

东濮凹陷东南部沙三段三角洲 沉积体系与油气关系

朱筱敏 信荃麟 傅守平

(石油大学)

夏长淮 施瑞亭

(中原油田勘探公司)

本文综合利用地质、测井和地震信息,研究了东濮凹陷东南部沙三段马厂三角洲沉积体系的基本特征,认为徐集浊积扇是由马厂三角洲前缘沉积物滑塌而成,构成具有成生联系的三角洲-滑塌浊积扇沉积体系。并进一步描述了三角洲各亚相、浊积扇在地质、测井和地震反射上的特征。在分析油气富集原因的基础上指出油气勘探的方向。

关键词 东濮凹陷 沙河街组 三角洲沉积 浊积扇

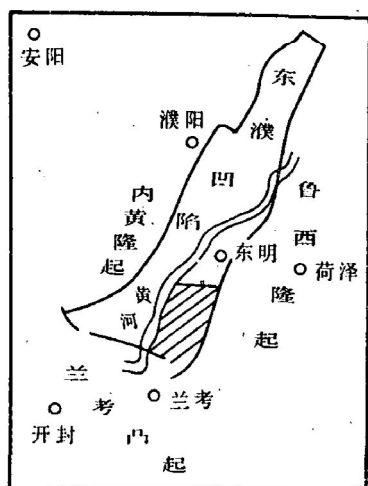


图1 研究区(阴影区)位置图

东濮凹陷是渤海湾盆地南端的中新生代箕状断陷盆地。凹陷东侧以兰聊基底断裂为界,与鲁西隆起上的菏泽凸起相邻;西为内黄隆起,南靠兰考凸起,北与莘县凹陷相通。凹陷北窄(14—16 km)、南宽(62 km),呈北北东向展布。本文研究区位于东濮凹陷东南部(图1),西以黄河为界,分布面积近800 km²。研究区下第三系沉积东厚西薄发育齐全,最厚处可达5000余米。地层特征相似于东濮凹陷北部,但缺少盐岩沉积。下第三系沉积可以划分成三个沉积旋回,即沙四段、沙三-沙二段和沙一段-东营组。研究层沙三段属中间旋回,以发育互层砂泥岩为特征,可进一步划分成四个次级亚段。本文着重研究下部的三个亚段,即二亚段(Es_3^2)、三亚段(Es_3^3)、四亚段(Es_3^4)。

70年代早期,在研究区内就开展了钻井、地震勘探工作,至今已钻探井约70口,完成地震测线3500 km,其中数字测

线约500 km,地震测网密度已达 0.75×1 km。这些基础资料为研究地层特征、构造发育、沉积体系展布及油气藏类型提供了基础。通过对研究区约80口钻、测井(包括部分开发井)资料的分析,对28口取心井(岩心长881 m)的观察研究,对总长约3500 km的多种类型地震剖面的追踪对比,确定了沙三段存在三角洲沉积体系。

一、三角洲沉积体系的基本特征

研究区三角洲沉积体系位于马厂、三春集地区,因此常称马厂三角洲。马厂三角洲南靠兰考凸起,东侧为箕状凹陷的陡坡区,水体较深,发育近岸水下扇沉积体系;马厂三角洲西侧为凹陷的中央隆起带,北侧为本区的生油洼陷——葛岗集洼陷。三角洲平行凹陷长轴向北推进,延伸长度可达35 km,宽度大于15 km。为大型河控长轴三角洲,总体显示湖退序列,厚度350—890 m。在自然电位曲线上,自下而上异常幅度增加;在平行三角洲长轴方向的地震剖面上,显示大型的S型前积反射结构,向湖盆中央前积层序厚度加大,局部可见斜交前积反射结构。在垂直三角洲长轴方向的地震剖面上丘形反射不太明显。马厂三角洲在沙三段持续发育,自南而北分布有三角洲平原、前缘和前三三角洲(或称为前缘斜坡)。由于陆源物充足供给,快速向前推进,造成三角洲前缘沉积物陡倾于湖盆中央,当沉积界面超过其安定角时,前缘沉积物就会向前滑塌,在湖盆中央的较深水区(本区的徐集、葛岗集地区)形成可用鲍玛序列描述的浊积砂透镜体,构成三角洲-滑塌浊积扇沉积体系。滑塌浊积扇在平面上呈椭圆形、扇形,在剖面上呈透镜状。在S型前积反射的前方,浊积扇显示丘形、透镜状反射结构,或显示前积反射前方的层序厚度加大。马厂三角洲的进积和横向迁移造成了多个浊积扇的垂向叠加和横向连片,构成徐集滑塌浊积扇复合体。

