

汪瑞芳 陈东义 编著 / 重庆大学出版社

LIANXU

连续系统仿真及应用技术

XITONG

FANGZHEN

JI YIN

连续系统仿真及应用技术

汪瑞芳 陈东义 编著

重庆大学出版社

内 容 简 介

系统仿真就是建立系统的动态模型并在模型上进行实验（或试验）。

本书主要介绍微机上可实现的连续系统和采样系统的各种基本仿真方法及快速仿真方法，还重点介绍了一般系统仿真应用中的种种技术问题，给出了采用仿真方法解决系统分析、设计、综合研究中的各种实例，配有丰富的习题、实验指示书和程序。

本书内容精练，适用，融教材、习题、实验为一体，是编著者据近年来仿真技术发展情况和自己多年来教学科研工作的经验、成果编著而成，可作自动控制类专业系统仿真课教材，并供从事控制、系统设计及动态特性分析等方面工作的科技工作者参考。

另外备有配合本书教学的MSP软件包软盘，需要者可与重庆大学自动化系陈东义联系。

JS460/12

连续系统仿真及应用技术

汪瑞芳 陈东义 编著

责任编辑 李淑芳 谭 敏

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

隆昌县印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：17.75 字数：443千

1991年3月第1版

1991年3月第1次印刷

印数：1—2500

标准书号：ISBN 7-5624-0327-9 定价：4.63元
TP·21

前 言

系统仿真是近几十年发展起来的一门综合性新技术学科,它为对系统进行研究、分析、设计、决策等,提供了先进的手段。随着计算机的广泛应用,使得系统仿真技术迅猛发展,已成为当今训练有素的科技工作者、工程技术人员和管理人员所必需掌握的一门技术。

本书是一本连续系统数字仿真的教材,供大学高年级学生或非电类学科研究生使用,也可供科技工作者、工程技术人员及管理人员参考,对于自学者也是非常适用的。本书是作者在该校历届“系统仿真”课的讲稿及辅导资料的基础上,参考了大量国内外有关教材及文献资料编著而成,反映了作者十余年从事系统仿真技术教学与科研的经验、体会与成果。

编写本书时,作者力求讲清系统仿真的基本概念、特点及方法,本着实用的原则,侧重于工程上最常用、且易于在微型计算机上实现的方法。针对我们在多年教学中发现的问题,及初学者在学习了系统仿真课之后,往往不知如何有效地、正确地应用仿真技术解决实际问题,专门写了“仿真应用技术”一章。这章的内容在国内同类教材中很少涉及,但它确是应用工作者,尤其是初学者所必需具备的知识。该书各章、节的内容及结构安排合理,条理性强,重点突出,例题及习题丰富,易于讲授,便于自学。根据仿真技术应用领域广泛的特点,在选材上考虑到了读者的广泛性,使本书的内容尽可能地满足各类工程技术人员的需要,具有通用性。系统仿真是一门实践性很强的课程,为此我们加强了实验这一教学环节,安排了类型丰富的实验。为了方便教师准备实验、学生进行实验,作者不仅给出了内容详尽、合理的实验指导书,而且还研制出了与教材配套的MSP微机仿真软件包(IBM/PC及Apple-Ⅱ两个版本)供实验使用。这个软件包还能满足一般工程应用的需要。因此本书提供了系统仿真课各教学环节的 necessary 资料,形成了一个较完整的仿真课程教学体系。

