

现代计算机辅助 夹具设计

● 主 编 徐利云 范徐笑 刘智斌

现代计算机辅助夹具设计

徐利云 范徐笑 刘智斌 主 编
谭冠群 刘馨鑫 姜 冰 副主编
肖加标 参 编



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

现代计算机辅助夹具设计受到越来越多的重视。本书基于作者长期从事 CAFD 方面的研究, 综合介绍 CAFD 及相关领域新的研究成果。该书涵盖了从基于同一次装夹之间的装夹规划到误差分析, 以及从夹具结构设计到夹具设计验证。

本书可以作为高等院校机电类等专业的教材, 也可以作为相关专业工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

现代计算机辅助夹具设计 / 徐利云, 范徐笑, 刘智斌主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 5

ISBN 978-7-5682-5639-1

I. ①现… II. ①徐… ②范… ③刘… III. ①夹具-计算机辅助设计-高等学校-教材
IV. ①TG750.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 100424 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 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 346 千字

版 次 / 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 56.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

制造过程涉及到大量工艺装备的使用。工件的装夹是加工过程的一项重要工作，对生产质量、时间和成本都有极大的影响。随着计算机技术的发展，特别是计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)的发展，越来越多的研究转向了数字化的夹具设计和验证。计算机辅助夹具设计(CAFD)的发展历史已 20 多年了，并正逐步应用到工业中。CAFD 的目标是在产品和工艺的设计阶段就能快速地产生夹具的概念设计和详细设计，从而为夹具的设计制造和加工过程校验提供便利，进而实现 CAD/CAM 系统的集成。

本书基于作者长期从事 CAFD 方面的研究工作，综合介绍最近有关 CAFD 及相关领域最新的研究成果。该书内容涵盖了从同一次装夹和不同装夹之间的装夹规划到误差分析，以及从夹具结构设计到夹具设计验证。在当今基于现代化物流制造工业中，CAFD 技术和系统在技术保障、商业报价以及 OEM 和供应商之间的技术交流都特别重要。

本书由徐利云、范徐笑、刘智斌担任主编，谭冠群、刘馨鑫、姜冰担任副主编，肖加标参与了本书的编写工作。本书可作为高等院校机电类等相关专业的教材，也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

需要关注的 CAFD 问题很多，本研究侧重于 CAFD 的实践技术和应用系统的开发。该书是本研究组撰写的第二本综合技术参考书。相关的研究工作得到了美国国家科学基金(NSF)和一些主要公司的资助：德尔福公司、卡特佩勒 Caterpillar、福特汽车公司、普惠和通用电器航空发动机公司。本书内容包括众多组内研究生和博士后研究人员的工作成果，在此致谢。

编 者

目 录

第1章 引言	1
第2章 计算机辅助装夹工艺规程	4
2.1 大规模定制生产的体系结构	4
2.1.1 引言	4
2.1.2 目前发展的技术水平	4
2.1.3 生产规划系统	6
2.1.4 小结	15
2.2 自动装夹工艺设计	16
2.2.1 装夹工艺设计中的图论及应用	17
2.2.2 自动装夹工艺规程	21
2.2.3 实例分析	26
2.2.4 总结	30
2.3 信息建模	30
2.3.1 引言	30
2.3.2 系统化信息建模方法	31
2.3.3 大规模定制中的 CAMP 信息模型	33
2.3.4 实例分析	40
2.3.5 总结与展望	41
第3章 计算机辅助夹具设计	42
3.1 计算机辅助夹具设计概述	42
3.1.1 装夹技术	42
3.1.2 计算机辅助夹具设计	43
3.2 自动化专用夹具设计：基本设计	45
3.2.1 简介	45
3.2.2 专用夹具的结构分析	46
3.2.3 专用夹具的基本设计	48
3.2.4 专用夹具基本设计的实现	53
3.3 专用夹具自动设计：详细设计	54
3.3.1 干涉避免修整	55
3.3.2 夹具单元体合并	57
3.3.3 连接设计	58
3.3.4 基于工艺规则的修正	59

