

文章编号:0253-9985(2010)05-0594-08

渤海湾盆地东辛油田沙三中亚段重力流沉积砂体类型及含油性

陈秀艳, 师晶, 徐杰

(中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要:渤海湾盆地东辛地区沙河街组三段中亚段沉积时期, 深湖-半深湖中发育大量重力流沉积。根据岩心、测井及地震等资料综合分析, 将重力流沉积划分为4种砂体类型, 即与三角洲前缘滑塌相伴生的坡移堆积体、滑塌浊积扇、远源浊积岩以及洪水成因的水下碎屑流, 并建立了该区重力流沉积模式。进一步通过油源、物性及圈闭条件对比研究, 对各种砂体类型的含油性进行分析, 认为滑塌浊积扇和部分远源浊积岩含油性好于坡移堆积体和水下碎屑流。

关键词:重力流沉积; 砂岩类型; 沉积模式; 含油性; 东辛油田; 渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Types and oil potential of gravity flow sandbodies in the middle Es³ of Dongxin oilfield, the Bohai Bay Basin

Chen Xiuyan, Shi Jing and Xu Jie

(School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Gravity flow deposits were widely developed in deep-and semi-deep lakes during the deposition of the middle Es³ in the Dongxin area, the Bohai Bay Basin. An integrated analysis on core, logging and seismic data reveals that the gravity flow deposits can be classified into four types of sandbody, namely they are slope cumulate complex associated with delta front slump, slump turbidite fan, distal turbidite, and subaqueous debris flow deposits of flood origin. A gravity flow sedimentary model was also built up for the area. Oil potentials of various types of sandbodies are analyzed based on comparative studies of oil source, physical properties and trap conditions in the area. It is pointed out that oil potentials of slump turbidite fans and parts of the distal turbidite are higher than that of slope cumulate complex and subaqueous debris flow.

Keywords: gravity flow deposit, sandstone type, sedimentary model, oil potential, Dongxin oilfield, Bohai Bay Basin

重力流沉积是深水环境下的重要沉积类型, 一般由沉积物与水的混合物在重力作用下发生顺坡运动所形成, 它属于块体流的一种^[1]。

现代重力流理论认为, 滑移、滑塌、碎屑流、浊流等都属于重力流体系, 可在一定的坡度和触发作用下发育。依据不同的标准, 重力流有不同的分类方案。按其结构特征, 可分为碎屑流沉积、颗粒流沉积、液化流沉积和浊流沉积; 按照不同的沉积环境和位置, 可划分为近岸水下扇、湖底扇、滑塌浊积岩和沟道沉积等^[2]。在东辛油田沙三(沙

河街组三段) 中亚段发育的重力流沉积按照沉积物质来源和成因, 可划分为与三角洲前缘相伴生的重力流沉积和洪水成因的水下碎屑流沉积。

1 区域地质概况

东辛地区位于东营凹陷中央断裂背斜带中东段, 三面邻洼, 北邻民丰洼陷、西邻利津洼陷、南邻牛庄洼陷(图1)。研究区内沙三段, 可分为上、中、下3部分, 沙三下亚段以泥岩及油页岩为主;

收稿日期: 2010-07-01。

第一作者简介: 陈秀艳(1979—), 女, 博士研究生, 矿产普查与勘探。

基金项目: 国家科技重大专项(2009ZX05009-002); 教育部“长江学者与创新团队发展计划(IRT0864)。



图 1 研究区构造位置示意图

Fig. 1 Sketech map showing the location of the study area

沙三中亚段主要是深灰色厚层泥岩,夹少量细砂岩、粉砂岩;沙三上亚段发育块状细砂岩、粉砂岩、泥岩及页岩。

沉积分析表明,沙三中亚段沉积时期,东营三角洲的水系范围不断扩大达到鼎盛期,并推进到了东营凹陷的深洼区^[3],其中,东营三角洲东北分支在该时期延伸进入东辛地区,充足的物源供给受到同生断层的影响,发生滑塌再沉积作用,导致形成该区特色的三角洲-重力流-深湖沉积体系。根据层序理论分析,可划分为 8 个期次旋回,从下至上发育 8 个准层序组 PS8 - PS1。

