

伊拉克W油田白垩系生物碎屑灰岩 储层高渗层成因及分布规律

韩海英, 田中元, 徐振永, 姚子修, 衣英杰, 李峰峰

中国石油勘探开发研究院

摘要 中东地区白垩系生物碎屑灰岩储层普遍存在高渗层,随着注水开发的进行,高渗层导致注入水快速水窜,给油田开发带来严重的挑战,因此研究高渗层的成因及分布具有重要的意义。基于岩心、铸体薄片、物性和测井等资料,分析了伊拉克W油田 Mishrif 组油藏内高渗层的沉积、岩性、物性、电性等特征,阐明了高渗层的类型及成因机理,厘清了高渗层的分布规律。研究表明:高渗层根据成因可分为沉积主控型、成岩主控型和构造主控型等3类。沉积主控型高渗层主要发育在MB1段潮道和MB2L段内缓坡滩中,前者岩性以生物碎屑颗粒灰岩和砾屑灰岩为主,平均孔隙度为23.5%,平均渗透率为 $173 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测井曲线呈现为箱形和钟形特征;后者岩性以生物碎屑泥粒灰岩为主,平均孔隙度为26.7%,平均渗透率为 $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测井曲线呈现为漏斗形特征。成岩主控型高渗层主要分布在MB2U段台缘滩中,岩性以生物碎屑砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主,平均孔隙度为27.0%,平均渗透率为 $216 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测井曲线呈现为箱形+漏斗形特征。构造主控型高渗层主要分布在MA段局限台地丘滩体内,岩性以砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主,平均孔隙度为23.6%,平均渗透率为 $108 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,测井曲线表现为略偏低的自然伽马、低密度和高声波时差的特征。这3类高渗层的成因机理、发育模式和分布规律均有所差异:沉积主控型高渗层主要由高能沉积体叠加同生-准同生期淡水溶蚀而形成,平面上呈网状和片状分布;成岩主控型高渗层主要由同生-准同生期和表生期两期大气淡水溶蚀改造而形成,平面上呈席状分布;构造主控型高渗层主要由同生-准同生期大气淡水溶蚀、沿断层流入的大气淡水和地层酸性流体溶蚀等多期成岩改造而形成,平面上沿断层呈斑状分布。

关键词 生物碎屑灰岩;高渗层;成因;白垩系;伊拉克;中东

中图分类号:TE122.2 文献标识码:A

0 前言

高渗层通常是指具有高渗流能力、侧向连续、厚度较薄、产液和吸水速度快、渗流性质明显高于围岩^[1-5]的一类流动单元。高渗层在碳酸盐岩油藏开发中起到双重作用:一方面,开发初期,高渗层的高渗流能力使得单井产量较高,对油田上产起到促进作用;另一方面,在注水过程中,注入水沿高渗层快速突进,造成油田含水快速上升,制约了油田的开发效益。

中东地区石油产量占全球总产量的31%^[6],其中碳酸盐岩油气产量占比达80%^[7],这类储层岩性以生物碎屑灰岩为主,高渗层普遍存在,储层非均质性强。伊拉克W油田上白垩统 Mishrif 组油藏为中东地区典型的生物碎屑灰岩油藏,储层中发育高

渗层,注水开发后水窜严重,高渗层是最为关键的影响因素。学者们对W油田的高渗层研究已有涉及:田中元等^[8]建立了Mishrif组油藏高渗层定量识别标准,厘定高渗层渗透率下限为 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;刘航宇等^[9]针对潮道内高渗层成因进行分析,认为高渗层是由三级和四级相对海平面升降过程中的叠加溶蚀所产生的。以上认识对于W油田高渗层的研究提供了重要参考,但是随着注水开发的深入,这些认识尚不足以很好地指导油田开发面临问题的解释,仍有待深入研究。

本文基于岩心、测井、铸体薄片等资料对高渗层的类型、成因及控制因素等进行研究,厘清了高渗层的分布规律,对于Mishrif组生物碎屑灰岩的开发具有重要的现实意义。

收稿日期:2021-09-27;改回日期:2021-12-15;网络出版日期:2022-04-06

本文受国家科技重大专项课题“伊拉克大型生物碎屑灰岩油藏注水开发关键技术研究与应用”(编号:2017ZX05030-001)资助

第一作者: 韩海英,博士,高级工程师,现从事中东地区碳酸盐岩储层研究和地质建模工作。通信地址:100083北京市海淀区学院路20号910信箱;E-mail: hhying@petrochina.com.cn

1 地质概况

W油田位于伊拉克东南部,区域构造上位于阿拉伯板块北缘,现今的扎格罗斯山前前陆盆地,即美索不达米亚盆地的南部(图1a)。研究区位于西古尔纳—鲁迈拉构造的北翼,呈南北走向宽缓背斜形态(图1b),两翼白垩系地层倾角约为 $2.1^{\circ}\sim 3.2^{\circ}$,西翼较东翼陡。构造的西翼断层较发育,断层的走向主要为北西—南东向,断层性质为正断层,平均断距为20 m,最大断距为40 m。

Mishrif组位于上白垩统塞诺曼阶—土伦阶下部,分为4个三级层序^[10-12](图1c):层序1为下部的

MC段,发育中缓坡—外缓坡沉积,岩石类型以泥粒灰岩与粒泥灰岩为主。层序2为中部的MB2L段和MB2U段。MB2L段自下而上为外缓坡—内缓坡的向上变浅的沉积序列;MB2U段主要为台地边缘滩颗粒灰岩,顶部为暴露面。层序3为中上部的MB1段,为局限台地—开阔台地沉积,内部发育潮道。层序4为上部的CRII、MA、CRI段。其中CRII段为水体较深的生物碎屑泥晶灰岩;MA段以局限台地为主,岩性主要为泥粒灰岩和含灰泥颗粒灰岩;CRI段为潮坪环境,顶部发育风化角砾岩段。

Mishrif组平均气测孔隙度为19.3%,平均气测渗透率为 $(10\sim 38)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,总体属于中孔中低渗

