



中东地区裂缝孔隙型碳酸盐岩油气藏原始地质储量评估方法研究

刘延莉

中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 102200

摘 要: 中东近扎格罗斯褶皱带地区构造和储层复杂, 对碳酸盐岩储层储集类型、规模和含油性的准确判断难度大, 从而影响该区油气藏地质储量的准确评估, 制约了资源评价的可靠性。本文以 S 油田为例展示一套适合该地区的多信息相融合的裂缝孔隙型碳酸盐岩储层评价技术及地质储量评估方法: 基于岩心分析、测井解释、地球物理分析等, 定量评价双介质储层储集空间。在此基础上结合动态的试井数据, 优选出适合本地区碳酸盐岩储层综合评价的关键指标, 主要为裂缝孔隙度和储层厚度。再结合地震属性, 预测平面上裂缝发育和裂缝欠发育储层的分布, 根据其分布范围统计不同区带储层物性参数。利用容积法分别估算裂缝储层和基质储层地质储量, 最终整合为全油田原始地质储量。

关键词: 裂缝孔隙型; 碳酸盐岩油气藏; 双介质储层; 储量评估; 中东地区

Evaluation of original oil in-place of fracture pore type of carbonate rock oil-gas reservoir in the Middle East

LIU Yan-li

Sinopec Petroleum Exploration and Development Research Institute, Beijing 102200, China

Abstract: The complex geological structures and reservoirs near the Zagros fold belt in the Middle East present significant challenges for accurately determining the reservoir types, sizes and hydrocarbon potential in carbonate rock reservoirs, thereby affecting the precise estimation of oil-gas reserves and compromising the reliability of resource evaluation in the area. Taking S Oilfield for example, this paper demonstrates an integrated multi-information evaluation technique and geological reserve estimation method for fracture pore type of carbonate rock reservoirs in the area, namely the quantitative evaluation of dual-media reservoir space through core analysis, well logging interpretation, and geophysical analysis. Combined with dynamic logging data, the key evaluation indexes suitable for the carbonate rock reservoirs are optimized, mainly fracture porosity and reservoir thickness. Then the seismic attributes are employed to predict the planar distribution of fracture-developed and fracture-underdeveloped reservoirs. According to the distribution range, the physical parameters of reservoirs in different zones are statistically analyzed. Finally, the volumetric method is applied to separately estimate geological reserves in fracture reservoir and matrix reservoir, which are integrated into the original oil in place (OOIP) of the whole oilfield.

Key words: fracture pore type; carbonate rock; oil-gas reservoir; dual medium reservoir; reserve estimation; Middle East

收稿日期: 2023-05-08; 修回日期: 2024-01-12. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金项目“特提斯域内大陆单向裂解-聚合过程中的油气大规模聚集效应”(9175521).

作者简介: 刘延莉(1979—), 女, 博士, 高级工程师, 现从事石油地质与储量评估工作, 通信地址 北京市朝阳区朝阳门北大街 22 号, E-mail//liuyanli.syky@sinopec.com

引用格式: 刘延莉. 中东地区裂缝孔隙型碳酸盐岩油气藏原始地质储量评估方法研究[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 210-216.

Liu Y L. Evaluation of original oil in-place of fracture pore type of carbonate rock oil-gas reservoir in the Middle East [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 210-216.

0 前言

中东地区油气资源丰富, 碳酸盐岩储层发育^[1]. 由于沉积相、成岩作用、热液作用等不同成因, 该地区储层孔隙结构类型多样, 储层非均质性强, 岩石组构与孔渗定量关系及地球物理响应复杂, 对于储集空间大小的准确判断极具挑战, 储层综合评价困难. 此外, 中东地区从古生界至中生界长期处于海相沉积环境, 多期生烃、运移及油气聚集叠合多期构造沉积^[2], 造成目前该地区油气藏类型多样, 油水关系复杂, 加之储层特殊性, 很多裂缝孔隙型碳酸盐岩油气藏的油气水界面及含油面积难以厘清, 对储量准确合理估算造成困扰, 为进一步勘探开发和国际合作带来较大难度.

