

伊拉克 HF 油田 Mishrif 组碳酸盐岩米级旋回的识别及意义

黄茜¹, 伏美燕¹, 赵丽敏^{1,2}, 周文¹, 王昱翔¹

1 成都理工大学能源学院; 2 中国石油勘探开发研究院

摘要 伊拉克HF油田上白垩统Mishrif组发育于新特提斯洋被动陆缘的碳酸盐缓坡, 沉积相受海平面变化的影响尚不明确。通过对岩心、薄片的观察和分析, 对HF油田Mishrif组中的储层发育段MB1-2层(厚度约100 m)的岩性及沉积微相特征进行了研究。结果表明: MB1-2层段发育了中缓坡生物碎屑滩与内缓坡泥晶灰岩交互沉积, 岩性变化频繁, 具有向上沉积水体变浅、颗粒变粗、岩层变厚的特征, 表现为较典型的潮下型米级旋回。应用米兰科维奇周期原理, 根据MB1-2层的单层厚度(0.1~4.8 m), 通过Matlab软件计算, 将自然伽马曲线转换到频率域以捕获米氏旋回信息, 得出旋回周期为2~48 ka, 并推断研究区MB1-2层的交互式沉积环境受岁差旋回与黄赤交角旋回相互作用所控制。

关键词 伊拉克; HF 油田; 晚白垩世; 碳酸盐岩; 米级旋回; 岩性特征; 沉积微相

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

0 引言

米级旋回层序源自Anderson等^[1]所称的“米级旋回”, 它是指地层记录中在露头上能直接识别的、几十厘米至几米厚的地层堆积单元, 是在特定成因机制控制下的间断—加积作用过程的产物^[2]。有学者认为米级旋回层序是与米兰科维奇天文旋回有关的高频率海平面变化旋回过程的产物^[3-5], 为异成因机制的旋回层序^[6]。精细的沉积旋回分析是研究一个地区构造特征、古气候变化、沉积演化的基础^[7]。在具有异成因机制旋回层序特征的碳酸盐缓坡上, 由于坡度极缓, 高频率的海平面变化能导致沉积相带的频繁迁移^[6], 因此, 米级旋回对沉积相的识别更具有重要意义。目前, 碳酸盐岩的米级旋回可分为深水非对称米级旋回、L-M米级旋回、潮下型碳酸盐岩米级旋回、环潮坪碳酸盐岩米级旋回等4大类^[8]。

中东地区晚白垩世塞诺曼期沉积的生物碎屑灰岩是伊拉克的主力油气储层, 储集物性好, 厚度大^[9]。前人对中东地区塞诺曼期的沉积相已经进行了深入研究, 认为塞诺曼期伊拉克处于新特提斯洋的被动

大陆边缘, 为碳酸盐缓坡—碳酸盐台地沉积环境^[9-11]。迄今为止, 关于该地区层序地层的研究较少, 缓坡背景下的米级旋回的研究尚无报道, 这制约了对研究区沉积相的准确识别和储层非均质性的研究。

本文以岩心观察、薄片鉴定为基础, 通过对岩性特征和沉积微相的分析, 结合伊拉克HF油田Mishrif组沉积期碳酸盐岩的沉积旋回特征, 明确了米级旋回发育的成因机制, 以期为研究区油气开发方案的制定提供地质依据。

1 地质背景

HF油田位于伊拉克东南部(图1), 发育于一宽缓长轴背斜上^[9], 背斜长轴走向为NW—SE。在该油田的古近系和白垩系中均已发现含油层, 而油田的主要产油层是上白垩统Mishrif组的石灰岩。

HF油田在构造上属于美索不达米亚盆地。二叠纪末期以来, 美索不达米亚盆地接受了较厚的以碳酸盐岩为主的台地相沉积, 这种浅海碳酸盐台地沉积环境具有碳酸盐缓坡与碳酸盐台地交互发育的特征, 并且一直保持到晚白垩世^[12]。

收稿日期: 2018-01-22; 改回日期: 2018-12-18

本文受中国石油集团科技重大专项课题“碳酸盐岩储层沉积研究与综合地质建模”(编号: 2011E-2501)资助

第一作者: 黄茜, 成都理工大学石油与天然气地质学在读硕士研究生。通信地址: 610059 四川省成都市二仙桥东三路1号; E-mail: 421666301@qq.com

