

从前侏罗纪古地貌的角度论鄂尔多斯盆地靖边—鄂托克前旗地区油气成藏模式

旷理雄^{1,2}, 梁力文^{1,2}, 敬小军³, 史德锋^{1,2}, 黄文俊^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083; 3. 中石油长庆油田公司 采油四厂, 银川 750006)

摘要: 以陕北斜坡靖边—鄂托克前旗地区下侏罗统延安组延9油藏为例, 运用印模法恢复了前侏罗纪古地貌形态。研究表明: 研究区古地貌主要为高地、斜坡、河谷和河间丘4种古地貌单元。在此基础上分析了富县组+延10段沉积相带展布以及前侏罗纪古地貌对延9油藏的控制作用, 认为古地貌景观基本控制了富县组及延安组下部的沉积相带展布。古河谷的下切作用不仅使延9段与延长组油源层的接触距离缩短, 而且为油气运移提供了良好的通道, 如遇到有利的储集体与背斜和鼻隆等构造, 即可有机配置和富集成藏。存在两种成藏模式, 即河间丘区—分流河道组合式和斜坡区—分流河道组合式。指出前侏罗纪古地貌斜坡区与河间丘区是下一步延9段油藏勘探的有利地区。

关键词: 古地貌; 前侏罗纪; 控制因素; 成藏模式; 延安组; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.3

文献标志码: A

Accumulation model of Jingbian—Etuokeqianqi area in Ordos Basin from angle of pre-Jurassic palaeogeomorphology

KUANG Li-xiong^{1,2}, LIANG Li-wen^{1,2}, JING Xiao-jun³, SHI De-feng^{1,2}, HUANG Wen-jun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;

3. The Fourth Oil Extraction Factory, Changqing Oilfield Company, Yinchuan 750006, China)

Abstract: Taking the number 9 oil reservoir of Yan'an Formation of Low Jurassic in Jingbian—Etuokeqianqi area of Ordos Basin as an example, the palaeogeomorphic form of the pre-Jurassic was reconstructed by the mold method. The pre-Jurassic palaeogeomorphic framework is divided into upland, slope, river valley and mound. On that basis, the sedimentary facies belts distribution of the Fuxian Formation and the member 9 of the Lower Yan'an Formation and the pre-Jurassic palaeogeomorphic form control on the number 9 oil reservoirs were studied. The palaeogeomorphologic form had a certain control on the sedimentary facies belts distribution of the Fuxian Formation and the Lower Yan'an Formation of Lower Jurassic. The incision of the palaeo-valley not only decreases the distance between the Lower Yan'an Formation and the hydrocarbon source intervals, but also provides hydrocarbon migration pathways. If there exist profitable reservoirs combining with anticline and nose-up lifting structures, they can entrap hydrocarbons and form hydrocarbon reservoir. Two palaeogeomorphic reservoir models, i.e., slope-distributary channels combination model and mound-distributary channels combination model, are generalized, and the pre-Jurassic palaeogeomorphic slope and mound are the profitable areas for the exploration the member 9 of the Lower Yan'an Formation.

Key words: palaeogeomorphology; pre-Jurassic; control factor; accumulation model; Yan'an Formation; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地为我国中生代大型内陆拗陷盆地,油气资源丰富。该盆地纵向上具有多层系含油气特点,其中,侏罗系延安组是盆地重要的勘探层系。延安组经过近几年的勘探,取得了大量第一手资料,勘探开发取得了突破性进展,石油地质储量逐年递增,开发井产量稳步增长。从盆地延安组的石油地质特征看,油藏以构造和岩性与低幅度构造复合型油藏^[1-2]为主。

随着勘探开发与研究程度的不断深入,人们对鄂尔多斯盆地陕北斜坡延安组石油地质基本特征^[1-5]的认识也越来越清楚,并积累了大量的资料和丰富的经验,发表了许多有价值的学术论文。但是,陕北斜坡现有的认识程度很难满足勘探与开发工作的需要。目前陕北斜坡延安组古地貌油藏控制因素与成藏模式等方面研究较少,而前侏罗纪古地貌是控制延安组下部延 9~10 油藏的基础^[6-7]。因此,它将严重制约下一步油气的勘探与开发。

