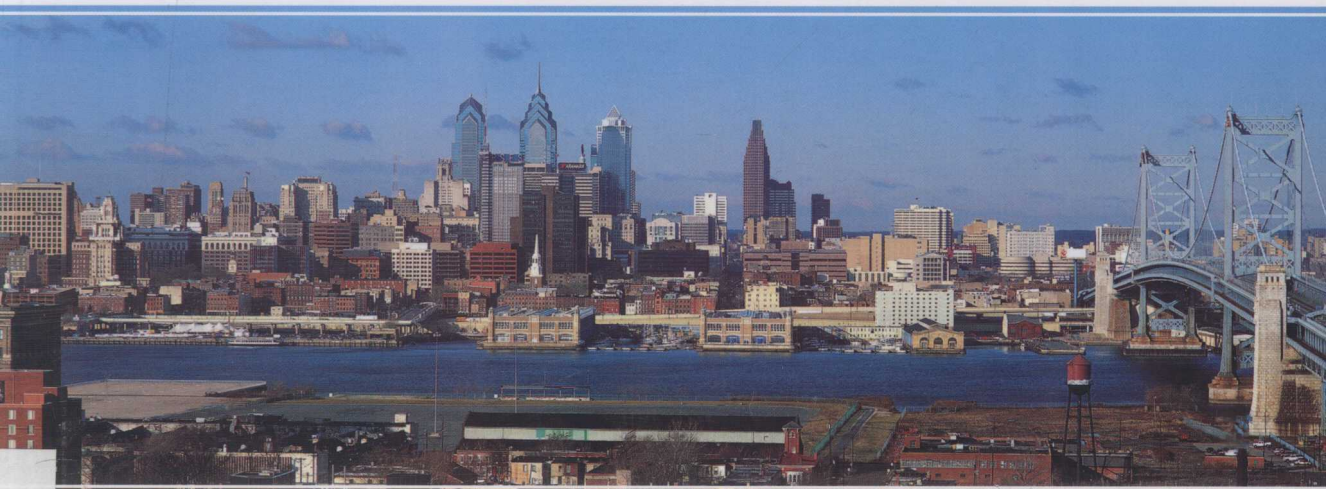


信息与计算科学广西高校特色专业课程一体化建设项目 (GXTSZY067) (广西民族大学) 资助
中国博士后基金项目 (2012M511711) (中南财经政法大学) 资助

群智能算法 在经济模型中的应用

莫愿斌 著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

014038587

信息与计算科学广西高校特色专业课程一体化建设项目 (GXTSZY067)

中国博士后基金项目 (2012M511711)(中南财经政法大

F224.0

248

群智能算法 在经济模型中的应用

莫愿斌 著



人民邮电出版社

北京

F224.0
248

图书在版编目 (C I P) 数据

群智能算法在经济模型中的应用 / 莫愿斌著. — 北
京: 人民邮电出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-115-34864-7

I. ①群… II. ①莫… III. ①电子计算机—算法理论
—应用—经济模型—研究 IV. ①F224.0

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第062743号

内 容 提 要

对经济模型的求解是对经济现象研究与解释的一种方法, 本书以“经济数学模型的求解分析”和“群智能算法的分析与应用研究”为内容, 围绕提高群智能算法的搜索性能, 以更好地求解经济数学模型而展开论述, 探讨了经济控制系统的优化问题、投资问题、生产函数的模型分析问题, 以及其他一些经济问题的求解。

本书可供数量经济学、计算智能工作者、科研人员及相关专业的高年级大学生、研究生、教师阅读。

-
- ◆ 著 莫愿斌
 - 责任编辑 王亚娜
 - 执行编辑 肖 稳
 - 责任印制 张佳莹 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 10 2014 年 4 月第 1 版
 - 字数: 162 千字 2014 年 4 月河北第 1 次印刷
-

定价: 58.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

人算胜也，天算不如人算。——《增广贤文》

人算不如天算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算，鬼算不如人算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算，鬼算不如人算，人算不如天算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算，鬼算不如人算，人算不如天算，天算不如神算。——《增广贤文》

人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算，鬼算不如人算，人算不如天算，天算不如神算，神算不如鬼算。——《增广贤文》

