

王正. 基于分形特征的中低孔渗储层分类研究[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(11): 78-84.

基于分形特征的中低孔渗储层分类研究

王正

(北京斯堪帕维科技有限公司, 北京 100101)

摘要:低孔渗储层的孔隙结构对油气渗流和产能有重要影响,也是对低孔渗储层分类的重要参数。在微观尺度上用薄片观测法、孔渗测试等方法进行储层描述,但宏观尺度上缺少一种有效的定量表征方法。将分形理论引入孔隙结构评价,利用压汞数据与分形模型建立联系,求取孔隙度、渗透率、排驱压力、孔喉半径中值与分形分维数的关系。研究结果表明分形分维数与储层物性、孔隙结构具有较好的相关性。用分形分维数作为宏观尺度参数来定量表征孔隙空间复杂程度具有可行性,同时为中低孔渗储层分类提供可靠的定量表征参数,为油田开发生产提供较好的决策依据。

关键词:分形特征;低孔渗储层;毛管压力曲线;孔隙结构

中图分类号:P744.4

文献标识码:A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.151

0 引言

自然界中广泛存在无序、混乱、不规则和不光滑的复杂现象,传统理论只能定性描述,定量刻画相对困难。非线性理论是 20 世纪 70 年代发展起来的一门新兴学科,分形几何学为研究混乱复杂现象中的精细结构和定量刻画提供了有效的理论基础^[1-2]。分形理论作为非线性科学的一个分支,是研究自然界空间结构复杂性的一门学科,已广泛应用于各门自然科学中。该理论在地质学领域也得到充分应用,如含油气构造分布、沉积相带划分、岩石孔隙非均质性、微观孔隙结构等^[3-4],应用较为广泛的是利用分形维数描述储层孔隙结构的分形现象。MANDELROT 等^[5]研究岩石碎片时,发现多孔介质的孔隙与喉道的空间分布具有统计自相似性。KATA 等^[6]研究砂岩扫描电镜时,发现砂岩沉积储层的微观孔隙结构存在分形特征。窦文超等^[7]通过深入研究低孔渗储层孔喉参数与渗透率的关系后,发现储层的微观孔隙结构直接影响着储层的渗流通力,对油气运移和成藏及最终油藏产能都有着

密切关系。

对低孔、低渗储层进行分类综合评价对油田开发策略的制定具有重要意义,因此针对具体油田储层特点,建立具有广适性的分类标准非常重要。前人在低孔、低渗储层分类方面做了大量研究工作,也取得很多成果。杨玉卿等^[8]从宏观成因、微观结构和综合因素 3 个方面对渤海湾盆地沙河街组低孔、低渗储层进行分类;姜艳娇等^[9]以岩芯实验为基础,提出孔渗图谱法对低孔低渗储层进行分类;马立民等^[10]基于微观孔隙结构分形特征对低孔低渗储层定量分类与评价。对低孔低渗储层分类评价方法较多,且针对不同油田的储层特点,不同方法各具优缺点。本文作者在利用铸体薄片证明储层微观孔隙具有分形特征的基础上,利用岩芯压汞数据与储层孔喉半径建立非线性关系,研究不同物性参数下的分形特征,进而为低孔渗储层的定量评价提供依据,并对低孔渗储层进行分类,为后期开发井位优选提供依据。基于双对数坐标系下散点拟合曲线出现单段线性相关和多段线性相关事实,结合岩芯扫描鉴定结论,提出单段线性相关对应单一沉积环境或沉积体,对段线性相关对应多个沉积环境或沉积体,这为利用分形方法研究小尺度沉积环境或沉积体提供依据。

收稿日期: 2021-05-31

资助项目: 中海石油有限公司重点科技项目“海上砂岩油田剩余油地质成因及精准挖潜研究”(YXKY-2019-KFSC0-01)

