

现代设计法丛书

模糊论方法学

王彩华 宋连天 主编

中国建筑工业出版社

57.7
125

现代设计法丛书

模糊论方法学

王彩华 宋连天 主编



中国建筑工业出版社

8810393

本书是现代设计法丛书之一，论述了如何解决普遍存在的模糊性问题的方法学。

本书详细介绍了模糊数学基础、模糊综合评判、模糊优化、模糊控制、模糊识别、模糊决策等主要工程学内容，为解决模糊问题提供了科学分析的定量方法，为计算机具备模糊智能开拓了思路。

本书可供各种专业的工程技术与管理人员参考，也适合于作为高等院校的教材。

2F-71/06

模糊论方法学

王彩华 宋连天 主编

中国建筑工程出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

4229 印刷厂印刷（北京广宁伯街）

开本：787×1092毫米 1/32 印张：15 5/8 字数：337 千字

1988年2月第一版 1988年2月第一次印刷

印数：1—10,000册 定价：2.75元

中国标准书号 ISBN7-112-00297-4/TU.193

科技新书目163-213 统一书号：15040·5498

8800122

现代设计法丛书总序

任何一项规划、计划、管理、改革，任何一类工程、产品、施工、作品，任何一种发明、发现、创造、构思，总之，任何群体与个人、理论与实践、学科与科学、领导与决策，第一道工序就是根据客观规律进行“设计”。

通过传统经验的吸取、现代科学的运用、方法论的指导与方法学的实现，解决各种疑难问题，设计真善美的系统或事物，这门学问就称作《现代广义设计科学方法学》，简称《现代设计法》或广义设计学，她，是跨学科、跨专业纵横渗透移植的综合性、定量性、多元性交叉学科。她，揭示了现代广义设计科学的特征、属性、理论、规律、程式、途径、方法与法规，集中外古代、近代与现代科学方法论、方法学之精髓于己身，使人类最重要的活动——广义设计，产生了质的飞跃，从偶然的、经验的、感性的、静态的与手工式的传统狭义设计，上升为必然的、优化的、理性的、动态的与计算机化的现代广义设计。

《现代设计法》由既相对独立又有机联系的十一论方法学组成，其中古五论为：功能论（可靠性为主体）、优化论、离散论、对应论、艺术论，老三论为系统论、信息论、控制论，新三论为突变论、智能论、模糊论。哈肯的协同论与普里高津的耗散结构论可隶属系统论与突变论，且尚未形成普适性方法学体系。十一论方法学的作用如下：

信息论方法学（信号处理是现代设计的依据）
功能论方法学（功能实现是现代设计的宗旨）
系统论方法学（系统分析是现代设计的前提）
突变论方法学（突变创造是现代设计的基石）
智能论方法学（智能运用是现代设计的核心）
优化论方法学（广义优化是现代设计的目标）
对应论方法学（相似模拟是现代设计的捷径）
控制论方法学（动态分析是现代设计的深化）
离散论方法学（离散处理是现代设计的细解）
艺术论方法学（悦心宜人是现代设计的美感）
模糊论方法学（模糊定量是现代设计的发展）

亲爱的读者，当你事务缠身而思路枯竭时，当你经验丰富而现时莫展时，当你哲理不清而又无计策时，当你决心开拓而心力不足时，那么，有志于工作现代化、管理现代化、领导现代化、决策现代化、生产现代化、技术现代化、教学现代化……自强的读者，可从十一论方法学中吸取定性、定量的概念观点和实用方法。

亲爱的读者，迎接国际范围面向未来、面向世界、面向现代化这一场大变革的有志之士，正在总结人类能够出色地工作、学习、生活、生产和创造的一切软、硬科学方法学，正在设计人类主、客体均能各尽其能的美好环境，让我们为此而博取百家精华，贡献自己微薄的力量吧！

中国现代设计法研究会

戚昌滋1987年6月于北京展览馆路一号

序 言

精确的问题、随机的问题基本上已经有了一套成熟的数学处理方法及方法学体系，对大量而普遍存在的模糊性问题，人们正给予越来越大的关注，模糊性是人脑智能活动的一个显著特征，这一方面由客观事物从量变到质变的中介过渡性质所决定，另一方面，藉助模糊语言来表达、传递信息也是人脑从复杂环境中进行信息压缩、提高效率的一种灵巧技能。如何从数学和方法学的角度探索这方面的原理，逐渐形成一点像样的东西，对于人工智能和软科学研究都具有十分重要的意义。

