

机床再制造产业技术 及工程实践

中国机电装备维修与改造技术协会 组织编写

JICHUANG ZAIZHIZAO CHANYE JISHU
JI GONGCHENG SHIJIAN



化学工业出版社

机床再制造产业技术及工程实践

中国机电装备维修与改造技术协会 组织编写

JICHUANG ZAIZHIZAO CHANYE JISHU
JI GONGCHENG SHIJIAN



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是为了促进机床再制造技术的发展而组织行业专家编写的技术图书,详细介绍了机床再制造技术的发展现状及关键技术,如机床再制造技术框架、可再制造性评估、废旧机床零部件及整机的再设计和再修复、再制造专用设备及系统、再制造工艺方案的设计、评价、优化,再制造车间设施布局,再制造回收网络及逆向物流体系等内容。同时,本书收录了国内机床行业再制造的工程实践案例,涉及车铣类机床、齿轮机床、磨削类机床、重型机床、专用机床、机床功能部件、数控机床等。本书附录还列出了再制造行业的相关政策和标准,方便读者查阅。

本书适合从事机床设计、改造、维修的管理人员、工程技术人员以及机械工程相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

机床再制造产业技术及工程实践/中国机电装备维修与改造技术协会组织编写. —北京:化学工业出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-122-30901-3

I. ①机… II. ①中… III. ①机床-机械工业-中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 266831 号

责任编辑:曾越 张兴辉

文字编辑:陈喆

责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张14 字数338千字 2018年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:89.00 元

版权所有 违者必究

发展循环经济促进
绿色制造
发展之路
走可持续

王瑞祥

中国机械工业联合会会长

二〇一七年十二月二日

《机床再制造产业技术及工程实践》 编委会

顾问：王瑞祥 王恒智

主任：杨学桐

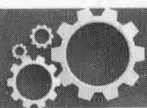
副主任：郑国伟 吴义苗 李冬茹

主编：吴义苗

副主编：曹华军 宋 松 孔 勇 孙巧玲

编委：（按姓氏笔画排序）

王守见	田作新	邢志宏	刘景元	江志刚
许世雄	孙 涛	孙 越	苏伟峰	杜彦斌
李尤强	李先广	李忠杰	李玲玲	李祥麒
李聪波	杨 元	杨满东	何江海	何敏佳
张 文	张 华	张 伟	张军鹏	张楚锋
张福祥	赵嘉琨	潘陈强		



机床是制造业的基础装备,其先进水平和保有量,是衡量一个国家制造业水平、工业现代化程度和国家综合竞争力的重要指标。作为全球第一制造大国,我国已发展成为世界上最大的机床生产国及消费国,目前在役机床装备数量超过 800 万台。由于机床 80% 的资源是床身、立柱、滑台等基础结构件,可修复、可重用率高,因而具有很高的资源回收利用价值和再制造潜力;另一方面,机床结构相对稳定,通过更换电气、数控系统以及检测元件等即可实现其综合性能的显著提升,提升装备制造能力。因而机床再制造受到国家高度重视,是我国《循环经济促进法》以及国家《关于推进再制造产业发展的意见》中明确支持的再制造机电产品之一。《中国制造 2025》中也明确提到“大力发展再制造产业,实施高端再制造、智能再制造、在役再制造,推进产品认定,促进再制造产业持续健康发展。”

机床属于复杂精密机电装备,其再制造技术含量高,定制化程度高,质量难以控制,而且技术更新快,因此对从事再制造的企业和技术人员要求比较高。目前,国内机床再制造企业大小超过 2000 家,但大多以报废、闲置、老旧、退役机床的维修、大修为重,与再制造的技术要求还有一定的差距。2009 年,依托中国机电装备维修与改造技术协会,联合重庆机床集团、武汉重型机床集团、北京圣蓝拓数控技术有限公司、重庆大学等从事机床再制造的具有代表性的技术研发和产业化的单位,成立了机床再制造产业技术创新联盟,并多次获得国家科技支撑计划专项项目支持,开展机床再制造关键技术攻关工作,制定了《绿色制造 金属切削机床再制造技术导则 (GB/T 28615—2012)》。本书的编著是在前期工作的基础上,总结和凝练而成,希望为从事机床再制造技术研究和产业化应用的工程技术人员提供参考,为我国机床再制造产业发展提供一定的支撑作用。

