

文章编号: 1000-0550(2010)06-1081-09

晚三叠世鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心厚层砂体特征及形成机制分析^①

付锁堂^{1,2} 邓秀芹^{1,3,4} 庞锦莲^{3,4}

(1. 西北大学地质系 西北大学大陆动力学教育部重点实验室 西安 710069; 2. 中国石油青海油田分公司 甘肃敦煌 736202; 3. 长庆油田分公司勘探开发研究院 西安 710018; 4. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018)

摘要 晚三叠世延长组长6、长7油层组沉积期鄂尔多斯盆地湖盆中部深水区稳定发育厚层砂岩,局部地区连续厚度可达上百米。在盆地西南沉积体系,巨型砂带北西—南东向平行于相带界线展布,与三角洲前缘砂体呈现出“断根”的现象;在东北沉积体系,砂带围绕三角洲呈群状、带状分布。厚层砂体成因复杂,总体上可称作深水重力流—牵引流沉积复合体,包括滑塌砂体、砂质碎屑流砂体、浊积砂体、三角洲砂体及底流改造砂体5种成因类型,其中以重力流沉积组合为主,但白豹及其北部主要为三角洲沉积夹重力流沉积。不同成因的砂体纵向叠加,横向复合连片形成了稳定分布、规模宏大的砂带。厚层砂体的形成、展布方向、分布范围主要受控于沉积物的供给速率、湖盆底形及构造活动等因素。

关键词 厚层砂体 重力流 深水牵引流 鄂尔多斯盆地 湖盆中部 延长组

第一作者简介 付锁堂 男 1962年出生 博士 石油地质 E-mail: fstqh@petrochina.com.cn

中图分类号 P512.2 TE121.3 **文献标识码** A

印支阶段是中国地壳构造发展史上的一个重要转折期。晚印支运动结束了长期存在的南海北陆的古地理面貌,形成了统一大陆。鄂尔多斯盆地具有西缘快速沉降坡度大,而东部斜坡宽缓的地形特征。延长组沉积类型复杂,冲积扇、河流、三角洲、湖泊相均较发育。受古地形控制,三角洲类型具有明显的分区、分带性,其中陡坡带以扇三角洲、辫状河三角洲为主,缓坡带以曲流河三角洲为主,各沉积体系交汇于甘肃省华池—合水一带。近年来,围绕鄂尔多斯盆地延长组开展了大量的基础研究,并取得了重要的进展,如在地层时代归属、层序划分、原形盆地恢复、沉积充填特征等方面均提出了一些新认识^[1-4]。这些研究进展对指导下一步勘探实践具有重要的意义。

无论是周边地质露头还是钻孔均显示鄂尔多斯盆地晚三叠世长6、长7油层组沉积期湖盆沉积中心发育深水砂岩,厚度大,分布稳定,形成了“满盆砂”的沉积格局。湖盆沉积中心发育如此大规模的砂体,尚少有报道,近年来鄂尔多斯盆地钻探揭示,这套大规模展布的砂体具有巨大的勘探潜力,因此有必要深入展开砂体成因分析,对下一步开展深水砂岩研究及油气勘探具有重要的意义。

自20世纪50年代,许多古代和现代的深水砂岩被发现并报道,其中大部分被认为是浊流沉积产物。长期以来鲍玛序列被作为浊积岩的典型序列^[5,6],许多学者就浊积岩的识别特征、浊积相的划分开展了大量的研究^[7-12]。但Shamugam教授为代表的一些地质学家从过程研究学的角度明确指出仅鲍玛序列下部的粒序层段才是真正的浊积岩^[13-17]。

1 厚层砂体特征

湖盆沉积中心长6、长7油层组砂岩粒度较细,以细砂岩、粉砂岩为主,局部地区见中砂岩,一些层段夹大量的泥岩撕裂屑。砂体垂向叠合厚度较大,砂地比一般30%以上,局部地区甚至达到80%以上,平面上呈北西—南东向沿环县—合水一线大致平行于相带界线分布,砂体延展长约150 km,宽15~70 km,单砂层厚度一般5~40 m,有些地区测井解释砂岩连续厚度达百米。其中在深湖区,长6₃、长7₁等小层砂地比大于30%的范围均超过5 000 km²。砂体纵向分析表明,从长7油层组中上部至长6油层组上部,湖盆中部厚层砂体范围逐渐减小,厚度逐渐变薄,砂体的横向连续性也随之变差。长6、长7油层组沉积期在

