

PowerMILL
数控编程系列丛书

PowerMILL

数控编程应用教程

—— 基础篇

杨书荣 赵 炎 梁 恒 编著



PowerMILL 数控编程系列丛书

PowerMILL 数控编程应用教程

——基础篇

杨书荣 赵 炎 梁 恒 编著



机械工业出版社

本书图文结合,通过案例进行 PowerMILL 软件的讲解与介绍,全书注重联系实际进行操作,内容直观、容易理解。在案例的选择上充分考虑了书中各知识点间的关联,在保证案例实用性的同时,便于读者进行更为系统的学习。本书编者有十余年的模具编程实践经验,是 CNC 的资深技术工程师,且担任软件公司的技术总监和工厂 CNC 编程加工部门主管,有丰富的用户培训和解答疑难问题的经验。

本书可作为 CAM 专业课程教材,适用于 PowerMILL 初中级用户。可供各大中专院校机械、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用,还可作为研究生和各工厂企业从事 CAM 应用的广大工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

PowerMILL 数控编程应用教程. 基础篇/杨书荣等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013. 1

(PowerMILL 数控编程系列丛书)

ISBN 978-7-111-41623-4

I. ①P… II. ①杨… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件—教材 IV. ①TG659—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 036272 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: 孔 劲 责任编辑: 孔 劲 舒 雯

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈立辉

封面设计: 姚 毅 责任印制: 乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·37.25 印张·944 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41623-4

ISBN 978-7-89433-823-5 (光盘)

定价: 98.00 元 (含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑 (010) 88379772

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,国内制造业已开始大量采用高切削速度、高进给速度和高结构刚性的新型数控机床,许多企业拥有的高性能数控设备的数量已经达到或超过国外同类企业的数控设备保有量,但生产能力不足的局面并未得到根本改变。其主要原因在于,企业采用先进数控设备实现了硬条件的同时,并没有相关先进的编程技术及加工工艺等软条件的配合。

PowerMILL 是英国 DelcamPlc 公司出品的功能强大,加工策略丰富的数控加工编程软件系统,其独有的高效初加工策略、高速精加工策略和最新五轴加工策略,可生成最有效的加工路径,确保最大限度地发挥机床的潜能。

“PowerMILL 数控编程系列丛书”是基于目前企业对 PowerMILL 应用人才的需求和各个院校的 PowerMILL 教学需求而组织编写的。丛书以 PowerMILL2012 为操作平台,从基础入手,突出实用性,以针对性强的实例为引导,循序渐进地介绍了 PowerMILL 的常用模块和实用操作方法。

《PowerMILL 数控编程应用教程——基础篇》共分 10 章,第 1 章数控加工编程基础,介绍了新型数控机床的特点,并由此展开对先进编程技术和加工工艺论述。第 2 章 PowerMILL 软件简介与编程加工预设值,介绍了 PowerMILL 软件的基本情况与界面窗口,并讲解编程前的准备工作。第 3~5 章分别为 PowerMILL2-2.5 维加工,三维粗加工策略、三维精加工策略,这三章涵盖了 PowerMILL 编程软件中所有加工策略。第 6 章刀具路径加工范围和轨迹驱动控制,介绍了边界与参考线的创建与使用。第 7 章刀具路径编辑、校验与仿真,重点介绍刀具路径生成以后的各项操作步骤。第 8 章辅助曲面与后处理,分别介绍了两个辅助功能,PowerMILL Modelling 曲面造型模块和 DuctPost、PostProcessor 后处理模块。第 9 章为 PowerMILL 其他重点功能介绍。第 10 章为 PowerMILL 编程实例应用,包含两个综合实例,可以帮助读者进一步巩固所学内容。本书每章都附有实用性强的操作应用实例和习题,供学习者上机操作时使用。

为了帮助读者更加直观地学习,本书附赠随书光盘,包含全书各实例的源文件。本书不但适用于 CAM 初学者,也是专业的数控加工技术人员的参考资料,还可作为企业、大中专院校、职业培训班的数控培训教材。

