

社会经济系统 仿真原理 及程序汇编

杨勤 黄洪峰 著

广西科学技术出版社



社会经济系统仿真 原理及实用程序汇编

123/0/0/

杨 勤 黄 洪 峰 著

广西科学技术出版社

社会经济系统仿真原理及实用程序汇编

杨 勤 黄洪峰 著

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市河堤路14号)

广西新华书店发行

广西二七二印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 9.625 字数 214,000

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印 数：1—1,200册

ISBN 7-80565-263-5 定价：6.80元

F·17

前 言

社会经济系统中，包含着诸如经济、政治、社会心理等等众多的、复杂的变化过程。过去关于这些过程的研究仅属社会科学的范畴，而且多做定性描述和分析。最近二、三十年来，由于自然科学和社会科学之间相互交叉、互相渗透，尤其是信息论、控制论和系统论的创立，为定量研究社会经济系统中的问题提供了科学原理和方法。美国著名管理学家 Jay·W·Forrester 应用系统原理研究了社会经济系统中的问题，提出了以信息反馈理论为基础、以计算机仿真技术为手段进行社会经济系统分析的系统动态学 (System Dynamics) 方法。该方法自五十年代后期间世以来，经历了二十多年的发展，取得很大的进步，形成了适应于社会经济系统定性及定量分析的概念体系和基本原理。这一方法在处理宏观决策问题方面特别有效，已经被广泛应用于企业、城市、区域及国家的发展战略和策略研究。我国自八十年代以来也开始了系统动态学的应用研究。值得指出的是，在我国区域和行业发展战略规划研究中，应用系统动态学方法已经取得了许多重要成果。

与社会经济系统研究的其他方法相比，系统动态学更着重于系统结构的分析，从系统结构的角度建立说明系统行为结果的结构型模式，其特点是在定性分析方面大量运用系统框图和关系框图，在定量分析方面充分运用各种现代数学方法和计算机技术。系统动态学方法使我们有可能考虑到需要

考虑的极其大量的，往往是互相矛盾的数据资料，清楚地说明了复杂的实际问题中各个要素之间的相互作用，而且使我们能够应用模拟仿真方法在整个系统变成现实之前预测系统的行为，揭示出各项决策实施后我们期望能够得到什么，要我们付出多大代价，并且使我们有可能从许多可供选择的方案中选出切实可行的最好的一种。

本书针对目前我国各地及各行业正在进行的总体发展战略与规划等软科学研究需要以及对社会经济大系统进行定量分析和模拟的需要而编写。全书分上、下两篇，共十二章。上篇从实用的角度阐述了系统的概念、类型以及系统的构造，介绍系统构造的系统动力学流图描述方法，阐明了表征系统状态的积累变量、速率变量、外生变量的概念及其相互之间的各种关系和相应的计算方法。同时为方便读者上机计算，书中比较详细地介绍了动态仿真专用计算机语言——DYNAMO语言的基本规则、方程语句、命令语句和专用函数、用DYNAMO语言进行仿真程序设计的基本步骤及其注意事项。下篇介绍了八个较为成熟的各类社会经济系统动态仿真模型，这些模型均已在有关实际问题中应用过，可供读者参考使用。由于作者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请读者不吝指正。

目 录

● 上篇 社会经济系统仿真原理

| | | |
|------------|------------------------------|---------|
| 第一章 | 系统及其构造 | (1) |
| 第一节 | 系统的定义 | (1) |
| 第二节 | 系统的输入与输出 | (2) |
| 第三节 | 系统的类型 | (3) |
| 第四节 | 系统的构造(因果关系) | (5) |
| 第五节 | 系统变量 | (15) |
| 第六节 | 系统构造和变量的流图表示 | (17) |
| 第二章 | 社会经济系统仿真的数学物理基础 | (32) |
| 第一节 | 积累变量的计算方程 | (32) |
| 第二节 | 速率变量的计算 | (34) |
| 第三节 | 变量与变量之间的转换关系 | (36) |
| 第四节 | 实例研究 | (40) |
| 第三章 | DYNAMO计算机语言 | (48) |
| 第一节 | DYNAMO语言的基本规则 | (48) |
| 第二节 | 方程式语句 | (53) |
| 第三节 | 命令语句 | (61) |
| 第四节 | 函数 | (68) |
| 附录: | 延迟现象及其描述方程 | (85) |
| 第四章 | DYNAMO语言程序设计 | (93) |
| 第一节 | DYNAMO方程式的建立 | (93) |
| 第二节 | 程序设计中的几个问题 | (97) |
| 第三节 | 仿真实例 | (104) |

