

文章编号: 0253-9985(2011)03-0368-07

大牛地气田上古生界沉积相与天然气富集规律的再认识

罗东明¹, 陈舒薇², 张广权²

(1. 中国石化 油田勘探开发事业部, 北京 100728 2 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 通过构造沉积演化与宏观地质认识和微观地质证据相统一的沉积相分析方法, 针对鄂尔多斯盆地大牛地气田近 400 余口完钻井进行了录井、测井资料分析、解释、对比研究及岩心的观察、描述。研究认为, 大牛地气田上古生界太原组沉积相为在区域陆表海背景下形成的陆表海碎屑滨岸-碳酸盐台地和三角洲沉积, 主要发育了三角洲分流河道和潮汐沙滩砂体; 下石盒子组盒一段是在地形高差显著的古构造-沉积背景下形成的湖泊-辫状河三角洲沉积体系, 主要发育分流河道和分流间湾微相。上述两个沉积时期的沉积相及砂体展布特点决定了太原组二段砂体物性及产能具有由北东向南西变差的特点, 高产区带主要集中在研究区北北东向砂体的中北部; 盒一段研究区发育高产富集区带的可能性较小, 中产区带主要分布在研究区中北部。

关键词: 沉积相; 天然气富集; 上古生界; 大牛地气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.3 TE122.2 **文献标识码:** A

New understandings of the Upper Paleozoic sedimentary facies and gas accumulation patterns in Daniudi gas field

Luo Dongming¹, Chen Shuwei² and Zhang Guangquan²

(1. SINOPEC Department of Oil/Gas Exploration & Production, Beijing 100728 China)

(2. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083 China)

Abstract By using sedimentary facies analysis method that unifies macroscopic geologic knowledge and microscopic geologic evidences, we conduct the analysis, interpretation and correlation of logging data and observation of cores more than 400 wells. It is thought that the sedimentary facies of the Paleozoic Taiyuan Formation in the Daniudi gas field is debris coastal-carbonate platform and delta in a regional epicontinental sea setting where delta distributary channel and tidal sand bar are deposited. The sedimentary facies of the 1st member of the Lower Shihezi Formation is lake-braided river delta in a paleostructure-sedimentary background with high relief where distributary channel and interchannel microfacies are developed. These sedimentary facies and sand distribution features determine the worsening of reservoir quality and productivity of sandbodies in the 2nd member of the Taiyuan Formation from northeast to southwest. The plays with high production potential mainly occur in the north-central part of NNE-trending sandbody in the study area. The chance is bad for them to occur in the 1st member of the Shihezi Formation in the study area. Plays with moderate production potential distribute in the north-central part of the study area.

Key words sedimentary facies; gas accumulation; Upper Paleozoic; Daniudi gas field; Ordos Basin

大牛地气田位于鄂尔多斯盆地北部伊陕斜坡杭锦旗地区塔巴庙区块, 沉积了海相-陆相沉积体

系, 具有相变快、砂体分布不稳定、储层非均质性强的特点。为有效开发这类边际气田, 寻找高产

富集区带, 沉积相研究是关键。本文在前人大量沉积相研究的基础上, 利用新增测井、地震、地质等资料, 对沉积相进行系统研究和再认识, 明确沉积相对储层的控制作用, 预测有利储层相带, 指导下一步未动用储量区的开发选区评价, 为气田产能建设提供决策依据^[1-4]。

1 研究思路和方法

1.1 研究思路

从构造控制盆地、盆地控制沉积相总体思路着眼, 充分利用岩心、分析化验、测井、地震、生产动态等资料, 开展岩石相、测井相、单井相划分及沉积相剖面对比、沉积相平面展布等研究, 建立沉积模式, 预测有利储层展布^[5-8]。

在具体研究思路, 纵向上以区域构造沉积演化关系为主要分析线索, 横向上以区域沉积背景作为研究区沉积相分析的约束条件, 以宏观地质认识与微观地质证据相统一作为沉积相研究的论证方法, 有针对性地重点论证前人关于研究区沉积相认识的分歧, 力图解决好前期沉积相与产能分布特征之间的一些矛盾性问题。

