

现代数控技术

Modern CNC Technology

杨义勇 编著



清华大学出版社



现代数控技术

Modern CNC Technology

杨义勇 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

数控技术和数控机床是国防、航空航天、精密制造等关键领域的重要基础,对国家工业技术的发展发挥着重要的作用。本书注重数控技术和数控机床的基础知识、关键技术和技术前沿的讲解,提供大量图示说明和实例,内容丰富,力求讲解深入浅出、简明实用。

全书分五个部分,共10章。第一部分是现代数控技术基础;第二部分是数控编程基础;第三部分是各类数控系统的编程,包含数控车床编程、数控铣床编程、加工中心与自动编程;第四部分是数控装置、伺服控制和位置检测;第五部分是数控机床的机械系统设计,包含数控机床机械结构、加工刀具与工件交换装置。

本书可作为高等学校机械类专业的教材,也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代数控技术/杨义勇编著.--北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-40241-1

I. ①现… II. ①杨… III. ①数控技术 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第110061号

责任编辑:黎强 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23 字 数:557千字

版 次:2015年8月第1版 印 次:2015年8月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00元

产品编号:061449-01

前言

FOREWORD

机械及制造业的发展需要先进的装备来支撑。在现代制造系统中,数控技术及数控加工是关键技术,它集微电子技术、计算机、信息处理、自动控制、自动检测等高新技术于一体,具有高精度、高效率、柔性自动化等优点,对于制造业实现集成化、智能化及产业升级换代有不可替代的重要作用。现代数控技术的发展水平真正体现了一个国家机械工业自动化的水平与实力,是衡量一个国家先进制造水平和制造企业技术实力的重要标志。现代数控技术的不断开发研究对于国民经济各行业、国防、科技的现代化具有重要的意义,在科技不断发展和多学科广泛交叉作用中,数控技术的内涵与外延将进一步丰富和扩展,对于提升现代化装备的技术水平会发挥越来越重要的作用。高等学校开展现代数控技术的教育、探索,对于培养机电一体化、数控加工方面的尖端人才具有重要意义,大批高技术人才的脱颖而出将大大加速我国工业产业升级换代的进程,有助于我国尽快转变为先进制造业强国。

为了适应现代数控技术和先进制造业发展的需要,按照工科院校的教学要求,结合当前数控加工技术状况及一线教学的实践,编写了本书。

近十多年来,笔者持续在高校课堂的一线主讲数控技术、现代控制理论以及计算机集成制造系统等相关课程,在教学过程中,曾到许多兄弟院校及厂家学习、交流,请教多位教学名师和专家,不断探索现代数控技术课程应处的地位、教授的目的和课程的体系,编写了《现代控制理论》、《数控技术与数控加工》、《计算机集成制造》等适合多层次教学的校内相关教材进行试用。在多年教学经验总结和专家指导的基础上,对数控技术教材的体系进行梳理、完善,从而形成了这本《现代数控技术》。

本书注重数控技术和数控机床的系统知识、关键技术和技术前沿的讲解,提供大量图示说明和实例,力求方法简明实用、内容丰富、条理清晰、讲解深入浅出、易于掌握。本书按照工科专业的教学大纲要求和课时要求,贴近工科高校的教学实际,既可作为高等学校工科类研究生、本科生的教材,也可作为相关专业工程技术人员和研究人员的参考书。

全书内容可分为五个部分,共 10 章。

第一部分,是现代数控技术的基础。包含第 1 章数控技术概论,重点是数控基本原理、基本概念,数控装备的基本组成与工作过程,对数控加工的适应性、数控机床分类特点,以及现代制造技术的发展进行阐述。

第二部分,是现代数控的编程基础,包含第 2 章数控程序设计基础,第 3 章数控编程的数值计算。重点是程序编制的代码、程序的结构与基本格式、程序中的固定循环与子程序、数控加工的刀具偏置与补偿,对数控加工工艺流程、刀位轨迹的坐标计算、曲面加工中的数值计算等进行分析讲解。

第三部分,是各类数控系统的编程,包含第 4 章数控车床编程,第 5 章数控铣床编程,第 6 章数控加工中心与自动编程。重点是各类系统的程序编制过程、常用功能指令、程序综合实例及分析,对数控加工自动编程、仿真软件进行介绍。

