

锦45块储层流动单元

李军辉¹, 卢双舫¹, 柳成志¹, 李笑梅², 苏鹤成³, 杨雨⁴

1. 大庆石油学院 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318
2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712
3. 中海石油基地集团监督监理技术公司 油田技术中心, 天津 300452
4. 东方地球物理公司研究院 地质研究中心, 河北 涿州 072751

摘要:正确地划分储层流动单元,对预测剩余油分布、调整开发方案、提高采收率都具有重要意义。采用多参数的聚类分析和模糊综合评价相结合的方法进行储层流动单元的划分,在此基础上应用BP网络技术对流动单元进行预测。研究表明,本区储层可以划分为I、II、III、IV 4类流动单元:其中I类是该区储集性能最好的储层流动单元,虽然开发程度较高,大部分井已经关闭,但个别井目前仍具有一定的生产能力;II类是该区储集性能较好的储层流动单元,水淹的程度较低,还存有一定的剩余油,是目前油田生产的主要区域;III类是该区储集性能较差的流动单元,开发效果一般,动用程度较差,所以是油田进一步挖潜的区域;IV类是该区储集性能最差的流动单元,原始含油性很差,因此不是剩余油分布的主要区域。对各类流动单元特征进行了精细的分析,为油田综合治理提供了详细的地质依据。

关键词:锦45块油田;储层流动单元;聚类分析;BP网络技术;模糊综合评判;油田

中图分类号:P618.13 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5888(2009)02-0190-06

Study of Reservoir Flow Units of Jin 45 Block

LI Jun-hui¹, LU Shuang-fang¹, LIU Cheng-zhi¹, LI Xiao-mei², SU He-cheng³, YANG Yu⁴

1. College of Earth Sciences, Daqing Petroleum Institute, Daqing, Heilongjiang 163318, China
2. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oil Field Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163712, China
3. CNOOC Oil Base Group Ltd. Supervision & Technology Co., Tianjin 300452, China
4. Geologic Research Center, GRI, BGP, Zhuozhou, Hebei 072751, China

Abstract: Correct division of reservoir flow units has vital significance for forecasting the remaining oil distribution, adjustment of development plan, enhancing the recovery ratio, ect. The unified multi-parameter cluster analysis and fuzzy quality synthetic evaluation have been used for the division of reservoir flow units. Based on the division of flow unit, the plane distribution of flow units has been forecasted using the BP networking. The research indicated that reservoir flow units of the research area can be divided into four types. Type I is the best. There are some wells still have certain productivity, although the development degree is high and most of the wells are already closed; Type II is better, it is the current primary area for oil production which has lower flooding degree and has certain remaining oil. Type III is worse, which has commonly development effect and has been poorly produced. it is the potential tapping area in oilfields; Type IV is the worst, which has poor original oil-bearing saturation, it is not the primary area for distribution of remaining oil. Detailed analysis has been carried out to study the

收稿日期:2008-05-25

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0345)

作者简介:李军辉(1981—),男,黑龙江大庆人,博士研究生,主要从事沉积与储层方面研究, Tel: 0459-6503657, E-mail: lijunhui_li@163.com.

characteristics of each kind of flow unit, which provides detailed geological basis for synthetical control of the oil field.

Key words: Jin 45 block oilfield; reservoir flow units; cluster analysis; BP net technique; integrated fuzzy judgment; oil fields

0 前言

C. L. Hearn 等人首次提出流动单元 (flow units) 的概念, 将流动单元定义为一个纵横向连续的, 内部渗透率、孔隙度、层理特征相似的储集带^[1]。之后有许多学者将这一概念应用到储层表征、储层评价及剩余油分布预测等方面, 并对流动单元的概念和划分方法进行了进一步的补充和完善^[2-5]。

目前, 有代表性的研究方法主要有如下几类: (1) 根据岩相及岩石物理参数划分流动单元^[4-6]; (2) 应用传导系数、储存系数等参数进行流动单元研究^[7]; (3) 应用孔隙组合类型划分流动单元^[8-10]; (4) 应用生产动态资料进行流动单元研究^[11]。虽然不同学者对这一概念的理解尚存在一定的分歧, 而且结合各自研究工区的地质特点, 提出不同的流动单元研究方法, 但是上述研究流动单元的方法均具有一定的实用价值, 对流动元研究具有十分重要的理论和实际意义。