本研究以 S 油田为例, 基于岩心分析、地球物理数据等, 定量评价双介质储层储集空间, 与动态的试井数据相结合, 优选出储层厚度和裂缝孔隙度作为适合本地区碳酸盐储层综合评价的关键有效指标, 评价结果与主力层开发生产结果吻合程度好. 结合地震属性, 预测平面上裂缝发育和欠发育储层分布范围, 为不同区带储层参数赋值奠定基础, 最终形成一套适合本地区的多信息相融合的裂缝孔隙度碳酸盐岩储层评价技术和原始地质储量估算方法, 以期为相似油气田提供借鉴.

1 油田位置及构造特征

S 油田位于扎格罗斯简单褶皱带北段, 该褶皱带为新近纪前陆造山期形成, 油田所在区带大断层不发育, 以构造圈闭为主.

油田构造表现为一个两翼不对称的近东西向的背斜, 北侧坡度陡, 南侧坡度缓. 背斜内部发育数条平行于背斜轴部的断层, 断层附近发育大量裂缝. 背斜的两翼各被一条逆断层所截断, 剖面呈反“Y”字型构造样式. 其中侏罗系的构造圈闭东西长约 29 km, 南北宽约 7 km, 构造幅度(构造顶点至构造溢出点高程差)约 1 300 m, 见图 1.

2 区域地质特征及储层特征

侏罗系作为主要储层, 沉积背景为在阿拉伯板块被动大陆边缘的潮上带-泻湖-陆架, 水体深度为几米至上百米^[2]. 岩性以灰岩为主, 夹白云岩、泥岩薄互层以及膏岩层, 厚度可达 1 000 m. 该层在整个油田厚度

和岩性的横向变化小. 侏罗系可分为 6 个小层, 其中 Sargelu 层为主要产油层, 见图 2.

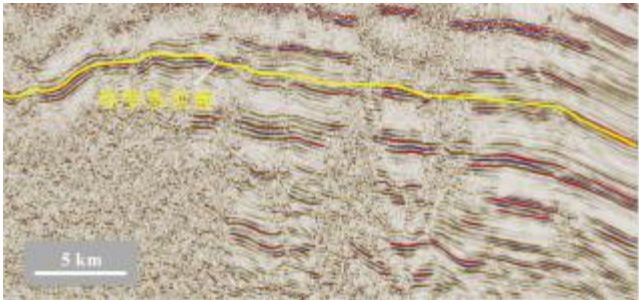


图 1 S 油田构造剖面图

Fig. 1 Structural section map of S Oilfield

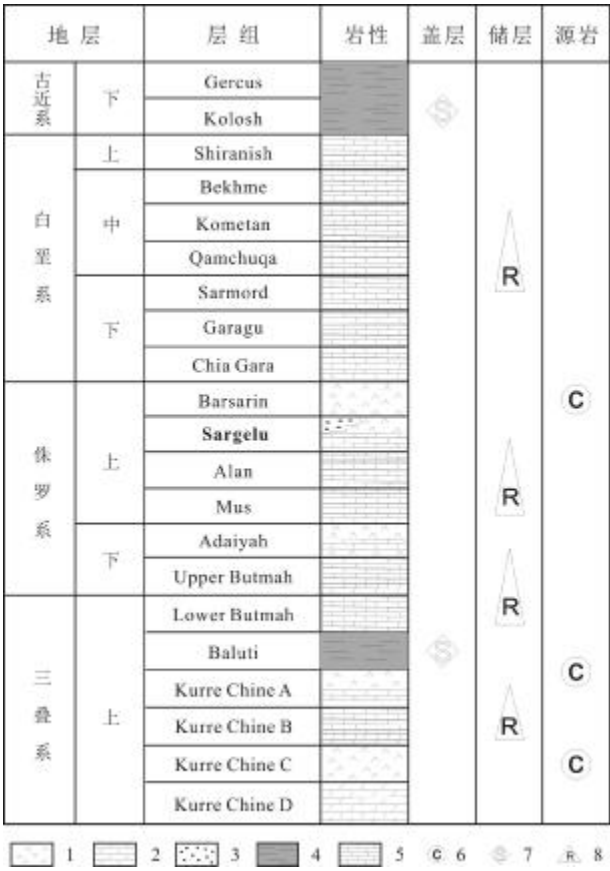


图 2 S 油田地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of S Oilfield

1—盐岩(salt rock); 2—白云岩(dolomite); 3—砂岩(sandstone); 4—泥岩(mudstone); 5—灰岩(limestone); 6—盖层(caprock); 7—源岩(source rock); 8—储层(reservoir)

2.1 储层储集空间类型

储集空间类型的确定是储层评价的基础, 通过岩心数据、镜下观察以及动态数据相结合的方法, 综合确定碳酸盐岩储集空间类型^[3-4].

