

建立储层流动单元模型的新方法

尹太举 张昌民

(江汉石油学院, 湖北荆州 434 02)

陈程 鲁国甫 姜建伟 李庆明 刘丽娜

(河南石油勘探开发研究院, 河南南阳 473 32)

流动单元模型是油藏数值模拟的基础, 基于流动单元的层次性, 建立流动单元模型可分5步来完成: (1) 取芯井段流动单元划分; (2) 未取芯井段流动单元划分; (3) 建筑结构模型的建立; (4) 建立参数模型; (5) 形成流动单元模型。对双河油田的研究表明, 该区可划分出极好型、好型、一般型和差型4种流动单元。极好型流动单元具有最好的储层物性, 主要存在于分流河道和河口坝砂体中, 而差型流动单元则有最差的物性, 主要位于席状砂体中。地层系数是决定流动单元的最主要的因素, 对于未取芯井, 可以用这个参数来进行流动单元的划分。

关键词 双河油田 建筑结构 地层系数 流动单元

第一作者简介 尹太举 男 27岁 硕士 开发地质

流动单元是在侧向和垂向上连续的、具有相同影响流体流动特征参数的储集岩体^[1, 2]。它也可以表示为具有相似特征的相组合, 每一个流动单元通常代表一个特定的沉积环境和流体流动特征^[3]。流动单元研究的目的是建立尽可能细地反映储层非均质性, 又要尽量地减少网格、适宜于油藏数值模拟的地质模型, 通过计算机模拟, 指导开发、调整方案的制定。

双河油田处于特高含水开发期, 对储层进行精细描述, 建立起高精度的地质模型已成为目前进行剩余油研究, 确定开发调整方案的必由之路。作者在储层建筑结构剖析的基础上, 对储层的内部非均质性又进行了更深入的研究, 总结出了一套实用的制定储层流动单元模型的方法。

方法

80年代以来, 流动单元研究方法得到了广泛关注, 大体上有四类。

1.1 岩石微观孔隙结构法

包括两种方法: 一是利用 Winland 方程求出的 R_{35} 来进行流动单元的划分的确认^[4]; 另一种是基于 Kozeny-Carman 方程推导出的油藏品质系数 RQI 、孔隙体积与颗粒体积之比 ϕ_2 、流动层段指标

FZI 的关系作图确定流动单元的类型^[5, 6]。

1.2 沉积、成岩、构造作用综合法

该方法认为确定流动单元类型的孔隙模型是沉积作用、成岩作用和后期构造作用的综合效应, 应用延展原理和叠加原理, 通过综合研究, 确定流动单元类型^[7, 8, 9]。

1.3 沉积学方法

该方法基于沉积因素是控制流体流动的主要因素, 认为通过等时地层边界的识别就可将储层划分为一系列的相对独立的不与外界发生流体交换的储集体, 即流动单元^{*}。

1.4 物性特征综合法

该方法是首先将储层进行沉积分层, 在沉积分层的基础上, 再按岩石物理特征对其进行进一步的细分, 一般用孔隙度、渗透率、厚度、有效厚度、泥质含量、流体饱和度、沉积构造、岩石颜色等对储层进行分段, 用聚类或交会图的方法确定流动单元的类型^[4]。

然而由于储层非均质性具有层次性^[1], 使得流动单元也具有层次性。不同的勘探开发阶段, 对流动单元的认识也不同, 所以不同层次的流动单元

* Cross T A, Baker MR, chapin M A, et al. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis. in Eschard R, Doligez B, eds. subsurface reservoir characterization from outcrop observations, Proceedings of the 7th E&P Research Conference, Paris: Techni., 1993. ~ 33

其研究方法也应有所不同。

单层以上级次的结构要素的界面均为不渗透界面, 单砂体的界面为大部分部位不渗透, 只有部分部位为渗透的界面^{*}, 因而在储层结构分析中, 如果将这些级次的结构搞清了, 在垂向上将其分开, 便可解决这些级次的流动单元划分问题, 也就是说, 对于由沉积作用起控制作用的储层, 通过储层的精细对比和沉积相分析, 便可以解决高级次的流动单元问题; 而对于更低级次的流动单元, 只依靠储层的对比就难于解决了, 必须采用一些新方法。

