

过程系统建模与仿真

陈宗海 编著



中国科学技术大学出版社

过程系统建模与仿真

陈宗海 编著

中国科学技术大学出版社

1997·合肥

图书在版编目(CIP)数据

过程系统建模与仿真/陈宗海 编著.

—合肥:中国科学技术大学出版社,1997年10月

ISBN 7-312-00956-5

I 过程系统建模与仿真

I 陈宗海

II ① 过程系统 ② 建模 ③ 仿真

IV TP

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号,邮编:230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:23.25 字数:560千

1997年10月第1版 1997年10月第1次印刷

印数:1—3000册

ISBN 7-312-00956-5/TP·195 定价:29.00元

内 容 简 介

过程系统的建模与仿真是系统分析、研究、设计、运行和操作培训的有力工具，本书系统地讲述过程系统的建模与仿真的基本方法、基本原理及应用实例。

本书共分十章，包括概论，数学模型与建模原理，过程单元动态数学模型的建立，过程系统模型化，连续系统的数字仿真，随机噪声的数字仿真，连续系统仿真与控制器参数优化，过程系统的仿真方法，基于仿真的过程系统的优化方法，过程计算机操作训练仿真。

本书是作者多年从事系统仿真的教学和科研工作的实践。其特点是理论联系实际。在本书附录中给出了三个仿真实验的程序说明，每章附有习题。

本书可供自动化、自动控制、过程系统工程等专业的本科生和研究生使用，亦可供上述领域的工程技术人员和科研人员阅读。

前 言

解决过程系统性能的优化与控制问题正面临着越来越大的挑战。模型构造的方法反映了人类构思最本质的特征,而仿真对于改进决策支持的效果正在起着本质和最终的作用。近年来,由于环境与安全规范、对产品质量的进一步要求,以及更为激烈的市场竞争,使得“过程工业”持续不断的发展。是否以最小代价、最短时间去响应市场需求决定着能否有合理的利润。过程系统的建模与仿真正是解决过程系统设计、操作方案选择、控制和优化实施、人员素质培训等问题的重要手段。

过程系统建模与仿真的发展方兴未艾,是广大从事过程系统研究和实际应用的科学工作者和工程技术人员迫切需要了解和掌握的。本书是作者在中国科大自动化系从事多年教学工作的基础上,结合作者近年来在此领域的研究实践和成果整理而成的。本书的最大特色就是理论联系实际。另外,为使读者(尤其是学生)能深入理解概念,掌握方法,在每章中附有实例和一定量的习题。

全书共分十章,首先介绍过程系统、系统模型与系统仿真的概念及应用领域;第二章对数学模型的形式、数学建模的方法学进行了介绍;第三章就过程单元数学模型建立的途径,结合实例对机理方法和实验方法作了阐述;第四章从过程系统的结构、自由度分析和过程单元数学模型举例,给出了过程系统模型化的一个完整的画面,并在章末对物性数据及其估计算法作了简单地介绍;第五、六、七章分别介绍了连续系统仿真、采样控制系统仿真、随机噪声仿真以及连续系统仿真与控制器参数优化的原理和方法;第八章总结了过程系统仿真的方法,并就一个典型的过程流程仿真系统作了简单的介绍;第九、十章分别讨论了过程仿真在过程操作参数优化和过程操作训练方面的应用;在附录中给出了必要的数学基础知识和几个仿真实验。

本书的相关系数法建模的材料是由吴刚同志提供,荀勇同志编写了全部的仿真实验程序。

孙德敏教授审阅了全部书稿,并提出许多宝贵意见,在此深表谢意。另外,在写作本书时,参阅了一些国内外有关著作和资料,有的还引用了其中的部分内容,谨向有关作者表示衷心的感谢。

