

文章编号: 1000-0550(2010)01-0083-08

沾化凹陷桩西油田古近系东营组重力流水道的沉积特征及形成条件

李顺明¹ 沈平平¹ 严耀祖²

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院西北分院 兰州 730020)

摘要 济阳拗陷沾化凹陷桩西油田古近系东营组下段砂体平面呈条带状展布,与曲流河单河道沉积砂体形态类似。砂岩的沉积成因是建立高精度时间地层格架、预测储集层属性参数空间分布及挖潜剩余油的关键基础之一。综合分析区域地质背景、地层沉积序列、岩石学性质、沉积组合以及砂体几何形态等方面,认为桩西油田东下段砂岩是在半深湖—深湖环境沿湖盆长轴方向延伸的远源滑塌型重力流水道—浊流水道沉积;沉积物源主要来自北部埕北低凸起附近的扇三角洲和水下扇。根据重力流水道的成因机制,将东下段浊流水道划分为水道中心微相、水道边缘微相和 underwater 漫溢微相。单一水道中心微相沉积序列相当于鲍玛序列的 AB、ABD 或 AC 组合,主要沉积中厚层正递变层理含砾细砂岩相和块状层理混合碎屑岩相,属中孔中低渗储集层。研究区滑塌型浊流水道形成的外部控制因素是火山喷发及控盆断层的幕式活动所导致的长期基准面下降;内部控制因素是充足的物源、垂直湖盆长轴方向的阶梯状断裂以及负向湖盆底形等。建立了反映该区浊流水道的沉积特征及发育条件的沉积模式。

关键词 桩西油田 东营组下段 浊流水道 沉积微相 地层基准面旋回 沉积模式

第一作者简介 李顺明 男 1970 年出生 博士 高级工程师 石油地质 E-mail: Leesm@petrochina.com.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

桩西油田位于济阳拗陷沾化凹陷东北部,相继在古生界奥陶系潜山、古近系沙河街组、东营组和新近系馆陶组发现了地层—岩性及岩性—构造油藏。古近系东营组下段(东下段)油藏被桩南断层和桩古 40 断层分割为桩 104 块、桩 104-30 块及桩 27 块等 3 个断块。

桩西油田东下段油藏自 1988 年初投入开发以来,经历了天然能量和常规注水开发。目前采油速度 0.4%,采出程度仅 10.2%。面临采油速度低、采出程度低、注采对应率低、油层压力低、剩余油分布复杂等一系列开发难题。前人曾提出了桩西地区东营组为一套河湖相砂泥岩沉积的观点,并认为东下段砂岩为曲河流沉积^[1]。

储集层的沉积成因是建立成因砂体级时间地层格架和研究储集层空间配置关系的前提,也是预测剩余油空间分布及改善油田开发效果的基础。研究桩西油田东下段储层的沉积成因,为该区下一步潜力分析、开发技术政策界限论证及开发调整井的部署提供依据。

国内外对近源冲积扇、水下扇、扇三角洲以及远源滑塌型浊积扇、海底扇等重力流沉积的研究比较广

泛而深入^[2-6]。洪庆玉从岩理学和岩类学的角度把重力流分为泥石流、碎屑流、颗粒流、液化流和浊流等五类。根据流体密度、砂级颗粒含量和驱动力的差异,浊流分为低密度浊流和高密度浊流^[3]。Lowe 指出,低密度浊流由粘土、粉砂和细到中砂的质点在流体湍流作用下进行悬浮搬运,以发育鲍玛序列的 B 段至 E 段为沉积特点;高密度浊流由粘土到细砾石的宽广质点组成^[4]。

王留奇等研究发现,东营凹陷沙河街组发育洪水型和滑塌型断槽重力流水道,前者发育杂基支撑砾岩相以及鲍玛序列 AAA、ABAB、BBB 等岩石相组合;后者则发育递变细砾岩相、块状砂岩相、平行层理砂岩相等,并指出二者在发育机制、沉积特征、空间相组合及砂体展布方式等方面与其他类型的重力流水道之间存在一定的差异^[5]。刘正华等在对歧南凹陷沙河街组重力流水道砂体成因分析的基础上,从微观的角度研究了各沉积微相砂岩的成岩作用及孔隙演化模式^[6]。

本文基于岩石相及岩心化验资料,结合区域地质背景、地层的沉积序列和砂体的几何形态,分析东下段砂岩的沉积成因。根据砂岩的沉积成因机制,划分

收稿日期: 2008-08-14; 收修改稿日期: 2009-02-11

沉积微相,分析各沉积微相带的沉积特征。通过外部和内部控制因素分析,阐述该成因类型砂岩的形成环境,总结工区东下段储层的沉积模式。

1 区域地质背景

沾化凹陷沙河街组沉积末期—东营组沉积期,凹陷边界断裂活动减缓,基底沉降速度降低。东下段沉积时期断裂活动不发育,湖盆水体相对闭塞,整体为半深湖—深湖相沉积,湖盆边缘发育范围很窄的滨浅湖相沉积^[7,8]。

