



环境科学丛书

环境科学导论

[美] A. N. 斯特拉勒 A. H. 斯特拉勒 著

科学出版社

环境科学导论

〔美〕 A. N. 斯特拉勒 A. H. 斯特拉勒 著

北京大学地理系

南京大学地理系 译

北京师范大学地理系

科学出版社

1415-
1082

内 容 简 介

本书是一本比较全面的环境科学著作。作者从各个方面论述了环境问题。内容共分四部分：第一部分，大气圈和水圈的能量系统；第二部分，岩石圈的能量系统；第三部分，流体-固体交接面的能量系统；第四部分，生物圈的能量系统。所涉及的学科主要有气象学、水文学、地质学、地貌学、土壤学、水土保持学、生物学及生态学等。书中以能量和物质迁移和转化为中心，将这些学科的有关研究贯穿在一起形成一个整体。在论述上，从理论到实例，再到环境问题本身，分析清楚，观点明确。

本书可供从事环境科学的研究和教学人员参考用。

Anther N. Strahler and Alan H. Strahler

INTRODUCTION TO ENVIRONMENTAL SCIENCE

Hamilton Publishing Company, Santa Barbara, California 1974

环 境 科 学 导 论

〔美〕 A. N. 斯特拉勒 A. H. 斯特拉勒 著

北京大学地理系
南京大学地理系 译
北京师范大学地理系
责任编辑 刘卓澄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983 年 5 月第 一 版 开本：787×1092 1/16
1983 年 5 月第一次印刷 印张：36 3/4
印数：0001—6,310 字数：930,000

统一书号：13031·2237

本社书号：3060·13—18

定价：5.60 元

译 者 的 话

从六十年代起,环境污染成为全世界人民日益关注的重要问题之一。因此,也促进了一门新的学科——环境科学的产生。由于环境科学涉及的面比较广,问题比较复杂,虽然这方面出版了大量的著作,但内容多有所偏重,对环境科学作全面地、完整地、系统地叙述的著作是不多的。A. N. 斯特拉勒和 A. H. 斯特拉勒合著的《环境科学导论》是一本比较好的著作。它给了解和研究环境问题的人们提供了入门所必要的理论和知识。

我们认为该书有以下几方面优点:

第一,作者所理解的人类环境是地球表面大气圈、水圈、岩石圈交接处的生命层(即生物圈)。所以该书着重叙述了地球上各个自然系统和各种过程及其对人类的意义和影响。作者对环境中的自然系统和人类之间相互作用作了恰当的论述和均衡的处理。在人类对环境的作用上,作者通过对自然资源(矿物和化石燃料)的开发、利用来分析其对环境的影响,着重探讨人类引起环境变化的自然基础。

第二,该书分为四大部分叙述,在开头对能量系统作了简要介绍,并且以能量流和物质循环这一科学的概念贯穿到各种自然过程,并以这一概念来分析人类对环境的影响,这样就使本书各章节形成密切联系的整体。

第三,在有关章节中联系到人为活动所引起的环境问题的事例,将理论上的阐述和实际问题的介绍有机地联系在一起。这样做有利于加深对人与自然之间的关系问题的认识。

第四,作者在结束语中扼要介绍了资本主义社会对人口、资源和技术与环境之间的关系的见解,从而提出解决环境问题必须注意作好环境计划和环境管理工作。这一点对我们研究环境问题是十分重要的。

该书对一些环境问题的看法和分析在许多方面值得我们参考与借鉴,除参考书目和索引未译外,其他部分都是按原文全部译出。

本书第一部分由南京大学地理系负责译、校;第三部分由北京师范大学地理系负责译、校;第二、四部分及序、绪论、能量系统、结束语和附录均由北京大学地理系负责译、校。全书最后由徐启刚、林大任、李爱玲三同志对全部译稿作了一次协调及整理,并在个别地方作了校订。

由于本书内容涉及学科比较多,所以翻译过程中错误在所难免,希同志们提出批评与指正。

序*

在过去四年中,社会上和学术界对环境问题表现出前所未有的关心,这激励了一门新学科的产生,它就是环境科学。这门新学科的组成成分并不新,因为这些成分是从已有的学科——生物学、化学、物理学和地学中吸取得来的。但是,环境科学有它真正新的地方,这就是它的观点——它的研究方向是整个地球的问题,它的地球概念是把地球当作是一组相互联系、相互作用的系统,以及它所重视的是作为这些系统的一部分的人类。

美国科学基金会的国家科学局向总统提出一份报告,名为《环境科学——七十年代的挑战》¹⁾。用该局的话来说,环境科学是“对围绕着人的空气、陆地、水、能量和生命等所有系统的研究。它包括所有目的在于从系统这一级上了解环境的科学,特别取材于这样一些学科,如气象学、地球物理学、海洋学和生态学,并充分利用在这样一些领域中所发展出来的知识和技术,如物理学、化学、生物学、数学和工程学……。环境系统包括许多复杂的过程,必须掌握这些过程来解决这样一些人类的问题,如对可更新资源(水、木材、鱼类)的维持,对不可更新资源(燃料、金属、物种)的保护,减少自然灾害(地震、陆龙卷、洪水)的影响,缓和缓慢性的损害(土壤侵蚀、干旱、陆地下沉),防止人为引起的污染(烟尘、农药、污水),及同自然污染(引起过敏物、火山灰、电磁噪音)作斗争。”

给予环境科学这样一个广泛的定义,使得没有单独一本教科书能够胜任对其整个领域提供一个即使是初步的适当论述。作为作者,我们必须也是编者。在本书中我们把着重点放在了解地球的各种自然系统和各种过程及其对人类的意义和影响上。因此,我们略去这样一些有关的问题,如噪音污染和核战争(这些是人类对人类的影响);我们也不涉及关于物质加工和污染控制的技术(这些是人为过程,而不是自然过程);我们不讨论消费行为(cousumerism),这是一个有时与环境科学相混淆的问题。

在本书中我们认识到在环境研究中自然系统和人类之间有两类相互作用。第一类相互作用是在物理现象的领域之内,这称之为地球科学;第二类属于生物现象的领域,这称之为生态科学。虽然环境科学的这两个分支通过系统间的相互作用彼此是非常互相依赖的,但把它们分为不同的部分有利于组织和提出环境原理和环境问题。本书试图对这两个分支作平衡的处理:首先讨论地球科学,它包括岩石圈、大气圈和水圈的各种成分和过程;其次讨论生态科学,它包括生物圈的结构和机能。

此外,我们从两种观点来看人类和自然系统的相互作用,这两种观点相当于一枚铜钱的两个面。一个面展示自然环境力量对人类的影响(例如:洪水、地震、火灾、山崩和瘟疫)。另一个面展示人类对环境的影响(例如:空气和水的污染、物种绝灭和加速侵蚀)。如果不顾到这个环境铜钱的两个面,则我们的书将是不完备的,因为人和环境的相互作用是我们的中心课题。

自然资源——特别是矿物质和化石燃料——的消耗是环境科学主题内容的重要部分。这些资源的开采、加工和消费在形成我们的环境污染和退化问题中起着很大一部分作用。因此,我们对各种自然资源、它们的起源和出现及使用它们所产生的影响,给予特别的注意。

* 徐启刚译。文内略有删节。

1) Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1971, pp. vii—viii.

