

指挥自动化系统 建模与仿真技术

李曙东 王运峰 主编

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

指挥自动化系统 建模与仿真技术

李曙东 王运峰 主编



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从系统模型构建的基本理论与指挥自动化系统设计和建设相结合的角度,阐述了系统建模的基本原理和方法,介绍了主要的应用数学模型、指挥自动化系统建模的现状和指挥自动化建模仿真技术,重点介绍了如何进行指挥自动化系统建模,特别对能够描述具有分布、并发、异步特征的系统的有效工具——Petri 网和 Petri 网在指挥自动化系统设计和建设中的应用进行了专门的介绍。全书共 6 章,包括指挥自动化系统建模的基本概念、建模方法论、模型的构造方法、指挥自动化系统的 Petri 网模型、指挥自动化系统的评价模型与方法、指挥自动化系统建模仿真技术。

本书可作为高等学校指挥自动化专业本科高年级学生或研究生的教材和参考书,也可供从事指挥自动化系统设计和建设等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

指挥自动化系统建模与仿真技术/李曙东,王运峰主
编. —北京:国防工业出版社,2005.5
ISBN 7-118-03840-7

I. 指... II. ①李... ②王... III. ①作战指挥
—指挥控制系统—系统建模②作战指挥—指挥控制系
统—计算机仿真 IV. E072

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 028202 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 296 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

编委会成员

主 编 李曙东 王运峰

主 审 韩天石

编 委 (按姓氏笔画)

王 敏 孙 勇 邢建伟 李 柯

李晓峰 张国春 赵 科 黄琦志

前 言

指挥自动化是在军队指挥体系中建立和运用指挥自动化系统,辅助指挥员和指挥机关实现科学、高效的指挥控制与管理的活动。指挥自动化对于提高指挥效能、增强军队联合作战能力和信息作战能力具有重要的作用,是军队信息化建设的重要内容。指挥自动化系统的建立与设计是复杂的系统工程,指挥自动化系统理论研究的目的在于探讨运用相应的思想、理论、方法、工具与手段来表示、理解、分析、综合、优化、开发与评价指挥自动化系统,指挥自动化系统理论研究的重要内容之一就是建立系统模型与系统仿真。

本书的主要内容有:一是系统建模的基本概念和指挥自动化模型的简要介绍,以及影响指挥自动化系统建模研究的因素和问题;二是建模的一般方法论,包括基于一般系统理论的系统模型的形式化表示、基于计算机的建模方法学和用于复杂系统的结构建模;三是介绍了系统工程中常见的建模方法;四是介绍了基于并发概念上建立起来的 Petri 网理论及 Petri 网在指挥自动化系统描述中的应用;五是指挥自动化系统的评价模型与方法,包括指挥自动化系统评价指标和方法、指挥自动化系统性能评价、指挥自动化系统的效能评价和指挥自动化系统的经济评估;六是介绍了指挥自动化系统建模仿真技术。

在编写过程中,参考和借鉴了国防科技大学罗雪山、张维明等著的《C³I 系统理论基础》一书,在此表示感谢。

指挥自动化系统建模理论、方法与技术所涉及的学科内容较多,作为整体来说是一个新的领域,而且发展迅速,加之我们的理论水平和研究深度的局限性,书中可能存在不妥之处,疏漏和错误也在所难免,诚恳希望有关专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 指挥自动化系统建模的基本概念	1
1.1 系统建模概念	1
1.1.1 模式与模型	1
1.1.2 系统建模	3
1.2 模型的作用和对模型的要求	8
1.2.1 模型的作用	8
1.2.2 对模型的要求	8
1.3 指挥自动化系统模型	9
1.3.1 指挥自动化系统模型的特点	9
1.3.2 对指挥自动化系统模型的基本要求	10
1.3.3 指挥自动化系统模型与指挥自动化系统仿真	10
1.4 影响指挥自动化系统建模研究的因素和问题	14
第 2 章 建模方法论	17
2.1 数学模型	17
2.1.1 数学模型的作用	17
2.1.2 集合、抽象与数学模型	18
2.1.3 数学建模的形式化表示	19
2.1.4 模型的有效性与建模形式化	21
2.1.5 数学模型的分类	23
2.2 建模方法学	25
2.2.1 建模过程的信息源	25
2.2.2 建模途径	26
2.2.3 模型可信性	27
2.3 基于计算机的建模方法学	28
2.3.1 引言	28
2.3.2 全局性建模的基本思路	29
2.3.3 模型对象及其信息存储	30
2.4 解释结构建模	35
2.4.1 基本概念	35
2.4.2 结构建模(解释结构模型法)	38
第 3 章 模型的构造方法	41
3.1 数学建模的原则	41

