

引用格式:卞从胜,李永新,吕明胜,等.碳酸盐岩沉积演化模式与沉积相分布——以鲁卜哈利盆地东北部上白垩统 Mishrif 组为例[J].天然气地球科学,2022,33(4):618-628.

BIAN Congsheng, LI Yongxin, LÜ Mingsheng, et al. Sedimentary evolution model and sedimentary facies distribution of carbonate rocks: Case study of Mishrif Formation in northeast Rub Khali Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(4): 618-628.

DOI: 10.11764/j.issn.1672-1926.2021.10.012

碳酸盐岩沉积演化模式与沉积相分布

——以鲁卜哈利盆地东北部上白垩统 Mishrif 组为例

卞从胜¹, 李永新¹, 吕明胜², 刘刚¹, 段海岗¹, 罗贝维¹, 黄擎宇¹,
张静¹, 杨沛广¹, 张新顺¹, 宋金民³, 黄理力¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油国际勘探开发有限公司, 北京 100034;

3. 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)

摘要:基于岩心、薄片、测井数据与地震资料分析,通过岩石类型、沉积微相与层序地层研究,建立阿拉伯板块鲁卜哈利盆地东北部上白垩统 Mishrif 组岩石类型与沉积微相类型、沉积体系与沉积相及其演化模式。研究表明:Mishrif 组主要发育与厚壳蛤相关的礁灰岩、亮晶生屑灰岩与泥晶生屑灰岩等岩石类型,分布在礁滩复合体、颗粒滩、滩间水道/洼地、滩前斜坡(中缓坡)4种沉积微相中,具有厚壳蛤等生物化石或生屑含量高,沉积水体能量强,储层物性好的特点。结合地震剖面识别出 Mishrif 组沉积早中期发育受断裂活动和整体海退背景控制的镶边台地,晚期构造稳定,断裂不发育, Mishrif 组发育碳酸盐岩缓坡。Mishrif 组沉积微相分布和演化模式表明,早中期的开阔台地与台地边缘广泛发育颗粒滩和礁滩复合体,并逐渐向东迁移;晚期受海侵影响,水体加深,研究区主要发育浅缓坡背景下的小型颗粒滩沉积。

关键词:沉积微相;沉积体系;演化模式;镶边台地;缓坡;Mishrif 组;鲁卜哈利盆地

中图分类号:TE121.3

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2022)04-0618-11

0 引言

白垩系是中东地区重要的含油气层系,探明石油储量占到该地区全部发现储量的45%,其中90%以上为碳酸盐岩储层^[1-2]。阿拉伯板块白垩纪属于自晚二叠世以来新特提斯洋形成过程中逐渐发育起来的被动大陆边缘环境^[3-4],Mishrif 组属于上白垩统,主要发育一套浅海碳酸盐岩台地相沉积,覆盖了阿拉伯板块中东部大部分地区^[5]。该套地层以发育大量厚壳蛤为主的生物礁滩体沉积为典型特征,储层十分发育,已发现的油田主要分布在米索不达米亚盆地和鲁卜哈利盆地的伊拉克、科威特、阿联酋等^[6-7],例如在伊拉克已发现 Rumaila、Halfayah 和

Zubair 等多个大型油田,探明储量占伊拉克总探明储量的30%以上^[8]。

台地相碳酸盐岩储层在全球古生界和中生界广泛分布,如塔里木盆地寒武系—奥陶系、滨里海盆地石炭系,以及阿拉伯盆地侏罗系—白垩系等,均发育台地相碳酸盐岩和礁滩体等储层,并发现了大量油气田分布^[9-12]。研究表明,台地相碳酸盐岩储层的发育程度受台地类型、沉积体系和成岩演化等多种因素控制,尤其受区域构造背景下的沉积相展布与沉积演化模式的影响更为显著^[13-14]。近年来,阿联酋西部 Mishrif 组获得新的石油发现,成为该地区白垩系重要的勘探领域,但由于 Mishrif 组储层纵向和横向沉积相变化大,礁滩体等有利微相分布规

收稿日期:2021-07-06;修回日期:2021-10-06;网络首发日期:2021-11-17.

基金项目:中国石油天然气集团有限公司科学研究与技术开发项目“海外成熟探区精细勘探关键技术”(编号:2019D-4307)资助。

作者简介:卞从胜(1981-),男,安徽肥西人,高级工程师,博士,主要从事油气储层地质学和成藏综合研究。E-mail:biancongsheng@126.com.

律认识不清,储层非均质性强^[15-16],导致该区勘探难度增大。因此,笔者通过3口井的岩心描述、薄片观察,结合测井曲线和地震资料分析,借助台地类型分析方法,建立研究区 Mishrif 组沉积微相类型与分布特征,提出台地演化模式,为该区储层研究和油气勘探提供技术支持。

1 地质背景

鲁卜哈利盆地位于阿拉伯盆地东南部,北部与扎格罗斯盆地相邻,东部以阿曼山为界。研究区位于鲁卜哈利盆地东北部,区域上处于卡塔尔隆起与阿曼山隆起之间的凹陷区西部边缘(图1)。该区长期位于阿拉伯板块内部,构造活动整体较弱,古生代主要发育克拉通内凹陷背景下的碎屑岩沉积,晚二叠世以来至白垩纪主要发育被动陆缘背景下的

碳酸盐岩台地。自古近纪以来,随着扎格罗斯造山运动逐渐隆升成陆^[17-18]。

上白垩统 Mishrif 组发育典型的碳酸盐岩台地和与厚壳蛤相关的礁滩体沉积,目前已在阿联酋境内发现 Fateh 和 Falah 油田^[19],研究区内近期也有多口井获得油气发现,勘探潜力大。研究区 Mishrif 组总体厚 300~400 m,自下而上分为3段,分别对应3个三级层序。平面上看,研究区整体为向东南盆地中心方向倾没的单斜构造(图1),内部从西向东依次发育近南北向和北东向断层与鼻状构造,钻井揭示研究区西部碳酸盐岩储层较发育,东部主要为斜坡盆地相沉积,发育有 Shilaif 盆地。Mishrif 组沉积后,地层整体抬升遭受了风化剥蚀,之后发育 Tuwayil 组泥灰岩与 Ruwayda 组开阔台地相灰岩沉积^[3,19](图2)。

