

基于定性立体模型的包装机械可装配/拆卸性分析

曾晓红¹, 郝喜海¹, 许卫红²

(1. 株洲工学院, 株洲 412008 2. 中国包装总公司, 北京 100000)

摘要: 提出了一种包装机械可装配/拆卸性设计评价指标体系, 该方法以定性的位置和形状为基本信息, 通过分析零件的可移动性和移动方向, 进行零件的装配/拆卸性分析。研究表明, 使用该方法有利于推广应用高水平的包装机械可装配/拆卸性分析技术。

关键词: 包装机械; 再生资源; 可拆卸性设计; 产品全生命周期

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2005)06-0054-04

Packaging machine assembly/disassembly analysis based on qualitative solid models

ZENG Xiaohong¹, HAO Xihai¹, XU Weihong²

(1. Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou 412008, China

2. China National Corporation, Beijing 100000, China)

Abstract The paper proposes a novel evaluation index of packaging machine assembly/disassembly. At first, the packaging machine features at the conceptual design phase are clarified, and a new concept of qualitative assembly model that describes assembly relations among components and qualitative shapes of the component is proposed. A disassembly analysis method is also presented. Then, a disassembly analysis method is presented. By analyzing components motion feasibility and motion directions based on the qualitative positions and shape relations, disassembly analysis can be achieved. Experiments results explained that this method would be helpful for application of advanced packaging machine assembly/disassembly technologies in all enterprises.

Key words packaging machine; renewable resource; product life-cycle; design for disassembly

包装机械可拆卸性设计评价是包装机械绿色设计的重要环节, 包装机械可拆卸性设计 (DFDOPM: Design for Disassembly of Packaging Machinery), 是以可拆卸性作为结构设计的一个评价标准, 以实现包装机械能够安全的分解、拆离, 零部件或材料能够重复利用、回收或降解为目的的设计。包装机械可拆卸性评价是对设计方案进行评价-修改-再评价-再修改直至满足设计要求的动态过程。如何对产品进行可拆卸性评价, 用哪些指标进行评价, 用什么标准衡量是可拆卸性评价面临的首要问题。因此, 提出一套完整的可拆卸性评价指标体系, 建立一套评价标准是评价系统的基础^[1-2]。包装机械可拆卸性评价指标体系必须科学的、客观的、尽可能全面地考虑各种因素, 包括组成系统的主要因素及有关系统性能、费用、效果等方面, 这样就可以明确地对各种方案进行对比和评价, 并对其缺陷筹划适当的对策。

DFDOPM 不同于传统的机械设计, 它在产品设计阶段就将可拆卸要求作为设计目标。DFDOPM 主要目的包括 3 个方

面: (1) 拆卸可重用或能再利用的零部件; (2) 去除那些有毒有害, 对环境或人身健康有影响的材料; (3) 尽可能将残余的材料分解成纯净的材料。针对上述 3 个目的, 包装机械拆卸可分为 3 种类型: (1) 破坏性拆卸, 以分离为宗旨, 不考虑零部件的完好程度; (2) 部分破坏性拆卸, 要求昂贵或重要的零部件必须安全拆下, 不考虑其它廉价或非重要的零部件的破坏程度; (3) 非破坏性拆卸, 为拆卸的最高阶段, 它要求拆卸过程中, 不能损坏任何零部件。在包装机械设计时要在综合考虑产品的功能、性能、经济等因素要求的同时, 考虑拆卸过程对环境造成的影响, 合理的选择拆卸类型, 确保获得最佳价值成本比。

文中提出了用拆卸费用、拆卸时间、拆卸过程能量消耗等包装机械可拆卸性设计评价指标体系, 从而为包装机械设计人员进行包装机械可拆卸性设计提供了理论依据。

收稿日期: 2005-10-24 修订日期: 2005-11-03

基金项目: 中国包装总公司重点项目 (04ZBKJB003); 湖南省教育厅资助科研项目 (05C517)

