

文章编号:0253-9985(2006)01-0111-07

应用遗传神经网络研究低渗透储层成岩储集相 ——以胜利渤南油田三区沙河街组为例

李海燕, 彭仕宓

(中国石油大学, 北京 102249)

摘要:以渤南油田三区沙河街组为例,应用遗传神经网络模式识别方法,开展了低渗透储层成岩储集相的研究。该工作是在储集层沉积相、成岩作用研究的基础上,选用流动层带指标、孔隙度、渗透率、粒度中值、泥质含量、孔喉半径均值和变异系数等7项参数,采用神经网络模式识别方法,通过建立遗传神经网络的学习及预测模型,对渤南油田三区沙河街组进行了成岩储集相识别,识别出4类成岩储集相:不稳定组强溶解次生孔隙成岩储集相、碳酸盐胶结物溶解次生孔隙成岩储集相、强压实强胶结残余粒间孔成岩储集相和极强压实强胶结致密成岩储集相。I类储集相的储集性能最好,IV类最差,为非储层或差储层。

关键词:神经网络;低渗透;模式识别;成岩储集相;渤南油田

中图分类号:TE 112.2

文献标识码:A

Study diagenetic reservoir facies of low permeability reservoir with genetic neural network: take Shahejie Fm in

cies resulted from dissolution of carbonate cements (type II), relic intergranular pore diagenetic reservoir facies after strong compaction and cementation (type III), and tight diagenetic reservoir facies after extremely strong compaction and strong cementation (type IV). The reservoir properties of the type I reservoir facies are the best, while that of type IV are the worst and they are nonreservoirs or poor reservoirs.

Key words: neural network; low permeability; pattern recognition; diagenetic reservoir facies; Bonan oilfield

有效地确定低渗透储集层质量分类及分布,是低渗透储集层质量评价研究的难题。低渗透储集层成因机理复杂,储集层性质是沉积、成岩、构

造和流体改造作用的综合效应。为深入研究低渗透储集层主控因素之间的相关关系及低渗透储集层综合成因机理,本文以成岩储集相为思路,应用

收稿日期:2005-06-10

第一作者简介:李海燕(1973—),女,博士后,油藏开发地质学

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CCA00700)

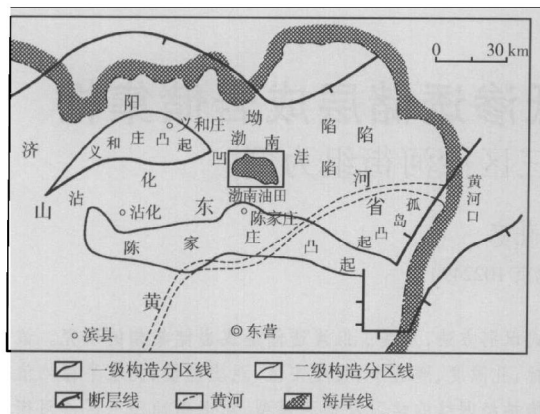


图1 渤南油田工区位置图

Fig.1 Location map of the work area in Bonan oilfield

遗传神经网络模式识别方法,以渤南油田三区低渗透储层为例开展低渗透储集层质量评价研究工作。

渤南油田位于济阳坳陷沾化凹陷渤南洼陷(图1),是胜利油区含油面积和储量最大的亿吨级深层低渗透断块岩性油藏。渤南油田三区位于渤南油田中部,南北被两条北倾正断层夹持,为一受断层控制的构造-岩性油藏。主要含油层系为古近系沙河街组二段和沙河街组三段,储集层平均孔隙度为16.9%,平均渗透率为 $45.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中孔低渗透储层。由于地层埋深较大,成岩作用类型较多,储层质量变化很大,成岩作用及成岩储集相分布研究一直是该区力图解决的难题之一。

