



21世纪高职高专规划教材·数控系列

数控加工技术

主 编 周建强



NL1C 2970696920



中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

数控加工技术

主 编 周建强

副主编 周兆忠 陈苏秧 沈晓安



NL1C 2970696920

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工技术/周建强主编

北京: 中国人民大学出版社, 2010

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

ISBN 978-7-300-11713-3

I. ①数…

II. ①周…

III. ①数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材

IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 140846 号

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

数控加工技术

主 编 周建强

副主编 周兆忠 陈苏秧 沈晓安

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京东方圣雅印刷有限公司

规 格 185mm×260mm 16 开本

印 张 21.75

字 数 502 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2010 年 8 月第 1 版

印 次 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前 言

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才培养培训方案的指导思想和数控车工、数控铣工和加工中心操作工国家技能鉴定标准编写的。全书以人力资源和社会保障部国家职业技能鉴定考核为导向,以介绍实用技术为重点,力求理论表述简洁易懂,够用为度;操作步骤清晰明了,重在应用;选用目前比较流行、市场占有率比较高的两种数控系统(FANUC—0I、SIEMENS 802D)来介绍数控机床的编程及操作;注重技能培养,便于读者学习和掌握。

本书采用模块化的组织形式编写。模块化教学的宗旨是提高学生技能操作本领,在实践操作中领会理论知识;培养学生自主创新和独立思考的能力,达到对知识的理解;培养学生的团结协作精神,为将来走上社会做好准备。本书包括6大模块,分别为数控加工技术基础模块、数控车削加工技术模块、数控铣削加工技术模块、数控自动编程技术模块、数控电火花线切割加工技术模块、数控机床面板及操作技术模块。

本书可作为高职高专数控技术专业、机械制造与自动化类专业、模具设计与制造技术专业、计算机辅助设计与制造专业以及机电技术应用专业的教材,也可供有关技术人员及数控机床操作人员参考、学习、培训之用。

本书由浙江工业大学浙西分校和杭州职业技术学院联合编写,由周建强任主编并负责统稿和定稿,周兆忠、陈苏秧、沈晓安任副主编。项目1~10由周建强老师编写,项目19、20、21由周兆忠老师编写,项目16、17、18由沈晓安老师编写,项目11、12、13由郑小军老师编写,项目14由吴明明老师编写,项目15由林峰老师编写,王建臣老师参与了部分案例的数控程序编制,项目22、23、24由杭州职业技术学院友嘉机电学院陈苏秧老师编写。

本书在编写过程中,参考引用了参考文献中的资料、西门子公司的SIEMENS 802D系统编程与操作说明书、上海宇龙公司的软件操作说明书等,在此对这些作者和公司表示诚挚的感谢。

本书虽经反复推敲和校对,但因时间仓促,加上编者水平有限,书中不足和漏误之处在所难免,敬请广大读者和同行批评指正。编者联系方式:zjqaydf@163.com。

目 录

模块 1 数控加工技术基础	1	项目 3 零件的数控加工工序设计	37
项目 1 数控技术与数控机床的认识	2	3.1 数控加工工序的拟定	37
1.1 概述	2	3.1.1 工艺尺寸链及其计算	37
1.2 数控技术的发展	3	3.1.2 切削用量的选择	40
1.2.1 国内、外数字控制技术的发展	3	3.1.3 对刀点与换刀点的选择	42
1.2.2 数控机床的发展	5	3.1.4 进给路线的选择	43
1.2.3 现代数控技术的发展趋势	10	3.2 数控机床及其工艺装备的选择	46
1.3 数控机床的基本认识	13	3.2.1 数控机床的选择	46
1.3.1 数控机床的组成及各部分功能	13	3.2.2 定位与夹紧方案的选择	47
1.3.2 数控机床的加工特点及适用范围	14	3.2.3 刀具的选择	48
1.3.3 数控机床的分类	16	3.2.4 量具的选择	50
项目实训 1	20	3.3 球形万向节的数控加工工序设计	50
习题 1	21	项目实训 3	52
项目 2 零件的数控加工工艺分析	24	习题 3	53
2.1 数控加工工艺概述	24	项目 4 数控加工专用技术文件的编写	56
2.1.1 数控加工工艺的特点	24	4.1 数控加工专用技术文件	56
2.1.2 数控加工工艺的分析步骤	25	4.2 案例：零件的数控加工专用技术文件的编写	60
2.2 数控加工工艺守则及基本原则	25	项目实训 4	62
2.2.1 数控加工工艺守则	25	习题 4	63
2.2.2 零件数控加工工艺设计过程应遵循的基本原则	26	项目 5 数控加工程序的编制基础	64
2.3 零件的数控加工工艺设计	28	5.1 数控程序编制的概念	64
2.3.1 数控加工内容及加工方法	28	5.1.1 数控程序编制的定义	65
2.3.2 数控加工工艺性分析	29	5.1.2 字与字的功能	67
2.3.3 数控加工工艺路线设计	30	5.1.3 程序格式	69
项目实训 2	34	5.2 数控机床的坐标系	70
习题 2	35	5.2.1 机床坐标系与运动方向	70
		5.2.2 坐标系的原点	72
		5.2.3 工件坐标系	72
		5.3 数控编程的常用指令	73

