

主编
周仲凡

产品的 生命周期设计

指南

CHANPIN DE

SHENGMING ZHOUQI SHEJI

ZHINAN

中国环境科学出版社

产品的生命周期设计指南

周仲凡 主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

产品的生命周期设计指南 / 周仲凡主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.10

ISBN 7-80209-229-9

I. 产… II. 周… III. 工业产品—设计—指南

IV. TB472—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123932 号

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂印刷
经 销 各地新华书店
版 次 2006 年 1 月第一版
印 次 2006 年 1 月第一次印刷
印 数 1—2000
开 本 787×1093 1/16
印 张 22
字 数 500 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

生命周期设计用于产品环境要求的设计

——代序

从 20 世纪 50 年代以来, 由于世界形势朝着和平稳定的方向发展, 各国经济也得到迅速恢复和发展, 人们的物质生活得到极大提高。尤其 80 年代以后, 中国的崛起, 以前所未有的速度发展, 成了世界经济发展的领头兵。十亿多人民的生活从近似赤贫发展到向小康生活迈进。物质世界从未像现在这么丰富, 拥有汽车、住房、各种家用电器和生活物品, 昔日梦想成为了现实。然而, 经济的发展却也付出了极大的代价。面对资源的枯竭、环境的污染、生态环境的破坏, 不仅动植物的多样性遭到破坏, 人们生存和健康也受到严重的威胁。

目前, 全球面临的重大挑战是如何保持经济的发展, 保证人们的生活得到持续稳定的提高, 又能维持环境的质量, 保护地球的生态环境。

经过多年来关于可持续发展的讨论, 各国基本取得了共识。那就是, 首先, 要使工业经济发展与生物圈相兼容, 即成为一个封闭的循环系统, 不对环境造成危害。为此, 需要两个关键因素, 首先, 工业界必须有提高生态效率的观念, 在源头减少废物的产生和不影响环境消纳废物的能力; 再就是使工业界和消费者产生的废物实现回路闭合, 发展循环经济, 从而促进建立一个可持续发展的循环型社会。

为此, 需要改变传统的产品设计、生产、消费和废物处理模式, 需要首先设计符合环境要求的产品, 使产品既能满足生产发展和人类需求日益增长的需要, 同时, 又能满足自然资源的永续利用, 并且不增加环境的负荷。它是将综合预防污染和节约资源的战略用于产品的设计中, 以开发更生态的、更经济的、可持续发展的产品体系。环境要求的产品设计指南即孕育而生。

环境要求的产品设计提法有多种, 如: 环境设计 (Design for Environment)、生命周期设计 (Life Cycle Design)、绿色产品设计 (Green Product Design)、清洁产品设计 (Cleaner Product Design)、生态设计 (Eco-Design) 等, 但核心要求都基本相同, 都是强调从产品设计入手, 关注产品从原材料的选择、产品制造、销售、使用, 以及寿命终结后的再循环利用和处置, 产品的整个生命周期的环境影响, 选择减少全生命周期环境影响的设计选项, 并以实现最大的环境效率为目标; 最后, 要评估设计方案对减少产品环境影响、降低对人体健康风险和维护生态环境所起的作用。本书是以美国环保局的《生命周期设计指南》为基础编撰的, 因此, 称为“生命周期设计”或“生态设计”。本书由周仲凡主编, A.B.Stevens 先生 (荷兰) 和童晓明先生参加了编译工作。

什么是生命周期设计

传统的产品设计仅仅是从用户的需要和企业赢利的目的出发，很少考虑对环境的污染和资源耗竭的影响。一次性塑料发泡餐具的制造和使用就是一个典型的例子，它确实给消费者带来了很大的方便，也为制造者赢得了很大的利润。但是，发泡餐具废弃后，在土壤中需要 200 年才能被环境分解，积累性的废物给环境造成了很大的污染。

生命周期设计（Life Cycle Design）又称生态设计（Eco-Design）。它是从产品性能、环境保护、经济可行性的角度，考虑产品开发全生命周期（包括产品设计、原材料的提取、产品的制造、包装、销售和使用、用后的回收与处置全过程）的污染预防要求，多级使用资源与能源，以降低产品生产和消费过程对环境的影响，使其与地球的承载能力相一致。