3.3.5	系统实现和范例	60
3.4	面向零件族的适应性夹具设计	61
3.4.1	引言	61
3.4.2	夹具方案设计	62
3.4.3	针对适应性夹具设计的夹具建模	64
3.4.4	相似性判断	66
3.4.5	系统实例	68
3.5	基于实例推理的夹具设计	71
3.5.1	引言	71
3.5.2	设计方法	75
3.5.3	设计实例检索	83
3.5.4	应用实例	85
3.5.5	小结	89
3.6	基于传感器的夹具设计和设计验证	90
3.6.1	引言	90
3.6.2	夹具防错设计	92
3.6.3	工件定位和接触验证	98
3.6.4	有传感器的定位元件设计	103
第4章	计算机辅助夹具设计校验	105
4.1	系统结构和建模	105
4.1.1	背景	105
4.1.2	夹具校验的研究综述	106
4.1.3	装夹建模	107
4.1.4	定位元件和定位点	108
4.1.5	定位分析	109
4.1.6	系统实现以及与 CAD 的集成	111
4.1.7	小结	115
4.2	装夹误差分析	115
4.2.1	误差分析概述	115
4.2.2	表面偏移和精度的定义	116
4.2.3	加工表面精度分析	117
4.2.4	定位公差分配	118
4.2.5	系统实现	119
4.2.6	小结	121
4.3	夹具稳定性分析	122
4.3.1	综述	122
4.3.2	夹具动力学模型	123
4.3.3	稳定性的判别	126

4.3.4	最小夹紧力	127
4.3.5	夹紧顺序和稳定性	129
4.3.6	系统的实现	130
4.3.7	结论	131
第5章	夹具刚度分析	132
5.1	工件的装夹变形	132
5.1.1	简介	132
5.1.2	夹具设计分析方法	135
5.1.3	工件模型	135
5.1.4	加载研究	140
5.1.5	夹具设计优化	143
5.1.6	结论	150
5.2	夹具单元刚度的有限元分析	151
5.2.1	简介	151
5.2.2	可预测夹具刚度的计算机辅助夹具设计 CAFD	153
5.2.3	非线性接触条件下的有限元分析模型	154
5.2.4	模型验证	159
5.2.5	结论	163
5.3	接触刚度确定	164
5.3.1	简介	164
5.3.2	法向接触刚度的理论模型	165
5.3.3	切向接触刚度的理论模型	166
5.3.4	接触刚度的实验确定	170
5.4	附加检验和证明	175
5.4.1	固有模态正交性的证明	175
5.4.2	法向接触刚度的静态测量	176
第6章	夹具建模及分析	219
6.1	夹具建模	181
6.1.1	装夹中的几个基本问题	181
6.1.2	相关研究	182
6.2	定位偏差模型	183
6.3	定位特征分析	186
6.3.1	定位状态分析	186
6.3.2	定位误差分析	192
6.3.3	结论	195
6.4	定位元件和夹紧元件的布局特性	196
6.4.1	定位元件布局特性	196

6.4.2	夹紧元件布局特性: 工件的可装入性和取出性	197
6.4.3	夹具形式封闭的判别	197
6.4.4	结论	204
6.5	夹具规划指数	204
6.5.1	引言	204
6.5.2	定位装夹的评估指数	205
6.5.3	夹具布局设计	208
6.5.4	实例研究	211
6.5.5	结论	218
参考文献		219

第1章

引言

制造业是国民经济发展的基础行业，是国家竞争力的主要体现及国家安全的重要保障，对国家的安全、防卫、高科技甚至生活水平和财富的创造起着至关重要的作用。随着全球经济一体化进程的加快，制造业需要具有能够在全球的市场中进行竞争，并最大限度地根据区域和个人的需求来定制产品的能力，来更好地满足多样化的客户需求。而这一问题的关键是开发能够采用大规模生产的效率来生产中小批量的客户化定制产品的技术。最近出现的柔性自动化技术，例如数控机床（CNC）、高速网络和电子商务，使得这一生产力的大幅提升变得可能。

计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）技术是提高产品设计质量、缩短产品研发周期、降低产品生产成本的强有力工具，在产品和工艺设计领域的使用已有几十年的历史。随着计算能力的不断提升，CAD/CAM 技术已逐渐从一门新兴技术发展成为一名高技术产业。其应用也变得越来越普遍，已经延伸到小规模的生产车间，甚至位置偏僻的制造工厂。最近，主流的 CAD/CAM 公司都在试图使用全生命周期管理技术（PLM）把所有与生命周期有关的功能，包括工程、营销和制造等都集成到基于 CAD 的系统中去。这些 PLM 产品的使用极大地提高了工程师的工作效率。然而 PLM 的真正使用潜力还远没有发挥出来。部分问题在于产品寿命周期功能的复杂性，例如，在德尔福公司内部调查中发现，一个典型的产品图有将近 300 个相应的制造文档。单一零部件的制造要求有详细的工艺、工装、机床和工艺参数以及要考虑相互之间的复杂关系。而当前的 PLM 产品大多是通用化工具，经常涉及到要把独立功能软件或模块集成起来，这就要求对相关人员进行大强度的培训以及大量的手工输入工作。并且由于工装、工件装夹和机床组合的多样性使得通用化的工具难以实用化。