1.2 研究方法

根据以上研究思路, 本文重点加强了以下 3 个方面的研究。

1) 通过深入认识区域构造沉积演化特点, 指导研究区的沉积相研究, 弥补前期研究成果的一些不足, 力图厘清前期沉积相认识存在争议之处。

晚古生代, 大牛地气田所处的鄂尔多斯地区属于古华北海盆的西侧靠陆区域。本溪-太原组沉积时期华北盆地为陆表海环境, 由于古地理位置的原因, 海水的进退对该区沉积演化影响很大, 至早二叠世共经历了 7 次海侵, 相应地形成 7 个海进-海退沉积旋回(图 1)。山西组沉积时期为盆地转换期, 盆地北缘翘升, 海水基本退出, 区内处于海岸平原沉积环境, 其上发育三角洲体系。下石盒子组沉积初期, 受海西晚期运动影响, 盆地北缘造山, 本区成为陆内拗陷盆地, 沉积了湖泊-三角洲沉积体系^[9-12]。

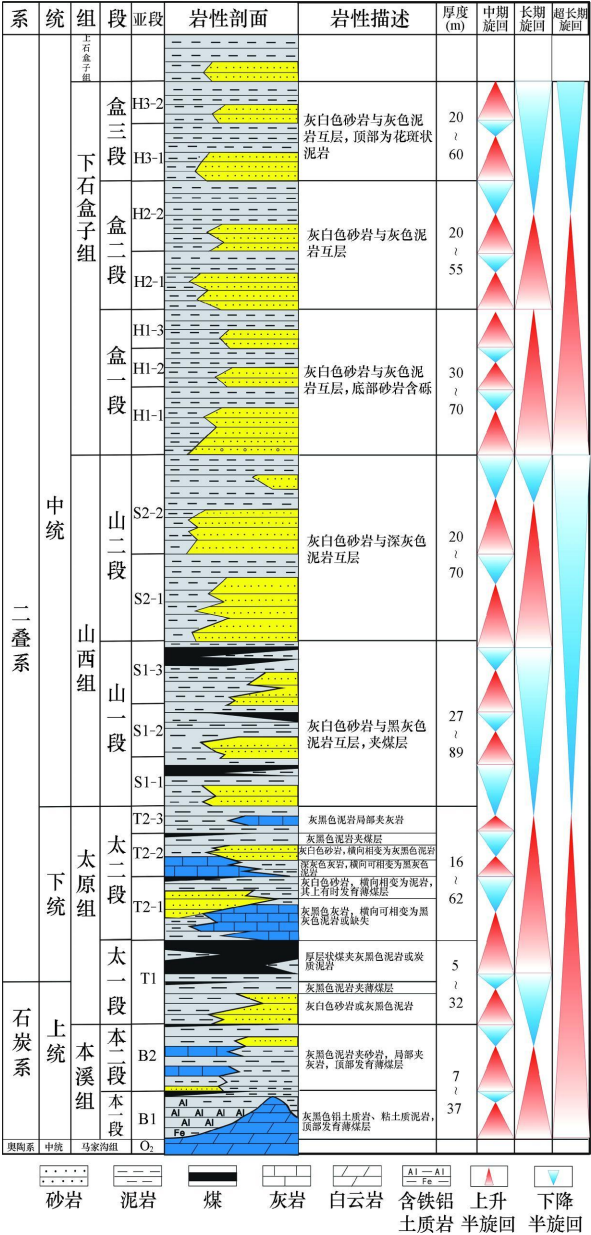


图 1 大牛地气田地层划分柱状图
Fig. 1 Stratigraphic column of the Daniudi gas field

整体上, 该区晚古生代的沉积演化方向是由海相-陆相变化的过程。这一基本认识对大牛地气田沉积相研究具有宏观指导作用。

2) 采用宏观证据与微观证据相互验证、相互统一的分析方法, 论证研究区的沉积相。

宏观上, 太原组沉积时期为陆表海-海岸平原-冲积平原-冲积扇沉积体系格局。大牛地气田当时位于海岸平原-滨岸地区, 为陆表海-海岸平原环境, 形成了碎屑滨岸-碳酸盐台地混合沉积体系和陆表海-海岸平原混合沉积体系。微观上, 通过岩心观察分析可知, 太原组沉积期的 3 套灰

岩与区域上认识的 3 次海侵一致, 岩心可见多个冲刷面发育, 证明了有河道的特征。根据岩心观察, 建立了不同沉积相带的测井相模板, 划分了 7 个简单型和 3 个复合型测井相。

