

系统科学导引

周硕愚 编著

地震出版社



系统科学导引

周硕愚 编著

地震出版社

1988

内 容 提 要

系统科学是当代的新兴科学。本书把系统科学作为一个整体,深入浅出地介绍了它的基本概念和方法。包括:系统科学体系、系统、信息、反馈控制、耗散结构、协同有序、混沌与突变、功能模拟、预测决策、人工智能的应用与展望等。本书概念清晰,信息量大,论述简明扼要,可供地学、物理学、生物学、医学、环保和社会、经济等多种领域的各级科技人员和管理干部,作为学习和应用系统科学的入门读物。也可作为有关院校的参考教材。

2P88/13

系 统 科 学 导 引

周硕愚 编著

责任编辑:李 俊

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北京昌平展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全 国 各 地 新 华 书 店 经 售

850×1168 1/32 7.5印张 201 千字

1988年8月第一版1988年8月第一次印刷

印数:0001—6000

ISBN 7-5028-0109-X/Z·7

(511) 定价:3.80元

目 录

序	(1)
前言	(2)
第一章 当代的新兴科学——系统科学.....	(4)
1.1 整体化——当代科学技术发展的重要趋势.....	(4)
1.2 系统科学的蓬勃兴起	(7)
1.2.1 系统论	(8)
1.2.2 控制论	(9)
1.2.3 信息论	(11)
1.2.4 耗散结构理论与协同学	(12)
1.2.5 一般生命系统理论与超循环理论	(14)
1.2.6 莫萨洛维克与克勒系统体系	(15)
1.2.7 熵经济学理论与定量社会学	(16)
1.3 系统科学的体系与作用.....	(17)
第二章 系统.....	(21)
2.1 系统的概念.....	(21)
2.1.1 系统的结构	(21)
2.1.2 系统与环境	(22)
2.1.3 系统的功能	(22)
2.1.4 系统的定义	(24)
2.2 系统的分类.....	(24)
2.2.1 自然与人造系统	(25)
2.2.2 实体与概念系统	(25)
2.2.3 静态与动态系统	(26)
2.2.4 封闭与开放系统	(26)
2.2.5 白箱与黑箱系统	(27)
2.2.6 小型与大型系统	(28)

2.2.7 专业对象系统	(29)
2.3 系统的特性	(29)
2.3.1 综合性	(29)
2.3.2 整体性	(29)
2.3.3 层次结构	(30)
2.3.4 信息联系	(30)
2.3.5 目的性	(30)
2.3.6 学习性	(30)
2.3.7 适应性	(31)
2.3.8 组织性	(31)
第三章 信息	(33)
3.1 信息的科学含意	(33)
3.2 信息的定量表达	(36)
3.2.1 熵与信息	(36)
3.2.2 信道互信息	(41)
3.3 信息资源及其开发	(44)
3.4 信息论与信息方法	(48)
3.5 信息方法应用实例	(50)
3.5.1 预测方法优劣程度的定量评定	(50)
3.5.2 地震前兆台站和手段的效益定量评价	(53)
3.5.3 疑难疾病症状的选择	(58)
第四章 系统的反馈与控制	(60)
4.1 系统与控制	(60)
4.1.1 可能性空间与控制	(60)
4.1.2 反馈与控制	(61)
4.1.3 开环与闭环控制	(62)
4.2 反馈控制系统的工作原理	(64)
4.3 生物系统的反馈控制	(66)
4.3.1 随意控制系统	(67)
4.3.2 不随意控制系统	(68)