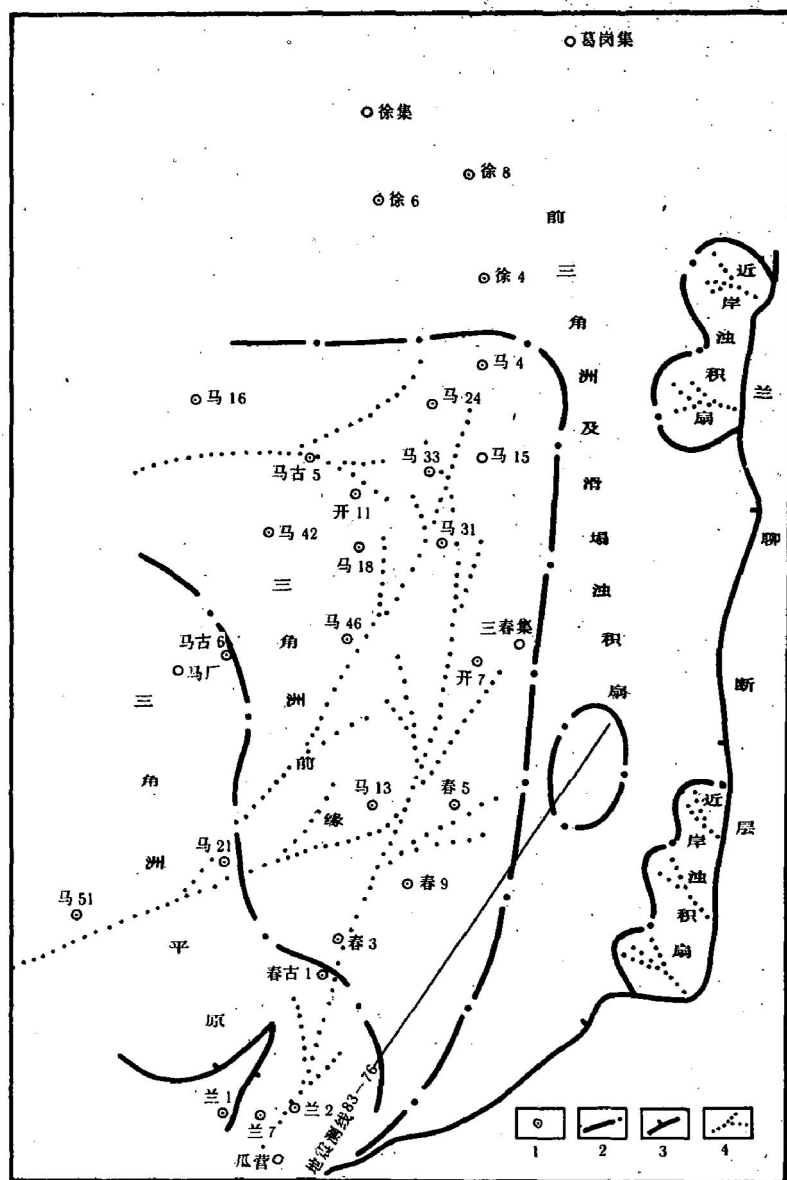
二、三角洲沉积体系的沉积特征

马厂三角洲沉积体系包括位于前三三角洲中的徐集滑塌浊积扇。合适的古地理背景、充足的陆源碎屑物质供给,使得马厂三角洲-滑塌浊积扇沉积体系具有沉积厚度大、分布范围广、持续发育的特征。

