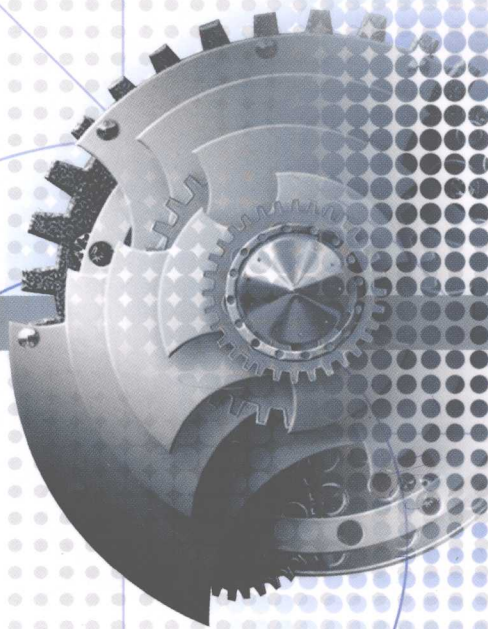





中等职业教育“十一五”规划教材

中职中专机电类教材系列



加工中心编程与操作

刘加孝 主 编
高 星 副主编

 科学出版社
www.sciencep.com

中等职业教育“十一五”规划教材

中职中专机电类教材系列

加工中心编程与操作

刘加孝 主编

高 星 副主编

目录

ISBN 978-7-03-025601-3

科学出版社

北京

www.sciencep.com

科学出版社

科学出版社

2008年8月第1版
2008年8月第1次印刷
印数：1—4 000
定价：51.00元

科学出版社

北京

北京 010-64030229 13911121302

林慧斌主编 “十一五” 职业教育精品教材

内 容 简 介

本书的主要内容包括数控铣床/加工中心概述、基本编程思路、基本指令、刀具半径补偿功能、子程序、型腔的编程方法与技巧、孔加工指令、简化编程指令、刀具长度补偿功能、宏程序基本知识等 10 方面的基本理论知识,以及入门基本操作、程序录入、编辑与模拟、工装与对刀、平面铣削、外形铣削、型腔铣削、孔系加工、CAM 加工、综合加工等 9 个方面的实践技能项目。本书的所有加工程序都通过了加工中心的实际运行。

本书可供中等职业技术学校、技工学校机械类相关专业使用,也可供从事数控加工中心(铣床)操作和编程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

加工中心编程与操作/刘加孝主编. —北京: 科学出版社, 2008

(中等职业教育“十一五”规划教材·中职中专机电类教材系列)

ISBN 978-7-03-022601-3

I. 加… II. 刘… III. ①加工中心—程序设计—专业学校—教材②加工中心—操作—专业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112703 号

责任编辑: 庞海龙 / 责任校对: 耿 耘
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008 年 8 月第一次印刷 印张: 14

印数: 1—4 000 字数: 332 000

定价: 21.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135763-8999 (VT03)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

数控加工中心（铣床）是现代机械制造系统的重要组成设备，是CAD/CAM、FMS、CIMS等高新技术的基础单元。它的高效率、高精度和高质量的特点，决定了该设备的应用日益广泛，因而势必需求大批机床编程与操作人员，本书正是适应这一需要而编写的。

本书是编者对多年从事数控加工中心（铣床）编程与操作教学与培训经验的总结，注重实践环节，兼顾必需的理论知识，旨在培养既能操作数控加工中心（铣床）又懂得编程的实用型人才。理论部分突出实用和够用，操作部分突出操作技能基本训练。书中加工程序具有较强的通用性和技巧性。

在编程过程中参考了相关资料，在此向这些资料的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足，恳请读者批评指正。