依据流动单元与建筑结构的相互关系及其内部特征, 我们认为进行单砂体内部低级次流动单元研究, 应从以下几个方面着手:

() 取芯井段流动单元划分: ①进行沉积层序的描述和建筑结构分析; ②逐点测取渗流参数(渗透率、孔隙度、束缚水饱和度、含油饱和度、储集层段厚度、有效厚度、净总厚度比、渗透率变异系数等); ③求出各结构要素渗流参数的平均值, 用聚类方法确定存在的流动单元类型, 并给出不同流动单元之间的阈值; ④按阈值对最终分的层进行流动单元命名; ⑤进行流动单元与结构要素关系分析, 确定结构要素与流动单元之间的对应关系。

(2) 对未取芯井段进行参数解释, 按阈值确定其流动单元类型。

(3) 研究建筑结构要素不同部位的主要渗流特征, 在建筑结构预测模型的基础上, 预测井间渗流参数, 作渗流参数模型。

(4) 按已定的流动单元阈值对井间各点进行参数处理, 确定其流动单元类型。

(5) 将结构要素骨架预测模型与参数模型相叠合勾绘流动单元边界, 填入流动单元类型符号, 便形成流动单元模型。

2 实例

2.1 流动单元层次划分

开发的不同时期, 流动单元含义是不同的。双河油田开发初期流动单元的含义是几个油层组, 基于这一认识, 指导了基础井网的部署; 发现合采的油层组内非均质性差异影响了储层的动用情况和

注采井网完善, 指导了六五期间的细分调整; 七五期间将认识重点放在厚油层层内, 展开了垂向上细分沉积时间单元, 平面上细分沉积相的工作把单层和相带作为影响油水运动的基本单元, 指导了井网一次加密; 八五早期以来认识到夹层对流体渗流的相当大的作用, 展开了厚油层层内夹层的研究工作, 在建筑结构分析的基础上, 将流动单元定义为成因砂体或成因砂体的一部分, 为砂体内部挖潜提供了依据。

2.2 储层流动单元模型的建立

2.2.1 物性特征

双河油田储层是厚层扇三角洲砂砾岩, 不同建筑结构要素储层物性相差悬殊, 即使是同一要素内部, 其物性也有较大的变化。

流体的流动能力随着渗透率、有效厚度的增大而增强, 随流体粘度的增大而变小。考虑到研究区内流体性质基本一样, 可以忽略粘度变化的影响, 用渗透率与有效厚度的积, 即地层系数(Khe) 来表征储层对某一种流体的流动性。储层储存流体的能力用储集系数, 即单位岩石体中所能储存的流体量来表征。对于单剖面, 我们用有效厚度、孔隙度的积来表征, 考虑到不流动孔隙的影响我们又乘以与束缚水饱和度的差, 称之为有效储存系数。

双河油田单个结构要素渗透率介于 $3 \times 10^{-3} \sim 2.257 \times 10^{-3} \mu m^2$ 之间, 平均 $605.7 \times 10^{-3} \mu m^2$, 渗透率垂向变异系数介于 $0. \sim .7$ 之间, 平均为 0.8 。孔隙度变化较小, 介于 $23.7\% \sim 3.8\%$, 平均 20.2% 。束缚水饱和度最高的达到 80% , 低的仅为 20% , 平均为 29% , 且随着粒度变细, 束缚水饱和度逐渐增大, 造成细粒岩类的有效储集空间减小和渗流能力的降低。单个结构要素地层系数差别很大, 介于 $\sim 500 \mu m^2 \cdot m$, 一般席状砂和水下溢岸地层系数较小, 河口坝和水下分流河道较大。储集系数差异相对较小, 介于 $0.2 \sim .40 m$ 之间, 有效储集系数值相对稍小。