3.2	数学建模的一般考虑	42
3.3	数学建模的主要步骤	43
3.4	图解建模法	45
3.5	量纲分析法	46
3.6	层次分析法	50
3.6.1	层次分析法的基本原理	50
3.6.2	层次分析法的步骤	54
3.7	概率统计法	56
3.7.1	简单线性回归模型	56
3.7.2	相关分析模型	57
3.8	直接分析法	59
3.8.1	线性规划模型	59
3.8.2	目标规划模型	61
3.9	模糊数学法	62
3.9.1	模糊综合评价	62
3.9.2	模糊聚类分析	64
3.10	系统动力学方法	66
3.10.1	概述	66
3.10.2	系统动力学模型	67
3.11	网络计划分析法	70
3.11.1	网络计划分析模型的结构	70
3.11.2	网络计划模型的优化分析	75
3.12	状态空间分析法	77
3.12.1	基本概念	77
3.12.2	状态空间模型	78
3.12.3	系统的优化控制	80
3.12.4	自适应控制、自学习控制和自组织控制	81
3.13	灰色系统建模法	81
3.13.1	$GM(1, N)$ 模型	82
3.13.2	$GM(1, 1)$ 及其残差模型	83
3.14	系统辨识方法	84
3.14.1	问题的提出	84
3.14.2	系统辨识	85
3.14.3	辨识算法的基本原理与等价准则	86
3.14.4	辨识的内容与步骤	87
第4章	指挥自动化系统的 Petri 网模型	91
4.1	Petri 网的基本概念	91
4.1.1	Petri 网的基本定义	91
4.1.2	Petri 网的运行规则	94

4.1.3	Petri 网系统的分类	98
4.1.4	Petri 网的扩展	99
4.2	Petri 网分析	100
4.2.1	Petri 网分析的问题	100
4.2.2	可达树	102
4.2.3	矩阵方程	104
4.2.4	Petri 网 S 不变量	107
4.2.5	信息流路径分析	113
4.3	Petri 网在指挥自动化系统描述中的应用	117
4.3.1	指挥自动化系统中决策组织的 Petri 网描述	117
4.3.2	指挥自动化系统功能分析与功能的 Petri 网描述	120
4.3.3	指挥自动化系统的 Petri 网模型示例	127
4.4	高级 Petri 网及其在指挥自动化系统描述中的应用	131
4.4.1	谓词/变迁网的基本概念	131
4.4.2	着色 Petri 网及其在指挥控制系统建模中的应用	141
4.4.3	层次 Petri 网	148
第 5 章	指挥自动化系统的评价模型与方法	153
5.1	指挥自动化系统评价指标和方法	153
5.1.1	指挥自动化系统评价的指标体系	153
5.1.2	指挥自动化系统的评价技术和方法	155
5.2	指挥自动化系统性能评价	156
5.2.1	指挥自动化系统可靠性分析	156
5.2.2	基于 Petri 网的评价方法	159
5.3	指挥自动化系统的效能评价	166
5.3.1	SEA 效能评价方法	166
5.3.2	基于层次分析法的效能评价方法	168
5.3.3	指挥自动化系统综合效能评价	172
5.4	指挥自动化系统的经济评估	175
5.4.1	指挥自动化系统的全生命周期费用评估	176
5.4.2	费效分析	179
第 6 章	指挥自动化系统建模仿真技术	181
6.1	系统仿真	181
6.1.1	系统仿真的基本概念	181
6.1.2	系统仿真的步骤	182
6.2	分布式交互仿真技术(DIS)	185
6.2.1	分布式交互仿真的基本概念	185
6.2.2	分布式交互仿真的关键技术	187
6.2.3	HLA(High Level Architecture)体系结构	189
6.3	指挥自动化系统综合建模分析集成环境	191

6.4 指挥自动化系统综合集成建模分析方法框架	192
6.4.1 模型—实验框架—实验执行控制的分离	193
6.4.2 指挥自动化系统综合集成建模仿真的概念框架	194
6.4.3 指挥自动化系统综合集成建模仿真环境	196
参考文献	200