5.3.1 与坐标和坐标系有关的指令	73	项目 8 螺纹车削的编程与加工	113
5.3.2 单位设定指令	75	8.1 螺纹车削编程的基本方法	113
5.3.3 运动路径控制指令	76	8.2 切削螺纹的基本指令及案例	115
5.3.4 辅助功能指令 (M 指令)	80	8.2.1 切削螺纹循环 (G32)	115
5.3.5 其他指令	81	8.2.2 切削螺纹循环 (G92)	117
5.4 程序编制中的数学处理	82	8.2.3 切削螺纹循环指令 (G76)	118
5.4.1 选择编程原点	82	项目实训 8	120
5.4.2 基点计算	83	习题 8	121
项目实训 5	83	项目 9 数控车床的编程技巧	122
习题 5	84	9.1 固定循环指令及其案例	122
模块 2 数控车削加工技术	87	9.1.1 单一形状车削循环指令 (G90、G94)	122
项目 6 数控车削加工工艺特点	88	9.1.2 复合循环指令 (G71、G72、 G73、G70、G74、G75)	125
6.1 数控车削加工特点	88	9.2 典型零件的数控车编程及其 程序调试	129
6.1.1 数控车床的分类、结构特点 及工艺内容	88	9.2.1 零件数控车加工工艺 方案的拟订	129
6.1.2 数控车削加工的工艺特点	90	9.2.2 零件数控车加工程序的 编制	130
6.1.3 数控车削加工零件的类型	91	9.2.3 零件数控程序调试	132
6.2 零件数控车削加工方案的 拟订	91	项目实训 9	133
6.2.1 数控车床的选用	91	习题 9	134
6.2.2 数控车削加工工艺路线的 设计	92	模块 3 数控铣削加工技术	137
6.2.3 车削用量的确定	94	项目 10 数控铣削加工的工艺 特点	138
项目实训 6	95	10.1 数控铣床的加工特点	138
习题 6	96	10.1.1 数控铣床的主要功能	138
项目 7 简单轴类零件的编程与 加工	99	10.1.2 数控铣床的加工工艺 范围	139
7.1 轴类零件编程的基本方法	99	10.1.3 数控铣床的工艺装备	140
7.1.1 零件数控车加工坐标系统的 建立	99	10.2 切削用量的确定	142
7.1.2 零件的数控车编程方式	101	项目实训 10	143
7.1.3 常用数控车床指令	102	习题 10	144
7.2 FANUC 数控车床编程 案例	109	项目 11 外形轮廓零件的数控铣 编程与加工	146
7.2.1 一般轴类零件编程	109	11.1 加工坐标系的建立	146
7.2.2 一般圆弧类轮廓编程	110	11.2 刀具半径补偿及实现	148
项目实训 7	111		
习题 7	111		

11.2.1 刀具半径补偿指令 (G40、G41、G42)	148	13.2.3 钻削循环指令 (G82、G83)	179
11.2.2 刀具半径补偿的应用	151	13.2.4 镗孔循环 (G76、 G85~G89)	180
11.3 刀具长度补偿及实现	153	13.2.5 螺纹加工循环 (G74、 G84)	182
11.3.1 刀具长度补偿指令 (G43、G44、G49)	153	项目实训 13	184
11.3.2 刀具长度补偿的应用	154	习题 13	185
11.4 案例：外形轮廓零件的 数控铣加工	155	项目 14 SIEMENS 数控系统编程	
项目实训 11	159	基础	187
习题 11	159	14.1 概述	187
项目 12 数控铣床的编程技巧	162	14.1.1 SIEMENS 数控系统特点及 应用	187
12.1 子程序及其应用	162	14.1.2 SIEMENS 数控系统程序 结构	188
12.1.1 子程序调用指令 (M98、M99)	162	14.2 SIEMENS 802D 系统数控铣 编程原理	189
12.1.2 子程序的应用	163	14.2.1 常用数控指令	189
12.2 比例缩放及镜像	164	14.2.2 计算参数 R	199
12.2.1 比例缩放及镜像功能指令 (G51、G50)	164	14.2.3 程序跳转	200
12.2.2 比例缩放及镜像功能 应用	165	14.3 SIEMENS 802D 系统数控铣 编程实例	202
12.3 坐标系旋转	166	14.3.1 基础编程实例	202
12.3.1 坐标系旋转功能指令 (G68、G69)	166	14.3.2 轮廓编程实例	204
12.3.2 坐标系旋转功能应用	166	14.3.3 参数编程实例	206
12.4 极坐标编程	168	项目实训 14	208
12.4.1 极坐标功能指令 (G15、G16)	168	习题 14	209
12.4.2 极坐标编程应用	169	项目 15 SIEMENS 数控系统编程	
项目实训 12	170	技巧	210
习题 12	171	15.1 子程序及其调用	210
项目 13 孔系的编程与加工	174	15.1.1 SIEMENS 802D 子程序结构 特点	210
13.1 孔加工固定循环	174	15.1.2 SIEMENS 802D 子程序 调用实例	212
13.1.1 固定循环指令	174	15.2 固定循环与应用	213
13.1.2 固定循环动作	175	15.2.1 钻孔循环	213
13.1.3 固定循环指令格式	176	15.2.2 钻孔样式循环	218
13.2 孔加工固定循环应用	177	15.2.3 铣削循环	220
13.2.1 高速深孔钻削循环指令 (G73)	177	15.2.4 固定循环编程实例	221
13.2.2 钻削循环指令 (G81)	178		

