

装备再制造设计及其内容体系^{*}

朱 胜, 姚巨坤

(装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 装备再制造工程是实现装备资源节约与环境保护的重要手段,科学的装备再制造设计是提高装备再制造效益及提高装备再制造性的关键方法,也是再制造工程的重要研究领域。文中指出装备再制造设计面向装备再制造的全过程,包括面向生产的设计、面向回收物流的设计和面向装备服役的设计 3 部分内容,提出了再制造设计研究的范围、对象、目的、手段及时域,明确了其任务和目标,构建了包含再制造设计基础、再制造技术与工艺设计、再制造管理设计的装备再制造设计理论与技术体系,并确立了装备再制造设计要采取全系统、全寿命、全费用和绿色化的基本观点,给出了今后发展的装备再制造性设计与评价、再制造生产系统规划设计、再制造逆向物流优化设计、再制造信息管理与应用设计等 4 个关键领域的研究目标和内容。

关键词: 再制造设计; 技术体系; 绿色化; 装备设计

中图分类号: TH16; TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2011)04-0001-06

Equipment Remanufacturing Design and Its Content System

ZHU Sheng, YAO Ju-kun

(Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

Abstract: Equipment remanufacturing is an important approach to realize the equipment resource saving and environment protection, and developing the scientific remanufacturing design is the key method to enhance the remanufacturing benefit and increase the remanufacturability, so it has become the important research field for remanufacturing engineering. It is introduced in this paper that the equipment remanufacturing design faces the whole process of remanufacturing, and includes three parts of design facing production; design facing reverse logistics and design facing equipment service. Some questions, such as the scopes, object, target, measure, time field, task and goal about remanufacturing design, have been studied and defined in this paper, also construct the remanufacturing design system which consists of the remanufacturing design, remanufacturing technology and process design, remanufacturing management design, and brings forward that should adopt total system, total life, total cost and green point in remanufacturing design. Finally four key development fields that comprise of the remanufacturability design and assessment, plan and desing of remanufacturing production system and remanufacturing information management and application designwere were described.

Key words: remanufacturing design; technology system; green; equipment design

0 引 言

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,装备再制造作为实现装备资源节约和环境保护的有效手段,受到了很好的重视和应用,其技术也得到了快速的发展^[1-3]。装备再制造设计作为装备再制造的重要内容,对于提高装

备再制造性水平和再制造工程效益具有重要作用,并且得到了广泛的关注和研究^[4-6]。进一步研究明确装备再制造设计的内涵及其特征,构建装备再制造设计的工程技术体系,对于指导再制造设计的研究及应用具有重要的意义。

1 装备再制造设计的相关概念

1.1 装备再制造的概念

再制造是指以废旧产品作为生产毛坯,通过专业化修复或升级改造的方法来使其质量特性达到或优于原有新品水平的制造过程。再制造

收稿日期: 2011-07-14; 修回日期: 2011-07-20

基金项目: * 国家自然科学基金(50975286);装备维修预研基金(代号略)

作者简介: 朱 胜(1964—),男(汉),江苏丹阳人,教授,博士。

不同于产品维修或大修,是先进制造和绿色制造的重要组成部分,是实现节能减排的重要技术途径。再制造产品在产品功能、技术性能、绿色性、经济性等质量特性方面要不低于原型新品,且一般再制造产品其成本仅是新品的 50%左右,可实现节能 60%、节材 70%,对环境的不良影响显著降低,对建设资源节约型、环境友好型社会具有重要促进作用^[7,8]。

1.2 装备再制造设计的概念

装备再制造设计是指根据再制造装备要求,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装备回收、再制造生产及再制造装备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,最终形成最优化再制造方案的过程^[9-11]。装备再制造设计主要研究对废旧装备再制造系统(包括技术、设备、人员)的功能、组成、建立及其运行规律的设计;研究装备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,设计装备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装备再制造保障的重要内容。

