

高级数控技工职业技能培训教程

第2版

数控车床 培训教程

李家杰 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高级数控技工职业技能培训教程

数控车床培训教程

第2版

李家杰 编著



机械工业出版社

本书是根据教育部有关数控技能型紧缺人才培养培训方案的指导思想以及人力资源和社会保障部制订的《国家职业标准 数控车工》，并结合考工培训的教学特点编写而成的。全书分3篇共10章，主要内容包括数控车床概述、数控车削加工工艺、数控车床编程基础知识、FANUC Series Oi Mate-TC 系统数控车床编程与操作、SINUMERIK 802S/C 系统数控车床编程与操作、数控车床自动编程、零件加工模块化项目实训、数控车工考级强化训练、数控车床的使用和维护、创新综合训练以及数控车工职业技能鉴定试题样卷等。

本书适用面宽，不仅作为参加国家职业技能鉴定等级考试的人员和数控车床技术工人的培训教材，也可作为机械类、数控类、模具类及机电类各专业大中专、高职、中职、技校的教材，以及数控技术及应用方面工程技术人员实用参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床培训教程/李家杰编著. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2015. 10
高级数控技工职业技能培训教程
ISBN 978-7-111-51512-8

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床-车床-技术培训-教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 216217 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

责任校对: 张晓蓉 封面设计: 马精明

责任印制: 李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.5 印张 · 531 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-51512-8

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

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以及人力资源和社会保障部制订的《国家职业标准 数控车工》，并结合考工培训的教学特点编写而成的。

作者编写的《数控车床培训教程》一书自2012年出版以来，受到了广大院校师生的热烈欢迎。为了更好地满足读者对数控车床学习的需要，作者结合近几年的教学、培训实践经验成果和广大读者的反馈意见，在保留第1版特色的基础上，进行了如下修订：

- 1) 在全面审阅的基础上，对本书第1版中部分内容存在的一些问题进行了校正和修改。
- 2) 为了更切合教学实际和培训要求，适当增删了部分内容，如对第8章零件加工模块化项目实训内容进行了精简，删掉了部分内容等。
- 3) 更新的教学内容，更贴合实际的培训。如更新了数控技术发展方向有关内容，增加了螺纹加工中有关螺纹基础知识的介绍等。
- 4) 精选和替换了部分典型例题，以更好地适应教学与培训实际的需要。

全书分3篇共10章，主要内容包括数控车床概述、数控车削加工工艺、数控车床编程基础知识、FANUC Series Oi Mate-TC系统数控车床编程与操作、SINUMERIK 802S/C系统数控车床编程与操作、数控车床自动编程、零件加工模块化项目实训、数控车工考级强化训练、数控车床的使用和维护以及数控车工职业技能鉴定试题样卷等。另外，单独列出一章创新综合训练，精选典型工艺品零件进行零件设计、编程与加工过程的详细讲解，以提高学生的学习兴趣。

作者集二十多年从事数控加工、数控教学与考工培训的经验成果，从选材内容到实例分析都做了精心的编排，力求做到内容丰富、图文并茂、详略得当、通俗易懂，使本书具有系统性、通用性、实用性和先进性的突出特色。书中多处重要内容是作者独立的见解与多年实践、教学、培训的经验总结及研究成果。修订后，内容较第1版更具有针对性和实用性，也更有利于教学实际和培训实践。

本书适用面宽，不仅作为参加国家职业技能鉴定等级考试的人员和数控车床技术工人的培训教材，也可作为机械类、数控类、模具类及机电类各专业大中专、高职、中职、技校的教材，以及数控技术及应用方面工程技术人员的实用参考书。

