

陶在朴 著

AN INTRODUCTION
TO SYSTEM
AND SYSTEM
DYNAMICS

系统及
系统动态学
概论

成都科技大学出版社

系统及系统动力学概论

陶在朴 著

成都科技大学出版社

一九八九年四月 成都

系统及系统动态学概论

陶在朴 著

责任编辑 黄廷尧

成都科技大学出版社出版、发行

四川省新华书店经销

成都科技大学印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 12.5625

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷

印数: 1—1200 字数: 273千字

ISBN7-5616-0246-4/F·5

定价: 2.66元

目 录

第一章 系统概论

1.1 系统及模型	(1)
1.1.1 系统的基本概念	(1)
1.1.2 系统的描述	(5)
1.2 系统的状态、成分、属性	(6)
1.2.1 系统状态	(6)
1.2.2 系统成分及其相互作用	(9)
1.2.3 属性和属性的组合	(10)
1.3 系统的模型化	(12)
1.3.1 模型的概念	(12)
1.3.2 MOBS关系	(14)
1.3.3 模型的实用性	(17)
1.3.4 模型构成的要素	(20)
1.3.5 模型的边界	(22)
1.3.6 模型的种类	(23)
1.4 社会经济系统的特征	(30)
1.4.1 系统的性能与功效不守恒	(31)
1.4.2 层次分析	(34)
1.4.3 时序的规律与分析	(35)

第二章 系统动态学的基本概念

2.1	渊起	(39)
2.2	因果关联及其反馈环	(42)
2.2.1	因果关联	(42)
2.2.2	因果网络与反馈环	(47)
2.2.3	反馈环的代数极性	(51)
2.2.4	反馈环的信息控制	(52)
2.3	积量与率量	(61)
2.4	迟延及其表达	(62)
2.4.1	一阶指数迟延	(69)
2.4.2	高阶迟延	(73)

第三章 DYNAMO 仿真

3.1	概言	(81)
3.2	DYNAMO的基本规定	(84)
3.2.1	模拟方程式可以使用的文字和符号	(84)
3.2.2	仿真计算及其时间顺序规范	(85)
3.3	DYNAMO语句的书写格式	(92)
3.4	DYNAMO的描述语句	(95)
3.4.1	积量方程	(95)
3.4.2	率量方程	(97)
3.4.3	辅助变量方程	(98)
3.4.4	列车变量方程	(99)
3.4.5	增补方程	(104)
3.4.6	初值方程及常数方程	(104)
3.4.7	表变量方程	(106)

3.4.8	仿真的计算时间间隔	(107)
3.5	DYNAMO的特殊函数	(114)
3.5.1	计算函数	(115)
3.5.2	表函数	(117)
3.5.3	随机函数	(119)
3.5.4	逻辑函数	(120)
3.5.5	测试函数	(123)
3.6	DYNAMO的宏函数	(127)
3.6.1	实体统一阶指数迟延函数	(128)
3.6.2	实体流三阶指数迟延函数	(129)
3.6.3	信息流的一阶指数迟延函数	(130)
3.6.4	信息流的三阶指数迟延函数	(130)
3.6.5	指数平滑函数	(130)
3.7	控制语句	(138)

第四章 基础示范

4.1	因果关系和反馈环	(149)
4.2	正反馈环的DYNAMO结构	(161)
4.3	负反馈环的DYNAMO结构	(168)
4.4	S型成长结构	(183)
4.5	外部函数的输入响应	(193)
4.6	商品生产模型	(206)
4.7	宏观经济的典型问题	(213)
4.7.1	经济周期波动	(213)
4.7.2	新古典经济增长模型	(221)

4.7.3 零增长模型.....	(227)
4.7.4 Niemevey 国民经济模型.....	(235)

第五章 模型信度测试

5.1 模型的结构测试	(246)
5.1.1 结构证实试验	(247)
5.1.2 参数试验	(248)
5.1.3 极端条件测试	(262)
5.1.4 边界适度(结构)测试	(264)
5.1.5 量纲一致性测试	(265)
5.1.6 其他测试	(265)
5.2 模型的行为测试	(269)
5.2.1 行为复制测试	(269)
5.2.2 行为断言测试	(271)
5.2.3 行为异常测试	(272)
5.2.4 同族测试	(273)
5.2.5 惊奇行为测试	(273)
5.2.6 极端策略测试	(273)
5.2.7 边界适度(行为)测试	(274)
5.2.8 行为敏感性测试	(274)
5.3 策略内涵试验	(275)
5.3.1 系统改善测试	(275)
5.3.2 行为转变断言测试	(276)
5.3.3 边界适度(策略)测试	(276)
5.3.4 策略敏感性测试	(276)