2 装备再制造设计的内涵特征

2.1 装备再制造设计的面向阶段

根据对再制造 3 个主要阶段(废旧装备回收、再制造生产加工和再制造装备服役)的划分,可以将再制造设计分为废旧装备回收设计、装备再制造加工设计和再制造装备服役设计,其中获取再制造毛坯的废旧装备回收设计是再制造工程的基础,形成再制造装备的再制造加工设计是再制造工程的关键,获得利润的再制造装备服役设计则是再制造发展的动力^[12]。图 1 为面向装备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装备再制造设计的核心内容,直接关系到再制造装备的质量和装备效益。

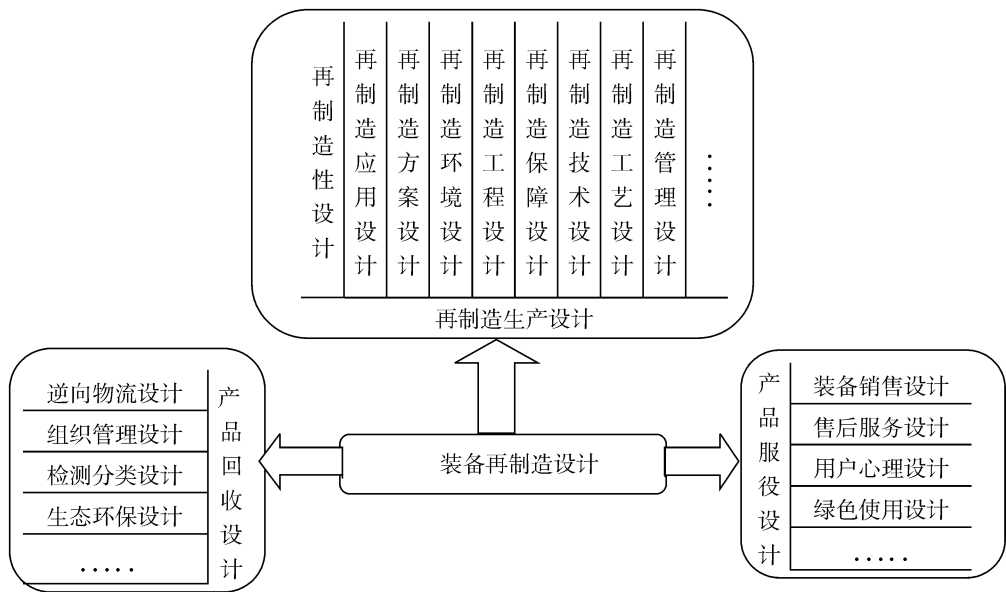


图 1 面向全过程的装备再制造设计内容

Fig. 1 Content of equipment remanufacturing design facing the whole remanufacturing process

2.2 装备再制造设计的内涵特征

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,又包括研究具体装备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。装备再制造设计内涵包括的要点有: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);与再制造有关的装备设计特性(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;与再制造有关的装备特性要求。③ 研究的目的:优化装备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,装备设计理论与方法,以及其它有关技术与手段。⑤ 研究的时域:面向装备的全寿命过程,包括装备设计、制造、使用,尤其是面向装备退役后的再制造周期全过程。

2.3 装备再制造设计的任务

装备再制造设计作为一项综合的工程技术方法,其基本任务是对再制造全过程实施科学管理和工程设计,主要任务是:① 论证并确定有关再制造的装备设计特性要求,使装备退役后易于进行再制造;② 进行再制造工程设计内容分析,确定并优化装备再制造方案;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,实现装备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,收集与分析装备再制造信息,为面向再制造全过程的综合再制造设计提供依据。

2.4 装备再制造设计的总目标

装备再制造设计是提高装备再制造效益的重要手段,其总目标是:通过影响装备设计和制造,并在装备使用过程中正确维护装备的再制造性,使得装备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,使其与装备再制造相匹配,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,增加再制造装备的种类及效益。装备再制造设计的根本目的是高品质地实现退役装备的高效益多寿命周期使用,减少装备全生命周期的资源消耗和环境污染,提供装备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。