该油田主要为海相沉积环境下碳酸盐岩储层,储层受到后期造山运动的强烈改造,产生的裂缝大大改善了储集物性^[5]。储集层岩心表现为大段油浸状态(图3),在紫外线下有亮黄色荧光显示。基质储集空间以粒内溶孔、铸模孔等早期溶蚀型孔隙为主,局部可见孔洞。试井分析表明,基质孔隙度在5%~7%时,试井曲线呈现双孔介质的双峰特征(如图4),表明基质孔隙度大于5%情况下,储集空间表现为双介质,基质和裂缝对测试产量均有贡献,即储层以裂缝-孔隙型碳酸盐岩为主。



图3 侏罗系储层岩心照片

Fig. 3 Photograph of core from the Jurassic reservoir

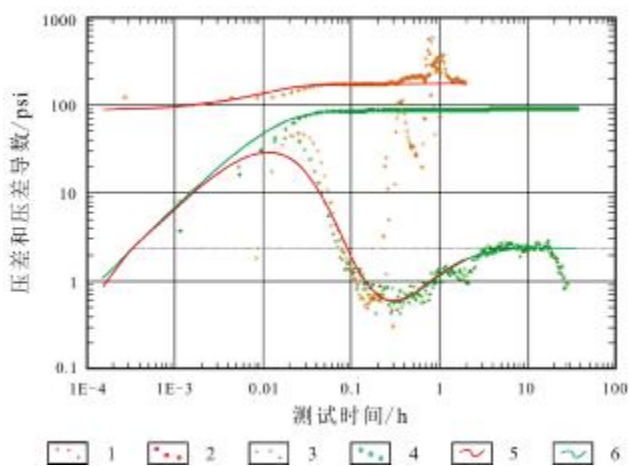


图4 S油田某井段数值试井与解析试井双对数拟合图

Fig. 4 Double logarithmic fitting diagram of numerical and analytical well testing in S Oilfield

1—第一次试井压差值 (pressure differential for the 1st well testing); 2—第一次试井压差导数 (pressure differential derivative for the 1st well testing); 3—第二次试井压差值 (pressure differential for the 2nd well testing); 4—第二次试井压差导数 (pressure differential derivative for the 2nd well testing); 5—第一次拟合曲线 (fitting curve for the 1st time); 6—第二次拟合曲线 (fitting curve for the 2nd time); 1 psi=6894.757 Pa

2.2 双介质储集空间定量评价

按照两种储集介质分别评价的原则,在岩心分析

的基础上,基质储层主要基于常规测井资料评价^[6],裂缝储层依靠成像测井资料评价。

1)基质孔隙度评价:基于测井响应分析原理,采用最优解释方法处理复杂岩性地层的测井资料,可分辨出单井剖面中地层矿物类别,进行矿物体积含量、孔隙度、饱和度等测井参数解释。该方法弥补了项目评价过程中岩心资料少的不足,可为计算地层参数提供可靠的岩性模型。应用该模型获得连续的地层矿物含量和各种储层参数,与岩心分析结果对比后证实,多矿物模型分析优于传统测井解释模型^[7-12]。

2)裂缝孔隙度评价:裂缝孔隙度指的是单位岩石面积上累计有效裂缝面积,主要利用裂缝密度、裂缝开度和裂缝长度进行估算。通过9口井19段10785.3 m电成像测井和4口井17段取心资料,结合岩心和成像测井,认为该地区裂缝受岩性影响大。当石膏含量超过50%,泥质含量超过40%,裂缝不发育。确定裂缝储层下限值为,泥质含量小于40%,石膏质含量小于50%。通过测井解释结果对全油田各井段厚度加权算法,确定油田内裂缝孔隙度平均0.19%(表1)^[12]。裂缝与产能关系密切(图5),统计测试层段结果表明,储层产出能力与裂缝平均孔隙度呈指数关系。结合裂缝孔隙度和测试结果,将裂缝储层分为3类,分别为—I类裂缝储层,裂缝孔隙度大于0.4%;II类裂缝储层,裂缝孔隙度0.2%~0.4%;III类裂缝储层,裂缝孔隙度小于0.2%。