作者简介: 曾晓红 (1965-), 湖南攸县人, 株洲工学院高级工程师, 主要从事包装机械设计与研究。

1 包装机械可拆卸性设计评价指标体系

拆卸评价指标和分析方法与我们进行拆卸分析的目标密切相关,比如说从成本方面来考虑,当拆卸进行到一定的阶段后,剩下的零件的回收价值已经小于进一步拆卸所需的成本,拆卸过程应该停止。即以降低拆卸成本为目标进行考虑,把拆卸过程的经济性作为评价指标,并且分析拆卸路径与拆卸深度和成本的对应关系。以分析目标作为可拆卸性设计分析的分类出发点,大概可把可拆卸设计评价指标和主要影响因素分为以下几类。

1.1 拆卸过程相关指标

1.1.1 拆卸费用指标

拆卸费用包括人力费用和投资费用等^[3]。由于零部件的拆卸难易程度不同,拆卸费用也表现为不同的量值。拆卸费用所需的工具、夹具的定位及夹具送进装置的费用、拆卸操作费用、拆卸下的材料的识别、分类运输及存储费用等。其中人力费用主要指工人工资。拆卸费用是衡量结构拆卸性好坏的主要指标之一。某一零件单元的拆卸费用高,则其回收利用价值就小。当拆卸费用大于该零部件单元废弃后的固有成本时,其回收重用的价值就完全消失。可见,拆卸费用越少,则零部件单元的回收重用价值越高。

拆卸费用可用下式表示:

$$C_{\text{disa}} = K_1 \sum_{i=1}^m (C_i t_i / 3600) + K_2 \sum_{i=1}^m C_i S_i \quad (1)$$

式中: C_{disa} 为总拆卸费用(元); K_1 为劳动力成本系数,它是考虑到不同拆卸方式(如手工拆卸或自动拆卸等)、工人的技术水平、不同时间等的劳动力费用的变化; K_2 为工具费用系数,它是考虑拆卸工具费用随拆卸方式的变化; i 为拆卸操作的次数; C_i 为拆卸操作 i 的当前劳动力成本(元/h); t_i 为拆卸操作 i 所花费的时间(s); C_i 为拆卸操作 i 的当前工具成本消耗; S_i 为拆卸操作 i 的工具利用率; m 为拆卸操作总次数。

1.1.2 拆卸时间指标

拆卸时间即拆开某一联接所需时间,而某一部件单元可能是由多个联接方式组合而成的,则该部件单元的拆卸时间就是完成所有这些联接所消耗的时间总和。拆卸时间包括基本拆卸时间和辅助时间^[3]。基本拆卸时间是指松开连接件、将待拆零件和相关连接件分离所花费的时间;辅助时间是指为完成拆卸工作所作的辅助工作所花费的时间,如拆卸工具或人的手臂接近拆卸部位的时间等。拆卸时间越长,表明该结构复杂程度越高,产品拆卸性能越差。拆卸时间可由下式表示:

$$T_{\text{disa}} = \sum_{i=1}^n t_{d_i} + \sum_{i=1}^m N_{f_i} t_{r_i} + t_a \quad (2)$$

式中: T_{disa} 为系统拆卸时间(s); t_{d_i} 为分离零件 i 所花费的时间(s); N_{f_i} 为与某一零件连接有关的紧固件数量; N 为系统零件总数; m 为连接件的数量; t_{r_i} 移开紧固件的时间(s); t_a 辅助时间(s)。

不同的连接方式,其拆卸时间的计算方法不同。如单个螺栓连接可用下式计算:

$$T = T_1 + T_2 \quad (3)$$

$$T_1 = L / (n \cdot p) \quad (4)$$

$$T_2 = K_i T_1 \quad (5)$$

式中: T_1 为拆卸螺栓的时间(s); T_2 为其它时间,包括分离连接件的时间及辅助时间(s); T 为总拆卸时间(s); L 为螺纹长度(mm); n 为螺纹头数; p 为螺纹螺距(mm); K_i 为修正系数,及辅助时间占基本拆卸时间的比例。