^① 国家科技重大专项(编号:2008ZX05044和2008ZX05001)资助。
收稿日期:2009-12-11; 收修改稿日期:2010-03-05

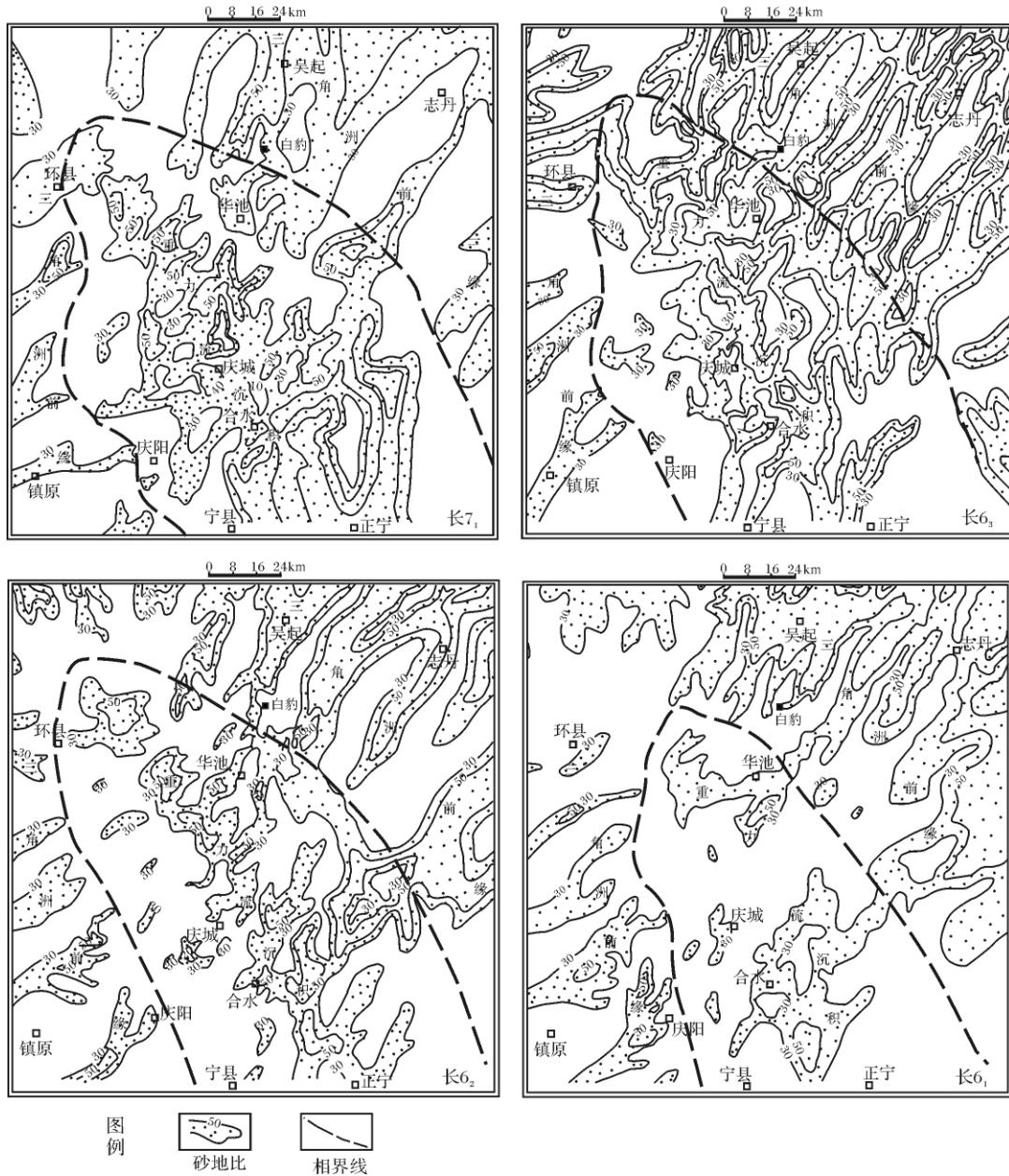


图1 鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部长6、长7油层组砂地比分布特征图

Fig. 1 Sand-strata ratio of Chang6 - Chang7 oil bearing formation in the centre of Ordos Basin

西南沉积体系环县—庆阳一线以西地区主要为三角洲前缘沉积,砂体规模小,水下分流河道窄、延伸距离短,厚度小,与该线以东深水区形成的巨型砂带分布不连续,砂体表现出“断根”的现象,而受东北体系影响的半深湖—深湖区域砂体围绕三角洲呈群状、带状,如白豹长6₃、长6₂小层砂体(图1)。