● 下篇 社会经济系统仿真模型

| | | |
|------------|---------------------------|---------|
| 第五章 | 县级社会经济系统仿真模型 | (110) |
| 第一节 | 模型的总体结构 | (110) |
| 第二节 | 子模型描述及主要变量关系的确定 | (111) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (119) |
| 第六章 | 大农业系统仿真模型 | (150) |
| 第一节 | 模型结构及主要变量关系的建立 | (150) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (157) |
| 第七章 | 土地利用仿真模型 | (170) |
| 第一节 | 土地利用影响因素分析 | (170) |
| 第二节 | 土地利用分类 | (171) |
| 第三节 | 土地利用模型总体构成及其功能 | (172) |
| 第四节 | 子模型结构及其主要变量关系的建立 | (174) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (178) |
| 第八章 | 城市社会经济系统仿真模型 | (205) |
| 第一节 | 模型的总体结构 | (205) |
| 第二节 | 子模型描述及主要变量关系的确定 | (207) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (214) |
| 第九章 | 产业结构仿真模型 | (236) |
| 第一节 | 模型的的的总体结构 | (236) |
| 第二节 | 子模型构造及主要变量关系的确定 | (237) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (242) |
| 第十章 | 能源系统仿真模型 | (256) |
| 第一节 | 模型的总体结构 | (256) |
| 第二节 | 各子模型构造及主要变量关系的建立 | (257) |
| 附: | 模型程序变量说明及模型程序清单 | (262) |

| | |
|---------------------------------|---------|
| 第十一章 商业发展仿真模型 | (282) |
| 第一节 模型的主要研究内容及影响因素分析..... | (282) |
| 第二节 商业系统主要反馈回路..... | (283) |
| 第三节 模型中主要变量和参数的确定..... | (285) |
| 附： 模型程序变量说明及模型程序清单..... | (291) |
| 第十二章 教育、科技发展战略仿真模型 | (299) |
| 第一节 模型的总体结构..... | (299) |
| 第二节 子模型描述及主要变量关系的确定..... | (300) |
| 附： 模型程序变量说明及模型程序清单..... | (308) |

● 上篇 社会经济系统仿真原理

第一章 系统及其构造

摘 要

本章阐述系统的概念、类型以及系统的构造，介绍系统构造的系统动力学流图表示方法。阐明表征系统状态的积累变量、变化率变量、外生变量及其相互之间的各种关系。探讨系统描述的定义方法。

第一节 系统的定义

在日常生活和工作中，存在着商业系统、交通系统、企业管理系统、电子工业系统……等等社会系统，电力输送系统、雷达警戒系统、导弹武器系统、航空运输系统等工程系统，以及水利系统，生态系统等。在这里“系统”表示一种“体系”，它是为实现某个目标而建立起来的。

系统可认为是由两个或两个以上，有着相互联系的元素组成的，执行特定功能，达到特定目的的有机综合体。也可把系统更一般地看成是相互关连而组合在一起的元素的组合，或称为执行特定功能而达到特定目的的相互关连着的元素集。系统包括四个方面的内容：其一是系统的边界。系统的

边界是人为设计的组成部分，它有助于人们理解系统的功能，当然，实际上任何系统都不具有这样的边界。然而，没有一个精确定义的边界，就无法表征系统的输入、输出特性。其二是系统的元素。元素是构成系统的最基本的元件。其三是系统中元素之间的相互作用。系统就象一张网，网的结点表示系统的元素，而连接结点的线则表示系统元素之间的相互联系和作用。其四是系统追求的目标。系统总是为执行和维持某些功能（即使只是为了维持系统各组成部分之间的平衡）而建立或存在的。

第二节 系统的输入与输出

当我们明确系统的边界后，由系统边界流入系统的信号（如信息流、物质流、资金流等）称为系统的输入，而由系统边界流出系统的信号则称为系统的输出。

例如，一个由机器设备构成的工业生产系统，其输入是劳动力和原材料，其输出则是工业产品。而一个由劳动力和设备构成的工业生产系统，其输入是原材料，其输出是工业产品。

在实际分析中，可引用更一般的观点，即将输入定义为任何能够激发系统产生响应的因素。依据这一定义，上述由劳动力和设备构成的工业生产系统，其输入不仅是原材料，而且还包括系统中的参量如劳动力人数、劳动生产率等，因为这些系统参量也能影响系统输出。

