

1DVD 450分钟超大容量语音教学视频

书中实例的PRT文件

450分钟讲解实例制作过程和技术拓展的语音教学视频



UG NX 10.0

数控加工 从入门到精通

何耿煌 张守全 李东进◎编著

◎ 实例丰富 边学边练

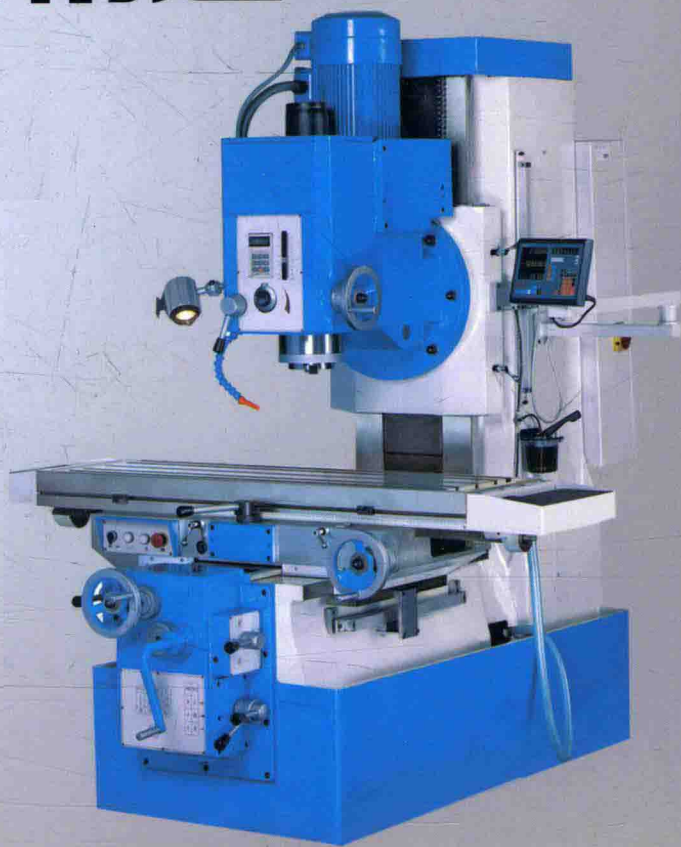
引领读者在实例制作中掌握
UG数控加工中常用命令和
工具的使用方法与操作技巧

◎ 技术实用 贴近实战

以具体行业应用为平台进行
讲解，更贴近实战

◎ 海量视频 学习高效

超大容量高清语音教学视
频，演示实例制作全过程并
讲解拓展技术

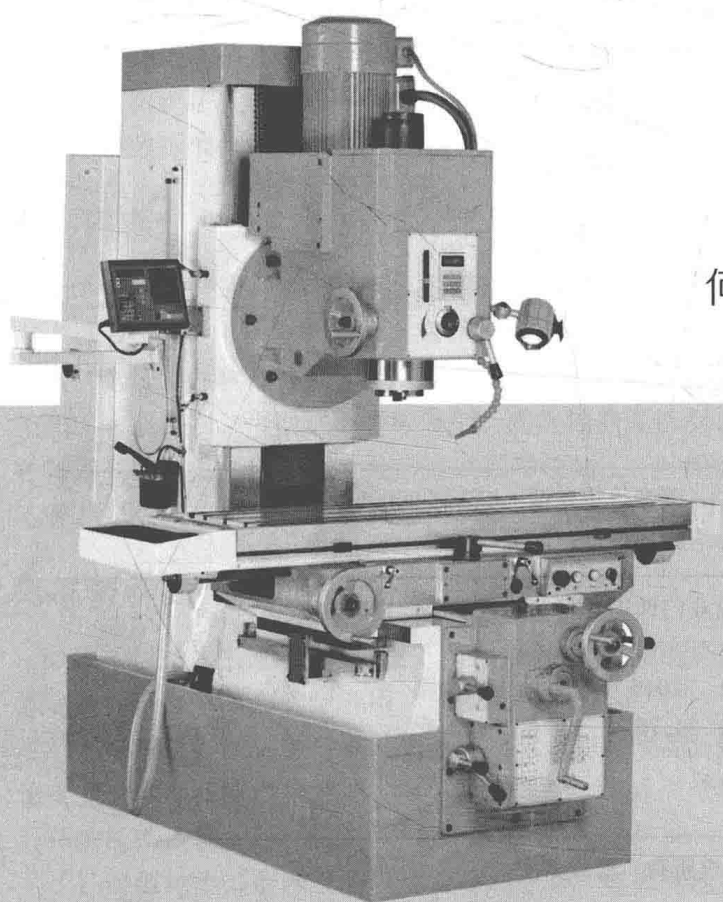


中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

UG NX 10.0

数控加工 从入门到精通

何耿煌 张守全 李东进◎编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书从实用角度出发,通过大量实例,详细、深入地讲解了UG在数控加工领域的热门应用。具体内容包括UG数控加工的基础知识,点位加工,面铣削,平面铣,型腔铣削加工,固定轴曲面铣削,多轴铣削加工,后处理等相关知识,最后通过咖啡勺加工、餐盘加工、叶轮加工、鞋跟凸模加工、塑料凳后模加工等实例讲解UG在数控加工领域的综合应用。

附赠光盘中提供了书中实例的.prt文件,以及演示实例设计过程的语音教学视频文件,可帮助读者有效地提高学习效率并拓展知识。

本书适合在校学生及从事机械、机电、自动化等相关行业的工程技术人员阅读学习,也可作为大中专院校和培训机构数控及其相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 10.0 数控加工从入门到精通 / 何耿煌, 张守全,
李东进编著. —北京: 中国铁道出版社, 2016. 6
ISBN 978-7-113-21676-4