任何物质形态的产品都将经历从材料的获取、设计、制造、销售、使用和用后废弃再回到土壤中的循环过程。人类生活和生产就是以这样的方式与地球生物圈发生联系的。生命周期设计正是基于产品与环境的相容性，为实现闭合的生物圈循环而进行设计的。

实行生命周期设计的必要性

环境要求的产品设计是环境保护的新战略

生命周期设计的核心是把产品的环境表现、对人体健康的风险，与产品的功能、成本、法律法规要求结合在一起，作为产品的设计要求和设计后的评定标准。众所周知，一种产品性能和制造工艺的特性，主要是由设计的选择决定的。多年来，我们在环境保护上所走过的弯路证明，事后的末端治理，是无法从根本上改变污染的状况，不能真正解决环境问题的。因为，产品中使用了有毒有害的物质，必然在生产过程中产生有污染的排放物和废物；使用后，这些物质在废弃产品的处置中又继续造成对环境的危害。只有在设计中杜绝使用对环境有害的物质，才能避免产品全生命周期的环境影响。

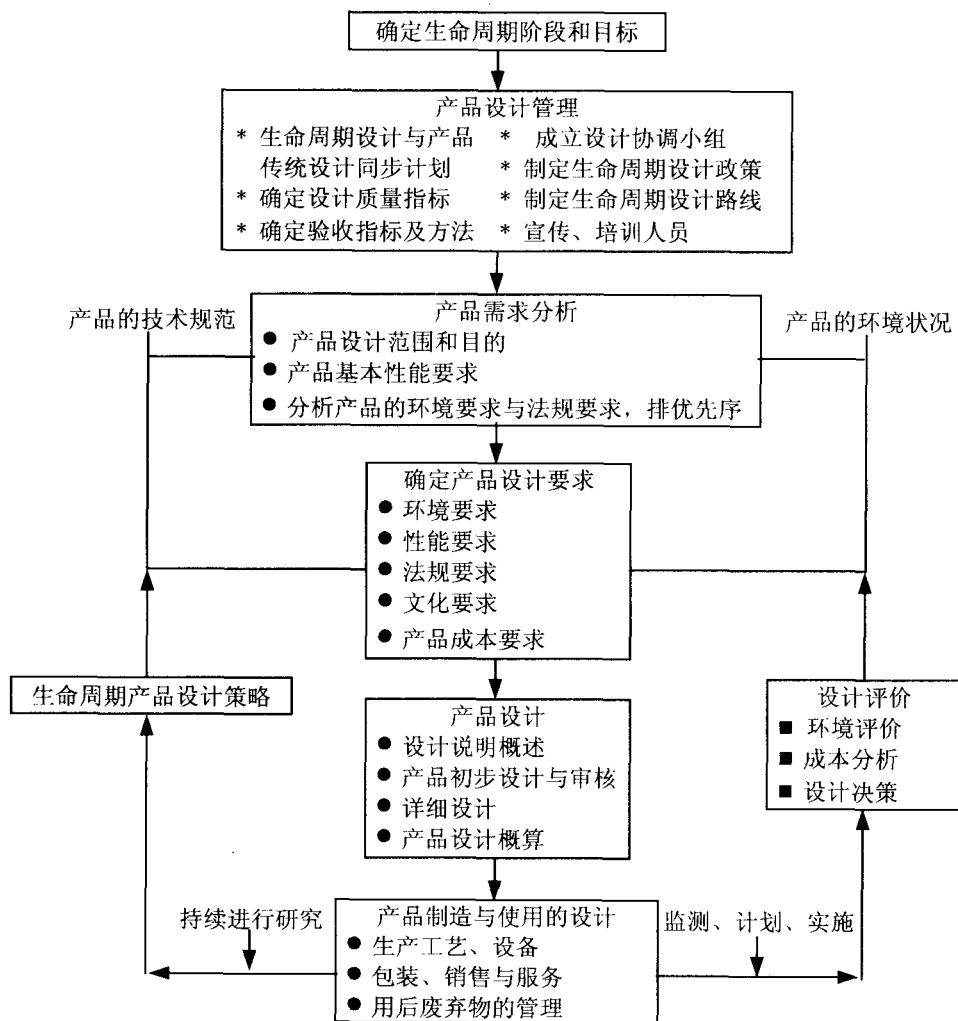
环境要求的产品设计是发展循环经济的需要

改变产品设计，不使用对环境有害的原材料，尽量采用可再生和易于循环利用的原材料和零部件，不仅防止产品对环境的污染，也提高了废物再生循环利用率，以减少不可降解废弃物的积累堆存对生态环境的影响。在实施“21 世纪议程”，建立可持续发展社会的要求下，不少国家都提出了发展循环经济——建立工业生物圈的战略方针。要求提高产品生态效率，生产绿色产品，提倡绿色消费，采用生态设计，这是今后经济发展的根本。

环境要求的产品设计是法律法规的需要

工业发达国家近年来相继为产品的综合管理立法,利用市场准则,通过法律的手段,强制改进产品设计,生产符合环境要求的产品。美国、欧盟和日本等许多国家,已经将“延伸的生产者责任制”列入了产品设计、制造和废弃处置的责任中,要求产品的生产、销售商都要为减少产品生产、制造和使用后的环境影响承担处置的责任。欧盟颁布的有关法规:如《废弃的电子电气设备指令》(WEEE)和《禁止使用某些有害物质的指令》(RoHS)、《废弃汽车指令》(ELV)和《汽车燃料效率标志》《家用电器能耗标志》《集成的产品政策》(IPP)等,都是明确提出了改进产品设计要求,并作为产品进入市场前的管理条例。如何在产品开发时就考虑这些法规要求,以满足市场和法规的需要,这就是必须采用考虑产品生命周期的生态设计。