限于作者水平和实践经验,书中可能会有不少缺点和错误,恳请读者批评、指正。

作者

1997年2月

目 录

1	概论	(1)
1.1	过程系统	(1)
1.1.1	系统	(1)
1.1.2	过程与过程系统	(1)
1.2	系统模型与系统仿真	(3)
1.2.1	系统模型	(3)
1.2.2	系统仿真	(4)
1.2.3	过程系统仿真	(6)
1.2.4	系统仿真的应用	(7)
	习题	(8)
2	数学模型与建模原理	(9)
2.1	数学模型目标上的二元性	(9)
2.2	数学建模方法学	(10)
2.2.1	系统方法学概述	(10)
2.2.2	建模过程的信息源	(11)
2.2.3	建模途径	(12)
2.2.4	模型可信度	(12)
2.2.5	建模过程	(13)
2.3	数学模型的表述形式	(14)
2.3.1	差分方程和微分方程的模型形式	(14)
2.3.2	偏微分方程的模型形式	(16)
	习题	(16)
3	过程单元动态数学模型的建立	(17)
3.1	建立动态数学模型的途径	(18)
3.1.1	机理模型的建立	(18)
3.1.2	系统辨识和参数估计	(18)
3.1.3	开环与闭环辨识	(19)
3.1.4	在线优化模型参数	(20)
3.2	机理建模	(20)
3.2.1	有自衡能力对象的数学模型	(21)

3.2.2 无自衡能力对象的数学模型	(25)
3.2.3 多容对象的数学模型	(26)
3.3 求取对象数学模型的实验方法	(28)
3.3.1 响应曲线法	(28)
3.3.2 在线闭环试验法	(33)
3.3.3 最小二乘参数估计法	(34)
3.3.4 相关系数法	(37)
习题	(39)
4 过程系统的模型化	(41)
4.1 过程系统的结构分析	(41)
4.1.1 有向图描述系统结构	(41)
4.1.2 有向图的矩阵表示——结构矩阵	(43)
4.1.3 过程系统结构的表格表示——结构表	(45)
4.1.4 系统结构的代数表示——联结方程	(46)
4.2 过程系统的自由度分析	(48)
4.2.1 自由度概念	(48)
4.2.2 物流的自由度	(49)
4.2.3 过程单元的自由度	(51)
4.2.4 过程系统的自由度	(58)
4.2.5 决策变量的确定	(61)
4.3 过程单元的模型化	(68)
4.3.1 闪蒸单元的建模	(69)
4.3.2 分层器单元的建模	(71)
4.3.3 精馏塔的建模	(73)
4.4 物性数据与估算方法	(75)
4.4.1 基础物性	(75)
4.4.2 物性数据系统	(77)
习题	(79)
5 连续系统的数字仿真	(82)
5.1 连续系统数字仿真的基本概念	(82)
5.1.1 连续系统的数学模型	(82)
5.1.2 数值积分法与离散相似法	(87)
5.1.3 连续系统数字仿真的特点	(88)
5.2 数值积分法	(88)
5.2.1 欧拉法	(88)
5.2.2 梯形法	(89)
5.2.3 龙格-库塔方法	(90)

5.2.4 稳定性分析	(92)
5.2.5 积分步长的选择与控制	(93)
5.2.6 数值积分方法的选择	(95)
5.2.7 面向微分方程的系统仿真	(96)
5.2.8 面向结构图的系统仿真	(98)
5.3 连续系统离散相似法数字仿真	(102)
5.3.1 连续系统状态方程的离散模型	(103)
5.3.2 典型环节的离散化模型	(105)
5.3.3 采用离散化模型的系统仿真	(108)
5.3.4 含有非线性环节的系统仿真	(111)
5.3.5 离散相似模型的校正	(113)
5.4 连续系统的快速仿真与实时仿真	(119)
5.4.1 连续系统的快速数字仿真	(120)
5.4.2 连续系统的实时仿真算法	(133)
5.5 采样控制系统的数字仿真	(134)
5.5.1 采样周期与计算步距	(135)
5.5.2 改变数字控制器的采样间隔	(136)
5.5.3 具有纯滞后环节的采样控制系统的仿真研究	(137)
5.5.4 前馈控制	(140)
5.6 函数发生的隐含方法	(143)
5.6.1 建立在反馈基础上的隐含方法	(143)
5.6.2 隐含方法的数学说明	(145)
5.6.3 非线性联立方程的数值解	(148)
5.6.4 联立关系的隐含解	(149)
习题	(150)
6 随机噪声的数字仿真	(154)
6.1 随机变量与随机过程	(154)
6.1.1 确定系统与随机过程	(154)
6.1.2 随机事件与随机变量	(155)
6.1.3 常用的几种概率分布	(157)
6.1.4 随机过程	(160)
6.2 随机过程的基本特性	(162)
6.3 随机噪声的传递特性	(166)
6.3.1 互功率谱密度与频率特性	(166)
6.3.2 自功率谱密度与频率特性	(166)
6.4 随机噪声基本特性的数字量测	(167)
6.4.1 均值与方差的计算	(167)
6.4.2 概率密度函数的数值计算	(168)