在这里我们提供一本初步的教科书,书中把基本的科学原理和环境问题及资源问题交织在一起。基本科学论题的选择完全根据关系而定。我们的注意力集中在生物和它们在大气圈、水圈及岩石圈的环境之间相互作用的主要之点上。在全书中,我们用能量系统的方法来考查和分析各种开放能量系统内部以及它们之间能量和物质的流动情况。这种方法的基础在本书的绪论和能量系统一章中奠定。在基本科学方面基础有限的学生将有某些补救工作要作。为了这个目的,我们不仅在绪论中而且在全书的许多地方,都放进了关于基本物理学、基本化学及基本生物学论题的基础材料。例如,在阐述辐射平衡时解释了电磁辐射的基本原理;在阐述热量平衡时复习了量热学原理,等等。我们的希望是,这种处理将会适应学生在学习准备上很不相同的情况。

环境科学以环境问题为媒介来表现自己。每一个问题都是真实的;这种问题实际上是人们在生物圈的某个地点和时间所体验过的。所以,我们的书中包括有许多真实问题的描述。篇幅只允许描述每一个事例的最简单的大致轮廓,但我们希望每一个事例都能证明环境科学的真实性。

当学生学习到本书的最后时,在我们的结束语中将介绍给他范围更宽广的新的远景,这个结束语涉及到社会和环境之间的关系。对包含在三体合一——人口、资源、技术——中的人类的将来作简单的讨论,以表明重要的问题在哪里。希望我们的书将引导学生去更深入地研究环境规划和环境管理的问题。希望他的课程将为这种进一步的研究提供一个有组织的纲领,还希望他将变得关心环境问题,并为他自己打下参与作出决定的过程所需要的教育基础,以便有助于明智地规划和管理我们将来的环境。

放在本书后边的参考书目¹⁾是经过仔细挑选的。环境科学出版物的快速发展引起选择上的许多问题。因此,我们拟订出一个工作书目,使学生和教师可以尽可能快地和尽可能直接地接触到现有文献中的知识。细目的排列按照它们在书中出现的顺序——一章接一章和一个论题接一个论题。只包括近期出版的著作,只应用几种流行很广的刊物。除了补充本书内容之外,我们还打算把这个书目作为建立一个环境科学基本参考书图书馆的起点。这样一个图书馆的目的是可以使学生扩大关于特定论题的知识和找到准备写关于特定论题的学期报告所需要的资料,并可以使教师具备在除开他的特长之外的领域中的知识。所选择的材料在范围上从基本的和描述性的论述到颇为技术性的讨论都有,但我们只限于此,没有列出需要有数学、物理学和化学方面高深知识的作品。

A. N. 斯特拉勒

A. H. 斯特拉勒

1) 原书后面附有一个很长的环境科学书目,因限于篇幅,未曾译出。——译者注

目 录

译者的话.....	ii	第十三章 河流和湖泊水文.....	282
序.....	iii	第十四章 流水过程和地形.....	310
绪论.....	1	第十五章 波浪、海流和海岸地形.....	340
能量系统.....	4	第十六章 风的作用和沙丘景观.....	367
第一部分 大气圈和水圈的能量系统		第十七章 冰川系统与更新世.....	382
第一章 大气圈和海洋.....	18	第四部分 生物圈的能量系统	
第二章 地球的辐射平衡.....	27	第十八章 地球上的生命.....	411
第三章 地球表面的热环境.....	46	第十九章 生物的进化.....	433
第四章 大气圈和海洋的循环系统.....	71	第二十章 有机体和生态系统中的能量流.....	455
第五章 大气圈的能量释放.....	97	第二十一章 有机体和生态系统中的物质循环.....	479
第六章 人类对大气圈的影响.....	125	第二十二章 生态系统的动态.....	502
第二部分 岩石圈的能量系统		第二十三章 水生生态系统.....	518
第七章 岩浆作用和地壳.....	145	第二十四章 陆生生态系统.....	539
第八章 岩石的变化和沉积物.....	165	结束语 环境的远景.....	557
第九章 构造作用和大陆的演化.....	184	附录 I 能量流和物质流方面的量纲、定义和当量.....	570
第十章 人类对地球资源的消耗.....	207	附录 II 范柏特兰费的开放系统和稳定状态原理.....	574
第三部分 流体-固体交接面的能量系统		附录 III 达尔文-劳特卡能量储存原理 ..	577
第十一章 大陆表面的耗损.....	229		
第十二章 陆地地下水.....	253		

绪论*

对伦敦人来说, 1952 年 12 月 8 日是接连有浓烟密雾的第五天, 这种烟雾最好称之为毒雾。医院里挤满了呼吸困难、病情严重的病人。许多患有慢性呼吸器官疾病的人死于他们所不能逃避的环境压力。这个事件并不是什么新闻; 大多数人以前已经听到过。城市化地区时常出现的空气污染危机从来就是城市居民所注意的事。显然, 在恶化城市空气的质量方面人是起了主要作用的。了解烟雾问题需要关于大气科学基本原理的知识。这些原理在本书的前几章中加以阐明, 它们对于人们制订必须实行以改善城市空气质量的行动计划将有帮助。

1971 年 5 月份食品和药物管理处宣布旗鱼不能吃, 因为对市场上的罐头旗鱼大量抽样检查的结果发现其中汞的含量过高, 考虑到人吃是不安全的。关于旗鱼的组织中有汞富集, 如果人类的工业活动对此有任何关系的话, 那么关系又达到什么程度呢? 有无可能这些鱼体中现在的含汞量并不比过去几百年高些? 要得到关于汞污染的这些问题以及其他问题的答案, 需要涉及到许多种科学。当然, 首先是生物学。对食物链必须追溯到它的源头。但是人们还必须依靠地质学来找出汞化合物的最初来源, 和依靠水文学(水科学)来了解汞进入海水中所凭借的转运过程。