4.4	机器系统中的反馈控制	(70)
4.4.1	生产过程控制系统	(70)
4.4.2	火力控制	(71)
4.5	社会经济系统的反馈控制	(73)
4.6	反馈——一种认识模式	(75)
4.6.1	认识误差的衰减、消除与振荡、发散	(75)
4.6.2	疾病诊断与地震预报中的认识反馈	(83)
4.7	控制的基本类型	(87)
4.7.1	稳定控制	(87)
4.7.2	程序控制	(88)
4.7.3	随动控制	(88)
4.7.4	最优控制	(88)
4.7.5	模糊控制	(88)
4.8	控制论方法	(93)
第五章	系统的结构、自组织与演化	(96)
5.1	串并联结构与功能	(96)
5.2	层次结构与功能	(98)
5.3	开放与自组织系统	(103)
5.3.1	熵原理	(103)
5.3.2	热寂	(106)
5.3.3	无序、有序与自组织	(107)
5.4	远离平衡态的系统自组织理论	(110)
5.4.1	贝纳尔涡现象	(110)
5.4.2	耗散结构理论	(111)
5.5	普适的系统自组织理论	(115)
5.5.1	相变与序参量	(115)
5.5.2	协同学理论	(117)
5.6	系统的有序、稳定和突变	(121)
5.6.1	系统的目的、有序与稳定	(121)
5.6.2	稳定与突变理论	(123)

5.7 系统演化过程的性质	(129)
6.7.1 确定性系统的内在随机性与混沌	(129)
5.7.2 确定性与随机性的互补	(133)
第六章 整体性与最优化原理	(138)
6.1 系统的整体性原理	(138)
6.2 系统的最优化原理与方法	(140)
6.3 实例:地震监测预报中的系统整体增益	(145)
6.3.1 整体观测——台阵技术	(146)
6.3.2 整体处理——信息合成	(148)
第七章 模型	(157)
7.1 原型与模型	(157)
7.1.1 相似性、同构与同态	(158)
7.1.2 黑箱、灰箱与功能模拟	(160)
7.2 建模——系统辨识问题	(163)
7.2.1 数学模型的结构类型	(163)
7.2.2 系统辨识步骤	(165)
7.3 静态模型与应用实例	(167)
7.3.1 静态模型	(167)
7.3.2 中医学与经济学中的模型	(171)
7.4 动态模型与应用	(173)
7.4.1 动态系统的三类模型	(173)
7.4.2 动态系统的状态变量模型	(175)
7.4.3 系统的能控性与能观性	(177)
7.4.4 流行病等人口状态模型	(178)
7.4.5 自然地理面的能量流模型	(181)
第八章 预测与决策	(185)
8.1 预测——系统功能模型的仿真外推	(185)
8.2 预测原则	(186)
8.2.1 延续原则	(186)
8.2.2 因果原则	(187)

8.2.3 类比原则	(187)
8.2.4 灰箱原则	(188)
8.2.5 组合原则	(188)
8.2.6 概率原则	(188)
8.2.7 效益原则	(189)
8.2.8 跟踪原则	(190)
8.3 地震前兆观测数据的正常动态预测	(190)
8.3.1 正常动态预测——排除干扰与识别异常的可行 途径	(190)
8.3.2 动态灰箱模型与应用	(191)
8.4 决策	(197)
8.4.1 决策过程与类型	(197)
8.4.2 风险型决策实例	(199)
第九章 人工智能	(202)
9.1 人工智能与智能机器	(202)
9.2 专家系统与知识工程	(204)
9.3 模式识别	(205)
9.3.1 概念	(205)
9.3.2 统计模式识别	(206)
9.3.3 句法模式识别	(203)
9.4 地震前兆专家系统的研究	(210)
9.4.1 地震前兆信息识别系统	(210)
9.4.2 特征向量样板匹配模型实例	(213)
结语：改变了世界科学图象与当代科学思维方式的系统 科学	(219)
参考文献	(223)
附录（中英文名词与人名对照表）	(227)

序

科学本身正经历着一场革命。在物理学、数学、化学、生物学、社会科学和控制工程、信息工程以及计算机科学等多种学科现代发展与相互交溶的基础上，所诞生的新兴科学——系统科学，正是这场科学革命已取得一项重大成就。系统科学具有强烈的现代科学方法论色彩。它被誉为改变了世界科学图象和当代科学家思维方式的新科学。

