

# 残余海盆平缓斜坡 三角洲—潮坪混合沉积相类型及沉积模式 ——以中东地区 A 油田 Asmari 组 B 段为例

王 龙<sup>1</sup>, 彭文绪<sup>1</sup>, 吴 冬<sup>2</sup>, 达丽娜<sup>1</sup>, 叶小龙<sup>2</sup>, 范云杰<sup>2</sup>, 刘 慧<sup>2</sup>

(1. 中国海洋石油国际有限公司, 北京 100028; 2. 成都理工大学 能源学院(页岩气现代产业学院), 四川 成都 610059)

**摘 要:**为研究陆源碎屑与海相碳酸盐混合形成的混积岩沉积相类型和沉积模式,以中东地区 A 油田 Asmari 组 B 段为例,根据岩心观察、薄片鉴定、地球物理测井和地球化学资料,识别沉积微相标志,划分沉积微相类型,研究三角洲—潮坪混合沉积环境下不同微相的空间展布特征,探讨沉积微相主控因素并建立沉积模式。结果表明:研究区 Asmari 组 B 段形成于海陆过渡环境,发育三角洲和潮坪两种沉积相类型,进一步识别三角洲前缘、潮间和潮下 3 种沉积亚相,以及分流河道、河口坝、潮缘滩、云坪、砂坪和泥坪等沉积微相。Asmari 组 B 段自下而上分别发育 B4、B3、B2 和 B1 油组,发育两种混合沉积类型,包括过渡带沉积形成的相缘混合及潮流改造并沉积形成的沉淀混合,相缘混合的碎屑组分和混合动力主要由三角洲提供,沉淀混合的碳酸盐组分和混合动力主要由潮汐主导。B4 油组经历高供给富砂弱混积和低供给贫砂弱混积阶段,早期发育分流河道,后期发育以云坪为主;B3 油组经历低供给贫砂混积和高供给富砂混积阶段,早期发育云坪,后期发育沉积砂坪和混积坪;B2 油组经历涨潮富砂混积和退潮贫砂混积阶段,早期发育砂坪和混积坪,后期发育以云坪为主;B1 油组经历中海平面混积、高海平面混积和低海平面混积阶段,早期发育分流河道、砂坪和泥坪,中期发育泥坪,后期发育分流河道。该结果为研究区目的层及具有类似混合沉积特征的油气田勘探开发提供依据。

**关 键 词:**中东地区; Asmari 组; 三角洲; 潮坪; 混合沉积; 主控因素; 沉积模式

**中图分类号:** TE121.3; P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-4107(2025)06-0070-15

## 0 引言

中国的混积岩石油资源储量为致密油资源储量的 20%<sup>[1]</sup>。鄂尔多斯盆地、四川盆地、柴达木盆地等大型含油气盆地发育混积岩油气资源<sup>[2-5]</sup>,成为非常规油气资源增储上产的新领域。在国外混积岩油气资源也备受关注<sup>[6-9]</sup>。MOUNT J F 提出“混合沉积物”概念<sup>[10]</sup>,人们在混积岩的沉积特征、沉积模式和沉积环境方面取得研究成果<sup>[4,11-12]</sup>,建立滨海、浅海陆棚和深海斜坡等环境中的混合沉积成因模式<sup>[13-16]</sup>。混积岩分布于多个地质历史时期<sup>[17-19]</sup>,在残余海盆阶段的平缓斜坡上,形成由陆源碎屑与海相碳酸盐混合堆积物固结的岩石<sup>[9,20]</sup>。外源输入的陆源碎屑为混积岩油气藏提供优质的储层,内源堆积的泥质形成优质烃源岩,碳酸盐的沉淀一方面降低陆源碎屑颗粒间的原生孔隙度,另一方面形成晶间孔和溶蚀孔而改善储层品质。内、外源沉积物相互混合,形成类型多样、空间叠置且结构复杂的生储盖组合,成为油气勘探和沉积矿产勘查的重点区域,混积岩的沉积特征、空间分布与沉积机制也成为油气勘探和沉积矿产勘查关注的焦点<sup>[21-26]</sup>。

中东地区 A 油田 Asmari 组 B 段形成于新特提斯洋闭合阶段,具有典型的混积岩发育背景,岩性包括白云岩、砂岩、泥岩等,多种岩性交互发育<sup>[9,27]</sup>。人们认为 Asmari 组 B 段为三角洲和潮坪混合沉积的产物<sup>[28-29]</sup>,由于研究资料匮乏、相似环境下的理论研究薄弱等,限制对储层非均质性的理解和优质储层分布规律的认识,制约石油资源的高效勘探和开发。对于中东地区 A 油田 Asmari 组 B 段,根据岩心观察、薄

收稿日期:2025-07-22;编辑:蔡田田

基金项目:中国海洋石油集团有限公司“十四五”重大科技项目(KJGG2022-0905)

作者简介:王 龙(1986—),男,硕士,高级工程师,主要从事油气田开发地质方面的研究。

通信作者:吴 冬,E-mail: lisandpw@163.com

片鉴定、地球物理测井和地球化学资料,识别沉积微相标志,划分沉积微相类型,研究三角洲—潮坪混合沉积环境不同微相下的空间展布特征,探讨沉积微相主控因素并建立相应的沉积模式,为储层非均质性研究和优质储层预测提供支持,也为具有类似沉积特征的油气田勘探开发提供依据。

### 1 区域地质概况

A 油田位于伊拉克东南部,构造上位于阿拉伯台地东部的美索不达米亚低角度褶皱带的南部地区,属于阿尔卑斯造山运动带前的一部分(见图 1(a))。A 油田所在区域发育多个北西至南东走向的背斜构造系统,系统中发育多个背斜构造带,每个背斜构造带呈多个高点和鞍部交替出现的格局,A 油田位于其中一个背斜构造带。Asmari 组沉积于古近系—新近系海陆过渡环境,新特提斯闭合,海盆关闭至残余,沿东北板块边缘的扎格罗斯前渊成为狭窄的海槽<sup>[28]</sup>。研究区处于非常浅的碳酸盐岩沉积环境,碎屑输入和频繁暴露的过程在研究区部分区域形成硅质碎屑岩,最终形成一个碳酸盐岩—碎屑混合沉积系统<sup>[29]</sup>。

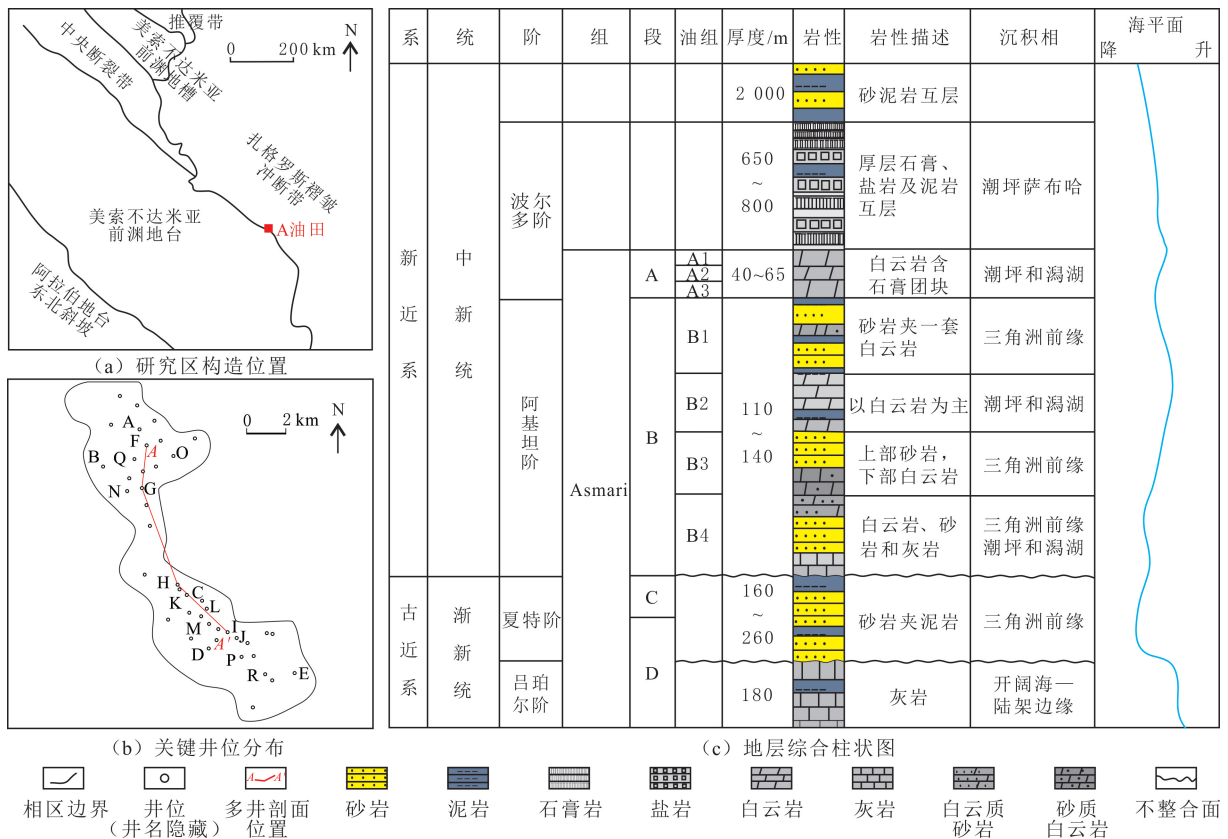


图 1 A 油田构造位置、井位分布及古近系—新近系地层综合柱状图(据文献[20]修改)

Fig. 1 Structural location, well distribution and comprehensive stratigraphic column of Paleogene-Neogene of the A Oilfield(modified by reference[20])