I. ①U… II. ①何… ②张… ③李… III. ①数控机
床—加工—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第066043号

书 名: UG NX 10.0 数控加工从入门到精通

作 者: 何耿煌 张守全 李东进 编著

责任编辑: 于先军

读者热线电话: 010-63560056

责任印制: 赵星辰

封面设计: **MX** DESIGN
STUDIO

出版发行: 中国铁道出版社(北京市西城区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2016年6月第1版

2016年6月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 34.75

字数: 820千

书 号: ISBN 978-7-113-21676-4

定 价: 79.80元(附赠光盘)

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010) 51873174

打击盗版举报电话:(010) 51873659



UG 是一套集 CAD、CAM、CAE 功能于一体的三维参数化软件,是当今最先进的计算机辅助设计、分析和制造的高端软件之一,广泛用于航空、航天、汽车、轮船、通用机械和电子等工业领域。

UG 软件产生于美国麦道飞机公司,是飞机零件数控加工首选编程工具。它可以提供可靠、精确的刀具路径,能直接在曲面及实体上加工。完整的刀具库和加工参数库管理功能包含二轴到五轴铣削、车床铣削、线切割等。UG 具有大型刀具库管理、实体模拟切削、泛用型后处理器、高速铣,以及 CAM 客户化模板等功能。这些优势使得它在 CAM 领域处于领先的地位。

UG CAM 加工模块提供链接 UG 所有铣削加工类型的基础框架,它为所有的加工类型提供一个相同的、界面友好的图形化窗口。用户可以在图形方式下观测刀具沿轨迹运动的情况,并可对其进行图形化修改,如对刀具进行延伸、缩短或修改等。CAM 同时提供通用的点位加工编程功能,该功能用于钻孔、攻丝和镗孔等加工编程。CAM 模块交互式界面可按用户需求进行用户化修改和裁剪,并可定义标准化刀具库、加工工艺参数样板库,使粗加工、半精加工和精加工等操作常用参数标准化。

本书内容

本书结构严谨、内容翔实、思路清晰、实用性和专业性强,内容安排由浅入深、从易到难。书中以 UG NX 10.0 为平台,详细介绍了数控加工各个方面的具体应用和设计流程。书中首先带领读者认识 UG 软件、了解数控技术的基础知识和 UG NX 10.0 CAM 加工的相关内容。接着从点位加工、面铣削、平面铣、型腔铣削、固定轴曲面铣削、多轴铣削、后处理等几个方面全面讲解各种常见的数控加工类型。最后通过咖啡勺加工、叶轮五轮加工、鞋跟凸模加工、塑料凳后模加工等几个大型实例,让读者把书中所学的知识综合运用到实际设计当中。

本书特点

书中以“加工方法分析+重点参数介绍+典型实例应用”的方式安排内容,引领读者从理论知识到软件操作,再到实际应用,逐步深入学习。

书中对每种加工类型都是先介绍概念及讲解类型,然后介绍各种加工方法,让读者真正从理论上完全掌握其特点和方法。为了方便读者学习并彻底掌握,书中针对每种方法结合软件给出了具体的操作步骤。

针对每种类型所涉及的软件命令和工具,有重点地精解常用的部分,让读者把精力放在最重要、最关键的技术和内容方面,提高学习效率。

在讲解实例时先针对每一个实例进行概述,分析加工工艺,说明实例的特点、设计构思、操

作技巧、重点掌握内容和要用到的操作命令，使读者对其有一个整体概念，学习也更有针对性；接下来通过翔实、透彻的操作步骤，图文并茂地引领读者一步一步完成实例。这种讲解方法能够使读者更快、更深入地理解 UG 在数控加工编程中一些抽象的概念和复杂的命令及功能。

关于光盘

为了方便读者学习，本书附赠了大容量的 DVD 光盘，提供了如下内容：

- 书中实例的源文件。
- 讲解书中实例设计过程的语音视频教学文件。

读者对象

本书内容全面、条理清晰、实例丰富、讲解详细、图文并茂，适合在校学生及从事机械、机电、自动化等相关行业的从业人员阅读学习，也可作为大、中专院校和培训机构数控及其相关专业的教材。

本书主要由厦门金鹭特种合金有限公司的何耿煌、张守全、李东进等编写，并获得“中国博士后科学基金面上项目，编号为：2015M581460”资助。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 5 月



