

doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.20180131002

新时代中国特色再制造的创新发展

徐滨士

(陆军装甲兵学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘要:再制造是机电产品资源化循环利用的最佳途径之一,是推进资源节约和循环利用的重要技术支撑。文中回顾了维修工程向表面工程到再制造工程的发展历程,阐述了中国特色再制造独有的技术模式和效益模式;总结了中国特色再制造在面向国家战略、围绕装备需求、推动人才培养等方面取得的成绩;重点提出了新时代中国特色再制造在推进绿色发展,促进装备战斗力再生,构建一流学科等方面的创新发展方向。

关键词:新时代;中国特色再制造;创新发展

中图分类号: TH17

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2018)01-0001-06

Innovation and Development of Remanufacturing with Chinese Characteristics for a New Era

XU Bin-shi

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072)

Abstract: Remanufacturing is one of the best ways to recycle the mechanical and electrical products, which is an important technological support for resource conservation and cyclic utilization. This paper initially reviews the establishment of remanufacturing engineering which is developed from maintenance engineering and surface engineering. Then the unique Chinese technological mode and the benefit mode of the remanufacturing are expounded. Additionally, the author summarizes the achievements of remanufacturing with Chinese characteristics in national strategies, demands of the military equipment and the training of talents. Finally, Promising development directions of remanufacturing with Chinese characteristics are proposed for the new era in the fields of accelerating the green development, promoting the regeneration of equipment combat effectiveness, and building first-class discipline.

Keywords: a new era; remanufacturing with Chinese characteristics; innovation and development

0 引言

中国特色再制造是20世纪90年代末期,在我国装备维修和表面工程发展的基础上逐步形成的。并经数十年的发展,在装备再制造基础理论、关键技术、产业化应用等方面,取得了显著的成效,促进了国家循环经济和资源节约战略的发展。

党的十九大报告指出,中国特色社会主义进入新时代,这是我国发展新的历史定位,强调要“推进绿色发展”、“推进资源全面节约和循环利用”^[1]。“中国制造2025”提出要“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^[2]”。适应新时代中国特色社会主义发展要求,把握我国再制造的特色,总结再制造发展成就,规划再制造的发展方向,推进再制造产业在新时代持续健康创新发展,是摆在我们面前的重要任务。

1 中国特色再制造的历程

1.1 根植装备而生,一脉相承发展

再制造是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

收稿日期: 2018-01-15; 修回日期: 2018-01-31

网络出版日期: 2018-02-02 14:49; 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3905.tg.20180202.1449.002.html>

通讯作者: 徐滨士(1931—),男(汉),中国工程院院士;研究方向:表面工程与再制造工程

引文格式: 徐滨士. 新时代中国特色再制造的创新发展[J]. 中国表面工程, 2018, 31(1): 1-6.

XU B S. Innovation and development of remanufacturing with Chinese characteristics for a new era[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(1): 1-6.

造过程^[3]。再制造是先进制造和绿色制造的重要组成部分。其前身可追溯到维修工程,其根植于装备后半生,是保持或恢复装备战斗力,延长装备使用寿命,节约装备全寿命周期费用的重要保证。

中国特色的再制造工程可以上溯到20世纪改革开放初期兴起的维修工程,在维修工程的基础上,经过了表面工程的创新发展,一脉相承而形成了今天的再制造工程。维修工程以保持装备正常服役能力为目标,常具有随机性、应急性和单件小批量的特点。再制造工程则是以实现装备高品质服役及资源节约与环境保护为综合目标,具有规范性、可靠性和批量化的特点。而表面工程着眼于装备零件的表面修复与强化,能以更少的材料投入获得更高的维修质量和效益,为实现维修的低层次目标向高层次目标的跃升,构筑了坚实的技术支撑。维修工程向再制造工程的发展,是一种目标由低向高的进化与创新发展^[4]。

根植于装备后半生,历经维修工程、表面工程到再制造工程40年的发展,再制造工程已经成为装备的高品质性能恢复及升级、资源高效再利用的科学模式,在装备建设中发挥了重要作用。

