

系统动力学 原理及其应用

都兴富 编著

西南财经大学出版社

系统动力学原理及其应用

都兴富 编著

西南财经大学出版社

1989.

系统动力学原理及其应用

郝兴富 编著

责任编辑 廖中新

西南财经大学出版社

成都市光华村

四川省新华书店发行

中国科学院光电技术研究所印刷厂印刷

1989年6月第一版

开本: 787×1092/16开

1989年6月第一次印刷

印张: 14.5

印数: 0001—1500册

字数: 340千字

ISBN7-81017-135-6/F·101

定价: 5.95元

前 言

系统动力学又叫系统动态学（简作SD），是一门以探求复杂的社会经济体系行为特征与结构的模型，为企业和国家以至整个世界寻找有效决策的经济社会管理学科。它是本世纪六十年代由美国麻省理工学院福莱斯特教授所创立的，集控制论、信息论、系统论和计算机模拟技术于一体的综合性新学科。1968年，“罗马俱乐部”成立，这个专门研究全球未来问题的非官方的国际性协会，接受福莱斯特建议，用系统动力学模拟建立“全球模型”，将五种相互独立的变量——人口、粮食生产、工业资本、环境污染和非再生资源及其相互关系，输入计算机，按模型加以处理，把结果用图形显示出来，从而对世界未来发展作出预测。福莱斯特的学生米都斯领导的研究小组将这些研究成果整理成“罗马俱乐部”报告《增长的极限》一书，曾轰动一时，被译成35种文字，发行600万册。福莱斯特的代表作有：《工业动力学》、《系统原理》、《城市动力学》、《世界动力学》。前两本在我国已有中译本，后两本则尚无介绍。本书作者都兴富系四川省社会科学院研究人员，是一位勤奋的学者，1986年他赴苏联莫斯科国民经济学院，在进修期间学习和研究了这门学科。回国后，他致力于把这门新学科介绍给我国广大读者，根据福莱斯特上述的四本代表作的俄文本，经过一年多的艰辛努力，终于编写出这本《系统动力学原理及其应用》。重点在于介绍福氏的后两本著作。可以相信，这本书的出版问世，对于普及传播系统动力学知识，促进系统动力学在我国应用和研究，都是很有益的。

郑 清

1989年2月

系统动力学简介

一、系统动力学的历史与未来

系统动力学①是美国麻省理工学院史隆管理学院福莱斯特教授于六十年代初创立的一种研究复杂系统的计算机实验仿真方法。它的主要研究对象是社会大系统，包括企业、城市、区域、国家以及世界各系统。它的研究目的是设计这些社会系统的战略和策略，因此，它被誉为“社会科学的实验室”②

初期，系统动力主要用于工业企业的管理。1961年福莱斯特出版“工业动力学”一书，阐明了系统动力学的理论基础并列举了一些应用事例。

随后，系统动力学向社会方面的应用发展。人口、资源、污染、区域经济、城市发展规划等等社会问题都可用系统动力学模型来研究。1968年福莱斯特出版了《系统原理》一书，全面论述了系统的结构、系统动力学模型的原理。1969年福莱斯特又出版《城市动力学》一书，总结了他研究美国城市史和城市发展规划问题的成果，把系统动力学的发展引向广泛的社会应用阶段。

1970年罗马俱乐部③在瑞士伯尔尼麻省坎布里奇举行国际议，研究人类困境问题。④在这次会议上福莱斯特的学生丹尼斯·米都斯教授组织了一个国际系统动力学研究小组，研究这个问题。

1971年福莱斯特出版《世界动力学》，1972年丹尼斯·米都斯研究小组的关于人类困境问题的研究报告《增长的极限》发表。这二者都研究了人类困境的全球发展问题，不过后者在前者基础上更加发展了前者。他们的世界动力学模型具体地考察了关于全球增长的五个基本因素：人口、农业生产、自然资源、工业生产和污染的相互制约关系及其发展的种种可

① “系统动力学”有人译为“系统动态学”。

② “实验”是自然科学常用的研究方法，以此认识某一方面的规律性。社会科学长久以来被认为是不能“实验”的。福莱斯特创立系统动力学，利用电子计算机“实验”仿真，开创了社会科学“实验”方法，由此他被誉为社会科学中的伽利略。

③ 罗马俱乐部是一个非正式的国际协会，成立于1968年4月。当时来自十多个国家的科学家、教育家、经济学家、人类学家、实业家、国家的和国家的文职人员，约三十个人聚集于罗马猗猗科学院集会讨论现在和未来人类困境问题，会上决定成立罗马俱乐部。现在罗马俱乐部已发展为拥有26个国家75名科学家的欧洲最大的一家咨询机构。