第 1 章 数控技术基础知识..... 1	
1.1 数控加工概述..... 1	
1.2 数控机床..... 4	
1.2.1 数控机床的特点、组成及工作 原理..... 4	
1.2.2 数控机床的轨迹控制与辅助 功能..... 7	
1.2.3 数控机床的分类..... 8	
1.2.4 数控机床的选择..... 11	
1.3 数控刀具..... 12	
1.3.1 数控刀具的特点..... 12	
1.3.2 数控刀具的分类..... 12	
1.3.3 数控刀具的材料..... 12	
1.3.4 数控刀具的选择..... 13	
1.4 数控编程基础..... 13	
1.4.1 数控编程概述..... 13	
1.4.2 数控程序的结构和格式..... 15	
1.4.3 常用的数控编程指令..... 16	
1.5 数控加工工艺概述..... 20	
1.6 基于 CAD/CAM 软件的交互式 图形编程..... 22	
1.6.1 交互式图形编程技术的特点..... 22	
1.6.2 交互式图形编程的基本步骤..... 23	
1.6.3 常用 CAD/CAM 软件简介..... 24	
第 2 章 UG NX 10.0 应用基础..... 28	
2.1 UG NX 10.0 概述..... 28	
2.1.1 UG NX 10.0 新增功能..... 29	
2.1.2 UG NX 10.0 的硬件要求..... 29	
2.2 常用辅助工具..... 30	
2.2.1 基准平面..... 30	
2.2.2 基准轴..... 30	
2.2.3 基准 CSYS..... 30	
2.2.4 基准点..... 30	
2.2.5 矢量构造器..... 31	
2.2.6 测量工具..... 31	
2.3 UG NX 10.0 的环境配置..... 33	
2.4 UG NX 10.0 的帮助功能..... 34	
2.5 UG NX 10.0 的首选项设置..... 35	
第 3 章 UG NX10.0 数控加工入门..... 38	
3.1 UG NX 10.0 CAM 技术应用..... 38	
3.1.1 UG CAM 概述..... 38	
3.1.2 UG CAM 中相关工具及加工 类型..... 39	
3.1.3 UG CAM 的数控加工流程..... 41	
3.2 UG NX 10.0 CAM 环境介绍..... 43	
3.2.1 UG NX 10.0 CAM 初始化设置..... 43	
3.2.2 UG NX 10.0 CAM 加工界面..... 44	
3.3 UG NX 10.0 CAM 基本功能..... 44	
3.3.1 操作导航器及操作管理..... 44	
3.3.2 UG NX 10.0 的编程步骤..... 46	
3.3.3 创建父节点组..... 47	
3.3.4 创建工序..... 48	
3.3.5 刀具路径仿真及检验..... 49	
3.4 边界的特性与创建..... 50	
3.4.1 加工区域..... 50	
3.4.2 临时边界和永久边界..... 51	
3.4.3 边界的分类..... 51	
3.4.4 边界的创建..... 52	
3.5 典型应用..... 55	
3.5.1 加工环境配置..... 55	
3.5.2 创建父组对象..... 56	
3.5.3 创建铣削操作..... 57	
第 4 章 点位加工..... 61	
4.1 点位加工概述..... 61	



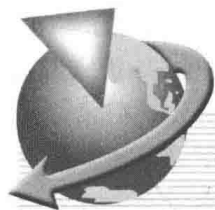
4.2 点位加工类型.....	63	本章小结.....	168
4.3 点位加工几何体设置.....	66	第6章 平面铣.....	169
4.3.1 指定孔.....	66	6.1 平面铣概述.....	169
4.3.2 指定顶面.....	71	6.1.1 平面铣的特点.....	169
4.3.3 指定底面.....	72	6.1.2 平面铣的操作步骤.....	170
4.4 循环类型.....	73	6.1.3 平面铣的子类型.....	171
4.4.1 循环类型选择方法.....	73	6.2 平面铣的组设置.....	174
4.4.2 循环类型—无循环和啄钻.....	73	6.2.1 定义程序组及加工方法.....	175
4.4.3 循环类型—断屑、标准文本、 标准钻.....	74	6.2.2 坐标系的设置.....	175
4.4.4 循环类型—标准钻：埋头孔、深孔、 断屑、标准攻丝.....	75	6.2.3 刀具和刀轴.....	177
4.4.5 循环类型—标准镗、快退、横向偏 置后快退、标准背镗、手工 退刀.....	76	6.2.4 编辑组设置.....	181
4.4.6 循环类型参数设置.....	78	6.2.5 实例——平面铣组设置.....	181
4.4.7 实例——简单孔的加工.....	81	6.3 平面铣加工几何体的选择.....	183
4.5 点位加工的循环参数.....	86	6.3.1 底壁加工几何体.....	184
4.5.1 最小安全距离.....	86	6.3.2 平面铣削几何体.....	186
4.5.2 深度偏置.....	86	6.3.3 几何体边界编辑.....	190
4.6 孔的附加、省略、反向、显示点、 圆弧轴控制.....	87	6.4 平面铣参数设置.....	192
4.7 典型应用.....	87	6.4.1 切削模式和切削步进.....	192
4.7.1 Z型折板孔位加工.....	87	6.4.2 切削层和切削参数.....	198
4.7.2 法兰类零件加工.....	103	6.4.3 其他参数设置.....	206
4.7.3 模具加工.....	117	6.5 刀路的产生与模拟.....	216
本章小结.....	136	6.6 平面文本加工.....	219
第5章 面铣削.....	137	6.6.1 雕刻加工基础知识.....	219
5.1 面铣削概述.....	137	6.6.2 创建制图文字.....	220
5.1.1 面铣削的特点.....	137	6.6.3 平面文本几何体.....	220
5.1.2 面铣削的操作步骤.....	137	6.6.4 实例——UG NX 10.0 文本加工.....	221
5.2 公用选项参数设置.....	139	6.7 典型应用.....	224
5.2.1 几何体的选择.....	139	6.7.1 平面铣加工.....	224
5.2.2 刀具和刀轴的设置.....	140	6.7.2 平面轮廓铣加工.....	234
5.2.3 刀轨的设置.....	141	6.7.3 螺纹铣加工.....	241
5.2.4 机床控制.....	148	本章小结.....	246
5.2.5 刀路的产生和模拟.....	149	第7章 型腔铣削加工.....	247
5.3 典型应用.....	151	7.1 型腔铣概述.....	247
5.3.1 底面和壁面铣削加工.....	151	7.1.1 型腔铣的特点.....	247
5.3.2 使用 IPW 底面和壁铣削.....	157	7.1.2 型腔铣与平面铣的异同点.....	247
5.3.3 表面手工铣.....	164	7.1.3 型腔铣的子类型.....	250
		7.2 型腔铣操作.....	252
		7.2.1 型腔铣操作的创建步骤.....	252
		7.2.2 几何体的选择.....	254
		7.2.3 公共选项参数设置.....	257
		7.3 插铣.....	269