通信作者: 伏美燕, 博士, 副教授。通信地址: 610059 四川省成都市二仙桥东三路1号; E-mail: fumeiyan08@cdut.cn

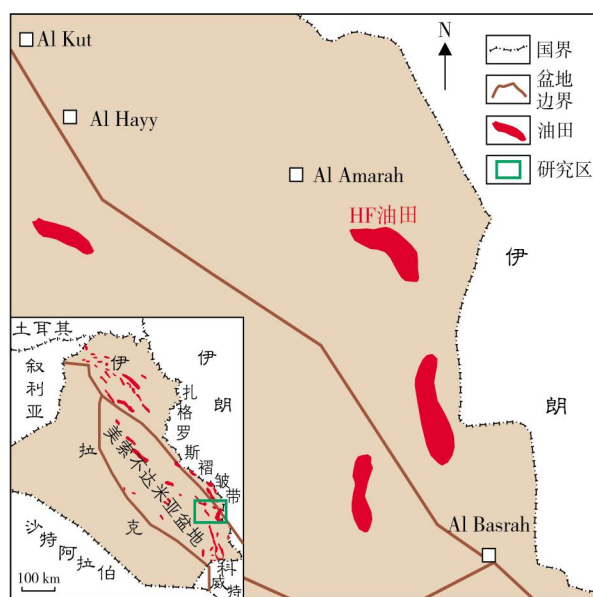


图1 伊拉克HF油田地理位置示意图

晚白垩世,阿尔卑斯构造运动所产生的褶皱作用已开始波及伊拉克东部不稳定的陆架区域。晚白垩世塞诺曼期末新特提斯洋开始关闭,研究区Mishrif组普遍暴露而被剥蚀,形成了Mishrif组顶部的区域不整合面。研究区在塞诺曼阶Mishrif组沉积期位于新特提斯洋的被动大陆边缘,其沉积演化主要受相对海平面升降和阿拉伯板块隆升所控制^[11]。

塞诺曼期开始,从下部Ahmadi组至上部Mishrif组,水体向上变浅,由深水陆棚的泥晶灰岩沉积逐渐演化为浅水碳酸盐岩滩相沉积^[12-13]。HF油田Mishrif组纵向自上而下可划分为7段,分别为MA1、MA2、MB1、MB2、MC1、MC2、MC3(表1)。根据岩性变化特征可将MB1层划分为2个小层:MB1-1和MB1-2,其中,MB1-1层发育泥晶灰岩,为非储层段;而MB1-2层储层发育较好,为本次研究目的层位,埋深2 880 m左右,厚度近100 m,均为石灰岩沉积。

表1 伊拉克HF油田Mishrif组塞诺曼阶地层划分

系	统	阶	地 层			厚度/ m	主 要 岩 性
			组	段	亚段		
白垩系	上统	塞诺曼阶	Mishrif	MA1		21	顶部为风化角砾岩,下段为强烈胶结的致密石灰岩
				MA2		14	顶部为生物碎屑灰岩和生物碎屑泥粒灰岩,中段为泥灰岩,下部发育生物碎屑泥粒灰岩
				MB1	MB1-1	14	灰绿色角砾岩,泥灰岩和泥晶灰岩
					MB1-2	100	发育生物碎屑粒泥灰岩、泥晶灰岩和生物碎屑泥粒灰岩,呈频繁互层状分布
				MB2		48	颗粒灰岩,碳质泥岩,生物碎屑粒泥灰岩
				MC1		82	生物碎屑粒泥灰岩,碳质泥岩,似球粒生物碎屑灰岩
				MC2		70	含泥灰岩,泥灰岩
				MC3		53	泥粒灰岩,泥灰岩,粒泥灰岩
			Rumila	Rumila		45	发育泥晶灰岩和泥质灰岩
			Ahmadi	Ahmadi		17	泥灰岩

2 米级旋回的识别

2.1 岩性特征

通过观察Mishrif组MB1-2层的岩心薄片发现(图2),MB1-2层以生物碎屑粒泥灰岩和泥晶灰岩为主,见少量角砾状灰岩和生物碎屑泥粒灰岩。生物碎屑粒泥灰岩主要形成于水动力较弱的环境,在中—低能环境均可发育,颗粒含量为10%~50%,由生物碎片或完整生物组成。粒泥灰岩中的生物具多样性,以底栖有孔虫(图2a)和绿藻类为主,还可见双壳类(图2b)和腹足类,也含有较少的厚壳蛤(图2c)、腕足

