

◀ 开采工艺 ▶

# 模糊神经网络及其在储集层油气评价中的应用

冉启全

李士伦

(中国科学院力学研究所, 100080 北京中关村)

(西南石油学院, 637001 四川南充)

**摘 要** 文中将模糊系统与神经网络相结合, 集模糊系统较强知识表达能力与神经网络强大自学习能力于一体, 探索模糊化处理、模糊规则的获取和模糊逻辑推理用神经网络实现的模糊神经网络技术, 并以储集层油气评价为线索来阐述了模糊神经网络的理论、方法及其实现技术。

**主题词** 油气评价 模糊数学 神经网络 理论 结构 应用

在储集层油气评价中, 通常的作法是根据测井处理的若干参数与试油结论来确定划分油水层的定量标准, 从而利用这个标准对尚未试油的井层作出评价。由于测井参数与储层含油性之间的关系存在着大量的不确定性、不精确性、模糊性与高度非线性, 甚至是多解的, 这就导致油水层的界限是不分明的、模糊的, 因而也就很难用明确的界限来划分油水层。为了处理界限具有不分明性和模糊性的现象, 最有力的工具就是模糊数学方法。模糊数学方法已广泛用于储集层油气评价中, 并取得了很好的应用效果<sup>[1]</sup>。模糊数学的最大优点就是能处理具有模糊性的问题, 同时它具有较强的把定性的经验和知识数值化的知识表达能力。运用模糊数学解决实际问题的核心就是如何建立隶属函数和获取模糊规则, 而这一工作过去主要依靠人们的经验来建立。对于同一问题, 由于不同的人对问题的认识程度、经验和知识水平的不同, 建立的隶属函数和确定的模糊规则是不完全一样的, 得出的结论也存在着差异, 甚至相反,

这是模糊数学处理问题的致命弱点。

由于目前盛行的神经网络技术具有强大的自学习能力与定量数据的直接处理能力, 因而将模糊数学与神经网络相结合的模糊神经网络技术是目前信息处理中的热门研究课题<sup>[2]</sup>。为此, 本文将模糊系统与神经网络相结合, 集模糊系统较强知识表达能力与神经网络强大自学习能力于一体, 探索模糊化处理、模糊规则的获取和模糊逻辑推理用神经网络实现的模糊神经网络技术, 并将其用于储集层的油气评价。

## 储集层油气评价的模糊数学方法

给定两个有限论域

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$$

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$$

其中  $U$  代表油气评价的因素所组成的集合,  $V$  代表评语组成的集合, 设  $\underline{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  是  $U$  上的一个模糊向量,  $\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$  是  $V$  上的一个模糊向量,  $\underline{R}$  是从  $U$  到  $V$  变换的模糊关系:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

那么  $\underline{R}$  到  $\underline{B}$  的模糊变换为

$$\underline{B} = \underline{A} \circ \underline{R}$$

在  $\underline{B}$  向量中根据最大隶属度原则就可以对储集层油气作出评价,其基本过程见图1。

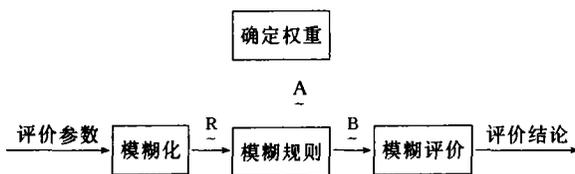


图1 模糊评价基本过程

## 神经网络的基本理论与方法

神经网络的突出优点就是具有自组织、自学习能力。它用特定有效的学习算法通过对实例给出的输入—输出样本的学习,产生、修正并高度概括出输入/输出间具有不确定性、模糊性和高度非线性的规则,这些规则以网络权系数的形式反映出来。

### 1. 神经网络结构的设计

设有  $N$  个输入参数  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $M$  个输出结果  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ , 则神经网络的结构可设计成多层结构,其输入层由  $N$  个神经元组成,分别代表  $N$  个输入参数,输出层由  $M$  个神经元组成,分别代表  $M$  个输出结果,输入层与输出层间可有一层以上的隐含层,并有若干个神经元组成。