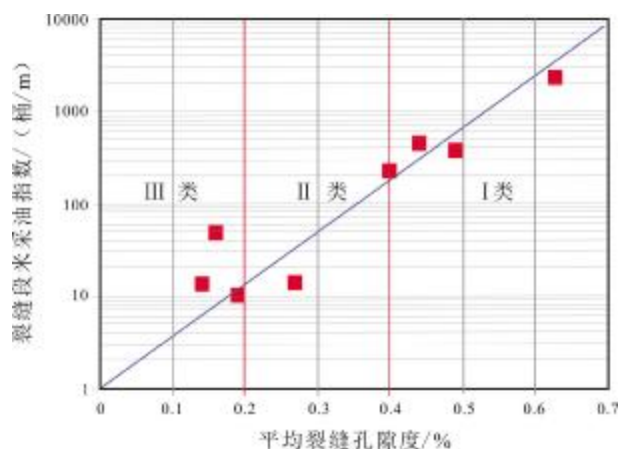


图5 裂缝孔隙度与产能关系

Fig. 5 Relationship between fracture porosity and productivity

结合地震属性^[12-13]和实际生产数据,预测裂缝储层平面分布,该结果与目前试油和生产结果吻合良好。

表 1 各口井成像测井裂缝孔隙度计算结果

Table 1 Calculation results of fracture porosity by imaging logging of each well

地层组	井 1	井 2	井 3	井 4	井 5	井 6	井 7	井 8	井 9	厚度加权/m
1								0.12	0.49	0.46
2	0.06		0	0.08	0.19	0	0.37	0.26	0.79	0.37
3	0.01		0.05	0.06	0.24	0.01		0.31	0.66	0.36
4	0.24	0.28	0.01	0.04	0.2	0.05		0.2	0.89	0.44
5	0.06	0.4		0.11	0.15	0.04		0.09	0.99	0.24
6	0.05	0.33		0.11	0.15	0.17		0.07		0.15
7	0.04	0.28		0.08	0.11	0.05	0.15			0.1
8	0.05	0.18		0.2	0.15	0.2	0.51			0.21
9	0.05	0.14		0.01	0.09	0.02	0.11			0.07
10	0.04	0.19		0.05	0.17	0.11				0.11
11	0.01	0.18		0.02	0.15	0.04				0.1
12	0.01	0.05		0.06	0.12	0.05				0.06
13		0.06		0.14	0.18	0.08				0.11
14	0	0.06		0.02	0.03	0				0.02
15	0.07	0.32		0.15	0.06	0.17				0.16
16	0.02	0.13		0.06	0.1	0.11				0.09
17	0	0.01		0.05						0.02
平均										0.19

孔隙度单位:%.

横向上,井间裂缝孔隙度差异大,整体西侧靠近主断裂处裂缝发育,东侧裂缝发育程度较低(图 6);纵向上顶部裂缝孔隙度更为发育,向下变差(图 7).综合储层物性特征和生产测试结果,认为储层有效厚度对产能也有较大影响.综合判断认为,该油田Ⅰ类储层岩性以灰岩为主,裂缝孔隙度平均为 0.39%~0.5%,基质孔隙度为 8%~12%,单层有效储层厚度超过 10 m,主要发育于侏罗系中部;Ⅱ类储层非均质性较强,岩性以白云岩为主,夹膏盐、泥岩,裂缝孔隙度平均为 0.19%~0.37%,基质孔隙度为 7%~11%,单层有效储层厚度大于 5 m,主要发育于侏罗系顶部和底部;Ⅲ类储层膏盐含量高,裂缝和基质储集空间均不发育,不建议开发.

3 原始地质储量估算

由于本油田储集体中裂缝和基质都含烃,分别估算两种介质的油气储量规模,整合为整个油藏的储量.同时结合地质建模估算不同级别储层对应的地质储量,为开发动用储量估算奠定基础^[14-20].表 2 以某层为例说明储量估算参数和评估结果情况.

