

石材加工设备 模块化设计技术

SHICAI JIAGONG SHEBEI
MOKUAIHUA SHEJI JISHU

王日君 著

学工业出版社

石材加工设备 模块化设计技术



SHICAI JIAGONG SHEBEI
MOKUAIHUA SHEJI JISHU

王日君 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在对石材异型制品及其加工特点详细分析的基础上,将模块化设计技术引入石材异型制品加工设备的设计中,在现有的模块化理论研究的基础上,对石材异型制品加工设备模块化设计过程中的模块创建、模块编码及接口设计等问题进行深入的研究和探索,从而为石材异型制品加工设备及其类似机械产品的模块化设计提供理论依据,推动石材设备生产企业模块化设计模式的进程,实现设备的快速设计。

本书可作为高等院校从事石材加工、模块化设计技术等研究的科研人员及相关专业学生的参考用书,也可作为石材加工设备生产企业技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

石材加工设备模块化设计技术/王日君著. —北京:
化学工业出版社, 2018.9
ISBN 978-7-122-32581-5

I. ①石… II. ①王… III. ①石料-加工-机械设备-
模块化-设计 IV. ①TU754.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 152139 号

责任编辑:金林茹 张兴辉
责任校对:秦 姣

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:中煤(北京)印务有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张8½ 字数128千字 2018年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究

石材异型制品应用日益广泛,并朝着多元化、个性化的方向发展,这就要求石材设备生产企业能够快速研发并制造出满足制品加工需求的石材异型制品加工设备,如果所采用的设计方法效率低下将制约设备的开发。模块化设计作为一种实用高效的设计方法在机械工程领域已经得到广泛应用,其通过模块的选择与组合可实现产品的快速设计。本书将模块化设计技术引入石材异型制品加工设备的设计中,在现有的模块化理论研究的基础上,对石材异型制品加工设备模块化设计过程中的模块创建、模块编码及接口设计等问题进行深入的研究和探索,从而为石材异型制品加工设备及其类似机械产品的模块化设计提供理论依据,推动石材设备生产企业模块化设计模式的进程,实现设备的快速设计。

全书共分为6章。第1章主要介绍了石材异型制品加工设备的设计现状及模块化设计技术的研究现状;第2章在对石材异型制品的成形面和成形运动进行分析的基础上,建立了石材异型制品加工的运动学图谱;第3章介绍了基于运动学图谱的石材加工设备的系列型谱的规划;第4章提出了基于公理设计和模糊树图相结合的模块划分方法并应用于石材加工设备的模块划分,基于复杂度理论对划分结果进行评价分析;第5章将划分得到的标准模块实现了接口的标准化设计并编码存入模块数据库;第6章结合石材异型制品加工设备的特点研制和开发了计算机辅助模块化设计系统。

本书以“基本理论—技术方法—应用实践—软件开发”为主线,结构合理、清晰。在叙述上力求深入浅出、通俗易懂,相信会为读者的学习和工作带来一定的帮助。本书是为学习石材加工技术、模块化设计技术、CAD技术的研究生及从事石材加工设备和其他机械设备的研发工程师编写的,也可作为从事模块化设计技术和产品快速设计技术的科研工作者的参考书。

本书的研究工作得到了山东省自然科学基金项目(ZR2014EEQ011)和山东省高等学校科技计划项目(J14LB03)的资助,特此向支持和关心笔者研究工作的所有同志表示衷心的感谢。笔