目 录

第1篇 理论部分

1 数控铣床/加工中心概述	3
1.1 数控技术基本知识.....	3
1.1.1 数控技术的基本概念.....	3
1.1.2 数控机床的组成.....	4
1.1.3 数控机床的种类.....	6
1.1.4 数控系统的主要功能.....	9
1.2 数控编程的基本概念及坐标系.....	11
1.2.1 数控编程的方法.....	11
1.2.2 程序的结构.....	11
1.2.3 数控铣床/加工中心的坐标系.....	14
1.3 数控铣床/加工中心编程的工艺特点.....	16
1.3.1 数控铣床/加工中心的主要加工对象.....	16
1.3.2 加工工序的划分.....	17
1.3.3 加工路线的确定.....	17
1.3.4 切削用量的选择.....	17
1.3.5 刀具的选用.....	19
思考与练习.....	20
2 基本编程思路	21
2.1 手工编程两个基本原则.....	21
2.2 安全高度的确定.....	21
2.3 进刀、退刀方式的确定.....	22
2.4 下刀/提刀问题.....	22
2.5 刀具半径的确定.....	23
2.6 编写程序的基本思路.....	23
思考与练习.....	25
3 基本指令	26
3.1 绝对值编程 G90 与增量编程值 G91.....	26



3.2	快速定位 G0 与直线插补 G1	27
3.3	平面选择 G17、G18、G19	29
3.4	圆弧插补 G2、G3	29
3.4.1	圆弧插补方向判定	30
3.4.2	半径法编程	30
3.4.3	圆心法编程	31
3.5	工件坐标系	33
3.5.1	工件坐标系零点偏移指令 G54~G59	33
3.5.2	局部坐标系 G52	33
3.6	常用 M 指令	34
3.6.1	主轴控制 M3/M4/M5	34
3.6.2	程序结束 M2	34
3.6.3	程序结束 M30	34
3.6.4	切削液开关 M7/M8/M9	34
	思考与练习	36
4	刀具半径补偿功能	37
4.1	使用刀具半径补偿功能的优点	37
4.2	刀具半径补偿值的含义及其确定	37
4.2.1	刀具半径补偿值的含义	37
4.2.2	刀具半径补偿值的确定与计算	38
4.3	刀具半径补偿方向的确定及其指令	39
4.4	程序段格式	39
4.5	使用刀具半径补偿功能时的注意事项	40
4.6	使用刀具半径补偿功能的实例	40
	思考与练习	45
5	子程序	46
5.1	子程序的概念	46
5.2	子程序的格式及其调用	47
5.2.1	子程序的格式	47
5.2.2	子程序的调用指令	48
5.3	子程序的执行顺序	48
5.4	子程序的应用	49
5.5	使用子程序的注意事项	52
	思考与练习	53



6	型腔的编程方法与技巧	55
6.1	型腔的加工内容	55
6.2	下刀方式	56
6.2.1	直接下刀	56
6.2.2	斜线下刀	57
6.2.3	螺线下刀	57
6.3	粗加工走刀路线	58
6.3.1	环形走刀	58
6.3.2	往复走刀	58
6.4	编程实例	58
6.4.1	圆形型腔	58
6.4.2	矩形型腔	59
6.4.3	带岛屿型腔	61
	思考与练习	63
7	孔加工指令	65
7.1	概述	65
7.1.1	孔加工固定循环的动作过程	65
7.1.2	返回点指令 G98/G99	66
7.1.3	沿钻孔轴移动指令 G90/G91	66
7.1.4	孔加工方式	66
7.1.5	程序段格式	67
7.2	常用孔加工方式的程序段	67
7.3	编程实例	69
7.3.1	一般位置孔	69
7.3.2	线性均布孔	72
	思考与练习	73
8	简化编程指令	74
8.1	倒圆角、倒角	74
8.1.1	FANUC 系统任意角度倒角和倒圆角	74
8.1.2	SIEMENS 802D 系统中任意角度倒角和拐角圆弧	76
8.2	旋转指令	77
8.2.1	FANUC 系统的旋转指令	78
8.2.2	SIEMENS 系统的旋转指令	78