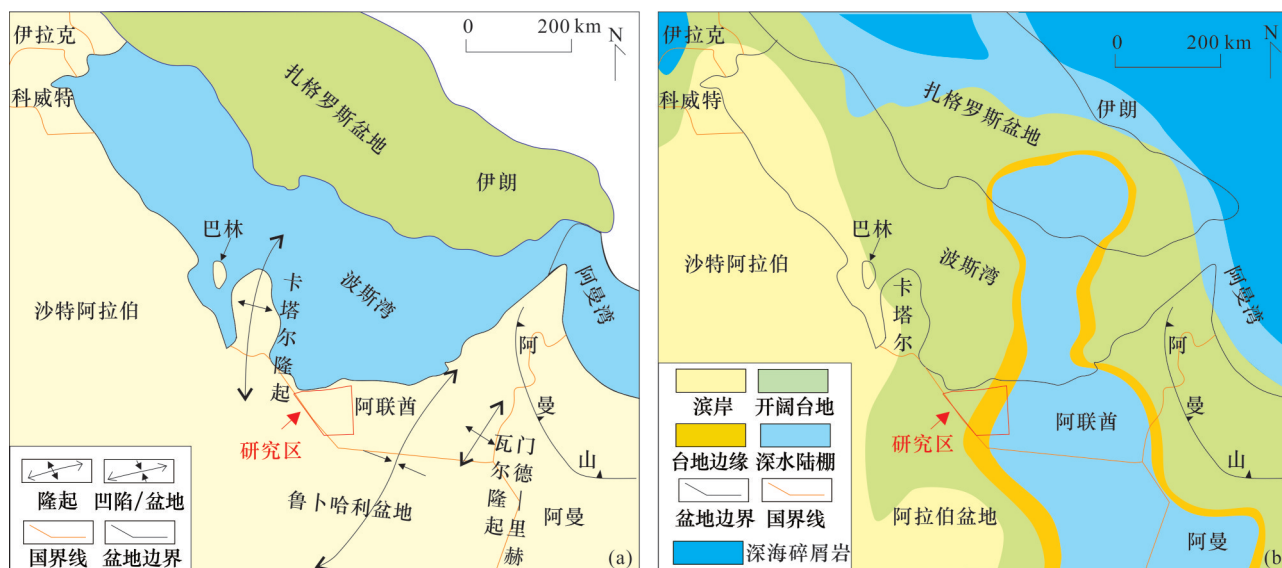


图1 阿拉伯板块中东部白垩系构造分布(a)与 Mishrif 组沉积相图(b)

Fig.1 Distribution of Cretaceous structures(a) in middle-east Arabian plate and sedimentary facies map(b) of Mishrif Formation

2 沉积相特征

研究表明,Mishrif 组为碳酸盐岩台地相沉积体系。根据岩心、薄片观察认为该区储层主要岩石类型为灰岩类,且不同的沉积微相中岩性和结构特征差异较大,在不同的深度和层段也存在较大的差异(图2)。

2.1 岩石学特征

依据 DUNHAM^[20]和 FOLK^[21]关于碳酸盐岩的分类方法,可将 Mishrif 组储层分为礁灰岩、亮晶生屑灰岩、泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩及泥晶灰岩(图3,图4)。礁灰岩主要由厚壳蛤骨架、生物碎屑

和亮晶胶结物组成,其中厚壳蛤骨架较完整,直径约为 0.5~3 cm,骨架内部多数充填方解石胶结物,部分未充填,薄片镜下可见类似纤维状明暗相间的生长纹和较完整的厚壳蛤骨架网格,发育溶蚀孔隙,骨架间为生物碎屑与亮晶胶结物,生物碎屑基本为厚壳蛤碎片,直径在 0.2~1 cm 之间,属于砾屑级。粒间孔发育,孔径可达 1~3 mm。礁灰岩主要发育在 Mishrif 组顶部和下部,单层厚度在 0.5~1 m 之间[图3(a),图4(a)]。亮晶生屑灰岩主要由生物碎屑和亮晶胶结物等组成,呈灰白色至浅灰色,生物碎屑含量高,通常大于 70%,生物类型主体为厚壳蛤,以及部分双壳和棘皮类,生屑粒径通常可达

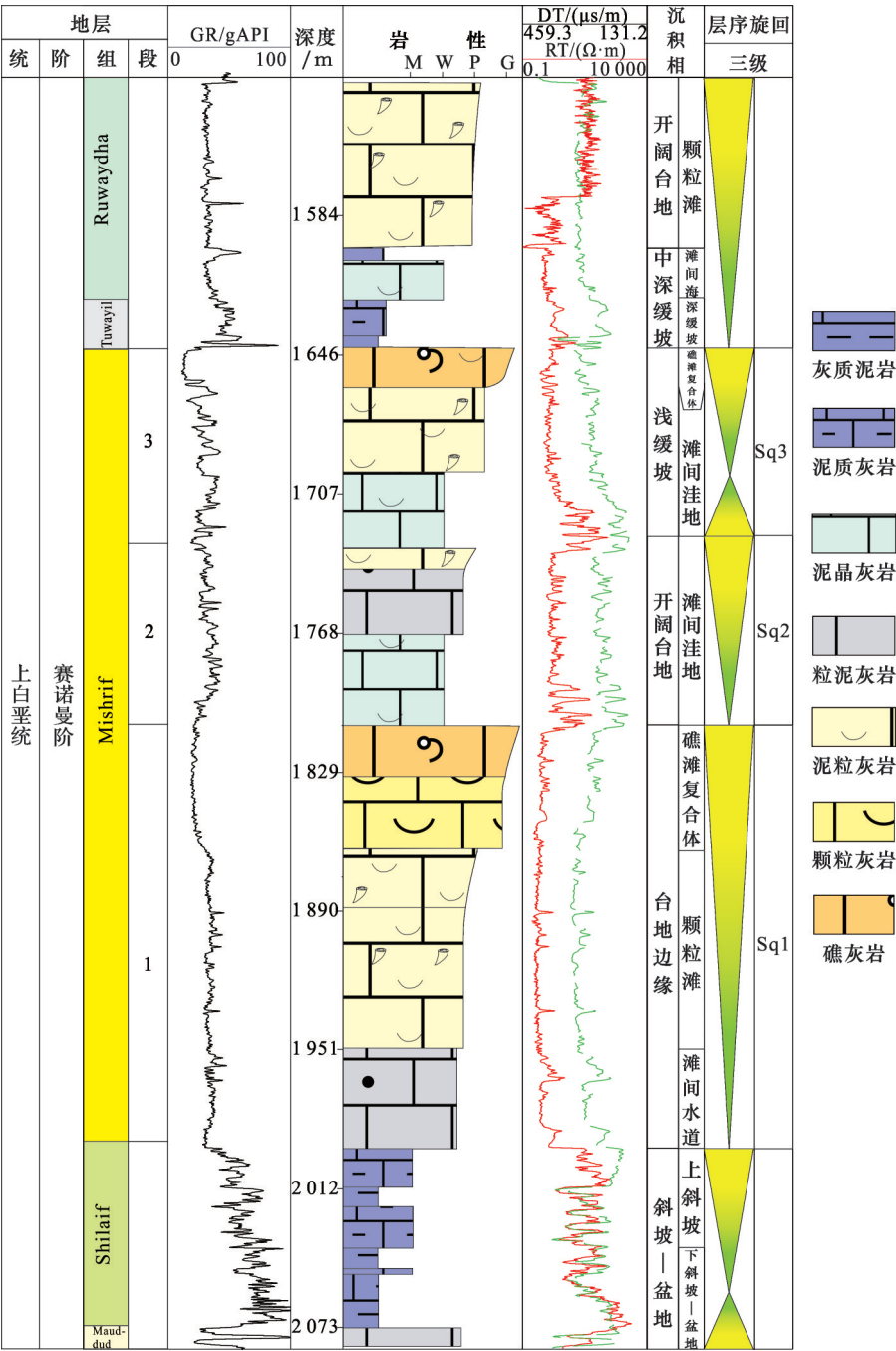


图2 研究区 Mishrif组及邻层沉积相与层序地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive histogram of sedimentary facies and sequence stratigraphy of Mishrif Formation and adjacent strata in the study area

0.5~3 mm,属于砂屑至砾屑级,胶结物主要为亮晶方解石。孔隙通常很发育,孔隙类型有体腔孔、粒间孔、粒内溶孔等,有的孔径可达1~3 mm。亮晶生屑灰岩常发育斜层理,基本不含灰泥,表明其形成于水体能量较高的沉积环境,在 Mishrif组分布较为广泛[图 3(b),图 4(b)]。泥晶生屑灰岩主要由生屑与泥晶方解石组成,生屑含量超过 50%,生物类型主要为厚壳蛤,并含有双壳类、棘皮类和有孔虫,粒