产品生命周期设计的程序



产品生命周期设计程序示意图

产品生命周期设计程序与传统产品的设计程序不同，如上图所述。

可见，产品生命周期设计是一项系统工程，它需要各方面的工程技术和管理人员参与才能完成，这与传统的产品设计方法是完全不同的。

产品的生命周期设计与传统设计要素的比较

生命周期设计的要求是以预防污染和节约资源为核心。产品生命周期设计要素的控制关键是将环境与资源效益的分析方法运用到产品的设计中，同时将法规、性能、环境、文化和成本的设计要求相平衡，实现产品的功能性、环境性和成本性相协调，以达到最佳的环境效益与经济效益。

产品生命周期的设计要素与传统的产品设计也有不同，两者之间的区别列表如下：

产品生命周期设计要素与传统产品设计对比表

项 目	传统产品设计	生命周期设计
设计参加人员	产品设计工程师，生产、技术工程师，市场营销、财务管理人员	产品设计工程师，环境管理工程师，法规管理人员，生产、技术工程师，市场营销、财务管理人员
产品设计目标	● 满足产品功能要求 ● 符合产品质量要求 ● 符合市场需要 ● 符合人体健康和安全要求	● 满足产品功能要求 ● 符合产品质量要求 ● 符合市场需要 ● 符合人体健康和安全要求 ● 符合环境法律、法规要求 ● 满足产品的环境要求
产品设计规范	* 产品性能符合质量标准要求 * 产品耐用性好，耐磨损、抗蠕变及抗腐蚀 * 产品的适用性，产品功能应适合市场需要 * 产品质量的可靠性	* 产品性能符合质量标准要求 * 产品功能的多样性 * 产品合适的耐用性（即要按增加使用的材料和能源的费用与增加使用时间之比来确定耐用性。在环境降解之前，材料应耐磨损、抗蠕变及抗腐蚀） * 持续的适用性（通过设计元件的可替代性，易于实现产品的升级，保持功能持续的适用性） * 产品可靠性好（不仅质量可靠，而且产品在制造、使用中环境影响小，产品安全、故障少） * 产品易于维修和修复（设计中考虑元件的安装位置、空间和安装方式，元件的规范化、标准化） * 可再加工制造（元器件易于拆卸、材料可再回收、加工制造）
材料的选择	* 材料应质量可靠 * 材料供应商的质量认证	* 材料应质量可靠 * 材料供应商的质量认证，同时要求化学品供应商回收处理包装容器 * 使用对环境和人体无害的材料 * 避免使用枯竭或稀有的原材料 * 尽量采用回收再生的原材料 * 采用易于提取、可循环利用的原材料 * 使用环境可降解的原材料

