

能源与环境变化

[美] C. 韦德



能源与环境变化

〔美〕 G. 韦 德 著

刘煜宗 王菊先 译

宁源远 左育民 校

科学出版社

1983

内 容 简 介

环境污染是在许多工业化国家普遍存在的影响到人类衣食住行的严重问题,而且随着工业化和城市化的进程,环境污染有日益严重的趋势。为了保护人类生活的环境,各先进的工业国对这个问题展开了广泛而深入的研究,不惜巨款,采取了各种各样的措施。

本书从科学技术、人口、能源、社会、经济、法律、政策等各方面揭示了美国的环境污染和环境保护问题,向读者介绍了一门正在蓬勃发展的综合性科学——环境科学。

目前我国正努力实现四个现代化,环境问题将越来越突出。吸取外国在环保方面的经验和教训,对我们是很有好处的。

不管是领导干部、科技人员,还是广大的工农兵群众都会发现此书是一本非常有益的书,且不难懂。

Charles G. Wade

CONTEMPORARY CHEMISTRY
Science, Energy, and Environmental Change
Macmillan Publishing Co.

能 源 与 环 境 变 化

〔美〕G. 韦 德 著
刘煜宗 王菊先 译
宁源远 左育民 校
责任编辑 蒋太培

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: 17 3/4
印数: 0001—7,000	字数: 411,000

统一书号: 13031·2221

本社书号: 3035·13-18

定价: 2.20 元

译者前言

美国查尔斯 G. 韦德 (Charles G. Wade) 于一九七五年写成的《能源与环境变化》一书, 是以非专业人员为对象的中级科普读物。

作者从科学、技术、人口、能源、社会、经济、法律、政治等各个不同的角度, 较客观地揭示了存在于美国社会的环境质量问题, 同时, 对于美国公众和科学家在环境保护方面所取得的一些成就, 也给予了相当的肯定, 这样, 作者就自然而然地、深入浅出地向读者介绍了一门正在蓬勃发展的综合性科学——环境科学。在分章详述空气污染、水污染、固体废物以及农药等对环境的影响时, 作者多以丰富的资料为依据, 配以醒目的图表, 使本书图文并茂。作者对存在于美国社会的种种弊病, 也不无批判。

可惜的是, 作者在人类究竟能不能解决环境问题这一点上, 显得过于悲观, 他认为, 要“全面解决环境问题, 显然超出人类的智能”。作者同意哈丁教授的论点, “只要社会还以私有为基础, ‘攫为己有’的本能, 总要压倒利他主义的长远目标”, 并由此得出结论: 利他主义不是解决环境问题的灵丹妙药。

在翻译本书的过程中, 我们得到了天津大学物理教研室的高敦怡副教授和宁源远副教授的鼓励、指导和帮助, 尤其是宁老师, 他极其认真地审校了前七章的译稿。令人万分痛心的是, 宁老师、高老师来不及看到本书的出版就与世长辞了!

我们还请南开大学的王贻愚教授审校了本书的第九章, 天津医学院的张志诚教授审校了第二章, 请南开大学元素有机化学研究所的李毓桂老师审校了第八章。天津汽车研究所的周又荣主任非常认真地审校了第三章有关汽车专业的部分。

本书所涉及的专业面很宽, 在翻译过程中, 天津大学、南开大学、天津市人民法院、天津市环境保护研究所等单位的专家曾给予了热情的指导。

最后, 南开大学化学系的左育民老师复审了全部译稿。

限于译者水平, 错误、缺点在所难免, 望读者批评指正。

译者

一九七九年于南开大学

目 录

译者前言	I
第一章 环境、能源、化学简介	1
环境的复杂性	1
科学在环境问题中的作用	1
能量与热力学	3
生态系统和循环	8
环境净化的实际限制	10
一些基础化学知识	11
公制	20
污染物浓度单位	22
测量能量和功率	22
小结	23
第二章 人口、资源和生活质量	24
人口动力学	24
人口统计参数	27
预测人口增长	28
人口增长的后果	31
志愿的人口限制	40
发达国家控制生育的方法	41
不发达国家的生育控制	47
避孕新药的研制	48
另一些可能出现的新技术	50
改进生育控制方法的建议	51
美国的零人口增长率	52
总统人口委员会的建议	55
小结	55
第三章 空气污染	57
空气污染物	57
空气污染的损失	58
各种污染物及其影响	60
气象概况	69
烟雾	74
汽车	77
其它内燃机	85
内燃机的替代物	86

