



普通高等教育机电类专业规划教材

# 数控编程加工技术

第二版

张思弟 主编

SHUKONG BIANCHENG  
JIAGONG JISHU



化学工业出版社

普通高等教育机电类专业规划教材

# 数控编程加工技术

第二版

张思弟 主编

SHUKONG BIANCHENG  
JIAGONG JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书着眼于金属切削加工类数控机床编程加工技术, 主要围绕数控车床、数控铣床与加工中心的编程加工系统而全面地展开阐述。在对数控加工装备、数控加工工艺等编程相关知识介绍的基础上, 结合具体典型数控系统, 从本质上进行分析介绍, 使读者理解掌握数控编程加工的实质。最后对目前逐步进入应用的高速切削加工技术和现代制造技术作了一个简要而全面的介绍, 作为数控编程加工技术知识的拓展。

本书内容系统、完整、精炼, 深入浅出, 轻重有度, 并注重相关知识间的联系与结合, 通过丰富的应用示例实现理论与实践的紧密结合, 便于自学。

本书可作为普通高等院校、高职高专机电类专业教材, 还可作为各类培训机构的培训教材或教学参考书, 也可供机械加工及其自动化行业广大科研、工程技术人员等参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程加工技术/张思弟主编. —2 版. —北京:  
化学工业出版社, 2011. 4  
普通高等教育机电类专业规划教材  
ISBN 978-7-122-10610-0

I. 数… II. 张… III. ①数控机床-程序设计-高等学校-教材②数控机床-加工-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 029341 号

---

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 李 娜

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 史利平

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$  字数 572 千字 2011 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

# 第二版前言

随着我国制造业的高速发展,制造业对应用型人才的需求越来越大,对应用型人才的层次需求也越来越高。以高职教育为主体的应用型人才的培养格局已逐渐被打破,应用型人才的培养越来越多地为普通高等教育所重视,越来越多的与生产企业紧密相关的应用技术类课程被列入普通高等学校教学培养计划。

近年来,随着数控技术的高速发展和普及应用,制造业装备逐步实现数控化升级换代,自然对机械工程技术人才也有了相应的知识结构要求。由于数控机床功能和工艺能力的不断扩展提高,数控加工与传统加工在加工工艺与加工过程方面有较大的差异,这将对产品的设计和工艺工作等提出新的要求。数控编程加工技术不仅仅是编程加工人员必须掌握的一项技术,产品的设计、工艺和管理人员等也应有所了解、熟悉或掌握。因此数控编程加工技术将成为培养机械工程技术人才的一门通用课程。

本书第一版自出版以来,受到了广大读者的关心并提出了宝贵意见,谨此表示衷心感谢。

本书第二版主要作为普通高等院校机械、机电类相关专业教材,并可作为高等职业学院和各类培训机构用教材或教学参考书,也可供机械加工及其自动化行业广大科研、工程技术人员等阅读参考。

本书第二版保留了原教材的主要内容,并根据几年来的使用情况,按照高等教育应用型人才的培养目标要求作了如下修订:

1. 对原教材第1、2章内容进行理顺、整合和补充,形成第1、2、3章,分别为数控加工装备、加工工艺和编程基础三个基础公共模块。

2. 对原教材第3、4章和第5、6章内容进行结构整合,删除第4、6章的部分扩展内容,只将原第4、6章中西门子802D的内容分别作为第3、5章的最后一节系统扩展内容,形成第4、5章,分别为数控车床编程加工和数控铣床与加工中心编程加工两个核心模块。

3. 结合社会技术现状,跟踪国内外技术发展趋势,补充增加第6章高速切削加工技术,与第7章数控技术发展及现代制造技术作为拓展模块,适应社会技术发展。

本书由南京工程学院——全国数控培训网络南京数控培训中心、先进数控技术江苏省高校重点建设实验室张思弟主编,贺曙新、饶华球参编,王令其主审。

本书在编写过程中,参阅了大量的相关文献资料,在此向有关作者表示衷心的感谢。

数控技术是一项高速发展的现代先进技术,限于编者水平学识和经验,加之时间仓促,书中疏漏和不妥之处恳请读者批评指正。

编者  
2011年1月

# 第一版前言

数控技术自问世半个多世纪以来，随着相关技术的发展和需求的不断增长而迅速发展。特别是近二十年来，开创了一个全新的局面。在发达国家，数控机床已经普及，即使是发展中国家也正得到推广并逐步普及化。我国从 20 世纪 80 年代开始推广普及数控技术，经过二十多年的发展，到本世纪初，随着国家宏观经济建设的发展，数控机床需求量出现了前所未有的增长势头，国内数控机床生产出现了供不应求的局面。

