

实用数控编程技术 与应用实例

单岩 王卫兵 编著

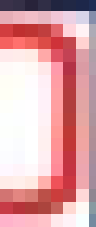


 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用数控编程技术 与应用实例

主编 王立刚 副主编



机械工业出版社



实用数控编程技术与应用实例

单岩 王卫兵 编著



机械工业出版社

本书讲授目前广泛采用的基于 CAD/CAM 软件的实用数控加工编程技术。主要内容包括：数控加工基本原理、数控机床简介、数控程序基础（含手工编程）；利用 CAD/CAM 软件进行 3 坐标数控铣床（包括加工中心）的 NC 编程的思路、方法和工艺处理；常用 CAM 软件的数控编程使用方法及实用技巧；数控编程实例等。

本书可作为 CAM 技术的自学教材、大中专院校 CAM 专业课程教材以及 CAM 技术各级培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

实用数控编程技术与应用实例/单岩，王卫兵编著. —北京：机械工业出版社，2003.7

ISBN 7-111-12272-0

I. 实... II. ①单... ②王... III. 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 039968 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：周国萍

封面设计：陈 沛 责任印制：闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8 印张·307 千字

0 001—5 000 册

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控加工是现代制造技术的典型代表，在制造业的各个领域如航空航天、汽车摩托车、模具、精密机械、家用电器行业等有着日益广泛的应用，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、持续的增长。

数控编程是数控加工应用技术的主要内容，同时它也是计算机辅助制造（CAM）技术的核心。随着计算机应用技术的发展，数控编程目前基本采用基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程技术，它是包含了数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件操作等多方面知识与经验的专业技能。

在国内制造业对数控加工高速增长的需求形势下，数控编程技术人材出现了严重短缺，该方向已成为就业市场上的热点，对该项技术的培训需求也不断增长。

虽然市场上的数控编程培训教材种类较多，但真正适用于学习交互式图形编程技术的培训教材却不多见。针对这一现状，我们组织编写了这一数控编程培训教程。它以目前应用最广泛的 3 坐标铣床的交互式图形编程为培训目标，讲授数控加工的基础知识、交互式图形编程实现方法、技术要点、工艺处理等实用知识和技能。同时，以典型实例介绍了利用当前的主流 CAD/CAM 软件实现数控编程的基本方法，使读者高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。

本教材可作为 CAD/CAM 技术的自学教材、大中专院校 CAD/CAM 专业课程教材以及 CAD/CAM 技术各级培训教材。

杭州浙大旭日科技开发有限公司的工程师为本书提供了实例并完成部分例图绘制，浙江科技学院吴立军老师对本书进行了审阅并提出大量修改意见，在此深表谢意。

恳请读者对本教材中的不足提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进。

作 者

2003 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 概述 1

- 1.1 数控加工及数控编程技术 1
- 1.2 数控编程技术的评估 2
- 1.3 如何学习数控编程技术 2
- 1.4 关于本书 4

第 2 章 数控加工基础知识 7

- 2.1 数控加工基本原理 7
 - 2.1.1 CAM 系统简述 7
 - 2.1.2 数控加工基本原理 8
 - 2.1.3 数控加工刀位计算 9
- 2.2 数控机床 10
 - 2.2.1 数控机床的发展 10
 - 2.2.2 数控机床结构 11
 - 2.2.3 数控机床的分类 12
 - 2.2.4 数控机床的坐标系 13
 - 2.2.5 数控机床的选择 14
- 2.3 数控程序基础 15
 - 2.3.1 数控编程发展简况 15
 - 2.3.2 数控程序的结构 16
 - 2.3.3 常用的数控指令 16
 - 2.3.4 手工编程示例 18

第 3 章 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程 21

- 3.1 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程简述 21
- 3.2 基本实现过程 22
- 3.3 数控编程的质量 23