同样, 山西组和下石盒子组也找到了类似的宏观和微观证据, 用来指导单井相的划分和对比, 进而分析沉积相的空间展布和演化规律。

3) 应用动-静结合的方法, 分析不同沉积相带与生产测试产能分布的关系, 预测有利储层展布。

产能分布是储层发育的直观表现, 储层发育又受控于砂体和沉积相带。大牛地地区普遍发育低渗储层, 有效储层与砂体不是简单的对应关系, 往往出现砂体发育但有效储层却不发育的情况。太原组北北东向砂体为三角洲分流河道沉积。大 35 井位于砂体条带北部, 砂岩厚 25 m, 有效厚度为 21 m, 产能为 $59\,532\text{ m}^3/\text{d}$ 大 51 井位于砂体条带南部, 砂岩厚 43 m, 而有效厚度仅 10 m, 产能为 $8\,782\text{ m}^3/\text{d}$ 。

同为分流河道砂体, 有效厚度和产能却差别较大, 分析认为有以下原因。首先, 大 35 井沉积期主要发育水上分流河道砂体, 而大 51 井沉积期发育水下分流河道。其次, 大 35 井太原组沉积期可容纳空间较小, 砂体纵向上互相叠置、河道上部细段被冲刷掉、泥质含量少、储层内部隔夹层不发育, 侧向上迁移频繁、连通性好、产能较高; 而大 51 井太原组沉积期可容纳空间较大, 纵向上河道沉积单元发育较完整、泥质含量较高、储层内部隔夹层发育, 侧向上砂体孤立、连通性较差、产能较低。通过动-静结合可知, 沉积微相对有效储层和产能具有重要的控制作用。

同样, 通过分析山西组和下石盒子组不同相带与生产测试产能分布的关系, 找出影响储层发育和产能的主控因素, 指导有利储层展布预测。

2 沉积相新认识

2.1 总体沉积特征

系统研究认为, 上古生界从下至上沉积了太原组的陆表海碎屑滨岸-碳酸盐台地和三角洲沉积体系, 山西组的三角洲沉积体系, 及下石盒子组的湖泊-辫状河三角洲-三角洲沉积体系。其

中, 太二段、盒一段与前期沉积相认识存在不同之处。

太原组为滨岸碎屑岩、台地碳酸盐岩和三角洲沉积。太一段下部为三角洲-碎屑滨岸沉积, 分流河道分布有限, 厚度较薄。太二段为 3 个小层, 其中太 2-1 和太 2-2 层砂体分布范围较大; 太 2-3 层在研究区南部沉积了碳酸盐台地灰岩, 其他地区沉积了局限浅海砂泥岩, 厚度较薄。图 2 为太 2-1 层的沉积相图, 为海退时沉积的三角洲-碎屑滨岸相沉积。在研究区东部发育两条北东向三角洲(水下)分流河道, 西部发育碎屑滨岸相潮汐沙滩。

山西组沉积早期为滨海三角洲沉积体系。山一段分为 3 个小层, 均发育分流河道-水下分流河道、分流间湾-水下分流间湾、决口扇沉积, 且河道发育具有继承性, 其中山 1-2 层储层较发育。山西组沉积后期, 由于盆地北缘的抬升, 海水完全退出, 形成了近海三角洲沉积体系。山二段分为 2 个小层, 主要发育分流河道、分流间湾沉积, 河道砂体主要沿北西和北东向展布, 河道迁移、摆动频繁, 其中山 2-2 层较山 2-1 层储层更发育。