大量数控机床的爆发式增长，导致了数控技术应用型人才的紧缺。近年来，数控编程操作类应用人才每年缺口达几十万。由于人才短缺，导致社会上出现了这么一种怪现象：一方面大量企业持币排队待购数控机床；另一方面在役数控机床由于使用不当其潜力远没有得到发挥。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”，国家劳动和社会保障部也正在实施“国家高技能人才培养工程”，其共同目的就是缓解并最终解决目前社会人才需求矛盾。

由于大量数控机床投入社会企业应用，数控编程操作技术人才的培养模式也发生了变化。早期的数控编程人员很多是由机床供应商代为进行培训。这种模式无论是质还是量都已经无法满足目前的社会需求。

大量培养数控编程加工应用技能型人才中的一个重要问题是教材。20 世纪末，国内推出了少量的数控编程加工培训教材，在一定时期解了燃眉之急。但这些教材很多还是基于我国“七五”数控技术推广期间自行研制的老一代经济型数控系统等而编写，经过近二十年的发展，显然已经陈旧落伍了。后来也出现了一些新近的教材，但有些在选材上过宽过广，理论性内容偏多。

作者从“七五”开始结缘数控技术，先后参加完成了关于数控技术的国家“七五”、“八五”、“九五”重点科技攻关项目和省部级基金项目多项。研制开发出教学培训型数控车床、数控铣床、加工中心、小型柔性制造系统和垂直多关节机器人等，其中部分成果已经实现产业化，并为众多的院校和培训机构等所选用。近年来，作者重点转向投入开展教学和培训工作，并通过中德高等职业教育合作交流，对高等职业教育的内涵有了较为深刻的认识。尤其在多年的师资培训与众多教师接触中，深深感受到一本适合教育发展需求的教材的迫切性和重要性。

本书具有以下特点。

(1) 取材新 作者在行业内工作多年，能动态掌握数控机床市场和教学培训应用单位的状况，选择目前比较流行或新近推出的较具潜力的数控系统作为典型进行介绍，符合社会需求。

(2) 篇幅精 本书不求面面俱到，求精求实是本书的宗旨。线切割属于特种加工范畴，普通快丝线切割编程相对较为简单，一般通过短期或现场培训解决。而慢丝线切割加工复杂零件，如上下异型件等一般必须采用编程软件来实现，在教材中占据一两章的篇幅介绍软件没有必要也无济于事。同样，对于 CAD/CAM 自动编程也需结合具体应用软件进行学习，通常应该在后继课程中结合各校实际情况实施教学。因此这些内容本书不再赘述。

(3) 重点明 本书围绕机械加工行业应用面最广的数控车床和数控铣床类编程加工技术展开阐述。通过结合典型数控系统,力求讲通讲透,使学员真正掌握所学,走向社会即能发挥作用。

(4) 重本质 本书将一般切削加工类数控编程分为两类:一类为数控车床编程;另一类为数控铣床与加工中心编程。从本质上讲,数控车与数控铣可以涵盖车、铣、钻及镗等加工工艺内容。从结构组成来看,一般加工中心与数控铣床的最大差异就是配置了刀库,可以实现自动换刀,从而扩大其工艺能力范围。数控铣床与加工中心如果配置相同的数控系统,其编程几乎是完全兼容的,只是由于机床硬件配置不同而略有差异。加工中心因具有刀库,因此编程刀具功能可以实现自动换刀,而数控铣床则没有自动换刀能力。而同样是加工中心,如果配置了不同的数控系统,如分别配置西门子 802D 和 FANUC 0i 系统,则其编程将有较大的差异。因此编程必须面向对象(数控系统)。