2.2.2 流动单元类型及其特征

依据 7 口取芯井分层段(每个层段对应一个结构要素) 的渗透率、渗透率垂向变异系数、孔隙度、厚度、有效厚度、束缚水饱和度、地层系数、储集系数、有效储集系数进行流动单元的聚类分析得到的聚类谱系图(图), 可将储层划分为 4 类流动单元类型(图 2): 极好型(E)、好型(G)、一般型(F)、差型(P)。

* 尹太举, 储层建筑结构分析与流动单元划分——以双河油田为例(江汉石油学院硕士论文), 988

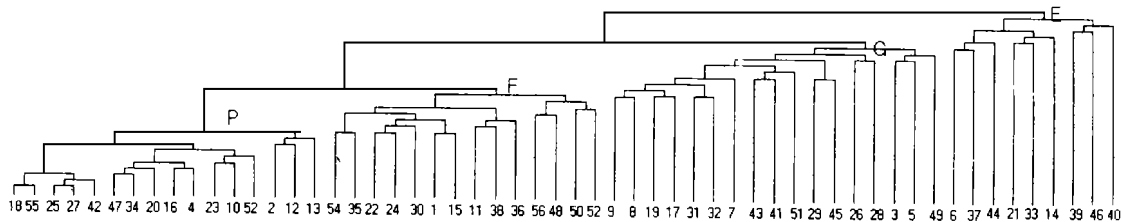


图 双河油田流动单元聚类谱系图

Fig. Cluster lineage of flow units in Shuanghe Oilfield

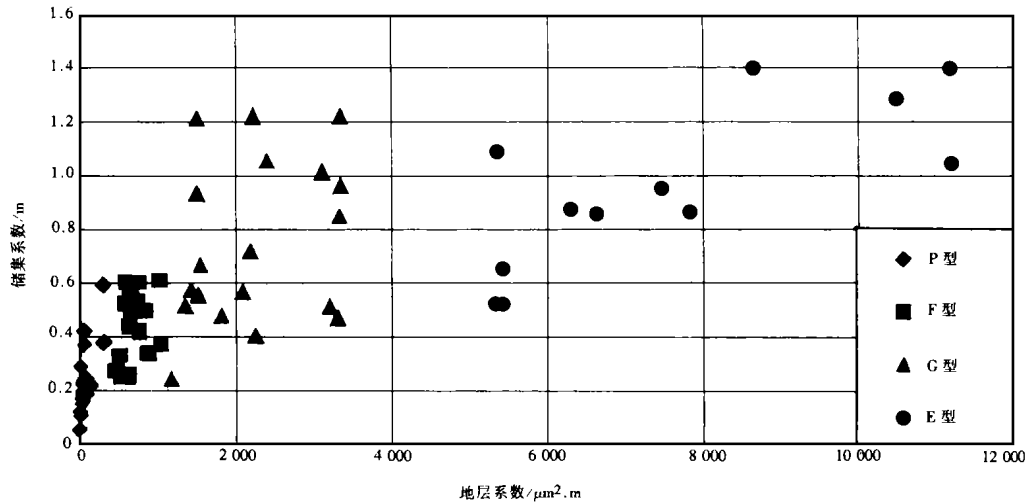


图 2 流动单元地层系数与储集系数交会图

Fig. 2 Cross plot of formation factors and reservoir factors of flow units

2. 2. 2. 极好型(E)

位于地层系数与储集系数交会图右上方, 具有最好的渗流能力和储集能力。地层系数介于 $5\,300 \sim 20\,000 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 平均 $7\,500 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 有效储集系数介于 $0.40 \sim 1.0 \text{ m}$ 之间, 储集系数 $0.50 \sim 1.40 \text{ m}$, 平均 0.95 m 。渗透率最大, 为 $0.000 \times 10^{-3} \sim 2\,300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率垂向变异系数和孔隙度与其他类型没有太大的差别, 具有较小的束缚水饱和度。事实上 E 型流动单元内部的差异很大, 其相关系数最小, 但其本身个数较少, 未进行进一步的亚类划分。