Asmari 组为 A 油田主要含油层段,以砂岩和白云岩为主,与下伏 Jaddala 组呈不整合接触,与上覆 Low Fars 组呈整合接触。根据岩性差异,将 A 油田 Asmari 组自上而下划分为 A、B、C 和 D 段,C、D 段以砂岩和泥岩为主,沉积环境主要为三角洲;B 段以陆源碎屑沉积为主,逐渐转变为局限性的碳酸盐岩沉积,表现显著的混积特征,发育砂岩、泥岩、灰岩和白云岩;A 段演变为蒸发作用较强的碳酸盐岩沉积,以白云岩为主,夹少量硬石膏(见图 1(c))。Asmari 组 B 段混合沉积发育程度高,岩性复杂,在纵向上表现沉积层薄、交替变化快的特点,自上而下划分 4 个亚段,分别为 B1、B2、B3、B4 亚段。B4 亚段发育白云岩、砂岩和少量灰岩,自上而下划分 4 个小层(B4-1、B4-2、B4-3 和 B4-4);B3 亚段上部以砂岩为主,下部以白云岩为主,划分 B3-1 和 B3-2 两个小层;B2 亚段以厚层的白云岩为主,内部以稳定发育的多套泥岩层为标志层,划分 4 个小层(B2-1、B2-2、B2-3 和 B2-4);B1 亚段以上、下两套砂岩夹白云岩为特征,内部发育多套泥

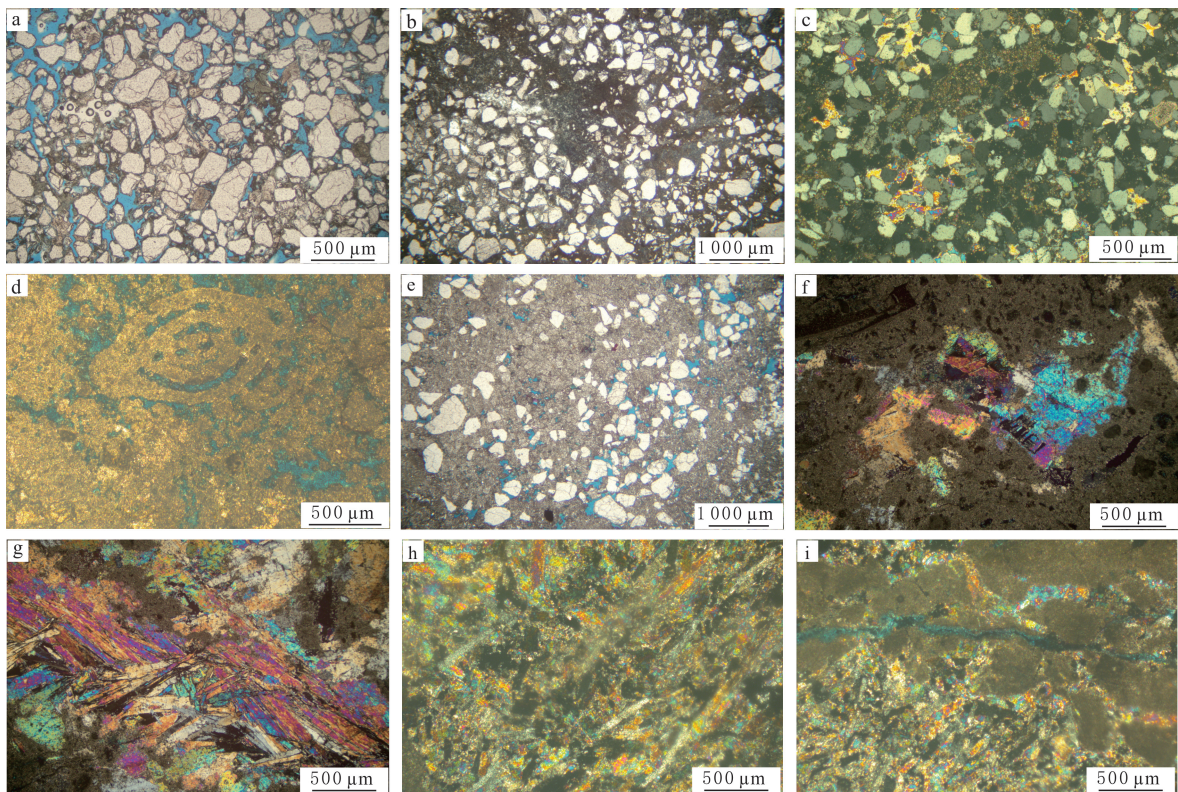
岩层,划分4个小层(B1-1、B1-2、B1-3、B1-4)。

## 2 混合沉积特征及沉积环境

### 2.1 沉积特征

A油田 Asmari 组 B 段岩石类型主要为砂岩、白云岩和泥岩, 偶见灰岩和石膏, 混合沉积类型以砂云混合为主。B4 油组、B3 油组上部和 B1 油组主要发育砂岩, B3 油组下部和 B2 油组主要发育白云岩。黏土岩的黏土矿物大多来自母岩风化产物, 以悬浮方式搬运至盆地, 由机械方式沉积而成, 将黏土岩归入陆源碎屑岩, 构建陆源碎屑—碳酸盐岩两端元划分方案<sup>[30]</sup>。根据陆源碎屑与碳酸盐岩组分含量, 将研究区岩石类型划分为砂岩类、白云岩类、泥岩类和灰岩类。

砂岩类包括相对纯的石英砂岩、(含)泥质砂岩、(含)白云质砂岩(见图 2(a-c)), 碎屑颗粒分选较好, 磨圆度中等—好, 白云质呈基底式胶结分布在砂岩颗粒之间。白云岩类以相对纯的晶粒白云岩、生屑白云岩、(含)泥质白云岩、(含)砂质白云岩、(含)灰质白云岩为代表, 可见(含)膏质白云岩(见图 2(d-f))。B4 油组中下部厚层的白云岩不纯, 普遍含砂, B4 油组中上部偶见生屑白云岩; B3 油组发育大量砂质白云岩夹薄层生屑白云岩; B2 油组发育砂质白云岩与较纯白云岩互层; B1 油组普遍发育砂质白云岩。B 段发育 8 套泥岩层, 主要为较纯的泥岩和(含)砂质泥岩, 偶见白云质泥岩, 颜色为氧化色, 常见紫红色和暗红色, 沉积特征在暴露及氧化环境下明显。石膏的微观特征显著(见图 2(g-i)), 一般形成于干旱气候、封闭的高盐蒸发环境<sup>[31]</sup>。灰岩类发育程度低, 在个别井偶见, 沉积于海平面相对上升时期, 混积作用较少发生, 以较纯的灰岩、生屑灰岩和(含)白云质灰岩为主。



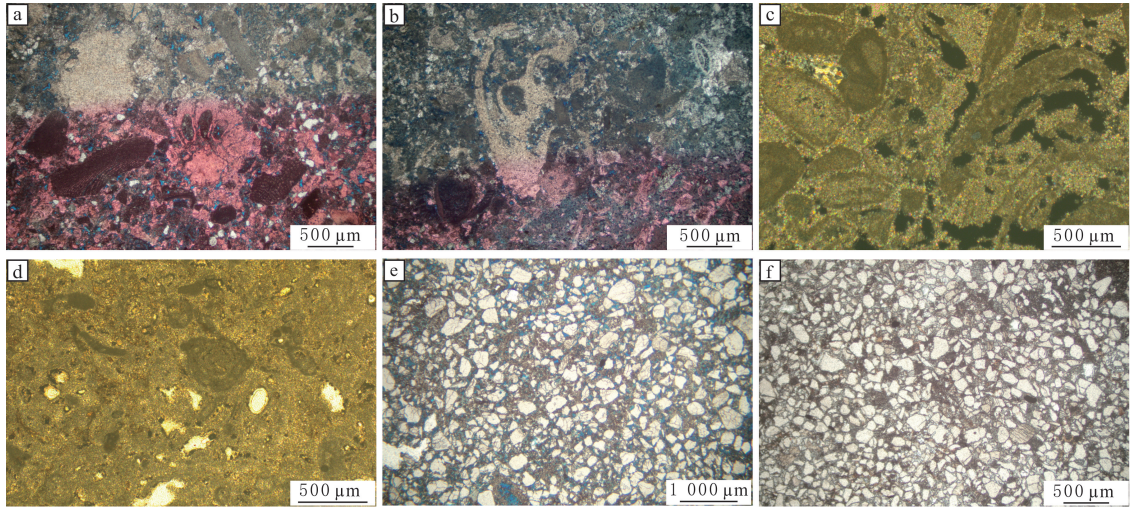
(a) 砂岩, A井, 3 217.5 m (-); (b) 泥质砂岩, B井, 3 167.7 m (-); (c) (含)膏白云质砂岩, B井, 3 197.4 m (+); (d) 生屑白云岩, B井, 3 138.3 m (-); (e) 砂质白云岩, B井, 3 151.5 m (-); (f) 膏质白云岩, A井, 3 142.5 m (+); (g) 石膏, A井, 3 142.5 m (+); (h) 石膏, B井, 3 055.0 m (+); (i) 白云质石膏, B井, 3 056.8 m (+)

图 2 A 油田 Asmari 组 B 段主要岩石类型及特征

Fig. 2 Main rock types and their characteristics of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

Asmari 组 B 段的生物碎屑类型多样, 包括藻类、腕足类、有孔虫类和棘皮类, 碎屑的分选和磨圆度较好、粒径较大(见图 3(a-b)), 揭示相对高能沉积水动力<sup>[20,32]</sup>。胶结物主要为亮晶方解石, 也有少量泥晶

(见图 3(c-f))。



(a) 生屑灰岩, B井, 3 194.4 m (-); (b) 生屑灰岩, B井, 3 188.9 m (-); (c) 颗粒白云岩, B井, 3 077.0 m (-); (d) 颗粒白云岩, B井, 3 063.0 m (-); (e) 含白云砂岩, B井, 3 154.9 m (-); (f) 含白云砂岩, B井, 3 149.2 m (-)