④ 罗马俱乐部开创对人类困境的研究计划，其目的是考察给人类造成不安的复杂问题：富足中的贫困；环境的退化；对制度丧失信心；就业无保障、青年异化；通货膨胀，经济危机等等。罗马俱乐部认为人类的困境在于：人类有很多知识和技能认识到这些问题，但不理解它的许多组成部分的起源、意义和相互关系。罗马俱乐部企图用新方法来解决这些问题。

能后果。他们认为这五个因素任其发展下去，必定达到某种界限，超越这个界限，就可能使整个世界走向崩溃。必须调整和控制这些因素之间的相互关系、发展速度，使整个世界的发展趋向某种均衡状态。这些观点引起了世界的震惊。世界动力学模型开创和奠定了全球发展学这一新学科。

1972年，以福莱斯特为首的麻省理工学院系统动力学研究组开始研究美国全国经济模型。它可研究西方3—7年的商业周期、15—25年的库兹涅茨周期、经济衰退、通货膨胀、滞胀、失业等问题。更有价值的成果是它揭示了美国与西方国家经济长波形成的内在机制。这个模型和长波理论方面的研究成果使系统动力学发展和壮大起来。

目前，系统动力学理论的应用与研究日益广泛。其主要方面有：经济长波理论与国家模型、全球发展模型、企业管理、系统动力学本身的不稳定性和不确定性的研究，这些研究已同突变理论、协同学理论、耗散结构等理论结合了起来。

苏联自70年代以来陆续翻译了福莱斯特和其他人关于系统动力学方面的书。在1974年拟试了一个全苏系统动力学模型。这个模型是B. A. 杰拉瓦尼和他的同事者完成的。以后，苏联将系统动力学、经济计量学、情景系统分析、预测学等学科结合，发展了具有本国特色的全球发展学。近几年来，苏联已建立了许多系统发展模型。例如，有苏联、中国、日本、美国的国家总体模型；有全球模型，其中划分为九个区域子系统，苏联、中国、经互会国家（不包括苏联）、美国、日本、欧洲经济共同体，其余发达资本主义国家、“欧佩克”国家（即石油输出国组织）、发展中国家。这每一个区域子系统都用下列模型来描绘：人口增长模型、经济增长模型、经济结构模型、粮食生产模型、燃料能源综合模型。每一区域子系统的外贸用世界市场模型和区域间外贸流模型来描绘。总系统联合了47个模型，共有7400个方程，其中使用了5000个变量。这一总系统可以表示出区域产品分配的结构、经济结构之变动、区域的外贸政策、人口战略和其他控制作用。

值得注意的是，苏联已经用全球模拟的系统模拟方法研究和预测世界战争。苏联在70年代在科学院士H. H. 马尹谢耶夫领导下，拟出了全球系统“盖雅（女神）”模型，它首次分析了世界热核冲突的可能性，预测了它对人类的危害，考虑了苏联的对策等等。

系统动力学的软件也有了充分的发展。系统动力学初期研制的用于微机的Micro-DYNAMO语言因功能不足已为过时。1985年在美国出现了可用于个人微机的专业DYNAMO语言，在美国出现了DYSMAP₂、STELLA、DYSMOD等等。

我国1980年引进系统动力学。1986年召开了首届全国系统动力学学术交流会，1986年我国已参加国际系统动力学协会。许多研究机构开展这门学科的研究和应用。目前全国已有几所大学开设了这门课程。

最近几年我国运用系统动力学在经济、人口、能源、环境污染等方面展开了研究。上海交通大学1983—1984年首先建立了《2000年的中国》的系统动力学模型，其中包括财政、人口、农业、轻工业、重工业、交通运输业、建筑业、商业、科技文教、能源、环境污染等11个子模型，共700多个方程。模型运行效果令人满意。系统动力学正在我国开始应用和普及，对加速我国四化建设正发挥日益增大的作用。

目前，在系统动力学的理论方面，我国学者也展开了研究。如非线性复杂系统模型参数与结构优化，系统动力学与耗散结构、突变论、协同学等系统科学的比较研究等等。

总之,我国的系统动力学的应用研究和理论研究已经开始和发展,研究队伍在壮大,还有许多工作有待进一步开拓。

二、系统动力学的特点

从系统动力学的理论来源来看,它具有综合性。它综合了系统论、控制论(主要是信息反馈理论)、系统力学、决策理论、仿真技术的成果,形成了一门崭新的交叉学科。福莱斯特在《工业动力学》一书中说他创立系统动力学有四个基础:“信息反馈系统理论、对决策制订过程的认识,研究复杂系统的实验模型方法,数字计算机可作为模拟实际过程的手段。”系统动力学用社会科学与自然科学有机的结合的方法研究社会发展问题,而不是用抽象的概念和空洞的议论来充当科学论证。这是现代科学发展的必然趋势。