固定污染源和工业污染的控制.....	93
小结.....	97
第四章 能量.....	99
引言.....	99
能源和储备.....	103
美国的能量流动.....	108
各种过程的效率.....	110
电力：目前能源的有利条件与不利条件.....	113
核能.....	117
小结.....	140
第五章 能源选择：燃料、资源、资源保护及政策.....	141
新燃料.....	141
来自煤炭的干净燃料.....	145
用页岩和焦油砂炼油.....	146
替代动力源.....	148
某些选择的时间表.....	160
能源保护.....	161
控制污染的能源代价和经济代价.....	169
展望：政策与未来的能源增长.....	170
小结.....	172
第六章 水污染.....	175
引言.....	175
水的循环.....	176
美国的水利用.....	177
地下水的利用.....	178
水生生态系统.....	178
水污染的测量.....	182
水污染源.....	184
金属.....	196
石油.....	199
一个变化的实例：威拉米特河的净化.....	203
联邦政府对水污染的规定及其费用.....	206
小结.....	207
第七章 固体废物和废物回收.....	209
引言.....	209
处理办法.....	211
垃圾处理办法的小结.....	215
侧重于废物利用的方法.....	215
特殊废物的回收与再生.....	220

能源与回收.....	225
城市垃圾的综合利用计划.....	229
影响资源循环使用的政策.....	231
小结.....	231
第八章 农药	233
引言.....	233
化学农药.....	234
农药的分类.....	237
氯代烃类农药的环境影响.....	241
滴滴涕和与之密切相关的杀虫剂.....	242
多氯联苯(PCBs)	245
除草剂和落叶剂.....	247
对人类的危险.....	248
限制使用氯代烃类农药的法律措施.....	249
化学农药的替代办法.....	250
还要依赖化学农药的原因.....	262
政府政策.....	263
小结.....	263
第九章 法制、政策和未来	265
变革和利他主义.....	266
法律上的损害赔偿.....	267
国家环境政策法令(NEPA).....	268
制定规章制度的政府机关和委员会的限制.....	270
政治行动.....	273
土地利用.....	274
对未来的展望.....	275
小结.....	276

第一章 环境、能源、化学简介

环境象群蛇聚成的蛇团、
拔其一条、则群蛇皆动。

约翰·米尔

环境的复杂性

本书将要分析能源、资源和环境问题。我们将力求客观，以指出上述领域里知识的限度，并对提出来的各种解决办法的可能结果进行对比。开始这一章，要考虑一些基本原则，这些原则将构成后续各章许多论题的基础。

复杂性是环境问题的显著特征。外行人也好，科学家也好，初次涉足环境问题，都会敏锐地感觉到，人类在这个领域里的知识是有限的。人体生理学只是环境问题的一个侧面，仅就这个侧面而言，几乎每个人都会体会到在知识方面存在着巨大的差距。要妥善处理环境问题，就得具备一切生物体生理学方面的全面知识，譬如，要了解它们对空气污染物的变化是如何反应的。全面解决环境问题，显然超出人类的智能；但在一些小范围里，我们的知识则足以作出十分可靠的评价。我们所要集中讨论的正是这些方面。

科学在环境问题中的作用

科学是描述自然界的一种有系统的学问。因为这本书所要集中探讨的是环境问题的科学方面，所以我们就应该从考虑科学在描述和解决环境问题上所能起到的作用开始。科学着眼于问题的定量方面。科学研究工作的进展，通常都是先获得数据，建立与数据一致的模型（或理论），以及从这个模型作出预言。

人们一般都以为科学很“缜密”，就是说，科学能提供与自然界中所观察到的变化过程相吻合的精确答案。其实，科学所做的，只是提供与原始数据及建立的模型相一致的答案而已。科学预言不会比数据和建立的模型更为精确。假如数据和模型这二者之一、或二者都不完善或不精确，预言就不可能更好些。如果模型太勉强，以致不能正确地反映自然界，那就必须对基于此模型所作的预言，进行非常仔细的检查。

在仔细规定的简单体系里，可以认为科学是缜密的，就是说，它提供的答案与观察自然界的結果相一致。然而，当科学被应用到包括环境在内的那些复杂问题时，却令人失望，它能够提供正确答案的情况太少了。环境的复杂性使得数据不完整，这又使模型注定只能是一种简化了的近似。这种复杂性还会在科学家中间造成关于科学预言有效性的真正分歧；从本质上说，这些分歧正反映出对于模型，对于因必要的简化近似引起的有

关误差，大家都知之不多，相对说来，科学对于环境问题能提供的正确答案寥寥无几。相当多的答案只是近似正确，而许多答案则比细心的猜测好不了多少。

因此，设想科学对我们要讨论的一切问题都有正确答案，这是一种误解。同样，设想科学家们一致同意哪些是可取的解决办法；或者，在事实上一致同意哪些是最重要的问题，那也将是一种误解。科学观点将随着时间而变化，明年的模型可能导致关于某个具体问题的观点的全面修正。我们的部分任务，就在于把有稳固基础的、不大可能改变的科学预言，和那些由于数据和模型的限制而不甚可靠的预言区别开来。