项 目	传统产品设计	生命周期设计
产品制造、使用过程设计	* 产品的工艺、过程设计 - 工艺技术先进 - 运行能源、物料转化效率高 - 设备选型合理 - 过程控制尽可能自动化 - 产品包装材料和包装方式应保证产品质量 - 产品的储存、运输方式应保证产品质量 - 产品售后的质量追踪、反馈	* 产品的工艺、过程设计 - 工艺技术先进 - 运行能源、物料转化效率高 - 设备选型合理 - 过程控制自动化 - 设备布局合理，减少带出物的污染 - 产品包装材料和包装方式应保证产品质量，同时要考虑环境影响最小、废弃物最少以及包装材料的回收设计 - 产品的储存、销售、运输方式除保证产品质量外，还应考虑节能和防止环境污染 - 产品销售后的维修服务点的设计 - 废弃产品的回收途径和处理方法
生产管理的设计	* 原材料的接受与检验 * 工序间的检验和控制 * 成品的接受与检验 * 文件控制与管理 * 不合格产品的纠正与预防	* 原材料的接受与检验 * 工序间的检验和控制 * 成品的接受与检验 * 文件的计算机管理 * 不合格品的纠正与预防 * 生产现场的管理设计 - 合理的生产周期设计 - 节能、节水措施 - 产品的定置管理设计 - 安全、预防污染的生产环境
人员培训的设计	* 操作工的上岗技术培训 * 全面质量管理培训教育	* 操作工的上岗技术培训 * 全面质量管理培训教育 * 产品环境影响与环境管理知识的培训 * 产品影响评价方法的培训教育 * 产品生命周期分析和设计的培训教育

综上所述，采用产品生命周期考虑的生态设计是十分重要的，它是清洁生产的基础，是可持续发展的环境保护政策的重要战略，是发展循环经济的需要。采用生命周期设计方法开展产品生态设计也是一项复杂的系统工程，不仅需要企业技术人员认真调查分析，掌握一定的专门知识，更需要领导的支持与参与，需要政府有关部门的通力协作与政策推动，还需要社会消费者的环境意识和采购需求的支持。从产品设计入手，为环境而设计，已导致了一次工业变革，国外称之为环境保护推动的一场新的工业革命——“生态工业革命”。为此，希望大家更多地了解这方面知识，推动发展绿色企业、绿色生产、绿色消费，摒弃人类以无度消耗自然资源、污染环境为代价的发展，代之以与自然环境和諧、友好的可持续发展模式。

在编辑出版此书中，得到了许多专家的支持。荷兰代尔夫特技术大学（Delft University of Technology）的 A. Stevels 教授提供了他们在荷兰飞利浦消费电子产品公司进行生态设计的实践，并为本书提供了有关资料，作为生态设计的案例。这对使用者是十分有用的。中国电子技术标准化研究所的童晓明（教授级）高级工程师提供了《环境定向要求的产品设计——电子电气工业元件设计指南》的译本，为本书在电子电气工业中的应用，提供了

有价值的参考资料。我还要感谢中国环境科学出版社的刘大澂先生，他对此书的图表和文字的整理做了许多工作，为本书的顺利出版付出了很大的努力。在此向他们表示深切的感谢。

本书是为所有环境管理的技术人员和管理者，以及有志于实践环境要求的产品设计的工业企业和行业的管理者，提供有关产品环境管理的理论和实践；也为有关设计单位、大专院校的技术人员、研究人员和设计者提供参考。本书也为关心地球资源与环境、关心产品管理和产品消费的人们，提供他们感兴趣的知识，我们希望能为可持续发展的产品和消费提供帮助。

