

阿尔及利亚韦德迈阿次盆地 438B 区块泥盆纪 层序-岩相古地理特征

潘杨辉^{1,2}, 郑荣才¹, 胡 诚¹, 赵 灿¹

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川省核工业地质调查院, 四川 成都 610061)

摘要: 泥盆系是富含油气的阿尔及利亚韦德迈阿次盆地西北部 438B 区块重要的含油层位之一, 可划分出 2 个三级层序, 仅下部的 SQ1 层序保存较完整; 泥盆系属于快速海侵缓慢海退的沉积旋回, 由海侵、早期高位和晚期高位 3 个体系域叠加组成。在 SQ1 层序中相当体系域级别的地层单元在区域上具有良好的等时性, 仅在研究区东、南部外侧构造隆起区明显变薄或局部缺失海侵体系域地层。各体系域中, 早期高位体系域的障壁砂坝在纵向上具有更好的可比性, 反映该体系域障壁砂坝砂体的发育层位和沉积厚度更稳定, 砂体连通性和储集性更好, 但上部的 SQ2 为仅保存部分海侵体系域沉积记录的残余层序。选择 SQ1 层序各体系域为等时地层单元编制层序-岩相古地理图, 编图结果表明: 438B 区块泥盆纪具备向南东方向弧突的, 由浅海陆棚、障壁岛、潟湖、潮坪组成的海湾地貌和分带性沉积格局; 在各体系域继承性发展演化的分带性沉积格局中, 以早期高位体系域中的障壁砂坝和冲溢扇为最有利储层发育的层位、相带和部位。

关键词: 层序; 岩相古地理; 储层; 泥盆纪; 韦德迈阿次盆地; 阿尔及利亚

中图分类号: TE122.3⁺4; P539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)03-0268-07

Characteristics of Sequence-lithofacies and Paleogeography of Devonian in Block 438B of Oued Mya Basin, Algeria

PAN Yang-hui^{1,2}, ZHENG Rong-cai¹, HU Cheng¹, ZHAO Can¹

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Sichuan Institute of Nuclear Geology, Chengdu 610061, Sichuan, China)

Abstract: Block 438B is located in the northwest of Oued Mya Basin, Algeria. Devonian stratum is one of the important oil-bearing formations in Block 438B. The stratum is divided into 2 three-order sequences, and only SQ1 sequence in the lower part is intact; Devonian stratum is rapid transgression-slow regression cycles, and is composed of TST, EHST and LHST. The stratigraphic units for the equivalent system tracts are very isochronous in SQ1 sequence, the structural high only outside the east and south part of the research area is thin or lose TST stratum. The comparability of barrier sand bank for EHST is better in vertical for all the system tracts, so the developing stratum and deposition thickness of barrier sand banks for EHST are more stable, and the connectivity and reservoir property of sandbodies are better, but SQ2 in the upper part is residual sequence only recording part sedimentary of TST. All the system tracts of SQ1 sequence are taken as isochronous stratigraphic units in order to draw the paleogeography map of sequence-lithofacies. The results show that there are estuarine physiognomy and zonation sedimentary, which distribut from northwest to southeast and is composed of shallow-sea continental shelf, barrier island, lagoon and tidal flat, during Devonian of Block 438B; barrier sand bank and washover fan in EHST are the most favorable reservoir facies in the zonation sedimentary pattern with inherited evolution of all the system tracts.

Key words: sequence; lithofacies and paleogeography; reservoir; Devonian; Oued Mya Basin; Algeria

0 引言

韦德迈阿次盆地(Oued Mya Basin)位于阿尔及

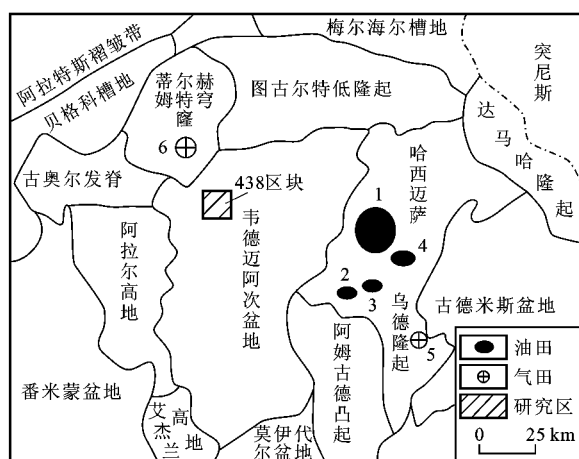
利亚中东部(图 1), 近南北向展布, 是一个富含油气的古生代—中生代叠合盆地^[1-2]。该盆地的区域构造属于北非地台的一部分, 盆地基底由前寒武纪变

收稿日期: 2010-10-08

基金项目: 国家科技重大专项研究项目(2008ZX05030-003-0)

