

国家自然科学基金资助项目

绿色设计与 绿色制造

刘光复 刘志峰 李 钢 编著

机械工业出版社

绿色设计与绿色制造

刘光复 刘志峰 李钢 编著



机械工业出版社

绿色设计与绿色制造是 90 年代初期提出的一种新的概念与制造模式。本书系统地介绍了绿色设计与绿色制造的概念、理论、方法及关键技术。全书共分为 7 章,分别讲述了绿色设计与绿色制造产生的客观背景、绿色产品及其评价、绿色设计理论与方法、拆卸设计、回收设计、产品包装设计和绿色制造。

本书文字通顺,通俗易懂,简明扼要,既可作为机械设计、机械制造、机械电子工程、材料科学与工程、管理工程等有关专业高年级本科生及研究生的教学参考书,也可作为企业管理人员及工程技术人员系统了解绿色设计与绿色制造的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

绿色设计与绿色制造/刘光复等编著. —北京:机械工业出版社, 1999.9

ISBN 7-111-07530-7

I. 绿… II. 刘… III. ①工业产品—设计—无污染技术②工业产品—制造—无污染技术 IV. TB497

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 61653 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周娟 版式设计:武江

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm1/32·5.75 印张·148 千字

0 001—2 000 册 定价:12.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

前 言

资源、环境和人口三大问题对人类社会生存与发展至关重要。由于环境问题的日益恶化，迫使人们对环境问题的研究愈来愈重视。1972年在斯得哥尔摩召开的联合国人类环境会议和1992年在里约热内卢召开的联合国环境发展大会是人类环境保护史上的两座里程碑。目前，环境问题已由少数专家关心的技术问题转变为全人类共同关注的经济社会问题，当今社会面临的重大挑战是如何使经济发展与环境保护有机地结合起来，从而能促进建立一个可持续发展的社会。

制造业是制造人类财富的支柱产业，同时又是环境污染的主要源头之一，绿色设计与绿色制造就是为消除和避免制造业经济恶性发展的后果，寻求新的发展战略而提出的新概念。

绿色设计与绿色制造是人类社会可持续发展的必由之路，它将生态环境与经济社会联结为一个协调发展的有机整体，要求经济发展必须考虑自然生态环境的长期承载能力，使环境与资源既能满足当前经济发展的需要，而且还能满足人类长远生存的需要，采取主动措施和科学方法，建立一个环境与社会、经济发展相协调的崭新模式，使我们这一代人不能因为自己的生存和享受而滥用资源、破坏环境，把一个破损、污秽的地球留给子孙后代。

实施绿色设计与绿色制造，可以对产品的生命周期全过程（设计、制造、销售、回收、处理等）进行主动控制，将废物减量化、资源化和无害化，或消灭于生产过程之中，大大提高产品的绿色程度、提高企业的市场竞争能力和可持续发展能力。

作者以国内外文献资料和应用效果为基础，并结合课题组近几年的研究成果完成了该书的编著。本书较系统地讨论了绿色设计与绿色制造的概念、理论、方法及关键技术。全书共分为7章，分别讲述了绿色设计与绿色制造产生的客观背景、绿色产品

及其评价、绿色设计理论与方法、拆卸设计、回收设计、产品包装设计和绿色制造。

全书由合肥工业大学刘志峰同志撰写初稿，刘光复教授做了全面的修改、审核和部分重写，李钢同志进行全面复核并为全书的写作提供了大量的信息资料和便利条件，刘学平同志参加了第4章编写工作。研究生鲁洁和卓蔚君为第2章和第4章做了很多基础工作。

本书编写过程中参考引用了大量的国内外文献资料，参考文献中只列出了其中一小部分，尚有许多没有列出，在此向这些文献资料的作者表示歉意和感谢。由于目前绿色设计与绿色制造的理论不够完善，尚处于研究和发展过程之中，加之时间仓促及作者的水平和所掌握的资料有限，绿色设计与绿色制造方面的一些观点尚需推敲，总体看来还显得有些粗糙，缺点和错误（甚至有一些不妥的提法）在所难免，敬请各位专家和读者批评指正。

