

绿色设计中的材料选择关键技术和方法研究

摘 要

选择材料是进行产品设计重要的环节。产品的绿色性能主要通过材料的性能体现出来。所以，绿色设计中的材料选择至关重要。

本文在讨论了绿色设计现状的基础上，探讨了绿色设计材料选择中存在的问题。根据材料选择的基本概念、材料的基本适应性以及材料选择的影响因素分析，给出了材料选择的一般原则和过程，在此基础上，搭建了材料选择的系统框架。

正确的材料选择思路和方法是进行材料选择并取得最优方案的前提和保障。传统的材料选择思路主要考虑材料的使用性能、工艺性能、经济性能，而很少涉及材料的环境性能。随着社会的发展，材料的环境协调性逐渐成为材料选择中的一个重要方面。传统材料选择思路指导下的材料选择方法已经不能很好地满足社会发展的需要。本文针对传统材料选择思路和方法上的不足，提出材料选择三维化的新思路，在此基础上，给出材料选择三维方法。这种选材思路就是将材料选择所涉及的使用性能、经济性能、环境性能三不相容问题转化为三维问题进行处理。基于给出的材料选择基本原则，借助 AHP 等相关数学知识，建立的材料选择三维方法的模型框架，并对三维方法的具体流程和步骤给予详细描述。最后，通过具体的实例验证了材料选择三维方法的可操作性和应用性。

本文通过描述了一般数据库设计的特点、方法和步骤后，提出了材料数据库的结构和内容设计，并对材料数据库的数据来源给予简要说明。

论文最后介绍了基于上述思想开发的支持绿色设计的计算机辅助材料选择系统，并用具体实例进行了验证。

关键词：绿色设计 材料选择 三维方法 材料数据库

Research on Key Technologies and Methods of Material Selection In Green Design

Abstract

Material selection is an important process in product design. The green property of products can be shown through the property of the material. So what kind of material to be selected is a very important factor.

After analyzing the actualities of green design, we discuss the possible problems existing in the process of material selection. With the basic concept of material selection, the basic applicability of material, and the influence in material selection, we show the commonly principia and process of material selection. Then, a system-frame of material selection is set up in the paper.

The material's using capability, technical performance, and economic performance were used to be taken into accounted in a traditional method and seldom referred to environmental performance. With the developing of the society, the environmental harmony gradually becomes an important factor in material selection. The selecting method under the guiding of traditional thought and method cannot meet the necessary of developing society. The paper puts forward a new thought with three dimensions and a method called three-dimension material selection method. With the new thought three incompatibility factors which include using capability, technical performance, and economic performance will be translated into a three-dimension factor which is much easier to deal with. Based on the basic principia of material selection and the help of mathematics such as AHP, a model-frame of material selection with three-dimension is set up. Then a material program and process about the three-dimension is described detailed. Finally, some idiographic examples are used to prove that the three-dimension material selecting method is operable and applicable.

The paper also describes current database's characteristic, method and process, puts forward the structure and the design of material database, and explains the data source in the database briefly.

At last the paper introduced a computer-aided material selecting system which is based on the before-mentioned thought and sustains the green design, and some idiographic examples are validate.

Keywords: green design, material selection, three-dimension method, material database

本文得到国家自然科学基金项目“废旧产品回收决策及应用基础研究”(50375044)项目资助，在此表示感谢！

插图清单

图 1-1	我国垃圾邮件数量所占比例	3
图 2-1	UNIX 环境下电子邮件系统功能模块划分	6
图 2-2	邮件传输过程	7
图 2-3	SMTP 模型.....	8
图 2-4	SMTP 工作过程.....	9
图 2-5	RFC822 邮件格式.....	11
图 2-6	MIME 邮件格式	13
图 3-1	文本分类一般模型	19
图 3-2	一棵最简单的决策树	22
图 4-1	中文垃圾邮件过滤流程图	29
图 4-2	邮件过滤模块	30
图 4-3	GB2312 编码图.....	37
图 4-4	特征选取流程图	46
图 5-1	系统总体结构图	54
图 5-2	邮件过滤模块	54
图 5-3	SpamAssassin 和 Sendmail 集成框架图	57
图 5-4	用户邮箱	59
图 5-5	用户的垃圾邮件箱	59

表格清单

表 3-1	AHP 中 1-9 标度的含义.....	32
表 3-2	AHP 中平均随机一致性指标.....	33
表 3-3	环境性能指标参考性评价准则.....	37
表 3-4	五种材料的四种绿色属性打分赋值.....	39
表 3-5	四个环境因素的权重值.....	39
表 3-6	五种材料的环境性能指数.....	40
表 4-1	材料性能指标表.....	49
表 4-2	材料加工方式表.....	49
表 4-3	材料环境指标表.....	50
表 4-4	材料耗能指标表.....	50

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得合肥工业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

签字日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解合肥工业大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权合肥工业大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编：

致 谢

本文是在尊敬的导师刘光复教授的精心指导下完成的。在我研究生学习期间，先生对我言传身教、关心入微、爱护备至。先生渊博的学识、开阔的视野、敏锐的洞察力、严谨的治学态度、求实创新的工作作风，永远是我学习的榜样，也将始终引导和激励着学生在科学技术的殿堂里探索前进。先生令人敬佩的人格品质、平易近人的处世方式也为学生树立了榜样。学生所取得的每一点点成绩和每一次的进步，无不凝聚着先生大量的心血，在此成文之际，谨向先生致以最崇高的敬意和衷心的感谢。

衷心感谢刘志峰教授。刘老师无论在学习上，还是在生活上都给予我精心的指导和无微不至的关怀。刘老师全面活跃的思维方式、一丝不苟的治学态度和勤奋务实的工作作风给我留下深刻的印象，并将使我受益终生。本文的完成也得益于刘老师的悉心指导和帮助，在此向刘老师表示衷心的感谢。

感谢宋守许老师、王淑旺老师给予我的关心和帮助，感谢他们给予我科学的思维方式和团结合作的工作精神的熏陶。

感谢黄海鸿、郭伟祥、潘君齐、戚赉徽、张雷等博士，唐涛、袁帅、倪楠、杜刚、胡蓓琳、吕义、熊巨涛、周后贵等硕士在生活和学业上给予我的支持与帮助，感谢他们在我科研和完成此文的过程中所提供的支持和宝贵意见。

感谢父母对我的养育之恩，感谢父亲在工作和学业上的指导，感谢母亲在生活上的帮助，使我能安心地从事论文的研究工作。感谢我的妻子朱立红女士，她无私的支持和理解是我完成学业的前提和动力，她的鞭策和鼓励始终使我感觉到不努力、不奋斗时刻都有被淘汰的危险。感谢我的姐姐和姐夫在精神和物质上给予我无私的支持，没有他们的支持，我不可能完成我的学业。

值此论文完成之际，向所有给予我关心和帮助的老师、同学和亲友致以深深的谢意和美好的祝福。

作者：张 良

2005年4月15日

第一章 概述

本章简要的论述了当前地球的环境与资源问题，阐明了造成环境与资源问题的主要因素是制造业，详细剖析了由于环境问题所产生的从消费者、竞争对手、国际贸易和国内法规等各方面对企业造成的巨大压力。在这样的压力背景下，产生了绿色设计。绿色设计（Green Design）将环境性能作为产品的设计目标和出发点，已经成为一种先进的设计思想。而在产品设计阶段，材料的选择又是决定是否达到设计目标的重要环节。因为材料的选择和地球的环境以及资源的使用是息息相关的。本章简要介绍了工程材料的分类，详细剖析了材料和环境之间的关系，在此基础上，提出本文的研究工作和研究内容。

1.1 绿色设计研究概述

1.1.1 绿色设计的产生背景和意义

1.1.1.1 绿色设计产生的背景

人口、资源和环境问题已经成为人类社会所面临的三大主题，对全球经济持续、快速和稳定的发展，对人类生活水平的稳步提高具有深刻的影响。特别是资源和环境问题，已经成为影响人类可持续发展的主要因素。以资源、环境为代价，换取局部、短期利益的作法已经成为众矢之的。据世界银行统计，我国仅大气污染和水污染每年造成的损失就高达 540 亿美元，约占 1995 年国内生产总值的 8%^[1]。中国环境污染的治理迫在眉睫，任重道远。

制造业是国民经济的支柱产业，是制造生产资料和生活资料的主要部门，是一个国家经济发展、社会进步和人民生活水平提高的重要基础。但是长期以来，人们只关注它的有益产出，而忽略了因为能源、资源的过度消耗和废弃物的过度排放所造成的环境问题，对人类的可持续发展造成了巨大的威胁。据统计，造成环境污染的排放物 70%以上来自制造业，它们每年约产生 55 亿吨无害废弃物和 7 亿吨有害废弃物^[2]。

前述问题归根结底在于以大量投入自然资源和劳动力资源的粗放型经济增长方式。这种方式不仅大量消耗和浪费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的生态系统，造成生态系统失衡，直接威胁人类的生存。

传统的环境治理方法是末端治理，全球日益恶化的现实证明，这种治理方法不能从根本上实现对环境的保护。要想解决该问题，必须从源头上进行治理。具体到制造业，就是要求考虑产品整个生命周期对环境的影响，最大限度地利用原材料和能源，减少有害废弃物的排放，减轻对环境的污染。“现在已经达到

历史上这样一个时刻：我们决定世界各地的行动时，必须更加审慎地考虑它们对环境产生的后果。由于无知或不关心，我们可能给我们的生活和幸福所依靠的地球环境造成巨大的无法挽回的危害。”^[3]

自从 20 世纪 70 年代以来，环境问题已经从人类一般行为上升为社会经济和政治领域关注的热点。由于地球环境的不断恶劣和政府、民众对于环保问题的日益关注，制造企业面临着与日俱增的巨大压力。这些压力既有来自国际贸易和法律法规方面的，也有来自消费者和竞争对手方面的。

（1）国际贸易的压力

近年来，国际上出现一种新的非关税壁垒，进口国政府以保护生态环境为由，以限制进口、保护贸易为目的，通过颁布复杂多样的环保法规与条例，建立严格的环保技术标准和产品包装要求，建立繁琐的检验、认证和审批程序，实施环境标志制度以及课征环境进口税等方式对进口产品设置贸易障碍。我们通常称之为绿色贸易壁垒^[4]。

绿色贸易壁垒的主要内容包括：实行市场准入制度，对某些进口产品课以绿色关税；实行绿色标志制度，限制非标志产品的销售；实行绿色技术标准制度，拒绝进口不满足标准的产品；实行绿色包装制度，禁止某些包装材料的使用；实行绿色卫生检疫制度；实行绿色补贴制度。绿色壁垒的主要特征在于：名义上的合理性、形式上的合法性、保护内容的广泛性、应用的强制性和有效性、保护方式的隐藏性。绿色贸易壁垒对于像我国这样的发展中国家来说，危害是极大的，它影响了出口市场的巩固和扩大，降低了出口经营的经济效益，影响出口贸易的增长速度。长此以往，将严重削弱我国企业的出口竞争能力并会影响到包括外汇政策、财经政策及对外政策的国家生活的方方面面。

（2）法律法规的压力

1992 年，联合国在环境与发展会议上通过了全球《21 世纪议程》，要求各国制定和实施相应的可持续发展战略和绿色设计政策^[5]。国际标准化组织于 1996 年颁布了 ISO14000 环境管理系列标准，为企业建立实施一整套完善的环境管理体系，使企业在各项活动中消除环境污染提供了依据和方法^[6]。发达国家和部分准工业化国家实施“绿色产品标志”制度已有 20 多年的历史，其中德国在 1978 年就开始采用名为“蓝色天使（Blue Angel）”的绿色标志，为保护全球环境和本国绿色工业提供了强有力的工具^[7]。

我国早于 1989 年 9 月就加入了《维也纳公约》，于 1991 年 6 月加入了《蒙特利尔议定书》，于 1993 年 5 月成立了中国环境标志产品认证委员会并实行绿色标志认证制度，于 1997 年 5 月 27 日成立了环境管理体系认证指导委员会，具体指导 GB/T24000—ISO14000 环境管理系列标准在我国的实施工作。经过长期的努力与实践，我国已形成了以宪法为基础，以《中华人民共和国环境保护法》为主体的环境法律体系，为环境保护提供了有力的法律支持^[8]。

同时,更为专业和严格的环境保护条例与法规已经生效或处于制定过程中。例如,德国1996年的《循环经济法》,日本的《废弃物处置法》、《回收法》和《家用电器回收法》,美国1992年开始执行的“能源之星”计划及资源节约和回收法令(RCRA)、联邦污染预防法令(PPA)等等^[9]。制造企业面临着前所未有的来自政府和法律方面的压力。

(3) 消费者的压力

过去人们购买商品,只考虑使用价值,因此环境行为不佳的商品大量地被使用,产生了如“白色污染”、温室效应、酸雨、臭氧层破坏等现象,导致全球环境的恶化,威胁着人类未来的生存和发展。这种情况引起了社会各界广泛的重视。

20世纪70年代以来,人们逐渐掀起了一股“绿色消费浪潮”。所谓绿色消费,它的含义是多重的:从环境学的意义来讲,是指人类的消费活动无害于环境,“无污染消费”;从资源学的意义来讲,绿色消费是指人类的消费活动应做到对自然资源的“适度”和综合利用;从生态学的意义讲,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^[10]。

在绿色消费意识指导下,消费者不仅购买使用价值,还要购买环境行为,把个人消费和身心健康、居室环境质量、区域生态环境、全球环境问题都联系起来。比较常见的例子如:为保护消费者自身健康和居室环境,人们需要低幅射或零幅射的彩电、节能型计算机、低泄漏微波炉,低汞节能灯,低甲醛挥发量的木地板和涂料,低排放的燃气灶,低噪声的洗衣机、空调和吸油烟机、低污染排放的汽车、摩托车、无铅汽油、无磷洗涤剂,无汞干电池、无氟利昂冰箱等^[11]。

(4) 企业竞争的压力

随着ISO9000、ISO14000和ISO18000等国际标准颁布以来,企业为谋求较好的“绿色企业形象”,纷纷引入这些标准,在企业内部进行宣传、贯彻和施行。是否取得这些权威性的证书,是否获得绿色产品标志,是否能够在消费群体中取得较有利的绿色认同度,成为企业间竞争的一个重要方面。

同时,企业也加大了绿色产品的开发力度,力争社会效益与经济效益双丰收,在绿色食品、绿色家电、绿色包装、绿色照明和绿色能源等方面展开了激烈的竞争。是否能够在这场竞争中跑在前面,是否能够取得较大的领先优势,将决定企业的前途与命运^[12]。

综合以上见解,企业特别是制造企业将不得不寻求更为有效的措施,力图在这场事关生死存亡的竞争中,增强企业自身和企业产品的绿色属性,搏取消费者的环境印象分,应对市场中现实的和潜在的绿色产品需求,以获得企业的

发展与壮大。为了满足这种需求，便产生了绿色设计。

1.1.1.2 绿色设计的意义

作为国民经济的重要基础和环境破坏的主要实施者，制造业的变革和发展对于环境保护和实现可持续发展具有特殊重要的作用。而据有关资料显示，机械产品设计阶段的成本占其总成本的10—20%，但是却决定了产品生命周期成本的70—80%^[13]。一个国家和民族的设计水平和能力的高低是工业创新能力和竞争能力的决定因素。同时，在产品初始设计中考虑环境问题，才能真正避免末端治理，才能从根本上或消除对环境的危害。由此，绿色设计作为一种面向环境、能够提高产品环境协调程度的设计方法，从上个世纪90年代诞生开始便受到了极大的重视，并且已经从理论上逐渐成熟。

绿色设计（Green Design），也称生态设计（Ecological Design）、环境设计（Design for Environment）、生命周期设计（Life Cycle Design）或环境意识设计（Environmental Conscious Design）。它的基本思想是在设计阶段就将环境因素和预防污染的措施纳入产品设计之中，将环境性能作为产品的设计目标和出发点，力求使产品对环境的影响最小。国内对绿色设计的定义并不统一，我们采用合肥工业大学绿色设计与制造工程研究所的定义：绿色设计是这样一种设计，即在产品生命周期内，着重考虑产品环境属性（自然资源和利用、环境影响及可拆卸性、可回收性，可重复利用性等），并将其作为设计目标，在满足环境目标要求的同时，并行地考虑并保证产品应有的地基本功能、使用寿命、经济性和质量等。绿色设计过程轮图如图1-1。

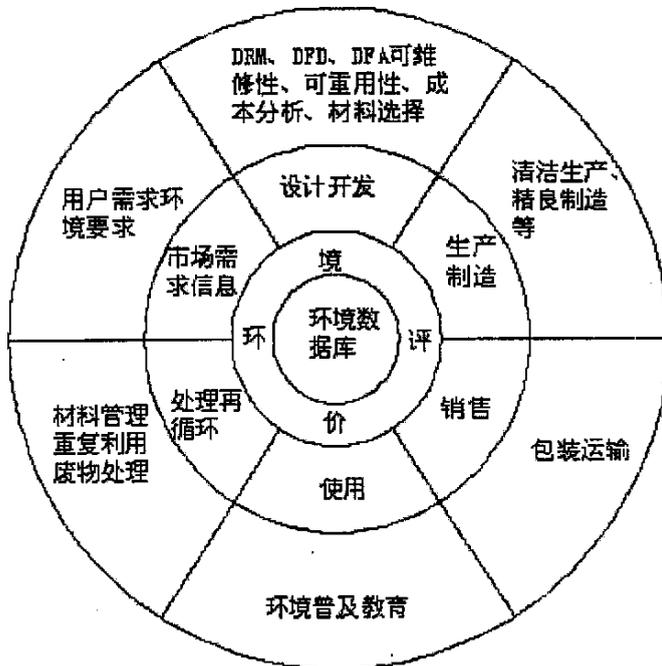


图 1-1 绿色设计的过程轮图

绿色设计可以满足消费者绿色消费的需求，是可持续发展的必然选择，也是消除绿色贸易壁垒的最有效途径。从根本上说，绿色设计能够减少对资源的利用，节约使用能源，减少废弃物排放，消除对环境的不利影响，最终达到改进和修复地球环境的目的。

绿色设计所关心的目标有三个：一是提高产品的资源和能源利用率；二是降低产品生命周期成本；三是产品的环境污染最小化。选择环境性能更佳的材料，提高零件的利用率，延长产品的生命周期是实现这些目标的有效方法。

在企业研发和社会生产中推广绿色设计，其意义在于^[14]：

改变人类的生活方式。人类社会生活中的高能耗、高物耗及产生的大量废弃物，严重地破坏了人类自身的生存环境。同时，这种生活方式是无法持续的。绿色设计的思想及其产品，使得人们在生活当中不但要追求物质文明，而且要追求生态文明，也就是具有一种“绿色的生活方式”。

促进技术进步与技术创新。过去评价技术进步与否时主要根据它所带来的经济效益，而对其环境和生态效应则考虑的较少。绿色设计要求同时考虑社会、经济和生态效益，要达到三者的协调和统一，这就对产品的设计提出了更高的要求，从而推动技术的进步与创新，满足人类社会经济可持续发展的需求。

适应国际贸易的要求。在国际贸易中不符合环境标准的商品会被禁止进出口已成为一项国际准则。运用绿色设计的思想所制造出的产品可以更好地适应国际标准，使我国的绿色产品能进入更广泛的国际市场，增强产品在国际市场上的竞争力。

对我国的可持续发展具有重要的作用。《中国 21 世纪议程》的优先领域包括了清洁生产与环保产业，在这一领域的实施过程中，绿色设计可以大有作为。通过设计节能型、环保型的技术产品，为我国可持续发展做出自己的贡献。

迎接知识经济时代的重要举措。绿色产品具有节约能源、不使用有害的化学物质、具有合理的包装、产品使用后易于分解等特征。所以，发展绿色设计思想指导下的绿色产业的重大意义在于环境保护。在知识经济即将到来的 21 世纪，绿色设计、绿色产品、绿色产业将是企业角逐的一个重要方面；它是协调我国人口、资源、环境与发展关系的重要一环。

1.1.2 绿色设计的研究现状

1.1.2.1 绿色设计的主要方法

绿色设计实质上是对产品从“摇篮到再现”的全过程控制设计。与传统设计相比，无论在涉及的知识领域、涉及的方法还是涉及过程的困难程度等方面均要复杂得多。因而用传统的设计方法或者简单的将几种方法叠加无法实现真正意义上的绿色设计。绿色设计应是现代设计方法的集成和设计过程的集成。

绿色设计的主要方法有以下几种：

(1) 绿色设计生命周期分析

产品生命周期分析,也称生命周期评价 LCA (Life Cycle Assessment) 是近年来发展起来的一种环境影响评价方法。它对一种产品从加工制造到废弃分解的全过程进行全面的环境分析和评估,并试图找出改善的途径。

(2) 系统论设计思想与方法

系统论的设计方法,其核心是把绿色设计对象以及有关的设计问题,如设计过程与管理、设计信息资料的分类整理、设计目标的确定、人一机一环相互协调等,视为系统,然后用系统和系统分析的概念和方法加以处理和解决。

