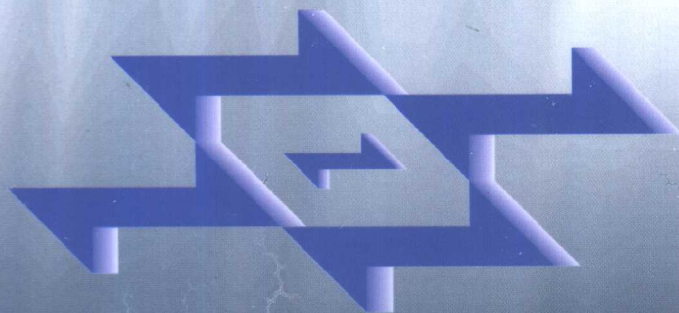


生命周期评价

邓南圣 王小兵 主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

生命周期评价

邓南圣 王小兵 主编

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生命周期评价/邓南圣,王小兵主编. —北京:化学
工业出版社, 2003.6
ISBN 7-5025-4538-7

I. 生… II. ①邓… ②王… III. 工业产品-环境
影响-评价 IV. X820.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 042039 号

生命周期评价

邓南圣 王小兵 主编

责任编辑:侯玉周

文字编辑:徐延荣 李 瑾

责任校对:洪雅妹

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话:(010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京管庄永胜印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11½ 字数 309 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4538-7/X·304

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

林林总总、五光十色的产品满足了人们的各种需求，丰富了人类的生活，提高了人们的生活质量，这是事物好的一面；产品产生的一系列环境污染问题则是其不好的一面。人们早就认识到许多环境问题和生态破坏问题的产生与产品有着紧密的联系，但是，过去人们关注的是如何控制产品生产企业排放的各种污染物，由此产生了早期环境管理的模式——面向污染源的末端控制模式，它在早期的环境保护中起了积极的作用。但随着环境保护的日益深入，这种环境管理模式的局限性也日渐突出，于是便有了20世纪80年代提出并推行的污染预防模式——清洁生产，这是一种面向产品生产过程的环管理方式，标志着人类从重视末端治理的传统观念向重视预防污染的新观念转变。但由于清洁生产关注的只是产品的生产过程，没有考虑与产品相关的其他环节，如产品原材料的获取、产品的使用、废弃产品的最后处理等对环境的影响。这样的环境管理模式，也不能完全满足经济、资源、环境可持续发展的要求。

生命周期评价则是近年来提出的面向产品的环境管理方式，它关注的是从产品原材料的获取和处理、产品的加工与生产、产品的分配与运输、产品的使用与维修、到产品材料的再循环及废弃产品的最终处置等整个生命周期过程对环境产生的影响，从而找出减少或消除这些影响的措施与方法。这是一种全新的、适应可持续发展战略要求的环境管理模式。

生命周期评价诞生仅仅十多年，但其理论和应用研究已经取得了长足的进展。为使研究生对这一领域的研究动态与进展有所了解，编者在相关课程中给博士和硕士研究生讲授了生命周期评价。在教学过程中，深感国内极为缺乏深入、系统介绍生命周期评价的书籍和相关资料，这促使我们通过各种渠道收集国内外的研究信

息，不断筛选、归纳、整理，逐步形成了本书的基本框架。

本书分为九章，主要内容按照生命周期评价的理论和实践两部分展开。理论部分由第二、第三、第四、第五、第六章构成，分别介绍了生命周期评价的发展、原则、框架、生命周期清单分析、生命周期影响评价和改善评价；实践部分由第七、第八、第九章组成，分别介绍了生命周期评价的一些具体实例、生命周期评价所使用的信息系统和生命周期设计的内容。

本书是集体智慧的结晶。第一章由邓南圣和章玲编写，第二、第五章由王小兵编写，第三章由张万顺编写，第四章由彭善枝和涂建峰编写，第六章由洪松编写，第七章由张亚平编写，第八章由邢廷延编写，第九章由王宗平编写，全书由邓南圣统稿。

由于编者水平有限，实践不足，成稿时间仓促，书中难免存在错误与疏漏，希望读者予以指正。

编者

2003年3月于武汉大学

内 容 提 要

生命周期评价是近年来面向产品的新的环境管理工具和预防性的环境保护手段。其应用已经覆盖了整个工业社会，涉及到工业产品及生产工艺的设计、环境政策制定、废弃物管理等各方面，成为许多国家制定工业发展战略的首选工具。

