



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

选矿数学模型

王泽红 陈晓龙 袁致涛 于福家 李丽匣 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

选矿数学模型

王泽红 陈晓龙 袁致涛 于福家 李丽匣 编著

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

选矿数学模型是运用数学方法研究选矿工艺过程及设备的学科。全书系统介绍了选矿过程数学模型建立的方法、各个生产环节常用的数学模型及其应用。其中第1~6章主要介绍静态数学模型建立的基础和方法;第7~8章主要介绍动态数学模型建立的基础和方法;第9~14章主要介绍选矿过程各个生产环节常用的数学模型;第15章主要介绍选矿试验测试数据的调整技术;第16章主要介绍高级编程语言在选矿中的应用。

本书可作为高等学校矿物加工工程专业本科生的选修课教材,也可作为矿物加工工程领域硕士研究生和博士研究生的必修课教材,也可供矿物加工工程专业科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

选矿数学模型/王泽红等编著. —北京:冶金工业出版社,
2015.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6819-4

I. ①选… II. ①王… III. ①选矿—数学模型—高等学校—教材 IV. ①TD9 ②O22

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第004381号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 张耀辉 马文欢 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6819-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京印刷一厂印刷

2015年2月第1版,2015年2月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;22.5印张;543千字;349页

49.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

随着科学技术和计算机技术的不断发展与完善，数学的应用已深入到社会生产的各个领域，并被越来越多的人所重视。

数学模型是将实际问题与数学工具相联系的桥梁和纽带，是对某一现象、某一过程的数学描述，或者说是描述某一过程运动物体特征因果关系的数学表达式。具体地讲，数学模型就是对现实世界的某个特定对象，为了某个特定目的，根据其特有的内在规律，做出一些必要的简化和假设，运用适当的数学工具，抽象、归纳而得到的一个数学结构。这里所说的数学结构，包括一段程序、图形、表格以及各种数学表达式等。这个过程就是数学建模。数学模型已经成为处理科学技术领域中各种实际问题的重要工具，并在自然科学、工程技术科学与社会科学等各个领域中得到广泛应用。

选矿数学模型是运用数学方法研究选矿工艺及设备，描述选矿过程运动物体特征因果关系的数学表达式，是近代应用数学、计算机技术和矿物加工工程相结合的产物，是矿物加工工程学科的一个重要分支。由于选矿过程复杂，影响因素多，且随机性大，因此选矿数学模型的研究、建立和应用是一个复杂的课题。目前，选矿数学模型几乎已经渗透到选矿生产和研究的各个方面，如矿石可选性评价、选矿方案对比、可行性研究、过程分析、探寻选矿生产过程的最优化条件、选矿过程或设备的模拟和放大、选矿生产过程的最优控制、矿业经济活动规律以及生产管理等。因此，它已成为选矿工作者非常重视的研究领域之一。

“选矿数学模型”目前已经成为高等院校矿物加工工程专业本科生和研究生的选修课。本书作为普通高等教育“十二五”规划教材，是为适应矿物加工工程学科的发展，以及社会发展和技术发展对选矿工程技术人才的需求，在东北大学原有教材及课程讲义的基础上编写完成的。

本书以选矿数学模型的建立和应用为主线，系统介绍了常用静态数学模型建立的方法和步骤，扼要介绍了选矿工艺过程动态模型的建立方法，并详细介

绍了选矿过程中较为实用的粒度模型、粒度分离模型、破碎模型、磨矿模型、磁选模型、浮选模型，以及选矿试验测试数据调整技术和高级编程语言在选矿中的应用；内容丰富，通俗易懂，并列举了大量实例。

本书由王泽红、陈晓龙、袁致涛、于福家、李丽匣共同编著。全书共分16章，其中第1~10章由王泽红撰写，第11~12章由于福家撰写，第13~14章由袁致涛撰写，第15章和附录由李丽匣撰写，第16章由陈晓龙撰写。王泽红对全书进行了统稿、整理和修改审定。