回顾过去远在 1947 年, 纽约州长岛上 Kings 县的 Brooklyn 镇从水井中抽水的情况终于停止了, 因为地表之下的淡水已经被从附近海洋下面渗透进来的咸水所污染了。自从那时以后, 这个大的城市居民点必须靠从远在本州北部的 Catskill 山里的水库取水来供应淡水。长岛上更向东边的一些居民点会有同样的命运吗? 长岛的将来城市发展计划在很大程度上取决于有无充分的淡水供应。被咸水和洗

涤剂严重污染的问题已经出现了。要了解长岛上正在发生什么情况需要关于地下水基本原理的知识。我们将阐明这些原理, 从而你能够推荐有效的作法来防止没有水供应的灾难。

1970 年 11 月, 孟加拉湾的强烈热带气旋所产生的巨大海洋波涛席卷了东巴基斯坦(现在的孟加拉国——译者注)一个人口稠密的沿海低地。水位突然升高 20 英尺, 在那个地区淹死了几万人口, 并毁坏了 200000 栋房屋及所有的水稻作物。已知这个地区在过去由于同样原因曾发生过类似的灾难。这里是一个自然环境对待人类残酷的地区, 而不是由于人类这方面有什么过错。所以, 我们必须认识到人类以及所有其他生物曾经是经常受到他们所不能控制的环境压力。许多严重的环境危害和环境灾难是我们大家所熟知的: 它们是火山爆发、地震、山崩、陆龙卷、飓风和台风、“潮浪”(这是暴风雨引起的波涛和地震引起的海浪的误称)、河流洪水、大风雪以及森林火灾。但是在先进知识许可的情况下, 采取防卫和躲避的行动是可能的。如果我们不利用机会用关于这些类型的环境危害的知识来武装自己, 则我们就是愚蠢的。这样的事情在什么地方发生? 它们可能在什么时候发生? 能使警报系统有效吗? 当有灾难威胁时我们应当作些什么? 一般说来, 这样的知识是属于环境保护的知识。虽然我们将不充分讨论保护的方法, 但我们将说明这些危险的自然现象如何发生和在什么地方发生。

有一些环境压力就其对人类生命损失的作用来说, 其致死性较小, 但在经济这一方面是非常重要的, 它们的影响在某些地理区域经常存在着(例如美国内陆大平原地区的干旱、尘暴和

* 徐启刚译。

冰雹)。在某种程度上人类能够采取行动以减轻这些压力,但这方面发展得还不充分。人工降雨在有利的情况下成功是可能的;冰雹的形成也可用人为的办法减小它的强度;对地面进行处理多少能减少尘砂的吹扬。显然,人类有各种能对环境过程至少施加某种有限控制的方法可以自由使用。我们希望把这些活动归于计划环境改造一类。这一类计划的成功需要关于大气和地表水与地下水的基本过程的知识。

根据上面的例子,似乎很明显有一类科学研究(实际上是一种应用学科)能够称之为环境科学。一般说来,也许这个称呼只是应用科学的另一个名称。无论怎样,它的范围是如此广大,以致即使是要对它有一个一般的了解也需要读好几本教科书和学习几个学期。“环境”这个词在平常的词汇中是很普通的,所以我们将需要非常仔细地来规定它的意义以使它适合于本书的观念。

环境一词按最广泛的说法是“围绕着的東西”,但它需要有一个所指的对象。什么东西被围绕着?被什么东西围绕着?我们所关心的主要是人类的环境。但是人若和其他形式的动物生命及和植物生命隔离开就不能存在或被了解。所以,我们必须研究存在有生命的这一层(或行星地球的生物圈)中所有生物的环境。这个厚度不大的生命层位于地球的几个基本领域之间的主要交接面上或靠近这些交接面。地球的基本领域是:大气圈(气体领域),水圈(液体水的领域),和岩石圈(固体矿物的领域)。在大气圈和陆地表面之间存在着交接面,在大气圈和海洋、河流及湖泊的自由水面之间存在着交接面,在各种水体和其下面的固体地球表面之间存在着交接面。构成生物圈的交接面是非常重要的,因为在这些重叠着的领域之间的物质和能量交换就发生在这里。

生物无论是一个种或许多种,无论是属于植物界或动物界,不仅和它们所占据的自然环境相互作用,而且它们彼此之间也相互作用。研究生物和环境之间的这些相互作用——以物质、能量和各种刺激物的交换形式来进行——

是非常广泛地称之为生态学的科学。参加一群生物相互作用的所有成分的总和称之为一个生态学的系统,或者较简单地称之为一个生态系统(ecosystem)。字根eco是来自一个从家族关系来说意思是家庭的希腊字,它的含意是一个家庭的人住在一起,并在一个功能性的自然结构中相互作用。生态系统有物质和能量的输入,用它们来构成生物组织(生物量)、进行繁殖和维持必要的内部能量,物质和能量也从生态系统中输出。一个生态系统倾向于使其中的各种过程和活动达到一种平衡。就大多数来说,这些平衡是十分敏感的,很容易被推翻或破坏。

在把对生物的环境的研究集中在生命层的同时,要了解在该层中进行的物质和能量的流动情况还需要我们颇为深入地研究位于该层上面的和下面的各个层次。要了解地球表面热和水的交换,就需要了解在整个大气圈下层中起作用的诸过程,还需要了解当太阳辐射能射向地球时大气圈上层对它的作用。要了解暴露在地球表面的矿物质的各种性质,就需要研究在固体地球的地壳深层中起作用的一些地质变化过程。

为了实际可行,我们必须把对人类环境的研究限制在一个易于处理的有关范围,而去掉那些作全面研究所应有的其他考虑。例如,在广义上环境包括能够影响生物的所有的物质和能量。关于在分子、原子和亚原子微粒一级的物质的结构及活动和关于这类物质在地球重力场中的变化(例如物理学和化学)的这种知识,是所有环境研究的重要基础。虽然把物理学和化学的原理应用到了解环境过程上是绝对必要的,但在本书中我们不能承担提供那种知识。希望读者们已经具备良好的一般科学基础。

环境的影响在最广的意义上包括包含在人类精心发展而成的各种社会结构之中的丰富文化资产所产生的力量和限制。这些社会结构在性质上是产业性的、政治性的、宗教性的或审美性的。不考虑以对我们的全部文化有何影响作为依据来衡量的价值判断,那就没有自然环境问题能够研究和解决。把城市的空气及河湖