本书按照生命周期评价的理论和实践两部分展开，分别介绍了生命周期评价的发展、原则、框架，生命周期清单分析，生命周期影响评价和改善评价，生命周期评价的一些具体实例、生命周期评价所使用的信息系统和生命周期设计的内容。全书内容翔实、丰富，主题清晰，信息资料新颖，理论与实践并重，是一本有重要参考价值的环境类专业用书。

本书可供环境科学、环境工程及其他相关专业的研究人员和工程技术人员参考。也适宜作为大专院校环境类专业的教学参考用书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工业生产与环境问题	2
一、环境问题的概念	2
二、工业系统	2
三、工业发展与环境问题	3
四、中国工业化过程中带来的主要环境问题及其危害	5
第二节 工业污染控制模式的转变	9
一、不顾环境的传统工业发展模式	9
二、在法律、法规允许的范围内,进行“污染末端控制” 的发展模式	9
三、以生命周期思想和循环经济理论为指导的“污染预防” 的发展模式	11
第三节 生命周期评价与绿色产品制造	13
一、生命周期评价概念的提出	13
二、可持续生产的概念	15
三、生命周期评价在实现企业产品绿化过程中的作用	16
参考文献	21
第二章 生命周期评价发展及概念	23
第一节 生命周期评价的起源和发展	23
一、生命周期评价的起源	23
二、生命周期评价的发展	27
第二节 生命周期评价的概念和特点	29
一、生命周期评价的定义	30
二、生命周期评价的主要特点	31
第三节 生命周期评价的意义	34
第四节 生命周期评价的局限性	37
一、LCA在范围上的局限性	38

二、LCA 分析方法上的局限性	38
三、LCA 分析数据的局限性	39
参考文献	41
第三章 生命周期评价的基本原则与总体框架	43
第一节 生命周期评价的基本原则	43
第二节 生命周期评价的总体框架	43
一、研究目的与范围的确定	44
二、清单分析	51
三、生命周期影响评价	61
四、生命周期解释	63
第三节 生命周期报告的编制	66
一、生命周期报告的内容	66
二、生命周期评价报告的评审	68
参考文献	68
第四章 生命周期清单分析	69
第一节 清单分析的内容和目的	70
一、生命周期清单分析的基本内容	70
二、清单分析的基本过程	72
三、清单分析的目的和应用	72
第二节 LCI 的数据收集和确认	74
一、数据收集的准备	74
二、数据的收集	81
三、数据的确认	88
第三节 生命周期清单分析的其他步骤	99
一、数据与单元过程的关联以及数据与功能单位的关联和数据的合并	99
二、系统边界的修改	102
第四节 物流、能流和排放的分配	102
一、分配原则	103
二、分配程序	104
第五节 LCI 结果的解释	109
一、敏感性分析	109
二、不确定分析	114

三、不确定分析结果	118
第六节 研究报告	119
参考文献	121
第五章 生命周期影响评价	122
第一节 生命周期影响评价的框架	123
一、分类	124
二、特征化	129
三、量化	133
第二节 计算模型	134
第三节 权重	145
第四节 影响评估的限制	147
参考文献	148
第六章 生命周期解释	150
一、生命周期解释概述	150
二、重大问题的识别	150
三、评估	154
四、结论和建议	156
第七章 生命周期评价的应用	157
第一节 生命周期评价的应用概述	157
一、LCA 在工业企业部门中的应用	157
二、LCA 在政府管理部门中的应用	163
第二节 生命周期评价在产品中的应用实例研究	167
一、电脑显示器的生命周期评价	167
二、汽车催化转化器的生命周期评价	184
三、碎石机的生命周期评价	195
四、芬兰金属工业部门生命周期评价项目	201
五、掺粉煤灰混凝土的生命周期评价	213
六、汽车连杆的生命周期评价	222
第三节 生命周期评价在环境标志中的应用	235
一、环境标志概述	235
二、生命周期评价在环境标志中的应用	238
第四节 生命周期评价在工艺选择、设计、最优化中的应用	257
一、生命周期评价在产品工艺选择中的应用	257

