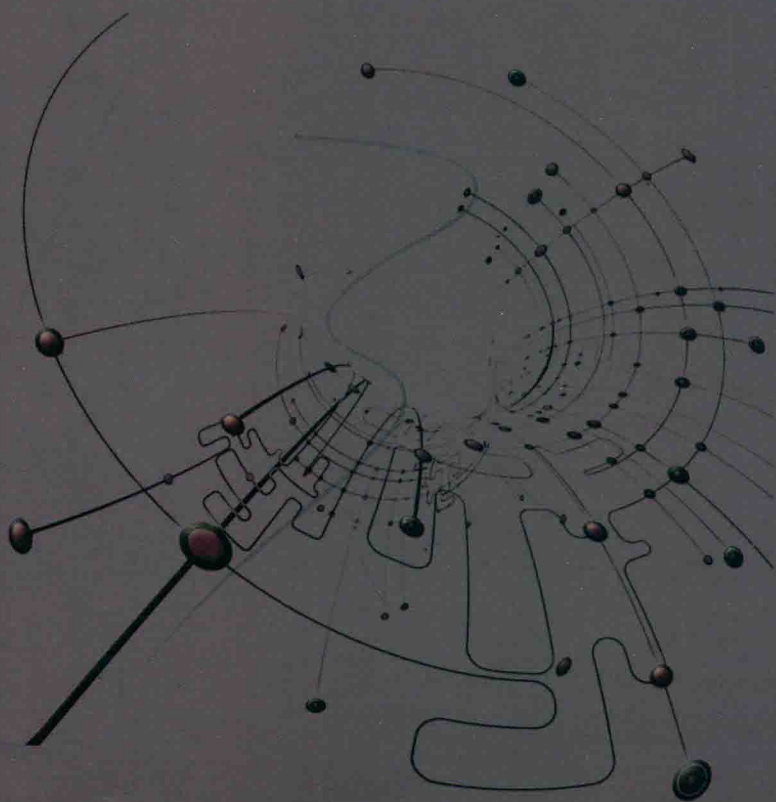


系统动力学建模 与应用研究

马 歆 王文彬◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

系统动力学建模与应用研究

马 歆 王文彬 著



 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

系统动力学是一门分析研究复杂反馈系统动态行为的系统科学方法。它是系统科学的一个分支，也是一门沟通自然科学和社会科学领域的横向学科，实质上就是分析研究复杂反馈大系统的计算仿真方法。系统动力学模型是社会、经济、规划、军事等许多领域进行战略研究的重要工具，如同物理实验室、化学实验室一样，也被称之为战略研究实验室，自问世以来硕果累累。本书就系统动力学模型及其应用做了详细介绍，主要内容包括系统动力学基础理论及方法、基于系统动力学模型的煤矿安全系统脆性评价、环境污染第三方治理问题的博弈模型构建与分析、基于系统动力学模型的河南省能源消费可持续发展研究、中国高技术产业创新能力的系统动力学研究。

本书具有较高的理论价值和较强的实用性，可作为动力工程专业本科生的辅导教材，也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目（C I P）数据

系统动力学建模与应用研究 / 马歆, 王文彬著. --
北京 : 中国水利水电出版社, 2019.6
ISBN 978-7-5170-7755-8

I. ①系… II. ①马… ②王… III. ①系统动力学—
系统建模—研究 IV. ①N941.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第120005号

责任编辑：陈 洁

封面设计：邓利辉

书 名	系统动力学建模与应用研究 XITONG DONGLIXUE JIANMO YU YINGYONG YANJIU
作 者	马 歆 王文彬 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14.5印张 256千字
版 次	2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	65.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

麻省理工学院的福瑞斯特 (Jay W. Forrester) 教授在对经济与工业组织系统进行了深入研究后, 得出有关系统的信息反馈、基本组成等重要观点, 在此基础上于 1956 年创立了系统动力学 (System Dynamics, SD)。系统动力学的出现为认识、解决复杂系统 (非线性、高阶次、多变量、多重反馈、复杂时变) 问题提供了理论与方法。随着其研究范围的不断扩大, 系统动力学已经成为一门横跨系统科学与管理科学的独立交叉学科, 有较为完整的理论体系和科学方法, 在经济、社会、环境、能源等领域得到广泛应用。本书运用系统动力学理论, 针对经济、能源和环境等具体问题进行研究, 构建了相应的系统动力学模型, 并对仿真结果进行了分析, 提出了相关的政策建议。

