

鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部 长 6 厚层砂体成因分析

惠 潇¹ 张海峰¹ 张东阳² 路 霖²

(1. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710021;
2. 中国石油长庆油田公司勘探部, 陕西 西安 710021)

摘要:笔者对鄂尔多斯盆地湖盆中部地区延长组长 6 物源分析、沉积相类型、坡折带控砂、砂体分布规律等进行了研究。东北、西南两大物源提供了充足的物质基础,发育三角洲牵引流作用的沉积砂岩和重力搬运的浊积砂岩,主要为叠置水下分流河道、河口砂坝-水下分流河道和滑塌浊积岩等不同类型的砂体组合,形成了垂直湖岸线和平行湖岸线展布的巨型厚砂岩分布带。

关键词:鄂尔多斯;湖盆中部;砂体成因;浊积岩

中图分类号:TE 111.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)03-0482-07

鄂尔多斯盆地是一个大型陆相含油气盆地,三叠系延长组经历了湖盆的发生、发展、全盛、衰退乃至消亡的演化过程^[1-4],长 7 沉积时湖盆达到了全盛期,深湖分布范围广泛,水生生物发育,沉积了盆地中生界最好的一套生油岩——暗色泥岩和油页岩^[5-9],之后开始逐渐萎缩,直至最终消亡。鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部系指三叠系延长组深水湖盆较为发育的白豹—塔儿湾—合水地区,该区现今构造隶属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中南部。

传统观点认为,湖盆中部以泥质岩类沉积为主,不发育有利储集砂体。随着石油勘探的逐渐深入,在该区的长 6 层发现了大面积展布的含油砂岩储集体,但对厚层砂岩的成因始终没有取得共识^[7-12]。湖盆中部地区位于生烃中心,油源供应充足,广泛发育的泥质沉积形成了较好的盖层,而且构造稳定,因此储层条件为影响该区石油成藏的关键因素,笔者通过物源分析、沉积特征、形成机理等研究,分析厚层砂体的成因及展布形态,对该区进一步勘探和开发具有重要的指导作用。

1 沉积特征

1.1 物源分析

鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部长 6 沉积期主要发育有东北、西南两大三角洲沉积体系,两大沉积体系碎屑组成上存在很大差异,其中东北沉积体系碎屑成分具有高长石、低石英的特点,而西南沉积体系碎屑成分为相对高石英、低长石。属东北物源沉积的白豹地区主要为长石砂岩、岩屑长石砂岩;属西南物源沉积的合水地区以长石岩屑砂岩为主;位于混源区的塔儿湾地区主要为岩屑长石砂岩。在岩石类型三角图上表现为过渡关系(图 1)。

通过开展地震相研究,在湖盆中部地区的地震剖面上发现了典型的前积反射特征,可以指示物源方向。白豹地区长 6 层的前积方向总体为南西向;合水地区前积方向总体为北东向。在 97HN24 测线上发现了同时向北东、南西方向的地震前积现象(图 2),表明了东北、西南两大物源在此交汇。

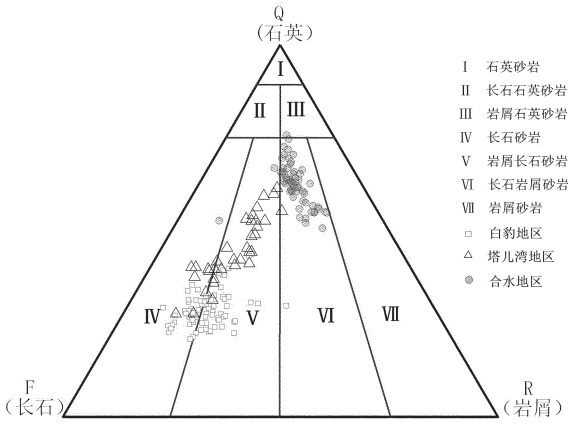


图 1 湖盆中部地区长 6 岩石类型三角图
Fig.1 Triangle diagram of Chang6 rock types in the central lake basin

1.2 沉积相类型

三叠纪时鄂尔多斯盆地是一箕状盆地，东北部地形较为平缓，西南部较陡，受其沉积地形的控制，盆地东北发育曲流河三角洲沉积，西南部为辫状河三角洲沉积。在湖盆中部地区延长组长 6 主要发育三角洲前缘亚相、前三角洲亚相、半深湖-深湖亚相和浊流沉积亚相。

