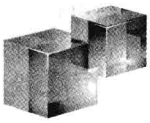
JIDIAN CHANPIN LUSE SHEJI
YU GONGCHENG SHILI

机电产品绿色设计与工程实例

张秀芬　等编著

化学工业出版社



JIDIAN CHANPIN LUSE SHEJI
YU GONGCHENG SHILI

机电产品绿色设计与工程实例

张秀芬　等编著

化学工业出版社
·北京·

本书主要阐述了机电产品绿色设计的基本理论、方法、关键技术，并配合相关的工程案例进行了解析。全书共9章：第1章介绍了绿色设计的概念与内涵，并综述了绿色设计的研究机构和相关成果；第2章介绍了并行设计、模块化设计、创新设计等几种常用的绿色设计理论和方法；第3章从产品绿色材料选择角度论述了产品绿色设计中材料选择的方法；第4～7章分别从结构角度论述了结构减量化设计、结构可拆卸设计、再制造设计、低碳设计等绿色设计关键技术；第8章重点论述了产品绿色设计评价中常用的生命周期评价方法；第9章给出了产品绿色设计的综合案例，并提供了一些成功的绿色设计案例供参考。

本书既是产品设计人员、工程技术开发人员的技术参考书，也可作为机械工程等专业教师、高年级大学本科生以及研究生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

机电产品绿色设计与工程实例/张秀芬等编著. —北京：化学工业出版社，2015.5
ISBN 978-7-122-23465-0

Ⅰ.①机… Ⅱ.①张… Ⅲ.①机电工业-工业产品-无污染技术-设计 Ⅳ.①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第058387号

责任编辑：张兴辉　　装帧设计：王晓宇
责任校对：王素芹

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号　邮政编码100011）
印　　装：高教社（天津）印务有限公司
787mm×1092mm　1/16　印张12¾　字数335千字　　2015年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：58.00元

版权所有　违者必究

前言

随着经济节奏日趋加快和工业化的不断深入，人们对产品的多样化需求导致产品的更新换代速度加快，传统产品设计时大都未考虑对环境的影响，消耗了大量的自然资源，并造成了大量的污染，使生态环境遭到了前所未有的破坏。日益严重的环境污染正威胁着人类的生存，废气、污水、固体废弃物的排放直接对人体健康产生影响。据统计，造成环境污染的70%的废弃物来自于制造业，如报废汽车每年约2400多万辆，产生的废渣数百亿吨。为了遏制环境污染的恶化，各种严格的环境法律法规陆续出台，对制造业形成了强制性约束。因此，保护环境、有效利用资源是制造业可持续发展的必由之路。

在环境、经济、立法等多元驱动下，产品设计需要由传统的以功能为主的设计模式转变为考虑环境影响的绿色设计。绿色设计是一种先进的设计理念，为了支持绿色设计，需要进行产品结构、材料、布局等方面的改变，绿色设计涉及面广，过程复杂，新理论新技术不断发展，为了帮助产品设计人员、研究生和高年级本科生等快速地了解绿色设计理论及其关键技术，本书从理论和案例两个角度介绍了机电产品绿色设计的相关内容。

本书是在总结作者及其科研团队多年的研究成果经验基础上撰写而成。本书共9章，其中第1章介绍了绿色设计的概念与内涵，并综述了绿色设计的研究机构和相关成果；第2章介绍了并行设计、模块化设计、创新设计等几种常用的绿色设计理论和方法；第3章从产品绿色材料选择角度论述了产品绿色设计中材料选择的方法；第4～7章分别从结构角度论述了结构减量化设计、结构可拆卸设计、再制造设计、低碳设计等绿色设计关键技术；第8章重点论述了产品绿色设计评价中常用的生命周期评价方法；第9章给出了产品绿色设计的综合案例，并提供了一些成功的绿色设计案例供参考。

本书得到了国家自然科学基金(51205181)、内蒙古自治区自然科学基金项目(2012MS0707)和内蒙古工业大学中青年学术骨干培养计划专项基金的资助，在此表示感谢。

本书主要由内蒙古工业大学张秀芬、内蒙古机电职业技术学院蔚刚、内蒙古工业大学朱明新编著，内蒙古工业大学机械学院院长胡志勇教授主审。同时，特别感谢浙江大学张树有教授和合肥工业大学刘志峰教授。由于绿色设计是一门涉及多个学科、多个领域的交叉学科，内容博大精深，作者的知识水平与实践经验有限，书中可能存在不足之处，敬请广大读者批评指正，反馈邮箱：zhangxxff@zju.edu.cn。

编著者

目录 CONTENTS

第 1 章 绪论 …… 001

1.1 产品设计模式的进化 …… 001
1.1.1 产品开发模式的发展 …… 001
1.1.2 产品设计在产品开发中的地位 …… 002
1.2 绿色设计的概念与内涵 …… 003
1.3 绿色设计的研究与应用成果 …… 004
1.3.1 绿色设计研究机构与学术成果 …… 004
1.3.2 企业绿色设计应用成果 …… 005
1.4 产品绿色设计的实施 …… 009
1.4.1 实施的障碍 …… 009
1.4.2 实施的关键 …… 010
1.5 本书编写的目的 …… 010

