



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

数控技术 (第3版)

主 编 严育才 张福润
副主编 段明忠 李耀辉

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

全书共分为 8 章。第 1 章简要介绍了数控的有关概念、数控机床的组成、工作原理、分类及其发展趋势；第 2 章深入分析了插补原理,并详细介绍了典型的插补方法；第 3 章简要介绍了计算机数控系统硬件的组成、功能和软件的功能及结构；第 4 章按照工作原理的不同分别对各种数控位置检测装置进行了深入分析；第 5 章对数控伺服系统的类型,伺服电动机原理及控制方法,现代典型数控伺服系统进行了较详细的讲解；第 6 章讲述了数控手工编程,介绍了数控加工工艺、编程误差的来源和控制方法、数控加工工件的装夹；第 7 章介绍了自动编程、CAXA 软件的使用及加工案例；第 8 章介绍了数控机床结构。

本书理论联系实践,论述透彻,实践性具体,可作为本科院校相关专业学生的教学用书,也适合研究生、专科学生、从事数控技术及有关工程技术人员阅读参考。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/严育才,张福润主编. —3 版. —北京:清华大学出版社,2022.3
中国机械工程学科课程配套系列教材 教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材
ISBN 978-7-302-60147-0

I. ①数… II. ①严… ②张… III. ①数控技术—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 025835 号

责任编辑:冯 昕 苗庆波

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:刘海龙

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:010-83470000 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:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17.5

字 数:419 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版 2022 年 5 月第 3 版

印 次:2022 年 5 月第 1 次印刷

定 价:52.00 元

产品编号:089372-01

中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主 任 委 员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

清华大学出版社

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

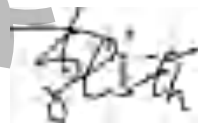
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

第 3 版前言

FOREWORD

高档数控机床是装备制造业智能制造的工作母机,是智能制造最重要的关键装备之一,对智能制造有着重要的影响。高档数控机床是衡量一个国家装备制造业发展水平和产品质量的重要标志。

近年来,我国已经连续多年成为世界最大的机床装备生产国、消费国和进口国。中高端机床生产技术进一步提升,但高档数控机床国产化率甚至不到 10%。

数控系统是数控机床的大脑,决定机床装备的性能、功能、可靠性和成本,而国外对我国至今仍进行封锁限制,成为制约我国高档数控机床发展的瓶颈。国内数控系统的中高端市场被德国西门子公司、日本 FANUC 公司瓜分。低端市场是国内数控系统的天下,数十家系统厂挤在这个狭小的市场区域。鉴于此,我们必须自己攻克此技术,目前,我国数控系统实现了从模拟式、脉冲式到全数字总线的跨越。

为了促进我国数控机床行业产业升级,近几年,国家出台一系列政策支持数控机床行业发展。根据工业和信息化部 2016 年的《智能制造工程实施指南(2016—2020)》,我国数控机床国产化率将在 2020 年超过 50%。2015 年 10 月,国家制造强国建设战略咨询委员会发布的《(中国制造 2025)重点领域技术路线图》对未来十年我国高档数控机床的发展做出规划。未来十年,我国数控机床将重点针对航空航天装备、汽车、电子信息设备等产业发展的需要,开发高档数控机床、先进成形装备及成组工艺生产线。

2019 年 1 月 28 日,“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项 2019 年度再次启动,其中有 16 个课题涉及数控机床。

随着《中国制造 2025》和“工业 4.0”的逐渐实施,以及基于国情制造业要升级,淘汰劳动密集型的低端制造业,我国数控机床产业必须实现大比重国产化,实现数控产业为国家的竞争力强势产业。

有需求也有机遇,我国有全世界最齐全的工业门类和全世界最大的工业市场,另外,我国有世界名列前茅的 5G 技术,方便于实现数控机床与工业机器人融合发展。这些条件非常有利于数控机床的发展。

在此背景下,本书出版第 3 版,本次再版增加了许多近几年数控机床的新技术和新应用,对相关数控名词概念进行规范化,相关表述更加贴近数控机床开发实际,特别介绍了“5G 技术+数控机床+工业机器人融合发展技术”。

插补方面增加了参数曲线直接插补内容,数控系统方面增加了华中数控系统的软件结构介绍分析,更加贴近实践,PLC 方面增加了数控系统厂家对 PLC 的应用思路,数控加工工艺方面进一步梳理,增加了形象化的数控加工框图,对数控切削用量的选择也进一步细化和列表,方便于加工实践,装夹方面增加了夹具实物图,更具有指导性。

作者方面增加了许昌学院李耀辉老师,李耀辉老师对本书插补、CNC 系统内容做了许多改进工作。

本次再版得到了武汉华中数控股份有限公司总工程师朱志红教授的多次指导,在此致谢!

编 者
2022 年 1 月

修订版前言

FOREWORD

数控技术(数字化控制技术)是未来控制技术的发展方向,从家用电器到医疗器械,从地下的探测设备到太空飞行器,许多领域都大量使用了数字信号和数控技术。随着信息技术的发展,特别是现代控制理论研究的深入,数字化控制技术在控制领域的比重将逐渐增加,并有逐渐取代其他传统控制方法的趋势。

数控技术与机械制造中的机床设备相结合,形成了一种全新的加工装备——数控机床。数控机床的整个加工过程由数控系统进行自动控制。近年来数控技术的快速发展极大地推动了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(flexible manufacture system,FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的发展。数控技术正在改变制造业的生产方式、产业结构、组织模式,是关系到国家战略地位的重要技术。

数控技术的发展历程经历了硬件数控(numerical control,NC)和计算机数控(computerized numerical control,CNC)两个阶段。硬件数控的运算和控制功能均由逻辑电路来完成,灵活性差,柔性不好。计算机数控是随着微电子技术和计算机技术的发展而产生的,其主要功能基本上由软件来完成。随着数控操作系统功能的不断完善,软件系统开放性的不断提高,CNC对不同的加工工艺及要求容易通过软件程序来解决,不需改变硬件,因此,灵活性好,柔性较强。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会于2007年会同中国机械工程学会、清华大学出版社组成“中国机械工程学科教程研究组”出版的《中国机械工程学科教程》,采用知识领域边界再设计的方法,构造了机械工程本科专业教育的知识体系和框架,形成了科学的课程知识体系。我们根据该知识体系和框架,本着从高等院校教育目标及知识、能力和素质结构的要求出发,编写了数控技术教材。书中以数控技术的基本原理和基本知识为根基,以数控机床为主线,全面且系统地反映了数控技术各方面的内容。本书对数控技术的核心内容和最新技术作了较为深入、系统的介绍,全书内容充实、具体、科学、先进,叙述深入浅出,内容编排循序渐进,文字简练。本书采用国产著名品牌华中数控系统作为典型系统进行分析讲解,以国产三维CAD/CAM软件CAXA作为自动编程软件进行介绍,在数控系统和自动编程的讲解上实例充分。通过对本教材的学习掌握,读者可以对数控技术有较完整的、系统的认识,对数控机床的结构有较

