

碳酸盐台地内下切谷的识别及其意义 ——以伊拉克H油田上白垩统 Mishrif组为例

邵冠铭^{1,2}, 乔占峰^{1,2}, 曹鹏^{1,2}, 张杰^{1,2}, 孙晓伟^{1,2}

1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室

摘要 碳酸盐台地下切谷的研究多基于阿曼上白垩统露头。以中东地区伊拉克H油田上白垩统 Mishrif组钻井岩心、测井和三维地震数据为基础,结合区域层序地层,从沉积旋回、岩相特征、测井响应、地震相平面分布与垂向演化等方面,对碳酸盐台地发育的下切谷这一重要沉积微相类型开展研究,并对其意义作了探讨。研究表明:①H油田 MB2-1亚段发育碳酸盐台地内下切谷。下切谷内部以泥晶灰岩充填为主(与下伏颗粒灰岩明显不同),颗粒向上变细再变粗;测井曲线具有箱形特点;地震剖面上呈平行—近平行短轴强振幅反射,边界清晰,平面上显示近似河道形态但更平直。②下切谷在SQ₃高位域晚期(MB2-1亚段沉积末期)侵蚀成谷,SQ₄海侵期快速充填,下切谷的底部代表了区域层序界面。③下切谷切割MB2-1亚段,而且岩性整体致密,可成为油藏的横向隔挡层。碳酸盐台地下切谷的发现,对于层序边界识别、油藏非均质性研究具有重要意义。

关键词 碳酸盐台地;下切谷;隔挡层;层序边界;白垩系;伊拉克

中图分类号:TE122.2 **文献标识码**:A

0 前言

下切谷通常被定义为河流体系响应于海(湖)平面相对下降而侵蚀河口地区并向盆地方向延伸所形成的河道或者河谷^[1-2]。下切谷的概念最早由 Fisk 等^[3]提出,并用于描述密西西比河三角洲第四纪晚期古河谷的特征。Van Wagoner^[4]将下切谷定义为由河流体系响应于海平面相对下降而向盆地方向延伸并侵蚀下伏地层所形成的河道或河谷。在层序地层学研究中,下切谷是识别层序界面和划分层序内部体系域的重要依据^[5-6]。在油气勘探方面,下切谷是油气运移的主要通道和储集场所,所以下切谷的研究具有重要的学术价值和工业应用价值^[7-8]。

近年来,关于下切谷的报道以国外文献为主,主要是针对海陆过渡相碎屑沉积的下切谷或陆架碎屑沉积的下切谷^[2]。国内学者针对不同构造背景下的下切谷的识别特征、内部充填结构及形成机制等开展了大量研究^[9-12],但无论是理论研究,还是野外露头或勘探实例,这些研究主要涉及陆架碎屑岩体系。国内外对于以生物与化学沉积为主的海相碳酸盐台地内下切谷的描述较少,关于其发育环境

与沉积模式的认识仅限于对阿曼上白垩统野外碳酸盐岩露头的研究^[13],认为碳酸盐台地下切谷的发育主要受到地貌与海平面下降的控制,但并未详细阐述其发育机理。

中东地区蕴含丰富的油气资源,其石油产量占全球产量的35%,其中碳酸盐岩油藏贡献率高达80%。伊拉克南部白垩系 Mishrif组是主要的碳酸盐岩产油层系,其保有储量占伊拉克石油总储量的30%,其中H油田 Mishrif组 MB2段的高能生物碎屑颗粒灰岩发育时代新、埋藏浅,加之建设性成岩作用的影响,具有整体层状分布、储集物性较好的特点。但是,Mishrif组内发育河道状下切谷,储层被下切谷切割,平面上呈现出强烈的非均质性。这给后期注水受效分析带来一定风险,故需要对下切谷的分布规律及成因进行研究。

本文基于取心井岩心信息、钻井测井资料、三维地震资料,从岩相分析、测井解释、地震相识别等方面,在MB2段识别出规模较大、特征典型的2个下切谷,进一步探讨了下切谷的形成过程、成因机理以及对识别层序界面的重要意义。研究成果对中东地区 Mishrif组油气勘探具有一定理论和实践价值。

收稿日期:2021-09-27;改回日期:2022-02-07

第一作者:邵冠铭,硕士,主要从事沉积储层研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西溪路920号;E-mail: shaogm_hz@petro-china.com.cn

1 区域概况

本次研究区H油田位于伊拉克东南部,是以白垩系生物碎屑灰岩为主力产层的巨型油田^[14],整体为一北西—南东向宽缓长轴背斜^[14-18]。白垩纪时期,伊拉克东南部整体构造活动较弱,主要发育浅海陆架碳酸盐沉积,尤其是厚层生物碎屑灰岩沉积^[18]。在上白垩统 Mishrif 组沉积时期,沉积相带具有沿新特提斯洋呈北西—南东向展布的特征(图1a),东北方向为新特提斯洋,西南方向为浅水海域。H油田区 Mishrif 组处于碳酸盐台地,东临 Amara 古高地^[19]。

Mishrif 组可划分为 MA、MB1、MB2、MC 等4段,内部包含18个亚段,自下而上组成5个三级层序(图1c),整体上具有海平面上升幅度较小、下降幅度较大的特征。目前 Mishrif 组的主力产层段是 MB1 段和 MB2 段:MB1 段平均厚度为100 m,岩性以