- 3.4 CAD/CAM 软件数控编程功能分析及学习要点 24
- 3.5 常用 CAD/CAM 软件简介 25

第 4 章 交互式图形编程中的工艺处理 26

- 4.1 数控加工的工艺特点 26
- 4.2 工艺分析和规划 27
 - 4.2.1 加工对象及加工区域规划 27
 - 4.2.2 加工工艺路线规划 27
 - 4.2.3 加工工艺和加工方式规划 28
- 4.3 参数设置 29
 - 4.3.1 加工对象及加工区域的设置 29
 - 4.3.2 刀具的选择及参数设置 30
 - 4.3.3 切削方式设置 39
 - 4.3.4 加工工艺参数设置 50
- 4.4 数控编程的误差控制 59
 - 4.4.1 刀轨计算误差 60
 - 4.4.2 残余高度的控制 60
- 4.5 模具数控加工概述 66
 - 4.5.1 模具加工的特点 66
 - 4.5.2 模具数控加工的技术要点 67
 - 4.5.3 应用于模具数控编程的软件应具备的功能 68
- 4.6 高速铣数控编程概述 68

4.6.1 高速加工的工艺设置	68	6.5.4 投影式精加工	107
4.6.2 高速加工程序的编制	69	6.5.5 口袋式粗加工	107
4.6.3 充分发挥 CAM 软件的 高速加工特性	72	6.5.6 等高线精加工	111
第 5 章 数控程序的后处理	74	6.5.7 放射状精加工	112
5.1 数控程序的后处理 系统	74	6.6 刀具路径操作管理	113
5.1.1 通用后处理系统	74	6.6.1 操作管理器	113
5.1.2 后处理的机床资料文件 和刀位源文件	76	6.6.2 刀具路径模拟	113
5.2 常用软件的后处理设置	79	6.6.3 实体切削模拟	115
5.2.1 MasterCAM 软件的后 处理设置	79	6.6.4 后处理	115
5.2.2 UG 的后处理设置	82	第 7 章 Cimatron 的数控编程	117
5.3 数控程序的传输	89	7.1 Cimatron 简介和 基本操作	117
5.3.1 数控程序的传送方式	89	7.1.1 简介	117
5.3.2 计算机与数控设备 NC 的通信方式及实现	90	7.1.2 Cimatron 的启动	118
5.3.3 NC 通信软件	91	7.1.3 Cimatron 的工作界面	119
第 6 章 MasterCAM 的数控编程	94	7.1.4 Cimatron 中鼠标的使用	121
6.1 MasterCAM 简介和基本操作	94	7.2 Cimatron 编程的基本步骤	122
6.1.1 简介	94	7.3 Cimatron 的机械参数设置	124
6.1.2 启动 MasterCAM	95	7.3.1 刀具的选择	124
6.1.3 MasterCAM 的操作 界面	95	7.3.2 转速的设置	124
6.2 MasterCAM 的刀具管理	97	7.3.3 进给的设置	125
6.3 刀具路径类型	100	7.3.4 其他参数设置	127
6.4 数控加工共用参数的 设置	102	7.4 Cimatron 的刀具设置	127
6.4.1 刀具参数设置	102	7.5 Cimatron 常用刀轨 形式说明	128
6.4.2 曲面参数设置	102	7.5.1 外形加工 (PROFILE)	129
6.5 数控加工刀具路径的建立	104	7.5.2 口袋加工 (POCKET)	133
6.5.1 平行式粗加工	104	7.5.3 沿面切削 (SURMILL)	137
6.5.2 平行式精加工	106	7.5.4 对应轮廓限定曲面 加工 (SURCLR)	140
6.5.3 投影式粗加工	106	7.5.5 环绕投影 (SUFPKT)	142
		7.5.6 环绕等高 (WCUT)	145
		7.6 Cimatron 的路径管理	147
		7.6.1 路径管理应用功能表	148
		7.6.2 程序状态区	149