第 2 章 绿色设计理论与方法基础 …… 012

2.1 绿色产品及其内涵 …… 012
2.2 产品生命周期设计理论 …… 014
2.3 产品并行设计理论 …… 016
2.3.1 并行设计基本概念 …… 016
2.3.2 绿色产品并行设计 …… 017
2.4 模块化设计方法 …… 017
2.4.1 基本概念 …… 017
2.4.2 模块化设计的分类 …… 018
2.4.3 模块化设计关键技术 …… 019
2.5 TRIZ 设计方法 …… 022
2.5.1 TRIZ 简介 …… 022
2.5.2 TRIZ 的理论基础 …… 023
2.5.3 TRIZ 的分析工具 …… 025
2.5.4 知识数据库 …… 030
2.5.5 绿色创新设计方法 …… 034

第 3 章 绿色材料选择设计 …… 037

3.1 基础知识 …… 037
3.1.1 绿色材料 …… 038
3.1.2 绿色材料选择的影响因素 …… 039
3.1.3 绿色材料选择原则 …… 039
3.1.4 材料选择方法 …… 040

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

3.2 案例分析 …… 041
3.2.1 FA206B 型梳棉机锡林绿色材料设计 …… 041
3.2.2 减速器高速轴的绿色材料选择设计 …… 043
3.3.3 洗碗机内胆材料选择设计 …… 044

第 4 章 结构减量化设计 …… 046

4.1 结构减量化设计概述 …… 046
4.2 结构减量化设计准则 …… 047
4.3 结构减量化设计方法 …… 048
4.3.1 采用轻量化材料实现减量化 …… 048
4.3.2 结构优化实现减量化 …… 049
4.4 高速机床工作台的减量化设计 …… 051

第 5 章 可拆卸结构设计 …… 053

5.1 设计准则 …… 053
5.2 可拆卸设计方法概述 …… 056
5.3 可拆卸设计信息模型 …… 058
5.3.1 基本定义 …… 058
5.3.2 基于连接元的可拆卸设计信息模型构建方法 …… 061
5.3.3 注塑机合模装置的可拆卸设计信息模型 …… 066
5.4 串行拆卸序列规划方法 …… 066
5.4.1 拆卸序列规划问题的粒子群模型 …… 067
5.4.2 粒子适应度 …… 067
5.4.3 完全拆卸序列规划方法及案例分析 …… 068
5.4.4 目标驱动递归推理法 …… 070
5.4.5 目标选择性序列优化方法及案例分析 …… 071
5.5 并行拆卸序列规划方法 …… 074
5.5.1 问题描述 …… 074
5.5.2 基于分枝定界法的并行拆卸序列规划方法与案例分析 …… 074
5.5.3 基于遗传算法的并行拆卸序列规划方法与案例分析 …… 078
5.5.4 基于模糊粗糙集的并行拆卸序列规划方法 …… 082
5.6 可拆卸性评价与反馈 …… 086
5.6.1 多粒度层次可拆卸性评价模型 …… 086
5.6.2 评价方法与步骤 …… 089
5.6.3 波轮式洗衣机的可拆卸评价案例分析 …… 090
5.7 可拆卸结构设计案例分析 …… 093
5.7.1 静电涂油机的可拆卸结构设计 …… 093

目录 CONTENTS

5.7.2 Power Mac G4 Cube 的嵌入式拆卸设计 …… 094
5.7.3 转盘式双色注塑机合模装置的可拆卸结构设计 …… 096

第6章 再制造设计 …… 101

6.1 再制造工程概述 …… 101
6.1.1 再制造的内涵 …… 101
6.1.2 再制造工程主要研究内容 …… 104
6.1.3 再制造加工方法 …… 105
6.2 再制造设计方法 …… 106
6.2.1 再制造设计概述 …… 106
6.2.2 基于准则的再制造设计方法 …… 107
6.2.3 面向全生命周期的再制造设计方法 …… 109
6.2.4 基于评价工具的再制造设计方法 …… 111
6.2.5 基于拆卸分析的再制造设计 …… 114
6.2.6 再制造结构优化策略 …… 116
6.3 再制造设计案例分析 …… 117
6.3.1 手持军用红外热像仪的再制造设计 …… 117
6.3.2 柯达相机的再制造设计 …… 119
6.3.3 QR 轿车变速箱的再制造设计 …… 121

第7章 产品低碳设计 …… 125

7.1 低碳设计概述 …… 125
7.1.1 低碳设计的概念与内涵 …… 125
7.1.2 低碳产品 …… 125
7.1.3 产品碳足迹及其量化 …… 126
7.2 低碳设计方法 …… 128
7.2.1 产品碳排放结构单元映射模型 …… 128
7.2.2 基本结构单元碳足迹量化方法 …… 128
7.2.3 设计改进 …… 133
7.3 液晶显示器的低碳设计案例分析 …… 135

第8章 产品绿色设计评价 …… 139

8.1 绿色设计评价指标 …… 139
8.1.1 评价指标的选择原则 …… 139
8.1.2 评价指标的分类 …… 140
8.2 绿色设计评价方法简介 …… 140
8.3 生命周期评价方法的技术框架 …… 141