(5) 重实践 数控编程加工是一项实践性很强的技术。从与实践结合的角度出发,本书在系统选择上就考虑到目前各类院校培训机构的现状和发展趋势,并配以丰富的知识和技能习题,以便课后巩固所学。

(6) 模块化 考虑到不同教学计划的需要,本书采用模块化方式组织编排。第 1、2 章为基础公共模块,第 3、4 章为数控车床模块,第 5、6 章为数控铣床与加工中心模块,第 7 章为知识扩展模块,各模块自成体系。可以选择 1、2、3、4、7 章或 1、2、5、6、7 章或全部内容进行教学。

本书由南京工程学院——全国数控培训网络南京数控培训中心、先进数控技术江苏省高校重点建设实验室张思弟、贺曙新编著。其中绪论、第 2、3、5 章由张思弟编著,第 4、6 章由贺曙新编著,第 1、7 章由两人共同编著。全书由张思弟负责统稿定稿。饶华球教授担任本书主审并提出了许多宝贵意见。

本书在编写过程中,参考了大量的教材、手册等资料,在此对有关人员表示衷心的感谢。

数控技术是一项高速发展的现代先进技术,限于编者水平学识和经验,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者  
2005 年 1 月

# 目 录

绪论	1
<b>第 1 章 数控加工装备基础</b>	<b>4</b>
1.1 数控机床的特点与应用范围	4
1.1.1 数控机床的优点	4
1.1.2 数控机床的不足	5
1.1.3 数控机床的应用范围	5
1.2 数控机床的组成与工作原理	6
1.2.1 数控机床的组成	6
1.2.2 数控机床的工作原理	8
1.3 数控机床分类	8
1.3.1 按工艺类型分类	8
1.3.2 按控制运动方式分类	8
1.3.3 按驱动伺服系统类型分类	9
1.3.4 按功能水平分类	11
1.4 数控机床插补原理	11
1.4.1 插补的概念	11
1.4.2 插补方法	12
1.4.3 逐点比较法插补	12
1.4.4 逐点比较法直线插补	13
1.4.5 逐点比较法圆弧插补	16
1.5 数控加工刀具辅具	20
1.5.1 数控加工刀具类型与使用	20
1.5.2 数控车削工具系统	22
1.5.3 数控镗铣工具系统	25
1.5.4 数控加工对刀测量装备	28
思考与练习	32
<b>第 2 章 数控加工工艺基础</b>	<b>34</b>
2.1 数控加工工艺概述	34
2.1.1 数控加工工艺基本特点	34
2.1.2 数控加工工艺主要内容	35
2.2 数控加工工艺分析	36
2.3 数控加工工艺设计	38

2.3.1	加工顺序的安排	39
2.3.2	零件加工方案与机床类型选择	40
2.3.3	定位夹紧方案的确定与夹具选择	41
2.3.4	刀具系统选择	42
2.3.5	对刀点与换刀点的确定	44
2.3.6	走刀路线的确定	45
2.3.7	切削用量的确定	48
2.4	数控加工中的数值计算与处理	49
2.4.1	基点坐标的计算	49
2.4.2	节点坐标的计算	51
2.4.3	辅助计算	53
2.4.4	列表曲线的数学处理	54
2.5	数控加工专用技术文件的编制	55
2.5.1	数控加工工序卡	55
2.5.2	数控加工程序说明卡	56
2.5.3	数控加工走刀路线图	56
2.5.4	数控加工程序单	57
2.5.5	数控加工刀具调整卡	57
	思考与练习	59
<b>第3章</b>	<b>数控编程基础</b>	<b>60</b>
3.1	坐标系及运动方向的规定	60
3.1.1	标准坐标系的规定	60
3.1.2	工件坐标系及其设定	63
3.1.3	局部坐标系	64
3.1.4	坐标轴与联动轴	64
3.2	程序结构与程序段格式	64
3.2.1	程序段格式	64
3.2.2	程序段组成	65
3.2.3	程序结构	66
3.2.4	主程序与子程序	67
3.3	数控程序指令代码	67
3.3.1	准备功能	67
3.3.2	辅助功能	69
3.3.3	进给功能	70
3.3.4	主轴功能	70
3.3.5	刀具功能	70
3.4	数控编程方法	70
3.4.1	手工编程	71
3.4.2	自动编程	71



