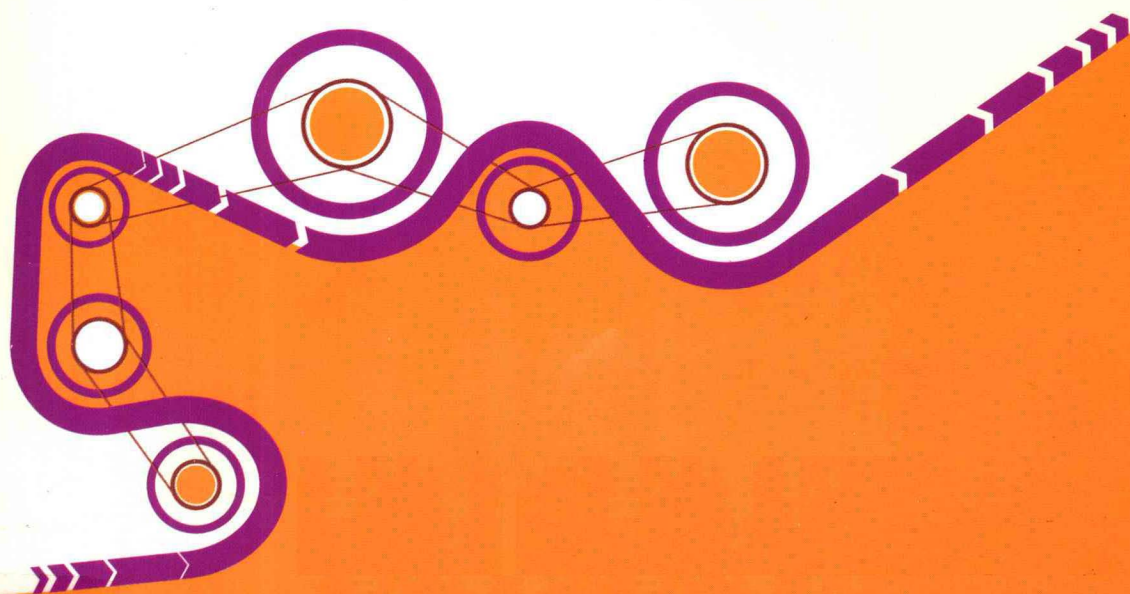


高职高专机电类工学结合模式教材

数控原理与系统参数

陈明方 编著

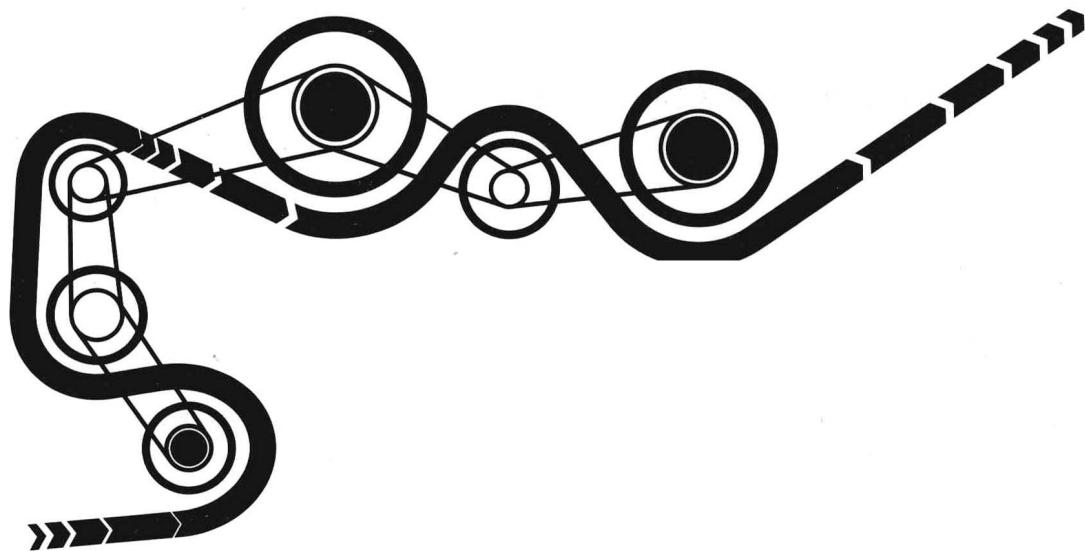


清华大学出版社

高职高专机电类工学结合模式教材

数控原理与系统参数

陈明方 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书重点介绍了数控原理与维修技术核心知识与技能,按照学习的渐进性先后安排了数控机床认识入门;数控系统及其基本接线;机床回参考点;系统初始化与参数调试;输入/输出信号的使用;进给驱动单元的调试与应用;主轴变频器的调试与应用;检测装置的安装与调试;电动刀架的控制;机床误差补偿;数控系统的数据传输;故障设置、诊断与维修 12 个项目。为了帮助初学者更好地掌握数控原理的基础知识,每个单元后都附有知识强化与测评供参考训练使用。

本书力求体现高等职业教育的特色,以培养动手能力为主线,理论与实际相结合,内容浅显、易懂、实用。

本书可作为高职高专院校机电一体化技术、电气自动化技术、数控技术及相关专业的教学用书;也可作为各层次相关专业的继续教育工程的数控培训教材;还可供工厂企业有关工程技术人员参考使用。

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

数控原理与系统参数/陈明方编著. —北京:清华大学出版社,2011.3

(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-24331-1

I. ①数… II. ①陈… III. ①数控机床—数控系统—参数—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 256801 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:李 梅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19 字 数:492 千字