从系统动力学的研究对象来看,它是研究复杂的非线性的动态社会经济系统。它可以研究微观的企业管理,如批发库存系统,制定生产进货策略。又如,建立经理人员培训的系统动力学模型,研究人员的需求和变化情况,以制定人事政策。它也可以研究整个社会经济系统,甚至世界系统。在此大系统中,可以研究某一方面的问题,如环境污染问题,也可是综合性的区域社会经济问题,如人口、能源、交通、环境污染等问题,这种研究可以设计社会经济系统的结构,可以制定社会经济发展的战略和策略。

从系统动力学方法区别于其他经济数学尤其是经济计量学的方法来看,系统动力学是采用了电子计算机的系统实验方法,是一种仿真技术。通过在模型上进行社会仿真,反复比较系统的目前状态与期望状态,调整模型的参数,在模型上进行选优,从而设计真实系统的结构,制定系统的战略和策略。这种实验仿真法为社会科学研究开辟了一条宽阔之大路。

从系统动力学的建模方法看,它主要运用了系统论、系统力学、信息反馈因果环的方法。运用系统理论主要解决了模型的统一性、整体性问题;系统力学是仿造流体水力学方法,主要是建立了水平方程和速率方程,这就为整个建模打下了基础;利用信息反馈因果环沟通了系统内各部分、各子系统之间的联系,从层次、结构上把系统结合为一体。

辩证法是系统动力学的哲学基础。系统动力学的研究对象就是系统,是社会经济复杂系统。早在系统动力学发展初期的《工业动力学》一书中就批评了当时把工业、金融、分配、组织工作、广告和科学研究视为互不相干的方面的作法,而正确地指出这些方面是彼此联系、相互作用的,它们构成统一的系统。社会经济研究就是研究这些客观存在的系统,而不是去研究彼此孤立的各个部分。系统动力学在解决问题的过程中十分重视抓住主要矛盾和矛盾主要方面。这体现在系统动力学模型主要变量和它们组成的主要反馈回路之中。这些主要反馈回路的性质及其相互作用决定了整个模型的性质和形式。这就是主导部分的决定作用原理。而且,模型中主导部分和其余非主导部分并非固定不变,而是在一定条件下,两者的地位可以相互转化。系统动力学确认客观事物与世界的可知性。正当西方世界面临生产与雇员情况不稳、市场波动、城市发展衰退与停滞、人口激增、资源短缺、环境污染严重等等人类困境,使人茫然不知所措时,系统动力学勇敢地承担了这一问题研究的重担,系统动力学认为这一系列现象都基于这一社会经济系统的内部结构,内部各组成部分的相互作用。运用在系统的模型“实验”的方法,寻找诸现象的原因和相互作用之规律性。系统动力学承认实践是检验真理的标准。系统动力学用数学模型来代替和模拟真实系统,在模型上做“实验”以设

计真实系统。模型只是对真实系统的一种仿制、近似。因此从模型上得到的结论必须进行检验和评估。系统动力学强调客观事实，才是检验模型及其仿真效果的最终标准。

三、系统动力学模型的建立和运行步骤

系统动力学模型的建立和运行有以下几个主要步骤：

第一步，明确研究的对象，确定系统的目标。这一步是模型的基础。建立模型首先要明确研究对象，即要解决什么问题，然后确定系统的目标，即要求。围绕这一目标，确定主要变量，并考虑与之有关的问题和方面，收集有关信息资源。

第二步，语言描述。建立逻辑模型。对模型中的主要变量及其有关因素它们之间的相互关系，对目标的作用，要根据直觉、洞察力、逻辑思维进行判断，以建立语言陈述的系统的逻辑模型，进行定性分析。在这里，要凭借直观感觉和经验判断信息反馈系统的性质，并在恰当的地方寻找策略、延迟、以及决定系统行为的信息源。

第三步，建立数学模型。

根据语言陈述的逻辑模型建立数学模型进行定量分析。首先确定模型的各个子块，各子块下又有子模型；画出各个变量之间的因果反馈回路图；画出系统动力学流程图。用系统动力学符号描述整个模型；按照因果反馈图，确定各个水平变量、速率变量，辅助变量，最后用DYNAMO语言写出DYNAMO方程的运算程序上机运算仿真。