目前,对非古地貌油气藏控制因素与成藏模式研究很多,发表了不少有价值的论文^[8-10],为本次古地貌油气藏研究奠定了较好的基础。笔者在上述研究成果的基础上,以陕北斜坡靖边—鄂托克前旗地区延 9 油藏为例,采用印模法恢复侏罗纪沉积前古地貌形态,利用区域、测井等资料,分析靖边—鄂托克前旗地区沉积相展布,并在此基础上研究古地貌对油藏的控制作用,建立油气成藏模式。这一模式的建立为该区及邻区下一步延安组油气勘探与开发提供重要理论基础。

1 地质概况

区域构造研究表明:鄂尔多斯盆地边缘断裂褶皱较为发育,而内部构造相对简单。根据基底性质、地质演化历史和构造特征,该盆地区域构造可划分为西缘冲断构造带、天环拗陷、陕北斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带和伊盟隆起等 6 个二级地质构造单元(见图 1)^[4-5]。靖边—鄂托克前旗地区地处陕北斜坡的中北部,地理位置位于陕西省靖边县和内蒙古自治区鄂托克前旗境内,面积约 7 900 km²。

下侏罗统延安组延 9 油组是靖边—鄂托克前旗地区主要产油层位之一。延 9 油组沉积期,研究区主要属于三角洲平原分流河道砂体沉积^[4]。其油藏类型为构造油藏和岩性与低幅度构造复合型油藏。至目前为止,研究区钻井 350 余口,主要分布在研究区东部和南部,多口井延 9 油组中见不同程度的油气显示,其

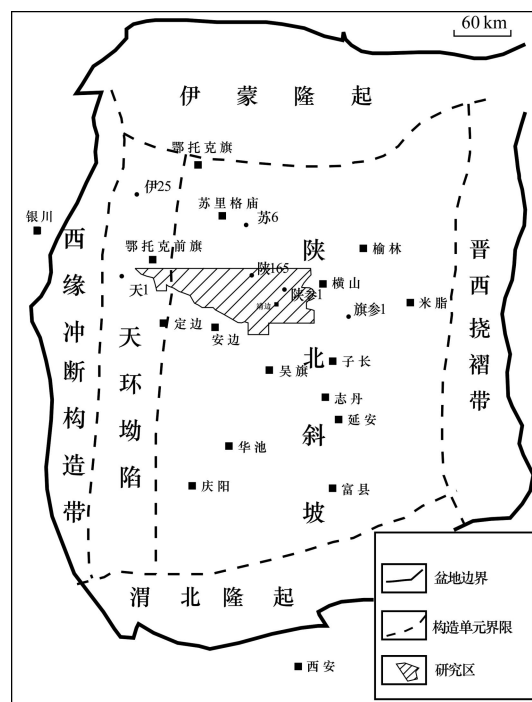


图 1 鄂尔多斯盆地构造分区与研究区位置

Fig. 1 Tectonic units of Ordos Basin and location of study area

中研究区南部古河道边缘钻探的新 14、杨 19、杨 40、安 74 和安 79 等井获得了高产工业油气流,证实为较好的含油气区块。

2 前侏罗纪古地貌恢复及特征

2.1 古地貌恢复方法

鄂尔多斯盆地因三叠纪末期印支运动整体抬升,上三叠统延长组顶部遭受强烈风化及河流侵蚀等地质作用,形成水系广布、沟壑纵横、丘陵起伏的古地貌景观^[4]。沉积演化研究表明^[7]:盆地富县期—延 10 沉积期属河流充填沉积,延 10 沉积期末准平原化,延 9—延 1 沉积期属沼泽—湖泊沉积。

古地貌的恢复方法有残留厚度和补偿厚度印模法^[7]、回剥和填平补齐法^[11]、沉积学分析法及层序地层学恢复法(包括高分辨率层序地层学)^[12]等。本次研究中,采用印模法恢复侏罗纪沉积前古地貌形态。其地质依据是延长组顶侵蚀面至延 10 段顶之间的地层厚度,这种面状特征为侵蚀面印模,它间接反映了侵蚀面的起伏形态。也就是说,如果古地貌高,则上覆沉积薄(如 2 号点);而古地貌低,则上覆沉积厚(如 3 号点),上覆沉积物+残留厚度保持不变即 $h_1+h_2=h_3+$

