

装备再制造性工程的内涵研究*

朱 胜, 姚巨坤

(装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 再制造性工程是再制造工程的重要理论内容, 主要是研究如何在装备末端能够实现其最大价值的再制造利用, 实现最大资源的再循环利用。再制造性工程的内容涵盖了装备全寿命周期的各个阶段, 文中全面分析再制造性工程的概念、目标、任务、定量参数等内容, 提出了再制造性工程的框架体系, 为再制造性工程的研究提供了基础。

关键词: 再制造性; 再制造性工程; 再制造度

中图分类号: TH17; TH16

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289-(2006)05⁺-0061-03

Study for Equipment Remanufacturability Engineering Connotation

ZHU Sheng, YAO Ju-kun

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

Abstract: Remanufacturability is the key theory content of remanufacturing engineering, and which mainly includes that how to realize the maximum remanufacturing using of end-of-life equipment and the maximum recycle using. The content of Remanufacturability engineering contains each stages of equipment entire life-span. In this paper, the concept, aims, task, related parameters of remanufacturability engineering were entirely analyzed, and the frame and system of remanufacturability engineering were provided, which gives the foundation for remanufacturability engineering study.

Key words: remanufacturability; remanufacturability engineering; remanufacturing rate

0 引 言

随着装备再制造工程概念的推广应用, 各国学者已经对再制造工程的理论和技术方面进行了广泛的研究, 有力地推动了再制造工程的发展。再制造性工程作为再制造的重要内容之一, 对装备的再制造具有重要的影响和指导作用, 已经受到了国内外学者的关注, 并对再制造性的内涵、评价方法开展了部分研究, 在一定程度上推动了再制造性工程的发展^[1-4]。本文进一步详细提出了再制造性工程的概念、任务、目标及其相关理论内容, 为开展再制造性工程的研究提供了基础。

1 装备再制造性工程的概念

再制造性工程是研究为提高装备再制造性在装备设计、生产、使用和再制造过程中所进行的各

项工程技术和活动的一门学科。装备再制造性的目的是研究装备再制造性的建立及其评价规律, 保障实现装备资源的最大化再制造利用。维修性工程将系统分析、设计评价、技术进步、环境保护、寿命周期费用等知识相结合, 使装备设计、使用、再制造中有关再制造性的各方面考虑的更为成熟, 也实现装备的最佳再制造方案。装备的再制造性研究主要包含在装备全寿命周期中的三个阶段:

第一阶段是在装备设计中考虑装备末端时所具有的再制造能力(Design for Remanufacturing), 其主要内容是研究如何把再制造性设计到装备中去, 并以合适的制造工艺和完善的质量管理及检验来保证装备的再制造性, 以周密设计的再制造性试验来证实和评定再制造性, 以保证装备具有较高的固有再制造性。

第二阶段是在装备使用中通过正确使用来维持装备的再制造性, 其主要内容是在正常使用中研究如何才能保持装备的最大再制造性, 并通过再制造性数据和技术信息反馈来促进装备的再制造性。

第三阶段是在装备报废后对废旧装备的再制

收稿日期: 2006-08-10 修回日期: 2006-09-15

基金项目: *国家自然科学基金资助项目(50075086, 50235030), 新世纪优秀人才支持计划资助(NCET)

作者简介: 朱胜 (1964-), 男, 北京人, 教授, 博士生导师。

造性进行评估 (Assessment of Remanufacturability), 其主要职责是对废旧装备再制造的经济性、工艺性、环境性、服役性等进行评价, 寻求装备的最优化的再制造方案。

2 再制造性与再制造度

2.1 再制造性

再制造性是再制造性工程中的重要内容, 是表征装备设计赋予的, 再制造难易程度的一种固有属性。它通常定义为“废旧装备(包括报废或过时装备)在规定的条件下、规定的时间内, 为了达到再制造后装备的规定性能, 所能够进行再制造的能力”。其中再制造性评价的对象包括装备和零部件; 规定的条件包括运输条件、装备使用工况、再制造技术及工艺、技术人员情况等; 规定的时间指废旧装备进行再制造的时间; 规定的性能指对再制造后装备的性能要求, 可以是恢复到原装备所具有的性能, 也可以是装备进行降级或升级使用时所要求具有的低级或更高性能的要求。装备的再制造性包括固有再制造性和使用再制造性, 前者指装备设计中所赋予的静态再制造性, 后者指废旧装备在再制造前所具有的实际的再制造性。一般来讲, 在装备设计中要根据全寿命周期费用(包括环境效益的评估)的观点来设计装备具有最大的再制造性, 而装备能否再制造, 则主要是要评估装备再制造前的应用再制造性。

