

CAD/CAM LINGJIAN ZAOXING HE JIAGONG

CAD/CAM 零件造型和加工

高 帆 主 编
杨海亮 张 静 副主编

清华大学出版社



CAD/CAM LINGJIAN ZAOXING HE JIAGONG

CAD/CAM 零件造型和加工

高 帆 主 编
杨海亮 张 静 副主编



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

《CAD/CAM 零件造型和加工》主要是介绍 CAXA 制造工程师软件和 3D 打印技术软件 CREO2.0 的使用和制作案例,另外还提供了一些国赛和省赛的案例。

本书可作为中等职业学校数控专业或机电专业教材,可以作为 CAD/CAM 爱好者的入门教程,也可作为科普类读物进行推广。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 零件造型和加工/高帆主编. —北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-40822-2

I. ①C… II. ①高… III. ①机构元件—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TH13-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 163181 号

责任编辑:朱敏悦

封面设计:汉风唐韵

责任校对:王荣静

责任印制:何 芊



出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京亿浓世纪彩色印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.25 字 数:360 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版 印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.00 元

产品编号:066048-01

编 委 会

主 编：高 帆

副主编：杨海亮 杨 漫

李效利 张 静

张立场 许 倩

孔艳莉 马延庭

李 季 李东春

编委会：元玉祥 王付军 袁长有

朱 强 程素瑜 袁 红

肖彦臣 马翊钧 王 巍

前 言

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,落实《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》关于“加强中等职业教育教材建设,保证教学资源基本质量”的要求,确保新一轮中等职业教育教学改革顺利进行,全面提高教育教学质量,保证高质量教材进课堂,教育部对中等职业学校德育课、文化基础课等必修课程和部分大类专业基础课教材进行了统一规划并组织编写。本书是根据教育部共建共享联盟于2014年编写的《中等职业学校数控技术应用专业3D打印技术教学大纲》,同时参考数控操作工职业资格标准编写的。

本书主要介绍CAXA制造工程师软件和3D打印技术软件CREO2.0的使用和制作案例,另外还提供了一些国赛和省赛的案例。本书重点强调培养学生的思维创造和设计能力,并培养学生将设想变为产品的动手能力,编写过程中力求体现简单易学、新技术普及推广的特色。本教材编写模式新颖,采用团队通力协作、校企深度合作的模式才得以完成。

本书在内容处理上主要有以下几点说明:①教学模式采用理实一体化教学;②课程安排在二年级下学期更为合适;③学时可安排在60学时左右。

全书共七个项目,由安阳市中等职业技术学校高帆主编。具体分工如下:杨海亮负责项目一和项目二;杨漫和张静负责项目三;李效利和张立场负责项目四;孔艳莉和马延庭负责项目五;许倩负责项目六;高帆负责项目七。本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定,由朱强、肖彦臣主审。教育部评审专家、主审专家在评审及审稿过程中对本书内容及体系提出了很多中肯、宝贵的建议,在此对他们表示衷心的感谢!为便于教学,本书配套的网络资源,选择本书作为教材的教师和读者可登录<http://www.zh-cn.ptc.com>和<http://www.caxa.com>网站,注册、免费下载相关资源。

编写过程中,编者参阅了国内外出版的有关教材和资料,得到了北京大方数码科技有限公司郑州分公司和郑州叁迪科技有限公司的技术支持。同时感谢北京启迪时代科技有限公司对本书编写工作的大力支持,特别感谢该公司李季、李东春对本书进行了认真的审校及建议。在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2015年3月

目 录

项目一 CAXA 制造工程师应用基础知识	1
任务一 数控加工技术概述	1
任务二 自动编程基础知识	2
任务三 CAD/CAM 系统简介	4
任务四 CAXA 制造工程师软件介绍	9
项目二 曲线和曲面	15
任务一 曲线的绘制	15
任务二 曲线的编辑	16
任务三 几何变换	18
任务四 曲面的生成及编辑	19
任务五 五角星的框架绘制实例	40
任务六 鼠标的曲面线架绘制实例	44
项目三 特征造型入门	51
任务一 拉伸	51
任务二 旋转	53
任务三 导动	54
任务四 放样	55
任务五 曲面加厚	55
任务六 曲面裁剪	56
任务七 过渡	57
任务八 倒角	58
任务九 线性阵列	59
任务十 环形阵列	60
任务十一 基准面	60
任务十二 抽壳	61
任务十三 筋板	62
任务十四 孔	63
任务十五 拔模	64
任务十六 型腔	65
任务十七 分模	66
任务十八 实体布尔运算	67