第四步，对仿真的结果进行解释和评估。

在一次仿真之后，必须对结果进行解释。这种目前结果同目标“偏差”多少？或这种结果是否是所期望的？如果不是，或“偏差”较大，原因是什么？检查这个实验，会发现新的问题，也可能产生不合理的结果。这可能在建立逻辑模型时的某种缺点，也可能是数学模型中有问题，也有可能是在确定研究对象和目标时有错误。

第五步，对系统进行修正。

对实验结果进行解释和评估，解释结果有效性并找到“偏差”原因之后，对模型进行改造和修整，使之尽量符合实际系统的行为特性，然后再行实验，再行检验和评估。这种反复实验、反复检验的过程可进行数次，直到模型行为基本符合了实际系统、满足了目标要求之后，模型就可正式投入运行，或用于实际系统的设计，或用于系统策略的制定，或用于系统行为的预测。

系统动力学原理及其应用

前 言.....	(IV)
系统动力学简介.....	(V)

目 录

第一篇

系统动力学原理

第1章 系统论与系统动力学.....	(1)
第2章 流体力学与系统动力学.....	(7)
第3章 控制论与系统动力学.....	(14)
第4章 系统动力学的方程体系.....	(22)
第5章 系统动力学模型的结构.....	(30)
第6章 系统动力学中的延迟.....	(34)

第二篇

DYNAMO语言

第1章 DYNAMO 语言的基本规则.....	(41)
第2章 系统动力学的方程式语句.....	(46)
第3章 DYNAMO 语言中的函数.....	(54)
第4章 系统动力学模型的输出与运行.....	(63)
第5章 人口系统动力学模型.....	(69)
第6章 生产批发系统动力学模型.....	(72)

第三篇

城市动力学

第1章 概论.....	(84)
-------------	------

第2章	城市模型的结构.....	(84)
第3章	模型——城市的相互作用理论.....	(86)
	1. 不完全就业者部分	
	2. 就业者部分	
	3. 管理职业家部分	
	4. 高价住宅（高级住宅）部分	
	5. 就业者（工人）住宅部分	
	6. 不完全就业者住宅部分	
	7. 新企业部分	
	8. 发达企业部分	
	9. 衰退企业部分	
	10. 税收部分	
	11. 提供工作的部分	
	12. 城市复兴规划	
	13. 仿真控制指令	
	14. 模型的方程	
第4章	仿真结果及其分析.....	(142)
	1. 城市的成长和停滞	
	2. 改善城市的行政规划的缺点	
	3. 城市的复兴	
第5章	复杂系统.....	(168)

第四篇

世界动力学

第1章	导言.....	(173)
第2章	世界系统的结构.....	(177)
第3章	世界模型：结构和假定.....	(184)
	1. 人口P	
	2. 出生速度BR	
	3. 出生速度对物质生活水平的依赖因子BRMM	
	4. 物质生活水平MSL	
	5. 基金相对量的效益ECIR	
	6. 自然资源开采因子NREM	
	7. 自然资源剩余部分NRFR	
	8. 自然资源NR	
	9. 自然资源利用速度NRUR	
	10. 死亡速度DR	

11. 死亡速度对物质生活水平的依赖因子DRMM
12. 死亡速度对污染的依赖因子DRPM
13. 死亡速度对饮食水平的依赖因子DRFM
14. 死亡速度对人口密度的依赖因子DRCM
15. 人口相对密度CR
16. 出生速度对人口密度的依赖因子BRCM
17. 出生速度对饮食水平的依赖因子BRFM
18. 出生速度对污染的依赖因子BRPM
19. 饮食相对水平FR
20. 食品生产对人口密度的依赖因子FCM
21. 基金的饮食潜力FPC I
22. 农业基金相对量CIRA
23. 基金相对量CIR
24. 基金CI
25. 基金产生额CIG
26. 投资因子CIM
27. 基金损耗CID
28. 食品生产对污染的依赖因子FPM
29. 相对污染POLR
30. 污染POL
31. 污染形成POLG
32. 污染对基金量的依赖因子POLCM
33. 污染消解POLA
34. 污染消解时间POLAT
35. 农业基金部分CIAF
36. 以饮食相对水平规定的基金部分CFIFR
37. 生活质量QL
38. 生活质量对物质生活水平的依赖因子QLM
39. 生活质量对人口密度的依赖因子QLC
40. 生活质量对饮食的依赖因子QLF
41. 生活质量对污染的依赖因子QLP
42. 自然资源开采对物质生活水平的依赖因子NRMM
43. 取决于生活质量的投资百分比CIQR
44. 世界模型的方程

第4章	增长的极限.....	(205)
第5章	直观的决策不总令人满意.....	(212)
第6章	全球平衡.....	(217)
编 后		(221)