(一) 三角洲平原沉积特征

主要分布在研究区马厂以南、爪营等地区(图2)。岩性为灰绿色、棕红色泥岩和浅灰色、灰绿色粉砂岩,中、细砂岩及砾岩间互层。马厂三角洲泛滥平原微相中的灰绿色、棕红色泥岩与河道微相中的浅灰色粉砂岩,中、细砂岩及砾岩在垂向上构成下粗上细的正韵律,韵律厚度3—8 m,上部泥质单元厚度略小于下部砂、砾岩单元厚度(图3A)。沉积构造发育,在序列上部灰绿色泥岩及灰色泥岩中见水平层理、生物钻孔,以及较完整的蚌、螺化石;在棕红色泥岩中见较多的碳屑和直立植物根。在序列下部粉砂岩中发育波状交错层理及S形单向前积斜层理;在中、细砂岩中发育层系厚度约2 cm的板状交错层理及平行层理;序列底部砾岩与下伏层呈冲刷接触或粒度突变接触,其中砾石一般小于0.5 cm,砾石整体显示混杂结构,但局部可见不清晰的斜层理和砾石叠瓦状排列构造(图版1-1)。序列由下到上,沉积构造有序变化(图3A),反映水动力强度向上减弱的特征。

马厂三角洲平原的粉砂岩和中、细砂岩成份成熟度较低,石英含量52—80%,长石15—35%,岩屑6—10%,泥质3—18%。结构成熟度较高,分选中等—较好,颗粒次棱—次圆状,多为接触-孔隙式胶结。少见电气石、石榴子石等重矿物。平原河道的概率图显示为由跳跃和悬浮总体构成的两段式(图4A),跳跃总体含量70—80%,斜率60—65°;悬浮总体含量10—20%。与其对应的砂岩中常发育板状交错层理和S形单向前积斜层理,反映了河道内牵引

图2 东濮凹陷东南部 E_{3s} 沉积相图

1—井位, 2—相边界, 3—断层, 4—水流流向

化石有卵形拱星介、博兴假玻璃介、肥实美星介、细纹纹星介、惠东华北介、中国华北介等。主要发育两种前缘砂体, 即靠近三角洲平原的河口砂坝和接近前三三角洲的远砂坝。

河口砂坝是三角洲沉积中沉积物堆积较快的地区, 沉积物不但受河流作用的控制, 而且受潮浪的改造。河口砂坝由浅灰色粉、细砂岩构成, 间夹薄层(一般小于 10 cm)泥岩或下伏

流较强的特征。在砂砾中很少见生物化石, 但在泥岩中可见到卵形拱星介、纹星介、玻璃介、假玻璃介、金星介、肥实美星介等化石。

马厂三角洲平原沉积物的自然电位曲线响应, 反映了三角洲平原垂向正韵律特征, 自下而上异常幅度降低。平原河道显示为微齿化的箱形, 顶底界均近于突变接触(图 5)。在平行三角洲沉积倾向的地震剖面上, 三角洲平原响应于中振幅、中连续平行反射结构和亚平行反射结构, 向湖盆中央过渡为前积反射结构。

(二) 三角洲前缘沉积特征

马厂三角洲前缘是研究区三角洲沉积最活跃的部位, 沉积厚度大(E_{3s}砂厚达 140 m)、分布广、延伸远(可达 20 km)(图 2)。马厂三角洲前缘沉积物成份成熟度偏低, 石英含量 60—75%, 长石 20—34%, 岩屑 5—12%, 泥质 3—9%。颗粒次棱—次圆状, 分选中—好, 见有鲕粒, 多为孔隙式胶结, 少为接触式胶结。常见的介形虫