第四部分,是数控装置、伺服控制和位置检测。包含第 7 章数控装置,第 8 章数控系统的伺服控制和位置检测。重点是数控装置的硬件结构、软件结构、插补原理、伺服控制原理,以及常用位置检测装置等。

第五部分,是数控机床的机械系统设计,包含第 9 章数控机床的机械结构,第 10 章数控加工刀具与工件交换装置。重点是数控机床主传动系统及其实现、进给传动系统及其实现、数控机械结构的技术发展,对于数控刀具、装夹方法、自动换刀装置等进行讨论。

本书各章均附有思考题。这些题目主要是为了学习者复习基本概念、练习编程或开展结构设计及建模计算。在现代数控技术的学习中,如能与相关的数控机床实际设备的操作、加工过程演示相结合,则可以实现理论与实践的密切结合,使学生解决实际问题的能力有较快的提高。

在编写过程中,笔者开展了大量的实际加工和调研工作,在实验室、机床制造企业和数控加工企业一线做了大量基础性工作,收集、运用部分科研和教学研究资料,得到多位专家、技术人员和工人师傅长期的支持和帮助,同时参考了大量论文、专著、教材以及相关网页资料文献。在此谨对这些支持者和各类资料、文献的作者一并表示感谢。

作者要特别感谢清华大学季林红教授、北京航空航天大学丑武胜教授、西安交通大学梅雪松教授在机械自动化的教学实践和科研领域给予的大力指导和帮助;感谢北京天和众邦勘探技术股份有限公司李劲松董事长在高性能加工中心的现场实践教学给予的大力指导和帮助;感谢北京交通大学刘贝贝博士在本书编著过程中自始至终给予的细致帮助和所付出的大量劳动;感谢清华大学杨建中副教授、李亮副教授、刘亚辉博士,国家科技部的杨建坤博士、天津大学王太勇教授、华中科技大学彭芳瑜教授等给予的指导和帮助。

书中有部分内容参考、选用了作者所指导的本科生、硕士生、博士生所做的工作,同学们在教学过程中给予了热情帮助和有益的建议。中国地质大学(北京)学科办、教务处领导和学院众多同事也给予了大力支持和帮助。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥甚至错讹之处,敬请读者帮助、指正!

编者

2015 年 5 月于北京

目录

CONTENTS

| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 数控技术概论 | 1 |
| 1.1 数控基本原理及发展 | 1 |
| 1.1.1 数控技术的基本概念 | 1 |
| 1.1.2 数控机床的基本组成及加工过程 | 3 |
| 1.1.3 以数控技术为核心的先进制造技术发展 | 6 |
| 1.2 数控机床的分类及特点 | 9 |
| 1.2.1 按机床运动的控制轨迹分类 | 9 |
| 1.2.2 按伺服机构的控制方式分类 | 10 |
| 1.2.3 按数控系统功能和机床用途分类 | 13 |
| 1.3 数控加工的适应性 | 14 |
| 复习思考题 | 15 |
| 第 2 章 数控程序设计基础 | 16 |
| 2.1 数控编程方法 | 16 |
| 2.1.1 手工编程 | 16 |
| 2.1.2 自动编程 | 17 |
| 2.2 数控程序的代码与格式 | 18 |
| 2.2.1 程序编制的代码 | 18 |
| 2.2.2 程序结构与基本格式 | 29 |
| 2.2.3 坐标系统 | 31 |
| 2.3 数控加工的固定循环编程 | 33 |
| 2.3.1 固定循环功能 | 33 |
| 2.3.2 固定循环指令分析 | 35 |
| 2.3.3 孔加工固定循环指令应用实例 | 36 |
| 2.3.4 固定循环加工的工艺分析 | 37 |
| 2.3.5 螺纹切削的固定循环编程 | 39 |