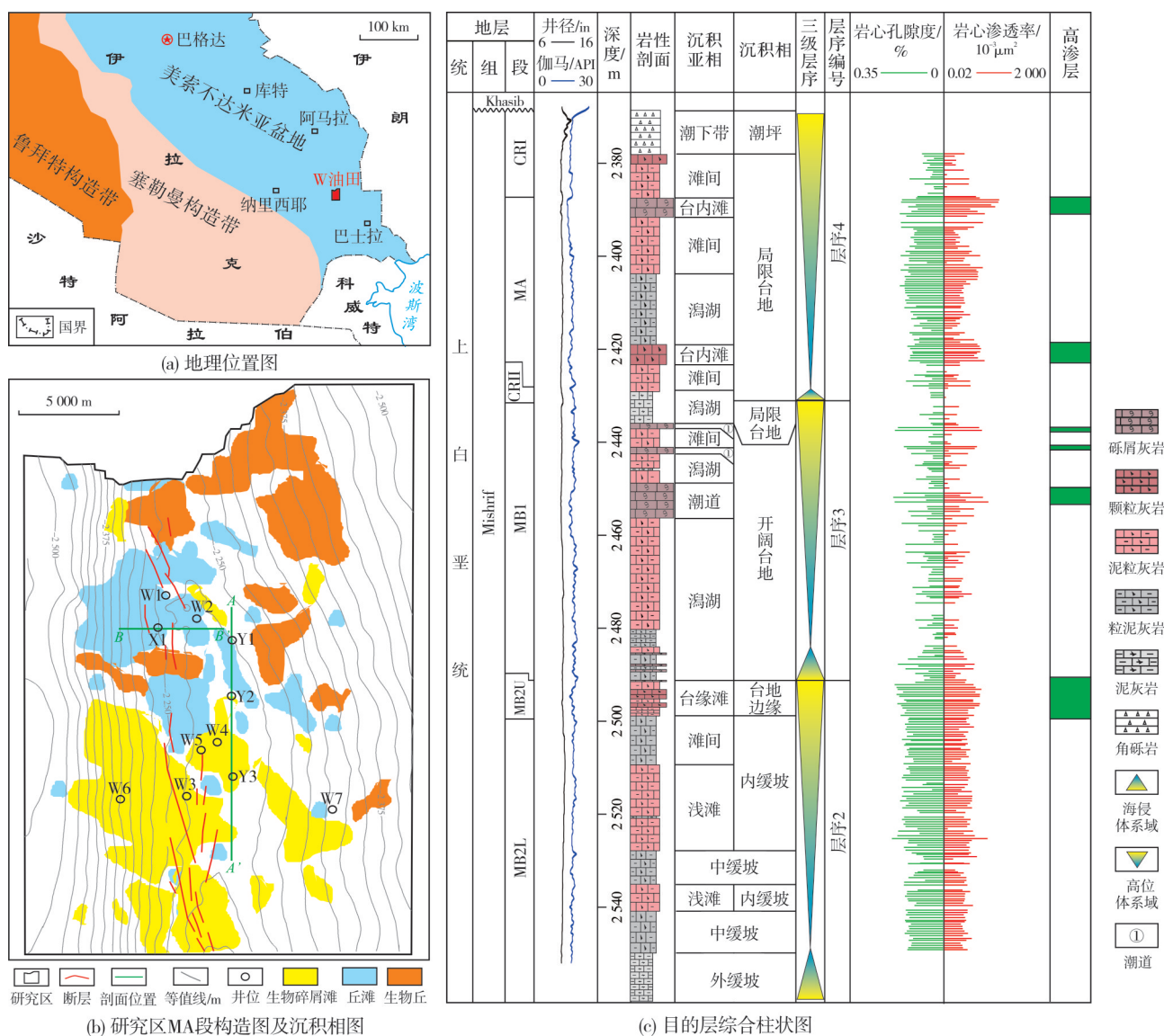


图1 伊拉克W油田地理位置及上白垩统Mishrif组综合柱状图

Fig. 1 Location of W Oilfield in Iraq and comprehensive column of the Upper Cretaceous Mishrif Formation

储层, 储层内部发育多套高渗层, 其气测渗透率可达 $1.6 \mu\text{m}^2$ 以上。

2 高渗层的类型及特征

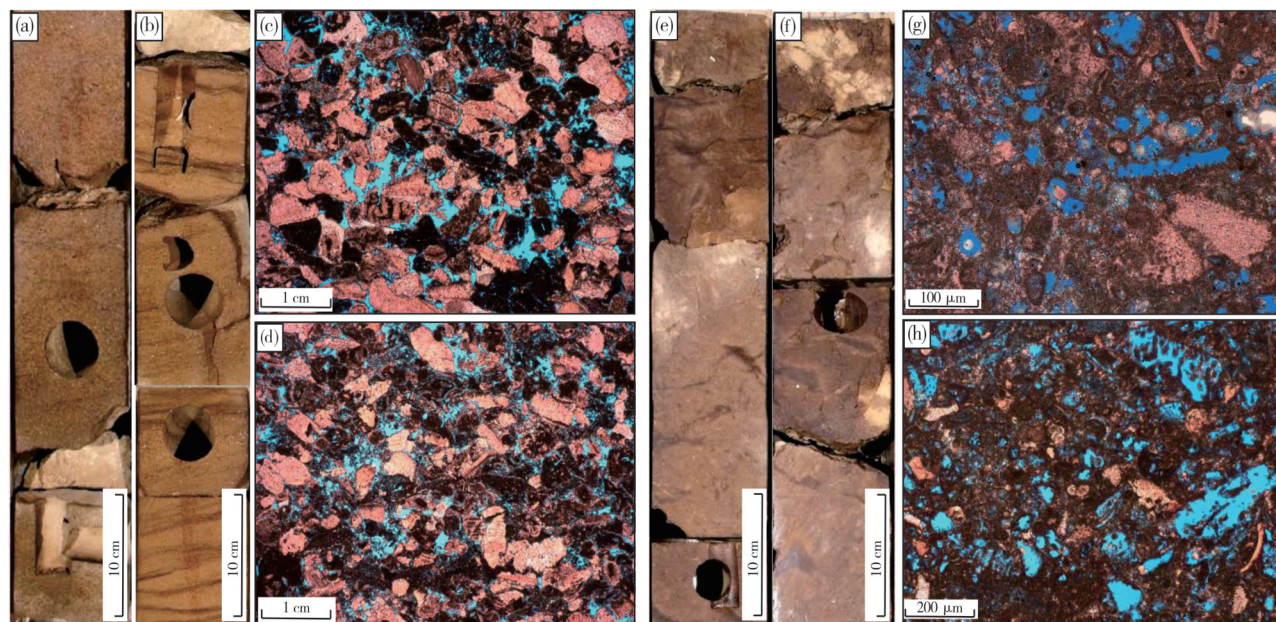
生物碎屑灰岩储层主要受构造作用、沉积作用和成岩作用的综合影响^[13-16]。就储层改造的有利性而言, 沉积作用影响颗粒大小和基质含量, 高能环境颗粒含量高, 易形成粒间孔隙, 增加储层的物性; 溶蚀作用不仅可以增加孔隙度, 而且可以增大喉道, 改善孔隙的连通性, 从而使得储层质量变好; 构造作用可形成断裂或裂缝, 酸性流体沿断裂或裂缝侵入溶蚀, 增加孔隙度, 改善渗透性。根据这些作用的相互关系及对高渗层形成及分布的控制程度, 可将 Mishrif 组高渗层划分为沉积主控型、成岩主控型和构造主控型等 3 种成因类型。

