

“985工程‘两型’社会研究哲学社会科学创新研究基地”资助

再制造生产计划与调度研究 ——基于信息共享的视角

Remanufacturing Production Planning and Scheduling
Based upon the Perspective of Information Sharing

张红宇 著



经济科学出版社
Economic Science Press

“985 工程 ‘两型’ 社会研究哲学社会科学创新研究基地” 资助

再制造生产计划与调度研究

——基于信息共享的视角

张红宇 著

经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

再制造生产计划与调度研究：基于信息共享的视角/
张红宇著. —北京：经济科学出版社，2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2035 - 6

I. ①再… II. ①张… III. ①再生资源企业 - 生产管理 - 信息管理 - 研究 IV. ①F253

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 130315 号

责任编辑：李 雪 漆 熠

责任校对：王凡娥

责任印制：邱 天

再制造生产计划与调度研究

——基于信息共享的视角

张红宇 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编：100142

总编辑部电话：88191217 发行部电话：88191537

网址：www. esp. com. cn

电子邮件：esp@ esp. com. cn

北京密兴印刷有限公司印装

787 × 1092 16 开 10.25 印张 190000 字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2035 - 6 定价：22.00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换。电话：88191502)

(版权所有 翻印必究)

前 言

再制造是产品回收后的处置选择之一，可实现废旧产品的资源化再利用，是实现节能减排、发展循环经济、建设资源节约型和环境友好型社会的重要措施。在国外，再制造已实现产业化，如德国汽车再制造产业已达到相当高的水平，至少90%的零部件能够资源化再利用。实践经验表明，每生产1万台再制造发动机，回收的附加值接近3.6亿元，可节电1450万千瓦时，减少二氧化碳排放600吨。与制造新品相比，再制造可节能60%，降低大气污染物排放70%，是典型的循环经济模式。

与国外相比，我国的再制造业起步较晚，但前景广阔。我国机电产品制造业已具相当规模，据报道，我国仅电视机、电冰箱、空调、洗衣机和电脑5种电器的年报废量超过1.5亿台，这些为发展再制造产业提供了较好的资源基础。在国家相关政策支持下，一汽、东风、上汽、重汽、奇瑞等多家汽车企业启动再制造试点，三一重工、陕西秦川机床工具集团、中航数控、南京田中机电再制造有限公司等多家企业分别在工程机械、机床、旧办公设备等领域启动再制造。尽管我国资源基础较好，但很多再制造企业却面临“无米下锅”的尴尬局面。这其中除了国家没有放开通过合法手段进口废旧品的渠道的政策因素，以及废旧产品回收体系不健全、“二手”业务难以开展等现实因素外，缺乏有效的再制造资源信息共享是一个重要原因。再制造资源的持有者与需求者之间信息不对称，以至于出现上述供需失衡情况。实际上，在新品的制造过程中，通常直接采购所需要的原材料即可，而在再制造过程中，由于废旧产品的数量和质量的高度不确定性，导致拆卸、再制造、重组装等各个环节对废旧产品需求的数量和处理时间都难以控制。对于包含再制造的闭环供应链而言，提高再制造资源共享和加强企业协作是关键。因此，如何激励再制造的参与企业进行再制造资源信息共享以协调废旧品供应和需求，是推动我国再制造业发展的重要前提条件之一。

此外，再制造过程远比一般生产过程复杂。一个典型的再制造过程一般由拆卸、再处理和重组装三个相关的工序组成。与传统生产过程不同的是，由于废旧品回收时的情况不一样，产品的加工工序、处理时间、需要的配件和原料数量等都是

不确定的，因而每件废旧品的再制造过程都可能不一样。有研究表明，再制造系统中额外的不确定性及其引起的可变性，使得传统的生产计划与控制方法难以直接应用，目前再制造生产运作的理论研究远远落后于生产实践。当参与废旧品回收利用的企业进行再制造信息共享后，不确定性因素的影响大为降低，进而生产计划与控制过程中涉及的诸多不确定性因素的影响程度和影响方式也相应发生改变。

