



普通高等教育“十二五”规划教材

管理系统模拟

陈国栋 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

管理系统模拟

编 著 陈国栋

主 审 李宗民



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书将模拟理论和计算机技术紧密结合,特别是将 Excel 软件全面地应用到管理系统模拟中,在确保管理系统模拟理论体系完整的基础上,强调了管理系统模拟的实用性和可操作性。每章都有管理系统模拟案例和章末的习题以及书末的实验指导书,以供读者使用。全书共分九章,涵盖了管理系统模拟的理论和计算机工具。具体包括用 Excel 软件进行确定型静态问题模拟、确定型动态问题模拟、随机型静态问题和随机型动态问题的模拟、使用 Crystal Ball 进行管理系统模拟、模拟中随机数的生成方法、基于模拟的最优决策和预测以及 Excel VBA 的基本知识及其在管理系统模拟中的应用。

本书可作为高等院校工业工程专业、信息系统与信息管理专业、工商管理类专业以及经济管理类各专本专科层次“管理系统模拟”课程的教学用书,也可作为研究生教学的参考用书,还可作为企业管理人员的培训教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

管理系统模拟 / 陈国栋编著. —北京: 中国电力出版社, 2013.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4223-1

I. ①管… II. ①陈… III. ①管理信息系统—计算机模拟—高等学校—教材 IV. ①C931.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 058063 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 5 月第一版 2013 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 291 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

随着计算机技术和相关模拟软件的飞速发展,模拟技术已经走进了管理者的日常工作。目前,模拟技术已经在经济、管理、金融、决策等许多领域得到了广泛的应用,且模拟技术的应用领域和范围会进一步扩大,因此有必要向广大青年学子介绍模拟的相关理论、工具及方法。

近年来出版的一些模拟方面的教材对模拟技术的推广起到了巨大的促进作用,但这类书籍或侧重于理论分析和建模,或侧重于计算机语言的编程,因而对经济管理类专业的学生不太适合。为了让广大经济管理类学子了解模拟的基本原理、方法、流程和基本计算机工具,特编写了这本教材。

本教材主要有以下三个特点:

(1) 经济管理类专业的学生学习模拟方面的知识的主要目的是为了应用模拟的方法来解决实际中的问题,所以本教材侧重于实例教学。书中介绍了大量经济管理方面的模拟案例,通过这些案例,使学生对模拟有直观的认识,对模拟的作用有直观的了解,有助于提高学生的兴趣。

(2) 本书没有使用较为复杂和难以学习的模拟语言和工具,而是主要结合 Excel 软件进行模拟。Excel 软件易学、好用、功能强大。它的主要优势是通用性和实用性。考虑到学生对 Excel 软件较为熟悉,所以在使用 Excel 进行模拟时没有工具上的障碍。

(3) 本书将结合 Crystal Ball 软件来进行模拟。Crystal Ball 是一款功能强大的模拟软件,并且非常容易学,在管理系统模拟中有着广泛的应用。据统计,世界 500 强企业中 80% 的企业都在使用 Crystal Ball 进行模拟,所以有必要向广大青年学子介绍这款模拟软件。

在本书编写的过程中,参考了一些国内外的文献,本书由李宗民主审。在此也对这些文献的作者表示深深地感谢。由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者、专家指正。

为了获得更好的教学效果,作者制作了电子课件、实验大纲等文件。以本书为教材的授课教师可以向出版社索取,或者与本书作者联系(chenguodong1979@126.com)。

编者

2013 年 1 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 模拟的起源和发展	1
第二节 模拟的应用	3
第三节 计算机模拟工具介绍	8
思考和练习题	11
第二章 Excel 的使用技巧与其在模拟中的应用	12
第一节 Excel 功能介绍	12
第二节 Excel 的基本操作	13
第三节 Excel 的使用技巧	19
第四节 基于 Excel 的建模艺术	44
第五节 使用 Excel 模拟实例	47
思考和练习题	52
第三章 利用 Excel 进行系统模拟	53
第一节 确定型静态问题模拟	53
第二节 确定型动态问题模拟	64
第三节 随机型静态问题和随机型动态问题的模拟	67
思考和练习题	69
第四章 管理系统模拟工具 Crystal Ball	71
第一节 Crystal Ball 功能介绍	71
第二节 定义模型假设变量	73
第三节 定义其他模型的要素	78
第四节 运行模拟	82
第五节 分析预测图	88
第六节 分析其他图	89
思考和练习题	98
第五章 模拟中常见的概率分布与随机数的产生	100
第一节 模拟中常见的随机变量的概率分布	100
第二节 使用 Excel 生成常见的随机数	102
第三节 使用 Crystal Ball 生成服从特定分布的随机数	106
第四节 使用 Crystal Ball 进行概率分布的拟合	109
思考和练习题	110

