

精·品·课·程·立·体·化·教·材·系·列



普通高等教育“十一·五”国家级规划教材



系统动力学

钟永光 贾晓菁 李 旭 等 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

系统动力学

钟永光 贾晓菁 李 旭 等 编著

科学出版社

北 京



内 容 简 介

本教材从管理的角度出发,以培养系统思考能力为主线,以传授系统动力学知识为辅线,弱化微分方程式等数学知识,强化文本、曲线图来呈现复杂系统的动态本质特征,精心选取能为大家所熟知或能相对准确感知的复杂系统为教学案例,使具有不同数学水平的读者能理解。随教材附带的学生用光盘主要包括 STELLA、Anylogic、Powersim Studio 三大主流仿真软件的用户指南。另外出版的教师用光盘主要包括:Vensim 软件的用户指南,绘制因果回路图的案例,以及天然气的勘探与生产建模、网络与通信公司的赢利策略建模、宏观经济周期性发展的机制建模、传染病的传染过程建模、项目管理建模等应用案例。

本书可作为管理科学与工程、工商管理、公共管理、农业经济管理等一级学科下各专业本科生和研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

系统动力学/钟永光,贾晓菁,李旭编著. —北京:科学出版社,2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-023535-0

I. 系… II. ①钟…②贾…③李… III. 系统动力学-高等学校-教材
IV. N941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 199868 号

责任编辑:张 兰 陈 亮 苏雪莲 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 1 月第一次印刷 印张:19 3/4

印数:1—3 000 字数:424 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<长虹>)

前言

随着经济、技术、社会以及环境的迅速变化,我们生活所处的各种系统也变得越来越复杂。其实,今天我们面对的许多问题恰恰源于我们过去自身行为所带来的那些没有预料到的副作用。太多的时候,我们为了解决一个问题而采取的措施,往往使情况变得更糟,或者又造成了新的问题。

在这个充满复杂性的动态世界里,想要作出有效的决策,我们就必须先成为系统思考者——扩大我们心智模型的边界,并开发利用一些工具来理解复杂系统的结构是怎样决定其行为的。

系统动力学是一个视角,它能帮助我们理解复杂系统的结构和动态行为特性;同时,系统动力学也是一门严谨的建模学科,它为我们提供了规范的计算机仿真复杂系统的工具,使用这种工具,我们可以设计和制定出更有效的政策。总而言之,这些工具能帮助我们建立一个管理者的“飞行模拟器”——一个空间可以被压缩、时间可以被放慢的微观世界,在这个世界里,我们能感受到决策的长期副作用,提高学习速度,建立对复杂系统的理解,并制定出合理的结构和策略以获得更大的成功。在过去的 10 年里,美国许多业绩极佳的企业、咨询公司和政府已经应用系统动力学来解决危机事件;许多具有创新精神的管理学院和商学院正在讲授系统动力学,而学生也非常感兴趣,选学这门课的学生数量正日趋增加;从幼儿园到高中,数以百计的小学和中学正在将系统思考、系统动力学和计算机仿真融入他们的教学课程中去。一句话,系统动力学的教学与应用越来越广泛。

本教材主要向大家介绍系统动力学的建模过程,动态系统的行为模式与结构、路径依赖与正反馈、系统基模、流率基本入树建模法和反馈环计算法、政策分析、模型测试及新产品的销售过程建模、项目管理建模等应用案例。

1. 即使你没有坚实的数学基础,也不用怕本教材的理论教学

本教材充分借鉴荣获国际系统动力学领域最高奖——Jay Wright Forrester 奖(Jay W. Forrester 为系统动力学的创始人)——教材 *Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World* 的成功做法,以培养系统思考能力、兴趣为主线,以传授系统动力学知识为辅线,强主弱辅,主辅兼顾,为此弱化微分方程式等数学知识,强化文本、曲线图和基本代数学的方式来呈现复杂系统的动态本质特征,使之能为具有不同数学水平的读者所理解,特别是为管理学门类下的各本科专业学生和管理者所接受。上述



教材的作者 John D. Sterman, 先后于 1988 年和 2002 年 2 次荣获 Jay Wright Forrester 奖, 5 次获得麻省理工学院(MIT)斯隆管理学院教学优秀奖, 现任麻省理工学院斯隆管理学院和工程学院工程系统系“Jay W. Forrester”讲席教授、麻省理工学院系统动力学研究小组主任以及刊物 *System Dynamics Review* 的副主编。

