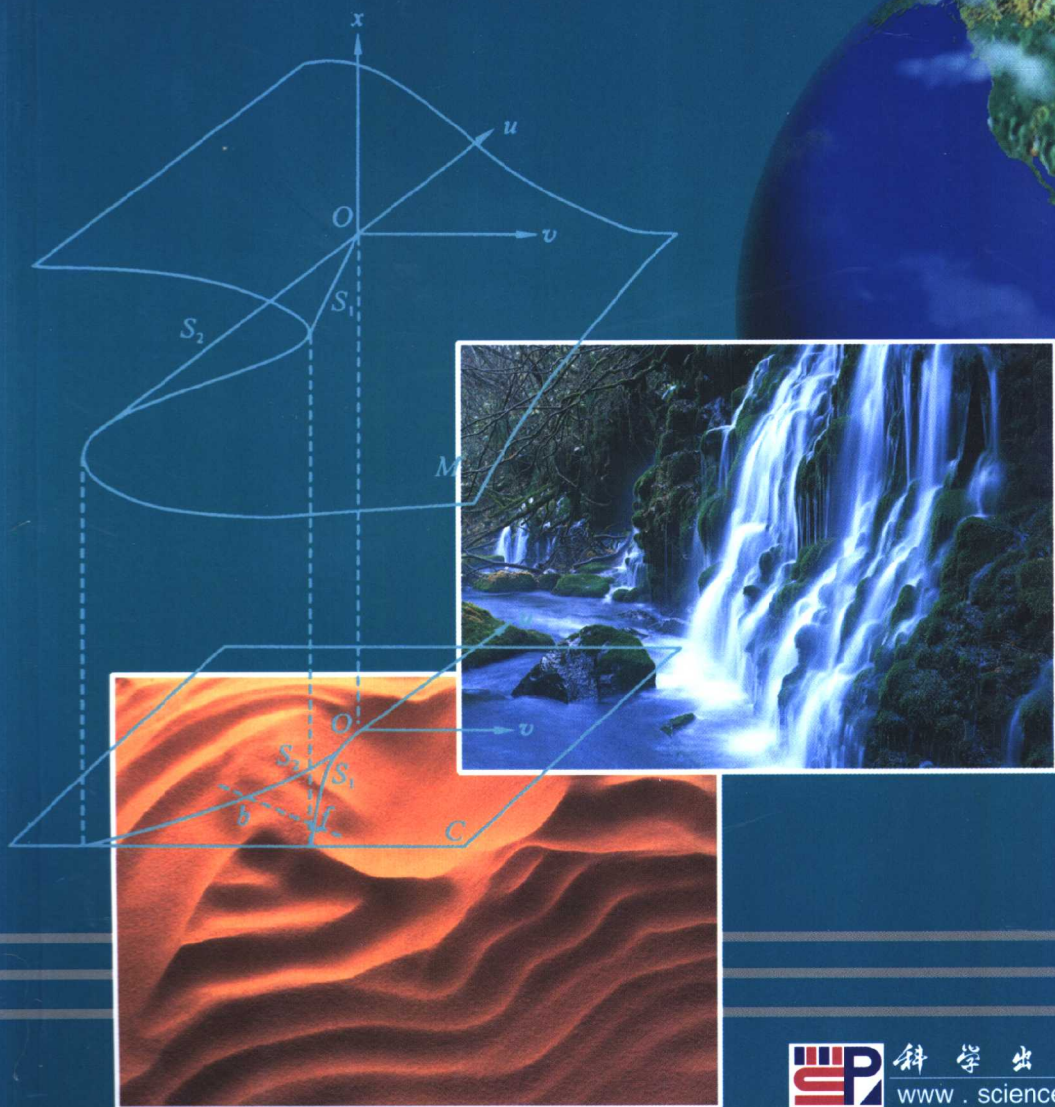


马建华 管 华 编著

系统科学

及其在地理学中的应用

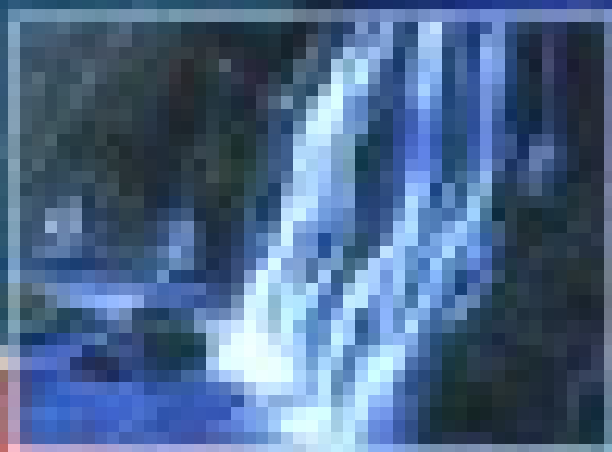


科学出版社
www.sciencep.com

科学出版社 地理学系列

系统科学

及其在地理学中的应用



中国科学院出版社
CHINA SCIENCE PRESS

系统科学及其 在地理学中的应用

马建华 管 华 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书比较全面地介绍了系统科学的主要内容,如一般系统理论、信息论、控制论、突变论、协同论、耗散结构理论、混沌与分形理论等,并大量举证了系统科学在地理学中的应用实例,如地理信息系统、熵概念在地理学中的应用、地理系统演化的第一类时间之矢和第二类时间之矢、生物竞争与进化的自组织模型、混沌和分形理论在地理学中的应用、控制论和系统工程在地理学中的应用等。

本书可作为从事地理工作的各级、各类人员了解系统科学及其在地理学中应用现状和趋势的基本读物,也可作为本科地理科学各专业高年级学生学习系统科学的教材,还可供广大系统科学或地理科学爱好者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统科学及其在地理学中的应用/马建华,管华编著. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-011169-9

I. 系... II. ①马... ②管... III. ①系统科学—基本知识 ②系统科学—应用—地理学 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007562 号

责任编辑:潘志坚/责任校对:连秉亮

责任印制:刘 学/封面设计:一 明

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

江苏省句容市排印厂印刷

科 学 出 版 社 发 行 各 地 新 华 书 店 经 销

*