3 装备再制造设计的内容体系框架

作为贯穿于装备全寿命周期过程再制造设计,属于装备再制造工程领域的重要研究和应用内容,并且因为它涉及领域多,周期长,作用大,使它具有足够的工程技术体系。装备再制造设计的理论与技术体系是以装备的全寿命、全系统、全费用、绿色化理论为基础,以退役装备作为主要研究对象,以如何恢复或提升装备性能为研究内容,从而保障装备后半生的高性能、低投入、环境友好,为装备多寿命周期提供可能并注入新的活力,即包括对装备的再制造性设计,也包括对装备的再制造生产过程设计,还包括对装备的再制造物流设计,贯穿于再制造的全过程,面向于再制造的全系统,具有独特而重要的作用。装备再制造设计的理论与技术内容体系框架概括如图2所示。

4 装备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,是装备再制造设计研究的基本观点,也是装备再制造工程建设与发展中的重要观点。

(1) 装备全系统观点。装备全系统的观点,就是要在再制造设计分析中,把使用装备和再制造保障设备作为一个整体系统来加以研究,弄清它们之间的相互联系和外界的约束条件,通过综合权衡,使它们互相匹配,同步、协调发展,谋求装备及其再制造系统的整体优化。

(2) 装备全寿命观点。装备全寿命观点就是要统筹把握装备的全寿命过程,使其各个阶段互相衔接,密切配合,相辅相成,以达到装备资源“优生、优育、优用”的目的。再制造的发展拓展了装备的寿命周期阶段,将原来的退役报废改变为高品质的再制造利用。特别要求在论证、研制中要充分考虑使用、维修、再制造、储存的因素。同时,在使用、维修、再制造中要充分利用研制生产中形成的特性和数据,合理、正确地使用、维修、再制造,并在使用保障中积累有关数据和反馈信息,为再制造过程提供信息支撑。