清晰的了解。

本书可作为高等院校机械工程相关本科专业“数控技术”“数控系统及数控机床原理”课程的教学用书,也适合研究生、专科学生及从事数控技术工程的技术人员阅读参考。

本书共分为8章。第1章简要介绍数控机床的组成、工作原理、分类和发展;第2章分析插补原理,并介绍典型的插补方法;第3章讲述计算机数控系统的硬件和软件,分别介绍计算机数控系统硬件的组成和功能以及软件的结构和功能;第4章分析数控位置检测装置,按照工作原理的不同分别对各种数控位置检测装置进行了分析;第5章分析数控伺服系统,对数控伺服系统的类型、伺服电动机及调速、现代典型数控伺服系统进行了详细介绍;第6章讲述数控手工编程;第7章讲述自动编程及CAXA软件的使用方法;第8章介绍了数控机床结构。

本书由严育才、张福润担任主编,程宪平、段明忠担任副主编。本书第1、2章由张福润编写,第3、4、7、8章由严育才编写,第5章由程宪平、严育才共同编写,第6章由段明忠、严育才共同编写。本书在编写过程中得到了华中科技大学数控国家重点实验室和华中科技大学金工实训中心的大力帮助,在此对数控国家重点实验室和金工实训中心的各位老师表示衷心的感谢。华中科技大学李元科教授、孙亲锡教授、刘延林教授、朱冬梅教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见,在此也一并致谢!

本书为修订版,利用此次修订的机会,作者不仅认真仔细地订正了第1版中存在的错误和疏漏,还将平时教学中使用的电子课件进行了整理,并增补了部分习题参考解答。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 数控技术概念概述	1
1.2 数控机床组成及工作原理	2
1.2.1 数控机床的组成	2
1.2.2 CNC 的工作特征	5
1.2.3 数控系统的工作过程	5
1.3 数控机床的分类、特点与应用	5
1.3.1 数控机床的分类	5
1.3.2 数控机床的特点	8
1.3.3 数控机床的应用	9
1.4 数控机床的产生与发展	10
1.4.1 数控机床的产生	10
1.4.2 数控机床的发展历程	10
1.4.3 数控机床的发展趋势	11
1.5 数控技术在我国的发展情况	15
习题	18
第 2 章 插补原理	19
2.1 插补概念分析	19
2.1.1 插补的概念	19
2.1.2 插补需要解决的问题	20
2.1.3 插补的实质	20
2.1.4 插补的基本要求	20
2.1.5 插补方法的分类	21
2.2 硬件插补	21
2.2.1 数字脉冲乘法器的工作原理	22
2.2.2 数字脉冲乘法器的直线插补	23
2.2.3 脉冲分配的不均匀性问题	24
2.3 逐点比较法	25
2.3.1 逐点比较法插补原理	25

2.3.2	逐点比较法直线插补	26
2.3.3	逐点比较法圆弧插补	29
2.3.4	逐点比较法象限处理	32
2.3.5	逐点比较法的进给速度	33
2.4	数字积分法	35
2.4.1	数字积分法的工作原理	35
2.4.2	数字积分法直线插补原理	35
2.4.3	数字积分法圆弧插补原理	39
2.4.4	数字积分法插补精度的提高	42
2.5	数据采样插补法	44
2.5.1	概述	44
2.5.2	时间分割法插补	47
2.5.3	扩展数字积分法插补	49
2.5.4	脉冲增量插补法和数据采样插补法的比较	52
习题		53
第3章	CNC 系统	54
3.1	CNC 系统的组成与工作原理	54
3.1.1	CNC 系统的组成	54
3.1.2	CNC 装置的工作原理	54
3.2	CNC 装置的硬件结构	56
3.2.1	大板结构和功能模板结构	56
3.2.2	单微处理器结构和多微处理器结构	57
3.2.3	CNC 装置的硬件功能模块	59
3.2.4	CNC 装置的输入输出接口	62
3.3	CNC 装置的软件结构	64
3.3.1	CNC 装置软件的组成	64
3.3.2	CNC 装置软件结构模式	66
3.3.3	CNC 装置软件的特点	70
3.4	CNC 装置的数据转换及处理	73
3.4.1	数据转换流程	73
3.4.2	数据处理	76
3.5	进给速度处理和加减速控制	80
3.5.1	开环 CNC 系统的进给速度及加减速控制	80
3.5.2	闭环(或半闭环)CNC 系统的加减速控制	81
3.6	数控机床用可编程逻辑控制器	82
3.6.1	数控机床中 PLC 完成的功能	82
3.6.2	PLC 顺序程序接口信号处理	83
3.6.3	PLC 地址分配	84

3.6.4	PLC 与 CNC 机床的关系	85
3.6.5	M、S、T 功能的实现	87
3.6.6	华中数控系统 PLC 的形式和原理	88
3.7	开放式数控体系结构	89
3.7.1	概述	89
3.7.2	开放式数控系统的定义及其基本特征	89
	习题	92
第 4 章	数控检测技术	94
4.1	概述	94
4.1.1	检测装置的分类	94
4.1.2	数控测量装置的性能指标及要求	95
4.2	旋转变压器	95
4.2.1	旋转变压器的结构	95
4.2.2	旋转变压器的工作原理	96
4.2.3	旋转变压器的应用	98
4.3	感应同步器	99
4.3.1	直线式感应同步器	99
4.3.2	旋转式感应同步器	101
4.3.3	直线式感应同步器的工作原理	102
4.3.4	感应同步器的应用	103
4.3.5	感应同步器使用应注意的事项	104
4.4	光栅传感器	104
4.4.1	光栅的类型和结构	105
4.4.2	计量光栅的工作原理	106
4.5	脉冲编码器	110
4.5.1	脉冲编码器的结构与分类	110
4.5.2	脉冲编码器在数控机床上的应用	110
4.5.3	增量式光电脉冲编码器	111
4.5.4	绝对式脉冲编码器	112
4.5.5	光电脉冲编码器的应用形式	114
	习题	116
第 5 章	数控伺服系统	117
5.1	概述	117
5.1.1	伺服系统的组成	117
5.1.2	对伺服系统的基本要求	119
5.1.3	对伺服电动机的要求	120
5.1.4	伺服系统分类	120

