

第 I 部分

工业和环境问题简介

第 1 章 技术和环境

1.1 引言

现代技术给人类带来的成果远远超过以前最富有的国王拥有的财富——舒适的生活用品、旅行、通信以及丰富的菜谱。然而，正如最近二三十年表明的，技术也带来了一大堆环境问题。人们关注的目光从最初以地方问题（例如煤烟）为主扩展到地区问题（例如酸雨），并在最近扩展到全球问题（例如同温层的臭氧损耗）。1986 年，在南极洲发现了臭氧层空洞（图 1.1），之后人们确认其罪魁祸首是氟氯烃（CFCs）。几十年来，这些化合物被用作推进剂、制冷剂 and 洗涤剂，尽管它们的本质尚未搞清，但却很容易用工业技术合成。于是，技术在地球大气环境退化中起了直接作用。这个例子和其他事件清楚地表明，从长远看，不加约束的、无视环境的技术是地球没有前途的伙伴。

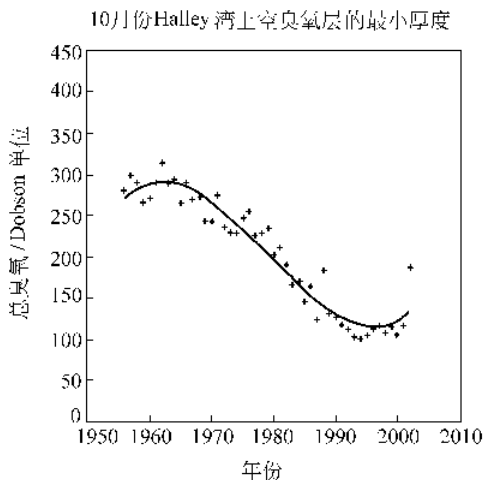


图 1.1 南极洲 Halley 湾上空臭氧层在 1957—1993 年 10 月的厚度（在 1 大气压（1atm=101.325kPa）和 0℃ 条件下，1mm 厚的臭氧气体对应 100 Dobson 单位——译注）

（引自：http://www.antarctica.ac.uk/met/jds/ozone/split/split_files/frame.htm, 2004 年 5 月 18 日）

如果这些例子表明应当减少工业活动，则全球发展趋势的要求正好相反。人类是所有工业活动的发起者，人口将在下一个 50 年继续增长 50%。无论个体行为还是整体社会行为，都将导致资源的消耗量不断上升，这完全可以称得上是一个物质主义的趋势。然而，从更深层次来讲，必须承认，如同食物供养了我们的身体，是资源供养了我们的技术社会。我们可以优化对材料、水和能源的利用，然而，如果希望保全工业活动提供的好处，那么资源的消耗是不可避免的。

社会定义需求工业来努力满足，这是工业与社会之间的默契交易。这些需求成为启动工业活动链(图 1.2)的驱动力，而工业活动链的终端经常会产生有害的环境影响。于是，我们面对某种技术-环境悖论：技术使我们过上越来越健康的、创造性的和高舒适度的生活，同时，技术活动对地球的命运构成了威胁。难道社会就不能在不恶化我们生活的世界的前提下取得它所希望的技术成就吗？为什么技术体系必须按它们现有的方式运行呢？这些就是本书致力解决的中心问题。

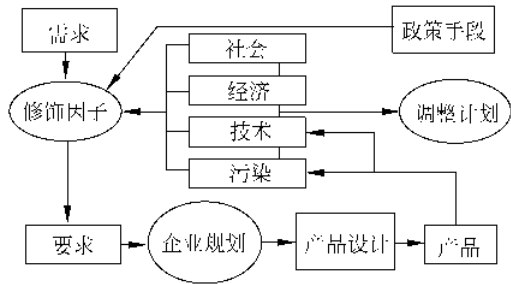


图 1.2 现代社会的需求与其可能导致的环境影响的关系

1.2 用能量换取资源

现代技术要求开采材料，并把它们转化成适当的产品。一般而言，材料的开采过程需要采用宏大的技术，例如利用深入海床的钻井平台钻取石油，或者利用深深打入山岩的矿井井筒挖掘金属矿石。开采出来之后，只有少数材料可以不经任何改进就能直接使用，例如用于铺设路基的石料。在大部分情况下，材料必须转化才能使用，如石油变成塑料，金属矿石变成铜管和锌铸件。