2 重力流沉积砂体成因类型及特征

研究区内沙三中亚段重力流沉积砂质来源主

要为三角洲前缘沉积物和少量洪水沉积,因此,可划分为两大类,进一步按照砂体沉积组构细分为 4 种砂体类型。

2.1 与三角洲前缘相伴生的重力流沉积体

沙三中亚段沉积时期,东营三角洲快速进积,其前积体坡度不断加大,尚未完全固结的沉积物处于欠稳定状态,一旦超过临界角或有触发机制作用,三角洲前缘部分就会发生滑塌再沉积。这一过程可划分为 4 个沉积阶段,即沉积物积累阶段、触发机制作用下滑移沉积阶段、滑塌变形沉积阶段、浊流沉积阶段^[4],相应发育正常三角洲前缘砂体、坡移堆积体、滑塌浊积扇和远源浊积岩(图 2),后面 3 种类型为重力驱动作用的产物。

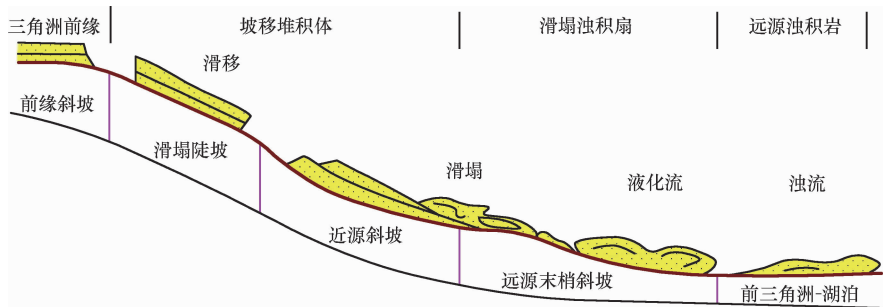


图 2 与三角洲前缘相伴生的重力流沉积过程及砂体类型划分(据 Shanmugam,1992 修改)

Fig. 2 Depositional process and sandbody types of gravity flow deposits associated with delta front (Modified from Shanmugam,1992)

2.1.1 坡移堆积体

坡移堆积体是三角洲前缘快速沉积,受触发机制影响,由于不稳定而垮塌、滑移搬运至近源斜坡沉积下来所形成的事件堆积物。

该类砂体岩性以块状砂岩、泥质砂岩和粉砂岩为主,多夹于灰色砂质泥岩或泥岩中。坡移堆积体中垮塌混杂堆积,搅混构造发育(图 3a,b)。搅混构造是沉积物沿斜坡下滑,特别是沿砂、泥岩界面滑动过程中,彻底破坏了滑动面附近沉积物的原沉积构造,砂质层和泥质层被搅乱混杂到一起所形成的一种沉积构造。由于坡移堆积体距离三角洲前缘较近,在沉积前仅经历了垮塌和滑移的过程,因此,未发生流体液化及相分异作用,很少发生层内塑性变形,故保留了三角洲前缘沉积的一些特点。电测曲线形态表现为中高幅指形及漏斗形组合(图 3c)。地震剖面上为丘形波状或杂乱反射特征(图 3d)。工区中部辛 170 井准层序组 PS4 - PS7 发育典型坡移堆积体,埋深 2 885 ~ 3 050 m,岩性以灰色细砂岩和泥质砂岩为主(图 3c)。

2.1.2 滑塌浊积扇

滑塌浊积扇是三角洲前缘沉积物滑塌形成液化流再次搬运至前方远源斜坡处沉积而成,距离三角洲前缘相对较远,其砂体形态为扇状朵叶或透镜状。

滑塌浊积扇岩石类型主要为灰色细砂岩、粉砂岩和泥质砂岩,沉积构造主要为滑塌变形层理、包卷层理、粒序层理、火焰构造、泥岩撕裂屑等^[5](图 4)。粒度概率累积曲线有 3 种,即弧形两段式、低斜两段式和三段式,其中以平缓向上拱起的弧形两段式为主,跳跃和悬浮组分间存在较明显的递变悬浮过渡段^[6]。测井曲线主要为齿化钟形、指形。地震剖面上一般呈透镜形或丘形^[7,8](图 5)。