项目四 加工轨迹的生成	69
任务一 数控加工功能的相关操作和相关设定	69
任务二 粗加工方法	82
任务三 精加工方法	88
任务四 补加工方法	100
任务五 后置处理	105
项目五 数控编程实例	113
任务一 手机模型的造型与加工	113
任务二 香皂模型的造型与加工	121
项目六 技能大赛试题	130
项目七 正向三维工程设计	138
任务一 简单零件设计	138
任务二 钣金造型	150
任务三 自由造型	170
任务四 曲面设计	184
任务五 装配设计	192
任务六 特殊曲面	201
参考文献	218
后记	219

项目一 CAXA 制造工程师应用基础知识

任务一 数控加工技术概述

1.1.1 数控加工的特点

数控加工，也称为 NC (Numerical Control) 加工，是以数值与符号构成的信息，控制机床实现自动运转。数控加工经历了半个世纪的发展已成为应用于当代各个制造领域的先进制造技术。数控加工的最大特征有两点：一是可以极大地提高精度，包括加工质量精度及加工时间误差精度；二是加工质量的重复性，可以稳定加工质量，保持加工零件质量的一致。也就是说，加工零件的质量及加工时间是由数控程序决定而不是由机床操作人员决定的。

数控加工具有以下优点：

- (1) 提高生产效率；
- (2) 不需熟练的机床操作人员；
- (3) 提高加工精度并且保持加工质量；
- (4) 可以减少工装夹具；
- (5) 可以减少各工序间的周转，原来需要用多道工序完成的工件，用数控加工可以一次装卡完成，缩短加工周期，提高生产效率。
- (6) 容易进行加工过程管理；
- (7) 可以减少检查工作量；
- (8) 可以降低废、次品率；
- (9) 便于设计变更，加工设定柔性；
- (10) 容易实现操作过程的自动化，一个人可以操作多台机床；
- (11) 操作容易，极大减轻体力劳动强度。

随着制造设备的数控化率不断提高，数控加工技术在我国得到日益广泛的使用，在模具行业，掌握数控技术与否及加工过程中的数控化率的高低，已成为企业是否具有竞争力的象征。数控加工技术应用的关键在于计算机辅助设计和制造 (CAD/CAM) 系统的质量。

如何进行数控加工程序的编制是影响数控加工效率及质量的关键，传统的手工编程方法复杂、烦琐，易于出错，难于检查，难以充分发挥数控机床的功能。在模具加工中，经常遇到形状复杂的零件，其形状用自由曲面来描述，采用手工编程方法基本上无法编制数控加工程序。近年来，由于计算机技术的迅速发展，计算机的图形处理功能有了很大增强，基于 CAD/CAM 技术进行图形交互的自动编程方法日趋成熟，这种方法速度快、精度高、直观、使用简便和便于检查。CAD/CAM 技术在工业发达国家已得到广泛使用。近年来在国内的应用也越来越普及，成为实现制造业技术进步的一种必然趋势。



1.1.2 数控加工

数控加工是将待加工零件进行数字化表达，数控机床按数字量控制刀具和零件的运动，从而实现零件加工的过程。

被加工零件采用线架、曲面、实体等几何体来表示，CAM 系统在零件几何体基础上生成刀具轨迹，经过后置处理生成加工代码，将加工代码通过传输介质传给数控机床，数控机床按数字量控制刀具运动，完成零件加工。其过程如图 1-0 所示。

【零件信息】→【CAD 系统造型】→【CAM 系统生成加工代码】→【数控机床】→【零件】

图 1-0

(1) 零件数据准备：系统自设计和造型功能或通过数据接口传入 CAD 数据，如 STEP, IGES, SAT, DXF, X-T 等；在实际的数控加工中，零件数据不仅仅来自图纸，特别在广泛采用 Internet 的今天，零件数据往往通过测量或通过标准数据接口传输等方式得到。

- (2) 确定粗加工、半精加工和精加工方案；
- (3) 生成各加工步骤的刀具轨迹；
- (4) 刀具轨迹仿真；
- (5) 后置输出加工代码；
- (6) 输出数控加工工艺技术文件；
- (7) 传给机床实现加工。

任务二 自动编程基础知识

1.2.1 自动编程的概念

前面介绍了数控编程中的手工编程，当零件形状比较简单时，可以采用这种方法进行加工程序的编制。但是，随着零件复杂程度的增加，数学计算量、程序段数目也将大大增加，这时如果单纯依靠手工编程将极其困难，甚至是不可能完成的。于是人们发明了一种软件系统，它可以代替人来完成数控加工程序的编制，这就是自动编程。

自动编程的特点是编程工作主要由计算机完成。在自动编程方式下，编程人员只需采用某种方式输入工件的几何信息以及工艺信息，计算机就可以自动完成数据处理、编写零件加工程序、制作程序信息载体以及程序检验的工作而无须人的参与。在目前的技术水平下，分析零件图纸以及工艺处理仍然需要人工来完成，但随着技术的进步，将来的数控自动编程系统将从只能处理几何参数发展到能够处理工艺参数，即按加工的材料、零件几何尺寸、公差等原始条件，自动选择刀具、决定工序和切削用量等数控加工中的全部信息。

