

金宝强, 陈建波, 舒晓, 等. 渤海海域馆陶组低阻油层沉积特征及其控制作用——以 QHD 油田为例[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(8): 17-22.

渤海海域馆陶组低阻油层沉积特征及其控制作用 ——以 QHD 油田为例

金宝强, 陈建波, 舒晓, 周军良, 邓猛

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300459)

摘要:根据渤海海域 QHD 油田地震、测井、录井及取心资料分析, 结合室内实验观察数据, 对低阻油层发育段-馆陶组二段 2 小层(馆细段)的储层岩石学和沉积学特征进行了综合研究。馆细段储层以岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主, 磨圆度以次棱角-次圆状为主, 分选较差。储层砂岩自下而上依次发育杂乱砾石沉积、中型交错层理、槽状交错层理、板状交错层理、波状交错层理及水平层理, 泥岩以杂色为主, 反映了一种浅水弱氧化-弱还原环境和氧化环境。低阻油层储层具有弱水动力沉积背景, 主要发育心滩、辫状水道、泛滥平原和小型冲沟沉积微相。综合分析认为宏观的沉积环境、成岩作用和微观的黏土矿物共同造成了储层物性差及孔隙结构复杂化, 使得馆细段束缚水饱和度偏高, 是低阻油层形成的主要因素。

关键词:渤海海域; 低阻油层; 馆细段; 储层岩石学; 沉积微相; 束缚水饱和度

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.105

0 引言

随着油气勘探开发工作不断深入, 各种复杂油气藏已经成为目前甚至将来的主要勘探目标。低电阻率油气藏由于其储量和产量的不断增加, 已经成为近年来一个特殊的开发领域^[1-5]。

近几年, 渤海油田低阻油层不断被发现, 主要发育在馆陶组中部辫状河沉积中, 沉积上表现为岩性较细、物性较差的一段特殊辫状河沉积。为弄清渤海馆陶组中部辫状河沉积特征及其对低阻油层的控制作用, 本文结合测井、岩心、地震等资料, 以 QHD 油田为例, 综合分析了低阻油层发育段沉积特征及其对低阻油层形成的控制作用, 以指导渤海油田低阻油藏的勘探开发。

1 地质概况

QHD 油田位于渤海中部海域石臼坨凸起上, 是

被南堡、秦南和渤中 3 大富烃凹陷环绕的大型低幅构造, 油气富集条件优越(图 1)。QHD 油田从上到下钻遇的地层主要有第四系平原组、新近系明化镇组与馆陶组、古近系东营组、中生界和古生界, 主要含油层位为明化镇组和馆陶组。本研究的目的层为新近系馆陶组, 区域研究显示, 新近系河流相储层发育, 馆陶组为辫状河沉积环境^[6-9]。馆陶组地层厚度为 400~450 m, 储层厚度大, 砂地比为 85%~92%。按照地层划分结果, 低阻油层发育于馆陶组二段 2 小层, 即“馆细段”, 储层厚度为 11~15 m。平面上, 低阻油层位于 QHD 油田南侧。据研究区测井数据统计, 低阻油层自然伽玛(GR)值为 50~60 API, 储层密度值为 2.2~2.3 g/cm³, 均略高于上下水层, 其地层电阻率值为 2.4~3.7 Ω·m, 而上下相邻水层地层电阻率值为 2.5~6.5 Ω·m, 总体上油层电阻率低于水层电阻率, 具有典型的低阻油层特征。

2 储层沉积特征

2.1 储层岩石学特征

QHD 油田馆细段共有 1 口取心井, 共取心

收稿日期: 2020-07-13

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001)

作者简介: 金宝强(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油气田地质综合研究方面的工作。E-mail: jinbq@cnooc.com.cn