项目实训 15	223	习题 17	250
习题 15	223	项目 18 MastercamX 数控铣削加工技术	253
模块 4 数控自动编程技术	225	18.1 MastercamX 二维加工技术	253
项目 16 MastercamX 工作环境及其基本操作	226	18.2 简单二维零件的数控铣加工	254
16.1 自动编程概述	226	18.2.1 Mastercam 外形轮廓铣削	254
16.1.1 数控语言型批处理式自动编程	226	18.2.2 Mastercam 挖槽加工	258
16.1.2 人机对话型图形化自动编程	227	18.2.3 Mastercam 钻孔加工	261
16.2 MastercamX 系统及其功能	227	18.2.4 Mastercam 平面铣	262
16.2.1 工作界面	227	18.3 Mastercam 三维加工技术	263
16.2.2 文件管理	229	项目实训 18	265
16.3 环境设置	230	习题 18	266
16.3.1 屏幕环境设置	230	模块 5 数控电火花线切割加工技术	269
16.3.2 工作环境设定	230	项目 19 电火花线切割加工工艺基础	270
16.4 基本概念及操作	231	19.1 电火花加工的一般认识	270
16.5 常用快捷键	232	19.1.1 电火花加工的基本原理	270
项目实训 16	233	19.1.2 电火花加工的基本特点及分类	272
习题 16	233	19.2 电火花线切割的加工技术	273
项目 17 MastercamX 数控车削加工技术	234	19.2.1 电火花线切割的原理、应用范围和特点	273
17.1 Mastercam 数控车工作环境及其设置	234	19.2.2 线切割加工的基本工艺	274
17.1.1 Mastercam 生成 NC 程序的一般流程	234	项目实训 19	277
17.1.2 进入车削模块的方法	235	习题 19	277
17.1.3 刀具路径管理器	236	项目 20 数控电火花线切割手工程序编制	279
17.1.4 刀具设置	238	20.1 3B 代码编程	279
17.1.5 素材设置	241	20.1.1 线切割 3B 代码程序格式	279
17.1.6 车床加工操作模组	243	20.1.2 斜线(直线)的编程	280
17.2 轴类零件车削编程实例	244	20.1.3 圆弧编程	281
17.2.1 零件的数控加工工艺分析	244	20.2 ISO 代码编程	283
17.2.2 零件的数控加工自动编程	245	20.2.1 ISO 代码编程格式	283
项目实训 17	250	20.2.2 线切割 G 功能指令	284