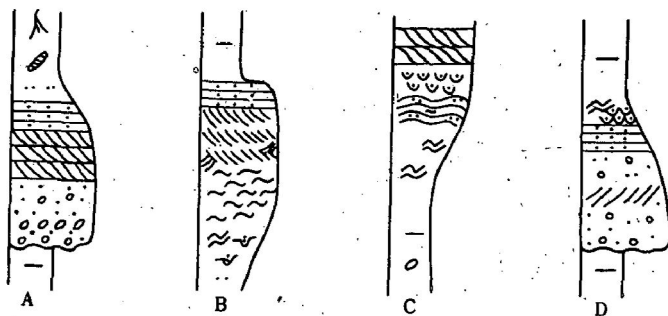


图3 三角洲和浊积扇沉积垂向序列

A—平原河道, B—前缘河口坝, C—前缘远砂坝, D—滑塌浊积扇

厚层泥岩，从而在垂向上构成上粗下细的反韵律（图3B），韵律厚度1.5—4 m。在粉、细砂岩中发育大型交错层理（图版I-2）及平行层理；在粉砂岩、泥质粉砂岩中见有较多的波状交错层理和小型单向斜层理；在粉砂岩与泥岩的间互层中发育包卷层理、波状层理、变形层理；泥岩和粉砂质泥岩中见有砂岩岩脉、水平与倾斜的虫孔以及定向排列的碳屑。上述沉积构造不但反映了河口砂坝部位较强和复杂的水动力条件，而且也反映了河口砂坝沉积的不稳定性。

河口砂坝的粒度概率图由悬浮和跳跃总体构成，但发育过渡带（图4B）。悬浮总体含量20—30%，粒度分布范围为2—3 ϕ ，斜率65°；过渡带含量高（可达40%），但粒度分布范围窄（3—3.6 ϕ ）；悬浮总体含量为15—25%。这种概率图常对应于槽状交错层理、波状交错层理发育的粉砂岩，

