

哈德逊油田HD4井区东河砂岩储层特征

邹江海, 郭波, 巫旭狄, 吴杰

油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都理工大学, 四川 成都
Email: 1924385693@qq.com

收稿日期: 2021年7月12日; 录用日期: 2021年8月26日; 发布日期: 2021年9月6日

摘要

HDD油田4井区位于哈得逊油田西南部, 由于多年的勘探开发, 区块内已经做了很多研究工作, 但是随着开采进度的进行, 目前区块内属于高含水阶段, 储层受非均质性的影响较为严重, 随着开采进度的不断推进, 新的问题也在不断出现。为了进一步实现高产, 还需对储层特征进行更为深入的研究。结合岩心、常规物性分析实验数据、测井等资料, 对区块岩性、物性、非均质性展开研究, 制定了储层综合评价标准, 分析得出HD-4井属于中孔、中高渗I类储层, 储集能力好, 整体在纵向上非均质程度比较严重。识别出该区域把隔夹层分为两类: 一是非渗透性夹层, 包括泥质夹层以及钙质夹层; 二是渗透性夹层, 研究区内大多数是致密砂岩夹层。

关键词

HD4井区, 东河砂岩, 储层特征

Reservoir Characteristics of Donghe Sandstone in Well HD4 of Hudson Oilfield

Jianghai Zou, Bo Guo, Xudi Wu, Jie Wu

State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: 1924385693@qq.com

Received: Jul. 12th, 2021; accepted: Aug. 26th, 2021; published: Sep. 6th, 2021

Abstract

4 wellblock HDD oilfield is located in the southwestern Hudson oilfield, due to many years of exploration and development, a lot of research work has been done in blocks, but with the progress of the mining, within the current block belongs to the high water cut stage, the affection by the heterogeneity of the reservoir is relatively serious, with the advancement of mining progress, new problems appear constantly. In order to achieve higher production, further research on reservoir characteristics is needed. Combining the core, conventional physical property analysis experimental data, well logging and other data, the lithology, physical property and heterogeneity of the block were studied, and the comprehensive evaluation standard of the reservoir was formulated. The analysis concluded that Well HD-4 belongs to the medium-porosity, medium-high permeability I type reservoir, with good reservoir capacity, and the overall degree of vertical heterogeneity is more serious. This region can be divided into two categories: one is non-permeable intercalation, including argillaceous intercalation and calcareous intercalation; the second is permeable intercalation, most of which are tight sandstone intercalation.

Keywords

HD4 Well Area, Donghe Sandstone, Reservoir Characteristics

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

目前,我国石油天然气勘探和开发难度越来越大,油气资源的埋藏较深,油气勘探面对的含油气储层越来越复杂,采收率普遍较低。因此,对研究区油气田进行储层描述和综合评价是非常有意义的。前人针对砂岩储层特征的研究涵盖面比较广[1],主要是通过一些测井资料和常规物性分析实验对储层的各项基本特征(主要包括构造特征、沉积特征、砂体展布特征、岩石学特征、孔隙结构、物性特征和储集层四性关系等)进行全面准确地描述[2]-[8];大致分为储层内幕关系研究、储集层的综合评价和层内、层间、

平面非均质性研究[9]。早期储层研究以对储层沉积类型及非均质性描述为主要内容，建立相应的储层分布模式[10]。大多数油田开发进入中后期，都会出现高含水的现象，开采难度逐渐加大，此时研究储层的特征，内部砂体结构以提高采收率逐渐引起人们的重视。研究一般是通过静态地质资料和动态生产响应相结合，这就要涉及到储层流动单元的概念[11][12][13][14][15]，深入研究油水运动情况，明确隔夹层的成因和特征[16]-[21]，为注水开发设计及如何提高采收率提供较为完整的地质依据。本文主要是在常规物性分析的基础上，研究储层四性关系、展开地层对比、非均质性研究以及隔夹层渗流屏障的识别，明确东河砂岩的储层内部特征。

2. 研究区地质概况

HDD 油田位于塔里木盆地满加尔凹陷的哈得逊构造带(图 1)。表现为东北-西南方向扩展，是一个受低幅度背斜和东河砂岩尖灭线控制的复合型油藏，构造具有近南北分带特征[22]。哈得逊地区东河砂岩下部与下伏志留系的地层超覆接触，上部被上覆层(砾岩层)剥蚀。构造带在海西的中晚期开始孕育，最终在喜山期定型。东河砂岩油藏层具有厚度薄、储量超深、构造幅度低、含油面积大的特点，由地层和构造双重要素控制。本文研究区 HDD4 井区位于哈得逊油田西南区块，目的层段是石炭系巴楚组东河砂岩段，研究区东河砂岩段平均厚度 22.99 m，以岩屑石英砂岩和细粒石英砂岩为主。结构成熟度及成份成熟度均较高，为滨岸相的无障碍海滩砂沉积[17]。