版 次:2011 年 3 月第 1 版 印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:33.00 元



数控技术是现代制造技术的基础。数控机床替代普通机床,从而使制造业发生了根本性的变化,并带来了巨大的经济效益。数控技术的水准和普及程度,已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。随着数控化率的逐年提高,数控机床的维修问题就显得尤为突出。

基于工作过程的课程开发是高职院校教学改革的核心内容。本书按照这种思想,依据项目引导、任务驱动的教学方法,结合作者多年的数控技术教学和从事数控改造项目的工程实践经验,设计安排内容结构,突出培养数控机床维修与改造的设计及调试能力。教材力求通过针对性较强的项目实例,来培养和训练学生的动手能力,达到理论浅显、通俗易懂、实用性强的目的。

结合目前生产实际应用以及高职高专典型的教学实训设备,本书筛选了三种数控系统(HNC-21、SIEMENS 802C 和 FANUC 0i),以及相对应的三种数控维修实训设备(HED-21S 数控维修综合实训台、THWZDC-1 型四合一数控维修实训台和 SUNRISE 0i Mate 数控维修实训台)来训练学员。全书共分 13 个项目,项目 1 为数控机床认识入门;项目 2 介绍并训练数控系统及其基本接线;项目 3 介绍并训练机床回参考点操作;项目 4 介绍并训练数控系统的初始化与参数调试;项目 5 介绍并训练输入/输出信号的使用;项目 6 介绍并训练进给驱动单元的调试与应用;项目 7 介绍并训练主轴变频器的调试与应用;项目 8 介绍并训练检测装置的安装与调试;项目 9 介绍并训练电动刀架的控制;项目 10 介绍并训练机床误差补偿的操作;项目 11 介绍并训练数控系统的数据传输操作;项目 12 综合训练数控机床典型故障的设置、诊断与维修能力。

本书由沈阳职业技术学院陈明方编著,本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。

沈阳职业技术学院机械工程系李超教授,电气工程系侯伯民副教授,沈阳斯特瑞莱科技开发有限公司的总经理韩刚先生对本书提出了许多宝贵的建设性意见,在此表示诚挚的谢意。同时,对沈阳职业技术学院所有使用过本书初稿(讲义)的师生表示感谢。