与典型的实验室研究相比，环境问题技术上的复杂性还部分地起因于它包含着大量的可变因素。例如，化学家们研究光化学反应已经多年了，这是些只能在诸如闪光灯或强光灯的强光照射之下才发生的化学反应。实验室里研究光化学反应，混合在一个容器里的化合物，最多也许不过三种。反应由强光源的光引发，进行反应并形成产物。反应产物的分析，也许要包括四、五种化合物的离析与鉴定。在这个实验里，起始浓度，压力，温度，以及光源的强度等都要仔细控制。这是一种严密限定的实验，它指明组分的最小数目，化学家能以这些组分充满信心地建立正确的模型，并作出预言。

现在，自然界里有一种阳光照射下的非常重要的光化学反应——烟雾的形成。这种反应给简单的实验室实验提供了一种鲜明的对照。烟雾形成涉及几百种化合物。在洛杉矶的大气中已鉴定出一千多种化学物质。这些化学物质的来源不同（汽车，发电厂，工业工厂），并且其排放的量也随一天的不同时间而变化，此外，烟雾是在一系列令人迷惑不解的条件下形成的，如不同的压力，温度，风速，湿度以及季节等等，而这些还只是提到了很少的几个。甚至光源（即太阳）的强度，也因云彩和气候条件而改变。鉴定形成烟雾的关键组分，建立模型，并提出满意的解决办法，是一项庞大的任务。

然而科学毕竟还是起重要作用的。它提供目前环境问题状况的有关数据，并且尽管有模型上的局限性，在指出问题以及解决问题的方法方面，科学仍然是最有效的手段。

合理地解决环境问题，照例必须从科学所提供的定量方面着手。特别是在一开始，应当包括我们目前的进程已经到了什么地步，可以试试什么样的解决办法，这些解决办法可能产生什么样的影响。在搜集到这些问题的最有效答案之后，就要采取作出合理决定的第二个重要步骤：判定价值，即对这个问题的各个方面进行权衡。为着解决这方面的问题，还要求科学以外的相当多的东西。在许多情况下，必须考虑社会的、经济的、法律的、政治的决定。解决环境问题要牵涉到许多方面，汽车是个最突出的例子。汽车除了是一半以上空气污染物的污染源之外，它还产生噪声，造成交通拥挤，使得公路激增，以及导致都市病。在美国，汽车每年要使五万人丧生。它是资源的巨大消耗者。它仅有几年的寿命，甚至废弃的汽车也成了问题；事实上，废汽车外壳作为原材料没有任何价值。但是，当最近一次全国民意测验把这些问题统统提出来并且询问汽车到底值得不值得时，百分之八十的人回答说：值得。尽管在这些人里有一半将表明，假如能提供别的东西来取代汽车，他们的回答将会有所不同。

显然，在其它方面汽车又很重要。它送我们中的百分之九十的人去工作，去休息，去买东西。它是涉及到劳动力，石油和煤气工业，钢铁工业和公路建筑工业的一个举足轻重的经济因素。此外，汽车能提供方便和一种自由自在的生活方式，它还是财富的明显象征。解决由汽车引起的环境问题的任何办法，都将影响所有这些因素。减少汽车对

环境的影响，主要措施也许只是以下三个方面：一、限制汽车的排放物；二、用电车来代替汽车；三、限制进入市区汽车的数量。考虑一下采取这些措施要涉及些什么问题将会是有益的。

规定排放物限额的权限归属于政府机构“环境保护局”。它的决定大体上将在改善健康状况、目前技术（排放物如何降下来，降下来多少），以及经济因素（排放物的控制费用多少，谁来支付这笔钱）这三者之间保持某种相对的平衡。面对汽车和汽车工业的广泛影响，人们可以预料还得包括其它因素，特别是许多工业、工会组织和消费集团通过国会的政治活动。

替换成电车也涉及非技术性的种种问题。把现在的汽车换成电车，势必要求增加发电量，这样就会给已经处于危机状态的电力工业增加额外负担；来自运输方面的空气污染将从汽车转移到发电厂，那能够给美国的空气质量带来全面的改进吗？还得考虑汽油发动机和电力发动机对燃料需求总量的对比。假如电车由电瓶来开动，那么，服务站必须增设充电设备。如果不利用现在的汽车装配工厂来制造电车，对于那些部门的工人又将发生什么样的事情呢？

任何一个限制增加城市汽车的决定都充满政治后果。要实施这样的限制，似应着眼于为被剥夺了汽车的那些人提供替换的运输工具（集体客运，或合伙使用汽车）。发展集体客运（象公路那样），需要相当可观的公积金，因此，必须和其它公用事业竞争以分享联邦预算，这就得有政治上的决定。进一步说，一旦有了集体客运，因为公众已“习惯”于以汽车代步，所以还得对他们进行使用集体客运的再教育。