2. 2. 2. 2 好型(G)

位于地层系数与储集系数交会图中间部位, 具有较好的渗流能力和储集能力。地层系数 $77 \sim 3\,349 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 平均 $2\,80 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ 。有效储集系数介于 $0.8 \sim 0.88 \text{ m}$, 平均 0.53 m , 储集系数为 $0.24 \sim 1.20 \text{ m}$, 平均 0.7 m 。渗透率较大, $759 \times 10^{-3} \sim 653 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2. 2. 2. 3 一般型(F)

位于地层系数与储集系数交会图中下方, 具有一般的渗流能力和储集能力。地层系数 $52 \sim$

$759 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 平均 $639 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 有效储集系数 $0.7 \sim 0.43 \text{ m}$, 储集系数 $0.25 \sim 0.60 \text{ m}$, 平均 0.44 m 。渗透率介于 $23 \times 10^{-3} \sim 53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2. 2. 2. 4 差型(P)

位于流动单元地层系数与储集系数交会图的左下方, 具有最差的渗流能力和储集能力。地层系数 $2 \sim 304 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 平均 $78 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 有效储集系数 $0.03 \sim 0.42 \text{ m}$, 储集系数 $0.05 \sim 0.59 \text{ m}$, 平均 0.6 m 。具有最小的渗透率和较大的渗透率垂向变异系数和束缚水饱和度。

主成分分析发现各种参数对于分类影响不同, 渗透率、有效厚度、地层系数在分类中具有最大的权值。各流动单元之间在孔隙度、渗透率变异系数、储存系数等方面差异很小, 而在渗透率、地层系数上具有较大的差异, 尤其是地层系数。而且在未取芯井中, 渗透率解释并非逐点解释, 变异系数无法求得, 孔隙度的解释与岩芯解释差异较大, 不大适用, 因而可以只用地层系数来进行流动单元划分。

流动单元与结构要素关系研究表明, 结构要素与流动单元类型并非是一一对应的。水下分流河

道以极好型和好型流动单元为主, 一般型和差型流动单元分别占的比例不到 0.0%; 河口坝基本上是以好型流动单元为主, 占约 60% 左右, 其次是一般型; 席状砂以差型和一般型为主, 只有少部分的好型, 没有极好型流动单元。

2.2.3 未取芯井流动单元类型的确定

研究区内的未取芯井, 以结构要素为单位解释了渗透率、孔隙度、厚度和有效厚度。由于控制流动单元的因素主要是地层系数有关的因素, 故以此进行流动单元划分。

由于取芯井地层系数之间并不是连续的, 相邻两个流动单元类型地层系数小的流动单元的最大地层系数与地层系数大的流动单元的最小地层系数并不相等, 对于值落在这一区间的, 以两值中值为界来确定其流动单元的归属, 据此确定流动单元阈值如下: 差型 (P) 地层系数小于 $400 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$; 一般型 (F) 地层系数介于 $400 \sim 950 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 又可分为

为 F_A 、 F_B 两个亚类, F_A 地层系数介于 $600 \sim 950 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, F_B 地层系数介于 $400 \sim 600 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$; 好型 (G) 地层系数介于 $950 \sim 3\,900 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$; 极好型 (E) 地层系数大于 $3\,900 \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ 。

2.2.4 储层建筑结构模型特征

在储层精细对比的基础上, 建立了该区储层建筑结构模型。双河油田储层结构表现为明显的层次性和拼合性。层次性表现在储层可划分为 9 级层次, 其中单砂体和成因砂体是目前解剖的对象, 成因砂体则是结构分析的最基本的单元。在双河油田共识别出水下分流河道、河口坝、河道间、前缘席状砂、重力流、湖相细粒沉积等 6 种基本的结构要素。拼合性则表现为不同层次的结构实体在储层中相互拼接嵌合, 构成储层的格架。图 3 是一垂直岸线方向的储层建筑结构剖面图, 水下分流河道、河口坝、河道间、前缘席状砂、湖相细粒沉积等相互嵌接, 拼合出储层的基本面貌。