20.2.3 ISO 代码编程实例	284	习题 22	311
20.2.4 典型型孔零件的线切割 加工编程	285	项目 23 FANUC 0i 铣床标准面板 及操作	312
项目实训 20	288	23.1 面板简介	312
习题 20	289	23.2 机床准备	314
项目 21 线切割加工自动编程	291	23.3 对刀	315
21.1 线切割自动编程概述	291	23.3.1 刚性靠棒 X, Y 轴对刀	315
21.2 文字的线切割编程与 加工	292	23.3.2 寻边器 X, Y 轴对刀	316
21.2.1 文字图形的绘制	292	23.3.3 塞尺法 Z 轴对刀	317
21.2.2 文字轮廓工艺参数 的确定	293	23.3.4 试切法 Z 轴对刀	318
21.2.3 文字轨迹的生成及仿真	294	23.4 手动操作	318
21.2.4 文字加工代码的生成	298	23.4.1 手动/连续方式	318
21.2.5 文字程序校验及传输	299	23.4.2 手动脉冲方式	318
21.2.6 文字的线切割加工	301	23.5 自动加工方式	318
项目实训 21	302	23.5.1 自动/连续方式	318
习题 21	302	23.5.2 自动/单段方式	319
模块 6 数控机床面板及操作技术 ...	303	23.5.3 检查运行轨迹	319
项目 22 FANUC 0i 车床标准面板 及操作	304	项目实训 23	319
22.1 面板简介	304	习题 23	320
22.2 车床准备	306	项目 24 SIEMENS 802D 铣床标准面板 及操作	321
22.3 对刀	307	24.1 面板简介	321
22.3.1 用试切法设置 G54~G59	307	24.2 机床准备	323
22.3.2 用 T 指令设置工件 坐标系	308	24.3 选择刀具	324
22.3.3 多把刀具的对刀设置	309	24.4 对刀	325
22.4 手动操作	309	24.4.1 X, Y 轴对刀	326
22.4.1 手动/连续方式	309	24.4.2 Z 轴对刀	328
22.4.2 手动脉冲方式	310	24.4.3 多把刀对刀	329
22.5 自动加工方式	310	24.5 设定参数	330
22.5.1 自动/连续方式	310	24.5.1 设置运行程序时的控制 参数	330
22.5.2 自动/单段方式	310	24.5.2 刀具参数管理	331
22.5.3 检查运行轨迹	310	24.6 自动加工	333
项目实训 22	311	24.6.1 自动/连续方式	333
		24.6.2 自动/单段方式	334
		项目实训 24	334
		习题 24	334
		参考文献	335

模块 1 数控加工技术基础



本模块在数控加工技术课程中的地位

本模块内容是数控加工技术的基础知识，作为一名数控加工技术人员，不但要了解数控机床、数控系统的功能，而且要掌握零件加工工艺的有关知识，否则，编制出来的程序就不一定能正确、合理地加工出我们需要的零件。为此，本模块主要介绍数控机床的基本知识、数控加工工艺及相关技术文件的编写、数控编程基础等内容。



模块要点

- 数控技术与数控机床的认识；
- 零件的数控加工工艺分析；
- 零件的数控加工工序设计；
- 数控加工专用技术文件的编写；
- 数控加工程序编制基础。



教学目标

- 了解数控加工技术的基本概念；
- 掌握数控加工工艺分析的基本原则及内容；
- 掌握数控加工工序设计的主要内容；
- 掌握数控加工专用技术文件的编写；
- 能进行简单数控加工程序的编写。



教学情境设置

我们要编写一个简单的数控加工程序，在编写该零件的数控加工程序之前，应先了解适合于该零件加工的数控机床及其相关的背景知识，分析零件的数控加工工艺、基点的计算；最后，根据所学的数控编程基本指令，编写完成零件的数控加工程序，并进行零件的试加工。下面我们对这些知识进行详细介绍。

项目 1 数控技术与数控机床的认识



技能目标

能正确分析数控机床的机械结构的特点和坐标系统，熟悉数控机床的工作原理及组成，对数控机床操作加工步骤有基本认识。



知识目标

- 了解数控技术的基本概念；
- 掌握数控技术的发展背景；
- 掌握数控机床的加工特点及适用范围；
- 掌握数控机床的基本组成及分类。



课题任务

本课题要求了解数控技术的基本概念，掌握计算机直接数控系统、柔性制造单元及柔性制造系统、计算机集成制造系统的基本组成原理；熟悉常用数控加工机床的基本结构及各部分的功能，如熟悉数控车床、数控铣床、电火花机床、线切割机床等常用的数控加工设备的基本结构。



课题解析

要完成数控技术及数控系统的基本概念，可从大量的图片、视频文件中获取相关知识，也可以通过实训基地现场教学或网上资源搜寻等手段，对数控技术及数控机床有一个初步的认识。学好本项目，可为后续的知识学习打下良好的基础。

1.1 概 述

数控技术（Numerical Control，NC）是 20 世纪中期发展起来的机床控制技术。现代数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术，也是现代机械制造业中的高新技术之一。

1. 数字控制

数字控制是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种自动控制

技术。

2. 数控机床

数控机床 (NC Machine) 是采用数控技术的机床, 或者是装备了数控系统的机床。

3. 数控系统

数控系统 (NC System) 是一种自动控制系统, 能自动完成信息的输入、译码、运算, 从而控制机床的运动和加工过程。

4. 计算机数控系统

计算机数控系统 (Computerized Numerical Control System, CNC) 由装有数控系统程序的专用计算机、输入/输出设备、可编程控制器 (PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成, 如图 1—1 所示。目前的数控系统, 一般均指计算机数控系统。

5. 开放式数控系统

一个开放式系统应保证开发的应用软件能在不同厂商提供的不同软、硬件平台上运行, 且能与其他应用软件系统协调工作。开放式 CNC 系统具有以下特征:

(1) 对用户开放。可以在先进的图形交互方式支持下采用简易编程方法, 使得数控机床的操作更加容易。

(2) 对机床制造商开放。允许机床制造商在开放式 CNC 系统软件的基础上开发专用的功能模块及用户操作界面。

(3) 对硬件选择开放。一个开放式 CNC 系统应能在不同的硬件平台上运行。

(4) 对主轴及进给驱动系统开放。一个开放式 CNC 系统可以控制不同厂商提供的主轴及进给驱动系统。

(5) 对数据传输及交换等开放。这种系统结构简单, 用户操作命令接近自然语言, 适用于人机对话编程, 易与计算机网络系统互联, 易与 CAD/CAM 系统集成。

正因为开放式 CNC 系统具有以上优点, 很多 CNC 系统厂商都在这一领域积极开展研究和开发。近年来人们致力于开发基于 Web 的 CNC 系统 (远程 CNC 系统)、智能 CAD/CAM、集成 CNC 系统等都是未来发展的方向。

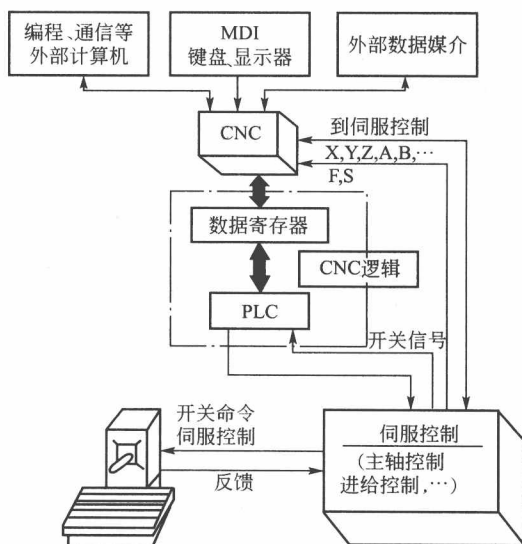


图 1—1 CNC 系统原理

1.2 数控技术的发展

1.2.1 国内、外数字控制技术的发展

1. 国外数控技术的发展概况

1947 年, 美国的 Parsons 公司在生产直升机机翼、桨叶和飞机框架时, 为了提高精

度和效率,提出了用电子计算机来控制机床的方案。这一方案迎合了美国空军为开发航天及导弹产品的需要,于是得到了美国空军的经费支持,开始研究以脉冲方式控制机床各轴的运动,进行复杂轮廓加工的装置。1949年,美国的Parsons公司与麻省理工学院(MIT)的伺服机构研究所开始共同研究,直到1952年,完成了进行三轴控制的铣床样机,取名为Numerical Control,这就是第一台数控机床,并立即生产了100台。美国Keaney&Treckre公司也在1959年开发了具有刀库、换刀装置和回转工作台的数控铣床。

数控机床的发展大致经历了以下6个阶段:

第1阶段,1952年,Parson公司和麻省理工学院联合研究开发的第一台电子管数控系统。

第2阶段,1960年,开发了晶体管和印刷电路板的数控系统。

第3阶段,1965年,开发了小规模集成电路的数控系统。

第4阶段,1970年,开发了小型计算机数控系统的硬件,并以软件形式实现数控功能的数控系统。

第5阶段,1974年,开发了微处理器或微型计算机数控系统。

第6阶段,20世纪90年代后期,开发了PC+CNC智能数控系统。以PC为控制系统的硬件部分,Windows NT为PC的操作系统平台,在PC上安装NC软件系统,即加工中心的控制系统。德国Roeders公司生产的RFM 600型加工中心就是典型的PC+CNC系统,其具有如下3项优点:

(1)它与PC硬件的完全通用,使数控系统能随着PC技术的升级而升级,系统维护方便。

(2)它充分共享PC丰富的软件资源。

(3)该系统由于采用了PC的标准化接口,方便地接入局域网易于实现网络化制造。

20世纪80年代以来,随着数控技术的发展,形成了一批著名的专业生产厂,如德国的西门子、Bosh、Reoders,日本的三菱电机、FANUC,法国的NUM,西班牙的FAGOR等。

2. 国内数控技术的发展概况

我国于1958年研制出了首台NC机床,直到1979年,我国还存在技术基础较弱、总体设计实力差的情况,各种机、电、液、气配套基础元件及NC系统不过关,NC机床无法正式生产,也无法在生产中正式使用。从1980年起,我国先后引进日、德、美、西班牙的CNC系统,各种NC机床,各类机、电、液、气基础元件等进行合作生产,提高了产品的质量,解决了可靠性问题,由此NC机床开始在我国批量生产,并正式用于生产制造。1980年,我国NC机床产量为692台,到1999年,产量达9007台,2000年超万台,各类NC金属切削机床、成型机床、激光加工机床等在品种上已经系列化。但对于中、高档次的数控机床还得依靠进口。

