

基于全关联矩阵的可变功能机械功能耦合分析

余远文^{1,2}, 邓益民^{1,2*}, 杨 鹏^{1,2}, 殷 习^{1,2}

(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)

摘要: 针对可变功能机械设计分析的需要, 提出了功能与零件的直接关联、间接关联及全关联概念, 建立了功能与零件的直接关联矩阵, 通过分析功能直接关联零件的设计变更可能性传播来定量描述功能与零件的间接关联值, 从而确定功能与零件的全关联矩阵。在此基础上, 提出功能耦合度的概念, 构建了功能耦合矩阵, 以综合耦合度评价可变功能机械的结构紧凑性, 分析了可变功能机械各零件对系统功能的影响程度, 为此类机械的设计分析提供了定量依据。最后通过对多功能组合钳的实例分析, 说明所提出方法的可行性及其意义。

关键词: 可变功能机械; 设计分析; 全关联矩阵; 功能耦合度

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 04-0088-06

可变功能机械是可变功能机械系统的简称, 其需要通过更换系统构件或调整构件连接方式来实现不同功能。从广义上说, 可变功能机械属于可适应设计中的产品可适应类别^[1-2]。它具有结构紧凑、适用范围广等特点, 能够用最低的成本满足最大的客户需要, 是市场上很受欢迎的产品。

可变功能机械区别于一般机械的最主要之处是拥有可变更的系统功能, 且这些功能相互耦合、非独立。有关功能、耦合问题目前已有一定的研究, 如张国军等^[3]在采用公理设计对产品的功能和设计参数进行层次划分的基础上通过割裂进行耦合功能规划; 陈羽等^[4]针对异构模块组合的耦合分析问题, 构建了功能与参数的完全关联矩阵, 采用进化算法进行耦合分析, 将关系紧密的功能与参数“模块化”。目前研究的方向主要是通过不同的方法描述功能耦合, 然后采用相关策略将功能耦合度较强的集中成模块, 以满足公理设计对功能独立的要求。但可变功能机械各种功能之间的耦合性较为复杂, 难以通过解耦的方式达到功能独立的要求; 同时, 可变功能机械往往耦合性越高, 则系统拥有的共享构件越多, 系统结构相应更为紧凑, 也就意味着更低的制造成本。为此, 在可变功

能机械设计的过程中, 往往是耦合性越高越好。为了度量此功能耦合性的程度, 笔者首先通过构建功能与零件(设计参数)之间的全关联矩阵, 然后生成功能耦合矩阵, 提出功能耦合度、综合耦合度和零件重要度 3 个概念及其量化方法。

1 可变功能机械功能与零件的关联分析

功能是一种主观抽象^[5], 直接分析功能彼此间的耦合关系属于定性分析范畴, 为了定量分析功能耦合, 笔者将在分析功能与设计参数(文中指系统的构成零件)之间关联性的基础上研究功能耦合。

功能与零件的关联情况可分为直接关联和间接关联。直接关联是指功能与零件有直接联系, 如多用螺丝刀套装, 十字螺丝刀功能与连杆、十字螺丝刀头都是直接关联; 间接关联是指功能与零件需要通过其他介质发生联系, 例如, 一字螺丝刀头与一字螺丝刀功能直接关联, 而一字螺丝刀功能与十字螺丝刀功能通过“共享构件”连杆发生联系, 那么一字螺丝刀头与十字螺丝刀功能就是间接关联。文献[4,6]中采用了设计变更传播影响来分析间接关联: 当某个功能需要做设计更改时, 与该功能直接关联的某些零件的相关参数(重量、尺寸等)

收稿日期: 2014-02-24

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

基金项目: 国家自然科学基金(51375246)

第一作者: 余远文(1988—), 男, 江西上饶人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法。E-mail: yyw.1988.11.06@163.com

*通信作者: 邓益民(1966—), 男, 安徽舒城人, 博士/教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化。E-mail: dengyimin@nbu.edu.cn

会发生改变, 则可能发生连锁效应, 引起其他关联的零件发生改变. 其中文献[4]按变更“传播树”中节点等级来量化零件与功能的间接关联值; 文献[6]根据变更“传播树”, 并综合可能性影响值, 通过设计变更影响程度来描述间接关联性. 笔者将根据设计变更“传播树”, 结合功能直接关联零件之间发生变更的可能性值来计算间接关联值.