桩西油田位于沾化凹陷的桩西—五号桩洼陷,该洼陷是在中生代构造背景上经燕山运动和喜山运动而发育的新生代断陷湖盆^[9]。油田北部紧邻埕北凹陷和埕北低凸起(图1),埕北凹陷古近纪是一个受埕北断层控制“北陡南缓”的箕状断陷盆地;埕北断层古近纪从北西走向的单支断层扭裂成雁行排列的阶梯状断裂带,其上升盘为埕北低凸起剥蚀区,在断层下降盘一侧及埕北凹陷发育了一系列扇三角洲和水下扇的块状粗砾岩、砾状砂岩及含砾砂岩等粗粒碎屑岩^[10,11]。

油田的东部和西部分别是长堤断裂带和埕东断裂带(图1)。这样,桩西地区古近纪就呈现出东西受断层夹持、构造北高南低、近南北向延伸的断陷湖盆构造格局。

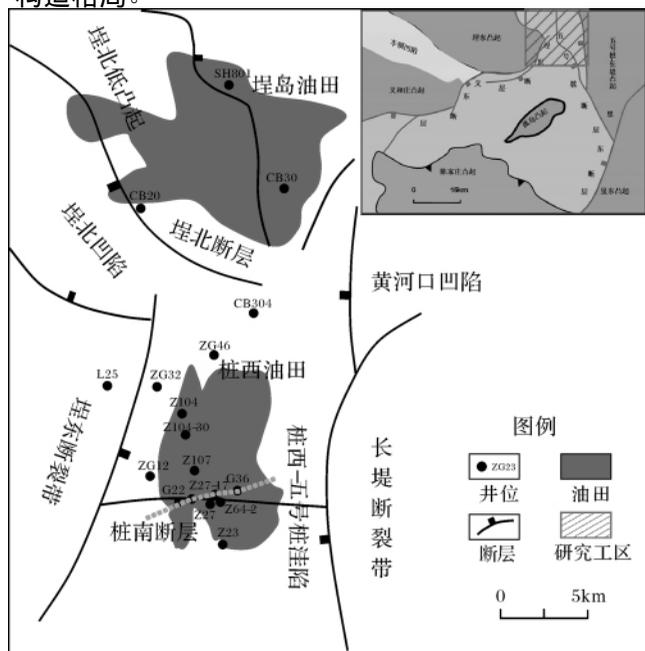


图1 济阳拗陷桩西地区构造略图

Fig.1 Schematic map of structure in the Zhuangxi area, Jiyang depression

控盆边界断裂—埕北断裂带古近纪幕式活动强烈,引发的地震不但在埕北凹陷北部陡坡带附近形成震积岩^[12]而且诱发扇三角洲前缘发生滑塌而形成沉积物重力流,为盆地洼陷区提供充足的远源沉积物源。

桩西油田古近—新近系地层可划分为4个二级层序^[13],古近系沙一段至东下段(约10 Ma)为济阳拗陷裂陷Ⅲ幕期一个完整的向上变浅的非对称性超长期基准面旋回^[14,15]。沙一段处于超长期基准面上升早中期,由1个对称性长期基准面旋回组成,沉积半深湖相厚层灰黑色泥岩、灰质泥岩。东营组处于超长期基准面上升晚期及下降期,由2个向上变浅的非对称性长期基准面旋回组成,沉积半深湖—深湖相厚层黑色泥岩夹油页岩、灰色砂岩及少量薄层灰质泥岩。东下段重力流水道沉积砂岩主要发育在超长期基准面下降半旋回早期所对应的长期基准面旋回LSC2的下降半旋回(图2)。

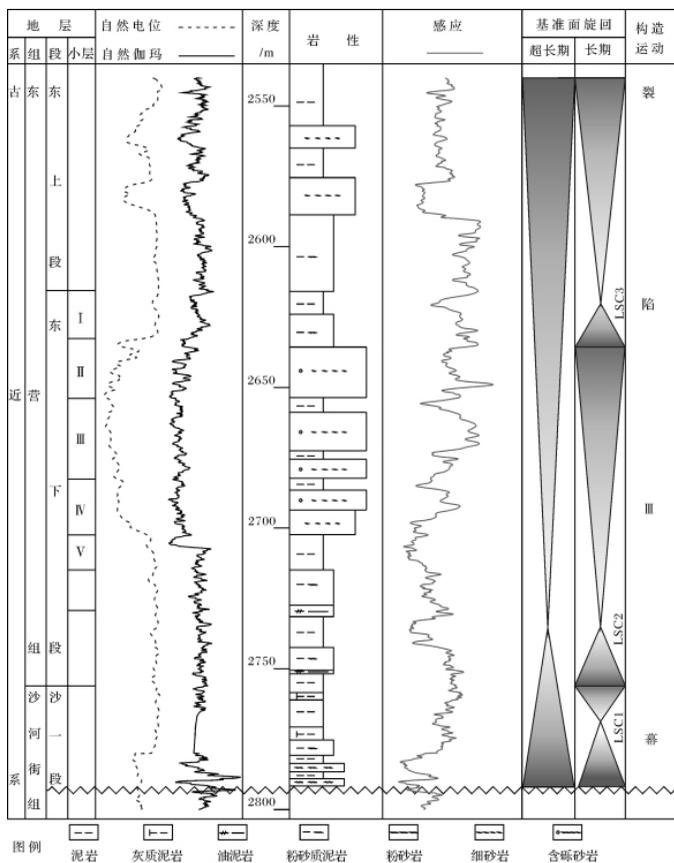


图2 桩西油田桩107井古近系地层层序

Fig.2 Sequence stratigraphy of paleogene for Well Zhuang 107, Zhuangxi oilfield

2 沉积特征

桩西油田东下段砂岩是在半深湖—深湖环境沿湖盆长轴方向延伸的远源滑塌型重力流水道—浊流水道沉积, 沉积物源主要来自北部埕北断层下降盘附近的扇三角洲和水下扇。该砂岩纵向上可细分为 5 个小层(图 2) 其中 II 小层厚度大、分布广, 是该区的主力小层。

