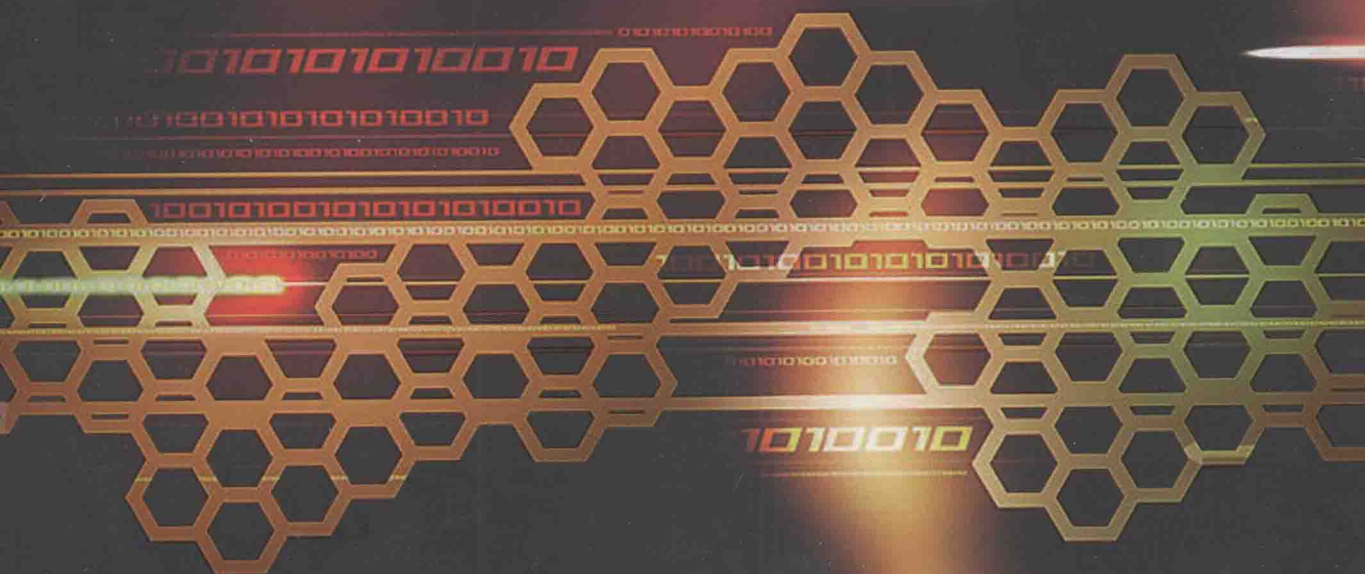




高职高专先进制造技术规划教材



UG NX8数控编程实用教程

(第3版)

王卫兵 ● 编著

- 8年一线教学经验结晶
- 优选实例，视频讲解
- 教学课件在线下载

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

清华大学出版社

高职高专先进制造技术规划教材

UG NX8 数控编程实用教程

(第3版)

王卫兵 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

UG NX 是目前功能最强大的 CAD/CAM 软件之一,本书以 UG NX8 中文版为蓝本,系统介绍了 UG NX 加工模块应用的实用数控编程技术,重点突出对 UG NX CAM 3 轴数控铣编程中各个参数的意义和设置方法的说明,并以大量的图形来配合讲解。本书主要内容包括利用 CAD/CAM 软件进行数控铣(加工中心)编程的基础知识、思路、方法和工艺处理,UG NX 型腔铣、平面铣、固定轴曲面轮廓铣、钻孔加工等各种加工方法的数控铣加工工序的生成步骤、参数设置及实用技巧、编程实例等,同时结合精选的编程实例进行讲解,可使读者对 UG NX 编程有更深入的认识,从而高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。

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 NX CAM 技术各级培训教材以及高职高专相关专业的课程教材。