3.4.3 CAD/CAM 系统自动编程基本过程 .....	72
思考与练习 .....	74
<b>第 4 章 数控车床编程加工 (西门子 802S/C 系统) .....</b>	<b>75</b>
4.1 概述 .....	75
4.2 编程基本原理 .....	75
4.2.1 坐标系 .....	75
4.2.2 程序结构 .....	77
4.2.3 编程指令集 .....	79
4.3 尺寸系统指令 .....	85
4.3.1 平面选择 G17~G19 .....	85
4.3.2 绝对/增量位置数据 (尺寸) 输入制式 G90/G91 .....	85
4.3.3 公制/英制数据 (尺寸) 输入制式 G71/G70 .....	86
4.3.4 直径/半径数据 (尺寸) 输入制式 G23/G22 .....	87
4.3.5 工件装夹——可设定零点偏置 G54~G57、G500、G53 .....	87
4.3.6 可编程零点偏置 G158 .....	88
4.4 坐标运动指令 .....	89
4.4.1 快速移动 G0 .....	89
4.4.2 直线插补运动 G1 .....	90
4.4.3 圆弧插补 G2/G3、G5 .....	90
4.4.4 恒螺距螺纹切削 G33 .....	94
4.4.5 返回固定点 G75 .....	96
4.4.6 返回参考点 G74 .....	97
4.4.7 进给率 F 及其单位设定 G94/G95 .....	97
4.4.8 准确定位/连续路径 G9、G60/G64 .....	98
4.4.9 暂停 G4 .....	100
4.4.10 倒角 CHF、倒圆 RND .....	100
4.5 主轴运动指令 .....	102
4.5.1 主轴转速 S 及旋转方向 .....	102
4.5.2 主轴转速极限 G25、G26 .....	102
4.5.3 主轴定位 SPOS .....	103
4.6 恒线速度切削 G96/G97 .....	103
4.7 刀具与刀具补偿 .....	105
4.7.1 概述 .....	105
4.7.2 刀具 T .....	108
4.7.3 刀具补偿号 D .....	108
4.7.4 刀尖半径补偿的建立与取消 G41/G42、G40 .....	112
4.7.5 拐角过渡 G450/G451 .....	113
4.7.6 刀尖半径补偿中的几个特殊情况 .....	115
4.7.7 刀尖半径补偿实例 .....	115

4.8	辅助功能指令	116
4.9	参数及函数指令	117
4.10	程序跳转	118
4.10.1	程序跳转目标——标记符	118
4.10.2	绝对跳转	118
4.10.3	条件跳转	119
4.10.4	程序跳转举例	120
4.11	子程序	121
4.12	固定循环	122
4.12.1	循环概况	122
4.12.2	钻镗类循环	123
4.12.3	车削类循环	130
4.13	轮廓编程	138
4.14	综合编程例	140
4.14.1	例 1	140
4.14.2	例 2	143
4.14.3	例 3	145
4.14.4	例 4	147
4.14.5	例 5	149
4.14.6	例 6	152
4.15	系统扩展(西门子 802D 系统)	155
4.15.1	西门子 802D 指令系统概况	155
4.15.2	西门子 802D 与 802S/C 指令系统对比分析	162
4.15.3	西门子 802D 部分指令功能介绍	164
	思考与练习	169
<b>第 5 章</b>	<b>数控铣床与加工中心编程加工(西门子 802S/C 系统)</b>	<b>174</b>
5.1	概述	174
5.2	编程基本原理	174
5.2.1	坐标系	174
5.2.2	程序结构	175
5.2.3	编程指令集	178
5.3	尺寸系统指令	184
5.3.1	平面选择 G17~G19	184
5.3.2	绝对/增量位置数据(尺寸)输入制式 G90/G91	185
5.3.3	公制/英制数据(尺寸)输入制式 G71/G70	186
5.3.4	工件装夹——可设定零点偏置 G54~G57、G500、G53	186
5.3.5	可编程零点偏置和坐标系旋转 G158、G258、G259	188
5.4	坐标运动指令	189
5.4.1	快速线性移动 G0	189

