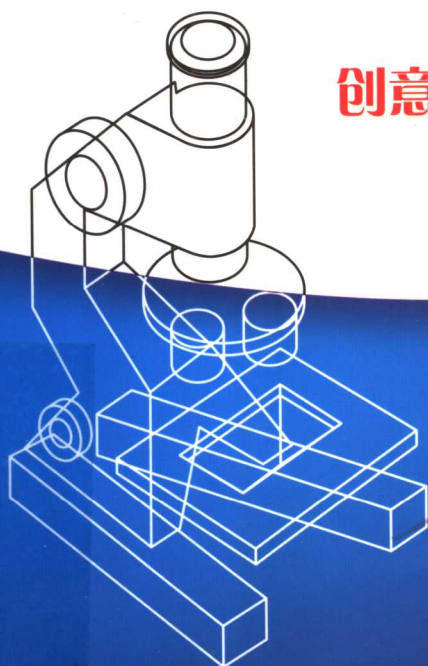


CAD/CAE/CAM 三维造型设计与制造实例

蒋建强 李友节 主 编
吴新腾 副主编
袁 锋 主 审

创意创造财富
勤奋牵手成功



精选58个典型范例

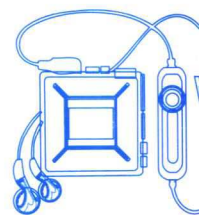
MasterCAM Pro-E UG

 科学出版社
www.sciencep.com



TH13-39/59

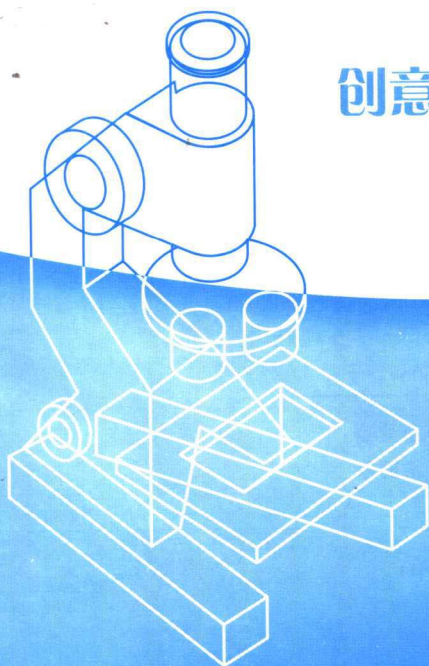
2008



CAD/CAE/CAM

三维造型设计与制造实例

蒋建强 李友节 主 编
吴新腾 副主编
袁 锋 主 审



创意创造财富
勤奋牵手成功

精选58个典型范例



科学出版社
www.sciencep.com

MasterCAM Pro-E UG

内 容 简 介

本书结合了作者多年从事 MasterCAM、Pro-E、UG 的教学和培训经验,精选了 58 个典型零件作为范例,采用 MasterCAM、Pro-E、UG 作为设计软件,以文字和图形相结合的方式,详细地介绍了零件的设计过程和 MasterCAM、Pro-E、UG 软件的操作步骤,使读者能更加直观地掌握软件界面及其操作,达到无师自通、易学易懂的目的。

本书选例典型,针对性强,图文并茂,通俗易懂,深入浅出地介绍 CAD/CAE/CAM 中必备的技能,具有广泛的实用价值。

本书可作为 CAD、CAM 和 CAE 专业课程教材,特别适用于 MasterCAM、Pro-E、UG 软件的初、中级用户,各大中专院校的机械、模具、机电及相关专业师生教学、培训和自学使用,也可作为研究生和各工厂企业从事产品设计及 CAD 应用的广大工程技术人员的参考用书。

需要本书或技术支持的读者,请与北京清河 6 号信箱(邮编:100085)发行部联系,电话:010-62978181(总机)、010-82702660,传真:010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAE/CAM 三维造型设计与制造实例 / 蒋建强, 李友
节主编. —北京: 科学出版社, 2008
ISBN 978-7-03-021806-3

I. C... II. ①蒋... ②李... III. 机械元件—计算机辅助
设计—应用软件, Mastercam、Pro/ENGINEER、UG IV.
TH13-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060671 号

责任编辑: 罗 蕊 / 责任校对: 张月岭
责任印刷: 东 升 / 封面设计: 杨国银

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市东升印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2008 年 7 月第一次印刷 印张: 18 5/8
印数: 1-3000 册 字数: 432 000

定价: 30.00 元

前 言

数控加工是现代制造技术的典型代表,在制造业,如航空航天、汽车、摩托车、模具、精密机械、家用电器等各个领域都有着日益广泛的应用,可以说,数控加工已成为这些行业中不可缺少的加工手段。伴随着全球制造业向我国逐步转移的发展趋势,对数控加工的需求必将呈现出高速、持续地增长。MasterCAM、Pro-E、UG 是 CAD/CAE/CAM 三大主流软件,同时其编程操作简单实用。MasterCAM、Pro-E、UG 软件在我国长江三角洲、珠江三角洲地区和江浙沪一带使用十分广泛,特别在模具企业中,有很高的市场占有率。用 MasterCAM、Pro-E、UG 设计与制造零件很受工程师们欢迎,熟练掌握这种技术可以获得相当高的薪水。本书主要借助 MasterCAM、Pro-E、UG 软件进行零件的设计与制造,其内容主要包括以下 3 部分:(1) Mastercam X 模具设计与制造实例。(2) Pro-E 模具设计与制造实例。(3) UG 模具设计与制造实例。本书重点对三维造型设计实例进行讲解,并以大量的图形来配合辅助理解,让读者对 MasterCAM、Pro-E、UG 有更深层的认识,使读者能高效率、高质量地完成 MasterCAM、Pro-E、UG 实用技术的学习。