第六章 利用 Crystal Ball 进行系统模拟	111
第一节 利用 Crystal Ball 进行系统模拟的步骤	111
第二节 利用 Crystal Ball 进行系统模拟的参数设置	114
第三节 利用 Crystal Ball 进行系统模拟的结果分析	116
思考和练习题	117
第七章 基于模拟的最优决策	119
第一节 管理系统中的不确定性因素及建模	119
第二节 模拟在管理系统最优决策中的应用实例	123
第三节 求解包含不确定因素的管理系统问题的其他实例	129
思考和练习题	135
第八章 基于模拟的预测	136
第一节 管理系统的预测	136
第二节 使用 CB Predictor 进行预测	138
第三节 管理系统预测实例	140
思考和练习题	144
第九章 使用 Excel VBA 进行编程	145
第一节 VBA 基础知识介绍	145
第二节 创建自定义工作表函数	169
思考和练习题	182
附录	184
管理系统模拟课程实验指导书	184
实验一 Excel 2010 的使用技巧与建模分析	184
实验二 使用 Excel 生成随机数和蒙特卡罗模拟	184
实验三 Crystal Ball 的使用技巧与建模分析	185
实验四 用 Crystal Ball 进行管理系统优化	185
参考文献	186

第一章 概 述

第一节 模拟的起源和发展

一、模拟的起源

人类使用模拟的方法来认识世界的客观规律有着悠久的历史,并且在模拟的过程中留下了许多著名的实验,如通过抛硬币来确定一枚硬币的正面与反面的概率。历史上一些著名的数学家做过的抛硬币实验的数据如表 1-1 所示。

表 1-1 抛 硬 币 实 验

数学家	抛硬币次数	正面朝上次数	正面出现的频率
德摩根	4092	2048	0.5005
蒲丰	4040	2048	0.5069
费勒	10 000	4979	0.4979
皮尔逊	24 000	12 012	0.5005
罗曼洛夫斯基	80 640	39 699	0.4923

随着抛硬币次数的不断增加,正面朝上的次数和反面朝上的次数就会越来越接近。也就是说正面和反面出现的频率越来越接近。随着计算机技术的发展,如今人们就可以不需要通过真的抛硬币进行实验了,可以通过计算机模拟来实现,下面介绍如何使用 Excel 来模拟抛硬币实验。

1. 建立一个空白工作簿

建立一个空白工作簿如图 1-1 所示。

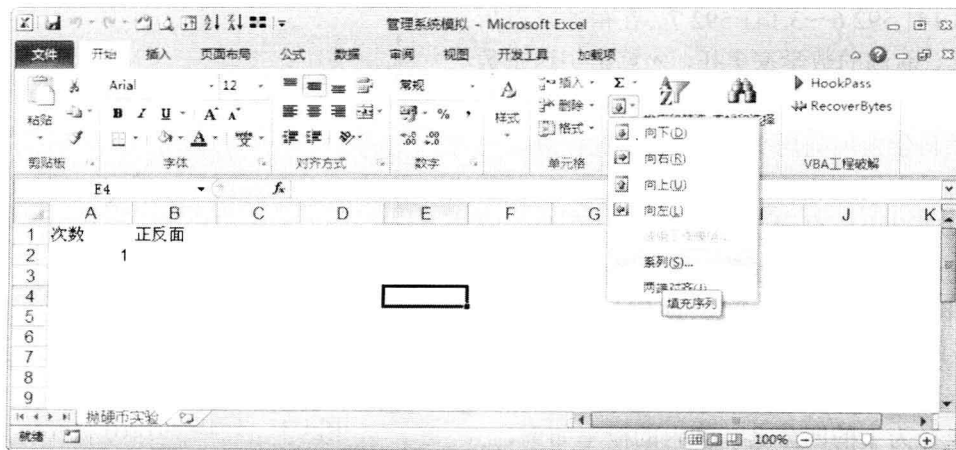


图 1-1 使用 Excel 来模拟抛硬币实验

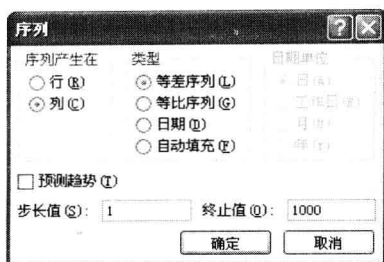


图 1-2 填充序列对话框

2. 在开始选项卡中的编辑组中单击“系列”选项
选择 A2 单元格，使得 A2 成为当前活动单元格。在开始选项卡中的编辑组中单击“系列”选项，出现对话框如图 1-2 所示。

然后在 B2~B1001 中输入公式“=IF(RAND()<0.5, "正面", "反面")”，单元格 B1002 中的公式为“=COUNTIF(B2:B1001, "正面")/1000”，如图 1-3 所示。