1.2 技术创新推动,铸就中国特色

欧美国家的再制造产业起步较早,再制造产业发展水平较高,目前已形成了较为成熟的市场环境和运作模式。但其早期的再制造是在维修的基础上直接发展而成,其再制造模式以“换件修理”和“尺寸修理”为主,存在着再制造件资源利用率较低、零件互换性不高等问题。中国的再制造则是在表面工程技术不断创新(如纳米电刷镀技术、高效能超音速等离子喷涂技术和增材再制造成形技术等)的基础上发展而来,充分发挥了表面工程的技术后发优势,形成了以“尺寸恢复”和“性能提升”为特色的再制造成形模式;以基于零件再制造前剩余寿命与再制造后延期寿命的全寿命周期理论为特色的寿命评估与预测模式;以再制造产品质量特性不低于原型新品为前提,形成了“两型社会、五六七八”的高效益特色绿色模式,即:促进资源节约型和环境友好型社会发展,达到成本为新品的50%、节能60%、节材70%、减排80%^[5]。

中国特色再制造在坦克零部件、飞机叶片等装备中的应用,不仅最大程度促进了装备既循环又经济的发展,而且能够实现废旧装备的“起死回

生”、“修旧胜新”,具有巨大的发展潜力和生命力。

1.3 不忘初心谋发展,迈向智能新时代

我国制造业面临着资源和环境的发展瓶颈,现役装备面临着延寿及性能提升的迫切要求,再制造的发展初心正是实现装备战斗力再生和绿色发展。基于此,我国创新发展的中国特色再制造,以废旧产品资源利用率高、再制造产品性能最优、生产资源消耗最少作为目标,成为废旧机电产品再生利用、延长装备使用寿命的高级形式,是实现循环经济“减量化、再利用、资源化”的重要途径。因此,不忘初心谋发展,将极大地促进资源节约和环境保护,为国家循环经济发展战略提供重要支撑。

习近平新时代中国特色社会主义思想强调推进绿色发展,强调走中国特色强军之路^[1]。“中国制造2025”提出要坚持创新驱动、智能转型、绿色发展^[2]。中国特色再制造作为绿色制造的典型形式,也必将向着智能化方向创新发展,即通过互联网、物联网、云计算等新一代信息技术与再制造过程融合,以智能化再制造技术为突破,有效缩短再制造产品生产周期,提高生产效率和质量,降低资源、能源消耗,推进再制造业的转型升级^[6]。

2 中国特色再制造成绩斐然

2.1 面向国家战略,大力推动了再制造产业发展

再制造作为绿色制造和先进制造的重要组成部分,已成为循环经济中最活跃且最能体现高技术含量的要素。中国工程院承担的《国家中长期科学与技术发展规划》第三专题“制造业发展科技问题研究”的分课题“机械装备的自修复与再制造”将发展再制造技术列入面向2020年的重点领域;中国工程院咨询报告《绿色再制造工程及其在我国应用的前景》,被国务院转发10部委参阅^[7]。《中华人民共和国循环经济促进法》将再制造纳入法制化轨道,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”,对国家可持续发展战略产生了积极影响;国家部委出台的《关于推进再制造产业发展的意见》《高端智能再制造行动计划》等文件,促进了国家对再制造相关政策的改革,催生了我国的再制造产业^[8]。国家发展和改革委员会、工业和信息化部大力推进我国再制造产业试点工作,先后分两批选择

150余家企业和多家产业示范基地开展再制造试点工作，再制造产品种类涉及汽车、工程机械、矿采机械、机床、船舶和办公设备等多个行业。国家发改委选择湖南长沙(宁乡、浏阳)、江苏张家港、上海临港、河北河间等4个园区开展国家再制造产业示范基地建设；工信部先后选择重庆九龙工业园区、四川彭州航空动力产业功能区、安徽马鞍山雨山经济开发区、安徽合肥再制造产业园等4个园区开展再制造集聚区试点培育^[9]。