中的水变为清洁需要花费巨大的人力和有形资财。把资财花费在这一方面必然要减少资财在其它方面的使用。我们愿意改变我们的生活方式来恢复环境质量达到什么程度呢？我们愿意废除私人汽车来支持公共的快速运输系统吗？我们愿意把我们的收入中较大的一份投入我们从其中将得不到愉快或娱乐的污染防治计划中去吗？我们作为一个社会愿意服从严格的人口控制吗？社会和环境之间的关系是在本书范围之外，因为我们计划主要讨论关于人类与其能量和物质环境之间相互作用所牵涉到的物理的和生物的过程。

为了要了解这些过程你将需要对地球的每一个领域——大气圈、水圈、岩石圈和生物圈——进行系统的研究。这种系统的研究提供对自然过程的了解，没有这种了解就不能了解环境问题，也不能解决它。当你拟定环境行动计划时，没有什么能代替对地球的自然物理系统和生物系统的作用的真正了解。也许这样说是正确的，就是今天人类面临的大多数环境问题是由于我们没有坚持应用我们已经掌握的科学技术原理才发生的。如果以前社会选择了把这种知识付诸应用，可能我们已经消除了我们现在陷于其中的大多数麻烦。但是现在社会正在觉醒，并正在作出反应；它正在请求从事研究的科学家们把精力从纯科学研究和技术发展转移到缓和环境问题上去。国家优先要作的事正在改变，以反映陷于麻烦中的社会的要求。我们今天从要求重新考虑无限制地快速增加人口和增长国家总生产量的必要性中看出这种改变。

上面最后谈到的一点把我们带到关于人类的矿物质和能量资源及其将来供应的前景这一题目上来。矿物富集形式的工业原料是由作用了几百万年时间的非常缓慢的地质过程所积累起来的。但是我们正在以惊人的速度使用这些资源，某些关键物质的世界供应不可避免地将要变少或者完全化为乌有。工业矿物资源特别是金属的应用对环境有重要的影响。这些物质用过之后大都作为废物处置掉，伴随着出现空气、水和土壤的污染问题。矿物的开采在许多

情况下在地上留下巨大的坑穴和斑痕。化石燃料（石油、天然气和煤炭）现在为我们提供大部分能量供工业过程、运输和取暖使用。在这方面我们也正在迅速消耗需要极为漫长的地质时期才能产生出来的能量资源。世界上化石燃料的供应最终会完，我们必须转向其他资源，如太阳能和核燃料。化石燃料的燃烧已经对环境有重要的影响。一方面是对大气的影 响，另一方面是对固体地球表面的影响，如大规模露天开矿把土地翻得很乱，及管线切过广大的地区。由于矿物质和能量资源对环境很重要，我们将要对它们及它们的使用进行研究。

工业化对环境添加了一个新的因素，也就是向空气、水、和土地里加进了新的物质——工业化以前的时代从来没有过的物质。一个显著的例子是放射性物质（放射性同位素），它们由核爆炸而散布到大气之中，最后以散落物的形式回到陆地的土壤及地表水中，也回到海洋中。另一个例子是合成化合物的生产和扩散，这种化合物如杀虫剂和除莠剂进入到水运送的自然循环中和生物的食物链中。第三个例子是铅扩散到大气之中，这是由于燃烧加有铅化合物的汽油而出现的。所以，我们可以认为技术环境科学是一个重要的研究领域。除了工业污染物之外，这种科学还将研究城市环境问题的许多方面。城市环境问题在广泛的意义上说是综合性的，例如工业废物的处理和净化，噪声和热的产生，以及城市生活对人们身体上的和心理上的压力。我们所注意的技术环境问题将必须限制在技术对自然物理系统和生理系统方面，不包括技术对人类的直接影响。

在整个这本书中，你将找到许多对事实的研究和人类影响环境系统的例子。这些例子包括环境的许多方面，并把关于大气圈、水圈、岩石圈和生物圈中的过程的许多种知识加以应用。典型的情况是，相互作用以这样一种方式出现，即为了了解它和解决它必须应用一种以上的科学知识。评判从事实研究中所提出的问题将考验你在掌握环境科学原理中所得到的系统知识的力量如何。

能 量 系 统*

设想你自己到达月球阿尔法基地不久。你坐在你的生命维持舱中，从这个太空站上遥望壮观的地球升起，那就是你的行星。它象是一个由深蓝色、翠绿色和鲜褐色所构成的补缀品，上面笼罩着大片白色翻滚的云层，周围是幽黑的太空。根据你从月球上所见，这个行星的各个环境区域是容易按颜色分辨出来的。你见到世界海洋——水圈——的蓝色在圆盘（指所见的地球形状——译者注）上占的面积最大。鲜褐色所显示的是岩石圈——这个行星的固体部分，这是岩石圈高出海面之上的地方。大片白色的云层在这个行星的气体部分——大气圈中特别突出。植物表现出的青葱绿色是生物圈（即地球上生命的区域）的可见部分，生物圈限于生命层——陆地、海洋和大气的交接面。

地球上的白天部分和夜晚部分的明显对照会立即引起你的注意。受光一边的陆地和水体在太阳光之下曝晒着，它们吸收太阳的温暖而反射太阳的光。你能预料到能量的转化就在这里进行着：太阳的光能投射到地球上，并被吸收而转变成热，使生命层的温度增加。但是，在地球上阴暗的一边，相反的过程占优势：海洋和陆地储存的热能在不断地丧失——辐射到外层空间中去。其结果是，当太阳光线被完全隔断时，地球就变冷了。

当你在后来的几小时内看着地球时，地球缓慢的旋转变得很明显。南美大陆从圆盘的中央滑到它的边缘，接着就看不见了。大洋洲从夜幕的后面现出，并向圆盘的明亮部分移动。在你的眼下，每一块陆地和水体依次受到太阳的照射，它们吸收和反射自己的那一份太阳能。很显然，非洲和南美洲接受的太阳能最多，因为它们的位置接近地球的中央部分，在这里它们受

到太阳的直射。另一方面，北美洲和欧洲是靠近圆盘的边缘，它们接受的太阳能不多，因为它们是以不大的角度来拦截太阳的光线。现在你不仅看到能量的巨大转化，你还看到这一事实：虽然就整个地球来说，太阳能的输入是固定的，但就地球表面上任何某一个小地区所接受的量来说，就有很大的变化，既随时间而不同，又随其在地球上的位置而不同。