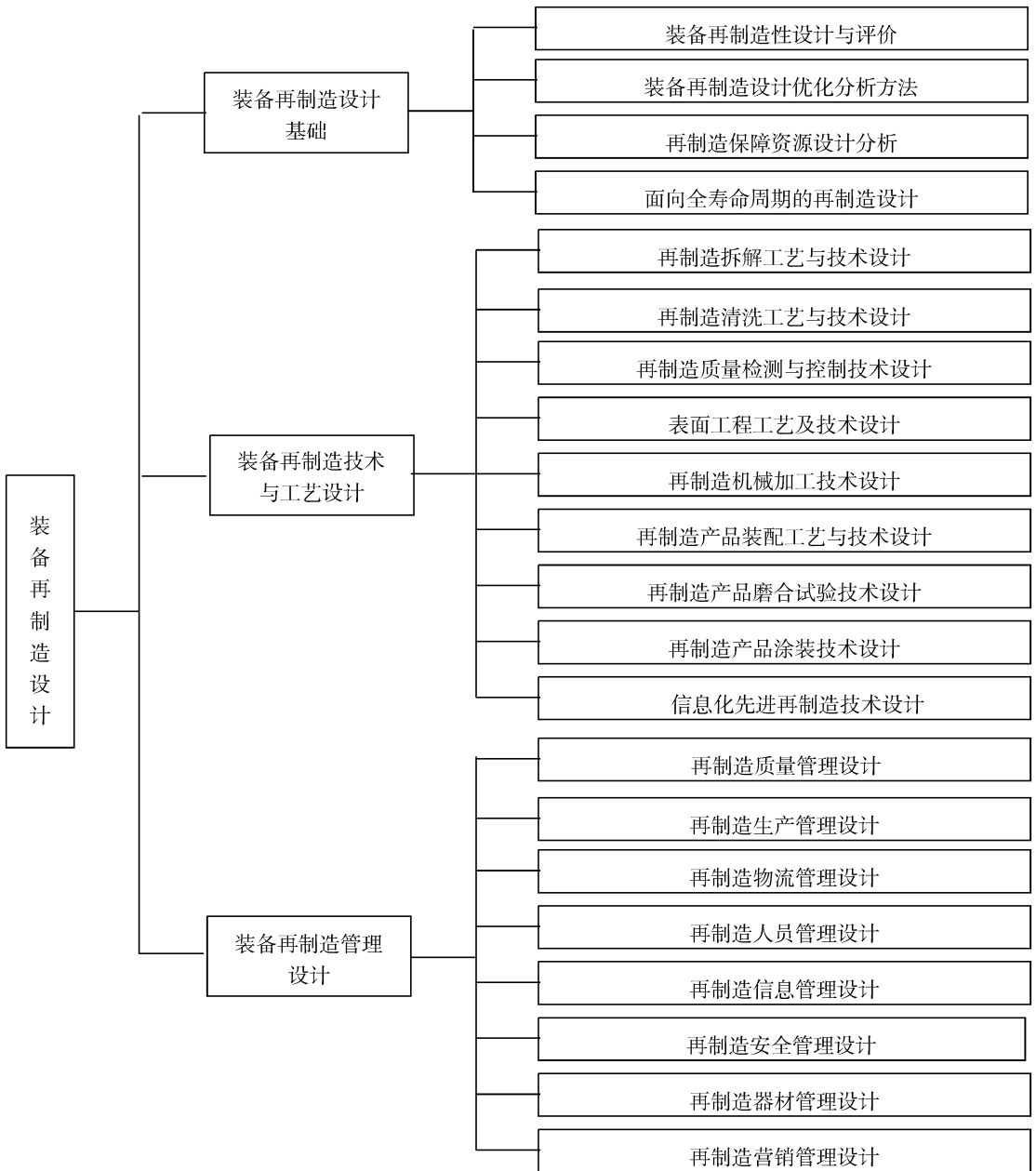


图 2 装备再制造设计的理论与技术体系

Fig. 2 The theory and technology system of equipment remanufacturing design

(3) 装备全费用观点。除装备使用性能外，还应当重视经济性，即装备的购买、使用、再制造应当是经济上可承担的，这就要考虑装备的全寿命费用。再制造是装备全寿命中新的阶段，也是装备全费用过程中和制造费用相同的部分，虽然其投入费用小于新品制造，但可以达到与新品相同的价值。因此，退役装备再制造要采用全费用的观点，将再制造作为装备全寿命周期费用的重

要内容，对不同方案的再制造周期费用及再制造装备的新寿命周期费用进行估算、比较，提高装备整体的效能—费用比。

(4) 装备绿色化观点。装备绿色化是指装备进行绿色设计、清洁生产、绿色使用和退役后高品质的再制造，减少全生命周期的资源消耗和环境污染。装备绿色化的观点在材料选用、资源消耗、装备设计、清洁生产、污染排放等方面提出了

具体的要求和限制,是贯穿于装备全寿命周期的重要内容。退役装备再制造也要始终将绿色化贯穿于整个工作过程,最大化地采用清洁生产和绿色技术,减少生产过程的环境污染,使再制造装备属于绿色装备。

5 再制造设计的关键技术发展方向

在个性化、信息化和全球化市场压力下,多品种、小批量的生产方式已成为必然趋势,这就对传统以大批量产品作为生产基础的再制造模式提出了巨大挑战,迫使要在再制造系统规划设计领域提供更多的技术方法,以适应未来再制造生产的多变需求。在产品再制造设计领域,国外发达国家自上世纪90年代开始了一定的研究,并在实际工程中得到了初步应用^[13]。我国当前在该领域开展了一定的研究^[14-16],但主要表现为装备再制造性设计与评价应用水平低,再制造生产系统规划设计研究少,再制造逆向物流体系不健全,这将会造成未来产品再制造困难大,成本高,效益低,无法适应再制造作为我国战略型新兴产业的发展需求。因此,为了促进装备再制造工程的发展,需要在装备再制造设计的下列关键领域明确应用现状和发展目标,以指导再制造设计的研究和工程实践。