7.3.1 插铣的优缺点	269	8.7.5 驱动设置	331
7.3.2 参数设置	269	8.7.6 实例——驱动铣削加工	331
7.3.3 实例——简单凹槽加工	272	8.8 典型应用	332
7.4 深度加工轮廓铣	275	8.8.1 模具凸模加工	332
7.4.1 概述	275	8.8.2 流线驱动铣削加工	337
7.4.2 创建工序方法	275	8.8.3 旋钮加工	340
7.4.3 操作参数	276	本章小结	353
7.4.4 切削参数	277	第9章 多轴铣削加工	354
7.4.5 实例——深度加工轮廓铣	279	9.1 多轴铣削概述	354
7.5 典型应用	282	9.1.1 多轴加工的基础知识	354
7.5.1 凹模加工	282	9.1.2 创建多轴曲面铣削操作	356
7.5.2 凸模加工	290	9.1.3 多轴曲面铣削子类型	357
7.5.3 3D 轮廓铣	296	9.2 刀轴控制	358
本章小结	300	9.2.1 远离点与朝向点	358
第8章 固定轴曲面铣削	301	9.2.2 远离直线、朝向直线、相对于 矢量	359
8.1 固定轴曲面铣概述	301	9.2.3 垂直于部件、相对于部件	360
8.1.1 固定轴曲面铣基础知识	301	9.2.4 4轴-垂直于部件、相对于部件、 双4轴-相对于部件	361
8.1.2 固定轴曲面铣的特点	302	9.2.5 优化后驱动、插补矢量	362
8.1.3 固定轴曲面铣的类型	303	9.2.6 垂直于驱动体、相对于驱动体、 侧刃驱动体等	363
8.2 固定轴曲面铣加工几何体	305	9.3 可变轴曲面轮廓铣	365
8.3 常用驱动方法	306	9.3.1 可变轴曲面轮廓铣简介	365
8.3.1 曲线/点驱动方式	307	9.3.2 可变轴曲面轮廓铣创建步骤	366
8.3.2 螺旋式驱动方式	309	9.3.3 刀轴控制方法	369
8.3.3 边界驱动方式	309	9.3.4 边界驱动可变轴曲面轮廓铣	369
8.3.4 区域铣削驱动方式	312	9.3.5 曲面驱动可变轴曲面轮廓铣	372
8.3.5 曲面驱动方式	313	9.3.6 实例——可变流线铣与可变轴 曲面轮廓铣加工	378
8.3.6 流线驱动方式	315	9.4 顺序铣	383
8.3.7 刀轨驱动方式	317	9.4.1 顺序铣概述	383
8.3.8 径向切削驱动方式	317	9.4.2 顺序铣刀具的选择	385
8.3.9 清根驱动方式	318	9.4.3 创建顺序铣操作	385
8.3.10 文本驱动方式	320	9.4.4 进刀运动	389
8.4 投影矢量	320	9.4.5 点到点的运动	393
8.4.1 投影矢量概述	320	9.4.6 连续刀轨运动	394
8.4.2 指定参数设置	320	9.4.7 退刀运动	394
8.5 刀轨参数设置	323	9.4.8 顺序铣的循环	395
8.6 固定轴曲面铣工序	330	9.4.9 实例——带有倾斜角度的侧面 加工	395
8.7 清根加工	330		
8.7.1 清根加工类型	330		
8.7.2 创建清根操作	330		
8.7.3 清根驱动几何体	330		
8.7.4 陡峭	331		



9.5 典型应用.....	402	13.4 叶轮精加工.....	477
9.5.1 可变轮廓铣加工.....	402	13.5 叶片刀轨确认、后处理、车间文档.....	484
9.5.2 顺序铣加工.....	407	第 14 章 鞋跟凸模加工.....	487
9.5.3 可变轮廓铣加工.....	413	14.1 加工工艺规划.....	487
本章小结.....	417	14.2 设定父节点组.....	487
第 10 章 后处理.....	418	14.3 型腔粗加工.....	491
10.1 后处理概述.....	418	14.4 固定轴轮廓铣半精加工.....	492
10.1.1 后处理简介.....	418	14.5 底壁精加工.....	494
10.1.2 后处理术语.....	419	14.6 轮廓区域铣精加工.....	496
10.1.3 后处理步骤.....	419	14.7 流线驱动铣精加工.....	499
10.2 后处理构造器.....	419	14.8 清根铣精加工.....	501
10.2.1 创建后处理.....	419	14.9 深度加工轮廓铣精加工.....	503
10.2.2 公共参数设置.....	423	第 15 章 凸模加工.....	506
10.3 车间文档.....	431	15.1 编程刀具的选用.....	506
10.3.1 简介.....	431	15.2 编程思维技巧.....	507
10.3.2 实例——生成车间文档.....	432	15.3 案例——凸模加工.....	507
10.4 典型应用.....	433	15.4 设定父节点组.....	508
10.4.1 相关参数要求.....	433	15.5 型腔铣粗加工.....	511
10.4.2 新建后处理器.....	433	15.6 剩余铣二次粗加工.....	512
10.4.3 后处理.....	439	15.7 深度轮廓加工半精加工.....	514
第 11 章 咖啡勺加工.....	441	15.8 固定轴轮廓域铣精加工.....	516
11.1 案例工艺分析.....	441	15.9 清角加工.....	517
11.2 设定父节点组.....	441	15.10 模拟仿真.....	518
11.3 型腔粗加工.....	444	第 16 章 塑料凳后模加工.....	521
11.4 固定轴曲面轮廓铣精加工.....	448	16.1 加工工艺规划.....	520
11.5 清根加工.....	450	16.2 设定父节点组.....	521
第 12 章 餐盘加工.....	453	16.3 型腔粗加工.....	524
12.1 工艺路线分析.....	453	16.4 深度加工轮廓铣（一）半精加工.....	525
12.2 设定父节点组.....	453	16.5 非陡峭区域轮廓铣半精加工.....	526
12.3 型腔粗铣加工.....	456	16.6 底面壁铣（一）.....	527
12.4 平面轮廓铣精加工.....	458	16.7 底面壁铣（二）.....	529
12.5 深度加工轮廓铣精加工.....	461	16.8 深度加工轮廓（二）精加工.....	530
12.6 底面壁铣（一）.....	464	16.9 轮廓区域铣精加工.....	532
12.7 底面壁铣（二）.....	466	16.10 钻孔.....	533
第 13 章 叶轮五轴加工.....	469	16.11 平面铣（一）.....	536
13.1 整体叶轮数控加工工艺流程规划.....	469	16.12 平面铣（二）.....	539
13.2 设定父节点组.....	471	16.13 平面铣（三）.....	543
13.3 流道开粗加工.....	475		