滑塌浊积扇在搬运沉积过程中发生相分异,岩相类型包括含褐色泥砾的含砾砂岩相,含透镜砂体的灰色砂质泥岩相,递变层理的灰色中细砂岩相,变形层理、包卷层理及火焰构造发育的灰色细砂岩相,夹砂质条带的深灰色泥岩相等。规模较大的砂质朵叶可划分为内扇、中扇和外扇 3 个亚相。

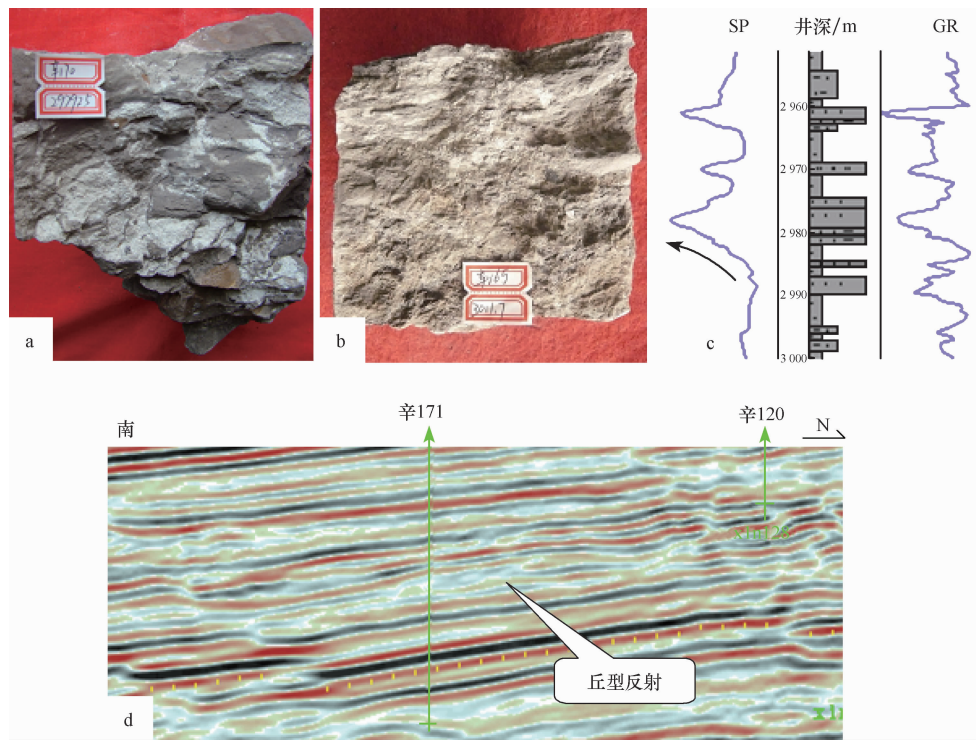


图 3 东辛油田沙三中亚段坡移堆积体识别标志

Fig. 3 Identification marks for slope cumulate complex in the middle Es³ of Dongxin oilfield

a,b. 垮塌混杂堆积及搅混构造;c. 辛 170 井,坡移堆积体漏斗形测井曲线;d. 地震剖面中-弱振幅,较连续,丘形波状反射



图4 东辛油田沙三中亚段岩石照片

Fig. 4 Photos of rocks in the middle Es³ of Dongxin oilfield

a. 泥岩撕裂屑;b. 火焰构造;c. 递变层理;d. 变形层理

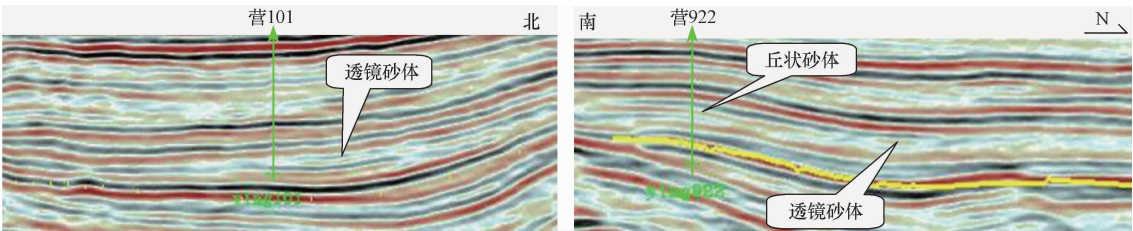


图5 东辛油田沙三中亚段滑塌浊积扇地震反射特征

Fig. 5 Seismic reflectance signatures of slump turbidite in the middle Es³ of Dongxin oilfield

