

单件小批量生产模式下的快速报价系统研究

魏 珅¹, 钟小强¹, 王玉山², 竺长安¹

(1. 中国科学技术大学精密机械与精密仪器系, 安徽合肥 230027; 2. 合肥锻压集团技术开发有限公司, 安徽合肥 230601)

摘要: 分析了单件小批量生产模式下的产品报价特点, 提出了客户订制目标向量等概念. 通过建立一个基于模块化快速设计结果的快速报价系统, 实现了单件小批量生产模式下的快速报价, 并实际应用于锻压机床产品的快速报价中, 取得良好效果.

关键词: 单件小批量; 快速设计; 快速报价; 客户订制目标向量

中图分类号: TP391.72 **文献标识码:** A

Research on rapid quotation system in jobbing work circumstance

WEI Shen¹, ZHONG Xiao-qi¹, WANG Yu-shan², ZHU Chang-an¹

(1. Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;
2. Hefei Duanya Group Technology & Development Limited, Hefei 230601, China)

Abstract: The characteristics of product quotation in jobbing work circumstances were analyzed, and the concept of customized target vector was proposed. Based on rapid design results, a rapid quotation system was established to realize rapid quotation in jobbing work. The system has been applied to the rapid quotation for metal forming products and shown good results.

Key words: jobbing work; rapid design; rapid quotation; customized target vector

0 引言

随着客户对于产品的个性化需求的增长, 制造企业希望通过系列化大规模生产产品来赢得市场已经变得越来越困难, 因而基于客户订制的单件小批量生产模式成为当前制造业设计、生产的重要发展方向之一. 而制造企业能够根据客户需求, 快速完成产品设计并准确迅速地给出报价成为在激烈的市场竞争中获胜的关键.

单件小批量的生产模式不同于传统大规模生产的特点也决定了其相应报价系统的特殊性质: ①产品的设计任务在整个企业的任务量中所占比重非常高, 企业必须采用快速设计系统来提高设计效率. 快

速设计中的模块化设计理念使模块成为设计与报价的基础单元; ②报价的准确性. 对产品构成模块的准确报价, 需要材料、工艺、采购等方面信息的支持; ③快速的响应. 单件小批量生产模式的核心问题就是速度与成本, 客户需求产品报价的快速响应可以有效地缩短意向订单的处理时间, 进而缩短交货期; ④报价的全面性. 报价系统不单针对产品的加工生产阶段的成本消耗, 还必须考虑到产品的设计, 以及后续的运输、维护等阶段的情况^[1].

目前关于产品报价系统的研究已经很多, 但是这些系统对于单件小批量的生产模式来说还缺乏针对性. 如文献[2~4]针对的是大规模订制情况下的报价技术研究, 不符合单件小批量生产模式的特点;

收稿日期: 2007-08-30; 修回日期: 2008-04-07

基金项目: 中国科学院创新基金(200417009)资助.

作者简介: 魏珅, 男, 1980年生, 博士. 研究方向: CAD/CAE技术. E-mail: nix@ustc.edu

通讯作者: 竺长安, 博士/教授. E-mail: changan@ustc.edu.cn

文献[5,6]中提出的方法虽然具有通用性,但是也仅仅进行了理论上的研究,没有进一步研究其实现技术。

针对单件小批量生产模式的特点,本文提出了一种从客户订制目标出发,以产品快速设计结果为基础,对设计结果的各个构成模块根据其采用的材料与工艺路线等进行成本分析,并综合整个产品的其他各项成本消耗,与企业原有的 CAD、CAPP (computer aided process planning)、PDM (product data management) 等多个信息系统集成的快速报价系统。

1 系统总体结构

单件小批量模式下的快速报价系统结构如图 1 所示。它主要由产品快速设计系统,产品报价系统两大模块与相关数据库等组成。首先从客户订制目标出发,进行目标驱动的快速设计,设计过程包括两个步骤:第一步由产品模块配置器根据订制目标确定产品的模块组成与数量,第二步由产品模块设计器来计算各对应模块的具体特征、尺寸参数。快速设计过程中需要设计准则库来提供产品的零部件配置规则求解产品配置方案,还需要产品标准模块数据库的零件模块信息,对订制产品的构成模块的参数进行重新计算与设置。