8.3 镜像指令	79
8.3.1 FANUC 系统的镜像指令	79
8.3.2 SIEMENS 系统的镜像指令	80
8.4 编程实例	81
思考与练习	83
9 刀具长度补偿功能	84
9.1 刀具长度补偿基础知识	84
9.1.1 刀具长度补偿的基本原理	84
9.1.2 刀具长度补偿值的测定	84
9.1.3 刀具长度补偿方向及其指令	85
9.1.4 刀具长度补偿程序格式	85
9.1.5 注意事项	86
9.2 加工中心自动换刀程序	86
9.2.1 直接调用子程序	86
9.2.2 直接换刀	87
9.3 编程实例	87
思考与练习	89
10 宏程序基本知识	91
10.1 变量	91
10.1.1 变量的表示	91
10.1.2 变量的种类	91
10.1.3 变量的使用	92
10.1.4 变量的赋值	92
10.1.5 变量的运算	93
10.2 控制指令	94
10.2.1 无条件分支	94
10.2.2 条件分支	94
10.2.3 循环	94
10.3 编程实例	95
思考与练习	97
第 2 篇 实践部分	
项目 1 入门基本操作	101



任务 1 理解文明生产与安全操作规程.....	101
任务 2 掌握 FANUC oi 系统操作面板及基本操作.....	104
任务 3 了解 FANUC oi 系统的常见界面.....	109
任务 4 掌握 SIEMENS 802D 面板及基本操作.....	110
任务 5 掌握面板的操作.....	111
项目 2 程序录入、编辑与模拟.....	113
任务 1 掌握 FANUC 数控程序的编辑.....	113
任务 2 如何从电脑或其他设备传入程序.....	117
任务 3 掌握图形模拟.....	118
任务 4 进行背景编辑.....	119
任务 5 掌握程序的录入与模拟操作.....	119
项目 3 工装与对刀.....	123
任务 1 掌握工件的安装与夹紧.....	123
任务 2 加工中心手动换刀过程.....	124
任务 3 对刀.....	125
项目 4 平面铣削.....	134
任务 1 用盘铣刀铣削无界平面.....	134
任务 2 用小直径铣刀铣削平面.....	136
任务 3 铣削斜平面.....	137
项目 5 外形铣削.....	142
任务 外形铣削概述.....	142
项目 6 型腔铣削.....	151
任务 型腔铣削的编程与加工.....	151
项目 7 孔系加工.....	161
任务 孔系加工的编程及操作.....	161
项目 8 CAM 加工.....	171
任务 CAM 加工.....	171



