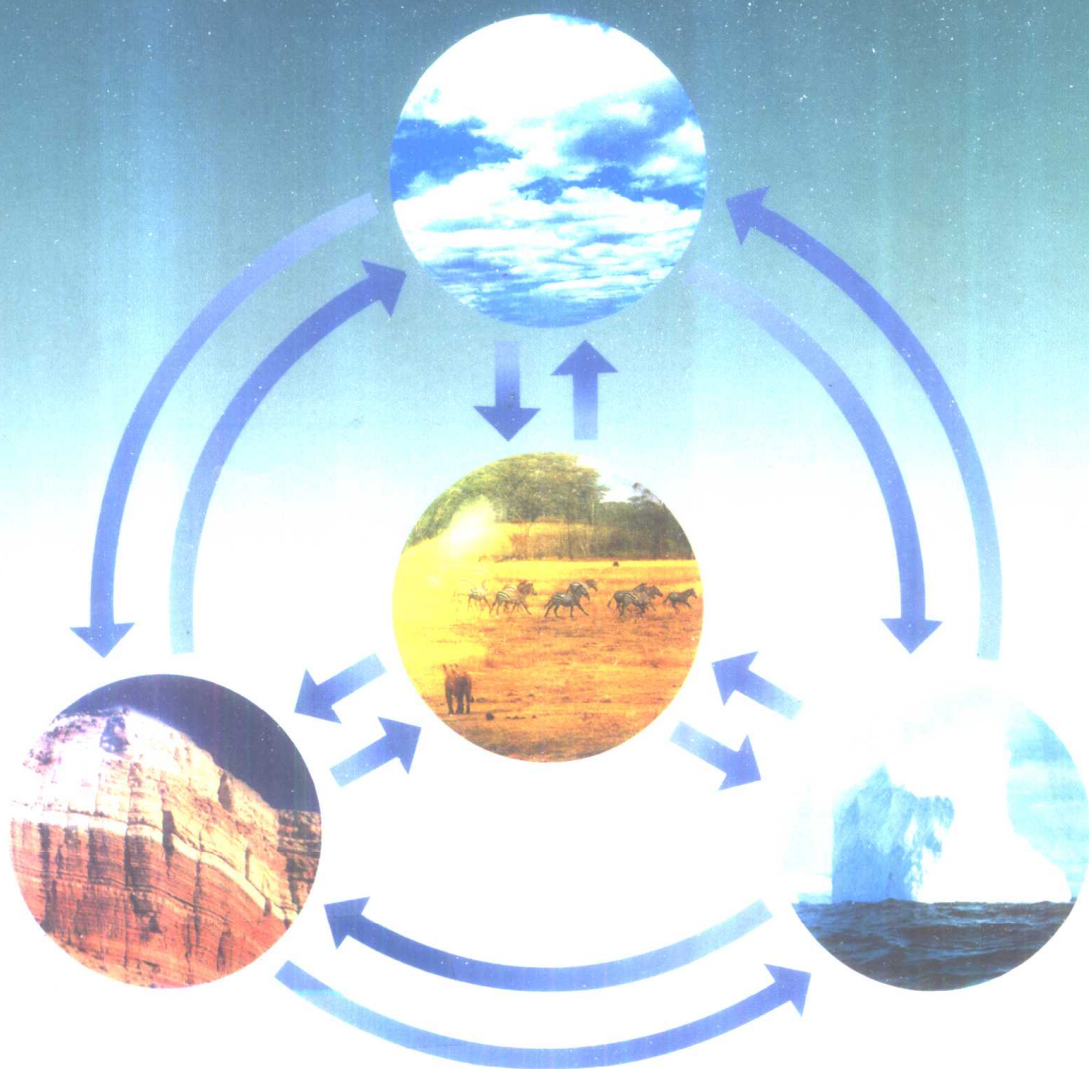


北京大学基础课教材

自然地理学

● 陈效速 编著



北京大学出版社

北京大学基础课教材

自然地理学

陈效逖 编著

北京大学出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

自然地理学/陈效逯编著. —北京: 北京大学出版社, 2001. 4

ISBN 7-301-04864-5

I. 自… II. 陈… III. 自然地理学 IV. P9

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第09794号

书 名: 自然地理学

著作责任者: 陈效逯

责任编辑: 赵学范

标准书号 ISBN 7-301-04864-5 P·52

出版者 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址 <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752021

电子信箱 zpu@pup.pku.edu.cn

排 版 者 兴盛达打字服务社 (62549189)

印 刷 者 北京神剑印刷厂(原国防科工委印刷厂)

发 行 者 北京大学出版社

经 销 者 新华书店

87 毫米 1092 毫米 16 开本 13.375 印张 400 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 0001~1000 册

定 价: 22.00 元

内 容 简 介

本书运用系统科学的思想和方法,以全新的体系阐述自然地理学的研究对象——地球表层系统及其子系统的组成、结构、功能、空间特征、时间动态,以及各子系统之间相互作用的基本过程、驱动力量和基本规律。