类(图2d)、棘皮类碎片(图2e)。泥晶灰岩(图2f)中泥晶含量>50%,颗粒含量<10%,结构致密均一,颗粒含量极少,含少量泥质。

MB1-2层厚度约为100 m,生物碎屑粒泥灰岩与泥晶灰岩频繁互层,这2种岩性占了该层总厚度的70%左右。岩心上,生物碎屑粒泥灰岩由于油浸而呈褐黑色(图2g),泥晶灰岩无油迹而呈白色,发育大量生物扰动构造(图2h)。依据介屑灰岩夹层(图2g)中的介屑具有定向排列的特征,推断含厚壳蛤、腕足类和棘皮类等外来输入生物的正常海相生物粒泥灰岩发育在受风暴影响的中缓坡滩相环境。

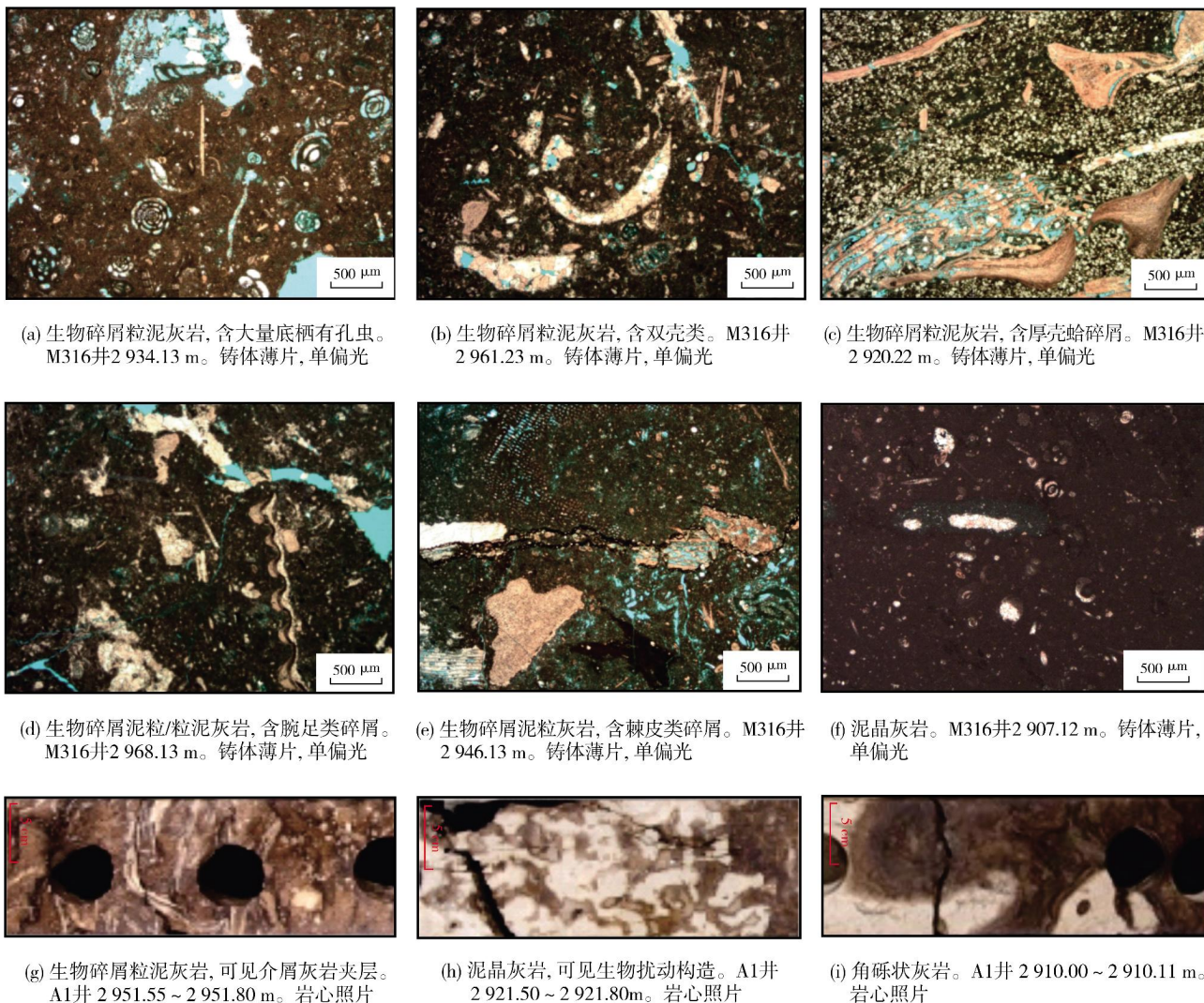


图2 伊拉克HF油田Mishrif组MB1-2层岩性特征照片

2.2 沉积微相特征

据Wright等^[14]提出的碳酸盐缓坡的发育特征,结合岩心、薄片及测井等资料,认为HF油田Mishrif组MB1-2层主要发育碳酸盐缓坡的内缓坡—中缓坡相,以内缓坡相为主,岩性主要为低能环境沉积的粒泥灰岩和泥晶灰岩。由于坡度极缓,波浪与潮汐能量的影响范围大,相带的横向展布较宽,使得海平面的波动极易造成沉积相带的变化。MB1-2层发育在下伏MB2层沉积末期形成的极缓的缓坡上,这个缓坡是MB2层的高位滩受到暴露剥蚀而形成的。从MB1-2层沉积期开始,海平面上升,此时由于研究区东部向海方向发育的中缓坡浅滩对广海的阻隔^[15],造成了研究区进入内缓坡—中缓坡发育时期。内缓坡相主要受潮汐作用控制,而中缓坡相易受风暴作用影响。MB1-2层生物

碎屑粒泥灰岩中的生物骨屑以局限环境的底栖有孔虫、藻类和双壳类为主,颗粒间灰泥含量高;部分生物碎屑泥粒灰岩则以正常浅海含厚壳蛤碎屑为主。

