

工业设计

论产品拆解与绿色设计方法问题

程 鲲, 王军锋

(西南科技大学, 绵阳 621010)

摘要: 基于产品设计资料, 引入产品结构树型图、产品可拆解性和能源回收指数等概念, 评估了产品的可拆解性和能源回收性; 构建了合并材料和整合产品功能单元2种绿色优化设计方法。以四川绵阳某企业B型超声仪器为例, 通过优化设计前后产品零部件数量、拆解步数、拆解时间和能源回收指数的对比, 验证了该方法的有效性。

关键词: 产品绿色设计; 可拆解性; 能源回收; 优化设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)02-0029-04

Methods of Product Disassembly and Green Design

CHENG Kun, WANG Jun-feng

(Southwestern University of Science & Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Based on design information of product, it led into conception which included product structural tree, disassembly characteristics and resource circulation index and so on, and evaluated the disassembly characteristics and resource circulation characteristics of mechanical and electrical products. Construct two green optimal design methods and minimize number of parts by material unification and integration of unit components. The ultrasound machine comes from X corporation in Mianyang as a example, prove the effectiveness of the methods through comparing the parts number, disassembly order, disassembly time and resource circulation index.

Key words: product green design; disassembly characteristics; resource circulation; optimal design

现在, 制造业面临着资源短缺、污染加重等环境问题, 如何将已报废的产品回收再利用, 已成为制造业努力的方向, 因此, 如何提高产品的拆解、能源的回收利用效率, 降低产品本身的装配、制造和回收成本已成为产品设计亟待解决的问题^[1]。

产品设计资料包括3个方面的内容: 产品结构、零部件的详细特征(零部件的命名、材料、重量、功能、化学性能)和零部件之间连接的信息(连接方式、方向以及个数)^[2]。产品的结构是最重要的信息, 树型结构图可以表达产品本身的结构特征, 也是评估产品的拆解性能和能源回收利用性能的有效工具^[3]。零部件的详细特征和连接方式与产品的能源可回收利用性能密切相关, 零部件之间的连接信息定义了产品的拆解时间^[4]。

产品设计方案制造加工前的资料包括了产品的

可拆解性、能源的可回收性以及产品本身的结构等内容。本研究提出了基于产品设计资料评估产品的可回收性和拆解性, 以及能源的回收利用性的方法框架; 通过改进产品的拆解性和能源回收特征构建了产品绿色优化设计方法。以四川绵阳某企业的B型超声仪器设计为例, 验证了以上方法的可行性。

1 产品的可拆解性和能源的回收利用特征

1.1 产品结构树

产品的结构可以通过树型图来表示, 见图1。此树型图中, 顶端为产品本身, 树干为产品的主要零部件, 枝为次级零部件, 依次类推, 叶为组成产品的基本零件(标准件或者非标准件)。干枝之间的节点包含了枝部件的详细信息, 如部件名称、材料、重量、功能

收稿日期: 2010-07-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(No.2006BAF01A44, No.2006BAF01A02)

作者简介: 程鲲(1974-), 男, 甘肃人, 硕士, 西南科技大学讲师, 主要研究方向为产品造型设计、人机工程。



图1 产品结构的树型图

Fig.1 Product structure tree

以及化学性能等。每一段连接表示产品零部件之间的装配信息,如装配方法、方向和操作次数等^[5]。通过此结构树也能看出产品的拆解顺序,即先将产品拆分成组成产品的主要干部件,再进行次级零部件的拆解,依次拆解至基本零件。

1.2 产品的可拆解性

由产品的拆解时间定义,产品的拆解时间与其零部件之间的装配方式和数量有关,与产品的种类几乎没有任何关系,这为评估产品的拆解时间提供了可量化的方法。评估产品拆解时间的方法如下所示。

第1步,列出连接类型和数量:

连接类型	数量
螺钉连接	20
螺栓连接	30
.....	

第2步,测算每种连接方式的拆解时间:

连接类型	单个连接拆解时间
螺钉连接	9 s
螺栓连接	15 s
.....	

第3步,估算整个产品的拆解时间:

螺钉连接	9 s × 20 = 180 s
螺栓连接	15 s × 30 = 450 s
.....	
总 计	产品总拆解时间

列出产品零部件之间装配的类型和次数,利用公式(1)计算产品的拆解时间。

其中: T_a^i 为装配方式*i*的拆解方式*a*的耗时, n 为装配方式*i*的拆解方式总数; T_i 为装配方式*i*的平均时

间, N_i 为装配方式*i*的数量, L 为产品所包括的装配类型数目。

$$\begin{cases} T_i = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n T_a^i \\ T_{dis} = \sum_{i=1}^L T_i \times N_i \end{cases} \quad (1)$$