2.1 岩石学性质

桩西油田东下段以灰色中厚层块状含砾砂岩、中薄层细砂岩和黑色厚层块状泥岩为主, 见少量薄层灰色钙质砂岩和薄层钙质泥岩。

砂岩的颗粒细、磨圆差、分选差、岩屑含量高、成熟度低。碎屑颗粒直径一般在 0.10~0.25mm 之间, 呈次棱角状, 分选差—中等。颗粒以线接触为主, 胶结类型为孔隙式。石英平均含量 45%, 长石平均含量 31%, 岩屑平均含量 24%, 全都属岩屑质长石砂岩(图 3)。填隙物中平均泥质含量 9%, 偶见方解石。

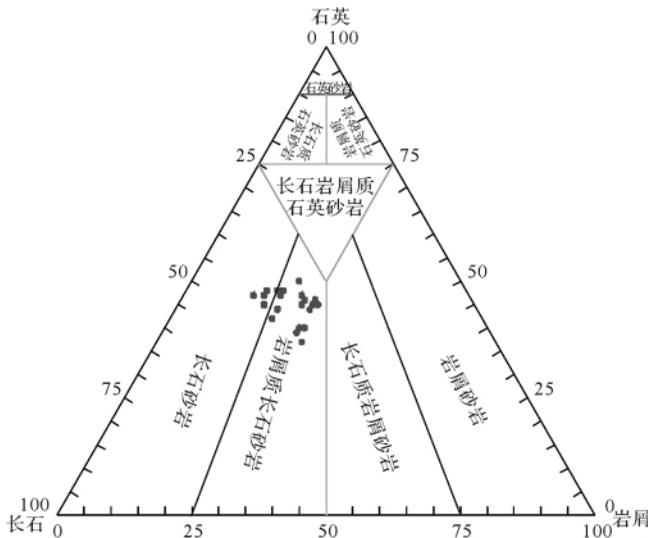


图 3 桩西油田东下段砂岩成分三角图 (Folk, 1968 年的砂岩分类)

Fig. 3 Triangle plot of sandstone component of lower member Dongying, Zhuangxi oilfield (after Folk, 1968)

2.2 砂岩粒度分布

东下段砂岩(岩心来自 II 小层)主要为不等粒砂岩, 占样品总体的 53.1%; 其次为细砂岩, 占样品总体的 30.6%; 粉砂岩和混合碎屑岩较少, 二者共占样品总体的 16.3%。砂岩的分选系数 1.35~2.12, 平均 1.68, 中等分选。

东下段砂岩分布在 C—M 图的 QR 段, 即平行 C

= M 基线分布, 沉积物颗粒为递变悬浮搬运。C/M 比值为 2.74, 处在重力流水道沉积物 C/M 比值范围内^[16](图 4)。

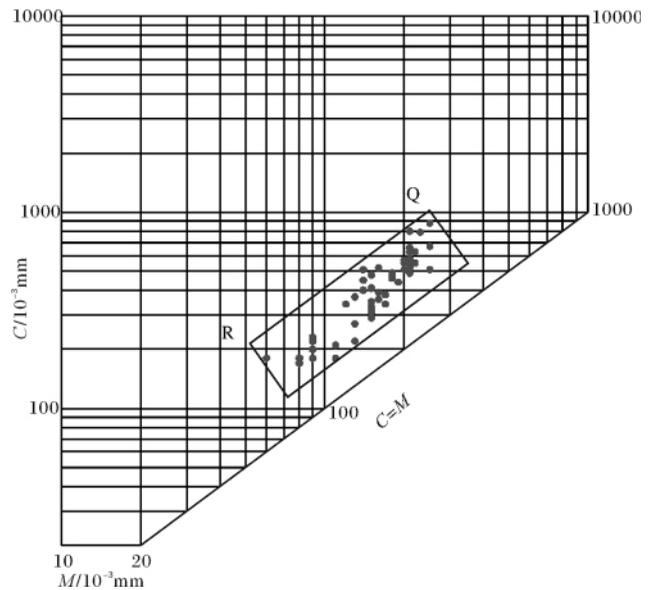


图 4 桩西油田东下段砂岩 C—M 图

Fig. 4 C—M plot of sandstone grain size of lower member Dongying, Zhuangxi oilfield

砂岩的粒度概率累积曲线有两种类型。第一类是概率累积曲线呈两段式, 由跳跃和悬浮两个总体组成, 细截点 2.5φ~3.5φ 左右。跳跃总体占 47%~88%, 直线倾角 58°~64°, 砂岩的分选中等—好。岩石类型为不等粒砂岩和细砂岩。第二类概率累积曲线呈向上凸的弧形, 不能划分出跳跃和悬浮总体, 这是混合碎屑岩的曲线特征。浊流水道初期具有重力流性质, 沉积混合碎屑岩; 随后演化为牵引流, 沉积不等粒及细砂岩等岩石类型。