由于作者水平和经验有限，加之时间仓促，书中难免有不妥和错误之处，恳请有关专家学者及广大读者朋友批评指正。作者 E-mail: ljhn@126.com。

编著者

2015年10月于南京

目 录

前 言

第1篇 数控车床基础知识

第1章 数控车床概述..... 1

1.1 数控车床的组成和工作原理 1

1.1.1 数控技术常用 基本概念 1

1.1.2 数控车床的组成 2

1.1.3 数控车床的工作原理 4

1.2 数控车床的分类和用途 4

1.2.1 数控车床的分类 4

1.2.2 数控车床的用途 8

1.3 数控车床的加工特点和 应用范围 8

1.3.1 数控车床的加工特点 8

1.3.2 数控车床的应用范围 9

1.4 数控车床的主要结构和 技术参数..... 10

1.4.1 数控车床的主要结构..... 10

1.4.2 数控车床的主要技术 参数..... 11

1.5 数控系统的主要功能..... 13

1.6 数控技术的发展及其方向..... 15

1.6.1 数控系统的发展进程..... 15

1.6.2 数控技术的发展方向..... 15

1.6.3 先进的自动化生产 制造系统..... 17

思考与练习题 19

第2章 数控车削加工工艺 20

2.1 数控车削加工工艺概述..... 20

2.1.1 数控车削加工的主要 对象..... 20

2.1.2 数控车削加工工艺的 基本特点..... 21

2.1.3 数控车削加工工艺的 主要内容..... 21

2.2 数控加工工艺文件..... 22

2.3 数控车削加工工艺的制订..... 24

2.3.1 零件图样分析..... 24

2.3.2 工序的划分..... 25

2.3.3 加工顺序的安排..... 26

2.3.4 进给路线的确定..... 27

2.3.5 定位与装夹方案的 确定..... 29

2.3.6 数控车削夹具的选择..... 29

2.3.7 数控车削刀具的选择..... 32

2.3.8 切削用量的选择..... 37

2.4 典型零件数控车削加工 工艺分析..... 39

2.4.1 轴类零件..... 39

2.4.2 轴套类零件..... 41

思考与练习题 44

第3章 数控车床编程基础知识 45

3.1 数控编程概述..... 45

3.1.1 数控编程的内容与 步骤..... 45

3.1.2 数控编程的分类..... 48

3.1.3 程序结构与格式..... 48

3.2 数控车床的编程特点..... 51

3.3 数控车床的坐标系..... 52

3.3.1 右手直角笛卡儿坐标系 ... 52

3.3.2 数控车床的坐标系..... 53

3.4 程序编制中的数学处理..... 55

3.4.1 数学处理的内容..... 55

3.4.2 坐标值常用的计算 方法..... 57

3.5 典型数控系统的指令代码..... 58

思考与练习题 61



第2篇 数控车床编程与操作

第4章 FANUC Series 0i Mate-TC

系统数控车床编程 62

4.1 系统功能 62

4.1.1 准备功能 (G 功能) ... 62

4.1.2 辅助功能 (M 功能) ... 63

4.1.3 进给功能 (F 功能) 64

4.1.4 主轴功能 (S 功能) 64

4.1.5 刀具功能 (T 功能) 64

4.2 工件坐标系设定 65

4.2.1 用 G50 设定 65

4.2.2 用 G54 ~ G59 设定 67

4.3 尺寸系统 67

4.4 快速定位与插补功能指令 69

4.4.1 快速定位指令 (G00) 69

4.4.2 直线插补指令 (G01) 70

4.4.3 圆弧插补指令
(G02/G03) 71

4.5 刀具补偿功能 73

4.5.1 刀具补偿种类 73

4.5.2 刀具半径补偿指令 (G41、
G42、G40) 74

4.5.3 刀具半径补偿的过程 75

4.5.4 刀尖方位与刀具补偿
量的确定 754.5.5 刀具补偿功能编程
举例 76

4.6 单一固定循环 77

4.6.1 外径/内径切削固定循环
(G90) 774.6.2 端面切削固定循环
(G94) 78

4.7 复合固定循环 80

4.7.1 外径/内径粗车循环
(G71) 80

4.7.2 端面粗车循环 (G72) 82

4.7.3 固定形状粗车循环
(G73) 84

4.7.4 精车循环 (G70) 85

4.7.5 端面深孔钻削循环
(G74) 864.7.6 外径/内径钻孔循环
(G75) 87

4.8 螺纹加工 88

4.8.1 螺纹加工基本知识 89

4.8.2 单行程螺纹切削
(G32) 92

4.8.3 螺纹切削循环 (G92) 94

4.8.4 螺纹切削复循环
(G76) 96

4.9 子程序 98

4.9.1 子程序的编程格式 99

4.9.2 子程序的调用格式 99

4.9.3 子程序的嵌套 99

4.10 用户宏程序 99

4.10.1 用户宏程序编程的
适用范围 100

4.10.2 变量 100

4.10.3 变量的运算 100

4.10.4 变量的赋值 101

4.10.5 转移和循环语句 102

4.10.6 宏程序调用指令 104

4.10.7 用户宏程序的应用
实例 104

思考与练习题 105

第5章 SINUMERIK 802S/C 系统

数控车床编程 107

5.1 系统功能 107

5.1.1 程序结构 107

5.1.2 系统指令表 107

5.2 工件坐标系设定 111

5.2.1 可设定的零点偏置
(G54 ~ G57) 1115.2.2 可编程的零点偏置
(G158) 111

5.3 尺寸系统 113

5.3.1 绝对/增量尺寸编程
(G90/G91) 113

5.3.2 半径/直径尺寸编程



(G22/G23)	113	数控车床的面板	147
5.3.3 米制/寸制尺寸编程		7.1.1 系统操作面板	
(G71/G70)	114	(LCD/MDI 单元)	147
5.4 快速移动与插补功能指令	115	7.1.2 机床控制面板	150
5.4.1 快速线性移动 (G00		7.2 FANUC Series Oi Mate-TC 系统	
或 G0)	115	数控车床的基本操作	153
5.4.2 直线插补 (G01 或		7.2.1 开机与关机	153
G1)	115	7.2.2 手动返回参考点	153
5.4.3 圆弧插补 (G02/G03 或		7.2.3 手动连续进给 (JOG 进给)	
G2/G3)	116	操作	154
5.4.4 通过中间点进行圆弧		7.2.4 手轮进给操作	154
插补 (G05 或 G5)	118	7.2.5 MDI 运行方式	154
5.5 刀具补偿功能	119	7.2.6 程序的输入与编辑	155
5.5.1 刀具功能 (T)	119	7.2.7 程序的图形模拟	
5.5.2 刀具补偿号 (D)	119	运行	157
5.5.3 刀尖半径补偿		7.2.8 数据的显示和设定	158
(G41、G42、G40)	120	7.2.9 自动运行方式	158
5.6 恒螺距螺纹车削指令 (G33)	122	7.2.10 机床的急停	159
5.7 子程序	124	7.3 FANUC Series Oi Mate-TC 系统	
5.8 循环指令	126	数控车床对刀操作方法和	
5.8.1 标准循环概述	126	步骤	159
5.8.2 切槽循环 (LCYC93)	127	7.3.1 对刀操作前调整	
5.8.3 毛坯切削循环		机床	159
(LCYC95)	129	7.3.2 工件与刀具的安装	159
5.8.4 螺纹切削循环		7.3.3 对刀操作	160
(LCYC97)	132	7.3.4 对刀正确性校验	161
5.9 R 参数编程	134	7.3.5 刀具的磨损设置	161
5.10 程序跳转	135	7.3.6 刀位点、起刀点、换刀点	
5.10.1 标记符——程序跳转		和对刀点	162
目标	135	7.4 SINUMERIK 802S/C base line	
5.10.2 绝对跳转	136	系统数控车床的面板	162
5.10.3 有条件跳转	136	7.4.1 系统操作面板	163
思考与练习题	137	7.4.2 机床控制面板	164
第6章 数控车床自动编程	138	7.4.3 屏幕划分	166
6.1 自动编程概述	138	7.4.4 操作区域	167
6.2 CAD/CAM 的基本知识	140	7.4.5 主菜单及菜单树	167
6.3 CAD/CAM 常用软件	143	7.5 SINUMERIK 802S/C base line	
思考与练习题	146	系统数控车床的基本操作	170
第7章 数控车床操作	147	7.5.1 开机与关机	170
7.1 FANUC Series Oi Mate-TC 系统		7.5.2 回参考点	170