前言

通过建立数学模型去求解经济问题，是对经济问题研究的一种可行的方法，越来越受到重视；但随着经济的发展，为各种经济问题建立起来的模型越来越复杂，利用传统的数学方法去求解的不足性日益显现；因此研究如何求解各种经济数学模型是一个值得研究的方向。群智能算法是近年计算领域新兴的、且比较活跃的研究方向。群智能算法引入并应用到经济领域的研究，为经济数学模型的求解提供一种求解的新途径。全书主要包括如下几个方面：

- (1) 阐述了优化问题的发展历史和一些经典算法，分析各种算法的优缺点。
- (2) 分析了经济领域研究过程中大量存在的优化模型，寻求算法解决这些优化模型是急切解决的问题。
- (3) 分析了优化问题的求解历史演变，以及各种求解优化的方法的优缺点。
- (4) 给出了群智能算法的定义，以及群智能算法的一些特征与原理，具体分析了四种新兴的智能算法，给出了各算法的生物背景、数学公式的含义、计算步骤。
- (5) 针对经济动态优化问题的求解实际困难与算法自身存在的不足，基于数学背景与函数的性质提出相应的改进策略，测试效果良好。
- (6) 将群智能算法引入分析与探讨投资问题中，提高了分析投资的速度与精度，实例给出了求解投资组合问题以及投资引导问题，并取得满意的效果。
- (7) 讨论了群智能算法在生产模型参数估计中的应用。
- (8) 讨论了群智能算法在专利池定价以及求解非线性方程组中的应用。

通过本书的撰写，作者深感：面对经济领域实际中众多高维、复杂的优化问题，寻求一种合适的搜索算法仍有许多的困难。粒子群优化算法、人工鱼群算法、人工萤火虫算法与蝙蝠算法都是近几年刚提出的优化算法，本书只是在一定程度上就这些算法的理论进行了分析，更多的是就这些算法的一些不足提出了一

些改进的策略，并用之求解实际的经济优化模型，但还没有就理论问题进行深入的探讨，所以还有很多工作值得进一步的研究。

本书是作者在中南财经政法大学做博士后工作期间撰写的，在这个过程中得到恩师赵新泉教授、向书坚教授的帮助与支持，提出了不少好的意见，并改正了不少错误，在这里我表示衷心的感谢；另外书中汇集本人的近年来的工作成果，有些已经发表，有些即将发表。

本书的出版得到了中国博士后基金（2012M511711）的资助，我深表感谢。希望本书的出版，能进一步加强智能算法研究与经济问题研究的有机结合，也希望能为将来的研究提供帮助。

由于时间仓促，书中难免存在错误和不足，希望能得到读者的批评和帮助。

莫愿斌

2013年12月

目录

第1章 绪论	1
1.1 背景	3
1.2 内容	3
1.3 意义	4
1.4 进展	5
1.4.1 动态优化问题	5
1.4.2 投资模型问题	6
1.4.3 生产函数参数估计问题	8
1.4.4 专利池的定价问题	9
1.4.5 方程组问题	9
1.5 主要内容	11
1.6 本书的结构	11
第2章 经济优化模型	13
2.1 模型、数学模型、经济模型	15
2.2 经济模型史	16
2.3 经济模型的基本内涵	17
2.4 建立经济模型的基本步骤	18
2.5 建立经济模型的一般原则与规范	19
2.6 经济模型的种类	20
2.7 经济模型的应用	21
第3章 优化问题解法的发展与演变	23
3.1 现实生活的优化问题	25
3.1.1 概述	25
3.1.2 优化问题的数学语言表示——数学模型	26
3.1.3 优化模型分类	26

