

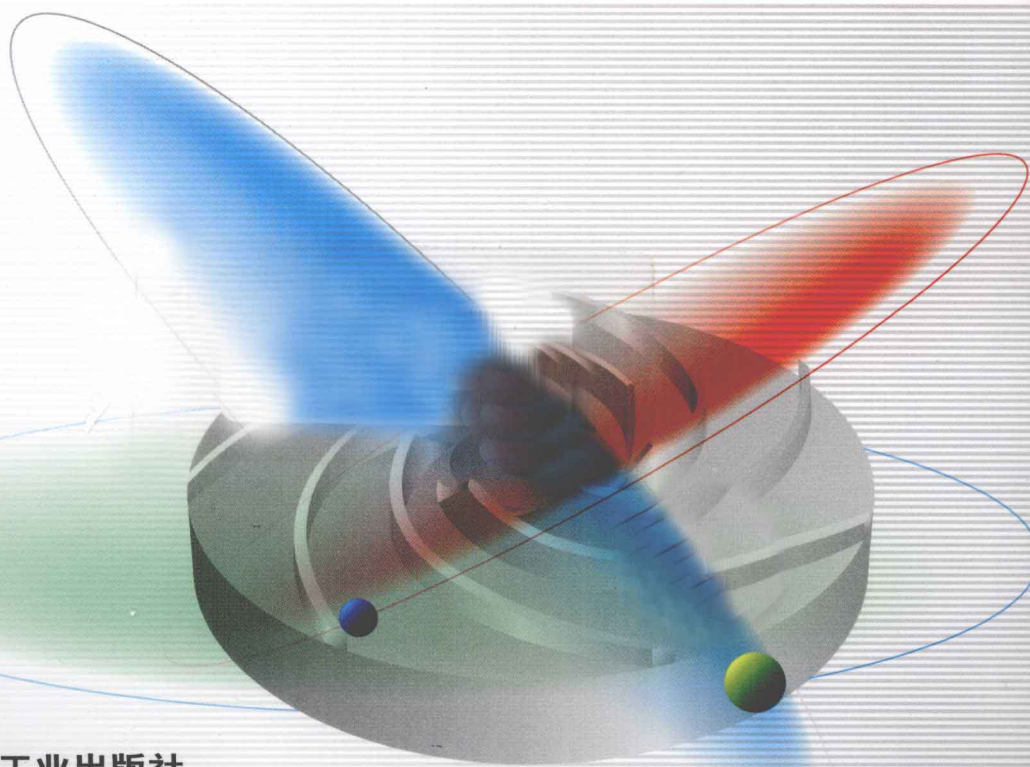
工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

Mastercam

多轴数控加工 典型实例详解



刘红霞 高长银 黎胜容 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

Mastercam 多轴数控加工 典型实例详解

刘红霞 高长银 黎胜容 主 编



机械工业出版社

本书从工程实用的角度出发,通过大量典型实例,深入浅出地介绍了 Mastercam X4 多轴数控加工的流程、方法和技巧。全书共 8 章,第 1 章介绍 Mastercam X4 多轴数控加工专业知识,包括数控铣削、数控车削和数控线切割加工的原理与工艺;第 2 章介绍了 Mastercam X4 数控加工功能、用户操作界面、加工设置以及加工操作管理;第 3~8 章为 Mastercam 多轴加工实例解析,具体包括三轴铣削加工、四轴铣削加工、五轴铣削加工、多轴车削加工、车铣复合加工以及四轴线切割加工。这些实例类型丰富、覆盖面广、代表性强,全部来源于一线实践,从入门到提高,符合读者学习过程;讲解从点到面、深入浅出、降低学习门槛、易学易懂,即使读者此前毫无基础,都可以迅速上手和提高;读者学习后举一反三,即可掌握 Mastercam 各类多轴数控加工的方法、细节与技巧,实现从入门到精通。

本书含光盘一张,包括书中所有素材源文件和实例操作的语音视频,方便读者温习和巩固。本书既适合企业数控加工人员使用,又可作为大中专院校相关专业学生的教材,是读者学习多轴加工的必备宝典。

图书在版编目(CIP)数据

Mastercam 多轴数控加工典型实例详解/刘红霞等主编. —北京:机械工业出版社, 2011.8

(工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书)