第 1 章 指挥自动化系统建模的基本概念

1.1 系统建模概念

人们将研究的对象(客体)看成一个系统。对所研究的系统通过类比、模拟或抽象手段建立起各种模型,称为系统建模。所建立的模型称为系统模型或简称模型。数学模型是那些利用数学语言来模拟系统的一类模型。

对系统建模或模型化,实质上是控制思想方法的体现。因为我们通常遇到的系统,特别是系统工程中的系统,几乎都是复杂的可控系统,对它们进行分析、设计、评估、研制或检验时,要涉及到系统本身和系统环境的许多因素,这就需要根据控制论的思想,通过模型化方法来分析、表达和研究所论系统,以突出系统和环境的最主要的影响因素。

系统建模从狭义上说,可以理解为对实物、设计结构或设想事物按缩小或放大尺寸、结构层次、表现形态、时间进程或其他特征制成仿真体的过程。这个仿真体就是系统的模型。系统工程和控制论中的建模则是广义意义上的,它是对一切可控系统按其最本质的特征,根据总体最优化的目标,对其进行物理抽象和数学抽象的过程。

模型化方法与通常实验方法不同,它不要求对事物、过程、现象或设想本身进行科学试验,只要求对这些事物、过程、现象或设想的模型通过模拟或仿真进行验证。模型化方法与一般的抽象方法不同,它要求对事物、过程、现象或设想通过抽象化之后,能以某种文字、符号、图表、实物或数学方程来表征其形象化的结构,然后对它们进行分析、研究和检验,并导出结论。所以模型化方法是一种比较简便、省时和节约的研究方法,越来越得到重视,随着科学技术的发展,所得结果越来越可靠和切实可行。但是从科学研究的方法论上来说,自然最有效和完整的研究方法,应该是把建模方法、实验方法和抽象方法三者能有机地结合起来,对照检验,取长补短,以期得到最客观、准确和完善的真理。

1.1.1 模式与模型

人们经常将模型与模式混为一谈。实际上,它们是既有区别又有联系的两个概念。模式、模型与数学模型之间的包含关系为:

模式 $\supset$ 模型 $\supset$ 数学模型

1. 模式

模式通常是指某种事物或现象的标准形式或可使人照着做的标准式样。有时也可简单理解为模样、式样或形式。

模式是一个比模型广泛得多的概念,也可以称为广义模型。它可以指具体的事物,也可以指形象的思考。具体事物的模式是指一种富有代表性的样板或方式,已成为某种标准样式的东西。例如,建筑方面有我国的古典模式、西洋模式和中西结合模式,医疗方面

有所谓西医方式、中医方式和中西医结合方式。经济模式是指一种典型的经济结构或经济体制的形式。如:完全以自由竞争为主的资本主义经济模式,或称西方经济模式;以社会主义市场经济为主体的中国经济模式。形象思考模式是指人们对其思考的内容、思考方式或思考结果的描述、模拟或概括,可分为心智模式、言辞模式、图形模式、数学模式等。心智模式即人们对事物或现象的心智意象,也就是内心的观念或想象。如对新军事变革的种种设想。言辞模式是指对事物或现象用口头或文字所作的描述或说明。如计算机的操作说明书等。图形模式就是利用图形、图表、图片或流程图等方式所作的描述。

由此可见,模式包含了模型和数学模型,是一个很广泛的概念。

2. 模型

原型是指原始模型,模型是模仿原型而来的。它们是相对而言的,有时很难严格区分开来。模型与原型以及模型的概念还应有一个完全统一的说法,在不同的科学领域中出现不同的理解。我们只能视其情况而确定它们的具体内容。

例如:在抽样检查中的样本、商品中的陈列品、艺术品中的原作有时叫原型,有时叫模型;舞台上的演员、服装表演或艺术作品中的模特儿,有时可以视为原型,有时又可视为模型。

模型概念的基础在于模型本身与某一研究对象之间存在着某种相似性。这种相似性可以是外表的,也可以是内部结构的(如狗、猴与人的内部结构相似而外部完全不同);还可以是某种行为相似,而外表及内部结构可能毫无共同之处(如飞机与飞鸟等)。如果在两个对象之间存在着原型-模型的关系,若A为原型,则B称为A的模型。记作 $A \sim B$ 或 $B \sim A$ 。