全书共分六章,第一章主要介绍了系统、模型及仿真的基本概念,着重论述了仿真的特点与性质,最后给出了连续系统仿真最常用的数学模型。第二章主要介绍了连续系统仿真最常用的方法(数值积分法,离散相似法)及程序实现,该章内容为全书的重点和基础。而第三、四两章所介绍的都是在此基础上,根据特殊应用的需要而拓展出的方法。第三章主要讲述了快速仿真方法,并初步介绍了病态系统仿真及实时仿真的内容。第四章为采样数据系统仿真,主要介绍这类系统的特点及相应的仿真方法。第五章介绍如何利用仿真技术进行系统的参数优化,在国内首次提出了仿真试验优化的概念。从仿真试验的角度,论述仿真在系统参数优化中的应用。该章还介绍了最常用的几种寻优方法。第六章为仿真应用技术,主要介绍了在整个系统仿真应用过程中,各个阶段的任务和方法,重点是仿真试验组织与设计,这些内容对于应用工作者来讲,具有非常重要的意义和实用价值。

本书所需的基础知识为线性代数、常微分方程及计算机算法语言。若具有计算方法、优化技术及自动控制原理方面的知识,对于学习是十分有益的。

本教材的授课内容一般需要40~50学时,具体可视学生基础情况而定。附录中给出了各种实验7个,可安排12~20个机时,具体可根据学生上机的熟练程度而定。实验的主要目的是:(1)掌握各种仿真程序的使用方法 & 特点。(2)熟悉计算步距的选取方法及它对仿真精

度、速度及计算稳定性的影响。(3)分析比较各种仿真算法的特点。(4)学会如何应用仿真技术去研究一个实际系统,重点掌握试验设计方法。

本书的第一章、第二章、第四章及附录 I、II、III、V 由汪瑞芳副教授编写,第三章、第五章、第六章及附录 IV 由陈东义讲师编写。全书由汪瑞芳副教授定稿,并由她主持研制了 MSP 软件包。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

在编写该书的过程中,中国系统仿真学会副理事长、清华大学熊光楞教授给予了热情的支持,详细审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,并代作序,对此作者不胜感激。

重庆大学自动化系曹长修教授对于形成本书基础的原讲义作过详细审阅,提供了许多有价值的建议,在此表达我们的感激之意。

重庆大学出版社的李淑芳副总编和责任编辑谭敏同志,对该书的写作及出版给予了热情的鼓励和支持,我们表示衷心的感谢。

重庆大学自动化系李良筑、谢召莉二位老师协助做了许多具体工作,重庆大学自动控制理论教研室的全体同志从各方面给予了热情的支持,我系自动控制专业历届的一些研究生,本科生为 MSP 软件包的研制做了大量的工作,作者在此一并表示诚挚的谢意。

编 著 者

1990年1月于重庆

序

系统仿真是对系统动态模型的实验,即行为产生器在规定的实验条件下驱动模型,从而产生模型行为;因此从广义上讲,仿真是一种基于模型的活动,它包括:模型的建立、简化与验证,模型在计算机上的运行,模型行为的显示与处理等。这就是说,系统仿真是一门涉及系统、模型、数值计算、计算机及其语言、自动控制、运筹学等多方面内容的学科。

系统仿真技术现在已成为研究、设计和分析复杂系统的重要工具,它的应用领域不仅包括航空、航天、化工、电力及制造等各种工程领域,而且还包括交通、环境、生态、生理、社会及经济等各种非工程领域。因此,掌握系统仿真的基本原理及方法对于高等院校中各类专业的学生都是有用的,而对于那些涉及系统工程、自动控制、计算机应用及经济管理专业的学生则更是十分必须的。

由于系统仿真涉及的知识面较宽,所以对于学习与掌握它带来一定的困难。这就要求有几本好的教材和教学参考书。

系统仿真一般被分为两大类,即连续系统仿真与离散事件系统仿真。由于两者在原理与方法上都有一定的差别,再加上各自又都有较为丰富的内容,所以,现有的教材大部分都以讲授其中一类为主,另一类为辅。即使这样,也往往超过30万字。

“连续系统仿真及其应用技术”一书的作者长期从事系统仿真课程的教学,深知学生们在学习连续系统仿真中的难点,因此,虽然该书仅20万字,但却已全面概括了连续系统仿真的主要内容,其主要特点是:

1. 着力阐明系统仿真的基本概念、特点与方法,尤其是对初学者容易混淆及认识模糊的概念,如:系统、模型与仿真之间的关系,离散时间与离散事件系统仿真的区别,仿真方法与数值计算的区别等,都进行了较为透彻地分析与论述;

2. 选材方面,在考虑到学科内容的系统性及完整性的基础上,侧重于具有工程应用价值并且易于推广的内容。为了解决在实际研究工作中如何有效应用仿真技术的问题,专门写了仿真应用技术这一章。

3. 在叙述方法上,对于各种仿真方法都按算法原理、程序实现、特性分析、应用案例的结构编写,使之重点突出,条理性强。

4. 为使读者深入理解教材内容,配备了丰富的习题,并根据系统仿真的教学特点,加强实践环节,安排了各种类型的实验。

希望这本书能受到广大读者的欢迎。

中国系统仿真学会副理事长

熊光楞

1990.1.26

目 录

第一章 概 论	(1)
1.1 系统、模型与仿真	(1)
1.1.1 系统	(1)
1.1.2 模型	(3)
1.1.3 仿真	(5)
1.2 仿真研究的步骤	(6)
1.3 系统仿真的特点	(8)
1.3.1 仿真的实验性质	(8)
1.3.2 数字仿真与分析法	(9)
1.3.3 数字仿真与数值求解	(10)
1.4 仿真的应用	(11)
1.4.1 仿真的应用领域	(11)
1.4.2 仿真应用的类型	(11)
1.4.3 系统仿真的优点	(12)
1.5 仿真的发展与现状	(12)
1.6 微型计算机在系统仿真中的地位	(13)
1.7 系统的数学模型	(14)
1.7.1 连续模型	(14)
1.7.2 连续系统模型的初始条件 ^[6]	(16)
1.7.3 离散时间模型	(18)
1.7.4 采样数据模型	(19)
小结	(19)
习题	(20)
第二章 连续系统数字仿真的基本算法和软件	(22)
2.1 数值积分方法	(22)
2.1.1 欧拉法	(22)
2.1.2 梯形法	(23)
2.1.3 龙格-库塔法	(23)
2.1.4 微分方程数值积分的矩阵分析方法	(25)
2.2 数值积分方法的计算稳定性	(27)

2.2.1	欧拉法的计算稳定性	(28)
2.2.2	梯形法的计算稳定性	(28)
2.2.3	数值积分方法的计算精度、速度、稳定性与步距的关系	(29)
2.3	系统仿真中数值积分方法的选择原则	(29)
2.4	系统仿真软件的功能与结构	(30)
2.5	建立在数值积分基础上的连续系统数字仿真程序剖析	(32)
2.5.1	一般仿真程序的主要功能和结构	(32)
2.5.2	面向微分方程的数字仿真程序	(33)
2.5.3	面向传递函数的数字仿真程序	(45)
2.5.4	面向框图的数字仿真程序	(56)
2.5.5	RGK—Y ₃ 数字仿真程序使用的几点说明	(62)
2.6	连续系统的离散相似法	(67)
2.6.1	连续系统在时域的离散等价模型	(68)
2.6.2	连续系统在z域的离散等价模型	(70)
2.6.3	离散等价模型的精度与稳定性	(80)
2.6.4	离散等价模型的校正	(80)
2.6.5	结论	(82)
2.7	离散相似法数字仿真程序剖析及应用	(84)
2.7.1	简单系统的离散相似法仿真计算	(84)
2.7.2	多环节、多回路系统的离散相似法仿真程序LSX—Y	(86)
2.7.3	推广到非线性系统的离散相似法仿真程序及应用	(91)
2.8	连续系统仿真程序在非工程系统研究中的应用	(100)
2.8.1	商品销售情况的仿真分析	(100)
2.8.2	库存系统的仿真分析	(101)
2.8.3	一个生物学系统的仿真	(102)
小结		(103)
习题		(103)
第三章	快速数字仿真方法	(109)
3.1	替换法	(109)
3.1.1	相匹配原理	(109)
3.1.2	替换法原理	(110)
3.1.3	替换法步骤	(111)
3.1.4	替换法特性分析	(112)
3.2	根匹配法	(113)
3.2.1	根匹配法原理	(113)
3.2.2	根匹配法的步骤	(113)