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

UG NX8 数控编程实用教程/王卫兵主编. —3 版. —北京:清华大学出版社,2013.1
高职高专先进制造技术规划教材

ISBN 978-7-302-30670-2

I. ①U… II. ①王… III. ①数控机床-程序设计-应用软件-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 272528 号

责任编辑:钟志芳
封面设计:刘超
版式设计:文森时代
责任校对:张兴旺
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 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.25 字 数:514 千字
(附光盘 1 张)

版 次:2004 年 5 月第 1 版 2013 年 1 月第 3 版 印 次:2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:43.00 元

前 言

《UG NX 数控编程实用教程》和《UG NX6 数控编程实用教程（第 2 版）》出版以来，受到了广大院校师生与读者的欢迎，并进行了多次重印。UG NX8 版本的软件功能更加强大，操作更为方便。为满足读者需求，我们对《UG NX 数控编程实用教程》进行再次修订，以 NX8 中文版为蓝本进行讲解，适用于 NX7 以上各版本。

UG NX（UG 公司已被西门子公司收购，但习惯上仍将 NX 软件称为 UG NX）是数字化产品生命周期管理（PLM）的核心部分，其功能非常强大，支持产品开发的整个过程，包括从概念（CAID）到设计（CAD）、到分析（CAE）、再到制造（CAM）的完整流程，是业界最好的 CAD/CAE/CAM 集成软件包之一。UG NX 的加工模块是把虚拟模型变成真实产品很重要的一步，即把三维模型表面所包含的几何信息自动进行计算，变成数控机床加工所需要的代码，从而精确地完成产品设计的构想。UG NX 强大的加工功能可以实现数控车、线切割、2~5 轴的数控铣编程，当前应用最广泛的是 3 轴铣（包括加工中心）的编程。

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的一部分。我们组织编写的这一数控编程培训教程，突出以应用为主线，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 3 部分。

第 1 部分，CAM 数控编程的基础知识和数控编程工艺，包括 CAM 编程的一般步骤，数控程序的基础知识、CAD/CAM 软件功能简介、CAM 数控加工工艺设计与高速加工简介。

第 2 部分，UG CAM 基础，包括各种组对象的创建、工序导航器的应用、工序管理及模拟切削和后处理。

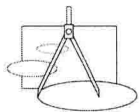
第 3 部分，NX 数控铣加工工序的创建，包括型腔铣、平面铣、曲面铣、钻孔加工等各种常用刀轨形式的生成步骤、加工对象选择、程序参数设置、技术要点和编程实例。

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，并以大量的图形来配合讲解。同时配合精选的编程实例，可使读者对 UG CAM 编程有更深一层的认识，从而高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。

本书配套光盘中包括模型文件、视频文件与电子课件，包括本书中所有相关实例的模型及操作结果文件、练习用的模型文件，并且提供了每一实例操作的讲解视频。另外，还提供了教学用的电子课件。

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，书中使用了专家提示标记，提醒读者特别注意。

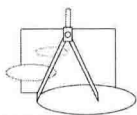
本书由王卫兵主编，叶福华、王福明、王卫仁、林跃、吴玲利、梁海红、袁丽青、吴



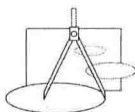
丽萍、周红芬、郑明富等共同编著。由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者对本书中的不足提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进。可以通过 Email：wbcax@sina.com 与作者联系。

