

面向装配的可变功能产品再设计研究

孟梦锦^{1,2}, 贺华波^{1,2*}, 李进³

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211; 3. 华纳圣龙(宁波)有限公司, 浙江 宁波 315104)

摘要: 可变功能产品由于多功能及功能可变的特点, 在使用过程中往往需要频繁进行功能切换和零部件的拆装. 为改善该类产品的装配性能, 有必要对其进行面向装配的再设计. 本文首先对可变功能产品的功能优先度与使用度进行分析, 然后基于优先度和使用度对产品功能结构进行调整, 并对再设计中新引入的零件进行技术经济性分析, 在此基础上提出可变功能产品面向装配的5条再设计准则以及基于这些准则的再设计步骤, 最后以实例验证所提出方法的可行性.

关键词: 可变功能产品; 面向装配的设计; 再设计准则

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 03-0019-07

可变功能产品是指需要通过更换系统的部分构件来实现多种功能的机械产品^[1-5]. 相较于单一功能产品或传统的多功能产品, 这类产品在实现多种功能过程中可以通过共享部分构件来减少对资源的占用, 实现一机多用, 在节约资源同时, 也便于对其进行功能扩充与升级, 可适应性强, 因此具有良好的市场价值.

由于可变功能产品的上述结构特点, 对这类产品进行装配设计时, 不仅要考虑产品在实现某一功能时所需零部件的装配, 还需要考虑其在转换到其他功能时, 相关零部件的拆卸与装配. 这不仅表现在产品制造过程中(例如因为质量检测的需要而必须进行多功能的转换), 更重要是表现在产品使用过程中, 若各功能之间能实现简单快速的转换, 则势必给用户的使用带来极大便利, 进而增强产品的市场竞争力. 从这个角度考虑, 在进行可变功能产品的设计开发环节中, 设计人员不仅需要考虑其多个可变功能最终能否得以实现, 还需要考虑其装配的便捷性, 也就是要进行面向装配的设计(Design for Assembly). 若某可变功能产品在设计中未曾考虑过这类装配问题, 或者其相应的装配方案存在不足, 导致产品功能间转换不方

便, 那就需要对其开展面向装配的再设计.

众所周知, 在产品生命周期的各个环节中, 装配是影响产品设计的重要因素之一^[6]. 例如在自动化程度很高的汽车工业中, 约有三分之一的劳动集中在装配工作上. 研究表明, 造成产品装配困难并不是装配成本增加的主要原因, 而是产品设计时没有实施面向装配的设计^[7-9]. 传统设计方法很少或几乎没有在设计过程中深入研究装配这一问题, 往往是在后续产品装配阶段遇到问题时, 再对产品进行设计修改, 不仅拉长了产品开发周期, 也增加了产品开发成本, 进而使企业在市场竞争中处于不利的地位^[10]. 为此, 研究人员针对面向装配设计问题开展了大量研究, 包括装配序列规划^[7-9]、装配准则及评估^[11-12]等等. 尽管如此, 可变功能产品在这方面的研究还相对较少.

为此, 本文将针对可变功能产品开展面向装配的再设计研究, 包括分析影响可变功能产品装配效率的功能优先度和功能使用度, 然后对此类产品的装配特性进行研究, 探讨对其进行再设计时需要遵循的准则; 在此基础上提出一个可改善可变功能产品装配性能的再设计过程步骤, 进而得到可用于指导可变功能产品面向装配的再设计

收稿日期: 2019-12-03.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51375246).

第一作者: 孟梦锦(1995-), 女, 浙江绍兴人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法. E-mail: 965179963@qq.com

*通信作者: 贺华波(1976-), 男, 浙江宁波人, 博士/副教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化. E-mail: hehuabo@nbu.edu.cn

的相关方法.

