产品开发早期基于核心工艺框架的工艺设计

魏 丽 郑联语

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100083)

摘 要：关于早期工艺设计理论方法的研究都是以特征信息为基础，不能利用早期阶段粗粒度、非完备的产品信息.为此，采用关键特性表示粗粒度、非完备的产品信息，提出基于核心工艺框架的工艺设计方法.核心工艺框架是对满足关键特性要求的工艺计划的抽象，可表达产品族或零件族中各种变型的核心工艺内容，根据分支和存在规则快速配置工艺计划.基于核心工艺框架的工艺设计过程包括4个步骤：确定产品族/零件族，检索核心工艺框架，配置核心工艺和工艺路线设计，有效性规则、原理性规则和定制性规则确保工艺设计的准确性.最后通过有翼导弹的弹翼主梁的加工工艺验证了此方法的可行性.

关 键 词：关键特性；核心工艺框架；工艺计划描述语言；规则；工艺设计；产品开发

中图分类号：TH 164

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2007)02-0197-04

Core process skeleton based process planning during the early stage of product development

Wei Li Zheng Lianyu

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The early stage of product development has a crucial effect on capability, cost and quality of products. Research on theory and approach of early process planning was based on feature information, and could not utilize rough-granularity incomplete product information. Therefore, core process skeleton based process planning approach was proposed on the basis of key characteristics which have been proposed to express rough-granularity incomplete product information. Core process planning is a kind of abstract of process plans which satisfy key characteristics requirement, and it expresses core process of various variation of product/part family. Process plans can be configured rapidly according to embranchment and existence rules. The procedure of process planning on the basis of core process skeleton includes four steps: determining product/part family, searching core process skeleton, configuring core process and process route planning. Validity rule, principle rule and customized rule were employed to assure veracity of process planning. Finally, machining process of the girder of the wing was used to validate feasibility of this approach.

Key words: key characteristics; core process skeleton; process planning specification language; rule; process planning; product development

产品开发早期阶段对产品的性能、成本、质量具有决定性的影响，很多学者开展了关于早期工艺设计理论方法的研究.文献[1]把工艺设计分为针对工艺链、制造顺序和单个工艺3个层次的过程.文献[2]提出了基于原型的渐进式工艺设计方法.文献[3]提出了工艺配置的概念.但是以上研究都是以特征信息为基础，没有考虑到产品开发早期工艺设计要支持产品设计，必须能够利用早期阶段粗粒度、非完备的产品信息，能够随着设计的细化，根据详细的产品信息逐步扩展工艺方案，渐进地完成

收稿日期：2006-03-30

作者简介：魏 丽(1978—)，女，内蒙古通辽人，博士生，candywei@buaa.edu.cn.

整条工艺路线的设计.

文献[4]已经提出采用关键特性(key characteristics)表示粗粒度的非完备的产品信息.关键特性是指材料、零件、装配体、装备或者系统的某些属性或特征(尺寸、规范等),它们的波动会显著影响产品的安装、性能、使用寿命和可制造性[4].在产品开发早期,应把主要精力集中于保证关键特性的要求上,首先确定能够保证关键特性的核心工艺.因此,本文在关键特性的基础上,提出基于核心工艺框架的工艺设计方法.

1 核心工艺框架及其表示模型

1.1 核心工艺框架的概念

核心工艺框架(core process skeleton)是针对产品族或零件族中的各种变型,经过总结并抽象形成的满足关键特性要求的核心工艺(装配工艺或加工工艺)及其基本顺序关系.核心工艺框架采用有向图来描述具有工艺知识的工艺框架,框架中封装了工艺方法、装夹方式、关键设备和工艺顺序等核心工艺知识,并附以相应的配置规则,即可表达产品族或零件族中多种变型的丰富工艺内容.根据弹翼的批量、翼面轮廓度、外形尺寸等关键特性总结出的装配核心工艺框架如图1所示.配置规则包括分支规则和存在规则.

1) 分支规则是指对于一个特定的核心工艺计划变型,指定在框架中采用哪条路径.表1是图1核心工艺框架中节点OR的分支规则决策表.如果产品的批量很大,一般可采用型架进行装配,可分摊型架成本,否则在托架上进行定位安装;如果对翼面轮廓度要求很高,一般采用以壁板为基准的装配方式.

2) 存在规则是指决定一条路径上可选工艺的存在性.表2是图1核心工艺框架中节点010的存在规则决策表,如果导弹需要在海上环境使用,就要求导弹表面具有很强的抗氧化性和抗腐蚀性,因此010节点具有存在性.

