

基于MBD的三维机加工工艺设计

关键技术研究及应用

刘金锋 周宏根 著



北京理工大学出版社



基于 MBD 的三维机加工工艺设计 关键技术研究及应用

刘金锋 周宏根 著

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 MBD 的三维机加工工艺设计关键技术研究及应用/刘金锋, 周宏根著. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-5682-4865-5

I. ①基… II. ①刘…②周… III. ①零部件-加工-工艺设计-计算机辅助设计-研究 IV. ①TH13-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 245137 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 7

字 数 / 165 千字

版 次 / 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 35.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 郭贵娟

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

前 言

随着智能制造时代的来临，三维数字化设计制造已成为产品研制中不可或缺的手段。经过多年的建设和研究，以三维模型为基础的产品数字化设计与制造技术已经被广泛推广和应用。然而，针对目前复杂机电产品含有的异形复杂腔体类零件具有高精度、壁薄、加工工艺复杂等特点，产品的三维设计模型仍不能支持工艺设计与应用。为打破复杂机电产品数字化设计制造技术发展的瓶颈，基于 MBD 的三维机加工工艺设计已成为当前研究的热点。

基于 MBD 的三维机加工工艺设计是实现机械制造装备研制过程数字化、柔性化以及智能化的核心环节，对缩短产品研制周期、提高产品质量和降低制造成本具有重要影响。为了满足复杂机电产品快速研制和生产的需求，本书基于 MBD 技术对工艺信息的表达方法、三维机加工工艺模型的快速创建方法进行了研究。在此基础上，深入研究了工序间模型的动态重构技术和工艺信息的自动传播技术，以满足工艺更改后工艺模型快速响应的现实需求。

围绕以上要求与目标，本书做了以下研究工作：

第一，分析复杂机电产品三维机加工工艺设计现状及存在的问题，构建面向复杂机电产品的三维机加工工艺设计系统的体系架构。研究复杂机电产品三维机加工工艺设计需要解决的关键技术问题和达到的功能要求，并建立三维机加工工艺设计系统的体系结构，继而提出三维机加工工艺设计系统关键技术的解决方案。

第二，研究基于 MBD 技术的三维机加工工艺模型表达方法。为有效支持基于三维模型的机加零件快速工艺设计的实现，提出工艺信息的获取、表达、追溯、存储与关联等技术。利用三维模型能够准确表达几何信息的特点，建立工艺模型与工艺信息的关联机制，并创建基于三维模型的工艺信息表达方案。研究不同工序活动的对象及其组织方式，创建不同工况下与不同工艺活动阶段的工艺信息关联模型；建立“对象-关联”不同粒度的数据组织方式、工艺信息的层次结构模型及其基于动态变化的工艺信息扩展及存储机制，为三维机加工工艺模型的创建提供技术支持。

第三，研究基于特征识别技术的三维机加工工艺模型创建方法。三维机加工工艺模型能够准确表达零件的加工状态，其本质是利用三维机加工工艺模型的可视化展示二维工艺模型表达不清或不能表达的工艺信息。本书提出基于特征识别技术创建工序间模型的方法：首先，基于加工特征的形成过程及形状特点，将复杂机电产品含有的加工特征进行分类总结。其次，以特征识别为基础、加工特征面组为研究对象，结合工艺知识提出加工特征面组的识别算法，根据加工特征所对应去除体的数量将此算法分为两种类型，即单体积加工特征面组识别算法和多体积加工特征面组识别算法。再次，基于所识别的加工特征面组及相邻面的延展面，创建加工特征映射制造特征体的算法流程，映射过程动态记录创建顺序及其特征类型。最后，基于获取制造特征体及其创建顺序，将制造特征体与设计模型相互组合而实现工序间模型的创建。

第四，为实现工艺更改过程中工艺数据的一致性维护，提出了工艺模型重构方法和工艺信息主动传播算法。首先，研究工艺更改的具体形式，基于工艺更改后工艺模型是否发生改



变,将更改内容分为两种类型。其次,建立三维工序间模型的相互关系并将其分为两类,即相互独立关系和相互依赖关系,提出工序间模型相互关系的判断算法。最后,基于工序间模型的相互关系,提出工艺模型动态重构方法与工艺信息自动传播的算法。

第五,开发基于MBD的三维机加工工艺设计系统并应用验证。基于以上研究基础,以建模内核开发了面向复杂机电产品的三维机加工工艺设计软件系统,通过复杂机电产品中含有的典型机加零部件对三维机加工工艺模型的创建方法、工艺信息的表达方法以及工艺模型的动态重构方法进行应用验证。

本书的大部分成果是在国家自然科学基金青年科学基金项目(51605204)、江苏科技大学博士启动基金项目以及中国博士后科学基金面向项目(2018M630536)的资助下取得的,在此特别感谢东南大学的倪中华教授、刘晓军副教授。同时,对收录于本书参考文献中的各位作者表示感谢。

本书可作为机械工程、计算机科学与技术等相关学科的教师、学生和研究人员的参考书。由于作者的水平有限,本书许多内容还有待完善和深入研究,不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2018年5月