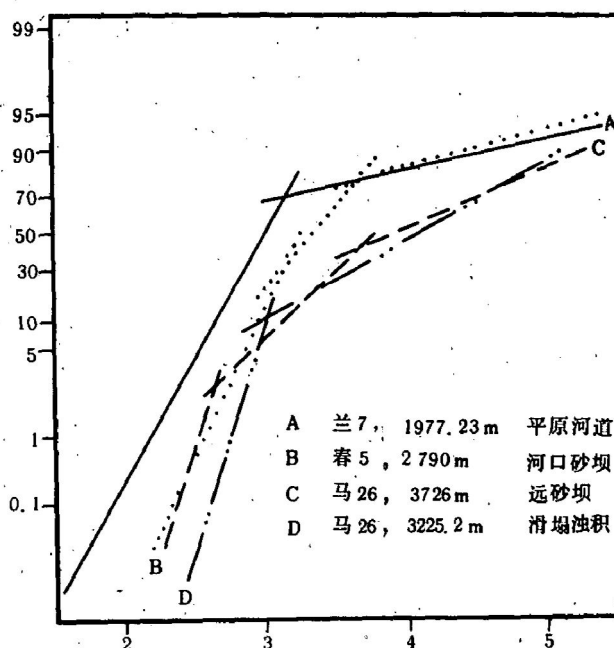


图4 三角洲和浊积扇沉积概率图

A—平原河道，兰7，1977.23 m；B—河口砂坝，春5，2790 m；
C—远砂坝，马26，3726 m；D—滑塌浊积扇，马26，3225.2 m

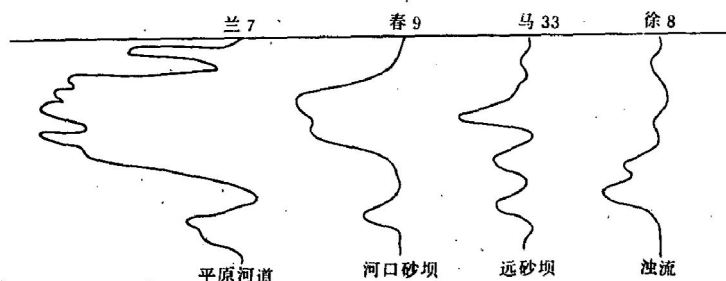


图5 三角洲和浊积扇沉积的自然电位曲线特征

同时，高含量的过渡带也反映了湖浪较强烈地改造作用。

河口砂坝的自然电位曲线，整体显示漏斗状，往上异常幅度增大（图5B）。在平行三角洲沉积倾向的地震剖面上，河口砂坝的地震反射主要位于前积反射顶超点或上倾拐点附近。

远砂坝离河口部位较远，河流作用减弱，湖浪作用加强。岩

性为互层的灰色泥岩、粉砂质泥岩和浅灰色粉砂岩及细砂岩，它们在垂向上构成厚度2—3 m频繁出现的反韵律层（图3C）。序列下部灰色泥岩、粉砂质泥岩中见小型波状交错层理、微倾斜的虫孔、砂岩岩脉以及无定向排列的碳屑；在互层的泥岩和粉砂岩中发育众多的变形层理、枕球构造，也具有过渡性层理——波状、透镜状和脉状层理；在粉砂岩中具有小型板状交错层理，S形纹层，顶面见有波高1 cm、波长3.5 cm、峰谷均圆的波痕，反映了缓慢的水流作用。在不常见的细砂岩中可见小型槽状交错层理（图版I-3）、平行层理，或细砂岩呈块状与下伏泥岩层粒度突变接触，并含有下伏层的泥砾，这反映了在某个沉积时期受洪水或较强水流作用，较粗粒沉积物搬运到了三角洲前缘远端部位。

远砂坝的粒度概率图由悬浮和跳跃总体构成并发育过渡带（图4C）。与河口砂坝概率图相比，远砂坝概率图中悬浮总体含量较高、过渡带粒度展布较宽、跳跃总体含量较低。跳跃总

体一般含量为5—10%，最高不超过30%，粒度分布范围窄；过渡带含量25—30%，粒度分布范围为 $2.7-3.7\phi$ ；悬浮总体含量可高达40%。这种粒度分布特征反映了在远砂坝部位河流作用减弱，湖浪作用加强的特点。

自然电位曲线除了显示整体反韵律特征外，也反映了砂泥岩薄层间互的特点，砂岩单层自然电位曲线呈正向或对称指形（图5）。在平行三角洲沉积倾向的地震剖面上，砂泥岩薄互层的远砂坝响应于中振幅、中连续的、向湖盆中央倾斜的平行反射结构，位于S形前积反射下倾拐点附近，向前过渡为前积反射的主体部位。

（三）前三三角洲沉积特征

马厂前三三角洲沉积为质较纯的灰色、灰黑色块状泥岩，局部见有水平纹层，含较深水的古生物化石。自然电位曲线显示为平直的基线；地震剖面对应于前积反射结构的主体部位。然而，这些泥岩沉积中部发育有能用鲍玛序列描述的滑塌成因的浊积扇。因此，本节着重描述滑塌浊积扇的沉积特征。

滑塌成因的浊积扇小规模地分布于前三三角洲泥质沉积物中（图6）。常见的岩性为灰色泥岩、泥质粉砂岩和浅灰色粉砂岩、含砾粉砂岩及细砂岩。它们构成砂泥频繁间互的正韵律，韵律厚度变化于5—180 cm之间。质纯灰色泥岩厚度变化较大，薄者1 cm，厚者1 m以上，这反映了滑塌作用在不同沉积时期的频度不同。