3.2 优化问题的求解	27
3.2.1 优化问题的全局最优解与局部最优解	27
3.2.2 最优解、局部最优解间的关系	27
3.2.3 最优解求解的难点	28
3.2.4 求解优化模型的方法	29
3.3 优化模型求解方法的进展	31
3.4 以经典分析为基础的算法的局限	33
第4章 群智能算法	35
4.1 引言	37
4.2 群智能算法	39
4.3 粒子群算法	40
4.3.1 算法原理	40
4.3.2 算法的计算步骤	42
4.4 人工鱼群算法	43
4.5 人工萤火虫算法	44
4.5.1 GSO 算法	45
4.5.2 FA 算法	47
4.6 蝙蝠算法	48
4.6.1 蝙蝠算法的原理与数学描述	48
4.6.2 蝙蝠算法基本流程	49
第5章 群智能算法在经济动态优化模型中的应用	51
5.1 引言	53
5.2 经济动态优化问题的分类	53
5.3 带有不可导搜索的粒子群算法在经济动态优化问题求数值解中的 应用	54
5.3.1 粒子群算法的分析与改进	54
5.3.2 闭区间上连续函数的性质	55
5.3.3 不可导点的数值算法	56
5.3.4 算法的流程	57
5.3.5 算法在求不可导点的测试	57

5.3.6 带有不可导点搜索的粒子群算法求解终端固定的经济动态优化问题	63
5.4 萤火虫算法的分析与改进	67
5.4.1 萤火虫算法及其性能分析	67
5.4.2 带有记忆的萤火虫算法	68
5.4.3 带有记忆的萤火虫算法的测试	69
5.4.4 带有记忆的人工萤火虫算法在求解灰色经济控制系统中应用	71
5.5 局部记忆搜索的蝙蝠算法在灰色经济控置系统中的应用	73
5.5.1 蝙蝠算法的分析与改进	73
5.5.2 局部记忆搜索的蝙蝠算法	74
5.5.3 算法的性能测试	75
5.5.4 局部记忆搜索蝙蝠算法在灰色经济系统中的应用	77
第6章 群智能算法在投资模型求解中的应用	81
6.1 引言	83
6.2 基于理想有效解分析的证券组合投资模型	83
6.2.1 含有交易费用的投资组合优化模型	84
6.2.2 多目标优化问题求解算法的现状	85
6.2.3 基于理想有效解求解证券组合投资模型的算法	90
6.2.4 基于理想有效解求解证券组合投资模型的实证分析	93
6.3 基于网络结构的投资引导模型的建立与求解	94
6.3.1 投资引导模型的建立	95
6.3.2 组合优化问题及其求解算法的进展与分析	98
6.3.3 粒子群算法求解投资引导模型	102
6.3.4 实验结果与分析	103
第7章 群智能算法在生产函数模型参数估计中的应用	105
7.1 引言	107
7.2 二次协同人工鱼粒子群算法估计生产函数模型参数	107
7.2.1 一些优化策略	108
7.2.2 二次协同人工鱼粒子群混合算法——TCAFSAPSO 算法	109
7.2.3 算法的测试	111

7.2.4 算法在生产函数参数估计中的应用	113
7.3 带有不可导点搜索的粒子群算法在生产函数模型参数估计中的 应用	114
7.3.1 算法的性能测试	114
7.3.2 算法在生产函数参数估计中的应用	117
第8章 群智能算法在其他经济模型中的应用	119
8.1 改进的粒子群算法在专利池定价中的应用	121
8.1.1 引言	121
8.1.2 专利池中的专利权值网络构建	121
8.1.3 改进的粒子群算法求解专利权值网络	122
8.2 改进的粒子群算法求解非线性方程	126
8.2.1 引言	126
8.2.2 方程组的求解算法现状	127
8.2.3 带有复形法局部搜索的粒子群算法求解非线性方程组的测试	132
8.2.4 算法的应用	133
参考文献	137

第1章

绪论

绪论

1.1 背景

数学作为一种抽象的语言,具有严密的逻辑体系,因此是解决问题、建立学科完整理论体系的最好的工具。任何一门学科的发展与强大,都离不开数学。纷繁复杂的经济领域内各种问题,只从定性的研究将是不够的,还需从定量的角度给予深刻研究。数学在经济领域中的研究已越来越显示出不可替代的作用,通过数学建模方法给予问题的解答是定性方法所难以达到的。

数学在经济方面的应用主要是通过数学方法为所研究的问题建立数学模型,然后对模型进行求解。通过所得到的解来解释和说明一些经济现象,也可以通过所得到的解来提供制定政策的参考性建议。因此,对经济领域的各种问题通过数学建模进而求解,具有重要导向价值与意义。

