

Distribution Characteristics and Formation Mechanism of Effective Sand Bodies in Tight Sandstone Gas Reservoirs in Western Sichuan

Qiyang Wang, Yan Zhang

Exploration & Production Institute of Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu Sichuan
Email: 362789139@qq.com

Received: Oct. 9th, 2018; accepted: Oct. 24th, 2018; published: Oct. 31st, 2018

Abstract

Design of development strata, well pattern and path are based on the distribution and superposition of effective sandbody. Therefore, the geometric parameters, such as the length-width ratio, width-thickness ratio and drilling rate, are used for the study of sandbody shapes. The development, scale and gas-bearing properties of effective sandbody are analyzed by the NTG (net to gross), effective thickness and storage coefficient. Meanwhile, the mechanism of effective sandbody is defined combined with sedimentation and diagenesis analysis. The effective sandbody in the study area is blanket shaped, thick and distributed laterally; sand layers in high overlapped are formed by the sedimentary environment and reformed by diagenesis processes. The effective sandbody that deposits in distributary channel of delta plain vary in particle size, composition, is controlled by the microfacies and improved by dissolution in reservoir property. To implement the distribution and genesis of the effective sandbody is the basis for well location, efficient evaluation and development of gas reservoir in this area.

Keywords

Delta Plain Distributary Channel, Sand Body Drilling Rate, Energy Storage Coefficient, Densification

川西致密砂岩气藏有效砂体分布特征与形成机理

王启颖, 张 岩

中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川 成都

Email: 362789139@qq.com

收稿日期: 2018年10月9日; 录用日期: 2018年10月24日; 发布日期: 2018年10月31日

摘要

有效砂体的横向展布、纵向叠置特征是开发层系、开发井型、井网设计的重要依据, 为此, 利用砂体长宽比、宽厚比及钻遇率研究砂体的几何形态, 利用有效厚度、有效厚度与砂厚比值以及储能系数解剖有效砂体的发育程度、规模及含气性, 结合沉积、成岩作用分析, 明确有效砂体的形成机理。认为研究区有效砂体呈毯状分布, 厚度较大且横向展布稳定, 各小层砂体纵向叠置程度高, 有效砂体的形成受其沉积环境的控制和成岩作用的改造, 该区属三角洲平原分流河道沉积, 沉积微相控制岩石粒度大小、成份及分布, 溶蚀作用改善致密化岩石, 改善了储集和渗流能力, 最终形成有效砂体。落实有效砂体分布及成因是该区井位部署、高效评价与开发的基础。

关键词

三角洲平原分流河道, 砂体钻遇率, 储能系数, 致密化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 气藏概况

川西地区 A 气田 JS 气藏为一近东西向的平缓鼻状构造, 埋深 2100~2800 米; 纵向上 4 套气层叠置, 单砂体厚度 5~30 米; 储层致密, 平均孔隙度 9.7%, 平均渗透率 0.012 mD; 储层含水饱和度高达 55%, 储量丰度低, 介于 $2\sim 3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 产能低为 0.1~1.0 万方/天, 地压系数高达 1.92。

川西坳陷致密砂岩气藏近 30 年的开发实践证明, 不同的砂体分布形态具有不同开发技术对策[1]。多层叠置毯状致密砂岩气藏砂体横向展布稳定, 纵向叠置程度高, 采用直井分层压裂多层合采、水平井加砂压裂的方式开发; 多层叠置条带状致密砂岩气藏砂体规模小、厚度薄, 采用多层合采与层间上返挖潜的方式开发; 砂泥薄互层毯状致密砂岩气藏纵向上多个薄砂体交互叠置状, 采用滚动部署、多层合采及转层挖潜的方式开发[2]。由此可见, 搞清砂体形态和分布特点是认识其开采方式的第一步。本文以川西地区某典型致密砂岩气藏 A 气田 JS 组气藏为研究对象, 采用砂体的长宽比、宽厚比和砂体钻遇率等参数刻画砂体形态及连通性; 利用砂体有效厚度、有效厚度与砂厚比值以及储能系数等分析有效砂体的发育程度、规模及含气性; 综合沉积、成岩作用明确有效砂体的形成机理, 为同类气藏砂体的评价、描述及开发对策制定提供参考。