| | | |
|--------------|----------------------|-----------|
| 2.4 | 子程序 | 40 |
| 2.4.1 | 子程序的应用场合 | 40 |
| 2.4.2 | 子程序命令与格式、流程 | 40 |
| 2.4.3 | 加工螺纹孔的工艺分析与编程实例 | 42 |
| 2.5 | 数控加工的刀具长度偏置 | 43 |
| 2.5.1 | 刀具长度偏置的作用 | 43 |
| 2.5.2 | 刀具长度偏置 | 44 |
| 2.5.3 | G43 指令编程应用方式举例 | 46 |
| 2.5.4 | 刀具偏置值设定过程 | 47 |
| 2.6 | 刀具半径补偿原理 | 48 |
| 2.6.1 | 刀具半径补偿的作用 | 48 |
| 2.6.2 | 刀具半径补偿的常用方法 | 49 |
| 2.6.3 | 刀补工作过程 | 50 |
| 2.6.4 | C 机能刀具半径补偿的转接形式和过渡方式 | 52 |
| 2.6.5 | 过切报警的发生及其防止 | 54 |
| 2.7 | 数控加工工艺 | 55 |
| 2.7.1 | 数控加工工艺与数控编程 | 55 |
| 2.7.2 | 数控加工工艺的基本要求 | 55 |
| 2.7.3 | 工艺处理中的几个关键问题 | 57 |
| 2.7.4 | 选择切削用量 | 59 |
| 2.7.5 | 数控加工工艺文件 | 60 |
| | 复习思考题 | 61 |
| 第 3 章 | 数控编程的数值计算 | 62 |
| 3.1 | 数值计算的内容 | 62 |
| 3.1.1 | 数学处理的重要性 | 62 |
| 3.1.2 | 数值换算 | 63 |
| 3.1.3 | 基点和节点的计算 | 64 |
| 3.2 | 非圆曲线节点分析、计算 | 66 |
| 3.2.1 | 非圆曲线数值计算的一般步骤 | 66 |
| 3.2.2 | 直线逼近算法的一般步骤 | 66 |
| 3.2.3 | 圆弧逼近算法 | 70 |
| 3.3 | 列表曲线的节点分析、计算 | 73 |
| 3.3.1 | 三次样条曲线拟合 | 74 |
| 3.3.2 | 圆弧样条 | 76 |
| 3.4 | 非均匀有理 B 样条应用 | 77 |
| 3.4.1 | B 样条曲线 | 77 |
| 3.4.2 | NURBS 曲线与数控编程 | 78 |
| 3.4.3 | NURBS 曲面与数控编程 | 82 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 3.4.4 刀位数据值的计算 | 82 |
| 3.5 标准计算式与试件计算图 | 84 |
| 3.5.1 标准计算式 | 84 |
| 3.5.2 三角函数法 | 85 |
| 3.5.3 试件计算图 | 87 |
| 3.5.4 二维基点、参数点坐标计算表格化表达 | 89 |
| 3.6 曲面加工中的数值计算简介 | 90 |
| 复习思考题 | 91 |
| 第 4 章 数控车床编程 | 92 |
| 4.1 数控车床编程基础 | 92 |
| 4.1.1 数控车床的特点与技术参数 | 92 |
| 4.1.2 数控车削的加工零件特点及适应性分析 | 95 |
| 4.1.3 数控车削的编程特点 | 99 |
| 4.2 数控车床的坐标系 | 105 |
| 4.2.1 坐标轴与运动方向 | 105 |
| 4.2.2 对刀操作 | 106 |
| 4.2.3 车削加工刀具补偿实现的功能指令 | 106 |
| 4.3 工艺分析 | 109 |
| 4.3.1 数控车床加工工艺过程 | 109 |
| 4.3.2 数控车床加工切削用量 | 110 |
| 4.3.3 加工线路的优化选择方法 | 112 |
| 4.3.4 数控车削轴类零件的加工工艺设计实例 | 114 |
| 4.4 常用编程指令应用分析 | 118 |
| 4.4.1 准备功能 G 指令 | 118 |
| 4.4.2 常用车削编程指令应用分析 | 119 |
| 4.4.3 刀具进给速度与进给量设置指令 | 122 |
| 4.5 数控车床加工典型零件程序分析 | 122 |
| 4.5.1 轴类零件编程实例 | 122 |
| 4.5.2 复合轴零件数控加工编程实例 | 125 |
| 4.6 数控车床加工装夹方案设计 | 127 |
| 4.6.1 数控车削加工定位基准设计 | 127 |
| 4.6.2 数控车削加工工件装夹方案的确定 | 127 |
| 复习思考题 | 131 |
| 第 5 章 数控铣床编程 | 132 |
| 5.1 数控铣床的分类及加工对象 | 132 |
| 5.1.1 数控铣床的分类 | 132 |
| 5.1.2 数控铣床的加工工艺范围 | 133 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 5.2 | 数控铣床的主要功能、工艺装备 | 135 |
| 5.2.1 | 数控铣床的主要功能 | 135 |
| 5.2.2 | 数控铣床的主要工艺装备 | 136 |
| 5.3 | 数控铣床的加工工艺性分析 | 138 |
| 5.3.1 | 数控铣床的加工工艺性要求 | 138 |
| 5.3.2 | 数控铣削进给路线的确定 | 139 |
| 5.3.3 | 逆铣、顺铣及切削方向、切削方式的确定 | 140 |
| 5.3.4 | 数控铣削工艺参数 | 141 |
| 5.4 | 数控铣床编程指令 | 143 |
| 5.5 | 数控铣床坐标系统及综合实例分析 | 148 |
| 5.5.1 | 坐标系统 | 148 |
| 5.5.2 | 数控铣削加工编程实例 | 150 |
| 5.6 | 数控铣削复杂曲面与高速数控铣削 | 155 |
| 5.6.1 | 数控铣削复杂曲面 | 155 |
| 5.6.2 | 高速铣削 | 158 |
| | 复习思考题 | 159 |
| 第6章 | 数控加工中心与自动编程 | 161 |
| 6.1 | 加工中心的分类及加工对象 | 161 |
| 6.1.1 | 加工中心的型号与分类 | 161 |
| 6.1.2 | 加工中心的主要加工对象 | 164 |
| 6.1.3 | 加工中心的参数选择 | 166 |
| 6.2 | 加工中心的常用夹具、对刀装置 | 166 |
| 6.2.1 | 加工中心的常用夹具 | 166 |
| 6.2.2 | 加工中心的换刀控制、对刀 | 169 |
| 6.3 | 加工中心的工艺分析 | 172 |
| 6.3.1 | 加工中心的工艺方案 | 172 |
| 6.3.2 | 加工中心的进给路线 | 174 |
| 6.3.3 | 加工余量、切削用量 | 175 |
| 6.4 | 加工中心的程序编制 | 178 |
| 6.4.1 | 数控镗铣加工中心程序的标准格式 | 178 |
| 6.4.2 | 刀具运动到加工起始点 | 179 |
| 6.4.3 | 实例分析 | 179 |
| 6.5 | 数控加工自动编程 | 188 |
| 6.5.1 | 自动编程概述 | 188 |
| 6.5.2 | 自动编程的实现条件与典型编程系统简介 | 189 |
| 6.5.3 | 零件的三维造型方法 | 192 |
| 6.5.4 | 实体建模与CAM数控编程 | 193 |
| 6.5.5 | 用户宏程序编程 | 194 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 6.5.6 自动编程的软件界面及应用 | 200 |
| 复习思考题 | 205 |
| 第7章 数控装置 | 206 |
| 7.1 CNC系统的一般结构 | 206 |
| 7.1.1 系统结构简介 | 206 |
| 7.1.2 CNC装置的工作过程 | 211 |
| 7.1.3 CNC装置的具体功能实现 | 211 |
| 7.1.4 CNC故障诊断功能 | 214 |
| 7.1.5 CNC系统基本故障诊断方法、举例 | 215 |
| 7.1.6 数控系统日常维护 | 217 |
| 7.2 CNC数控装置的硬件结构设计 | 218 |
| 7.2.1 单机系统 | 219 |
| 7.2.2 多机系统 | 220 |
| 7.2.3 分布式系统 | 224 |
| 7.3 CNC装置的软件结构 | 224 |
| 7.3.1 功能界面划分 | 224 |
| 7.3.2 CNC装置的软件结构模式 | 227 |
| 7.3.3 多任务与并行处理技术 | 229 |
| 7.4 CNC装置的插补原理 | 234 |
| 7.4.1 脉冲增量插补 | 234 |
| 7.4.2 时间增量插补 | 237 |
| 7.5 进给速度控制 | 239 |
| 7.5.1 自动升降速控制的必要性 | 239 |
| 7.5.2 自动升降速控制的评价指标 | 240 |
| 7.5.3 常用的自动升降速规律 | 240 |
| 7.6 数控系统中的可编程控制器 | 242 |
| 7.6.1 可编程序控制器的技术要求 | 242 |
| 7.6.2 可编程序控制器的结构 | 243 |
| 7.6.3 可编程序控制器的编程方法 | 243 |
| 7.6.4 可编程序控制器的工作方式 | 244 |
| 7.6.5 可编程序控制器程序设计步骤 | 244 |
| 7.6.6 梯形图编程实例 | 245 |
| 复习思考题 | 248 |
| 第8章 数控系统的伺服控制和位置检测 | 249 |
| 8.1 伺服控制原理 | 249 |
| 8.1.1 进给伺服系统的组成 | 249 |
| 8.1.2 开环伺服系统与闭环伺服系统的比较 | 251 |