(3) 模块化设计

模块化设计是产品结构设计中的一种有效方法,也是绿色设计中确定产品结构方案的常见的方法。模块化设计就是在一定范围内,在对不同功能、不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上,划分并设计出一系列功能模块,通过模块的选择和组合可以构成不同的产品,以满足市场的不同需求。

(4) 长寿命设计

长寿命设计的目的是确保产品能长期、安全的使用。对于一些关键设备,特别是大型和重型机械,一旦出现事故,就会长时间停产,造成的损失很大,对这些设备进行长寿命设计就很有必要。长寿命设计的关键是要使得工作应力小于零件的疲劳强度。

(5) 并行工程方法

并行工程是现代产品开发的一种新的模式和系统方法。它以集成、并行的方式设计产品及相关过程,力求使产品开发人员在设计一开始就考虑产品生命周期全过程的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户需要等,最终使产品达到最优化。

(6) 绿色设计准则

绿色设计准则就是在传统产品设计中通常所主要依据的技术准则、成本准则和人机工程学准则的基础上纳入环境准则,并将环境准则置于优先考虑的地位。它包括与材料有关的准则、有产品结构有关的准则和与制造工艺有关的准则三大部分。

1.1.2.2 绿色设计的主要内容

当前绿色设计方面的研究内容较多,主要集中在:

(1) 绿色设计理论框架的研究

对绿色设计及绿色制造的理论基础进行深入研究,试图突破传统设计理论只考虑产品本身的物理、化学性能而忽视其全生命周期性能的弊病,研究绿色设计的定义、内涵、理论基础、基本框架和学科交叉等^[15,16,17,18,19]。

(2) 能源与原材料等资源的合理利用

通过对工业原料从开采到返回自然界的全过程环境性能分析,对材料的分

析和优选，对能源利用的综合分析和评价等方面入手，绿色设计着重于合理使用材料、节约使用能源，力图以此减少或消除对环境的危害^[20,21]。

(3) 以废旧产品回收和拆卸为代表的键技术研究

产品的再制造性、重用性、回收性、处理性、拆卸性、装配性、升级性均为绿色设计所研究和探讨的关键问题。在目前的研究实践中，多以废旧产品的再设计为突破口，通过重建产品模型并进行分析，对涉及环境问题的产品属性进行反馈。目前较为常见的研究内容是面向拆卸的设计（Design for Disassembly—DFD）、面向装配的设计（Design for Assembly—DFA）、面向回收的设计（Design for Recycle—DFR）和材料选择设计（Design for Material Selection—DFMS）^[22,23,24,25,26]。

(4) 产品的绿色成本分析

随着国际上统计方法的改进和对产品成本的环境性能分析的重视，当前一般通行的成本分析方法已经不再适应全球性环境保护的需要，为此，企业不得不在组织运作中着重考虑产品全生命周期内的绿色成本，对绿色成本的分析和研究已经开始并将继续升温^[27]。

(5) 产品全生命周期分析

随着 LCA 方法在国内的推广，采用全生命周期观点对产品从原材料获取到产品全部或部分重新使用的全过程进行分析和研究成为绿色设计的一个重要研究分支^[28,29,30,31,32]。

(6) 安全健康问题等方面

随着 ISO18000 等标准的颁布和实施，劳动者的职业安全健康问题日益受到关注，如何在产品的生产制造过程中考虑劳动者的生理与心理两方面的需求，创造宜人和无害的工作环境也是绿色设计研究的一个重要问题。

(7) 绿色设计工具开发

由于绿色设计方法涉及的内容很复杂，因而必须有相应的工具软件借助于计算机的支持才能完成其工作，随着新理论与方法的出现，还需做大量相关软件的研制开发工作^[33]。

1.1.3 绿色设计的若干问题

由于理念、认识和支持工具的不足与差距，以及材料科学发展的局限性，绿色设计理论和方法尚有两大问题亟待解决：

绿色设计理论和方法的进一步深入和完善：绿色设计的研究始终以“点”和“线”为主，缺乏“面”层次上的系统化，大多数研究均以拆卸或回收等关键技术为入口，在某些方面或某些层次上取得的成果，但是尚未得到系统的阐述。在绿色设计中的选材问题上，缺乏简便实用的方法。

由于绿色材料科学研究的滞后性，绿色设计的研究，特别是在产品设计阶段，在产品材料的选择上，始终处在理论与方法的探讨过程中，一般只是针对

某个具体产品、具体行业进行研究，缺乏通用性，实用性也不强，限制了企业的发展。也使科研院所的研究效果在转化为生产力的过程中遇到了阻碍。

绿色设计是一种快速发展中的、可以对地球环境和人类发展产生巨大影响的设计方法学，是实现制造业可持续发展的利器之一。但是目前绿色材料的发展尚未成熟，使得当前组成绿色产品的材料依然是大量的传统材料。所以绿色设计中的材料选择就显得尤为重要了。如何才能运用绿色设计方法从传统的材料中选择出符合绿色产品标准的材料呢？只有将绿色设计的设计思想与某种合理、简便、实用的材料选择方法相结合，绿色设计的优势才能充分地展现出来。

1.2 材料与环境

1.2.1 工程材料的分类

1.2.1.1 材料科学、材料工程和工程材料^[34,35,36,37]

材料是人类用于制造物品、器件、构件或其他产品的物质，是人类赖以生存和发展的物质基础。材料既是人类文明的里程碑，又是社会现代化的先导。

材料是早已存在的名词，但把材料作为材料科学提出是在 20 世纪 60 年代初及之后的事。事实上材料科学的形成是科学技术发展的结果，包括相关基础学科（固体物理、无机化学、有机化学、物理学等）对物质结构和物性的研究促进了对材料本质的了解以及相关应用学科（冶金学、金属学、陶瓷学、高分子科学等）材料本身的研究和历史发展，尤其通过对材料制备、结构与性能以及它们之间相互关系的研究，为材料科学的形成打下了共同的、比较坚实的基础。

材料科学的核心内容之一是研究材料的组织、结构与性质之间的关系。另一方面，材料又是为经济建设和工程实际服务的，是一门应用科学，研究与发展材料的目的在于应用，而人类又必须通过合理的工艺流程才能制备出具有实用价值的材料来，通过批量生产才能成为工程材料。所以，在“材料科学”这个名词出现后不久，就提出了材料工程与材料科学与工程。材料工程是指研究材料在制备、处理加工过程中的工艺和各种工程问题。美国《材料科学与工程百科全书》对材料科学与工程的定义为，材料科学与工程（MSE）就是研究有关材料组织、结构、制备工艺流程与材料性能和用途关系的知识和产生及其应用，即材料科学与工程是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用性能以及它们之间的关系。所以近年来国内外材料界都把材料的组成与结构（composition—structure）、合成与生产过程（synthesis—processing）、性质（properties）及使用效能（performance）称为材料科学与工程的四个基本要素，将它们连接在一起，便形成一个四面体。后来我国材料科学工作者考虑到四要素中的组成和结构的区别，将它们分开，师昌绪等提出了五个基本要素的六面

体模型。

MSE 的材料科学部分主要研究材料的结构与性能之间所存在的关系，即集中了解材料的本质，提出有关的理论和描述，说明材料结构是如何与其成分、性能以及行为相联系的。而另一方面，与此相对应，材料工程部分是在上述结构—性能关系的基础上，设计材料的组织结构并在工程上得以实施与保证，产生预定的种种性能。

解决不同工程用途所需要的材料称为工程材料，从某种意义上，也可以认为工程材料是材料科学的应用部分，主要讨论材料的力学性能和其他相关性能，阐述结构材料的组织，成分和性能的相互影响规律，解答工程应用问题。从事工程设计与制造人员，在进行产品设计选材及必不可少地考虑后续加工时，面临着许多种可能的选择，事实上一个好的材料的选用，应是设计—材料—工艺—用户（效果）最佳组合的结果。为此，工程设计制造人员必须对各类工程材料的分类、特征（性能特征、加工特征和其他特征）以及选材因素、选材原则、选材方法有所了解，有所掌握。

1.2.1.2 工程材料的分类^[38,39,40]

工程上使用的材料种类繁多，数量巨大，有许多不同的分类方法。若按用途可分为建筑工程材料、机械工程材料、航天航空材料、核材料、信息材料、电子材料、能源材料、生物材料、包装材料、电工电器材料等；按材料的状态可分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料；按材料的物理和化学性质，又可分为耐磨材料、耐蚀材料、半导体材料等。

从科学意义和实用意义上综合考虑，最常用最有价值的是按工程材料的化学组成、结合键的特点，分为金属材料、非金属材料（包括无机非金属材料 and 有机非金属材料即高分子材料）和复合材料三大类（或四大类）；按主要使用功能分为结构材料和功能材料；以及按开发、使用的时间长短及先进性等，分为传统材料和新型材料（往往也称为先进材料）。

按化学成分组成的材料分类，每一类又可分为若干大类。金属材料、无机非金属材料、高分子材料及其复合材料构成了工程材料的四大支柱，这四大类材料的应用范围已遍及国民经济的各个领域。后续各节将进一步介绍它们的主要特征和相关性质。

1.2.2 材料对环境的影响

1.2.2.1 环境

环境在环境科学中系指围绕着人群的空间及其中可以直接或间接影响人类生活和发展的各种自然因素和社会因素的总体。其中，自然因素的总体称为自然环境，社会因素的总体称为社会环境。目前，把自然环境认为是以大气、

水、土壤、地形、地质等一次要素为基础而构成，并把植物、动物、微生物等作为二次要素构成的系统的总体。社会环境是人类在利用和改造自然环境中创造出来的人工环境和人类生产活动中所形成的人与人之间的关系的总体。它包括各种人工构筑物和经济、政治、文化等要素^[41]。

环境是一个非常复杂的体系。目前还没有形成一个统一、公认的分类方法。

如果按照环境的主体来分，可以划分为两种体系。一种是以人或人类作为主体，其他的生命物体和非生命物体都被认为是环境的要素，即环境就是以人为本，指人类的（生存环境）生存空间。在环境科学中，多数人采用这种分类方法。另一种是以生物体（界）作为环境的主体，不把人以外的生物看成是环境要素。在生态学中，往往采用这种分类的方法。如果按照环境的尺度或范围大小来分类，则比较简单。如将环境分为特定空间环境（如航空、宇航的密封船环境等）、车间环境、生活区环境、城市环境、区域环境（如流域环境，行政区域环境等）、全球环境和宇宙环境等。按照环境要素进行分类则较复杂，如按环境要素的属性可分成自然环境和社会环境两类。自然环境按其主要的环境组成要素可再分为大气环境、水环境、土壤环境、生物环境和地质环境等。社会环境常依照人类对环境的利用或环境的功能再分为聚落环境（如院落环境、村落环境、城市环境等）、生产环境、交通环境和文化环境等。以下主要涉及和讨论自然环境^[42]。

在讨论自然环境时、必须研究环境要素的特征。这是因为环境要素具有一些十分重要的特点。它们不仅反映了制约各环境要素间互相联系、互相作用的基本关系，而且是认识环境、评价环境、改造环境的基本依据。环境要素的一些基本属性可概括如下^[43,44]：

（1）最差（小）限制定律 这是针对环境质量而言的。它由德国化学家 J. V.

李比希于 1804 年首先提出，在 20 世纪初由英国科学家布莱克曼所发展而趋于完善。该定律指出：“整体环境的质量，不能由环境诸要素的平均状态决定，而是受环境诸要素中那个与最优状态差距最大的要素所控制”。这就是说，某一待研究的系统的环境质量的好坏，取决于诸要素中处于“最低状态”的那个要素，不能用其余的处于优良状态的环境要素去代替或弥补。在评价自然环境和改善自然环境质量时，必须对环境诸要素的优劣状态进行数值分类，遵循由差至优的顺序，依次分析每个要素，使之均衡地达到最佳状态。

（2）等值性 无论各个环境要素本身在规模上或数量上如何的不同，但只

要是个独立的要素，那么，对于环境质量的限制作用并无质的差异。也就是说，任何一个环境要素，对于环境质量的限制，只有它们处于最差状态时，才具有等值性。

(3) 整体性作用大于个体之和作用性 或者说环境的整体性大于环境诸要素之和，即某一环境的性质，不等于组成该环境各个要素性质的简单和，而是比这种“和”丰富得多，复杂得多。环境诸要素互相联系、互相作用产生的整体效应是在个体效应基础上形成了质的飞跃。

(4) 互相联系和互相依赖性 环境诸要素在地球演化史上的出现，具有先后之别，但它们又是相互联系，相互依赖的。从发展和变化的意义上看，某些要素孕育着其他要素。例如，钢铁冶金过程中，废渣的形成为废固体污染物的出现提供了条件，而废渣的存在又为水污染和大气污染的产生提供了条件。来自土壤圈、大气圈和水圈的污染又最终导致对人的污染。这意味着在研究环境的要素作用时，必须综合考虑要素间的相互依赖和相互影响的复杂性。

1.2.2.2 材料对环境的影响

材料与环境作为两个不同的体系，它们之间存在相互作用的关系。这种作用是一种双向作用。首先研究材料与环境间的反向作用，即环境对各种材料的作用。这种作用主要包括各种材料的腐蚀、分解、风化或降解效应。这是材料科学与工程研究的一个重要领域。在此不详述，有兴趣的读者可以参考相关资料。另外，材料与环境间也存在正向作用，即材料对环境的质量有极大的影响。

材料对环境的影响同样也包含着两个方面的影响，也就是正面影响和负面影响。所谓材料对环境的正面影响是指用各种材料来不同程度地修复环境所受到的损伤、治理或减轻环境污染等。但是，从长远和系统的观点来看，这种修复作用、治理作用或减轻作用是暂时的、局部的和相对的。材料对环境的负面影响主要指在材料的生产、制备、加工、使用、再生等相关过程中对环境造成的直接的或间接的损伤和破坏^[45]。

众所周知，在材料的生产、制备、加工、使用和再生等过程中，一方面，过程要求消耗大量的各种不同类型的资源和能源，以保证过程的顺利进行；另一方面，过程在进行之中由于物理变化或化学变化，必然导致排放出大量的废气、废水、废渣等各种物理形态的污染。从能源消费、资源消费的比例和造成环境污染的根源分析，材料及其制品的生产或制造过程是造成全球性的能源短缺、资源过度消耗乃至枯竭和各种形态的环境污染的主要原因之一。

事实上，环境问题的根本原因在于现代文明追求的是单向发展而不是协调发展，即人类社会一直在单方面地消费有限的、不可再生的石油资源、煤炭资源、天然气资源和其他矿产资源。从自然环境的角度看，对于人类所需要的各种材料而言，实际上存在两个有限性。第一个有限性是地球所含的某种具体资源的量是相对有限的，某种材料的资源不是可以无限开采或取之不尽、用之不竭的。第二个有限性是地球所能容纳的污染物总量是有限的，且其自净化能力是极其有限的。在材料的制造、生产、制备、使用和再生过程中所形成的废弃物，如二氧化碳、六价铬、废高炉渣等，在某一地点或地球表层并不是可以无

限制地消化（净化）和容纳它们的。一旦超过了某一时空的生态环境的承受能力，就形成不可逆的环境污染^[46]。

从理论上讲，材料的生产、制备、加工和使用过程对环境所造成的负面影响具有必然性、不可逆性、普遍性。材料所引起的环境问题具有上述3种性质是与人类的欲望、经济的发展、科技的进步同时产生和发展的，表现出相互依存的孪生关系。有人认为随着科学技术的进步，人类社会的环境问题将不再存在的观点是不全面的。当然我们可以利用某些材料来修复环境损伤，治理环境污染，减轻对环境的危害，例如，目前人类开发的各种生态水泥、生物降解材料、氟里昂的替代材料等。但是，这种修复、治理，减轻作用是相对的、局部的、暂时的^[47]。如果超过环境的修复极限，环境将无法完成修复。

1.2.3 材料的环境影响评价

在环境科学和环境工程学中，环境影响评价是指对一定地理区域的生态环境的优劣状况进行定量描述，也就是说，按照一定的评价方法和评价标准对一定区域范围内的环境质量进行分析、评定和预测。所谓一定的地理区域可能是一个人上区域，如工厂、学校、人工建筑物；也可以是自然区域，如河流、山脉等；甚至也可以是人工与自然的混合物^[48]。

这里讨论的材料的环境影响评价主要是指在材料的各种生产、制备、加工、使用、再生等单一过程或生命周期全过程中所涉及的各种资源、能源、废弃物，特别是污染物对生态环境的损伤或破坏程度的定量或半定量分析描述。在材料领域，所谓的环境是指一种泛环境的概念，而不是一种单一的生态环境或自然环境的概念，泛环境的概念包括了资源的影响，能源的影响和对生态环境或自然环境的影响及其综合影响^[49]。

材料的环境影响评价的重要性在于：①研究材料生产与环境之间的关系，有助于改进材料的设计，控制和优化材料的生产过程，从而对保护环境具有特别重要的意义；②材料的环境影响评价和环境材料的研究代表着材料科学的发展方向，它为材料研究提供了一个新的思路；③尽量不断地降低和减轻材料所造成的环境负担，是每个材料工作者应尽的义务和责任^[50]。

在材料的环境影响评价中，要求我们必须明确地回答下列问题。一方面，某一具体材料在其生命周期的全过程中或某一具体过程中是否使环境受到破坏或污染，其程度如何；在材料的生命周期全过程中，哪一个具体过程对环境的影响最大，污染最严重，其具体指标是哪些；产生污染或破坏的主要原因是什么，其主要的工艺参数或条件是什么；是否可以采用替代技术或替代工艺来改变现有技术或工艺参数，以减轻材料对环境造成的压力。另一方面，利用材料的环境影响评价技术和评价结果可以用来指导新材料、新工艺、新技术的开发和研究工作，使人们在开发和研究新材料、新工艺、新技术的过程中有意识地将减少或减轻对环境的影响程度作为一个重要的内容和指标体系加以考虑和贯

彻实施^[51]。

研究材料的环境影响评价，从某种意义上讲，是在材料的环境负荷与材料的使用性能或工艺性能之间寻找合理的平衡点。

材料的环境影响评价的结果就是人们希望获得关于某一具体材料或具体工艺的影响指标，从而有利于人们正确地选择材料、使用材料、生产材料、开发材料、回收材料等。在材料科学与工程领域，人们将其评价的结果称为材料的环境负荷。利用材料的环境负荷指标，可以直观地反映某一具体的被研究对象对环境影响程度的高低或大小。它是一种将材料的环境影响评价结果具体化、规范化、定量化的表达方式^[52]。

1.2.4 国内外现状

1.2.4.1 材料科学的发展现状

国内外新材料研究与开发主要集中的领域^[53,54,55]：

(1) 金属新材料：国内外金属新材料研究开发主要在金属合金材料、贮氢材料和稀土永磁材料三个方面；金属新材料市场以非晶合金、贮氢合金、超导材料、减振材料、金属薄带。记忆合金和稀土磁性材料为主体，年均增长率都在 10% 以上。

(2) 信息功能材料：信息材料的研究开发主要在芯片设计制造、集成电路、记录材料、光导纤维、敏感材料及敏感元件方面。

芯片设计制造以美国、日本、德国等 11 个世界最先进的半导体制造商，计划投资约 108 亿美元联合开发制造下一代计算机芯片用的 16 英寸硅晶片。

集成电路生产开发的热点是：大直径、高质量单晶硅生产技术；金刚石薄膜或其它导热而不导电的封装材料及其生产技术。

光导纤维生产技术以高折射率、低色散、较高性能和质量的含四氯化锗，为较先进的技术产品。我国生产的光导纤维都不含四氯化锗，其质量与国外尚有一定差距，但在光纤放大器、传能光纤的研究领域取得了突破性的进展。

记录材料成为实现全息存储的关键。除此之外，还着力开发新型半导体材料、人工晶体和光子器件材料。

(3) 先进陶瓷材料：先进陶瓷材料的产品潜在市场极大，功能陶瓷技术成熟，已得到广泛应用；结构陶瓷具有许多优点，也存在不少问题，尚未应用。

(4) 先进高分子材料：形成大规模市场的主要是结构材料，它主要包括工程塑料和树脂基复合材料。全球工程塑料以每年平均 7% 的速度增长。在树脂基复合材料方面，各国已抓紧进行产业化开发。

(5) 生物医学材料：利用生物学原理设计和制造真正仿生物的材料。在发达国家，生物材料和医疗器械产业一直以大约 16% 的速度持续增长，其中生物医学材料及其制品占有较大比例。

(6) 稀土功能材料：稀土功能材料研究开发的主要目的是不断提高现有 Nd-Fe-B 材料的性能和降低成本，开发具有更高性能的新一代的稀土永磁材料并大力开拓应用领域。工业发达国家都在稀土永磁材料上投入了充裕的财力、物力和人力，竞相发展。

