

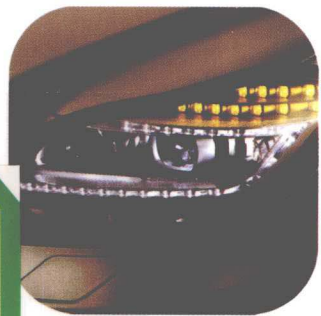
精·益·工·程·视·频·讲·堂 (CAD/CAM/CAE)

UG NX 8.0

数控编程



谢龙汉 编著



- “精”——汽车王国，振兴了日本整个工业产业，精益开发乃精益生产之重要组成部分。本丛书将精益生产的理念融入到设计、制造、分析等设计开发阶段。
- 精选、精简、精细、高效——功能简洁必要、组织紧凑合理、学习高效方便。
- 短篇教学、全视频。



清华大学出版社

精益工程视频讲堂 (CAD/CAM/CAE)

UG NX 8.0 数控编程

谢龙汉 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以UG NX 8.0中文版为蓝本进行编写,全书共7讲,包括数控加工基础、平面铣削、型腔加工、固定轴曲面轮廓铣、点位加工、可变轴曲面轮廓加工、综合实例等内容。本书以“实例·模仿→功能讲解→实例·操作→实例·练习”为叙述结构,除第1讲外,每一讲均以一个简单的例子开篇,使读者易于理解与操作,在引起读者兴趣后再详细剖析该模块的主要功能以及注意事项,最后以综合实例巩固所学知识,通过典型实例操作与重点知识相结合的方法,以全视频的形式对UG数控编程进行深入讲解。本书语言简洁、讲解全面、循序渐进,并配有全程多媒体视频,包括详细的功能操作讲解和实例操作过程讲解,读者可以通过观看视频来学习。

本书可作为NX各版本(NX 5.0、NX 6.0、NX 7.0、NX 7.5及NX 8.0)初学者入门和提高的学习教程,也可作为各大中专院校相关专业和培训机构的教材,还可供具有中专以上文化程度的设计人员或学生使用,是从事CAD/CAE/CAM相关领域工作的技术人员的有价值的参考书。

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 NX 8.0 数控编程/谢龙汉编著. —北京:清华大学出版社, 2013
(精益工程视频讲堂. CAD/CAM/CAE)

ISBN 978-7-302-31741-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第051298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:赵丽杰

责任印制:沈露

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:北京世知印务有限公司

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:15 字 数:371千字

(附DVD光盘1张)

版 次:2013年6月第1版

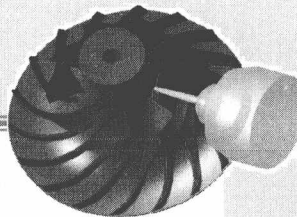
印 次:2013年6月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00元

精

益工程视频讲堂——UG NX 8.0 数控编程

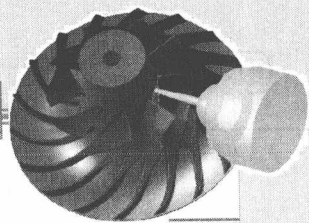


腾龙科技
Tenlong Tech

腾龙科技

主编：谢龙汉

编委：林 伟 魏艳光 林木议 郑 晓 吴 苗
林树财 林伟洁 王悦阳 辛 栋 刘艳龙
伍凤仪 张 磊 刘平安 鲁 力 张桂东
邓 奕 马双宝 王 杰 刘江涛 陈仁越
彭国之 光 耀 姜玲莲 姚健娣 赵新宇
莫 衍 朱小远 彭 勇 潘晓烨 耿 煜
刘新东 尚 涛 张炯明 李 翔 朱红钧
李宏磊 唐培培 刘文超 刘新让 林元华



前 言

丰田汽车公司的“精益生产”精神造就了丰田汽车王国，也直接影响了日本的整个工业体系，包括笔者曾经工作过的本田汽车公司。“精益生产”的精髓是“精简”和“效率”，简单地说，只有精简的组织结构，才能达到最高的生产效率。开发设计阶段是其中关键的一环。产品设计开发是复杂、繁琐、反复的设计过程，只有合理组织设计过程，使用合理的设计方法，才能最大限度地提高设计开发效率。因此，将精益生产的理念运用于设计开发阶段有着重要的现实意义。本书所提出的“精益工程”，包括精益设计（针对设计领域）、精益制造（针对数控加工领域）和精益分析（针对工程分析），其主要理念是：功能简洁必要、组织紧凑合理、学习高效方便。

UG (Unigraphics) 是一款集 CAD/CAE/CAM 于一体的三维机械设计软件，也是当今世界上应用广泛的计算机辅助设计、分析与制造的软件之一，在汽车、交通、航空航天、日用消费品、通用机械及电子工业等工程设计领域都有大规模的应用。UG NX 8.0 是 NX 系列的最新版本（兼容了 NX 5.0、NX 6.0、NX 7.0、NX 7.5 等版本），也是软件商重点推广的版本。本书精选 UG 在 CAD 领域应用所需的相关知识点进行详细讲解，并以丰富的实例、全视频讲解等方式进行全方位教学。