半局限台地泥粒灰岩和粒泥灰岩为主;MB2 段平均厚度近30 m,岩性以台地边缘颗粒灰岩—泥粒灰岩为主。其中,MB2-1 亚段的顶界面具有明显的暴露不整合特征,为三级层序 SQ₃ 的顶界面。

目前研究区内三维地震面积为496 km²,覆盖整个油田。岩心样品采自H油田的7口取心井(图1b),本次研究的目的层 MB2 段深度为2 970~3 030 m,样品岩性以颗粒灰岩、泥粒灰岩、粒泥灰岩等为主,颗粒以生物碎屑为主(含量为75%~90%)。

2 碳酸盐台地下切谷识别标志

2.1 沉积特征

近年来对于碳酸盐台地下切谷的研究,多为针对阿曼等地区露头的相关研究^[13]。碳酸盐台地下切谷沉积演化过程与碎屑岩下切谷具有相同或接近的方式,主要表现为在层序高位域顶部海平面下

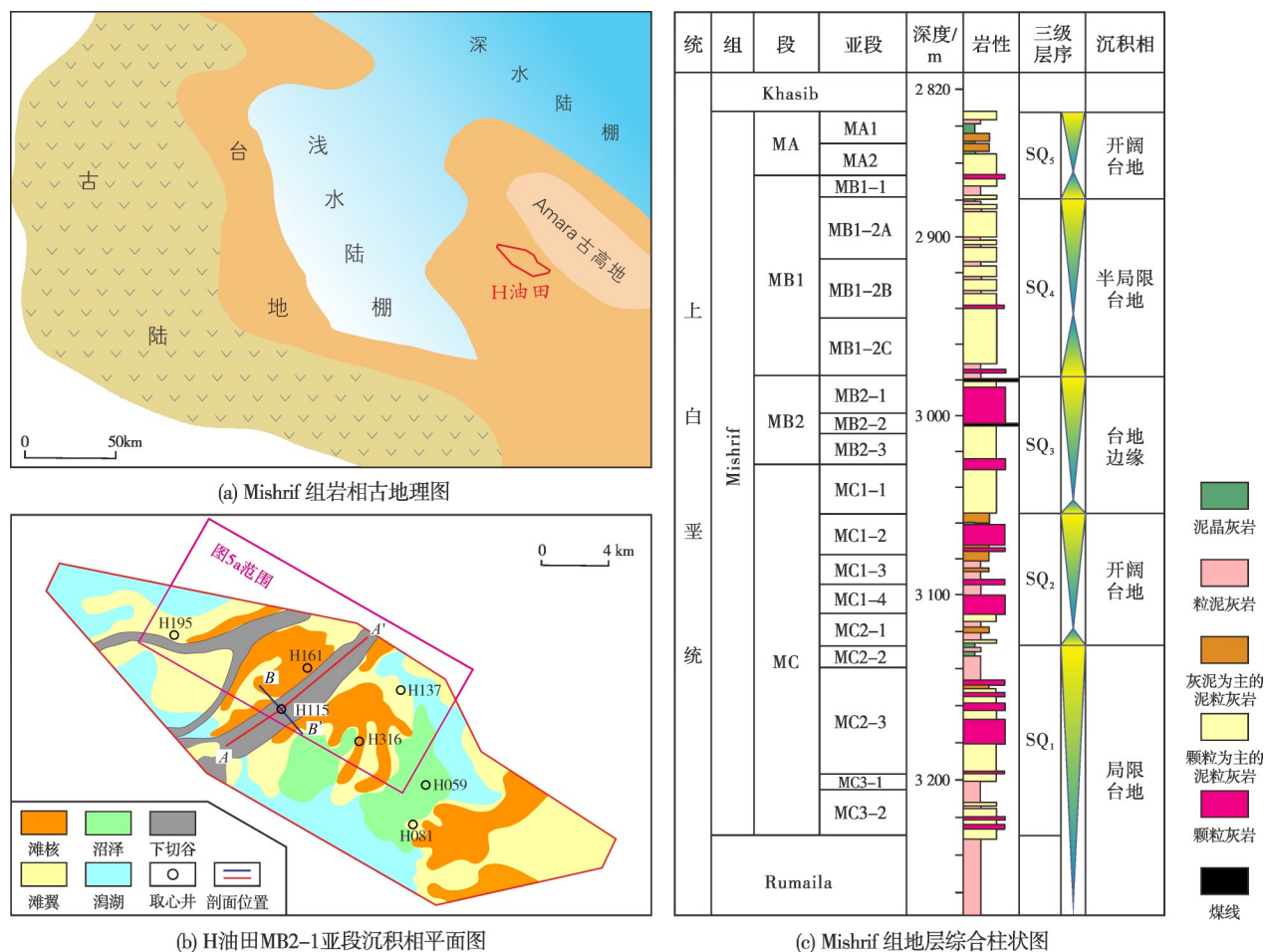


图1 伊拉克东南部 Mishrif 组岩相古地理及地层综合柱状图

Fig. 1 Lithofacies paleogeography and stratigraphic comprehensive column of Mishrif Formation in southeastern Iraq