第 1 章

数控技术基础知识

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体，是现代制造技术的基础，它的发展和应用开创了制造业的新时代，使世界制造业的格局发生了巨大的变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段，它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化，它的关联效益和辐射能力更是难以估计；数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成，发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品，世界贸易额逐年增加。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

因此，数控技术是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化是当今制造业的发展方向，机械制造的竞争，其实质是数控的竞争。

1.1 数控加工概述

1. 数控加工的定义及特点

数控技术 (Numerical Control, NC) 是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。国标 GB 8129—87 对其标准定义是：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。数控技术一般采用通用或专用计算机实现数字程序控制，也被称为计算机数控 (Computerized Numerical Control, CNC)。数控技术所控制的量通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。

传统的机械加工都是用手工操作普通机床进行作业，加工时用手摇动机械刀具切削金属，靠眼睛及卡尺等工具测量产品的精度，而现代工业将数字化控制技术应用传统加工技术之中。随着数控技术的逐渐发展，数控加工覆盖了几乎所有的加工领域，包括车、铣、刨、镗、钻、拉、电加工、板材成型、管料成型、模具加工等方面。与传统的加工手段相比，数控加工的优点主要表现在以下几个方面：

- 自动化程度高。操作者只需进行工件的装夹、刀具定位和更换等操作，在机器旁观察、监督机床的运行情况，并根据加工状态进行一些必要的调整即可。
- 加工质量稳定，加工精度高，重复精度高。由于数控加工自动化程度高，人工干预少，因此基本消除了操作人员的技术水平、情绪、体力等因素的波动对加工结果的影响，可以获得稳定的加工质量和较高的加工精度及重复精度。
- 工装数量减少，新产品加工效率高。由于数控加工的装夹和准备较简单，同时加工是由程序控



制的,因此对不同形状和尺寸的产品往往只需要编制新的零件加工程序即可,不需要设计新的工装,对形状复杂零件的加工也不再需要复杂的工装,大大缩短了新产品研制和改型的周期。

- 多品种、小批量生产情况下生产效率较高。在这种生产要求下能减少生产准备、机床调整和工序检验的时间,并且通过使用最佳切削量也能减少切削的时间。
- 复杂产品加工能力强。数控加工的刀位计算是由 CAD/CAM 软件完成的,不需要人工计算,因此能够高效率、高质量地处理加工常规方法难以加工的复杂型面,甚至能加工一些无法观测的加工部位。

综上所述,生产对象的形状越复杂、加工精度越高、设计更改越频繁、生产批量越小,数控加工与传统加工相比所发挥的优越性就越明显。

数控技术的主要任务是计算加工走刀中的刀位点 (CL Point),包含数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件等多方面的知识 with 操作经验。根据数控加工的类型可分为数控铣加工、数控车加工、数控电加工等。

2. 数控加工的发展趋势

数控技术起源于航空工业的需要,依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。20 世纪 40 年代后期,美国一家直升机公司提出了数控机床的初始设想,1952 年,美国麻省理工学院研制出三坐标数控铣床,20 世纪 50 年代中期这种数控铣床已用于加工飞机零件。20 世纪 60 年代,数控系统和程序编制工作日益成熟和完善,数控机床已被用于各个工业部门,但航空航天工业始终是数控机床的最大用户,一些大的航空工厂配有数百台数控机床,其中以切削机床为主。数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,对国计民生的一些重要行业,如国防、汽车等的发展起着越来越重要的作用,这些行业装备数字化已是现代发展的大趋势。现代数控技术正沿着以下几个方向迅速发展起来。

(1) 高速化

效率是先进制造技术的主体之一,随着数控系统核心处理器性能和与之配套的功能部件,如电主轴、直线电动机的发展,高速、高精加工技术的发展,极大地提高了生产的效率和产品的质量与档次,缩短了生产周期,使产品更具备市场竞争力。目前,高速加工中心的进给速度可达 80m/min,甚至更高,空运行速度可达 100m/min。