模型的定义尚未规范,说法甚多。现叙述几个常见的定义。

定义 1 设S是原型,如果满足下列条件,则我们称M是S的模型。

- (1) 存在M的部分的某个集合,它的每个组成部分与S的一个组成部分相对应。
- (2) M的组成部分之间的某些关系与对应的S的组成部分之间的关系相类似。

例如:机器人的某些外部特征与内部特征与人的某些外部特征及内部特征相对应。机器人可以视为人的模型,人为原型。

地球仪和地图均可以视为地球的模型。

定义 2 模型是对实际系统的描述、造型、模仿或抽象。

定义 3 模型以实物、图形或符号来代表一个真实的系统或一项工程及其组成部分之间的相互关系,以便使问题和目标具体而明确,并求得最优解答。

例如:建立沙盘实地模型以指挥战争。

定义 4 模型是指某一系统(包括现实世界的事物、现象、过程或拟研制系统)的简单描述或其部分属性的模仿。

定义 5 模型是一种过程或行为的定量或定性的代表,它能显示对所考虑的目标具有决定性意义。

例如,人口理论中的 Logistic 方程

$$\frac{dN}{dt} = N(a - bN)$$

定义 6 模型是对客观事物的特征及其变化规律的一种表示或抽象,而且往往是指对事物中那些所要研究的特定属性的定量抽象。

定义 7 对现实现象或过程或其中某一部分的任何一种概念性描述都是一个模型。

例如,微观经济的数学模型、公共汽车的行车路线和时间表以及各种抽象的定义等都是模型。

定义 8 模型就是研究情况的有关性质的模拟物。

例如,公路图、地质图和植物标本都是模型,它们分别模拟一部分地球表面的不同侧面。

在模型中,这些概念总是与数量测定有关,而且相互关系以数学方程予以表达。总之,模型是一个真实系统或实践活动的简单描述,在模型中略去了所研究问题的非本质的特性。具体采用何种定义合适,常与所研究的系统、目的和要求有关。

可以从不同的角度或不同的要求来建立模型,大体上可以建立三种不同的模型,即同构模型(构造、规模大小一样、维数相同),相似模型(构造大体相同、大小不一样、维数相同),简化模型(维数变小、尺寸变小)。

模型至少要由以下几个基本部分组成。

- (1) 系统:即描述的对象。
- (2) 要素:构成系统的各种成分或子系统。
- (3) 关联:各要素或子系统之间以及整个系统与外部环境之间的关联。
- (4) 约束条件:系统所处环境和约束条件。

若要建立数学模型,则尚需增加一些组成部分。

因此,系统模型应具有以下特征:

- (1) 它是系统整体化的描述、模仿或抽象。
- (2) 它由说明系统本质或特征的诸因素所构成。
- (3) 它集中表现这些因素之间的关系。

此外,系统模型还应有它的目的性、客观性、清晰性、简洁性、适应性和整体性的要求。

1.1.2 系统建模

系统建模是指构造客观实际系统的模型。或者说系统建模就是指从系统原型到构造系统模型的过程,这里包含了系统建模的步骤、技巧和原理。由于系统模型的种类繁多,建立不同种类的模型所采用的步骤、技巧和原理也完全相同。

一、系统模型的分类

系统模型按存在形式可以分为以下几类。

(1) 描述性模型:运用文字形式简明阐述系统的构成、所处环境、主要功能和研究目的等。

(2) 物理模型:如一个待研制的新产品的模型,一个工厂、车间、仓库、生产线的平面布置模型等。

(3) 数学逻辑模型:它是系统的各种变量的数学逻辑关系的抽象表述。

(4) 流程图和图解式模型:通常它们显示了系统组成部分相互之间的基本逻辑关系。

(5) 计算机程序:运用通用的计算机程序语言或专用的模拟语言编写的计算机程序。

系统模型按照系统状态变化可以分为静态模型和动态模型。前者描述系统在某个特

定时刻的状态,后者描述系统状态随时间的变化。模拟就是系统状态随时间变化的动态写照。

系统模型依照系统变量的变化规律可以分为连续型模型和离散型模型。在连续型模型中,系统变量随时间呈连续性的变化。在离散型模型中,系统变量随时间呈间断性的突然变化。

系统模型按是否包含有随机因素可以划分为确定性模型和随机性模型。在确定性模型中,不涉及随机变量,系统在某一时刻的新状态完全由系统的原状态以及相应的活动所决定,即在一定的输入下,产生一定的输出结果。在随机性模型中包含有随机变量,在既定的条件和活动下,系统从一个状态转换为另一个状态,不是确定性的,而是具有随机性质,遵循一定的统计分布规律。

