

应用模糊聚类分析方法评价油藏质量^{*}

冯国庆¹, 张烈辉¹, 沈勇伟², 陈忠强³

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(西南石油学院), 四川 南充 610500;

2. 新疆油气田分公司采油二厂地质所; 3. 新疆石油管理局测井公司)

摘要: 在油藏精细描述和小层储量复算基础上, 应用模糊数学中的模糊聚类分析方法, 选用了储量丰度、孔隙度、渗透率、平均孔隙半径以及反映油藏非均质特征变异系数、突进系数等参数, 分单井、小层及沉积微相对 H 油藏的质量作了系统地分类评价。评价结果表明, H 油藏的储层划分为四种类型, 其中多数储层属于 Ⅱ类储层, 储层质量较好。

关键词: 模糊聚类分析; 相似系数; 分类指标; 质量评价

中图分类号: TE122

文献标识码: A

随着油藏开发历程的进展, 其质量及储量都在发生变化, 对它的认识程度也在不断加深, 正确地评价油藏的质量是对全面认识油藏、油藏开发方案的制定有着积极的促进作用。本文以某油田 H 油藏为研究对象, 应用模糊数学中的模糊聚类分析方法, 选用了储量丰度、孔隙度、渗透率、平均孔隙半径以及反映油藏非均质特征变异系数、突进系数等参数, 分单井、小层及沉积微相对油藏的质量作了系统评价。

1 模糊聚类评价方法^[1]

1.1 方法概述

经典的聚类分析是一种数学分类方法, 其基础是数理统计的多元分析方法。但在现实世界中, 一组事物根据其亲疏程度和相似性是否形成一个类群, 或一个事物是否属于某一个类别, 其界限往往是不分明的, 具有很大程度的模糊性, 模糊聚类正是刻划和解决这类聚类问题的数学方法。模糊聚类分析是依据客观事物间的特征、亲疏程度和相似性, 通过建立模糊相似关系对客观事物进行分类的数学方法。用模糊聚类分析方法处理带有模糊性的聚类问题要更为客观、灵活、直观和计算简捷。

1.2 模糊聚类的基本思想及步骤

1.2.1 模糊等价关系

定义 设给定论域 U 为有限集合, U 上的一个模糊关系 R , 其对应的模糊矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 若满足:

- (1) 自反性 $r_{ii} = 1 (i = 1, 2, \dots, n)$
- (2) 对称性 $r_{ij} = r_{ji} (j = 1, 2, \dots, n)$
- (3) 传递性 $R \circ R \subseteq R$

则 R 称为模糊等价关系, 其矩阵称为模糊等价矩阵, 只满足 (1)、(2) 称为相似关系。

定理 1 设 R 是 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 上的一个自反对称关系, 则 R^{n-1} 必是一个模糊等价关系。

定理 2 对模糊关系 R , 则对任意 $\lambda \in [0, 1]$ 所截的 λ -截关系 R_λ 为普通的等价关系。

定理 3 如果 $0 < \lambda_1 < \lambda_2 < 1$, 则 R_{λ_2} 的分类法是 R_{λ_1} 的分类法的加细。

根据以上定理可进行具体的聚类分析, 若 R 只是相似矩阵时由定理 1 自乘若干次必可得到一个等价关系矩阵, 然后再由定理 2 和定理 3 加细分类。

1.2.2 相似系数的计算

设被分类的每一对象 U_i 由一组数据 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ 所标定, 其中 $x_{ik} \geq 0, k = 1, \dots, m$ 。 U_i 与 U_j 的相似程度用相似系数 r_{ij} 表示, r_{ij} 可根据实际情况采用不同方法计算, 常用的方法有: 数量积法、绝对值指数法、最大最小法、算术平均最小法、绝对值

* 收稿日期: 2003 - 04 - 28

基金项目: “高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划”资助(PRAPOYT)。

作者简介: 冯国庆(1974 -), 男(汉族), 山东曹县人, 讲师, 博士, 主要从事油藏描述及数值模拟方面的科研和教学工作。

倒数法、几何平均最小法、夹角余弦法、相关系数法、指数相似系数法和绝对值减数法。

1.2.3 基本步骤

(1) 数据规格化

由于 m 个特性指标的量纲和数量级都不相同,在运算过程中可能突出某数量级特别大的特性指标对分类的作用,而降低甚至排除了某些数量级很小的特性指标的作用,致使对各特性指标的分类缺乏一个统一尺度。为了消除特性指标单位的差别和特性指标数量级不同的影响,必须对各指标实行数据规格化,从而使得每一指标值统一于某种共同的数值特性范围。常用数据规格化方法主要有数据标准化、极大值规格化、均值规格化、中心规格化和对数规格化。