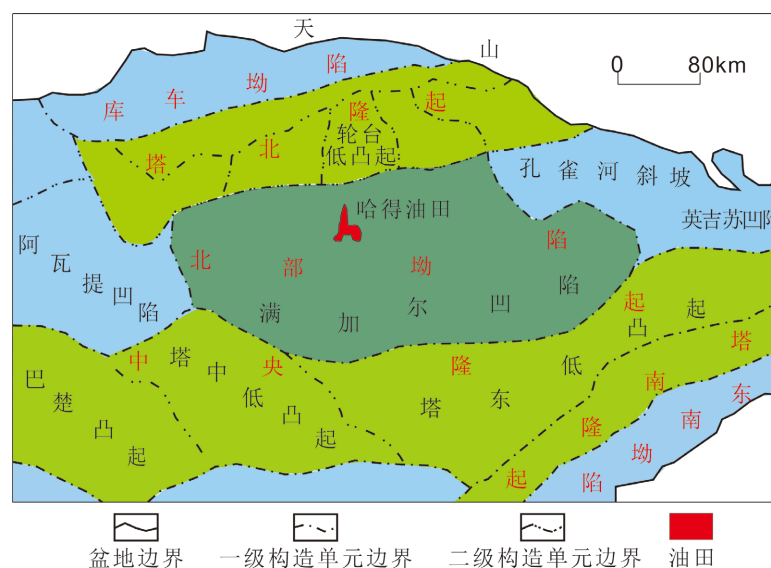


Figure 1. Tectonic location map of Hudson Oilfield [22]

图 1. 哈得逊油田构造位置图[22]

3. 地层特征

该研究区处在 HDD 油田西南部，钻遇东河砂岩厚度为 16.45~29.16 m，平均厚度 22.99 m，东河砂岩顶部为削蚀不整合面，底部为上超不整合面(图 2)。这个区域内东河砂岩段北部 HD4-89-1X 井处较厚，整体上有自西向东、自北向南逐渐变薄的特点(图 3)。从取芯井资料可以看出，研究区内目的层段主要呈灰色，饱含油的岩心呈现黑色，部分是绿灰色以及黄褐色(可见黑色光亮黄铁矿)。泥质夹层较多，颜色以灰绿色为主，表明沉积环境为弱还原环境，而且未被暴露，在目的层段的底部与志留系不整合接触可见灰褐色砂岩，反映了弱氧化环境。



Figure 2. Unconformity (left: top erosion unconformity; right: bottom top super-unconformity)
图 2. 不整合面(左: 顶部削蚀不整合面, 右: 底部上超不整合面)

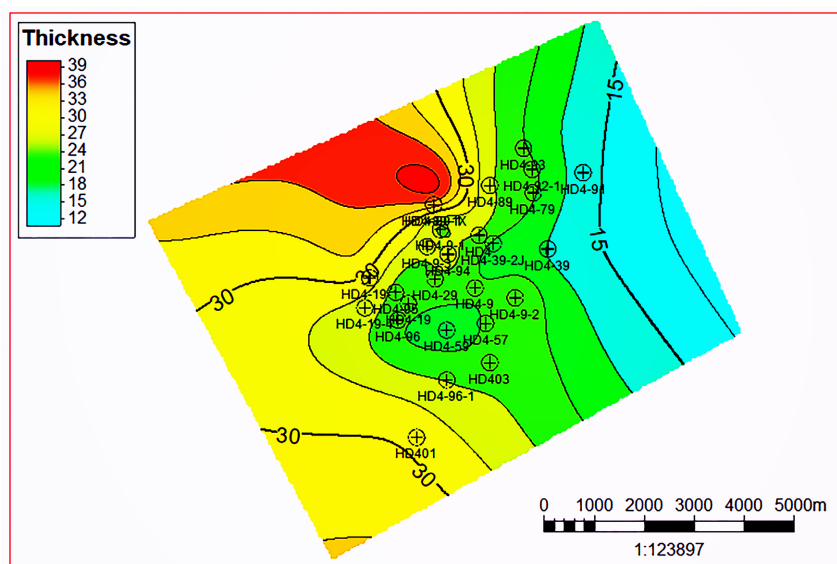


Figure 3. Thickness map of Donghe sandstone in well HD4 area
图 3. HD4 井区东河砂岩厚度图

储层的划分和对比也是油气开发中及其重要的一项工作, 特别是油藏开采后期高含水阶段, 划分结果的合理性和精确度直接影响到了油藏的注水开采结果。依据岩心、露头以及测井资料, 对研究区东河砂岩段小层进行了精细划分。HDD4 东河砂岩段以顶部不整合面和下部不整合面为界面, 为一套平均厚度约为 22.99 米左右的沉积砂体(图 3)。如图 4, 是研究区一条始于 HD401, 止与 HD4-39-2J 的一条对比剖面, 从图中可以看出, HDD4 东河砂岩段顶部有一段角砾岩, 整套东河砂岩可以从高分辨率电导率曲线和自然伽马曲线上识别出 12 个小层, 总体自西向东逐渐尖灭, 砂体有变薄的趋势, 特定反映滨岸沉积过程中, 离海较远的沙丘等受风化剥蚀作用较为明显, 这样验证了靠近剥蚀区石英含量逐渐降低。