锦 45 块油田是典型的复式油田, 其兴隆台油层为主要的开发层系, 现在已经进入开发中后阶段, 储层中的剩余油高度分散, 挖潜难度大。为进一步确定剩余油的分布规律, 提高采收率, 本文试图采用多参数的聚类分析和模糊综合评价法相结合的方法进行储层流动单元划分, 在此基础上应用 BP 网络技术对流动单元进行预测, 为该地区乃至中国东部老油田的开发, 提供科学的依据。

1 研究区地质特征

欢喜岭油田位于辽河断陷盆地西部凹陷西斜坡南端, 而锦 45 块油田地处欢喜岭油田西南端的大有地区, 隶属辽宁省凌海市 (图 1)。构造上位于下辽河拗陷西部凹陷西斜坡欢喜岭油田的第二断阶带。区块东西长 7.5 km, 南北宽 2.3 km, 构造面积 16.3 km²。开发目的层为下第三系沙河街组沙二段, 即兴隆台油层。储层物性好, 储量丰度高, 断块区储层为西八千扇三角洲前缘相砂体, 以含砾、粗—粉砂级

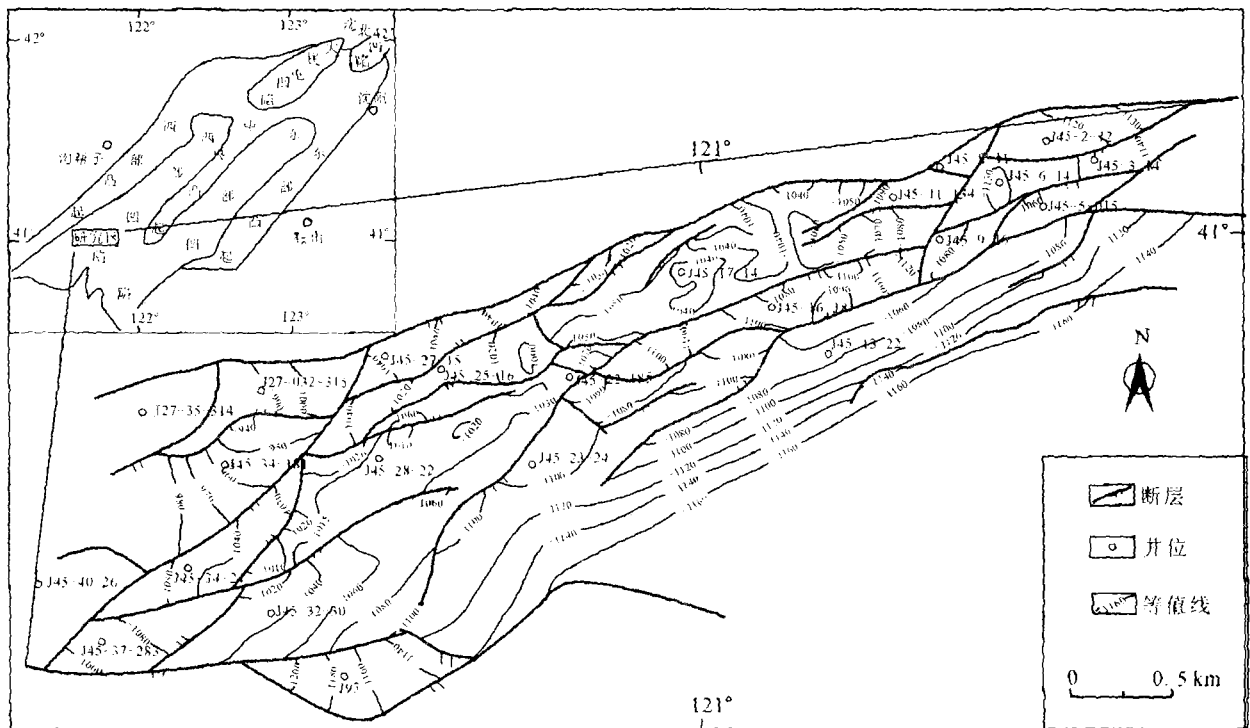


图 1 研究区构造纲要图

Fig. 1 Research area structure summary chart

长石砂岩、岩屑长石砂岩及硬砂质长石砂岩组成,粒度中值 0.18~0.27 mm;储层以泥质胶结为主,成岩性较差;油层发育相对集中,含油井段 150~250 m,平均油层有效厚度 27.9~40.6 m,净总厚度比 0.35~0.39;储层物性好,孔隙度为 28.9%~32.4%,有效渗透率为 0.753~1.121 μm^2 。断块区储量丰度为 $633 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$,属高丰度油藏。

