

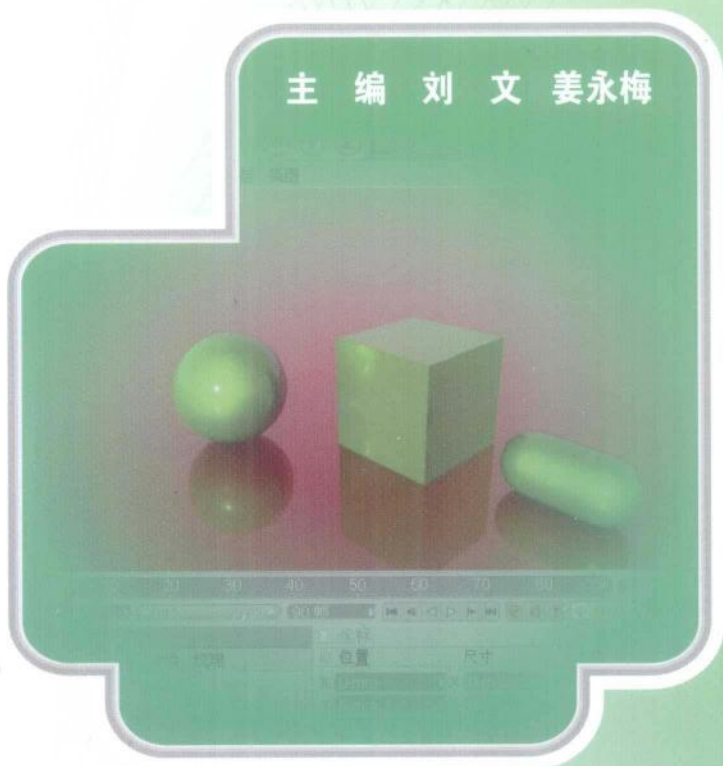


全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

Mastercam

数控加工案例教程

主 编 刘 文 姜永梅



案例+知识：快乐学习数控加工技巧和方法

经验+提示：奉献独到的零件加工设计思路

素材+操作：轻松掌握CAD/CAM基础知识



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

Mastercam 数控加工案例教程

主 编	刘 文	姜永梅
副主编	上官林建	王贤成
	颜新华	陈远杰



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

Mastercam X4 是美国 CNC Software 公司研发的 CAD/CAM 系统。本书全方位地介绍了 Mastercam X4 数控加工技术及其在实际工作中的应用, 内容包括数控加工技术基础、数控加工系统概述、二维铣削加工、三维曲面加工、线架加工、高速加工、多轴加工、车削加工、线切割加工、Mastercam X4 的后处理。

书中对每一个技术专题, 先用实物拆分图的形式直观形象地说明数控加工技术的具体要求, 然后介绍 Mastercam 实现技术, 并图文对照地示例讲解命令参数的作用及其对实际加工的影响; 对于部分重点参数, 采用补充说明的形式强调其应用技巧。讲解过程采用真实的对话框和按钮, 使初学者能够直观、准确地操作软件。每章后提供习题, 题中只给出结果, 供读者参考并独立完成。

本书概念讲解清晰, 内容全面, 案例丰富, 既适合作为数控加工专业初学者自学教材, 又适合作为专业技术人员提升技能的参考书, 更是 Mastercam 用户的必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Mastercam 数控加工案例教程/刘文, 姜永梅主编. —北京: 北京大学出版社, 2011.8

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19315-0

I. ①M… II. ①刘…②姜… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, Mastercam—高等学校—教材 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 154893 号

书 名: Mastercam 数控加工案例教程

著作责任者: 刘 文 姜永梅 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-19315-0/TH • 0252

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市富华印装厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 558 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

Mastercam X4 版本较其先前版本可谓进行了翻天覆地的变革,从软件的操作界面到 CAD/CAM 的相关功能都有了相当大的变化,使软件的操作更为简单,在 CAD/CAM 设计编程时更为人性化。在 CAD 方面,它可以轻松快捷地构建各种二维和三维图形,特别适用于具有复杂外形及各种空间曲面的模具类零件的构建和造型设计;在 CAM 方面,Mastercam X4 提供了多种加工方式,以及完整的刀具库、材料库和加工参数资料库,通过创建可靠、精确的刀具路径,可以直接在曲面和实体上加工。此外,Mastercam X4 拥有车削、铣削、雕刻和线切割等多种加工模块,供用户设计时灵活选用。

本书主要讲解应用 Mastercam X4 进行数控编程与加工的方法和技巧,其特点是以具体实例讲解各种加工刀具路径及其应用场合。书中的某些设计思路,如根据加工需要设计零件图形,是编者应用 Mastercam X4 的经验总结。对于复杂零件的加工,这一思路非常有效;书中的有些实例也是编者在实际项目中的加工实例,这些思路和方法可以直接指导读者进行 CAM 加工。希望读者通过学习本书内容,能够轻松掌握 CAD/CAM 的知识。

全书共分 10 章,各章内容如下:

第 1 章 主要介绍数控加工的基础知识,使读者对数控加工有个基本了解。

第 2 章 主要介绍 Mastercam X4 数控加工系统概述,使读者对 Mastercam X4 数控加工功能有个基本了解。

第 3 章 主要介绍 Mastercam X4 二维铣削加工刀具路径编制的应用,以及二维刀具路径编制应用技巧与方法。

第 4 章 主要介绍三维曲面加工刀具路径编制的应用,以及三维刀具路径编制应用技巧与方法。

第 5 章 主要介绍三维线架加工功能,以及应用技巧与方法。

第 6 章 主要介绍高速加工功能,以及应用技巧与方法。

第 7 章 主要介绍多轴加工的基本功能,以及应用技巧与方法。

第 8 章 主要介绍车削加工的功能,以及应用技巧与方法。

第 9 章 主要介绍线切割加工的功能,以及设计过程中应注意的事项和要点。

第 10 章 主要通过 Mastercam 软件的后置处理文件及其设定方法的介绍,以及如何通过修改控制器定义、机床定义管理器来生成符合已有机床类型的 NC 文件来介绍 Mastercam 后处理的一般步骤和方法。

本书全面地讲解 Mastercam X4 在数控加工方面的各种应用,对于各种数控加工技术均有涉及;在技术讲解的过程中注意理论联系实际,并安排相关的案例对技术进行讲解;每章后配有上机操作题,以巩固读者的理论知识并提高读者的操作技能。

本书有三大特色：

(1) 内容全面，涵盖铣削加工、车削加工、线切割加工三大模块的各种加工方式。

(2) 实例丰富，全书附有大量的功能实例和上机操作题，每个实例均有详细的、具体的操作步骤，所提供的素材中配有相应实例的多媒体演示文件及实例文件，可以让读者像看电影一样学习数控加工的技术和方法，便于读者练习与揣摩加工思路及技巧。素材下载网址：www.pup6.com。

(3) 写法独特，本书并不局限于功能的讲解，而是侧重实现技术精华的剖析和操作技巧的指点，因而更能让读者切实、深入地理解软件的奥秘。

本书由刘文主编，参加本书编写的还有陈远杰、颜新华、王贤成、哈尔滨理工大学姜永梅和华北水利水电学院上官林建，编者在此对以上人员致以诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请专家和广大读者批评指正。读者在学习过程中遇到疑难问题也可以与编者联系，我们将在第一时间给予答复。

编 者

2011 年 4 月

目 录

第1章 数控加工技术基础.....1	2.5 刀具路径的编辑.....42
1.1 数控加工技术发展概述.....2	2.5.1 刀具路径的修剪.....42
1.2 数控加工原理与特点.....2	2.5.2 刀具路径的关联生成方法.....42
1.2.1 数控加工原理.....2	2.5.3 刀具路径的编辑实例.....43
1.2.2 数控加工特点.....3	习题.....47
1.3 数控机床的组成与分类.....4	第3章 二维铣削加工.....49
1.3.1 数控机床的组成.....4	3.1 二维铣削加工基础.....50
1.3.2 数控机床的分类.....6	3.1.1 刀具设定与管理.....50
1.4 数控加工坐标系的设定.....9	3.1.2 坐标设定.....53
1.4.1 机床坐标系.....10	3.1.3 常用参数.....55
1.4.2 工件坐标系.....12	3.2 平面铣削加工.....57
1.5 数控加工工艺参数的设置.....12	3.2.1 平面铣削加工参数设置.....57
1.5.1 主轴转速的确定.....12	3.2.2 全程案例——平面铣削加工.....59
1.5.2 进给速度的确定.....13	3.3 挖槽加工.....65
1.6 数控加工程序编制的内容与步骤.....13	3.3.1 挖槽加工参数设置.....65
习题.....14	3.3.2 挖槽加工实例.....76
第2章 数控加工系统概述.....15	3.4 外形铣削加工.....81
2.1 Mastercam X4 数控加工的基本概念.....16	3.4.1 外形加工参数设置.....81
2.1.1 轮廓.....16	3.4.2 外形铣削加工实例.....87
2.1.2 外轮廓、区域和岛.....16	3.5 全圆铣削路径.....92
2.1.3 速度参数.....16	3.5.1 全圆铣削.....92
2.1.4 安全高度和起止高度.....17	3.5.2 螺旋铣削加工.....95
2.2 Mastercam X4 系统加工的	3.5.3 铣键槽.....98
一般流程及工作原理.....17	3.6 钻孔加工.....101
2.2.1 Mastercam X4 系统加工的	3.6.1 钻孔加工参数设置.....101
基本过程.....17	3.6.2 全程案例——钻孔加工.....106
2.2.2 Mastercam X4 数控加工实例.....20	习题.....108
2.3 数控加工刀具设置.....30	第4章 三维曲面加工.....110
2.3.1 Mastercam X4 刀具选择.....32	4.1 曲面加工基本概念.....111
2.3.2 修改刀具设置.....33	4.1.1 曲面的选取.....111
2.3.3 设置刀具加工参数.....37	4.1.2 曲面干涉问题.....112
2.4 素材设置.....39	4.1.3 曲面深度的设定.....113
2.4.1 设置素材尺寸和原点.....39	
2.4.2 素材材质.....40	