三角洲前缘亚相：为河流入湖的水下沉积的主要部分，位于河流入湖口至深湖之间的滨浅湖地带，主要发育水下分流河道、河口坝、分流间湾、天然堤等沉积微相。砂岩分选、磨圆较好，发育水平层理、波状层理和各种交错层理。

前三角洲亚相：位于三角洲前缘更靠近深湖中心的前方，前端深入半深湖区，主要由暗色粘土和粉砂质组成，常发育水平层理及块状层理，前三角洲暗色泥岩富含有机质，为良好的生油岩。

半深湖-深湖亚相：位于浪基面附近或其下面，水动力条件较弱，岩性主要为粉砂质泥岩、黑色泥岩、油页岩，水平纹理发育。由厚层深灰、灰黑色泥岩或炭质泥岩与灰绿色、深灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉-细砂岩的薄互层、韵律层组成，反映深水沉积特征。常见滑塌变形、包卷层理、沟模、槽模、泥火焰构造和水平层理、沙纹层理、波状层理等特征。

浊流沉积亚相：浊积岩具有特定的沉积结构构造及其组合，粗细混杂的悬浮物质在水动力条件逐渐减弱的情况下依次发生有序沉积，形成了浊积岩特有的粒级递变的韵律层，即鲍玛序列。杨华等^[7]对合水地区长 6 砂岩粒度参数 C—M 图进行了研究，浊流沉积平行于 C=M 基线，说明沉积物递变悬浮

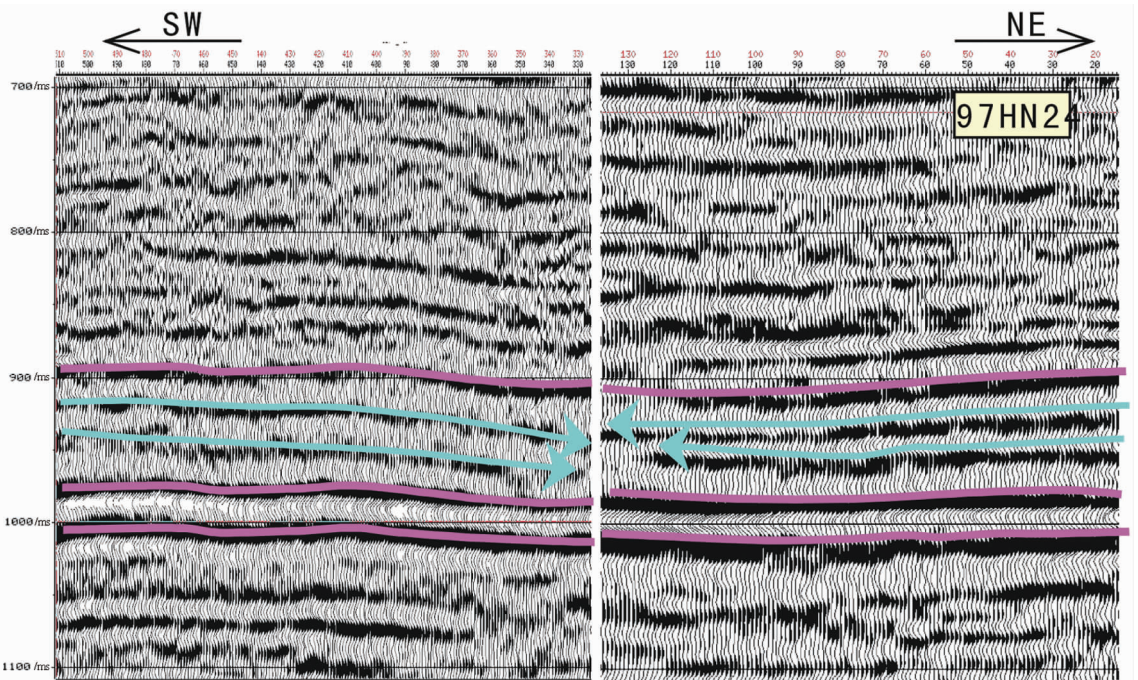


图 2 97HN24 测线常规地震解释剖面
Fig.2 Conventional seismic interpretation profile of the 97HN24 line

