

Division and Discrimination of Flow Units in the Chang 4+52 Oil Layer Formation in the Zhangjiatan Area of the Ordos Basin

Zhe Li^{1,2} Zhan Shi³

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China
2. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China
3. The 11th Oil Production Plant of Changqing Oilfield Branch of PetroChina, Qingyang, Gansu, 745000, China

Abstract

In order to more effectively guide the later development of the oilfield, the flow unit index method was used to analyze the core data of 8 wells in the Chang 4+52 layer in the Zhangjiatan area of the Ordos Basin, the flow unit index (FZI) and reservoir evaluation factor (RQI) were calculated, and combined with relevant parameters such as porosity and permeability, SPSS software was used for cluster analysis to classify the flow unit types in the study area into 4 categories, the storage capacity of the 4 types of flow units gradually deteriorated. And select parameters with higher correlation, and establish different discriminant functions using two different discriminant methods, typical discriminant method and Fisher discriminant method, for different situations, to facilitate the subsequent identification of flow unit types for more data.

Keywords

flow unit; Chang 4+52; flow unit index; discriminant function

鄂尔多斯盆地张家滩地区长 4+52 油层组流动单元划分及判别

李哲^{1,2} 师展³

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西·西安 710065
2. 西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 中国·陕西·西安 710065
3. 中国石油长庆油田分公司第十一采油厂, 中国·甘肃 庆阳 745000

摘要

为了更有效地指导油田后期的开发, 利用流动单元指数法, 分析鄂尔多斯盆地张家滩地区长4+52层位8口井的岩心资料, 计算流动单元指数(FZI)和储层评价因子(RQI), 结合孔隙度、渗透率等相关参数, 利用SPSS软件做聚类分析将研究区流动单元类型划分为4类, 4类流动单元的储集能力逐渐变差。并且筛选相关性更高的参数, 针对不同的情况, 采取典型判别法和Fisher判别法两种不同的判别方式建立不同的判别函数, 方便后续对更多的数据进行流动单元类型判别。

关键词

流动单元; 长4+52; 流动单元指数; 判别函数

1 引言

Hearn 等^[1]最早提出流动单元在纵向与横向连续, 并且具有相同的性质的储集体。随着对流动单元的认识和加深理解, 从早期的隔夹层、沉积相等基础的划分方式逐步演变为半定量、定量评价的研究。

流动单元指数(FZI)的提出对定量评价流动单元具有重要的意义^[2]。该参数是对孔隙结构及岩石矿物特征的综合

性研究, 同样也能反映出岩相孔隙的几何形态。目前, 流动单元划分储层类型得到了很多专家学者的认可, 并且被广泛地应用于指导油田开发、剩余油分布研究等各个方面。并且, 流动单元在储层孔隙非均质性研究中起到了提高精度的作用。但是, 在研究过程中同样存在一系列的问题。例如, 由于流动单元指数(FZI)计算公式中相关参数不具有明显的地质意义, 可能会将不同孔隙类型的储层归为一类^[3]等。因此, 定量研究的方法选择就具有相当重要的意义。中国目前常见的定量分析方法包括模糊聚类法、非均质性指数分类法(IRH)、模糊C均值聚类法等。

【作者简介】李哲(1996-), 男, 中国黑龙江大庆人, 硕士, 从事油气成藏地质、非常规油气地质与勘探研究。

论文通过应用 SPSS 软件对鄂尔多斯盆地张家滩地区长 4+5₂ 流动单元分类中可能相关的参数进行聚类分析,以流动单元指数 (FZI) 为分类标准对研究区流动单元类型进行划分,并使用两种不同的判别方式建立判别函数。

2 研究区储层特征

七里村油田张家滩地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部。沉积相类型主要为三角洲前缘沉积。长 4+5₂ 孔隙度以 7.5%~13.2% 为主,均值为 9.7%,中值为 9.5%;渗透率以 $0.11 \times 10^{-3} \sim 0.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主,均值为 $0.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值为 $0.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

3 流动单元划分

3.1 判别参数计算

论文利用流动单元指数 (FZI) 进行流动单元划分。储层基本属性参数包括孔隙度 (ϕ)、渗透率 (K)、储层品质因子 (RQI)、流动单元指数 (FZI) 等。其中 RQI、FZI 及计算如下^[4]:

储层品质因子:

$$RQI = \sqrt{\frac{K}{\phi}}$$

标准化孔隙度:

$$\phi_z = \frac{\phi}{1 - \phi}$$

流动单元指数:

$$FZI = \left(\frac{1-\phi}{\phi}\right) \sqrt{\frac{K}{\phi}} = \frac{RQI}{\phi_z} \quad (1)$$