2 功能与零件的全关联矩阵构建

全关联矩阵描述的是功能与零件之间的关联程度, 这里包括直接关联情况和间接关联情况.

步骤 1 对可变功能机械进行分析, 确定系统的功能和零件, 并进行标识. 为了方便对此过程进行阐述, 假设某可变功能机械系统有零件 6 个, 具有 3 种功能, 以 F_i 表示($i=1,2,3$). 确定功能与零件之间是否有直接关联, 若有, 则对应矩阵元素为 1 (用 1 来表示功能与零件的直接关联值); 如果没有, 则为间接关联, 它的值介于 0~1 之间, 在此步骤中暂时置空, 构建出的功能与零件直接关联矩阵(表 1).

表 1 功能与零件直接关联矩阵

矩阵	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
F_1	1.0		1.0	1.0	1.0	
F_2	1.0	1.0	1.0		1.0	
F_3		1.0		1.0		1.0

步骤 2 对于某种功能需要进行更改(性能、设计约束等)时, 势必会与某个或某几个直接关联的零件关联, 而当这些零件发生改变(材料、重量、尺

寸等)时, 由于系统(单就这个功能而言的系统)的整体性, 可能会引起其他直接关联的零件变更. 也就是说, 对于功能的直接关联零件族而言, 某个零件发生改变可能会引起族中其他零件发生改变, 根据变更的可能性构建该功能直接关联零件变更影响的设计结构矩阵, 称为变更可能性矩阵(表 2、表 3、表 4), 需要说明的是, 每个功能都有 1 个变更可能性矩阵.

表 2 F_1 变更可能性矩阵

矩阵	A_1	A_3	A_4	A_5
A_1	1.0	0.7	0.6	0.4
A_3	0.8	1.0	0.4	0.9
A_4	0.7	0.5	1.0	0.2
A_5	0.9	0.8	0.7	1.0

表 3 F_2 变更可能性矩阵

矩阵	A_1	A_2	A_3	A_5
A_1	1.0	0.7	0.7	0.4
A_2	0.7	1.0	0.5	0.8
A_3	0.5	0.8	1.0	0.9
A_5	0.9	0.7	0.8	1.0

表 4 F_3 变更可能性矩阵

矩阵	A_2	A_4	A_6
A_2	1.0	0.7	0.8
A_4	0.8	1.0	0.5
A_6	0.6	0.9	1.0

表中的数据是工程设计人员根据经验评定而来的, 具有很大的随意性. 为能够更科学地确定这些数据, 表 5 提供一种确定标准以供参考.

表 5 可能性值确定标准

序号	情形(C 表示可能性矩阵中第 1 行的零件, I 表示第 1 列的零件)	可能性值
1	C 和 I 是相同零件, 或者是对称零件	1.0
2	C 和 I 直接连接, C 中 4 个以上参数(除两者连接处)中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.9
3	C 和 I 直接连接, C 中 3 参数(除两者连接处)中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.8
4	C 和 I 直接连接, C 中 2 参数(除两者连接处)中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.7
5	C 和 I 直接连接, C 中 1 参数(除两者连接处)中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.6
6	C 和 I 直接连接, 除两者连接处外, I 不会随 C 的改变而变化	0.5
7	C 和 I 不直接连接, C 中 4 个以上参数中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.4
8	C 和 I 不直接连接, C 中 3 参数中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.3
9	C 和 I 不直接连接, C 中 2 参数中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.2
10	C 和 I 不直接连接, C 中 1 参数中的任意 1 个发生改变, I 会有变化	0.1
11	无论 C 怎么改变, 都不影响 I	0

