



CAD/CAM 模具设计与制造指导丛书



# UG NX

# 数控编程实用教程

王卫兵 编著



清华大学出版社

CAD/CAM 模具设计与制造指导丛书

# UG NX 数控编程实用教程

王卫兵 编著

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书讲授目前功能最强大的 CAD/CAM 软件之一——UG 的实用数控编程技术。以最新的 UG NX2 为基础进行讲解,重点突出对 UG CAM 3 轴数控铣编程中各个参数的意义及其设置方法的说明,并以大量的图形来辅助讲解。同时配合精选的编程实例,以使读者对 UG 编程有更深一层的认识,使读者高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。

本书主要内容包括:利用 CAD/CAM 软件进行三坐标数控铣床(包括加工中心)的 NC 编程基础知识、思路、方法和工艺处理;UG 的基本操作;UG 数控铣刀具路径的生成步骤、参数设置及实用技巧、编程实例等。

本书可作为数控编程人员 CAM 技术的自学教材和参考书,也可作为 UG CAM 技术各级培训教材以及高职高专相关专业的课程教材。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

### 图书在版编目(CIP)数据

UG NX 数控编程实用教程/王卫兵编著. —北京:清华大学出版社, 2004

ISBN 7-302-08519-6

I. U… II. 王… III. 数控机床—程序设计—应用软件, UG NX—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 037120 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:许存权

文稿编辑:陈韦凯

封面设计:秦 铭

版式设计:俞小红

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:22.75 字数:520 千字

版 次:2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08519-6/TP·6120

印 数:1~5000

定 价:36.00 元(附光盘 1 张)

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

# 序

随着我国改革开放步伐的进一步加快，中国正逐步成为全球制造业的基地，特别是加入 WTO 后，作为制造业基础的模具行业近年来得到了迅速发展。

模具是工业生产的基础工艺装备，在电子、汽车、电机、电器、仪表、家电和通信等产品中，60%~80%的零部件都依靠模具成型。国民经济的五大支柱产业，即机械、电子、汽车、石化、建筑，都要求模具工业的发展与之相适应。模具是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍、上百倍。模具生产水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。因此，我国要从一个制造业大国发展成为一个制造业强国，必须要振兴和发展我国的模具工业，提高模具工业的整体技术水平。同时，模具工业的发展也日益受到人们的重视和关注，国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》也把模具列为机械工业改造序列的第一位，生产和基本建设序列的第二位。

随着 CAD/CAM、数控加工及快速成型等先进制造技术的不断发展，以及这些技术在模具行业中的普及应用，模具设计与制造领域正发生着一场深刻的技术革命，传统的二维设计及模拟量加工方式正逐步被基于产品三维数字化定义的数字化制造方式所取代。在这场技术革命中，逐步掌握三维 CAD/CAM 软件的使用，并用于模具的数字化设计与制造是其中的关键。

我国模具工业发展前景非常广阔，国内外模具及模具加工设备厂商已普遍看好中国市场。随着对模具设计质量与制造要求的不断提高，以及 CAD/CAM 技术在模具制造业中的大规模推广应用，急需大批熟悉 CAD/CAM 技术应用的模具设计与制造的技术人才。这是企业最为宝贵的财富，也是企业走向世界、提高产品竞争力最根本的基础。而目前这方面的专业人才非常缺乏，据了解，在目前就业形势相当严峻的环境中，我国制造业 CAD/CAM 方面的技术人才却供不应求。为满足这类人才培养的需要，同时也为提高目前从业人员的整体技术水平，我们组织了具有丰富教学、科研经验的高校教师和具有丰富生产实践经验的工程技术人员，共同编写了这套“CAD/CAM 模具设计与制造指导系列丛书”，以飨广大读者和相关的从业工程技术人员。

编 者

2003 年 12 月 18 日

# 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、精密机械和家用电器等各个领域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、持续增长，人才市场急需一批既懂得 CAD 设计，又熟悉 CAM 编程的专业人才。

