

文章编号: 0253-9985(2006)02-0239-05

靖安油田盘古梁长 6 油藏流动单元的定量划分

史成恩^{1,2}, 解伟¹, 孙卫¹, 梁晓伟², 闫林³

(1 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 地质学系, 陕西 西安 710069;

2 中国石油 长庆油田勘探开发研究院, 陕西 西安 710021; 3 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 以靖安油田盘古梁长 6 油藏为例, 在沉积微相、储层综合定量分析评价基础上, 选取储层厚度、孔隙度、渗透率、泥质含量、流动带指数、储层厚度与孔隙度乘积 6 个参数进行流动单元的划分。应用高分辨率层序地层学将长 6 油藏精细划分为 15 个小层, 将所有砂体划分为 E、G、M 和 P 4 类流动单元。结果表明, 盘古梁长 6₁ 底部和盘古梁长 6₂ 顶部是研究区盘古梁长 6 油层组的主力油层, 各类流动单元与储层岩性、物性、沉积微相和产能具有很好的对应关系。此次流动单元划分的参数取值, 综合评价函数与评价指标, 能够真实客观地反映低渗、低孔、储层物性差、非均质性强等地质特征, 符合该类储层流动单元评价划分的精度要求。
关键词: 流动单元; 聚类分析; 回归分析; 判别函数; 平面分布; 盘古梁长 6 油藏; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE313.5 文献标识码: A

Quantitative division of flow units in Panguliang Chang 6 reservoir, Jing'an oilfield

Shi Chengen^{1,2}, Xie Wei¹, Sun Wei¹, Liang Xiaowei², Yan Lin³

(1. State Key Laboratory for Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069;

2. Petroleum Exploration and Development Research Institute, Changqing Oilfield, PetroChina, Xi'an Shaanxi 710021;

3. Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Beijing, 100083)

Abstract Taking Panguliang Chang 6 reservoir in Jing'an oilfield as an example, six parameters, including reservoir thickness, porosity, permeability, shale content, flow-zone index, and the product of reservoir thickness and porosity, are selected for quantitative division of flow units based on comprehensive quantitative analysis and evaluation of sedimentary microfacies and reservoir. Panguliang Chang 6 reservoir is finely divided into 15 sublayers, and all the sandbodies can be grouped into 4 types of flow units, including E, G, M and P, by using high resolution sequence stratigraphy. The results show that the bottom of Panguliang Chang 6₁ and the top of Panguliang Chang 6₂ are the major pay zones of Panguliang Chang 6 reservoir in the study area, and all the flow-unit types are well correlated with lithologies, physical properties, sedimentary microfacies and productivity of the reservoir. The selected values of parameters, comprehensive evaluation functions and indexes for the flow unit division can truly and objectively reflect the geologic features of low permeability and low porosity reservoir, such as poor poroperm characteristics and strong heterogeneity, and can meet the accuracy requirements of flow unit evaluation and division for this kind of reservoir.

Key words flow unit; cluster analysis; regression analysis; discriminant function; plane distribution; Panguliang Chang 6 reservoir

靖安油田盘古梁区位于鄂尔多斯盆地中部, 面积约 300 km²。研究区盘古梁长 6 油藏沉积体主要发育在晚三叠世的志丹三角洲朵状体中, 属于湖泊三角洲沉积体系三角洲前缘亚相, 主要沉

积微相有水下分流河道、河口砂坝、分流间湾和堤泛沉积。砂体以细砂岩和细粉砂岩为主。砂体厚度大、延伸较远、连通性较好^[1]。但储层受沉积环境、成岩作用、构造因素的影响, 物性差、非均质性

收稿日期: 2005-12-02

第一作者简介: 史成恩 (1963—), 男, 高级工程师, 油气藏地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2003CB214606); 长江学者和创新团队发展计划资助 (IRT0559)

较强, 平均孔隙度为 12.8%, 平均渗透率为 $1.43 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属低孔、特低渗透层。

1 流动单元的划分

1.1 划分方法与参数选取

流动单元的研究就是储层非均质性的研究, 是对某一级别渗流非均质的一种表征和描述^[2], 由于储层非均质性具有层次性, 因此流动单元也具有层次性^[3]。针对研究区长 6 油藏投入开发时间不长, 井网较密、井距较近, 各种资料尤其是测井资料丰富齐全, 沉积环境单一等特点。因此, 此次流动单元的划分是应用沉积微相、微观孔隙结构和岩、电物性综合评价相结合的方法进行划分。