2.2 再制造性定性要求

再制造性定性要求是对装备再制造性的基本要求, 是装备进行再制造性设计的基本准则, 一般具有较高再制造性的装备应具有 7 个主要特征: 易于运输、易于拆解、易于分类、易于清洗、易于修复(升级、改造)、易于装配、高标准化和互换性程度。恰当地提出和确定再制造性定性要求, 是搞好装备再制造性设计的关键环节。

2.3 再制造性定量要求

再制造性的定性要求, 虽能大大提高装备的再制造性, 但还不便于直接度量装备再制造性的优劣程度。因而对装备再制造性还需要进行定量描述, 使其从一般模糊、定性的概念上升到客观、定量的描述。描述再制造性的量值称为再制造性参数, 而对再制造性参数要求的量值称为再制造性指标。再制造性的定量要求就是通过选择适当的再制造性参数及确定指标来提出的[5]。

(1) 再制造性函数

因装备再制造性主要反映在再制造费用上, 而再制造费用又是依据外界条件而变化的随机变量, 因而再制造的定量描述可以再制造效率率为基础。

再制造度 $R_{(n)}$: 指在规定的条件及时间内使用的装备退役后, 综合考虑技术、环境等因素后, 通过再制造所能获得纯利润与生成的再制造装备的价值的比率。再制造度是再制造性的定量定义。

$$R_{(n)} = \frac{C_r + C_e - C_c}{C_r + C_e} = 1 - \frac{C_c}{C_r + C_e}$$

再制造度是一种比率, 而装备由于其失效形式不同, 其比率也会不同, 因而具有统计意义。再制造度随着时间的增长而会逐渐减少。时间越长, 故障越多, 其再制造投入也会越大。

平均再制造度 $R_{(an)}$: 指单位装备的平均再制造比率。假设某零件主要有 n 种失效模式, 其在装备末端对应的失效概率为: $F_1\%$ 、 $F_2\%$ 、 $\dots$ 、 $F_n\%$, n 种模式的再制造度分别是 $R_{(1)}$ 、 $R_{(2)}$ 、 $\dots$ 、 $R_{(n)}$, 则其平均再制造度为:

$$R_{(an)} = R_{(1)} \times F_1\% + R_{(2)} \times F_2\% + \dots + R_{(n)} \times F_n\%$$

再制造率($R_{(n)}$): 一定数量的装备中能够通过再制造达到或超过一定的再制造度的比率。设有 N 个装备, 其中能够进行达到或超过再制造度的装备为 m 个, 则其再制造率为:

$$R_{(f)} = \frac{m}{N}$$

如果: 零件的检测费大于该零件纯利润与再制造率的乘积, 则表明该零件不可再制造, 则可以在装备拆解过程中直接丢弃, 避免进入清洗及检测过程。按经济界限模型表述为:

$$C_i \geq R_{(f)}(C_r + C_e - C_c)$$

(2) 再制造性参数

再制造性参数是度量再制造性的尺度, 能反映对装备的再制造需求, 直接与再制造的时间、再制造装备的性能、再制造的人力及保障资源有关, 通常用再制造时间、再制造费用等参数表示。

再制造时间 $T_{(r)}$: 退役装备或其零部件自进入再制造程序后通过再制造过程恢复到合格状态的时间。一般来说再制造时间 $T_{(r)}$ 要小于制造时间 $T_{(m)}$ 。

平均再制造时间 $T_{(ar)}$: 指废旧装备从进入再制造生产线到生成规定性能的再制造装备的平均加工时间。

最大再制造时间 $T_{(mr)}$: 指废旧装备从进入再制造生产线到生成规定性能的再制造装备的最大加工时间。

最短再制造时间 $T_{(sr)}$: 指废旧装备从进入再制造生产线到生成规定性能的再制造装备的最短加

工时间。

再制造装备的价值 $V_{(ro)}$: 指根据再制造装备所具有的性能, 确定的其实际价值, 可以以市场价格作为衡量标准。由于新技术的应用, 可能使得升级后的再制造装备价值要高于原来装备的价值。

