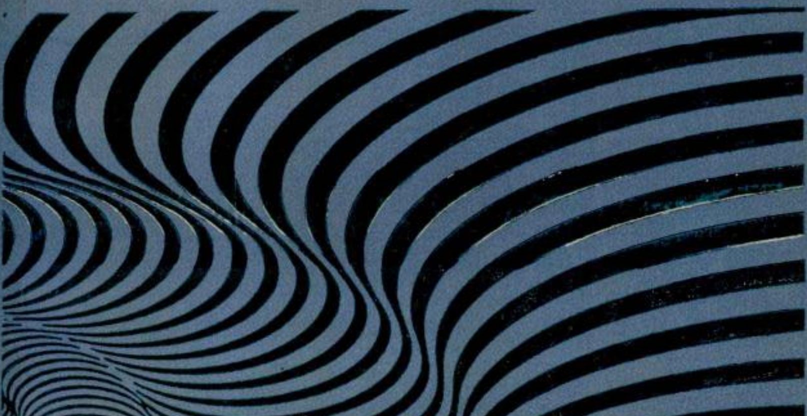
水文水资源系统模糊识别理论

陈守煜 著



大连理工大学出版社

国家自然科学基金资助项目
博士点专项科研基金资助项目
研究成果

水文水资源系统模糊识别理论

陈守煜　著

大连理工大学出版社

（辽）新登字 16 号

内 容 简 介

本书第一章提出模糊识别、划分与决策统一的理论模型。它是水文水资源系统模糊识别的理论基础与重要分析技术，也是对模糊数学中相应理论的发展。第二章根据水资源系统中的优化识别、评价与决策的相对性，提出相对隶属度或相对隶属函数的概念，对模糊识别、评价与决策等领域有重要意义。第三章提出复杂水资源系统（大系统）模糊优化（优选）识别单元系统理论，是一条求解水资源大系统优化问题的新途径。第四章将模糊优化识别单元系统理论与随机分析结合，论述了模糊优选随机动态规划理论，其中介绍、引用了与博士生邱林合作的部分研究成果。第五章提出用模糊优选动态规划求解梯级水电站最优工作深度。第六、七章将水环境中关于污染概念的模糊性，拓展到一般的环境系统领域。论述了环境系统的模糊评价、预测理论与模型，其中介绍、引用了与博士生熊德琪合作的部分研究成果。第八章提出模糊关系优选决策理论及其应用，它是模糊优选决策理论的发展，具有更普遍的意义，其应用范围也更为广泛，所列举的 5 个应用实例可以说明。第九章论述了水文系统中关于汛期描述的成因、统计与模糊集分析相结合的基本方法论，强调了成因分析的基础与主导作用。其中引用了硕士生张力在他的论文工作中的部分研究成果。

本书是水文水资源专业，水力发电工程专业水资源开发利用、水能利用与防洪研究方向的研究生专业课教材、教学参考书。

水文水资源系统模糊识别分析理论

Shuiwen Shuiziyuan Xitong Mohu Shibie Lilun

陈守煜　著

大连理工大学出版社出版发行　　（邮政编码：116024）
新金县皮口印刷厂印刷

开本：787×1092　1/32　　印张：5 $\frac{9}{16}$　　字数：120 千字
1992 年 6 月第 1 版　　1992 年 6 月第 1 次印刷
印数：1—2000 册