1.2.2 自动编程的分类

自动编程技术发展迅速，至今已形成的种类繁多。这里仅介绍三种常见的分类方法。

1. 使用的计算机硬件种类划分

- 1) 微机自动编程。
- 2) 小型计算机自动编程。
- 3) 大型计算机自动编程。



- 4) 工作站自动编程。
- 5) 依靠机床本身的数控系统进行自动编程。

2. 按程序编制系统（编程机）与数控系统紧密程度划分

1) 离线自动编程：与数控系统相脱离，采用独立机器进行程序编制工作称为离线自动编程。其特点是可为多台数控机床编程，功能多而强，编程时不占用机床工作时间。随着计算机硬件价格的下降，离线编程将是未来的趋势。

2) 在线自动编程：数控系统不仅用于控制机床，而且用于自动编程，称为在线自动编程。

3. 按编程信息的输入方式划分

1) 语言自动编程：这是在自动编程初期发展起来的一种编程技术。语言自动编程的基本方法是：编程人员在分析零件加工工艺的基础上，采用编程系统所规定的数控语言，对零件的几何信息、工艺参数、切削加工时刀具和工件的相对运动轨迹和加工过程进行描述形成所谓“零件源程序”。然后，把零件源程序输入计算机，由存于计算机内的数控编程系统软件自动完成机床刀具运动轨迹数据的计算、加工程序的编制和控制介质的制备（或加工程序的输入）、所编程序的检查等工作。

2) 图形自动编程：这是一种先进的自动编程技术，目前很多 CAD/CAM 系统都采用这种方法。在这种方法中，编程人员直接输入各种图形要素，从而在计算机内部建立起加工对象的几何模型，然后编程人员在该模型上进行工艺规划、选择刀具、确定切削用量以及走刀方式，之后由计算机自动完成机床刀具运动轨迹数据的计算、加工程序的编制和控制介质的制备（或加工程序的输入）等工作。此外，计算机系统还能够对所生成的程序进行检查与模拟仿真，以消除错误，减少试切。

3) 其他输入方式的自动编程：除了前面两种主要的输入方式外，还有语音自动编程和数字化技术自动编程两种方式。语音自动编程是指采用语音识别技术，直接采用音频数据作为自动编程的输入。使用语音编程系统时，操作人员使用记录在计算机内部的词汇，通过话筒将所要进行的操作讲给编程系统，编程系统自会产生加工所需程序。数字化自动编程是指通过三坐标测量机，对已有零件或实物模型进行测量，然后将测得的数据直接送往数控编程系统，将其处理成数控加工指令，形成加工程序。

1.2.3 自动编程的发展

数控加工机床与编程技术两者的发展是紧密相关的。数控加工机床的性能提升推动了编程技术的发展，而编程手段的提高也促进了数控加工机床的发展，二者相互依赖。现代数控技术下在向高精度、高效率、高柔性和智能化方向发展，而编程方式也越来越丰富。

数控编程可分为机内编程和机外编程。机内编程指利用数控机床本身提供的交互功能进行编程；机外编程则是脱离数控机床本身在其他设备上编程。机内编程的方式随机床的不同而异，可以“手工”方式逐行输入控制代码（手工编程）、交互方式输入控制代码（会话编程）、图形方式输入控制代码（图形编程），甚至可以语音方式输入控制代码（语音编程）或通过高级语言方式输入控制代码（高级语言编程）。但机内编程一般来说只适用于简单形体，而且效率较低。机外编程也可以分成手工编程、计算机辅助 APT 编程和 CAD/CAM 编程等方式。机外编程由于其可以脱离数控机床进行数控编程，相对机内编程来说效率较高，是普遍采用的方式。随着编程技术的发展，机外编程处理能力不断增强，已可以进行十分复杂形体的灵敏控加工编程。

在 20 世纪 50 年代中期, MIT 伺服机构实验室实现了自动编程, 并公布了其研究成果, 即 APT 系统。60 年代初, APT 系统得到发展, 可以解决三维物体的连续加工编程, 之后经过不断的发展, 具有了雕塑曲面的编程功能。APT 系统所用的基本概念和基本思想, 对于自动编程技术的发展具有深远的意义, 即使目前, 大多数自动编程系统也在沿用其中的一些模式。例如, 编程中的三个控制面: 零件面 (PS)、导动面 (DS)、检查面 (CS) 的概念: 刀具与检查面的 ON、TO、PAST 关系等。