者还要感谢教育、支持、帮助笔者多年的恩师张进生教授。书中有部分内容参考了有关单位或个人的研究成果，均已在参考文献中列出，在此一并致谢。

由于笔者水平有限，加之时间仓促，虽几经修改，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

著 者

1.1 石材异型制品加工设备 /001

1.1.1 石材异型制品加工设备的现状 /001

1.1.2 石材异型制品加工设备的设计现状 /002

1.2 模块化设计 /004

1.2.1 模块化设计概述 /004

1.2.2 模块化设计理论研究现状 /006

1.2.3 模块化设计中存在的问题 /016

1.3 石材异型制品加工设备模块化设计的研究现状 /016

2.1 石材异型制品几何学分析 /020

2.1.1 石材异型制品概述 /020

2.1.2 石材异型制品成形面分析 /023

2.2 石材异型制品成形运动分析 /024

2.2.1 石材异型制品成形原理 /024

2.2.2 石材异型制品成形刀具 /025

2.2.3 石材异型制品成形方法 /027

2.2.4 石材异型制品成形运动分析 /028

2.3 石材异型制品成形加工运动学图谱的建立 /031

2.3.1 数控设备坐标系的定义 /031

2.3.2 石材异型制品成形加工运动学

第 1 章

石材加工设备及模块化设计技术

001

第 2 章

石材异型制品加工运动学图谱的建立

020

第 3 章

模块化设计规划

035

第 4 章

石材异型制品加工设备模块的划分

047

3.1 模块化设计总体规划 / 035

3.2 基于运动学图谱的设备系列型谱规划 / 037

3.2.1 用户需求获取 / 039

3.2.2 基于运动学图谱的用户需求转化 / 039

3.3 石材异型制品加工设备的功能和结构分析 / 041

3.3.1 石材异型制品加工设备的功能分析 / 042

3.3.2 石材异型制品加工设备的结构分析 / 043

3.4 石材异型制品加工设备模块划分的层次和原则 / 044

3.4.1 石材异型制品加工设备模块划分的层次 / 044

3.4.2 面向生命周期的模块划分原则 / 045

4.1 基于公理设计和运动学图谱的模块划分方法 / 047

4.1.1 基于公理设计的模块划分方法 / 047

4.1.2 基于公理设计的石材异型制品加工设备模块划分 / 050

4.1.3 基于运动学图谱的结构模块的映射 / 053

4.2 基于模糊树图的模块划分方法 / 056

5.1 模块的编码 /072

5.1.1 石材异型制品加工设备模块编码的原则及类型 /073

5.1.2 石材异型制品加工设备模块编码的信息 /074

5.1.3 石材异型制品加工设备模块的编码 /076

5.2 模块接口设计 /079

5.2.1 石材异型制品加工设备接口的分类与功能 /080

5.2.2 基于设计规则的接口的标准化设计 /081

5.2.3 面向模块组合的接口建模 /086

6.1 系统的总体规划 /093

6.1.1 系统的总体设计思想 /093

6.1.2 系统的设计原则及开发工具 /093

6.2 系统功能建模 /094

6.3 系统体系结构设计 /100

6.3.1 体系结构的选择与划分 /100

6.3.2 模块化设计子系统的设计 /102

6.3.3 数据库管理子系统的设计 /104

6.3.4 协同设计子系统的设计 /105

4.2.1 子结构关系矩阵建立 /057

4.2.2 基于模糊树图的模块划分 /059

4.2.3 面向设计的模块划分方案评价 /062

4.2.4 模块划分结果调整 /064

4.2.5 应用实例 /064

第5章

石材异型制品加工设备模块的编码及接口设计

072

第6章

石材异型制品加工设备模块化设计系统的开发

093

结论与展望

113

参考文献

117

模块化设计的实施可以减少产品的内部多样化,提高交货准时性,节约零部件在采购、库存、厂房空间、生产规模等方面的间接成本,降低产品开发成本,缩短开发时间,提高企业对市场的快速响应能力。因此,模块化设计在产品设计中得到了广泛应用。本章主要介绍了石材异型制品加工设备的设计现状及模块化设计技术的研究现状。

1.1 石材异型制品加工设备

近几十年来,随着建筑装饰业的发展以及人们对大自然的崇尚,石材以其天然华丽的饰面效果、稳定的物理化学性能和良好的加工性能在建筑装饰、生活用具、艺术制品等方面得到大量应用。人们对石材异型制品的种类、形状等都提出了较高的要求,市场对石材制品的需求由原本的单一型向多元化的方向转变,需求的个性化趋势越来越明显。这就要求相应的石材加工设备具备高度的柔性和敏捷性,以满足装饰用石材多花色、多样式的需求,在不增加生产成本的情况下尽快地改变品种,更新设计,获得最大的经济效益。