实践表明，在物质条件和科学技术储备相类同的环境中，对及时更新传统观念、采用现代研究方法（工作方法）的科技工作者和管理工作者来说，往往能取得较好的科研成果与较高的工程或工作效益。因此，学习现代科学进展所提出的新概念与新方法，对各专业、各层次的科技人员与管理人员，均是有益的和必要的。

本书把系统论、控制论、信息论、协同论、耗散结构理论、混沌和突变论等现代新科学理论以及它们的应用归顺到我国著名科学家钱学森提出的统一框架中来，有机联系地叙述，这是一个有益的尝试。本书作者从事地学科研多年，书中也包含了他近年来将系统科学首次应用于地震研究所取得的某些成果。此书信息量大、简明扼要，侧重于阐明基本概念与实际应用。对希望了解、学习和将系统科学逐步应用于本专业、本部门的科技人员与管理人员而言，这是一本合适的导引性读物；高、中、初级人员均有可能从本书中获得不同层次的启发与收益。我愿将此“导引”推荐给希望更新思维方式和知识结构的科技人员和管理人员。

陈 颀

1988年1月3日

前 言

系统科学是最近三、四十年来蓬勃兴起的一门新兴科学，是人类取得的最伟大的科学成就之一。它包含了一组相辅组成的内含相通的新兴科学群：系统论，控制论，信息论，协同论，耗散结构理论，突变论，超循环理论，一般生命系统理论，莫萨洛维克体系，克勒体系，运筹学和系统工程等。它为人们提供了一套崭新的科学思维方式、优化工作方法和定量数学工具，从而极大地增强了人类认识自然和改造自然的能力，使人们对复杂系统的研究、控制和研制由过去无能为力的状态变为可能。它极大地推进了科学技术进步和生产力的发展，促进了信息时代的来临以及自然科学与社会科学两大部门的汇流。它在物理科学与生命科学的古老鸿沟之上架起了桥梁，并为计算机在各领域、各行业中的有效应用创造了必要的理论和逻辑前提。它具有强烈的方法论性质和横向科学色彩，在研究复杂系统和促进多学科相互结合上有其公认的独到之处，因而它被称为改变了当代世界科学图象和当代科学思维方式的新兴科学。

系统科学向越来越多的领域和行业渗透并结出一批又一批硕果，已成为一股世界性的热流。

近年来我国的自然科学和社会科学工作者以及各行业的干部对系统科学产生了越来越大的兴趣，他们希望尽快把这一科学的新概念和新方法应用到自己所从事的专业和所管理的企、事业中去。本书就是为他们编写的一本导引性读物。作者力图以系统及其信息联系、控制和演化为主线，将这一新兴科学群作为一个整体来叙述。书中略去了繁琐的数学推导，用较多的实例来加深读者对基本概念和基本方法的理解。实例侧重于系统科学在非工程技术领域中的应用，并尽可能地与我国的实际相结合。作者将目

前还分散在许多文献和报刊中关于概念、方法和应用的各种信息，有机地加以浓缩，以期望能节约读者开始接触这门新科学的时间，以便尽快地了解此学科的框架、内含与当代进展。作者和审校者近几年曾用上述方法举办过几次讲习研讨班。实践证明这种叙述方法能使不同专业的高、中、初级人员均感兴趣。他们能各取所需地从中得到某些有益启发或实际帮助。作者希望，读者阅读本书后能具有比较清晰的基本概念，掌握一些实用的定量方法，能结合自己的专业开始应用，并为今后进一步的学习与研究打下基础。由于篇幅所限，有些方法只能简述，有些问题不得不割爱。

承蒙宋瑞玉研究员仔细审阅全书并提供国民经济领域中应用的手稿供作者参阅。承蒙国家地震局副局长陈颀研究员为本书撰写序言。梅世蓉、郭增建和马宗晋研究员对如何应用于地学曾给予作者以学术指导。本书撰写过程中还得到董慧风、宋永厚、韩键、高文海、陈如风、张荣富、吴云以及许多兄弟单位同志们的支持与合作，参阅了许多研究工作者的专著和报刊文章（参考文献中仅列出了一部分）。对以上这些帮助，作者深表感谢。

