

国家自然科学基金资助项目

谢家平 著

绿色设计 评价与优化

中国地质大学出版社

绿色设计评价与优化

谢家平 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

绿色设计评价与优化/谢家平著. —武汉: 中国地质大学出版社,
2004. 5

ISBN 7-5625-1892-0

- I. 绿…
- II. 谢…
- III. 绿色设计-评价-优化
- IV. F22

绿色设计评价与优化

谢家平 著

责任编辑: 吴虹

责任校对 张咏梅

出版发行: 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮编 430074

电话: (027) 87482760 传真: 87481537 E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本: 850 毫米×1168 毫米 1/32

字数: 17 千字 印张: 6.75

版次: 2004 年 5 月第 1 版

印次: 2005 年 8 月第 2 次印刷

印刷: 武汉教文印刷厂

印数: 1001—2000 册

ISBN 7-5625-1892-0/F·159

定价: 15.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

与数千年漫长的农业经济时代相比,历时仅两百余年的工业经济创造出了惊人的社会财富和高度的现代物质文明,使得人们居住的地球改变了面貌。伴随工业化创造的辉煌,也带来了人类的忧虑。土地沙化,淡水缺乏,空气和水质污染,工业垃圾和生活垃圾遍地。人类进行工业生产本是为了创造更加美好的生活,大自然却偏偏同人类开了个玩笑,使人类既没有清洁的水可饮用,又没有干净的空气供呼吸,还没有明媚的阳光照耀。环境破坏给人类社会的生存与发展带来了严重威胁。绿色文明的理念由此产生,与此相适应,工业化进程中的绿色制造也就日益成为人们关注的课题。

绿色文明要求人们在维护生态平衡的基础上合理开发资源,通过最有效地控制排放物和利用废弃物,把人类的生产与消费限制在生态系统所能承受的范围之内,实现经济与社会、生态与环境和谐统一的可持续发展;要求人们树立绿色制造的理念,把天人和谐论的思想贯穿于产品设计、材料选择、生产制造、包装运输、使用维护、报废回收全过程。在这一过程中,绿色设计在很大程度上决定了产品寿命周期的绿色性,决定着能否经济可行地回收生产过程中的“三废”和使用报废后的废弃物。

谢家平博士从管理科学的角度,通过定性与定量相结合,以定量为主的研究方法,着眼于设计方案的系统评价、财务分析、方案优选的有关理论及方法,寻求技术上可行、经济上合理的产品设计方案,取得了既有理论意义,又有实际参考价值的学术成果。

论著从三个方面进行了创造性的研究:(1)绿色设计系统评价理论与方法的研究。产品设计方案决定着资源的使用效率和环境的影响程度,这就需要对产品的绿色度进行科学测度。论著运用了系统分析原理,对绿色产品设计的目标、衡量指标、评价标准、生命

周期等进行系统的分析和研究。根据模糊综合评价原理,建立了量化产品绿色度的三维模糊系统评价模型,对设计产品的绿色性进行综合评估,为提升产品绿色含量提供了科学合理的分析方法。(2) 绿色设计财务分析模型的研究。传统的制造成本-效益分析只是考虑产品的销售收入和生产成本;传统的报废处理只是作废旧物资回收,没有考虑产品废弃后的环境污染问题。谢家平博士在分析产品多生命周期的闭环物流链的基础上,阐述了环境价值链的内涵,建立了产品全生命周期的财务分析模型。同时,构建了零部件再用、材料再生、安全处置等装配式产品废弃处理策略的成本与效益分析模型。(3) 绿色设计方案优选的 0-1 型目标规划模型的研究。寻求满意的设计方案就需要对方案进行优选,对这样复杂的决策问题,难以转化成单一目标进行选优。作者通过建立设计方案选优和产品回收策略优选的 0-1 型目标规划模型,使方案在满足一系列约束的基础上实现各种预期的目标,为绿色设计方案优选提供综合的决策依据。