资源的开采和转化需要消耗能量，而且用量庞大。能量被用来挖掘矿井井筒，在岩石上钻孔，把挖出的矿石运到地面上，使之粉碎，冶炼成金属，并把得到的金属制成产品；能量也被用来抽取原油，精炼石油，分馏产物，并制成塑料部件。实际生产过程要利用能量打断材料原有的化学键，并生成使材料变成有用产品的新化学键。

所有技术基本上都用到一种交换,即为得到现代工业产品所需的材料,人们必须投入能量以获取资源,并利用能量将这些资源转化成合适的形态。如果想得到材料,则必须付出能量代价。

1.3 污染潜力

生产过程,尤其是涉及打断化学键并按想要的方式重新组合的生产过程,很少是环境友好的。这些生产过程经常要用到强酸、强碱或其他活泼的化学品。另外,要想使用这些化学品,就得先制造、运输和储藏,而且需要适当处理使用之后的残余物。执行大部分这些活动时人们都小心谨慎,很少或基本不产生直接的环境影响。然而,总存在出问题的可能性,也就是说,生产过程具有“污染潜力”。

具体工艺或工序的“污染潜力”主要取决于两个因素,即相关材料的危害潜力和这些材料的用量。考虑如图 1.3 所示的一般生产过程。材料从左方输入,右方输出。所有的生产过程都要消耗能量,而且任何生产过程都不可能彻底地利用输入这个过程的每一个分子,因此废热和废弃物的产生是不可避免的。由此产生的技术挑战是在追求目标产品的最高生产效率的同时,尽可能将废热和废弃物损失最小化。

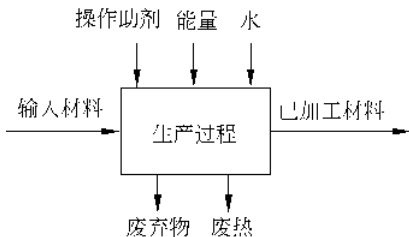


图 1.3 一般生产过程的流程图

另一个难题是,如果想提供令人满意的资源,常常需要净化或清洁步骤。在这些过程中,资源精制产生的任何不想要的物质都必须得到适当处理。在这一阶段,固体废弃物常常只占排放的无机或有机溶剂废液或废水的一小部分。捕集、处理和处置这些固体废弃物是有可能的,但经常需要付出高昂的资金和能量代价。

最后,必须认识到技术有意地制造了许多有问题的物质。例如,杀虫剂生产商有目的地制造了大量具有生物活性的化学品。同样,制药企业也有目的地生产了大量化学疗法药物。这些产品在生产与使用过程中产生的危害已得到广泛的认识,并且其中大部分危害也得到了良好的控制。不过,产生环境问题的可能性总是存在的。

1.4 工业食物链

根据工业部门来构筑技术与环境问题经常是有帮助的。部门是经济的特征组成部分,其成员有下列共性:

- 相似的操作、工艺或业务

6 绿色工厂：观点、方法与工具

- 相似的环境挑战和潜在影响
- 相似的法规遵守要点

农业或电子工业属于广义的部门,而粮食产业或计算机制造业属于狭义的部门。本书采用广义的部门定义,并对表 1.1 所示的部门逐一进行讨论。

表 1.1 本书讨论的工业部门

• 化石燃料开采和加工业	• 塑料制品工业
• 发电工业	• 电子器件工业
• 金属矿开采和加工业	• 有机化学制品工业
• 无机矿物和化学制品工业	• 产品组装工业
• 石化工业	• 林产品和印刷业
• 农业	• 包装和运输业
• 食品加工业	• 工业、住宅和基础设施建筑业
• 纺织和皮革工业	• 再制造和再生工业
• 采砂和玻璃工业	• 先进材料制造业
• 金属制品工业	