数控编程是一项实践性很强的技术，对软件的使用只是数控编程中的一个部分。我们组织编写了这套数控编程培训教程，突出以应用为主线。本书主要讨论 UG CAM 的 3 轴铣削加工，按照数控编程的一般步骤和数控编程人员必须具备的知识结构安排本书内容，主要包括以下 5 个部分：

第 1 部分，CAM 数控编程的一般步骤；

第 2 部分，数控编程的基础知识和数控编程工艺；

第 3 部分，UG 的基本操作；

第 4 部分，UG CAM 基础，包括各种组对象的创建、管理及模拟切削和后处理；

第 5 部分，UG 数控铣刀具路径的编制，包括各种常用刀轨形式的生成步骤、加工对象选择、程序参数设置、技术要点和加工实例。

本书重点突出对数控编程中各个参数的讲解，说明该参数的意义和设置方法，并以大量的图形来辅助讲解。同时，配合精选的编程实例，以使读者对 UG CAM 编程有更深一层的认识，使读者高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。本书所附的光盘包含了书中提及的所有实例，可以在学习过程中参照练习。

在本书中使用了下列标记，表示不同的技术细节，提醒读者特别注意：



**提示：**对本节相关内容的技术要点进行补充，说明某些细节内容。



**技巧：**说明数控编程的应用技巧，使用该技巧有利于提高程序质量或者有利于提高加工效率、编程效率。



**警告：**说明编程时应注意的问题，该内容必须得到足够重视，否则有可能产生严重的后果，如不能生成刀具路径、产生的程序有较高的危险性等。



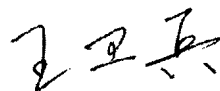
**个人观点：**表示该观点属于个人意见，仅供参考。

本书作者长期在模具企业一线从事数控编程工作，在实践中积累了大量的经验和技巧。同时与浙江大学机电所工业产品设计实验室联合成立“旭日-卫兵工作室”，吸收浙江大学的教授、研究生、本科生以及长期在企业从事 CAD/CAM 工作的工程师与技师参与，并结合浙江大学在学术研究方面的特长和工程师在实践上的特长，在 CAD/CAM 技术和数控技术领域提供培训和技术服务。

本书由王卫兵、叶福华编著。旭日-卫兵工作室的工程师为本书提供了实例并完成部分

例图绘制。

由于水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请读者对本书提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进。“旭日-卫兵工作室”的网址为 <http://www.cad-lab.com/book>，作者 E-mail: [guarder@moldinfo.net](mailto:guarder@moldinfo.net)。另外，在模具信息网的模具数控论坛 (<http://bbs.moldinfo.net>) 上开设有 UG 专题，可与各位读者进行交流。



2003 年 11 月

# 目 录

第 1 章 概述 .....	1
1.1 CAM 编程基本实现过程 .....	1
1.1.1 获得 CAD 模型 .....	2
1.1.2 加工工艺分析和规划 .....	3
1.1.3 CAD 模型完善 .....	3
1.1.4 加工参数设置 .....	4
1.1.5 生成刀具路径 .....	4
1.1.6 刀具路径检验 .....	4
1.1.7 后处理 .....	5
1.2 数控程序的质量及对程序员的要求 .....	5
1.2.1 数控程序的质量 .....	5
1.2.2 NC 程序员的要求 .....	5
1.2.3 CAM 数控编程的学习 .....	6
1.3 CAD/CAM 软件数控编程功能分析及软件简介 .....	7
1.3.1 CAD/CAM 软件功能 .....	8
1.3.2 常用 CAD/CAM 软件简介 .....	8
1.3.3 UG 的特点 .....	9
1.4 关于本书 .....	11
第 2 章 CAM 数控编程基础及加工工艺 .....	13
2.1 数控加工基础知识 .....	13
2.1.1 数控加工基本原理 .....	13
2.1.2 数控机床 .....	17
2.2 数控程序基础 .....	21
2.2.1 数控编程发展概况 .....	21
2.2.2 数控程序的结构 .....	22
2.2.3 常用的数控指令 .....	23
2.2.4 手工编程示例 .....	24
2.3 CAM 数控加工工艺 .....	26
2.3.1 数控加工的工艺特点 .....	26
2.3.2 工艺分析和规划 .....	27