目 录

第 1 章 绪论	1	1.7.2 高速加工的工艺设置	27
1.1 CAD/CAM 软件交互式编程的 基本实现过程	1	1.7.3 高速加工程序的编制要点	28
1.1.1 获得 CAD 模型	2	思考与练习	29
1.1.2 加工工艺分析和规划	2	第 2 章 NX 编程基础	31
1.1.3 CAD 模型完善	3	2.1 进入加工环境	31
1.1.4 加工参数设置	4	2.1.1 NX 加工环境	31
1.1.5 刀轨计算	4	2.1.2 NX 加工模块的工作界面	32
1.1.6 检查校验	4	2.1.3 加工模块专有工具条	33
1.1.7 后置处理	4	2.2 UG NX 编程的一般步骤	33
1.2 编制高质量的数控程序	5	任务 2-1 创建椭圆凹槽加工工序	35
1.3 数控程序基础	6	2.3 创建程序	40
1.3.1 数控程序的结构	6	2.4 创建刀具	40
1.3.2 常用的数控指令	6	2.5 创建加工方法	43
1.3.3 手工编程示例	8	2.6 创建几何体	44
1.4 CAD/CAM 软件数控编程功能 分析及软件简介	10	2.6.1 坐标系几何体	44
1.4.1 CAD/CAM 软件功能	10	2.6.2 工件几何体	46
1.4.2 UG NX CAM 的特点	11	2.7 工序导航器	49
1.5 CAM 数控加工工艺	12	2.7.1 工序导航器的显示	49
1.5.1 数控加工的工艺特点	12	2.7.2 工序管理	51
1.5.2 工艺分析和规划	13	2.8 刀轨检验	53
1.6 CAM 自动编程的工艺设计	15	2.8.1 重播刀轨	53
1.6.1 工艺类型设置	15	2.8.2 刀轨列表	54
1.6.2 走刀方式的选择	20	2.8.3 确认刀轨	54
1.6.3 加工对象及加工区域的设置	22	2.9 刀具路径后置处理	57
1.6.4 刀具的选择及参数设置	23	任务 2-2 创建凹凸花形零件加工 程序	59
1.6.5 切削用量的选择与计算	25	思考与练习	78
1.7 高速加工数控编程简介	27	第 3 章 型腔铣	79
1.7.1 高速加工概述	27	3.1 型腔铣简介	79
		3.2 型腔铣工序的创建步骤	80



任务 3-1 创建凹模型腔铣工序	82	任务 4-1 创建心形凹槽平面铣 工序	171
3.3 “型腔铣”对话框的参数组 简介	87	4.3 平面铣的几何体	177
3.4 刀轨设置	88	4.3.1 “面”模式选择边界 几何体	178
3.4.1 切削模式	88	4.3.2 “曲线/边”模式创建边界	180
3.4.2 步距与切深设置	91	4.3.3 “点”模式创建边界	183
3.4.3 切削层	92	4.3.4 “边界”模式创建边界	184
3.5 切削参数	97	4.3.5 边界的编辑	184
3.5.1 策略	97	4.3.6 底面	185
3.5.2 余量	101	任务 4-2 创建凸轮平面铣工序	186
3.5.3 拐角	103	4.4 平面铣的切削层	191
3.5.4 连接	104	4.5 平面轮廓铣	194
3.5.5 空间范围	105	4.6 面铣削	196
3.5.6 更多	107	4.6.1 面铣削的几何体选择	196
3.6 非切削移动	109	4.6.2 面铣削的刀轨设置	198
3.6.1 进刀	109	4.7 文本铣削	201
3.6.2 退刀	112	任务 4-3 创建箱盖平面铣工序	202
3.6.3 起点/钻点	112	思考与练习	221
3.6.4 转移/快速	114	第 5 章 固定轴曲面轮廓铣	222
3.6.5 避让	116	5.1 固定轴曲面轮廓铣简介	222
3.6.6 更多	116	5.2 固定轴曲面轮廓铣工序的 创建	223
3.7 进给率和速度	117	5.2.1 创建固定轴曲面轮廓铣 工序	223
任务 3-2 创建凸模零件的型腔铣 工序	119	5.2.2 固定轴曲面轮廓铣工序的 几何体	224
3.8 型腔铣工序的几何体	130	5.2.3 切削参数	227
任务 3-3 创建弧形凹槽粗加工的 型腔铣工序	134	5.2.4 非切削移动	229
3.9 型腔铣的子类型	140	5.2.5 驱动方法	232
3.9.1 深度加工轮廓	141	任务 5-1 创建弧形凹槽精加工的 固定轮廓铣工序	233
3.9.2 剩余铣	145	5.3 边界驱动方法	240
3.9.3 拐角粗加工与深度加工拐角	147	5.3.1 驱动几何体	240
任务 3-4 创建凸模零件加工粗、 精加工程序	148	5.3.2 驱动设置	242
思考与练习	168	5.4 区域铣削驱动方法	247
第 4 章 平面铣	169	5.5 清根驱动方法	250
4.1 平面铣简介	169		
4.2 平面铣工序的创建	170		