### 2. 神经网络的学习算法

神经网络的学习算法是修正网络结构联接强度的一种算法。它是通过对实例进行学习,以获得网络权系数。在众多的神经网络学习算法中,最有效的学习算法就是BP误差反传播算法。其学习机制为:对于给定的输入模式,当实际的输出结果和正确的期望输出有误差时,网络将通过自动调节机制调

节相应的联接强度,向减少误差的方向改变联接强度,经过多次重复学习,最后和正确的结果相符合,并将各联接强度作为网络权系数保存起来。

## 模糊神经网络的基本思想及其实现方法与技术

### 1. 模糊神经网络的基本思想

模糊神经网络的基本思想就是:以模糊集合论为基本理论,以神经网络技术为手段,将模糊系统与神经网络相结合,集模糊系统较强知识表达能力与神经网络强大自学习能力于一体,用神经网络实现模糊化,获取模糊规则,并进行模糊逻辑推理的一种新方法、新技术,具有较高的实际应用价值。

为了便于阐述模糊神经网络的实现过程,现以我国某油田储集层油气评价为例来具体讨论。该油田现有经试油或生产(已知日产油量及油水比)确证的油层有23层,油水同层有7层,水层有17层,将岩性系数  $(x_1)$ 、孔隙度  $(x_2)$ 、侵入系数  $(x_3)$ 、含油饱和度  $(x_4)$  作为油气评价参数,则因素集为

$$U = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$$

以油层、油水同层、水层组成评语集即

$$V = \{O, OW, W\}$$

现以其中30层作为已知层,供学习之用(表1),其余17层用作检验本文方法之用(表2)。

### 2. 模糊化的神经网络实现

模糊化就是将描述型变量与数值型变量转化为模糊量。模糊化的通常作法就是通过建立隶属函数,根据隶属函数求其隶属度,以实现模糊化。隶属度是模糊集合赖以建立的基石,要确定恰当的隶属函数并不容易,迄今仍无一个“放之四海而皆准”的法则可遵循。因此,如何建立恰当的隶属函数是人们一直期待解决的问题。为此,我们探索用神经网络实现模糊化。

表 1 模糊原始数据表

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	类 别	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	类 别
0.276	0.18	0.446	68.3	油 层	0.27	0.17	2.35	58.8	油 层
0.325	0.2	0.8	63.3	油 层	0.26	0.19	3.18	56	油水同层
0.138	0.21	0.75	72.8	油 层	0.357	0.29	4.2	49	油水同层
0.45	0.19	1.73	60.3	油 层	0.314	0.3	5.2	61.5	油水同层
0.45	0.23	2.66	54.4	油 层	0.48	0.18	1.2	60	油水同层
0.344	0.24	3.4	61.3	油 层	0.42	0.14	2.8	45	油水同层
0.358	0.21	1.37	61.9	油 层	0.62	0.25	1.42	49.4	水 层
0.346	0.27	1.82	62.1	油 层	0.5	0.27	1.46	52	水 层
0.186	0.3	0.56	79.6	油 层	0.54	0.13	1.3	37.2	水 层
0.329	0.2	1.53	53.9	油 层	0.47	0.2	2.9	22	水 层
0.2	0.2	1.4	69.6	油 层	0.282	0.12	2.18	25	水 层
0.429	0.29	0.8	74.2	油 层	0.35	0.19	12.7	23.1	水 层
0.24	0.25	0.075	80.7	油 层	0.275	0.19	18.4	36.8	水 层
0.13	0.25	0.1	81.5	油 层	0.269	0.25	8.7	14.5	水 层
0.22	0.17	4.3	49.6	油 层	0.11	0.24	5.4	7	水 层