本书的出版,将丰富绿色制造理论和方法,将促使人们对可持续发展战略有进一步的理解,并为企业在新时期有效提高竞争力提供了指导。

陈新秋

2004 年 3 月 1 日

前 言

自 20 世纪 90 年代以来,有关资源和环保问题日渐成为制造业研究的热点,人们提出了绿色制造的理念,这是一种基于环保竞争策略的现代企业生产模式。机械工程学者们大多在绿色制造的一般理论体系、专题技术等方面进行论述,对绿色设计的概念和内容有一定程度的涉及,但还不系统,主要从制造技术方面进行了初步研究,缺乏对设计方案的系统评价及财务分析研究,更谈不上系统优化模型的构建。笔者以国内外文献资料为基础,结合博士论文《绿色设计的系统评价与财务分析研究》的相关成果完成该书的撰写工作。从管理者的角度,着眼于设计方案的系统评价、财务分析、方案优选的有关理论及方法展开研究和论述,寻求技术上可行、经济上合理的产品设计方案;深入探讨了废弃产品回收处理策略的经济效益分析和优化方法,取得了一些有理论意义和在管理上可供使用、有参考价值的成果。全书共分为八章,研究主要集中在如下三个方面:

(1) **绿色设计系统评价理论与方法的研究。**由于产品设计方案决定了资源的利用率和对环境的影响程度,产品从制造、使用到废弃都与设计密切相关。如果在设计阶段便进行环保规划设计,可以将产品整个生命周期内可能产生的环境污染与危害降至最低。绿色设计的目标是设计出环境友好的绿色产品,那么如何科学合理地度量产品的绿色度,如何提升其绿色技术含量,就需要对产品设计方案的绿色性进行系统评价。因此,本书运用系统分析原理,对绿色产品设计的目标、衡量指标、评价标准、生命周期等进行系统地分析和研究。运用关联分析合理计算权重,并对评价样本值矩阵进行了设计。根据模糊综合评价原理,建立了量化产品绿色度的三维模糊系统评价模型,可以对设计产品的绿色性进行综合评估,以明确其

优势与不足,有利于寻找尚需改进的指标、生命周期阶段和产品组成部件,提升其绿色含量。

(2) **绿色设计财务分析模型的研究。**传统的制造成本-效益分析只是考虑产品的销售成本和生产成本;传统的报废处理只是作废旧物资回收,按照预先规定的折旧方式收回残值,没有考虑产品废弃后的环境污染问题。本书在分析产品多生命周期的闭环物流链的基础上,①借助供应链和价值链的概念,阐述了环境价值链的内涵及其外部主体的价值关系;运用基于作业的成本分析法,综合分析产品的设计、制造、包装、使用、回收处理等全生命周期过程的成本与收益,考虑产品本身的经济性和产品再生的经济性,建立产品全生命周期的财务分析模型。②全面论述了零部件再用、材料再生、安全处置等装配式产品废弃处理策略的成本与效益,建立了逆向物流的成本-效益分析模型。③本书详细论述了拆卸树的绘制规则,引入零部件的拆卸可达矩阵 R ,通过可达矩阵 R 与拆卸决策向量 X 进行布尔运算来识别各组件是否需要拆卸,提出了拆卸时间和拆卸成本的计算方法。④设计方案的经济性分析需要完整、快速而准确的企业财务数据,本书提出了构建快速反应财务系统的模式。总之,通过绿色设计财务分析有利于量化分析成本动因,寻找关键作业成本项,指导企业改进产品设计。

(3) **绿色设计方案优选模型的研究。**各种设计方案对环境的影响和资源消耗不同,所产生的经济效益和社会效益也不一样,各有其优势,也存在不足。如何找到各方面都较满意的设计方案,这就需要进行方案优选。绿色产品设计决策中,衡量产品设计方案的优劣需要涉及产品生命周期全过程,往往要同时考虑多个目标。既要考虑产品设计方案的性能属性目标和经济属性目标,同时也要兼顾生产、使用、回收处理的环境属性目标、资源属性目标、能源属性目标等。而在这些目标中,有主要的,也有次要的;有近期目标,也有远期目标;有互相补充的,也有互相对立的。对这样复杂的决策问题,难以转化成单一目标进行选优,可以采用求解含有多个相互