本书特色

本书除第 1 讲外，均以“实例·模仿→功能讲解→实例·操作→实例·练习”为叙述结构，通过典型实例操作和重点知识讲解相结合的方式，对 UG NX 8.0 的基础知识、常用的功能进行了讲解。在讲解中力求紧扣操作、语言简洁、形象直观，避免冗长的解释说明，省略对不常用功能的讲解，使读者能够快速了解 UG NX 8.0 的使用方法和操作步骤。

全书录制视频

本书将实例讲解、功能讲解、练习等全部内容，按照课堂教学的形式录制为多媒体视频，使读者如临教室，提高学习效果。读者甚至可以抛开书本，按照书中列出的视频路径，从光盘中打开相应的视频直接观看学习，以达到轻松学习的目的。随书附赠光盘可以用 Windows Media Player 等常用播放器播放，如果不能正常播放，请安装光盘中的 tsc.exe 插件。

本书内容

本书共 7 讲，讲解中配有大量图片，形象直观，便于读者模仿操作和学习。另附有光盘，包含本书的全部教学视频及实例讲解的操作源文件，方便读者自学。

第 1 讲为数控加工基础以及 UG NX 8.0 数控加工操作的基本方法。介绍了数控编程及相关技术、NX 8.0 的加工环境、数控加工的基本步骤等，并通过一个典型案例作为入门引例，演示 UG NX 8.0 数控加工的方法。

第 2 讲对平面铣削加工进行了详细的讲解。通过对这一讲的学习，读者可以掌握平面铣削加工的一般方法和流程，以及平面铣削加工的各种参数设置等。

第 3 讲对型腔加工进行了详细的讲解。型腔铣加工是固定轴轮廓铣最为常用的加工方法，它一般用于对平面类或者轮廓类几何模型的粗加工。型腔铣用于大范围、大深度切除模型材料。当需要对毛坯进行大量切除余量，达到一个比较接近具体零件形状的时候，型腔铣是最好的选择。本讲主要介绍型腔铣操作的基本原理、型腔铣操作的创建方法、型腔铣操作工艺参数的设置等。

第 4 讲重点介绍了固定轴曲面轮廓铣操作的创建方法、固定轴曲面轮廓铣的各种驱动方式以及固定轴曲面轮廓铣切削参数的设置等内容。通过对本讲的学习，读者可以掌握固定轴曲面轮廓铣的应用范围、理解固定轴曲面轮廓铣切削参数的作用、掌握创建固定轴曲面轮廓铣的操作步骤等。

第 5 讲对点位加工进行了详细的讲解。点位加工用于创建钻孔、铰孔、镗孔、攻丝等点位的刀轨，针对不同类型的孔，分别有很多不同的参数控制刀具深度和其他参数。钻孔加工的程序相对简单，通常可以在机床上直接输入程序语句进行加工，但对于使用 UG 进行编程的工件来说，使用 UG 进行钻孔程序的编制，可以直接生成完整的程序，从而提高了机床的利用率。

第 6 讲主要介绍了 UG 铣加工中的可变轴曲面轮廓加工。可变轴曲面轮廓针对的加工对象主要是复杂的曲面零件，可以使用的加工方法和加工参数更加复杂。

第 7 讲主要对一个综合实例——电吹风凹模加工进行了非常详细的讲述，全面演示了实际生产中数控编程的方法和操作过程。

本书读者对象

本书具有操作性强、指导性强、语言简练等特点，可作为 UG NX 各版本初学者入门和提高的学习教程，也可作为各大中专院校和培训机构的 UG NX 教材，还可供从事数控加工、产品设计、三维造型等领域的工作人员参考使用。

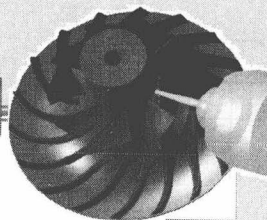
学习建议

建议读者按照本书编排的先后次序学习 UG NX 软件。从第 2 讲开始，读者可以首先浏览“实例·模仿”部分，然后打开相应的视频文件仔细观看，再根据实例的操作步骤在 UG 中进行操作练习。如果遇到操作困难的地方，可以再次观看视频。对于“功能讲解”部分，读者可以先观看每一节的视频，然后动手进行操作。对于“实例·操作”部分，建议读者直接根据书中的操作步骤动手操作，完成后再观看视频以加深印象，并解决操作中遇到的问题。对于“实例·练习”部分，建议读者根据实例的要求自行练习，遇到问题再查看书中操作步骤或观看操作视频。关于光盘的使用方法，请读者参见光盘中的 Readme.doc 文档。

感谢您选用本书进行学习，在学习的过程中，如果有什么意见和建议，请告诉我们，电子邮箱地址：xielonghan@yahoo.com.cn。

祝您学习愉快!