应当清楚，以上仅为对环境问题中一种污染源复杂性的简短小结，它表明，虽然我们的研究将集中在技术方面，但心里还得牢牢记住，诸如经济、政治等非技术因素，由于它们对环境的改善具有决定性的意义，因而在我们的讨论中，对于政治的和行政的结果也将给予适当的注意。

能量与热力学

一种理论给人的印象越深刻，它的前提简单就越是无与伦比；与它相关事物的类别越不相同，它的应用范围也就越广泛。正因为如此，经典热力学给了我深刻的印象。我深信它是唯一具有普遍适用内容的物理学理论，在其基本概念的应用范围之内，该理论是永远也推翻不了的。

爱因斯坦

尽管环境问题具有技术上的复杂性，但是人们从比较简单的现象中推导出来的同样的物理定律，照样支配着它们。在我们开始进行环境研究时，我们应当考虑，用物理学中的某些定律能够预言些什么。在所有物理定律中，最基本的是那些与能量有关的定律。

能量是地球上生命的一个基本要素。太阳能只是能量的一种形式，它的重要性早在古代就被认识到了，食物，温暖，水，以及气候周期性变化，就是几个得益于太阳能的例子。《创世纪》中记载的给予地球的第一样礼物，便是这种以光的形式体现的能量。人

类的历史与他们了解、发展和运用各种形式的能量紧紧相连。毫无疑问，你对于能量的概念就有某种直观的感觉，从孩提时代起，你就听说了食物提供能量，听说了一个活泼的孩子所“具有”的能量，听说了核能的益处与害处。近年来，多半因为能源“危机”，燃料短缺，以及燃料和电费涨价，能量已经成为报纸上广泛讨论的题目。

这少数几个例子说明，能量可能存在的形式是多种多样的。重要的是我们须严格地给能量、功和功率这三个相关联的术语下定义。这三个术语一般是可以互换的；但在科学上却存在着细微的差别。

能 量

所有的物质，所有的东西都具有能量，尽管能量可能以各种各样的形式存在。一块岩石具有能量，是因为它有温度，因为它有聚集在一起的力，或许还因为它离开地球表面有一定的高度。一块扔出去的岩石有了另外一种形式的能量。能量粗分为两类：动能和势能。

动能是运动的能。风，开动着的汽车，光束，飞行的步枪子弹，以及下落的物体，所有这些都由于它们的运动而具有动能。动能不易贮存，因而必须在它发生时加以利用。相反，势能则是一种能够贮存起来备用的能量。势能的例子，有拉紧了弹弓里的石子，一个高水池里（或大坝后）的水，以及象煤和汽油等燃料。所有这些都代表了能够在合适的时间里应用的一定的能量。

利用势能通常要把它转换成某种其它形式的能，一般为动能。例如，从弹弓里射出来的石子失去势能，但却由于它的运动而获得动能。把高水池里或大坝后的水放出来，引起类似的转换，即从势能变成动能。燃料里的势能是自然界里的一种化学能，它能够通过燃烧改变其组分的化学性质而释放出来。在这种转换中，（化学的）势能被转换成动能，特别是转变成热，热是一种形式的动能。尽管各种形式能量之间的转换是可能的，但一种形式的能量要全部转变成另一种形式的能量却是罕见的。在大多数转换中，一些能量必然要损失掉。了解能量转换是我们观察环境中的能量的基础。

功

功这个术语通常和人们为着某种有用的目的而转换能量相关联，它对完成该有用目的的那部分能量提供定量测定，就是说，功表示某种形式的能量中的某一部分所获得的具体成果。就科学定义而言，只有当一个力作用于一个物体，并使它移动时，才产生功，或者说做了功。推一个不动的物体，例如推一道墙，并没有做功，只有当物体受到施加的力而移动时才算做了功。一部引擎给汽车以加速度时它做了功，一位举重运动员举起杠铃时他做了功，当风使一台风磨转动时它做了功。在所有这些情况中，都涉及到物体的运动。

功 率

在科学上，功率是用来测量一段时间里所传递的能或所做的功的量：

$$\text{功率} = \frac{\text{传递的能或所做的功}}{\text{所需时间}} \quad (1.1)$$

既然功率取决于时间，那么它便是一种与能或功十分不同的概念，举例说，假如给一辆起初是静止的汽车加速，达到每小时六十英里的速度，它由于运动而具有了动能。让那辆车获得每小时六十英里的速度得做一定量的功（对所用的时间则不作考虑）。然而，在十五秒钟里获得每小时六十英里速度所需的功率，要比在三十秒钟里获得这个速度所需的功率大一倍。用十五秒钟达到每小时六十英里的速度，其消耗汽油的时间，比较低加速度时的耗油时间要快一倍。