冲突目标的目标规划模型；“是”或“非”的决策问题又可以转化为 0-1 规划问题。因此，本书建立了设计方案选优的 0-1 型目标规划模型，使之在满足一系列约束的基础上，尽量实现各种预期的目标；还建立了产品回收策略优选的 0-1 型目标规划模型，并以 PC 机的回收处理为例，进行了实际应用。通过模型的求解及其参数变动分析，还能明确其差距所在，以指导设计方案的改进。此外，运用多指标综合排序原理，构建绿色产品设计方案的多目标综合排序模型，评估其综合价值，为绿色设计方案优选提供综合的决策依据。并以绿色冰箱为例，进行了实际应用。

本书撰写过程中参考引用了大量国内外文献资料，参考文献中只列出了其中最主要的一小部分，尚有许多没有一一列出，在此向这些文献资料的作者表示衷心谢意。绿色制造的理论尚处于研究和发展过程的初期，本书很多内容是探索性的，一些观点和方法尚需推敲和深入，缺点和错误在所难免，敬请专家和读者指正。

谢家平

2004 年 2 月于上海财经大学

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 绿色制造产生的背景	(1)
1.2 企业实施绿色制造的战略意义	(7)
1.3 绿色设计在绿色制造中的作用	(10)
1.4 绿色制造理论研究评述	(12)
1.5 研究方案	(22)
2 绿色设计系统分析	(28)
2.1 绿色制造的内容体系	(28)
2.2 绿色设计的相关概念	(32)
2.3 绿色设计系统分析的要素	(35)
2.4 绿色设计的目标集分析	(36)
2.5 绿色设计评价的指标集分析	(39)
2.6 绿色设计的评价标准集分析	(43)
2.7 绿色设计的生命周期分析	(44)
2.8 绿色设计的原则分析	(50)
2.9 本章小结	(52)
3 绿色设计系统评价	(54)
3.1 绿色设计系统评价概述	(54)
3.2 绿色设计系统评价的复杂性	(56)
3.3 绿色设计系统评价的基本思路	(57)
3.4 本章小结	(65)
4 绿色设计的系统评价模型	(69)
4.1 专家咨询评价法	(69)
4.2 层次分析法	(80)
4.3 模糊评价模型	(94)

4.4 绿色设计评价的辅助决策系统框架	(116)
4.5 本章小结	(117)
5 绿色设计的成本-效益分析模型	(120)
5.1 环境价值链的概念	(121)
5.2 环境价值链分析	(124)
5.3 环境价值链的成本分析模型	(129)
5.4 敏捷财务系统模式的构建	(135)
5.5 本章小结	(142)
6 逆物流回收策略的成本-效益分析模型	(144)
6.1 回收产品的拆卸	(145)
6.2 拆卸成本的计算	(149)
6.3 不考虑零部件降级的回收财务分析模型	(155)
6.4 考虑零部件降级的回收财务分析模型	(159)
6.5 应用举例	(162)
6.6 敏感性分析	(165)
6.7 本章小结	(169)
7 绿色设计方案优选的多目标决策模型	(171)
7.1 目标规划概述	(172)
7.2 目标规划模型	(174)
7.3 产品方案优选的目标规划模型	(176)
7.4 回收策略优选的目标规划模型	(182)
7.5 设计方案的多指标综合排序法	(191)
7.6 本章小结	(198)
8 研究工作的展望	(199)
参考文献	(201)
后 记	(205)

1 绪论

【提要】本章是全书的导引，按如下结构组织展开：绿色制造(GM)产生的背景分析(GM 的社会意义)■◆◆企业实施绿色制造的战略意义研究■◆◆论述绿色设计(GD)在绿色制造中的作用■◆◆对 GM 和 GD 的研究现状进行评述■◆◆提出本书要研究的三大问题(论述设计方案系统评价、财务分析、方案优选的有关理论，分别构建其数学模型)，设计出解决问题的技术路线■◆◆概述全书研究的主要内容，展示本书结构的基本框架。

1.1 绿色制造产生的背景

迄今为止，人类经历了农业文明、工业文明和后工业文明三个时期。有人用黄、黑、绿三种不同颜色来表示这三种文明类型，生动地说明了不同时期人与自然关系的特点。绿色文明要求人们认识到人与自然是息息相关、相互作用、互利共生、和谐发展的有机统一。人们应在维护生态平衡的基础上合理开发自然，把人类的生产与消费方式限制在生态系统所能承受的范围内。为了实现绿色文明，就要转变传统的单一经济增长模式，它只是通过成本、利润、产值等要素来分析人类生产活动的得失，很少顾及经济增长导致的资源和环境代价，而绿色文明则要求人类的生产活动必须合乎生态的要求，使经济的增长具有可持续发展的特性。