步骤3 根据功能与零件直接关联矩阵和变更影响矩阵计算功能与零件的间接关联值。首先根据图论^[7]中树的概念结合功能与零件的直接关联矩阵建立变更可能性传播树(以下简称“传播树”),需要说明的是本文的传播树是从目标零件向目标功能推进的。传播树的一条搜索路线建立过程如下:零件作为始节点,与该零件直接关联的功能为第2节点,与该功能直接关联的其他某个零件作为第3节点,然后与这个零件直接关联的其他某个功能作为第4个节点,以此类推,直到需要考虑的功能作为节点为止。这里以 A_2 与 F_1 之间的间接关联性来说明(图2)。需要注意的是,在建立传播树的时候可能会有某些搜索路线有很多节点,甚至存在死循环,为此作如下规定,线路节点数超过6个若还没有抵达目标功能则该线路无法抵达(根据经验判定,这里只是个例子)。此规定的依据是因为可能性值小于1,在连乘时数值会越来越小,则可近似可能性为0,即不可能。

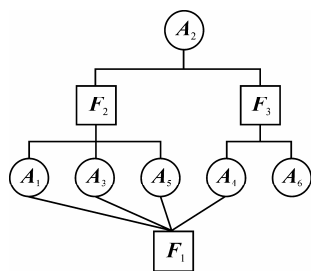


图1 变更可能性影响传播树

从图1可看出从 A_2 到 F_1 有4条可达传播路线,分别是 $A_2-F_2-A_1-F_1$ 、 $A_2-F_2-A_3-F_1$ 、 $A_2-F_2-A_5-F_1$ 、 $A_2-F_3-A_4-F_1$ 。接下来讨论传播路线发生的可能性。对于 A_2 到 F_1 的传播树,显然 A_2 到 F_2 或者 F_3 的传播是一定发生的,因为 A_2 与 F_2 或者 F_3 是直接关联的。事实上,对于所有变更可能性影响传播树中任意相邻的零件到功能的传播都是一定发生的。那么对于 $A_2-F_2-A_1$ 的可能性就相当于 F_2 变更可能性矩阵中元素 $\langle A_2, A_1 \rangle$ 值。

步骤4 间接关联值的计算。这里用所有可达传播线路的平均可能性来衡量零件与功能的间接关联值。假设可变功能有 n 个零件, m 个功能。同时将传播树中涉及的字母(除初始节点和结束节点的字母外)进行重新编码,假设 A_i 到 F_i 有 Q 条可达线路(从左到右按正整数顺序编码),其中 $A_i \in A =$ 所

有零件集, $F_i \in F =$ 所有功能集。第 k 条可达线路中有 P 个功能节点(不包括最终 F_i 功能节点,不同的可达线路有不同 P 值),其中功能节点从上到下按 $F_{k1}, F_{k2}, \dots, F_{kp}$ 编码,零件节点按 $A_{k0}, A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kp}$ 编码。定义 $A_i = A_{k0}$,则间接关联值可表示为:

$$\langle A_i, F_i \rangle = (\sum_{k=1}^Q \prod_{j=1}^P F_{kj} \langle A_{k(j-1)}, A_{kj} \rangle) / Q, \quad (1)$$

$F_{kj} \langle A_{k(j-1)}, A_{kj} \rangle$ 的值需要查找重新编码之前对应的变更可能性矩阵,易得 $\langle A_2, A_1 \rangle$ 为0.75。

据此,可计算出其他间接关联值,可得到如表6所示的功能与零件的全关联矩阵。

表6 功能与零件的全关联矩阵

矩阵	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
F_1	1.0	0.75	1.0	1.0	1.0	0.565
F_2	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	0.413
F_3	0.492	1.0	0.463	1.0	0.538	1.0

对于结构复杂的可变功能机械,通过手工去计算间接关联值工作量繁琐,并且很容易出现错误,但通过计算机程序能很好地解决吃问题,并且可集成到计算机辅助设计系统上。功能与零件直接关联矩阵实际就是一个以功能、零件为节点的无向图,直接关联情况是判断某功能节点与某零件节点是否存在邻接的依据,不存在功能节点与功能节点或者零件节点与零件节点直接邻接。在此基础上,提供图2的程序流程以供参考。