5.5.1 清根类型	251	任务 6-1 创建通孔钻孔工序	307
5.5.2 清根驱动方法设置	253	6.3 钻孔加工的循环设置	312
任务 5-2 创建烟灰缸型腔固定轴曲面轮廓铣工序	256	6.3.1 钻孔加工的子类型与循环类型	312
5.6 其他驱动方法	267	6.3.2 循环参数设置	312
5.6.1 螺旋式驱动	267	6.4 钻孔工序参数设置	316
5.6.2 曲线/点驱动	270	6.5 钻孔加工的几何体	318
5.6.3 文本驱动	273	6.5.1 钻孔点	319
5.6.4 径向切削驱动	275	6.5.2 顶面和底面	321
5.6.5 曲面区域驱动	277	任务 6-2 创建台阶上的钻孔工序	322
5.6.6 流线驱动	281	思考与练习	330
5.6.7 刀轨驱动固定轴曲面轮廓铣	284	附录 A FANUC 数控系统的 G 代码和 M 代码	331
任务 5-3 创建标记牌铣雕加工的数控程序	286	附录 B UG NX 的后置处理器配置	334
思考与练习	303	附录 C NX CAM 常用术语中英文对照表	339
第 6 章 钻孔加工	305	参考文献	346
6.1 钻孔加工程序基础	305		
6.2 钻孔加工工序的创建	306		



第1章 绪 论

本章主要内容:

- 📖 CAM 编程的基本实现过程
- 📖 CAD/CAM 软件功能与 UG CAM 简介
- 📖 数控加工与数控程序基础
- 📖 CAM 数控加工工艺设计要点
- 📖 高速加工数控编程

1.1 CAD/CAM 软件交互式编程的基本实现过程

数控编程技术包含数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件操作等多方面知识,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(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 轴铣加工编程是目前应用最广泛的数控编程技术。

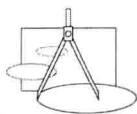


专家指点:当前应用 UG NX 进行数控编程,多应用于 3 轴的数控铣床或加工中心编程。本书中所提及的数控加工或编程,如无特别注明,均指 2.5 轴和 3 轴铣数控加工或编程。

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,也称为自动编程。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普遍采用的数控编程方法。

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。绝大多数的数控编程软件同时具备 CAD 的功能,因此称为 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条件。

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均可用图 1-1 表示。

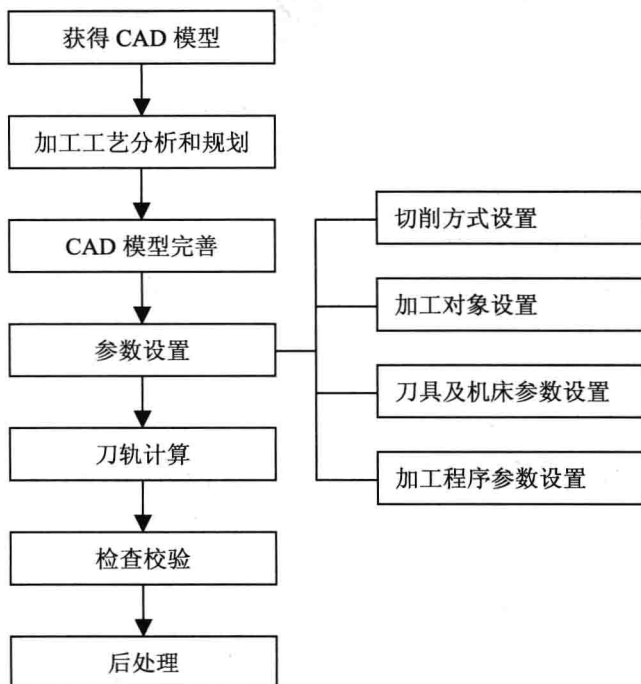


图 1-1 NC 编程的基本过程

1.1.1 获得 CAD 模型

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

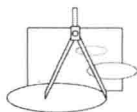
(1) 打开 CAD 文件。如果某一文件是已经使用 UG NX 进行造型完毕的，或者是已经做过编程的文件，则重新打开该文件，即可获得所需的 CAD 模型。