本书的编写和出版得到了东北大学与冶金工业出版社的大力支持和协助，作者表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中不足之处，恳请广大读者批评和指正。

作 者

2014年10月于沈阳

目 录

1 绪论	1
1.1 原型、模型和数学模型	1
1.2 选矿数学模型	3
1.3 选矿数学模型的分类	4
1.4 数学模型的形式	5
1.5 数学模型建立的方法和步骤	6
1.6 选矿数学模型的应用	8
1.7 选矿数学模型的发展趋势	8
2 一元线性回归分析	10
2.1 变量及变量之间的相互关系	10
2.2 回归及回归分析	12
2.3 回归分析的应用	13
2.4 回归分析的步骤	13
2.5 回归分析中的几个概念	17
2.6 一元线性回归模型的建立	18
2.7 一元线性回归方程的检验	27
3 一元非线性可化为线性的回归分析	39
3.1 非线性模型	39
3.2 非线性模型的处理方法	40
3.3 常见的可线性化的函数	40
3.4 一元非线性可化为线性回归分析的步骤	44
3.5 一元非线性回归方程的检验	47
4 多元线性回归分析	55
4.1 多元线性回归模型	55
4.2 二元线性回归分析	56
4.3 多元线性回归分析	59
4.4 多元线性回归分析的统计检验	63

4.5 回归分析正规方程组的其他形式	72
5 多项式回归与正交多项式	75
5.1 多项式模型及多项式回归分析	75
5.2 正交多项式	76
5.3 正交变换	77
5.4 正交多项式回归计算的标准化	84
5.5 正交多项式回归模型的统计检验	90
5.6 逐步回归分析	95
6 回归设计	97
6.1 一次回归正交设计	97
6.2 二次回归正交设计	109
7 动态模型的数学描述	137
7.1 动态模型的意义及状态方程	137
7.2 微分方程转化为状态方程	138
7.3 微分方程转化为差分方程	142
8 动态模型的建立方法	146
8.1 传递函数法及拉氏变换	146
8.2 飞升曲线法	151
9 粒度模型	157
9.1 粒度及其表示方法	157
9.2 粒度曲线及其数学描述	161
9.3 松散物料平均粒径的计算	166
9.4 比表面积的理论计算	168
9.5 松散物料形状系数的计算	172
9.6 松散物料中颗粒数目的计算	174
10 粒度分离模型	175
10.1 粒度分离简介	175
10.2 水力旋流器的理论模型	177
10.3 水力旋流器的经验模型	183
10.4 筛分数学模型	200

11 破碎数学模型	205
11.1 概述	205
11.2 破碎机模型	206
11.3 圆锥破碎机模型	213
11.4 破碎作业单元模拟计算的数学模型	216
11.5 破碎筛分全流程模拟计算	222
12 磨矿数学模型	225
12.1 概述	225
12.2 静态矩阵模型	225
12.3 动态模型——总体平衡动力学模型	228
12.4 给料粒度组成对磨机产量影响的计算	231
13 浮选数学模型	235
13.1 概述	235
13.2 单相浮选动力学模型	236
13.3 多相浮选动力学模型	239
13.4 总体平衡模型——通用模型的数学表达式	241
13.5 通用浮选数学模型的检验	247
14 磁选设备的磁场计算模型	254
14.1 弱磁场磁选设备的磁场计算	254
14.2 强磁场磁选设备的磁场计算	257
14.3 回收磁力的计算	267
15 选矿试验测试数据调整技术	276
15.1 计算误差及产率最佳值	276
15.2 试验测试数据调整技术	278
15.3 算例	282
16 高级编程语言在选矿中的应用	287
16.1 计算机在选矿中的应用概述	287
16.2 高级计算机语言编程基础	290
16.3 VB 在选矿数值计算中的应用	303
16.4 VB 在选矿工艺流程计算中的应用	314
16.5 VB 在选矿厂初步设计计算中的应用	316

16.6 VB 在选矿厂生产过程中的应用	320
附 录	324
附表 I t 分布的双侧分位数 (t_{α})	324
附表 II F 检验的临界值 (F_{α})	326
附表 III 正交多项式 ($N=2 \sim 30$)	339
参考文献	348