热 力 学

能量具有如此根本的重要性，以至它的研究成了最古老、最彻底的课题之一。热力学则是研究能量、能量转换和功的‘学科’。“热力学”这个词，源出于“热流”，始于十九世纪，当时正在研究热与能量之间的关系。除了数学可能是个例外，再也没有别的学科比它用得更广泛了。支配能量及由能到功、由能到热的转换关系，是科学中最根本的关系。这些关系被三个简明的基本定律——热力学定律出色地表达了出来。这三个“定律”实际上是科学公理，在十九世纪和二十世纪，通过广泛的观察和实验而缓慢地公式化了。它们既不是从某个基本理论推导出来的，也不是上帝显灵，一挥而就写出来的，它们的精确性与有效性为许多问题的应用所证实、进而得到了普遍的承认。

热力学定律的数学公式能够严格地应用于各种问题，例如，热力学能求出燃料和化学反应有效能的总量，以及这些能量将如何随着温度和压力而变化。热力学定律能够测定发动机和发电机的最大有效功，也可测定一个太阳能发电系统可能产生的最大发电量。假如在一个生物学系统中有可能发生几个化学反应，那么热力学便能够预测出其中最可能发生的反应。这三个定律甚至还能证明，一切永动机都是不可能制造成功的。使得热力学臻于完善的是，这些定律既能用文字简明而合乎逻辑地表达出来，又能用数学的形式来表示，以便于科学与工程上的应用。数学公式我们将不予讨论，但却准备对三个定律的含义的直观的感觉作进一步探讨。

为此我们必须引入系统和环境的概念。系统是整体（环境）的一部分，由一条想象的边界把系统和其它部分隔开，这条边界要依所处理的问题而作适当选择。例如研究有关家庭采暖的热力学，人们可以选择一个单间作为系统，那么，环境便是包括房子的其余部分在内的整个世界；或者，人们也可以选择采暖设备作为系统，而把房子及其余世界作为环境。热力学研究流经边界的热流，研究系统内和环境中的能量变化以及所做的功。

热力学第一定律

第一定律是能量守恒律，它可以这么说：

在所有化学的和物理的变化中，能量既不能创造，也不能消灭，只能从一种形式转变成另一种形式。

或者说：

不能“无中生有”。

第一定律建立起能量、热流和所做的功之间的相互关系。能量既不能创造，也不能消灭——只能从一种形式转变成另一种形式，如从势能转变成动能。假如系统取得或失去任何一种形式的能，那么它的环境必定会相应地失去或取得数量相等的某种形式的能。总能量，即二者之和，在任何过程中都是个常数。由第一定律可知：宇宙间的能量，自从宇宙形成以来并未发生变化；那时存在的能量和今天存在的能量，在数量上是相等的，不过从一种形式到另一种形式的能量转换，从宇宙形成以来却是极为广泛的。

第一定律是普遍的，它能应用于任何问题。作为一个例子，我们把停放着的汽车作为系统（图1.1）。一定量的燃料，燃烧燃料的足够量空气，以及世界的其余部分构成环境。燃料起初所具有的势能（化学能），随着它在发动机里的燃烧而释放出来，转化为两

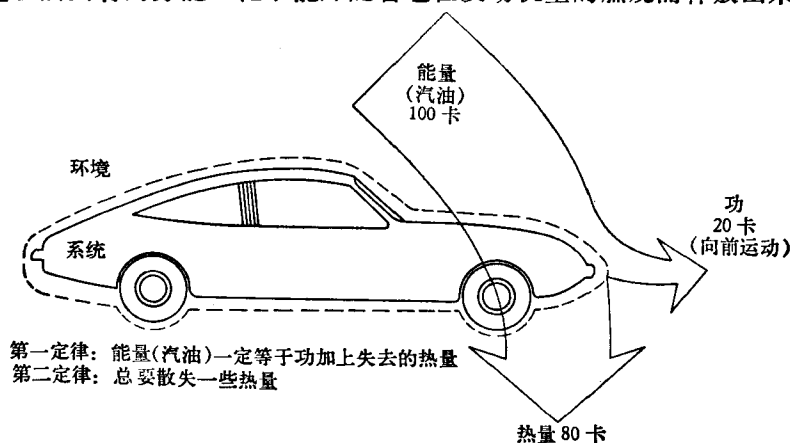


图 1.1 汽车的热力学。虚线为系统（汽车）和环境（世界的其余部分）之间的分界

种不同形式的能量，一部分用来做功（使汽车开动），而另一部分（实际上约为燃料能量的80%）则由热的发动机和热的废气以热的形式送回到环境中去。所做的功开动汽车并给它以动能。显而易见，汽车所得的动能不可能超过存在于燃料里的化学能；人们不应期望传给汽车的能量比燃料所提供的能量多，也就是说，不能“无中生有”。第一定律反映了这个观点，并进一步说明，从燃料中获得的有用能量与对汽车做的功及散失到环境中的热量总和恰好相等。