径通常为 0.1~2 mm,属于砂屑级,分选较好,边缘常见泥晶化特征。岩石发育较多的粒间或粒内溶孔,灰泥含量较低,表明沉积水体能量相对较强[图 3(c),图 4(c),图 4(d)],该类岩石分布特征与亮晶生屑灰岩基本一致。生屑泥晶灰岩成分与泥晶生屑灰岩相似,但生屑含量小于 50%,主要为双壳、棘皮、苔藓虫和有孔虫类生物碎屑,粒径通常为 0.1~0.5 mm,分选较差,泥晶方解石含量较高,部分

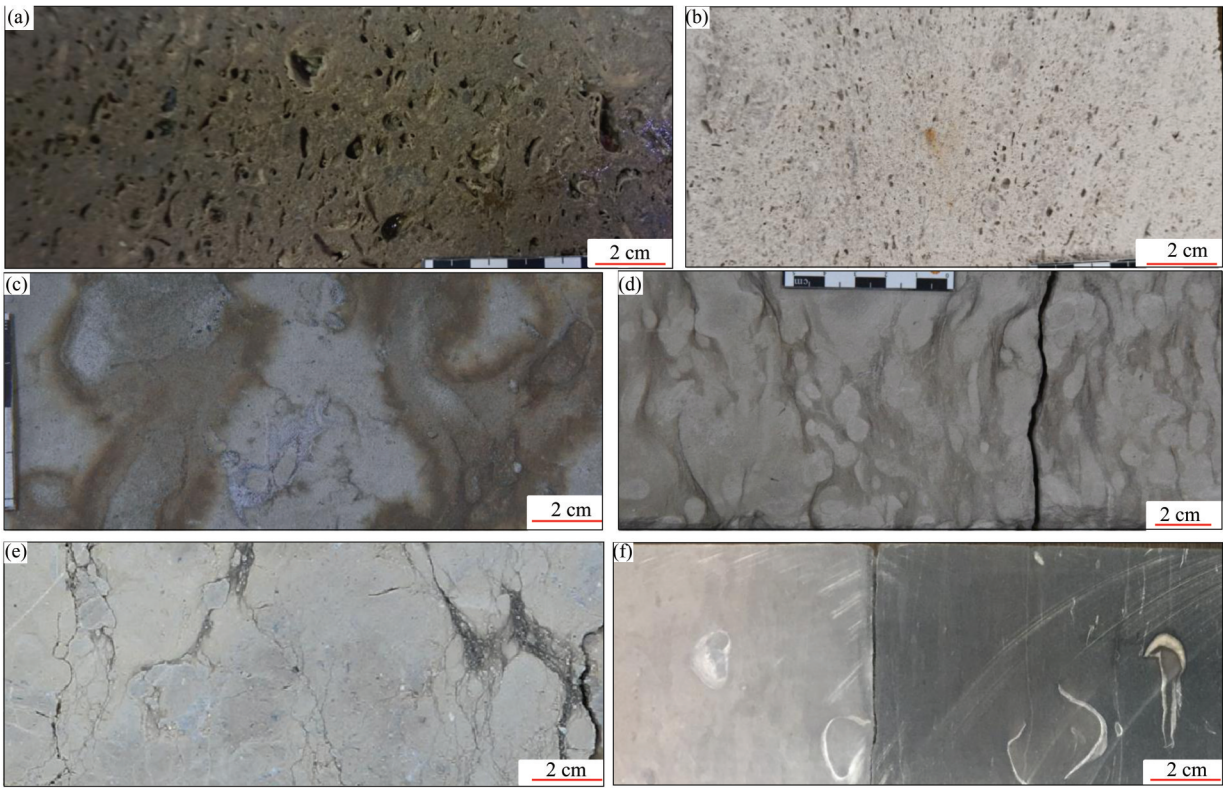


图3 研究区 Mishrif 组岩石类型和岩心照片

Fig.3 Rock types and core photos of Mishrif Formation in the study area

(a)礁灰岩,含大量厚壳蛤格架和部分碎屑,W-5井,1 704.75 m;(b)亮晶生屑灰岩,含大量生屑,发育低角度交错层理,W-4井,1 718.77 m;
(c)泥晶生屑灰岩,见生物遗迹,W-6井,1 650.8 m;(d)生屑泥晶灰岩,见生物扰动,W-6井,1 919.33 m;(e)生屑泥晶灰岩,发育透镜状和瘤状构造,W-3井,1 698.35 m;(f)泥灰岩,纹层状,局部发育生物化石,W-4井,2 150.36 m

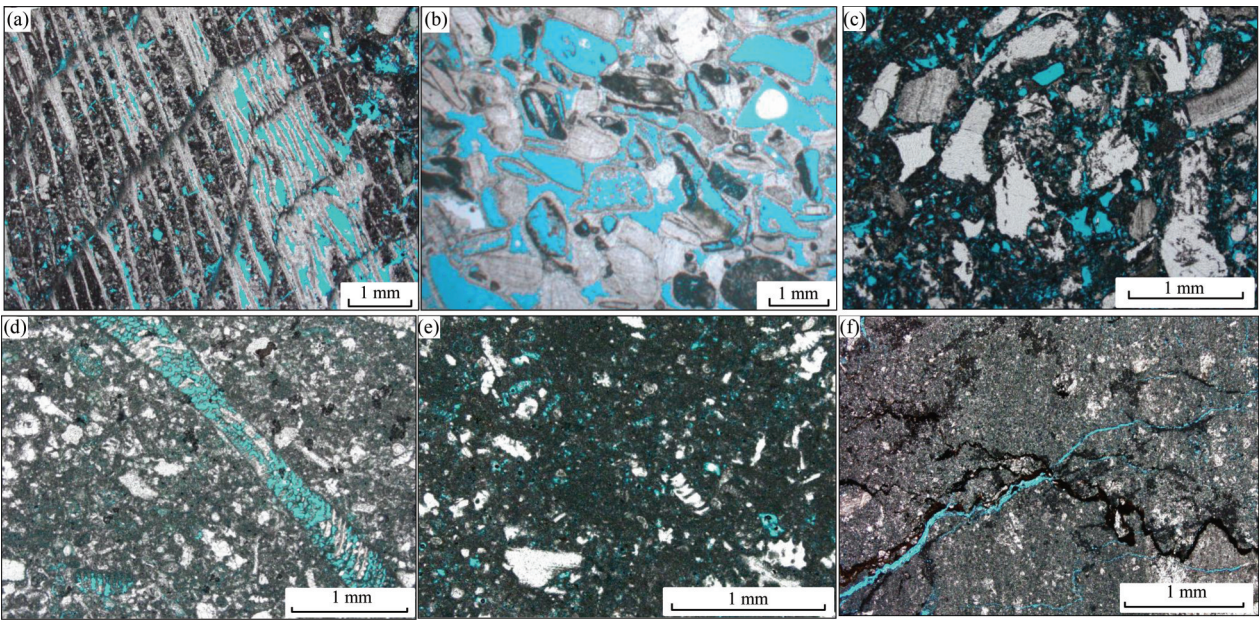


图4 Mishrif 组储层岩石类型和孔隙类型薄片镜下特征

Fig.4 Microscopical characteristics of rock types and pore types in Mishrif Formation