CONTENTS

目录

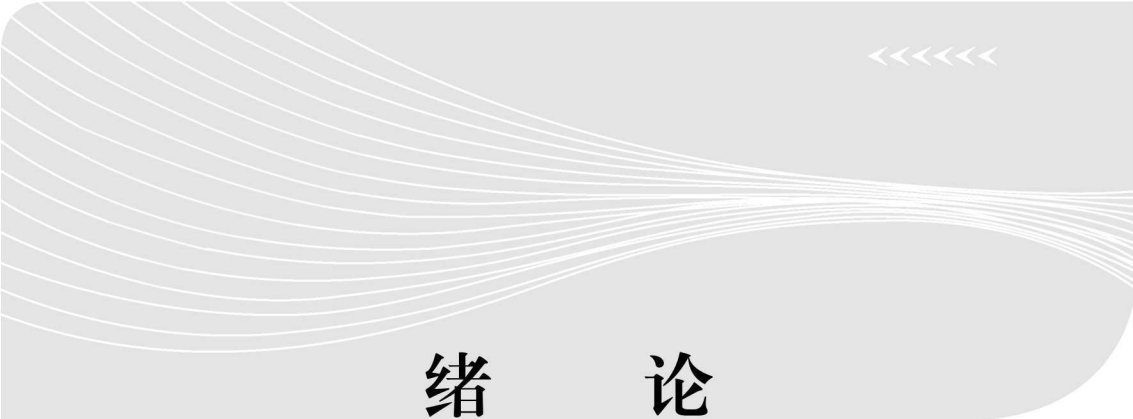
第 1 章 绪 论	(1)
1.1 工艺设计研究背景与意义	(1)
1.2 工艺设计方法	(2)
1.3 本书主要结构与主要内容	(3)
第 2 章 复杂机电产品的三维机加工工艺设计的问题及现状分析	(5)
2.1 复杂机电产品工艺设计存在的问题	(5)
2.2 复杂机电产品机加零件工艺设计现状分析	(7)
2.3 机加工工艺设计关键技术分析	(11)
2.3.1 工艺信息组织与管理技术	(11)
2.3.2 三维工序间模型的创建技术	(14)
2.3.3 工艺模型的动态重构技术	(18)
2.4 本章小结	(19)
第 3 章 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统架构研究	(20)
3.1 引 言	(20)
3.2 三维机加工工艺设计的需求分析	(20)
3.3 三维机加工工艺设计系统的结构功能分析	(22)
3.4 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统的体系结构	(23)
3.4.1 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统的框架	(23)
3.4.2 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统的业务过程模型	(24)
3.5 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统关键技术的技术路线	(25)
3.5.1 创建三维工序间模型的技术路线	(26)
3.5.2 工艺模型动态重构的技术路线	(26)
3.6 基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统的关键技术	(27)
3.7 本章小结	(28)
第 4 章 基于 MBD 的三维机加工工艺模型的表达方法	(29)
4.1 引 言	(29)
4.2 三维机加工工艺模型的结构形式	(29)
4.2.1 三维机加工工艺模型的定义	(30)
4.2.2 三维机加工工艺模型的构成	(30)



4.3	工艺信息的分析及分类	(31)
4.3.1	静态工艺信息	(33)
4.3.2	动态工艺信息	(33)
4.4	机加工工艺信息的动态组织和管理技术	(34)
4.4.1	机加工工艺信息的结构层次关系	(34)
4.4.2	机加工工艺信息的动态组织和管理	(36)
4.5	三维机加工工艺模型的表达方法	(37)
4.6	应用分析	(38)
4.7	本章小结	(39)
第5章	复杂机电产品的三维机加工工艺模型创建技术	(40)
5.1	引言	(40)
5.2	三维工序间模型的创建	(41)
5.2.1	特征映射	(41)
5.2.2	加工特征和制造特征体	(41)
5.2.3	工序间模型	(43)
5.3	单体积加工特征映射制造特征体的算法流程	(45)
5.3.1	映射算法概述	(45)
5.3.2	加工特征面组的识别算法	(45)
5.3.3	制造特征体的创建流程	(50)
5.4	多体积加工特征映射制造特征体的算法流程	(52)
5.4.1	PF-SF 的分类	(52)
5.4.2	PF-SF 类型的判断方法	(55)
5.4.3	PF-SF 对应的去除体类型	(56)
5.4.4	映射算法概述	(57)
5.4.5	特征面组的识别算法	(58)
5.4.6	制造特征体的创建流程	(60)
5.5	创建三维机加工工艺模型的方法	(63)
5.6	实例分析	(64)
5.6.1	映射制造特征体的实例分析	(64)
5.6.2	创建工序间模型的实例分析	(66)
5.7	本章小结	(68)
第6章	面向工艺更改的三维机加工工艺动态响应方法	(69)
6.1	引言	(69)
6.2	工艺更改的具体内容	(70)
6.3	工序间模型的相互关系及其判断方法	(70)
6.3.1	工艺模型间的相互关系	(71)
6.3.2	工序间模型的相互关系的判断方法	(71)
6.4	工序间模型的动态重构算法	(73)
6.4.1	工序顺序调整后工艺模型的动态重构算法	(73)



6.4.2 工艺模型编辑后的动态重构算法	(76)
6.5 工艺属性信息的自动传播方法	(78)
6.5.1 标注信息的自动传播方法	(78)
6.5.2 一般属性信息的自动传播方法	(79)
6.6 实例分析	(80)
6.6.1 实例分析一	(80)
6.6.2 实例分析二	(82)
6.7 本章小结	(85)
第7章 基于MBD的三维机加工工艺设计系统开发及应用	(86)
7.1 三维机加工工艺设计系统设计与开发方案	(86)
7.1.1 原型系统	(86)
7.1.2 系统体系结构	(87)
7.1.3 原型系统的功能结构设计	(88)
7.1.4 系统界面图	(89)
7.2 原型系统运行实例	(89)
7.2.1 支架零件的设计模型	(89)
7.2.2 三维机加工工艺模型的创建模块	(90)
7.2.3 工艺信息的组织与管理	(93)
7.2.4 工艺模型的动态重构	(94)
7.2.5 工艺文档的输出及轻量化工艺模型的浏览	(96)
7.3 本章小结	(97)
参考文献	(98)