部门经常被作为独立实体对待,尤其是从经济角度考虑时。然而,实际上它们是高度关联的,一个部门的产品可以作为其他一个或几个部门的输入材料。结果形成了一种关系链,容易令人联想到生态系统中的食物链。图 1.4 显示了不同部门及其主要关系,为了清楚起见,其中省略了许多次要的相互作用。

由于形成了工业食物链的结构,如果一个部门的资源使用情况发生变化,会影响许多其他部门。例如,塑料的广泛应用导致了石油开采和石油化工产业的物质流增长,并导致金属矿开采、熔炼、精炼及其加工业的物质流减少。

一般而言,在图 1.4 中从左至右,单位产品的能耗和废弃物排放量越来越少。这些趋势在很大程度上与上游部门必须处理的不纯材料的庞大数量有关,也与其要求的大量物理与化学转化操作有关。下游部门虽然可能需要执行更复杂的操作,但操作通常从形态上更接近最终产品的材料开始。这不是强调不同部门所用技术的复杂程度不同;到处都有低技术含量的企业,但在现代工业世界中,不存在低技术含量的部门。

图 1.4 要表达的中心意思是工业就像一个系统运行,而不是由众多不受约束的独立实体组成。因此,如果你想购买一台计算机,就意味着给几乎每一个工业部门签发了生产订单。如果希望工业在环境方面表现出众,就必须优化整个系统,而不是它的某些部分。

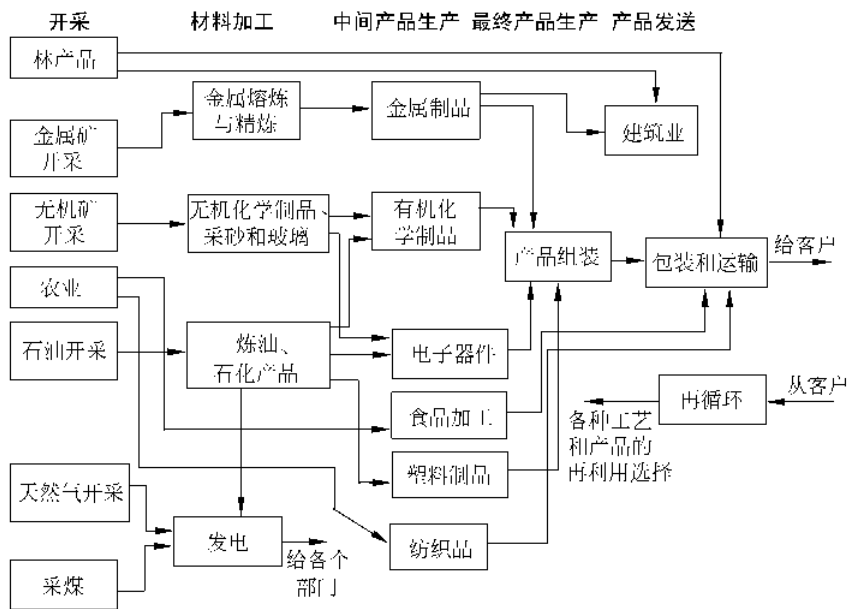


图 1.4 本书阐述的各工业部门及其相互关系

其中，电力作为发电部门的产品，被所有其他部门或多或少地使用。

1.5 前景预测

1.5.1 重要趋势

部门及其环境表现不是固定不变的，在内部和外部刺激的作用下，它们用到的技术、生产线、企业之间的关系、企业与顾客之间的关系及其与环境的相互作用会不断变化。对于本书讨论的每一个部门，我们努力将它们的产品和生产过程恰当地或尽可能地联系起来理解和描述。只要合适，我们也评价可能影响技术-环境关系的管理趋势和社会趋势。

1.5.2 展望未来

当然，预测未来时不可能精确地描述每一个细节。不过，像描述确实即将发生的事情那样来描述可能的未来，并评价其环境影响，这样做具有重要的意义。在本书中，为了评价和讨论各工业部门的可能未来，我们描述并定义了 3 种前景。我们设定的时间标度是二三十年——这个未来距离今天的实践有一定跨度，但还不至于远到与今天的工业未来主义信徒的观点毫不相关。我们选择的这些前景代表了广泛的可能性，如下所示：