随着微电子技术和 CAD 技术的发展, 自动编程系统也逐渐过渡到以图形交互为基础的与 CAD 集成的 CAD/CAM 系统为主的编程方法。与以前的语言型自动编程系统相比, CAD/CAM 集成系统可以提供单一准确的产品几何模型, 几何模型的产生和处理手段灵活、多样、方便, 可以实现设计、制造一体化。

虽然数控编程的方式多种多样, 毋庸置疑, 目前占主导地位的是采用 CAD/CAM 数控编程系统进行编程。

任务三 CAD/CAM 系统简介

1.3.1 基于 CAD/CAM 的数控自动编程的基本步骤

目前, 基于 CAD/CAM 的数控自动编程的基本步骤如图 1-1 所示。

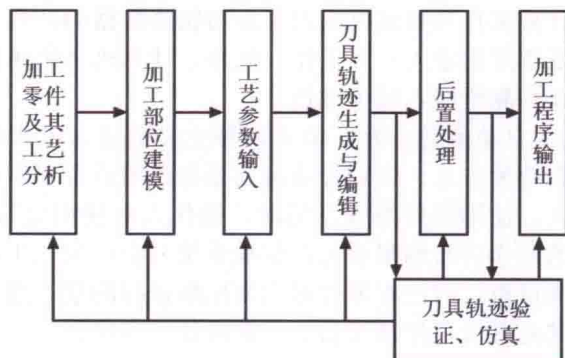


图 1-1 基于 CAD/CAM 数控自动编程基本步骤

1. 加工零件及其工艺分析

加工零件及其工艺分析是数控编程的基础。所以, 和手工编程、APT 语言编程一样, 基于 CAD/CAM 的数控编程也首先要进行这项工作。在目前计算机辅助工艺过程设计 (CAPP) 技术尚不完善的情况下, 该项工作还需人工完成。随着 CAPP 技术及机械制造集成技术 (CIMS) 的发展与完善, 这项工作必然为计算机所代替。加工零件及其工艺分析的主要任务有: ①零件几何尺寸、公差及精度要求的核准; ②确定加工方法、工夹量具及刀具; ③确定编程原点及编程坐标系; ④确定走刀路线及工艺参数。

2. 加工部位建模

加工部位建模是利用 CAD/CAM 集成数控编程软件的图形绘制、编辑修改、曲线曲面及实体造型等功能将零件被加工部位的几何形状准确绘制在计算机屏幕上, 同时在计算机内部以一定的数据结构对该图形加以记录。加工部位建模实质上是人将零件加工部位的



相关信息提供给计算机的一种手段,它是自动编程系统进行自动编程的依据和基础。随着建模技术及机械集成技术的发展,将来的数控编程软件将可以直接从 CAD 模块获得相关信息,而无须对加工部位再进行建模。

3. 工艺参数输入

在本步骤中,将利用编程系统的相关菜单与对话框等,将第一步分析的一些与工艺有关的参数输入系统中。所需输入的工艺参数有刀具类型、尺寸与材料;切削用量(主轴转速、进给速度、切削深度及加工余量);毛坯信息(尺寸、材料等);其他信息(安全平面、线性逼近误差、刀具轨迹间的残留高度、进退刀方式、走刀方式、冷却方式等)。当然,对于某一加工方式而言,可能只要求其中的部分工艺参数。随着 CAPP 技术的发展,这些工艺参数可以直接由 CAPP 系统来给出,这时工艺参数的输入这一步也就可以省掉了。

4. 刀具轨迹生成与编辑

完成上述操作后,编程系统将根据这些参数进行分析判断,自动完成有关基点、节点的计算,并对这些数据进行编排形成刀位数据,存入指定的刀位文件中。

刀具轨迹生成后,对于具备刀具轨迹显示及交互编辑功能的系统,还可以将刀具轨迹显示出来,如果有不太合适的地方,可以在人工交互方式下对刀具轨迹进行适当的编辑与修改。

5. 刀位轨迹验证、仿真

对于生成的刀位轨迹数据,还可以利用系统的验证与仿真模块检查其正确性与合理性。所谓刀具轨迹验证(Cldata Check 或 NC Verification)是指利用计算机图形显示器把加工过程中的零件模型、刀具轨迹、刀具外形一起显示出来,以模拟零件的加工过程,检查刀具轨迹是否正确、加工过程是否发生过切,所选择的刀具、走刀路线、进退刀方式是否合理、刀具与约束面是否发生干涉与碰撞。而仿真是指在计算机屏幕上,采用真实感图形显示技术,把加工过程中的零件模型、机床模型、夹具模型及刀具模型动态显示出来,模拟零件的实际加工过程。仿真过程的真实感较强,基本上具有试切加工的验证效果(对于由于刀具受力变形、刀具强度及韧性不够等问题仍然无法达到试切验证的目标)。