5.4.2	直线插补运动 G1	190
5.4.3	圆弧插补 G2/G3、G5	191
5.4.4	恒螺距螺纹切削 G33、G63、G331/G332	193
5.4.5	返回固定点 G75	195
5.4.6	返回参考点 G74	196
5.4.7	进给率 F 及其单位设定 G94/G95	196
5.4.8	准确定位/连续路径 G9、G60/G64	196
5.4.9	暂停 G4	198
5.4.10	倒角 CHF, 倒圆 RND	199
5.5	主轴运动指令	200
5.5.1	主轴转速 S 及旋转方向	200
5.5.2	主轴转速极限 G25、G26	201
5.5.3	主轴定位 SPOS	201
5.6	刀具与刀具补偿指令	202
5.6.1	概述	202
5.6.2	刀具 T	204
5.6.3	刀具补偿号 D	204
5.6.4	刀具半径补偿的建立与取消 G41/G42, G40	207
5.6.5	拐角过渡 G450/G451	209
5.6.6	刀具半径补偿中的几个特殊情况	210
5.6.7	圆弧进给补偿 G900/G901	210
5.6.8	刀具半径补偿实例	211
5.7	辅助功能指令	212
5.8	参数及函数指令	213
5.9	程序跳转	215
5.9.1	程序跳转目标——标记符	215
5.9.2	绝对跳转	215
5.9.3	条件跳转	216
5.9.4	程序跳转举例	217
5.10	子程序	217
5.11	固定循环	219
5.11.1	循环概况	219
5.11.2	钻镗类循环	220
5.11.3	铣槽加工循环	234
5.12	轮廓编程	239
5.13	综合编程例	240
5.13.1	例 1	240
5.13.2	例 2	248
5.13.3	例 3	249
5.13.4	例 4	250

5.13.5 例 5 .....	251
5.13.6 例 6 .....	253
5.14 系统扩展(西门子 802D 系统) .....	255
5.14.1 西门子 802D 指令系统概况 .....	255
5.14.2 西门子 802D 与 802S/C 指令系统对比分析 .....	264
5.14.3 西门子 802D 部分指令功能介绍 .....	267
思考与练习 .....	275
<b>第 6 章 高速切削加工技术</b> .....	<b>281</b>
6.1 概述 .....	281
6.1.1 高速切削加工历史回顾与现状 .....	281
6.1.2 高速切削加工定义与优越性 .....	283
6.1.3 高速切削加工关键技术 .....	285
6.1.4 高速切削加工技术发展展望 .....	285
6.2 高速切削加工机床 .....	287
6.2.1 高速切削加工机床的要求 .....	287
6.2.2 高速切削加工机床的构造特征 .....	288
6.2.3 高速切削加工机床夹具的要求 .....	293
6.2.4 高速切削加工机床的合理选择 .....	293
6.3 高速切削加工刀具系统 .....	295
6.3.1 高速切削加工刀具系统的要求 .....	295
6.3.2 高速切削加工刀具 .....	296
6.3.3 高速切削加工刀具装夹技术 .....	299
6.4 高速切削加工工艺与编程策略 .....	301
6.4.1 各种材料的高速切削技术 .....	301
6.4.2 高速硬切削技术 .....	309
6.4.3 高速干切削技术 .....	310
6.4.4 高速切削编程策略 .....	313
6.5 高速切削加工安全与监测技术 .....	317
思考与练习 .....	319
<b>第 7 章 数控技术发展及现代制造技术</b> .....	<b>320</b>
7.1 数控技术发展 .....	320
7.1.1 高速化与高精度化 .....	320
7.1.2 复合化 .....	321
7.1.3 智能化 .....	321
7.1.4 高柔性化 .....	322
7.1.5 小型化 .....	322
7.1.6 开放式体系结构 .....	322
7.2 成组技术(GT) .....	323