作者简介: 潘杨辉(1981-), 男, 浙江东阳人, 工程师, 理学博士研究生, 从事层序地层与沉积相研究。E-mail: pyh.001@163.com

质结晶岩系组成,经历了早古生代浅海陆棚相、晚古生代浅海陆棚-障壁岛-潟湖-潮坪相、中生代有间歇海侵的海-陆交互相和河流相等环境的沉积充填演化过程(图2);因此,垂向剖面具有下古生界海相、上古生界海相和海陆过渡相及中生界陆相叠合发育的三层结构特征^[3]。438B区块地处韦德迈阿次盆地的西北部(图1),与叠合发育构造-沉积三层结构相对应,是一个集下古生界、上古生界和中生界三套含油层系的有利区块^[4-5]。区块内的断裂多为切穿上、下古生界地层的大断裂,有效地沟通了志留系和泥盆系优质烃源岩生成的油气在纵向上运移至泥盆系顶部的海西期不整合面,再沿不整合面运移到构造平缓简单的各层系有利相带和构造部位形成油气藏^[3-5],其中泥盆系是一个非常有利于形成构造-岩性复合圈闭油藏的层位,具备巨大的油气勘探潜力。目前,中国石油天然气集团公司拥有该区块勘探开发权,因此,加强泥盆系基础地质研究和提高储层预测成功率成为合理高效勘探开发该区块的当务之急。



注:1—哈西迈萨乌德油田;2—阿格雷卜油田;3—阿西图维勒油田;4—鲁尔巴格勒油田;5—哈西图阿雷格气田;6—哈西勒迈勒凝析气田。

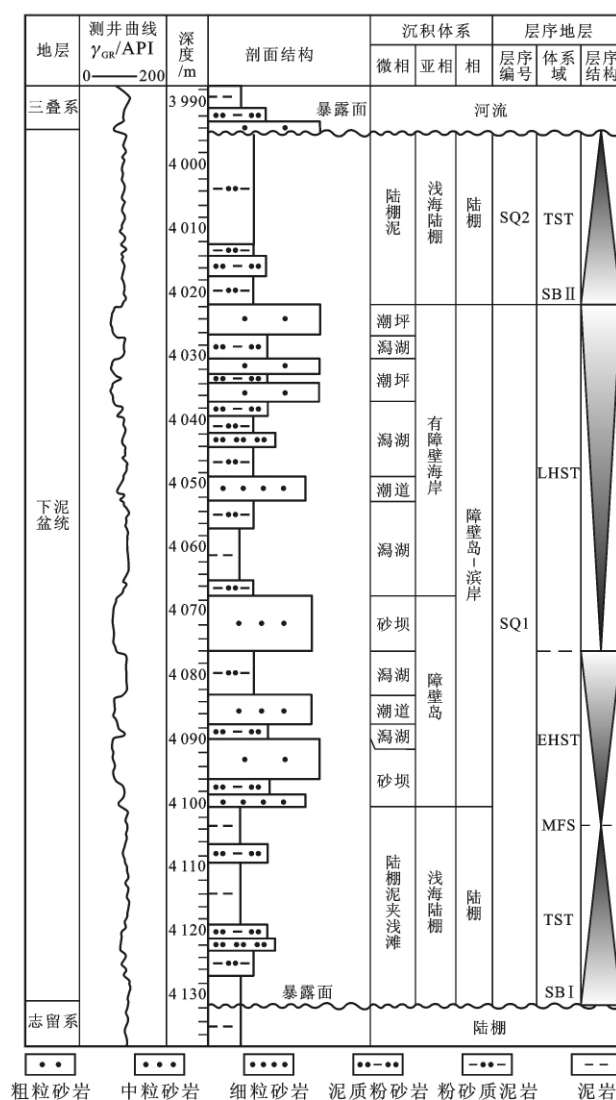
图1 韦德迈阿次盆地438B区块位置

Fig.1 Location Map of Block 438B in Oued Mya Basin

1 泥盆系沉积-层序划分和特征

1.1 泥盆系沉积地质特征

438B区块泥盆系层位相当下泥盆统老红砂岩,与下伏志留系大套暗色泥岩平行不整合接触,其顶部的海西期构造不整合面直接被上三叠统 Serie Inf组的河流相沉积超覆(图2)。研究区内泥盆系厚度为0~240 m,整体表现为自西向东由薄增厚再减薄甚至缺失的分布特征(图3)。其岩性主体以具水平



注:Y_{GR}—自然伽马;TST—海侵体系域;SBII—层序界面II;LHST—早期高位体系域;EHST—晚期高位体系域;MFS—最大海泛面;SBI—层序界面I;BKZ-1井。

图2 438B区块泥盆系沉积相和层序地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive Column of Sedimentary Facies and Sequence Stratigraphy of Devonian Stratum in Block 438B