降期发生下切削蚀,海侵期发生沉积物堆积。与碎屑岩沉积不同的是:碳酸盐沉积高位期往往受水动力影响生物化学作用强烈,是粗颗粒物质沉积的主要时期;海侵期台地内海平面迅速上升,导致大量生物停止发育,在下切谷内部沉积物以细粒泥质沉积为主,不会形成碎屑岩下切谷上超充填的粗颗粒沉积物,多表现为下切谷内灰泥充填与切割台地内高位期形成的有利储层。

在本文研究区,下切谷之外的地层为标准的开阔碳酸盐台地沉积,主要以颗粒灰岩、泥粒灰岩为主(图 1c)。通过对 H316 井岩心的观察,发现在靠

近 MB2-1 顶部三级层序界面附近发育碳质泥岩(图 2a)。结合海平面变化曲线判断,该岩相标志着区内出现浅水暴露。此外,MB2-1 亚段颗粒灰岩与泥粒灰岩遭受过强烈的同生期—早成岩期大气水强溶蚀作用,溶蚀孔隙发育(图 2b)。

钻遇下切谷的 H115 井,其岩性与周缘相同深度、相同层系的岩相截然不同,岩心(3 079~3 088 m 井段)为厚层一块状泥晶灰岩,偶见硅质团块(图 3),向上逐渐过渡至粒泥灰岩。

整个下切谷厚度可达 30 m,底部侵蚀界面向下泥质条带不发育,内部以泥晶灰岩为主,夹深褐

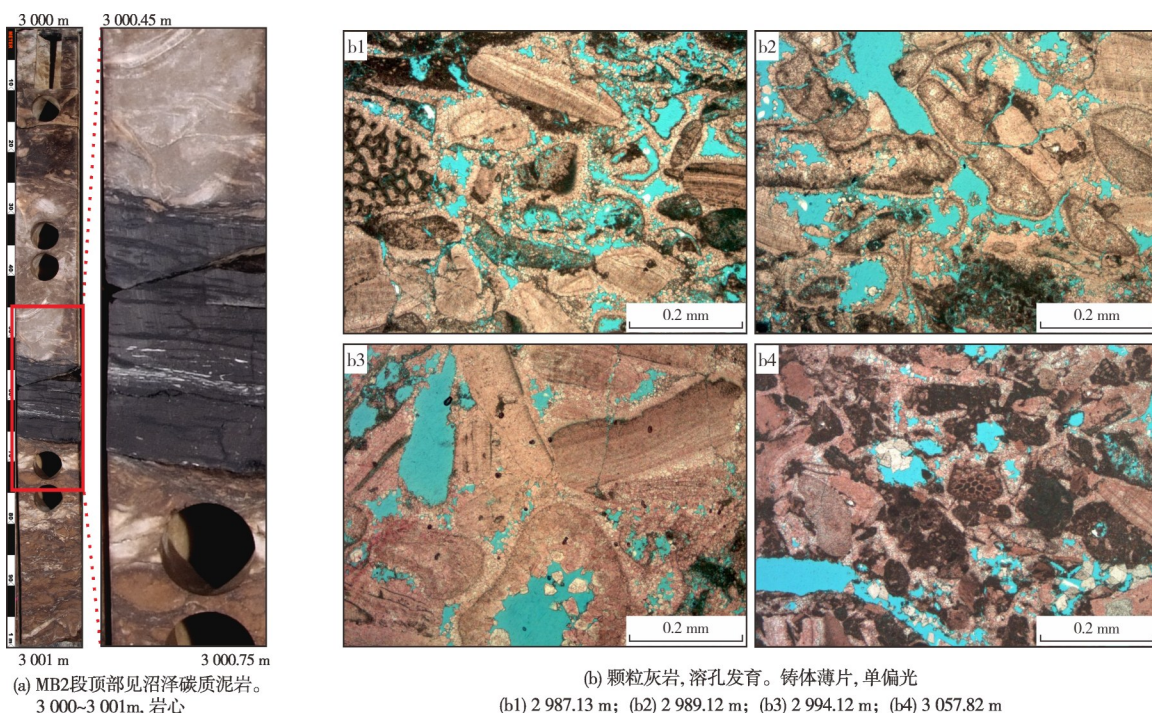


图2 伊拉克 H 油田 H316 井 MB2 段顶部岩心及典型铸体薄片照片

Fig. 2 Photos of core and cast thin sections at the top of MB2 member in Well H316 of H Oilfield, Iraq

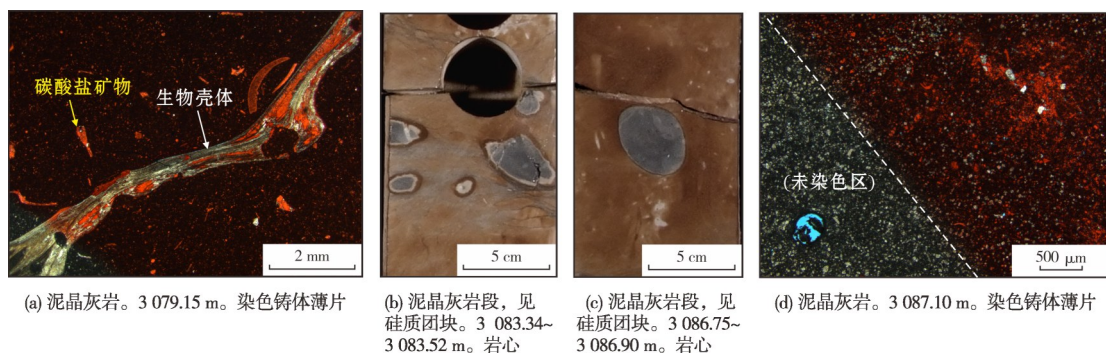


图3 伊拉克 H 油田 H115 井 MB2-1 亚段下切谷岩心与典型薄片照片

Fig. 3 Photos of cores and casting thin sections of incised valley of MB2-1 submember in Well H115 of H Oilfield, Iraq

