2): 171-179. [Yang Fengli, Zhang Shanwen, Cai Juhong, et al. Research of sedimentary facies, logging facies and seismic facies of meandering sandbody and its prediction: An example of Chengdao area in south Bohai Sea[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1999, 34(2): 171-179.]
- [34] 常文会,赵永刚,卢松. 曲流河环境沉积微相和测井相特征分析[J]. 天然气工业, 2010, 30(2): 48-51. [Chang Wenhui, Zhao Yonggang, Lu Song. Features of sedimentary microfacies and electrofacies of meandering river deposits[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(2): 48-51.]
- [35] 李功强,赵永刚,陈利雯. 镇泾油田长8₁段储层测井相研究[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(5): 41-44. [Li Gongqiang,

- Zhao Yonggang, Chen Liwen. Research on Chang 8₁ member reservoir logging facies in Zhenjing oilfield [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2011, 25(5): 41-44.]
- [36] 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. [Zhao Yunxiang, Wang Jianfeng, Ding Xiong, et al. Provenance analysis of Upper Triassic Chang 9 reservoir in Ordos Basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(4): 7-13.]
- [37] 梁积伟, 肖丽, 高小林, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世早期物源分析 [J]. *西北地质*, 2008, 41(2): 81-86. [Liang Jiwei, Xiao Li, Gao Xiaolin, et al. Source analysis during the early late Triassic in Ordos Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2008, 41(2): 81-86.]
- [38] 聂永生, 田景春, 夏青松, 等. 鄂尔多斯盆地白豹—姬塬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. [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.]
- [39] 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. [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.]
- [40] 张新建, 张剑君. 富县探区延长组重矿物组合特征及地质意义 [J]. *新疆石油地质*, 2006, 27(1): 49-52. [Zhang Xinjian, Zhang Jianjun. Heavy minerals characters and geologic significance of Yanchang Formation in Fuxian exploration area, Ordos Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(1): 49-52.]
- [41] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化 [J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(3): 501-506. [Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2009, 39(3): 501-506.]
- [42] 杨留法. 试论介形虫生存的主要条件——以我国现代湖泊为例 [J]. *中国科学: B 辑*, 1986(11): 1220-1224. [Yang Liufa. Discuss the main conditions of ostracod survival-for example in Chinese modern lakes [J]. *Science in China: Series B*, 1986(11): 1220-1224.]
- [43] 杨仁超, 何治亮, 邱桂强, 等. 鄂尔多斯盆地南部晚三叠世重力流沉积体系 [J]. *石油勘探与开发*, 2014, 41(6): 661-670. [Yang Renchao, He Zhiliang, Qiu Guiqiang, et al. Late Triassic gravity flow depositional systems in the southern Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(6): 661-670.]
- [44] Bouma A H. *Sedimentology of Some Flysch Deposits; A Graphic Approach to Facies Interpretation* [M]. Amsterdam: Elsevier Publication, 1962.
- [45] 冯娟萍, 李文厚, 欧阳征健. 鄂尔多斯盆地黄陵地区上三叠统延长组 7、长 6 油层组浊积岩沉积特征及地质意义 [J]. *古地地质学报*, 2012, 14(3): 295-302. [Feng Juanping, Li Wenhou, Ouyang Zhengjian. Sedimentary characters and geological implication of turbidite of the Chang 6 and Chang 7 intervals of Upper Triassic Yanchang Formation in Huangling area, Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(3): 295-302.]

Provenance Direction and Sedimentary Facies of Chang7-Chang8 Members in Yanchang Formation of Jinghe Oilfield, Southwest Margin of Ordos Basin

PAN Jie¹, LIU ZhongQun², PU RenHai¹, ZHOU SiBin², FAN JiuXiao², LIU YiNan¹

1. State Key Laboratory of Continental Dynamics/ Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2. Research Institute of Exploration and Exploitation, North China Branch of SINOPEC, Zhengzhou 450006, China

Abstract: Based on the studies of the progradation reflections on 3-D seismic data, the matrix mineral assemblages and the heavy mineral assemblages in sandstone cores and the shape of the gamma-ray curves of sandstone, we concluded that the provenance of Chang 7-Chang 8 members in Jinghe oilfield mainly came from the magmatic rocks and metamorphic rocks area which are located in the southwest of the Ordos basin, and the provenance of Zhengning area might come from the south. Cores and logging analysis show that the sandstone of Chang 7₂ member is turbidite sandstone reservoir, which developed nine turbidite water channels or lobate turbidite fans in NE direction. The Chang 8₁ member is a water-transgression sedimentary process from fluvial facies to semi-deep lake facies, which developed three water channels in NE direction and one in NS. The Chang 8₁² member is a shore-shallow lake facial-fluvial facial deposition, which developed underwater distributary channel sandstone; the Chang 8₁¹ member developed the water-transgression delta distributary channel sandstone under the background of shallow lake to the semi-deep lake facial deposition.

Key words: Jinghe oilfield; provenance direction; Chang 7-Chang 8 sedimentary facies; separation of the heavy minerals; progradation reflection