8.3.1 发展历程简介 …… 141
8.3.2 生命周期评价的内涵 …… 142
8.3.3 生命周期评价的相关术语 …… 143
8.3.4 生命周期评价实施步骤 …… 143
8.4 典型生命周期评价方法 …… 147
8.4.1 EPS 方法 …… 147
8.4.2 CML 方法 …… 147
8.4.3 生态指数法 …… 147
8.5 生命周期评价工具 …… 148
8.5.1 GaBi …… 148
8.5.2 SimaPro …… 150
8.5.3 LCAiT …… 151
8.5.4 PEMS …… 151
8.5.5 TEAM …… 151
8.6 生命周期评价方法案例 …… 151
8.6.1 电脑显示器的生命周期评价 …… 151
8.6.2 碎石机的生命周期评价 …… 160
8.6.3 基于 GaBi 的汽车转向器防尘罩的生命周期评价 …… 164

第9章 产品绿色设计综合案例 …… 169

9.1 绿色设计流程与工具 …… 169
9.1.1 绿色设计流程 …… 169
9.1.2 常用绿色设计工具 …… 170
9.2 鼠标的绿色设计案例分析 …… 171
9.2.1 目标产品 …… 171
9.2.2 产品基本资料分析 …… 171
9.2.3 建立核查清单 …… 172
9.2.4 绿色设计策略和方案 …… 174
9.3 产品绿色设计成功案例赏析 …… 175
9.3.1 AQUS 系统 …… 175
9.3.2 Dell Studio Hybrid 绿色迷你台式机 …… 176
9.3.3 环保车轮 …… 176
9.3.4 人力洗衣机 …… 176
9.3.5 太阳能无线键盘 …… 177
9.3.6 环保电池 …… 177
9.3.7 Toyota 自行车 …… 177
9.3.8 个人电脑的绿色设计 …… 177

目录 CONTENTS

9.3.9 丰田汽油电力混合驱动轿车——Prius …… 179
9.3.10 Loewe Opta 电视机 …… 179
附录 新 TRIZ 矛盾矩阵 …… 181
参考文献 …… 194

第1章 绪 论

1.1 产品设计模式的进化

1.1.1 产品开发模式的发展

在制造业刚刚兴起时，所制造的产品简单，制造工艺也很简单。产品设计与制造工作由同一人完成，效率很低，这是原始产品开发模式的特点。

随着社会的发展，产品越来越复杂，产品设计与制造都需要很强的专业知识，原始的产品开发模式无法适应时代的需求，产品开发过程划分为产品设计与产品制造两个阶段。此时，产品设计阶段重点关注的是产品功能、外观、可靠性等要求如何实现；产品制造阶段则重点关注产品如何制造和装配。在当时的社会背景下，这种传统产品开发模式有效地提高了产品开发效率。但是传统产品开发模式也存在很多弊端，如产品设计修改多，开发成本高，开发时间长，产品质量低等。

产品规格包括产品的尺寸和重量、功能要求、外观要求、可靠性要求、使用性要求、配置、开发进度、成本估计等。产品规格是基于客户需求或市场调研结果，对产品开发的整个过程起着纲领性作用。传统产品开发流程是根据市场调查和客户需求分析，定义出产品详细规格，设计人员负责产品设计，然后由制造工程师和装配工程师分别负责产品制造和装配的工艺设计，最后进行相关测试，测试合格后投入批量生产。传统产品开发流程具体如图 1-1 所示。

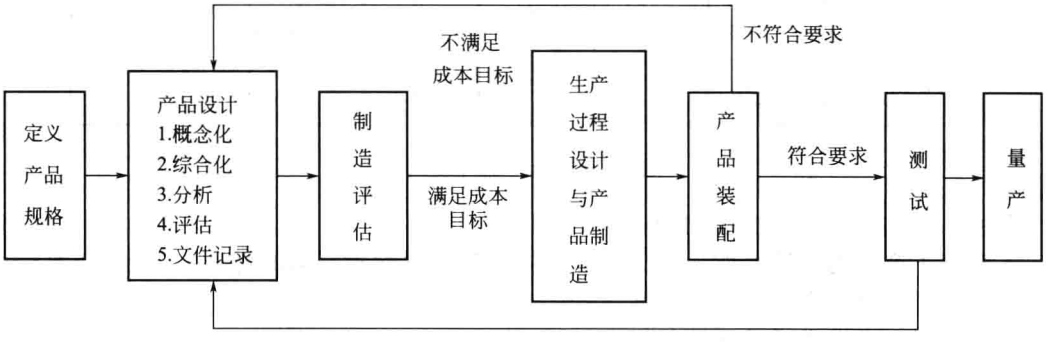


图 1-1 传统产品开发流程

从上述传统产品开发流程看出，产品开发过程包括了产品设计、制造、装配、测试等多重循环，必然造成产品开发周期长，开发成本高。

进入现代社会，企业之间竞争越来越激烈，客户对产品要求越来越高，传统产品开发模式中由于设计与制造阶段脱节，无法满足以更低成本、更短时间、更高质量进行产品开发的需求。产品设计与制造应该并行考虑，即在产品设计阶段必须考虑到制造和装配对产品设计