根据岩性特征和区域沉积演化背景,认为MB1-2层的石灰岩沉积在温暖的浅水地区。岩心上可见大量生物扰动构造(图2h),扰动构造造成了粒泥灰岩、泥粒灰岩与泥晶灰岩的层内混合,增强了储层非均质性。在中缓坡滩相向外缓坡过渡区,也就是中缓坡远端,由于坡度变陡,容易发育滑动构造,从而形成大量角砾状灰岩(图2i)。MB1-2层既发育中缓坡滩相的生物碎屑粒泥灰岩和泥粒灰岩,又发育内缓坡泥晶灰岩、生物碎屑粒泥灰岩,且频繁互层,这表明该层沉积时研究区处于滩相与非滩相的交互发育区。因此,MB1-2层的沉积微相为中缓坡生物碎屑滩与内缓坡泥晶灰岩的交互相(图3)。

沉积模式			
沉积相	内缓坡 泥晶灰岩相	中缓坡 生物碎屑滩	中缓坡远端 角砾状灰岩
岩石类型	泥晶灰岩, 生物碎屑粒泥灰岩	生物碎屑泥粒灰岩, 生物碎屑粒泥灰岩	角砾状灰岩, 生物碎屑粒泥灰岩
沉积构造	生物扰动构造(图2h)	块状构造(图2g)	角砾化、滑动构造(图2i)
生物类型	局限环境广盐性生物, 藻类、双壳类为主(图2b)	正常浅海环境生物, 厚壳蛤、腕足类、棘皮类碎屑为主(图2c—2e)	

图3 伊拉克HF油田Mishrif组MB1-2层滩坪交互沉积模式图

2.3 岩性的旋回性变化

HF油田Mishrif组的MB1-2层岩性纵向上具有旋回性变化的特征,主要由粒泥灰岩、泥晶灰岩和泥粒灰岩组成,可划分为4种岩性组合(图4):①下部岩石单元为灰黑色(介屑)泥粒灰岩,上部岩石单元为灰黑色生物扰动生物碎屑粒泥灰岩(图4a);②下部岩石单元为灰黑色生物碎屑(介屑)泥粒灰岩,上部岩石单元为灰黄色生物碎屑粒泥灰岩(图4b);③下部岩石单元为黑色生物碎屑粒泥灰岩,上部岩石单元为灰白色生物扰动泥晶灰岩(图4c);④下部岩石单元为灰黑色角砾状灰岩,上部岩石单元为灰黑色生物碎屑粒泥灰岩(图4d)。第①种和第②种岩性组合主要发育在内缓坡,第③种岩性组合主要发育在中缓坡,第④种岩性组合主要发育在中缓坡远端。随着海水深度的增加,岩性组合具有从第①种向第④种变化的趋势,表明MB1-2层所处环境的水动力逐渐变弱,大量生物遗迹得以保存。