随着日子的过去（因为你仍然记住地球上的时间），你常常凝视你的行星，注意发生的变化。一阵一阵的云块在大气层中形成了，消散了，又形成了，它们横跨圆盘向东运行，先掩盖了大陆的一部分，以后又掩盖了另一部分。看来这样说是合理的，就是大气层的这种变换不定，是与地球表面接受太阳的热量不均一有关，并且这种情况还是把赤道带多余的热量带到热量缺少的极地地区的运输机制的一部分。这些巨大的云块是以某种方式和地球的旋转联系着的，因为地球把翻腾的大气带着和它一起旋转。又一次，你看到一种能量的转化的情况：太阳的一部分辐射能在被转化为热之后，现在被转变成运动的动能。运动中的物质的能量遇到阻力——各种摩擦——时，它又产生热，并增加了向太空中辐射转去的能量。

事实上，就你在月球阿尔法基地上所看到的来说，你可能会想象地球是一个巨大的能量系统，它接受太阳能作为输入，而以反射光能和辐射出热能作为输出。在这个系统中，发生许多能的转化，每一种转化都以这种或那种方式和物质相联系。因此，一个能量系统具备：（1）一团物质，（2）能量输入，（3）能量输出，和（4）在能量和物质相互作用的地方有一套能量的转运

* 徐启刚译。

和转化。在象我们地球这样的一个复杂系统之中,有许多种能量的转运和转化,它们同许多不同类型的物质联系在一起。每一种能量的转运和转化称之为系统中的一条能量路径。地球表面上物质吸收光能就是能量路径的一个例子。这种光能被转变成为物质中的内热,以后被辐射到太空中去。这样,能量以光的形式进入到一条路径中,并和物质相作用,以后作为辐射热离开这条路径。

如果我们应用适当的仪器,从月球的阿尔法基地上还可以观察到能量系统的另一个基本原理——指这一事实,即除非能量是在系统中某个地方正在被储存起来,或者是正在被从储存中移走,则能量输入率必定等于能量输出率。这一说法所根据的物理定律是,能量既不能创造,也不能毁灭:客观世界的一条基本定律。(原子能的生产似乎是这一法则的一个例外,在原子能生产中物质改变为能——这是一个我们以后将要讨论的有环境意义的过程。)。换句话说,如果我们在一行中列出所有输入系统的能,包括从储存中移走的能,而在另一行中列出所有的能的输出,包括储存起来的能,我们会发现这两行的总和是相同的。由于我们列出的表象是一个有收入、支出和节存的家庭预算,我们可以把这张表称之为我们系统的能量预算。分析能量系统的预算将是我们以后研究行星系统的一个重要手段。

如果你观看地球的时间更久一些,你还会看到行星表面上物质的进出。一颗不比砂子大的流星由于我们行星重力场的作用而脱离了常轨,投入到大气层中。当它和大气相摩擦所产生的热使它的成分蒸发时,就发出白光,并为大气提供了新的原子。另一种情况是,如果流星很大,它可能碰撞地球,从而加太该行星的质量,并在陆地上增加一定体积的供侵蚀过程对之起作用的岩石,或者也可能为海洋底部增加一些沉积物。离开地球的物质不是很明显:靠近大气层边缘的少数原子扩散到太空的范围中去;或者也许是一个太空探测器射向火星,永远不再回来。又一次,因为我们知道物质和能一

样是既不能创造也不能毁灭的,所以除非物质在系统中被储存起来,或者被从储存中移走,则一个能量系统的物质输入必定等于物质输出。

在整个这本书中我们将用能量系统作为一个基本概念,因为它为环境科学的各个分支(从研究地球的大气圈到研究地球的生态学)提供了一个共同的体系。人类由于人的数目很多和人有改变地球外貌的能力,所以是地球能量系统的一个重要部分。所有人类的活动,从开垦地球到污染地球,都可以看成是改变自然能量系统中的输入、输出或物质,所有自然能量系统常常是处于脆弱的平衡状态,并且总是过于敏感的。但是在我们进一步谈论能量系统之前,某些基本的概念和定义必须确定下来。这些都是物理学和化学的原理——客观世界的自然规律,读者对此也许熟悉,也许不熟悉。

物质和能量——某些基本原理

所谓物质我们是指原子和分子,它们有的不带电,有的作为离子而带电,它们以单个形式出现,或者以化合物或化合物的集合体的形式出现。所有物质都具有质量,质量就是易受地心吸力吸引的性质。物质以三种状态存在:固体、液体和气体。气体是容易膨胀来把其容器充满的物质,它便于压缩,并且它的密度通常比化学组成相同的液体和固体要小得多。气体本身是由原子或分子所组成,这些原子或分子是以个体形式在空间自由运动,但不断地互相碰撞。大气虽然主要是属于气体状态,但它还含有不同数量的属于液体状态和固体状态的物质。

液体是随着所受压力的不等而可以自由流动的物质,其特点是其上面有一个自由表面。在液体内部,分子或分子的集合体是彼此相接触的,并能够自由移动。液体在强大的压力下只能稍被压缩。液体的密度和组分相同的固体很接近。虽然水圈主要是由液体状态的水所构成,但水圈中也包含有气体状态和固体状态的物质。气体和液体都属于流体这一类。流体在

静止状态时，它的各个层次倾向于处于平衡的位置，在平衡中密度较小的流体位于密度较大的流体之上。这样一种成层的排列称之为密度分层。

固体是形状和体积难以改变的物质，一般能忍受很强的不均一的压力而不发生变化。当发生变化时，通常就是突然破裂。我们可以说坚固是固体的一种独特的性质。虽然地壳（岩石圈最外面的部分）主要是固体状态，但它也包含有气态和液态的物质。

如果不包括引力现象，则对于什么是物质是难以解释的，所谓引力就是宇宙中物质的每一个粒子对每一个其他粒子所施加的吸引作用。事实上，我们已经说明质量就是容易感受这种吸引作用的性质。也许大家在某个时候已经记住了牛顿爵士所提出的引力定律。这个定律为：任何两个物体彼此都以一种力量相互吸引，这种力量的大小与它们质量的乘积成正比，而与它们之间距离的平方成反比。