101	项目 9 综合加工	176
101	任务 综合加工实例分析与加工	176
111	附录 数控铣床/加工中心仿真加工操作 (SIEMENS 802D 系统)	190
111	主要参考文献	212
111	1. 数控铣床的组成	212
111	2. 数控铣床的坐标系	212
111	3. 数控铣床的刀具	212
111	4. 数控铣床的切削用量	212
111	5. 数控铣床的编程	212
111	6. 数控铣床的操作	212
111	7. 数控铣床的维护	212
111	8. 数控铣床的安全	212
111	9. 数控铣床的故障排除	212
111	10. 数控铣床的实训	212
111	11. 数控铣床的考核	212
111	12. 数控铣床的总结	212
111	13. 数控铣床的展望	212
111	14. 数控铣床的参考文献	212
111	15. 数控铣床的附录	212
111	16. 数控铣床的索引	212
111	17. 数控铣床的目录	212
111	18. 数控铣床的封面	212
111	19. 数控铣床的封底	212
111	20. 数控铣床的版权页	212
111	21. 数控铣床的扉页	212
111	22. 数控铣床的正文	212
111	23. 数控铣床的插图	212
111	24. 数控铣床的附表	212
111	25. 数控铣床的附录	212
111	26. 数控铣床的索引	212
111	27. 数控铣床的目录	212
111	28. 数控铣床的封面	212
111	29. 数控铣床的封底	212
111	30. 数控铣床的版权页	212
111	31. 数控铣床的扉页	212
111	32. 数控铣床的正文	212
111	33. 数控铣床的插图	212
111	34. 数控铣床的附表	212
111	35. 数控铣床的附录	212
111	36. 数控铣床的索引	212
111	37. 数控铣床的目录	212
111	38. 数控铣床的封面	212
111	39. 数控铣床的封底	212
111	40. 数控铣床的版权页	212
111	41. 数控铣床的扉页	212
111	42. 数控铣床的正文	212
111	43. 数控铣床的插图	212
111	44. 数控铣床的附表	212
111	45. 数控铣床的附录	212
111	46. 数控铣床的索引	212
111	47. 数控铣床的目录	212
111	48. 数控铣床的封面	212
111	49. 数控铣床的封底	212
111	50. 数控铣床的版权页	212
111	51. 数控铣床的扉页	212
111	52. 数控铣床的正文	212
111	53. 数控铣床的插图	212
111	54. 数控铣床的附表	212
111	55. 数控铣床的附录	212
111	56. 数控铣床的索引	212
111	57. 数控铣床的目录	212
111	58. 数控铣床的封面	212
111	59. 数控铣床的封底	212
111	60. 数控铣床的版权页	212
111	61. 数控铣床的扉页	212
111	62. 数控铣床的正文	212
111	63. 数控铣床的插图	212
111	64. 数控铣床的附表	212
111	65. 数控铣床的附录	212
111	66. 数控铣床的索引	212
111	67. 数控铣床的目录	212
111	68. 数控铣床的封面	212
111	69. 数控铣床的封底	212
111	70. 数控铣床的版权页	212
111	71. 数控铣床的扉页	212
111	72. 数控铣床的正文	212
111	73. 数控铣床的插图	212
111	74. 数控铣床的附表	212
111	75. 数控铣床的附录	212
111	76. 数控铣床的索引	212
111	77. 数控铣床的目录	212
111	78. 数控铣床的封面	212
111	79. 数控铣床的封底	212
111	80. 数控铣床的版权页	212
111	81. 数控铣床的扉页	212
111	82. 数控铣床的正文	212
111	83. 数控铣床的插图	212
111	84. 数控铣床的附表	212
111	85. 数控铣床的附录	212
111	86. 数控铣床的索引	212
111	87. 数控铣床的目录	212
111	88. 数控铣床的封面	212
111	89. 数控铣床的封底	212
111	90. 数控铣床的版权页	212
111	91. 数控铣床的扉页	212
111	92. 数控铣床的正文	212
111	93. 数控铣床的插图	212
111	94. 数控铣床的附表	212
111	95. 数控铣床的附录	212
111	96. 数控铣床的索引	212
111	97. 数控铣床的目录	212
111	98. 数控铣床的封面	212
111	99. 数控铣床的封底	212
111	100. 数控铣床的版权页	212

第 1 篇

理论部分

- 1 数控铣床/加工中心概述
- 2 基本编程思路
- 3 基本指令
- 4 刀具半径补偿功能
- 5 子程序
- 6 型腔编程
- 7 孔加工指令
- 8 简化编程指令
- 9 刀具长度补偿功能
- 10 宏程序基本知识



人... 工... 示... 内... 出... 出...



工... 3

数控铣床/加工中心概述



教学目标

1. 了解数控机床的相关概念、组成、分类
2. 掌握数控系统的主要功能
3. 懂得编程的基本概念
4. 掌握数控铣床/加工中心的坐标系及其判别方法、工艺特点

1.1 数控技术基本知识

1.1.1 数控技术的基本概念

1. 数控技术

数控技术 (numerical control technology) 是指用数字化的信息对某一对象进行控制的技术。控制的对象可以是位移、角度及速度等机械量, 也可以是温度、压力、流量及颜色等物理量, 这些量的大小不仅是可测量的, 而且可以经 A/D 或 D/A (模/数或数/模) 转换, 用数字信号来表示。数控技术是近来发展起来的一种自动控制技术, 是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

2. 数控机床

把数控技术应用在机械加工机床上, 即采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的机床, 称为数控机床 (numerically controlled machine tool)。数控机床将零件加工过程所需要的各种操作和步骤以及刀具与工件之间的相对位

移量都用数字化的代码来表示，由编程人员编制成规定的加工程序，通过输入介质输入到控制系统内，由控制系统处理并发出各种指令来控制机床的动作，使机床自动地加工出所需要的零件。