现代设计法的基本思想是将一些普适性的“设计”（广义的）理论与思想从方法论的角度加以概括提高，形成兼具软、硬特点的方法学。现代设计法丛书的组织者安排了多种论著，作为其中之一，《模糊论方法学》一书力图把模糊数学进行这种升华，这是很有意义的一种尝试。作为从事模糊数学理论与应用研究的工作者，我们从中得到了启迪，也受到了鼓舞。

汪培庄

1987年10月

前 言

《模糊论方法学》以体现、深化中国现代设计法研究会与戚昌滋提出的“现代设计法”为宗旨。

本书致力于方向与目标为模糊集合理论在实践中的推广、而主要陈述在工程实际中的应用。以期引起工程界对模糊论方法学的重视与研究兴趣；从而使这一具有时代特征的敏感学科能与现代科学交叉，使设计方法向更高层次发展，促使设计的产品或系统形成新的格局。

本书由王彩华、宋连天主编。参加编写的有：

重庆大学王彩华（第一、三、四章）；天津理工学院杨炳儒（第二章）；北京钢铁学院宋连天（第五、七章）；吉林工业大学李树根（第六章）；河北机电学院张利平参加了第七章的部分编写工作。

本书摘引与参阅了中外作者的资料，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，竭诚希望读者批评指正。

作者 1987年 6月

目 录

现代设计法丛书总序

序言

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 模糊论方法学的实际背景	(1)
第二节 模糊论方法学的发展动态	(4)
第三节 模糊论方法学的特点和应用范围	(8)
第二章 模糊论方法学的数学基础	(11)
第一节 模糊集合	(13)
第二节 模糊语言	(63)
第三节 模糊逻辑	(94)
第四节 模糊概率	(123)
第三章 模糊综合评判	(138)
第一节 问题的提出	(138)
第二节 模糊综合评判的基本方法与步骤	(141)
第三节 多级模糊综合评判	(153)
第四节 模糊综合评判的各种数学模型	(168)
第五节 工程设计参数的二级模糊综合评判	(173)
第六节 工程设计参数的三级模糊综合评判	(191)
第四章 模糊优化设计	(204)
第一节 模糊优化的基本概念	(204)

第二节	对称模糊优化及其解法·····	(209)
第三节	非对称模糊优化模型及其解法·····	(235)
第四节	多目标模糊优化·····	(272)
第五章	模糊决策·····	(325)
第一节	问题的提出·····	(325)
第二节	机械设计中方案的模糊决策·····	(326)
第三节	模糊积分的多元决策与寻优·····	(336)
第四节	模糊优先关系定序及相似优先比法决策 ·····	(355)
第五节	意向决策·····	(373)
第六章	模糊模式识别与聚类分析·····	(390)
第一节	模式识别简介·····	(390)
第二节	模式识别方法·····	(393)
第三节	聚类分析简介·····	(397)
第四节	聚类分析的应用实例一·····	(408)
第五节	模糊聚类分析应用实例二·····	(414)
第六节	基于模糊等价关系的聚类分析·····	(421)
第七节	基于模糊相似关系的聚类分析·····	(429)
第七章	模糊控制·····	(437)
第一节	模糊控制产生的背景·····	(437)
第二节	模糊控制系统的描述与模糊控制器设计 ·····	(441)
第三节	模糊控制特性分析·····	(468)
第四节	模糊控制器的软件及硬件·····	(476)
第五节	应用实例·····	(478)

第一章 绪 论

第一节 模糊论方法学的实际背景

一、事物的不确定性

现实生活和工程领域中，存在着许多不确定性的现象。这种不确定性主要表现在两个方面：一是随机性、二是模糊性。随机性是由于事物的因果关系不确定所造成的。它由概率统计加以研究，是概率分析、设计等所涉及的范畴。模糊分析、设计，主要涉及事物的模糊性。