就地球表面范围的环境来说，真正起作用的是地球——一个确实巨大的质量——对非常微小的质量如气体或液体的分子和土壤颗粒、岩石颗粒或有机质颗粒所产生的地心引力。（这些颗粒吸引整个地球所用的无限小的力量可以认为不重要而略去。）地球对在其表面范围内的很小的物体所产生的地心引力称为重力。因为地球非常接近于一个圆球，所以重力在地球整个表面上有一个几乎是恒定数值。换句话说，地球对一定数量物质（如1克物质）的引力在全世界都将是相同的，只需要作很小的校正，而这种校正对了解行星能量系统不是特别重要的。

如果将一个物质颗粒放在地球表面上一个真正真空（没有物质）之中，它会愈来愈快地向着地球的质量中心降落。这种速度随着时间而均匀增加的现象构成加速度，其数值是恒定的。通过仔细的测量，我们知道降落的速度就每降落一秒钟来说，每秒钟将增加32英尺（980厘米）。因此重力加速度就是32英尺（980厘米）/秒²。重力加速度乘以重力对之起作用的物

质的数量就构成重力的作用力。因为重力加速度在海平面上到处几乎是一致的，所以重力的作用力随着物质的数量而变化。因此，我们根据在测量线圈弹簧伸缩量的那种秤上所指明的力量大小就可以测出物质的数量。

对地球表面上的生命来说，重力是一个基本的和普遍存在的环境因素。从在电视上所看到的阿波罗宇宙航行员在他们的宇宙飞船舱中没有重量的条件下跳跃的情况，大家都知道没有重力场会出现一种新的和令人失常的环境。长时间没有重量会严重地破坏生理过程。地球上的生命形式是在我们行星上特有的一个特殊的重力数值下演化出来的。有生命东西——一头象或一棵树——的最大高度决定于生物所依赖以抵抗在重力作用力之下被压坏的结构强度。因为重力是与进行吸引的物体的质量除以其半径的平方的结果成比例的，所以月球的重力只约等于地球重力的六分之一。在月球上，高得多的有机结构能够站住，质量抵抗重力作用力而垂直向上的运动所需要使用的力量比在地球上小得多。火星上的重力作用力只约相当于地球的五分之二，如果火星上有任何生命过程，则火星重力对其所发生的影响要小得多。

除物质外客观自然世界还包括能，能常常正式给予定义为作功的能力。用物理学的数学语言来说，能就是力和距离的乘积。于是能就是将一个物体移动（用一定的力量）某一定距离的能力。能可以各种形式被储存和转运。已知的能的形式中有些是：机械能、热能、被辐射作用通过空间所运送的能（电磁能）、化学能、电能和核能。

机械能是与物质的运动相联系的能。有两种机械能：动能与势能。动能是运动中的物质作功的能力。因此，一辆在公路上行驶的汽车具有动能，因为它是运动中的物质。如果这种物质撞击一个电线杆子，则它对自身和对电线杆作功的能力就会变得很明显。它在撞击中将要释放的能量将随着车的重量而增加，也将随车速的平方而增加。于是，动能是与运动中的物质的数量乘以其速度的平方成比例的。在数

学的语言中,功和能都是以力作用通过距离(或力乘距离)来表示。

势能或称位能,它等于一个物体如果被允许在重力的影响下降落时所将得到的动能。假定把一块砖稳当地放在桌面的边上,然后让它下落。在砖冲击地板时,它所具有的动能如我们所知是和砖的质量乘以其速度的平方成比例的。因为砖的运动被重力按 32 英尺/秒/秒这一恒定值增加速度,我们测量砖将下落的距离并应用物理学的加速度公式,就能够得到砖在冲击地面时的速度。如果再把砖举起来放在桌面上,则举砖所作的功就给了砖一定数量的势能。这一能量当砖再被允许下落时会被释放出来。在这一点上很显然,地板只不过是砖和我们所讨论的问题的一个适当的停止点;如果我们在地板上锯出一个洞,并让砖下落更远,则砖在冲击下面的地板时,将会具有甚至更大的动能。所以对下面的地板的高度来说,当我们把砖拿回到桌面时,砖将具有的势能要大些。因此,决定势能大小的三个因素是:物体的质量;它将能下落的垂直距离和重力加速度。

一个落向地上的雨点就是我们环境中势能变动能的能量系统的一个例子。根据我们刚才讨论的原理,暴雨云层中的雨点的势能是和它的质量及它能降落的距离成比例的。当它降落时,它的速度最初将随着它的高度减小而加大。但是由于空气的阻力,雨点的速度不会无限制地增加。换句话说,它的动能中有某些由于空气阻力所产生的摩擦而被移走。降落的速度愈大,阻力也愈大。因此降落的速度很快就达到一个恒定的数值。当雨点最后冲击地面时,它的一部分动能将被传递给它所冲击的土粒,结果是把土粒弄松并为发生土壤侵蚀准备了条件。另一部分动能将被变成热,使雨点和土壤颗粒变暖。如果我们把雨点和它的降落看成是一个简单能量系统的例子,则输入、输出和能的路径可以辨别出来。(1)能量输入由太阳供给,这种能量使空气发生上升运动,从而将水分抬升到高出地表的位置,为水分提供了势能。(2)能量输出是在当动能和热被传递给周围空

气和土粒时发生。(3)在雨点降落的时期中势能通过一条路径转化成动能,而动能通过大气的摩擦在第二条路径中又转化成热能。第三条能量转化的路径是在雨点冲击土粒时动能转变为热。第四条路径是把雨点的动能传递给土粒,使土粒发生运动。所有这些路径都把雨点作为共同的能量转移或转化的作用者。

在离开机械能这个题目之前,我们应当指出,机械能可以以波的形式传送。在这种传送形式中动能通过碰撞由一个物质颗粒传送到下一个物质颗粒。空气中的声波就是一个例子——在某一点处推动空气分子,这种推动将被传送出去达到其他分子。其他的例子有海洋波和地震波。在所有这些波的形式中,质量按一定的韵律形式被代换,而能量则以愈来愈大的圆环被传播出去。但是介质中的摩擦阻力消耗能量,所以这些波逐渐地归于消失。

热是我们环境中另一种极为重要的能的形式。如已经注意到的,动能通过摩擦机制可以被转变成热。但是,或许所不明白的是,究竟多少热与多少运动有关系。物理学的定律告诉我们,“一点点有很大作用”。例如,将 1 立方厘米的水加热到 1°C 所需要的能量,大致与以每秒钟 1 厘米的速度运动着的约 100 吨的质量中所含的能量相等!