2.1 沉积主控型高渗层

沉积主控型高渗层以 MB1 段的潮道高渗层和 MB2L 段内缓坡滩高渗层为代表。

(1) 潮道高渗层

高渗层发育于潮道中, 分布受潮道展布的控制, 高渗层的岩性以颗粒灰岩、砾屑灰岩为主。岩心上, 完整的潮道底部为粗粒沉积, 向上颗粒变细, 纵向上体现出水体变浅的特征(图 2a), 与伊拉克南部哈法亚油田的潮道“二元结构”一致^[16]。纵向上单期或多期潮道叠置, 部分潮道顶部发育硬底及方解石胶结。较强的水动力条件下的潮道主干道多发育粒序层理和块状层理(图 2a), 单期厚度较大, 在 1~3 m 之间, 高渗层在潮道中下部及顶部均可发育。弱水动力条件下的潮道的支流多发育双向交错层理, 夹泥粒灰岩或粒泥灰岩的纹层(图 2b), 单期厚度较小, 在 0.3~1 m 之间, 高渗层往往发育在中下部。潮道高渗层孔隙类型以粒间孔隙和粒间溶孔为主(图 2c, 2d); 孔隙度为 10%~33.2%, 平均孔隙度为 23.5%; 渗透率为 $(40 \sim 1\,667) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均渗透率为 $173 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。单期潮道高渗层测井曲线呈现出低自然伽马、高深探测电阻率、低密度、高声波时差和高中子孔隙度的特征, 形态表现为钟形, 多期叠加的则表现为箱形特点(图 3a)。



- (a) 颗粒-砾屑灰岩, 正粒序层理, 潮道底部与下部潮道之间为浅色的粒泥灰岩。W5井2 285.0~2 285.5 m, MB1段。岩心
- (b) 颗粒灰岩, 可见双向交错层理, 上部泥质纹层增多, 顶部为粒泥灰岩。W5井2 280.7~2 281.2 m, MB1段。岩心
- (c) 颗粒-砾屑灰岩, 颗粒主要为内碎屑、生物碎屑, 粒间孔隙发育。W5井2 285.04 m, MB1段。铸体薄片, 单偏光
- (d) 颗粒灰岩, 可见生物碎屑、内碎屑颗粒, 粒间孔隙发育。W5井2 281.04 m, MB1段。铸体薄片, 单偏光
- (e) 上部为泥粒灰岩, 与下部的粒泥灰岩间可见侵蚀面, 局部方解石胶结。W2井2 285.5~2 286.0 m, MB2L段。岩心
- (f) 泥粒灰岩, 可见方解石胶结及生物钻孔, 与滩间的粒泥灰岩交互发育。W2井2 287.0~2 287.5 m, MB2L段。岩心
- (g) 泥粒灰岩, 残余的铸模孔和粒内孔为主。W2井2 285.76 m, MB2L段。铸体薄片, 单偏光
- (h) 泥粒灰岩, 铸模孔、粒内孔为主, 少量粒间孔。W2井2 287.12 m, MB2L段。铸体薄片, 单偏光

图2 伊拉克 W 油田 Mishrif 组沉积主控型高渗层岩心及铸体薄片照片

Fig. 2 Photos of cores and cast thin sections showing sedimentation-dominated high permeable streak of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

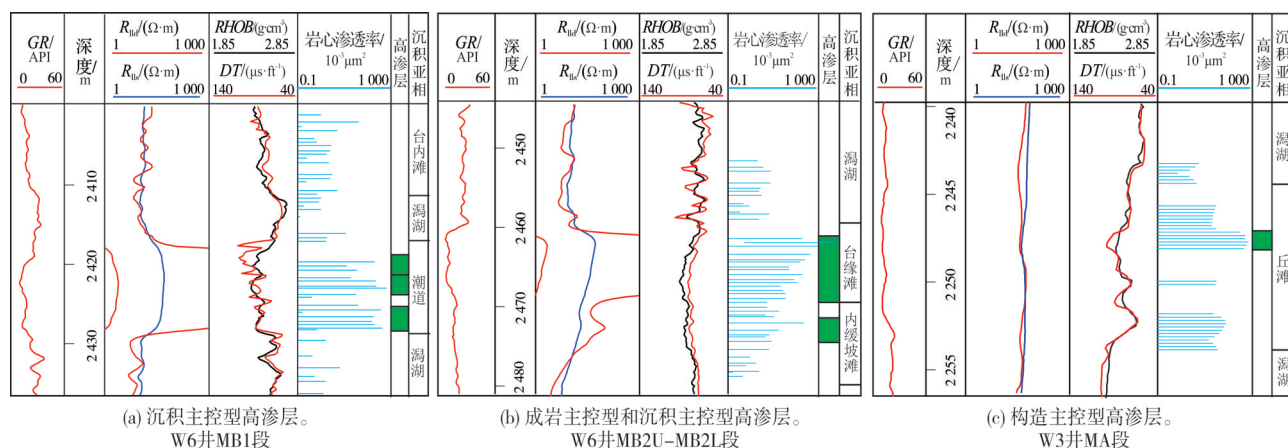


图3 伊拉克W油田Mishrif组三种类型高渗层的测井响应特征

Fig. 3 Logging characteristics of three types of high permeable streaks of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

(2)内缓坡滩高渗层

内缓坡滩高渗层发育于滩体中上部,岩性以生物碎屑泥粒灰岩为主(图2e)。单期滩体纵向上为水体变浅的旋回,岩心上发育粒序层理,滩体周围的粒泥灰岩中可见频繁的生物扰动现象(图2f)。内缓坡滩高渗层孔隙类型以粒间溶孔和铸模孔为主(图2g, 2h),颗粒间泥晶基质含量较高;孔隙度为12.6%~38.4%,平均孔隙度为26.7%;渗透率为 $(43\sim 562)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $103\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。测井曲线表现为漏斗形(图3b)。

2.2 成岩主控型高渗层

这类高渗层主要发育在MB2U段的台地边缘滩中,岩性以砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主。强水动力条件下的生物碎屑滩纵向上由单期或多期滩体叠置组成,发育交错层理和粒序层理。部分单期滩体自下而上存在颗粒粒度增大、灰泥含量减少、分选变好的变化,体现了滩体生长与流水搬运改造的特点;部分单期滩体则整体上颗粒粒度差异较大,分选与磨圆较差,反映了流水破碎颗粒及近源沉积的特点。台缘滩高渗层主要发育在台缘滩的上部及顶部,在强溶蚀作用改造下,部分胶结物和难溶解的颗粒逐步溶解,原生粒间孔隙进一步溶蚀扩大(图4a, 4b),局部可见到溶洞(图4c),储层的渗透性增强。高渗层孔隙度为16.9%~33.8%,平均孔隙度为27.0%;渗透率为 $(45\sim 3\,700)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $216\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。含高渗层的单期滩体测井曲线表现为漏斗形,含高渗层的多期叠置的滩体测井曲线则表现为箱形+漏斗形的特征(图3b)。