(7) 能源材料：新能源材料的发展热点很多，其中用于氢能利用的储氢材料及装置、太阳能电池、燃料电池和各种新型绿色电池受到了广泛重视。

(8) 纳米材料：纳米材料经科学家研制并实际证明了它是为各行各业产品的升级换代提供性能优异的新材料，是前景最为广阔的高科技产品之一，各国对纳米材料的研制均十分关注。美国在 2001 年财政年度将对纳米技术的研究经费提高至 5 亿美元，较 2000 年增长了 84%。日本于 2000 年成立了纳米技术委员会，参与企业有 40 多家。我国正着手国家纳米科学中心和纳米技术及应用国家工程研究中心的建设。

(9) 智能材料：智能材料虽然研究开发的时间不长，但已经成为新材料研究领域的热点，并已显示出强大的生命力。

(10) 催化材料：过渡族金属、稀贵金属在特定环境条件下具有降低反应势能，加速反应过程，又不参与反应的作用，被广泛用于石油化工工业、精细化工工业、医药生产、环境污染治理等领域，是相关工业提高生产效率、节约能源的可持续发展关键材料。

(11) 生态环境材料：生态环境材料是 90 年代初期在新材料研究中形成的一个新领域。具有广泛的技术市场和应用前景。我国这一领域的研发工作仅刚刚开始。

1.2.4.2 材料选择方法的现状

工程上，大多数的选材决定都是由设计人员做出来的。所以，在选择材料上就存在很大的主观性。传统的选材方法主要由经验选材、半经验选材。现代选材方法比传统的选材方法有所改进，主要有价值分析法、目标函数法等。目前使用的比较广泛的选材方法是模糊选材法。但是这些材料选材方法大多数只考虑材料的功能、性能、成本等，而很少考虑材料与环境的适应性。从可持续发展的角度来看，这些方法都是不全面的，在某种程度上都是片面的，都不能完全适应现代人类和环境的发展要求的。

1.3 本文的主要研究工作

本文的研究工作是结合国家自然科学基金项目“废旧产品回收决策及应用基础研究”(50375044)进行的。

从本章前 2 节的阐述及讨论可以看出，绿色设计中的材料选择问题是一个重要的问题，而且是目前设计人员面临的一个尚没有很好解决的问题。

本文的主要研究内容在以下几个方面：

(1) 绿色设计中材料选择的基本框架

明确材料选择在绿色设计中的重要地位，了解现有材料的普遍适应性，提出了材料选择的一般原则、方法、步骤，给出材料选择的系统框架。在此基础上，提出本文作者的材料选择的思想和原理、模型、方法。并建立了支持这种材料选择方法的材料数据库结构和内容。

(2) 面向绿色设计的计算机辅助材料选择系统开发

对面向绿色设计的计算机辅助材料选择系统的总体框架进行了探讨，通过对系统支持环境的研究，将若干关键技术运用到 VB 和 SQL 的支持环境中。整个系统分为材料选择、材料信息查询等模块，能够完整地反映出绿色设计中材料选择的基本思想和主要流程，具有较高的实用价值。

第二章 材料选择系统框架

根据材料选择的基本概念、材料的基本适应性以及材料选择的影响因素分析,给出了材料选择的一般的原则和过程,在此基础上,构建了材料选择的系统框架。

2.1 材料选择的基本理论

2.1.1 基本概念

所谓材料选择,从广义上说,就是选择合适的材料。从狭义上讲,是指从大量的备选材料中选择出满足产品功能要求、符合消费者需求、适应市场需要的材料。现代意义上的材料选择,又包含了环境的友好性因素,使材料的选择支持人类和环境的可持续发展。

2.1.2 重要意义

在产品的设计过程中,材料的选择无疑将影响产品的设计、加工制造方法、成本、性能、寿命和产品质量乃至生产周期,甚至关系到人类和环境的存亡。材料的选择一般是在设计周期的初期进行的。因此,材料选择不当将可能导致的一个问题是成本的增长;例如,当所选材料需要较为特殊的加工工艺或需要较高的环境条件加以保存时,都将导致制造和保存费用的增加^[56, 57]。材料的选择不当,还可能给消费者以及人类环境造成巨大的负面影响。

随着人类社会的不断发展,物质文明与地球有限的资源及环境污染之间的矛盾日益尖锐,经济发展对环境的影响(资源、能源的耗损及环境污染)越来越为人们所关注。人们已经意识到,人类在利用先进的科学技术向自然获取更多的物质文明的同时,已面临着因为对自然界的破坏而造成的新的生存威胁,注意到人类社会走可持续发展道路才符合人类的长远利益。

材料作为人类社会生存的物质基础,在保护和发展环境方面起着重要的先导作用,这就既要求材料工程师研究、设计对环境友好的材料,又要求工程技术人员自觉地选择对环境友好的材料,以利于保护环境、节约资源和能源,从而更好地提高人类的生活水平。

2.2 材料的基本适应性

通过长期的工程实践,人们在工程选材和应用方面已经积累了相当丰富的经验和资料,也为更合理科学地选材奠定了必要的基础。了解金属、高分子和陶瓷三大支柱材料的适应性,为科学选材提供了基本的规范。

2.2.1 金属材料的适应性

金属材料的特征和性能的变化范围很广而且综合性质优良。这是工程设计中最广泛地使用金属材料，也是许多比较重要场合金属材料难以被其他材料取代的基本原因。但是，金属材料性能的广泛性和变化性，也使选择最适合设计标准的金属材料成为一个很困难的任务。下列原则对金属材料的选择工作将会有所帮助。

1、选择金属材料的一般原则和考虑^[58]

(1) 金属材料性能的广泛性

金属材料的特点是具有其他材料难以取代的强度、塑性、韧性、导电性、导热性以及良好的可加工性等。

(2) 金属材料可热处理性

(3) 金属材料良好热变形性能

钢材及其他金属材料均可以通过热塑性变形（热锻、热轧、热挤压等）获得性能优良的各种型材或毛坯，可满足工程上的不同需求。图 2-1 中冰箱机器底板就是由冷轧钢板压制成的。

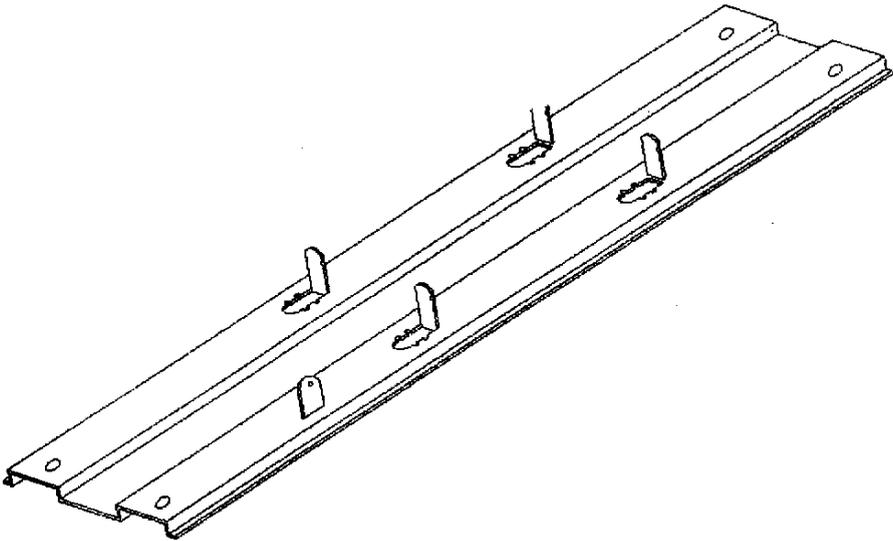


图 2-1 冰箱机器底板

(4) 金属材料前、后加工的影响

可以进行锻造加工的金属材料（钢材、铝材、铜材等）在锻造后可得到多种尺寸公差。

(5) 金属材料切削加工性考虑

当在几种可供选择的材料中进行最终选择时，特别是在大量金属需要通过切削加工除去多余金属时，可切削性的差别能成为材料选择的一个决定性因素。

(6) 合金成分对可加工性的影响

合金成分会影响合金的可焊性，合金成分影响合金的可锻性。

(7) 结构设计方面的影响

2、选用金属材料的限制^[3]

(1) 金属弹性模量对于后续加工处理的不敏感性

金属材料的一个重要特征是其弹性模量很难改变。

(2) 金属材料塑韧性降低的情况

随着温度的降低和应变硬化程度的加大。几乎所有金属材料的强度都增加，塑性、韧性均明显下降。尤其对于原本塑性很好的体心立方金属（如低、中碳钢）的低温脆化，在工程设计上要给予足够的重视。

(3) 金属材料使用温度的限制

金属的强度是利用各种强化手段（冷变形强化、相变强化、合金化强化等），通过非平衡结构得到的，因此，一旦温度升高，随着逐渐向平衡组织的过渡，材料强度会大幅度下降。即便是价格昂贵的高温耐热合金（如镍基合金）。其使用温度也低于 1100℃，一般钢材的使用温度则不高于 50~600℃。

(4) 金属材料耐蚀性的限制

多数金属材料，尤其钢铁易受介质腐蚀。

(5) 金属矿藏资源的限制

地球上金属矿藏资源有限（铜只能再开采几十年），相对而言。非金属材料资源相对丰富。因此，在不断设法提高非金属材料的环境性能的前提下，尽可能地在一些可能的领域，逐渐取代金属材料。

2.2.2 高分子材料的适应性

高分子材料是包括塑料和橡胶一类高分子质遇的碳氢化合物材料。由于高分子材料具有质轻、耐腐蚀、绝缘性好、容易成形加工，性能可变性大、生产能耗低、投资少、周期短、利润高、原料来源丰富等优点，已成为国民经济及工业部门不可缺少的工业材料，它与金属材料，无机非金属材料并驾齐驱。其中，以塑料的应用最为广泛、最为典型。在选用高分子材料时，应注意以下几个方面^[59]：

1、高分子材料工程应用的基本要求

选择工程应用的高聚物，常以下列一个条件或几个条件为基础。

1) 机械性质（力学性能） 例如拉伸强度和压缩强度、拉伸模量、延伸率、硬度、冲击强度等。

2) 物理性质和化学性质 例如密度、热膨胀系数、介电常数、介电强度、消散因子以及抗化学物质和抗腐蚀介质的稳定性。

3) 加工条件 例如用常用的注射法、挤压法和压塑法等生产出所要求的形状的能力。

4) 成本和可获得性。

5) 销售的吸引力 例如美丽的外观和很轻的质量。比如, 塑料的关键优点是能够在低成率和高速度的条件下, 生产出具有很低表面粗糙度和色彩诱人的精密构件。

2、塑料材料的选用原则

(1) 把握塑料的基本性能

牢记塑料的特征, 确定塑料是否可用、这是最基本的、也是首先的一步。

(2) 了解制品的使用性能要求

对于不同用途的制品, 都有其特定的使用性能要求, 还应当了解制品的使用环境、使用方法和使用中可能出现的问题。

(3) 必要的性能试验

选择具体塑料品种, 要附加必要的性能试验, 尤其是动态和长期性能。

(4) 选择合理的成形工艺并使加工成本最低

在一些情况下, 可用半成品的棒、板、管等原材料进行切削加工成形。

(5) 成本的考虑

虽然塑料比普通金属要贵(按质量), 但是它们正在成功地进入通常采用金属的领域。塑料特殊的优越性是它的密度低、能够制成各种复杂形状的产品, 且具有诱人的色彩变化和艺术的外观。

(6) 用塑料材料代替其他工程材料时的考虑

不应简单地用高聚物材料代替其他材料(金属或陶瓷), 选择并决定时, 应当利用高聚物的优点, 并克服它们的缺点。

3、不宜选用塑料的场合

塑料材料具有很多优点, 其力学、物理及化学的综合性能良好, 同时也存在不少缺点、使用范围有所限制。在有些使用条件要求较高或苛刻的场合, 塑料往往不能使用。

一般情况, 在下列使用条件下, 建议不宜选用塑料材料:

(1) 要求材料强度特别高

(2) 要求耐热温度高

(3) 要求尺寸精度高

(4) 高绝缘性材料

(5) 高导电材料与高磁性材料

4、选用塑料的适宜条件

在下列所介绍的各种情况下, 建议选用塑料材料。

(1) 要求制品轻质

(2) 要求制品比强度高

(3) 制品的形状复杂

(4) 中低载荷作用下的结构制品

- (5) 要求制品的耐腐蚀性好
- (6) 要求力学、物理、化学综合性能好的制品
- (7) 要求具有自润滑性的制品
- (8) 要求制品具有防震、隔热、隔声性能

2.2.3 陶瓷材料的适应性

陶瓷是一种古老材料，在我国有着悠久的历史。近十几年来，随着新技术的进步和基础理论的建立，陶瓷材料的发展进入了一个崭新的时期，相继出现了以高温结构陶瓷和功能陶瓷为代表的一大批新型陶瓷材料。陶瓷材料在工业生产、国防军工和高技术领域得到日益广泛的应用。目前，陶瓷材料的研究和开发，已经成为材料科学和工程的一项重要组成成分。它与金属材料，高分子材料一起，并称为三大材料，共同构成了工程材料的主体。但是，陶瓷作为工程材料的系统研究历史尚短，许多方面不如金属材料成熟，因此，从这个意义上讲，陶瓷材料又是一种新型的、年轻的材料。陶瓷材料工程应用的限制和应注意的问题^[60]：

(1) 陶瓷材料工程用的力学性能限制

工程上采用陶瓷材料的主要限制是它们的脆性大、性能不稳定，抗热振动和抗机械冲击能力低；陶瓷材料几乎没有塑性，难以通过材料的塑性变形来阻止裂纹扩展。应当看到由于结合键与晶体结构的特征，不可能指望陶瓷能与金属一样富有延展性，而完全取代金属材料。因此即便是先进陶瓷也只能应用于某些特殊的工作条件。

(2) 陶瓷材料合适的应用领域

充分发挥陶瓷材料的优良特性、尽可能注意避免它的缺点。一般把它用在十分严酷的工况条件下（如 1000℃ 以上，高温无润滑、高温带腐蚀，强烈腐蚀磨损等），如超高温领域，超高速切削刀具、特殊耐磨等领域以及其他功能性应用领域，则陶瓷材料起到了其他材料难以取代的作用。

(3) 注意尽量使陶瓷制品在压应力或切应力状态下工作

应把陶瓷材料应用于很软的应力状态，即在该应力状态下材料内部的拉应力分量很小，压应力或剪应力分量可以很大，这是陶瓷材料制品的产品设计中，应当十分注意的问题。

(4) 加工因素的考虑

陶瓷的加工性能很差，除精细的磨加工外，其他形式的机械加工难以进行，且成本很高。

(5) 陶瓷材料的耐蚀环境的限制

几乎所有的陶瓷材料都耐化学侵蚀，就是不耐氢氟酸，并在一定程度上也不耐苛性钠溶液的腐蚀。

(6) 传统陶瓷的特点和使用限制

传统陶瓷（包括日用瓷、建筑瓷等）已在人们口常生活、房屋建筑，冶金、化工等领域得到广泛应用。它们具有某些优良的性能，而且由于传统陶瓷的原料大多来源于天然矿物（如黏土、石英和长石等），成形与烧结相对比较简单，并且可直接批量形成制品，无需进行机加工，因此成本低廉，用量之大是其他材料难以比拟的。传统陶瓷已有数千年的生产历史，经久不衰，有的与美术工艺相结合，具有极高的观赏价值与经济价值。但是，由于原料、杂质及工艺因素的原因，传统陶瓷强度低，性质极脆，经不起碰撞与冲击，在较大的应力（特别是拉应力）作用下极易发生脆性断裂。因此，传统陶瓷无法做成能承受机械载荷的工程构件或工程零件，也经不起急冷急热（热冲击或热振）的作用。

2.3 材料选择的系统框架

2.3.1 材料选择的背景、原则和过程

工程设计与制造追求的目标就是给用户提供的功能和具有足够可靠性的产品。要达到这一目标，与在产品的设计和制造过程中正确选用材料有密不可分的关系^[61]。

2.3.1.1 选材的背景

选材问题的提出或选材的动机主要来自以下原因：

- ①根据市场需求决定生产一种新产品、新装置或新机器。
- ②希望改进现有产品；或者已经认识到原来的设计安全系数过大，材料消耗多，以至使产品成本增加，以此作为产品更新换代的契机。
- ③零件的早期失效导致了用户退货、不能正常交货或生产的产品未出厂即报废等，都可能需要改变原来所用材料。

下面以新产品开发为例，来说明材料选择的一般思想^[62]：

开发新产品首先是一个概念或设想，最终制造出新产品，为此可分为以下四个阶段：

第一阶段提出总的概念并确定产品的功能。在这个阶段要提到下列问题：产品是什么？产品做什么用？对设计和材料的主要要求是什么？次要要求是什么？这些要求是否都必要？第一阶段也要粗略地提出对材料加工方法的要求。根据加工要求可能淘汰某几种材料，而未被淘汰的材料作为候选材料。如果不完全清楚，在第一阶段就要查阅资料和咨询。其实第一阶段更重要的任务是可行性研究。即从市场评价和竞争的观点对方案进行经济评价。

第二阶段提出实用并能施工的设计，如果可能，就制造样机。主要材料和加工方法的选择工作在这阶段完成。根据预定的性能和成本把候选材料分类，同时检验加工方法的细节。

第三阶段实现技术的最佳化，选择最佳（不一定是最好）材料、最佳设计、

最佳工艺和最佳工艺路线。为了使产品满足最低成本要求，或者是为了适应现有设备条件，在这一阶段设计可能做些修改。修改设计可能要求变更部分材料，或者改变设计的某些细节，使其适应所选材料的性能。

最后一个阶段是批量制造产品。即使在这一阶段，材料的选择也许还要继续进行。许多出现的加工问题可能要求更换其他满意的材料，例如热处理、连接和表面装饰方面的困难可能要求改变材料，而材料的改变又可能产生不同的性能特点，又需要重新修改某些设计。

其实，对现有产品的材料也有重新评价、重新选用的问题，如为了改善性能，提高寿命和可靠性而选用其他的材料。

在前述的“选材问题的提出”所列举的第三种原因与下述情况有关。由于零件的失效导致用户退货；或正在使用的材料供应上出了问题；或是由于零件或装置在出厂前就失效。这样以前的选材可能已不再适用，需要立即安排代用材料。对这些情况来讲，选材在经济上的考虑就是设法在最短的时间内尽快恢复生产，满足用户要求，挽回声誉损失。这时采用的是合理和现实的解决办法，不一定是最佳，也就不一定是最经济的解决办法。

2.3.1.2 选材原则

无论是什么样产品，都是由一个个零件组成的。不同零件的形状、尺寸和表面完整性要求大不相同。一件产品的制造完成都是从零件入手，零件也就成了制造单元。选材是针对零件的，而不是部件和整机。不管机器或是产品的功能如何，设计总是要让每一个零件分摊一定的任务，而零件完成任务的好坏由零件的使用性能决定的。一个好用的零件除正确选用材料外，还要科学精致地控制零件制造过程中的每一个工艺过程，使制造它的材料性能潜力挥得淋漓尽致。零件的材料选用和制造的工艺过程中，只要不是显著地损害零件的性能，财力的代价越小越好。这就要求选材还要考虑成本原则。上述的这些要求构成普遍的选材三原则：即使用性能原则、工艺性能原则、经济性能原则^[6,7]。

上述三原则，要统筹兼顾。其中使用性能原则应该占有最重要的地位，这是保证零件正常工作和使用寿命所必需的，不然就会失效或早期失效。

工艺性能原则、经济性能原则和材料类型有很大的关联，但不完全是材料本身的固有性能。如经济性能原则中，材料的单价只反映买进价格，而制造成本等一系列成本并不包括在材料单价中。工艺性能原则比成本原则还要复杂。不同零件采用不同工艺过程制造，就是一个零件也常常是要经历几个工艺过程才能得到满足使用性能要求的合格品。因此常要求材料具有不同的工艺性能，在选用金属材料时尤其如此。某种工艺性能有时单纯表现为材料本身固有性能，有时还兼有工艺本身的影响因素而不能忽略^[63]。

锻造工艺性能、铸造工艺性能，切削工艺性能、磨削工艺性能以及各种非金属材料的工艺性能也是如此，几乎不存在完全由材料本身决定的工艺性能。

工艺本身对工艺性能的影响绝不能忽略，这就是工艺性能的双重属性。

工艺性能的双重属性说明选择材料和选择制造工艺是同时并举的过程，而不是先选材、后选制造工艺的简单过程。

除了上述被普遍接受和采纳的选材三原则外，有一个新的原则也会逐渐成为选材的重要原则：环境性能原则。这样就构成了选材的四原则。

迄今为止，为了某个零件特定工作条件的需要，人们在选用适合的材料时，仍然主要关注材料的适用性、可以接受的成本以及制造工艺过程的难易，即选材三原则的使用性能、工艺性能和经济性。较少甚至不考虑资源、能源和环保的原则。与此相应的材料生产—使用—废弃的过程，将大量的能源投入到地球资源的提取以及制取材料，再将大量的能源用于制造工艺使材料变成产品，最后花费大量的能源用于产品的运转并最终废弃。工业化社会的高消费、高效率对于环境而言则是高索取和高负荷。可以设想，随着地球资源的日益枯竭、环境的日益恶化，以及人们对地球像“宇宙飞船似的大地”认识的日益深刻，选材的资源、能源和环保的原则今后会变得越来越重要，即将选材三原则扩展为选材四原则。在三原则的基础上增加了环境协调性等原则。环境协调性的原则要求在材料生产—使用—废弃的全过程中，对资源和能源的消耗尽量减少，对生态环境影响小，材料在废弃时可以再生利用，或废弃时不造成环境的恶化，或是可以降解。