的要求，其开发流程如图 1-2 所示。这种面向制造和装配的产品开发模式面对的产品较复杂，设计修改少，产品开发成本低，开发时间短，产品质量高。

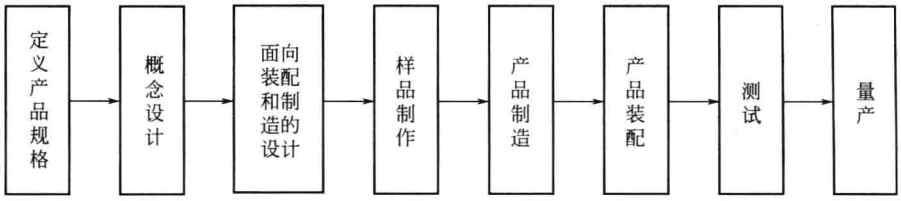


图 1-2　面向制造和装配的产品开发流程

随着工业化的发展与成熟，工业发展给消费者带来了丰富的产品，给企业带来了丰厚的利润，但是也使得人类赖以生存的自然环境遭到了严重破坏。资源枯竭、能源匮乏、环境污染等问题日益突出。制造业是将可用资源（包括能源）通过制造过程转化为可供人们使用和利用的工业产品或生活消费品的产业。制造业一方面是制造人类财富的支柱产业；另一方面又产生大量废弃物（物料废弃物、能源废弃物、产品使用退役后的废弃物等），对环境造成污染，是当前环境污染的主要源头。这不仅消耗了大量资源和能源，而且这些废物占用了土地、污染了空气和水体，对人类健康造成了威胁。

我国情况更为严重。自建国以来，我国国民生产总值（GDP）增长十多倍，制造业是我国国民经济的重要组成部分，工业增加值占 GDP 的 35%。我国已成为制造业大国，工业增加值居世界第四位，约为美国的 1/4、日本的 1/2，与德国接近。但是我国单位 GDP 的能耗是美国的 4.3 倍，德国的 7.7 倍，日本的 11.5 倍；单位资源的产业水平相当于美国的 1/10，日本的 1/20，德国的 1/6。

由此可见，人类赖以生存的资源、能源越来越少，而人类对资源和能源的消耗却越来越多，这个矛盾将愈来愈尖锐。传统的产品开发模式只注重产品性能、成本、质量等要求，忽略了与环境的协调发展，绿色产品开发模式逐渐成为企业发展的一种必然需要，其开发流程图 1-3 所示。

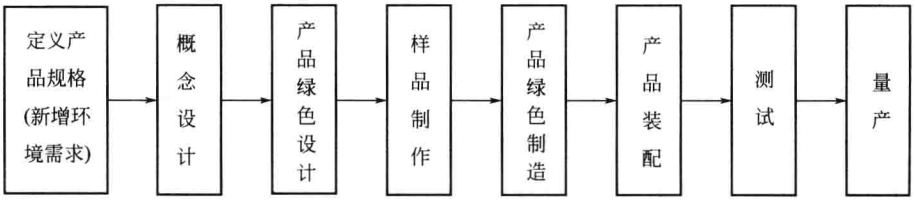


图 1-3　绿色产品开发模式

绿色产品开发模式主要特点体现在以下几个方面：

① 改善了产品的环境属性，减少了产品整个生命周期对环境的污染；

② 减少了产品开发成本和开发周期；

③ 减少了产品退役后的环境负担。

1.1.2　产品设计在产品开发中的地位

产品开发模式的发展历程实质也是产品设计思想的发展历程。产品设计在产品开发中具有举足轻重的地位，主要体现在以下几个方面：

① 产品开发中，产品设计决定着产品结构、材料、制造工艺、装配工艺、质量等；

② 产品设计成本仅仅占整个产品开发投入成本的 5%，但是产品设计决定了 75%的产

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

品成本；

③ 产品质量不是靠制造和检验出来的，产品设计决定了80%产品质量；

④ 合理的产品设计便于产品顺利地制造、装配、维修维护和回收，反之，不合理的设计需要反复修改设计，相应地延长了产品开发时间，因此，产品设计决定了开发周期的长短；

⑤ 产品设计决定着产品的环境属性，良好的产品设计可以节省原材料的使用、便于制造和装配、产品使用过程中能耗少、退役后便于拆卸并回收再利用等。

1.2 绿色设计的概念与内涵

绿色设计（Green Design，GD）也称生态设计（Ecological Design，ED）、环境设计（Design for Environment，DFE）、环境意识设计（Environment Conscious Design，ECD）等。对绿色设计概念形成贡献卓越的是Victor Papanek于1971年出版的《Design for the Real World：Human Ecological and Social Change》一书，书中批判了当时产品设计忽略社会和环境因素，并提出了“social design”、“social quality”和“ecological quality”等与生态设计相关的概念。绿色设计的概念是由AvrilFox和RobinMurrell于1989年出版的《Green Design》一书中正式提出。产品绿色设计是一种基于产品整个生命周期，并以产品的环境资源属性为核心的现代设计理念和方法，在设计中，除考虑产品的功能、性能、寿命、成本等技术和经济属性外，还要重点考虑产品在生产、使用、废弃和回收的过程中对环境和资源的影响，以废弃物减量化、产品寿命延长化、产品易于装配和拆卸、节省能源为目的。绿色设计反映了人们对于现代科技文化所引起的环境及生态破坏的反思——由于目前科技的飞速发展和人类物欲的膨胀，人类在向大自然无休止的索取过程中，正在遭受到大自然的无情惩罚。