层理的灰色、深灰色页岩夹粉砂质泥岩和薄层粉砂岩为主,局部夹有10~50 m厚的浅灰色、灰白色细—中粒石英砂岩,石英颗粒圆到次圆状,分选较好—好,杂基质量分数小于6%,被少量泥质和碳酸盐矿物胶结。砂岩储层以发育粒间溶孔为主,部分为剩余原生粒间孔,孔隙较小但连通性较好,孔隙度为4%~15%,平均值为10.27%,渗透率为(0.1~115.6)×10⁻³ μm²,平均值为22.01×10⁻³ μm²,总体上具有中等—较好储集物性。

1.2 泥盆系沉积-层序划分和特征

结合岩芯、测井和剖面结构等沉积相研究资料,将438B区块泥盆系划分为陆棚-障壁岛-滨岸沉积

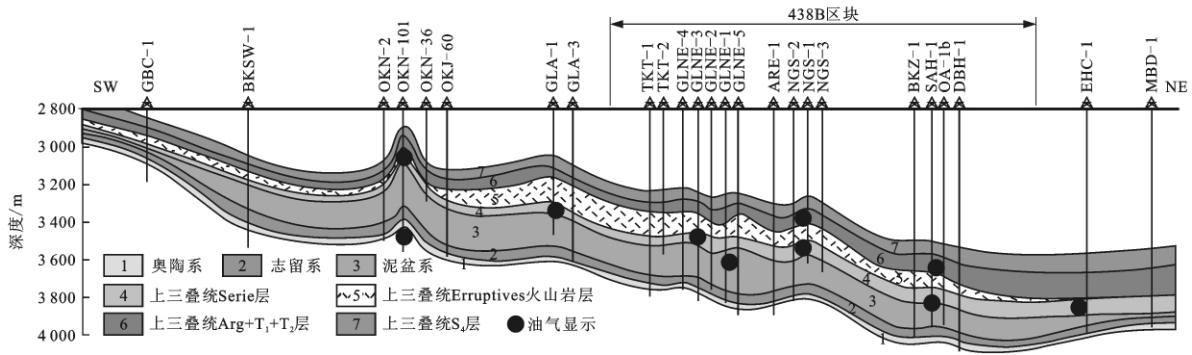


图 3 438B 区块北东—南西向地质剖面

Fig. 3 Geologic Profile of Block 438B from Northeast to Southwest

体系和识别出陆棚泥、浅滩、障壁砂坝、潮汐通道、冲溢扇和潟湖、潮坪等沉积微相^[6]。依据区内泥盆系底部和上部分别发育的 2 个具有沉积不整合性质的大型冲刷面以及顶部的海西期构造不整合面,同时按层序界面的物质表现特征^[7]可将区块内的泥盆系划分为 2 个三级层序,以下部的 SQ1 层序保存较完整,具备快速海进缓慢海退沉积序列,可细分出海侵和高位 2 个体系域,其中高位体系域又可细分为早期高位体系域和晚期高位体系域,都具备良好的储、盖组合条件;而上部的 SQ2 层序在海西期构造隆升过程中遭受到强烈的剥蚀作用而成为残余层序,钻穿 SQ2 层序的井所揭露的该层序岩性非常一致,都属于海侵体系域的泥质陆棚相沉积(图 2),残余厚度虽然不大,但具有重要的局域性隔层和盖层性质。

1.2.1 海侵体系域

研究区泥盆纪 SQ1、SQ2 层序下部都以发育直接超覆层序界面的海侵体系域而缺乏低位(或陆棚边缘)体系域沉积为显著特征,成因与层序早期海平

面快速上升和沉积物供给较少有关^[8],水体沿暴露的志留系或 SQ1 层序的暴露陆棚侵蚀面快速向上加深,并很快将暴露陆棚淹没而进入低沉积速率的较深水泥质陆棚沉积环境,因此,438B 区块内泥盆纪三级层序不仅都缺乏低位(或陆棚边缘)体系域,而且在纵向剖面上海侵体系域由连续退积的、富含底栖窄盐度生物化石的暗色泥岩夹粉砂岩组成,顶为凝缩层(图 4a),可构成广泛分布的烃源岩层和局部发育的有效盖层(或隔层)。

1.2.2 早期高位体系域

早期高位体系域仅发育于 SQ1 层序中部,以最大海泛面与海侵体系域分界,形成于海平面缓慢下降的早期,在陆棚沉积体系发育区岩性以深灰色粉砂质泥岩、泥岩夹粉—细粒砂岩为主,纵向剖面一般以加积—弱进积序列为主(图 4a)。但在障壁岛沉积体系发育区岩性则以粉—细粒砂岩和细—中粒砂岩为主,自下而上,加积→进积作用加强,特点为随着海平面由上升折向下降,水体趋于变浅,波浪和潮汐

