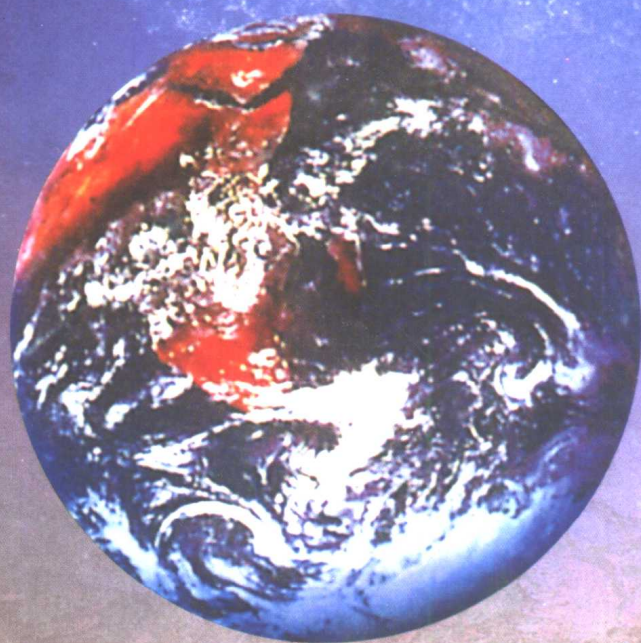


地球 面临混沌边缘

关广岳 著



东北大学出版社

地球面临混沌边缘

——资源、环境与可持续发展的思考

关广岳 著

东北大学出版社

内 容 简 介

本书是在有关成矿动力系统的计算机模拟研究和广泛地收集国内外有关资料的基础上综合写成的。内容涉及地球各个圈层（大气圈、水圈、岩石圈和生物圈）从无序—有序—混沌的演化进程，提出了地球面临混沌边缘的设想。从火山、地震、臭氧空洞、温室效应、厄尔尼诺现象、酸雨、湿地、森林、水土流失、土壤沙漠化、生物种群灭绝和地方病等各个侧面，论述当前地球面临的诸多问题。书中还专章探讨了资源（包括能源）与环境的现状和今后发展趋向，并相应地探讨了可持续发展问题。书中对“天人合一”与“人定胜天”等观点作了对比和初步分析，对某些学者将复杂自然系统简单化或公式化倾向提出了异议。本书不但涉及整个地球科学，而且综合了自然科学与社会科学有关内容。

本书在写作中注意到普及有关地球的科学知识，适合具有中学以上文化水平的多方人士阅读。

图书在版编目（CIP）数据

地球面临混沌边缘——资源、环境与可持续发展的思考/关广岳著. —沈阳：东北大学出版社，2000.12

ISBN 7-81054-583-3

I. 地… II. 关… III. 可持续发展-研究 IV. X22

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 87328 号

©东北大学出版社出版

（沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 邮政编码 110006）

电话：（024）23890881 传真：（024）23892538

网址：<http://www.neupress.com> E-mail: neuph@neupress.com

北宁市印刷厂印刷

东北大学出版社发行

开本：787mm×1092mm 1/16

字数：397 千字

印张：15.5

印数：1~1000 册

2000 年 12 月第 1 版

2000 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑：李毓兴

责任校对：米 戎

封面设计：唐敏智

责任出版：杨华宁

定价：28.00 元

序

地质学作为一门科学已有两百多年的历史，人们对地球这个时间上下 46 亿年，空间纵横 5 亿余平方公里的庞然大物的认识还是相当肤浅的。人们对地球观察的深度及广度极其有限，更多地是据理推断。从为数不多的直接或间接资料中作出本质性概括建立起来的地质学，该是多么困难。建立地质学初期阶段的那些大学者们观察力的敏锐、推断力的精确和思想力的丰富，不能不让我们这些后生小子由衷的敬佩和无限的景仰。地质学严格地说应当称为地球学或地球科学，也不知道当时日本人是如何从经典著作中翻译出来的，后来中国人为何又一字不动地照搬日本的译名，一直沿用到现在。与地质学的交道打了一辈子，使我感受至深难以忘怀者有三：一是头一次看到矿物标本，对那些晶莹剔透、棱角分明和色彩缤纷的矿物晶体，发自内心地赞叹大自然造化之妙。那时我是个初中二年级的学生，在厂甸北师大附中听李士博先生讲授一门《矿物学》时看到的，正是这门钟点不多（每周仅一学时），为了长长见识，无需考试的偶然安排的课程，竟使得我痴迷不悟，下定决心学习地质学，在校期间几乎翻遍了学校图书馆有关地质矿产方面的书籍；二是在大学地质系读书时，经常出入北京图书馆和北大图书馆，忘记了在哪里偶尔看到魏格纳（Wegner 1880—1930）有关大陆漂移说的薄薄小册子（也许是商务印书馆出版的丛书之类的普及读物）。这个在课堂上老师不屑于讲授的、被人们视为“疯话”的学说，却在我的心中引起莫大的震动，上地壳的这种整体性分合运动的假说，在地质学尚处于收集和整理资料的初期，不能不说是非常大胆的想法，尤其是魏格纳从岩石学、古生物学和构造地质学等各个方面提出的论据，不能不使我们这些刚入门径的年轻人打心眼儿里佩服。从中学到些许地质学观察和思维的方法，对教科书中反复讲到的那些“水与火”、“均变与灾变”等地质学史上的大论战，虽然没有能力判断孰是孰非，却直觉地感到双方都带有相当大的片面性，不足为法。大陆漂移说使得我对“整体性”有所认识，开始对地球的整体感到兴趣。地球之大，人们观察的能力有限，观察的范围不大，局部的直接研究成果，如何向区域扩大，向更大的范围外延，甚至延伸到整个地球，该需要多么广阔的思维能力，我真佩服几千年前中外著名哲学家们洞察力之敏锐，思考力之深邃，这就是地质工作者认真学习的地方；三是达尔文的进化论，早在中学“生物学”课程中就学过的内容，却是在大学“古生物学”课程中得到了证实，地球演化和生物的进化事实上是一码事儿，是同一种动态思维活动，在不同学科中特有的表现形式，也是人们对自然体系惟一合乎情理的思维方式。令人感