本书共分为 3 章。第 1 章为概述,介绍了机床再制造发展的背景、概念以及国内外发展现状;第 2 章为机床再制造关键技术,首先提出了机床再制造技术框架,然后对可再制造性评估、整机再设计、废旧零部件再制造修复、专用功能部件开发、再制造工艺方案设计、再制造车间设施布局以及逆向物流等进行了论述和介绍;第 3 章为典型机床产品再制造工程实践,分别介绍了若干典型机床再制造实际案例,为机床再制造工程实践提供参考。本书附录还列出了机床再制造的相关政策、标准和资质评定办法,供从业单位决策参考。

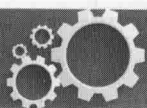
本书由中国机电装备维修与改造技术协会秘书长吴义苗同志担任主编,重庆大学曹华军、北京圣蓝拓数控技术有限公司宋松、孔勇、孙巧玲担任副主编。本书在内容的研究和撰写过程中得到了上海飞机制造有限公司张文,重庆机床(集团)有限公司李祥麒,宇环数控机床股份有限公司李尤强,武汉重型机床集团有限公司田作新,青海重型机械制造有限公司李忠杰、张军鹏、杨元、邢志宏,北京圣蓝拓数控技术有限公司张福祥、孙越,北京凯奇数控设备成套有限公司刘景元,广州数控设备有限公司苏伟峰,重庆大学李聪波、李玲玲,武汉科技大学江志刚,重庆工商大学杜彦斌等的积极参与和帮助,在此对他们的辛勤工作深表感谢。同时,在机床再制造工作推进和本书撰写过程中还得到了中国机械工业联合会于清茂、赵嘉琨、王守见,北京凯奇数控设备成套有限公司王恒智,广州数控设备有限公司何

敏佳, 青海重型机械制造有限公司张伟, 宇环数控机床股份有限公司许世雄, 上海欧博进口设备维修有限公司孙涛, 重庆机床(集团)有限公司李先广等的关心和支持, 在此也深表感谢和由衷的敬意!

由于机床再制造技术涉及面广、专业性强, 加之时间仓促、笔者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

本书编委会

2017 年 10 月

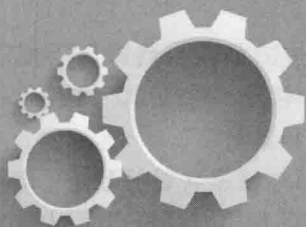


第 1 章 概述	1
1.1 循环经济与再制造	1
1.1.1 循环经济的内涵及基本原则	1
1.1.2 再制造的定义及特点	2
1.1.3 循环经济与再制造	4
1.2 机床及其全生命周期工程	6
1.2.1 机床的定义及特点	6
1.2.2 机床全生命周期的开发	7
1.2.3 机床产品全生命周期工程	8
1.3 机床再制造的概念及模式	10
1.3.1 机床再制造的内涵	10
1.3.2 机床再制造典型模式	12
1.4 机床再制造国内外发展现状	13
1.4.1 机床再制造国外发展现状	13
1.4.2 机床再制造国内发展现状	14
第 2 章 机床再制造关键技术	17
2.1 机床再制造技术框架	17
2.2 机床零部件及整机可再制造性评估技术	18
2.2.1 退役机床可再制造性评价指标体系及其量化	19
2.2.2 指标权重的确定方法	24
2.2.3 机床可再制造性评价实例	26
2.3 面向再制造的废旧机床零部件及整机再设计技术	28
2.3.1 机床再设计过程的特点	28
2.3.2 基于公理化设计的退役机床定制化再设计过程模型	30
2.3.3 基于公理化设计的退役机床定制化再设计过程框架	31
2.3.4 面向定制化的再制造机床概念再设计	32
2.3.5 机床再制造与综合提升再设计流程	37
2.4 基于逆向工程的废旧机床零部件再制造修复技术	39
2.4.1 逆向工程辅助的废旧零部件再制造流程	40
2.4.2 逆向工程辅助的废旧零部件再制造关键技术体系	45
2.5 面向机床再制造的功能部件	49
2.5.1 车床再制造专用数控滑台	49
2.5.2 车床、铣床再制造专用数控系统	50
2.5.3 车床、铣床等机床再制造专用刀架结构	50