第 1 章, 系统动力学基础理论及方法。对系统动力学的发展过程进行了概述, 介绍了反馈、反馈系统和延迟等基本概念, 分析了系统动力学的特点, 分别从构建系统动力学模型的变量要素及关联要素两方面讨论了建模的主要要素和流程, 诠释了系统的动态行为模式。

第 2 章, 基于系统动力学模型的煤矿安全系统脆性评价。首先, 基于煤矿安全系统外部因素进行研究, 运用灰色关联分析得出影响煤矿安全水平的外部关键因素, 并选取关联度较大的四个指标——从业人数、就业人数、国家安全投入、煤炭消费总量建立煤矿安全系统外部因素的系统动力学模型, 分析了煤矿安全评价指标“死亡人数”随“国家安全投入”的变化情况。其次, 基于煤矿安全系统内部因素进行研究, 分析煤矿事故发生机理得出

影响安全水平的内部因素有人、物、环、管四个因素，从安全效益的角度出发，建立煤矿安全系统内部因素的系统动力学模型，分析内部因素对煤矿安全评价指标“煤矿安全效益”的影响，并根据安全效益值判定煤矿行业所处的安全等级，结合脆性理论讨论影响煤矿安全水平的内部关键因素。最后，提出有针对性的建议，为改善煤矿行业安全现状提供一定的参照依据。

第3章，环境污染第三方治理问题的博弈模型构建与分析。在社会经济迅速发展的同时，由于自然资源过度利用，中国的环境问题日益严重。面对这样的困境，中国正在逐步尝试将原有的工业污染“谁污染，谁治理”的环境治理模式转变为“谁污染、谁付费、第三方治理”的模式。在实施环境污染第三方治理的过程中，由于政府环境监管部门与第三方企业之间存在着信息不对称，监管部门在进行环境监管时对第三方与排污企业是否在环境服务活动中弄虚作假难以掌握，且第三方企业与排污企业之间容易发生合谋行为，产生环境治理的外部不经济。因此，如何避免第三方企业与排污企业的合谋等违规行为是政府环境监管部门的重要工作。本章在有限理性的假设下，采用演化博弈的方法分析环境污染第三方治理的博弈过程，研究政府、第三方企业、排污企业在博弈过程中的行为选择、利益分析以及博弈焦点，运用系统动力学理论建立演化博弈模型，对演化博弈的均衡解与优化情况进行仿真分析，根据分析结果得出结论并提出相关对策建议。

第4章，基于系统动力学模型的河南省能源消费可持续发展研究。能源为国民经济发发展提供动力，现代社会的发展对能源消费的依赖程度日益提高。能源消费可持续发展与经济、环境和人口等因素紧密相连，能源消费促进经济的可持续发展，并对人民生活的改善起到保障作用。然而，在经济社会发展的同时，自然环境却不断恶化。因此，本章分析影响能源消费状况的因素，

运用系统动力学的理论和方法构建了能源消费可持续发展系统动力学模型，通过多种情景模拟，分析河南省能源消费可持续发展系统的基本行为，为河南省能源、经济、环境和人口系统的协调发展提出相关的政策建议。

第5章，中国高技术产业创新能力的系统动力学研究。高技术产业以其知识、技术密集性被认作是一个国家综合竞争力的重要体现，高技术产业在转变经济增长方式和调整产业结构方面有着突出的作用。本章在相关文献和理论研究的基础之上，分析了中国高技术产业创新能力的运行机制，根据系统动力学理论和方法，构建了高技术产业的投入能力、产出能力、支撑能力三个子系统，并建立了相应的因果关系图，在此基础上，将三个子系统整合为高技术产业创新能力的系统动力学模型，并对模型进行模拟仿真和敏感性分析，分别讨论了政府支持力度、金融支持力度、高技术产业创新意识、人才机制、校企合作研发机制对高技术产业创新能力的影响与作用，对中国高技术产业创新能力的发展提出有针对性的措施和建议。