本书由杨书荣主编,赵炎、梁恒参编,何轩、林洋为本书提供了部分资料,全书由康亚鹏审阅。

本书配套的视频资料可以在<http://www.5xue56.com> 上进行观看。

编者力图使书中内容的知识性和实用性相得益彰,但由于水平有限,本书难免有疏漏和不足之处,请广大读者和同仁予以指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 数控加工编程基础	1
1.1 数控机床	1
1.1.1 数控技术基本概念	1
1.1.2 数控机床的组成	2
1.1.3 数控机床的特点	2
1.1.4 数控机床的分类	3
1.1.5 数控机床的主要性能指标	5
1.2 数控加工基本原理	7
1.2.1 数控加工组成	7
1.2.2 数控加工原理概述	7
1.3 数控加工工艺	9
1.3.1 数控加工工艺特点	9
1.3.2 数控加工工艺分析	10
1.3.3 数控加工工艺设计	11
1.4 数控编程技术	13
1.4.1 指令字与程序结构	13
1.4.2 坐标系统	18
1.4.3 程序编制基本概念	20
第 2 章 PowerMILL 软件简介与编程加工预设值	23
2.1 PowerMILL 概述	23
2.2 PowerMILL 安装和设置	25
2.2.1 PowerMILL 安装的软硬件要求	25
2.2.2 授权文件和加密锁	26
2.2.3 PowerMILL 的安装	26
2.2.4 设置授权文件	29
2.3 PowerMILL 用户界面与编程加工基础	35
2.3.1 PowerMILL 工作界面	35
2.3.2 PowerMILL 工具栏	55
2.3.3 PowerMILL 浏览器	57
2.3.4 鼠标和键盘的基本操作	58

2.3.5	PowerMILL 数控编程的一般工艺流程	59
2.3.6	简单编程实例	60
2.4	PowerMILL 编程加工预设值	81
2.4.1	模型	81
2.4.2	用户坐标系	90
2.4.3	层和组合	100
2.4.4	刀具	106
2.4.5	毛坯	118
2.4.6	进给和转速	123
2.4.7	快进高度	125
2.4.8	开始点和结束点	126
2.4.9	测量工具	128
第3章	PowerMILL 2-2.5 维加工	131
3.1	刀具路径策略	131
3.1.1	策略对话框	131
3.1.2	常用刀具路径策略的设置	134
3.2	二维加工	136
3.2.1	二维曲线加工策略	136
3.2.2	平倒角与面铣削	162
3.3	特征设置和特征加工	169
3.3.1	特征设置	170
3.3.2	特征加工策略	173
3.4	钻孔加工	189
3.4.1	钻孔	189
3.4.2	钻孔方法	196
第4章	三维粗加工策略	202
4.1	三维区域清除	202
4.1.1	PowerMILL 高速粗加工编程时应注意的问题	204
4.1.2	模型区域清除策略	204
4.1.3	模型轮廓策略	224
4.1.4	拐角区域清除	226
4.1.5	插铣	230
4.1.6	等高切面区域清除和等高切面轮廓策略	233
4.2	残留加工	238
4.2.1	参考刀具路径残留加工	239
4.2.2	残留模型定义	241
4.2.3	参考残留模型残留加工	245