绿色设计与传统设计的根本区别在于：绿色设计要考虑产品的整个生命周期，从产品的构思开始，在产品的结构设计、零部件的选材、制造、使用、报废和回收利用过程中对环境、资源的影响，希望以最小的代价实现产品“从摇篮到再现”的循环。

绿色设计的核心是“3R”，即：Reduce（减少），Reuse（重新利用），Recycle（循环）。

“Reduce”，即在产品设计中尽量减少体积、重量，简化结构，去掉一切不必要的用材；在制造中减少能源消耗，降低成本；减少消费中的污染。

“Reuse”，首先是产品部件结构自身的完整性；其次是产品主体的可替换性结构的完整性；再则是产品功能的系统性。

“Recycle”，它包含了立法、建立回收运行机制、可回收的结构设计、利用回收资源再设计生产的一整套工程。

绿色设计的基本内涵包括以下几个方面。

① 在产品设计的全过程中，产品的基本技术性能属性与环境资源属性、经济属性并重，且环境资源属性优先。

② 在设计阶段应充分考虑产品在使用废弃后的可拆卸性和回收利用性。

③ 提出了产品设计者和生产企业在环境保护、节约资源方面应承担的社会责任。即对大宗工业产品，企业不但要生产产品，同时，还应在可能的范围内，承担产品回收和再利用的义务。

④ 它是对传统设计方法、设计理念的发展和创新，体现了人类对机械产品设计学科认识的深化。

1.3 绿色设计的研究与应用成果

绿色设计是一个多学科交叉的设计方法，设计过程中，首先进行绿色设计需求分析，形成产品总体设计方案，然后运用生命周期设计、并行工程、模块化设计、创新设计等方法对产品功能、材料选择、结构及包装进行详细设计，形成详细设计方案，通过生命周期分析评估产品设计方案的技术性能、环境性能、资源性能、能源性能及经济性，反馈评价结果，如果不满足设计需求，则需要进行设计改进，直到满足设计需求为止。

1.3.1 绿色设计研究机构与学术成果

20 世纪 70 年代以来，绿色设计及其相关问题的研究一直很活跃，绿色设计被普遍认为是解决环境污染、能源匮乏和资源枯竭三大问题的主要途径之一。

国内外的绿色设计研究主要集中在高等院校及一些研究机构。在美国、加拿大、西欧等一些发达国家，一些国家重点实验室、国家研究中心和大学研究所，在企业、基金会和国家科学基金会等的资助下对绿色设计及相关技术方法开展了大量的研究工作。国内对绿色设计的研究与应用主要集中在一些高等院校和研究院所，在国家科技术部、自然科学基金会委员会及其他部省有关项目的支持下，对绿色设计的基础理论、关键技术及应用等进行了广泛的研究，目前已经形成了一支从事绿色设计研究的专业队伍。

下面对其中几个主要机构进行简要介绍。

(1) 美国德克萨斯工业大学先进制造实验室

美国德克萨斯工业大学先进制造实验室在环境友好型生产技术、废弃电子产品拆卸与回收创新系统（An Innovative System for End of Life Electronic Product Disassembly and Recycling）及基于 Web 的电子产品材料再生及回收管理系统（A Webbased Electronic Product Material Recovery and Recycling Management System）、针对手机等产品开展了其回收性能研究、逆向物流系统的建模与仿真等方面进行了研究。如开发的报废电子产品拆卸及回收系统可以评估回收再利用的效益、计算拆卸及回收成本。

(2) 卡耐基梅隆大学绿色设计研究所

以减小对环境的影响、减少非再生能源的依赖程度、减少可再生能源的利用为目的，卡耐基梅隆大学绿色设计研究所在环境管理、能源与环境、绿色建筑、生命周期分析等方面展开了系统的研究。具体从事产品回收系统设计、全生命周期成本核算、汽车报废管理规则、绿色设计价格设定、环境标准制定和管理系统、计算机报废处理技术等研究工作，编写了基于环境友好型设计制造的机械产品生命周期手册、建立了报废电脑和汽车的生命周期评价标准等，并与 Alcoa、AT&T、IBM、GE Plastics、Daimler-Chrysler、Ford、General Motors、Xerox、AT&T Foundation 等企业、基金会广泛合作，取得了良好的效果。