兴趣的是，它们的英文原名都是“evolution”，只是我们在不同学科的中译名有某些差异而已。

50 多年地质教学和研究经历，对涉及资源和环境的这门学科有了些许心得体会，获得了不少乐趣，然而更多的却是困惑。许多问题总是在头脑中徘徊，挥之不去，去而复来，久久得不到解决。地质问题由于变量太多，决不是列出一两个方程式就能迎刃而解，牛顿三大定律对此也是无能为力。化学和物理学倒是为地质学的发展作出了巨大贡献，地球化学和地球物理学这两门交叉学科的长足进展，充分说明地质学的学科跨度的确太大，各门自然科学都可以成为它的基础。除去化学、物理学和生物学以外，还陆续推出了诸如数学地质、天文地质等众多学科，在地球化学中还可以细分为无机地球化学、有机地球化学、生物地球化学、元素地球化学和环境地球化学，等等，这种情况不能不引起人们的认真思考。其它直接面向自然的诸多学科，例如生物学、气象学、海洋学和地理学等，这些学术部门之间在研究方法和思维方式上都具某些相似性，它们的演进规律也有不少类似的地方。但是它们的研究范围只局限在地球的某一圈层——大气圈、生物圈、水圈或岩石圈，只有地质学是从整体上研究地球的科学。如果在上述各门学科名称前面加上一个“古”字，那就是“古生物学”、“古气候学”、“古海洋学”和“古地理学”等，都是大学地质学科中的必修或选修课程。总之，上述各个自然系统的基本特点可以概括为：不可逆性、复杂性和整体性。这三种性质在地球大系统中表现得特别突出，而且自始至终地伴随着系统的整个演化过程。一谈到整体性，自然而然地就会联想到早在 2000 多年前，著名古希腊哲学家亚里士多德（Aristoteles 384 - 322 BC）提出的“整体大于它的各部分的总和”这句名言。因此，非加和性就成为自然系统中处理整体和部分间关系的基本准则。现在重提这句话，就是因为当前学术思想或科学文化“一直在强行地把科学智慧分割成越来越多的互不相干的碎片”。亚里士多德有关物质运动的四种形式的论述，用今天的眼光来分析也是相当完整的：

- 事物产生到灭亡的本质变化；
- 事物从一种状态到另一种状态的性质变化；
- 事物增加或减少的数量变化；
- 事物的整体转移的位置变化。（王雨田 1988）

在这里，事物是指构成世界的三大基本要素：物质、能量和信息，整个地球，包括无机界、有机界和生物界，必然也是由这三种要素组成。物质的数量和质量、能量的大小和类型、信息量的复杂程度都是随着地球的演化进程而日益增大和不断更新。生活了 45 多亿年的地球，各种层圈表现出明显的时—空演化特征和复杂度增高规律。地球系统的时间概念是不可逆的，与牛顿力学中的时间（ $t = -t$ ）恰恰相反。事实上，演化和进化是地质学和生物学中主导用语，这两个术语中就包含了中国人常说的“光阴似箭”，或者外国人的“时间之矢”等形象语言，都表明了过去、现在、未来的时间的不可逆性或非等价性。古希腊哲学家赫拉克利特（Heraclitus 约 540 - 480 BC）“一切皆流，无物常在”和“你不能两次踏进一条相同的河流”真是绝顶聪明和富有哲理的智者语言。普里高津（Prigogine I.）在其名著《从混沌到有序》一书中曾明确地提出：“今天，我

们的兴趣正从‘实体’转移到‘关系’，转移到‘信息’，转移到‘时间’上”（Prigogine, et al. 1987）。我们的理解是对自然系统的研究工作应当从“个体”转移到“整体”，把重点放在“时间”上意味着“演化”或“进化”、不可逆性等等，这些都是系统科学的重大课题。有关时间的争论由来已久，普里高津的书中曾多次谈到时间，而“时间之矢”则是讨论的重点。著名历史学家布劳德把时间的测量分为三种尺度：地质时间（其中事件发生在数千万年的过程中），社会时间（这个尺度比地质时间短得多，经济、国家和文明的衡量尺度），个人时间（这是更短的时间，用以量度个人的历史）。地质时间和物种变化周期的单位是百万年，社会时间和人类历史的单位是世纪和年，而生物个体的时间单位，包括寿命、日常活动、细胞分裂等则是年、月、日，甚至分和秒。可见，时间尺度与物质结构的各级系统的存在有着密切关系。时空是物质的普遍属性和物质存在的根本条件，但是时空形式却与物质运动状态相联系，这是一个哲学问题，也是一个物理学问题，更是一个系统科学研究中不能忽视的基本问题。我们关心的首要问题则是时间的不可逆性，因为我们承认“进化论是惟一反映客观实际的理论”（Bass 1997）。

信息是一个有争议的概念，人们常用物质是第一性，还是意识是第一性来区分唯物和唯心哲学。信息的属性一直是哲学家争论的问题，不像物质和能量的属性那样肯定。信息作为一个科学概念，最早出现于通信领域，其科学定义据1973年的统计，已达39种之多。有关信息的概念主要有以下几种（王雨田1988）：

——信息是人们对事物了解的不定性的度量，从而把信息看做不定性的减少或消除；

——信息是控制系统进行调解活动时，与外界相互作用、相互交换的内容；

——信息作为事物的联系、变化、差异的表现；

——信息表现了物质和能量在时间、空间上的不均匀的分布；

——信息是系统的组织程度、有序程度；

——信息是由物理载体与语义构成的统一体。

.....