下石盒子组盒一段为辫状河三角洲沉积, 分为 3 个小层, 储层均很发育, 主要分布于研究区中部, 辫状河道分布较广, 近南北向展布。图 3 为盒

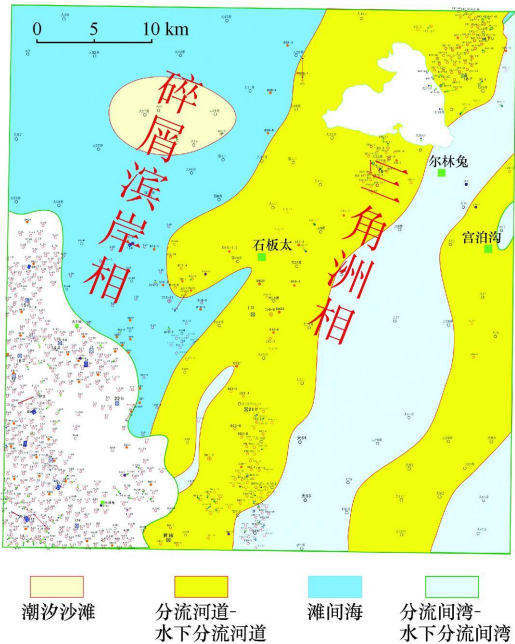


图 2 大牛地气田太 2-1 层上部沉积相
Fig. 2 Sedimentary facies of the 2-1 inter al of Taiyuan Formation in the Danudi gas field

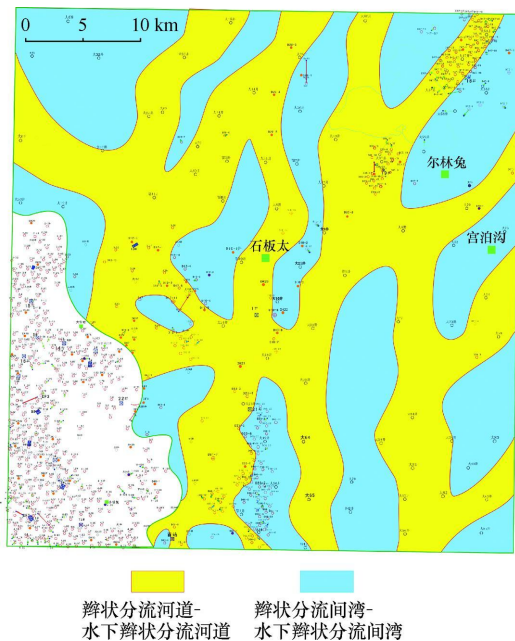


图 3 大牛地气田盒 1-3 层沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies of the 1-3 interval of Shshezi Formation in the Danudi gas field

1-3 层的沉积相图, 显示河道宽度较大, 迁移、摆动频繁。盒二、盒三段为湖泊-三角洲沉积。盒二段分为 2 个小层, 研究区中部储层发育, 主要发育近南北向的分流河道, 宽度较大; 盒三段分为 2 个小层, 储层主要发育于研究区中部。

2.2 沉积相研究新认识

区内沉积相研究主要存在两方面较大争议。一是如何认识太二段海侵、海退与其砂体展布规律的相序关系; 二是研究区下石盒子组沉积是否可见湖泊-三角洲沉积的证据。

2.2.1 太原组为陆表海碎屑滨岸-碳酸盐台地和三角洲沉积

前人对太原组沉积相的认识争议较大: 一些研究者认为是障壁岛-潟湖体系^[13-16]; 部分学者认为属于三角洲-堡岛体系和碳酸盐台地-堡岛体系^[17-18]; 还有部分学者认为是潮坪-台地体系^[19]。

本次研究认为, 研究区为陆表海碎屑滨岸-碳酸盐台地和三角洲沉积。首先, 从沉积背景分析, 晚石炭-一早二叠世华北海为典型的陆表海, 碎屑滨岸-三角洲沉积发育于陆表海滨岸地区, 海底坡度极小, 滨岸相带宽阔。而障壁岛-潟湖沉积体系发育于陆缘海有障壁碎屑的滨岸地区。

其次, 从水动力条件分析, 太原组沉积时期水动力弱, 以潮汐能、海流为主, 亦有河流作用, 风暴作用经常发生。而障壁岛-潟湖沉积体系向陆一侧以潮汐作用为主, 水动力弱; 向海方向以波浪作用为主, 水动力强。

第三, 从水介质分析, 主要为广盐性生物, 如腹足类、瓣鳃类、介形类、舌形贝和海绵骨针, 化石较少。研究区为半咸水-正常盐度海水。

第四, 从沉积环境及相带展布分析, 碎屑滨岸由潮坪、潮道、局限浅海组成。局限浅海向岸方向为潮坪, 向海方向为碳酸岩台地, 其中的潮汐沙滩围限于滩间海中; 三角洲由分流河道和分流间湾组成, 水下分流河道两侧为局限浅海或水下分流间湾。