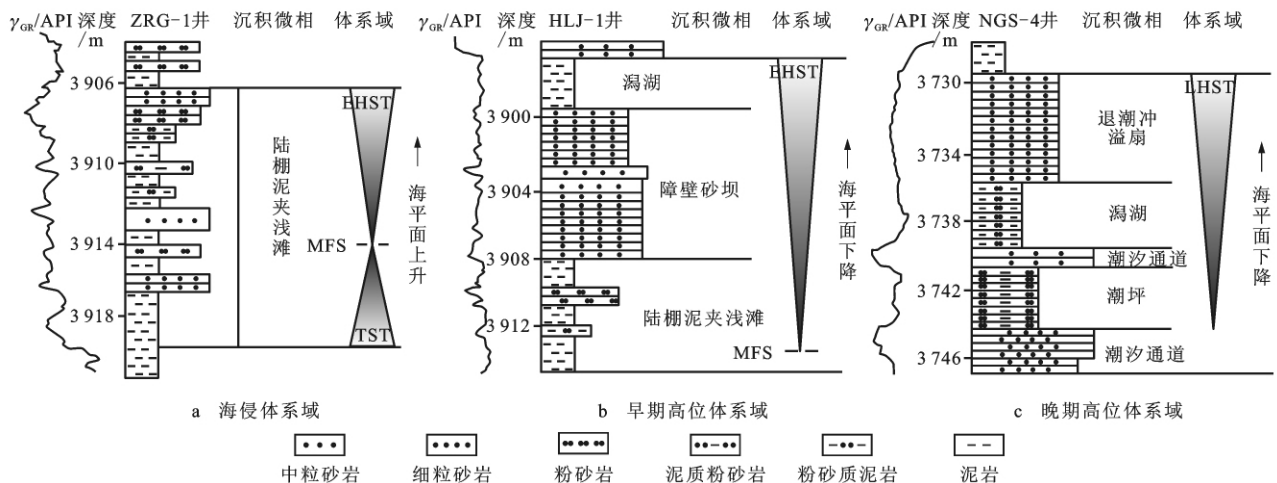


图 4 438B 区块泥盆系不同沉积体系域剖面结构

Fig. 4 Structural Map of Different Sedimentary System Tracts of Devonian Stratum in Block 438B

作用随之增强,沿岸的障壁岛沉积体系开始发育,障壁砂坝向海方向进积和下超在海侵体系域顶部的最大海泛面之上,其后发育有潟湖-潮坪环境(图4b)。

1.2.3 晚期高位体系域

晚期高位体系域仅发育于SQ1层序上部,形成于海平面加速下降的中、晚期,由于该时间段可容纳空间增长速率小于沉积物供给速率,所以以广泛发育具有强烈进积序列的障壁岛沉积体系为主,并以障壁岛沉积体系中障壁砂坝、潮汐通道、冲溢扇、潟湖、潮坪等沉积微相发育齐全和潮汐通道与冲刷作用更为发育为显著特征(图4c)。相关砂岩粒度较早期高位体系域更粗一些,以含有定向排列泥砾的细—中粒砂岩为主,夹薄层粉砂岩,粉砂质泥岩及泥岩。

1.3 层序地层格架

选取保存较完整的SQ1层序建立等时地层格架(图5),并以体系域为等时地层单元,按时间-地层对比原则进行区域地层等时对比^[9]。结果表明,各钻井SQ1层序中相当体系域级别的地层单元在区域上具有良好的等时性,仅在研究区东、南部外侧构造隆起区明显变薄或局部缺失海侵体系域地层。此外,各体系域中,早期高位体系域的障壁砂坝在纵向上具有更好的可对比性,反映该体系域障壁砂坝砂体的发育层位和沉积厚度更稳定,砂体连通性和储集性也更好。

2 泥盆系层序-岩相古地理特征

2.1 古地理概况

继韦德迈阿次盆地晚志留世大海退后于早泥盆世开始接受自北西向南东方向的广泛海侵和形成广泛的陆棚-滨岸环境,位处该盆地西北部的438B区块属于浅海陆棚-障壁岛沉积体系,具备自北西向南东方向弧形突出的、由浅海陆棚、障壁岛、潟湖-潮坪组成的海湾地貌和分带性沉积格局,以及继承性发展演化的海侵体系域、早期高位体系域和晚期高位体系域3个演化阶段和沉积充填序列。

2.2 层序-岩相古地理特征

基于层序地层学理论的层序-岩相古地理编图技术^[10-12],不仅能较好地细分以体系域(或更精细的准层序)为等时地层编图单元,而且依据旋回等时对比法能更有效地克服同时异相地层之间的等时对比关系^[9],因此,所编制的图件具有很好的等时性、连续性和实用性^[13]。就438B区块泥盆系而言,以SQ1层序界面和最大海泛面为等时对比标志(图5),以体系域为等时地层单元编制地层等厚图、砂岩

等厚图、砂泥岩比等值线图等单因素基础图件,取优势相为编图要素编制以体系域为等时地层单元的层序-岩相古地理图(图6),对438B区块泥盆系岩相古地理面貌、演化和有利储层发育相带进行描述取得良好效果。