5.2	步进电动机伺服系统	122
5.2.1	步进电动机结构及工作原理	122
5.2.2	步进电动机的主要性能指标	124
5.2.3	步进电动机功率驱动	126
5.2.4	功率放大器	129
5.2.5	调频调压驱动电路	131
5.2.6	细分驱动电路	131
5.2.7	步进电动机应用中的注意事项	132
5.3	直流电动机伺服系统	132
5.3.1	直流伺服电动机的种类与应用	132
5.3.2	直流伺服电动机的结构与工作原理	133
5.3.3	直流伺服电动机的控制原理	134
5.3.4	直流伺服电动机的调速	134
5.3.5	晶闸管调速控制系统	136
5.3.6	晶体管直流脉宽调制调速系统	137
5.3.7	全数字脉宽调制调速系统	140
5.4	交流电动机伺服系统	141
5.4.1	交流伺服电动机的种类	141
5.4.2	永磁交流同步伺服电动机的结构	141
5.4.3	交流伺服电动机的发展方向	142
5.4.4	交流伺服电动机的调速原理	142
5.4.5	交流伺服电动机的速度控制单元	142
5.5	伺服系统的位置控制	146
5.5.1	相位比较伺服系统	146
5.5.2	幅值比较伺服系统	150
5.5.3	数字比较伺服系统	151
5.5.4	全数字伺服系统举例	152
习题		154
第6章	数控加工程序编制	155
6.1	数控机床编程概述	155
6.2	数控机床坐标系的确定	157
6.2.1	数控机床的坐标系	157
6.2.2	数控机床上坐标轴方向的确定	157
6.2.3	机床坐标系与工件坐标系	159
6.3	数控加工工艺	162
6.3.1	数控加工工艺方案制订的主要内容	162
6.3.2	影响数控加工工艺方案制订的主要因素	162
6.3.3	零件数控加工工艺性分析	164

6.3.4	划分加工阶段	165
6.3.5	数控加工工序规划	167
6.3.6	选择走刀路线	169
6.3.7	数控编程误差及其控制	172
6.4	数控加工刀具与切削用量的选择	173
6.4.1	数控加工刀具的选择	173
6.4.2	切削用量的选择	175
6.5	数控机床上工件的装夹	178
6.5.1	零件装夹注意事项	178
6.5.2	数控机床上零件装夹的方法	179
6.5.3	使用平口虎钳装夹零件	179
6.5.4	使用压板和 T 形槽用螺钉固定零件	180
6.5.5	弯板的使用	181
6.5.6	V 形块的使用	182
6.5.7	零件通过托盘装夹在工作台上	183
6.5.8	使用组合夹具、专用夹具等	183
6.6	数控加工程序的组成及各指令的应用	183
6.6.1	程序的组成	183
6.6.2	程序的格式	184
6.6.3	程序指令一览表	184
6.6.4	数控机床常用指令的使用方法说明	189
6.7	数控编程指令用法及加工举例	190
6.7.1	数控车床编程指令用法及加工举例	190
6.7.2	数控铣床编程指令用法及加工举例	200
	习题	210
第 7 章	CAXA 自动编程	211
7.1	自动编程概述	211
7.2	CAXA 制造工程师基本功能	213
7.2.1	简介	213
7.2.2	主要功能	213
7.2.3	用户界面简介	214
7.3	CAXA 几何建模技术基础	216
7.4	CAXA 的拾取操作	218
7.5	线架造型	221
7.5.1	线架造型简介	221
7.5.2	实例操作	221
7.6	实体特征造型	233
7.6.1	草图绘制	233

7.6.2 轮廓特征	235
7.7 连杆件的造型与加工	239
7.7.1 连杆件的实体造型	240
7.7.2 加工前的准备工作	245
7.7.3 刀具轨迹的生成和仿真检验	248
第8章 数控机床结构	252
8.1 床身	252
8.2 导轨	253
8.3 主轴部件	254
8.4 进给系统	255
8.5 回转工作台	259
参考文献	261

绪 论

本章重点内容

数控技术的有关概念，数控机床的构造和工作原理，数控机床的分类，数控机床的发展历史以及数控技术的发展趋势。

学习目标

了解数控机床的产生和发展趋势，掌握数控机床的工作原理、工作过程、组成、分类，以及数控机床的特点。

1.1 数控技术概念概述

数字控制是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行可编程控制的自动化方法,简称数控。

计算机数控是按照计算机中的控制程序来执行一部分或全部功能的数字控制方法。

数控技术是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

数控系统是实现数控技术相关功能的软、硬件模块的有机集成系统,是数控技术的载体。

计算机数控系统是以计算机为核心的数控系统,常称为 CNC 系统,包括 CNC 装置、输入输出装置、主轴驱动和进给伺服系统。

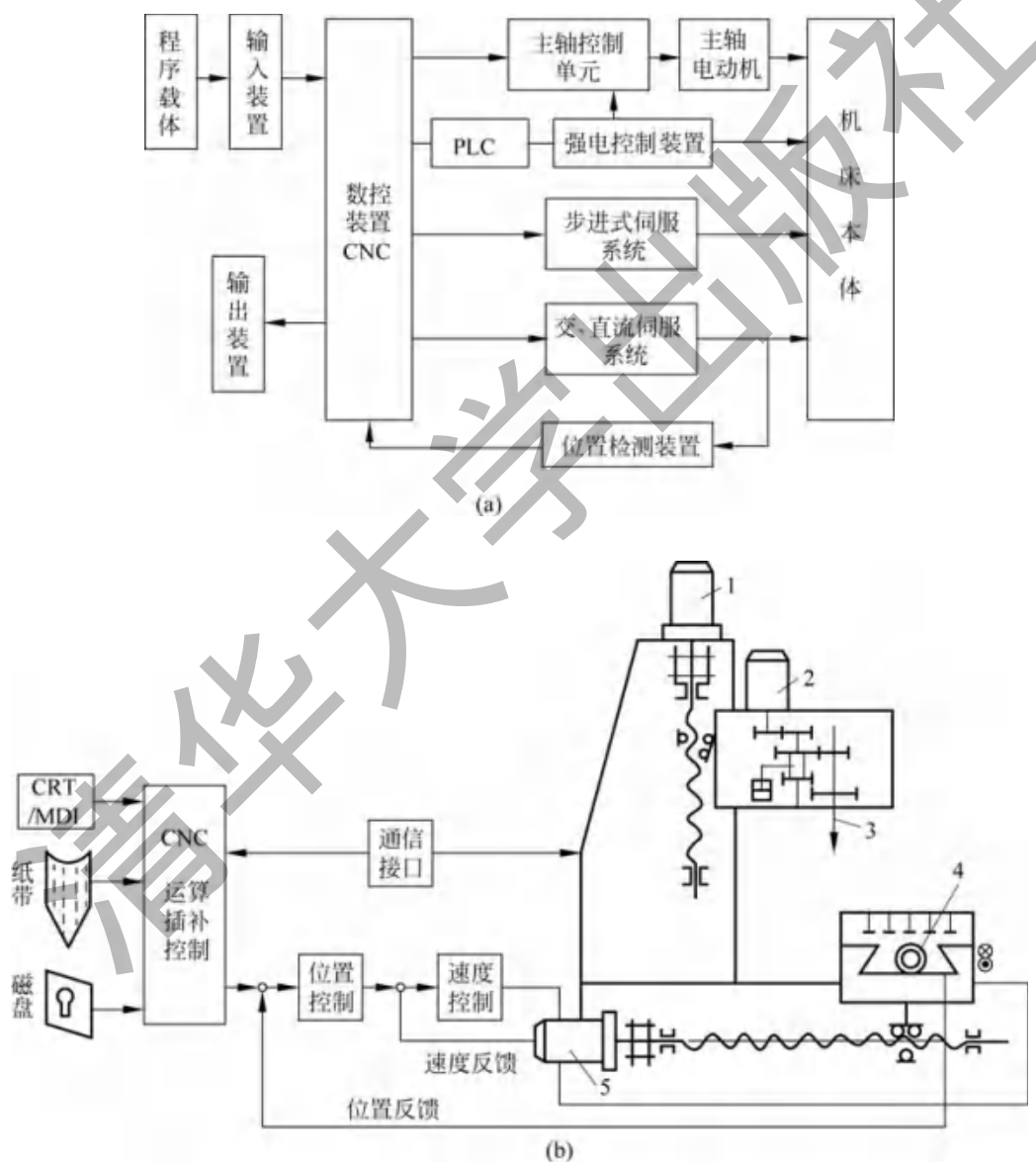
数控装置是 CNC 系统的核心部件,常称为 CNC 装置。CNC 装置硬件组成一般有 CPU 及总线、存储器、I/O 电路接口、位置控制器、输入设备接口、显示设备接口,以及通信网络接口等。