目前,我国的数控技术与国际先进水平相比,存在的差距主要表现在两个方面:一方面,数控系统和数控机床的稳定性差,两者与国外产品比较见表1—1;另一方面,我国数控系统成套性差,数控装置、驱动、电机不配套,伺服驱动、主轴驱动的性能和可靠性比国外产品低,高精度、高速度及重型设备数控系统性能和功能比国外产品差。

表 1—1

国内、外数控系统数控机床平均无故障时间/h

国 内		国 外	
数控系统	数控机床	数控系统	数控机床
10 000~20 000	300	70 000~100 000	500

1.2.2 数控机床的发展

1. 数控机床结构的发展

为适应数控技术的发展,数控机床的机械结构发生了巨大的变化。为缩小体积,减少占地面积而采用机电一体化结构,如带有立、卧自动转换的工作台、自动交换刀具;为了提高自动化程度,采用高速电主轴,主轴带 C 轴控制,万能回转铣头,以及数控“动力刀架”和“刀库”等数控机床典型的机械结构。数控机床结构主要变化体现在以下几个方面。

(1) 电主轴。内装式电主轴单元将电机和高精度主轴结合在一起,使主轴单元的高速、高效、高精度加工成为可能,内装式电主轴单元是数控机床的核心功能部件,简化了机床结构,同时消除了由机械传动产生的振动噪声。

(2) 直接驱动。分为旋转直接驱动和直线直接驱动两类。旋转直接驱动采用力矩电机,具有低速大扭矩特性。直线直接驱动采用直线电机,已解决漏磁和发热问题,加速度可达 3g。

(3) 滚动部件。采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨自润滑滚珠丝杠,加速度可达 2g。

(4) 数控刀架。数控刀架的控制和驱动采用伺服电动机或液压系统,回转 180°的时间已缩短到 0.5s。刀架品种繁多,可作为各种数控车床、车削加工中心的配套件。

(5) 铣头。数控铣床、加工中心、车铣中心等配套的铣头各式各样。车铣中心用的 B 轴铣头,可在 210°范围内摆角进行高精度铣切加工;数控铣床、加工中心用的二坐标铣头能 A、B 轴(立、卧二用)摆角,可加工任意空间曲面。

(6) 数控转台。采用二坐标数控转台,具有双耳轴,平台能倾转,转台上配备交换工作台接收装置。

(7) 数控刀库。采用大容量、刀位不动的“货架式”刀库,刀具用工业机器人取放。如德国生产的“圆柱形立体刀库”可容纳 500 把刀,圆柱中心的工业机器人按程序预选、取放,并传递给机床主轴;瑞士生产的“框架式刀库”的每个模块可容纳 96 把刀具,模块外形为 1.8m×1m×2.25m,可以层层叠加扩展容量。刀库内机械手按程序抓放刀后,先传递给一个作为“二传手”的接刀模块,再对机床换刀。

除上述机械结构与普通机床不同外,数控机床的运动分配和运动设计也已经打破传统的金属切削机床分类。不管是工件旋转还是刀具旋转为主运动,只要工件和刀具之间有相对运动就可以,并要求这种布置为最佳。机床的动力头在同一台机床上有时作为传统意义上的主轴使用,有时又作为动力刀具的旋转轴使用。在同一次装夹的情况下,上一步是工件旋转作为主运动,下一步则是工件的进给运动。以“完全加工”的理念进行工序复合和功能复合。

2. 伺服系统执行机构的发展

最早的数控机床采用步进电动机和液压扭矩放大器。随着功率型步进电动机的问世,

它开始直接驱动机床。由于开环系统的应用日趋减少,步进电动机在数控机床上的应用也受到了限制。如今主要用在精度要求不高,功率较小的经济型数控机床上。

20 世纪 60 年代初期与中期,美国和欧洲的一些国家采用液压伺服系统。液压伺服系统与当时传统的伺服电机相比,响应时间短,驱动部件的外形尺寸小。由于液压伺服系统存在着发热大、效率低、易污染环境、不易维修等缺点,而且传统的直流伺服电机的性能又远远不能满足数控机床的要求,在这种情况下,日本首先研究成功了一种新型的小惯量直流伺服电机。这种伺服电机的机械、电气时间常数都比较小,瞬时输出力矩为额定值的 10 倍。由于电机的热容很小,过载时间不能太长,且小惯量直流伺服电机的转速较高,高速运转时可达 5 000r/min,所以用于机床进给驱动时,必须使用齿轮减速箱,这样会增加成本,降低传动精度。