美国数学家和控制论的创建人维纳（Wiener N.）有一句发人深省的话：“信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。”我们同意陈昌曙的看法：“信息不是物质实体，也不是能量，这无疑是正确的。信息的产生、传递和加工需要物质手段和消耗能量，但是同一信号和消息可以用旗语、电报、录音带、书信等来交流，旗子、电报机、无线电发射台本身并不是消息；……能量本身也不是信息。信息与物质实体或能量相比是第三种东西。……”（陈昌曙 1983）可以认为，信息属性问题是哲学家们的事儿，无论争论的结果如何，总不会影响信息的应用价值。现代社会若缺少信息的传播，真不知道怎样维持下去，人们又将如何生活下去。信息量总是伴随着自然系统的演化和社会系统的日益繁多，信息类型日趋复杂，都在成千倍甚至上百万倍的速度增长，“信息高速公路”的出现，表明人类社会渴望获得越来越多的信息，自然而然地形成了巨大的信息网络。人们常称工业化以后的

社会为“信息社会”，也不是某个人拍脑壳贸然就能提出来的。我们承认物质、能量和信息并存的同时，强调信息不但在人类社会是重要的，在生物界也是重要的，甚至在无机界也是不可缺少的东西，这就意味着像矿物和岩石等非生命物质也是有知觉的，它们的分子就是通过信息的传递，才能彼此联系和相互作用，从而形成各种各样的无机物和有机物。

自然界演化或进化过程的基本属性就是系统的复杂性随着时间的推移而增长。无论是哪种物质及其物态，也不管是无机质、有机质，还是生物体，这个属性是不会改变的。自然演化的途径不可能是笔直的，在某一时间和局部空间都会出现倒退或者退化现象，也许会出现团团转的循环情况，但进化这个总的趋向是不能扭转的，因为自然法则决定了一切。违背了自然规律只能促成地球生物圈的早日消亡，人类也将自食其果。只有真正地了解自然，按照自然法则办事，才能正确地处理人与自然的关系，人类为了自己和众多生物的生存，树立新的自然观和环境保护意识，不但是必要的，而且是刻不容缓的大事。

柳树滋将几千年来人类自然观的发展划分为五个阶段（柳树滋 1993）：

- 古代：“天人合一”的自然观；
- 中世纪：神学的自然观；
- 近代：天人对立的自然观；
- 德国古典哲学：唯心辩证的自然观；
- 马克思主义：大自然观的形成。

我们不想对这个历史发展阶段的划分作出评价，只是想从中得到某些启发，对“天人关系”这一哲学家、神学家、自然科学家以及文学艺术家们都感兴趣的问题稍加讨论。由于我们老祖宗“天人合一”的哲学思想，现在为许多有远见的西方自然科学家们所推崇，也许我们自己能够把这些思想在学习的基础上，认真地整理加工，也是对人类社会发展的贡献。

——“天人合一”与“天人对立”的自然观：“天人合一”这种直观思辨的哲学思想在中国一直起着主导作用。老子的“人法地、地法天、天法道、道法自然”到后来的“天人合一”、“天人感应”和“天人相通”等说，庄子的《天地》、《天道》和《天运》诸篇均属当时极具代表性的思想。西方流行的有机论（即物活论）等自然观，也是把主体和客体、人与自然看成浑然一体。“天人合一”在中国曾长期是“皇权”的象征（入世），或者是无所作为的借口（出世）。“天人对立”思想是西方在摆脱中世纪神学束缚和工业革命以后，建立起来的机械唯物主义的自然人观，人类有了较强的能力向自然索取，甚至掠夺。这种对立状况一直延续到今天。“人定胜天”、“人类征服自然”等，都是这种思想的具体表现。

——神学自然观：“上帝创造世界”的观点开创于中世纪，在西方世界是影响极大的、根深蒂固的统治思想，以致许多世界级科学家都不同程度地受其桎梏，时至今日仍然不时地通过各种方式流露出来。著名英国物理学家霍金（Hawking S.W.）在一本书中回忆了1981年参加梵蒂冈的耶稣会组织的宇宙学会议的情景，教皇在演讲中表态，在大爆炸之后的宇宙演化是可以研究的。但是我们不应该去过问大爆炸本身，因为那是创生的时刻，因而是上帝的事物。霍

金不无幽默地在《时间简史》这本名著中写到：“我刚在会议上作过的演讲的主题——空间—时间是有限而无界的可能性，就表明着没有开端、没有创生的时刻，我不想去分享伽利略的厄运”（Hawking 1996）。这样一句类似玩笑的话，听起来令人忧虑，心情总是不太舒坦。像牛顿那样伟大的学者都受上帝创造世界思想的影响，又有多少科学家由于对自然真理的追求而放弃了上帝。《自私的基因》一书的作者、著名生物学家道金斯，这个以基因的观点来解释进化的学者，就曾明确地宣布：“我是一个相当好战的无神论者，对宗教怀有深深的敌意”（Bass 1997）。这就是宗教的信仰与科学思想，尤其与进化论观点的不相容性的具体反映。最伟大的科学家将某些未知的事物或事件归功于上帝的创造，凡夫俗子将命运归结为“老天爷”，在这点上双方的水平是等同的，都是面临某些自己不能解决的难题，无可奈何才找出的借口。世界终究要按照自然的固有规律来运转，而不是听任上帝或老天爷的摆布。据说美国路易斯安那州最高法院曾举行过一次听证会，就是否要把在学校中像讲授达尔文的进化论那样讲授“创世科学”作为一条法律进行辩论。这件事引起了美国科学界的高度重视，几乎美国所有诺贝尔奖得主都在一份协助法院解释的简报上签了名，呼吁撤销这条法律。最后，该州的最高法院才以七票对二票的表决结果，否定了这条法律（Waldroop 1997）。这个消息并非玩笑，亦非讽刺，代表了当今人们思想上的困惑、不安和混乱，事情发生在科学技术最发达的美国绝非偶然，也不值得大惊小怪。但是事件出现在 20 世纪 80 年代末期，倒真是令人啼笑皆非。有了“上帝创造世界”，必然引出“上帝毁灭世界”即“世界的末日”，于是到处冒出许多“新上帝”，能够在末日到来之前拯救这个世界，这种扭曲了的怪现象今后还会发生。要认清其本质，关键在于人们科学意识的不断提高。