全国再制造标准化技术委员会作为国内首家成立的再制造标委会，设计了面向全寿命周期的再制造标准体系，制定了国内首批再制造国家标准，为规范我国再制造产业正规化发展提供了技术支撑^[10]。

在再制造基础理论研究、应用基础研究和关键技术攻关等方面，在国家自然科学基金重点项目《再制造基础理论与关键技术》、国家973项目《机械装备再制造的基础问题》、国家科技支撑计划《汽车零部件再制造关键技术》等首批再制造领域科研任务的带动下，创新了以再制造毛坯损伤评估和寿命预测为主体的基础理论，形成了以先进成形加工技术为支撑的关键技术，构建了再制造过程质量控制和产品质量保证体系，为确立我国在再制造研究领域的国际前沿地位做出了重要贡献^[11]。

2.2 围绕装备需求，显著提升了装备再生战斗力

再制造以恢复和提升装备战技性能为目标，围绕军队装备保障建设需求，突破了一系列关键技术瓶颈，形成了一批重大创新成果，提升了我军部队装备维修保障能力，有力支撑了老旧装备性能升级和装备跨越式发展。

我军历来重视装备维修保障工作，支持采用多种表面工程新技术修复损伤的坦克零件，并组织大规模多批次的实车考核验证，取得了显著的维修改革成果。应用等离子喷涂技术解决了坦克薄壁磨损零件的修复难题，修复后坦克零部件的相对耐磨性比新品提高了1.4~8.3倍，成本仅为新品的1/8，为坦克装甲车辆维修体制的改革奠定了基础，并在全军坦克修理单位推广应用。《解放军报》报道：再制造促进装备战斗力再生。应用电弧喷涂防腐技术和Zn-Al-Mg-RE电弧喷涂新材料实现了涂层的自封闭，显著提高了装备钢结

构的防腐性能，并广泛应用于海军舰艇和“远望”号航天测量船的钢结构防腐，将海洋环境下钢结构耐蚀寿命由平均4~5年延长到15年^[12]。增材再制造移动方舱已列为航母保障系统，加强了远洋舰艇的维修保障能力。创新应用电刷镀技术攻克了纳米颗粒在镀液中的分散及稳定悬浮难题，成功解决了“引俄”战机发动机高温磨损失效的维修保障难题；通过再制造技术创新和综合运用，解决了大量装备维修保障和应急抢修难题，为延长装备服役寿命、实现了装备升级换代，提供了重要技术支撑。

2.3 加快人才培养，引领构建了再制造新型学科

装备再制造工程学科以装备维修需求为切入点，坚持与时俱进，不断创新，形成了站在国际学科发展前沿的优势学科地位。

依托国内首批建设的装备再制造技术国防科技重点实验室、机械产品再制造国家工程研究中心、装备表面工程国家级实验教学示范中心、全军装备表面工程重点实验室等国家和军队级科研教学平台，推动了再制造工程学科成为国内首个二级博士学科，军队“十五”至“十三五”期间重点建设学科。高水平的人才队伍和高起点的学科平台成为培养高质量人才的有力支撑，提升了人才培养质量，取得了明显效果。经过长期建设，形成了以院士团队为代表的一批高水平国内再制造人才队伍。

依托《中国表面工程》期刊、中国机械工程学会再制造工程分会、全国绿色制造标准化委员会和中国循环经济协会再制造委员会等10余个学术组织，先后组织召开了“世界再制造峰会”、“再制造国际论坛”、“世界维修大会”和“全国表面工程学术会议”等大型学术会议40余次，拓宽了对外学术交流渠道，提升了我国再制造的国际影响力。

目前，装备再制造工程的学科体系日臻完善，对新型装备作战力量形成和装备维修保障发挥着重要的技术支撑，为新装备维护人才和新装备维修保障人才培养提供了强有力的智力支持。