7.7 Cimatron 的模拟切削	150	8.5.1 功能说明	173
第 8 章 UG 数控编程	153	8.5.2 方法、几何体和刀具 ...	175
8.1 UG 简介	153	8.5.3 加工几何图形	175
8.2 UG 的基本操作	155	8.5.4 用户选项	176
8.2.1 UG 的工作界面	155	8.6 3 轴连续曲面加工	
8.2.2 鼠标按键操作	159	(Fixed Contour)	188
8.2.3 对话框应用方式	160	8.6.1 3 轴连续曲面	
8.2.4 操作导航器的操作	161	加工的特点	188
8.2.5 进入制造模块	162	8.6.2 3 轴连续曲面	
8.3 UG 的刀具管理	163	加工的操作	188
8.3.1 刀具形式参数	163	8.6.3 驱动方式	189
8.3.2 刀具建立	167	第 9 章 数控编程实例	200
8.3.3 刀具管理	167	9.1 鼠标凹模 UG 数控编程	200
8.4 CLSF 管理器	168	9.1.1 数控程序的编制	200
8.4.1 过滤方式	168	9.1.2 数控程序后处理	227
8.4.2 刀轨操作	169	9.1.3 编制数控加工程序表 ...	230
8.4.3 CLSF 操作	170	9.2 鼠标凸模的 Cimatron	
8.4.4 后处理	170	的数控编程实例	231
8.5 平面加工及穴形加工	172	参考文献	247

第 1 章 概 述

1.1 数控加工及数控编程技术

数控 (Numerical Control, 简称 NC) 的定义是: 用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。数控加工是计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术中最能明显发挥效益的生产环节之一。它不仅大大提高了具有复杂型面的产品的制造能力和制造效率, 而且保证产品达到极高的加工精度和加工质量。

数控加工技术集传统的机械制造、计算机、现代控制、传感检测、信息处理、光机电技术于一体, 是现代机械制造技术的基础, 它的广泛应用, 给机械制造业的生产方式、产品结构带来了深刻的变化。数控技术的水平和普及程度, 已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

近年来, 国内制造业发展迅速, 全球制造业向我国转移的趋势十分明显。与此同时, 代表着先进制造技术的数控加工在制造业中的应用也日益普及。据统计, 早在 1994 年以前数控加工已在我国 144 个机械制造行业中得到应用, 而在一些技术密集性的制造行业 (如模具、汽车、飞机等), 数控加工已成为一种常规的和必须的加工手段。例如, 仅在浙江省台州市黄岩区就有数控加工铣床 400 余台, 而且多数是在最近的两三年内发展起来的。

为了适应这一发展趋势, 国家将以数控机床为代表的基础机械确定为近期行业发展的重点之一。

由于数控加工是将数字化控制技术应用传统的加工技术之中, 因此覆盖了几乎所有的加工领域, 如车、铣、刨、镗、磨、钻、拉、切断、插齿、电加工、板材成型、管料成型等等。

与传统的加工手段相比, 数控加工的优点表现在:

(1) 自动化程度高。一般情况下, 操作者只要完成工件的装夹、刀具定位和更换, 在机床旁边观察、监督机床的运行情况, 并进行一些必要的状态调整即可。

(2) 加工质量稳定。由于数控加工自动化程度高, 人工干预少, 因此基本消除了人的技术水平、情绪、体力等因素的波动对加工结果的影响。

(3) 新产品制造效率高。由于数控加工的装夹及准备较简单, 同时加工是由程序控制的, 因此对不同的产品往往只需要编制新的程序即可, 而不

需要设计新的工装，因此可有效缩短新产品的制造周期。

(4) 复杂产品加工能力强。数控加工的刀位计算是由 CAD/CAM 系统完成的，不需要人工的计算，因此能够高效率高质量地处理复杂的加工表面。

可以说，生产对象的形状越复杂、加工精度要求越高、设计更改越频繁、生产批量越小，数控加工的优越性就发挥得越明显。

数控机床的使用效果很大程度上取决于其应用技术水平的高低，而数控编程则是数控加工应用技术的核心。

数控编程技术包含了数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件操作等多方面知识与经验，其主要任务是计算加工走刀中的刀位点（简称 CL 点）。根据数控加工的类型，数控编程可分为数控铣加工编程、数控车加工编程、数控电加工编程等，而数控铣加工编程又可分为 2.5 坐标铣加工编程、3 坐标铣加工编程和多坐标（如 4 坐标、5 坐标）铣加工编程等。3 坐标铣加工是最常用的一种加工类型，而 3 坐标铣加工编程是目前应用最广泛的数控编程技术。

