

文章编号: 1009-6248 (2002) 01-0076-05

模糊数学在优选油田开发方案中的应用

张小浩, 李秋实, 李学森, 吴汉宁

(西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘 要: 针对油气田开发方案中各评价指标既互相依赖, 又互相矛盾, 难以进行全面评价的特点。使用模糊数学方法建立计算模型, 通过模糊综合评判, 选择了油气田开发的优选方案。

关键词: 模糊数学; 综合评判; 评价指标; 油气田开发; 开发方案

中图分类号: P628 **文献标识码:** A

1 前言

油气田开发是一个比较复杂的系统性工程。油气田开发方案的优劣常常决定了油气田今后的生产和经济效益的好坏。所以, 在对某一油气田进行开发之前, 需根据不同需求, 制定出多种方案, 然后, 经过评价和对比, 选择一个效果最好的开发方案实施开发。

在进行开发方案优选时, 由于制定的每种方案都包括了多个常用的技术指标和经济指标, 而这些指标既互相依赖, 又互相矛盾, 因而很难对方案进行评价及决策。这就需要对各种方案进行定量排序, 按照它们的优劣程度分类, 定出等级, 从而确定最优的开发方案。然而, 由于地质科学本身的复杂性及其研究手段和方法的局限性, 使得石油钻采过程受到许多模糊的、不确定及灰色因素的影响。若不能正确处理, 有可能导致所选方案并非最优方案, 这不仅影响石油工程的综合经济效益, 而且还会造成对油气资源的巨大浪费。在参考了诸多因素之后, 依据模糊数学理论, 提出了一种更为简单, 更为直接的方法, 并在某油藏开发方案中运用该方法进行了评价和优选, 结果与文献相同^[1]。这说明该方法不但正确, 而且更加简单实用。现将该方法介绍如下。

2 基本原理

2.1 建立基本关系

在数学上, 将局限于一定范围内的事物的全体称为论域, 用 U 来表示。论域 U 中的每个事物 u 称为元素。若 u 具有共同特性, 则称 U 为集合。

收稿日期: 2001-03-06; 修回日期: 2001-10-26

作者简介: 张小浩 (1976-), 男 (汉族), 陕西蒲城县人, 西北大学地质学系硕士研究生。

根据 L A Zadeh 的定义: 在论域 U 上的一个模糊集合 A , 是指给定一个从 U 到 $[0, 1]$ 区间的映射。

$$\begin{aligned}\mu_A: U &\rightarrow [0, 1] \\ u &= \mu_A(u) \in [0, 1]\end{aligned}\quad (1)$$

式中, μ_A 叫做 A 的隶属函数; $\mu_A(u)$ 叫做元素 U 对于 A 的隶属度, 其值越大, U 对 A 的隶属程度越高^[2]。

由以上定义, 可设 U 为论域 (由多个开发方案组成的方案集)。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

$u_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 为方案集中的第 i 号开发方案。则我们的目的就是通过隶属函数 μ_A 来确定 u_i 方案对于模糊集优 (用 A 来表示) 的隶属度: $\mu_A(u_i)$ 。即:

$$\begin{aligned}\mu_A: U &\rightarrow [0, 1] \\ u_i &\rightarrow \mu_A(u_i)\end{aligned}\quad (2)$$

从而选定一个隶属度最大的方案 (最优开发方案)。

2.2 建立模糊关系矩阵

为了确定最优的开发方案, 就必须对论域 U 中的每个方案 $u_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 进行依次比较, 即在论域 U 中的 n 个开发方案之间进行比较, 与论域外的开发方案无关。据此, 就可以用评价指标之间的相对隶属度来代替单个评价指标的绝对隶属度, 从而减弱甚至避免了单个评价指标的影响。从这一思想出发, 可以建立起论域 U 中的相对优等方案与劣等方案, 从而建立相对优劣原则。若某评价指标越大越优, 则标准值取最大值 (即越大越优型指标); 若某评价指标越小越优, 则标准值取最小值 (即越小越优型指标)。根据此原则及模糊数学理论可得到这两种指标的相对隶属度函数为:

(1) 越大越优型

$$\mu_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

(2) 越小越优型

$$\mu_{ij}^c = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

式中 μ_{ij} 表示第 j 号开发方案第 i 项评价指标的相对隶属度; μ_{ij}^c 表示 μ_{ij} 的余集; x_{ij} 表示第 j 号开发方案第 i 项评价指标的特征量值; $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别表示第 i 项评价指标的最大与最小特征量值。