受物源区母岩性质影响,鄂尔多斯盆地湖盆中部长6、长7油层组深水砂岩的结构成熟度相对较高,颗粒主要为次棱—次圆,分选中—好,成分成熟度较低^[18]。其中,在盆地西部和西南物源控制区,沉积物

具有石英含量较高(一般35%~55%),长石含量较低(一般18%~31%)的特征,加之陇西古陆老山地质体有早古生代海相碳酸盐岩地层的参与,碎屑中还含有大量的白云岩岩屑,平均含量3.1%,岩石类型以长石岩屑砂岩为主,岩屑长石砂岩次之;东北物源控制区碎屑岩中石英含量较低(一般20%~33%),长石含量较高(一般35%~50%),基本不含白云岩岩屑,以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主。在华池—合水东一带沉积物具有混源特征。如图2所示,庄41井长6、长7油层组碎屑具有高石英、低长石含量的

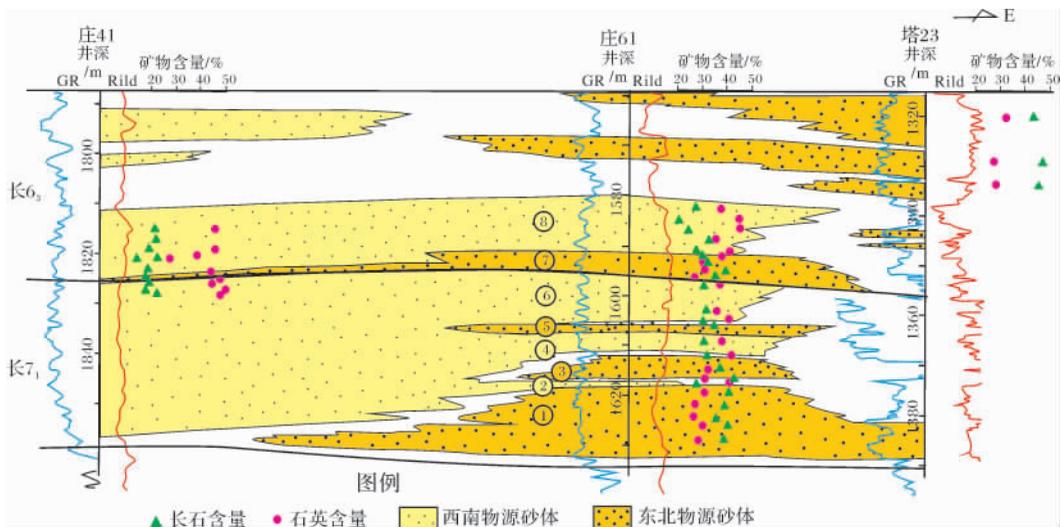


图2 庄41井—塔23井长6—长7厚层混源砂体解释剖面图

Fig. 2 The interpretation on thick mixed sources sandbody of Chang6—Chang7 in the well area of Zhuang41—Ta23

特征,反映了西南物源的沉积特征;塔23井长6、长7油层组碎屑具有高长石、低石英含量的东北物源特征;位于中间的庄61井长6₃、长7₁小层砂岩厚度大,连续厚度近50 m,沉积物中碎屑石英和长石含量的高低变化频繁,具有典型的混源特征。从岩矿特征分析该厚层砂岩至少由8期砂体组成,其中①③⑤⑦井段的砂岩主要来自东北物源,②④⑥⑧井段的砂岩主要来自西部、西南物源。

2 厚层砂体成因类型

经历了长7早期的最大湖泛,长7油层组沉积的中晚期至长6油层组沉积期为湖盆萎缩的早期阶段。该阶段半深湖、深湖分布范围仍较广泛,厚层砂体北西—南东向展布,西起环县—庆阳,东至华池—正宁以东地区,北抵吴起,向南可达宁县以南,沉积物中记录了大量的深水信息,如在砂、泥岩岩性界面常常发育滑动或冲刷作用形成的槽模、沟模、刷模构造和不均匀负载压实形成的重荷模、泥火焰等沉积构造(图版 I-1, 2);沉积物中还可可见丰富的变形、包卷层理(图版 I-3);泥岩或为厚层块状,或页理发育,亦或呈砂泥岩薄互层产出。泥岩质纯,层面干净,偶见细小的植物碎片或鱼鳞(图版 I-4)、鱼牙化石。这些沉积现象综合说明沉积物形成于半深湖—深湖沉积环境。