(a)礁灰岩(厚壳蛤骨架),发育体腔孔,W-5井,1 896.83 m;(b)亮晶生屑灰岩,生屑主要为厚壳蛤碎屑,发育铸模孔,W-5井,1 714.03 m;
(c)泥晶生屑灰岩,发育粒间溶孔与铸模孔,W-6井,1 661.62 m;(d)生屑泥晶灰岩,可见有孔虫骨架溶蚀体腔孔,W-4井,1 648.11 m;(e)生屑泥晶灰岩,可见棘皮类生屑,W-4井,1 663.96 m;(f)泥晶灰岩,泥质含量高,发育压溶缝,部分充填沥青,W-3井,1 766.23 m

含泥质,发育少量的粒间或粒内微小溶孔,主要分布于 Mishrif 组中上部的低能环境[图 3(d),图 3(e),图 4(e)]。泥晶灰岩主要由泥晶方解石组成,部分含泥质,呈灰色至深灰色,以中—薄层状为主,含极少量生物碎屑,岩石孔隙不发育,一般形成于海侵早期水体较深的环境,这类岩石在研究区 Mishrif 组含量较少[图 3(f),图 4(f)]。

2.2 沉积微相类型与特征

通过对研究区 4 口不同位置的单井岩心观察与描述、薄片观察可识别出 Mishrif 组发育礁滩复合体、颗粒滩、滩间水道/洼地、礁/滩前斜坡 4 个典型沉积微相(图 2,图 5)。

2.2.1 礁滩复合体

该类微相的岩性由浅灰—灰白色礁灰岩和颗粒灰岩互层组成,单层厚 1~3 m,整体为厚层块状,礁灰岩发育大量保存较完整的厚壳蛤骨架,直径平均为 0.5~3 cm,最大可达 5~10 cm,分选较差。颗粒灰岩主要由厚壳蛤、双壳类和腹足类碎屑组成,以厚壳蛤为主,亮晶胶结,可见斜层理或交错层理(图 5)。礁滩复合体发育大量生物体腔与溶蚀粒间孔,孔径可达 0.2~1 cm,镜下观察面孔率可达 30%~40%[图 4(a),图 4(b)]。已钻井揭示该微相主要分布在 Mishrif 组 3 段顶部和 Mishrif 组 1 段。测井曲线上看,礁滩复合体自然伽马值基本小于 10 API,声波时差大于 393.7 $\mu\text{s}/\text{m}$,表现为厚层的箱状特征(图 2)。礁滩复合体的高生物骨架和碎屑含量、高孔隙与几乎不含泥质特征表明,该微相整体发育在近海平面附近的高能环境,沉积相上属于台地边缘或浅缓坡等高能相带。

厚壳蛤在白垩纪分布广泛,是该时期主要的造礁生物,并在白垩纪末期绝灭^[7,22-23]。研究表明,厚壳蛤由于其结构的特殊性,只有一个壳顶附着基底上,稳定性较差,生长过程中易受生物、波浪和洋流侵蚀。因此,厚壳蛤难以形成大型完整生物礁,通常单层厚度较薄,纵向多层发育,总体厚度较大。在研究区,完整厚壳蛤骨架层厚度较薄,基本在 1 m 左右,而以骨骼碎屑为主颗粒灰岩相对更为发育,且颗粒灰岩中其他生物碎屑含量较少,排列不规则,改造特征不明显,不同于完整生物礁,也不同于典型的生屑滩,因此称为礁滩复合体。

2.2.2 颗粒滩

岩性主要为浅灰—灰色亮晶生屑灰岩与泥晶生屑灰岩互层,局部发育生屑泥晶灰岩,单层厚

0.5~2 m。亮晶生屑灰岩成分与礁滩复合体相似,但生屑直径有所降低,平均为 0.2~1 cm,多发育小型交错层理。泥晶生屑灰岩含有较多的泥晶方解石,且多发育生物扰动现象,如生物钻孔和遗迹等[图 3(c)]。生屑泥晶灰岩含量较低,主要为颗粒滩中下部薄夹层,含有大量泥晶和少量泥质。颗粒滩储层通常发育良好的粒间或溶蚀孔隙,薄片镜下面孔率在 10%~25% 之间[图 4(b),图 4(c)]。该微相垂向上位于 Mishrif 组顶部或下段,常处于礁滩复合体下部整体为浪基面之上或附近中高能环境,测井曲线以低且平稳的自然伽马、中低声波为特征。

颗粒滩交错层理的发育表明受波浪或洋流的改造,水动力较强。泥晶成分发育表明部分滩体水体能量较低,胶结作用增强,有孔虫等小型生物的发育也表明水体能量比礁滩复合体偏低一些。

2.2.3 滩间水道/洼地

滩间水道(洼地)主要为浅灰—灰色泥晶生屑灰岩,局部发育亮晶生屑灰岩和生屑泥晶灰岩,泥晶生屑灰岩中颗粒以生屑为主,含少量球粒,粒径平均为 0.1~1 mm,见大量生物扰动现象(图 5)。亮晶生屑灰岩成分与颗粒滩一致,但基本不发育交错层理,生屑泥晶灰岩发育瘤状砾屑,局部见炭屑和少量泥质条带。滩间水道/洼地储层通常发育少量溶蚀孔和粒间微孔,薄片镜下面孔率为 5%~15%,物性相对较差。该微相[图 4(c),图 4(d)]在 Mishrif 组分布较为广泛,测井曲线上自然伽马值较高,锯齿状,声波曲线值也偏高,岩性上泥质含量的增加,以及大量的生物扰动现象等特征表明滩间水道/洼地能量较低,处于浪基面附近或以下的中低能环境。其中,滩间水道位于颗粒滩或者礁滩复合体边部或者底部,生屑含量相对较高,水体能量偏高,局部可见亮晶生屑灰岩;滩间洼地多位于开阔台地或者缓坡上的滩间部位,范围较广,岩性中多发育粒泥灰岩,泥质含量较高,生物钻孔和遗迹高度发育,水体能量偏低。

2.2.4 礁/滩前斜坡

礁/滩前斜坡主要发育灰色生屑泥晶灰岩,底部多为泥晶灰岩或泥质灰岩,生屑泥晶灰岩中生屑含量较低,个体变小,主要以有孔虫为主,少量棘皮类,偶见厚壳蛤碎屑。泥晶或泥质含量高,岩心可见大量滑塌角砾,角砾呈瘤状,角砾间发育泥质条带或纹层,局部发育裂缝,岩性致密,薄片镜下见少量微孔。该微相主要分布在研究区靠盆地方向的

井中,测井曲线以锯齿状中高自然伽马值,低声波曲线值为特征,单层厚度可达10~30 m(图5)。泥质纹层和大量有孔虫的发育表明该微相水体深度大,水体安静,处于浪基面以下,且距离礁滩体较远,缺乏大量生物碎屑供给,透镜状或瘤状灰岩的发育表明滑塌作用经常发生,主要位于斜坡上。

3 沉积体系与沉积模式

前人^[3,5-6]对研究区 Mishrif 组沉积体系做了大量研究,提出 Mishrif 组在伊拉克和阿曼等发育碳酸盐

岩台地或缓坡沉积模式,并识别出大量与厚壳蛤有关的礁滩体沉积相类型。根据研究区岩石学和沉积微相研究成果,并结合地震剖面特征与区域沉积相研究成果,可识别出研究区 Mishrif 组具有镶边台地和缓坡2种沉积模式,发育开阔台地、台地边缘、礁前斜坡、浅缓坡和中深缓坡5种沉积相类型。