4. 储层特征

4.1. 岩性特征

研究区内东河砂岩段岩石类型主要是岩屑石英砂岩和细粒石英砂岩, 碎屑成分中石英含量很高, 而长石和岩屑的较少, 从剥蚀区向海方向, 石英的含量逐渐增加, 越靠近剥蚀区, 石英含量越底, 越不稳定。(图 5); 岩性主要是细、不等粒碎屑长石砂岩, 磨圆、分选较好, 颗粒之间主要是点接触; 砂岩中填隙物类型主要是泥质和胶结物中的方解石、碳酸盐等, 填隙物含量增加会使岩性非均性增强; 粘土矿物主要以伊利石和高岭石为主, 蒙皂石含量极低, 这对油藏是否能够水驱开采尤其重要(图 6)。

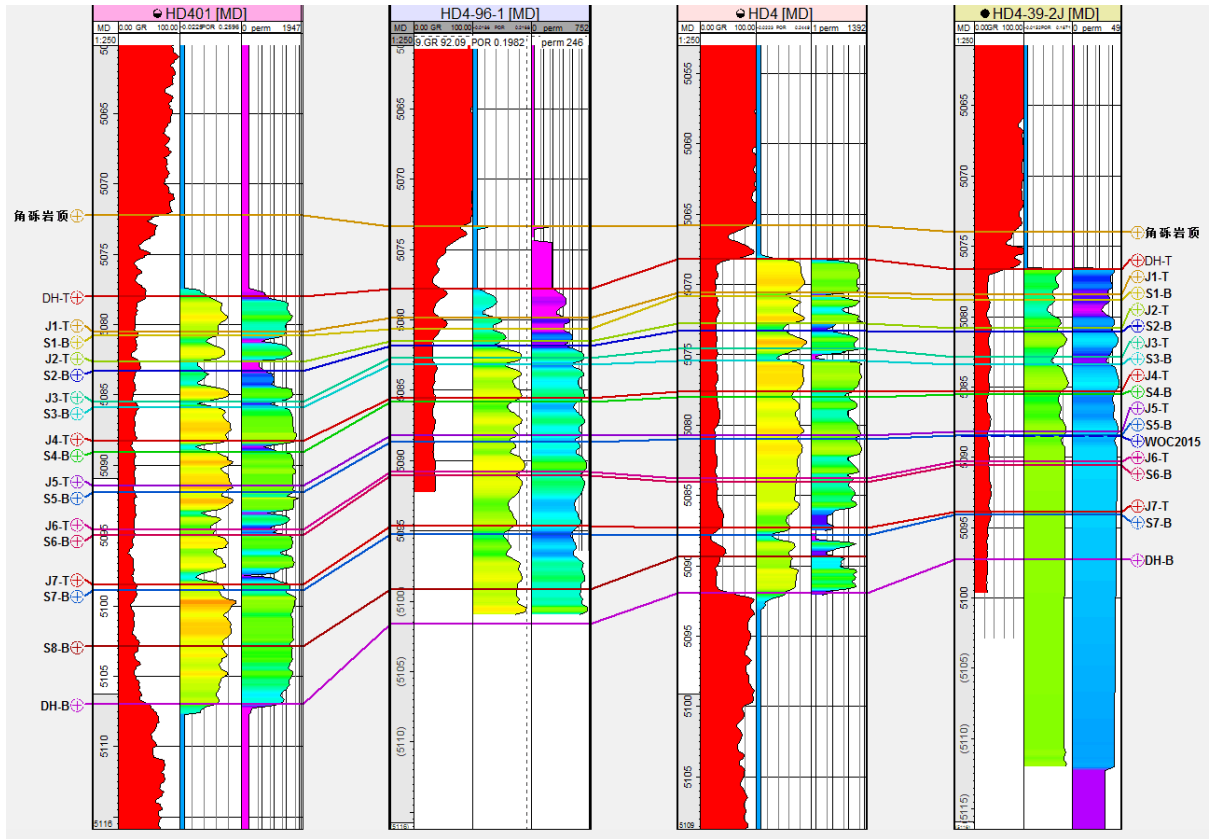


Figure 4. HDD4 well area connecting section
图 4. HDD4 井区连井剖面图

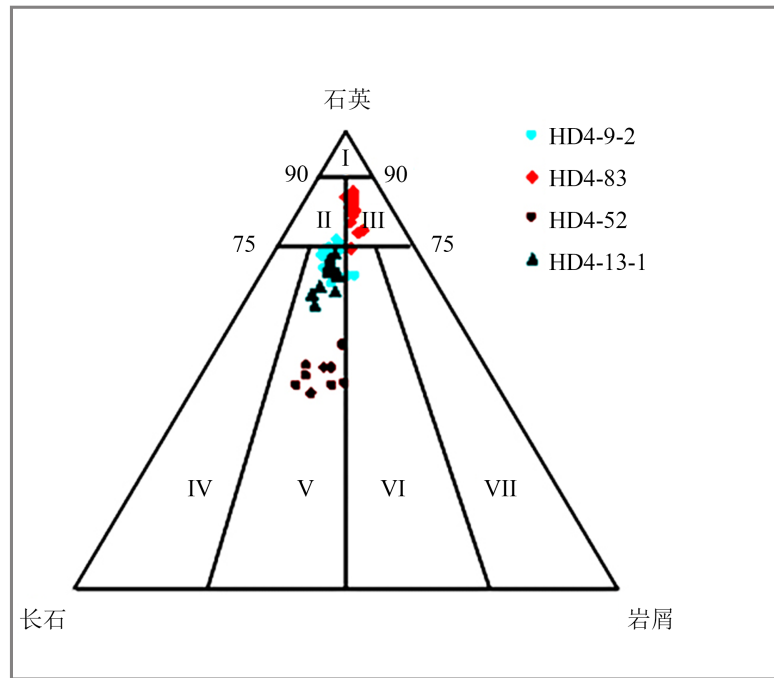


Figure 5. Lithologic triangle diagram
图 5. 岩性三角图

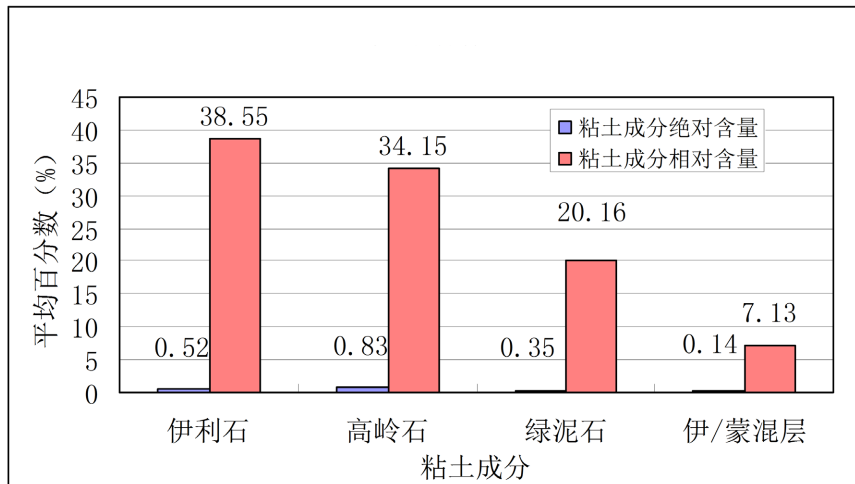


Figure 6. Distribution of clay minerals
图 6. 粘土矿物分布图

4.2. 电性特征