所谓模糊，是指边界不清楚，既在质上没有确切的含义，在量上没有明确的界限。这种边界不清的模糊概念，不是由于人的主观认识达不到客观实际所造成的，而是事物的一种客观属性，是事物的差异之间存在着中间过渡过程的结果。

在日常生活中，人们常说的：高、矮、胖、瘦、老、中、青等概念，就是含义不确切、边界不清楚的模糊概念。比如“中年”这个概念，有人说30~50岁是中年，有人说30岁算青年，50岁算老年，可见含义和界限都不清楚。在工程上，类似的模糊概念是很多的。例如，结构设计中常用的许用应力就是个模糊概念。通常我们规定A₃钢许用应力的上界为1800kgf/cm²，按此规定， $\sigma = 1801 \text{ kgf/cm}^2$ 就不许用了。但实际上两者并无区别。从完全许用到完全不许用之间，实际上有一中介过渡过程。当考虑这一过渡过程时，许

8810393

用应力的边界就模糊了，许用应力就成了模糊概念。类似地，许用位移，尺寸界限，频率禁区等工程量，也都是模糊的。当分析和设计涉及上述模糊概念时，必然是模糊分析设计问题。

二、广义设计中的模糊性

随着科学技术的发展，过去许多与数学毫无关系、或关系不大的学科，如心理学、语言学以及各种人文科学等，都如同工程技术问题的设计领域一样，迫切要求定量化和数学化。这必然要遇到大量模糊概念。例如，在经济决策问题的研究中，进行非程序化决策时，就要遇到大量的模糊概念。这里，非程序化决策是相对于程序化决策而言的。所谓程序化决策，是指备选方案已知，目标非常明确，可以定量判断的决策；否则，便是非程序化决策。基层和中层管理人员遇到的问题，大多属于程序化的；越往高层，便越属于非程序化的了。这时决策者做出判断，主要是根据他的经验、能力和直观感觉等种种模糊概念。从对这种种模糊概念的分析、推理中作出判定。目前对非程序化决策的机理虽然还远未研究清楚，但是，至少有一点是很清楚的：这类决策问题所具有的不确定性，主要不是随机性而是模糊性。即使是数学分析方法应用得十分成功的工程设计领域，也会遇到不少人文因素，如政治影响，经济政策，环境条件等。这些人文因素大多具有强烈的模糊性。要把对这些因素的考虑，具体化为对某项工程的分析和设计，必将涉及定量的分析计算。

总之，定量的研究从狭义设计到广义设计，必然要遇到大量的模糊概念。显然，这些领域的分析和设计问题，必然涉及模糊论方法学。

三、复杂化意味着模糊化

随着科学技术的不断深化，研究的对象越来越复杂，而复杂的东西是难于精确的。电子计算机的出现，在一定程度上解决了复杂化与精确化之间的矛盾。但是，正是由于电子计算机的出现，使得这对矛盾更加激化。一方面计算机程序要求高度的精确；另一方面机器执行的任务又越来越复杂。模糊数学的创始人查德（Zadeh）从长期的实践中总结出一条互克性原理：“当系统的复杂性增加时，我们使它精确化的能力将减少。直到达到一个阈值，一旦超过它，复杂性和精确性将互相排斥。”这就是说，复杂性越高，有意义的精确化能力便越低；而精确化的能力越低，便意味着系统具有的模糊性越强。因此，对复杂系统的分析和设计，必然涉及模糊因素，必然构成模糊论方法学问题。

另外，由于复杂性还意味着因素众多，而人们往往不可能同时考察所有因素，只能抓住其中主要的进行研究。这样，在一个被压缩了的低维因素空间上考虑问题时，即使本来是明确的概念，也可能变得模糊起来。这时的分析和设计问题，也将涉及模糊论方法学。

四、人工智能与模糊识别

目前，不少国家都在研究智能计算机和智能机器人。这更要涉及模糊论识别分析与设计。要使机器具有人工智能，最关键的是要使其具有识别和处理模糊信息的能力。人脑和机器的一个根本差别，就在于人脑能识别和处理模糊信息，机器则不能。一个三岁的孩子可以在人群中耗不费力地认出自己的母亲，而再先进的电子计算机也很难做到这点。原因就是孩子能识别和处理他母亲外貌特征的种种模糊信息而计