图 3 A 油田 Asmari 组 B 段生物碎屑和胶结物特征

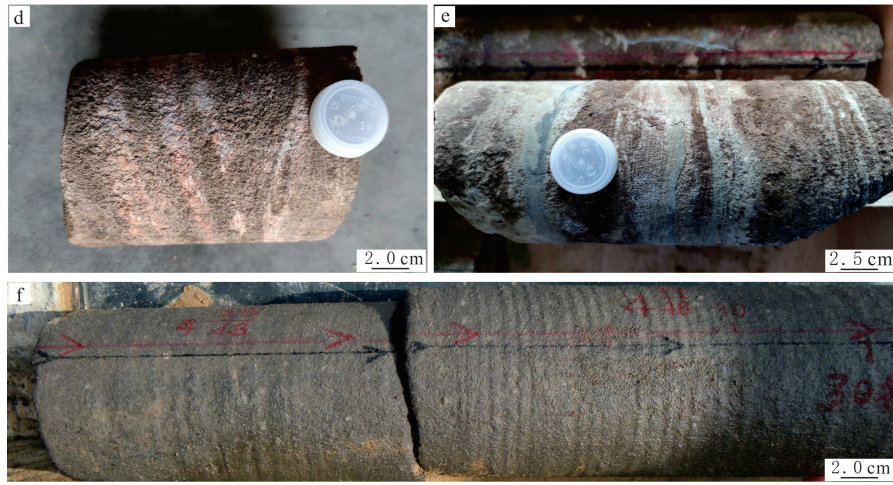
Fig. 3 Characteristics of bioclasts and cements of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

## 2.2 沉积环境

沉积构造受多种因素控制,可以直观反映沉积水动力条件。富含泥质的岩心发育水平层理,揭示水动力较弱的环境。富含砂质的岩心以平行层理和交错层理为主,交错层理一般形成于水动力较强的环境,如台内滩;平行层理常形成于浅水环境,如潮坪。

A 油田 Asmari 组 B 段的泥岩以紫红色和暗红色为主(见图 4(a)),偶见灰绿色,揭示受氧化作用影响的沉积环境;水平层理发育,见石膏充填干裂缝(见图 4(b)),反映浅水和暴露特征。B3 油组砂岩在研究区稳定分布,岩心呈灰白色,见较弱的底冲刷现象,显示潮道沉积特征(见图 4(c));B2 油组砂岩的双向交错层理(见图 4(d))和 B1 油组底部薄层砂岩顶部的收敛性双向交错层理(见图 4(e)),揭示水动力较强的潮坪环境;B1 油组顶部平行层理发育,双向交错层理不发育,揭示受三角洲影响的沉积环境(见图 4(f))。





(a) 红色泥岩, B井, 3 105.5 m; (b) 干裂, B井, 3 169.5~3 170.5 m; (c) 潮道薄层砂岩, E井, 3 118.5~3 119.0 m; (d) 双向交错层理, B井, 3 107.2 m; (e) 双向交错层理, B井, 3 095.0 m; (f) 平行层理, E井, 3 046.0~3 049.0 m

图 4 A 油田 Asmari 组 B 段沉积构造特征

Fig. 4 Characteristics of sedimentary structures of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

地球化学标志是沉积环境判定的关键定量指标,受多方面因素影响,研究区目的层的岩石样品较少,采用地球化学参数辅助沉积环境的判定。Sr/Ba 常用于揭示海洋沉积作用的影响, Sr/Ba 大于 1 时,说明沉积物形成于正常海水<sup>[33-34]</sup>。MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 是判定沉积环境盐度特征的重要指标,沉积水体盐度增高,比值往往增大<sup>[34]</sup>。A 油田 Asmari 组 B 段的 MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 普遍较高,反映残余海盆高盐度的特征。B4、B3、B1 油组的 Sr/Ba 和 MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 差异较大,揭示不同的沉积背景。B4 油组沉积环境局限,受海源流体影响较小; B3 和 B1 油组沉积环境开阔,受海源流体影响较大(见图 5)。

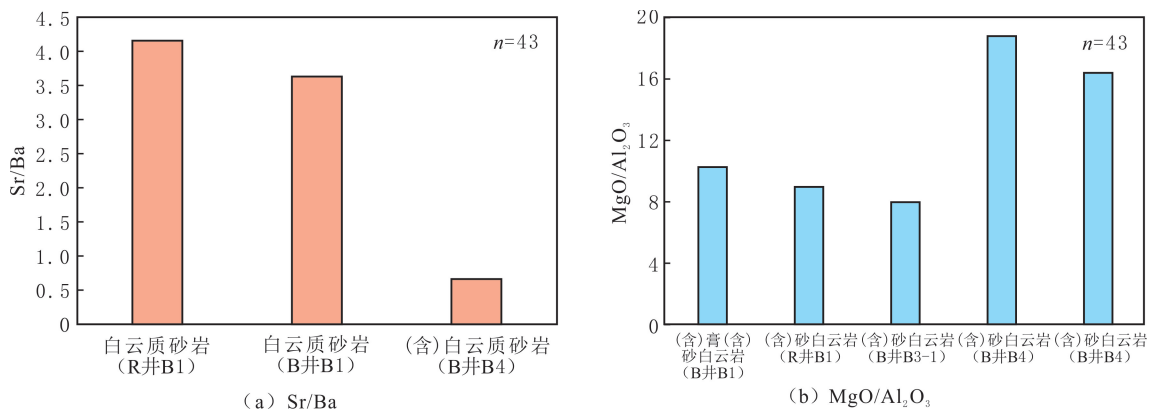


图 5 A 油田 Asmari 组 B 段 B4、B3 和 B1 油组地球化学参数特征

Fig. 5 Geochemical parameter characteristics of B4, B3 and B1 layers of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

### 3 混合沉积相类型

根据沉积相标志和构造—沉积背景, A 油田 Asmari 组 B 段形成于残余海盆浅水缓坡背景的三角洲—混积潮坪沉积体系。该体系发育三角洲前缘、潮间和潮下 3 种沉积亚相,以及分流河道、河口坝、潮缘滩、(砂、泥、灰)云坪、(云、泥)砂坪、(砂、云)泥坪等沉积微相,局部并偶见灰坪(见图 6)。

分流河道的 GR 曲线为箱形、钟形,河口坝的 GR 曲线为漏斗形,河口坝—分流河道组合的 GR 曲线上下为渐变型,砂坪的 GR 曲线为薄层漏斗形或箱形。云坪位于潮间带下部和潮下带,主要发育浅灰色薄层状泥晶和粉晶白云岩,潮下带云坪发育厚层较纯的白云岩,潮间带主要发育砂云混合沉积的砂云坪。潮

缘滩多见生屑白云岩,具有低 GR、高 AC、高 DEN 等特征,整体处于潮下带,混积程度相对较低,潮缘滩中白云岩一般呈中高孔、中高渗特征,灰岩呈中低孔、中低渗特征。泥坪主要沉积紫红色、暗红色泥岩,水平层理和干裂构造发育,可见少量石膏充填干裂缝,部分泥岩含砂质、白云质等,在研究区分布稳定。灰坪形成于潮间带下部及潮下带,泥晶灰岩和泥质泥晶灰岩呈灰褐色,发育水平层理。

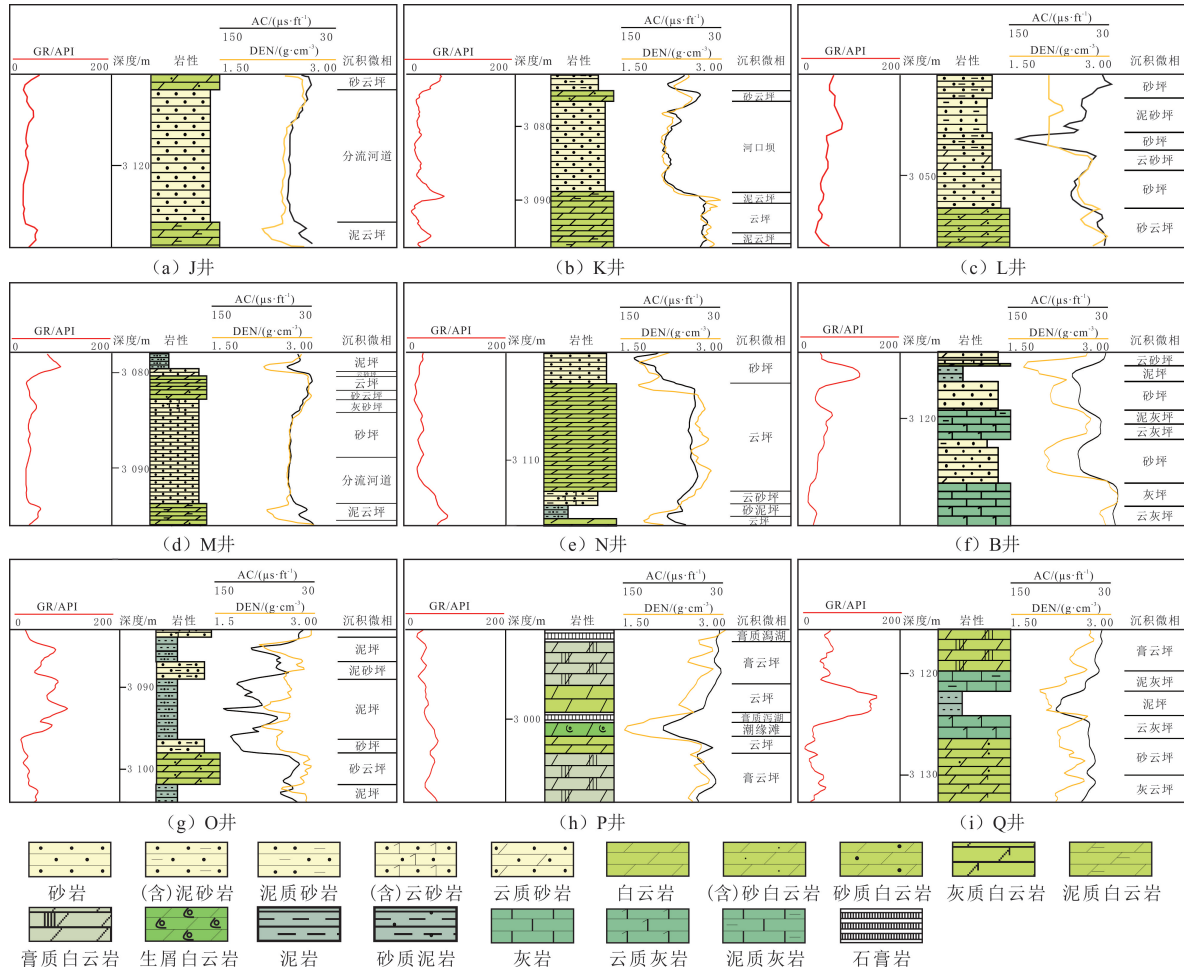


图 6 A 油田 Asmari 组 B 段沉积相测井特征

Fig. 6 Logging characteristics of sedimentary facies of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