第五, 从砂体形态及展布分析, 潮汐沙滩顶凸底平, 无定形、无定向、大小各异; 河道砂体垂直于海岸线连续分布, 时分、时合。

第六, 从剖面特征分析, 三角洲分流河道和潮汐沙滩砂体叠压于下伏地层上 (在本区砂体之下为泥岩或煤层), 呈透镜状, 其上为泥岩 (图 4)。

第七, 从垂向序列及沉积构造分析, 分流河道砂体和潮汐沙滩多为正粒序, 中细砂岩为主, 发育低角度交错层理, 冲刷面发育, 其上有河床滞积砾岩 (图 5)。

2.2.2 盒一段为辫状河三角洲沉积

前人对盒一段的沉积相有多种认识: 一些研究者认为区内下石盒子组属河流沉积体系^[9]; 部分学者认为下石盒子组为三角洲沉积^[20-21]; 还有部分学者认为下石盒子组为辫状河三角洲沉积^[18]。

本次研究认为, 盒一段为湖泊-辫状河三角洲沉积体系, 其依据如下。首先, 从沉积背景分析, 山西组沉积期末, 由于华北板块与欧亚板块碰撞, 盆地北缘急剧抬升, 地形高差加大, 剥蚀量大增, 碎屑变粗, 在鄂尔多斯北部形成辫状河三角洲环境。

其次, 从沉积物结构分析, 研究区的沉积物分选、磨圆度较好, 说明离物源区较远; 而辫状河离物源区较近, 位于冲积扇端的辫状河冲积平原上, 沉积物分选较差, 砾石磨圆度差 (图 6a)。

第三, 从沉积物的颜色分析, 泥岩以大段灰色、深灰色为主 (图 6b), 表明研究区处于还原环境, 具有一定的水体深度, 没有暴露的标志; 而辫状河泥岩以大段红色、棕红色为主, 暴露标志明显。

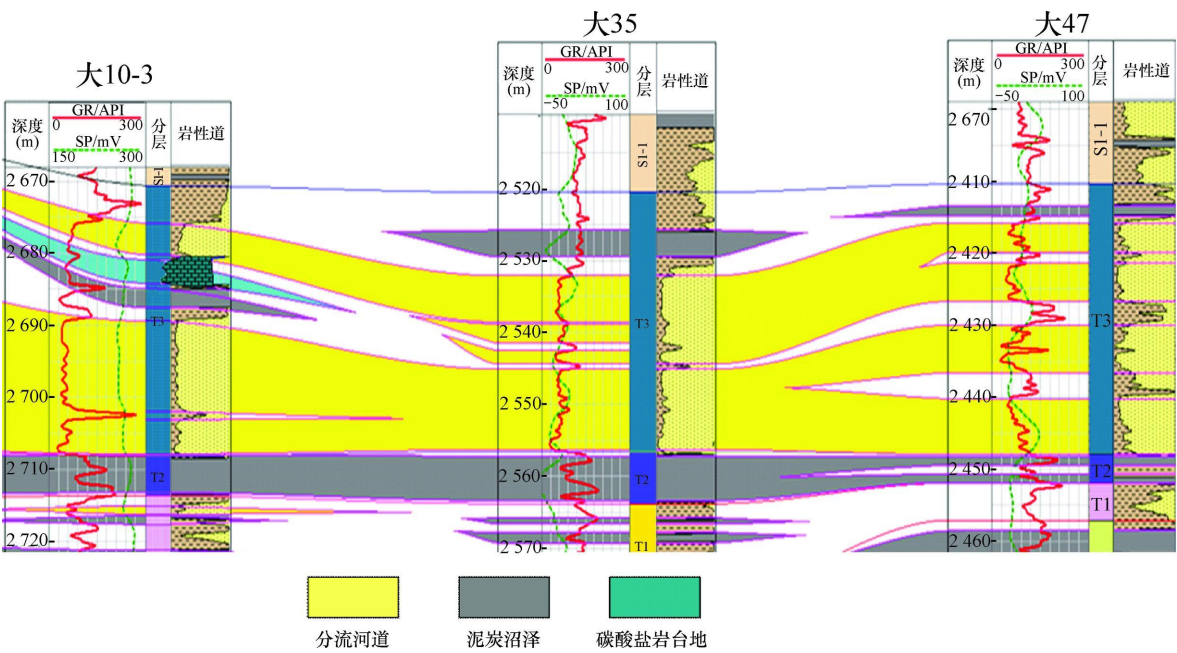


图 4 大牛地气田大 10- 3 至大 47 井太原组剖面沉积相对比

Fig. 4 Correlation of sedimentary facies in the Taiyuan Formation from the D10-3 well to D54 well in the Daniudi gas field