(2) 建立模糊相似矩阵

对于样本空间 $X = [x_{ij}]_{n \times m}$, 设 x_{ij} 均已规格化,用相关系数法来建立样本与样本之间的相似关系(亲疏关系):

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m |x_{ik} - \bar{x}_i| |x_{jk} - \bar{x}_j|}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (1)$$

$$\text{其中, } \bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ik}, \bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{jk}$$

从而计算出衡量被分类对象 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ 与 $x_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})$ 之间的相似程度 r_{ij} ,

使得

I $r_{ij} = 0$ 时,表示样本 x_i 与样本 x_j 毫不相似;

II $r_{ij} = 1$ 表示 x_i 与 x_j 完全相似或者等同;

III 当 $i = j$ 时, r_{ij} 就是样本 x_i 自己与自己的相似程度,恒取为 1。

于是得到一个样本与样本之间的模糊相似关系矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{32} & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) 聚类分析

用上述方法建立起来的模糊关系 $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times m}$, 一般来说不具有等价关系,根据定理当然可将它自乘 $\tilde{R} \circ \tilde{R} = \tilde{R}^2$,再自乘 $\tilde{R}^2 \circ \tilde{R}^2 = \tilde{R}^4$,如此继续下去,直至某一步出现 $\tilde{R}^k \circ \tilde{R}^k = \tilde{R}^k$ 为止,则 \tilde{R}^k 便是一个模糊等价关系。对于模糊等价关系 \tilde{R}^k ,根据定理 3 便可按不同的水平 进行聚类。

2 油藏质量评价

利用模糊聚类分析方法,分单井、小层和微相砂体对某油田 H 油藏进行了系统的评价。

2.1 单井评价

表 1 H 油藏单井分类评价指标

类别	砂岩系数	储量丰度 /(10 ⁴ t/km ²)	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	突进系数	变异系数	孔隙度 /%	平均孔喉半径/μm
	0.731	307.3	52.64	2.514	0.700	14.63	3.450
	0.711	223.1	36.67	2.692	0.750	12.53	3.190
	0.463	154.5	30.67	3.201	0.884	11.83	2.680
	0.297	91.7	6.03	2.298	0.774	9.20	1.195

表 2 H 油藏单井分类评价结果表

类别	南 区		北 区		油 藏	
	井数/口	比例/%	井数/口	比例/%	井数/口	比例/%
	11	14.29	28	28.57	39	22.29
	31	40.26	40	40.82	71	40.57
	21	27.27	25	25.51	46	26.29
	14	18.18	5	5.10	19	10.86

针对 H 油藏非均质严重的特点,本文用于评价油藏好坏的参数主要包括砂岩系数、储量丰度、油层

渗透率、油层孔隙度、渗透率突进系数、渗透率变异系数和平均孔喉半径。将这些参数代入 175 口井各

参数的评价指标，取 0.8,得到表 2 的分类结果。

从表 2 可以看出,在总体上,北部的井比南部的井储层要好一些,这与沉积相研究认为北部为主河流沉积区,砂体厚,物性和含油性都较好,而南部砂体较薄,物性和含油性相对较差的分析结果相一致。175 口井中各类储层所占的百分比表明,H 油藏单井以 类和 类储层为主,共计 117 口井,占全油藏的 66.86%,其次为 类, 类储层的井最少,仅占 10.86%。因而,从储层类型看,H 油藏储层属于比较有利的储层。

2.2 小层评价

对 H 油藏共 22 个小层进行了模糊聚类评价,取 0.8,得到表 3 的分类结果。由表 3 的结果可知,H 油藏各小层的物性及产油能力都有很大的差异。其中 -4、-6 和 -4 三个小层属于 类储层,即本区最好的储层;-1、-2、-5、-1、-2、-4、-2、-7、-1 小层为 类储层,属于较好的储层,这 and 实际生产情况相吻合,并且可以看出,小层的评价结果与单井评价结果有类似之处,即本区以 、类层为主, 类层次之,第 类最少。

