

再制造 设计理论 及应用

朱 胜 姚巨坤 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



再制造设计理论及应用

朱 胜 姚巨坤 编著



机械工业出版社

本书着重阐述了再制造设计的相关原理及工程应用,是一本理论与实践相结合的专著。本书内容包括:再制造性设计、再制造设计分析、再制造保障资源设计、再制造管理设计、再制造工艺与技术设计、先进再制造设计思想及技术、再制造应用实例。本书既注重再制造设计的基础理论,又注重再制造设计的工程化应用,对于从事再制造理论研究及工程应用的人员都有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

再制造设计理论及应用/朱胜,姚巨坤编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-111-27000-3

I. 再… II. ①朱… ②姚… III. 机械制造工艺-机械设计 IV. TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 066863 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吕德齐 责任编辑: 吕德齐 李秀玲

版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 姚毅 责任印制: 邓博

北京中兴印刷有限公司印刷

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 16 印张 · 392 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27000-3

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)68351729

封面无防伪标均为盗版

序

在国家可持续发展战略和坚持以人为本,全面、协调、可持续发展观的指导下,我国在有关战略部署中明确提出了支持机械设备再制造,并把绿色再制造技术列为支持循环经济的共性和关键技术之一。2008年8月通过并于2009年1月1日实行的《中华人民共和国循环经济促进法》中第四十条指出,国家支持企业开展机动车零部件、工程机械、机床等产品的再制造,销售的再制造产品质量必须符合国家规定的标准。

再制造的重要特征就是再制造产品的质量和性能不低于新品,成本仅为新品的50%左右,节能60%左右,节材70%以上,对保护环境贡献显著。再制造设计是提高产品再制造性、保证再制造产品质量、增加再制造效能的重要手段,贯穿于装备再制造全过程,属于再制造研究的重要内容。

本书作者承担了我国第一个再制造领域的国家自然科学基金面上项目“再制造设计理论与方法”(50075086)及其他有关再制造设计的研究课题,在国内率先提出了再制造性的概念,分析了产品设计阶段再制造性指标的确定、建模、分配、预计及试验等内容,并建立了基于技术、经济、环境三因素的废旧产品再制造性评价方法,对再制造设计的理论基础、关键内容、组织实施进行了较为系统的研究,为再制造设计的深入研究发展奠定了基础。

适应我国再制造工程发展需求,《再制造工程基础及其应用》、《装备再制造工程的理论与技术》、《再制造与循环经济》等书相继面世,本书是专门论述再制造设计的专著,书中较为全面地介绍了作者在再制造设计领域多年来的研究成果和国内外其他学者的研究内容,系统分析了产品设计中的再制造性设计、再制造设计分析、再制造保障资源设计、再制造管理设计、再制造工艺及技术设计、再制造设计的工程应用等内容。该书内容充实,取材广泛,兼具理论性、创新性和实用性,反映了再制造设计领域的现状和进展情况。

我相信,这本书的出版将有助于推动再制造设计理论的研究及工程应用,促进我国再制造工程学科的发展。同时,希望我国能有更多人士积极参与到再制造工程的理论研究、技术研发及工程应用的行列中来,推动再制造工程有序、健康地发展,为我国发展循环经济,实施节能减排,加快建设资源节约型、环境友好型社会作出贡献。

中国工程院院士



2008年12月

自序

刚从伦敦回到北京，由于时差原因，夜不能寐，正好观看凤凰卫视直播美国第44任总统奥巴马的就职典礼。作为美国第一位黑人总统，奥巴马翻开了美国历史新的一页。论及奥巴马总统上任后中美关系的影响因素，有国际反恐、台海局势、朝核会谈等诸多问题，但现阶段最重要的却是共同面对经济和环境的挑战。

这次去英国，参加了英国再制造与再利用中心的年会，这是英方第一次邀请中方参会，他们在大屏幕打出了中文欢迎辞：“中国朋友，高兴见到您们。享这次会议！请买更多礼物，提高经济！”为表示友好，我在做报告“再制造在中国的发展——理论与关键技术”之前，特别表示多购物，不仅为英国经济，也有益于中国出口，因为很多礼品是“中国制造”。

当今国际社会面临经济、环境两大挑战。金融危机在全球愈演愈烈，已在多个国家发展成经济衰退，中国政府也正为经济增长“保八”而战；环境、资源问题不容乐观，可持续发展已成为全球有识之士的共识。日益严峻的经济、环境形势对传统工业提出了挑战，但也为再制造提供了巨大的发展机遇。再制造产品的性能、质量不低于新品，而生产成本、资源消耗、废弃物产生量大大低于新品，所以再制造产品是性价比最高的产品，具有显著的节能、减排、绿色等特点。

再制造自身的发展也面临着两大挑战。一是政策领域的挑战，例如要求建立促进再制造生产、销售等的一些政策、法规，来促进、规范再制造工业的发展。二是再制造发展瓶颈技术的挑战，例如再制造设计技术、废旧零部件的剩余寿命预测技术等，要求科学解决废旧产品如何再制造及能再制造几次等关键问题。

迎接经济、环境的挑战，不仅是社会科学工作者的义务，也是我们从事自然科学和工程应用研究人员的责任。1999年，我学成回国，于2000年申请到国家自然科学基金委课题——“再制造设计理论与方法”（50075086），开展了相关再制造设计领域的研究工作，本文是对这些年研究工作的小结。最后，衷心感谢机械工业出版社的相关人员对此书出版所做的大量工作。