2.3.1.3 选材的一般过程

选材四原则中，每个原则都很重要，但是在选材的一般过程中作为选材的切入点是使用性能原则。这是因为零件在一定的环境下完成确定的功能和预计的行为必须由使用性能原则来保证。当零件选用材料具备了足够的使用性能后，再考虑是否满足工艺性能原则、经济性能原则、环境性能原则。

选材一般过程可概括为如下五个步骤^[64, 65, 66]：

(1) 分析零件对所选材料的性能要求及失效分析

使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能。物理性能和化学性能是零件工作于特殊条件时，对零件材料提出的特殊要求：工作于大气、土壤、海水等介质中的零件要具备耐蚀性，传输电流的导线或零件要有良好的导电性等。无论零件工作环境如何，零件总要承受一定的负荷，尤其是结构零件对力学性能的要求是主要的或者是惟一的。工艺性能包括铸造性、锻造性、焊接性、热处理、机加工等性能。

1) 分析零件对所选材料性能的要求具体有以下三步。

①分析零件工作条件 工作条件的含义是工作环境和外力。工作环境包括环境温度、环境介质、润滑条件和磨料情况；外力可分为载荷谱、载荷大小、载荷分布和变形方式。由力学条件，即理论力学的静力学平衡原理计算零件所受外力的平衡条件。

②用材料力学、弹性力学或实验应力分析方法计算零件的强度、刚度、稳定性。

③由强度，刚度或稳定性条件选择材料和尺寸。

2) 零件失效形式分析 零件失效形式分析的含义有二：一是零件在使用中失效，那么需对失效的零件进行失效分析，找出失效原因（不外乎设计、选材、工艺和安装使用方面的因素），提出改进措施；二是在设计、选材阶段时，根据零件的工作条件事先对零件的失效形式进行判断、估计和预测。

(2) 对可供选择的材料进行筛选

当确定零件对材料的性能要求，并进一步将性能要求进行了硬要求和软要求的分类后，开始对可供选择材料进行筛选。在这个过程中，要把材料的经济性分析和环境性分析放在比较重要的地位，重要程度仅次于性能分析。根据产品市场需求和企业现实状况，把材料的各项经济指标和环境指标作为材料选择的必要条件，对材料的选择进行限制。开始选择材料时，要把所有的工程材料都当作选择对象。这一阶段的重要性是产生可供选择的方案，不必过多的考虑某种材料的可行性。当所有可供选择的方案都提出出来后，再淘汰掉明显不合适的设想，最后把注意力集中到看起来现实的设想上。设计师的经验和知识积累在这一阶段的作用是非常重要的。

(3) 对可供选择的材料进行评价

经过上一阶段的筛选，选用材料的范围已大为缩小，而且这个范围内的几种材料都能同程度地满足硬要求。这个阶段的任务就是对照规定的、对材料性能的要求衡量候选材料，并最终确定最佳材料。材料选择要求考虑材料本身相互对立的长处和短处，最后做出折中和判断。因此某种零件材料选择可能有不同的结果。评价阶段可从最关键的性能开始，然后评价次要性能，或是根据所有有关的性能对各类候选材料进行比较。在很多场合，使用系统分级和定量的方法进行评价选择应该更好。

(4) 最佳材料的决定

通过上述步骤应该得出我们要选择的材料。但是有时上述评价的结果是两种、甚至三种材料不相上下，评价的结果不明确，此时选材者应该用经验做出判断和决定，显然不明确的评价结果的出现是和对各种要求规定的相对重要性有关。最后当出现没有一种材料能满足各种要求时，或是放宽要求，或是从根本上重新设计。

(5) 零件所选材料的实际验证

成批、大量生产的及非常重要的零件，如果在用户使用时发生早期失效或是不能满足设计的可靠性要求，势必造成用户退货和索赔事故，不仅影响公司的声誉，也会造成很大的经济损失。所以对于成批、大量生产的零件和非常重要的零件在公司内部先进行试生产，试生产时要进行台架试验、模拟试验。当

确认无误后再投放市场。而且要不断接受从市场反馈回来的质量信息，作为改进产品的依据。

2.3.2 材料选择的影响因素

材料选择不仅影响到产品的性能、寿命，而且要符合人机工程学（即人与产品的协调性），还要有利于环境保护。选材必须遵守的选材四原则，说明选材不是随心所欲的事情。同时满足选材四原则的材料自然是理想材料。但是，一般来说，在进行产品设计选材时，总会有这样那样的原因影响材料选择，影响材料选择的因素有很多，但归纳起来，这些影响因素主要有以下几个方面[67,68]：

1、材料的物理—力学性能 传统设计时，材料的工程性质是选择材料时的主要着眼点。材料的工程性质主要包括材料的强度（弹性模量、拉压强度、弯扭剪强度等）、材料的疲劳特性、刚度、稳定性、平衡性、抗冲击性等等。

2、满足产品的基本性能要求 除满足材料的工程性质外，还必须考虑以下几个方面：

（1）功能 不论何种产品都必须首先考虑产品的功能和所期望的使用寿命；

（2）结构要求 产品结构不仅影响加工工艺性、装配工艺性、生产成本，而且对材料选择也有重要影响。如焊接结构一般就不能选择铸铁材料；

（3）安全性 安全是产品最基本的因素。材料的选择应充分考虑各种可能预见的危险，如设备内部若选用易泛潮的塑料轴承，就会因隐匿着腐蚀的危险性造成质量恶化，而导致至关重要的控制器失灵等；

（4）抗腐蚀性 抗腐蚀性也是材料选择的一个重要准则。因为它直接影响产品的外观和使用寿命及维护；

除此之外，选择材料还要考虑市场因素、产品造型等。

3、产品使用的环境因素 任何产品总是在一定的环境中运行和使用，所以组成产品的材料必然受到环境的影响。

这些影响主要包括：

（1）冲击与振动 产品在运输、使用过程中，可能会受到冲击与振动，从而导致产品的损坏；

（2）温度与湿度 例如某些绝缘材料在高温时会失去绝缘性，而某些塑料受潮后会失去精度，从而影响产品的性能；

此外，影响材料选择的环境因素还有气候影响、人为破坏、噪声等。

4、环境保护因素 随着地球环境状况的恶化和人类环境保护意识的加强，产品的材料选择越来越受到环保要求的制约，并将逐步上升为材料选择时的重要因素。也就是说，材料选择应该有利于保护环境，有利用人类、材料、环境的协调发展。

2.3.3 材料选择的系统框架

经过上面 2 节的叙述和探讨,首先清楚了有关材料选择的概念和重要意义,明确了三大支柱材料的一般使用范围和限制,这为进行材料选择打下了一个坚实的基础。其次掌握了材料选择的四大原则,这是进行材料选择的可靠保障。最后熟悉了进行材料选择的一般的过程。这使得进行材料选择有了一个指路明灯,也有了一条光明的道路。

以上述的知识为铺垫,给出进行材料选择的系统框架(如图 2-2):

图 2-2 概括的表达出材料选择的一般的原则方法和过程。该系统框架中,以产品的需求分析为基础,以材料选择的四项原则为依据,以每项原则的具体指标为选择条件,从材料数据库中的大量备选材料中,按照一定的方法进行筛选,最终得到最优的材料。下面将继续讨论这个框架中的关键部分,即材料选择中的关键技术和方法部分。

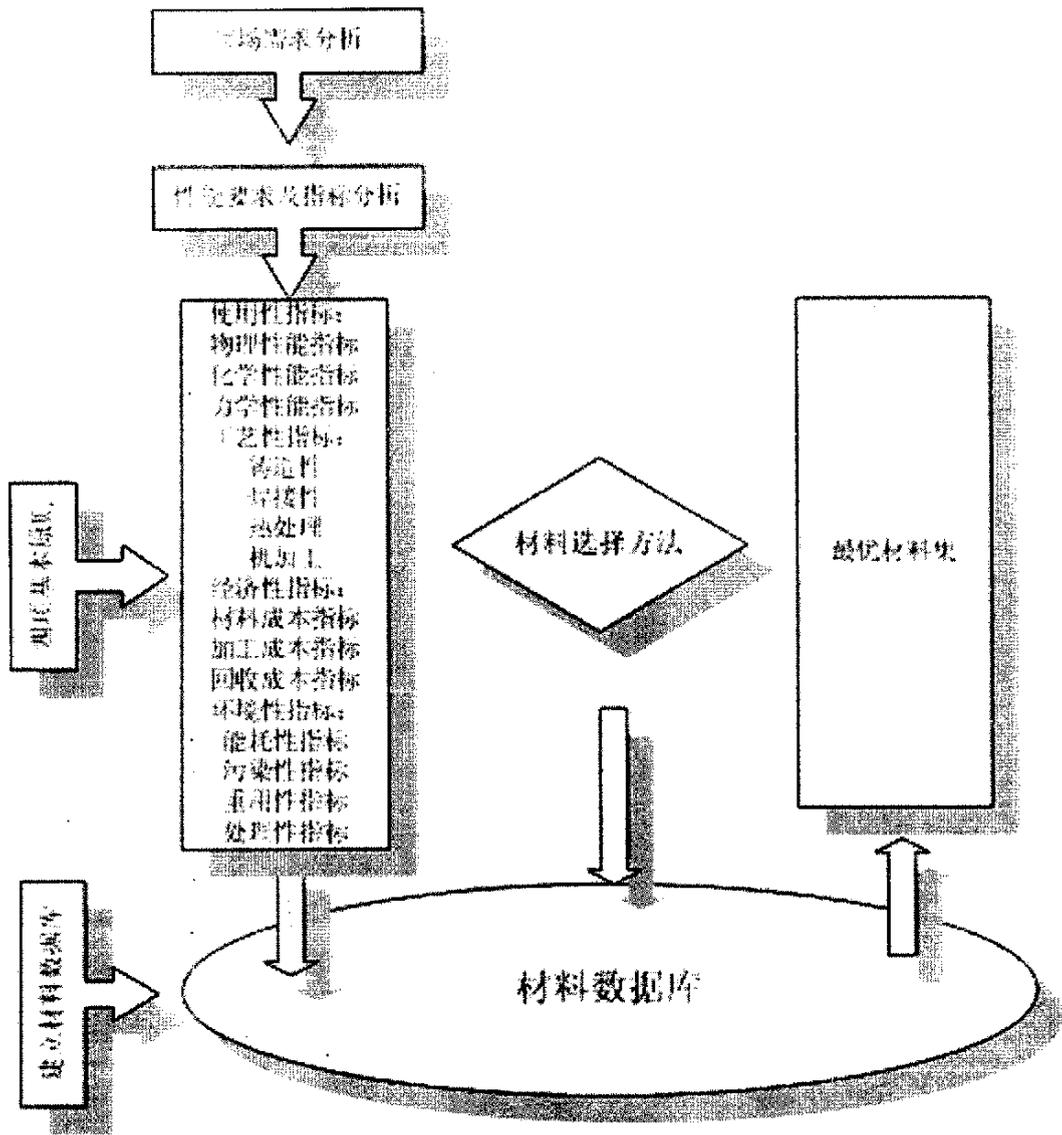


图 2-2 材料选择的系统框架

第三章 绿色设计中材料选择的关键技术之一——材料选择方法

通过找出传统材料选择的不足之处，提出了克服传统材料选择方法缺陷的材料选择三维方法的思想。在建立的材料选择三维方法的材料选择原则后，借助 AHP 等相关数学知识，建立的材料选择三维方法的模型框架，并详细描述了该方法的流程。最后，通过一个具体的实例来验证材料选择三维方法的可操作性和应用性。

3.1 材料选择的传统方法比较

材料选择在产品设计中处于极其重要的地位。传统设计中材料的选择主要考虑材料的物理--力学性能、产品的基本性能（例如产品的功能、结构要求、安全性、耐腐蚀性等）、产品使用的工作环境等因素的影响，往往很少考虑产品与环境的和谐问题。另外，在选择材料时，往往是凭借设计人员的经验，缺少准确、科学的选材方法。传统的材料选择方法主要有：行业传统选材；试行一错误法选材；类比法选材；筛选法选材；信息反馈法选材；价值分析法选材；目标函数法选材等等。不可否认，这些材料选择方法在某些领域或者在特殊的时期，有它们的优势。

但是，在当今科技高速发展的情况下，它们就显出了劣势。传统材料选择的不足之处，主要表现在以下几个方面：（1）所用材料很少考虑报废后的回收处理问题。（2）产品设计时的材料选择以功能为主要目标，忽略了与环境的关系。（3）没有全面考虑材料的加工过程及其对环境的影响。（4）很少考虑所用材料本身的生产过程。（5）所用材料品种繁多^[69]。

由于传统的材料选择已不能充分满足现代设计的要求，所以，必须在传统材料选择的基础上进行完善，改变以考虑性能、经济原则为主的传统选材思想。先进的选材思想应该是根据绿色产品设计的特点，遵循产品的功能属性和绿色属性的总原则，综合考虑材料的基本性能（使用性能和工艺性能）、经济性能和环境性能三大要素^[70]。

3.2 材料选择三维方法

根据上述传统材料选择方法的不足，本文作者提出自己的材料选择三维方法，在全面考虑材料的各项性能的情况下进行材料选择。

3.2.1 材料选择三维方法的思想

材料选择三维方法，是基于传统材料选择方法的不足而形成的。传统材料选择方法很少考虑材料的环境性能，而大多数将重点放在使用性能、工艺性能

和经济性能上，从现实意义上来说，这样的方法不是错误，而是不全面。那么，有没有一种方法，既不违背传统的方法，又能够全面的进行材料选择呢？答案是肯定的。这就是材料选择三维方法。

材料选择三维方法的思想：把同一事物中三个不相容的问题，放在一个三维空间范围内进行考虑。选择材料就是从大量的备选材料中选择一种最佳材料。选择的依据是材料的基本性能（使用性能和工艺性能）、经济性能和环境性能所包含的各项指标因素。材料的这三种性能就可以看作是三个不相容的问题，就可以构成一个三维问题。因此，可以建立一个三维空间坐标系来进行描述，如图 3-1 所示：

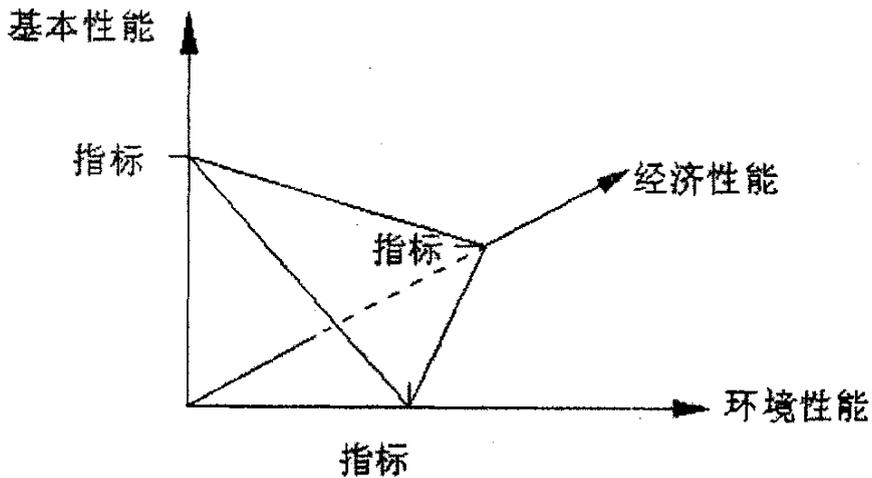


图 3-1 材料选择的三维思想

3.2.2 材料选择三维方法的框架与流程

3.2.2.1 材料选择三维方法的选材原则

绿色产品设计的材料选择应以材料流为对象，在并行工程环境下对整个设计过程中的每一个环节进行环境因素评价，以使产品对环境的不利影响最少，并得到满足绿色产品要求的材料。绿色产品设计的材料选择就是强调保护环境，防止污染和非再生资源的滥用。所以，绿色产品设计选材时不仅要考虑产品的使用条件、性能、成本等因素，而且应考虑环境的和谐性。据此，建立以下的材料选择原则^[71]：

(1) 选材的使用性原则

使用性能是保证产品完成规定功能的必要条件，在大多数情况下，它是选材首先要考虑的问题。

使用性能主要包括以下几个方面：

- ①产品功能要求 所选材料首先要满足产品的功能和所期望的使用寿命。

②产品结构要求 产品结构要求对材料选择有重要影响

③使用安全要求 材料选择应充分考虑各种可能预见的危险

④工作环境要求 任何产品总是在一定的工作环境中运行和使用，它必然要受到环境的影响，这些影响主要包括：冲击和振动、温度与湿度、腐蚀性等

（2）选材的工艺性原则

材料的工艺性表示了材料的加工难易程度，主要包括铸造性、锻造性、焊接性、热处理、机加工等性能。材料的工艺性主要与材料的工程性质和材料的加工工艺路线有关。

材料的工程性质主要包括材料的强度（弹性模量、抗压强度、抗扭强度、抗剪强度），材料的疲劳特性、刚度、稳定性、平衡性、抗冲击性等。

（3）选材的经济性原则

产品选用的材料必须保证产品的生成和使用的总成本最低。在保证产品的使用性和工艺性的前提下，应该采用便宜的材料，把成本降至最低以获得最大的经济效益，使产品在市场上具有最强的竞争力。

（4）选材的环境性原则

环境性是指材料的生产、使用和报废又对环境（包括资源、能源）产生重大的影响——有益作用或有害作用。如果不合理的选择和使用材料会造成了资源和能源的极大浪费，造成对环境的严重污染。

面向选材的环境性原则时，应依据环境性选材准则进行选材。具体来讲，在材料选用时应考虑以下几点^[72,73,74,75]：

（1）选择绿色材料

这是从材料角度保证可持续发展战略的根本出路。绿色材料具有环境协调性，是材料发展史上一个重要的转折点，并已成为全球材料科学工作者追逐的热点。

（2）减少所用材料种类

即设计时尽量避免选用多种不同的材料或采用易拆卸分离的结构设计，以便产品维修或报废后的回收、分类和再利用。

（3）尽量选用不加涂、镀层的原材料

现代产品设计中为了美观、耐蚀等目的，大量使用了涂、镀材料。这不仅给产品报废后的材料回收、再利用带来了困难，而且大部分涂料本身就有毒，且涂、镀工艺过程也给环境带来了极大的污染。

（4）选用产品报废后能自然分解并为自然界吸收的材料

当产品使用报废后，其废弃物材料若不易分解且难于为自然界吸收，将对环境产生极大的污染，高分子材料的加工和使用后的废弃物就属此例，尤其是塑料包装材料造成的污染极为严重。

（5）选用易回收再生的材料

产品加工与报废后所废弃的材料，若易于回收、再生，则不仅可减轻环境污染，而且还利于资源的循环再使用，节约能源，减少废弃垃圾，具有明显的社会效益和经济效益。

- (6) 选用能耗低、低成本、少污染的材料
- (7) 选用易加工且加工过程中污染较少的材料
- (8) 不易分离的零件应选用同种或同类材料
- (9) 含有危险、稀有或贵重材料的零件应便于拆卸
- (10) 可能的情况下应尽可能选用回收零件

3.2.2.2 数学知识基础

在本文提出的材料选择三维方法中，需要用到 AHP 的数学知识，本节对此做一简单介绍。

1、AHP 方法简介

层次分析法，英文名称为 The Analytic Hierarchy Process，简称为 AHP，是 20 世纪 70 年代初美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂（T. L. Satty）在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时，应用网络系统理论和多目标综合评价方法，提出的一种层次权重决策分析方法。这种方法的特点是在对复杂决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化，从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法，尤其适合于对决策结果难于直接准确计量的场合。

AHP 从本质上说是一种思维方式，它把复杂问题分解成各个组成元素，又将这些元素按支配关系分组形成递阶层次结构，通过两两比较的方式确定层次中诸因素的重要性；然后综合决策者的判断，确定决策方案相对重要性的总的排序。整个过程体现了人的决策思维的基本特征，即分解、判断与综合。AHP 同时又是一种定量与定性相结合的方法，将人的主观判断用数量形式进行表达和处理^[76]。

