

埕岛油田流动单元定量划分与评价

郭智¹, 孙连志², 张晓磊³, 陈国宁³, 罗海宁³

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083
2. 中国石油集团测井有限公司华北事业部, 河北任丘 062552
3. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛 266555

摘要 研究流动单元,对认识储层的非均质性,研究剩余油分布特征非常重要。针对流动单元间渗流屏障的分布不够重视、过多地强调了流动单元在垂向上的分层性、评价参数选取不合理等,以埕岛油田主体南区 12 块、20 块馆陶组上段河流相储层为例,综合地质、测井、开发等资料,选取孔隙度、渗透率、粒度中值、泥质含量、砂体厚度、净毛比等反映储层渗流特征的多个评价参数,采用层次分析法,在沉积微相精细研究和渗流屏障识别的基础上,使用聚类 and 判别等数学方法,将该区开发小层内部的储层划分为极好、好、中等、差 4 类流动单元。通过与生产资料的对比分析,认为主力油层的分布与极好型流动单元有很好的-致性,表明小层内部的流动单元的研究能够为更准确地认识储层非均质性和剩余油分布规律提供一种可行的途径,对埕岛油田的生产开发部署具有一定的理论和现实意义。

关键词 埕岛油田;河流相;流动单元;评价参数;聚类判别

中图分类号 TE122

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.28.010

Quantitative Classification and Evaluation of the Flow Unit in Chengdao Oilfield

GUO Zhi¹, SUN Lianzhi², ZHANG XiaoLei³, CHEN Guoning³, LUO Haining³

1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China
2. North Division Group, CNPC Well Logging Co., Renqiu 062552, Hebei Province, China
3. School of Geosciences, University of Petroleum China, Qingdao 266555, Shandong Province, China

Abstract The flowing unit is very important in the study of reservoir heterogeneity and the remaining oil distribution. In the current research methods for flow units, the seepage barrier distribution between the flow units is not well accounted for, too much emphasis is paid on the flow units in the vertical stratification, and the evaluation parameters are not adequate. To solve these problems, this paper considers the upper part of Guantao group strata of 12 and 20 well zones in Southern District of Chengdao oilfield. Combining logging, geological, and development data and other information, several parameters that would reflect the seepage features of the reservoirs are selected such as porosity, permeability, median grain size, clay content, sand body thickness, net/gross ratio, in an analytical hierarchy process, based on the analysis of sedimentary facies and the identification of seepage barriers, the flow units are studied by the cluster and discrimination method. The flow units in this area are divided into four kinds: E, G, M and P, and the formulas for these four kinds of flow units are derived. Compared with the production data, it is found that the distribution of major reservoirs and E-type flow units are in good agreement, showing that the study of flow units can provide a feasible means for the analysis of the heterogeneity and the distribution of remaining oil.

Keywords Chengdao oilfield; fluvial facies; flow unit; evaluation parameter; cluster and discrimination method

0 引言

流动单元的研究始于 20 世纪 80 年代^[1]。1984 年, Hearn

等^[2]首次提出了流动单元的概念,将不同的沉积岩相带划分为不同的流动单元。1988 年, Rodriguez 和 Maraven^[3]明确了流

收稿日期: 2011-05-31;修回日期: 2011-06-23

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05009-003); 中国石油大学(华东)硕士研究生创新自筹项目(SZ10-03)

作者简介: 郭智, 博士研究生, 研究方向为开发地质, 电子信箱: a349261981@163.com

动单元的基本定义,认为流动单元是横向上和垂向上连续的、影响流体流动的岩石特征相近的储集岩体。

Guangming 等在取心井上计算每个层的渗透系数、存储系数和净毛厚度比,对流动单元进行聚类分析,该方法使流动单元研究从定性描述上升到定量描述,成为流动单元研究的一个新阶段。目前,国内外流动单元的描述都是基于此方法理论,此方法的问题在于放大了有效厚度的在流动单元评价中的作用。姚光庆、吕晓光等利用流动层段指标 FZI 对取心井的岩石物理相进行了研究,有效地提高了未取心层段渗透率的预测精度,但在同一流动单元中, FZI 值总是随着孔隙度的变化而变化,若孔隙度和渗透率按照同样的比例增大或减小,会获得相同的 FZI 值,这显然是不合理的;吴胜和等提出以地质研究为主的储层层次分析法,该方法把高分辨率层序地层学原理、层次界面分析法和流动单元定量划分融为一体,是流动单元研究的一种较完善的方法^[4];但此类研究方法所需资料多,在开发初期会受到资料不足的限制。