达尔文的“进化论”的伟大之处在于使人们认识到生物界的历史不是静止的，任何生物有生就有死，生物物种也不例外，物种的交替是自然演化的规律。推而广之，不仅有生命的机体，连星辰日月和整个太阳系、银河系甚至整个宇宙都有形成、发展和消亡的历史，世界上不存在永远生存的物质。生物有生老病死，地球和宇宙同样有自己的婴儿—老年—死亡的过程，地球现在的面貌与早期不同，今后也将有所变化，宇宙现在只不过 100 亿年，还很年轻，估计其寿命还能继续数百亿年，人类的历史肯定要短得多。达尔文“适者生存”的理论也曾被滥用，适者生存指的是什么样的生物，健壮的还是柔弱的、庞大的还是渺小的，法西斯就曾提出优秀人种统治世界的谬论，现在还能常常听到类似的、颇为刺耳的只言片语。曾经不可一世的恐龙，不是在 6 500 万年前一次灾难中全部灭亡了吗？我们倒是欣赏许靖华颇有见地的话：“在追逐竞争权的斗争中，我们已经把人类赖以生存的星球推到了危险的边缘。人们以为，这种进展反映了人类的天然优越性，这是从适者生存这一自然规律中推演出来的一种信念。然而，在湍流之前，生物发生灭绝的根本原因各不相同。大规模生物灭绝是剧烈自然变化的结果，这种变化并不是任何生物造成的”（Hsu 1997）。新的自然观的建立显然是一桩非常艰巨的任务，当前非再生资源的极大浪费和环境的严重恶化，已经成为全世界关注的大事。这是人类社会对自然肆无忌惮地掠夺造成的严重后果，也是自然对人类的报复。同时也表明人类尚未摆脱传统的

自然观的束缚，仍然我行我素。几千年来人类对生态、大气、水和资源等环境的破坏，已经处于积重难返的境地，解决起来谈何容易。首先应当调整好人和自然的关系，要有所予才能有所取，否则迟早会坠入“叫天天不应”的困境。从德国著名医学家和作家狄特富儿特（Ditfurth H.V.）的《人与自然》中选取几段，也许对我们正确认识自然会有些帮助（Ditfurth 1993）。“世界的真实本质绝非人类的理解力所能及，它与我们所见的表面现象绝对不同。……我们以史无前例的规模征服了地球和地球上的自然界。在地球发展史上，首次出现了为自身的利益而打算制服整个大自然的物种，即人类。……我们作为自然界的一员，无论具备多么高超的权力手段，幸喜尚无能力毁灭自然。如不立即制止按人类随意判断而进行的任性改造地球的活动，则在即将到来的灾难中，人类首当其冲：由于生命层失却自然平衡，人类最终也将陷入业已开始的大量死亡漩涡。……一旦人类因失却生物生存的基础（其中包括空气、饮用水、无毒而肥沃的土地，以及大量不同种类的生物）而毁灭自己，自然界却有可能随即复原。地球重归平静。大自然又会以其在过去亿万年中所显示的创造力而崛起于人类遗留的废墟之上。人类至此星球上的数千年存活史终将降格为一段插曲——一段很成问题、毫无结果的插曲。”

地球系统是一个整体，其子系统并非相互孤立的个体，而是密切相关、互惠互利、共存共荣的和不可或缺的有机组成部分。这就需要通盘地加以解决，而非仅仅考虑单个实体。人是生物圈中的一员，除了处理好人与其它生物的关系外，更重要的问题是解决好人类自身的大事，即人口爆炸，此外森林过度砍伐、资源（包括水资源）超量开采、土壤严重沙化、人类生存空间缩小、大气和水土污染等需要各方协力对待问题，有的属于一个国家内部的事物，有的属于相邻国家的问题，不少全球性的事件就需要国际社会协作解决。现在有些国家为了保护自家的资源，超常地开采和掠夺他国资源，例如中东的石油等，或者将污染严重的工业转嫁给发展中国家和地区，甚至将垃圾或核废料运到别国的领土或海域倾倒等转移污染等不道德行为，从眼前看起来是损人利己的霸权主义，其后果却是大家遭殃。这种既损人又不利己的短视行为是不可取的。大气和水是人类和所有生物生存的基本要素，维护空气和水的清洁显然是世界范围的大事，避免酸雨、烟雾、粉尘和水污染等人为事件，也不是一地一时所能解决的。只有了解自然，正确对待自然，摆正人类自己的位置，顺应自然的规律办事，就是树立了新的自然观。改造自然的基础是认识自然，改造绝非单纯地斗争，“适者生存”就是要能够适应周围的环境，才是明智之举。我们生活的地球已经进入生—死历程中的中壮年时期，昨天到今天的演化规律要弄个明白，今天到明天的进展情况要有个预测，尤其后人类社会将会是什么样子，总得有个说法，这些都是大难题，说不准也没啥了不起，预测终究是预测，只要方向对头，出了些许差错，“老天爷”或者“上帝”想必不会怪罪的。