滑塌浊积扇是沙三中亚段最主要的砂体类型,各准层序组均发育,并且沙三中亚段下部较上部发育。平面上主要分布在工区西部,营 93,营 6,营 2,营 11 等井区较为典型。其中,营 11 井 2 900~3 200 m 连续发育多层滑塌浊积砂,岩性以深灰色粉细砂岩为主,形成该区最大的滑塌浊积扇岩性油藏。

2. 1. 3 远源浊积岩

远源浊积岩是三角洲前缘滑塌浊积扇的沉积物与水混合稀释形成浊流,携带搬运直至湖泊平坦地区沉积下来所形成的经典浊积岩,是指具有鲍玛

序列的浊积岩^[9]。岩性为极薄层的砂岩或粉砂岩。由于远源浊积岩沉积物质来源于三角洲前缘及滑塌浊积扇,本身缺少砾石及粗砂等沉积物,并且在浊流演化过程中,部分粗碎屑的堆积,导致鲍玛层序不完整,缺少 A、B 段粗尾粒序层^[10,11],常见 CDE 或 DE 段砂泥互层段,以具有波纹层理和变形层理的粉、细砂岩(C 段)和砂质泥岩(D 段)为主,还可见透镜状层理(图 6)。

远源浊积岩也是沙三中亚段主要的砂体类型,营 922,营 891,营 101 等井区较为典型。工区西部的营 922 井见典型的鲍玛序列 CDE 段(图 6),岩性以灰色粉砂岩为主,局部含油。



图6 东辛油田沙三中亚段远源浊积岩鲍玛序列

Fig. 6 Bouma sequence of distal turbidite in the middle Es³ of Dongxin oilfield

2.2 洪水成因水下碎屑流

水下碎屑流是洪水携带大量泥、砂、砾石直接搬运至半深湖-深湖区低洼地区堆积下来,形成离岸相对较远的粗碎屑沉积体。岩性以含砾泥质砂岩、泥质砂岩和含砾泥岩为主,粗碎屑颗粒掺杂在泥水之中,悬浮总体含量高并且快速沉积,杂基支撑,分选差,成分成熟度低。粒序层理发育,多为多期叠置的正粒序,也常见变形层理和泥岩撕裂屑(图7)。

研究区内沙三下亚段沉积时期,雨量充沛,洪流发育,水下碎屑流比较发育,而沙三中亚段相对不发育,并且多夹于滑塌浊积扇之中,规模不大。

3 重力流沉积砂体分布规律

通过10口井岩心观察,120口井录井、测井及大量地震资料进行层序及沉积特征分析表明,纵向上重力流砂体主要分布在湖退体系域早期(图8),这主要是由于此时物源充足且断层活动强度大,而湖退体系域晚期由于断层活动较弱,地形变缓导致以三角洲沉积及正常湖泊相沉积为主,重力流沉积不发育;湖侵体系域由于物源贫乏多发育远源浊积岩,夹有水下碎屑流。

东辛地区重力流沉积具有独特的沉积模式,沙三中亚段沉积时期,东营三角洲进入鼎盛时期,由工区东南部向西北方向快速进积。同时,断层活动频繁,作为主要的触发机制,使得三角洲前缘因不稳定而发生垮塌、沿坡滑移、滑塌变形并最终

沉积在低洼平坦处。因此,工区在三角洲前缘主方向向湖依次发育坡移堆积体、滑塌浊积扇及远源浊积岩(图9),并间歇性夹杂洪水成因的水下碎屑流沉积,平面上形成独特的裙带状(图10)。其中,坡移堆积体个体大,数量少,厚度大;滑塌浊积扇个体小,数量多,多以复合叠置砂体出现;远源浊积岩多为席状或极小的透镜砂,分布在远源端。