作者简介: 王正(1984—),女,硕士,工程师,主要从事地质综合研究及地质建模方面的研究工作。E-mail: 119946998@qq.com

1 铸体薄片的分形特征

盒子计数法是一种常用的图形分维数计算方

法^[11],其主要做法如下:取边长为 r 的小盒子,把分形曲线覆盖起来,有些小盒子覆盖了曲线,有些盒子是空的。统计非空盒子个数为 $N(r)$ 。缩小盒子边长 r ,再统计非空盒子个数 $N(r)$ 。重复以上过程,当 $r \rightarrow 0$ 时,计算 D ,即为分形分维数,如式(1)。

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{N(r)}{r} \quad (1)$$

实际计算中取有限的 r 值,并计算相应的 $N(r)$,记录一系列 r 和对应的 $N(r)$ 值。在双对数坐标系中将散点拟合直线,所得直线斜率即为分形分维数 D 。

图 1 为铸体薄片,白色为孔喉,黑色为岩石骨架颗粒。在图中随机选取一个点作为圆心,以 r 为半径,统计圆内孔喉的个数 N 。改变 r 值,统计对应的 N 值。如果 N 与 r 之间满足 $N \propto r^{-D}$,则证明岩样孔隙结构具备分形特征。其在双对数坐标系下应该可以拟合为线性关系式,其斜率为该样品孔喉分形分维数。根据本次测定结果拟合得到的一元一次方程为 $y=1.848 \ 2x+10.618$,线性相关系数平方 $R^2=0.997 \ 5$ 。由此可知该样品孔喉结构具备分形特征,其分形分维数为 $D=1.848 \ 2$ 。

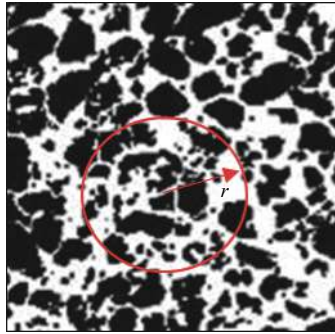


图 1 数盒子分维数测定法

Fig.1 Determination of box fractal dimension

2 基于毛管压力的分形特征

毛管压力资料在油田开发生产中应用非常广泛,很多储层物性参数均可由毛管压力数据获得,如束缚水饱和度、孔隙度、渗透率等。压汞过程中,过了排驱压力,汞先进入大孔喉,随着压力增大,逐渐进入小孔喉,不同压力对应不同的孔喉。当压力为 P_a 时,对应汞能进到的最小孔喉半径为 r_a ,此时湿相饱和度为岩石中孔喉半径 $> r_a$ 的所有孔喉占总孔喉的体积比。根据分形几何学原理,若储层孔喉半径分布符合分形结构,则半径 $> r$ 的孔喉累积体积与半径 r 满足幂函数关系^[12-15]:

$$N_r = \int_r^{r_{\max}} f(r) dr = ar^{-D} \quad (2)$$

式中: $r_{\max}$ 为最大孔喉半径;

$f(r)$ 为孔喉半径分布密度函数;

a 为常数;

D 为分形分维数。

对(2)式中 r 求导得到

$$f(r) = \frac{dN_r}{dr} = -Dar^{-D-1} \quad (3)$$

将孔喉看成球体,据球体模型得到岩石中孔喉 $< r$ 的孔喉累积体积为

$$V1 = \int_{r_{\min}}^r f(r) ar^3 dr = \frac{-Daa}{3-D} = r^{3-D} - r_{\min}^{3-D} \quad (4)$$

式中: $r_{\min}$ 为最小孔喉半径;

a 为比例系数,当 $a=1$ 时,孔喉为立方体,当 $a=4\pi/3$ 时,孔喉为球体;

$r_{\min}$ 为最小孔喉半径。

由式(4)可得储层总孔喉体积为 π

$$V2 = r_{\max}^{3-D} - r_{\min}^{3-D} \quad (5)$$

将式(4)和式(5)联合求得孔喉半径 $< r$ 的累积体积比例为

$$S = \frac{V1}{V2} = \frac{r^{3-D} - r_{\min}^{3-D}}{r_{\max}^{3-D} - r_{\min}^{3-D}} \quad (6)$$