2.3.3	CAM 自动编程的参数设置 .....	29
2.4	数控编程的误差控制 .....	50
2.4.1	刀轨计算误差 .....	50
2.4.2	残余高度的控制 .....	51
2.5	高速铣数控编程概述 .....	55
2.5.1	高速加工的工艺设置 .....	56
2.5.2	高速加工程序的编制要点 .....	57
2.5.3	充分发挥 CAM 软件的高速加工特性 .....	59
<b>第 3 章</b>	<b>UG 的基本操作 .....</b>	<b>61</b>
3.1	启动 UG 进入加工模块 .....	61
3.1.1	启动 UG .....	61
3.1.2	进入 CAM 加工模块 .....	62
3.2	UG 的工作界面 .....	63
3.3	鼠标按键操作 .....	66
3.4	对话框应用方式 .....	67
3.5	物体的选择 .....	69
3.5.1	实体专有名词介绍 .....	69
3.5.2	物体选择方式 .....	70
3.6	UG 的工具条应用 .....	75
3.7	UG 的文件管理 .....	77
3.7.1	文件管理 .....	77
3.7.2	文件输入 .....	78
3.7.3	数据输出 .....	82
3.8	常用构造器 .....	82
3.8.1	点构造器 .....	82
3.8.2	矢量构造器 .....	84
3.8.3	平面构造器 .....	85
<b>第 4 章</b>	<b>加工应用基础 .....</b>	<b>86</b>
4.1	UG 生成数控程序的一般步骤 .....	86
4.2	操作导航器的应用 .....	89
4.2.1	操作导航器视图 .....	90
4.2.2	参数继承关系 .....	92
4.2.3	操作导航器的弹出菜单 .....	92
4.3	刀具的创建 .....	97
4.3.1	刀具型式及参数 .....	97



4.3.2	刀具建立 .....	100
4.3.3	从刀具库调用刀具 .....	102
4.3.4	刀具管理 .....	102
4.4	创建几何体 .....	104
4.4.1	创建几何体的一般步骤 .....	105
4.4.2	创建加工坐标系 .....	106
4.4.3	创建铣削几何 .....	108
4.5	创建加工方法 .....	110
4.6	创建程序组 .....	114
4.7	刀具路径验证 .....	114
4.7.1	刀具路径回放 .....	114
4.7.2	刀具路径的列示 .....	115
4.7.3	刀具路径的模拟 .....	115
4.8	刀具路径后处理 .....	119
4.8.1	CLSF 管理器 .....	120
4.8.2	图形后置处理器 .....	122
4.8.3	UG 后置处理器 .....	123
4.9	用户模板设置 .....	131
<b>第 5 章</b>	<b>平面铣 .....</b>	<b>133</b>
5.1	创建平面铣操作的步骤 .....	133
5.2	平面铣操作的组设置 .....	136
5.3	平面铣操作的几何体 .....	137
5.3.1	平面铣操作几何体的类型 .....	137
5.3.2	边界的类型 .....	139
5.3.3	边界的创建 .....	142
5.3.4	边界的编辑 .....	150
5.4	平面铣操作的参数设置 .....	151
5.4.1	常用切削方法的选用 .....	151
5.4.2	用户化参数设置 .....	157
5.4.3	控制点 .....	162
5.4.4	进刀/退刀 .....	164
5.4.5	切削参数 .....	172
5.4.6	切削深度 .....	180
5.4.7	拐角控制 .....	183
5.4.8	避让 .....	186
5.4.9	进给率 .....	189