热力学第二定律

汽车可以说明热力学的另一个重要概念。在所发生的能量转换中，从汽车上散失的热量不可能方便地再用于“有用的”目的。它不可能容易地“再转换”成汽油或某种能够开动汽车的其它形式的能量。流入环境的热量是一种用处最小的能量。这是一种无可挽回的损失，是付给能量转换的一种“热税”。热力学第二定律和这种“热税”有关，它可以这么说：

不可能造出这样的循环运转装置（象发动机），它只是把热完全转变为功，而不会完成任何别的事情。

或者说：
不能得失相当。

第二定律告诉我们，能量的转换是单向的；有用的能量有可能百分之百地转换成热，可是反过来，把热转换成功，其转换率总是小于百分之百（图1.2）。就汽车而言，即便真能运用某种方法来利用损耗掉的八十卡热量（图1.1），譬如说，用来开动一辆摩托车，第二定律也保证绝对不能传给摩托车八十卡的动能。热永远不能完全转换成为功。

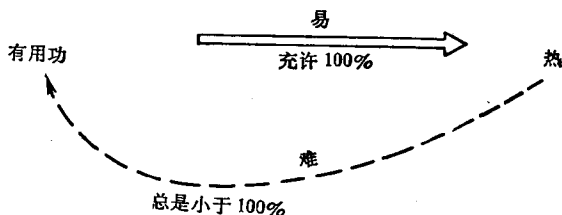


图 1.2 第二定律不允许热全部转换为功

热力学过程的效率定义为：

$$\text{效率}(\%) = \frac{\text{有用能量或输出功}}{\text{总的能量或输入功}} \times 100 \quad (1.2)$$

效率说明有多大百分比的有用能量转变成为功了。第二定律的数学形式给出了任何过程或任何机器所能期望达到的最高效率。以汽车为例，第二定律保证来自燃料的热不能全部转变为功（开动汽车的能量）；来自燃料的一部分能量一定会以热的形式返回到环境中去。当第二定律应用于发电厂时，则表明电厂把燃料的能量转变成电能的最大效率是百分之四十七，就是说，最多是燃料能量的47%作为有用的电力出现；余剩的53%则以热的形式散失到环境中去了。根据第二定律，其效率有可能低于47%，事实上，实践中的效率为33%上下。第二定律只是给效率规定了一个上限。

第二定律还有另一些重要含义，为研究它们，需要一些关于自发过程和熵的知识。自发过程是一种不要输入能量而自然发生的过程；而非自发过程，则是只有输入外界能量，通常为人造的外界能量，才能迫使发生的过程。自发过程很多：一只球不要外界帮助，自发地从倾斜的斜面滚下来或掉到地球表面；气体自发地从氢气球里边（压力较高）漏到大气（压力较低）中去；一打开瓶口，香味自发地扩散到房间的每一个角落。这些过程中的每一个过程反转过来便都是非自发过程，要完成这个逆过程，应当付出能量——不得不施加力量来迫使倒转。

与自发过程密切相关的是无序或者随机性。热力学用熵这个术语来测量无序的程度。无序或者随机性的程度越高，熵值就越大。不定期的观察结果表明，自然过程倾向于更为无序或增大熵值，例如，一滴染料滴进水里，就倾向于扩散至整个容器，与开始时的纯染料加纯水的条件相比，它生成一种处于高度无序状态的混合物。液体倾向于蒸发，通过与空气中其它化合物的混合而进入到一种更为无序的状态。气体从轮胎里漏到更为无序的大气里，是因为低压意味着气体微粒间的平均距离要远些。

仔细分析表明，人们只有以增加其环境中的无序程度为代价，才能把一个系统中走向无序状态的自然倾向逆转过来（就是说，人们能够建立有序状态）。例如，我们把一个活的生物体作为系统。这样一个系统是高度有序的：分子被排列成高度特化的器官细胞，而细胞又排列成细胞膜和器官。然而，对于活的生物体来说，自然倾向是趋于腐

烂，趋于更加无序。要保持细胞里的有序状态，只有让营养物质（能量）从环境源源不断地流进该系统才行。而按照第二定律，这些营养物质的生产，如谷物生产，又只有在增加环境无序程度的情况下才能进行。及有营养物质的流动，活的生物体自发地死亡，无序变得非常明显：有序的细胞腐烂并分解。