第一篇

系统动力学原理

第1章 系统论与系统动力学

1.1 系统的定义

系统这一术语已在科学和生活中广泛使用。什么是系统？它的定义有多种，如：

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

著名控制论专家艾思比把系统确定为“观察者从现实‘机器’所固有的变量中所选择的变量的任一总和”。

一般系统论的奠基者贝塔朗非把系统定义为“一个系统可以定义为处于相互联系中的元素的集合”或“相互作用的元素的复合物”、“系统的定义可以确定为处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分（要素）的总体（集合）”。

钱学森等同志提出：“把极其复杂的研究对象称为‘系统’，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大的系统的组成部分。”

有的学者从数学方面来考虑系统的定义，如，Mesarovic-Takahara 的泛系统理论，将系统定义为：

满足下列条件的双联集 (M, R) 可称之为系统。这里：

M 是一个集，

R 是一个非空关系 $R \subset \prod_{i=1}^n M_i$ ，而 $M_i \subset M$ 。

R 是 M 子集的笛卡尔积的子集， M 的子集即系统的成分；关系 R 即成分之间的关系集，当 $n = 2$ ，可把 M 分为输入集和输出集 (M_1, M_2) ，通过 R 可以确定全部输入输出的集。

双联集 (M, R) 是指一封闭系统，如果是开放系统需增加“环境”一因素，写成三联集 (M, U, R^*) ，满足下列条件，它将是更一般的系统：

M, U, R^* 是三个集，其中 R^* 给出一切第 i 号关系 R_i 的集，即 $R \in R^*$ ，

R_i 中至少有一个非空关系

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

A_j 是 M 的子集，也可以是 U 的子集。

如果子集 A_j 不是环境的，则只是系统成分间的关系；如果引入环境，则有环境的输入输出集。

恩格斯曾多次把“系统”理解为“统一体”、“集合体”、“综合的整体”。他说：“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体。其中各个似乎稳定的事物以及它们在我们头脑中的思想映象即概念，都处在生成和灭亡的不断变化中。在这种变化中，前进的发展，不管一切表面的偶然性，也不管一切暂时的倒退，终究会给自己开辟出道路。”（恩格斯《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》）。恩格斯在这里所说的“集合体”就是“系统”，“过程”就是集合体内事物相互作用相互联系的运动发展过程，就是矛盾内部对立面之间、矛盾与矛盾之间相互联系、相互作用的运动发展过程。钱学森同志说：“在国外，有那么一些人一说到系统工程中的系统，总好像是二十世纪的新发现，是现代科学技术所独特的创造。这在我们看来，自然不能同意，因为局部与全部的辩证统一，事物内部矛盾的发展与演变等，本来是辩证唯物主义的常理，而这就是‘系统’概念的精髓。”（钱学森《大力发展系统工程尽早建立系统科学的体系》），据此，可以这样来定义系统：系统是矛盾的集合体。这些矛盾按一定法则，一定层次组织起来以完成某种特定功能，这些矛盾的相互作用推动了系统在时空上的发展与演变。

系统动力学所定义的系统是“为了一个共同的目的而一起运行的各部分的组合”、“这些系统可以是由物质要素组成的系统，也可以是由人们之间相互关系组成的系统，说明人们之间相互作用关系的社会系统包括家庭、小团体、企业和事业单位、国家、国民经济和国际关系等，而具有现代技术的物质系统在我们周围是到处可见的。”（福莱斯特《系统原理》）系统动力学所研究的系统是复杂的社会因素和物质要素之间相互作用的系统。

福莱斯特把系统原理理解为一种知识结构。有了这一知识结构，就能把我们的观察结果、占有资料、一些事实、矛盾等等整体化、条理化。这种知识结构就是各事物之间相互联系的方式。

1. 2. 系统的分类

系统的分类方法很多，这体只介绍几种：

（1）从系统的内容来看，可分为物质系统和概念系统。物质系统包括：物理化学系统、生物系统、社会经济系统、技术系统。观念系统包括人们对客观世界的认识和认识本身的全部内容。

（2）从系统内各部分相互联系的复杂程度看，可分为小型系统、中型系统、大型系统、巨型系统。小型系统指结构、联系、功能都较简单的系统。如原子、分子，单个有机体、家庭、个人、小组等等；中型系统内相互联系有两组以上，并表现出隶属性。如，化合物、车间、小企业，社会基层组织；大型系统，其中相互作用相互联系就比较复杂了，存在多个层次的求属的子系统。如太阳系、某经济部门、政治团体、某知识领域等；巨型系统，这是指结构极为复杂、具有自调节自组织能力的大系统。如，银河系、生物、人类社会。