ISBN 978-7-111-35410-9

I. ①M… II. ①刘… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, Mastercam X4 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 145634 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 杨明远

版式设计:张世琴 责任校对:纪敬

封面设计:姚毅 责任印制:李研

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·25.75 印张·502 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-35410-9

ISBN 978-7-89433-065-9(光盘)

定价:52.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379733

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书创作背景

多轴数控加工是近几年发展起来的一项热门技术，第四届全国数控大赛就是以多轴加工方向为主，说明了学习多轴数控加工的必要性和迫切性。Mastercam 作为老牌的 CAD/CAM 软件，具有强大的多轴数控加工功能，用户不但可以利用它提高效率、保证产品精度，而且它也相对简便易学。因此学习 Mastercam 多轴数控加工是个不错的选择。但目前市场上关于 Mastercam 多轴数控加工的书较少，实例类教程更是未见，给广大读者的学习带来了不便，本书的出版主要用于填补这一市场空白。

本书内容导读

本书内容由浅入深，突出工程实践性，内容安排形式：基础知识→Mastercam 多轴铣削加工实例→Mastercam 多轴车削加工实例→Mastercam 多轴线切割加工实例。具体安排如下：

第 1 章为多轴数控加工专业知识，概要介绍了数控铣削、数控车削和数控线切割加工的原理与工艺，使读者对多轴数控加工技术特点有一大致的了解。

第 2 章为 Mastercam X4 数控加工入门介绍，主要介绍了 Mastercam X4 数控加工功能、用户操作界面、加工设置以及加工操作管理。读者通过学习，将熟悉 Mastercam X4 的基本操作，为后面实例学习打好基础。

第 3~5 章为 Mastercam 多轴铣削加工实例。其中，三轴铣削加工案例包括化妆盒曲面数控加工、泵盖压铸凸模数控加工、玩具手枪凸模数控加工，四轴铣削加工案例包括印章零件外形数控加工、空间凸轮模数控加工，五轴铣削加工案例包括模盒零件数控加工、机座凸模数控加工。

第 6、7 章为 Mastercam 多轴车削、车铣复合加工实例，具体包括汽轮机轴数控车削加工、椭圆套筒数控车削加工、花键轴车铣复合加工、异形安装盘车铣复合加工。

第 8 章介绍了 Mastercam 多轴数控线切割加工实例，主要针对四轴类型，具体包括上下异形零件数控线切割加工、花盘异形零件数控线切割加工。

本书主要特点

与同类书相比，本书主要特点有：

(1) 细分多轴加工技术，通过大量工程实例，讲解 Mastercam 多轴数控加

工的技术特点与实际应用，集专业性、实用性于一体。

(2) 实例安排循序渐进，从入门到提高，符合读者学习过程；讲解从点到面、深入浅出，降低学习门槛，提高读者学习效率。

(3) 本书配套光盘提供实例操作的语音视频，方便读者上机操作练习，加深理解，扩大学习效果。

本书读者对象

本书针对 Mastercam 的初、中级用户编写，特别适合读者自学参考。既适合企业数控加工人员使用，又可作为大中专院校相关专业学生的教材。

本书作者队伍

本书由刘红霞、高长银、黎胜容主编，参加编写的还有李万全、黎双玉、马龙梅、涂志涛、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、董延、郭志强、毕晓勤、贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳、夏劲松。