为了全面提升生产效率，汽车工业在高成本及全球竞争的压力下，设计了精益制造过程，使得能够把更新的产品以最低的成本价格推向市场。这些制造过程通常以定义产品的顾客需求为出发点，以满足这些需求为目标，从工程学和技术创新的角度进行产品设计。而设计则规定了产品及每一部件的尺寸、表面质量和公差要求。这些规定决定了生产产品所需的工艺、制造系统以及相应制造装备的设计、制造和使用，甚至产品的生产及生产方式的持续改进。制造系统设计（MSD）一般是在生产工艺定型后，制造系统硬件设备设计和制作之前进行。因此 MSD 是最有可能进行制造过程优化的阶段。它能够辅助解决面向制造的设计问题，从而提高产品的可制造性。而此时也正是论证优选制造方案以避免不必要的高成本制造装备的投资。

制造系统设计过程中 CAD 技术的使用使得工程师能够三维可视化地进行工件、工装、设备部件和刀具轨迹的干涉检验，并发现设计中所存在的设计错误或干涉等问题。首先从产品族模型，进行制造特征的自动识别，并选择合适的工艺参数。然后装夹规划和机床工装的

选择和设计可根据以工艺表单 (BOP) 形式表示的实际生产经验来完成。并且通过一系列的验证方法来检验制造计划。如果所有的验证工作能在几分钟甚至数小时内完成, 那么 MSD 系统就是一个非常有效的评价工具, 可在 MSD 环境下进行工艺和制造系统的评价。这其中的关键问题之一是建模的复杂性, 可采用零件族中的相似性来减小系统的复杂性。同样也可利用机床、工装夹具和加工特征的相似性来对该问题进行简化。对于一个明确的问题或其子问题, 验证可以提供反馈或发现一个较优的解决方案。现代的一些优化技术, 如遗传算法、模糊逻辑方法和神经网络等都用来进行夹具布局、定位夹紧布局、工艺排序、制造系统设计、刀具轨迹、加工周期以及成本等的优化。这些优化方法特别适用于一些新产品族的设计, 因为这里不能使用启发式规则来进行优化设计。

制造设备按一定顺序布局成生产线就组成了制造系统。制造装备主要包括可能由不同公司提供的机床和工装。由于制造装备的主运动、进给运动以及刀具的形状不同而具有的几何成形能力不同, 通过机床工作台、主轴和夹具在一次装夹中完成特征加工, 并且确保加工精度。其中生产时间、费用和质量要求以及设备的工艺能力都对工艺规划及其优化起主要的约束作用。

在快速制造系统设计过程中, 制造设备的能力模型起到非常重要的作用。如果设备单元 (机床、刀具、夹具) 能力模型一经确立, 所有的系统能力就可确定。对于给定的工艺信息条件, 可从质量、加工周期和柔性程度来估计系统的制造能力。另外还可通过把加工知识和机床、刀具、夹具的精度以及运动学、刚度等基础理论相集成, 实现在零件设计阶段即可进行加工设备能力信息和加工要求之间的映射。

快速 MSD 及其优化还需要考虑通用加工设备的使用策略。通用制造装备是用来在零件族的特定工序应用最优生产经验进行生产的设备。这些装备可以是机床、组合机床、夹具及其组合。这些设备在处理相似零件的通用能力减少了对新设备的需求, 增强了优化能力。通过通用设备的柔性组合, 基于零件和工艺的相似性即可完成一系列零件的加工。实践证明对新的生产要求通过采用通用设备能够实现快速优化的解决方案。

夹具设计也是 MSD 的一部分。夹具设计的目标是产生夹具配置来稳定而精确地装夹工件以完成加工。夹具可以看作机床能力的延伸, 因此, 在快速 MSD 过程中, 夹具设计应该在早期阶段进行, 特别是夹具的概念设计对 MSD 的可行性验证有很大的影响。同时也应该进行夹具的设计验证, 以避免后期出现生产系统费用高和不必要的工艺调整。换句话说, MSD 需要智能夹具设计。智能夹具设计对适应产品和工艺设计同时保持功能和结构性能的优化十分必要。智能夹具设计包括:

- (1) 夹具设计的自动生成;
- (2) 设计过程中最优生产经验的使用;
- (3) 特定功能结构设计的再使用;
- (4) 基于要求性能相关性的参数设计;
- (5) 确保设计质量的自我验证能力。

虽然夹具设计可用 CAD 功能来完成, 但由于缺乏科学工具以及系统方法来评价设计性能使得设计变成了反复实验的过程, 由此导致以下几个方面的问题: 例如经常出现的并可能导致性能下降的过度设计; 生产前设计质量的折中; 以及夹具设计、制造和测试等准备时间的数周甚至数月的延长。因此, 急需夹具的设计验证 (CAFD)。