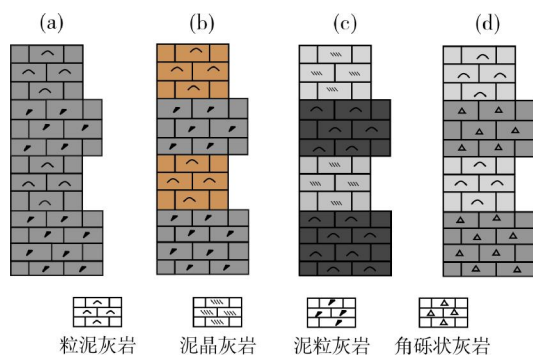


图4 伊拉克HF油田Mishrif组MB1-2层米级旋回岩性组合特征

2.4 米级旋回的识别

一般而言,米级旋回层序具有2大明显特征:第一是它的界面均为突变界面,顶底界面表现为较深水的沉积物直接覆盖在较浅水沉积物之上;第二是米级旋回内部通常可划分成上、下2个单元,下部单元沉积环境水体较深,为海平面迅速上升阶段的产物,而上部单元属于稳定沉积环境的产物,水体较下部变浅。一个完整的米级旋回层序代表一个完整的海平面变化旋回^[2]。

根据岩心观察和薄片鉴定,Mishrif组MB1-2层发育浅水沉积的生物扰动构造(图2h),其下部岩石单元为较深水沉积环境的角砾状灰岩,上部岩石单元为较浅水沉积环境的石灰岩,也就是由黑色油浸石灰岩和白色致密石灰岩交互沉积而形成的(图5)。这些岩石组合的单层厚度在0.1~4.8 m之间,可以确定MB1-2层的旋回尺度为米级。

根据前人^[16-18]的研究,一般把碳酸盐岩米级旋回层序划分为4大基础类型:第1类为L-M型,主要发育于深海环境,由半远洋相石灰岩(Limestone)及远洋相钙质泥岩(Marl)构成,取其字头而简称L-M型;第2类为深水非对称型,主要发育在镶边型台地边缘斜坡背景中,其相序组构与L-M型基本相似,只不过在米级旋回层序之顶常发育“低水位角砾岩”而与L-M型相区别;第3类为潮下型,主要发育于正常潮下浅水环境中,具有向上沉积水体变浅、颗粒变粗、岩层变厚的特征,米级旋回层序的界面为短周期淹没间断面;第4类为环潮

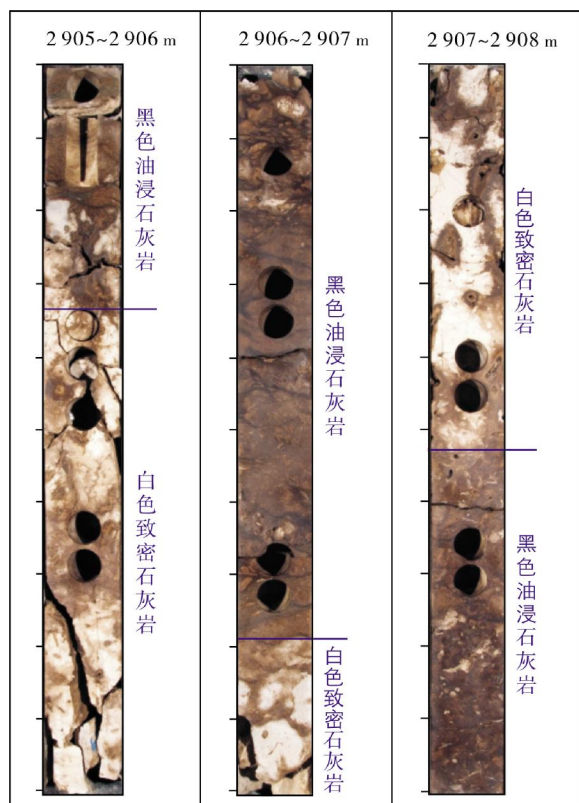


图5 伊拉克HF油田黑色油浸石灰岩和白色致密石灰岩交互沉积岩心照片

坪型,它主要发育于碳酸盐台地内部,以潮汐作用为主要沉积引力的浅水环境中,其总体特征是向上水体变浅、岩层变薄、颗粒变细,米级旋回层序之顶常发育白云岩、喀斯特角砾、古土壤等淡水成岩作用的产物,表明米级旋回层序的分界面多为短周期暴露间断面^[19]。