主编 周仲凡

2005年7月20日

目 录

第一部分 生命周期设计手册

1 概论	3
1.1 产品设计的新要求	3
1.2 本手册内容的介绍	7
2 产品生命周期设计基本理论	9
2.1 生命周期设计的框架	9
2.2 产品体系组成	11
2.3 目标	13
3 产品开发的程序	16
3.1 产品开发活动	16
3.2 管理	18
3.3 需求分析	23
3.4 确定设计要求	25
3.5 设计阶段	25
3.6 实施	27
3.7 克服障碍	27
4 确定设计要求	29
4.1 编制设计要求任务书	29
4.2 设计要求的分类	33
4.3 设计要求的排序与权重	41
4.4 解决设计要求间的冲突	42
5 生命周期设计的策略	44
5.1 综述	44
5.2 延长产品的使用寿命	45
5.3 延长材料使用寿命	52
5.4 材料的选择	56
5.5 减少产品的耗材	57
5.6 工艺过程的管理	58
5.7 高效的配送系统	61

5.8 改进管理.....	64
6 环境影响分析方法	68
6.1 设计分析的要素.....	68
6.2 确定分析的范围.....	69
6.3 清单盘查分析.....	71
6.4 影响评估.....	76
6.5 生态系统的影响.....	78
6.6 对人类健康和安全风险的评估	80
6.7 评估产品体系的风险.....	81
6.8 影响和风险评估的局限性.....	82
7 产品生命周期成本计算.....	85
7.1 传统的产品成本计算方法.....	85
7.2 生命周期的成本计算方法.....	87
7.3 障碍与局限性.....	92
附录 设计中的决策工具.....	94
设计决策工具的局限性.....	99

第二部分 电子电气工业元件环境定向要求的设计指南

1 前言	103
2 环境问题在产品中的重要性.....	106
2.1 物质的闭合循环.....	106
2.2 产品生命周期循环.....	106
2.3 环境问题和产品竞争性.....	107
2.4 环境要求在产品中的重要性	108
3 将环境问题综合纳入产品设计中.....	110
3.1 环境定向要求产品设计的目标	110
3.2 产品生命周期评估（LCA）	114
3.3 电气及电子产品设计——改善环境表现的选项	119
3.4 环境定向要求设计示例.....	130
3.5 将环保要求纳入产品设计	134
4 产品有关的环境信息	141
4.1 环境工作的评估.....	141
4.2 环境标志.....	141
4.3 环境声明.....	143
5 如何将环境问题纳入产品设计程序.....	145
5.1 积极性及承诺.....	145
5.2 评估产品对环境的影响	145

5.3 确定设计目标及指标.....	146
5.4 建立设计指令及指南.....	146
5.5 确保实施.....	146
5.6 小结.....	146
6 与产品有关的环境法规及标准.....	148
6.1 废物管理政策：生产者责任以及废物转移	148
6.2 对环境有害的物质.....	149
6.3 包装及包装废弃物.....	150
6.4 环境管理体系——标准与 EMAS 计划	150
6.5 环境标志.....	152
附件：电子电气产品生态设计指南	156

第三部分 产品环境要求设计的实例

实例一 美国 AT&T 公司的产品生命周期设计案例	174
实例二 荷兰飞利浦公司生态设计的实践	234

第四部分 有关产品法规

一、关于在电气电子设备中限制使用某些有害物质的指令（欧盟议会和欧盟理事会 2003 年 1 月 27 日第 2002/95/EC 号）	283
二、关于报废电子电气设备的指令（欧洲议会和理事会 2003 年 1 月 27 日 第 2002/96/EC 号）	288
三、集成产品政策——欧盟产品的环境政策绿皮书 Integrated Product Policy（IPP） -Com（2001）68（01）	304

第五部分 促进产品生态设计的推广应用——编后感

1 促进产品生态设计的推广应用.....	327
1.1 生态设计的主要原则.....	327
1.2 生态产品设计中的重要事项.....	328
1.3 以开发环境协调性的典型产品为起点	331
1.4 促进产品生态设计的普及应用	335