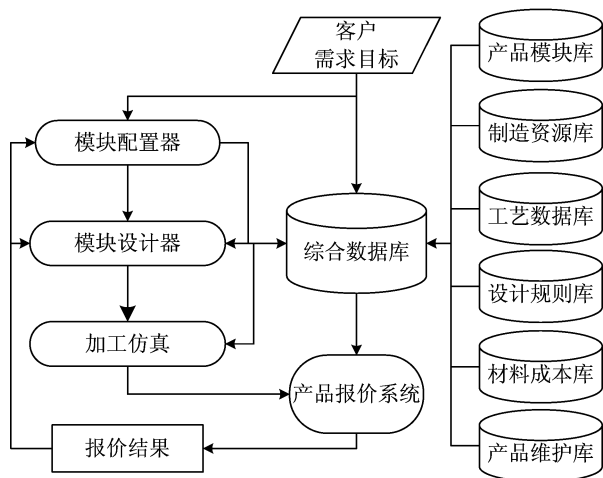


图 1 系统框架结构图

Fig. 1 The system frame structure

得到产品的设计方案以后,在产品报价系统中,对每一零部件进行成本计算。在零件成本计算过程中,首先需要根据零件三维物理模型和材料成本库的信息计算零件的体积与重量,确定材料成本;再根

据加工仿真结果确定采用产品工艺数据库提供的零件加工工艺,根据各零件的加工量以及相应加工成本计算加工费用;这些成本计算出来以后,零件的生产成本基本得到了确定,再综合产品维护数据库中的维护、服务信息,在总成本中加上产品的运输、保修、维护、技术支持等费用消耗,构成全面准确的新产品报价。

这种快速报价系统与产品数据管理 PDM、模块配置、模块设计、加工仿真等多个系统信息共享与集成。PDM 为报价提供产品基础信息,快速设计系统生成需求产品的配置设计方案,加工仿真提供可选择的合理加工方案,在多个应用协同集成的基础上,得到客户需求产品的报价。

2 基于客户订制目标与快速设计结果的报价模型

2.1 客户订制目标特征向量

客户订制目标向量是客户对产品设计各方面需求的总体描述,该向量根据客户需求情况的不同,由多个具体的订制目标特征变量构成。订制目标特征变量是客户能够理解的、对产品设计结果约束进行的产品属性,取自产品数据管理中产品属性定义集——产品属性空间,表示为

$$T = (T_{id}, T_{type}, T_{range})$$

式中, T 表示某一个订制目标特征变量; T_{id} 是变量标识; T_{type} 是变量的类型, $T_{type} \subset \{int, float, char, enum, \dots\}$; T_{range} 是变量的值域,分为连续型值域和非连续型值域,连续型订制目标特征变量的取值范围是介于最小值 V_{min} 和最大值 V_{max} 间的任何值,非连续型需求特征变量的取值只能在给定的合法值集合中选择其中一个。订制目标特征变量分为简单型和依赖型两种。简单型订制目标特征变量是独立的,不存在同其他目标特征变量之间的约束关系,其取值不依赖于其他特征变量。依赖型订制目标特征变量是指其取值依赖于其他需求变量的取值,又分为完全和部分依赖两种:完全依赖是指其取值与所依赖的需求变量的取值存在一一对应的关系,如锻压机床产品中上横梁高度属性,它的值完全可以通过上横梁上下底板厚度、尺寸与主要支撑板件厚度、尺寸等属性值用弯曲应变公式计算得到;部分依赖是指其取值所依赖的订制目标变量的取值存在多对一的关系,如锻压机的液压油缸,其进出油流孔直径分别受到锻压机床压块工作速度与最大速度的取值影

响. 订制目标特征变量应该在满足产品设计模块配置和报价需求的前提下, 尽量减少变量数量, 并去除完全依赖型的特征变量, 简化快速设计系统的输入.