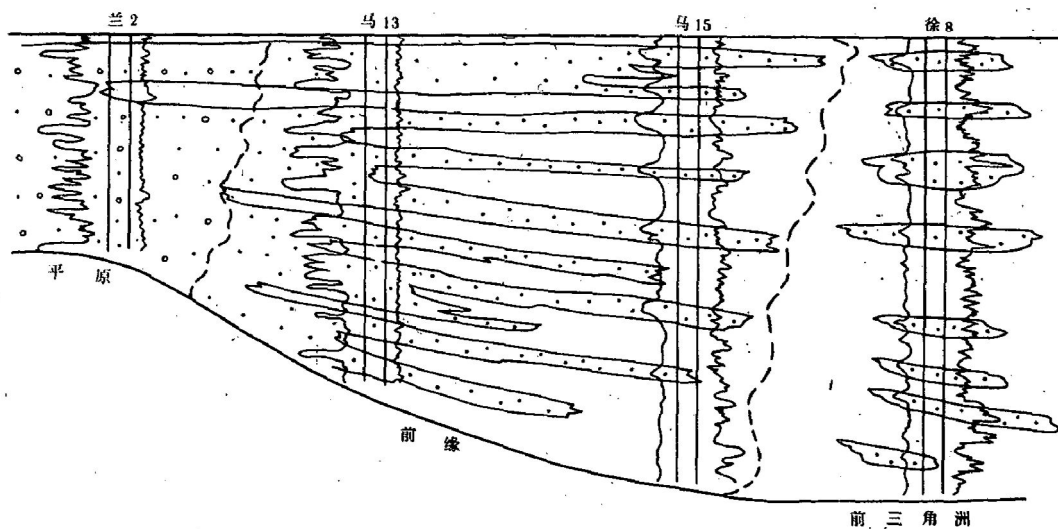


图6 研究区 E_{3s1} 沉积相剖面图

研究区滑塌浊积岩中鲍玛序列发育，常见的组合类型有AB、ABE、ACE、AE，未见完整的鲍玛序列，并且不发育鲍玛序列中的D段（图3D）。序列中A段，为含砾粉砂岩具递变层理或块状层理，厚度3—130 cm，与下伏泥岩突变接触。泥砾杂乱分布，最大泥砾 0.5×2 cm（图版1-4）。泥砾磨圆状或撕裂状，并见有原始纹层。有时可在A段含砾粉砂岩中见有不太清晰的斜纹层，这种特征反映了滑塌浊积的快速沉积作用，但时而水流又具牵流性质。B段粉砂岩厚度8—30 cm，显示平行层理，并含下伏泥岩层的泥砾。C段是厚度10—30 cm的粉砂岩、泥质粉砂岩，发育波状层理、变形层理、生物扰动，特别是小型板状交错层理、槽状交错层理以及波纹状单向斜层理，说明在浊流快速卸载后，向牵流过渡和转变，从而形成牵

引水流成因的多种类型的交错层理以及反映滑塌的变形层理。E段厚度大于1cm,由灰色泥岩组成,可见生物爬迹和近于水平的虫孔(图3D)。

滑塌浊积扇沉积物继承了三角洲前缘沉积物的特点。成份成熟度较低,石英含量65—90%,长石8—30%,岩屑2—5%,泥质含量变化大,为3—28%,这是前缘沉积物滑塌过程中,前缘砂与泥混合的结果。浊积扇沉积物分选差一好,颗粒次棱角状,为孔隙-基底式胶结。见有与三角洲平原、前缘相似的重矿物电气石、矽灰石、柘榴子石、锆石。

粒度概率图显示浊积砂的粒度分布特征(图4D)。跳跃总体含量约10%,斜率75°,悬浮总体发育,含量达60%,粒度分布范围宽(3—5.5 ϕ),反映滑塌沉积物悬浮搬运、快速沉积的特征。在浊积沉积物中,除含有浅水形成的以石英砂为核心的表鲕、胜利狭口螺、扁平高平螺等生物碎片外,还有反映深水沉积的中国华北介、湖花介、鱼鳞等。

滑塌浊积砂的自然电位曲线为在暗色泥岩平直基线背景上出现的钟形、指形(图5),自下而上泥质含量增加、异常幅度降低,反映了浊流沉积的正韵律特征。在平行三角洲沉积倾向的地震剖面上,在前积反射结构的前方或下方,浊积扇显示丘状充填反射结构,或者表现为层序厚度明显增加。

