

废旧机电产品资源化

徐滨士, 朱 胜, 姚巨坤

(装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

〔摘要〕 针对经济快速发展、人们消费水平提高、产品更新换代频率加快与自然资源日益匮乏的矛盾,研究了废旧机电产品资源化的必要性、可行性及重大意义。指出废旧机电产品资源化的基本途径是减量化、再利用、再制造和再循环,废旧机电产品资源化的目标是使再利用、再制造的部分最大化,使再循环的部分最小化,使安全处理的部分趋零化。再制造产业快速健康的发展,可以创造出可观的经济效益,可以提供大量就业岗位,并对节约资源、节省能源、保护环境做出重大贡献,从而有力地支持社会可持续发展。工程师在推进再制造事业发展中的使命包括:在产品设计的源头考虑产品末端资源化的策略;在产品运行阶段不断吸纳降低能耗、延长寿命的新技术;在产品报废阶段,充分利用再制造技术,使资源利用率最大化、环境污染最小化。

〔关键词〕 再制造,循环经济,可持续发展

〔中图分类号〕 X76, X77

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2005)06-0017-03

Resource Recovery of Waste Machinery and Electronic Products

XU Bin-shi, ZHU Sheng, YAO Ju-kun

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072, China)

Abstract: Considering the contradiction between the rapid developmental economy, the enhancement of people's consumption level, the quickening of product updating frequency and the shortage of natural resources, this paper investigates the necessity, feasibility and significance of resource recovery of waste machinery and electronic products (WMEPs), indicates that the basic approaches of resource recovery of WMEPs involve reduce, reuse, remanufacturing and recycling ("4R"), aiming at maximizing the part of reuse and remanufacturing and minimizing the part of recycling. Fast and healthy development of remanufacturing industry can create considerable economic benefits, offer plentiful employment opportunities, and help to save resource, energy and protect environment, which facilitates the sustainable development of our society. The responsibilities of engineers in driving the resource recovery of WMEPs includes incorporating the strategy of resource recovery of end-of-life product in the origin of product design; adopting new technologies for extending the life of products and reducing energy consumption in the use stage of product; using remanufacturing technologies fully in order to maximize the using efficiency of resource and minimize the environment pollution.

Key Words: remanufacturing, circular economy, sustainable development

CLC Numbers: X76, X77

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)06-0017-03

1 引言

20 世纪全球经济高速发展,大量机电产品极大地丰富了人们的物质文化生活,与此同时,废旧机电产品的数量也以惊人的速度增长,由此造成的生态破坏、环境污染、资源浪费等问题日益突出。据统计,造成全球环境污染的 70% 以上的排放物来自制造业,每年约产生 55 亿 t 无害废物和 7 亿 t 有害废物。为缓解资源短缺和资源浪费的矛盾、保护生态环境、最大限度回收利用废旧机电产品所蕴含的财富,在中国大力推动废旧机电产品资源化,具有重大现实意义。

2 废旧机电产品资源化的内涵

废旧机电产品资源化是以废旧机电产品为对象,通过现代技术与工艺加工,在规范的市场运作下,最大限度地开发利用其中蕴含的材料、能源及经济附加值等财富,使其成

为有较高品位、可以使用的资源,以达到节能、节材、保护环境等目的^{〔1〕}。建设资源节约型社会的核心是节约资源与能源,而资源化的目标是尽可能少地消耗资源和能源,尽可能多地满足社会发展需求。因此废旧产品资源化是实现建设资源节约型社会的重要技术支撑,是社会可持续发展的技术保证。

废旧机电产品资源化的基本途径包括:减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再制造(Remanufacture)、再循环(Recycle),简称"4R"。中国工程院院长徐匡迪院士在 2004 年世界工程师大会报告上提出了"4R"战略。减量化主要是指在满足社会需求的情况下尽量少地消耗资源和尽量少地减少环境污染;再利用主要是指对经检测合格的废旧产品零部件的直接使用;再制造工程是以产品全寿命周期理论为指导,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术

收稿日期:2005-04-14

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50235030)、国防"十五"预研项目(413270103)