2.2 产品模块分类

产品的构成零部件可以大致分为两类: 功能模块和结构模块.

(I) 功能模块

功能模块指的是产品中的功能执行部件, 产品的设计工作能力最终都是由功能模块来完成的. 功能模块可以定义为

$$F = \{P, E(T)\}$$

式中, P 是该功能模块 F 的属性集合, $P = \{p_1, p_2, \dots\}$, p_i 是对该功能的各项具体描述; $E(T)$ 是功能判定函数, 用于判定针对某一特定的订制目标 T 该功能模块 F 是否能实现.

如液压机床中安装的液压油缸就是典型的功能模块, 锻压机床的锻压动作就是由液压油缸来驱动的. 它可以表示为

$$F_{\text{tank}} = \{P_{\text{tank}}, E_{\text{tank}}(T)\}$$

$$P_{\text{tank}} = \{\text{pressure, journey, velocity}\dots\}$$

其判定函数 $E_{\text{tank}}(T)$ 则在 T 是液压型机床时才能判定成功.

(II) 结构模块

结构模块指的是产品中不直接参与功能动作, 只起构成产品外形、支撑其他部件等作用的模块. 如锻压机床上横梁中的多个支撑板件, 其作用就是固定其他部件, 支撑整个上横梁. 结构模块的定义为

$$S = \{P, D\}$$

式中, P 是该结构模块的属性集合; D 是该模块的倚赖对象集合, $D = \{d_1, d_2, \dots\}$, 用来判定该结构模块在一次设计配置中是否需要, 倚赖对象 d_i 可以是某种订制目标特征或者是其他模块.

如锻压机床上横梁中固定液压油缸的隔板, 它可以表示为

$$S_{\text{board}} = \{P_{\text{board}}, D_{\text{board}}\}$$

$$P_{\text{board}} = \{\text{height, thickness}\dots\}$$

$$D_{\text{board}} = \{F_{\text{tank}}\}$$

其倚赖集中有一个对象液压油缸模块 F_{tank} , 表明当某次配置过程中已经配置了液压油缸模块时, 隔板也需要配置.

2.3 产品模块配置

从客户订制的需求目标出发, 需要对产品的零

部件构成进行设计配置, 决定哪些模块将在这次设计中出现.

配置算法如下:

```

set Fset //产品功能模块集
set Sset //产品结构模块集
set Tset //本次设计目标特征向量集
set ProductList=nil //本次产品配置方案
//1 配置功能模块
FOR EACH F IN Fset
  FOR EACH T IN Tset
    IF F.E(T)通过 THEN ProductList.add(F)
  END FOR
END FOR
//2 配置结构模块
FOR EACH S IN Sset
  set w=S.D
  set tf=Tset+ProduceList
  FOR EACH elm IN w
    IF tf.Exist(elm) THEN CONTINUE
    ELSE w.Remove(elm)
  END FOR
  IF w != nil THEN ProductList.add(S)
END FOR

```

配置的过程就是根据客户订制的目标向量, 首先检索产品模块库中所有功能模块, 依次校验各功能模块的判定函数, 对于校验通过的功能模块就把它加入到产品配置方案树中去. 然后再检索模块库中的结构模块, 对于倚赖集中包含本次设计目标向量或者当前配置方案中已有模块的, 也把它加入到配置方案树中. 经过这两步以后, 本次产品设计所需要的零部件就已经全部配置完成.

2.4 模块设计计算与加工仿真

产品方案配置完成以后, 需要根据客户订制目标对配置方案中的各个模块进行特征、尺寸参数的重新计算设定.

