



国防科技图书出版基金

Equipment Remanufacturing Engineering

装备再制造工程

徐滨士 等编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

装备再制造工程

Equipment Remanufacturing Engineering

徐滨士 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

装备再制造工程 / 徐滨士等编著. —北京:国防工业出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 118 - 08459 - 7

I. ①装... II. ①徐... III. ①武器装备-机械制造工艺-研究 IV. ①TJ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 243670 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 17 字数 311 千字

2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主 任 委 员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵风起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

装备再制造工程是以装备全生命周期设计和管理为指导,以废旧装备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,对废旧装备进行修复和改造的一系列技术措施或工程活动的总称。在军委首长和总部相关部门的指导关心下,我军的装备再制造已初具雏形,并被列入装备技术中长期发展规划和人才培养规划。发展装备再制造工程,对促进装备修理模式变革、使装备及时适应作战需求、提高装备建设经费使用效益以及为新一代装备研制奠定实践基础,具有重要意义。

《中华人民共和国循环经济促进法》已于2009年1月1日开始实施生效,为我国再制造产业的发展提供了法律依据。温家宝总理于2009年末对再制造产业发展曾做出重要批示:“再制造产业非常重要。它不仅关系循环经济的发展,而且关系扩大内需(如家电、汽车以旧换新)和环境保护。再制造产业链条长,涉及政策、法规、标准、技术和组织,是一项比较复杂的系统工程。”可以说,当前国家对发展再制造产业高度重视,鼓励政策和法律法规相继出台,再制造示范试点工作稳步进行,再制造理论与技术的研究已取得重要成果。我国已进入以国家目标推动再制造产业发展的新阶段,国内再制造产业的发展呈现出前所未有的良好的发展态势。在全国再制造产业发展的大背景下,装备再制造工程迎来了难得的机遇,也面临着繁重的任务。

本书以科学发展观为指导,紧密联系新时期装备维修保障发展需求和我国节能减排政策,阐述了装备再制造工程的内涵和学科体系以及在装备维修保障中的重要作用,提出了装备再制造产品质量保证体系,从装备多生命周期理论、再制造毛坯剩余寿命评估和再制造装备寿命预测等方面探讨了装备再制造的基本理论;针对装备零件表面损伤和体积损伤的不同要求,介绍了装备再制造先进技术,提出了装备再制造工程的质量标准体系;分析了装备再制造物流管理,列举了飞机关键零部件再制造、装备发动机再制造、重载车辆再制造以及冶金设备再制造等实例。本书力求让读者理解什么是再制造、再制造能解决装备的什么问题、装备维修保障中的特定问题应采用什么再制造技术予以解决。

本书一方面突出“军队特色”,体现装备再制造在装备建设和装备综合保障中的作用;另一方面,结合再制造工程学科发展,突出装备再制造工程的理论与技术体系,突出装备再制造工程近年来的新发展。在编写过程中力图紧扣武器

装备性能恢复与提升、紧扣国家节能减排政策,突出了科学性、先进性、前瞻性和启迪性,编入了作者近年来在相关理论与技术方面的创新性成果。本书的出版不仅对促进我军武器装备保障现代化建设,而且对促进我国再制造企业发展具有重要意义。

全书由徐滨士院士指导编写并亲自执笔,书中各章的执笔者:第1章,徐滨士、史佩京;第2章,王海斗;第3章,朱胜、姚巨坤;第4章,徐滨士、董世运、王海斗、董丽虹;第5章,张伟、于鹤龙、梁秀兵、张平、董世运、王玉江、朱胜、吕耀辉、张甲英;第6章,史佩京、刘渤海;第7章,张伟、邢忠、何勇、魏世丞。全书由徐滨士、刘世参、董世运、王玉江统稿。

由于装备再制造工程是一门新兴学科,再制造属于新兴产业领域,许多理论研究还不够成熟,再制造技术发展迅速,加之作者水平有限,书中不妥之处敬请斧正。

本书反映的研究工作得到了国家部委和军队的大量科研项目的支持,军队项目包括总装备部预研项目、武器装备预研基金项目、装备维修改革与科研项目 and 通用装备保障项目等;国家部委项目包括国家自然科学基金重点项目、面上项目及国际合作项目,中国工程院咨询项目,国家科技部 973、863 以及科技支撑计划项目,国家发改委企业示范试点项目等。同时,得到了多家工厂企业和军队装备维修单位的大力支持。装甲兵工程学院为有关研究工作提供了良好的科研环境和条件,尤其装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室为相关科研工作提供了良好的设备条件。在此,衷心感谢对本书的出版做出贡献或提供帮助的单位 and 人士。