1 可变功能产品功能优先度与使用度分析

产品的价值在于为用户提供一定的功能^[13]. 可变功能产品虽具有多个功能, 但并不意味着这些功能都会获得均衡的使用. 由于用户对产品功能需求的不同, 功能使用情况也不同, 某些功能可能经常被使用, 另一些可能很少使用, 甚至完全不用; 而且, 用户在使用这些功能时, 往往会遵循一定的顺序, 一些功能会优先于另一些功能被使用. 例如, 一款钻镗组合机床不仅用于钻孔的频率与用于镗孔的频率大不相同(通常钻孔功能会用的更多), 而且, 镗孔功能往往在钻孔功能之后才被使用. 这就意味着在面向装配设计中, 相对于那些不常使用的产品功能而言, 一些需要经常使用的产品功能所相应的产品结构应该更加易于装配. 与此类似, 一些要优先被使用的功能不仅其相应的产品结构应当更易于装配, 且最好应该让产品的缺省结构状态处于优先使用功能状态, 也就是说, 让用户无需拆装就可以使用优先度最高的产品功能.

鉴于此, 本文首先对可变功能产品的功能优先度与功能使用度进行分析与研究, 提出评估功能优先度和功能使用度的量化方法, 以便随后用于指导可变功能产品面向装配的再设计.

1.1 功能优先度

功能优先度可定义为在可变功能产品全部功能的工作过程中, 某个功能相对于其他功能的先后顺序. 一个产品各功能被使用的先后顺序可以由相应功能的实施工艺所决定(例如上述的钻镗组合机床), 也可能仅仅由于不同用户的使用习惯不相同所致. 即便是由实施工艺所决定, 但相应于不同用户的不同应用场合, 其相应的具体操作工艺也可能不同. 为此, 本文采用用户问卷方式收集不同用户对功能优先度的评判数据, 经过数据处理后对功能进行排序. 设某个可变功能产品共有 m 个功能, 记为 $F_1, F_2, \dots, F_m$, 设计调查问卷, 让用户对 m 种功能的优先度进行排序, 从高到低分别记为从 1 到 m .

1.2 功能使用度

功能使用度可定义为可变功能产品的某个功

能的使用次数在该产品全部功能总使用次数中占比的排序, 占比越高表明使用越多, 则使用度排序越靠前. 类似于优先度方法, 同样设定某可变功能产品有 m 个功能, 记为 $F_1, F_2, \dots, F_m$. 设计调查问卷对 m 种功能的使用情况进行排序, 从高到低分别记为从 1 到 m .

1.3 功能优先度与使用度计算

针对可变功能产品在不同应用场景侧重使用的功能不同, 在设计调查问卷时, 需对各种使用场景进行简单区分, 以便得到更加精确的数据^[14-15]. 假设调查问卷回收 N 份, 提取某个相同场景下的调查问卷 n 份, 产品的第 i 个功能的优先度平均值 $\bar{y}_i$ 与使用度平均值 $\bar{s}_i$ 计算公式如下:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n x_{ia}, \quad (1)$$

$$\bar{s}_i = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n z_{ia}, \quad (2)$$

式中, x_{ia} 为第 i 个功能在第 a 份问卷中的优先度数值; z_{ia} 为第 i 个功能在第 a 份问卷中的使用度数值.

统计问卷所得的数据, 并利用式(1)和(2)计算出各个功能的优先度平均值和使用度平均值. 根据计算所得数据, 对可变功能产品功能优先度与功能使用度进行排序. 基于功能优先度和使用度结果, 在进行可变功能产品的设计或再设计中, 可以进行如下操作:

(1)将优先度高的功能所对应的产品结构设计在系统关键状态位置(例如对应于较少需要变更结构构件的系统状态, 甚至处于缺省状态)或易于通过更换构件实现该功能的状态位置;

(2)在优先考虑优先度次序的基础上, 按使用度高低次序设计各功能所相应的产品结构, 使用度高的功能所对应的产品结构相对更为关键, 应更少需要更换构件或更易于更换构件.