特征和分选性具有高度一致性。

1.3 浊积岩形成因素

斜坡环境:地形是控制浊积岩发育和分布的重要条件,重力流的启动临界坡度较大,滑动临界坡度很小。鄂尔多斯盆地延长期湖盆底形控制浊积体的发育和分布范围,在受东北物源控制的白豹地区坡度较缓,浊积岩不发育,而西南部的合水、塔儿湾地区坡度较陡,三角洲前端坡折带下广泛发育浊积砂岩。

半深湖—深湖环境:长6沉积的早期,随着侵蚀基准面的降低,源区剥蚀量不断增大,河流携带更多的碎屑物质不断向湖方向进积。半深湖—深湖区发育质纯、富含水的深水泥岩,砂质沉积物在其上易于滑动。斜坡区沉积的大量碎屑物与下伏深水泥岩接触,此外,快速进积的三角洲前缘砂体在前端易于形成陡倾的斜坡,有利于浊流的形成。

触发机制:大规模、阵发性浊流的形成常常与外在的触发机制有关。在鄂尔多斯盆地延长组长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。碎屑沉积物中常常夹多层凝灰岩薄层,厚度为0.5~10 cm,测井曲线具有低阻、高伽马、高声速等特征,反映周缘地区在构造事件影响下火山活动频繁。同时,岩心见到大量与地震活动有关的地裂缝、微褶皱纹理、泥岩撕裂屑、卷曲变形和砂岩岩脉等现象。表明晚三叠世延长期长6、长7亚期盆地处于一个动荡的环境中,使得湖盆较陡边缘未固结的三角洲前缘砂体在重力作用下引发湍流运动,从而使碎屑沉积物继续向盆地中心流动,形成浊积岩。

2 厚层砂岩形成原因

2.1 厚层砂岩形成机理

从时间上看,鄂尔多斯盆地湖盆中部地区厚层块状砂岩储集体主要发育在湖盆从鼎盛转向萎缩的长6早期,即基底上升与下降的转换时期^[13-14]。随着侵蚀基准面下降,物源区剥蚀量增大,为三角洲提供了充足的物源,导致湖岸线逐渐向物源区退缩,三角洲前缘砂体不断向深湖区进积,沉积物卸载堆积的速率较快,在砂体前端形成了稳定性较差的陡倾的斜坡环境。在该时期湖盆中部为深湖—半深湖环境,三角洲前缘砂体与下伏深水泥质岩类接触,由于深水泥岩质纯、富含水、岩性较软,其上的三角洲前缘砂岩储集体容易沿斜坡继续向深湖中心滑动,形成延伸范围较远的具有三角洲前缘和浊流复合沉积特

征的砂岩沉积。

2.2 深水坡折带对厚层砂岩的控制作用

水下坡折带是河流入湖后能量变化的枢纽,多位专家学者^[15-17]的研究表明,坡折带对沉积砂体的分布有重要的控制作用。鄂尔多斯盆地长6期发育浅水、深水两种类型的水下坡折带,其中湖盆中部的深水坡折带可进一步分为缓坡型和陡坡型两种类型(图3)。延长组长6沉积时期,湖盆东北部总体坡度较缓,在吴起南湖盆底形坡度突然变陡,三角洲前缘水下分流河道砂体在白豹地区深水坡折带下部发生滑塌、卸载,先期形成的砂体遭受后期水道的下切、侵蚀作用,或直接叠加在其上,形成了分流河道与滑塌砂体相互叠置的厚层砂岩复合体,垂直湖岸线分布。位于合水地区西南部陡坡型沉积发育多期浊积砂岩的复合体,平行坡折带分布。

2.3 砂体类型

湖盆中部地区长6期的厚层砂岩储集体主要发育三角洲前缘水下分流河道、河口坝、远端砂坝和浊流砂体。

水下分流河道砂体:为三角洲前缘的骨架砂体,一般具有粒度向上变细的正粒序结构,水动力条件相对较强,岩相组合复杂。岩心见到波状交错层理、板状层理等构造现象,在测井曲线上表现为钟形。