实际中建立的各类经济模型很多涉及优化计算,传统的优化计算方法对其往往无能为力。群智能算法是优化算法中新近发展的前沿方法,探索群智能算法求解经济优化模型具有积极的实际意义与前沿性。

1.2 内容

不同的经济问题建立出的模型各有不同,对这些模型的处理方法也有所不同。本文只对通过建模后得到的是最优规划模型和最优控制模型进行研究。对这两种类型模型的分析与求解是数学上优化问题的求解。

优化问题是经典的、一直受关注的课题;自从优化问题的提出,对优化问题的探讨和研究就不停地在推进。早在17世纪,在数学家 Newton 发明微积分的时代,极值问题就被提出;后来为了解决约束优化问题, Lagrange 乘数法^[1-9]又相继被提出;1939年数学家 Kantorowicz 对生产组织问题的求解提出了数学方法,并发表了《生产组织与计划中的数学方法》等论文,该文献可以看作是最早

研究线性规划的论文；函数的梯度方向是函数值下降最快的方向，基于此研究1947年法国数学家Cauchy，提出最速下降法^[10,11]。

对求解优化问题过程中所提出的各种方法；这些方法可以分为两类：（1）解析法，此类求解方法主要是利用数学分析的函数性质进行分析，如梯度的性质、导数的性质等；构造出一个新的问题，从而把寻优问题转化为另一个稍微容易求解的问题，然后求解构造出的问题，以此得出所要的解；（2）数值法：数值解法主要通过构造迭代式子，利用迭代式子的反复迭代来逼近问题的解；对于此方法，迭代式子的构造是最关键，不同构造迭代式子的方法得到不同算法，同时在构造迭代式子的过程中，所用的数学性质、以及所能具有该性质的函数所具备的特征等将限制算法的使用范围，如何设计一种使用范围广、寻优效果好的算法是一直追求的目标。

本书是以群智能为研究基础，利用群智能算法求解经济领域中的最优规划模型与最优控制模型。

1.3 意义

正如1.2节所分析的，构造迭代式子解决优化问题是人类一直的追求，为了应用的方便与编程的实现便利，通常以所构造的式子越简单越好；而且在设计的过程中，尽可能地避免利用函数的分析性质，因为以分析性质为基础所构造的算法，将限制算法的使用范围并给编程带来不便；这样的算法构造灵感来源于自然界的生物行为；但模拟生物的行为所设计的算法，都存在不知如何判断某一步得到的某一个点是否是局部极值点，以及对陷入局部极值点的处理方式的困难。以模拟生物的行为设计的算法是现今一个热点研究课题。如艾景波、刘和周、侯建花、王明兴等对遗传算法、粒子群算法、禁忌搜索算法进行了研究，并且给出不同的改进策略，同时利用这些改进的算法求解一些问题^[12-15]。模拟生物行为的所谓进化算法或智能算法（演化算法）可以说是方兴未艾，每年发表此方面算法^[16-22]的论文也是不胜数。因此，对群智能算法的研究是一个具有前沿性的研究方向，利用智能算法求解各类经济问题是一个新兴的研究热点，通过此研究将

能为各类经济问题的求解,政策的分析提供可靠的数据支撑,保障社会经济运行长期持续平稳、健康发展。

1.4 进展

1.4.1 动态优化问题

由于动态经济系统大都具有非线性、非稳态的特点,其优化问题实际上就是微分代数混合优化问题,解析法一般无法解决这类问题,因此研究利用数值算法求解问题是一个重要的研究课题;同时从政策调控的角度看,其实也不需要控制量的具体表达式,只要知道控制量在不同的时刻的数值即可;再有,即使求出控制量的连续解,在实施政策调控与生产控制时,还是要进行离散化,而且通过连续解离散化后得到的离散解,有时还不如直接通过数值方法求出控制量的数值解更能使系统优化。因此,对动态经济系统优化问题的数值求解是更好地实施政策调控的前提条件。从而,对动态经济系统优化问题的数值求解研究始终是政策调控中的一个重要的研究课题。