系统动力学是从控制论和现代非线性动力学发展而来的, 其建立的理论和模型都有严格的数学基础。系统动力学也是一种实用的工具, 能够使政策的制定者解决他们组织所面对的紧迫问题。高校里管理学门类下管理科学与工程一级学科、工商管理一级学科、公共管理一级学科、农林经济管理一级学科各本科生的数学教学要求不同, 基础也就参差不齐; 现实中部分管理者没有学过非线性的微分方程, 许多管理者也已经忘记了他们曾经所学的微积分知识。为了使系统动力学成为解决问题的有用的工具, 并使之能为管理学门类下最大范围内的本科生和职业经理人所理解, 故本书尽量少使用数学公式来呈现系统动力学, 学生不需要通过微积分学或微分方程式来了解那些材料。这样处理的目的是为了培养学生对问题的直觉能力和对概念的理解能力。同时, 由于系统动力学也是一门严谨的建模方法, 为兼顾这种科学方法的严谨性, 本书所有的概念都是用文本、曲线图和基本代数学的方式来呈现的, 那些有深度的材料和数学方法上的细节在参考文献和脚注中予以说明。较高的数学能力虽然有用, 但这里要培养的系统思考能力、寻找事物因果回路的能力却更为重要。

2. 即使你没有工作经验, 也可以无障碍地学习本教材的案例

本教材精心选取能为大家所熟知或者能相对准确感知的复杂系统为教学案例。由于系统动力学的研究对象是社会经济等复杂系统的结构与行为关系, 因此教学案例本身描述的就是一个复杂系统, 对案例的描述往往会拖沓冗长, 并且需要一定的工作经验才能准确理解。但绝大多数在校生从小学、中学到大学, 基本上以学习为主, 他们在学习“系统动力学”课程之前大多没有什么工作经历, 结果学生往往由于缺乏情景认知而难以深刻体会, 因缺乏亲身体验而影响学习的兴趣和积极性。特别重要的是, 系统动力学教学的主要任务是讲解“复杂系统的结构和动态行为特性的关系”, 而不是介绍复杂系统本身。缘由于此, 我们精心选取了教学案例——尽管案例本身描述的是一个复杂系统, 但一定是为大家所熟知或者能相对准确感知的系统。这样我们对复杂系统本身的描述便能删繁就简, 即对其描述本着越简单越好的原则; 对该系统的系统思考、结构与行为的关系, 本着越透彻越好的原则进行。本教材精心选取以下案例: 新产品的销售过程建模、管理可再生能源游戏、传染病的传染过程建模、项目管理建模、天然气的勘探与生产建模、网络与通信公司的赢利策略建模、宏观经济周期性发展的机制建模、存货管理模型。

3. 支持师生的教、学与科研活动

将学术成果转化为教学内容, 把科学研究与大规模人才培养相结合, 避免知识创新徘徊于学者圈子, 造成资源浪费, 这是一个理论上没有争议、实践上却很有难度的工作。因为科研强调突破, 教学强调普适, 如果学生不掌握充足的预备知识, 就急于让他们接触前沿的东西, 这无异于拔苗助长, 违反循序渐进的教学规律。将科研成果直接用于教学



内容比较唐突,接口工作便是连接二者的关键。为了引导学生进入研究型的学习状态,适当保留阅读难度是有帮助的。一读就懂的教材是自学教材,不是大学教材,既要考虑教师介入的因素,也要相信学生的理解能力。对有些深度的问题,给学生留有独立理解的空间可以培养他们的创新精神。在本教材中,我们采用在行文中加入一些必要的准备知识,并用著者-出版年制标明准备知识的来源,这样便疏通了学生的进入渠道。

本套教材配备了学生用光盘和教师用光盘。随本教材附带的是学生用光盘,主要包括系统动力学领域三大主流仿真软件的上机指导和用户指南:STELLA 上机指导、Anylogic 用户指南、Powersim Studio 用户指南;教师用光盘主要包括教材中例题和习题的系统动力学模型、Vensim 软件的用户指南、绘制因果回路图的案例(管理你的工作负荷、传染病的传染过程建模、天然气的勘探与生产建模、网络与通信公司的赢利策略建模、宏观经济周期性发展的机制建模、项目管理建模、存货管理模型等)。这部分我们的初衷是:以上所指的四大软件自带的 Help 文档相当于《新华字典》,而这里的上机指导和用户指南相当于“小学语文课本中的汉字常见 3000 字”,在“汉字常见 3000 字”之外不认识的“字”,大家可以去查《新华字典》。这四大仿真软件分别可以从以下网站免费下载:① <http://www.xjtek.com>; ② <http://www.powersim.com>; ③ <http://www.iseesystems.com/index.aspx>; ④ <http://www.vensim.com>。