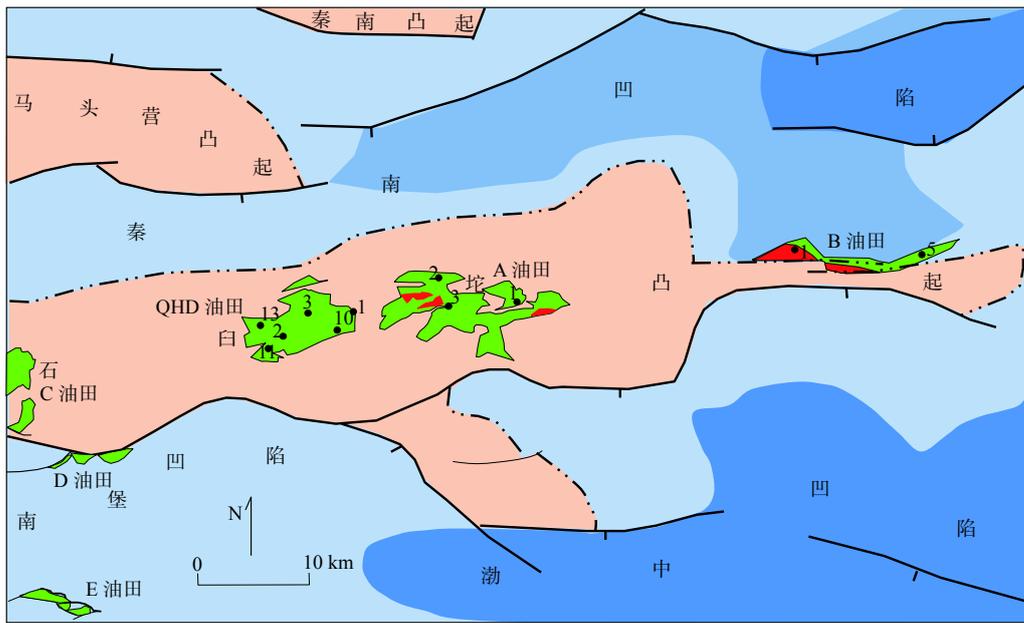


图1 渤海海域 QHD 油田区域位置图

Fig.1 Location map of QHD Oilfield in the Bohai Sea

7筒,实际取心 34.2 m,总收获率 80.45%。共进行 64 块样品的岩石铸体和普通薄片分析鉴定、13 块样品扫描电镜分析、65 块样品的粒度分析和 68 块黏土矿物总量和常见非黏土矿物 X-衍射半定量分析。

2.1.1 岩石类型及成分

馆细段薄片鉴定结果显示,岩石碎屑颗粒整体分选性中等,碎屑粒级以细—粗粉砂为主。颗粒磨圆主要以次圆、次棱为主。颗粒接触关系多线一点接触,胶结类型为孔隙型为主,长石风化中等。岩石类型主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主(图2)。石英是构架颗粒的主要组成部分,含量为 16%~36%。长石是构架颗粒的另一主要组成部分,含量为 19%~45%,其中斜长石含量为 2%~15%,钾长石含量为 13%~39%。岩屑是构架颗粒的主要组成部分,含量为 22%~60%,岩块组合以变质岩、岩浆岩岩块为主、少量沉积岩岩块,变质岩岩块含量为 2%~26%,岩浆岩岩块含量为 9%~45%,沉积岩岩块含量为 1%~9%,变质岩为石英岩岩块,岩浆岩岩块为酸性喷出岩,沉积岩岩块为泥岩,见少量的云母。填隙物主要见菱铁矿、黄铁矿、高岭石和泥质,高岭石含量为 1%~7%,泥质含量为 1%~25%,菱铁矿含量为 1%~18%,黄铁矿含量为 0.3%~2%。