6.4.3	自相关函数的数值计算	(168)
6.4.4	功率谱密度的数值计算	(171)
6.5	随机噪声的数字仿真	(173)
6.5.1	随机数的产生	(173)
6.5.2	对随机噪声按概率分布要求进行整形	(176)
6.5.3	对随机噪声按功率谱密度要求进行整形	(177)
	习题	(178)
7	连续系统仿真与控制器参数优化	(180)
7.1	系统仿真与参数优化	(180)
7.1.1	间接寻优法	(180)
7.1.2	直接寻优法	(181)
7.2	单变量寻优技术	(183)
7.2.1	fibonacci 法	(184)
7.2.2	等间隔分割法	(187)
7.2.3	黄金分割法	(188)
7.2.4	二次插值法	(188)
7.3	多变量寻优技术	(190)
7.3.1	最速下降法	(190)
7.3.2	共轭梯度法	(192)
7.3.3	松弛与单纯形法(模式法)	(195)
7.3.4	在寻优过程中对限制条件的处理	(198)
7.4	控制系统调节器的参数优化	(199)
7.4.1	控制系统的品质指标	(199)
7.4.2	PID 调节器的参数优化	(201)
	习题	(203)
8	过程系统的仿真(模拟)方法	(206)
8.1	序贯模块法	(207)
8.1.1	序贯模块法原理	(207)
8.1.2	再循环流的断裂(切断)	(209)
8.1.3	断裂流股变量的收敛	(218)
8.1.4	序贯模块法应用	(221)
8.2	面向方程法	(223)
8.2.1	面向方程法原理	(223)
8.2.2	大型稀疏非线性方程组的降维解法	(224)
8.2.3	联立拟线性方程组法解大型稀疏非线性方程组	(231)
8.3	联立模块法	(236)
8.3.1	联立模块法的原理	(236)

8.3.2 建立简化模型的两种切断方式	(237)
8.3.3 单元简化模型	(240)
8.4 典型工艺流程仿真系统介绍	(247)
8.4.1 流程仿真系统的构成	(247)
8.4.2 PROCESS 系统简介	(247)
8.4.3 专用流程仿真系统	(248)
习题	(249)
9 基于仿真的过程系统优化方法	(252)
9.1 最优化基本概念	(252)
9.1.1 最优化问题的数学定义	(252)
9.1.2 最优化方法的分类	(255)
9.1.3 过程系统参数优化的类型及特点	(256)
9.2 稳态模拟优化法	(259)
9.2.1 稳态模拟优化法原理	(259)
9.2.2 可行路径过程系统参数优化法	(261)
9.2.3 序列二次规划法	(264)
9.2.4 不可行路径面向方程法	(273)
9.2.5 不可行路径联立模块法	(277)
9.2.6 不可行路径序贯模块法	(279)
9.3 动态系统参数的变分优化法	(281)
9.3.1 无约束连续系统的最优化	(282)
9.3.2 有微分形式约束方程的连续系统优化	(284)
9.3.3 有不等式约束的连续系统优化	(296)
9.4 过程系统操作优化举例	(297)
9.4.1 流程分析与数据处理	(297)
9.4.2 模型建立	(299)
9.4.3 参数优化	(300)
习题	(301)
10 过程计算机操作训练仿真	(303)
10.1 过程计算机操作训练仿真的特点	(303)
10.2 过程计算机操作训练仿真的数学模型	(304)
10.2.1 过程操作训练仿真用数学模型的特点	(304)
10.2.2 过程训练仿真用数学模型建立的方法与步骤	(304)
10.2.3 建模举例	(308)
10.2.4 数学模型的处理策略	(319)
10.3 过程仿真培训系统的研制过程和发展趋势	(321)
10.3.1 过程仿真培训系统的研制步骤及相关的专业知识	(322)

