

NONGCHANPIN
GANZAOGONGYIGUOCHENG
DE
JISUANJIMONI

曹崇文 朱文学 著
中国农业出版社

农产品干燥工艺过程

的计算机模拟



S375-39 / 5520



河南农大0610999

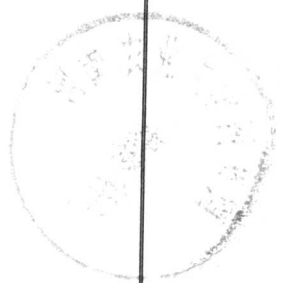
农产品干燥工艺过程的 计算机模拟

曹崇文 朱文学 著

中国农业出版社

S375-39
5520

QH792/01



图书在版编目 (CIP) 数据

农产品干燥工艺过程的计算机模拟/曹崇文, 朱文学
著. - 北京: 中国农业出版社, 2000.12
ISBN 7-109-06621-5

I. 农... II. ①曹...②朱... III. 农产品-干燥-计
算机模拟 IV. S375-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 49052 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 何致莹

北京科技印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.75

字数: 381 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 66.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

中华农业科教基金资助图书

中华农业科教基金会简介

中华农业科教基金会经中国人民银行批准，民政部注册登记，于1995年12月20日成立。基金会得到国家科委、中国人民银行、民政部、农业部等部委的大力支持；得到国内外企业界、知名人士的积极响应。基金会归口农业部管理，接受中国人民银行和民政部监督。

中华农业科教基金会的宗旨是：通过广泛吸收国内外和社会各方面的资金，用以支持中国农业科教事业，补充国家主渠道对农业科技的投入，以加快实施“科教兴农”战略。

中华农业科教基金会的任务是：发展农业科教事业，推动农业科技进步，提高农业劳动者素质，促进中国农业发展和农村经济繁荣。基金会资助农业基础研究、应用研究、试验示范、成果推广和农业科教前沿重大课题的研究；资助有突出贡献和有发展潜力的中青年农业科技人才；资助优秀农业科技著作的出版；奖励在中国农业科教事业中做出重要贡献的个人。

中华农业科教基金会将根据政府制订的农村经济发展规划，定期公布资助方向。资助项目的遴选实行“公开申请，专家评审，民主公正，择优资助”原则。基金会建立严格的筹资、管理和使用制度，公正、合理、规范、科学、有效地使用农业科教基金，向捐赠者公开收支帐目，接受监督。

中华农业科教基金会热忱欢迎国内外企业、社团、各界人士向本基金会捐赠资金，本基金会可根据捐赠者的意愿，设立名人基金、专项基金等。

内 容 提 要

干燥技术是一门跨行业的加工技术,涉及农产品加工、化工、食品、轻工、粮食、木材加工、制药及纺织等部门。它的原理涉及传热学、流体力学、工程热力学、传质学及生物学等。影响干燥品质的因素较多,过程计算十分复杂,一些发达国家已经广泛采用计算机模拟方法分析干燥过程、选择参数、进行干燥机的设计。经验证明它是一种行之有效的研究方法。

本书共分8章,包括农产品干燥模拟基础,谷物干燥过程的模拟,谷物干燥工艺的模拟,农产品干燥方法的模拟,农产品干燥品质的模拟,农产物料干燥特性模型,热风炉的设计计算,干燥模拟的现状与发展趋势等。比较系统地全面地介绍了农产品干燥工艺和过程的计算机模拟原理、步骤、方法和未来的发展趋势。

本书可供农业工程、农产品加工工程、农学和食品科学等专业技术人员、研究生和教师阅读和参考,也可供化工、轻工、制药及木材加工等部门从事干燥设备的设计和研究参考。



干燥是农产品收获后加工过程中最常用的单元操作之一，广泛应用于农、副、土、特产品加工和化工、食品、轻工、制药、纺织、造纸等行业。干燥技术的机理涉及传热学、传质学、流体力学、工程热力学、物料学、散粒体力学、机械学等学科，是一个典型的多学科交叉技术领域。干燥也是能量消耗最大的一个加工过程，干燥工艺设计和参数选择是否合理将严重影响产品质量和干燥过程的成本。长期以来我国干燥基础研究比较薄弱，对干燥设备和工艺的设计主要凭设计者的经验，或者只做些简单的热力学计算，因此干燥设备的性能和质量较难保证。近年来随着计算机和信息技术的发展，计算机模拟已经广泛地应用于干燥技术领域。