7.2.1	成组技术的概念 .....	323
7.2.2	零件的分类编码 .....	323
7.2.3	零件的分类组成 .....	323
7.2.4	成组工艺 .....	324
7.2.5	成组生产组织形式 .....	325
7.2.6	推广应用成组技术的效果 .....	325
7.3	CAD/CAPP/CAM .....	326
7.3.1	计算机辅助设计 (CAD) .....	326
7.3.2	计算机辅助工艺规程设计 (CAPP) .....	328
7.3.3	计算机辅助制造 (CAM) .....	328
7.4	柔性制造系统 (FMS) .....	329
7.4.1	柔性制造单元 .....	329
7.4.2	柔性制造系统 .....	330
7.4.3	柔性制造系统实例 .....	332
7.5	计算机集成制造系统 (CIMS) .....	333
7.5.1	CIM 和 CIMS 的定义 .....	334
7.5.2	CIMS 的递阶控制模式 .....	335
7.5.3	CIMS 的构成 .....	335
7.5.4	CIMS 实例 .....	337
7.5.5	CIMS 在我国的发展及实施 CIMS 的效益 .....	338
7.6	现代制造模式的新发展 .....	339
7.6.1	敏捷制造 (AM) .....	339
7.6.2	并行工程 (CE) .....	341
7.6.3	精良生产 (LP) .....	342
7.6.4	虚拟制造 (VM) .....	344
7.6.5	绿色制造 (GM) .....	346
	思考与练习 .....	348

<b>参考文献</b> .....	349
-------------------	-----

# 绪 论

## (1) 数控机床的产生与发展

随着科学技术的发展,机械产品日趋复杂、精密,更新换代越来越频繁,个性化的需求使得生产类型由大批、大量向多品种、小批量生产转化。相应地,对机械产品加工的精度、效率、柔性及自动化等提出了越来越高的要求。

机械行业传统典型的加工方式主要有三种。

① 采用普通通用机床的单件小批生产。由技术工人手工操作控制机床,工艺参数基本上由操作工人确定,生产效率低、产品质量不稳定,特别是一些较复杂的零件,需依赖靠模或借助划线和样板等用手工操作的方法进行加工,加工效率与精度受到很大的限制。

② 采用通用的机械自动化机床(如凸轮纵切自动车床等)的大批大量生产。以专用凸轮、靠模等实体零件作为加工工艺、控制信息的载体控制机床的自动运行,产品更新需设计更换或调整相应的信息载体零件,需要较长的准备周期,仅适用于标准件类大批量简单零件的加工。

③ 采用组合专用机床及其自动线的大批大量生产。一般以系列化的通用部件与专用化夹具、多轴箱等组成主机本体,采用 PLC 实现自动或半自动控制。其加工工艺内容及参数在设备设计时就严格规定,使用中一般很难也很少更改。这种自动化高效设备需要较大的初期投资和较长的生产准备周期,只有在大批量生产条件下才会产生显著的经济效益,具有一定的投资风险。

显然,上述三种加工方式对于当前机械制造业中占机械加工总量 70%~80% 的单件小批量生产的零件很难适应。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量、复杂、高精度零件的自动化生产,迫切需要一种通用、灵活、能够适应于产品频繁变化的柔性自动化机床。

以计算机技术为依托,社会需求为动力,1952 年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作,研制成功了世界上第一台以数字计算机为基础的数字控制三坐标直线插补铣床,从而使得机械制造业进入了一个崭新阶段。

第一台数控机床问世以来的 50 多年中,随着微电子技术、自动控制技术和精密测量技术等的发展,数控技术得到了迅速的发展。先后经历了电子管(1952 年)、晶体管(1959 年)、小规模集成电路(1965 年)、大规模集成电路及小型计算机(1970 年)和微处理机或微型计算机(1974 年)等五代数控系统。

前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬接线(硬件)系统,一般称为 NC(numerical control)数控。20 世纪 70 年代初期,计算机技术的迅速发展使得小型计算机的价格急剧下降,从而出现了以小型计算机代替专用硬件控制计算机的第四代数控系统。这种系统不仅具有更好的经济性,而且许多功能可用编制的专用程序实现,并可将专用程序存储在小型计算机的存储器中,构成控制软件。这种数控系统称为 CNC(computerized numerical control)即计算机数控系统。70 年代中期,以微处理机为核心的数控系统 MNC(micro-computerized numerical control)得到了迅速发展。CNC 与 MNC 称为软接线(软件)数控