(3) 美国加州大学伯克利分校的绿色设计与制造研究机构（CGDM）

美国加州大学伯克利分校的绿色设计与制造研究机构成立于 1993 年，为促进工业环境治理和污染防治中的多学科研究和教育工作的发展，以建立关于工程、管理、公众卫生、建筑和政策方面的多学科研究为中心，探讨有关环境治理和污染防治问题、开设绿色设计和制造课程，使工程、商务、能源和资源专业的学生学习并解决本领域中的问题，与工业伙伴在电力、计算机、航天、汽车和建筑等经济领域进行研究，在城市、地区、州和联邦范围内与政府建立技术支持和信息交换的通道，为经济组织、政府组织和其他非盈利组织方便地提供绿色设计和制造的信息为宗旨，主要从事半导体制造业的环境意识设计、电子产品回收和废

弃处理、环境供应链管理、基于经济收支分析的生命周期评价等工作，开发了绿色加工模块化辅助软件。

(4) 荷兰德尔福特科技大学绿色设计研究所

荷兰德尔福特科技大学绿色设计研究所主要针对生命周期末端的生态效益、生态设计方法及生态设计的实施、生态服务及系统设计等进行研究，主要是完善现有方法，将产品的设计原则创新化及公式化，减少产品对环境的影响，主要针对企业的设计工程师及设计顾问公司，侧重于整体产品的绿色设计，考虑到产品生命周期终结时的影响，改善产品生命周期后期的环境效益。

(5) 荷兰阿姆斯特丹大学（IVAM）研究机构

IVAM 研究机构主要围绕化学风险、绿色建筑、能源、供应链管理、生活品质及清洁生产等开展研究，其主要内容包括绿色永续防火建材及结构、绿色工业发展及绿色居家产品服务、研发了生命周期分析软件 SimaPro 的组成数据库 IVAMLCA Date4。

(6) 澳大利亚皇家墨尔本理工大学设计中心（RMIT）

RMIT 开展绿色设计研究与应用已有近 20 多年的历史，是澳大利亚绿色设计研究与推广应用的核心机构。该中心围绕绿色建筑、绿色材料、绿色与包装、生命周期分析进行研究，通过研究、咨询、信息交流等方式推广绿色设计，以中小型企业为目标，已经开展了两个阶段的主要工作：第一阶段使各企业确定今后改进产品设计、材料选择及相关业务的方案，为企业提供绿色设计指南，并组织企业召开各种形式的绿色设计研讨会；第二阶段侧重于能源效率、节水、有毒原材料和产品寿命终结后的重复利用与再循环。

(7) 其他国外研究机构

加拿大 Windsor 大学环境意识设计与制造实验室（ECDMlab）建立了基于万维网的信息数据库，支持环境设计与制造，2004 年完成了单纤维回收再利用工程（MRRP）。伊利诺斯大学结合统计学、生命周期评价（LCA）和并行工程及多目标决策技术，研究了新的产品优化设计方法。欧洲的国际生产工程研究会（CIRP）、英国可持续设计中心（CfSD）、荷兰代尔夫特工业大学、应用科学研究院、英国 Surrey Brunel 和 Manchester Metropolitan 大学等研究机构在绿色设计的不同方面进行了研究，研究重点分布于不同的产业，如电子器具、包装产品、家具行业等。日本东京大学生产技术研究所主要从事绿色材料、绿色设计及生命周期评估等的研究与应用。

(8) 国内主要研究机构

清华大学与美国“Texas Tech University”先进制造实验室建立了关于绿色设计技术研究的国际合作关系，对全生命周期建模等绿色设计理论和方法进行了系统研究。合肥工业大学从 1994 年开始开展绿色设计的研究，在国家自然科学基金的资助下，对绿色设计的概念及内涵、绿色设计方法与工具、绿色设计的评价指标体系与评价方法、绿色设计的关键技术等进行了广泛系统的研究，出版了《绿色设计与绿色制造》、《绿色设计》、《绿色设计方法、技术及其应用》等著作。与美国德克萨斯理工大学先进制造实验室、海尔、美菱、华凌、万宝、奇瑞等单位开展合作，结合家用电器、汽车、通信终端产品等，进行了针对性研究。上海交通大学针对汽车开展可回收性绿色设计技术的研究，与 Ford 公司合作研究轿车的回收工程问题。重庆大学承担了国家自然科学基金和国家 863/CIMS 主题资助的关于绿色设计制造、产品寿命周期分析等技术的研究项目。华中科技大学、北京航空航天大学、浙江大学、机械科学研究院等都开展了绿色设计制造技术研究。

1.3.2 企业绿色设计应用成果

国内外许多著名企业，如 IBM、惠普、DELL、三洋、东芝、松下、索尼等企业非常重

视产品绿色设计的研究与应用，已在企业的生产经营过程及研发的多种产品中采用绿色技术，特别是针对欧盟相关指令已经有一些有效的应对方法与措施，不仅提高了产品技术含量和市场竞争力，而且树立了良好的企业形象。