式中: S 为湿相饱和度。

由于岩石孔喉结构复杂,孔喉最大半径和最小半径相差很大,即 $r_{\min} < r_{\max}$, $r_{\min} < r$,因此(6)式可简写为

$$S = \left(\frac{r}{r_{\max}} \right)^{3-D} \quad (7)$$

压汞法是常用的微观孔喉结构研究方法,压力的大小反映汞进入孔喉的难易度,用计算压力的方式来渐接研究孔喉结构特征。其表征公式为:

$$P_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (8)$$

式中: P_c 为孔喉半径为 r 时的毛管压力;

σ 为流体在储层中的表面张力;

θ 为流体与岩石接触的角度。

将式(7)和式(8)联合得到

$$S = \left(\frac{P_c}{P_{\min}} \right)^{D-3} \quad (9)$$

式中: $P_{\min}$ 为孔喉半径为 $r_{\max}$ 时的压力,即压汞时的启动压力,

S 为孔喉半径 $< r$ 的累积体积分数,即压汞测试中压力为 P_c 时湿相饱和度。

由式(9)可知,若假设条件成立,则储层中湿相饱和度与对应毛管压力满足幂函数关系。取对数可得

$$\log(S) = (D-3)\log(P_c) + (3-D)\log(P_{\min}) \quad (10)$$

由式(10)可知,湿润相饱和度与对应毛管压力呈线性关系,因此,可利用压汞测试数据求得分维数 D ,即反映孔隙结构的定量表征参数。

3 压汞数据分析

3.1 压汞资料应用理论基础

毛管压力曲线不仅是孔喉半径分布和孔隙体积的函数,也是孔喉连接方式的函数,更是孔隙度、渗透率和饱和度的函数,然而对于低孔、低渗储层,储层微观结构比较复杂,用毛管压力曲线只能定性的反映储层的优劣情况,不能精确量化研究。退汞饱和度是从最大注入压力降低到最小退汞压力退出的汞体积与岩样总孔隙体积的比值。对特低渗透储层,可近似地认为是喉道所占有的总孔喉体积百分数。退汞效率是退汞饱和度与最大进汞饱和度的比值,其大小不但与退汞饱和度有关,还与

最大进汞饱和度有关。退汞饱和度反应的是喉道体积,而退汞效率则反映喉道体积与孔隙体积的综合信息。

3.2 退汞曲线分析

毛管压力曲线一般用来定性分析储层储集性能,但不能很精确的对储层进行分类。曲线一般分为斜坡类和平台类^[16]。对平台类压汞曲线,平台越低长,表明孔喉联通性好,喉道半径越大,喉道分布集中,分选好,储层物性好。斜坡类曲线,没有明显的平台,表明孔喉分选性差,储层总体物性差。曲线从低而平逐渐过渡到高而陡,曲线低平段所占比重越大,该样品物性越好,反之,物性越差。图2为部分岩样压汞数据做出的系列曲线图。总体来看储层物性相对较差,平台类、斜坡类均有。根据该曲线图,可以将岩样分为3类:Ⅰ类为平台型,孔渗参数较好;Ⅱ类为斜坡型,孔渗参数一般;Ⅲ类为直陡型,孔渗参数较差。该曲线图仅在一定程度上支持储层分类,不能较准确量化表征储层特征。