2.3 构造主控型高渗层

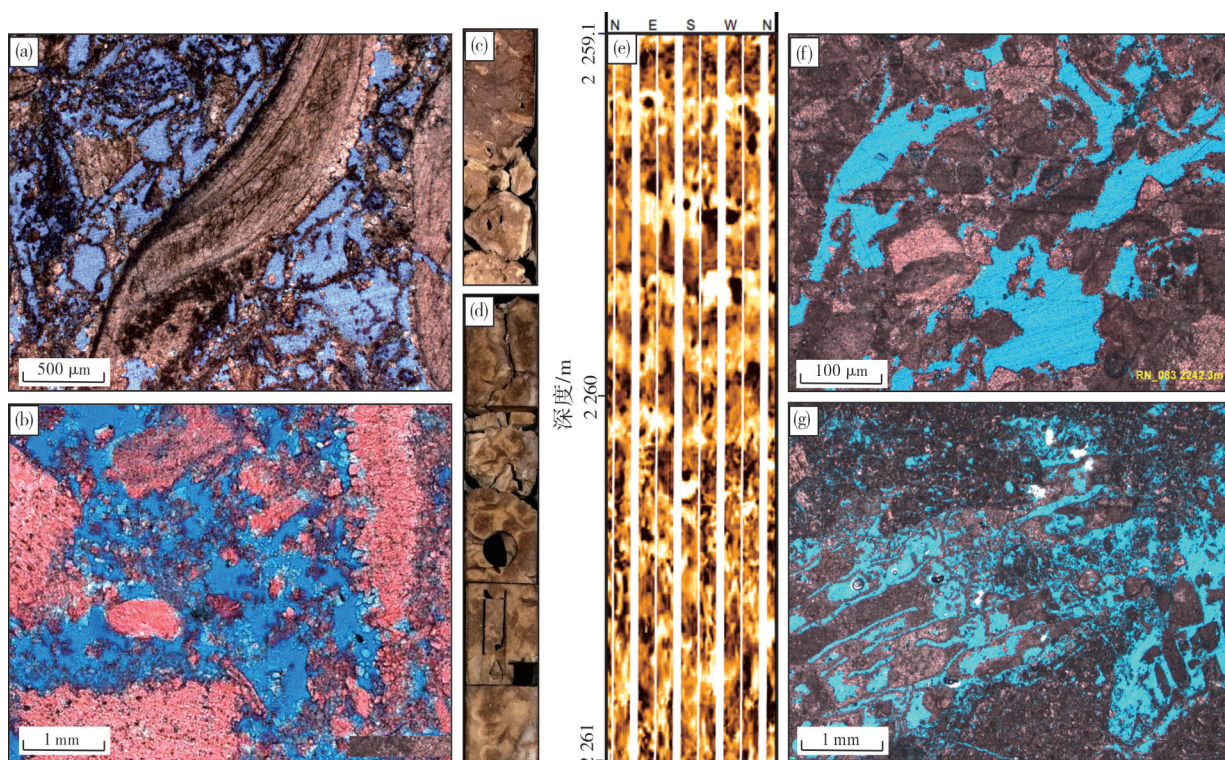
这类高渗层主要发育在MA段生物丘和生物碎屑滩的上部及顶部,岩性以砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主。生物丘岩性以含珊瑚-海绵的泥粒灰岩、颗粒灰岩为主,厚度为1~3 m不等,横向展布范围为100~1 000 m,这些生物丘之间由横向延伸的浅滩连接。生物碎屑滩以单期或多期滩体叠置的形式存在,厚度在0.4~6 m之间,发育块状层理和粒序层理,交错层理少见,反映了中等的水动力强度。高渗层孔隙类型局部发育微裂缝和溶洞(图4d, 4e),但以粒间溶孔、粒内孔和铸模孔为主(图4f, 4g)。在高渗层内,越靠近断层的单井产量越高,反之越低。高渗层孔隙度为10%~33.2%,平均孔隙度为23.6%;渗透率为 $(47\sim 562)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $108\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。高渗层测井曲线表现为略偏低的自然伽马、低密度和高声波时差的特征(图3c)。

3 高渗层的成因

高渗层的形成与沉积作用、成岩作用及构造作用关系密切,但不同沉积环境下不同类型高渗层的成因有所不同。

3.1 沉积主控型高渗层成因

潮道高渗层由潮道高能沉积体叠加同生-准同生期淡水溶蚀而形成。涨潮时潮水的冲击将原有的滩体沉积物打碎并带入潮道中,输送到台地内部,退潮时沉积物沉积于潮道中。潮道内颗粒成分复杂,既有打碎的生物碎屑,又有搬运产生的内碎屑,以及



(a) 颗粒灰岩, 粒间溶蚀孔隙发育。W7井2 430.04 m, MB2U段。铸体薄片, 单偏光
(b) 厚壳蛤颗粒灰岩, 粒间溶蚀孔隙发育。W5井2 315.77 m, MB2U段。铸体薄片, 单偏光
(c) 泥粒-颗粒灰岩, 可见较大溶洞。W4井2 308.25~2 308.55 m, MB2U段。岩心
(d) 泥粒灰岩, 取心后因应力释放岩心沿微裂缝裂开, 裂缝两侧及下部含油性好。W5井2 252.0~2 252.6 m, MA段。岩心
(e) FMI动态图像, 可见高角度的微裂缝, 微裂缝附近发育溶蚀孔洞。W1井2 259.1~2 261 m, MA段。岩心
(f) 颗粒灰岩, 可见粒间孔隙扩大溶蚀现象。W3井2 247.6 m, MA段。铸体薄片, 单偏光
(g) 颗粒灰岩, 可见海绵碎片, 粒间孔隙扩大溶蚀。W4井2 238.1 m, MA段。铸体薄片, 单偏光

图4 伊拉克 W 油田 Mishrif 组成岩主控型和构造主控型高渗层岩心及铸体薄片照片

Fig. 4 Photos of cores and cast thin sections showing diagenesis-dominated and tectonism-dominated high permeable streaks of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

沉积的藻类及灰泥等,水动力越强,泥质含量越少。在颗粒堆积的过程中,存在大量连通的粒间孔隙。在同生-准同生期大气淡水作用下,原先的粒间孔隙成为大气淡水的淋滤通道,不稳定的矿物逐渐溶解,粒间孔隙进一步扩大,储层的孔渗性进一步提高,经过溶蚀改造后的潮道最终演化形成高渗层(图5)。