由于 CAD/CAM 技术在国内的应用起步较晚，因此在国内制造业对数控加工高速增长的需求形势下，数控编程技术人材出现了严重短缺，已成为就业市场上的需求热点。

1.2 数控编程技术的评估

高水平的 NC 程序员应当具备以下的条件：

(1) 掌握一定的基础知识，包括数控机床基本结构、NC 加工基本原理、机械加工工艺及必要的 CAD 基础等。

(2) 全面地理解和掌握 NC 编程的基本过程和关键技术。

(3) 熟练运用一种 CAD/CAM 软件。

(4) 有丰富的实际加工经验。有时，还需要掌握一些相关学科的知识 and 经验（如模具等）。

判别一个 NC 程序员水平的依据主要有以下几条：

(1) 所编制的 NC 程序的质量。

(2) NC 编程的工作效率。

(3) NC 编程的可靠性和规范化程度（包括工艺规划、数据文件管理、保存和交接的规范化程度等）。

1.3 如何学习数控编程技术

学好数控编程技术需要具备以下几个基本条件：

- (1) 具有基本的学习资质，即学员具备一定的学习能力和预备知识。
- (2) 接受良好的培训，包括选择好的培训机构和培训教材。
- (3) 在实践中积累经验。

选择培训教材应考虑的因素包括：

(1) 教材的内容应适合于实际编程应用的需要，以目前广泛采用的基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程技术为主要内容。在讲授软件操作、编程方法等实用技术的同时也应包含一定的基础知识，使读者知其然，更知其所以然。

(2) 教材的结构。数控编程技术的学习是一个分阶段不断提高的过程，因此教材的内容应按不同的学习阶段进行合理的分配。同时，从应用角度对内容进行系统的归纳和分类，便于读者从整体上理解和记忆。

(3) 教材的写作。做到通俗易懂，以适应不同层次读者的需要。

接受一定的培训可起到三个作用：

(1) 面对面地讲解能使学员更快地领会学习内容。同时，在培训场所容易形成良好的学习氛围，从而提高学习效率，缩短学习时间。

(2) 及时纠正和消除学员在学习过程中产生的偏差和误区，保证学习质量。

(3) 对于基础较差的学员，培训可弥补其预备知识的不足。

选择培训机构应考虑的因素包括：

(1) 整体技术水平和实力。它直接决定了培训机构的培训能力以及是否能成为学员以后的技术发展提供有力的技术支持。

(2) 教师的专业素质，这不仅是指技术水平，也包括教师的授课水平。

(3) 培训方案的合理性和实用性，其中包括培训内容的选择和组织、授课的过程规划、管理和控制等等。

(4) 培训的广度和深度，即是否能提供 CAD/CAM 技术的全方位培训，是否能提供持续深入的培训。对数控编程学习而言，培训机构最好能够提供基本的数控机床实际加工练习课程，使学员建立实际加工的初步概念，从而能顺利地完成了从学习向应用的过渡。

(5) 培训的周期和费用。

学习数控编程技术，要求学员首先掌握一定的预备知识和技能，包括：

- (1) 基本的几何知识（高中以上即可）和机械制图基础。
- (2) 基础英语（高中以上即可）。
- (3) 机械加工常识。
- (4) 基本的三维造型技能。

应当说明的是，通过自学掌握数控加工技术的难度较大，应用风险也较

大, 因此建议通过培训完成。

数控编程的学习内容和学习过程基本可以归纳为三个阶段:

第一阶段: 基础知识的学习。包括数控加工原理、数控程序、数控加工工艺等方面的基础知识。

第二阶段: 数控编程技术的学习。在初步了解手工编程的基础上, 重点学习基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程技术。

第三阶段: 数控编程与加工练习。包括一定数量的实际产品的数控编程练习和实际加工练习。

同其他知识和技能的学习一样, 掌握正确的学习方法对提高数控编程技术的学习效率和质量有十分重要的作用。那么, 什么是正确的学习方法呢? 下面是我们的几点建议:

(1) 集中精力打歼灭战, 在一个较短的时间内集中完成一个学习目标, 并及时加以应用, 避免进行马拉松式的学习。

(2) 对软件功能进行合理的分类, 这样不仅可提高记忆效率, 而且有助于从整体上把握软件功能的应用。

(3) 从一开始就注重培养规范的操作习惯, 培养严谨、细致的工作作风, 这一点往往比单纯学习技术更为重要。

(4) 将平时所遇到的问题、失误和学习要点记录下来, 这种积累的过程就是水平不断提高的过程。

需要特别指出的是, 实践经验是数控编程技术的重要组成部分, 只能通过实际加工获得, 这是任何一本数控加工培训教材都不可能替代的。

最后, 如同学习其他技术一样, 要做到“在战略上藐视敌人, 在战术上重视敌人”, 既要完成学习目标树立坚定的信心, 同时又要脚踏实地地对待每一个学习环节。

1.4 关于本书

尽管数控加工在国内已呈普及的趋势, 培训需求旺盛, 各种数控加工教材也不断推出。但真正与当前数控加工应用技术现状相适应的实用数控加工培训教材却不多见。

总体上看, 目前 CAD/CAM 类书籍可分成两大类:

(1) 应用基础类。这类书籍的内容偏重技术基础。教学内容与目前的技术水平和应用需求存在脱节的现象, 许多内容比较陈旧, 未体现出 CAD/CAM 的发展现状和应用实际。例如数控类书籍基本上比较偏重于数控基本原理和技术基础的讲授, 在数控编程方面则仅有手工编程和 APT 语言

(自动编程)的内容。而事实上,在 CAD/CAM 软件日益普及的今天,已较少使用手工编程,而 APT 语言几乎已经不再使用。

(2) 软件操作类。讲授某一 CAD/CAM 软件中数控编程功能的操作方法。这类书籍虽然适应了人们对交互式图形编程技术的培训需求,但其讲授内容往往局限于 CAD/CAM 软件的使用,而缺少数控加工基本原理、应用思路、加工工艺等方面内容,而这些内容恰恰是从事数控编程工作所必须具备的。

基于以上现状,我们组织编写了这本数控编程培训教材,并确定如下编写原则:

(1) 本书围绕当前应用最为广泛的三坐标数控铣加工的 NC 编程进行组织,主要讲授当前占主导地位的基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程技术,因此在内容上完全符合当前 CAM 技术的应用现状。

(2) 在总结作者及其所在实验室多年的 NC 编程实践经验和教学培训经验的基础上,注重实用技术和基础知识的统一、CAD/CAM 软件应用与加工工艺基础知识的统一、软件功能讲解与使用思路的有机统一。以若干典型 CAD/CAM 软件及典型应用实例为背景,重点突出 NC 编程的基本思路和关键问题,使读者能够把握学习的要点,迅速达到独立进行一般复杂程度的 NC 编程的水平。

(3) 语言生动形象,深入浅出,充分考虑读者的不同层次,避免学术化倾向。

本书的内容分为三个部分:

(1) 数控编程基础知识,包括数控加工基本原理、数控机床简介、数控程序基础等。

(2) 交互式图形编程技术,包括使用 CAD/CAM 软件进行数控编程的实现方法和步骤、技术要点、工艺处理、后处理等。在此基础上,介绍了目前常用的 CAD/CAM 软件及其数控编程的实现方法。

(3) 数控编程实例分析,包括典型产品(如模具)的数控编程实例,以及能够体现出编程技巧的实例。

本教程的编写目标是培养企业 CAM 工程师,应用背景十分明确,其读者定位是:

(1) 面临毕业分配的中等、高等院校学生,迫切需要掌握一种热门的实用技能,以便在就业竞争中处于较有利的位置。

(2) 机械、模具等相关行业的工程师,需要更新职业技能,以便在已有工作基础上有更进一步的发展。

不难看出,这类读者群特征是:① 基础知识水平差别大,从中专(甚

至职业高中)到硕士均有分布;② 学习目标明确,即掌握可直接应用的实用技术;③ 学习周期短,一般应在三个月内完成,以便尽快产生效益。

满足这些读者的培训需求,正是本书的编写宗旨。恳切希望读者对本书提出好的意见和建议,以便我们不断改进,使本教材真正成为学习实用数控编程技术的得力工具。

第 2 章 数控加工基础知识

2.1 数控加工基本原理

2.1.1 CAM 系统简述

一个典型的 CAM 系统由两个部分组成：一是计算机辅助编程系统；二是数控加工设备，如图 2-1 所示。

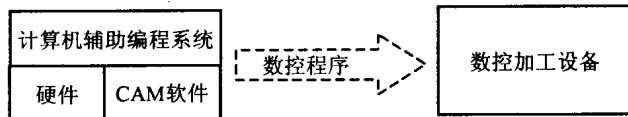


图2-1 典型 CAM 系统组成

计算机辅助编程系统的任务是根据工件的几何信息计算出数控加工的轨迹，并编制出数控程序，它由计算机硬件设备和计算机辅助数控编程软件组成。

计算机硬件设备主要有工作站和微机两种。一般而言，工作站的图形性能要优于微机，但随着微机性能的飞速提高，它与工作站的性能差别也越来越小。而且由于微机的价格要远低于工作站，因此在 CAD/CAM 系统中的应用越来越广泛，其普及率远高于工作站。

计算机辅助数控编程软件即是我们通常所说的 CAM 软件，它是计算机辅助编程系统的核心。它的主要功能包括数据输入输出、加工轨迹计算与编辑、工艺参数设置、加工仿真、数控程序后处理、数据管理等。目前常用的 CAM 软件种类较多，其中的基本功能大同小异，并在此基础上发展出各自的特色。

数控加工设备的任务是接受数控程序，并按照程序完成各种加工动作。数控加工技术可以应用在几乎所有的加工类型中，如车、铣、刨、镗、磨、钻、拉、切断、插齿、电加工、板材成型、管料成型等等。

数控铣床、数控车床、数控线切割机是模具行业最常用的数控加工设备。其中又以数控铣床应用最为广泛。

在本教材中，如无特别说明，数控加工专指数控铣加工。

2.1.2 数控加工基本原理

机床上的刀具和工件间的相对运动，称为表面成形运动，简称**成形运动**，或**切削运动**。数控加工是指数控机床按照数控程序所确定的轨迹（称为**数控刀轨**）进行表面成形运动，从而加工出产品的表面形状。图 2-2 是一个平面轮廓加工和一个曲面加工的切削示意图。

数控刀轨是由一系列简单的线段连接而成的折线，折线上的结点称为**刀位点**，如图 2-2a 所示。刀具的中心点沿着刀轨依次经过每一个刀位点，从而切削出工件的形状。

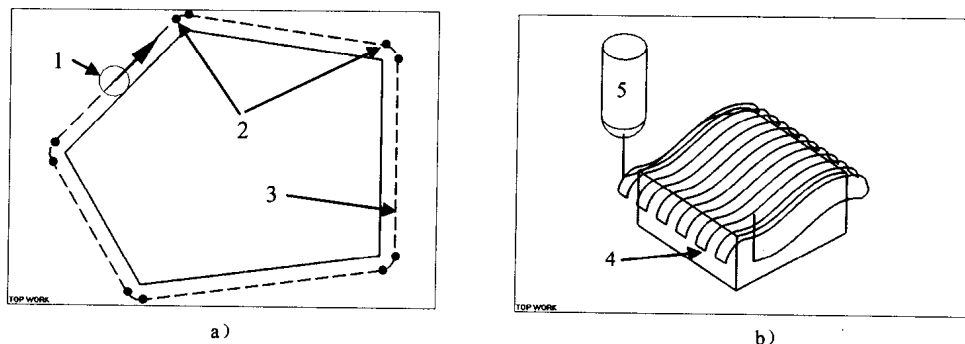


图2-2 切削示意图

a) 平面轮廓加工切削 b) 曲面加工切削

1、5—刀具 2—刀位点 3、4—数控刀轨

刀具从一个刀位点移动到下一个刀位点的运动称为数控机床的**插补运动**。由于数控机床一般只能以直线或圆弧这两种简单的运动形式完成插补运动，因此数控刀轨只能是由许多直线段和圆弧段将刀位点连接而成的折线。