3.2.3 根匹配法特性分析	(115)
3.3 增广矩阵法	(117)
3.3.1 增广矩阵法原理	(117)
3.3.2 增广矩阵法步骤	(119)
3.3.3 增广矩阵法特性分析	(120)
3.3.4 增广矩阵法在病态系统仿真中的应用	(120)
3.4 数值逆拉氏变换法	(125)
3.4.1 数值逆变换原理	(125)
3.4.2 数值逆变换法仿真的步骤	(128)
3.4.3 数值逆拉氏变换方法的特性分析	(128)
3.5 时域矩阵法	(129)
3.5.1 时域矩阵法原理	(129)
3.5.2 时域矩阵法步骤	(131)
3.5.3 时域矩阵法特性分析	(132)
3.6 实时仿真方法简介	(132)
小结	(134)
习题	(134)
第四章 采样数据系统的仿真	(136)
4.1 连续系统仿真与采样数据系统仿真的关系	(136)
4.2 采样数据系统的仿真	(136)
4.2.1 采样数据系统工作的特点	(136)
4.2.2 计算步距的选取	(137)
4.2.3 采样数据系统数字仿真程序剖析	(137)
4.3 采样系统的快速仿真	(140)
4.4 最小拍系统的仿真	(142)
4.4.1 什么是最小拍系统	(142)
4.4.2 无稳态误差最小拍系统数字控制器设计	(142)
4.4.3 最小拍系统的数字仿真程序结构	(144)
4.4.4 最小拍系统仿真研究举例	(144)
4.4.5 仿真实验内容及结果分析	(146)
4.5 前馈控制对最小拍系统抗干扰能力的改善	(147)
4.6 数字式PID调节系统的仿真	(149)
4.6.1 PID调节器控制规律数字化的方法	(149)
4.6.2 数字式PID调节系统仿真举例	(151)
小结	(152)

习题	(152)
第五章 仿真与优化技术	(155)
5.1 控制系统的参数最优化	(155)
5.2 仿真在优化中的作用	(157)
5.3 单变量函数的优化方法 ^[18]	(158)
5.3.1 分割法	(158)
5.3.2 0.618法	(160)
5.3.3 近似法的基本思想	(161)
5.3.4 三点二次插值法	(161)
5.4 多变量函数的优化方法	(164)
5.4.1 一阶梯度法	(165)
5.4.2 共轭梯度法	(167)
5.4.3 单纯形法	(170)
5.4.4 应用举例	(173)
小结	(175)
习题	(175)
第六章 系统仿真应用技术	(176)
6.1 问题的阐述及系统的定义	(177)
6.1.1 问题阐述	(177)
6.1.2 系统的定义	(178)
6.2 制定研究计划	(179)
6.3 系统模型的建立	(180)
6.3.1 连续数学模型的分类	(180)
6.3.2 建模的原则	(180)
6.3.3 建模的信息来源	(181)
6.3.4 建模的方法	(181)
6.3.5 建模的过程	(182)
6.3.6 为仿真研究建模应注意的一些问题	(182)
6.4 建立仿真模型	(183)
6.4.1 变换的原理与要求	(183)
6.4.2 仿真算法的种类	(184)
6.4.3 有关几种算法的比较	(184)
6.4.4 选择算法的几个准则	(185)
6.5 仿真程序的设计、调试及仿真软件的选择	(185)
6.5.1 选择仿真软件所要考虑的一些问题	(186)
6.5.2 程序设计的过程及编程的若干准则	(186)