内缓坡滩高渗层是由相对高能的内缓坡滩叠加同生-准同生期淡水溶蚀而形成。内缓坡环境下在局部高地沉积了相对高能的生物碎屑滩;中缓坡水体加深,沉积能量减弱,整体以泥质碳酸盐沉积为主。同生-准同生期在相对海平面下降过程中,内缓坡滩发生暴露,在短时期大气淡水淋滤作用下滩体物性获得了一定改善,并与细粒围岩的物性形成鲜明对比,从而形成高渗层(图5)。

3.2 成岩主控型高渗层成因

这种成因的高渗层主要为台缘滩高渗层。台

缘滩高能沉积体经受同生-准同生期和表生期淡水溶蚀而形成高渗层。由于台地边缘高能颗粒滩体沉积物颗粒较粗,泥晶基质充填少,因此粒间孔隙发育,原始储层物性较好。同生-准同生期在海平面波动过程中,台缘滩体极易暴露于海平面之上接受大气淡水的淋滤作用;另外在早成岩阶段,MB2U段顶部(三级层序界面)经历长时间的暴露和强烈的表生大气淡水溶蚀作用,形成大量的连通的粒间溶孔,孔隙结构有大幅改善,渗透率有极大提高(图5)。在埋藏环境中,压实作用会降低岩石物性,但由于台缘滩内的生物碎屑抗压能力较高,粒间溶孔得以保存,岩石依旧能保持较高的渗透率。

3.3 构造主控型高渗层成因

这种成因的高渗层主要为MA段丘滩高渗层。丘滩体在断裂作用下经历多期成岩改造,渗透率明

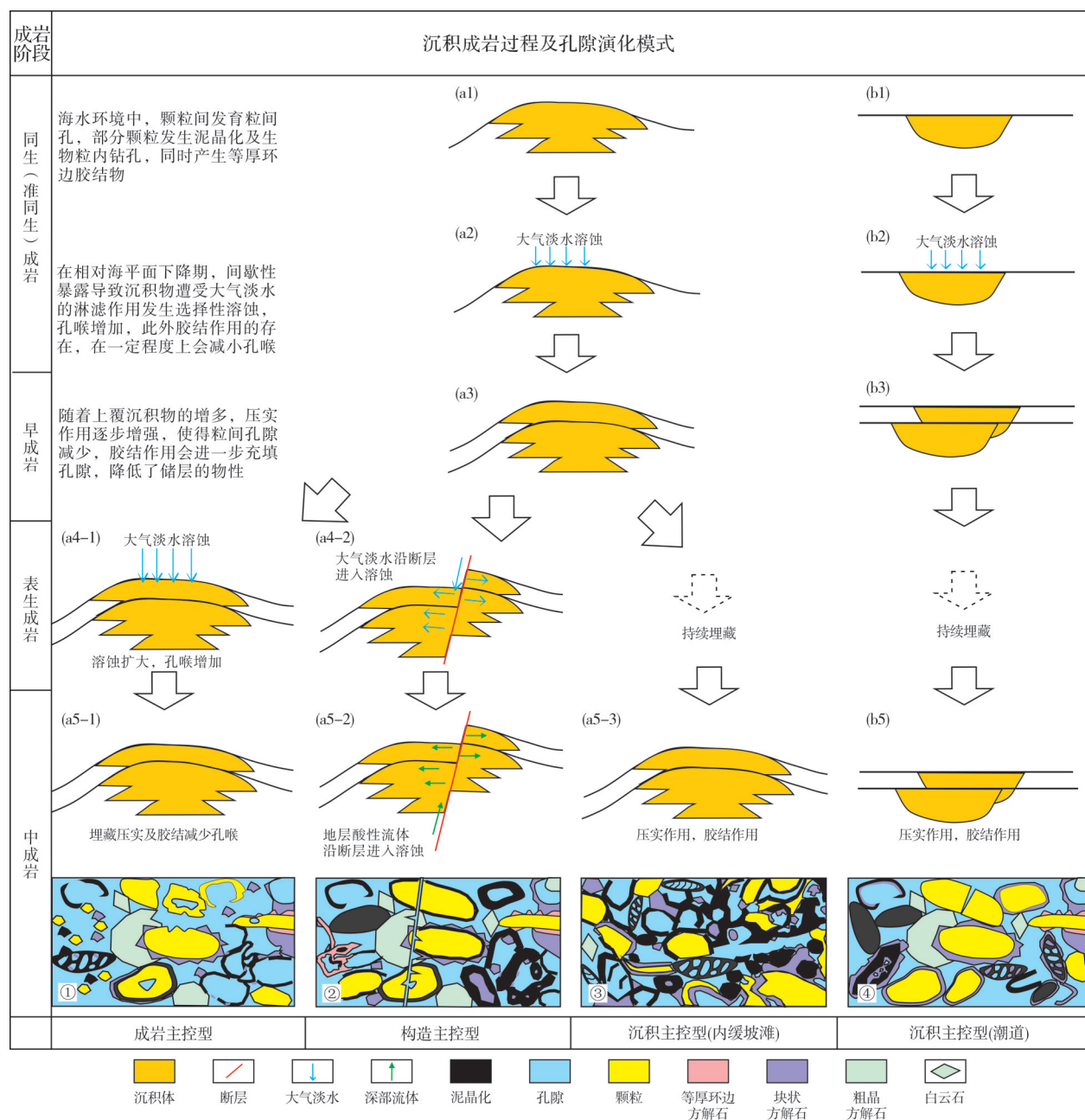


图5 伊拉克W油田 Mishrif组各类型高渗层成因示意图

Fig. 5 Genetic diagram of three types of high permeable streaks of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

显高于围岩而形成高渗层。丘滩沉积颗粒组分含量相对较高, 存在大量的粒间孔隙, 同生-准同生时期在海平面短期的升降过程中, 丘滩暴露并接受大气淡水的淋滤, 文石质珊瑚藻及不稳定的有孔虫溶解, 增大了孔隙空间。晚白垩世土伦期末, 在地层抬升形成不整合面的同时, 还在MA段内形成了断距较小的断层, 断层附近发育微裂缝, 长期的暴露

使得大气淡水沿断层进入丘滩体内, 对丘滩体进一步溶蚀。地层中的酸性流体也可沿断层进入储层, 对储层进一步溶蚀改造。在多次溶蚀作用之下, MA段断层附近的丘滩体渗透性得到极大的改善, 形成了高渗层。总体来看, 丘滩环境奠定了高渗层发育的物质基础, 构造作用为后期的流体溶蚀提供了运移通道(图5)。