7.5.3 手动运行方式 (JOG 运行方式)	171	8.2 米制、寸制螺纹的 编程与加工	205
7.5.4 MDA 运行方式	172	8.2.1 项目实训目标	205
7.5.5 自动运行方式 (AUTO 运行方式)	172	8.2.2 项目实训课题	206
7.5.6 断点搜索	173	8.3 刀具圆弧半径补偿 编程与加工	212
7.5.7 程序的空运行测试	174	8.3.1 项目实训目标	212
7.5.8 程序的管理	175	8.3.2 项目实训课题	212
7.6 SINUMERIK 802S/C base line 系统数控车床对刀操作方法和 步骤	178	8.4 应用子程序的编程与加工	218
7.6.1 对刀操作	179	8.4.1 项目实训目标	218
7.6.2 刀具的磨损设置	180	8.4.2 项目实训课题	218
7.6.3 G54 ~ G57 零点偏移 的设置	181	8.5 应用宏程序的编程与加工	220
7.6.4 对刀正确性校验	181	8.5.1 项目实训目标	220
7.7 典型零件编程与加工实例	182	8.5.2 项目实训课题	220
7.7.1 零件图样及加工 要求	182	思考与练习题	224
7.7.2 工艺分析	182	第9章 数控车工考级强化训练	226
7.7.3 程序编制	183	9.1 数控车工编程与加工 入门训练	226
7.7.4 数控加工	187	9.1.1 数控车工编程与加工 入门训练题一	226
7.7.5 安全操作和注意 事项	188	9.1.2 数控车工编程与加工 入门训练题二	230
7.8 文明生产与安全操作规程	188	9.2 数控车中级工强化训练	235
7.9 数控车床日常维护和保养	189	9.2.1 数控车中级工强化 训练题一	235
7.10 数控车床常见故障诊断 和处理	190	9.2.2 数控车中级工强化 训练题二	241
7.10.1 故障的分类	191	9.3 数控车高级工强化训练	248
7.10.2 故障的诊断原则	192	9.3.1 数控车高级工强化 训练题一	248
7.10.3 故障的诊断方法	192	9.3.2 数控车高级工强化 训练题二	256
7.10.4 常见故障的处理	192	思考与练习题	264
思考与练习题	194	第10章 创新综合训练——零件设计、 编程与加工一体化训练	266
第3篇 数控车工考级实训		10.1 创新综合训练的目的 与意义	266
第8章 零件加工模块化项目 实训	195	10.2 创新综合训练的具体 实施步骤	266
8.1 固定循环指令编程与加工	195	10.3 国际象棋的编程与加工	267
8.1.1 项目实训目标	195		
8.1.2 项目实训课题	195		



10.4 其他典型工艺品零件的	附录 B 数控车床操作工 (中级)
编程与加工..... 282	考试模拟试卷及答案..... 306
思考与练习题..... 294	附录 C 数控车床操作工 (高级)
附录..... 295	考试模拟试卷及答案..... 312
附录 A 数控车工国家职业标准..... 295	参考文献..... 318
附录 A.1 职业名称	
附录 A.2 职业等级	
附录 A.3 职业定义	
附录 A.4 职业环境	
附录 A.5 职业能力要求	
附录 A.6 职业技能要求	
附录 A.7 职业资格要求	
附录 A.8 职业培训要求	
附录 A.9 职业鉴定要求	
附录 A.10 职业守则	
附录 A.11 职业前景	
附录 A.12 职业标准	
附录 A.13 职业标准	
附录 A.14 职业标准	
附录 A.15 职业标准	
附录 A.16 职业标准	
附录 A.17 职业标准	
附录 A.18 职业标准	
附录 A.19 职业标准	
附录 A.20 职业标准	
附录 A.21 职业标准	
附录 A.22 职业标准	
附录 A.23 职业标准	
附录 A.24 职业标准	
附录 A.25 职业标准	
附录 A.26 职业标准	
附录 A.27 职业标准	
附录 A.28 职业标准	
附录 A.29 职业标准	
附录 A.30 职业标准	
附录 A.31 职业标准	
附录 A.32 职业标准	
附录 A.33 职业标准	
附录 A.34 职业标准	
附录 A.35 职业标准	
附录 A.36 职业标准	
附录 A.37 职业标准	
附录 A.38 职业标准	
附录 A.39 职业标准	
附录 A.40 职业标准	
附录 A.41 职业标准	
附录 A.42 职业标准	
附录 A.43 职业标准	
附录 A.44 职业标准	
附录 A.45 职业标准	
附录 A.46 职业标准	
附录 A.47 职业标准	
附录 A.48 职业标准	
附录 A.49 职业标准	
附录 A.50 职业标准	
附录 A.51 职业标准	
附录 A.52 职业标准	
附录 A.53 职业标准	
附录 A.54 职业标准	
附录 A.55 职业标准	
附录 A.56 职业标准	
附录 A.57 职业标准	
附录 A.58 职业标准	
附录 A.59 职业标准	
附录 A.60 职业标准	
附录 A.61 职业标准	
附录 A.62 职业标准	
附录 A.63 职业标准	
附录 A.64 职业标准	
附录 A.65 职业标准	
附录 A.66 职业标准	
附录 A.67 职业标准	
附录 A.68 职业标准	
附录 A.69 职业标准	
附录 A.70 职业标准	
附录 A.71 职业标准	
附录 A.72 职业标准	
附录 A.73 职业标准	
附录 A.74 职业标准	
附录 A.75 职业标准	
附录 A.76 职业标准	
附录 A.77 职业标准	
附录 A.78 职业标准	
附录 A.79 职业标准	
附录 A.80 职业标准	
附录 A.81 职业标准	
附录 A.82 职业标准	
附录 A.83 职业标准	
附录 A.84 职业标准	
附录 A.85 职业标准	
附录 A.86 职业标准	
附录 A.87 职业标准	
附录 A.88 职业标准	
附录 A.89 职业标准	
附录 A.90 职业标准	
附录 A.91 职业标准	
附录 A.92 职业标准	
附录 A.93 职业标准	
附录 A.94 职业标准	
附录 A.95 职业标准	
附录 A.96 职业标准	
附录 A.97 职业标准	
附录 A.98 职业标准	
附录 A.99 职业标准	
附录 A.100 职业标准	