（3）从系统的有无输入输出关系看，可分为控制论系统和非控制论系统。一些复杂的系统一般都是控制论系统。如，技术工程系统、生物系统、社会系统、经济系统，等等。一些简单的小型系统一般不存在输入输出关系，如简单的力学系统、社会中一些简单的基层单位等等都是非控制论系统。

（4）从系统与外部环境的关系看，可分为孤立系统、封闭系统和开放系统。孤立系统

是与外界环境没有物质交换又没有能量交换的系统。如一些物理系统是这样。封闭系统是与外界环境有能量交换但无物质交换的系统。如地球可近似地看作是一个封闭系统。所谓开放系统是与外界环境自由地进行物质、能量交换的系统。如生物体、经济部门、一个城市都是开放系统。现代一般系统理论的几个主要分支，如，贝塔朗非的类比型一般系统理论、比利时物理学家普里戈金提出的“耗散结构”理论、西德科学家哈肯提出的“协同学”、艾根的超循环理论都是研究开系统的。

(5) 从组成系统的要素性质上来看，可分为自然系统、人造系统和两者结合的复合系统。自然系统是自然形成的由自然物组成的系统。如气象系统、生态系统。人造系统是由人工生成的各种要素组成的系统，如技术工程系统、管理系统。实际上，大多数系统是自然与人造相结合的复合系统。如，经济系统、生态系统、人-机系统。

(6) 从系统的状态与时间的关系上看，又可分为静态系统与动态系统。静态系统是系统状态参数不随时间改变的系統，反之就是动态系统。

从以上的几种分类法看，系统动力学所研究的系统是：物质系统或观念系统、大系统（尤其是巨系统）、控制论系统、封闭的或开放系统、复合系统、动态系统。系统动力学所研究的系统的要素可以包括人及其活动。系统的范围与规模可大可小。可以是自然系统、社会系统、思维系统；也可以是经济的或政治的，心理的，医学的，工程的，生态的系统等等。

1. 3. 系统的特性、规律和方法

从本体论上看，所有系统或大部分系统具有某种共同特性，即规律；从认识论上看，根据这些特性和规律，提出研究系统的某种方法，或原则，即系统方法论。

(1) 系统性。系统性是系统元素相互作用的统一，系统是处于相互作用中并与环境处于相互联系中的元素的集合体。宇宙中的一切事物无一不是系统，万物皆系统。事物的系统性，表现为系统元素间的普遍的相互作用的规律，这可用贝塔朗非微分方程组来描述。这个方程组是：

$$\frac{dQ_i}{dt} = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \text{ 其中 } i = 1, 2, \dots, n$$

这里 Q_i 是系统 $\Sigma(k_1, k_2, \dots, k_n)$ 的第 i 个元素 K_i 的一种量度。这个方程式表明，系统中任何一个元素性状的变化 $\left(\frac{dQ_i}{dt}\right)$ 是所有元素性状的函数或结果，而任何一个元素性的改变（即方程中 Q_i 的改变）又引起所有元素性状的变化。

怎样来理解系统元素的普遍相互作用的规律呢？它与唯物辩证法的关系如何？恩格斯有两个关于唯物辩证法的定义。一个是关于自然、人类社会和思维运动发展普遍规律的科学；另一个是关于普遍联系的科学。第一个定义通常被称为发展学说。第二个定义被称为普遍联系学说。很明显，系统元素普遍相互作用规律就是第二个定义——普遍联系——的内容（具体化）。这里似乎没有强调第一个定义，其实第一个定义中的“普遍规律”（对立统一规律、量变质变规律、否定之否定规律）中最根本的对立统一规律（矛盾规律）就最充分地表达了“普遍联系”的基本内容，矛盾是“普遍联系”的基本环节。一个矛盾的双方是最简单的

“联系”，矛盾的集合形成“普遍联系”，是矛盾把恩格斯关于辩证法的两个定义统一起来了。

系统元素相互作用或相互联系的规律的具体形式常用的有两种：输入输出关系，因果关系。在控制论系统里充分地使用了这两种关系。输入、输出是一基本矛盾，是系统的基元。因果关系主要表现为矛盾与矛盾之间的关系，是系统各部分联结在一起的纽带。

在方法论上可以把系统元素相互作用的规律称作系统方法。

系统动力学所研究的系统是控制论系统。其中充分地利用了上述这两种关系，并且把这两种关系具体化了。系统动力学把系统中一个元素表示为一个水平变量，把这个水平变量输入表示为输入速率变量，把它的输出表示为输出速率变量。水平变量是输入速率与输出速率的矛盾统一，它们三者组成一个矛盾，它们是系统动力学的最基本的结构单元。系统动力学把水平变量与水平变量之间，也就是把矛盾与矛盾之间的关系具体化为因果关系环，通过因果关系环把系统各部分组合为一个整体。