4 含油性分析

通过对东辛地区含油区块重点井位的录井资料含油级别统计,并分析现有油藏与各类砂体的匹配关系,从以下几方面研究发现不同成因类型的重力流砂体,其含油性不同。

4.1 距油源远近

重力流沉积形成并保存于深水沉积体系,在不同位置发育不同类型的砂体。远源浊积岩和滑塌浊积扇分布在深湖平原及远源斜坡,距深洼陷烃源岩较近,甚至于其本身即分散于烃源岩层内,而坡移堆积体分布在近源斜坡,远离或仅向湖一侧接近烃源岩,因此,远源浊积岩及滑塌浊积扇油源条件好于坡移堆积体。

4.2 砂体物性差异

不同类型砂体内部孔渗性受砂体厚度、沉积粒度、分选、磨圆以及砂体中胶结物和杂基等填隙物类型及含量的影响^[12]。

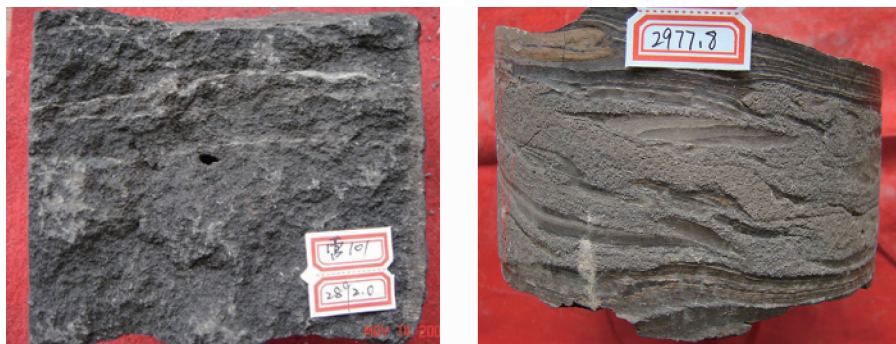


图7 东辛油田沙三中亚段水下碎屑流沉积特征

Fig. 7 Sedimentary characteristics of subaqueous debris flow in the middle Es³ of Dongxin oilfield