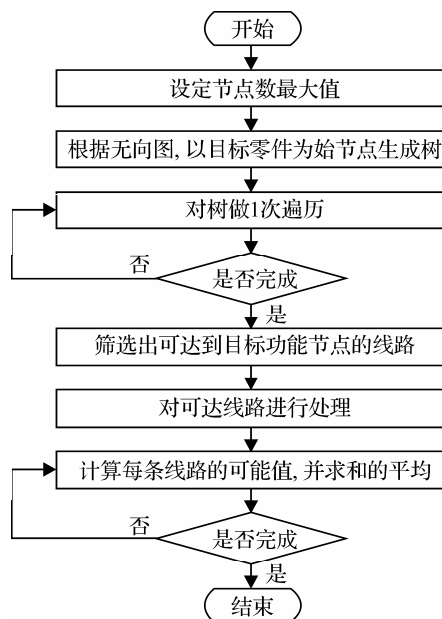


图2 间接关联值计算程序流程

3 功能耦合度及零件重要度的分析

可变功能机械的一个重要设计分析内容是考察不同可变功能之间的耦合性,往往耦合性越大,系统结构的紧凑性越好。为此,笔者提出功能耦合度概念,它描述的是可变功能机械功能间关联的程度,用2个功能与零件的最小关联值和的平均来表示2个功能的功能耦合度。用 $E(F_u, F_v)$ 表示 F_u 与 F_v 的耦合度,则表达式可写成:

$$E(F_u, F_v) = (\sum_{t=1}^n \min\{<A_t, F_u>, <A_t, F_v>\}) / n, (2)$$

其中, F_u 与 F_v 属于功能集, n 表示系统零件总数。易得 $E(F_1, F_2)$ 为0.794。

为了表达的可视化,构建功能耦合矩阵(表7)。从定义可知, $E(F_2, F_1)$ 与 $E(F_1, F_2)$ 是相等的,则功能耦合矩阵是一个对称矩阵。

表7 功能耦合矩阵

矩阵	F_1	F_2	F_3
F_1	1	0.794	0.468
F_2		1	0.574
F_3			1

单个功能耦合度很难衡量系统结构的整体紧凑性,为此定义综合耦合度来描述该问题。综合耦合度是所有功能耦合度和的平均值,其 E 值越大,说明该可变功能机械结构越紧凑。则表达式如下:

$$E = (\sum_{v=1}^m \sum_{u=1}^m E(F_u, F_v)) / (m(m-1)), u \neq v, (3)$$

则上面例子的综合耦合度 $E=0.612$ 。

这里,我们观察功能与零件的全关联矩阵的列,任意1个值反映的是该零件与功能关联程度,即零件更改对功能的影响程度,据此可定义零件的重要度来评定该零件变更对系统的影响,用 $E(A_t)$

表示,则表达式如下:

$$E(A_t) = (\sum_{i=1}^m <A_t, F_i>) / m, t \in n. (4)$$

依次计算各零件的重要度,结果见表8。

表8 零件重要度一览表

项目	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
$E(A)$	0.831	0.917	0.821	0.867	0.846	0.659
排序	4	1	5	2	3	6

零件的重要度对可变功能机械设计有很重要的指导意义,该值越大说明该零件变更对系统的影响越大,那么对该零件的质量、可靠性、使用寿命等要求都会更高。把这些需要在设计阶段重点考虑的零件称为关键零件,那么比较零件的重要度就是识别设计关键零件的方法之一。

4 实例分析

以常见的多功能组合钳(图3)为例,来验证模型的可行性以及说明耦合度和重要度的意义。



图3 多功能组合钳

多功能组合钳涉及的零件见表9,需要说明的是从图3可看出十字螺丝刀头、一字螺丝刀头和内六角头分别有3个型号,还有老虎钳头与手柄连接有2个铆钉,这里都分别做1个零件考虑。同时列出多功能组合钳的功能表(表10)。

对功能与零件的直接关联情况进行分析,构建出表11所示的关联矩阵,表中带下划线的数据是

表9 多功能组合钳零件

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
老虎钳头	铆钉1	左手柄	右手柄	鱼鳞锯头	小刀头	开罐器头	螺丝刀连接头	铆钉2
A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}
钢锉头	主刀	大号十字丝批头	小号十字丝批头	铆钉3	十字螺丝刀头	内六角头	一字螺丝刀头	套筒