色—黑色泥质条带(约占总厚度的15%),偶见硅质团块。硅质团块由化学沉积形成,有的边缘光滑,有的受水动力影响,边缘呈角砾状(图3b,3c)。下切谷内沉积岩颗粒向上由粗变细再变粗,呈先正韵律再反韵律,顶部逐渐过渡到粒泥灰岩,对应从海平面上升开始充填至海侵结束充填满整个下切谷的过程。冲刷面上下水体深度与沉积环境的巨大差异,导致下切谷内外岩性存在明显差异,可从岩心的粒度、颜色及沉积构造等方面识别。

2.2 测井响应特征

由于下切谷内充填的沉积岩与上下围岩岩性存在截然差异,因此在测井上较易识别与解释(图4):曲线以箱形为主,顶底具有明显界面。下切谷内沉积岩颗粒由粗变细再向上变粗,具有一定旋回性,这在GR曲线上表现为先升高后下降,整体变化幅度不大。

2.3 地震反射特征

在等时地层切片上,下切谷整体呈现为水道状分布的强振幅反射,边界清晰,较平直(图5a)。这是由于碳酸盐台地下切谷的侵蚀作用以海平面快速下降时的潮汐冲刷为主,其下切过程一般不会发生较大摆动。在剖面上,下切谷通常呈两翼对称或不对称的“V”形、“U”形,与围岩的反射同相轴明显不协调(图5b),下切谷内外的同相轴相位突变,边界处有类似断层状反射;在下切谷不同部位,其边界形态有一定差别。这种边界特征,是下切谷内部细粒泥质沉积岩与围岩的岩相和物性差异较大的特征响应。

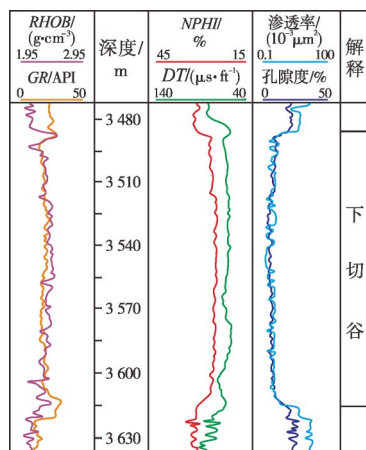


图4 H119H井MB2-1亚段下切谷测井解释图(井位见图8a)

Fig. 4 Log interpretation of the MB2-1 incised valley in Well H119H (location is shown in Fig. 8a)

在平行或近平行于下切谷的地震剖面上,表现为连续的强振幅块状充填型反射结构特征(图6a),局部表现出向高部位的上超充填或发散充填特征,其底部多以连续强振幅反射向杂乱的基底侵蚀层反射结构过渡。在垂直于下切谷的地震剖面上,表现为局部强振幅体,可见到下切谷内外的同相轴相位突变(图6b)。

3 碳酸盐台地下切谷发育模式

基于研究区层序地层、沉积环境及成岩作用等方面的研究,对H油田海相碳酸盐台地下切谷的沉积环境与发育机理加以分析。如图1c所示,MC1-1亚段—MB2段为一个完整的三级层序(SQ₃),其中,区内MB2-2亚段发育一定规模的沼泽沉积,覆盖于颗粒滩、潟湖之上(图7)。MB2-1亚段沉积时期已

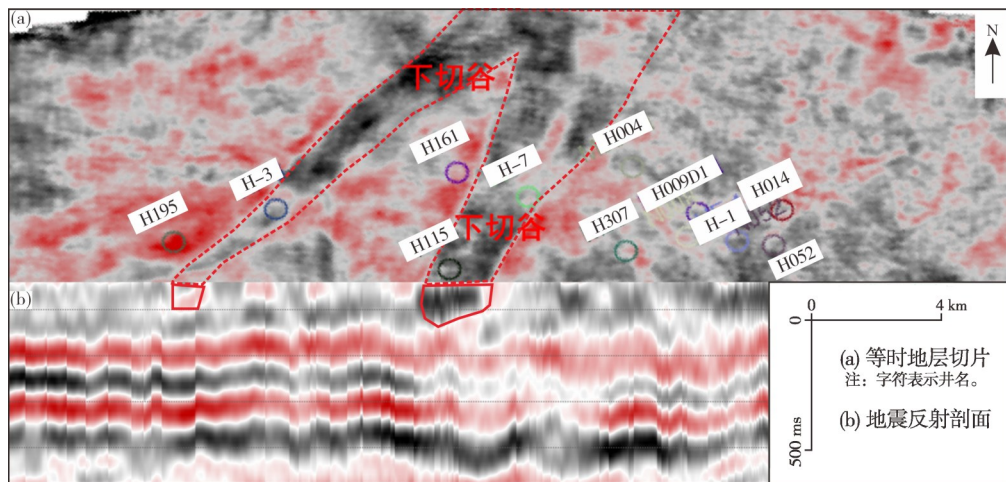


图5 伊拉克H油田MB2-1亚段下切谷地震反射平面及剖面特征(范围见图1b)