a. 营101井,2 892.0 m,含砾泥质砂岩;b. 营922井,2 977.8 m,泥质砂岩,变形层理,泥岩撕裂屑

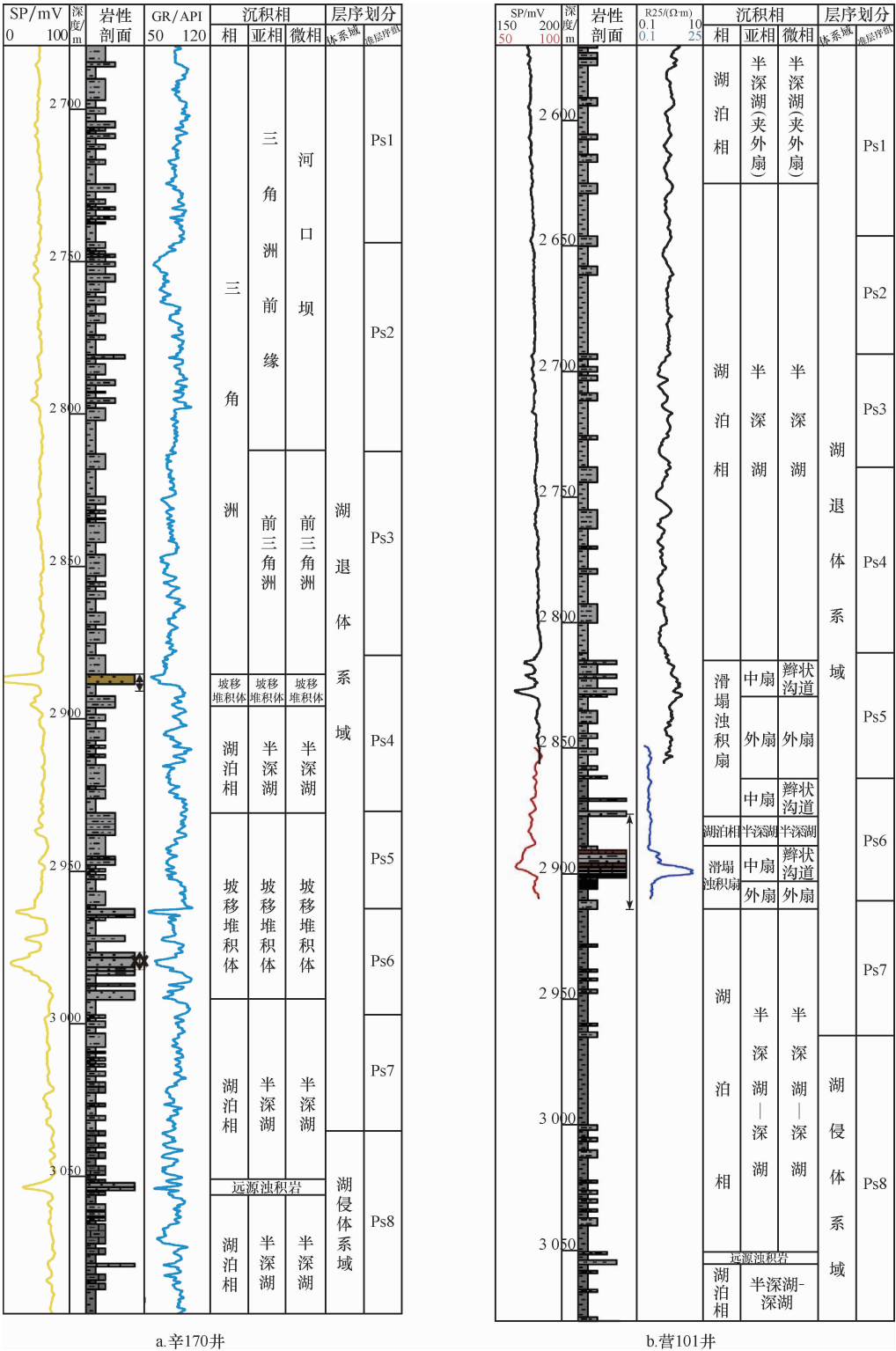


图 8 东辛油田沙三中亚段层序-沉积相综合分析

Fig. 8 Comprehensive analyses of sequence and sedimentary facies of the well Xin-170 (left) and the well Ying-101 (right) in the middle Es³ of Dongxin oilfield

在泥岩夹砂岩的情况下,当砂岩厚度极薄、比例极低时砂岩物性很差;当砂岩厚度增大到中-厚层时,砂岩内部较砂泥岩边界物性好^[13]。对于不同成因类型的重力流砂体,粒级粗细:坡移堆积体