$h_4=h_5+h_6$ (见图2)。富县组+延10段的厚度与侏罗纪沉积前古地貌成镜像关系,利用其厚度可以反演侏罗纪沉积前古地貌形态,地层厚度由大到小反映了古地貌由低变高。因此,通过对研究区富县组+延10段地层等厚图的编绘,就可以基本恢复靖边—鄂托克前旗地区的侏罗纪沉积前古地貌形态。

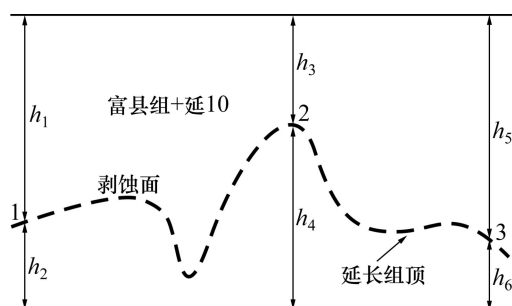


图2 古地貌恢复示意图

Fig. 2 Palaeogeomorphology recovery schematic plot

2.2 古地貌特征

利用靖边—鄂托克前旗地区149口井富县组+延10段地层厚度数据,编制了该区富县组+延10段地层厚度图(见图3)。在此基础上,恢复了侏罗纪沉积前相对古地貌(见图4~5)。该区的古地貌形态包括高地、斜坡、河谷和河间丘4种古地貌单元。

高地是指富县组+延10段沉积时,古地貌相对最高,富县组+延10段地层厚度小于40 m的区域。高地8块,主要分布于研究区东部,如河南高地、杨桥畔高地、查木哈格高地和镇靖高地等。其中:河南高地面积约373 km²;查木哈格高地面积约76 km²;杨桥畔高地面积约40 km²;镇靖高地面积约26 km²。

斜坡是指古地形相对较高的古地貌单元,处于河谷和高地之间的过渡地带。斜坡带富县组+延10段地层厚度为40~100 m。研究区斜坡4块,最大的一块在城川—陕188井区—大石砭庙—陕23井区—靖边—新13井区,面积约3 560 km²,次为召皇庙—苏22井区,面积约592 km²,最小的一块在杨118井区,面积约33 km²。其中:城川—陕188井区—大石砭庙—陕23井区—靖边—新13井区是延9油流井分布区。

河谷是指地形相对较低、富县组+延10段地层厚度为100~150 m的区域。河谷5块,主要分布于研究区西部和东南部,较大的一块在苏162—苏180井区,面积约849 km²,次为秦茂油坊—苏23井区、东坑—靖1—席麻湾和龙州—青109井区,面积分别约为819、863和304 km²,最小的一块在陕186井区,面积约10 km²。

河间丘是指古地形相对较高,顶部较平坦的地貌单元,其周缘一般被富县期河谷环绕。研究区主要分布3个河间丘,即安70井区、苏180井区东和杨50—杨18井区,其中:安70井区是延9油流井分布区。