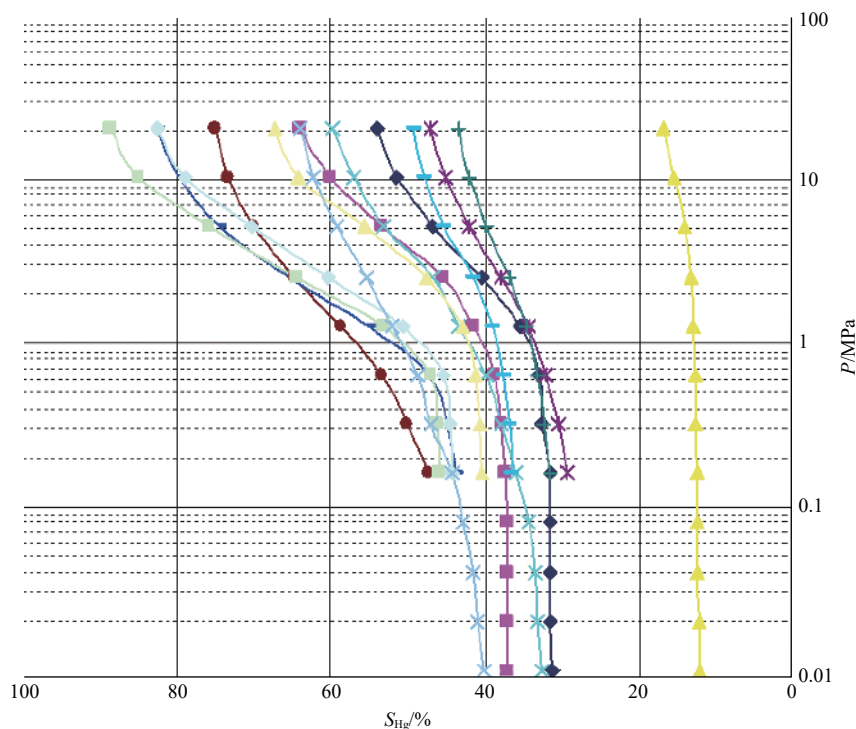


图2 部分岩样退汞压力曲线

Fig.2 Retreat mercury pressure curve for part of rock sample

4 储层物性分析

4.1 物性数据分析

本次研究所用岩芯资料为渤海凹陷东部海域

M油田东营组取芯资料,主要沉积环境为小型湖底扇沉积,也含部分湖泊相三角洲前缘沉积。薄片鉴定主要以长石质岩屑砂岩为主,夹杂泥岩沉积,分选较差。有效孔隙度为1%~25%,渗透率为 $(0.05 \sim 50) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大孔喉半径为0.2~5 μm ,孔喉中

值半径为 0.05~0.3 μm , 部分样品数据如表 1。

4.2 薄片分析

利用岩石薄片鉴定、X-衍射等方法对样品进行分析, 表明岩石成分主要为石英、岩屑、斜长石、钾长石。填隙物主要为铁白云石、泥质、方解石和少量高岭石, 铁白云石广泛胶结碎屑颗粒; 孔隙类型主要为残余原生粒间孔及溶蚀孔, 喉道形态主要表现为孔隙缩小型、片状喉道; 泥质分布于颗粒接触处, 局部团状富集; 方解石交代颗粒边缘; 高岭石小米粒状、蠕虫状微晶充填粒间。岩石孔隙发育较差, 分布不均匀, 孔隙主要为粒间溶孔、粒内溶孔。不同岩样显示储层非均质性强, 受沉积环境、成岩作用影响, 不同岩样的孔喉连通性、分选性存在差异, 但总体上均属于低孔-低渗储层(图 3)。

5 孔隙结构分维数研究

5.1 岩样分维数的测定及分析

前面已经论述孔喉结构具有分形特征, 并且从

理论上推导了湿相饱和度与压力也具备幂函数关系, 其在双对数坐标系下拟合直线, 直线斜率应该即为岩样分维数^[17]。对岩样的压汞数据进行分形分维数求取, 发现并非所有岩样均满足单一线性关系, 有些样品的散点呈现多段线性关系。图 4a 为岩样 R2005-06154 的毛管压力与湿相饱和度的散点及拟合直线。样品孔隙整体呈现较好的分形特征, 拟合直线相关系数为 0.997 7, 分维数为 2.75, 表明该岩样孔喉结构具有单一分形特征; 岩样孔喉均值半径 0.1 μm , 最大孔喉半径 0.58 μm , 表明岩样孔隙度渗透率参数均较差。图 4b 为岩样 R2010-04754 的毛管压力与湿相饱和度的散点及拟合直线。双对数散点显示整体相关系数较差, 但具备分段分形特征, 表明该岩样孔喉结构具有多个分形特征。其孔喉均值半径 0.71 μm , 最大孔喉半径 10.38 μm , 表明该岩样孔喉结构复杂, 储层中孔喉结构分布不均, 薄片下观察到颗粒大小、磨圆度明显不同, 推测为不同沉积环境或不同沉积体的沉积混合物, 如图 5。