第六章 案例选编

6.1 企业短期资金管理策略模型	(279)
6.1.1 订单制企业短期资金管理特征	(279)
6.1.2 短期资金管理模式的结构	(280)
6.1.3 DYNAMO 方程及参数设定	(284)
6.1.4 经营环境冲击下短期资金管理策略	(297)
6.1.5 策略试验的仿真结果	(299)
6.1.6 结论	(310)
6.2 铁路运输动力机车运用模型	(313)
6.2.1 台湾动力机车概况	(313)
6.2.2 影响机车运用的因果关系	(314)
6.2.3 模型结构	(315)
6.2.4 DYNAMO方程	(316)
6.2.5 仿真说明	(323)
6.2.6 结论	(335)
6.3 公共汽车系统管理的动态仿真	(336)
6.3.1 台北都会区公共汽车系统概况	(337)
6.3.2 模型结构	(338)
6.3.3 DYNAMO仿真	(347)
6.3.4 结论	(363)
6.4 系统动态学与区域开发规划及发展战略研究	(365)
6.4.1 区域开发规划	(366)
6.4.2 社会经济发展战略研究	(368)
6.4.3 菲律宾Bicol流域开发规划的DYNAMO仿真	(380)

第一章 系 统 概 论

1.1 系统及模型

1.1.1. 系统的基本概念

系统 (system) 无论作为科学术语或是生活用语, 已被广泛使用。但很难给出一个十分令人满意的定义, 使它足以概括各种应用, 同时又能表述应用的目的。

Gorden 说: 系统是互相作用、互相依存的所有物体“按照某些规律结合起来的集合和总和”^[1]。

许多西文辞典的解释大抵也是如此。

Webster 大辞典的解释是: “系统有组织的或是组织化了的总体, 是由结构组合成的总体的各种概念、原理, 是以有规则的相互作用或相互依赖组合成的对象集合。”

另有许多关于系统的定义是受到数学思维的影响的。最常用的一个基本定义是: “系统是元素和元素属性关系的集合。”^[2]但也有许多人指出, 系统的这种数学概念并不能表达一个不可分割的整体概念。

Angyal 曾指出, 系统的数学概念会导致一个简化的方程, 成为目标关系和属性的简单堆积^[2]。

Bahn, Phillips 等指出, 系统的元素和成分结合为一个整体时, 不仅取决于其相互关系, 还取决于它们与整体功能的关系。但十分遗憾, 后者尚不可能用数学形式表达^[2]。

于是, Rapport 提出了另一个关于系统的非数学概念。

他说：“一个系统是世界的--部分，被看作一个单位，尽管内外发生变化，但它还能保持其独立性。” [2]

Frank, Lorenz 对系统的定义是 [16]：系统应理解为序度化或结构化了的总体，它可以通过(1)定义了特征的一定元素的数目，(2)元素之间的关系及其环境，而完全确定。

系统可用下列公式书写：

$$S = (E, R)$$

其中

$E = \{e_i\}$ 元素集, $i = 1, 2, 3 \dots$

$R = \{e_i, e_j\}$ 双元素¹⁾间的关系集, $i, j = 1, 2, 3, \dots$

关系集确定了系统的结构。

Mesarovic, Takahara 的泛系统理论 [3] 将满足下列条件的双元集 (M, R) 称为系统：

(1) M 是一个集，

(2) R 是一个非空的关系集 $R \subset \prod_{i=1}^n M_i$ ，而 $M_i \subset M$ (1)

R 是 M 子集的笛卡儿积的子集。 M 的子集可视为系统的成分； R 为元素的关系集。当 $n=2$ 时，可把 M 分为输入集和输出集 (M_1, M_2) ，于是通过关系 R 可以确定全部输入输出转换的集。



图 1 系统的定义

1) 当然也可以是多元素间的关系。

以上是作为封闭系统来处理的。

如果三元集 (M, U, R^*) 符合下列条件, 则为包含环境的更一般系统:

(1) M, U, R^* 是三个集, 其中 R^* 给出第 i 号元素的一切关系 R_i 的集, 即 $R \in R^*$;

(2) 称 R_i 为第 i 号关系, 其中至少有一个非空关系, 即

$$R_i \subset \times_{j=1}^i A_j, i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

(3) A_j 是 M 的子集, 也可能是 U 的子集; 最多有两个 U 的子集, 至少有一个 M 的子集。

如果子集 A_j 并非包含环境的, 则只考虑系统成分间的关系; 如果将环境的关系引入, 也只允许有环境的输入集和输出集。如图 2 所示。

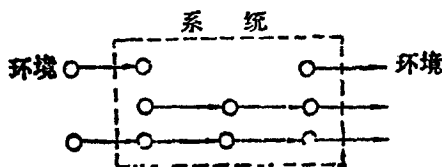


图 2 带有环境的系统定义

日本工业标准里 [JIS Z 8121], 系统的定义是: “许多组成部分保持有机的秩序, 向同一目标行动, 这就叫做系统。” [4]