2.2.1 海侵体系域

海侵体系域在研究区西南部、东南部和东部以发育潟湖-潮坪相沉积为主,北部为广阔的浅海陆棚相沉积区,陆棚与潟湖-潮坪之间的DJH-1—ZRG-1井区、HLJ-1—DRT-2—BHT-1井区、SBS-1井区、GLNE-4—GLNE-2—GMR-1井区、GEC-3井区和HKT-2—OA-2—SAH-2井区,依次发育有6个沿岸分布的障壁岛和浅滩,构成了438B区块内由北西向南东方向弧形突进并由陆棚、障壁岛、潟湖-潮坪组成的分带性沉积格局(图6a),其中自西向东再折向北分布的障壁岛主体由沿岸障壁砂坝组成,砂体厚度为2~8 m,粒度向陆棚方向变粗和分选变好,反映靠陆棚一侧的障壁砂坝属于高能量的海滩沉积环境和有利储层发育的相带。各障壁岛之间发育有沟通陆棚与潟湖-潮坪的大型潮汐通道,并于大型进潮口后侧的GRD-1井区发育小规模涨潮型冲溢扇(或涨潮三角洲),也为较有利储层发育相带。

2.2.2 早期高位体系域

早期高位体系域具有与海侵体系域相似的沉积格局和相带展布规律(图6b),同时因该时期受到海平面由上升折向下降和可容纳空间缩小以及沉积物供给量和供给速率逐渐增长的影响,沿岸障壁岛沉积体系更加发育,特点为向陆棚方向迁移的障壁砂坝有更大的分布范围和厚度,粒度也变粗,特别是通过障壁砂坝的侧向迁移和加积作用,发育于西南部的2个障壁岛连接形成西南部单个的大型障壁岛,砂体厚度为8~12 m。发育在东南部和东部的3个障壁岛也通过侧向迁移和加积作用连接成更大规模的东部障壁岛沉积体系,砂体厚度为12~30 m。在研究区中南部2个大型障壁岛之间潮汐通道向海一侧的退潮口,于KG-1—SBS-1—EBR-1井区发育有一个面积较大的退潮型冲溢扇,砂体厚度高达12~38 m。该体系域是438B区块泥盆系砂体最发育、最有利储层发育的层位。

2.2.3 晚期高位体系域

晚期高位体系域完全继承了早期高位体系域沉积格局的基本特征(图6c),具备海平面大幅度下降所引起的可容纳空间迅速减小和物源供给速率大幅度增长的沉积背景,由于受到退潮流侵蚀、搬运作用