河口坝砂体:在湖平面下降的情况下,沉积物供给速率大于新增可容空间的增加速率,三角洲不断向湖盆中心推进,形成进积型三角洲前缘序列,具有向上粒度变粗、砂层厚度增大的反旋回特点。沉积构造自下而上为沙纹层理、透镜状层理、交错层理、断续平行层理和板状层理。电测曲线表现为中幅—中高幅的漏斗—钟形曲线组合和连续的前积式幅度组合。

远端坝砂体:一般位于三角洲前缘末端,与前三叠系泥岩沉积共生。砂岩粒度较细,岩性以粉细砂岩及泥质粉砂岩为主,向上粒度略变粗。测井曲线自然伽马值较高,显示砂质含量低、泥质含量高的特点。白豹地区长6期属三角洲前缘沉积,多期的水下分流河道、河口坝砂体叠加形成厚度较大的复合砂岩储集体。

浊流砂体:浊流沉积在长7湖泛期最为发育,长6期湖盆中部的合水、塔儿湾地区也发现了大量的浊积砂体,主要为三角洲前缘沉积物沿斜坡滑塌所形成。砂岩粒度细,具均匀块状结构和以鲍玛序列为标志的正粒序和多项韵律性旋回。一般在鄂尔多斯

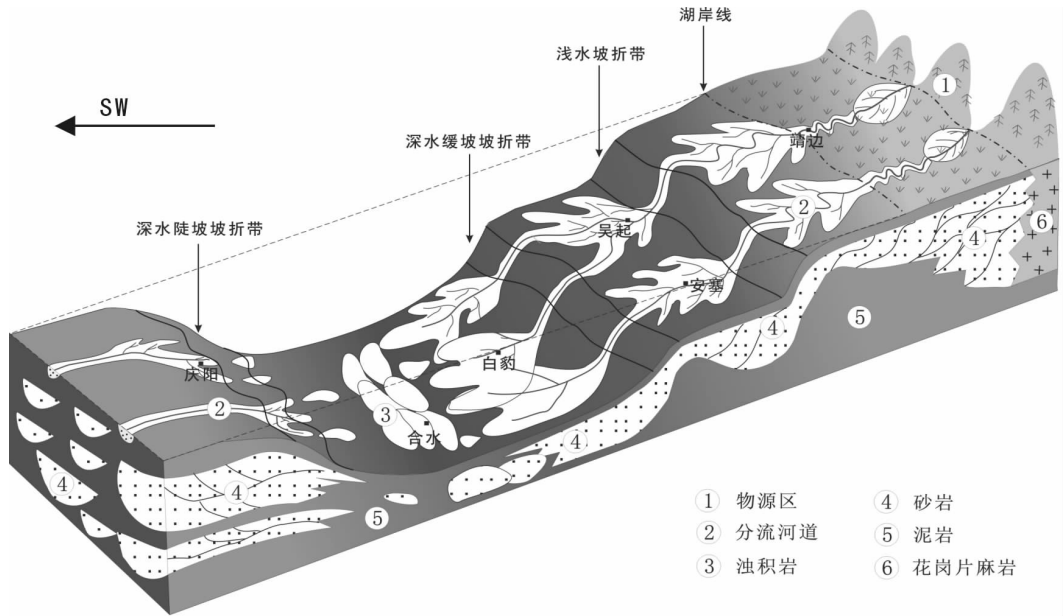


图 3 鄂尔多斯盆地延长组长 6 坡折带沉积砂体分布模式图
Fig.3 Distribution model for the sand bodies of the Chang6 slope break in the Yanchang Formation of the Ordos basin

盆地浊积岩鲍玛序列多发育不完整。此外,块状砂岩和具平行层理的砂岩纵向上复合叠加、砂岩连续,一些地区砂岩的连续厚度超过了 20 m,为油气赋存的主要场所。

2.4 砂体组合形式

根据沉积相研究成果,长 6 期沉积的厚层砂岩储集体主要为 3 种类型的砂体组合:叠置水下分流河道砂体、河口砂坝、水下分流河道复合砂体和滑塌浊积岩砂体。

叠置水下分流河道砂体:形成于基准面旋回上升半旋回中,为可容纳空间增加速率大于沉积物供给速率条件下形成的。尽管白豹地区长 6 下部细粒沉积物中见鲍玛序列、槽模、沟模、火焰状构造等各种底模构造,但厚层砂岩常常具有板状交错层理、楔状交错层理、平行层理等明显的牵引流作用的层理类型,自然电位曲线呈钟形,因此仍属于受牵引流控制的三角洲前缘水下分流河道沉积产物。由于水下分流河道不断进积而导致水下天然堤不发育,在纵向上形成厚度较大的叠置河道砂体,横向连通性较好。