应用均方根振幅切片,分析混合沉积体中砂质沉积物的分布特征和演化规律,识别富砂沉积体。A 油田 Asmari 组 B 段自下而上的河流作用减弱,潮汐影响增强,分流河道逐渐演变为混积潮坪(影响 A 段下部),潮汐砂坪、云坪及泥坪等发育(见图 7)。

基于沉积微相的类型划分及宏观认识,进行单井沉积微相解释,明确沉积微相的纵向分布特征。三角洲相的岩性以稳定发育的厚层砂岩为主,主要分布于 B4、B3-1 和 B1 等油组,进一步分为分流河道和河口坝微相;B3-2 和 B2 油组主要为混积潮坪环境,其中潮间带主要发育各类砂坪、泥坪及薄层云坪,潮下带发育以厚层云坪及潮缘滩为主(见图 8-9)。

分析不同单井沉积微相的规模、岩性和叠置关系。分流河道砂体厚度大,为 3~30 m;河口坝砂体厚度中等,为 2~6 m;砂坪厚度较薄。泥砂坪内泥岩充填粒间孔隙,云砂坪中砂粒粒径大(20~200 μm),白云石晶粒粒径小(1~20 μm),二者发生混积产生的颗粒堆积形式存在区别。潮下带云坪一般发育厚层较纯的白云岩,潮间带主要发育砂云混合沉积的砂云坪,泥云坪发育较少。泥坪、砂泥坪和云泥坪在研究区分布稳定,一般作为隔夹层,可见砂云泥高度混积的隔夹层。

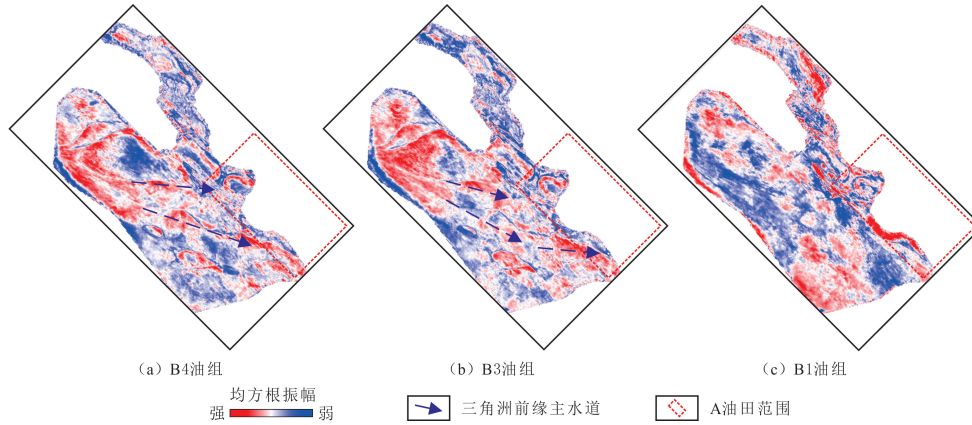


图 7 A 油田 Asmari 组 B 段均方根振幅特征

Fig. 7 Characteristics of root-mean-square of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

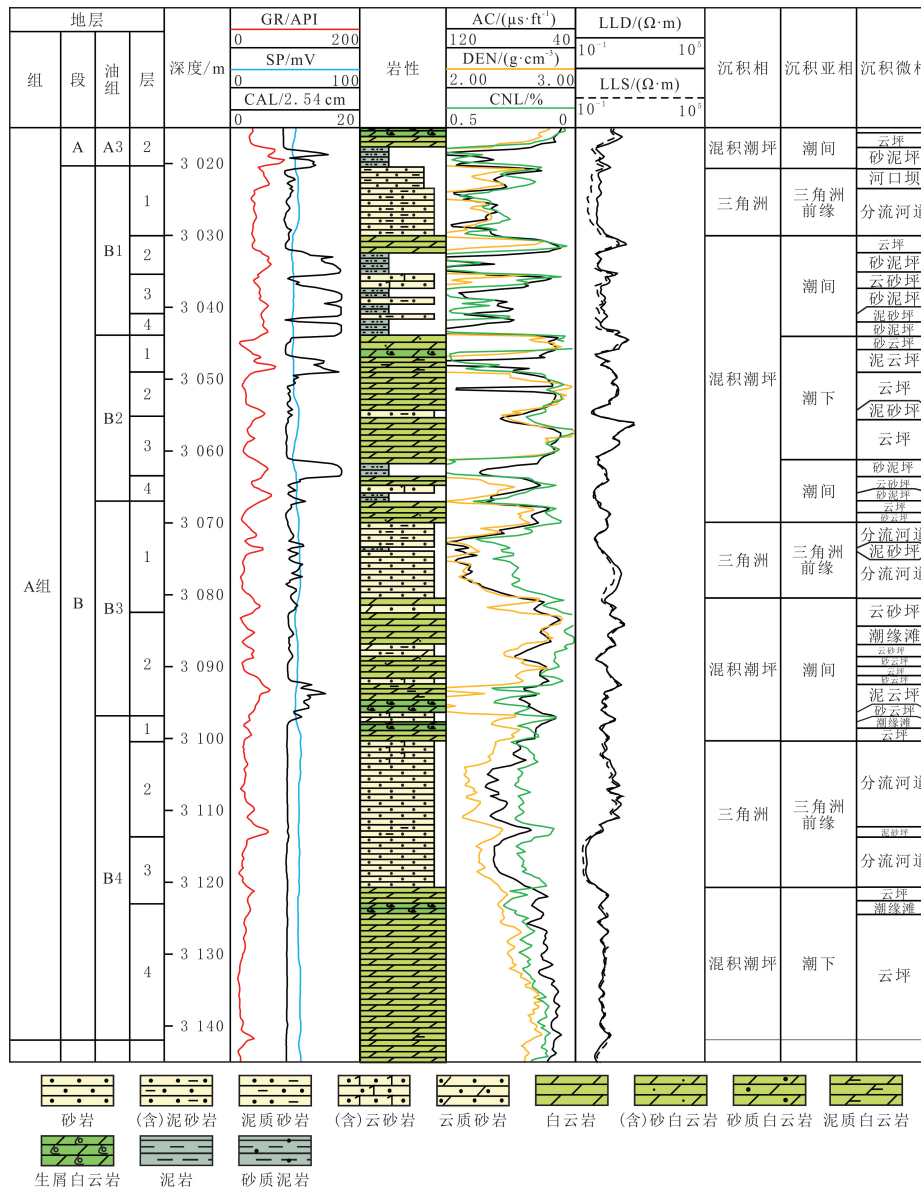


图 8 A 油田 D 井 Asmari 组 B 段沉积相分布特征

Fig. 8 Distribution of sedimentary facies of the section B of Asmari Formation of the well D in the A Oilfield

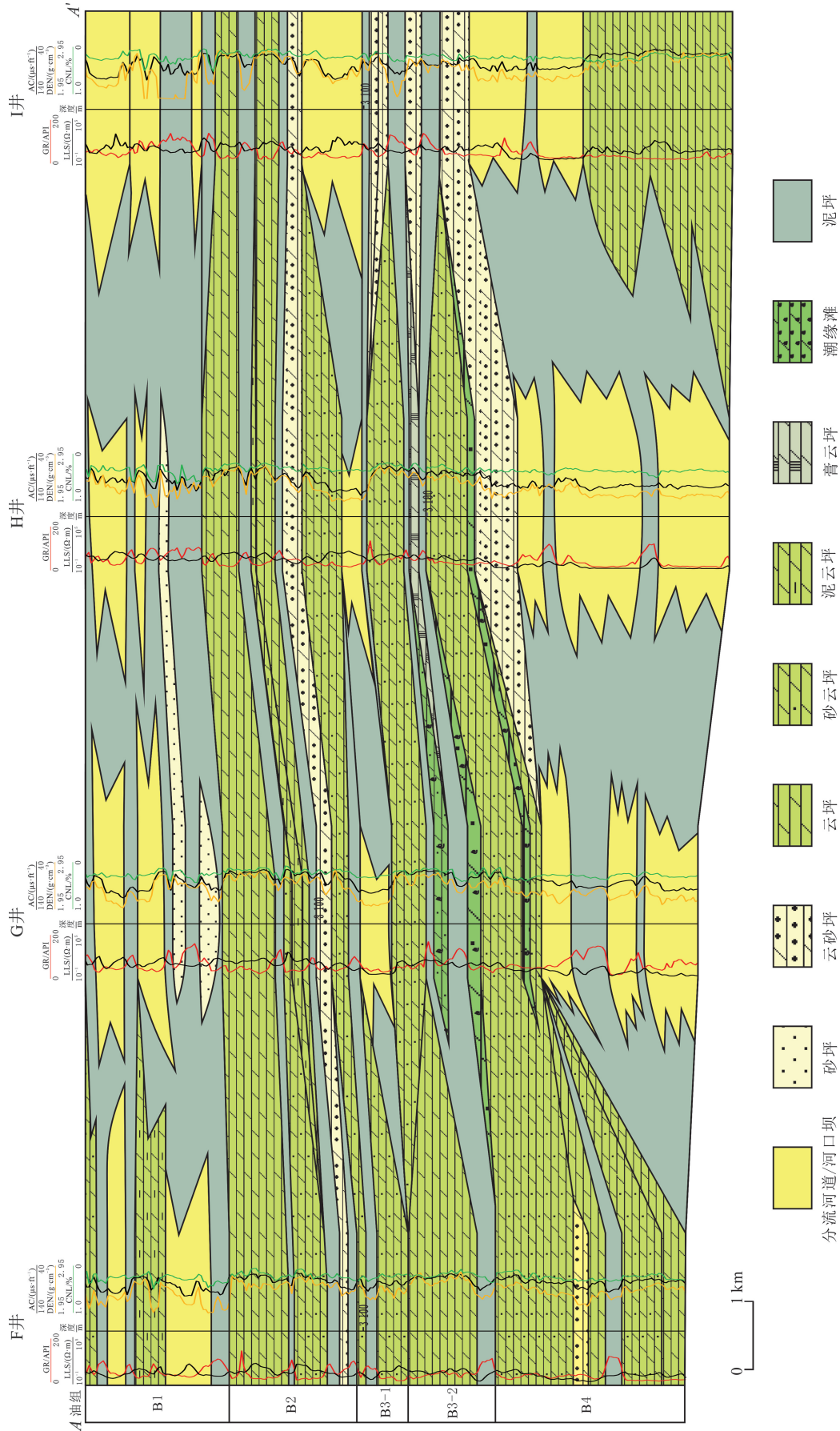


图 9 A 油田 Asmari 组 B 段连井沉积相剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 9 Sedimentary facies profile of multi-well of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield(section position is shown in Fig. 1)