二、LCA 在最优化中的应用	261
三、LCA 在工艺设计中的应用	264
第五节 生命周期评价在我国的应用	265
一、绿色照明产品的生命周期评价	266
二、酸盐水泥的生命周期评价	267
三、广汉市生活垃圾的生命周期评价	268
四、汽车代用燃料的生命周期评价	269
五、消毒柜的生命周期评价	270
参考文献	271
第八章 生命周期评价信息系统	274
第一节 生命周期评价信息系统的设计	274
一、总体设计	274
二、功能设计	279
三、数据库详细设计	279
四、应用模型分析	284
五、系统实现	285
第二节 生命周期评价信息系统软件介绍	285
一、系统概况	285
二、系统菜单介绍	289
三、系统主要功能及操作	292
参考文献	303
第九章 生命周期设计	304
第一节 生命周期设计基本思想	304
一、概念	304
二、产品生命周期框架	304
三、生命周期设计的目的	306
四、生命周期设计原则	306
第二节 生命周期设计方法	307
一、设计要求	307
二、设计策略	308
三、设计步骤	310
第三节 生命周期设计的实例研究	312
一、牛奶包装生命周期设计应用实例	312

二、机油过滤器的生命周期设计实例	327
三、AT&T 生命周期设计实例	339
四、结束语	354
参考文献	354

11A632110

第一章 绪 论

几个世纪以来，伴随着工业发展而来的人类生产力的巨大进步，使人类常常处于一种盲目的幻觉中，好像在地球上没有什么事是人做不到的，人类甚至可以彻底征服整个大自然。然而，随着人类对大自然征服过程的深化，人类也越来越深地被这种征服所带来的负面影响所困扰。资源的枯竭、植被的破坏、水土的流失、人口的激增、环境的恶化等引发了一系列的危机：人口危机、能源危机、沙漠化危机、水资源危机、臭氧层危机、环境污染危机、气候变异危机、动植物物种多样性危机以及由这些危机直接或间接导致的政治、社会、经济危机，已经深深地困扰着人类。在 20 世纪最后的几十年时间里，科学发展和人类进步中最具意义的表现是人类对生态环境问题的认识，人们开始认识到人类只是大自然中的一员，只有维持整个地球的生态平衡，与地球上的其他生物和谐共处，才能使人类安全、舒适地在地球上生存。反思人类过去所走过的发展道路，人们进一步深刻地认识到：原有的发展道路是不可持续的，必须改变社会经济的发展思路、走可持续的发展道路。这样的反思很快得到了人们的认同。于是，作为正式的行动，由世界环境与发展委员会主席布伦特兰夫人领导并参加的一个由全球最优秀的环境和发展专家组成的小组，用了 900 天时间到世界各地进行了广泛的考察，并在 1987 年的东京会议上发表了题为《我们共同的未来》的报告，首次明确提出了可持续发展的概念，将之界定为“既能满足当代人需求，又不损害后代人满足其需求能力的发展”。这项报告经第 42 届联大辩论获得通过。紧接着，1992 年在巴西首都里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上，可持续发展被列为大会的中心议题。会议通过的《里约热内卢宣言》和《21 世纪议程》将可持续发展思想转换成为一个付诸实践的全球性行为纲领。

第一节 工业生产与环境问题

一、环境问题的概念

环境问题有广义和狭义两种理解，广义的环境问题是指任何不利于人类生存和发展的环境结构和状态的变化；狭义的环境问题是指环境的结构和状态在人类社会经济活动作用下，所发生的不利于人类生存和发展的变化。环境科学中所说的环境问题一般是指狭义上的环境问题，这类环境问题常可分为两大类：一是环境污染，包括大气污染、水污染、噪声污染、土壤污染等，也包括由这些污染所衍生的环境效应，如温室效应、臭氧层破坏、酸雨等；另一类是生态破坏，指各种生物和非生物资源遭到人为破坏及由此所衍生的生态效应，如森林消失、物种灭绝、草场退化、耕地减少、水土流失等。随着人类工业化、城市化进程的进一步发展，人类所付出的环境代价也越来越沉重，二次工业化以来，人类社会发发展所付出的直接代价一是资源的消耗，二是环境的恶化。任何一个国家和地区，在推进工业化的过程中，都不可避免地给环境带来越来越大的压力。环境污染作为一个重要的社会问题使每个人都已感受到它的威胁，而人类社会所面临的更大的潜在的威胁是生存环境的恶化。