河口砂坝、水下分流河道复合砂体:由于水下分流河道迁移过程中的分叉作用及水下分流河道的弯曲处决口作用,在纵向上形成由水下分流河道与河

口砂坝及远砂坝组合构成复合型成因储集砂体,根据河口坝、水下分流河道砂体的不同位置表现为不同形式的粒序结构。

滑塌浊积岩砂体:湖相浊积岩形成于深湖、半深湖环境,合水—塔儿湾地区的长 6 期广泛发育浊流沉积,为三角洲前缘沉积物沿斜坡滑塌所形成。受湖盆底形、盆地演化与构造运动的影响,湖盆中部地区容易形成大型复合浊积砂带。

3 砂体展布形态

湖盆中部地区长 6 油层发育两种搬运机制的砂岩,即三角洲牵引流作用下沉积的砂岩和重力搬运的浊积砂岩,这两种性质的砂岩在成因上和延伸方向上均存在显著差异。

白豹地区长 6 主体以三角洲前缘砂体为主,长 6 早期砂体规模较大,发育呈北东—南西向垂直于湖岸线展布的几条砂带,宽 8~15 km,靠近混源区的湖盆中心部位,各条水下分流河道交汇连片,形成平面宽度大于 30 km 的叠合砂体;在华池南—合水一线,广泛发育的浊积岩拼接成一体,形成呈北西—南东向平行湖岸线展布、延伸约 150 km 的巨型浊积砂带(图 4)。