对供应链管理中的信息共享研究后发现，实际上，信息共享为降低再制造生产中的不确定性提供了新的思路，并可借助对等网技术实现再制造生产中的信息共享。因此，基于信息共享视角，研究不确定性因素影响下的再制造生产计划与调度问题，对实现再制造生产活动的有效管理，是十分必要的，对于推动我国再制造业发展具有重要的现实意义。这正是本书的出发点和立足点。

为此，本书从通过信息共享以降低再制造中的不确定性影响出发，对再制造信息共享及生产计划与调度进行研究，核心内容包括：(1) 针对当前再制造生产的特点和需求，提出了一种面向再制造信息共享的对等网模型；(2) 提出了再制造信息共享激励模型；(3) 提出了考虑废旧品可购买量约束的再制造生产计划模型及求解方法；(4) 针对工件加工路径的可变性特点，构建了再制造生产中的多目标生产调度模型，并提出了求解方法。

全书内容安排如下：

第1章为绪论，分析再制造的研究背景，阐述再制造生产计划与调度的研究意义，并对再制造生产计划与调度研究进行综述，对已有研究成果进行归纳总结；指出现有研究的不足，提出本书的研究设想、研究内容和逻辑框架。

第2章研究基于对等网的再制造信息共享模型（ReMIS），在充分考虑再制造生产自身特点和现实需求的基础上，本书提出一种面向再制造信息共享的对等网模型，并对该模型的拓扑结构和工作机制进行论述，对其路由性能和查询性能进行分析。

第3章研究ReMIS中实现信息共享的激励模型，将再制造信息共享的发展分为三个阶段，即阶段I、阶段II和阶段III，然后，分析每个阶段的特点，并根据我国再制造业当前的发展水平，重点研究阶段I和阶段II的信息共享激励问题，对阶段III中可能出现的道德风险问题，提出规避策略。

第4章研究再制造生产计划模型，主要针对当前我国再制造业起步阶段，废旧品供应极不稳定并严重不足的问题，考虑废旧品可购买量约束，运用信息论中的信息熵理论度量不确定性，对市场的供应量进行预测，从而制定初步的多阶段生产计划，并利用从信息共享平台中获取的共享信息和企业资源的最新信息，对后续阶段

的生产计划进行修正和调整,从而动态得到更优的生产计划。

第5章研究再制造生产调度模型,针对再制造工件加工路径的可变性和到达时间的可变性特点,建立再制造生产调度模型,并提出一种基于可变长工序编码方法的改进遗传算法,实现再制造生产调度问题的优化求解。

第6章研究再制造生产计划与调度原型系统,设计并实现一个再制造生产计划与调度原型系统,从而为实现再制造生产中的完全信息共享提供支撑平台,并通过与再制造生产计划和调度工具的集成,为再制造的生产运作提供有效支持。

第7章总结与展望,对本书的主要工作和创新点进行总结,并指出进一步的研究方向。

张红宇

2012年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	7
1.2 国内外研究现状	7
1.2.1 再制造概念的界定	7
1.2.2 再制造生产中的不确定性研究	10
1.2.3 再制造生产计划与调度研究	11
1.2.4 相关研究总结	16
1.2.5 再制造信息共享研究	17
1.2.6 进一步研究的问题	21
1.3 本书的逻辑结构及主要内容	22
第 2 章 基于对等网的再制造信息共享模型 (ReMIS)	25
2.1 ReMIS 的提出	25
2.2 ReMIS 的结构	26
2.2.1 ReMIS 的基本概念	26
2.2.2 ReMIS 的基本结构	27
2.3 ReMIS 的工作机制	28
2.3.1 ReMIS 的工作原理	28
2.3.2 ReMIS 的主要算法	29
2.4 ReMIS 的查询性能	31
2.4.1 路由跳数分析	31
2.4.2 查询代价分析	32