选取储层厚度、渗透率、孔隙度、泥质含量、流动带指数、厚度与孔隙度的乘积共 6 个参数进行流动单元划分。其中, 储层厚度反映沉积体的位置和环境; 泥质含量反映沉积体岩性特征; 孔隙度和渗透率则反映沉积体的物性特征; 流动带指数是根据 Kozeny-caman 方程由孔隙度和渗透率值求得, 是把岩石结构、矿物地质特征和孔喉特征结合起来判定孔隙几何形态的一个重要参数^[4]。

依据综合测井资料数据用厚度值进行加权分析, 计算出每口井每个小层的孔隙度、渗透率和泥质含量, 最后得到每个小层砂体的厚度、孔隙度、渗透率、泥质含量、流动带指数和厚度与孔隙度的乘积 6 个参数。为了使划分流动单元的数据符合正态分布的特点, 结果更加合理, 对选用的值进行筛选, 除掉过大值和过小值, 最后借助 SPSS 统计分析软件, 对数值进行聚类 and 判别分析。

1.2 划分步骤

依据盘古梁长 6 油藏的地质特点和实际需要, 此次流动单元的划分步骤为: 在纵向上利用高分辨率层序地层学理论进行层序划分^[5,6], 开展层序内部结构分析和分隔单元的研究, 进行建筑结构的分析。在平面上根据各渗流参数的相关性, 用聚类方法确定流动单元的类型, 再根据判别分析和回归分析对未知砂体进行预测, 最终确定流动单元空间分布。

1.2.1 高分辨率层序地层学的划分

结合研究区以三角洲前缘亚相水下分流河道微相沉积、韵律组合及沉积结构等特征, 在以中期基准面为总体控制、短期基准面旋回为分层依据的前提下, 确定出层序分界面, 找出每种沉积微相的测井响应, 做出了中、短期基准面旋回层序界面的测井响应模型。结合研究区存在的 3 种不同短期基准面旋回层序类型: a) 以水下分流河道—水下天然堤—分流间洼地组合的旋回; b) 以水下分流河道砂体叠置或夹水下天然堤薄层组合的旋回; c) 以水下分流河道、远河口砂坝砂体沉积组合的旋回 (图 1), 将长 6 油藏划分为 3 个砂层和 15 个小层 (表 1)。使得各小层划分的单砂体为等时框架内的沉积单元。

1.2.2 流动单元的定量分析方法

1) 聚类分析

根据选取的参数在性质和成因上的亲疏程度, 应用聚类分析把彼此之间关系最亲密的砂体聚合并为一类流动单元, 得到每类流动单元各参数的聚类中心 (表 2)。这种分类方法综合考虑

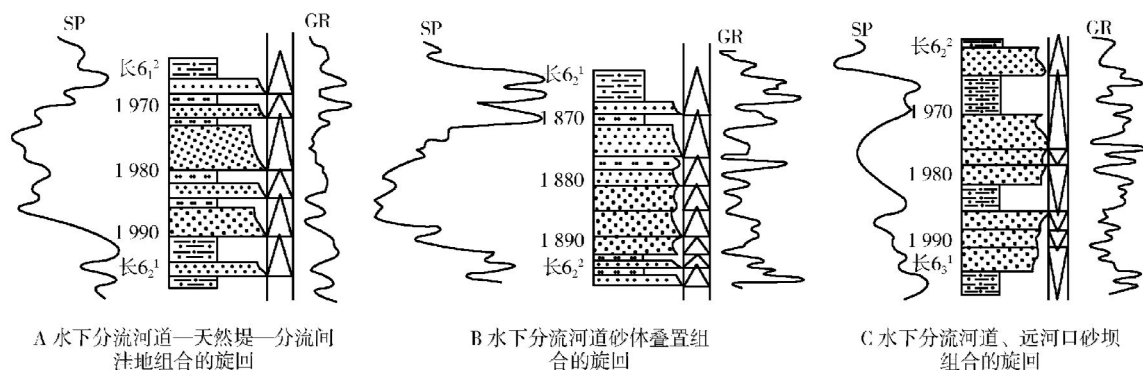


图 1 3 种不同旋回组合

Fig. 1 Three different cycle combinations

了所有参数来对砂体进行分类, 因此得到的分类结果更合理^[7]。从表 2 中可以看出, 各流动单元的厚度、孔隙度和渗透率的均值由 E 类到 P 类逐渐减小, 且相差较大, 流动带指数 E 类和 G 类较大, 说明 E 类和 G 类流动单元物性最好, 渗透能力最强。泥质含量在各流动单元之间变化不是很明显, 这是由于沉积条件、成岩作用造成各类砂体的

