

# 多元回归分析技术在注水设计中的研究和应用

杨宏旭<sup>1</sup> 杨宝泉<sup>2</sup>

1. 大庆油田有限责任公司第二采油厂 163414;

2. 大庆油田有限责任公司采油工艺研究院 黑龙江大庆 163000

DOI:10.12238/ems.v7i12.16462

**[摘要]** 多元回归分析是一种基于多样本数据基础上, 研究目标变量与多个因素关系的定量分析方法。本文基于大庆油田某区块 39 口注水井注水数据, 运用多元回归分析方法, 明确注水量主要影响因素, 确定注水量与主控因素定量关系, 并开展注水和增注选井设计, 有效指导了现场注水和增注设计, 提高了注水设计准确率。

**[关键词]** 多元回归分析; 主因素分析; F 检验; 注水设计; 增注设计

多元回归分析通过多样本数据回归分析, 确定两种或两种以上变量间相互依赖的定量关系。本文运用多元回归分析方法, 对大庆油田某区块注水井进行回归分析, 明确注水量主控因素及其定量关系, 并开展选井设计, 有效提高了注水设计准确率<sup>[1-4]</sup>。

## 1 多元回归数学模型

### 1.1 回归方程的建立

设有 N 组样品数据:

$$(X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{kt}; Y_t), \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中:  $Y_t$  —— 因变量;

$X_{1t}, \dots, X_{kt}$  —— 自变量;

k —— 自变量数;

N —— 样品数据组数。

根据这些数据, 在可求得线性回归方程 (方程 2)、多元回归方程 (方程 3):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1k} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{k1} & l_{k2} & \dots & l_{kk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{1y} \\ l_{2y} \\ \dots \\ l_{ky} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中:  $\hat{Y}$  —— 因变量计算值;

$b_0$  —— 截距, 常数;

$b_1, \dots, b_k$  —— 偏回归系数估计值;

$(L_{ij})$  —— 系数矩阵。

其中,

$$l_{ij} = \sum_{t=1}^N X_{it} X_{jt} - \frac{1}{N} \left( \sum_{t=1}^N X_{it} \right) \left( \sum_{t=1}^N X_{jt} \right),$$

$$l_{iy} = \sum_{t=1}^N X_{it} Y_t - \frac{1}{N} \left( \sum_{t=1}^N X_{it} \right) \left( \sum_{t=1}^N Y_t \right),$$

$$i = 1, 2, \dots, k, \quad j = 1, 2, \dots, k$$

### 1.2 回归方程显著性检验

回归方程建立后, 必须检验回归关系的显著性:

$$F_{\text{检验}} = \frac{U/k}{Q/(N-k-1)} = \frac{U}{kS^2} \quad (4)$$

式中: U 为回归平方和, Q 为剩余平方和, S 剩余方差。

将该  $F_{\text{检验}}$  值与查表得到的  $F_{k, N-k-1}^{\alpha}$  临界值比较, 确定其显著水平。

## 2 注水量主控因素回归分析与预测

### 2.1 主要影响因素分析

对大庆油田某区块低渗透油藏 39 口注水井油藏及生产相关数据进行多元回归分析, 并进行显著性检验。选取影响注水井注水的 10 个因素分别为井口压力 ( $b_1$ )、连通油井数 ( $b_2$ )、断层影响 ( $b_3$ )、射开砂岩厚度 ( $b_4$ )、有效砂岩厚度 ( $b_5$ )、孔隙度 ( $b_6$ )、最小渗透率 ( $b_7$ )、最大渗透率 ( $b_8$ )、渗透率大于 100mD 层数占比 ( $b_9$ )、渗透率大于 100mD 厚度占比 ( $b_{10}$ )。利用前述的回归方程式开展回归分析, 表 1-表 4 是分析统计结果。

分析结果显示, 注水量与 10 个因素存在显著的线性回归关系。利用逐步回归计算依次筛选掉小于临界显著性水平且显著性最小的因素, 当只有连通油井数、射开砂岩厚度、最小渗透率三个因素时, 其 F 检验值分别为 48.5、5.1、14.6, 大于  $F_{1, N-k-1}^{i, 0.10} = 2.855$ , 检验符合要求, 计算结束, 说明这三个因素对吸水能力影响显著。

### 2.2 回归预测

利用连通油井数 N、射开砂岩厚度 H、最小渗透率  $K_1$  进行回归, 可得注水量回归预测方程:

$$q = -12.7004 + 5.23N + 0.143H + 0.247K_1 \quad (5)$$

回归预测方程计算值与实测值对比结果表明, 计算值与实测值误差较小, 大部分在 10% 以内, 具有较好的预测效果。

表 1 注水井注水量 10 因素回归系数表

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$
-22.70	-0.05	6.43	2.32	-0.20	0.10	0.49	0.40	-0.04	-103.46	0.35