二、系统模型的结构

为了建立和研究系统模型,必须了解系统模型的一般结构。系统模型的基本结构用如下的数学形式表示:

$$E = f(x_i, y_i)$$

式中 E ——系统的工作性能;

x_i ——可以控制的变量或参数,它们能够由决策者加以控制和利用,以便使模型解优化,通常,决策变量是 x_i 的主要部分;

y_i ——不可控制的变量或参数,它往往不能为决策者所控制,在某种程度上表达了系统模型的环境,作为模型的输入信息反映其对模型理解的影响;

f ——产生 E 时 x_i, y_i 之间的函数关系。

一般说来,系统模型是由以下几方面的某种组合构成的:组成要素、变量、参数、函数关系、约束条件、函数目标。

1. 组成要素

它们是指所研究系统的组成部分,也即系统的要素或子系统。对一个机械制造工厂来说,它可能是在工厂内的车间、仓库、班组、工人、设备、产品、在制品、原材料、外协件等。我们把一个系统看成是一组相互独立、相互作用,并以某种形式联合起来去实现特定功能的实体的集合。按照这个观点,组成要素是构成系统的实体。

2. 参量

参量指模型运算部分能够赋予任意值的一个量度(或系数)。与变量不同,对于一定形式的函数而言,它只能赋予定值,即参量一经设定即保持不变。例如,对于泊松函数而言,随机变量 X 取值为 x 的概率为

$$P\{X = x\} = \lambda^x e^{-\lambda} / x!$$

式中 λ ——分布函数的参量;

x ——变量;

e ——常数。

3. 变量

在系统模型中,有两类变量:外生变量和内生变量。外生变量也称输入变量,它起源于或产生于系统外部,即由外部原因引起的;内生变量在系统内部产生,即由内部原因产

生的。内生变量又进一步分为状态变量和输出变量。状态变量表示在系统内的状态；输出变量表示离开系统的状态。

依照变量的相互依赖关系，变量也可分为自变量和因变量。在系统模拟中，主要的自变量通常为模拟时间，因变量则因模拟目的的不同而不同。

4. 函数关系

函数关系描述一个系统的变量和参数在系统的组成部分或组成部分之间的相互关系。它可以是确定性的，也可是随机性的。确定性函数关系是输入一经确定，则输出也惟一确定；而随机性函数关系是在既定的输入情况下，仍不会产生确定的输出。这两类函数关系都以输入变量以及状态变量的数学方程的形式出现，它们可以由统计方法和数学分析法进行假设和推断。

5. 约束条件

约束条件体现了对变量或可供分配或消耗的资源限制。例如，对于一个军事问题而言，它的约束条件可能有：

- (1) 作战任务规模。
- (2) 作战环境。
- (3) 敌情。
- (4) 我军的武器装备。
- (5) 战略对军事的影响。
- (6) 国家科技水平与经济条件对军事问题的制约等。

6. 目标函数

目标函数是评价系统性能的准则。随着决策策略以及系统模拟目的的不同，目标函数可以是单目标的或多目标的。通过系统模拟拟订以及模拟试验，我们能够获得优化系统目标函数的最优解或者接近最优解的较优解。

三、系统建模的步骤

考虑一个系统的建模，必须注意以下三点：

(1) 建模是为实际系统构造系统模型，首先应对建模对象——实际系统或原型有一个较好的了解和研究，尽可能地获得更多的信息和资料；其次要根据我们建模的目的和其他因素，认真反复考虑建立哪种类型的模型较好。

(2) 同一个实际系统可以建立不同类型的模型，例如模拟模型、仿真模型或数学模型，就是建立同一类型的模型也可以有多种不同的形式，例如建立数学模型可以是离散型的或连续型的，可以是线性型的或非线性型的，也可以是确定型的或随机型的。这给我们建立何种模型有较大的灵活性和多种选择性。

(3) 根据模型与原型的相似原理，当实际系统过于庞大或复杂，直接以其作为原型建模有困难时，可以用相似的同态模型替代原型来建模；或者将原系统分解为若干子系统作为原型来建模，然后根据子系统的相关关系，建立原系统的总模型。