表 1 长 6 油层组小层划分结果

Table 1 Sublayer division of Panguliang Chang 6 reservoir

油层组	油 层	小 层
长 6	长 6 ₁	长 6 ₁ ¹⁻¹ 长 6 ₁ ¹⁻²
		长 6 ₁ ²⁻¹ 长 6 ₁ ²⁻² 长 6 ₁ ²⁻³
	长 6 ₂	长 6 ₂ ¹⁻¹ 长 6 ₂ ¹⁻² 长 6 ₂ ¹⁻³
		长 6 ₂ ²⁻¹ 长 6 ₂ ²⁻² 长 6 ₂ ²⁻³
	长 6 ₃	长 6 ₃ ¹⁻¹ 长 6 ₃ ¹⁻²
		长 6 ₃ ²⁻¹ 长 6 ₃ ²⁻²

分析, 得出每个变量的判别系数和评判指标范围 (表 3), 建立判别函数

$$Y = a_1H + a_2K + a_3\phi + a_4Vsh + a_5FZI + a_6H\phi \quad (1)$$

式中 H 为厚度, m; K 为渗透率, $10^{-3} \mu m^2$; ϕ 为孔隙度, %; Vsh 为泥质含量, %; FZI 为流动带指数。

其判别和回归分析结果准确率达到 95% 以上, 说明所建立的综合评判函数与评判指标符合精度要求。利用所建立的评判函数, 通过非取心井的测井数据和判别系数, 计算出评判指标, 根据其范围可确定流动单元类型。

2 流动单元的划分结果

根据上述流动单元的划分方法和标准对研究区长 6 油层各小层进行了流动单元分类 (表 4)。可以看出, 在长 6₁²⁻²、长 6₁²⁻³、长 6₂¹⁻¹、长 6₂¹⁻² 和长

是整个油层组中物性最好、渗流能力和储集能力最强的小层。长 6₁²⁻¹、长 6₂²⁻¹、长 6₂²⁻²、长 6₃¹⁻¹ 和长 6₃¹⁻² 小层中, E 类和 G 类流动单元占各小层砂体总数的 35% 以上, 在整个油层组物性较好、渗流能力和储集能力较强的。长 6₁¹⁻¹、长 6₁¹⁻²、长 6₂²⁻³、长 6₃²⁻¹ 和长 6₃²⁻² 小层中, M 类和 P 类流动单元占各小层砂体总数的 75% 以上, 其中长 6₃²⁻² 小层占 86.66%, 长 6₃²⁻¹ 小层占 80.00%, 而长 6₂²⁻³ 小层高达 93.22%, 说明长 6₃ 油层 M 和 P 流动单元占的比重较大, 其物性、渗流能力和储集能力都较差。综合来看, 长 6₁、长 6₂ 和长 6₃ 油层物性、渗流能力和储集能力依次减弱。而长 6₁ 的底部和长 6₂ 的顶部是长 6 油层组的主力油层。

3 流动单元划分结果分析

根据流动单元的划分结果, 做出了各小层的流动单元的平面分布图。通过对沉积相的分析和储集层综合评价分析结果, 结合长 6 油层的动态资料可以发现各流动单元的平面分布与沉积微相的展布, 岩石的微观孔隙结构以及与生产动态数