Fig. 5 Seismic reflection characteristics of plane and profile of the MB2-1 incised valley in H Oilfield, Iraq (location is shown in Fig. 1b)

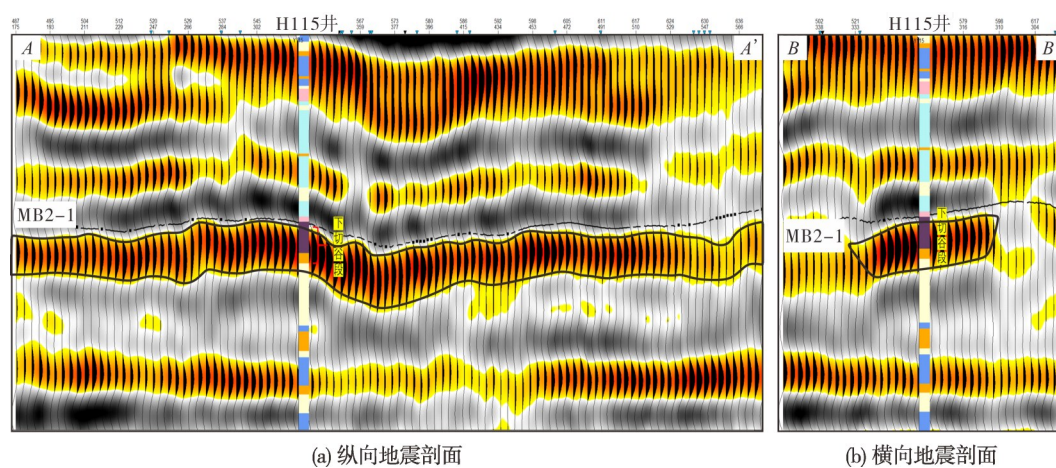


图6 伊拉克H油田MB2-1亚段下切谷内部纵横向地震反射剖面特征(剖面位置见图1b)

Fig. 6 Seismic reflection characteristic of longitudinal and transverse sections crossing the MB2-1 incised valley in H Oilfield, Iraq (section location is shown in Fig. 1b)