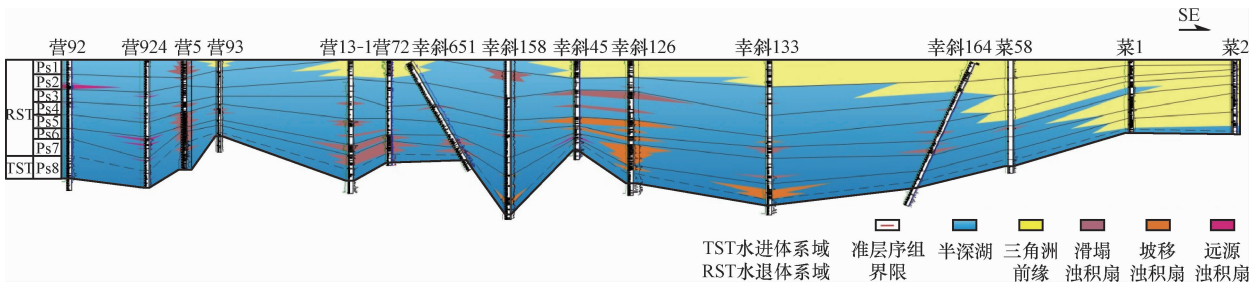


图 9 东辛地区沙三中亚段北西-南东向连井沉积对比剖面

Fig. 9 NW-SE cross-well sedimentation section of the middle Es³ in Dongxin area

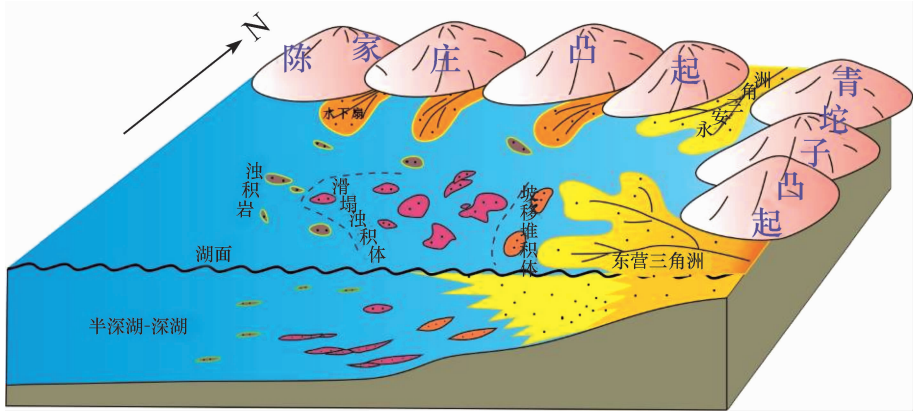


图 10 东辛地区沙三中亚段重力流沉积模式

Fig. 10 Gravity flow depositional model of the middle Es³ in Dongxin area

和水下碎屑流 > 滑塌浊积扇 > 远源浊积岩;分选性优劣:远源浊积岩 > 滑塌浊积扇 > 坡移堆积体和水下碎屑流;磨圆程度优劣:远源浊积岩 > 滑塌浊积扇 > 坡移堆积体 > 水下碎屑流。综合各因素对孔渗性优劣排序:滑塌浊积扇 > 远源浊积岩 > 坡移堆积体 > 水下碎屑流。因此,滑塌浊积扇及部分远源浊积岩可作为较好的含油储层,其次为坡移堆积体,水下碎屑流含油性最差。

4.3 圈闭条件

通常远源浊积岩和滑塌浊积扇沉积在低洼处,周围被泥岩包围,并且对于透镜状砂体而言,再沉积过程中存在较好的相分异^[14],导致砂体两端和侧部粒度较细,压实程度明显,而核部粒度较粗,压实程度较弱,最终形成了核部粗,边缘遮挡的透镜状岩性圈闭。因此,透镜状远源浊积岩和滑塌浊积扇自身圈闭条件良好。相反坡移堆积体和水下碎屑流相分异性差,在向湖一侧可由深湖泥岩封堵,而在向陆一侧若没有断层遮挡,很难形

成有效圈闭。

综合分析,滑塌浊积扇和部分远源浊积岩距油源近,砂体物性好,圈闭条件有利,其含油性好于距油源远,物性较差,圈闭条件不利的坡移堆积体和洪水成因的水下碎屑流。东辛油田西南部营 11 井区为典型的滑塌浊积扇形成的岩性油藏。油藏埋深 2 970 ~ 3 225 m,油层单一,平均油层厚度 11.2 m,孔隙类型以微孔为主,孔隙直径 5 ~ 20 μm,喉道平均宽度为 1 ~ 3 mm,孔喉组合类型为小孔-细喉型。平均孔隙度 21%,平均渗透率 31.8 × 10⁻³ μm²,渗透率变异系数 0.54,属典型的低渗透油藏,但均质性相对较好。含油面积 10.2 km²,地质储量 1 248 × 10⁴ t,标定采收率 26.5%。

5 结论

1) 沙三中亚段时期,研究区发育大量重力流沉积。可划分为与三角洲前缘滑塌相伴生的坡移

堆积体、滑塌浊积扇、远源浊积岩以及洪水成因的水下碎屑流。根据岩心、测井及地震资料,建立各类砂体的识别标志,并对比分析其沉积特征,指出层理构造组合是主要识别标志。

2) 东辛地区重力流沉积模式具有独特的裙状分带性,沿三角洲进积主方向向湖依次发育坡移堆积体、滑塌浊积扇及远源浊积岩,并间歇性夹杂洪水成因的水下碎屑流沉积。

3) 不同成因类型的重力流砂体,其含油性不同。通过距油源远近、砂体物性差异及圈闭条件对比分析,认为滑塌浊积扇和部分远源浊积岩距油源近,砂体物性好,圈闭条件有利,其含油性好于坡移堆积体和洪水成因的水下碎屑流。