由于时间和编者水平的限制,书中的疏漏和不足之处在所难免,热诚欢迎广大读者提出批评与建议。

★ 本书配有电子教案,有需要的教师可与出版社联系。

作 者

2010.8

项目1 数控机床认识入门	1
1.1 知识点与技能点	1
1.2 项目分析	1
1.3 必备知识	1
1.3.1 数控原理与故障维修课程开设的意义	1
1.3.2 数控技术的发展历史	3
1.3.3 数控机床的原理与应用	5
1.3.4 数控机床的分类	8
1.3.5 数控机床的主要指标	13
1.4 项目实施步骤：HED-21S 数控系统综合实验台的认识与操作	18
1.5 项目拓展	25
1.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训台的 CNC 面板操作	25
1.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修实训台的 CNC 面板操作	28
项目2 数控系统及其基本接线	31
2.1 知识点与技能点	31
2.2 项目分析	31
2.3 必备知识	31
2.3.1 数控系统的基本原理	31
2.3.2 数控系统的硬件	41
2.3.3 数控系统的软件	44
2.3.4 数控机床中的 PLC	46
2.3.5 数据处理	47
2.3.6 插补原理及插补方法	52
2.3.7 逐点比较法	54
2.3.8 数字积分法	59
2.3.9 数据采样插补法	64
2.4 项目实施步骤：HED-21S 数控维修综合实验台的连线	66
2.5 项目拓展	68
2.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训装置的系统接线	68
2.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修实训装置的系统接线	72

项目3 机床回参考点	74
3.1 知识点与技能点	74
3.2 项目分析	74
3.3 必备知识	74
3.3.1 数控机床坐标及运动方向的规定	74
3.3.2 数控机床相关坐标及参考点	76
3.3.3 数控机床回参考点控制原理	77
3.4 项目实施步骤：HED-21S 数控维修综合实验台的回参考点操作	79
3.5 项目拓展	80
3.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训装置的回参考点操作	80
3.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修装置的回参考点操作	81
项目4 系统初始化与参数调试	82
4.1 知识点与技能点	82
4.2 项目分析	82
4.3 必备知识	82
4.3.1 HNC-21T/M 参数设置与调试	82
4.3.2 SIEMENS 802C 系统初始化与参数调试	99
4.3.3 FANUC Oi 参数设置与调试	102
4.4 项目实施步骤：HED-21S 数控维修综合实验台的参数设置	103
4.5 项目拓展	106
4.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训装置的参数设置	106
4.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修实训装置的参数设置	109
项目5 输入/输出信号的使用	111
5.1 知识点与技能点	111
5.2 项目分析	111
5.3 必备知识	111
5.3.1 HED-21S 数控维修综合实验台的数字量输入/输出	111
5.3.2 THWZDC-1 型数控维修实训装置的输入/输出信号	125
5.3.3 SUNRISE Oi mate 数控维修实训装置的输入/输出接口	127
5.4 项目实施步骤：THWZDC-1 型数控维修实训装置输入/输出信号的使用	130
项目6 进给驱动单元的调试与应用	131
6.1 知识点与技能点	131
6.2 项目分析	131
6.3 必备知识	131
6.3.1 伺服系统概述	131
6.3.2 步进电动机及其控制	136
6.3.3 伺服电动机及其控制	144