1.1.1 石材异型制品加工设备的现状

在古代,石材的加工完全是靠手工操作来完成。直到19世纪,欧洲才出现了第一台用于加工石材的机械,这给石材加工行业带来了一场革命,从此,石材加工开始从手工操作向机械化方向发展。近30多年来,石材开采与加工业的持续发展推动了石材设备制造业的发展。如今,市场上的石材异型制品加工设备种类繁多、各具特色,归纳起来主要有以下几

种，如图 1-1 所示。



图 1-1 常用的石材异型制品加工设备

仿型加工是以制品模型为依据进行的一种机械加工方式，需要制造和制品同样大小或者成比例的模型，增加了成本和加工准备时间；数控车床、铣床、多功能加工中心等设备最大的优势是加工的效率和质量高，但是其价格昂贵且操作技术要求高，性价比与石材企业的期望差距较大；金刚石串珠锯是使用柔性刀具加工石材异型制品的数控加工设备，因其显著提高生产率、改善劳动条件、保护环境的优点在石材加工中得到广泛应用，但是其整机和串珠绳的成本均较高，且串珠绳使用寿命较短，使加工出来的产品成本略高；高压水射流切割机刀具简单、无污染、低噪音，但是目前有关技术问题尚未完全解决；手提切割机加工效率低、质量差，已无法满足现代加工的要求。以上这几种机型因为种种原因限制了其在石材加工领域的广泛应用，因此在石材异型制品加工设备中所占比例较低，而普通单机和数控单机则以其低成本、高效率的优势占有较高的市场份额。

然而随着异型制品需求的与日俱增以及其花色品种的不断翻新，企业对设备的功能要求越来越多，功能变化越来越快。单机类设备因其功能单一、适应面窄，面对多样化的加工要求变得越来越吃力，无法应对市场的千变万化。因此，石材加工企业迫切地需要一种既具有规模生产效益，又能快速适应动态多变的市场需求的加工设备，以适应石材异型制品加工要求，提高市场竞争力。

1.1.2 石材异型制品加工设备的设计现状

近年来，随着世界石材工业的蓬勃发展，国际、国内石材加工设备也

逐渐走向规模化生产。国外石材异型制品加工设备的技术水平和质量在十九世纪九十年代就达到了比较高的水平。自改革开放以来,国内的石材异型制品加工设备在引进消化吸收国外先进设备的基础上也取得了很大进步,但是在设计方法方面依然落后,对世界先进技术仍以跟踪为主,主要存在以下问题:

① 对石材异型制品加工的成形运动缺乏深入研究,设备设计缺乏理论基础。

② 设计方法落后,很少考虑原有设备一些成熟零部件的继承性,重复劳动多,设计周期长,成本高,产品更新换代慢。尤其是用户个性化需求日益突出的今天,制品的多样化决定了设备功能的多样化,从而增加了设备设计过程的复杂性。设计人员忙于应付设备订单的设计任务,无暇进行新产品的研制和开发。

③ 设备的设计面向单机,很少从设备的系列化考虑。

模块化设计是产品快速设计的使能技术,其通过对功能、结构模块的选择和组合可以有效地实现产品的快速设计,因此产品模块化将成为未来产品发展的方向。对石材异型制品加工设备进行结构分析和分解可以发现,石材异型制品加工设备的结构易分解且具有明显的分级特性,如图1-2所示。设备总体结构可分解为支承框架、拖板、动力头和工作台四个部件,而各部件又可进一步具体划分,如拖板可分解为水平拖板和竖直拖板,而竖直拖板又可进一步分解为竖拖板体、竖丝杠等,如此继续,直到分解至不能再分解的零件为止。设备结构分解的过程中,分解得到的各个单元功能未遭到破坏,分解得到的单元其功能和结构始终是一一映射的关系。因此,石材异型制品加工设备具备进行模块化处理的可行性。