1)含油面积:压力测试结果表明侏罗系整体是一个压力系统,具有统一的油水界面.结合测试和测井结果,确定测试油底、水顶和油水界面.含油面积范围北部以断层为界,西侧以区块边界为界.基质储层 P90、P50 和 P10 含油面积分别由测试油底、油水界面和水顶对应的构造线圈定(图 6).对于裂缝储层,分别在油底、油水界面和水顶对应的构造线范围内,结合地

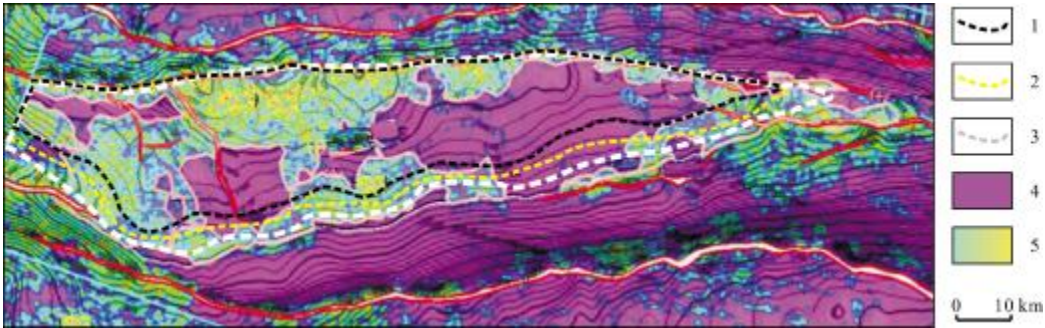


图 6 侏罗系某层段裂缝预测及含油面积平面图

Fig. 6 Fracture prediction map of a Jurassic layer with oil-bearing area

1—油底(bottom of oil zone); 2—油水界面(oil-water contact); 3—水顶(top of water zone); 4—裂缝不发育区(fracture-underdeveloped area); 5—裂缝预测发育区(predicted fracture-developed area)

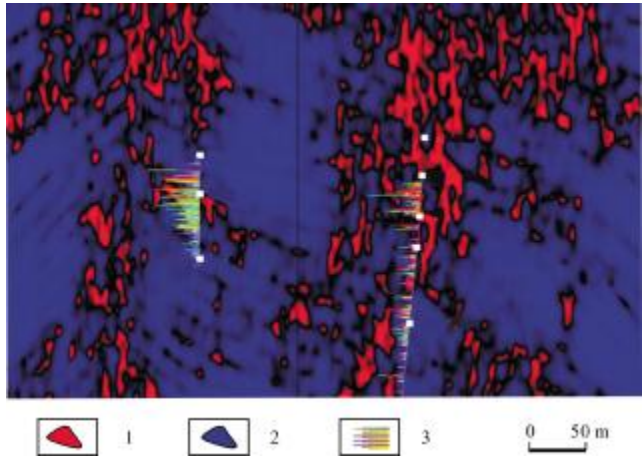


图 7 侏罗系纵向裂缝预测剖面图

Fig. 7 Predicted Jurassic vertical fracture profile

1—裂缝发育区 (fracture-developed area); 2—裂缝不发育区(fracture-underdeveloped area); 3—测井解释裂缝孔隙度(fracture porosity by well logging interpretation)

震预测的裂缝发育区和裂缝欠发育区, 分别统计其 P90、P50 和 P10 含油面积。

2)储层参数:针对裂缝储层参数,按照各层储层预测中划分的裂缝发育区和裂缝不发育区,根据岩心和成像测井解释结果分别统计不同区带裂缝孔隙度。针对基质储层,根据岩心、测井解释结果统计孔隙度、净毛比等分布概率(表 2)。

3)原始地质储量计算结果:在平面上可以分为全油田裂缝发育区和裂缝欠发育区原始地质储量,以某层为例估算裂缝发育区和裂缝欠发育区基质储层和裂缝储层的地质储量见表 2。对该油田各小层开展原始地质储量估算,参数赋值方法参照某层,最终整合为整

个油田的原始地质储量。

4 结 论

1)双介质储层储量的计算,其主要难点在于储层的平面和纵向物性的分析和预测^[16-22]。在岩心分析、测井解释和生产数据分析的基础上,选取裂缝孔隙度、基质孔隙度和厚度作为储层分类的关键指标,将本油田储层分为 3 类,分别为,Ⅰ类储层:裂缝孔隙度平均为 0.39%~0.5%,基质孔隙度 8%~12%,单层有效储层厚度超过 10 m;Ⅱ类储层:裂缝孔隙度平均为 0.19%~0.37%,基质孔隙度 7%~11%,单层有效储层厚度大于 5 m;Ⅲ类储层:膏盐含量高,裂缝和基质储集空间均不发育。