第一部分

生命周期设计手册

1 概论	3
2 产品生命周期设计基本理论	9
3 产品开发的程序	16
4 确定设计要求	29
5 生命周期设计的策略	44
6 环境影响分析方法	68
7 产品生命周期成本计算	85
附录	94

1 概论

本书是介绍一种新的设计理念和办法，并为设计者提供了使用指南。

降低产品的环境影响，也同样可达到满足用户对产品的安全需要。生命周期设计即是环境要求与产品的性能、成本、文化和法规要求综合在一起。

生命周期设计考虑了最完整的产品与服务的环境效益。

生命周期包括了原材料获取到产品制造、加工、使用和废弃处置的全过程。这种广泛的分析框架，有助于设计者确定和减少他们在设计中以及随后带来的产品对环境的影响。

1.1 产品设计的新要求

1.1.1 生命周期设计概念产生与可持续发展的需要

环境保护与经济、社会的发展关系是当今国际社会普遍关注的问题。近十几年来，各国已对此取得了共识：人口、资源、环境和发展这四者之间是有着不可分割的关系。要合理利用资源，必须建立新的生产方式和消费方式，有效地保护生态环境，从而建立一个可持续发展的社会。

很多环境影响的结果是在产品制造和使用前，即在设计阶段就产生了。传统工业没有在产品设计中考虑环境要求，不得不等到环境问题产生后，才去治理。实际证明，末端治理要比在设计中不让它产生，花费更多的费用。而且带来很多的环境问题，是无法通过治理去解决的。如大气臭氧层的破坏、温室气体效应、生态环境的破坏和土壤的污染等。迄今为止，我们还没有将严格的环境要求，有意识地纳入产品设计中，不是进行污染预防，而是直到产品制造和使用后，才花大量时间和金钱去进行污染治理。

环境要求常常是产品设计中被忽视的，而只有到产品制造和使用后才发现产品的环境影响。

因此，生产者要花费很多的财力、时间去处理这些产品造成的环境问题。

（注：多年来，许多工厂花了很大精力来解决企业的污染问题，但对产品设计和工艺设计如何做污染预防，却考虑甚少。工厂在进行技术改造时，很多情况下只注意了设备的先进性，虽然也考虑了环境要求，但是没有从产品设计上根本解决减少产品的环境影响，这种预防污染的措施还是不彻底的。）

产品和生产过程设计不配套，产品设计要求考虑不周等，也是传统产品设计中存在的问题。事后，企业往往要花很大力气去解决生产和产品中存在的问题，而没有考虑如何去预防环境问题的发生。对环境问题，也是从隔离的单独的过程去分析，“头疼治头，脚疼治脚”，环境问题的解决往往是事倍功半，劳民伤财。

很多公司的技术改造是考虑了环境标准的要求，但是，没有弄清产品生命周期环境要求，不可能在产品设计的改进中取得成功。

为实现可持续发展的目标，工业界 15 年来开始对预防污染做出了很大的努力。一些创新性的公司，已经开始应对新的挑战，采取了环境要求，或绿色产品的设计政策，并采取了行动。但对工业企业来说，这是十分艰巨的工作。没有适当的支持（注：如国家的政策、价格中的环境成本考虑和绿色采购推动等），绿色产品的生产和推广应用还是很困难的。另外，产品的环境要求设计缺乏规范、标准和检测等支持。除非产品开发小组的人员清楚什么是环境要求的设计目标，并得到领导的支持，否则是很难达到减少环境影响的设计目标。

目前的“绿色”设计大多是利于再循环的设计策略。另外，单一的环境要求的设计，也不能解决产品所有的环境问题。如，一种产品的设计，可能是利于再循环的，但不一定减少全部的环境影响。必须把减少产品全部的环境影响作为设计的目标才符合工业发展要求。

生命周期是包括产品的全过程，从原材料获取到最终产品废弃物的处置。
生命周期设计注重发现和减少产品的环境影响，而不仅仅是采取补救的措施。

对工业可持续发展的需要而言，产品设计的需求是在满足其他性能、成本、文化等要求的同时，又降低环境影响。生命周期的框架，即是为研究减少产品和服务的全部环境影响提供了基础。产品生命周期的考虑，是从原材料获取、经过加工、产品制造、使用和最终废弃处理，全生命周期的每个阶段，设计人员利用生命周期框架，有助于他们确定产品的环境影响，找到减少环境影响的措施，不至于漏掉每个阶段和每个环境因素。