对式 (1) 两边同时取对数,得:

$$\lg RQI = \lg FZI + \lg \phi_z$$

式 (1) 表明在储层品质因子 (RQI) 与标准化孔隙度 (ϕ_z) 的双对数关系图中,流动单元指数 (FZI) 可以对样品进行分类,不同的类型对应不同的直线,落在同一直线附近的数据即为同一流动单元类型^[5]。也表明流动单元指数 (FZI) 能将储层物理性质与孔隙结构类型相结合。

3.2 流动单元划分及分类标准

对研究区长 4+5₂ 的 48 块样品分析计算并绘制流动单元指数 (FZI) 概率累积图发现 (如图 1 所示),数据点具有明显的分段性,即流动单元可以分成 4 种类型,界线值分别为 1.4、2、3。

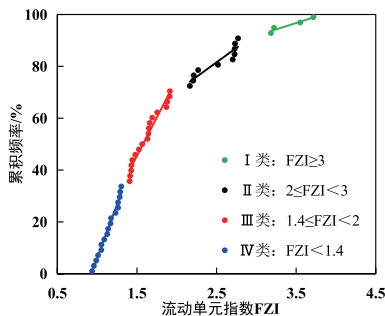


图 1 FZI 累积概率分布图

对研究区探井进行分层精细刻画及沉积相研究后,考虑到孔隙度、渗透率对储层非均质性影响较大,因此选择 Kozeny-Cayman 方程进行定量分类评价。将样品孔渗数据进行计算,得到 RQI、FZI 及 ϕ_z 三个参数。最终对孔隙度 (ϕ)、渗透率 (K)、RQI、FZI 及 ϕ_z 五个物理量参数进行聚类分析划分 4 种流动单元类型,分类界线与 FZI 概率累积图相吻合。

根据计算结果观察,长 4+5₂ 的 FZI 主要分布范围为 0.9~3.8。在 RQI 和 ϕ_z 的双对数关系图中,以 FZI 的界线值 1.4、2、3 分别建立不同流动单元类型的关系图 (如图 2 所示)。并以此为依据,对 4 类流动单元的孔渗关系图做拟合 (如图 3 所示) 发现,同类流动单元的孔渗分布较为集中,界限较为清楚,表明聚类分析可以用来划分流动单元。并将 4 种流动单元参数分布范围及划分标准绘制成表 (如表 1 所示)。

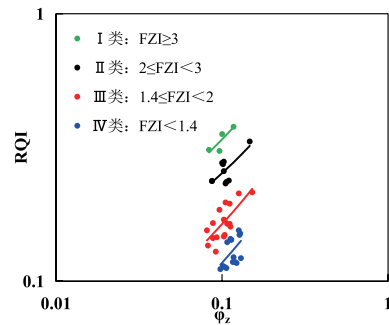


图 2 长 4 + 5₂ 储层 FZI 分类图

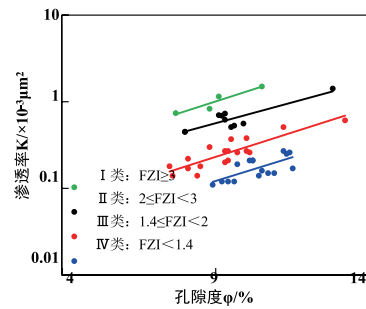


图 3 长 4 + 5₂ 储层孔渗 FZI 分类关系图

表 1 流动单元参数分布范围

流动单元类型	孔隙度	渗透率	FZI	RQI	ϕ_z
I	(7.7~10.5) 9.03	(0.74~1.5) 1.06	≥ 3	(0.307~0.378) 0.338	(0.083~0.117) 0.099
II	(8~12.8) 9.47	(0.45~1.42) 0.67	2~3	(0.232~0.333) 0.260	(0.087~0.147) 0.105
III	(7.5~13.2) 9.34	(0.14~0.61) 0.27	1.4~2	(0.129~0.215) 0.167	(0.081~0.152) 0.103
IV	(8.9~11.5) 10.33	(0.11~0.27) 0.18	< 1.4	(0.111~0.155) 0.130	(0.098~0.130) 0.115

注: 括号内数值为分布范围; 下部数值为平均值。

4 判别函数方程建立

利用 SPSS 分析软件对 4 种流动单元的判别函数进行建立。以孔隙度、渗透率、RQI、FZI 及 ϕ_z 五个物理量参数为基础，建立线性组合判别函数，但是由于不同参数之间相关性存在差异，因此需先对不同参数相关性进行分析，相关性较高的参数不能同时参与判别^[1]，以达到简化判别式的目的。