通过计算机模拟可知，抛 1000 次硬币出现正面的频率为 0.507。从这个例子可以看出计算机模拟非常快捷和迅速，下面再举一个关于模拟圆周率 π 的例子。

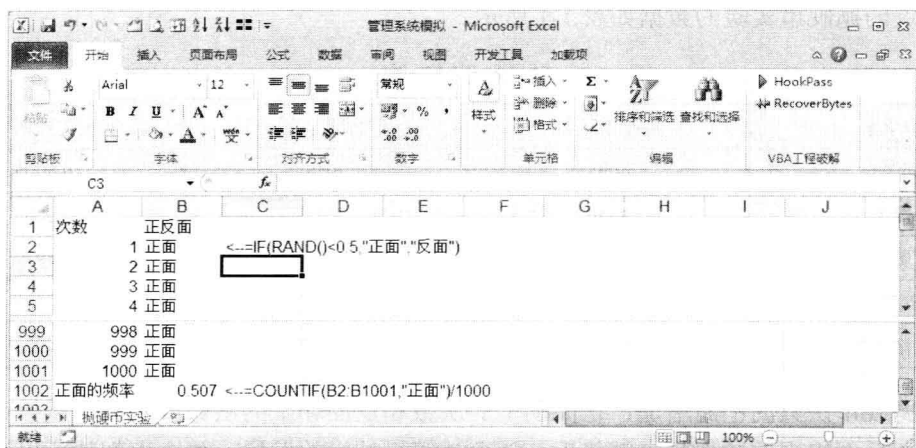
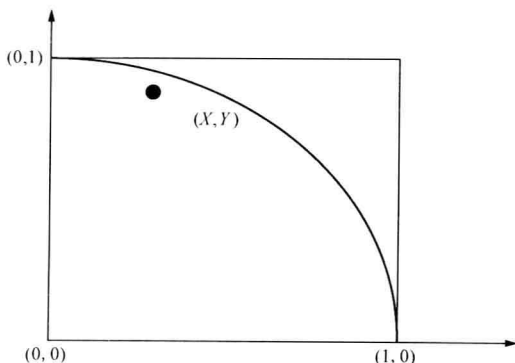


图 1-3 在 Excel 输入数据和公式

人们知道我国古代的著名数学家祖冲之是世界上第一个把圆周率的数值算到小数点以后七位的人。当时，没有现代化的计算机，祖冲之都是用筹码（小竹棍）进行计算的。祖冲之常常天不亮就起床，一遍又一遍地挪动筹码，直到深夜。他计算了一万多遍，终于算出圆周率是在 3.141 592 6~3.141 592 7。在祖冲之以后一千多年，欧洲的数学家奥托，才算出了这个数值。

回顾科学发展的历史，圆周率 π 的计算在历史上一直是人们关心的热点问题。事实上， π 的值也可以通过模拟得到。假设在图 1-4 中第一象限内有一边长为 1 的正方形，正方形内有一个以圆点为半径的四分之一圆。现假设随机向量 (X,Y) 在此正方形内服从均匀分布，即它是图 1-4 所给正方形内的一个随机点。现在计算这个随机点落入半径为 1 的四分之一圆内的概率如下。

图 1-4 圆周率 π 的估计示意图

$$P\{(X,Y)\text{落在四分之一圆内}\} = P\{X^2 + Y^2 \leq 1\} = \frac{\text{四分之一圆的面积}}{\text{正方形的面积}} = \frac{\pi}{4}$$

$$\pi = 4 \times \frac{\text{四分之一圆的面积}}{\text{正方形的面积}} = 4 \times \frac{\text{落入四分之一圆内的随机数个数}}{\text{随机数总数}}$$

下面通过计算机模拟来得到 π 的近似值。建立 Excel 工作表如图 1-5 所示,其中 B2~C1001 区域中公式为“=rand()”,E2 单元格中的公式为“=IF (D2<=1, 1, 0)”,然后向列的方向复制公式。

	A	B	C	D	E
1		X	Y	X^2+Y^2	是否在圆内
2	1	0.526039	0.672882	0.729487	1 <= IF(D2<=1,1,0)
3	2	0.490596	0.141595	0.260733	1
4	3	0.021192	0.792054	0.627799	1
5	4	0.295199	0.887247	0.874349	1
6	5	0.625139	0.827704	1.075893	0
998	997	0.954032	0.93003	1.775134	0
999	998	0.90525	0.093566	0.828231	1
1000	999	0.168205	0.82684	0.711958	1
1001	1000	0.550745	0.593882	0.656016	1
1002					
1003				Pi的值	3.192 <= 4*SUM(E2:E1001)/1000
1004					

图 1-5 模拟圆周率 π 时在 Excel 中输入的数据

单元格 E1003 中的公式为“=4*SUM(E2: E1001)/1000”,产生 1000 个随机点后可得 π 的模拟值为 3.192。这个结果并不精确,说明这个算法虽然能模拟 π ,但并不是一个好的算法。

从本节的几个例子中可以看出,模拟可以解决涉及很多领域的问题,计算机的使用极大地扩展了模拟使用范围的深度和广度。

第二节 模拟的应用

一、计算机模拟应用概述

随着计算机技术的发展,模拟技术发展迅速,模拟技术已从传统的工程领域扩展到其他领域,在社会经济、环境生态、能源、生物医学、教育培训、金融等很多领域都有应用。下面对模拟的应用情况进行简单介绍。

(1) 工业企业管理系统:如生产计划、设备平面布置与作业调度、物质供应、生产过程设计、人员安排、市场预测和财务预算等。

(2) 物质分配与流通系统:如仓库堆场布局、集装箱传送、储运规划及存储订货规则设计等。

(3) 交通运输管理系统:借助能够描述交通流特征和交通流质量的交通模拟软件平台,可以对交通规划、交通控制设计、交通工程建设方案等进行预评估,如航空运输交通流控制、机场设计、公共汽车线路设计、港口设计、货物装卸作业、停车场设计、城市交通系统设计、铁路运输调度、交通路口红绿灯控制等。