全书的内容和结构由华北水利水电大学马歆和王文彬确定。各章具体分工：华北水利水电大学霍猛负责第1章的写作和校订；华北水利水电大学李静、河南省发展和改革委员会（河南省能源局）周勇杰负责第1和第2章的写作和校订；华北水利水电大学丁永新、李晶慧负责第3章的写作和校订；华北水利水电大学丁林芳、李乾负责第4章的写作和校订；华北水利水电大学梁志林、高煜昕负责第5章的写作和校订。马歆、王文彬和周勇杰负责各章节的写作、统筹以及修改。

书中引用了国内外大量的论文、著作等，在此对所引用文献资料的作者表示诚挚的谢意。本书为作者近年来在主持完成河南省政府决策招标项目“低碳背景下基于系统承载能力测度理论的

河南省资源、环境与经济社会协调发展研究”，河南省科技攻关项目“低碳背景下企业行为动态演化的系统仿真与分析”，以及河南省软科学项目“科技创新在区域经济发展中的作用研究”等课题过程中运用系统动力学理论探讨实际问题的心得体会。内容涉及不同行业且发展迅速，经过反复修改完善，仍难免存在不当之处，恳请读者及同仁给予批评指正。

作者

2019年3月

目 录

前 言

第 1 章 系统动力学基础理论及方法	(1)
1.1 系统动力学的形成与发展	(1)
1.2 系统动力学的含义	(2)
1.3 系统动力学的基本概念	(4)
1.4 系统动力学的特点	(9)
1.5 系统动力学建模	(10)
1.6 系统动力学建模软件 Vensim	(11)
参考文献	(16)
第 2 章 基于系统动力学模型的煤矿安全系统脆性评价	(17)
2.1 研究背景和文献综述	(17)
2.2 研究意义和技术路线	(22)
2.3 外部因素对煤矿安全水平影响的评价	(23)
2.4 内部因素对煤矿安全水平影响的评价	(34)
2.5 煤矿安全系统内部因素的脆性分析	(49)
2.6 结论和建议	(64)
参考文献	(67)
第 3 章 环境污染第三方治理问题的博弈模型构建与分析	(71)
3.1 研究背景和文献综述	(71)
3.2 研究意义和技术路线	(77)
3.3 环境污染第三方治理的博弈分析	(79)
3.4 环境污染第三方治理系统演化博弈模型仿真与稳定性研究	(90)
3.5 环境污染第三方治理系统演化博弈有效稳定性控制情景研究	(104)
3.6 结论和建议	(126)
参考文献	(128)

第 4 章 基于系统动力学模型的河南省能源消费可持续发展研究 ...	(131)
4.1 研究背景和文献综述	(131)
4.2 研究意义和技术路线	(136)
4.3 能源消费系统可持续发展模型的构建	(137)
4.4 能源消费系统流图模型的仿真与分析	(163)
4.5 结论和建议	(173)
参考文献	(177)
第 5 章 中国高技术产业创新能力的系统动力学研究	(179)
5.1 研究背景和文献综述	(179)
5.2 研究意义和技术路线	(185)
5.3 高技术产业创新能力模型构建	(186)
5.4 模型仿真与检验	(204)
5.5 结论和建议	(217)
参考文献	(220)

第 1 章 系统动力学基础理论及方法

1.1 系统动力学的形成与发展

系统动力学 (System Dynamics, SD) 最初来源于 20 世纪 60 年代福瑞斯特 (Jay W. Forrester) 和他的同事在美国麻省理工学院斯隆管理学院 (MIT Sloan School of Management) 的工作。最初的系统动力学思想是他们在应用反馈控制理论的概念研究工业系统时形成的, 福瑞斯特完成了《工业动力学》一书, 并且使用 Dynamo 来实现模型。

系统动力学思想在 20 世纪 60 年代最有影响力的应用是在福瑞斯特的《城市动力学》中。在该书中, 福瑞斯特构建了把城市看作是一个人口、房屋、工业相互作用的系统, 在有利的条件下, 城市可以高速的发展, 但是随着城市中被占用土地的逐渐增加, 这个城市系统的模拟发展情况开始走向停滞, 并出现房屋老化、工业萎缩等现象, 通过实验模拟, 福瑞斯特发现如果采用常规的解决办法, 会使模拟情况变得更糟糕。例如, 如果采取建设额外的高档住宅, 会减少提供给新产业发展所需的土地, 进而可能导致城市的发展减缓甚至停滞不前, 当福瑞斯特采用拆除小部分“简陋房屋”的方案时, 模拟情况很好, 拆除的旧房屋为新产业的发展创造了空间, 如果进行重新建设也可以使城市内部产业和职工很好地融合在一起。有学者指出福瑞斯特的模型不够完美, 但福瑞斯特回应, 一切模型都是不完美的, 因为在设计它们的时候, 就是一个系统的简化代表, 并且福瑞斯特还提出: 人类的思维方式不适合解释社会系统的行为, 社会系统是一类多重非线性反馈的系统。《城市动力学》一书还特别强调向工业区以外的其他领域扩展, 这种方法就是后来被人们熟知的系统动力学。