二、工业系统

所谓工业，除了制造业外，还包括采掘业、建筑业、运输业以及供电、供热、供水等公共事业。工业系统是一个完全的人工化系统，是对自然资源加工生产物质的所有企业、行业和部门的总和，是一个组分众多、纵横交错的复杂系统。在该系统中，最基本的人类活动是工业活动，包括了具有输入、输出的物质转变活动的全过程。在这个过程中，需要从环境中获取各种生产资源（原料），或从废弃物中获取再生生物，并将其转化为各种消费资料（各种产品或半成品），同时向环境中排放各种工业废弃物。其最基本的参数是资源利用率。所谓资源利用率是指将从环境中索取的资源 and 从废弃物中取得的再生生物转化为产品的比例，资源利用率高，表明在生产同等产品时，从环境中索取的资源少，而加载到环境中的加工废弃

物也少。工业系统的一般运作可用图 1.1 表示。

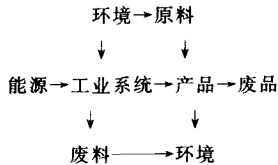


图 1.1 工业系统的运作

三、工业发展与环境问题

从图 1.1 可以看出工业系统的输入（原料和能源）是产生生态破坏和资源枯竭的主要原因，而系统的输出则是产生环境污染的原因。与这个系统相关联的很多环节，如原料生产过程、加工过程、燃烧过程、加热和冷却过程、成品整理过程等使用的生产设备或生产场所都可能成为污染源；各种工业生产过程排放的各种废水、废气、废渣、废热等会污染大气、水体和土壤，同时还会产生噪声、振动等危害周围的环境。此外，工业产品在用过之后的废弃物和生活垃圾也会对环境造成污染和破坏。因此，人类目前所面临的生态环境问题是与工业系统密切相关的。

自然环境是工业系统产生和发展的基础，但由于长期以来人们忽视了环境系统的存在，只是当环境问题日益严重、资源日益匮乏的时候，人们才开始意识到环境系统的存在，意识到工业生产必须与环境的自我调节能力相适应。正如大家所知，由于环境具有自我调节能力，才使人类社会产生的各种废弃物，有可能被自然界消化、分解、吸纳并重新恢复为自然资源。在工业革命前，人类生产和生活排放的污染物是有限的，在自然界物理、化学和生物的作用下，基本上都得到了自然净化，因此，人们享受着田园般的生活。但是，人类社会进入工业社会后，产业结构由以农业为主导的形态逐步转为以工业为主导的形态，为了实现工业化和使国民生产总值（GNP）快速增长，把人、财、物集聚于产值高的工业部门，在经济活动以追求最大利益为目标的刺激下，人类社会借助于科学技术对自然资源，尤其是以化石能源为主体的非生物资源进行了超度的

开发利用。因此，随着采矿业、加工业、建筑业、运输业等工业活动的出现，使物质在自然环境系统和人类社会经济系统之间的循环流动的效率、性质、规模等都发生了根本性的变化，大大超出了自然生态系统自我调节的“生态阈值”，导致自然生态平衡失调，引发了严重的环境问题，历史上有记载的重大环境污染事件中，工业污染占有相当大的比例。

采矿业是人类对自然环境系统影响最强烈的一种工业活动。矿产资源是地壳形成后，经过几千万年、几亿年甚至几十亿年的地质作用而产生的，如煤、石油、天然气等这些矿物能源，是有机物质在亿万年以前的生物地质历史过程中沉积而形成的，经过几百万年的压力和热的作用，使这些埋藏的有机物质变成现在的矿物燃料，在特定的条件和时期决定某种矿物的形成。而人们通过开采活动，将长期蓄积起来的这些矿物燃料在很短的时间内取出并转换为另外的形态，甚至可能是与环境不亲和的形态。另外如一些金属或非金属矿石，大都也是在地球地质历史中经过漫长的地球化学过程，产生的比较丰富的特殊元素或矿物在特定的地方沉积而形成。人类把他们开采出来进行利用，首先是将其转变成其他形式的化合物，然后根据需要进行再分配使用。在这些开采利用的过程中，给人类创造了巨大的物质财富，同时也导致了原有的自然生态环境结构或状态的巨大变化，环境质量下降，给周围环境造成了污染和破坏。

(1) 水体污染 主要由于采矿、选矿活动，使地表水或地下水呈酸性、含重金属和有毒元素。这种矿山污水会危及矿物周围河道、土壤甚至破坏整个水系，影响生活用水、工农业用水，给人类健康带来潜在的威胁。