模块的参数计算, 遵循各模块的设计计算准则, 这些准则来自于产品的设计手册与设计人员的经验习惯总结. 一条设计准则表达为一种约束关系

$$C = \{C_{\text{obj}}, C_{\text{prm}}, C_{\text{rel}}\}$$

其中, C_{obj} 是约束的对象; C_{prm} 是约束的参数集; C_{rel} 是约束关系. 对于可以量化的设计公式、校验方法等 C_{rel} 即是对应的数学表达式, 对于设计人员经验习惯等不易于量化的设计准则, C_{rel} 可以用模糊逻辑来表示.

对产品模块的特征、尺寸参数重新计算设定完成以后,需要对各模块进行加工仿真.加工仿真的目的是得到各模块的加工工艺模拟信息,为后续的报价工作做好准备.

工艺仿真过程按照工艺数据库中提供的各模块加工工艺信息和加工设备信息,将模块的具体特征、尺寸、精度等参数值代入工艺模拟计算公式,计算各模块所需加工量和对应加工时间.

2.5 报价规则

产品模块的报价,需要综合考虑零部件模块的材料、加工手段、工况以及客户订制参数等多方面信息;同时整个产品的报价还受到客户级别、供需关系、地区差异等多种因素的影响.不同的条件下,同样的模块报价也有差异.本文将这些条件归纳为报价规则.

报价规则描述产品的模块信息、报价信息与产品订制目标特征向量之间的约束关系,具体表现为含有产品订制目标特征向量推理表达式同产品模块相应的报价算法之间的映射.规则的一般形式为

$$\text{IF} \langle \text{条件 } 1 \rangle [\text{AND/OR}] \langle \text{条件 } 2 \rangle \dots$$

$$[\text{AND/OR}] \langle \text{条件 } n \rangle \text{ THEN} \langle \text{结论} \rangle$$

IF...THEN 结构对于报价经验,如什么情况下模块报价按哪一个计算方法计算,可方便有效地表达,且十分接近自然语言,有助于经验到规则的整理.报价规则中的“条件*i*”是由需求特征变量、常量和运算符等组成的表达式,“结论”对应报价计算方法;通过验证条件,建立模块同其报价计算模型之间的映射.报价规则映射关系如图 2 所示.

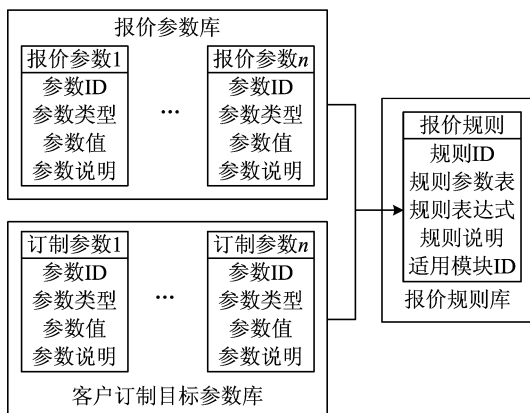


图 2 报价规则映射关系

Fig. 2 The mapping relation of quotation rule

报价规则库中的每一条规则都具有适用模块

ID,可以知道该规则适用的模块对象.规则表达式用来记录该规则的具体数据计算公式,公式中用到的参数则记录在规则参数表中;规则参数表记录了参与公式运算的所有参数ID,通过该ID可以访问报价参数库和客户订制目标参数库中的相应参数.

2.6 报价计算模型

报价规则与报价计算公式之间存在多对一关系,不同的报价规则可能对应同样的报价计算公式.但是不同规则对应的相同报价计算公式,其计算时所需客户订制变量与报价计算变量以及模块的具体参数都会不同,模块的最终报价也不同.

报价公式的计算模型如图 3 所示.报价计算公式的计算表达式成员,描述具体的数学计算函数.报价计算所需的客户订制目标变量在报价开始时由客户输入,报价过程中的报价计算变量的值通过快速设计与加工仿真得到,一些报价常数则存储在预先定义好的报价常量中,计算时用这些参数的实际值代入报价计算表达式,求取产品模块的报价.