2 流动单元研究的方法原理

流动单元是连通体内具有相似岩性和物性特征的储集单元,而储层的非均质性则表现为不同流动单元之间岩性和物性的差异性。因此,可以利用表征储层岩性和物性特征的流动层带指标、渗透率、孔隙度以及泥质含量等参数对储层流动单元进行定量评价^[12]。其中孔隙度和渗透率反映储层的物性特征,泥质含量反映储层的岩性特征,而流动层带指标值反映储层的微观孔隙结构特征。

根据 Kozeny - Carman^[13] 给出的渗透率与孔隙度的关系式:

$$k = \frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \left[\frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \right] \quad (1)$$

式中: k 为渗透率; φ_e 为有效孔隙度; F_s 为孔喉形状系数; τ 为孔喉迂曲度; S_{gv} 为单位颗粒的比表面。

$$\text{令 } C_\varphi = F_s \tau^2 S_{gv}^2, \quad (2)$$

式中: C_φ 为岩石结构常数,则(1)式变为

$$\sqrt{\frac{k}{\varphi_e}} = \left[\frac{\varphi_e}{1-\varphi_e} \right] \times \left[\frac{1}{\sqrt{C_\varphi}} \right] \quad (3)$$

在(3)式中定义以下几个参数:

I_{RQ} 为油藏品质指数:

$$I_{RQ} = \sqrt{\frac{k}{\varphi_e}}; \quad (4)$$

φ_z 为孔隙体积与颗粒体积之比:

$$\varphi_z = \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e}; \quad (5)$$

表 1 锦 45 块油田储层流动单元划分标准及与沉积微相分布关系

Table 1 Classification standard of reservoir flow units and its relationship with distribution of sediment micro-facies of Jin 45 block

流动单元类型	流动层带指标 / μm	渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度 /%	泥质含量 /%	沉积微相
I	>1.543	>68	>25.5	10	以河道为主、部分河口坝
II	1.325~1.543	>35	>20.3	16	以河口坝为主、部分河间薄层砂
III	1.246~1.325	>17	>18.6	26	以河间薄层砂为主、部分河道间
IV	<1.246	>3	>15.2	34	以河道间为主、部分河间薄层砂

FZI 为流动带指标(flow zone indicator),又称流动层指数,反映了储层的微观渗流特性:

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{C_\varphi}} = \frac{I_{RQ}}{\varphi_z} \quad (6)$$

FZI 反映了孔隙对流体渗流的影响, FZI 值越大,说明储层物性越好。而其它参数如渗透率、孔隙度、泥质含量(V_{sh})则由岩心分析资料或用测井资料获得。

3 储层流动单元的划分

根据研究区的各自地质特点,储层流动单元的研究方法不同。常见的方法有根据岩相及宏观岩石物理参数法,应用传导系数、储存系数等参数法,应用孔隙几何学法和应用生产动态资料法^[14]等。由于聚类分析是研究样品或变量分类(聚类)的一种多元分析方法,它可以在分类情况未知的情况下使用。潘保芝、朱建伟等^[15-16]曾用聚类分析方法进行地层分级。根据工区的地质资料,本文采用多参数的聚类分析和模糊综合评价法相结合的方法进行储层流动单元划分。

3.1 划分储层流动单元的参数

根据上述原则,利用表征储层岩性和物性特征的流动层带指标、渗透率、孔隙度、泥质含量 4 个参数。应用上述的聚类分析原理和所选定的 4 个参数,对锦 45 块 12 个沉积单元层、近千口井进行了分层聚类分析,区分出不同的类别,然后用这些类别的具体参数应用模糊综合评价法确定出本区流动单元的判别标准。

3.2 流动单元的类型

根据上述各层的聚类分析结果,应用模糊综合评价法,结合沉积微相类型及展布特征,确定出本区的储层流动单元划分标准(表 1)。本区划分出 4 类储层流动单元:其中 I 类是该区储集性能最好的储

层流动单元,Ⅱ类是该区储集性能较好的储层流动单元,Ⅲ类该区储集性能较差的流动单元,Ⅳ类是该区储集性能最差的流动单元。

3.3 流动单元的预测

流动单元是储层岩性和物性特征的综合,鉴于流动单元的影响因素众多,不确定性、非结构化的特点非常严重,因此利用常规的统计、专家系统等方法解释的流动单元精度一直较低。人工神经网络算法^[17-18]是近几年来迅速发展的人工智能新技术,在处理不确定性和非结构化的信息方面具有独特的优势,为此,考虑利用 BP 网络对流动单元进行预测。