1.3 产品的能源回收利用性能

产品的零部件材料构成和能源回收指数(RI)可以确定产品的能源回收利用性能。产品零部件是否可回收利用由其材料构成来确定,例如:由单一金属材料制造的零部件可通过回收材料进行再利用^[6]。像电动机、计算机硬盘这样由多种材料制成的部件则需要进一步处理才能再利用,除非将其用作维修零部件。

RI 定义了产品的能源回收性能,公式(2)是回收指数的定义。 $RI=1$ 表明整个产品不经过处理就可以再利用。依照回收利用准则,产品的回收效率和生态友好性依照产品回收策略的不同而有所差异^[7],因此,能源的循环系数 A_i 被引入至能源回收指数 RI 中, A_i 指数表示零件的可再利用性,它由产品的材料组成决定。单一材料的零部件(金属和热塑性塑料) A_i 值较高, $A_i=1$,因为目前此种材料的回收技术和系统都已非常成熟,而复合材料零部件 A_i 指数的确定较为复杂。只有零部件的再利用不会造成非常大危害的时候才进行回收利用。所以,零部件再利用的 A_i 指数存在不良率。通过焚烧零部件,取回热能的 A_i 只有0.2。

$$RI = \{A_i \times W_i / W_p\} \quad (2)$$

其中: W_i 为零部件*i*的重量; W_p 为整个产品的重量。

2 绿色优化设计方法

笔者为产品的绿色优化设计提出2种方法:减少零部件的数量和减少产品所使用材料种类的数量。这2种方法可通过以下步骤实施。

2.1 合并零件材料

(1)绘制出目标产品的树型结构图;(2)如果,在一个枝结构上有超过2个的零件拥有同样的材料组成,将这2个零件合并为一个零件,见图2区域A;(3)拥有多个节点的同一枝结构上的零件如果使用了多种材料,尝试通过合并材料来实现零件的结合,见图2区域B;(4)标签和密封条等附属应与父节点的部件采



图2 合并材料以减少零件数量

Fig.2 Decreasing the component number by material unification

用同一材料,或者直接在父节点的部件上直接标出标签的内容,见图2区域C。

2.2 整合产品功能部件减少零件数量

(1)如果同一枝结构由多个功能单元和机械部件组成,那么将这些部件整合成为一个功能单元,见图3区域E;(2)如果同一区域拥有多于一个的功能

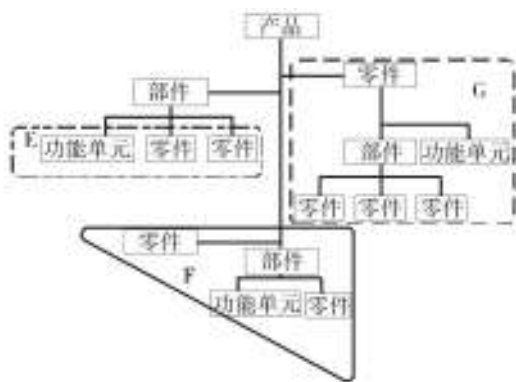


图3 整合部件以减少零件数量

Fig.3 Decreasing the component number by component integration

单元部件,尝试将此区域内所有的部件整合成为一个功能单元,见图3区域F。

3 实例验证

为验证提出方法的可行性,以四川绵阳某公司生产的B型超声仪器为例,对其进行绿色优化设计。

3.1 定义产品的结构树型图

基于产品模型的拆解过程,定义其结构树型图,整个手动拆解过程会用到螺丝刀、钳子、扳手之类的工具,要求拆解过程直到产品无法再进一步手动拆解为止^[8]。此过程要定义每个零部件的拆解时间,计时

从工具接触零件开始,到零件与其他零部件脱离接触关系停止。

3.2 评定产品以确定改进方法

对产品本身的评定包括3个方面的信息:(1)利用产品拆解时间定义产品的可拆解性;(2)分析产品零部件的材料构成以确定其能源回收性;(3)计算产品的能源回收指数 RI 。

在提出的设计改进技术基础之上,提出了2种解决方案:(1)利用第1种优化方法,对产品的材料进行合并;(2)利用第2种优化方法,即通过先合并材料再整合零部件的方法来缩减产品的零件数目。在确定优化方案并实施之后,要对改进后产品方案进行可拆解特征和能源回收指数 RI 的重新定义,以此为依据对比方案实施前后,产品的环境友好性^[9]。