对动态经济系统优化问题的求解有两类方法——解析法与数值法。解析法又分为变分法和基于贝尔曼最佳原理的动态规划方法^[23-24];但对于稍许复杂的动态优化问题,一般不能得到解析解,在这种情况下,利用数值法,以阶梯函数逼近控制曲线函数是一种选择;结合变分法与贝尔曼最优性准则构造数值算法以求解动态优化问题是可选择的数值方法。近年来,随着新型的智能仿生算法的不断涌现与日益成熟,这些算法在动态优化问题中的应用也逐渐增多,此类算法的最大优点是无需计算系统的梯度信息。因此,它们在此类问题的求解研究中日益受到重视。利用智能算法求解动态优化问题已经越来越受到人们的重视,而且也取得一些成果^[25]。

在国内,对动态经济控制问题研究,从20世纪就受到了关注,刘存福^[26]在1988年就对经济控制问题的一些方法进行了概述;1990年汪克仁^[27]对经济控制系统的模型进行了研究;但他们都只是对经济动态问题给出概括性的描述,没有给出具体数值求解方法。1996年毛云英^[28]利用数学规划法求解动态投入产出模

糊最优控制模型, 1998 年刘国志^[29]利用动态优化方法对动态经济控制问题进行求解, 2002 年刘国志^[30]建立了一个新的具有上下限约束的投入产出问题的最优控制模型, 并把最优控制问题转化为动态规划问题, 利用动态最优化进行求解。但这些方法只适用于比较简单的经济动态模型。2009 年刘国志^[31]首次给出了利用群智能算法求解动态经济控制问题, 但只是求离散问题, 没有涉及连续问题, 而且也没有对算法进行讨论。

在国外, 近年利用群智能算法对动态经济问题的研究是一个研究热点。2013 年 Behnam Mohammadi-ivatloo^[32]等人利用帝国主义竞争算法求解非凸动态经济电力调度问题; 2012 年 Xiang Liao^[33]等人提出一种新的自适应人工蜂群算法 (AABC) 用来求解在级联水电系统中的长期经济调度问题; 2012 年 Nicole Pandit^[34]等人提出一种改进的细菌觅食算法来求解混合静态、动态环境经济调度问题; Behnam Mohammadi-ivatloo^[35]提出时变加速系数迭代粒子群算法 (TVAC-IPSO) 用来求解动态经济调度问题, 与传统的粒子群算法相比, TVAC-IPSO 有更好的收敛性; 2013 年, M. Basu^[36]把蜂群优化和序列二次规划混合 (BCO-SQP) 用来求解动态经济调度问题, 和 PSO-SQP 以及 EP-SQP 相比, 在相同的条件下能够得到更好的结果。

1.4.2 投资模型问题

本书主要对投资模型中的投资组合 (即投资比例分配) 与投资引导 (即引导投资资金投向期待的行业) 模型进行探讨与分析。

(1) 关于投资组合问题

投资组合是在有多种投资渠道, 但每一种投资除了带来收益的同时也有一定的风险的情况下, 如何选择投资的问题。投资者都是追求利润的最大化与投资风险的最小化; 如何选择投资的分配比例方式, 使得投资既带来利润的最大, 同时又能减少风险, 这是投资者也是人们研究的课题; 诺贝尔奖获得者 Harry. m. Markowitz^[37]在他的论文《资产组合选择》对该问题进行了分析。作者分析了投资风险的度量问题以及收益的问题; 因为投资的收益与风险都具有随机性, 因此利用概率统计进行分析与处理是合适的。收益风险可以利用收益的变化程度即方差来测量, 而采用收益的期望值作为收益值是合理的; 基于概率理论的