2. 有效砂体的分布特征

川西地区 JS 组气藏砂体主要分布在三角洲平原分流河道和三角洲前缘河口坝中。各时期物源方向变化和同一时期不同区域的沉积环境差异导致砂体在纵、横向上分布规律的不同。A 气田 JS 组气藏沉积微相主要为强烈的进积型分流河道砂坝、分流河道侧积、少量的河心滩及决口河道、天然堤, 强烈进积型

分流河道分布一般较宽、砂岩粒度较粗、泥质含量低, 叠加式呈毯状分布、是形成有效砂体的主要沉积背景[3] [4]。

2.1. 砂体的形态及连通性

气藏砂体平面呈毯状分布, 面积大而稳定性强, 各小层砂体纵向呈层状分布, 属于典型整装层状气藏。纵向上发育4套砂体, 强烈进积和部分侧积分流河道砂坝和分流河道所形成的砂体平均宽度8.631 km, 平均宽度最宽的是JS24, JS21次之; 沿物源方向砂体平均长度12.75 km, 最长的JS24时期, 达16 km, 其次JS21达15 km。顶底两套砂体规模较大, 提高了气层之间的纵向叠合度。气藏砂体长宽比1.5:1, 近似于1:1, 形态近似于毯状; 砂体平均厚度19.2米, 宽厚比虽然未大于1 km, 但远远大于0.1 km, 平均达到0.45 km。砂体钻遇率平均达0.75, 最小者为JS22, 也有0.62, 说明砂体大面积连片分布。

2.2. 砂体的发育程度

气藏各层砂体厚度均较大, 厚度在15.74~23.6 m之间, 平均19.2 m。砂体最发育的是JS22层, 特别是该砂体沉积时期, 东部不同期次分流河道侧积现象十分明显, 形成JS22-1、JS22-2两套侧积砂体, 单层厚度一般都在25米左右, 纵向叠加在一起砂体累计达40~50米, 为优质储层的形成奠定了物质基础[5]。

在砂厚分布直方图(图1)中可以看到15~30米为主峰值区间, 45%井层厚度 > 20米, 4个砂组砂体发育程度也存在差异。JS24、JS21 钻遇大于10米砂体的比例高达94.8%、91.1%, JS22、JS23稍低一些。JS22砂体的宏观非均质性最强, 东侧两套砂组侧积叠加, 砂体十分发育, 厚度最大, 厚度达54.1米, 而西侧只有一个砂组沉积, 砂体变薄, 呈现东厚西薄的格局。

从砂体发育程度来看, 气藏砂体分布广, 厚度大且稳定, 适应于多种井网形式以及水平井、分支井和多层合采井开采[6]。

2.3. 有效砂体的规模

砂体以强烈的进积型和侧积沉积为主。多套砂体在空间叠加或侧向上相连, 形成面积广, 厚度较大的连通砂体。在此基础上经过多种成岩作用的改造, 特别是溶蚀作用的改造, 在致密化的砂体中形成了与砂体形态相似的有效砂体, 即有效储层[7] [8]。从图2可以看到: 有效砂体形态与砂体的形态及连续性、继承性, 即有效砂体的平面分布仍以JS21、JS24两层范围较大。JS22、JS23仍然相对偏小。这表明有效砂体受分流河道砂坝微相、分流河道侧积微相控制, 其规模有明显的继承性, 只不过规模比砂体规模稍小一些。