作者

1999年6月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 绿色技术产生的客观背景	1
1.2 绿色技术的基本概念	5
1.2.1 绿色技术的内涵	5
1.2.2 绿色技术创新	6
1.3 绿色设计与绿色制造	6
1.3.1 绿色设计与绿色制造的研究内容	7
1.3.2 绿色设计与绿色制造的国内外发展趋势	9
第 2 章 绿色产品及其评价	12
2.1 绿色产品的基本概念	12
2.1.1 绿色产品的概念及特点	12
2.1.2 绿色产品的认证	14
2.1.3 典型绿色产品	18
2.2 绿色产品的评价指标体系	21
2.2.1 评价指标体系的制定原则	21
2.2.2 绿色产品评价指标体系的组成	22
2.3 绿色产品评价标准	30
2.3.1 参照产品概念的引入	31
2.3.2 评价标准的制定	31
2.4 绿色产品评价方法	33
2.4.1 常用的系统评价方法简介	33
2.4.2 基于生命周期的绿色产品模糊层次评价	36
第 3 章 绿色设计	44
3.1 绿色设计及其特点	44
3.1.1 传统产品设计	44

3.1.2	绿色设计	45
3.2	绿色设计方法	52
3.2.1	生命周期设计方法	53
3.2.2	并行工程方法	58
3.2.3	模块化设计方法	61
3.2.4	绿色设计准则	64
3.3	绿色产品设计的经济性分析	67
3.3.1	基本概念	67
3.3.2	绿色设计生命周期成本模型的建立	69
3.4	绿色设计的材料选择	71
3.4.1	概述	71
3.4.2	绿色设计对材料的要求	73
3.4.3	绿色材料及其发展	75
3.5	绿色设计工具及其开发	76
3.5.1	绿色设计工具及其构成	77
3.5.2	典型绿色设计工具分析	80
第4章	拆卸设计	84
4.1	拆卸设计的概念与特点	84
4.1.1	拆卸设计的意义	84
4.1.2	装配设计与拆卸设计	86
4.2	拆卸设计的内容	90
4.2.1	可拆卸产品设计	90
4.2.2	拆卸工艺设计	99
4.2.3	拆卸系统设计	102
4.3	拆卸设计方法	103
4.3.1	公理化设计	103
4.3.2	拆卸设计的实现	105
4.4	拆卸设计评价	109
4.4.1	可拆卸性评价指标	109
4.4.2	可拆卸性评价方法	118

第 5 章 回收设计	122
5.1 回收设计的概念	122
5.1.1 回收现状及回收设计的必要性	122
5.1.2 回收设计的概念	125
5.1.3 回收设计的主要内容	127
5.2 回收方式与回收性经济分析	130
5.2.1 产品的回收方式分析	130
5.2.2 回收经济性分析	132
5.2.3 回收设计模型与回收设计准则	135
5.3 回收设计方法与过程	138
5.3.1 回收设计方法	138
5.3.2 回收策略与观念	140
第 6 章 绿色包装设计	143
6.1 绿色包装的提出	143
6.2 绿色包装的概念与特点	145
6.3 绿色包装设计	146
6.3.1 绿色包装材料	146
6.3.2 绿色包装设计	148
第 7 章 绿色制造	152
7.1 概述	152
7.1.1 绿色制造的概念	153
7.1.2 绿色制造的意义	155
7.2 绿色制造系统	157
7.2.1 绿色制造系统的模型	157
7.2.2 绿色制造工艺技术	160
7.3 绿色制造过程的环境管理	167
7.3.1 ISO1400 国际环境管理标准	167
7.3.2 企业内部环境质量标准	169
参考文献	174