向书中参考文献的各位作者致以诚挚的敬意。

作者

2013 年 8 月

目 录

第1章 概论	1
1.1 装备再制造工程的内涵	1
1.1.1 装备再制造的概念	1
1.1.2 装备再制造与装备修理和制造的区别	2
1.1.3 装备再制造的特点	3
1.2 再制造在装备保障综合技术中的作用	4
1.2.1 促进装备维修模式的变革	4
1.2.2 使装备及时适应作战需求	4
1.2.3 提高装备经费使用效益	5
1.2.4 为新一代装备的研制奠定实践基础	6
1.3 再制造工程的学科体系	6
1.3.1 再制造工程理论基础	6
1.3.2 再制造工程的关键技术	7
1.3.3 再制造工程的质量控制与技术设计	8
1.3.4 再制造工程管理	8
1.4 国外装备再制造现状	10
1.5 中国再制造工程的发展历程	11
1.6 中国再制造工程的技术特色	15
第2章 装备再制造寿命周期理论	17
2.1 装备全寿命周期理论	17
2.1.1 装备全寿命周期概念	17
2.1.2 装备全寿命周期设计与评价	19
2.2 装备多寿命周期理论	28
2.2.1 装备多寿命周期的概念	28
2.2.2 装备多寿命周期的形成	28
2.2.3 装备多寿命周期理论的作用	30
2.2.4 装备多寿命周期的评价	37
第3章 装备再制造工程设计	41
3.1 装备的再制造性	41

3.1.1	装备系统的再制造性相关定义	41
3.1.2	再制造性分析与设计	45
3.2	再制造技术设计	52
3.2.1	再制造技术设计概述	52
3.2.2	再制造技术设计要求	52
3.2.3	再制造技术设计内容	54
3.3	装备再制造环境友好性设计	57
3.3.1	再制造环境影响类型	57
3.3.2	再制造环境性评价指标体系	58
3.3.3	再制造环境性评价方法	59
3.4	装备再制造费用设计	63
3.4.1	装备再制造费用建模	63
3.4.2	再制造费用估算	64
3.4.3	再制造费用分析计算	66
3.5	废旧装备再制造性评价	68
3.5.1	再制造性影响因素分析	68
3.5.2	再制造性的定性评价	68
3.5.3	再制造性的定量评价	69
第4章	装备再制造质量控制	77
4.1	装备再制造质量控制体系概述	77
4.1.1	再制造质量控制体系的内涵	77
4.1.2	再制造质量控制体系的内容	81
4.2	再制造毛坯质量的控制	84
4.2.1	再制造毛坯缺陷的无损检测	84
4.2.2	零部件残余应力的无损检测	85
4.2.3	再制造毛坯剩余寿命评估	86
4.3	再制造涂覆层的质量控制	93
4.3.1	再制造涂覆层的无损检测	93
4.3.2	接触疲劳寿命预测	93
4.3.3	磨损寿命预测	105
4.4	无损检测技术在再制造生产中的应用实例	110
4.4.1	再制造生产中的无损检测装置	110
4.4.2	无损检测在再制造中的应用实例	111
第5章	装备再制造工程技术	114
5.1	装备再制造工程技术体系	114
5.1.1	装备系统的升级再制造	114

5.1.2	装备机械零部件的再制造	115
5.2	废旧装备拆解与清洗技术	116
5.2.1	拆解技术	116
5.2.2	清洗技术	119
5.3	装备机械零件再制造成形技术	122
5.3.1	再制造成形技术分类	122
5.3.2	表面损伤零件的再制造成形技术	124
5.3.3	体积损伤零件的再制造成形技术	154
5.4	装备再制造中的机械加工技术	165
5.4.1	再制造毛坯的机械加工	166
5.4.2	再制造覆层的机械加工	168
第6章	装备再制造工程管理	180
6.1	生产者延伸责任制下的再制造工程管理	180
6.1.1	生产者延伸责任与再制造工程	180
6.1.2	再制造工程对于生产者延伸责任制的意义	181
6.1.3	生产者延伸责任制下的再制造工程管理	182
6.2	装备再制造生产管理	183
6.2.1	再制造生产的特点	183
6.2.2	再制造生产计划和调度	186
6.2.3	再制造物流管理	187
6.2.4	再制造库存管理	195
6.2.5	装备再制造质量管理	198
6.3	装备再制造营销管理	201
6.3.1	影响再制造产品销售的主要因素	201
6.3.2	再制造产品市场营销的主要内容	203
6.3.3	销售产品的服务——一种成功的再制造产品销售模式	206
6.4	再制造关键信息管理	207
6.4.1	重要再制造信息的管理内容	208
6.4.2	产品再制造信息收集方法与实施手段	208
6.5	再制造标准与再制造评价体系构建	209
6.5.1	再制造标准体系的构建	210
6.5.2	再制造评价指标体系的构建	212
第7章	装备再制造实例及效益分析	215
7.1	坦克发动机的再制造	215
7.1.1	坦克发动机再制造总体技术方案	215
7.1.2	坦克发动机再制造关键技术	216