3.1 Msihrif组沉积早中期

在 Msihrif 组沉积早中期,对应 Mishrif 组 1 段和 2 段沉积期,研究区主要发育碳酸盐岩镶边台地沉积模式,有以下几方面证据。首先,在过研究区南

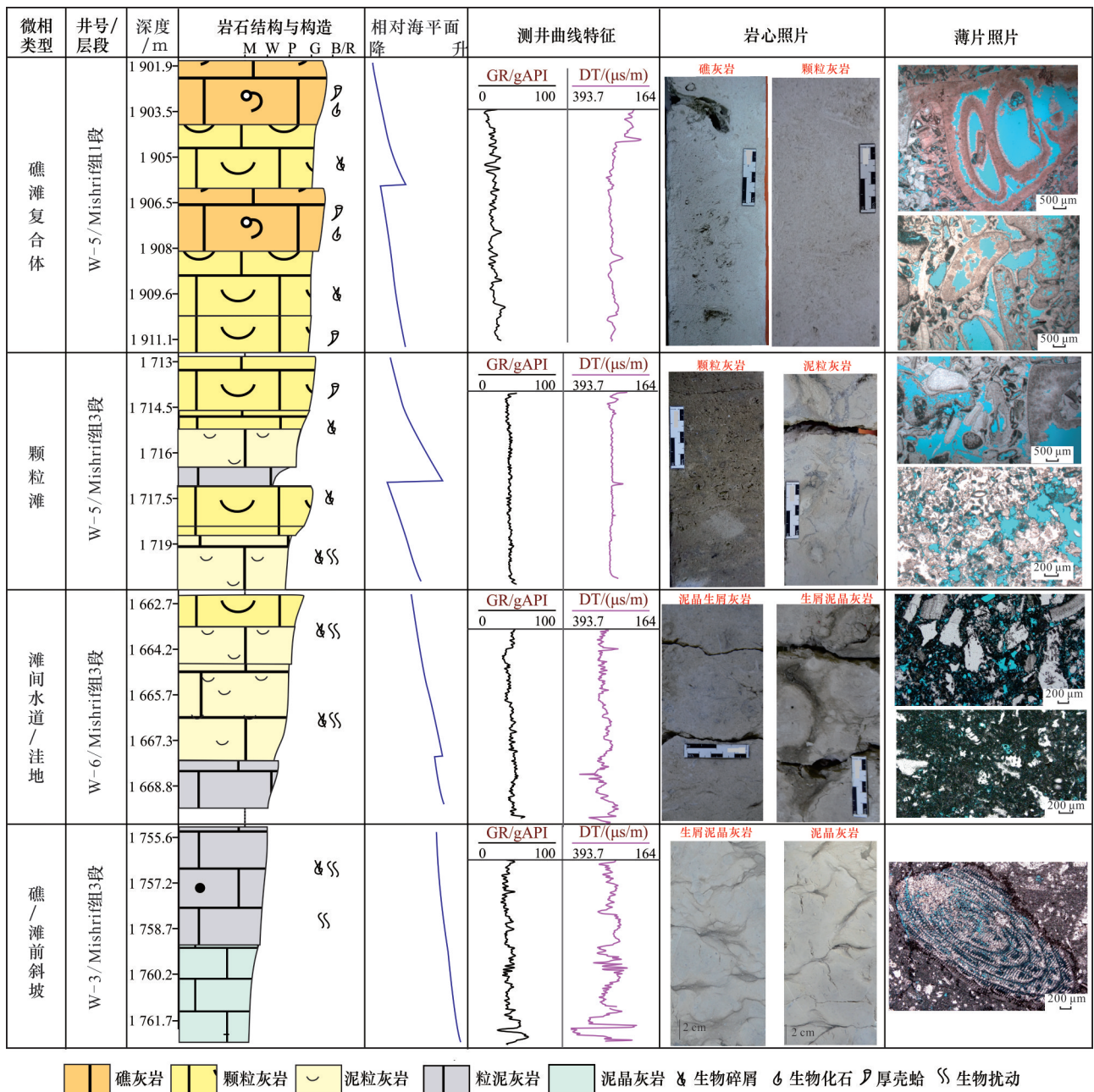


图5 Mishrif组沉积微相类型与岩心特征

Fig.5 Sedimentary microfacies types and core characteristics of Mishrif Formation

部的东西向地震剖面(图6)上,Mishrif组1段在W-4井左侧厚度较大且地震反射较弱,并发育由西向东进积和加积特征的台地边缘相沉积,W-4井上岩心发育厚度较大的礁滩复合体和颗粒滩,而在W-4井右侧地层厚度显著变薄,地震反射能量增强,属于典型的斜坡相特征。在W-4井右侧10 km处的Mishrif组2段,同样发育厚层加积地震特征的台地边缘沉积,相邻右侧的地层厚度迅速减薄,属于斜坡相沉积特征。在Mishrif组2段的台缘底部,上覆于Mishrif组1段斜坡相之上,发育薄层退积型海侵沉积,表明该区早期属于较深水地区,即台缘外侧(图7)。其次,在研究区北部地震剖面(图8)上,Mishrif组1段在W-8井西侧剖面中同样可见一系列显著向东侧方向进积的地震波组特征,进积体西侧

地层厚度大,属于开阔台地与台地边缘沉积,而东侧地层厚度明显较薄,属于斜坡相沉积,进积体本身属于台地边缘礁滩复合体沉积。W-8井在Mishrif组1段自然伽马曲线和电阻率曲线呈箱状低值,属于典型的颗粒滩特征,且发育少量的礁滩复合体,应属于台地边缘沉积相。在北部的地震剖面上未见到Mishrif组2段的台地边缘沉积特征,主要由于台缘已迁移到研究区东侧W-10井区,在W-8井上主要识别出滩间洼地和薄层的颗粒滩沉积,总体属于开阔台地相(图9)。再次,在研究区2个地震剖面上的Mishrif组1段台地边缘部位,均发育同沉积的正断层,断层活动增加了台地边缘外侧的坡度,为镶边的发育提供了重要的构造环境。Mishrif组1段的台地边缘断层向上逐渐停止发育并消失,导致

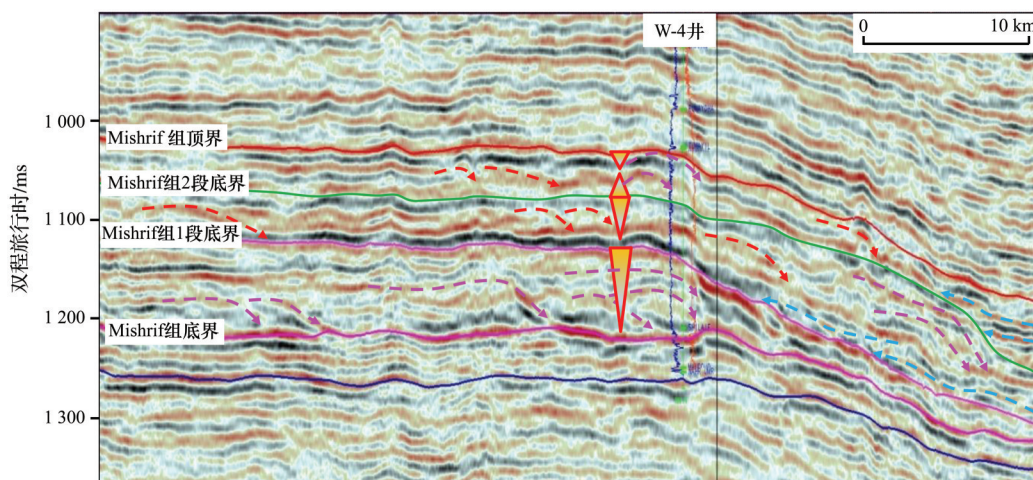


图6 研究区南部近东西向Mishrif组地震层序地层格架、边界特征与沉积物叠加样式

Fig.6 Seismic sequence stratigraphic framework, boundary characteristics and sediment overlay pattern of the early east-west Mishrif Formation in the southern part of the study area