可持续发展一词首见于 20 世纪 70 年代，由 IUCN/UNEP/WWF 在《世界自然保护大纲》中所使用。1987 年，以挪威首相 Brundtland 为首的世界与环境委员会向全球发表了《我们共同的未来》研究报告，可持续发展这一新概念正式向世人提出。可持续发展理论将生态环境与经济发展联结为一个互为因果的有机整体，要求社会、经济与环境的协调发展，强调经济发展要考虑自然生态环境的长期承

受能力,使环境和资源既能满足当今社会经济发展的需要,又能满足人类社会长远生存的需要。

近年来,人们综合考虑环境影响和资源效率,提出一种现代制造模式——绿色制造,它是可持续发展战略在制造业中的体现。也就是说,绿色制造是现代制造业的可持续发展模式。

1.1.1 环境退化引起的反思

环境、资源、人口是当今人类社会面临的三大主要问题。特别是环境问题,自 20 世纪 70 年代以来,随着工业排放废弃物的大量增加,能源的巨大消耗,使人类生存的生态环境日趋恶化,以致发生了一系列由于全球生态环境遭受破坏而对经济发展造成严重危害的事件,其恶化程度与日俱增,正在对人类的生存与发展造成严重威胁。这三大问题相互依存、相互制约、相互作用,存在着根本性的内在联系。资源问题不仅涉及人类世界有限的资源如何利用,而且它又是产生环境问题的主要根源。自然资源锐减,人口膨胀,垃圾泛滥,污染程度不断升级,导致环境退化。

与数千年漫长的农业经济时代相比,历时仅两百余年的工业经济创造出了惊人的社会财富和高度的现代物质文明,但伴随工业化创造的辉煌,也带来了人类的忧虑:大气中臭氧层的破坏,温室效应,酸雨蔓延,土地沙漠化,淡水缺乏,空气和水质污染,工业垃圾和生活垃圾遍地都是。工业废弃物的大量增加和能源的巨大消耗,对生态环境和物理环境造成很大影响和破坏,造成资源短缺,带来全球环境灾难性危机。

我国的环境问题尤其严重:①据有关部门统计,全国每年仅城镇垃圾总量就达 1.5 亿吨,而对其处理,基本上采取的都是较为原始的“搬家政策”。这不仅传播细菌,污染环境,甚至会破坏生态平衡。②我国人均自然资源短缺,如淡水、耕地、森林和草原资源分别占世界人均水平的 28%、32%、14%和 32%。③以煤为主的能源结构导致大气污染严重,工业污水处理率仅 68%,生活污水处理率

不到 10%，仅有 30%左右的工业和生活固体废弃物得到处理。④据 1997 年《中国水资源公报》，全国废水的排放总量为 584 亿吨；在 10 万公里的评价河段中，水质在 IV 类以上的污染河长占 47%；全国湖泊约有 75%以上的水域、近岸海域约有 53%以上受到显著污染；根据全国 118 座大城市浅层地下水的调查，97.5%的城市受到不同程度的污染，其中 40%的城市受到重度污染。⑤我国的工业发展至今仍沿用高能耗、高投入的粗放型发展模式，其能耗比发达国家高出 1~3 倍。

根据联合国环境保护组织统计，美国 1990 年产生的废物量由 1960 年的 8 千 8 百万吨上升到 1 亿 9 千 6 百万吨。另据专家估计，贵金属矿物如金、银、铂、锌、铜、钨和锡，以及石油和煤等能源将于 21 世纪初中期被开采耗竭，对人类和其他生物的生存都将构成威胁。

对此，1992 年，联合国召开了世界环境大会，通过了《里约环境与发展宣言》及《21 世纪议程》，提出了建立经济、社会、资源和环境相协调的可持续发展战略。可持续发展观的最根本要求就是社会的发展、经济的增长必须控制在自然资源和生态环境能够持久实现的范围内，人类社会经济生活的方式要遵循和达到社会、经济和自然协调，形成生态可持续、经济可持续和社会可持续的统一体。人类从大自然获取生存和发展所需的物质和能量，又依靠大自然吸纳和净化人类活动所产生的各种废弃物，给人类提供一个与自然和谐的生态环境。