1 绪 论

随着科学技术以及电子计算技术的迅速发展,对研究对象的要求日益精确化、量化、数学化,对于广大科学技术人员和应用数学工作者来说,数学模型是将实际问题与数学工具联系起来的桥梁和纽带。例如,电气工程师必须建立所要控制的生产过程的数学模型,以便对控制过程作出相应的设计和计算,才能实现对过程的有效控制;炼钢厂的工程师们希望建立一个炼钢过程的数学模型,以模拟炼钢过程、模拟或预测炼钢炉内的温度、实现炼钢过程或炼钢温度的计算机控制;选矿工作者也要建立关于选矿过程和设备的数学模型,以模拟并且控制选矿过程和设备;气象工作者为了得到准确的天气预报,也离不开根据气象站、气象卫星汇集的气压、雨量、风速等资料建立的数学模型,以便预报天气的变化情况;从事城市发展规划的工作者需要建立一个包括人口、交通、经济、资源、环境、污染等大系统的数学模型,为城市发展规划的决策提供科学依据;生理医学专家根据药物浓度在人体内随时间和空间变化的数学模型,就可以分析药物的疗效,有效地指导临床用药;管理者根据产品的市场需求情况、生产条件和成本、储存、运输等信息,可以建立合理安排生产和销售的数学模型,以获得最大的经济效益;在日常生活中,人们也会根据实际情况规划出行路线,如目前人们广泛使用的导航系统,其实也是建立数学模型,寻找最优的路线,等等。总之,数学模型已经成为处理科学技术领域中各种实际问题的重要工具,并在自然科学、工程技术科学与社会科学等各个领域得到了广泛的应用。

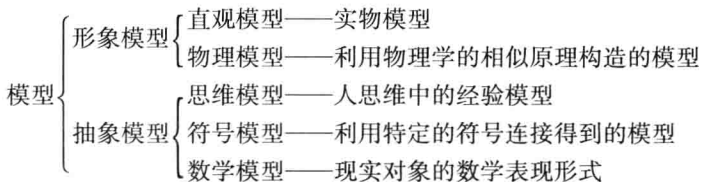
1.1 原型、模型和数学模型

原型指人们在现实世界里关心、研究或者从事生产、管理的实际对象,既包括有形的对象,也包括无形的、思维中的对象,还包括科学技术领域中的各种系统和过程,如机械系统、电力系统、生态系统、生命系统、社会经济系统,又如钢铁冶炼过程、选矿过程、导弹飞行过程、化学反应过程、污染扩散过程、生产销售过程、计划决策过程等。为了更好地研究原型,可将原型加以分解,分成很多部分和层次。

模型是指为了某个特定的目的而构造的整个原型或其一部分或其某一层面的替代物,是将原型的某一部分信息简缩、提炼而构造的原型的替代物。

需要说明的是,模型不是原型原封不动的复制品。原型有各个方面和各种层次的特征,而模型只要求反映与某种目的有关的那些方面和层次。一个原型,为了不同的目的可以有許多不同的模型,如放在展厅里的飞机模型应该在外形上逼真,但不一定会飞;参加航模竞赛的模型飞机要具有良好的飞行性能,在外观上不必苛求;在飞机设计、试制过程中用到的数学模型和计算机模拟,则只要求在数量规律上真实反映飞机的飞行动态特征,并不涉及飞机的实体。因此,模型的基本特征是由构造模型的目的决定的。

模型有各种形式,可作如下分类:



直观模型：指那些供展览用的实物模型，以及玩具、照片等，通常是把原型的尺寸按比例缩小或放大，主要追求外观上的逼真。这类模型的效果一目了然。

物理模型：主要指科技工作者为一定目的根据相似原理构造的模型，它不仅可以显示原型的外形或某些特征，而且可以用来进行模拟试验，间接地研究原型的某些规律，如波浪水箱中的舰艇模型，用模型来模拟波浪冲击下舰艇的航行性能；风洞中的飞机模型，用来试验飞机在气流中的空气动力学特性。有些现象直接用原型研究非常困难，便可借助于这类模型，如地震模拟装置、核爆炸反应模拟设备等，应注意验证原型与模型间的相似关系，以确定模拟试验结果的可靠性。物理模型常可得到实用上有价值的结果，但也存在成本高、时间长、不灵活等缺点。

