

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.09.041

# 产品模块化设计中接口信息模型研究\*

王日君<sup>1</sup> 张进生<sup>2</sup> 张明勤<sup>1</sup> 汤爱君<sup>1</sup>

(1. 山东建筑大学机电工程学院, 济南 250101; 2. 山东大学机械工程学院, 济南 250061)

**【摘要】** 建立了一种面向模块匹配性判断和模块组合的接口信息模型,包括6个参数:接口的编码、接口所依附的模块、接口的类型、接口的几何形状、接口的关键几何参数和接口的功能流方向。其中接口的类型包括动态接口和静态接口,接口的功能流方向包括功能输入和功能输出。接口的编码和接口所依附的模块用于接口的标识和检索,而其他4个参数用于模块间关系的判断。通过实例验证了该模型的有效性和合理性。

**关键词:** 机械设计 模块化设计 接口模型 匹配性

**中图分类号:** TH16; TP391.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)09-0226-04

## Interface Information Model of Modular Design

Wang Rijun<sup>1</sup> Zhang Jinsheng<sup>2</sup> Zhang Mingqin<sup>1</sup> Tang Aijun<sup>1</sup>

(1. School of Electromechanical Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China

2. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China)

### Abstract

An interface information model for the combination and matching judgment of modules was established, which included six parameters: coding, module attached, type, geometry, critical geometric parameters and function flow direction of interface. Among these six parameters, the type of interface included dynamic interface and static interface, and the functional flow direction included function input and function output. The first two parameters were mainly used for the identification and retrieval of interface, and the other four were used to determine the relationship between modules, including connection and interchangeable. An example was used to illustrate the validity and rationality of the established model.

**Key words** Mechanical design, Modular design, Interface model, Match

### 引言

产品模块化设计是指在模块划分的基础上,通过模块的选择和组合搭配得到不同的产品,快速响应用户的需求<sup>[1-3]</sup>。模块通过接口实现联接,因此接口是模块组合的依据,接口的设计与规划对模块化的实施有直接的影响。国内外关于模块接口方面的研究较少,主要是对接口的形状与联接型式的归纳总结<sup>[4-5]</sup>。Fredrik<sup>[6]</sup>提出了一种基于公理设计的接口设计方法,并用 DFMA 软件工具对接口设计方案进行评价和优选。Abele<sup>[7]</sup>定义了模块化机床接

口的性能参数并分析了这些性能参数对机床整机性能的影响。齐尔麦<sup>[8]</sup>综合接口的类型和参数等建立了接口表达式用来判断模块间的关系。Chen等<sup>[9]</sup>将接口分为内部接口和外部接口,探讨了模块化产品的接口与产品创新设计之间的关系,建立了接口的理论矩阵。

本文考虑模块的组合和模块的匹配性判断,综合接口的形状、参数等信息,建立接口的信息模型。

### 1 模块接口模型的建立

相互独立的模块通过接口组装成新产品,模块

收稿日期: 2011-11-04 修回日期: 2012-01-16

\* 国家自然科学基金资助项目(51105233)和山东省高等学校科技计划项目(J11LD09)

作者简介: 王日君, 讲师, 主要从事数字化设计与制造研究, E-mail: wangrj2011@163.com

接口的功能主要有：通过接口的几何结构的配合实现约束定位；实现两模块间物质、能量和信息的传递，在此概括为功能流。因此，模块接口的类型、形状等几何特性及其功能流的方向直接决定了模块的可组合性，可作为模块关系判断的依据。在对接口的类型、形状、功能流方向等各种信息进行分析与综合的基础上，建立接口的模型，为模块的匹配性判断提供依据，接口模型见图1，表达式为

$$M = (N, E, T, S, P, F) \quad (1)$$

- 式中  $N$ ——模块接口标识信息，以序号表示
- $E$ ——模块接口所依附的模块
- $T$ ——模块接口的类型，包括静态接口和动态接口
- $S$ ——模块接口的几何形状，如矩形平面、外圆柱面等
- $P$ ——模块接口的关键几何参数，如直径、长、宽等
- $F$ ——模块接口的功能流方向，包括功能输入和功能输出