期望与方差来分析投资组合,以及为投资组合建立模型,这就是一方差模型(MV模型)。

在投资额固定的情况下,如何投资使得收益最大、风险最小,数学上是一个优化问题。对投资问题的研究,在国内外都引起了人们极大的兴趣;从国内的研究来看,倪德娟、赵文明、王正方等^[39]就利用偏好加权法把投资问题的关于收益与风险的双目标寻优问题转化为只有一个目标的最值问题,并与利用其他方法计算的结果进行了比较。对于投资组合问题有时在情况不是很清楚的情况下,也即对投资的收益与风险带有模糊信息时,利用模糊理论进行投资分析也是一种选择,曾建华^[39]就做了这方面的研究工作,建立相应的模型并给出模型的求解方法。他的主要创新点就是以绝对偏差和代替方差,利用V-型函数计算交易费,同时对自己建立的模型给出了一种简便的算法,巧妙地解决非线性规划项,使算法得以操作简单;缩短了计算的时间,也给计算大型投资模型提供了一种可以值得参考的思路;推进了模型的求解研究。由于信息的不确定性与模糊性,从模糊的角度对投资进行研究是受到关注的,张琳^[40]就利用模糊理论分析社保的投资组合问题;作者首先是以风险最小化为主线,在此基础上尽可能地获得多的收益,促进社保基金的稳值与获益,在论文中还给出了相应的实证例子予以说明;李楚霖、许若宁^[41]也是从模糊角度分析投资问题;他的创新点在于建立了置信水平;在每一个水平上都给出了风险的测量准则,并且还从数学的角度,对最小风险组合投资的存在性给出了完整的证明;王仁明、黄文华^[42]亦基于模糊理论对投资组合进行分析,其创新点在于模型的系数是模糊的,论文中给出了收益的期望值与风险损失率的描述;同时将模糊约束转变成为一般优化模型。杨灿、郑丕谔^[43]则基于香浓的信息论原理对Markowitz组合投资问题进行了分析与探讨。自从群智能算法提出后,也开始出现了利用群智能算法求解组合优化问题。王竹芳、潘德惠^[44]于2006年用遗传-禁忌搜索混合算法求解组合投资问题;林佳丽、姜大志^[45]于2012年利用差分演化算法求解证券投资组合问题;曾艳姗、李仲飞^[46]于2012年利用粒子群优化算法对组合投资的选择问题进行探讨。对组合投资问题的研究,不仅在国内得到重视,在国外也一直是研究的主要课题;Xiang Li以进化算法为基础,结合多种算法的优点用以设计新的算法对该问题进行研究;而且文中所给出的算法能解决非线性优化问题,因此,对该问题的研究起到促进作用;也有不少人采用模糊交叉熵为工具结合进

化算法对投资问题进行研究,如 zhongfeng Qin 就是其中之一,方法有一定的成效;随着进化算法的发展,不同的进化算法相继被提出,新的算法也不断的在该问题的研究中得到应用;WeiChen 就利用粒子群算法探讨投资问题,并给出了实证。

(2) 投资引导问题

在市场经济的今天,个人的投资多少,往哪个方向投资都是个人的意愿,但很多公益的项目,从目前短期的投资回报看,可能效益不是最好,但单由政府投资又存在资金的不足,这就必须引导社会的投资;这就是投资引导问题。正确的投资引导,将解决政府的资金不足,从而带来社会的持续发展。因此,对该问题的研究是一项重要的课题。但是关于投资引导的研究还很少,因此对此问题的研究具有开创性。本书以网络结构对该问题进行研究,并给出了计算重要关键投资者的方法,对投资引导非常有意义。

1.4.3 生产函数参数估计问题

生产函数是对生产过程所建立的数学模型,它反映了生产过程中的各因素对生产成果的影响。该模型最先是 1928 年由美国数学家 Charles Cobb 和经济学家 Paul Dauglas^[47]提出的。通过对所建立的生产过程的生产函数的分析,可以使得我们能从定量的角度看到各个因素对产出的影响,同时通过分析出的各要素对产出的影响,可以相应地给出促使提高生产效益的调整方案,并利用生产函数模型对还未进行的生产活动进行预测,排除各种不利因素。因此,对生产函数的研究对经济建设具有重要的意义。但是在建立生产函数模型的过程中,总是有些参数要根据问题的实际数据予以确定,因此,对生产函数参数的估计是生产函数研究的一个重要方向。

对生产函数的参数估计一直受到国内外学者的关注。在国内,1999 年,王志江^[48]利用最小二乘法估计生产函数的参数;2005 年,宋海洲^[49]利用遗传算法估计参数;2008 年,高宇明^[50]利用卡尔曼滤波法对生产函数进行估计;2011 年,章上峰^[51]利用 profile 方法给出产出弹性函数系数的局部加权最小二乘估计;在国外,1971 年, MILLIKEN G A^[52]对经典参数估计模型进行修正方法;2010 年, Jianqiang He^[53]利用极大似然对农作物产量函数的参数进行估计;2012 年,