| | | |
|-------------|---------------------------|------------|
| 8.1.3 | 伺服系统的位置控制及其特性分析····· | 251 |
| 8.1.4 | 软件与硬件混合型进给伺服系统的原理及分析····· | 254 |
| 8.1.5 | 数控机床对伺服系统的要求····· | 258 |
| 8.2 | 伺服电机及其调速····· | 259 |
| 8.2.1 | 步进电动机····· | 259 |
| 8.2.2 | 直流伺服电机与速度控制单元····· | 265 |
| 8.2.3 | 交流伺服电动机····· | 270 |
| 8.2.4 | 伺服系统的发展与数字化控制····· | 276 |
| 8.2.5 | 伺服系统的可靠性····· | 277 |
| 8.2.6 | 闭环控制系统的动态特性分析····· | 278 |
| 8.3 | 常用位置检测装置····· | 285 |
| 8.3.1 | 位置检测装置的要求····· | 285 |
| 8.3.2 | 旋转变压器的检测原理····· | 286 |
| 8.3.3 | 感应同步器的检测原理····· | 288 |
| 8.3.4 | 光栅位置检测装置的结构和检测原理····· | 291 |
| 8.3.5 | 脉冲编码器的结构和检测原理····· | 293 |
| 8.3.6 | 其他位置检测装置····· | 294 |
| | 复习思考题····· | 295 |
| 第9章 | 数控机床的机械结构····· | 296 |
| 9.1 | 现代数控机床的机械结构组成····· | 296 |
| 9.1.1 | 基本组成····· | 296 |
| 9.1.2 | 典型机床的结构设计····· | 297 |
| 9.2 | 数控机床的机械结构性能及实现方式····· | 300 |
| 9.2.1 | 结构设计及发展趋势····· | 300 |
| 9.2.2 | 数控机床机械结构性能实现····· | 300 |
| 9.3 | 数控机床主传动系统设计····· | 303 |
| 9.3.1 | 主传动系统的组成及特点····· | 303 |
| 9.3.2 | 主传动系统分类····· | 303 |
| 9.3.3 | 数控机床主轴组件结构设计····· | 306 |
| 9.4 | 数控机床进给传动系统设计····· | 311 |
| 9.4.1 | 对进给运动的要求····· | 311 |
| 9.4.2 | 数控机床进给传动机构····· | 313 |
| 9.4.3 | 数控机床的导轨设计····· | 320 |
| 9.5 | 数控回转工作台····· | 324 |
| | 复习思考题····· | 326 |
| 第10章 | 数控加工刀具与工件交换装置····· | 327 |
| 10.1 | 数控刀具的特点····· | 327 |