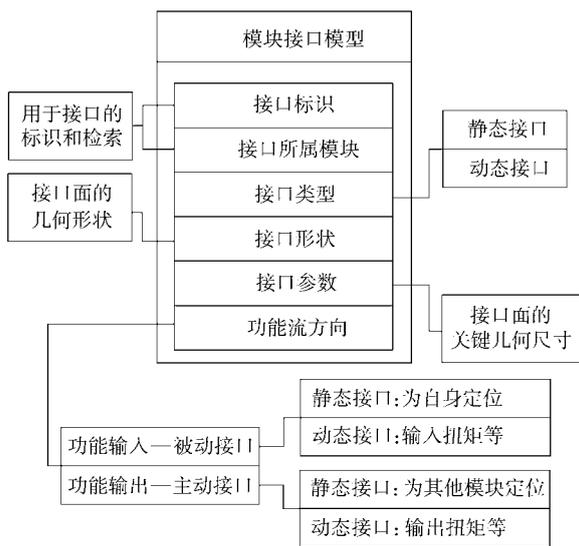


图1 模块接口模型

Fig.1 Interface model of module

接口模型的6个参数中，参数  $N$  和  $E$  主要用于接口的标识和检索，而其他4个参数则用于模块间关系的判断。其中，模块接口的功能流方向包括功能输入和功能输出2种情况。对于模块的某个接口，若该接口处的功能流是对其他模块起作用的，则该接口的功能流方向为功能输出；若该接口处的功能流是对自身模块起作用的，则该接口的功能流方向为功能输入。下面分别分析静态接口和动态接口的功能流方向。

### 1.1 动态接口的功能流方向

图2中，将原动机、传动机构和执行件分别划分

为单独的模块，运动或动力从原动机传递到传动机构，最终到达执行件，形成了一条机械传动路线。其中，原动机与传动机构之间的传递通过接口D将运动传递到接口C来实现，而传动机构与执行件之间的传递则通过接口B将运动传递到接口A来实现。因此，4个接口中，接口A和C的功能流方向为功能输入，而接口B和D的功能流方向为功能输出。

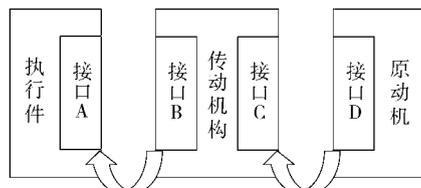


图2 动态接口的功能流方向示意图

Fig.2 Function flow direction of dynamic interface

### 1.2 静态接口的功能流方向

图3中，模块1与地基及周围2个模块存在3个配合，即接口A、B和C。其中，接口A将其固定连接在地基上，为其提供一定自由度方向上的约束。而接口B、C分别与模块2、3的接口D和E联接，为模块2和3提供定位约束。由于模块1上的接口A实现了对模块在某些自由度方向上的定位，因此接口A的功能流方向为功能输入。而接口B和C则是用来使其他模块定位的，因此其功能流方向为功能输出。而接口D和E的功能流方向为功能输入。

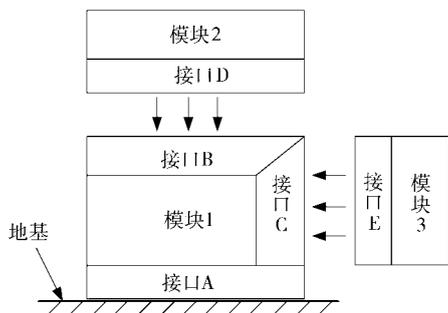


图3 静态接口的功能流方向示意图

Fig.3 Function flow direction of static interface

## 2 基于接口模型的模块匹配性判断

由模块的接口模型可判断出哪些模块可以联接，哪些模块可以互换，即通过接口模型的  $T$ 、 $S$ 、 $P$  和  $F$  4个参数可判断得到任意两模块之间的关系，如联接、互换或无任何关系等。

(1) 如果两模块4个参数均相同，则两模块可以互换，即具有互换性。如图4所示的M3和M4。

(2) 若  $T$ 、 $S$  和  $P$  相同，而  $F$  不同，则两模块分别构成基准模块和目标模块，即两模块相互匹配，可以联接。如图4所示的M1和M4、M1和M2。

(3) 若  $T$ 、 $S$  和  $F$  相同，而  $P$  不同，则两模块为

同一基型模块的两个参数化变型实例,通过参数调整之后可实现二者的互换。如图 4 所示的 M4 和 M5。

(4) 若  $T$  和  $S$  相同,而  $F$  和  $P$  不同,则两模块不完全匹配,将目标模块通过参数化调整使得二者的  $P$  相同,可实现二者的匹配。如图 4 所示的 M1 和 M5。