目 录

序

第 1 章 系统及系统科学的发展	1
1.1 系 统	1
1.2 系统科学	4
1.3 自然系统——复杂性系统	8
第 2 章 混沌无所不在	12
2.1 混沌的由来和定义	12
2.2 逻辑斯蒂方程与混沌	16
2.3 混沌的边缘	24
第 3 章 地球动力系统	26
3.1 地球（月球）、金星和火星	26
3.2 地球的演化	31
3.2.1 地球演化的复杂性	35
3.2.2 地球演化的时—空观	36
3.2.3 相变和对称破缺	39
3.2.4 必然性和偶然性	41
3.2.5 地球演化机制	42
第 4 章 地壳演化中的混沌	45
4.1 地壳的缓慢运动——大陆漂移和海进海退	46
4.2 地壳的突发变动——火山和地震	54
4.3 地壳的分形与分维特征	60
4.4 矿物的分形和化学钟	62
4.5 矿物的相变	68
4.6 成矿作用与混沌	69
4.7 大气—水—生物对岩石的风化产物——土壤	74
第 5 章 大气圈演化中的混沌	77
5.1 大气圈组成的演化	78
5.1.1 原始大气圈的组成	79
5.1.2 从还原性大气到氧化性大气	86

5.2 大气圈结构的演化·····	88
5.3 大气圈中 CO ₂ 的自然循环 ·····	91
5.4 大气的运动特征·····	93
第 6 章 水圈演化中的混沌 ·····	98
6.1 海水组成的演化·····	99
6.2 海洋的垂直分带性 ·····	100
6.3 海水的运动 ·····	102
6.4 海洋—大气的耦合运动加强暖期灾难性天气的发生 ·····	106
6.5 海陆变迁——沧桑之变 ·····	110
6.6 陆地径流及地下水 ·····	113
6.6.1 河流和湖泊 ·····	113
6.6.2 地下水 ·····	117
6.6.3 冰 雪 ·····	118
第 7 章 生物圈的演化及混沌边缘·····	120
7.1 生物圈的诞生——生命的起源 ·····	121
7.2 生物种群的发生—发展—灭绝 ·····	123
7.3 生物个体和群体的演化——生物与环境的关系 ·····	129
7.4 生物体的分形结构 ·····	136
7.5 人——生物圈最新和最伟大的产物 ·····	139
7.5.1 人的信息系统——大脑的信息传递与反馈 ·····	140
7.5.2 心脏和心律 ·····	142
7.5.3 人—社会—自然 ·····	143
第 8 章 自然环境的恶化——地球外部圈层不同程度地走向混沌·····	147
8.1 自然环境的破坏与保护 ·····	151
8.1.1 水土流失与保护 ·····	152
8.1.2 大气污染——烟雾与酸雨 ·····	153
8.2 大气平流层和对流层中的混沌表象——臭氧空洞与温室效应 ·····	155
8.2.1 氟氯烃与臭氧空洞 ·····	155
8.2.2 CO ₂ 与温室效应 ·····	158
8.3 地表水和地下水——生命之泉 ·····	167
8.4 元素地球化学分布的不均匀性——区域性混沌导致地方病的发生 ·····	172
8.4.1 硒缺乏引发的克山病 ·····	174
8.4.2 我国特有的局部地方病——铊中毒 ·····	176
8.4.3 痴呆症——一种由于碘缺乏引起的地方病 ·····	177
8.4.4 需要进一步探讨的“地方病”——氡中毒 ·····	178
8.5 土壤——人类赖以生存的惟一场所 ·····	180
8.5.1 被忽略了的湿地 ·····	181

8.5.2 土壤的污染	182
8.5.3 土壤的沙漠化——大自然的退化和对人类的报复	183
第 9 章 矿物资源和能源的危机——促使人类社会抓紧大调整的步伐.....	188
9.1 矿产资源现状和 21 世纪的前景.....	190
9.2 深海底多金属锰结核——人类 21 世纪的矿物资源.....	195
9.3 能源——传统能源向新能源的转变	198
9.3.1 煤炭、石油、天然气——21 世纪上半叶仍将继续起主要作用的能源	200
9.3.2 煤的地下气化——化害为利的矿物能源	202
9.3.3 地球内部原子能和太阳能	204
9.3.4 地热能——极有远景的自然能源	207
9.3.5 地热增温率——潜在的可以利用的能源	214
参考文献.....	221
后 记.....	229

第1章 系统及系统科学的发展

1.1 系 统

现在系统学科非常热门,日常生活中、消息报道中、领导讲话中几乎都离不开“系统”这两个字,系统工程逐渐成为家喻户晓的口头语了。在科学领域中系统也是无所不在,几乎覆盖了全部的自然科学、社会科学和人文科学。可是这个名词在早期出版的词典中却见不到身影,晚近字典列专门条目加以说明。其中《简明社会科学词典》作了较详细的注解:“作为日常生活用语,指同类事物按一定关系组成的整体。作为科学用语,指由若干既有区别而又相互联系、相互作用的因素所组成,处在一定的环境之中,为达到规定的目的而存在的有机集合体。……”前苏联萨多夫斯基在研究四十种系统概念定义的基础上,将定义分成三种类型(金立顺 1990):