据报道，“十五”期间我国环保发展共有 10 项具体目标，如下：
①工业企业污染物排放全面达标；②100 个环保重点城市空气和水环境质量按功能区达标；③建设 50 个环境保护模范城市和 200 个环境优美城镇；④淮河流域水质按水环境功能区达标，海河、辽河流域城镇集中式引用水源地满足使用功能；⑤污染物排放总量得到有效控制，力争到 2005 年主要污染物排放总量比 2000 年减少 10%；⑥北京市水体、大气及声环境按功能区达到国家环境质量标准，城

市和郊区生态环境有较明显改善；⑦渤海近岸海域水质按海洋环境功能区基本达标；⑧建设 100 个国家级生态示范区、100 个重要生态功能区，自然保护区占国土面积的比例达到 12%；⑨环保投入占 GDP 达到 1.2%；⑩100 个城市实行空气质量日报，42 个城市空气质量实行日报和预报。

为了实现环保目标，制造企业从事生产经营活动不仅要发现需求、满足需求，而且要引导需求。企业不应当把顾客当作实现利润的工具，把自然看成征服的对象，而应该引导顾客建立新的人与自然和谐发展的伦理观和价值观，解决经济发展与自然资源有限、自然净化能力有限的矛盾，从而促进自然和人类的和谐发展。

1.1.2 制造业是环境污染的主要根源

制造业是将可用资源(物料、能源)通过制造过程，转化为可供人们使用和利用的工业品或生活消费品的产业，其本质是制造出自自然界本来没有的物品。例如，高楼大厦、立交桥、汽车、电视机、飞机、导弹、塑料袋等等，都是自然界本来没有的东西，它们是人类创造的物质财富。过去，人们只是考虑它们对人类有用，能够提高人们的生活水平。但没有想过，既然它们是地球上原来没有的东西，如果它们只是被废弃而不进行有效处理，会对自然环境产生什么影响？

制造业涉及到国民经济的大量行业，如机械、电子、化工、食品、军工等等，是创造人类财富的支柱产业。制造业在将制造资源转变为产品的制造过程中，以及产品的使用和处理过程中，一方面消耗大量人类社会有限的资源(自然资源和能源)，产出有用物(产品)；另一方面产生废弃物(未被利用的制造资源，如废水、废气、废渣等废弃资源，以及噪音等无用物)，废弃物直接排入江河、大海和大气中，造成空气和水质污染，使人类和各种生物受害。有用物随着产品生命周期的缩短，很快成为人们要抛弃的东西(垃圾)，垃圾处理不当，又污染空气和水源。制造业对环境产生的污染，是当

前环境污染问题的主要根源。也就是说,制造业一方面是创造人类财富的支柱产业,但同时又是当前环境污染的主要源头,如图 1-1 所示。

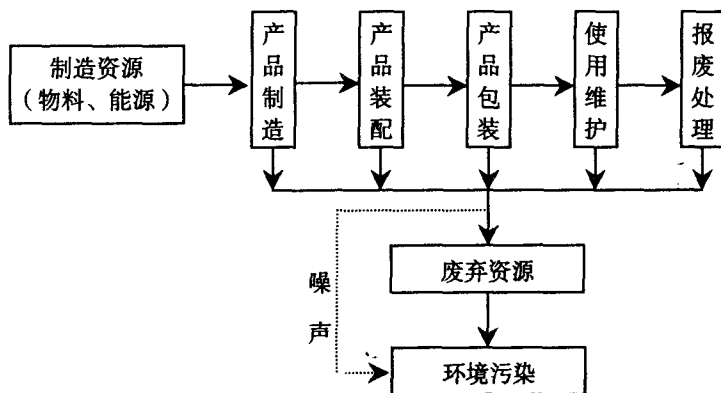


图 1-1 制造系统对环境的污染

制造系统造成环境污染的方式如下:

- 1) 制造产品需要消耗大量的物料和能源,将导致对自然资源的大量开采,如果开采过量必将造成自然资源系统的破坏;
- 2) 产品的生产过程将产生大量废弃物,排放过量会造成对生态环境的危害,影响人体健康;
- 3) 产品的使用过程也将产生一定量的废弃物,将会危害使用者的身体健康,甚至造成对生态环境的破坏;
- 4) 废弃淘汰产品的剧增造成了大量的固体废弃物,而人类填埋处理固体废弃物的能力几乎到了极限。这个问题如果不妥善解决,任其发展,必然会导致生态危机。

因此,面对当前人类社会可持续发展的需要,制造业必须尽可能减少资源消耗和尽可能解决制造业所带来的环境问题。从 20 世纪 90 年代以来,有关资源和环保问题日渐成为制造业研究的热点,人们提出了绿色制造(Green Manufacturing)的理念。

1.1.3 绿色运动的兴起呼唤绿色制造

价格、质量、品种、交货期、信誉和环保是影响顾客对产品需求的六大因素。在自由竞争的市场环境中,价格反映了企业生产成本的高低。质量代表产品的性能及其使用价值。品种是给顾客提供选择产品种类的余地。交货期是响应顾客需求的时间量度。信誉反映了顾客在购买和产品使用过程中对企业产品性能和售后服务的满意程度。环保是指产品在制造、使用和废弃处理过程中,对环境的影响程度。这六大因素也是决定企业产品竞争力的因素,然而,这六大因素在不同历史时期对竞争力的影响程度是不同的,它们是随居民消费水平的提高而变化的,这导致企业生产方式的变革,竞争策略的转变,如表 1-1 所示。

表 1-1 顾客需求与企业竞争方式的关系

影响因素	企业竞争的方式	典型的生产方式
价格	基于成本的竞争	大量生产
质量	基于质量的竞争	精细生产
品种	基于柔性的竞争	集成制造
交货期	基于时间的竞争	敏捷制造
信誉	基于服务的竞争	大量定制
环保	基于环保的竞争	绿色制造

(资料来源:陈荣秋,周水银.生产运作管理的理论与实践[M],北京:中国人民大学出版社,2002)

随着各国环保法规的出台和消费者环保意识的日益增强,“绿色运动”风起云涌,“绿色消费”成为一种新的时尚、新的消费观念。人们逐渐认识到,以牺牲资源和环境为代价的工业文明难以持久,工业文明在造福人类的同时,也使整个地球生态环境遭受严重破坏。因此,实施绿色制造不仅是一个具有重要社会意义和现实意义的行为,也是提高企业市场竞争力的战略举措。在经济全球化的当今,

实施绿色制造势在必行。

1.2 企业实施绿色制造的战略意义

1.2.1 塑造企业环保形象

污染环境的企业必将受到政府的管制,从而将损害企业形象,失去消费者的信任,使其市场份额急剧萎缩,对企业经营业绩将产生不利的影响。市场营销学中有个著名的1:5法则,即争取一个新客户所消耗的成本是保持、维系一个现有用户的5倍。大量研究表明:失去一位老顾客的损失,只有争取十位新顾客才能弥补。在服务经济时代,形成企业竞争优势和核心竞争力的,已经不再是那些有形的设备、厂房、材料等物质资源,而是具有相对垄断性的无形资源。客户资源是企业最宝贵的市场资源,培育客户忠诚,与有价值的客户保持长期稳定的关系是企业赢得持续竞争优势的关键。因此,面对人类社会可持续发展的需要,制造企业必须尽可能减少资源消耗和尽可能解决所带来的环境问题,以顺应绿色环保这一主流,塑造企业的环保形象,有效地实施形象营销策略。

1.2.2 实现企业可持续发展

绿色制造的主要目标是使产品在全生命周期中,对环境的影响(负作用)最小,资源利用效率最高,并使企业经济效益和社会效益协调优化。实施绿色制造不仅是一个解决环境污染、资源短缺问题的有效方式,也是企业取得显著经济效益的有效手段。具体表现在以下几个方面:

- 1) 通过废弃物回收再利用,可以最大限度地提高资源利用率,减少资源消耗,从而降低产品的生产成本,增加企业盈利。

- 2) 污染环境的企业,将支付环境税,导致产品成本的增加,因此减少或消除对环境的污染,可以减少或避免因环境问题引起的经济惩罚。