本次采用一个 3 层神经网络^[19]进行流动单元预测,输入层由流动层带指标、渗透率、孔隙度、泥质含量 4 个参数组成,输入到神经网络系统中。在回归之前,对学习样本进行严格筛选,先用线性回归分析,剔除一部分特别异常的样本;然后用聚类方法从剩余样本中选出有代表性的作为学习样本,其分布范围与总样本分布基本一致;最后输出层代表流动单元的 4 种类别。

4 流动单元分布与剩余油分布规律

利用锦 45 块的实际地质资料,分别计算了流动层带指标、渗透率、孔隙度、泥质含量。在锦 45 块油

田储层流动单元划分标准的基础上,采用 BP 网络技术,对兴隆台油层的 X_1^1 、 X_2^1 、 X_3^1 、 X_4^1 、 X_5^1 、 X_6^1 等共 12 个沉积单元进行了储层流动单元预测(图 2)。

从各小层的流动单元中可以看出(图 2 以该沉积单元为例示意了储层流动单元分布,其余各沉积单元的流动单元图略):Ⅰ类流动单元在全区广泛发育,主要为水下辫状分河道砂体,亦有部分河口坝砂体;Ⅱ类流动单元分布范围较小,以河口坝为主,亦见部分河间薄层砂;Ⅲ类流动单元以河间薄层砂为主,也有部分河道间,分布范围较Ⅱ类大;Ⅳ类流动单元主要以河道间为主,部分为河间薄层砂,主要分布在工区的西部。

Ⅰ类流动单元区的储层物性好,原始含油饱和度高,油井初始产量高,但在开发过程中,该类储层的开发效果最好,见效快而且采出程度高;该类储层在注水开发中后期易于形成水窜现象,影响其附近的开采程度。如工区的锦 45-13-20 井位于Ⅰ类流动单元区,1985 年 9 月开始投产,初始原油产量为 26.6 t/d,初期产水为 1 m³/d,至 2005 年 8 月,累计生产原油 22 602 t,产水为 41 180 m³,累计回采水 631.7%。位于Ⅰ类流动单元区的油藏开发效果好,多数油层已经严重的水淹,大部分井已经关闭,个别井目前仍具有一定的生产能力。