说明:因螺栓的拆卸时间与螺纹头数成反比,与螺距成反比,与螺纹长度成正比。

在拆卸过程中拆卸工具、工人熟练程度、结构复杂程度,产品在使用过程中的磨损、腐蚀程度都对拆卸时间有不同程度的影响,可根据具体情况调整其修正系数。

实践中,由于设计时并不能确切的知道拆卸时间,拆卸时间常常用估算的方法获得。首先确定各种拆卸操作的理想拆卸时间,然后通过各种修正因子对理想拆卸时间进行修正,得出与实际情况较为接近的时间,此处引用英国 Manchester Metropolitan 大学及美国 Rhode Island 大学关于拆卸操作时间的研究成果:

拆卸操作是由零部件间的联接关系、位置关系决定的。在拆卸过程中经常出现的操作有:移除(removal)、螺纹联接的拆除(screw removal)、快捷联接的打开(opening of snap-fits)、折断(breaking)、剪断(cutting)、拔出(pulling)以及放置与更换工具。在理想拆卸条件下(没有任何困难的情况下)实验结果见表 1。

表 1 拆卸操作及拆卸时间(s)

Tab 1 Decomposition operation and decomposition time (s)

操作名称			时间
移除		自由度 ≥ 2	18
			30
水平移动	自由度 = 1	单手	30
		双手	120
	自由度 ≥ 2	单手	36
		双手	60
垂直移动	自由度 = 1	60	
		150	
螺纹联接的拆除	手动工具	36	
	电动工具	9	
快捷联接的打开	手	90	
	使用工具	180	
折断	单手	180	
	双手	60	
	使用工具	120	
剪断	工具剪断电线	30	
	拔出	90	
	手	90	

实际拆卸过程中,由于拆卸空间的限制,联接件不易接触,

被拆卸的零件生锈等原因会造成拆卸时间延长。根据不同的障碍造成的拆卸时间的延长程度不同,对拆卸障碍进行分类分级。(修正系数见表 2)。

表 2 拆卸时间修正系数

Tab 2 Adjust coefficient of decomposition time

	OB1	OB2	OB3	OB4	OB5
RD1	1	4	10	13	18
RD2	4	7	13	16	21
RD3	7	10	16	19	24
RD4	10	13	19	22	27

1)易达性:用易达性来表示联接被触及的方便程度。根据情况分为 5 个等级:

OB1 为容易触及; OB2 为沿着障碍需要有 2 个或 2 个以上方向的移动; OB3 为有 OB2 的情况并且伴有视觉障碍; OB4 为需要使用辅助延长件才能触及; OB5 为非常困难。

2)操作的困难程度:操作的困难程度表示拆卸的进行受到阻力、操作空间以及可能的联接失效造成的拆卸时间的延长。操作的困难程度分为 4 个等级:

RD1 没有困难; RD2 困难较小; RD3 困难较大; RD4 困难很大。

1.1.3 拆卸过程能量消耗指标

拆卸产品的零部件类似于产品制造过程的逆过程,当然是以消耗能量为代价的。其能耗方式有 2 种,即人力消耗和外加动力消耗(如电能、热能)等。拆卸过程所消耗的能量与产品的成本直接挂钩,同时它可以反应出拆卸过程的难易程度,因此它经常被用来作为零部件拆卸性能的一项指标。按照能量的性质分,能量可分为物理能和化学能,物理能又包括机械能和势能,不同的联接方式,存在不同的能量形式,有的甚至是几种能量的复合。如螺栓的拆卸,就包括:螺旋旋开的释放能,螺纹间摩擦能,提起螺栓头或螺母的势能,搬动时的动能等。化学能主要包括:融化能、断裂能、溶解能、电解能等。下面,以机械联接中的螺纹联接为例,给出拆卸能的计算方法(只考虑拧出螺钉的能量消耗)。