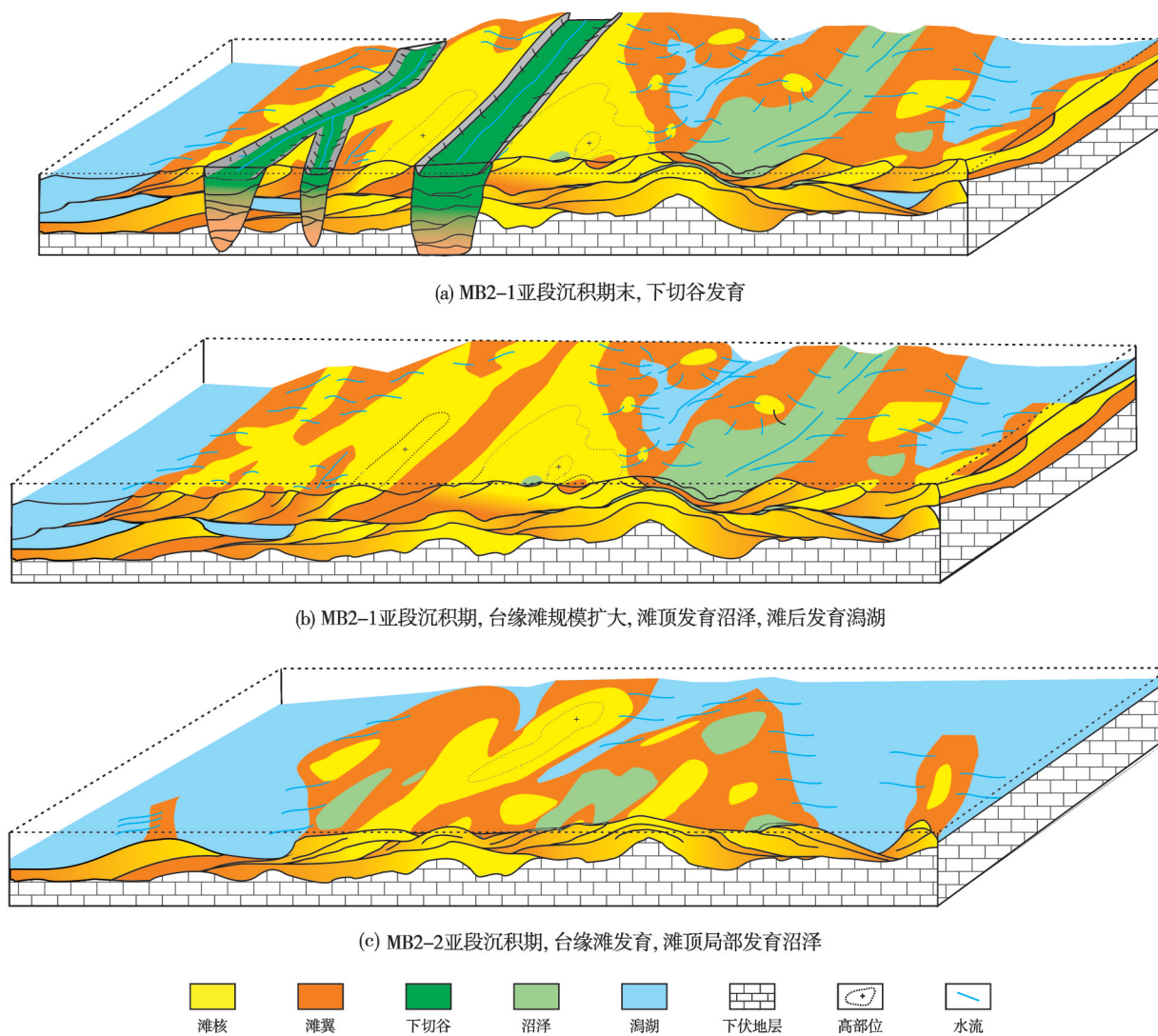
图7 伊拉克H油田SQ₃(MB2段)沉积演化模式图

Fig. 7 Sedimentation evolutionary pattern of SQ₃ (MB2 member) in H Oilfield, Iraq

进入高位域晚期,部分沉积高部位出露海平面,接受大气水淋滤发生了大规模岩溶作用,溶蚀孔隙发育(图2b)。MB2-1亚段沉积末期,随着海平面大幅度下降,高部位继续接受淋溶改造,而潮汐水道等低洼部位受到潮汐、重力作用影响,发生了向盆地方向的削蚀,短窄的潮汐水道因遭受严重侵蚀形成侵蚀谷(图7)。当进入下一个三级层序的海侵期,随着海平面迅速上升,下切谷内充填了细粒沉积物,形成与围岩岩相和物性的明显差异。这一过程持续至最大海泛期,下切谷最终被填平补齐。

与I型层序界面发育的碎屑岩下切谷不同,碳酸盐台地下切谷缺少陆源碎屑供应及对应的低位域,侵蚀时间相对较短。钻井揭示下切谷厚度仅30 m左右(图4),底部更平缓,不存在碎屑岩下切谷的多期侵蚀现象。

4 下切谷识别的意义

无论是针对阿曼露头研究^[13],还是研究区岩心岩相、地震等资料,均证实碳酸盐台地下切谷的底

部为层序边界。下切谷内部岩石颗粒由底部向上快速变细,表明随着相对海平面上升下切谷内发生快速充填,该时期已经进入下一个层序旋回。MB2-1亚段发育沼泽沉积,岩心上见碳质泥岩、煤层或煤线,这些都是层序边界的重要标志。值得注意的是,海相碳酸盐岩下切谷的侵蚀深度,一定程度上可以反映海平面下降相对幅度,这对于判断下切谷两侧围岩出露海平面的时间和影响范围具有指示意义。

下切谷的发育对于认识油田区储层、隔层组合具有重要意义。下切谷发育时期代表了碳酸盐台地高部位出露并接受大气水淋溶的阶段,为优质储层发育期。下切谷内部的细粒岩石,可为油藏提供局部优质盖层,或在空间上切割优质储层而对油藏具有一定侧向分隔作用(图8a)。在油田开发过程中,下切谷与围岩的岩性分异对注水井分层注水受效情况影响较大,下切谷内的注水井很难对下切谷周缘采收井形成有效的水体能量补充(图8b)。下切谷的识别可为油藏的非均匀性研究及开发井部署提供一定指示。