4 高渗层发育模式与分布规律

3类高渗层由于其控制因素和成因机理不同,因而呈现出不同的发育模式和分布特征,下文分别论述。

4.1 沉积主控型高渗层

(1) 潮道高渗层

潮道亚相发育在 MB1 段富泥晶基质的潟湖环境中,压力传导困难,且两者渗透率存在巨大的级差,故潮道亚相与背景相形成鲜明对比。单期潮道横剖面呈上宽下窄的漏斗状,垂直物源方向连通性较差,呈孤立状分布于潟湖中。但由于潮道的迁移摆动比较频繁,多期潮道可叠加,发育垂向叠置和侧向叠置两种样式。高渗层发育在潮道的底部、顶部或整个潮道,随着潮道的侧向迁移与叠置而在剖面上呈现出孤立、垂向叠置和侧向叠置的模式(图 6a)。

潮道高渗层在纵向上分布比较分散,呈薄层状或土豆状,主要发育在高位体系域中期—晚期,在海侵体系域早期也小规模发育。潮道高渗层在平面上的分布受潮道控制而呈现特定方向的连通性,单期潮道呈窄条带状,延伸范围达十几千米甚至几十千米,呈东北—南西向展布。主干潮道宽度相对较大,渗透率最高;分支潮道宽度较窄。各潮道摆动导致互相连通,平面上呈网状特征(图 7a,表 1)。

(2) 内缓坡滩高渗层

此类高渗层主要发育在 MB2L 段滩体的上部,高渗层分布受滩体分布的控制。高渗层剖面上呈丘状分布(图 6b),侧向和垂向叠置程度较低,空间连通性较差,单期高渗层通常比较薄,厚度介于 1~3 m,主要发育于高位体系域晚期。高渗层平面上呈片状分布,横向连续性差,展布范围较小,主要受生物碎屑滩分布控制,位于工区的中西部靠近海岸线一侧呈片分布(图 7b,表 1)。

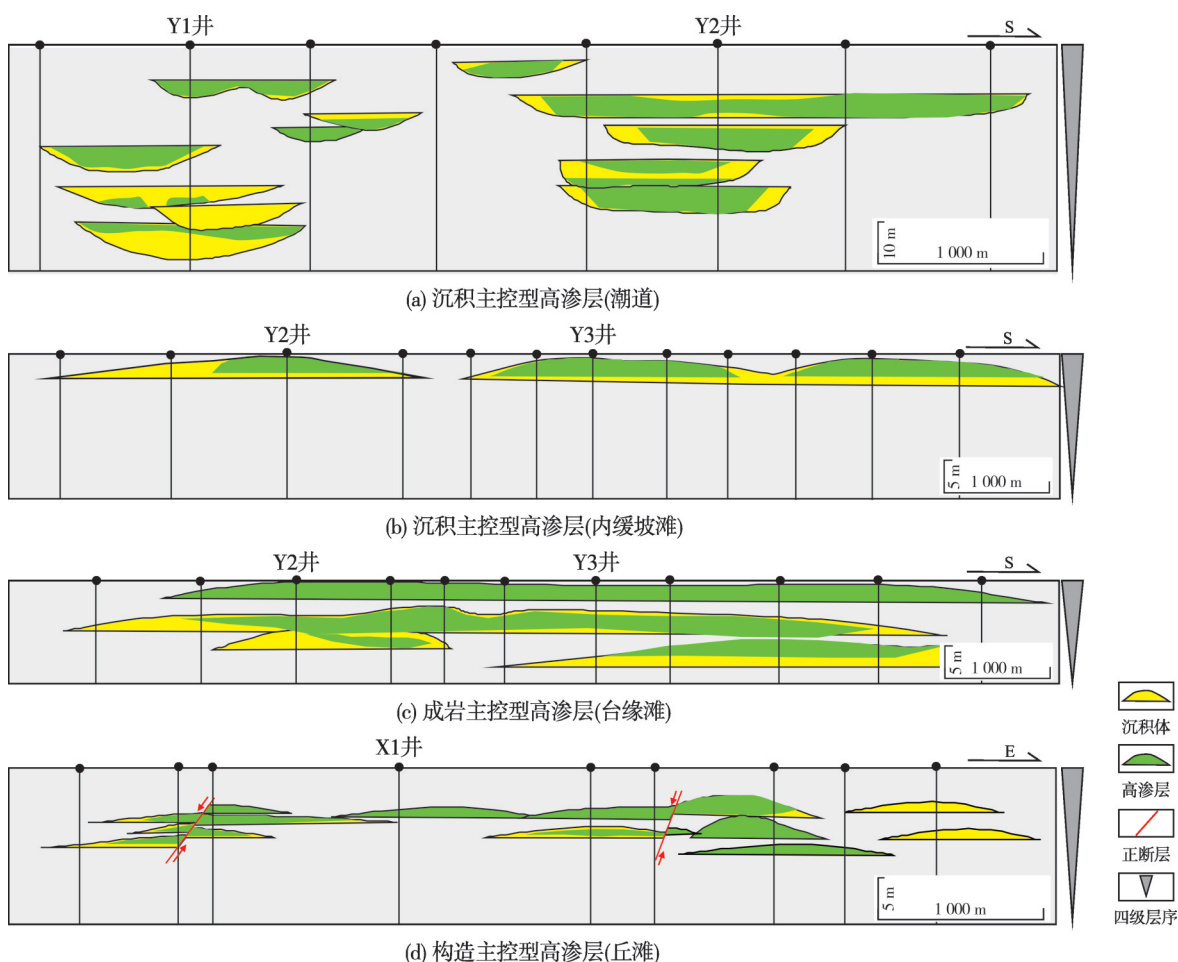


图6 伊拉克 W 油田 Mishrif 组高渗层发育模式(剖面位置见图 1b)

Fig. 6 Development patterns of the high permeable streak of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq (location is shown in Fig.1b)