表 2 注水井注水量 10 因素方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F
回归	4498.52	10	449.85	6.320
剩余	1993.07	28	$s^2=71.18$	**
总计	6491.59	38	/	/

$F_{10, 28}^{0.01}=3.032; F_{10, 28}^{0.05}=2.190; F_{10, 28}^{0.10}=1.836$

表 3 各次注水量与各因素的回归 F 检验值

因素数	10	9	8	7	6	5	4	3
$F_{k, N-k-1}^{0.1}$	6.32	7.27	8.40	9.86	11.24	13.40	15.96	18.72

表 4 各因素偏回归平方和的 F 检验值计算结果

/	10 因素	9 因素	8 因素	7 因素	6 因素	5 因素	4 因素	3 因素
$F_1$	0.0039	/	/	/	/	/	/	/
$F_2$	9.3107	11.9387	48.2251	49.7217	51.5028	51.0338	49.1675	48.4785
$F_3$	0.1074	0.1409	/	/	/	/	/	/
$F_4$	0.8668	1.0272	0.9408	2.2250	3.0776	3.6005	4.0082	5.1085
$F_5$	0.1461	0.1615	0.1414	/	/	/	/	/
$F_6$	0.4327	0.4597	0.4194	1.3794	1.3579	1.7427	/	/
$F_7$	5.0528	5.2428	5.3072	5.3642	4.8546	7.5398	10.5577	14.5873
$F_8$	3.8225	3.9828	3.9559	3.9296	3.3035	2.6095	2.6249	/
$F_9$	2.0105	2.0782	1.9961	1.9928	0.8224	/	/	/
$F_{10}$	1.1477	1.1967	1.0897	1.1731	/	/	/	/
$F_{L, N-k-1}^{i, 0.10}$	2.894	2.887	2.881	2.875	2.869	2.864	2.859	2.855

3 注水设计

3.1 注水井注水设计

该区块注水井, 平均射开砂岩厚度  $H_{\text{射}}=22\text{m}$ , 通过公式

(5), 可得方程:

$$q = -9.5544 + 5.23N + 0.247K_1 \quad (6)$$

3.2 注水井增注选井设计

该区块基质酸化后, 现场实际注水量平均提高 1.2 倍,

按注水井增注后  $20\text{m}^3/\text{d}$  的配注要求, 通过公式 (6), 计算增

表 7 连通油井数与最小渗透率对应计算结果 (配注  $17\text{m}^3/\text{d}$ )

联通数	1	2	3	4	5	6	7	8
最小渗透率 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	86.3	65.2	44.0	22.8	1.6	-19.5	-40.7	-61.9

表 8 注水井酸化分类表

分类	井号
适合酸化	B44-53、B70-64、B70-68、B54-58、B58-58、B58-54、B62-56、B66-56、B64-54、D206A、D204B、D226、D229、D230、D231、D233
可以酸化	B50-56、B52-48、B56-48、B60-58、B62-60、B66-60、B70-58、D200A、D202A、D208B、D209B、D237、D215
不适合酸化	B46-57、B48-53、B50-46、B54-54、B73-70、B75-74、B66-64、B68-54、B56-52、B56-54、B64-60、D219

4 结论和认识

(1) 基于现场注水数据, 运用多元回归分析方法开展注水设计, 可有效分析注水井注水量主控因素, 明确因变量(注水量)与多个因素定量关系。

(2) 利用 39 口样品井数据, 建立该区块注水设计回归方程, 通过预测值与实测值对比, 残差较小、符合率较高, 具有较好的预测效果。

(4) 运用回归分析, 开展注水设计和注水井增注选井设计, 明确注水和增注选井条件, 有效指导了现场注水和增注设计, 提高了注水设计准确率。

[参考文献]

[1]梅长林, 王宁. 近代回归分析方法[M]. 北京: 科学出

注水井不同连通数对应的最小渗透率值(表 7)。从表 7 可看到, 当连通油井数  $\geq 5$  时, 酸化可达到预期的效果, 当连通油井数  $\leq 4$  时, 最小渗透率需要  $\geq 22.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

3.3 选井类型的确定

根据上述分析结果, 将该区块注水井进行了分类(表 8), 从分类表上可看出, 该区块大部分注水井, 是可以进行酸化解堵的, 但对于 B46-57 井等 11 口注水井则不适合采用酸化措施, 应当采取其它更有效的增注措施, 才能达到理想的效果。

版社, 2012.

[2]中国科学院数学研究所数理统计组. 回归分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1974.

[3]张章, 朱玉双, 全洪慧. 基于多元线性回归分析的确定油田合理注水参数技术方法研究[J]. 地下水, 2018, 40(2): 81-83.

[4]周生田. 灰色综合评判方法在评价油田注水效果中的应用[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(6): 48-50.

作者简介: 杨宏旭, 出生年月: 200102, 女, 汉族, 籍贯: 黑龙江省大庆市, 职称: 助理工程师, 学历: 大学本科, 研究方向: 数据分析。