作者的有关研究工作有幸先后获得国家地震局科学基金和地震科学联合基金会的资助。系统科学涉及的范围极其广泛，要写好这样一本书是不易的。由于篇幅的限制加之时间仓促，书中尚存不妥之处，作者热忱欢迎读者对本书提出批评与指正。

作 者

第一章 当代的新兴科学—— 系统科学

1.1 整体化——当代科学技术 发展的重要趋势

科学的发展经历了总体思辨（古代）——分化（近代）——整体化（现代）的三个阶段。在每一阶段都有相应的科学研究方法。

在科学技术不发达的古代，由于缺乏精确的量测和实验手段，各门科学还没能自成体系，人们很自然地从总体上去观察，猜测和思考客观世界，而使人们的认识处于总体思辨阶段。这在古代希腊和古代中国表现得特别明显。希腊的古代思想家们，如德漠克利特、亚里斯多德等都强调总体观。“总体功能可大于它各部分功能的总和”系统论的这一基本原理，就是亚里斯多德首先提出的。中国古代典籍《周易》、《老子》、《天论》、《黄帝内经》中所阐明的八卦、五行、有无、阴阳、经络、脏腑和天人相应等观念，主要强调部分之间、部分与整体之间、整体与环境之间的相互联系以及整体的协调性。以脏腑说为例，它把人体视为一个由五个子系统：心脏、脾脏、肺脏、肾脏和肝脏有机组成的一个生命系统。各脏腑之间互相滋养，互相制约，组成了一个交叉的信息反馈网络，以保证整个系统（人体）处于协调稳定的状态（健康状态）。如果产生了疾病，那么不应当“头痛医头，脚痛医脚”，而应当从整体上进行协调，即所谓辨证施治，扶正祛邪，以达到治本的目的。我们的祖先在两千多年前就用这种科学的观念来调节人体、防病治病，是很了不起的。中国传统的这

种强调整体协调、强调自发的有组织的世界的自然观、至今仍闪耀着夺目的智慧之光。世界上不少有成就的科学家，都承认他们曾从中国的古代典籍中受到过极其有价值的启发。但在古代，人们对事物的解剖、分析和对细节的观测都是很不足的，他们往往用猜测和思辩来补充事物之间缺失的中间环节或尚未认识的事物，这就限制了科学技术的快速发展。

从15世纪后期到19世纪是近代科学形成和大发展的阶段。数学，物理学，天文学，化学，生物学，地质学，社会学等近代科学从混为一体的哲学中分化出来，自成体系并越分越细。这种把事物分解成各个独立的部分，逐次分解，然后再分门别类孤立地进行试验和研究的方法，比起古代朴素的总体思辩来说，是一个巨大的进步。它促进了各种具体的精细知识的积累，促进了各门科学技术的快速发展和工业革命的成功以及人类近代文明的形成。经典力学机械观的思维方式、还原论、拉普拉斯决定论是这个时期科学方法的代表。

从19世纪末开始，科学进入了现代发展阶段。20世纪以来，现代科学最主要的趋向是整体化，包括高度综合与高度分化；而由分化所产生的各种边缘性交叉学科又成为整体的一种重要形式。整体化趋向的出现，主要来自下述几种原因：

（1）分化妨碍了科学的进一步发展，科学发展的本身要求整体化。

以生物学为例，尽管通过分类研究累积了细微的知识，通过解剖等手段弄清楚了生物体的每一条血管，每一片肌肉，每一根神经。通过分子生物学的研究甚至了解了分子的层次。但机械地把这些知识全部相加，仍不能解决问题，似乎是知道得越细、越多，反而失去了全貌。这种分化研究方法，尽管推动过生物学大步向前，但仍使不少生物学家感到失望。他们感到，只有把生物看成一个有机整体，把生物整体及其环境作为一个大系统来研究，才能取得更大的进展。因而，贝塔朗菲（L.V.Bertalanffy）

