

[引著格式] 朱晓燕, 康永梅, 吕玉娟, 等. 应用聚类分析建立 Z246 井区长 8 油藏单井产能预测图版 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (9+10): 38~41.

应用聚类分析建立 Z246 井区长 8 油藏单井产能预测图版

朱晓燕, 康永梅 (中石油长庆油田分公司第十一采油厂, 甘肃 庆阳 745000)

吕玉娟, 郭亚丽 (中石油长庆油田分公司第二采油厂, 甘肃 庆阳 745000)

[摘要] 马岭油田属于特低渗透油藏, 成藏机制复杂, 储层非均质性强, 具有有效储层的预测和评价难度较大的特点。由于物性条件差, 单井产量低, 稳产期短, 甚至没有稳产期直接进入递减期, 在开发过程中经常造成大面积低产区的出现。从单井产量递减率的规律出发, 应用聚类分析方法, 对 Z246 井区长 8 油层组的 45 口采油井物性进行划分, 选取孔隙度、渗透率、泥质含量和流动带指数等参数作为分析判别依据, 划分三类物性特征区, 建立单井日产量与储层物性参数 (渗透率、含油饱和度和地层厚度) 及储层改造参数 (加砂强度) 的多元线性函数, 结合压力保持水平及综合递减率的相关关系式, 建立了三类初期产能图版, 为开发初期的产量预测提供了积极的指导作用。

[关键词] 聚类分析; 多元线性函数; 初期产能图版; 产量预测

[中图分类号] TE325 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 09+10-0038-04

单井产能的影响因素较多, 众多因素对单井产能的影响程度有所不同。因此针对诸多影响因素需要采用聚类分析方法, 综合静态参数和动态参数, 对其进行合理性分类, 并运用多元回归分析建立稳定的单井产能预测公式和模版, 其预测结果能有效指导油田的开发。

Z246 井区位于陇东油田中部, 处于伊陕斜坡的西南三角洲前缘^[1]。该区长 8 储层砂体横向展布变化大、油层厚度不稳定、储层物性较复杂、单井产量变化大, 所以急需建立单井产能预测图版来预测初期单井产能, 避免大面积低产区的出现, 进而降低开发风险, 提高生产效益。

1 应用聚类分析原理划归物性特征区

Z246 井区长 8₁ 储层特征分区研究, 选取孔隙度、渗透率、泥质含量、流动带指数、含水饱和度作为聚类分析的输入参数^[2], 应用 SPSS 软件进行 K-Mean Cluster 聚类分析 (快速聚类分析)^[3,4]。研究区储层按照特征分为三类特征区, 即一类、二类和三类区。从聚类中心 (表 1) 中可以看出, 各参数的聚类中心之间有明显的界限, 且各储层特征区的分布范围比较明显, 说明其聚类分析结果较为合理。

表 1 Z246 井区长 8₁ 储层物性特征分区

聚类	孔隙度/%	渗透率/mD	泥质含量/%	流动带指数/1	含水饱和度/%
一类区	11.77	3.96	13.13	1.32	36.96
二类区	10.02	1.31	15.11	0.98	45.59
三类区	9.21	0.67	22.85	0.85	57.49

在判别分析结果的基础上, 结合单井的射孔层段, 对单井上的小层物性进行综合分类, 将单井划归为一类、二类和三类区^[5], 划分结果如表 2 所示。

[收稿日期] 2015-02-10

[作者简介] 朱晓燕 (1971-), 女, 高级工程师, 长期从事油田开发工作, zxy3_cq@petrochina.com.cn。

表 2 Z246 井区长 8₁ 储层特征分区的单井分类结果

属性		孔隙度/%	渗透率/mD	含水饱和度/%	流动带指数/1
一类区	最大值	13.06	5.61	64.58	1.84
	最小值	9.97	1.14	17.17	0.56
	平均值	11.35	2.56	40.51	1.13
二类区	最大值	12.84	2.75	51.78	1.33
	最小值	9.16	0.62	33.6	0.51
	平均值	10.86	1.54	43.69	1.01
三类区	最大值	11.58	2.48	51.92	1.36
	最小值	9.11	0.34	37.53	0.5
	平均值	10.03	1.15	44.25	0.88