第 1 章 概述

1.1 绿色技术产生的客观背景

1. 绿色技术是绿色消费浪潮的产物

工业生产的发展为世界经济发展和提高人民生活质量做出了巨大贡献，但也带来了相当大的负面影响，工业化国家已开始尝到近 10 年工业高速发展所结的苦果——地球生态环境以前所未有的速度在急剧恶化。据统计，全世界制造业每年大约产生 55 亿 t 无害废物和 7 亿 t 有害废物。如今，种类繁多的日用消费品已进入千家万户，新产品源源不断地推出，产品生命周期日趋缩短，造成废弃的废旧工业产品数量猛增。在欧洲，每年约有 80 万 t 旧的电视机、计算机设备、收音机、测量仪器和 300 万 t 废旧汽车丢进垃圾场。图 1-1 则为德国每年的汽车、家用器具、消费电器、控制设备及信息系统的废弃物数量分布情况。在美国，由家庭和工业企业产生的城市固体废物（MSW）已达到每人每天近 2kg。如果依此来推算，一个 1000 万左右人口的大城市，一天产生的固体废弃物就是 2 万 t，一年就是 730 万 t，这是一个多么庞大而可怕的数字！正是由于工业废弃物数量的不断增加，近 10 年来，美国各州垃圾填埋场屡屡告急，十有七八已无法再继续使用下去。

进入 90 年代以来，各国的环保战略开始经历一场新的转折，全球性的产业结构调整呈现出新的绿色战略趋势。这就是向资源利用合理化、废弃物产生少量化、对环境无污染或少污染的方向发展。随之在全球掀起了一股“绿色浪潮”。

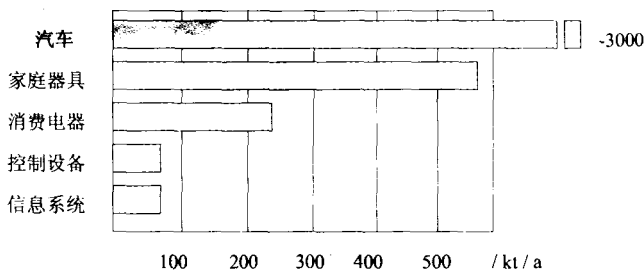


图 1-1 德国各类产品的废弃物数量变化分布情况

这种“绿色浪潮”的兴起，首先源于人们的绿色消费，然后逐渐引申出绿色技术、绿色设计、绿色制造等。所谓绿色消费，从不同的侧重点有不同的理解，主要有以下几种方式：

1) 从环境学的意义来讲，绿色消费是指人类的消费活动无害于环境，即无污染或最小污染的消费。人类的吃、穿、住、用、行、旅（旅游）等消费活动都是在一定环境条件下进行的，但其消费的结果却往往造成了对环境的污染。例如，世界上每年抛弃的垃圾约为 1000 亿 t，人均均为 2t，未经处理的垃圾又污染了环境；高速发展的汽车，给人类以车代步带来了极大的方便，但汽车排放的尾气又引起了大气污染。而绿色消费则要求改变原有的消费观念，设计、制造和使用对环境有利的绿色产品。

2) 从资源学的意义上讲，绿色消费是指人类的消费活动应做到对自然资源的适度利用和综合利用。适度利用是指减少自然资源的耗竭速率，使之低于资源再生率；改进人类的生活方式和生活质量，使之与环境承载能力相适应。综合利用是指按照资源的多种使用属性和功能加以利用，不要因其一点而不计其余，造成资源的浪费。

3) 从生态学的意义上讲，绿色消费是指人类的消费活动应符合生态系统物质和能量流通的规律，不能因人类的“畸形”

消费而破坏生态系统的食物链，既能满足人类营养和其他方面的需要，提高生态经济效益，又不至于造成生态经济学上的浪费。

绿色消费是通过实行绿色产品制度来得以传播和扩展的。前联邦德国于 1978 年最早实行了绿色产品制度，由国家权威部门审查评定绿色产品，并贴上绿色标志，以供消费者选用。目前，绿色产品已由食品扩展到日用消费品，再扩展到机电产品和住房；由农业产品扩展到工业产品；由“硬产品（实物产品）”扩展到“软产品（服务）”，整个消费领域都充满了绿色浪潮。