思维模型：指人们通过对原型的反复认识，将获取的知识以经验形式直接储存于人脑中，从而可以根据思维直接做出相应的决策。如汽车司机对方向盘的操纵，一些技艺性较强的工种（如钳工）的操作，大体上是靠这类模型进行的。通常说的凭经验做决策也是如此。思维模型便于接受，也可以在一定条件下获得满意的结果，但是它往往带有模糊性、片面性、主观性、偶然性等缺点，难以对它的假设条件进行检验，并且不便于人们相互沟通。

符号模型：是指在一些约定或假设下借助于专门的符号、线条等按照一定形式组合起来描述原型的模型（如地图、电路图、化学结构式等），具有简明、方便、目的性强及非量化等特点。

数学模型：数学模型是今天科学技术工作者常常谈论的名词，而且已经成为各门学科（包括人文、社会科学）不可缺少的工具，在许多场合我们都会听到或者有意、无意地用到数学模型，但对其还没有一个公认的定义。有人定义数学模型是对现实世界的一个特定对象，为了特定的目的，根据特有的内在规律，做出一些必要的简化和假设，运用适当的数学工具，得到的一个数学结构。这里所说的数学结构，是指一段程序、图形、表格、各种数学表达式等。这种描述性的定义既说清了数学模型的本质，又给出了具体的建模步骤，具有很好的实用性，但作为定义还欠简练。这里我们将数学模型定义为对某一现象、某一过程的数学描述。或者说是描述某一过程运动物体特征因果关系的数学表达式。

数学模型是既古老又年轻的学科。说它古老，是由于在数学发展的初期就涉及数学模型的问题，那时人们就对数学模型有了研究，但是一直没有将数学模型作为一门学科加以系统地研究，建模理论和方法还很贫乏。直到 20 世纪七八十年代，由于计算机的迅速发展、普及和对数学模型的强烈需求，国际数学界才把数学模型作为一门数学学科来研究。

数学模型是随处可见的，例如大家所熟知的牛顿力学第二定律 $F = m \frac{dv}{dt}$ ， F 为作用力， m 为质量， $\frac{dv}{dt}$ 为质量 m 在外力 F 作用下引起的速度变化率，上式也可写成

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} F$$

这里 F 为“因”， $\frac{dv}{dt}$ 为“果”。故牛顿力学第二定律就是描述质量 m 、外力 F 及加速度 $\frac{dv}{dt}$ 三者因果关系的数学模型，也可以说牛顿力学第二定律是描述受力后物体运动状态的数学表达式。再比如万有引力定律： $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，其中 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ ，它是描述天体运动规律的数学表达式。

从本质上而言，数学模型以系统概念为基础，是关于现实世界的一小部分或几个方面的抽象的映象。它是运用数学的语言和工具，对部分现实世界的信息（现象、数据……）加以翻译、归纳的产物，它源于现实，又高于现实。数学模型经过演绎、求解以及推断，给出数学上的分析、预报、决策和/或控制，再经过翻译和解释，回到现实世界中。最后，这些分析、预报、决策或控制必须经受实际的检验，完成实践—理论—实践这一循环（见图 1-1）。如果检验结果是正确的或基本正确的，就可以用来指导实际；否则，要重新考虑翻译、归纳的过程，修改数学模型。