由于时间仓促，书中难免会有一些错误和不足之处，欢迎广大的读者及业内人士予以批评指正。

编著者

目 录

前言

第 1 章 多轴数控加工专业知识	1
1.1 数控加工基本原理.....	1
1.2 控制轴和加工坐标系.....	4
1.3 数控铣削加工原理与工艺.....	5
1.3.1 数控铣削加工原理.....	5
1.3.2 数控铣削加工工艺制订.....	6
1.4 数控车削加工原理与工艺.....	8
1.4.1 数控车削加工原理.....	8
1.4.2 数控车削加工的用途和加工对象.....	9
1.4.3 数控车削加工工艺制订.....	11
1.4.4 数控车削用量的选择.....	14
1.5 数控线切割加工原理与工艺.....	15
1.5.1 线切割机床的加工原理.....	15
1.5.2 线切割加工的优点与应用.....	16
1.5.3 四轴数控线切割加工原理.....	17
1.5.4 线切割加工工艺内容.....	18
1.6 多轴数控加工机床.....	19
1.6.1 三轴数控加工机床.....	19
1.6.2 四轴数控加工机床.....	20
1.6.3 五轴数控加工机床.....	22
1.6.4 车铣复合加工机床.....	25
1.7 本章小结.....	27
第 2 章 Mastercam X4 数控加工基础	28
2.1 Mastercam X4 数控加工功能.....	28
2.2 Mastercam X4 用户操作界面.....	29
2.3 Mastercam X4 加工设置.....	31
2.3.1 设置加工工件.....	31
2.3.2 设置加工刀具.....	36
2.4 加工操作管理.....	44

2.4.1	刀路模拟	45
2.4.2	实体加工仿真.....	47
2.4.3	后处理产生 NC 程序	48
2.4.4	锁定加工操作.....	50
2.4.5	关闭刀具路径显示.....	50
2.5	本章小结	50
第 3 章	Mastercam X4 三轴铣削加工案例	51
3.1	入门实例——化妆盒曲面数控铣削加工.....	51
3.1.1	实例描述	51
3.1.2	加工方法分析.....	51
3.1.3	加工流程与所用知识点	52
3.1.4	具体步骤	54
3.1.5	实例小结	75
3.2	提高实例 1——泵盖压铸凸模数控铣削加工.....	75
3.2.1	实例描述	75
3.2.2	加工方法分析.....	76
3.2.3	加工流程与所用知识点	76
3.2.4	具体步骤	78
3.2.5	实例小结	105
3.3	提高实例 2——玩具手枪凸模数控铣削加工.....	105
3.3.1	实例说明	105
3.3.2	设计方法分析.....	105
3.3.3	加工流程与所用知识点	106
3.3.4	具体步骤	108
3.3.5	实例小结	130
第 4 章	Mastercam X4 四轴铣削加工案例	131
4.1	入门实例——印章零件外形数控铣削加工.....	131
4.1.1	实例描述	131
4.1.2	加工方法分析.....	131
4.1.3	加工流程与所用知识点	132
4.1.4	具体步骤	133
4.1.5	实例小结	139
4.2	提高实例——空间凸轮数控铣削加工.....	139
4.2.1	实例描述	139

4.2.2 加工方法分析.....	139
4.2.3 加工流程与所用知识点.....	140
4.2.4 具体步骤.....	141
4.2.5 实例小结.....	152
第5章 Mastercam X4 五轴铣削加工案例.....	153
5.1 入门实例——模盒零件数控铣削加工.....	153
5.1.1 实例描述.....	153
5.1.2 加工方法分析.....	153
5.1.3 加工流程与所用知识点.....	154
5.1.4 具体步骤.....	156
5.1.5 实例小结.....	188
5.2 提高实例——机座凸模数控铣削加工.....	188
5.2.1 实例描述.....	188
5.2.2 加工方法分析.....	188
5.2.3 加工流程与所用知识点.....	189
5.2.4 具体步骤.....	190
5.2.5 实例小结.....	222
第6章 Mastercam X4 多轴车削加工案例.....	223
6.1 入门实例——汽轮机轴数控车削加工.....	223
6.1.1 实例描述.....	223
6.1.2 加工方法分析.....	223
6.1.3 加工流程与所用知识点.....	224
6.1.4 具体步骤.....	228
6.1.5 实例小结.....	266
6.2 提高实例——椭圆套筒数控车削加工.....	266
6.2.1 实例描述.....	266
6.2.2 加工方法分析.....	267
6.2.3 加工流程与所用知识点.....	267
6.2.4 具体步骤.....	272
6.2.5 实例小结.....	311
第7章 Mastercam X4 车铣复合加工实例.....	312
7.1 入门实例——花键轴车铣复合加工.....	312
7.1.1 实例描述.....	312
7.1.2 加工方法分析.....	312