2.5 本章小结	33
第3章 ReMIS 中实现信息共享的激励模型	34
3.1 ReMIS 的三个发展阶段	34
3.2 阶段I中的信息共享激励模型	37
3.2.1 模型的构建	37
3.2.2 模型的求解	39
3.2.3 分析与讨论	39
3.3 阶段II中的信息共享多维博弈模型	41
3.3.1 完全信息博弈模型	41
3.3.2 不完全信息博弈模型	45
3.3.3 算例分析	47
3.4 阶段III中的道德风险及规避策略	51
3.4.1 阶段III中的道德风险分析	51
3.4.2 信誉机制	51
3.4.3 企业信誉的计算方法	52
3.5 本章小结	53
第4章 再制造生产计划模型	55
4.1 引言	55
4.2 基本假设与符号定义	56
4.3 再制造生产计划模型的构建	58
4.4 再制造生产计划模型的求解	60
4.4.1 再制造生产计划的求解过程	60
4.4.2 基于信息熵的废旧零部件可购买量预测	61
4.4.3 再制造生产计划的修正和调整	64
4.5 算例分析	66
4.6 本章小结	69
第5章 再制造生产调度模型	70
5.1 引言	70
5.2 基本假设与符号定义	72

5.3	再制造生产调度模型的构建	73
5.4	再制造生产调度模型的求解	74
5.4.1	可变长工序编码方法	74
5.4.2	适应度函数的设计	79
5.4.3	遗传算子的设计	80
5.4.4	多目标优化的实现方法	82
5.4.5	重调度的实现方法	83
5.5	仿真实验	84
5.5.1	单目标仿真实验	84
5.5.2	多目标仿真实验	86
5.6	本章小结	91
第6章	再制造生产计划与调度原型系统	92
6.1	基于 JXTA 的 P2P 网络	92
6.1.1	JXTA 的特点	92
6.1.2	JXTA 的软件架构	93
6.2	基于 JXTA 的再制造生产计划与调度系统	94
6.2.1	JXTA 网络的基本元素	94
6.2.2	基于 JXTA 网络的 ReMIS 实现	96
6.2.3	PPS-System 的网络部署模型	97
6.2.4	PPS-System 的系统框架	99
6.3	系统关键功能的实现	100
6.3.1	再制造信息共享的实现	100
6.3.2	再制造生产计划工具的实现	102
6.3.3	再制造生产调度工具的实现	102
6.4	本章小结	105
第7章	总结与展望	106
7.1	总结	106
7.1.1	主要工作与结论	106
7.1.2	主要创新点	109
7.2	研究展望	110

附录 1	112
附录 2	116
附录 3	132
参考文献	137
后记	151

第1章 绪 论

1.1 研究背景及意义

当前，能源紧缺和环境污染已成为全球关注的焦点。对废旧品进行回收与再利用，可以避免大规模生态环境的破坏和资源浪费，有利于实现节能减排，发展循环经济^[1]。再制造是废旧品再利用的有效途径^[2]，已得到我国政府的大力支持，目前正步入实际运作阶段，随之而来的生产管理问题也逐渐凸显出来。本书在相关研究基础上，从信息共享视角对再制造生产计划与调度进行深入研究，力求为企业实现再制造提供理论与方法。

1.1.1 研究背景

1. 经济发展中的能源和环境问题突出

经济的快速发展和人口的迅速膨胀，导致能源的大量消耗，从而引发能源危机。同时，能源消耗引起的污染已使环境不堪重负。能源危机严重制约着经济的发展^[3]，环境污染则危害人体健康，这些已成为全球性问题。

(1) 能源危机致使经济环境恶化。能源是国民经济重要的物质基础，也是人类赖以生存的基本条件。国民经济的发展和人民生活水平的提高都依赖于能源的供应量。从历史上看，人类对能源利用的每一次重大突破都伴随着科技的进步，从而促进生产力的发展，甚至引起社会生产方式的革命。每一次新能源的开发和利用，都必然引起世界能源结构的变化，促进经济的繁荣。当今世界对能源的消费数量急剧增加，人们感到常规能源的开发和供应已难以满足社会对能源的需求，能源危机的阴影笼罩着整个世界。