8 绿色工厂：观点、方法与工具

1. 趋势世界

这个前景假设未来将会遵循现有的实践，即“照常营业”。可以根据今天的趋势外推来充分预测它的特征。经济增长和消费者的需求会驱动工业化国家的商品与服务消费增长。工业会继续改善它的环境表现，以响应政府的管理压力和(或)社会压力。同时，经济和技术的可行性将成为影响工业的环境表现的重要决定因素，而能够促进环境友好行为的强烈刺激不会自动就位。在发展中国家，工业部门的环境表现将继续呈现较低水准，或者受到技术和经济因素的限制。一些发展中国家的经济能够吸引并支持工业应用最先进的生产工艺和相应的环境控制技术，而大多数发展中国家仍会是“肮脏”工业的避风港。

2. 绿色世界

这个前景假设未来会保持友好的环境表现和可持续发展，并以此塑造与约束企业行为。环境影响会成为设计、制造和使用产品的一个关键因素。技术创新、政府激励和消费需求都将支持采用更清洁的生产方法，减少不可更新资源的消耗，并增加再利用和再循环的比例。发达国家会帮助发展中国家的工业采用尖端的生产技术，从而使环境影响最小化。

3. 灰色世界

这个前景假设未来的经济发展将不受环境的影响或可持续性的约束。政府行动和社会压力不会限制不可更新资源的使用，也不会要求工业执行有效的环境表现标准。工业工厂在设计产品和实施生产工艺时，无视环境影响，以获取最大的短期经济利益为目标。消费者在购买产品时，会把费用和便利性的重要性置于环境后果之上。发展中国家的工业活动不会去追求实施当今发达国家的环保标准。资源的开采与消费只受经济因素支配，而不考虑环境影响。

在做绿色世界和灰色世界前景预测时，我们没有设定有关经济增长或技术发展的特定条件。在每一种前景中，经济增长既可以是强劲的，也可以不是。在特定经济背景下，差别更多地取决于技术的选择，而不取决于经济增长的绝对值。对于决定“哪一种前景可能发生”，技术应用方式(更接近环境末端或始端)的选择比与技术变化的快慢更为重要。当然，在发达国家与发展中国家之间，技术发展与经济增长的结果以及收益分配的公正性可能有很大的差别。

我们不是暗示这些前景是预言。然而，它们使得我们能够设想不同的未来世界，其中各种工业的环境表现会遵循完全不同的轨迹。如果在做这些前景预测时，发现它们的环境后果的区别并不那么明显，则表示我们在技术发展上拥有广泛的灵活性。如果环境后果有明显差别，则即使技术发展不会导致显著的环境危害，也应当引起重视，需要精心规划。

这些前景展示了如何根据今天的表现展望未来的方法。作为社会整体，我们无疑需要在环境表现上做得比今天的工业世界更好。展望未来是非常重要的，观察今天的技术可以指示未来的工业-环境相互作用。优化和最小化这些相互作用是维护地球可持续性的一个关键因素，这也是本书的主题。

1.6 本书结构

本书的安排如图 1.5 所示。第 1,2 章介绍技术和环境的相互作用,并探讨了影响技术-环境评估的关键因素。第 3~7 章详细展示了有助于改善工业企业的环境表现的 4 种方法,其中第 3 章描述并比较了两种管理办法,第 4~5 章介绍了相关的基本原则和工具,即污染防治和生命周期评价,不满足于遵守法规的工业企业进一步运用它们。第 6~7 章详述了对工业部门进行可持续性评价的工具,分析内容包含对能源和水的利用、材料的输入输出和危害性等。第 8~26 章,每章针对一个主要工业部门,描述它的典型操作和主要环境影响,开展可持续性评价,并确定可能的发展趋势。最后,以横向分析的两章作为结尾。第 27 章评价了多个部门的发展趋势,并预测了 21 世纪的工业部门排序。第 28 章强调了执行问题——组织、个人和组织联盟如何改善企业的环境表现。附录提供了如何开展评价的指导方针,并列举了从不同层次评价工业企业的环境表现的案例。