东河砂岩为一套比较厚的褐灰色、灰色细粒石英砂岩，具有较高的成分成熟度和分选性。东河砂岩段电性特性为自然电位曲线和自然伽马曲线，都呈现为微齿化箱状，砂岩与上部泥岩突变接触，粒度较为稳定，其值分别为 10~49 mV 和 18~107 API 之间。电阻率曲线自下而上逐渐增大。声波时差曲线为波形，值在 54~75 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 之间。图 7 为 HD4 井东河砂岩段测井解释图。

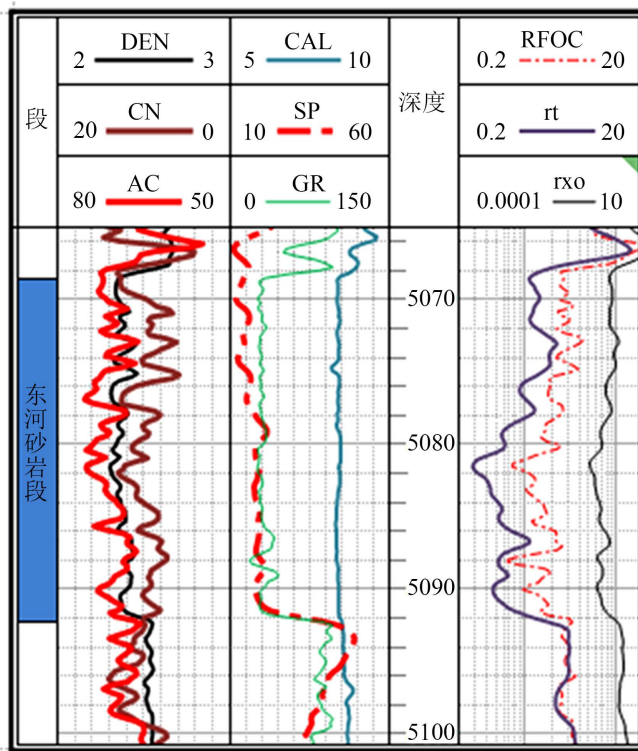


Figure 7. Well HD4 logs in section 5065~5130 m
图 7. HD4 井 5065~5130 m 段测井曲线

4.3. 含油气性特征

由本研究区典型井岩心样本含油性统计结果可知，含油级别种类多，如图 8，含油和油浸级别的百分含量最高。说明本研究区含油性较好。

碎屑岩储层不同于其它岩性储层，东河砂岩段储层含油性变化受到岩性粒度的约束很大。根据岩心资料分析岩性与含油性的关系，不同的岩性其含油量有所不同，在哈得逊东河砂岩的各类岩石中，粗粒岩含量较少，其含油级别可见含油和油浸，含油性较高；细粒砂岩的分布显示最广，含油含量最高，中砂岩和细砂岩的含油性明显好于粉砂岩和泥质粉砂岩，总体上来说，一般都呈现粒度越大，含油性越好的规律(图 9)。