2 建立初期单井产能回归公式

以划分储层特征的测井物性参数为基础，利用统计方法^[6]来进行推导不同储层特征区的初期产能经验公式。研究中不考虑储层流体性质、沉积微相的影响，应用与初期产能密切相关的储层参数进行产能的预测。用研究区 45 口采油井的初始产能数据（投产后 3 个月的平均产量），与不同储层特征区内的孔隙度、渗透率、地层厚度、含油饱和度以及储层改造参数（加砂强度）进行多元线性回归分析^[7,8]。

2.1 一类区的产能预测

一类区初期产能经验公式为：

$$Q_1(t \cdot d^{-1}) = 0.151h_e(/m) - 0.922k(/mD) + 0.233S_0(/\%) + 0.876f_r(/\%) - 11.504$$

式中： Q_1 为一类区产能预测结果，t/d； h_e 为地层厚度，m； k 为渗透率，mD； S_0 为含油饱和度，%； f_r 为孔隙度，%。

SPSS 软件进行线性回归后，得出回归方程的统计检验结果：

$$\text{复相关系数 } R = \sqrt{S_r/S_t} = 0.860$$

回归结果的 F 检验值：

$$F = \frac{S_r/m}{S_1/(n-m-1)} = 5.673$$

式中： F 为验证值； S_r 为回归方程的平方和； S_t 为回归检验的平方和； S_1 为剩余平方和。

2.2 二类区的产能预测

二类区初期产能经验公式为：

$$Q_2(t \cdot d^{-1}) = 0.022h_e(/m) - 0.416k(/mD) + 0.062S_0(/\%) + 0.238f_r(/\%) + 6.130$$

式中： Q_2 为二类区产能预测结果，t/d。

SPSS 软件进行线性回归后，得出回归方程的统计检验结果：

$$\text{复相关系数 } R = \sqrt{S_r/S_t} = 0.881$$

回归结果的 F 检验值：

$$F = \frac{S_r/m}{S_1/(n-m-1)} = 9.579$$

2.3 三类区的产能预测

三类区的初期产能经验公式为：

$$Q_3(t \cdot d^{-1}) = 0.020h_e(/m) - 0.129k(/mD) + 0.039S_0(/\%) + 0.249f_r(/\%) - 0.628$$

式中： Q_3 为三类区产能预测结果，t/d。

SPSS 软件进行线性回归后，得出回归方程的统计检验结果：

$$\text{复相关系数 } R = \sqrt{S_r/S_t} = 0.945$$

回归结果的 F 检验值：

$$F = \frac{S_r/m}{S_1(n-m-1)} = 8.370$$

3 建立稳定单井产能公式

3.1 建立压力保持水平与单井递减率的相关关系

由油藏工程分析可知，单井产量的递减率与压力保持水平有较强的相关性^[9]。在超前注水的区域，压力保持水平相对较高，因此在该区域生产井的生产曲线多为平稳趋势，单井递减率较小；相反，在同步注水区域，初始压力保持水平相对较低。笔者在全区挑选了1/3的典型生产井，首先按照超前注水区域和同步注水区域进行划分，其次对各井的测压结果进行分析，利用RTA软件进行递减率分析及压力保持水平计算，最后将递减率的平均值和压力保持水平值进行线性回归，建立相关关系式，如图1所示。