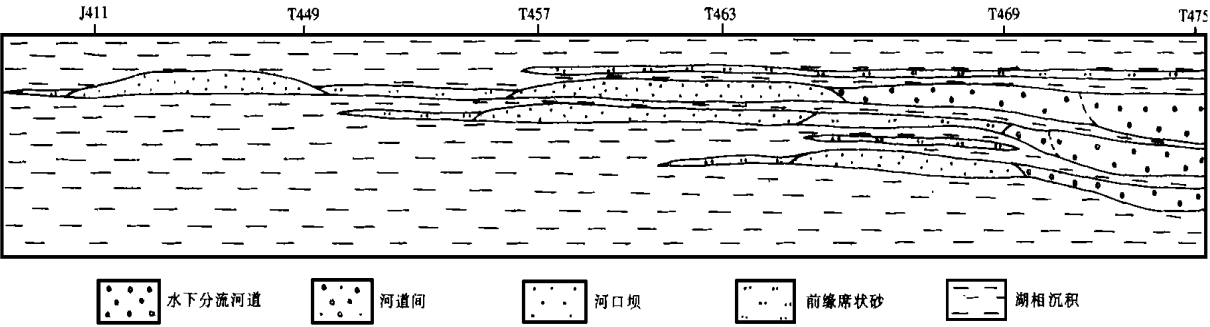


图 3 储层建筑结构剖面图
Fig. 3 Profile of reservoir architecture

2.2.5 等渗图及地层系数图的制定

等渗图和地层系数图的制定必须在建筑结构模型的指导下完成。

等渗图以建筑结构模型外边界为零线, 等值线间隔 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。勾绘等值线时, 要把握储层的非均质方向性。河道、河口坝均为高渗带, 而水下溢岸、前缘席状砂则为低渗带。砂体内部渗透率连续性和砂体间渗透率差异造成的渗透率等值线有时不能穿越结构要素。作图时要在河道结构要素内部追踪高渗带, 而在席状砂和水下溢岸中确定低渗带。

地层系数图作法同等渗图相似, 只作出划分流动单元必须的几条等值线 (0, 400, 950, 3 900)。零线取建筑结构模型砂体尖灭线, 据流动单元与建筑结构要素的关系追踪地层系数高值带和低值带, 勾

绘地层系数图。

勾绘等渗图和地层系数图中的异常值点有两种情况必须注意: (1) 由于解释错误造成的异常点可以直接剔除; (2) 由于原建筑结构模型错误而使解释值看似异常值的, 则要检查原有的建筑结构模型, 使两者相互符合。

2.2.6 由地层系数图形成流动单元模型图

将同层地层系数图与结构要素模型图相叠合, 交会后在阈值区间内填上流动单元类型符号, 即成流动单元模型。此时应注意: (1) 流动单元之间不一定连续, 即在差型流动单元和好型流动单元之间不一定有一般型流动单元存在; (2) 两条阈值线之间相距很近时, 这时可将两条线并到一起, 即两者中间缺一类流动单元; (3) 如果阈值线与结构要素边界线之间没有井点控制, 且距离较近时, 应以结

