

文章编号:1006 - 5911(2005)06 - 0772 - 04

基于布局模型的液压机大规模定制设计

侯 亮, 陈永明

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘 要:为实现液压机产品的大规模定制快速响应设计,提出了一种基于布局模型的产品设计方法。通过构建液压机的产品功能需求模型、运动功能模型和模块结构模型之间的映射,将得到的布局结构实例化,采用有限元和变量化方法进行布局结构的分析和优化,从而得到最优布局模型。分析得到的所有布局模型将作为产品平台的一部分加以存储,以支持产品的大规模定制设计。论述了液压机产品布局模型的拓扑结构和约束信息表达方法。最后给出了基于布局的大规模定制产品的配置和变型设计过程,该过程显示,布局模型的研究与应用可明显提高液压机类机械产品的设计效率。另外,对产品布局模型在大规模定制产品平台开发过程中进行了分析,完善和补充了大规模定制产品平台体系。

关键词:大规模定制;液压机;布局模型;配置设计;变型设计

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A

Hydraulic press design for mass customization based on product layout model

HOU Liang, CHEN Yong - ming

(Dep. of Mechanical & Electrical Eng., Xiamen Univ., Xiamen 361005, China)

Abstract: To meet the requirements of rapid design of hydraulic press, a methodology of Mass Customization (MC) product design based on product layout model was proposed, in which hydraulic press layout model was exemplified through mapping among product requirements model, movement function model and module structure model. And then the layout model was analyzed and optimized by Finite Element Method (FEM) to obtain the most optimized layout model. All the layout models were added into product platform database to support MC product design. Subsequently, the topology and constraint description of layout model were discussed. Finally, the configuration and variant design process of MC product based on layout model was provided to illustrate that layout model could effectively improve the design efficiency of hydraulic press.

Key words: mass customization; hydraulic press; layout model; configuration design; variant design

0 引言

当前,大规模定制(Mass Customization, MC)方式正在成为主流生产模式^[1]。面向 MC 的产品开发设计技术主要包含两个方面的内容^[2]:一是开发技术,主要完成产品结构、零部件分析和分类等,任务是建立面向 MC 的产品平台;二是面向 MC 的产品设计技术,即根据客户需求,在现有产品模型的基础

上,采用配置设计或变型设计等方法快速设计出定制化的产品。其中,产品布局方案的确定是实现定制化产品快速响应设计的关键,其确定过程是产品主要组成结构模块的连接关系及关键结构参数的设计和优化过程。对于大规模定制化产品而言,在产品系统开发阶段就需要对产品结构的组成、零部件结构参数等进行系统分析和归类,因此,在这一阶段就根据产品结构特点设计出基于产品平台(或产

收稿日期:2004 - 06 - 03;修订日期:2004 - 07 - 02。Received 03 Jun. 2004;accepted 02 Jul. 2004.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70402013);福建省青年科技人才创新项目资金(2004J019)资助项目。**Foundation item:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China (No. 70402013) and the S&T Program of Fujian Province, China (No. 2004J019).

作者简介:侯 亮(1974 -),男,河南许昌人,厦门大学机电工程系副教授,博士,主要从事现代设计方法学、CAD/CAE 等研究。

E - mail: hliang @xmu. edu. cn.

品族)的一系列最优的产品布局结构,并将其作为产品平台的一部分加以存储。在产品配置和变型设计过程中直接选择合适的布局结构,将大大提高设计效率和质量。因此,研究产品布局建模对于充实和完善 MC 产品平台体系及基于产品平台的配置和变型设计,都具有积极的意义。

液压机是一种重要的基础性设备,其应用广泛,是典型的单件、小批量的定制化产品,如何根据订单需求,快速、高效地设计和制造产品,一直是液压机厂商关注的焦点之一;而且,液压机产品的种类和规格繁多,研究液压机产品的布局建模以及基于布局的大规模定制产品快速响应设计,对于提高该类型产品的设计水平具有积极的意义。

1 面向大规模定制的产品布局模型

MC 产品设计是基于产品平台的设计。产品平台(或产品主结构)一般可以理解为一个产品系列的总体表达,一般由基本模块节点和可选模块节点组成的树结构表达,这种树结构反映了该系列产品的结构组成,但不能完全反映其具体的结构布局形式。对于特定的 MC 产品系统,在产品平台规划阶段就应确定可能的产品布局方案,及每种方案的适用范围,并对它们分别进行可行性和可靠性分析与验证。将产品布局方案作为系统知识库的一部分加以存储,在设计中可根据不同的用户要求及使用情况检索,选用适当的产品布局,以达到简化设计复杂度、提高设计速度、保证产品可靠性的目的。在布局模型设计的基础上进行产品变型设计,进而扩展形成模块化产品的横系列和纵系列产品族^[3]。因此,可以认为产品布局模型是沟通和承接 MC 产品开发和设计阶段的桥梁。