图 3 报价计算模型

Fig. 3 Model of quotation calculation

2.7 快速报价流程

产品配置结果包括配置出的功能模块和结构模块.通过遍历搜索报价规则库,映射当前的配置结果和报价规则模块.如果符合报价规则约束条件,则用客户订制目标特征变量和规则对应的报价变量具体参数值替换报价公式中的对应变数,计算出规则对应的模块报价,再乘以模块需用件数就得到对应的报价.将所有模块的报价之和作为客户订制产品的报价.整个快速报价流程如图 4 所示.

3 系统实例

根据本文所提出的方法,我们开发了单件小批量生产模式下的快速报价系统,并成功地应用于锻

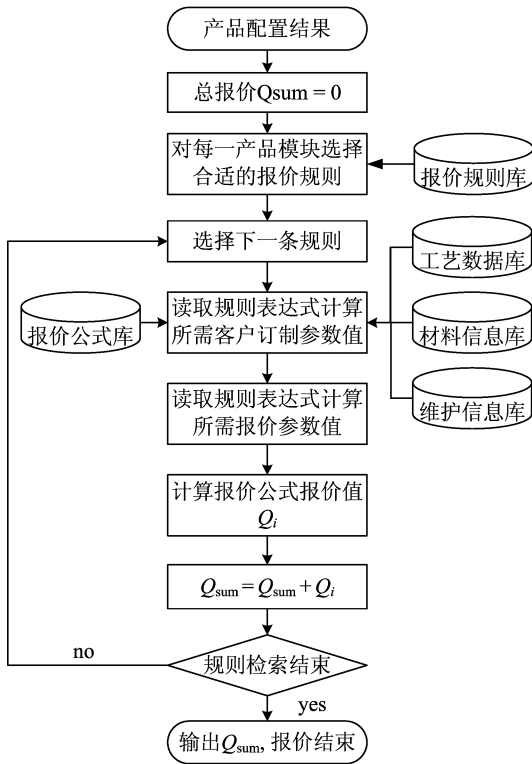


图 4 快速报价流程

Fig. 4 The process of rapid quotation

压机床产品的快速报价之中,显著提高了客户订制产品的报价信息响应速度.下面以某型锻压机床产品中的液压油缸这一部件为例,说明快速报价系统的实际工作过程.

(I) 液压油缸的客户订制目标

柱塞缸,进口密封圈,液体压力 25 MPa,公称压力 4 000 kN,回程力 1 000 kN,行程 1 000 mm,工作速度 30 mm/s,空回速度 240 mm/s.其客户订制参数输入界面如图 5 所示.

(II) 快速设计系统的配置方案(如表 1 所示)

表 1 液压油缸配置方案

Tab. 1 The collocation of a hydraulic tank

模块名称	模块数量	模块代号	执行标准
缸体	1	1003-1	
活塞	1	1003-2	
导向套	1	1003-3	
密封圈	1		进口
连接法兰	1	1003-4	
充液阀	1		厂标 HDY-150
盖法兰	1	1003-5	厂标 HDG-36
盖法兰	1	1003-6	厂标 HDG-46
螺栓	16		GB70-85



图 5 客户订制参数输入界面

Fig. 5 The input interface of customer request parameters

(III) 加工仿真系统给出的工艺仿真结果

这里给出液压油缸的缸体零件的工艺仿真清单作为示例,如表 2 所示.该仿真结果的加工设备与加工时间数据是后续报价系统的重要参数.

表 2 液压缸体的工艺仿真结果清单

Tab. 2 The result list of a hydraulic tank's process simulation

工 序	加工设备	加工时间/min
粗镗内壁,倒角	DU3756	80
精镗内壁	T617	90
铣端面,钻定位孔盘面孔	V850	40

(IV) 快速报价系统给出的最终报价

快速报价系统计算得出的最终产品报价如图 6 所示,报价清单中包括各个零部件模块的详细报价构成与汇总.同时报价的结果还支持后续的各种操作,可以方便地生成数据报告提供给客户.



图 6 快速报价结果清单

Fig. 6 The result of rapid quotation