2.3 沉积构造及组合

东下段砂岩发育递变层理、波状层理、泥岩撕裂屑、块状层理、平行层理、泄水管构造、揉皱构造及水平层理, 砂岩底部发育有沟模、槽模。

单一沉积序列从下到上的沉积构造组合主要有两种类型: ① 泥岩撕裂屑—泄水管构造—揉皱构造—砂泥水平互层层理组合(图 5A)。薄层灰色砂岩与顶部黑色块状泥岩突变接触; ② 块状层理—平行层理—脉状层理组合(图 5B)。这些沉积构造及组合类型反映东下段重力流水道的液化流和浊流沉积特征^[17]。

2.4 砂体的几何形态

砂体平面呈南北向条带状延伸, 东西宽 1~

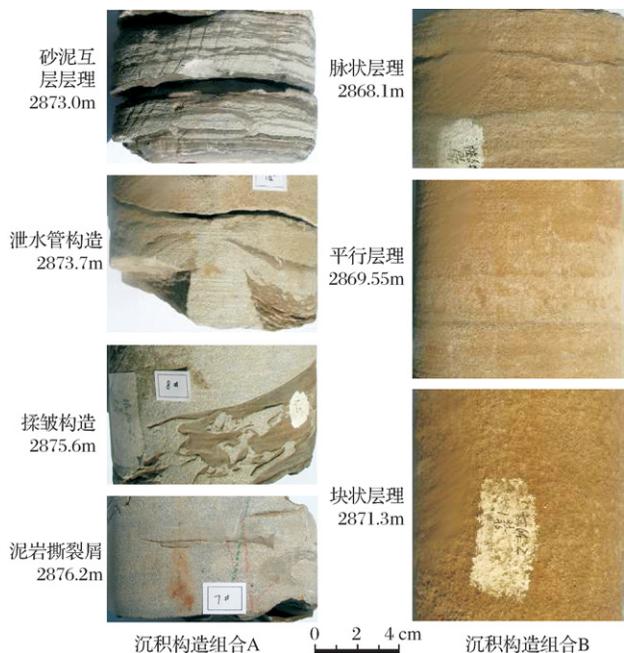


图5 桩64-2井东下段沉积构造组合

Fig. 5 Sedimentary structure association of lower member Dongying, Well Zhuang 64-2

1.9 km,南北向长度超过10 km,长宽比5:1~10:1。砂体剖面多呈顶平底凸型透镜体,一般厚1~20 m,宽厚比约130:1,沿东西方向,砂体厚度向两侧减小。平面上砂体厚度较大的区域主要分布在北部的桩104断块,南部的桩104-30断块和桩27断块砂体厚度较小。东下段砂体的几何形态反映出水道沉积的特征。

3 沉积微相的划分

按照重力流成因机制,桩西油田东下段浊流水道划分为水道中心、水道边缘和 underwater 漫溢等3种沉积微相(图6)。

3.1 水道中心微相

水道中心微相为浊流初期沉积,其底部与下伏黑色泥岩突变接触。岩石类型为分选较差的含砾砂岩、含粗砂细砂岩、混合碎屑岩,细砾石粒径2~5 mm,分布零散。主要发育正递变层理和块状层理。单一沉积成因序列相当于鲍玛序列的AB、ABD、AC组合,厚5~30 cm左右(图6)。研究区多期水道中心微相纵向叠置而形成的块状砂岩相当于鲍玛序列的AB-ABD、ABAC组合,厚度大于2 m,最大可达15 m。自然电位曲线呈高幅光滑、微齿箱形、钟形或箱形—钟形组合。

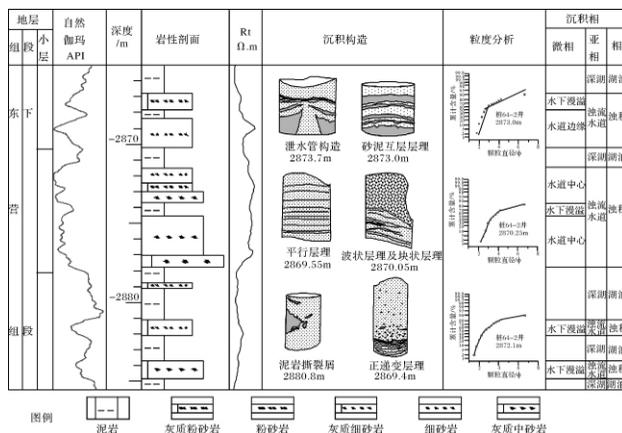


图6 桩64-2井东下段单井沉积微相图

Fig. 6 Sedimentary microfacies diagram of lower member Dongying for individual Well Zhuang 64-2

3.2 水道边缘微相

水道边缘微相是浊流向牵引流演变阶段所沉积,同时具有浊流和牵引流沉积的特征。岩石类型主要有混合碎屑岩、细砂岩及粉砂岩,岩屑及泥质含量高。发育平行层理、波状层理及揉皱构造,可见砂泥纹层互层构造。单一沉积成因序列相当于鲍玛序列的BC、BD组合,厚度5~20 cm。研究区多期水道边缘微相纵向叠合而形成的砂体相当于鲍玛序列的BBC、BCBD组合,厚度在1~3 m之间。自然电位曲线呈中高幅光滑的指形。