Mishrif 组 MB1-2 层既发育以生物碎屑粒泥灰岩和泥粒灰岩为主的中缓坡滩相,又发育泥晶灰岩、生物碎屑粒泥灰岩为主的内缓坡相,总体形成于内缓坡—中缓坡环境。该层共发育 25~35 个米级旋回,这些旋回下部单元为沉积水体较深、颗粒较细、岩层较薄的泥晶灰岩和粒泥灰岩,上部单元为沉积水体较浅、颗粒较粗、岩层较厚的泥粒灰岩和角砾状灰岩,是比较典型的潮下型米级旋回。

3 讨论

米级旋回的形成过程,实际上就是米兰科维奇天文事件引起的高频海平面变化的过程。米兰科维奇天文旋回理论认为,由于地球围绕太阳旋转的轨

道和倾角发生周期性变动而影响到地球表面所接受的日射量,从而使得全球大陆冰川的体积发生周期性变化,并引起全球海平面高频率振荡旋回^[18]。一次高频海平面变化旋回,形成一个米级旋回,多次高频海平面变化旋回的叠加则导致了米级旋回在垂向上的叠置。

米兰科维奇天文旋回类型和周期主要有 3 种情况:①偏心率旋回,是由地球围绕太阳旋转的轨道偏心率变化所引起的旋回,其短偏心率周期约为 100 ka,长偏心率约为 400 ka。②黄赤交角旋回,是由地球自转的黄道面与地球绕太阳公转的赤道面之间的角度变化所引起的,周期约为 40 ka。③岁差旋回,太阳和月球对地球的合力使地球绕地轴倾斜旋转而形成了一个完整锥面,其周期为 19 ka 至 23 ka^[18]。

以上 3 种米兰科维奇周期叠加使地球受到旋回性变化的太阳辐射,气候发生旋回性变化,大陆冰川的消长而导致全球海平面发生频繁的升降^[2]。“地层记录的米兰科维奇性质”^[5,19]的观点认为在地层记录中,常见到 3 至 5 个米级旋回层序以 1:4 的形式构成更大级别的旋回层序,或者以 4 至 6 个米级旋回层序构成 1:5 的叠加形式,进而构成三级层序的准层序组。其中,1:4 的叠加形式是短偏心率旋回(100 ka)与长偏心率旋回(400 ka)相互作用的结果。1:5 的叠加形式是岁差旋回(20 ka)与短偏心率旋回(100 ka)相互作用的产物。

根据测井资料和岩性特征(图6),伊拉克HF油田白垩系Mishrif组可以划分为2个三级层序(S_2 — S_3),进而划分为4个四级层序(IV_1 — IV_4)。Mishrif组MB1-2层的米级旋回发育在四级层序 IV_4 中,这些米级旋回大多以1:5的形式叠加构成1个五级旋回。根据岩性剖面可识别出25~35个米级旋回,共构成了6个五级旋回(①—⑥)(图6)。米级旋回以1:5的形式叠加,表明其旋回周期为200 ka左右。本文应用米兰科维奇周期原理,根据MB1-2层的单层厚度(0.1~4.8 m),采用 Matlab提供的快速傅立叶变换数学函数,将自然伽马曲线转换到频率域,从而捕获米氏旋回信息^[20],并根据捕获的信息计算出旋回周期为2~48 ka,厚度约100 m的MB1-2层的时限为1~2 Ma左右。该旋回周期表明MB1-2层的米级旋回受岁差旋回与黄赤交角旋回相互作用的控制。

