

文章编号: 0253-9985(2006)04-0517-05

准噶尔盆地西北缘断裂体系分形特征与油气藏分布

陈新¹, 卢华复², 浦世照¹, 陈忠民¹, 李世宏¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000)

(2. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093)

摘要: 应用分形理论对准噶尔盆地西北缘油气区的断裂体系进行研究, 发现断裂的平面分布具有分形特征。对于断裂体系而言, 分形维数越大, 则断裂分布越不均匀, 断裂越发育。在此基础上, 讨论了断裂的性质及走向与分形维数的关系。正断裂以 NW 向为主, 自相似性强, 其分维数 (0.562 3) 大于 NE 向正断裂的分维数 (0.561 1)。逆断裂则以 NE 向断裂为主, 自相似性强, 其分维数 (1.135 6) 大于 NW 向逆断裂的分维数 (0.988 0)。在有断裂发育的油气藏中, 其分维数 (1.964 0) 大于无断裂油气藏的分维数 (1.763 0)。而在有逆断裂发育的油气藏中, 其分维数 (1.954 0) 更是远远大于有正断裂油气藏的分维数 (1.146 0)。

关键词: 分形维数; 断裂体系; 油气藏; 准噶尔盆地西北缘

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

Fractal characteristics and reservoir distribution of fault system in the northwest margin of Jungar basin

Chen Xin, Lu Huaifu, Pu Shizhao, Chen Zhongmin, Li Shihong

(1. Exploration and development Research Institute, PetroChina Xinjiang oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000)

(2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093)

Abstract Study of fault system with the fractal theory reveals that the plane distribution of the faults has fractal characteristics in the northwest margin of Jungar basin. Fault systems with larger fractal dimension consist of better developed and less evenly distributed faults. Based on this understanding, the relationship between the nature and trend of the faults and the fractal dimensions has been explored. The normal faults in the region are dominated by NW-trending faults with strong self-similarity and larger fractal dimension (0.562 3) than that of NE trending normal faults (0.561 1). While the reverse faults are dominated by NE-trending faults with strong self-similarity and larger fractal dimension (1.135 6) than that of NW-trending reverse faults (0.988 0). Reservoirs with well developed faults have larger fractal dimension (1.964 0) than those without faults (1.763 0), and reservoirs with reverse faults have a fractal dimension (1.954 0) much larger than those with normal faults (1.146 0).

Key words fractal dimension; fault system; reservoir; northwest margin of Jungar Basin

近年来, 分形和混沌理论取得了一系列有意义的进展, 为探索自然界的复杂性开辟了一个崭新的领域。其中, 分形维数 (简称分维) 研究已成为描述非线性动力系统特征的有力工具。地质学是应用分形理论研究相关课题的活跃领域之一, 如裂缝^[1]、储层非均质性描述^[2]、石油勘探开发决策^[3]和资源评价等。在资源评价方法上, 以盆地、圈闭评价和勘探过程分析为基础, 采用不同的统

计方法, 分析已发现的油气储量与油气地质特征和勘探过程之间的关系, 综合预测油气藏规模和数量的分布^[4-5], 其预测方法在不断更新, 如油田规模序列法、油气勘探历程法和已发现的油气田储量递增法^[6]。分形方法在预测储量和资源量、气田数量及其储量方面得到了应用^[7-9]。近来, 在断裂的分形特征^[10]、断裂组合的自相似性^[11]及其与油气的关系^[12]等研究方面取得了一系列有意