绪 论

1.1 工艺设计研究背景与意义

计算机辅助工艺设计（Computer Aided Process Planning, CAPP）技术一直是全球先进制造技术领域的一个研究重点，它作为连接产品设计与产品制造领域的桥梁，对产品的质量 and 制造成本以及市场的快速响应能力具有极为重要的影响。

在我国制造企业中，CAPP 技术已经被广泛地应用和推广，并且能够较好地满足传统制造加工的需求。在使用过程中，各制造企业开展了以工艺数据集成、工艺数据管理和制造过程控制集成为基础的相关研究与应用，并取得了一定成果。随着制造业信息化水平的不断发展，目前的工艺设计方法已经不能与上游的全三维数字化设计和下游的先进制造工艺及装备相适应，逐渐成为数字化制造的瓶颈，各制造企业逐渐向基于三维模型进行工艺设计的新模式转变。在三维环境下，实现工艺详细设计、工艺仿真与验证、工艺实施等关键功能，以解决复杂机电产品研制和生产中的工艺业务与数据的集成管理问题，最终实现技术与装备的数字化、自动化以及柔性化。

基于 MBD 的三维机加工工艺设计以产品三维模型为基础，融入了工艺内容、工艺参数、工艺尺寸标注、工装模型、操作语义等工艺信息。工艺信息不仅以三维的方式表达，还与产品的三维模型相关联。三维机加工工艺将产品零件在生产加工中的动态演变过程及所需各类工艺信息以三维形式进行展示，操作者能够非常直观地了解设计意图和工艺要求。

三维机加工工艺模型能够表达机加零件的加工过程，它作为工艺信息表达的载体，贯穿于产品工艺全生命周期。工艺模型的快速创建是提高工艺设计效率的关键，对于指导下游的加工制造活动具有重要影响。为此，本书介绍了基于特征识别的工艺模型的快速创建技术。

随着产品研制过程繁杂程度越来越高，工艺更改已成为产品研制过程中不可避免的工艺活动。为满足制造企业对更改后工艺模型快速响应的要求，本书研究了工艺模型的动态重构技术以及工艺信息的自动传播方法。

鉴于此，研究工艺信息的表达、工艺模型的快速创建以及工艺更改后工艺模型快速响应等关键技术是实现机加零件高效工艺设计的关键，对提高我国复杂机电产品的快速研制和生产能力，缩短产品研制周期，提高产品质量，降低制造成本具有重要的现实意义。



1.2 工艺设计方法

随着 CAPP 技术的不断发展与推广应用, 先进制造技术不断要求创新 CAPP 的设计方式, 从 20 世纪 60 年代开始, 按照工作原理和工艺生成方式, CAPP 系统可以分为派生式系统、创成式系统以及综合式系统, 而且正在迅速向具有人工智能且可以修订检索、编辑修改的新模式转变。90 年代后期, 随着三维 CAD 软件 (如 UG、CATIA、Pro/Engineer 等) 的大量出现, 人们开始考虑以连接三维 CAD 与 CAM 方式进行三维机加工工艺设计的研发。以波音公司为代表的国外制造企业在应用数字化产品定义以及设计制造集成技术等方面取得了显著的成果, 在新产品研制中采用了全数字化的三维模型设计技术、工艺设计技术以及虚拟制造技术, 将研制周期缩短了 40%, 也为推广和发展基于 MBD 的三维数字化集成技术做出了重要贡献。与此同时, 国家科技部支持的“863 计划”也开展了三维机加工工艺规划系统的开发; 华中科技大学和西北工业大学以企业需求为基础研发的 CAPP 系统已经取得了一定的成绩和良好的效果, 但是这些应用主要是针对某个企业, 应用范围小, 没有改变传统工艺设计的格局。

伴随着集成制造技术和信息化制造技术的迅猛发展以及各领域制造企业的广泛应用, 作为制造技术重要环节的三维机加工工艺设计技术已经成为企业信息化、集成化制造的重要基础。然而, 我国基于 MBD 的三维机加工工艺设计还处于探索研究与初步应用阶段。

在国内先进制造企业中, 按应用 CAPP 系统的发展历程可将工艺设计方法大致分为三种: 以二维工程图为主的工艺设计方法; 以二维工程图为主, 并辅以三维模型的工艺设计方法; 以全三维模型为主的工艺设计方法。若以工艺设计的最终表达形式为依据, 则可以将以上三种方法分类为: 二维工程图、二维工艺+三维模型和全三维机加工工艺模型。以上三类工艺设计方法的特点, 如表 1.1 所示。可以看出, 以三维模型进行工艺设计的方法已不断地体现出实用性与高效性, 但是该方法的应用研究目前仅处于探索阶段。

表 1.1 三类工艺设计方法的特点

比较内容	二维工程图	二维工艺+三维模型	全三维机加工工艺模型
工艺设计的依据及表达形式	以二维图纸为主, 主要用文字或表格描述工艺设计过程	在工艺卡片中嵌入三维模型, 工艺信息主要以文字描述为主	以三维机加工工艺模型为工艺信息载体表达工艺设计过程
机加零件工序间模型几何形状的表达及创建	以二维工序简图表达工序间模型, 需要交互重绘工序简图, 表达效果差	以三维模型表达工序间模型, 需要基于 CAD 模型进行交互重建, 各模型关联性差	以全三维机加工工艺模型表达工艺设计过程, 并关联工艺信息, 清晰易懂
工艺信息的可视化表达	基于二维工程图表达工艺, 无法实现可视化表达	关键工序基于三维模型表达, 可以实现部分简单的可视化	三维机加工工艺模型关联工艺信息, 能够实现可视化
工艺模型的动态重构	采用二维简图来表达工序间模型, 无法实现动态重构	各工序间模型没有关联性, 几乎无法实现动态重构	各工艺模型具有关联性, 能够进行动态重构