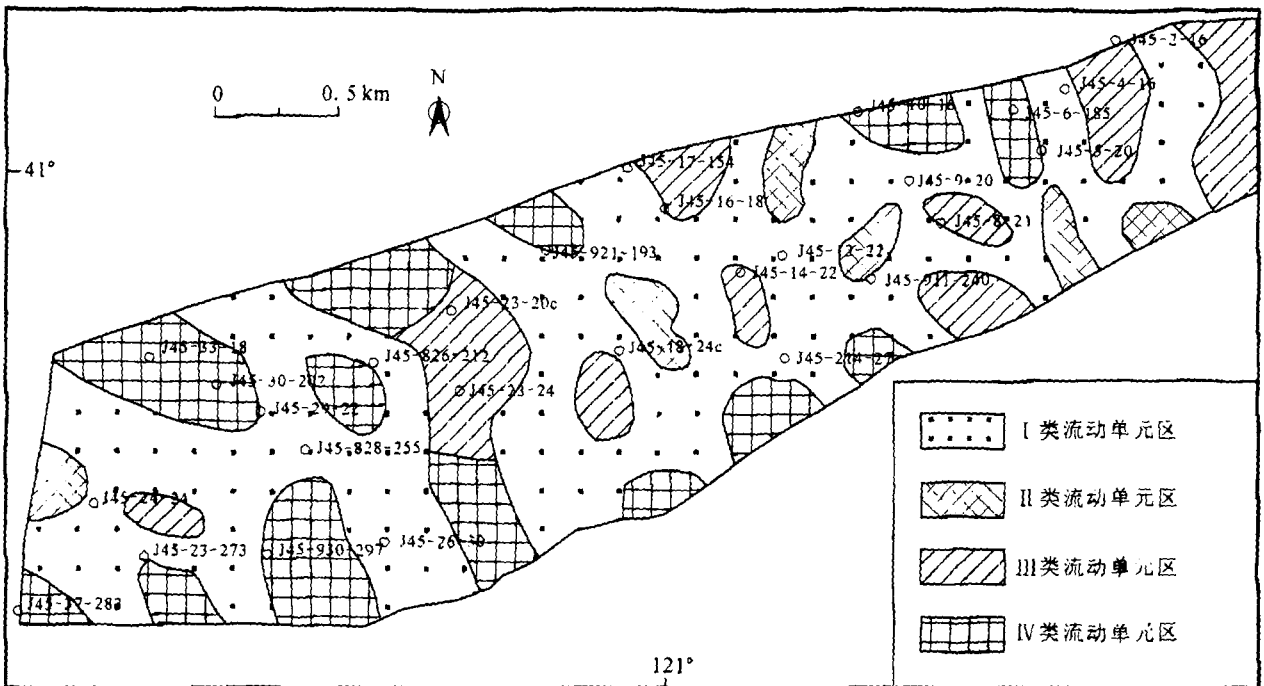


图 2 兴 I 5 小层储层流动单元分布
Fig. 2 Distribution of reservoir flow units of Xing - I 5 sub-stratum

Ⅱ类流动单元区的储层物性较好,原始含油饱和度较高,具有较强的渗流能力,在注水开发的过程中容易流动。大部分被水淹,但水淹的程度较低,还存有一定的剩余油,是目前油田生产的主要区域。如工区的锦 150-21-103 井位于Ⅱ类流动单元区,2004 年 1 月开始投产,初始原油产量为 31.3 t/d,日产水 12.3 m³/d,至 2005 年 6 月,日产油 5.1 t/d,日产水 26.3 m³/d,累计采油 5 097.6 t,累计产水 8 694.6 m³。

Ⅲ类流动单元区的储层物性相对较差,含油性也较差,渗流能力一般,开发效果一般,因而动用程度较差,所以是油田进一步挖潜的区域。如工区的锦 45-011-203 井位于Ⅲ类流动单元区,1997 年 8 月开始投产,初始原油产量为 2.9 t/d,日产水 64.5 m³/d,至 2005 年 6 月,累计生产原油 4 325 t,累计产水 14 447 m³。位于Ⅲ类流动单元区的油井,储量丰度一般较低,但动用程度较低,尤其在油田开发的中后期,应该是油田生产的考虑区。

Ⅳ类流动单元区的储层物性很差,砂体薄,属于低孔、低渗型。油水在其中不运动,注水开发效果差,见效慢,有的甚至不见效。但原始含油性很差,因此不是剩余油分布的主要区域。

综上所述,通过研究储层流动单元可以预测储集层的分布及性质,可以确定剩余油的分布和确定加密调整及挖潜对象等。

5 结论

(1)主要以流动层带指标、孔隙度、渗透率、泥质含量等参数为基础,应用聚类分析和模糊综合评价法对本区储层流动单元进行划分,共划分出Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ 4 类流动单元;其中Ⅰ类是该区储集性能最好的储层流动单元,Ⅱ类是该区储集性能较好的储层流动单元,Ⅲ类是该区储集性能较差的流动单元,Ⅳ类是该区储集性能最差的流动单元。在此基础上应用 BP 网络技术对流动单元进行预测。

(2)通过储层流动单元类别与实际动态资料研究可知,流动单元与剩余油分布有密切关系:Ⅰ类流动单元,虽然开发程度较高,大部分井已经关闭,但个别井目前仍具有一定的生产能力;Ⅱ类流动单元,水淹的程度较低,还存有一定的剩余油,是目前油田生产的主要区域;Ⅲ类流动单元,开发效果一般,动用程度较差,所以是油田进一步挖潜的区域;Ⅳ类流动单元,原始含油性很差,因此不是剩余油分布的主

要区域。

(3)通过对各类流动单元特征进行了精细的分析,可以预测储集层的分布及性质,可以确定剩余油的分布和确定加密调整及挖潜对象等,为油田综合治理提供了详细的地质依据。

参考文献(References):