20 世纪 70 年代,美国首先研制成功大惯量直流伺服电机,即宽调速直流伺服电机。这种电机的峰值扭矩为额定扭矩的 10~15 倍,由于具有大的扭矩/惯性比,大惯量直流伺服电机仍然具有与小惯量直流伺服电机相同的快速响应性。这种电机的调速范围为 0.1~2 000r/min,可以直接与丝杠相连。大惯量直流电机的另一个优点是热容量大,当扭矩为额定值的 3 倍时,允许工作 30min 而电机温度不会达到危险程度。大惯量直流伺服电机应用于各种数控机床时有良好的可靠性,因此被许多数控机床采用。

直流伺服电机结构复杂,经常需要维修。采用鼠笼式异步交流伺服电机的交流伺服系统终于在 20 世纪 80 年代初期由美国通用电气公司研制成功并投入市场。交流电机的优点是没有电刷,避免了滑动摩擦,运转时无火花,进一步提高了可靠性。一般情况下,这种交流伺服电机可以直接与滚珠丝杠连接,调速范围与宽调速直流伺服系统相近。

此外,微处理器近来已开始应用在伺服系统的驱动装置中。与通常的模拟伺服系统相比,它的脉冲当量从 $1\mu\text{m}$ 降低到 $0.1\mu\text{m}$,但进给速度仍能达到 10m/min。

3. 数控系统的发展

数控系统采用的元器件最初为电子管,后来采用半导体晶体管并发展为今天的超大规模集成电路。数控系统主体部分已由专用计算机、小型计算机发展为性能优越、价格合理的微型计算机。微型计算机的使用,使数控系统的功能日益增强。

目前,数控系统大都采用多个微处理器(CPU)组成的微型计算机作为数控装置(CNC)的核心。因此,高性能的计算机数控系统可以同时控制十几个轴,甚至几十个轴。在机床加工零件的同时,计算机数控系统还可以为其他待加工零件编制程序,有的还带有在屏幕上显示刀具轨迹的功能并能模拟刀具运动,可使操作者及早发现程序的差错。

计算机数控系统还可带有可编程控制器(PLC),它代替了传统的继电器逻辑控制,因此取消了庞大的强电控制箱。PLC 可以通过编制程序来改变其控制逻辑,同样具有高度的柔性。数控技术和 PLC 的结合,可以有效地完成刀具管理和刀具寿命监控。

由于计算机技术在数控机床中的应用不断提高,20 世纪 70 年代便出现了由一台计算机直接控制几台数控机床的加工过程的控制方式,形成了所谓计算机直接数字控制系统(DNC)。在此基础上逐步发展成由几台数控机床组成的、带有工件自动运输系统和其他管理功能的柔性制造系统(FMS)以及功能更强大的计算机集成制造系统(CIMS)。

(1) 计算机直接数字控制系统。

计算机直接数字控制(Direct Numerical Control, DNC)系统,即使用一台计算机为

数台数控机床进行自动编程,编程结果直接通过数据线输送到各台数控机床的控制箱。中央计算机具有足够的内存容量,因此,可统一存储和管理大量的零件程序。利用分时操作系统,中央计算机可以同时完成一群数控机床的管理与控制,因此也称它为计算机群控系统。

目前 DNC 系统中的各台数控机床都各自有其独立的数控系统,并与中央计算机连成网络,实现分级控制,而不会让一台计算机分时完成所有数控装置的功能。

随着 DNC 技术的发展,中央计算机不仅用于编制零件的程序以控制数控机床的加工过程,而且进一步控制工件与刀具的输送,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线,它为柔性制造系统的发展提供了有利条件。

美国 ASCENDANT Technologies 公司的 Extreme DNC (超级 DNC) 软件是一套专门设计用于企业车间数控机床文件管理的软件,它广泛地用于各种不同类型数控机床数据的编辑、接收和发送,DNC,远程控制以及数控程序的轨迹校验功能。图 1—2 为超级 DNC 网络连接示意图,此数控网络系统可实现一台计算机与所有机床同时进行双向数据通信及 DNC 功能;同时对数控加工程序进行数据库管理。