2003 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1 000)

2003 年 3 月第一次印刷 印张:19 3/4

印数:1—3000 字数:390 000

定价:36.00 元

序

在世界科学技术史上,人类对自然界的认识经历了从机械论和还原论到系统论、从可逆过程到不可逆过程、从线性到非线性的变化过程。人们现在越来越深刻地认识到,自然界的事物都处于不同层次的相互联系之中,孤立地考察整体中的某一部分,无论其研究多么深入,都无助于从整体上揭示事物的运动变化规律,只有用系统科学的理论和方法才能达到目的。目前,系统科学的理论体系日臻完善,其应用范围涉及自然科学和社会科学的各个方面,在很多领域取得了令人振奋的重大成果。从某种程度上说,学习和掌握系统科学不仅是科技工作者不可缺少的基本理论和方法,而且也是国民素质教育的重要内容。

地理学的研究对象是一个包括自然、经济和社会在内的复杂巨系统——地理系统(环境)。该系统的组成和结构异常复杂,这在客观上给我们综合研究地理系统,揭示其运行机制带来了诸多障碍。实际上,综合研究地理系统的思想早已有之,但始终没有找到一种行之有效的理论和方法,这是地理学发展滞后于客观需要的主要原因。自从系统科学诞生之后,许多地理学家开始应用系统科学的理论与方法探讨地理系统的状态、行为和演变规律,取得了一些成果。虽然这些成果是零星的,距离我们的目标还有很远,但它毕竟开了一个好头,具有重大的理论和实践意义。我们深信,只要坚持用系统科学的观点和方法研究不同层次的地理学问题,就一定会获得重大突破,为人类文明和社会进步做出积极贡献。

为了适应 21 世纪各类地理人才的培养,河南大学环境与规划学院从 1998 年起在各个相关专业开设了系统科学导论课程,受到学生们的普遍好评。本书是马建华教授和管华教授在自编《系统科学导论》讲义的基础上,大量吸收国内外地理系统研究的最新成果,并结合作者地理系统科学研究的实践和体会编写而成。就我所知,我国高校开设系统科学课程的地理院系尚不多见,兼顾系统科学和地理系统研究方面的著作更为少见。希望本书在新型地理人才培养和系统科学普及方面发挥积极作用。