用数控技术实现自动控制的机床称为数控机床。具体来说是用数字化的代码将零件加工过程中所需的各种操作和步骤以及刀具加工轨迹等信息记录在程序介质上,送入数控系统进行译码、运算及处理,控制机床的刀具与工件的相对运动,加工出所需要的工件的机床。

1.2 数控机床组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由程序载体、输入装置、CNC、主轴控制单元、PLC、伺服系统、强电控制装置、位置检测装置、输出装置、机床本体(主运动机构、进给运动机构、辅助动作机构、床身等)组成,如图 1.1 所示。



1—Z 轴伺服电动机; 2—主轴电动机; 3—主轴; 4—X 轴伺服电动机; 5—Y 轴伺服电动机。

图 1.1 数控机床的结构组成

(a) 原理图; (b) 示意图

1. 程序载体

程序载体是人和数控机床联系的媒介物,也称程序介质、输入介质、信息载体。根据待加工零件的图纸获得数控加工需要的运动轨迹、工艺参数和辅助控制等数据信息,再把这些数据写入程序代码并存储到程序载体中,数控机床通过读取和处理程序载体的数据信息就可以实现人机交流。就相当于人与人之间交流需要声音做媒介、空气做载体一样,这时声音相当于数控程序、空气相当于程序载体。程序载体可以是穿孔带,也可以是穿孔卡、磁带、磁盘、电子闪存盘或其他可以储存程序代码的载体。比如,华中数控的程序载体为电子闪存盘。

2. 输入装置

输入装置将程序代码变成相应的电脉冲信号,传递并存入数控装置内。输入方式主要有通过手工(MDI)用键盘直接输入数控系统,或通过网络通信的方式输入数控系统,或通过程序载体读取设备输入数控系统。程序载体读取设备有光电阅读机、磁带机、软驱等。目前,编写小程序一般用数控系统操作面板上的键盘直接输入,比较复杂的零件加工一般用 CAD/CAM 软件自动生成程序,然后用软盘、电子闪存盘或网络通信传入数控系统。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的数据信息处理中心,相当于计算机的主机,只不过数控装置是在数控系统上运行,其主要完成运算和控制功能,一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息,并将其代码加以识别、储存、运算,输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床动作。在计算机数控机床中,由于计算机本身即含有运算器、控制器等上述单元,因此其数控装置的作用由一台装有数控系统软件的专用计算机来完成。

4. 主轴控制单元

主轴控制单元主要接受 CNC、PLC 的指令对主轴的工作状态进行控制,如主轴的启动、加速、换向和停止等。

5. PLC

在数控机床中,利用 PLC 的逻辑运算功能可实现各种开关量的控制,代替传统的继电器工作。

6. 强电控制装置

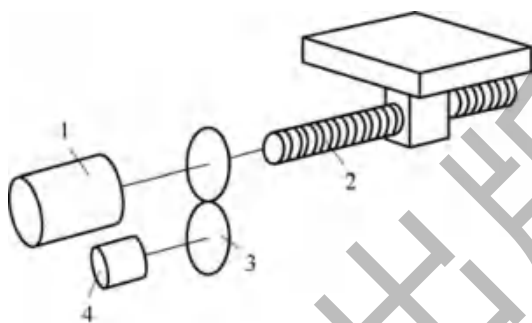
强电控制装置的主要功能是接受 PLC 的信号,对主轴变速、换向、启动或停止,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松开,切削液的开或关等辅助操作进行控制,从而实现数控机床在加工过程中按程序规定的自动操作。强电控制装置是相对于 CNC 输出的低电压脉冲信号而言的,脉冲信号一般为 5 V,强电为几十到几百伏。

7. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动,一般由驱动装置和伺服电动机组成。按照特性可分为步进式、交流、直流伺服系统三种。其性能好坏直接决定加工精度、表面质量和生产效率。CNC 每输出一个进给脉冲,伺服系统就使工作台移动一个脉冲当量 δ 。

脉冲当量是当 CNC 装置输出一个定位控制脉冲,机床工作台所移动的位移。其值取决于丝杆螺距、旋转编码器分辨率,常见的有 0.01 mm、0.001 mm。图 1.2 所示脉冲当量计算过程为

$$\text{脉冲当量} = \text{螺距} / \text{旋转编码器分辨率} = 1\text{mm} / 1000 = 0.001\text{mm}$$



1—伺服电动机；2—滚珠丝杠 螺距 1mm；3—减速器；4—编码器 1000p/r。

图 1.2 脉冲当量、螺距、编码器分辨率的关系

数控机床分辨率受数控系统分辨率和机床运动系统分辨率共同影响。

数控系统分辨率是两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔,取决于系统软件算法及硬件。

机床运动系统分辨率则是整套机床运动部件所能响应的最小位移,取决于旋转编码器的测量最小角度,或光栅尺的测量最小长度。

目前,一般常规数控机床分辨率能达到 $5 \sim 8\mu\text{m}$ 的运动系统分辨率,再高就要受到机床物理结构限制。

8. 位置检测装置

位置检测装置运用各种灵敏的位移、速度传感器检测机床工作台的位移、速度等参数,并将位移、速度等物理量转变成对应的电信号显示出来并且送到机床数控装置中进行处理和计算,实现数控系统工作的反馈控制,同时数控装置能够校核机床的理论位置及实际位置是否一致。闭环数控系统一般利用理论位置与实际位置的差值进行工作,并由机床数控装置发出指令,修正理论位置与实际位置的偏差。