通过理论分析建立描述干燥工艺过程的传热传质模型，利用数值分析和程序设计技术开发出各种干燥工艺的模拟程序软件，可以对复杂的干燥过程进行快速分析和工程计算，它不仅可以预测干燥机性能，进行参数选择和工程设计，还可以计算出干燥设备内部各层物料的含水量和温度，干燥介质的温度和湿度。现代模拟技术不仅可以对干燥工艺过程和设备设计参数进行优化，还可以预测干燥后物料的品质，因此它已经成为干燥机选型设计的强有力工具。

《农产品干燥工艺过程的计算机模拟》一书，系统介绍了各种干燥工艺的模拟原理，详细阐述了干燥过程数学模型的建立原则和数值分析方法，综合了物料的热物理特性和干燥动力学特性，对各类农产品干燥设备的工作原理，模拟分析方法也作了较全面的介绍。本书作者曹崇文教授，是我国农业工程学术界在农业物料干燥机理、计算机模拟、干燥工艺研究和干燥设备开发等方面具有很高学术造诣的知名学者，在国际、国内干燥技术学术界都具有较高的学术影响。他的数理基础坚实深厚，学风严谨，重视理论与试验研究紧密结合和将研究成果用于新产品开发，迄今已经有近 20 年研究成果的积累。该书内容丰富，结构严密，较全面地反映了作者多年来取得的创新性科研成果，具有较高的学术理论水平和技术方法的先进性。迄今，我国尚未出版过类似的学术专著，它的出版，不仅对农产品干燥工艺过程分析和设备的研制、开发提供了先进的工具和方法，而且对推动我国

干燥领域的科学技术进步和相关部门进行物料干燥应用技术的创新研究，都有重要的学术价值和应用参考价值。

中国工程院院士 汪懋华

2000.11.1

干燥作业是农业生产中重要的一环,农作物从种到收,生产过程长,收获时间短,如何使一年的劳动成果颗粒归仓,保证丰产丰收,是一个重要的研究课题。

就粮食生产来说,近年来中国粮食总产量大约有5亿t,每年收获的粮食有20%属高水分,约有8500万t需要干燥。据农业部门统计,中国粮食由于不能及时干燥到安全水分而造成的霉变和发芽损失是相当严重的。在一般年景,粮食损失为50亿kg,严重的年景损失高达10%甚至还要多。东北地区麦收时期平均每三年就有一年是雨季,特别需要粮食干燥机械,广东省常年情况下粮食损失约2亿~3亿kg,严重时达5亿kg。

干燥是一个复杂的热质交换过程,它不仅受物料特性和介质参数的影响,而且还与气候条件和干燥工艺有重要关系。它不仅是一个物理过程,而且还是一个生物和化学过程。对干燥的要求不仅是去除水分,而且要求保留它的营养成分,有时还要保持它的色香味。所以,干燥过程研究涉及生物,化学,热力学,机械学和流体力学等多种学科,是一个多学科交叉的加工技术。多年来,粮食干燥机的设计,一直停留在依靠经验方法进行的阶段。因此,生产的粮食干燥机往往能耗大,效率低,质量不能满足要求。随着信息技术和计算机技术的发展,模拟技术已经较广泛地应用于干燥系统的设计、分析和试验等方面,大大提高了研究、设计的速度和精度,促进了干燥技术的发展。

利用数字计算机对工程系统进行模拟已经成为近年来工程系统研究中的一个重要手段。系统模拟已经发展成一门科学,它可以帮助我们研究一个动态过程中各个与时间有关的因素间的相互关系。目前工程系统的计算机模拟已经广泛应用于化工,轻工,农产品加工等领域。归纳起来,计算机模拟具有以下功能:

1. 分析的工具 采用合理的模型进行模拟能够研究一个机器或工程系统中各参数间的相互关系,分析各参数对该系统性能的影响。

2. 试验的手段 建立模拟程序以后,利用计算机变换主要参数是非常容易的,因而可以在计算机上进行实际系统的试验。每执行一次程序便等于进行一次实际试验。尽管与实际系统可能存在一定误