2.1.2 碎屑颗粒粒度

碎屑颗粒粒度是碎屑颗粒最主要的结构特征,直接决定着岩石的类型和性质,粒度分布及分选性

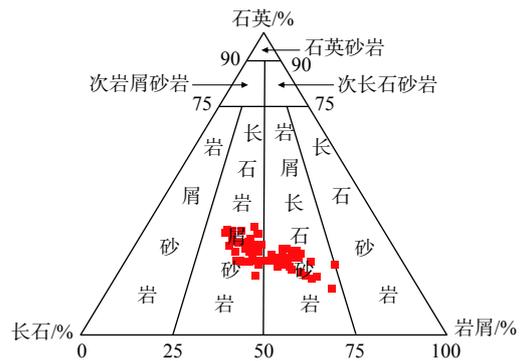


图2 QHD 油田馆细段砂岩成分三角图

Fig.2 Classification of the sandstone of the Guanxi section of the QHD Oilfield

是衡量介质能量的度量尺度,是判别沉积时自然地理环境及水动力条件的良好指标^[10]。馆细段低阻油层中部岩屑粒度分析结果表明(表1),馆细段储

表1 QHD 油田馆细段粒度分级统计

Table 1 Grain size composition of the Guanxi section in QHD Oilfield

分类	粒级区间/ μm		百分含量/%
砾石	2 000.00	-	0.00
巨砾	1 000.00	2 000.00	0.00
粗砾	500.00	1 000.00	2.65
中砂	250.00	500.00	13.76
细砂	125.00	250.00	10.07
极细砂	62.50	125.00	9.14
粗粉砂	31.25	62.50	16.81
细粉砂	3.90	31.25	38.65
黏土	0.00	3.90	8.93

层岩性以细—粗粉砂和极细砂为主, 占样品总数的 64.60%, 其次为细—中砂, 占样品总数的 23.83%, 黏土占样品总数的 8.93%, 砾石占样品总数的 2.65%, 总体粒度较细, 反映水动力条件较弱。

通过对馆细段储层 65 块样品的粒度概率累积曲线进行分析(图 3), 发现绝大多数样品具有双峰结构, 且粒度分布范围较宽, 峰值所在粒级的百分比比较低, 反映整体水动力弱, 分选性差的沉积环境, 具有典型河流沉积特征。

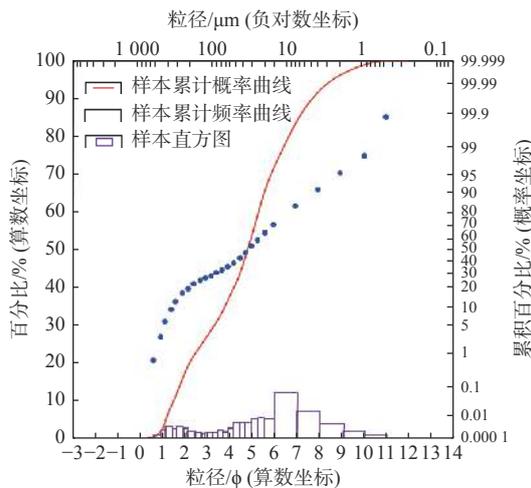
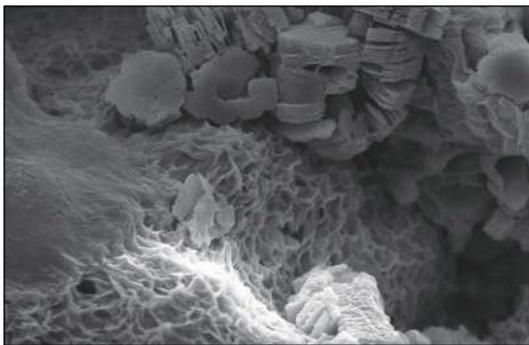


图 3 QHD 油田馆细段粒度样本分布图

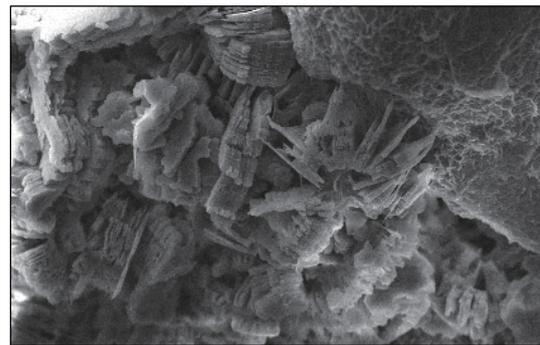
Fig.3 Grain size distribution of the Guanxi section in QHD Oilfield

2.1.3 黏土矿物分析

QHD 油田馆细段 13 块次扫描电镜及 X-衍射分析显示, 储层中黏土矿物含量高, 为 15%~50%。



(a) 伊蒙混层和书页状高岭石充填粒间孔隙(电镜放大 1 500 倍)



(b) 书页状高岭石充填粒间孔隙(电镜放大 800 倍)

图 4 QHD 油田馆细段电镜扫描照片

Fig.4 Scanning electron micrograph of the Guanxi section in QHD Oilfield

2.3 泥岩颜色

泥岩颜色受沉积环境影响较大, 受成岩作用影响较小, 因此泥岩颜色可作为沉积相标志并用于判

断沉积环境^[11-12]。1 口取心井及 13 口录井描述表明, 馆细段黏土岩主要为泥岩和粉砂质泥岩。主要为浅灰色、灰色、红褐色、灰绿色等杂色泥岩, 泥岩颜色总体指示馆细段沉积时期以弱氧化—弱还原环