系统。目前，NC 数控系统早已经淘汰，现代数控系统均采用 MNC，目前通常将现代数控系统仍然称为 CNC。

我国从 1958 年开始研制数控机床，20 世纪 60 年代中期诞生了第一台带直线圆弧插补的晶体管数控系统，并逐步进入实用阶段。20 世纪 80 年代，通过引进消化吸收日本、美国、德国等国外著名数控系统和伺服系统技术，国产数控系统在性能、可靠性等方面有了较大的提高，特别是经过“六五”、“七五”、“八五”、“九五”科技攻关，掌握了现代数控技术的核心内容，目前已经形成一批不同层次的具有一定生产规模的数控系统生产企业和数控机床整机生产企业。

### (2) 数控编程加工的任务、特点与学习方法

数控编程加工是以数控机床为装备物质基础，以数控编程技术为手段，以机械加工相关基本理论和实践技能为指导，综合运用多方面知识，实现优质、高效、自动、柔性、敏捷、绿色制造。

数控编程加工是一项复合应用技术，涉及面广，内容丰富，综合性强。涵盖了数学、金属切削原理、刀具、夹具、机械加工工艺、公差配合与测量技术、金属材料及热处理、零件表面加工方法、数控加工工艺特点、数控机床、数控原理等课程知识。学习中要善于综合运用上述知识。

数控编程加工是一门实践性很强的技术，强调与生产实际的结合，注重实践与经验。没有理论的指导，实践将变得盲目，而没有经验的补充，理论也将变得空洞。本课程的学习，必须通过实践教学环节的配合，才能真正掌握。

数控编程加工是一项实用技能型技术，学习期的理论与实践教学仅仅是个人入门教学，学会并不难，学好却不易。要想较好地掌握这一技术，唯一的办法就是不断实践，在实践中验证理论，巩固所学。经过实践，再反过来进一步研读相关理论课程，相信一定会有新的收获，如此反复，实现技术的螺旋式进步。

数控编程加工具有很大的灵活性，对同一个加工对象，将会有不同的加工方案，也就有不同的加工程序。即使是相同的加工方案，也可以有不同的加工程序。必须根据具体情况进行深入具体分析，综合、灵活地应用相关知识与经验技能，形成最佳方案，做到工艺优化，语法优化。

数控加工与普通机床加工在方法和内容上并没有本质的区别，主要区别在于控制操作方式。数控加工是通过数控系统执行程序来控制机床的运行的，而程序简单地说就是在加工前用规定的指令代码描述加工所需要的各种操作计划信息的指令集合。因此，如果具备相应普通机床加工的知识 and 技能，可以把学习数控编程看做是多学一种工具或手段。当然，数控加工具备很多普通机床所没有的功能，学习中注意这些区别。掌握这种差异，就能达到事半功倍的效果。

### (3) 数控编程与数控系统

数控机床是根据用户预先编制好的程序运行工作的，为了加工出合格的产品首先必须有正确的程序。

一个程序的正确性通常包括两个方面的含意，即语法正确和语义正确。所谓语法正确，就是程序要能被数控系统所识别；而语义正确的含意就是程序应能正确地表达加工工艺要求。

为了实现系统兼容，国际标准化组织制定了相应的标准，规定了编程使用的准备功能代码 G00~G99 和辅助功能代码 M00~M99 各 100 个。我国也在国际标准基础上相应制定了

JB 3208—83 标准。这些标准对于规范各不同数控系统指令系统起到了一定的作用。但是，这些标准是在数控技术发展的初级阶段制定的，不可能精确预计到二三十年后的今天的技术要求。由于技术的高速发展，它们已经不能适应当前的技术发展需要。标准中当初的一些指定功能指令代码已经不够使用，而一些预留不指定功能代码已经被不同的数控系统指定为不同的功能用途。再加上市场经济环境下的竞争等因素，不同系统间的兼容性问题已不可避免。这导致了按某一系统，如西门子 802D 编制的程序，在其他系统如 FANUC 0i 上将根本无法运行。即使是同一品牌不同型号的数控系统，如西门子 802D 与西门子 820M，其程序也无法通用。因此，编程必须注意面向对象。这里的对象指的是具体的数控系统或机床。因为即使是采用了相同的数控系统，如果机床硬件配置不同，实际编程指令系统也会有所不同，这就需要注意参阅实际机床说明书等相关资料。