开创了理论生物学；而杜布赞斯基 (T.Dobzhansky) 等则在群体遗传学、表型遗传学、生态学、生物地理群落学、微分类学、生物地理学、进化形态学、胚胎学、古生物学和其它一些相关科学的基础上创立了综合进化论——现代进化论。这些工作都鲜明地体现了生物学的整体化趋向。

再以地理学为例。19世纪，地理学首先分化成人文地理学和自然地理学。接着又继续分化下去，后者再分化为动物地理学，植物地理学，土壤地理学、气候学、地貌学和水文学等。分化的结果固然使人类对自然环境各要素的认识深入了，但对自然环境总体的认识反而混淆和模糊了，而且使地理学科本身也产生了危机。统一的地理学还能存在下去吗？它本身到底应当怎样发展？通过赫特纳 (A.Hettner)、拉策尔 (A.Ratzel) 和赫伯森 (A.J.Hbertson) 等许多学者的努力，地理学家们终于明确了自己的新任务：用整体的观点，综合的方法研究各种层次、各种类型的自然地理综合体的形态、结构及各要素间的多种联系。自然地理综合体研究的兴趣起不仅把地理学的研究推进到一个新阶段，而且使该学科在研究当代许多迫切问题，如自然区划和土地利用，各类资源的评价和利用，人地关系，生态平衡和环境保护，水热平衡等领域中发挥了重要作用，而这些作用是处于分化阶段的学科难以起到的。

不仅科学出现了整体化倾向，技术也出现了整体化倾向。近年来，重大新技术的出现一般不再来源于单纯经验性的创造发明，而往往来源于系统的综合的科学研究。

(2) 对复杂系统的研究要求多种学科通力合作，社会的迫切需要推动着科学的整体化。

宇宙飞船系统由 10^7 个单元组成，要研制并成功发射这个复杂系统，不仅需要力学，机械学，电子学，自控技术，还需要地球物理学，空间物理学，生理学，心理学，医学等许多科学技术的通力合作。

人类通过长期生活与实践终于明白了“地球只有一个，保护它是每个人的责任”，必须“学会明智地管理地球”。重视生物圈与技术圈的协同发展，维持生态平衡，有效地保护环境，已成为当代最迫切的问题之一。环境科学兴起了，它要求生物学，地质学，化学，物理学，医学，工程学和社会科学的相互渗透和协作。

如何最大限度地减轻地震灾害，也是当代迫切问题之一。而要实现有效的地震预报和预防就必须要求地球物理学，地质学，大地测量学，地球化学，天文学，气象学，生物学，仪器学，工程学，心理学、社会学以至法学的多学科合作。

许多复杂系统都是由自然和人类社会共同组成的，不仅要求各门自然科学汇流，而且要求自然科学和社会科学两大部分汇流。例如对国际经济系统的研究和预测，对国民经济系统的研究和控制，人口控制等。这种汇流的结果还不断形成着一些具有重大理论意义或重要实用价值的新学科，如正在形成中的思维科学，它只要求哲学，数理逻辑，心理学，模式识别，科学语言学，文艺理论，科学方法论，人工智能和电子计算机科学等多门科学的综合；又如正在发展中的城市科学就要求社会学，经济学，地理学；历史学，规划学，工程学和管理学的结合。

(3) 交叉科学和边缘科学的兴起，使各门科学之间的空隙逐渐得到填补。不少科学之间深邃的鸿沟开始消失，这就为科学的整体化创造了条件。

就在上述背景下，系统科学兴起并发展起来了。

1.2 系统科学的蓬勃兴起

现代科学技术发展的整体化趋向，迫切要求有一套统一的科学理论，以便横向贯通各门学科，建立学科之间的准确关系。此外，既然传统的科学研究方法（即把复杂系统人为地分解为简单