7.1.3	坦克发动机再制造的节能减排效果分析	221
7.2	军用重载汽车发动机的再制造	222
7.2.1	重载汽车发动机再制造的意义	222
7.2.2	军用重载汽车发动机再制造工艺过程	223
7.2.3	重载发动机再制造质量保证体系	224
7.2.4	军用重载车辆发动机再制造效益分析	225
7.2.5	表面工程技术在发动机再制造中的应用	225
7.3	飞机关键零部件的再制造	230
7.4	涉水装备的再制造	231
7.4.1	三峡大坝钢结构防腐	231
7.4.2	高速电弧喷涂技术在海洋钢结构长效防腐工程中的应用	231
7.5	装备再制造在其他行业装备中的应用	236
7.5.1	旧机床再制造	236
7.5.2	电子产品再制造	241
7.5.3	复印机再制造	241
参考文献		243

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Connotation of equipment remanufacturing engineering	1
1.1.1 Concepts of equipment remanufacturing engineering	1
1.1.2 Difference among equipment remanufacturing, equipment repair and manufacture	2
1.1.3 Features of equipment remanufacturing engineering	3
1.2 Role of remanufacturing in equipment support integrated technology	4
1.2.1 Promoted equipment repair mode change	4
1.2.2 Made the equipment to meet poerational demands	4
1.2.3 Improved the benefit of weaponry funds	5
1.2.4 Established practice basis for new equipment development	6
1.3 Discipline system of remanufacturing engineering	6
1.3.1 Basic theory of remanufacturing engineering	6
1.3.2 Key technology of remanufacturing engineering	7
1.3.3 Quality control and technical design of remanufacturing engineering	8
1.3.4 Remanufacturing engineering management	8
1.4 Current situation of equipment remanufacturing in foregin	10
1.5 Remanufacturing engineeringdevelopment process in China	11
1.6 Technical charactierstics of remanufacturing engineering in China	15
Chapter 2 Life cycle theory of equipment remanufacturing	17
2.1 Equipment total life cycle theory	17
2.1.1 Concept of equipment total life cycle	17
2.1.2 Design and evaluation of equipment total life cycl	19
2.2 Multiple life cycle theory of equipment	28
2.2.1 Concept of equipment multiple life cycle	28
2.2.2 Formation of equipment multiple life cycle	28
2.2.3 Effects of equipment multiple life cycle theory	30

2.2.4	Evaluation of equipment multiple life cycle theory	37
Chapter 3	Equipment remanufacturing engineering Design	41
3.1	Equipment remanufacturability	41
3.1.1	Related definition of equipment system remanufacturability	41
3.1.2	Design analysis of remanufacturability	45
3.2	Remanufacturing technology design	52
3.2.1	Overview of remanufacturing technology design	52
3.2.2	Requirements of remanufacturing technology design	52
3.2.3	Content of remanufacturing technology design	54
3.3	Environmental design of equipment remanufacturing	57
3.3.1	Environmental impact category of remanufacturing	57
3.3.2	Environmental evaluation index system of remanufacturing	58
3.3.3	Assessment method of environmental remanufacturing	59
3.4	Expense design of equipment remanufacturing	63
3.4.1	Expense modeling of equipment remanufacturing	63
3.4.2	Expense estimates of equipment remanufacturing	64
3.4.3	Expense analysis and calculations of equipment remanufacturing	66
3.5	Remanufacturability evaluation of old equipment	68
3.5.1	Analysis of impact factor for remanufacturability	68
3.5.2	Qualitative evaluation of remanufacturability	68
3.5.3	Quantitative evaluation of remanufacturability	69
Chapter 4	Equipment remanufacturing Quality control	77
4.1	Introduction of equipment remanufacturing quality control system	77
4.1.1	Connotation of equipment remanufacturing quality control system	77
4.1.2	Contents of equipment remanufacturing quality control system	81
4.2	Quality control of remanufacturing old parts	84
4.2.1	Non-destructive testing for remanufacturing old parts defects	84
4.2.2	Non-destructive testing for residual stress in components defects	85
4.2.3	Non-destructive testing for remanufactured parts	86
4.3	Quality control of remanufacturing cladding	93
4.3.1	Non-destructive testing for remanufacturing cladding	93
4.3.2	Contact fatigue life prediction	93
4.3.3	Wear life prediction	105
4.4	Application examples of non-destructive testing in remanufacturing production	110