第1篇 数控车床基础知识

第1章 数控车床概述

1.1 数控车床的组成和工作原理

社会需求的多样化与科学技术的现代化,使机械制造的产品日趋精密、复杂,而且更新频繁。特别是在宇航、造船、模具、军工及计算机工业中,零件精度高、形状复杂、中小批量且频繁改型。这不但对机械制造的精度与效率提出了更高的要求,而且对生产的适应性、灵活性提出了更高的要求。使用普通机床加工这些零件,则存在生产效率低、劳动强度大、加工精度难以保证、有时甚至不能加工等现象。近年来,由于市场竞争日趋激烈,各生产厂家一方面要不断提高产品质量,另一方面又要满足市场不断变化的需要而进行频繁改型,即使是大批量生产,也面临产品改型变化的要求。这样,以组合机床及自动化生产线为特征的刚性自动化在大批量生产中日渐暴露其缺点或不足,即刚性自动化可以有很高的效率和加工精度,但没有生产的灵活性和对单件小批量生产的适应性,尤其是对复杂多变的零件加工没有“柔性”。据统计,单件、中小批量生产的零件品种约占零件总品种的80%,甚至还要多。为了解决上述问题,一种新型的数字程序控制机床应运而生。

现代数控机床是综合运用了计算机技术、网络通信技术、成组技术、自动控制技术、传感检测技术、液压气动技术、微电子技术以及精密机械等高新技术而发展起来的具有高精度、高自动化、高效率的一种完全新型的自动化机床,是典型的机电一体化产品。它的产生和发展标志着世界机械加工业进入了一个崭新的时代。

数控车床是数字程序控制车床的简称,它集通用性好的万能型车床、加工精度高的精密型车床和加工效率高的专用型普通车床的特点于一身,是目前使用非常广泛的一种数控机床。与普通车床相比,数控车床是将编制好的加工程序输入到数控系统中,由数控系统通过车床X、Z坐标轴的伺服电动机去控制车床进给运动部件的动作顺序、移动量和进给速度,再配以主轴的转速和转向,便能加工出各种形状不同的轴类或盘套类回转体零件。

1.1.1 数控技术常用基本概念

1. 数字控制 (Numerical Control)

数字控制,简称数控(NC),就是用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。简单地说,数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理并发出相应指令,从而对机床的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

2. 数控系统 (NC System)

数控系统是指采用数字控制技术的程序控制系统,它能自动阅读输入载体上事先给定的程序并将其译码,从而使机床运动和加工零件。早期的数控系统主要是由数控装置、主轴驱动装



置及进给驱动装置等部分组成。数控系统的所有功能都是由硬件实现的，故又称为硬件数控。

3. 计算机数控系统 (Computer Numerical Control System)

计算机数控系统是一种数控系统，由装有数控系统程序的计算机或专用计算机、输入/输出设备、可编程序控制器 (PLC)、存储器、主轴驱动装置及进给驱动装置等部分组成，习惯上又称为 CNC 系统。现代数控系统大多采用小型计算机或微型计算机控制加工，实现数字控制。CNC 系统在控制功能、精度、可靠性等方面都比硬件数控系统有较大改善，而且体积大大减少。

4. 开放式 CNC 系统 (Open CNC System)

一个开放式系统应保证使开发的应用软件能在不同厂商提供的不同的软、硬件平台上运行，且能与其他应用软件系统协调工作。现在大多数数控系统制造商都已开发出了开放式 CNC 系统。

5. 数控机床 (NC Machine)

数控机床是指采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的机床，也就是采用了数控技术，或说是装备了数控系统的自动化机床。

6. 计算机数控机床 (CNC 机床)

计算机数控机床是指采用了或装备了计算机数控系统 (CNC 系统) 的机床，简称 CNC 机床。

7. 数控程序 (NC Program)

输入 NC 或 CNC 机床的、执行一个确定的加工任务的一系列指令，称为数控程序或零件程序。

8. 数控编程 (NC Programming)

生成数控机床进行零件加工用的数控程序的过程，称为数控编程。

9. 数控加工 (NC Machining)

所谓数控加工，是指根据零件图样及工艺要求等原始条件编制零件数控加工程序（简称为数控程序），并将其输入数控系统，控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

10. 插补 (Interpolation)