7.1.3 加工流程与所用知识点.....	312
7.1.4 具体步骤.....	315
7.1.5 实例小结.....	343
7.2 提高实例——异形安装盘车铣复合加工.....	343
7.2.1 实例描述.....	343
7.2.2 加工方法分析.....	344
7.2.3 加工流程与所用知识点.....	344
7.2.4 具体步骤.....	346
7.2.5 实例小结.....	379
第8章 Mastercam X4 四轴数控线切割加工案例.....	380
8.1 入门实例——花盘异形零件数控线切割加工.....	380
8.1.1 实例描述.....	380
8.1.2 加工方法分析.....	380
8.1.3 加工流程与所用知识点.....	381
8.1.4 具体步骤.....	382
8.1.5 实例小结.....	391
8.2 提高实例——上下异形零件数控线切割加工.....	391
8.2.1 实例描述.....	391
8.2.2 加工方法分析.....	391
8.2.3 加工流程与所用知识点.....	391
8.2.4 具体步骤.....	393
8.2.5 实例小结.....	403
参考文献.....	404

第 1 章 多轴数控加工专业知识

作为本书第 1 章，本章将介绍数控加工专业知识，包括数控铣削、车削、线切割加工基本原理以及数控加工工艺参数的设置等内容，使读者对多轴数控加工有个概要性的了解。

1.1 数控加工基本原理

采用数控加工能高效、高精度地加工复杂的零件，特别是曲面较为复杂的型芯和型腔零件。数控的英文全称为 Numerical Control，简称 NC。由数控系统发出的数字脉冲信号经变换放大后变成脉冲电流，脉冲电流通过伺服电动机能产生运动距离。而伺服电动机可以做成旋转和直线运动两种形式，因此一个脉冲信号能实现一个旋转步距角或一个直线移动步距。在一个时段内连续发送脉冲信号，脉冲信号的数量就能精确对应旋转电动机转子的转数，单位时间内的脉冲数量称为脉冲频率，控制脉冲频率就能控制转子的转速，所以脉冲信号和能根据脉冲信号作定量运动的伺服电动机是实现数控加工的基本条件。

普通车床是固定在自定心卡盘上的工件随主轴作旋转主运动，固定在刀架溜板上的刀具由手工操作作相对工件的二维进给运动进行切削；普通铣床是固定在工作台上的刀具随主轴作旋转主运动，装夹在工作台上的工件由手工操作相对刀具作三维进给运动进行切削。为了实现数控加工，就按普通机床切削模式用旋转伺服电动机通过传动精度较高的同步带直接驱动主轴作回转主运动，通过控制脉冲频率来控制主运动的转速，从而省去了结构复杂的靠手工操作的变速齿轮箱等。同样用旋转伺服电动机传动精度较高的滚珠丝杠螺母副，把旋转运动变成直线运动；精度很高的数控机床和高速数控机床直接用直线伺服电动机产生直线运动，从而把中间环节减至最少。

数控系统由加工程序输入工具、译码器、数据处理器和处理软件、数据存储器和脉冲电流输出工具等组成。加工程序通过输入工具输入到数控系

统，由译码器翻译成处理系统能够识别的数据，经软件分析计算变成智能加工数据存放在存储器中。加工时通过输出工具将加工数据变成脉冲电流，输送给 X、Y、Z 方向的伺服电动机和主轴伺服电动机，伺服电动机再通过传动机构形成切削主运动和进给运动。测量装置随时监测实际主运动和进给运动与加工程序所要求的运动量之间的误差，并反馈到数控系统，及时修正伺服电动机的转速，从而精确地控制刀具和工件之间的切削运动。这样就实现了自动切削，使平时由半人工操作的金属切削变成了用程序控制的切削，这就是数控加工的原理。

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、进给量、背吃刀量）以及辅助操作（换刀、主轴的正转和反转、切削液的开和关）等编制成数控加工程序，然后将程序输入到数控装置中，经数控装置分析处理后，发出指令控制机床进行自动加工，其过程如图 1-1 所示。

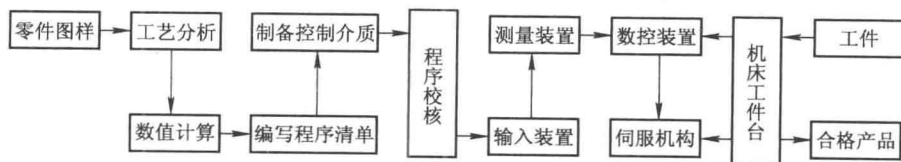


图 1-1 数控加工基本原理

数控加工与普通机床加工在方法和内容上有许多相似之处，而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，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，要把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，不仅成为数控加工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。数控加工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和精确