图 1-1 现实世界和数学模型的关系

1.2 选矿数学模型

运用数学方法研究选矿工艺及设备，描述选矿过程运动物体特征因果关系的数学表达式，简称选矿数学模型。

例如，球磨机处理能力模型：

$$Q = f(D, L, \phi, \psi, \dots)$$

式中 Q ——球磨机处理量； t/h ；
 D ——球磨机筒体直径；
 L ——球磨机筒体长度；
 ϕ ——介质充填率，%；
 ψ ——球磨机转速率，%。

是描述球磨机处理能力与其结构参数和操作参数之间关系的数学模型。

又如，水力旋流器处理能力模型：

$$Q = k d_c D \sqrt{g\rho}$$

式中 Q ——水力旋流器体积流量， L/min ；
 k ——与 d_F/D 有关的常数，根据试验数据通过曲线拟合可以得到：

$$k = \exp\left(4.8 \frac{d_F}{D} - 1\right)$$

d_F ——进口尺寸, cm;

d_c ——溢流口直径, cm;

D ——水力旋流器直径, cm;

g ——重力加速度, 9.81m/s^2 ;

p ——进口压力, kgf/cm^2 ($1\text{kgf/cm}^2 = 98.0665\text{kPa}$)。

是描述水力旋流器处理能力与其结构参数、操作参数之间关系的数学模型。

选矿数学模型是近代应用数学、电子计算机技术和选矿工程相结合的产物,是选矿工程学科的一个新的分支,也是选矿自动化的重要内容之一。虽然早在 1935 年朱尼加 (H. G. Zuniga) 曾将化学反应动力学应用于浮选过程,进行了建立浮选速率模型的探索,但对选矿数学模型的系统研究,却是从 20 世纪 60 年代开始的,到了 80 年代,其应用日益广泛,并取得了显著的技术经济效益。近 30 年来,选矿工程领域的最大进展之一,就是数学模型和电子计算机的广泛应用,它已成为表明一个国家选矿现代化水平的重要标志。在矿石粉碎、粒度分离、矿物解离、固-液分离和矿石可选性研究等选矿领域中,数学模型的研究都取得了很大的进展,已建立的模型有破碎机数学模型、棒磨机数学模型、球磨机数学模型、自磨机数学模型、筛分模型、水力旋流器数学模型、螺旋分级机数学模型、浮选模型、磁选模型、重选模型、电选模型、固-液分离模型、矿物解离模型、矿石可选性预测模型和选矿经济模型等。

1.3 选矿数学模型的分类

由于选矿过程的复杂性和建立模型的要求不同,选矿数学模型可以从不同角度分类。

(1) 按照建立数学模型的方式(按照各个参数之间因果关系的性质),可分为理论模型、经验模型和混合模型。1) 理论模型:因果关系明确,可以用基本物理量导出各参数之间的确定关系,如一些计算磨矿功耗的理论公式等。理论模型的形式和参数均来自理论,如物理学定律、化学定律,以及过程的机理。由于实际过程的复杂性,在对过程机理进行分析和建立数学模型时,往往需要作出一些假设,从而影响了模型的精度。2) 经验模型:各参数之间的关系不明确,依靠试验数据进行回归分析建立各参数之间的相互关系。经验模型的形式和参数均根据生产检测或试验研究的结果确定。无论过程多么复杂,总可以通过输入变量和输出变量之间的关系对过程进行定量分析,建立经验模型。因此,经验模型得到广泛的应用。建立经验模型最常用的方法就是回归分析。3) 混合模型:也称为半经验模型。混合模型的形式来自理论,模型的参数取自经验数据,即通过对过程机理的分析确定模型的形式,再通过试验或现场生产数据,用统计方法确定模型的参数。混合模型的适应性比经验模型强,应用也更广。所谓现象学模型和总体平衡模型都属于混合模型一类。

选矿工程中存在大量的经验模型和混合模型。

(2) 按照时空关系(数学模型是否与时间有关),可分为静态模型和动态模型。1) 静态模型:也称为稳态模型,单纯反映过程参数之间的相互因果关系而与时间无关,即模型中不包含“时间”变量,并且假定其他变量也不随时间变化。在生产过程中,生产的基本条件(如设备、原料、工艺操作等)一般来说都希望不要有太大的变化。实际上一般情况