全书近 40 万字,分成 13 章,主要内容包括自然地理学与一般系统论;地球表层系统的能量流动;地球表层系统的物质循环;地球表层系统的整体特征。此外,本书还注重借鉴物理学、化学和生态学的概念和成果来阐述地球表层中各种自然现象与过程的机理,以反映现代自然地理学的发展趋势和交叉学科的特点。为便于读者进一步深入学习,有些内容排成小号字,可供读者选读;各章后均附有参考书目和思考题。

本书可作为地理学、环境科学、生态学、农学、林学、城市规划等学科和专业本科生的基础课教材,并可作为大气科学、地质学、地球物理学、海洋科学等学科和相关专业的教学参考用书(适用于周学时 4,总学时 72 的教学)。

前 言

人类对客观世界的认识,从总体到局部,再到总体;从综合到分析,再到综合,是不断地、螺旋式地向着更广、更深发展的。自然地理学在近现代经历了其各分支学科迅速发展之后,正面临一次新的综合。积极地探索自然地理学综合的途径,培养具有综合素质的地理学人才,是学科发展的需要。

从社会发展的角度,伴随着全球工业化的进程,人口、资源、环境问题日益加剧,对地球表层系统产生了猛烈的冲击。解决这些人类所面临的生存与发展问题的根本途径是实施可持续发展战略,也就是要在地球表层系统可以支撑的条件下,在不危害子孙后代生存与发展的前提下,推动经济的发展和文明的进步。这就要求人类必须重新审视作为自己生存环境的地球表层系统的组成、结构和功能,从而为可持续发展战略的制订,构筑坚实的科学基础。

基于上述认识,本书运用系统科学的思想和方法,以全新的体系和综合的观点阐述现代自然地理学的基本原理和自然地理现象的基本规律,强调地球表层系统的整体性、层次性、开放性、自稳定性和自组织性,以及系统内各组成要素之间、人与环境之间的相互作用过程。

全书从内容上,大体可以分为四部分:

第一部分包括第1章和第2章。首先讲述自然地理学的科学体系和当代自然地理学所面临的重要科学问题,然后介绍一般系统论的基本概念和原理,并利用系统论的观点阐释地球表层系统的基本性质。为学习以下章节的内容奠定学科背景和方法论的基础。

第二部分从第3章到第8章。讲述地球表层系统最主要的能量来源——太阳能进入系统并在大气、陆地和海洋之间传输与转化的过程。

第三部分从第9章到第12章。讲述地球表层系统内的物质循环过程与机理。主要的物质循环过程包括水分循环、地质循环和生物地球化学循环。

第四部分为第13章,是全书的总结。讲述地球表层系统的整体特征,包括地球表层系统的结构、功能和概念模型。

本书是在给北京大学城市与环境学系1997、1998和1999级本科生讲授“自然地理学”课程的讲稿基础上编写而成的。“自然地理学”作为北京大学的重点建设课程和主干基础课程,1997年和1998年得到学校课程建设项目经费的支持,1999年被教育部评为“国家理科基地创建名牌课程项目”,并获得专项经费的资助。《自然地理学》教材也被列入北京大学“九五”教材建设项目,得到出版基金的资助。

自从1997年这项教学研究启动以来,一直得到北京大学城市与环境学系和自然地理教研室有关领导、同事们的关心与支持。蔡运龙教授为本门课程的建设提供了有益的思路和一些国外的教学参考资料。本书初稿经首都师范大学杨国栋教授认真审阅、修改。在本书出版的过程中,北京大学出版社赵学范编审付出了辛勤的劳动,并得到了该社其他有关人员的大力协助。在此,本人表示衷心的感谢。

作 者

2000年9月

目 录

第 1 章 自然地理学的科学体系	(1)
1.1 地理学与自然地理学	(1)
1.2 自然地理学的分科	(2)
1.3 当代自然地理学的研究领域	(2)
参考书目	(3)
思考题	(3)
第 2 章 自然地理学的系统方法	(4)
2.1 系统的概念	(4)
2.2 系统的特性	(5)
2.3 系统反馈	(6)
2.4 系统模型	(8)
2.5 地球表层系统	(9)
参考书目	(11)
思考题	(11)
第 3 章 太阳辐射	(12)
3.1 太阳能量的输出形式	(12)
3.2 太阳常数和太阳活动	(13)
3.3 天文辐射的时空分布	(15)
3.4 天文季节与二十四节气	(16)
参考书目	(18)
思考题	(18)
第 4 章 地球大气	(19)
4.1 大气的基本物理量	(19)
4.2 大气的结构与组分	(22)
4.3 大气对辐射的削弱	(24)
参考书目	(27)
思考题	(27)
第 5 章 辐射平衡	(28)
5.1 到达地表的太阳辐射	(28)
5.2 地球表层的长波辐射	(29)
5.3 地球表层的辐射平衡	(30)
参考书目	(34)
思考题	(34)