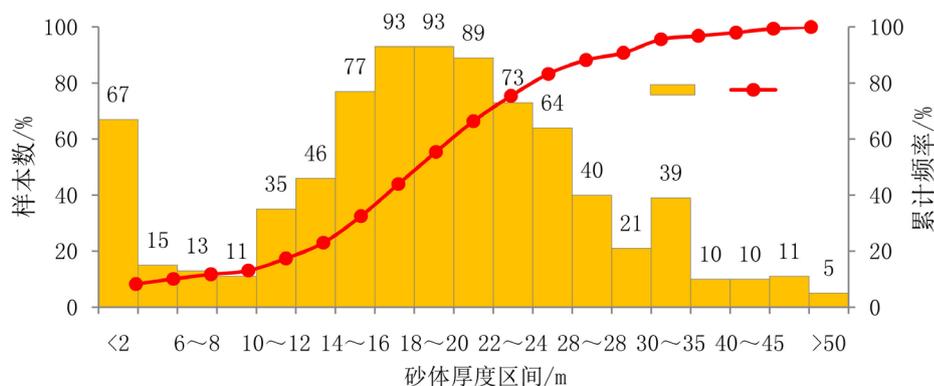


Figure 1. Histogram of sand thickness distribution

图1. 砂体厚度分布直方图

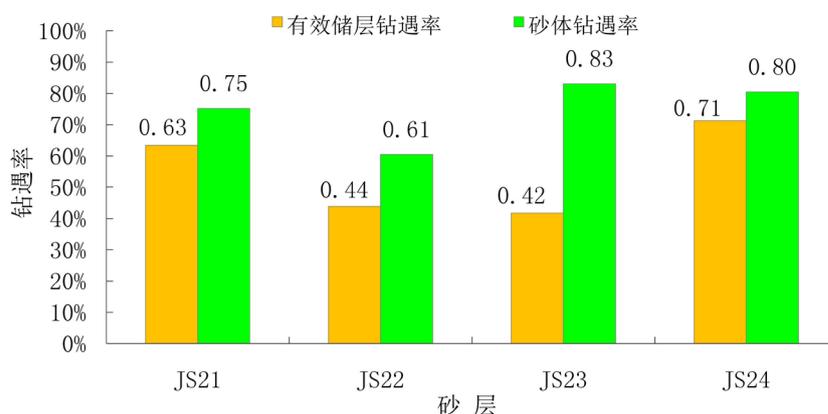


Figure 2. Comparison of drilling rate and effective drilling rate of sand bodies
图 2. 砂体钻遇率和有效储层钻遇率对比图

根据该气藏有效砂体的形态和连通性,判断其属于层状厚层整装气藏。四个砂组的纵向叠合度高达 97%,平均砂厚近 20 米,有足够的空间适应多种井网形式、多种产能接替方式、多种生产井型,尤其利于水平井、分支水平井开发[9]。

2.4. 有效砂体的含气性评价

有效厚度、有效厚度与砂厚比值、以及储能系数等参数均揭示该气藏有效砂体的含气性较好。从有效厚度及含气性统计看小层有效厚度平均值介于 8.47 米至 18.51 米之间,平均有效厚度 12.7 米。由图 3 可知:有效厚度峰值区间在 12~18 米,65%的井砂体有效厚度大于 10 米,这对水平井开发十分有利。

其中 JS22、JS24 为主力层,JS21、JS23 为非主力层。JS22 砂体最厚,含气性最高,有效厚度与砂厚比值达到 0.78,其次是 JS24 达到 0.70。而非主力气层 JS21 虽然砂体分布广,厚度大,含气性相对较好。从图 4 中可以看到各个小层含气性峰值都在 0.75~0.85 之间,整体上表现优质储层含气性特征[10]。

评价有效砂体的含气性另一重要参数是储能系数。储能系数分布比较宽,峰值区间从 0.1 到 1.1。其储层含气丰度普遍较高,但非均质性很强。当储能系数 ≤ 0.3 为难采储量。储能系数大于 0.3 的井层达 87.72%;储能系数 ≥ 0.5 的井层数 63%。说明该气藏优质储层的比例较高。

从纵向上来看仍然是 JS22 含气性最好,储能系数大于 1 的比例达 26%,大于 0.5 的比例 65%,其次是 JS24,较低的是 JS23 层,储能系数大于 0.5 的仅为 31% (图 5 和图 6)。开发实践表明储能系数愈大,储层的品位愈高,其气井产能和开发效果也愈好[11]。