生命周期，或称为“从摇篮到坟墓”的探索，是遵循一系统的程序。随着这个程序进行分析，由跨部门组成的产品开发队伍，也就找到了生命周期设计的理念。成功的生命周期设计还需要将环境问题的解决措施与产品成本、性能、文化和法规的要求进行平衡，选择可行的设计方案。

产品的生命周期设计是综合考虑产品开发全过程的，包括原材料的获取、材料和元件的加工、产品制造和组装、包装、运输、使用，直至使用后废弃物的最终处置，整个生命周期内的污染预防要求。

产品生命周期设计与“绿色产品设计”有类似，但也不尽相同。绿色产品设计可以只考虑某些单一的环境影响，或具有单一的环境性能。如生产可循环利用的产品，它可以减少产品使用后废弃物的处置量。但是，它不能降低产品全过程的环境影响。

产品生命周期设计既能满足产品使用功能设计要求，又能减少产品全过程环境影响，

既有经济效益又有环境效益的设计思想,是产品可使用性、环境性与经济性三位合一的设计理念。随着污染控制的环境政策从末端治理向源头削减转移,生命周期设计将在节约资源、预防污染中起着越来越重要的作用。

1.1.2 生命周期设计的必要性

——公众的需要

生产对环境无害的产品或绿色产品,已成为公众的普遍要求。

随着环境污染的加剧、环境公害的不断发生,引起了社会各界的强烈反应。现在,对改善环境质量的要求越来越迫切。1991年美国NBC进行了民意调查结果,80%的美国人把环境问题放在第一位^[1],15%的人强烈要求对环境的损害要赔偿,不购买有环境污染的产品。大多数人认识到,必须对现有的产品、生产方式和消费方式进行变革,以减少环境污染,而不是等待环境出现问题后来解决。

产品的制造者采纳公众的要求,即首先就应考虑产品的环境与用户安全要求,要求设计者采用生命周期设计;设计者则要将环境要求与产品性能和其他要求综合在一起。

当然,要达到改进环境质量的作用,还需要做很多工作。如产品制造、销售,还需要在产品宣传、广告中,介绍产品环境责任方面的优点,让用户更清楚产品对环境 and 人身健康的效益,而不只是模糊地提“环境友好产品”或“绿色产品”,以便给用户提供更很好的选择。

——提高产品竞争力,降低成本

一些国家已经把产品的环境因素作为产品质量的一部分,现在许多公司已经清楚认识到,高质量的产品是成功竞争的基础,将环境因素纳入到产品质量控制中,在未来的国际市场竞争中,产品必将有更大的竞争力。

生命周期设计将环境质量要求纳入了产品成本考虑中。减少了环境“缺陷”,也从长远上降低了产品的成本。

高明的企业家都清楚,高质量的产品不是高费用的、最佳的产品,而是少缺陷的、质量高成本最低的产品。他们也认识到,发现并降低环境“缺陷”,也同时降低了产品的成本,提高了产品的质量。

产品总费用的评估,有助于公司确定产品开发的真实成本^[2-3]。产品成本不仅包括通常所应包括的项目,还应考虑到一些潜在的、隐蔽的法律责任和确定的环境方面的费用。这些费用都应在产品开发中考虑到的(产品的环境方面的成本见第7章)。

用于环境污染控制和治理上的费用,常常是被忽视,但它确实是很可观的花费。美国环保署统计,1989年美国的环境治理费用是913亿美元,1995年已经达2000亿美元^[4]。

但是,采用污染预防其花费要小于污染治理的费用。美国环保局1992年从139个企业资源削减示范活动中,统计了22家化学品使用的结果^[5]。表1-1是美国环保署对4家大的化工企业15项实施清洁生产措施统计的结果。清洁生产的措施包括:产品的