表 2 模糊神经网络评价结果表

序号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	类 别	评 价 结 果			
						$b_1$	$b_2$	$b_3$	评价类别
01	0.378	0.2	0.746	67.3	油 层	0.673	0.264	0.063	油 层
02	0.29	0.24	0.87	64.9	油 层	0.653	0.214	0.135	油 层
03	0.42	0.23	1.78	59	油 层	0.434	0.521	0.056	油水同层
04	0.076	0.26	0.85	73.3	油 层	0.798	0.195	0.009	油 层
05	0.22	0.25	0.073	82.3	油 层	0.850	0.145	0.055	油 层
06	0.2	0.33	4.3	83.4	油 层	0.784	0.201	0.017	油 层
07	0.155	0.21	0.25	80.9	油 层	0.854	0.134	0.014	油 层
08	0.42	0.14	0.8	54.7	油水同层	0.242	0.625	0.135	油水同层
09	0.25	0.17	3.18	69	油水同层	0.578	0.401	0.025	油 层
10	0.52	0.27	3	58.1	油水同层	0.215	0.709	0.079	油水同层
11	0.62	0.24	6.2	54.3	水 层	0.146	0.346	0.508	水 层
12	0.242	0.22	0.9	21.4	水 层	0.033	0.108	0.860	水 层
13	0.29	0.25	4.64	29.5	水 层	0.015	0.202	0.784	水 层
14	0.192	0.15	3	22	水 层	0.024	0.127	0.850	水 层
15	0.41	0.14	37.9	23.7	水 层	0.019	0.186	0.797	水 层
16	0.347	0.19	17.9	23	水 层	0.044	0.147	0.810	水 层
17	0.13	0.17	26.9	49	水 层	0.117	0.261	0.625	水 层

现以含油饱和度为例,说明用神经网络实现模糊化的具体作法。

(1)建立隶属函数的学习样本

确定某一含油饱和度值,并给予一定的误差限,以上下误差限为区间,统计含油饱和度位于此区间内的油层数、油水层数及水层数,从而确定该含油饱和度值的隶属度。根据表 1 确定的含油饱和度及相应的隶属度样

本集见表 3。

表 3

$S_o$	隶属度		
	油	油水	水
20	0	0	1.0
45	0.25	0.50	0.25
55	0.5	0.33	0.17
65	0.875	0.125	0
80	1.0	0	0

(2)隶属函数的神经网络结构  
用于实现模糊化的神经网络为三层结构(图2)。输入层一个神经元,代表含油饱和

度;输出层3个神经元,分别代表含油饱和度和隶属于油层、油水层和水层的隶属度;隐含层一层,由5个神经元组成。

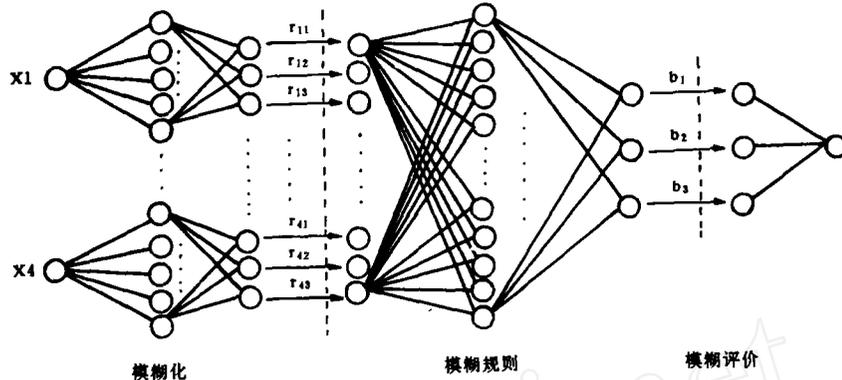


图2 模糊神经网络的结构示意图

### (3)隶属函数的建立

上述构造的样本仅是隶属函数的若干离散点,需要用神经网络对样本进行学习,以获得以网络权系数形式存储于网络中的隶属函数。

### (4)模糊化

将任一含油饱和度值输入,神经网络都将给出3个模糊量,即隶属度,从而用神经网络实现了精确数值的模糊化。

其它参数作同样的处理,就可实现其模糊化。

### 3. 模糊规则自动获取的神经网络实现

模糊规则是由因素模糊集  $U$  到评语模糊集  $V$  的一种映射规则。通常的模糊规则是通过确定权重集,选取某种模糊算子来实现的。

本文用神经网络自动获取模糊规则,具体作法是:

#### (1)构造自动获取模糊规则的学习样本

首先对表1中的各评价参数用上述方法模糊化,得到各层各单因素的隶属度模糊子集  $R$ ;然后,利用各层的试油或生产资料,根据其水油比,用神经网络建立隶属函数,实现

模糊化,得到各层的隶属度模糊子集  $B$ ,这样由模糊子集  $R$  与模糊子集  $B$  就构成了自动获取模糊规则的学习样本集。

#### (2)自动获取模糊规则的神经网络结构

用于自动获取模糊规则的神经网络为3层结构(见图2)。输入层共12个神经元,分为四组,每组代表一个评价参数,每组有3个神经元,分别代表隶属于油层、油水层、水层的隶属度;输出层3个神经元,分别代表该层隶属于油层、油水层和水层的隶属度;隐含层一层,由15个神经元组成。