通过沉积结构、构造特征对比分析,湖盆中部的厚层砂体可划分为滑塌砂体、砂质碎屑流砂体、浊积砂体、三角洲砂体及底流改造砂体5种成因类型。

2.1 滑塌砂体

滑塌砂体为重力驱动下原始沉积于三角洲前端沉积物顺斜坡滑动、滑塌、整体搬运的产物。滑塌沉积为突发事件沉积地层,因此它与上覆和下伏地层呈岩性突变接触,测井自然电位曲线往往为箱状,底部存在滑动面,界面上下岩性差异大。滑动面是识别滑塌的重要依据,它既可以存在于砂岩与泥岩之间,也可以存于砂岩与砂岩之间,界面上下岩层呈较大的交角,并伴生牵引纹层(图版 I-5, 6)。在滑动、垮塌过程中,砂泥搅混揉皱可形成各种各样的变形、包卷构造、砂岩岩脉以及砂包泥、泥包砂等现象(图版 I-7, 8),滑塌体中还常常携带大量的角砾状泥岩撕裂屑。滑塌沉积广泛发育在湖盆中部地区。

2.2 砂质碎屑流砂体

碎屑流为重力流的一种,可发生于陆上、水下多种环境,具阵发性特征。流变学上碎屑流属于塑性流,流态上属于层流。碎屑流由基质和杂基支撑,通常具有一定的粘附强度,这个粘附力是粗碎屑物质的主要支撑力,碎屑流以凝结的方式沉积。位于鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心的长6、长7油层组中的碎屑流沉积,常常以细砂为基质,含有数量不等的来自深湖的泥岩撕裂屑,泥屑大小混杂,无分选、定向性,但有时具有一定的成层性(图版 II-1),称作砂质碎屑流。该类砂体规模相对较大,单旋回厚度从几十厘米至十余米,均匀块状,局部可见正粒序叠复冲刷的现象(图3)。与上下岩层具有多种类型的接触关系,如顶

底突变、顶部突变底部渐变等。砂质碎屑流中也存在大量的砂泥搅混现象。

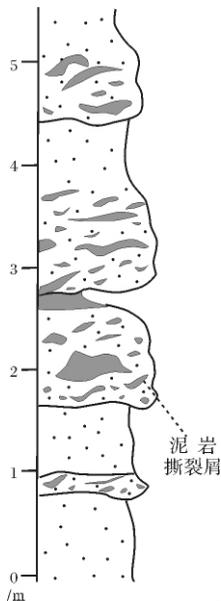


图3 宁12井长7叠覆冲刷现象

Fig. 3 The phenomena of repeating scouring in Chang 7, Well Ning12

2.3 浊积砂体

浊流常常发生于重力流的前端,为牛顿流体,流态上属于紊流,具有向上的湍流支撑机制。湖盆中部长6、长7油层组砂岩储层C值、M值投影到C—M图上,为平行C=M基线的直线段(图4),具有浊流的递变悬浮特征,沉积物显示向上变细的正粒序(图版II-2),不显层理。长6、长7油层组的浊积岩粒度普遍较细,一般下部为细砂岩、粉砂岩,向上渐变为泥质沉积,形成底部突变,顶部渐变的岩性接触关系。一些层段粒度差异不大,粒序性不明显。浊积岩单旋回厚度相对较小,一般几厘米至几十厘米,但叠加厚度较大。

2.4 深水三角洲砂体

在陕西省吴起县白豹及其北部地区,在深水背景下发育三角洲沉积。该区厚层砂体主要发育在长6油层组中下部长6₃和长6₂小层。长6₃小层厚层砂体最发育,为灰绿色中、细砂岩、粉砂岩夹薄层黑色、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩。颗粒较细的泥质岩、粉砂质沉积常常发育沟模、槽模、刷模、刻蚀模及泥火焰构造等底模构造及丰富的液化卷曲变形构造,指示形成于半深湖—深湖亚相。但是白豹地区长6油层组中下部的砂岩中常常发育平行层理、板状交错层理等层理