(2) 直接造型。某些 CAD/CAM 软件，如 UG NX、Cimatron 本身就是一个功能非常强大的 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。对于一些不是很复杂的工件，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，首先要将其转换成当前 CAD/CAM 软件专用的文件格式。通过软件的数据转换功能，可以读取其他 CAD 软件所做的造型。如 UG NX 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包括 IGES、STEP 等。

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或者数控加工中心上加工。数控铣的工艺适应性也是有一定限制的,尖角和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进行加工。

(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。



专家指点: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和规划。

(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

CAD模型完善即对CAD模型做适于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作一些完善,通常包括以下内容:

(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。

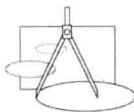
(2) 隐藏部分对加工不产生影响的曲面,按曲面的性质进行分色或分层,这样一方面看上去更为直观清楚,另一方面在选择加工对象时,可以通过过滤方式快速地选择所需对象。

(3) 修补部分曲面。对于不加工部位存在造成的曲面空缺部位,应该补充完整。如钻孔的曲面、存在狭小凹槽的部位,应该将这些曲面重新做完整,这样获得的刀路轨迹规范而且安全。

(4) 增加安全曲面,如对边缘曲面进行适当地延长。

(5) 对轮廓曲线进行修整。对于数据转换获取的数据模型,可能存在看似光滑的曲线其实存在着断点、看似一体的曲面在连接处不能相交。此时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) 构建刀路轨迹限制边界。对于规划的加工区域,需要使用边界来限制加工范围的,可先构建出边界曲线。



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 NC 程序的生成质量。参数设置的内容较多,其中包括:

(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。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。针对每一个加工工序选择合适的加工刀具并在 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、安全高度等参数进行设置。这是 CAM 软件参数设置中最主要的一部分内容。

1.1.5 刀轨计算

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 检查校验

为确保程序的安全性,必须对生成的刀轨进行检查校验,检查有无明显刀路轨迹、有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) 重播查看。通过对视角的转换、旋转、放大、平移来查看生成的刀路轨迹,适于观察其切削范围有无越界及有无明显异常的刀路轨迹。

(2) 实体仿真。直接在计算机屏幕上模拟材料切除过程。

(3) 机床仿真。在 CAD/CAM 软件中,直接模拟机床加工的运动过程,可以显示机床与夹具,可以实际判断是否会发生干涉。

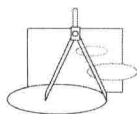
对检查中发现问题的程序,应调整参数设置重新进行计算,再作检验。

1.1.7 后置处理

后置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。

在后置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 编制高质量的数控程序

1. NC 程序的质量判断

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。即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。即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，有些内容存在一定程度的矛盾。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。

2. 数控程序人员的基本要求

为了编制高质量的数控加工程序，数控编程人员必须掌握一定的数控加工的相关基础知识，包括数控加工原理、数控机床结构和分类，以及机床坐标系。作为一名数控编程工程师，有必要掌握一定的手工编程知识，包括程序结构和常用数控指令，这对于理解数控自动编程、后置处理等均有帮助。数控加工工艺分析和规划将影响数控加工的质量和效率，因此工艺分析和规划是数控编程的核心工作。在 CAM 自动编程中，对数控工艺的分析 and 规划主要包括加工区域的划分与规划、刀轨形式与走刀方式的选择、刀具及机械参数的设置、加工工艺参数的设置。

