

面向再制造工程的绿色模块化设计方法研究*

杨继荣^{1,2}, 段广洪², 向东²

(1. 湖南文理学院 机械工程系, 湖南常德 415000; 2. 清华大学 绿色制造研发中心, 北京 100084)

摘要: 以装备的再制造性为设计目的, 以模块化设计方法为基础, 辅助之绿色设计思想, 利用现代数学工具, 从而形成面向再制造工程的绿色模块化设计方法, 在装备设计初期其实体生命诞生之前就全面考虑装备在其今后全生命周期内的环境属性及零部件的重用性, 并用反映其环境特性的绿色度及反映其功能和重用特性的模块度加以评价和检验。利用此设计方法和技术能同时满足装备的环境属性和再制造性要求, 从而满足再制造工程的根本目的。

关键词: 装备; 再制造工程; 绿色模块化; 设计方法

中图分类号: TH16; TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0067-04

The Research on the method of the green modular design for Remanufacture Engineering

Yang Ji-rong^{1, 2}, Duan Guang-hong², Xiang Dong²

(1. Mechanical engineering department of Hunan University of Arts and Science. Hunan, changed, 415000; 2. The research and development centre of green manufacturing of Tsinghua University beijin, 100084)

Abstract: with the remanufacturing properties of equipments as design purposes, and the method of the modular design as base, another it was assisted by green design ideas, take advantage of modern means of mathematics, then form the method of the green modular design for Remanufacture Engineering. The properties of environmental character and reemploy ability have been taken into account all-round in initial stage of the design of equipments and before it come into being; moreover it was examined by green degree about environmental character and modular degree about reemploy ability. Combining green design and modular design can meet environmental characters of equipment and remanufacturing ability simultaneously, then it meet that the root purpose of the Remanufacture Engineering.

Key words: equipments; remanufacture engineering; green modular; method of the design

0 引言

随着对资源消耗和优化问题的日益重视, 人们已经认识到, 大量和无节制地消耗自然资源已经威胁到人类生存。因此, 各国都在致力于研究可持续性发展战略, 推行再制造工程和进行绿色设计和制造。通过装备的再制造和再使用, 不仅可以减少材料的浪费和减少废弃物, 而且可以减少制造中能源和材料的消耗, 减少企业经费开支, 大大提高综合效益。

传统的装备再制造是要尽量加大废旧零部件的回用次数和回用率, 尽量减少再循环和环保处理的比例, 以便最大限度地利用废旧装备中可利用的资源, 延长装备的寿命周期, 减少对环境的污染。通常, 达到这些目的的手段都是通过现代高新制造和工艺技术。

但是, 目前有关再制造研究大多都较少考虑到这样一个重要问题, 那就是在再制造的源头亦即装备设计初期其实体生命诞生之前我们能否就做些什么, 以使日后装备再制造时更便于我们对其进行拆卸、维修、更换或再制造。本研究为此提出了面向再制造工程的绿色模块化设计方法, 应用此方法使装备设计初期其实体生命诞生之前就全面考虑装备在其今后全生命周期内的环境属性及零部件

收稿日期: 2006-08-01

修回日期: 2006-09-01

基金项目: *湖南省教育厅资助科研项目 (05C718)

作者简介: 杨继荣(1960-), 男, 湖南常德, 副教授, 高级工程师, 硕士。

的重用性,并用反映其环境特性的绿色度及反映其功能和重用特性的模块度加以评价和检验,使我们的设计能同时满足装备的环境属性和再制造性要求,从而满足再制造工程的根本目的。

1 再制造工程需要与之相适应的面向再制造的设计方法

传统的再制造是指装备设计、制造并投入使用后,为使其保持、恢复可用状态或加以重新利用所采取的一系列技术措施或工程活动,包括修复、改装或改型、回收和再利用。注意此处的定义是“装备设计、制造并投入使用后”的各种工作和活动。而对装备投入使用前的设计工作却较少涉及和研究。而且而为了达到“使其保持、恢复可用状态或加以重新利用”这个目的,传统的装备再制造的手段多是通过现代高新制造和工艺技术,表面物理和化学处理技术等“事后处理”办法。