差,但是它可以帮助研究人员更好地了解实际系统的特性,指出改进的方向和途径。这在研究一个新的系统方案时是很重要的。

3. 辅助设计 模拟方法常常被用于机器的辅助设计,参数选择,决定尺寸,进行各种方案和工艺流程的比较,从而起到系统的辅助设计作用。以谷物干燥机的设计为例,英国 M. E. Nellist 利用模拟方法决定了顺流干燥逆流冷却型干燥机的主要参数和结构尺寸。

目前中国干燥技术方面的专著很多,但是在干燥过程模拟方面的著作却是空白,俄罗斯,美国,加拿大,德国等先进国家已经出版了不少这方面的著作,如《食品加工过程的计算机模拟》,《谷物干燥和贮藏过程的模拟》,《食品加工中传热传质的模拟》。随着现代信息技术的发展,计算机在各个加工过程领域的应用将日益增加,干燥过程的数值模拟是技术发展的必然趋势,也是干燥、加工设备设计、分析和使用管理的必要工具,因此,编写《农产品干燥过程的计算机模拟》是十分必要的。

自 20 世纪 80 年代起中国农业大学干燥技术研究室首先在中国开展了各种干燥过程的计算机模拟研究,建立了主要谷物的干燥模型,开发了多种干燥模拟软件,进行了试验验证,利用开发的干燥模拟软件进行了干燥机的设计,干燥工艺流程的分析。其中 CGDSP 谷物干燥综合模拟软件已经推广到全国 20 余所科研院所和生产厂家,在干燥机的设计、分析和使用方面发挥了重要作用。

本书由中国农业大学机械工程学院曹崇文同志主编,洛阳工学院朱文学同志协编,第四章第四、五、六节,第五章第五节和第七章由朱文学编写,其余章节均由曹崇文同志撰写。

本书是在作者多年的教学和科研工作基础上撰写的,希望通过该书的出版,提高中国的干燥机设计和干燥工艺研究水平,促进中国干燥事业的发展。

由于作者水平有限,书中还存在许多不足之处,恳请同行专家提出宝贵意见。

中国农业大学机械工程学院 教授 曹崇文

洛阳工学院 副教授 朱文学

1999.6



序 前言

第一章 农产品干燥模拟基础	1
第一节 数学模型	1
第二节 模拟	2
第三节 干燥过程的建模方法	7
第四节 农产品干燥系统流程和参数分析	11
第二章 谷物干燥过程的模拟	14
第一节 谷物干燥模拟的发展历史	14
第二节 谷物干燥过程的数学模型	15
第三节 谷物干燥模拟的应用	28
第三章 谷物干燥工艺的模拟	32
第一节 混流式谷物干燥机的模拟	32
第二节 逆流式谷物干燥机的模拟	34
第三节 顺流式谷物干燥机的模拟	37
第四节 圆筒形循环式谷物干燥机的模拟	39
第五节 低温谷物干燥的模拟	41
第四章 农产品干燥方法的模拟	49
第一节 太阳能干燥模拟	49
第二节 气流干燥模拟	59
第三节 转筒干燥模拟	72
第四节 流化床干燥模拟	84
第五节 喷雾干燥模拟	99
第六节 冷冻干燥模拟	116
第七节 喷动床干燥模拟	138
第五章 农产品干燥品质的模拟	154
第一节 玉米低温干燥霉变过程的模拟	154
第二节 干燥过程中种子发芽率的预测	161
第三节 小麦面包烘焙品质的模拟	166
第四节 缓苏过程的模拟	169
第五节 干燥应力分析模型	172

第六章 农产物料干燥特性模型	190
第一节 谷物薄层干燥模型	190
第二节 谷物平衡水分模型	197
第三节 谷物的汽化潜热和比热模型	200
第四节 气流穿过谷床的压力降模型	201
第五节 谷物的比表面积和密度模型	202
第六节 扩散系数 D 模型	203
第七节 对流质交换系数和对流换热系数	205
第七章 热风炉的设计计算	209
第一节 热风炉的分类及特点	209
第二节 燃料分类及成分分析	212
第三节 燃烧过程的设计计算	213
第四节 换热器的设计计算	222
第五节 风道阻力及烟囱自生通风力计算	227
第八章 干燥模拟的现状与发展趋势	230
第一节 现代模拟技术	230
第二节 农产品干燥专家系统	233
第三节 人工神经网络在干燥模拟中的应用	251