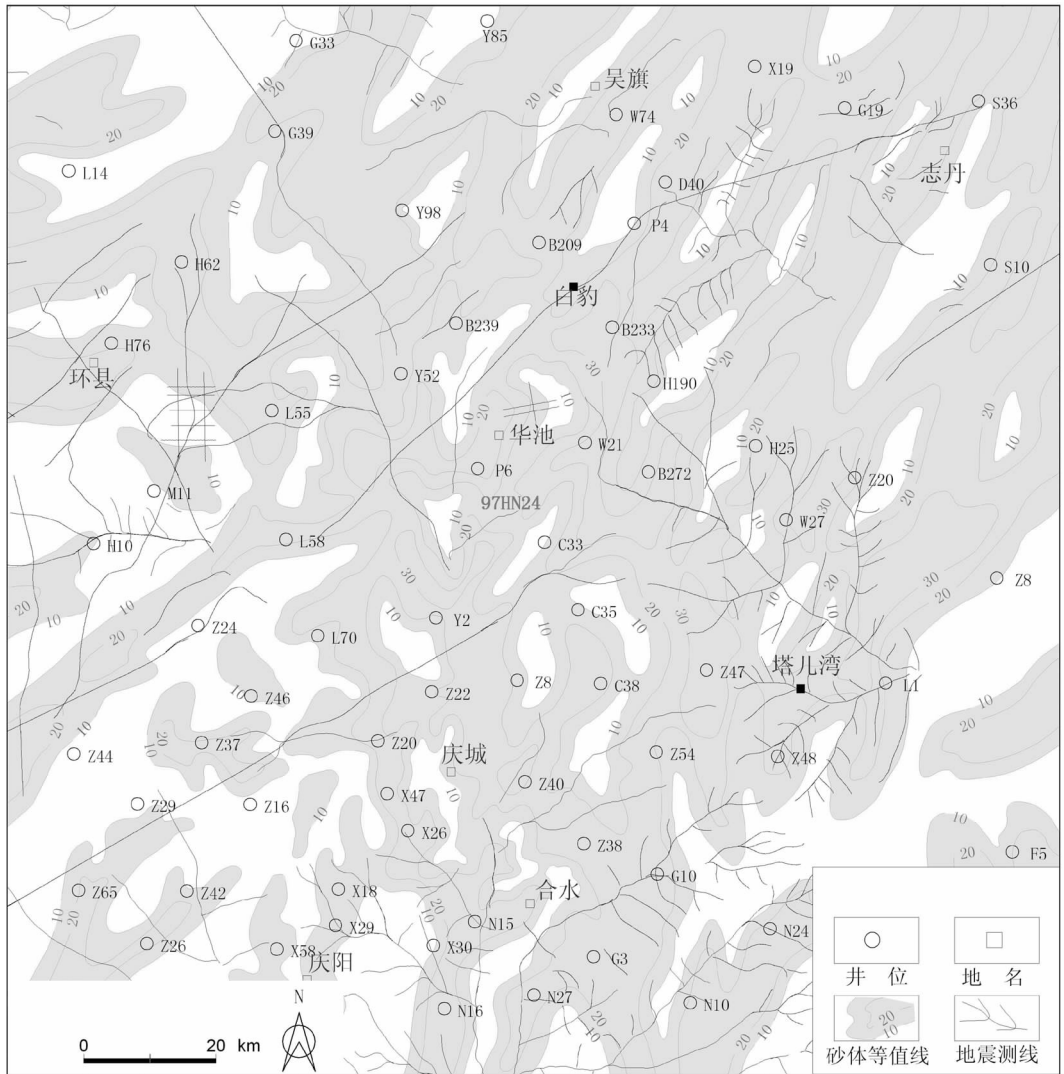


图4 鄂尔多斯盆地湖盆中部延长组长6早期砂体展布图
 Fig.4 Distribution of early-Chang 6 sand bodies in the central lake basin

4 结语

(1)鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部长6期物源方向主要来自东北、西南两大三角洲沉积体系,白豹、合水地区分别为东北、西南物源沉积,塔儿湾地区位于混源区。

(2)湖盆中部地区主要为半深湖-深湖相沉积环境,长6厚层砂体发育三角洲前缘水下分流河道、河口坝、远端砂坝和浊积岩等砂体类型。

(3)白豹地区长6主体以三角洲前缘砂体为主,砂带呈北东-南西向展布;湖盆中心部位广泛发育的浊积岩复合叠加,形成平行湖岸线展布的巨型浊积砂带。

(4)湖盆中部地区厚层块状砂岩储集体主要发育在湖盆从鼎盛转向萎缩的长7晚期和长6早期,主要为叠置水下分流河道砂体、河口砂坝-水下分流河道复合砂体和滑塌浊积岩砂体等不同类型的砂体组合。

参考文献(References):

[1] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(12)[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.
 Editorial Committee of "Petroleum Geology of China". Petroleum Geology of China, Vol. 12 [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1992(in Chinese with English abstract).
 [2] 党群, 赵虹, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组不同级次层序界面的识别[J]. 中国地质, 2007, 34(3):414-421.