## 4 混合沉积模式

混合沉积模式包括混合沉积物和混合沉积相的时空分布特征、主控因素和沉积模式。

### 4.1 时空分布特征

Asmari 组 B 段下伏的 C 段形成于三角洲沉积环境,发育大套前积砂体,不发育碳酸盐岩。至 B 段沉积早期,海平面持续上涨,三角洲随之退积。B4-2 小层在北部主要为碳酸盐岩沉积,以云坪为主,发育较小范围的潮缘滩,中—南部以碎屑沉积为主,发育大片砂坪,局部井可见云砂坪,发育 7 条分流河道,河道方向为南西—北东走向,与物源供给方向一致(见图 10(a));至 B4-1 小层沉积期,研究区普遍发育云坪,中—南部可见砂云坪,潮缘滩局限分布,北部可见灰坪沉积,河道不发育。B3-2 小层发育大片云坪,滩相范围较 B4 油组的增大,少数井发育砂坪,局部井可见砂云泥高度混积的混积坪(见图 10(b));B3-1 小层以砂坪为主,北部部分井发育云坪,7 条分流河道呈南西—北东走向,河道间见云砂坪,泥质含量较前期增加(见图 10(c))。B 段沉积早期延续 C 段沉积格局,混合沉积受分流河道和海平面升降的影响显著。海平面下降时,分流河道携带大量砂泥进入研究区,混合沉积不发育;海平面快速上升时,分流河道退出研究区,受潮汐改造和再作用影响,分流河道区域可见混合沉积;海平面缓慢上涨时,分流河道持续输入碎屑物质,潮汐带来的高盐度海水促进云砂坪和砂云坪的形成。

至 B 段沉积中期,三角洲逐渐退出研究区。B2 油组以碳酸盐岩为主,河道沉积相对较少。B2-4 小层延续 B3-1 小层的三角洲沉积面貌,南部以砂质沉积为主,可见泥砂坪,北部发育大片云坪(见图 10(d));B2-3 小层的云坪在研究区分布广泛,部分井见潮缘滩,局部发育砂云坪,偶见砂云泥高度混积的混积坪;B2-2 与 B2-3 小层沉积特征相似,以云坪为主,局部井见潮缘滩和灰坪(见图 10(e));B2-1 小层的北—中部发育大套云坪,局部井可见砂坪和泥坪,泥质含量向南明显增加,砂云坪和泥云坪较为发育,南部地区发育大片泥坪(见图 10(f))。

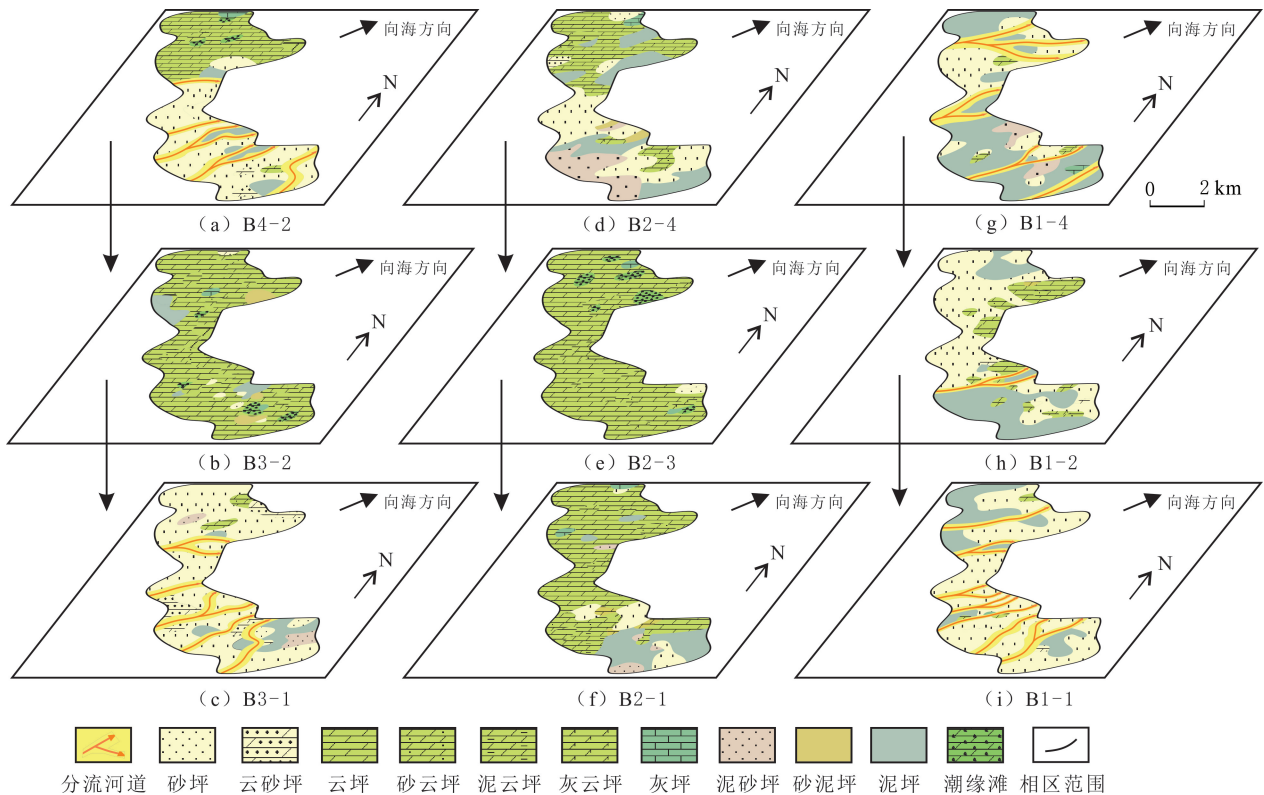


图 10 A 油田 Asmari 组 B 段沉积微相平面分布特征

Fig. 10 Planar distribution characteristics of sedimentary microfacies of the section B of Asmari Formation in the A Oil-field

至 B 段沉积末期,受海平面下降的影响,三角洲进积且大量泥砂注入研究区,B1 油组以碎屑岩为主,

发育河道、泥坪,混合沉积分布有限。B1-4 小层发育 8 条分流河道,单期河道砂体宽度为 0.5~10.0 km,北—中部河道间发育大套砂坪,泥质含量向南增加,以泥坪为主,可见泥砂坪,局部并发育云坪和灰坪(见图 10(g));B1-3 小层的河道迁移至北部,河道附近砂坪较为发育,中—南部发育各类泥坪;B1-2 小层的北—中部发育大片砂坪,北东向可见云坪和砂云坪,中部发育 2 条分流河道,南部发育各类泥坪,较 B1-4 和 B1-3 小层泥质含量减少(见图 10(h));B1-1 小层砂岩含量增加,发育 11 条分流河道,北西部以泥坪为主,北东部和中—南部河道间发育成片砂坪,混积程度较低,偶见云坪(见图 10(i))。

#### 4.2 主控因素

混合沉积的主控因素包括气候、构造、水动力、海平面变化和风场等<sup>[35-37]</sup>,不同混合沉积机制的控制因素存在差异。A 油田 Asmari 组 B 段沉积于残余海盆浅水缓坡背景,受控于三角洲的间歇影响和海平面的频繁波动,混合沉积的主控因素为碎屑物质供给、海平面升降和潮汐涨落。

早渐新世发生大规模海退,美索不达米亚地区保持浅海环境,阿拉伯地台的剥蚀为研究区带来大量陆源碎屑<sup>[38]</sup>。碎屑供给是 A 油田 Asmari 组 B 段混合沉积形成的基础,供给程度影响混合沉积程度。沉积早期,碎屑物质供给充足,发育较大规模的分流河道和较小规模的混合沉积岩;沉积中期,碎屑供给不足,海水干净,碳酸盐组分的沉淀增多;沉积末期,碎屑供给程度增强,混合沉积岩广泛分布。

A 油田 Asmari 组 B 段沉积于海陆过渡环境,沉积期内经历一系列全球性的冷暖变化,新特提斯洋逐渐关闭并伴随中新世的冰川作用,导致 Asmari 组沉积时期海平面频繁波动<sup>[22,29,32]</sup>。一方面,海平面的涨落和碎屑供给的强弱大多呈此消彼长的关系,海平面上升时期,研究区以各类白云岩沉积为主;海平面下降时期,由于陆源碎屑增多,研究区以各类砂岩沉积为主。另一方面,海平面频繁波动导致在相缘过渡带发生混积作用,三角洲砂体经过潮汐、波浪的反复改造,逐渐转变为混积潮坪沉积物。潮汐提供大量的矿物质,提高沉积水体的矿化度,成为碎屑、碳酸盐物质再分配的关键动力;涨潮主要提供碳酸盐物质并改造砂质分布,退潮促进碳酸盐物质和砂质的混合沉淀。