通过执行上述两条原则, 将从总体上减少产品使用过程中的装配复杂度, 方便不同功能间的切换, 从而为可变功能产品面向装配的再设计提供了一个基础准则.

2 新引入零件技术经济性分析

通过对可变功能产品的装配过程分析, 往往会发现一些现有零部件存在不利于装配的问题,

例如由于存在装配冲突而必须进行部分零部件的再设计和替换, 或者由于影响装配效率而需要对现有零部件进行调整和替换。在此过程中, 往往需要引入新零件, 为此需从设计、制造、装配的技术及成本角度分析新引入零件的技术经济可行性。

事实上, 一个新零件的开发之初, 需要设计人员结合现有设备及技术水平进行一个初步评估, 再根据新零件的开发技术、开发周期、是否有不可攻克的技术难点、投入产品后操作性及可靠性等制定合理的设计方案, 并进行方案评选与评价, 最后综合分析选取最佳方案。这一过程中需要对新零件进行技术可行性分析。

接下来是成本分析。实施新零件的生产所涉及的成本包括设计成本、设备成本、生产成本等, 其中设计成本和设备成本(加工设备、检测设备、模具等)可以通过预期零件的使用数加以均摊。因此, 新零件的总成本 C_x 可下式进行计算:

$$C_x = \frac{C_s + C_c}{b} + C_j, \quad (3)$$

式中, C_s 为新零件的设计成本; C_c 为制造新零件的设备成本; C_j 为新零件的生产成本; b 为新零件预计生产数量。

鉴于本文主要考虑的是产品装配性, 引入新零件的目的之一即为降低装配成本。因此, 只需计算原零件的零件成本与装配成本总和, 以及新零件的零件成本与装配成本总和, 并对其进行比较。若前者对后者求差为正, 则成本降低, 判定方案可行, 可将新零件应用于产品中用于改善其可装配性。成本差额的计算公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^a Y_{ii} Y_{zi} - \sum_{j=1}^b X_{ij} X_{zj}, \quad (4)$$

式中, a 为原结构零件个数; Y_{ii} 为原第 i 个零件成本; Y_{zi} 为原第 i 个零件装配成本; b 为现结构零件个数; X_{ij} 为现第 j 个零件成本; X_{zj} 为现第 j 个零件装配成本。

将式(4)的计算结果与技术可行性分析结果相结合, 即可为新引入零件的技术经济性评判准则提供依据。

3 可变功能产品面向装配的再设计准则

通过研究可变功能产品自身的特点, 以及该

类产品功能切换时需更换构件的装配过程, 本文分析归纳出以下几条用以降低可变功能产品的装配复杂度、方便其功能切换的再设计准则, 称之为“面向装配的再设计准则”。

3.1 优先度与使用度准则

如上所述, 在一个可变功能产品的多个功能中, 一般都会有优先使用或较多使用的功能, 通过对产品的功能优先度与使用度进行分析计算并排序, 得到各功能相应产品结构的装配顺序, 使优先度高和使用频繁的功能位于功能转换操作的便捷位置, 这是可变功能产品进行面向装配的再设计时需要首先遵循的准则, 简称为“优先度与使用度准则”。

3.2 精简零部件准则

在满足产品的功能、性能要求下, 应该最大限度去掉产品的冗余零部件, 合并零部件, 尽量选用标准件、对称件等便于装配的零部件, 使设计出来的产品结构相对简单, 零部件数量较少, 所需的装配工具尽可能无需定制等。基于这一准则, 可以减少装配步骤, 缩短装配时长, 降低装配成本。由于此准则同样适用于其他类型产品的装配要求, 因此这也是面向装配再设计的一个通用准则。