2009年1月20日凌晨

前 言

自 20 世纪以来,人类文明得到了迅猛发展,在推动人类进步的过程中,制造业起到了重要作用。但以大量消耗自然资源和无偿利用环境为主要标志的旧制造方式,在创造巨大物质财富和社会文明的同时,也造成了全球性的生态破坏、资源短缺、环境污染等重大问题。这种生产方式若不改变,势必危及人类的生存环境,给人类的未来造成灾难性的,甚至难以挽回的损失。

我国是一个人口众多、人均资源相对缺乏的国家,当前机电产品,特别是废旧机电产品的报废正在进入高峰期,如何有效使废旧机电产品资源化,最大化地利用有限资源,减少环境污染,是我们当前面临的重大问题。再制造工程以其巨大的经济、环保和社会效益而越来越受到关注,并成为我国建设循环经济和可持续发展社会的重要组成部分。

再制造工程是通过多学科综合、交叉、复合并系统化后正在形成的一个新兴学科,包含的内容十分广泛,涉及机械工程、材料科学与工程、信息科学与工程、环境科学与工程等多种学科的知识 and 研究成果,主要包括再制造基础理论、再制造关键技术、再制造质量控制、再制造工程应用、装备应急再制造及装备再制造管理等内容,再制造设计是贯穿于装备再制造全过程的重要内容,是再制造领域研究的重要方向。

近年来,本书作者在承担自然科学基金“再制造设计基础与方法”以及其他领域相关再制造设计的科研项目中,对再制造设计的基础理论、内容体系及应用进行了研究,建立了再制造性的概念,探讨了产品设计中的再制造性设计方法以及废旧产品的再制造性评价方法,并对再制造工程中的保障资源、工程管理及工艺设计进行了研究。

本书以介绍作者再制造设计领域的研究成果为主,同时参考了国内外相关产品设计理论的研究及应用进展情况。全书共分 8 章,第 1 章介绍了再制造设计的内涵及其发展背景;第 2 章介绍了产品再制造性的概念、设计技术及评价方法;第 3 章介绍了再制造工程中再制造设计的相关要素;第 4 章介绍了再制造过程中的保障资源设计;第 5 章介绍了再制造过程中的管理内容设计;第 6 章介绍了再制造过程中的工艺与技术设计;第 7 章介绍了先进的再制造思想及技术;第 8 章进行了再制造设计的工程应用实例分析。编写此书的目的,既是为了宣传和推广已有的再制造设计研究成果和内容体系,又是为了与读者携手共同促进我国再制造设计领域的发展。

本书可供从事机械产品设计、制造、使用、维修、再制造、资源化的工程技术人员、管理人员、研究人员参考,并可供高等院校机械类专业师生选用。

特别感谢中国工程院徐滨士院士为本书作序,感谢国家自然科学基金委员会、再制造技术国家重点实验室等单位给予作者的资助及大力支持。本书的部分内容参考了同行的著作及研究报告,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,且书中涉及的理论和方法发展迅速,不足之处在所难免,谨祈专家和读者斧正。

作 者

目 录

序

自序

前言

第1章 绪论	1
1.1 再制造设计概述	1
1.1.1 再制造工程的内涵	1
1.1.2 再制造与相关学科、专业间的关系	4
1.1.3 再制造设计的内涵	6
1.1.4 再制造设计的基本观点	8
1.2 再制造效益分析	10
1.2.1 资源效益	10
1.2.2 环保效益	10
1.2.3 经济效益	11
1.2.4 社会效益	12
1.2.5 军事效益	13
第2章 再制造性设计	14
2.1 再制造性基础	14
2.1.1 再制造性定义	15
2.1.2 再制造性函数	16
2.1.3 再制造性参数	18
2.2 再制造性设计分析	20
2.2.1 再制造性分析	20
2.2.2 再制造性设计准则	22
2.2.3 再制造性定性设计分析	23
2.2.4 再制造性定量指标分析	25
2.3 再制造性设计技术	27
2.3.1 再制造性建模	27
2.3.2 再制造性分配	33
2.3.3 再制造性预计	36
2.3.4 再制造性试验与评定	40
2.4 废旧产品再制造性评价	42
2.4.1 再制造性影响因素分析	42
2.4.2 再制造性的定性评价	43
2.4.3 再制造性的定量评价	44
2.5 再制造性工程	51
2.5.1 基本概念	51

2.5.2 再制造性工程框架	52
2.5.3 再制造性工程与其他专业工程的关系	53
2.5.4 再制造性工程的发展措施	53
第3章 再制造设计分析	55
3.1 再制造方案分析	55
3.1.1 再制造方案	55
3.1.2 再制造策略	56
3.1.3 再制造级别	58
3.1.4 再制造思想	59
3.2 废旧件失效模式分析	60
3.2.1 失效概述	60
3.2.2 废旧件的失效模式	61
3.2.3 再制造中的废旧件失效分析	65
3.2.4 废旧轴的失效分析实例	66
3.3 废旧件寿命预测分析	67
3.3.1 寿命预测的作用	67
3.3.2 影响寿命模型的因素	67
3.3.3 疲劳寿命的预测	68
3.3.4 蠕变寿命的预测	70
3.4 再制造工作分析	71
3.4.1 概述	71
3.4.2 再制造工作分析的内容和步骤	72
3.4.3 再制造工作分析所需信息	73
3.5 再制造费用分析	73
3.5.1 概述	73
3.5.2 再制造周期费用估算方法	74
3.5.3 再制造周期费用分析流程模型	76
3.5.4 再制造周期费用分解及计算	77
3.5.5 再制造产品费用—效能分析	79
3.6 再制造时机分析	81
3.6.1 产品寿命的浴盆曲线	81
3.6.2 产品退役形式	82
3.6.3 再制造时机选择	83
3.7 再制造环境分析	85
3.7.1 生命周期评价概述	85
3.7.2 再制造周期环境影响评价	85