表 3 H 油藏小层分类评价结果

小层	砂岩系数	储量丰度 / (10 ⁴ t/ km ²)	渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	突进系数	变异系数	孔隙度 / %	平均孔喉半径/μm	分类
-1	0.493	17.37	33.16	3.50	1.062	13.34	2.84	2
-2	0.516	13.00	43.12	9.00	1.510	13.67	3.21	2
-3	0.623	13.13	29.58	3.65	0.830	13.28	2.70	3
-4	0.729	25.61	37.84	4.89	1.026	13.80	3.02	1
-5	0.708	17.62	30.55	4.88	0.800	13.16	2.74	2
-6	0.744	41.40	43.21	6.50	0.994	14.22	3.21	1
-1	0.526	10.51	24.30	4.78	0.984	12.90	2.46	2
-2	0.470	19.73	26.70	6.93	1.063	12.89	2.57	2
-3	0.293	9.28	19.63	6.00	1.304	12.11	2.23	4
-4	0.577	19.82	23.66	6.97	1.094	12.55	2.43	2
-1	0.303	11.27	18.61	4.14	1.700	12.03	2.18	4
-2	0.647	20.62	28.31	8.40	1.271	12.78	2.64	2
-3	0.453	12.99	22.23	8.86	1.189	12.30	2.36	3
-4	0.583	18.39	25.93	8.20	1.850	12.49	2.54	3
-5	0.383	7.84	14.53	8.00	1.177	11.30	1.94	4
-6	0.495	10.80	23.48	10.20	1.740	12.46	2.42	3
-7	0.629	16.93	28.86	10.26	1.474	12.57	2.67	2
-1	0.628	19.94	22.09	12.90	1.600	12.41	2.36	2
-2	0.497	8.13	21.96	12.40	2.260	12.37	2.35	3
-3	0.689	10.93	13.74	10.80	1.660	11.43	1.89	3
-4	0.808	32.31	23.15	13.50	2.400	12.76	2.41	1
-5	0.662	22.26	4.62	15.50	2.150	8.70	1.15	4

表 4 H 油藏沉积微相分类评价结果

沉积微相	砂岩系数	储量丰度 / (10 ⁴ t/ km ²)	渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	突进系数	变异系数	孔隙度 / %	平均孔喉半径/μm	分类
河口坝砂体	0.817	24.29	37.70	4.91	0.755	14.18	3.02	1
远端坝砂体	0.721	17.04	35.93	5.15	0.789	13.73	2.95	1
分流河道	0.626	12.86	28.89	10.24	1.131	13.13	2.67	2
席状砂	0.410	9.99	21.82	8.48	1.205	12.07	2.34	3
水下河道	0.654	18.13	15.03	4.07	1.382	11.23	1.97	3
泛滥河道	0.623	18.26	13.26	24.78	1.534	10.04	1.86	4
前缘滩地	0.603	15.93	4.33	8.30	1.373	8.37	1.11	4

3 砂体微相评价

对 7 种微相砂体进行了模糊聚类评价, 取 0.8, 分类结果见表 4。从表 4 可以发现, 7 种微相砂体的储层类型和沉积相的研究结论基本吻合, 即河口砂坝、远端坝为 Ⅰ类储层, 泛滥汉道和前缘滩地属 Ⅱ类储层, 其余为较好或较差的储层。

4 评价结论

综合以上研究结果, H 油藏储层可以分为四种类型, 第 Ⅰ类为好储层, 第 Ⅱ类为差储层。就单井而言, 北部砂体储集性能优于南部, Ⅰ、Ⅱ类储层的比例高一些, 从小层来看, -4、-6、-4 三个小层是

本区最好的 Ⅰ类储层, -3、-1、-5、-5 等 Ⅱ类储层, 其余各小层属于 Ⅲ类到 Ⅳ类储层; 在七种微相砂体中, 以河口砂坝、远端坝为 Ⅰ类储层, 分流河道、席状砂、水下河道为 Ⅱ类到 Ⅲ类储层, 泛滥汉道、前缘滩地最差的 Ⅳ类储层。

参考文献:

- [1] 刘育骥, 耿新宇, 肖辞源. 石油工程模糊数学[M]. 成都: 成都科技出版社, 1994.
- [2] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科技出版社, 1983.
- [3] 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.

(编辑 蒋 红)

(上接第 4 页)

构造复杂、沉积相变快、油气藏类型多且复杂的特点, 但经过不断的勘探, 已取得很好的勘探开发效果。盆地目前资源探明率仅 16.8%, 还有可观的油气勘探物质基础。从盆地聚油单元的划分及其剩余资源分布预测, 东部坳陷 Ⅰ区剩余资源潜力最大, 其次西部坳陷 Ⅱ区。东部坳陷中央断凹—南部缓坡和西部坳陷是盆地今后勘探主要有利区带。东部坳陷北部断阶是油气富集带, 虽然资源探明率高, 但仍具有滚动扩边增储上产的潜力。

参考文献:

- [1] 张文昭. 中国陆相盆地油气藏类型与复式油气藏聚集

区[A]. 张文昭主编. 中国陆相大油田[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

- [2] 翟光明. 中国石油地质志(总论)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [3] 蔡舜天, 郭亦秋. 广西百色盆地石油地质概述[J]. 石油与天然气地质, 1984, 5(4): 362 - 371.
- [4] 郭元岭, 高磊, 赵乐强, 等. 济阳坳陷石油勘探效果分析[J]. 河南石油, 2001, 15(3): 15 - 17.
- [5] 邱荣华. 河南油田各探区勘探潜力与“十五”油气资源发展战略[J]. 河南石油, 2001, 15(1): 1 - 6.
- [6] 王涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

(编辑 罗先碧)

that 50 % perforating level is optimal. Such results have a good guidance for the development of this reservoir.