绿色产品是由绿色技术加工制造出来的，于是，由绿色消费反溯人类的生产技术，绿色技术便应运而生。

2. 绿色技术是可持续发展的有效途径

目前的经济增长方式主要是以自然资源和劳动力为主要投入手段。这种粗放型经济增长方式不仅大量消耗、浪费了地球的不可再生资源，而且资源消耗和工业废弃物造成的环境污染会破坏人类生态系统，造成生态系统失衡，直接威胁人类的生存。1992 年联合国在环境与发展会议上通过的全球《21 世纪议程》，要求各国制定和组织实施相应的可持续发展战略和绿色设计政策。

《中国 21 世纪议程》是中国 21 世纪发展的必然选择。中国人口基数大，人均资源、经济和科技水平比较落后，再加上经济快速发展，致使已紧缺的资源和脆弱的环境面临巨大的压力。因此，中国必须实施以绿色技术为先导的可持续发展战略。

可持续发展是“人类应享有以与自然相和谐的方式过健康而富有生产成果的生活的权利”，并“公平地满足今世后代在发展与环境方面的需要”。可持续发展具有两个最基本的要点：一是强调人类享有追求健康而富有生产成果的生活权利，但这应该是和坚持与自然相和谐方式的统一，而不应当是凭借着人们手中的技术和投资，采取耗竭资源、破坏生态和污染环境的方式来追求这种发展权利的实现；二是强调当代人在创造和追求今世发展与消费的时候，应当承认并努力做到使自己的机会与后代人的机

会相平等，不能允许当代人一味地、片面地、自私地为了追求今世人的发展与消费，而毫不留情地剥夺后代人本应享有的同等发展与消费的机会。

因此，人们在转变传统发展模式、实行可持续发展战略的时候，必须纠正过去那种单纯靠增加投入和加大消耗实现发展的模式和以牺牲环境来增加产出的错误作法，从而使经济发展更少地依赖于地球上有限的资源，而更多地与地球的承载能力达到有机的协调。

可持续发展有技术、经济和生态三方面的指标，这三方面应达到综合平衡，缺一不可，如图 1-2 所示。技术落后是造成环境问题的根源，依靠科技进步是解决环境问题的根本方法和途径，经济效益和市场需求是技术进步的动力和目标，生态环境则是这一目标的一种约束。在整个经济活动中，必须遵循“整体、协调、循环、再生”的规律，把对生态系统的冲击与干扰限制在其再生循环能力和自净能力的合理限度内。

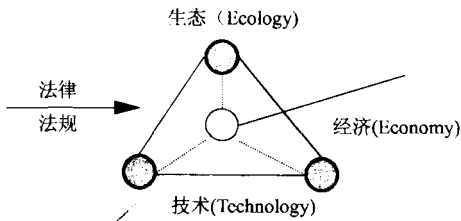


图 1-2 技术、经济和生态的平衡

绿色技术是实现可持续发展的有效途径，这是因为：首先，绿色技术是以节约资源能源为目标。资源能源的过度开采与消耗是造成经济不能持续发展的主要原因，而绿色技术则是通过各种技术手段和管理手段减少资源能源的使用，提高其利用效率或采用可再生资源与能源，因而可以实现经济的持续发展。其次，绿色技术以保护环境为准则。采用绿色技术，节约了资源和能源，也从另一方面减少了废弃物的产生，有利于保护环

境，维持生态平衡。

1.2 绿色技术的基本概念

1.2.1 绿色技术的内涵

那么，什么是绿色技术呢？是不是仅仅为了赶“绿色浪潮”？它的内涵又是什么？正如人们对绿色消费有不同了解一样，不同专业、不同行业的人们，从不同角度对绿色技术有各种各样的理解。

1) 侧重于环境学的定义，认为绿色技术就是环境保护技术，因为绿色代表环境，象征生命，能预防和治理环境污染的环保技术就是绿色技术。

2) 侧重于生态学的定义，认为绿色技术就是生态技术，如生态农业、生态工艺、生态企业等。

3) 侧重于生态经济学的定义，认为绿色技术就是根据环境价值并利用现代科技的全部潜力的技术。

上述各行各业对绿色技术的理解虽然都各自包含了若干正确的认识，反映了事物的某些侧面和绿色技术的本质，但难免带有某种片面性，没有反映出绿色技术的全貌。我们认为绿色技术就是最大限度地节约资源和能源，减少环境污染，有利于人类生存而使用的各种现代技术、工艺和方法的总称。