2.2 储层沉积构造

岩石的沉积构造特征可直接反映沉积时占优势的沉积介质和能量条件, 是碎屑岩最重要的成因标志之一^[10]。QHD 油田馆细段 1 口取心井岩心观察显示, 低阻油层段自下而上发育多种样式的沉积构造, 其底部以杂乱砾石沉积为主, 粒径一般为 3~6 mm, 最大 20 mm, 指示了河床滞留沉积背景; 中部依次发育中型交错层理、槽状交错层理、板状交错层理, 偶见冲刷充填交错层理, 该段以粉砂—细砂岩为主, 局部含砾, 指示了辫状河心滩沉积背景; 顶部发育垂向加积的波状交错层理粉砂岩和泥岩, 及角度平缓的交错层理粉砂岩。该段岩心沉积构造丰富, 底层沉积和顶层沉积垂向叠置明显, 且底层沉积厚度远远大于顶层沉积厚度, 反映了典型的辫状河“二元结构”特点。

境和氧化环境为主。

3 沉积微相特征

3.1 单井相特征

据渤海海域 QHD 油田低阻油层发育区 13 口井测井曲线及 1 口井岩心分析, 馆细段低阻油层发育段主要发育均质韵律、正韵律及复合韵律 3 种类型。自然伽马(GR)曲线形态以箱形和钟型-箱型为主, 个别井发育叠置钟型, 与上下水层相比, 馆细段自然伽马(GR)值更高, 自然电位(SP)幅度值更低。结合储层岩石粒度、岩心薄片及测井曲线综合分析,

认为馆细段沉积特征明显与其上下馆陶组整体辫状河沉积有所差异, 该段沉积时期水动力条件较弱, 可能具有单独的小型河流动力条件。EW1 井沉积微相柱状图显示(图 5), 馆细段可细分为心滩、泛滥水道、泛滥平原和冲沟 4 种沉积微相。心滩沉积物颗粒一般较粗, 成分复杂, 成熟度较低。对称的螺旋横向环流易导致心滩发生侧向加积作用, 形成各种类型的交错层理, 岩性以含砾细砂岩为主, 正韵律, 厚度一般 >5 m, 自然伽马曲线为箱型。辫状水道与心滩毗邻出现, 稳定性差, 岩性以粉砂岩或泥质粉砂岩为主, 厚度 2~5 m, 自然伽马曲线为钟型。泛滥平原沉积以泥质为主, 发育在心滩顶部, 自然伽马值一般 >80 API, 厚度 4~7 m。冲沟一般发育

