

模糊数学与优化

汪培庄文集

WANG PEIZHUANG WENJI



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

014034822

0159-53
01



汪培庄文集

模糊数学与优化

李仲来 / 主编



0159-53
01



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

2013 · 北京



北航

C1715118

图书在版编目(CIP)数据

模糊数学与优化:汪培庄文集/汪培庄著,李仲来主编.—北京:北京师范大学出版社,2013.12

(北京师范大学数学家文库)

ISBN 978-7-303-15849-2

I. ①模… II. ①汪…②李… III. ①模糊数学—文集②最优化—数学理论—文集 IV. ①O159.53②O224.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第313263号

营销中心电话 010-58802181 58805532
北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com>
电子信箱 gaojiao@bnupg.com

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com

北京新街口外大街19号

邮政编码:100875

印刷:北京京师印务有限公司

经销:全国新华书店

开本:155 mm × 235 mm

印张:25

插页:4

字数:385千字

版次:2013年12月第1版

印次:2013年12月第1次印刷

定价:65.00元

策划编辑:岳昌庆

责任编辑:岳昌庆

美术编辑:王齐云

装帧设计:王齐云

责任校对:李 菡

责任印制:孙文凯

版权所有 侵权必究

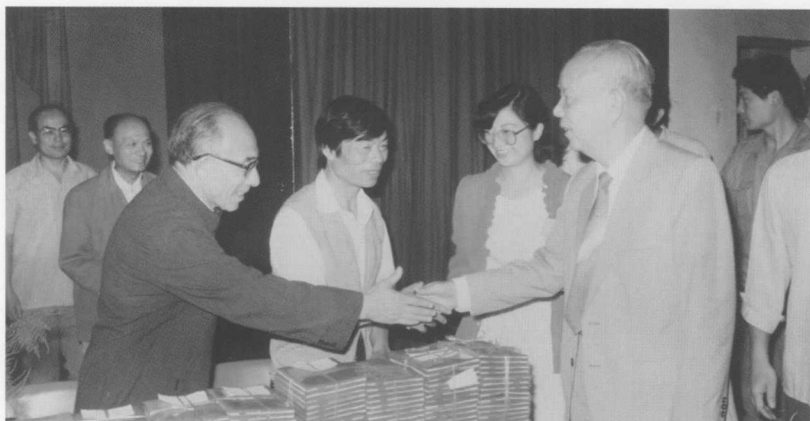
反盗版、侵权举报电话:010-58800697

北京读者服务部电话:010-58808104

外埠邮购电话:010-58808083

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:010-58800825



▲ 1988年9月9日，学校在北京师范大学科学文化厅举行庆祝教师节暨建校86周年大会，汪培庄与全国人民代表大会常务委员会委员长万里握手。正前部伸手待握者是教育系黄济。

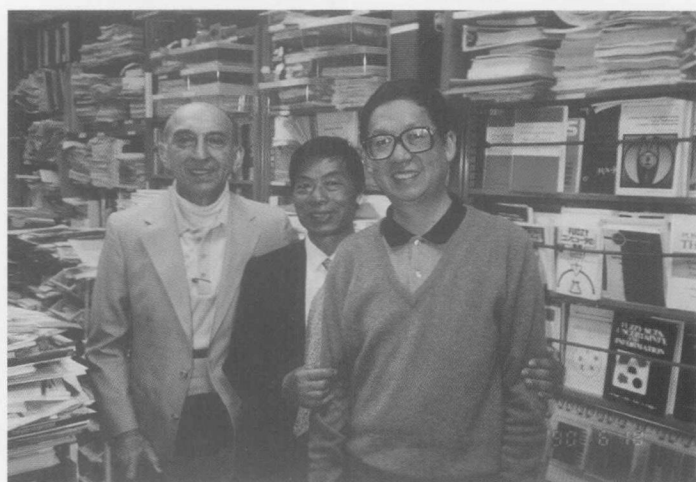
► 1986年5月8日，模糊数学原理探索讨论班第1次讨论会在学校主楼会议室举行。国防科学技术委员会副主任、著名科学家钱学森，学校校长王梓坤、党委书记方福康及部分校内外专家、教师、研究生参加讨论会。中坐者为钱学森，中立者为汪培庄。