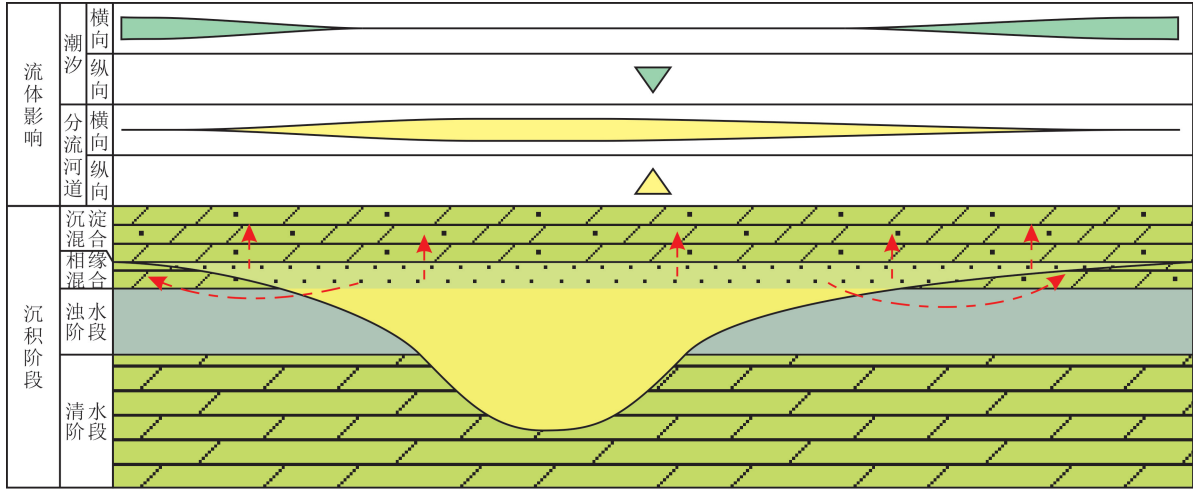
#### 4.3 沉积模式

混合沉积的研究主要包括在浅海环境下划分的间断混合、相缘混合、原地混合和母源混合 4 种沉积类型<sup>[10]</sup>。穆财能等提出沉淀混合的概念<sup>[39]</sup>。A 油田 Asmari 组 B 段主要存在碳酸盐沉淀与碎屑堆积的过渡区形成的相缘混合,以及潮流冲蚀原地碎屑与快速沉淀的碳酸盐混合形成的沉淀混合两种混合沉积类型。

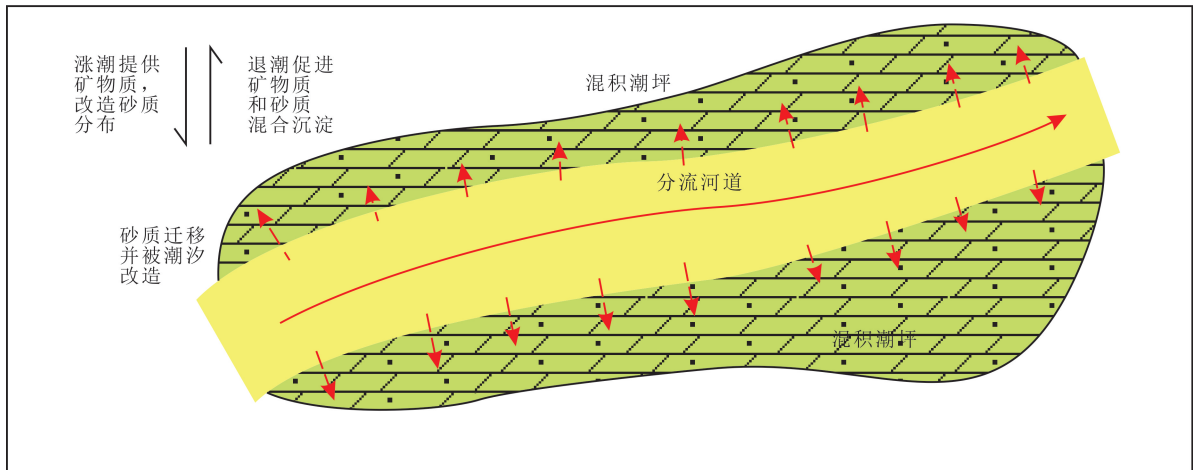
A 油田 Asmari 组 B 段的混合沉积形成于 4 个主要阶段,不同阶段受控于不同的流体介质。清水阶段以云坪沉积为主,海水盐度高,沉淀厚层的碳酸盐岩,后期受小规模的分流河道侵入影响;浊水阶段以分流河道和泥坪发育为特征,分流河道携带大量淡水和泥砂进入盆地,破坏碳酸盐岩沉积环境;相缘混合阶段,三角洲前缘分流河道的影响减弱,潮汐的影响持续加强,高盐度的潮流对分流河道边缘的砂体进行改造,形成相缘混合堆积,以砂云坪为代表;沉淀混合阶段,三角洲前缘分流河道完全退出研究区,潮流对下伏砂质沉积物(尤其是分流河道内的砂质沉积物)进行冲蚀,为沉淀混合提供碎屑供给(见图 11)。

宏观上,A 油田 Asmari 组 B 段形成于残余海盆平缓斜坡,古地貌对沉积物分异的影响有限。海盆闭合、水体较浅、蒸发强烈及气候因素促进混合沉积物的沉淀和堆积。混合沉积差异演化主要受碎屑供给、潮汐和海平面升降的影响。B4 油组沉积期,海平面较低(见图 1),整体处于浊水阶段(见图 11),混积特征不强;沉积早期,三角洲碎屑供给充足,水道发育,形成高供给富砂弱混积模式(见图 12(a));沉积后期,碎屑供给减弱,海平面上升,形成低供给贫砂弱混积模式(见图 12(b))。B3 油组沉积期,海平面较高,潮汐影响加强,混合沉积逐渐发育;沉积早期,碎屑供给不足,潮汐搬运少量砂泥,在高盐度环境下沉积,形成低供给贫砂混积模式(见图 12(c));沉积后期,碎屑供给加强,潮汐对三角洲前缘水下分流河道携带的砂泥进行改造,形成高供给富砂混积模式(见图 12(d)),相缘混合特征显著(见图 11)。B2 油组沉积期,海平面达到高位,三角洲退积,研究区不发育水下分流河道,潮汐影响显著;沉积早期,对前期沉积的、未固结的三角洲水下分流河道砂进行冲蚀和再作用,形成涨潮富砂混积模式(见图 12(e)),沉淀混合特征显著(见图 11);沉积后期,潮汐水道后退,潮缘滩发育,形成退潮贫砂混积模式(见图 12(f))。B1 油组沉积期,海平面

略有下降,三角洲多期进积,提供碎屑物质,潮汐影响显著;沉积早期,海平面高度适中,水下分流河道、潮汐水道和泥坪同时发育(见图 12(g));沉积中期,海平面升高,三角洲退积,潮汐水道和泥坪发育(见图 12h);沉积后期,海平面快速降低,三角洲大规模进积,泥坪被砂坪覆盖(见图 12(i))。



(a) 混合沉积机制



(b) 三角洲和潮坪相互作用

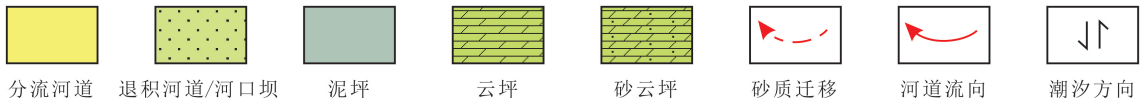
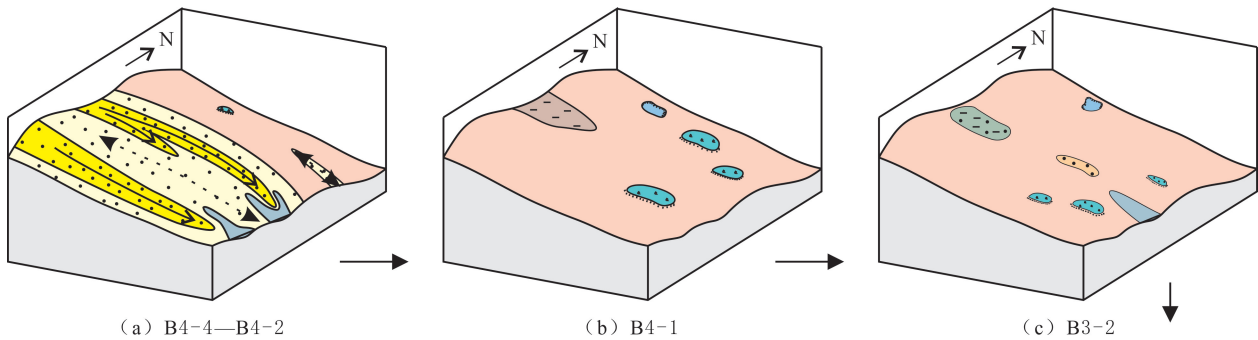


图 11 A 油田 Asmari 组 B 段混合沉积机制及三角洲和潮坪的相互作用

Fig. 11 Mechanism of mixed sedimentation and interaction between delta and tidal flat of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield



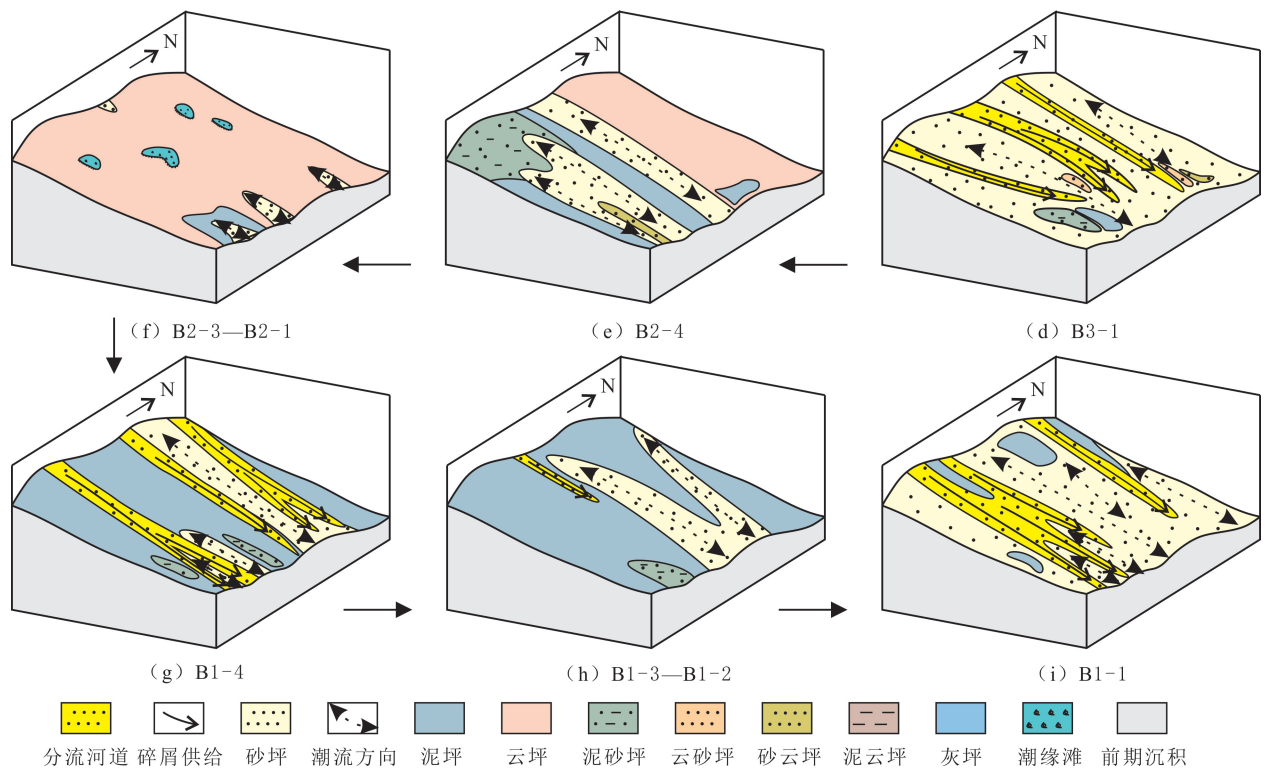


图 12 A 油田 Asmari 组 B 段沉积演化

Fig. 12 Sedimentary evolution of the section B of Asmari Formation in the A Oilfield

## 5 结论

(1) 中东地区 A 油田 Asmari 组沉积于残余海盆平缓斜坡环境, B 段发育三角洲和潮坪混合沉积体系。自下而上, B 段的沉积相变快, 主要发育分流河道、河口坝、潮缘滩、(砂、泥、灰) 云坪、(云、泥) 砂坪、(砂、云) 泥坪等微相, 偶见灰坪。B4、B3-1 和 B1 等油组受河口碎屑供给影响较强, 以分流河道、河口坝、各类砂坪和泥坪为主; B3-2 和 B2 油组沉积时期, 海平面相对升高, 主要发育各类云坪和泥坪, 潮缘滩局限分布。

(2) A 油田 Asmari 组 B 段揭示两种混合沉积类型, 一种为碳酸盐沉淀与碎屑堆积的过渡区形成的相缘混合, 另一种为潮流冲蚀原地碎屑与快速沉淀的碳酸盐混合形成的沉淀混合。混合沉积包括清水阶段、浊水阶段、相缘混合阶段和沉淀混合阶段, 不同阶段受控于不同流体介质。三角洲前缘分流河道为研究区的混合沉积提供碎屑组分, 潮汐提供碳酸盐组分及碎屑—碳酸盐物质再分配的动力, 涨潮主要提供碳酸盐物质并改造砂质分布, 退潮促进碳酸盐物质和砂质的混合沉淀。

(3) A 油田 Asmari 组 B4 油组发育高供给富砂弱混积模式和低供给贫砂弱混积模式, B3 油组发育低供给贫砂混积模式和高供给富砂混积模式, B2 油组发育涨潮富砂混积模式和退潮贫砂混积模式, B1 油组发育中海平面混积模式、高海平面混积模式和低海平面混积模式。

## 参考文献 (References):

- [1] 潘永帅. 火山灰影响下咸化湖盆混积岩特征与优质储层形成机理: 以三塘湖盆地芦苇沟组为例[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2003: 1-154.  
PAN Yongshuai. Characteristics of mixed rocks and formation mechanism of high-quality reservoir in saline lacustrine basin affected by volcanic ash: a case study of the Lucaogou Formation in Santanghu Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2003: 1-154.
- [2] 郭书元, 张广权, 陈舒薇. 陆表海碎屑岩—碳酸盐岩混积层系沉积相研究: 以鄂尔多斯东北部大牛地气田为例[J]. 古地理学报, 2009,

- 11(6):611-627.
- GUO Shuyuan, ZHANG Guangquan, CHEN Shuwei. Study on sedimentary facies of mixed clastic-carbonate sediments strata system in epicontinental sea: a case of Daniudi Gas Field in Northeastern Ordos[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009,11(6):611-627.
- [3] 纪友亮, 马达德, 薛建勤, 等. 柴达木盆地西部新生界陆相湖盆碳酸盐岩沉积环境与沉积模式[J]. *古地理学报*, 2017,19(5):7-22.
- JI Youliang, MA Dade, XUE Jianqin, et al. Sedimentary environments and sedimentary model of carbonate rocks in the Cenozoic lacustrine basin, Western Qaidam Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2017,19(5):7-22.
- [4] 崔航, 朱世发, 施振生, 等. 川北侏罗系大安寨段湖相混积层系沉积特征与发育模式[J]. *古地理学报*, 2022,24(6):1099-1113.
- CUI Hang, ZHU Shifa, SHI Zhensheng, et al. Sedimentary characteristics and development model of lacustrine fine-grained hybrid sedimentary rocks in the Jurassic Da'anzhai Member, Northern Sichuan Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2022, 24(6): 1099-1113.
- [5] 佟欢, 朱世发, 崔航. 渤海湾盆地桩海地区古近系沙河街组一段一二段混积岩优质储层特征与控制因素[J]. *石油与天然气地质*, 2024, 45(4):1106-1120.
- TONG Huan, ZHU Shifa, CUI Hang. Characteristics and controlling factors of high-quality reservoirs of mixed siliciclastic-carbonate sediments in the 1st to 2nd members of the Paleogene Shahejie Formation, Zhuanghai Area, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2024,45(4):1106-1120.
- [6] ZONNEVELD J P, GINGRAS M K, PEMBERTON S G. Trace fossil assemblages in a Middle Triassic mixed siliciclastic-carbonate marginal marine depositional system, British Columbia[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001,166:249-276.
- [7] CÓZAR P, SOMERVILLE I D, RODRÍGUEZ S, et al. Development of a Late Viséan(Mississippian) mixed carbonate/siliciclastic platform in the Guadalquivir Valley(Southwestern Spain)[J]. *Sedimentary Geology*, 2006,183:269-295.
- [8] BRANDANO M, CIVITELLI G. Non-seagrass meadow sedimentary facies of the Pontinian Islands, Tyrrhenian Sea: a modern example of mixed carbonate-siliciclastic sedimentation[J]. *Sedimentary Geology*, 2007,201:286-301.
- [9] 孙福亭, 汪洪强, 王龙, 等. 基于岩石物理相的白云岩储层分类评价: 以中东 A 油田 Asmari 组 A 段为例[J]. *石油化工应用*, 2020, 39(10):84-89.
- SUN Futing, WANG Hongqiang, WANG Long, et al. Reservoir classification and evaluation of dolomite reservoir based on petro-physical facies: a case study on Asmari Formation of A Oilfield, the Middle East[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2020, 39(10):84-89.
- [10] MOUNT J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984,12(7):432-435.
- [11] DU X F, LIU H, HUANG X B, et al. A near-shore elastic-carbonate mixing mode in a continental rift basin(Early Oligocene, Eastern Shijiutuo Uplift, Bohai Bay Basin, China): sedimentology, reservoir characteristics and exploration practice[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2020,9(4):54-71.
- [12] 董艳蕾, 朱筱敏, 潘双君, 等. 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 98-107.
- DONG Yanlei, ZHU Xiaomin, HUA Shuangjun, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic-carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011,32(1):98-107.
- [13] DAVIS R A, CUFFE C K, KOWALSKI K A, et al. Stratigraphic models for microtidal tidal deltas: examples from the Florida Gulf Coast[J]. *Marine Geology*, 2003,200(1/2/34):49-60.
- [14] COFFEY B P, READ J F. Mixed carbonate-siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, Southeastern USA[J]. *Sedimentary Geology*, 2004,166(1/2):21-57.
- [15] TCHEREPANOV E N, DROXLER A W, LAPOINTE P, et al. Neogene evolution of the mixed carbonate-siliciclastic system in the Gulf of Papua, Papua New Guinea[J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2008,113(F1):F01S21.
- [16] 宋章强, 陈延芳, 杜晓峰, 等. 渤海海域 A 构造区沙二段混合沉积特征及储层研究[J]. *海洋石油*, 2013, 33(4):13-18.
- SONG Zhangqiang, CHEN Yanfang, DU Xiaofeng, et al. Study on sedimentary characteristics and reservoir of second member of Shahejie Formation, A Structural Area, Bohai Sea[J]. *Offshore Oil*, 2013,33(4):13-18.
- [17] 杨朝青, 沙庆安. 云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境: 一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积[J]. *沉积学报*, 1990, 8(2):59-66.
- YANG Zhaoqing, SHA Qingan. Sedimentary environment of the Middle Devonian Qujing Formation, Qujing, Yunnan Province: a kind of mixing sedimentation of terrigenous, clastics and carbonate[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990,8(2):59-66.
- [18] 朱筱敏, 董艳蕾, 刘成林, 等. 中国含油气盆地沉积研究主要科学问题与发展分析[J]. *地学前缘*, 2021, 28(1):1-11.
- ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, LIU Chenglin, et al. Major challenges and development in Chinese sedimentological research on petroliferous basins[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021,28(1):1-11.
- [19] 宋光永, 刘占国, 王艳清, 等. 威化湖盆混积岩岩相类型、沉积旋回及相模式: 以柴达木盆地风西地区新近系为例[J]. *石油勘探与开发*, 2024, 51(6):1304-1316.
- SONG Guangyong, LIU Zhanguo, WANG Yanqing, et al. Lithofacies types, sedimentary cycles, and facies models of saline lacus-