所谓插补，即根据程序信息由数控系统实时地计算出运动轨迹上各个中间点的坐标。其实质是在曲线的起点和终点之间按照某种算法进行“数据点的密化”，从而形成所要求的轮廓轨迹，这种“数据点的密化”过程就称为“插补”。这些中间点坐标以前一中间点到后一中间点的位移量形式输出，经接口电路向各坐标轴执行元件送出操作信号，控制机床按规定的速度和方向移动，以完成零件的成形加工。

1.1.2 数控车床的组成

数控车床一般是由车床本体、数控系统、数控介质、伺服系统和辅助装置等部分组成，如图 1-1 所示。图 1-2 所示为数控车床外形图 (MJ-50 型)，该型号的车床可配备 FANUC、SIEMENS 等多种数控系统。

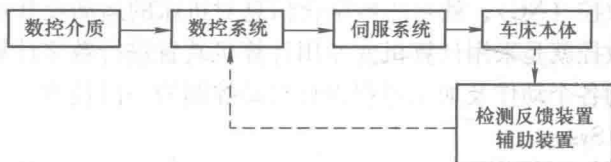


图 1-1 数控车床的组成

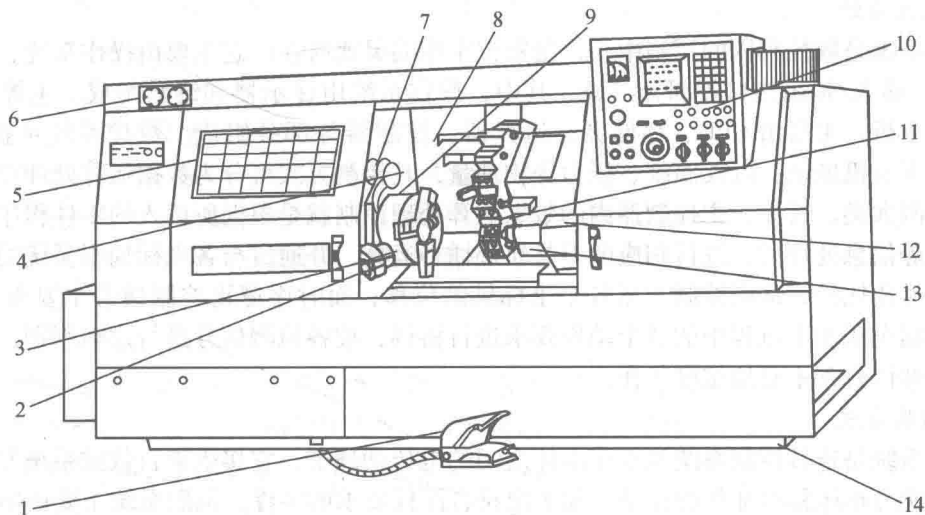


图 1-2 数控车床外形图 (MJ-50 型)

1—脚踏开关 2—对刀仪 3—主轴卡盘 4—主轴箱 5—机床防护门 6—压力表 7—对刀仪防护罩
8—导轨防护罩 9—对刀仪转臂 10—操作面板 11—回转刀架 12—尾架 13—滑板 14—床身

1. 车床本体

车床本体是指数控车床的机械结构实体。与传统的普通车床相比较,数控车床本体同样由床身、导轨、主轴箱、主传动系统、进给传动系统、刀架及拖板等部分组成,但数控车床的整体布局、外观造型、传动机构以及操作界面等都发生了很大的变化,主要有以下几点:

(1) 主传动系统 主传动系统一般分为齿轮有级变速和电气无级调速两种类型。较高档的数控车床都要求配置变频调速电动机实现主轴的无级变速,以满足各种加工工艺的要求;采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

(2) 进给伺服传动系统 进给伺服传动系统一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等高效传动件,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。

(3) 刀具自动交换和管理系统 高档数控车床有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件一次安装后,能自动完成工件多道工序。

(4) 防护罩壳 全功能数控车床或车削中心大都采用机、电、液、气一体化设计和布局,为了操作安全,一般采用全封闭或半封闭防护罩壳。

总之,由于数控车床与普通车床的特点不同,数控车床的机械结构有一定的改变。例如进给传动系统,数控车床经滚珠丝杠驱动溜板和刀架,实现 Z 向(纵向)和 X 向(横向)的进给运动;而普通卧式车床主轴的运动经交换齿轮箱、进给箱、溜板箱再传到刀架,实现纵向和横向的进给运动。因此,数控车床进给传动系统的结构较普通卧式车床的大为精简。数控车床主轴与纵向丝杠间虽然没有机械传动连接,但它也能加工各种螺纹,如米制、寸制螺纹以及锥螺纹等。它一般是采取伺服电动机驱动主轴旋转,并且在主轴箱内安装有脉冲编码器。脉冲编码器一般不直接安装在主轴上,而是通过一对齿轮或同步齿形带同主轴联系起来,主轴的运动通过齿轮或同步齿形带 $1:1$ 地传到脉冲编码器。由于安装有与主轴同步回转的脉冲编码器,因此当主轴旋转时,脉冲编码器便发出检测脉冲信号给数控系统,使主轴的旋转与进给丝杠的回转运动相匹配,进而实现加工螺纹时主轴转一转,刀架 Z 向(纵向)移动工件一个导程的运动关系。



2. 数控系统

数控系统是数控车床的控制中心，是数控车床的灵魂所在。它主要由操作系统、主控制系统、PLC、输入/输出接口等部分组成。其中，操作系统由显示器和键盘组成。主控制系统类似计算机主板，主要由 CPU、存储器、运算器、控制器等部分组成。数控系统可控制位置、速度、角度等机械量，以及温度、压力等物理量，其控制方式可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中，主控制器内的数据运算处理控制就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等信息处理后，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号相比较，从而控制车床各个坐标轴的位移；而时序逻辑控制通常主要由 PLC 来完成，它根据车床加工过程中的各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制车床各个部件有条不紊地按序工作。