4. 本教材的分工与反馈

本教材由青岛大学钟永光副教授负责拟定大纲及统稿工作,并撰写第 1、5 章及附录;清华大学讲师卫强博士撰写第 2 章;中央财经大学副教授贾晓菁博士撰写第 3、4、11、12 章,并参与统稿工作;清华大学副教授朱岩博士也参与撰写第 5 章;复旦大学副教授李旭博士撰写第 6~9、13 章;Caterpillar Logistics Services Inc. 亚太区客户经理、麻省理工学院物流与供应链管理专业李楠硕士和青岛大学讲师吴鹏硕士合作撰写第 10 章;挪威卑尔根大学系统动力学专业博士生钱颖撰写第 14 章;卑尔根大学以论文 *Not Only the Tragedy of the Commons: Misperceptions of Bioeconomics* [Management Science, 1998, 44(9): 1234~1248] 荣获 2000 年度 Jay Wright Forrester 奖的 Erling Moxnes 的研究生郑龙斌硕士撰写第 15 章。

学生用光盘由青岛大学钟永光副教授负责软件选择、校译及统稿工作。Anylogic 用户指南由下列人员共同完成:国家环境保护部信息中心张波博士,青岛大学讲师张宁(南京大学博士生),青岛大学讲师吴鹏硕士,清华大学国家 CIMS 工程技术研究中心博士生徐炜达,北京林森科技发展有限公司陈永刚经理;Powersim Studio 用户指南由郑龙斌硕士完成;STELLA 上机指导由教授级高级工程师袁永根完成。

为了方便师生的教、学及科研,编写团队制作了配套的教辅资料,包括教学大纲、教学日历、教案、多媒体课件、实验大纲、实验指导书、实验报告样稿及相关科研文献资料等,选用此教材的老师可与科学出版社联系获得这部分资料。

由于编写团队所掌握的学术资源和教学资源有限,特别是水平的限制,教材中难免有不妥之处,希望读者不吝指正,以便我们能够尽快更正。请发电子邮件到“zhongyong-guang@qdu.edu.cn”。



5. 致谢

饮水思源,感谢复旦大学王其藩教授,是他把笔者引入了充满探索色彩的系统动力学教学与科研领域。王其藩教授 1981 年赴美国 MIT 斯隆管理学院访问,1983 年受聘为该校系统动力学研究中心终身成员,回国后推动系统动力学在国内外的发展,出版专著《系统动力学》,并获 1990 年第五届全国优秀科技图书奖二等奖,且于 2006 年当选国际系统动力学学会主席。也非常感谢南昌大学贾仁安教授。贾仁安教授自 1986 年在南昌大学开设系统动力学课程以来,22 年中一直为系统动力学的教学和科研奋斗,并以江西省规模养殖污染物处理为研究对象,在科学出版社等出版了系列原创性成果,2002 年贾仁安教授编写的由高等教育出版社出版的《系统动力学——反馈动态性复杂分析》教材也使笔者深受启发。非常感谢复旦大学副教授张显东博士对本教材章节安排提出的建设性意见,非常感谢清华大学副教授朱岩博士提供材料、术语修正等诸多方面的支持,非常感谢挪威卑尔根大学系统动力学专业博士生钱颖给予技术方面的支持。毕业于挪威卑尔根大学的系统动力学硕士陈杰,对如何吸收国外系统动力学的教学经验提出了宝贵意见;吉林大学尹铁岩副教授、华东理工大学郑庆寰讲师、西班牙加泰罗尼亚理工大学 Juan Martín García 教授、伦敦商学院 Kim D. Warren 教授也给予了大力支持,硕士研究生伯大辉、孔丽娟也参与了本教材的部分校对工作,九思艺术设计工作室武汉理工大学设计艺术学专业博士研究生刘洋为本书设计了别致典雅且极具课程特色的标志。特别地,科学出版社张兰编辑给予了细致入微的帮助,在此一并致谢。