系统科学还在飞速发展之中,新的理论将会不断涌现;系统科学在地理学中的应用才刚刚起步,许多问题尚在探讨之中。希望作者再接再厉,取得更大成绩。

中国工程院院士



2002 年 9 月于北京

前 言

世界是如何构成的？它怎样发展变化？自然、经济和社会是否具有共同的规律性？这些富有魅力的问题一直被众多科学家和哲学家所关注。经典热力学告诉我们，孤立系统的熵永远不会减少，它总是朝着越来越无序的方向发展；达尔文的生物进化论则告诉我们，生物是沿着从无到有、从简单到复杂、从低级到高级、从无序到有序的方向发展进化的。在科学发展史上，这两种理论都曾对科学做出过巨大的贡献，被认为是 19 世纪重大的科学发现。但是，熵增定律和生物进化论关于事物演化方向却是彼此矛盾的，这又是为什么呢？这对矛盾曾长期困惑着先哲们，被认为是 19 世纪末和 20 世纪初最大的科学之谜。自从系统科学诞生以后，使我们看到了解决上述众多科学问题的曙光，现在有些问题已经得到满意的解决，有些问题虽然没有被彻底解决，但是我们已经认识到了问题的实质和解决问题的思路。

从 1937 年贝塔朗菲提出一般系统论以来，系统科学的发展速度令人吃惊，新的系统理论和方法不断涌现，到目前为止已形成了由系统论、信息论、控制论、耗散结构论、协同论、突变论、混沌论和分形论等在内的庞大的系统科学学科群。系统科学的日臻完善，不仅为我们理解世界现实景象及其发展变化规律提供了理论武器，而且还为我们利用自然和改造自然提供了强有力的技术支撑。在 20 世纪，系统科学的研究成果在自然、经济和社会各个方面得到了广泛应用，取得了一系列重大成果，为人类文明和社会进步做出了积极贡献。其中，系统科学对世界观和方法论的影响尤为深刻，它极大地改变了人类的思维模式和观察事物的角度。毫不夸张的说，系统科学是 20 世纪最伟大的科学革命之一，也是 21 世纪最有发展前景的学科之一。

地理学的研究对象是地理环境，而地理环境本身是一个组成和结构都十分复杂的巨系统，所以对于从事地理教学和科研的人员来说，学习和掌握一些系统科学的基本理论和方法是非常必要的，它有利于我们从整体上把握地理环境的状态和行为，有利于我们建立正确的地理思维。基于上述考虑，1998 年河南大学环境与规划学院在修订地理科学各专业的教学计划时，首次增设了系统科学导论课程。经过查阅资料我们发现，虽然目前国内外已出版过一些系统科学书籍，但是尚无一本适合地理科学专业类使用的教材。为了教学的实际需要，我们编写了《系统科学导论》一书。该教材曾在河南大学环境与规划学院本科高年级和部分专业硕士研究生中试用过两次，同学们就教材内容和体系提出了很好的修改意见。本书是在《系统科学导论》试用教材的基础上，吸收了广大教师和学生的建议，并结合作者多

年学习系统科学的心得和研究成果进一步修改而成,取名为《系统科学及其在地理学中的应用》。

系统科学涉及的内容非常广泛,有些系统科学的分支学科同时又是物理学和数学的重要研究内容,理论十分深奥。本书不拟进行过多的数理推导,而侧重于定性或半定量地介绍系统科学的基本原理、方法及其在地理学中的应用,有兴趣的同志可进一步参阅其他有关系统科学的著作。

本书共分七章。第一章至第五章由马建华教授编写,第六章和第七章由管华教授编写,最后由马建华教授统稿和定稿。第一章至第五章插图由河南大学环境与规划学院绘图室的李斌同志清绘,第六章和第七章插图由河南大学环境与规划学院地理系的马寿涛同志清绘。

在本书编写和出版过程中,我们得到了河南大学跨世纪教学改革工程、河南大学博士点建设基金和河南大学教材出版基金的联合资助,河南大学环境与规划学院的领导和老师们给予了热情支持和鼓励。尤其值得提及的是,中国工程院院士、中国科学院地理科学与资源研究所研究员孙九林先生在百忙之中为书作序;河南大学环境与规划学院的全石琳教授不仅审阅了书稿,而且还为本书的编写和出版奉献了他多年节省的科研经费;科学出版社的潘志坚编辑和冯广平博士也为本书的出版付出了大量劳动。在此,我们谨对所有关心、支持本书编写、出版的领导、专家和同志们表示衷心感谢。