3. CAM 编程的学习

交互式图形编程技术（也就是常说的 CAM 编程）的学习有以下 3 个要点：

- (1) 学习 CAD/CAM 软件应重点把握核心功能的学习，因为 CAD/CAM 软件的应用也符合所谓的“20/80 原则”，即 80% 的应用仅需要使用 20% 的功能。
- (2) 培养标准化、规范化的工作习惯。对于常用的加工工艺过程应进行标准化的参数设置，并形成标准的参数模板，在各种产品的数控编程中尽可能直接使用这些标准的参数模板，以减少操作复杂度，提高可靠性。
- (3) 重视加工工艺的经验积累，熟悉所使用的数控机床、刀具、加工材料的特性，以



便使工艺参数设置更为合理。

1.3 数控程序基础

1.3.1 数控程序的结构

如图 1-2 所示是一个数控程序结构示意图。

一般情况下，一个基本的数控程序由以下几部分组成：

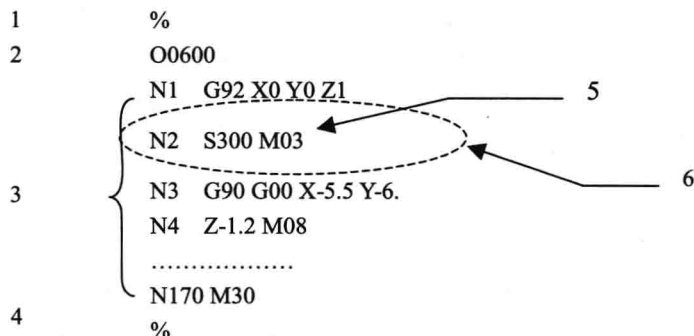
(1) 程序起始符。一般为“%”，有的数控系统也采用其他字符，应根据数控机床的操作说明使用。程序起始符单列一行。

(2) 程序名。单列一行，有两种形式：一种是以规定的英文字母（通常为 O）为首，后面接若干位（通常为 2 位或 4 位）数字，如 O523，也可称为程序号；另一种是以英文字母、数字和符号“-”混合组成，比较灵活。程序名具体采用何种形式是由数控系统决定的。

(3) 程序主体。由多个程序段组成，程序段是数控程序中的一句，单列一行，用于指令机床完成某一个动作。每个程序段又由若干个程序字（WORD）组成，每个程序字表示一个功能指令，因此又称为功能字，它由字首及随后的若干个数字组成（如 X100）。字首是一个英文字母，称为字的地址，它决定了字的功能类别。一般字的长度和顺序不固定。在程序末尾一般有程序结束指令，如 M30，用于停止主轴、冷却液和进给，并使控制系统复位。

(4) 程序结束符。程序结束的标记符，一般与程序起始符相同。

以上是数控程序结构最基本的形式，也是采用交互式图形编程方式后处理所得到的最常见的程序形式。更复杂的程序还包括注释语句、子程序调用等，这里不作更多的介绍。

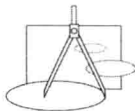


1—起始符 2—程序名 3—程序主体 4—程序结束符 5—功能字 6—程序段

图 1-2 数控程序结构

1.3.2 常用的数控指令

数控程序字按其功能的不同可分为若干种类型，下面分别予以简单介绍。



1. 顺序号字

顺序号字也叫程序段号，在程序段之首，以字母 N 开头，其后为一个 2~4 位的数字。



专家指点：数控程序是按程序段的排列次序执行的，与程序段号的大小次序无关，即程序段号实际上只是程序段的名称，而不是程序段执行的先后次序。

2. 准备功能字

准备功能字以字母 G 开头，后接一个两位数字，因此又称为 G 指令。它是控制机床运动的主要功能类别。常用的 G 指令如下。

(1) G00：快速点定位，即刀具快速移动到指定坐标，用于刀具在非切削状态下的快速移动，其移动速度取决于机床本身的技术参数。如刀具快速移动到点 (100, 100, 100) 的指令格式为

```
G00 X100.0 Y100.0 Z100.0
```