下波动幅度也不大。我们把以变化或波动不大的生产条件为背景进行试验而建立的数学模型归属为静态模型。静态模型一般用代数方程表示,它是探寻过程最优化工作条件的基础,非常重要。2) 动态模型:任何事物都处于不断的运动和变化过程中,描述过程状态随时间而变化的情况,把生产过程中有关参数与时间联系起来的数学表达式称为动态模型,即模型中包含“时间”变量。动态模型一般用微分方程表示。

在选矿工程中,磨矿、浮选、过滤、跳汰等过程都用动态模型来描述,另外,选矿过程的自动控制也常常用动态模型。

(3) 按照对研究对象的了解程度,可分为白箱模型、灰箱模型和黑箱模型,即把研究对象当做一个箱子,通过建模来揭示它的奥妙。1) 白箱模型:对研究对象的内部规律和机理了解得比较清楚,利用机理分析的方法建立的模型。2) 灰箱模型:对研究对象的内部规律尚不十分清楚,有部分了解,又有部分不了解,在建立和改善模型方面都还不同程度地存在有许多工作要做的问题。3) 黑箱模型:对研究对象的内部规律还所知甚少,甚至一无所知,借助于系统的输入、输出数据,利用概率统计分析方法建立的数学模型。黑箱模型因素众多、关系复杂,也可简化为灰箱模型来研究。

(4) 按照过程变量之间的关系,数学模型又有以下几种分法:

1) 确定性模型和随机性模型。确定性模型,模型中变量之间的关系是确切和肯定的;随机模型,模型中变量之间的关系不是确定的,而是随机变化的。选矿过程常受到随机因素的干扰,故可将它当作某种随机过程(例如马尔可夫过程和平稳随机过程等)来研究,建立随机性模型。随机性模型在选矿中的应用已越来越广泛。

2) 离散模型和连续模型。离散模型中变量(通常是时间变量)离散化,通常用差分方程描述;连续模型中的时间变量是在一定区间内变化的,通常用微分方程描述。

3) 线性模型和非线性模型。线性模型中各量之间的关系是线性的,可以应用叠加原理,即几个不同的输入量同时作用于系统的响应,等于几个输入量单独作用的响应之和。线性模型简单,应用广泛。非线性模型中各量之间的关系不是线性的,不满足叠加原理。在特定情况下或允许情况下,非线性模型往往可以线性化为线性模型。

4) 单变量模型和多变量模型。

(5) 按照精密程度,可分为集中参数模型和分布参数模型。集中参数模型是用线性或非线性常微分方程描述系统的动态特性,分布参数模型是用各类偏微分方程描述系统的动态特性。在许多情况下,分布参数模型借助于空间离散化的方法,可简化为复杂程度较低的集中参数模型。

(6) 按照模型的应用领域,可分为破碎数学模型、筛分数学模型、磨矿数学模型、分级数学模型、浮选数学模型、过滤数学模型等。

(7) 按照建立数学模型的目的,可分为描述模型、分析模型、预报模型、优化模型、决策模型、控制模型、规划管理模型等。

1.4 数学模型的形式

数学模型的形式是多种多样的,如代数方程、偏微分方程、常微分方程、差分方程、马尔可夫链、离散事件等,具体采用哪一种形式,应具体问题具体分析。

1.5 数学模型建立的方法和步骤

1.5.1 数学模型建立的方法

建立数学模型主要采用机理分析和统计分析两种方法。

机理分析法是指人们根据客观事物的特性,分析其内部的机理,弄清其因果关系,再在适当的简化假设下,利用合适的数学工具得到描述事物特征的数学模型。

统计分析法是指人们一时得不到(或不清楚)事物的特征机理,便将研究对象看做一个“黑箱”系统,通过对系统输入、输出数据的测量,得到一组试验数据,再利用数理统计知识对该组数据进行处理,从而得到最终的数学模型。

一般来说,如果掌握了实际问题的一些内部机理的知识,模型也要求反映其内在特征,那么,建模就应以机理分析为主;而如果研究对象的内部规律不清楚,模型也不需要反映内部特征,则可以用统计分析。对于许多实际问题,常常将两者结合起来建模,即首先根据机理分析建立模型的结构,然后通过试验或现场生产数据,用统计方法确定模型的参数。