作者简介:徐滨士,中国工程院院士,北京长辛店杜家坎 21 号装备再制造技术国防科技重点实验室,主要从事装备再制造工程和表面工程研究;E-mail: xubinshi@sina.com

和产业化为手段,用以修复、改造废旧产品的一系列技术措施或工程活动的总称。简言之,再制造是高科技维修的产业化;再循环主要是实现材料的回收利用。再利用和再制造是废旧机电产品资源化的最佳形式和首选途径,再循环是在当前技术水平达不到或经济不合算条件下的不得已举措。废旧机电产品资源化的目标是通过采用先进技术和严格管理,使再利用、再制造的部分最大化,使再循环的部分最小化,使需要安全处理的部分趋零化,使环境污染最低化,最大限度地提取废旧机电产品中所蕴含的财富。

3 废旧机电产品资源化的紧迫性和可行性

在全面建设小康社会的进程中,资源的短缺和能源的不足,已成为中国社会发展的重要制约因素,是急需解决的课题。图 1 是 2000 年对全球重要金属矿可开采年限(储产比)的分析^[2],可见矿产资源已经非常紧缺。

随着生活水平的不断提高和技术的飞速发展,机电产品更新换代速度也在加快。如图 2 所示,2003 年中国年报废汽车达 200 余万辆,报废彩电、冰箱、空调等家用电器 1 500 万台,报废电脑 500 万台。

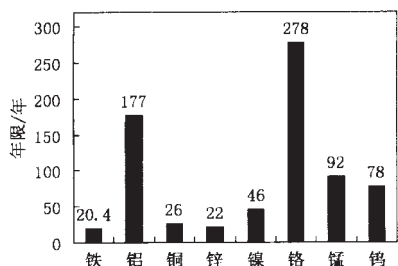


图 1 全球重要金属矿可开采年限(2000 年)

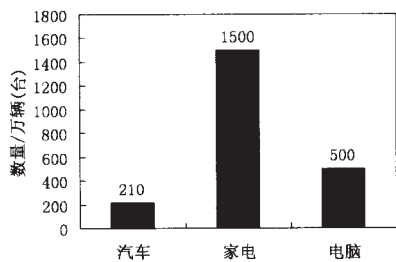


图 2 机电产品报废量(2003 年)

废旧机电产品的大量增加带来了以下严重的社会问题。

3.1 威胁人类健康

废旧机电产品与普通固体垃圾不同,含有对人体有害的化学物质,例如电脑和手机元器件中含有铅、砷、汞等 300 多种有害物质,如果处置不当,有害物质可能通过呼吸、食物链甚至皮肤等进入人体,严重威胁人类身体健康。

3.2 污染自然环境

由于缺少有效处理废旧机电产品的办法,当前多是混同于一般生活垃圾填埋或直接暴露于环境中风吹日晒,进而造成空气、土壤和水质的严重污染,构成了对生态环境的负面影响。

3.3 占用大量土地

废旧机电产品的随意堆置,不但破坏了环境的美观,还侵占了大量土地,中国 1993 年固体废弃物 20 亿 t 中有 95% 堆放,占地约 500 km²。

3.4 构成安全隐患

一些本应报废的机电产品大量从经济发达地区流向不发达地区继续使用,不但造成了能源过度浪费、噪声干扰、环境污染等,而且很容易引发直接危及人身安全的漏电、火灾、车祸等事故。

解决经济发展与资源短缺、环境污染这一矛盾的一个重要途径就是积极实施再制造工程,大力发展再制造产业,把废旧机电产品作为相对于自然资源的第二资源,实施废旧机电产品资源化,从废旧机电产品中挖掘原材料和能源。下面是对废旧汽车发动机、废旧履带拖拉机的资源化典型实例进行的剖析(如下表 1、2、3、4 所示)。