20 世纪 80 年代是流动单元研究的孕育和萌芽期,当时主要围绕流动单元的概念展开讨论;20 世纪 90 年代以来,不同学者尝试采用不同方法进行了流动单元的定性、半定量^[5-6]

及定量研究^[7-10],是流动单元研究的迅速发展时期。由于具体的地质条件和实际资料的限制,目前各种流动单元研究的主流方法都或多或少存在一定局限性,例如对成因单元本身的分布及单元间渗流屏障的分布重视不够,过多地强调了流动单元在垂向上的分层性,将流动单元看作为更细级次的“地层单元”,忽视了平面上渗流差异的特征。为此,本文在吸收前人研究工作的基础上,对流动单元评价参数的选取做了一定的改进,以沉积微相划分为依据,在识别渗流屏障的基础上,对小层内部的流动单元进行了聚类判别,精度达到沉积微相级别以上。认为主力油层的分布与极好型流动单元有很好的 consistency,总结了该区流动单元的展布特征与剩余油分布的关系,为埕岛油田的开发调整和剩余油挖潜提供了依据。

1 区域概况

埕岛油田构造上处于渤海湾盆地埕宁隆起埕北低凸起的东南端,为埕宁隆起、渤中坳陷、济阳坳陷 3 个一级构造单元的交汇区。油田是在古近系背景下继承发育的呈北西向展布的大型披覆背斜(图 1)。

埕岛主体南区 12、20 块井区位于埕北大断层两条分支断

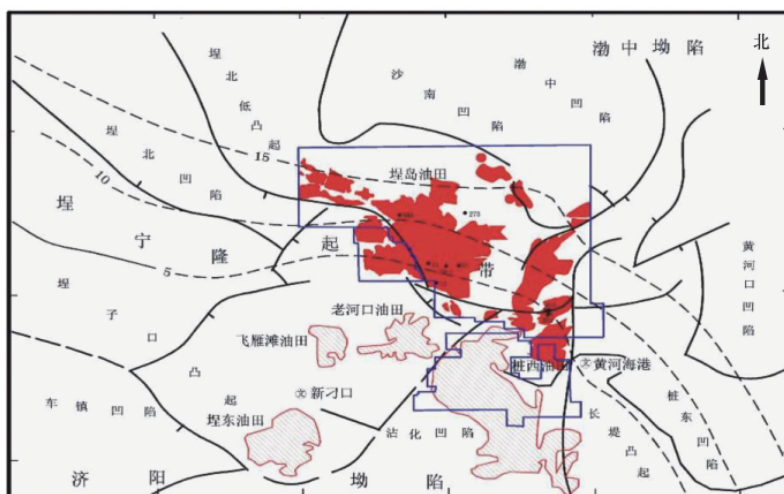


图 1 埕岛油田位置示意

Fig. 1 Location of Chengdao oilfield

层之间,为一鼻状构造,向东、向北、向西逐渐变低,南以断层控制了该井区油层的分布,北部断层不连续。馆陶组上段是主要的含油层段,沉积环境为河流相,相变快,砂体稳定性差,横向上连通不好,多呈透镜体状发育,纵向上叠置连片。

2 沉积微相研究

埕岛油田馆上段概率曲线特征主要为两段式,由悬浮组分和跳跃组分组成,缺少滚动组分,具有牵引流的特征;粒度概率曲线 $C-M$ 图上递变悬浮组分的 QR 段发育,其他组分发育差或不发育;可见交错层理、平行层理、小型波状层理、水平层理,部分砂层底部存在冲刷面和泥砾沉积,为典型的河流相沉积。