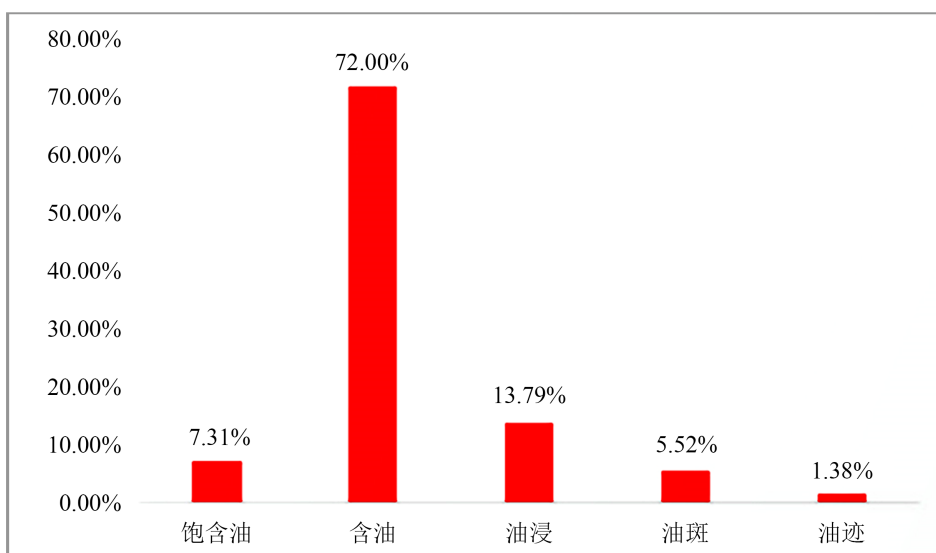


Figure 8. Oil level distribution in the study area

图 8. 研究区含油级别分布图

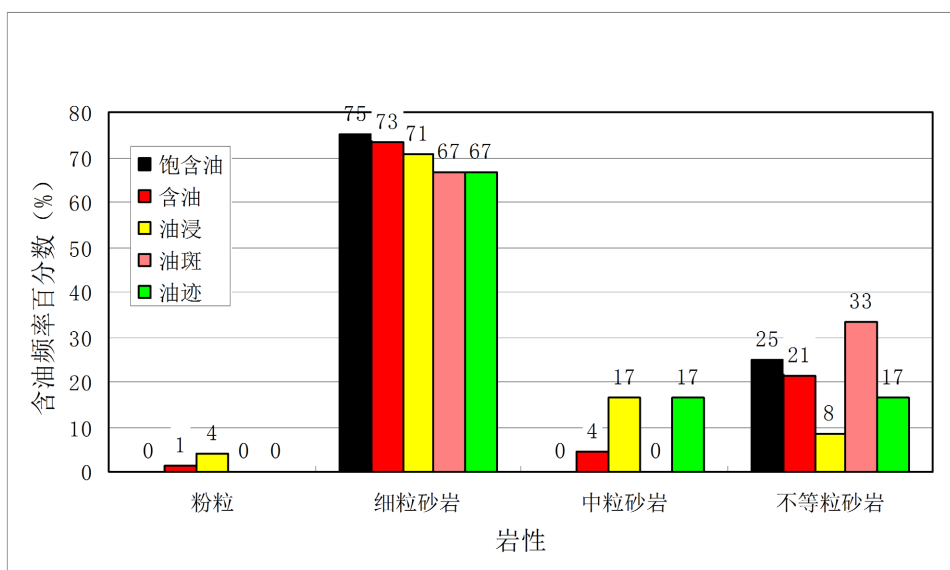


Figure 9. Oil-bearing ratio of different lithologies in Donghe sandstone member

图 9. 东河砂岩段不同岩性含油比显示图

4.4. 物性特征

根据研究区内岩心常规物性分析实验,可以得出,储层孔隙度分布范围为 3.85%~24.32%,平均为 14.09%,孔隙度 15%~20%占比最大,为 44.46%,大于 15%的为 56.31%。分析图 10 孔隙度剖面图,可知研究区内井区储层层段基本水平,仅有轻微浮动,几个典型井的孔隙度都比较高,处在 15%~20%区间的颜色最多,以中孔为主。