6.3.4 数控机床对进给传动系统的要求	154
6.4 项目实施步骤：HED-21S 数控维修综合实验台的进给驱动系统调试	154
6.4.1 步进电动机调试及故障设置(M535)	154
6.4.2 交流伺服系统调整及使用(SANYO PZ0A030A1B1P00)	158
6.5 项目拓展	162
6.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训装置的伺服系统调试(TSB07301C 伺服驱动器)	162
6.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修实训装置的伺服系统调试(FANUC β i 伺服驱动器)	166
项目7 主轴变频器的调试与应用	170
7.1 知识点与技能点	170
7.2 项目分析	170
7.3 必备知识	170
7.3.1 普通主轴的控制	171
7.3.2 交流主轴驱动装置的特性	175
7.3.3 主轴驱动装置的选型	176
7.3.4 数控机床主传动系统的要求与特点	177
7.4 项目实施步骤：HED-21S 数控维修综合实验台的主轴变频器调试	182
7.5 项目拓展	186
7.5.1 THWZDC-1 型数控维修实训台主轴变频器的调试与应用	186
7.5.2 SUNRISE Oi mate 数控维修实训台主轴变频调试	189
项目8 检测装置的安装与调试	194
8.1 知识点与技能点	194
8.2 项目分析	194
8.3 必备知识	194
8.3.1 数控机床检测装置的功能与分类	194
8.3.2 编码器	196
8.3.3 光栅	200
8.3.4 磁栅	204
8.3.5 感应同步器	207
8.3.6 旋转变压器	211
8.3.7 测速发电机	213
8.3.8 激光在机床位置检测上的应用	213
8.4 项目实施步骤：SUNRISE Oi mate 数控维修实训台主轴编码器的安装与故障诊断	215
项目9 电动刀架的控制	218
9.1 知识点与技能点	218
9.2 项目分析	218

9.3	必备知识	218
9.3.1	ATC 刀具自动换刀装置概述	218
9.3.2	刀库类型及容量	219
9.3.3	LD4B 型自动换刀装置	220
9.3.4	SUNRISE 0i mate 数控维修实训台四工位电动刀架	222
9.3.5	刀架、刀库及换刀常见故障	224
9.4	项目实施步骤: THWZDC-1 型数控维修实训台六工位电动刀架	227
9.5	项目拓展: SUNRISE 0i mate 数控维修实训台四工位电动刀架	228
项目 10	机床误差补偿	229
10.1	知识点与技能点	229
10.2	项目分析	229
10.3	必备知识	229
10.3.1	反向间隙误差补偿	229
10.3.2	螺距误差补偿	230
10.3.3	轴补偿参数的设置	232
10.4	项目实施步骤	234
10.5	项目拓展: SUNRISE 0i mate 数控维修实训台丝杠螺距误差补偿实验	239
项目 11	数控系统的数据传输	241
11.1	知识点与技能点	241
11.2	项目分析	241
11.3	必备知识	241
11.3.1	HNC-21 数控系统的数据传输	241
11.3.2	SIEMENS 802C 数控系统的数据传输	245
11.3.3	FANUC 0i-CNC 与 PC 间的数据传输	247
11.4	项目实施步骤: THWZDC-1 型数控维修实训台的数据传输与备份	251
11.5	项目拓展: SUNRISE 0i mate 数控维修实训台的数据传输与备份	254
项目 12	故障设置、诊断与维修	256
12.1	知识点与技能点	256
12.2	项目分析	256
12.3	必备知识	256
12.3.1	数控机床故障发生的原因	256
12.3.2	数控机床的故障规律	257
12.3.3	数控机床故障诊断的步骤及方法	257
12.4	项目实施步骤: THWZDC-1 型数控维修实训台故障设置、诊断与维修	262
12.5	项目拓展: SUNRISE 0i mate 故障模拟与诊断	264
附录 A	知识强化与测评	266
A.1	《数控机床认识入门》知识强化与测评	266

A. 2 《数控系统及其基本接线—数控系统》知识强化与测评	267
A. 3 《数控系统及其基本接线—数据处理与插补》知识强化与测评	269
A. 4 《进给驱动单元的调试与应用》知识强化与测评	271
A. 5 《主轴变频器的调试与应用》知识强化与测评	273
A. 6 《检测装置的安装与调试》知识强化与测评	275
A. 7 其他项目知识强化与测评	278
附录 B HED-21S 数控系统综合实验台的电气原理图	281
附录 C 标准数控车床的机械结构示意图	292
参考文献	293