(2) 整体性。整体表达了系统整体与它的组成部分之间的关系。系统组成部分之间相互作用的综合结果就是系统的整体性。一切系统都具有整体性。自古以来就有不少的学者研究系统的部分与它的整体的关系。亚里士多德的论点“整体大于它的各部分的总和”朴素地表述了系统整体性的规律，现代的美籍奥地利生物学家L. V. 贝塔朗菲创立了一般系统论，发展了这种整体性原理，贝塔朗菲认为，复杂现象“大于”因果链的孤立属性的简单总和，或者说“大于”单独加以研究的因果链组成部分的属性的简单总和。这是因为复杂现象作为一个系统，不仅是由于系统各组成部分的各自的作用，而且更重要地是由于各组成部分之间相互作用相互联系的综合结果。

系统整体性的规律可写成下式：

$$S_L[\Sigma(K_1, K_2, \dots, K_n)] \approx S_L(K_1) \cup S_L(K_2) \cup \dots \cup S_L(K_n)$$

式中 S_L 表示事物的状态空间， $\Sigma(k_1, k_2, \dots, k_n)$ 表示一个系统， $k_1, k_2, \dots, k_n$ 表示系统的组成部分。

这一式表明整体出现了组成部分所不具有的性质，整体丧失、改变了组成部分所具有的某些性质并且保留了组成部分所具有的某些性质。有的学者把系统整体性规律称为突现规律，即任何系统都至少有一种突现性质。突现性质就是：一些元素（部分），按一定法则组合成一个整体（系统）时，会突然出现一种系统中任一元素（部分）单独所没有的新性质。例如，人体的各组成部分只有按新陈代谢等规律结合为一人体时才会具备人的总体特性，而人体的任何一单独部分都不具有人的特性。

系统整体性规律或突现规律实际上是辩证法中量变质变规律的一种具体化形式。量变质变规律指出，事物的量变引起质变有两种基本形式，一种是外延量的变化，即数量增减、场所变更等等引起质变；一种是内涵量的变化，即质的等级、层次等等，即事物的结构、组合方式等等的改变所引起的质的改变。系统突现规律就是事物内涵量的变化所引起质变的具体形式。

整体性原理在方法论上通常被称为整体性方法。

系统动力学强调系统的整体性原理，它在设计一个系统时，必须考虑总体的结构与功能与组成部分的结构与功能，系统的总体性质由各组成部分的组合结构所规定并与各部分的质

不同。如，一个国家系统由人口、生产、能源、资源、财贸、运输等子系统组成。国家系统的质不同于单独的任何一子系统的质，也不是各子系统质的机械相加，因此系统动力学在设计一个系统时，要从总体系统出发，把各子系统、各元素有机地组合在一起，达到符合要求、完成某种目标的总体功能。

(3) 结构性。系统的结构与功能的关系表达了系统的结构性。结构是系统元素相互联系相互关系的总和。结构也就是系统的存在的组织形式。功能是系统与环境相互关系中所表现的属性、所具有的能力和所起的作用。

一切事物都可看作一个系统。在特定的环境 E 下，一个系统的功能 F 虽然取决于它的元素 C ，但主要取决于系统的结构 S 。即

$$F = f(E, C, S)$$

当 E, C 确定之后，有

$$F = f_E, c(S)$$

这说明，系统的结构是功能的基础，有什么样的结构就有什么功能，同时功能也会反作用于结构，在一定条件下会导致结构的改变。这个原理可以称作结构功能统一律。它描述了系统下的功能、环境、元素、结构之间的相互关系。从哲学上看，这一规律也是内涵量不同所表示的质的不同的量变质变规律的具体形式。同时，它也与辩证法的形式与内容一对范畴相适应。

这一规律的具体形式主要有：

第一，结构的协同性，即系统的协同性。系统内各元素、各子系统的分工合作、协同作用，受到系统的目的和环境的影响，“因此服从一个统一的自然规律。这个规律就是‘在保证实现环境允许系统达到的功能（目的）的前提下，使整个系统对空间、时间、物质、能量和信息的利用率最高’。”（杨士尧《系统科学导论》）这就是在系统元素、环境确定的情况下使系统的功能达到最大。这一规律可简称系统的协同规律或优化规律。在方法论上可称系统的优化方法。

系统动力学并不追求系统中个别变量的最优化，而是追求整体功能的优化。系统内是多变量、多参数、多目标的。系统动力学往往是改进系统的主导部分（主要变量、主要目标）而使整个系统的功能达到次优或最优。这种功能的优化是建立于结构优化协同的基础之上的。