3 新时代中国特色再制造的发展方向

3.1 实施高端、智能、在役再制造，推进绿色发展

(1) 高端再制造

在航空、大型机床、海洋装备、工程机械和轨

道交通等高端装备领域,针对航空发动机叶片、燃气轮机转子、盾构机等大型装备及零部件,开展绿色再制造设计,加快研发高端再制造技术和装备,推进高端装备再制造,进一步提升再制造产品综合性能。对于依赖进口、再制造技术难度大的复杂机电装备,如工业机器人、医疗影像设备和大型高效电机等,一方面鼓励原始制造商利用自身技术优势开展再制造,另一方面支持再制造企业通过原始制造商授权的模式进行再制造,并探索原始制造商、维修企业和再制造企业形成联盟的合作模式。

(2) 智能再制造

将互联网、物联网、大数据、云计算等新一代信息技术与再制造回收、生产、管理、服务等各环节融合,构建再制造智能物流体系,研发再制造智能生产成套技术与装备,推动形成再制造产品智能营销网络。探索基于智能传感技术的再制造产品结构健康与服役安全智能监测设备,推进再制造智能成形加工技术研发与规模化应用。在对汽车等传统再制造领域典型产品实施智能再制造的同时,进一步突破医疗影像设备和大型服务器等典型智能装备的再制造。

(3) 在役再制造

对老旧和性能低下、故障频发、技术落后的在役机电装备实施性能恢复和提升再制造。针对能源、化工、冶金、电力等行业重大技术装备实施再制造,加快增材制造、特种材料、无损检测等再制造关键共性技术创新与产业化应用。结合再制造产品认定,推动盾构装备控制系统升级再制造,继续推进重型机床产品数控系统升级再制造、推进电机产品能效提升再制造,推动发动机产品排放等级提升再制造。

到 2020 年,通过共性关键技术和装备攻关,成果高效转化与产业化应用,示范企业、研发中心和产业集聚区建设,推动再制造产业规模达到 2000 亿元^[13],仅内燃机再制造产业规模达到 450 亿元^[14]。

3.2 实施复合、现场、升级性再制造,促进装备战斗力再生

(1) 面向武器装备现代化,提升装备复杂机电复合系统一体化再制造能力

随着武器装备信息化水平的不断提高,我军

电子类装备的广泛应用和更新换代,其战损、报废和淘汰数量日益增大,利用再制造技术实现机电产品功能器件的再利用势在必行。将再制造先进技术与光电和信息技术相结合,实现电、磁、声、光等特殊功能器件和系统的再制造,进而将再制造领域由机械装备拓展至机电复合装备,从而实现复杂装备机电一体化复合再制造,满足现役老旧装备向现代化升级改造的需要,解决新装备研制周期长与作战需求变化快的现实矛盾。

(2) 面向一体化联合作战,提升装备备件精确伴随保障的现场再制造能力

新的军事变革引起现代战争形式变化以及武器装备维修保障模式变革。要求装备战场维修保障灵活、准确、及时,以实现装备战斗力的快速生成、持久保持、迅速再生和大幅提高。针对重点战略方向的作战需求,开展装备现场(战场)应急抢修与伴随精确保障理论与关键技术研究,突破战损零件和装备备件智能抢修、现场增材再制造技术和装备瓶颈,实现装备作战性能快速恢复和战斗力再生,提高装备维修保障水平与能力。

(3) 面向军民融合深度发展战略,提升装备整机升级性再制造能力

面向军民融合深度发展战略,开展再制造军民融合创新理论、再制造技术可靠性中试、再制造成果军地双向转移机制、军民融合再制造信息化等研究,解决面向装备全寿命维修保障的优生优育问题。加强创新体系和平台建设,拓展和深化装备再制造理论和技术系统研究可有效降低装备全寿命周期费用,并拓展装备寿命周期的内涵,实现装备的循环寿命周期使用。科学适时地指导老旧装备的再制造数字化和信息化升级,为装备延寿及性能或功能的提升提供支撑。

3.3 瞄准优质、高效、服务,建设一流再制造工程学科

(1) 开展优质再制造

坚持创新引领,促进再制造产业的快速发展,形成一批优质的再制造关键技术与工艺。在研制阶段进行再制造性设计提高产品末端时的再制造能力,在产品末端进行再制造性评价优化再制造工艺流程。运用信息技术、控制技术实施废旧产品再制造高效生产与管理,实现废旧产品再制造效益最大化、再制造技术先进化、再制造管