3. 有效砂体的成因

该气藏为构造背景下的岩性气藏,这表明有效砂体的形成及分布特征,受其沉积环境的控制和成岩作用的共同改造[7]。有效储层的形成应为这样一种模式:沉积微相控制岩石粒度大小、成份及分布,在此基础上溶蚀作用改善致密化岩石,转化其孔渗性,最终生成有利储层。

从沉积对岩石类型的影响角度来讲,长石和岩屑稳定性较低。储层岩石类型以岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,且颗粒多数为中-细粒砂,表明是短距离搬运、快速沉积的产物。根据岩心统计,分流河道砂坝多发育中-细粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,分流河道侧积则多为中粒岩屑长石砂和长石岩屑砂,其它微相多发育粗粉砂和粉砂岩以及粉砂质泥岩[3]。分流河道砂坝和分流河道侧积之所以会形成有利储层微相,跟其沉积时期矿物、岩屑成份、颗粒大小以及搬运距离、堆积速度有关。颗粒越粗,越易形成相对高渗透性区域[1],越利于成岩作用后期产生扩颈溶蚀孔喉。

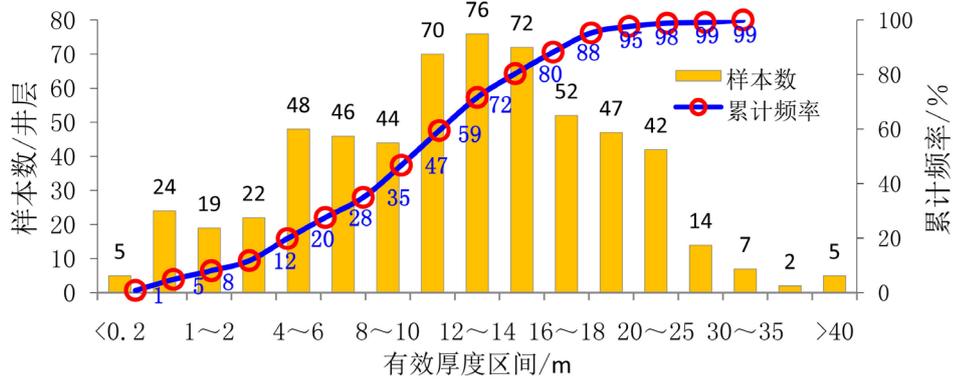


Figure 3. Frequency diagram of effective thickness distribution

图 3. 有效厚度分布频率图

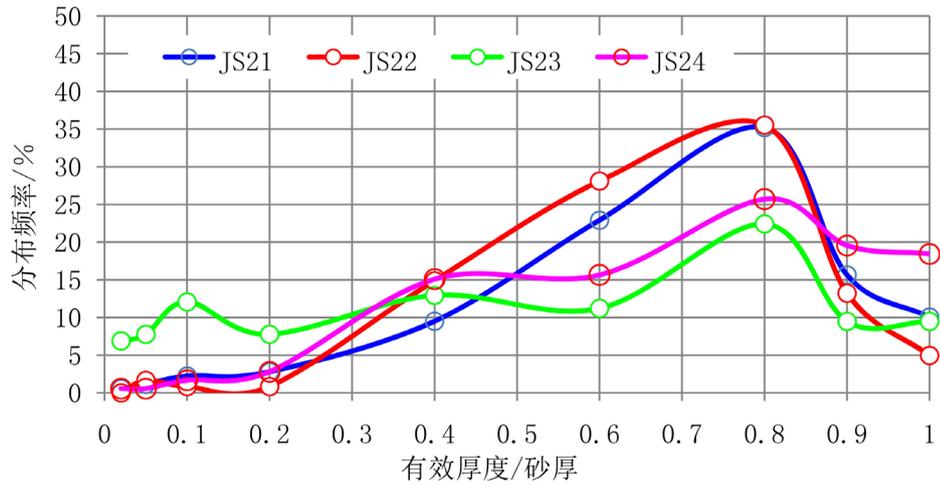