续表

比较内容	二维工程图	二维工艺+三维模型	全三维机加工工艺模型
工艺信息的自动传播	工艺信息以图表或文字表达, 无法实现自动传播	工艺信息与工艺模型并不关联, 几乎不能实现工艺信息的自动传播	工艺信息关联工艺模型, 可随工艺模型的变化实现自动传播
与 CAD 信息的集成	主要通过手动添加工艺信息, 几乎无法实现集成; 对 CAD 进行二次开发后能够实现信息的集成, 但实现较困难	需要将 CAD 信息转化为中间形式, 可实现与工艺规划系统的集成, 但易丢失相关信息	可以与 CAD 实现无缝集成, 能够直接从模型上获取工艺信息
对下游加工制造的指导效果	易导致理解歧义, 需要多次沟通, 费时费力	能够较好指导加工生产, 但可能发生工艺信息与模型不匹配的情况	能够直观高效地表达零件的加工过程, 省时省力, 能够缩短研发周期

近几年, 研究者在三维 CAD 模型产品定义、工艺设计与可视化、工艺数据共享与集成方法等方面开展过大量的研究。基于三维 CAD 模型进行工艺设计的方法主要有两种方式: 在现有的三维 CAD 软件 (如 UG、CATIA、Pro/Engineer、SolidWorks 等) 的基础上, 开发相应的工艺设计系统。这样可以方便获取 CAD 模型的设计信息, 基于交互方式创建工艺模型; 以三维实体模型为基础, 开发了以加工特征识别为基础的工艺设计系统, 基于加工特征的关联信息可以为工艺设计人员提供相应的工艺设计信息。目前, 独立开发的系统有西北工业大学的 3D-CAPP Framework 系统、北京航空航天大学 CAXA 系统、开目三维 CAPP 系统等。以上这些 CAPP 系统还不能很好地利用三维设计模型进行三维机加工工艺设计, 与同类的 CAD、PDM 等软件系统相比, 三维机加工工艺设计软件的发展大大落后, 尤其是在与 CAD 的集成与应用方面, 还远远达不到应用要求。

1.3 本书主要结构与主要内容

本书对基于 MBD 的三维机加工工艺设计方法及其相关技术的研究进行了分析总结, 提出了面向复杂机电产品的工艺信息表达、三维机加工工艺模型创建以及工艺模型动态重构等关键技术的解决途径, 并对开发的三维机加工工艺设计系统进行初步应用, 本书的结构体系如图 1.1 所示。

本书针对复杂机电产品中机加零件工艺设计存在的问题, 提出了以构建基于 MBD 的三维机加工工艺设计系统为目的, 着力分析并解决三维机加工工艺模型表达、三维机加工工艺模型创建以及三维机加工工艺的动态响应等关键技术, 以复杂机电产品中某机加零件为例进行应用验证。

首先, 通过分析复杂机电产品含有机加零件的工艺要求与加工过程, 提出基于 MBD 的三维机加工工艺模型的表达方法; 利用三维模型能够准确表达几何信息的特点, 创建以三维工序间模型为载体的工艺信息表达方案; 研究不同工序活动的对象及其组织方式, 建立“对象-关联”不同粒度的数据组织方式、工艺信息的层次结构模型、基于动态演变的工艺

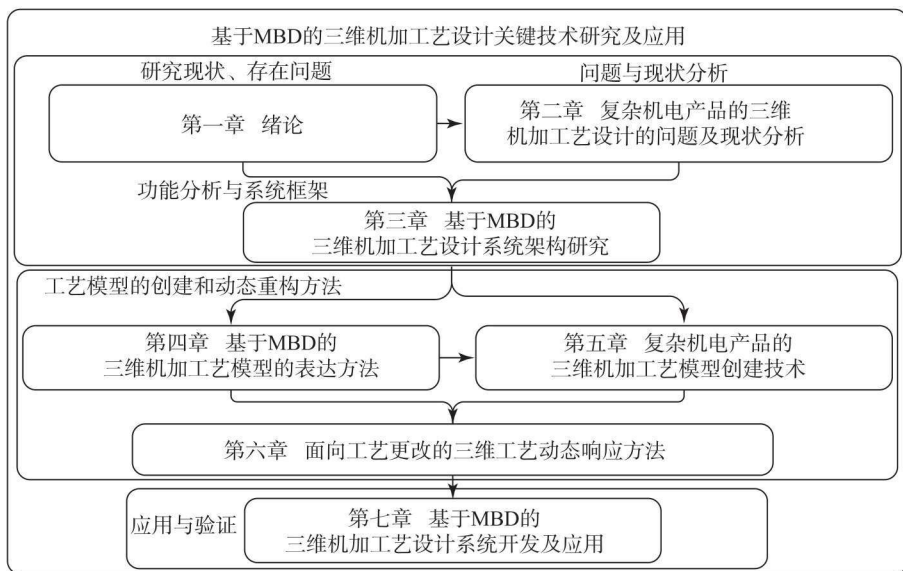


图 1.1 本书的结构体系

信息扩展及存储方法。工艺信息的获取、显示、追溯、数据存储与关联等技术的突破能够有效支持工艺设计系统的开发与实现。

其次，创建三维机加工工艺模型的关键是如何快速生成工序间模型，为此提出了基于特征识别的三维机加工序间模型的创建技术。第一，根据加工特征的形成过程及其几何形状特点，将加工特征进行分类与总结；第二，结合工艺知识提出加工特征面组的识别算法，根据加工特征所对应的材料去除体的数量将此算法分为两种情况：单体积加工特征面组识别算法和多体积加工特征面组识别算法。随后，创建加工特征映射制造特征体的算法，并在映射过程中记录制造特征体动态创建顺序及其特征类型；第三，基于获取的制造特征体及其创建顺序，将制造特征体与设计模型相互组合创建工序间模型，基于不同实例进行应用验证。