(4) 卫生及教育培训系统:培训模拟系统是利用计算机并通过操作设备、显示设备、仪器仪表等实现所模拟的对象行为,并产生与之相适应的环境,从而成为训练操作、控制或管

理这类对象人员的系统。在医学模拟方面，建立了有关人体的生物学模型和三维视觉模型，为深入开展人体生命机理研究和远程医疗工作提供了有利的工具。

(5) 资源管理系统：如国家人力资源调节系统、自然资源安排、水利资源开发等。

(6) 服务系统：如银行出纳作业计划、文书档案处理系统设计、通信系统设计、信息系统设计等。

(7) 军事及保安系统：如武器装备研制、军事作战模拟、军事后勤系统设计、保安系统设计等。

(8) 计算机通信模拟系统：为了满足大容量、高速度通信网络研究的需要，通信模拟可以为网络方案的优化提供重要的分析和验证工具。

二、计算机模拟应用实例——投资项目风险模拟分析

(一) 引言

对投资项目净现值进行风险分析，是资本预算中的一个重要环节。源自于卡西诺赌博计算方法的蒙特卡罗模拟分析 (Monte Carlo Simulation)，将敏感性和输入变量的概率分布紧密联系，与常见的分析方法（如敏感性分析、情景分析）相比，充分考虑各变量取值的随机性，通过随机模拟技术，给出了投资项目净现值可能取值的范围和不小于某一特定值的概率，为投资决策提供了更为科学的决策依据。运用 Excel 所提供的数学、财务及其他函数，以及分析工具和图表功能，可以很好地解决该问题。

(二) 项目投资决策分析方法

1. 确定性条件下的投资决策

基于贴现现金流技术的净现值法，是投资项目评估最为常见的方法。该法按照项目的资本成本计算每一年的现金流量（包括现金流入量和现金流出量）现值，并将贴现的现金流量汇总，得到项目的净现值 (Net Present Value, NPV)。如果项目的净现值大于零，则接受该项目；反之，则放弃该项目。

2. 不确定性条件下的投资决策——蒙特卡罗风险模拟分析方法

净现值法的计算和分析基础是每年的现金流量，这是一个同时受到多个随机输入变量影响的随机变量。其中，输入变量包括具有不同概率分布规律的销售数量、销售价格、单位变动成本等。利用蒙特卡罗模拟分析模型，计算机根据已知的各输入变量概率分布规律，随机选择每一个输入变量的数值，然后将这些数值加以综合，计算出项目的净现值并储存到计算机的记忆中。接着，随机选取第 2 组输入值，计算出第 2 个净现值。重复该过程 100 次或 1000 次，产生相应的 100 个或 1000 个净现值，就可以确定净现值的有关数字特征（如均值、标准差等）。其中，均值可以作为项目预期赢利能力的衡量指标，而标准差可作为项目风险的评价指标。同时，利用 Excel 的作图功能，还可得到净现值随机变量的概率密度柱形图和累计概率分布图，进一步为投资决策提供相关信息。

3. 运用 Excel 进行投资项目风险模拟分析

为了说明 Excel 在投资项目风险模拟分析中的应用过程，现举例说明如下：

某公司准备开发一种新产品。有如下预测：初始投资额为 400 万元（新机器），使用期为 5 年，采用直线折旧政策，期末残值为 0。运营后，销售部门预测：第 1 年产品的销量是一个服从均值为 150 万件而标准差为 40 万件的正态分布，以后每年增长 10%，而销售价格是一个服从均值为 6 元/件、标准差为 2 元/件的正态分布。生产部门预测：为了维持正常的运营，需

要在期初投入营运资本 50 万元。每年的固定经营成本为 150 万元，新产品的单位变动成本是一个服从从 2 元/件到 4 元/件均匀分布的随机变量。如果该投资项目的贴现率为 10%，则所得税税率为 35%，试分析此投资项目的风险。

(1) 输入、输出随机变量分析。项目净现值的大小为输出结果，是每期净现金流量现值之和。根据每期净现金流量的构成与特征不同，计算公式如下：

期初净现金流量（投资支出）=投资金额（设备的购置费与安装运输费）+增加的营运资本

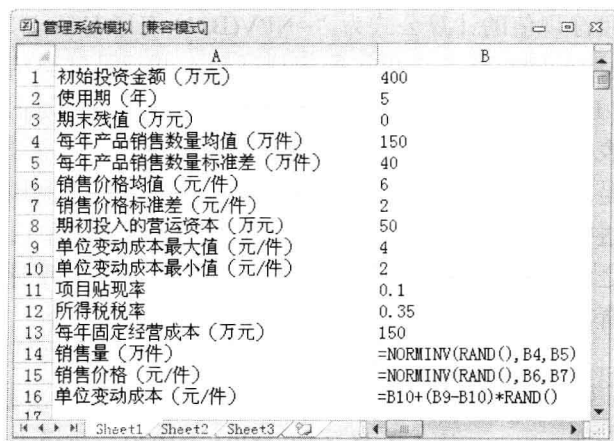
$$\begin{aligned} \text{经营期期间净现金流量} &= (\text{销售收入} - \text{经营成本} - \text{折旧}) \times (1 - \text{税率}) + \text{折旧} \\ &= (\text{销售量} \times \text{销售价格} - \text{固定经营成本} - \text{单位可变成本} \\ &\quad \times \text{销售量} - \text{折旧}) \times (1 - \text{税率}) + \text{折旧} \end{aligned}$$