表 3 流动单元判别指数及判别函数

Table 3 Discrimination indexes and functions of each flow unit

流动单元类型	综合评价指标范围
E	$Y \geq 3.21$
G	$2.21 \leq Y < 3.21$

表 4 各小层各流动单元分类统计表

Table 4 Statistics of flow units in each sublayer

小层号	E	占百分数%	G	占百分数%	M	占百分数%	P	占百分数%	总砂体数
6_1^{1-1}	11	7.86	24	17.14	63	45.00	42	30.00	140
6_1^{1-2}	16	8.33	29	15.10	104	54.17	43	22.40	192
6_1^{2-1}	17	6.73	70	26.22	117	43.82	63	23.60	276
6_1^{2-2}	55	16.03	121	35.28	94	27.41	73	21.28	343
6_1^{2-3}	35	10.64	108	32.83	110	33.43	76	23.10	329
6_2^{1-1}	33	10.38	98	30.82	100	31.45	87	27.36	318
6_2^{1-2}	50	12.29	110	27.03	119	29.24	128	31.45	407
6_2^{1-3}	44	11.00	103	25.75	128	32.00	125	31.25	400
6_2^{2-1}	20	5.75	83	23.85	126	36.21	119	34.20	348
6_2^{2-2}	17	6.16	85	30.80	81	29.35	93	33.70	276
6_2^{2-3}	1	1.69	3	5.08	23	38.98	32	54.24	59
6_3^{1-1}	13	5.02	78	30.12	68	26.25	100	38.61	259
6_3^{1-2}	14	9.21	40	26.32	36	23.68	62	40.79	152
6_3^{2-1}	3	5.45	8	14.55	3	5.45	41	74.55	55
6_3^{2-2}	0	0.00	2	13.33	2	13.33	11	73.33	15

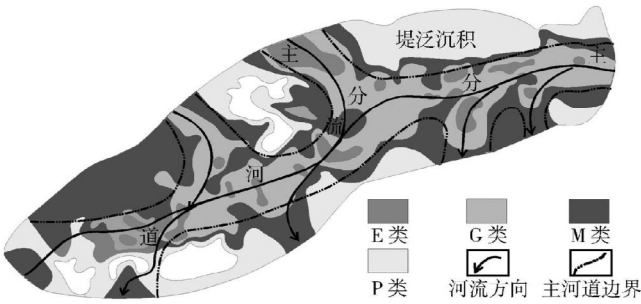


图 2 长 6_{1-2} 小层各流动单元平面分布与沉积微相的关系
Fig. 2 Diagram showing the relationship between the plane distributions of each flow unit and sedimentary microfacies of Chang 6_{1-2} sublayer

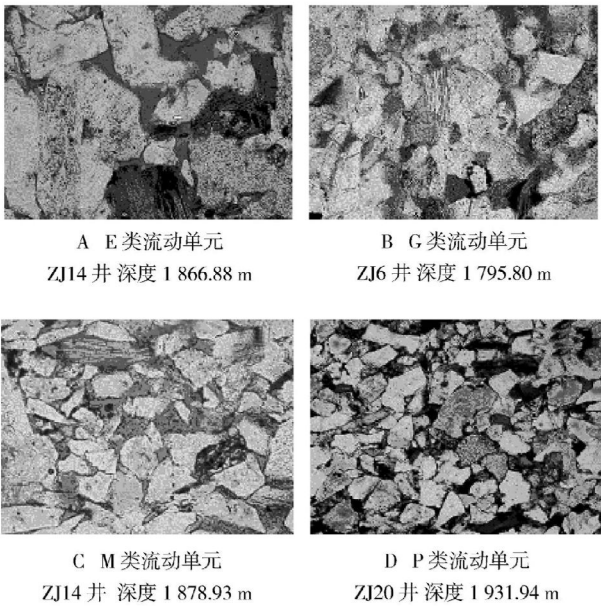


图 3 各流动单元的微观孔隙结构
Fig. 3 Micropore textures of each flow unit

(图 3A)。一般处于水下分流河道的中心部位,或是河流的交汇处(图 2),分选性好,但范围小,连片程度差。E 类流动单元是研究区渗流能力和储集能力最强的类型,初试产量最高可达 12.26 t/d,采出程度较高。在注水开发过程中,易发生水淹,所以一定要采用合适的注采比,防止过早发生水窜。

G 类流动单元平均孔隙度为 12.10%, 平均渗透率为 $3.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均厚度为 5.79 m, 孔隙发育, 吼道较窄, 连通程度较好(图 3B)。在研究区此类流动单元分布较广, 它主要分布在水下分流河道和河口坝微相区(图 2), 分选性较好。在平面上连片性好, 纵向上继承性好, 是渗流能力和储集能力较强的类型, 初试产量为 10.58 t/d。该流动单元内水线推进较均匀, 采出程度相对较高, 是研究区主要的生产动用层系, 有助于大面积注水开发, 开采程度较高。如能较好的控制注入量和注入压差, 将会获得较理想的开发效果。

M 类流动单元的平均孔隙度为 11.73%, 平均渗透率为 $2.50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均厚度为 3.71 m, 孔隙较小, 吼道较细, 颗粒呈线接触, 连通性较差(图 3C)。研究区此类流动单元分布较广, 它主要分布在水下分流河道和河道的边部(图 2), 孔渗值较低, 物性较差, 厚度小, 非均质性较强。但连片性好, 范围比较大, 是渗流能力和储集能力较差的类型, 非均质较强, 初试产量也可达 8.60 t/d。当进