3. 伺服系统

伺服系统是连接控制系统和车床本体之间的电传动环节，它接受来自数控系统发出的脉冲信号，转换为车床移动部件的运动，加工出符合图样要求的零件。伺服系统主要由驱动装置和执行机构两大部分组成。目前，大多采用交、直流伺服电动机作为系统的执行机构，各执行机构由驱动装置驱动。交、直流伺服电动机一般适用于全功能型数控机床，而步进电动机多用在经济型或简易 NC 机床上。每个脉冲信号所对应的位移量称为脉冲当量，它是数控车床的一个基本参数。数控车床常用的脉冲当量一般为 $0.001 \sim 0.01\text{mm}$ 。数控系统发出的脉冲指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令，再经驱动装置功率放大后，驱动电动机运转，进而通过丝杠拖动刀架或工作台运动。

4. 辅助装置

辅助装置是为加工服务的配套部分，主要包括润滑冷却装置、排屑照明装置、液压气动装置、过载与限位保护装置、APC 工件自动交换机构、ATC 刀具自动交换机构、工件夹紧与放松机构、回转工作台以及对刀仪等部分。机床的功能与类型不同，其包含辅助装置的内容也有所不同。

1.1.3 数控车床的工作原理

数控车床加工零件时，首先根据所设计的零件图，经过加工工艺分析、设计，将加工过程中所需的各种操作，如主轴起停、主轴变速、刀具选择、切削用量、进给（走刀）路线、切削液供给、刀具与工件相对位移量等，以规定的数控代码按一定的格式编写成加工程序，然后通过键盘或其他输入设备将信息传送到数控系统，由数控系统中的计算机对接受的程序指令进行处理和计算，向伺服系统和其他各辅助控制线路发出指令，使它们按程序规定的动作顺序、刀具运动轨迹和切削工艺参数来进行自动加工，零件加工结束时，机床停止。

当数控车床通过程序输入、调试和首件试切合格，进入正常批量加工时，操作者一般只要进行工件上、下料装卸，再按一下程序“循环启动”按钮，数控车床就能自动完成整个加工过程。

1.2 数控车床的分类和用途

1.2.1 数控车床的分类

数控车床品种繁多、规格不一，一般可按以下几种方法进行分类。

1. 按数控车床主轴位置分类

(1) 卧式数控车床 卧式数控车床的主轴轴线处于水平位置。卧式数控车床可分为水平导轨卧式数控车床（见图 1-3a）和倾斜导轨卧式数控车床（见图 1-3b）。倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑。卧式数控车床是应用最广泛的数控车床。



(2) 立式数控车床 (见图 1-3c) 立式数控车床简称数控立车, 其主轴轴线垂直于水平面, 并有一个直径很大的圆形工作台, 供装夹工件用。这类机床主要用于加工径向尺寸较大、轴向尺寸较小的大型复杂零件。

2. 按加工零件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控车床 这类数控车床没有设置尾座, 适合车削盘类 (含短轴类) 零件。其夹紧方式多为电动、气动或液压控制, 卡盘结构多具有可调卡爪或不淬火卡爪 (即软卡爪)。

(2) 顶尖式数控车床 这类数控车床配置有普通尾座或数控尾座, 适合车削较长的轴类零件及直径不太大的盘、套类零件。

3. 按数控系统控制的轴数分类

(1) 两轴控制的数控车床 普通数控车床一般都配置有各种形式的单刀架, 如四工位自动回转刀架或多工位转塔式自动回转刀架, 可实现两坐标轴控制。

(2) 四轴控制的数控车床 这类数控车床上有两个独立的回转刀架, 可实现四轴控制。

对于车削中心 (见图 1-3d) 或柔性制造单元 (FMC), 还需要增加其他的附加坐标轴来满足机床的功能。目前, 我国应用较多的是中、小规格的两坐标连续控制的数控车床。

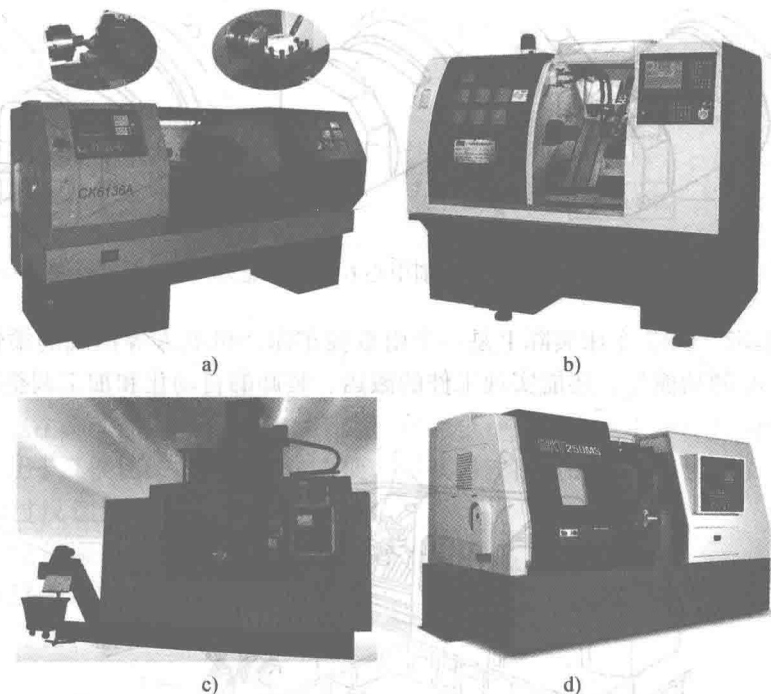


图 1-3 数控车床外形图

- a) 水平导轨卧式数控车床 (经济型数控车床) b) 倾斜导轨卧式数控车床 (全功能型数控车床)
c) 立式数控车床 d) 数控车削中心

4. 按数控系统的功能分类

(1) 经济型数控车床 经济型数控车床结构布局多数与普通车床相似, 一般采用步进电动机驱动的开环伺服系统, 具有单色显示的 CRT。它有程序存储和编辑功能, 但是没有恒线速度切削功能, 而且刀尖圆弧半径自动补偿不是它的基本功能, 而属于选择功能范围。