本文定义 MC 产品的布局模型为:描述一定产品运动功能需求和参数约束信息及其相应的一组模块组成的参数化产品模型。该模型中的各模块之间存在固定的拓扑结构,设计过程中根据用户提供的运动功能需求和参数约束信息,选定布局模型中的具体模块和零部件,并根据实际的设计参数驱动参数化产品模型,生成相应的产品实例。

图 1 描述的是液压机产品平台及其布局模型关系。液压机产品种类繁多,根据市场需求的不同,企业可以构建合适的产品平台。产品平台一般按照液压机结构型式划分为四柱式、整体框架式和组合框架式等。对应不同的平台又可以分为不同的结构布

局型式。

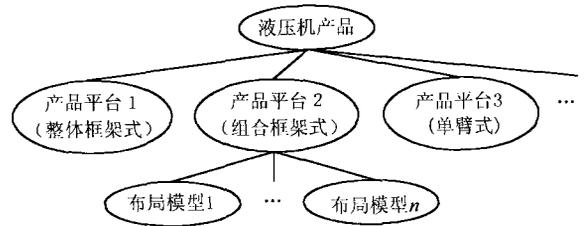


图1 液压机产品平台及其产品布局

2 液压机产品布局模型的设计过程

产品结构布局主要指模块结构的空间布局和连接关系,对于机械产品,合理的布局应满足功能需求并符合力学或运动学原理。结构运动功能和装配连接功能是机械产品结构布局设计的两个主要因素。

如图 2 所示,机械产品结构布局设计是一个从功能需求模型、运动功能模型到模块结构布局的映射过程。对用户提出的各种需求,首先要根据相应的功能定义,表达为概念设计中的功能需求;然后通过功能需求与运动的数学模型变换映射,求得机械产品的运动功能方案解,这是一个一对多的映射,将有多种方案可用。针对产品模块规划,提出运动功能的结构载体方案,得到结构布局方案解,再经过初步的结构设计,得出产品基本模块的框架结构形式,利用计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)分析工具,对产品基本模块结构的动、静特性进行分析与评价。根据分析结果修正结构布局型式,直至得出结构布局的最优解。以下以液压机产品为例详细论述布局建模的映射过程。

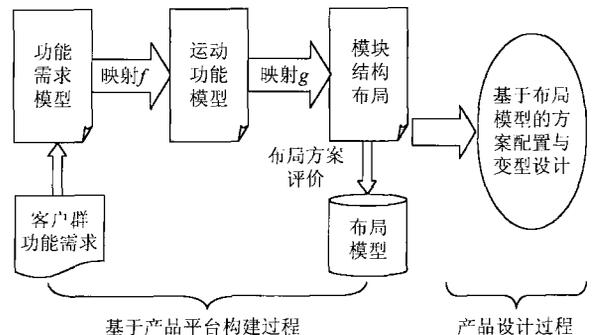


图2 基于映射的机械产品布局模型创建与应用

(1) 液压机功能模型的建立

液压机品种繁多,其功能与锻压成形工艺联系紧密,因而对于不同用途的液压机其功能相差较大。如图 3 所示是以通用型液压机为研究对象,通过对大量该产品功能和结构的分析,总结液压机机械