在 1972 年, 梅多斯 (Meadows) 等出版了一本广为人知的系统动力学著作, 名为《增长的极限》。该书预测了 21 世纪全球系统中, 人口和工业产品的增长情况, 利用模型模拟了满足增长所需的粮食供应和资源生产。该模型也可以模拟持久污染物的产生, 这些污染物积累在环境中, 并残留几十年。作者根据这个模型认为: 即使有先进的技术, 世界系统能够支持目前的经济和人口增长率最多到 2100 年。

20 世纪 70 年代, 福瑞斯特研究美国全国模型, 他在 11 年中完成了包

括 4000 个方程的美国全国的系统动力学模型。该模型把美国的社会经济作为一个系统来研究，解决了一些经济领域中长期存在但经济学家困惑不解的难题。例如，70 年代以来美国通货膨胀、失业率、实际利用率同时增长的问题，该研究在一定程度上揭示了美国和西方经济长波形成的奥秘，系统动力学由此受到了更广泛的关注，并在理论和应用研究方面有了很大的发展，逐渐走向成熟。

福瑞斯特的学生彼得·圣吉（Peter Senge M）博士在他的指导下，对反馈动态性复杂理论及应用进行研究，并且以 10 年左右的时间发展出系统思考、学习性组织的理论及应用，出版了《第五项修炼》，提出企业系统发展的 6 个基模。到此，基于系统动力学的管理决策建模方法逐渐发展成熟，这种方法不单综合了系统思考和学习型组织理论，而且还融合了先进的计算机技术。

1.2 系统动力学的含义

系统是指一个由相互区别、相互作用的元素有机地联系在一起，而具有某种功能的集合体。系统论是系统动力学的基础。

系统动力学是一门分析和研究信息反馈系统的学科，可以用来探索如何认识 and 解决系统问题的科学，也是一门交叉、综合性的学科。系统动力学着重强调了系统、整体、联系、发展、运动的观点。系统动力学指出，由于系统内部非线性因素的作用和存在复杂的反馈因果关系，高阶次复杂时变系统常常表现出反直观、千奇百态的动力学特性，而且在一定条件下还可能产生混沌现象。系统动力学在处理复杂系统问题时采用的是定性与定量相结合的方法，整体思考与分析、综合与推理的方法。

系统动力学是系统科学的一个分支，以系统反馈控制理论为基础，主要运用计算机仿真技术研究系统发展的动态行为。系统动力学可以有效地把因果关系的逻辑分析和信息反馈的控制原理相结合，在处理复杂的实际问题时，首先从系统的内部着手，然后建立系统的仿真模型，接着对系统模型进行不同政策方案的模拟，通过计算机仿真展示系统的宏观行为，寻找解决问题的有效途径。系统动力学的建模过程是一个学习、调查、研究的过程，模型的主要功能在于为人们提供一种进行学习和政策分析的工具，使决策人或组织逐步成为一个学习型与创造型的组织。

1.2.1 关于系统结构的基本观点

系统论将结构定义为各单元（子系统）之间的秩序，具体包含以下两

层涵义：一是指系统中的各单元（子系统）；二是指各单元或者子系统之间的相互联系及其相互作用。

耦合系统的信息、速率变量（或称决策、行动）与状态变量（积量）组成的闭合通道便是反馈回路，它们分别对应于系统的信息、运动及单元三个组成部分。系统动力学将一阶反馈回路视为基本单元，并用一阶反馈回路组合起来构成的多阶反馈回路描述复杂系统的结构。

一个复杂的反馈系统结构是由多个一阶反馈回路再加上逻辑、物质延迟、信息延迟等环节组成，按照层次性、因果关系组织起来。由于复杂系统具有整体性及层次性两大特点，因此系统的结构存在以下体系及层次：