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，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) 计算编程尺寸设定值

编程尺寸并不是零件图上设计尺寸的简单再现，在对零件进行数学处理和计算时，编程尺寸设定值要根据零件形状的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，刀具如何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。由插补原理可知，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，则工件的轮廓形状越差。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，特别是在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) 由于数控机床比普通机床的刚度高，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。明显表现为工艺数目少，工艺内容多，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的划分工序、选择设备等重要内容对于数控加工工艺来说属于已基本确定的内容，所以制订数控加工工艺的重点在于对整个数控加

工过程的分析，关键是确定进给路线及生成刀具运动轨迹。

1.2 控制轴和加工坐标系

进行数控加工首先要了解控制轴和加工坐标系的相关知识，下面加以简单介绍。

由数控系统控制的机床运动轴称为控制轴，如图 1-2 所示。数控机床通过各个移动件的运动产生刀具与工件之间的相对运动来实现切削加工。为表示各移动件的移动方位和方向（机床坐标轴），在 ISO 标准中统一规定采用右手笛卡儿坐标系对机床的坐标系进行命名，直线轴用 X、Y、Z 表示，旋转轴用 A、B、C 分别表示绕 X、Y、Z 的旋转轴。

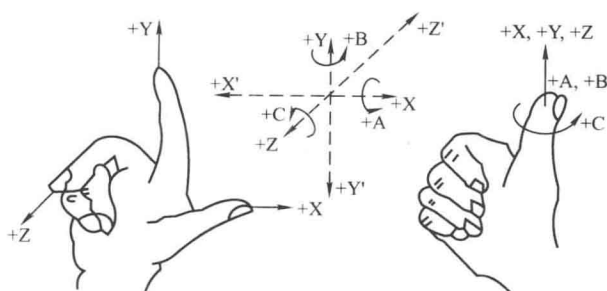


图 1-2 数控系统的控制轴

确定机床坐标轴，一般是先确定 Z 轴，再确定 X 轴和 Y 轴：

(1) 确定 Z 轴

对于有主轴的机床，如车床、铣床等则以机床主轴轴线方向作为 Z 轴方向。对于没有主轴的机床，如刨床，则以与装夹工件的工作台相垂直的直线作为 Z 轴方向。对于有几个主轴的机床，则选择其中一个与机床工作台面相垂直的主轴作为主要主轴，并以它来确定 Z 轴方向。

(2) 确定 X 轴

X 轴一般位于与工件安装面相平行的水平面内。对于机床主轴带动工件旋转的机床，如车床、磨床等，则在水平面内选定垂直于工件旋转轴线的方向为 X 轴，且选定刀具远离主轴轴线方向为 X 轴的正方向。对于机床主轴带动刀具旋转的机床，当主轴是水平时，如卧式铣床、卧式镗床等，则规定人面对主轴，选定主轴左侧方向为 X 轴正方向；当主轴是竖直时，如立式铣床、立式钻床等，则规定人面对主轴，选定主轴右侧方向为 X 轴正方向。对于无主轴的机床，如刨床，则选定切削方向为 X 轴正方向。

(3) 确定 Y 轴

Y 轴方向可以根据已选定的 Z、X 轴方向，按右手直角坐标系来确定。

1.3 数控铣削加工原理与工艺

数控铣削是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一，它除了能铣削普通铣床所能铣削的各种零件表面以外，还能铣削普通铣床不能铣削的需要 2~5 轴坐标联动的各种平面轮廓和立体轮廓。