螺纹联接的扭矩正比于拧紧力和螺纹直径。设扭矩效率为 α (与摩擦系数和螺纹的中径有关):

$$T_f = \alpha F_f d \quad (6)$$

式中: F_f 为拧紧力 (N); d 为螺纹公称直径 (m); T_f 为拧紧力矩 (Nm)。

则松开螺纹联接的能量为:

$$E = 0.8 T_f \theta \quad (7)$$

式中: θ 为螺栓拧紧所需的旋转角 (rad), 0.8 表示拧松螺纹的扭矩一般为拧紧螺纹所需扭矩的 80%。

1.1.4 对环境影响程度指标

对环境影响程度指标主要包括以下几个子指标:大气影响程度指标、水质影响指标、和固体废弃物指标、噪音指标。包装

机械拆卸过程的环境影响指标主要表现为噪声大小及排放到环境中的污染物种类和数量。噪声污染主要来自产品回收过程中各种机械振动摩擦、撞击、以及气流扰动而产生的声音。衡量噪声的指标有声强、频率、声压、噪声级、声压级、噪声源等。目前我国已制定了相应的噪声控制标准以制约企业和人们的各种行为。拆卸过程中遇到的特殊材料(如含有害成分、有毒成分等的材料)应采取特殊的拆卸方式和保护手段。包装机械的零部件数量较多,拆下的零部件要妥善分类保管,以免引起零部件间的交叉感染和污染环境。

1.2 与产品结构有关的指标

1.2.1 可达性指标

可达性差的结构不利于拆卸,甚至无法拆卸。如前所述,可达性包括视觉可达,实体可达和分离操作可达。以分离操作可达性评价为例,手工拆卸时,拆卸空间要能使操作者方便运用拆卸工具,并将拆下部分顺利地与机体分离;自动拆卸时,拆卸空间要能使拆卸装置方便地接近拆卸部位,并使其沿规定的拆卸方向进行分离操作。分离空间的大小与连接结构形式、拆卸部位结构尺寸、拆卸工具等因素有关^[4]。

1.2.2 标准化程度指标

衡量产品标准化程度的高低,主要用标准化系数来衡量。标准化系数是用标准件,通用件和借用件数量的总和同总数的比来表示的。一般来说,标准化系数越高,可以减少设计、制造拆卸费用,产品拆卸性越好。

标准化系数分为标准件数系数和标准化种数系数。

标准件数系数 = (标准件件数 + 通用件件数 + 借用件件数) / 零件总数 $\times 100\%$

标准化种数系数 = (标准件种数 + 通用件种数 + 借用件种数) / 零件总数 $\times 100\%$

1.2.3 拆卸范围指标

拆卸范围是指零件可拆卸方向向量的总和。拆卸范围越大,拆卸越灵活,拆卸性越好。拆卸方向对利用机械手进行自动拆卸具有重要的意义。根据不同的约束条件,产品的拆卸范围是不同的。为了定量表示,可将拆卸范围映射到高斯球上(即单位半径的球体)。拆卸方向范围可能的情况有以下几种^[5]:

1)映射到高斯球上为一点(1维)的单一方向。空间上,拆卸方向向量为 1。如平键的拆卸,在空间上,存在 5 个约束。映射到高斯球上为两点(1维)的双方向。如从一个方孔中取一个方块的拆卸,在空间上,拆卸方向向量为 2。