图 5 大牛地气田大 47 井太 2- 1 层岩心照片

Fig 5 Photo showing core from the 2-1 interval of Taiyuan Formation in the D47 well in the Daniudi gas field

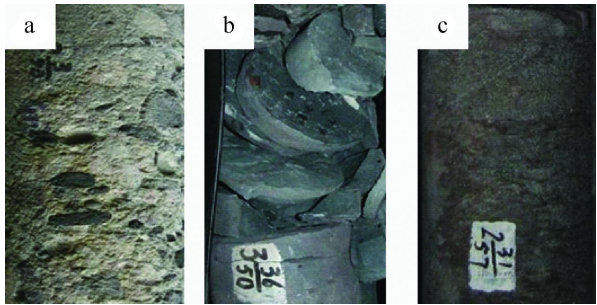


图 6 大牛地气田盒一段岩心照片

Fig. 6 Photo showing core from the 1st member of the Shizezi Formation in the Daniudi gas field

第四, 从岩性分析, 研究区下石盒子组发育风暴岩, 见杂色泥岩或花斑状泥岩, 棕红、棕褐色泥岩呈角砾状颗粒, 基质为浅灰、灰绿色泥岩, 花斑状泥岩与其下的棕红、棕褐色泥岩呈冲刷面接触 (图 6c), 为风暴沉积成因形成。风暴岩仅发育于

水下沉积; 辫状河不发育风暴岩。

3 有利相带分析

综合研究认为, 太原组及山西组沉积时期的主要储集砂体为三角洲的 (水下) 分流河道, 盒一段沉积时期的主要储集砂体为辫状河三角洲的辫状分流河道, 盒二、盒三段沉积时期的主要储集砂体为三角洲的分流河道。3 个沉积期的砂岩均呈条带状分布, 范围较广、厚度较大。 (水下) 分流河道、 (水下) 辫状分流河道的下部砂体的物性、孔隙结构较好, 为较好的储层, 是有利的含气层段。

太二段沉积相前人多数认为是障壁岛- 潟湖沉积, 而研究区内北北东向的砂体物性、产能等由北向南总体变低, 与沉积相不符。通过本次研究发现, 太二段发育的陆表海碎屑滨岸三角洲沉积体系, 北北东向的砂体为三角洲的分流河道, 泥质含量由北向南西变高, 岩性分选、砂体物性由北向东向南西变差, 产能也应由北向东向南西变差。结合生产动态资料可知, 太二段的高产区带主要集中在研究区北北东向砂体的中北部 (图 7)。这与沉积相研究结果一致。

盒一段沉积相前人认为是辫状河, 探明储量很大, 但动用率很低。本次通过一系列的研究认为, 盒一段沉积相为辫状河三角洲沉积, 有利储层

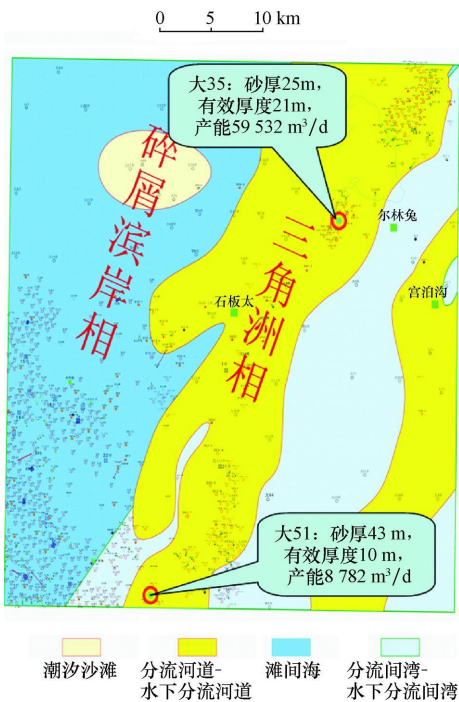


图 7 大牛地气田太 2-1 层沉积相- 产能分布
Fig 7 Sedimentary faices-producti ity distribution of the 2-1 inter al of Taiyuan Formation in the Daniudi gas field