6.5.3 程序的调试	(186)
6.6 系统数学模型的确认与修改	(187)
6.7 仿真试验	(188)
6.7.1 仿真的试验性质及特点	(188)
6.7.2 仿真试验设计的必要性及目的	(188)
6.7.3 试验设计的基本术语	(189)
6.7.4 仿真试验的内容及方法	(189)
6.7.5 试验分析方法	(191)
6.7.6 试验准备工作及步骤	(192)
6.7.7 施行试验	(193)
6.7.8 试验结果分析	(193)
6.7.9 试验研究报告	(193)
小结	(194)
习题	(194)
附录 I 实验指示书	(195)
§1 连续系统面向微分方程的数字仿真实验	(195)
§2 连续系统面向结构图的数字仿真实验	(196)
§3 非线性系统的(离散相似法)数字仿真实验	(197)
§4 连续系统快速数字仿真实验之一(时域矩阵法)	(198)
§5 连续系统快速仿真实验之二(增广矩阵法)	(199)
§6 最小拍系统设计的仿真研究实验	(200)
§7 数字式PID调节器最优参数的选择实验	(201)
附录 I 矩阵分析的一些结论 ^[40]	(202)
§1 行列式和矩阵求逆	(202)
§2 特征值与特征向量	(203)
§3 相似变换	(204)
附录 II z 变换的性质及 z 变换表	(205)
§1 z 变换的性质	(205)
§2 z 变换表	(205)
附录 IV 矩阵指数 e^{AT} 的计算 ^[35]	(209)
§1 解析法	(209)
1.1 特征值法	(209)
1.2 频域法	(209)
1.3 Cayley-Hamilton 方法	(210)
§2 数值方法	(210)
2.1 泰勒级数展开方法	(210)
2.2 Pade逼近法	(210)
2.3 缩方与乘方算法	(211)

附录 V 程序清单	(212)
§1 MSP系统仿真软件包 (APPLE- II 机) 部分程序清单	(212)
1.1 MSP主程序清单	(212)
1.2 通用输出及绘图程序清单	(214)
1.3 面向状态方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₁) 的建文件程序清单	(218)
1.4 面向微分方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₂) 的建文件程序清单	(219)
1.5 面向框图的数字仿真程序 (RGK—Y ₃) 清单	(221)
1.6 面向框图的数字仿真程序 (RGK—Y ₃) 的建文件程序清单	(228)
1.7 离散相似法数字仿真程序 (LSX—Y) 清单	(229)
1.8 离散相似法数字仿真程序 (LSX—Y) 的建文件程序清单	(238)
§2 MSP系统仿真软件包 (IBM/PC机) 部分程序清单	(239)
2.1 MSP主程序清单	(239)
2.2 通用输出及绘图程序清单	(242)
2.3 同一算法曲线簇拟合程序清单	(247)
2.4 不同算法的曲线簇拟合程序清单	(252)
2.5 面向状态方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₁) 清单	(257)
2.6 面向状态方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₁) 的建文件程序清单	(260)
2.7 面向微分方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₂) 清单	(262)
2.8 面向微分方程的数字仿真程序 (RGK—Y ₂) 的建文件程序清单	(265)
参考文献	(268)

第一章 概 论

系统仿真是近几十年发展起来的一门综合性技术学科，它为进行系统的研究、分析、决策、设计，以及对专业人员的培训等提供了一种先进的手段，增强了人们对客观世界内在规律的认识能力，有力地推动了那些过去以定性分析为主的学科向定量化方向发展。在系统研究及人员培训中采用仿真技术，可大大减少费用、缩短周期。仿真技术已广泛应用于工程及非工程的广大领域，并取得了巨大的社会及经济效益。