国内外对 AHP 的分析、讨论和应用相当广泛，可参见有关文献。下面简单介绍一下 AHP 的基本方法和步骤。

2、递阶层次结构的建立

通过对系统的深刻认识，确定该系统的总目标，弄清规划决策所涉及的范围、所要采取的措施方案和政策、实现目标的准则、策略和各种约束条件等，广泛地收集信息。然后，建立一个多层次递阶结构，按目标的不同、实现功能的差异，将系统分为几个等级层次。一般来说，每一层次中各元素所支配的元素不超过 9 个。图 3-2 即为递阶层次结构图。

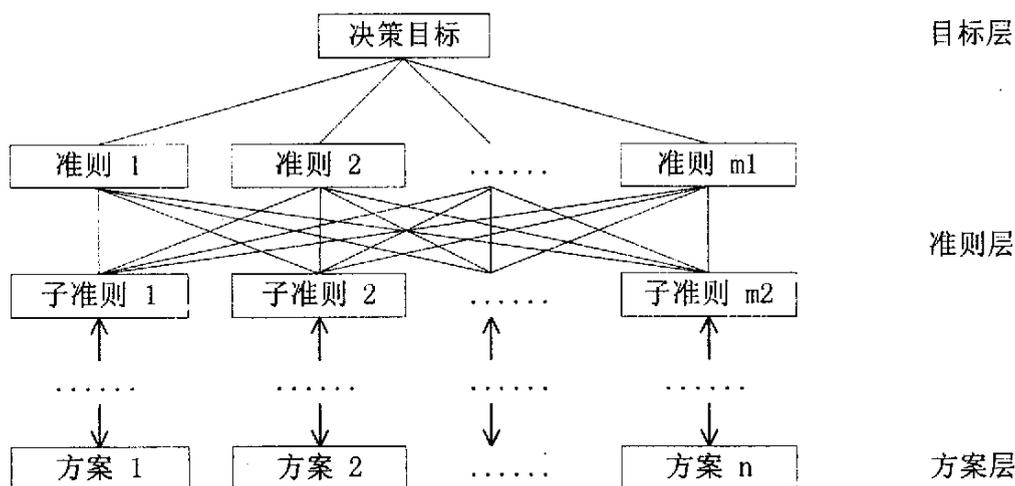


图 3-2 递阶层次结构图

3、 构造两两比较判断矩阵

确定以上递阶结构中相邻层次元素间相关程度。通过构造两两比较判断矩阵及矩阵运算的数学方法，确定对于上一层次的某个元素而言，本层次中与其相关元素的重要性排序即相对权值。表 3-1 是 AHP 中常用的 1-9 标度的含义。

表 3-1 AHP 中 1-9 标度的含义

标 度	含 义
1	表示两个元素相比，具有同等重要性
3	表示两个元素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么元素 j 与元素 i 的重要性之比是 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

对于准则 C ， n 个被比较元素构成了一个两两比较判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，其中 a_{ij} 就是元素 u_i 与 u_j 相对于 C 的重要性比例标度。显然， $a_{ij} > 0$ ， $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ， $a_{ii} = 1$ 。我们称 A 为正互反矩阵。我们对一个矩阵的判断仅需给出其上（或下）三角阵的 $n \times (n-1)/2$ 个元素即可。

4、 单一准则下元素相对权重的计算

相对权重的计算方法有若干种，常见的有：和法、根法、特征根法、对数最小二乘法、最小二乘法等。为便于计算机运算，常采用前两者。

和法：对于一个一致性矩阵，它的每一列归一化后即为相应的权重向量。
和法采用 n 个列向量的算术平均作为权重向量。

$$w_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

或
$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{(\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kj})} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

根法：将 A 的各个列向量采用几何平均，然后归一化。

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ki})^{1/n}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

5、一致性检验

为避免出现 A 比 B 重要，B 比 C 重要，C 又比 A 重要的情况发生，需要对矩阵进行一致性检验。检验的步骤为：

计算一致性指标（Consistency Index，通常简称为 **C.I.**）

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

查找相应的平均随机一致性指标（Random Index，通常简称为 **R.I.**），具体指标可见表 3-2。

表 3-2 AHP 中平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36
阶数	8	9	10	11	12	13	14
R.I.	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

计算一致性比例（Consistency Ratio，通常简称为 **C.R.**）

$$C.R. = C.I. / R.I.$$

当 $C.R. < 0.1$ 时，可直接采用；若 $C.R. \geq 0.1$ 时，须对矩阵进行适当修正。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i}$$

式中, $(Aw)_i$ 表示向量 (Aw) 的第 i 个分量。

6、计算各层对目标层的合成权重

假定已知第 $k-1$ 层上 $n-1$ 个元素相对于总目标的排序权重向量 $w^{(k-1)} = (w_1^{k-1}, w_2^{k-1}, \dots, w_{k-1}^{k-1})^T$, 第 k 层 n_k 个元素对第 $k-1$ 层上第 j 个元素为准则的排序向量设为 $p_j^k = (p_{1j}^k, p_{2j}^k, \dots, p_{n_k j}^k)^T$, 其中不受 j 支配的元素的权重为 0。令 $P^k = (p_{1j}^k, w_{2j}^k, \dots, w_{n_k, k-1}^k)^T$, 这是 $n_k \times n_{k-1}$ 的矩阵, 表示 k 层上元素对 $k-1$ 层上各元素的排序, 那么第 k 层上元素对总目标的合成排序向量 w^k 由下式得出:

$$w^{(k)} = (w_1^k, w_2^k, \dots, w_{n_k}^k)^T = P^{(k)} \cdot w^{(n-1)}$$

$$\text{或 } w^{(k)} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} P_{ij}^{(k)} \cdot w_j^{(k-1)} \quad i=1,2,3,\dots,n$$

且一般地有

$$w^{(k)} = P^{(k)} \cdot P^{(k-1)} \dots w^{(2)}$$

这里的 $w^{(2)}$ 是第二层上元素对总目标的排序向量, 实际上就是单准则下的排序向量。

3.2.2.3 材料选择三维方法框架和流程

首先从分析目前常用的一种材料选择方法入手, 逐步构建材料选择三维方法。

考虑到材料选择的不确定性、非线性和模糊性, 不少专家、学者都选择了模糊综合评价的方法对材料进行优选^[77,78,79,80]。总结起来, 其基本步骤如下:

- (1) 根据材料选择所需考虑的诸因素, 确定因素集;
- (2) 将被选择的可能使用的材料纳入备择集(评判集);
- (3) 将各因素的重要性进行排序, 形成权重集;
- (4) 建立单因素评判矩阵并进行综合评判, 找出最优材料。

但是, 这种评价方法, 也存在一些不足之处, 主要表现在:

(1) 对环境性能考虑不够充分, 没有严格遵从绿色设计的有关准则, 影响了产品的环境属性;

(2) 由于备择集不可能过大, 备选材料种类受到相当的限制, 客观上制约了较多优秀材料的选择可能性;

(3) 材料成本应是产品设计中受到重视的因素之一, 可是在上述方法中均未有效地考虑;

(4) 面对一个产品为数众多的零件逐一进行选择时, 因素集、备择集和权重集应有相应不同的变化, 但上述方法无法进行动态调整;

(5) 评价过程较为繁琐, 不适合进行大量零件的材料选择。

有专家提出基于价值工程的材料选择方法, 在一定程度上解决了上述第三个问题, 但从整体来说, 这种材料选择的方法仍然存在不足, 需要完善。应用材料选择三维方法的思想, 则可以较完善地解决这个问题。

材料选择三维方法框架见图 3-3。

图 3-3 直观的反映出材料选择三维方法的思路, 层次清楚。图中的备选集是指各种材料构成的材料集合, 本文中所提到的备选集均是指材料集合。为了便于对各种材料进行选择和管理, 本文将所有材料集合放入材料数据库中, 使材料数据库和计算机技术有机的结合, 有利于材料的选择和管理。有关材料数据库的内容在下一章讨论。

该方法的主要工作流程如下:

(1) 设计人员依据客户的需求, 确定零件所需材料的密度、抗拉强度、屈服极限、弹性模量、电导率、热导率等技术指标的范围, 以及铸造性、锻造性、热处理性、机加工性等工艺性能指标, 由计算机进行求“交”运算, 从全部备选材料的集合 M_1 得出经第一维选择后的备选材料集 M_2 。 M_2 是满足全部机械-物理性能的材料集合, 能够满足该零件所要求的各项性能。

(2) 设计人员根据产品需求和设计单位的实际客观状况, 判断经济性和环境性二者的重要程度。

(3) 如果认为经济性比环境性重要, 那么, 那么优先根据经济性指标来选择材料。根据经济性的各项指标由计算机进行“交”运算, 从备选材料的集合 M_2 中得出经过第二维选择后的备选材料集 M_3 。备选集 M_3 是能够满足经济性能的材料集合。

(4) 在进行第三维材料选择的过程中, 需要先对材料的环境性能指标进行评判。根据需求分析确定的四个环境因素——重用性、处理性、能耗性和污染性的评价准则, 对材料库中的全部材料进行评价赋值。赋值范围为 0-10, 值越大则环境性能越好; 反之越差。赋值的方法是根据四个评价准则进行的, 评价的过程采用专家打分的方法完成的。下面就给出一套参考性评价准则, 具体内容如下:

1) 重用性准则

重用可以避免废弃物的产生, 使零件或材料在产品达到预期寿命时以最高的附加值回收并重复利用, 降低产品的生命周期成本。由于具有不同的价值、功能、制造难易程度、易损程度和降低制造成本的需求, 产品中有些零部件可以重新使用。不同的零件具有不同的重用可能性, 有些零件则具有多次重用的特性, 将重用可能性较大的零件放在同一模块中, 可方便产品整体废弃后部分

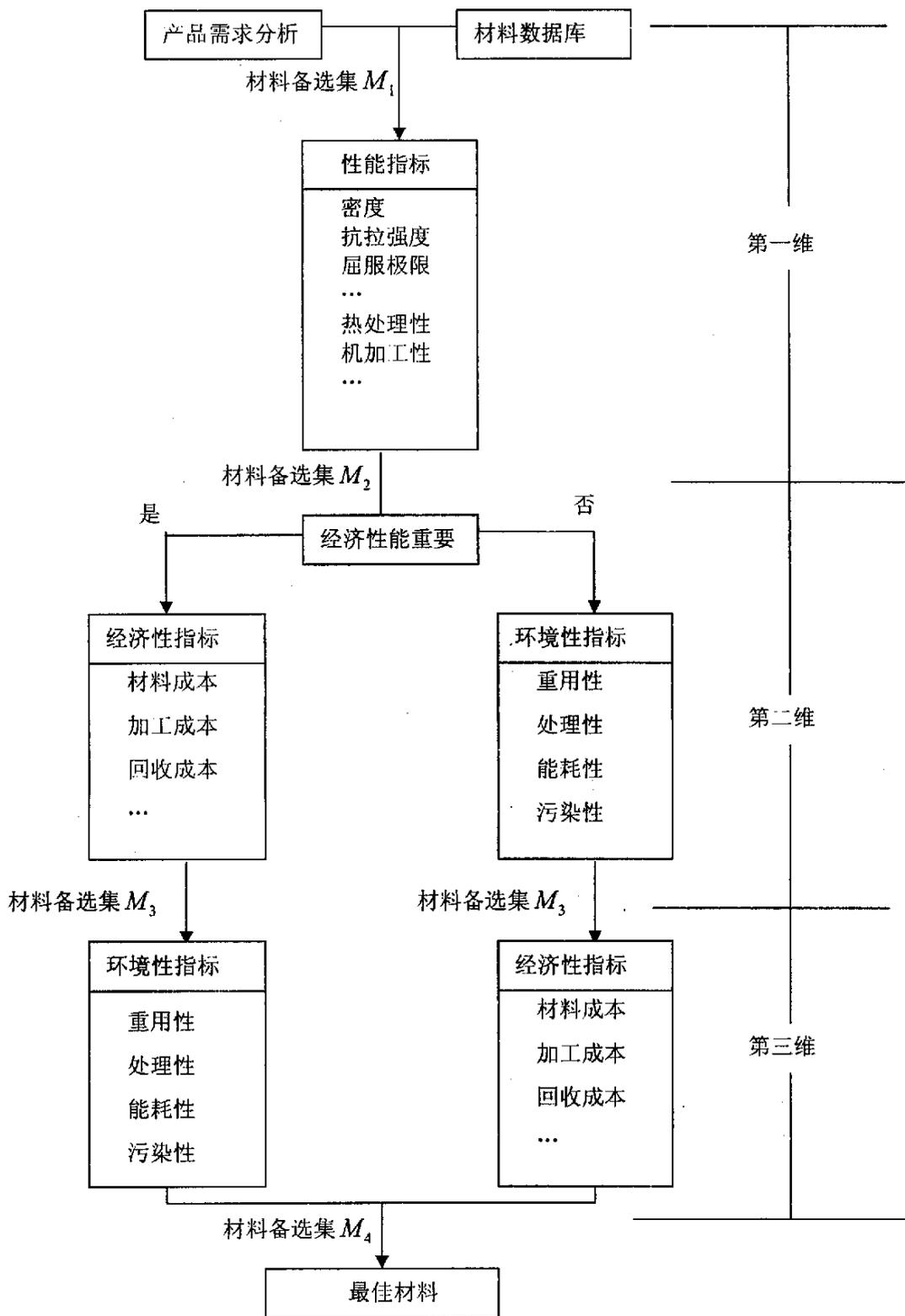


图 3-3 材料选择三维方法框图

零部件的重用并能够大大减轻废弃物对环境的影响。以某种单用途照相机为例，它的某个机械单元可以数次完全重用并遗传给下一代产品。

2) 处理性准则

对于当前条件下无法或无必要进行重用和回收的零部件，按照自然降解、焚烧、掩埋等不同的处理方式将零件划分到不同的模块中，将有利于产品报废后的处理，减少拆卸与分捡成本。

3) 能耗性准则

材料在加工过程中的能耗，应该尽量的小，其中加工过程包括原材料的加工过程和将材料加工成产品的过程。

4) 污染性准则

材料的污染性是指材料的加工、运输、放置、使用以及废弃后，产生的对生物、土壤、大气、水等的污染，这个准则要求，材料在其生命周期的全过程中都不产生对环境的污染或者污染最小。

环境性能指标参考性评价准则：

表 3-3 环境性能指标参考性评价准则

名称	评价标准 1	评价标准 2	评价标准 3
处理性	材料可回收重用 10	材料可自然降解 5	材料为地下掩埋 0
能耗性	材料在生产过程中消耗的能量最低 10	材料在生产过程中消耗的能量较高 5	材料在生产过程中消耗的能量最高 0
重用性	材料耐用性高，不易损耗，材料占零件成本 10% 以上，材料成本高 10	材料耐用性中，较易损耗，材料占零件成本 5% - 10%，材料成本中 5	材料耐用性低，极易损耗，材料占零件成本 5% 以下，材料成本低 0
污染性	材料加工过程中对环境无污染 10	材料加工过程中对环境污染小 5	材料加工过程中对环境污染严重 0

根据这个参考性评价准则，这样可以形成材料环境性能矩阵：

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{21} & m_{23} & m_{24} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & m_{n4} \end{bmatrix} \quad 0 \leq m_{ij} \leq 10$$

式中，每一行表示一种材料的四种环境性能的好坏。如 m_{11} 表示第一种材料的重用性指标； m_{n4} 表示第 n 种材料的污染性。

(5) 利用层次分析法 (The Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP)，确定在该零件设计中所需考虑的四个环境因素——重用性、处理性、能耗性和污染性的权重大小并形成权值向量，并且要进行一致性检验。

$$W = (w_1, w_2, w_3, w_4)^T \quad \sum_{i=1}^4 w_i = 1$$

(6) 将 M_3 中每种材料的环境性能进行加权求和，可以得出该材料的环境性能指数，再将性能指数乘以质量系数，得到最终的环境性能指数，如第 n 种材料的环境性能指数为：

$$I_n = k \sum_{i=1}^4 w_i \cdot m_{n,i}$$

其中指数最大的即为环境性能最好的材料，也就是最优的材料。这样就形成了最优材料集 M_4 。

(7) 如果在步骤 (2) 中判断环境性比经济性重要，那么在经过步骤 (1) 后步骤 (3) 就是对备选材料集 M_2 进行环境性能指标评价和选材，得到备选材料集 M_3 ，然后再根据经济性能的各项指标对备选材料集 M_3 进行最后的筛选，最后得到材料集 M_4 ，即最佳材料。

该方法的特点在于：

(1) 该方法首先考虑零件的功能属性，从技术性指标入手进行材料选择，将全部材料纳入技术指标体系进行筛选，从中获取所有可能被使用的材料种类；

(2) 该方法充分考虑了产品的绿色属性，利用 AHP 方法对处理性、污染性、重用性、能耗性等环境指标进行重要性排序，并对不同材料进行环境性能评价，得出最优材料；

(3) 评价过程清晰简洁，便于使用，有利于大型产品设计中的零件选择。

该方法有效的弥补了传统选材方法的不足和缺陷，完善和简化了模糊综合评价的材料选择方法。该方法充分的考虑了材料的环境性能；通过建立庞大的备择集，使优秀的材料不遗漏；材料选择三维方法可以充分考虑材料的各种性能指标，物理性能、力学性能、工艺性能、经济性能等，而且在选择过程中，可以随着零件的不同，进行动态的变化，操作起来也简单易行。

3.3 材料选择三维方法应用实例

根据以上提出的选材方法，下面以选择冰箱门把手（见图 3-4）材料为例进行说明。



图 3-4 冰箱门把手示意图

第一步根据电冰箱门把手的实用性、工艺性等所必须满足的技术指标值，取各技术指标的交集，从备选集 M_1 中初选出符合条件的材料，构成备选集 M_2 。也就是说，备选集 M_2 中的材料都能满足电冰箱门把手的功能属性。

第二步判断经济性和环境性的重要程度，根据环境方法的一些法律和法规，以及冰箱产品的市场要求，这里选择环境性比经济性重要。

第三步任意选取 M_2 中的五种材料为例来说明该步骤。经过专家打分，为以下五种材料的四种绿色属性打分赋值。表 3-4 是备选集 M_2 的一部分：

表 3-4 五种材料的四种绿色属性打分赋值

材料名称	重用性	处理性	能耗性	污染性
不锈钢	8	9	8	4
铸铁	9	10	8	5
木材	2	4	7	5
聚苯乙烯	2	4	8	2
陶瓷	2	6	8	6

然后就可以建立材料的环境性能矩阵：

$$M_{5 \times 4} = \begin{bmatrix} 8 & 9 & 8 & 4 \\ 9 & 10 & 8 & 5 \\ 2 & 4 & 7 & 5 \\ 2 & 4 & 8 & 2 \\ 2 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

利用 AHP 方法，根据实际情况，得到四个环境因素的权重值：

表 3-5 四个环境因素的权重值

指标	重用性	处理性	能耗性	污染性	权重	一致性
重用性	1.0	1.0	0.5	1.0	0.2	0.09
处理性	1.0	1.0	1.0	0.3	0.18	
能耗性	2.0	1.0	1.0	1.0	0.29	
污染性	1.0	3.33	1.0	1.0	0.33	

一致性检验为 0.09，符合条件，不需要进行修正，从而得出权重向量：

$$W = (0.2 \ 0.18 \ 0.29 \ 0.33)^T$$

然后将备选集 M_2 中的五种材料逐一进行加权求和，再乘以质量系数，得出每种材料的环境性能指数；见表 3-6：

表 3-6 五种材料的环境性能指数

材料名称	环境性能指数
不锈钢	7.86
铸铁	6.57
木材	4.80
聚苯乙烯	4.10
陶瓷	5.78

根据材料的环境性能指数，可以看出，不锈钢的指数最大。那么备选材料集 M_3 中就含有不锈钢这种材料。

第四步根据经济性指标，对备选材料集 M_3 中的材料进行经济性的比较与评判，选择出经济性最好的一种。在这个例子中，对备选材料集 M_3 中只有一种材料，所以，最佳的材料应该是不锈钢。

从目前市场上来看，基本上电冰箱的门把手都是选择工程塑料，大多数选择的材料是 ABS，而不是选用不锈钢，究其原因，可能是电冰箱的生产厂商在进行电冰箱门把手材料选择时主要首先考虑经济性能，而把材料的环境性能作为次要的方面去考虑，故而，选择了工程塑料。如果对材料的各种性能指标进行全面考虑，最优的材料应该是不锈钢。

在冰箱的零件中，有不少是属于这种情况的，比如，冰箱蛋架（见图 3-5），如果用上述方法选择材料，最优的材料不是工程塑料，但是目前市场上这种产品大多数都是工程塑料。由此可见，目前，很多生产厂家的环境意识还比较淡薄，往往把经济因素放在较高的位置。增加环境意识，实现可持续发展是人类目前的一项紧迫任务。