3.3 水下漫溢微相

水下漫溢微相为浊流演化后期的悬浮沉积,分布在浊流水道与湖盆泥岩之间。岩石类型主要为粉砂岩、泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,发育波状层理、水平层理以及水平互层层理。单一沉积成因序列相当于鲍玛序列的CDE、DE组合,厚度在3~10 cm之间。自然电位曲线呈低幅微齿、齿化指形。

3.4 沉积微相平面展布

桩西油田东下段砂体是长期基准面下降半旋回5期次较大规模浊流叠覆而形成,每一期次沉积一个成因砂体。沿浊流水道延伸方向(从北到南),从下向上,砂体的规模逐渐增大,各成因砂体纵向上呈积式叠加^[18]。

东下段II小层砂体的水道中心微相在北部桩104断块(104井区)分布的范围相对较大,向南分布范围变小;水道边缘微相分布范围广,从南到北呈条带状,在南部桩27断块(27井区)分布的面积较大(图7)。相对而言,水下漫溢微相分布的范围最小,

在油田范围内主要呈窄条带状南北向延伸(图 8); 该微相分布在水道边缘微相两侧, 而曲流河的天然堤微相仅发育在凹岸, 这是二者的本质区别之一。

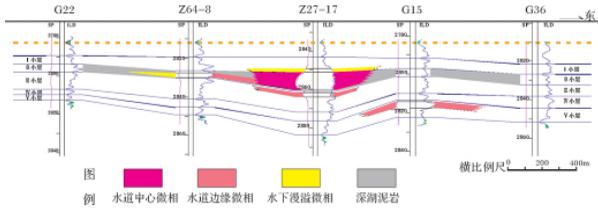


图 7 桩西油田东下段 II 小层沉积微相剖面图 (剖面位置见图 1 和图 8)

Fig. 7 Cross section showing sedimentary microfacies of subzone II of lower member Dongying, Zhuangxi oilfield (Location shown in Fig. 1 and Fig. 8)

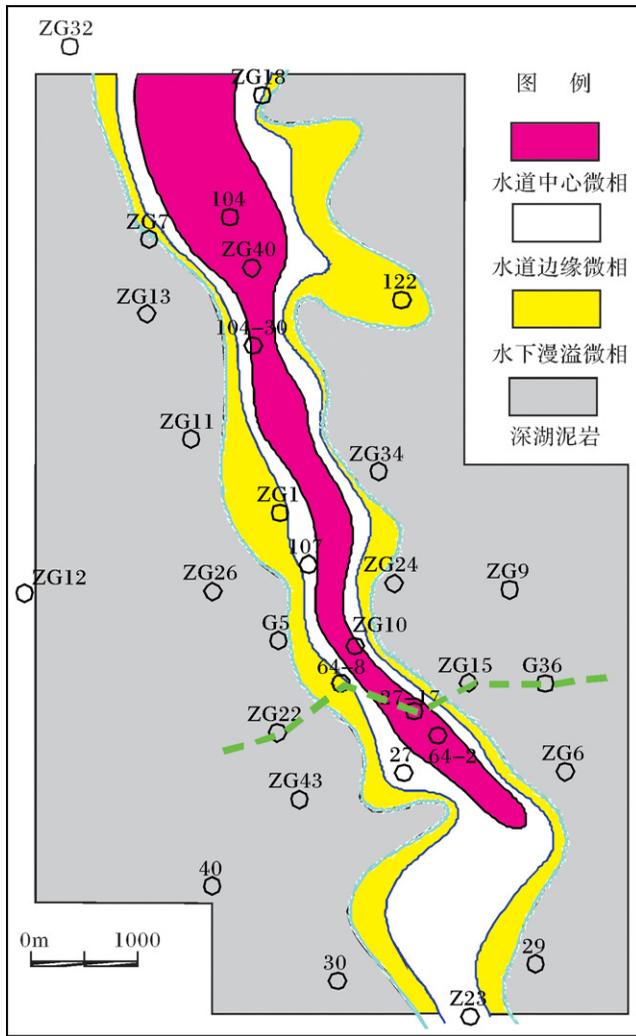


图 8 桩西油田东下段 II 小层沉积微相图

Fig. 8 Map showing sedimentary microfacies of subzone II of lower member Dongying, Zhuangxi oilfield

研究区水道中心微相沉积的砂岩颗粒粗、储集物

性相对较好, 孔隙度在 15% ~ 22% 之间, 平均 18%; 渗透率在 $10 \times 10^{-3} \sim 158 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 平均 $33 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属中孔中低渗储集层。储集层渗透率在浊流水道延伸方向平面变化较小, 而垂直水道延伸方向变化较大, 这与曲流河边滩沉积储集层的物性分布特征相似^[19]。

4 浊流水道形成的控制因素

4.1 外部控制因素

中国东部大陆位于西太平洋的弧后区域, 新生代太平洋板块俯冲引起弧后扩张、深部地壳矿物脱水以及地幔楔物质上涌, 从而导致地壳底部部分熔融, 引发岩浆向上侵入和底侵^[20]。在这种地球动力学背景影响下, 包括沾化凹陷在内的济阳拗陷各沉积盆地的北部控盆断裂带在新生代发育过程中伴随频繁火山活动^[21]。这些火山活动是引起控盆断层幕式活动的动力之一。