| | | |
|--------|---------------|-----|
| 10.2 | 数控刀具的种类、选择 | 328 |
| 10.2.1 | 数控刀具的分类 | 328 |
| 10.2.2 | 数控刀具的选择 | 329 |
| 10.2.3 | 数控机床刀柄的选择 | 334 |
| 10.3 | 数控刀具装夹、夹具分析 | 335 |
| 10.3.1 | 车刀的安装 | 335 |
| 10.3.2 | 铣刀的安装 | 338 |
| 10.3.3 | 数控加工夹具与夹持过程分析 | 339 |
| 10.4 | 自动换刀装置 | 342 |
| 10.4.1 | 回转刀架换刀 | 342 |
| 10.4.2 | 更换主轴换刀 | 344 |
| 10.4.3 | 带刀库的自动换刀系统 | 344 |
| 10.5 | 数控可转位刀片、刀具材料 | 347 |
| 10.5.1 | 数控可转位刀片 | 347 |
| 10.5.2 | 切削用刀具材料 | 348 |
| 10.6 | 数控刀具的失效形式、可靠性 | 350 |
| 10.6.1 | 数控刀具的失效形式 | 350 |
| 10.6.2 | 数控刀具的可靠性 | 351 |
| | 复习思考题 | 352 |
| | 参考文献 | 353 |