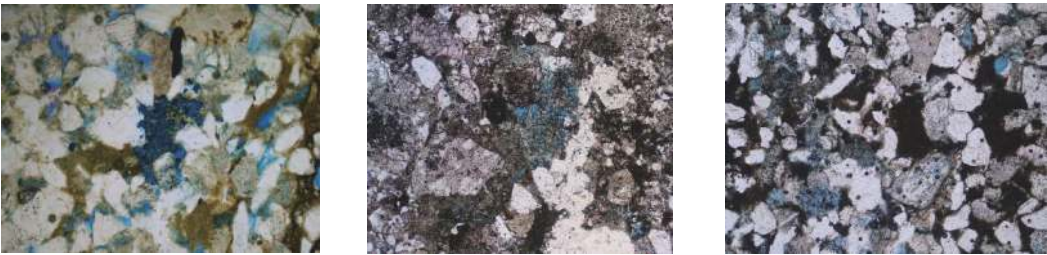
5.2 利用分维数对储层分类

通过上面方法对所有样品计算分维数, 其分维

表 1 部分岩样物性参数

Table 1 Physical parameters of some rock samples

样品编号	深度/m	中值半径/ μm	最大孔喉半径/ μm	孔喉体积比	有效孔隙度/%	渗透率/ $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
R2005-16103	1 999.69	0.09	2.19	1.71	15.80	4.99
R2005-16133	2 011.71	0.07	4.70	1.71	16.30	3.12
R2005-16145	2 015.79	0.11	2.76	2.08	14.80	2.00
R2005-16154	2 018.51	0.10	0.58	1.13	9.60	0.52
R2005-16162	2 021.46	0.07	0.39	1.14	11.60	0.07
R2000-01234	2 078.29	0.05	0.25	1.51	9.60	0.09
R2000-01236	2 078.79	0.22	2.71	1.48	11.30	2.37
R2000-01238	2 079.26	0.13	3.58	1.38	13.70	4.25
R2010-04720	2 144.28	0.42	5.62	1.42	18.68	15.72
R2010-04725	2 144.72	0.53	6.34	1.48	19.52	16.84
R2010-04732	2 153.62	0.82	8.86	1.56	20.40	14.58
R2010-04733	2 154.74	0.38	4.36	1.72	11.64	8.23
R2010-04754	2 155.28	0.71	10.38	1.39	20.80	20.86