(1) 系统 S 的研究范围及界限；

(2) 基本单元或子系统 S_i ($i=1, 2, \dots, p$)

(3) 正负反馈回路结构 E_j ($j=1, 2, \dots, m$)

(4) 正负反馈回路的主要组成部分及从属部分：①正负反馈回路第一个主要组成变量——积量（状态变量）；②正负反馈回路第二个主要组成变量——速率变量（包括偏差、现状、行动及目标）。

1.2.2 关于系统功能的基本观点

任何系统都是结构和功能的统一体，因此系统都具有结构和功能。功能广义上是指各基本单元或子系统运动的秩序，狭义上是指基本单元自身的活动或者基本单元之间相互联系及其相互作用所形成的整体效应。结构和功能是相互对立的又是相互统一的，因此它们互为因果又相辅相成。结构和功能是不可分割的，二者在一定的背景和条件下可以相互转化。因此，系统动力学要求我们在分析研究系统时，不仅仅要考虑到系统的功能及其动态行为，还要充分考虑到系统的组织结构；认真观察系统的结构及功能，建立模型，并通过不断地模拟仿真及真实性检验来完善模型，使得模型能够较为合理有效地反映真实系统。

1.2.3 系统中的主导与非主导结构

由系统动力学的主导结构原理可知：系统结构是由多个反馈回路再加上逻辑、物质延迟、信息延迟等环节，按照层次性、因果关系组织起来的；系统发展的每个阶段总会有一个甚至多个反馈回路起主导作用，系统动力学将这些起主导作用的回路称为主导回路，主导回路的性质、相互之间的联系及其作用决定了整个系统的动态行为及其发展趋势。

在系统变化、发展、运动的过程中，甚至在旧系统结构向新系统结构

过渡的过程中都有主导回路存在，在一定背景和条件下，这些主导回路决定了系统的动态行为以及未来的发展趋势。虽然主导部分在系统中起着关键作用，但我们并不能排斥非主导部分在系统结构和功能中起的作用，正是由于主导部分和非主导部分的完美结合，才决定了系统动态行为的性质以及模式。

1.3 系统动力学的基本概念

1.3.1 系统与边界

系统是一个相对于其研究问题的实质和建模的目的而言的概念。对于一个给定的系统，它可以是其他系统中的一个子系统，同时也能按照一定的标准划分为诸多层次的子系统。但是，一旦确定了所研究问题的实质和建模的目的，那么系统也就确定了，其边界也应该是唯一和清晰的。

系统边界实际上是一个假想的轮廓，它把所研究的问题有关的部分划分进系统，与其他部分（系统环境）分隔开。一般来说，对于不同的研究对象，或是同一研究对象，但是研究问题的实质和建模的目的不同，系统也就划分不同的边界。那么系统的边界应该如何划分，划分在何处才合理？根据系统动力学的理论，在进行系统边界的划分时，应该把系统中的反馈回路考虑成闭合的回路，尽量把那些与系统建模目的关系紧密、重要的变量都划入系统边界，系统的边界应该是封闭的，如果有必要还可以在定性分析的基础上进行定量分析，以此确定系统的行为主要由系统内部决定。

1.3.2 反馈

信息的传输及回授过程称之为反馈，其重点在于回授过程。反馈可以从子块、单元或系统的输出直接连接到其相应的输入，也可以通过媒介如其他子块、单元、系统来实现。狭义上，反馈是指存在于系统内部的同一个子系统或同一单元对应的输入及其输出之间的相互关系；广义上，则是针对系统整体，反应系统外部环境的输入及相应的系统输出之间存在的关系。

基于反馈过程的主要特点，系统动力学将反馈分为正反馈及负反馈。箭头标注“+”或“-”取决于这个影响是正向的还是负向的。倘若事件 A 的发生促使了事件 B 的发生，那么事件 A 与事件 B 之间便存在因果关系。若 A 对 B 是正方向变化，即 A 增加（减小），造成 B 增加（减小），则 A 与

B 之间存在正因果关系，“+”表示反馈中两个变量的变化方向相同，如图 1-1 所示；同时“+”也可以代表流与累积流的库之间的因果链；若 C 对 D 是反方向变化，即 C 增加（减小），造成 D 减小（增加），则 C 与 D 之间存在负因果关系，“-”表示两个变量变化方向相反，如图 1-2 所示。