期末净现金流量=残值的税后收入+期末回收的营运资本

项目净现值为各期净现金流量的现值之和（包括投资支出与收入）

在经营期期间，由于期间净现金流量的高低受到销售量、销售价格、成本（包括固定成本、变动成本）的共同作用，而作为输入变量的销售量、销售价格和变动成本，是服从一定概率分布的随机变量，因此，项目净现值也是一个由以上各随机变量共同决定的随机变量，对此投资项目的风险分析即为对项目净现值的不确定性分析。采用蒙特卡罗模拟，输出变量就是各期净现金流量的净现值。

(2) 在 Excel 中建立原始数据和输入相关参数（见图 1-6）。



	A	B
1	初始投资金额（万元）	400
2	使用期（年）	5
3	期末残值（万元）	0
4	每年产品销售数量均值（万件）	150
5	每年产品销售数量标准差（万件）	40
6	销售价格均值（元/件）	6
7	销售价格标准差（元/件）	2
8	期初投入的营运资本（万元）	50
9	单位变动成本最大值（元/件）	4
10	单位变动成本最小值（元/件）	2
11	项目贴现率	0.1
12	所得税税率	0.35
13	每年固定经营成本（万元）	150
14	销售量（万件）	=NORMINV(RAND(), B4, B5)
15	销售价格（元/件）	=NORMINV(RAND(), B6, B7)
16	单位变动成本（元/件）	=B10+(B9-B10)*RAND()

图 1-6 原始数据和输入相关参数

(3) 生成符合分布规律的随机输入变量（包括销售量、销售价格和单位变动成本）。本例中的随机输入变量有 3 个：服从正态分布的销售量（单元格 B14）和销售价格（单元格 B15）及均匀分布的单位变动成本（单元格 B16），其各自的分布参数来自图 1-6 相应单元格中的数值，生成随机数的公式如图 1-7 所示。

其中，单元格 B14 和单元格 B15 调用了 Excel 内置的生成正态分布随机数函数 NORMINV() 和生成大于 0 并小于 1 的均匀分布随机数函数 RAND()，分别生成了均值为 150（单元格 B4）、标准差为 40（单元格 B5）的正态分布随机数和均值为 6（单元格 B6）、标准差为 2（单元格 B7）的正态分布随机数。单元格 B16 中公式生成的是 2（单元格 B10）~4（单元格 B9）的均匀分布随机数。

图 1-7 各年现金流量的计算

(4) 建立项目每期净现金流量相关数据计算区，并计算项目投资净现值。首先求出投资期期初的净现金流量（流出）（单元格 D15），期初投资等于设备的购置费用（单元格 D2）与投入的营运资本（单元格 D3）之和。

在经营期期间，第 1 年的销量（单元格 E4）和销售价格（单元格 E5）以及可变成本（单元格 E8）分别引用了在第（3）个步骤中所计算出的随机数。其他各年的相关数据可由公式复制得到。根据每年经营净现金流量的计算公式，可得到每年的净现金流量。在项目结束期，还需在经营现金流的基础上，加上期初投入的营运资本。

由于每期净现金流量不等，所以采用 Excel 内置财务函数 NPV() 函数进行计算。本例在单元格 E17 中输入项目净现值的计算公式为 “=NPV(B11, E15:I15)+D15”。

(5) 对步骤（3）中的随机计算结果进行模拟试验，并记录试验结果进行统计分析。在 Excel 中，如果直接按 F9 键，单元格 E17 中的数值就会发生变化，这时可将该试验结果记录到工作表的一个空白表格区域。重复该手工操作多次，可以获得所需要的试验结果样本。此种方法尽管可行，但是对于大样本试验结果的生成，是不可取的。利用 Excel 中所提供的模拟运算表对虚自变量进行分析技术，可有效地解决该问题。本例题中选择完成 1 000 次试验，生成一个统计上可称之为大样本的试验结果，基本可以满足大多数统计假设和推论。

试验结果区的位置在单元格区域 E21~E1020 中，具体操作如下。

图 1-8 模拟试验结果

在单元格 E20 中输入计算公式 “=E17”，在单元格区域 D21~D1020 中输入模拟次数（1~1000）。选定单元格区域 D20~E1020，选择“数据/模拟运算表”命令，在出现的“模拟运算表”对话框中，单击“输入引用列的单元格”输入框后，单击工作表中的任意空白单元格（如本例中的 D17）。单击“确定”按钮后，即可在该区域内获得指定目标变量（净现值）和试验次数（1000 次）的模拟试验结果（见图 1-8）。

(6) 生成统计分析数据。在获得 1000 次试验结果的基础上，利用 Excel 内置的统计分析函数均值函数 AVERAGE()、标准差函数 STDEV()、最大值函数 MAX()、最小值函数 MIN()，计算有关的统计量，计算公式如图 1-9 所示。

(7) 生成投资项目净现值各可能取值的概率、累积概率有关数据。为了绘制净现值的概率分布图、累积概率分布图及投资项目大于某一净现值的概率图,需要计算出净现值在各个取值范围内的概率、累积概率等数据,本例中(单元格区域 G20~K50)将净现值的取值范围(最大值与最小值之差)均等地分成 30 个小区域,分别计算在各取值区域中净现值出现的次数、频次、累积频次。具体计算公式如图 1-10 所示。