再次，工艺更改是复杂机电产品中的机加零件工艺设计过程中不可避免的工艺活动，为此，本书面向工艺更改内容提出三维机加工工艺模型动态重构与工艺信息自动传播方法。第一，研究工艺更改的具体活动，以工艺更改后是否导致工序间模型发生改变为依据，将更改活动分为工序间模型更改和工艺属性信息更改；第二，将三维工序间模型相互关系分类为相互独立关系和相互依赖关系，并提出判断工序间模型相互关系的算法；第三，提出工艺模型动态重构与工艺信息自动传播方法，以复杂机电产品中的某机加零件为例进行应用验证。

最后，基于上述研究，开发了基于 MBD 的三维机加工工艺设计软件原型系统，并通过航空复杂机电产品中的典型机加零部件对工艺信息的表达方法、三维机加工工艺模型的快速创建技术以及工艺模型的动态重构技术等研究内容进行应用验证，基于测试用例在所开发系统中各功能模块的运行结果，验证本书所提方法的有效性和系统的稳定性。

复杂机电产品的三维机加工工艺设计的问题及现状分析

随着信息技术的飞速发展，数字化制造技术在国内外被广泛探索与研究，成为复杂机电产品行业产品研制模式的重要发展趋势。我国以军工和汽车行业为代表的三维产品建模技术应用普及率分别达到 91.3% 和 86.5%；而欧洲空中客车公司在其 A340 客机和 A380 客机的研制过程中采用数字化协同研制技术，对原有的设计制造流程进行大规模重组，缩短了研制周期，大大提高了其产品在国际市场上的竞争能力。可见，三维数字化建模技术的研究和应用日趋成熟，以数字化完整、准确地定义三维产品成为可能。然而，传统工艺设计方法造成了“设计-工艺-制造”全三维数据链的断层，逐渐成为智能制造的瓶颈。

2.1 复杂机电产品工艺设计存在的问题

复杂机电产品制造企业对数字化先进制造技术的应用已经过多年建设研究，在数字化设计方面卓有成效，以三维模型为基础的产品数字化设计与制造技术已经得到推广和应用。但在工艺设计方面，仍不能够直接有效地利用产品的三维设计模型来支持工艺设计与管理，设计部门、工艺部门和生产制造部门之间还不能基于三维产品模型进行有效的协作，主要体现在以下 3 个方面。

1) 现有工艺设计方法难以将工艺信息有机组合

目前，复杂机电产品制造企业主要存在两种工艺设计方法：二维工程图和二维工艺+三维模型。二维工程图主要以自然语言形式描述零件的加工制造过程，关键工序会附有二维工序简图加以说明；二维工序简图多以线条的形式表达，且各工序简图之间没有关联性，所添加的工艺数据独立存在于表格中，无法实现与工序简图的动态关联，这样的方式会使所创建的工艺数据、工艺设计经验不利于后续的利用；工艺信息描述不准确、不直观，使得工艺人员或制造人员需要花费大量的时间来理解工艺内容。二维工艺+三维模型的工艺信息表达方法主要以文字描述为主，辅以三维模型说明，与二维工程图模式相比，该方法能够较准确地表达工序间模型的几何信息，然而作为“附件”的三维工序模型与详细的工艺信息几乎没有关联性，难以实现三维模型与详细工艺数据的深层次融合与紧密集成。

当前制造企业的工艺信息难以达到有机组合的形式，常常会导致图样理解产生歧义、工作量繁重、工艺仿真难度大、更改流程复杂等问题。例如，在工艺更改过程时需要对工艺信



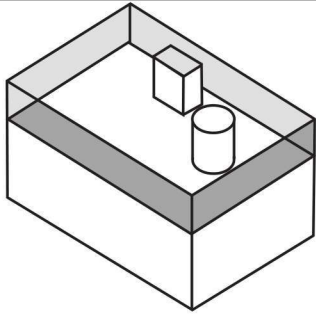
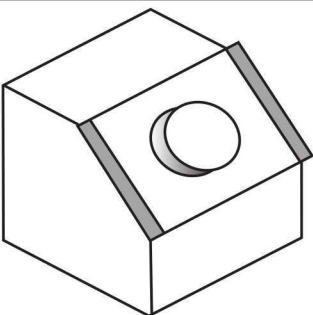
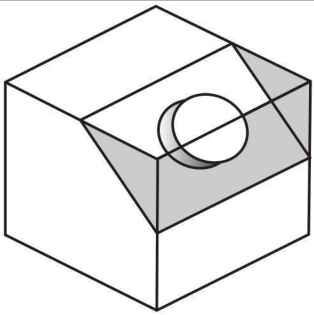
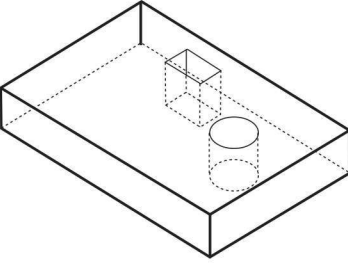
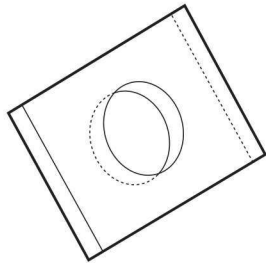
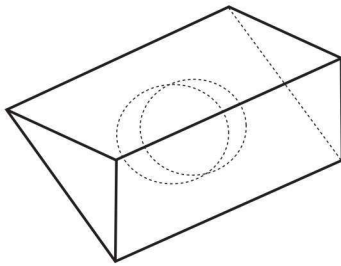
息及工艺模型两部分内容进行单独更改，费时费力，且经常造成工艺不一致的情况。