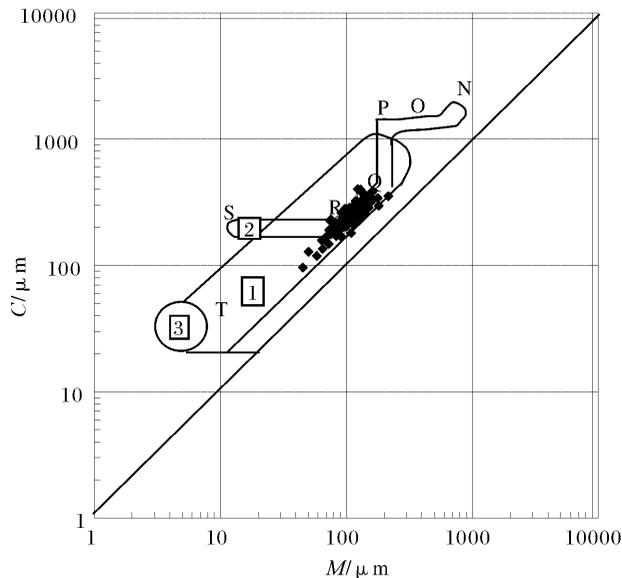


图4 鄂尔多斯盆地湖盆中部延长组长6油层组C—M图
Fig. 4 C—M diagram of turbidite of Chang 6, Yanchang Formation in the central Ordos Basin

类型。砂体通常为水下分流河道、远砂坝等沉积(图5),具有牵引流水道沉积的特征,测井曲线形态多为钟形、箱形、漏斗形。

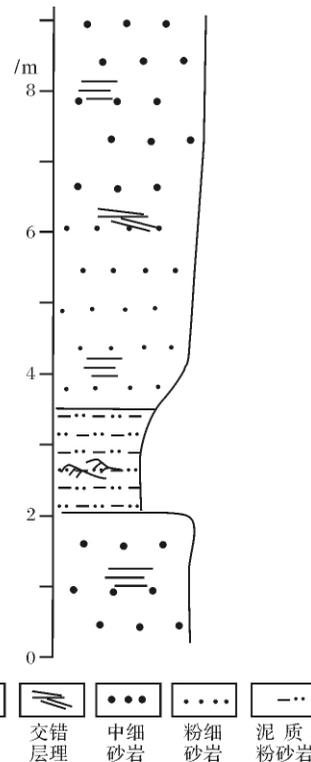


图5 白224井长6远砂坝

Fig. 5 Distal bar of Chang6 oil bearing formation, Well Bai224

因此,从厚层砂体成因分析出发,白豹及其北部地区长6油层组中下部主要为深水区牵引流作用下的三角洲前缘和前三角洲沉积,即深水三角洲沉积。厚层砂岩主要为水下分流河道叠加型、远砂坝与水下分流河道叠加型等砂体组合类型。

2.5 底流改造砂岩

水体温度差、密度差、暴风均可引起底流,它可以改造沉积在水底的松散的沉积物,形成沙纹层理、平行层理、水平层理等牵引流沉积构造(图版II-3)。底流改造砂体厚度薄,不能构成厚层砂岩的主体。

综上所述,湖盆中部厚层砂体成因复杂,存在五种成因类型,其中以滑塌砂体、砂质碎屑流砂体、浊积砂体、深水三角洲砂体为主,是多种成因类型的砂体叠加、连片的产物,总体上可称作深水重力流—牵引流沉积复合体。但不同地区沉积类型有所差异,其中西南沉积体系和东北沉积体系的末端主要为重力流沉积夹底流改造沉积,白豹及其北部地区主要为三角洲夹重力流沉积。

3 厚层砂体形成控制因素

湖盆中心地区长6、长7油层组大规模稳定分布的厚层砂体是在特定的地质条件下形成的,其形成主要受湖盆底形、湖盆演化及构造活动三方面因素控制,其中构造动力是长6、长7厚层砂体大面积分布的关键因素。

3.1 湖盆底形的影响

地形坡度是重力流形成的前提条件,它控制了厚层砂体的发育程度、类型和分布范围。晚三叠世湖盆底形具有东部宽缓,西部、西南陡倾的特点。重力流沉积主要发育于坡度较陡的西南辫状河三角洲和西缘扇三角洲前端的湖底地区。而东北物源影响地区坡度较缓,仅在东北体系末端的华池附近发育重力流沉积。再从盆地西南和西缘地区重力流发育的情况分析,西南部坡度相对较西部缓,重力流的分布受湖平面的升降影响较大,长7油层组沉积中晚期至长6油层组沉积末期,随着湖盆的萎缩,重力流沉积砂体向东迁移了大约30 km;而盆地西部地形坡度陡,湖平面的升降影响的范围较小,湖退过程中深水砂体的展布仅向东略有摆动(图1)。

3.2 湖盆演化的影响

长7油层组沉积中晚期至长6油层组沉积期,湖盆中部地区为湖退背景下的半深湖、深湖环境,随着湖盆萎缩,侵蚀基准面降低,源区剥蚀量不断增大,河

流携带了大量碎屑,物质供给充足,沉积物卸载堆积速率加快,活跃的三角洲前缘砂体不断向湖方向进积,产生高孔隙流体压力,稳定性差,在斜坡区易于产生滑动和滑塌(尤其是当有外力作用时)形成重力流。此外,快速进积的三角洲前缘砂体在前端易形成陡倾的斜坡,有利于重力流的形成,因此即使东北体系湖盆底形相对较缓,但三角洲前端仍有可能形成较陡的斜坡,形成广泛发育的重力流沉积体。