3.7.3 再制造发动机环境评价案例分析	88	5.4.2 再制造产品质量的波动性	120
第4章 再制造保障资源设计	91	5.4.3 再制造过程的质量管理	121
4.1 再制造保障资源确定	91	5.4.4 再制造质量管理技术方法	122
4.1.1 再制造保障资源的确定依据	91	5.5 再制造器材管理	123
4.1.2 再制造保障资源确定的条件和原则	91	5.5.1 概述	123
4.1.3 再制造保障资源的确定过程	92	5.5.2 再制造器材计划管理	124
4.2 再制造设备保障设计	93	5.5.3 再制造器材筹措	125
4.2.1 概述	93	5.5.4 再制造器材储备	126
4.2.2 再制造设备需求类型的确定	94	5.5.5 再制造器材的分配与供应	127
4.2.3 再制造设备数量的确定	96	5.6 再制造信息管理	128
4.3 再制造人员保障设计	98	5.6.1 基本概念	128
4.3.1 再制造人员的确定依据与步骤	98	5.6.2 再制造信息的管理	128
4.3.2 再制造人员类型的确定	99	5.6.3 再制造信息管理系统软件设计与开发	130
4.3.3 人员数量的确定	100	第6章 再制造工艺与技术设计	134
4.4 再制造备件保障设计	101	6.1 再制造工艺与技术概述	134
4.4.1 基本概念	101	6.1.1 再制造工艺	134
4.4.2 再制造备件的确定步骤	102	6.1.2 再制造技术	134
4.4.3 再制造备件的确定方法	103	6.1.3 再制造技术的主要特征	136
4.5 再制造技术资料	105	6.2 产品再制造拆解工艺与技术	137
4.5.1 概述	105	6.2.1 概述	137
4.5.2 技术资料的种类	105	6.2.2 再制造拆解原则	138
4.5.3 技术资料的编写要求	106	6.2.3 再制造拆解技术与方法	139
4.5.4 技术资料的编制过程	106	6.2.4 废旧发动机拆解	139
第5章 再制造管理设计	108	6.3 再制造清洗工艺与技术	141
5.1 再制造管理概述	108	6.3.1 概述	141
5.1.1 基本概念	108	6.3.2 清洗的基本要素	141
5.1.2 产品设计中的再制造性管理	108	6.3.3 再制造清洗工作的内容	142
5.1.3 产品使用中的再制造管理	109	6.3.4 再制造清洗技术	143
5.1.4 再制造管理设计的基本要求	109	6.4 再制造检测工艺及技术	147
5.2 再制造逆向物流管理	110	6.4.1 概述	147
5.2.1 基本概念	110	6.4.2 再制造毛坯检测方法	148
5.2.2 逆向物流流程分析	112	6.4.3 废旧零件检测技术	149
5.2.3 再制造逆向物流的管理环节	112	6.5 再制造加工技术与方法	157
5.2.4 再制造的仓储管理	113	6.5.1 概述	157
5.3 再制造生产管理	114	6.5.2 零件再制造加工的条件	158
5.3.1 再制造生产管理的要求及特点	114	6.5.3 再制造加工方法分类与选择	158
5.3.2 再制造与制造生产管理的区别	116	6.5.4 失效零件再制造加工方法与技术	159
5.3.3 再制造生产计划管理	117	6.6 再制造装配技术与方法	170
5.3.4 再制造生产过程管理	117	6.6.1 概述	170
5.4 再制造质量管理	119	6.6.2 再制造装配方法	171
5.4.1 概述	119	6.6.3 再制造装配工艺制定	173