1 沉积相

渤南油田沙河街组沉积砂体是在箕状盆地谷底背景下,沉积物搬运入湖过程中形成的一套砂、砾岩体。沙河街组二段为河流相,呈正韵律和明显的旋回性,顺水流方向连续性好,垂直于水流方向连续性差,发育点砂坝、天然堤、决口扇、河漫滩4种微相(图2A,B)。沙河街组三段为浊积扇砂体,可进一步划分为内扇、中扇和外扇。渤南三区主体部位为中扇,发育沟道、滑塌扇及沟道间3种微相(图2C,D)。

2 成岩作用

2.1 储集空间和喉道类型

根据铸体薄片鉴定、图像分析、扫描电镜观

察,本区低渗透储层储集空间可分为原生粒间孔和次生孔隙两大类。由于储层埋深大,且经历了强烈的成岩作用改造、压实作用、自生矿物的充填和胶结作用,原生粒间孔隙不断缩小,形成缩小的粒间孔和残余粒间孔。而晚成岩期的强烈溶解作用使得储集空间增加,形成各种次生溶蚀孔隙(颗粒内溶孔、铸模孔及粒间溶孔)。强烈的压实作用,碎屑颗粒之间多呈线-点接触,在碎屑颗粒之间多形成片状喉道及少量缩颈型喉道和管束状喉道,加之自生矿物的充填和胶结作用,在自生矿物晶体之间也多形成片状喉道。

2.2 成岩作用对储集物性的影响

成岩作用在砂岩的埋藏演化过程中对于其孔隙度、渗透率的产生、破坏和改造起着关键作用^[1~4],形成了中孔中渗细喉、中孔低渗特细喉、中孔特低渗特细喉和中-低孔特低渗微细喉4类储层。压实作用是本区储集空间破坏的主要因素,压实作用损失的原始孔隙百分比达60%~70%。砂岩储层中自生胶结物含量低,视胶结率多为20%~70%,属中等-弱胶结。胶结作用损失的原始孔隙百分比虽然不大,但由于自生矿物类型多、分布普遍,多呈分散状散布于粒间及粒表,极易堵塞孔喉而使储层的渗透率降低,砂岩储层较低渗透率的主要成因机理就是成岩期各种自生矿物的充填和胶结作用。此外,溶解形成的孤立互不连通的粒间孔也是造成渗透率较低的原因。本区砂岩储层虽经机械压实作用和胶结作用损失了大部分的原始储集空间,但仍有较高的孔隙度(孔隙度多为13%~22%,最高可达25%,以中等孔隙度为主,少量高孔隙度),这主要是由于晚成岩期强烈的溶解作用形成次生溶孔的结果。

2.3 成岩作用阶段划分

根据裘亦楠等人^[5,6]和Alaa等人^[4]成岩阶段划分方案及其标志,结合本区砂岩储层特征,确认本区储层处于晚成岩A期(图3)。其特征如下:

1) 储层埋深为3 050~3 470 m,已进入深埋藏环境,压实作用强,颗粒紧密堆积,多呈线-点接触,甚至可见凹凸接触,原生粒间孔趋于消失。

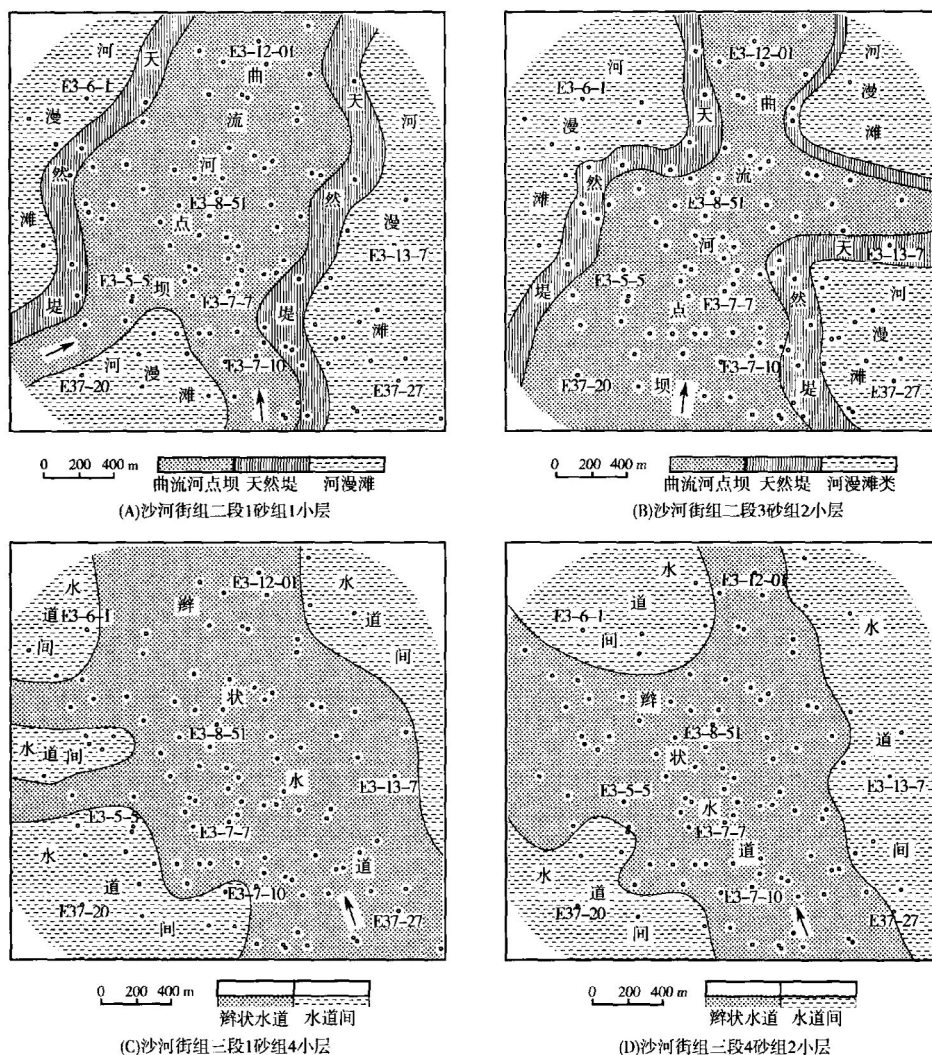


图2 渤南油田三区沉积相平面图

Fig. 2 Plane view showing sedimentary facies in block 3 of Bonan oilfield

2) 石英次生加大普遍而强烈,达Ⅱ~Ⅲ级,而且有许多自形的石英晶体生长,粒间孔中多充填各种自生矿物。

3) 据电子探针能谱分析,出现含铁较高的含铁方解石和铁白云石。

4) 镜质体反射率为0.6%~0.9%,最高热解峰温为430~440℃,有机质演化进入成熟阶段。

5) 粘土矿物组合类型为伊利石、伊/蒙混层和高岭石,并出现较多的绿泥石,蒙脱石已消失,伊/蒙混层迅速向伊利石转化,混层类型为部分有序和有序混层,混层中蒙脱石层占20%。