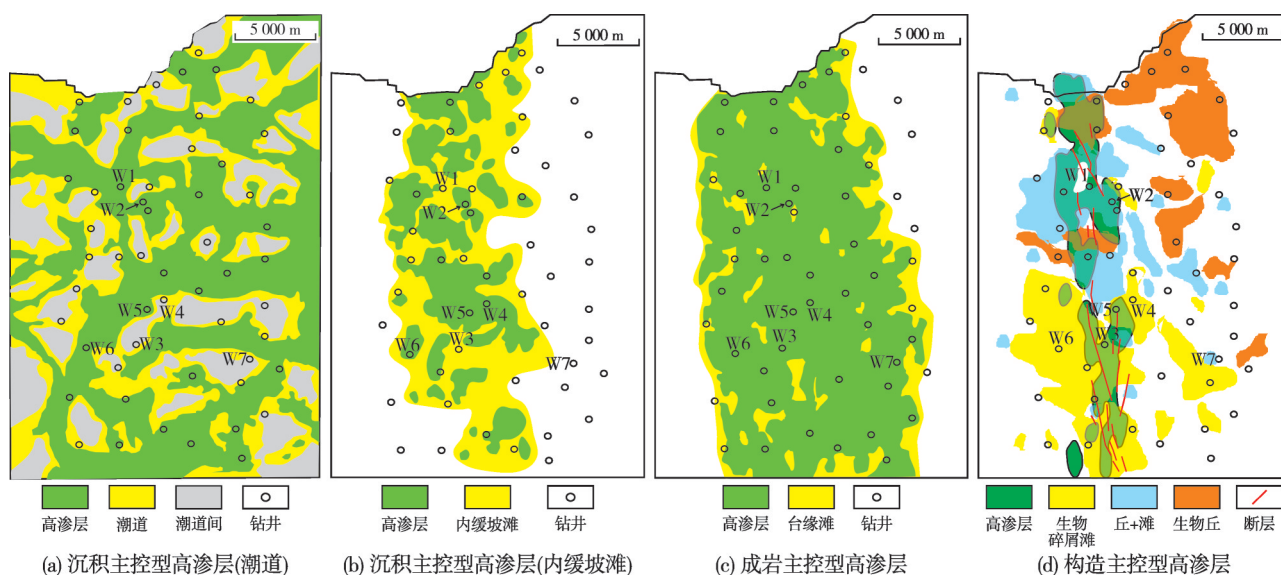


图7 伊拉克W油田Mishrif组不同类型高渗层平面分布图

Fig. 7 Distributions of different types of high permeable streaks of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

表1 伊拉克W油田Mishrif组不同类型高渗层特征

Table 1 The characteristics of three types of high permeable streaks of Mishrif Formation in W Oilfield, Iraq

| 类型 | 沉积体 | 岩性 | 渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$ | 厚度/m | 面积/ km^2 | 形态 | 主要分布层位 |
|-------|------|-------------------|-----------------------------|------|-------------------|------|--------|
| 沉积主控型 | 潮道 | 颗粒-砾屑灰岩为主, 少量泥粒灰岩 | 47~2 017 | 3~6 | 18.8 | 网状分布 | MB1段 |
| | 内缓坡滩 | 泥粒灰岩为主, 少量颗粒灰岩 | 47~562 | 1~3 | 14.3 | 片状分布 | MB2L段 |
| 成岩主控型 | 台缘滩 | 颗粒-砾屑灰岩 | 45~3 771 | 3~4 | >50 | 席状分布 | MB2U段 |
| 构造主控型 | 丘滩 | 泥粒-颗粒灰岩为主, 少量砾屑灰岩 | 46~1 667 | 2~4 | 5.6 | 斑状分布 | MA段 |

4.2 成岩主控型高渗层

此类高渗层主要分布在MB2U段,高渗层主要发育在台缘滩体顶部或中上部(图6c)。台缘带整体处于高能沉积环境,又经历了长时间的暴露淋滤带来的成岩改造,渗透率非常高,甚至形成超高渗层。高渗层主要位于三级层序高位体系域中上部,受大面积的表生溶蚀作用影响,平面上连续性好,延伸范围可达几十千米(图7c,表1)。单期滩体呈席状,厚度为3~4 m,侧向延伸范围较广,不同期次滩体垂向叠合面积较大,造成高渗层垂向上连通性较高。

4.3 构造主控型高渗层

此类高渗层主要发育在MA段丘滩体中。单期丘滩体厚度较小,厚度介于2~4 m。局部丘滩体侧

向叠置,多期叠置厚度可达20 m(图6d)。纵向上高渗层沿断层附近的丘滩体分布,平面上主要受断层分布控制,呈斑点状分布,长1~4 km,宽400~1 000 m(图7d,表1)。

5 结 论

(1)伊拉克W油田白垩系Mishrif组高渗层根据成因可分为沉积主控、成岩主控和构造主控等3种类型。沉积主控型主要发育在潮道和内缓坡滩中,前者岩性以生物碎屑颗粒灰岩和砾屑灰岩为主,后者岩性以生物碎屑泥粒灰岩为主,其形成受控于高能沉积叠加早期大气淡水溶蚀;成岩主控型主要发育在台缘滩中,岩性以生物碎屑砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主,其形成受控于高能沉积叠加多期大气淡水溶蚀;构造主控型主要发育在断层两侧

的丘滩中,岩性以砾屑灰岩、颗粒灰岩和泥粒灰岩为主,其形成受控于构造作用叠加多期溶蚀作用。

(2)伊拉克 W 油田白垩系 Mishrif 组高渗层具有高深探测电阻率、高声波时差、低自然伽马和低密度等测井响应特征。沉积主控潮道高渗层测井曲线呈现为箱形和钟形,沉积主控内缓坡滩高渗层测井曲线呈现为漏斗形;成岩主控型高渗层测井曲线呈现为箱形+漏斗形;构造主控型高渗层表现为略偏低的自然伽马、低密度和高声波时差。

(3)Mishrif 组沉积主控潮道高渗层,平面上受潮道沉积相控制呈网状分布,纵向上呈孤立、垂向叠置和侧向叠置的模式;沉积主控内缓坡滩高渗层,平面上受生物碎屑滩控制呈片状分布,剖面呈丘状,横向连续性差,展布范围较小。成岩主控台缘滩高渗层,主要受暴露期的成岩作用控制,空间分布比较稳定,平面上呈席状广泛分布,纵向上受三级层序控制,主要分布于 MB2U 段顶部三级层序界面之下,不同期次滩体叠合面积较大。构造主控丘滩高渗层,平面上主要受断层分布控制,呈斑点状分布,纵向上沿断层附近的丘滩体分布。