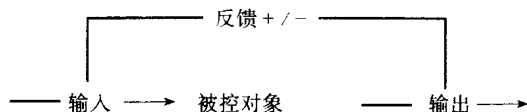
- 系统是一种数学模型;
- 通过“元素”、“关系”、“整体”、“整体性”等概念来定义系统;
- 用“输入”、“输出”、“信息加工”、“管理”等概念来定义系统。

拉波特认为系统概念有两种定义方式:数学的、分析的定义;直觉的、整体论的定义(苗东升 1990)。麦萨诺维奇把系统定义为关系的集合,属于拉氏的前一类;系统论的创建者贝塔朗菲(Bertalanffy L.)则属于后一类,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”。钱学森的系统概念(1982)的定义为:把极其复杂的研制对象称为“系统”,即由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体,而且这个“系统”本身又是所从属的一个更大系统的组成部分。化学热力学是研究“系统”或者“体系”的科学,“体系在概念上(在实际中通常有很好的近似)是指同世界其他部分隔离开的有确定边界的一个部分。”如上所述,苗东升认为,系统的基本特性应当有如下几条:

——整体性:贝塔朗菲的系统定义是针对机械论的系统观而提出的,机械论的观点认为系统的组成部分的简单总和(代数和),贝氏从生物进化论出发坚持整体大于部分之和的非加合性观点;

——有机联系性:系统的整体性表现为有机性,即系统中诸元素(或子系统)之间,系统与环境之间的有机联系来保证其整体的稳定,系统内部元素的排列、原子的衰变和生物的生长等,都是按照自己固有的规律发展变化的。系统的结构和层次也是由元素的有机联系造成的。开放系统与环境之间的物质、能量和信息的交换,保证了系统的整体演化;

——反馈性:周围环境提供信息,系统必然会作出某种反应,以便适应环境的变化,保持本身的正常状态。反馈机制示意如下:



反馈一般可分为正、负两种。如果这种反馈使对象和过程震荡或脱离稳定状态，则叫做正反馈，能排除干扰保持过程稳定状态者叫做负反馈。控制论认为负反馈是控制的机制，正反馈由于越来越偏离目标值，甚至失去控制。图 1-1 表示负反馈的控制作用，一艘轮船由起航点出发时，预计要通过两侧有暗礁的海峡，预定航线一直向东行驶(a)，途中遇到强劲的南风，轮船被迫偏离航线，如果一旦失去控制，将会发生触礁事故(b)。而轮船上装备有反馈回路的自动驾驶仪者，就能随时根据出现的航线偏离度，通过反馈系统采取纠偏措施(c)，保证轮船顺利地穿越海峡。这种纠偏措施就是负反馈(王雨田 1988)。

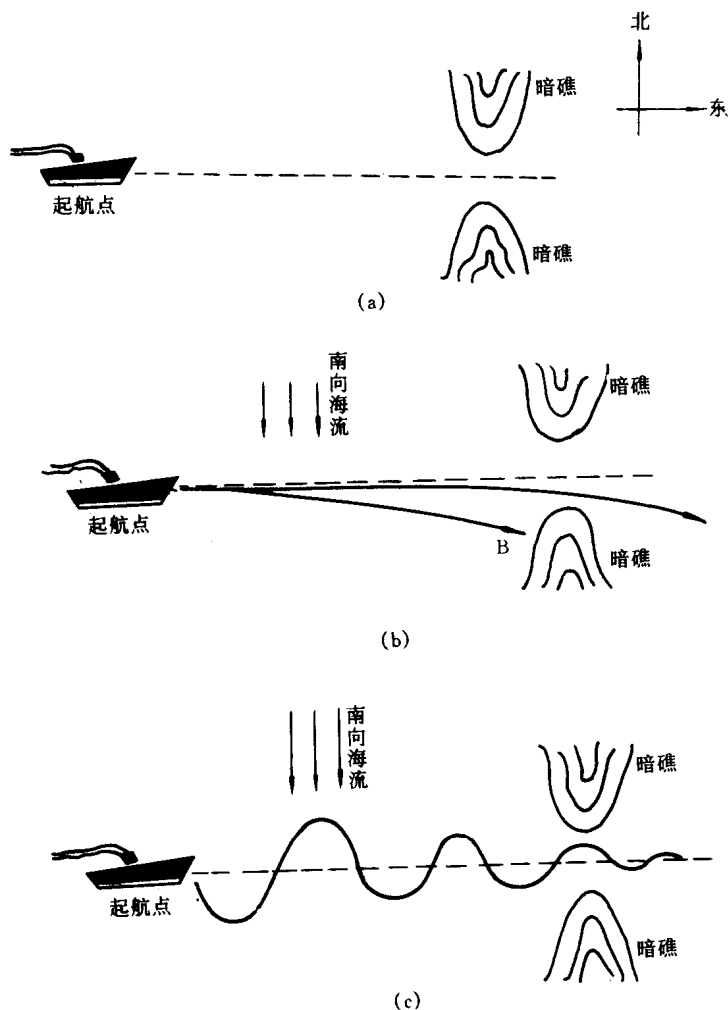
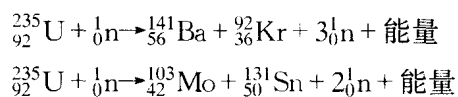


图 1-1 航船有无负反馈时航线的变化 (王雨田 1988)

(a)预期航线; (b)无负反馈时的航线; (c)有负反馈时的航线

正反馈并非只具有消极甚至破坏作用，在人类社会中为了保证生产的稳定与发展，维持生活有秩序地活动，无论政治、经济、金融等各个领域，以及道德、伦理和法律等各个方面，几乎无一例外地都是采用负反馈方式，这是相互制约的最好办法。自然系统恰恰相反，