入高含水率阶段后,仍有较多的剩余油富集,采出程度相对较低,是进一步提高采出程度和挖潜的主要层系。

P 类流动单元的平均孔隙度为 11.35%, 平均渗透率为 $2.30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均厚度为 2.53 m, 孔隙小, 吼道细, 连通性很差 (图 3D)。它属于水下分流河道微相与河道间微相的过渡部位以及堤泛微相 (图 2), 是渗流能力和储集动用能力均较差的类型。

参 考 文 献

- 1 兰朝利, 吴峻, 李继亮, 等. 靖安油田长 6 段层序地层分析 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 362~367
Lan Chaoli, Wu Jun, Li Jiliang, et al. Sequence stratigraphy of Chang-6 member in Jing'an oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 362~367
- 2 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨 [J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16~19
Zhao Hanqing. Approach to the study thinking about reservoir heterogeneous system, sand-body internal construction structure and flow unit [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(6): 16~19
- 3 尹太举, 张昌民, 陈程, 等. 建立储层流动单元模型的新方法 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 170~175
Yin Taiju, Zhang Changmin, Chen Cheng, et al. A new method for founding the model of flow unit in reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 170~175
- 4 窦松江, 于兴河, 李才雄, 等. 流动单元研究在北大港油田中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 26~30
Dou Songjiang, Yu Xinghe, Li Caixiong, et al. Flow unit study at middle and late development stages in Northern Dagang oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 26~30
- 5 林波, 张建良, 刘辛, 等. 储层流动单元的划分在油田开发中的应用 [J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(增刊): 94~95
Lin Bo, Zhang Jianliang, Liu Xin, et al. Application of reservoir flow unit classification in oilfield development [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(S0): 94~95
- 6 郭燕华, 熊琦华, 吴胜和, 等. 陆相储层流动单元的研究方法 [J]. 石油大学学报, 1999, 23(6): 13~16
Guo Yanhua, Xiong Qihua, Wu Shenghe, et al. Study method for flow unit in continental reservoir [J]. Journal of the University of Petroleum, 1999, 23(6): 13~16
- 7 马立文, 窦齐丰, 彭仕宓, 等. 用 Q 型聚类分析与判断函数法进行储层评价——以冀东老爷庙油田 28X1 区块东一段为例 [J]. 西北大学学报, 2003, 33(1): 83~86
Ma Liwen, Dou Qifeng, Peng Shimeng, et al. Comprehensively applying Q-model gathering and discriminant function methods to reservoir classification and evaluation. Taking Ed1 of Miao 28X1 block in Laoyemiao oilfield in Jidong as an example [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2003, 33(1): 83~86
- 24 Taylor S R, McLennan S M. The composition and evolution of the continental crust: rare element evidence from sedimentary rocks [J]. Phil Trans R. Soc London, 1981, A301, 381~399
- 25 刘友民. 陕甘宁盆地北缘乌兰格勒地区白垩系油苗成因及意义 [J]. 石油勘探与开发, 1982, 3: 39~42
Liu Youmin. Some notes about the oil seepage in Ulanqar area northern Shan-Gan-Ning [J]. Petroleum Exploration & Development, 1982, 3: 39~42
- 26 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 鄂尔多斯盆地热演化史研究现状及进展 [A]. 见: 刘池洋. 盆地多种能源矿产共存富集成藏 (矿) 研究进展 [C]. 北京: 科学出版社, 2005, 17~25
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Present situation and progress on thermal history research in Ordos basin [A]. In: Liu Chiyang. The study progress of accumulation and distribution patterns for multiple energy mineral deposits coexisting in the basin [C]. Beijing: Science Press, 2005, 17~25
- 27 贾承造, 魏国齐, 李本亮. 中国中西部燕山期构造特征及其油气地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 9~15
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang. Yanshanian tectonic features in west-central China and their petroleum geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 9~15
- 28 刘池洋, 赵红格, 王锋, 等. 鄂尔多斯盆地西缘 (部) 中生代构造属性 [J]. 地质学报, 2005, 79(6): 737~747
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Wang Feng, et al. Mesozoic structure attribute in the west (Margin) of Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 737~747
- 29 王庭斌. 中国大中型气田成藏的主控因素及勘探领域 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 572~583
Wang Tingbin. Main control factors of large and medium gas field and exploration domains in China [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 572~583

(编辑 高 岩)

(编辑 高 岩)

(上接第 238 页)