参考文献

- [1] YOUSEF A A, LARRY W L, JENSEN J L. Analysis and interpretation of interwell connectivity from production and injection rate fluctuations using a capacitance model [C]// 15th SPE-DOE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA, April 2006.
- [2] SAYARPOUR M, KABIR C S, LARRY W L. Field applications of capacitance-resistive models in waterfloods [J]. SPE reservoir evaluation & engineering, 2009, 12 (6): 853-864.
- [3] LI Yong, LI Baozhu, XIA Jing, et al. New method of water influx identification and ranking for a super-giant aquifer drive gas reservoir [C] // SPE Oil & Gas India Conference and Exhibition, Mumbai, India, November 2015.
- [4] EHRENBURG S N, AQRAWI A A M, NADEAU P H, et al. An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East [J]. Petroleum geoscience, 2008, 14 (4): 307-318.
- [5] BOTTON-DUMAY R, MANIVIT T, MASSONNAT G, et al. Karstic high permeability layers: characterization and preservation while modeling carbonate reservoirs [C]// Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, United Arab Emirates, October 2002.
- [6] BP. Statistical review of world energy [R/OL]. [2021-10-14]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [7] ALSHARHAN A S, NAIRN A E M. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 1997: 1-942.
- [8] TIAN Zhongyuan, GUO Rui, XU Zhenyong, et al. Quantitative petrophysical characterization of original super-permeability zones of bioclastic limestone reservoir [C]// Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference, 2017.
- [9] LIU Hangyu, SHI Kaibo, LIU Bo, et al. The characteristics and origins of thief zones in the Cretaceous limestone reservoirs of central and southern Mesopotamian Basin [J]. Journal of petroleum science and engineering, 2021, 201(4): 1-17.
- [10] 刘航宇, 田中元, 郭睿, 等. 碳酸盐岩不同孔隙类型储层特征及孔隙成因: 以伊拉克西古尔纳油田中白垩统 Mishrif 组为例 [J]. 地质科技情报, 2018, 37(6): 154-161.
LIU Hangyu, TIAN Zhongyuan, GUO Rui, et al. Characteristics of different pore type carbonate reservoirs and pore origins: a case study of Middle Cretaceous Mishrif Formation in West Qurna Oilfield, Iraq [J]. Bulletin of geological science and technology, 2018, 37(6): 154-161.
- [11] 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.
- [12] AL-ALI A, STEPHEN K, SHAMS A. Characterization of channelized systems in a carbonate platform setting: a case study on the Late Cretaceous reservoir from the supergiant oilfield, Iraq [C]// SPE Reservoir Characterisation and Simulation Conference and Exhibition, Abu Dhabi, UAE, September 2019.
- [13] 韩海英, 穆龙新, 郭睿, 等. 伊拉克艾哈代布油田白垩系生物碎屑灰岩储集层特征及主控因素 [J]. 海相油气地质, 2014, 19(2): 54-63.
HAN Haiying, MU Longxin, GUO Rui, et al. Characteristics and controlling factors of Cretaceous bioclastic limestone reservoirs in Ahdeb Oil Field, Iraq [J]. Marine origin petroleum geology, 2014, 19(2): 54-63.
- [14] 刘伟, 沈安江, 柳广弟, 等. 塔里木盆地塔东地区下古生界碳酸盐岩储层特征与勘探领域 [J]. 海相油气地质, 2016, 21(2): 1-12.
LIU Wei, SHEN Anjiang, LIU Guangdi, et al. Characteristics and exploration domains of Lower Paleozoic carbonate reservoirs in Eastern Tarim Basin [J]. Marine origin petroleum geology, 2016, 21(2): 1-12.
- [15] 邓兴梁, 乔占峰, 王彭, 等. 埋藏期“断溶体”的储集特征、

- 成因及发育规律:以塔中十号带奥陶系良里塔格组岩溶储层为例[J].海相油气地质,2018,23(1):47-55.
- DENG Xingliang, QIAO Zhanfeng, WANG Peng, et al. Origin, development and features of the "fault-dissolved body" reservoir formed in burial stage: a case study of Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tarim Basin, Northwest China [J]. Marine origin petroleum geology, 2018, 23(1): 47-55.
- [16] 孙文举, 乔占峰, 邵冠铭, 等. 伊拉克哈法亚油田中白垩统 Mishrif 组 MB1-2 亚段沉积与储集层构型 [J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(4): 713-722.
- SUN Wenju, QIAO Zhanfeng, SHAO Guanming, et al. Sedimentary and reservoir architectures of MB1-2 sub-member of Middle Cretaceous Mishrif Formation of Halfaya Oilfield in Iraq [J]. Petroleum exploration and development, 2020, 47(4): 713-722.

编辑:董庸

Genesis and distribution of high permeable streaks of the Cretaceous bioclastic limestone reservoir in W Oilfield, Iraq

HAN Haiying, TIAN Zhongyuan, XU Zhenyong, YAO Zixiu, YI Yingjie, LI Fengfeng

Abstract: High permeable streaks (HPS) are commonly developed in the Cretaceous bioclastic limestone reservoirs in Middle East. With the progress of water injection, the existence of HPS leads to rapid water channeling, which brings serious challenges to oilfield development. Therefore, the study on the cause and distribution of HPS is of great significance. Based on the data of cores, cast thin sections, physical property and logging, this paper analyzes the characteristics of sedimentation, lithology, physical property and electrical property of the HPS in Mishrif Formation of W Oilfield in Iraq, and clarifies their types, genesis and distribution pattern. The result shows that the HPS of Mishrif Formation can be divided into three types according to their genesis: sedimentation-dominated type, diagenesis-dominated type, and tectonism-dominated type. The sedimentation-dominated HPS are mainly developed in tidal channels of MB1 member and in inner ramp shoals of MB2L member. The former is dominated by bioclastic grainstones and rudstones with average porosity of 23.5% and average permeability of $173 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, the logging curves are box-shaped and bell-shaped; the latter is mainly composed of bioclastic packstones with average porosity of 26.7% and average permeability of $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, the logging curves are funnel-shaped. The diagenesis-dominated HPS are mainly distributed in the platform margin of MB2U member which are mainly composed of bioclastic rudstones, grainstones and packstones, with an average porosity of 27.0% and an average permeability of $216 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, and the logging curves are box-shaped + funnel-shaped. The tectonism-dominated HPS are mainly distributed in the mounds and shoals of the limited platform in MA member, which are mainly composed of bioclastic rudstones, grainstones and packstones, with average porosity of 23.6% and average permeability of $108 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The logging curves are characterized by low natural gamma-ray, low density, and high interval transit time.

The genesis, development model, distribution pattern of these three types of HPS are different. The sedimentation-dominated HPS are formed by the superposition of high-energy sedimentary bodies and the dissolution of fresh water in the syn-sedimentary and pene-sedimentary period with network and flake pattern laterally. The diagenesis-dominated HPS are formed by two periods of atmospheric fresh water dissolution during the syn-sedimentary and pene-sedimentary period and supergene period with mat pattern laterally. The tectonism-dominated HPS are formed by multi-stage dissolution caused by atmospheric fresh water during syn-sedimentary and pene-sedimentary, meteoric fresh water and formation acidic fluids flowing along the fault into sediments during burial period, and the distribution along the faults is patchy. The research results have important theoretical value for the development of Cretaceous bioclastic limestone reservoir in Middle East, and have practical guiding significance for the development of similar oilfields.

Key words: bioclastic limestone; high permeable streaks; genesis; Cretaceous; Iraq; Middle East

HAN Haiying, First author: PhD, Senior Geologist, currently engages in carbonate reservoir characterization and geological modeling. Add: Box 910, No. 20 Xueyuan Rd., Haidian District, Beijing 100083, China