图 1-1 正因果链示意图



图 1-2 负因果链示意图

1.3.3 反馈回路

反馈回路是指由一系列因果和相互作用链组成的闭合回路，也可以说是由信息与动作构成的闭合路径。在一条反馈回路中，如果因果链中全部是“+”或者“-”个数为偶数，则回路极性为正；如果反馈回路中包含“-”个数为奇数，则其极性为负。反馈回路的极性反映出它的基本特征，正反馈回路能够不断往复增长，使系统增大；负反馈回路起着不断削弱系统的作用，具有自调节性，如图 1-3 和图 1-4 所示。

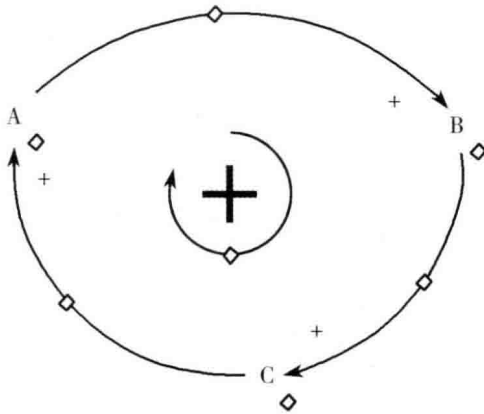


图 1-3 正反馈回路示意图

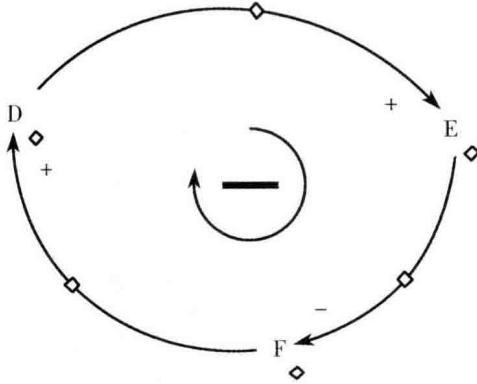


图 1-4 负反馈回路示意图

图 1-5 中的人口系统，人口是库，出生是输入流，死亡是输出流，该反馈回路由两个子回路组成，左边是正反馈回路，人口数量越多，出生人口也就越多；而出生人口的增多也会导致未来人口数的进一步增加。右边是负反馈回路，表示死亡会降低人口规模，从人口指向死亡的箭头为正，表示死亡率固定的情况下，人口数量越多，死亡的人数也越多。

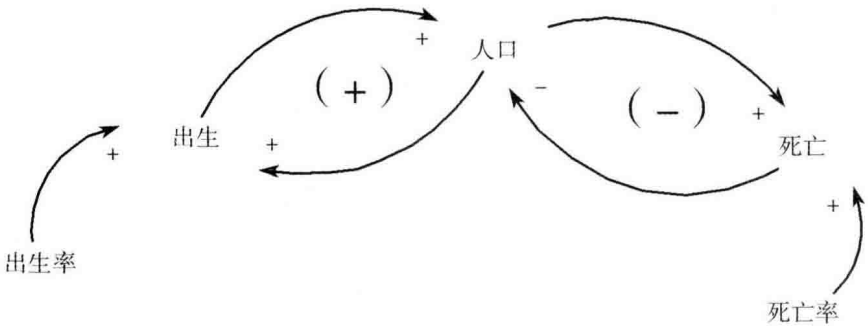


图 1-5 人口系统反馈回路图

1.3.4 反馈系统

系统动力学是基于系统论发展起来的学科，它对“系统”的定义同系统论一样，即：为了达到同一目的，相互联系、相互区别而又相互作用的有机元素组成的整体。系统动力学将有反馈回路作用的系统称之为反馈系统，其最显著的特点是系统将自身历史信息作为相应输入，通过系统内部作用，将历史信息的输出结果回馈给系统，用来影响系统未来的动态行为。

正反馈系统由正反馈回路主导作用，因此它主要表现出自增强性和不稳定性两大特点。系统的某一动态行为经过正反馈回路的作用，会不断地

放大与增强。正反馈系统正是因为所表现出来的自增强性，才使其发展不能达到较为稳定的目标，以至破坏了系统的平衡状态。

含有一个积量的正反馈系统称之为—阶正反馈系统。指数趋于无穷大是正反馈系统的动态行为所表现出来的共有特征，因此—阶正反馈系统的动态行为是指数趋于无穷大且呈一定的单调性。