在科学研究及生产实践中，由于受到客观条件（如经济、安全及时间等）的限制，常常不能对所研究的对象直接进行试验。在这种情况下，可以采用间接试验的方法，即建立一个与所研究的对象或过程（一般称为系统或原型）相似的模型，通过模型间接地研究原型的规律性，这种间接试验技术就是系统仿真技术，过去常称之为模拟技术。在工程界，如修建大型水利设施时，需先按一定的比例制作一个小的水利设施模型，并在相似的物理条件下进行研究；又如设计超音速飞机时，先制造一个按比例缩小的飞机模型，在“风洞”中进行高速吹风实验，研究它的空气动力学性能；再如，在实验室内用高压试验装置来模拟自然界的雷击现象。在生物、医学界，研究人员常根据人体和某些哺乳动物的生理过程和病理过程相似的特点，用动物实验来探索病因，筛选药物，以及鉴定药物的疗效和毒性等。这些例子说明，仿真技术早已应用于各个领域之中。

本章将论述系统仿真的定义、分类、特点、研究过程、用途及发展状况，并介绍微机在系统仿真中的地位，及连续系统仿真常采用的几种数学模型。

1.1 系统、模型与仿真

系统是被研究的对象，模型是对系统的描述，而仿真则是一种研究系统的工具或手段，它们三者之间是紧密相关的。

1.1.1 系 统

1. 什么是系统

系统是由具有特定功能的、相互间有机联系的许多要素所构成的整体。如图1.1所示，一个工厂的生产系统由生产管理部门、采购部门、制造车间、装配车间及装运部门诸要素组成；一套生产设备也是一个系统，图1.2所示的自动控制热力设备系统，由自动控制器、温度测量装置、控制阀及加热容器等要素组成；图1.3是票房系统，是一个非工程系统，由购票的旅客及售票窗口等要素组成。

2. 子系统

系统的含义取决于具体的研究目的。某项研究的要素集合，可能只是另一项研究的一个

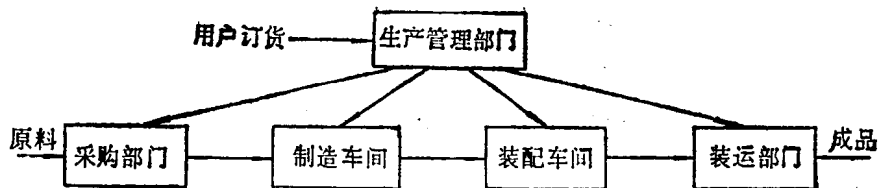


图1.1 工厂生产系统

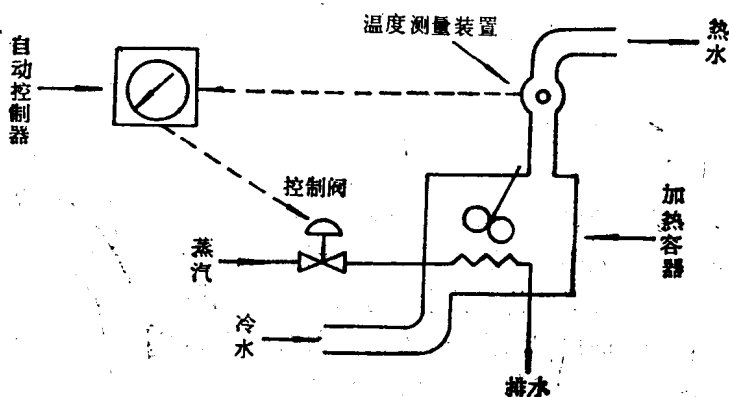


图1.2 自动控制的热力设备系统

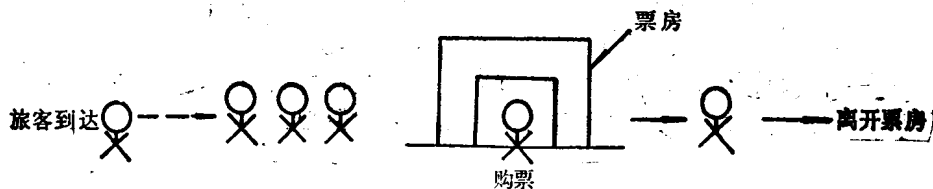


图1.3 票房系统

子集，该子集是总系统的一个组成部分，称之为子系统。实际上，所有系统都是总体系统的一个子系统。一个系统称之为系统还是子系统取决于所描述问题的范围。在图1.1的工厂生产系统中，制造车间就是一个子系统。