9. 机床本体

机床本体主要由床身、主运动机构、进给运动机构、辅助动作机构和刀架、刀库等配套件组成。

10. 输出装置

输出装置指数控系统的显示器,一般都采用液晶屏,显示软件系统界面加工过程的信

息,是人机对话的窗口。

1.2.2 CNC 的工作特征

从外部特征来看,CNC 系统是由硬件(通用硬件和专用硬件)和软件(数控操作系统)两大部分组成的,数控机床的加工操作是由系统硬件和软件共同完成的。

从自动控制的角度来看,计算机数控系统是一种位置(轨迹)、速度(还包括电流)控制系统,其本质是以多个执行部件(各运动轴)的位移量、速度为控制对象并使其协调运动的自动控制系统,是一种配有专用操作系统的计算机控制系统。

1.2.3 数控系统的工作过程

数控系统的工作过程分为以下三步。

(1) 数控系统接收数控程序(NC 代码) 由数控系统接收输入装置发来的数控程序(包括零件加工程序、控制参数、补偿数据)。NC 代码是由 NC 编程人员根据待加工产品的零件图的参数及生产要求运用 CAM 软件自动生成或用手工编制的操作指令,以文本格式存储和传输。

(2) “翻译”NC 代码为机器码 由数控系统将 NC 代码“翻译”为计算机能识别的机器码。机器码是一种由“0”和“1”组成的二进制文件,对一般的编程人员而言,它是难以理解的,但却可以直接为 CNC 硬件所识别和使用。简单地讲,这一过程即是把人能识别的信息转换成 CNC 能识别的信息的过程。

(3) 将机器码转换为控制信号 由数控系统将机器码转换为控制坐标轴移动和主轴转动的电脉冲信号以及其他辅助控制信号。如数控铣床,进给信号为 X、Y、Z 坐标轴三个运动方向的进给脉冲信号,伺服系统接收到进给脉冲信号后驱动伺服电动机执行相应的运动,并通过滚珠丝杠螺母副等传动机构将伺服电动机的转动转变为机床工作台的平动,从而完成加工操作。辅助控制有主轴的启、停、换向等。

1.3 数控机床的分类、特点与应用

1.3.1 数控机床的分类

数控机床规格繁多,据不完全统计,已有 400 多个品种规格,可按照多种原则对其分类。但归纳起来,常见的有按运动轨迹分类、按工艺用途分类、按伺服系统的控制方式分类及按数控装置分类。

1. 按运动轨迹分类

点位控制数控机床:只能精确控制点位置,在移动过程中不进行任何加工,而且移动部件的运动路线并不影响加工孔距的精度,为提高效率,以慢—快—慢的方式运动,靠近和离

开工件时慢,中间移动时速度快。典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控冲床、数控点焊机等,如图 1.3 所示。

点位直线控制数控机床:有位置、速度和简单路线控制功能,此机床除了控制点定位外,还能控制刀具沿某个坐标轴平行方向或与坐标轴成 45° 夹角方向切削加工,但不能加工任意斜率的直线。如阶梯车削的数控车床,磨削加工的数控磨床,如图 1.4 所示。

轮廓控制数控机床:有每点的位置、速度、路线控制功能,可对 2 坐标或 2 坐标以上坐标轴进行控制,能加工曲线和曲面,在加工过程中,需不断地进行插补运算及相应的速度和位移控制。目前的普通数控车床、数控铣床都属于轮廓控制数控机床,如图 1.5 所示。

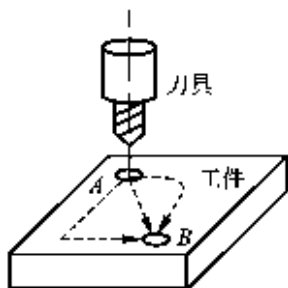


图 1.3 点位控制钻孔加工

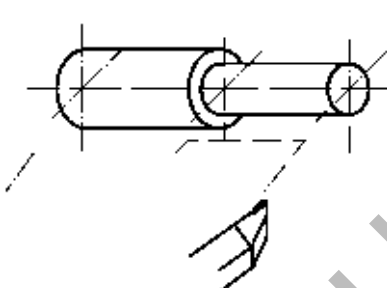


图 1.4 点位直线控制切削加工

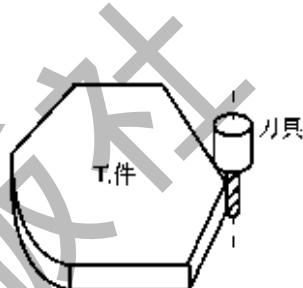
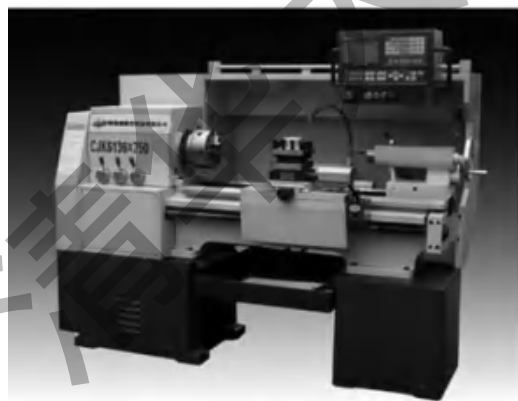


图 1.5 轮廓控制加工

2. 按工艺用途分类

1) 按机床功能大小分

一般数控机床:如数控车、铣、镗、钻、磨床等,坐标轴数不大于 3,可以加工复杂形状的零件,但加工复杂曲面时表面质量没有多坐标数控机床好。普通数控机床如图 1.6 所示。



(a)



(b)

图 1.6 普通数控机床

(a) 车床; (b) 铣床

数控加工中心:在数控铣、镗、钻床的基础上增加了自动换刀装置和刀库,工件一次装夹后可完成多工序加工,自动化程度高。

多坐标数控机床:坐标轴大于 3,能加工高表面质量复杂形状零件。如螺旋桨、飞机曲面零件的加工等,需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需曲面要求,于是出现了多坐

标的数控机床。其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,其坐标轴数通常取决于加工零件的技术要求。现在常用多坐标数控机床有 4、5、6 坐标联动的数控机床,其 X、Y、Z 三个坐标与转台的回转、刀具的摆动可以同时联动,以加工螺旋桨等复杂零件。多坐标数控机床如图 1.7 所示。