为了分析方便，将输入分成一些类型是合适的。在各种特定的应用中，输入可分成三类：

1. 外部驱动
2. 系统内部初始的能量储存
3. 参数激励

我们用图 1.1 所示的水池系统来引出这些概念。该系统由水池及水输入输出管两个部分组成。显然，外部驱动由加到系统上的外部水输入所构成。随着水的输入，系统将产生水输出响应。如果没有外部水输入，但只要水池中有初始的水量储存，系统仍能产生水输出响应。最后，如果水输入量是恒定的，改变水输出管直径，系统也能产生水输出响应（水输出的动态变化）。

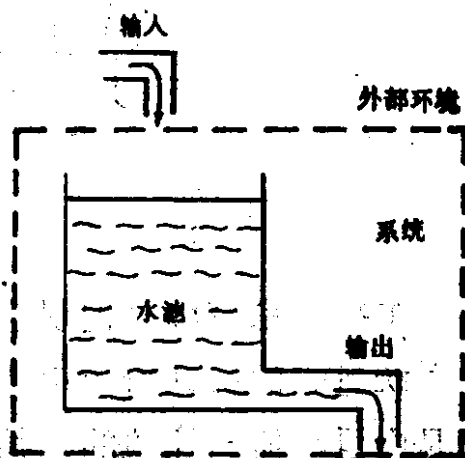


图 1.1 水池系统

第三节 系统的类型

系统可分成两种，一种是开环系统（open system），另一种是闭环系统（closed system）。

开环系统是指：系统的输入决定系统的输出，而系统的输出没有再反馈影响系统的输入。如图 1.2 所示。



图 1.2 开环系统

图 1.1 所示的系统是开环系统，因系统的输出无法影响系统的输入。手表也是一个开环系统，因手表本身无法知道它是否走得准确，自动调整快慢。

闭环系统也称反馈系统。这种系统的特点是具有一封闭环组织，如图 1.3 所示，由系统的过去行动所产生的结果，再回到系统以控制系统未来的行动。

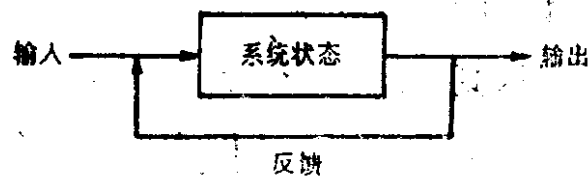


图 1.3 闭环系统

在反馈系统中，控制系统下一步的行动（即输入）取决于系统过去的行动所产生的结果（输出）。如室内的暖气系统是由恒温器所控制的，其目的在于维持室内某一适当的温度，所以它放出热量的多少是受室内现有温度的影响的（室内温度为系统的输入，放出热量为系统的输出），因而形成一个反馈系统，手表和人亦构成一反馈系统，因手表表示准确的时间，人看手表的时间与标准时间相差多少而进行快慢的调整；又如发动机加上一个调速器后，就可以调整发动机以获得既定速度的目标，所以也是一个反馈系统。以上三个例子所说明的系统都有一确定的目标——如维持室内适当的温度、使手表的走时准确及获得原定速度的目标等，即系统的输出在某一平衡态附近调整。我们称这种系统为负反馈系统。另外有一种反馈系统，它不追求某一既定的目标，而是呈现出不断增长的过程，即对前一步行动的结果，不断产生更大的行动。如细菌的繁殖过程，当无条件限制时，是一种无限增长的过程；人口的增长亦是如此。这样的反馈系统，称为正反馈系统。

一个系统是属于开环系统或闭环系统，并不取决于该系统内在的各种组件的集合，而是根据观察者对该系统所持的观点而定的。这话是什么意思呢？以一个汽油发动机系统为例，下列观察者所持的观点决定这个系统是开环的，还是闭环的。

发动机如不装调速器，观察者就速度调节的观点来看，发动机系统是一个开环系统，而装上调速器后，就维持某一固定速度的目标而言，这系统变为一闭环系统。

但是假如这个发动机是属于铲草机的一部分，而观察者从调整速度的目标转移到割草的目标，就泛指割草这个目标来看，铲草机是一开环系统。但如铲草机加上工人来操作，就割草的观点来看，它又变成一追求目标的闭环系统。