义的进展。本文应用分形理论对准噶尔盆地西北缘油气区的断裂体系进行研究,以期对勘探决策提供技术支持。

1 原理及方法

分形理论最早是由美籍法国数学家 Mandelbrot 在 1973 年提出的,并于 1986 年提出了人们普遍接受的定义:分形是指组成整体的每个部分以某种方式与整体相似^[13]。分形几何的精髓在于揭示了自然界的无标度性或自相似性,给出了描述自然界中复杂几何形态的一种定量方法。数学中的分形,具有无限嵌套的层次结构;而自然界中的分形则只有有限层次的嵌套,且只有进入到一定的层次结构以后才体现分形规律(通常是幂律)^[13]。分形维数是描述这种复杂自相似性的一个有效工具。分形维数简称分维,记为 D (无量纲)。实际计算中,分维数的求取通常采用网格覆盖法,即把所要测量的结构(断裂与油气藏)放进一个由尺寸为 r (无量纲)的正方形组成的规则网格系统中,数出那些包含有待测定点(断裂和油气藏)的网格个数 $N(r)$ (无量纲)。显然, $N(r)$ 与所选的尺寸 r 有关。之后,将尺寸 r 依次变小,便可得到一系列对应的数据 $N(r)$ 。将这些数据点在 $\ln N(r) - \ln r$ 图上用最小二乘法作回归,对应的直线部分就是所要测量的结构具有分形特征的范围,而此直线的斜率即为该结构的分维数 D 。

分维的概念和定义是从拓扑维的概念和定义引申过来的^[14]。现假定有一体积为 1 (边长为 1) 的立方体,用边长为 r ($r < 1$) 的立方体来测量,获得的测量数为

$$N(r) = \frac{1}{r^3} \quad (1)$$

测得的立方体体积为

$$N(r) \cdot r^3 = 1 \quad (2)$$

由 (2) 式可得立方体的拓扑维为

$$D_t \frac{\ln N(r)}{\ln \frac{1}{r}} = 3 \quad (3)$$

分维用来描述复杂的形态,它是非整数的。这是它与拓扑维的根本区别。把拓扑维的定义引申后,得到分维的定义为

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N(r)}{\ln \frac{1}{r}} \quad (4)$$

2 分形特征

进行分形研究的关键问题之一就是无标度区的选择,也就是事物自相似性(分形规律)存在的尺度变化范围。在地学领域内一般认为,在同一条件下形成的同类地质体属于同一无标度区,因为在同一条件下形成的地质体其相似程度最大。

基于以上原理,选择准噶尔盆地西北缘早燕山期的断裂体系(图 1)为无标度区。选择初始网

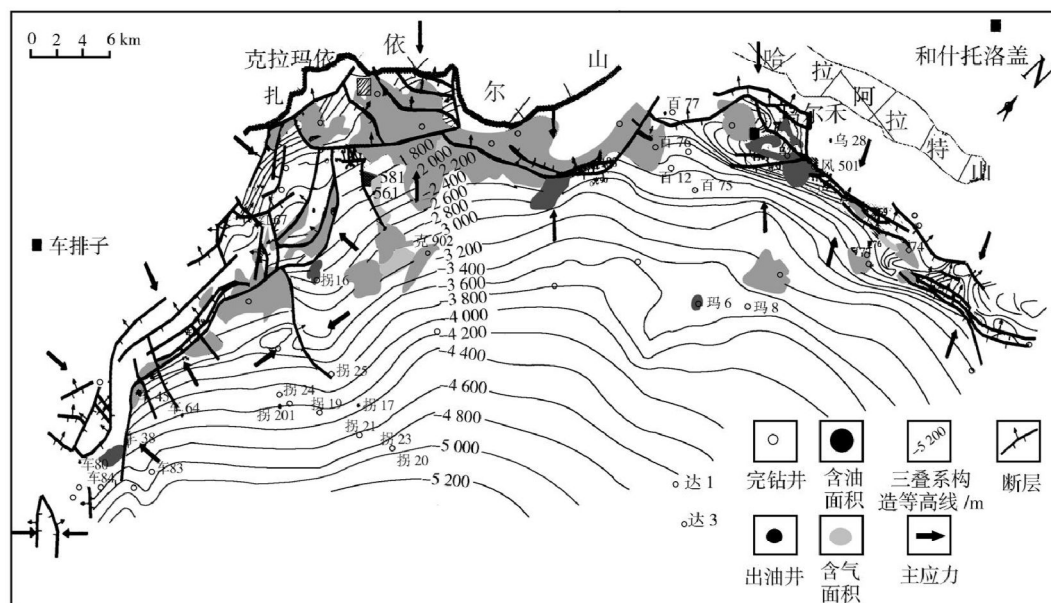


图 1 准噶尔盆地西北缘油气区断裂平面体系分形及应力分布
Fig. 1 Fractal and stress distribution of the fault systems in the northwest margin of Jungar basin