由上述定义可以看出，绿色技术的内涵反映在以下几个方面：①绿色技术是一种现代技术体系，这种技术体系不同于人类的蒙昧时代、野蛮时代或农业文明时代的原始技术，那时的人类技术活动也是绿色的，但不是现代意义上的绿色技术；同时，它又是一种技术体系，不是专指某一种技术或产业部门的技术。

②绿色技术是一种“无公害化”或“少公害化”的技术，即无

害于人类赖以生存的自然环境的技术。这主要体现在绿色技术功能与环境功能的一致性上。因此，防止与治理环境污染，有利于自然资源生态平衡的技术均是绿色技术，这是判定绿色技术的生态标准或环境标准。③用绿色技术生产出来的产品应该有利于人类的健康和福利，有利于人类文明进步，这是判定绿色技术的社会标准。

1.2.2 绿色技术创新

绿色技术创新无论对企业的发展及产品的竞争力还是对可持续发展战略的实施均具有重要的意义。绿色技术创新可以在三个不同层次上进行，即末端治理技术创新、绿色工艺创新和绿色产品创新。

1. 末端治理技术创新

由于这种创新不需要改变现有生产工艺，而是直接附加于现有生产过程，因而相对来讲比较简单，但其绿色程度不高，不是绿色技术的重点。

2. 绿色工艺创新

它是指对生产工艺进行创新，生产过程中对环境的污染越低，绿色程度越高，越是理想的绿色技术。

3. 绿色产品创新

它是指产品生命周期（设计、制造、销售、消费、报废处理）全过程都能预防与减少环境污染，包括产品更新，生产低废、少废、可回用的产品等。

1.3 绿色设计与绿色制造

绿色技术创新体系中的最高级别是绿色产品，也就是说，绿色产品是绿色技术创新结果的最终载体，而绿色产品的获得必

须以绿色设计和绿色制造为基础，绿色设计与绿色制造是绿色技术的核心内容。

有资料表明：尽管设计费用仅占总成本的 30%左右，但设计阶段却决定了产品生命周期中全部消耗的 80%~90%。因此，如何在设计阶段有效地考虑产品的环境性能是目前人们所探讨的热点问题之一。最近，国内外对这一主题进行了大量的、多方面的调查研究工作，取得了明显的社会和经济效果。同时，为了配合这项技术的宣传，在美国还创办了《国际环境意识设计与制造》杂志。

1.3.1 绿色设计与绿色制造的研究内容

绿色设计 (Green Design) 与传统设计方法不同，绿色产品设计包含概念设计、生产工艺设计、使用乃至废弃后的回收、重用及处理等内容，即进行产品的全寿命周期设计。也就是说，要从根本上防止污染，节约资源和能源，首先决定于设计，要在设计过程中考虑到产品及工艺对环境产生的负作用，并将其控制在最小范围之内或最终消除，这就是绿色产品设计的基本思想。

图 1-3 所示即为一种基于层次的绿色产品设计体系。该体系由四个层次组成：第一层为目标层，以设计出绿色产品为绿色设计的总目标；第二层为绿色设计内容层，包括绿色产品的结构设计、环境性能设计、绿色设计的材料选择和资源性能设计四部分；第三层为绿色设计的主要阶段层，即实现绿色设计内容所考虑的主要过程阶段，包括产品生产过程、使用过程和回收处理过程等产品生命周期各阶段；第四层为设计因素层，即绿色设计过程应考虑的主要因素，包括时间、成本、材料、能量和环境影响等。

绿色制造领域研究的主要原则是强调采用能减轻对环境产生有害影响的制造过程，包括减少有害废弃物和排放物，降低能量消耗，提高材料利用率，增加操作安全性等。简言之，绿色制造应是在不牺牲质量、成本、可靠性、功能或能量利用率的前提