系统建模的步骤大致划分如下。

1. 模型问题化

这里要明确建模的对象、建模的目的、建模用来解决哪些问题和如何解决这些问题等。首先要分清楚建模的对象是属于自然科学还是社会科学，或工程技术领域。不同领

域的建模,有各自的规律、方法和技巧。其次建模是为了说明解决问题,还是为了预测、决策和设计一个新的系统,或者多项目的兼而有之。最后还要确定是用模拟还是用仿真,是定性还是定量地解决问题。

2. 模型目标化

对大量的优化或决策问题,都要建立模型的目标,如质量最好、产量最高、能耗最少、成本最低、经济效益最好、进度最快等,同时要考虑是建立单目标模型还是多目标模型。目标确定之后,要将目标表述为适于建模的相应形式,通常表示为某个指标达到最大或最小。

3. 模型规范化

根据模型问题要求和模型目标,拟定模型的规范,使模型问题规范化。规范化工作包括对象问题有效范围的限定、解决问题的方式和工具要求、最终结果的精度要求以及结果形式和使用方面的要求。

4. 模型要素化

根据模型目标和模型规范确定模型所应涉及的各种要素。在要素确定过程中须注意选择真正起作用的因素,筛去那些对模型目标无显著影响的因素。对选定的因素应注意它们是确定性的还是不确定性的,能否进行测量等。

5. 模型关系化

模型关系化要求建模者从模型和模型规范出发,对模型要素之间的各种影响、因果联系进行深入分析,并作适当的筛选,找出那些对模型真正起作用的重要关系。所有这些关系将把目标与所有要素联系为一个整体,形成模型分析的基础,这时通常可以表示为一个结构模型。

6. 模型限制化

模型规范告诉我们,模型的建立必须在一定的环境、一定的范围、一定的要求下进行,这环境、范围与要求必然地要对模型起限制作用。此外,要素本身的变化有一定限度,要素的相互影响作用也只能在一定的限度内保持有效。因此,模型制约化工作要求建模者找出对模型目标、模型要素和模型关系起限制作用的各种局部性和整体性约束条件。

7. 模型形式化

模型是对现实系统的某种表示,所以模型离不开形式。要素原型如何表示为要素变量,要素变量之间的关系如何表示,要素变量与模型目标之间的关系如何表示,约束条件如何表示,以及各部分的整体性如何表示,特别是如何进行有关方面的数量表示,这些都是模型形式化问题。在大多数情况下,模型形式化工作需要借助某些定量化方法。

8. 模型简洁化

建模是为了解决实际问题,模型的形式只能恰当、适中,并非越复杂越好。由于前几步工作大都是从某些特定角度去考虑问题、分析问题的,从全局观点看,这样难免造成某些重复、重叠与繁杂,因此还要对问题进行简化。模型简洁化工作要求建模者针对上述可能出现的问题,以有效地反映模型问题、模型目标和模型规范为前提,对模型的各部分表示进行删繁就简,使模型具有简明的表示形式。

9. 模型求解化

模型表示形式的完成不是建模工作的结束,如何利用模型进行计算求解成为最重要

的问题。模型计算求解的工作通常包括将系统所提供的有关数据格式化,根据模型形式编制、调试有关的计算机程序,并进行有关的计算,获得检验分析模型的结果。

10. 模型检验化

针对模型问题的实际情况,结合模型求解提供的结果进行合理性分析。根据计算结果的分析情况判断模型是否合乎模型规范的各项要求。如果合乎要求,建模工作就此结束,否则,需要考虑如何对模型进行修改,是局部修改还是全局修改等问题。

上述建模过程可以直观地由图 1-1 表示。

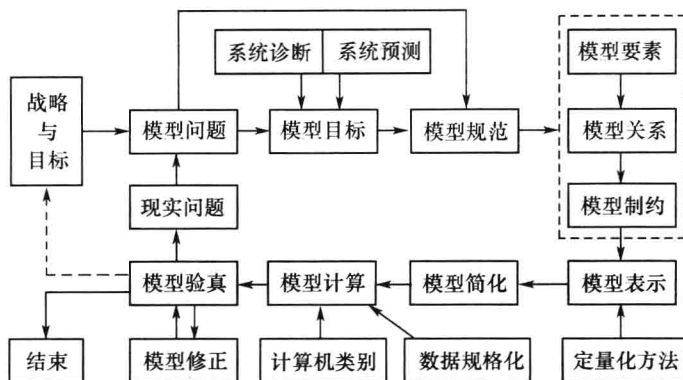


图 1-1 系统建模步骤流程图

建模原理和技巧问题通常对白色问题的建模比较容易,常有定律、原理、法则等可以遵循,如物理、化学等方面的问题;对灰色问题,如气象、地质等方面的问题,建模就要困难一些,要靠长期积累的统计数据 and 经验规律为依据;对于黑色问题,如社会学、生理学等方面的建模,则较困难。有时还要引进一些新的概念和采用模糊数学、系统动力学和层次分析等方法才能建模。自然也可以按系统的软硬性来判断建模的难易,愈软的系统愈“黑”,透明度愈差;愈硬的系统愈“白”,透明度愈好。