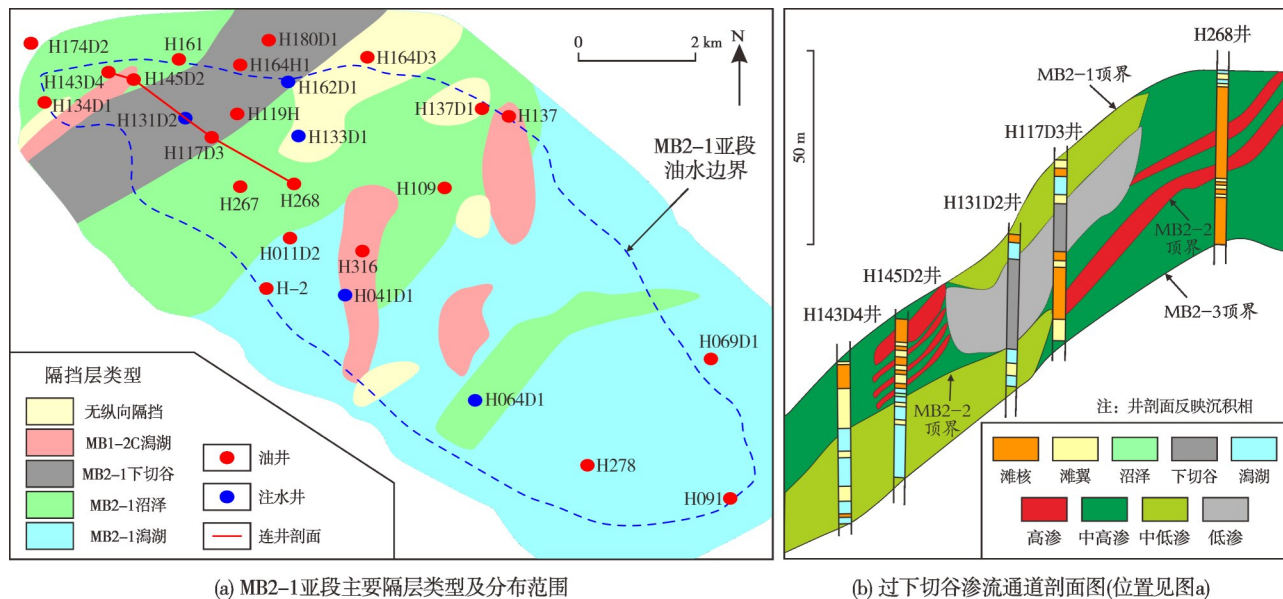


图8 伊拉克H油田M2-1亚段隔层分布及渗流通道剖面图

Fig. 8 Distribution of barriers and profile of seepage channels of MB2-1 submember in H Oilfield, Iraq

5 结论

(1) 伊拉克H油田Mishrif组MB2-1亚段发育碳酸盐台地内下切谷,其在沉积、测井、地震等方面具有明显的识别标志:与下伏颗粒灰岩明显不同,下

切谷内部以泥晶灰岩充填为主,颗粒向上变细再变粗;测井曲线具有箱形特点;地震剖面上呈短轴强振幅反射,平面上近似河道形态但更平直。

(2) 研究区下切谷发育于MB2-1亚段沉积末期,侵蚀过程发生在SQ₃高位域晚期,充填过程发生

在 SQ₄ 海侵期。下切谷的底部代表了区域上较大的层序界面。

(3) 下切谷发育期, 台缘滩高部位受大气水淋溶改造而形成有利储层; 下切谷充填的细粒沉积岩, 可充当油藏的局部盖层或隔层。这对研究油藏非均质性及其促进高效开发具有重要意义。

参考文献

- [1] VAN WAGONER J C, MITCHUM R M, CAMPION K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies [G]. AAPG methods in exploration series, No. 7, 1990: 1-55.
- [2] 鲜本忠, 姜在兴, 操应长, 等. 泌阳凹陷东南部下切谷的发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 304-308.
XIAN Benzhong, JIANG Zaixing, CAO Yingchang, et al. Discovery of incised valley in southeast of Biyang Depression and its significance[J]. Oil and gas geology, 2001, 22(4): 304-308.
- [3] FISK H N, MCFARLAN E. Late Quaternary deltaic deposits of the Mississippi River [C]// POLDERVAART A. Crust of the earth: a symposium. Geological Society of America special paper 62, 1955: 297-302.
- [4] VAN WAGONER J C. 前陆盆地层序地层学综述: 术语、论文摘要及层序地层学词汇[J]. 凡夫, 译. 国外油气勘探, 1996, 8(4): 404-416.
VAN WAGONER J C. Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy [G]// VAN WAGONER J C, BERTRAM G T. Sequence stratigraphy of foreland basin deposits: outcrop and subsurface examples from the Cretaceous of North America. AAPG memoir 64, 1995.
- [5] POSAMENTIER H W, JAMES D P. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses [G]// POSAMENTIER H W, SUMMERHAYES C P, HAQ B U, et al. Sequence stratigraphy and facies associations. 1993: 1-18.
- [6] KOSS J E, ETHRIDGE F G, SCHUMM S A. An experimental study of the effects of base-level change on fluvial, coastal plain and shelf systems [J]. Journal of sedimentary geology, 1994, 64(2): 90-98.
- [7] 向奎. 准噶尔盆地车排子地区下切谷沉积体系及有利勘探方向[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(6): 1-5.
XIANG Kui. Entrenched valley depositional system and advantageous exploration direction of Chepaizi area in Junggar Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (edition of natural science), 2007, 31(6): 1-5.
- [8] 尹微, 樊太亮, 许浩, 等. 下切谷的特征及油气地质意义[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(2): 21-23.
YIN Wei, FAN Tailiang, XU Hao, et al. Characteristics of entrenched valley and its geologic meanings [J]. Petroleum geology and oilfield development in Daqing, 2006, 25(2): 21-23.
- [9] 张桂甲, 李从先. 钱塘江下切河谷充填及其层序地层学特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4): 57-68.
ZHANG Guijia, LI Congxian. The infilling of the incised Qiantang River paleovalley and its sequence stratigraphic characteristics [J]. Marine geology and Quaternary geology. 1995, 15(4): 57-68.
- [10] 李从先, 张桂甲. 下切古河谷高分辨率层序地层学研究的进展[J]. 地球科学进展, 1996, 11(2): 216-220.
LI Congxian, ZHANG Guijia. Progress on high resolution sequence stratigraphy in incised paleovalley [J]. Advance in earth sciences, 1996, 11(2): 216-220.
- [11] 黄茜, 伏美燕, 赵丽敏, 等. 伊拉克 HF 油田 Mishrif 组碳酸盐岩米级旋回的识别及意义[J]. 海相油气地质, 2019, 24(1): 44-50.
HUANG Qian, FU Meiyang, ZHAO Limin, et al. Identification and significance of meter-scale cycle of carbonate rocks in Mishrif Formation, HF Oilfield, Iraq [J]. Marine origin petroleum geology, 2019, 24(1): 44-50.
- [12] 姚子修, 刘航宇, 田中元, 等. 伊拉克西古尔纳油田中白垩统 Mishrif 组碳酸盐岩储层特征及主控因素[J]. 海相油气地质, 2018, 23(2): 59-69.
YAO Zixiu, LIU Hangyu, TIAN Zhongyuan, et al. Characteristics and main controlling factors of carbonate reservoir of the Middle Cretaceous Mishrif Formation in the West Qurna Oilfield, Iraq [J]. Marine origin petroleum geology, 2018, 23(2): 59-69.
- [13] GRÉLAUD C, RAZIN P, HOMEWOOD P. Channelized systems in an inner carbonate platform setting: differentiation between incisions and tidal channels (Natih Formation, Late Cretaceous, Oman) [G]// VAN BUCHEM F S P, GERDES K D, ESTEBAN M. Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East: stratigraphic and diagenetic reference models. Geological Society of London, special publications 329, 2010: 163-186.
- [14] 王君, 郭睿, 赵丽敏, 等. 颗粒滩储集层地质特征及主控因素: 以伊拉克 H 油田上白垩统 Mishrif 组为例[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 367-377.
WANG Jun, GUO Rui, ZHAO Limin, et al. Geological features of grain bank reservoirs and the main controlling factors: a case study on Cretaceous Mishrif Formation, Halfaya Oilfield, Iraq [J]. Petroleum exploration and development, 2016, 43(3): 367-377.
- [15] AQRAWI A A M, TEHNI G A, SHERWANI G H, et al. Mid-Cretaceous rudist-bearing carbonates of the Mishrif Formation: an important reservoir sequence in the Mesopotamian Basin, Iraq [J]. Journal of petroleum geology, 1998, 21(1): 57-82.
- [16] AQRAWI A A M, MAHDI T A, SHERWANI G H, et al.