钟永光

2009 年 1 月 18 日

教材主编 钟永光 贾晓菁 李 旭
教材副主编 朱 岩 钱 颖
教材编写委员会 钟永光 卫 强 贾晓菁 朱 岩 李 旭
李 楠 吴 鹏 钱 颖 袁永根 郑龙斌
尹铁岩 张显东 陈 杰
光盘主编 钟永光 张 波 郑龙斌 袁永根
光盘副主编 徐炜达 张 宁
光盘编写委员会 钟永光 张 波 张 宁 吴 鹏 徐炜达
陈永刚 郑龙斌 袁永根

目 录

前言

第一篇 系统动力学理论篇

第 1 章 系统动力学的历史与未来	3
1.1 什么是系统动力学	3
1.2 国外系统动力学的历史	3
1.3 国内系统动力学的发展	8
1.4 系统动力学专用模拟语言与软件的发展	8
1.5 系统动力学的未来	9
思考题	9
第 2 章 系统的模型化	10
2.1 系统的概念	10
2.2 模型的概念	11
2.3 模型与系统的关系	12
2.4 模型的实用性	13
2.5 模型构成的要素	14
2.6 模型的边界与种类	14
2.7 模型的局限性	16
思考题	18
第 3 章 系统动力学建模过程	19
3.1 建模的目的:解决那些让客户整晚睡不着觉的问题,将组织经理变为设计者 ..	19
3.2 建模者与客户	20
3.3 建模过程的步骤	20
3.4 建模是反复的过程	21
3.5 建模过程概要	23



3.6 运用系统动力学的原则	34
3.7 小结	36
思考题	37

第4章 动态系统的行为模式与结构	38
4.1 动态行为的基本模式与结构	38
4.2 基本模式的相互作用与结构	45
4.3 其他行为模式与结构	51
4.4 小结	55
思考题	56

第5章 因果回路图	57
5.1 因果图中的记号	57
5.2 绘制因果回路图的原则	59
5.3 应用建议:从访谈信息中形成因果图	67
5.4 Vensim 软件简介	68
5.5 如何使用 Vensim 软件绘制因果回路图	74
思考题	87

第6章 存量流量图	88
6.1 存量流量图的概念	88
6.2 存量流量图中的基本要素及其描述符号	89
6.3 区分系统中各种性质的变量	92
6.4 绘制存量流量图	97
6.5 如何使用 Vensim 绘制存量流量图	99
思考题	103

第7章 简单系统的动态:一阶系统和二阶系统	104
7.1 一阶正反馈系统	104
7.2 一阶负反馈系统	106
7.3 一阶 S 形增长系统	107
7.4 一阶系统的一般描述	110
7.5 二阶系统	111
7.6 小结	113
思考题	113

第8章 典型结构的动态 I:延迟	114
8.1 延迟的概念	114



8.2 物质延迟	116
8.3 信息延迟	125
8.4 延迟对系统的影响	129
8.5 估计延迟时间和分布	131
思考题	137
第9章 典型结构的动态 2: 路径依赖与正反馈	138
9.1 路径依赖的概念	138
9.2 路径依赖的一个简单模型: Polya 过程	140
9.3 经济管理活动中的路径依赖	143
思考题	144
第10章 典型结构的动态 3: 老化链与协流	145
10.1 老化链	145
10.2 协流: 为存量的属性建模	164
10.3 小结	173
思考题	173
第11章 典型结构的动态 4: 系统基模	176
11.1 系统基模的概念	176
11.2 常见的系统基模	177
11.3 顶点赋权反馈因果关系图分析法	182
思考题	197
第12章 流率基本入树建模法和反馈环计算法	198
12.1 系统动力学流率基本入树建模法	198
12.2 枝向量行列式反馈环计算法	213
12.3 枝向量矩阵反馈环计算法	222
12.4 复杂系统极小基模分析	244
思考题	254
第13章 模型测试	255
13.1 模型测试概述	255
13.2 模型测试	260
思考题	273

第二篇 系统动力学应用篇

第14章 新产品的销售过程建模	277
------------------------------	------------



14.1 新产品销售过程案例背景	277
14.2 销售过程的因果回路图	278
14.3 销售过程的存量流量图	278
14.4 模型测试	280
14.5 政策设计	284
思考题	287
第 15 章 管理可再生能源游戏	288
15.1 游戏规则	288
15.2 游戏分析	289
思考题	291
参考文献	293
附录 国际系统动力学学会 Jay Wright Forrester 奖得主及作品	299