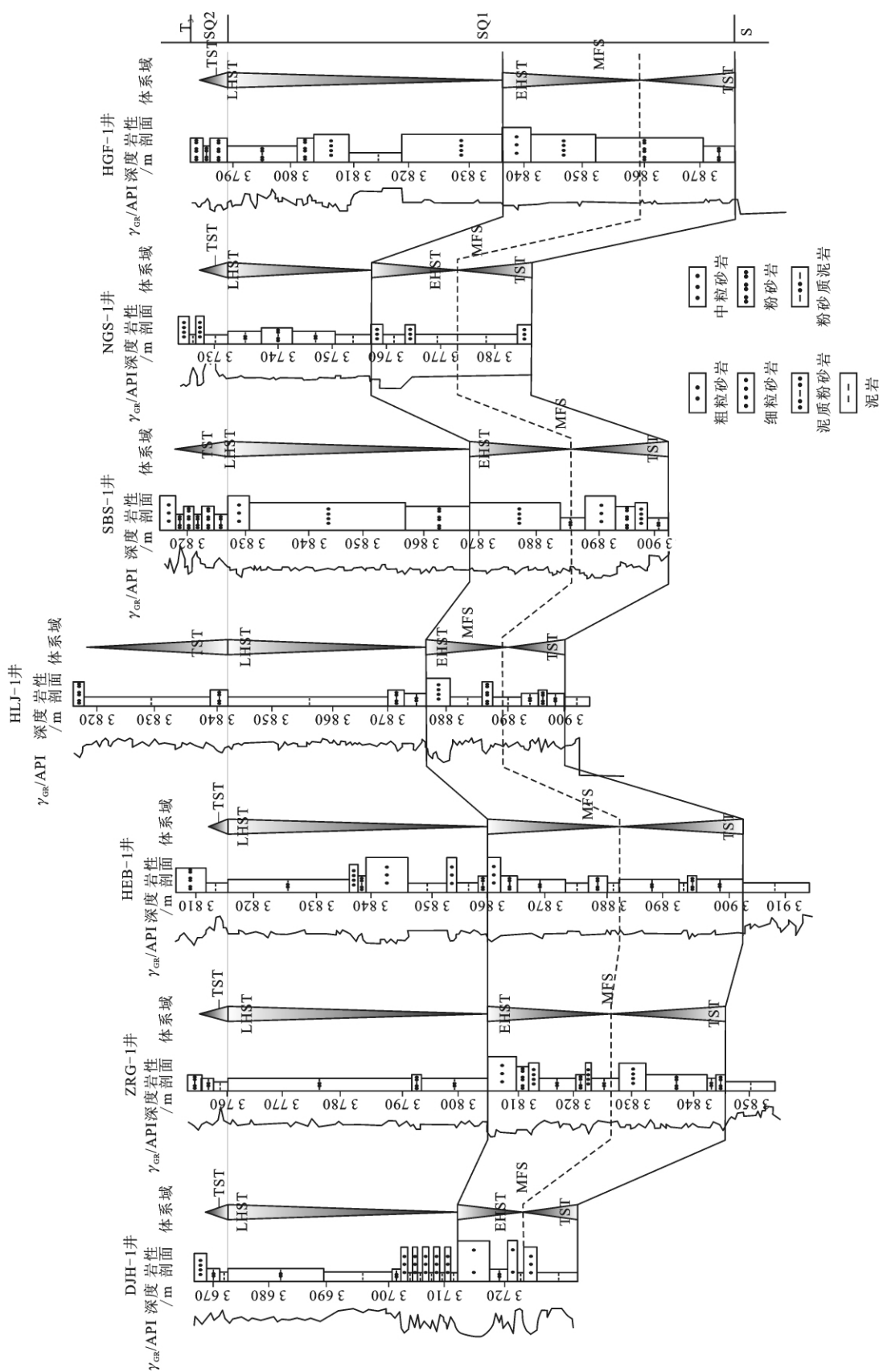
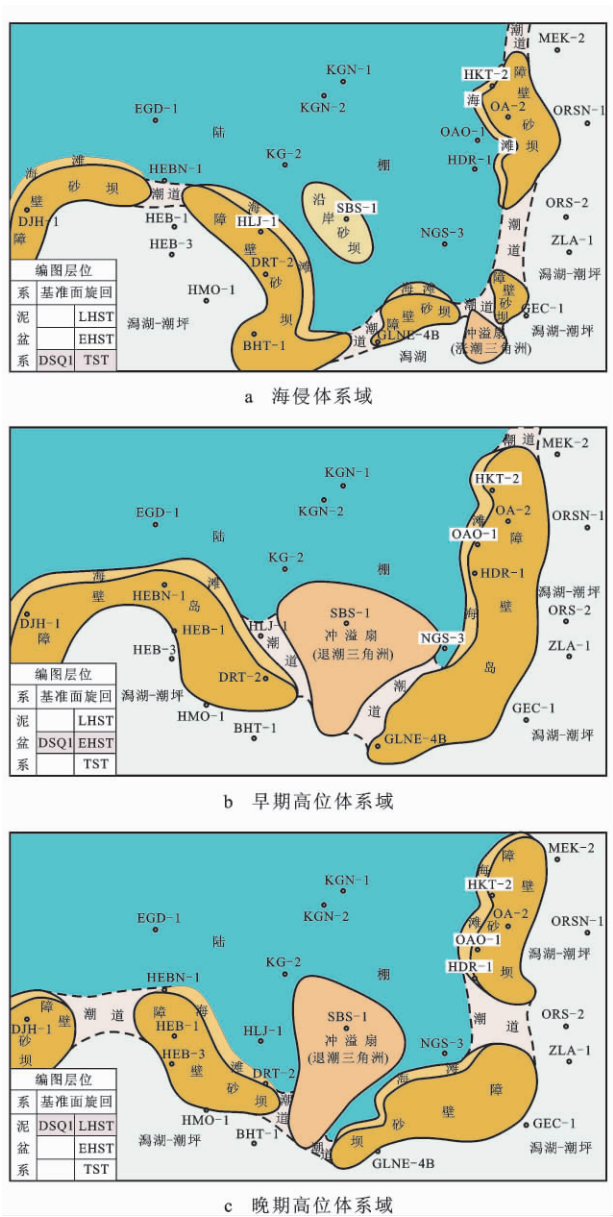


图 5 438B 区块泥盆系 SQ1 层序东—西向地层对比剖面 and 等时地层格架

Fig. 5 Isochronous Stratigraphic Framework and Contrast Profile of SQ1 Sequence in Devonian Stratum of Block 438B in the Direction of East-west



注:DSQ1—泥盆系 SQ1 层序。

图 6 438B 区块泥盆纪层序-岩相古地理
Fig. 6 Sequence-lithofacies and Palaeogeography
Maps of Block 438B in Devonian