6. 后置处理

与 APT 语言自动编程一样,基于 CAD/CAM 的数控自动编程也需要进行后置处理,以便将刀位数据文件转换为数控系统所能接受的数控加工程序。

7. 加工程序输出

对于经后置处理而生成的数控加工程序,可以利用打印机打印出清单,供人工阅读;还可以直接驱动纸带穿孔机制作穿孔纸带,提供给有读带装置的机床控制系统使用。对于有标准通信接口的机床控制系统,还可以与编程计算机直接联机,由计算机将加工程序直接送给机床控制系统。

1.3.2 基于 CAD/CAM 的数控自动编程系统关键技术概述

1. 零件建模(造型)

零件建模是属于 CAD 范畴的一个概念。它大致研究三方面的内容:

- 1) 零件模型如何输入计算机。
- 2) 零件模型在计算机内部的表示方法(存储方法)。



3) 如何在计算机屏幕上显示零件。

根据零件模型输入、存储及显示方法的不同,现有的零件模型大致有四大类:①线框模型:通过输入、存储及显示构成零件的各个边来表示零件。其优点是数据量小、运算简单、对硬件要求低;缺点是描述能力有限,个别图形的含义不唯一。这种模型主要应用于工厂车间的布局、运动机构的模拟与干涉检查、加工中刀具轨迹的显示,也可用于建模过程的快速显示。②表面模型:通过输入、存储及显示构成零件表面的各个面及面上的各个边来表示零件。同线框模型相比,表面模型能精确表示零件表面的形状,信息更加完整,因而可以表示很多用线框模型无法表示的零件。但由于表面模型仅能描述零件表面情况,而无法描述零件内部情况,信息仍然是不完备的。利用表面模型可以进行消隐与渲染从而生成真实感图形。该模型可用于有限元网格划分及数控自动编程过程。③实体模型:通过将零件看成实心物体来描述零件。实体模型可以完备地表达物体的几何信息,因而广泛应用于 CAD/CAM、建筑效果图、影视动画、电子游戏等各个行业。但实体模型对工程至关重要的工艺信息却还没有涉及。④特征模型:通过具有工程意义的单元(如孔、槽等)构建、表达零件模型的一种方法。该方法在 20 世纪 80 年代后期获得了广泛接受与研究,是一种全新的、划时代的模型方法:对于零件设计者而言,机械零件的设计不在面向点、线、面等几何元素,而是具有特定功能的单元。而特征模型不仅可以完备表达零件的几何与拓扑信息,而且还包含精度、材料、技术要求等信息,从而使零件工艺设计、制造的自动化成为可能。需要指出的是,四种模型之间是有一定关系的:从线框模型到特征模型是一个表达信息不断完善的过程。低级模型是高级模型的基础;高级模型是低级模型的发展。

适合数控编程的模型主要是表面模型、实体模型及特征模型。现有技术条件下,应用最广泛的是表面模型,以表面模型为基础的 CAD/CAM 集成数控编程系统习惯成为图像数控编程系统。在以表面模型为基础的数控编程系统中,其零件的设计功能(或几何造型功能)是专为数控编程服务的,针对性强,易于使用,典型系统有 MasterCAM、Surf-CAM 等。基于实体模型的数控编程较为复杂,由于实体模型并非专为数控编程所设计,为了用于数控编程往往需对实体模型进行加工表面(或区域)的识别并进行工艺规划,最后才可以进行数控编程。特征模型的引入可以实现工艺分析设计的自动化,但特征模型尚处于研究之中,其成功应用于数控编程还需时日。

2. 刀具轨迹生成与编辑

刀具轨迹的生成一般包括走刀轨迹的安排、刀位点的计算、刀位点的优化与编排等三个步骤。编程系统对于刀具轨迹的具体处理一般分为二维轮廓加工、腔槽加工、曲面加工、多坐标曲面加工及车削加工等情况分别进行处理。下面仅介绍常用的前三种加工刀具轨迹的生成方法。

1) 二维轮廓加工:对于二维轮廓加工,一般需要先计算机中绘制出轮廓线,然后选择有序化串联方式将各轮廓线首尾相连,再定义进退刀方式及各基本参数(如粗精加工次数、步进距离等),系统即可以完成二维轮廓走刀轨迹的生成。

2) 腔槽加工:腔槽加工走刀轨迹的生成一般分精加工与粗加工两种。精加工一般较简单,只需沿型腔底面和轮廓走刀,精铣型腔底面和边界外形即可。粗加工一般有两种生成方式可供用户选择:行切方式与环切方式。如图 1-2、图 1-3 所示:行切方式加工时,首先使用者需提供走刀路线的角度(与 X 轴的夹角)及走刀方式是单向(one way)还是双向(zig-zag)、每一层粗加工的深度及型腔实际深度。之后,使用者还需指定腔槽的边