大量存在着正反馈机制，成为地球演化和生物进化的推动力。自然，在人工系统中也不乏正反馈的事例，核能就是其中之一。重原子核分裂(裂变过程)时，会释放巨大的能量，同样地，当小原子核结合成较重的核(聚变过程)时，也能释放巨大的能量，前者就属于正反馈现象。当热中子进入某些具有奇数中子的重原子核内(^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu)时，裂变就可能发生。重核分裂时产生两个较小的核和两个或更多个中子(例如， ^{235}U 平均产生 2.5 个中子)和许多能量。典型的核裂变反应如下：



式中 ${}_0^1\text{n}$ ——中子。

裂变的方式多样，裂变产物生成的同时，还将放出 β 粒子和 γ 射线，直到最后变成稳定的同位素。原子弹的引爆装置裂变链式反应就是正反馈的典型实例。所谓链反应，如上列第一个反应式中，产生的 3 个中子，就能引起另外 3 个铀原子裂变，这些核放出的 9 个中子再引起 9 个铀核裂变，如此不断地引起 81—243—729 个铀核裂变……随着正反馈过程的进行，所放出的能量就会越来越大，图 1-2 中可以清楚地见到正反馈引发的链反应。自然界除去核裂变外，生物的繁殖和物种的增大等都是正反馈效应。分子生物学研究的是纤弱的分子如何演变成细胞，细胞的运动又是如何形成各种器官，并将之组织成一个有活力的整体，离开正反馈显然是不可能的。在分子这个层面上所有活细胞都是一模一样的，没有丝毫差别，但是只要其中某个或某些细胞发生细微的变化，生物体就会发生可观察到的变化，譬如癌变，人种肤色的差别等等。生物学家考夫曼(Kauffman S.) 有句名言：“生物学家这么多年来一直和正反馈打交道”(Waldrop 1997)。

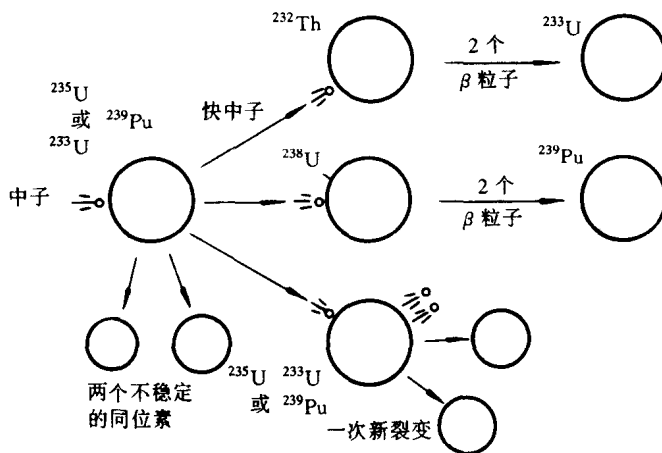


图 1-2 铀核裂变的链反应过程示意图(Jones 1986)

传统经济学一般都是受制于负反馈，经济学家一直力图防止微小的不安定因素的发生，设法控制使之不会影响到整个经济领域。美国一位名叫阿瑟(Arthur, B.) 的经济学家受到生物进化规律的启发，将正反馈引入经济学领域。这位经济学家认为，经济是人类世界的一部分，它总是雷同的，但又永远不可能一模一样，是永恒变化的、富有生命的。他针对传统经济学力求稳定的“报酬递减率”理论，提出“报酬递增率”观点，具体内容就不列举了，我这个外行也说不清楚。不过阿瑟的一段话倒是引人思考的：“重要的是观察外面实际的、活生生的经济生活，它是相互依存的、错综复杂的、不断进化的、开放的系统，是一个像生

物一样运转的系统”(Walddrop 1997)。

——动态性：系统的有机关联性就表明系统不是静止的，而是处于运动状态的。有机关联性强调系统中各个要素之间的空间分布(结构)，而动态原则却是强调时间上的变化，表现为结构不是始终不变，而是随着时间变化的。此外，有机关联性强调的是系统同环境之间物质、能量和信息的关联和交换，而动态性则强调这些物质、能量和信息的存在状态，它们在系统中可以表现为相对的稳定状态，却远远不是我们习惯上的静态稳定性，而是一种连续运动过程中出现的瞬时定态(关广岳 1994)。我们常常叫做“物质流”、“能量流”、“信息流”者，就在说明它们永远运动的性质。动态显然是自然系统特具的现象，它的存在使得系统的复杂程度增大，时间在这里是不可或缺的重要因素，系统随着时间的推移而日趋复杂。演化或进化自然而然地成为自然系统的本质反映。人类社会也是地球演化进程中的必然产物，人类随着时间的推移，也会日趋复杂，不可能长久地保留着初始状态。

——有序性：在系统的有机关联性和动态性的基础上必然会出现有序性。自然系统和物理系统都重视有序—无序转变的研究，“相变”、“混沌边缘”等概念的提出，表明这方面的研究是多么重要。

上述五性(整体性、有机联系性、反馈性、动态性和有序性)中关键是整体性，这是系统论的基石和出发点，其他都带有派生性质，是系统为了适应周围环境而派生出来的。如果系统内部诸分子互不相干，就无整体可言。系统与环境的交往中如果不以整体出现，不是“一致对外”，就将被个个击破，系统自身也就不存在了。应当强调的是，有机关联性绝非单纯的相互联系性，各个元素之间抱成一团，亲密无间。事实上，它们之间不但有着强烈的吸引力，也存在着不小的排斥力。正是这两种力相互斗争与妥协，才能保持系统的稳定，成为统一的整体。否则，系统内部将会出现多个中心，出现动荡和不稳定现象，最后，系统或者解体，或者彼此妥协而暂时趋于稳定。整体性对开放的自然系统特别重要，上述各项原则都是适用的，由于不同系统组成分子的性态各异，不可能都是一个模式。