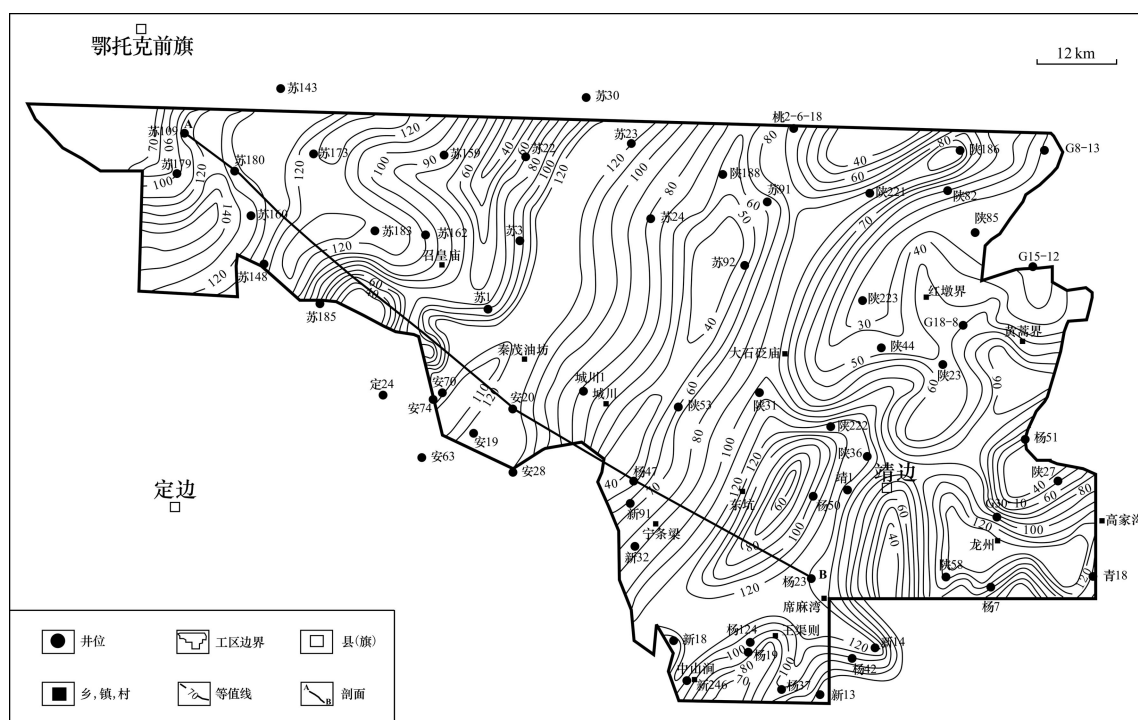


图3 靖边—鄂托克前旗地区富县组+延10段地层厚度图

Fig. 3 Stratigraphic isopach map of member 10 of Yan'an and Fuxian Formation in Jinbian—Etuokeqianqi area