第二，结构稳定性或系统的稳定性。系统稳定性指系统在干扰作用下恒定性与可靠性。根据系统稳定性原理，系统可分为三类：稳定的、渐近稳定的和不稳定的。系统处于何种状态，这取决于内部反馈机制的性质，取决于系统结构与功能的辩证关系。

系统动力学所研究的系统主要是高度非线性的社会系统。并且这个系统是在多种限制条件下运行，兼有系统的放大作用 and 时间的延迟，这种系统在数学上表现为不稳定，它并趋向于一个稳定的平衡状态（甚至在不存在外部干扰的情况下，它是趋向于一个幅度不断增长的振荡，一直增长到系统本身所含的非线性对它进行限幅作用为止）。

(4) 组织性。系统的有序与无序的关系表达了系统的组织性。系统的组织性就是系统一定程度的有序性。有序性就是系统内各元素各子系统的有规则、有秩序的排列与关系。无序性是指不确定性、无规则性和随机混乱性。无序性用“熵”来度量，有序性或组织性用

“负熵”来度量，任何系统都有一定程度的有序性或组织性。在一定条件下，系统能够自动地从有序程度低的比较简单的系统演化为有序程度高的比较复杂的系统。这个原理叫做系统的自组织规律。这一规律指明了事物或系统发展进化的方向。它是辩证法否定之否定规律的具体化。

十九世纪以来，自然科学产生了两股关于系统演化的思潮，一是以克劳修斯为代表人物的热力学的退化思潮，一是以达尔文为代表人物的进化论思潮。热力学研究的是封闭系统。热力学第二定律表达了封闭系统的特点：“一孤立系统的熵总趋于增大”。根据这个定律，自然系统总是自发地从有序趋向于无序，从复杂趋向于简单、从建设趋向于破坏、崩溃和混乱状态。热力学研究的封闭系统的有序走向无序的过程，反映了关于系统退化的悲观的思想。与热力学第二定律思想相反，进化论的思想指明的是，系统的演化方向是由无序到有序、由简单到复杂、由破坏到建设的过程。这是进化的乐观的世界观。退化与进化的矛盾到二十世纪中叶发现了自组织原理或自组织规律之后才得到解决。系统的自组织原理指明，系统划分为封闭系统和开放系统两类。封闭系统与环境没有物质能量交换，事物的演化是从有序到无序，是退化；开放系统与环境有物质和能量的交换，事物的演化是从无序到有序，是进化。

现代的一般系统论、耗散结构理论、协同学等理论都是研究自组织原理的。耗散结构理论提出系统不断进行自组织、演化的普利高津条件，对于开放系统，系统的熵的改变引起系统的自组织过程，系统的熵的改变量 ds 由两部分组成：一部分是 $d_i s$ ，它是系统内部由不可逆过程引起的熵增，它总是正的；另一部分 $d_e s$ ，是系统与外部环境进行物质与能量交换引起的熵流，它可正可负。即：

$$ds = d_i s + d_e s$$

当 $d_e s < -d_i s$ 即当 $\frac{ds}{dt} < 0$ 或 $\frac{d_i f}{dt} > 0$ ($d_i f/dt$ 表示信息对时间的增量)

时，系统处于不断自组织状态，不断进化。艾什比提出适应性自组织条件，即环境对系统有恒常输入，使系统有创新能力，适应环境。自组织的第三个条件是系统内部存在多种潜在稳态和随机起伏，二者结合产生自组织过程，即“自然选择”过程，协同学对自组织原理有深刻的研究。西德著名物理学家H·哈肯提出了系统从无序到有序不断演化方程：

$$\dot{q}(r, t) = N(q, \bar{v}, \alpha, r, t) + F$$

这里， q 是序参量， r 是空间， t 是时间， $\bar{v}$ 是拉普拉斯算式， α 是外界控制该系统的控制参量， F 是涨落。

协同学提出序参量的概念。序参量是描述系统有序程度的参量，也是决定系统形成与演化的参量。当序参量为0，则系统无序；当序参量增大，系统形成有序结构。序参量在空间和时间上演化即系统的演化。系统中序参量的协同与竞争，反映了系统中子系统与子系统之间、元素与元素之间，整个系统与子系统间的协同与竞争，这种协同与竞争推动了系统从无序到有序的演化。从辩证法的观点看，系统的自组织规律正是矛盾规律（系统的矛盾诸方面的又统一（协同）又斗争（竞争））的具体化和定量的说明。

系统动力学所研究的对象，大部分也是自组织系统。虽然它所研究的社会经济系统在一定程度上是受人控制的，但这种控制力有限。因此社会经济系统就基本上说来，还是自组织