3.3 B型超声仪器的可拆解性和能源回收性

四川绵阳某公司B型超声仪器的拆解曲线,见图4。曲线显示了拆解时间和拆下零件总质量之间

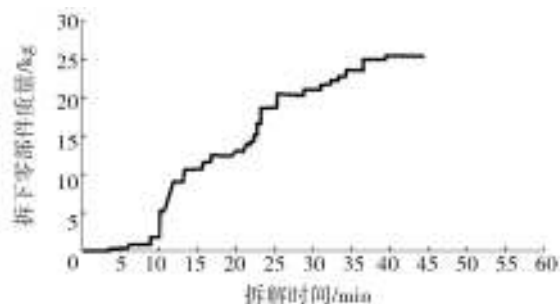


图4 B型超声仪器的拆解曲线图

Fig.4 Disassemble curve of the ultrasound-B

的关系,可以看出,拆下零件总质量与拆解时间成一定比例。最后总拆解时间为40 min,零件总个数为105个。

那些可重复装配方式耗时较少,拆卸螺钉和拆掉粘连附件的操作次数出现较多,耗时也较长,这2种装配方式拆卸的耗时约占总耗时的60%。整个拆解过程把B型超声仪器分成单一材料的零件和功能单元,大约15%的零部件由单一的金属材料制成,大约35%的零部件由单一的塑料材料制成。

B型超声仪器的能源回收指数见表1,列出了3种常见的报废产品处理方法及对应的能源回收指数 RI 的值。整个产品都通过掩埋的方式处理的话, $RI=0$,由单一金属或者热塑性塑料制成的产品可通过处理进行二次使用,其 RI 约为0.4,报废产品处理方案的 RI

表1 B型超声仪器的能源回收指数

Tab.1 RI of the ultrasound-B

	处理方式1	处理方式2	处理方式3
金属	掩埋	回收材料	
热性塑料		掩埋	回收热能 重复利用 掩埋
其他塑料			
功能单元			
其他零件			
RI指数	0	0.38	0.84

值由该产品单元的可回收利用性决定。如果,此功能单元部件经过处理后可以再次使用,那么 RI 值可升为0.84,反之,功能单元不能作为维修部件或者参与再生产的话,其 RI 值则同样为0.4。

4 通过设计策略减少零件数量

B型超声仪器的结构树型图见图5a,共有87个零

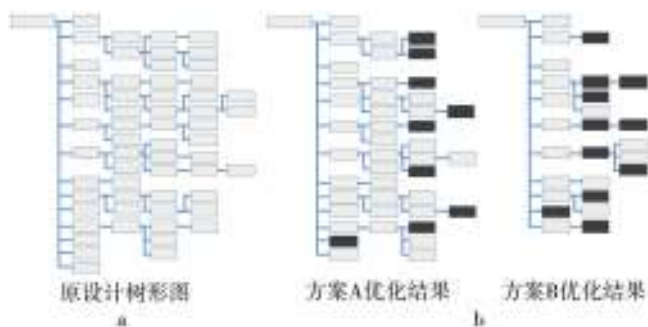


图5 B型超声仪器原模型和经方案A、方案B优化后结构树型图
Fig.5 The original model and models after A & B of ultrasound-B

部件,通过提出的优化方案A对其进行材料合并后,零部件减少为50个,在此方案中,去除了标签、密封条、橡胶垫之类的附属件,并且去除了塑料和金属合成的零件;通过方案B对电路板和产品其他功能单元部件进行整合后,产品又减少了11个零部件。

5 改进后产品的可拆解性和能源回收性

优化后产品的可拆解性和能源回收性见表2,产品的拆解时间随着零件数量的减少而缩减,产品的零部件拆解步骤同样减少。这表明,减少产品零部件的策略是改进产品可拆解性的有效途径。同样,去除掉标签、密封条、橡胶垫之类的附件对于减少拆解时间

表2 优化后产品的可拆解性和能源回收性

Tab.2 Disassembly and resource circulation characteristics of modified models

	原产品	方案A	方案B
零部件数量	76	45	32
最终拆解时间/min	24	16	12
最终拆解步数	5	4	3
RI指数1	0.94	0.98	0.97
RI指数2	0.30	0.34	0.27

有一定作用。

改进后产品的能源回收指数 RI 基于表1确定。其中,如果功能单元可以重复利用, RI 值将超过0.9,此外,方案A中如果功能单元部件不能再利用,那么 RI 的最大值仅为0.34。受到产品零部件材料构成因素的影响,方案B的 RI 值小于初始产品的 RI 值。方案A中,通过材料的合并而减少零件数量,但却增加了单一材料的重量。相比之下,方案B通过功能单元的合并而减少零件数量,同时也减少了单一材料的重量,因为将一些机械部件整合到其他功能单元的做法使得产生的新部件更重。

6 结语

利用产品设计资料确定了产品可拆解性和能源可回收性,产品的结构树型图和拆解曲线在此过程中起到了很好地作用。通过改进产品的可拆解性和能源回收性提出了新的绿色产品设计方法。以四川绵阳某公司生产的B型超声仪器为例,进行了方法的应用验证:通过合并材料的方式来减少产品零件数量的做法得到的改进产品比原产品的拆解时间减少了30%,零件数量也减少了30%;通过合并材料和整合功能单元的方法减少产品零件数量的做法得到的改进产品比原产品的拆解时间减少了一半。如果功能单元可以回收利用,零件数量的减少对于改进产品的可拆解性和能源回收性都有利。另一方面,假如产品的零部件都不能回收利用,合并材料减少零件数量的方法对于改进产品的能源可回收性仍有较明显作用。