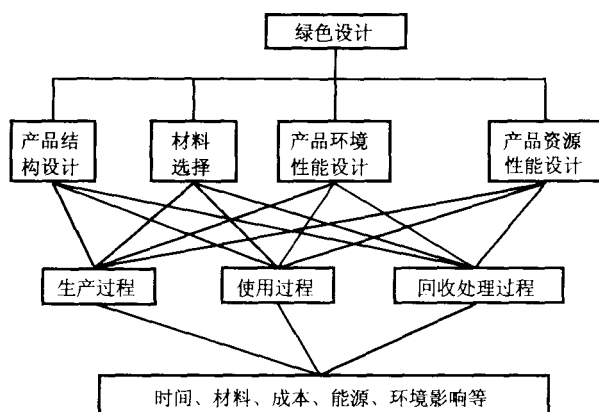


图 1-3 绿色产品设计层次图

下，努力减少工业活动对生态环境造成的影响。绿色制造的结构层次框图如图 1-4 所示。从该图可以看出，要实现绿色制造目标，必须使用绿色能源，采用绿色制造过程，最终生产出绿色产品。在这个过程中必须考虑能源利用率、绿色材料、绿色制造工艺、绿色制造设备与工艺装备、生产成本、环境影响等因素。

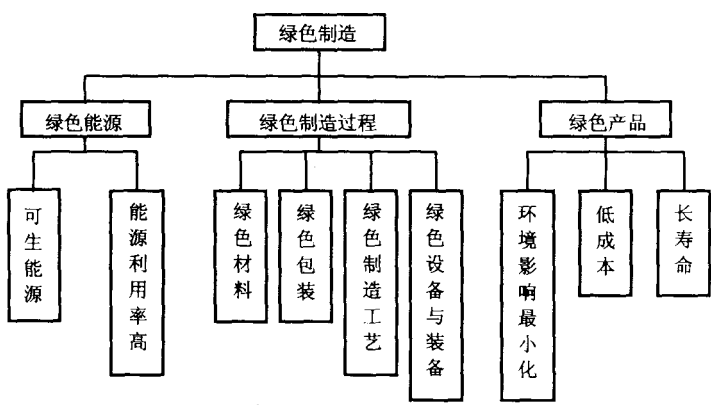


图 1-4 绿色制造的结构层次框图

近 10 年来，国内外广泛开展了绿色设计与绿色制造的研究。

目前，绿色设计与绿色制造的研究主要包括以下几个方面的内容：

- 绿色产品的描述与建模。
- 确定绿色产品的评价指标体系和评价方法。
- 绿色设计方法学的基础研究。
- 绿色设计的材料选择系统研究及绿色产品的结构设计。
- 绿色制造系统模型及绿色制造工艺技术研究。

1.3.2 绿色设计与绿色制造的国内外发展趋势

发展生产和保护环境的对立只是发展中的一个特定过程，解决环境污染问题依然要依靠技术方法，绿色设计与绿色制造就是利用技术方法解决环境污染的一个重要手段。因此，绿色设计与绿色制造的研究已受到各国政府、研究机构、生产企业的日益重视，并成为实现可持续发展的最佳途径。

绿色设计与绿色制造已成为最近几年先进制造技术领域研究热点之一，特别是在美国、西欧、日本等一些发达国家，研究更是十分活跃。美国国际贸易及工业部工业科学技术代理处机械工程实验室的 Inoue 与 Sato 对工业产品环境问题进行了研究，并在该实验室开始着手“生态工厂技术”的协作项目，该项目的范围包括产品技术、生产技术、拆卸技术及回收技术，并且已确定了每一范围的具体研究对象。此外，从美国的一些重点实验室到国家标准技术研究院，从东部海岸的麻省理工学院到西部海岸的 Berkeley 加州大学，大量的研究也正在进行。1996 年，美国制造工程师学会（SME）发表了关于绿色制造的专门蓝皮书《Green Manufacturing》，提出绿色设计与制造的概念，并对其内涵和作用等问题进行了较系统的介绍，最近 SME 又在国际互联网上发表了“绿色制造的发展趋势”的网上主题报告。美国机械工程师学会也在网上公布了不少研究论文。美国 Berkeley 加州大学不仅设立了关于环境意识设计和制造的研究机构，而且