(2) 高精度度

质量是先进制造技术的另一主体,随着数控系统中的伺服控制技术和传感器技术的进步,机床可以执行亚微米级的精确运动。近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由 10 μ m 提高到 5 μ m,精密级加工中心则从 3~5 μ m 提高到 1~1.5 μ m,并且超精密加工精度已经开始进入纳米级 (0.01 μ m)。

(3) 智能化

21 世纪的数控装备将是具有一定智能化的系统,智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成;为提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

(4) 复合化

随着产品外观曲线的复杂化,模具加工技术也需要不断升级,由此对数控系统提出了新的需求。机床的五轴联动加工、六轴联动加工已日益普及,机床加工的复合化已是不可避免的发展趋势。



势。德国 DMG 公司展出的 DMU Voution 系列加工中心,可在一次装夹中进行五面加工和五轴联动加工,可由 CNC 系统控制或由 CAD/CAM 直接或间接控制。

(5) 实时化

数控技术控制软件中的任务调度、存储器管理、中断处理等操作包含着实时操作系统的思想,它是与数控应用程序如插补、伺服、译码等混合在一起的。嵌入式实时操作系统技术的迅猛发展对数控控制软件的开发产生了革命性影响。选择一个合适的商用嵌入式实时操作系统,将插补等数控应用软件嵌入其中,最终移植到一个硬件环境中,形成最终用户满意的数控系统。

(6) 开放化

由于计算机硬件的标准化和模块化,以及软件的模块化、开放化技术的日益成熟,数控技术开始进入开放化的阶段。开放式数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性。美国、欧共体和日本等国纷纷实施战略发展计划,并进行开放式体系结构数控系统规范(OMAC、OSACA、OSEC)的研究和制定,世界三个大的经济体在短期内进行了几乎相同的科学计划和技术规范的制定,预示了数控技术一个新的变革时期的来临。我国在 2000 年也开始进行中国的 ONC 数控系统的规范框架的研究和制定。

(7) 网络化

网络化数控装备是近几年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的要求,也是实现新的制造模式,如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近几年推出了相关的新概念和样机,反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

采用数控机床加工,首先必须把被加工零件的几何信息和工艺信息数字化,按照规定的代码与格式编制数控加工程序,编制完成后的程序要输入数控系统,在数控系统中要根据输入的程序进行运算与处理,计算出理想的轨迹与运行速度后,把运算处理的结果输出到相应的执行部件,由执行部件控制机床的运动部件按预定的轨迹和速度运动。

3. 数控加工的工作过程及其主要内容

数控机床在工作过程中,主要包括以下几项工作:

- 信息的输入,就是对数控系统输入零件的加工程序、控制参数与补偿数据等信息。
- 译码,就是把输入的零件加工信息转换成计算机能够识别的代码。
- 数据处理,主要包括零件加工信息、刀具半径与刀位的补偿信息、运行速度与辅助功能等各方面的信息。而数据处理也就是对这些内容进行运算与处理。
- 插补,即在数控系统内部也就是对零件的加工轨迹进行计算并发出控制指令的过程,它根据给定的曲线类型(如直线、圆弧或高次曲线等)、曲线的起点、终点、速度以及走向,对曲线的起点与终点间的空间点进行密化。当前广泛应用的插补主要有两种:一是基准脉冲插补法,它是在每次插补运算的结束产生一个进给脉冲;二是数字采样插补法,它是在每个插补周期进行一次插补运算,并根据指令进给的速度计算出一个微小的直线数据段。
- 伺服控制,是将计算机输出的位置进给脉冲或进给的速度指令变换放大后,转换成伺服电动机的转动,从而带动工作台按给定的轨迹与速度移动。
- 管理程序,几乎贯穿于数控机床工作的全过程,其功能如图 1-1 所示。

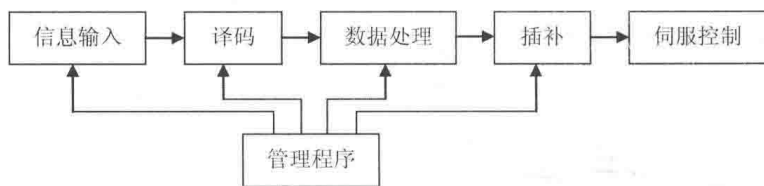


图 1-1 管理程序功能图

1.2 数控机床

——随着科学技术和社会生产的不断发展，人们对机械产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。在机械制造业中，单件、小批量生产约占机械加工总量的 80% 以上，尤其是造船、航天、机床、重型机械及军工行业，其生产特点是品种多，加工批量小，改型频繁，零件的形状复杂且精度要求高，普通机床自动化程度低，生产效率和加工精度都难以提高，尤其是一些复杂曲面，甚至无法加工，而采用专用自动化加工设备，则投资大、时间长、转型难，显然不能满足竞争日益激烈的市场需要。数控机床就是为了解决多品种、单件、小批量、高精度、高效率的自动化生产而诞生出来的一种灵活、通用、自动化的机床。