(a) 白铁云石粒间溶孔 (b) 粒内溶孔 (c) 泥质充填

图 3 储层微观特征

Fig.3 Microscopic characteristics of a reservoir

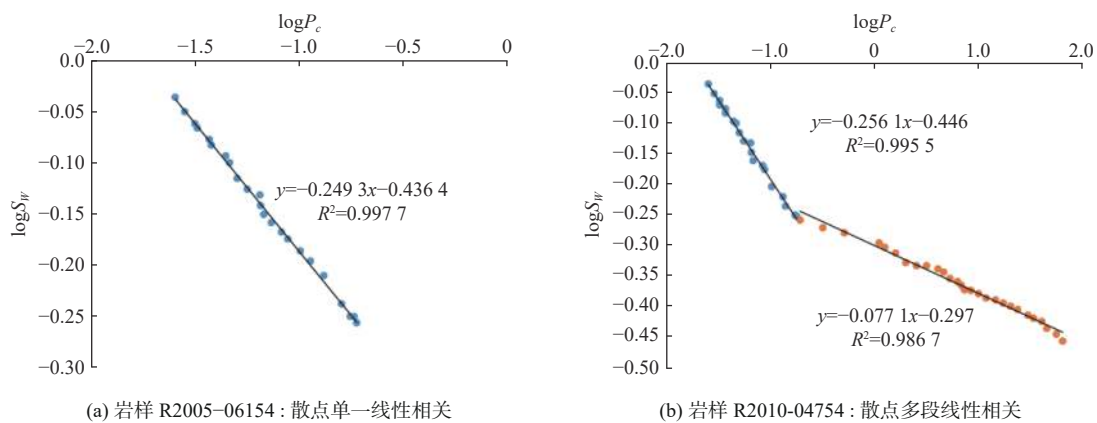


图 4 岩样毛管压力与湿相饱和度关系

Fig.4 Relationship between capillary pressure and water saturation

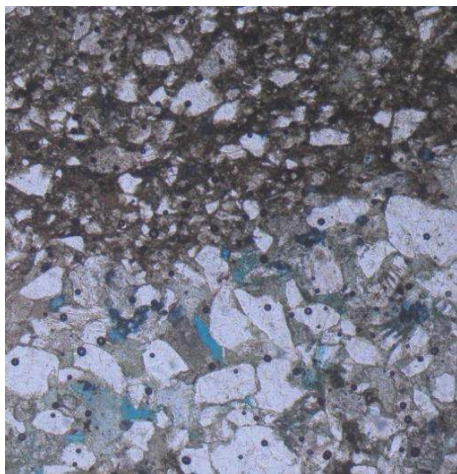


图 5 岩样 R2010-04754

Fig.5 Core sample R2010-04754

数范围为 2.372~2.93。经过与岩样物性参数比对,发现样品分维数越小,储层孔喉结构参数越好。总体而言,R2000 和 R2005 系列岩样分维数较大,岩样对应的孔喉结构参数也较差,对应薄片显示以粒

内溶蚀孔为主。R2010 系列岩样分维数较小,其孔喉结构参数也较好,对应薄片以粒间溶孔、粒内溶孔为主,片状喉道分布。以压汞毛管压力曲线为依据进行储层分类的方法被众多学者验证是合理的,广泛应用于实际生产的储层评价和分类研究,但其缺少定量化指标,不利于量定储层表征。压汞曲线是孔喉大小、分选等孔隙结构的综合响应,在论证孔喉累积体积满足幂函数分布的条件下,利用分维数这一定量指标评价储层具有实际意义。表 2 为根据分形维数为主要依据进行储层分类与其他参数的综合表。

从以上表可以看出,基于分维数和毛管压力曲线进行储层分类 2 种方法对储层划分的结论总体一致,也存在局部差异。毛管压力曲线分类方法的部分 II 类储层,从分维数值上被评定为优质储层。出现这种现象的原因,可能因为毛管压力曲线形态较接近,判定储层类别时出现一定偏差,因此,用分维数定量指标对储层分类更为准确。

表 2 基于孔隙结构分维数的储层分类评价

Table 2 Reservoir classification and evaluation based on fractal dimension of pore structure

孔隙结构分形维数	毛管压力曲线分类	排驱压力/Ma	最大孔喉半径/ μm	中值孔喉半径/ μm	孔隙度/%	渗透率/ $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	储层评价结论
2.316 7~2.571 8	I 类、部分 II 类	1.72~4.38	1.08~18.64	0.08~2.42	10.6~20.8	2.85~25.8	优质储层
2.617 4~2.798 5	II 类	3.64~6.75	0.25~6.43	0.03~0.72	9.5~13.6	0.072~4.99	较好储层
2.835 2~2.978 4	III 类	8.63~47.52	0.02~0.32	0.01~0.05	5.8~10.72	0.05~0.18	差储层或无效储层