(5) 其他情况下认为两模块没有任何关系。如图 4 所示的 M6 和其他任意模块都没有任何关系。

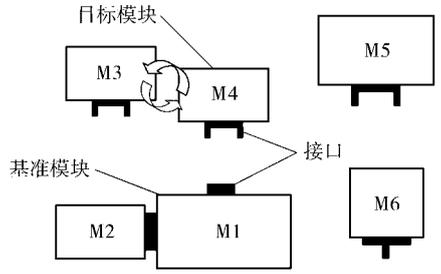


图 4 模块之间的关系示意图

Fig. 4 Relationship between modules

### 3 应用实例

以硬脆材料加工设备为实例来验证所建立的模块接口模型。该系列设备主要包括单立柱型、双立

柱卧式、双立柱立式和多功能加工中心 4 种结构类型,能够实现硬脆材料的成型加工,如图 5 所示。

对各模块接口的形状、参数等各项信息进行分析后,建立设备的接口信息模型如表 1 所示。

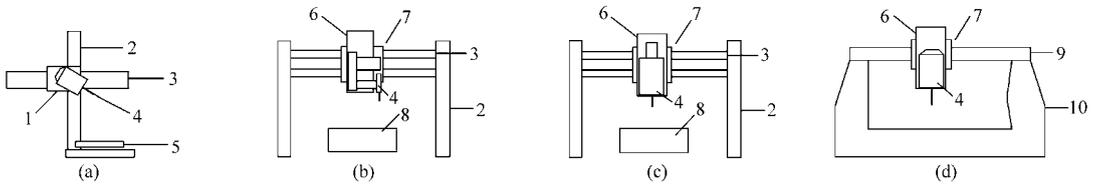


图 5 硬脆材料加工设备原理图

Fig. 5 Hard-brittle materials machining equipment

(a) 单立柱型 (b) 双立柱卧式 (c) 双立柱立式 (d) 多功能加工中心

1. 托板 2. 立柱 3. 横梁 4. 动力头 5. 回转工作台 6. 竖直托板 7. 水平托板 8. 工作台 9. 移动横梁 10. 底座

表 1 硬脆材料加工设备接口信息模型

Tab. 1 Interface model of hard-brittle materials machining equipment

接口标识	所属模块	接口类型 $T$	接口形状 $S$	接口参数 $P$	接口功能流方向 $F$
M01	X 向支承导向模块(固定式横梁)	动态接口	外圆柱面	圆柱直径 $\Phi 145$ mm	流出
M02	X 向支承导向模块(固定式横梁)	静态接口	外圆柱面	圆柱直径 $\Phi 130$ mm	流入
M03	X 向支承导向模块(移动横梁)	动态接口	矩形导轨面	截面长 63 mm	流入
M04	X 向支承导向模块(移动横梁)	动态接口	矩形导轨面	截面长 63 mm	流出
M05	Z 向支承模块(立柱)	静态接口	内圆柱面	圆柱直径 $\Phi 130$ mm	流出
M06	Z 向支承模块(底座)	动态接口	矩形导轨面	截面长 63 mm	流出
M07	X 向运动模块(水平托板)	动态接口	内圆柱面	圆柱直径 $\Phi 145$ mm	流入
M08	X 向运动模块(水平托板)	动态接口	内圆柱面	圆柱直径 $\Phi 78$ mm	流出
M09	Z 向运动模块(竖直托板)	动态接口	外圆柱面	圆柱直径 $\Phi 78$ mm	流入
M10	Z 向运动模块(竖直托板)	静态接口	矩形平面	长 $\times$ 宽: 920 mm $\times$ 450 mm	流出
M11	动力模块(水平轴动力头)	静态接口	矩形平面	长 $\times$ 宽: 920 mm $\times$ 450 mm	流入
M12	动力模块(竖直轴动力头)	静态接口	矩形平面	长 $\times$ 宽: 920 mm $\times$ 450 mm	流入
M13	动力模块(雕刻动力头)	静态接口	矩形平面	长 $\times$ 宽: 920 mm $\times$ 450 mm	流入
M14	动力模块(电主轴)	静态接口	矩形平面	长 $\times$ 宽: 920 mm $\times$ 450 mm	流入

在对该系列设备功能和结构分析的基础上,将其划分为 6 大模块,具体为 12 种结构形式,如图 6 所示。

依据模块接口匹配性判断的 5 条准则即可判断两模块之间的关系。水平轴动力头与竖直托板:水平轴动力头的接口为 M11,竖直托板有 2 个接口,分别是 M09 和 M10。M11 和 M09 的 4 个参数中, $T$ 、 $S$  和  $P$  不同,而  $F$  相同,依据模块匹配性判断准则 5,两模块没有任何关系;而 M11 和 M10 的 4 个参数中, $T$ 、 $S$  和  $P$  相同,而  $F$  不同,依据模块匹配性判断准则 2,两模块相互匹配。因此,水平轴动力头和竖直托板可通过接口 M11 和接口 M10 装配在一起,如图 7 所示。