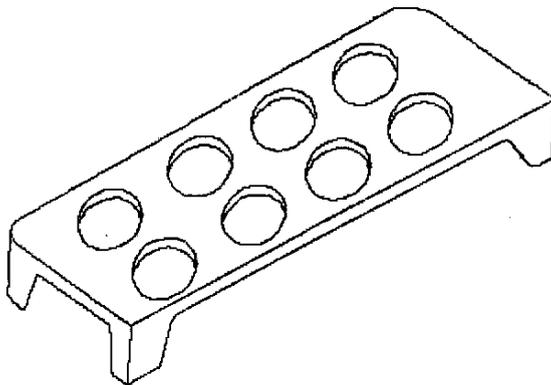


图 3-5 冰箱蛋架示意图

传统方法选材多带有很大的主观性，不能确切地、科学地推算材料的优劣指数，模糊综合评判方法用于在传统选材的基础上进步了很多，但是可操作性

不强。尤其是当材料性能比较复杂且相似材料种类较多时，使用这种模糊设计综合评判方法较为烦杂。本文提出的三维材料选择的方法，简单易行，可操作性强，是一种较为理想的选择方法。

第四章 绿色设计中材料选择的关键技术之二——建立材料数据库

本章描述了一般数据库设计的特点、方法和步骤后，提出了材料数据库的结构和内容设计，并对材料数据库的数据来源给予简要说明。

4.1 数据库的设计概述

人们在总结信息资源开发、管理和服务的各种手段时，认为最有效的是数据库技术。数据的应用已越来越广泛。从小型的单项事务处理系统到大型复杂的信息系统大都用先进的数据库技术来保持系统数据的整体性、完整性和共享性。目前，一个国家的数据库建设规模（指数据库的个数、种类）、数据库信息量的大小和使用频度已成为衡量这个国家信息化程度的重要标志之一。

数据库设计是建立数据库及其应用系统的技术，是信息系统开发和建设中的核心技术，具体来说，数据库设计是指对于一个给定的应用环境，构造最优的数据库模式，建立数据库及其应用系统，使之能够有效地存储数据，满足各种用户的应用需求（信息要求和处理要求）^[81]。

在数据库领域内，常常把使用数据库的各类系统称为数据库应用系统。

4.1.1 数据库和信息系统

从使用者的角度看，信息系统是提供信息，辅助人们对环境进行控制核进行决策的系统。数据库是信息系统的核心核基础。它把信息系统中大量的数据按一定的模型组织起来，提供存储，维护，检索数据的功能，使信息系统可以方便、及时、准确地从数据库中获得所需的信息。一个信息系统的各个部分能否紧密地结合在一起以及如何结合，关键在数据库。因此只有对数据库进行合理的逻辑设计和有效的物理设计才能开发出完善而高效的信息系统。数据库设计是信息系统开发和建设的重要组成部分^[82]。

大型数据库的设计和开发是一项庞大的工程，是涉及多学科的综合技术。其开发周期长，耗资多，失败的风险也大。必须把软件工程的原理和方法应用到数据库建设中来。对于从事数据库设计的专业人员来说，应该具备多方面的技术和知识。主要有^[81]：

- (1) 数据库的基本知识和数据库设计技术；
- (2) 计算机科学的基础知识和程序设计的方法和技巧；
- (3) 软件工程的原理和方法；
- (4) 应用领域的知识。

其中应用领域的知识随着应用系统所属的领域不同而不同。数据库设计人员必须深入实际与用户密切结合，对应用环境、专业业务有具体深入的了解才

能设计出符合具体领域要求的数据库应用系统。

4.1.2 数据库的设计特点和方法

4.1.2.1 数据库的设计特点

数据库设计既是一项涉及多学科的综合技术,又是一项庞大的工程项目。有人讲“三分技术,七分管理,十二分基础数据”是数据库建设的基本规律,这是有一定道理的。技术与管理的界面十分重要。数据库建设是硬件和软件相结合。这是数据库设计的特点之一。这里着重讨论软件设计的技术。

数据库设计应该和应用系统设计相结合,也就是说,整个设计过程中要把结构(数据)设计和行为(处理)设计密切结合起来。这是数据库设计的特点之二。

传统的软件工程忽视对应用中数据语义的分析和抽象。例如结构化设计和逐步求精的方法着重于处理过程的特性,只要有可能就尽量推迟数据库结构设计的决策^[81,82]。这种方法显然对于数据库应用系统是不妥的。数据库模式是各应用程序共享的结构,是稳定的、永久的,不像以文件系统为基础的应用系统,文件是某一个应用程序私用的。数据库设计质量的好坏直接影响系统中各个处理过程的性能和质量。

早期的数据库设计致力于数据模型和建模方法研究,着重结构特性的设计而忽视了对行为的设计。也就是说比较重视在给定的应用环境下,采用什么原则、方法来建造数据库的结构,而没有考虑应用环境要求与数据库结构的关系,因此结构设计与行为设计是分离的。

4.1.2.2 数据库的设计方法

由于信息结构复杂,应用环境多样,在相当长的一段时期内数据库设计主要采用手工试凑法。使用这种方法与设计人员的经验和水平有直接关系,数据库设计成为一种技艺而不是工程技术,缺乏科学理论和工程方法的支持,工程的质量难以保证,常常是数据库运行一段时间后又不同程度地发现各种问题,增加了系统维护的代价。十余年来,人们努力探索,提出了各种数据库设计方法,这些方法运用软件工程的思想和方法,提出了各种设计准则和规程,都属于规范设计法^[83]。

规范设计法中比较著名的有新奥尔良(New Orleans)方法。它将数据库设计分为四个阶段,需求分析(分析用户要求)、概念设计(信息分析和定义)、逻辑设计(设计实现)和物理设计(物理数据库设计)。其后,S. B. Yao等又将数据库设计分为五个步骤。又有I. R. Palmer等主张把数据库设计当成一步接一步的过程,并采用一些辅助手段实现每一过程。

基于E-R模型的数据库设计方法,基于3NF(第三范式)的设计方法,基

于抽象语法规范的设计方法等，是在数据库设计的不同阶段上支持实现的具体技术和方法。

规范设计法从本质上看仍然是手工设计方法，其基本思想是过程迭代和逐步求精。

4.1.3 数据库设计的基本步骤

按照规范设计的方法，考虑数据库及其应用系统开发全过程，将数据库设计分为以下六个阶段^[81,82]：

- 需求分析；
- 概念结构设计；
- 逻辑结构设计；
- 物理结构设计；
- 数据库实施；
- 数据库运行和维护。

数据库设计开始之前，首先必须选定参加设计的人员，包括系统分析人员，数据库设计人员和程序员，用户和数据库管理员。系统分析和数据库设计人员是数据库设计的核心人员，他们将自始至终参与数据库设计，他们的水平决定了数据库系统的质量。用户和数据库管理员在数据库设计中也是举足轻重的，他们主要参加需求分析和数据库的运行维护，他们的积极参与不但能加速数据库设计，而且也是决定数据库设计的质量的重要因素。程序员则在系统实施阶段参与进来，分别负责编制程序和准备软硬件环境。

如果所设计的数据库应用系统比较复杂，还应该考虑是否需要使用数据库设计工具和 CASE 工具以提高数据库设计质量并减少设计工作量。以下是数据库设计的具体步骤^{[81,82][84]}：

1、需求分析阶段

进行数据库设计首先必须准确了解，与分析用户需求（包括数据与处理）。需求分析是整个设计过程的基础，是最困难、最耗费时间的一步。作为地基的需求分析是否做得充分与准确，决定了在其上构建数据库大厦的速度与质量。需求分析做得不好，甚至会导致整个数据库设计返工重做。

2、概念结构设计阶段

概念结构设计是整个数据库设计的关键，它通过对用户需求进行综合、归纳与抽象，形成一个独立于具体 DBMS 的概念模型。

3、逻辑结构设计阶段

逻辑结构设计是将概念结构转换为某个 DBMS 所支持的数据模型，并对其优化。

4、数据库物理设计阶段

数据库物理设计是为逻辑数据模型选取一个最适合应用环境的物理结构

(包括存储结构和存取方法)。

5、数据库实施阶段

在数据库实施阶段，设计人员运用 DBMs 提供的数据库语言及其宿主语言，根据逻辑设计和物理设计的结果建立数据库，编制与调试应用程序，组织数据入库，并进行试运行。

6、数据库运行和维护阶段

数据库应用系统经过试运行后即可投入正式运行。在数据库系统运行过程中必须不断地对其进行评价、调整与修改。

设计一个完善的数据库应用系统是不可能一蹴而就的，它往往是上述六个阶段的不断反复。

需要指出的是，这个设计步骤既是数据库设计的过程，也包括了数据库应用系统的设计过程。在设计过程中把数据库的设计和对数据库中数据处理的设计紧密结合起来，将这两个方面的需求分析、抽象、设计、实现在各个阶段同时进行，相互参照，相互补充，以完善两方面的设计。事实上，如果不了解应用环境对数据的处理要求，或没有考虑如何去实现这些处理要求，是不可能设计一个良好的数据库结构的。

4.2 材料数据库的结构设计

自从世界上第一台计算机问世以来，计算机技术就向各领域各学科渗透着，材料科学与工程领域当然也不例外。从 20 世纪 50 年代开始，材料数据库就在世界各国得到发展和应用，并逐步走向网络化、现代化和商业化，从而在材料研究、材料选用、产品设计、理化测试和决策咨询中得到广泛应用，对社会、经济和高新技术领域产生深远影响^[85]。

4.2.1 材料数据库的特点

材料的型号繁多、品种各异，每一种材料都有其不同的具体化学成分和各种性能，而且材料的结构、性能还随制备方式与处理工艺而变。材料是一个复杂得多因素系统，所以选材过程是一个十分复杂的过程。

因此，可以很方便地进行数据查询、数据处理的材料数据库应运而生，并在工程设计制造中的材料选材方面，凭借其汇集存储的大量实验数据，使用户快速、全面地查找材料信息，而受到使用者的青睐。

与传统选材方法相比，通过材料数据库选材具有如下优势：

1) 快且准 利用材料数据库选材，能按照用户的需求快速准确地找到所需材料的相关信息。与传统人工选材方法相比，材料数据库选材能充分利用计算机的快速数据处理功能，简化数据处理的任务，快速而准确查找与定位所需数据和信息。

2) 全且易 利用材料数据库进行选材避免了选材者四处查找手册的麻

烦，一个人机化的、菜单式的数据系统，用户使用起来十分方便。人们可以不必知道任何关于计算机的细节知识而能容易地查找和操作数据；不用知道查询语言和特殊指令；不用知道任何标准化的术语、代码以及材料性能和变量的名称；更不用记住它们的正确拼法。友好的选材界面使用户非常容易地从浩瀚的材料数据中轻松地选出所需材料，而且有效地避免了漏选错选的危险。另外，对数据库可以方便地进行数据维护，避免了手工修改数据时查找并逐字核对的繁琐；能自动地对整个数据库的相关数据完成修改，保证了数据的统一性；会友好地提示用户规范有效地修改、添加及删除数据。

3) 智且新 利用材料数据库在得到最佳用材的同时，可以给出多种相近或相似的可用推荐材料，让用户可以结合自己的实际情况进行必要的分析、判断，从而得出最终选择，解决选材过程中答案的非惟一性问题。另外，若将数据库与专家系统结合，不仅可以在库中已存储的数据中找到所需信息，而且还可以在经验公式的基础上进行一定程度的推理和预测，使选材过程更智能化。而如果通过网络将数据进行共享，可提高数据的利用水平并使数据库的数据更全更新。

4.2.2 材料数据库的兴起与发展

(1) 国外材料数据库的发展现状^[86]

早在 1968 年，在世界各国对数据库的关注下，在国际科学联合会的领导下，成立了国际科技数据委员会 (CODATA)。材料数据库是历届 CODATA 年会的重要主题之一。以中国首次派团参加的第 10 届 CODATA 年会为例，在总数 180 篇文章中，直接关于材料数据库的有 59 篇，近 1/3；在会场演示的 24 个数据库中，材料数据库占 7 个，在这次年会上，决定在 CODATA 领导下，成立材料数据库研究任务组。以指导和促进各国材料数据库的发展。任务组已起草并通过“材料数据库建库指南”，作为 CODATA 的正式建议向各国推荐，并就“材料数据库的经济效益”进行研究，并配合七国“凡尔赛”计划，制定材料数据库的标准。继 1982 年在美国田纳西州，1984 年在荷兰 Petten 和 1985 年在德国黑森林几次材料数据库国际讨论会之后，于 1987 年在美国费城召开了第一届国际材料数据库会议。

此后国外众多从事材料数据库开发的企业和机构，开发了许多专用的材料数据库。美国是世界上数据库活动最为发达的国家，它所拥有的数据库不论在数量上或规模上都居首位。以美国国家标准局为例，就建有数十个各类数据库。其中材料数据库占有很大的比例。如合金相图数据库、陶瓷相图数据库、材料腐蚀数据库、材料摩擦磨损数据库。它的晶体数据中心，采用 X 射线、中子衍射和电子衍射等方法测得并收集了 10 万个晶体数据，包括了金属、无机非金属和有机材料。此外，它还建有材料力学性能数据库、金属弹性性能数据中心和金属扩散数据中心等。它的许多数据库在国内外具有很高的权威性。

(2) 国内材料数据库蓬勃发展

在世界上各工业发达国家积极建立各种材料数据库的同时，发展中国家也把建立自己的材料数据库看作是自主的标志。20世纪70年代中期，数据库技术开始传入我国，1977年11月召开了第一次全国数据库学术会议，对我国开展数据库技术的研究和应用起了推动作用。1979年中国科学院化工冶金所与上海有机所共同建立了化学数据库，有10多个子库材料数据是其重要组成部分。1986年10月在北京召开第一次全国材料数据库会议，并在CODATA中国全同委员会的领导下，成立了材料数据组，此后材料数据库蓬勃发展，至今已建立的有：上海材料研究所等单位建立的机械工程材料数据库、北京科技大学等单位建立的材料自然腐蚀数据库、北京钢铁研究总院建立的合金钢数据库和航天低温材料数据库、北京航空材料研究所建立的航空材料数据库、北京机电研究所建立的材料热处理数据库、郑州机械研究所建立的机械强度数据库，武汉材料保护研究所建立的腐蚀数据库和摩擦磨损数据库、航空航天工业部建立的机械电子工业部建立的机械强度数据库、中科院长春应用化学所建立的稀土数据库、华南理工大学建立的热喷涂材料数据库、中科院分属腐蚀与防护研究所建立的高分子材料腐蚀和大气腐蚀数据库等。

4.2.3 材料数据库的结构与内容设计

4.2.3.1 材料的数据内容与数据模型

1.材料的数据内容

一个材料数据库，其数据应根据该数据库需要完成的功能进行选定。一般应包括材料型号、化学成分、力学性能、物理性能，耐腐蚀性能等工程常用参数。数据之间关系的构成，一般是一种材料为一个组，并给每个组编号进行惟一识别，每一组对应其相关的参数值，这样就构成一个典型的关系型数据库。

2.数据库的数据模型

数据模型是对现实世界中数据特征的抽象，是数据库系统中用于提供信息表示和操作手段的形式框架。是数据库的核心和基础。

数据模型可分为两种，一种是概念数据模型，它是用来描述现实世界中数据与数据间关系的模型，跟计算机无关。这种模型主要描述高层次的概念，按照用户的观点对数据和信息进行建模。把现实世界中的客观对象抽象为某种信息结构，如被描述对象的意义，相互关系等。另外一种就是实体数据模型，它是用来描述信息世界中数据与数据间关系及存储、处理特征的模型。主要包括层次模型、网状模型和关系模型，它是按照计算机的观点对数据建模，主要用于数据库管理系统(DBMS)的实现。

在信息世界中，我们把客观存在并可互相区别的事物称为实体(entity)，同型实体的集合称为实体集(entityset)，实体所具有的某一特性称为属性

(attribute)。

关系型数据库的数据由表组成。一个关系由一个二维表来定义：表的行保存事物的一组属性数据，表的列定义了事物的属性。一行数据代表一条记录。

4.2.3.2 材料数据库的结构设计

1、概念结构设计

将需求分析得到的用户需求抽象为信息结构即概念模型的过程就是概念结构设计。它是这个数据库设计的关键。

材料数据库的概念结构设计主要是把用户需求抽象为信息结构。通过这种抽象，能更好地、更准确地用 DBMS 实现这些需求。

材料数据库概念结构的主要特点是：

(1) 能真实、充分地反映现实世界，包括事务之间的关系，能满足用户对数据的处理要求。

(2) 易于理解，从而可以用它和不熟悉计算机应用的用户交换意见，用户的积极参与是数据库的设计成功的关键。

(3) 易于更改，当应用环境和应用要求改变时，容易对概念模型修改和扩充。

(4) 易于向关系、网状、层次等各种数据模型转换。

描述概念模型的有效工具是 E-R 模型。下面就给出材料数据库的 E-R 模型：

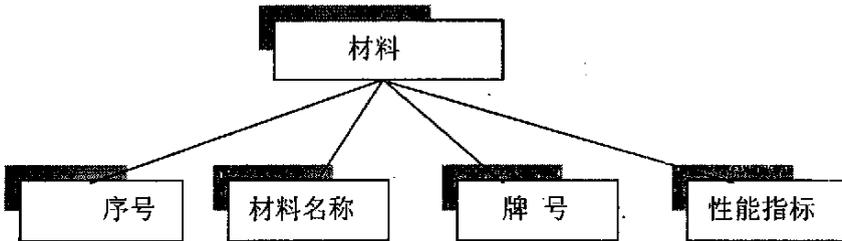


图 4-1 材料库的 E-R 简易模型

2、逻辑结构设计

逻辑结构设计的任务是把概念结构设计阶段设计好的基本 E-R 模型转换为与选用的 DBMS 产品所支持的数据模型相符合的逻辑结构。转换的步骤一般分三步：

1) 将概念结构转换为一般的关系、网状、层次模型；
2) 将转换来的关系、网状、层次模型向特定 DBMS 支持下的数据模型转换；

3) 对数据模型进行优化。

3、物理结构设计

数据库在物理设备上的存储结构与存取方法称为数据库的物理结构，它依

赖于给定的计算机系统。在这里给出一种材料数据库的物理结构设计模型。



图 4-2 数据库的物理结构图

4、材料数据库的数据词典

数据词典主要用来描述数据和数据存贮的详细内容，同时也描述外部实体，处理逻辑的某些特性。在数据词典中对数据元素、数据结构、数据流、数据存贮、处理逻辑，以及外部实体进行定义，实际上是库结构定义。

在材料数据库中，将数据词典设计成两个部份，第一部份各数据库是相同的，它定义关键字，第二部份是各数据库数据标号，名称和属性的定义。

5、材料数据库的表结构

通过上述的讨论，现给出部分材料数据库表的结构设计样本：

表 4-1 材料性能指标表

	列名	数据类型	长度	允许空
▶	材料名称	nvarchar	50	✓
	牌号	nvarchar	50	✓
	密度	varchar	53	✓
	抗拉强度	varchar	53	✓
	屈服极限	varchar	53	✓
	热导率	varchar	53	✓
	电阻率	varchar	53	✓
	熔点	varchar	50	✓
	比热容	varchar	50	✓
	弹性模量	varchar	53	✓
	抗弯强度	varchar	50	✓
	疲劳强度	varchar	50	✓
	布氏硬度	varchar	50	✓
	线胀系数	varchar	50	✓
	成本	varchar	50	✓

表 4-2 材料加工方式表

	列名	数据类型	长度	允许空
▶	材料类型	varchar	50	✓
	材料名称	varchar	50	✓
	牌号	varchar	50	✓
	折弯	varchar	50	✓
	焊接	varchar	50	✓
	冷轧	varchar	50	✓
	电解镀	varchar	50	✓
	挤压	varchar	50	✓
	注射	varchar	50	✓
	吸塑	varchar	50	✓

表 4-3 材料环境指标表

列名	数据类型	长度	允许空
▶ 材料类型	nvarchar	50	✓
材料名称	nvarchar	50	✓
单位	nvarchar	50	✓
环境影响指数	nvarchar	50	✓
加工影响指标	nvarchar	50	✓
城市废物处理	nvarchar	50	✓
家庭废物处理	nvarchar	50	✓
[回收(再利用)]	nvarchar	50	✓
焚烧	nvarchar	50	✓
垃圾掩埋法	nvarchar	50	✓
备注	ntext	16	✓

表 4-4 材料耗能指标表

列名	数据类型	长度	允许空
▶ 材料类型	varchar	50	✓
材料名称	varchar	50	✓
牌号	varchar	50	✓
电能	varchar	50	✓
热能	varchar	50	✓
太阳能	varchar	50	✓
煤	varchar	50	✓
石油	varchar	50	✓
天然气	varchar	50	✓
水	varchar	50	✓
气	varchar	50	✓