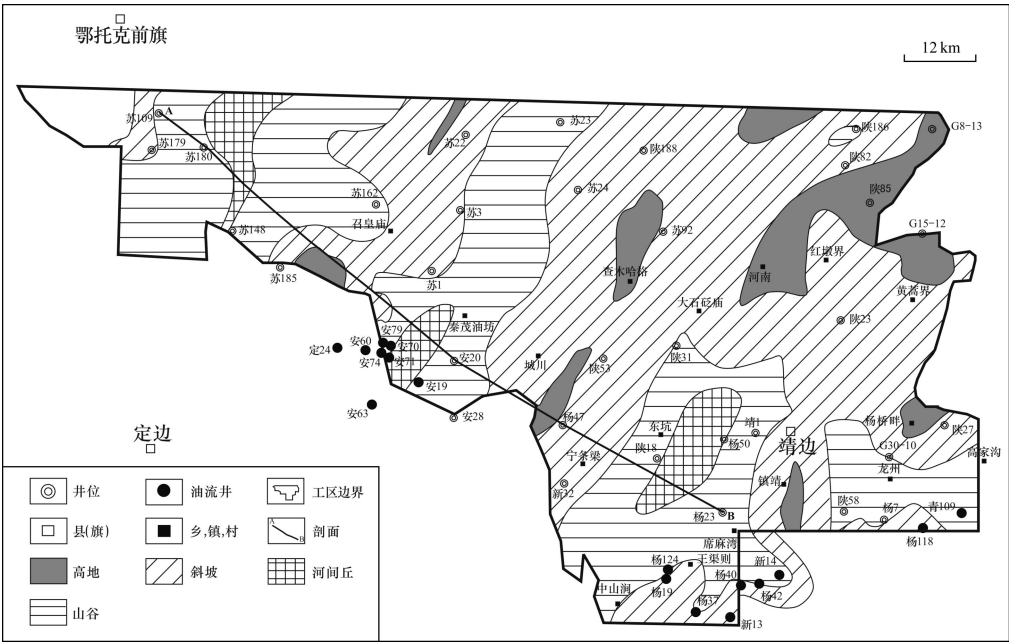


图 4 靖边—鄂托克前旗地区侏罗纪沉积前相对古地貌图

Fig. 4 Pre-Jurassic palaeogeomorphic features in Jinbian—Etuokeqianqi area

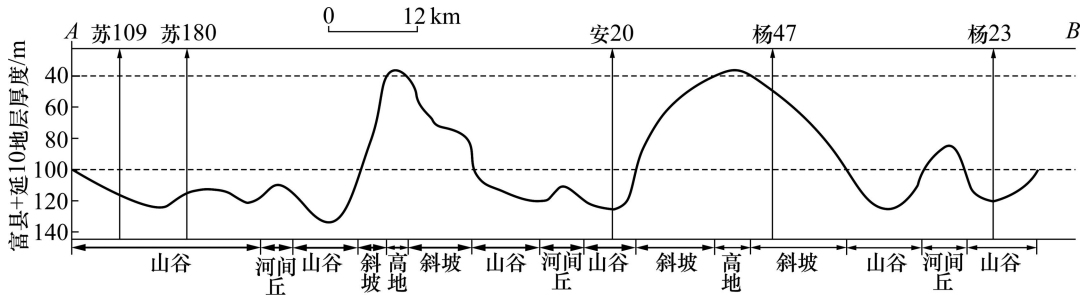


图 5 A—B 剖面图(剖面位置见图 3~4)

Fig. 5 A—B section (Section position in Figs. 3 and 4)

3 早侏罗世期沉积相平面展布特征

前侏罗纪的古地貌对富县期和延 10 沉积期的沉积相展布具有一定的控制作用。从图 4 和 6 可以看出：(砾)砂质河道、边滩和心滩主要分布在河谷及河谷两侧的斜坡地带，如陕 29 井区和陕 68 井区等；河漫(沼泽)主要分布于河谷两侧的斜坡地带，其次为河谷以及斜坡带中的高地，其向古河谷方向与边滩共生，如陕 52 井区—陕 50 井区—陕 51 井区等。

4 古地貌对油藏形成的控制作用

对本区已探明的延 9 油藏(油田)研究分析认为，

古地貌形态特征、上覆沉积环境、砂体展布特征、油气运移通道及圈闭条件等都是古地貌油藏不可缺少的控制因素。

1) 古地形较高的斜坡和河间丘是油气运移聚集的最有利场所。靖边—鄂托克前旗地区目前勘探发现的延安组油藏均属于古地貌油藏，除极个别的出油井点(青 109)在地形低的河谷中外，其余无一例外处于古地形较高的斜坡和河间丘上(见图 4 和表 1)。如杨 19、杨 124 和杨 40 等油流井位于河谷两侧的斜坡处；安 70、安 71 和安 74 等油流井位于河谷中的河间丘处。该区油藏主导因素为岩性和构造，而构造的直接成因是古地貌所致，即在前侏罗纪古地貌基础上衍生而来的由差异压实作用形成的小幅度背斜(鼻隆)是形成侏罗系油藏的最主要因素，此外，古地貌还对储层砂体以及油气运移起到控制作用，从而控制着油藏的分布。