第一篇

系统动力学理论篇

第1章

系统动力学的历史与未来

1.1 什么是系统动力学

系统动力学(system dynamics, SD)是系统科学理论与计算机仿真紧密结合、研究系统反馈结构与行为的一门科学,是系统科学与管理科学的一个重要分支。

系统动力学认为,系统的行为模式与特性主要取决于其内部的结构。反馈是指 X 影响 Y ,反过来 Y 通过一系列的因果链来影响 X ;我们不能通过孤立分析 X 与 Y 或 Y 与 X 的联系来分析系统的行为,只有把整个系统作为一个反馈系统才能得出正确的结论。

由于非线性因素的作用,高阶次复杂时变系统往往表现出反直观的、千姿百态的动态特性。系统动力学模型可作为实际系统,特别是社会、经济、生态复杂大系统的“实验室”。系统动力学研究处理复杂系统问题的方法是定性与定量结合、系统综合推理的方法,其建模过程就是一个学习、调查、研究的过程。模型的主要功用在于向人们提供一个进行学习与政策分析的工具,并使决策群体或整个组织逐步成为学习型组织。

1.2 国外系统动力学的历史

国际系统动力学的创立与发展经过了以下几个重要阶段。

1.2.1 第一阶段:20 世纪 50~60 年代系统动力学的诞生

系统动力学的出现始于 1956 年,其创始人为美国麻省理工学院的福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授^①。初期系统动力学主要应用于工业企业管理,处理诸如生产与雇员情况的波动、市场股票与市场增长的不稳定性等问题。1958 年 Forrester 在《哈佛商业评论》上发表了奠基之作(Forrester 1958),1961 年出版的《工业动力学》(Forrester 1961)是系统动力学理论与方法的经典论著,此学科早期的称呼——“工业动力学”即因

^① 由于 J. W. Forrester 在系统动力学领域的杰出贡献,国际系统动力学学会自 1983 年起设立 Jay Wright Forrester 奖。该奖项为年度奖,每年评选一次,用于奖励国际范围内过去 5 年里对系统动力学领域有突出贡献者,获奖者将获得一枚奖章和 5000 美元。已经发表的、出版的或适于出版的论文、著作、研究报告和咨询报告都可以申请,作品要求原作是英语或译成英语。



此而得名。1968年Forrester又出版了《系统原理》(Forrester 1968),重点讲述了在系统中产生动态行为的基本原理以及系统结构和动态行为的概念。《系统原理》一书中所讨论的原理在系统的分析、决策和预测中具有普遍性和广泛的适用性。尔后,Forrester又从宏观层次研究了城市的兴衰问题,并于1969年出版了《城市动力学》(Forrester 1969);N. J. Mass对城市动力学模型进行了扩充,于1974年出版了《对〈城市动力学〉阐释·第一卷》(Mass 1974);W. W. Schroeder等对城市动力学模型进行了更深入的扩展与研究,于1975年出版了《对〈城市动力学〉阐释·第二卷》(Schroeder 1975);L. E. Alfeld等用简明易懂的文字,以城市模型为例讲授建模方法,于1976年出版了《城市动力学导论》(Alfeld, Graham 1976)。尔后,系统动力学的应用范围日益扩大,几乎遍及各类系统,深入到各种领域。显然此学科的应用已远远超越“工业动力学”的范畴,所以改称为“系统动力学”。

1.2.2 第二阶段:20世纪70~80年代的发展成熟

这一时期的标志性成果是系统动力学世界模型与美国国家模型的研究^①。

20世纪70年代初,拥有来自26个国家75名科学家的罗马俱乐部^②(the Club of Rome)困惑于世界面临人口增长与资源日益枯竭的前景。鉴于当时一些惯用的工具难以胜任对此复杂问题的研究,于是他们寄希望于系统动力学的方法。在1970年6、7月间,经过一个多月的酝酿和召开学习讨论会,俱乐部的成员对Forrester教授提出的世界模型的雏形(WORLD II)颇感兴趣并受到鼓舞。于是罗马俱乐部决定提供财政支持,在麻省理工学院成立一个由Forrester教授的学生梅多斯(Dennis Meadows)教授为首的国际研究小组,承担世界模型的研究任务。Forrester、Dennis Meadows先后建立WORLD II与WORLD III模型,这一研究引起了广泛关注与持续争论。主要成就有:WORLD II模型及以此为基础的《世界动力学》(Forrester 1973b);WORLD III模型及以此为基础的《增长的极限》(Meadows D H et al. 1972)和《趋向全球的平衡》(Meadows D L et al. 1974)。