CAFD 整合了采用标准夹具模块构造所需夹具配置的自动组合夹具设计 (Rong, 1999; Kow, 1998); 预先规定夹具元件类型的专用夹具设计 (An, 1999; Chou, 1993); 基于规则和实例推理 (CBR) 的夹具设计 (Kumar, 1995; Pham, 1990; Boyle, 2003); 面向零件族的夹具变异设计 (Rong, 2003); 以及夹具设计验证 (Fuh, 1994; Kang, 2003); CAFD 的研究提供了一个概念验证原型的方法。夹具设计中如何在多种条件下使用最优的生产经验以及进行夹具设计校验仍然是一个值得研究的领域。目前因有许多制束条件, CAFD 的实际应用仍有一定局限性。

随着研究的深入越来越清楚地意识到夹具设计应该是制造系统规划的一部分, 因为夹具就是制造系统的组成部分。夹具设计也是制造工艺验证的部分工作, 夹具对制造工艺的质量保证、过程稳定性以及工艺操作的便利性都有很大的作用, 从而对加工周期效率和工效学都产生了重要影响。因此, 本书把 CAFD 研究和计算机辅助生产规划以及夹具设计和制造过程经验集成起来。

在目前基于供应链的制造环境下, 夹具设计因设计人员和使用场合的不同而变得灵活多样。虽然多数制造商 (也称作 OEM, 原始设备制造商) 直接从事夹具设计的数量并不多, 但没人怀疑夹具设计的质量和效率对构建敏捷生产环境的重要作用。CAFD 不光对夹具设计过程特别有用, 而且对主要的制造企业也非常有用, 虽然目前 CAFD 在实际生产中的应用还不太普及。夹具设计涉及到大量的科学分析及经验知识的运用。多数情况下, 夹具设计是跟领域相关, 不同的应用实践所要求的设计也不同。虽然与 CAFD 相关的技术和系统已经从多个不同侧面进行了研究, 但也很难得出一整套综合的系统方法来处理所有问题。因此, 本书每一章从围绕该问题的一个个相对独立的主题进行详细研究, 并且对所述问题给出解决方案, 而且列出了和该问题相关的综述材料和用到的参考文献。读者可以有选择地进行阅读。

本书首先系统地阐述了包括夹具设计集成在内的制造系统规划, 接着论述了 CAFD 研究和设计验证的现状, 最后在第 5、6 章更深一步地阐述了夹具分析。本书可作为专业人士的参考用书或作为学术研究之用。作者相信 CAFD 的进一步研究将会使得其在将来有更多的成果应用。

第2章

计算机辅助装夹工艺规程

2.1 大规模定制生产的体系结构

2.1.1 引言

作为连接计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)的桥梁,计算机辅助装夹工艺规程能够协助工程师把产品设计规范转化为工艺规划。工艺规划的总目标是保证产品质量,生产成本最小化,加工效率或加工能力最大化。对于这些目标不同的生产系统可能会侧重于不同的方面。例如,大规模定制生产更多地强调加工能力,而生产车间和批量生产则注重于生产成本。

为了提高企业快速响应全球市场动态变化的能力,目前工业界提出了大规模定制的概念(Jiao, 2001)。大规模定制能够使企业在生产定制化产品来满足特定客户需求的同时,保持大规模生产的效率。和传统的大规模生产相比,大规模定制通过把产品分组为不同的产品系列而允许生产的产品具有较大的差别。通过一定的模块化规则,将产品分解为许多模块,在新产品中复用一部分模块能够简化产品的设计。另一方面,通过生产工艺能力的最大限度利用,来实现大规模定制的低成本。因此在大规模定制生产中,企业通过柔性生产资源的广泛使用来提高其工艺生产能力。

大规模定制生产工艺规划的实现需要一个CAD/CAM集成平台,同时应解决以下主要问题:

(1) 大规模定制生产计算机辅助工艺规划的主要目标是快速地设计出切实可行的工艺计划。因此就需要用一个集成信息模型来准确地描述产品设计和制造之间的关系,从而使得产品设计的更改能够自动地促使工艺计划做出相应的更改。

(2) 大规模定制生产的决策策略需要扩展。除了一般的生产系统都需要遵守的规则之外,还应该对一些和零件族生产有关的特殊策略和优良实践进行分析和综合。

(3) 由于大量柔性生产资源,例如多件夹紧夹具、多轴机床和组合刀具等在大规模定制生产中的应用,工艺规划系统的设计必须考虑对这些柔性生产资源的处理。

这一节将介绍计算机辅助工艺规划(CAMP)系统的体系结构,同时阐述上面所提及的主要问题。本章的随后两节将介绍支持这个CAMP系统的自动装夹规划方法和信息建模技术。夹具设计也是该系统的重要组成部分,但因其技术上相对独立,因此在后续的章节中介绍。本文主要以非回转体零件为对象进行装夹工艺分析。