3.3 最大化共享件准则

可变功能产品结构包括共享件和功能件两部分结构。其中, 共享件属于各功能所共享的核心结构或基础结构; 功能件为各功能所独自拥有, 用于实现相应的产品功能。在进行功能切换时, 共享件无需变更, 因此从方便功能切换的角度出发, 影响可变功能产品装配性能的产品结构仅包括功能件。通过尽可能在各功能件中使用相同的零部件, 并将其并入共享件, 亦即最大化共享件, 可以有效减少各功能件的零部件数量, 这也是上述精简零部件准则相应于可变功能产品的一个特例。

3.4 新零件技术经济性准则

在去除冗余零部件、合并部分零部件的基础上, 有可能需要通过再设计引入新的零部件。此外, 为了解决装配干涉等问题, 也可能需要引入新的零部件。为此, 需要从技术可行性方面进行研判, 确保其在设计开发、加工制造等方面所涉及的技术方案合理可行; 需要通过从设计、制造和装配等方面的成本角度对新引入零部件进行成本分析, 通过

比较新零件与被替换的旧零部件的综合成本差异,判断新零件的经济可行性,以确定最终的最佳实施方案.因此,此准则可以简称为“技术经济性准则”.

3.5 最少及共用装夹工具准则

产品装配过程中,通常需要使用装夹类工具.在确保装夹方便的前提下,还需要考虑在整个装配过程中是否需要多次更换装夹工具,是否需要多次定位.此时,应该尽可能减少装夹工具及其使用次数,并将可以在同一工位完成的装配步骤集中装配,以提高装配效率^[10].这一要求可以归纳为“最少装夹工具准则”,包括工具数量和种类要尽量少,工具使用次数要尽量少,以及装夹定位要尽量少等.该准则同样适用于其他类型的产品.除此之外,由于可变功能产品在进行功能切换时所产生的装配问题涉及到相应于不同功能的功能件,因此,应该尽可能使得不同功能件在装配作业时能共用装夹工具,从而更为有效地减少所需装夹工具的数量及种类,此谓“共用装夹工具准则”.要满足可变功能产品的“最少和共用装夹工具准则”,就需要设计人员进行面向装配的再设计时,应该充分考虑不同功能所对应的产品结构及其装配特点,充分考虑不同功能结构所涉及到的装夹工具要求,反复修改产品结构,在满足产品功能的前提下最大程度地减少装夹工具,最大程度地实现装夹工具的共用、共享.

4 可变功能产品面向装配的再设计步骤

针对可变功能产品开展面向装配的再设计,需要充分考虑可变功能产品功能切换的便捷性要求,最大程度地降低由此产生的零部件装配复杂度.当然,产品整体的装配复杂度也是必须要考虑的因素之一.以上述面向装配的5条再设计准则为基础,本文提出以下的再设计步骤.

4.1 原产品结构分析及成本计算

针对原产品所要实现的不同功能,对产品结构进行自顶向下的分解和分析,首先得到共享结构(为所有功能所共享的基础和核心结构)和专用于各功能的功能结构(亦即非共享结构),然后再进一步将这些结构细分至零件,由此获得产品的结构关联图(图1).

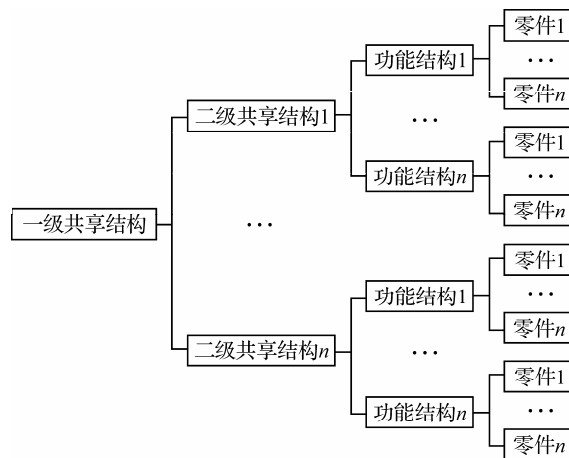


图1 原产品自顶向下的结构关联图

图1中,将共享结构区分为一级和二级共享结构,这是因为在所有可变功能中,可能存在一组功能与另一组功能分别共享不同的基础结构(二级共享),而这些相应于不同功能组的基础结构本身也可能共享一些基础结构(一级共享).另外一个需要说明的地方是,图中的变量 n 仅仅表示多个,而非具体数量的多少.例如,“二级共享结构 n ”表示有多个二级共享结构,“功能结构 n ”表示有多个功能结构,“零件 n ”表示有多个零件.并且图1中,在这些地方都使用了相同的变量 n ,只是为了表述方便,并不意味着其数量都相同.