#### (3)模糊规则的自动获取

神经网络通过对样本进行学习,就可自动获得模糊规则,并以网络权系数形式存储于网络之中。

### 4. 实现模糊逻辑推理的神经网络

神经网络通过对样本进行学习,获得模糊规则之后,就可以实现模糊逻辑推理,对未知储集层的油气作出评价。神经网络输出的是隶属度,我们根据最大隶属度原则作出评价结论。

对表2中各评价参数进行模糊化之后,神经网络应用自动获取的模糊规则对这17

层进行模糊评价,其结果列于表 2 中。结果表明:

油层中有 1 层被评价为油水同层,油水同层中有 1 层被评价为油层,17 层中仅有 2 层的评价结果与实际情况不符,符合率为 88%。可见,本文将模糊神经网络用于储集层油气评价是可行而有效的。

### 结 束 语

本文以模糊集合论为基本理论,以神经网络技术为手段,将模糊系统与神经网络相结合,集模糊系统较强知识表达能力与神经

(上接 19 页)原钻采所每年按培训中心兼职教员的人员结构和资产值,下达一定的创收指标以在年终局财务结算中挂回 30% 的工资总额和补偿资产占用费。但目前收取的培训费不仅不能平衡模拟井的支撑费(维修、燃料、动力消耗等)和资产占用费,更谈不上用在培训中心的自身建设上。因此,加强培训中心建设需解决:

①资产占用应按教育系统的政策对待;

②兼职教员及辅助人员的工作重点应较明确 - 使其投入较多的精力于培训教学之中;

③对兼职教员不能硬性下创收指标,培训费按政策部份进入发展基金。

由于国内外钻井市场的竞赛日趋激烈,井控操作合格证已成为各钻井队和钻井人员必不可少的技术资格证件,因而对井控培训的重视程度已大有提高。但从上面谈及的井控问题看,部份学员虽经培训,实际掌握知识不多,还不能做到学以致用,仍需各单位加强对学员成绩和作业技能的考核管理,并纳入竞争上岗的考核内容,实实在在地与其经济利益挂钩。各单位应配合培训中心搞好学员管理,严格纪律,不以任何借口耽误学习时间。培训中心要完善规章制度,严格考试,使学员真正掌握井控知识。

#### 4. 拟定“九五”科研计划,解决实际井控

网络强大自学习能力于一体,用神经网络实现模糊化、获取模糊规则,并进行模糊逻辑推理。应用本文方法对某油田储集层油气进行评价,结果证明是可行而有效的,具有较大的理论意义及较高的实际应用价值。

### 参 考 文 献

- 1 伊广林:在储集层油气评价中模糊数学的应用,测井技术;1982 (6)
- 2 张良杰:模糊神经网络技术的新进展,信息与控制,1995 (1)  
(收稿:1996—09—10, 技审:邓传光(高工), 编辑:黄晓川)

### 问 题

针对我局井控工作的情况,除完成“八五”接转课题外,“九五”应着重从以下几个方面立题:

①探索裂缝性碳酸盐岩地层压力预测方法,研究井下地层压力预告工具;

②对井下两相流动状态进行较精确描述,研究特殊压井工艺;

③认真对待浅气层井控问题,研究特殊作业工艺和装备(如欠平衡钻井的钻井和完井井口);

④建成井控数据库和失控抢险专家系统;

⑤开展防喷器承压件材料的疲劳及断裂特性、在役防喷器状况检测技术和方法、防喷器承压件强度试验对其承载特性的影响和承压件剩余寿命评估等试验研究,以期制订科学的防喷器判废标准。

⑥继续开展井控设备的换代产品研制,如采气井口、除气器、液面报警仪、出口管流量计、自动灌泥浆设备、方钻杆上下旋塞等。这些设备、仪表经现场前几年的使用,还可以从结构、材质等方面进行改进设计,以提高其性能、使用可靠性和降低操作力矩。现场也急需补充,更换这些设备和工具。

(收稿:1996—10—08 编辑:向幼策)