对于不同的领域,可以给出建模的色谱(也可以从硬系统到软系统排序),如图 1-2 所示。

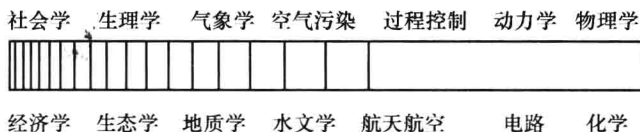


图 1-2 建模的色谱

以上只是建模的一般规律。建模者必须具有深厚的专业基础,广博的科技、经济、社会等方面的知识,丰富的想象和抽象力,较好的逻辑思维和实际动手的能力。有人认为建模是一种艺术,制作艺术品的好坏在很大的程度上取决于实践经验,熟能生巧。所以丰富的建模经验和实践技巧是建模者的宝贵财富。此外,还应做到:①熟练地掌握计算机的应用,特别是计算机的系统仿真技术;②尽可能多地熟悉各种应用数学分支;③富于直观想象,重视图形和数量及它们之间的相互转换在建模中的作用;④学会定性与定量相结合的综合分析

方法。总之,建模的原理和技巧尚是一些有待探索的问题,还没有系统的成规。

1.2 模型的作用和对模型的要求

1.2.1 模型的作用

利用模型可以帮助我们学习认识和分析现实系统,研究、研制和创建新的系统等,但是除了教学需要和作为研究手段外,建模的主要作用还有以下几方面。

(1) 有些现实系统往往非常庞大和复杂,很难做试验,或者根本不可能做试验(如军事系统、核电站控制、大脑思维等)。只能建立它们的模型,使用模型来对系统进行试验和研究。

(2) 为了设计和研制新的复杂系统,因为这些系统还不存在,只能通过构造系统模型来进行试验,分析系统的性能和确定系统的参数等,例如在工程上分析、设计一个新系统,通常先进行数学仿真和物理仿真实验,最后再到现场作实物实验。

(3) 有些现实系统即使能进行实地试验,但采用模型可能使现实系统趋于简单,更容易研究和理解。

(4) 模型比现实系统容易操作和控制,特别是对系统实行最优控制时,模型的参数变化比现实系统中的参数容易观察,同时可以较好地对模型进行敏感性分析,有利于对系统参数变化做对比的研究。

(5) 模型可以不断改进,寻求更符合现实系统特性的模型,以此来指导改进或建立现实系统,并使之达到最优化的目的。

(6) 从经济上考虑,有些现实系统或建造一个大系统,对它进行直接试验耗资较大,成本十分昂贵,通过模型或模拟试验可以满足要求,且耗资很少。

(7) 从时间上考虑,例如社会、经济、生态、人口等系统,由于惯性大、周期长,直接试验几乎不可能,或者将会造成无法挽回的损失和后果,或者要费时长久。而通过模型却可以立刻得到结果,或预测到未来的发展趋势,从而采取必要的对策。

(8) 有时只有采用模型,才能更有效地预测或预报实际系统某些状态的未来发展趋势。例如根据以往的经验 and 测量数据建立气象变化的数学模型,用来预报未来的气象。

总之,在科技迅速发展的今天,建立模型不但必要,而且完全有可能,我们应充分利用系统模型来认识处理和解决各种问题。

1.2.2 对模型的要求

为了使建立的模型能够反映实际系统或者达到建模的目的,使之应用方便,对模型要有以下要求。

(1) 准确性。模型能够反映实际系统的本质,即在一定程度上和一定范围内能够准确地反映被研究的客观系统的实际情况。

(2) 整体性。模型能够反映实际系统的整体特性。若模型是一个复杂的巨系统,要求模型各子系统和分系统之间能够协调一致,精度分配适当。

(3) 简洁性。在符合准确性和整体性的要求下,尽量使模型简洁明了,容易求解。对