2) 现有三维机加工工艺建模方法不完善且效率低

对于三维工序间模型，复杂机电产品制造企业大都是基于 CAD 软件进行手动创建的。其在创建过程中没有考虑已有的工艺知识，又规避了工序间模型的关联性，并且创建该模型的过程需要做大量的重复性工作，甚至存在所创建的工艺模型与工艺设计系统不兼容的问题，导致所形成的工艺模型不能应用于下游的加工制造活动。因此，这种创建方法难以在三维机加工工艺设计环境中得到广泛应用。

为提高三维机加工工艺模型的创建效率，大量文献提出了运用特征识别技术、工艺驱动方法以及参数建模方法来创建工艺模型。通过对文献的分析可知，基于 CAD 软件交互创建工艺模型的方法主要应用于二维工艺设计过程，难以应用于三维加工制造环境；有部分文献研究了三维机加工工艺模型的快速创建方法并进行了应用验证，然而，所验证的零件对象只含有简单且少量的加工特征，或者所提供的方法不完善。例如，如表 2.1 所示，(A) 中显示的是基于文献 [3] 提供的方法，能够准确地获取平面凸台所对应的加工去除体。然而，将该方法应用到含有斜面上凸台特征的零件 [表 2.1 (B)] 时，所获取的工序体积如表 2.1 (b') 所示，这显然不是加工该特征所去除的材料体积。基于本书所提出的算法，获取斜面上凸台特征的加工去除体积如图 2.1 (c') 所示。

表 2.1 获取工序去除体方法的比较

(A) 平面的凸起特征	(B) 斜面上的凸起特征	(C) 斜面上的凸起特征
 (a) 将平面偏移至凸台上表面的位置	 (b) 将斜面偏移至凸台的上表面	 (c) 用文中阐述的算法获取
 (a') 获取相应的去除体积	 (b') 获取相应的去除体积	 (c') 获取相应的加工去除体积

3) 现有三维机加工工艺模型不能实现工艺信息的动态响应

复杂机电产品具有多品种、小批量、高精度、复杂程度高等特点，在产品研制过程中势必造成工艺更改频繁，且更改周期长。因此，为实现机加工工艺的高效设计，必然要对工艺模

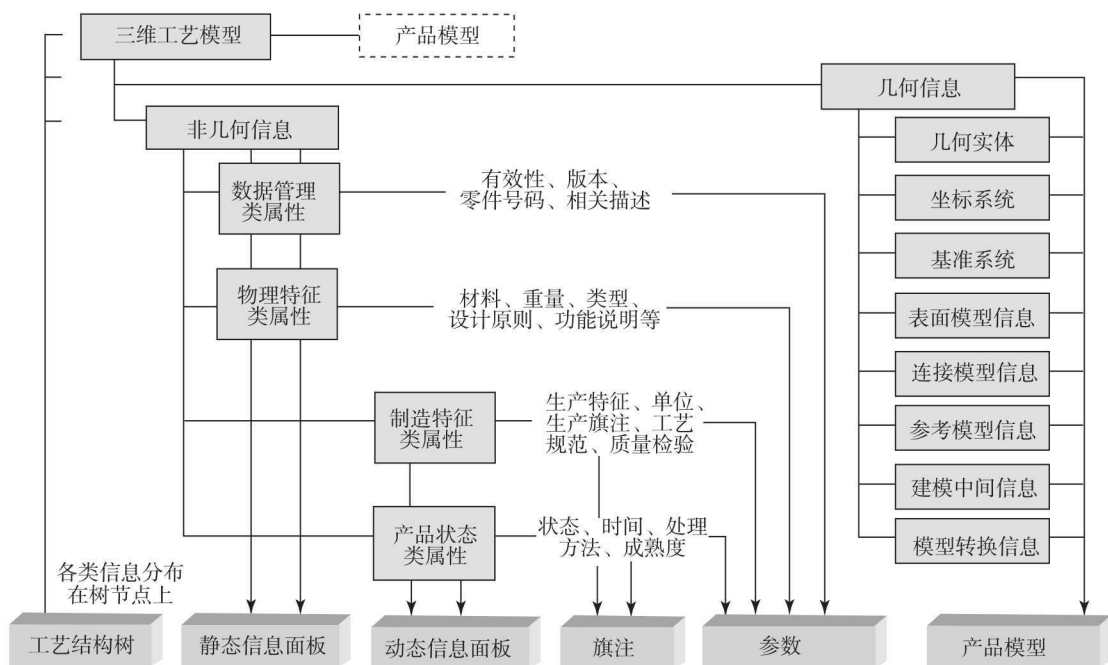
型的动态响应提出更高的要求。然而,大多数制造企业是基于二维工艺设计或者是二维工艺+三维模型的形式进行工艺设计的,在工艺更改时工艺模型的变更都是基于交互方式完成的,这样的更改方式势必会造成工艺信息跟踪控制困难、工艺数据不完整、前后不一致和生 产计划脱节等一系列严重问题,从而造成产品研制周期长、研制成本高、质量差等问题。可见,工艺模型的动态响应能力是提高工艺设计效率和产品质量的关键因素。