数控机床认识入门

1.1 知识点与技能点

1. 认识数控机床的各个组成部件名称。
2. 了解数控机床各个组成部件的主要功能。
3. 熟悉数控机床的面板操作。

1.2 项目分析

在开始本课程之前,应明确课程开设的意义,了解数控技术的发展以及常见数控机床的种类,理解数控机床的基本原理和数控机床的主要技术指标的含义。

学习数控原理时,应先认识数控机床,熟悉数控机床的基本组成部分,并清楚每一部件的基本功能。在此基础上,进一步了解每一基本组成部分的元件构成,并清楚各个元器件的功能。除此以外,还应该熟悉数控机床(CNC)面板的常规操作。

针对上述要求,特设计本项目以期达到学习知识点、训练技能点的目的。

注意:目前,市场上的数控系统和厂家虽然名目繁多,但原理基本相同,只是操作和外观略有差别。本项目以市场上主流的数控系统厂家(国内最有代表性的华中数控、广州数控以及沈阳蓝天数控等,国外最有代表性的 SIEMENS、FANUC)为例,分别展开训练。

本书重点训练 HNC-21C/M、SIEMENS 802C、FANUC 0i 三种典型数控实训设备。项目实施部分训练华中数控 HED-21S 数控系统综合实验台(HNC-21),项目拓展部分训练 THWZDC-1 型四合一数控维修实训台(SIEMENS 802C)和 SUNRISE 0i Mate 数控维修实训台(FANUC 0i)。

1.3 必备知识

1.3.1 数控原理与故障维修课程开设的意义

1. 数控人才的来源

从事数控工作的人才一是来自于大学、高职和中职的机电一体化或数控技术应用等专业的毕业生。他们都很年轻,具有不同程度的英语、计算机应用、机械和电气基础理

论知识和一定的动手能力,容易接受新工作岗位的挑战。他们最大的不足就是学校难以提供学习工艺经验的机会,同时,由于学校教育的专业课程分工过窄,难以满足某些企业对加工和维修一体化的复合型人才的要求。

另一个来源就是从企业现有员工中挑选人员参加不同层次的数控技术竞赛培训、短期培训,以适应企业对数控人才的急需。这些人员一般具有企业所需的工艺背景、比较丰富的实践经验,但是他们大部分是传统的机类或电类专业的各级毕业生,知识面相对较窄,特别是对计算机应用技术和计算机数控系统不太了解。

2. 数控人才的需求层次与知识结构

对于数控人才,有以下三个需求层次,所需掌握的知识结构也各不相同。

(1) 蓝领层

数控操作技工,精通机械加工和数控加工工艺知识,熟练掌握数控机床的操作和手工编程,了解自动编程和数控机床的简单维护、维修,适合中职学校组织培养。此类人员市场需求量大,适合作为车间的数控机床操作技工。但由于其知识较单一,其工资待遇不会太高。

(2) 灰领层

① 数控程序员,掌握数控加工工艺知识和数控机床的操作,掌握复杂模具的设计和制造专业知识,熟练掌握三维 CAD/CAM 软件,如 UG、Pro/E 等;熟练掌握数控手工和自动编程技术,适合高职、本科学校组织培养,适合作为工厂设计处和工艺处的数控程序员。此类人员需求量大,尤其在模具行业非常受欢迎,待遇也较高。

② 数控机床维护、维修人员。掌握数控机床的机械结构和机电联调,掌握数控机床的操作与编程,熟悉各种数控系统的特点、软硬件结构、PLC 和参数设置。精通数控机床的机械和电气的调试与维修,适合作为工厂设备处工程技术人员。此类人员需求量相对少一些,但培养此类人员非常不易,知识结构要求很广,适应与数控相关的工作能力强,需要大量实际经验的积累,目前非常缺乏,其待遇也较高。