6) 有机质成熟排出大量的有机酸,以及混层粘土矿物转化释放的富CO₂层间水对铝硅酸盐矿

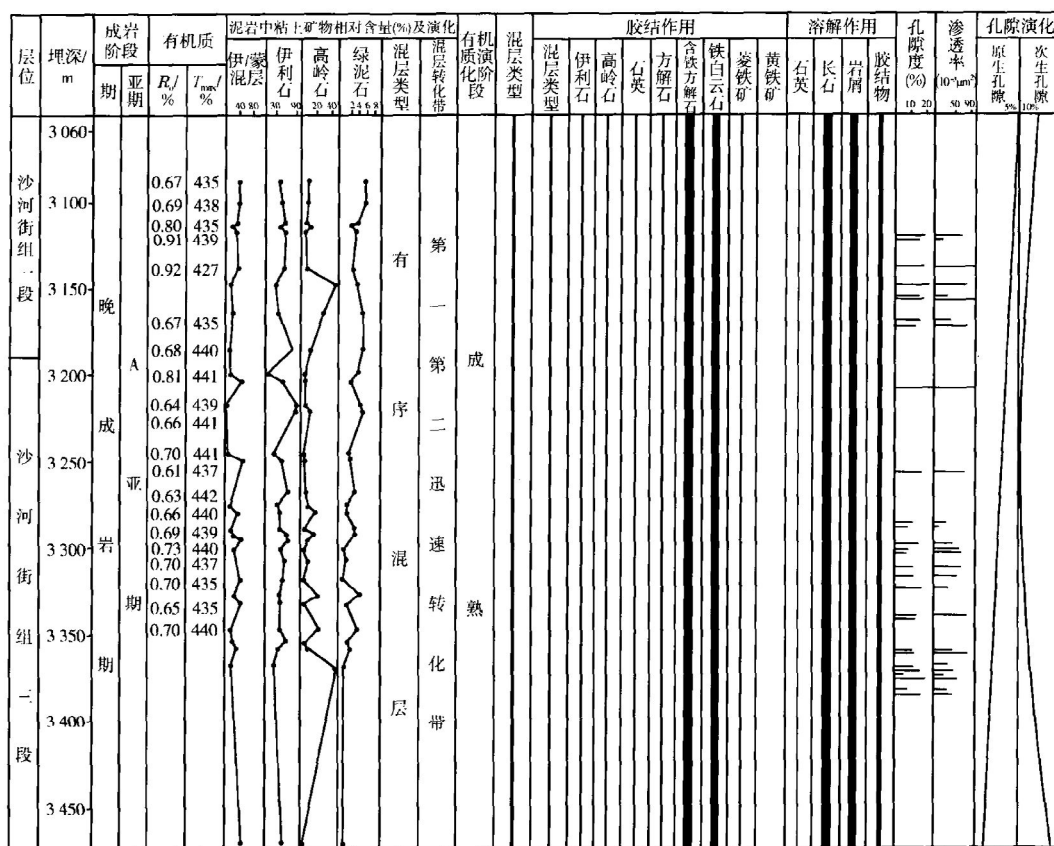
物溶蚀,产生大量的次生孔隙^[7-10]。

7) 孔隙组合类型以次生溶孔为主,仅有少量的缩小原生粒间孔及残余粒间孔。

3 以遗传神经网络为核心的成岩储集相识别

3.1 遗传神经网络的基本原理

遗传神经网络是把遗传算法引用到神经网络,避免常用的BP神经网络局部最小的欠缺。遗传算法是将问题的求解表示成“染色体”,从而构成一群“染色体”。将它们置于问题的“环境”中,



注: 压实作用、胶结作用和溶解作用对应的线条粗细代表其作用的强弱程度; R_o 为镜质体反射率; T_{max} 为最大热解峰温。

图3 渤南油田三区沙河街组二段和三段储层成岩作用阶段划分

Fig. 3 Division of the diagenetic stages of the reservoirs in the 2nd and 3rd members of Shahejie Fm in block 3 of Bonan oilfield

根据适者生存的原则,从中选择出适应环境的“染色体”进行复制,即再生,然后通过交换、变异两种基因操作产生出新一代更适应环境的“染色体”群,这样一代代地不断进化,最后收敛到一个最适应环境的个体上,求得问题的最优解^[11]。

3.2 成岩储集相的识别

成岩储集相是某一种或几种成岩作用及其形成的储集特征的综合反映^[12]。本文选用以下参数划分成岩储集相:1)孔隙度和渗透率;2)粒度中值和泥质含量;3)孔喉半径均值;4)变异系数;5)结合岩石结构和矿物地质特征判定不同孔隙几何相的流动层带指标。一般根据 Kozeny - Carman 关系式确定流动层带指标^[13],即

$$FZI = \frac{1 - \phi}{\phi} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad (1)$$