理正规化和产品全寿命过程再制造保障信息资源共享，提高再制造保障系统运行效率。

(2) 推动高效再制造

坚持绿色发展，再制造的高效化体现在再制造工艺全流程环节。绿色高效深度拆解技术将显著提高再制造拆解效率和无损拆解率，高效物理清洗技术和绿色化学清洗技术将显著提高再制造清洗绿色化程度，多物理参量融合的再制造高效检测与评估技术可实现再制造毛坯的高可靠度寿命预测，复合能束能场自动化再制造成形加工装备可实现再制造生产的柔性化。随着大数据、云计算、物联网、移动互联技术的快速发展，再制造产品解决方案、生产效率将更加高效，再制造效益将实现最大化。

(3) 促进再制造服务

坚持深化供给侧结构性改革，面对未来中国

制造由生产型向服务型转变的发展趋势，再制造将与服务业有机融合，从而形成新的产业形态和新的再制造模式，即服务型再制造。服务型再制造将为再制造产业发展注入新的活力，打造再制造公共技术研发平台，构建再制造逆向物流和旧件回收服务体系，建立再制造公共检测平台与质量保证体系，拓展再制造外包加工体系，发展再制造信息平台与电子商务，不断探索形成再制造产品生产和销售服务的新模式，形成再制造产业发展新的增长点。

下一阶段是我国再制造业依靠科技、体制和管理创新，走绿色智能之路，调整产业结构，转变发展方式，实现再制造产业由大变强的关键时期。根据面向 2030 年再制造技术发展路线图的发展规划^[3](见表 1)，再制造将向“优质、高效、服务”迈进，实现创新突破。

表 1 面向 2030 年的再制造技术发展目标
Table 1 Development goals of remanufacturing technology for 2030

内容	2020 年目标	2030 年目标
典型产品或装备	实现能源装备、高端数控机床、动力机械等大型制造装备领域的产品及其零部件的再制造，形成规模化的再制造产业群	实现飞机、船舶、高速铁路等高端交通运输装备及零部件，水利、核电发电机组用汽轮机等复杂贵重装备及零部件，医疗、家用与办公等电子设备的再制造，拥有多家世界著名再制造企业及再制造集聚产业区
再制造技术目标	突破机械类装备核心部件的再制造技术方法 废旧机械产品的再制造率达 70% 再制造产业规模达到制造业的 5% 再制造就业模式占制造业的 10%	突破电子信息类零部件的再制造技术方法 废旧机械产品的再制造率达 80% 再制造产业规模达到制造业的 10% 再制造就业模式占制造业的 20%
再制造拆解与清洗技术	面向高附加值的再制造深度拆解技术 高效化学清洗材料、技术与装备 超声波、高温、喷射清洗技术与装备	再制造自动化拆解技术与装备 绿色清洗新材料、技术与自动化装备 生物酶清洗技术与装备
再制造损伤检测与寿命评估技术	毛坯损伤程度的物理参量提取技术 建立特定剩余寿命预测模型 涂层微缺陷监控技术	再制造毛坯剩余寿命评估技术设备 典型毛坯剩余寿命评估工艺规范 再制造产品服役寿命评估技术与设备
再制造先进成形与加工技术	纳米复合再制造成形技术 能束能场再制造成形技术 自动化再制造成形技术	微纳米零部件及功能零部件 现场快速再制造成形技术
	三体积损伤机械零部件的再制造成型技术 多工艺、多工序复合加工再制造成型技术 机器人自动化焊接再制造与数控铣削加工技术	
再制造系统规划设计技术	产品再制造性指标论证技术 柔性化再制造生产系统设计技术 再制造逆向物流选址规划技术 再制造信息管理系统研究与设计	基于多因素的再制造性论证体系 集约化再制造生产系统设计技术 科学的再制造逆向物流规划方法 再制造信息管理系统开发与应用