第一章

农产品干燥模拟基础

第一节 数学模型

一、数学模型的定义

模型是对现实世界的某种放大或缩小，也是现实世界的抽象。

“数学模型”是指用数学表达式表示现实事物。即运用数学语言对现实世界的信息加以归纳和描述，是对现实世界的抽象。

数学模型源于现实，又高于现实。通过对数学模型的演绎和推导，可以帮助对现实问题作出分析，预测，决策和控制。

二、为什么要构造数学模型

1. 数学模型可以帮助人们进行思考。由于数学模型体现着所研究问题的各参数之间的定量关系和规律，所以人们可通过模型分析考察各参数间的依存关系和变化趋势。

2. 设计机器的时候，只靠定性地判断并不充分，必需定量地预测其性能和状态，这就需要使用数学模型。

3. 由于系统越来越复杂，影响因素越来越多，若不靠数学方法，单纯地试验已难于使严峻的状况重现出来。

4. 随着计算机应用的日益普及，目前甚至可以把计算机看作是一种实验装置，应用计算机不但能模拟各种化学反应和化工加工过程，而且还可以进行常规方法难以实现的复杂化工系统模拟、复杂机械加工过程模拟与复杂结构的应力计算。这就给数学模型的应用提供了条件。

三、数学模型的分类

数学模型的分类和基准有关。

1. 按事件产生的时间关系分类

(1) 连续模型 (Continuous Model)。如果过程连续进行，即模型的时间变量在某一时

基上按实数平稳地增加,则该模型为连续模型。如谷物干燥,喷雾干燥,气流干燥,以及作物的生长等常采用连续模型。

(2) 离散模型 (Discrete Model)。如果时间的流逝为跳跃式,即模型的时间变量从一个时间整数跳跃到下一个时间整数,这样的模型叫离散模型。它描述的是一个间断的,不连续的过程。如谷物的收获,运输和储存过程采用离散模型。

2. 按模型描述中是否有随机变量分类

(1) 确定模型 (Deterministic Model)。一个系统的输入完全取决于输出,模型的结果与输入参数之间有确定的关系。模型内不包含随机变量。这样的模型叫做确定模型。

(2) 随机模型 (Stochastic Model)。模型中至少包含一个随机变量,一定的输入可能会得出不同的输出结果。例如模拟土壤在某一个月份的含水量,由于它与降雨时间和降雨量这两个随机变量有关,属于随机模型。随机模型也叫概率模型。

3. 按照模型参数的关系是否依赖于时间分类

(1) 时变模型 (time varying model)。模型中的变量在不同时间呈现不同值,即时间是相互关系中的明显的自变量。例如干燥过程的模型即属时变模型,物料的温度和水分每时每刻都在变化。时变模型也叫动态模型。

(2) 时不变模型 (time invariant model)。模型描述的过程参数与时间无关,也叫稳态模型。

4. 按照建模的方法分类

(1) 经验模型 (Empirical model)。由实际观察或凭借经验得出的系统或过程中某些参变量间的关系式,叫经验模型。它是一种直观的,未深入到系统内部的模型。科学发展最初阶段建立的模型多属于经验模型。

(2) 理论模型 (Theoretical model)。根据严格的物理、化学或生物科学等理论建立的数学模型称为理论模型,也叫机理模型。

第二节 模 拟

一、模拟的定义

利用计算机对工程系统进行模拟已经成为近年来工程系统研究中的一个重要手段。系统模拟已经发展成一门科学,它可以帮助我们研究一个动态过程中各个与时间有关的因素间的相互关系。目前工程系统的计算机模拟已经广泛应用于化工,轻工,机械设计,农产品加工和干燥等领域。

什么叫模拟 (Simulation)? 不同学者给出了不同的定义,其含义相近,例如:

Morey 等在干燥模拟一文中认为,“模拟是利用一系列的数学模型和有关的数据来描述某一个实际工程系统,并通过计算机预测该系统的性能和各参数对性能的影响”。

Anderson 教授认为:“利用模型研究一个实际工程系统的某些由于随时间变化的输入所引起的系统性能的变化规律的方法叫作模拟”。

日本学者近藤次郎认为“模拟就是利用数学模型使现象再现”。

Shannon 认为“模拟是研究工程系统的一种方法,研究时用另一个实体(数学模型)代替实际系统,其结果可以用来对该系统进行数量上的评价”。

Maryanski 认为“模拟是一种技术,即利用动态模型描述一个系统的行为随时间而变化的情况”。

Nebraska 大学教材认为“模拟是解决实际问题的一种方法,它是按照一定的步骤去分析和研究一个系统的行为”:

- a) 建立该系统的模型,编写计算机程序。
- b) 运行此程序。
- c) 观察、分析和解释输出结果,从而指导生产实践。

清华大学仿真研究室认为“模拟是通过对系统模型的试验去研究一个存在的或正在设计中的系统”。

由以上定义可以看出,模拟是根据物理学,力学,热工学和过程原理建立数学模型,并利用所建立的模型进行试验、分析,以便揭示规律,验证理论,暴露问题。它是工程设计的重要辅助手段,是复杂系统设计、分析、操作、运行及培训的强有力的工具。模拟研究是和计算机的发展紧密联系的。模拟研究的问题大多是比较复杂的动态过程,用人工计算往往是不可能的。如果建立的数学模型考虑到真实系统的许多主要特性和参数,反映了过程或系统的本质,而且编制的程序可操作性强,能够保证工程所需的计算精度,则利用计算机并变换输入的参数便能够预测该系统的性能。模拟试验可以在很多不同的初始条件下进行。计算机模拟比实际系统的试验更方便迅速。有时在实际系统上做不到的而在模拟系统可以做到。模拟的结果可以指出该系统进一步改进的方向,发现新问题,更深入地了解该系统的特性。

二、模拟系统的组成

模拟系统一般由模拟对象、数学模型、计算机和模拟程序等部分组成。

1. 模拟对象 它可以是一个工程系统,如机械工程,化学工程,水利或热力工程。也可以是非工程系统,如生态系统,生物,环境,社会或经济等。

2. 数学模型 利用数学表达式对一个过程或现象进行描述。为此必须对某过程的物理特性有深入的了解,提出表征系统特性的物理模型,找出该过程中某些量之间的相互关系。

3. 计算机 模拟技术的发展是和计算机的发展紧密相连的。模拟是在计算机上进行试验。因此,计算机是模拟的重要组成部分。建立模型以后还必须将它变成计算机程序,相同的模型可以用不同的计算机语言编写程序,即使相同的语言,程序也可以不同,计算机是联系实际系统和模型的工具,模拟分析必须通过计算机来实现。

4. 模拟程序 编制一个符合逻辑思维的计算机程序是模拟中最重要也是最困难的一个组成部分。必须指出模型并不等于程序。编写程序要考虑使用什么语言?要选择合适的计算机,微分模型还要考虑数值解法。此外还要考虑计算时间和精度。现在已经出现了模拟专用语言。

三、模拟的优缺点

1. 模拟的优点

- (1) 模拟可以迅速而方便地深入到一个系统的内部, 了解过程内部的一些实质性问题。
- (2) 利用模拟可以大大缩短一个工程系统的设计和试验时间。它可以预测机器的性能, 可以部分代替常规试验, 利用计算机在极短的时间内完成性能试验。
- (3) 由于计算机的运算速度极快, 又可以方便地改变输入参数。因而利用模拟可以进行参数分析, 可以解决人工所不能完成的复杂计算问题。
- (4) 模拟可以保证计算精度, 避免一些意外因素产生误差。
- (5) 经济, 省工, 省时, 只需要一台计算机, 不需要复杂昂贵的设备。
- (6) 可以进行灵敏度分析 (Sensitivity Analysis), 可以用于干燥机的放大 (Scale up)。

2. 模拟的缺点

- (1) 开发模拟程序需要具有较深入的过程理论, 计算方法及微机应用知识, 需要一定的时间调试程序。分析、探索实际的干燥过程往往比较复杂, 影响因素很多而且经常变化, 因此, 开发一个模拟程序要花费很长的时间。
- (2) 建立模型时的一些假设可能不切合实际, 因而导致模型的失败。模型中的一些参数不易确定。
- (3) 模拟结果的验证比较困难。

四、模拟的作用

数学模拟既可用于干燥和加工过程的分析, 也可用于开发和设计干燥设备。简言之, 它可用于研究各种因素对干燥过程的影响。这种模拟研究具有模拟试验的特点, 可以节省人力、物力和时间, 可以完成在实际实验中难以进行的考察。例如, 对于一些在实际中不能采用或不宜采用的条件, 可以用数学模拟的方法进行研究, 即数学模拟可以在需要时外推至一般所允许的操作范围以外, 数学模拟可以不因时间因素而引起困难, 即对于时间这个变量, 可以采用很大或很小的数值, 而不会引起在实际实验中可能发生的问题。在研究、设计和开发阶段, 模拟的作用是不同的。