2.5.4	磨床再制造专用部件	51
2.5.5	磨床再制造专用系统	53
2.5.6	废旧机床拆解用移动龙门架起重设备	56
2.5.7	再制造专用移动清洗设备	57
2.5.8	零部件再制造修复设备	57
2.6	机床再制造数控化功能提升	59
2.6.1	国外数控系统功能提升应用案例	59
2.6.2	数控系统应用功能提升的技术手段	64
2.6.3	再制造系统应用功能提升案例	71
2.7	机床再制造信息化功能提升	78
2.8	机床及零部件再制造工艺方案设计	81
2.8.1	机床的机械零部件再制造工艺方案	81
2.8.2	数控及电气部分的再制造方案	84
2.8.3	机床再制造综合提升方案设计	86
2.9	机床再制造工艺方案评价	89
2.9.1	再制造工艺方案的评价指标量化	89
2.9.2	基于熵权与 AHP 的机床再制造方案综合评价方法	91
2.9.3	机床再制造方案评价方法的应用	92
2.10	机床再制造工艺方案优化决策	93
2.10.1	机床再制造工艺过程特征问题描述	93
2.10.2	机床再制造工艺方案优化决策模型	95
2.10.3	基于改进 FNN 的机床再制造工艺方案决策方法结构	96
2.10.4	机床再制造工艺方案决策应用实例	99
2.11	机床再制造车间设施布局优化	100
2.11.1	机床再制造过程不确定性分析	100
2.11.2	机床再制造车间设施布局不确定性分析	102
2.11.3	机床再制造车间动态设施布局优化模型	103
2.11.4	基于模拟退火算法的机床再制造车间动态设施布局优化方法	107
2.11.5	面向不确定性的机床再制造车间动态设施布局仿真	109
2.12	机床再制造逆向物流体系及回收模式决策	111
2.12.1	逆向物流的内涵与特征	111
2.12.2	机床再制造逆向物流体系构建	113
2.12.3	机床再制造回收模式决策	115
第 3 章 典型机床产品再制造工程实践		123
3.1	车铣类机床再制造	123
3.1.1	5A3P 数控龙门铣床基本情况	123
3.1.2	5A3P 数控龙门铣床再制造	124
3.2	齿轮机床再制造	134
3.2.1	YKX3132M 齿轮箱基本情况	134
3.2.2	YKX3132M 齿轮箱再制造方案	135
3.3	磨削类机床再制造	139

3.3.1	宇环数控再制造基本情况	139
3.3.2	YHDM580B 立式双端面磨床再制造背景	139
3.3.3	YHDM580B 立式双端面磨床可再制造性分析	140
3.3.4	YHDM580B 立式双端面磨床再制造工艺及设计	144
3.3.5	YHDM580B 立式双端面磨床再制造关键技术	145
3.3.6	YHDM580B 立式双端面磨床再制造效果评价	150
3.4	重型机床再制造	151
3.4.1	MPA-45120A 数控机床基本情况	151
3.4.2	MPA-45120A 数控机床再制造方案设计	152
3.4.3	MPA-45120A 数控机床再制造实施过程及评价	154
3.5	专用机床再制造	156
3.5.1	数控不落轮镟床优化改造实例	156
3.5.2	高速铁路轨道道叉专用数控打孔机改造	160
3.5.3	数控专机六轴联动升级改造实例	170
3.6	机床功能部件再制造的新工艺运用	173
3.6.1	激光表面技术简介	173
3.6.2	机床功能部件再制造案例	176
3.7	数控系统在机床再制造中的应用	178
3.7.1	普通机床数控化案例一	178
3.7.2	普通机床数控化案例二	179
3.7.3	普通机床数控化案例三	179
3.7.4	数控机床数控系统升级案例	180
附录 机床再制造相关政策		182
附录 1	关于推进再制造产业发展的意见	182
附录 2	再制造产品认定实施指南	185
附录 3	机电产品再制造技术及装备目录	191
附录 4	再制造产品“以旧换再”试点实施方案	202
参考文献		209