3.3 构造活动的影响

大规模重力流沉积往往是多个事件层的叠加。在长6、长7沉积物中经常可以发现火山活动、地震等构造事件的痕迹。晚三叠世碎屑沉积物中常常夹多层凝灰岩薄层,厚度一般0.2~10 cm,但分布于长6₃、长6₂、长7₃底部的凝灰岩层沉积厚度较大,测井曲线特征显著,具有低阻、高伽马、高声速等特征,反映盆地周缘地区在构造事件影响下火山活动频繁^[18]。岩芯见到大量与地震活动有关的沉积现象,如已经固结的岩石在地震活动中震裂、位移产生阶梯状正断层、震碎角砾岩等(图版II-4、5),半固结、未固结泥、砂和水在振动作用下改变其原来的排列状态,形成各类卷曲变形构造和脉体,岩脉规模不等,如宁36井岩芯中发现直径约8 cm的岩脉(图版II-6),正11井长6油层组发现的砂岩岩脉直径2~4 cm,延伸长度超过1 m(图版II-7)。因此晚三叠世长7、长6沉积期盆地周缘处于一个动荡的环境中,使得未固结的三角洲前缘砂体在构造力、重力作用下沿斜坡发生多期滑动、滑塌并引发湍流运动,堆积于坡角及湖底平原地区,纵向叠加、横向复合形成平行于湖岸线展布的大型复合重力流堆积群,具有较好的区域对比性。

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地湖盆中部长6、长7油层组碎屑岩储层发育,砂体纵向叠加,横向连片形成了厚度大、分布稳定的大型复合油气储集体,局部地区砂岩连续厚度达百米以上。

(2) 厚层砂体为深水重力流—牵引流沉积复合体,可划分滑塌、砂质碎屑流、浊流、三角洲牵引流、底流5种成因类型砂体。其中,以重力流沉积为主夹薄层深水牵引流沉积,但白豹及其北部地区厚层砂体主要为三角洲砂体。

(3) 厚层砂体的形成受控于特定的地质背景条件,湖盆萎缩的早期阶段,源区剥蚀量不断增大为厚层砂体形成奠定了物质基础;湖盆底形控制了沉积组

合类型,位于缓坡带的东北三角洲体系主要发育三角洲砂体,在相对陡坡带的西南西部沉积体系和东北三角洲的前端主要发育重力流;此外,盆地周边地区构造活动是诱发大规模重力流的重要动力。

参考文献(References)