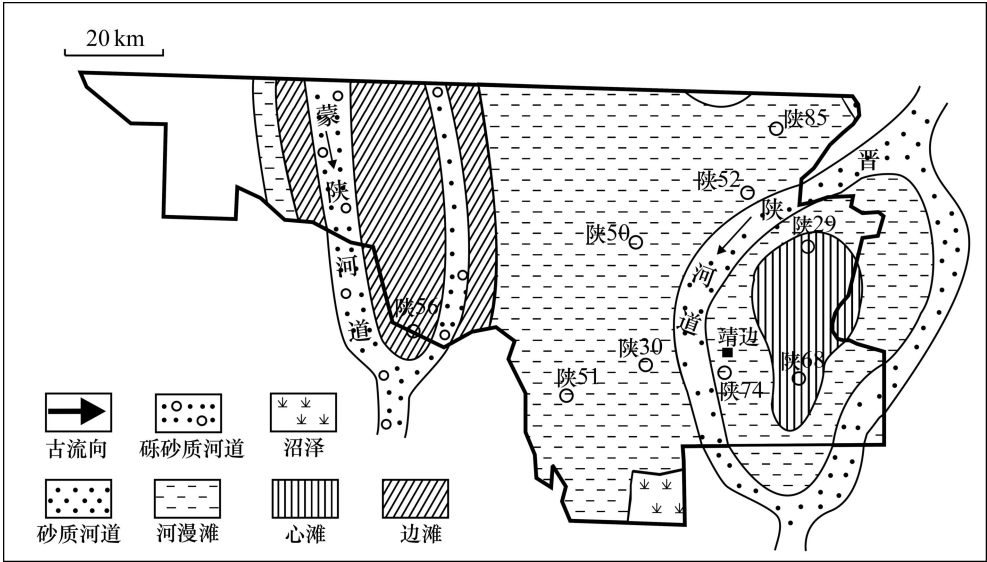


图 6 靖边—鄂托克前旗地区富县期—延 10 沉积期沉积相(据文献[4]修改)

Fig. 6 Sedimentary facies of member 10 of Yan'an and Fuxian Formation in Jinbian—Etuokeqianqi area (Modified from Ref. [4])

表 1 靖边—鄂托克前旗地区延 9 油流井分布与古地貌关系

Table 1 Oil wells and palaeogeomorphology of member 9 of Yan'an Formation in Jinbian—Etuokeqianqi area

油流井	古地貌位置
杨 19、杨 124、杨 40、杨 118、 杨 37、新 13、杨 42	斜坡
安 70、安 71、安 74、安 79、安 19	河间丘及边缘
青 109	河谷

2) 下切河谷是油气运移的主要通道。受印支运动的影响, 盆地整体抬升, 使延长组顶部遭受长期淋滤风化剥蚀, 形成了明显的侵蚀地形, 加之侏罗纪早期河道对其进一步切蚀, 延 9 段直接与延长组接触, 无疑是延长组过剩压力释放的有利场所。油气通过河谷既可发生垂向向上运移, 也可沿河道砂体侧向运移, 在圈闭条件好的地方聚集成藏。如安 74 井区、杨 19 井区和杨 40 井区延 9 油藏就是重要的例证。安 74 井区延 9 油藏近邻河谷, 处于河间丘上; 杨 19 井区油藏与杨 40 井区油藏都近邻河谷, 处于斜坡带上。

3) 延 9 段河道砂体是油气运移聚集的重要储集体。延 9 段河道砂体, 纵向上相互粘连, 横向上叠置, 砂体厚度大, 一般为 5~20 m, 平均值为 11 m, 储层物性较好, 孔隙度一般为 5%~20%, 平均值为 16.7%, 渗透率一般为 $0.4 \times 10^{-3} \sim 80.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为油气富集提供了良好的储集空间。储层评价结果, 延 9 段河道砂岩储层属于中孔低渗储层。处于河谷旁的河道砂体, 最易捕获沿河谷运移上

来的油气, 只要具备良好的圈闭条件, 就可以聚集成藏。

4) 压实构造和岩性遮挡是古地貌油藏形成的主要圈闭条件。压实构造和岩性遮挡是古地貌油藏的主要圈闭条件。古地貌油藏的圈闭条件受压实构造和岩性遮挡双重因素控制, 岩性遮挡是形成圈闭的基础, 沉积差异压实构造是圈闭富集石油的条件。

综上所述, 前侏罗纪的古地貌在一定程度上控制着延 9 油藏的储、圈和运, 为油藏的形成创造了有利的成藏条件。即下切河谷提供了来自延长组烃源岩生成的油气往上运移通道, 河谷旁的河道砂体控制着储层砂体的类型和分布规模, 斜坡与河间丘所产生的差异压实形成的小幅度背斜(鼻隆) 为构造圈闭创造了条件。

5 古地貌油藏成藏模式

依据延 9 段已探明的油藏空间分布, 结合古地貌形态、上覆层沉积环境、砂体展布和运移通道类型等多种因素, 归结出研究区古地貌油藏两种成藏模式, 即河间丘—分流河道组合式和斜坡—分流河道组合式。