4.4.1	Non-destructive testing equipment used in remanufacturing production	110
4.4.2	Application examples of non-destructive testing in remanufacturing	111
Chapter 5	Equipment remanufacturing engineering technology	114
5.1	Equipment remanufacturing engineering technology system	114
5.1.1	Upgrade remanufacturing of equipment systems	114
5.1.2	Remanufacturing of equipment machinery parts	115
5.2	Dismantling and cleaning technology of old equipment	116
5.2.1	Dismantling technology	116
5.2.2	Cleaning technology	119
5.3	Remanufacturing forming technology of equipment parts	122
5.3.1	Classification of remanufacturing forming technology	122
5.3.2	Remanufacturing forming technology of surface damage parts	124
5.3.3	Remanufacturing forming technology of volume damage parts	154
5.4	Machining technology used in equipment remanufacturing	165
5.4.1	Machining process for remanufacturing old parts	166
5.4.2	Machining process for remanufacturing cladding	168
Chapter 6	Remanufacturing project management	180
6.1	Remanufacturing project management of extended producer responsibility	180
6.1.1	Extended producer responsibility and remanufacturing engineering	180
6.1.2	Significance of remanufacturing engineering for extended producer responsibility	181
6.1.3	Remanufacturing project management of extended producer responsibility	182
6.2	Equipment remanufacturing production management	183
6.2.1	Remanufacturing production characteristics	183
6.2.2	Planning and scheduling of remanufacturing production	186
6.2.3	Remanufacturing logistics management	187
6.2.4	Remanufacturing inventory management	195
6.2.5	Equipment remanufacturing quality management	198
6.3	Equipment remanufacturing marketing management	201
6.3.1	Main factor affected on the sales of remanufactured products	201
6.3.2	Main content of manufactured products marketing	203
6.3.3	Sales service - a successful remanufactured product sales model	206

6.4	Remanufacturing critical information management	207
6.4.1	Content of important manufacturing information management	208
6.4.2	Collection methods and implement means of rmanufacturing product information	208
6.5	Establishment of remanufacturing standard and estimate system	209
6.5.1	Establishment of remanufacturing standard system	210
6.5.2	Establishment of remanufacturing estimate index system	212
Chapter 7	Equipment practices and benefit analysis	215
7.1	Tank engine remanufacturing	215
7.1.1	Technoloyg programme of tank engine remanufacturing	215
7.1.2	Key tecnology of tank engine remanufacturing	216
7.1.3	Emission reduction and energy saving analysis of tank engine remanufacturing	221
7.2	Military heavy-duty automobile engine remanufacturing	222
7.2.1	Meanign of heavy-duty automobile engine remanufacturing	222
7.2.2	Remanufacturing process of military heavy-duty automobile engine	223
7.2.3	Quality control system of heavy-duty automobile engine remanufacturing	224
7.2.4	Benefit analysis of military heavy-duty automobile engine remanufacturing	225
7.2.5	Application of surface engineering technology in engine remanufacturing	225
7.3	Critical aircraft parts remanufacturing	230
7.4	Wading equipment remanufacturing	231
7.4.1	Anti-corrosion of Three Gorges Dam steel structure	231
7.4.2	High speed Arcspraying technology used in offshore steel structure andicorrosion engineering	231
7.5	Equipment remanufacturing used in other industry equipment	236
7.5.1	Old machine tool remanufacturing	236
7.5.2	Electronic products remanufacturing	241
7.5.3	Copier remanufacturing	241
References		243

第1章 概 论

1.1 装备再制造工程的内涵

装备全寿命周期包括论证设计、制造、使用、维修、报废。通常来说,制造是把原材料成形为零部件和装备的加工过程;而装备再制造不仅面向装备使用阶段,还面向报废阶段,是对废旧装备通过专业化修复或升级改造使其质量和性能达到或不低于新品的加工过程。