三、马厂三角洲沉积体系的演化

在沙三段沉积时期,马厂三角洲表现出相对的稳定性,它是沉积物供给、沉积速度与盆地沉降速率相近的产物。但在沙三段沉积的不同亚段时期,三角洲沉积的主要物源供给方向、砂岩主要发育区以及滑塌浊积扇的展布状况发生规律性的变化。沙三段沉积时期,马厂三角洲沉积区的东部为凹陷陡坡较深水区,北方为湖盆深洼区,西部为中央隆起带较浅水区,西南、南部为古隆起区,兰11井与兰7井之间为一伸入凹陷的小凸起(图2)。马厂三角洲就是在这样一个古斜坡的背景下沉积的。

四亚段(Es_4^1)沉积时期,提供大量沉积物的主流线来自研究区南部的爪营方向,主水流进入盆地后,顺春9、春5、马15和徐4井连线方向流动,沉积了厚达140m的砂岩。在主流线西侧,来自南西、南西西方向的次水流自兰11、马51、马16井处进入盆地,并在三春集西侧发生多次分叉合并,最后流入主流线的流经区。在次要水流经过的地区,沉积了相对较薄的砂岩。三角洲前缘沉积砂最厚达82m,平原沉积砂最厚达67m。在主流线东侧,有明显的水流体系为马厂三角洲提供丰富的沉积物(图2)。马厂三角洲主要由3个朵叶组成,朵叶边缘较平整后部宽,前部(前三角洲方向)窄。前三角洲部位的滑塌浊积扇平面上呈椭圆状分布于徐4井区,沉积砂厚达100m。

三亚段(Es_3^1)沉积时期,古水流体系展布的位置大体与 Es_4^1 时期相似,但主流线位置发生了明显迁移。 Es_4^1 时期来自爪营方向的主水流在 Es_3^1 时期转变为次要水流,并与来自西南方向马51井处的次要水流在马13井处汇合,三角洲前缘沉积砂体最大厚度为74m,平原砂体最大沉积厚为68m,三角洲朵叶向湖内延伸约15km。 Es_3^1 时期的主水流来自马古6井西侧和马16井西南方向,它们携带大量沉积物顺坡而下,向盆地进积至少20km。主流线不断分叉,在平面上形成广布于马古6、马30、马16、徐4井区的鸟足状沉积体。三角洲前缘砂最大沉积厚度为160m。由于 Es_3^1 时的沉积物供给丰富,滑塌成因的浊积扇向北推进到葛岗集地区(图2)。

二亚段(E_{s2})沉积时期是马厂三角洲较发育的一个时期。提供陆源碎屑物质的古水流没有明显的主次之分。来自爪营方向的古水流进入湖盆后,顺春3、马30、徐4井连线方向延伸,来自马51井西侧的古水流进入湖盆后,在马13井处与来自爪营方向的古水流汇合并流向湖盆中央;来自马16井西侧的古水流在马33、马24井区与来自爪营、马51井方向的水流再次汇合,从而形成砂岩分布广、延伸远、沉积厚(砂厚达114 m)的长轴三角洲(图2)。这个三角洲明显地受河流作用控制,由于古地形的限制,几支水流只能沿盆地长轴方向流动,形成朵叶状三角洲。在前三角洲沉积区,发育滑塌成因的浊积扇,它们在横向上连片、垂向上叠加,形成沉积厚度和沉积范围均较大的浊积扇复合体(图2, 6)。