式中 FZI 为流动层带指标, μm ; ϕ 为有效孔隙

度,%; K 为渗透率, μm^2 。

本文选取渤南油田三区的3口取心井(义3-7-7、义37-34、义3-9-3井)资料进行研究。统计各层内相对均质段的各项参数值,对照岩心分析其主要岩石类型,结合储层岩石相、沉积相分析,综合考虑砂岩中碎屑组分特征及含量、杂基含量、胶结物类型及含量、储集空间类型、压实作用、胶结作用及溶解作用的强弱等,将本区沙河街组二段和沙河街组三段储层砂岩分为4种成岩储集相类型(表1)。以此建立遗传神经网络进行成岩储集相识别的学习及预测模型,从而对研究区各井各小层进行成岩储集相的识别。

I类为不稳定组分强溶解次生孔隙成岩储集相。岩性主要为长石岩屑细、中砂岩,部分为粗砂岩。分选中等,杂基含量低。碎屑组分中不稳定的长石和岩屑含量高,溶解作用强烈,储集空间以

表1 渤南油田三区沙河街组二段、沙河街组三段成岩储集相划分统计
Table 1 Statistics of the divided diagenetic reservoir facies of the 2nd and 3rd members of Shahejie Fm in block 3 of Bonan oilfield

成岩储集相	孔隙度/ %	渗透率/ ($10^{-2} \mu\text{m}^2$)	粒度中值/ mm	泥质含量/ %	孔喉半径 均值/ μm	变异系数	流动层带 指标/ μm	与沉积相 的关系
I类	18~25	50~100	0.12~0.24	<12	3.15~6.30	0.10~0.50	>3.5	点坝、沟道的粗—细砂岩
II类	15~22	10~50	0.10~0.18	8~21	1.27~3.90	0.35~0.80	2.0~3.5	点坝、天然堤、沟道的 细—粗砂岩

储层。

II类为碳酸盐胶结物溶解次生孔隙成岩储集相。岩性主要为岩屑长石细砂岩,部分为中砂岩和粗砂岩。储层砂岩分选中等,多被早成岩期的粒间碳酸盐(方解石和菱铁矿)胶结。方解石和菱铁矿在晚成岩期部分或完全溶解。储集空间类型主要为粒间胶结物溶孔。胶结作用中等,粒间常有残余的方解石和菱铁矿,以及晚成岩期的铁方解石、铁白云石和各种自生粘土矿物。孔隙度较高,可达15%~22%,渗透率较低,为 $10 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。此类成岩储集相主要发育于曲流河点坝和天然堤以及浊积扇的沟道的细—粗砂岩,形成中孔低渗特细喉储层。

III类为强压实强胶结残余粒间孔成岩储集相。岩性主要为长石岩屑和岩屑长石细砂岩,部分中、粗砂岩和粉砂岩。压实作用强烈,形成缩小的粒间孔,强烈的胶结作用,形成残余的粒间孔。溶解作用中等,形成部分粒间溶孔,储集空间组合类型为缩小粒间孔及残余粒间孔,部分粒间次生溶孔,孔隙度低,为8%~15%。由于粒间有较多自生矿物充填,致使孔隙连通性差,孔喉半径小,渗透率特低,仅为 $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。此类成岩储集相主要发育于曲流河天然堤、决口扇,浊

差,渗透率极低,小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,此类成岩储集相主要发育于天然堤、河漫滩、沟道间的粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩中,形成低孔特低渗储层。

3.3 成岩储集相的平面展布

研究区的成岩作用强度与构造运动、埋藏深度和埋藏史关系密切,因此在实现成岩储集相的平面展布时,除了依据神经网络识别结果,还考虑到了上述控制成岩演化的地质因素与岩性和沉积相之间的关系,最终完成了各小层成岩储集相到平面上的展布(图4A—D)。

上述4种成岩储集相中,以不稳定组分溶解次生孔隙成岩储集相(I类)储集性能最好,为最有利的储层;碳酸盐胶结物溶解次生孔隙成岩储集相(II类)的储集性能次之,为有利储层;强压实强胶结残余粒间孔成岩储集相(III类)的储集性能较差,为较有利储层;极强压实强胶结致密成岩储集相(IV类)的储集性能最差,为差储层或非储层。