限于编者水平,书中肯定存在许多不当之处,我们真诚希望广大读者提出批评指正。

编 者

2002年8月

目 录

序

前言

第一章 绪论	(1)
一、系统	(1)
(一) 系统的定义	(1)
(二) 关于系统的几个基本概念	(1)
(三) 系统的数学描述	(4)
二、系统科学	(5)
(一) 系统科学的概念	(5)
(二) 系统科学的体系	(6)
(三) 系统科学的性质及系统科学与其他学科的关系	(9)
(四) 系统科学的意义	(10)
三、系统科学与地理学	(13)
(一) 地理学发展回眸及当前面临的关键问题	(13)
(二) 地理学的系统研究	(15)
四、系统科学发展简史	(17)
(一) 古代朴素系统思想阶段	(18)
(二) 近代辩证哲学系统思想阶段	(19)
(三) 现代系统科学阶段	(21)
第二章 一般系统理论	(26)
一、系统性质	(26)
(一) 整体性	(26)
(二) 稳定性	(27)
(三) 层次性	(29)
(四) 开放性	(30)
(五) 动态性	(32)
(六) 自组织性	(33)
(七) 目的性	(34)
(八) 同型性	(35)
二、系统分类	(35)

(一) 按系统内容划分	(36)
(二) 按系统与环境的关系划分	(37)
(三) 按系统的规模和复杂程度划分	(38)
(四) 按系统的运动状态划分	(40)
(五) 按人类对系统的认知水平划分	(42)
三、系统原理	(43)
(一) 整体和 parts 的关系	(43)
(二) 系统和环境的关系	(47)
(三) 结构和功能的关系	(49)
(四) 稳定和进化的关系	(52)
第三章 信息和熵	(56)
一、信息	(56)
(一) 信息的科学涵义与属性	(56)
(二) 信息传递模型	(58)
(三) 影响信息传递的因素	(59)
(四) 信息的量度	(60)
二、地理信息系统简介	(66)
(一) 地理信息和地理信息系统	(66)
(二) 地理信息系统的结构	(67)
(三) 地理信息系统的功能	(68)
三、熵	(69)
(一) 几个重要概念	(69)
(二) 物理熵	(71)
(三) 广义熵	(78)
四、熵概念在地理学中的应用	(82)
(一) 信息熵在地理学中的应用	(82)
(二) 喻义熵在地理学中的应用	(88)
(三) 资源开发、经济发展和环境污染的熵分析	(95)
第四章 系统演化	(100)
一、两种系统演化方向的尖锐对立	(100)
(一) 第一类时间之矢	(100)
(二) 热寂说及其批判	(101)
(三) 第二类时间之矢	(102)
(四) 两种系统演化方向的尖锐对立与麦克斯韦妖	(105)
二、非线性动力学初步	(106)

(一) 非线性动力学系统的概念	(106)
(二) 吸引子	(107)
(三) 稳定性	(111)
(四) 分叉与突变	(116)
三、耗散结构理论	(129)
(一) 玻耳兹曼有序原理和平衡结构	(130)
(二) 负熵流和耗散结构	(132)
(三) 近平衡区最小熵产生原理及其意义	(134)
(四) 远离平衡区超熵产生与耗散结构的形成	(139)
四、协同论	(152)
(一) 协同论的基本观点	(152)
(二) 协同论的基本演化方程	(153)
(三) 序参量	(154)
(四) 支配原理	(155)
(五) 生物竞争与进化自组织模型	(158)
第五章 混沌与分形理论	(166)
一、混沌理论	(166)
(一) 混沌的定义	(166)
(二) 从倍周期分叉到混沌	(168)
(三) 混沌的基本特征	(174)
(四) 混沌中的规律性	(179)
二、混沌理论在地理学中的应用	(184)
(一) 大气热对流模型——洛伦兹方程	(185)
(二) 生态系统中的混沌	(187)
(三) 经济系统中的混沌	(188)
三、分形理论	(190)
(一) 整数维面临的挑战	(190)
(二) 分维的概念及其计算	(193)
(三) 几种规则的分形	(200)
(四) 奇怪吸引子分维的计算——约克公式	(205)
四、分形理论在地理学中的应用	(206)
(一) 海岸线分形	(206)
(二) 水系分形	(209)
(三) 地貌分形	(211)
(四) 森林覆被分形	(213)