- Characterisation of the Mid-Cretaceous Mishrif reservoir of the southern Mesopotamian Basin, Iraq [C]// AAPG GEO 2010 Middle East Geoscience Conference & Exhibition, Manama, Bahrain, March 7-10, 2010.
- [17] MAHDI T A, AQRAWI A A M, HORBURY A D, et al. Sedimentological characterization of the Mid-Cretaceous Mishrif reservoir in southern Mesopotamian Basin, Iraq [J]. *Geotitles*, 2013, 18(1): 139-174.
- [18] MAHDI T A, AQRAWI A A M. Sequence stratigraphic analysis of the mid-Cretaceous Mishrif Formation, southern Mesopotamian Basin, Iraq [J]. *Journal of petroleum geology*, 2014, 37(3): 287-312.
- [19] 高计县, 田昌炳, 张为民, 等. 伊拉克鲁迈拉油田 Mishrif 组碳酸盐岩储层特征及成因 [J]. *石油学报*, 2013, 34(5): 843-852.
- GAO Jixian, TIAN Changbing, ZHANG Weimin, et al. Characteristics and genesis of carbonate reservoir of the Mishrif Formation in the Rumaila oil field, Iraq [J]. *Acta petrolei sinica*, 2013, 34(5): 843-852.

编辑:董 庸

Identification of incised valleys in carbonate platform and its significance: taking the Upper Cretaceous Mishrif Formation in H Oilfield, Iraq as an example

SHAO Guanming, QIAO Zhanfeng, CAO Peng, ZHANG Jie, SUN Xiaowei

Abstract: The research on the incised valley of carbonate platform is mostly based on the field outcrop of Upper Cretaceous in Oman. Based on the drilling cores, logging and 3D seismic data of the Upper Cretaceous Mishrif Formation in H Oilfield of Iraq in the Middle East, combined with regional sequence stratigraphy, this paper studies the important sedimentary microfacies types of incised valley developed on carbonate platform from the aspects of sedimentary cycle, lithofacies, logging response, plane distribution and vertical evolution of seismic facies, and discusses its significance. The research shows that: (1) There is a incised valley in carbonate platform in MB2-1 submember of H Oilfield. The interior of the incised valley is mainly filled with micrite limestone (obviously different from the underlying grainstone), and the particles become thinner then coarser upward. The logging curve of the incised valley has the characteristics of box shape. For the incised valley, the seismic section shows strong amplitude reflection with parallel-near parallel and short axis, and it is similar to the river shape in the plane while more straight with clear boundary. (2) It is eroded into a valley in the late high-stand domain of SQ₃ (the late sedimentary stage of MB2-1 submember), and rapidly filled with micrite limestone in the transgressive stage of SQ₄. The bottom of the incised valley represents regional sequence boundary. (3) The MB2-1 incised valley is compact as a whole, which can be a transverse barrier of the reservoir. The discovery of incised valley in carbonate platform is of great significance for the identification of sequence boundary and the study of reservoir heterogeneity.

Key words: carbonate platform; incised valley; barrier; sequence boundary; Cretaceous; Iraq

SHAO Guanming, First author: MSc, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology. Add: Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China