对分解后的原产品零部件的装配过程进行分析,将装配成本细分为共享件装配成本和功能件装配成本两部分,加权后的产品装配成本如下式所示:

$$C_z = \sum_{i=1}^m w_i \lambda_i G_i + \sum_{j=1}^n w_j \left(\sum_{k=1}^k \lambda_j F_{jk} \right), \quad (5)$$

式中, m 为共享结构零件个数; w_i 为第 i 件共享零件的重要性权重; λ_i 为第 i 件共享零件中重定位、重装夹的重要性权重; G_i 为第 i 件共享零件的装配成本; n 为功能个数; w_j 为第 j 个功能的重要性权重; k 为第 j 个功能的零件个数; λ_j 为第 j 个功能中重定位、重装夹的重要性权重; F_{jk} 为第 j 个功能的第 k 件功能零件的装配成本.

其中结构重要性权重由设计人员根据行业特点和经验得出,表1所示的赋值即为一个示例.

4.2 基于准则的产品结构再设计

考虑到可变功能产品的结构特点,各功能件

表1 结构重要性权重判定

重要性描述	数值
在共享结构模块中重要	1.0
在共享结构模块中一般重要	0.8
在共享结构模块中重定位或重装夹	1.0
在功能结构模块中重定位或重装夹	0.8
在功能结构模块中重要	0.8
在功能结构模块中一般重要	0.6

需要分别独立地与共享件连接, 当用户需要某一功能时, 就需要把相应的功能件替换到产品结构中。以此为基础, 接下来需要根据上文所述的各项准则, 对产品的现有结构进行再设计, 包括通过问卷调查对产品功能的优先度和使用度进行重新排序, 对需要新引入的零件进行技术经济可行性分析等。其基本流程可以采用自底向上的方式, 相关流程如图2所示。

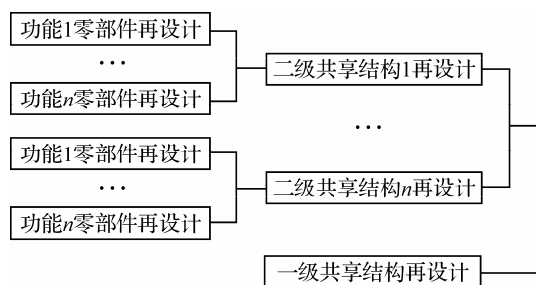


图2 自底向上的再设计流程图

在此过程中, 对产品的一级共享结构、二级共享结构、各功能结构以分别考虑和综合考虑相结合的方式对零部件进行精简, 通过合并和替换等方式再设计共享件和功能件, 使得共享件最大化、结构件最简化。针对该过程中可能需要引入新零件的问题: 若其为标准件或市场中已有的非标零件, 则利用式(4)计算成本差额, 差额为正则使用之, 反之仍使用原零件; 若为新零件, 则利用式(3)和式(4)计算新零件成本及成本差额, 差额为正则考虑使用, 反之仍使用原零件。

4.3 模拟新产品的装配与使用

在完成上述再设计后, 需要对再设计后的产品进行虚拟装配与使用, 包括不同功能情况下的产品装配, 以及产品使用中需要进行功能切换时的功能件装配, 验证再设计方案的可行性。检测其在装配过程中有无干涉、碰撞、错位等问题, 在使