表 1 研究区断裂分维数

Table 1 Fractal dimensions of the faults in the study area

r	$\ln r$	$\ln V(r)$ (断裂覆盖)	D	$\ln V(r)$ (NW 向正 断裂)	D	$\ln V(r)$ (NE 向正 断裂)	D	$\ln V(r)$ (NW 向逆 断裂)	D	$\ln V(r)$ (NE 向逆 断裂)	D
50	3.912	3.434	1.332 8	2.508	0.562 3	2.485	0.561 1	2.639	0.988 0	3.045	1.135 6
25	3.219	4.454		2.980		2.639		3.542		4.034	
10	2.303	5.587		3.420		3.367		4.248		4.890	

格 r 为 50、25、10 mm。在此基础上分别求得网格内各种走向断裂 (NE 向、NW 向) 进入“盒子”的数目, 再由 (4) 式求取分维数 (表 1)。

近期研究成果表明: 对于断裂体系, 分维数 D 越大, 则断裂分布越不均匀, 断裂越发育; $\ln V(r)$ - $\ln r$ 拟合越好, 相关系数就越高^[10~12]。西北缘油区断裂走向总体可分为 NE 向断裂和 NW 向断裂两种。因此, 要确定油气区哪种走向断裂更具分形特征需要进一步的分析。准噶尔盆地西北缘克拉玛依-乌尔禾大断裂带闻名国内外, 是克拉玛依油田的主要产油气区, 研究断裂带的分布特征及其与油气藏分布的关系具有非常现实的意义^[15~17]。早燕山期断裂体系的 $\ln V(r)$ - $\ln r$ 关系图 (图 2) 表明: 曲线拟合程度高, 相关系数 R 达到 0.998 7, 该油区的断裂分布具有分形特征, 表征断裂复杂程度的分维数 D 为 1.332 8。

2.1 断裂走向分形特征

研究区内断裂可分为两类, 即正断裂和逆断裂; 按走向又可分为 NW 向断裂和 NE 向断裂两种。现在讨论其平面分形特征。

图 3 表明, 正断裂走向以 NW 向断裂为主要特征, 自相似性强, 其分维数 ($D = 0.562\ 3$) 大于 NE 向正断裂的分维数 ($D = 0.561\ 1$)。从相关系数上看, NW 向正断裂的相关系数 ($R = 0.994\ 9$) 大于 NE 向正断裂的相关系数 ($R = 0.961\ 2$)。以

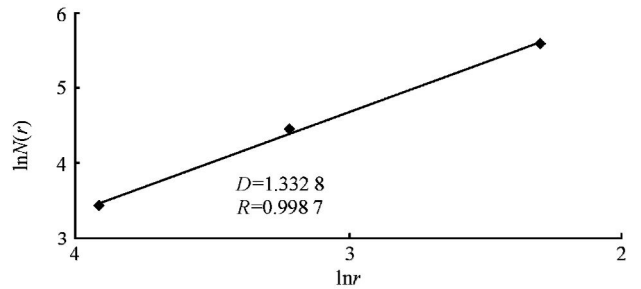


图 2 准噶尔盆地西北缘油气区断裂体系分形关系
Fig. 2 Fractal relation of the fault systems in the northwest margin of Jungar basin

上分形结果说明正断裂以 NW 向为主, 反映其自相似性规律为 NW 向。逆断裂走向则以 NE 向断裂为主要特征, 相比较而言自相似性强。其分维数 ($D = 1.135\ 6$) 大于 NW 向逆断裂的分维数 ($D = 0.988\ 0$)。从相关系数上看, NW 向逆断裂的相关系数 ($R = 0.988\ 6$) 小于 NE 向逆断裂的相关系数 ($R = 0.992\ 6$)。以上分形结果说明逆断裂走向以 NE 向为主, 反映其自相似性规律为 NE 向。