本书以石材异型制品加工设备为研究对象,以运动学图谱的建立、模块的划分、模块的编码和接口的设计为主线,探讨了该类机械产品的模块化设计方法体系,并在理论研究的基础上,建立了一个计算机辅助模块化设计系统,以提高设计效率。

模块化设计,可以有效地简化石材异型制品加工设备的结构,简化设备的设计和制造,便于组织社会化、专业化生产,从而达到缩短设备的设计和制造周期、降低生产成本的目的。另外,模块化设备采用模块化结构,可根据不同的制品加工要求更换相应的模块,从而实现制品加工的高

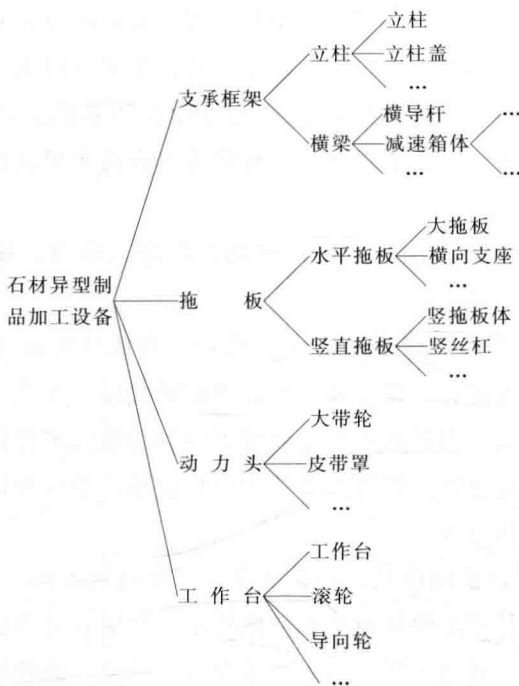


图 1-2 石材异型制品加工设备结构分解图

效率、低成本。综合以上分析可知，研究石材异型制品加工设备的模块化设计理论与方法，对于推动模块化设计技术在石材异型制品加工设备中的应用与发展，提高我国石材异型制品加工设备的设计开发能力，增强我国石材设备生产企业的市场竞争力具有重要的理论意义和实际应用价值。

1.2 模块化设计

1.2.1 模块化设计概述

模块化一般是指用模块的概念对产品或系统进行规划和组织，将产品划分为若干单元，单元内部强耦合而单元之间为弱耦合。模块化设计的概念一直没有统一的定义，目前各种文献中的文字叙述也有较大的差别，其中能够被大多数人认同的解释是：产品的模块化设计是在对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，通过模块的选择和组合可以构成不同的产

品，以满足市场不同需求的设计方法。

模块化设计的目的是为了提高产品设计效率，缩短产品设计周期，降低生产成本，并使设计经验能够传递和继承，以利于进一步提高设计和生产水平，使企业在市场竞争中获得主动权。它强调以功能分析为基础，以市场预测为导向，把功能不同或者功能相同而性能不同的模块进行组合和互换，产生多元化的产品以满足客户个性化的需求。图 1-3 为模块化产品结构示意图。