10.3.2 过程仿真培训系统的评价 (323)

10.3.3 过程仿真培训系统的现状及发展趋势 (323)

附录 1 数学基础:拉普拉斯变换、采样过程及 Z 变换 (331)

 A 拉普拉斯变换 (331)

 B 采样过程 (334)

 C Z 变换 (337)

 D 脉冲传递函数 (341)

附录 2 仿真实验 (344)

 实验 1 面向方程的数值积分方法仿真 (344)

 实验 2 面向结构图的线性系统仿真 (353)

 实验 3 离散相似法非线性系统仿真 (355)

参考文献..... (358)

1 概 论

1.1 过程系统

1.1.1 系统

系统一词已被广泛应用于各种领域,但在各个不同的领域内的含义是不尽相同的。这里定义:系统是由相互联系、相互作用的若干组成部分结合而成的,具有特定功能的总机体。由电器部件构成的电网或电路,化工设备和管道等构成的生产流程,管理部门构成的职能系统,公路、铁路构成的交通网等都是系统。系统具有三个主要特点:

- ① 系统存在于环境中;
- ② 系统的大小是相对的,边界是人为划定的;
- ③ 系统具有嵌套性,系统往往可以划分成若干个子系统,而每个子系统又可分解成若干更低一级的子系统。

在自然界和人类社会中存在着各种各样的系统。有的完全是由自然界本身构成的自然系统,如海洋系统、气象系统、生态系统等。有的则是由人工制造成的各种物体所组成的人造系统,如各种工程系统、计算机系统等等。

人造系统,往往是为了满足某种需要或者达到一定经济效益而构造的。例如,化工联合企业可以看作系统,所属的工厂可看作该联合企业的子系统,工厂又可分为若干个车间,车间的子系统是工段,等等。在任意给定时间、系统所有实体、属性和活动情况的信息之集合称为系统在该时刻的状态,能表示系统状态的变量称为状态变量,系统有许多可能的状态,而系统模型就是描述系统状态变化的关系的。

1.1.2 过程与过程系统

对原料进行物理的或化学的加工处理称作过程。特定的过程称作过程单元,分离过程单元、反应过程单元、换热过程单元等都是过程单元。过程单元按照一定的方式相互联结在一起形成的网络称作过程系统,如化工过程系统、石油加工过程系统、医药生产过程系统、冶金过程系统等等。过程单元间是通过物料流和能量流相互联结的。物料流借助于管线、输送带传送,能量流包括热流和功流。图 1.1 中的过程系统由四个过程单元组成,它们之间由管线联结(物料流),热流 Q 和功流 W 则属于能流。因此,过程系统又可定义为:

$$\text{过程系统} = \{\text{过程单元}\} + \{\text{单元间联结关系}\}$$

过程单元间联结关系的集合称为“系统结构”。当一个系统由具有特定功能的各个过程单元按照一定方式相联结时,就确定了一定的系统功能,即可以使系统的输入流股转变成系统的

输出流股。系统功能表现为系统与环境间的相互作用,环境向系统提供输入量,同时又接受系统的输出量。我们可以采用不同的过程单元和系统结构构造可达到同一系统功能的多个系统,但就满足系统功能的效果(如利润、投资、原料路线)而论,这些系统是各不相同的。