若与系统的反义词 chaos 对照, 系统的定义会更明确。chaos 的意思是杂乱无章, 它也是许多组分的集合, 但各部分之间没有关系, 独立存在, 这种无序的集团就是混

乱^[4]。

其实，系统概念是物质概念的深化和发展，世间万物都是互相联系的，宇宙间不存在绝对游离的物质，因此也就没有不构成物质系统的孤立物。世间也不存在与其环境无关的孤立事件，同样，世间也不存在与其他概念毫无逻辑联系的孤立概念，因此也就没有不构成非物质系统的孤事和孤念。

一切生物、实物都属于物质系统或实体系统，从最小的基本粒子起到无垠的太空，从最小的细胞开始到最复杂的生命，一切有生命和无生命的自然界都从属于这个物质系统里。

相反，那些以信息、思维为研究对象所组成的系统称为非物质系统，比如语言、规则、密码、思想等。这种系统中各成分间的关系是一种纯数量关系，并可利用逻辑手段进行运算，因而也有人称之为形式系统。如果研究的对象是行为方式，习惯与道德，那么这种系统可称为非物质、非形式的系统。

从另一个观点来看，世界是一个对系统^[4]，即自然系统和人工系统的组合。前者是山、河、矿、动植物等自然物的集合体；后者是人为地产生出来的各种事物的集合。例如，人类对自然物进行加工，用人工方法制造出来的工具和机械装置等所构成的各类工程系统；人类通过人为规定的组织、制度等建立起来的各种管理系统。人类对自然现象和社会现象的认识所形成的科学系统、技术系统也都属于人工系统。

应该指出，社会系统虽然可以看成是人工系统，但它的产生和发展是与自然系统的规律有关的、

最后需要指出，物质系统（包括社会系统在内）的一个重要特征是它的动态性。这是指物质系统处在不断的变换过程中，这种变换因有足够的强度，大多是人类感官所能捕捉的，比如化学反应、经济发展、生物量的增长以及生产关系结构的建设与解体等。有些变换是人们感官所不能捕捉的，或者说它的强度很弱，比如放射性物质的衰变、大陆漂移等。近代量子理论^[5]认为，物质系统的这种动态特征是以微观世界的动态性为基础的。任何物质都是基本粒子通过无穷无尽的相互作用而构成的（目前已发现近百种不同形式的基本粒子），它们处在不断的建设和衰变过程中，在这种过程中一种粒子向另一种粒子转变，而粒子的寿命和它转换所出现的结果完全是随机的，只受一系统物理常数和守恒律的制约。正是这种不断进行的庞大的、错综复杂的变换过程中，基本粒子逐渐组成了物质（原子、分子），并构成了宏观层次上的景象，整个宇宙在这种随机的动态过程中可能出现突变的能量堆积而使一种子系统解体组成另一种子系统，然而如何确切解释宏观经济的涨落和突变这始终是人们探索的一个课题。

1.1.2 系统的描述

人们对系统的观察实际上包含了对系统的感知和感觉，以及系统的状态、结构和动态的描述。其目的是使人们对所分析的系统有一个明确的思想层次，以便一步步把系统剥开，露出它的组成和从属关系，确定各组分的作用，了解系统的属性及变化，最后，那些与系统整体有关的剩余部分便构成了系统的边界。需要进一步指出状态描述了作用势，结