4 结 论

1) 压实、胶结、溶解作用是渤南油田三区最

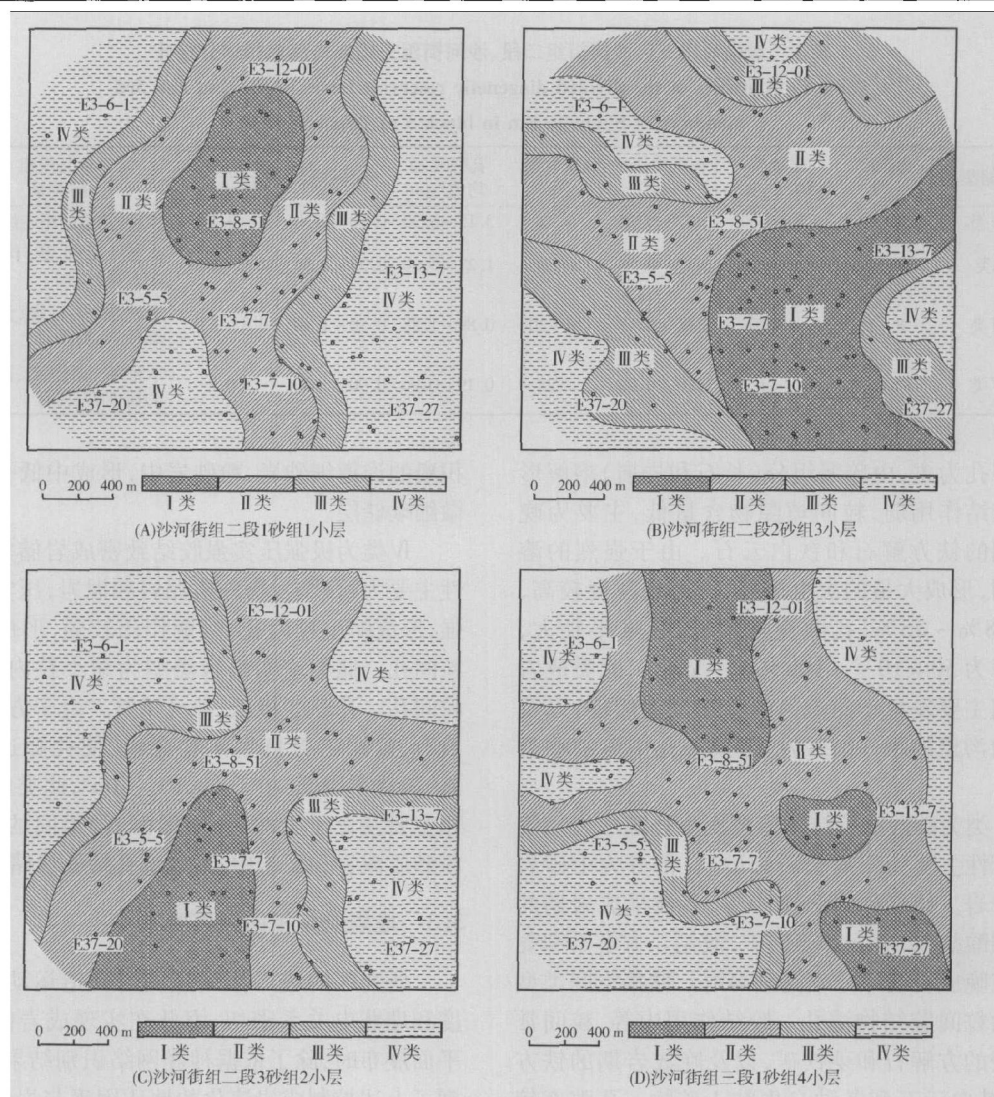


图4 渤南油田三区成岩储集相平面图

Fig. 4 Plane view showing diagenetic reservoir facies in block 3 of Bonan oilfield

为主要的3种成岩作用类型,造成本区储层砂岩较低渗透率的主要成因机理是成岩期各种自生矿物的充填和胶结作用;造成砂岩储层溶解作用的主要是二次层间水脱出形成的 CO_2 酸性孔隙水和有机质演化形成的有机酸。