2)根据井震结合,研究裂缝和基质储层平面和纵向分布,利用不确定性的容积法分别估算基质和裂缝原始地质储量,最终整合为全油田原始地质储量。本地区虽然裂缝和基质均可以赋存油气,但是基质储层是原始地质储量的主要贡献者,超过 90%的原始地质储量赋存在基质孔隙中,裂缝孔隙虽然赋存油气,但是其原始地质储量占比低于 10%。

参考文献(References):

[1]Beydoun Z R, Hughes Clarke M W, Stoneley R. Petroleum in the Zagros Basin: A Late Tertiary foreland basin overprinted onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic-Mesozoic passive-margin shelf[M]//Macqueen R W, Leckie D A. Foreland basins and fold belts. Tulsa: AAPG, 1992: 309-339.
[2]贾小乐,何登发,童晓光. 扎格罗斯前陆盆地大油气田的形成条件与分布规律[J]. 中国石油勘探, 2013, 18(5): 54-67.

表 2 某层储量计算参数和结果表

Table 2 Calculation parameters and results of reserves in a certain reservoir

裂缝储集空间						
储层	裂缝发育区			裂缝欠发育区		
	P10	P50	P90	P10	P50	P90
含油面积/km²	61	63	65	64.7	66	69
裂缝孔隙度/%	0.11	0.15	0.2	0.01	0.02	0.03
裂缝净毛比	0.5	0.64	0.75	0.4	0.59	0.69
原始地质储量/百万桶	263.6	269.3	280.5	38	48.6	60

基质储集空间			
储层	P10	P50	P90
含油面积/km²	127.7	129	134
净毛比	0.033	0.071	0.11
含油饱和度	0.639	0.671	0.706
原始地质储量/百万桶	2837	3444	4146

裂缝-孔隙双介质合计			
储层	P10	P50	P90
原始地质储量合计/百万桶	3373	3761	4478

Jia X L, He D F, Tong X G. Formation and distribution of giant oil and gas fields in Zagros foreland basin[J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(5): 54-67.

[3]蔡正旗, 郑永坚, 刘云鹤, 等. 确定碳酸盐岩油气层有效孔隙度下限值的新方法[J]. 西南石油学院学报, 1993, 15(1): 10-15.

Cai Z Q, Zheng Y J, Liu Y H, et al. A new method of determining lower limit of effective porosity in carbonate oil or gas reservoir[J]. Journal of Southwestern Petroleum Institute, 1993, 15(1): 10-15.

[4]罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 40-82.

Luo Z T, Wang Y C. Pore structure of petroleum reservoirs[M]. Beijing: Science Press, 1986: 40-82. (in Chinese)

[5]范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 23-30.

Fan J S. Characteristics of carbonate reservoirs for oil and gas fields in the world and essential controlling factors for their formation[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 23-30.

[6]陈明春, 徐晟, 魏春光. 裂缝型碳酸盐岩储层预测技术及海外气田勘探实践[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(4): 1660-1665.

Chen M C, Xu S, Wei C G. Technique of fractured carbonate reservoir prediction and its application in oversea gas field exploration [J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(4): 1660-1665.

[7]曾伟, 强平, 黄继祥. 川东嘉二段孔隙层下限及分类与评价[J]. 矿物岩石, 1997, 17(2): 42-48.

Zeng W, Qiang P, Huang J X. Reservoir's low limit, classification and evaluation of Member II of Jialingjiang Formation (Lower Triassic) in Eastern Sichuan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1997, 17 (2): 42-48.

[8]周文, 庄阿龙, 费怀义. 四川盆地川东地区石炭系储产层下限标准的确定方法[J]. 矿物岩石, 1999, 19(2): 31-36.

Zhou W, Zhuang A L, Fei H Y. The determination method of lower limitation of net pay thickness of carboniferous in Eastern Sichuan Basin[J]. Journal of mineralogy and Petrology, 1999, 19(2): 31-36.

[9]万玲, 孙岩, 魏国齐. 确定储集层物性参数下限的一种新方法及其应用——以鄂尔多斯盆地中部气田为例[J]. 沉积学报, 1999, 17 (3): 454-457.