(3) 金领层

数控通才,具备并精通数控操作技工、数控程序员和数控维护、维修人员所需掌握的综合知识,并在实际工作中积累了大量实践经验,知识面很广,精通数控机床的机械结构设计和数控系统的电气设计,掌握数控机床的机电联调。能自行完成数控系统的选型、数控机床电气系统的设计、安装、调试和维修,能独立完成机床的数控化改造,是企业(特别是民营企业)的抢手人才,其待遇很高,适合本科、高职学校组织培养。但必须提供特殊的实训措施和名师指导等手段,促其成才。适合于担任企业的技术负责人或机床厂数控机床产品开发的机电设计主管。

3. 我国数控维修人员的需求状况

随着电子技术和自动化技术的发展,数控技术的应用越来越广泛。以微处理器为基础,以大规模集成电路为标志的数控设备,已在我国批量生产、大量引进和推广应用,它们给机械制造业的发展创造了条件,并带来很大的效益。但同时,由于它们的先进性、复杂性和智能化高的特点,在维修理论、技术和手段上都发生了飞跃的变化。

数控维修技术不仅是保障正常运行的前提,对数控技术的发展和完善也起到了巨大的推动作用,因此,目前它已经成为一门专门的学科。另外任何一台数控设备都是一种过程控制设备,这就要求它在实时控制的每一时刻都准确无误地工作。任何部分的故障与失效,都会使机床停机,从而造成生产停顿。因对数控系统这样原理复杂、结构精密的装置进行维修就显得十分必要了。尤其对引进的 CNC 机床,大多花费了几十万到上千万美元。在许多行业中,这些设备均处于关键的工作岗位,若在出现故障后不及时维修排除故障,就会造成较大的经济

损失。

数控技术是现代先进制造技术的核心,我国要由制造大国向世界制造强国转变,必须大力发展并普及数控技术。据权威部门调查,世界范围内数控维修的人员需求要大于数控操作人员,尤其是在国内,我国生产的数控机床质量与国外还存在不小的差距。

2003年,教育部、劳动和社会保障部、国防科工委等六部委启动了高技能人才培养计划,在这个计划中,数控技术列在首位。

4. 我国数控维修人员的主要需求领域

(1) 军工企业需要大量数控技术人才

20世纪90年代前,由于我国军工企业整体形势不太景气,军工企业的数控人才向沿海经济发达地区流失严重。由于数控人才匮乏,军工企业数量有限的数控机床也没有最大限度地发挥作用。近年来,国家加大了对军工的投入,军工企业通过技术改造,数控机床的数量和水平得到了较大提高。特别是国防科工委“十五”规划万台设备数控化改造专项实施后,许多机床设备也将进行数控化改造,迫切需要大量的掌握数控技术的各层次人才,数控机床的操作、编程、维护维修人才短缺已成为制约军工制造业快速发展的重要因素之一。

2010年,杭州发电设备厂用6000元月薪招不到数控操作工(引自辽宁省科学技术厅文章“2010年市场对数控人才的需求”)。

(2) 国家装备制造业是数控机床应用大户,也需要大量数控技术人才

这些企业近年来效益较好,任务饱满,但企业技术与设备的更新能力和可持续发展能力不足,无论是数控机床操作人员、数控加工工艺编程人员,还是数控机床的维修人员都很缺乏。在市场经济环境中,大多数国有企业职工的收入偏低,对数控人才吸引力不强,这是造成数控人才普遍缺乏的主要原因。甚至出现个别数控人才的流失,造成企业数控设备停工,给企业造成很大损失。

(3) 沿海经济发达地区的模具制造和汽车零部件制造企业,需要大量数控技术人才

随着非国有经济的飞速发展,我国沿海经济发达地区数控人才更是供不应求,主要集中在模具制造企业和汽车零部件制造企业。大量民营、合资企业和外资企业人员比较精干,更加需要既精通数控加工工艺、编程,又能熟练操作数控机床,同时对数控机床的维护维修也有一定基础的复合型技术人才。