要素，再每次变动一个因素来逐次研究的方法）只适合简单系统、不适合于复杂系统；而对复杂系统的研究又已经成为当代人类面临的迫切问题。因此，创建一套适用于复杂系统的新的科学研究方法就显得十分迫切。在科学需要和应用需要的双重推动下，系统科学群应运而生。

1.2.1 系 统 论

由相互联系，相互依赖，相互制约，相互作用的事物或过程组织成的具有整体功能和综合行为的统一体，称为系统。系统无处不有。研究系统的一般理论和方法，称为系统论。系统论是从科学和工程技术两个方面发展起来的。

系统理论在科学上的兴起始于生物学领域。前面提到过的奥地利出生的美国科学家贝塔朗菲首先创建了理论生物学，提倡生物学研究中的“机体系统理论”。在此基础上，1945年他发表了《关于一般系统理论》，1947年出版《生命问题》，从而创立了“一般系统理论”（General System Theory）。他认为无论各种系统的种类和性质有何不同，存在着适用于一般化系统的一般性原则，它们包括：整体性原则，相互联系原理，有序性原则和动态原则。一般系统论强调系统的开放性，即系统要同周围环境进行能量和物质交换，并把生物和生命现象的有序性、目的性同系统的结构稳定性联系起来。有序才能使系统结构稳定；系统要走向最稳定的结构即走向自己的目的。在他逝世的前三年即1968年，出版了《一般系统论：基础、发展与应用》一书，全面总结了40年来的工作。贝塔朗菲认为，他用的是经验——直觉的逻辑方法。应用一系列概念、范畴研究自然、社会和人造、符号诸系统的一般系统规律。其研究基本上处于概念阐述，定量的结果较少。

系统论兴起的另一方面就是“系统工程”（Systems Engineering）。随着生产规模越来越大，生产技术越来越复杂，科学研究涉及的专业和部门越来越多。这些大规模的生产和科学系统由

许多部分组成，它们之间相互协同又相互制约，关系错综复杂；需要人们从整体和相互联系的角度去分析和研究问题，需要制定一套处理复杂系统和组织工作的科学方法及程序。40—50年代，美国贝尔电话公司首先使用了“系统工程”一词，并在发展微波通讯网络中应用了这一系统工程方法。第二次世界大战中，为作战和后勤决策的需要，产生了“运筹学”，(Operations Research)。战后最著名的运筹学研究组织是美国的兰德公司 (PAND)，它倡导了“系统分析” (Systems Analysis)，取得了很好的成效。1957年美国古德(H. Goode)和麦克霍尔(R. E. Machol)合著了《系统工程学》，1965年麦克霍尔编写了《系统工程手册》，论述了统系工程的方法论、系统环境、系统元件、系统理论、系统技术和系统教学等，使系统工程形成了一门具有比较完整体系的学科。1969年，阿波罗飞船登月成功，被公认为是系统工程成功的范例，引起了人们对系统工程的广泛重视。1972年成立了国际应用系统分析研究所。我国经过钱学森，关肇直，李国平，薛葆鼎等21位学者联合倡议，于1980年成立了中国系统工程学会。目前在许多领域中系统工程均得到广泛的应用。它已从工程的系统推广到了非工程的系统。

各专业系统工程共同的技术基础是运筹学。系统工程属于系统科学中工程应用的层次，而一般系统论则属于系统科学的理论层次。它们从科学和应用的不同角度，相辅相成地发展着。

1.2.2 控制论

控制论 (Cybernetics) 的创始人是美国数学家维纳 (N. Wiener)。维纳把控制论定义为：“在机器、生物和社会中通讯与控制的科学”。他把机器、生物、社会这些形形色色的事物，都视为具有反馈功能的信息系统，研究其共同规律和控制它们的理论与方法。控制论是一种能应用于任何系统的一般控制理论，因而也是一种系统理论；它侧重于研究系统行为的反馈调节与控