5.1 产品再制造性设计与评价

装备再制造性是表征装备再制造能力的属性,但因其具备的设计与再制造的时间跨度、设计指标的不确定性以及技术的发展进步快等特性,都为再制造性设计与量化评价带来了难题,使得目前产品设计中大多没有考虑产品的再制造性,这造成了产品末端时的再制造效益较低,再制造生产难度大。因此,迫切需要通过研究装备再制造性特征,构建设计与评价手段,来促进再制造性设计与评价的工程应用。一是要研究产品设计中的再制造性指标论证、再制造性指标解析与分配、再制造性指标验证等技术方法,为提高产品再制造性设计与验证技术的应用水平及应用方法提供技术和手段支撑,构建产品再制造性设计的标准化程序;二是要研究废旧产品的再制造性具有不确定性,并根据再制造技术、生产设备及废旧产品本身服役性能特征来建立多因素的废旧产品再制造性评价技术与手段,可以为废旧产品的再制造生产决策提供直接依

据,提高再制造效益。

5.2 再制造生产系统规划设计

再制造生产在物流及生产方式上面临着与制造不同的特殊的问题,对其进行系统规划和优化设计,可以显著提升再制造实施效益。但目前再制造生产大多规模较小,而且往往为制造企业的一部分,多采用制造系统的生产规划模式,这影响了再制造生产系统效能的发挥。因此,需要考虑如何能够借助再制造的信息流,规划设计建立质量可靠、资源节约的高效再制造生产系统,已经成为完善再制造系统设计的重要因素。一是针对未来小批量的再制造生产方式,需要研究利用模块化、信息化等技术方法,实现再制造生产系统的柔性化,加强再制造生产资源保障的配置效益、人员、技术等保障资源利用方式,提供集约化再制造生产系统的规划技术方法,提高再制造生产综合效益;二是面向未来再制造系统的综合生产需求,借鉴吸收先进的制造技术领域的思想和方法,重点研究再制造成组技术、精益再制造生产技术、清洁再制造生产技术等工程应用,形成先进再制造生产系统设计技术方法,来提高再制造生产系统的综合应用效益。

5.3 再制造逆向物流优化设计

再制造逆向物流是再制造生产的基础保证,但目前对再制造的逆向物流还大多停留在理论研究分析的阶段,还没有形成系统的再制造逆向物流综合体系,在实践中主要还是依靠再制造企业自身的物流体系来完成废旧产品的回流。因此,需要进一步研究再制造的逆向物流在废旧产品数量、质量、时间等方面的不确定性影响因素,加强再制造逆向物流的研究,为再制造生产提供可靠的保证。一是要通过研究采用运筹学等方法,构建基于不同条件下的再制造逆向物流选址数学模型和技术方法,为再制造逆向物流的科学布址提供方法手段;二是研究不同技术方法来设计构建用于再制造的废旧产品的高品质逆向物流体系,满足不确定废旧产品物流信息条件下废旧产品稳定回收的要求,并能够实时根据废旧产品物流信息进行优化控制调控。

5.4 再制造信息管理与应用设计

对再制造信息进行有效管理是提高再制造效益和规划设计的基础前提,但因为目前对再制

造信息研究的缺乏,以及再制造产业的初步发展,尚没有建立有效的信息管理系统,无法实现再制造信息的有效挖掘与应用。因此,需要采用系统工程的研究方法,研究认识再制造信息复杂性、不确定性等特点,设计构建健壮的再制造信息管理架构和应用系统,促进再制造业的发展。一是利用信息管理系统开发的基本要求,结合再制造工程中的信息的特征,规划设计并开发面向再制造全过程的再制造信息管理系统,实现再制造信息的全域采集与管理控制,为再制造生产决策规划提供依据;二是以面向再制造全过程的信息管理系统为基础,并充分利用再制造生产系统及物流系统中的传感器及信息处理传输设备等硬件设备,建立面向再制造全域的再制造物联网,为面向再制造的科学设计、规划与工程应用提供支撑。