界。编程系统根据这些信息,首先,计算边界(含岛屿边界)的等距线,该等距线距离边界轮廓的距离为精加工余量。其次,从刀具路径方向与轮廓等距线的第一个切线切点开始逐行计算每一条行切刀具轨迹线与等距线的交点,生成各切削行的刀具轨迹线段。最后,从第一条刀具轨迹线开始,按照走刀方式,将各个刀具轨迹线按照一定方法相连就形成了所需的刀具运动轨迹。环切加工一般沿型腔边界走等距线,其优点是铣刀的切削方式不变(顺铣或逆铣)。环切法加工时,编程系统的计算方法是:首先,按一定偏置距离,对型腔轮廓的每一条边界曲线分别计算等距线。其次,通过对各个等距线进行必要的裁剪或延伸并进行一定的有效性检测以判断是否与岛屿或边界轮廓干涉从而连接形成封闭等距线。最后,将各个封闭等距线相连,就构成了所需刀具轨迹。

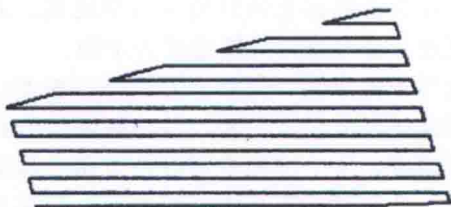


图 1-2 行切加工方式

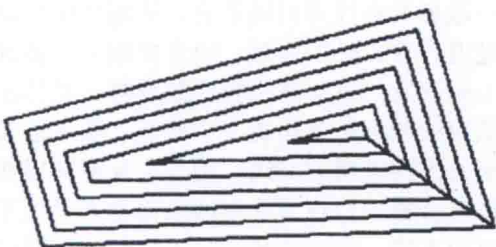


图 1-3 环切加工方式

3) 曲面加工:曲面的加工相对较为复杂,目前常用的刀具轨迹生成方法有参数线法、截面法、投影法等三种方法。

参数线法的基本思想是:任何一个曲面都可以写成参数方程 $[x, y, z] = [f_x(u, v), f_y(u, v), f_z(u, v)]$ 的形式。当 u 或 v 中某一个为常数时,形成空间的一条曲线。采用参数线法加工时,选择一个参数方向为切削行的走刀方向,另外一个参数方向为切削行的进给方向,通过一行行的切削最终生成整个刀具轨迹。参数线法计算简单,速度快,是曲面数控加工编程系统主要采用的方法,但当加工曲面的参数线不均匀时会造成刀具轨迹也不均匀,加工效率不高。

截面法加工的基本思想是:采用一组截面(可以是平面,也可以是回转柱面)去截取加工表面,截出一系列交线,将来刀具与加工表面的切触点就沿着这些交线运动,通过一定方法将这些交线连接在一起,就形成最终的刀具轨迹。截面法主要适用于曲面参数线分布不太均匀及由多个曲面形成的组合曲面的加工。

投影法的基本思路是将一组事先定义好的曲线(也称导动曲线)或轨迹投影到曲面上,然后将投影曲线作为刀触点轨迹,从而生成曲面的加工轨迹。投影法常用来处理其他方法难以获得满意效果的组合曲面和曲面型腔的加工。

4) 刀具轨迹的编辑:对于很多复杂曲面零件及模具而言,刀具轨迹计算完成后,都需要对刀具轨迹进行编辑与修改。这是因为:在零件模型的构造过程中,往往处于某种考虑对待加工表面及约束面进行延伸并构造辅助面,从而使生成的刀具轨迹超出加工表面范围需要进行裁剪和编辑;由于生成的曲面不光滑,使刀位点出现异常,需对刀位点进行修改;采用的走刀方式经检验不合理,需改变走刀方式等,都需进行刀具轨迹的编辑。

刀具轨迹的编辑一般分为文本编辑和图形编辑两种。文本编辑是编程员直接利用任何一个文本编辑器对生成的刀位数据文件进行编辑与修改。而图形编辑方式则是在快速生成的刀具轨迹图形上直接修改。目前,基于 CAD/CAM 的自动编程系统均采用了后一种方法。刀位轨迹编辑一般包括刀位点、切削段、切削行、切削块的删除、复制、粘贴、插