构要素的边界线作为流动单元的边界线勾绘流动单元图。据此可作出流动单元模型(图 4)。

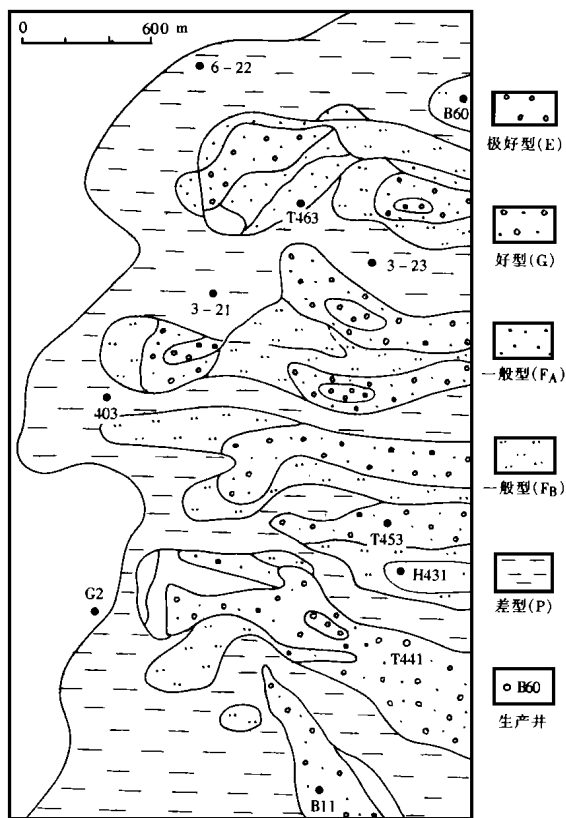


图 4 流动单元模型图

Fig. 4 Model of flow units

2.2.7 流动单元模型特征

从流动单元模型图上可以看出,流动单元模型极其复杂,各种类型流动单元相间分布,具有极强的非均质性,不进行深入的研究是难以确定其特征的。但与储层建筑结构预测模型相对比,我们不难发现,流动单元模型受控于储层建筑结构,与建筑结构模型叠合较好。

一般地,G型和E型流动单元相邻分布,且沿水下分流河道主流线、河口坝一线呈条带状展布,中间部分区域可能会被规模较小的F型或P型流动单元所隔开,而在其侧缘则是由水下溢岸、前缘席状砂组成的F型流动单元,再外则是P型流动单元。G型、E型和F型流动单元显示出明显的拼合性。席状砂常形成连续的P型流动单元在平面上呈片状广泛分布,个别部位出现F型和G型流动单元镶嵌其中。

从流动单元规模上看,只有G型和P型流动单元可形成大规模连续的特征,尤其是P型流动单元,常形成很大的规模,而其他类型流动单元规

模都较小。

2.2.8 应用效果

依据建立的流动单元模型对双河油田北块进行油藏数值模拟,初次拟合符合率比原先的网格划分方法提高了 50%,而且最终模拟时间减少了 5 天,明显提高了模拟的速度,减少了机时,节约了时间,其效果是显著的。

3 结论

(1) 由于储层本身非均质性的层次性,使得流动单元也具有层次性,对于高级次的流动单元应用沉积学方法便可以解决流动单元的划分对比,对于低级次的流动单元须用综合方法进行研究。

(2) 影响流动单元类型的主要因素为地层系数和储集系数,而地层系数是最主要的,可据其对未取芯井进行流动单元划分;依据聚类分析,在双河油田确定了极好型、好型、一般型和差型 4 类流动单元。

(3) 依据取芯井化验分析资料,在建立起孔隙度、渗透率解释模型基础上,我们从井点出发,进行井间参数预测,用地层系数图和建筑结构模型相叠加,可作出适用于数值模拟(或指导模拟网格划分)的流动单元模型。

(4) 对于流动单元的参数阈值界限主要依据聚类结果平均化而确定,没有同各流动单元的生产状况结合起来确定,若将生产中的产液和吸水状况与储层流动单元划分直接结合起来,应该更有效。