Figure 4. Frequency distribution of gas distribution in sand body

图 4. 有效砂体厚度/砂厚分布频率图

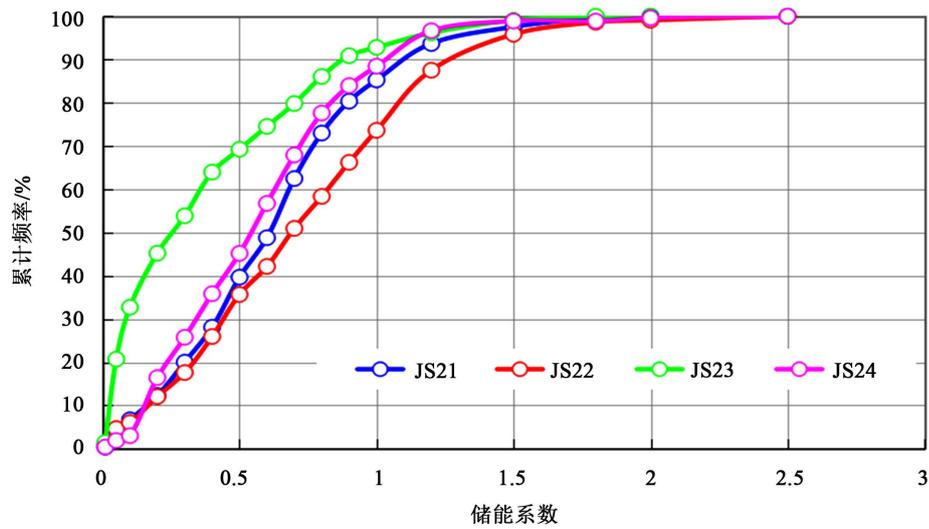


Figure 5. Cumulative distribution frequency diagram of storage coefficient of sand group

图 5. 砂组储能系数累计分布频率图

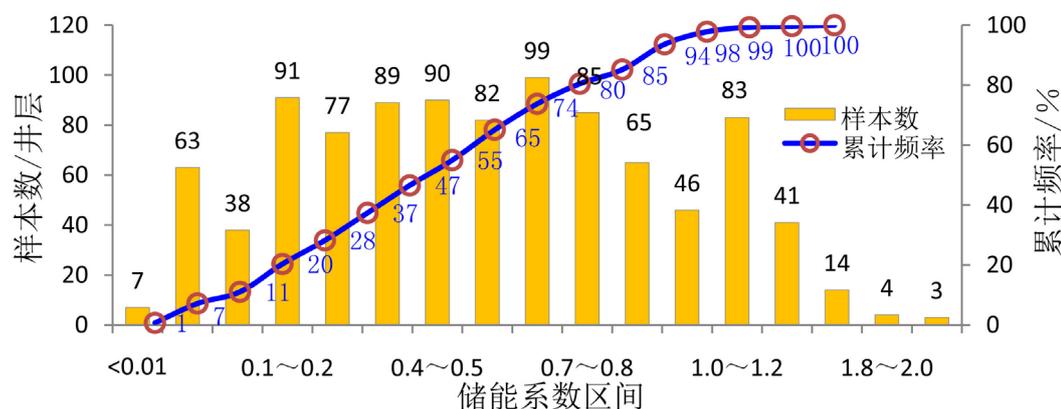


Figure 6. Cumulative distribution frequency diagram of gas reservoir energy storage coefficient
图 6. 气藏储能系数累计分布频率图

从图 7 和图 8 可知长石、岩屑含量对储层的孔渗影响较大。随着长石和岩屑含量增加, 其孔渗性增加, 说明岩石类型对物性有着明显的影响, 这与成岩作用分析认识是相符。气藏岩石以中-细粒长石岩屑砂岩, 岩屑长石砂岩为主, 长石稳定性低, 在成岩作用中易被溶蚀, 形成粒间、粒内溶孔; 同时该气藏岩屑成份以易溶蚀岩屑为主, 如凝灰岩、板岩、灰岩岩屑等, 易于形成碎屑颗粒的粒间溶蚀, 另外胶结物也是方解石为主, 易于形成晶间溶蚀孔, 次生孔喉发育, 具备雄厚的物质基础, 长石和岩屑含量越高, 越易产生次生溶孔[10]。