责任编辑：许芳春　　封面设计：姜严军
责任校对：杜祖诚

ISBN 7-5611-0548-7/TV・12　　定价：1.65 元

目　录

绪　论

水文水资源系统模糊识别理论的建立，是以模糊性的深刻哲学含义为基础。所谓模糊性主要是指客观现象（事件、概念）的差异在中介过渡时所呈现的亦此亦彼性。早在1923年，哲学家罗素就曾专门论述过模糊性问题[1]。他指出“就以‘红色’这个词开始吧。很显然，由于颜色构成一个连续统，因此颜色有深有浅，对于这些深浅不同的颜色，我们就拿不准是否把它们称为红色。这不是因为我们不知道‘红色’这个词的意义，而是因为这个词的适用范围在本质上是不确定的。”他又指出“秃头是一个模糊概念；有一些人肯定是秃子，有一些人肯定不是秃子，而处于这两者之间的一些人，说他们必须要么是秃子，要么不是，这是不对的。排中律用于精确符号（通常是词）时是正确的；但是当符号是模糊的时候，排中律就不合适了。事实上，所有的符号都是模糊的。所有描述感觉特性的词，都具有‘红色’这个词所具有的同样的模糊性”。恩格斯更明确而又高度概括地指出“一切差异都在中间阶段融合，一切对立都经过中间环节而相互过渡”。“辩证法不知道什么绝对分明和固定不变的界限，不知道什么无条件的‘非此即彼’，它使固定的形而上学的差异互相过渡，除了‘非此即彼’，又在适当的地方承认‘亦此亦彼’，并且使对立互为中介”。这就是模糊性的哲学基础。

水文水资源系统中客观上存在着诸多模糊现象、模糊事

件与模糊概念。学科发展需要研究考虑系统中存在的模糊性。近年来水文水资源系统模糊集理论分析研究成果及其应用[2~19]表明，水文水资源系统引入模糊集有助于学科的发展。

水文水资源系统中的模糊性主要出现在识别、划分和决策过程中。它反映了水文现象、水文事件、水资源系统中识别等方面差异的中介过渡性，由中介过渡性产生了识别、划分、决策上的不确定性。因此，模糊识别、模糊划分、模糊决策是水文水资源系统模糊集分析的重要理论基础。故本书第一章就提出了模糊识别、划分、决策相统一的理论模型，以期能够适应学科进一步发展的需要。

模糊数学在发展的初期其科学性受到怀疑的主要原因，其一是所谓隶属度或隶属函数在确定中带有一定的主观任意性。事实上，正如上面所论述的，模糊性的根源在于客观事物差异之间存在着中介过渡，存在着亦此亦彼性，模糊性的客观意义有着坚实的辩证唯物论的哲学基础。这就在本质上决定了描述与表达模糊性的数学概念——隶属度或隶属函数的客观性。但是，隶属度的具体计算与确定，的确含有人脑思维的加工过程，会有一定的主观成份。如何减小甚至消除人脑加工过程中不符合客观实际的主观成份，是模糊数学特别是应用研究领域中迫切需要研究解决的重要课题。本书第二章提出的相对隶属度或相对隶属函数概念，在水文水资源系统模糊集分析理论及其应用中，在模糊数学的其它有关应用领域中，可以减小以至消除人脑思维加工过程中不适合客观实际的主观任意性成份，对于模糊集分析及其应用研究有重要意义。

当今，由于系统科学的发展，系统理论与方法已渗透到各个学科领域，系统分析已成为重要的基本的方法。但是现实的水资源系统是一个多目标、多层次、多阶段的复杂的大系统，因此，本书第三章提出多目标、多层次、多阶段水资源系统——大系统模糊优化（优选）单元系统理论，将系统分析、经典优化技术中的动态规划原理与模糊优选理论相结合，给出求解大系统优化的新途径。

水文水资源系统已经发展到了一个需要考虑模糊性的阶段。其基本的研究方法论应是：成因分析、概率统计分析与模糊集分析相结合；系统分析原理，经典优化技术与模糊集分析相结合。可以预期水文水资源系统模糊集分析将成为90年代水文水资源学科发展的一个新的研究方向，有着宽广的发展前景。作者期望本书的出版有助于水文水资源系统模糊集分析理论与应用研究的发展。

第一章 模糊识别、划分与决策理论及其模型

一、概 述

水文水资源系统中的模糊性出现在识别和划分过程中，因此，模糊识别与划分理论是水文水资源系统模糊集分析理论的数学基础。本章建立模糊识别、划分与决策相结合的新理论，将模糊模式识别、模糊划分与模糊决策联系起来，形成模糊识别、划分与决策统一的模型。它与水文水资源系统中的识别、优化（优选）决策、划分等问题相结合，构成本书的主要内容。