6.6.4 再制造发动机的总装配	173	7.7.2 信息化再制造升级设计	204
6.7 再制造产品磨合试验工艺与技术	175	7.7.3 废旧车床信息化再制造升级 设计应用	206
6.7.1 基本概念	175	7.8 快速再制造成形	206
6.7.2 磨合的影响因素	176	7.8.1 概述	206
6.7.3 再制造产品的整装试验	176	7.8.2 快速再制造成形的工作思路 及构成	207
6.7.4 再制造产品磨合试验系统	177	7.8.3 系统工作原理及程序	207
6.8 再制造产品的涂装工艺与技术	178	7.8.4 机器人 MIG 堆焊再制造成形 系统设计	208
6.8.1 再制造产品的涂装	178	第 8 章 再制造应用实例	212
6.8.2 再制造产品的包装	179	8.1 发动机再制造	212
6.8.3 再制造产品的说明书编写	182	8.1.1 概述	212
第 7 章 先进再制造设计思想及 技术	184	8.1.2 发动机再制造的工艺流程	212
7.1 再制造精益生产设计	184	8.1.3 发动机再制造的质量控制	214
7.1.1 基本概念	184	8.1.4 发动机再制造的主要设备	215
7.1.2 精益生产的特征	184	8.1.5 表面工程技术在发动机再 制造中的应用	217
7.1.3 再制造精益生产模式设计	185	8.1.6 再制造发动机的效益分析	220
7.2 再制造资源管理计划	187	8.2 废旧机床数控化再制造升级	222
7.2.1 概述	187	8.2.1 概述	222
7.2.2 现代化再制造生产对 MRP—II 的需求	188	8.2.2 旧机床再制造的工艺流程	223
7.2.3 再制造的生产资源管理设计	188	8.2.3 旧机床再制造的工作	224
7.3 再制造中的成组技术设计	190	8.2.4 机床数控化再制造的关键技术	227
7.3.1 概述	190	8.2.5 数控化再制造效益分析	228
7.3.2 成组技术的实施	191	8.3 废旧工业泵的再制造	229
7.3.3 再制造中成组技术应用设计	191	8.3.1 概述	229
7.4 再制造中的清洁生产设计	193	8.3.2 工业泵再制造的可行性分析	229
7.4.1 基本概念	193	8.3.3 工业泵的再制造工艺	229
7.4.2 清洁生产的内容	194	8.3.4 轴流泵的再制造升级案例	234
7.4.3 再制造清洁生产应用设计	194	8.4 复印机再制造	236
7.5 虚拟再制造	195	8.4.1 概述	236
7.5.1 概述	195	8.4.2 复印机再制造的一般过程	236
7.5.2 虚拟再制造的组成	196	8.4.3 复印机再制造工艺流程及内容	237
7.5.3 虚拟再制造的设计应用	199	8.5 典型零部件的再制造应用	238
7.6 柔性再制造	199	8.5.1 废旧齿轮变速箱的再制造	238
7.6.1 基本概念	199	8.5.2 油田储罐再制造延寿	239
7.6.2 柔性再制造系统组成	200	8.5.3 发酵罐内壁再制造	240
7.6.3 柔性再制造系统的技术模块	201	8.5.4 铰吸挖泥船铰刀片再制造应用	241
7.6.4 柔性再制造的关键技术	202	参考文献	244
7.6.5 柔性再制造系统的设计应用	203		
7.7 信息化再制造升级	204		
7.7.1 概述	204		

第 1 章 绪 论

进入 21 世纪, 保护地球环境、构建循环经济、保持社会可持续发展已成为世界各国共同关心的话题。目前大力提倡的循环经济模式是追求更大经济效益、更少资源消耗、更低环境污染和更多劳动就业的一种先进经济模式。再制造工程能使产品得到多寿命周期循环使用, 实现产品自身的可持续发展, 达到了节能节材、降低污染、创造经济效益和社会效益的目的, 是实现循环经济发展模式的重要技术途径。

1.1 再制造设计概述

1.1.1 再制造工程的内涵

1.1.1.1 基本概念

再制造于第二次世界大战期间发展起来后, 各国都对再制造给予了很多的关注。国外学者将再制造定义为: 将废旧产品制造成“如新品一样好”的再循环过程, 并且认为再制造是再循环的最佳形式。再制造在英文中有多种表示方法, 如 Rebuilding、Refurbishing、Reconditioning、Overhauling, 这些都是常用的再制造术语。然而在越来越多的关于再制造的文献中, Remanufacturing 已逐渐成为一个国际标准的再制造学术名词, 用这个单词来描述将废旧的但还可再用的产品恢复到如新品一样状态的工艺过程。目前, 国际交流中常用“Reman”作为“Remanufacturing”的简写直接应用, 表示再制造的意思, 同时 Reman 可以给人更多的联想, 拥有更丰富的内涵。

自 20 世纪 90 年代以来, 中国工程院徐滨士院士对再制造进行了深入研究, 结合产品的全寿命周期内容, 将再制造工程定义为: “是以产品全寿命周期设计和管理为指导, 以优质、高效、节能、节材、环保为目标, 以先进技术和产业化生产为手段, 来修复或改造废旧产品的一系列技术措施或工程活动的总称”。简言之, 再制造工程就是废旧机电产品高科技维修的产业化。再制造的重要特征是再制造产品的质量和性能达到甚至超过新品, 成本仅为新品的 50% 左右, 节能 60% 左右, 节材 70% 以上, 对环境的不良影响与制造新品相比显著降低。

再制造工程包括对废旧(报废或过时)产品的修复或改造, 是产品全寿命周期中的重要内容, 存在于产品全寿命周期中的每一个阶段, 如图 1-1 所示。

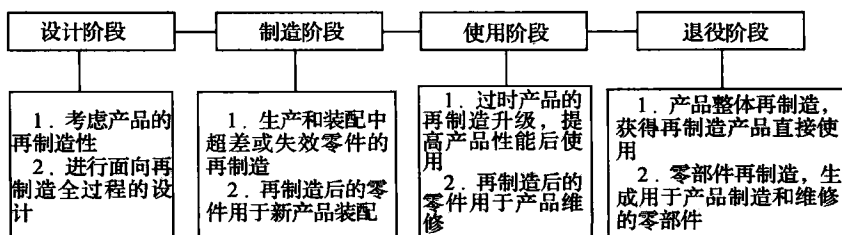


图 1-1 再制造在产品全寿命周期中的活动内容

设计阶段主要是指将产品的再制造性考虑进产品设计中,以使产品有利于再制造。

产品制造阶段主要是保证再制造性的实现,另外还可以利用产品末端再制造获得的零部件参与新产品的装配制造,也可以对产品加工和装配过程中出现的超差或损坏零件通过表面工程等再制造技术,恢复到零件的设计标准后重新使用。