(五) 地理系统时间序列关联维的计算	(214)
第六章 系统控制	(217)
一、控制论概述	(217)
(一) 控制论的概念、起源与发展	(217)
(二) 控制论的特征和任务	(219)
二、控制系统	(220)
(一) 控制概述	(220)
(二) 控制系统	(222)
三、控制论基本方法	(223)
(一) 系统状态的变换	(223)
(二) 控制论的系统处理方法	(225)
(三) 控制论的系统研究方法	(229)
四、控制理论	(231)
(一) 经典控制理论	(231)
(二) 现代控制理论	(236)
(三) 大系统理论	(238)
五、控制论在地理学中的应用	(243)
(一) 建立模型	(243)
(二) 预测与控制	(244)
第七章 系统工程	(247)
一、系统工程概述	(247)
(一) 系统的概念与特点	(247)
(二) 系统工程的理论方法	(248)
二、系统工程的基本方法	(249)
(一) 系统工程的应用原则	(249)
(二) 系统工程的程序和基本方法	(250)
(三) 霍尔三维结构	(251)
三、系统分析	(253)
(一) 系统分析的概念	(253)
(二) 系统分析的原则	(254)
(三) 系统分析的基本要素	(255)
(四) 系统分析的指标体系	(258)
(五) 系统分析的步骤	(259)
四、系统模型与系统模拟	(260)
(一) 系统模型	(260)

(二) 系统模拟	(263)
五、系统优化	(269)
(一) 系统优化的概念与程序	(269)
(二) 线性规划	(269)
(三) 动态规划模型及其解法	(281)
六、系统工程在地理学中的应用举例	(290)
(一) 西峡县农业土地利用现状	(290)
(二) 西峡县农业土地利用最优结构模型的建立	(291)
(三) 西峡县农业土地利用最优结构分析	(293)
复习思考题	(295)
主要参考文献	(299)

第一章 绪 论

“系统”(system)一词在当今社会被广泛地使用着,如生态系统、呼吸系统、消化系统、教育系统、金融系统、公安系统等等。那么,究竟什么是系统?什么是系统科学?它的提出有什么科学意义?我们为什么要学习这门课程?这些都是应该首先明确的问题。

一、系 统

(一) 系统的定义

目前,关于系统涵义的表述多种多样,文献中常见的就有 30~40 种之多(苏恩泽,1998;朴昌根,1994)。其中“一般系统论”的创始人贝塔朗非(L. von Bertalanffy,1968)关于系统的定义影响较大,他认为系统是处于相互联系中并与环境发生关系的各组成部分(要素)的总体(集)。另外,我国著名科学家钱学森(1982)认为,系统是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。这两个定义既有相同之处,又有所区别,分别从不同角度阐述了系统的内涵。综合上述两个定义,本书将系统定义为:系统是由若干相互联系并与其环境发生关系的组成部分(要素)结合而成的、具有特定结构和功能的有机整体。可见,我们要想正确理解系统的概念,必须对要素、环境、相互联系、结构和功能这 5 个方面有一个比较全面的了解。

(二) 关于系统的几个基本概念

1. 要素

要素是构成系统的基本单元,是对系统组成部分、组分、成分或个体的抽象概括。如生态系统是由各种植物、动物、微生物、无机环境(土壤、水分及近地面大气)等要素构成;太阳系是由太阳、九大行星和众多小行星构成。一个系统的要素数目至少要有两个以上,仅仅一个要素构不成系统,这就是上述系统定义中“若干”的含义。在很多情况下,系统要素本身也是次一级的小系统(子系统)。如生态系统中的植物本身又由根、茎、叶等器官(子系统)构成;太阳系中的地球又由大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、人类圈、地壳、地幔和地核等圈层(子系统)构成。由此可见,系统要素的范围是相对的,它与系统的规模和复杂程度有关。所以钱学森在规定了系统的内