2)映射到高斯球上的为一条弧(2维)的一系列方向。如层层叠放的板材类零部件,其中间的部件拆卸方向向量映射集合为一弧线,存在 4 个约束。

3)映射到高斯球上的为一个面(3维)的一系列方向。如叠板材料处于最上层的板材,在空间上拆卸方向向量映射集合为一球面,存在 3 个约束。

上述类型具有不同的维数,必须用一致的方式表示它们才

能进行比较。为此,先将高斯球用小正四边形进行离散化。假设高斯球面由 n 个四边形分割,即四边形边长为 $a = \sqrt{4\pi/n}$ 。进而引出拆卸度的概念。拆卸度是指涵盖拆卸过程中,高斯球上映射的点、线或面,且以拆卸机械手可能的接近方向为方向向量的正四边形个数,一般用 G 表示。假设机械手的接近方向任意时,各维系统的拆卸度如下:在 1 维系统中,映射为点的拆卸度 $G = 1$; 2 维系统中,圆形映射线的拆卸度 $G = \lfloor 2\pi / \sqrt{4\pi/n} \rfloor$; 3 维系统中,如半球面映射线 $G = n/2$ 。在零件拆卸时,可以用拆卸度很好的评价零件的可拆卸性。

在装配体中,组件拆卸的顺序被称为拆卸序列。对于某个装配体,在确定了其拆卸序列后,应分别计算各个组件的方向度 G_i 以供评价。在初始设计阶段,该方法表示了给定组件拆卸的难易性,可以用来评价不同设计方案的可拆卸性, G_i 的值越大,则拆卸就越容易。在特定拆卸序列中,所有组件的 G 值总和由 Q 表示,即:

$$Q = \sum_{i=1}^m G_i \quad (8)$$

一般而言, Q 值越高,表示拆卸中拆卸的方向范围大,拆卸就越容易。对单个组件而言,设计的拆卸夹具要经济得多,因为它可以灵活地沿着一系列方向进行装夹和拆卸。复杂度单一的夹具对不同的子装配体可以多次使用。

1.2.4 产品结构的复杂程度

产品结构的复杂程度主要包括:待拆卸零部件的数目、待拆卸零部件在产品中所处的深度、每个联接所联系的零件数、拆卸过程独立性程度、联接的数目与种类等。产品越复杂,拆卸过程越复杂,拆卸工作量越大,拆卸越不方便。

2 结 语

包装机械可拆卸性设计评价是包装机械绿色设计的重要环节,本文对包装机械产品结构及拆卸过程的有关指标进行了

分析,并提出了用拆卸费用、拆卸时间、拆卸过程能量消耗、对环境的影响程度、可达性指标、标准化程度指标、拆卸范围指标、产品结构复杂程度等指标来综合评价包装机械可拆卸性,从而为包装机械设计人员进行包装机械可拆卸设计时,应参考以上指标,采用拆卸评价图法进行综合评价,对影响产品拆卸的各影响因素进行定性、定量评价,才能得出对整个产品拆卸路径的综合描述,并作为设计方案效果的反馈来指导设计人员改进设计中存在的各种影响产品拆卸性能的不足之处,使得最终产品符合拆卸要求。

参考文献:

- [1] 于鑫. 包装废弃物的回收利用与包装设计改进 [J]. 包装工程, 2000 21(1): 48-50
- [2] 苏建宁, 李鹤岐, 李奋强. 基于知识的绿色包装评价体系 [J]. 包装工程, 2003 24(1): 44-46
- [3] 陈志伟. 一种基于网络的面向拆卸设计的评价方法 [J]. 制造业自动化, 2004(10) 11-15
- [4] 陈志伟, 徐鸿翔. 面向拆卸设计的可拆卸性评价指标研究 [J]. 制造业自动化, 2003(7): 22-24
- [5] 刘光复, 刘志峰, 李纲. 绿色设计与绿色制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999

(上接第 53 页)

参考文献:

- [1] 李桂红, 成刚虎. 平压模切机构及其运动协调性的分析 [J]. 包装与食品机械, 2003(5): 5-7
- [2] 张春林. 高等机构学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005 60-63

- [3] 杨延力. 机械系统基本理论——结构学、运动学、动力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996: 86-135
- [4] 傅祥志. 机械原理 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000: 60-68
- [5] 辛奎琬, 金全洽, 曹丞范. 用回路法分析三级机构运动 [J]. 延安大学学报, 1999 25(4): 274-276
- [6] 杨广义, 成刚虎. 平面复杂机构运动分析的一种搜索算法 [J]. 包装工程, 2003 24(4): 29-31