2) 通过变换的 Cozeny - Carman 方程,采用流动层带指标、孔隙度、渗透率、粒度中值、泥质含量、孔喉半径均值、变异系数等参数,应用遗传人工神经网络方法,可以有效地定量识别低渗透储层的成岩储集相,并结合沉积相、储集空间类型、成岩作用强弱,使分类结果更符合客观实际。

3) 遗传神经网络有很强的容错能力,可以最大限度地排除各种误差。所建立的神经网络模型

可以建立地质参数与成岩储集相之间结构性的复杂映射关系,且有很好的外推能力。

4) 提出了在低渗透油田开发调整阶段应用遗传神经网络识别成岩储集相进行储集层质量评价的方法。该方法分类速度快,有很强的实用性。成岩储集相研究表明,有利的沉积相及有利的成岩储集相的有机结合形成高质量储集层,对于油田开发有重要的地质意义。

参 考 文 献

- 1 Cowan G. Diagenesis of Upper Carboniferous sandstones; southern North Sea basin[A]. In: Whateley M K G, Pickering K T, eds. Deltas: sites and traps for fossil fuels[C]. Geological

- Society of London Special Publication, 1989, 41: 57 - 73
- 2 Dixon S A, Summers D M, Surdam R C. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation (Upper Jurassic), southern Alabama[J]. AAPG Bull, 1989, 73: 707 - 728
 - 3 Worden R H, Oxtoby N H, Smalley P C. Can oil emplacement prevent quartz cementation in sandstones [J]. Petroleum Geoscience, 1998, 4: 129 - 137
 - 4 Alaa M, salem S, Morad S. Diagenesis and reservoir-quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: evidence from the Upper Jurassic Boipeba member, Revoncavo basin, northeastern Brazil[J]. AAPG Bull, 2000, 84(7): 1 015 - 1 040
 - 5 裴泽楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 59 - 64, 290
Qiu Yanan, Xue Shuhao. Oil & gas reservoir evaluation technique [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 59 - 64, 290
 - 6 裴泽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 149 - 217
Qiu Yanan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. Terrestrial oil & gas reservoir in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 149 - 217
 - 7 Cook C C, Andersen M A, Halle G, et al. An approach to simu-
structure of reservoir permeator of S_3^4 sand group of Lower Tertiary in 3th area of Bonan oilfield, Shandong[J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(1): 52 - 55
 - 9 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳坳陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84 - 89
Cai Jingong, Xie Zhonghuai, Tian Fang, et al. Diagenesis and pore evolution of deep sandstones in Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 84 - 89
 - 10 李汶国, 张晓鹏, 钟玉梅. 长石砂岩次生溶孔的形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 220 - 229
Li Wenguo, Zhang Xiaopeng, Zhong Yumei. Formation mechanism of secondary dissolved pores in arcose[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 220 - 229
 - 11 Richard P L. An introduction to computing with neural nets[J]. IEEE ASSP Magz, 1987, (4): 4 - 22
 - 12 郭燕华, 熊琦华, 吴胜和, 等. 吐哈盆地中侏罗统储集层岩石物理相研究——以葡北-胜北-连木沁地区为例[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1): 50 - 53
Guo Yanhua, Xiong Qihua, Wu Shenghe, et al. Study on petrophysical facies of Middle Jurassic reservoir in Turpan - Hami basin—an example from Pubei - Shengbei - Lianmuqin area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1): 50 - 53
 - [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 57 - 59
 - 8 张云鹏, 徐霜, 李东, 等. 文 13 西气藏储层特征及剩余气开发潜力[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 261 - 263
Zhang Yunpeng, Xu Shuang, Li Dong, et al. Reservoir property and remaining gas exploration potential of west Wen-13 gas pool[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 261 - 263
 - 10 彭仕宓, 尹志军, 常学军, 等. 陆相储集层流动单元定量研究新方法[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 68 - 70
Peng Shimi, Yin Zhijun, Chang Xuejun, et al. A new quantitative method to study flow unit of non-marine reservoir[J]. Petroleum Exploration & Development, 2001, 28(5): 68 - 70

(编辑 高岩)