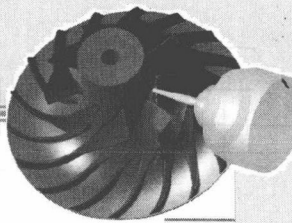
编者



目 录

第 1 讲 数控加工基础 1	2.3.4 非切削移动..... 43
1.1 数控编程及相关技术..... 1	2.3.5 进给率和速度..... 49
1.1.1 数控编程概述..... 2	2.4 设定平面铣削几何体..... 50
1.1.2 数控程序格式..... 3	2.4.1 平面铣几何体类型..... 50
1.1.3 数控编程的关键技术..... 5	2.4.2 边界的类型及创建方法..... 51
1.1.4 数控加工技术概况..... 5	2.5 实例·操作——带岛屿凹模加工..... 54
1.1.5 数控加工工艺的主要内容..... 6	2.6 实例·练习——开放边界带岛屿型腔加工..... 59
1.1.6 数控机床概述..... 8	
1.2 UG NX 8.0 概述..... 10	
1.2.1 UG CAD 与 UG CAM 的关联..... 11	第 3 讲 型腔加工 65
1.2.2 UG CAD 简介..... 11	3.1 实例·模仿——凹模型腔加工..... 65
1.2.3 UG CAM 简介..... 12	3.2 设定加工几何体..... 74
1.3 UG NX 8.0 加工环境..... 13	3.2.1 创建坐标系几何体..... 75
1.3.1 进入 UG NX 8.0 加工环境..... 13	3.2.2 创建工件..... 76
1.3.2 NX 8.0 CAM 的主界面..... 14	3.2.3 创建切削区域..... 77
1.4 UG CAM 数控加工的基本步骤..... 15	3.3 创建加工工序..... 77
1.4.1 创建程序..... 15	3.4 设置加工参数..... 81
1.4.2 创建刀具..... 16	3.4.1 切削模式..... 81
1.4.3 创建几何体..... 16	3.4.2 步距..... 82
1.4.4 创建方法..... 17	3.4.3 每刀的公共深度..... 83
1.4.5 创建工序..... 17	3.4.4 切削层..... 83
1.4.6 生成刀轨..... 18	3.4.5 切削参数..... 83
1.4.7 过切检查..... 18	3.4.6 非切削移动..... 89
1.4.8 确认刀轨..... 19	3.4.7 进给率与速度..... 91
1.4.9 程序后处理文件..... 19	3.5 实例·操作——凸凹模加工..... 91
1.5 入门引例——凹模的加工..... 19	3.6 实例·练习——多曲面凸模加工..... 102
第 2 讲 平面铣削 27	第 4 讲 固定轴曲面轮廓铣 112
2.1 实例·模仿——方形凹模加工..... 27	4.1 实例·模仿——带凹面凸台加工..... 112
2.2 平面铣削的一般方法..... 33	4.2 建立固定轴曲面轮廓铣的加工工序..... 120
2.3 铣削参数设置..... 36	4.3 加工参数设置..... 121
2.3.1 切削参数..... 36	4.3.1 切削参数..... 121
2.3.2 切削深度..... 39	4.3.2 非切削移动..... 126
2.3.3 步距..... 42	4.4 驱动方法..... 128
	4.4.1 曲线/点驱动..... 129

4.4.2 螺旋式驱动.....	130	5.5 设定循环加工.....	167
4.4.3 边界驱动.....	131	5.5.1 钻削深度.....	167
4.4.4 区域铣削驱动.....	135	5.5.2 进给率.....	167
4.4.5 曲面驱动.....	135	5.5.3 Dwell (暂停时间).....	167
4.4.6 流线驱动.....	137	5.5.4 Rtrcto.....	168
4.4.7 刀轨驱动.....	139	5.6 实例·操作——多孔系零件加工.....	168
4.4.8 径向切削驱动.....	140	5.7 实例·练习——垫板孔位加工.....	188
4.4.9 清根驱动.....	141	第6讲 可变轴曲面轮廓加工.....	197
4.4.10 文本驱动.....	142	6.1 实例·模仿——拉手曲面加工.....	197
4.4.11 用户定义驱动.....	142	6.2 可变轴曲面轮廓铣概述.....	200
4.5 实例·操作——凸模曲面的加工.....	143	6.3 刀轴控制.....	202
4.6 实例·练习——旋钮加工.....	145	6.4 实例·操作——叶片的加工.....	205
第5讲 点位加工.....	149	6.5 实例·练习——具有斜面凹槽的 加工.....	208
5.1 实例·模仿——法兰盖孔位加工.....	149	第7讲 综合实例——电吹风凹模加工.....	211
5.2 建立点位加工工序.....	164	附录A UG NX 8.0 的安装方法.....	227
5.3 设定加工几何体.....	165		
5.4 设置加工参数.....	166		



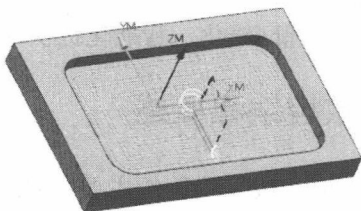
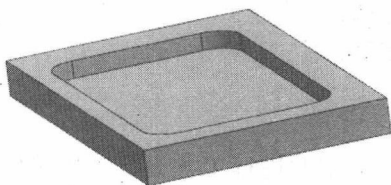
第 1 讲 数控加工基础