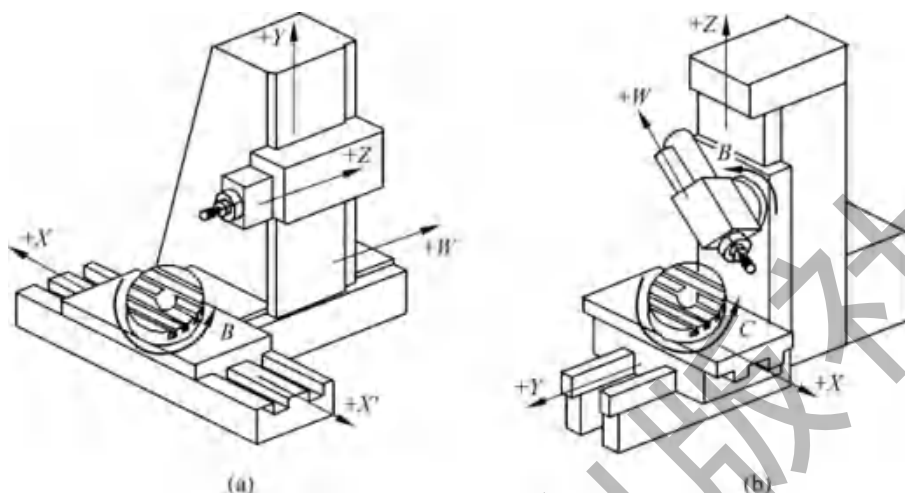


图 1.7 多坐标数控机床
(a) 卧式镗铣床; (b) 六轴加工中心

2) 按照功能方向分

数控金属切削机床: 数控铣床、数控车床等。

数控金属成形机床: 数控金属折弯机等。

数控特种加工机床: 数控电火花成形机床、数控线切割机床等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

开环控制数控机床: 该机床无位置反馈检测装置,其伺服电动机一般采用步进电动机,加工精度不是很高但控制很方便。开环控制系统如图 1.8 所示。

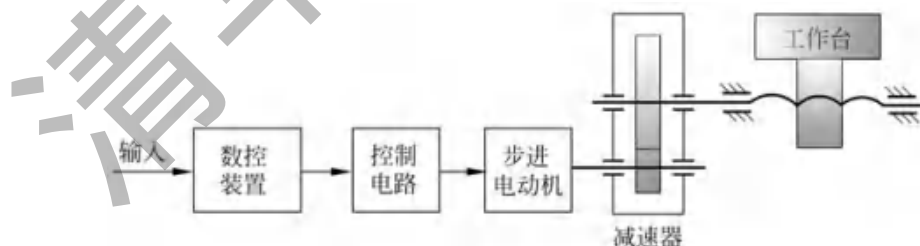


图 1.8 开环控制系统框图

闭环控制数控机床: 该类机床有位置反馈检测装置和位置比较电路,位置反馈检测装置安装在工作台导轨上,能实时检测机床工作台的实际位置,并能把检测得到的位置信息反馈回数控装置,数控装置再将程序指定的理论位置与实际位置进行比较,实现机床的闭环控制工作。因此,该类机床的加工精度很高。但是该类机床的反馈信息考虑了丝杠等的影响,所以稳定性较差、系统较复杂、调试难度大。闭环控制系统如图 1.9 所示。

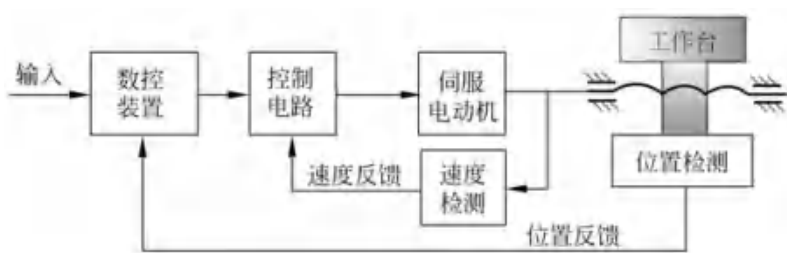


图 1.9 闭环控制系统框图

半闭环控制数控机床：该类机床的位置反馈检测装置一般装在伺服电动机上，通过实时检测伺服电动机的转速和转数来间接反映机床的位置信息，并反馈到 CNC 装置中，因此常称为半闭环。该类机床把丝杠等的影响考虑在反馈之外，因此，稳定性较好、调试较方便，但控制精度较低。半闭环控制系统如图 1.10 所示。

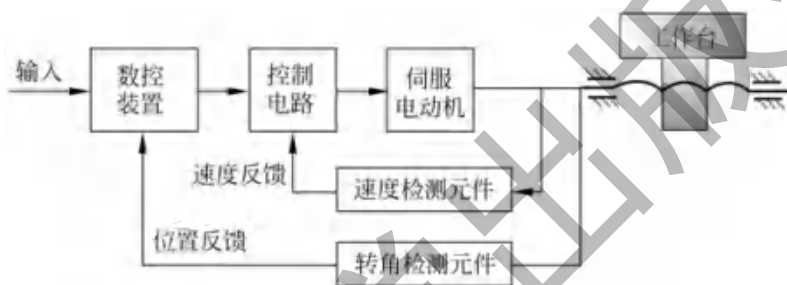


图 1.10 半闭环控制系统框图

4. 按数控装置分类

按数控装置分，数控机床可分为硬件数控机床和软件控制数控机床。硬件数控机床速度快，但功能扩展性和灵活性差；软件控制数控机床主要功能由软件实现，性能好，软件模块化，便于扩展。

1.3.2 数控机床的特点

简单来说，数控机床具有以下特点：

- (1) 采用了高性能的主轴及伺服传动系统，机械结构得到简化，传动链较短；
- (2) 为了可靠地实现连续性自动化加工，机械结构具有较高的动态刚度及耐磨性，热变形小；
- (3) 更多地采用高效率、高精度的传动部件，如滚珠丝杠、直线滚动导轨等；
- (4) 加工中心带有刀库、自动换刀装置；
- (5) 广泛采用各种辅助装置，如冷却、排屑、防护、润滑、储运等装置。

1. 优势

(1) 具有复杂形状加工能力 复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位，其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任

意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

(2) 高质量 数控加工是用数字程序控制实现自动加工的,排除了人为误差因素,且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。因此,采用数控加工可以提高零件加工精度和产品质量。

(3) 高效率 与采用普通机床加工相比,采用数控加工一般可提高生产率2~3倍,在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是加工中心和柔性制造单元等设备,零件一次装夹后能完成几乎所有表面的加工,不仅可消除多次装夹引起的定位误差,还可大大减少加工辅助操作,使加工效率进一步提高。

(4) 高柔性 只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工,且几乎不需要制造专用工装夹具,因而加工柔性好,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件 数控加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者不需要进行繁重的重复手工操作,劳动强度和紧张程度大为降低,劳动条件也相应得到改善。

(6) 有利于生产管理 数控加工可预先精确估计加工时间,可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期且易于在工厂或车间实行计算机信息化管理。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程连为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(computer aided process planning, CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,易于实现现代化的生产管理。