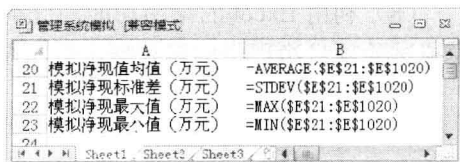


图 1-9 模拟试验结果的几个统计量

刻度	出现频数	频率	累积频率	小于该NPV值的概率
=B23	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H20/1000	=I20	=1-J20
=G20+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H21/1000	=I21+J20	=1-J21
=G21+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H22/1000	=I22+J21	=1-J22
=G22+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H23/1000	=I23+J22	=1-J23
=G23+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H24/1000	=I24+J23	=1-J24
=G24+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H25/1000	=I25+J24	=1-J25
=G25+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H26/1000	=I26+J25	=1-J26
=G26+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H27/1000	=I27+J26	=1-J27
=G27+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H28/1000	=I28+J27	=1-J28
=G28+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H29/1000	=I29+J28	=1-J29
=G29+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H30/1000	=I30+J29	=1-J30
=G30+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H31/1000	=I31+J30	=1-J31
=G43+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H44/1000	=I44+J43	=1-J44
=G44+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H45/1000	=I45+J44	=1-J45
=G45+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H46/1000	=I46+J45	=1-J46
=G46+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H47/1000	=I47+J46	=1-J47
=G47+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H48/1000	=I48+J47	=1-J48
=G48+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H49/1000	=I49+J48	=1-J49
=G49+(\$B\$22-\$B\$23)/30	=FREQUENCY(E21:E1020, G20:G50)	=H50/1000	=I50+J49	=1-J50

图 1-10 绘制概率图形所需的数据

相邻的两个 NPV 值之间的距离为取值范围总长度的 1/30, 因此, 单元格 G20 中为 1000 次随机试验结果中的最小值, 与之相邻的单元格 G21 的计算公式是在单元格 G20 基础上加上一个固定的步长 $(\$B\$20-\$B\$21)/30$ 。同样, 其他的刻度分别在前一刻度计算结果的基础上加上相同的步长即可。

1000 次随机试验的结果随机分布在所划分的 30 个区域之中, 现需要计算在每个净现值取值区域中试验结果出现的次数(在大样本下可近似看作是频次)。频次的计算采用了 Excel 的统计函数 FREQUENCY()。具体的操作为: 选中单元格区域 H20~H50, 利用函数向导, 对该区域输入计算公式“=FREQUENCY(E14:E1013, H20:H50)”, 同时按组合键 Ctrl+Shift+Enter, 在该区域中会自动出现所有净现值取值区域中净现值出现的频次。

频率的计算可在各取值区域出现频次的基础上, 直接除以随机试验的总次数 1000, 即在单元格 I20 中输入计算公式“=H20/COUNT(\$E\$14:\$E\$1013)”, 并将该公式往下拖动复制到单元格区域 I21~I50 中, 得到与频次相应的频率。

累积频率的计算比较简单。首先在单元格 J20 中输入计算公式“=I20”, 在单元格 J21 中输入计算公式“=J20+I21”, 然后将单元格 J21 中的计算公式复制到单元格区域 J21~J50, 即可得到相应净现值取值区域的累积概率。小于某一 NPV 数值的概率直接等于 1 减去相应区域的累积概率。

(8) 利用 Excel 的绘图功能, 分别绘制模拟试验项目净现值的概率分布图 (见图 1-11)、模拟试验项目净现值的累积概率分布图 (见图 1-12), 从而为投资决策提供依据。

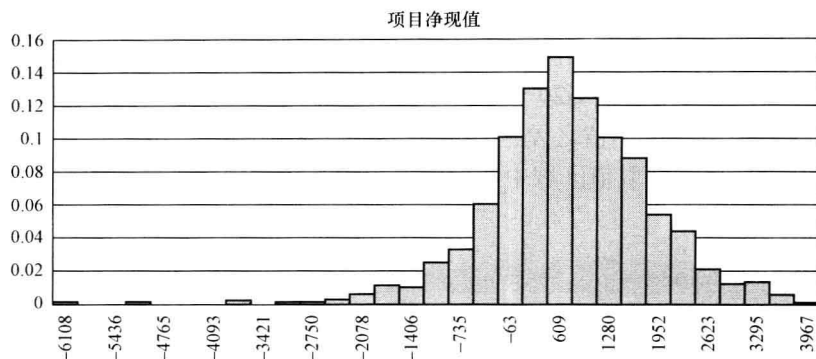


图 1-11 模拟试验项目净现值的概率分布

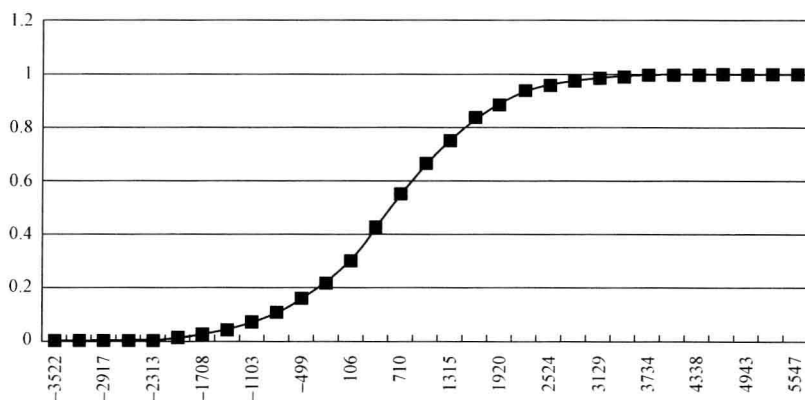


图 1-12 模拟试验项目净现值的累积概率分布

其中, 投资项目净现值概率分布图的 X 轴取值区域为单元格区域 G20~G50, Y 轴取值区域为单元格区域 I20~I50; 累计概率分布图 X 轴取值区域为单元格区域 G20~G50, Y 轴取值区域为单元格区域 J20~J50; 大于某一净现值概率图 X 轴取值区域为单元格区域 G20~G50, Y 轴取值区域为单元格区域 K20~K50。