参 考 文 献

1 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 357 ~ 373
2 韩小锋,陈世悦,刘宝鸿,等. 深水沉积特征研究现状及展望[J]. 特种油气藏,2008,15(2):1 ~ 7
3 王居峰. 东营三角洲- 浊积扇高频层序叠加样式与岩性圈闭[J]. 沉积学报,2005,23(2):303 ~ 309
4 Shanmugam G. Deep-water processes and facies models; implications for sandstone petroleum reservoirs (Handbook of petroleum exploration and production 5) [M]. Elsevier Science, 2006. 47 – 83
5 王旭丽,周江羽,马良,等. 伊通盆地岔路河断陷重力流沉积特

征及油气勘探意义[J]. 石油实验地质,2008,30(1):26 ~ 31
6 李果营,钟建华,饶孟余,等. 东辛地区沙三段滑塌浊积扇沉积特征及控制因素[J]. 特种油气藏,2005,12(6):25 ~ 29
7 任小军,于兴河,李胜利,等. 埕陷湖盆缓坡重力流成因储集层沉积特征及发育条件——以准噶尔盆地腹部石南 31 井区为例[J]. 新疆石油地质,2008,29(3):303 ~ 305
8 张晶,王伟锋,荣启宏,等. 东营凹陷民丰洼陷沙河街组三段岩性油藏控制因素[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):235 ~ 239,249
9 刘延莉,邱春光,邓宏文,等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):95 ~ 101
10 王颖,王晓州,王英民,等. 大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式[J]. 沉积学报,2009,27(6):1076 ~ 1083
11 蔡李梅,陈红汉,李纯泉,等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):17 ~ 22
12 邓继新,王尚旭,伍向阳. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩储层地震特征及对岩石结构的指示[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):294 ~ 298
13 钟大康,朱筱敏,王红军. 中国深层优质碎屑岩储层特征与形成机理分析[J]. 中国科学(D 辑:地球科学),2008,38(增刊 I):11 ~ 18
14 尹太举,张昌民,李中超. 东营凹陷滑塌浊积岩沉积特征及油气藏勘探技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(1):93 ~ 98

(编辑 董 立)

(上接第 582 页)

7 刘延莉,邱春光,邓宏文,等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):95 ~ 101
8 邹才能,赵文智,张兴阳,等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报,2008,82(6):813 ~ 825
9 王国光,王艳忠,操应长,等. 临邑洼陷南斜坡沙河街组三角洲沉积微相粒度概率累积曲线组合特征[J]. 油气地质与采收率,2006,13(4):30 ~ 32
10 柳成志,辛仁臣,王刚. 松辽盆地北部头台地区扶余油层浅水湖泊三角洲沉积特征[J]. 大庆石油学院学报,1998,22(1):68 ~ 70
11 樊德华. 黄河三角洲入海口地区近地表地层特征与沉积模式[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):282 ~ 288
12 张小莉,查明,杨懿. 惠民凹陷沙河街组三段岩性油藏储层孔

隙结构特征及油气意义[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):287 ~ 292
13 王蛟,陈世悦,姜在兴,等. 胜利油田车镇凹陷沙河街组二、三段沉积相[J]. 沉积与特提斯地质,2005,25(3):80 ~ 86
14 邓宏文,马立祥,姜正龙. 车镇凹陷大王北地区沙二段滩坝成因类型、分布规律与控制因素研究[J]. 沉积学报,2008,26(5):715 ~ 724
15 刘超英,闫相宾,徐旭辉,等. 应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡油气充注史[J]. 石油与天然气地质,2008,29(4):507 ~ 510,542
16 徐健,郑杰,付鑫,等. 惠民凹陷临南斜坡三角洲砂岩粒度特征[J]. 新疆石油天然气,2007,3(4):21 ~ 24

(编辑 董 立)