第 6 章	大气温度	(35)
6.1	影响大气温度的因素	(35)
6.2	海平面温度分布特征	(37)
6.3	近百年气温变化趋势	(40)
	参考书目	(42)
	思考题	(42)
第 7 章	大气环流	(43)
7.1	大气运动的驱动力	(43)
7.2	大气环流的模式	(47)
	参考书目	(55)
	思考题	(55)
第 8 章	大洋环流	(56)
8.1	表层大洋环流	(56)
8.2	深层大洋环流	(62)
8.3	海洋-大气相互作用	(68)
	参考书目	(72)
	思考题	(72)
第 9 章	水分循环	(73)
9.1	地球上水圈的结构	(73)
9.2	蒸发过程与凝结过程	(77)
9.3	降水过程与入渗过程	(83)
9.4	地表径流与地下径流	(89)
9.5	水分循环与水量平衡	(95)
	参考书目	(98)
	思考题	(99)
第 10 章	全球气候系统	(100)
10.1	气候的概念	(100)
10.2	气候成因与气候类型	(100)
10.3	气候系统与气候变化	(103)
	参考书目	(104)
	思考题	(105)
第 11 章	地质循环	(106)
11.1	地球的内部结构	(106)
11.2	地球表面的形态	(109)
11.3	内外力地质作用	(114)
11.4	岩石圈地质循环	(127)
	参考书目	(132)
	思考题	(133)

第 12 章 生物地球化学循环	(134)
12.1 土壤的组成	(134)
12.2 土壤的性质	(136)
12.3 土壤的生物地球化学循环	(146)
12.4 生态系统的组成与结构	(153)
12.5 生态系统内的能量流动	(157)
12.6 生态系统的生物地球化学循环	(161)
12.7 地球上的生态系统类型	(171)
参考书目	(180)
思考题	(181)
第 13 章 地球表层系统的整体特征	(183)
13.1 地球表层系统的结构	(183)
13.2 地球表层系统的功能	(193)
13.3 地球表层系统的概念模型	(198)
参考书目	(201)
思考题	(201)
索引	(202)

第 1 章 自然地理学的科学体系

1.1 地理学与自然地理学

地理学作为一门科学,其研究领域是随着时代和学科的发展而不断完善和扩展的。首先采用地理学 (geography) 这个词的人,是生于公元前三世纪的古希腊学者埃拉托色尼,当时的含义是“对地球的描述”(geo—地球,graphein—描述)。在 2000 多年后的今天,人类已经从地球的描述者变成了改变地球面目的巨大驱动力之一,因此,改善和协调人类社会、经济、文化发展与生存环境之间的关系,成为现代地理学关注的核心问题。概括地讲,现代科学意义上的地理学是研究地球表层物质系统与人类社会-经济-文化系统在组成、结构、功能、空间特征和时间动态等方面相互作用与相互依存机理的学科体系。按照传统的学科体系的最高一级划分,地理学可以分为自然地理学和人文地理学。

自然地理学 (physical geography) 研究地球表层物质系统及其要素的组成、结构、功能、空间特征、时间动态,以及各要素之间相互作用的机理。由于地球表层物质系统及其组成要素的运动与变化过程主要由自然力量和人化了的自然力量所驱动,受自然规律的支配,所以,自然地理学通常归属于自然科学的范畴。

人文地理学 (human geography) 研究人类社会-经济-文化系统及其要素的组成、结构、功能、空间特征、时间动态和人地关系的原理。由于社会-经济-文化系统及其组成要素的运动和变化过程主要由人为力量所驱动,在很大程度上受人类所创造的社会形态、经济制度、文化传统等发展规律的支配,所以,人文地理学通常归属于人文科学的范畴。

图 1-1 显示出这两大地理学分支内部的次一级学科划分,以及这些学科与相邻基础科学之间的联系。此外,值得指出的是,随着人类活动与自然过程之间相互作用的不断强化,自然地理学与人文地理学研究的交叉和融合将成为一种发展趋势。

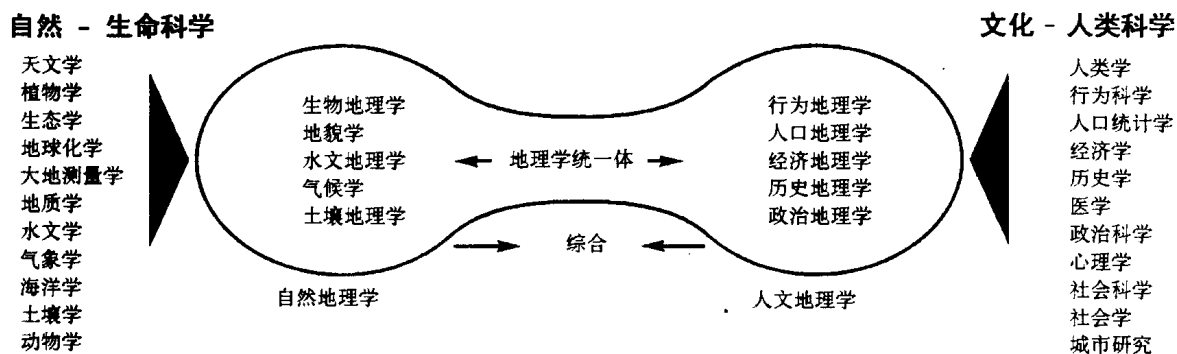


图 1-1 地理学学科体系示意图^[1]

1.2 自然地理学的分科

依据自然地理学研究对象的复杂性和对其研究的领域分化,目前自然地理学主要有以下几个分科:

(1) 部门自然地理学(sectorial physical geography)。分别研究组成地球表层物质系统的各种自然要素与过程本身,强调以某个要素为核心的分析与综合,包括的学科主要有地貌学、气候学、水文地理学、土壤地理学和生物地理学。与部门自然地理学相关联的基础自然科学包括:天文学,地质学,海洋学,气象学,水文学,植物学,动物学,土壤学,生态学,地球化学,大地测量学等(见图 1-1)。

(2) 区域自然地理学(regional physical geography)。研究地球表层物质系统的某个地域和地域组合的自然特征与过程,强调具体区域的个体性,如北美洲自然地理、中国自然地理、莱茵河流域自然地理等。

(3) 综合自然地理学(integrated physical geography)。主要研究地球表层物质系统的形成历史、现代过程、类型特征、地域分异和发展演变,它是自然地理学的理论研究部分,强调综合性。随着本学科和相邻学科的发展,对地球表层进行整体性的研究,即研究地表系统的组成、结构、功能、空间特征、时间动态,以及各种自然要素与过程之间、人与生存环境之间相互作用的机理,已成为综合自然地理学的主要研究方向。

1.3 当代自然地理学的研究领域

传统的自然地理学主要采用定性描述的方法,分别研究地球表层的各种自然要素,如地形、气候、水文、土壤、生物等和自然综合体的空间分布特征,以及它们在空间上的相互依存与联系,旨在揭示不同地域之间在自然性质方面的差异性 or 相似性。用以描述空间范围与性质的地理语言包括有地点、地方、区域、地带、圈层、距离、界线、类型、分布格局等。它主要回答的科学问题是“是什么?”和“在哪里?”。

当人类具有了从全球尺度上改变其生存环境的能力时,地球表层系统进入了一个前所未有的独特发展阶段,其基本特点是该系统生命支持能力的退化,从而使人类面临人口、资源、环境和发展的严峻挑战。为了迎接这一全球环境问题的挑战,20 世纪 70 年代以来,国际科学界酝酿、讨论、设计并提出了全球变化的研究领域,它的科学目标为:描述和理解控制整个地球系统的关键性物理、化学和生物过程及其相互作用;描述和理解支持生命的独特环境及其机理;描述和理解发生在地球系统中的重大全球变化问题及人类活动对这些变化的影响方式,为全球和国家一级的资源与环境管理提供科学的依据。由于自然地理学以地球表层作为研究的对象,所以,全球变化研究领域中的许多问题便成为自然地理学新的生长点。这一时期自然地理学要回答的科学问题是“怎么样?”(变化过程)、“为什么?”(变化原因)和“如何办?”(应付对策),并突出强调以整体的、综合的和动态的科学观点定量地研究这些问题。概括地讲,当代自然地理学的重要研究领域包括有:

- (1) 大气温室效应加剧对陆地生态系统的影响;
- (2) 平流层臭氧减少对陆地生态系统的影响;
- (3) 氧、碳、氮等重要生命元素的生物地球化学循环及人类活动对这些过程的影响;
- (4) 土地利用-土地覆盖变化规律和土地退化机理与恢复重建;

- (5) 生物多样性的起源、组成、功能、变化和可持续利用与保护；
- (6) 水文、水资源对全球气候变化的响应和水资源可再生性维持机理；
- (7) 全球环境变化的区域响应与生态安全和环境风险；
- (8) 全球环境变化与人类活动控制模式；
- (9) 生态脆弱地区的灾害治理、环境保护、资源开发与环境演变；
- (10) 区域环境质量与人体健康。

这些问题的深入研究和解决途径的探寻,需要一种新的思想方法,这便是系统理论。利用这种方法论来阐释地球表层的整体性质、层次体系、自稳定性、自组织性等基本原理,便构成本书第2章的主要内容。用于这种阐释的资料来源于自然地理学各分支学科和相邻的各基础学科的观测、推理、假说和理论;问题来源于人类与地球表层的物理、化学、生物环境相互作用的发展进程;概念和方法来源于系统理论。下面首先介绍系统理论的基本概念和思想范式。

参 考 书 目

- [1] Christopherson, R. W.. Geosystems: An Introduction to Physical Geography, 2nd edition, Macmillan College Publishing Company, New York, 1994
- [2] A. Г. 伊萨钦科;胡寿田,徐樵利译校. 今日地理学,北京:商务印书馆,1986
- [3] 潘树荣等. 自然地理学(第二版),北京:高等教育出版社,1985
- [4] 温刚,严中伟,叶笃正. 全球环境变化,长沙:湖南科学技术出版社,1997
- [5] 陈述彭主编. 地球系统科学,北京:中国科学技术出版社,1998

思 考 题

1. 自然地理学是怎样一门学问? 它有哪些主要的分科?
2. 举例说明自然地理学的研究内容和所要回答的科学问题。

第 2 章 自然地理学的系统方法

2.1 系统的概念

系统(system)是由相互关联、相互制约的若干要素组成的、具有确定结构和功能的有机整体,它具有模糊的或确切的边界,从而与其周围的环境区分开来。系统内部各个组成要素之间相对稳定的联系方式、组织秩序和时空关系等内在表现形式称为系统的结构(structure),系统之所以成为一个整体,就在于系统是通过内部结构联系起来的。系统与环境相互作用中表现出来的性质、能力和功效称为系统的功能(function),它体现了一个系统对于其他系统的作用。系统的结构具有相对稳定性,而系统的功能则易于随着环境状态的改变而变化。系统的结构制约着系统的功能,功能在适应不断变化的环境的同时,又反作用于系统的结构,促进系统结构的改变,改变了的结构一般具有更佳的功能。