3. 数控加工

数控加工 (numerical control manufacturing) 是指采用数字信息对零件加工过程进行定义，并控制数控机床进行自动运行的一种自动化加工方法。数控加工是一种具有高效率、高精度与高柔性等特点的自动化加工方法，可有效解决复杂、精密、小批量、多变零件的加工问题，充分适应现代化的生产，数控加工必须由数控机床来实现。加工过程如图 1.1 所示。

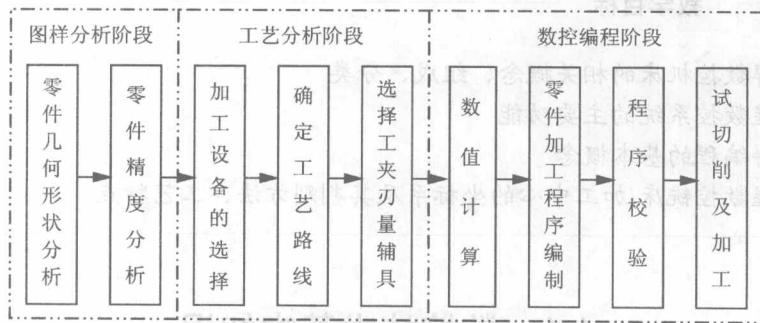


图 1.1 数控加工过程

1.1.2 数控机床的组成

数控机床由输入/输出设备、计算机数控装置、伺服系统、机床本体和其他装置等组成，如图 1.2 所示。

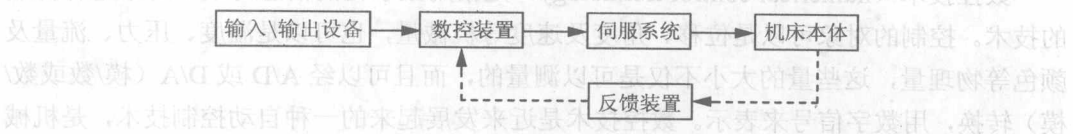


图 1.2 数控机床的组成

1. 输入/输出设备

输入/输出设备主要实现编辑程序、输入程序、输入数据以及显示、存储及打印等功能，常用的输入/输出设备包括：键盘、纸带阅读机、磁带或磁盘驱动器、RS232C 串行通信口、网卡、电子管显示器和液晶显示器等，高级的数控机床还配有一套自动编程机



或 CAD/CAM 系统。

2. 计算机数控装置

早期的数控装置基本上都属于硬件数控 (NC), 它是用固化的数字逻辑电路处理数字信息, 硬件数控常用 NC 来表示。

随着计算机的发展, 人们采用计算机来替代硬件数控。它是由事先存放在存储器里的系统程序 (软件) 来实现控制, 并能通过接口与外围设备进行连接, 这就是计算机数控 (computer numerical control, CNC)。装备有 CNC 系统的机床一般称为 CNC 机床。采用微处理器或专用微机的数控系统也可称为微机数控系统 (microcomputer numerical control, MNC)。现在数控系统的主流是微机数控系统。

数控装置是数控机床的核心, 它接受输入设备的数字信息, 经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后, 将各种指令信息输出给伺服系统, 使设备按规定的动作执行。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部分, 其作用是来自 CNC 装置的脉冲信号转换成机床的运动, 从而加工出符合图样要求的零件。伺服系统一般包括驱动系统和执行机构两大部分。常见的驱动系统有脉冲宽度调制系统、晶体管调速系统和功率放大器。常用的执行机构有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床加工零件的表面质量和生产率, 整个数控机床的性能主要取决于伺服系统。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量称做脉冲当量, 常用的脉冲当量为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$ 。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体, 用于完成各种切削加工的机械部分。主要包括主运动部件 (如主轴)、进给运动部件 (如工作台、刀架)、支承部件 (如底座、床身、立柱), 还包括冷却、润滑、转位部件, 如夹紧、换刀机械手等辅助装置。

5. 检测反馈装置

检测反馈装置的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测, 把检测结果转化为电信号反馈给数控装置。通过比较, 计算出实际位置与指令位置之间的偏差, 如有误差, 数控装置将向伺服系统发出新的修正命令, 并如此反复进行, 直到消除其误差。