本文在岩心观察、精细地层格架建立、隔夹层识别、测井二次解释等工作的基础上,开展了单井相研究和平面相研究,充分考虑物源方向、砂体展布,绘制了研究区某小层的精细的沉积微相图(图 2)。通过沉积微相的精细研究,从沉积成因机制上划分出了由水动力、物源、构造等条件变化而形成的不同能量相单元,例如在河道相中可识别出河道主体、河道测缘等能量相单元,为流动单元的划分提供了相控模式。

3 流动单元评价参数的选取

研究区储层为陆相碎屑岩储层,非均质性较强,纵向上油层多且砂体规模小,横向上砂体不连续,平面上连通差,流动单元的划分难度相当大^[11-12]。由于流动单元是储层物性特征

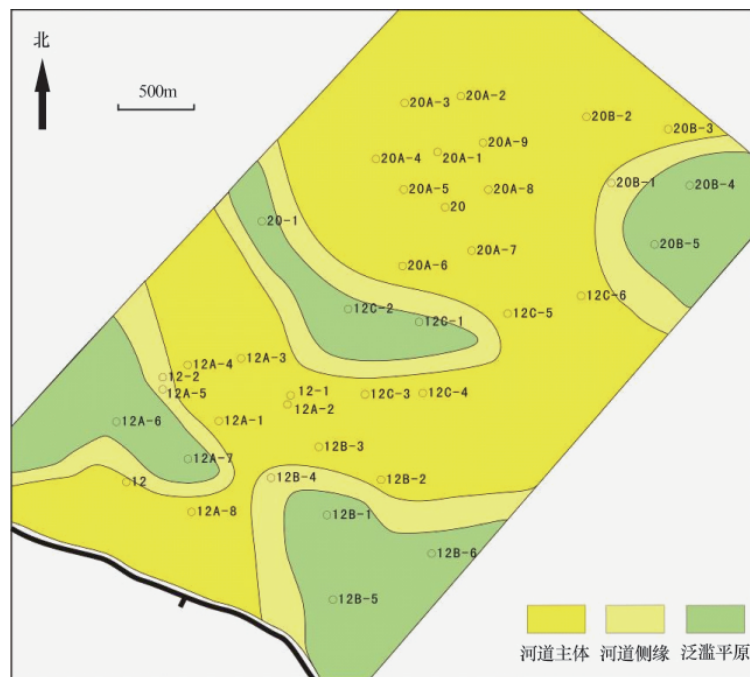


图2 埕岛油田某小层沉积微相图

Fig. 2 Sedimentary micro-facies of certain layer of Chengdao oilfield

的综合反映,因此流动单元的划分要综合岩心、测井、沉积相带等多种资料,建立地质信息详备的知识库进行综合分析^[3],紧密围绕渗流特征开展研究。

以往研究流动单元划分中常使用存储因数、渗流因数和净毛比3个参数,其中存储因数 C 反映了储集层储存空间的大小,为

$$C = \phi \cdot h_e \cdot C_i \quad (1)$$

其中, ϕ 为砂岩有效孔隙度, h_e 为净砂岩有效厚度, C_i 为综合压缩因数。

渗流因数 S 反映地下流体通过储层的能力,为

$$S = K \cdot h_e / \mu \quad (2)$$

其中, K 为空气渗透率, μ 为原油黏度。

净毛比 R 为净砂岩(有效厚度)与毛砂岩(砂岩厚度)的比值

$$R = h_e / h \quad (3)$$

式(3)中 h 为砂岩厚度。

本文认为通过这3个参数定量研究流动单元还存在一定局限性;存储因数、渗流因数和净毛比中都包含有效厚度,即有效厚度与这3个参数关系密切,虽然有效厚度对于流动单元划分十分重要,然而它出现在流动单元划分所需的全部3个参数中,作用显然被放大了,如有效厚度略小而孔渗性较好的砂体可能和有效厚度略大而渗流性差得多的砂体被划分成同类的流动单元,造成与实际地质情况严重不符的结果。另外,存储因数应该表示单位体积存储流体的能力,而不是单位体积存储油气的能力,不应引入有效厚度。否则,存储因数与净毛比的概念就交叠了。