实际上,再制造工程能否顺利进行,其效果如何,在很大程度上取决于装备的先天性设计的合理性即再制造性以及装备设计时的结构、材料属性及其它特性,它们将直接影响着日后装备的重用、升级、维修和装备废弃后的拆卸、回收和处理,以及与环境的协调性。在装备设计阶段就考虑装备的再制造性,能够显著提高装备在寿命末端的再制造能力。

这样就向我们提出了一个问题:能否在装备设计之初就采用一种先进的设计技术保证所设计的装备无论是其结构还是所选用的材料都能使装备日后更便于重用、升级、维修,更加方便装备废弃后的拆卸、回收和处理,以及与环境有更好的协调性?

很显然,原有的传统的设计方法已经不能满足这些要求,现有的某些先进设计方法如优化设计方法、绿色设计方法、模块化设计方法等虽然部分地或在某一点及某一方面能考虑和解决这些它,但是目前为止还没有一种比较完善的设计方法能全面地分析和解决装备再制造中存在的这些问题。因此,我们有必要寻找一种新的设计方法,它应能较全面考虑和解决再制造中的这些关键问题。而面向再制造的绿色模块化设计方法正是在这种情况下提出的,它可以比较完善和全面地从源头解决目前再制造工程所面临的一些困难和问题。

2 面向再制造工程的绿色模块化设计方法

2.1 面向再制造工程的绿色模块化设计的基本定义

所谓面向再制造工程的绿色模块化设计就是将绿色设计与模块化设计进行有机结合后,灵活应用于易于再制造的装备设计阶段中,使设计同时满足装备的功能属性以及可运输性和可拆卸性、易于修复和升级性、易于装配性以及环境属性等再制造性指标和要求。它是一种崭新的能够对地球环境和人类可持续发展产生很大影响的设计方法学,也是实现制造业可持续发展的关键之一。

装备的再制造性与绿色设计和模块化设计关系密切。绿色设计的关键性技术,如可拆卸性、可回收性正需要用模块化的思想来实现;而模块化在各种行业中的绿色设计中都能充分体现系统和个体的灵活性。模块在生活中随处可见。模块化就是为了取得最佳效果,从系统观点出发,研究装备的构成形式,用分解组合的方法建立模块体系,并运用模块组合装备的全过程。

模块化的最终目的是为了获得良好的效果,通过绿色模块化的构建,装备应具有比传统装备更好的多方面效益。模块化的对象是某装备系统的构成,而不是研究解决某一个孤立装备的具体问题,因此系统由标准化的模块构成。

而面向再制造的绿色模块化设计研究的关键是面对再制造工程中装备的一些再制造性指标和要求,将绿色设计思想与模块化设计方法有机结合起来,研究形成绿色模块化设计基本理论的一些关键技术,它将大大完善和强化再制造装备设计的技术实现手段。随着其关键技术和具体设计程序得以完善和解决,面向再制造的绿色模块化设计可以同时满足装备的功能属性和环境属性,一方面可以缩短装备研发与制造周期,增加装备系列,提高装备质量,快速应对市场变化;另一方面,可以减少或消除对环境的不利影响,方便装备的重用、升级、维修和装备废弃后的拆卸、回收和处理,较之原来单纯的模块化设计的功能和效果更加强大,在面向再制造工程的装备设计和模块化设计时定会起到一举多得之效果。

2.2 面向再制造工程的绿色模块化设计评价指标

面向再制造工程的绿色模块化设计强调设计

时在保证装备基本功能的前提下,优先考虑装备的再制造性。装备在设计阶段的再制造性指标与装备回收或重用阶段的再制造性指标会有所不同,根据目前研究情况,再制造性设计阶段的再制造性指标主要应该体现在以下几个方面:

(1) 环境协调性;一是提高装备的资源 and 能源利用率;二是降低装备生命周期成本;三是装备的环境污染最小化。选择环境性能更佳的材料,提高零件的利用率,延长装备的生命周期是实现这些目标的有效方法。

(2) 易于拆解性;拆解是再制造的必须步骤,如果设计过程中没有考虑拆解性,则可能使得再制造拆解过程成为劳动密集型过程,降低再制造的经济性。

(3) 易于分类性;零件分类的正确与否,直接影响到再制造装备的质量。易于分类的零件也可以降低再制造总体时间。为了使拆卸后零件易于分类,设计时要采用标准化的零件,尽量减少零件的种类。

(4) 易于修复(升级)性;再制造过程中一个关键是对原制造装备的修复和升级,以使之易于达到新品的质量,并能够使再制造装备具有一定的市场竞争力。可以采用易于替换的标准化零部件和可以改造的结构并预留模块接口增加升级性;采用模块化设计,通过模块替换或者增加模块而升级再制造装备,

(5) 易于装配性;将再制造零件装配成再制造装备是保证再制造装备质量的重要一环,对再制造时间也有明显影响。采用模块化设计和零部件的标准化设计明显有利于装配的进行。据估计,再制造设计中如果拆解时间能够减少 10%,通常装配时间则可减少 5%。

(6) 易于运输性:虽然多数时候并不将废旧装备的收集作为再制造的主要步骤,但其直接为再制造提供了不同品质的原料,而且收集费用占再制造总体费用很大比重,所以对再制造具有至关重要的影响。装备设计过程必须考虑末端装备的运输性,使得装备更经济安全地运输到再制造工厂。

从以上可以看出,这六个指标之间相互既有区别又有联系,为了设计评价时能定量评价它们,我们可以将环境协调性和易于装配性归类为装备设计的绿色度,而把其它各项归类为装备设计的模块

度。因此,面向再制造工程的绿色模块化设计即可按照装备的绿色度和模块度指标进行具体评价,以使设计有一个比较客观的评价指标体系。

2.3 面向再制造工程的绿色模块化设计具体实现步骤

面向再制造工程的绿色模块化设计的具体实现步骤可归纳为:

(1) 需市场求分析。全过程首先应从用户或市场对装备的需求开始,例如需求量、价格、使用寿命、功能、升级性能等具体要求以及采用绿色模块化设计的可行性。通过分析,若该装备绿色模块化设计可行性通过,即认为在满足广义环境属性的前提下对装备的要求均可满足,即可进行下一步。

(2) 产品参数定义。参数分为尺寸参数、运动参数及动力参数 3 类。如参数定义范围过高,会造成资源和能源的浪费,不符合绿色模块化设计思想,若范围过窄则不满足用户要求。一般应先定义主参数,并使参数在能满足用户需求的前提下尽可能绿色化和模块化程度高。

(3) 系列型谱制定。系列型谱制定的要点为合理确定绿色模块化设计的装备种类和规格型号。型谱若过大,装备规格众多,市场适应能力增强,模块通用程度大,环境属性好,但工作量加大,成本上升,人力资源能耗大,总体看来效果不理想;若型谱过小,上述问题又向反方向发展,也不好。

(4) 模块划分与选择。这是模块化方法的核心内容,一般按装备的功能,将其分为基本功能、辅助功能、特殊功能及适应功能等,并借此划分相应的模块。通过划分模块,不仅有利于装备报废后的零部件的回收和重用升级,还使设计过程清晰可靠。

(5) 绿色模块的组合。当模块划分完成后,应将其按照某种方法组合成系统,如直接组合、集装式组合、改装后组合等,但组合时应考虑拆卸时简便易行,不损伤零部件,耗时耗能小等绿色思想。