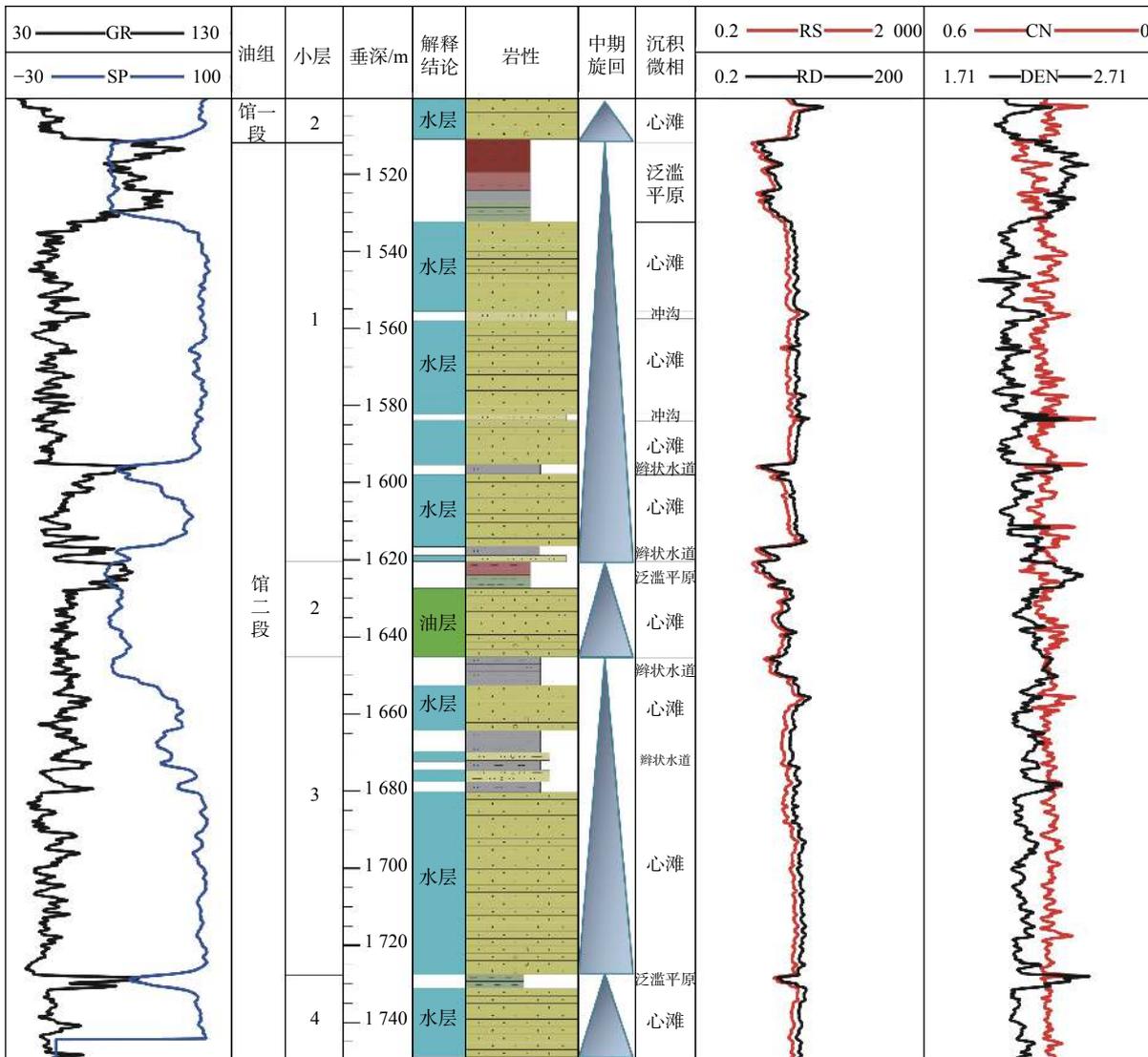


图 5 QHD 油田 EW1 井沉积微相柱状图

Fig.5 Columnar diagram of sedimentary microfacies of Well EW1 in QHD Oilfield

在心滩顶部,与心滩伴生,厚度 $<2\text{ m}$,岩性以粉砂岩为主。

3.2 沉积微相及模式

根据前人研究成果,QHD 油田馆陶组物源来自西北方向,受古地形地貌影响,局部物源方向可能发生偏转,自西向东沉积亦较为常见^[13-15]。基于地震沉积学理论,利用 90° 相移地震资料,在馆细段低阻油层顶底精细等时地层格架约束下提取地震切片,结果显示储层平面具有较为明显的分区分带性,指示了较为模糊的沉积微相变化。为了清晰描述沉积微相的展布,统计了 13 口井测井相和地震振幅值段的对应关系,结果显示,心滩主体振幅值

$>4\ 500\text{ amp}$,心滩边缘振幅值为 $3\ 500\sim 4\ 500\text{ amp}$,辫状水道振幅值为 $1\ 900\sim 3\ 500\text{ amp}$,泛滥平原振幅值 $<1\ 900\text{ amp}$ 。基于不同沉积微相地震振幅值定量关系,对地震切片属性进行细化分带,实现馆细段低阻油层沉积微相精细刻画。沉积微相显示(图 6),研究区整体表现为“同期不同河”的特征,低阻油层砂体属单一低能河道沉积,整体地势较高,心滩规模较小,南北两侧为高能辫状河道,地势较低,心滩规模较大,中间以窄条形泛滥平原分隔。低阻油层砂体整体呈条带状东西方向展布,河道带内部发育多个大小不一的“纺锤状”和“土豆状”心滩沉积,心滩与心滩之间发育辫状水道,水道宽度为 $50\sim 300\text{ m}$,局部心滩内部见小型冲沟。