1.2 系统科学

一门科学的建立和发展要经历一个漫长曲折的过程，经过多少代人的努力才能取得社会的认可。何况横越自然科学、社会科学、人文科学等大跨度的综合性学科的出现，必然是雷鸣电闪、风雨交加、毁誉参半，成长路程的艰险可想而知。系统作为日常用语由来已久，作为科学术语也有相当长的历史，但是“系统科学”作为一门被学术界承认的学科，则仅是近几十年的事情，自然还有一些人对这门学科存在的合法性仍持怀疑态度，理由是“它与其他学科的种类不同。它关心的不是一个特殊的现象的集合……它不是在现有学科重叠处产生的学科。它也不是一门因为人们认识到有一个特殊的、重要的问题领域存在并要求把大量不同知识细流配合起来而存在的学科——例如，就像市镇规划与社会管理一样。把系统论区分开来的乃是一门可以谈论其他学科的学科。它不是一门可以放在与其他学科相同集合中的学科，而是一门元科学，其主题实际上可以应用于所有其他学科中”(Checkland 1981)。美国一位大学问家考温(Cowan G.)在谈到艾滋病、太空探险、星球大战、核废料等世人关心的问题以后，不无感慨地说：“这些在科学、政策、经济、环境，甚至宗教和道德方面有着相互关联的问题，给了我们很具挑战意味的教训。”他认为只有具有很广泛知识的专家才能回答综合性如此强的问题。他又说：“通往获得诺贝尔奖的金色道路通常是由简化论的思维

取得的”(Waldrop 1997)。乍听起来,这个言论有点耸人听闻,仔细思考确实颇有道理。凡是接触过社会和自然现象的人们,无不感叹事物的复杂性,远远不能用几个公式或简单的描述所能表达得了的。科学系统论的建立不是一件容易的事,只有传统的科学思想和科学方法(可统称为科学文化)走投无路的时候,才会发生革命性的变化,才有可能出现“山重水复疑无路,柳暗花明又一村”的令人惊喜局面。系统科学的萌芽如同一场无声的毛毛细雨,滋润着人们的心灵,正是这种潜移默化的作用,提醒着有识者重新审视科学发展的道路,如果再不改弦易辙,阻止学科日趋狭窄和日益分化的局面,则科学将走上绝路。当前首要任务就是提倡综合性研究,为系统科学的成长创造一个宽松的环境及和谐的气氛。自牛顿以来,传统自然科学的活动轨迹和科学界对成果的认可方式,可以概括为简化性、还原性与可重复性。“三性”由来已久,而且深入学者们的内心,已经取得了相当可观的科学成果,尤其是技术上的进步,这是大家的共识。对此不应有任何微词,更不能全盘否定。但是在已有的基础上加以完善和提高,首先要在思维方法上有着根本性转变。解决问题的关键在于不拘一格的思维方式,务求海阔天空,切忌拘泥于具体事物。

——简化论的代表人物是著名的笛卡儿,他说“……把我正在考察的难题分成尽可能多和必要的部分,以便把它最好地加以解决”,充分地表达了某种机械论的观点,一点系统科学思想的味都没有;

——还原论与反还原论的争论是从有生物学就开始了的,还原论者认为生命的运动形式和规律都可以归结为物理和化学的运动形式和规律,人和动物就是一部机器,可以拆卸成各种零件,然后再装配成一个活生生的人或者活蹦乱跳的动物;

——可重复性就是科学的成果可以经受实验的反复验证,否则就是不科学的,结果使得“我们没有选择自由,而只能接受那些可以在实验中重复证明的东西”(Checkland 1990)。正是由于可重复性原则如此重要,实验才成为科学工作中不可或缺的手段,思维却变成可有可无的东西。

上述几个特性可以概括为周期性。门捷列夫的元素周期表就是一个著名例子,这个伟大的发现,为化学乃至相关科学的研究树立了无可比拟的榜样,为科学的发展带来巨大的推动作用。科学家孜孜以求,花费了毕生精力,渴望挖掘事物发展过程中某些本质的东西,周期性恰恰反映了这种规律。引起科学界的广泛重视,就没什么值得奇怪的了。阿特金斯一本《周期王国》酣畅流利的笔法,引人入胜的故事情节,将化学元素的周期规律传授给广大的青少年读者。众所周知,自然界中存在着不少周期现象,诸如地球等行星绕日运行、地球的自转、月球绕地球运行,以及海水的潮汐活动,等等,但更多的是不符合简单周期律的非周期性事态,气象预报就存在着极大的偶然性,尤其是中长期预报更是气象学家挠头的事。在人类社会里农业的春种秋收、工厂的稳定生产等都属于周期性劳动,环环相扣,丝毫马虎不得。仍然存在着相当数量的非周期性行为,例如,股市波动、物价涨落和金融危机等,难倒不知多少著名经济学家,到现在仍然没有妥善的预防办法,今后解决的可能性还不能乐观,因为我们找不出它们活动中的周期规律。无论自然界还是人类社会,这种背离周期性的事件数不胜数,促使有识之士不得不抛弃简化论,寻求更妥善的解决办法,为系统科学的建立提供了先决条件。但是在经典科学的影响下,另辟蹊径谈何容易。犹如在沙化或盐碱化严重的土壤中播种,偶尔拱出几棵幼苗,如果不是有心人的精心侍弄,只能遭受夭折的命运,系统科学的发生、发展和成长过程与这些幼苗颇有类似之处。历经数不清的劫难,终于在牛顿逝世后 200 多年以崭新的姿态出现在世人面前,那是公元 1948 年。