系统的功能模型。其功能主要分为压力转换、承载、压制和其他辅助功能 4 类。

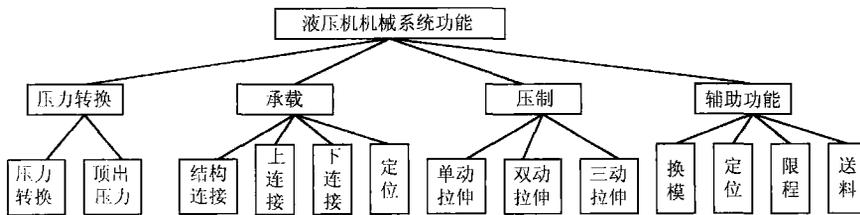


图3 液压机械系统功能模型

(2) 液压机产品运动功能方案配置

运动功能方案是根据功能需求,分析液压机所应完成的主要工艺动作,并根据要求确定、协调整机布局方式及组成模块所需要具备的结构特征和约束。以组合框架式液压机为例(如图4),其运动功能主要从两个方面考虑:主运动功能,即拉伸运动,根据拉伸工艺不同,液压机的主运动可分为单动拉伸、双动拉伸和三动拉伸,主拉伸动力又可安排在上下两个不同的位置;辅助运动功能,如换模、送料等。主、辅运动功能是影响液压机整机布局结构的主要因素。运动功能方案配置就是根据所提出的设计功能需求,选择配置相应的主、辅运动功能所需的具体形式。配置的基本过程为:根据额定压力参数和工艺要求,确定上、下梁和滑块的基本功能布局结构;根据送料、换模等辅助功能要求,确定立柱、工作台等其他功能模块的布局形式。图5为组合框架式液压机运动功能配置方案示例图。

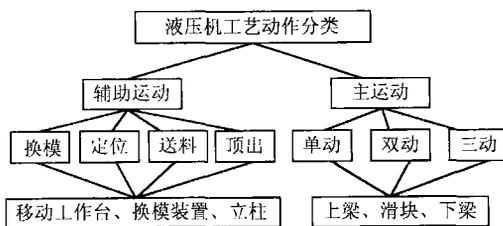


图4 组合框架液压机运动功能分类

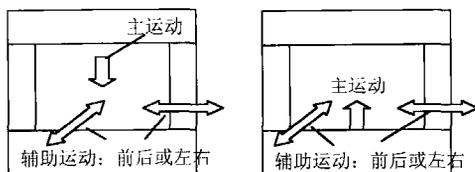


图5 组合框架液压机运动功能配置方案示例图

(3) 基于运动方案配置和模块的整机布局模型构建

经过上步运动功能方案配置,可得到该产品布局配置方案组成模块的设计需求信息。以图5为例,左图描述的是主运动(主动力油缸的运动)为从

上到下,辅助运动为前后或左右运动的两种布局模式;右图描述的是主运动为从下到上,辅助运动为前后或左右运动的两种布局模式。配置方案中的每种运动功能对应相应的模块,并且运动功能要求模块必须具备一定的几何特征和参数约束,液压机产品布局方案是根据运动功能方案要求选择相应的整机结构布局型式及其组成模块,并通过模块接口的匹配和组合,得到结构化布局方案。

(4) 产品结构布局模型的分析、评价与知识化

利用参数化 3 维计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)造型工具,将结构布局模型中的几何信息转化为实体模型,成为具体的结构概念解。产品结构布局的分析和评价包含两个方面的内容:检验该布局能否完成预定功能要求和参数要求;将布局模型实例化,并进行有限元分析,根据分析结果评价其是否符合力学要求。结构的性能须经过动、静态刚度设计来保障,各组成模块自身的结构性能及各模块接口的特性决定了机床整机的性能。因此,用静刚度设计使各模块结构满足精度要求,用动态设计方法保证结构部件的固有频率及其在各模块间的精度、刚度的合理分配。布局结构的性能分析可形成反馈信息,据此进行布局结构的修改与优化,产生布局结构的确定解。

布局模型规定了其组成模块的功能、特征约束和参数约束,并定义了模块之间的拓扑约束关系。布局模型的知识化即是通过实例结构进行相关分析,得到布局结构参数与产品性能参数约束之间的关系,将这种关系知识化并加以存储,以便实现设计过程的智能化和知识化。这种结构布局参数与性能参数的关系一般采用基于变量化方法的有限元结构准静态分析方法或静态、动态相结合的方法^[4]。

3 基于布局模型的液压机产品大规模定制设计

3.1 布局模型的结构拓扑表达

布局模型是产品族的抽象描述,它描述的是产品平台中具有特定功能的零部件间的联接关系与排列方式,一般可用无向图表达产品结构布局模型的拓扑形式。设图 G 是由非空节点集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 以及边集合 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 组成,其

中每条边都可以用一个节点对来表示,即 $ei = (vj, vk), 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq n, i = 1, 2, \dots, m$, vj 和 vk 是 ei 的 2 个端点。在这样的图中,每个节点表示一个组成模板模块,两节点之间的边表示该两节点代表的模板模块间存在联接关系,则这样的图 $G(G = V, E)$ 被称为布局图。布局模型中的模块拓扑关系采用邻接表的形式表示。布局结构拓扑关系是对产品运动功能配置方案的具体化,以图 5 中左图为例,其对应的布局模型结构拓扑如图 6 所示,布局拓扑关系可采用邻接表的形式表示。