1.5.2 数学模型建立的步骤

建立数学模型的步骤并没有固定的模式,常因问题性质、建模的目的不同而不同。下面只是按照一般情况,提出建立模型的一般步骤,如图1-2所示。

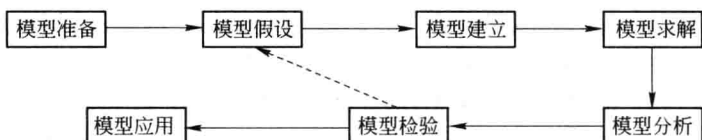


图1-2 数学建模步骤示意图

1.5.2.1 模型准备

要建立某一系统、某一过程的数学模型,必须对该系统有比较详细的了解,也就是要有相应的准备知识,要了解问题的实际背景,明确建立模型的目的,掌握对象的各种信息,如统计数据等,弄清楚实际对象的特征,总之是做好建立数学模型的工作。情况明才能方法对。这一步一定不能忽视,碰到问题要虚心向从事实际工作的人员请教。

1.5.2.2 模型假设

根据实际对象的特征和建立数学模型的目的,对问题进行必要的简化,并且用精确的语言作出假设,这是建立数学模型关键的一步。

确定模型假设要遵循以下原则:

目的性原则:从建模目的出发,在原型中抽象出建模有关的主要因素,简化那些与建模目的关系不大的次要因素。

合理性原则:数学模型是实际对象的数学描述,进行抽象和简化时一定要注意到模型假设的合理性,即假设一定要符合研究对象的实际,不可脱离实际。脱离实际的模型是无用的。合理性还要求所给出的假设带来的误差能满足建模目的允许的误差要求。另外,各

个假设之间不应互相矛盾。

适应性原则：所给出的假设一定要准确和适应于模型建立、求解、检验、应用过程。

全面性原则：就是要注意假设的无偏性，还要给出原型所处的环境条件。

不同的简化和假设会得到不同的数学模型。假设做得不合理或过分简单，会导致模型的失败或部分失败，应该进行修改和补充假设；假设做得过于详细，试图把复杂的实际现象的各个因素都考虑进去，则可能使你很难甚至无法继续下一步的工作。所以，重要的是要辨别问题的主要方面和次要方面，果断抓住主要因素，抛弃次要因素，尽量将问题均匀化、线性化。写出假设时，语言要精确。

1.5.2.3 模型建立

模型建立就是根据所做的假设，利用适当的数学工具，建立各个量（常量和变量）之间的等式或不等式关系，列出表格、画出图形或确定其他数学结构。

为了胜任这项工作，常常需要具有比较广阔的应用数学知识，除了微积分、微分方程、线性代数、概率论等基础知识外，还会用到诸如规划论、排队论、图与网络、对策论等。广而言之，可以说任何一个数学分支对不同模型的建立都会有用。当然，这并不是要求你对数学的每一个分支都门门精通，建立数学模型时还有一个原则是尽量采用简单的数学工具，因为你建立的每一个数学模型总是希望使更多的人了解和使用，而不是仅供少数专家欣赏。

1.5.2.4 模型求解

模型求解包括解方程、画图形、优化方法、数值计算、统计分析、证明定理以及逻辑运算等，通过使用传统的和近代的数学方法，特别是数学软件和计算机技术，得到模型的最终形式或建模目的所要求的结果。

1.5.2.5 模型分析

模型分析是根据建模的目的要求，对模型求得的结果进行数学上的分析，利用相关知识结合研究对象的特点进行模型合理性分析。有时是根据问题的性质，分析各变量之间的依赖关系或稳定性状态；有时是根据所得结果给出数学上的预测；有时则是给出数学上的最优决策或控制。不论是哪种情况，都需要进行误差分析、模型对数据和参数的稳定性或灵敏性分析，考察得到的数学解是否具有应用的性质。