又如果铲草机与工人这一系统属于一个服务公司的组件，从满足客户需求的角度来看，铲草机与工人属于一个开环系统，因为它没有受服务公司管理部门指示其工作的次序。因此，如果再加管理机构，经由客户的需要所得到的信息作为工作的方针，适当安排工作的次序目标，那么铲草机、工人与服务公司的经理即构成一闭环系统。

第四节 系统的构造（因果关系）

系统的构造是指系统中元素与元素之间的各种关系。因果关系是系统中元素和元素之间的最基本关系，有结果必有原因。探讨系统的结构，预测系统的发展，主要就是要了解系统中元素间的因果联系。本节从定性角度描述系统的构造，为今后的定量描述打下基础。

一、因果关系

因果关系是构成系统动力学模型的基础，是对系统内部关系的一种真实的写照。因果关系通常是用一个箭头线表示的。例如系统中的两个元素A和B，图1.4表示了元素A与元素B的因果关系。图1.4a中，自A向B的箭头线表示

A对B的作用，A是原因，B是结果。这种箭头线称为因果关系键，表示变量A发生变化，变量B也就随之变化。因此，因果关系键描绘了系统中元素间的因果连结作用。如果A变量增长，B变量也跟着增长，就称A、B间具有正因果关系，用“+”号标于因果关系键旁边，如图1.4a。如果A变量增加，引起B变量减少，即A、B的变化方向相反，就称A、B间具有负因果关系，用“-”号标于因果关系键旁边，如图1.4b。

凡系统中任意具有因果关系的两个变量，它们之间的关系不外乎具有正因果关系或负因果关系，没有第三种关系。因果关系表示的是逻辑关系，没有任何计量上的意义，也没有时间上的意义。例如，A变量改变多少，B变量跟着改变多少，或者A变量发生变化后多久B变量才变化等，都不能说明。

图1.5a表示年出生人数与人口总数的关系，是正因果关系，即是说，每年出生人数越多，人口总数越多；图1.5b表示年死亡人数与人口总数的关系，是负因果关系，年死亡人数越多，人口总数越少。

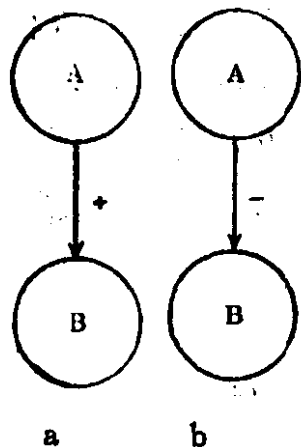


图1.4 因果关系键

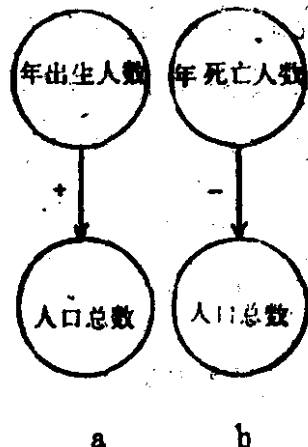


图1.5 人口中的因果关系键

应该说明，在概念上，正因果关系键与负因果关系键是很容易理解的，甚至近乎于常识。但是，对于具有各种复杂

关系的系统，因果关系键确实是一种非常有效而且易于实行的分析方法。我们通过这种形式可以把复杂的系统定性描绘成易于理解的构架。这一构架是我们构筑系统动力学模型的基础。

二、因果关系环

两个以上的因果关系键首尾串联而形成环形就是因果关系环（或因果反馈环）。图1.6是因果关系反馈环示意图。其中图1.6a)是最简单的因果关系环，可见，A变量的行为受B变量的影响，而B变量的行为又受A变量的影响，A、B两者互为因果关系，形成闭合环路。就整体而言，我们无法决定何处是环的起点或终点，或者说，从整体上讲，我们无法判定A、B两元素谁是因，谁是果，这就是因果关系环的基本特征。