核心工艺框架以关键特性为基础,表示粗粒度或高层抽象的工艺活动/任务,它比成组技术中应用的典型工艺路线更精炼,决策空间小,灵活性和包容性大,更适合于产品开发早期快速决策;比文献[2]提出的工艺方法链包含的信息量更丰富,不仅包含了工艺顺序,也包含了装夹方式、关键设备等核心工艺知识;比文献[3]提出的工艺过程原型信息粒度更大,工艺过程原型针对主要表面信息,而核心工艺框架针对的是关键特性信息.

表1 节点OR的分支规则决策表

批量/个	翼面轮廓度/mm	蒙皮厚度/mm	路径
＞50	＜0.5	＞5	003
＞50		＜5	001
＜50			006

表2 节点010的存在规则决策表

弹翼抗腐蚀性	存在性
高	存在
低	不存在

1.2 核心工艺框架的表示模型

为了支持基于核心工艺框架的工艺设计方法,本文在文献[5]研究的基础上,增加了新的术语,来描述核心工艺框架,并能支持核心工艺的扩展性以便向详细工艺设计阶段过渡.

本文用到的部分术语定义[5]如下:①起始任务、终止任务,是每一个任务流的边界,没有具体内容,只起到标识作用;②分支任务,在表示多种可能工艺时会出现分支任务,包括与分支和或分支;③工艺任务,是执行具体工艺操作的任务,工艺任务根据制造工艺方法的不同,具有不同的工艺属性.

工艺任务根据描述的信息粒度的不同,又分成单元任务和聚合任务2类:①单元任务表示一道工序,它是一条工艺路线的基本组成单元;②聚合任务与单元任务相比它是工艺任务的一个集合,表示不确定、不具体的工艺方案,在后序的工艺设计中不断被细化,由多个单元任务取代.

核心工艺框架采用图形化的方式表示,如图

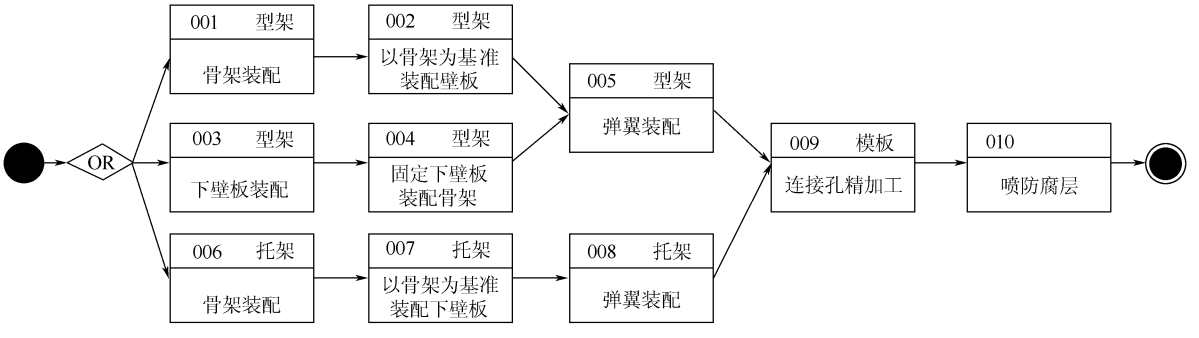

图1 弹翼装配工艺的核心工艺框架

2 所示.图中一个节点代表一项任务;箭头连接线表示任务的先后次序;聚合任务用阴影矩形表示,类似黑箱,表示任务不确定;单元任务用白色矩形表示,类似白箱,所有工艺属性都已确定;如果单元任务还有属性未确定用灰色矩形表示.

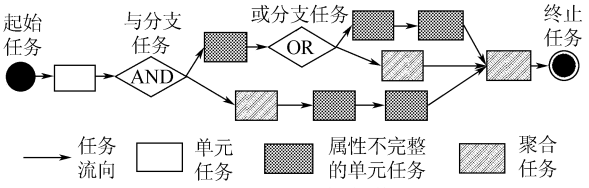

图 2　核心工艺框架模型

2 基于核心工艺框架的工艺设计过程

2.1 设计过程

产品设计是一个自上而下(top-down)的设计过程,首先要确定产品的关键特性,然后是产品的其它特性,再逐渐确定零部件的详细信息.工艺设计并行地支持产品设计,相应地先确定核心工艺,然后渐进地生成完整的工艺路线,最后进行详细的工序设计.设计过程如图 3 所示.