Wan L, Sun Y, Wei G Q. A new method used to determine the lower limit of the petrophysical parameters for reservoir and its application: A case study on Zhongbu Gas Field in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 454-457.

[10]段新国, 王洪辉, 胡永章, 等. 储层参数下限的确定方法——以河南安棚油田为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30

- (2): 169–173.
- Duan X G, Wang H H, Hu Y Z, et al. Methods of determining the lower limits of different parameters of reservoir in Anpeng Oilfield, Henan[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(2): 169–173.
- [11]肖思和, 周文, 王允诚, 等. 天然气有效储层下限确定方法[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(6): 672–674.
- Xiao S H, Zhou W, Wang Y C, et al. Method for determining the lower limits of effective reservoirs[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(6): 672–674.
- [12]李伟, 刘延莉, 刘志远. 伊拉克 S 油田碳酸盐岩储层特征及裂缝孔隙度计算方法[J]. 中外能源, 2019, 24(11): 29–35.
- Li W, Liu Y L, Liu Z Y. Characteristics of carbonate reservoir and calculating method of fracture porosity in S Oilfield of Iraq[J]. Sino-Global Energy, 2019, 24(11): 29–35.
- [13]魏小微, 谢继容, 唐大海, 等. 低孔渗砂岩储层基质物性下限确定方法研究——以川中 LA 构造沙一段油藏为例[J]. 天然气工业, 2005(S1): 28–31, 11.
- Wei X W, Xie J R, Tang D H, et al. Methods of determining the matrix petrophysical cutoffs of low porosity and low permeability sandstone reservoir: Taking the J₃¹ oil reservoir in LA field in Central Sichuan as an example[J]. Natural Gas Industry, 2005(S1): 28–31, 11.
- [14]Francesconi A, Bigoni F, Balossino P, et al. Reservoir rock types application-Kashagan[M]//SPE/EAGE Reservoir Characterization and Simulation Conference. Abu Dhabi, UAE: SPE, 2009: SPE-125342-MS.
- [15]Tariq M, Bizarro P, de Sousa A, et al. Reservoir characterization and modeling of a carbonate reservoir: Case study [M]//Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition. Abu Dhabi, UAE: SPE, 2012: SPE-161039-MS.
- [16]Yu H, Ba J, Carcione J, et al. Rock physics modeling of heterogeneous carbonate reservoirs: porosity estimation and hydrocarbon detection[J]. Applied Geophysics, 2014, 11(1): 9–22.
- [17]Wang Y J, Sun Y H, Yang S Y, et al. Saturation evaluation of microporous low resistivity carbonate oil pays in Rub Al Khali Basin in the Middle East [J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(1): 94–106.
- [18]Bordenave M L. Zagros domain of Iran holds exploration, EOR opportunities[J]. Oil and Gas Journal: International Petroleum News and Technology, 2000, 98(19): 36–39.
- [19]蒲静, 秦启荣. 油气储层裂缝预测方法综述[J]. 特种油气藏, 2008, 15(3): 9–13.
- Pu J, Qin Q R. An overview of fracture prediction methods for oil and gas reservoirs[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(3): 9–13.
- [20]唐颖, 樊太亮, 张涛, 等. 构造运动对扎格罗斯前陆盆地白垩系碳酸盐岩储层的影响——以 Y 油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 944–951.
- Tang Y, Fan T L, Zhang T, et al. Influence of tectonic movement on Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros foreland basin: A case study of Y Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(6): 944–951.
- [21]颜冠山, 刘宗宾, 宋洪亮, 等. 多层构造油藏纵向细分计算单元对储量参数及结果的影响[J]. 地质与资源, 2020, 29(4): 342–350.
- Yan G S, Liu Z B, Song H L, et al. Effect of vertical subdivision of computing units on reserve parameters and results of multilayer structural reservoir[J]. Geology and Resources, 2020, 29(4): 342–350.
- [22]孔永吉, 吴孔友, 刘寅. 塔里木盆地顺南地区走滑断裂发育特征及演化[J]. 地质与资源, 2020, 29(5): 446–453.
- Kong Y J, Wu K Y, Liu Y. Development characteristics and evolution of the strike-slip faults in Shunnan area, Tarim Basin[J]. Geology and Resources, 2020, 29(5): 446–453.