- trine hybrid sedimentary rocks: a case study of Neogene in Fengxi Area, Qaidam Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2024,51(6):1304-1316.
- [20] 何娟,孙立春,倪军娥,等.伊拉克 M 油田 Asmari 组 B 段混积岩储层特征及储层非均质性对开发的影响[J]. *中国海上油气*, 2018,30(4):127-134.  
HE Juan, SUN Lichun, NI Jun'e, et al. Characteristics and heterogeneity of the diamictite reservoir in B Member of Asmari Formation in M Oilfield, Iraq and their impacts on development[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018,30(4):127-134.
- [21] GARDNER K, DORSEY R J. Mixed carbonate-siliciclastic sedimentation at the margin of a Late Miocene tidal strait, Lower Colorado river valley, South-Western USA[J]. *Sedimentology*, 2021,68(5):1893-1922.
- [22] HUSSAIN A, BUTT M N, OLARIU C, et al. Unravelling reservoir quality heterogeneity in mixed siliciclastic-carbonate deposits: an example from Miocene Red Sea Rift, NW Saudi Arabia[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2022,145:105850.
- [23] 沙庆安.混合沉积和混积岩的讨论[J]. *古地理学报*, 2001,3(3):63-66.  
SHA Qing'an. Discussion on mixing deposit and Hunji rock[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001,3(3):63-66.
- [24] 马艳萍,刘立.大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征[J]. *沉积学报*, 2003,21(4):607-613.  
MA Yanping, LIU Li. Sedimentary and diagenetic characteristics of Paleogene lacustrine "Hunji" rock in beach district, Dagang[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003,21(4):607-613.
- [25] 叶茂松,解习农,徐长贵,等.混积岩分类命名体系探讨及对混积岩储层评价的启示:以渤海海域混积岩研究为例[J]. *地质论评*, 2018,64(5):1118-1131.  
YE Maosong, XIE Xinong, XU Changgui, et al. Discussion for classification-designation system of mixed siliciclastic-carbonate sediments and the implication for their reservoir prediction: a case study of mixed sediments from Bohai Sea Area[J]. *Geological Review*, 2018,64(5):1118-1131.
- [26] 董少群,孙福文,何娟,等.伊拉克 A 油田 Asmari 组碳酸盐岩储层天然裂缝发育特征与主控因素[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2022,37(3):34-43.  
DONG Shaoqun, SUN Fuwen, HE Juan, et al. Development characteristics and main controlling factors of fractures in carbonate reservoirs of Asmari Formation of A Oilfield, Iraq[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 2022,37(3):34-43.
- [27] 汪洪强,齐明明,孙福亭.伊拉克 A 油田 Asmari 组混积型碳酸盐岩储层隔夹层研究[J]. *石油化工应用*, 2021,40(3):80-85.  
WANG Hongqiang, QI Mingming, SUN Futing. Study on interbeds of mixed carbonate reservoir in Asmari Formation for A Oilfield, Iraq[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2021,40(3):80-85.
- [28] MILLER K, WRIGHT J, BROWNING J. Visions of ice sheets in a greenhouse world[J]. *Marine Geology*, 2005,217(3/4):215-231.
- [29] AVARJANI S, MAHBOUBI A, MOUSSAVI-HARAMI R, et al. Facies, depositional sequences, and biostratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in Marun Oilfield, North Dezful Embayment, Zagros Basin, SW Iran[J]. *Palaeoworld*, 2015,24(3):336-358.
- [30] 董桂玉,陈洪德,何幼斌,等.陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考[J]. *地球科学进展*, 2007,22(9):931-939.  
DONG Guiyu, CHEN Hongde, HE Youbin, et al. Some problems on the study of the mixed siliciclastic-carbonate sediments[J]. *Advances in Earth Science*, 2007,22(9):931-939.
- [31] 姚泾利,魏新善,张道锋,等.硬石膏结核白云岩沉积微相:以鄂尔多斯盆地东部马五<sub>1</sub><sup>3</sup>小层为例[J]. *石油勘探与开发*, 2010,37(6):690-695.  
YAO Jingli, WEI Xinshan, ZHANG Daofeng, et al. Sedimentary microfacies of anhydrite concretion dolomite rock: take Majiagou Formation Ma<sub>5</sub><sup>3</sup> layer in the Eastern Ordos Basin as an example[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010,37(6):690-695.
- [32] 曹亮.伊拉克 A 油田 Asmari 组沉积特征研究[D].成都:西南石油大学,2015:1-65  
CAO Liang. Study on the sedimentary characteristics of Asmari Formation of A Oilfield in Iraq[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015:1-65.
- [33] 吴冬,邓虎成,熊亮,等.四川盆地及其周缘下寒武统麦地坪组—筇竹寺组层序充填和演化模式[J]. *石油与天然气地质*, 2023,44(3):764-777.  
WU Dong, DENG Hucheng, XIONG Liang, et al. Sequence filling and evolutionary model of the Lower Cambrian Maidiping-Qiongzhusi Formations in Sichuan Basin and on its periphery[J]. *Oil & Gas Geology*, 2023,44(3):764-777.
- [34] 魏佳.若尔盖铀矿田含矿岩系中硅质岩成因及其成矿意义[D].成都:成都理工大学,2015:1-61.  
WEI Jia. The origin study and metallogenic significance of siliceous rocks in the Ore-Hosted strata of uranium orefield in Zoige[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015:1-61.
- [35] 蒋海均.柴达木盆地新近纪油砂山组混合沉积特征及控制因素探究[D].北京:中国地质大学(北京),2022:1-95.  
JIANG Haijun. Mixed sedimentary characteristics and controlling factors of Neogene Youshashan Formation in Qaidam Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2022:1-95.

- [36] 龙虹宇,张亚,和源,等.川中古隆起北斜坡下寒武统沧浪铺组一段混合沉积特征及模式[J].东北石油大学学报,2025,49(2):19-29.  
LONG Hongyu, ZHANG Ya, HE Yuan, et al. Mixed sedimentary characteristics and sedimentary models of the first member of Lower Cambrian Canglangpu Formation in the northern slope area of the Central Sichuan Paleo-uplift[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2025,49(2):19-29.
- [37] 陈亮,任军峰,李涵,等.中条山陶家窑剖面长城系混合沉积特征与发育模式[J].古地理学报,2025,27(4):840-852.  
CHEN Liang, REN Junfeng, LI Han, et al. Characteristics and development patterns of mixed sedimentation of the Changchengian in Taojiayao outcrop of Zhongtiao Mountains[J]. Journal of Palaeogeography, 2025,27(4):840-852.
- [38] 倪军娥,王龙,郭丽娜,等.伊拉克 F 油田 Asmari 组连通性分析[J].海洋地质前沿,2020,36(8):43-49.  
NI Jun'e, WANG Long, GUO Li'na, et al. Research of reservoir connectivity in F Oilfield, Iraq[J]. Marine Geology Frontiers, 2020,36(8):43-49.
- [39] 穆财能,周荟佳,陈安清,等.硅质碎屑-碳酸盐混合沉积:进展与分类新启示[J].沉积学报,2025,43(5):1857-1873.  
MU Caineng, ZHOU Huijia, CHEN Anqing, et al. Mixed siliciclastic-carbonate: progress and new revelations in classification[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2025,43(5):1857-1873.

.....

(上接第 56 页)

- [40] 陶传奇,王延斌,倪小明,等.临兴地区上石炭统本溪组煤系气成藏关键时期[J].中国矿业大学学报,2018,47(3):531-537.  
TAO Chuanqi, WANG Yanbin, NI Xiaoming, et al. Key accumulation period for coal series gas reservoir in Upper Carboniferous Benxi Formation, Linxing Block[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018,47(3):531-537.
- [41] 李明阳,黎承银,潘磊,等.川东涪陵地区中侏罗统凉高山组致密砂岩储层特征及成因[J].天然气地球科学,2024,35(7):1150-1159.  
LI Mingyang, LI Chengyin, PAN Lei. Characteristics and genesis of tight sandstone reservoirs of Middle Jurassic Lianggaoshan Formation in Fuling Area, Eastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2024,35(7):1150-1159.
- [42] 崔改霞,卢帆雨,王松,等.陇东地区盒 8 段致密砂岩储层分类评价[J].石油地质与工程,2021,35(3):44-49.  
CUI Gaixia, LU Fanyu, WANG Song, et al. Classification and evaluation of tight sandstone reservoir of He 8 Member in Longdong Area[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2021,35(3):44-49.
- [43] 刘林,刘向君,桑琴,等.川西中坝致密砂岩气储层微观孔隙结构特征及分类评价[J].特种油气藏,2024,31(5):31-40.  
LIU Lin, LIU Xiangjun, SANG Qin, et al. Microscopic pore structure characteristics and classification evaluation of tight sandstone gas reservoirs in the Zhongba Area of Western Sichuan[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2024,31(5):31-40.

.....

(上接第 69 页)

- [44] MENG J, CHEN S, WANG J, et al. Experimental study on the dissolution characteristics and microstructure of carbonate rocks under the action of thermal-hydraulic-chemical coupling[J]. Materials, 2023,16(5):1828.
- [45] 牛君,黄文辉,蒋文龙,等.玉北地区奥陶系碳酸盐岩风化壳岩溶储层特征及其主控因素[J].东北石油大学学报,2016,40(1):1-13.  
NIU Jun, HUANG Wenhui, JIANG Wenlong, et al. Characteristics and main controlling factors of weathering crust karst reservoirs of Ordovician carbonate rocks in Yubei Area[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2016,40(1):1-13.
- [46] 雷和金,李国蓉,周吉羚,等.四川盆地南部寒武系碳酸盐岩成岩作用特征及对储层的影响[J].东北石油大学学报,2015,39(2):59-68.  
LEI Hejin, LI Guorong, ZHOU Jiling, et al. Characteristics of diagenesis and its influence on reservoirs of Cambrian carbonate rocks in the Southern Sichuan Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015,39(2):59-68.
- [47] POMAR L, KENDALL C G. Architecture of carbonate platforms: a response to hydrodynamics and evolving ecology[J]. Geology, Environmental Science, 2008,89:187-216.