2. 缺点

数控机床价格昂贵,维修较难。数控机床是一种高度自动化的机床,必须配有数控装置或电子计算机,这些电子产品对工作环境的温度、湿度、灰尘等有一定要求;因机床加工精度受切削用量大、连续加工发热多等影响,使其设计要求比通用机床更严格,制造要求更精密,因此数控机床的制造成本较高。此外,由于数控机床的控制系统比较复杂,一些元件、部件精密度较高,以及一些进口机床的技术开发受到条件的限制,所以对数控机床的调试和维修都比较困难。

1.3.3 数控机床的应用

经过多年的发展,已形成种类繁多的CNC系统,应用范围也日益广泛,主要应用于:

- (1) 金属切削,比如数控车、铣床;
- (2) 金属成形,比如数控折弯机;
- (3) 特种加工,比如数控电火花成形、线切割机床;
- (4) 其他类型。

数控机床行业属于技术密集、资金密集、人才密集的产业,数控机床的上游行业主要有钢铁生产、数控系统、机械配件制造、电子元器件等,上游材料价格的波动对数控机床行业具有较强的关联性。若上游材料价格上涨,则将相应提高机床行业的生产成本,但由于下游需求行业广泛,数控机床行业具有较强的定价能力,转移价格上涨的能力较强。数控机床产业链如图1.11所示。



图 1.11 数控机床产业链

1.4 数控机床的产生与发展

1.4.1 数控机床的产生

在汽车、拖拉机等大量生产的工业部门中,大都采用自动机床、组合机床和自动线。但这种设备的第一次投资费用大,生产准备时间长,这与改型频繁、精度要求高、零件形状复杂的舰船和宇航以及其他国防工业的要求不相适应。如果采用仿形机床,则要制造靠模,不仅生产周期长,精度亦受限制。

第二次世界大战以后,美国为了加速飞机工业的发展,要求革新一种样板加工的设备。1948年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓检查用样板的机床时,提出了数控机床的初始设想。1952年,美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。60多年以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。归结起来,数控机床的发展至今已经历了两个阶段和七代。

1.4.2 数控机床的发展历程

数控机床伴随着电子、信息技术的发展,经历了硬件数控阶段和计算机数控阶段。

1. 硬件数控阶段

1952年,麻省理工学院研制的三坐标联动,插补运算采用脉冲乘法器的数控系统为第一代数控机床。

1959年,晶体管以其体积小,性能稳定取代以前的电子管,晶体管数控机床为第二代。

1959年3月,美国 Keane Y & Trecker Corp. 公司发明了带有自动换刀装置和刀库的数控机床,称为加工中心。

1965年,集成电路的出现,大大缩小了电路的体积,并且功耗低、可靠性高,集成电路数控机床为第三代数控机床。

2. 计算机数控阶段

1970年,小型计算机取代硬件逻辑控制电路,小型计算机控制的数控机床为第四代数

控机床。

1974年前后,美国 Intel 公司开发和使用微处理器,微处理器数控机床为第五代数控机床。

1990年后,基于 PC 的数控机床为第六代数控机床。

2015年左右,与 5G 技术、工业机器人融合集成的数控机床算得上是第七代数控机床。

1.4.3 数控机床的发展趋势

随着计算机技术的发展,数控技术不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术成就,使其朝着下述方向发展。

1. 加工高速化、高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标,目前,纳米控制已成为数控加工的主流,直接关系到产品的加工效率和质量。但是速度和精度这两项技术指标是相互制约的,当位移速度要求越高时,定位精度就越难得到保证。

1) 加工高速化

加工高速化要求对系统硬件作出相当的配置:如采用高速 CPU 芯片;主轴要求高速化,采用电主轴;采用全数字交流伺服;机床动、静态性能的改善。

现代数控系统其位移分辨率与进给速度的对应关系是:在分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 时,快进速度达 240 m/min ;在分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 时,快进速度达 24 m/min ;在分辨率为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 时,快进速度达 $400\sim 800\text{ mm/min}$ 。

目前直线电动机驱动的主轴转速可达 $15\,000\sim 100\,000\text{ r/min}$,工作台快进速度可达 $60\sim 200\text{ m/min}$,加工切削进给速度高于 60 m/min ,最高加速度可达 10 g 。DMG 公司的 DMC 165 机床最高转速可达 $30\,000\text{ r/min}$,最大快进速度可达 90 m/min ,加速度可达 2 g ;沈阳机床科技集团有限责任公司与国外联合设计的高速强力主轴,最高转速可达 $70\,000\text{ r/min}$;北京精雕科技集团有限公司自主研发的 JDVT600_A12S 高速钻铣中心和 JDLVM400P 高光加工机,主轴最高转速分别可达 $20\,000\text{ r/min}$ 和 $36\,000\text{ r/min}$,且运行平稳,加工出的高光产品表面粗糙度 R_a 可达 20 nm 。

2) 加工高精度化

保证精度或提高精度可采取如下措施:提高机械的制造和装配精度;采用高速插补技术,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化;采用高分辨率位置检测装置,提高位置检测精度(日本交流伺服电动机已有装上 $1\,000\,000$ 脉冲/转的内藏位置检测器,其位置检测精度能达到 $0.01\text{ }\mu\text{m/脉冲}$);位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法;采用反向间隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术;采用设备的热变形误差补偿和空间误差的综合补偿技术。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 $60\%\sim 80\%$ 。

2010年以来,机床加工精度发展较快,普通数控机床和精密加工中心的加工精度分别从当初的 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 提高到现在的 $5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1\sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$,超精密加工的精度则已进入纳米级。

2. 控制智能化

随着人工智能技术的不断发展,为满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求,数控技术智能化程度不断提高。发展智能加工的目的是要解决加工过程中众多结果不确定的、要求人工干预的操作。其最终目标是用计算机取代或延伸加工过程中人的参与,实现加工过程中监测、决策与控制的自动化。体现在以下几个方面。

(1) 加工过程自适应控制技术:通过监测主轴和进给电动机的功率、电流、电压等信息,辨识出刀具的受力、磨损及破损状态以及机床加工的稳定性状态,并实时修调加工参数(主轴转速、进给速度)和加工指令,使设备处于最佳运行状态,以提高加工精度、降低工件表面粗糙度,以及保证设备运行的安全性。

(2) 加工参数的智能优化:将零件加工的一般规律、特殊工艺经验,用现代智能方法,构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择”,获得优化的加工参数,提高编程效率和加工工艺水平,缩短生产准备时间,使加工系统始终处于较合理和较经济的工作状态。