热力学对环境意义

第一定律和第二定律对环境有着广泛的意义。如前所述，第一定律表明在宇宙形成之日存在的能量，与今天存在的能量在数量上是相等的。然而许许多多的能量转换已经存在了亿万年，这些转换造成了一种无情的能量变化，即从较为有用的势能，如燃料的势能，转换成用处较小的热的形式。第二定律确定，我们永远不能从热再获得燃料的全部势能。因此，我们所面对的任何能源“危机”，并不是缺少能量，因为能量永远不可能被消灭，只不过是短缺有用形式的能量罢了。（当然，从某种意义上说，这只不过是个语义学问题。应当知道，曾经从几百万桶汽油中获得的能量，虽然仍以热的形式存在于环境之中，但这并不改变下列事实，即这些汽油则是一去不复返了。）

第二定律的一个含义是，无论什么时候我们试图让自然界的一部分有序，在我们的环境（周围环境）中所产生的无序，就得超越系统里的有序。人类生活，尤其是工业化了的人类生活，本质上是以努力加强自然界的有序为其特点的。人类把无序的营养物变成谷物，来喂养数目不断增加的后代，他们的躯体是高度有序的。他们把（无序的）矿石变成（有序的）钢铁，他们使无序的石油产品变得有序，变成其它能量形式，以及高度有序的商品，如塑料、油漆和合成纤维等。环境危机可以认为是一种熵危机。我们要致力于使地球更加有序并征服地球，必然得在环境问题上下越来越大的功夫。例如，用煤发电给房屋采暖时，就从煤矿开采，从污染物排放到空气中去，从电力生产过程中热的不可逆转的损失，都增加了无序程度。

因为每一个生物体的活动都能影响到环境的无序程度，所以第二定律还意味着，不论我们喜欢与否，所有的生物体都是相互关联着的。

第三定律；第四定律？

第三定律提供熵的定量测定。对于热力学的逻辑应用具有决定性意义。我们将不专门运用第三定律。

值得注意的是，这三个定律的明显威力和广泛应用，伴随着几十年悉心观察的经验，已经把科学家（以及无数个上实验课的大学生）引导到探究需要另一条定律，即第四定律的可能性上去了。人们要据以完善地解释自然，尤其是解释自然界有点儿反常的性质。尽管从未被正式接受，第四定律——有时叫作墨菲（Murphy）定律——在科学界已广为了了解并被不甚严密地说成“假如任何事物可能出毛病，那么它必将出毛病。”它在环境问题上的应用将日趋明显。

生态系统和循环

太阳是维持生命的能源。它是涉及氢的一种巨大的核反应（聚变——见第四章）。大

约每秒钟释放 1×10^{26} 卡的热量，其中约 1×10^{17} 卡的热量到达我们的大气层。(科学记数中， 1×10^{26} 用来说明数字1后面跟着二十六個零的数目，80,000便是 8×10^4 ，200是 2×10^2 等等)。这个数量的约2%通过植物的光合作用来维持生命，其余能量或被反射出去，或被大气、陆地和海洋所吸收。所有生命都在生物圈——或叫生态圈——里生活。生物圈是由空气、水和土构成的一个约为九英里厚的薄层。大气层占去了其中的七英里，土或地壳仅向下伸展几千英尺。这条异常薄的错综复杂的生物层，含有所有的化学物质，并产生生命的全部营养物。

生态系统是任何互相作用的生物群和它们的环境。生态系统的分界是任意的，因此，一滴湖水，这个湖，或者这个湖所在的地区，都可以算作生态系统。然而，围绕一个生态系统的分界只是概念性的分界，因为宇宙间所有的生态系统都能够（并且确实是）相互作用的。

延续生命，要求持续不断的原子再循环，以及生物圈里边能量的不停流动，因此，这个生物薄层里的一切东西，都是相互联系又相互依赖的。循环保证自然界将不会面临自然资源枯竭，还进而提供一种自然净化过程。空气帮着净化水；水被植物和动物所利用；而植物则帮助空气更新。重要化学物质如碳，氮，氧和水，在生物圈里作周期性的再循环。这种循环因为包括活的生物体，地质建造，以及化学过程，故被恰当地称作生物地球化学循环。这些循环极端复杂，只是部分地为人们所知。由于我们的生活依赖于这些循环，所以我们将较为仔细地考虑这些循环中的一个，即氮的循环。