5.1 河间丘区—分流河道组合成藏模式

油藏分布于前侏罗纪古地貌河间丘区, 上覆地层属三角洲平原沉积环境^[4], 分流河道砂体是主要的储集体(见图 7)。河间丘区油藏储层发育, 油层厚度薄、

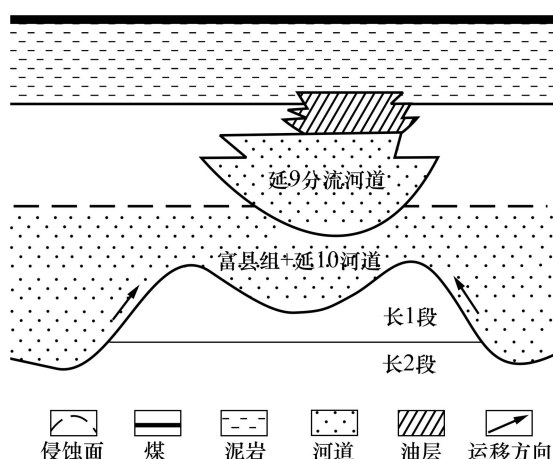


图7 靖边—鄂托克前旗地区延9河间丘区—分流河道组合成藏模式

Fig. 7 Oil reservoir model of mound-distributary channels combination of number 9 of Yan'an Formation in Jinbian—Etuokeqianqi area

充满程度高,油藏无边水、无底水是这类古地貌油藏的基本特征。安70、安71、安74、安79和安19等井区延9油藏是这类油藏的代表。该类油藏毗邻蒙陕河谷,河谷底部通常出露长2段,深切河道砂体是油气运移的通道,油藏保存条件好。

5.2 斜坡区—分流河道组合成藏模式

油藏分布在前侏罗纪古地形斜坡区,上覆地层属三角洲平原沉积环境,油层多出现在分流河道砂体中(见图8)。斜坡区油藏储层发育,油层厚度厚、充满程度低,油藏底水、边水较活跃是这类古地貌油藏的基本特征。该类油藏毗邻深切河谷,河道砂体和侵蚀面

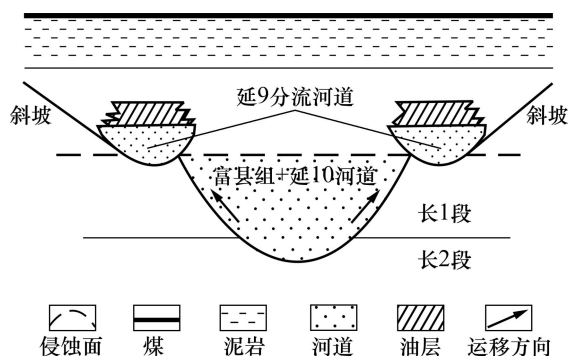


图8 靖边—鄂托克前旗地区延9斜坡区—分流河道组合成藏模式图

Fig. 8 Oil reservoir model of slope-distributary channels combination of number 9 of Yan'an Formation in Jinbian—Etuokeqianqi area

是主要的油气运移通道。杨19、杨124、杨40、杨118、杨37、新13和杨42等井区延9油藏是这类油藏的代表。

6 结论

1) 靖边—鄂托克前旗地区前侏罗纪古地貌形态主要为高地、斜坡、河谷和河间丘4种古地貌单元,且古地貌景观基本控制了富县组及延安组下部的沉积相带展布。

2) 古地形较高的斜坡和河间丘是油气运移聚集的最有利场所;古河谷的下切作用不仅使延9段与延长组油源层的接触距离缩短,又是油气运移的主要通道;延9段河道砂体是油气运移聚集的重要储集体;压实构造和岩性遮挡是古地貌油藏形成的主要圈闭条件。

3) 靖边—鄂托克前旗地区古地貌油藏存在两种成藏模式,即河间丘区—分流河道组合式和斜坡区—分流河道组合式,下一步油气勘探重点应在前侏罗纪古地貌单元斜坡与河间丘处寻找延9古地貌油藏。