(3) 智能化交流伺服驱动装置:自动识别负载、自动调整控制参数,包括智能主轴和智能化进给伺服装置,使驱动系统获得最佳运行。

(4) 智能故障诊断技术:根据已有的故障信息,应用现代智能方法,实现故障快速准确定位。

(5) 智能故障自修复技术:根据诊断故障原因和部位,以自动排除故障或指导故障的排除技术。集故障自诊断、自排除、自恢复、自调节于一体,贯穿于全生命周期。智能故障诊断技术在有些数控系统中已有应用,智能化自修复技术还在研究之中。

3. 数控系统的开放化

1) 传统数控系统的特点

- (1) 由生产厂家支配价格和结构,各种接口不能通用。
- (2) 功能集成停止在微电子技术的应用上,而不是针对开放式的生产环境和功能。
- (3) 对于不同的产品,操作、维护方法都必须进行相应的培训。
- (4) 对于使用者,控制器成为“黑盒子”无法自行修改更新。

由于传统数控系统的局限性,为满足现代化生产的要求,数控系统需要具有以下特点。

- (1) 开放性:可重构性、可维护性、允许用户进行二次开发。
- (2) 模块化:具有平台无关性。
- (3) 接口协议:可传递性、可移植性。
- (4) 可进化性:智能化。
- (5) 语言统一化:中性语言 NML、FADL、OSEL。

2) 开放式数控系统的概念

数控系统可以在统一的运行平台上开发,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁数控功能,方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,形成具有鲜明特色的产品。

开放式数控系统的优点:

- (1) 品种减少、批量增加,易于满足用户要求;

- (2) 开放式的标准框架,促进各行业的软件厂商参与;
- (3) 软件开发效率提高,产品更新加快;
- (4) 可使整机具有个性化,降低开发成本;
- (5) 减少对系统提供商的依赖,保护自己的专有技术;
- (6) 购买机床时的初期成本透明化;
- (7) 能实现用户自身独特的 FA 系统设计;
- (8) 用户界面的一致性,易于使用和培训。

3) 开放式数控研究状况

美国在 20 世纪 90 年代初提出了开发下一代控制器(next generation controller,NGC)的计划,以后又提出了 OMAC(open modular architecture control)计划,重点开发以 PC 为平台的开放式模块化控制器。

欧洲也在 20 世纪 90 年代初开始 OSACA(open system architecture for controls within automation system)计划,目标是研制出开放式控制系统的体系结构。

由于技术等方面的限制,要在短期内完全实现这种理想的开放式数控系统,还有不少困难。目前开放式数控的一个具体表现就是发展基于 PC 的数控系统。数控系统的 PC 化正成为开放式数控系统一个潮流,代表了 CNC 发展的主要方向。

基于 PC 的开放式数控系统基本有三种结构形式:PC 嵌入 CNC 型、CNC 嵌入 PC 型和全软件 CNC 型。

4. 并联机床

并联机床相对于传统机床的优越性如下。

(1) 机床结构技术上的突破性进展当属 20 世纪 90 年代中期间世的并联机床。与传统机床相比,其在传动原理、结构和布局上有较大的突破。并联机床是机器人技术、机床结构技术、现代伺服驱动技术和数控技术相结合的产物,被称为“21 世纪的机床”。并联机床相对于传统机床,其控制更加灵活,由于是并联结构,可避免悬臂部件产生的大弯矩和扭矩对机床的影响。

(2) 传统机床基本上都是遵循笛卡儿直角坐标系的运动原理设计制造出来,其结构为串联结构,存在悬臂部件,承受很大弯矩和扭矩,不容易获得高的结构刚度。另外,传统机床组成环节多,结构复杂,形成误差叠加,限制了加工精度和速度的提高。

并联机床如图 1.12 所示。

5. STEP-NC

1) 目前 CNC 系统的局限

数控代码只定义了机床的运动和动作,不包含尺寸公差、精度要求、表面粗糙度等大量信息。生成 G 代码的过程单向不可逆,在加工车间做出的修改无法反馈到设计部门。

各厂商开发的宏和扩展 EIA 代码,使系统间语言不具通用性,对 G、M 代码的解释也不尽相同,不支持 5 轴铣、样条数据、高速切削等功能。

2) STEP-NC 的出现

STEP (standard for the exchange of product model data)即产品模型数据转换标准。

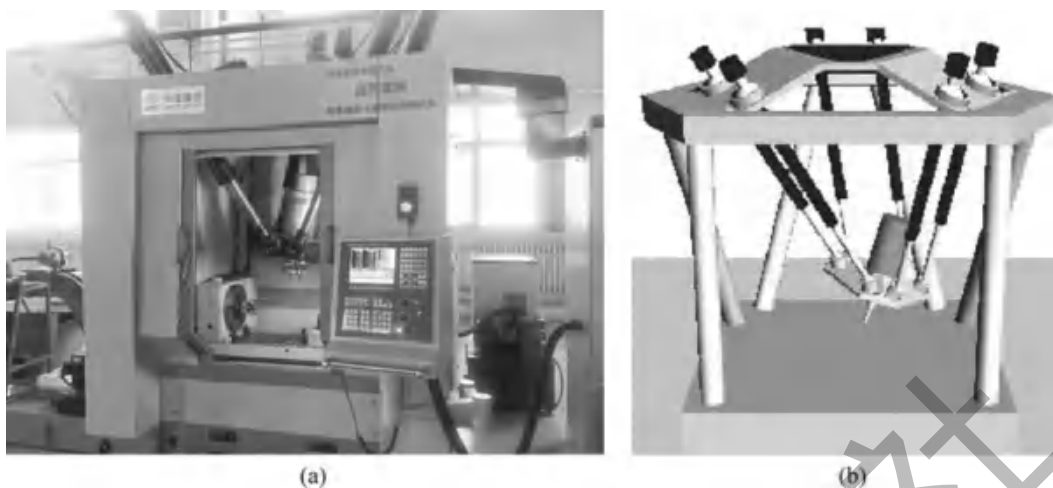


图 1.12 并联机床

(a) 并联机床实物图; (b) 并联机床的并联结构示意图

STEP-NC 是 STEP 向数控领域的扩展,它在 STEP 的基础上以面向对象的形式将产品的设计信息与制造信息联系起来,抛弃了传统数控程序中直接对坐标轴和刀具动作进行编码的做法,采用了新的数据格式和面向特征的编程原则。

6. 数控机床与工业机器人融合集成

借助智能化车间布置和 ERP 系统,将多台数控机床多台机器人及辅助设备进行联网,按节拍进行工作。信息管理系统的数据库可以通过网关与各种外部的信息系统进行接口。将车间接入 ERP 系统,查询车间生产状态,实现企业资源的高效配置。这将给传统生产方式带来革新。

数控机床与工业机器人集成如图 1.13 所示。



图 1.13 数控机床与工业机器人集成

(a) 数控铣床与搬运机器人融合技术; (b) 数控车床与焊接机器人融合技术

7. 数控机床+5G

5G 技术改变的不仅仅是市场需求,也给工厂设备之间的依存关系和连接模式带来新变化。