第5章 三维精加工策略	249
5.1 三维精加工策略的分类	249
5.2 精加工参数设置时应注意的问题	253
5.3 平坦面精加工策略	255
5.3.1 偏置平坦面精加工	255
5.3.2 平行平坦面精加工	259
5.4 投影精加工策略	262
5.4.1 平行精加工	263
5.4.2 参考线精加工	266
5.4.3 镶嵌参考线精加工	269
5.4.4 放射精加工	270
5.4.5 螺旋精加工	274
5.4.6 点投影精加工	276
5.4.7 直线投影精加工	278
5.4.8 平面投影精加工	280
5.4.9 曲线投影精加工	283
5.4.10 曲面投影精加工	285
5.5 清角精加工策略	287
5.5.1 清角精加工	288
5.5.2 多笔清角精加工	289
5.5.3 笔式清角精加工	290
5.6 其他方式精加工策略	293
5.6.1 三维偏置精加工	293
5.6.2 等高精加工	296
5.6.3 最佳等高精加工	299
5.6.4 陡峭和浅滩精加工	301
5.6.5 曲面精加工	304
5.6.6 参数偏置精加工	306
5.6.7 轮廓精加工	309
5.6.8 旋转精加工	312
5.6.9 SWARF 精加工	314
5.6.10 线框 SWARF 精加工	317
5.6.11 线框轮廓精加工	319
5.6.12 参数螺旋精加工	320
5.6.13 流线精加工	323
5.6.14 盘轮廓精加工	324
5.7 上机指导	328
5.8 习题	332

第 6 章 刀具路径加工范围和轨迹驱动控制	335
6.1 边界的定义与编辑	335
6.1.1 产生边界	335
6.1.2 插入边界	361
6.1.3 编辑边界	364
6.2 边界右键菜单	368
6.2.1 边界右键菜单	368
6.2.2 单条边界右键菜单	371
6.3 参考线的定义与编辑	373
6.3.1 插入参考线	373
6.3.2 参考线的产生	375
6.3.3 编辑参考线	379
6.4 参考线右键菜单	380
6.4.1 参考线右键菜单	380
6.4.2 单条参考线右键菜单	380
6.5 上机指导	384
6.6 习题	388
第 7 章 刀具路径编辑、仿真与校验	390
7.1 刀具路径的切入、切出和连接	390
7.1.1 Z 高度	390
7.1.2 初次切入和最后切出	392
7.1.3 切入和切出	392
7.1.4 延伸	403
7.1.5 连接	404
7.2 刀具路径编辑	409
7.2.1 编辑刀具路径	409
7.2.2 刀具路径右键菜单	425
7.2.3 单条刀具路径右键菜单	427
7.3 刀具路径仿真	431
7.3.1 动态仿真	431
7.3.2 实体渲染仿真	432
7.3.3 机床仿真	433
7.4 刀具路径检查	436
7.4.1 碰撞检查	436
7.4.2 过切检查	438
第 8 章 辅助曲面造型与后处理	442
8.1 PowerMILL Modelling 介绍	442
8.2 辅助曲面造型流程	444

8.2.1 覆盖孔	444
8.2.2 填充骨位	448
8.3 DuctPost 后处理模块	449
8.3.1 使用 DuctPost 输出 NC 程序	449
8.3.2 定制 DuctPost 后处理	457
8.4 PostProcessor 后处理模块	466
8.4.1 使用 PostProcessor 输出 NC 程序	466
8.4.2 定制 PostProcessor 后处理	469
第9章 PowerMILL 其他重要功能	486
9.1 刀具路径点分布	486
9.1.1 刀具路径点分布设置	486
9.1.2 刀具路径点分布应用	488
9.2 PowerMILL 部件余量	491
9.2.1 部件余量设置	494
9.2.2 部件余量的应用	502
9.3 宏	506
9.3.1 记录宏文件	507
9.3.2 规划宏路径	510
9.3.3 运行宏	511
9.3.4 编写宏文件	511
9.3.5 宏变量	521
9.3.6 宏使用表达式	527
9.3.7 宏函数	529
9.3.8 条件语句	531
9.3.9 枚举语句	533
9.3.10 循环语句	534
9.3.11 返回语句	536
9.3.12 打印表达式的值	537
9.3.13 内置宏函数	537
第10章 PowerMILL 编程实例应用	547
10.1 吹瓶模具编程实例	547
10.1.1 分析模型及制定编程工艺	547
10.1.2 开粗模具	548
10.1.3 半精加工模具	551
10.1.4 精加工模具	554
10.1.5 刀具路径校验	557
10.1.6 产生 NC 程序和编程清单	558
10.1.7 吹瓶模具编程小结	559