1.3.1 数控铣削加工原理

数控铣床的基本组成如图 1-3 所示。它由床身、立柱、主轴箱、工作台、滑鞍、滚珠丝杠、伺服电动机、伺服装置、数控系统（控制器、控制电源）等组成。

床身用于支撑和连接机床各部件。主轴箱用于安装主轴；主轴下端的锥孔用于安装铣刀；当主轴箱内的主轴电动机驱动主轴旋转时，铣刀能够切削工件；主轴箱还可沿立柱上的导轨在 Z 向移动，使刀具上升或下降。工作台用于安装工件或夹具；工作台可沿滑鞍上的导轨在 X 向移动，滑鞍可沿床身上的导轨在 Y 向移动，从而实现工件在 X 和 Y 向的移动；无论是 X 向、Y 向还是 Z 向的移动都是靠伺服电动机驱动滚珠丝杠来实现的。伺服装置用于驱动伺服电动机。控制器用于输入零件加工程序和控制机床工作状态。控制电源用于向伺服装置和控制器供电。

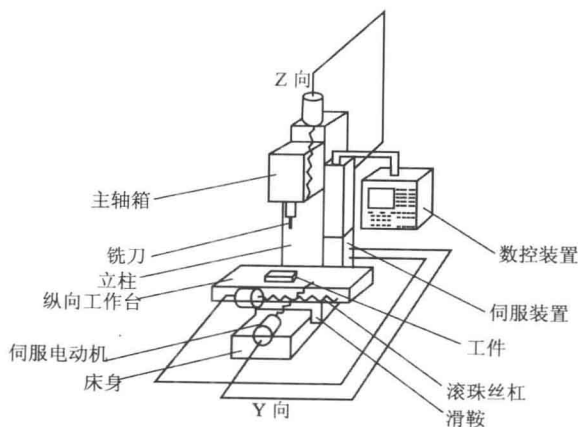


图 1-3 数控铣床结构

1. 数控铣床的工作原理

根据零件形状、尺寸、精度和表面粗糙度等技术要求制定加工工艺，选择加工参数。通过手工编程或利用 CAM 软件自动编程，将编好的加工程序输入控制器。控制器对加工程序处理后，向伺服装置传送指令。伺服装置向伺服电动机发出控制信号。主轴电动机使刀具旋转，X、Y 和 Z 向的伺服电动机控制刀具和工件按一定的轨迹相对运动，从而实现工件的切削。

2. 数控铣床加工的特点

- 1) 用数控铣床加工零件，精度很稳定。如果忽略刀具的磨损，用同一程序加工出的零件具有相同的精度。
- 2) 数控铣床适合加工形状比较复杂的零件，如各种模具等。
- 3) 数控铣床自动化程度很高，生产率高，适合加工批量较大的零件。

1.3.2 数控铣削加工工艺制订

1. 零件数控加工工艺分析

加工工艺分析就是指对零件的加工顺序进行规划，其具体安排应该根据零件的结构、材料特性、夹紧定位、机床功能、加工部位的数量以及安装次数等进行灵活划分，一般可根据“粗精加工”进行划分。

(1) 粗加工阶段

粗加工阶段是为了去除毛坯上大部分的余量，使毛坯在形状和尺寸上基本接近零件的成品状态。这个阶段最主要的问题是如何获得较高的生产率。

(2) 半精加工阶段

半精加工阶段是使零件的主要表面达到工艺规定的加工精度，并保留一定的精加工余量，为精加工做好准备。半精加工阶段一般安排在热处理之前进行。在这个阶段，可以将不影响零件使用性能 and 设计精度的零件次要表面加工完毕。

(3) 精加工阶段

精加工阶段的目的是保证加工零件达到设计图样所规定的尺寸精度、技术要求和表面质量要求。零件精加工的余量都很小，主要考虑的问题是如何达到最高的加工精度和表面质量。

2. 设置加工工艺参数

加工工艺参数的选择是数控加工的关键因素之一，它直接影响到加工效率、刀具寿命和零件精度等问题。合理地选择切削用量需要具有丰富的实践经验，在数控编程时，只能凭借编程者的经验和刀具切削用量的推荐值初步确定，而最终的切削用量将根据零件数控程序的调试结果和实际加工情况来确定。

合理确定加工工艺参数的原则：粗加工时，为了提高效率，在保证刀具、夹具和机床刚性足够的条件下，切削用量选择的顺序是首先把吃刀量选大一些，其次选择较大的进给量，然后选择适当的切削速度。精加工时，加工余量小，为了保证工件的表面质量，尽可能增加切削速度，这时可适当减少进给量。