我国是一个能源消费大国。基本能源消费占世界总消费量的 1/10, 仅次于美国, 居世界第二位。我国又是一个以煤炭为主要能源的国家, 发展经济与环境污染的矛盾突出。近年来能源安全也日益成为我国战略安全的隐患和制约经济社会可持续发展的瓶颈。20 世纪 90 年代以来, 我国经济的持续高速发展带动了能源消费量的急剧上升。根据国家海关总署提供的资料, 我国从 1993 年起变为石油净进口国, 能源总消费已大于总供给, 能源需求的对外依存度迅速增大。煤炭、电力、石油和天然气等能源在我国都存在缺口。国家统计局 2012 年 2 月 22 日发布的数据显示, 初步核算, 2011 年中国能源消费总量 34.8 亿吨标准煤, 比上年增长 7.0%。煤炭消费量增长 9.7%; 原油消费量增长 2.7%; 天然气消费量增长 12.0%; 电力消费量增长 11.7%。2011 年中国原油进口量增加到创纪录的 2.525 亿吨。能源的大量需求以及进口依存度持续上升将危及我国社会经济发展和国家安全。

(2) 环境污染引发严重的生态灾难。环境污染日趋严重, 人类的工业化进程对生态环境的破坏, 已经严重威胁到人类自身的生存与发展。全世界由于环境问题造成的难民人数有 1300 万人, 接近由于政治动乱和战争造成的政治难民人数。而环境问题引发的资源短缺已经成为引发暴乱的一个重要因素, 由此造成的难民问题也越发严重。世界卫生组织发表的一份公报指出, 空气、水源及其他环境污染导致全球每年 300 万 5 岁以下儿童死亡^[4]。据报道, 我国由环境污染带来的经济损失占国内生产总值的 10% 左右。

2. 建设“两型”社会, 应对经济社会发展挑战

“两型”社会即“资源节约型、环境友好型社会”的简称。目前, 由于我国经济社会发展中能源和环境问题日益突出, 党的十七大报告明确提出了建设资源节约型、环境友好型社会的目标。“两型”社会建设就是要面对人口不断增长、环境压力加大的挑战, 迅速转变经济发展方式, 加快建设“资源节约型、环境友好型社会”, 否则能源日益枯竭, 环境难以承受, 人民生活质量难以保障。资源节约型社会是指整个社会经济建立在节约资源的基础上, 建设节约型社会的核心是节约资源, 即在生产、流通、消费等各领域各环节, 通过采取技术和管理等综合措施, 厉行节约, 不断提高资源利用效率, 尽可能减少资源消耗和环境代价满足人们日益增长的物质文化需求的发展模式。环境友好型社会是一种人与自然和谐共生的社会形态, 其核心内涵是人类的生产和消费运动与自然生态系统协调可持续发展。“两型”社会建设是经济社会发展到新阶段必须应对的新挑战, 是化解经济社会中能源和环境问题的必然选择。

世界很多国家注重节能和环保问题始于 20 世纪 70 年代石油危机期间，随着油价的不断攀升，许多国家更加关注节能和环保，能源使用效率大幅提高，节约与保护环境已成为国家、企业和国民的共识。一些发达国家制定了各种政策措施来提高能源效率、降低能源消耗，这些政策措施绝大部分已纳入强制性范畴。

3. 废旧品是放错位置的资源

废旧品未经有效处理直接弃置，将造成严重的环境污染，损害人体健康和生活环境。一块手机废旧电池的污染量相当于 100 块普通干电池，可严重污染约 6 万升水^[5]。据专家估计，我国每年更新换代下来的废旧手机将近 1 亿部^[6]。2005 年一年，美国共有 1.3 亿台手机退役^[7]。全球 2007 年被丢弃的手机估计高达 5 亿只，而与之配套的电池、充电器的数量是手机的两倍^[8]。研究表明，电脑原材料中至少含有 300 种对人体有害的物质。据美国一个关注电脑废物问题的组织 *Silicon Valley Toxics Coalition* 的报告指出，显示器的每个显像管内含有 8 磅铅，同样电路板中也有，它会破坏人的神经、血液系统以及肾脏；电池和开关含有铬化物和汞，铬化物透过皮肤，经细胞渗透，造成严重过敏，并可能引致哮喘、破坏 DNA；汞则会慢性破坏脑部；电脑中也有砷、汞和其他数之不尽的废物^[9]。