6 结 论

(1) 装备再制造设计是装备再制造工程的重要内容,具有特定的内涵、明确的目标和显著的特征,是提高装备再制造性水平和实现装备再制造效益提升的重要技术手段。

(2) 装备再制造设计面向装备再制造逆向物流阶段、装备再制造生产加工阶段和再制造装备服役 3 个阶段,其内容体系包括装备再制造性设计、装备再制造技术与工艺设计、装备再制造管理设计等。

(3) 进行装备再制造设计分析要采用全系统、全寿命、全费用、绿色化的观点,全面优化装备的再制造特性。

(4) 装备再制造设计今后发展的关键内容包括装备再制造性设计与评价、再制造生产系统规划设计、再制造逆向物流优化设计、再制造信息管理与应用设计等 4 个方面。

参考文献

- [1] 徐滨士, 张伟, 马世宁等. 向 21 世纪的绿色再制造 [J]. 中国表面工程, 1999(4): 1-5.
- [2] 徐滨士, 刘世参, 张伟, 等. 绿色再制造工程及其在我国主要机电装备领域产业化应用的前景[J]. 中国表面工程, 2006, 19(5+): 17-21.
- [3] William Hauser, Robert T. Lund. The remanufacturing industry: anatomy of a giant. Giant [R].

Boston University, Boston, Massachusetts. June 2003.

- [4] 徐滨士, 朱 胜, 马世宁, 等. 装备再制造工程学科的建设和发展 [J]. 中国表面工程, 2003(3): 1-6.
- [5] 徐滨士, 马世宁, 刘世参, 等. 绿色再制造工程设计基础及其关键技术 [J]. 中国表面工程, 2001(2): 12-15.
- [6] Steinhilper R. Remanufacturing: the ultimate form of recycling [M]. Fraunhofer IRB Verlag, 1998.
- [7] 徐滨士, 刘世参, 史佩京. 再制造工程和表面工程对循环经济贡献分析 [J]. 中国表面工程, 2006, 19(1): 1-6.
- [8] 徐滨士, 刘世参, 史佩京. 再制造工程的发展及推进产业化中的前沿问题 [J]. 中国表面工程, 2008, 21(1): 1-6.
- [9] 朱 胜, 徐滨士, 姚巨坤. 再制造设计基础与方法 [J]. 中国表面工程, 2003, 16(3): 27-31.
- [10] Bert Bras, Mark W. McItosh. Product, process, and organizational design for remanufacture—an overview of research [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 1999, 15: 167-17.
- [11] Ron Giuntini, Kevin Gaudette. Remanufacturing: the next great opportunity for improving U. S. productivity [J]. Business Horizon, November - December, 2003: 41-48.
- [12] 姚巨坤, 崔培枝. 面向再制造的产品设计体系研究 [J]. 新技术新工艺, 2004(5): 17-19.
- [13] Bert Bras, Rick Hammond. Towards design for remanufacturing—metrics for assessing remanufacturability [C]. Proceedings of the 1st International, Eindhoven, The Netherlands, 1996: 5-22.
- [14] 姚巨坤, 朱 胜, 何嘉武. 装备再制造性分配研究 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(3): 70-73.
- [15] 姚巨坤, 朱 胜, 时小军. 装备设计中的再制造性预计方法研究 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(3): 69-72.
- [16] 曹华军, 杜彦斌, 张明智等. 机床再制造与综合提升内涵及技术框架 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(6): 75-79.

作者地址: 北京市丰台区杜家坎 21 号
装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室
Tel: (010) 6671 7640
E-mail: zusg@sohu.com

100072