本讲主要包括数控加工基础知识的介绍，如工艺分析和规划、切削用量、刀具半径补偿与长度补偿、顺铣与逆铣等，还有数控加工的基本流程，如创建程序、创建几何体、创建刀具和创建操作等内容。



本讲内容

- 数控编程及相关技术
- UG NX 8.0 概述
- UG NX 8.0 加工环境
- UG CAM 数控加工的基本步骤
- 入门引例——凹模的加工



1.1 数控编程及相关技术

数控 (Numerical Control)，国标对其定义如下：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。数控加工就是把数字化控制技术应用于传统的加工技术中，它几乎覆盖所有领域，如车、铣、刨、镗、钻、拉、电加工、板材成型等。

与传统的加工手段相比，数控加工方法的优势比较明显，主要表现在如下几个方面。

(1) 柔性好。所谓的柔性即适应性，是指数控机床随生产对象的变化而变化的适应能力。数控机床把加工的要求、步骤与零件尺寸用代码和数字表示为数控程序，通过信息载体将数控程序输入数控装置。经过数控装置中的计算机处理与计算，发出各种控制信号，控制机床的动作，按程序加工出图纸要求的零件。在数控机床中使用的是可编程的数字量信号，当被加工零件改变时，只要编写“描写”该零件加工的程序即可。数控机床对加工对象改型的适应性强，这为单件、小批零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

(2) 加工精度高。数控机床有较高的加工精度，而且其加工精度不受零件形状复杂程度的影响。这对于一些用普通机床难以保证精度甚至无法加工的复杂零件来说是非常重要的。另外，数控加工消除了操作者的人为误差，提高了同批零件加工的一致性，使产品质量稳定。

(3) 能加工复杂型面。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者

无法进行的复杂型面加工。

(4) 生产效率高。数控机床的加工效率一般比普通机床高 2~3 倍,尤其在加工复杂零件时,生产率可提高十几倍甚至几十倍。一方面是因为其自动化程度高,具有自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且工序集中,在一次装夹中能完成较多表面的加工,省去了画线、多次装夹、检测等工序;另一方面是加工中可采用较大的切削用量,有效地减少了加工中的切削工时。

(5) 劳动条件好。在数控机床上加工零件自动化程度高,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

(6) 有利于生产管理。用数控机床加工,能准确地计划零件的加工工时,简化检验工作,减轻了工夹具、半成品的管理工作,降低了因误操作而出废品及损坏刀具的可能性,这些都有利于管理水平的提高。

(7) 易于建立计算机通信网络。由于数控机床是使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统连接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。另外,数控机床通过因特网(Internet)、内联网(Intranet)、外联网(Extranet)可实现远程故障诊断及维修,已初步具备远程控制和调度,进行异地分散网络化生产的可能,从而为今后进一步实现制造过程网络化、智能化提供了必备的基础条件。

1.1.1 数控编程概述

一般来说,数控编程的主要内容包括:分析加工要求进行工艺设计,以确定加工方案,选择合适的机床、刀具、夹具,确定合理的走刀路线及切削用量等;建立工件的几何模型、计算加工过程中刀具相对于工件的运动轨迹或机床运动轨迹;按照数控系统可接受的程序格式,生成零件加工程序,然后对其进行验证和修改,直到得到合格的加工程序。

1. 数控编程技术的发展历程

20 世纪 50 年代,麻省理工学院(MIT)设计了一种专门用于零件数控加工程序编制的语言 APT,其后 MIT 组织美国各大飞机公司共同开发了 APTII。到了 20 世纪 60 年代,在 APTI 的基础上研制的 APTII 已经到了应用阶段。以后又几经修改和充实,发展成为 APT-IV、APT-AC 和 APT-IV/SS。

APT 能处理二维、三维铣削加工,但较难掌握。为此,在 APT 的基础上,世界各国发展了带有一定特色和专用性更强的 APT 衍生语言。

1972 年,美国洛克西德加利福尼亚飞机公司首先研究成功采用图像仪辅助设计、绘图和编制数控加工程序的一体化系统 CADAM 系统,从此揭开了 CAD/CAM 一体化的序幕。1975 年,法国达索飞机公司引进 CADAM 系统,为已有的二维加工系统 CALMRB 增加二维设计和绘图功能,1978 年进一步扩充,开发了 CATIA 系统。随着计算机处理速度的发展和图形设备的日益普及,数控编程系统进入了 CAD/CAM 一体化时代。

目前应用较为广泛的数控编程系统有 APT-IV/SS、CADAM、CATIA、EUKLID、UGII、INTERGRAPH、Pro/Engineer、MasterCAM 等。我国的西北工业大学、华中科技大学等开发的图形编程系统(如 NPU/GNCP 和 InteCAM)也具有两轴半零件加工和雕塑曲面多轴加工等功能,达到了实用化程度。

2. 数控编程技术的现状与趋势

日益增多的复杂形状零件和高精、高效的加工对数控编程技术提出了越来越高的要求，因此复杂零件的加工一直是数控编程技术的主要研究内容。

目前的编程系统对于三坐标加工一般能较好地完成，且能够达到较高的稳定性。对于多轴加工，虽然在加工复杂形状零件的许多方面有着显著的优势，但多轴加工编程较复杂，特别是零件形状具有复杂多变性，因而要实现较通用的多坐标自动编程难度较大。所以，目前编程系统中对多坐标加工都采取面向专用零件的方式。