4. 模型分析总结

利用 Excel 的各种函数、分析工具和作图功能, 设计蒙特卡罗风险模拟分析模型, 通过大量的随机模拟试验, 得到随机目标变量净现值的分布规律, 能够为投资决策提供必要的依据。相对于常见的概率分析、敏感性分析方法, 更加深入考察了决策变量的可能取值, 从而使决策信息更加全面和客观。Excel 的应用, 使得快速获取大量随机试验结果成为可能, 是风险分析中的有效工具。

第三节 计算机模拟工具介绍

虽然模拟技术的出现已经有非常悠久的历史, 但是计算机技术的出现和发展才真正使普

通用户能够使用模拟来解决实际问题。因为计算机在模拟过程中非常重要，所以人们一直在发展计算机软件和语言来使模拟更为方便和快捷。

计算机模拟工具可以大致分为计算机模拟语言和模拟软件两类。计算机模拟语言包括 GPSS (General-purpose Systems Simulator)、GPSS World、Vensim、SIMAN、Arena 等。

GPSS 是一个通用系统模拟语言。它是第一个使模拟成为实用工具的语言，于 1961 年发明成功。该语言特别适用于处理出现等待行列的系统，它提供了多种形式的实体、块语句、定义语句、控制语句、模拟操作语句等，可以实现高难度的程序设计。

GPSS 是目前在离散系统计算机模拟领域使用的最常见的模拟语言之一。它是一种面向过程的模拟语言，因此学习和使用都十分方便。GPSS 语言同其他高级语言一样，在编制程序时可以利用框图工具。尤其在编制较为复杂性系统的程序时，提前绘制相应的程序框图是非常必要的。

GPSS World 是一个高性能的通用计算机仿真环境，是由 Minuteman Software 开发的一个综合的建模工具，具备离散和连续的计算机仿真能力，有较强的交互性和直观性。使用 GPSS World，可以仿真并预测极其复杂的现实世界系统，从而通过仿真结果改进设计决策。

Vensim 是由美国 Ventana Systems, Inc.开发的，为一可视化化、文件化、模拟、分析与最佳化动态系统模型之图形接口软件。Vensim 可提供一种简易而具有弹性的方式，建立包括因果循环 (casual loop)、存货 (stock) 与流程图等相关模型。使用 Vensim 建立动态模型，只要用图形化的各种箭头记号连接各变量记号，并将各变量之间的关系以适当方式写入模型，各变量之间的因果关系便随之记录完成。而各变量、参数间的数量关系以方程式功能写入模型。通过建立模型的过程，人们可以了解变量间的因果关系与回路，并可通程序中的特殊功能了解各变量的输入与输出间的关系，便于使用者了解模型架构，也便于模型建立者修改模型的内容。

Vensim PLE 即 Vensim 系统动力学模拟环境个人学习版，是 Vensim 软件的一种，是为了更便于学习系统动力学而设计的。VensimPLE 主要有以下几个特点。

(1) 利用图示化编程建立模型。Vensim 的用户界面是标准的 Windows 应用程序界面，除支持菜单和快捷键外，还提供多个工具条或图标，这使用户使用非常方便。在 Vensim 中，“编辑”实际上并不存在，只有建模的概念。只要在启动 VensimPLE 系统后出现的主窗口中，依据操作按钮（画图工具）画出简化流率基本流程图，再通过 Equation Editor 输入方程和参数，就可以直接进行模拟了。在 Vensim 中，方程及变量不带时标，模型建立是围绕着变量间的因果关系展开的。

(2) 对模型提供多种分析方法。Vensim 所提供的分析工具可以分为两类：一类是结构分析工具，如 cause tree 功能可以将所有工作变量之间的因果关系用树状的图形形式表示出来，loops 功能可以将模型中所有反馈环以列表的形式表示出来；另一类是数据集分析工具，如 graph 功能可以将各变量在整个模拟周期内的数值以图形的形式直观的给出，causes strip graph 功能则将有直接因果关系的工作变量在模拟周期内的数值变化并列出来，以追踪系统变量间的影响关系。

(3) 真实性检验。对于我们所研究的系统，对于模型中的一些重要变量，依据常识和一些基本原则，我们可以预先提出对其正确性的基本要求，这些要求是真实性约束。将这些约束加到建好的模型中，专门模拟现有模型在运行时对这些约束的遵守情况或违反情况，就可