(2) 全功能型数控车床 全功能型数控车床也可称为标准型数控车床。该类机床分辨率高, 进给速度快 (一般在 $15\text{m}/\text{min}$ 以上), 进给多采用半闭环直流或交流伺服系统, 机床精度



也相对较高,多采用 CRT 显示,不但有字符,而且有图形、人机对话、自动诊断等功能。如配有 FANUC-6T 系统、FANUC-0TE 系统的数控车床都是全功能型的,系统功能强大、齐全,价格也较昂贵。

(3) 车削中心 车削中心是在数控车床的基础上发展起来的,配有刀库、机械手、分度装置和 C 轴控制等,在工件一次装夹后,可完成回转体类零件的车削、镗削,还能对端面和圆周面上的任意部位进行钻、铣、攻螺纹等多种工序的加工。

车削中心与数控车床相比,其自动选择和使用的刀具数量大大增加。卧式车削中心还具备两种功能:一是动力刀具功能,即刀架上某一刀位或所有刀位可使用回转刀具,如铣刀和钻头;另一种是 C 轴(C 轴是围绕主轴的旋转轴,并与主轴互锁)位置控制功能,这样,车床就具有 X 、 Z 和 C 三坐标,可实现三坐标两联动控制。例如:圆柱铣刀轴向安装, X - C 坐标联动就可以铣削零件端面;圆柱铣刀径向安装, Z - C 坐标联动就可以在工件外径上铣削。可见,车削中心能铣削凸轮槽和螺旋槽,如图 1-4 所示。近年来出现了一种双轴车削中心,在一个主轴进行加工结束后,无须停机,零件被转移至另一主轴加工另一端,加工完毕后,零件除了毛刺以外,无须其他的补充加工。

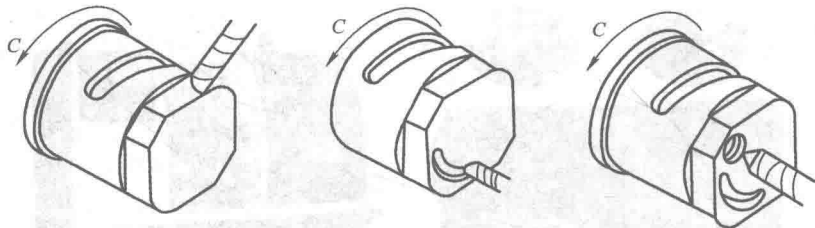


图 1-4 车削中心 C 轴加工能力

(4) FMC 车床 FMC 车床实际上是一个由数控车床、机器人等构成的柔性加工单元。它除了具备车削中心的功能外,还能实现工件的搬运、装卸的自动化和加工调整准备自动化,如图 1-5 所示。

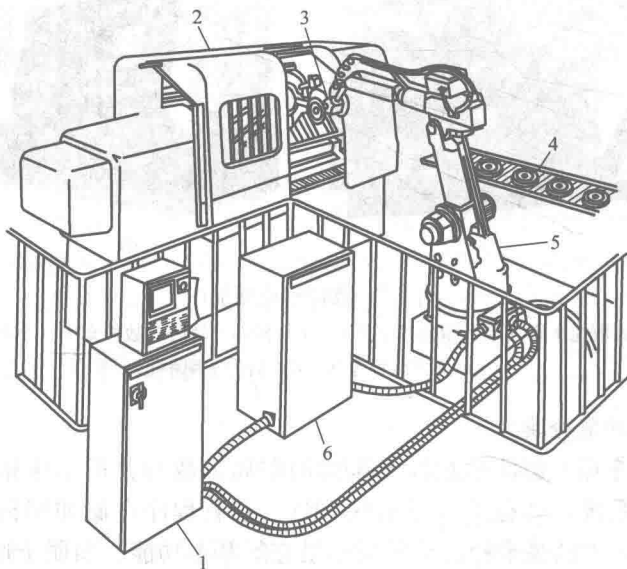


图 1-5 FMC 车床

1—机器人控制柜 2—NC 车床 3—卡爪 4—工件 5—机器人 6—NC 控制柜

5. 按伺服控制方式分类

(1) 开环控制数控车床 开环控制数控车床是指不带有位移检测反馈装置的数控车床。这种数控车床对车床移动部件的实际位移量不检测，也不能进行误差补偿和校正。通常，这种数控车床使用步进电动机作为执行机构。数控系统发出的指令脉冲信号通过环行分配器和驱动电路，使步进电动机转过相应的步距角，再经传动系统带动刀架移动。移动部件的速度和位移量分别是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。开环控制数控车床的控制精度主要取决于步进电动机的步距角和机床传动机构的精度及刚度。这类数控车床结构简单、调试方便，但精度低，一般适用于经济型数控车床和旧车床的数控化改造。图 1-6 所示为开环伺服控制系统框图。

(2) 闭环控制数控车床 闭环控制数控车床是在车床移动部件上安装直线位移检测装置的数控车床。它可将实际测量的位移值反馈到数控系统中，并与数控系统原命令的位移值自动比较，将差值通过数控装置向伺服系统发出新的进给命令，如此循环直到误差清除为止。这样，通过检测反馈，可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链上的传动误差，得到很高的加工精度。闭环控制数控车床的设计和调整相当复杂、难度大，而且直线位移检测元件的价格昂贵，因此主要用于一些精度要求很高的场合。图 1-7 所示为闭环伺服控制系统框图。