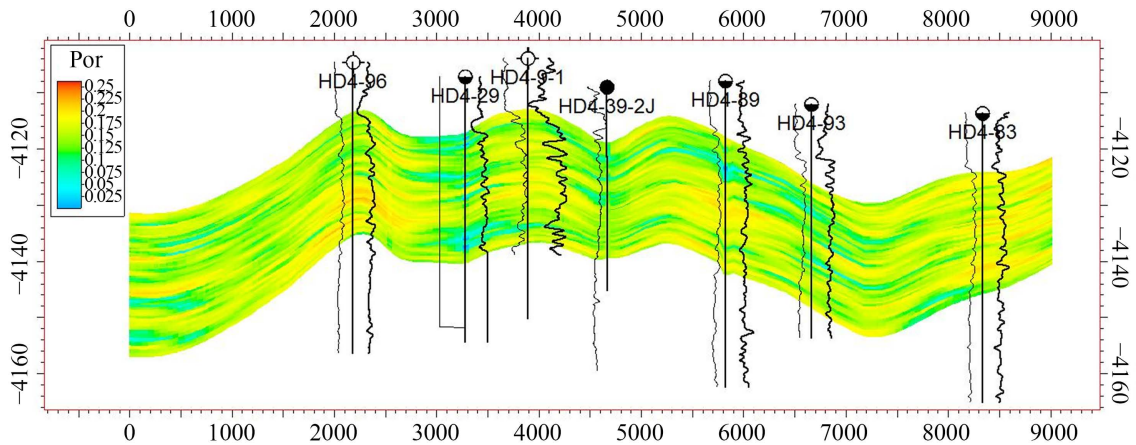


Figure 10. Porosity profile
图 10. 孔隙度剖面图

针对研究区的常规物性分析实验结果得出,渗透率主要为大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,占比 50.58%。平均渗透率为 $238.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 11),样品中孔隙度大于 10%的占 87.93%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 12.07%,中孔、中高渗储层占总储层的 44.07%以上,东河砂岩储层物性以中孔、中高渗为主。

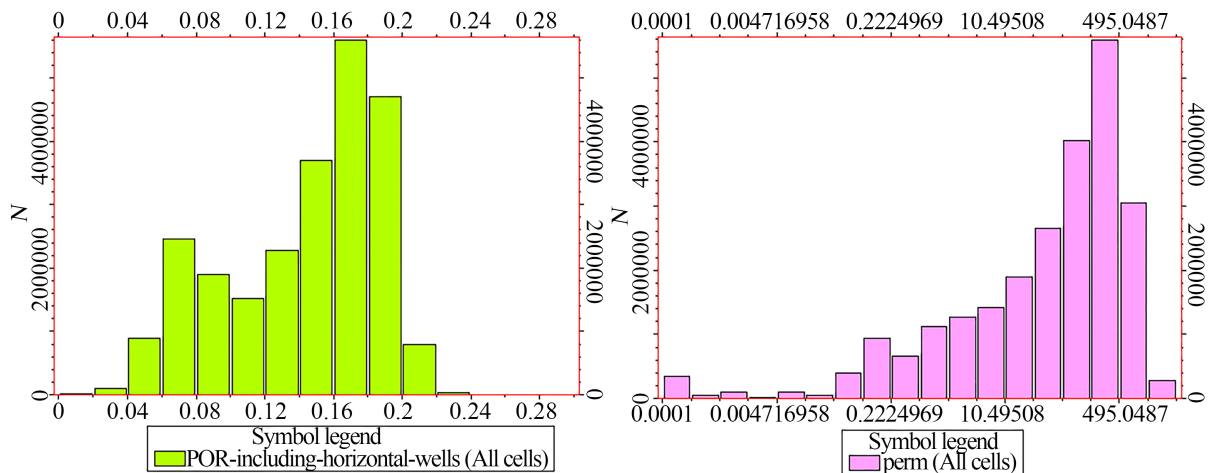


Figure 11. Porosity (left) and permeability (right)
图 11. 孔隙度(左)和渗透率(右)渗透率分布图

从研究区东河砂岩段孔渗交会图上面可以看出,孔隙度和渗透率呈现正相关,双相关系数 0.5952 (图 12),研究表明,储集层的渗流空间和储集空间以孔隙、吼道为主。哈得 4 井区孔渗分布较为集中,从图中可以看出,研究区的孔隙度与渗透率变化范围比较大,但主要集中在 15%~20%和大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,

趋势线显示两者呈指数相关，相关性较好，其中有一条靠近渗透率坐标轴的几近直线的数据为统计误差，表明储层为中孔中、高渗型气藏，是一套质量比较好的储层。

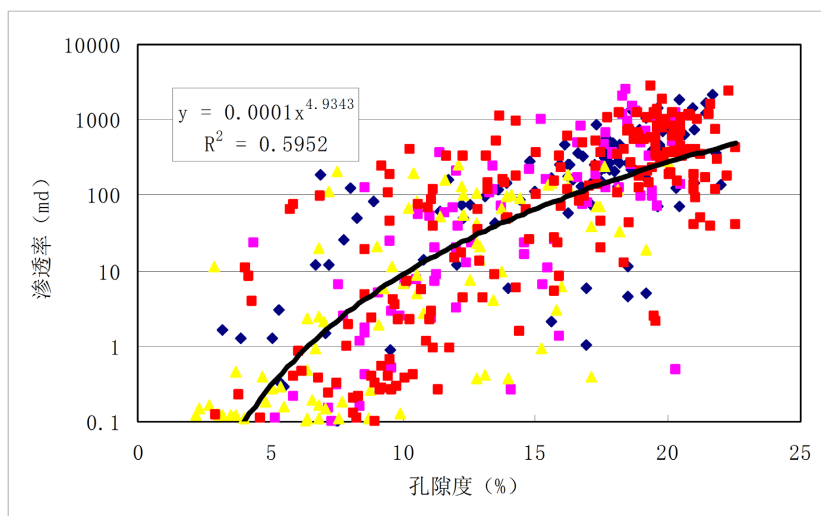


Figure 12. Cross-plot of porosity and permeability of Donghe sandstone member in well HD4 area
图 12. HD4 井区东河砂岩段孔渗交会图