在边界之内,系统具有几种基本性质。系统的要素是组成系统的实体或成分,它们可以是原子、分子、砂砾、雨滴、草本植物等,每个实体都是存在于空间和时间之中的一个部分。每个要素具有一系列的属性,这些要素和它们的属性可以被感知,或者通过测量和实验被认识。可测量的属性如数目、大小、压力、温度、体积、颜色、生命周期等。两个或两个以上要素和属性之间存在着各种关系,它们确定了系统的组织结构。系统的状态是指它的每一个性质(要素、属性、关系)所具有的确定量值。系统内物质运动、能量转换与传输和系统状态变化的历程称为过程。

在热力学中,根据系统与环境之间的关系,将其划分为三种类型:

1. 孤立系统

系统的边界是完全封闭的,即系统与环境之间既没有物质的交换又没有能量的交换。一般来讲,这种系统只局限于实验室中制备的条件下,而在自然界是不存在的,但它对于热力学基本概念的提出具有重要的作用。此外,整个宇宙可以近似看做是一个孤立系统(isolated system)。

2. 封闭系统

系统边界在物质交换方面是封闭的,但能量可以在系统与环境之间实现交换。在地球上,封闭系统(closed system)是罕见的。然而,当从较简单的子系统出发来分析复杂的系统时,将这些子系统视为封闭系统往往有助于问题的解决。如果忽略落下的流星和宇宙尘埃,行星地球就可以看做是一个封闭系统,它接受太阳和其他星体的辐射,同时也向星际空间发出辐射。

3. 开放系统

系统边界是开放的,在系统与环境之间物质和能量可以自由地交换,系统从环境中输入物质和能量,同时也向环境中输出物质和能量。在这种系统中,物质的传输本身就代表着能量的传输,因为物质通过其组织功效而具有能量,例如化学潜能。地球表层的各种系统都是开放系统(open system),尽管物质和能量在持续不断地通过系统的边界,它们仍保持着相对稳定的结构。例如植物的一片叶子便是一个开放系统,它通过光合作用从环境中输入太阳能、 CO_2 和水,并输出 O_2 ;同时,通过呼吸作用输入 O_2 ,并输出 CO_2 、水和热量。

不同类型的系统,其热力学性质是不同的。根据热力学第二定律的数学表述,对于无限小过程,有

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

其中“=”对应可逆过程,“>”对应不可逆过程。自然界的实际过程都是不可逆过程。这一表达式的含义是:可逆过程的熵变等于该过程的热温比;不可逆过程的熵变大于该过程的热温比。这里指的是热力学熵,又称为宏观熵。

对于孤立系统或者绝热系统来说,必有 $dQ=0$,从而有 $dS \geq 0$,这就是熵增原理。它表明,在孤立或绝热系统中,系统的熵永不减少。对可逆过程,熵不变($dS=0$);对不可逆过程,熵总是增加的($dS>0$)。这样,我们就有了判断热力学过程演化方向和限度的准则:在孤立或绝热系统中进行的一切不可逆过程向着熵增加的方向演化,直到熵函数达到最大为止。在孤立或绝热条件下,系统自发地由非平衡态趋向平衡态的过程,就是一种熵增的过程,平衡态对应最大熵。

对于开放系统来说,熵的变化由两部分组成:

$$dS = dS_{\text{内}} + dS_{\text{外}}$$

这时,系统内的熵产生 $dS_{\text{内}}>0$,而系统与环境之间的熵交换 $dS_{\text{外}}$ 则可正可负;当 $dS_{\text{外}}>0$ 时,系统从环境中吸熵;当 $dS_{\text{外}}<0$ 时,系统把熵产生排入环境中,相当于系统从外界引入负熵。如果系统充分开放,从外界引入了足够的负熵,使得 $|dS_{\text{外}}|>dS_{\text{内}}$,则有 $dS<0$,于是系统的总熵降低,有序度提高,这意味着系统可以自发地组织起来,形成有序结构,称为耗散结构。地球上的生命便是呈现出一种耗散结构的开放系统,它依赖负熵为生。

在宏观的理论框架里,熵的本质是看不清楚的,玻兹曼利用统计力学研究热运动,导出了熵的一个微观定义,即

$$S = k \ln \Omega$$

式中的 k 是玻兹曼常数, Ω 是微观量子态的数目,即宏观态出现的概率。通俗地讲,熵是系统内部混乱度的量度。熵高,或者说宏观态的概率大,意味着系统内部混乱和分散(无序);熵低,或者说宏观态的概率小,意味着系统内部整齐和集中(有序)。这样,基于微观熵的熵增原理可以表述为,孤立系统的自发倾向总是向着微观量子态数目增加的方向演化,即从宏观概率小的状态向宏观概率大的状态演化,直到宏观态概率最大为止。热力学平衡态和微观粒子的均匀分布是概率最大的状态,对应最大熵。对于开放系统来说,通过负熵的输入,使系统远离平衡态,向着有序方向发展,表现为微观量子态数目的减少,即宏观态概率的变小。