涵之后,又指出:“而这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

2. 环境

任何系统都是有限的研究对象,也就是说,任何系统都有明确的边界限制。我

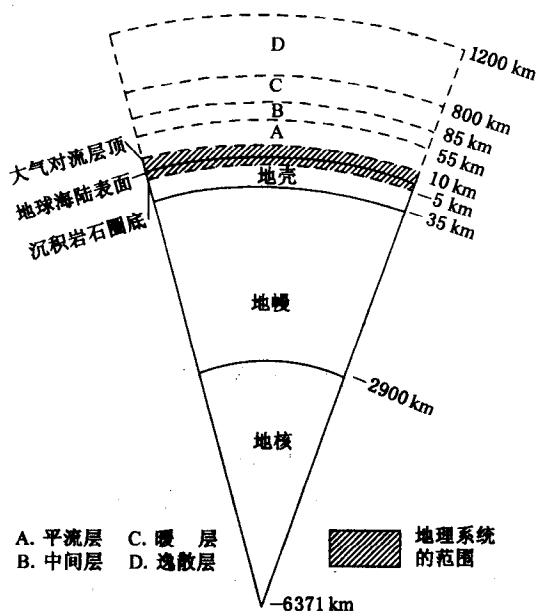


图 1-1 地理系统示意图(改制自
刘南威等,1993;牛文元,1992)

们把任一系统边界外部的所有其他事物称为该系统的环境。例如,地理学的研究对象是地理系统,它位于地球陆地表面附近,占有三度空间,相对于巨大的地球来说它是一个薄层球壳(图 1-1),因此也被称作地理壳。地理系统的上界在大气对流层顶,极地上空高约 8 km,赤道上空高约 17 km,平均高 10 km 左右;下界在沉积岩石圈底部,陆地部分在地面以下 5 km~6 km,海洋部分平均在海面以下 4 km 处,全球平均厚约 5 km。可见,地理系统的垂直厚度全球平均约为 15 km,陆地部分为 16 km,海洋部分约 14 km。地理系统的环境包括对流层以上的大气圈层(平流层、中间

层、暖层和逸散层)、广袤无垠的宇宙空间和其他天体以及地壳下部的岩石圈大部、地幔和地核。若考察地理系统某个子系统(气候、水文、地貌、土壤、生物、人类社会),那么该子系统以外的其他地理系统要素(子系统)就成了它的环境。由此可见,系统范围要依照研究目的和任务而定,不同的研究任务有不同的研究对象,从而构成不同的系统。

系统的边界有两种类型:①真实边界,如生物体表面、流域边界、水体的上下界及岸边等等。②假想边界,如人类社会系统边界、经济系统边界、文化系统边界等等,它们是根据研究的需要而定义的抽象边界。

3. 相互联系

相互联系是指系统各要素之间以及系统与环境之间通过某种方式相互影响、相互制约、相互依存的性质。相互联系的实质是系统各要素之间以及系统与环境之间发生着广泛的物质、能量和信息交换。这里所说的“物质”不是哲学的概念范

畴,而是物理学上的宏观、中观和微观实体材料,包括各种固体、液体和气体物质。“能量”是度量物质运动能力强弱的概念,如热能、势能、动能等等,它以物质为载体。“信息”是一个抽象概念,是主体(人或其他事物)所感知的事物运动状态和存在方式的形式、含义和效用的知识或情报。例如,动物通过感官感知到它周围某个地方有动物发出的声音或气味,可判断该动物是不是自己的天敌,如果是自己的天敌,它就会采取某种方式予以躲避。信息以物质和能量为载体,但与物质和能量又有本质的区别。关于信息的科学涵义和定量描述,我们将在第三章详细讨论。

由于系统各要素之间存在着相互联系,所以某一要素发生变化势必引起其他要素的改变,从而使系统表现为一个有机整体。在自然界和人类社会中,几乎全部系统都与其环境发生联系,因此系统的存在状态和演变行为不仅与系统本身的性质有关,而且与它的环境性质也密切相关。

4. 结构

系统的结构是指系统内部各要素相对稳定的组织形式(秩序)或分布关系的总称。如我国国家行政管理系统是由中央、省(自治区或直辖市)、市、县、乡、村通过政令统一的方针政策维系在一起的组织结构形式。某个工厂企业系统是由厂长、经理、业务主管部门、生产班组按照特定的生产任务维系在一起的组织结构形式。生态系统中的各种生物按吃与被吃的关系构成了特有的食物网结构(图 1-2)。可以看出,系统结构的形成在于各要素间的相互联系、相互作用,其实质是各要素间物质、能量和信息的流通与转换。