表 1 发动机 3 种资源化形式所占比例(%)^{*}

	再利用	再制造	再循环
零件价值	12.3	77.8	9.9
零件重量	14.4	80.1	5.5
零件数量	23.7	62.0	14.3

^{*} 统计基数为 3 000 台斯太尔 WD615 型发动机。

表 2 拖拉机 3 种资源化形式所占比例(%)^{*[3]}

	再利用	再制造	再循环
零件价值	37.3	34.0	28.7
零件重量	48.6	23.0	28.4
零件数量	40.3	20.5	39.2

^{*} 统计基数为 128 台东方红-75 履带式拖拉机。

可以看出,对废旧发动机和拖拉机进行再制造潜力巨大。如果采用单一的再循环方式回收材料,将会造成严重的浪费和损失。表 3、4 所示,废旧发动机和拖拉机的再制造,可以产生可观的经济效益、环境效益和社会效益。

表 3 年再制造 1 万台斯太尔发动机的经济环境效益分析

节约投资 (亿元)	回收 附加值 (亿元)	直接再用 金属 (万 t)	就业 (人)	利税 (亿元)	节电 (万度)
2.9	3.59	0.85(钢铁 0.66, 铝 0.15, 其它 0.04)	330	0.34	1 600

表 4 年再制造 1 万台东方红-75
履带式拖拉机的经济效益分析

节约投资 (亿元)	回收附加值 (亿元)	直接再用金属 (万 t)	就业(人)	利税(亿元)
4	6	4.4	2 000	0.36

4 废旧机电产品资源化的意义

4.1 资源潜力巨大

对斯太尔旧发动机剖析的结果表明,占总机重量 94.5% 的零件都可以再利用或再制造。这充分说明了对废旧机电产品进行资源化可减少原生资源的开采,减轻中国人均资源匮乏的压力,满足经济可持续发展的需要。每年全世界仅再制造业节省的材料就达到 1 400 万 t,节省的能量相当于 8 个中等规模核电厂的年发电量^[4]。

4.2 经济效益显著

1996 年美国再制造涉及的 8 个工业领域中,专业化再制造公司超过 73 000 个,生产 46 种主要再制造产品,年销售额超过 530 亿美元(接近 1996 年美国钢铁产业的年销售

额 560 亿美元), 其中汽车再制造是最大的再制造领域, 公司总数为 50 538 个, 年销售总额为 365 亿美元, 占 68%^[5]。资料表明, 美国 2002 年资源化产业的年产值为 GDP 的 1.6%。中国 2020 年 GDP 预计达到 4 万亿美元, 如果以美国 2002 年资源化的水平作为中国 2020 年目标, 则资源化产业年产值将达到 640 亿美元。

4.3 环保作用突出

废旧机电产品资源化可以减少原始矿藏开采提炼以及新产品制造过程中造成的环境污染, 能够极大地节约能源, 减少温室气体排放。美国环境保护局估计, 如果美国汽车回收业的成果能被充分利用, 对大气污染水平将比目前降低 85%, 水污染处理量将比目前减少 76%。

4.4 缓解就业压力

实施废旧机电产品资源化, 将可兴起一批新兴产业, 解决大量就业问题。美国的再制造业规划到 2005 年安排就业 100 万人, 对应的资源化产业安排就业 214 万人; 中国 2020 年如达到美国 2005 年水平, 将创造 200 多万个就业机会。美国的研究表明^[6], 再制造、再循环产业每产生 100 个就业机会, 采矿业和固体废弃物安全处理业将失去 13 个就业机会。两者相比, 可以看出再制造、再循环产业创造的就业机会远大于其减少的就业机会。

4.5 提供物美价廉的产品

通过开展以再制造为主的资源化, 可以提供物美价廉的产品, 提高人们的物质生活水平。再制造生产过程不同于传统的产品大修, 它是以废旧产品为对象, 采用专业化、大批量的流水线生产方式, 通过对产品的全面拆解、鉴定, 按新品的标准恢复零部件的性能, 使再制造产品的质量能够等同甚至高于新品。再制造充分提取了蕴含在产品中的附加值, 在产品销售时具有明显的价格优势。如再制造发动机, 其质量、使用寿命完全与新机相同, 并有完善的售后服务, 价格仅为新机的 55%, 可供不同收入阶层选用。