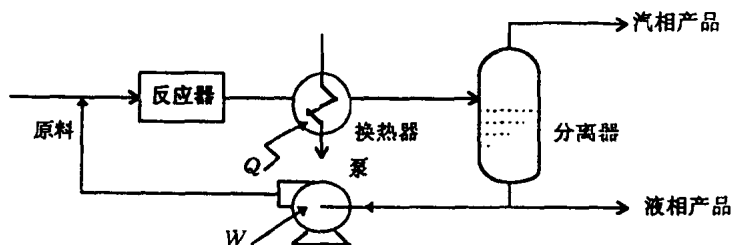


图 1.1 过程系统

根据不同的分类原则,有如下几种过程系统的分类方法:

1. 根据过程系统的功能分类

多以单元操作可明确地表征和区别的系统进行分类,可分为:

- ① 换热系统(热回收系统);
- ② 物料分离系统;
- ③ 具有热集成的物料分离系统;
- ④ 物料混合系统;
- ⑤ 物料变换系统(反应系统);
- ⑥ 控制系统;
- ⑦ 开停车系统;
- ⑧ 备用系统。

若系统仅仅是由同类型的过程单元所组成,例如仅由热换级或蒸馏级组成,则称该系统为“同类(或均质)”系统,反之为“非同类(或非均质)”系统。

所有的实际系统都是非同类的。但在研究过程中,可以忽略系统中的非同类单元,通过相应的简化可以将实际非同类系统转化成便于研究的同类系统。

2. 根据过程系统结构分类

通常过程系统十分复杂,若对系统仔细考察可以发现,过程单元均以下面四种典型的方式互相联结在一起:①串联联结;②并联联结;③绕行(旁路)联结;④反馈联结。

图 1.2(a),(b),(c),(d)分别表示单元的串联、并联、绕行和反馈联结。

在实际过程系统中,上述基本联结往往是交织在一起的。图 1.3 给定了一个较复杂系统,它包括了串联、并联、绕行和反馈四种联结方式。无论系统有多复杂,也是由若干具有基本联结结构的子系统构成的。

3. 根据输出的时间行为分类

基于系统输出量随时间的变化关系,可分为:①连续系统;②拟连续系统;③间歇系统。在一定的时间内,若系统输出量不随时间变化,则系统称为连续的;若系统输出量随时间显著变化,则为间歇系统;若系统输出量随时间变化十分缓慢,可用平均值表征系统,则为拟连续系统。例如系统中包括多个间歇操作的单元,且操作循环周期调整到使系统的输出量几乎不随时