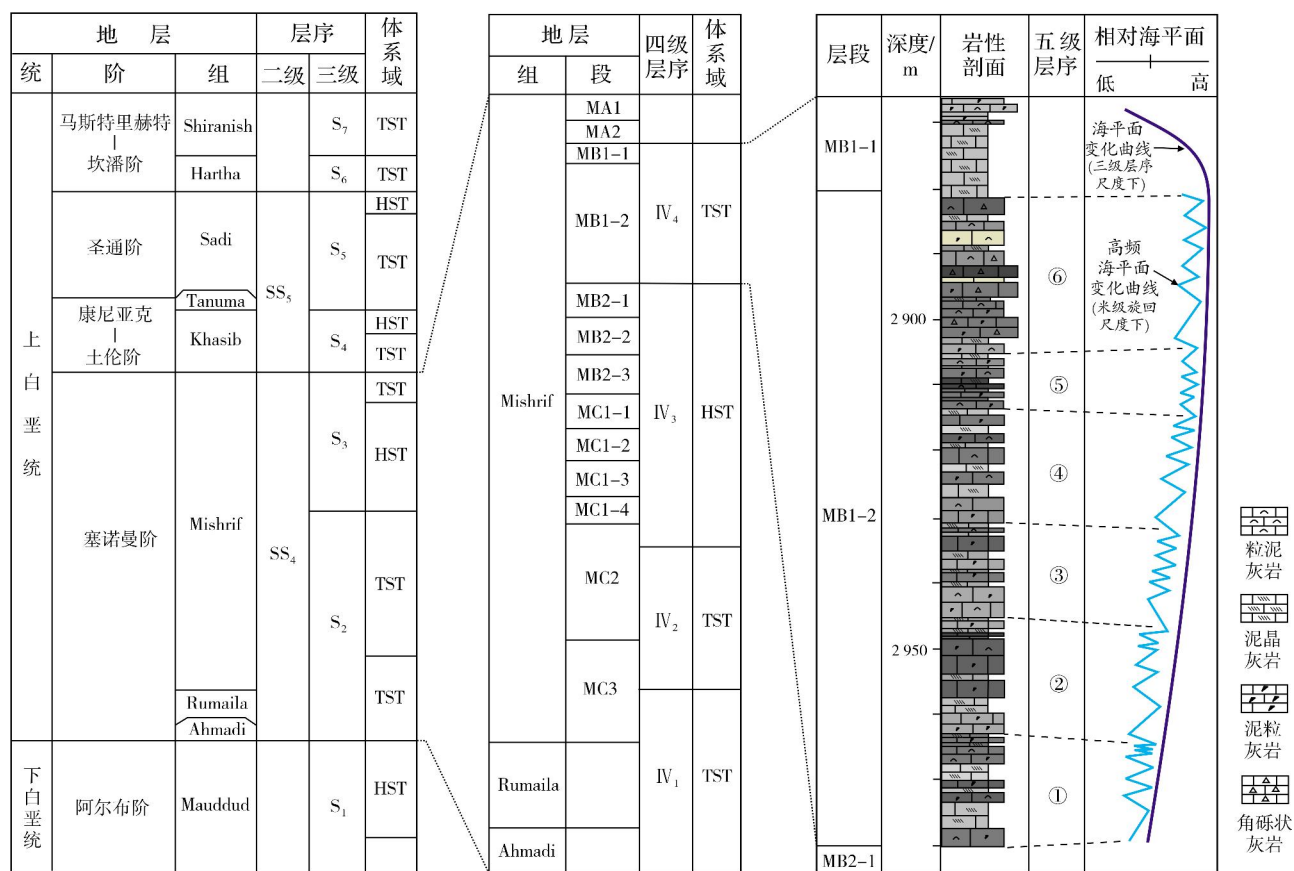


图6 伊拉克 HF 油田 Mishrif 组 MB1-2 层米级旋回层序划分

4 结论

(1)伊拉克 HF 油田在厚度约 100 m 的上白垩统 Mishrif 组 MB1-2 层中发育米级旋回, 具有向上沉积水体变浅、颗粒变粗、岩层变厚的特征, 为较典型的潮下型米级旋回。

(2)Mishrif 组 MB1-2 层发育于碳酸盐缓坡环境中, 该层的单层厚度为 0.1~4.8 m, 以 1:5 的形式叠加, 旋回周期为 2~48 ka, 受岁差旋回与黄赤交角旋回相互作用而形成中缓坡生物碎屑灰岩与内缓坡泥晶灰岩的交互沉积。