应该指出，作者在本章中提出的模糊识别、划分与决策理论，发展了模糊数学关于模糊模式识别、模糊聚类、模糊决策理论[20~24]，对其它学科领域具有普遍的适用性。

二、模糊识别与划分理论模型

设有待识别或划分的 n 个样本组成样本集合：

$$X = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\} \tag{1-1}$$

每个样本用 m 个指标特征向量表示：

$$\boldsymbol{x}_j = (x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{mj})^T \tag{1-2}$$

则样本集可用 $m \times n$ 阶指标特征矩阵

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}=(x_{ij}) \qquad (1\text{-}3)$$

表示。

x_{ij}——样本 j 指标 i 的特征值；$i=1, 2, \cdots, m$；

$j=1, 2, \cdots, n.$

由于 m 个指标特征值物理量的量纲不同，在进行识别或划分时要先消除指标特征物理量量纲的影响，使指标特征值规格化。即将指标特征矩阵转变为模糊指标特征矩阵：

$$\underset{\sim}{R}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}=(r_{ij}) \qquad (1\text{-}4)$$

r_{ij}——指标特征值规格化数，$0\leqslant r_{ij}\leqslant 1.$

设将 n 个样本依据样本的 m 个指标特征按 c 个类别加以识别或划分，其模糊识别或划分矩阵为

$$\underset{\sim}{U}=\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{c1} & u_{c2} & \cdots & u_{cn} \end{bmatrix}=(u_{hj}) \qquad (1\text{-}5)$$

u_{hj}——样本 j 从属于类别 h 的隶属度，$h=1, 2, \cdots, c.$

矩阵（1-5）满足条件：

$$\sum_{h=1}^{c} u_{hj}=1 \qquad (1\text{-}6)$$

$$\sum_{j=1}^{n} u_{hj} > 0 \tag{1-7}$$

设类别的 m 个指标特征称为标准指标或中心指标，则 c 个类别的指标特征可用 $m \times c$ 阶模糊标准或中心指标矩阵

$$\underset{\sim}{S} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1c} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2c} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mc} \end{bmatrix} = (s_{ih}) \tag{1-8}$$

表示。

s_{ih}——类别 h 标准或中心指标 i 的特征值规格化数，$0 \leqslant s_{ih} \leqslant 1$.

样本 j 的 m 个指标特征用向量表示为

$$\boldsymbol{r}_j = (r_{1j}, r_{2j}, \cdots, r_{mj})^T \tag{1-9}$$

类别 h 的 m 个标准或中心指标特征用向量表示为

$$\boldsymbol{s}_h = (s_{1h}, s_{2h}, \cdots, s_{mh})^T \tag{1-10}$$

样本 j 与类别 h 之间的差异，数学中通常用广义距离

$$\| \boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{s}_h \| = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{m} (r_{ij} - s_{ih})^p} \tag{1-11}$$

表示。式中 p 为距离参数。

为了在模糊识别与划分理论中，引入专家或决策者的知识与经验，考虑不同指标对识别或划分的重要程度不同，作者将广义距离公式（1-11）加以拓广，给出定义：

定义 1 设有指标权重矩阵

$$\underset{\sim}{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix} = (w_{ij}) \qquad (1\text{-}12)$$

满足

$$\sum_{i=1}^{m} w_{ij} = 1, \qquad \forall\ j \qquad (1\text{-}13)$$

且有模糊指标特征矩阵 $\underset{\sim}{R}$，模糊标准或中心指标矩阵 $\underset{\sim}{S}$，称

$$\| \boldsymbol{w}_j(\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{s}_h) \| = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{m} [w_{ij}(r_{ij} - s_{ih})]^p} \qquad (1\text{-}14)$$

为样本 j 与类别 h 之间的广义权距离。

定义 1 表示了考虑指标权重矩阵后样本 j 与类别 h 之间的差异。在指标为等权重的特殊条件下，变为通常的广义距离。

定义 2 设有指标权重矩阵 $\underset{\sim}{W}$，模糊指标特征矩阵 $\underset{\sim}{R}$，模糊标准或中心指标矩阵 $\underset{\sim}{S}$，模糊识别或划分矩阵 $\underset{\sim}{U}$，称

$$d(\boldsymbol{r}_j, \boldsymbol{s}_h) = u_{hj} \| \boldsymbol{w}_j(\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{s}_h) \| \qquad (1\text{-}15)$$