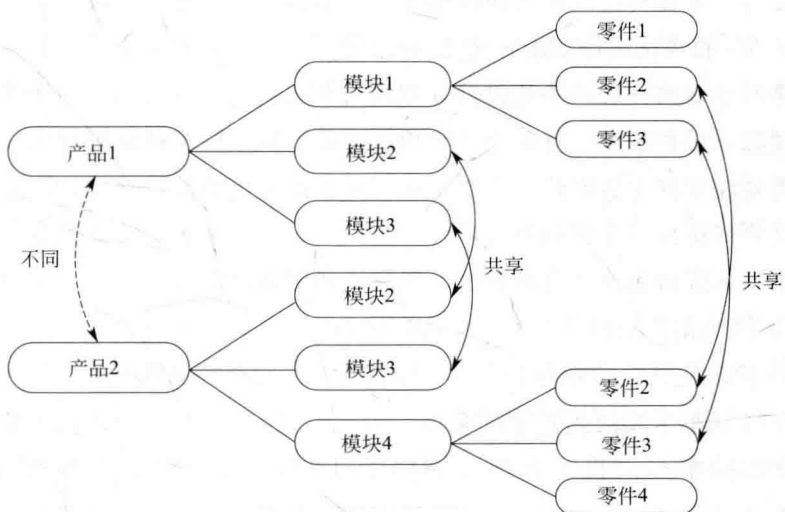


图 1-3 模块化产品结构示意图

按照模块化设计的产品在产品系列中所覆盖的形式和程度，通常将模块化设计分为以下几类：

① 横系列模块化设计。在同一规格的基础上，在变型产品范围内进行模块化设计，即在基型产品的基础上，通过变更、增加或减少某些特定模块而形成变型产品。这种方式易实现，应用最广。

② 纵系列模块化设计。在同一类型中对不同规格的基型产品进行设计。所谓不同规格就体现在主参数不同上，而主参数不同的产品的动力参数也往往不同，导致结构形式和尺寸不同，因此较横系列模块化设计复杂。在设计与动力参数有关的模块时，往往合理划分区段，只在同一区段内模块通用；而对于与动力或尺寸无关的模块，则可在更大范围内通用。

③ 跨系列及全系列模块化。在横系列模块化的基础上兼顾纵系列，即形成了既有横系列又有纵系列的跨系列模块化。若在整个横系列和纵系

列即全部系列范围内进行统一的模块化设计，则称为全系列模块化。

1.2.2 模块化设计理论研究现状

随着模块化设计应用需求的增加、应用范围的不断扩展，模块化设计理论也得到了不断的发展、国内外的许多大学、学术机构从不同的角度对模块化设计理论进行了研究，主要集中在以下几方面：模块化设计实施方法、模块化设计的可行性与必要性、模块划分、接口设计、模块编码及模块配置等。下面对这几项关键技术一一介绍。

1.2.2.1 模块化设计实施方法

童时中指出开展模块化设计一般应开展五个方面的工作：市场调查、技术预测、品种规划、科研先行和功能分析，并探讨了模块化设计具体实施中需要注意的一些问题，全面阐述了传统模块化的设计过程，认为模块化设计要依次按三个步骤进行：

- ① 系统分析阶段（市场分析、产品系列型谱拟定）；
- ② 模块化产品设计（系统应用阶段）；
- ③ 模块选择、模块综合及模块系统设计（详细设计阶段）。

IBM 从整个模块化系统的角度，创造性地制定了模块设计过程中必须遵守的标准——“设计规则”。规则中详细规定了为保证模块之间的联系、产品的兼容性及其他特性必须遵守的基本要求。有了设计规则，在将复杂系统划分为模块之后，每个模块都可以在遵守统一的设计规则的前提下进行独立开发。因此可将模块化设计分为三个阶段：

- ① 设计规则阶段，这是负责每个模块的队伍都知道而且必须遵守的；
- ② 独立并行的设计行动阶段，即隐形模块的设计，以保证具体操作独立进行；
- ③ 系统集成与测试阶段。

天津大学姜慧等针对机械产品模块化设计的总体规划方法进行了研究，提出用矩阵来排列模块化产品系列和模块系列，从而使设计对象一目了然。对于传统模块化设计方法难以适用的结构参数非系列化的机械产品，侯亮提出了基于参数化造型和变量优化分析的广义模块化设计方法，并提出了基于模块化的产品族及模块系统规划，并在液压机上进行了验证。

这些研究是从系统论的角度探索开展模块化设计的一般方法和过程，

为针对不同的产品进行模块化设计提供了一种基本思路。

1.2.2.2 模块化设计的可行性与必要性分析

尽管对产品进行模块化设计有着种种优势,但并非所有的产品都有进行模块化的可行性和必要性,即并非所有的产品都可以、都适合进行模块化处理。模块化设计有自己的适用范围。因此在对产品进行模块化设计之前,首先要分析该系统是否有模块化的必要与可能。