远强于涨潮流沉积作用影响,以沿岸砂坝为主体的障壁岛沉积体系相对前期略有收缩,如前期发育于南部和东部的 2 个大型障壁岛被退潮流强烈冲刷而分割成 4 个相对较小的障壁岛,障壁砂坝砂体厚度变化也很大,如发育在西南部 DJH-1 井区障壁岛体系中的砂体厚仅 6~10 m,而发育于中南部和东部 3 个障壁岛体系中砂体厚度虽然有 10~30 m,但砂体之间泥质隔层多,砂体之间的连通性明显差于早期高位体系域的障壁砂坝,因而仅为有利储层发育相带。值得一提的是,发育于研究区南部 2 个障壁岛之间向海一侧退潮口的 KG-1—SBS-1—EBR-1 井

区,依然发育较大的退潮型冲溢扇,砂体厚达 10~30 m,显然是伴随海平面大幅度下降过程中退潮流强烈侵蚀、搬运和快速堆积作用的结果,该砂体也是晚期高位体系域中最有利储层发育的相带位置。

2.3 层序-岩相古地理图在储层预测中的应用

在精细的沉积-层序分析基础上,依据层序-岩相古地理编图结果对 438B 区块泥盆系储层进行描述和预测评价,取得如下认识:①各体系域层序-岩相古地理编图结果表明,以障壁砂坝为主、次为冲溢扇和潮汐通道微相的储层主要分布在 438B 区块西南部、东南部和东部,具有继承性发展演化特点(图 6);②已有油气勘探成果证明,障壁砂坝和冲溢扇微相的厚层砂体沉积区与构造和岩性圈闭具有良好配置关系,沉积微相、砂体厚度和构造、岩性圈闭条件是决定油气富集的主要因素,可作为储层预测评价的指标(表 1);③以砂体最发育的早期高位体系域为例,按上述指标对储层预测评价,结果表明障壁砂坝相带及中南部冲溢扇相带是该体系域有利储层发育相带;以 2 个障壁砂坝相带和 1 个冲溢扇相带为 II 类有利区预测评价背景,结合构造和岩性圈闭条件,可进一步评价出 13 个 I 类预测目标(图 7);在这 13 个 I 类预测目标中,已于具备构造、岩性或复合圈闭条件的障壁砂坝相带的 SAH-1 井钻获 12.9 m³/h 油和 335 m³/h 气的高产油气流,在 NGS-2 井钻获的砂岩储层平均孔隙度(φ)为 17.69%,平均渗透率(k)为 $26.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,并获得 4 m³/h 油+气的试油成果,冲溢扇相带的 NGS-4 井也钻获了 6.0 m³/h 的高产油流;④精细的沉积-层序分析和层序-岩相古地理编图的等时性和精确性的提高,是非常经济实用和有效的储层预测与评价技术方法。

表 1 有利储层发育区块预测和评价指标

Tab. 1 Prediction and Evaluation Indexes of Favorable Block for Reservoir Development				
区块类别	I 类	II 类	III 类	IV 类
沉积微相	障壁砂坝	障壁砂坝和冲溢扇	冲溢扇和潮汐通道	陆棚浅滩
砂体厚度/m	>15	10~15	5~10	≤5
孔隙度/%	>16	12~16	8~125	≤8
渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	>20	>20	10~20	≤10
圈闭条件	构造-岩性 复合圈闭	岩性圈闭	岩性圈闭	构造圈闭