2.2 复杂机电产品机加零件工艺设计现状分析

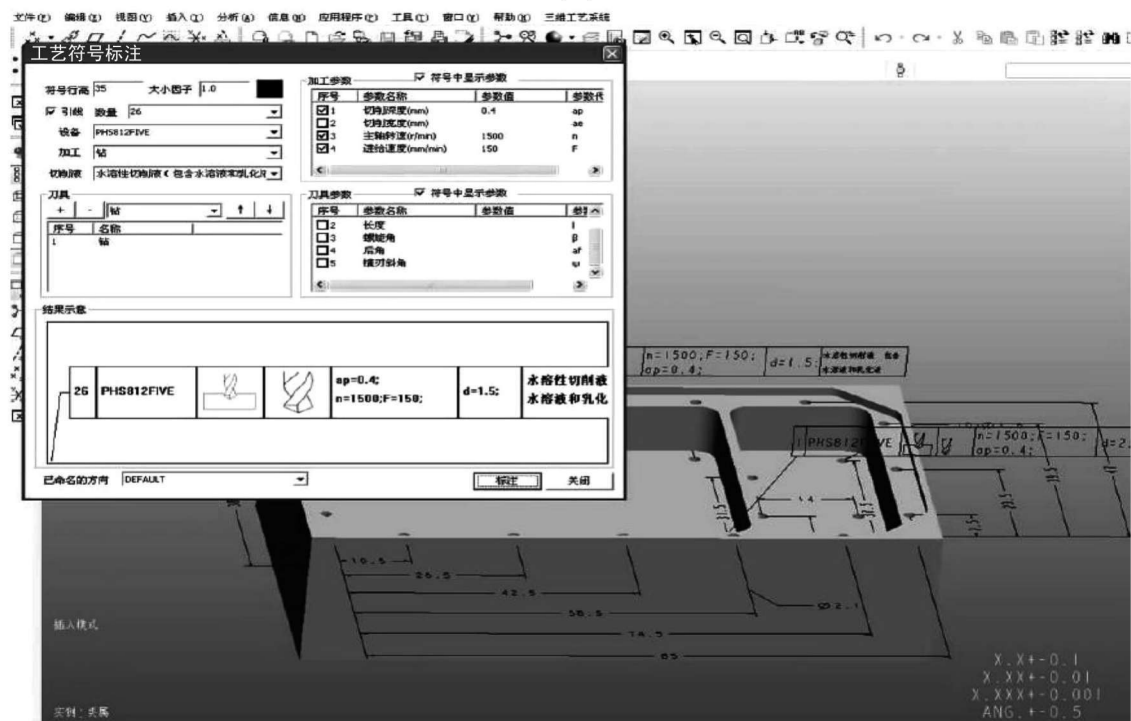
建立一个能与设计集成,并支持工艺信息三维化表达、方便后续过程应用的三维机加工工艺模型已成为当前基于模型定义技术(Model Based Definition, MBD)的三维机加工工艺设计的研究热点,也是未来的发展趋势。国内外学者已在该领域做了一些研究性工作,如基于MBD的工艺信息表达与管理方法、基于特征识别技术的三维工序间模型创建方法、基于可扩展标记语言的加工过程信息描述方法以及基于产品三维模型的全生命周期管理方案等。

在创建支持集成化、动态性和应用性的结构化工艺信息模型方面,美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology)的特邀研究员Feng等提出了基于统一建模语言的(Unified Modeling Language)集成设计方法、加工过程的信息模型创建方法,并开发了基于Web的并行设计与工艺规划的功能模块。Chakrabarti等基于创建的加工知识模型开发了信息管理系统,实现了加工过程复杂工艺参数的快速选择及优化。计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing)的关键是实现产品设计、工艺设计以及加工制造信息的集成及应用,方便面向可制造性设计的信息管理,Giachetti教授基于STEP语言建立了加工信息模型;Zhang等基于STEP语言创建了机床与CAX系统之间转换模型;Kang等利用ISO中性接口,构建了信息转化模型,实现了CAD与CAPP信息的互联。工艺信息模型不仅要反应信息内容的本质,也必须兼顾信息使用的有效性和简洁性。北京航空航天大学的乔立红教授提出了多维度工艺信息的表达模型;奥克兰大学的Chen等提出了利用多参数流程(Parameter Flow Chart)来表达工艺知识的方法;中航工业沈飞集团副总师冯子明对基于MBD的三维机加工工艺表达模型进行了研究,如图2.1(a)所示;中国电子科技集团公司第三十八研究所也对三维机加工工艺的表达做了深入研究,如三维机加工工艺符号标注(见图2.1(b))等。目前,创建结构化工艺信息模型的研究主要集中在加工信息本身的管理与集成等方面,而基于加工过程模型实现工艺信息的表达、组织与存储等方面的研究亟待探索。

在面向三维模型工艺设计的研究与应用领域中,创建三维机加工工艺模型已成为该领域的研究热点,主要集中在以下两种方式:基于加工语义的建模方法和基于特征技术的建模方法。在利用加工语义创建工艺模型方面,Zhang等基于工艺语义信息交互构建零件加工的过程模型,以轴类零件进行了应用验证;Wan等通过建立加工语义与建模之间的映射模型,提出了基于增材技术在CAD软件平台上创建工序间模型的方法,如图2.2(a)所示。在利用特征技术的建模方法方面,基于工序特征(Feature Working Steps)和去除体积提出了工序间模型自动生成的方法,如图2.2(b)所示;基于特征识别技术,利用CAD软件的建模功能来交互创建工艺模型的方法;基于半空间包围方法,通过偏移加工面获取零件毛坯模