总体来看, 无论 NW 向逆断裂还是 NE 向逆断裂, 其分维数都大于 NW 向正断裂和 NE 向正断裂, 且自相似性表现也强于正断裂 (图 3)。

2.2 应力场特征

根据定义, 压应力正面作用于截面, 使岩层经受压缩, 用正值表示 ($\sigma_h > 0$); 扭应力则使岩层发生顺时针转动 ($\tau < 0$) 或逆时针转动 ($\tau > 0$)。准噶尔盆地西北缘断裂体系平面古应力场特征如图 1 所示。研究区存在两组应力: 其主压应力方向分别为 NNE 向和 NWW 向; 而扭应力方向则为 NNW 向、NEE 向、SWW 向和 SSE 向。一般来说, 应力方向垂直于断裂的走向。

3 分形特征与油气藏分布的关系

断裂分维研究的目的是要明确断裂体系分

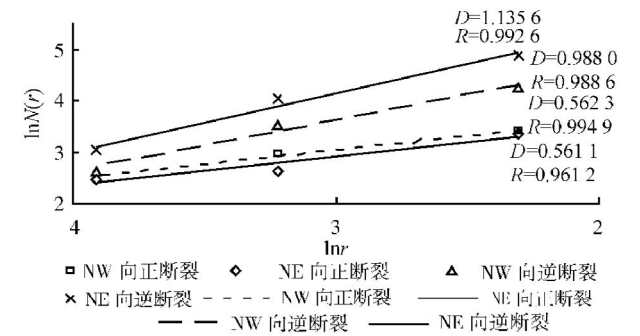


图 3 准噶尔盆地西北缘油气区断裂体系分形关系
Fig. 3 Fractal relation of the fault systems in the northwest margin of Jungar basin

表 2 准噶尔盆地西北缘油区油气藏分布个数统计

Table 2 The numbers of reservoirs in different blocks of the northwest margin of Jungar basin

油藏位置	一区	二区	三区	四区	五区	六区	七区	八区	九区	百口泉	红山嘴	车排子	乌尔禾	风城	夏子街	小拐	玛北
个数	8	10	8	7	19	7	13	16	20	18	19	8	4	5	13	4	2

表 3 研究区断裂与油气藏分维数

Table 3 Fractal dimension of reservoirs and faults in the study areas

r	$\ln r$	$\ln V(r)$ (断裂、有油 气藏)	D	$\ln V(r)$ (断裂、无油 气藏)	D	$\ln V(r)$ (正断裂、有 油气藏)	D	$\ln V(r)$ (逆断裂、有 油气藏)	D	$\ln V(r)$ (无断裂、有 油气藏)	D
50	3.912	3.178	1.964 0	2.303	1.724 0	2.773	1.146 0	3.178	1.954 0	1.609	1.763 0
25	3.219	3.912		3.401		2.996		3.784		2.890	
10	2.303	4.522		5.069		2.069		4.500		4.060	

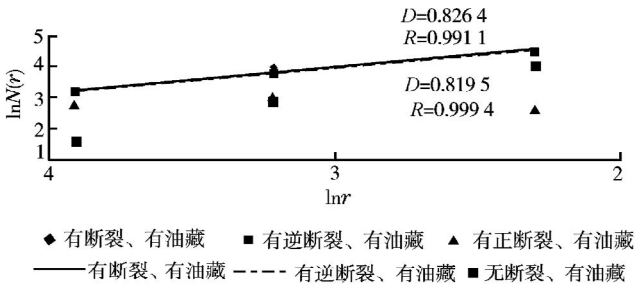


图 4 准噶尔盆地西北缘油区断裂体系与油气藏分形关系

Fig. 4 Fractal relation between the reservoirs and faults systems in the northwest margin of Jungar basin