4.2 曲面粗加工	113	5.7 举升加工	185
4.2.1 粗加工平行铣削加工	114	5.7.1 举升加工参数设置	185
4.2.2 粗加工放射状加工	122	5.7.2 举升加工实例	185
4.2.3 粗加工投影加工	125	习题	187
4.2.4 粗加工流线加工	128	第 6 章 高速加工	188
4.2.5 粗加工等高外形加工	132	6.1 2D 高速加工	189
4.2.6 粗加工残料加工	135	6.1.1 2D 高速加工参数设置	189
4.2.7 粗加工挖槽加工	139	6.1.2 2D 中心除料铣削加工	192
4.2.8 粗加工钻削式加工	143	6.1.3 2D 剥铣加工	197
4.3 曲面精加工	145	6.1.4 2D 区域铣削加工	201
4.3.1 精加工平行铣削加工	146	6.1.5 2D 残料铣削加工	204
4.3.2 精加工平行式陡斜面加工	148	6.1.6 2D 动态铣削加工	206
4.3.3 精加工放射状加工	151	6.2 曲面高速加工	208
4.3.4 精加工流线加工	153	6.2.1 曲面高速加工参数设置	209
4.3.5 精加工等高外形加工	156	6.2.2 曲面高速粗加工	211
4.3.6 精加工浅平面加工	158	6.2.3 曲面高速精加工	220
4.3.7 精加工交线清角加工	161	习题	236
4.3.8 精加工残料清角加工	163	第 7 章 多轴加工	238
4.3.9 精加工环绕等距加工	166	7.1 多轴加工概述	239
4.3.10 精加工熔接加工	168	7.2 曲线五轴加工	239
习题	169	7.2.1 曲线五轴加工参数设置	239
第 5 章 线架加工	171	7.2.2 曲线五轴加工案例	243
5.1 线架加工概述	172	7.3 钻孔五轴加工	245
5.2 直纹加工	172	7.3.1 钻孔五轴加工参数设置	246
5.2.1 直纹加工参数设置	172	7.3.2 钻孔五轴加工案例	247
5.2.2 直纹加工实例	173	7.4 沿边五轴加工	249
5.3 旋转加工	175	7.4.1 沿边五轴加工参数设置	249
5.3.1 旋转加工参数设置	175	7.4.2 沿边五轴加工案例	251
5.3.2 旋转加工实例	175	7.5 多曲面五轴加工	252
5.4 2D 扫描加工	177	7.5.1 多曲面五轴加工参数设置	253
5.4.1 2D 扫描加工参数设置	177	7.5.2 多曲面五轴加工案例	255
5.4.2 2D 扫描加工实例	178	7.6 沿面五轴加工	257
5.5 3D 扫描加工	181	7.6.1 沿面五轴加工参数设置	257
5.5.1 3D 扫描加工参数设置	181	7.6.2 沿面五轴加工案例	258
5.5.2 3D 扫描加工实例	181	7.7 旋转四轴加工	260
5.6 混式加工	183	7.7.1 旋转四轴加工参数设置	260
5.6.1 混式加工参数设置	183	7.7.2 旋转四轴加工案例	261
5.6.2 混式加工实例	183		

7.8 管道五轴加工	263	8.8 车床快速加工	313
7.8.1 管道五轴加工参数设置	263	8.8.1 快速粗车加工	313
7.8.2 管道五轴加工案例	264	8.8.2 快速精车加工	316
7.9 环绕五轴加工	267	8.8.3 快速径向车削加工	317
7.9.1 环绕五轴加工参数设置	267	习题	321
7.9.2 环绕五轴加工案例	268		
习题	271	第 9 章 线切割加工	322
第 8 章 车削加工	273	9.1 线切割加工概述	323
8.1 车削加工基础	274	9.1.1 线切割加工原理	323
8.1.1 车削加工对象	274	9.1.2 线切割加工工艺内容	324
8.1.2 工件设置	274	9.2 外形线切割加工	330
8.1.3 刀具设定与管理	279	9.2.1 外形线切割加工参数设置	330
8.1.4 共同刀具参数设置	285	9.2.2 外形线切割加工实例	336
8.2 粗车削	286	9.3 无屑线切割加工	343
8.2.1 粗车削参数	286	9.3.1 无屑线切割加工参数设置	343
8.2.2 全程案例——粗车削加工	291	9.3.2 无屑线切割加工实例	344
8.3 精车削	294	9.4 四轴线切割加工	348
8.3.1 精车加工参数	294	9.4.1 四轴线切割加工参数设置	349
8.3.2 全程案例——精车削加工	295	9.4.2 四轴线切割加工实例	351
8.4 车端面	297	习题	357
8.4.1 车端面加工参数	297		
8.4.2 全程案例——车端面加工	298	第 10 章 Mastercam X4 的后处理	359
8.5 径向车削加工	300	10.1 Mastercam X4 的后处理简介	359
8.5.1 径向车削参数	300	10.1.1 后处理的目的	360
8.5.2 全程案例——径向车削加工	305	10.1.2 后处理文件的结构	360
8.6 钻孔加工	307	10.1.3 后处理文件的设定	365
8.6.1 钻孔加工参数设置	307	10.1.4 后置文件的修改实例	366
8.6.2 全程案例——钻孔加工	308	10.2 生成 NC 代码	368
8.7 车削螺纹加工	309	10.2.1 控制器定义	368
8.7.1 车削螺纹加工参数	309	10.2.2 机床定义管理器	370
8.7.2 全程案例——车削 螺纹加工	311	10.2.3 生成 NC 代码举例	371
		习题	372