1.2.1 数控机床的特点、组成及工作原理

1. 数控机床的特点

数控机床比起传统的普通机床具有以下几个特点：

在切削速度与进给行程范围内，可以提高零件的加工精度，稳定产品的质量，一致性好。

可以完成普通机床难以完成或根本不可能加工的复杂曲面的零件加工，具有高度的柔性。

比普通机床可提高 2~3 倍的生产率，提高产品的生产率。

机床易于调整，与其他制造方法（如自动线中的自动机床）相比，调整所需时间少，并能实现一机多用，可将几种普通机床的功能合而为一。

有利于向计算机控制与管理生产方向发展，实现生产管理现代化。

2. 数控机床的组成

数控机床主要由程序载体、人机交互装置、数控装置、伺服系统与机床本体 5 部分组成，如图 1-2 所示。

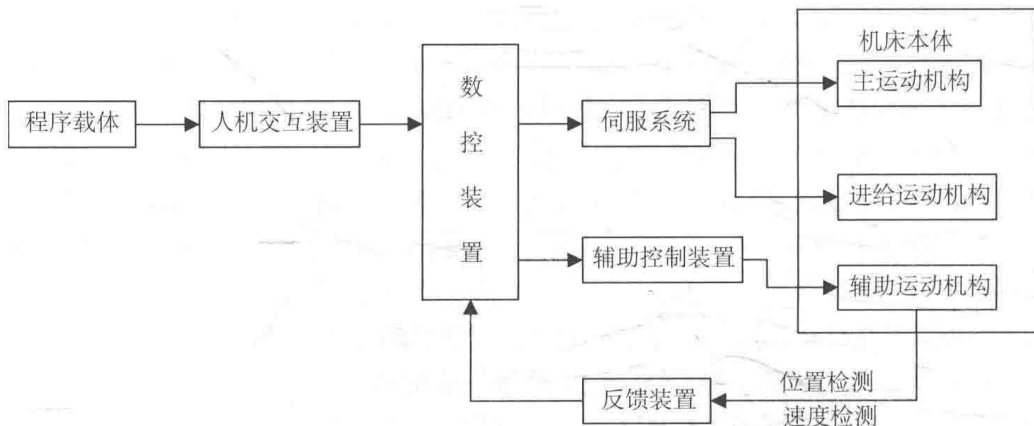


图 1-2 数控机床的组成框图



信息载体又称为控制介质,它记录着数控基础上加工零件的各种信息,如加工的位置、数据、工艺参数等,用以控制机床的动作,实现对零件的加工。早期常用的信息载体有穿孔纸带、磁带等,而现代多采用磁盘、半导体存储器、光盘等。现代的数控机床,其零件加工的信息不一定非得由上述的载体输入,也可以采用操作面板上的按钮与键盘输入,还可以通过串行口将在计算机上编制的加工程序输入。更高级的数控系统还有自动编程机和 CAD/CAM 系统,由这些设备实现程序的编制、数据的输入及显示、存储、打印等功能。

数控装置是数控机床的核心,它的功能是:接受载体送来的加工信息,经计算和处理后,去控制机床的动作。数控装置由硬件与软件共同构成,其中主要的硬件有计算机、光电阅读机、CRT 显示器、键盘、操作面板与机床接口等。这些硬件(除计算机外)的主要功能如下。

- 光电阅读机:接收信息载体输入的系统程序与零件加工程序。
- CRT 显示器:供显示与监视用。
- 键盘:输入操作命令、编制程序、修改程序、输入零件加工程序。
- 操作面板:改变操作方式,输入数据,起、停止加工等。
- 机床接口:是机床与计算机之间的桥梁,主要包括伺服驱动接口与机床的输入/输出接口。

伺服系统是数控系统的执行部分,它由速度控制单元、位置控制单元、测量反馈单元、伺服电机及机械传动装置所组成。它接收数控系统发来的数字信号,控制机床上的移动部件按所要求的定位精度和速度进行运动。伺服系统的性能直接影响数控机床的加工精度和生产效率。

机床本体是用于完成各种切削加工的机械部分,通常一次装夹中自动完成整个切削过程,粗、精加工均在同一台机床上进行。因此要求数控机床本体具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,较小的热变形及高精度。

3. 数控机床的工作原理

随着数控加工技术的发展,数控加工设备的种类增多,零件的几何形状更加复杂。数控机床与普通机床相比,其工作原理的不同之处在于,数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。通常需要以下几个步骤:

- ① 根据零件图上的图样和技术条件,编写出工件的加工程序,并记录在控制介质即载体上。
- ② 把程序载体上的程序通过输入装置输入计算机数控装置中。
- ③ 计算机数控装置将输入的程序经过运算处理后,由输出装置向各个坐标的伺服系统、辅助控制装置发出指令信号。
- ④ 伺服系统把接收的指令信号放大,驱动机床的移动部件运动,辅助控制装置根据指令信号控制主轴电动机等运转。
- ⑤ 通过机床的机械部件带动刀具及工件作相对运动,加工出符合图样要求的工件。
- ⑥ 位置检测反馈系统检测机床的运动,并将信号反馈给数控装置,以减少加工误差。当然,对于开环机床来说,没有检测、反馈系统。

数控机床的工作原理如图 1-3 所示。

(1) 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按照规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要



在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程（APT）或 CAD/CAM 设计。

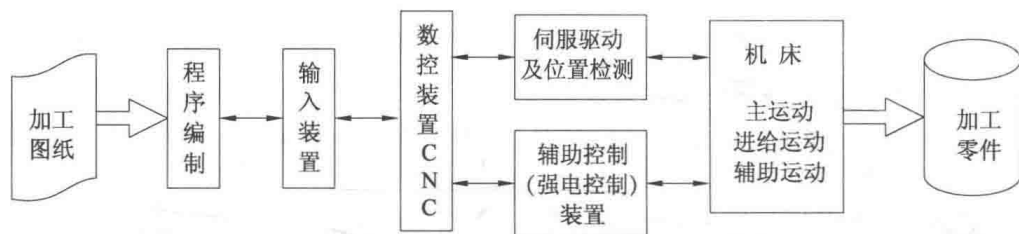


图 1-3 数控机床工作原理图

编好的数控程序，存放在便于输入数控装置的一种存储载体上，它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等，采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