Key words : reservoir with bottom-water ; numerical simulation ; technical policies ; oil recovery

ANALYZING METHOD OF 3D FRACTURING PRESSURE DECLINE CURVE

ZHANG Ya-li (Research Institute of Petroleum Exploitation Development , Beijing ,100083) , ZHAO Jin-zhou , LI Wen-xing , et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, Vol. 26, No. 3, 28 - 32, 2004 (ISSN1000 - 2634, IN CHINESE)

With the development of fracturing technique , especially with the development of system fracturing in oil and gas reservoir , the technique of postfrac evaluation is increasingly valued. It is necessary to extensively improve and develop the corresponding test and interpretation. Based on P-3D model with pressure decline curve , a 3D model considered the pressure decline curve after fractured was established in this paper. the 3D model coupled with pressure decline curve can calculate effective fluid loss coefficient , closing time , fluid efficiency , formation stress intensity factor , fracture geometry parameters such as fracture length , fracture height , fracture width and other basic parameters. It can optimize the design of system fracturing in new oilfield and offer evidence for evaluating productivity in fractured well. A set of analysis software of 3D mathematical model for windows was developed , by which we can obtain the relevant parameters for post-fracturing evaluation. Some field examples showed that the 3D model analysis method was practical and more reliable.

Key words : fracturing ; pressure decline ; 3D model ; evaluation ; software

RESERVOIR QUALITY EVALUATION BY FUZZY CLUSTERING ANALYSIS METHOD

FENG Guo-qing (Southwest Petroleum Institute , Chengdu Sichuan 610500 , China) , ZHANG Lie-hui , SHEN Yong-wei , et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, Vol. 26, No. 3, 33 - 36, 2004 (ISSN1000 - 2634, IN CHINESE)

Based on result of the fine reservoir description and reserve calculation in H reservoir , with the application of fuzzy clustering analysis method , the quality of H reservoir is systematically evaluated according to single well , layers and sedimentary facies through the parameters such as reserve in per unit , porosity , permeability , average porous radius , variation coefficient and

mutation coefficient. The results show that H reservoir can be classified into four types and most layers belong to type and which the quality of reservoir is good.

Key words : fuzzy clustering analysis ; similarity coefficient ; classifying index ; evaluation of reservoir quality

THE POSEDNESS OF INVERSE PROBLEM IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATION WITH WATER INJECTION WELL

WU Xiao-qing (Southwest Petroleum Institute , Chengdu Sichuan 610500 , China) , YANG Xu , DU Ning , et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, Vol. 26, No. 3, 37 - 40, 2004 (ISSN1000 - 2634, IN CHINESE)

The nonlinear inverse problem model of water injection stage for solid instruction and solid blockage is set up and the posedness of the model studied , the proof of the existence of the quasisolution for the model is given.

Key words : field exploration ; water injection ; partial differential equation ; inverse problem ; quasisolution

INFLUENCE FACTORS APPRAISAL OF SLIM-TUBE SIMULATION TO DETERMINE THE MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE

YANG Xue-feng (Southwest Petroleum Institute , Chengdu Sichuan 610500 , China) , GUO Ping , DU Zhi-min , et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, Vol. 26, No. 3, 41 - 44, 2004 (ISSN1000 - 2634, IN CHINESE)

The slim tube test may be the most accurate method and can achieve duplicating results to determine the minimum miscibility pressure. Based on the home actual reservoir to implement carbon dioxide floods , we used the numeric simulation to simulate different influence factors on the minimum miscibility pressure , including the length , the diameter , and the porosity of the slim-tube and flooding velocity. It showed that the selections of the different slim-tube parameters influenced on the experimental results. The results of the numeric simulation can be helpful to guide slim-tube test so as to get the fitting minimum miscibility pressure.

Key words : slim-tube test ; minimum miscibility pressure ; influence factors ; slim parameters

COMPOUND-ACID TREATMENT IN BODAOWAN FORMATION OF YANQI BASIN

XIN De-gang (Petroleum Engineering & Technology Research Institute of Henan Oilfield 473132 , China) , YAO Yi-