10.2 注塑模具编程实例	561
10.2.1 分析模型及制定编程工艺	561
10.2.2 开粗模具	563
10.2.3 半精加工模具	567
10.2.4 精加工模具	571

第 1 章 数控加工编程基础

【提示】 本章讲解的主要内容包括：数控机床、数控加工基本原理、数控加工工艺及数控编程技术。重点讲解数控加工的工艺和编程技术概念，为读者学习使用 PowerMILL 软件进行数控编程打下基础。

【目标】 了解数控机床和数控加工基本原理，理解并掌握基本数控术语与数控加工编程的基础知识，初步形成数控加工的概念。

1.1 数控机床

1.1.1 数控技术基本概念

数控技术是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理，并通过高性能的驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的高新技术。当前已有大量机械加工装备采用了数控技术，其中应用面最广的是数控机床。以下是数控技术中几个常见的概念与定义。

(1) 数控技术 简称数控 (Numerical Control)，即采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

(2) 数控 (NC) 系统 数控系统是数字控制系统的简称，英文名称为 Numerical Control System，根据计算机存储器中存储的控制程序，执行部分或全部数值控制功能，并配有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。

(3) 计算机数控 (Computerized Numerical Control, CNC) 系统 是用计算机控制加工功能，实现数值控制的系统。CNC 系统根据计算机存储器中存储的控制程序，执行部分或全部数值控制功能，并配有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。

(4) 数控机床 是数字控制机床 (Computer numerical control machine tools) 的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，从而使机床动作并加工零件。

对 CNC 系统，只要更改控制程序，无需更改硬件电路，就可以改变其控制功能。因此，相对于 NC 系统而言，CNC 系统在通用性、灵活性、使用范围诸方面具有更大的优越性。美国电子工业协会 (EIA) 所属的数控标准化委员会将其定义为：“CNC 系统是一个用于存储程序的计算机，按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的部分或全部功能，在计算机之外的唯一装置是接口。” CNC 系统是由数控程序、输入/输出 (I/O) 设备、数控装置 (CNC 装置)、可编程控制器 (Program mable Logic Controller, PLC)、主轴驱

动装置、进给伺服系统共同组成的一个完整的系统，控制机床各组成部分实现各种功能。

1.1.2 数控机床的组成

从数控机床的构造来看，数控机床主要由以下几部分组成。

1. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是数控系统的控制对象，也是实现加工零件的执行部件。它主要由主运动部件、进给运动部件（如工作台、拖板及相应的传动机构）、支承件（如立柱、床身等）、特殊装置如刀具自动交换系统（Automatic Tools Change, ATC）、自动工件交换系统（Automatic Pallet Changer, APC），以及辅助装置如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构和变速系统较为简单，在精度、刚度、抗振性等方面要求更高，如图 1-1 所示。

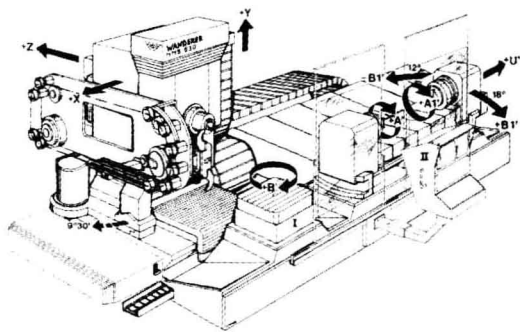


图 1-1 数控机床主体

2. 数控系统

数控系统是数控机床的指挥中心，如图 1-2 所示。它主要由操作面板、输入/输出设备、数控装置、伺服单元和驱动装置、PLC 和机床 I/O 电路等部分组成。

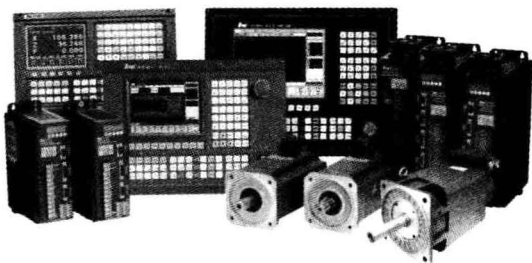


图 1-2 数控系统

3. 辅助装置

指数控机床的一些必要的配套部件，用以保证数控机床的运行，如冷却、排屑、润滑、照明、监测等。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头，还包括刀具及监控检测装置等。