模拟实验表明, 三角洲前缘在地震、波浪以及无任何外界触发机制作用下都可以发生滑塌, 形成相应的滑塌浊积体, 但地震作用形成的浊积体在三角洲前缘广泛发育, 在断阶带滑塌形成的二级滑塌浊积体则大规模分布在湖盆深洼陷区^[22]。

东营早期, 沾化凹陷桩西一五号桩洼陷南北两条边界断层及五号桩长堤断裂带断层落差大, 活动比较强烈^[23]。构造和岩浆活动的双重作用, 不但造成桩西油田北部埕北凹陷的平均古地温梯度偏高^[24], 而且在其北部陡坡断裂带也诱发了地震, 发育大规模震积岩^[12], 并形成沉积物重力流。

沾化凹陷东营早期火山活动诱发地震, 再加上控盆边界断层的幕式活动, 从而导致长期基准面下降, 这是桩西地区浊流水道形成的外部控制因素。

4.2 内部控制因素

充足的物源、垂直湖盆长轴方向阶梯断裂以及负向湖盆底形是该区形成浊流水道的内部控制因素。

埕北断裂带发育了一系列垂直湖盆长轴方向的盆倾阶梯状断裂。受外界诱发因素的影响, 以粗碎屑为主的洪积型重力流在断裂带及其附近区域沉积形成扇三角洲和水下扇^[11]; 这些扇形沉积体在地震等触发机制下发生滑塌流动, 形成以细碎屑物质为主的滑塌型重力流, 为湖盆洼陷区桩西地区浊流水道的形成提供充足的物源。

桩西一五号桩洼陷东西边界的长堤断裂带和埕东断裂带幕式活动的牵引作用, 导致湖盆底形沿长轴

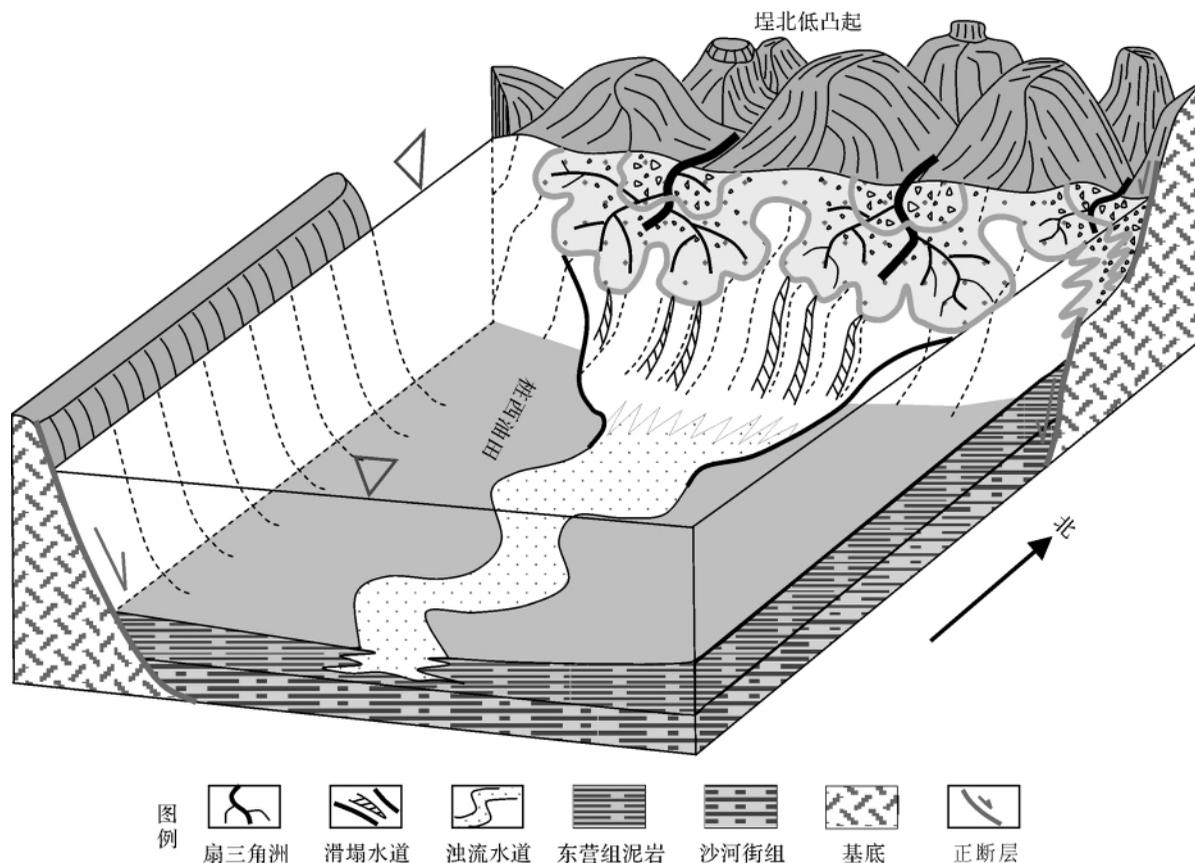


图9 桩西油田东下段滑塌型浊流水道沉积模式图

Fig. 9 Block diagram showing depositional model of slumping turbidity current of lower member Dongying, Zhuangxi oilfield