第 1 章 数控加工技术基础

本章教学要点

- 数控加工原理
- 数控加工特点
- 数控加工机床分类
- 数控加工坐标系的设定
- 数控加工工艺参数的设置
- 数控程序编制内容与步骤

引言

数控加工技术是 20 世纪 40 年代后期为适应复杂外形零件的精密加工而发展起来的一种自动化加工技术。它是根据被加工零件的图样和工艺要求编制成的以数码表示的程序，被输入到机床的数控系统中，以控制刀具与工件的相对运动，从而加工出合格的零件，如图 1.1 所示。本章主要介绍数控加工技术的发展概况、数控加工原理与特点、数控机床类型与分类、数控加工工艺参数的设置，以及数控加工程序编制的内容与步骤，为后续章节的学习打下基础。

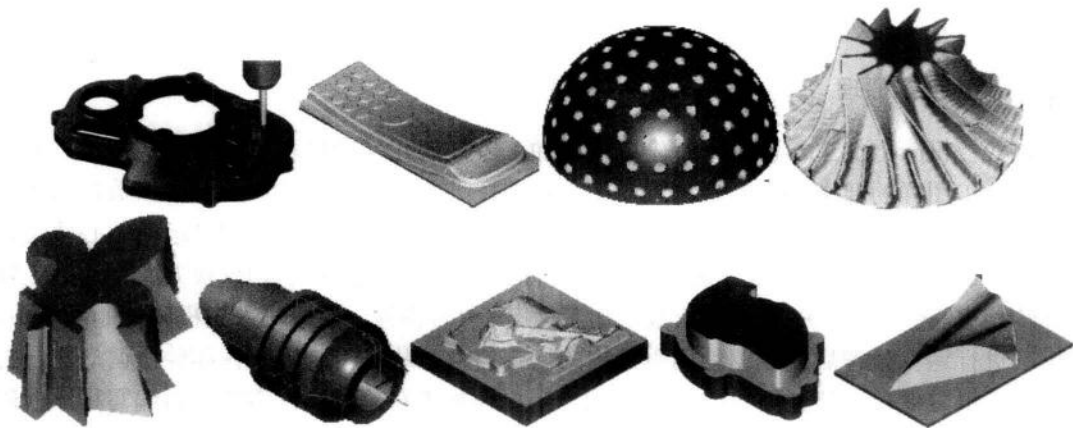


图 1.1 数控加工案例

1.1 数控加工技术发展概述

数控系统是数字控制系统(Numerical Control System)的简称,它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序,并将其译码,从而驱使机床运动加工出用户所需的零件。数控系统的发展到现在已经经历了两个阶段。

第一阶段为普通数控(NC)阶段,即逻辑数字控制阶段。数控系统主要由电路的硬件和连线组成,故又称为硬件数控系统,其特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好。这个阶段数控系统的发展经历了3个时代,即电子管时代(1952年)、晶体管时代(1959年)和小规模集成电路时代(1965年)。

第二阶段为计算机数字控制(CNC)阶段。数控系统主要由计算机硬件和软件组成,其突出特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作,故又称为软件控制系统。这种系统容易扩大功能,柔性好,可靠性高。第二阶段数控系统的发展也经历了3个时代。20世纪60年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(DNC,又称群控系统),及采用小型计算机控制的计算机数控系统,使数控系统进入了以小型计算机化为特征的第四代。从1974年微处理器用于数控系统开始,数控系统发展到第五代,即微型机数控(MNC)系统。经过几年的发展,数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高,自20世纪70年代末到世纪80年代,数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从20世纪90年代开始,PC的发展日新月异,基于个人计算机(PC)平台的数控系统(PC数控系统)应运而生,数控系统的发展进入第六代。现在市场上流行和企业普遍使用的仍然是第五代数控系统,其典型代表是日本的FANUC-0系列和德国的SINUMERIK810系列数控系统。