《增长的极限》^③被西方一些报纸称为“70年代的爆炸性杰作”,它从人口、工业、污染、粮食生产和资源消耗等重要的全球性因素出发,建立了全球分析模型。他们得出结论:“如果让世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗方面现在的趋势继续下去,这个行星上的增长极限将在今后一百年中发生。最可能的结果将是人口和工业生产力双方有相当突然和不可控制的衰退。”^④《增长的极限》的结论是“悲观主义”的,似乎给人们描绘了一幅“世界末日”式的图景,然而它的内容既包含着警告,也包含着希望。该书尖

① 这一时期的总结,本书参见了:王其藩. 系统动力学. 北京:清华大学出版社,1998. 2,3

② 罗马俱乐部成立于1968年4月,是由来自10多个国家的近100名代表组成的、非政府间的国际组织。他们就当代社会的人口、粮食、能源、环境等问题进行跨学科的综合性研究,已写出10多个综合性的研究报告,颇具影响。

③ 这是罗马俱乐部关于世界性问题的第一份报告,已经被译成27种文字,出版了1200多万册,详见 <http://www.clubofrome.org>。

④ [美]德内拉·梅多斯,乔根·兰德斯,丹尼斯·梅多斯. 增长的极限(第2版). 李宝恒译. 成都:四川人民出版社,1984. 19,20



锐地提出了关系到全球人类“生死存亡”问题的紧迫性,同时也给出了一个非常乐观的希望:“2. 改变这种增长趋势和建立稳定的生态和经济的条件,以支撑遥远未来是可能的。全球均衡状态可以这样来设计,使地球上每个人的基本物质需要得到满足,并且每个人都有实现他的个人潜力的平等机会。3. 如果世界人民决心追求第二种结果,而不是第一种结果,他们为达到这种结果而开始工作愈快,他们成功的可能性就愈大。”^①

几乎在同一时期,从1972年开始,Forester领导的麻省理工学院系统动力学小组,先后在数十家企业公司、本国和外国的政府部门的财政资助下,几乎倾其全组力量之半,历时11年,约耗资600万美元,完成了一个方程数达4000个的全国系统动力学模型。该模型把美国的社会经济问题作为一个整体加以研究,解开了一些在经济方面长期存在的、令经济学家们困惑不解的疑团,如20世纪70年代以来通货膨胀、失业率和实际利率同时增长等问题。这些研究揭示了美国与西方国家的经济长波的内在机制,美国70年代以来的通货膨胀、失业率和实际利率同时增长等问题,其代表性的人物有Sterman(1985, 1986, 1989)、Saeed(1986)、Forrester(1989)。

在此期间,SD在项目管理领域的应用也有了新的发展。1980年K. G. Cooper用SD模型来分析、量化在一个大型的军事造船工程中成本超额的原因,这是SD在大规模工程管理中最初的运用,同时也是运用得最成功的一个(Cooper 1980)。1970年,Ingalls Shipbuilding of Pascagoula赢得了美国海军的一份大合同——为它们建造一支拥有30艘新驱逐舰的舰队。加上1969年签订的9艘LHA(直升机登陆攻击舰),Ingalls发现自己境况可喜,获得了世界上最大的两个造船项目,并开始展望多年的大量销售和高额利润。然而到了20世纪70年代中期,Ingalls陷入困境,成本超出计划5亿美元以上。在海军多次拒绝弥补Ingalls的这些成本之后,Ingalls向海军提起诉讼,要求取得预期发生的5亿美元损失。最终Ingalls求助于SD来量化因海军的设计更改而导致的损失,1978年6月双方庭外和解,Ingalls得到4.47亿美元。

这些研究使SD受到了世界范围的关注,促进了它在世界范围内的传播与发展,确立了其在社会经济问题研究中的学科地位。

1.2.3 第三阶段:20世纪90年代到目前,系统动力学的广泛应用与传播

在这一阶段,SD在世界范围内得到广泛的传播,其应用范围更广泛,并且获得了新的发展。“从公司的战略研究到艾滋病病毒与人类免疫系统间的斗争。SD也被用于各种产业——上至航天飞行器,下到锌工业,以及从艾滋病到福利改革的各种问题”(Sterman 2000)。

1. 在宏观领域

《增长的极限》一书发表20年之后,原著作者D. H. Meadows、D. L. Meadows和J. Randers于1992年出版了《超越极限:正视全球性崩溃,展望一个可持续的未来》

^① [美]德内拉·梅多斯,乔根·兰德斯,丹尼斯·梅多斯. 增长的极限(第2版). 李宝恒译. 成都:四川人民出版社,1984. 19, 20