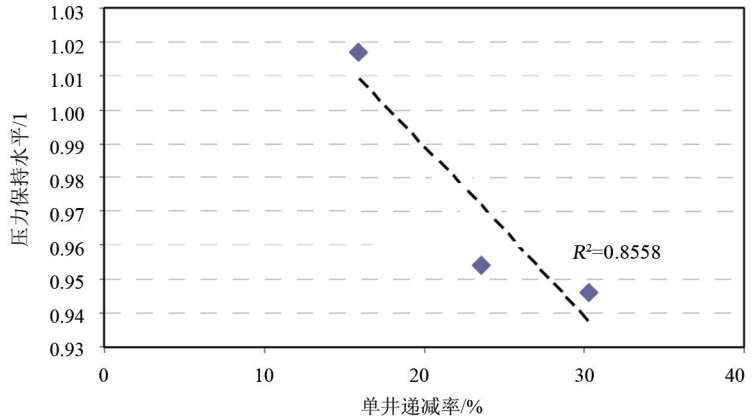


图1 压力保持水平与单井递减率相关关系

3.2 建立稳定单井产能公式

压力保持水平和单井递减率的相关关系：

$$p = -0.005D + 1.089$$

式中：D为单井递减率，%；p为压力保持水平，1。

在预测的初期单井产能的基础上，经过单井递减后，即为预测的递减后单井产能Q'：

$$Q' = Q \times \left(1 - \frac{D}{100}\right)$$

式中：Q为预测的初期单井产能，t/d；Q'为预测的递减后单井产能，t/d。

利用上述公式，对三类物性特征区域中的45口采油井目前单井产量进行计算，结果如表3、4、5所示。经过实际测试的验证，该产量预测准确率较高，对油田的开发具有较好的指导作用。

表3 Z246井区一类区预测目前单井产量结果表

井名	初期产能 / (t·d ⁻¹)	平稳产能 / (t·d ⁻¹)	预测初期产能 / (t·d ⁻¹)	压力 保持水平	递减率 /%	预测平稳产能 / (t·d ⁻¹)	预测目前产能 / (t·d ⁻¹)	目前产能 / (t·d ⁻¹)
Z1井	10.33	5.28	8.10	0.946	28.54	5.79	5.79	5.45
Z2井	2.73	2.88	2.50	0.968	24.11	1.90	3.04	2.84
Z3井	2.76	2.90	3.49	0.968	24.11	2.65	2.65	2.71
Z4井	2.14	1.75	0.80	1.042	9.38	0.73	1.39	1.77
Z5井	1.90	1.45	1.12	1.042	9.38	1.02	1.02	1.40
Z6井	2.49	0.85	1.49	1.042	9.38	1.35	0.03	0.07
Z1井	1.73	1.83	2.87	1.042	9.38	2.60	2.60	1.81
Z7井	2.39	1.76	1.52	1.042	9.38	1.38	1.38	1.48
Z8井	0.58	0.46	1.20	0.886	40.51	0.72	0.72	0.43
Z9井	1.95	1.42	1.72	0.982	21.35	1.35	1.35	1.44
Z10井	4.30	2.02	4.09	0.826	52.49	1.94	1.94	1.61
Z11井	3.73	1.81	5.69	0.826	52.94	2.70	2.70	1.57
Z12井	1.34	1.57	3.10	0.946	28.54	2.22	2.22	1.82

表 4 Z246 井区二类区预测目前单井产量结果表

井名	初期产能	平稳产能	预测初期产能	压力	递减率	预测平稳产能	预测目前产能	目前产能
	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	保持水平	/%	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)
Z13 井	1.65	0.78	2.08	1.042	9.42	1.89	0.75	0.67
Z14 井	2.38	0.94	2.03	0.908	36.24	1.30	1.30	0.84
Z15 井	1.73	1.05	1.79	0.970	23.79	1.36	1.36	0.98
Z16 井	1.80	1.44	1.89	0.970	23.79	1.44	1.44	1.44
Z17 井	2.03	1.74	1.69	0.946	28.58	1.21	1.21	1.34
Z18 井	1.22	0.69	1.51	0.875	42.80	0.86	0.86	0.90
Z19 井	0.70	1.41	0.67	0.914	34.99	0.44	0.79	1.64
Z20 井	1.41	0.68	1.32	0.895	38.88	0.81	0.81	0.67
Z21 井	1.73	2.19	1.73	0.976	22.59	1.34	2.41	2.24
Z22 井	1.60	0.15	1.38	0.917	34.36	0.91	0.02	0.14
Z23 井	1.27	0.52	1.48	0.895	38.88	0.90	0.90	0.54
Z24 井	1.15	0.62	1.36	0.976	22.59	1.05	1.01	0.74
Z25 井	1.21	1.01	1.23	0.917	34.36	0.81	0.81	0.89
Z26 井	1.89	1.52	1.75	0.976	22.59	1.36	1.36	1.51
Z27 井	1.06	1.06	1.01	1.042	9.42	0.92	0.92	0.90