书中详细讲解了 CAD/CAE/CAM 软件中各功能的作用、作图、操作方法、注意事项及技巧等。同时列举了大量实例,将技能培训和思维开发相结合,读者应具有制图及机械制造课程的基础,并进行过相关实习。本书是专为数控加工技术专业技能型紧缺人才的培养所编写的 CAD/CAE/CAM 课程教学用书,也可作为高职高专机电一体化专业及模具设计与制造专业的 CAD/CAE/CAM 课程教学用书,并适用于相关行业的在职人员 CAD/CAE/CAM 造型的培训,它将有助于在职人员更新知识和提高业务技能。

全书共 4 章,蒋建强、李友节任主编,吴新腾任副主编,袁锋教授主审,其中,第 1 章由臧玉元编写,第 2 章由蒋建强编写,第 3 章由吴新腾编写,第 4 章由袁锋编写。本书在编写过程中得到了杜玉湘、胡明清、曹承栋、吴子安、陶秋良、沈良生、魏娜、王利锋、马立、董虎胜的大力支持和帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

编者

目 录

第1章 CAD / CAE / CAM 技术 1	实例 2-22: 外形铣削..... 73
1.1 CAD / CAE / CAM 概述..... 1	实例 2-23: 面铣削..... 76
1.1.1 基本概念..... 1	实例 2-24: 挖槽加工..... 78
1.1.2 CAD / CAM 系统的组成..... 3	实例 2-25: 钻孔加工..... 82
1.1.3 CAD / CAM 系统的基本功能要求..... 3	实例 2-26: 曲面平行铣削..... 84
1.2 CAD / CAM 在产品开发中的应用..... 4	实例 2-27: 曲面放射状铣削加工..... 90
1.3 CAD / CAM 在高速加工中的应用..... 5	实例 2-28: 曲面流线加工..... 92
1.3.1 CAD 对高速加工的影响..... 5	实例 2-29: 中文 Mastercam X 五轴加工..... 94
1.3.2 CAM 对高速加工的影响..... 6	
1.4 CAD / CAM 技术在数控技术中应用..... 8	
第2章 Mastercam X 三维造型设计	第3章 Pro-E Wildfire 三维造型设计
与制造实例 11	与制造实例 97
2.1 Mastercam X 概述..... 11	3.1 主要特点..... 97
2.2 Mastercam X 界面..... 12	3.2 行为建模技术..... 97
实例 2-1: 旋钮..... 14	3.3 建模准则..... 97
实例 2-2: 三耳座..... 23	3.4 系统配置..... 98
实例 2-3: 方向盘..... 27	实例 3-1: 管子..... 98
实例 2-4: 扳手..... 33	实例 3-2: 斜齿圆柱齿轮(参数化)..... 100
实例 2-5: 法兰板..... 37	实例 3-3: 斜齿轮..... 104
实例 2-6: 三通管..... 41	实例 3-4: 鼠标..... 113
实例 2-7: 锤子..... 44	实例 3-5: 扳手设计..... 127
实例 2-8: 烟灰缸..... 49	实例 3-6: 玩具轮胎设计..... 128
实例 2-9: 图形绘制与标注..... 53	实例 3-7: 玩具火车设计..... 130
实例 2-10: 举升曲面..... 54	实例 3-8: 齿轮零件..... 135
实例 2-11: 直纹曲面..... 58	实例 3-9: 五角星..... 137
实例 2-12: 昆式曲面..... 58	实例 3-10: 玩具把手..... 138
实例 2-13: 旋转曲面..... 59	实例 3-11: 鼠标曲线..... 140
实例 2-14: 扫掠曲面..... 60	实例 3-12: 拔模偏距..... 141
实例 2-15: 网格曲面..... 61	实例 3-13: 鼠标小车..... 143
实例 2-16: 牵引曲面..... 61	实例 3-14: 液体壶..... 160
实例 2-17: 挤出实体..... 62	实例 3-15: 铣刀造型实例..... 173
实例 2-18: 拉伸薄壁实体..... 64	实例 3-16: 洗发水瓶盖..... 178
2.3 旋转实体..... 65	实例 3-17: 手机前盖..... 191
实例 2-19: 扫描实体..... 66	实例 3-18: 玩具汽车上盖模具设计..... 195
实例 2-20: 举升实体..... 67	第4章 UG 三维造型设计与制造实例 206
实例 2-21: 光滑螺钉..... 69	4.1 UG NX 概述..... 206
	4.2 UG CAD / CAM 实例..... 207
	实例 4-1: UG 电饭煲设计..... 207

实例 4-2: 羹匙.....	223	实例 4-7: UG 扳手草绘.....	279
实例 4-3: UG 创建诺基亚手机面壳形状...	229	实例 4-8: UG 工程图.....	283
实例 4-4: UG 饮料瓶.....	236	实例 4-9: 螺旋拉伸弹簧.....	287
实例 4-5: UG 曲面曲线.....	275	实例 4-10: 特征编辑.....	289
实例 4-6: UG 整体成形.....	277	实例 4-11: 型腔铣.....	290