再制造是国家倡导的循环经济中“再利用”的高级形式,它既是制造的创新,也是经营模式的创新,已成为现代制造服务的重要内容。再制造生产的突出特点:再制造过程中所使用的生产毛坯是由逆向物流获得的废旧装备工业化的生产过程。废旧装备之所以报废,并不是因为它整体不能用,而大部分是由于部分零部件的损伤和失效而引起的。事实上,通过将部分零部件修复,装备又会恢复生命。因此说,再制造是装备生产的重要方式。

再制造包括再制造技术、再制造工程和再制造产业3个层次。再制造技术是再制造工程的基础,再制造工程是再制造产业的前提,再制造产业则是再制造技术的产业化。

1.1.1 装备再制造的概念

从学科涵义上讲,再制造工程是以装备全寿命周期设计和管理为指导,以废旧装备实现性能提升为目标,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,对废旧装备进行修复和改造的一系列技术措施或工程活动的总称。

从实际生产角度,再制造是指对全寿命周期内回收的废旧装备进行拆解和清洗,对失效零件进行专业化修复(或替换),通过产品再装配,使得再制造产品达到与原有新品相同质量和性能的再循环过程。

国家标准《再制造术语》(GB/T 28619—2012):对再制造毛坯进行专业化修复或升级改造,使其质量特性不低于原型新品水平的制造过程(注:其中质量特性包括产品功能、技术性能、绿色性、安全性、经济性等)。

无论从学术研究还是产业发展,还是国内外对再制造的实践认识来看,虽然采用的手段和方法有所不同,但有一个共同的认识,即再制造产品的性能“如新品性能一样好”。

根据再制造加工的范围可分为恢复性再制造和升级性再制造。

(1) 恢复性再制造。主要针对达到物理寿命和经济寿命的装备,在失效分析和寿命评估的基础上,把蕴含使用价值,由于功能性损坏或技术性淘汰等原因不再使用的产品作为再制造毛坯,采用表面工程等先进技术进行加工,使其尺寸和性能得以恢复。根据需要,可对磨损、腐蚀严重的短寿命零件表面进行强化,使其与部件整体的使用期相匹配。

(2) 升级性再制造。主要针对已达到技术寿命的装备、不符合当前作战需求的装备或不符合节能减排要求的装备,通过技术改造、局部更新,特别是通过使用新材料、新技术、新工艺等,改善和提升装备技术性能、延长装备的使用寿命、减少环境污染。性能过时的装备往往只是某几项关键指标落后,并非所有的零部件都不能再使用,采用新技术、新部件镶嵌的方式进行局部改造,就可以使原装备的性能贴近时代的要求。

国家标准《机械产品再制造 通用技术要求》(GB/T 28618—2012)指出了再制造流程,如图 1-1 所示。

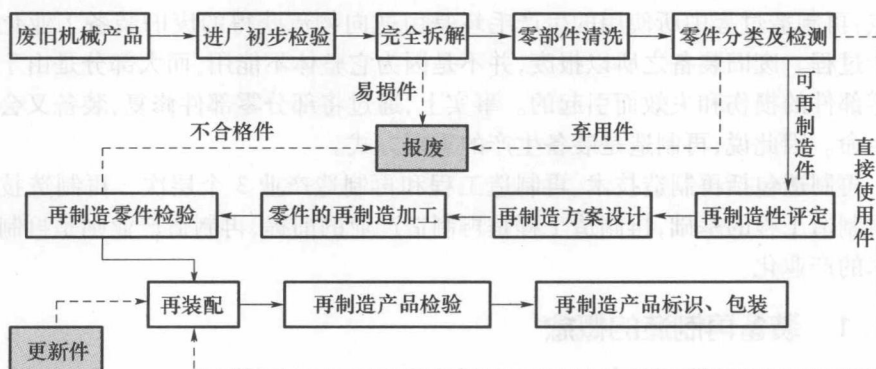


图 1-1 再制造流程

1.1.2 装备再制造与装备修理和制造的区别

修理和再制造都是恢复装备性能的技术手段。修理是装备运行阶段的性能保障措施,修理具有随机性、局部性、时效性的特点,哪里损坏就修哪里,修理后即可投入使用。再制造的对象是达到使用寿命的装备(包括达到了物理寿命、技术寿命和经济寿命的时限),再制造是对装备性能的全面恢复和提升,再制造作业是批量化、产业化的生产方式。

装备大修与装备再制造工艺流程是一样的,都要经过拆解、清洗、鉴定、加工、装配、调试等环节,但二者的主要区别在于技术标准相差甚远。大修鉴定技术条件允许零件有磨损,配合副的间隙可以适当放大,修理后的使用寿命只期望能达到下一个大修期。而再制造的鉴定标准是执行新品零件的制造尺寸标准,