尽管数控编程指令系统兼容性问题不可避免地存在，但是从本质上讲，不同数控系统的各项指令都是应实际加工工艺要求而设，只要弄清其实质，也就可以做到触类旁通直至融会贯通。因此，只要选择一些编程功能较强且指令系统互补的典型数控系统作为学习素材，并注意与实践相结合，掌握编程并不难。

目前，社会上流行的数控系统有十多个品牌几十个品种。主要以西门子（SIEMENS）和法那科（FANUC）为主。

西门子是国际知名品牌，西门子数控系统也是最早进入我国市场的数控系统品牌之一。但在 20 世纪其中国市场占有率并不是很高，大约只在 25% 左右。20 世纪末期，西门子公司改变了对中国市场的策略，加强了对中国市场的攻势，以最新包括最先进的产品挺进中国市场，提供从低到高全方位的技术配套解决方案，市场占有率逐年上升。西门子编程指令系统与国际标准兼容性不是很好，但其指令系统功能十分丰富，同样的任务可以根据实际情况采用最简单的方法解决，因此往往学习麻烦但应用非常方便。此外，一些工艺性或机床性能设定功能通过编程指令开放，从而为高级编程人员进行编程工艺优化提供了条件。

本书涉及的编程系统将从西门子品牌中进行选材，从编程角度考虑，并不追求系统的高机电性能，而更重视系统编程功能，同时从与实践结合出发，考虑各院校和培训机构现在和将来一段时间内的装备状况。



# 第 1 章 数控加工装备基础

## 1.1 数控机床的特点与应用范围

从宏观上看,同工艺类型的数控机床加工与普通机床加工并没有本质的区别,但数控机床本身具有高精度、高刚性、高速度、自动化、柔性化、智能化等一系列特征,因此必然在加工使用中表现出一些新的特点。

### 1.1.1 数控机床的优点

#### (1) 加工精度高

数控机床按数字形式给出的指令进行加工,目前数控装置给出的脉冲当量(每输出一个脉冲数控机床移动部件对应的移动量)普遍达到了 $0.001\text{mm}$ ,而且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,因此数控机床能够达到比较高的精度,如定位精度达到 $0.002\sim 0.005\text{mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构一般具有很高的刚度与热稳定性,制造精度高;数控机床的自动加工方式可避免操作者的人为因素带来的误差,因此加工同一批零件的尺寸一致性好,精度高,加工质量十分稳定。

在孔加工工艺中,数控机床一般不采用导向,使得导向装置的误差对加工精度的影响也不复存在。同时,加工中排屑条件得以改善,并可以进行有效的冷却,被加工孔的精度及表面质量有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,通过进刀路线及进给速度的控制,可避免被加工表面出现局部缺陷,获得更高的精度和表面质量。

#### (2) 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间和辅助时间两部分,数控机床可以有效地减少这两部分时间,从而提高加工效率。

数控机床的主轴转速与进给量范围较普通机床要大得多,并具有恒线速度等功能,因而每道工序、工步、走刀都能采用最有利的切削用量,充分发挥工艺系统的潜能。数控机床具有良好的结构刚性,允许进行大用量的强力切削,从而有效地节省机动时间。数控机床移动部件空行程运动速度快,消耗在引刀、退刀、定位等辅助运动上的时间也要比普通机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,使安装时间减少。数控机床按坐标运行,可以省去划线等辅助工序,减少辅助工时。数控机床加工精度比较稳定,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,可以减少停机检验时间。因此,数控机床的利用率比一般机床要高得多。

在带有刀库和自动换刀装置及自动上料装置等的加工中心上,可以实现多工序连续加工、缩短物流、减少半成品周转时间,使生产效率明显提高。

#### (3) 加工适应性好

数控机床加工对象改变时,只需要重新编制输入新程序就能实现加工对象的加工工艺要求,可以迅速实现加工转型。这就为复杂结构的单件小批零件的生产及新产品的试制提供了极大的便