四、与油气关系

东濮凹陷是油气十分富集的断陷盆地。位于马厂三角洲北侧的葛岗集次洼以及东侧的固阳次洼是本区良好的生油洼陷。马厂三角洲沉积体系位于这两个生油次洼之间,处于油气运移的上倾方向。同时马厂三角洲持续稳定发育,砂层厚、分布广、泥质含量相对少,又有同生断层的遮挡作用,易形成丰富的油气藏。由三角洲前缘滑塌而成的浊积扇位于葛岗集生油洼陷之中,油气最易优先进入浊积砂层形成岩性油气藏。勘探开发表明,在马厂三角洲沉积体系的平原、前缘以及前三角洲内的浊积砂体之中均发现了丰富的油气聚集,特别是马厂以北的马11、马42井区最为丰富并已投入开发。这个地区为马厂三角洲前缘砂发育区,单层厚度大(一般砂厚3.5 m,最厚者达19 m)。作为盖层和侧向封堵层的泥岩厚度大,又有同生断层的良好配置,并且储层的储集性能好,孔隙度达20%,渗透率达 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因而油气富集,单井日产量高达160 t以上。在马厂三角洲砂层较薄的部位,储层物性变差、油气日产量下降。就目前油气勘探情况来看,研究区是个复杂的油气富集区,勘探程度还较低,至今仅发现油气资源量的很少一部分。在今后的勘探中,应首先寻找那些砂层厚度大、分布广、近油源、邻近泥岩,且断层起有效封堵作用的地区进行钻探。应加强徐集滑塌浊积砂、三春集前缘砂、爪营平原砂的勘探工作,在准确确定断层组合、圈闭分布的基础上,可望发现断层、岩性复合油气藏。另外,研究区东部兰聊断层下降盘一侧的近岸浊积砂体也不失为有利的勘探区。

结 论

1. 沙三段沉积时期,东濮凹陷东南部发育三角洲-滑塌浊积扇沉积体系。三角洲为河控长轴三角洲,规模大、延伸远、持续发育。当快速沉积的三角洲前缘沉积物超过其安定角时形成滑塌型浊积扇。

2. 滑塌浊积扇是以三角洲前缘沉积物作为线状物源。因而,浊积扇的成份、粒度都与三角洲前缘砂相似。三角洲的物质供给和活动范围控制了浊积扇的大小和分布,三角洲的迁移造成浊积扇体横向连片、垂向叠加,形成浊积扇复合体。

3. 在自然电位曲线上,三角洲砂体自下而上表现为平直基线—漏斗形—箱形或钟形,整体显示反韵律;在大段暗色泥岩平直基线背景上,浊积砂表现为齿化的指形或钟形。在地震剖面上,三角洲沉积体响应于S形前积反射结构,浊积扇响应于前积反射前方的丘状反射或

表现为层序加厚。

4. 三角洲-浊积扇沉积体系是油气聚集的有利场所。研究区爪营三角洲平原、三春集三角洲前缘、徐集浊积扇及兰聊断层下降盘的近岸水下扇是寻找油气的有利地区。

参 考 文 献

- [1] 信基麟、朱筱敏、郑 清等, 1988, 三角洲-滑塌浊积扇沉积体系。碎屑岩沉积相研究, 石油工业出版社。
- [2] 朱筱敏、信基麟, 1987, 华东石油学院学报, 第1期。
- [3] Berg, O. R., 1982, AAPG Bull, Vol. 66, No. 9, P. 1271—1288.

RELATIONS BETWEEN DELTA DEPOSITIONAL SYSTEM OF E_{s3} , SOUTHEAST DONGPU DEPRESSION, AND HYDROCARBON RESOURCES

Zhu Xiaomin Xin Quanlin Fu Shouping

(*Petroleum University*)

Xia Changhuai Shi Ruiting

(*Exploration Company, Zhongyuan Oilfield*)

Abstract

Applying the geological, well-logging and seismic information, this paper studies the basic features of Machang delta depositional system of E_{s3} in southeast Dongpu Depression. It is considered that Xuji turbidite fan was formed by the slumping of front sediments of Machang delta, thus constituting a delta-slumping turbidite fan system that is connected to each other in origin. The paper also proposed the target for hydrocarbon prospecting in future based on the analysis of the cause of hydrocarbon enrichment.