储层经历了一个超致密化的过程。成岩作用在储层的形成过程中起着至关重要的作用[10]。通过薄片观察分析认为该气藏储层岩石机械压实特征明显, 导致原生孔隙体积大部分丧失。成岩作用晚期的溶蚀作用对次生孔隙的形成起着积极的建设性作用。从镜下薄片观察到的溶蚀现象主要是长石颗粒内溶蚀, 也见部分方解石胶结物的晶内溶蚀以及碎屑颗粒的粒间溶蚀。这些溶蚀作用使得部分储层致密化岩石的孔渗得到改善或增加。

在成岩作用的晚期出现两种截然不同的溶蚀类型。一种为缩颈溶蚀: 在晚期形成的次生溶孔又被易溶物质以自生粘土或碳酸盐、硅质矿物的形式在孔喉中再一次沉淀, 造成孔喉进一步缩小, 结果岩石中发育大量连通性差、配位数低的孤立封闭孔隙, 使砂体的致密化更严重, 最终变为非储层[2]。另一种溶蚀作用很少有自生粘土或钙质在喉道狭窄处沉淀、充填, 溶蚀作用不仅产生了次生溶孔, 同时也起着扩大喉道作用, 称为扩颈溶蚀, 使孔隙之间连通性增强, 改善了致密岩石的渗透性。这种溶蚀作用有着特殊的成岩环境, 即有一定的渗透能力的区域, 为被溶蚀下来的物质迁移出创造条件, 这样的溶蚀作用才能增加孔隙、喉道的尺寸, 改善储层的储渗性, 在极致密的岩石背景下, 形成相对高渗透的储集带, 即有效储层。按照气藏有效储层下限值($\Phi \geq 8\%$, $k \geq 0.09 \text{ md}$), 对照图 9 和图 10 来评价其有效储层, 细粒石英砂、粉砂多半为非储层或差储层, 有效储层集中发育在分流河道砂坝和分流河道侧积两微相中[4]。

4. 结论

1) 从宽厚比、长宽比和钻遇率等参数可确定气藏砂体平面呈毯状分布, 面积大而稳定, 各小层砂体纵向呈层状分布; 根据该气藏有效砂体的形态和连通性, 判断其属于层状厚层整装气藏, 四个砂组的纵向叠合度高。

2) 有效砂体的形成受其沉积环境的控制和成岩作用的改造, 该区属三角洲平原分流河道沉积, 沉积微相控制岩石粒度大小、成份及分布, 溶蚀作用改善致密化岩石, 改善了储集和渗流能力, 最终形成有效砂体。