维与油气藏分布在空间上是否存在分形关系,通过研究这种关系来阐明研究区的油气富集规律,最终达到指导油气勘探的目的。

根据前述断裂分形分维特征研究的结果,结合研究区已发现油气藏的位置及个数(表 2),计算得到在有断裂发育的油气藏中(表 3)其分维数($D = 1.964\ 0$)大于无断裂、有油气藏的分维数($D = 1.763\ 0$)。而在有逆断裂发育的油气藏中,其分维数($D = 1.954\ 0$)更是远远大于有正断裂、有油气藏的分维数($D = 1.146\ 0$)。以上分形结果说明在准噶尔盆地西北缘油区,油气藏的分布受控于逆断裂体系,这与西北缘油气分布规律是一致的。无断裂、有油气藏的分维数($D = 1.763\ 0$)说明,在西北缘油区找到一定数量的非断裂型圈闭、发现非断裂油气藏是可能的(图 4)。

4 结论

准噶尔盆地西北缘油区断裂平面分布可明显分为 NNE 向和 NWW 向两组。NE 向逆断裂为主

要断裂,控制着一级构造单元;NW 向正断裂控制着准噶尔盆地西北缘的凸凹格局。NNW 向、NEE 向、SWW 向和 SSE 向断裂主要为压性断裂,其在主断裂旁派生的分支断裂有压性分支“入”字型断裂和扭性分支“入”字型断裂,在这些地方发育断裂型圈闭。断裂分维的大小显示了构造的复杂程度以及空间分布的均匀性。分维数大的区域常是应力集中(释放)、断裂发育的地段,从而为油气提供了有利的运移通道和汇聚场所。油气沿着断裂带(面)上升,在浅部的构造有利部位聚集成藏。断裂体系平面分布的分维数越大,可能越有利于成藏。应用分形方法研究该油区断裂及构造活动是可行的。

需要指出的是,应用断裂体系的分维特征去研究油气藏的成藏规律和分布规律时,必须结合实际的地质背景,辨明不同地质历史时期断裂体系与成藏作用的关系,这样才能更准确地认识油气运移、聚集的规律。

参 考 文 献

1 孟庆武,李成斌,李强,等. 分形理论在高分辨率处理中的应用[J]. 石油学报, 2000 21(2): 31~ 35
Meng Qingwu, LiChenbin, LiQiang et al Application of fractal theory in high resolution processing of seismic data[J]. Acta Petrolei Sinica 2000 21(2): 31~ 35
2 李春华,鲁港,毛俊莉,等. 分形理论在井间薄储集层描述中的应用[J]. 石油学报, 1998 19(4): 26~ 29
LiChunhua, LuGang, MaoJunli et al The application of fractal theory in description of interwell thin reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica 1998 19(4): 26~ 29
3 郭黔杰,康永尚. 支持石油勘探开发决策的新方法——分形几何与地质统计学[J]. 石油学报, 1998 19(2): 36~ 39
Guo Qianjie, Kang Yongshang New method for supporting decision