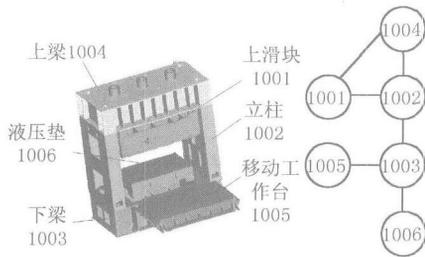


图6 布局模型的拓扑表达

3.2 布局模型的约束表达

布局模型的约束信息包括功能约束信息和参数约束信息。功能约束信息反映该布局模型可完成的主要功能,如图 3 和图 4 中的功能分类为液压机产品功能约束信息的具体描述;参数约束分为全局相关参数和局部相关参数约束。全局相关参数约束反映该布局模型所适用的参数范围,如影响整机结构和装配的设计参数,这类参数难以由单个模块结构尺寸确定。功能约束和全局相关参数约束是在产品设计过程中选择布局模型的主要依据。对于同一个布局模型,设计参数的不同要求往往会对应不同的模块结构,这就需要依据局部相关参数进行布局模型中具体组成模块的选择和变型设计,局部相关参数约束是决定单个模块结构设计的参数,如液压机额定吨位、有效工作台面长宽、液压垫的有效长宽尺寸等。

3.3 基于布局模型的液压机产品配置设计与变型设计

不同的大批量定制方式,对产品配置设计或变型设计的要求也不同。对于定制深度浅的产品(如电脑产品),通过配置设计就可以解决产品的定制化设计;而对于多数机械产品则需要进行制造定制或设计定制,同时进行配置设计和变型设计才能解决这类产品的定制问题。在进行定制化产品配置与变型设计的过程中引入布局模型,将有效提高设计效

率。图 7 描述的是基于布局模型的产品设计过程,可分为以下 6 个步骤:

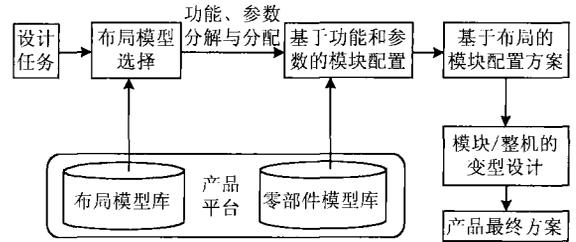


图7 基于布局模型的产品方案设计过程

步骤 1 分析设计任务,在产品库中查询满足用户需求的产品,如找到则设计结束。

步骤 2 若没有符合要求的产品,则对设计任务和参数进行分解,将设计总功能分解为一系列子功能,并据此确定产品的基本结构设计要求,查询相应的结构布局模型。

步骤 3 根据布局模型中的各种功能及用户参数需求,查找有关模块或零部件,若布局模型中描述的所有子功能都找到相应的满足设计要求的结构,则进入步骤 4;对于没有符合要求的模块,则需根据功能和结构要求进行设计,并将新模块加入布局结构方案组合中。

步骤 4 按照布局方案中的模块联接方式,对选出的一系列模块进行匹配组合,并根据接口情况进行判断,得到基于该布局模型的产品结构配置方案。

步骤 5 依次根据用户参数和性能需求,对所得到的方案中所有模块或零部件进行变型设计及整机结构的优化分析与参数协调,最终得到该产品的最优结构设计方案。

从上述过程的描述可以看出,在大规模定制产品设计过程中,通过选择预定义的布局模型,并根据该布局模型的功能、参数约束信息,可快速完成产品的组成模块结构配置和变型设计。

4 结束语

布局设计是产品设计的关键任务之一。对于 MC 产品,布局的形成不但与设计需求有关,而且与产品平台的构建有着密切的联系。MC 产品平台的核心是标准化、模块化的零部件族的分析、规划以及产品主结构的构建。基于此,根据特定客户群需求分析,将产品主结构进一步细化和具体化,形成可描

(下转第 809 页)