- 1 赵文智,王新民,郭彦如,等.鄂尔多斯盆地西部晚三叠世原型盆地恢复及其改造演化[J].石油勘探与开发,2006,33(1):6-13 [Zhao Wenzhi, Wang Xinmin, Guo Yanru, et al. Restoration and tectonic reworking of the Late Triassic basin in western Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 6-13]
- 2 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):815-825 [Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 815-825]
- 3 郭彦如,刘化清,李相博,等.大型坳陷湖盆层序地层格架的研究方法体系——以鄂尔多斯盆地中生界延长组为例[J].沉积学报,2008,26(3):384-391 [Guo Yanru, Liu Huaqing, Li Xiangbo, et al. Method system on studying sequence stratigraphic framework of large sagged lacustrine basin: a case study from Mesozoic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 384-391]
- 4 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]
- 5 Bouma A H. Sedimentology of Some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation [M]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1962: 1-264
- 6 Bouma A H. Coarse-grained and fine grained turbidite systems as end member models: Applicability and dangers [J]. Petroleum Geology, 2000, 17(1): 137-143
- 7 Morris R C. Classification and interpretation of disturbed bedding typed in Jackfork flysch rocks (Upper Mississippian) Ouachita Mountain, Arkansas [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1971, 41: 410-424
- 8 Lowe D R. Sediment gravity flows: Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents [J]. Sediment Research, 1982, 152(1): 279-297
- 9 Pikerling K T, Stow D A V, Watson M P, et al. Deep water facies, process and models: a review and classification scheme for modern and ancient sediments [J]. Earth Science Review, 1986, 23: 75-174
- 10 Mutti E. Turbidite Sandstones [M]. Milan, Italy: AGIP Special Publication, 1992: 275
- 11 孟庆任,梅志超,于在平,等.南秦岭北缘镇安盆地晚泥盆世浊积岩系及盆地发展[J].沉积学报,1996,14(S1):25-32 [Meng Qingren, Mei Zhichao, Yu Zaiping, et al. Late Devonian turbidite system and tectonics of Zhen'an Basin at northern margin of South Qinling [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(S1): 25-32]
- 12 李文厚,邵磊,魏红红,等.西北地区湖相浊流沉积[J].西北大学学报:自然科学版,2001,31(1):57-62 [Li Wenhou, Shao Lei, Wei Honghong, et al. Turbidity current deposits of lake facies in northwestern China [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2001, 31(1): 57-62]
- 13 Shanmugam G, Lehtonen L R, Straume T, et al. Slump and debris flow dominated upper slope facies in the Cretaceous of the Norwegian and Northern North Seas (61°-67N°): implications for sand distribution [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78: 910-937
- 14 Shanmugam G. High density turbidity currents are they sandy debris flows? [J]. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66: 2-10
- 15 Shanmugam G. 50 Years of the turbidite paradigm: deep-water processes and facies models a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17: 285-342
- 16 Shanmugam G. A preliminary experimental study of turbidite fan deposits discussion [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(5): 838-841
- 17 张兴阳,罗顺社,何幼斌.沉积物重力流—深水牵引流沉积组合——鲍玛序列多解性探讨[J].江汉石油学院学报,2001,23(1):1-5 [Zhang Xingyang, Luo Shunshu, He Youbin. Deposit assemblage of gravity flow and traction current in deep water: a study of the multiple interpretation of the Bouma Sequence [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 23(1): 1-5]
- 18 邓秀芹,蔺昉晓,刘显阳,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨[J].古地理学报,2008,10(2):159-166 [Deng Xiuqin, Lin Fangxiao, Liu Xianyang, et al. Discussion on relationship between sedimentary evolution of the Triassic Yanchang Formation and the Early Indosinian Movement in Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(2): 159-166]

Characteristics and Mechanism of Thick Sandbody of Yanchang Formation at the Centre of Ordos Basin

FU Suo-tang^{1 2} DENG Xiu-qin^{1 3 4} PANG Jin-lian^{3 4}

(1. Geology Department of Northwest University, Xi'an 710069;

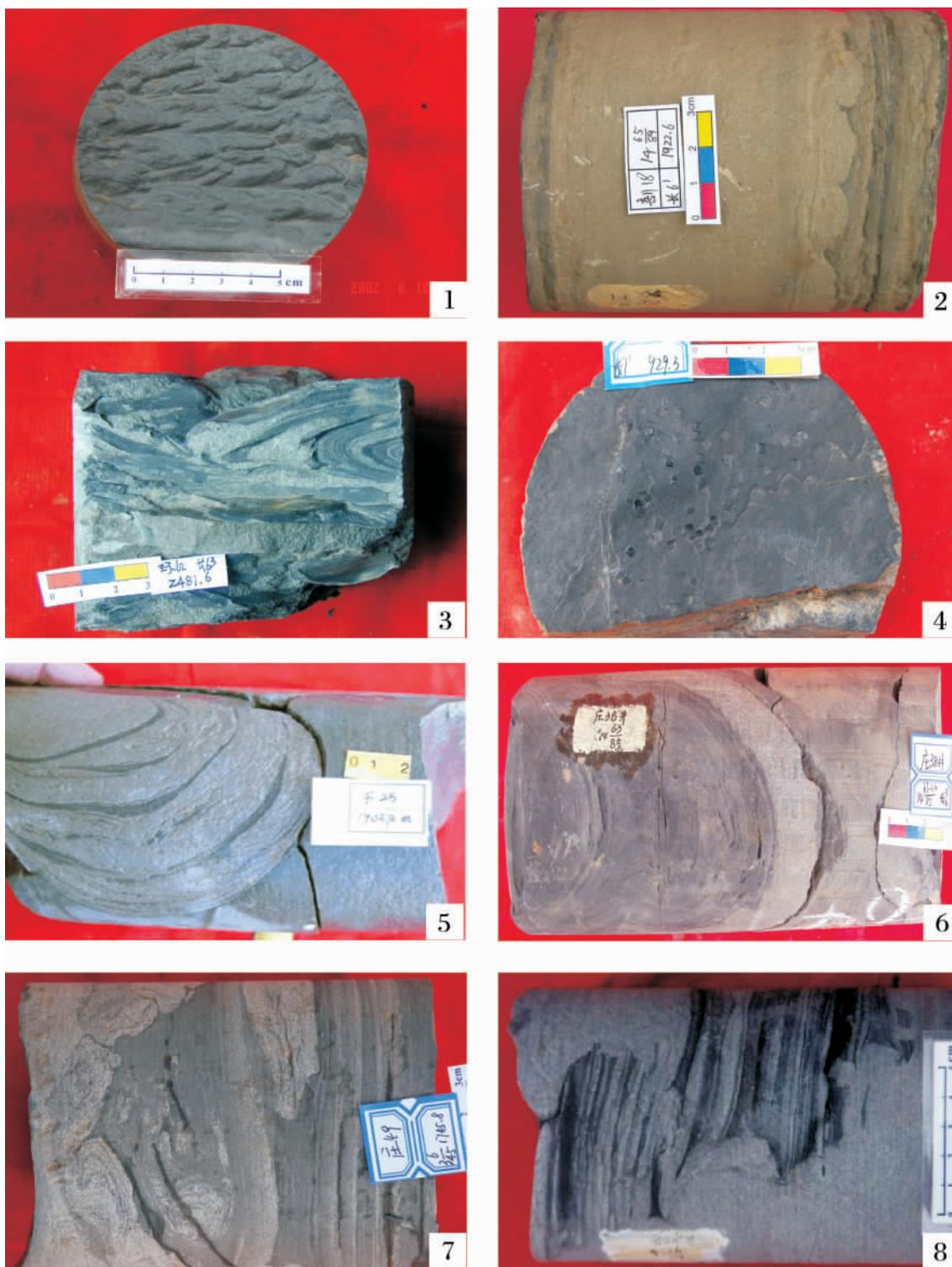
2. Qinghai Oilfield Branch PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202;