产品使用阶段的再制造既包括对产品及其零部件的批量化修复和升级,又包括使用再制造的零件应用于维修,以恢复或提高产品的性能,实现产品寿命及性能的不不断提升。

产品退役阶段主要是对有剩余价值产品或零部件进行再制造,直接生产出再制造产品用于重新使用,或者生产出再制造零部件用于新产品或再制造产品的生产。

由此可见,再制造工程贯穿于产品全寿命周期的每一个阶段,并都占据着重要地位,发挥着重要作用。

1.1.1.2 再制造发展的历史

美国的再制造工业起源可以追溯到19世纪二三十年代,随着生产社会化和工业标准化而开始大量出现。经济萧条导致的资源匮乏极大地刺激了再制造业的发展,尤其第二次世界大战是促进再制造发展的主要因素,战争消耗导致钢铁等一些原材料严重不足,无法支撑巨大数量武器装备的制造,需要重新利用诸如报废装备及汽车上耐用零部件来迅速再制造出新的装备。在过去的50年里,技术和制造工艺的快速进步也大大扩充了再制造工业的范围,汽车领域、医学设备、电力发动机、复印机以及办公家具等产品都开展了一定规模的再制造。

19世纪70年代,美国政府意识到传统制造业快速发展带来的诸如固体废弃物处理、能源保护、资源枯竭、环境污染及资源浪费等问题对国家的可持续发展构成了巨大威胁,开始积极探索废弃资源的优质、高效再利用问题的解决方案。随着研究的深入,越来越多的工业界和政府部门将低消耗、高效益的再制造业作为既能减少环境污染又不影响自身利益的方式而大力推崇,这进一步促进了再制造业的发展。再制造业的日益扩展,也使其能够在减少资源消耗、环境污染的情况下,不断向社会提供环保、经济、满足生活和工业需求的产品及设备,促进社会的健康和谐发展。

越来越多的政策制定者也认识到再制造所带来的巨大利益。一些立法机构主动向工业界提供更好的政策环境来支持再制造。例如,美国纽约立法机构的一项提议中规定要优先购买再制造产品,禁止抵制再制造产品,并限制购买原制造厂不允许再制造的产品。在美国联邦政府,还讨论了一项有关税收政策的优惠法案,该法案规定用于再循环或再制造的投资可以免收25%的税金。这些法规的制定和实施对再制造业的增长与发展都有很大影响。例如,1998年5月,美国联邦贸易委员会规定再制造企业可以为他们的产品贴上“再循环”或者“可再循环”的标签,这有助于消费者充分享受到他们的产品所带来的环保利益。其他受到关注的法律和规章问题还包括如何评估再制造产品的税收以及知识产权等问题,如不允许原制造商限制对其产品进行再制造。

1.1.1.3 国外再制造的发展

最初再制造企业是由一些面向特殊市场需求的公司组成的,并由贸易协会来维护他们的利益,如1941年创立的汽车零部件再制造协会等。近年来,随着全球经济形势的变化,许多不同领域的协会开始联合,共同提高全体再制造企业的目标和利益,在1997年1月成立了国际再制造企业联合会(RICI)。RICI的任务是通过制定政府公共关系条款、对国家政策

的影响以及提供网络服务来联合和促进再制造企业的发展。工业联合会也对再制造的研究与发展起到了促进作用。1997年5月,在罗彻斯特技术学院建立了美国的再制造与资源保护中心,该中心研究与发展再制造及资源保护技术,并为再制造企业及资源保护企业提供技术支持。

再制造业在很多发达国家受到高度重视,并且已经形成规模庞大的再制造产业群。1996年,美国波士顿大学罗伯特教授对美国的再制造业进行了分析评估(如表1-1所示),美国再制造公司有73 315个,拥有529.06亿美元的年销售额和481 760个直接就业机会,其中车辆零部件再制造业年销售额360亿美元,汽车修理市场中再制造零部件占配件的70%~90%。在这份分析报告中并不包括全球最大的再制造商——美国国防部,它通过再制造武器系统和军用装备(从飞机到步枪)的零部件节省了可观的军费开支。2003年,美国再制造业年产值达400亿美元,占其GDP的0.4%。美国的再制造商数据库中有84种不同种类的再制造产品,包括汽车配件、医疗诊断用核磁共振图像设备、复印机等。美国还制定了详细的再制造中长期规划:2005年时,雇佣员工100万人,年销售额1 000亿美元,75%的再制造公司通过ISO认证;到2010年时,保证100%再制造产品性能达到或超过原产品;到2020年时,再制造业基本实现零浪费,并确保产品的质量和服务。

表 1-1 1996 年美国再制造业基本情况评估

领 域	公 司 总 数	销售额/百万美元	雇 员/人
汽 车	50 538	36 546	337 571
压 缩 机	155	249	2 878
电子仪器	13 231	4 633	47 280
机 械	120	434	3 155
办公用具	720	1 663	12 148
轮 胎	1 390	4 308	27 907
墨 盒	6 501	2 475	31 872
阀 门	410	589	4 577
其 他	250	2 009	14 372
总 计	73 315	52 906	481 760

受经济和环境利益的推动,一些大公司也加入到再制造企业的行列中来,并逐渐成为主要力量,如Xerox、Saturn、Kodak等公司都把产品再制造作为降低成本、保护环境、避免废旧产品成为垃圾的手段,他们鼓励消费者将废旧产品回收以用于再制造,并且公司在产品设计中开展再制造性或环境性设计,以达到零废品的目的。

再制造工程的研究也引起了美国国防决策部门的重视,美国国家科学研究委员会制定了2010年国防工业制造技术的框架,提出未来所需制造能力的发展战略。美国军队目前是世界上最大的再制造受益者,其武器装备大量使用再制造部件。例如,美军B-52H型轰炸机于1948年开始设计,1961~1962年生产,到目前已有40余年。该机1980年、1996年两次