构描述了动作的连接，动态描述了系统的时间过程。

系统的描述可见图 3 [6]。

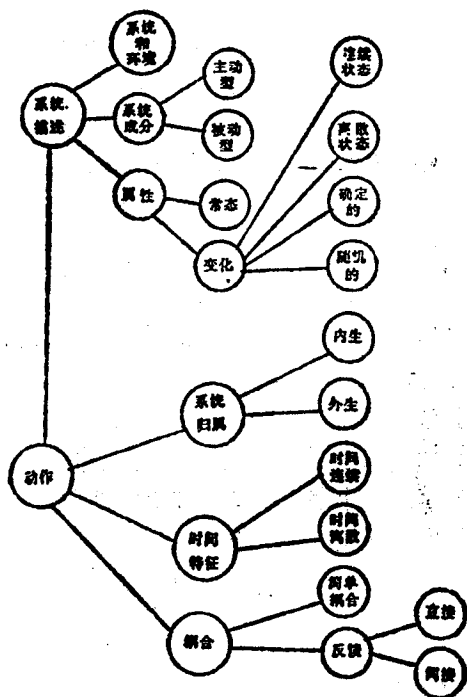


图 3 系统的描述

1.2 系统的状态、成分、属性

1.2.1 系统状态

所谓系统状态，是指人们能够直接用感官观察到或者借

助工具观测到的系统属性和动作的总体度量。

Schulz和Melsa^[4]说：“系统的状态就是 $t \geq t_0$ 时，对于系统输入来说，决定 $t \geq t_0$ 系统行动的充分变量 $x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0)$ 的最小集合，亦即，系统的状态可用独立的 n 个状态变量 $(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ 完全表示出来。比如一个由弹簧、质量、衰减所组成的机械振动系统，可用下列微分方程表征其平衡状态

$$M\ddot{y} + B\dot{y} + Ky = F \quad (3)$$

式中

F ——外力（系统的输入）， M ——悬挂在弹簧上的质量， B ——衰减系数， K ——弹簧系统， y ——弹簧的变位，其一阶导数为 $\dot{y}$ ，二阶导数为 $\ddot{y}$ 。

再比如一个由全部要素投入的生产系统，其产生出的状态可由Cobb-Douglas方程决定

$$Y_t = T_t K_t^\alpha L_t^\beta \quad (4)$$

式中

Y_t —— t 年的产值， K_t —— t 年投入的资本， L_t —— t 年投入的劳力， T_t —— t 年的科技进步系数， α, β ——常数。

Frank说：“状态变量是系统行为的动态表征量。”^[16] 它们可表示为

$$Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_n(t)$$

每个状态量 $Z_i(t)$ 在某个给定的时间点都有一定的值，这些状态量的总体决定了系统的状态。

一般说，状态这个概念本身可作几何上的说明。比如状态变量 $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ 的各种可能组合形成一个 n 维的空间。

(即状态空间)。假定有 Z_1 台机器和 Z_2 个工人以及加工完毕的 Z_3 个工件。那么, 这样一个由三要素所组成的加工车间, 其状态空间将是三维的, 如图4所示。

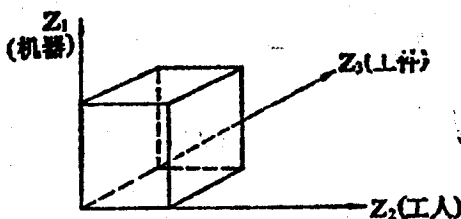


图4 系统状态

一般而言,

$$Z_1 \in \{0, 1, 2, \dots, M\}$$

$$Z_2 \in \{0, 1, 2, \dots, A\}$$

$$Z_3 \in \{0, 1, 2, \dots, S\}$$

实际上相对于掌握系统的人来说, 系统状态应该理解为某个时刻系统内自由作用势的全部集合。

于是有如下定义: 当满足以下条件时, 四元集 $S = (M, U, R^*, T, \leq)$, S 是一个动态系统或真实的系统。

其中

(1) M, U, R, T 均为集〔参见式(1)–(2)〕, T 为时间集, $\leq$ 是关于 T 的完全次第关系;

(2) $R_{i+1} \in R^*$, 它至少有一个是非空的;

(3) $R_{i+1} \subset \prod_{j=1}^i A_j \times T$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

同时

$$T_1 \in T$$

(5)

1.2.2 系统成分及其相互作用

系统的每一个组成部分称之为系统成分，系统成分有时是一个独立的可辨识的单位，有时仅仅当作一种定义。物质系统的成分是可以不断地分解的，直到分解成基本粒子为止。

在许多情况下，所谓成分只是观察者所能察觉的自然单位，比如对一个自然系统来说，其成分可能是生物的细胞，行星系里的行星，通讯网络里的电话，交通线上的车站等。

对于人工系统来说，其系统成分常常是人们按构思而设立的可以聚合或分解的单位。比如对国土，可有城市和农村；对人口可有不同的年龄；对工厂可有各种各样的生产要素；对货栈可有不同类别的货物。

关于系统成分的一般定义是^[3]：

(1) 当 $M_i \subset M$, M_i 称为一般系统 $S=(M, U, R^*)$ 的成分；

(2) 如果 M_i 不可再分割，则称为系统元素。

系统成分是属性的载体，同时又是系统动作的耦合链。比如经济系统中产值这个成分，它具有第一类属性特征（见1.2.3节），同时它将引起分配这个动作。

如果系统的成分是一种或多种动作的来源，那么这种成分可称之为主动型的成分，比如热源，动力源，商人等，它们将引起温度的传播，力的扩散和生意的兴起等。相反，如果系统的成分只具一种或多种受其他动作支配的属性，那么则