(2) G01：直线插补，即刀具以指定的速度直线运动到指定的坐标位置，是进行切削运动的两种主要方式之一。如刀具以 250mm/min 的速度直线插补运动到点 (100, 100, 100) 的指令格式为

```
G01 X100.0 Y100.0 Z100.0 F250
```

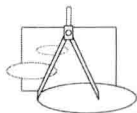
(3) G02、G03：顺时针和逆时针圆弧插补，即刀具以指定的速度以圆弧运动到指定的位置。G02/G03 有两种表达格式：一种为半径格式，使用参数值 R，如 G02 X100. Y100. R50. F250 表示刀具以 250mm/min 的速度沿半径为 50 的顺时针圆弧运动至终点 (100, 100)，其中 R 值的正负影响切削圆弧的角度，R 值为正时，刀位起点到刀位终点的角度小于或等于 180°，R 值为负时，刀位起点到刀位终点的角度大于或等于 180°；另一种为向量格式，使用参数 I、J、K 给出圆心坐标，并以相对于起始点的坐标增量表示。如 G02 X100. Y100. I50. J50. F250 表示刀具以 250mm/min 的速度沿一顺时针圆弧运动至点 (100, 100)，该圆弧的圆心相对于起点的坐标增量为 (50, 50)。

(4) G90、G91：绝对指令、增量指令。其中 G90 指定 NC 程序中的刀位坐标是以工作坐标系原点为基准来计算和表达的。而 G91 则指定 NC 程序中每一个刀位点的坐标都是以其相对于前一个刀位点的坐标增量来表示的。

(5) G40、G41、G42：刀具半径左补偿、右补偿和取消半径补偿。用半径为 R 的刀具切削工件时，刀轨必须始终与切削轮廓有一个距离为 R 的偏置，在手工编程中进行这种偏置计算往往十分麻烦。如果采用 G41、G42 指令，刀路轨迹会被自动偏移一个 R 距离，而编程只要按工件轮廓去考虑即可。在 G41、G42 指令中，刀具半径是用其后的 D 指令指定。所谓左补偿，是指沿着刀具前进的方向，刀轨向左侧偏置一个刀半径的距离。

在交互式图形编程中，由于刀轨是在工件表面的偏置面上计算得到的，因此不需要再进行半径补偿，即一般不使用 G40~G42 指令。

(6) G54、G92：加工坐标系设置指令。G54 是数控系统上设定的寄存器地址，其中存放了加工坐标系（一般是对刀点）相对于机床坐标系的偏移量。当数控程序中出现该指令时，数控系统即根据其中存放的偏移量确定加工坐标系。G92 是根据刀具起始点与加工



坐标系的相对关系确定加工坐标系，其格式示例为

G92 X20.0 Y30.0 Z40.0

表示刀具当前位置（一般为程序起点位置）处于加工坐标系（20, 30, 40）处，这样就等于通过刀具当前位置确定了加工坐标系的原点位置。

3. 辅助功能字

辅助功能字一般由字母 M 及随后的两位数字组成，因此也称为 M 指令。它用来指令数控机床辅助装置的接通和断开（即开关动作），表示机床各种辅助动作及其状态。常用的 M 指令如下。

- (1) M02、M30：程序结束。
- (2) M03、M04、M05：主轴顺时针转、主轴逆时针转、主轴停止转动。
- (3) M06：换刀。将预置的刀具（T）换到主轴上。
- (3) M08、M09：冷却液开、关。
- (4) M98：调用子程序。
- (5) M99：子程序结束返回主程序。

4. 其他功能字

(1) 尺寸字：也称为尺寸指令，主要用来指令刀位点坐标位置。如 X、Y、Z 主要用于表示刀位点的坐标值，而 R 用于表示圆弧的半径（参见 G02、G03 指令中的内容）。