再制造的环保价值 $V_{(re)}$: 指因为进行再制造而避免新品制造过程中所造成的环境污染, 及废旧装备进行环保处理时所需要的费用总和。

再制造过程的注入费用 $V_{(ri)}$: 指再制造全过程中注入的全部费用, 包括运输费、加工费、检测费、清洗费、拆解费、替换件费、管理费、人员费等。

3 装备再制造性工程的目标和任务

3.1 再制造性工程的目标

装备维修工程的总目标是: 通过影响装备设计和制造, 使所得到的装备具有良好的再制造性; 在使用过程中正确维护装备的再制造性; 在装备再制造前, 正确评估废旧装备及其零部件的再制造性, 形成最佳的再制造方案。装备再制造性工程的根本目的是提高装备的再制造能力, 减少全寿命周期费用, 实现资源的最大化循环利用, 为装备的和谐发展提供技术手段支撑。

3.2 再制造性工程的任务

装备再制造性工程作为一项系统工程, 其基本任务是: 以多寿命、资源化的观点为指导, 对装备再制造性的设计、保障、评价进行科学管理。具体说, 其主要任务是:

(1)通过设计, 赋予装备最大的再制造性, 使末端装备易于再制造, 减少再制造时间和费用。

(2)通过再制造性评价, 确定出最优化(经济收益最大、装备性能最优、环境污染最小)的再制造工艺方案, 指导装备的再制造加工。

(3)收集与分析装备再制造性信息, 为装备研制、改进及完善再制造体系提供依据。

(4)通过再制造性评估, 确定进行再制造所需要的保障资源, 据以确定再制造费用和制订再制造计划。

(5)为开拓新的可再制造装备的种类提供投资决策和经济预算。

4 装备再制造性工程的研究内容

在装备研制、生产、使用和再制造(包括恢复性再制造、改进性再制造)中, 再制造性工作内容为再制造性的监督与控制、再制造性的设计与试验、再制造性的维护与评定3个方面:

4.1 再制造性的监督与控制

该部分属于再制造性的管理性工作, 主要指: 制定再制造性工作计划; 对研制方、使用方的监督与控制; 再制造性工作的评审; 建立信息数据、分析与改进措施系统。

4.2 再制造性的设计与试验

该部分的工作是把再制造性设计到装备中去, 是实现装备具备较高再制造性要求的核心和关键, 它包括: 再制造性定性要求; 建立再制造性模型; 再制造性指标的确定; 再制造性分配; 再制造性信息收集—故障模式和再制造方案分析; 再制造性预测; 再制造性分析; 再制造性试验与评定; 再制造性设计准则; 再制造性的环境评价。

4.3 再制造性的维护与评价

该部分主要是指在装备使用中如何保持装备设计中所赋予的再制造性, 并对末端装备根据再制造技术的进步进行再制造性评估, 它包括: 再制造性维护; 末端装备再制造性评估; 再制造性信息反馈。

5 结 语

在全面分析装备再制造性内涵的基础上, 提出了再制造性、再制造度、再制造性工程等概念, 并提出了再制造性工程中的定性及定量函数、参数等内容, 初步构建了再制造性工程的框架体系。为了推进再制造性工程的发展, 需要进一步从以下几个方面开展工作:

- (1)开展再制造性工程指标体系及内容的研究;
- (2)制订与完善有关再制造性的指令、标准和规范;
- (3)鼓励在工业生产中进行再制造性工程实践活动;
- (4)加强对再制造性工程重要地位的认识和宣传;
- (5)健全再制造性信息的反馈系统。

参考文献:

- [1] 朱胜, 姚巨坤, 崔培枝, 等. 产品设计中的再制造性工程研究[C]. 2003年中国机械工程学会年会论文集, 深圳, 2003:37.
- [2] 朱胜, 徐滨士, 姚巨坤. 再制造设计基础及方法[J]. 中国表面工程. 2003, 16(3): 27-31.
- [3] 姚巨坤, 朱胜, 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):22-24.
- [4] ZHU Sheng, CUI Pei-zhi, YAO Ju-kun. Remanufacturingability and assessment method[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment. 2004, 25(5):1309-1312.
- [5] 徐滨士, 等. 再制造工程基础及其应用[M]. 黑龙江: 哈尔滨工业出版社, 2005:26-56.

作者地址: 北京丰台杜家坎21号 100072

装备再制造技术国防科技重点实验室

Tel: (010) 66717650 E-mail: zusg@sohu.com