入、移动、延伸、修剪、几何变换,刀位点的匀化,走刀方式变化时刀具轨迹的重新编排以及刀具轨迹的加载与存储等。

5) 刀位轨迹的验证:目前,刀具轨迹验证的方法较多,常见的有显示法验证、截面法验证、距离验证和加工过程动态仿真验证四种方法。

显示法验证就是将生成的刀位轨迹、加工表面与约束面及刀具在计算机屏幕上显示出来,以便编程员判断所生成刀具轨迹的正确性与合理性。根据显示内容的不同,又有刀具轨迹显示验证、加工表面与刀位轨迹的组合显示验证及组合模拟显示验证三种。刀具轨迹显示验证就是在计算机屏幕上仅仅显示生成的刀具轨迹,以便编程员判断刀具轨迹是否连续,检查刀位计算是否正确;加工表面与刀位轨迹的组合显示验证就是将刀具轨迹与加工表面一起显示在计算机屏幕上,从而使编程员可以进一步判断刀具轨迹是否正确,走刀路线、进退刀方式是否合理。组合模拟显示验证是在计算机屏幕上同时显示刀位轨迹、刀具和加工表面及约束面并进行消隐处理。其作用是更进一步检查刀具轨迹是否正确。

截面法验证是先构造一个截面,然后求该截面与待验证的刀位点上刀具外形表面、加工表面及其约束面的交线,构成一幅截面图在计算机屏幕上显示出来,从而判断所选择的刀具是否合理,检查刀具与约束面是否发生干涉与碰撞,加工过程是否存在过切。根据所用截面的不同,截面法验证又可以分为横截面验证、纵截面验证及曲截面验证。如果所取截面为平面且大致垂直于刀具轴线方向,则为横截面验证;如果所取截面为平面且通过刀具轴线,则为纵截面验证;如果所取截面为曲面,则为曲截面验证。

距离验证是一种定量验证方法。它通过不断计算刀具表面和加工表面及约束面之间的距离,来判断是否发生过切与干涉。

加工过程动态仿真验证是通过在计算机屏幕上模仿加工过程来进行验证的。现代数控加工过程的动态仿真验证的典型方法有两种:一种是只显示刀具模型和零件模型的加工过程动态仿真,典型代表有 UGII CAD/CAM 集成系统中的 Vericut 动态仿真工具和 MasterCAM 系统的 N-See 动态仿真工具;另一种是同时显示刀具模型、零件模型、夹具模型和机床模型的机床仿真系统,典型的代表 UGII CAD/CAM 集成系统中的 Unisim 机床仿真工具。随着虚拟现实技术的引入和刀具、零件、夹具和机床模型的完善(特别是力学及材料模型的建立与完善),加工过程动态仿真将更加逼真准确,完全可以取代试切环节,从而提高效率、降低成本。

3. 后置处理

上述生成的刀位文件还不能用于数控加工,还需要将刀位文件转化为特定机床所能执行的数控程序,这就是后置处理。为什么不让自动编程中刀位轨迹计算模块直接生成为数控加工程序?这是因为不同数控系统对数控代码的定义、格式有所不同。因此,配备不同的后置处理程序可以使计算机一次计算的结果使用于多个数控系统。

后置处理系统可分为专用后置处理系统和通用后置处理系统。

专用后置处理系统是针对专用数控系统和特定数控机床而开发的后置处理程序。一般而言,不同数控系统和机床就需要不同的专用后置处理系统,因而一个通用编程系统往往需要提供大量的专用后置处理程序。由于这类后置处理程序针对性强,程序结构比较简单,实现起来比较容易,因此在过去的数控编程系统中比较常见,目前在一些专用系统中仍然普遍使用。

通用后置处理系统是指能针对不同类型的数控系统的要求,将刀位源文件进行处理生成数控程序的后置处理程序。使用通用后置处理时,用户首先需要编制数控系统数据文件



(NDF) 或机床数据文件 (MDF) 以便将数控系统或数控机床信息提供给编程系统。之后, 将满足标准格式的刀位源文件和数控系统数据文件或机床数据文件输入通用后置处理系统中, 后置处理系统就可以产生符合该数控系统指令及格式的数控程序。数控系统数据文件或机床数据文件可以按照系统给定的格式手工编写, 也可以以对话形式一一回答系统提出的问题, 然后由系统自动生成。有些后置处理系统也提供市场上常见的各种数控系统的数据文件。特别要说明的是, 目前国际上流行的商品化 CAD/CAM 系统中, 刀位源文件格式都符合 IGES 标准, 它们所带的通用后置处理系统具有一定的通用性。

任务四 CAXA 制造工程师软件介绍

1.4.1 CAXA 制造工程师简介

20 世纪 90 年代以前, 市场上销售的 CAD/CAM 软件基本上为国外的软件系统。90 年代以后, 国内在 CAD/CAM 技术研究和软件开发方面进行了卓有成效的工作, 尤其是在以 PC 机动性平台的软件系统。其功能已能与国外同类软件相当, 并在操作性、本地化服务方面具有优势。