第 1 章 CAD / CAE / CAM 技术

CAD / CAE / CAM 技术是随着信息技术的发展而形成的一门新技术。随着经济全球化进程的加快, 作为人类工程领域最杰出成就之一的 CAD / CAM 技术, 在制造业中正发挥着越来越重要的作用。

1.1 CAD / CAE / CAM 概述

1.1.1 基本概念

CAD / CAE / CAM 是计算机辅助设计与制造的英文缩写, 是一项利用计算机软、硬件协助人完成产品的设计与制造的技术。

1. CAD (Computer Aided Design)

CAD 即计算机辅助设计, 是一种技术。其中, 人与计算机结合为一个问题求解组, 紧密配合, 发挥各自所长, 从而使其工作优于每一方, 并为应用多学科方法的综合性协作提供了可能。CAD 是工程技术人员以计算机为工具, 对产品和工程进行设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。

根据模型的不同, CAD 系统一般分为二维 CAD 系统和三维 CAD 系统。二维 CAD 系统一般将产品和工程设计图纸看成是“点、线、圆、弧、文本……”几何元素的集合, 系统内表达的任何设计都变成了几何图形, 所依赖的数学模型是几何模型, 系统记录了这些图素的几何特征。二维 CAD 系统一般由图形的输入与编辑、硬件接口、数据接口和二次开发工具等几部分组成。

三维 CAD 系统的核心是产品的三维模型。三维模型是在计算机中将产品的实际形状表示成三维的模型, 模型中包括了产品几何结构的有关点、线、面、体的各种信息。计算机三维模型的描述经历了从线框模型、表面模型到实体模型的发展, 所表达的几何体信息越来越完整和准确, 能解决“设计”的范围很广。由于三维 CAD 系统的模型包含了更多的实际结构特征, 使用户在采用三维 CAD 造型工具进行产品结构设计时, 就能反映实际产品的构造或加工制造过程。

2. CAPP (Computer Aided Process Planning)

CAPP 是利用计算机辅助工艺人员设计从毛坯到成品零件的制造方法, 是将企业产品设计数据转换为产品制造数据的一种技术。

3. CAE (Computer Aided Engineering)

CAE 是用计算机辅助求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触和弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。

4. CAM (Computer Aided Manufacturing)

CAM 利用计算机来进行生产设备管理控制和操作的过程,其输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序。

5. CAD/CAE/CAPP/CAM 集成

CAD/CAE/CAPP/CAM 集成的关键是 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 之间的数据交换与共享。CAE/CAPP/CAM 系统是制造业信息化的核心技术,主要支持和实现产品设计、分析、工艺规划、数控加工及质量检验等工程活动的自动化处理。CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成,要求产品设计与制造紧密结合,其目的是保证产品设计、工艺分析、加工模拟直至产品制造过程中的数据具有一致性,能够直接在计算机间传递,从而克服由图纸、语言及编码造成的信息传递的局限性,减少信息传递误差和编辑出错的可能性。

由于 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 系统是独立发展起来的,并且各自处理的着重点不同,所以它们的数据模型彼此不相容。CAD 系统采用面向拓扑学和几何学的数学模型,主要用于完整地描述零件几何信息,但对于非几何信息,如精度、公差、表面粗糙度和热处理等,则没有在计算机内部逻辑结构中得到充分表达。而 CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成,除了要求几何信息外,更重要的是需要面向加工过程的非几何信息,从而在 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 之间出现了信息中断。建立 CAPP 和 CAM 子系统时,不但需要从 CAD 子系统中提取几何信息,还需要补充输入上述非几何信息,其中包括输入大量加工特征信息,因此,人为干预量大,数据大量重复,无法实现 CAD/CAE/CAPP/CAM 的完全集成。

目前,采用的关键技术主要有以下几方面:

(1) 特征技术。建立 CAD/CAE/CAPP/CAM 范围内相对统一的、基于特征的产品定义模型,并以此模型为基础,运用产品数据交换技术,实现 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 间的数据交换与共享。该模型不仅要求能支持设计与制造各阶段所需的产品定义信息(几何信息、拓扑信息、工艺和加工信息),而且还应该提供符合人们思维方式的高层次工程描述语义特征,并能表达工程师的设计与制造意图。

(2) 集成数据管理。已有的 CAD/CAM 系统集成,主要通过文件来实现 CAD 与 CAM 之间的数据交换,不同子系统文件之间要通过数据接口转换,传输效率不高。为了提高数据传输效率和系统的集成化程度,保证各系统之间数据的一致性、可靠性和数据共享,需要采用工程数据库管理系统来管理集成数据,使各系统之间直接进行信息交换,真正实现 CAD/CAM 之间信息交换与共享。

(3) 产品数据交换标准。为了提高数据交换的速度,保证数据传输完整、可靠和有效,必须采用通用的标准化数据交换标准。产品数据交换标准是 CAD/CAE/CAPP/CAM 集成的重要基础。

(4) 集成框架(或集成平台)。数据的共享和传送通过网络和数据库实现,需要解决异构网络 and 不同格式数据的数据交换问题,以使多用户并行工作共享数据。集成框架对实现并行工程协同工作是至关重要的。

1.1.2 CAD / CAM 系统的组成

一个集成化的 CAD / CAM 数控编程系统,一般由几何造型、刀具轨迹生成、刀具轨迹编辑、刀具轨迹验证、后置处理、图形显示、几何模型内核、运行控制和用户界面等部分组成。