第1章 概述

1.1 循环经济与再制造

进入 21 世纪以后，中国作出了“发展循环经济、建设节约型社会”的重大战略决策，核心为节约资源和能源。在大力发展循环经济的科学发展观的指导下，再制造成为发展循环经济和实现节能减排的重要技术支撑。再制造是循环经济“再利用”的高级形式，是指将废旧汽车零部件、工程机械、机床等进行专业化加工的批量化生产过程，能够最大限度地挖掘出废旧机电产品的潜在价值，有利于形成“资源—产品—废旧产品—再制造产品”的循环经济模式，从而实现资源的循环利用，达到节约成本、节能、节材和保护环境的效果。

1.1.1 循环经济的内涵及基本原则

(1) 循环经济的内涵

“循环经济”一词，首先由美国经济学家 K·波尔丁提出，主要指在人、自然资源和科学技术的大系统内，在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中，把传统的依赖资源消耗的线性增长经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。

以物质运动形式为着眼点进行分析，循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、再制造、再循环”为原则，以“低能耗、低排放、高效率”为基本特征，即“资源—产品—废弃物—再生资源”的反馈式循环过程，图 1-1 所示是循环经济发展模式。循环经济符合可持续发展理念的经济增长模式，是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统经济模式的根本改变。其特征是低开采、高利用、低排放，可以有效地利用资源和保护环境，以尽可能小的能源消耗和环境成本，获得尽可能大的经济效益和社会效益，从而使经济系统与自然生态系统的物质循环过程相互和谐，促进资源循环利用。

(2) 循环经济的 4R 原则

在工业发达国家中，废旧产品的数量较大，造

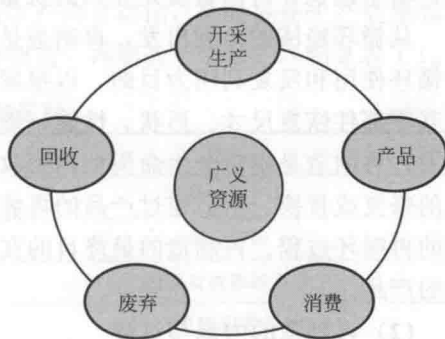


图 1-1 循环经济发展模式

成了相应的环境危害及资源浪费，因而在循环利用和保护环境方面较早地提出了相应的对策。美国从工业发展的角度建立了带有循环经济色彩的 3R 体系（再利用、再制造、再循环），我国的循环经济基本准则高度概括为“减量化、再利用和资源化”。

从广义的物资循环利用出发，再制造既可以划归为再利用，也可以划归为资源化。在物资的流程中，再利用应界定为可直接利用或经过简单处理即可利用，其特点是以极少的能源、材料和劳力投入即可再次使用。再制造是以废旧机电产品为对象，在保持零件材质和形状基本不变的前提下，运用高技术进行修复或运用新的科技成果进行改造的过程，它充分挖掘了蕴涵在成形零件中的材料、能源和加工附加值，使经过再制造的产品性能达到或超过新品，属于资源化范畴，是废旧机电产品资源化的首选途径。

中国工程院院士徐匡迪在世界工程师大会上结合中国的国情，创造性地提出了关于建设我国循环经济的“4R”工程，包括“减量化、再利用、再制造、再循环”，这就从本质上阐述了具有中国特色的循环经济模式。

- ① 减量化原则 减量化是以资源投入最小化为目标。该原则要求在生产各环节中，减少进入生产和消费流程的资源 and 能量量，因此又叫减物质化。
- ② 再利用原则 再利用是在生产和消费过程中，尽可能多的方式或者次数重复使用物质，通过再利用可防止物品过早成为垃圾。
- ③ 再制造原则 再制造要求将废旧机电产品及零部件作为毛坯，在保持零件材质和形状基本不变的前提下，运用高技术进行修复或运用新的科技成果进行改造的过程，充分挖掘了蕴涵在成形零件中的材料、能源和加工附加值，使经过再制造的产品性能达到甚至超过新品，对环保的污染明显减小。
- ④ 再循环原则 再循环要求将一道工序或者一次使用后产品产生的废物作为下一道工序或下一次使用的原料，构成资源循环的生态链。