1.5.2.6 模型检验

模型检验就是把模型分析的结果“翻译”回到实际对象中，用实际现象、数据等检验模型的合理性和适用性。这一步对模型的成败非常重要，必不可少。当然，有些模型，如核战争模型就不可能要求接受实际的检验了。

如果检验结果不符合或部分不符合实际情况，并且肯定在模型建立和求解过程中没有失误的话，那么问题通常出现在模型假设上，这时应该修改、补充假设，重新建立数学模型，如图1-2中的虚线所示。如果检验结果满意，则进入下一步。

1.5.2.7 模型应用

模型应用的方式因问题的性质和建模的目的而异。

需要说明的是，并不是所有问题的建模都要经过这些步骤，有时各步骤之间的界限也不那么分明，建模时不要拘泥于形式上的按部就班。

1.6 选矿数学模型的应用

选矿过程是很复杂的，它受很多因素的制约，如选矿处理的对象——原料的性质就是一个随机变动的因素。因此选矿数学模型的研究与建立是一个复杂的课题，也是近年来选矿工作者重视和进行研究的一个重要领域。选矿数学模型主要应用在以下几方面：

(1) 用于矿石可选性评价。在广泛搜集工艺矿物学研究和选矿试验研究资料及生产数据的基础上，通过计算机处理和统计分析，建立各类矿石的基础数据库、矿石工艺类型判别模型和矿石可选性预测模型，用以预测同类型新开发矿床的矿石可选性，包括确定选矿方法、工艺流程、工艺制度以及可能达到的分选指标。

(2) 用于过程分析，揭露选矿过程本质。对过程进行深入的静态或动态分析，找出影响选矿过程和设备的因素及其相关关系，特别是对那些难于用试验方法加以确定的变量进行分析研究，例如给矿粒度变化对磨矿过程的影响、原矿品位波动和精矿冲洗水变化对浮选过程的影响等，使生产过程和工艺设备具有可测性、可控性，以便达到最优化生产。

(3) 选矿过程或设备的模拟及放大。由于影响选矿过程的因素很多，而其中不少因素又具有随机性，因此生产过程、选矿方法以及设备的研制往往要靠大量实验室、半工业或工业性试验来解决。这样从经济、时间、人力上都有相当大的耗费。如果通过构建数学模型，根据小型试验设备的结果模拟大型工业设备，或根据实验室单元试验的结果，模拟和预测工业试验的结果，解决从实验室或小型试验到工业生产过渡的准确办法，即建立“过渡（或放大、相似）准则”，将是选矿工程的重大突破。

另外，选矿设备的优化设计也依赖于数学模型，通过数学模型可优化设备的结构和构造，如破碎机破碎腔形状的设计等。

(4) 用于生产过程的最优控制。计算机在选矿过程控制中的应用日益广泛，而实现计算机控制的先决条件就是建立数学模型。即预先将生产过程中的输入参数和输出参数之间的关系，以及生产过程内部结构的关系等，用数学模型加以描述，存入计算机中，通过程序安排对生产过程中的有关参数进行有序运算，并通过一些判别方法，得出控制方案以控制生产过程，使之保持最佳工况。

(5) 用于分析经济活动，揭示矿业经济活动的规律，考察实际的经济活动效果，预测未来和制定规划。例如，已建立的采、选、冶系统经济计划模型，可以定量地研究采、选、冶系统的生产、供应和销售规律，对该系统进行平衡分析；在平衡分析的基础上，根据系统内部和市场的变化情况，进行模拟和预测；提供使整个系统的产值、利润和金属回收率的多目标优化的静态和动态生产方案，科学地制订生产计划；对优化生产方案进行灵敏度分析；确定影响采、选、冶系统效益的关键环节，提供挖潜方案；对不同矿山采、选、冶系统的生产经营进行科学评比。

(6) 设计选矿厂方案的对比、可行性研究、生产管理等，也有赖于数学模型的建立。

(7) 选矿工艺流程的计算。

1.7 选矿数学模型的发展趋势

选矿数学模型的发展趋势是：