在 CAD / CAM 集成数控编程系统中,几何模型内核是整个系统的核心。在几何造型模块中,常用的几何模型包括表面模型、实体模型和加工特征单元模型。在集成化的 CAD / CAM 系统中,应用最为广泛的几何模型表示方法是边界表示和结构化实体几何表示。在现代 CAD / CAM 系统中,多轴刀具轨迹生成模块直接采用几何模型中加工(特征)单元的边界表示模式,根据所选用的刀具及加工方式进行刀位计算,生成数控加工刀具轨迹。刀具轨迹编辑,根据加工单元的约束条件对刀具轨迹进行裁剪、编辑和修改。刀具轨迹验证,一方面检验刀具轨迹是否正确。另一方面检验刀具是否与加工单元的约束面发生干涉和碰撞。图形显示贯穿整个设计与加工编程过程的始终,用户界面为用户提供一个好的交互操作环境,运行控制模块支持用户界面所有的输入、输出方式到各功能模块之间的接口。

1.1.3 CAD / CAM 系统的基本功能要求

总的来说,一个典型的 CAD / CAM 集成系统,一般应具备以下几个功能模块:

1. 造型设计

造型设计包括二维草图设计、曲面设计、实体和特征设计、曲线曲面的编辑(过渡、拼接、裁剪、等距和投影等)、NC 加工特征单元的定义等。对于单个零件的 CAD / CAM 集成数控编程系统,不一定要求有装配功能。但对于型腔模具 CAD / CAM 集成数控编程系统来说,型腔和型芯的自动生成具有十分重要的意义。

2. 二维工程图

在三维几何造型设计的基础上自动生成二维工程图,并具有标注尺寸的功能。对于单一功能的数控编程系统,二维工程图功能可有可无。

3. 数控加工编程

数控加工编程包括多坐标加工刀具轨迹生成、刀具轨迹编辑、刀具轨迹验证和通用后置处理等。

一个典型的 CAD / CAM 集成数控编程系统,其数控加工编程模块一般应具备以下功能:

(1) 编程功能。如点位、轮廓、平面区域、曲面区域、约束面 / 路线的控制加工等编程功能。

(2) 刀具轨迹计算方法。如常见的参数线法、截平面法和投影法等。

(3) 刀具轨迹编辑功能。包括诸如轨迹的快速图形显示、轨迹的编辑与修改、轨迹的几何变换、轨迹的优化编排、轨迹的读入与存储等。

4. 刀具轨迹的验证

刀具轨迹的验证功能包括轨迹的快速或实时显示,截面法验证,动态图形显示等。

1.2 CAD / CAM 在产品开发中的应用

企业的存在是以产品为基础的, 为了企业的生存和发展, 企业必须不断地开发符合市场需求的产品, 并且追求 TCQS, 即在最短的时间 (Time) 内, 以最小的成本 (Cost) 向市场推出质量 (Quality) 最好的产品, 同时为用户提供最好的服务 (Serve)。因此, 围绕这些产品的开发和经营活动, 采取行之有效的产品开发模式将是令企业在激烈的竞争中立于不败之地的关键。

1. 传统产品开发模式

传统的产品开发流程具有如下特点。

(1) 串行机制。各环节只有从前向后的串行性, 若前面环节尚未完成, 则无法开展下一个环节的工作, 因而存在一定的约束。

(2) 以手工方法为主。这个过程以技术人员为中心, 主要采用手工及较原始的手段来进行产品开发。采用传统的产品开发模式主要存在以下问题:

1) 可预见性差。由于人工手段的限制, 对后续环节中的一些问题很难做出准确预测, 例如:

①在外观设计中只能进行平面设计, 无法获得立体效果;

②在零件设计中, 多采用一些经验性的计算, 很难分析了解零件的机械性能;

③在机构运动设计中, 产品加工出来之前很难了解机构的实际运动情况, 容易出现运动干涉等。

2) 可修改性差。由于整个产品开发过程是串行机制, 前面环节已经完成, 如果修改的话, 则会在时间和费用上付出较大代价, 拖延开发周期, 并且在修改过程中涉及多个部门, 容易出现牵扯现象, 造成返工, 所以修改非常困难。

3) 精确性差。由于在设计计算和模型分析中, 采用大量的经验计算、类比和估算等方法, 因而设计的精确性较差。

4) 协调性差。各个环节的活动相对独立, 如某个环节进行设计和尺寸修改, 很难及时反映到其他环节和部门, 所以各环节和部门之间很难协调。

5) 绘图质量差。手工绘图效率低, 质量差。

2. 现代产品开发模式

现代产品开发模式以 CAD / CAM 系统和计算机网络平台为核心, 将产品以数据的形式保存, 在各个活动环节利用计算机系统进行直接处理和控制在, 并将每个制造阶段与过程的信息汇集在一起, 以便各环节进行信息交互, 使整个设计制造过程的周期缩短, 空间扩大。概括地讲, 现代产品开发模式具有以下特点:

(1) 在保持了串行性的前提下建立了并行机制。一方面保持了从前向后的主要顺序流程。另一方面又建立起并行机制, 这种并行机制表现在以下几个方面。

1) 自上而下的关联机制, 即上游开发可以对下游开发预先进行分析, 确保设计制造的整体正确性;