◀ 1992年汪培庄在模糊数学创始人 L. A. Zadeh 家的合影。左起(下同): 汪培庄、L. A. Zadeh, L. A. Zadeh 夫人)。



◀ 1992年7月16日，汪培庄在中国台北中国生产力中心讲学。



▶ 1994年在 L. A. Zadeh 办公室合影：L. A. Zadeh、汪培庄、陈四庆（新加坡国立大学）。



◀ 2011年，石勇（中国科学院研究生院副院长，虚拟经济与数据科学研究中心常务副主任）、姜奕璞（汪培庄夫人）、汪培庄、郭桂蓉院士（国防科学技术工业委员会前主任）、何清（中国科学院计算技术研究所）。



◀ 1981年9月25日，模糊数学方向首届硕士研究生毕业合影。前排：汪培庄、罗承忠、刘来福；后排：张长青（1980级）、邹开其（1979级）、王晓波（1980级）、陈图云（1979级）、陈永义（1979级）。



▶ 1987年在法国里昂大学讲学与夫人姜奕璞郊游合影。



◀ 2010年全家福（海南省海口市）。郭珉（大儿媳）、姜玉弘（长子之女）、姜大顶（长子）、汪培庄、姜奕璞（夫人）、姜玉衡（长子之子）、汪大立（次子）、沈英鹰（次儿媳）。汪大立和沈英鹰目前也育有两子（汪瑞阳、汪瑞加）。

序

在中国,谈到模糊数学,汪培庄的名字几乎被国内每一位从 20 世纪 90 年代之前开始学习和研究模糊数学的科技工作者所熟悉,20 世纪 70 年代末至 80 年代初,我国的许多数学工作者,尤其是从事工程技术和社会科学研究的学者们几乎都是从读汪先生的文章和著作开始了解到模糊数学的。汪先生在《数学的实践与认识》中的“模糊数学简介”一文中所提出的模糊模式识别的最大隶属度原则和贴近度原则,一直被视为模糊模式识别最基本的判据。尤其是他在文中所提出的模糊多属性决策的最初模型(模糊综合评价),至今仍被广大应用科技工作者所采用。回首中国模糊数学发展的三十几年历程,从模糊集理论的引入,到模糊数学的普及和推广,直至使模糊数学理论与应用研究在国际上产生重大影响并取得重要地位的过程,汪培庄先生功不可没,称誉先生为中国模糊数学与应用的播种者和开拓者,言不为过。

作为一位辛勤耕耘的学者,先生发表和出版了大量的学术论文与专著,涉及集合论、随机过

程、智能控制、系统与优化等多个方面.在模糊数学方面先后提出了模糊落影、真值流网络推理及因素空间三项理论,提出了模糊计算的核心变换及模糊计算机的实际构想.文集的出版,能够让读者们系统地了解先生在模糊数学基础理论与应用技术研究中的贡献,能让读者从中学习和领悟出先生对中国模糊数学发展的哲理性思考.

1965年,著名控制论专家、美国加州大学伯克利分校计算机系主任 L. A. Zadeh 教授创立了模糊集合理论,它是应信息革命需要而创建并旨在解决信息处理中普遍存在的模糊性问题的一种结构化数学基础理论.它对经典集合理论的二值逻辑基础的撼动,已经在信息科学领域内产生了巨大的影响,至今陆续提出并被列为信息科学软计算范畴的 L-模糊集、Flou 集、随机集、概率集、粗糙集和直觉模糊集等非经典集合理论,已经印证了这一点.从 1975 年关肇直第一次将模糊集合论介绍到中国起,汪培庄先生就带领北京师范大学数学系的一些教师开始了模糊集合论的研究与教学工作,成立了我国第一个以模糊数学教学、科研与人才培养为主要任务的模糊数学教研室;1985 年,先生在北京师范大学建立了我国第一个以模糊数学方向命名的博士点,先后培养了一大批模糊数学理论与应用研究方向的硕士与博士研究生,使得北京师范大学数学系成为我国最早研究模糊集合理论的重要基地之一.先生在模糊集范畴、模糊含度、格拓扑、模糊逻辑与近似推理等模糊集合理论的研究上成果颇丰,其中我体会最深的是模糊集与随机集落影理论.按照先生的话说,建立理论的目的是为模糊集合论奠定一个坚实合理的理论基础.在模糊集合论中,人们对隶属函数本质的质疑如同 100 年前人们对随机事件的概率本质的质疑一样,因此,对模糊集合隶属函数的本质刻画成了模糊集合理论立足的核心问题.为此,先生开始深入思考模糊性产生的背景及其哲理基础.从 1982 年与西安交通大学张文修教授合写“随机集及其模糊落影分布简化定义与性质”一文,到 1985 年学术专著《模糊集与随机集落影》在北京师范大学出版社出版,一个旨在揭示模糊性的特殊背景,将序结构、拓扑结构和可测结构同时向幂集上提升的严密数学理论被建立起来.所用工具之深刻,研究难度之大,足以使那些认为模糊数学理论肤浅的人瞠目.