用过程中有无因零部件的更换以及功能排序的改变所带来的不利影响, 最后与原产品进行比较, 确认其装配成本下降且功能使用更便捷等。若发现问题, 则需要返回上一步骤重新进行相关零部件的再设计。

经过上述再设计步骤后的产品, 无论在装配复杂度方面还是功能转换方面都有了较大的改良, 因而更具市场竞争力。

5 案例分析

本节以多功能救援逃生椅(下文以“产品”替代)为例, 说明上述面向装配的再设计准则及再设计步骤的具体应用, 验证所提出方法的可行性。图3为多功能救援逃生椅在关键行为状态下的座椅, 其可以通过调整构件的连接方式进行功能转换成逃生梯(图4)和救援担架(图5)。



图3 座椅



图4 逃生梯



图5 救援担架

针对产品的3种功能, 设计功能优先度与使用度的调查问卷, 并向某小区发放问卷100份, 回收有效问卷87份。根据式(1)和式(2)计算问卷相关数据, 具体结果见表2。

表2 功能优先度与使用度数据

功能	优先度	使用度	综合排序
座椅	1.237	1.081	1
逃生梯	2.116	2.333	2
救援担架	2.647	2.586	3

由表2可得, 该产品的功能优先度与使用度排序相同, 皆为座椅>逃生梯>救援担架。

接下来需对产品结构进行分析, 划分产品的

共享结构与功能结构,并将共享结构和各功能结构进一步细分至零件,分析零件间的装配以及功能实现过程,发现产品作为座椅使用时前脚与后脚之间的支架,在另外两种功能状态下为非工作功能零部件;产品作为逃生梯使用时,扶手作为夹紧装置,首先需要用螺栓固定在前脚上,再将挡板利用螺母旋转卡在墙壁等位置,在危急情况下做好这些逃生准备工作费时费力。

针对上述情况,对产品做出如下调整:

(1)将后脚与支架合并,利用后脚的凹槽将支架收起,精简了零部件,也简化了功能转换过程。

(2)将夹紧装置与前脚的连接方式由螺栓改为卡扣设计,可以实现快速固定的目的,且由原来的螺栓与螺母 2 个零件简化为 1 个零件。

(3)将扶手直接设计成如图 6 ③所示的直角形状,确保其可在 40 cm 厚度以内的墙面等部位使用,并在扶手末端加入锯齿面与橡胶面的套筒,以此来保留原挡板增大摩擦力的功能,简化夹紧步骤和装配过程。



图 6 再设计后需调整零部件示意图

同样,图 6 也显示了再设计后需要调整或变更的相关零部件。针对调整(1)与调整(3),新零件为原结构的改进构件,设计成本与原零件基本保持一致,设备可沿用原零件设备,生产成本中的原材料成本降低,根据式(3)可计算得知新零件成本低于原零件(计算过程从略,下同);调整(2)将原来 2 个标准件的组合替换成 1 个标准件,由式(4)可知,调整后的零件成本较原设计降低。以上 3 个调整分别降低了零件成本,减少了装配步骤和装夹次数,降低了装配成本,据此判定新零件可行,可代入产品替换原零件。

由于更改了部分零部件,产品的装配次数、定位次数与装夹次数也有变化,具体变化见表 3。

表 3 再设计后产品装配变化情况

调整步骤	调整前定位次数/装配次数	调整后定位次数/装配次数	次数差
1	2/4	1/4	1/0
2	2/8	2/4	0/4
3	2/8	0/4	2/4

通过以上设计,产品零件的成本未增加,且装配过程中装配次数减少 8 次,定位次数减少 3 次;由式(5)可知原装配成本对再设计后的装配成本求差差额为正,再设计后装配成本降低,据此综合判断再设计方案可行。

6 结论

可变功能产品因其结构相对复杂,且需要通过更换功能件来实现功能转换,因此需要考虑产品在使用过程中功能切换的便利性。对此类产品开展面向装配的再设计,在不改变产品既有功能前提下,通过调整产品结构,包括将功能优先度和使用度最高功能所对应的结构设计在最易于切换的状态,对新引入的零部件进行技术经济性分析等,可以有效降低装配复杂度,方便产品的后期使用。