3. Exploration and Development Research Institution of Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018;

4. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018)

Abstract Thick sandbody are widely and stably developed at the depositional period of Chang6 and Chang7 oil bearing formation in late Triassic in the centre of Ordos basin. The thickness surpass one hundred metres uninterruptedly in some areas. The large-scale sand belt, formed in deep lake, stretches along the facies boundary and isolates itself from delta-front sandbody in the southwest sedimentary system, while the sand belt or lobes encircle the delta-front in the northeast sedimentary system. The thick sandbody was resulted from gravity flow and deep-water tractive current and can be divided into five types, i. e. slump, sandy debrite, turbidite, delta sandbody and underflow transforming sandbody. Among them, deposition of gravity flow is the dominant sedimentary type; However, thick sandbody in Baibao area and its north area belong to delta deposition and sandy debrite, with deposition of gravity flow. The stable distribution of thick sandbody is controlled by the factors as supply rate of sediment, bottom shape of basin and tectonic activity.

Key words thick sandbody; gravity flow; deep-water tractive current; Ordos Basin; basin centre; Yanchang Formation



图版 I 说明: 1. 西 33 井, 长 7 油层组, 重力滑动形成槽模; 2. 剖 18 井, 长 6 油层组, 不均匀负载形成火焰状构造; 3. 环 62 井, 长 6 油层组, 沉积物液化形成滑塌变形构造; 4. 正 11 井, 长 7 油层组, 方鳞鱼鳞片化石; 5. 午 25 井, 长 6 油层组, 滑塌过程中形成的滑动面, 倾角大, 上下岩层产状差异大, 岩性突变; 6. 庄 38 井, 长 6 油层组, 滑塌形成的滑动面, 倾角大, 上下岩层产状差异大, 岩性突变; 7. 庄 49 井, 长 6 油层组, 滑塌过程中形成的砂泥搅混变形; 8. 西 44 井, 长 7 油层组, 滑塌过程中细砂携带已固结的砂泥韵律层团块



图版 II 说明: 1. 耿 71 井, 长 6 油层组, 砂岩中含有大量泥岩撕裂屑, 一些泥岩撕裂屑中保存了原始沉积的层理; 2. 庄 69 井, 长 6 油层组, 碎屑搬运中具递变悬浮特征, 形成正粒序浊积岩; 3. 里 60 井, 长 6 油层组, 底流作用形成的沙纹交错层理; 4. 剖 20 井, 长 7 油层组, 地震作用下固结岩层断裂并产生短距离的位移, 形成阶梯状小断层; 5. 庄 20 井, 长 7 油层组, 地震作用下固结、半固结岩层断裂、位移形成阶梯状小断层; 6. 宁 36 井, 长 7 油层组, 砂岩岩脉直径约 8cm; 7. 正 11 井, 长 6 油层组, 砂岩注入泥岩形成肠状构造。