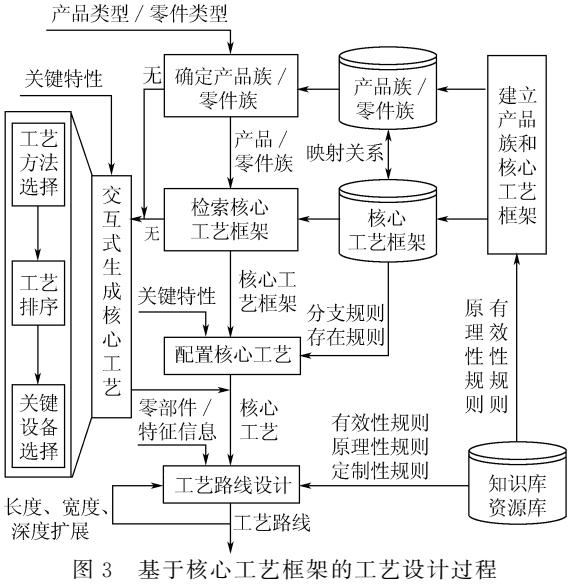

图 3　基于核心工艺框架的工艺设计过程

1) 确定产品族/零件族:根据新产品/零件的类型,查询产品族/零件族数据库,首先确定相应的产品族/零件族.

2) 检索核心工艺框架:根据产品族/零件族与核心工艺框架间的映射关系,检索出相应的核心工艺框架.产品族/零件族和核心工艺框架的建立,需要对企业生产的产品/零件进行系统地分类,对其制造工艺过程进行抽象和总结.

3) 配置核心工艺:根据新产品/零件的关键特性信息与核心工艺框架中的分支规则和存在规则进行匹配,可自动获得核心工艺.

4) 交互式生成核心工艺:如果没有检索出相应的产品/零件族及其核心工艺框架,可根据关键特性进行工艺方法选择、工艺排序、关键设备选择,交互式生成核心工艺.

5) 工艺路线设计:核心工艺生成后,需要根据更细粒度的零部件/特征信息进行扩展,渐进地完成工艺路线设计,相应的规则保证工艺设计的准确性,然后才能向后序的详细工序设计平稳过渡.扩展方式如下:①长度扩展,为了满足其它的产品特性要求,需要插入新的工艺内容,在长度方向上改变了工艺计划;②宽度扩展,工艺设计中经常会产生多种工艺方案,通过比较选择最优工艺方案,宽度扩展并不改变工序的先后顺序;③深度扩展,根据更细粒度的产品信息,核心工艺中的聚合任务逐渐由具体的单元任务所取代,因为信息粒度越来越细,所以称为深度扩展.

2.2 设计规则

工艺设计规则为工艺设计提供必要的有效性检验以及工艺设计原理和工艺知识的支持,以确保工艺设计的准确性.它与配置规则不同,配置规则是固化在核心工艺框架之中的,只适用于某个核心工艺框架,而工艺设计规则通用于整个工艺设计过程之中,工艺设计规则包括 3 部分.

1) 有效性规则.是为了保证有向图能对工艺计划进行准确的描述,它与具体的工艺内容无关.基本效验规则包括:开始节点不能有前驱节点;结束节点不能有后继节点;分支节点才能有多个后继节点;任务流中不能存在环等.

2) 原理性规则.是为了检验工艺方案是否符合基本的工艺设计原理和通用的工艺知识,包括:①能力匹配规则,加工方法、加工对象等与设备能力的匹配性;②工艺顺序规则,工艺顺序要符合工艺设计的基本原理,例如先粗后精,先主后次,具有父子关系的装配体,要先装子装配体等.

3) 定制性规则.根据用户的需要或者某类行业知识等进行规则定制.为了保证工艺设计操作的有效性,定制以下规则:①插入规则,新节点插入到工艺路线中,不能违反工艺顺序规则;②替换规则,某节点由其它节点替换,要求节点加工工艺类型相同;③组合规则,2 个节点组合为 1 个节点,要求节点具有相同的加工方法或设备.

如果违反以上设计规则,将提出相应的警告.

3 实例验证

基于核心工艺框架的工艺设计方法,要求自

由的设计空间，主动、灵活地安排设计过程.因此，在基于图形控件可视化的工艺设计系统[6]的基础上，开发了基于核心工艺框架的工艺设计器.

根据弹翼主梁的关键特性从核心工艺框架中获得核心工艺，如图4中从节点5～节点30，主梁要按先铣外形再铣内形的顺序进行加工才能保证形状，而且必要的矫正工序保证主梁的变形在要求范围内.然后根据更详细的特征信息进行工艺路线设计.图中节点35钻结合孔属于长度扩展；节点40采用数控设备属于宽度扩展；主梁的内形包含航向内形和非航向内形2个特征，因此节点45和节点50会替换节点15进行深度扩展.