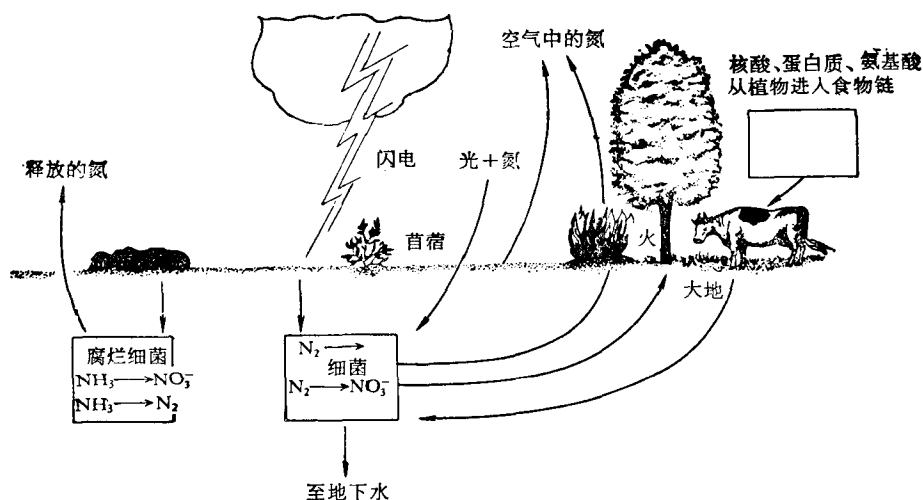
氮 循 环

氮是蛋白质，核酸，酶，维生素和荷尔蒙（激素）中的重要成分。以气体(N_2)形式存在的氮占大气的79%（体积）。这种气态氮是比较稳定的，因而要使之对活的生物体有用，必须从普通的大气氮，转变成其它的形式。这种转变是由氮循环来完成的。通常意味着和氢或氧化合的这种过程叫作固定。不过活的生物体内的大部分氮并不是直接从大气摄入体内的，而是土壤和水中的某些细菌能够把 N_2 转变成无机形式的硝酸根(NO_3^-)，再由植物利用硝酸根，通过光合作用而把它转变成核酸和蛋白质。

氮产物进入食物链是从吃植物的食草动物开始的。食肉动物吃食草动物。死后，动植物体内的氮，均由细菌转变成氨(NH_3)，另一种细菌又把氨转变成亚硝酸根(NO_2^-)或氮气(N_2)。细菌的进一步作用可以将亚硝酸根转变成硝酸根，而硝酸根又再次为植物所利用（图1.3）。这种循环与水环境中的一种类似的循环同时并存；这两种循环在包括把硝酸盐和亚硝酸盐从土壤中冲刷到水里的许多方面都是相互联系的。

这种氮循环已平衡地存在成千上万年了，而且人们能够有某种把握地说，由自然固定过程从大气中除去氮的量，与生物体把含氮化合物转变成气态氮返回到大气中去的量，是严格平衡的。本世纪内人类经已生产出硝酸盐，并且把它施加到土壤中去以提高产量。这些商业肥料提供一种不同于细菌产生的硝酸根来源。因为增加了商业肥料的吨数，现在人类有可能干扰这个自然循环过程。

我们对生物地球化学循环的知识是不完全的，因而不能精确地预言人类影响的结果。就氮而言，我们对循环的更改，起因于上世纪过度的耕作。这种耕作方法已经造成硝酸盐从土壤到附近水系的流失。通过广泛种植豆科植物和广泛使用商业化肥，已经对



此作了补偿。光合作用需要硝酸盐，把化肥直接施加到土壤中去（“工业固定”）会加速植物的生长。一九四五年以来，化肥的使用量增长了十四倍，而且不断地广泛使用化肥，可能还会带来长远的影响。

商用硝酸盐并不需要对植物有用的细菌作用，它的广泛使用显然会减弱土壤里细菌固氮的能力，这常常会使下一季作物要求施加更大量的化肥。种植豆科植物和在农业上使用化肥，已经使得进入土壤的氮的总量超过（约为10%）农业出现之前的生态输入量。这一点可能意味着现在土壤（和水）中的氮输入速度会超过它返回到大气中去的速度。由此，大气和水土系统之间在现代农业之前已经存在的氮平衡，可能正经历着变化。如在下一章将要讨论的，这有可能在水中产生一种日益增长的氮富集，而这种氮富集又会增强水体的富营养化，或加速水体的老化。

生物地球化学循环以及人类对它们的影响，在后续章节中将具有极大的重要性。我们称为污染物的许多（虽不是全部）化学物质出现在自然界，并且进入提供空气和水的净化系统的生物地球化学循环。不幸的是，人类又倾向于在一个局部地区，例如城市里，把化学物质的浓度增高到使自然净化系统超过负载的地步；当这种情况发生时，这些特别的化学物质便被叫作“污染物”了。人们还生产自然界没有的化学物质，如滴滴涕（DDT），因为这些物质不象氮那样易于受到进入循环所必需的细菌作用或化学作用，所以对环境的污染是持久性的。

环境净化的实际限制

因为在后续章节里将考虑污染控制计划，所以提出下列问题将变得很有关系，即对于人为的排放物，我们应当期望达到什么样的净化程度。有许多理由说明，要使人类的活动达到零污染排放，也就是无污染物放到环境中去，是不现实的。正如本章开始时所讨论的，自然界本身就产生许多种我们认为是污染物的化学物质，因而硬要把人为的排放物降到大大低于这个自然水平，显得并没有什么必要。进一步说，即便非达到彻底净化