为样本 j 与类别 h 之间的加权广义权距离。

定义 2 完善地描述了样本 j 与类别 h 之间的差异，它不仅考虑了指标权重矩阵，且计入以样本 j 从属于类别 h 的隶属度 u_{hj} 为权重。

为了求解最优模糊识别或划分矩阵 $\underset{\sim}{U}^*$、最优模糊标准或中心指标矩阵 $\underset{\sim}{S}^*$，建立目标函数

$$\min\left\{ F = \sum_{j=1}^{n} \sum_{h=1}^{c} \left[u_{hj} \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{m} (w_{ij}(r_{ij} - s_{ih}))^p} \right]^2 \right\} \qquad (1\text{-}16)$$

其意义为：样本集对于全体类别的加权广义权距离平方和最

小。在指标为等权重且不分类别（$h=1$，$u_{hj}=1$）的特殊条件下，目标函数（1-16）变为通常的最小二乘方最优准则。由此可见，将经典数学中的最小二乘方准则——距离平方和最小，拓展为加权广义权距离平方和最小准则，这在数学理论上是有意义的，它是模糊识别与划分的理论基础。

根据识别与划分中给出的不同条件与要求，下面分两种基本情况进行研究。

1. 已知模糊标准指标矩阵（s_{ih}），求解最优模糊识别矩阵 $\underset{\sim}{U}^*$.

在此情况下，目标函数式（1-16）可表示为

$$\min\{F(u_{hj})\} = \sum_{j=1}^{n}\min\Big\{\sum_{h=1}^{c}u_{hj}^2\Big[\sum_{i=1}^{m}(w_{ij}(r_{ij}-s_{ih}))^p\Big]^{\frac{2}{p}}\Big\} \tag{1-17}$$

由于模糊识别或划分矩阵 $\underset{\sim}{U}$ 应满足等式约束式(1-6)，故为求解最优模糊识别矩阵 $\underset{\sim}{U}^*$ 而建立的目标函数式（1-17）应满足同样条件，即满足

$$\sum_{h=1}^{c}u_{hj}-1=0$$

于是可以根据目标函数式(1-17)与上述等式约束构造拉格朗日函数，将等式约束求极值变为求无条件极值问题。设 λ 为拉格朗日乘数，则相应的拉格朗日函数为

$$L(u_{hj},\lambda) = \sum_{h=1}^{c}u_{hj}^2\Big[\sum_{i=1}^{m}(w_{ij}(r_{ij}-s_{ih}))^p\Big]^{\frac{2}{p}} - \lambda\Big(\sum_{h=1}^{c}u_{hj}-1\Big) \tag{1-18}$$

$$\frac{\partial L(u_{hj},\lambda)}{\partial u_{hj}} = 2u_{hj}\Big[\sum_{i=1}^{m}(w_{ij}(r_{ij}-s_{ih}))^p\Big]^{\frac{2}{p}} - \lambda = 0,$$

$$u_{hj}=\frac{\lambda}{2\left[\sum_{i=1}^{m}(w_{ij}(r_{ij}-s_{ih}))^{p}\right]^{\frac{2}{p}}}\tag{1-19}$$

$$\frac{\partial L(u_{hj},\lambda)}{\partial\lambda}=\sum_{h=1}^{c}u_{hj}-1=0\tag{1-20}$$

由式（1-19）、（1-20）得

$$\lambda=\frac{2}{\sum_{h=1}^{c}\frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}\right]^{\frac{2}{p}}}}\tag{1-21}$$

由式（1-19）、（1-21）得

$$u_{hj}=\frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}\right]^{\frac{2}{p}}\sum_{h=1}^{c}\frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}\right]^{\frac{2}{p}}}}\tag{1-22}$$

为了简化式（1-22），将求和符“$\sum_{h=1}^{c}$”外

$$\left[\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}\right]^{\frac{2}{p}}$$