1.1.2 再制造的定义及特点

(1) 再制造定义

1999 年，中国工程院院士、著名维修工程及表面工程专家徐滨士在中国首次提出了“再制造 (Remanufacture)”的概念：“再制造”是以产品全寿命周期设计和管理为指导，以废旧机电产品实现性能跨越式提升为目标，以优质、高效、节能、节材、环保为准则，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。科学地说，再制造就是让旧的机器设备重新焕发生命活力的过程。

从循环经济的角度出发，再制造是以产品全生命周期理论为指导，以报废设备及其部件的循环使用和反复利用为目的，以报废产品为毛坯，采用先进再制造成形技术，使报废设备及其零部件恢复尺寸、形状、性能，形成再制造产品的一系列技术措施；从实际生产的角度出发，再制造是指对全生命周期内回收的废旧装备进行拆解和清洗，对失效的零件进行专业化的修复或替换，然后通过产品的再装配，使再制造产品达到与原有新品具有相同质量、性能的再循环过程。再制造的最终目的在于生产出能实现特定功能，满足消费者需求，环境友好的产品。

(2) 再制造的内涵与过程

再制造的内涵是废旧装备高技术维修的产业化，是维修发展的高级阶段，通过新技术来

提升装备性能、延长装备的使用寿命，其重要特征是再制造产品的质量和性能不低于新品，而与新品相比，再制造的产品可节约成本 50%左右，节能 60%左右，节材 70%以上，对保护环境贡献显著。

再制造产品的全生命周期是“研制—使用—再生”，其物流是一个闭环系统，这也是对传统全生命周期理论的延伸，其过程主要发生在再制造工厂环境中的工业过程，其过程需要遵循一定的质量标准和经济原则，一般有以下五个步骤，如图 1-2 所示。



图 1-2 再制造的基本过程

产品再制造的第一个步骤是拆解，将废旧产品及其部件有规律地按顺序地分解成零部件，并保证在执行过程中最大化地降低零部件性能再次损坏的过程。第二个步骤是清洗，借助清洗设备将清洗液作用在废旧零部件表面，采用物理、机械、化学、电化学等方法，去除废旧零部件表面附着的油脂、锈蚀、泥垢等污物，并使废旧零部件表面达到所要求的清洁度。第三个步骤是检测与分类，是借助各类检测技术和工具，确定拆解和清洗后废旧零部件的表面几何参数及功能状态等，确定零件的再利用性或者再制造性，然后对零件进行分类。第四个步骤是加工，是对废旧失效零部件进行几何尺寸、机械性能加工恢复或升级的过程，对于无法再制造的零件则进行替换。第五个步骤是再装配，是将再制造后的零件以及替换新备件装配成再制造新品的过程。

(3) 再制造的特点

① 与维修的区别 维修是指在产品的使用阶段为了保持或恢复到良好的技术状态及正常运行而采用的技术措施。一般是在使用阶段针对不能正常使用的零部件进行修复或更换，多以换件为主，辅以单个或小批量的零件进行修复，使产品能够继续使用，延长其有效使用寿命，具有典型的随机性、原位性、应急性和小批量性的特点。维修使用的设备和技术一般较为落后，维修后所得的产品在质量和性能方面大多较难恢复到新品的使用水平。

再制造的对象一般是报废的产品，将废旧产品完全拆解，然后对所有的零件进行清洗、分类、检测、再制造加工或替换、装配，使产品质量达到甚至超过新品的质量和性能，获得第二个使用寿命周期，像新品一样重新投放市场。再制造能够利用先进的再制造技术对大量同类报废产品进行批量化修复，形成规模化生产，有利于实现生产的自动化，从而提高生产效率和资源利用率，使企业以最小的投入成本来获得最大的经济效益。再制造与维修的区别见表 1-1。

表 1-1 再制造与维修的区别

项目	再制造	维修
过程	报废产品或淘汰产品	有故障的产品
	完全拆卸	部分拆卸
	检测所有零件	检测有故障的零件
	零件重新再制造	更换新零件
	产品重新装配	零件重新安装