在参数的选取方面较存储因数 C 、渗流因数 S 和净毛比

做了些改进,包括孔隙度、渗透率的对数、泥质含量、粒度中值、砂体厚度和净毛比(诸多参数来源于测井精细二次解释结果),其中泥质含量、粒度中值为流动单元的岩性参数,对物性特征具有很大的控制作用;孔隙度、渗透率的对数为流动单元的物性参数;砂体厚度既可反映砂体的储集能力,又能间接体现沉积环境;净毛比表现储层的质量好坏。这样选取评价参数主要是基于以下考虑。

(1) 邻井或者同一口井相邻层段的渗透率往往可差别几十倍到上百倍,对渗透率取对数既可反映储层的渗滤能力,又方便计算、方便和其他参数比较。

(2) 考虑到小层内部流动单元划分精度较高,同一类流动单元中流体黏度、综合压缩系数变化不大,可视为常量,在对比划分中意义不大,故无需引入 μ 和 C_i 。

(3) 考虑到有效厚度在以往研究中的作用被放大,故只需引入砂体厚度、净毛比、孔隙度、渗透率的对数作为流动单元的独立影响因子。

(4) 粒度中值是概率累计曲线上50%所对应的粒度,可反映沉积时的平均水动力。

(5) 泥质含量可反映单位体积岩石中泥质成分所占的体积分数,反映砂岩的纯度,与粒度中值同是重要的反映砂体岩性的参数。

4 流动单元的划分

4.1 流动单元聚类分析

本文采用层次分析法,即在沉积微相精细研究的基础上,先识别出起隔挡作用的渗流屏障(泥质屏障及断层屏障),进而根据测井二次解释结果,统计大量储层参数,在全

区对小层内各井的孔隙度、渗透率的对数($\lg K$)、粒度中值、泥质含量进行均一化处理,将它们转化成 0—1 之间的数值,消除量纲不同造成的影响。

在对判别指标均一化处理的基础上,将研究区取心层段长、岩心收获率高、能反映区域沉积特征、代表性强的 5 口取心井的 108 个样品进行聚类分析,得出各流动单元的聚类中心如表 1 所示,其中, H 为砂体厚度, Por 为均一化的孔隙度, V_{sh} 为均一化的泥质含量, M_d 为均一化的粒度中值, $\lg K$ 为均一化的取对数的渗透率, R_i 为均一化的净毛比。不同流动单元储层参数具有明显差异,可将埕岛油田馆上段流动单元划分为 4 类:极好型(E)、好型(G)和中等型(M)和差型(P)。

表 1 埕岛油田流动单元聚类中心

Table 1 Clustering center of flow units of Chengdao oilfield

流动单元	H	Por	V_{sh}	M_d	$\lg K$	R_i
E	0.560	0.729	0.068	0.653	0.818	0.787
G	0.338	0.597	0.105	0.615	0.704	0.208
M	0.216	0.324	0.350	0.276	0.503	0.423
P	0.114	0.183	0.843	0.190	0.320	0.083

4.2 流动单元判别分析

若 n 个样本已划分至 G 类流动单元,并设各类流动单元均遵从正态分布且协方差矩阵相同,根据 Bayes 判别准则得

$$Zg(y)=C_0g+C_1gy_1+C_2gy_2+\cdots+C_pgy_p \quad (4)$$

其中, y 为待判流动单元的相应参数, $y=[y_1,y_2,\cdots,y_p]^T$; C 为各判别参数对应的系数。

由式(5)便可建立一个地区各类流动单元的判别模型。待进行判别的流动单元,根据其的判别参数,可计算出相应的判别函数值 $Zg(y)$,将判别函数值最大的流动单元划归入相应的类别

$$Zg^*(y)=\max_{0\leq g\leq 1}\{Zg(y)\} \quad (5)$$

由此建立埕岛油田馆上段 4 类流动单元的判别方程(表 2)。将取心层段样品的判别参数代入模型进行判别,正判率达到 93.5%(表 3,样品共 108 个,判对 101 个),说明应用该方法判别流动单元是可行的。在此基础上,将各判别参数代入 4 类流动单元相应的判别模型,从而可实现了流动单元由取心井到非取心井的定量判别,参考沉积相带的展布,绘制了流动单元在平面的分布图(图 3)。