参考文献

- ANDERSON E J, GOODWIN P W. The significance of metre-scale allocycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit[J]. Journal of the Geological Society, 1990, 147(3): 507-518.
- 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1995: 1-245.
- READ J F, GROTZINGER J P, BOVA J A, et al. Models for generation of carbonate cycles[J]. Geology, 1986, 14(2): 107-110.
- KOERSCHNER III W F, READ J F. Field and modelling studies of Cambrian carbonate cycles, Virginia Appalachians [J]. Journal of sedimentary research, 1989, 60(5): 654-687.
- GOLDHAMMER R K, DUNN P A, HARDIE L A. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: examples from Alpine Triassic platform carbonates[J]. Geological Society of America bulletin, 1990, 102(5): 535-562.
- 梅冥相. 从旋回的有序叠加形式到层序的识别和划分: 层序地层学进展之三[J]. 古地理学报, 2011, 13(1): 37-54.
- 程日辉, 王国栋, 王璞珺. 松辽盆地白垩系泉三一段—嫩二段沉积旋回与米兰科维奇周期[J]. 地质学报, 2008, 82(1): 55-64.
- 梅冥相. 碳酸盐岩米级旋回层序的成因类型及形成机制[J]. 岩相古地理, 1993, 13(6): 34-43.
- 伏美燕, 赵丽敏, 段天向, 等. 伊拉克 HF 油田 Mishrif 组厚壳蛤滩相储层沉积与早期成岩特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(5): 1-9.
- 邢希金, 黄晶, 刘书杰, 等. 伊拉克 Mishrif 油层水平井酸化工艺研究[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(11): 201-203, 212.
- 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.
- [12] AQRAWI A A M, GOFF J C, HORBURY A D, et al. The petroleum geology of Iraq [M]. Bucks, UK: Scientific Press Ltd., 2010: 1-451.
- [13] JASSIM S Z, GOFF J C. Geology of Iraq[M]. Brno: Dolin, Prague and Moravian Museum, 2006: 1-354.
- [14] WRIGHT V P, BURCHETTE T P. Carbonate ramps[M]. London: Geological Society Special Publication, 1998, 149: 25-75.
- [15] SANG Hua, LIN Changsong, TAN Xiucheng, et al. The sedimentary control factors for the cretaceous Mishrif and the tertiary Asmari carbonate reservoirs in southern east Iraq[C] //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2018, 170: 22-53.
- [16] OSLEGER D, READ J F. Comparative analysis of methods used to define eustatic variations in outcrop: Late Cambrian interbasinal sequence development[J]. American journal of science, 1993, 293(3): 157-216.
- [17] 王毅. 塔里木盆地震旦系—中泥盆统层序地层分析[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 414-421.
- [18] 吴兴宁, 赵宗举. 塔中地区奥陶系米级旋回层序分析[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 310-315.
- [19] SCHWARZACHER W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory[M]. Amsterdam: Elsevier, 1993: 1-225.
- [20] 李凤杰, 郑荣才, 罗清林, 等. 四川盆地东北地区长兴组米兰科维奇周期分析[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(6): 805-810.

编辑: 黄革萍

Identification and significance of meter-scale cycle of carbonate rocks in Mishrif Formation, HF Oilfield, Iraq

HUANG Qian, FU Meiyang, ZHAO Limin, ZHOU Wen, WANG Yuxiang

Abstract: The Upper Cretaceous Mishrif Formation in the HF Oilfield of Iraq developed in the carbonate gentle slope of the passive continental margin of the Neo-Tethys Ocean. It is still not clear that the sedimentary facies are affected by sea-level change. Based on the observation and analysis of cores and thin slices, the lithology and sedimentary microfacies characteristics of MB1-2 layer in the Mishrif Formation of HF Oilfield are studied. The results show that the interaction between bioclastic limestone on the middle gentle slope and micritic limestone on the inner gentle slope are developed in MB1-2 layer with a thickness of about 100m, and the lithology changes frequently. This layer is characterized with shallowing water body, coarsening grains and thickening strata upward, which is recognized as a typical subtidal meter-scale cycle. Based on the Milankovitch cycle principle and the thickness of single layer of 0.1~0.8m, the natural gamma ray log curve is converted to the frequency domain to capture the information of meter-scale cycle by using Matlab software. It is calculated that the cycle period is 2~48 ka, and it is inferred that the interactive sedimentary environment of MB1-2 layer in the study area is controlled by the precession cycle and the obliquity of ecliptic cycle.

Key words: carbonate rocks; meter-scale cycle; lithology; sedimentary microfacies; Upper Cretaceous; HF Oilfield; Iraq

HUANG Qian, First author: Master in progress of petroleum and gas geology, Chengdu University of Technology. Add: No. 1 Dongsan Rd., Erxianqiao, Chengdu, Sichuan 610059, China

FU Meiyang, Corresponding author: PhD, Associate professor. Add: No. 1 Dongsan Rd., Erxianqiao, Chengdu, Sichuan 610059, China