如果有 m 个评价指标, 则可组成评价指标对所有 n 个开发方案的评价指标集。由于每个评价指标, 对 n 个开发方案都可用指标的特征量值来表示, 所以用这指标的特征量值, 可以形成一个评价指标特征量值矩阵

$$R = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} = x_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (5)$$

根据 (3)、(4)，可以把评价指标特征量值矩阵 (5)，转化为一个由评价指标隶属度为元素的模糊矩阵

$$R_A = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2n} \\ & & \dots & \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \dots & \mu_{mn} \end{bmatrix} = \mu_{ij} \quad (i= 1, 2, 3, \dots, n; j= 1, 2, 3, \dots, m) \quad (6)$$

2.3 综合评判

综合评判指权衡各种因素项目，对受多个因素影响的事件，给出一个总概括式的优劣评价和取舍^[3]。根据模糊数学理论，在评价过程中影响因素具有模糊性时，即为模糊综合评判^[4]。模糊综合评判的原理为：油气田开发方案的优劣决定于 n 种评价因素，可设集合为

$$U= \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

如果开发方案的优劣可划分为 m 个级别，可设评判集合为

$$V= \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\}$$

U 上的集合 $R_A= \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ 为评价因素的权重分配。在建立了评价指标与开发方案优劣的模糊关系，以及得到评价指标隶属度为元素的模糊矩阵 (6) 之后。就可以通过选择一种适当的模糊合成模型，将评价因素权重分配与模糊矩阵合成，从而求出开发方案的评价集。

$$B= R_B \Delta R_A \tag{7}$$

式中 Δ 表示某一种被选定的模糊计算规则。

最后可以根据评价集 B 中的隶属度的大小进行开发方案的优劣评判，最终选出最佳的开发方案实施开发。

3 实例分析

本文借用文献 [1] 中的 8 个开发方案及其相关评价指标数据 (表 1) 作为实例，根据以上的模糊数学理论对这 8 个开发方案进行综合评价和方案优选。根据表 1 中的 8 个开发方案及 9 项评价指标，由 (5) 式可以得到评价指标特征量值矩阵 R_1

$R_1=$		方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8
	最终采收率 (%)	39.7	34.9	34.3	47.6	34.8	35.5	33.5	3.67
	年递减率 (%)	4.24	7.76	8.63	5.6	11.17	4.69	7.33	7.06
	最高采油速度 (%)	2.0	2.79	2.97	2.64	3.26	1.89	2.59	2.68
	总投资 (亿元)	3.44	3.45	3.82	3.82	4.19	3.66	3.29	3.84
	静现值 (亿元)	0.654	1.79	2.24	1.95	2.6	0.137	1.83	1.35
	动态投资回收期 (a)	8.5	4.8	4.1	4.8	3.7	13.2	4.8	5.8
	利润总额 (亿元)	7.5	8.67	9.19	9.26	9.45	6.86	8.64	8.22
	内部利润率 (%)	20.6	32	38.8	34.4	47.3	16.1	34.2	47.1
	平均单位成本 (元/t)	101	96.6	96.5	94.2	95.8	107	94.3	100

将矩阵 R_1 中各评价指标特征量值运用 (3)、(4) 两式进行计算, 可以得到各评价指标的隶属度。再将各评价指标的隶属度按照 (6) 式进行转化就可以得到隶属度矩阵 (既模糊关系矩阵) R_A

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.44 & 0.1 & 0.06 & 1 & 0.08 & 0.14 & 0 & 0.23 \\ 1 & 0.40 & 0.37 & 0.8 & 0 & 0.94 & 0.55 & 0.59 \\ 0.08 & 0.66 & 0.79 & 0.55 & 1 & 0 & 0.51 & 0.58 \\ 0.83 & 0.82 & 0.41 & 0.41 & 0 & 0.5 & 1 & 0.39 \\ 0.21 & 0.67 & 0.85 & 0.74 & 1 & 0 & 0.6 & 0.49 \\ 0.49 & 0.88 & 0.96 & 0.88 & 1 & 0 & 0.88 & 0.78 \\ 0.25 & 0.7 & 0.9 & 0.93 & 1 & 0 & 0.69 & 0.53 \\ 0.14 & 0.51 & 0.73 & 0.59 & 1 & 0 & 0.58 & 0.35 \\ 0.47 & 0.81 & 0.82 & 1 & 0.08 & 0 & 0.99 & 0.55 \end{bmatrix} \quad (8)$$