进行再制造升级,到1997年平均自然寿命还有13 000飞行小时,预计服役期可延长到2030年,较一般飞机20~30年的服役期增长1倍以上。美军UH-1“休伊”通用直升飞机是20世纪50年代中期研制的,AH-1反坦克武装直升飞机是20世纪60年代中期研制的,美国海军计划把100架UH-1“休伊”通过直升飞机再制造成UH-Y运输直升飞机,把180~200架AH-W改装成AH-1Z“眼镜蛇”4桨叶的武装直升飞机。通过再制造,使两种直升飞机约有85%的相同部件,性能大大提高,维修费用显著降低。美国国防部还把“新的再制造技术”列入2010年及其以后优先发展的国防制造工业的新重点。

1.1.1.4 国内再制造的发展

自20世纪90年代起,中国再制造业也随着资源枯竭、环境污染的紧迫形势而逐渐提上日程,尤其是在徐滨士院士等知名专家、学者的呼吁下,得到了快速发展。再制造工程领域的研究受到了政府部门、科研单位、企业界的共同重视,中国工程院、国家自然科学基金委员会、国家政府机关、军队总部机关都先后支持开展再制造理论、技术的研究及实践活动。2003年,装备再制造技术国防科技重点实验室的建立,为我国再制造工程理论和技术研究打下了坚实基础。目前已经构建了较为完备的再制造理论体系及技术框架,建立了稳定的再制造领域研究方向,正推动再制造理论与技术向纵深发展。2004年,再制造与自修复作为制造领域的优先发展主题和关键技术列入国家中长期发展纲要,表明再制造已经在我国长期发展战略中得到了足够的重视和支持。

从20世纪90年代中期起,我国不断有企业加入到再制造的实践探索中来,越来越多的再制造企业开始涌现。2006年,《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出“十一五”期间要建设若干汽车发动机等再制造示范企业。上海大众联合发展有限公司对桑塔纳轿车发动机进行了再制造,其研发、生产与销售都已初具规模;沈阳大陆激光技术有限公司利用激光再制造技术对大型轧辊与涡轮叶片进行了再制造,解决了堆焊等传统工艺无法解决的维修难题。在中国巨大的再制造市场吸引下,2006年10月美国卡特彼勒公司(Caterpillar Inc.)与中国政府签署协议,帮助促进中国再制造业的发展,重点是对废旧零件和机器设备进行再制造和回收利用。

随着公众对再制造认识的加深,企业的不断参与,政府的大力支持,再制造业必将在中国建设循环经济和实现社会可持续发展的进程中发挥更大的作用。

1.1.2 再制造与相关学科、专业间的关系

1.1.2.1 再制造与维修

维修是指在产品的使用阶段为了保持其良好技术状况及正常运行而采用的技术措施,常具有随机性、原位性、应急性。维修的对象是有故障的产品,多以换件为主,辅以单个或小批量的零(部)件修复。其设备和技术一般相对落后,而且难以形成批量生产。维修后的产品多数在质量、性能上难以达到新品的水平。

再制造是将大量同类的报废产品回收至工厂,经全部拆解后,按零(部)件的类型进行收集和检测,以有剩余寿命的报废零部件(包含修理时更替下来的失效零部件)作为再制造毛坯,利用高新技术对其进行批量化修复、性能升级,所获得的再制造产品在技术性能和质量上都能达到甚至超过新品的水平。此外,再制造是规模化的生产模式,有利于实现自动化和产品的在线质量监控,有利于降低生产成本、减少资源和能源消耗、降低环境污染,能以

最小的投入获得最大的经济效益。显然，再制造使维修和报废处理得到了跨越式发展，是高科技维修的产业化。

机电产品再制造的工艺流程与大修有相似之处，但是两者的效果有明显的区别。第一，再制造是规模化、批量化、专业化生产，不同于一些作坊式的大修；第二，再制造必须采用先进技术和现代生产管理，包括现代表面工程技术、先进的加工技术、先进的检测及寿命评估技术，这是大修难以全面做到的；第三，再制造不仅是恢复原机的性能，还兼有对原机的技术升级，而大修一般不包含技术改造的内容；第四，再制造后的产品性能要达到新品或超过新品，这是最主要的不同点，是前三点的出发点和归宿点，而大修后的产品在性能和质量上达不到新品的要求，更无法超过新品。

1.1.2.2 再制造与再循环

再循环是指将废旧产品回收能够重新利用资源的过程，其工艺过程主要包括拆解、粉碎、分离或燃烧等步骤。根据所回收资源的形式、性能及用途不同，再循环可分为原态再循环和易态再循环，前者是指回收得到与废弃件具有相同性能的材料，后者是指将废弃品回收成其他低级用途材料或者能量资源。再循环一般用于可消费品（如报纸、玻璃瓶、铝制易拉罐等），也可用于耐用品（如汽车发动机、机电产品等）。再循环有效减少了废弃垃圾数量，增加了可用原材料资源数量，减少了对原生矿藏的开采。但无论哪种再循环方式，都破坏掉了原零部件的形状和性能，销毁了原产品在第一次制造过程中赋予产品的全部附加价值，仅仅回收了部分材料或能量，同时在回收过程中注入了大量的新能量，而且在再循环过程中的粉碎、分离等环节要产生大量的废水、废气、固体废弃物等新的环境污染。所以再循环是废旧机电产品资源化的一种低级形式。