热代表动能,但它是属于一种内在形式,而不是我们在运动着的物质中所见到的外在形式。因此在桌子上完全静止不动的一烧杯水具有内能,因为水的分子是以一种过小而不能看见的规模在不断地运动。这样内在运动是物质的可感热,内在运动强度的大小可以用温度计来测量。对气体来说,内在运动的形式是,自由分子在空间高速运动,但经常和其他分子相碰撞。因此气态水(水汽)的能量级比液态水中的能量级要高。另一方面,冰代表较液态水为低的能量级,因为冰里面分子是被禁锢在一个有一定几何排列的位置上。这就是结晶的固态。对这些分子来说,运动是一种摆动而没有相对运动。

当冰融化时,必须作功来打破分子之间的

结晶键。这种功需要能量输入，但输入的能量不使物质增温。所发生的现象是，能量似乎是神秘地消失了。由于能量实际上是不能化为乌有的。所以它实际上是以大家所知的潜热的形式被储存起来了。如果水发生冻结并再变成冰，这种潜热将以可感热的形式被释放出来。当水蒸发变成气体时，会发生类似的由可感热到潜热的转化现象，因为必须做功来打破液体分子之间的键。当水汽转回到液态时，这就是凝结过程，这时潜热以可感热的形式被释放出来。在第三章中我们将分析伴随着水的状态改变的热能的这些变化。

能以潜热的形式从一个地方转移到另一个地方是我们环境中的一个非常重要的过程，特别是在大气圈中是如此。例如，暴风雨系统中水分的凝结释放出热能到空气中，这种热能大部分为暴风雨提供了维持它的强风所需要的能量。这样，水分子提供了一个能量转移的路径，它在海洋表面蒸发过程中吸收太阳能，以后在一个距海洋表面遥远的地方凝结以形成云和雨的时候又把太阳能释放出来。

所有的物质都倾向于丧失热。热可以借传导直接丧失到周围环境中，但即令是在真空中物体也丧失热。物理学的一个基本定律说道，所有温度高于绝对零度的物质都辐射出电磁能。我们可以把这种辐射看成是以在空间按直线方式前进的波的形式进行的。波以各种不同的长度出现，但不管它们的长度如何，它们都以同样的速度——每秒钟 186000 英里——前进。各种长度的波的总集合物整体构成电磁谱。电磁谱中包括带各种不同颜色的可见光，还包括不能看见的各种短波，如紫外光线、X 射线和伽马射线。除这些之外，谱内还包括许多不能看见的长波，这就是大家所知的红外线（有时叫做热射线），以及更长的无线电波。

进行辐射的物体的温度决定谱中哪一部分携带辐射能。因此，表面温度约三倍于熔化的钢水的太阳所辐射出的可见部分最多，虽然谱中所有其他部分在辐射中都是存在的。但是在地球的正常温度之下，物体辐射出的主要是谱

的红外部分，而可见部分完全不能被辐射出来。辐射出的总能量还随进行辐射的物体的温度而定。因此，太阳表面上一平方英寸或一平方厘米每秒钟所放射出的能量约等于地球上一平方厘米每秒钟所放射出的能量的一百五十万倍。电磁辐射的详细情况将在第二章中叙述。由于所有维持地球上生命过程的能量都是来自太阳的电磁辐射，我们将颇为详尽地探讨这一问题。

还有另外一种能量转化形式在大气圈中很重要，那就是当气体被强迫占据一个较小的体积或者允许它膨胀到一个较大的体积中去时所发生的能量转化。那些曾经用手压打气筒给自行车的车胎打过气的人可能记得，在打了几下气之后打气筒的末端变得如何的热。回忆一下气体是由在空间自由运动着的分子或原子所组成。气体的温度愈高，它的分子（或原子）运动也愈快。我们用在打气筒中把气体压缩的办法，迫使气体分子进入较小的空间，这就给予了气体分子额外的动能，从而增加了气体的内能（和温度）。换句话说，我们推动打气筒活塞时所作的功，被气体作为热能储存起来。如果把活塞放松，气体将把活塞推转来，首先把对气体所作的功退还，接着气体的温度将相应地下降。举例来说，汽车轮胎的活门喷出的空气感觉到是凉的；膨胀的空气推开周围的空气，对周围的空气做功——这里的功就是喷出的空气借冷却所消除的它的内能中的功。

化学能是当发生化学反应时物质所吸收或释放的能。环境科学中一个重要的例子是光合作用。在这个作用中太阳辐射的光能被植物细胞中的分子所吸收，并被用来与二氧化碳和水相化合以形成碳水化合物。以这种形式所吸收的能被储存在植物组织的碳水化合物成分中。如果植物物质由于燃烧（化学氧化作用）或者通过植物或以植物为食料的动物（生物氧化作用）的代谢作用而被改变转来成为二氧化碳和水时，这种能会被释放出来。在燃烧的情况下，大部分的能将以热的形式被辐射到周围环境中。在代谢作用的情况下，有些能会被转化成为生物生长、发育和维持生命所需要的生物化学分

子中的化学能,而其余的部分则将被转化成熟,并在最后辐射掉。

电能是大家所熟悉的,它在电所作的许多形式的功中表现出来。因为带正电和带负电的物体有彼此相互吸引的作用,所以电能可以作功,其作功的形式很象质量之间因万有引力作用而相互吸引。除了雷雨中所产生闪电外,很少自然能量系统有和电能相联系的路径;相反,对环境科学来说,电能是重要的,因为人类应用电能很普遍。生产电需要机械能,这种能通常是由碳氢化合物燃料燃烧所产生的热得来。

作为环境学家,我们必须关心动力的生产,因为在未来的几个世纪内这一方面有把我们有限的化石燃料供应消耗完的危险。与此同时,动力生产的副产物由于污染空气可以严重地降低环境质量。细小的未燃烧的化石燃料颗粒如果不用专门的过滤系统加以拦截,会从动力厂附近的空气中继续纷纷散落。燃烧中释放出的二氧化硫是一种极为有害的空气污染物。因为由热到电这一转化过程是效率很低的,所以一定有大量的废热排放到环境中,从而造成热污染的可能性。动力厂排放到湖泊或河口中的温水,对生活在这些水体中的生物可能有有害的影响。