以判断模型的合理性和真实性，从而调整结构或参数。真实性检验是 Ventana 公司的专利方法，是一种非常有效的建模工具。

SIMAN 是一种建立在 Fortran 语言基础上、可用于一般系统的离散-连续复合型计算机模拟分析语言。这种语言是由美国皮格顿 (C.DellniS Pegden) 教授于 1982 年开发的。它对一般系统，尤其是对运输系统具有更为有效的功能。实践表明，在 IBM PC 上使用 SIMAN 开发出来的模拟程序要比用 GPSS 开发出来的同样的模拟程序运行速度快。SIMAN 使用实型量计量时间，它要比 GPSS 的整型量计量时间来得准确，加上 SIMAN 有更强的功能和更广的适用范围，而且模拟物理过程逼真、容易掌握，因此 SIMAN 有着广泛推广普及的前景。

这种模拟语言既可用于离散变化系统，又可用于连续变化系统及离散-连续变化的复合系统。使用时，既可按照过程模拟方式，又可按照离散事件模拟方式，还可按照两者组合的模拟方式进行工作。正由于这种模拟语言软件结构的特点，它既可在大型计算机上使用，又可在小型及微型计算机上使用。

Arena 软件是美国 Rockwell 公司在早期的 SIMAN/CINEMA 仿真系统基础上开发的具有代表性的一款支持离散事件系统仿真 (Discrete-Event Simulation, DES) 的仿真软件。Arena 软件具有广泛的应用领域，其中代表性的包括制造业、物流及供应链、服务、医疗、军事、日常生产作业、各类资源的配置、业务过程的规划、系统性能和计划结果的评价、风险预测等。同时，其具有专业的分析和优化功能：输入分析器用来进行输入数据概率分布函数的拟合；过程分析器用于比较不同模型中具体参数或者同一模型中的多次仿真中具体参数的值，并以各种图表的形式提供比较的结果；输出分析器包括对输出数据的多样显示功能和强大的数理统计分析，以确保输出分析的准确性和可靠性；优化工具 OptQuest 采用 Tabu 搜索算法和遗传算法对仿真模型进行优化，大大增强了 Arena 对复杂问题的决策支持。

这些模拟语言具有较好的易用性和通用性，功能强大。但对普通的管理者来说，使用这些语言仍然十分困难和不便。这时，使用计算机模拟软件就是广大管理者较好的选择。计算机模拟软件是一些软件公司开发的工具，其特点是简单好用、功能强大，比较有代表性的有电子表格软件 Excel、Crystal ball、@Risk 等。

电子表格软件在管理系统模拟中有着广泛的应用。较流行的电子表格软件有 Excel 和 WPS 表格等。Excel 是微软办公套装软件的一个重要组成部分，它可以进行各种数据的处理、统计分析和辅助决策操作，广泛地应用于管理、统计财经、金融等众多领域。Excel 中有大量的公式函数可以选择应用，使用 Microsoft Excel 可以执行计算、模拟等。同时 Excel 支持 VBA 编程，VBA 是 Visual Basic For Application 的简写形式。在管理系统模拟过程中，有些复杂的功能当 Excel 没有提供时，可以使用 VBA 编程来进行管理系统模拟。

Crystal Ball (CB) 是致力于开发商业决策分析软件和解决方案的美国科罗拉多州 Decisioneering 公司的拳头产品。该公司目前已被 Oracle 公司收购。Crystal Ball 是该公司基于 Windows 平台而开发的简单且非常实用的商业风险分析和评估软件。CB 面向各类商务、科学和技术工程领域，用户界面友好，是基于图表进行预测和风险分析的。CB 在微软 Excel 应用软件上运行，使用蒙特卡罗 (Monte Carlo) 模拟法对某个特定状况预测所有可能的结果，运用图表对分析进行总结，并显示每一个结果的概率。除了描述统计量、趋势图和相关变量分配，CB 还进行敏感性分析，让用户决定真正导致结果的因素。如今 CB 已是全世界商业风险分析和决策评估软件中的佼佼者。Crystal Ball 专业版是市面上以 Excel 加载宏形式开发的

风险分析及预测工具中最全面的套装软件。其功能和特点不仅早已得到广大用户的认同，并获得许多正在考虑购买相关软件产品新用户的青睐和首选。《财富》评出的全球 500 强大企业中早已有 400 家使用 Crystal Ball 软件作为他们进行商务决策、项目投资风险分析的工具。再者，美国前 50 名最佳 MBA 商学院，已有 40 所也用 Crystal Ball 作为教研和商业性课题的工具。从使用 Crystal Ball 的企业及机构用户的名单中不难看出 CB 软件应用领域之广和用户普及程度之大。

@Risk 是 Palisade 公司生产的一款模拟软件。@Risk 是一款真正的 Microsoft Excel 插件，与电子表格完全集成，其浏览、定义和分析功能全部在 Excel 中完成。所有 @Risk 函数均是真正的 Excel 函数，并且与 Excel 基本函数的行为方式完全一样。@Risk 的分析结果窗口全部与电子表格中的单元格直接链接，因此在某一位置进行更改，其他相应位置会相应进行更新。@Risk（分析结果）图表通过调用窗口指向其单元格。方便的拖放操作、上下文相关的右键菜单和 @Risk 工具栏使管理者可以快速学习和使用。



思考和练习题

1. 模拟抛硬币的物理实验和计算机模拟。
2. 用 Excel 模拟 π 的值，你能找到更好的模拟方法吗？
3. 了解常用的管理系统模拟软件，并比较它们的优缺点，你会选择哪个软件来进行管理系统模拟？