再制造是以废旧成形零部件为毛坯，利用高新技术进行加工，获得高品质、高附加值的产品，实现产品级的回收重用，消耗能源少，最大限度地获得了废旧零部件中蕴含的附加值。大量零部件的直接或再制造后的重用，使得再制造产品性能在达到或超过新品的情况下，生产成本可以远远低于新品，因此再制造是废旧机电产品资源化的最佳形式和首选途径。

1.1.2.3 再制造与制造

再制造属于制造学科的重要内容，是先进制造、绿色制造的有机组成部分，两者具有许多共同点，如都是通过规模化和专业化生产来制造出满足市场需求产品的过程，两者也都要求采用清洁生产工艺，尽量减少生产过程资源消耗和环境污染，生产绿色产品等。但两者也具有明显的不同点。

制造是生产新产品的过程，其所采用的对象是不同材料及其制成的毛坯，主要通过机械加工方法来完成新零件的生产，并最终通过零件的装配完成产品的生产过程，以满足市场对产品的需求。而再制造所面对的对象是退役的废旧产品，是在报废或过时的产品上进行的一系列修复或升级活动，要恢复、保持甚至提高产品的技术性能，有很大的技术难度和特殊约束条件，所采用的技术手段不但包括传统的机械加工方法，还包括表面工程技术、拆解技术、清洗技术等大量制造过程没有采用的工艺技术。这就要求在再制造过程中，必须采用比原始产品制造更先进的高新技术。而且再制造采用的毛坯来源、品质、数量、时间等具有明显的不确定性，为再制造过程的管理和规划提出了不同于制造过程的难题。

综上所述，再制造与制造、维修、再循环的关系可以用表 1-2 来说明。

表 1-2 再制造与制造、维修、再循环的关系

类 别	再 制 造	制 造	维 修	再 循 环
加工对象	退役且可再制造的产品	原材料及毛坯	故障产品	报废且有回收价值的废品
生产类型	批量	批量	单件	批量
生产目标	性能不低于新品的再制造产品	新产品	恢复故障前产品的性能	废品所含材料或能量
生产方式	产品制造+零件维修	产品制造	零件维修	破碎、分离、冶炼等
附 加 值	高品质恢复附加值	创造附加值	恢复附加值	破坏附加值
能量消耗	中等	多	较少	较多
污 染 量	少	多	少	多
效 费 比	高	中	中	低

1.1.3 再制造设计的内涵

1.1.3.1 基本概念

再制造设计是指根据再制造产品要求,通过运用科学决策方法和先进技术,对再制造工程中的废旧产品回收、再制造生产及再制造产品市场营销等所有生产环节、技术单元和资源利用进行全面规划,最终形成最优化的再制造方案的过程。再制造设计主要研究对废旧产品再制造系统(包括技术、设备、人员)的功能、组成、建立及其运行规律的设计,研究产品设计阶段的再制造性等。其主要目的是应用全系统、全寿命过程的观点,采用现代科学技术的方法和手段,设计产品具有良好的再制造性,并优化再制造保障的总体设计、宏观管理及工程应用,促进再制造保障各系统之间达到最佳匹配与协调,以实现及时、高效、经济和环保的再制造生产。再制造设计是实现废旧产品再制造保障的重要内容。

根据对再制造三个主要阶段(废旧产品回收、再制造生产加工和再制造产品营销)的划分,可以将再制造设计分为废旧产品回收设计、再制造加工设计和再制造产品市场设计,其中获取再制造毛坯的废旧产品回收设计是再制造工程的基础,形成再制造产品的再制造加工设计是再制造工程的关键,获得利润的再制造产品市场设计则是再制造工业发展的动力。图 1-2 为面向再制造全过程的再制造设计所包含的内容,其中面向再制造生产阶段的设计是再制造设计的核心内容,直接关系到再制造产品的质量和企业效益。

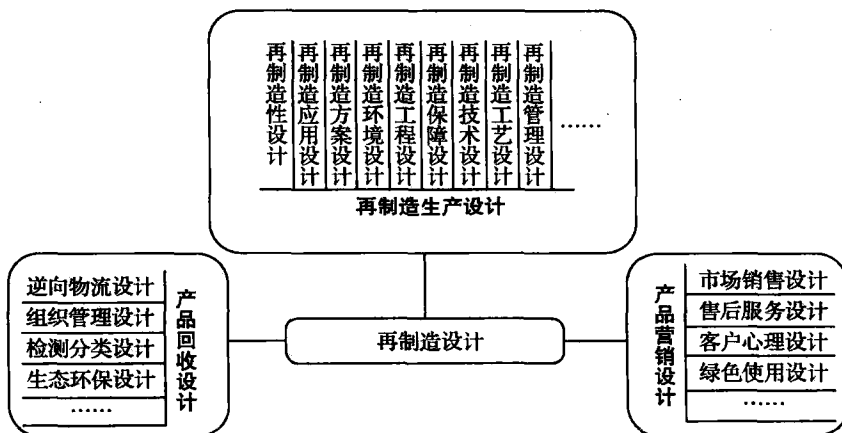


图 1-2 面向再制造全过程的再制造设计

由以上内容可知,再制造设计的内涵中包括以下要点:

(1) 研究的范围:包括面向再制造的全系统(功能、组成要素及其相互关系),与再制造有关的产品设计特性(如再制造性、可靠性、维修性、测试性、保障性等)和要求。

(2) 研究的对象:包括再制造全系统的综合设计,再制造决策及管理,与再制造有关的产品特性要求。

(3) 研究的目的:优化产品有关设计特性和再制造保障系统,使再制造及时、高效、经济、环保。

(4) 研究的主要手段:系统工程的理论与方法,产品设计理论与方法以及其他有关技术与手段。

(5) 研究的时域:面向产品的全寿命过程,包括产品设计、制造、使用,尤其是面向产品退役后的再制造周期全过程。

由此可见,再制造设计既包括对具体生产过程的再制造工艺技术、生产设备、人员等资源及管理方法的设计,又包括研究具体产品设计验证方法的再制造性设计方法,是进行再制造的系统分析、综合规划、设计生产的工程技术专业。

1.1.3.2 再制造设计的任务

再制造设计作为一项综合的工程技术方法,其基本任务是:以全系统、全寿命、全费用、绿色化观点为指导,对再制造全过程实施科学管理和工程设计。具体说,其主要任务包括:

(1) 论证并确定有关再制造的产品设计特性要求,使产品退役后易于进行再制造。

(2) 进行再制造工程设计内容分析,确定并优化产品再制造方案。

(3) 进行再制造保障系统的总体设计,确定与优化再制造工作及再制造保障资源。

(4) 进行再制造生产工艺及技术设计,实现再制造的综合效益最大化。

(5) 对再制造活动各项管理工作进行综合设计,不断提高再制造工程管理科学化。

(6) 进行再制造应用实例分析,搜集与分析产品再制造信息,为面向再制造全过程的综合再制造设计提供依据。

1.1.3.3 再制造设计的目标

再制造设计的总目标是:通过影响产品设计和制造,并在产品使用过程中正确维护产品的再制造性,使得产品在退役后具备良好的再制造能力,便于再制造时获取最大的经济和环境效益;及时提供并不断改进和完善再制造保障系统,使其与产品再制造相匹配,有效而经济地生产运行;不断根据需要设计并优化再制造技术,增加再制造产品的种类及效益。再制造设计的根本目的是高品质地实现退役产品的高效益多寿命周期使用,减少产品全生命周期的资源消耗和环境污染,提供产品最大化的经济效益和社会效益,为社会的可持续发展提供有效技术保障。

1.1.3.4 再制造设计的研究内容

再制造工程是在制造工程、装备维修工程、表面工程、环境工程等学科交叉、综合的基础上建立和发展的新兴学科。按照新兴学科的建设和发展规律,再制造工程以其特定的研究对象,坚实的理论基础,独立的研究内容,具有特色的研究方法与关键技术、国家级重点实验室的建立及其广阔的应用前景和潜在的巨大效益,构成了相对完整的学科体系,体现了先进生产力的发展要求,这也是再制造工程形成新兴学科的重要标志。

再制造设计是以产品的全寿命、全系统、全费用、绿色化理论为基础,以退役产品作为主要研究对象,以如何恢复或提升装备性能为研究内容,从而保障产品后半生的高性能、低投入、环境友好,为产品多寿命周期提供可能并注入新的活力。再制造设计的内容如图 1-3 所示。

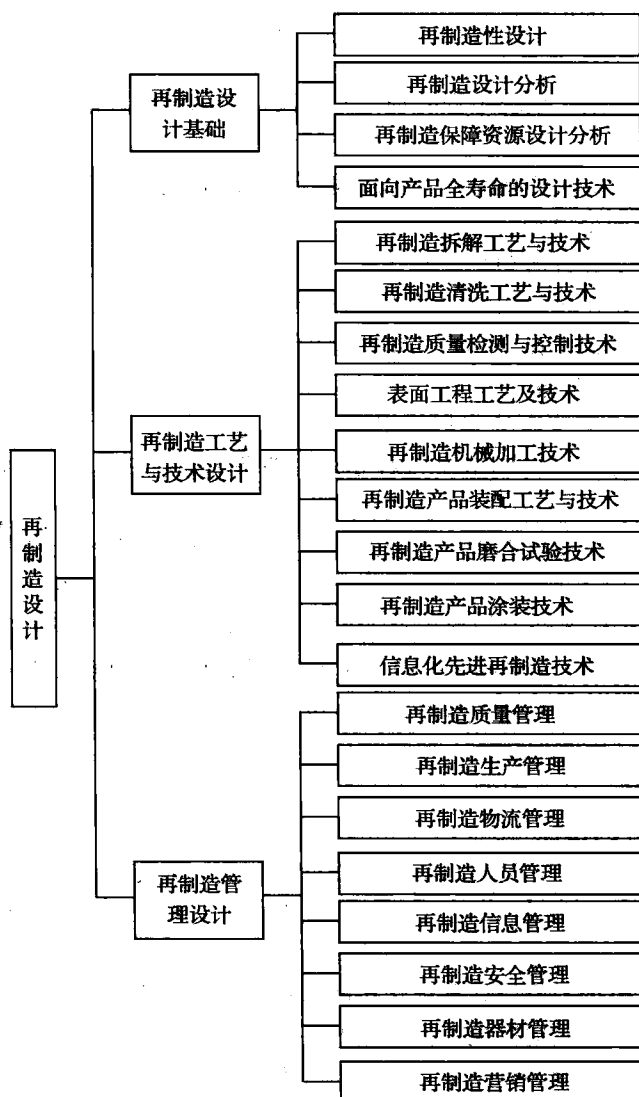


图 1-3 再制造设计的内容

1.1.4 再制造设计的基本观点

采用全系统、全寿命、全费用、绿色化的观点来进行再制造全过程的设计分析,是再制造设计研究的基本观点,也是再制造工程建设与发展中的重要观点。