- [1] Hearn C L, Ebanks W J, Tye R S, et al. Geological factors influencing reservoir performance of Hartog Draw field, Eyomir[J]. J Petrol Tech, 1984, 36(12): 1335 - 1344.
- [2] Ebanks W J Jr. Flow unit conception-integrated approach to reservoir description for engineering [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 551 - 552.
- [3] 刘吉余, 流动单元研究进展[J], 地球科学进展, 2000, 15(3): 303 - 306.
LIU Ji-yu, Advances in study on flow unit [J], Advances in Earth Science, 2005, 15(3): 303 - 306.
- [4] Rodriguez A. Facies modeling and the flow unit concept as a sedimentological tool in reservoir description [C]// Proceedings of the 1988 SPE 63rd annual technical conference and exhibition. Richardson T X: [s. n.], 1988; 465 - 472.
- [5] Jackson S R, Tomutsa L, Szpakiewicz M, et al. Construction of a reservoir model by integrating geological and engineering information — Bell Creek Field [C]// Lake L, Carroll H Jr. Reservoir characterization. Orlando F L, Academic Press Inc, 1991: 524 - 555.
- [6] Hamlin H S, Dutton S P, Seggie D, et al. Depositional controls reservoir properties in a braid - delta sandstone, Tirrawarra oil field, South Australia [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(2): 139 - 156.
- [7] Ti G, Ogburn D O, Munly W, et al. Use of flow units as a tool for reservoir description; a case study [J]. SPE Formation Evaluation, 1995, 10(2): 122 - 128.
- [8] Ahr W M. Pore characteristics as surrogates for permeability in mapping reservoir flow units; Vaccum San Andres field, Lea County, New Mexico [J], AAPG Bulletin, 1991, 75(3): 532 - 538.
- [9] Amaefule J O, Altunbay M, Tiab D, et al. Enhanced reservoir description, using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals wells [C]// Formation Evaluation and Reservoir Geology Proceedings = SPE Annual Technical Conference and Exhibition, TX: V Omega SPE, Richardson, 1993: 205 - 220.
- [10] Davies D K, Vessell R K. Flow unit characterization

- of a shallow shelf carbonate reservoir: North Robertson Unit, West Texas[C]//Proceedings - SPE symposium on improved oil recovery. T X; V2, SPE, Richardson, 1996;295 - 304.
- [11] Canas J A, Malik E A. Characterization of flow units in sandstone reservoirs: La Cira field, Colombia, South America[C]//Proceedings of the Permian Basin Oil Gas Recovery Conference. T X;SPE, Richardson, 1994;883 - 892.
- [12] 谭成仟,赵昌伟,刘池阳. 马岭油田中一区储层流动单元研究[J]. 石油物探,2007,46(1):20 - 24.
TAN Cheng-qian, ZHAO Chang-wei, LIU Chi-yang. Study of reservoir flow units of Zhong 1 block in Maling oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum. 2007,46(1):20 - 24.
- [13] Amaefule J O, Altunbay M. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/well, SPE26436[C]//Presented at the 68th Annual SPE Conference and Exhibition. Houston; [s. n.],1993;205 - 220.
- [14] 阎长辉,羊裔常,董继芬. 动态流动单元研究[J]. 成都理工学院学报,1999,26(3):273 - 275.
YAN Chang-hui, YANG Yi-chang, DONG Ji-fen. The study of dynamic flow units [J]. Journal of Chengdu University of Technology,1999,26(3):273 - 275.
- [15] 潘保芝,薛林福,李舟波,等. 地层的自动分级对比技术[J]. 长春科技大学学报,2001,31(4):391 - 394.
PAN Bao-zhi, XUE Lin-fu, LI Zhou-bo, et al. Automatic graded stratigraphic correlation technique[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology,2001,31(4):391 - 394.
- [16] 朱建伟,刘招君,董清水,等. 升平油田升132井区储层流动单元研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004,34(1):67 - 72.
ZHU Jian-wei, LIU Zhao-jun, DONG Qing-shui, et al. The study of reservoir flow unit of Sheng 132 well area in Shengping oil field[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2004,34(1):67 - 72.
- [17] 杜启振,侯加根,陆击孟. 储层微相及砂体预测模型[J]. 石油学报,1999,20(2):45 - 52.
DU Qi-zhen, HOU Jia-gen, LU Ji-meng. A predictable geologic model of sedimentary facies and sands[J]. Acta Petrolei Sinica,1999,20(2):45 - 52.
- [18] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京:石油工业出版社,1991:77 - 79.
XUE Pei-hua. The cobnspectus of reservoir patterns of fluvial point bar[M]. Beijing :Petroleum Industry Press,1991:77 - 79.
- [19] 焦李成. 神经网络系统理论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1992:35 - 48.
JIAO Li-cheng. Neural network theory[M]. Xi'an: Electronic and Science University Press, 1992: 35 - 48.