实际上，废旧品的弃置还造成资源的大量浪费。在废旧品中，如废纸、废玻璃、废金属，甚至废旧家电中还有相当一部分零部件可以资源化利用。如果能采用先进工艺进行处理，这些废旧家电不但不会危害环境，而且将产生良好的经济效益。美国瑞斯勒莱（ReCellular）公司每年回收 50 万只手机，其中大约 60% 其实还运作良好^[7]。此外，研究表明，回收 1 吨废纸可生产 0.8 吨新闻纸，节约 17 棵 20 年龄的马尾松，较木材造纸节约 240 吨水、300 度电，减少 35% 的环境污染。据介绍，全国每年约有 1400 万吨废纸没有用起来，如果回收利用，能生产出 1120 万吨好纸，少砍 2 亿多棵马尾松。据报道，我国电视机、电冰箱、空调、洗衣机和电脑 5 种电器的年报废量超过 1.5 亿台。这些废旧品中含有很多可回收再利用的有色金属、黑色金属、玻璃等物质^[10]。文献 [11] 指出，1 吨随意收集的电子板卡中，可以分离出 286 磅铜、1 磅黄金、44 磅锡，其中仅 1 磅黄金的价值就高达 6000 美元。

4. 再制造是循环经济的重要实现形式

近年来，我国经济增长付出了极大的环境代价，而资源环境矛盾日趋尖锐，已成为我国经济增长中的突出问题。以牺牲环境为代价，经济难以持续发展，粗放的增长方式已超过了国内资源和环境的承载能力。

面对这种局面，人类只有走可持续发展的道路才有希望。可持续发展（sus-

tainable development) 系 20 世纪 80 年代提出。1987 年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中, 第一次阐明了可持续发展的概念, 得到了国际社会的广泛认可^[12]。可持续发展是指既满足现代人的需求又不损害后代人满足需求的能力。换句话说, 就是指经济、社会、资源和环境保护协调发展, 既要达到发展经济的目的, 又要保护好人类赖以生存的大气、淡水、海洋、土地和森林等自然资源和生态环境, 使子孙后代能够永续发展和安居乐业。

“循环经济”(circular economy) 理论最早由日本提出, 并在日本取得显著成效^[13]。循环经济是符合可持续发展的经济发展模式。它是以“资源—产品—消费—再生资源”为特征的经济发展模式, 表现为低消耗、低污染、高利用率和高循环率, 使物质资源得到充分、合理的利用, 把经济活动对自然环境的影响降低到尽可能小的程度。其本质上是一种生态经济, 它要求运用生态学规律而不是机械论规律来指导人类社会的经济活动^[14]。循环经济作为可持续发展的新模式, 是解决经济与环境发展的重要途径和实现方式。发展循环经济是我国解决能源和环境问题的必由之路。大力发展循环经济可以从根本上改变我国资源过度消耗和环境污染严重的局面, 是我国实现可持续发展战略的必然选择。发展循环经济, 可以解决经济与环境之间长期存在的矛盾, 达到经济与环境的双赢。在《国家十一五规划纲要》中提出了“全面贯彻落实科学发展观, 必须加快转变经济增长方式, 要把节约资源作为基本国策, 发展循环经济, 保护生态环境, 加快建设资源节约型、环境友好型社会, 促进经济发展与人口、资源、环境相协调”^[15]。

再制造是循环经济的重要实现形式。据了解, 全球再制造每年节约的能源相当于 75000 辆汽车“终生”所消耗的油料, 或者相当于 8 家中等规模核电站的年总发电量^[16]。再制造产品与新品相比, 节能 60%、节材 70%^[17]。全球再制造业每年可节约材料 1400 万吨^[16]。将废弃物进行资源化不仅实现了能源的循环利用, 而且可有效地减少废弃物的排放, 减少环境污染, 是实现节能减排的有效途径之一, 是发展循环经济的必然选择。