1.2 数控加工原理与特点

数控加工技术在现阶段加工技术中处于比较先进的地位,其加工的原理和特点也和一般性的加工方法有所差异。

1.2.1 数控加工原理

在数控机床上加工零件时,首先要将被加工零件的几何信息和工艺信息数字化。先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具参数,再按数控机床规定采用的代码和程序格式将与加工零件有关的信息,如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量),以及辅助操作(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关)等编制成数控加工程序,然后将程序代码输入到机床控制系统中,再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号,从而控制机床各部件协调动作,自动地加工出零件来,其过程如图1.2所示。当更换加工对象时,只需要重新编写程序代码输入给机床,即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能,控制加工的全过程,制造出任意复杂的零件,如图1.2所示。

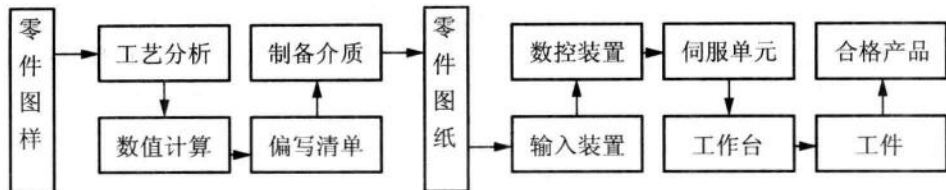


图 1.2 数控加工原理图

1.2.2 数控加工特点

数控加工与普通机床加工在方法与内容上有许多相似之处,不同点主要表现在控制方式上。在普通机床上加工零件时,是用工艺规程、工艺卡片来规定每道工序的操作程序的,操作人员按规定的步骤加工零件。而在数控机床上加工零件时,要将被加工的全部工艺过程、工艺参数和位移数据编制成程序,并以数字信息的形式记录在控制介质(穿孔纸带、磁盘等)上,用它来控制机床加工。因此,与普通机床加工相比,数控加工具有以下特点。

1. 数控加工工艺内容要求具体而详细

在使用普通机床加工时,许多具体的工艺问题,如工艺中各工步的划分与安排、刀具的几何形状及尺寸、走刀路线、加工余量、切削用量等,在很大程度上都是由操作人员根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定的,一般不需要工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定,零件的尺寸精度也可由试切削来保证。而在数控加工时,原本在普通机床上由操作人员灵活掌握并可通过适时调整来处理的上述工艺问题不仅成为数控工艺设计时必须认真考虑的内容,而且编程人员必须事先设计和安排好并做出正确的选择,编入加工程序中。数控工艺不仅包括详细描述切削加工步骤,而且还包括夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容。在自动编程中更需要详细地确定各种工艺参数。

2. 数控加工工艺要求更严密而精确

数控机床虽然自动化程度高,但自适应性差。它不像普通机床加工那样,可以根据加工过程中出现的问题比较灵活自由地进行人为调整。如在攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满切屑,是否需要退刀清理切屑再继续进行,这种情况必须事先由工艺员精心考虑,否则可能导致严重的后果。在普通机床上加工零件时,通常是经过多次“试切削”过程来满足零件的精度要求的,而数控加工过程是严格按程序规定的尺寸进给的,因此在对图形进行数学处理、计算和编程时一定要准确无误,以使数控加工顺利进行。

3. 制定数控加工工艺要进行零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算

编程尺寸并不是零件图上设计的基本尺寸的简单再现,在对零件图进行数学处理和计算时,编程尺寸设定值要根据零件尺寸公差要求和零件的形状几何关系重新调整计算才能确定合理的编程尺寸。

4. 选择切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响

数控加工时,刀具怎么从起点沿运动轨迹走向终点是由数控系统的插补装置或插补软

件来控制的。根据插补原理可知,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,则插补精度越低;插补精度越低,工件的轮廓形状精度越差。因此,选择数控加工切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响,特别是高精度加工时影响非常明显。

5. 数控加工工艺的特殊要求

(1) 由于数控机床较普通机床的刚度高,所配的刀具也较好,因而在同等情况下所采用的切削用量通常比普通机床大,加工效率也较高。选择切削用量时要充分考虑这些特点。

(2) 由于数控机床的功能复合化程度越来越高,因此工序相对集中是现代数控加工工艺的特点,明显表现为工序数目少,工序内容多,并且由于在数控机床上尽可能安排较复杂的工序,所以数控加工的工序内容要比普通机床加工的工序内容复杂。

(3) 由于数控加工的零件比较复杂,因此在确定装夹方式和设计夹具时要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

6. 程序的编写、校验与修改是数控加工工艺的一项特殊内容

普通机床加工工艺中划分工序、选择设备等重要内容对数控加工工艺来说属于已基本确定的内容,所以制定数控加工工艺的着重点在于整个数控加工过程的分析,关键在确定进给路线及生成刀具运动轨迹。

1.3 数控机床的组成与分类

在数控加工中,机床是一个不可缺少的,也是最重要的一部分。不同的数控加工工艺由不同的机床来完成操作,主要有车床、铣床等,还有就是功能比较完善,能执行多种不同加工工艺的机床,如加工中心。图 1.3 所示为各种机床的实物图。