(6) 分析计算。用各种现代设计方法,如机械零件设计软件包、有限元分析软件包、优化设计软件包等工具对已经设计好的装备进行分析校验,若不符合要求则需要回到模块选择上进行修改,将模块重新整合,直至装备符合要求为止。

(7) 再制造设计的绿色度与模块度指标评价。采用 AHP 法(层次分析法)及模糊综合评价方法等现代数学工具对装备再制造设计的绿色度与模块

度指标进行计算和评价,然后针对计算结果进行有关参数调整或重新设计。

2.4 再制造装备绿色度及模块度的评价方法

面向再制造工程的绿色模块化设计是一个综合的设计过程,需要综合分析影响其绿色度和模块度的各项经济、环境、材料、装配等多种因素,考虑装备的环境协调性;易于拆解性;易于分类性;易于修复(升级)性;易于装配性;易于运输性等特性,必须将装备末端的再制造因素作为整体设计的一部分,进行系统的考虑,这样才能充分保证装备今后的良好的再制造能力。

限于篇幅,本文只简要介绍面向再制造工程的绿色模块化设计中的绿色度及模块度的评价模型的主体框架。

装备的模块度评价模型的主体框架为:首先,对各模块利用工程模糊综合评判方法,得出各模块的模块度,然后,采用 AHP(层次分析法)方法,确定不同模块对于装备功能及再制造性的重要程度即权值矢量,最后,将两者加权求和,计算出装备的模块度。影响装备模块化程度的 5 个因素分别是:(1)结构交互性;(2)作用力交互性;(3)信号交互性;(4)能量交互性;(5)物质交互性;

对于不同的因素类型,需要采用离散或连续的隶属函数来得出不同的隶属度,一般来说,上述五种因素的隶属度越大,表示零件间的交互性越小,其模块化程度也越高。设计者可根据不同装备的特点赋予因素集中 5 个因素不同的权重或按确定隶属度的方法来加以确定,因素较多时也可利用 AHP 方法建立权重集。

装备的绿色度评价模型的主体框架为:首先,找出影响模块的环境性能的主要因素并进行重要性评价;然后,针对这些因素建立相应的评价标准并建立评价矩阵;最后,将这些矩阵加权求和,得出装备的绿色度。影响装备绿色度的 5 个因素分别

是:(1)重用性;(2)升级性;(3)维护性;(4)回收性;(5)处理性;不同的装备和不同的设计目标对环境影响的各因素的重要程度会有不同,具体评价计算时通常我们可以利用 AHP 计算出 5 个准则的重要性权重向量,也可以利用专家赋值的方法直接给出权值后再进行相应计算。

3 结 语

面向再制造工程的绿色模块化设计方法为装备再制造工程的实现提供了有效的设计方法。本文只是初步提出了这种设计方法的基本轮廓和实现手段,这方面的研究还处于起步阶段,尚未形成完整的体系,需研究的内容很多,有待我们在其理论基础和具体实现方法上进一步加以发展和完善。

参考文献:

- [1] 徐滨士. 绿色再制造工程的进展与发展趋势 [J]. 科学技术与工程, 2001, 1(1): 24-29.
- [2] 姚巨坤, 向永华, 朱胜, 等. 基于资源最优化回收的再制造工程 [J]. 再生资源研究, 2003, 16(6): 31-33.
- [3] 唐涛, 刘志峰, 刘光复, 等. 绿色模块化设计方法研究 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(11): 149-154.
- [4] 张安峰. 绿色再制造工程基础及其应用 [M]. 北京, 中国环境科学出版社. 2005.
- [5] 贾延林. 模块化设计 [M]. 北京: 机械工业出版社. 1993.
- [6] Gu P, Sosale S. Product modularization for life cycle engineering [J]. Robotics Computer Integrated Manufacturing, 1999, 15: 387-401.

作者地址: 湖南省常德市 415000

湖南文理学院机械工程系

Tel: 0736-7772793 Fax: 0736-7187626

E-mail: yangjirong@tsinghua.org.cn; yjrtt1028@sina.com