注:红色与粉色虚线箭头代表高位域进积或加积体,蓝色箭头代表海侵域超覆体;其中粉色箭头表示大型丘状弱反射,经钻遇W-4井分析为礁滩复合体,具有多期进积或者加积特征;红色箭头属于小型丘状中弱反射,属颗粒滩沉积。W-4井Mishrif组下部断层与中部右侧15 km处断层的左侧为厚层礁滩复合体,右侧地层厚度突然减薄,代表镶边型台地边缘沉积;W-4井Mishrif组上部发育礁滩复合体,右侧不发育断层,但地层向右缓慢减薄,代表缓坡沉积,W-4井处及左侧为浅缓坡,右侧向海方向厚度减薄为中缓坡

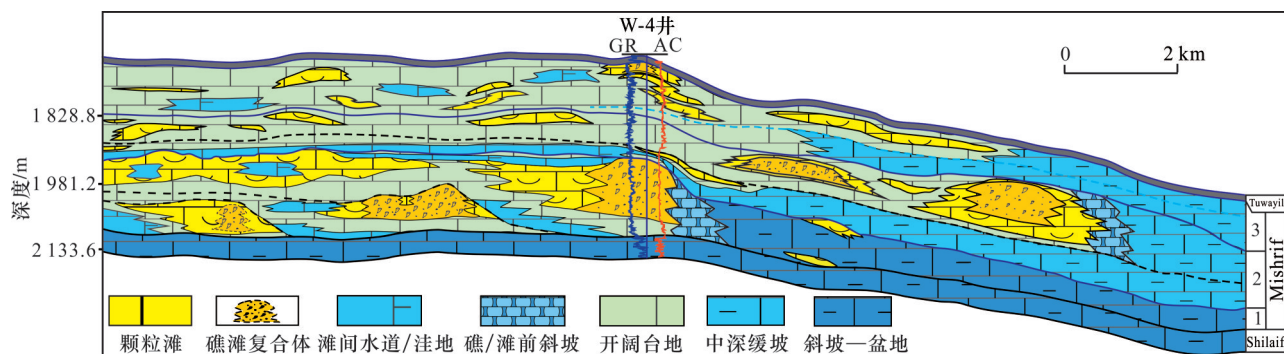


图7 研究区南部近东西向Mishrif组沉积相剖面图

Fig.7 The section of sedimentary facies of the Mishrif Formation in the southern part of the study area

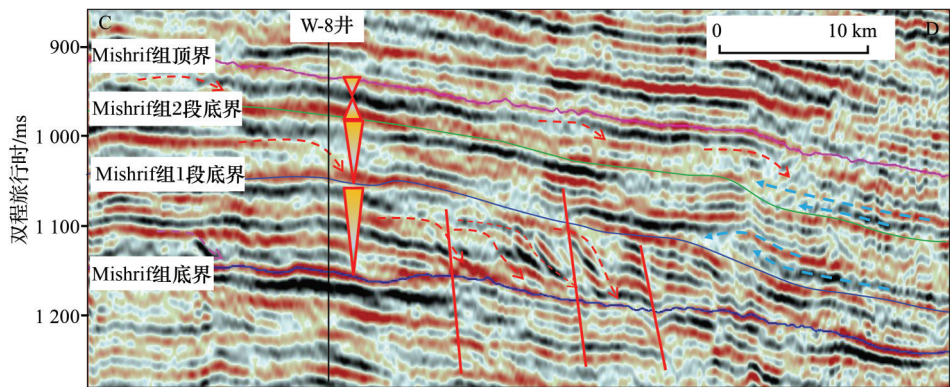


图8 研究区北部北西向 Mishrif 组地震层序地层格架、边界特征与沉积物叠加样式

Fig.8 The north-west trending Mishrif Formation seismic sequence stratigraphic framework , boundary characteristics and sediment overlay pattern in the northern part in the study area

注:图中不同颜色的箭头意义与图6一致,其中 W-8 井右侧 10 km 处大型进积丘型反射,由于振幅没有明显减弱,地层厚度减薄幅度不太大,判断为水体能量较强的颗粒滩型台地边缘沉积

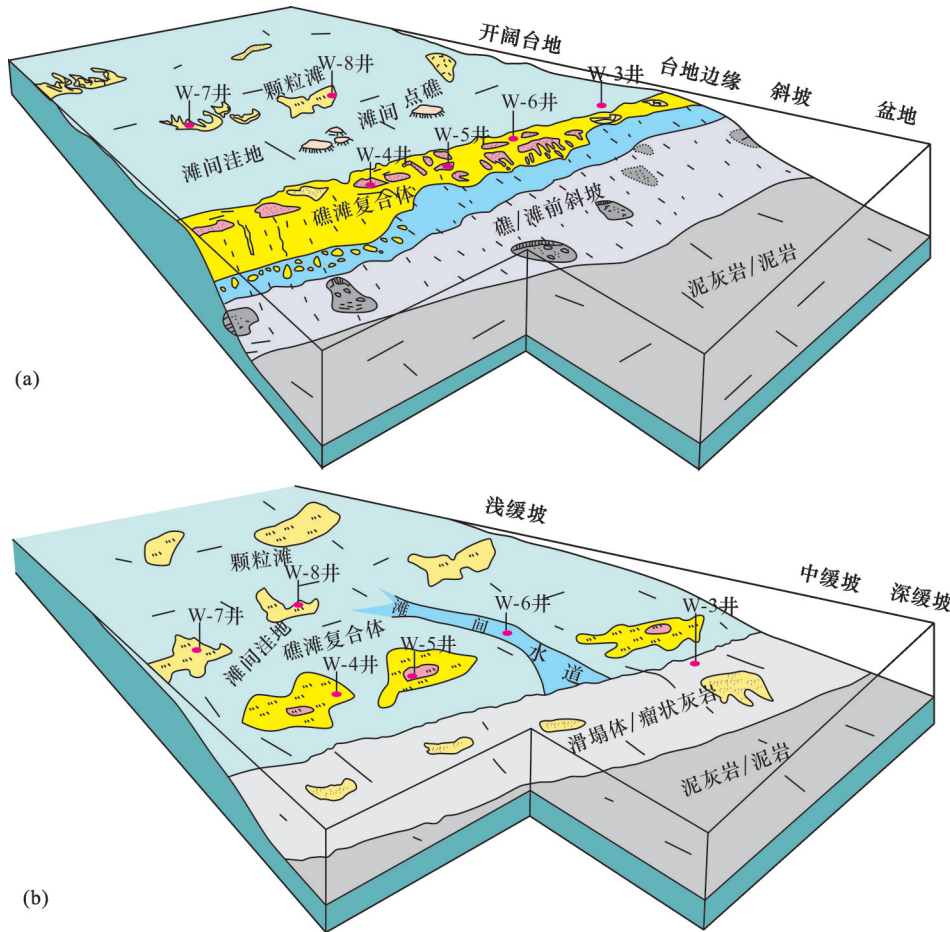


图9 研究区 Mishrif 组沉积相演化模式图

Fig.9 Sedimentary facies evolution model diagram of Mishrif Formation in the study area

(a)Mishrif组沉积早中期镶边台地;(b)Mishrif组沉积晚期缓坡台地

Mishrif组2段的台地边缘不能在原地继承性发育,并向东迁移到了有断裂活动的区域(图1,图6),如W-10井区等。这表明,研究区镶边台地的发育需要同沉积断层提供较好的坡度和构造环境。