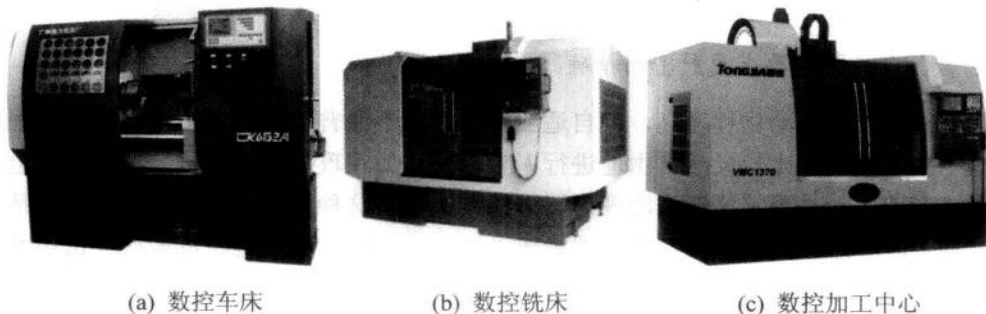


图 1.3 数控机床

1.3.1 数控机床的组成

机床一般由机床本体、输入装置、数控装置、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、检测装置及辅助装置组成。

1. 机床本体

数控机床的机床本体与普通机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作

台, 以及辅助运动装置、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。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号并传送至数控装置的存储器。根据程序控制介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。最早使用光电阅读机对穿孔纸带进行阅读, 之后大量使用磁带机和软盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体, 而是将程序清单的内容通过数控装置上的键盘用手工的方式输入, 也可采用通信方式将数控程序由编程计算机直接传送至数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢, 主要包括微型计算机、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软件。它能完成信息的输入、存储、变换、插补运算, 以及各种控制功能。在工作中接收输入装置送来的脉冲信号, 经过编译、运算和逻辑处理后, 输出各种信号和指令来控制机床的各个部分, 并按程序要求实现规定的、有序的动作。这些控制信号包括各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度的指令信号; 主运动部件的变速、换向和启停指令信号; 选择和交换刀具的刀具指令信号; 控制冷却、润滑的启停, 工件和机床部件松开、夹紧, 分度工作台转位等辅助信号等。

4. 伺服单元

伺服单元是数控装置和机床本体的联系环节。它来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同, 伺服单元有脉冲式和模拟式之分, 而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 驱动装置

驱动装置将经放大的指令信号变为机械运动, 通过简单的机械连接部件驱动机床, 使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动, 最后加工出图纸所要求的零件。驱动装置和伺服单元可合称为伺服驱动系统。它是机床工作的动力装置, 数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施。所以, 伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说, 数控机床功能的强弱主要取决于数控装置, 而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

6. 检测装置

检测装置也称反馈元件, 通常安装在机床的工作台或丝杠上, 相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。它将机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给数控装置, 供数控装置与指令值比较产生误差信号, 以控制机床向消除该误差的方向移动。

根据有无检测装置, 数控系统有开环与闭环之分。闭环数控系统按检测装置的安装位置又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度, 闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此, 检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

7. 辅助装置

辅助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、逻辑判别和运算, 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、润滑装置的启停指令, 工件和机床部件的松开、夹紧指令, 分度工作台转位分度等开关辅助动作指令。目前已广泛采用可编程控制器(PLC)作为数控机床的辅助装置。

1.3.2 数控机床的分类

数控机床可以用不同的方法进行分类, 常用的分类方法有按伺服系统控制方式分类、按运动轨迹分类、按联动轴数分类和按控制系统的功能水平分类。

1. 按伺服系统控制方式分类

按伺服系统控制方式的不同, 数控机床可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床、闭环控制数控机床。

(1) 开环控制数控机床。开环控制数控机床采用开环进给伺服系统, 图 1.4 所示为开环控制数控机床的示意图, 其数控装置发出的指令信号是单向的, 没有检测反馈装置对运动部件的实际位移量进行检测, 不能进行运动误差的校正。因此步进电机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。

开环控制数控机床通常为经济型、中小型机床, 具有结构简单、价格低廉、调试方便等优点, 但通常输出的转矩值大小受到限制, 而且当输入的频率较高时容易产生失步, 难以实现运动部件的控制。因此, 这类机床已不能充分满足日益提高功率、运动速度和加工精度的控制要求。

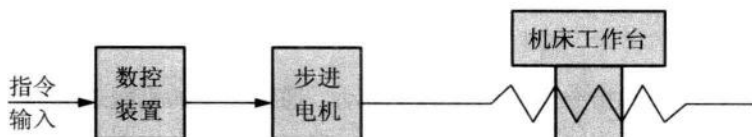


图 1.4 开环控制数控机床示意图

(2) 闭环控制数控机床。图 1.5 所示为闭环控制数控机床的示意图。这类机床的位置检测装置安装在进给系统末端的执行部件上, 该位置检测装置可实测进给系统的位移量或位置。数控装置将位移指令与工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较, 根据其差值不断控制运动, 使运动部件严格按照实际需要的位移量进行运动; 还可利用测速元器件随时测得驱动电机的转速, 将速度反馈信号与速度指令信号相比较, 对驱动电机的转速随时进行修正。这类机床的运动精度主要取决于检测装置的精度, 与机械传动链的误差无关。因此可以消除由于传动部件制造过程中存在的精度误差给工件加工带来的影响。