表10 多功能组合钳功能

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}
老虎钳	鱼鳞锯	小刀	开罐器	钢锉	主刀	大号十字丝批	小号十字丝批	十字螺丝刀	内六角	一字螺丝刀

表 11 功能与零件的全关联矩阵

功能	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}
F_1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.56	0.56	0.49	0.60	0.44	0.44	0.44	0.44	0.40	0.17	0.17	0.17	0.30
F_2	0.60	0.80	1.00	0.90	1.00	0.80	0.80	0.60	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.24	0.24	0.24	0.34
F_3	0.60	0.80	1.00	0.90	0.80	1.00	0.80	0.60	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.24	0.24	0.24	0.34
F_4	0.60	0.80	1.00	0.90	0.80	0.80	1.00	0.60	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.24	0.24	0.24	0.34
F_5	0.60	0.80	0.90	1.00	0.72	0.72	0.72	0.63	0.54	1.00	0.80	0.80	0.80	1.00	0.18	0.18	0.18	0.18
F_6	0.60	0.80	0.90	1.00	0.72	0.72	0.72	0.63	0.54	0.80	1.00	0.80	0.80	1.00	0.18	0.18	0.18	0.18
F_7	0.60	0.80	0.90	1.00	0.72	0.72	0.72	0.63	0.54	0.80	0.80	1.00	0.80	1.00	0.18	0.18	0.18	0.18
F_8	0.60	0.80	0.90	1.00	0.72	0.72	0.72	0.63	0.54	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	0.18	0.18	0.18	0.18
F_9	0.60	0.80	1.00	0.90	0.48	0.48	0.48	1.00	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	1.00	0.30	0.30	1.00
F_{10}	0.60	0.80	1.00	0.90	0.48	0.48	0.48	1.00	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.30	1.00	0.30	1.00
F_{11}	0.60	0.80	1.00	0.90	0.48	0.48	0.48	1.00	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.30	0.30	1.00	1.00

根据实际结构直接确定,其他数据需通过以下步骤完成。每个功能直接关联的零件进行设计变更可能性分析,矩阵见表 12~表 15。

表 12 F_1 变更可能性矩阵

矩阵	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	1.0	0.8	0.4	0.4
A_2	0.2	1.0	0.2	0.2
A_3	0.6	0.8	1.0	0.9
A_4	0.6	0.8	0.9	1.0

表 13 $F_2(F_3, F_4)$ 变更可能性矩阵

矩阵	A_3	$A_5(A_6, A_7)$	A_9
A_3	1.0	0.8	0.4
$A_5(A_6, A_7)$	0.2	1.0	0.2
A_9	0.6	0.8	1.0

表 14 $F_5(F_6, F_7, F_8)$ 变更可能性矩阵

矩阵	A_4	$A_{10}(A_{11}, A_{12}, A_{13})$	A_{14}
A_4	1.0	0.8	0.4
$A_{10}(A_{11}, A_{12}, A_{13})$	0.2	1.0	0.2
A_{14}	0.6	0.8	1.0

表 15 $F_9(F_{10}, F_{11})$ 变更可能性矩阵

矩阵	A_3	A_8	A_9	$A_{15}(A_{16}, A_{17})$	A_{18}
A_3	1.0	0.7	0.8	0.2	0.2
A_8	0.5	1.0	0.8	0.2	0.6
A_9	0.4	0.6	1.0	0.3	0.3
$A_{15}(A_{16}, A_{17})$	0.2	0.7	0.3	1.0	0.6
A_{18}	0.1	0.5	0.2	0.5	1.0

根据可能性传播树的方法,求出功能与零件

间接关联值,具体结果见表 11。则可构建功能耦合矩阵和零件重要度表——表 16 和表 17。

表 16 多功能组合钳功能耦合矩阵

矩阵	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}
F_1	1.00	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
F_2		1.00	0.64	0.64	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
F_3			1.00	0.64	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
F_4				1.00	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
F_5					1.00	0.64	0.64	0.64	0.54	0.54	0.54
F_6						1.00	0.64	0.64	0.54	0.54	0.54
F_7							1.00	0.64	0.54	0.54	0.54
F_8								1.00	0.54	0.54	0.54
F_9									1.00	0.66	0.66
F_{10}										1.00	0.66
F_{11}											1.00