算机则不能。正如查德曾指出的那样：“如果深入研究人类的认识过程，我们将会发现：人类能够运用模糊概念，决不是一种负担，而是一种巨大的社会财富。这一点，是理解人类智能和机器智能之间深奥差别的关键所在。”机器要能识别和处理模糊信息，必然是人类首先给出了一套表现识别和处理模糊信息过程的理论和方法，并且把这套理论和方法转化为机器能够“理解”和接受的东西。显然，这中间必然涉及模糊分析和模糊设计。机器的智能都是人给的，都是人通过程序赋予的。人脑究竟是如何识别和处理模糊信息的，虽然至今仍然是个谜，但是，任何把人类的知识转化为机器智能的过程，本身就是一种设计，而且是非常高级和精密的设计。我们通常所说的“程序设计”就是这一过程的一种具体体现。

人类由于能使用工具，所以发展到今天这样完美的程度。如果人类能使自己的工具具有识别和处理模糊信息的能力，人类社会将会发生更大的飞跃。在这样宏伟的事业中，模糊论方法学无疑将具有广阔的发展前景。

以上就是模糊论方法学产生的背景。

第二节 模糊论方法学的发展动态

既然模糊性是事物客观存在的一种属性，因此是可以描述的，是有它自身的规律可循的。1965年，美国控制论专家查德，首先提出了模糊集合的概念，给出了模糊现象的定量描述和分析运算的方法，诞生了模糊数学。1970年，别尔曼（Bellman）和查德又提出了模糊优化的概念。从此，模

糊数学和模糊优化逐渐引起了人们的重视和研究。我国于七十年代中也开始了这方面的研究工作。十多年来,模糊数学及其在各方面的应用,如模糊评判、模糊优化、模糊决策、模糊控制以及模糊识别和聚类分析等许多方面,发展十分迅速。据统计,1977年全世界关于这方面的文献与书籍有750多篇;而到1984年却增加到3000多篇。这些统计还不可能是完全的。

目前,全世界关于模糊集及其应用方面的杂志有:在荷兰出版的《模糊集与系统》杂志(International Journal of Fuzzy Sets and Systems);在中国出版的《模糊数学》杂志;还有供研究和交流的《模糊及其应用通报》(Bulletin for Studies and Exchanges on Fuzziness and its Application)等。国内外出版的有关专著和论文集已有二十余种。

根据汪培庄教授统计,从1982年9月到1984年9月两年内,全世界共开过二十多次关于模糊集及其应用的大、中、小型国际会议。其中,大型会议有两次:1983年7月18~21日在马赛召开的“模糊信息、知识描述和决策分析会议”;1984年7月22~26日在夏威夷召开的“第一届模糊信息处理国际会议”。中、小型会议有九次:在维也纳召开了两次;在布鲁塞尔,捷列兹里,伦敦,剑桥,波兹南,那普勒斯和北京各召开了一次;在北京召开的是“中美电力工程与模糊集双边会议”,1984年7月14~21日。另外,北美模糊信息处理协会(NAFIP),1983、1984年各举行年会一次;欧州工作组(EWG)每年都有三次以上的学术活动会议;日本(东京)模糊系统工作组(JFS),1983、1984年各举行

年会活动一次。在其它一些国际学术会议中，还举行了模糊集与系统分组会议多次。

上述会议的内容，许多都直接涉及模糊分析和模糊设计。例如，从在夏威夷召开的“第一届模糊信息处理国际会议”的大会报告和十八个分组中便可看出。大会的主要报告是：模糊逻辑与日常推理，第五代计算机中的不确定性，Fuzzy系统中的知识工程，Fuzzy专家系统中的不确定性等；十八个分组中，除三个数学分组和两个逻辑分组外，应用方面的是：专家系统，信息检索，Fuzzy数据库，模式识别，计算机视觉，人机系统，决策理论，决策系统，控制与模型I、II，运筹，工业应用I、II等。不难看出，上述内容无不涉及模糊分析；其中人机系统，决策理论，决策系统，运筹等，还直接涉及模糊优化设计。另外，在剑桥召开的“人工智能与运筹中的模糊信息处理会议”的专题是：模糊集与第五代计算机，专家系统和管理决策，专家系统与运筹软包，数学规划中的模糊推理，可能性测度与信任度理论等。显然，管理决策，运筹软包，数学规划中的模糊推理等，本身就是模糊设计，而且是模糊优化设计。