表 5 Z246 井区三类区预测目前单井产量结果表

井名	初期产能	平稳产能	预测初期产能	压力	递减率	预测平稳产能	预测目前产能	目前产能
	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	保持水平	/%	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)	/ (t·d ⁻¹)
Z28 井	1.04	0.64	0.98	0.895	38.88	0.60	0.60	0.74
Z29 井	0.95	1.40	1.03	0.946	28.58	0.73	0.73	1.37
Z30 井	0.74	0.75	0.75	1.042	9.42	0.68	0.68	0.74
Z31 井	0.53	1.92	0.51	1.042	9.42	0.47	0.01	0.04
Z32 井	0.31	0.52	0.47	0.946	28.58	0.33	0.33	0.60
Z33 井	0.58	1.15	0.47	1.075	2.71	0.45	0.86	1.20
Z34 井	0.61	0.62	0.51	1.042	9.42	0.46	0.46	0.84
Z35 井	0.92	0.85	0.91	1.042	9.42	0.82	0.82	1.20
Z36 井	0.42	0.53	0.48	1.075	2.71	0.47	0.47	0.47

4 结论

1) 利用聚类分析和判别分析原理,按照反映油层特征参数值,将 Z246 井区 45 口采油井物性特征进行分类,划归为一、二、三类物性特征区。

2) 针对不同的物性特征区,利用线性回归公式,分别建立初期单井日产量与储层物性参数(渗透率、含油饱和度和地层厚度)及储层改造参数(加砂强度)的多元线性函数。

3) 结合压力保持水平及综合递减率的相关关系式,对该区分别建立了一、二、三类初期产能图版的预测公式。经过实际测试的验证,该产量预测准确率较高,对油田的开发具有较好的指导作用。

[参考文献]

- [1] 高淑梅,陈娟,胡剑,等.鄂尔多斯盆地马岭油田延长组长 8 储层特征及影响因素分析[J].特种油气藏,2013,20(2):34~37.
- [2] 姚合法,林承焰,靳秀菊,等.多参数判别流动单元的方法探讨[J].沉积学报,2006,24(1):90~95.
- [3] 高志军,李浪,吴庭.聚类分析在砂岩储层评价中的应用——以王集油田东区为例[J].石油地质与工程,2009,23(5):64~65.
- [4] 刘吉余,刘曼玉,徐浩.基于聚类分析的低渗透储层评价参数优选研究[J].石油地质与工程,2009,23(3):104~105.
- [5] 蒋天昊,王月萍,彭建,等.致密油藏单井产能分类评价方法研究[J].工业科技,2015年,44(9):40~43.
- [6] 姚萌,徐樟有,熊琦华,等.数理统计分析方法在储层分类中的应用[J].石油学报,1994,15(S0):105~109.
- [7] 王松桂,陈敏,陈立萍.线性统计模型[M].高等教育出版社,1999.
- [8] 王惠文,叶明,Gilbert S.多元线性回归模型的聚类分析方法研究[J].系统仿真学报,2009,21(22):7048~7050.
- [9] 高超,杨满平,王刚,等.影响特低渗透油藏单井产量递减率的因素及程度研究[J].复杂油气藏,2012,5(1):47~54.