(2) 进给功能字：以字母 F 开头，因此又称为 F 指令，用于指定刀具插补运动（即切削运动）的速度，称为进给速度，单位是毫米/分钟（mm/min）。

(3) 主轴转速功能字：以字母 S 开头，因此又称为 S 指令。用于指定主轴的转速，以其后的数字给出，单位是转/分钟（r/min）。

(4) 刀具功能字：用字母 T 及随后的号码表示，因此也称为 T 指令。用于指定加工时采用的刀具号，该指令在加工中心上使用。

以上介绍的是最基本的数控指令，使用它们已能够完成普通的数控编程任务。如欲了解更多的数控指令，请参阅附录 A 中的相关内容或相关参考书。

1.3.3 手工编程示例

尽管交互式图形编程已成为当前数控编程的主流方法，但在某些场合下手工编程仍有其应用的必要性。本节仅对手工编程作简单的介绍，并给出一个简单的程序示例。

手工编程的基本步骤是：

- (1) 零件图分析。
- (2) 刀具加工路径规划和刀位计算。
- (3) 工艺分析。
- (4) 程序编制与校验。

下面是一个简单的手工编程示例，其中的刀位点已分别在图 1-3 和程序（见表 1-1）中对应标出。



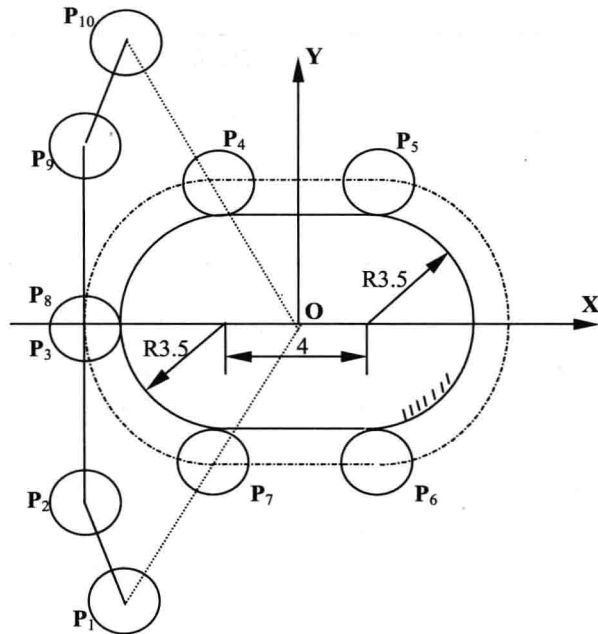
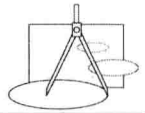


图 1-3 刀位点

表 1-1 加工程序及说明

程 序	程序段说明	刀 位 点
N1 G54 G90 G00 X0 Y0;	选择坐标系, 并移动到原点O	O
N2 S800 M03 ;	主轴转速设定及主轴顺时针转	
N3 G90 G00 X-5.5 Y-7. ;	采用绝对坐标系编程, 速移至P ₁ 。由于Z坐标不变, 因此在G00后省略该坐标值的尺寸字	P ₁
N4 Z-1.2 M08 ;	刀具速降到工件表面以下1.2mm处, X、Y坐标不变。打开冷却液。由于与前一指令同样是快速点定位, 因此G00可省略	
N5 G41 G01 X-5.5 Y-5. D03 F250 ;	刀具左补偿启动, 并以250mm/min的速度进行第一次带左补偿的直线插补运动, 注意移动坐标与实际运动位置P ₂ 的关系。此后各段左补偿将持续有效。D03中存放了刀具半径的数值, 即左补偿量	P ₂
N6 Y0 ;	直线插补移动 (与前一指令相同, 故G01可省略) 至P ₃ , 这是进刀段	P ₃
N7 G02 X-2. Y3.5 R3.5 ;	顺时针圆弧切削运动到P ₄	P ₄
N8 G01 X2. Y3.5 ;	直线插补	P ₅
N9 G02 X2. Y-3.5 R3.5 ;	顺时针圆弧切削运动	P ₆
N10 G01 X-2. Y-3.5 ;	直线插补	P ₇
N11 G02 X-5.5 Y0 R3.5 ;	顺时针圆弧切削运动	P ₈
N12 G01 X-5.5 Y5. ;	直线插补	P ₉