5 工程师在废旧产品资源化中的责任

工程师是资源的直接利用者和操作者, 在废旧产品资源化的过程中, 承担着以下重要的责任。

5.1 在产品制造过程中应考虑末端的资源化方式, 增加回收的比率, 延长产品的寿命, 实现资源的最佳利用

产品末端的回收性的 2/3 是由产品设计阶段所决定的, 工程师应该在产品设计阶段就考虑产品的资源化利用率, 实现从源头控制污染, 达到末端回收的最大化。例如工程师在产品设计中应该考虑产品的可再制造性, 使得产品能够被多次利用, 实现产品本身的可持续使用。产品的再制造性主要表现在产品的模块化设计、技术增长的可预测设计、易于拆卸性、材料寿命长久原则等。模块化是对产品的结构进行模块化划分, 使得模块成为产品的构成单元, 简化产品结构, 有利于产品的更新换代和资源化利用。技术增长

的可预测设计主要针对当前产品由于性能过时淘汰增多, 而对产品的技术增长趋势进行预测; 预测产品的性能增长接口, 使之能够不断地兼容新技术, 实现产品本身的性能增长; 同时还要考虑产品本身在使用过程中的污染、腐蚀、磨损等造成的产品性能劣化, 实现其本身资源的最长效利用。

5.2 在产品制造和使用中应采用先进技术, 实现资源的最大节约

在产品制造中, 要不断地采用新技术、新工艺来提高资源的利用效率, 例如在产品制造过程中采用先进的表面技术, 在结构件表面可以增加新的表层, 满足产品对结构件本身的性能要求, 从而避免结构件本身采用同表面一样的材料, 节约大量的资源。

在产品维护中也要采用新技术新工艺, 高质量地延长产品服役寿命, 减少报废量, 增加资源的利用效率。例如机床导轨的磨损与划伤是机床最常见的损伤, 通过采用表面电刷镀技术, 经过严格的工艺, 选用快速镍或镍-钨 50 作为工作层可以强化工作层, 提高表面性能, 延长导轨的使用寿命, 增加资源的利用效率。

5.3 在废旧产品的资源回收中应采用先进的理念, 最大量地回收其中蕴含的有形和无形资源

资源化技术是实现资源化的保证, 工程师应掌握现有的资源化技术, 并应用到资源化工程中, 以实现废旧产品的最大化资源利用。同时还要在废旧产品回收中采用先进的作业方式, 最大限度地提取废旧机电产品中所蕴含的财富。再制造是一种资源化的最佳形式, 具有更加显著的效益, 它能够回收在产品制造阶段添加到产品中的附加值, 包括加工、能源、技术及劳动力等, 可以最大化地利用废旧机电产品资源。如通过对发动机的再制造, 可以使原值 85% 的附加值得以保持。美国已将再制造作为废旧产品处理的综合工程, 作为产品最佳的资源化形式。

参考文献 (References)

- [1] 徐滨士, 刘世参, 李仁涵, 等. 废旧机电产品资源化的基本途径及发展前景研究[J]. 中国表面工程, 2004, 17(2): 1~6
- [2] 金丹阳. 从大自然对人类的制约看中国再生资源利用的发展趋势[A]. 见: 再生资源产业的实践与探索[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 61~84
- [3] 梅书文, 杨金生, 张福学. 履带拖拉机再制造工程的质量体系及效益分析[J]. 中国表面工程, 2002, 15(3): 9~13
- [4] Steinhilper R. Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling [M]. Germany: Fraunhofer IRB Verlag, 1998. 100
- [5] Robot T Lund. The Remanufacturing Industry—Hidden Giant[R]. Manufacturing Engineering Department, Boston University, Massachusetts, 1996. 7
- [6] Francine Atwell, Amy Gregg. Recycling/Remanufacturing in Hawai'i [R]. The Hawai'i Small Business Development Center Network, 1999. 43

(责任编辑 胡春华)

更 正

由于我们工作失误, 我刊 2005 年第 4 期页眉英文月份有误: Feb. 应是 Apr.; 第 30 页“青藏铁路路基工程可靠性分析思路浅析”一文, 丢失了图 1 和图 2 (感谢石耀霖院士指出此错误)。特此更正, 并向作者及读者致歉。

《科技导报》编辑部