(1) 富士施乐（Fuji Xerox）公司的绿色设计及其应用

为满足日本生态标志（Eco-Mark）及国际能源之星计划（Energy Star Program）的要求，该公司为了减少产品的环境影响，一直致力于绿色产品的开发，不论从产品的设计、选材、生产、包装、运输乃至回收利用，均融入了绿色设计的概念。以复印机为例，为了尽可能减少产品对环境的影响，主要从减少资源的使用量、提升回收效率、营造良好的办公环境等观点出发，通过减少有害物质的使用，增加产品的耐用性，提升回收、再利用的比例等方式完成产品的绿色设计，其具体流程如图 1-4 所示。

该公司实施绿色设计的主要技术手段包括：

① 减少物料使用。该公司除了采用小型化与轻量化设计准则外，利用了高质量的复印技术进一步减少原材料的使用。

② 采用回收设计进行产品设计。该公司归纳整理了回收设计的相关准则，加强产品设计人员对回收设计的理解，并配合完善的回收制度与程序，尽可能地提高产品的再利用率。该公司从 1995 年起开始在产品中使用回收零部件，截至 2001 年已有 59 种零部件被回收利用在不同产品设备中，由于采用了回收组件，大大减少新产品制造时的能耗与原料使用，通过生命周期分析，估计当采用回收零件达到 2200t 时，可减少约 13317t 的二氧化碳的排放。

③ 完善的回收程序。该公司建立了完善的回收程序，首先，消费者淘汰废弃的产品被送到专门的分类工厂进行初分类，分为零部件回收与材料回收两部分。对于材料回收部分，先剔除有害物质的成分，进行材料回收或热回收等，尽可能实现零排放；而零部件回收则通过清洗、检测，回收可用的零部件，或将其破碎作为原材料用于新产品壳体或包装的生产，以实现内部回收循环。

④ 调色技术的创新。该公司采用乳化聚合碳粉新技术，可使颜料与蜡质混合得更加均匀，可将印刷网点呈现得更加细致与圆润，使用该类碳粉的产品，不仅对纸张的适应性特别强，打印质量高，大幅度降低二氧化碳的排放量，墨粉的使用效能大大提高，废粉量大大减少，而且在要求相同印制质量时，可减少调色的使用，减少复印时能源与资源的消耗。富士施乐公司采用自行制定的管理标准对有害物质如六价铬、铅、卤素阻燃剂等进行管理与控制。

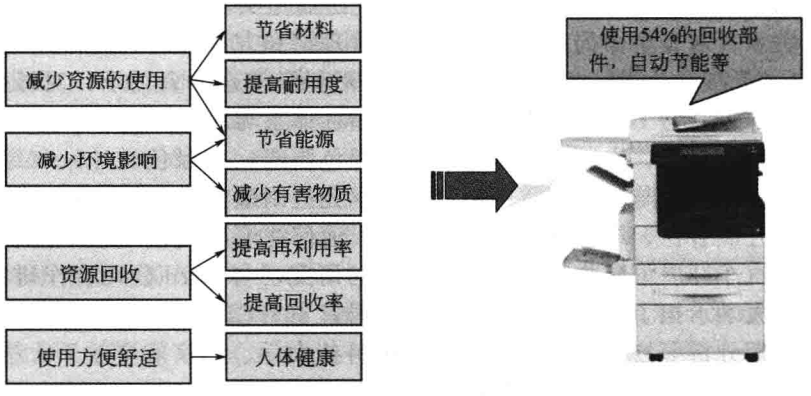


图 1-4　Fuji Xerox 公司复印机绿色设计流程图

(2) 佳能（Canon）公司的绿色设计及应用

该公司采用的绿色设计系统主要包括环境信息设计准则及产品评估准则两部分，环境信

息系统包括了产品环境特性管理系统、绿色材质信息系统、绿色供应链管理、生产管理、环境信息系统（含法律法规、绿色标志、设计案例及材质特性等），可用来评估产品的绿色特性，通过信息反馈，设计人员采用绿色设计技术从源头上提升产品的绿色性。

佳能公司采用的绿色设计技术包括：

① 在新产品设计中选用回收材料或轻量化设计来减少原材料的使用，如在激光打印机中，已有部分零部件由100%的PET回收材料制成，并在扫描仪产品的研发中应用了LIDE专利技术减低原材料用量。

② 制定了产品的回收计划，并在1992年全面采用塑料标识制度，以便未来的回收、分类及再利用，1999年提出了三明治回收模式，即以回收的材料与原始材料混合制造新的塑料板，以减少原材料的使用，该技术目前已应用于多款复印机机型中，约可减少30%的原材料使用量。

③ 采用锡、银及铜来取代铅锡焊等工艺，并成功应用在F9000BJ打印机中。

④ 严格控制有害物质材料。表1-1是Canon公司的有害物质管制清单。

表1-1 Canon公司的有害物质管制清单[刘志峰,2008]

分类	编号	物质名称	分类	编号	物质名称
重金属及其化合物	1	锑及其化合物	有机卤素化合物	16	氯化石蜡
	2	砷及其化合物		17	多溴联苯类
	3	铍及其化合物		18	多溴联苯醚类
	4	铋及其化合物		19	卤素树脂添加剂②
	5	镉及其化合物		20	多氯联苯
	6	铬化合物①		21	多氯环烷烃类（超过3个氯原子）
	7	六价铬化合物		22	聚氯乙烯
	8	钴及其化合物	其他	23	石棉
	9	铅及其化合物		24	偶氮染料
	10	汞及其化合物		25	氰化物
	11	镍及其化合物		26	破坏臭氧层物质③
	12	有机锡化合物		27	邻苯二甲酸酯类
	13	硒及其化合物		28	辐射物质
	14	碲及其化合物			
	15	铊及其化合物			