1.1.3 数控机床的特点

数控机床自问世以来得到了高速的发展，数控机床与普通机床相比，具有以下主要特点：

1. 高柔性

数控机床的最大特点是高柔性，即灵活、通用和万能，可以适应加工不同形状的工件，如数控铣床一般能完成钻孔、镗孔、铰孔、攻螺纹、铣平面、铣斜面、铣槽、铣削曲面和铣削螺纹等加工，而且一般情况下，可以在一次装夹中完成所需的加工工序。加工对象改变，除更换刀具和解决工件装夹方式外，只需改变相应的加工程序即可。特别适应目前多品种、小批量和变化快的生产特征。

2. 高精度及加工重复性高

目前，普通数控加工的尺寸精度通常可达到 $\pm 0.005\text{mm}$ 。数控装置的脉冲当量（即机床移动部件的移动量）一般为 0.001mm ，高精度的数控系统可达 0.0001mm 。数控加工过程中，机床始终都在指定的控制指令下工作，消除了人工操作所引起的误差，不仅提高了同一

批加工零件尺寸的统一性，而且产品质量能得到保证，废品率也大为降低。

3. 高效率

机床自动化程度高，工序和刀具可自行更换和检测。例如，加工中心在一次装夹后，除定位表面不能加工外，其余表面均可加工；生产准备周期短，加工对象变化时，一般不需要专门的工艺装备设计制造时间；切削加工中可采用最佳切削参数和刀具路径。数控铣床一般不需要使用专用夹具和工艺装备。在更换工件时，只需调用存储于计算机中的加工程序、装夹工件和调整刀具数据即可，可大大缩短生产周期。更主要的是数控铣床的万能性带来高效率，一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能，工序高度集中，提高了劳动生产率，并减少了工件的装夹误差。

4. 有效减轻劳动强度

以数控铣床为例，其加工零件是根据加工前编好的程序自动完成的。操作者除了操作键盘、装卸工件、中间测量及观察机床运行外，不需要进行繁重的重复性手工操作，可大大减轻劳动强度。

5. 易于建立计算机通信网络

数控机床使用数字信息作为控制信息，易于与 CAD (Computer Aided Design) 系统连接，从而形成 CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) 一体化系统，它是 FMS (Flexible Manufacturing System)、CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 等现代制造技术的基础。

6. 初期投资大，加工成本高

数控机床的价格一般是普通机床的若干倍，且机床备件的价格也高；另外，加工首件工件需要进行编程、程序调试和试加工，时间较长，因此使零件的加工成本也大大高于普通机床。

1.1.4 数控机床的分类

数控机床的种类很多，目前尚没有统一的划分标准，通常按以下几种分类方法进行划分。

1. 按工艺用途分类

(1) 切削加工类 这类机床是指具有切削加工功能的数控机床，如数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床、数控刨床、数控钻床、数控镗床和数控齿轮加工机床等。

(2) 成形加工类 这类机床是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床，如数控折弯机、数控冲床和数控弯管机等。

(3) 特种加工类 这类机床是指具有特种加工功能的数控机床，如数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床和数控激光切割机床等。

2. 按运动控制方式分类

(1) 点位控制数控机床 这类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具或工作台，从一个点位准确地移动到下一个点位，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗等切削加工。它具有较高的位置定位精度，在移动过程中不进行切削加工，因此对运动轨迹没有要求。点位控制的数控机床主要用于加工平面内的孔系，主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量机等。