将五个参数进行相关性检验发现（如表 2 所示），孔隙度与 ϕ_z 、RQI 与渗透率相关系数均在 0.9 以上，因此选择孔隙度、RQI、FZI 进行流动单元判别式建立。

表 2 储层参数之间的相关性

相关性	孔隙度	渗透率	FZI	RQI	ϕ_z
孔隙度	1				
渗透率	0.182	1			
FZI	-0.023	0.955**	1		
RQI	-0.379**	0.793**	0.925**	1	
ϕ_z	1.000**	0.186	-0.019	-0.375**	1

注：**在 0.01 级别（双尾），相关性显著。负数代表负相关。

4.1 典型判别函数

使用 SPSS 软件对孔隙度、RQI、FZI 三个参数进行判别分析，从而得到 3 个函数方程，相关性分别为 97.4%、43.7%、14.8%，因此选择相关性最高的函数方程作为流动单元的判别函数：

$$f = -0.354\phi + 2.752FZI + 32.589RQI - 7.643$$

式中： ϕ 为孔隙度，%；

K 为渗透率， $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；

FZI 为流动单元指数，RQI 为储层品质因子，均无量纲。

质心数值如表 3 所示。

表 3 流动单元判别结果质心数据表

流动单元类型	函数 1	函数 2	函数 3
I	9.571	0.663	0.274
II	4.373	-0.102	-0.233
III	-1.028	-0.517	0.087
IV	-3.97	0.48	-0.021

注：表内数值各流动单元参数平均数的函数计算值。

4.2 Fisher 判别函数

相较典型判别函数，Fisher 判别函数能够更加准确且主观地对流动单元类型作出判断。以物性资料为基础，以 Fisher 判别为准则，对孔隙度、RQI、FZI 三个参数进行分析，

得到研究区长 4+5₂ 储层 4 种流动单元的判别函数公式：

$$F_1 = 61.165\phi + 326.1FZI - 2058.384RQI - 487.348$$

$$F_2 = 60.76\phi + 301.38FZI - 2128.48RQI - 389.467$$

$$F_3 = 61.833\phi + 284.434FZI - 2286.701RQI - 330.782$$

$$F_4 = 65.307\phi + 285.3FZI - 2465.397RQI - 339.642$$

式中：F 为判别函数，无量纲；

ϕ 为孔隙度，%；

K 为渗透率， $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；

FZI 为流动单元指数，RQI 为储层品质因子，均无量纲。

对判别函数进行验证，原始数据的正判率达到 100%，表明函数具有较高的可信度，遵从函数值最大的原则，将新数据分别代入 4 个判别函数中，函数值最大的即为该数据对应的流动单元类型。

5 结论

①筛选储层基本参数，选取相关性较好的参数，分别计算储层品质因子（RQI）与标准化孔隙度（ ϕ_z ），利用流动单元指数（FZI）将研究区长 4+5₂ 储层流动单元分层 4 类：

I 类：FZI ≥ 3 。

II 类：2 \leq FZI < 3。

III 类：1.4 \leq FZI < 2。

IV 类：FZI < 1.4。

其中，4 类流动单元的储集能力逐渐变差。

②方便对更多的数据进行流动单元类型判别，需建立对应的判别函数。由于相关性较高的参数会使函数判别式变得复杂，因此对参数进行筛选，选取孔隙度、RQI、FZI 三个参数作为判别函数的因子，最终使用两种方法建立流动单元函数判别式。为了更主观准确的对流动单元类型进行判断，笔者推荐使用 Fisher 判别函数式。

参考文献

- [1] 吕明针,林承焰,张宪国,等.储层流动单元划分方法评价及优选[J].岩性油气藏,2015,27(1):74-80+88.
- [2] 康立明,任战利.多参数定量研究流动单元的方法——以鄂尔多斯盆地W93井区为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2008(5):749-756.
- [3] 欧阳思琪.鄂尔多斯盆地白豹地区长81储层流动单元及剩余油分布研究[D].西安:西北大学,2019.
- [4] 王京红,侯连华,吴锡令,等.注水开发后期河流相储层流动单元特征[J].石油大学学报(自然科学版),2004(4):25-30.
- [5] 施玉娇.鄂尔多斯盆地富昌区块延长组长2油层组精细油藏描述[D].西安:西安石油大学,2010.