模糊落影理论构建的背景是浅显而深刻的,在以人的语言为交流载

体的信息处理中存在大量的模糊名词和概念,模糊集合是表现模糊概念的工具,它是概念的模糊外延.无论是人的思维、推理、判断,还是信息传递都离不开“概念”这一基本元素.而“概念”产生于人对所描述事物的划分,例如,“年轻人”“中年人”“老年人”就是对年龄论域进行划分得到的三个概念.我们说这些概念是模糊的,其模糊性乃是指划分的不确定性.集值统计原理和随机集落影理论将概念的模糊性转化为划分的随机性.于是,“年轻人”概念成为年龄论域 X 上的一个具有随机性的集合,它覆盖年龄 x 的概率被定义为年龄 x 对“年轻人”的隶属度.模糊集与随机集落影理论不仅深化了模糊集合论的基础,同时也深化了对随机集、拓扑学、格论和测度论的研究.把著名的测度扩张定理的扩张起点,从半环放宽到交系,乃是一件了不起的数学成就.

判断一个数学理论是否具有生命力有两个要点,一个是看它对已有理论是否有支持、延伸、扩展和提升作用;另一个是看它能否揭示现实规律并解决实际问题.先生极力倡导要把我国模糊数学发展的重点从纯数学研究转向应用从一般性应用,集中锋芒到信息革命的国际前沿领域中来.他不仅仅是这一思想的倡导者,也是一个践行者.为了达到理论与实践的结合,先生在招收博士生时,不仅招收有数学背景的理学硕士,还在国内率先招收有工学背景的工学硕士,并在 1987 年带领博士研究生成功研制出了我国首台、也是国际上第二台模糊推理机.相比日本 1987 年研制的首台模糊推理机,推理速度从每秒一千万次提高到每秒一千五百万次,机身体积缩小了 90%.这是我国在早期国际信息革命争夺战中的一次大捷,使中国模糊信息处理在理论与实践上一度位居世界前列.

写到这里,不能不提到钱学森先生.从钱老在 20 世纪 80 年代中期给汪先生的多次书信中,可以看到他老人家对先生学术思想形成所起的指导作用.钱老在听取模糊推理机研制汇报中说:“看了你们的倒摆控制试验,我脑子里想的是通过它对人的思维得到什么启示?人们研究问题,开始总是模糊的,在其过程中,会逐渐地甚至突然地变得清晰起来.人们思考问题是模糊的,多线的,从模糊中求得清晰.希望你们探索出这个理论”“智能计算机是 21 世纪最重要的科技问题”“20 世纪 50 年代搞‘两弹’,是有了理论而去干的问题.现在搞智能计算机,最伤脑筋的问题是还没有真正的理论.现有的电子计算机只有单线思维,没有选择的余地,这不行,

人们的思维是多线的,有多种选择性,你们把这个理论研究出来,创造性思维可能有路子”。钱老明确指出了智能工程是 21 世纪最重要的科技问题并特别强调了发展智能科学理论的重要性与迫切性。