3.2 Msihrif组沉积晚期

在 Msihrif组沉积晚期,对应 Mishrif组3段沉积期,研究区主要发育碳酸盐岩缓坡沉积模式。首先,在过研究区的东西向地震剖面(图6,图7)上,

Mishrif组3段在W-4井两侧厚度变化较小,并整体向右侧缓慢减薄,没有厚度突变的区域。其次,地震反射在W-4井两侧具有小型进积特征,W-4井在该段可识别出颗粒滩沉积。在研究区北侧和东北部的地震剖面上,可见到Mishrif组3段厚度变化较为均一,并向东侧加厚的特征,部分地区可见小型进积。另外,W-5井在Mishrif组3段可以识别出典型的礁滩复合体沉积,物性较好,但其厚度较薄,只有9.14 m,在其北部的W-6井上沉积水体能量明显减弱,只发育泥晶生屑灰岩的低能滩体,表明高能相带侧向延伸距离较短,属于小型的缓坡滩(图9)。此外,地震剖面上可见Mishrif组3段沉积期基本不发育同沉积断层,同时由于前2期沉积的填平补齐作用,导致第三期沉积坡度较小,底型平缓,为碳酸盐岩缓坡的发育提供了必要的构造环境。

4 Mishrif组沉积相分布

上述分析表明,Mishrif组在研究区早中期与晚期发育的碳酸盐岩台地类型不同,沉积相特征也不相同,这与前人^[21-23]对于伊拉克地区的Mishrif组沉积相演化特征不同。Mishrif组1段和Mishrif组2段主要发育镶边型碳酸盐岩台地,在研究区识别出了开阔台地、台地边缘、礁前斜坡和斜坡盆地相沉积。台地上颗粒滩和礁滩复合体等高能相带发育,储层孔隙也较发育[图3,图10(a),图10(b)]。由于Mishrif组整体高位域较发育,古水深处于变浅趋势,导致Mishrif组1段台地边缘内部也发育自西向东迁移的礁滩体(图9),台地边缘的宽度可达10~15 km,最外侧的边界在W-4井与W-1井一带,近南北展布[图10(a)]。Mishrif组2段的台地边缘向东侧迁移,延伸方向也由南北向变成北东向的弧形展布,这与早期发育的断裂活动减弱,研究区东侧断裂活动持续和整体海退过程有关,台地边缘外侧在W-1井至W-10井附近[图10(b)]。在Mishrif组3段沉积早期,研究区发生了一次区域性的海侵,海平面整体上升,导致该期沉积了一套较深水的细粒沉积物,颗粒滩等高能相带不发育[图10(c)],发育了颗粒滩和礁滩复合体,但厚度较薄,规模较小,研究区东侧总体为较深水的中深缓坡沉积,Mishrif组沉积末期,研究区整体遭受抬升剥蚀,顶部发育区域性不整合面^[3],研究区Mishrif组储层内可见大气淡水淋滤形成的马牙状方解石,以及不整合面附近的沥青质充填等特征[图4(b),图4(f)]。

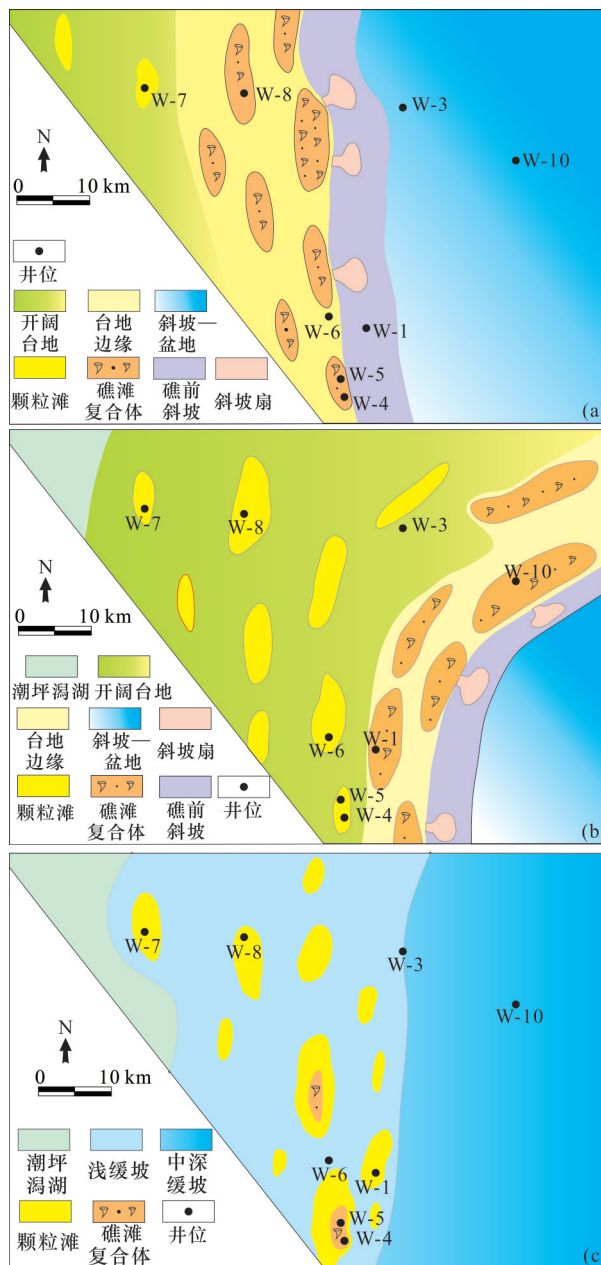


图10 研究区Mishrif组沉积微相分布图

Fig.10 Distribution map of sedimentary microfacies of Mishrif Formation in the study area

(a)Mishrif1段沉积相图;(b)Mishrif组2段沉积相图;
(c)Mishrif组3段沉积相图

5 结论

(1)研究区Mishrif组岩性发育与厚壳蛤相关的礁灰岩、亮晶生屑灰岩,以及含大量生屑的泥晶生屑灰岩和生屑泥晶灰岩等,可识别出礁滩复合体、颗粒滩、滩间水道/洼地与礁/滩前斜坡(中缓坡)4种微相类型,储集空间主要为体腔孔、铸模孔和粒间溶孔,储层总体物性好。

(2)Mishrif组沉积早中期发育镶边型碳酸盐岩台地,晚期发育碳酸盐岩缓坡。其中在研究区东北部早期发育受断裂活动控制的孤立台地,中期演化为与西部台地连成一片的镶边台地。镶边台地可以识别出开阔台地、台地边缘和斜坡—盆地相,礁滩复合体和颗粒滩等高能相带广泛发育;缓坡台地可以识别出浅缓坡和中深缓坡,浅缓坡发育规模较小的颗粒滩等有利相带。研究区沉积相带整体受断裂活动和区域性海退背景所控制,具有早中期向东迁移,晚期回返的总体特征。

(3)Mishrif组不同沉积时期的台地演化控制了沉积微相分布和迁移特征,Mishrif组1段和Mishrif组2段沉积时发育镶边台地,台地边缘逐渐由西向东迁移,使得研究区开阔台地的范围不断增大,发育多期礁滩复合体和颗粒滩,而Mishrif组3段沉积时发育缓坡台地,浅缓坡位于早期台地边缘发育的地区,并发育多个颗粒滩,台地边缘礁滩复合体、开阔台地与晚期浅缓坡颗粒滩的规模发育,为该区储集体的广泛发育奠定了重要基础。

致谢: 本文研究过程中得到了中国石油勘探开发研究院张庆春教授的指导,以及中国石油中东公司阿布扎比项目公司的大力支持,特表感谢。

参考文献 (References)