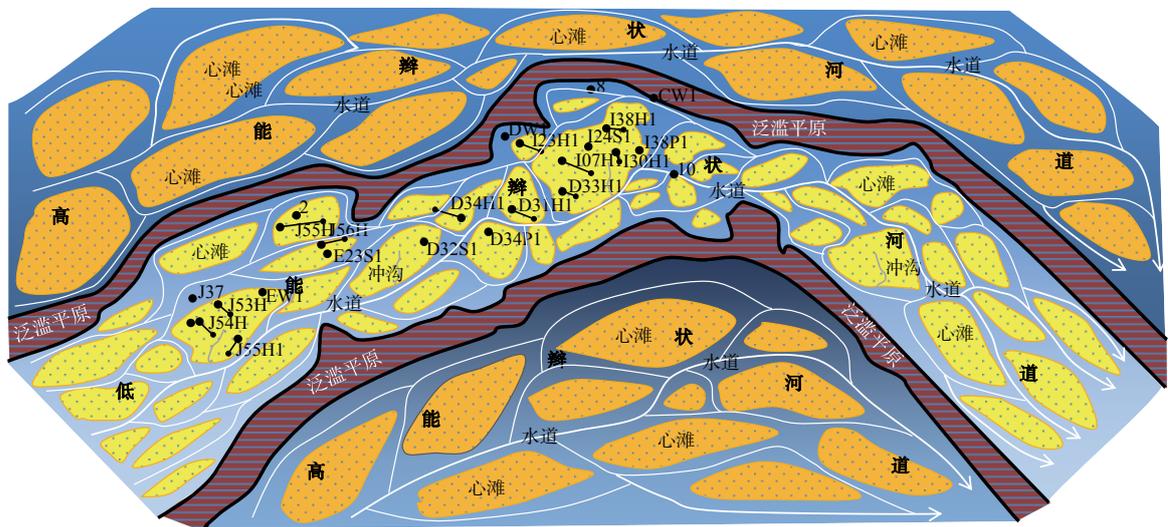


图 6 QHD 油田馆细段沉积微相

Fig.6 Sedimentary microfacies of the Guanxi section in QHD Oilfield

4 沉积对低阻油层的控制作用

低阻油层的地质成因类型多样,储层低阻特征是岩性、物性、含油性、水性等多种因素的综合响应,不同地质条件下各种因素的贡献程度不完全相同^[16-20]。根据核磁共振测试结果,QHD 油田馆细段岩心束缚水饱和度约为 40% ,束缚水含量高,是低阻油层形成的主要原因。综合 QHD 油田馆细段储层岩石学、沉积构造和沉积微相特征分析,认为沉积作用和成岩作用共同控制了馆细段低阻油层的形成。弱水动力沉积环境是宏观地质控制因素,岩石颗粒粒度小,泥质含量高,是储层束缚水饱和度高直接原因。黏土矿物和胶结作用是微观地质控制因素,通过样品黏土矿物系统分析,成岩阶段

处于晚成岩早期,黏土矿物含量高,胶结作用显著,降低了储层孔隙度和渗透性,使孔隙结构进一步复杂化,是导致储层束缚水饱和度高的间接原因。

5 结论

(1)渤海海域 QHD 油田岩石类型主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,颗粒分选中等,粒度以细—粗粉砂为主。黏土矿物含量高,伊蒙混层、高岭石和伊利石等使孔隙结构复杂化,对储层物性起到破坏作用。

(2)馆细段低阻油层属低能辫状河沉积,主要发育心滩、辫状水道、泛滥平原和冲沟沉积微相,其水体能量和沉积规模远小于南北两侧高能辫状河道。

(3)宏观的沉积环境和微观的黏土矿物共同造

成了储层物性差及孔隙结构复杂化,使得馆细段束缚水饱和度偏高,是低阻油层形成的主要因素。

参考文献:

- [1] 李征西,莫修文.低阻油气储层测井解释方法研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(Z2):159-161.
- [2] 汪瑞宏,崔云江,陆云龙,等.渤海油田中深层低阻油层测井特征及识别[J].海洋地质前沿,2016,32(11):26-31.
- [3] 郑华,李云鹏,徐锦绣,等.渤海海域低阻油层地质成因机理与识别:以辽东湾旅大A油田为例[J].断块油气田,2018,25(1):22-28.
- [4] 林国松,康凯,郭富欣,等.渤海海域蓬莱油田低阻油层成因模式研究[J].特种油气藏,2019,26(3):68-73.
- [5] 秀锦绣,吕洪志,刘欢,等.渤海LD油田低阻油层成因机理与评价方法[J].中国海上油气,2018,30(3):47-55.
- [6] 徐怀大.渤海湾盆地第三纪地层和沉积特征[J].海洋地质研究,1981,1(2):10-27.
- [7] 王玉满,袁选俊,黄祖熹,等.渤海湾盆地南堡凹陷新近系馆陶组沉积特征[J].古地理学报,2003,5(4):404-413.
- [8] 徐中波,康凯,申春生,等.渤海海域L油田新近系明化镇组下段与馆陶组储层沉积微相研究[J].岩性油气藏,2015,27(5):161-166.
- [9] 牛成民,杜晓峰,邹华耀,等.渤海海域石白坨凸起油气输导体系与运聚模式[J].中国海上油气,2018,28(3):44-49.
- [10] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [11] MAILL A D. Architecture-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Sciences Reviews, 1985, 22(4): 261-308.
- [12] 蔡东梅.松辽盆地扶余油田泉四段沉积微相研究[J].岩性油气藏,2014,26(5):57-63.
- [13] 赖维成,宋章强,周心怀,等.“动态物源”控砂模式[J].石油勘探与开发,2010,37(6):763-768.
- [14] 徐长贵.陆相断陷盆地源-汇时空耦合控砂原理:基本思想、概念体系及控砂模式[J].中国海上油气,2013,25(4):1-21.
- [15] 代黎明,徐长贵,王清斌,等.石白坨凸起西部陡坡带古物源差异演化模式及其对储层的控制作用[J].中国海上油气,2017,29(4):51-59.
- [16] 王友净,宋新民,何鲁平,等.高台堡深层低阻油层的地质成因[J].石油学报,2010,31(3):426-431.
- [17] 张艳红,赵其磊,席天德,等.濮城地区深层低电阻率油层形成机理与识别[J].石油勘探与开发,2004,31(4):93-95.
- [18] 赵军,宋帆.塔里木盆地低电阻率油层成因与评价[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(3):317-322.
- [19] 郑维才,陈为贞,高聚同,等.孤东油田北部地区低阻油层研究与挖潜[J].油气地质与采收率,2007,14(4):45-47.
- [20] 杨娇,陆嫣,刘伟新,等.珠江口盆地W油田低阻油层特殊成因机理[J].中国海上油气,2014,26(4):41-45.

DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE LOW-RESISTANCE OIL RESERVOIRS OF THE GUANTAO FORMATION IN THE BOHAI SEA AND THEIR CONTROL FACTORS: A PERSPECTIVE OF QHD OILFIELD

JIN Baoqiang, CHEN Jianbo, SHU Xiao, ZHOU Junliang, DENG Meng

(Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: A comprehensive study is made in this paper on the lithology and depositional characteristics of the low-resistivity oil reservoirs of the Guanxi section of Guantao Formation, based upon the seismic, logging, and coring data and laboratory testing data collected from the QHD oil field of the Bohai Sea. The reservoirs in the Guanxi section is dominated by lithic feldspathic sandstone and feldspathic lithic-sandstone, consisting of subangular and sub-rounded sand deposits with gravels in an ordered sequence from medium-sized cross bedding, trough-shaped cross bedding, plate-shaped cross bedding, wavy cross bedding, to horizontal bedding from bottom to top. The mudstone is mainly variegated, which also indicates a shallow water environment under weak oxidation-weak reduction and/or oxidizing environment. In general, the low-resistivity reservoir suggests a weak hydrodynamic environment, dominated by such microfacies as braided channels, mid-channel bars, flood plain and small gullies. The integrated study suggests that sedimentary environment, diagenesis and micro-clay minerals are the reasons which caused the poor physical properties of the reservoirs and the complicated pore structure, which made up the high water saturation of the Guan Xi section is also a major factor for the formation of the low-resistance oil reservoirs.

Key words: Bohai Sea area; low-resistance oil layer; Guanxi section; reservoir petrology; sedimentary microfacies; bound water saturation