间变化,则该系统是一种拟连续系统。三个并联循环操作的吸附级系统就是拟连续系统的一个典型例子。

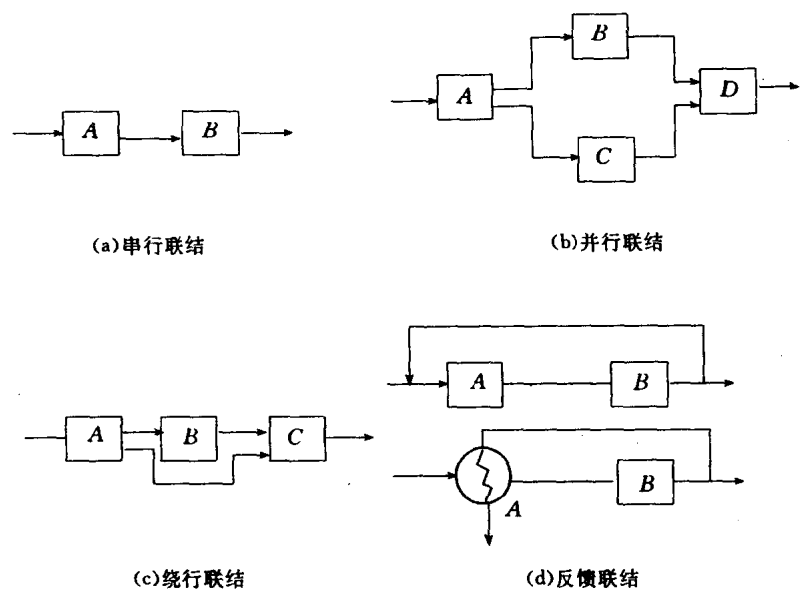


图 1.2 单元的联结方式

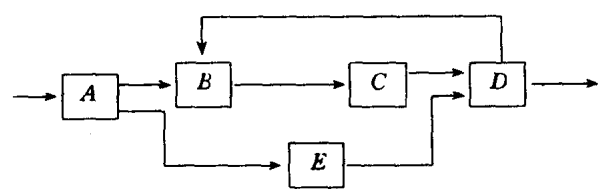


图 1.3 复杂系统

1.2 系统模型与系统仿真

1.2.1 系统模型

1. 系统模型的定义

研究一个系统的目的是为了了解系统各个组成部分之间的关系,或者是为了预示系统在一种新的工作策略下的执行情况。然而,要对这种系统进行实际试验也许是不可能的,或者这个系统实际并不存在,或者正在设计之中,或者研究费用很大而效果很差,或者会导致现有工作系统的破坏和工作人员的伤亡。由于许多系统不具有实际试验的可能性,这时就需要按实际系统建立系统模型(物理模型或数学模型)进行研究,然后利用模型实验研究的结果来推断实际系统的工作。模型是系统的一种表示,是为了研究系统的目的而开发的,是系统的内在联系及它与外界的关系的一种描述。这种使用模型来研究系统的方法叫做系统模拟或系统仿真,简

称“仿真”。

人们之所以可以用模型来模仿实际系统,是因为各种系统有一定的相似性与同形性。虽然很多系统的组成元素有差异,其组成元素的微观结构不尽相同,但通过一定的组织之后,都可表现出几乎同样的行为。例如,细菌的繁殖,人口增长,科学书籍种类的增加,银行中本息总额的增加,都具有同样的行为,即它们都符合指数增长的规律。

2. 模型的分类

模型的分类方法很多,可以根据模型的表示方式简单地将模型分成物理模型和数学模型。

①物理模型:又称实体模型,它是实际系统在尺寸上缩小或放大后的相似体。因此其外观与实际系统极为相似,描述的逼真感较强。例如,建筑师做缩小比例的房屋模型,作为自己的设计方案。物理模型用于土木建筑、水利工程、船舶、飞机等制造方面。

②数学模型:是用数学方程(通常是一些代数方程和微分方程的组合)来描述实际系统的结构和性能的模式。若模型中不含时间因素,则称为静态模型;若模型与时间有关,则称为动态模型。

一个真实系统,它的内在联系以及和外界的关系,一般是很复杂的,用系统模型完全准确地描述系统是很困难的,只能是近似地描述。建立在物理属性相似基础上的物理模型,描述真实系统的逼真感虽然较强,但是对于复杂的系统,建立物理模型所需费用大,而且要修改参数或改变结构都很困难。因此,将系统的内在联系和它与外界的关系抽象为数学模型,是当今使用最广泛的系统描述方法。本书所述的建模与仿真就是以数学模型为基础的。

3. 建模

建模是一项有悠久历史的人类活动。建立在科学工程方法基础上的人与外部世界的相互作用,看起来已有了“形式化”模型或者说抽象的表示方法,这就仿佛是一把关键的钥匙。科学研究中的绝大部分工作(有些人甚至认为是全部)是形式化过程和建立模型的过程所组成的。通过观察和实验,科学家们试图建立抽象的表示方法和定律,这些方法、定律是对现实世界中有关的已经证明了的假设的形式化。这种形式化“模型”仅在它抓住了实际系统中的基本性质时才有用。它使得人们有可能进行推理、分析和设计。所以从某种意义上说它给我们提供了控制的能力。

过程系统的模型化,通常指的是用数学模型刻划描述过程系统。由于过程系统的特点,其数学模型主要由两部分组成:

- ①描述过程单元的过程单元模型。
- ②描述过程单元间联结关系的过程系统结构模型。

1.2.2 系统仿真

1. 系统仿真的基本概念

系统仿真是根据被研究的真实系统的模型,利用计算机进行实验研究的一种方法。它是建立在系统科学、系统识别、控制理论、计算技术与控制工程基础上的一门综合性很强的实验科学技术,是分析、综合各类系统,特别是大系统的一种研究方法和有力的工具。

系统仿真实质上是利用相似原理,即把在客观相似的事物上进行的大量实验所取得的结果或多或少地能用到真实的物体上去。一般来说,模型与真实物相似性愈大,这种结果的可靠性愈高。

用物理模型来模仿实际系统,通常称为“物理仿真”。例如,要研究电力系统的暂态过程,可以用许多小容量同步电机、感应电动机和直流电机组成一个电力系统的仿真模型,然后在这个模型上进行实验研究,用实验研究的结果来指导电力系统的设计和运行。

随着计算机的发展,计算机求解复杂系统数学模型的功能也越来越强。因此,采用计算机对系统进行数字仿真已日益为人们所重视和应用。数字仿真试验所需的时间比物理仿真大大缩短,试验数据的处理也要简单得多。

由于数字仿真的主要工具是计算机,因此一般又称为“计算机仿真”。计算机仿真又分三种:用模拟计算机进行仿真的,称为“模拟仿真”;用数字计算机进行仿真的,称为“数字仿真”;用数字计算机和模拟计算机联合进行仿真的,称为“混合仿真”。本书重点讨论数字仿真。

2. 系统仿真的基本步骤

系统仿真的过程就是建立系统模型并通过模型在计算机上的运行来对模型进行检验和修正,使模型不断趋于完善的过程。所有仿真研究如同计算机应用软件开发一样,都分为若干阶段。图 1.4 描述了系统仿真研究的基本步骤。