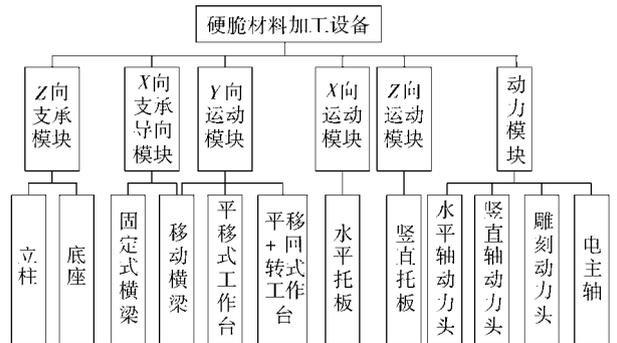


图 6 硬脆材料加工设备模块构成图

Fig. 6 Module division of hard-brittle materials machining equipment

水平轴动力头与垂直轴动力头:水平轴动力头的接口为 M11,垂直轴动力头的接口为 M12。M11

和 M12 的 4 个参数均相同,依据模块匹配性判断准则 1,两模块可以互换,如图 8 所示。

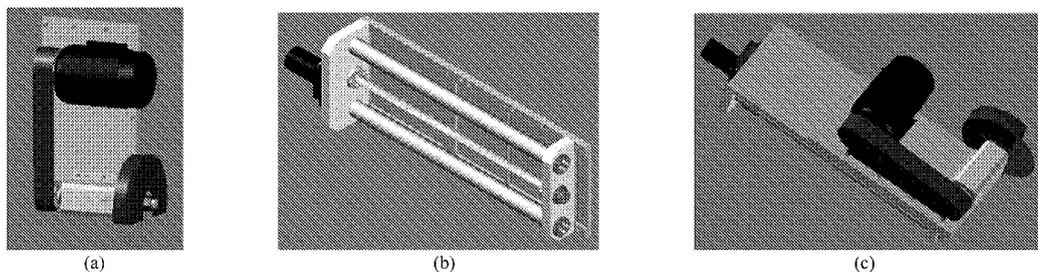


图 7 两模块相互匹配关系示意图

Fig. 7 Matching relations between two modules

(a) 水平轴动力头 (b) 竖直托板 (c) 水平轴动力头与竖直托板装配图

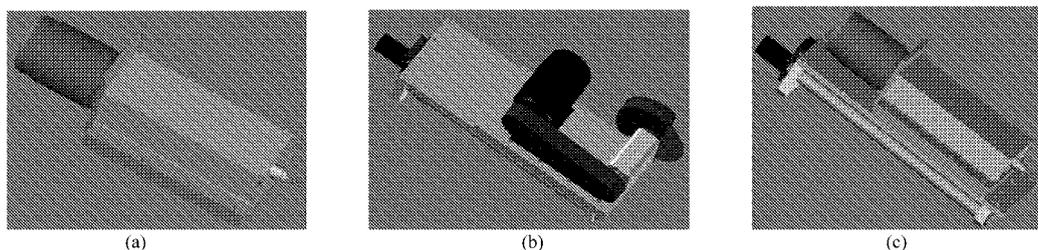


图 8 两模块互换关系示意图

Fig. 8 Exchange relations between two modules

(a) 垂直轴动力头 (b) 水平轴动力头与竖直托板装配图 (c) 垂直轴动力头与竖直托板装配图

## 4 结论

(1) 综合接口的类型、形状、参数、功能流方向等各种信息,建立了面向模块组合的接口信息模型。

(2) 接口信息模型的建立,为模块间关系的判断提供了核心数据,是模块匹配性识别、模块可组合性的判定依据。

## 参 考 文 献

- Pandremenos J, Paralikas J, Salonitis K, et al. Modularity concepts for the automotive industry: a critical review[J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2009, 1(3): 148 ~ 152.
- Tseng H E, Chang C C, Li J D. Modular design to support green life-cycle engineering [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(4): 2 524 ~ 2 537.
- Huang C C. A multi-agent approach to collaborative design of modular products[J]. Concurrent Engineering: Research and Application, 2004, 12(1): 39 ~ 47.
- 侯亮. 机械产品模块化开发原理、方法及其应用实践[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.  
Hou Liang. Modular development principles, methods and application of mechanical products [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003. (in Chinese)
- 胡维刚. 机床模块化设计及其智能支持系统的研究与实践[D]. 武汉: 华中理工大学, 1993.  
Hu Weigang. Research and practice on machine modular design and its intelligent support systems [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 1993. (in Chinese)
- Fredrik H. Applying axiomatic design to interface analysis in modular product development [M]// Gilmore B J. Advances in Design Automation, 1994, 2: 363 ~ 371.
- Abele E, Worn A, Fleischer J, et al. Mechanical module interfaces for reconfigurable machine tools [J]. Product Engineering, 2007, 1(4): 421 ~ 428.
- 齐尔麦. 机械产品快速设计原理、方法、关键技术和软件工具研究 [D]. 天津: 天津大学, 2003.  
Qi Ermai. Principles, methods, key technologies and software tools of mechanical product rapid design [D]. Tianjin: Tianjin University, 2003. (in Chinese)
- Chen K M, Liu R J. Interface strategies in modular product innovation [J]. Technovation, 2005, 25(7): 771 ~ 782.