相比于开环控制数控机床, 闭环控制数控机床精度更高, 速度更快, 驱动功率更大。但是, 这类机床价格昂贵, 对机床结构及传动链依然提出了严格的要求。传动链的刚度、间隙, 导轨的低速运动特性、机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试的困难。闭环系统设计和调整得不好, 很容易造成系统的不稳定。所以, 闭环数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

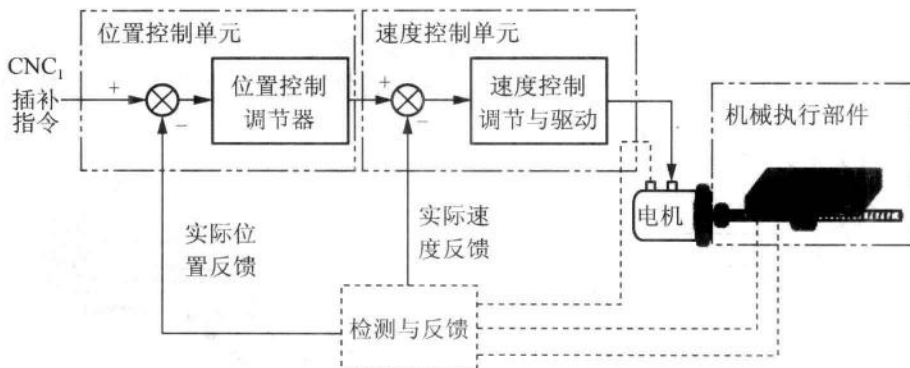


图 1.5 闭环控制数控机床示意图

(3) 半闭环控制数控机床。图 1.6 所示为半闭环控制数控机床示意图。这类机床的检测元件装在驱动电机或传动丝杠的端部，可间接检测执行部件的实际位置或位移。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节，控制系统的调试十分方便，因此可以获得稳定的控制特性。由于采用高分辨率的检测元件，如脉冲编码器，因此可以获得比较满意的精度与速度。

半闭环控制数控机床可以获得比开环控制数控机床更高的精度，但由于机械传动链的误差无法得到消除或校正，因此它的位移精度比闭环控制数控机床的要低。

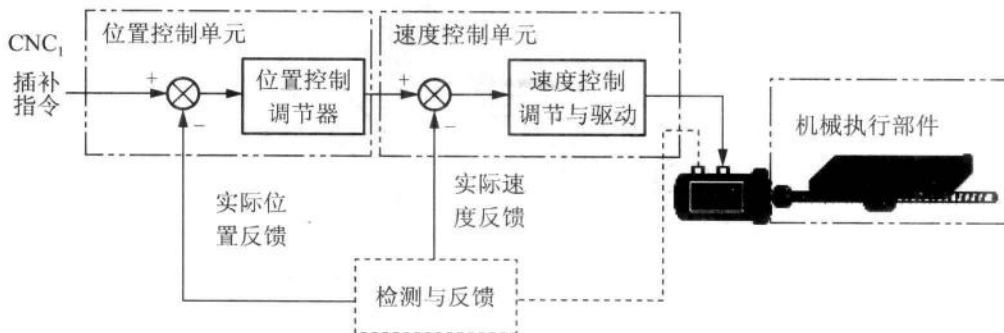


图 1.6 半闭环控制数控机床示意图

2. 按运动轨迹分类

按照能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹，可将数控机床分为点位控制数控机床、点位直线控制数控机床、轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床。图 1.7 所示为点位控制数控机床的加工示意图。这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点)，即仅控制行程终点的坐标值。刀具在移动过程中不进行任何切削加工，至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上有尽可能高的生产率，刀具在两相关点之间的移动先以快速移动到接近定位点，然后进行分级或连续降速，使之慢速趋近于定位点。常见的点位控制数控机床有数控钻床、数控冲床等。

(2) 点位直线控制数控机床。图 1.8 所示为点位直线控制数控机床的加工示意图。这类机床是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削。常见的点位直线控制数控机床有数控车床、数控磨床等。