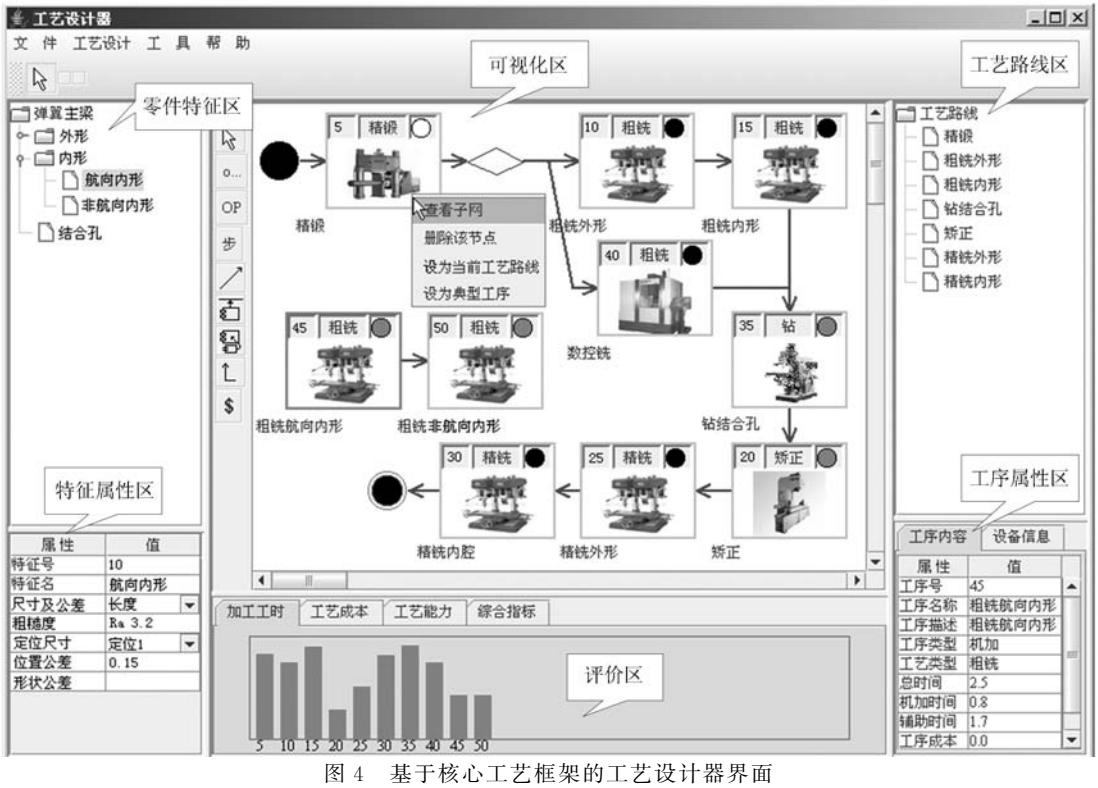

图4 基于核心工艺框架的工艺设计器界面

4 结 束 语

本文在关键特性的基础上，提出基于核心工艺框架的工艺设计方法.核心工艺框架是对满足关键特性要求的工艺计划的抽象，可表达产品族或零件族中各种变型的核心工艺内容.基于核心工艺框架的工艺设计方法，可以利用粗粒度的产品信息快速配置工艺计划，适用于产品开发早期阶段.此方法为早期工艺设计理论和方法提供了一种参考思路，并通过有翼导弹的弹翼装配核心工艺框架和弹翼主梁的加工工艺设计过程，验证了此方法的可行性.

参考文献（References）

[1] Klocke F, Fallbohmer M. Methods and tools supporting modular process design [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2000, 16 (6): 411－423

[2] Chu X N, Tso S K, Tu Y L. A novel methodology for computer aided process planning [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16: 714－719

[3] Schierholt K. Process configuration: combining the principles of product configuration and process planning[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2001, 15: 411－424

[4] 魏丽，郑联语. 现代产品开发中的概要工艺规划研究[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2006, 12 (10): 1621－1627
Wei Li, Zheng Lianyu. Research on the conceptual process planning in modern product development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems-CIMS, 2006, 12 (10): 1621－1627 (in Chinese)

[5] 林毅，严隽琪. 产品工艺计划描述语言[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2001, 7 (9): 40－45
Lin Yi, Yan Junqi. Integrated process planning specification language[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems-CIMS, 2001, 7(9): 40－45(in Chinese)

[6] 钱显志，郑联语，魏丽. 多工艺路线可视化设计与评估方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31 (7): 770－774
Qian Xianzhi, Zheng Lianyu, Wei Li. Visual planning and estimating of multi-process routes[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(7): 770－774(in Chinese)

（责任编辑：文丽芳）