数控编程的任务是计算出数控刀轨，并以程序的形式输出到数控机床，其核心内容就是计算出数控刀轨上的刀位点。

在数控加工误差中，与数控编程直接相关的有两个主要部分：

(1) 刀轨的插补误差。由于数控刀轨只能由直线和圆弧组成，因此只能近似地拟合理想的加工轨迹，如图 2-3 所示。

(2) 残余高度。在如图 2-2b 的曲面加工中，相邻两条数控刀轨之间会留下未切削区域，如图 2-4 所示，由此造成的加工误差称为残余高度，它主

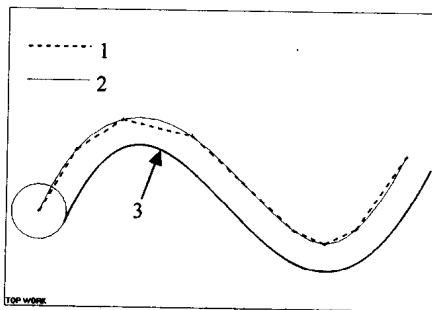


图2-3 刀轨的插补误差

1—数控刀轨 2—理想的加工轨迹 3—加工表面

要影响加工表面的粗糙度。

刀具的表面成形运动通常分为主运动和进给运动。主运动指机床的主轴转动，其运动质量主要影响产品的表面粗糙度。进给运动是主轴相对工件的平动，其传动质量直接关系到机床的加工性能，如图 2-5 所示。

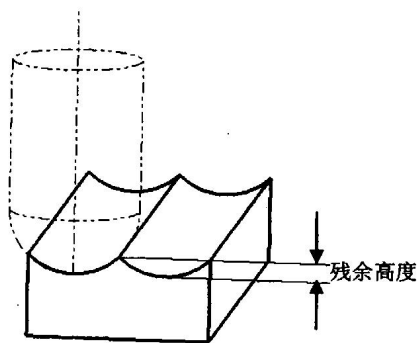


图2-4 刀轨的残余高度

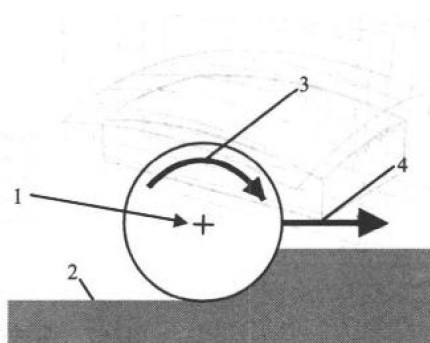


图2-5 刀具的表面成形运动

1—刀位点 2—加工表面 3—主运动 4—进给运动

进给运动的速度和主轴转速是刀具切削运动的两个主要参数，对加工质量、加工效率有重要的影响。

2.1.3 数控加工刀位计算

如前所述，数控编程的核心内容是计算数控刀轨上的刀位点。下面我们简单介绍数控加工刀位点的计算原理。

数控加工刀位点的计算过程可分为三个阶段：

(1) 加工表面的偏置。如图 2-5 所示，刀位点是刀具中心点的移动位置，它与加工表面存在一定的偏置关系。这种偏置关系取决于刀具的形状和大小。例如，当刀具为半径 R 的球头刀时，刀轨（刀具中心的移动轨迹）应当在距离加工表面为 R 的偏置面上，如图 2-6 所示。由此可见，刀位点计算的前提是首先根据刀具的类型和尺寸计算出加工表面的偏置面。

(2) 刀轨形式的确定。既然刀位点是在加工表面的偏置面上，那么它们是如何在偏置面上分布的呢？我们把刀位点在偏置面上的分布形式称为刀轨形式。

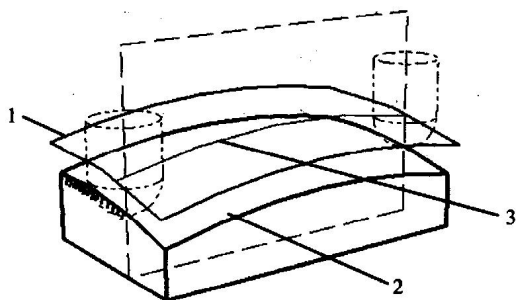


图2-6 加工表面的偏置

1—偏置面 2—加工表面 3—刀轨