续表

项目	再制造	维修
	新产品	旧产品
特点	产品性能达到新产品	提高部分零件的性能
	再制造是一种产业	维修是常规性工作

② 与再循环的区别 再循环是指企业将生产过程中的副产品进行资源化循环利用(图 1-3)，它的基本途径是对报废零部件进行大批量回收，之后经过系统的分门别类再回炉处理。在再循环的过程中，减少了废弃产品的数量，同时也减少了对原材料的开采，提高了资源利用效率。但是在回炉时，原先制造时所注入零件中的能源价值和劳动价值等附加值全面丢失，所获得的产品只能作为原材料使用，而且在回炉以及以后的成形加工中又要消耗能源。

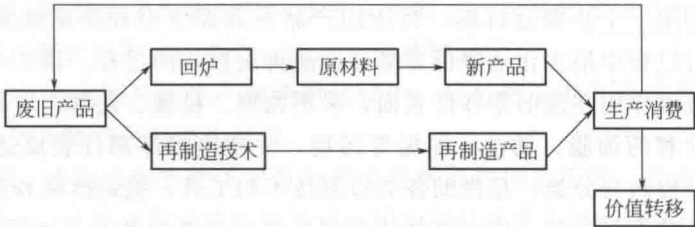


图 1-3 再制造与再循环的区别

再制造则完全不同，它是以废旧零部件为毛坯，通过专业化修复技术获得高品质的产品，在修复过程中消耗的能源少，同时也最大限度地保存了废旧零部件中的附加值，对能源和资源的消耗量以及废弃物的排放量都远低于产品的再循环过程。

再制造技术源于制造和维修技术，是制造和维修过程的延伸与扩展，以下是再制造的特点。

- a. 先进性。再制造过程中采用比原产品制造更先进的高新技术和现代生产管理，包括现代表面工程技术、先进的监测技术、先进的加工技术等。
- b. 创新性。再制造的对象是退役的产品，不同种类的废旧产品、不同的使用环境、不同的失效模式，要求再制造应在传统的基础上进行创新，不断采用新方法、新设备，呈现出动态性的特征，来解决产品因性能落后而面临淘汰的问题。
- c. 经济性。再制造对报废产品的若干零部件进行了再利用，减少了废弃物的数量，很大程度地保存了废旧零部件中的附加值，减少了原材料和新产品生产过程中各种污染，保护了环境，使加工成本降低。既延长了产品的使用寿命，又间接地节约了资源，对生产者和消费者有一定的经济性。

1.1.3 循环经济与再制造

(1) 循环经济的支撑技术——再制造

党的十八届五中全会确立了“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，要求建立绿色低碳循环发展产业体系，加快生态文明建设。“十三五”规划《纲要》提出：创新是引领发展的第一动力，绿色是永续发展的必要条件和人民对美好生活追求的重要体现。再制

造是绿色制造的关键技术之一,是将废旧产品制造成“如新品一样好”的再制造产品的循环过程,被誉为废旧产品资源再循环的最佳形式。在机遇与挑战并存的新时代背景下,需通过以下举措促进循环经济发展。

① 强化技术服务支撑 循环经济发展离不开关键技术的突破。再制造过程采用比原产品制造更先进的高新技术和现代生产管理,包括现代表面工程技术、先进的监测技术、先进的加工技术等,以保证再制造产品的使用性能。

② 实施循环经济重大工程 重大工程是发展循环经济的重要推手。节能环保产业基地培育工程将有效推动支撑循环经济发展的新兴产业发展。再制造变废为宝,使产品质量达到或超过新品的质量和性能,获得第二个使用寿命周期,像新品一样重新投放市场,减少资源消耗和对环境的污染,提高生产效率和资源利用率,使企业最小的投入成本来获得最大的经济效益。

③ 推动体制机制创新 按照“源头预防、过程控制、损害赔偿、责任追究”的思路,积极推动循环经济制度创新。再制造对报废产品的若干零部件进行了再利用,很大程度地保存了废旧零部件中的附加值,使加工成本降低,直接减少了废弃物的数量,充分利用了资源,减少了对原始资源的需求,从而减少了原材料和新产品生产过程中各种污染,保护了环境,不但对生产者和消费者有一定的经济性,还有良好的综合环保性。