表 17 多功能组合钳零件重要度一览表

项目	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
数值	0.64	0.82	0.96	0.95	0.68	0.68	0.68	0.71	0.80
重要度	8	3	1	2	7	7	7	6	4
项目	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}
数值	0.74	0.74	0.74	0.74	0.60	0.29	0.29	0.29	0.46
重要度	5	5	5	5	9	11	11	11	10

通过表 16, 可以计算出多功能组合钳的综合耦合度为 0.57。

通过表 17 可知, 重要度排名前三的依次是 A_3 左手柄、 A_4 右手柄、 A_2 铆钉 1。结合零件的本身特性, 可知在设计过程中, 要确保左右手柄有很好的

质量、很高的可靠性以及较长的寿命, 而对于铆钉必须铆得牢固, 以保证连接可靠性强, 同时要求铆钉要有很高的质量和强度, 且需要采用标准件。

5 结论

通过分析可变功能机械系统功能与零件的关联性, 结合功能直接关联零件的设计变更可能性的传播, 构建了功能与零件的全关联矩阵, 由此生成功能耦合矩阵, 同时提出了用综合耦合度来分析可变功能机械整体结构的紧凑性以及用零件重要度来指导设计过程。2个功能与某个零件都是直接关联, 但是可能其中1个功能与该零件在某些参数上存在联系, 而另1个功能与该零件的其他参数发生关联, 那么此时分析功能耦合时用1表示2个功能在该零件上的功能耦合度的话, 显然稍显粗糙, 不够准确, 为此接下来的研究方向之一是通过功能与零件参数的关联分析来进行功能耦合分析。

参考文献:

- [1] Gu P, Hashemian M, Nee A Y C. Adaptable design[J]. Annals of CIRP, 2004, 53(2):539-557.
- [2] Gu P, Xue D, Nee A Y C. Adaptable design: Concepts, methods, and applications [J]. Journal of Engineering Manufacture, 2009, 223(11):1367-1387.
- [3] 张国军, 王翠雨, 程强, 等. 面向可适应设计的耦合功能集割裂规划[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(6):1-3.
- [4] 陈羽, 滕弘飞. 异构模块组合耦合分析的完全关联矩阵[J]. 机械工程学报, 2012, 48(11):22-28.
- [5] 邓益民, 郑堤. 机电产品功能与行为表达方法综述[J]. 工程设计学报, 2008, 15(3):164-169.
- [6] 唐敦兵, 徐荣华, 唐吉成, 等. 基于设计结构矩阵的工程变更影响分析[J]. 机械工程学报, 2010, 46(1):154-161.
- [7] Chartrand G, Zhang Ping. Introduction to Graph Theory [M]. 范益政, 江毅, 龚世才, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2007:68-105.

Function Coupling of Adaptable-function Machines Based on Complete Incidence Matrix

YU Yuan-wen^{1,2}, DENG Yi-min^{1,2*}, YANG Peng^{1,2}, YIN Xi^{1,2}

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

2. Zhejiang Provincial Key Lab of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China)

Abstract: To assist design analysis of the adaptable-function machines, in this paper a few concepts is first proposed including direct association, indirect association and complete association between function and components, and the direct incidence matrix between functions and components is built. It then quantitatively describes the indirect coupling value using the propagation of design change possibility for the constituent parts; thereby the complete incidence matrix is generated. Based on what is described, it proposes the concept of function coupling degree, builds the function coupling matrix, and then uses the comprehensive coupling degree to evaluate the structural compactness of the adaptable-function machines. In addition, it also analyzes the influence from the components on the functions in order to provide the quantitative foundation for the design analysis of the machines. Finally a case study concerning the multi-function pliers is presented to validate the feasibility of the proposed method.

Key words: adaptable-function machines; design analysis; complete incidence matrix; function coupling degree

(责任编辑 章践立)