表 2 埕岛油田流动单元判别模型

Table 2 Discrimination models of flow units of Chengdao oilfield

流动单元 类型	判别方程
E	$45.37R_i+28.01\lg K+32.90M_d-55.09V_{sh}+132.97Por+19.13H-88.31$
G	$19.28R_i+40.75\lg K+32.67M_d-40.27V_{sh}+128.91Por+15.90H-58.42$
M	$35.41R_i+12.82\lg K+29.08M_d-72.87V_{sh}+111.59Por+8.32H-81.95$
P	$46.79R_i+201.34\lg K+22.68M_d-158.14V_{sh}+121.17Por+15.70H-88.59$

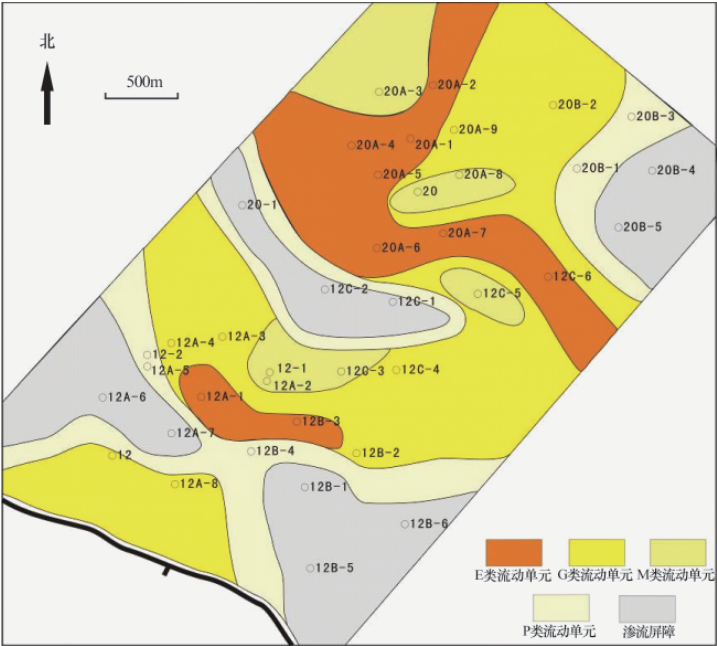


图 3 埕岛油田某小层流动单元平面分布图

Fig. 3 Surface distribution of flow units of certain layer in Chengdao oilfield

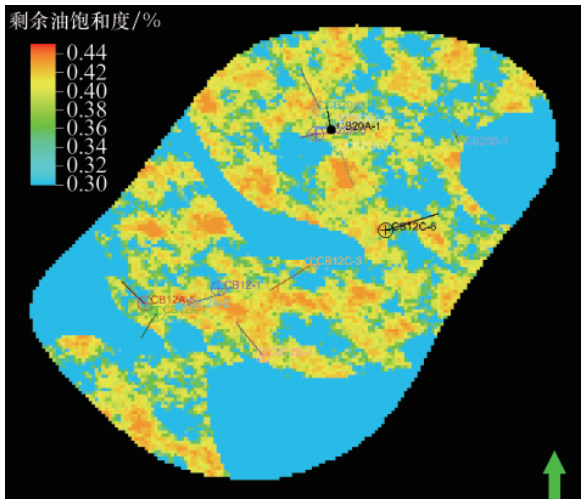


图4 埕岛油田某小层剩余油饱和度平面分布图
Fig. 4 Remaining oil distribution in certain layer of Chengdao oilfield

灭,没有很好的泄压通道,且由于重力作用不易水淹,剩余油仍会相对富集;G类流动单元为研究区储层较好的流动单元,储集物性较好,平面上连片分布,相对E类流动单元采出程度低,具有一定的挖潜空间,是研究区挖潜的主要目标;M类流动单元储集物性和渗流能力均较差,微观孔隙结构复杂,注入水渗流能力弱,水淹程度低,开采难度大;P类流动单元一般分布在河道边部,紧挨泛滥平原沉积微相,物性最差,初始含油饱和度就很低,开发效果最差。