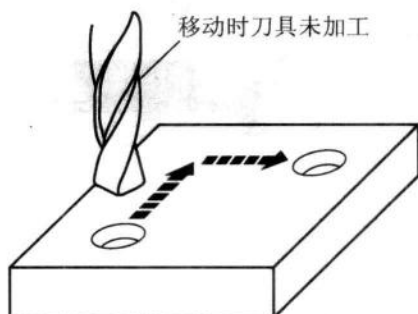


图 1.7 点位控制数控机床示意图

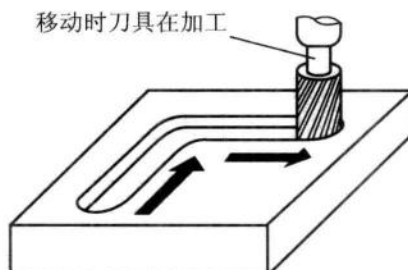


图 1.8 点位直线控制数控机床示意图

(3) 连续控制数控机床。图 1.9 为连续控制数控机床的加工示意图。这类机床也称为轮廓控制数控机床。它可对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制(二轴、二轴半、三轴、四轴、五轴联动),不仅要控制机床移动部件的起点和终点坐标,而且要控制整个加工过程中每一点的速度、方向和位移量。常见的连续控制数控机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控加工中心等。

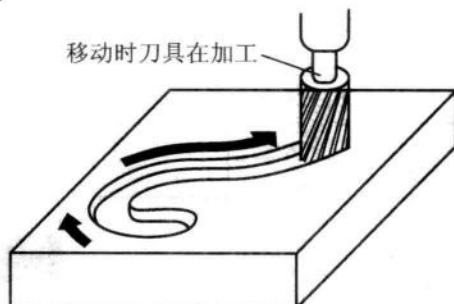


图 1.9 连续控制数控机床示意图

3. 按联动坐标轴数分类

按照联动坐标数的不同,数控机床可分为以下几种。

(1) 两坐标联动数控机床。这类机床能同时控制两个坐标轴联动,适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

(2) 两个半坐标联动数控机床。这类机床本身有 3 个坐标轴,能作 3 个方向运动,但机床控制装置只能同时联动控制两个坐标轴,第三个坐标轴仅能作等距的周期移动,如经济型数控铣床。

(3) 三坐标联动数控机床。这类机床能同时控制 3 个坐标轴的联动,可以用于加工不太复杂的空间曲面,如三坐标数控铣床。

(4) 多坐标联动数控机床。这类机床能同时控制 4 个或 4 个以上坐标轴的联动,其机床的结构复杂,精度要求高,程序编制复杂,适于加工形状复杂的零件,如叶轮、叶片类零件。

4. 按控制系统的功能水平分类

按控制系统的功能水平可以将数控机床分为经济型、普及型、高级型三类,这主要由技术参数、功能指标、关键部件的功能水平来决定。这些指标具体包括 CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、联动轴数等。

(1) 经济型数控机床。经济型数控机床也称为低档数控机床。这类数控机床一般采用 8 位 CPU 或单片机控制,分辨率为 $10\mu\text{m}$,进给速度为 $6\sim 15\text{m/min}$,采用步进电机驱动,具有 RS232 接口。低档数控机床最多联动轴数为 2 轴或 3 轴,具有简单 CRT 字符显示或数码管显示功能,无通信功能。

(2) 普及型数控机床。这类数控机床通常为中档数控机床,一般采用 16 位或更高性能的 CPU,分辨力在 $1\mu\text{m}$ 以内,进给速度为 $15\sim 24\text{m/min}$,采用交流或直流伺服电机驱动,联动轴数为 3~5 轴;有较齐全的 CRT 显示及很好的人机界面,大量采用菜单操作,不仅有字符,还有平面线性图形显示、人机对话、自诊断等功能;具有 RS232 或 DNC 接口,通过 DNC 接口可以实现几台数控机床之间的数据通信,也可以直接对几台数控机床进行控制。

(3) 高级型数控机床。这类数控机床通常为高档数控机床,一般采用 32 位或 64 位 CPU,并采用精简指令集计算机(RISC)作为中央处理单元,分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\text{m/min}$,采用数字化交流伺服电机驱动,联动轴数在 5 轴以上,有三维动态图形显示功能。高档数控机床具有高性能通信接口,具备联网功能,通过采用 MAP(制造自动化协议)等高级工业控制网络或 Ethernet(以太网)可实现远程故障诊断和维修,为解决不同类型不同厂家生产的数控机床的联网,以及数控机床进入 FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)等制造系统创造了条件。

1.4 数控加工坐标系的设定

在数控加工中需要了解的坐标系有两种:机床坐标系和加工坐标系。这两种坐标系的建立遵守下列两个原则。

(1) 刀具相对于静止的工件而运动原则。虽然机床的结构不同,有的是刀具运动、零件固定,有的是零件运动、刀具固定等,但为了编程方便,一律规定为零件固定不动、刀具运动,同时运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。

(2) 标准坐标系均采用右手直角笛卡儿坐标系原则。坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则来判定,大拇指方向为 X 轴的正方向,食指方向为 Y 轴的正方向,中指方向为 Z 轴的正方向。围绕 X 、 Y 、 Z 轴的回转运动及其正方向 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 用右手螺旋定则来判定,大拇指分别指向 X 、 Y 、 Z 的正向,则 4 指弯曲的方向为对应的 A 、 B 、 C 的正向。直角笛卡儿坐标轴如图 1.10 所示。