加工方案与加工参数的选择是否合理极大地影响了数控加工的效率与质量，而在复杂形状零件的加工过程中，切削状态一般来说都是一直变化的，因此加工参数的优化措施还必须具有自适应的特点。对于加工方案与参数的自动与优化是数控编程走向智能化与自动化的重要标志和要解决的关键问题。在建立工艺数据库的基础上，采取自动特征识别和其子特征与知识的编程是解决该问题的重要途径。目前，各国对于加工方案自动选择与优化开展了不少研究，如韩国高等科学与技术研究院开发的 Unified CAM-System、应用并行工程和智能制造模式完成的模具 CAD/CAM、日本索尼公司的 Fresdam 系统以及美国 Purdue 大学开发的 CASCAM 系统等已实现了一定的智能化与自动化，但尚未达到系统实用的程度。

数控编程系统与计算机辅助设计系统、加工过程控制系统、质量控制系统等的集成化的目的是便于各系统间的信息反馈和并行处理，提高编程以至于整个产品设计制造过程的效率与质量。编程系统与 CAD 系统集成化目前多采用以实体造型几何数据库为核心的集成方法，这样便于直接从 CAD 数据库中提取所需要的几何信息及拓扑信息进行数控编程，但这种方式仍然需要较多的人工干预。还有一种以产品模型数据库为核心的集成化方法。采用新一代特征造型技术的产品模型的建立包含了产品的完整信息，因此有利于根据模型所包含的几何和非几何信息来自动确定加工方案、加工参数等，是一种很有价值的集成化方法，目前这种方法仍处于研究与开发之中。

1.1.2 数控程序格式

根据问题复杂程度的不同，数控加工可通过手工编程或计算机自动编程来获得。手工编程只能解决点位加工或者几何形状不太复杂的零件编程问题；编程人员只需借助数控编程系统提供的各种功能对加工对象、工艺参数及加工过程进行较简单的描述后，即可由编程系统自动完成数控加工程序编制的其余内容。

一个零件程序是一组被传送到数控装置中的指令和数据。

一个零件程序是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的，而每个程序段是由若干个指令字组成的，如图 1-1 所示。

1. 指令字的格式

一个指令字是由地址符（指令字符）和带符号（如定义尺寸的字）或不带符号（如准备功能字 G 代码）的数字数据组成的。

程序段中不同的指令字符及其后续数值确定了每个指令字的含义。在数控程序段中包含的

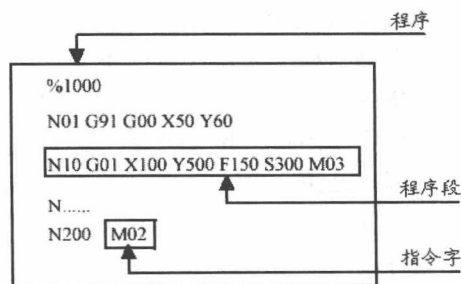


图 1-1 程序结构

主要指令字符如表 1-1 所示。

表 1-1 指令字符一览表

机 能	地 址	意 义
零件程序号	%	程序编号: %1~4294967295
程序段号	N	程序段编号: N0~4294967295
准备机能	G	指令动作方式(直线、圆弧等) G00-99
尺寸字	X, Y, Z	坐标轴的移动命令 -99999.999~+99999.999
	A, B, C	
	U, V, W	
	R	圆弧半径固定循环的参数
	I, J, K	圆心相对于起点的坐标固定循环的参数
进给速度	F	进给速度的指定 F0~24000
主轴机能	S	主轴旋转速度的指定 S0~9999
刀具机能	T	刀具编号的指定 T0~99
辅助机能	M	机床侧开/关控制的指定 M0~99
补偿号	H, D	刀具补偿号的指定 00~99
暂停	P, X	暂停时间的指定 秒
程序号的指定	P	子程序号的指定 P1~4294967295
重复次数	L	子程序的重复次数, 固定循环的重复次数
参数	P, Q, R	固定循环的参数