图 1-6 开环伺服控制系统框图

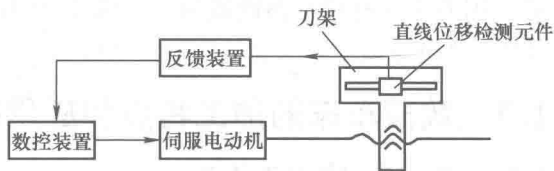


图 1-7 闭环伺服控制系统框图

(3) 半闭环控制数控车床 半闭环控制数控车床与闭环控制数控车床的唯一区别是半闭环的检测元件是角位移检测器，直接安装在电动机轴上或丝杠端部；而闭环的检测元件是直线位移检测器，安装在移动部件上，两者的工作原理完全一样。由于半闭环控制数控车床的大部分机械传动装置处于反馈回路之外，调试方便，可获得较稳定的控制特性。虽然丝杠等机械传动的误差不能通过反馈随时校正，但目前的数控系统均有螺距误差补偿和间隙自动补偿功能，可通过采用软件定值补偿方法来提高其精度。现在大部分数控车床采用半闭环伺服系统。图 1-8 所示为半闭环伺服控制系统框图。

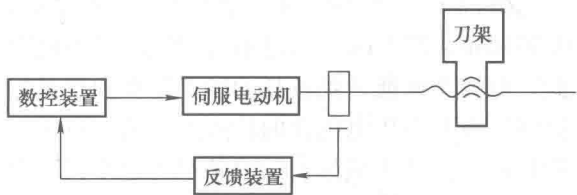


图 1-8 半闭环伺服控制系统框图

(4) 混合控制数控车床 将上述伺服控制方式的特点加以选择集中，可组成混合伺服控制的形式，主要有以下两种方式：

1) 开环补偿型伺服控制方式。其特点是选用步进电动机的开环伺服机构作为基本控制，再附加一个位置校正电路，通过装在移动部件上的直线位移测量元件的反馈信号来校正机械传动误差。

2) 半闭环补偿型伺服控制方式。其特点是用半闭环作为基本控制，再用装在移动部件上的直线位移测量元件实现全闭环，用闭环和半闭环的差进行控制，以提高精度。



6. 其他分类方法

按数控系统的不同控制方法,数控车床可以分为直线控制数控车床、两主轴控制数控车床等;按特殊或专门工艺性能,可分为螺纹数控车床、活塞数控车床、曲轴数控车床等多种。

1.2.2 数控车床的用途

数控车床的用途与普通车床一样,主要用来加工轴类或盘套类的回转体零件。数控车床是通过程序控制来自动完成端面、内外圆柱面、圆锥面、圆弧面和圆柱螺纹、锥螺纹、多线螺纹等的切削加工,并能进行切槽、切断、钻孔、扩孔、镗孔和铰孔等工作。

数控车床相对于普通车床而言,加工精度高、质量稳定、适应性强且自动化程度高,可大大提高劳动生产率,降低劳动强度。因此,数控车床特别适合精度高、形状复杂、多品种、中小批量零件的加工。

我国数控车床上常用的数控系统有日本 FANUC 公司的 0T、6T、0TC、0TD、0TE、160/180TC、0i-TC/TD 等,德国 SIEMENS 公司的 802S、802C、802D、810D、840D、840Di、840C 等,以及美国 ACRAMATIC 数控系统、西班牙 FAGOR 数控系统等。国内生产数控车床的企业有:济南第一机床厂、广州机床厂、云南机床厂、齐齐哈尔第一机床厂、沈阳第一机床厂、北京机床研究所、长城机床厂、中国台湾胜杰工业股份公司、中国台湾友嘉实业股份有限公司等。国外企业有日本西铁城公司、瑞士 SCHAUBLIN 公司、德国德马吉(DMG)公司、美国 HASS 公司等。

1.3 数控车床的加工特点和应用范围

1.3.1 数控车床的加工特点

数控车床与普通车床相比较,主要有以下特点:

1. 自动化程度高

数控车床加工零件是按事先编好的程序自动运行,完成对零件的加工。操作者除了操作面板、装卸工件、关键工序的中间检测以及观察机床运行等操作之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度和紧张程度大大减轻,劳动条件也大大改善。

2. 加工精度高,质量稳定

数控车床是以数字形式给出指令进行加工的。由于目前数控装置的脉冲当量一般达到了 0.001mm ,即 $1\mu\text{m}$,而进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控车床能达到较高的加工精度和质量稳定性。这是由数控车床的结构设计采用了必要的措施以及具有机电结合的特点决定的。首先,在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构、各种消除间隙机构等,使机械传动的误差尽可能小;其次,采用了软件精度补偿技术,使机械误差进一步减小;第三,按程序自动加工,避免了人为操作误差。这些措施不仅保证了较高的加工精度,而且使同一批生产的零件尺寸一致性好,产品质量稳定。

3. 能加工形状复杂的零件

数控车床可以加工普通车床难以加工或根本加工不出来的零件,如外轮廓为椭圆、内腔为成形面的零件等。因此,数控车床可以对普通卧式车床难以加工的复杂型面进行加工。

4. 加工适应性强

当加工对象改变时,除了更换相应的刀具和解决工件装夹方式外,只需重新编制程序,就可自动加工出新的零件,而不必对机床作任何大的调整。因此,数控车床可以很快地实现加工各种不同零件的目的,对新产品的研制开发以及产品的改型提供了极大便利。