2010年,沿海地区具有数控知识的模具技工的年薪已开到了30万元,超过了博士生(引自辽宁省科学技术厅文章“2010年市场对数控人才的需求”)。

5. 数控维修人员必须具备的基本要求

维修工作开展得好坏首先取决于人员条件,维修工作人员必须具备以下要求:

- 高度的责任心与良好的职业道德。
- 知识面广,掌握计算机技术、模拟与数字电路基础、自动控制与电动机拖动、检测技术及机械加工工艺方面的基础知识与一定的外语水平。
- 经过良好技术培训,掌握数控原理、驱动及PLC的工作原理,懂得CNC编程和编程语言等。
- 熟悉结构,具有实验技能和较强的动手操作能力。
- 掌握各种常用(尤其是现场)的测试仪器、仪表和各种工具。

1.3.2 数控技术的发展历史

数控机床综合应用了自动控制、计算机、微电子、精密测量和机床结构等方面的最新成就。

40 多年来,随着科学技术的发展,机床数控技术亦经历了数代的变化,当前又出现了一些新的发展动向。

1. 数控机床的产生历史

从 1952 年至今,数控机床按照控制机的发展,已经历了两个阶段、六代的发展。

(1) 数控(NC)阶段(1952—1970 年)

早期计算机的运算速度较低,这对当时的科学计算和数据处理影响还不大,但不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路制成一台机床专用计算机作为数控系统,被称为硬件连接数控(Hard—Wired NC),简称为数控(NC)。随着元件的发展,这个阶段经历了三代,即 1952 年第一代——电子管;1959 年第二代——晶体管;1965 年第三代——小规模集成电路。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970 年以后)

1970 年,通用小型计算机业已出现并成批生产,其运算速度比 20 世纪 50、60 年代有了大幅度的提高,而且比逻辑电路专用计算机成本低、可靠性高,于是小型计算机被移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入了计算机数控(CNC)阶段。1971 年,美国 Intel 公司第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器,采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上,成为微处理器(Micro-Processor),又称中央处理单元(简称 CPU)。1974 年,微处理器被应用于数控系统。这是因为小型计算机的功能太强,控制一台机床能力又多余,但不及采用微处理器经济合理,而且当时的小型计算机的可靠性也不理想。虽然早期的微处理器的速度和功能都还不够,但可以通过多处理器结构来解决。因为微处理器是通用计算机的核心部件,故仍称为计算机数控。到了 1990 年,PC(个人计算机,国内习惯称其为微机)的性能已发展到很高的水平,可以满足作为数控系统核心部件的要求,而且 PC 的生产批量很大,价格便宜,可靠性高。数控系统从此进入了基于 PC 的阶段。

总之,计算机数控阶段也经历了三代,即 1970 年第四代——小型计算机;1974 年第五代——微处理器;1990 年第六代——基于 PC(国外称为 PC-Based)。

国内外典型数控系统及著名数控厂家国内有华中科技大学的华中 I 型、中国珠峰数控公司和北京航空航天大学联合攻关的国家“八五”重大科技成果——中华 I 型数控系统和中科院沈阳计算技术研究所的蓝天 I 型;国外有德国的 SIEMENS/Bosh、美国的 A-B(Allen Bradley)、日本的 FANUC/三菱电机等。

2. 数控机床的发展动向

从数控系统的发展来看,数控机床已发展了六代。在实际应用中,除了机床行业之外,数控技术还应用在其他部门,产生了各种数控设备。最初,人们考虑的是在一台设备上如何提高自动化程度。例如,增加控制坐标轴的个数,如多轴数控系统(目前世界上的数控系统,最多控制的轴数是 24 轴)。又如,在一台设备上实现多工序自动控制,“加工中心”就是一台多工序数控机床,在一台机床上,可以实现车、铣、钻、镗、攻螺纹等多种功能。后来,人们发现计算机处理数据的速度比数控设备的加工速度快,利用一台计算机可控制多台数控设备,我们习惯称之为群控系统或直接数控系统(DNC)。