2.2 系统的特性

(一) 整体性

系统是由若干个要素组成的,要素间存在着紧密的网络联系和协同作用,使得系统成为无法分割的、具有特定结构和功能的有机整体。整体是一个非加和系统,表现为它的性质和功能不同于各个要素性质和功能的简单加和。例如,一棵树作为一个系统,便不等同于根、茎、叶等器官的简单组合,而是各种器官通过协同作用组成的有机整体。

系统具有整体性是由于各要素之间存在着非线性的相互作用,这种相互作用具有不可叠加的性质,也即非线性系统内,各种要素之间具有复杂的相互联系,它们是相互影响、相互制约的,因此,要素的组合作用不等于每个要素单独作用的简单叠加。一种原因可以导致若干个不同的结果,不同原因也可产生相似的结果,系统输出的结果并不和输入的扰动成比例,甚至某个要素的微小变化就可能引发其他要素乃至整体产生无法预料的戏剧性结果。现实的系统几乎都是非线性系统。

(二) 层次性

由于组成系统的各要素具有不同的空间延展性和质量,所以,系统有大有小,大小不等的系统形成一种层次结构。大的系统通常由小的子系统(要素)有机地结合而成,子系统又由更小的二级子系统构成。人类目前观测到的宇宙就是由星系群、星系、星团、恒星、地球、晶体、分子、原子、原子核和电子,以及数百种基本粒子等组成的一个多层次系统。

系统的层次高低是相对的,一个给定的系统相对于它的组成要素来说,是一个高层系统,但相对于由它和环境中的其他系统共同形成的整体来说,则是一个低层系统。一般来讲,较高层次的系统数目较少,要素之间的结合强度较弱,但具有比低层系统更为丰富的性质和功能。

(三) 自稳定性

开放系统具有在一定范围内自我调节的能力,以保持和恢复原有的结构、功能和有序状态。如果没有这种自我调节,任何具体系统的稳定形态都不能够存在。系统的自稳定性是一种开放中的稳定性,开放系统通过把熵输给环境或把负熵引进系统,使无序的增长得到抑制,使系统的有序得以保持。系统的自稳定性又是一种动态中的稳定性,这种稳定性只有在与环境之间不断进行物质、能量交换的过程中才能保持。一个系统之所以具有受到干扰后能够纠正偏离、恢复到原有的稳定状态的功能,主要在于系统内部存在着负反馈机制。

(四) 自组织性

系统从一种组织状态自发地变成另一种组织状态的过程,称为系统的自组织性。开放系统在内外两方面因素的复杂非线性相互作用下,使内部要素的某些偏离系统稳定状态的涨落得以放大,甚至发展成为巨涨落,导致系统的自我调节能力遭到破坏,整体上失稳,并自发地重新组织起来,最终达到一个新的稳定状态。这时,系统变得在热力学上更为“不大可能”,概率变小,系统内部要素之间有规则的联系程度提高,系统变得更为有序,从而使系统从无序向有序,从低级有序向高级有序方向演化。一个系统之所以能够通过涨落和自组织达到有序,主要与系统内部存在着正反馈机制有关,这是正向涨落导致系统进化的情形。而负向涨落也可以导致系统退化,使系统从有序向无序方向演化。

2.3 系统反馈

一个系统是由若干个不同等级的子系统(要素)组成的,它的每一个子系统通过各种各样的过程联系起来,既相互依存又相互作用,共同决定着系统的状态。反馈(feedback)通常指一个系统的输出反过来作用于系统的输入,从而对系统的再输入和系统的运作产生影响的机制。对于一个过程来说,则指过程的结果反过来对该过程本身及其原因产生影响的机制。系统输出或过程结果的信息通过反馈回路被传递到系统的输入端或该过程的起因端。按照回返信息所产生的影响的不同,可以将反馈分为正反馈和负反馈。

(一) 正反馈

如果这种回返信息使系统输入或过程原因在原来变化方向上得到促进或放大,进一步偏离初始状态,称为正反馈(positive feedback)。考虑两个要素的相互作用:要素 A 发生增强(或

减弱)的变化,这种变化通过某种过程使要素 B 发生变化,若 B 的改变反过来使 A 的变化进一步增强(或减弱),这种过程就是正反馈过程。冰雪覆盖、反射率、气温的相互作用就是正反馈过程;全球温度的降低,将导致地球表面冰雪覆盖面积的扩大,从而引起全球反射率的增大,使地球-大气系统吸收的太阳辐射减少,其结果将使温度进一步降低。正反馈过程一般是一种趋势性的变化,具有方向性,它使系统趋于不稳定,产生偏离平均状态的涨落,是导致系统自组织演化的原因。