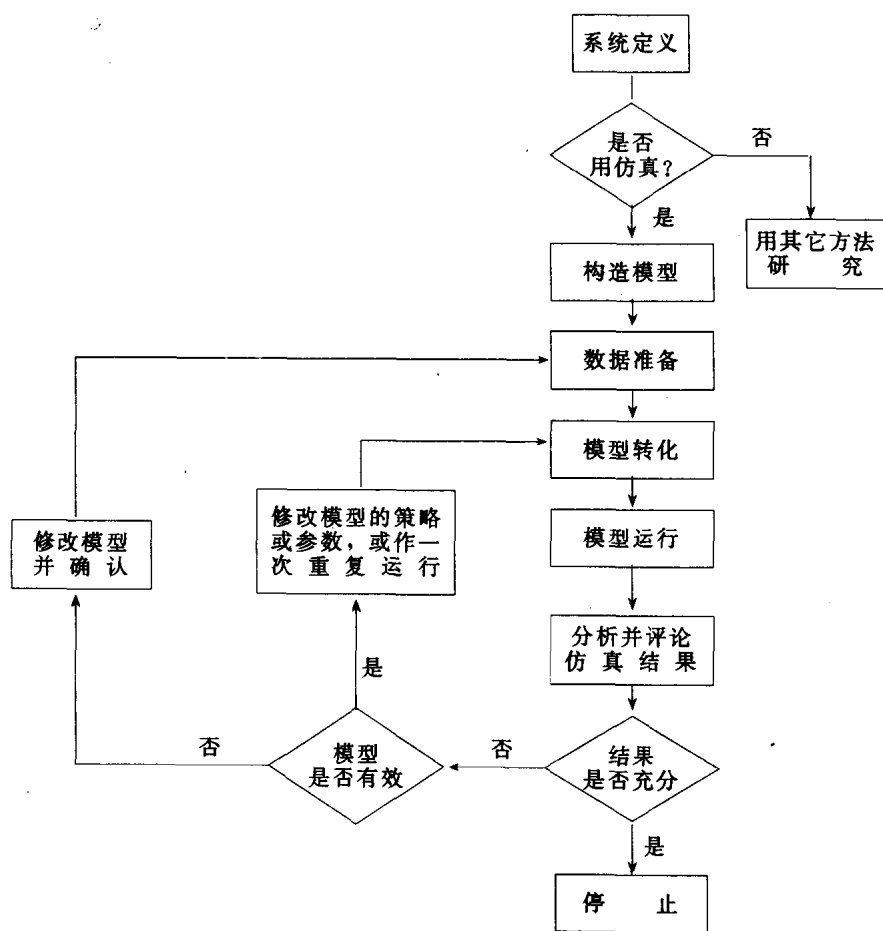


图 1.4 系统仿真过程

系统定义:是指在试图求解问题以前,详细地定义系统。定义一个系统时首先必须提出明

确的准则来描述系统目标及是否达到目标的衡量标准,其次必须描述系统的约束条件。然后要确定研究的范围,即确定哪些实体属于要研究的系统,哪些属于系统的环境。

构造模型:构造模型时要把真实系统缩小抽象,使它规范化,必须确定模型的要素、变量和参数以及它们之间的关系,在一定的约束条件下用数学模型描述所研究的系统。模型必须和研究目的紧密联系,要有明确的目标与要求,模型的性质要求和真实系统尽量接近。同时模型必须尽可能简单明了,容易控制和操作,易于为用户所理解,并应便于修正和改进。但要避免把模型过于简化,不然得到的是一个平庸的模型;也不能过分具体,以致降低模型的效率和难以处理。

数据准备:包括收集数据和决定在模型中如何使用这些数据。收集数据是系统研究的一个组成部分,必须收集所研究系统的输入、输出各项数据以及描述系统各部分之间关系的数据。收集仿真数据要花费很多时间和费用,因此,必须有效地进行观测,按照收集到的数据确定模型中随机变量的概率分布或概率密度函数以及各项参数。

模型转换:指用计算机高级语言或专用仿真语言来描述数学模型,以使用计算机运行模型来仿真被研究的系统。模型是用程序设计语言编成的程序,为此必须在高级语言和专用仿真语言之间作出选择。专用仿真语言的优点是易学、易用,具有面向进程的仿真程序结构,仿真功能强,有良好的诊断措施等。曾有人做过统计比较,在使用仿真语言 GPSS 时,程序设计和调试的时间是用 FORTRAN 语言的 15%,相应地,用于编译和仿真的机器时间为 FORTRAN 语言的 32%,这个结果是带有普遍性的。然而有经验的程序设计人员则认为仿真语言缺乏灵活性。

模型运行:其目的是为了得到有关被研究的系统的信息,了解和预测实际系统运行的情况,特别是在输入数据或决策规则有变化时输出响应的变动情况。因此,模型运行是一个动态过程,要进行反复的试验运行,从而得到所需要的试验数据。

分析并评论仿真结果:由于仿真技术中包括某些主观的方法,如抽象化、直观感觉和设想等,因此在将仿真报告提供管理部门之前,必须对仿真结果作全面的分析和论证。对仿真结果进行分析有两个基本目标:①确定仿真实验中获得的信息是否充分;②把仿真数据精简、归纳并提供管理部门以辅助决策。在①点中,可能要探索新的方案,例如,改变模型的结构或参数,确保仿真结果信息的可靠性。

1.2.3 过程系统仿真

过程系统仿真既涉及过程系统本身,也涉及控制仪表,因此可以被看成是过程工程、自动控制和系统仿真的交叉学科。

而从实际使用的角度看,主要有三类不同的化工过程仿真系统:过程模拟、过程控制仿真和过程训练仿真。可以用图 1.5 表示。

1. 过程模拟

它被用在进行过程的开发、设计及具体工艺的研究、选择等场合,已经用于过程工程界几十年了,并已高度的商品化。例如化工过程中的 Aspen-plus, Process 等模拟软件,它们可以划分为基于方程的与基于模块的。过程模型主要是静态的,近年来也引入动态模型。它们主要用来完成工艺流程设计,包括方案选择、参数确定,也可以用在过程现场进行过程优化。

2. 过程控制仿真

它是用来试验过程控制仪表的,可以用于不同场合,大到复杂的控制系统组成,小到某个