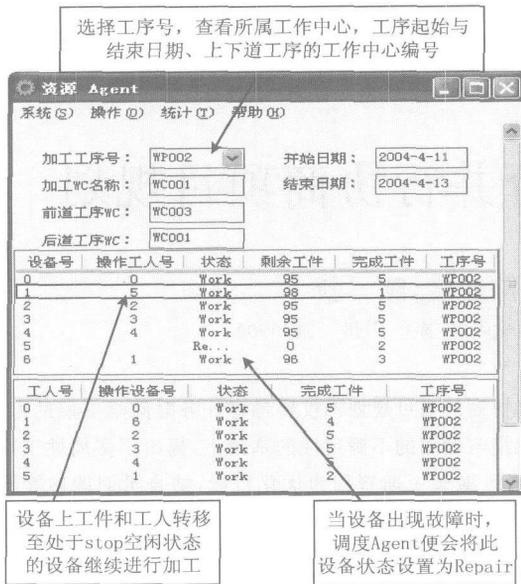


图8 资源Agent的操作

当设备出现故障时,其状态由 work 变为 break,调度 Agent 便会根据自身的规则库判断与决策,发送信息给其他相关 Agent,将此设备状态设置为维修状态 repair,同时寻找是否有空闲(状态为 stop)的设备 Agent。将设备上的工件和工人转移至空闲的设备,当故障的设备维修完毕后,调度 Agent 便向资源 Agent 命令发送将此设备状态设置为 stop。如此往复。仿真系统的部分运行情况如图 7、图 8 所示。

经过试验,该仿真系统完成了订单任务,并能够自主地协调生产,实时监控设备状态,以及解决一些设备故障、维修、业务倒换等突发情况,从而验证了上述系统的可行性和有效性。

在方案的实际应用中,主要在硬件和软件两方面进行实施。硬件方面:组建内部局域网;配置服务

器和控制操作终端;对现有数控车床采用 CAN 总线联网;对普通的车床进行改造,增加数据采集和控制部件然后联网。软件方面:主要是操作系统、数据库系统以及业务软件。其中硬件设施可以利用和改造原有设备,软件则由具体的软件需求和实现的功能来决定。实际应用中还涉及到系统的稳定性、可靠性、兼容性等一些问题,需要根据实际情况具体分析解决。

参考文献:

- [1] JENNINGS N R, WOOLDRIDGE M. On agent - oriented software engineering [J]. Artificial Intelligence, 2000, 117 (2): 277 - 296.
- [2] HUI M, TEZUKA M. Modeling manufacturing resources based on Agent model [A]. Proceedings of The Fourth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, Integration of Heterogeneous Systems [C]. Tokyo, Japan: IEEE, 1999. 107 - 114.
- [3] DESCHAMPS J C, BOURRIERES J P. A multi - level data model for load allocation to distributed manufacturing resources [A]. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Intelligent Control [C]. New York, USA: IEEE, 2000. 357 - 362.
- [4] WANG Yanhong, YIN Chaowan, ZHANG Yu. Multi agent and rule based dynamic scheduling system for agile manufacturing job shop [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2000, 6(8): 45 - 49 (in Chinese). [王艳红, 尹朝万, 张宇. 基于多代理和规则调度的敏捷调度系统研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2000, 6(8): 45 - 49.]
- [5] ZHAO Weiduo, YI Hong, NI Zhonghua, et al. Research on remote monitoring and control of CNC system based on Web and fieldbus [J]. Journal of Southeast University, 2003, 33(1): 45 - 48 (in Chinese). [赵维铎, 易红, 倪中华, 等. 基于 Web 和现场总线的数控系统远程监控的研究 [J]. 东南大学学报, 2003, 33(1): 45 - 48.]

(上接第 775 页)

述一定产品运动功能需求和参数约束信息的、具有固定拓扑结构的模块所组成的产品布局模型。基于这种产品布局模型,可实现 MC 产品的快速配置和变型设计。

参考文献:

- [1] ANDERSON D M, PINE J. Agile product development for mass customization, niche market, JIT, built - to - order and flexible manufacturing [M]. New York, NY, USA: McGraw - Hill, 1997.
- [2] QI Guoning, GU Xinjian, TAN Jianrong. Mass customization

and its applications [M]. Beijing: China Machine Press, 2003 (in Chinese). [祁国宁, 顾新建, 谭建荣. 大批量定制技术及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.]

- [3] QI Guoning, GU Xinjian, YANG Qinghai. Research on the theory and key technologies of mass customization [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(9): 776 - 783 (in Chinese). [祁国宁, 顾新建, 杨青海. 大批量定制原理及关键技术研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(9): 776 - 783.]
- [4] HOU Liang, TANG Renzhong. Review of theory, key technologies and its application of modular product design [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(1): 56 - 61 (in Chinese). [侯亮, 唐任仲. 产品模块化设计理论、技术与应用研究进展 [J]. 机械工程学报, 2004, 40(1): 56 - 61.]