(2) 大气污染 露天矿的开采以及矿井下的穿孔、爆破以及矿石、废石的装载、运输过程中都会产生粉尘及各种有害气体，造成区域环境的大气污染。

(3) 土地破坏和土壤污染 矿山开采，特别是露天开采会造成大面积的土地破坏或侵占。

(4) 引起岩石、顶板的块状运动 由矿物和石油开采而引起的

崩塌、陷落、地面沉降，由采矿和废石堆积引起的滑坡、泥石流、水位下降等地质灾害。

(5) 资源耗竭 矿产资源是有限的和不可再生的资源，随着开采利用的不断进行，其储量会不断减少，最终导致矿产资源的枯竭。

可见，人类的采矿活动对地球化学循环和地球生态系统的影响，远远超出了自然环境系统本身的循环平衡作用。

加工业是工业系统的重要组成部分，是将自然资源转变成人类所需产品的过程，这一过程既改变了物质的组成和形态，也影响了周围的自然环境。在工业生产过程中，作为原料的自然资源，一部分变成人类需要的产品；一部分则变为废物，聚集起来污染环境。在整个工业系统中，加工业是资源利用率最低的行业，而且在加工所得的产品中，大多数是自然界中原本并不存在的物质，这些物质最终往往由于不能被自然界消解而退出自然物质循环。可见，加工业是物质循环中将自然界物质变性的过程，其效率是低下的，这一过程不仅加大了对自然资源的消耗，而且使大量物质退出了地球物质循环。特别是目前的工业生产方式，对自然资源的索取强度，远远超出了环境产出自然资源的速率，因而严重破坏着人与环境系统的物质循环。

总之，自工业革命以来，虽然科学技术帮助人类扩大了资源开发利用的规模和强度，增加了资源的供给量或延缓着资源的耗竭，但是在依靠资源开发来产生高产量、高性能、高附加值发展策略的诱导下，科学技术的创新和发展不可避免地起着促进“大量索取、大量生产、大量消耗、大量废弃”的发展模式的作用，从而使全球范围内不可再生资源的存量日益减少，部分已近枯竭；可再生资源的再生能力衰减，部分已供不应求；环境恶化，加速了自然灾害出现的频率，减弱了环境的自我调节功能。这些变化，已经危及到人类的幸福生存与健康发展。

四、中国工业化过程中带来的主要环境问题及其危害

中国改革开放以来，工业化进程突飞猛进，企业的规模和数量

迅速扩大，给人们带来了高度的物质文明，使人民的生活得到巨大改善。但同时，在工业高速增长中，传统工业占有绝对优势，高技术产业所占比重较小，这种低技术、低效益、粗放经营的工业企业的发展方式必然是高物耗、高能耗、高污染的，不仅导致资源的利用率低、资源储备日趋减少、环境污染日益严重，而且弱化了企业的竞争力。

1. 资源利用率低，浪费大

中国是自然资源相对贫乏的国家。尽管从总量上看，资源是丰富的，但从人均资源上看却是不丰富的，无论是水资源、矿产资源、土地资源、还是森林、草原等资源均未达到世界人均水平，而且在空间分布上也不均衡，有些资源已成为制约中国经济发展的严重障碍。以水资源为例，据统计，在全国 663 个城市中，有 50 多个城市严重缺水。工业企业不仅用水量大，而且利用效率低、排放量大；中国工业万元产值用水量为 330m^3 ，是日本的 18 倍，美国的 22 倍；工业用水的重复利用率只有约 53%，远远低于发达国家工业用水 75% 的水平，仅相当于美国 20 世纪 60 年代初和日本 20 世纪 70 年代初的水平。

2. 环境污染严重

(1) 大气污染 工业企业是大气污染的一个重要来源，如：作为动力生产企业的火力发电厂，其排放的主要大气污染物是烟、飞尘、含有多环的碳氢化合物的微粒子物质及氮和硫的氧化物等；水泥、矿山、食品、冶炼、钢铁等工业排放的各种粉尘；石油、化工企业排放出的各种具有刺激性的有毒物质等。企业所排放的这些大气污染物，除了燃料燃烧是一个重要的污染来源外，在生产过程中，从原料进厂到成品出厂都可能排放出有害物质和气体污染大气。这些有害物质和气体的产生，取决于生产中的原料以及原料的利用方式和技术加工过程。由于企业的性质、规模、工艺过程、原料和产品的种类不同，因而对大气污染的程度也不同，其中以火力发电厂、钢铁厂、有色金属冶炼厂、石油化工厂、造纸厂、水泥厂等对大气污染最严重。