5. 再制造业前景广阔

再制造的重要性在国外很早就引起了人们的重视。早在 1984 年, 美国 *Technology Review* 期刊就刊发了再制造的相关论文, 提倡废旧品翻新或再生^[18]。日本也建立了废塑料、废金属等多种资源的再生工厂。1996 年波士顿大学罗伯特·t·隆德 (Robert T. Lund) 领导的一个研究小组, 对美国再制造业进行了深入的调查, 结果显示, 再制造业已经成为美国经济中的支柱产业之一^[19]。

汽车零部件的再制造是研究最早的领域, 并且已经发展成为规模较大的产

业。有报道称,在美国,现在约有大大小小5万家汽车零件回收商,对美国1000多万辆旧车的80%零部件加以回收和利用。美国三大公司(通用、福特和克莱斯勒)在底特律的海兰帕克建立了汽车回收中心,形成了一座规模巨大的现代化再制造零部件基地。德国的汽车再制造工程产业也已经达到相当高的水平,至少有90%的零部件得到了重用或合理处理。宝马公司已建立起一套完善的回收品经营连锁店的全国性网络。法国的标致·雪铁龙公司联合法国废钢铁公司和维卡水泥公司,在里昂附近建立了一个汽车再生工厂,雷诺公司与法国废钢铁公司在阿蒂蒙建立了汽车报废回收中心。法国的汽车回收率,已经从前几年的80%,提高到目前的95%。日本的丰田公司对回收工作十分重视,在1996年,已首次在上世界上开发出不能再利用而要被填埋处理的切割废料进行分离和活用的技术,并将高性能的包含氨甲酸酯和纤维再生的防音材料(RSP)进行了产业化,用于科罗娜(Corona)汽车上,在1998年后正式启动利用计划,目前,汽车回收率已达95%以上^[20]。除了汽车行业,再制造技术在其他许多行业也有着广泛的应用,如显示器^[21]、计算机^[22]、打印机、印刷电路板、手机^[23]、照相机等。打印机和手机再制造是目前相对成熟的产业^{[24][25]}。

通过废旧品的资源化可以避免大规模的生态环境破坏和资源浪费,并可创造显著的经济效益^{[26][27]},是实现节能减排、发展循环经济、建设资源节约型和环境友好型社会的重要措施^{[26][28]}。以汽车产品为例,根据中国汽车工业协会公布的数据显示,2010年我国再制造发动机约12万台,再制造变速器约3万台,再制造发电机、启动机约40万台^[29]。而每生产1万台再制造发动机,回收的附加值接近3.6亿元,可节电1450万千瓦时,减少二氧化碳排放600吨。与制造新品相比,再制造可节能60%,降低大气污染物排放70%,是典型的循环经济模式^[30]。

再制造在发达国家已成为成熟的产业。2005年全球再制造业产值已超过1000亿美元,美国的再制造产业规模最大,达到750亿美元,其中汽车和工程机械再制造占2/3以上。德国大众已再制造发动机720万台,近年来销售的再制造发动机及其配件是新发动机的9倍。与国外相比,我国的再制造业起步较晚,但前景广阔^{[31][32]}。我国机电产品制造业已具相当规模,据报道,我国仅电视机、电冰箱、空调、洗衣机和电脑5种电器的年报废量超过1.5亿台,这些为发展再制造产业提供了较好的资源基础^{[33][34]}。在国家相关政策支持下,一汽、东风、上汽、重汽、奇瑞等多家汽车企业启动再制造试点^[35],三一重工、陕西秦川机床工具集团、中航数控、南京田中机电再制造有限公司等多家企业分别在工程机械、机床、旧办公设备等领域启动再制造。