(1) 产品模块化的可行性分析

产品是否能够进行模块化取决于产品的可分性。本质上来说,几乎所有的产品组件都是可以分解的,即使在分解的过程中大部分单元将失去功能。参考文献 [19, 20] 认为产品的可分性指的是该产品既能被分解成若干部件又可以重新组合,并且在这一过程中不会失去原有的功能。这样的产品单元之间彼此相对独立,容易搭配组合形成不同的产品。

产品的可分性主要受产品的协同专一性程度影响,产品的协同专一性是指产品中某特定部件与其他部件组合在一起时所能发挥的功能最强。产品的可分性越强则该产品的模块化程度越高;相反,产品的协同专一性程度越高则产品的模块化程度越低。因此,产品的可分性是产品模块化的前提。如果产品是一体化产品,就不可能分解得到具备独立功能的子系统,即使强行模块化,各个子模块不具备独立功能,也就不具备产品的模块价值。

(2) 产品模块化的必要性分析

产品按构造分为模块化产品与集成化产品。模块化产品的各个组件分别执行一个或多个功能,组件的关系非常明确。集成化产品的各项功能由多个组件共同实现,每个组件通常承担多项功能。模块化和集成化产品有着本质的不同,各有优缺点,需要结合产品自身的特点分析其适合于哪种结构形式。

① 定义不同。集成化产品功能要素和组件是复杂对应的,它们形成的组件界面是结合的。而模块化产品的功能要素和组件是一一对应的,组件间的界面是明确的而组件之间不关联。

② 关注重点不同。强调产品性能选择集成化结构,强调产品变化和种类选择模块化结构。

③ 优势不同。集成化产品方式由于功能共享能减少物理空间,能产出整体效能更高的产品。模块化产品方式引进新产品或者产品升级所需要

的努力更少，时间更短并且成本更低。

因此，模块化适合于技术发展和市场需求变化快、产品生命周期短的产品。

1.2.2.3 模块划分

模块划分是模块化设计的前提和基础，因此，模块化的众多理论和方法都是围绕模块的划分与形成展开。模块划分的基本思路通常是：从功能或结构的角度将产品划分为若干基本单元→采用适当的聚类方法将基本单元聚类为模块→对模块划分方案进行评价和优选。在此，从产品基本单元的分解、模块的聚类方法和模块划分方案评价三个角度来深入分析模块的形成过程。

(1) 基于功能或结构的模块划分

基于功能的模块划分是将产品的总功能分解为一系列功能单元，按照一定的聚类方法将功能单元聚类为模块。结构是功能的载体，也可以直接对结构单元进行相关性分析，将其聚类为模块，这便是基于结构的模块划分。

基于功能的模块划分是从市场需求的角度出发，能够较准确地把握市场定位，但没有考虑结构方面的问题，适合于面向用户需求的新产品设计。基于结构的模块划分充分分析了产品及其零部件的结构，利于产品的变型设计，但没有考虑用户的功能需求，适合于现有产品的模块化改造。

(2) 模块的聚类方法

在功能或结构单元划分的基础上，通过各种聚类方法将单元聚类为模块，完成模块的划分。在这个过程中，相关性分析是模块识别的常用方法，即对单元之间的关联程度、相互影响程度进行定性或定量的分析，以此作为模块聚类的依据。其中矩阵分析法是相关性分析的常用算法，比较典型的是参考文献 [26] 提出的 MIM (Modular-indication-matrix) 矩阵算法。目前聚类方法可分为定性和定量两种。

① 定性的聚类方法。定性的模块聚类方法是指非数值计算方法。其中最具有代表性的是 Stone 提出的启发式模块创建方法，首先建立由功能元所表示的产品的功能模型，然后在功能模型中表示出产品的能量流、物料流、信号流以及力等，最后根据支配性流、分支流以及转换传输流将功能元聚合成模块。图 1-4、图 1-5 分别为根据支配性流和分支流进行的模块划分。