（2）输入装置

输入装置的作用是将程序载体（信息载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统；数控加工程序还可由编程计算机用 RS-232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是一边读入一边加工（数控系统内存较小时）；另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从内部存储器中逐段逐段调出进行加工。

（3）数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按照零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求，因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（进给运动的各执行元件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

（4）驱动装置和位置检测装置

驱动装置接收来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入机床的数控装置之后，数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制驱动装置按照指令设定值运动。

（5）辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运动，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动、停止，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。



由于可编程逻辑控制器（PLC）具有响应快，性能可靠，易于使用、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

（6）机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似，由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

1.2.2 数控机床的轨迹控制与辅助功能

1. 轨迹控制的基本原理

数控系统的主要任务是对零件加工轨迹的控制，在通常情况下，由机床的用户给出运动轨迹的类型（如直线、圆弧等）、起点、终点、走向（如正、负，顺时针、逆时针等）。数控系统计算出轨迹中的各个中间点后，即发出指令，“插入补上”这些中间点，且确保这些中间点的坐标与理想轨迹的误差不超过机床的分辨率。伺服系统接收到数控系统发出的这些指令后，即根据这些中间点的坐标值，控制各坐标轴协调运动，走出预定的轨迹。

由上可见，在数控系统中，轨迹控制的核心工作就是计算并输出加工轨迹中各个中间点的坐标值，也就是通常所说的“插补”。

2. 实施插补的方式

实施插补的方式主要有以下 3 种。

（1）硬件插补方式

所谓硬件插补方式，是指采用电压脉冲作为插补点的坐标增量的输出。每输出一个脉冲，在相应的坐标轴上产生一个基本长度单位的运动，可表示为：

$$P=BLU$$

式中， P 为脉冲当量，即每发出一个脉冲，工作台相对刀具移动一个基本长度单位，即为一个脉冲当量。

脉冲当量的大小，决定机床加工的精度，发送给每一个轴的脉冲数，则决定该轴的运动距离。而脉冲频率代表坐标轴移动的速度。

硬件插补方式只是应用于早期以硬件为基础的数控（NC）系统中。

（2）软件插补方式

所谓软件插补方式，其插补的功能主要由计算机来实现，其方式是：在计算机数控系统（CNC）中，其信息是以二进制数码编制、处理与存储。二进制的每一位（bit）代表一个基本长度单位（BLU），即

$$\text{Bit}=BLU$$

例如，有 65 536 个坐标位置，若以系统的分辨率为其基本长度单位，并等于 0.01mm，那么，这 16 位数字所表示的最大距离即为 655.36 mm。

沿用 NC 系统中脉冲当量的概念，一个脉冲当量与二进制的一位数字等价，即

$$P=\text{Bit}=BLU$$

（3）软硬件相结合的插补方式

软硬件相结合的插补方式，即在 CNC 系统中用软件进行粗插补，而用硬件实施精细的插补，



也可以用软件进行“大段”的插补，而在这“大段”中，再由硬件进行细插补，这样可进一步地将数据点密集化。

该方式对于计算机的运算速度要求不高，并可余出更多的存储空间来存储零件程序，且响应速度与分辨率都比较高。

3. 软件插补方式的类别及其原理与特点

当前采用的软件插补方式主要有以下两种。

(1) 基准脉冲插补法

基本原理：它是模拟硬件插补的原理，把每次插补运算产生的指令脉冲输出到伺服系统，用以驱动工作台的运动，每插补一次，输出一个脉冲，工作台移动一个基本长度单位，即一个脉冲当量。

常用的方法：在基准脉冲插补法中常用的是逐点比较法与数字积分法两种。

特点：基准脉冲插补法的插补程序简单，但速度受到一定的限制，故常常应用在进给速度不是很高的数控系统或开环数控系统中。

(2) 数据采样插补法

基本原理：这种插补法的位置伺服通过计算机与测量装置构成闭环，插补结果输出的不是脉冲，而是数据，计算机定时对反馈回路进行采样，得到的采样数据与插补程序所产生的指令数据比较后，输出误差信号去驱动伺服电动机。

常用的方法：在数据采样插补法中常用的是时间分割插补法。

特点：在数据采样插补法中，由于各系统的采样周期并不完全相同，而通常采用的是取一个适当的固定值（通常取 10ms 左右）。若周期太短则来不及处理，而周期太长则会损失信息，从而影响伺服的精度。

4. 辅助功能

在数控机床中，除了轨迹的控制外，还有一些诸如主轴的启动、停止、正转、反转、转速，切削液的开、关，还有换刀控制等，这些功能在数控系统中称为辅助功能。

辅助功能的工作时间及其过程有的是在一个程序段的插补前，有的是在一个程序段的插补后，也有的是与插补同时进行。

辅助功能的实现主要是分为两部分，一是主轴部分，二是其他辅助部分。

主轴主要是启动、停止与转速的控制，而该部分的控制一般是由专门的主轴系统来控制，数控系统只是输出一个转速的给定量，这个给定量可以是数字量，也可以是模拟量。

其他辅助功能主要是开关量的控制，在简单的系统中，由数控系统通过继电器的逻辑电路来执行，在较复杂的数控系统中，通常是由 PLC（可编程序控制器）来执行。

1.2.3 数控机床的分类

数控机床的品种很多，根据其加工、控制原理、功能和组成，可以从以下几个不同的角度进行分类。

1. 按加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大的差别，