2. 程序段的格式

一个程序段定义一个由数控装置执行的指令行。

程序段的格式定义了每个程序段中功能字的句法, 如图 1-2 所示。

3. 程序的一般结构

一个零件程序必须包括起始符和结束符。它是按程序段的输入顺序执行的, 而不是按程序段号的顺序执行的, 但书写程序时建议按升序书写程序段号。

华中世纪星数控装置 HNC-21M 的程序结构如下。

程序起始符: % (或 O) 符, % (或 O) 后跟程序号。

程序结束: M02 或 M30。

注释符: 括号内或分号 (;) 后的内容为注释文字, 该文字仅起注释作用, 不影响程序的加工运行。

4. 编程的规定

- (1) 上一程序段(句)的终点为下一程序段(句)的起点。
- (2) 上一程序段(句)中出现的模态值, 下一句中如果不变, 可省略; X、Y、Z 坐标如果

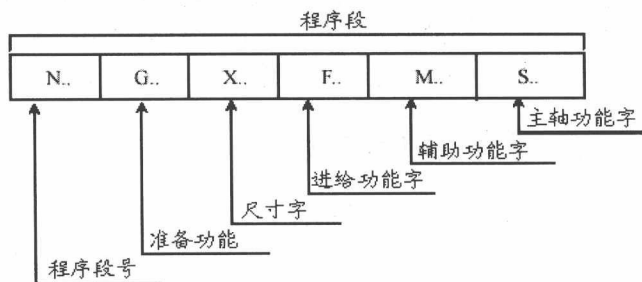


图 1-2 程序格式

没有移动,可省略。

(3) 程序的执行顺序与程序号 N 无关,只按程序段(句)书写的先后顺序执行, N 可任意排,也可省略。

(4) 在同一程序段(句)中,程序的执行与 M、S、T、G、X、Y、Z 的书写无关,按系统自身设定的顺序执行,但一般按一定的顺序书写: N、G、X、Y、Z、F、M、S、T。

数控编程的指令,主要是 G、M、S、T、X、Y、Z 等都已实现标准化,但不同的数控系统并不完全一致,所编的程序不能完全通用,可参照相应系统的编程说明书,但基本上大同小异,学会一种就很容易学会另一种。

1.1.3 数控编程的关键技术

要想所编写的程序符合加工要求、技术要求、零件的性能指标,必须很好地把握编程的关键技术,就此分析如下。

(1) 复杂形状零件的几何建模。对于基于图纸以及型面特征点测量数据的复杂形状零件数控编程,其首要环节是建立被加工零件的几何模型。复杂形状零件几何建模的主要技术包括曲线曲面生成、编辑、裁剪、拼接、过渡、偏置等。

(2) 加工方案与加工参数的合理选择。数控加工效率与质量有赖于加工方案与加工参数的合理选择,其中刀具、刀轴控制方式、走刀路线和进给速度的自动优化选择与自适应控制是近年来所研究的重点问题。

(3) 刀具轨迹生成。它是复杂形状零件数控加工中最重要同时也是最为广泛深入研究的内容,能否生成有效的刀具轨迹直接决定了加工的可能性、质量和效率。刀具轨迹生成的首要目标是使所生成的刀具轨迹能满足无干涉、无碰撞、轨迹光滑、切削负荷光滑并满足要求、代码质量高、代码量小等条件。

(4) 数控加工仿真。由于零件形状的复杂多变性及加工环境的复杂性,所生成的加工程序在加工过程中可能还会存在诸如过切与欠切、与机床各部件的干涉碰撞等问题。这些问题对于高速加工来说往往都是致命的。因此,在实际加工前进行数控加工仿真是十分必要的。数控加工仿真通过软件模拟加工环境、刀具路径与材料切除过程来检验并优化加工程序,具有柔性好、成本低、效率高且安全可靠等特点,是提高编程效率与质量的重要措施。

(5) 后置处理。它是数控加工编程技术的一个重要内容,它将通用前置处理生成的刀位数据转换成适合于机床数据和数控加工程序。其技术内容主要包括:机床运动学建模与求解、机床结构误差补偿、机床运动非线性误差校核修正、机床运动的平稳性校核修正、进给速度校核修正及代码转换等。因此,有效的后置处理对于保证加工质量、效率与机床可靠运行具有重要的作用。

1.1.4 数控加工技术概况

数控加工技术是 20 世纪 40 年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化加工技术,其研究起源于飞机制造业。1947 年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想,他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加

工精度达到 ± 0.0015 英寸 (0.0381mm), 这在当时的水平来看是相当高的。1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件, 与帕森斯公司和麻省理工学院伺服机构研究所合作, 于 1952 年研制成功了世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床, 可控制铣刀进行连续空间曲面的加工, 揭开了数控加工技术的序幕。随后, 德、日、苏等国于 1956 年分别研制出本国第一台数控机床。1958 年清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控机床。

20 世纪 50 年代末期, 美国 K&T 公司开发了世界上第一台加工中心, 从而揭开了加工中心的序幕。1967 年, 英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统, 这就是最初的 FMS。20 世纪 70 年代, 由于计算机数控 (CNC) 系统和微处理机数控系统的研制成功, 使数控机床进入了一个较快的发展时期。

20 世纪 80 年代以后, 随着数控系统和其他相关技术的发展, 数控机床的效率、精度、柔性和可靠性进一步提高, 品种规格系列化, 门类扩展齐全, FMS 也进入了实用化。20 世纪 80 年代初出现了投资较少、见效快的 FMS。目前, 以发展数控单机为基础, 并加快了向 FMC、FMS 及计算机集成制造系统 (CIMS) 全面发展的步伐。数控加工装备的范围也正迅速延伸和扩展, 除金属切削机床外, 不但扩展到铸造机械、锻压设备等各种机械加工装备, 且延伸到非金属加工行业中的玻璃、陶瓷制造等各类装备。数控机床已成为国家工业现代化和国民经济建设中的基础与关键装备。