2.1.2 目前发展的技术水平

计算机辅助工艺规划可以分成5个步骤:零件信息建模,特征工艺设定,生产资源能力

分析,装夹工艺规程和夹具设计。在过去的30年中,人们在这些领域的研究取得了许多重要的进展。

1. 零件信息建模

零件信息包括几何尺寸信息和设计规格(公差、表面质量等),这些信息在CAD模型或者一些中间文件(STEP, IGES, 等等)中定义。特征技术是表示零件信息的有利工具。根据图论,零件信息可以用特征公差关系图(FTG)来表示,零件分解为许多特征,设计要求则通过这些特征之间的关系来描述(Zhang, 2001)。目前仍然存在的挑战是如何设计一个综合的零件信息建模系统,使得不经过编程就能添加新的特征。

2. 特征工艺设定

通过对特征工艺方法设定来把待选工艺过程和特征联系起来。特征工艺方法可用两种模型来表示。一种是把待选工艺过程列表和特征类型关联起来。另外一种是把工艺处理类型和其所能生产的所有零件特征相关联(Naish, 1996)。一般来说,需要同时使用这两种表示来定义特征和工艺过程之间的关系,同时这些工艺过程应该包括所使用的刀具和机床。如果要添加一个新的特征类型或者工艺过程,则所有预定义的特征工艺方法都必须更新。更新过程所涉及的维护工作十分巨大和烦琐。

3. 生产资源能力分析

生产资源包括机床、刀具和夹具。在大规模定制生产环境下,如何评估待选资源的能力以及根据这些资源来获得最优的生产工艺流程,是目前所面临挑战。目前还没有一个切实可行的解决方案能够适合当前市场上各种如此之多的生产资源。

4. 装夹工艺规程

装夹工艺规划的目标是确定合理的装夹次数,每次装夹中工件的定向和加工顺序。目前进行的研究主要集中在以下几个方面:

(1) 装夹约束建模。Huang (2002)在装夹工艺规划的研究中考虑了几何、加工和运动学约束。目前研究的几何约束包括回转体和非回转体零件的特征方向(Huang, 1998; Rong, 1999)和公差分析(Huang, 1998; Zhang, 2001)。加工约束通过如下一些加工知识来建模,如:操作优先约束(Rong, 1999; Huang, 1998)和良好工程实际经验(Kiristsis, 1995)。

(2) 决策策略。各种技术例如基于知识的专家系统(Zhang, H, 1999),神经网络(Chen, 1998)和基于图论的分析(Zhang, 2001)已应用在辅助装夹工艺规划的研究之中。然而目前的研究仅考虑有限生产资源能力(Huang, 1998)。但是对有多轴CNC机床,柔性夹具和复杂切削刀具的大规模定制生产,目前还没有系统能够生产装夹工艺计划。

(3) 不同装夹之间的公差建模。目前,基于图的表示法被认为是描述基准和加工表面之间关系的有效工具(Zhang, 2001; Britton, 2002)。通过使用图,很容易追踪到在加工过程中误差的积累关系。

(4) 和生产规划系统其他模块的信息集成。设备规划和以下几个过程具有密切联系:误差分析,夹具设计和生产规划。我们需要确立一个信息互换标准来使集成更加可靠和具有柔性。

5. 夹具设计

夹具设计的目标是产生夹具的设计规划,使得工件能够在加工过程中被牢固、正确地夹持。以前的研究工作集中在以下几个方面:组合夹具的自动设计,使用标准的夹具部件来构

造不同的夹具 (Rong, 1999); 使用预定义的夹具组件来设计专用夹具 (An, 1999); 面向零件族的变异夹具设计 (Rong, 2002); 夹具设计校验 (Kang, 2002)。在大规模生产或者大规模定制生产环境下, 通常使用多件夹紧夹具来实现生产周期的优化。但是, 目前还没有开发出一种适合多件夹紧夹具设计的优化方法, 来满足大规模定制生产的要求。在以下几个方面还需要更多的研究: 夹具体的选择/设计; 工件的布局和定向; 多件夹紧夹具的布局。此外, 生产规划需要考虑所有加工特征来确定一个最优的工艺流程, 同时也需要根据工艺流程所确定的夹具和这些特征在夹具中的放置, 决定加工这些特征的一个最优刀具路径。

总之, 当前的技术主要存在以下三个层次的不足:

(1) 特征层, 特征和工艺方法被预先定义的格式所约束。新特征和新工艺的増加需要重新编程。

(2) 零件层, 装夹工艺规划缺乏一种机制来同时兼顾产品特征公差关系和柔性生产资源能力。这就使得大规模定制生产下很难实现实际可行的装夹工艺规划。

(3) 设备层, 目前还没有研究能够处理多件夹紧夹具设计和相应的整体加工刀具路径生成。

下面将对计算机辅助生产规划系统进行综合介绍, 该系统适用于大规模定制生产。其主要特点是:

(1) 建立了一个综合加工特征、装夹工艺和生产信息模型, 使得不需要额外的编程工作而实现新特征、工艺过程和生产资源的添加和使用。

(2) 从上面讨论的三个层次来组织零件族的最优制造经验。因此, 该生产规划系统是模块化的和可扩展的, 从而容易实现基于已有零件族的生产计划生成新零件的生产计划。

2.1.3 生产规划系统

图 2.1 所示为大规模定制生产的计算机辅助生产规划系统结构。首先, 零件信息通过特征公差关系图 (FTG) 来表示。在 FTG 中, 产品特征是基本组成单元, 能够从 CAD 模型中提取。特征加工方法可从可以利用的生产资源能力来产生。装夹工艺规程可分为两步进行。第一步, 加工特征按功能组合进行分解, 同时产生基准加工特征关系图 (DMG) (Zhang, 2001)。DMG 是由公差分析和生产资源能力分析得到。第二步, 考虑夹具规划生成装夹工艺规程。夹具概念设计用来确定零件在夹具体上的最优加工布局, 用生产计划生成模块来产生可选的解决方案。可以使用一些准则来评估这些解决方案, 以获得最优的装夹工艺规划。生产资源能力建模是计算机辅助生产规划评价的标准功能之一。

1. 基于特征的零件信息建模

在大规模定制生产的计算机辅助生产规划系统中, 根据实践经验, 具有几何相似性并且能够提供相同功能的零件被归为零件族。零件的信息由特征和特征之间的关系构成。为了表示零件族信息, 把特征的定义扩展到组合特征, 组合特征由基本面 (包括平面)、柱面和锥面构成。图 2.2 所示为一个简化零件模型中的组合特征。

组合特征由连接在一起的几何实体所定义, 因此, 它们能够在一个或多个加工工序中完成加工。根据实践经验和生产资源, 每个组合特征和一组预定义的加工工艺过程相对应, 并且在该加工工艺过程中可通过使用组合刀具来减少加工时间。这些加工工艺过程可作为成功的生产经验。