数控技术概论

1.1 数控基本原理及发展

1.1.1 数控技术的基本概念

数控技术产生于 20 世纪中期。该技术最早可追溯到 1952 年。该技术的出现与美国空军、美国麻省理工学院和 John Parsons 密不可分。1948 年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制了第一台数控设备。该设备主要是为了加工飞机螺旋桨叶片轮廓样板,其主要创新点是运用计算机来控制金属切削机床(三坐标数控铣床)的运动,该三坐标数控铣床具有较为完整的数控装置,能够胜任复杂形状样板的加工,与普通的大型立式仿形铣床在自动控制方面具有本质区别。此后数控装置的技术发展经历了一个较为漫长的过程。

- 最初的数控装置采用电子管元件,体积大、价格高,所以当时的数控装备只能用于航空工业等领域的复杂型面零件加工。
- 1959 年,晶体管元件和印刷电路板的研制成果运用于数控设备,使得设备的体积与成本均大幅下降,也为数控加工设备逐步在机械工业部门的推广提供了关键技术支撑。
- 1965 年,小规模集成电路技术在数控设备中应用,使得数控装备的体积变小、功耗减少,可靠性提高,价格进一步下降。
- 1970 年,数控系统采用小型计算机取代专用计算机,数控的许多功能由软件来实现,大幅度提高了系统可靠性,增强功能特色。
- 1974 年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(micro-computer numerical control, MNC),其数控功能、体积、价格、可靠性等几个关键指标得到全面提升。
- 20 世纪 80 年代,基于计算机-数字控制(PC-NC)的数控系统发展很快,充分发挥现有 PC 的软件、硬件资源,规范设计新一代数控

系统,出现人机对话式编程的数控装置,具有自动监控刀具磨损和自动检测等新功能。

- 近十多年来,CAD/CAM 集成数控编程系统不断改进,数控技术不断向集成化、智能化、网络化、并行化、虚拟化方向发展。

以下介绍几个常用的概念。

(1) 数字控制技术。简称数控技术(numerical control,NC),是采用数字指令信号(数字化信息)对机电产品或设备进行控制的一种自动控制技术。在工程技术与制造领域通常是借助数字、字符或其他符号对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行可编程控制。

(2) 数控系统。为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,需要具备相应的硬件和软件,这些硬件和软件必须是一个有机集成的整体,称为数控系统。数控系统的核心是实现数字控制的装置载体,以数控加工设备为例,数控机床的数控系统能自动阅读输入载体上的特定程序,并将其译码,形成指令程序,从而使机床按照指令运动并加工零件。数控系统在其发展过程中分有硬件数控系统(硬线 NC)和计算机数控系统(computer numerical control,CNC)两类。

在一些文献中,英文缩写“NC”用来表示数控系统。但在不同应用场合,NC 也作为数控技术、数控装置等英文缩写,可以在广义上代表“一种数字控制技术”,又可以具体指代一种控制系统的实体或者理解为一种具体数控装置。NC 的使用场合较多、较为灵活。

(3) 计算机数控系统。主要是指以计算机为核心的数控系统,能够实现程序输入输出、伺服运动、反馈控制等功能集成。计算机数控系统组成如图 1-1 所示。

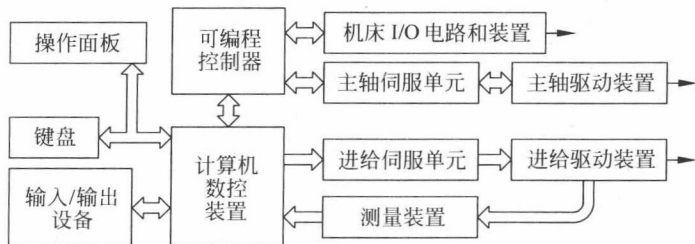


图 1-1 CNC 系统组成

从组成上看,它由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程逻辑控制器(PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成。CNC 系统可利用计算机软件来确定数字信息的处理过程,从而具有“柔性”,处理各种复杂信息的能力大大增强。从技术上讲,CNC 系统将逐步取代硬件数控系统。