能够在短短的一年时间里,将模糊推理机研制成功并且能超过日本,这从一个侧面验证了先生及其所带领的团队在模糊推理与控制理论上所取得的成就. 1985 年 2 月至 5 月钱老在信中说:“我近来以为如把非单调逻辑结成网,形成一个逻辑的巨系统,就会出现‘协同作用’,就是人工智能. 这也就是形象(直感)思维”“逻辑网络巨系统可不可以出现‘协同’作用,出现‘有序化’现象? 我想这个‘有序化’就是‘智慧’,就是形象思维或直感”. 按照钱老所指引的方向,先生提出了真值流网络推理理论,于 1985 年 10 月写出了“网状推理过程的动态描述及其稳定性”的论文初稿,钱老审阅文稿后回信说,此文“把模糊推理向前推进了一大步,从树到网,可能更接近于人的思维过程”“赞成你照这条思路搞下去,会对思维科学、人工智能作出贡献”,并提出了进一步的要求. 在 1986 年 2 月 18 日的信中又说:“你写的是一篇开拓性的文章,是一个新的方向.”正是由于这一理论上的准备,才有 1988 年超过日本模糊推理机的成果. 为了实现钱老关于 21 世纪在智能计算机方面争夺国际制高点的宏伟意向以及他对发展相关理论的殷切期望,先生从 1988 年以后集中探索能描写概念、判断、推理及智能活动的数学理论,提出了因素空间这一摹写反映论的广义坐标框架,在此基础上提出了模糊计算机的实际构想,这些研究成果都被写入先生与李洪兴教授合著的《知识表示的数学理论》以及《模糊系统理论与模糊计算机》两部专著中,这是先生按钱老的要求为信息革命所作的一项数学理论准备,它是我国独有的、不失为一项有时代意义的重要成果.

先生在模糊集的基础理论及信息科学应用研究上成就斐然,在国内外均有较大的影响,曾任国际模糊系统学会副主席、中国系统工程学会模糊数学与模糊系统委员会副理事长,并担任《模糊系统与数学》副主编,《应用数学》《数学研究与评论》《工程数学学报》《高校应用数学学报》和《系统工程学报》等多个国内学术期刊的编委,担任 Soft Computing, Information Technology & Decision Making, Fuzzy Systems & Artificial Intelligence 等多个国际学术期刊的编委. 先生在模糊集基础理论、模糊逻辑等方面的研究,先后获得了国家自然科学奖、国家科技进步奖和教育

部科技进步奖。1988年,先生被国家科学技术委员会和人事部授予国家级有突出贡献的中青年专家称号。先生曾担任第8届全国政协委员和第7,8届北京市政协委员。

我对先生的敬佩不仅仅是他洞察的睿智与创造的活力,也不仅仅是他在模糊数学理论及应用上的卓越贡献,最让我敬佩的是先生博学而谦恭的品德,尤其是他对年轻人的关怀与尊重,使得每一位与他接触过的年轻人都会对他肃然起敬。我初次与先生会面是1983年在广州召开的模糊数学学术会议上,那时我只是一个刚刚涉足模糊数学领域的微不足道的年轻人,在此之前曾有几篇拙文由学报呈先生审阅过。记得先生是晚于我们到开会住所的,当先生到达会议住所时,许多人都过去和先生握手致意,我也随着大家一起过去。当我和先生握手时,刚刚介绍自己是哪个学校的,不料先生竟直呼出我的名字,这让我非常意外,对先生的敬仰之心油然而生。每当会议休息的时候,总会有许多人围拢在他的身边。我发现先生无论与何人对话,总是展现一种谦恭的态度,尽管对方是非常年轻的学生,也是一直注视着对方,其语气可用“和风细雨”来形容。对于年轻人的一点点微不足道的研究成果,也总是以探寻和鼓励的方式给予关注和支持,那种“声名显赫者仰望而不可即”的传统观念在先生身上荡然无存。也正是这次邂逅,使我产生了要随先生学习的愿望,并于1984年至1985年参加了先生举办的模糊数学研讨班,共同学习讨论先生创建的模糊集与随机集落影理论。在这一年的时间里,让我更进一步了解了先生的为人。在和先生接触的经历中我深深体会到,声名显赫的前辈对渴求知识的青年人的尊重,将会影响后者的一生。

1988年,先生主持的《模糊信息处理与模糊计算系统》国家自然科学基金重大项目,将国内35所高校和研究机构组织起来联合攻坚,成为中国模糊数学发展进程中的一件大事。在研讨项目的执行计划中,先生的弟子们也来到北京师范大学参与讨论。一天,先生将他们召集在一起非常认真地说:“要更好地完成项目,就要发挥国内各方面的力量和智慧,一定要搞五湖四海。由于经费有限,要照顾的方面太多,所以,要求我的学生们都退出经费的申请,对此事造成的歉疚,我会以其他方式来补报”。事实上,我们没有人对先生产生抱怨,反而更加深了对先生在开创中国应用模糊数学事业上志向深远、胸怀博大的敬仰。

先生以睿智教我学问,以品德教我做人.借先生文集出版之机,源于对先生学识与人品的敬重,写下这些话,寄情寓志,勉人励己.