- Dang Ben, Zhao Hong, Li Wenhong, et al. Identification of sequence boundaries of different orders in the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):414-421(in Chinese with English abstract).
- [3] 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(in Chinese with English abstract).
- [4] 郑孟林, 金之钧, 王毅, 等. 鄂尔多斯盆地北部中新生代构造特征及其演化[J]. *地球科学与环境*, 2006, 28(3):31-36.
- Zheng Menglin, Jin Zhijun, Wang Yi, et al. Structural characteristics and evolution of North Ordos Basin in Late Mesozoic and Cenozoic[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2006, 28(3):31-36(in Chinese with English abstract).
- [5] 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用[J]. *地球化学*, 2005, 34(2):147-154.
- Yang Hua, Zhang Wenzheng. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation; *Geology and geochemistry* [J]. *Geochimica*, 2005, 34 (2):147-154(in Chinese with English abstract).
- [6] 侯林慧, 彭平安, 张文正, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬-西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J]. *地球化学*, 2007, 36(5):497-506.
- Hou Linhui, Peng Pingan, Zhang Wenzheng, et al. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in Jiyuan-Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 2007, 36 (5):497-506 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨华, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部大型复合浊积体发育特征及浊积岩形成控制因素分析[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(专辑):1-5.
- Yang Hua, Deng Xiuqin. The analysis of character and its control factors about great turbidite system of Yanchang Formation in the middle part of Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Nature Science Edition)*, 2006, 36 (supp.):1-5 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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):34-43.
- 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 Palaeogeography*, 2005, 7 (1):34-43(in Chinese with English abstract).
- [9] 田景春, 陈高武, 窦伟坦, 等. 湖泊三角洲前缘砂体成因组合形式和分布规律 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)*, 2004, 31(6): 636-640.
- Tian Jingchun, Chen Gaowu, Dou Weitan. Origin and association types of lake delta front sandstones and their distribution patterns[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2004, 31(6):636-640(in Chinese with English abstract).
- [10] 郑荣才, 文华国, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长 6 油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义 [J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2006, 33(6):566-575.
- Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Han Yonglin, et al. Discovery and significance of sublacustrine slump turbidite fans in Chang 6 oil-bearing formation of Baibao region in Ordos Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2006, 33(6):566-575(in Chinese with English abstract).
- [11] 郝世彦, 李旦. 志丹油田义正区三叠系延长组长 6 石油地质特征[J]. *西北地质*, 2005, 38(4):94-101.
- Hao Shiyan, Li Dan. Oil-geology characteristics of Triassic system Yanchang Formation Chang-6 reservoir in Yizheng area of Zhidan oil field[J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38(4):94-101(in Chinese with English abstract).
- [12] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 陇东地区延长组层序地层特征及油气勘探意义[J]. *中国地质*, 2007, 34(3):406-413.
- Guo Yanqin, Li Wenhong, Chen Quanhong, et al. Sequence stratigraphic characteristics of the Yanchang Formation in the Longdong area and their significance for petroleum exploration [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):406-413(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组浊积岩体系及油气勘探意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(5):656-663.
- Chen Quanhong, Li Wenhong, Guo Yanqin, et al. Turbidite systems and the significance of petroleum exploration of Yanchang Formation in the southern Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5):656-663(in Chinese with English abstract).
- [14] Ross W C, Halliwell B A, May J A. Slope readjustment: A new model for the development of submarine fans and aprons [J]. *Geology*, 1994, 22:511-514.
- [15] 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型坳陷湖盆坡折带的研究及其意义 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(1):95-102.
- Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Study on slope breaks in Large Down Warped Lake Basins and its significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (1):95-102 (in Chinese with English abstract).
- [16] 冯有良, 徐秀生, 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(1):22-25.
- Feng Youliang, Xu Xiusheng. Syndepositional structural slope-break zone controls on lithologic reservoirs [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1):22-25(in Chinese with English abstract).
- [17] Eschard R. Geological factors controlling sediment transport from platform to deep basin: a review [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18(4):487-490.

Origin of Chang 6 thick-bedded sand bodies of the Yanchang Formation in the central Ordos basin

HUI Xiao¹, ZHANG Hai-feng¹, ZHANG Dong-yang², LU Lin²

(1.Exploration & Development Research Institute, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, Shaanxi, China;

2.Exploration Department, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

Abstract: The authors studied the material source, characteristics of sedimentary facies, sand control in the slope-break zone and distribution of Chang 6 sand bodies of the Yanchang Formation of the central Ordos lake basin. The source of sand bodies comes from the northeast and southwest. There are sandstone deposited by deltaic traction current action and turbidite sandstone deposited by gravitational transport. The sedimentary facies include superposed submerged distributary channels, mouth bars, distal bars and turbidite. The direction of distribution of the thick sand bodies is vertical or parallel to the lakeshore line.

Key words: Ordos; central part of the lake basin; origin of sand body; turbidite

About the first author: HUI Xiao, male, born in 1974, engineer and master, engages in the research on petroleum geology; E-mail: hx-cq@petrochina.com.cn.

关于《中国地质》编辑部变更办公电话及传真的启事

由于办公室调整,《中国地质》编辑部的办公电话改为:58584250、58584210;传真改为 58584254;通讯地址不变,仍为:北京西城区阜外大街 45 号中国地质调查局发展研究中心《中国地质》编辑部,邮编:100037。请广大作、读者注意用新的电话和传真与本刊联系。

《中国地质》编辑部
2008 年 5 月 30 日