- making in petroleum exploration and development fractal geometry and geostatistics[J]. *Acta Petrolei Sinica* 1998, 19(2): 36–39
- 4 Houghton J C, Dolton G L, Mast R F, et al US Geological Survey estimation procedure for accumulation size distributions by play [J]. *AAPG Bulletin* 1993, 77(3): 454–466
 - 5 Drew L J, Schuenemeyer J H. The evolution and use of discovery process models at the US Geological Survey [J]. *AAPG Bulletin* 1993, 77(3): 467–478
 - 6 金强. 美国地质调查所进行的油气资源评价[J]. *国外油气勘探*, 1998, 10(4): 393–401
Jing Qiang. The estimation of oil and gas resources made by US Geological Survey institute [J]. *Abroad Oil & Gas Exploration* 1998, 10(4): 393–401
 - 7 曾怡. 分形法预测油气储量与资源量[J]. *石油实验地质*, 1998, 20(2): 152–154
Zeng Yi. A new method of petroleum resources estimation fractal method [J]. *Petroleum Geology & Experiment* 1998, 20(2): 152–154
 - 8 刘晓冬, 徐景祯, 王兴涛. 分形方法预测气田数量及其储量[J]. *石油学报*, 2000, 21(2): 42–44
Liu Xiaodong, Xu Jingzhen, Wang Xingtiao. A fractal method to predict the number and size of gas fields [J]. *Acta Petrolei Sinica* 2000, 21(2): 42–44
 - 9 陈新, 王绪龙, 靳涛. 石油储量分布的分形特征及其预测[J]. *新疆地质*, 2001, 19(4): 297–299, 304
Chen Xin, Wang Xulong, Jin Tao. The fractal characteristics and its prediction of the distribution of oil reserves [J]. *Xinjiang Geology* 2001, 19(4): 297–299, 304
 - 10 吴树仁, 吴淦国, 胡道功, 等. 鄂西清江上游 NE 向活动断层束分段分形特征[J]. *地球学报*, 1999, 20(2): 142–149
Wu Shuren, Wu Ganguo, Hu Daogong, et al. Segmentation and fractal dimension of the NE-trending active fault population in the upper reaches of the Qingjiang river, western Hubei [J]. *Acta Geoscientia Sinica* 1999, 20(2): 142–149
 - 11 周新桂, 孙宝珊, 刘金红. 辽河科尔康油田断裂分形特征与油气关系[J]. *地质力学学报*, 1997, 3(1): 81–87
Zhou Xingu, Sun Baoshan, Liu Jinhong. Fractal characteristics of fault systems and its relation to oil-gas traps in Kerkang oil field of Liahe basin [J]. *Journal of Geomechanics* 1997, 3(1): 81–87
 - 12 方茂龙, 孙文鹏, 蔡文伯, 等. 断裂组合自相似性探讨[J]. *地质论评*, 2000, 46(1): 312–318
Fang Maolong, Sun Wenpeng, Cai Wenbo, et al. Probe into the self-resemblance of fault constitute [J]. *Geological Review* 2000, 46(1): 312–318
 - 13 李后强, 汪富泉. 分形理论及其在分子科学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 28–45
Li Houqiang, Wang Fuquan. *Fractal theory and its application in molecular science* [M]. Beijing: Science Press, 1993, 28–45
 - 14 潘葆芝, 薛林福. 分维数及其在测井地质解释中的应用[A]. 见: 中国石油学会石油测井专业委员会, 编. 测井在油藏描述中的应用[C]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 213–219
Pan Baozhi, Xue Linfu. Fractal dimensions and their application in the geological interpretation of logging [A]. In: *the Petroleum Logging Committee of China Petroleum Society, ed. Application of logging in reservoir description* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992, 213–219
 - 15 雷振宇, 鲁兵, 蔚远江, 等. 准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 86–91
Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang, et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar basin [J]. *Oil & Gas Geology* 2005, 26(1): 86–91
 - 16 李嵘. 准噶尔盆地西北缘二叠系储层特征及分类[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(1): 78–81, 87
Li Rong. Characteristics and classification of Permian reservoirs in northwestern margin of Junggar basin [J]. *Oil & Gas Geology* 2001, 22(1): 78–81, 87
 - 17 张年富, 齐雪峰, 王英民, 等. 准噶尔盆地侏罗系 III 层序底界上下砂体预测与有利区评价[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(2): 145–149
Zhang Nianfu, Qi Xuefeng, Wang Yingmin, et al. Prediction of upper and down sandbodies in the bottom boundary of III sequence of Jurassic in Junggar basin and evolution of favorable areas [J]. *Oil & Gas Geology* 2002, 23(2): 145–149

(编辑 李军)

国内外油气比较

据美国《Oil and Gas Journal》(2005. 12)报道, 截至 2005 年底世界石油剩余探明可采储量 1 770.79 亿 t, 其中我国为 24.90 亿 t, 居世界第 12 位。

2005 年世界石油产量 35.90 亿 t, 其中我国为 1.81 亿 t, 居世界第 5 位。

截至 2005 年底世界天然气剩余探明可采储量 173.08 万亿 m^3 , 其中我国为 2.82 万亿 m^3 , 居世界第 11 位。

据美国《Oil and Gas Journal》(2005. 2)报道, 2005 年世界天然气产量为 2.76 万亿 m^3 , 其中我国为 490.37 亿 m^3 , 居世界第 12 位。

(高岩 供稿)