(2) 再制造对循环经济的贡献

① 再制造的经济效益显著 2010 年全球再制造业产值已超过 1400 亿美元,当时预计到 2015 年年均增速 10%,产业规模将达到 2500 亿美元。美国是世界上再制造产业最发达的国家,拥有专业化再制造公司近 10 万家,占全球再制造产业规模的 70%。德国汽车维修零部件 90% 都是再制造品,拥有世界最大的二手机床及机床改造市场。日本从事机床再制造并具有一定规模的企业至少有 20 家,主要汽车公司的零部件回收利用率已达到 95% 以上。

② 再制造的环保作用突出 废旧机电产品经再制造可以减少原始矿藏开采、提炼以及新产品制造过程中造成的环境污染,能够极大地节约资源,减少温室气体排放。美国环境保护局估计,如果美国汽车回收业的成果能够被充分利用,对大气污染水平将比目前降低 85%,水污染处理量将比目前减少 76%。

③ 再制造能缓解就业压力 实施废旧机电产品再制造,将可兴起一批新兴产业,解决大量就业问题。在 2005 年以前,美国的再制造业曾规划到 2005 年安排 100 万人,我国 2020 年如达到美国 2005 年水平,则创造就业将超过 100 万人。美国的研究表明,再制造、再循环产业每 100 个人员就业,采矿业和固体废弃物安全处理业将失去 13 人员就业。两者相比较,可以看出再制造、再循环产业创造的就业机会远大于其减少的就业机会。

④ 再制造的资源潜力巨大 2010 年全国再制造业产值约为 25 亿元。2013 年以来,国家把再制造发展作为建设生态文明、实现绿色发展的重要方面,同年 2 月国务院发布《循环经济发展战略及近期行动计划》和 8 月国务院发布《关于加快发展节能环保业的意见》均明确提出:“抓好重点产品再制造”“推动再制造产业化发展”。据测算,全国役龄 10 年以上的传统旧机床超过 200 万台,80% 的在役工程机械超过保质期,废汽车约 500 万辆,若将其中的 10% 进行再制造,产值规模将超过千亿元,再制造的潜力十分巨大。

⑤ 再制造向人民提供物美价廉的产品 通过开展以再制造为主要形式的废旧机电产品资源化,充分提取了蕴涵在产品中的附加值,可以为人们提供物美价廉的产品,提高人民的物质生活水平。例如,再制造发动机,其质量、使用寿命达到甚至超过新品,并有完善的售

后服务，而价格仅为新品的 50% 左右，可供不同收入阶层和关心环保的人士使用。

⑥ 再制造能提升机电产品国际竞争力，扩大对外开放 发达国家相继立法支持废旧机电产品资源化，强化了对进口机电产品废弃时的资源回收利用评价。例如，北美的工程机械要求全部实现再制造，其市场准入制度是制造商负责对售出使用 5 年或运行 1 万小时的工程机械进行全部回收和再制造，并在回收的同时返还消费者产品价格 50% 的费用。这已成为我国工程机械进入国际市场的门槛，因此我国必须开展废旧机电产品的再制造。如果我国企业能积极开展面向资源化回收的产品设计，并承担起对自己产品实施再制造的责任，就可以避开这些国家的贸易壁垒、扩大出口。同时，还可对进入中国市场的外国机电产品，实施严格的资源回收利用评价。

基于循环经济的解释，再制造产业是以废旧产品高科技维修为主要活动的产业，具有能源消耗少、科技含量高、设备工艺先进、排污少的特点。再制造出来的产品是新产品，不是旧产品，其质量与原产品相当或高于原产品，适应循环经济发展需要。再制造产业将成为极具发展前景的新兴产业，将是我国循环经济产业化的重要实现形式。

1.2 机床及其全生命周期工程

1.2.1 机床的定义及特点

(1) 机床定义

机床是将金属毛坯加工成机器零件的机器，是制造机器的机器，又被称为工业母机。它是先进制造技术的载体和装备工业的基本生产手段，是装备制造业的基础设备，重点为汽车产业、传统机械产业、航天航空等十大军工产业及以信息技术为代表的高新技术产业服务。机床的发展程度直接制约着国家制造业水平的高低，其发展目标是各机械制造产业提供具有更优异的加工精度，更高的生产效率，更稳定的可靠性，更持久的精度、寿命，更节能环保的制造过程的高性能加工设备。