因此4类流动单元剩余油富集程度依次为G类流动单元、E类流动单元上部、M类流动单元和P类流动单元。

7 结论

(1) 本文按照层次分析的思路,以沉积微相研究为依据,并结合其他几项反映储层渗流特征和岩石物理相的参数,在研究区开展了相控下的小层内部的流动单元的定量研究,将研究区储层划分为E、G、M、P 4类流动单元。此方法较选取渗透因数,存储因数和净毛比作为评价因子的方法有所改进。

(2) 基于沉积成因的小层内部的流动单元研究表明:E类流动单元面积较小,G类流动单元在河道中分布广泛,M类流动单元多分布在断层附近、研究区边界,它们依次与高产油层、油层和低产油层有很好的对应关系。

(3) G类流动单元储集物性较好,平面上连片分布,剩余油最富集,是研究区挖潜的主要目标,其次是E类流动单元上部和M类流动单元。

(4) 流动单元不仅能反映相同的沉积特征,还能反映相似的渗流特征,和沉积微相具有较好的一致性,但精度更高。开展小层内部流动单元研究可以更好地研究河流相储层非均质性和剩余油分布规律,为油田开发和数值模拟提供精确的数据体。

参考文献 (References)

- [1] 万丙乾, 马玉明, 郭晓坤, 等. 储层流动单元研究现状 [J]. 天然气勘探与开发, 2008, 31(1): 5-8.
Wan Bingqian, Ma Yuming, Guo Xiaokun, et al. *Natural Gas Exploration and Development*, 2008, 31(1): 5-8.
- [2] Hearn C L, Ebanks, Tye R S, et al. Geological factors influencing reservoir performance of Hartog Draw Field, Wyoming [J]. *J Petrol Tech*, 1984, 36(9): 1335-1344.
- [3] Rodriguez, Maraven S A. Facies modeling and the flow unit concept as a sedimentological tool in reservoir description [J]. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Houston, Texas, October 2-5, 1988. doi: 2118/18154-MS.
- [4] 吴胜和, 王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 252-256.
Wu Shenghe, Wang Zhonglin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 252-256.
- [5] Canas J A, Ecopetrol, Wu C H. Characterization of flow units in sandstone reservoirs: La Cira Field, Colombia, South America [C]. Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Midland, Texas, March 16-18, 1994. doi: 10.2118/27732-MS.
- [6] Barclay S A, Worden R H, Pamell J. Assessment of fluid contacts and compartmentalization in sandstone reservoirs using fluid inclusions: An example from the magnus oil field, North Sea [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(4): 489-504.
- [7] 唐民安, 孙宝玲. 大牛地气田下石盒子组基准面旋回与储层流动单元的层次性[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 39-46.
Tang Minan, Sun Baoling. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(1): 39-46.
- [8] Aguilera R, Aguilera M S. The integration of capillary pressures and picket plots for determination of flow units and reservoir containers [J]. *SPE Reservoir Evaluation Engineering*, 2002, 5(6): 465-471.
- [9] 岳大力, 吴胜和, 林承焰. 碎屑岩储层流动单元研究进展[J]. 中国科技论文在线, 2008, 3(11): 810-817.
Yue Dali, Wu Shenghe, Lin Chengyan. *Sciencepaper Online*, 2008, 3(11): 810-817.
- [10] 张继春, 彭仕宓. 流动单元四维动态演化仿真模型研究[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 69-731.
Zhang Jichun, Peng Shimi. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 69-731.
- [11] 窦之林. 储层流动单元研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
Dou Zhilin. *Research on reservoir flow units* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [12] 闫百泉, 马世忠, 王龙, 等. 单砂体内部流动单元评价[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(6): 11-13.
Yan Baiquan, Ma Shizhong, Wang Long, et al. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2007, 31(6): 11-13.
- [13] 窦之林. 孤东油田馆陶组河流相储集层流动单元模型与剩余油分布规律研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 50-52.
Dou Zhilin. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(6): 50-52.
- [14] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 地下储层建筑结构预测模型的建立[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2002, 17(3): 7-14.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Fan Zhonghai, et al. *Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Sciences Edition*, 2002, 17(3): 7-14.

(责任编辑 刘志远)