- [1] BRITISH P. Statistical Review of World Energy [R]. London: British Petroleum, 2019.
- [2] 田纳新,殷进垠,陶崇智,等.中东—中亚地区重点盆地油气地质特征及资源评价[J].石油与天然气地质,2017,38(3):582-591.
TIAN N X, YIN J Y, TAO C Z, et al. Petroleum geology and resources assessment of major basins in Middle East and Central Asia[J]. Oil and Gas Geology, 2017, 38(3): 582-591.
- [3] SHARLAND P R, ARCHER R, CSEY D M, et al. Arabian Plate Sequence Stratigraphy Sequence[M]. Bahrain: Gulf Petro-Link, 2001: 10-100.
- [4] ZIEGLER M A. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences[J]. GeoArabia, 2001, 6(3): 445-504.
- [5] VIDETICH P E, MCLIMANS R K, WATSON H K, et al. Depositional, diagenetic, thermal, and maturation histories of Cretaceous Mishrif Formation, Fateh Field, Dubai[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1143-1159.
- [6] 余义常,孙龙德,宋新民,等.厚壳蛤滩沉积成岩特征及对储集层的控制作用——以伊拉克H油田白垩系Mishrif组为例[J].石油勘探与开发,2018,45(6):89-101.
- YU Y C, SUN L D, SONG X M, et al. Sedimentary diagenesis of rudist shoal and its control on reservoirs: A case study of Cretaceous Mishrif Formation, H Oilfield, Iraq[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(6): 89-101.
- [7] ALSHARHAN A S. Facies variation, diagenesis, and exploration potential of the Cretaceous rudist-bearing carbonates of the Arabian Gulf[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(4): 531-550.
- [8] AQRAWI A A M, GOFF J C, HORBURY A D, et al. The Petroleum Geology of Iraq[M]. Beaconsfield: Scientific Press, 2010, 424.
- [9] 张君龙.碳酸盐岩层序沉积演化及海平面的控制作用——以塔里木盆地古城地区奥陶系为例[J].天然气工业,2017,37(1):46-53.
ZHANG J L. Carbonate sequence sedimentary evolution and control of sea level: A case study of Ordovician in the Gucheng area, Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(1): 46-53.
- [10] 高志前,樊太亮,焦志峰,等.塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J].沉积学报,2006,24(1):19-27.
GAO Z Q, FAN T L, JIAO Z F, et al. The structural types and depositional characteristics of carbonate platform in Cambrian-Ordovician of Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 19-27.
- [11] 王成林,邬光辉,崔文娟,等.塔里木盆地奥陶系鹰山组台内滩的特征与分布[J].沉积学报,2011,29(6):1048-1057.
WANG C L, WU G H, CUI W J, et al. Characteristics and distribution of inner platform beach of Ordovician Yingshan Formation in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(6): 1048-1057.
- [12] 赵宗举.全球海平面变化指标及海相构造层序研究方法——以塔里木盆地奥陶系为例[J].石油学报,2015,36(3):262-273.
ZHAO Z J. Indicators of global sea-level change and research methods of marine tectonic sequence: Take Ordovician of Tarim Basin as an example[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 262-273.
- [13] 吴因业.碳酸盐岩台地与全球沉积演化[M].北京:石油工业出版社,2013.
WU Y Y. Carbonate Platform and Global Sedimentary Evolution[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [14] 顾家裕,马锋,季丽丹.碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J].古地理学报,2009,11(1):21-27.
GU J Y, MA F, JI L D. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(1): 21-27.
- [15] 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 J X, TIAN C B, ZHANG W M, 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.
- [16] 邓亚,郭睿,田中元,等.碳酸盐岩储集层隔夹层地质特征及成因——以伊拉克西古尔纳油田白垩系 Mishrif组为例[J].石油勘探与开发,2016,43(1):140-148.
- DENG Y, GUO R, TIAN Z Y, et al. Geologic features and genesis of the barriers and intercalations in carbonates: A case study of the Cretaceous Mishrif Formation, west Qurna Oil Field, Iraq[J].Petroleum Exploration and Development,2016,43(1):140-148.
- [17] ALI M Y, WATTS A B. Subsidence history, gravity anomalies and flexure of the United Arab Emirates (UAE) foreland basin[J]. Georabia,2009,14(2):17-44.
- [18] HABIBI T, RUBAN D A. The Oligocene carbonate platform of the Zagros Basin, SW Iran: An assessment of highly-complex geological heritage[J]. Journal of African Earth Sciences, 2017, 129(5):675-682.
- [19] HORSFIELD B, MCLIMANS R K. Geothermometry and geochemistry of aqueous and oil-bearing fluid inclusions from Fateh Field,Dubai[J].Organic Geochemistry,1984(6):733-740.
- [20] DUNHAM R J.Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture[M]//Classification of Carbonate Rocks: A Symposium,South Texas:AAPG Memoir,1962,1:108-121.
- [21] FOLK R L.Practice classification of limestone[J]. AAPG Bulletin,1962,243:1-38.
- [22] PHILIP J M, CRUMIERE C A. The demise of the rudist-bearing carbonate platforms at the Cenomanian/Turonian boundary: A global control [J]. Coral Reefs, 1991, 10 (2) : 115-125.
- [23] SCHLUTER M, STEUBER T, PARENTE M. Chronostratigraphy of Campanian-Maastrichtian platform carbonates and rudist associations of Salento (Apulia, Italy) [J]. Cretaceous Research,2008,29(1):100-114.

Sedimentary evolution model and sedimentary facies distribution of carbonate rocks: Case study of Mishrif Formation in northeast Rub Khali Basin

BIAN Congsheng¹, LI Yongxin¹, LÜ Mingsheng², LIU Gang¹, DUAN Haigang¹, LUO Beiwei¹, HUANG Qingyu¹, ZHANG Jing¹, YANG Peiguang¹, ZHANG Xinshun³, SONG Jinmin³, HUANG Lili¹
 (1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;
 2. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation Ltd., Beijing 100034, China;
 3.State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on the analysis of core, thin section, well logging data and seismic data and the study of rock types, sedimentary microfacies and sequence stratigraphy, the rock types and sedimentary microfacies, sedimentary system, sedimentary facies and their evolution model of the Upper Cretaceous Mishrif Formation in the northeast of the Rubal Khali Basin, west of the United Arab Emirates in the Arabian plate have been established. From the study of rock types, sedimentary microfacies, it finds that Mishrif Formation mainly develops reef limestone, grainstone and packstone, distributing in four typical microfacies, namely reef-shoal complex, grain shoal inter-shoal channel/sag and fore-shoal (middle ramp), with high contents of rudist or bioclastic, strong energy of water, and good reservoir property characteristics. Combined with the seismic profile, it is recognized that Mishrif Formation developed rimmed platform controlled by fault activity and overall regressive background in the early and middle stages. In the late stage, Mishrif Formation developed ramp deposits due to the stable structure background. Furthermore, the isolated platform deposits developed in the northeast of the study area in the early stage. In the middle and lower members of Mishrif Formation, grain shoals and reef-shoal complex are widely developed in the open platform and platform margin, and gradually move eastward; the upper member is affected by transgression, and the water body is deepened, and the study area mainly develops small grain shoals under the background of shallow gentle slope.

Key words: Sedimentary microfacies; Depositional system; Evolutionary model; Rimmed platform; Ramp; Mishrif Formation; Rub Khali Basin

Foundation item: The Scientific Research and Technology Development Project of PetroChina (Grant No. 2019D-4307).