(a)



(b)

图 2.1 三维机加工工艺的组织与管理实例

(a) 三维机加工工艺模型表达；(b) 三维机加工工艺符号标注

型，在创建过程获取零件加工的过程模型；利用体积分解方法获取加工去除体积，并与设计模型组合构建零件加工的过程模型。以上两种方式创建的三维机加工工艺模型相互之间大都是

独立的,难以实现与详细工艺信息的深层次融合与紧密集成,且当发生设计更改或工艺变更时,无法实现基于原有三维工序模型动态构建工艺更改后的工序模型,这样势必造成工艺设计效率低。

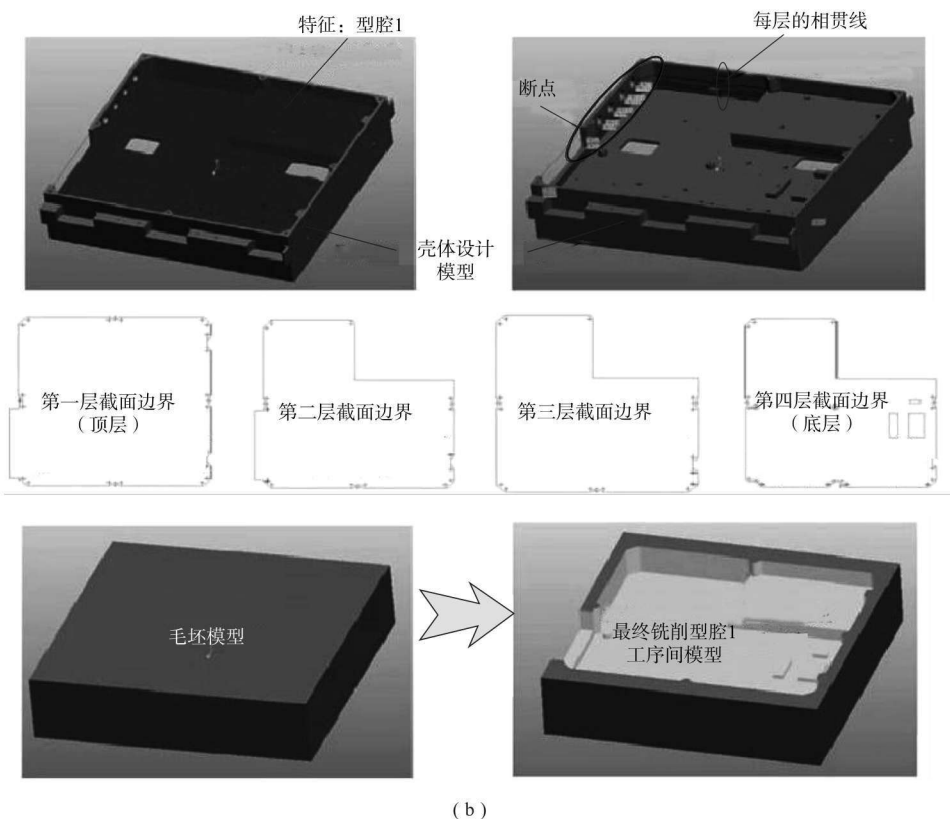
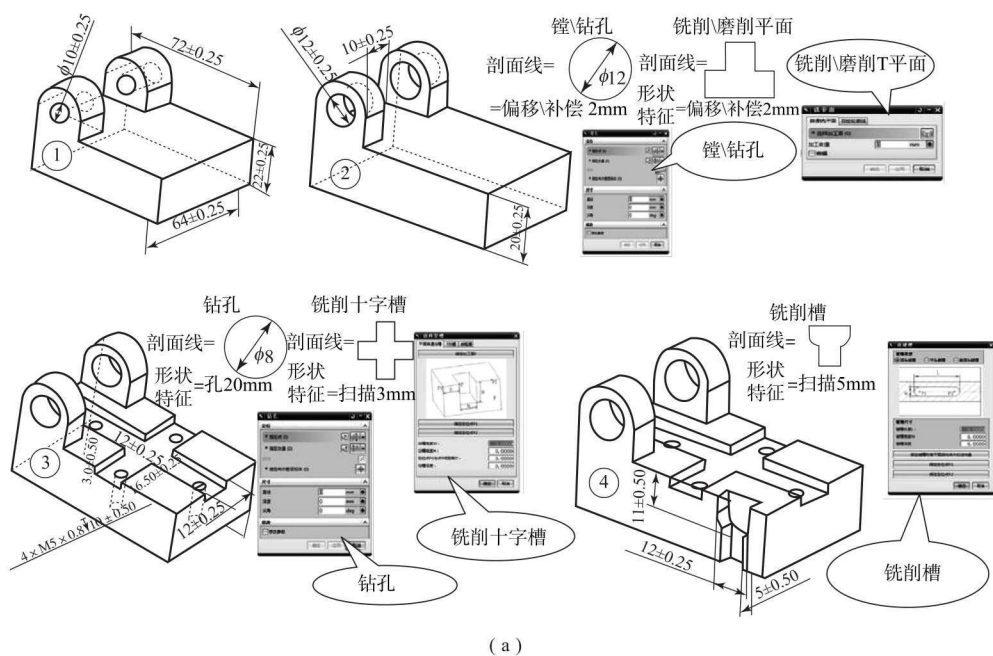


图 2.2 零件加工的过程模型创建实例

(a) 三维机加工工艺模型生成; (b) 工序间模型创建过程