《中国制造 2025》规划纲要成为“十三五”中国装备制造业规划顶层设计的指针，对未来全球装备制造业大环境趋势客观分析研究做出前瞻预测，统筹布局，立足国情和现实，按照“三步走”战略，实现制造强国战略目标。用高新技术和先进实用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业已成为我国制造业快速发展的重要基础。

(2) 传统机床行业的特点

大力发展装备制造业是我国工业发展的基础及重要保证，机床制造业作为我国装备制造业的重要组成部分，为我国国民经济和国防建设等提供生产装备。

机床行业属于典型的机械装备制造业，具备以下特点。

① 机床产品结构复杂，其产品技术特性和工艺过程随市场变化而变化。大部分客户都有个性化要求，导致机床企业的产品很大部分都是定制开发、生产，无法实现产品批量生产。机床在生产加工过程中，虽然都需要经过毛坯粗加工、精加工、部件装配、电气配线、电气调试和整机装配等工艺过程，但各个产品之间的制造工艺和工序都存在较大差别。

② 机床行业生产方式包括标准机型的批量生产，还包括单件、小批量的个性化订单生产。在制造模式不仅需要支持多品种、不同批量的生产类型，还需要支持单件生产类型、库

存备货式生产及项目型个性化生产模式。

③ 机床产品的生产周期长，周期短的 2~3 月，长的达半年甚至更长时间。机床产品部件加工工艺复杂，关键物料的采购周期长，再加上个性化要求多，生产过程也难以控制，导致生产过程中变动频繁，生产计划难于控制。

传统的机床设计理念是“只有足够的刚度才能保证加工精度，提高刚度就必须增加机床重量”。因此现有机床重量的 80%用于“保证”机床的刚度，而只有 20%用于满足机床运动学的需要。这不仅浪费原材料，而且增加机床使用过程中所耗能量。传统机床在设计过程中一般只考虑机床的使用性能，即加工范围、加工精度、功能、稳定性等方面，没有或者很少涉及机床的制造和使用过程中的资源消耗情况及其对环境的影响，传统机床加工的特点如表 1-2 所示。

表 1-2 传统机床加工的特点

阶段	技术特征	资源环境影响
设计开发	传动链长	能效低
	结构复杂	机床笨重、材料消耗大
	零件复杂多样、功能单一	零件通用性及重用性差
制造	制造工艺复杂	能耗大
	工艺过程多	材料、刀具等辅助物料消耗大
	精度低	单位产能能耗大
使用	生产效率低	工作环境油雾、油污污染大
	柔性差	生产安全性差
报废处理	未考虑回收重用	资源循环利用率降低

中国机床制造业的快速发展，是以巨大的资源消耗和严重的环境影响为代价的，几乎没有考虑机床产品在生产、使用过程中以及报废后对环境造成的危害，特别是使用过程中切削油消耗大、油雾和油污污染严重、漏油混油现象严重，对生态环境和人类特别有害。

1.2.2 机床全生命周期的开发

传统的产业结构和制造模式已经越来越不能适应时代的要求，需要系统解决因国际市场环境变化以及国内产业发展带来的一系列问题。机床制造企业出于对生存可持续发展的考虑，应积极主动地引入各种先进的制造战略、制造模式和制造技术等对其制造模式进行变革，提高自主创新能力，开发占用较小空间、节省能源、高精度和高速度的机床。

绿色制造是人类社会可持续发展战略和循环经济模式在现代制造业中的体现，是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中制造业领域发展三大思路之一。绿色制造模式顺应了机床行业制造模式的发展趋势，可以系统解决中国机床行业发展的瓶颈问题，是机床行业实现机床产业结构优化、企业自主创新能力提升、产品市场竞争力提高和机床行业节能减排的先进制造模式。

机床全生命周期的开发是一种在机床设计阶段就考虑机床整个生命周期内价值的设计方法。它包括机床生命周期内所有相应的环境描述以及机床和环境相互作用的规律描述。