5.4.10 机床控制 .....	192
5.5 平面铣操作实例 .....	195
5.5.1 花形凸模粗加工 .....	195
5.5.2 花形凸模精加工 .....	205
<b>第6章 型腔铣 .....</b>	<b>212</b>
6.1 型腔铣操作的特点 .....	212
6.2 创建型腔铣操作 .....	214
6.2.1 创建型腔铣操作 .....	214
6.2.2 型腔铣操作对话框 .....	215
6.2.3 定义型腔铣操作的父本组 .....	215
6.2.4 更多选项 .....	216
6.2.5 等高轮廓铣 .....	216
6.3 型腔铣操作的几何体 .....	217
6.4 型腔铣操作的参数设置 .....	220
6.4.1 型腔铣参数与平面铣参数的异同 .....	220
6.4.2 切削层 .....	220
6.4.3 切削参数 .....	224
6.5 等高轮廓铣操作的参数设置 .....	227
6.6 型腔铣操作实例 .....	229
6.6.1 头盔型芯的粗加工 .....	230
6.6.2 头盔型芯的侧面精加工 .....	237
6.6.3 头盔型芯的外分型面精加工 .....	240
<b>第7章 固定轴曲面轮廓铣 .....</b>	<b>245</b>
7.1 固定轴曲面轮廓铣的特点 .....	245
7.2 创建固定轴曲面轮廓铣操作 .....	246
7.2.1 创建操作 .....	246
7.2.2 固定轴曲面轮廓铣操作对话框 .....	247
7.2.3 定义操作的父本组 .....	247
7.2.4 定义需要加工的零件几何体 .....	247
7.3 固定轴曲面轮廓铣的共同选项 .....	249
7.3.1 刀轴 .....	249
7.3.2 切削参数 .....	250
7.3.3 非切削运动 .....	257
7.4 固定轴曲面轮廓铣的常用驱动方式 .....	265
7.4.1 曲线/点驱动方式 .....	265

7.4.2	螺旋驱动方式 .....	269
7.4.3	边界驱动方式 .....	270
7.4.4	区域铣削驱动方式 .....	280
7.4.5	曲面区域驱动方式 .....	282
7.4.6	刀轨驱动方式 .....	287
7.4.7	径向切削驱动方式 .....	288
7.4.8	清根切削驱动方式 .....	290
7.5	固定轴曲面轮廓铣加工实例 .....	292
7.5.1	头盔型芯的顶部精加工 .....	292
7.5.2	头盔型芯的分型面精加工 .....	297
7.5.3	清角加工 .....	301
7.5.4	头盔注塑模具型芯标记加工 .....	307
<b>第 8 章</b>	<b>点位加工 .....</b>	<b>312</b>
8.1	创建点位加工操作 .....	312
8.2	设置点位加工几何 .....	315
8.2.1	工件表面和加工底面设置 .....	315
8.2.2	指定加工位置 .....	316
8.3	循环控制 .....	323
8.3.1	循环参数组 .....	323
8.3.2	设置循环参数 .....	325
8.4	一般参数设置 .....	328
8.5	钻孔加工实例 .....	329
附录 A	FANUC 数控系统的准备功能 G 代码和 M 代码 .....	<del>326</del>
附录 B	UG CAM 术语中英文对照表 .....	<del>329</del>
附录 C	UG 的快捷功能键列表 .....	<del>346</del>
参考文献	.....	<del>348</del>

# 第 1 章 概 述

本章主要内容:

- CAM 编程的基本实现过程
- 数控程序质量控制
- 常用 CAD/CAM 软件的简介
- UG 的特点
- 本书的特点

## 1.1 CAM 编程基本实现过程

数控编程技术包含了数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件操作等多方面的知识及经验,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 轴铣加工编程、3 轴铣加工编程和多轴(如 4 轴、5 轴)铣加工编程等。3 轴铣加工是最常用的一种加工类型,而 3 轴铣加工编程又是目前应用最广泛的数控编程技术。