岩性影响物性的好坏主要表现在岩石类型和粒度两个方面，东河砂岩段石英砂岩分选较好、磨圆度好，孔、渗也相对比较好，随着粒度由粉到粗的变化，可以看出孔隙度和渗透率的值也变大(图 13)，其次储层中岩屑的含量、压实作用、杂基和填隙物填充以及非均质性的影响，都会使导致储层孔隙度和渗透率值降低，物性变差。

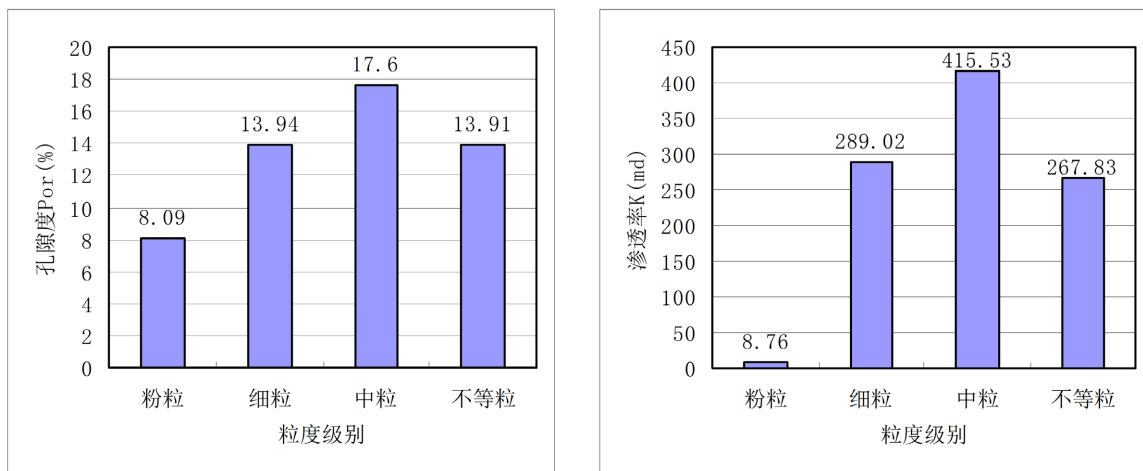


Figure 13. Lithology and pore-permeability distribution map of Donghe sandstone member
图 13. 东河砂岩段岩性与孔渗关系分布图

4.5. 非均质性研究

研究根据 HD-4 井的资料分析，计算出了各个渗透率参数，对非均质程度进行了综合评价。结果如下表 1。从表中我们不难看出 HD4 井上东河砂岩段除了第 1、6 小层，其他小层都有单砂层都有比较大的

V_k 变异系数值, 比如 S3-4、S4-1、S5-1、S5-2、S6-1, 突进系数 T_k 比较大的是 S2-4、S3-4、S4-1, 极差 K_j 比较大的是 S1-4、S2-1、S2-3、S2-4、S3-4, 均质系数 K_p 值小的是 S3-4、S4-1, 综合比较几个参数, HD4 井区层内非均质性比较强的单砂层是 S2-1、S2-4、S3-1、S3-4、S4-1, 得出 HD-4 井上东河砂岩段层内渗透率非均质程度比较强, 根据以上研究, 研究区纵向上岩性、物性非均质程度较强。

Table 1. Statistical table of permeability heterogeneity parameters of single sand layer in Shangdonghe sandstone member of well HD4 area

表 1. HD4 井区上东河砂岩段单砂层渗透率非均质参数统计表

小层	单砂层	变异系数 V_k	突进系数 T_k	级差 K_j	均质系数 K_p	非均质性程度
1	S1-1	0.46	1.75	3.92	0.57	弱
	S1-2	0.52	1.44	5.24	0.70	弱
	S1-3	0.56	1.77	6.65	0.57	弱
	S1-4	0.58	1.43	1106.90	0.70	弱
2	S2-1	0.65	1.86	1378.05	0.65	强
	S2-2	0.6	1.82	201.22	0.60	中
	S2-3	0.70	2.08	4717.74	0.48	中
	S2-4	1.39	3.31	4915.97	0.30	强
3	S3-1	0.77	2.14	138.01	0.47	强
	S3-2	0.54	1.54	16.21	0.65	弱
	S3-3	0.83	2.37	41.14	0.42	中
	S3-4	1.19	3.59	3272.73	0.28	强
4	S4-1	1.83	4.65	759.04	0.22	强
	S4-2	0.35	1.45	2.78	0.69	弱
	S4-3	0.28	1.25	1.66	0.80	弱
	S4-4	0.5	1.76	3.93	0.57	中