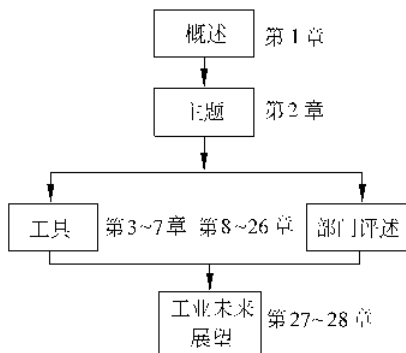


图 1.5 本书的章节构架

序言中提到,本书可作为研究生的教材,不过其他读者也会发现本书的用处。工业领域的工程师、管理人员或环保专家会对讨论他们所属的工业部门或其上下游工业活动的章节产生浓厚的兴趣。同样,政府决策者和研究绿色工业结构的学生可以学习不同部门面临的特定机遇与威胁。在描述具体工业部门的生产工序时,采用了浅显易懂的语言,以便于没有相关技术背景的读者理解。我们推荐一种适于所有读者的方法,即先阅读头两章以了解本书所采用的总的方法,并从第 3~5 章选择自己感兴趣的主题,然后阅读第 6~7 章以了解随后章节将用到的可持续性评价工具。读者可从第 8~26 章中选择自己最感兴趣的描写部门的章节,然后阅读最后两章得出结论。

深入阅读材料

- [1] Hammond, A., *Which World? Scenarios for the 21st Century*, Washington, DC: Island Press, 1998.
- [2] Hardy, C., and T. E. Graedel, Industrial ecosystems as food webs, *Journal of Industrial Ecology*, 6, in press, 2002.
- [3] Huesemann, M. H., Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology? An analysis of critical limitations, *Ecological Economics*, 37, 271-287, 2001.

第2章 绿色工业企业的要点和方法

从采煤业到电子工业,从林业到汽车制造业,不同工业活动之间差别极大。与这些部门存在的巨大差别相反,它们在环境特性和环境问题上有许多相似之处,尤其是就定性而言。本章讨论后面章节将会一再出现的共同主题。

2.1 能源的利用技术

能量消费不仅发生在工业活动中,也发生在公共和(尤其是)私人交通以及居住和商业用途中。如图 2.1 所示,在美国,建筑业、交通运输业和工业的能量消费三分天下。随着人们对更高生活品质的追求,能量消费也在明显提高。

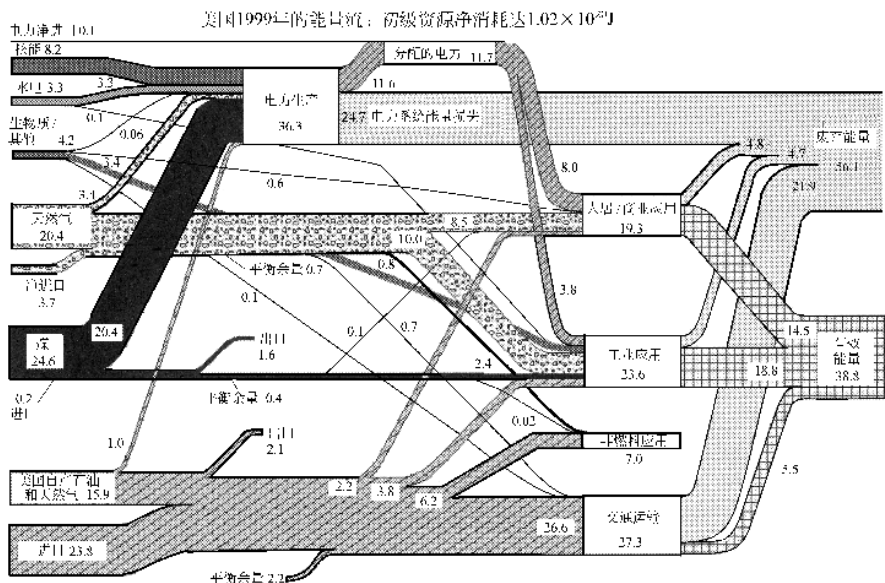


图 2.1 美国 1999 年的能源构成与使用情况(单位: 10^{18}J)
(引自: <http://www-energy.llnl.gov/99Flow.html>, 2001 年 8 月 7 日)