项移入“$\sum_{h=1}^{c}$”内，为不致引起符号上的混淆，把

$$\sum_{h=1}^{c}\frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}\right]^{\frac{2}{p}}}$$

项中的求和下标符号变换为 k，则有

$$u_{hj}=\frac{1}{\sum_{k=1}^{c}\left[\frac{\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^{p}}{\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ik})]^{p}}\right]^{\frac{2}{p}}} \tag{1-23}$$

因已知模糊标准指标矩阵 (s_{ih})，故最优模糊识别矩阵 $\underset{\sim}{U}^{*}$ 可由式（1-23）求解，式（1-23）称为模糊模式识别模型。已知的模糊标准指标矩阵也称为模糊标准模式矩阵，它由标准模式矩阵

$$Y=\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2c} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mc} \end{bmatrix}=(y_{ih}) \tag{1-24}$$

经过规格化后变换而来。

2. 未知模糊中心指标矩阵 (s_{ih})，求解最优模糊划分矩阵 $\underset{\sim}{U}^{*}$ 与最优模糊中心指标矩阵 $\underset{\sim}{S}^{*}$.

设已知满足约束条件（1-6）、（1-7）的模糊划分矩阵（1-5）。这样 u_{hj} 作为已知数，则目标函数式（1-16）中 s_{ih} 为未知数。在此情况下，目标函数式（1-16）可表示为

$$\min\{F(s_{ih})\}=\sum_{h=1}^{c}\min\left\{\sum_{j=1}^{n}u_{hj}^{2}\left[\sum_{i=1}^{m}(w_{ij}(r_{ij}-s_{ih}))^{p}\right]^{\frac{2}{p}}\right\} \tag{1-25}$$

对式（1-25）求 $p=2$ 时变量 s_{ih} 的导数，令导数为零，即

$$\frac{\mathrm{d}F(s_{ih})}{\mathrm{d}s_{ih}}=2\sum_{j=1}^{n}u_{hj}^{2}w_{ij}^{2}s_{ih}-2\sum_{j=1}^{n}u_{hj}^{2}w_{ij}^{2}r_{ij}=0$$

得

$$s_{ih} = \frac{\sum_{j=1}^{n} u_{hj}^2 r_{ij} w_{ij}^2}{\sum_{j=1}^{n} u_{hj}^2 w_{ij}^2} \tag{1-26}$$

根据设定的模糊划分矩阵 (u_{hj})，由式（1-26）求得相应的 s_{ih}，则 s_{ih}作为已知数，目标函数式（1-16）中 u_{hj}作为未知数，即为目标函数式（1-17）。显然，u_{hj}的求解公式同模糊模式识别模型（1-23）。$p=2$ 的式（1-23′）、式（1-26）是为模糊划分循环迭代公式，即

$$u_{hj} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c}\left[\frac{\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ih})]^2}{\sum_{i=1}^{m}[w_{ij}(r_{ij}-s_{ik})]^2}\right]} \tag{1-23′}$$

用以迭代求解最优模糊划分矩阵 $\underset{\sim}{U}^*$ 与最优模糊中心指标矩阵 $\underset{\sim}{S}^*$，求解步骤如下：

（1）给定 u_{hj}与 s_{ih}所要求满足的计算精度 ε_1 与 ε_2。

（2）假设一个满足约束条件式（1-6）、（1-7），矩阵元素不全相等的初始模糊划分矩阵 (u_{hj}^0)。

（3）将 (u_{hj}^0) 代入式（1-26）求对应的初始模糊中心指标矩阵 (s_{ih}^0)。

（4）将 (s_{ih}^0) 代入式（1-23′）求一次近似模糊划分矩阵 (u_{hj}^1)。

（5）将 (u_{hj}^1) 代入式（1-26）求一次近似模糊中心指标矩阵 (s_{ih}^1)。

（6）逐个比较矩阵 (u_{hj}^1) 与 (u_{hj}^0) 的对应元素，若对应元素最大差值的绝对值大于要求的计算精度 ε_1，即