一个好的数控编程系统, 已经不是一种仅仅是绘图、做轨迹、出加工代码, 还有一种先进的加工工艺的综合, 先进加工经验的记录、继承和发展。

北航海尔软件公司经过多年来的不懈努力, 推出了 CAXA 制造工程师数控编程系统。这套系统集成 CAD、CAM 于一体, 功能强大、易学易用、工艺性好、代码质量高, 现在已经在全国上千家企业的使用, 并受到好评, 不但降低了投入成本, 而且提高了经济效益。CAXA 制造工程师数控编程系统, 现正在一个更高的起点上腾飞。

1.4.2 利用 CAXA 制造工程师 CAD/CAM 系统进行自动编程的基本步骤

CAM 系统的编程基本步骤如下:

- 1) 理解二维图纸或其他模型数据;
 - 2) 建立加工模型或通过数据接口读入;
 - 3) 确定加工工艺 (装卡、刀具等);
 - 4) 生成刀具轨迹;
 - 5) 加工仿真;
 - 6) 产生后置代码;
 - 7) 输出加工代码;
- 现在分别予以说明。

1. 加工工艺的确定

加工工艺的确定目前主要依靠人工进行, 其主要内容有:

- 1) 核准加工零件的尺寸、公差和精度要求;
- 2) 确定装卡位置;
- 3) 选择刀具;
- 4) 确定加工路线;
- 5) 选定工艺参数。

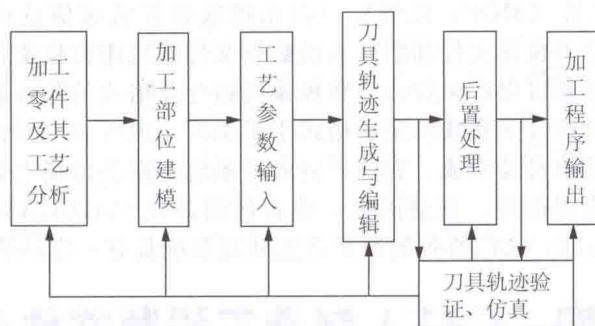


图 1-4

2. 加工模型建立

利用 CAM 系统提供的图形生成和编辑功能将零件的被加工部位绘制在计算机屏幕上。作为计算机自动生成刀具轨迹的依据。

加工模型的建立是通过人机交互方式进行的。被加工零件一般用工程图的形式表达在图纸上，用户可根据图纸建立三维加工模型。针对这种需求，CAM 系统应提供强大几何建模功能，不仅应能生成常用的直线和圆弧，还应提供复杂的样条曲线、组合曲线、各种规则的和不规则的曲面等的造型方法，并提供种过渡、裁剪、几何变换等编辑手段。

被加工零件数据也可能由其他 CAD/CAM 系统传入，因此 CAM 系统针对此类需求应提供标准的数据接口，如 DXF、IGES、STEP 等。由于分工越来越细，企业之间的协作越来越频繁，这种形式目前越来越普遍。

被加工零件的外形不可能由测量机测量得到，针对此类的需求，CAM 系统应提供读入测量数据的功能，按一定的格式给出的数据，系统自动生成零件的外形曲面。

3. 刀具轨迹生成

建立了加工模型后，即可利用 CAXA 制造工程师系统提供的多种形式的刀具轨迹生成功能进行数控编程。CAXA 制造工程师中提供了十余种加工轨迹生成的方法。用户可以根据所要加工工件的形状特点、不同的工艺要求和精度要求，灵活地选用系统中提供的各种加工方式和加工参数等，方便快速地生成所需要的刀具轨迹，即刀具的切削路径。CAXA 制造工程师在研制过程中深入工厂车间并有自己的实验基地，它不仅集成了北航多年科研方面的成果，也集成了工厂中的加工工艺经验，它是二者的完美结合。在 CAXA 制造工程师中做刀具轨迹，已经不是一种单纯的数值计算，而是工厂中数控加工经验的生动体现，也是个人加工经验的积累，他人加工经验的继承。

为满足特殊的工艺需要，CAXA 制造工程师能够对已生成的刀具轨迹进行编辑。CAXA 制造工程师还可通过模拟仿真检验生成的刀具轨迹的正确性和是否有过切产生。并可通过代码校核，用图形方法检验加工代码的正确性。

4. 后置代码生成

在屏幕上用图形形式显示的刀具轨迹要变成可以控制机床的代码，需进行所谓后置处理。后置处理的目的是形成数控指令文件，也就是平时我们经常说的 G 代码程序或 NC 程序。CAXA 制造工程师提供的后置处理功能是非常灵活的，它可以通过用户自己修改某些设置而适用各自的机床要求。用户按机床规定的格式进行定制，即可方便地生成和特定机床相匹配的加工代码。