4 结 语

再制造高度契合国家推进的绿色发展战略,成为实现循环经济“减量化、再利用、资源化”的重要途径。中国特色再制造是根植于装备维修工程,并经过装备表面工程的创新发展,逐渐形成并发展而来的一种高效再制造模式。经过数十年的建设发展,中国特色再制造形成了明确的国家战略和再制造产业,提升了装备战斗力,构建了再制造学科,取得了重大成就。习近平新时代中国特色社会主义思想要求中国特色再制造秉持创新、绿色、服务的理念,构建优质、高效、智能的再制造工程体系,支撑国家循环经济发展,促进新时代装备的高效战斗力再生和绿色发展。

参考文献

- [1] 习近平. 决胜全面建成小康社会, 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[R]. 北京: 中国共产党第十九次全国代表大会, 2017-10-18.
XI J P. Secure a decisive victory in building a moderately prosperous society in all respects and strive for the great success of socialism with Chinese characteristics for a new era[R]. Beijing: the 19th National Congress of the Communist Party of China, 2017-10-18 (in Chinese).
- [2] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知[A/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm, 2015-05-19.
National Assembly of the PRC. Notice of the state council on printing and distributing "made in China 2025"[A/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm, 2015-05-19 (in Chinese).
- [3] 中国机械工程学会. 中国机械工程技术路线图[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
Chinese Mechanical Engineering Society. Technology roadmaps of Chinese mechanical engineering[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016 (in Chinese).
- [4] 全国绿色制造技术标准化技术委员会. 再制造术语: GB/T 28619—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
National Green Manufacturing Technology Standardization Technical Committee. Remanufacturing—terminology: GB/T 28619—2012[S]. Beijing: China Standard Press, 2012 (in Chinese).
- [5] 徐滨士. 绿色再制造工程及其关键技术[J]. 再生资源与循环经济, 2009, 2(11): 5-8.
XU B S. Remanufacture and the technological support[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2009, 2(11): 5-8 (in Chinese).
- [6] 徐滨士. 装备再制造工程的理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
XU B S. Equipment remanufacturing engineering theory and technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007 (in Chinese).
- [7] 中国机械工程学会再制造工程分会. 再制造技术路线图[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
Remanufacturing Engineering Institute of Chinese Mechanical Engineering Society. Remanufacturing technology roadmaps[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016 (in Chinese).
- [8] 徐滨士, 史佩京, 刘渤海. 再制造产业化的工程管理问题研究[J]. 中国表面工程, 2012, 25(6): 107-111.
XU B S, SHI P J, LIU B H. Engineering management problems of remanufacturing industry[J]. China Surface Engineering, 2012, 25(6): 107-111 (in Chinese).
- [9] 徐滨士, 董世运, 朱胜, 等. 再制造成形技术发展及展望[J]. 机械工程学报, 2012, 48(15): 96-105.
XU B S, DONG S Y, ZHU S, et al. Prospects and developing of remanufacture forming technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(15): 96-105 (in Chinese).
- [10] 徐滨士, 董丽虹. 再制造质量控制中的金属磁记忆检测技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
XU B S, DONG L H. Metal magnetic memory testing method in remanufacturing quality control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015 (in Chinese).
- [11] 徐滨士, 董世运. 激光再制造[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
XU B S, DONG S Y. Laser remanufacturing[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016 (in Chinese).
- [12] 朱胜, 姚巨坤. 再制造技术与工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
ZHU S, YAO J K. Remanufacturing technology and process[M]. Beijing: China Machine Press, 2011 (in Chinese).
- [13] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发《高端智能再制造行动计划(2018-2020年)》的通知[A/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057542/n3057545/c5900275/content.html>. 2017-11-09.
- [14] 中国内燃机工业协会. 内燃机再制造产业发展与技术路线[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
China Internal Combustion Engine Industry Association. Internal combustion engine remanufacturing industry development and technical route[M]. Beijing: China Machine Press, 2017 (in Chinese).