—阶线性正反馈系统所对应的微分方程为：

$$x' = kx - b \quad (k > 0) \quad (1.1)$$

求得的解为：

$$x(t) = \left[x(0) - \frac{b}{k} \right] e^{kt} + \frac{b}{k} \quad (1.2)$$

当 $b < 0$ 时， $x(0) \geq 0$ ，因此系统呈指数增长趋势；

当 $b = 0$ 时，对应的微分方程为 $x' = kx$ ；

当 $b > 0$ 时，系统动态行为呈以下三种趋势（图 1-6）：①指数增长的动态行为，此时 $x(0) > \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} > 0$ ；②恒值动态行为，此时 $x(0) = \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} = 0$ ；③指数崩溃的动态行为，此时 $x(0) < \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} < 0$ 。

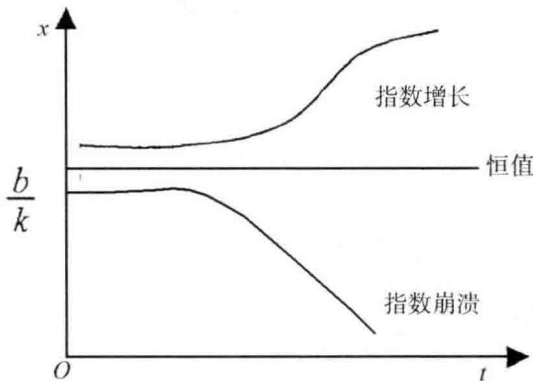


图 1-6 正反馈系统的动态行为

负反馈系统由负反馈回路主导作用，因此整个系统总是趋向于目标或者达到某种平衡状态。系统的某一动态行为经过负反馈回路的作用，会不断地缩小与目标的距离，追求一种平衡状态，因此负反馈系统具有较好的稳定性。

—阶线性负反馈系统所对应的微分方程为：

$$x' = -kx + b \quad (k > 0) \tag{1.3}$$

求得的解为：

$$x(t) = \left[x(0) - \frac{b}{k} \right] e^{-kt} + \frac{b}{k} \tag{1.4}$$

当 $b < 0$ 时，系统呈指数衰减趋势，其衰减率为 k ， x 趋向于负值 $-\frac{b}{k}$ ；

当 $b = 0$ 时，对应的微分方程为 $x' = -kx$ ，系统仍呈指数衰减趋势；

当 $b > 0$ 时，系统动态行为呈以下三种趋势（图 1-7）：①渐进衰减的动态行为，此时 $x(0) > \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} > 0$ ；②恒值动态行为，此时 $x(0) = \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} = 0$ ；③渐进增长的动态行为，此时 $x(0) < \frac{b}{k}$ ，即 $x(0) - \frac{b}{k} < 0$ 。

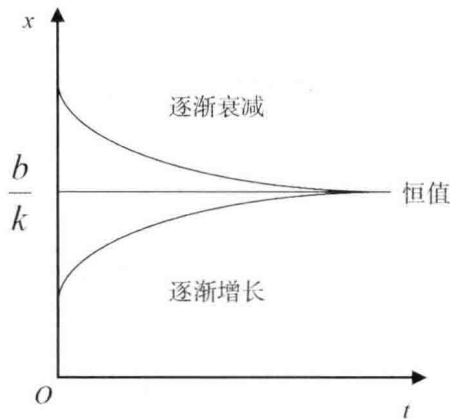


图 1-7 负反馈系统的动态行为

1.3.5 流程图

反馈回路图描述了系统反馈结构的基本方面，有利于全面地认识系统，把握其中要解决系统问题的关键，因此对于模型初期地建立非常的重要，但是它不能够区分系统找那个不同性质变量之间的差异，也无法屈服系统中的信息流和物质流，为了克服这一缺陷，系统动力学就引入了“流程图”概念。流程图是为了描述系统的运动而专门设计的一套符号图。

(1) 流位。流位是用来描述系统内部状态，是系统内部的定量指标，也叫积累量。如人口总量、污染量等都可以用流位来描述，在某个时间间