REFERENCES

- [1] 张明山, 张凤奎, 刘朝东. 鄂尔多斯盆地中生界石油成藏规律再析[J]. 低渗透油气田, 2004, 9(4): 1-4.
ZHANG Ming-shan, ZHANG Feng-kui, LIU Chao-dong. A re-study on the Formation in Mesozoic in Ordos basin [J]. Low Permeable Oil Fields, 2004, 9(4): 1-4.
- [2] 喻建, 宋江海, 向惠. 鄂尔多斯盆地中生界隐蔽性油气藏成藏规律[J]. 天然气工业, 2004, 24(12): 35-37.
YU Jian, SONG Jiang-hai, XIANG Hui. Accumulation rule of subtle oil reservoirs in Mesozoic in Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(12): 35-37.
- [3] 刘新社, 席胜利, 黄道军, 张清, 王欣. 鄂尔多斯盆地中生界石油二次运移动力条件[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 143-147.
LIU Xin-she, XI Sheng-li, HUANG Dao-jun, ZHANG Qing, WANG Xin. Dynamic conditions of Mesozoic petroleum secondary migration, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 143-147.
- [4] 何自新, 杨华, 费安琪. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 88-123.
HE Zi-xin, YANG Hua, FEI An-qi. The evolution history and hydrocarbon of the Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 88-123.
- [5] 黄志龙, 江青春, 席胜利, 张才利, 张菊红. 鄂尔多斯盆地陕

- 北斜坡带三叠系延长组和侏罗系油气成藏期研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2009, 24(1): 21-25.
- HUANG Zhi-long, JIANG Qing-chun, XI Sheng-li, ZHANG Cai-li, ZHANG Ju-hong. Study on oil and gas accumulation period of Yanchang Formation of Triassic and Jurassic in North Shaanxi slope zone, Ordos Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2009, 24(1): 21-25.
- [6] 黄第藩, 王则民, 石国世. 陕甘宁盆地印支期古地貌特征及其石油地质意义[C]//中国陆相大油田. 北京: 石油工业出版社, 1997: 239-247.
- HUANG Di-fan, WANG Ze-min, SHI Guo-shi. Palaeogeomorphology characteristics of Indosinian Epoch and petroleum geology significance in Shaanxi—Gansu—Ningxia [C]// Major Nonmarine Oil Field of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 239-247.
- [7] 郭正权, 张立荣, 楚美娟, 黄锦绣. 鄂尔多斯盆地南部前侏罗纪古地貌对延安组下部油藏的控制作用[J]. 古地理学报, 2008, 10(1): 63-71.
- GUO Zheng-quan, ZHANG Li-rong, CHU Mei-juan, HUANG Jin-xiu. Pre-Jurassic palaeogeomorphic control on the hydrocarbon accumulation in the Lower Yan'an Formation in southern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 63-71.
- [8] KUANG Li-xiong, ZHEN Hao, WANG Ming-yan, HUANG Tai-zhu, LIU Chen-sheng. Timing and mechanism of reservoir forming in the Upper Triassic Halahatang Formation, Yuqi block, Tarim Basin [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(9): 1830-1840.
- [9] KUANG Li-xiong, GUO Jian-hua, HUANG Tai-zhu. Forming mechanism of hydrocarbon reservoirs in Yingshan Formation of Yuqi block in Akekule arch, Tarim Basin [J]. Journal of Central South University of Technology, 2008, 15(2): 244-250.
- [10] 旷理雄, 郭建华, 黄太柱. 塔里木盆地阿克库勒凸起于奇地区哈拉哈塘组油气成藏机制[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(2): 249-255.
- KUANG Li-xiong, GUO Jian-hua, HUANG Tai-zhu. Forming mechanism of hydrocarbon reservoirs of Halahatang Formation in Yuqi block in Akekule arch, Tarim Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38 (2): 249-255.
- [11] 田纳新, 徐国强, 李学永, 吴官生, 马亚松. 塔中地区早海西期风化壳古岩溶控制因素分析[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(2): 61-63.
- TIAN Na-xin, XU Guo-qiang, LI Xue-yong, WU Guan-sheng, MA Ya-song. Analysis of control factors of weathering crust palaeokarst in early Hercynian of Tazhong area [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26 (2): 61-63.
- [12] 赵俊兴, 陈洪德, 向 芳. 高分辨率层序地层学方法在沉积前古地貌恢复中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(1): 76-82.
- ZHAO Jun-xing, CHEN Hong-de, XIANG Fang. The possibility of rebuilding palaeogeomorphology before basin deposition by high resolution sequence stratigraphy [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2003, 30(1): 76-82.

(编辑 陈卫萍)