(2) 直线控制数控机床 这类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度，从一个点以一条直线准确地移动到下一个点，在移动过程中进行切削加工。采用这种控制的机床

有数控车床、数控铣床和数控磨床等。

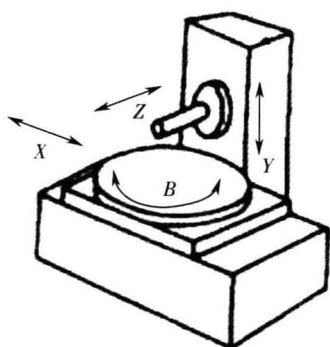
(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制（也称连续控制）是对两个或更多的坐标运动进行控制（多坐标联动），刀具运动轨迹可为空间曲线。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机和加工中心等。在模具行业中，对于一些复杂曲面的加工，使用这类机床较多，如三个坐标以上的数控铣或加工中心。

3. 按联动坐标轴数分类

(1) 两轴联动数控机床 任意两轴作插补联动，第三轴作单独的周期进给，常称为 2.5 轴联动，一般只能完成平面轮廓的加工。

(2) 三轴联动数控机床 X 、 Y 和 Z 轴可同时进行插补联动，三轴联动的刀轨轨迹可以是平面曲线或空间曲线。三坐标联动加工常用于复杂曲面的精确加工，在机械装备制造和模具制造中广泛应用。

(3) 四轴联动数控机床 除了同时控制 X 、 Y 和 Z 轴联动之外，还有工作台或者刀具的转动。如图 1-3a 所示的机床运动，采用四坐标铣床加工，除了三个直角坐标运动外，工作台上还要一个转动盘作旋转联动运动。



a)



b)

图 1-3 四轴联动加工

a) 四轴联动运动示意图 b) 四轴联动机床

(4) 五轴联动数控机床 五轴联动数控机床除了能同时控制 X 、 Y 和 Z 三个直线坐标轴联动以外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 和 C 坐标轴中的两个坐标，即同时控制 5 个坐标轴联动，刀具可以被定位在空间的任何位置，如图 1-4 所示。

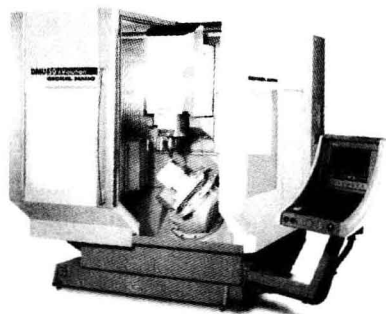
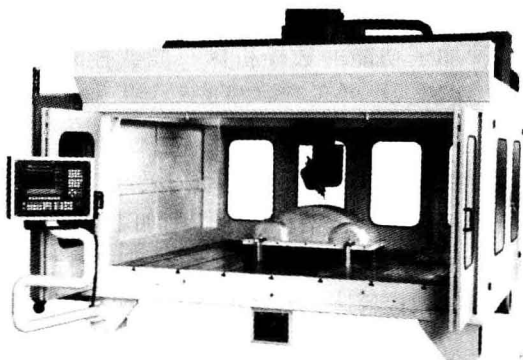


图 1-4 五轴联动机床

4. 按进给伺服系统控制方式分类

由数控装置发出脉冲或电压信号，通过伺服系统控制机床各运动部件的运动。数控机床按进给伺服系统控制方式分类有三种形式：开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

(1) 开环控制系统 这种控制系统采用步进电动机，不设置位置测量元件，输入数据经过数控系统运算，输出指令脉冲控制步进电动机工作，如图 1-5 所示。这种控制方式对执行机构不检测，无反馈控制信号，因此称为开环控制系统。开环控制系统的设备成本低，调试方便，操作简单，但控制精度低，工作速度受到步进电动机的限制。