测量反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统，常用检测元件包括光栅尺、圆光栅、磁栅尺、圆磁栅、光电编码器、旋转变压器、测速发电机等。另有不带检测反馈装置的系统，称为开环系统。

数控铣床的主要结构如图 1.3 所示。加工中心的主要结构如图 1.4 所示。

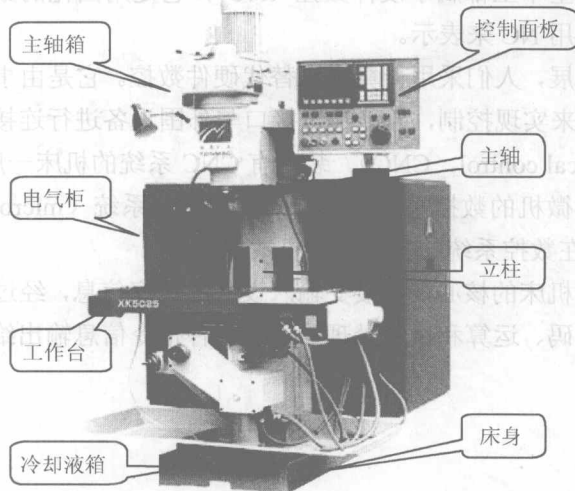


图 1.3 立式数控铣床

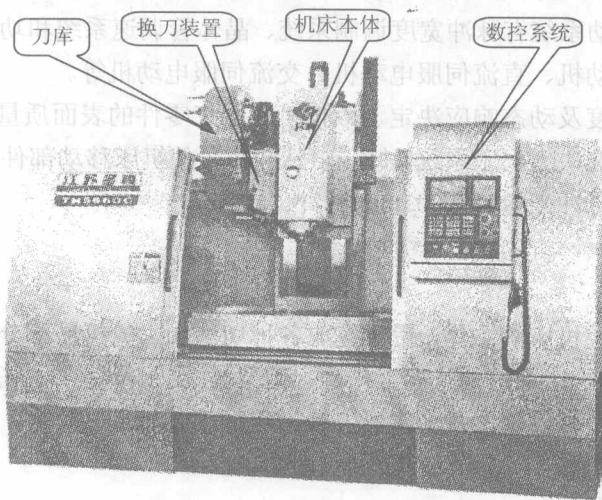


图 1.4 立式加工中心

1.1.3 数控机床的种类

数控机床的分类方法很多，根据数控机床的各种特点，可以大致从加工工艺、运动



控制方式、伺服控制方式和系统功能水平等几个方面进行分类。

1. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。加工中心 (machining center, MC), 也称为可自动换刀的数控机床, 这类数控机床都带有一个刀库, 刀库可容纳 16~100 把刀具。它是集铣 (车)、磨、钻、扩、铰、攻丝等多种加工功能于一体的数控加工机床, 其特点是工序高度集中, 即工件经一次装夹后, 可进行多个工序的加工。为进一步提高生产率, 有的加工中心使用双工作台, 一面加工, 另一面可进行工件的装卸, 工作台可自动交换。

(2) 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床包括数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机及数控压力机等。这类机床起步晚, 但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机床及数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床包括数控三坐标测量仪、数控对刀仪及数控绘图仪等。

2. 按运动控制方式分类

(1) 点位控制数控机床

点位控制机床的特点是刀具相对于工件移动过程中, 不进行切削加工, 它对运动的轨迹没有严格的要求, 只要实现从一点坐标到另一点坐标位置的准确移动, 几个坐标轴这间没有任何联系, 如数控钻床、数控冲床、数控镗床及数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件的运动不仅要控制两点之间的准确定位, 还要保证两点之间移动的轨迹与机床坐标轴平行, 而且对移动的速度也要进行控制, 现在单纯用于直线控制的数控机床已不多见, 如比较简单的数控车床、数控铣床及数控磨床等。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称连续轨迹控制, 其特点是能对两个或两个以上的坐标轴进行严格的连续控制, 不仅要控制起点和终点位置, 而且要控制两点之间每一点的位置和速度, 可加工出任意形状的曲线或曲面组成的复杂零件, 如数控车床、数控铣床及加工中心等。