近年来，还有人把模糊集理论推广到有限元分析中去，提出模糊单元的概念。把有限元的定义域，从普通集合推广到模糊集合上，从而可用模糊单元来描述有限元分析中的无限元，为有限元分析指出了一个新的方向。模糊可靠性问题的研究也在深入进行。

这里应特别指出，我国在模糊数学和模糊论分析设计方面，都做了不少开创性的工作，取得了不少重要的研究成果。从70年代末到现在，我国学者在这方面已发表的论文约

700多篇；已出版的有关专著近十本；从1981年起便创办了国内外发行的《模糊数学》杂志。目前，我国在结构模糊优化设计方面，提出了最优水平截集法，为模糊优化设计的具体应用开创了一个切实有效的途径；提出了在优化设计中处理主观信息的方法，为定量处理影响设计方案的模糊因素指出了方向；提出了工程设计参数的多级模糊综合评判法，使人们能从量上比较准确地处理影响设计参数的种种模糊因素，能在较高的精度上对过去主要凭经验才能确定的设计参数，通过定量的分析计算来加以确定；提出了既考虑模糊性，又考虑随机性的模糊可靠性分析与模糊可靠性优化的基本理论和方法。我国在抗震结构的模糊分析与模糊优化方面，在机械结构的模糊分析与模糊优化方面，在船舶结构的模糊分析与模糊优化方面，均做了不少工作。这些都有力地推动了模糊论分析设计的发展和应用。

但是，模糊数学及其在此基础上产生的模糊论方法学，毕竟才诞生不久，还是一门年轻的学科；总的说来还处在初期发展阶段，还缺乏象概率、统计等研究事物的随机性那样严谨的理论体系。模糊论方法学，特别是模糊优化设计方面的文献，相对说来还不太多。考虑到模糊现象的实际背景，对模糊论方法学的研究，潜力是很大的。对具体研究对象中隐含的种种模糊概念的描述；隶属函数的确定；对具体工程问题在考虑种种模糊因素后相应的一套数学处理；模糊性与随机性的综合考虑；机器对模糊信息的识别和处理，等等。这些，都是模糊论方法学今后应特别注意研究的问题。

第三节 模糊论方法学的特点和应用范围

与普通分析设计比较起来，模糊论方法学有以下三大特点：

（一）能定量地处理影响分析和设计的种种模糊因素，使分析的结果和设计的方案更符合客观实际，更为优化合理。

由于模糊论分析设计所涉及的模糊因素，不是人为加进去的，而是研究对象客观存在的，所以模糊论分析设计的数学模型，比普通分析设计的数学模型更接近客观实际；分析结果会更为合理；设计方案会更为优化。由于考虑了有关参数的模糊性，使设计变量和参数的值能达到应有的取值范围。因此，有可能获得更好的结果。例如，一个承受谐振载荷的宽翼缘工字钢梁，在考虑稳态振动的情况下求梁的最轻设计。当考虑应力、挠度、梁截面积和自振频率的模糊性时，得到的最优截面 $A^* = 16.50 \text{ cm}^2$ ；当不考虑上述模糊性时，最优截面 $A^* = 23.75 \text{ cm}^2$ 。考虑模糊性比不考虑要轻百分之四十四。由于现在基本上具备了处理模糊概念的方法和手段，人们对客观事物的认识能力更高了，认识更深入了。只要能考虑客观存在的模糊性，便能取得更加符合实际的合理结果。这是模糊论方法学的一个显著特点。

（二）能充分考虑事物的中介过渡性质、浮动地选取阈值，从而能给出一系列不同水平（或不同的其它指标值）下的分析结果和设计方案，为人们提供广泛的选择余地。

由于事物的模糊性来源于事物差异之间的中介过渡过