通过研究,本文提出了可变功能产品面向装配的 5 条再设计准则,以及基于这些准则的再设计步骤,并以案例展示了其应用过程。需要指出的是,可变功能产品在功能切换过程中,不仅需要装配新的功能件,还需要拆卸原有的、用于实现其他功能的功能件。因此,未来还需要进一步考虑拆、装两个过程中影响其操作便捷度和效率的相关因素,分析相应的再设计准则,以进一步完善可变功能产品面向装配的再设计方法,为设计人员提供更为完备的技术支持。

参考文献:

- [1] Yu Y W, Deng Y M, Lu W F, et al. Analysis of mechanical systems with adaptable functions for the evaluation of functional coupling and component importance[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 76(5/8):1449-1458.
- [2] 杨鹏, 邓益民, 殷习. 基于 FBS 模型的小型机械产品可变功能再设计[J]. 机械设计, 2015, 32(7):77-82.
- [3] 王根华, 邓益民, 邹长武. 机电产品基于共享构件识别

- 和接口求解的可变功能再设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(23):77-83.
- [4] 邹长武, 邓益民, 王根华. 可变功能产品功能设计及功能转换过程研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(23):62-68.
- [5] 董雪诗, 贺华波. 可变功能机械基于 KANO 模型及成本约束的功能需求分析[J]. 宁波大学学报(理工版), 2019, 32(2):36-41.
- [6] 高奇峰, 石小利. 基于成本约束的机械产品装配实现[J]. 机械设计, 2011, 28(4):4-9.
- [7] 宁汝新, 郑轶. 虚拟装配技术的研究进展及发展趋势分析[J]. 中国机械工程, 2005, 16(15):1398-1404.
- [8] 王春雷, 许建新, 朱斌, 等. 基于三维产品模型的装配顺序规划实现技术研究[J]. 机械设计, 2009, 26(9):14-17.
- [9] 张嘉易, 王成恩, 马明旭, 等. 产品装配序列评价方法建模[J]. 机械工程学报, 2009, 45(11):218-224.
- [10] 马铁利, 付奇. 面向制造和装配的设计[J]. 世界汽车, 2003(1):25-26.
- [11] Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly[J]. Computer-Aided Design, 1994, 26(7):505-520.
- [12] 周凤. 基于人机工程的产品可装配性评价技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- [13] 庞业涛, 杨年. 产品价值与顾客需求层次分析[J]. 管理观察, 2007(7):80-81.
- [14] Musharavati F. A method for optimizing the reconfiguration design task in manufacturing systems[C]. Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Kuala Lumpur, Malaysia, 2011.
- [15] Xue D, Hua G, Mehrad V, et al. Optimal adaptable design for creating the changeable product based on changeable requirements considering the whole product life-cycle[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2012, 31(1):59-68.

Design for assembly in redesign of adaptable-function products

MENG Mengjin^{1,2}, HE Huabo^{1,2*}, LI Jin³

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China;

3. Borg Warner Shenglong (Ningbo) Co., Ltd., Ningbo 315104, China)

Abstract: The adaptable-function product is capable of delivering multiple and adaptable functions and it is required to switch between functions and to have the relevant parts dismantled and assembled frequently. Hence, redesign is often necessary to facilitate the assembly process. This paper first studies the function priority and function usage of the adaptable-function products, and proposes adjustment advices on the status of their functional structures. Subsequently, the technical and economic analysis is carried out for the newly-introduced parts from the redesign process. Based on these results, five rules are suggested for redesign the adaptable-function products for assembly, and the steps of the redesign process are also presented. Finally, the feasibility of the proposed methods is verified by case study.

Key words: adaptable-function product; design for assembly; redesign rules

(责任编辑 章践立)