3. 系统的环境

所谓系统的环境是指系统以外的与之相联系的外部关系。任何一个系统都存在于一定的物质环境之中，系统要受到环境变化的影响，研究一个系统必须确定它与所处环境及其边界的关系。例如热力设备系统中的外部干扰，票房系统中顾客到达的规律，都可视为外部的环境。

4. 描述系统的常用术语

一般常用以下术语描述组成系统的要素。

实体：存在于系统中的具有确定意义的物体。例如，热力设备系统中的控制器、控制阀及加热容器，票房系统中顾客及售票窗口等。

属性：实体所具有的每一项有效特征。例如，加热容器的温度，控制阀的开度，票房系统中旅客的去向、目的地、购票的种类等都是属性。

活动：系统内部发生的任何变化过程称之为内部活动。系统外部发生的对系统具有影响的任何变化过程称之为外部活动。例如控制阀的开启、顾客购票均为内部活动，干扰及顾客的到达均为外部活动。

5. 系统的分类

系统的分类有许多种，这里介绍系统仿真中常涉及到的几种分类。

连续系统：系统的状态变量是随时间连续变化的。在自动控制的热力设备系统中，温度及阀门开度等状态变量都是平滑变化的，是连续系统。

离散系统：系统状态变量的变化仅发生在一组离散时刻上。计算机系统、定时控制的交通信号灯系统、票房系统以及电话通讯系统等均属离散系统，因为计算机的输入与输出数字信号，交通信号灯的“熄”与“亮”，票房系统中顾客的到达与离去等变化都发生在一组离散的时刻上。需要指出的是，在不同的研究目的下，模型特征和所采用的描述方法不同，离散系统又可分为离散时间系统和离散事件系统。计算机的输入、输出量都是在离散瞬时产生的数字量，它们之间的关系一般可用一组差分方程来描述，这种系统属于离散时间系统。而票房系统则属另外一类离散系统，如果把改变系统状态的某一瞬态事变（如顾客的到达及接受服务等）定义为事件，那么这种系统的状态改变是由在离散瞬时发生的事件所驱动的，所以把这种系统称为离散事件驱动系统，简称离散事件系统。

采样数据系统：系统中一部分具有连续系统的特征，另一部分具有离散时间系统的特征。这类系统又称为连续-离散时间混合系统。计算机控制系统是典型的采样数据系统，因为计算机所构成的控制器的输入与输出信号是断续的数字量，而被控对象的输入与输出一般都是连续变化的物理量。

离散事件-连续混合系统：系统具有离散事件和连续系统两种特征。在仿真界也常称之为离散-连续系统。卸油码头就是离散-连续系统。例如，一油轮装载着原油到达只有一个船位的卸油码头，给码头的贮油罐补充原油，并通过管道输给炼油厂炼制。油轮按照一定的卸油速率把原油输送给贮油罐（当卸油码头工作时，刚到的油轮就得排队），而贮油罐则以不同的规定速率把原油送到炼油厂。其中油轮到达码头排队等待卸油，卸完油后离开码头为离散事件，形成离散事件系统。而油轮和贮油罐中的油量为连续的状态变量，其变化规律可用微分方程描述，具有连续系统特征。

需要指出的是，完全离散或完全连续的系统是很少的，把一个系统描述为连续的、离散的或是混合的，要根据研究的目的来确定。对大多数系统而言，系统在某种变化类型占优势时，通常把它归入相应的离散型或连续型系统。