数控机床技术可从精度、速度、柔性和自动化程度等方面来衡量, 目前的技术现状与趋势主要朝着高精度化、高速度化、高柔性化、高自动化、智能化以及超复合化的方向发展, 在国民经济发展中越来越体现出它的高效性、高柔性。

1.1.5 数控加工工艺的主要内容

数控机床的加工工艺与通用机床的加工工艺有许多相同之处, 但在数控机床上加工零件比通用机床加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前, 要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等都编入程序, 这就要求程序设计人员具有多方面的知识基础。合格的程序员首先是一个合格的工艺人员, 否则就无法做到全面周到地考虑零件加工的全过程, 以及正确、合理地编制零件的加工程序。

在进行数控加工工艺设计时, 一般应进行以下 3 方面的工作: 数控加工工艺内容的选择、数控加工工艺性分析、数控加工工艺路线的设计。

1. 数控加工工艺内容的选择

对于一个零件来说, 并非全部加工工艺过程都适合在数控机床上完成, 而往往只是其中的一部分工艺内容适合数控加工。这就需要对零件图样进行仔细的工艺分析, 选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在考虑选择内容时, 应结合本企业设备的实际, 立足于解决难题、攻克关键问题和提高生产效率, 充分发挥数控加工的优势。

(1) 适于数控加工的内容

在选择时, 一般可按下列顺序考虑。

① 通用机床无法加工的内容应作为优先选择内容。

② 通用机床难加工, 质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。

③ 通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容, 可在数控机床尚存在富裕加工能力时选择。

(2) 不适于数控加工的内容

一般来说,上述这些加工内容采用数控加工后,在产品质量、生产效率与综合效益等方面都会得到明显提高。相比之下,下列一些内容不宜采用数控加工。

- ① 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工装协调的内容。
- ② 加工部位分散,需要多次安装、设置原点。这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床补加工。
- ③ 按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难,易于与检验依据发生矛盾,增加了程序编制的难度。

2. 数控加工工艺性分析

被加工零件的数控加工工艺性问题涉及面很广,下面结合编程的可能性和方便性提出一些必须分析和审查的主要内容。

(1) 尺寸标注应符合数控加工的特点。在数控编程中,所有点、线、面的尺寸和位置都是以编程原点为基准的。因此零件图样上最好直接给出坐标尺寸,或尽量以同一基准引注尺寸。

(2) 几何要素的条件应完整、准确。在程序编制中,编程人员必须充分掌握构成零件轮廓的几何要素参数及各几何要素间的关系。因为在自动编程时要对零件轮廓的所有几何元素进行定义,手工编程时要计算出每个节点的坐标,无论哪一点不明确或不确定编程都无法进行。但由于零件设计人员在设计过程中考虑不周或被忽略,常常出现参数不全或不清楚,如圆弧与直线、圆弧与圆弧是相切还是相交或相离。所以在审查与分析图纸时,一定要仔细核算,发现问题及时与设计人员联系。

(3) 定位基准可靠。在数控加工中,加工工序往往较集中,以同一基准定位十分重要。因此往往需要设置一些辅助基准,或在毛坯上增加一些工艺凸台。

(4) 统一几何类型及尺寸。零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型及尺寸,这样可以减少换刀次数,还可能使应用控制程序或专用程序缩短程序长度。零件的形状尽可能对称,便于利用数控机床的镜像加工功能来编程,以节省编程时间。

3. 数控加工工艺路线的设计

数控加工工艺路线的设计与通用机床加工工艺路线的设计的主要区别在于它往往不是指从毛坯到成品的整个工艺过程,而仅是几道数控加工工序工艺过程的具体描述。因此在工艺路线设计中一定要注意,由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中,因而要与其他加工工艺衔接好。常见的工艺流程如图1-3所示。

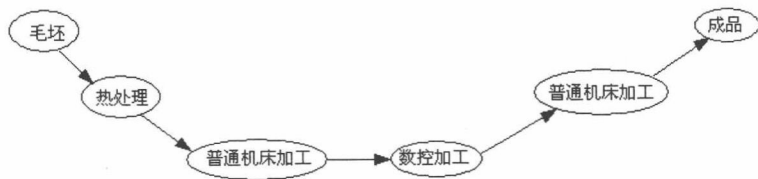


图 1-3 工艺流程

数控加工工艺路线设计中应注意以下几个问题。

(1) 工序的划分

根据数控加工的特点,数控加工工序的划分一般可按下列方法进行。

① 以一次安装、加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容较少的零件，加工完后就能达到待检状态。

② 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面，但考虑到程序太长，会受到某些限制，如控制系统的限制（主要是内存容量）、机床连续工作时间的限制（如一道工序在一个工作班内不能结束）等。此外，程序太长会增加出错与检索的困难。因此程序不能太长，一道工序的内容不能太多。

③ 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的工件，可按其结构特点将加工部位分成几个部分，如内腔、外形、曲面或平面，并将每一部分的加工作为一道工序。

④ 以粗、精加工划分工序。对于经加工后易发生变形的工件，由于对粗加工后可能发生的变形需要进行校形，故一般来说，凡要进行粗、精加工的过程，都要将工序分开。

(2) 顺序的安排

顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，以及定位、安装与夹紧的需要来考虑。顺序安排一般应按以下原则进行。