参考文献:

[1] 孟鹏,段广洪,汪劲松,等.基于图论的产品拆卸回收建模

(下转第67页)

3.3 媒体引导消费观念

媒体更应该关注低碳概念,因为家具产业单靠零售终端、制造性的企业来呼吁“低碳”难度很大。媒体应当肩负起教育广大消费者的重任,一方面帮企业宣扬低碳产品,另一方面号召消费者进行低碳消费,在企业、媒体和消费者的思想观念中全面贯彻低碳思想,让部分家具企业先低碳起来,进一步激励家具产业全面的低碳式发展。

4 结语

低碳经济作为一种新的发展模式,将创造全新的游戏规则,碳排放是其新的价值衡量标准,从企业到国家将在新的标准下重新洗牌。这是一个转型的契机,可以帮助企业实现向低碳高增长模式的转变^[1]。发展低碳不是一蹴而就的,而是一个渐进的过程,最先突破的企业可能成为新一轮增长的领跑者,必将在同行中领先和胜出。发展低碳不仅是企业必须承担的责任,它关乎我国国民经济的可持续发展、人类的生存环境以及每个人的健康和未来。

参考文献:

- [1] 冯之浚,周荣,张倩.低碳经济的若干思考[J].中国软科学,2009(12):18-23.
- [2] 国务院发展研究中心应对气候变化课题组.低碳经济的中国策略[J].新经济导刊,2009(10):91-95.
- [3] 吴智慧.室内与家具设计·家具设计[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [4] 王铁球.绿色设计在家具产业中的应用[J].家具与室内设计,2001(1):22-25.
- [5] 刘晓红.家具企业你离低碳经济有多远[EB/OL].顺德家具网. <http://www.fsjiayu.com/blog/ShowBlog.asp?id=565>.
- [6] 吴智慧.信息经济时代的家具先进制造技术[J].家具,2003(3):11-20.
- [7] 陈瞻.低碳经济背景下的包装设计策略[J].包装工程,2010,31(17):158-161.
- [8] 戴宏民.低碳经济与绿色包装[J].包装工程,2010,31(9):131-133.
- [9] 常乐,吴智慧.低碳设计[D].第五次亚洲设计文化国际研讨会,2010(10):3-9.
- [10] 郭莉.用“低碳”方式做企业[J].投资北京,2009(11):21-23.
- [11] 阎岳.发展低碳经济要“两条腿”走路[N].证券日报,2010-03-10(A2版).

(上接第32页)

- 与评估系统[J].机械工程学报,2002,38(4):85-89.
- [2] ALTING L, BOOTHROLD G. Design for Assembly and Disassembly[J]. Annals of CIRP, 1992(41): 625-636.
 - [3] 栾忠权.基于产品环境生态指数的绿色设计方法研究[J].机械工程学报,2004,40(5):96-100.
 - [4] 江吉彬,刘志峰,倪楠,等.CAD设计域与回收设计域信息映射技术的研究[J].中国机械工程,2004,15(16):1483-1489.
 - [5] MARK F, PATRICK E, DENNIS H. Linking Industrial Ecology with Business Strategy: Creating Value for Green Product Des-

ign[J]. The Journal of Industrial Ecology, 2001, 5(3): 158-160.

- [6] 王军锋,武艳芳,宋明轩.基于适应性反馈的产品生命周期设计[J].包装工程,2009,30(8):95-97.
- [7] 张雷,刘光复,刘志峰,等.面向绿色设计的产品优化配置方法[J].农业机械学报,2008,39(9):123-128.
- [8] KONDO Y, MIKI K, HIRAI K, et al. A Disassembly and Recyclable Assessment Tool for Industrial Products with Complex Structure[J]. J of ECDM, 2000(8): 39-45.
- [9] JOVENE F. A Key Issue in Production Life Cycle[J]. Annals of CIRP, 1993(42): 651-658.

(上接第55页)

- 竹子研究汇刊,2006,25(4):54-57.
- [5] 巫建,冯豫韬.关于竹材开发与振兴中国设计的思考[J].北京印刷学院学报,2006,14(2):51-537.
 - [6] 裘英英.材质之美——论竹材在家具设计中的独特魅力[J].

消费导刊,2010(4):156-159.

- [7] 卢艺舟,陈斗斗,陈海燕.浅谈竹材在现代产品设计中的应用[J].竹子研究汇刊,2006,25(3):1-4.
- [8] 刘佳.工业产品设计与人类学[M].北京:中国轻工业出版社,2007.