**提示:** 本书中所提及的数控加工编程,如无特别注明,均指 2.5 轴铣数控加工编程或 3 轴铣数控加工编程。

数控编程经历了手工编程、APT 语言编程和交互式图形编程 3 个阶段。交互式图形编程就是通常所说的 CAM 软件编程。由于 CAM 软件自动编程具有速度快、精度高、直观性好、使用简便、便于检查和修改等优点,已成为目前国内外数控加工中普遍采用的数控编程方法。因此,在无特别说明的情况下,数控编程一般是指交互式图形编程。交互式图形编程的实现是以 CAD 技术为前提的。数控编程的核心是刀位点计算。对于复杂的产品,其数控加工刀位点的人工计算十分困难,而 CAD 技术的发展为解决这一问题提供了有力的工具。利用 CAD 技术生成的产品三维造型包含了数控编程所需要的完整的产品表面几何信息,而计算机软件可针对这些几何信息进行数控加工刀位的自动计算。因此,绝大多数的数控编程软件同时具备 CAD 的功能,故称为 CAD/CAM 一体化软件。

由于现有的 CAD/CAM 软件功能已相当成熟,因此使得数控编程的工作大大简化,对编程人员的技术背景、创造力的要求也大大降低,为该项技术的普及创造了有利的条件。事实上,在许多企业从事数控编程的工程师往往仅有中专或者高中的学历。

目前市场上流行的 CAD/CAM 软件均具备了较好的交互式图形编程功能，操作过程大同小异，编程能力差别不大。不管采用哪一种 CAD/CAM 软件，NC 编程的基本过程及内容都可用图 1-1 表示。

### 1.1.1 获得 CAD 模型

CAD 模型是 NC 编程的前提和基础，任何 CAM 的程序编制都必须有 CAD 模型作为加工对象进行编程。获得 CAD 模型的方法通常有以下 3 种：

(1) 打开 CAD 文件。如果某一文件是已经使用 UG 进行造型完毕的，或者已经做过编程的文件，则重新打开该文件，即可获得所需的 CAD 模型。

(2) 直接造型。UG 软件本身就是一个功能非常的 CAD/CAM 一体化软件，具有很强的造型功能，可以进行曲面和实体的造型。对于一些不很复杂的工件，可以在编程前直接造型。

(3) 数据转换。当模型文件是使用其他的 CAD 软件进行造型时，UG 首先要将其转换成 UG 专用的文件格式（.PRT 文件）。通过 UG 的数据转换功能，可以读取其他 CAD 软件所做的造型。UG 提供了常用 CAD 软件的数据接口，并且有标准转换接口，可以转换的文件格式有 IGES、STEP 等。

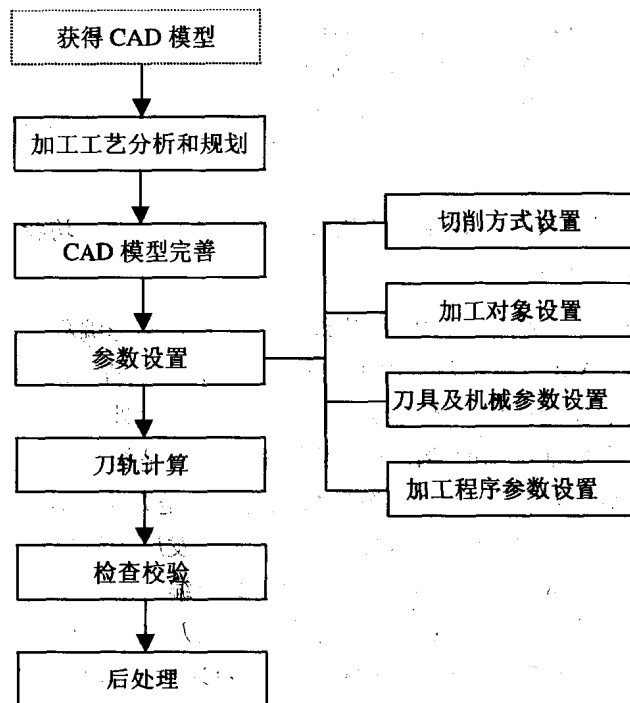


图 1-1 CAM 编程的一般步骤

## 1.1.2 加工工艺分析和规划

加工工艺分析和规划的主要内容包括:

(1) 加工对象的确定: 通过对模型的分析, 确定这一工件的哪些部位需要在数控铣床上或者数控加工中心加工。数控铣的工艺适应性也是有一定限制的, 对于尖角、细小的筋条等部位是不适合加工的, 应使用线切割或者电加工来加工; 而另外一些加工内容, 可能使用普通机床有更好的经济性, 如孔的加工、回转体加工, 可以使用钻床或车床来进行。

(2) 加工区域规划: 即对加工对象进行分析, 按其形状特征、功能特征及精度、粗糙度要求将加工对象分成数个加工区域。对加工区域进行合理规划可以达到提高加工效率和加工质量的目的。



**个人观点:** 在进行加工对象确定和加工区域规划或分配时, 参考实物可以更直观地进行分析 and 规划。

(3) 加工工艺路线规划: 即从粗加工到精加工再到清根加工的流程及加工余量分配。

(4) 加工工艺和加工方式确定: 如刀具选择、加工工艺参数和切削方式(刀轨形式)选择等。

在完成工艺分析后, 应填写一张 CAM 数控加工工序表, 表中的项目应包括加工区域、加工性质、走刀方式、使用刀具、主轴转速、切削进给等选项。完成了工艺分析及规划可以说是完成了 CAM 编程 80% 的工作量。同时, 工艺分析的水平原则上决定了 NC 程序的质量。

## 1.1.3 CAD 模型完善

对 CAD 模型作适合于 CAM 程序编制的处理。由于 CAD 造型人员更多考虑零件设计的方便性和完整性, 并不顾及对 CAM 加工的影响, 所以要根据加工对象的确定及加工区域规划对模型做一些完善。通常有以下内容:

(1) 坐标系的确定。坐标系是加工的基准, 将坐标系定位于适合机床操作人员确定的位置, 同时保持坐标系的统一。

(2) 隐藏部分对加工不产生影响的曲面, 按曲面的性质进行分色或分层。这样一方面看上去更为直观清楚; 另一方面在选择加工对象时, 可以通过过滤方式快速地选择所需对象。

(3) 修补部分曲面。对于因有不加工部位存在而造成的曲面空缺部位, 应该补充完整。如钻孔的曲面, 存在狭小的凹槽的部位等, 应该将这些曲面重新做完整, 这样获得的刀具路径规范而且安全。

(4) 增加安全曲面。如将边缘曲面进行适当的延长。

(5) 对轮廓曲线进行修整。对于数据转换获取的数据模型, 看似光滑的曲线可能存在着断点, 看似一体的曲面在连接处可能不相交, 这可通过修整或者创建轮廓线构造出最佳的加工边界曲线。

(6) 构建刀具路径限制边界。对于规划的加工区域, 需要使用边界来限制加工范围的, 先构建出边界曲线。

### 1.1.4 加工参数设置

参数设置可视为对工艺分析和规划的具体实施, 它构成了利用 CAD/CAM 软件进行 NC 编程的主要操作内容, 直接影响生成的 NC 程序的质量。参数设置的内容较多, 其中主要有:

(1) 切削方式设置: 用于指定刀轨的类型及相关参数。

(2) 加工对象设置: 是指用户通过交互手段选择被加工的几何体或其中的加工分区、毛坯、避让区域等。

(3) 刀具及机械参数设置: 是针对每一个加工工序选择适合的加工刀具并在 CAD/CAM 软件中设置相应的机械参数, 包括主轴转速、切削进给、切削液控制等。

(4) 加工程序参数设置: 包括对进退刀位置及方式、切削用量、行间距、加工余量、安全高度等的设置。这是 CAM 软件参数设置中最主要的一部分内容。

### 1.1.5 生成刀具路径

在完成参数设置后, 即可将设置结果提交 CAD/CAM 系统进行刀轨的计算。这一过程是由 CAD/CAM 软件自动完成的。

### 1.1.6 刀具路径检验

为确保程序的安全性, 必须对生成的刀轨进行检查校验, 检查刀具路径有无明显过切或者加工不到位, 同时检查是否会发生与工件及夹具的干涉。校验的方式有:

(1) 直接查看。通过对视角的转换、旋转、放大、平移直接查看生成的刀具路径, 适于观察其切削范围有无越界, 以及有无明显异常的刀具轨迹。

(2) 手工检查。对刀具轨迹进行逐步观察。

(3) 模拟实体切削, 进行仿真加工。直接在计算机屏幕上观察加工效果, 这个加工过程与实际机床加工十分类似。

对检查中发现问题的程序, 应调整参数设置重新进行计算, 再作检验。

### 1.1.7 后处理

后处理实际上是一个文本编辑处理过程，其作用是将计算出的刀轨（刀位运动轨迹）以规定的标准格式转化为 NC 代码并输出保存。

在后处理生成数控程序之后，还需要检查这个程序文件，特别对程序头及程序尾部分的语句进行检查，如有必要可以修改。这个文件可以通过传输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。

在上述过程中，编程人员的工作主要集中在加工工艺分析和规划、参数设置这两个阶段，其中工艺分析和规划决定了刀轨的质量，参数设置则构成了软件操作的主体。

## 1.2 数控程序的质量及对程序员的要求

### 1.2.1 数控程序的质量

NC 程序的质量是衡量 NC 程序员水平的关键指标，其判定标准可归纳为：

- (1) 完备性：不存在加工残留区域。
- (2) 误差控制：包括插补误差控制、残余高度（表面粗糙度）控制等。
- (3) 加工效率：指在保证加工精度的前提下加工程序的执行时间。
- (4) 安全性：指程序对可能出现的让刀、漏刀、撞刀及过切等不良现象的防范措施和效果。
- (5) 工艺性：包括进退刀设置、刀具选择、加工工艺规划（如加工流程及余量分配等）、切削方式（刀轨形式选择）、接刀痕迹控制以及其他各种工艺参数（如进给速度、主轴转速、切削方向、切削深度等）的设置等。
- (6) 其他：如对机床及刀具的损耗程度、程序的规范化程度等。

在评价 NC 程序质量的各项指标中，有一部分存在着一定程度的矛盾。例如，残余高度决定了加工表面的光洁度，从加工质量来看，残余高度越小，加工表面质量越高，但加工效率就会降低。所以，在进行 NC 编程时，不应片面追求加工效率，而应综合权衡各项指标，在满足产品的质量要求及一定的加工可靠性的基础上提高加工效率。

### 1.2.2 NC 程序员的要求

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) 能熟练运用一种 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和经验(如模具等)。

判断一个 NC 程序员水平的依据主要有以下几条:

(1) 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)。

为保证程序的质量和可靠性, 在编程工作中应注意以下几点:

(1) 要保持严谨细致的工作作风, 对每个设置参数都应反复确认, 刀轨计算完成后进行必要的检查校验。

(2) NC 编程操作应规范化模式化。即根据企业的特定条件制定出 NC 编程的技术规程, 将各操作环节中具有共性的部分(如加工工艺、刀具等)模式化规范化, 可有效提高工作效率和可靠性。

(3) 对重要的加工程序应进行试切检验。

数控编程人员必须掌握数控编程的相关基础知识, 这样一方面有利于对数控编程软件中相关专业名词的理解, 更为重要的是, 对于数控程序的基础知识的理解可以决定所编程程序的加工质量及加工效率。

### 1.2.3 CAM 数控编程的学习

数据编程人员需要对数控编程技术进行必要的学习。

学习数控编程技术, 首先要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。

数控编程的学习内容和学习过程基本可以归纳为 3 个阶段:

第 1 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 2 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 3 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。