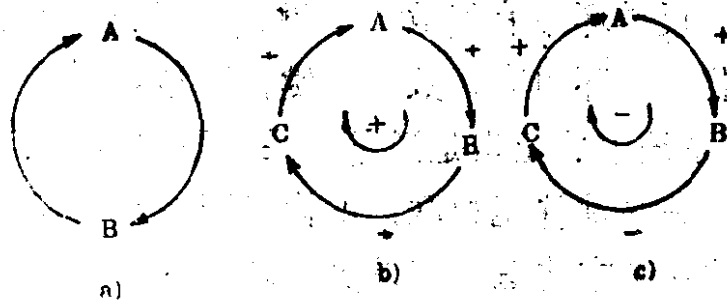


图1.6 因果关系环示意图

因为因果关系键有正键和负键之分；因此，由这种带极性的因果键串联而成的反馈环也必然有正反馈环和负反馈环之分。图1.6b)所表示的是正反馈环。图1.6c)所表示的是负反馈环。我们先看一看图1.6b)所示的正反馈环，因为A→B是正键，所以A变量如果增加 ΔA ，B变量就同向增加 ΔB ，当B变量增加 ΔB 之后，因B→C是负键，所以C变量就要减少 ΔC ，因C→A是负键所以C减少 ΔC 之后，又使A变

量再增加 $\Delta A'$ 。可见，当A变量增加 ΔA 之后，通过整个因果反馈环的作用，最后竟使A变量的增量变成 $\Delta A + \Delta A'$ ，如果A变量减少 ΔA ，结果会再使A变量减少 $\Delta A'$ ，使总减少量为 $\Delta A + \Delta A'$ 。换言之，在正反馈环中任一变量的变动最后会使该变量同方向变动的趋势加强，这种具有自我强化效果的因果反馈环就是正因果反馈环，简称正环。同理可分析图1.6c)。在负反馈环中任一变量的变动最后会使该变量同方向变动趋势减弱，使变化趋于稳定，这种具有自我调节效果的因果反馈环就是负因果反馈环，简称负环。

如果一个因果反馈环包括很多数目的变量（元素），应用上述逐个追踪的分析方法固然可以知道该环是正环还是负环，但是未免繁琐了，我们若仔细分析一下，便得到它的规律性：

1. 若反馈环中各键均为正键，该环必为正环。
2. 若反馈环中有偶数个负键，该环也为正环。
3. 若反馈环中有奇数个负键，则该环为负环。

总之，系统中的元素是通过因果关系键而联系起来的，两个以上因果关系键首尾相联，即构成因果关系环，因果关系环是系统的最基本构造。因果关系环只有正环、负环两种，正环会产生自我强化的变动效果，而负环则产生自我调节的效果。所有系统都是在正环和负环的作用下产生动态变化的。

三、负反馈环

由于负反馈环具有自我调节效果，因此，许多系统主要是通过负反馈环的作用而达到稳定状态的。我们通过图1.7所示的系统来加以说明。图中表明一个库存系统，假设只有

入库量而没有出库量，而且订货过程与入库过程都没有时间延迟，就是说，只要决定订货，货物就立即可以送到库房（延迟现象留待以后说明）。在这个简单的系统中，影响库存量的因素只有订货速度（单位时间的订货量）。订货速度大，库存量增长快；订货速度小，库存量增长慢。因此，订货速度与库存量之间存在着正影响（正因果关系）。决定订货速度大小的因素比较复杂。不过，一般而言，任何库存系统都不可能无限地进货（受库存容量和资金限制），因此，必须有一个目标库存量（最佳库存量）。当实际库存量少于目标值时，存货差就是正值，库存管理者就要考虑进货。当然，库存管理者究竟准备在多长时间将货物进足，即是所谓调整库存的周期，也将影响进货速度值的大小。就这样，构成了一个最简单的库存控制系统，如图1.7所示，各要素间形成了一个负反馈环。

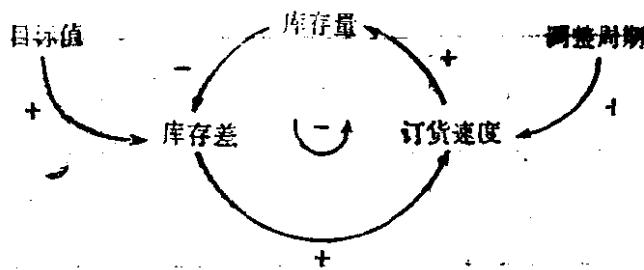


图 1.7 库存系统反馈环

在这个系统中，只要库存目标值与调整库存量的“调整周期”一经确定，负反馈环就开始作用，系统自动调整订货速度而使库存值符合管理者规定的期望库存量。设目标库存量为6000件，则每周订货量可由下式计算。

$$DH = (MB - KC(t - DF)) / TZ \quad (1.1)$$

式中：DH为订货速度（件/周）；MB为目标库存量（件），KC为实际库存量（件）；TZ为调整周期（周）。第t周的库存量可由下式确定