2) 自下而上的反馈机制, 即在下游活动中发现上游活动的缺陷, 可以及时对上游的设

计进行修改,并重新进行下游活动的设计,例如,在制造阶段发现了设计问题,可以及时地修改设计有关的各种活动。

(2) 加强了设计开发活动的广度和深度。例如,设计中普遍采用三维造型技术开展零部件的设计;采用有限元技术对结构进行深入分析;采用分析与仿真技术开展机构产品的运动设计等。

(3) 确保了整个活动的一致性和协调性。在计算机网络系统平台的支持下,每个环节的活动都能及时地沟通和信息交互,避免子信息的遗失和错误传递,从而避免了以前常见的推卸责任现象。

1.3 CAD/CAM 在高速加工中的应用

高速加工的成功应用依赖于多方面条件的同时满足。一旦出现错误,立即导致全局崩溃。CAD / CAM 应用软件的质量和合理应用是除上述物理因素之外影响高速加工的另外两个主要因素。这个问题如果从 CAD/CAM 系统产生的 CNC 程序直接决定许多处理条件这个角度考虑,就很直接了。但是很难精确指定在 CAD/CAM 系统中需要什么样的功能才能保证得到高质量的高速加工结果。

1.3.1 CAD 对高速加工的影响

一般来说不太容易看到 CAD 对高速加工具有很直接的影响。很多人认为, CAD 模型仅仅用于定义零件的外形,至于如何加工出所设计的零件,那是 CAM 操作者和加工工程师需要考虑的问题。

但很多情况下, CAD 模型可能并未真正定义出需加工零件的形状。有多种因素会导致模型不适合于高速加工,这些因素大多也会影响传统加工,但不如高速加工那么强烈。

1. 精度的影响

高速加工的一个主要优势是其加工精度高、热分布小以及加工表面的质量高。但通常可看到这样一个奇怪现象,即用于建立零件模型的公差要大于最终的加工公差。

精度问题的一个内在原因在于数据交换。通常零件由一个 CAD 系统设计,然后需转换到另一个不同的 CAD 系统进行补充设计和加工准备。每次进行数据传输都需要将几何形体从一种格式转换为另一种格式,而有些转换与极限公差近似。由于这些公差是累积性的,因此,设计零件模型时,必须确保将零件模型的公差设置得足够小,至少较精加工公差小十倍。

交换格式如 IGES 格式常常迫使系统在不同的几何描述间进行转换。如有可能,最好是让数据发送系统进行所有的转换工作,因为它可访问“主”数据。这可通过“Flavours”发送系统的 IGES 来实现。Flavours 将告诉系统在 IGES 文件中最可能用到哪些类型的实体。有些系统提供了一预定义的 IGES Flavours 菜单,使它能适用于一些常用系统。

减小转换过程出现问题的其中一个方法是使用直接接口。直接接口允许一个系统直接读取另一系统的文件。例如, Delcam 的 Power MILL 就具有 Catia、Pro/ENGINEER、Unigraphics 等其他众多主流系统的直接接口。

2. 修剪的影响

CAD 系统中的多数零件都是由裁剪曲面“拼凑”而成——就像上衣是由多片复杂形状的布料缝合而成一样。这些曲面的边界精度直接影响到所产生的刀具路径质量。

3. 不完整模型的影响

许多 CAD 操作者为自己设置了很多捷径,以缩短模型的造型时间。一个经常用到的捷径是忽略底座内部拐角圆倒角,他们认为此圆倒角形状可通过合适半径的刀具直接加工。如果使用这种方法,则需刀具能正好切进尖锐拐角,有些 CAM 系统提供了解决此问题的一些方法,但最好还是避免这种现象的出现,确保 CAD 模型能精确地表示要加工的形状。加工这种类型的圆倒角最好是使用较小半径的刀具,一般情况下刀具的半径最好较圆倒角几何尺寸小 70%或是更小,这样可使拐角处的切削刀具路径更加平顺,避免刀具的突然转向,使用小刀具加工和直接切入拐角相比,刀具负荷可降低 3 倍。

4. 不能加工的特征的影响

尽管高速加工扩大了可直接铣削的特征范围,但对形状特别复杂的模型,细节部分还是必须使用 EDM 加工。另外多数零件上会有许多孔,这些孔可直接钻出。如果供加工使用的 CAD 模型中包含了这些特征,则大多数 CAM 系统将试图加工它们。最典型的结果是刀具路径中会包含这些不希望进行铣削加工的区域,如果不进行处理,则实际加工时刀具势必会切入这些孔或尖角中。CAM 操作者需花费很多时间来修正这些错误,以避免重复加工这些放电加工区域和孔区域。

如果可能,应尽量将这些不希望进行铣削加工的特征从用于产生刀具路径的 CAD 模型中摘除。具体的摘除方法取决于所使用的 CAD 系统。有些系统采取删除特征的方法;而有些系统则通过添加额外曲面将这些特征覆盖。

1.3.2 CAM 对高速加工的影响

尽管对高速加工的研究已有多多年,但现在对高速加工还缺少一个明确简洁的定义和解释。高速加工的基本出发点是高速低负荷状态下的切削,较低速高负荷状态下切削能更快地切除材料。低负荷切削意味着可减轻切削力,从而减少切削过程中的振动和变形。使用合适的刀具,在高速状态下,可切削高硬质的材料。同时,高速切削可使大部分的切削热通过切屑带走,从而减少零件的热变形。