为(水下)辫状河分流河道,垂向上为多段、多韵律,气层非均质性严重,河道边缘的物性通常很差,河道主体部位为较好的有利储层。研究区盒一段沉积时期,盆地北缘急剧抬升,地形高差加大,剥蚀量大增,碎屑变粗,分选变差,泥质含量高,导致储层物性偏差,产能较低。分析认为,研究区发育高产富集区带的可能性较小,中产区带主要分布在研究区中北部(图 8)。

4 结论

- 1) 太原组为典型的陆表海背景下形成的陆表海碎屑滨岸-碳酸盐台地和三角洲沉积。主要发育了三角洲分流河道和潮汐沙滩砂体。分流河道砂体和潮汐沙滩多为正粒序,以中细砂岩为主,发育低角度交错层理;其中,分流河道砂体底部冲刷面发育,其上有河床滞积砾岩。潮汐沙滩具有顶凸底平,无定形、无定向、大小各异的特点;而河道砂体具有垂直于海岸线连续分布,时分、时合的特点。
- 2) 在山西组沉积期末,由于华北板块与欧亚板块碰撞,盆地北缘急剧抬升,地形高差加大的古构造-沉积背景形成了盒一段的湖泊-辫状河三角洲沉积体系。该沉积体系具有碎屑粗、分选较

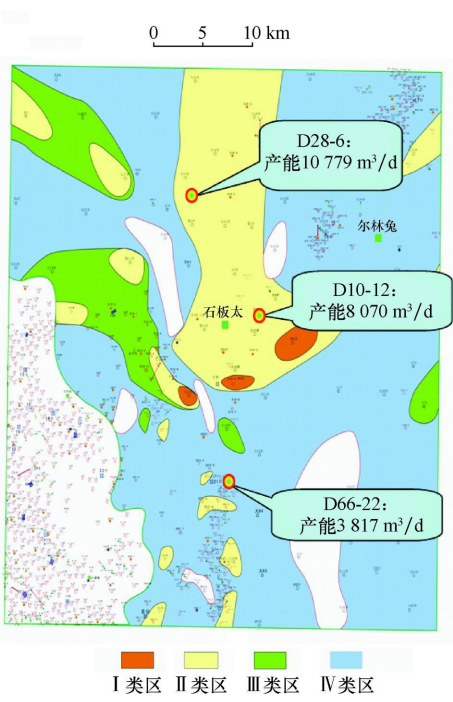


图 8 大牛地气田盒 1-1 层储层综合评价
Fig 8 Reser oir e valuation of the 1-1 inter al of the Shihezi Formation in the Daniudi gas field

- 差、泥质含量高,灰色、深灰色泥岩发育,并与风暴岩相伴生等特点。
- 3) 上述两个沉积时期的沉积相及砂体展布特点决定了太二段砂体物性及产能具有由北东向南西变差的特点,高产区带主要集中在研究区北北东向砂体的中北部;而盒一段研究区发育高产富集区带的可能性较小,中产区带主要分布在研究区中北部。

参 考 文 献

[1] 董昭雄,沈昭国,何国贤,等.鄂尔多斯盆地大牛地气田山 1 段储层与沉积微相的关系[J].石油与天然气地质,2009,30(2):162-167
Dong Zhaoxiong, Shen Zhaoguo, He Guoxian, et al Relationship of sedimentary microfacies with reservoirs in the Sha1 member of Daniudi gas field, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 162-167

[2] 段春节,陈路原,吴汉宁.大牛地气田下二叠统叠合气藏开发地质特征[J].石油实验地质,2009,31(5):495-499
Duan Chunjie, Chen Luyuan, Wu Hanning Development geological characteristics of the Lower Permian overlapping gas reservoirs in Daniudi gas field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(5): 495-499

[3] 许杰,何治亮,董宁,等.鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 3 段河道砂岩相控储层预测[J].石油与天然气地质,2009,30