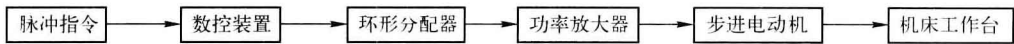


图 1-5 开环控制系统

(2) 闭环控制系统 这种控制系统绝大多数采用伺服电动机，并设有位置测量元件和位置比较电路。如图 1-6 所示，测量元件安装在工作台上，测出工作台的实际位移值反馈给数控装置。位置比较电路将测量元件反馈的工作台实际位移值与指令的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电动机工作，直至到达实际位置，误差值消除，因此称为闭环控制。闭环控制系统的控制精度高，但要求机床的刚性好，对机床的加工、装配要求高，调试比较复杂，而且设备成本高。

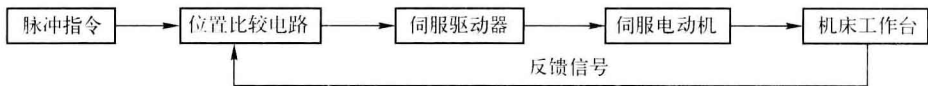


图 1-6 闭环控制系统

(3) 半闭环控制系统 如图 1-7 所示，这种控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电动机的转角，经过推算得出工作台位移值，反馈至位置比较电路，与指令中的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电动机工作。这种用推算方法间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件的误差，因此称为半闭环控制系统。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统，调试比闭环控制系统容易，设备的成本介于开环与闭环控制系统之间。

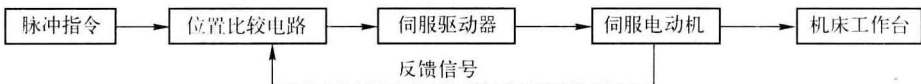


图 1-7 半闭环控制系统

此外还可以按数控机床所用的数控系统档次来划分，把数控机床分为高、中、低档机床。数控机床（数控系统）水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定，不同的时期划分的标准也有所不同。

1.1.5 数控机床的主要性能指标

1. 数控机床的指标

数控机床的指标是数控机床的基本能力指标，主要有以下几类。

(1) 行程范围 行程范围是指坐标轴可控的运动区间，它反映该机床允许的加工空间。

一般工件轮廓尺寸应在加工空间的范围之内,个别情况下,工件轮廓也可大于机床的加工范围,但工件的加工区域必须小于加工范围。

(2) 工作台面尺寸 它反映了机床所安装工件大小的最大范围。通常应选择比最大加工工件稍大一点的面积,因为要预留夹具所需的空間。

(3) 承载能力 它反映了该机床能加工零件的最大重量。

(4) 主轴功率和进给轴转矩 它反映了机床的加工能力,同时也间接反映了机床刚度和强度能力。

(5) 控制轴数和联动轴数 数控机床的控制轴数通常是指机床数控装置能够控制的进给轴数。现在有的数控机床生产厂家还认为控制轴数应包括所有的运动轴,即进给轴、主轴、刀库轴等。数控机床控制轴数与数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。联动轴数是指数控机床控制多个进给轴,使它们按加工零件所需工艺条件运动的进给轴数目,它反映数控机床的曲面加工能力。

2. 数控机床的精度指标

(1) 几何精度 它是综合反映机床的关键零部件和机床总体装配完成后的几何形状误差的指标。这些指标可分为两类:第一类是对机床的基础件和运动大件(如床身、立柱、工作台、主轴箱等)的直线度、平面度、垂直度的要求,如工作台的平面度、各坐标轴运动方向的直线度和相互垂直度、相关坐标轴运动时工作台面和T形槽侧面的平行度等;第二类是对机床执行切削运动的主要部件——主轴的运动要求,如主轴的轴向圆跳动、主轴的径向跳动、主轴箱移动导轨与主轴轴线的平行度、主轴轴线与工作台的垂直度(立式)或平行度(卧式)等。

(2) 位置精度 它是综合反映机床各运动部件在数控系统的控制下空载所能达到的精度。根据各轴能达到的位置精度就能判断出加工时零件所能达到的精度。这类指标主要有以下几种。