上述这些优点仅在合适的加工策略的情况下才能实现。如果使用了不适当的加工策略,轻则会导致刀具寿命的降低,重则可能导致更加可怕的结果。有一点必须记住,这就是高速加工并不是简单地使用现有刀具路径,通过提高主轴转速和进给率实现。

1. 高速加工刀具路径

高速铣削刀具路径有多种限制,当将这些限制逐一列出后,需要这些限制的原因就一目了然。

- (1) 刀具不能和零件产生碰撞。
- (2) 切削负荷必须在刀具的极限负荷之内。

- (3) 残留材料不能大于指定极限。
- (4) 应避免材料切除率的突然变化。
- (5) 切削速度和加速度必须在机床能力范围内。
- (6) 切削方向（顺铣/逆铣）应保持恒定。
- (7) 应避免切削方向的突然变化。
- (8) 尽量减少空程移动。
- (9) 切削时间应减少到最短。

然而，在实际零件的刀具路径编制过程中，很难全部满足上述要求。事实上，在加工复杂形状的零件时，也根本无法全部满足上述要求。在这种情况下，应尽可能地满足这些要求，同时，在必要的情况下，可忽视一个或多个限制。在上述限制中，有些限制相对于其他限制来说显然更加重要，应首先满足这些限制。上述的这些限制大致是按其重要性的顺序列出。

精加工为高速加工提出了一个特殊的问题，即刀痕问题。由于零件形状的限制，对切削条件的妥协常常会在加工后的零件表面上留下可见刀痕。当然，可通过抛光的方法来消除这些刀痕，但这样就违背了使用高速加工的初衷。很容易地对粗加工和半精加工进行优化处理，因为在这些操作后，CAM 操作者有多种选择来修改零件的形状，刀痕可通过随后的精加工来消除。

2. 编程能力

好的高速加工程序在机床上执行得非常快，但它的产生却需花费很长的时间和大量的精力。如在模具制造这样的单件加工领域，因等待加工程序而导致机床停机的现象很普遍。如果简单地将这种压力强加给 CAM 操作者，让他们更快地产生刀具路径，常常会迫使他们走捷径，其结果是所编制的程序并不经济、有效，尽管机床在继续运转，但加工速度却大打折扣。显然，使用这种策略进行高速加工是不明智的。要得到最好的高速加工结果，必须提供足够强大的 CAM 能力，以能得到高质量的加工程序，保证机床能全负荷地进行工作。为此需满足以下条件：

- (1) 使用具备自动高速加工功能的 CAM 软件。这样可减少操作者优化程序的工作量。
- (2) 使用能快速计算出刀具路径的 CAM 软件。批处理功能可将复杂程序的计算留在夜间进行。
- (3) 使用高性能的计算机并经常更新配置。确保计算机具有足够内存，以提高其运行效能。
- (4) 确保每台机床都配备有足够多的 CAM 编程人员。培训机床操作者，使他们能直接在车间进行加工编程，这样可最大限度地发挥他们的加工技能。
- (5) 确保对操作者进行了适当的高速加工编程培训。

3. 安排加工顺序

除最简单的零件外，高速加工总是涉及多个加工步骤。在高速加工编程中，最重要的是选取正确的加工顺序。Delcam 所遇到的用户问题，有很大一部分都是策略的使用顺序问题，而不是策略本身的使用问题。尽管 CAM 软件如 PowerMILL 的自动化水平日益提高和增强，

但它最终代替不了用户自己对加工零件和加工策略的理解。

安排加工顺序的基本原则:

- (1) 永远同时考虑欲切除的材料,而不是仅仅考虑要加工成形的几何形状。
- (2) 尽可能地将加工步骤减少到最少。
- (3) 尽可能地使用连续策略,例如,偏置路径通常比平行路径好。
- (4) 在可能情况下,应尽量避免垂直下刀,尽量从材料外部切入。
- (5) 在零件的一些临界区域应尽量保证不同步骤的精加工路径不重叠,这些区域如果出现路径重叠,势必会出现刀痕。
- (6) 尽量不换刀,使用单个刀具精加工临界区域。刀具设置错误常常导致精加工后加工表面出现刀痕。
- (7) 尽可能使用短刀具,长刀具更容易磨损。如有可能,应考虑重新定位零件方向,使用短刀具来加工不容易加工的区域。

高速加工对加工工程中的每个环节的要求都很苛刻。使用正确的物理设备是进行高速加工的基本要求,可精确指定这些物理设备的参数。很难具体指定高速加工中需要什么样的 CAD 和 CAM 功能,而 CAD 和 CAM 对高速加工的质量和稳定性具有显著影响。

1.4 CAD/CAM 技术在数控技术中应用

计算机辅助设计及制造 (CAD/CAM) 技术已经越来越多地应用在数控加工领域, CAD/CAM 软件技术也在飞速发展,出现了很多的软件产品;这些产品根据自身的开发档次及其适用度,被广泛应用在不同加工场合,大大节省了设计制造的时间周期,并在一定程度上提高了精度和速度。

1. 数控机床与 CAD/CAM

数控技术是机械加工技术、微电子技术、监控检测技术、计算机技术、自动控制技术等多种学科的集成,是一门新兴而又发展十分迅速的高新技术,对机电工业及国民经济的发展具有十分重要的作用。同时,数控技术也是发展自动化技术的基础。以数控技术为核心的数控机床、加工中心是具有代表性的、高水平的机电一体化产品,代表了当今世界自动化技术发展的前沿。