4.3 材料数据库的数据来源

材料数据库在产品设计中起着及其重要的作用。但是，如果材料数据库中的数据比较少，不能满足设计的需要，那么，这个数据库就不能起到应有的作用了。材料数据库中的数据如何才能填充的足够多呢？数据的来源又是什么呢？一般来说，数据库中的数据有三个途径，一是通过已经存在的其他数据结构，经过转换，导入材料数据库中；二是没有现成的数据库信息，只有通过手工输入，将数据信息一条一条的输入到数据库中；三是使用某些工具软件，从已经存在的零件图纸中，将材料的信息提取出来，再导入数据库中。当前材料数据库中的材料信息大多是通过第一和第二种途径导入的。

第五章 支持绿色设计的计算机辅助材料选择系统开发

本章介绍了支持绿色设计的计算机辅助材料选择系统，并对其中的材料选择、材料查询等模块进行了分析。

5.1 开发语言简介

5.1.1 面向对象编程方法

软件开发方法是随着计算机的发展而同步发展的，软件工程在成为一个正式的学科之前，软件开发几乎就是编程的同义词。当时，由于软件的规模普遍较小，人们对软件的整体规划设计等问题很少考虑；20世纪60年代，随着软件危机的出现，人们开始认识到软件开发方法的重要性。

于是，人们开始用工程的观点来看待软件开发，并出现了大量的开发方法，如功能分解法、数据流方法等，这些开发方法对软件的发展起到了一定的促进作用，但这些方法由于在对问题的分析时并不是保持事物的本来面目，而是打破其间的界限，在全局范围内以功能、数据流为中心来分析，与后期的实现阶段有很大的不同，于是就出现了所谓的“分析与设计的鸿沟”。为了解决这一问题，随着人们对软件工程研究的深入，人们总结各种开发方法的优点，提出了面向对象的软件开发设计方法（Object Oriented Programming， 简称为 OOP）^[87]。

面向对象的方法彻底改变了过去数据流等方式的缺点，采用直接对问题进行自然抽象的方法，并逐渐发展成包括面向对象分析、设计、编程、测试、维护等一整套内容的完整体系。

面向对象的方法比较符合人们对客观世界的认识，从而使软件设计与人们的认识统一起来，并保持软件整个开发过程中概念的一致性，便于各个阶段的管理与控制，是人们在软件开发过程中认识的一次飞跃，其基本思想是用对象、类、继承、封装、消息等基本概念来进行程序设计。其主要特点有：

（1）类继承性（Inheritance）

采用类、对象的概念对事物进行抽象，提取其共同的特征，使对问题的分析更贴近自然，一般类、特殊类形成树形的结构关系，一般类派生出特殊类，特殊类继承一般类的属性；

（2）封装性（Encapsulation）

将事物的属性与事物的方法进行封装，对外屏蔽其内部细节，形成必要的信息隐蔽，提高了系统的安全性；

（3）多态性（Polymorphism）

多态性是面向对象编程的一个重要特点，通过多态性实现了属性方法的重

载，大大提高了系统开发的灵活性；

(4) 消息机制 (Message)

消息机制为对象间进行通信提供了手段，同时也为更有效地实现不同类对象间的协作提供了保障；

(5) 可重用性 (Reusability) 与可维护性 (Maintainability)

类之间的继承性，提高了代码的可重用性，类、对象、消息所形成的继承、封装、通信机制，同时提高了系统的可维护性。

由于面向对象开发方法的上述种种优点，目前已成为主要的软件分析、设计、开发方法，并为实现软件开发的构件化提供了手段。

5.1.2 Visual Basic 语言及编译环境

Visual Basic 是 Microsoft 公司系列编程语言产品之一，它以其功能强大、易于掌握的特点受到广大用户的青睐。Visual Basic 提供的开发环境与 Windows 具有完全一致的界面，对于熟悉 Windows 平台的用户来说，使用非常方面。Visual Basic 6.0 的代码效率已经达到了 VisualC++ 的水平，加之 Visual Basic 系统引入面向对象的编程机制，巧妙地将 Windows 编程的复杂性封装起来，使用窗体和控件等可视化界面设计应用程序，提高了应用程序的开发效率，因而其使用的面非常广。

Visual Basic 的主要功能特点如下：

1、提供了面向对象的可视化编程工具

VB 采用了面向对象的程序设计方法 (OOP)，把程序和数据封装在一起而视为一个对象。设计程序时只需从现有的工具箱中“拖”出所需的对象，如按钮、滚动条等，在屏幕上设计出用户所要求的布局，VB 自动产生界面设计代码，程序设计人员只需编写实现程序功能所需的代码即可，因而程序设计的效率大大提高。

2、事件驱动的编程机制

传统的程序设计是一种面向过程的方式，程序总是按事先设计好的流程运行，而不能将后面的程序放在前面运行，即不能随意改变、控制程序的流向。VB 中通过事件来执行对对象的操作。一个对象可以有多种事件过程，不同的事件过程对应不同的过程代码。因此，VB 开发的应用程序，并没有明显的开始和结束的标志。并且，每一个事件过程的代码一般都较短，容易编写，不易出错。这种编程机制，方便了编程人员，提高了编程效率。

3、结构化的程序设计语言

VB 具有丰富的数据类型。众多的内部函数，是一种模块化、结构化的程序设计语言，结构清晰，简单易学。

4、交互式开发

传统的应用程序开发过程由编码、编译和测试代码 3 个步骤组成。而 Visual

Basic 使用交互式方法开发应用程序，3 个步骤之间没有明显的界限。

在大多数传统的程序设计语言中。当编写代码有误时，则在编译应用程序时该错误就会被编译器捕获。只有查找并改正该错误后，才能再次进行编译。而 VisualBasic 在编程者输入代码时就进行解释，即时捕获并突出显示大多数语法或拼写错误，以便及时更正。

除即时捕获错误以外，VisualBasic 也在输入代码时部分地编译该代码。当准备运行和测试应用程序时，只需极短时间即可完成编译。如果编译器发现了错误，则将错误突出显示于代码中。这时可以更正错误并继续编译，而不需从头开始。

5、Windows 资源共享

VB 提供的动态数据交换 (DOE) 编程技术，可以在应用程序中实现与其他 Windows 应用程序建立动态数据交换、在不同的应用程序之间进行通信的功能。

VB 提供的对象链接与嵌入 (OLE) 技术则是将每个应用程序都看作一个对象，将不同的对象链接起来，嵌入到某个应用程序中，从而得到具有声音、图像、影像、动画、文字等各种信息的集合式文件。

VB 还可以通过动态链接库 (DLL) 技术将 C / C++ 或汇编语言编写的程序加入到 VB 的应用程序中，或是调用 Windows 应用程序接口 (API) 函数，实现 SDK 所具有的功能。

6、开放的数据库功能与网络支持

VB 具有很强的数据库管理功能。利用数据控件和数据库管理窗口，可以直接建立和编辑 MS Access 格式的数据库，并提供了强大的数据存储和检索功能，同时，还能直接编辑和访问其他外部数据库，如 dBASE、FoxPro、paradox 等。

VB 提供的开放式数据连接 (ODBC) 功能，可以通过直接访问或建立连接的方式使用并操作后台大型网络数据库，如 SQL Sever、Oracle 等。在应用程序中，可以使用结构化查询语言 SQL 直接访问 Sever 上的数据库，并提供简单的面向对象的库操作命令、多用户数据库的加锁机制和网络数据库的编程技术，为单机上运行的数据库提供 SQL 网络接口，以便在分布式环境中快速而有效地实现客户端 / 服务器 (Client / Server) 方案。

7、得心应手的庄用程序向导

VB 中提供了许多应用程序向导，可以为用户自动创建多种类型和不同功能的应用程序的初始轮廓，另外，还有安装向导、数据对象向导、数据窗体向导、IIS 应用程序和 DHTML 等，使用起来得心应手，省去了一些烦琐的工作。

8、完善的联机帮助功能

VB 提供了强大的联机帮助功能和示范代码，设计时任何时候，只需按下

F1 键，就将显示必要的提示，运行时，也将对出现的错误给出一定的提示。

5.2 系统数据库开发技术简介

5.2.1 VB 数据库开发技术简介

从功能简单的数据库(如 Jet Engine)到复杂的大型数据库系统(如 Oracle)，VB 6.0 都提供了一些编程接口。下面对以下 5 种数据库开发技术进行分析^[88]：

1、开放数据库连接 (ODBC API)

提供了一个通用的编程接口，允许程序与多种不同的数据库连接。它为 Oracle, SQL Server, MS Excel 等都提供了驱动程序，使得用户可以使用 SQL 语句对数据库进行直接的底层功能操作。在使用 ODBC API 时，用户须引入的头文件为"sql.h", "sqlext.h", "sqltypes.h"。用 ODBC API 创建数据库应用程序需要遵循一定的基本步骤。

ODBC API 的特点是功能强大丰富，提供了异步操作，事务处理等高级功能，但相应的编程复杂，工作量大。

2、MFC ODBC 类

MFC1.5 后的版本里引入封装了 ODBC 功能的类。通过这些类提供与 ODBC 的接口，使得用户可以不须处理 ODBC API 中的繁杂处理就可以进行数据库操作。主要的 MFC ODBC 类有：CDatabase 类；CRecordSet 类；CRecordView 类；CDBException 类等等。

MFC ODBC 类在实际开发中应用最广，因为它功能丰富，操作相对简便。

3、MFC DAO (数据访问对象) 编程

DAO 用于和微软的 Access 数据库接口。在数据库应用程序如果只需与 Access 数据库接口时，使用 DAO 编程较方便。其主要类有：CdaoWorkspace；CdaoDatabase；CdaoRecordSet；CdaoRecordView；CdaoException；CdaoTableDef；CdaoQueryDef；CdaoFieldExchange。

MFC DAO 仅用来支持 Access 数据库，应用范围相对固定。

4、OLE DB

OLE DB 在数据提供程序和用户之间提供了灵活的组件对象模型 (COM) 接口，这种灵活性有时会使得操作复杂化。OLE DB 框架定义了应用的三个基本类：数据提供程序 Data Provider；使用者 Consumers 和服务提供程序。OLE DB 编程时，用户使用组件对象开发应用程序。

5、ActiveX 数据对象 (ADO)

ADO 是微软提供的面向对象的接口，与 OLE DB 类似，但接口更简单，具有更广泛的特征数组和更程度的灵活性。ADO 基于 COM，提供编程语言可利用的对象，除了面向 VB，还提供面向其他各种开发工具的应用，如 VC++、VJ 等。ADO 对象结构类似于 OLE DB，但并不依靠对象层次。大多数情况下，

用户只需要创建并只使用需要处理的对象。在 VC++使用 ADO 需要进行 COM 操作。

在当今流行的分布式开发环境下,VB 6.0在数据库开发方面有较强的优势,ADO 则是使用最简单、用途最强大、开发最灵活的一种数据库开发技术。VB+ADO 组合已经成为主流的数据库开发技术。下节将对 ADO 技术进行简单的介绍。

5.2.2 ADO 技术简介

ActiveX Data Objects (ADO) 是微软最新的数据访问技术。它被设计用来同新的数据访问层 OLE DB Provider 一起协同工作,以提供通用数据访问 (Universal Data Access)。OLE DB 是一个低层的数据访问接口,用它可以访问各种数据源,包括传统的关系型数据库,以及电子邮件系统及自定义的商业对象^[89]。

ADO 向我们提供了一个熟悉的,高层的对 OLE DB 的 Automation 封装接口。对那些熟悉 RDO 的程序员来说,你可以把 OLE DB 比作是 ODBC 驱动程序。如同 RDO 对象是 ODBC 驱动程序接口一样,ADO 对象是 OLE DB 的接口;如同不同的数据库系统需要它们自己的 ODBC 驱动程序一样,不同的数据源要求它们自己的 OLE DB 提供者 (OLE DB provider)。目前,虽然 OLE DB 提供者比较少,但微软正积极推广该技术,并打算用 OLE DB 取代 ODBC。

ADO 的组织与以前的对象模型不同。比如说,DAO 和 RDO 是层次型的,也就是说一个较低的数据对象。但 ADO 却不同,它定义了一组平面型顶级对象。最重要的三个 ADO 对象是 Connection、Recordset 和 Command。每个 Connection 的属性定义了与数据源的连接,Recordset 对象接收来自数据源的数据,Recordset 可以与 Connection 一起起使用,先建立一个连接,然后获取数据。图 5-1 即为 ADO 对象模型^[90]。具体的 ADO API 此处不再介绍,请见有关文献。

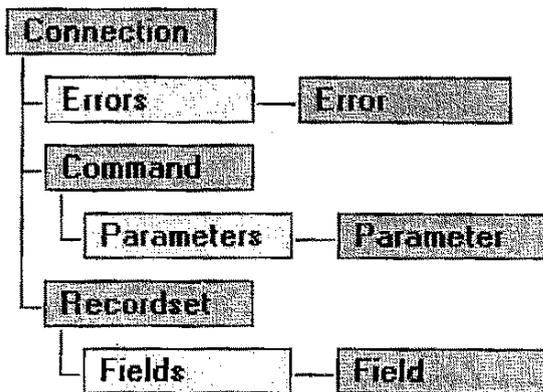


图 5-1 ADO 对象模型

5.3 系统基本框架及主要功能简介

5.3.1 系统的基本框架

计算机辅助材料选择系统主要是由 3 大模块组成，具体框架如下图所示：

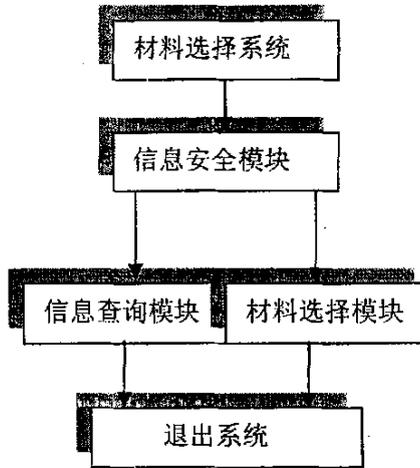


图 5-2 系统基本框架

5.3.2 系统各模块简介

1、信息安全模块

信息安全模块主要是对该系统进行安全机制的构建。该系统的安全机制拟分 3 个等级，分别是

(1) SQL Server 的登陆安全性：该级别的安全性是建立在控制 SQL Server 服务器登陆帐号和密码的基础上的，通过设置角色来给用户分配权限的。

(2) 数据库的使用安全性：在建立用户的登陆帐号信息时，SQL Server 会提示用户选择默认的数据库，以后每次连接时，都会自动转到默认的数据库上，同时，数据库的拥有者也可以分配访问权给别的用户。

(3) 数据库对象的使用安全性：在创建数据库对象的时候，SQL Server 将自动把该数据库对象的拥有权赋予该对象的创建者，对象的创建者可以实现该对象的完全控制。