6. 再制造得到了国家的大力支持

2005年7月,国务院发布了21、22号文件,国家首次明确将“支持废旧机电产品再制造”,并把“绿色再制造技术”列为“国务院有关部门和地方各级人民政府要加大经费支持力度的关键、共性项目之一”^{[36][37]}。2008年3月,我国发改委正式发布《汽车零部件再制造试点管理办法》,确定了首批14家汽车零部件再制造试点企业,其中包括3家整车生产企业和11家零部件生产企业,同时将开展再制造试点的汽车零部件产品范围暂定为:发动机、变速箱、发电机、启动机、转向器五类产品^[35]。同年8月我国首部《循环经济促进法》颁布,其中明确规定: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和轮胎翻新。2009年初国务院审议通过了装备工业振兴规划纲要,在我国工程机械制造业的振兴目标中明确指出,“应积极开展再制造工程项目,从而达到节能降耗的目标”^[38]。2009年,工信部选定了35家企业和产业集聚区作为首批机电产品再制造试点。2010年,国家发改委、科技部等11个部委发布了《关于推进再制造产业发展的意见》。2011年,全国人大审议通过的“十二五”规划纲要明确把“再制造产业化”作为循环经济的重点工程之一。同年8月,国家工信部公布《再制造产品目录(第一批)》。2011年9月,国家发改委下发《关于深化再制造试点工作的通知》,明确将扩大再制造产品种类和试点范围,并且将加大政策支持力度。2012年2月,国家工业和信息化部发布《再制造产品目录(第二批)》。

我国不断从编制产业发展规划、完善相关法规及经济政策、建立监督管理制度、人才培养等方面给予再制造产业强有力的保障,为再制造产业发展创造良好环境。

7. 我国再制造生产管理研究薄弱

再制造过程远比一般生产过程复杂^{[39]-[41]}。一个典型的再制造过程一般由拆卸、再处理和重组三个相关的工序组成。和传统生产过程不同的是,由于废旧品回收时的情况不一样,产品的加工工序、处理时间、需要的配件和原料数量等都是不确定的,因而每件废旧品的再制造过程都可能不一样。有研究表明,再制造生产系统中额外的不确定性及其引起的可变性,使得传统的生产计划与控制方法难以直接应用^{[41]-[46]}。因此,在诸多不确定性因素影响下,如何将产品再制造管理集成到日常的生产计划和库存控制中,便成为亟待解决的问题^[47]。企业的生产活动是按照生产计划进行的,若再制造企业没有有效的生产计划与调度,便无法对拆卸量、拆卸时间、再制造量、再制造时间、新件采购量以及采购时间等进行控制和管理,进而无法做出科学的调度安排,致使再制造生产系统无法正常运行。因此,面对新的生产环境,如何制定出有效的再制造生产系统生产计划与

调度方案，成为再制造生产管理中的关键。而目前再制造生产计划与调度的理论研究远远落后于生产实践^{[48][49]}。与国外相比，我国的相关研究更是薄弱，甚至可以说是刚刚起步。因此，对再制造生产计划与调度的研究非常必要。

基于上述背景，本书研究并建立了再制造生产计划与调度模型，综合运用多种方法，对模型优化求解，并开发实现信息共享的再制造生产计划与调度原型系统，为企业实现再制造提供理论与方法。

1.1.2 研究意义

现有研究证实，再制造生产系统中额外的不确定性以及由此引起的可变性使得传统的计划和控制工具难以应用^{[41]~[46]}。企业的生产活动是按照生产计划进行的，若再制造企业没有有效的生产计划与调度，则再制造系统无法正常运行。再制造生产过程中的诸多不确定性因素，给生产计划带来很多变数。生产计划频繁变更，则使计划失去指导意义。同时，由于再制造是劳动密集型产业，因而有必要对再制造过程涉及的各种信息进行有效的工程化管理，同时也可在一定程度上提高信息透明度，降低其随机性干扰。可见，对再制造生产计划与调度的研究可以丰富和完善再制造运作管理的基本理论，为再制造的生产运作提供理论依据。同时，随着我国汽车零部件再制造试点的启动，再制造在我国已步入实际运作阶段，但目前再制造生产计划与调度方面，尚无成熟的运作经验可供借用。

因此，研究再制造生产计划与调度的理论和方法，为再制造企业提出可行的生产计划与调度模型和方法，对于推动该领域的理论研究，促进我国再制造产业的发展，具有重要的理论价值和现实意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 再制造概念的界定

再制造（remanufacturing）并不是顺应循环经济而提出的新概念，早在20世纪40年代第二次世界大战中的美国，福特公司就将再制造用于军用汽车发动机的维修。由于当时资源紧张，各大汽车厂零部件供应严重短缺，因此福特公司就对一部