(4) 数控机床。数控机床(numerical control machine tools)是数控技术最典型的应用。数控编程、数控装置、数控设备的机械结构设计等都以数控机床为重要的研究对象。数控机床是数控技术应用、发展的重要基础。简单地说,数控机床是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。数控机床运用数字化的信息来实现自动控制,将与加工零件有关的信息,包括工件与刀具相对运动轨迹的尺寸参数(进给执行部件的进给尺寸),切削加工的工艺参数(主运动和进给运动的速度、切削深度等),以及各种辅助操作(主运动变速、刀具更换、冷却润滑油启停、工件夹紧松开等)等,用规定文字、数字和符号组成的代码,按一定的格式编写成加工程序单,将加工程序通过介质输入到数控装置中,由数控装置经过分

析处理后,发出各种与加工程序相对应的信号和指令控制机床进行自动加工。

1.1.2 数控机床的基本组成及加工过程

1. 数控机床与传统机床的对比

在机床的操作上,数控机床与普通机床最显著的差别是:当加工对象(工件)改变时,数控机床只需改变加工程序(应用软件),而不需对机床作较大的调整,就能加工出各种不同的工件。图 1-2 为人工操作机床测量、调整示意图,图 1-3 为数控机床测量示意图。表 1-1 为普通机床和数控机床的对比。

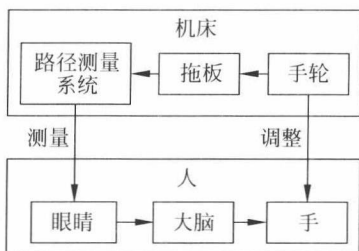


图 1-2 普通机床的测量和调整

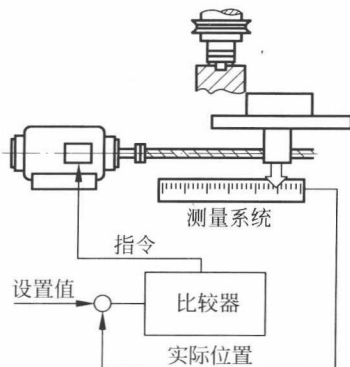


图 1-3 数控机床的测量系统

表 1-1 普通机床和数控机床的对比

| 序号 | 普通机床 | 数控机床 |
|----|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | 具有手动加工和机动加工功能,加工过程全部由人工干预 | 具有手动加工(电手轮)、机动加工和控制程序自动加工功能。加工过程一般不需人工干预 |
| 2 | 不具备屏幕(CRT)显示和自动报警显示功能 | 具有屏幕(CRT)显示和自动报警显示功能 |
| 3 | 主传动和进给传动一般采用三相交流异步电动机,由变速箱实现多级变速,机床传动链长 | 主传动和进给传动采用直流或交流无级调速伺服电动机。一般没有主轴变速箱和进给变速箱,传动链短 |
| 4 | 加工对象改变时,需制造更换许多工具、夹具和模具,可能要更新机床 | 加工对象改变时,只需重新编写加工程序,不需制造更换许多工具、夹具和模具,不需更新机床 |
| 5 | 难以实现或无法实现轨迹为二次以上的曲线或曲面的运动,无法适用于各种复杂形面的零件加工 | 能实现复杂型面零件的加工。可控制多轴协同运动、联动,使得刀具在三维空间中能实现任意轨迹,可完成螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面加工 |
| 6 | 存在生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性不高,加工质量稳定性受限,产品合格率、精度有限 | 具有消除间隙结构,可以通过实时检测反馈修正误差或软件精度补偿技术来获得比机床本身精度更高的加工精度。零件加工的一致性极高,互换性高 |

续表

| 序号 | 普通机床 | 数控机床 |
|----|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | 主轴转速和进给量的范围小,结构刚性限制大切削用量的强力切削,复杂零件的加工过程需要多次装夹,重复定位误差大,工序难以高度集中,生产率低 | 允许数控机床进行大切削用量的强力切削,节省机动时间。带有自动换刀装置,一次装夹后,可在同一台机床(加工中心)上同时进行车、铣、镗、钻、磨等各种粗、精加工,减少了辅助工时,生产效率高 |
| 8 | 操作者需要进行繁重、重复性手工操作,劳动强度大。熟练的技术工人往往是一人管理一台机床加工 | 按所编程序自动完成零件加工,按自动循环按键后,由机床自动完成加工,因而大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件 |