2、材料选择模块

材料选择模块是计算机辅助材料选择系统的核心模块，用户根据自觉的需求，按照系统的操作界面，一步一步操作，最终可以获得了最佳材料。

3、材料模块

根据客户的要求搜索出所需要的信息资料，并按照规定的格式进行整理，再返回给客户。该系统提供的查询方式：高级查询。

5.3.3 实例验证系统

借助于计算机辅助材料选择系统，对冰箱果菜盒（如图 5-3）进行材料选择，一方面详细说明该系统使用方法，另一方面再一次验证了本文提出的材料选择三维方法。

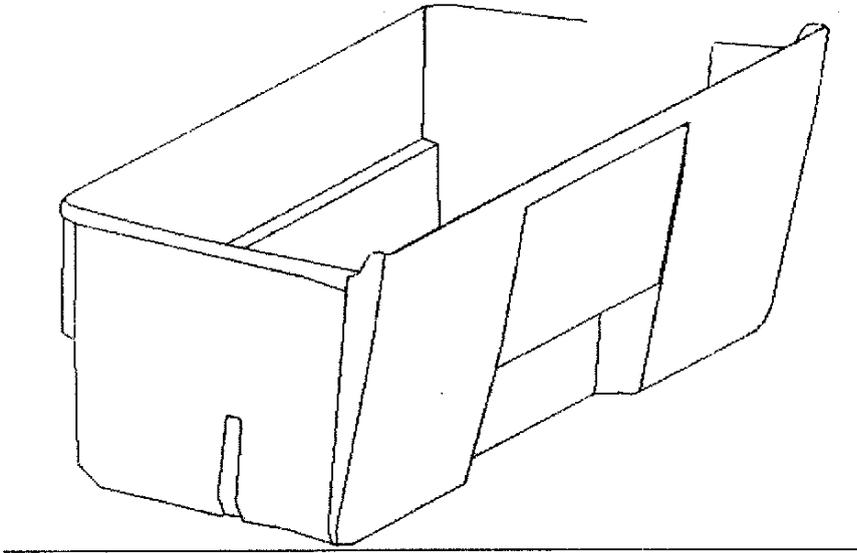


图 5-3 冰箱果菜盒示意图

利用计算机辅助材料选择系统对冰箱果菜盒的材料选择主要有以下步骤：

1、登陆

输入正确的用户名和密码，就可以登陆系统（如图 5-4）。

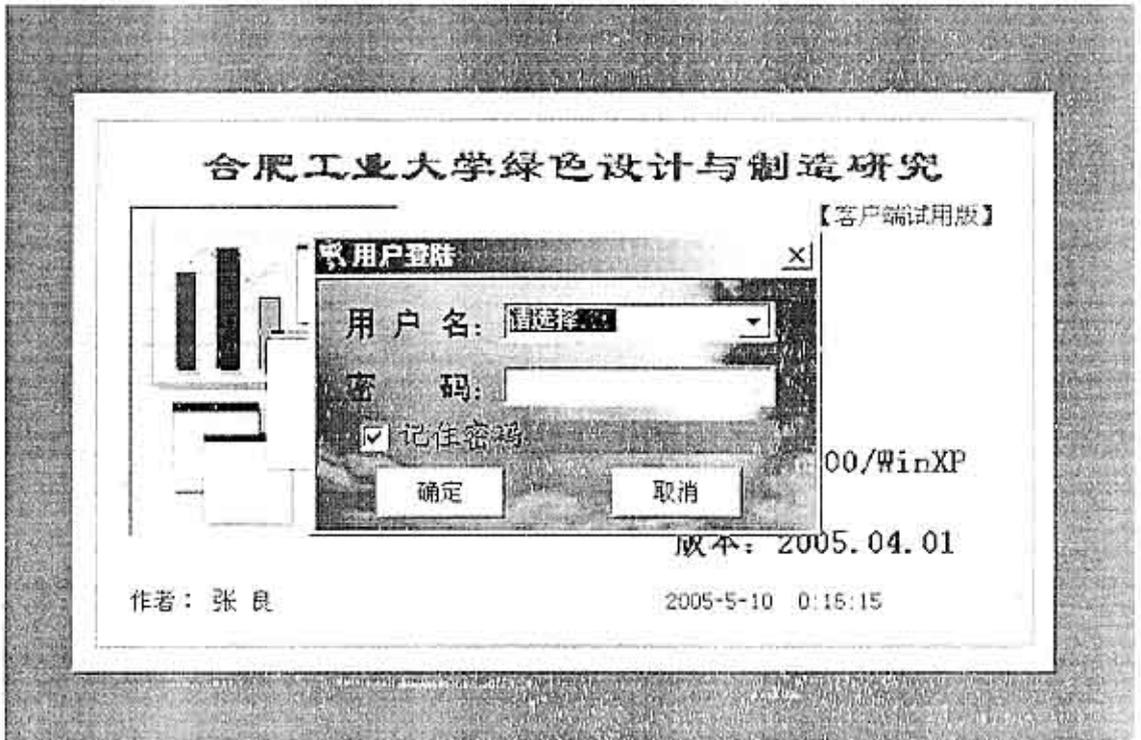


图 5-4 计算机辅助材料选择系统界面 1

2、材料查询

如果要进行材料查询，就点击“材料查询”按钮，进入材料查询界面。（如图 5-5）



图 5-5 计算机辅助材料选择系统界面 2

查询方式有两种：一是按照材料名称，二是按照材料牌号。

3、材料选择

如果要进行材料选择，就点击“材料选择”按钮，进入材料选择界面（如图 5-6）。

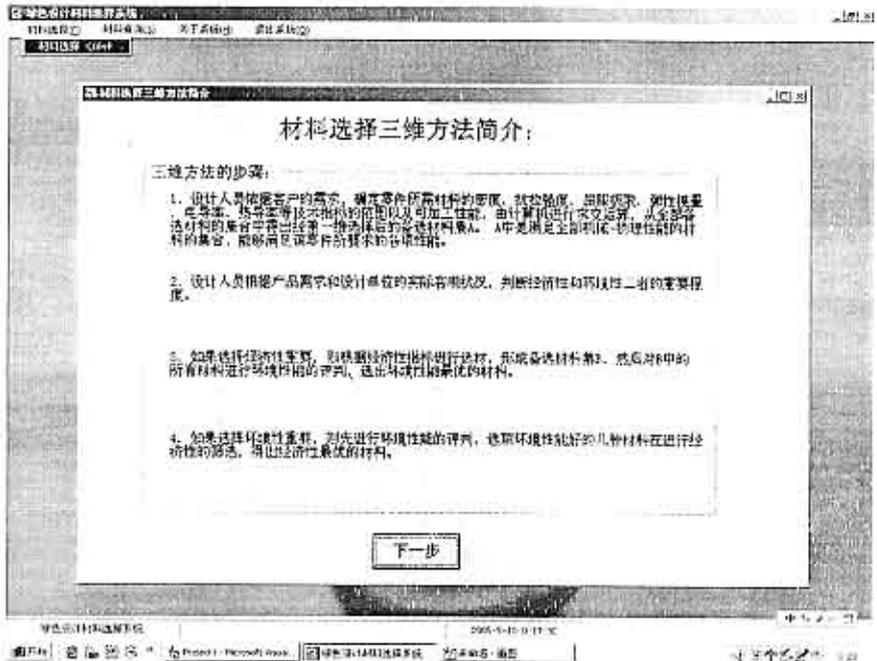


图 5-6 计算机辅助材料选择系统界面 3

4、材料选择过程

对冰箱果菜盒的材料选择全过程分为以下步骤：

(1) 初选

首先根据冰箱果菜盒的使用性能和工艺性能的各项指标进行筛选，界面见图 5-7。



图 5-7 计算机辅助材料选择系统界面 4

(2) 重要性判断

根据市场需求和企业实际状况，判断经济性和环境性的重要程度，这里先选择环境性比经济性重要，界面见图 5-8。

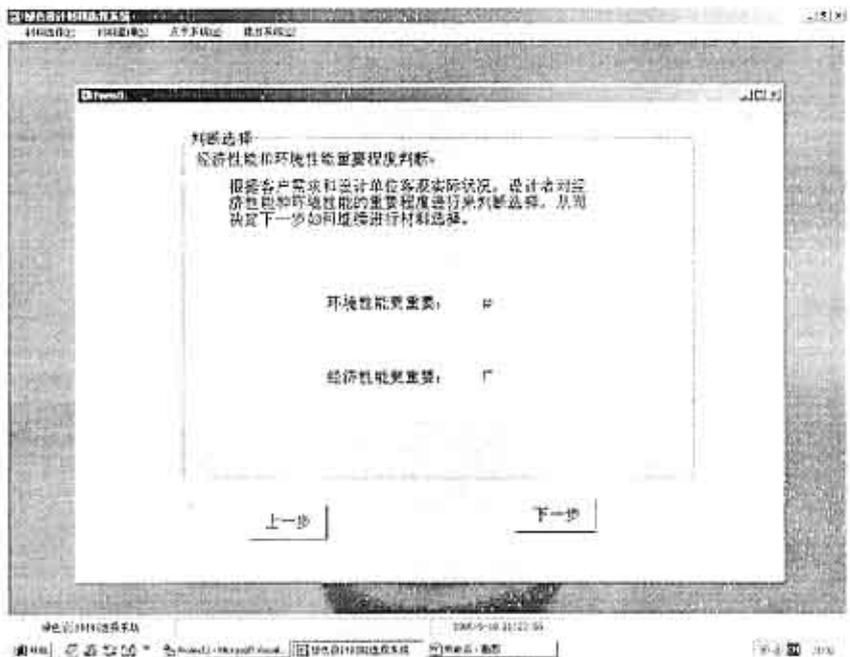


图 5-8 计算机辅助材料选择系统界面 5

(3) 环境性评价计算

根据企业的实际状况选择合适的权重值，界面见图 5-9。



图 5-9 计算机辅助材料选择系统界面 6

(4) 评价结果

系统根据用户所输入的权重值，通过计算，得到各材料的环境值（如图 5-10）。



图 5-10 计算机辅助材料选择系统界面 7

(5) 经济性能评价

将经济性能的指标作为选择条件，对得到的各材料进行筛选，界面如图

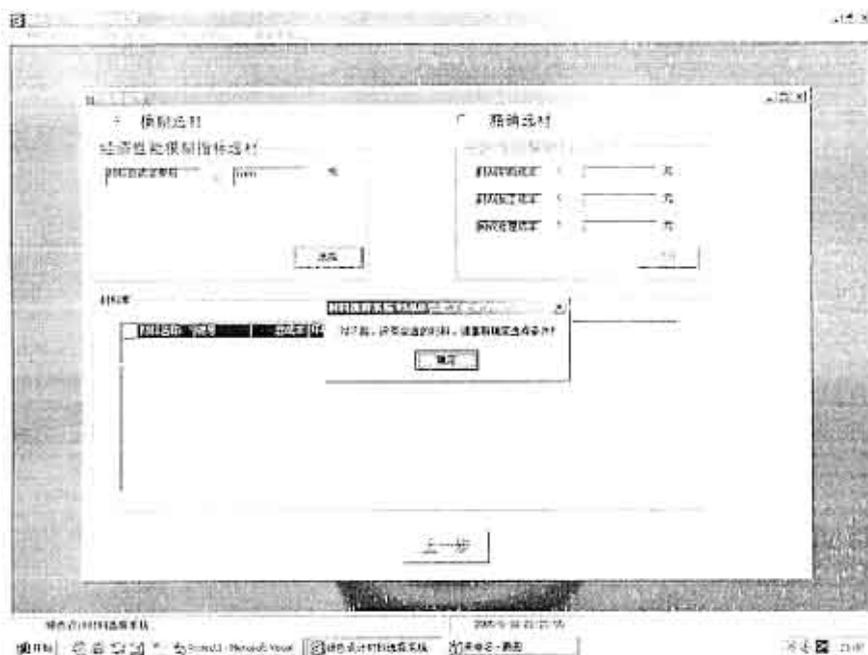


图 5-11 计算机辅助材料选择系统界面 8

5-11。

由于示例中给出的经济指标值较低，没有符合条件的材料。应将经济指标值适当调整，再进行筛选，筛选结果如图 5-12。



图 5-12 计算机辅助材料选择系统界面 9

得到五种符合条件的材料，其中 PP 的环境性能最优，为最优材料。

(6) 材料再选

再回到在经济性和环境性的重要性判断中，选择经济性比环境性重要。进入经济性指标界面。依然选取（5）中的经济指标值进行评价。



图 5-13 计算机辅助材料选择系统界面 10

点击“下一步”，进入环境性能评价界面，依然选取（3）中的权重值进行计算，得到各材料的环境指标值。



图 5-14 计算机辅助材料选择系统界面 11

根据评价的结果，ABS 成为最优材料。

由上述冰箱果菜盒的材料选择过程的分析可知，选择环境性能和经济性能两者的优先级不同，得到的最优材料也可能不同。优先考虑环境性能，最终得到的最优材料是 PP；优先考虑经济性能，最终得到的最优材料是 ABS。

目前市场上冰箱果菜盒的材料大多采用 ABS 的材料，原因是生产厂家未优先考虑材料的环境性能。PP 的环境性能要比 ABS 优越，而经济性能要逊于 ABS。这种 ABS 塑料制品属于非绿色产品，不能满足可持续发展的需要。

第六章 总结与展望

6.1 研究工作总结

材料选择是绿色设计的重要组成部分，也是决定产品质量的重要环节。产品的绿色性能是通过材料的绿色性能体现出来的。用什么方法在众多的材料中选择出一种最佳材料，是本文研究的重点。

论文的主要研究工作体现在如下几个方面：

(1) 概括叙述了有关绿色设计的产生背景、意义、现状，找出了在进行绿色设计材料选择中存在的问题，结合材料与环境的关系以及目前的研究现状，提出本文的研究内容。

(2) 根据材料选择的基本概念、材料的基本适应性以及材料选择的影响因素分析，给出了材料选择的一般的原则和过程，在此基础上，搭建了材料选择的系统框架。

(3) 通过找出传统材料选择的不足之处，提出了克服传统材料选择方法缺陷的材料选择三维方法的思想。在建立的材料选择三维方法的材料选择原则后，借助 AHP 等相关数学知识，建立的材料选择三维方法的模型框架，并详细描述了该方法的流程。最后，通过具体的实例验证了材料选择三维方法的可操作性和应用性。

(4) 描述了一般数据库设计的特点、方法和步骤后，提出了材料数据库的结构和内容设计，并对材料数据库的数据来源给予简要说明。

(5) 介绍了支持绿色设计的计算机辅助材料选择系统，并对其中的材料选择、材料查询等模块进行了分析说明。并通过具体实例，详细阐述了系统的全部流程。

6.2 后续工作展望

材料选择是一个涉及面较广的问题。本文仅仅对其中的部分问题进行了探讨，就论文本身和材料选择方法的研究尚有许多问题需要进一步的研究，主要是：

(1) 在材料选择过程中，特别是在对材料的绿色性能进行评价时，本文提出的 AHP 确定权重的方法过多依赖于专家的意见，具有较强的主观性，缺乏充分的客观性。在经济性能和环境性能的重要程度评判时，过多的依赖人的主观性，在这两方面，缺乏严格的、科学的客观性依据和方法。因此，应该在实际应用情况的基础上，寻找更合适的方法来处理不确定性问题。

(2) 作为绿色设计领域研究的一个共性问题，基础数据的缺乏是困扰相关研究发展的一个重要问题。建议开展大量的基础性研究，建立材料生命周期的基本信息数据库。

参 考 文 献

- [1] 清华大学. 中国环境污染状况备忘录. 环境保护, No. 4, 1998, 40-42
- [2] Zhang Hong C, Kuo Tsai C, Lu Huitian. Environmentally conscious design and manufacturing: A state-of-art survey, Journal of Manufacturing System, Vol. 16, No. 5, 1997, 352-371
- [3] 联合国《人类环境宣言》.
<http://www.china.com.cn/chinese/huanjing/320178.htm>
- [4] 陈柳钦. 国际贸易中的绿色壁垒与我国绿色产品的出口. 北方经济
- [5] 刘光复, 刘志峰, 李刚. 《绿色设计与绿色制造》. 机械工业出版社, (1999), 1-10
- [6] 杨永华. 《突破绿色壁垒——ISO14000 标准实务》. 海天出版社, (2000), 2-3
- [7] 刘志峰, 刘光复. 《绿色设计》. 机械工业出版社, (1999), 5-12
- [8] 安徽省环保局汇编. 《环境保护法律法规选编》, (2003), 2-4
- [9] 吴澄. 《现代集成制造系统导论——概念、方法、技术和应用》, (2002), 547
- [10] 张长元. 从绿色消费到绿色技术到绿色设计. 环境科学进展, Vol. 5, No. 3, (1997), 16-20
- [11] 绿色消费——廿一世纪的新时尚,
<http://search.envir.com.cn/forum/2000365.htm>
- [12] 贝加明. 市场呼唤“绿色产品”. 能源基地建设, No. 1, (1999), 52
- [13] 路甬祥. 工程设计的发展与未来. 机械工程学报, Vol. 33, No. 1, (1997),
- [14] 薛凤英, 张军涛, 曹丽杰. 试论绿色设计和环境保护. 河北科技大学学报, Vol. 20, No. 1, (1999), 57-60
- [15] Alging L., Jens B.L., Life cycle engineering and design, Annals of the CIRP. Vol. 44, No. 2, (1995), 568-580
- [16] 刘志峰. 面向环境的产品设计方法. 水利电力机械, Vol. 17, No. 4, (1995), 56-59
- [17] 刘志峰, 宋守许. 绿色产品设计方法研究. 机械科学与技术, Vol. 14, No. 6, (1995), 55-58

- [18] Leo. Altin teal..The Life Cycle Concept as a basic for Sustainable Industrial Production, Annals of the CIRP, Vol.2, No.1, (1993), 163-167
- [19] Liu Guangfu, Liu Zhifeng. Study on Green Machining Process and Its Development, Proceeding of Joint “Young Scientists Conference on Manufacturing Science” and “The 3rd S. M. Wu Symposium on Manufacturing Science”, June 10-12, (1998), Wuhan, China, 325-328
- [20] 宋守许, 刘志峰. 绿色产品设计的材料选择. 机械科学与技术, Vol. 15, No. 1, (1996), 40-44
- [21] Rosy W C., Navin-chandra D., Kurfess T et al, A Systematic Metrology of Material Selection with Environmental Considerations, IEEE, 1994:252-257
- [22] Bahiru Kassahum, Manjini Saminathan, Janine C. Sekutowski. Green Design Tool, IEEE, 1995, 5:118-125
- [23] G. Boothriyd et al, Design for Assembly and Disassembly. Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 2, (1992), 625-628
- [24] 鲁洁. 绿色工业产品评价方法及评价系统的研究[硕士研究生学位论文]. 合肥工业大学论文, (1998), 4
- [25] Balachandra, R. Evaluating Modular Design[J]. Decision Sciences Institute 2002 Proceeding. San Diego: CA, Nov. 22-26, 2002
- [26] Yin Chenbo, Zhong Binglin, Yi Hong, A STEP Based Integrated System for Assembly Planning and Design, Journal of Southeast University (English Edition), Vol.15, No.1, (1999), 92-98
- [27] Jhon L. Warren, Krith A. Weite. Development of an Integrated Life-Cycle Cost Assessment Model, IEEE, No. 6, (1994), 155-163
- [28] 曹华军, 陈晓慧, 刘飞. 产品生命周期评估的体系结构及其与绿色制造的集成关系. 航空工程与研究, No. 6, (2000), 10-12
- [29] 汪劲松, 段广洪, 李方义等. 基于产品全生命周期的绿色制造技术的研究现状和展望. 计算机集成制造系统, Vol. 4, No. 5, (1999), 1-8

- [30] 芮延年, 刘文杰. 绿色产品的 LCA 评价方法及其应用. 苏州丝绸工学院学报, Vol.21, No.3, (2001), 56-58
- [31] Per Hedemalm, Tomas Segerberg, Comparative Life Cycle Assessment of Modern Interconnection Techniques for Printed Board Assemblies
- [32] Rosy Wei Chen, A Method and Case Study of Integrated Engineering Analysis with LCA for Material Selection and Its Uncertainty, Clean Electronics Products and Technology, 9-11 October 1995, 88-93
- [33] 徐志刚, 黄克正, 范波涛等. 绿色产品寿命周期设计软件原形系统研制开发. 机械设计, No.5, (2000), 1-5
- [34] 材料科学技术百科全书编委会. 材料科学技术百科全书. 北京:中国大百科全书出版社, 1995
- [35] 周达飞. 材料概论. 北京:化学工业出版社, 2001
- [36] 闫康平. 工程材料. 北京:化学工业出版社, 2001
- [37] 王晓敏. 工程材料学. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1998
- [38] 朱张校. 工程材料. 第三版. 北京:清华大学出版社, 2001
- [39] 谢希文, 过梅丽. 材料科学与工程导论. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990
- [40] 王于林. 工程材料学. 北京:航空工业出版社, 1992
- [41] 山本良一. 环境材料. 北京:化学工业出版社, 1998
- [42] 王天民. 生态环境材料. 天津:天津大学出版社, 2000
- [43] 刘江龙. 材料的环境影响评价. 北京:科学出版社, 2002
- [44] 萧纪美. 环境与材料. 材料科学与工程, NO.2 (1997) 1-9
- [45] 霍宝锋, 刘伯莹. 可持续发展与环境材料. 天津大学学报, NO. (2001) 90-94
- [46] 王秀峰. 环境问题与绿色材料意识. 自然辩证法研究, NO.3 (1996) 66-68
- [47] 肖纪美. 生态材料论. 世界科技研究与发展, NO.2 (1998) 57-63
- [48] 刘江龙, 丁培道. 环境协调材料的现状及其发展. 材料导报, NO.3 (1995) 6-12
- [49] 钟厉, 韩西, 刘江龙, 周上祺. 环境材料及其评价方法. 环境材料及其评

- 价方法, NO. 4 (2002) 52-56
- [50] 刘江龙, 李辉, 丁培道. 工程材料的环境影响定量评价研究. 环境科学进展, NO. 2 (1999) 97-103
- [51] 刘江龙, 丁培道, 钱小蓉, 左铁镛. 金属材料的环境影响因子及其评价. 环境科学进展, NO. 6 (1996) 45-51
- [52] 李 晖, 刘江龙, 丁培道. 材料的寿命全程评价. 兵器材料科学与工程, NO. 1 (1997) 63-69
- [53] 陈俐敏, 林茹. 国内外生态环境材料的研究与发展动态. 国外建材科技, NO. 4 (1999) 7-12
- [54] 孙家寿. 环境材料研究现状. 贵州环保科技, NO. 1 (1999) 28-32
- [55] 李 嘉, 尹衍升, 张金升, 龚红宇. 绿色复合材料研究现状. 山东工业大学学报, NO. 6 (2001) 574-580
- [56] Marinaro Douglas. How to Pick the Best Materials. Design News, 1991, (5) : 53~54
- [57] PDAPatran3, Material Selector User Menu. USA: MacNeal-Schwendler Corporation, 1995. 2~3
- [58] 陈全明. 金属材料及其强化技术. 上海: 同济大学出版社, 1992
- [59] 王文广. 塑料材料的选用. 北京: 化学工业出版社, 2001
- [60] 金志浩. 工程陶瓷材料. 西安: 西安交通大学出版社, 2000
- [61] 克兰 FAA, 查尔斯 JA. 工程材料的选择和应用. 北京: 科学出版社, 1990
- [62] 皮狄斯金 KG. 工程材料的性能和选择. 北京: 国防工业出版社, 1988
- [63] 费林 PA, 特若简 PK. 工程材料及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1986
- [64] 法拉格 MM. 工程材料及加工选择. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [65] 肖纪美. 材料的应用和发展. 北京: 宇航出版社, 1993
- [66] 瞿家骅. 价值工程与材料应用. 机械工程材料, 1982, 6 (3): 60
- [67] 宋守许, 刘志峰. 绿色产品设计的材料选择. 机械科学与技术, 1996, 15 (1): 40-44
- [68] 刘志峰, 刘光复. 绿色设计. 北京: 机械工业出版社, 1999
- [69] 张红岩, 郭志源. 环保意识在产品选材中的体现与应用[J], 机械研

究与应用 Vol. 15, No.2 2002.6 74-77

- [70] 王章忠. 材料选用与可持续发展[J]. 机械设计与制造工程 2001.5 9-10
- [71] 刘志峰, 刘光复. 绿色设计[M] 北京: 机械工业出版社 1999.12 , 94-99
- [72] 王章忠. 材料选用与可持续发展. 机械设计与制造工程, Vol. 30, No.3, (2001), 9-10
- [73] 宋守许, 刘志峰, 刘光复. 绿色产品设计中的材料选择. 机械科学与技术, Vol. 15, No.1, (1996), 40-44
- [74] 张红岩, 郭志源. 环保意识在产品选材中的体现与应用. 机械研究与应用, Vol. 15, No.2, (2002), 74-76
- [75] 傅浩, 蔡建国. 具有环境意识的材料选择. 机械设计与研究, No.3, (2000), 18-21
- [76] 王莲芬, 许树柏. 《层次分析法引论》. 中国人民大学出版社, (1990)
- [77] 刘书华. 材料选择的模糊综合评判[J]. 机械工艺师, No.4, (2000), 9-10
- [78] 张勤勇, 刘翠华. 模糊综合决策在材料选择上的应用[J], 机械, Vol.27, (2000), 188-190
- [79] 陈书法. 模糊综合评价在材料选择上的应用[J]. 机械设计与研究, Vol. 18, No.1, (2002), 47-50
- [80] 陈超. 机械零件材料选择中的模糊综合评价[J]. 机械设计, No.11, (2001), 47-49
- [81] 王焕高等. 数据库基础. 大连: 大连出版社, 1997
- [82] 王珊等. 数据库系统原理教程. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [83] 雷克辉, 常秀芬. 利用 Delphi 开发客户机/服务器型数据库管理系统. 物探化探计算技术, NO.4 (1998) 370-372
- [84] 李洪心. 数据库基础教程. 大连: 东北财经大学出版社, 2002
- [85] 汪心宣, 张洲, 肖茹琳. 核电工程材料数据库的设计. 核动力工程, NO.6 (1996) 523-528
- [86] 杨瑞成等. 工程设计中的材料选择与应用. 北京: 化学工业出版社, 2004
- [87] 孙晋文, 李明树. 软件开发: 从面向对象到 Agent 技术, 计算机与现代化, Vol. 67, No. 3, (2000), 30-32

[88] 陆尔东、邓利平. 几种 VC++数据库开发技术的比较.

<http://www.5xsoft.com/data/200112/0419513201.htm>

[89] http://vbboshi.myrice.com/vbtech/database/page_2/file58.htm

[90] Microsoft Corporation. Microsoft ActiveX Data Objects (ADO) Help

作者在攻读硕士学位期间发表的论文

1 张良, 刘光复, 刘志峰, 面向绿色设计的客户驱动型二级材料选择方法研究, 合肥工业大学学报, 2005 (12), (已录用)

2 Qi Yunhui Liu Zhifeng Liu Guangfu Wang Shuwang Zhang Liang, Study on the Framework of Green Design Based on Axiomatic Design, The 6th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing, June 21-23 2004, Xi'an China (50375044)