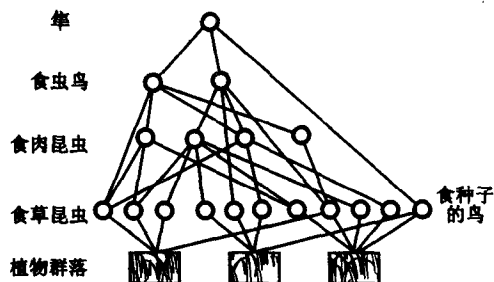


图 1-2 生态系统食物网结构示意图
(潘树荣,1985)

根据系统要素的组织或分布方式,可将系统结构分为三种基本形式。第一,空间结构。所谓空间结构是指系统各要素在空间上的排列组合或分布形式。这种系统结构形式随处可见,如地球的圈层结构、植物群落结构、土壤层次结构、自然带的地表分布结构、城市地域结构等等都是系统空间结构的典型例子。第二,时间结构。所谓时间结构是指系统各要素随时间的进程所表现出的有规律变化或分布形式。例如,地理系统各要素的四季周期变化,国民经济各生产部门产值比重的年际变化、生物钟现象等都属于时间结构。第三,时空结构。时空结构即系统时间结构和空间结构的统一。任何系统既不能脱离空间而存在,也不能脱离时间而存在,空间结构总要随时间发生改变,只是变化的快慢和明显程度不同而已,所以系统的时

空结构更具有普遍性。例如,树木的年轮在空间上表现为一个年轮,而在时间上表示一年。我国南海有一种鹦鹉螺,它每月逢农历初一和农历十五在壳内营造一个小气室。这些都是系统时空结构的例子。

还需要特别指出的是,虽然系统结构以要素为基础,但是要素是相对活动易变的,而系统的结构则具有相对稳定性。对于一个人来讲,由于生理的新陈代谢作用,过一段时间之后,他的躯体的大部分或全部组成物质被更新了,但是这个人的结构没有变,人们决不会因他的构成物质被更换而认不得他。再如,生态系统食物网结构(图 1-2)中的每个结点都代表一个生物类群,但是这些生物都具有很大的活动性,从一处移动到另一处、从小到大的生长发育等都不会对该生态系统的食物网结构造成太大的影响。

5. 功能

功能是系统内部各要素之间活动关系的总称。这里说的要素活动是指要素的各种运动、变化或作用;要素的活动关系是指某一要素的活动对其他要素活动的影响,或某一要素对其他要素作用。系统内部要素活动关系的表现形式多种多样,但最终都体现在系统把接受的环境作用(输入)转换为系统对环境作用(输出)的能力,即系统对输入的响应能力方面。例如,月球和太阳引潮力作用于地壳(系统)后,经过系统各要素的应力转换,形成海洋潮汐和固体潮汐,潮汐的强弱反映了系统对引潮力响应能力的强弱,即系统的功能大小。生态系统中的植物利用环境中的

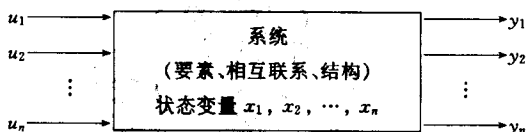


图 1-3 系统功能示意图

的阳光、二氧化碳、水和其他养分,通过光合作用形成有机化合物,表现为植物性生产,这就是生态系统的基本功能。教育系统中学校接受政府资助,购置仪器设备和图书资料,培养出合格人才,这就是学

校的基本功能。所以,从根本上说系统的功能可用图 1-3 来说明。

(三) 系统的数学描述

多年来,科学家一直致力于系统的普适性数学描述。这里着重介绍两种系统的数学描述方法。贝塔朗菲认为,系统是相互作用着的一系列要素 p_i ($p_i = p_1, p_2, \dots, p_n$) 的集,各要素的性质可以用一系列定量测定的量 Q_i ($Q_i = Q_1, Q_2, \dots, Q_n$) 来表征。各要素之间的相互作用是指若干要素(p)处于若干关系(R)中,以致一个要素 p 在 R 中的行为不同于它在另一关系 R' 中的行为。如果要素的行为在 R 和 R' 中无差异,那么就不存在相互作用,要素的行为就不依赖于 R 和 R' 。在上述理解的基础上,贝塔朗菲用一组联立微分方程式描述一般系