1) 定位精度。它是指在给定的条件下,数控机床工作台等移动部件所达到的实际位置的精度。其中包括伺服系统、检测系统、进给系统等误差,还包括移动部件导轨的几何误差等。定位误差直接影响零件加工的精度。

2) 重复定位精度。它是指在同一台数控机床上,应用相同程序加工一批零件所得到结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给传动环节的间隙与刚度,以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下,重复定位精度是呈正态分布的偶然性误差值,它会影响一批零件加工的一致性,是一项非常重要的精度指标。

3) 分度精度。它是指分度工作台在分度时,给定回转的角度值和实际回转的角度值之间的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置,也影响孔系加工的同轴度等。

4) 回零精度。它是指数控机床各坐标轴达到指定零点的精度,其误差也称为回零误差。同定位误差一样,回零误差包括整个进给伺服系统的误差。它将直接影响机床坐标系的建立精度。

3. 数控机床的性能指标

(1) 最高主轴转速和最大加速度 最高主轴转速是指机床主轴所能达到的最高转速,它是影响零件表面加工质量生产效率及刀具寿命的主要因素之一,尤其是在有色金属的精加工中。最大加速度是反映主轴加减速能力的性能指标,也是反映机床加工效率的重要指标。

(2) 最高快移速度和最高进给速度 最高快移速度是指进给轴在非加工状态下的最高

移动速度；最高进给速度是指进给轴在加工状态下的最高移动速度，它们是影响零件加工质量、生产效率及刀具寿命的主要因素。最高快移速度和最高进给速度受数控装置的运算速度、机床动特性及工艺系统刚度等因素的限制。

(3) 分辨率与脉冲当量 分辨率是指两个相邻细节可以识别的最小间隔。对测量系统而言，分辨率是可以测量的最小增量；对控制系统而言，分辨率是可以控制的最小位移增量，即数控装置每发出一个脉冲信号，反映到机床移动部件上的移动量，通常称为脉冲当量。脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和表面加工质量越高。

另外，换刀速度和工作台交换速度也是影响数控机床生产效率的性能指标。

4. 可靠性指标

(1) 平均无故障工作时间 (MTBF)

$$MTBF = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^n t_i$$

式中 N_0 ——在评定周期内数控机床累计故障频数；

n ——加工中心抽样台数；

t_i ——在评定周期内第 i 台数控机床的实际工作时间 (h)。

(2) 平均修复时间 (MTTR)

$$MTTR = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^n t_{Mi}$$

式中 t_{Mi} ——在评定周期内第 i 台数控机床的实际修复时间 (h)。

5. 数控机床的功能

数控机床的功能主要由其工艺用途决定，如数控车床应满足车削工艺所要求的功能，而车铣复合机床除应满足车削工艺所要求的功能外，还必须满足铣削工艺所要求的功能。

1.2 数控加工基本原理

1.2.1 数控加工组成

要进行数控加工，从软硬件来看，必须具有两部分：一是数控加工设备；二是使数控加工设备产生切削运动的数控加工程序。数控加工程序的编制有手工编程和自动编程 (CAM) 两种方法。无论是运用哪种方法，要编制出合理的数控加工程序，就必须需要数控加工的工艺知识作为支撑。数控加工的组成元素如图 1-8 所示。

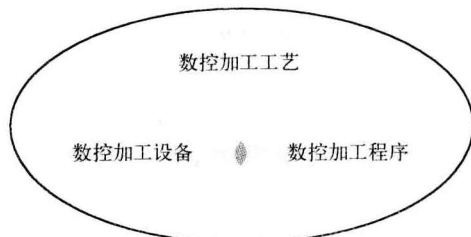


图 1-8 数控加工的组成元素

1.2.2 数控加工原理概述

数控加工机床上的刀具与工件之间的相对运动称为切削运动或成形运动。数控加工是指数控机床按照数控程序所确定的轨迹 (常称为刀轨) 进行表面成形运动，从而加工出产品