① 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧，中间穿插有通用机床加工工序的也应综合考虑。

② 先进行内腔加工，后进行外形加工。

③ 以相同定位、夹紧方式加工或用同一把刀具加工的工序，最好连续加工，以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数。

(3) 数控加工工艺与普通工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通加工工序，如果衔接得不好，就容易产生矛盾。因此在熟悉整个加工工艺内容的同时，要清楚数控加工工序与普通加工工序各自的技术要求、加工目的、加工特点，如要不要留加工余量，留多少；定位面与孔的精度要求及形位公差；对校形工序的技术要求；对毛坯的热处理状态等，这样才能使各工序达到加工需要，且质量目标及技术要求明确，交接验收有依据。

1.1.6 数控机床概述

1. 机床坐标轴

为简化编程和保证程序的通用性，对数控机床的坐标轴和方向命名制订了统一的标准，规定直线进给坐标轴用 X、Y、Z 表示，常称基本坐标轴。X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定，如图 1-4 所示。图中大姆指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y 轴的正方向，中指指向为 Z 轴的正方向。

围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示，根据右手定则，以大姆指指向 +X、+Y、+Z 方向，则食指中指等的指向是圆周进给运动的 +A、+B、+C 方向。

数控机床的进给运动有的由主轴带动刀具运动来

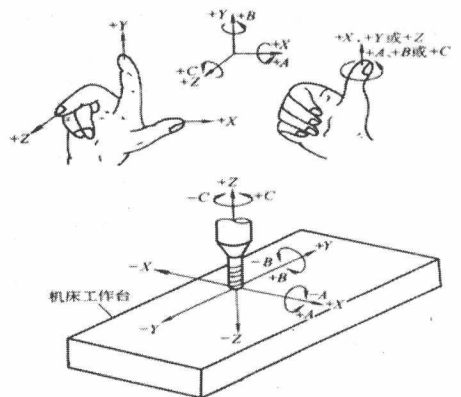


图 1-4 机床坐标轴

实现,有的由工作台带着工件运动来实现。上述坐标轴正方向是假定工件不动,刀具相对于工件做进给方向的运动。如果是工件移动则用加“'”的字母表示,按相对运动的关系,工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反,即有

$$+X=-X', +Y=-Y', +Z=-Z'$$

$$+A=-A', +B=-B', +C=-C'$$

同样,两者运动的负方向也彼此相反。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局,对铣床而言:

(1) Z轴与主轴轴线重合,刀具远离工件的方向为正方向(+Z)。

(2) X轴垂直于Z轴并平行于工件的装卡面,如果为单立柱铣床,面对刀具主轴向立柱方向看其右运动的方向为X轴的正方向(+X)。

(3) Y轴与X轴和Z轴一起构成遵循右手定则的坐标系统。

2. 机床坐标系、机床零点和机床参考点

机床坐标系是机床固有的坐标系,机床坐标系的原点也称为机床原点或机床零点。在机床经过设计制造和调整 after 这个原点便被确定下来,它是固定的点。

数控装置上电时并不知道机床零点,每个坐标轴的机械行程是由最大和最小限位开关来限定的。

为了正确地在机床工作时建立机床坐标系,通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点(测量起点),机床启动时通常要进行机动或手动回参考点以建立机床坐标系。

机床参考点可以与机床零点重合,也可以不重合,通过参数指定机床参考点到机床零点的距离。

机床回到了参考点位置,也就知道了该坐标轴的零点位置,找到所有坐标轴的参考点,CNC 就建立起了机床坐标系。

机床坐标轴的有效行程范围是由软件限位来界定的,其值由制造商定义。机床零点(OM)、机床参考点(ORPOMZ)、机床坐标轴的机械行程及有效行程的关系如图 1-5 所示。

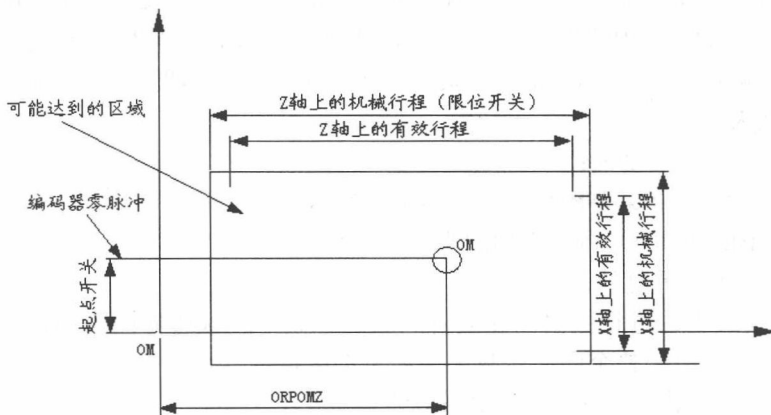


图 1-5 机床坐标轴的有效行程范围

3. 工件坐标系、程序原点和对刀点

工件坐标系是编程人员在编程时使用的,编程人员选择工件上的某一已知点为原点(也称