5. 隔夹层描述

据研究区目的层段隔夹层的岩性和物性特点, 分了两类隔夹层: 一种是非渗透性夹层, 涵盖泥质和钙质夹层; 还有一种是渗透性夹层, 基本是致密砂岩夹层。如图 14, 从岩芯上可以看到, 研究区东河砂岩段有大量的发白隔夹层, 与盐酸试剂产生大量气泡, 为钙质隔夹层, 岩性致密, 受到沉积和成岩作用的影响, 该类隔夹层起到了很好的隔挡作用。另一类隔夹层为泥质夹层, 颜色主要为灰色和灰绿色, 虽然在研究区这类隔夹层的分布较少, 但是却是相当致密的渗流屏障, 主要是以沉积作用为主产生。而其它一些具有一定的渗透率, 但是渗透率极低的夹层, 具有一定的渗流作用, 并不是严格意义上的夹层。



Figure 14. HD4 well isolation and interlayer types

图 14. HD4 井隔夹层类型

6. 结论

对哈德逊油田 HD4 井区东河砂岩储层进行常规物性分析实验、测井识别等研究, 得出结论:

1) HDD4 东河砂岩段顶部有一段角砾岩, 整套东河砂岩可以从高分辨率电导率曲线和自然伽马曲线上面识别出 12 个小层, 总体自西向东逐渐尖灭, 砂体有变薄的趋势。

2) HD-4 井属于中孔、中高渗 I 类储层, 储集能力好, 整体在纵向上非均质程度比较严重。

3) HD4 区块隔夹层分为两类: 一是非渗透性夹层, 包括泥质夹层、钙质夹层(较多); 二是渗透性夹层, 主要为致密砂岩夹层。

参考文献

- [1] 宁松华, 秦刚, 杨广广, 王红岩, 张明, 罗琛. 塔中 K1 区块石炭系储层特征分析[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(7): 54-57.
- [2] Allen, J.R.L. (1978) Studies in Fluvial Sedimentation: An Exploratory Quantitative Model for the Architecture of Avulsion-Controlled Suites. *Sedimentary Geology*, **21**, 129-147. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(78\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0037-0738(78)90002-7)
- [3] 陈金先. 哈得逊油田石炭系东河砂岩油藏地质特征[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(4): 96-97.
- [4] 顾家裕, 张兴阳, 郭彬程. 塔里木盆地东河砂岩沉积和储层特征及综合分析[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 285-294.
- [5] 龙一慧, 杨斌, 齐洋, 朱冉, 吴碧波. 塔里木盆地 DX 油田东河砂岩储层四性关系研究[J]. 广东石油化工学院学报, 2015, 25(4): 13-17.
- [6] 龙一慧. HDD 油田 4-8 井区储层精细描述研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [7] 喻璐. 塔中地区东河砂岩储层特征及分布[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [8] 周爽. 哈得逊油田东河砂岩段储层特征及优势通道分布研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2017
- [9] 杨少春. 储层非均质性定量研究的新方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 53-56.
- [10] 于翠玲, 林承焰. 储层非均质性研究进展[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4):15-18, 22.
- [11] 王志章, 何刚. 储层流动单元划分方法与应用[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 362-366.
- [12] 岳大力, 吴胜和, 林承焰. 碎屑岩储层流动单元研究进展[J]. 中国科技论文在线, 2008, 3(11): 810-818.
- [13] 陈欢庆, 胡永乐, 闫林, 童敏. 储层流动单元研究进展[J]. 地球学报, 2010, 31(6): 875-884.
- [14] 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16-18, 43.
- [15] 李国永, 徐怀民, 刘晓兵, 昌伦杰, 牛玉杰. 哈得逊地区东河砂岩沉积微相特征及其对流动单元的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(5): 34-37.
- [16] 徐寅, 徐怀民, 郭春涛, 牛玉杰, 昌伦杰, 韩涛. 隔夹层成因、特征及其对油田开发的影响——以塔中地区海相砂岩储层为例[J]. 科技导报, 2012(15): 17-21.
- [17] 赵洪, 罗晓容, 肖中尧, 张宝收, 赵风云, 雷裕红, 等. 塔里木盆地哈得逊油田东河砂岩隔夹层特征及其石油地质意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(6): 824-833.
- [18] 刘睿, 姜汉桥, 刘同敬, 陈民锋. 夹层对厚油层采收率影响研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(4): 103-106.
- [19] 林承焰, 侯连华, 董春梅, 刘泽容, 信荃麟, 黄金柱. 辽河西部凹陷沙三段浊积岩储层中钙质夹层研究[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 72-80.
- [20] Schumm, S.A. (1993) River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraphy. *The Journal of Geology*, **101**, 279-294. <https://doi.org/10.1086/648221>
- [21] 王招明, 王清华, 孙丽霞, 李宇平, 李文华. 东河砂岩钙结成岩作用的主要特征[J]. 地质科学, 2004, 39(4): 517-522.
- [22] 张水昌, 张斌, 杨海军, 朱光有, 苏劲, 王晓梅. 塔里木盆地喜马拉雅晚期油气藏调整与改造[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 668-680.