(二) 负反馈

如果这种回返信息使系统输入或过程原因在原来变化方向上得到抑制或缩小,趋向回到初始状态,称为负反馈(negative feedback)。考虑两个要素的相互作用:要素 A 发生增强(或减弱)的变化,这种变化通过某种过程使要素 B 发生变化,若 B 的改变反过来使 A 的变化受到抑制而减弱(或增强),这种过程就是负反馈过程。云量、气温的相互作用就是负反馈过程:地表气温的升高,将促使空气对流旺盛和蒸发加强,从而导致大气中水汽含量和云量增加,云量的增加使射入到地表的太阳辐射量减少,地表温度随之降低。负反馈过程通常是一种自我调节的变化,具有循环性,它使系统趋于稳定状态,是产生系统动态自稳定的原因。

对于一个系统来说,正、负反馈是相辅相成地起作用的。负反馈使系统保持先前的存在状态(相对静止),正反馈则促使系统朝着一定的方向演化(绝对变化)。这种演化有两种可能的方向:一种把系统引向低熵状态,使其等级结构增加,有序性提高,称为进化;另一种将系统引向高熵状态,使其等级结构减少,有序性降低,称为退化。

正、负反馈也是可以相互转化的。负反馈使系统结构和功能随时间保持稳定状态。当一个系统的物质、能量输入与输出速率相当,且系统的状态维持在一个稳定平均值附近波动时,该系统处于稳态(图 2-1a)。系统在平均状态附近的波动,在一定的时段内,可以表现为一种趋势性的变化,这时,系统处于动态稳定状态,例如近几十年来的全球增暖说明地球系统正处于一种动态稳定的状态。如果这种状态发展下去,超过一定阈值,引起涨落放大,就有可能以突变的方式转化为一种正反馈的过程,它通过系统的自组织,使系统进入一个新的稳定状态。此后,系统又通过负反馈使自身维持在这个新的稳定状态上。系统正是在这种正、负反馈的交替过程中不断演化的(图 2-1b)。

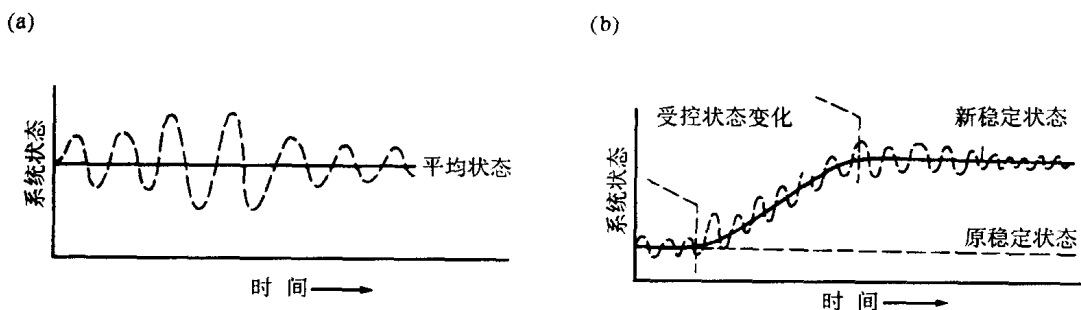


图 2-1 系统的反馈与演化^[1]

在现实世界中,自然系统的状态往往是在若干种正反馈和负反馈支配下变化和发展的,形成复杂的反馈-响应机制(图 2-2)。当负反馈占优势时,系统保持稳态;当正反馈占优势时,系统发生演化,最终达到一种新的稳态。

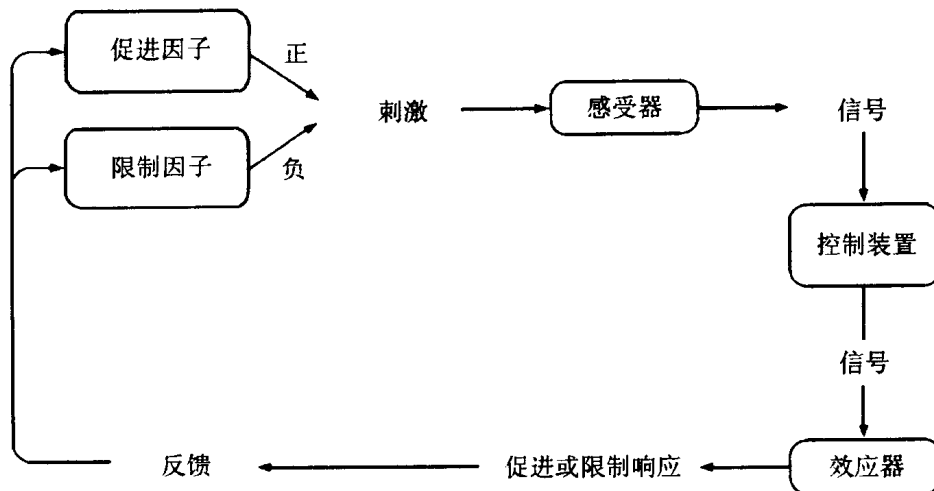


图 2-2 系统的反馈-响应机制^[1]

2.4 系统模型

现实世界中的系统是由多种要素按照一定的层序组成的复杂的网络体系,系统与子系统之间,子系统之间,以及系统与环境之间时时刻刻地进行着物质、能量和信息的交换。要对这样一个复杂的动态系统的结构和功能进行研究,必须把握它的本质特征和过程,这就需要用到系统模型。模型是对现实世界的一种抽象的或理想化的描述。实际上,当我们把现实世界看做是一个系统来研究时,已经是在进行抽象和理想化了。因此,系统的概念本身就是一种模型。由于用途的不同,各种模型可以具有不同的概括或抽象程度。系统模型包括实物模型、图解模型和数学模型三类:

1. 实物模型

又称为硬件模型,可细分为原样模型和相似模型两种,通常指工程技术上使用的样机和实验模型。

2. 图解模型

又称为概念模型,可以用来描述系统的边界、要素、属性、关系、状态、过程、结构和功能,具体的形式有框图、示意图、地图、工程图、流程图等。

3. 数学模型

即指用数学符号和公式表达系统结构与过程的模型,具有高度的抽象性,一般由状态变量、函数式和参数三部分组成。从参数的确定方式来看,可以将数学模型分为两种类型。如果模型的参数是由建立模型所依据的某种理论所确定的,具有物理学、化学或者生物学的意义,则称之为机理模型(mechanistic model);如果模型参数的估计是基于观测或实验数据,通常不具有物理学、化学或者生物学的意义,则称之为经验模型(empirical model)。机理模型是演绎性的,经验模型则是归纳性的。前者是从机理上刻画系统的过程与响应,有助于对系统整体行为的理解,具有比较广的适用范围;后者则只是对已有数据的一种定量描述,并不能给出不含在数据内的任何其他信息。从变量之间关系的性质来看,也可以将数学模型分为两种类型。一种是变量之间存在着完全确定的关系,例如经典物理学的一些定律,表示这种确定性关系的数

学模型称为确定性模型,这种模型可以确切地给出系统运行的结果;另一种是变量之间的关系具有不确定性,遵从大量观测的统计规律,例如回归方程,表示这种不确定性关系的数学模型称为随机模型,这种模型只能给出系统运行结果的一种可能的估计。在现实世界中的绝大多数情形下,变量之间的关系具有不确定性。

为了表述地球表层系统中某一部分的结构与过程而建立的模型,既有图解模型如理想大气环流模型,水循环模型、岩石循环模型、土壤剖面模型、生态系统的能量流动模型等,也有数学模型,如辐射平衡模型、水量平衡模型、土壤有机质变化模型、生物圈第一性生产力模型等。在这些阐明地球表层系统特定部分秩序的模型基础上进行系统综合,可以建立起阐明系统整体秩序的模型如地球表层系统的概念模型。

系统模型,特别是数学模型的功用不仅是对复杂的系统进行简化,使之易于被人理解和认识,而且更重要的是外推和预测系统未来的变化趋势。由于模型不可能模拟自然界中各种要素的变化及其相互联系,所以预测的结果与实验观测结果之间必然会产生误差,评价误差是否可以接受是与问题的性质和实践的要求相关联的。从这个意义上说,如果强加给现实系统一个数学上过于严格的模型,反而会导致对于客观世界的错误解释和预测。

地理学有两种基本传统,即数学描述传统和文字描述传统,二者不可偏废任何一方。数学可以提供一种量化的叙述方式,并有助于防止思想上的模糊不清;文字形式的论述往往可以为概念模型提供富有哲理性的解释,而系统概念的开发是数学模型建立过程中必不可少的步骤之一,并可以将地理学的表述引向新的深度和广度。

2.5 地球表层系统

自然地理学所研究的地球表层是一个开放系统,称为地球表层系统(简称为地表系统, the earth surface system),它是地球上大气、水体、岩石、生物相互接触、相互渗透的部分,也是人类生存与活动直接影响的部分。根据前苏联地理学家 A. Г. 伊萨钦科的观点,地表系统的上边界是大气对流层的顶部,距地球固体表面的距离在极地上空约 8 km,赤道上空约 18 km,平均在 10 km 左右。对流层的性质如温度的垂直和水平分布、水分的循环、大气的化学组成等在很大程度上受到地表岩石、水体、生物,以及人类活动的强烈影响。地表系统的下边界是岩石圈上部沉积岩层达到的深度,距地球固体表面的距离约 4~5 km。沉积岩的形成与陆地表面水体、大气、生物等要素对先成岩石的作用密切相关,其性质则受到大陆和海洋沉积环境的影响。

地表系统上边界以外的大气上层和下边界以外的岩石圈下层及岩石圈以下的地幔部分和地核,便构成了地表系统的环境。在那里,大气、水体、岩石、生物等要素之间的相互联系与相互作用程度显著减弱。地表系统的边界是个相对的概念,且具有逐渐过渡的性质,随着人类活动对地球环境的影响范围与影响强度的增加,地表系统的边界呈扩张的趋势。

根据比利时物理学家 I. 普里高津的耗散结构理论,开放系统由于不断与环境交换能量和物质,能够自组织地形成有序、稳定的结构,这样的系统称为耗散结构(dissipative structure)。太阳辐射能是地表系统的主要外部能源,地表系统通过吸收这种低熵的能量,并不断排出高熵的热能,获得负熵流,从而降低了系统的总熵,并使系统远离热力学平衡态,形成从属于太阳辐射能流的耗散结构,它具有稳定的组成、结构、功能和时空有序的特点。