方向(南北向)呈中间低而东西两侧相对较高的古地形。这种负向湖盆底形是该区浊流水道形成的必要条件。

5 浊流水道的沉积模式

沾化凹陷东营早期演化到断拗阶段,水体范围较大。受东部长堤断裂带、西部埕东断裂带和北部埕北断裂带的共同影响,该时期桩西地区湖盆底形呈现北高南低、东西两侧高而中间低的格局。北部埕北低凸起附近及埕北断裂带下降盘发育的近源粗碎屑沉积物,在控盆断层幕式活动所产生的地震作用下发生滑塌而形成颗粒流、液化流。随着沉积物搬运距离的延长,颗粒流逐渐向液化流、浊流发生连续的频谱演变,最终在桩西地区便形成了远源滑塌型浊流水道(图9)。

6 结论

远源滑塌型浊流水道主要发育在半深湖—深湖环境,沉积灰色含砾砂岩、不等粒砂岩、混合碎屑岩等

细粒碎屑岩,这些砂岩夹持在黑色或灰黑色块状泥岩中;代表性的沉积构造有块状层理、泥岩撕裂屑、泄水管构造、揉皱构造等反映低密度浊流成因的构造类型及构造组合。浊流水道的单一沉积序列一般发育相当于鲍玛序列的ABD、ACE、BDE、CE等不完整组合。曲流河沉积砂岩多与紫红色泥岩伴生,缺少重力流成因的沉积构造及组合。这是二者的主要区别。

浊流水道一般沿断陷湖盆的沟道或槽沟等负向古地形单元长轴方向展布。相对优质储集层主要分布在水道中心微相。

参考文献 (References)

- 1 王离迟,王朝安. 桩西地区东营组下段成油条件研究[J]. 复式油气田, 1995, 6(2): 1-4 [Wang Lichi, Wang Chaoan. Study on the conditions of oil generation of lower member of Dongying Formation in Zhuangxi region [J]. Multiple Oil & Gas Fields, 1995, 6(2): 1-4]
- 2 方爱民,李继亮,侯泉林. 浊流及相关重力流沉积研究综述[J]. 地质论评, 1998, 44(3): 270-278 [Fang Aimin, Li Jiliang, Hou Quanli. Reviews on the study of turbidity cur-

- rents and relevant gravity flows [J]. *Geological Review*, 1998, 44(3): 270-278]
- 3 洪庆玉. 沉积物重力流地质学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1992 [Hong Qinyu. *Geology of Gravity Flow of Sediments* [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology University Press, 1992]
 - 4 中国石油学会石油地质委员会编译. 国外油积岩和扇三角洲研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986 [Translated by Geology Committee of China Petroleum Society. *Foreign Study on Turbidites and Fan-delta* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1986]
 - 5 王留奇, 姜在兴, 操应长, 等. 东营凹陷沙河街组断槽重力流水道沉积研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1994, 18(3): 19-24 [Wang Liuqi, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, *et al.* Study on sedimentation of gravity flow channel in faulted trough of Shahejing Formation, Dongying sag [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 1994, 18(3): 19-24]
 - 6 刘正华, 杨香华, 汪贵峰, 等. 歧南凹陷沙河街组重力流水道砂体成岩作用和孔隙演化模式[J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 183-189 [Liu Zhenghua, Yang Xianghua, Wang Guifeng, *et al.* Pattern of pore evolution and diagenesis of sandstone from gravity flow channel of Shahejing formation in Qinan sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 183-189]
 - 7 王留奇, 姜在兴, 操应长, 等. 山东沾化凹陷沙河街组湖泊层序地层研究[J]. 地质学报, 1996, 70(3): 282-290 [Wang Liuqi, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, *et al.* Sequence stratigraphy of lacustrine of Shahejing formation in Zhanhua sag, Shandong [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70(3): 282-290]
 - 8 张鹏飞, 陈世悦, 张明军. 沾化凹陷东营组三段储集层特征[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 323-327 [Zhang Pengfei, Chen Shiyue, Zhang Mingjun. Characteristics of reservoir rock from member three of Dongying formation in Zhanhua sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(3): 323-327]
 - 9 张克鑫, 漆家福, 马宝军, 等. 济阳拗陷桩海地区构造演化特征研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2005, 20(3): 40-43 [Zhang Kexin, Qi Jiafu, Ma Baojun, *et al.* Characteristics of structural evolution in region Zhuangxi-Marine margin, Jiyang depression [J]. *Journal of Xian Shiyou University: Natural Science Edition*, 2005, 20(3): 40-43]
 - 10 李伟, 吴智平, 张明华, 等. 埕岛地区中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(1): 1-6 [Li Wei, Wu Zhiping, Zhang Minghua, *et al.* Characteristics and its controls on the sedimentation of faults in Mesozoic and Cenozoic in the region Chengdao [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2006, 30(1): 1-6]
 - 11 袁向春, 钟建华, 高喜龙, 等. 埕岛东斜坡水下扇沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 146-151 [Yuan Xiangchun, Zhong Jianhua, Gao Xilong, *et al.* Sedimentary characteristics of underwater alluvial fan in the eastern slope of Chengdao [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(2): 146-151]
 - 12 杨剑萍, 王辉, 陈世悦, 等. 济阳拗陷古近系震积岩特征[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 281-286 [Yang Jianpin, Wang Hui, Chen Shiyue, *et al.* Features of seismite from Paleogene in Jiyang depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 281-286]
 - 13 操应长. 断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2005 [Cao Yingchang. *Sequence Stratigraphy of Faulted Lacustrine Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005]
 - 14 邓宏文, 王红亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学-原理及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2002 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun *et al.* Principles and Application of High Resolution Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House 2002]
 - 15 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-254 [Zheng Rongcai, Pengjun, Wu Chaorong. Hierarchy division and study for base level cycle of continental basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 249-254]
 - 16 郑浚茂. 陆源碎屑沉积环境的粒度标志[M]. 武汉: 武汉地质学院北京研究生部, 1982 [Zheng Junmao. Characteristics of Grain Sizes in the Depositional Environment of Terrigenous Detrital Material [M]. Wuhan: Department of Post-graduate of Wuhan Geology Institute, 1982]
 - 17 冯增昭, 王英华, 刘焕杰, 等. 中国沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994 [Feng Zenzhao, Wang Yinghua, Liu Huanjie, *et al.* *Sedimentology in China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994]
 - 18 李顺明. 相控旋回高精度成因地层对比方法及应用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(1): 22-25 [Li Shunming. High resolution genetic stratigraphic correlation approach of facies controlled cycle and its application [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008, 15(1): 22-25]
 - 19 陈焯菲, 彭仕宓, 钟显彪, 等. 松辽盆地四五家子油田下白垩统泉头组沉积相[J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 316-327 [Chen Yefei, Peng Shimi, Zhong Xianbiao, *et al.* Sedimentary facies of Quantou Formation of lower Cretaceous in Siwujiazi oilfield, Songliao basin [J]. *Journal of Paleogeogra-*