参 考 文 献

- Ebank W J. Flow unit concept-integrated approach to reservoir description for engineering projects. AAPG Bulletin, 1987; 7 (5): 55 ~ 552
- Ti Guangming, Munly W, Hatz D G, et al. Use of flow units as a tool for reservoir description: a case study. SPEFE, 1995, 0(2): 22~ 28
- Miall A D. Principle of sedimentary basin analysis. New York: Springer-Verlag, 1984. 77~
- Martin A J, Solomon S T, Hartman D J. Characterization of petrophysical flow units in carbonate reservoirs. AAPG Bulletin, 1997, 8 (6): 734~ 759
- 冯晓宏, 刘学锋, 岳清山, 等. 厚油层非均质特征描述的新方法——水力(渗流)单元分析. 石油学报, 1994, 5(专刊): 49~ 58
- 吕晓光, 于洪文, 田东辉, 等. 高含水后期油田细分单砂层的地质研究. 新疆石油地质, 1993, 4(4): 345~ 349
- 熊琦华, 彭仕宓, 黄述旺, 等. 岩石物理相研究方法初探——以辽河冷东 雷家地区为例. 石油学报, 1994, 5(专刊): 68~ 75

8 赵立民,熊琦华. 荆丘油田岩石物理相研究. 古潜山, 995,
(2): 0~ 7

9 Jackson S R, Tomutsa L, Szpakiew iz M, 等. 应用综合方法建立
钟溪油田障壁岛相油藏的定量流动模型. 见: 刘孟慧, 赵澄林,
纪友亮, 等, 编译. 第二届国际储层表征技术研讨会译文集.
山东东营: 石油大学出版社, 990. 4~ 33

0 张昌民. 储层研究中的层次分析法. 石油与天然气地质,
992, 3(3): 344~ 350

A NEW METHOD FOR FOUNDING THE MODEL OF
FLOW UNIT RESERVOIRS

Yin Taiju Zhang Changmin

(Jianghan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)

Chen Cheng Lu Guopu Jiang Jianwei Li Qingming Liu Lina

(Henan Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Nanyang, Henan)

Abstract

Flow unit model is the premise of reservoir numerical simulation. According to the reservoir properties, the model can be founded through five steps as following: ①divide and determine cored-well flow units; ②divide and determine the uncored-well flow units; ③found reservoir architectural model; ④found parameter model; ⑤found flow unit models. According to the study made in Shuanghe Oilfield, Henan Province, four types of flow units as E, G, F, P were recognized, within which type E has perfect reservoir property and is distributed in distributary channels and river mouth bars; type P has the poorest property and is distributed in sheet sandbodies. It is proposed that formation factor is the main factor in determining the flow units, and could be used in dividing the flow units of uncored wells.

Key words Shuanghe Oilfields architecture formation factor flow unit

《含油气盆地分析与资源评价——以松辽盆地十屋-德惠地区为例》
专 著 出 版

一部将盆地分析应用于油气资源评价与油气勘探部署的科学论著《含油气盆地分析与资源评价——以松辽盆地十屋-德惠地区为例》日前由地质出版社出版。该书由中国新星石油公司规划研究院高级工程师龙胜祥博士和中国新星石油公司勘探研究院高级工程师王果寿硕士等青年学者撰著。中国地质大学陈发景教授欣然为该书作序。

该书作者在总结前人成果的基础上,针对油气资源评价所面临的难题,明确地提出了将盆地分析与油气资源评价紧密结合起来,根据评价对象具体成藏模式和控制因素建立相应的评价模型,进行了多学科综合和一体化研究与评价的研究思路与方法。从而为天然气资源评价方法学研究的建立奠定了扎实的基础。

该书以系统论观点分析了含油气系统的形成与发展,分析了其内部地质要素、地质作用随时间的变化规律和相互配置关系,以及与外部环境的关系,从而丰富了含油气系统的研究内容。在典型气藏解剖及成藏模式总结基础上建立了相应的圈闭天然气资源评价专家系统。并且建立了盆地分析→含油气系统研究→天然气资源评价专家系统→勘探层资源评价及圈闭资源评价→勘探决策分析的程序与模式。最后开展了天然气资源评价及勘探决策分析。该书所取得的成果及提出的勘探部署建议具有较高的学术水平和重要的应用价值,对松辽盆地的油气勘探具有重大的指导意义。

(杨建超)