3 结语

(1) 韦德迈阿次盆地 438B 区块泥盆系可划分

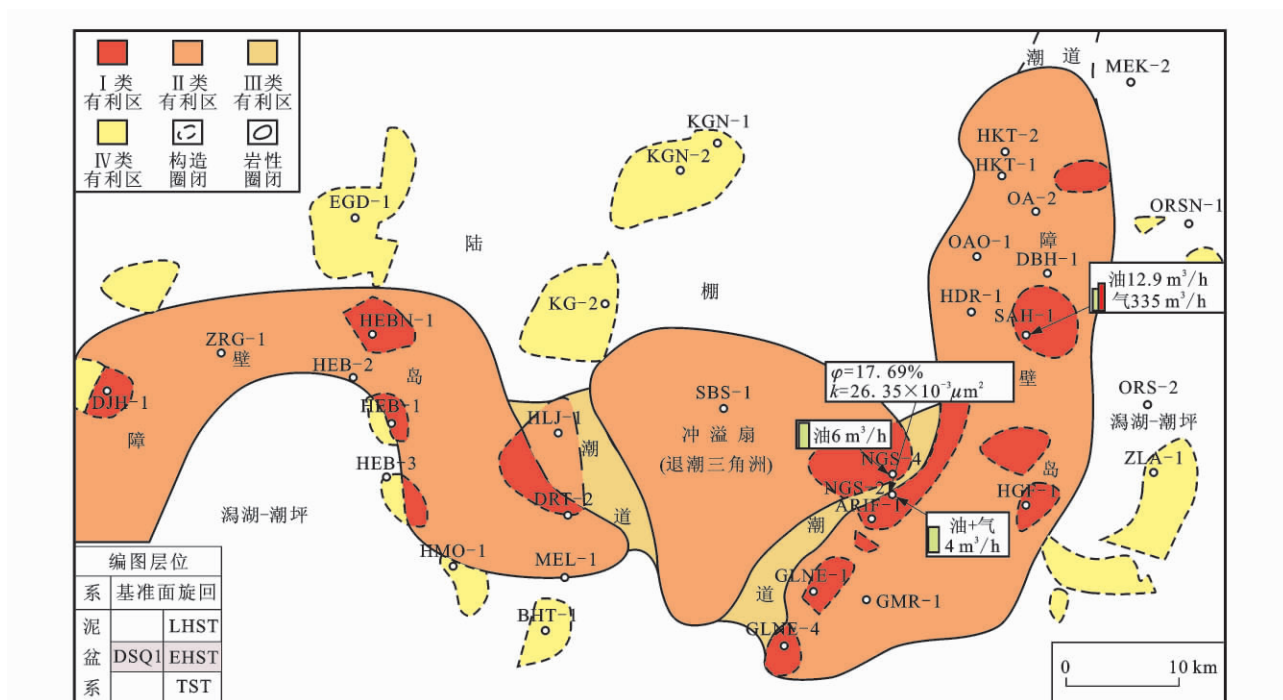


图 7 438B 区块泥盆系早期高位体系域有利储层预测评价

Fig. 7 Prediction and Evaluation of Favourable Reservoirs of EHST of Devonian Stratum in Block 438B

2 个三级层序,仅下部的 SQ1 层序保存较完整,由海侵体系域和高位体系域叠加组成,其中高位体系域可细分为早期高位体系域和晚期高位体系域。SQ2 为剥蚀后的残余层序,仅保存部分海侵体系域沉积记录。

(2)层序-岩相古地理编图表明,438B 区块泥盆纪具有自北西向南东方向弧形突出并由浅海陆棚、障壁岛、潟湖-潮坪组成的海湾地貌和分带性格局和各沉积体系域继承性发展演化的特点。

(3)在浅海陆棚-障壁岛-潟湖-潮坪分带性沉积格局中,有利储层发育的相带主要为障壁岛沉积体系中的障壁砂坝和冲溢扇。以早期高位体系域的障壁砂坝和冲溢扇为 438B 区块泥盆系最有利储层发育的层、相、位,从中优选出 13 个 I 类预测目标。

(4)高精度的沉积-层序分析和层序-岩相古地理编图是经济实用和有效的储层预测和评价技术方法之一。

参考文献:

- [1] 李顺明,邓宏文,吴修利,等.阿尔及利亚 Zarzaitine 油田下泥盆统沉积特征及演化规律[J].石油勘探与开发,2006,33(3):383-387.
- [2] 陈霞,于慧玲,何雨丹,等.阿尔及利亚三叠盆地 GUER-ARA 地区石油地质条件分析[J].石油实验地质,2008,30(3):256-259.

- [3] 李大荣,黎发文,唐红.阿尔及利亚三叠系盆地、韦德迈阿次盆地石油地质特征及油气勘探中应注意的问题[J].海相油气地质,2006,11(3):19-26.
- [4] 胡忠贵,郑荣才,周刚,等.阿尔及利亚韦德迈阿次盆地三叠系河流相沉积模式[J].成都理工大学学报:自然科学版,2009,36(3):253-260.
- [5] 王昌勇,郑荣才,胡忠贵,等.阿尔及利亚 B 区块上三叠系高分辨率层序及储层特征[J].沉积与特提斯地质,2009,29(2):60-65.
- [6] 里丁.沉积环境和相[M].周明鉴,译.北京:科学出版社,1985.
- [7] 倪新锋,陈洪德,赵俊兴,等.陆相层序界面的物质表现及成因类型——以鄂尔多斯盆地中生界为例[J].地球科学与环境学报,2007,29(3):256-262.
- [8] Pitman W C. Relationship Between Eustacy and Stratigraphic Sequences of Passive Margins[J]. GSA Bulletin Research, 1978,89(9):1389-1403.
- [9] Miall A D. Stratigraphic Sequences and Their Chronostratigraphic Correlation[J]. Journal of Sedimentary Research, 1991,61(4):497-505.
- [10] 牟传龙,许效松,林明.层序地层与岩相古地理编图——以中国南方泥盆纪地层为例[J].岩相古地理,1992,12(4):1-9.
- [11] 田景春,陈洪德,覃建雄,等.层序-岩相古地理图及其编制[J].地球科学与环境学报,2004,26(1):6-12.
- [12] 范春花,王英民,陈振岩,等.陈家洼陷沙三下亚段层序地层和沉积相分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(2):31-35.
- [13] 郑荣才,罗平,文其兵,等.川东北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征和鲕滩预测[J].沉积学报,2009,27(1):1-8.