现代数控系统,采用了交流数字伺服系统。伺服电机的位置、速度和电流都实现数字化,作为伺服控制方式也采用了超出以前的控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应伺服系统。从世界伺服系统的发展来看,已经经历了步进电机→直流伺服电机→电机→交流伺服电机阶段。目前,国内大部分数控机床没有配备专门的计算机辅助制造软件。

在数控加工过程中, CAD (Computer Aided Design), 即计算机辅助设计是一种生产辅助工具,它将计算机高速而精确的运算功能,大容量存储和处理数据的功能,丰富而灵活的图形、文字处理功能与设计者的创造性思维能力、综合分析及逻辑判断能力结合起来,形成一个设计者思想与计算机处理能力紧密配合的系统,大大加快了设计进程。CAD 技术包括下列功能,即几何建模、计算分析、仿真与实验、绘图及技术文档生存、工程数据库的管理和共享。

CAM (Computer Aided Manufacturing) 即计算机辅助制造。CAM 内容广泛, 从狭义上讲指的是数控程序的编制, 包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成等。

计算机辅助设计及制造与数控机床加工结合, 是现在数控机床技术应用的主流, 能够达到非常理想的加工效果。在整个的流程中对于软件的要求很多, 除了机床的电气运行以外, 几乎都离不开计算机的软件制作。对于软件可以分为以下几个部分。

(1) 设计软件

进行零件的绘制, 如主流绘图软件 AutoCAD、UG、Pro-E, 三维艺术设计软件如 3DMax, Photoshop, 这里不仅仅局限于 CAD 软件, 也包括能用来实现加工的各种其他软件。

(2) 制造软件

通常指 CAM 软件, 最终生成加工代码。大部分的制造软件也具有建模绘图功能。根据制作应用的场合不同分为二维、二维半和三维 CAM 软件。如北航海尔的 CAXA, CAXA 制造工程师以及 Master CAM、Art CAM、Cimatron 等。制造软件生成标准的 G 代码, 然后将设计出的图形在机床上加工成型, 也就是将 NC 代码送入机床, 机床按照指令加工出来, 主要包括设置加工环境、设置加工工序、生成轨迹文件和后置处理等。

(3) 执行软件

机床执行 NC 代码加工, 其主要工作是计算机与数控机床的通信, 可以通过 COM 接口完成数据串行通信, 或者通过 LPT 实现并行通信。这就需要了解不同厂家对其通信接口应用不同连线 and 接口协议。但在实际中, 人们往往利用的是控制板卡即所谓的机床控制器。这些板卡通过数据线与数控机床进行联系, 而与人之间的交互则是由这些板卡提供的软件程序完成, 现在大部分的软件程序都是 Windows 界面, 简单易操作, 这些软件叫做执行软件, 就是根据代码指令指挥机床完成零件加工的软件。如德国的 Editasc, 美国的 PMAC 控制卡及其软件产品, 安装这些软件的同时就在系统中加载了运动卡的驱动程序, 还可利用这些驱动程序进行二次开发。

2. 不同软件数据间的文件转换

设计制造软件较多, 而应用范围各有不同, 所以不同软件间的交互也是设计者必须考虑到的问题。例如, 如何将 CAD 软件中设计的模具零件图形输入到 CAM 软件中, 再根据要求设置刀具参数和刀具路径, 利用 CAM 软件自动生成 NC 代码; 其他非 CAD 的设计零件的三维模型如何让 CAM 软件识别等。

各公司设计制造软件时已经考虑到了这个问题, 每个软件几乎都有与其他软件的数据转换接口, 这些接口体现在可以进行文件格式转换。这些软件支持多种文件格式, 这样就可以在一种软件中将文件保存或者导出成其他相关软件支持的文件格式, 然后再在相关软件中打开或者导入这个文件。

然而, 这种转换过程也同样分情况的不同要作适当地调整。比如, 很多 CAM 软件都接受 dxf 文件, 但是 CAD 实体文件以 dxf 格式转化到 CAM 则都必须用 CAD 实体图形进行分解; 3D Max 文件以 stl 格式转化到 Master CAM 中。同样, 也需要做一些修正, 因为在转化过程中可能会有数据的丢失。这样就需要在两个不同的软件中寻找一种最好的转换格式。

3. 后置处理文件

后置处理文件是 CAM 软件特有的一种在 NC 代码生成之前的设置文件。因为没有针对某种数控机床的特定 CAM 软件,而每个数控机床对 G 代码即 NC 代码的格式要求不同,对生成 NC 代码起决定作用的是 CAM 软件的后置文件,所以要对其进行适当地调整,以使进入机床的 NC 代码能够被识别。后置处理实际上是一个文本编辑处理过程,其作用就是将计算出的刀轨(刀位运动轨迹)以规定的标准格式转化为 NC 代码并输出,此代码再通过软件传输到数控机床的控制器上,由控制器按程序语句驱动机床加工。

例如, NUT 系列数控机床用于电气试验时,执行软件识别的 G 代码为 G00, G01, 所以 CAXA 设计在生成 G 代码之前要进行如下的设置:

(1) “应用”→“后置处理”→“后置设置”里的“后置处理设置”中有个“后置文件扩展名改为 .inc”。

(2) “后置处理设置”中将 G00, G01 之外的语句去掉。

(3) 将生成文件的开头语句和结尾语句去掉。

而在用 ArtCAM 生成 G 代码时要在 Art CAM 的后置文件 Axyz1con 中将所有不需要的机床执行软件在识别语句前全部用“;”屏蔽即可。

使用 Master CAM 则要在其“后处理程式”窗体中改变后缀名为 1PST 的文件,并对该文件也要做相应修改,删除不识别的语句说明,这样,在生成的 NC 代码文件中就不会出现此类语句。

(4) CAD/CAM 的集成系统

随着 CAD/CAM 技术和计算机技术的发展,人们不再满足于这两者的独立发展,从而出现了 CAM 和 CAD 的组合,即将两者集成(一体化),这样以适应设计与制造自动化的要求,特别是近年来出现的计算机集成制造系统(CIMS)的要求。这种一体化结合可使在 CAD 中设计生成的零件信息自动转换成 CAM 所需要的输入信息,防止了信息数据的丢失。产品设计、工艺规程设计和产品加工制造集成于一个系统中,提高了生产效率。因此,在数控加工应用中开发出数控加工 CAD/CAM 集成系统,集成系统就省去了中间繁琐的数据转换过程。CAD/CAM 集成的关键是信息的交换和共享,如 UGII、Euclid、Pro-E 等,在集成软件内部是以内部统一的数据格式直接从 CAD 系统获取产品几何模型。目前许多三维 CAD/CAM 软件提供实体设计模块和软件包。利用 UG 和 Pro-E 的实体建模功能,包括零件的几何形状,尺寸和技术要求;然后利用 Pro-E 特有的 CAM 软件包,建立起刀具库,完成对产品的工艺参数;最后通过软件包的翻译文件将刀具轨迹文件翻译成 G 代码,进入执行软件进行机床加工过程。利用高级语言 VC 完成将软件包及相关驱动集成的过程。

计算机的发展及软件业的发展,推动着计算机辅助设计软件的不断改进。CAD/CAM 技术正向着开放、集成、智能和标准化的方向发展,在数控机床上的运用越来越广泛,以 PC 技术为基础的 DNC 开放式系统成为软件的发展方向,而且在这个网络普及的时代, CAD/CAM 的技术也在网络化发展,借助 PC 技术可以方便地实现网络化通信,可以高效地满足生产的需求。比如在高校的实验室,实验设备的网络共享是极为迫切的,利用网络技术与 CAD/CAM 技术的结合,建立 CAD/CAM 设计→代码传输→机床执行→网络监控整条流程的共享,可实现共用几台甚至一台数控机床,充分利用设备,大大节省了资金和时间。

第2章 Mastercam X 三维造型设计与制造实例

CAD 技术的发展极大地改变了人们的设计手段和方法,更为重要的是 CAD 技术的广泛应用显著提高了设计效率和质量,大大地降低了设计师的劳动强度,特别是三维 CAD 技术的日益广泛应用使其体现得更为明显。

Mastercam 是由美国 CNC software 公司推出的基于 PC 机平台的 CAD / CAM 一体化软件,由于其卓越的设计及加工功能,在世界上拥有众多的忠实用户,被广泛应用于机械、电子和航空等领域。目前在我国制造业及教育界,Mastercam 由于其出色的表现,有着极为广阔的应用前景。

Mastercam 是一个 CAD / CAM 集成软件,Mastercam 系统包括设计 (CAD) 和加工 (CAM) 两大部分。其中设计 (CAD) 部分主要由 Design 模块来实现,它具有完整的曲线曲面功能,不仅可以设计和编辑二维、三维空间曲线,还可以生成方程曲线;并且具有丰富的曲面编辑功能。加工 (CAM) 部分主要由 Mill、Lathe 和 Wire 三大模块来实现,并且每个模块本身都包含有完整的设计 (CAD) 系统,其中 Mill 模块可以用来生成铣削加工刀具路径,并可进行外形铣削、型腔加工、钻孔加工、平面加工、曲面加工以及多轴加工等的模拟;Lathe 模块可以用来生成车削加工刀具路径,并可进行粗 / 精车、切槽以及车螺纹的加工模拟;Wire 模块用来生成线切割激光加工路径,从而能高效地编制出任何线切割加工程序,可进行 2~5 轴上下异形加工模拟,并支持各种 CNC 控制器。

2.1 Mastercam X 概述

Mastercam X 软件对其核心部分进行了重新设计,Mastercam X 采用全新技术,并与微软公司 Windows 技术更加紧密地结合,以便程序运行更流畅,设计更高效。

1. 新型设计操作窗口

Mastercam X 采用全新的设计界面,使设计人员能更高效率地进行设计开发,操作界面是一个完全可自定义的模块,Mastercam X 版本加强对“历史记录的操作”,允许建立适合自己的 Mastercam 开发设计风格。Mastercam X 能高效地进行快捷操作,提高设计效率。

2. 高速的产品开发性能

Mastercam X 中的 Z 轴刀具路径的执行效果可以提高 400%,另外 Mastercam X 中其他模块能加快程序设计,并保证设计的精度。

3. 更直观的 CAD 设计

Mastercam X 中的程序进行了重新设计,Mastercam X 的 CAD 设计在新版本中使模型化过程变得高效和灵活,特别是 eye towards (视角鸟瞰) 功能使得造型更容易。