- (6): 692– 696, 705
- Xu Jie He Zhiliang Dong Ning et al Facies constrained reservoir prediction of P_1h^3 channel sandstone in Daniudi gasfield, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 692– 696, 705
- [4] 郭书元, 张广权, 陈舒薇, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田晚石炭—早二叠世地层划分 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 697– 705
- Guo Shuyuan, Zhang Guangquan, Chen Shuwei et al Stratigraphic division of the Upper Carboniferous-Lower Permian in Daniudi gasfield, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 697– 705.
- [5] 里丁 H G. 沉积环境和相 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 15– 150.
- Reading H G. Deposition environment and phase [M]. Beijing Science Press 1986: 15– 150.
- [6] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 (第三版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 50– 200
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrography (Edition 3rd) [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2001: 50– 200
- [7] 冯增昭. 沉积岩石学 (第二版): 下册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 30– 60
- Feng Zengzhao. Sedimentary petrography (Edition 2nd) [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1993: 30– 60
- [8] 于兴河. 碎屑岩系油气储集层沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 10– 200
- Yu Xinghe. Clastic rocks hydrocarbon reservoir sedimentology [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2002: 10– 200.
- [9] Armstrong A K. Carboniferous carbonate depositional models, preliminary lithofacies and paleotectonics maps, Arctic Alaska [J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(4): 621– 645
- [10] 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化 [J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 44– 51
- Guo Yinghai, Liu Huanjie, Quan Biao et al Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 44– 51
- [11] 尚冠雄. 华北晚古生代聚煤盆地造盆构造略述 [J]. 中国煤田地质, 1995, 7(2): 1– 6
- Shang Guanxiong. An outline of basining structures of North China Late Paleozoic coal accumulation basin [J]. China Coal Geology, 1995, 7(2): 1– 6
- [12] 王鸿祯, 杨森楠, 刘本培. 中国及邻区构造古地理和三维古地理 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 115– 160
- Wang Hongzhen, Yang Sennan, Liu Benpei. Tectonic-paleogeographic and 3D-paleogeographic in China and adjacent regions [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press 1990: 115– 160.
- [13] 郝蜀民, 李良, 尤欢增. 大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式 [J]. 中国地质, 2007, 34(4): 606– 611
- Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permian-Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near source box-type gas accumulation forming mode [J]. China Geology, 2007, 34(4): 606– 611
- [14] 张复礼, 黄舜兴, 杨昌贵, 等. 鄂尔多斯盆地天然气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 50– 150
- Zhang Fuli, Huang Shunxing, Yang Changgui et al Gas geology in Ordos Basin [M]. Beijing Geological Publishing House, 1994: 50– 150.
- [15] 陈世悦, 刘焕杰. 含煤建造露头层序地层分析——以太原西山石炭—二叠系剖面为例 [J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(2): 13– 17
- Chen Shiyue, Liu Huanjie. Sequence stratigraphy analysis of coal-bearing formation outcrop—a case of profile of Carboniferous-Permian of Taiyuan Xishan [J]. Coal Geology & Exploration, 1995, 23(2): 13– 17.
- [16] 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996: 10– 150
- Wang Shuangming. Coal accumulation and coal resources evaluation in Ordos basin [M]. Beijing Coal Industry Press 1996: 10– 150
- [17] 刘焕杰, 贾玉如, 龙跃珍, 等. 海相成煤论进展 [J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 47– 56
- Liu Huanjie, Jian Yuru, Long Yuezhen, et al Progress in coal-forming theory of marine facies [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 47– 56.
- [18] 陈钟惠. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积环境和聚煤规律 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989: 35– 80
- Chen Zhonghui. The time and spatial evolution of sedimentary systems and coal accumulating centre in Late Paleozoic coal-bearing measures on the eastern margin of Ordos basin [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press 1989: 35– 80
- [19] 李增学, 王明镇, 余继峰, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层层序地层与海侵成煤特点 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 834– 840
- Li Zengxue, Wang Mingzhen, Yu Jifeng et al Sequence stratigraphy of Late Paleozoic coal-bearing measures and the transgressive coal-formed features in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 834– 840
- [20] 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭—二叠系两类三角洲沉积机理探讨 [J]. 石油天然气地质, 2001, 22(1): 69– 71
- He Yizhong, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Discussion on sedimentary mechanism of two kind deltas from Permian-carboniferous of central Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 69– 71
- [21] 付锁堂, 田景春, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2003, 30(3): 236– 241
- Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde et al The delta depositional system distribution of Late Paleozoic era in Ordos basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3): 236– 241