(1) 粗加工

粗加工是大体积切除工件材料，表面质量要求很低。工件表面粗糙度 Ra 要达到 $12.5\sim 25\mu\text{m}$ ，可以取背吃刀量为 $3\sim 6\text{mm}$ ，侧吃刀量为 $2.5\sim 5\text{mm}$ ，为后续半精加工留 $1\sim 2\text{mm}$ 的加工余量。如果粗加工后直接精加工，则留 $0.5\sim 1\text{mm}$ 的加工余量。

(2) 半精加工

半精加工是把粗加工后的表面加工得光滑一点，同时切除凹角的残余材料，给精加工留厚度均匀的加工余量。半精加工后工件的表面粗糙度 Ra 要达到 $3.2\sim 12.5\mu\text{m}$ ，背吃刀量和侧吃刀量可取 $1.5\sim 2\text{mm}$ ，给后续精加工留 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ 的加工余量。

(3) 精加工

精加工是最后达到尺寸精度和表面粗糙度要求的加工。工件的表面粗糙度 Ra 要达 $0.8\sim 3.2\mu\text{m}$ ，背吃刀量可取 $0.5\sim 1\text{mm}$ ，侧吃刀量可取 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ 。

3. 切削用量的确定

数控铣削切削用量主要包括铣削速度、进给速度和吃刀量等。合理选择切削用量的原则：粗加工时，一般以提高生产率为主，但也应考虑经济性和加工成本；半精加工和精加工时，应在保证加工质量的前提下，兼顾切削效率、经济性和加工成本。具体数值应根据机床说明书切削用量手册，并结合经验来定。

(1) 进给速度

进给速度表示单位时间内刀具沿进给方向移动的距离，以 v_f 表示。

v_f 应根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具和工件材料来选择。 v_f 的增加也可以提高生产效率。要求零件表面粗糙度值大时， v_f 可选择得大些。在加工过程中， v_f 也可通过机床控制面板上的修调开关进行人工调整，但是最大进给速度要受到设备刚度和进给系统性能等因素的限制。

通常根据主轴转速、刀具材料、切削毛坯材料等因素，选择较大的进给率以提高加工效率，一般设定为 $300\sim 600\text{mm}/\text{min}$ 。

(2) 吃刀量

切削时铣刀的端面的一个方向的侧面切入工件，端面切入工件的深度称为

背吃刀量，侧面切入工件的深度称为侧吃刀量。

在机床、工件和刀具刚度允许的情况下，背吃刀量就等于加工余量，这是提高生产率的一个有效措施。但是为了保证零件的加工精度和表面粗糙度，一般应留一定的余量进行精加工。在数控加工中，为保证零件必要的加工精度和表面粗糙度，建议留少量的余量（0.2~0.5mm），在最后的精加工中沿轮廓走一刀。粗加工时，除了留有必要的半精加工和精加工余量外，在工艺系统刚性允许的条件下，应以最少的次数完成粗加工。留给精加工的余量应大于零件的变形量和确保零件表面完整性。

（3）铣削速度

铣削速度表示铣刀的圆周切线速度，通常用 v 表示。

$$v = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中 v ——铣削速度（m/min）；

d ——刀具直径（mm）；

n ——主轴转速（r/min）。

提高铣削速度也是提高生产率的一个措施，而铣削速度与刀具寿命的关系密切。随着铣削速度的增大，刀具寿命急剧下降，故铣削速度的选择主要取决于刀具寿命。

1.4 数控车削加工原理与工艺

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。由于数控车床具有加工精度高，能作直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点，因此凡是能在数控车床上装夹的回转体零件都能在数控车床上加工。

1.4.1 数控车削加工原理

数控车床主要由五部分组成，如图 1-4 所示。

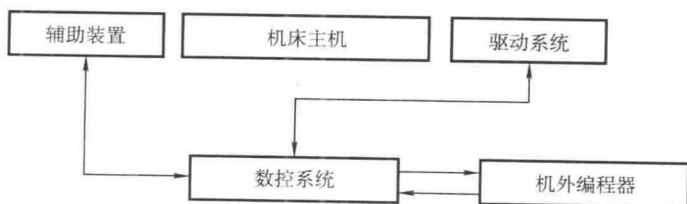


图 1-4 数控车床的组成