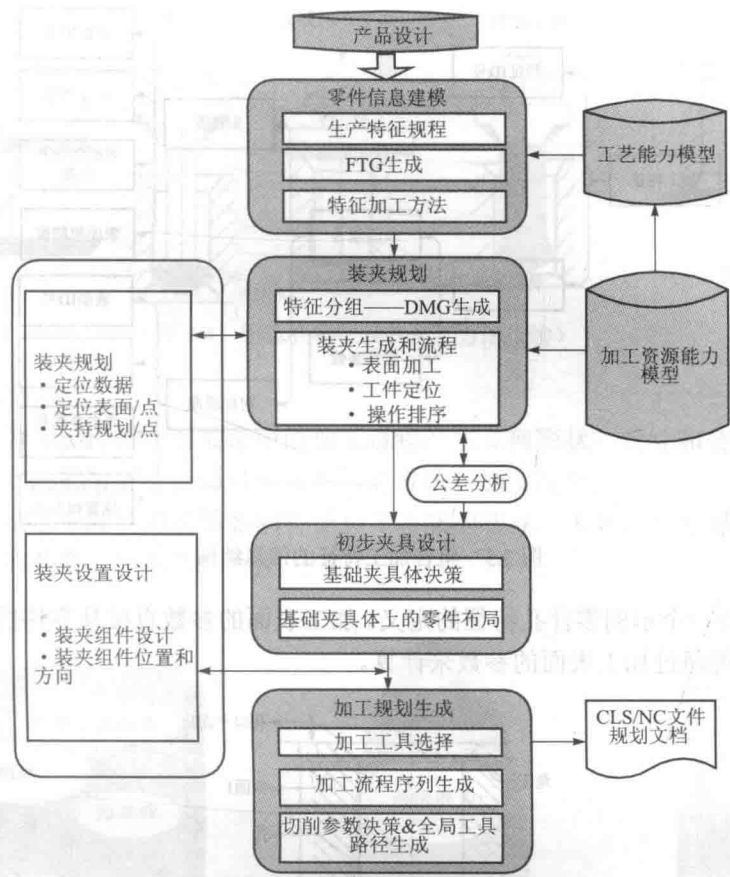


图 2.1 大规模定制生产的计算机辅助生产规划系统结构

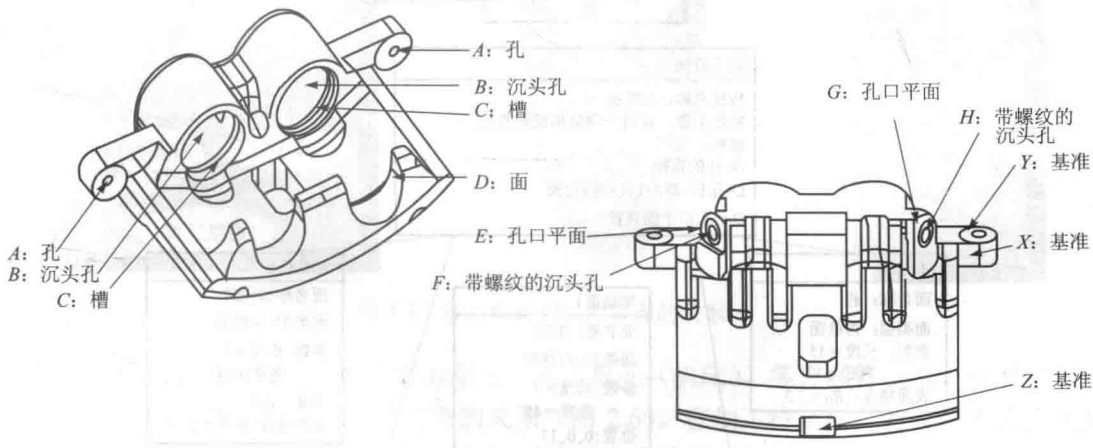


图 2.2 简化的零件模型

图 2.3 所示为所使用的组合加工特征的信息结构。加工表面是不能再分解的基本面，可用数学上的数据集来表示，这样就可以使用面向对象编程的技术来处理。主加工面（MS）是指那些能够决定特征类型、主要参数、位置和方向的加工面。辅助加工面（AS）是指那些和主加工面相连的加工面。特征信息能够更进一步和局部加工刀具路径相联系。

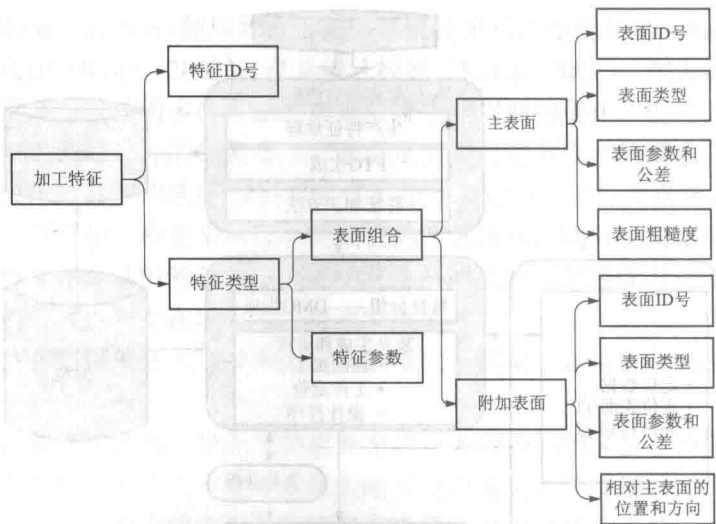


图 2.3 组合加工特征的信息结构

图 2.4 所示为一个示例零件孔特征的定义。加工表面的参数直接从零件的 CAD 模型中提取。而特征参数可通过加工表面的参数来计算。

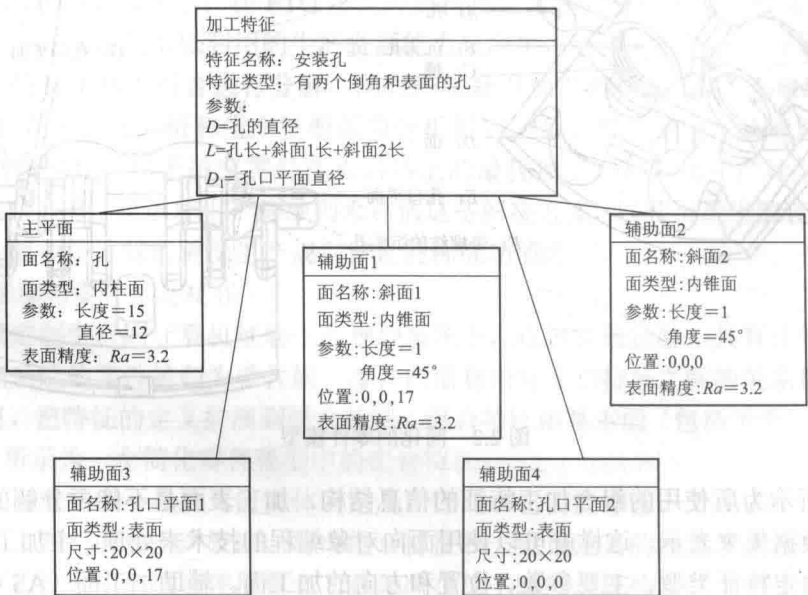
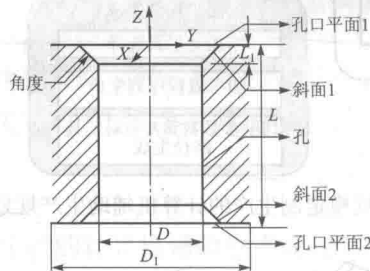