从参考文献 [1] 中可得出各评价指标权重数据, 建立评价指标的权重矩阵 R_B

$$R_B = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.125 & 0.125 & 0.15 & 0.15 & 0.125 & 0.125 & 0.025 & 0.025 \end{bmatrix} \quad (9)$$

由于在优选开发方案时, 不仅要考虑所有评价因素对评价结果的影响, 而且还要注意单个评价因素评判的全部信息^[4], 所以选用模糊数学综合评判中的 $M(\cdot, +)$ 模型进行计算。

将 (8) 式与 (9) 式运用 $M(\cdot, +)$ 计算之后得到 8 个开发方案的综合评价集 B

$$B = (0.465, 0.613, 0.614, 0.757, 0.586, 0.25, 0.622, 0.499) \quad (10)$$

最后根据 (10) 式中的隶属度大小进行排序得 (表 2)。

表 1 某油藏开发方案评价指标数据

Tab.1 The datas of evaluation factor

指标 参数	最终 采收率 (%)	年递减率 (%)	最高 采油速度 (%)	总投资 (亿元)	静现值 (亿元)	动态投资 回收期 (a)	利润总额 (亿元)	内部 赢利率 (%)	平 均 单元成本 (元/t)
u1	39.7	4.24	2.0	3.44	0.654	8.5	7.5	20.6	101.0
u2	34.9	7.76	2.79	3.45	1.79	4.8	8.67	32	96.6
u3	34.3	8.63	2.97	3.82	2.24	4.1	9.19	38.8	96.5
u4	47.6	5.6	2.64	3.82	1.95	4.8	9.26	34.4	94.2
u5	34.8	11.17	3.26	4.19	2.6	3.7	9.45	47.3	95.8
u6	35.5	4.69	1.89	3.66	0.137	13.2	6.86	16.1	107.0
u7	33.5	7.33	2.59	3.29	1.83	4.8	8.64	34.2	94.3
u8	36.7	7.06	2.68	3.84	1.35	5.8	8.22	27.1	100.0

表 2 各方案优劣排序

Tab.2 The compostor of scheme for developmet planning

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
隶属度	0.757	0.622	0.614	0.613	0.586	0.499	0.465	0.25
方案号	4	7	3	2	5	8	1	6

从表 2 可以明显看出, 第 4 种开发方案对于优的隶属度最大, 是最优的开发方案。优选结果与文献 [1] 完全相同, 而且各开发方案的优劣排序结果与文献 [1] 也完全相同, 这足以说明理论正确, 计算可靠, 符合实际情况。

4 结论

模糊数学的各种理论方法已经在石油工业中得到广泛应用。本文应用模糊数学的综合评判理论评价和优选油气田开发方案, 所得结论是客观的、合理的, 并得到了实例验证。与文献 [1] 比较, 本文的理论方法更加简单, 计算量也更小。故该方法为优选与评价油气田开发方案提供了一条新的途径。

参考文献:

- [1] 肖芳醇. 模糊灰元优化理论在优选油田开发方案中的应用 [J]. 大庆石油地质与开发, 1995, (3).
- [2] 冯德益, 楼世博. 模糊数学方法与应用 [M]. 北京: 地震出版社, 1983.
- [3] 黄崇福, 王家鼎. 模糊信息分析与应用 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992.
- [4] 张涵埏, 何正嘉. 模糊诊断原理及应用 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.

The applications of fuzzy mathematics to the select scheme for development planning of oil field

ZHANG Xiao-hao, LI Qiu-shi, LI Xue-sen, WU Han-ning
(Department of Geology, Northwest University Xi'an 710069, China)

Abstract: In scheme for development planning of oil field, the evaluation factors not only tie on but also contravene each other. So it is difficult to select the development planning. Be dead against the charactors, the author established a model of calcution, through the fuzzy synthetical judgment, selected the scheme for development planning of oil field.

Key words: fuzzy mathematics; synthetical judgment; evaluation factor; development of oil-gas field; scheme for development planning

更 正

《北地质》2001 年第 4 期上发表的《靖安油田延长组长 6 段低孔低渗储层特征及评价》一文中, 由于作者的疏忽, 参考文献 [3] 中误将裘亦楠写成裘亦楠, 特此更正。