1.1.2 模 型

1. 什么是模型

模型就是对系统的一种客观描述。用以描述了系统的结构、形态以及信息传递的规律，是系统的一种客观写照或缩影，是分析系统和预报系统特性，以及确定如何控制系统行为的

有力工具。一般地说,模型的特性必须对应于所构模的系统的某些特征。

图1.4表示了模型的概念。在形式上加以理想化,以说明模型通常是真实系统的一种简化。系统和模型都用参数来表示其特征和属性。真实系统的输入和输出都在模型中表达出来,真实系统和模型的输入应当是一致的,它们的输出不一定完全一致。当系统和模型都可以认为是输出与输入之间的变换函数时,适当模型的输出就可用来预测和推断它所代表的真实系统的输出^[2]。

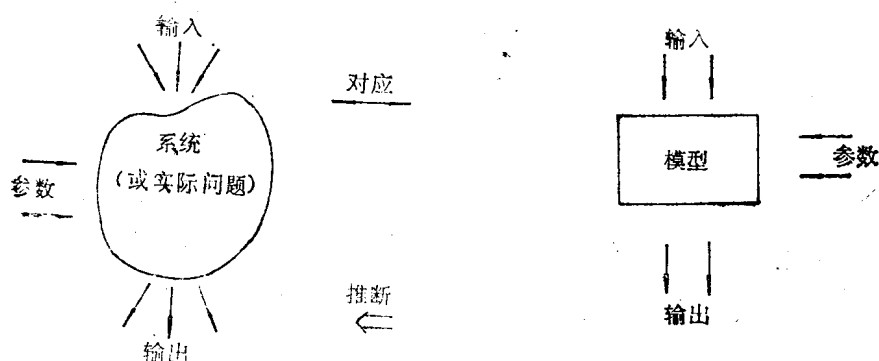


图1.4 模型的图解概念

2. 模型的分类

(1) 物理模型: 物理模型是根据相似原理把实际系统加以缩小或放大的复制品,它保持了结构、形态及工作原理或规律与原型相似,只是在几何尺寸,物理量大小比例上与原型不同,故其现象的物理本质不变。例如我们常用一台同轴的直流发电机作为轧机的负载而构成轧机主传动模型;用许多小容量的同步电机、感应电动机及直流电机组成一个系统作为电力网的模型;用缩小尺寸的飞机及风洞构成飞机试验模型等,这些都是物理模型。

(2) 数学模型: 数学模型是用数学的形式对一个系统的(行为、特征)描述,保持了模型与原型之间信息传递规律的相似。一般数学模型又可分为连续模型、离散时间模型、离散事件模型以及混合模型等。不严谨地说,我们可用类似于定义系统分类的方法来定义模型的分类。通常连续模型用代数方程、微分方程或状态方程来表示,而离散时间模型用差分方程来表示。对于离散事件模型,一般不能用一组方程式来表示,较简单的离散事件系统的模型可采用概率论、排队论及运筹学的方法给以描述(常用到达模式、服务模式及排队规则等),且可用数学分析的方法来求解。而对于较复杂的离散事件系统的模型,则只能用包含逻辑的与数学的关系式来表示,这些关系式用系统的状态、实体以及它们的属性集合、事件、活动和延迟等来描述。这类系统也常用一幅勾画系统进程的逻辑流程图来表示。这类模型一般不能用数学分析方法去求解,只能采用数字仿真的方法去模仿系统随时间运行的情况,就像观察真实系统那样,从仿真中收集数据,用来估计系统的性能。

几点说明:

①一般地讲,实际系统的类型是与描述它的数学模型的类型一致的,即连续系统对应着连续模型,离散系统对应着离散模型。但对一个实际问题而言,将一个系统描述为连续的还是离散的,除考虑系统本身的特征之外,还需根据研究问题的目的、方法及条件来确定。例