核能从长期来看很可能代替碳氢化合物燃料的消耗。通过核裂变(把原子的核分裂)或核聚变(把两个原子合而为一)过程,物质可以被转化成为能。阿尔伯特·爱因斯坦在他的著名的方程式 $E = MC^2$ 中表明了物质与能量的确切关系,该方程式中 E 是能量, M 是物质的数量, C 是光速。光速为每秒钟 186000 英里(300000 公里),它本身就是一个很大的量,当自乘时它确实是非常之大。因此,很少量物质的消失会产生巨大的能量。例如,在分裂一磅的铀中,转化成为能量的物质相当于燃烧 1500 吨煤所释放出的能量。

在核反应堆中,有控制的裂变或聚变几乎能提供无穷尽的热供应,这些热可以用来生产电力。但是,在目前的设计情况下,一个核工厂所产生的废热比一个规模相同的普通工厂所

产生的要多得多,因而出现热污染的可能性也较大。此外,核工厂的流出物可能含有其放射出的能对生命有害的放射性物质。并且,经常有这种机会(无论它是多么少),即反应堆会失去控制而产生中等程度的爆炸,这种爆炸如果不是在限制范围之内,就会放出致死的散落物——这种情况将是最大的灾难,因为许多核工厂是很接近人口中心的。控制和利用核能所冒的环境风险,在未来几十年内人类必将面临的而且需要解决的一系列问题中几乎占第一位,当然,这是假定这个行星上的生命不会因为核能的大破坏作用而突然完全绝灭。

能量系统——其他一些概念

到此为止,我们已经讨论了关于能量系统的一些一般的特点,并且在讨论能的形式时还举出了一些例子。这些系统是开放系统(也就是物质的有组织的状态),它们对于能量流和物质流是开放的。开放的能量系统具有:

1. 界限,或者是真实的,或者是人为的;
2. 跨越这些系统界限的能量和物质的输入和输出;
3. 与系统中物质有联系的能量转移和转化的路径。

我们在能量系统中还可看到:

4. 物质还可以由一个地方被转移到另一个地方,或者它的物理性质由于化学反应或状态改变而发生变化。

物质的转移和转化要求有能量被吸收或放出,因此它经常为能量的转移和转化提供路径。

为了说明一个开放系统的运转,你可取一个养鱼缸来,在缸底钻一个小孔。当把缸放在流水的水龙头之下时,水在缸中积累,同时在缸的底部有水从孔流出。但是,水自缸中流出的速度将是与水面的高度有关的,水愈深,则孔处所受的压力愈大,于是水向外流出也愈快。最后水流出的量将和水进入的量相等,水面将保持在一定的高度。换句话说,这个系统已达到动态平衡——这是一种平衡,因为系统中储存的能量和物质以及能量和物质离开和进入系统

的量，对时间来说都是不变的——这是动态平衡，因为物质和能量本身是在不断地被转移和转化。这个装置证明了关于开放系统的另一个重要的事实：

5. 开放系统倾向于达到动态平衡或稳定状态，在这种情况下能量和物质输入的量与能量和物质输出的量相等，同时储存的能量和物质保持恒定。

在这个例子中，储存的物质和能量是养鱼缸中存在的水。

水缸这个例子可以用来说明关于能量系统的另一个重要事实。假若在水龙头处把水输入的量减小到只相当于原来某一部分使输入发生改变。将会出现什么呢？初期水的流出情况将保持原样，因为它决定于缸中水的深度。结果物质和能量将被从储存中释放出来，脱离这个系统。但是，渐渐地当水的高度变低时，流出又等于流入，将形成一个新的稳定状态。换句话说：

6. 当一个能量系统的输入或输出改变时，该系统倾向于获得一个新的动态平衡或稳定状态。

在导致建立新稳定状态的变化所经过的时间内系统是处于一种过渡状态。因此，开放系统在本性上是稳定的，因为如果我们改变一个系统的能量和物质的输入，这个系统并不永远失去平衡，使其本身毁坏，而是与此相反，它很快地建立起新的平衡。如果我们把两个稳定状态相比较，就出现另一个重要事实：

7. 当通过一个开放系统的能量流和物质流增加(或减少)时，该系统中储存的能量和物质的数量就增加(或减少)。因此，当把水流减少时，缸中的水量也减少。很显然，如果我们增加流入的水，这时储存的水也会增加。

为了再介绍另外一个关于开放系统的事实，我们的例子需要稍微改变一下。我们不用养鱼缸，而用一个大试管，在管的底部钻一个和缸底的孔大小完全相同的孔，然后把管放在水龙头之下。如果进水的量是一样，则该系统也将最后达到一种水深和我们前一个例子中相同

的平衡。但是，由于试管的储存容量小得多，达到平衡将比在养鱼缸中要快得多。如果把水龙头的流水减少到和前一个例子中一样，则该系统最后将达到一种水深和缸在减少进水的情况下所有的水深相同的新平衡。但是，由于试管的储存容量小得多，达到平衡会快得多。因此，在输入的改变相同的情况下，养鱼缸的反应因为它的容量大得多而要慢得多。显然，缸对输入改变的敏感较差。所以，我们可以把敏感性规定为开放系统对输入或输出的量发生某种变化时作出反应的快慢程度。于是得到：

8. 对某一种输入来说，系统的储存容量愈大，则它的敏感性就愈小。

最后，如果把水龙头完全关上，则养鱼缸中的水将继续流出孔外，水位将不停地下降，直到缸中的水流完为止。此时我们没有储存，也没输入或输出。总之，这个系统被毁坏了。由此得出关于开放系统的一个最后概念：

9. 当能量或物质或者两者同时被切断，则开放系统走向衰退，最后归于破坏。

例如，在自然界，一条不再从其源头接受来水的河流只会干掉，并最后消失。一个接受不到光能和主要养分的植物细胞只会死去或毁灭。如果太阳的辐射能突然被切断，则地球的能量和物质的转移和转化过程的强度将很快下降为零。所储存的能量将通过辐射离开这个系统而进入到外层空间，在温度接近绝对零度的情况下这个行星在很短的时间内就会完全成为惰性的或没有生命的。

衰退系统的一种特殊情况是，系统中没有物质或能量的输入，但系统中物质或能量输出的量本身视储存中所保留的物质或能量的数量而定。这样系统的一个例子是由铀同位素 $U-238$ 到铅同位素 $Pb-206$ 的放射衰变。在整个过程中，每一个 $U-238$ 原子失去十四个原子微粒：八个不同的氦核 (α 粒子) 和六个电子 (β 粒子)。随着每失去一个粒子就有一个新元素形成。这个新元素系列到 $Pb-206$ 终止， $Pb-206$ 很稳定，不再放射物质束和能量束。如果把一克 $U-238$ 放在桌上，它将不断地放射出粒