5.3 储层类别的分析

表 2 将岩样储层分为 3 类:优质储层、较好储层及差储层或无效储层。储层越好,分维数值越低,储层的物性参数越好,但物性参数存在一定交集。下面结合铸体薄片对各类储层进一步分析。

优质储层分维数值介于 2.316 7~2.571 8,双对

数坐标下散点呈现单段式或双段式。储层以细砂岩为主,少量中砂、粗砂,次圆状一次棱角状。可见斜长石绢云母化,钾长石高岭土化,碎屑颗粒线接触为主,局部凹凸接触。粒间填隙物主要为泥质、高岭石、白云石、菱铁矿等。岩石孔隙发育整体较差,部分岩样局部中等,主要为溶蚀粒间孔,部分溶蚀颗粒孔,部分岩样连通性局部中等。孔喉半径差

异大, 微观孔隙结构非均质性强, 以片状喉、孔隙缩小型喉道为主。毛管压力实验中, 排驱压力低, 渗透能力相对较好。

较好储层分维数值介于 2.617 4~2.798 5, 双对数坐标系下散点基本呈现单段式。储层以细砂岩为主, 少量中砂、泥质。岩石成分为石英、斜长石、钾长石、岩浆岩岩块、变质岩岩块、见少量云母碎片, 见斜长石绢云母化, 钾长石高岭土化。孔隙填隙物为泥质、铁白云石、高岭石, 泥质呈凝块状、纤维状分布, 部分泥质向云母泥质蚀变, 铁白云石胶结交代碎屑颗粒, 高岭石呈小米粒状分布, 局部见少量有机质分布。孔隙发育差, 分布较不均匀, 连通性差。孔隙类型主要为粒内溶孔和少量粒间溶孔, 长石和岩屑不均一溶蚀产生粒内溶孔。微观孔喉分布较为均匀, 以微细喉道为主, 属于小孔-细喉型。毛管压力实验中, 排驱压力较高, 渗透能力一般。

差储层或无效储层分维数值介于 2.835 2~2.978 4 间, 双对数坐标系下散点呈现单段式。储层以极细砂岩为主, 泥质充填。岩石成分主要为石英、岩屑、斜长石、钾长石和少量云母。填隙物主要为铁白云石、泥质、菱铁矿, 铁白云石团块状胶结碎屑颗粒; 泥质分布于颗粒接触处, 局部条带状、团状富集, 部分水云母化; 岩石孔隙以粒内溶孔为主, 各类溶蚀孔隙多被方解石胶结物充填。孔隙以微孔为主, 喉道以微细喉道为主, 孔喉连通性差。毛管压力实验中, 排驱压力高, 渗透能力差。

6 结论

(1) 根据分形几何的理论与分形维数定义, 用压汞数据对渤海 M 油田的岩样进行分形维数进行计算, 表明该区储集层的微观孔隙结构在一定的尺度范围内具有分形特征, 储层孔隙结构的分形维数越大, 孔喉结构越差, 渗流能力差。

(2) 利用毛管压力数据建立岩石湿相饱和度与孔喉半径的幂函数关系, 求取分形分维数, 该值是无量纲标度, 是孔隙空间复杂程度的综合评价参数, 用该值定量评价储层是可行的。

(3) 湿相饱和度-压力双对数坐标系下, 散点呈现单一线性关系或多段线性关系。单一线性相关

表示岩样孔喉结构非均质性弱, 孔喉结构满足单一分形特征, 指示为单一沉积环境或弱沉积动力环境; 多段性线性相关表示岩样孔喉结构非均质性强, 孔喉结构满足具有多个分形特征, 指示为多个沉积环境或强动力沉积环境。

参考文献:

- [1] WONG P Z, HOWARD J. Surface roughening and the fractal nature of rocks[J]. *Physical Review Letters*, 1986, 57: 637-640.
- [2] 纪法华, 张一伟. 分形几何学在储层非均质性描述中的应用[J]. *石油大学学报*, 1994, 18(5): 161-168.
- [3] 贾淑芬, 沈平平, 李克文. 砂岩孔隙结构的分形特征及应用研究[J]. *断块油气田*, 1995, 2(1): 16-21.
- [4] KROHN C E. Sandstone fractal sandstone pore: automated measurements using scanning electron microscope images[J]. *Physical Review Sect, B*, 33.
- [5] MANDELBROT B B. *The Fractal Geometry of Nature*[M]. San Francisco: Freeman, 1982.
- [6] KATA A J, THOMPSON A H. Fractal sandstone pore: implications for conductivity and por formation[J]. *Physical Review Letters*, 1985, 54(12): 1325-1328.
- [7] 窦文超, 刘洛夫, 吴康军等. 基于压汞实验研究低渗储层孔隙结构及其对渗透率的影响: 以鄂尔多斯盆地西南部三叠系延长组长7储层为例[J]. *地质论评*, 2016, 62(2): 502-511.
- [8] 杨玉卿, 潘福熙, 田洪, 等. 渤中25-1油田沙河街组低孔低渗储层特征及分类评价[J]. *现代地质*, 2010, 24(4): 685-693.
- [9] 姜艳娇, 孙建孟, 高建中, 等. X区块低孔渗气藏储层特征及分类评价研究[J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(10): 164-172.
- [10] 马立民, 林承焰, 范梦玮. 基于微观孔隙结构分形特征的定量储层分类与评价[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(5): 15-19.
- [11] 徐守余, 王淑萍. 砂岩储层微观结构分形特征研究: 以胜索油田古近系沙河街组储层为例[J]. *天然气地球科学*, 2013, 10(24): 886-893.
- [12] 滕藤, 金江宁, 屈元基. 基于孔隙分形特征的神木气田山西组成岩相定量分类[J]. *断块油气田*, 2018, 25(4): 431-434.
- [13] 刘航宇, 田中元, 徐振永. 基于分形特征的碳酸盐岩储层孔隙结构定量评价[J]. *岩性油气藏*, 2017, 29(5): 97-105.
- [14] 王志伟, 卢双舫, 王民, 等. 湖相、海相泥页岩孔隙分形特征对比[J]. *岩性油气藏*, 2016, 28(1): 88-93.
- [15] 张宪国, 张涛, 林承焰. 基于孔隙分形特征的低渗透储层孔隙结构评价[J]. *岩性油气藏*, 2013, 25(6): 40-45.
- [16] 赵明, 郁伯铭. 数字岩芯孔隙结构的分形表征及渗透率预测[J]. *重庆大学学报*, 2011, 34(4): 88-94.
- [17] 张立强, 纪友亮, 马文杰, 等. 博格达山前带砂岩孔隙结构分形几何学特征与储层评价[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 1998, 22(5): 31-33.

CLASSIFICATION OF THE RESERVOIR WITH MEDIUM TO LOW POROSITY AND PERMEABILITY BASED ON FRACTAL CHARACTERISTICS

WANG Zheng

(Beijing Scanpower Co., Ltd, Beijing 100101, China)

Abstract: The pore structure has an important influence on oil and gas seepage and productivity, and is also important for classification of low porosity and permeability reservoirs. In terms of micro scale, thin section observation and laboratory testing are used to describe the reservoir. In terms of macro scale, there is lack of an effective quantitative characterization method. In this paper, fractal theory is introduced into the evaluation of pore structure, and the relationship between porosity, permeability, displacement pressure, median radius of pore throat and fractal dimension is obtained with the established relationship between mercury injection data and fractal model. The results show that fractal dimension has a good correlation with reservoir physical properties and pore structure. It is feasible to use fractal dimension as a macro scale parameter to quantitatively characterize the complexity of pore space. At the same time, it may provide reliable quantitative characterization parameters for the classification of the reservoirs with medium to low porosity and permeability, and make a better decision-making basis for oilfield development and production.

Key words: fractal characteristics; low porosity and permeability reservoir; capillary curve; pore structure