纵观我国模糊数学的发展,其理论研究之深、应用研究之广,在国际上已经产生了较大的影响.但是,欲将这一源于信息革命需求的理论运用于解决信息革命前沿问题的最本质性研究并最终实现钱学森先生的遗愿,还有很长的一段路要走.北京师范大学数学科学院为先生出版论文集,这是一件非常有意义的事情.在此,非常感谢北京师范大学出版社,特别感谢数学科学院的李仲来教授为编辑出版该文集所作出的贡献.这部文集的出版,对于启发我们继续深入探索与信息革命相关的一系列数学基础与逻辑方法具有重要的参考价值.

郭嗣琮

2012年3月

于辽宁工程技术大学数学与系统科学研究所

Contents



An Introduction of a New Branch of Mathematics — the Fuzzy Mathematics/1
Falling Space—The Probabilistic Description of Fuzzy Subsets/5
The Measurable Problem on the Hyper σ -Field and Set-Valued Mapping/24
The Neighborhood Structures and Convergence Relations on the Lattice Topology/28
Set-Valued Statistics/49
The Number of Minimal Solutions of a Finite Fuzzy Relation Equation/64
An Extention Theorem on the Lattical Additive Functions/68
An Exploratory Study on Mathematical Form of Ideology/75
Brain • Computer • Fuzzy Mathematics/86
Dynamic Description of Net-Inference Process and Its Stability/96
Truth-Valued Flow Inference and Its Dynamic Analysis/106
The Applied Principle of Fuzzy Mathematics/120
Factor Space and Description of Concepts/132
Fuzzy Inference Machine and the Theory of Truth-Valued Flow Inferences/144
A Thought to Fuzzy Computer(I)/155
A Thought to Fuzzy Computer(II)/166
A Thought to Fuzzy Computer(III)/173
A Thought to Fuzzy Computer(IV)/180
The Essential of Fuzzy Computing and Its Application on Nonlinear Programming/189

A Factor Spaces Approach to Knowledge Representation/205	
A Combinatorics Formula/220	
Latticized Linear Programming and Fuzzy Relation Inequalities/224	
Fuzzy Set-Operations Represented by Falling Shadow Theory/239	
Factor Spaces and Fuzzy Tables/249	
Win-Win Strategy for Probability and Fuzzy Mathematics/260	
Mathematical Theory of Truth-Valued Flow Inference/272	
Constructive Theory for Fuzzy Systems/296	
Polyhedral Representation of Fuzzy Linear Bases/313	
Measure Extension from Meet-Systems and Falling Measures Representation/332	
Cone-Cutting—A Variant Representation of Pivot in Simplex/348	
Bibliography of Papers and Works/371	
Postscript by the Chief Editor/389	

目 录



介绍一门新的数学——模糊数学/1
落影空间——模糊集合的概率描述/5
超 σ 域与集值映射的可测性/24
格拓扑的邻元结构与收敛关系/28
集值统计/49
有限模糊关系方程极小解的个数/64
格可加函数的扩张定理/68
思维的数学形式初探/75
人脑·计算机·模糊数学/86
网状推理过程的动态描述及其稳定性/96
真值流推理及其动态分析/106
模糊数学的应用原理/120
因素空间与概念描述/132
Fuzzy 推理机与真值流推理/144
Fuzzy 计算机的设计思想(I)/155
Fuzzy 计算机的设计思想(II)/166
Fuzzy 计算机的设计思想(III)/173
Fuzzy 计算机的设计思想(IV)/180
Fuzzy Computing 的核心思想及其在非线性的规划求解方面的一个应用/189
基于因素空间的知识描述/205
一个组合公式/220

格线性规划与模糊关系方程/224	
模糊落影理论下的模糊集运算/239	
因素空间与模糊表/249	
概率论与模糊数学的双赢策略/260	
真值流推理的数学理论/272	
模糊系统的构造理论/296	
模糊线性基的凸多面体表现/313	
始于交系的测度扩张定理及落影测度表现/332	
棱锥切割——单纯型法的一种等价表示/348	

论文和著作目录/371	
-------------	--

后记/389	
--------	--