图 2.4 组合孔特征及其加工方法

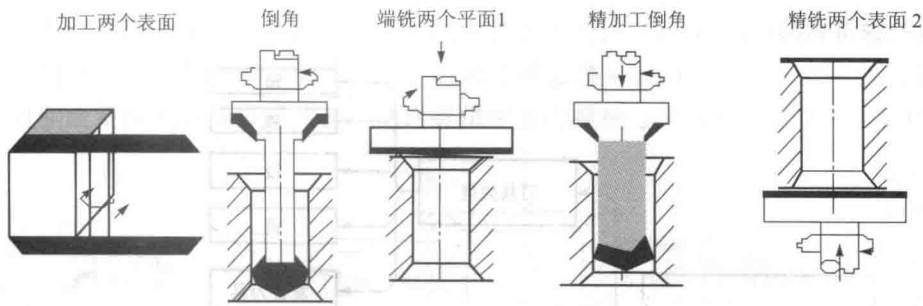


图 2.4 组合孔特征及其加工方法（续）

2. 特征加工方法

该模块用来为加工特征及其被选中的加工过程产生几何形状、尺寸和公差信息。在大规模定制生产环境下，利用制造资源可构成不同的方法来加工组合特征。

众所周知，制造资源能力能够影响特征加工方法的选择。因此，有必要标识出生产资源和加工特征之间的关系，如图 2.5 所示。

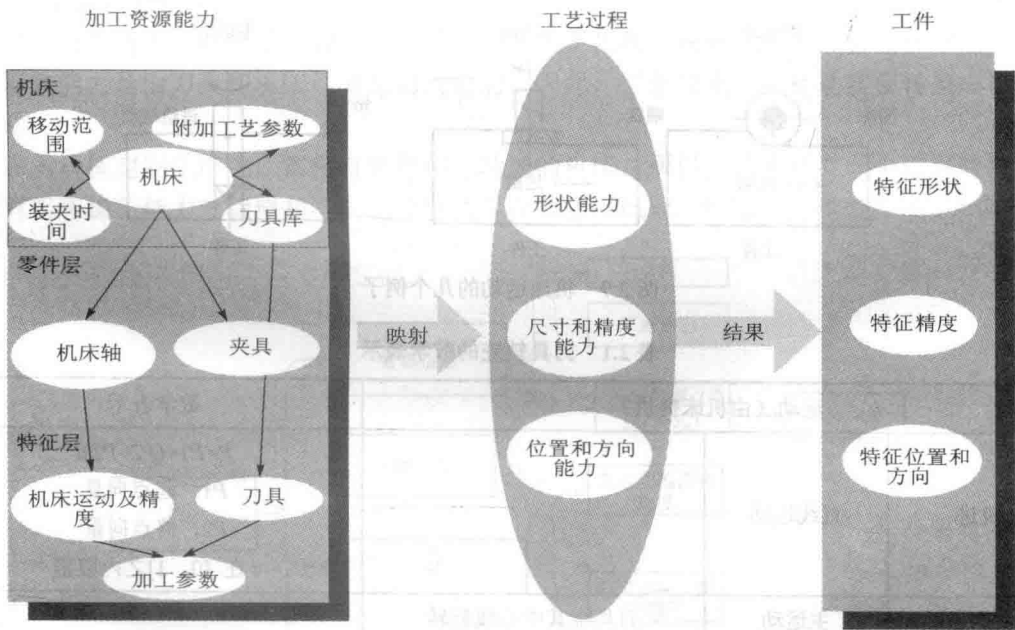


图 2.5 加工特征和生产资源的关系

图 2.5 从三个层次描述了制造资源能力：加工单元（机床）、零件和特征层。使用工艺模型来描述加工特征和制造资源能力之间的关系（图 2.6）。在加工特征层，刀具能力是关键因素，工艺模型包括刀具、刀具运动轨迹和加工特征生成精度。每一个加工特征可以有多个可选的加工工艺，而每一个加工过程都会对刀具设计和运动轨迹有特定要求。

在这个工艺模型中，刀具类型决定了基本的运动轨迹类型，这些运动轨迹类型可以分解为主运动和进给运动。这两种运动轨迹都可用数学方法来表示。刀具参数和加工特征参数决定了加工轨迹参数。图 2.7 和表 2.1 为几个加工轨迹的例子。图 2.8 显示了孔特征和刀具以及加工这个特征的刀具路径之间的参数驱动关系。刀具模板和刀具路径模板都是基于工业生产