- phy, 2003, 5(3): 316-327]
- 20 刘绍文, 王良书, 龚育龄, 等. 济阳拗陷岩石圈热-流变学结构及其地球动力学意义 [J]. 中国科学: D 辑, 2005, 35(3): 203-214 [Liu Shaowen, Wang Liangshu, Gong Yuling, *et al.* Thermal-rheology texture of lithosphere and its significance on geodynamics in Jiyang depression [J]. Science in China: Series D, 2005, 35(3): 203-214]
- 21 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 等. 济阳拗陷地温场分布特征 [J]. 地球物理学报, 2003, 46(5): 652-658 [Gong Yuling, Wang Liangshu, Liu Shaowen, *et al.* Features of the geotemperature field distribution, Jiyang depression [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(5): 652-658]
- 22 张关龙, 陈世悦, 鄢继华, 等. 三角洲前缘滑塌浊积体形成过程模拟 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 50-53 [Zhang Guanlong, Chen Shiyue, Yan Jihua, *et al.* Simulation of the generation of slumping turbidites from deltaic front [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 50-53]
- 23 张凡芹, 王伟锋, 张晶, 等. 沾化凹陷断层对沉积的控制作用 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(5): 1-6 [Zhang Fanqin, Wang Weifeng, Zhang Jing, *et al.* Controls on the sedimentation of faults in Zhanhua sag [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2005, 29(5): 1-6]
- 24 苏向光, 邱楠生, 柳忠泉, 等. 沾化凹陷构造-热演化研究 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(3): 9-12 [Su Xiangguang, Qiu Nansheng, Liu Zhongquan, *et al.* Study of structural and thermal evolutions in Zhanhua sag [J]. Journal of Xian Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(3): 9-12]

Depositional Features and Controls on Gravity Flow Channel of Dongying Formation of Paleogene System, Zhanhua Sag, Jiyang Depression

LI Shun-ming¹ SHEN Ping-ping¹ YAN Yao-zu²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest (NWGI), PetroChina Lanzhou 730020)

Abstract Sandstones of the lower member of Dongying formation of paleogene system in Zhuangxi oilfield, Zhanhua sag, Jiyang depression are of string-belt shaped extension, which are extremely similar to the geometry of sandstones deposited by meandering fluvial. Depositional genesis of the sandstone is one of the key basis for high resolution stratigraphic framework construction, reservoir properties distribution prediction and remaining-oil redevelopment. Combined with regional geological setting, stratigraphic succession, petrological features, depositional features association, and sand body geometries of this member, it is considered that the sandstone of lower member of Dongying formation, which extends along the long axis of faulted basin, was deposited by slumping-typed gravity flow-turbidity current channel of long distance sediments source in the semi-deep to deep lacustrine environment with the confine of lacustrine bottom configuration. The sediment sources were from the fan-deltas, sub-lacustrine fans in Chengdao area in the northern part. In terms of the depositional regime of gravity flow channel, the turbidity channel was subdivided into three types of microfacies: central channel, channel margin, and subaqueous overflow. Sedimentary succession of individual central channel equals to members association of AB, ABD and AC of Bouma sequence. Reservoir rocks in the channel center are dominated by gravelly sandstone with normal graded bedding and hybrid sandstone with massive bedding, which are medium porosity and permeability. The external controls on the slumping-typed turbidity current channel in study area is of the long term base level fall caused by volcanic eruption, episodic activity of faults controlled basin, the internal controls of the abundant sediments source, stepped faults perpendicular to the long axis of faulted basin, and negative lacustrine bottom configurations. A depositional model of turbidity current channel is established based on the depositional features and conditions of sediments.

Key words Zhuangxi Oilfield; Lower Member of Dongying Formation; turbidity current channel; sedimentary microfacies; stratigraphic base level cycle; depositional model