1. 研究阶段 在研究、开发阶段, 需要一个根据初步分析及少量数据而得的模拟程序, 以便探讨各个因素或不同条件对该过程的影响, 并从经济上加以分析和比较。对于在经济上可行的过程, 还要对其规模大小和操作条件的影响进行模拟考察。通常, 对于一个干燥设备的开发, 一般都需要逐级放大。模拟技术发展到目前阶段, 对于不同的过程, 根据其复杂程度和对它了解的深度, 有可能用过程模拟代替中间试验。同时, 中间试验的作用也可以转变为以检验和改造已建立的数学模型为主。

2. 设计阶段 在设计阶段, 通过计算机模拟可以很方便地在不同的方案中进行比较。例如, 有目的地改变某些操作条件, 改变设备的大小及其相互间的排列位置, 或引入某些新的影响因素。通过模拟还可以在设计中从经济、节能等不同角度进行方案选择, 以达到

优化的目的。此外,以精确的数学模型和可靠的数据为基础的模拟软件有利于设计中的设备计算和参数选择,减少设计计算中的不肯定因素,加速设备的研制和开发。

3. 生产阶段 在生产阶段,利用计算机模拟技术,可以对改变生产条件、改进控制系统和引进新的技术等进行考察,使工厂操作达到最优化。利用过程模拟还可以对操作人员进行培训,提高其技术水平。总之,对模拟的作用可以归纳如下:

(1) 分析的工具。采用合理的模型进行模拟,能够研究一个机器或工程系统中各参数间的相互关系,分析各参数对该系统性能的影响。

(2) 试验的手段。建立模拟程序以后,利用计算机变换主要参数是非常容易的,因而可以在计算机上进行实际系统的试验。每执行一次程序便等于进行一次实际试验。尽管与实际系统可能存在一定误差,但是它可以帮助研究人员更好地了解实际系统的特性,指出改进的方向和途径。这在研究一个新的系统方案时是很重要的。

(3) 辅助设计。模拟方法常常被用于机器的辅助设计,参数选择,决定尺寸,进行各种方案和工艺流程的比较。从而起到系统的辅助设计作用。以谷物干燥机的设计为例,英国干燥专家 M.E.Nellist 利用计算机模拟方法确定了顺流干燥逆流冷却型干燥机的主要参数和结构尺寸。

五、模拟的步骤

1. 确定模拟的目标 模拟的目的是解决实际问题,进行模拟以前必须确定模拟的对象和需要解决的实际问题,在选定一个模拟对象时,必须考虑建模的可能性和利用模型的有效性,要充分估计开展工作时的复杂性。例如:滚筒干燥中风量和风温对干燥速度和能耗的影响问题就是一个模拟对象。模拟过程中很重要的一点是将研究的对象(系统)分解成几个环节或部分,每个环节必需能够用比较简单的数学方程进行描述,作为环节可以是机器的部件,也可以是一个过程(如谷物干燥中的预热,干燥,缓苏和冷却)。模拟的目的应尽可能明确具体。

2. 搜集有关数据和资料 根据模拟的目的和要求广泛搜集资料和试验数据,并进行分析归纳,然后订出计划。对模拟所需的条件和工作量要作充分的估计。此外还应考虑设备情况。

3. 建立模型 所谓建立模型是指描述一个系统各个环节和其相互关系的所有数学方程式的总和,此外,还应包括边界条件和初始条件,以及输入变量的变化范围的限制。一般可以通过理论分析或回归方法建立模型,模拟模型应反应实际工程系统的性能和各因素间的关系。一旦建立了数学模型,则应广泛搜集试验数据使模型参数化。大多数情况下,可以利用前人的研究成果或数据,有时甚至要作一些试验,以便创建新模型和确定模型中的系数。

4. 编制框图和计算机模拟程序 一旦建立了模型便可以编制框图和模拟程序,为此必须确定求解方程的方法,决定输入和输出的参数,选择计算机和语言。如果建立的模型为偏微分方程则应考虑采用什么样的数值解法,是有限元法还是差分方法,在编写计算机程序时还应考虑计算时间和收敛性。

5. 程序运行设计 一个完整的数学模拟要求利用计算机在不同的输入参数条件下多