① 包含六价铬及重金属铬。

② 包含氯化石蜡、PBB、PBDE。

③《蒙特利尔议定书》所限制的物质。

(3) 索尼（Sony）公司的绿色设计及其应用

该公司将产品设计的环境因素以P-D-C-A方式融入环境管理系统中，采用生命周期设计评估方法，实现了产品的持续改善。

索尼公司实施绿色设计的重点主要在以下几个方面。

① 省能设计。改善产品待机与使用时的电能消耗，如某掌上型摄影机其能源消耗上比原款型减少约10.5%，待机状态只耗用0.2W的电能。

② 低毒害设计。如掌上型摄影机采用无铅焊接工艺，产品所用印制电路板上约90%的元器件均实现了无铅化，电路板中也不含卤素阻燃剂。产品的整体包装也采用100%回收的

杂志纸作为包装材料。

③ 绿色包装设计。采用回收的杂志纸作为包装材料，而外部包装则采用不含挥发性溶剂的植物性油基印制，包装缓冲部分也采用纸浆制品取代原本的 PS 发泡包装材料，此外，设计了新型的包装形式，例如，加强碰撞点包装，即针对产品在搬运过程中较易碰撞的点，加强产品包装的保护性，这样可省去产品整体包装材料的使用；其所采用的单件式外盒设计，仅采用单张硬纸板制成的产品包装外盒，已在日本及其他产品销售国受到好评且已获得包装方面的多个奖项。以六角型的电视外包装替代四角型包装。根据 Sony 公司的统计资料显示，1998 年平均每台电视机约需使用 379g 的 PS 发泡包装材料，而经过改进，到 2002 年 3 月，平均每台仅需使用 155g 发泡包装材料，大约减少了 60%的使用量。

(4) 戴尔（DELL）公司的绿色设计及应用

戴尔公司采用生命周期方法将绿色准则融入产品设计过程中，主要采取的绿色措施包括以下措施。

① 在制造过程中，不使用破坏臭氧层的 CFCS 或 HCFCS 等物质，削减产品中受限制的阻燃剂、RoHS 所禁用的重金属物质、PVC 材料的使用。

② 进行拆卸及回收性设计。通过模块化、可升级化设计将部分零部件设计成易于拆卸的结构，以利于维修与产品升级；产品中的大部分零部件采用卡扣设计，仅在部分连接处采用螺钉组装；较大的塑料组件印上回收标志；内部的机壳部分采用回收钢材制成。

(5) IBM 公司的绿色设计及应用

该公司采用产品生命周期分析方法，使产品具有较高的能源效率、可再利用、回收或安全处置的特性、进而降低产品的环境影响。

采用的绿色设计措施包括以下措施。

① 采用回收材料。产品生产过程中尽可能地减少空气、水体、废弃物、有毒有害物质的排放，从产品生命周期观点出发，提高产品能源效率，便于废弃后的回收利用。

② 产品的减量化设计。例如，IBM 的 NetVistaX40 台式计算机，采用 15 英寸（1 英寸＝25.4mm）液晶屏幕设计及系统整体规划，与传统台式计算机相比，体积减小约 75%；其他产品，如 X40 系列产品，质量可减少约 34%，不仅减少了塑料件、金属及其他材质的使用量，而且也增加了办公室的使用空间。

③ 能源效率。IBM 公司约有 80%以上的产品通过了能源之星标准，而所有的个人计算机系列产品均应用了能源管理技术，减少了能源的消耗。除台式及笔记型计算机产品外，其打印机及显示器产品也获得了能源之星标志。

④ 包装计划。制定了绿色包装材料准则，如包装中禁止使用破坏臭氧层之物质及重金属，排除使用对环境有影响的阻燃剂，减少了有毒有害物质的使用，确认包装设计及方法程序，以减少包装材料的使用量，尽量采用可再使用、再生利用的包装材料。

⑤ 产品回收计划。自 1989 年率先在欧洲地区实行产品回收计划，为了进一步扩展产品回收效益，IBM 公司目前在推行打印机的回收计划，将部分零部件回收再利用或再制造，避免打印机的墨水夹直接进入填埋系统。

⑥ 公布产品环境信息。IBM 公司采用欧洲计算机制造协会的 TR/70 格式（即产品环境特性宣告，以鉴别和说明信息、通信、消费性电子产品的环境特性与相关的测量方法），主动宣告公司产品的环境特性，使消费者了解 IBM 产品的环境表现，并对绿色产品有更进一步的认识。

(6) 福特汽车公司的绿色设计及应用

福特汽车公司采用生命周期评估方法，积极寻求使用低污染原材料及清洁生产技术，为供货商提供必要的信息与协助，降低限用物质的使用量，积极推广绿色设计的产品。该公司

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com