因此,要实现数控机床的加工过程,关键是要编制程序、输入程序,实现数控加工过程依靠数字(代码)指令来自动控制机床各个坐标的协调运动,在正确控制机床运动部件位移量的同时,按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作(典型动作:主轴转速、进给速度、换刀、工件夹紧放松、工件交换、冷却液开关等)。数字控制技术使得数控机床具有高效率、高质量和高柔性,能够集合自动(专用)机床、精密机床和万能机床的优点,实现专用机床的高效率、精密机床的高精度、万能机床的高柔性。可见,“自动化控制”是数控机床与普通机床的最本质区别。

数控机床综合集成了计算机技术、自动控制、精密测量、微电子技术、机械加工技术、成组加工工艺和机床结构优化等领域的最新技术,成为现代数控技术研究的典型领域。

2. 数控机床的组成

数控机床通常由程序输入/输出装置、计算机数控系统、强电控制装置、伺服控制装置、机床本体结构等几个部分组成,其原理框图如图 1-4 所示。

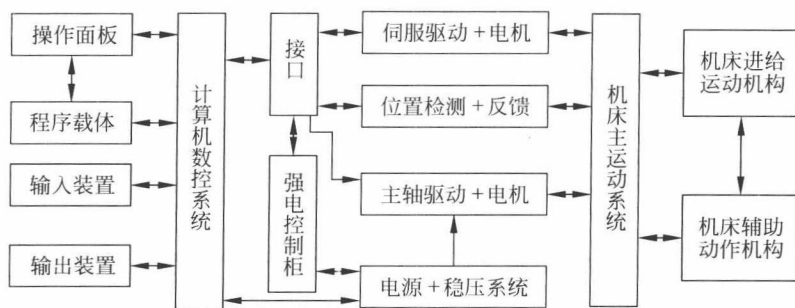


图 1-4 数控机床基本组成

(1) 程序载体。是建立人与机床之间联系的中间媒介,又称为控制介质。程序载体存储加工零件所需的几何信息、工艺信息,包含工件在机床坐标系中的相对位置、刀具与工件相对运动的坐标参数、工艺路线和顺序,以及主运动和进给运动的各种参数及辅助操作。数控代码及指令等用标准的字母、数字和符号构成,要按照规定的代码、格式编制工件的加工程序单。从外在形式上看,程序载体有穿孔纸带、磁带、磁盘等多种类型。

(2) 输入、输出装置。键盘、显示器是基本的输入、输出装置。在工业领域,要根据数控系统的不同,配光电阅读机、磁带机或磁盘驱动器,配有 USB 接口等。该装置可以进行数控

加工及控制程序(数据)、机床参数、坐标轴位置、检测开关状态等数据的输入、输出,是数控机床的重要组成部分。

(3) 数控系统及装置。装置内部包含操作系统、输入/输出接口电路、控制器、运算器和存储器等。主要通过内部的逻辑电路或者控制软件对输入的数据进行编译、运算和处理,并输出各种信息指令,以控制机床的各部分进行规定的动作,是机床实现自动加工的核心。数控系统所控制的一般对象是位置、角度、速度等机械量,也有温度、压力、流量等物理量,其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制。数据运算处理由主控制器内的插补运算模块完成,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、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的位移;时序逻辑控制通常主要由可编程控制器来完成,它根据机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,从而控制机床各个部件有序工作。

(4) 强电控制装置。强电控制柜主要由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。在可编程控制器输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元器件之间要有效联结,控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等,起到扩展接点数和扩大触点容量等作用,并与机床操作台的有关手控按钮连接。强电控制装置也要提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源,以及各种短路、过载、欠压等电气保护。为了防止对弱电控制系统的干扰,各类频繁启动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均接 RC 阻容吸收器,对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

(5) 伺服控制装置。主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,再经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机运转,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀具实现切削运动。

(6) 机床本体。一般指机床的机械结构部分,包括主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分。数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等均需要进行高精度、高动态性能设计。

3. 数控机床加工过程

上述各个组成部分在数字控制技术的有机调度下实现加工过程。图 1-5 所示为数控机床加工过程框图,由该图可大致了解数控编程、操作人员在整个加工过程中所处的重要地位。

从数控技术的实践来看,数控加工的工作人员要开展的工作内容有:

- (1) 选择并确定零件的数控加工内容;
- (2) 对零件图样进行数控加工的工艺分析;
- (3) 设计、编制数控加工工艺;
- (4) 对零件图形进行数学处理,检视零件 CAD 图样,分析或仿真刀具路径的产生,进行后置处理(自动编程);
- (5) 编制数控加工程序单;
- (6) 制作程序介质;