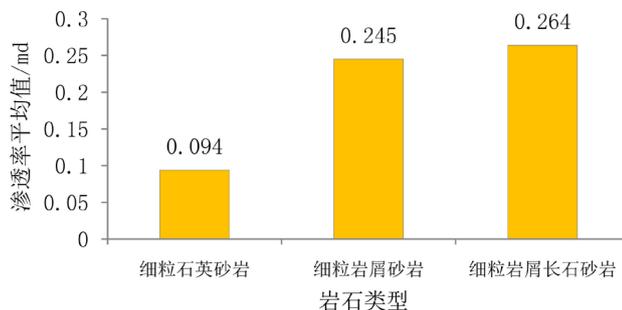


Figure 7. Influence of rock type on permeability
图 7. 岩石类型对渗透率的影响

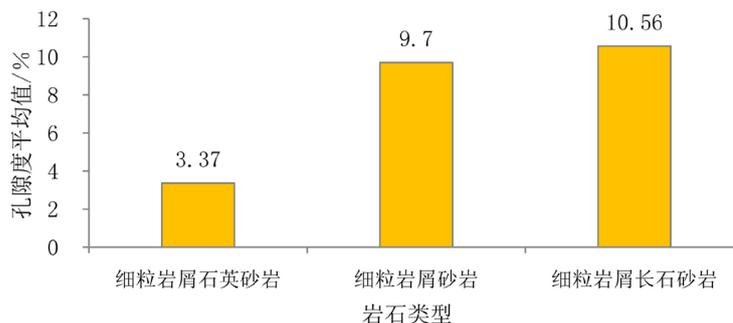


Figure 8. Influence of rock type on porosity
图 8. 岩石类型对孔隙度的影响

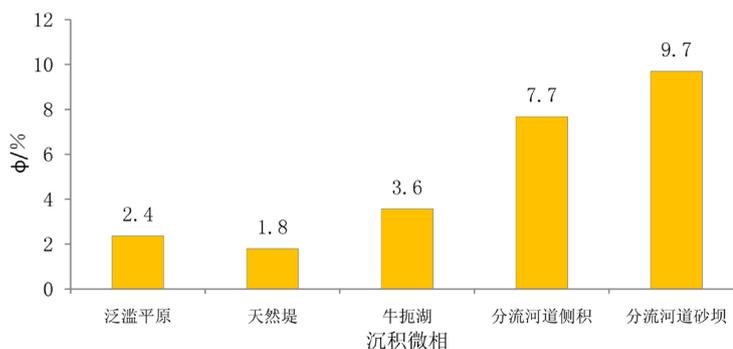


Figure 9. Porosity comparison map of sedimentary microfacies of different reservoirs
图 9. 不同储层沉积微相的孔隙度对比图

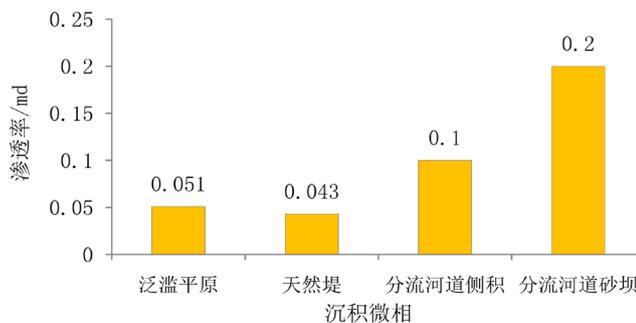


Figure 10. Average permeability of different sedimentary microfacies reservoirs
图 10. 不同沉积微相储层渗透率平均值

基金项目

本文受国家科技重大专项“川西坳陷斜坡带复杂致密砂岩气藏开发关键技术”(编号: 2016ZX05048-004)资助。

参考文献

- [1] 段永明, 张岩, 刘成川, 曾焱, 邓美洲. 川西致密砂岩气藏开发实践与认识[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(7): 1352-1359.
- [2] 严焕熔, 邓美洲. 什邡气田蓬莱镇组沉积微相及其与储层的关系[J]. 化工管理, 2015, 12(7): 175-177.
- [3] 徐康, 刘光祥, 胡文宣, 罗开平, 陈迎宾. 川西地区须四段砂岩储层特征及其主控因素[J]. 油气地质与采收率, 2018, 12(2): 42-49.
- [4] 詹国卫, 卜涛. 影响低渗致密砂岩气藏储量级别的因素分析[J]. 天然气与开发, 2004, 27(2): 36-41.
- [5] 申峰, 乔红军, 郭庆, 高志亮. 鄂尔多斯盆地中部延长组深层储能影响因素分析及应用[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(2): 73-75.
- [6] 康士敏, 任世星. 致密砂岩气藏成藏机理分析[J]. 石化技术, 2015, 22(11): 1.
- [7] 卜涛, 杨建. 致密砂岩气藏水平井有效开发关键技术[J]. 云南化工, 2018, 45(2): 38.
- [8] 潘荣, 朱筱敏, 王星星. 深层有效碎屑岩储层形成机理研究进展[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(4): 73-80.
- [9] 刘柏, 曾琪, 杨华. 川西坳陷南段中侏罗统沙溪庙组 II 段储层控制因素[J]. 油气藏评价与开发, 2017, 7(4): 10-15.
- [10] 郭智, 贾爱林, 薄亚杰. 致密砂岩气藏有效砂体分布及主控因素[J]. 石油试验地质, 2014, 36(6): 684-691.
- [11] 王军磊, 王晓冬, 罗万静. 渗透率非均质性对多层系统水驱效率的影响[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(1): 70-74.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org