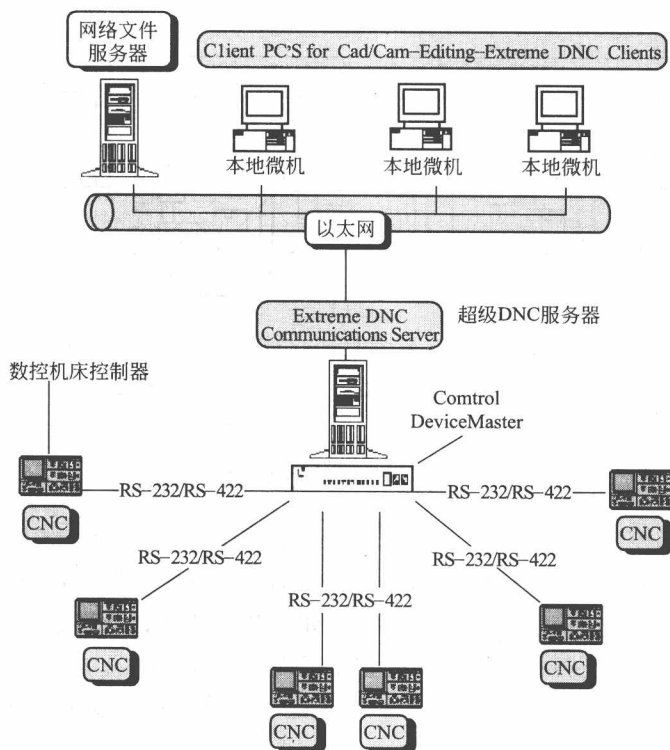


图 1—2 超级 DNC 网络连接示意图

(2) 柔性制造单元及柔性制造系统。

① 柔性制造单元。

柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell, FMC) 是由加工中心和自动交换工件装置组成,同时数控系统还增加了自动检测和工况自动监控等功能。这里的柔性功能是指能够容易地适应多品种、小批量的生产功能。FMC 的生产过程是:运输小车从装卸站将装有毛坯的托盘送至托盘库工位或直接送至机床上,接着毛坯就逐一自动地进入加工流

程。加工过程由控制系统控制。在加工的同时，工人可以在装卸站装卸零件，这样各种零件可以不间断地进行加工。

② 柔性制造系统。

柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）是由中央计算机集中管理、控制多台生产主机和各种物料存储运输系统组成的高效自动化系统。其中生产主机主要由各类 CNC 机床和工业机器人组成；物料存储运输系统主要由物流控制装置、自动化仓库、中央刀具库、夹具站和无人运输台车等部分组成。图 1—3 是典型的 FMS 结构框图，它由以下 9 个部分组成：

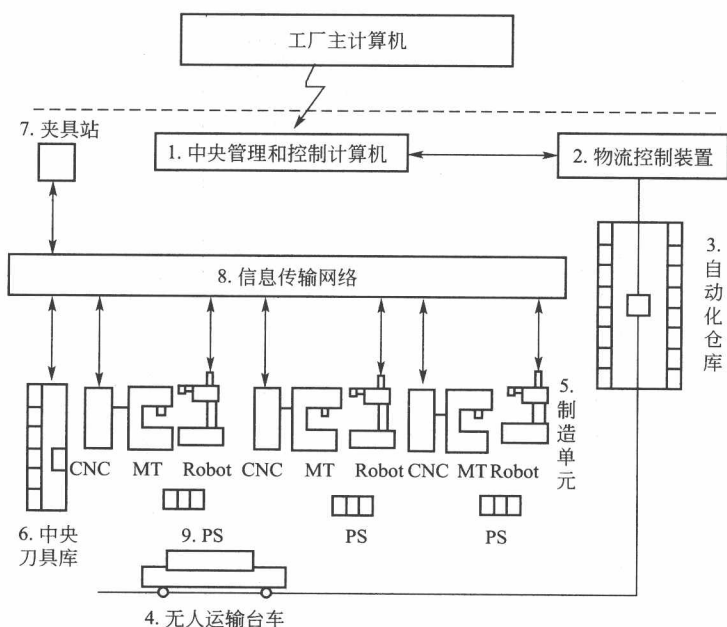


图 1—3 典型的 FMS 结构框图

a. 中央管理和控制计算机。它接收来自工厂主计算机的指令，对整个 FMS 实行监控和管理，对每一个标准的数控机床或制造单元的加工数据实行控制，对刀具、夹具等实现集中管理和控制，用来完成系统内各种信息（如工艺、调度、管理等）的互联，协调各控制装置之间的动作，保证各台数控机床的利用率能最好地发挥。

b. 物流控制装置。它对自动化仓库、无人运输台车、加工毛坯、半成品和成品、夹具、刀具等实现集中管理和控制。

c. 自动化仓库。它将毛坯、半成品和成品等进行自动调用或存储。

d. 无人运输台车。工件、刀具、夹具等都由无人运输台车来完成运输任务，行走于各机床之间、机床与自动化仓库之间、机床与中央刀具库之间，可以是有轨的或无轨的。

e. 制造单元。它是 FMS 基本加工单元，即生产主机。如前所述由多台不同类型的 CNC 机床和工业机器人组成。其中，CNC 机床包括加工中心或柔性制造单元，这里的 FMC 主要指加工中心配上多工位的工作台交换系统（Automatic Pallet Changer, APC）。

f. 中央刀具库。刀具的集中存储区。