当前,国内外在数控装置、机床结构等的研究与开发方面不断取得成果,其水平和功能也日臻提高和完善,出现了新的发展特点。

从数控系统方面看,未来数控发展方向为:主控机向着多位的微处理机化发展;数控装置向着集成化和智能化的方向发展;数控系统采用模块化结构;数控编程更加图形化和自动化;数控系统更加可靠和宜人化。

在数控机床的结构方面,未来数控发展方向为:驱动装置正向着交流和数字化的方向发展;机床床体部分的设计和制造不断选用新的材料;加工刀具等辅助工具的材料引人注目。

3. 我国数控技术的发展情况

我国从1958年开始研究数控机械加工技术,20世纪60年代针对壁锥、非圆齿轮等复杂形状的工件研制出了数控壁锥铣床、数控非圆齿轮插齿机等设备。

20世纪70年代针对航空工业等加工复杂形状零件的迫切需要,从1973年以来国家组织了数控机床攻关会战,经过3年努力,到1975年已试制生产了40多个品种300多台数控机床。据国家统计局的资料,从1973—1979年,7年内全国累计生产数控机床4108台(其中约3/4以上为数控线切割机床)。从技术水平来说,我国大致已达到国外20世纪60年代后期的技术水平。

为了扬长避短,以解决用户急需,并争取打入国际市场,1980年前后我国采取了暂时从国外(主要是从日本和美国)引进数控装置和伺服驱动系统,为国产主机配套的方针,几年内大见成效。

1981年,我国从日本发那科(FANUC)公司引进了5,7,3等系列的数控系统和直流伺服电动机,直流主轴电动机技术,并在北京机床研究所建立了数控设备厂。当年年底开始验收投产,1982年生产约40套系统,1983年生产约100套系统,1985年生产约400套系统,伺服电动机与主轴电动机也配套生产。这些系统是国外20世纪70年代的主流机型,功能较全,可靠性比较高,这样就使机床行业发展数控机床有了可靠的基础,使我国的主机品种与技术水平都有较大的发展与提高。

1982年,青海第一机床厂生产的XHK754卧式加工中心,长城机床厂生产的CK7815数控车床,北京机床研究所生产的JCS018立式加工中心,上海机床厂生产的H160数控端面外圆磨床等,都能可靠地进行工作,并陆续形成了批量生产。1984年仅机械工业部门就生产数控机床650台,全国当年总产量为1620台,已有少数产品开始进入国际市场,还有几种合作生产的数控机床返销国外。

1985年,我国数控机床的品种已有了新的发展,除了各类数控线切割机床以外,其他各种金属切削机床(如各种规格的立式、卧式加工中心,立式、卧式数控车床,数控铣床,数控磨床等),也都有了极大的发展。新品种总计45种。到1989年底,我国数控机床的可供品种已超过300种,其中数控车床占40%,加工中心占27%。

1984年北京机床研究所研制成功了FMC-1和FMC-2柔性加工单元,之后又开始了柔性制造系统的开发工作,并与日本发那科公司合作,在北京机床研究所内建立了第一条柔性制造系统(JCS-FMC-1型),用于加工直流伺服电动机的轴类、法兰盘类、刷架体类和壳体类的14种零件。

近年来,依靠我国科技人员的努力,已先后研制成功并在北京、长春等地安装使用了FMS。

这一切说明,我国的机床数控技术已经进入了一个新的发展时期。预计在不远的将来,我国将会赶上和超过世界先进国家的水平。

1.3.3 数控机床的原理与应用

1. 数控机床的相关定义

(1) 数字控制(Numerical Control)。简称数控,是利用数字指令对机械动作进行控制的方法。它具有如下特点:可用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确;可进行逻辑、

算术运算,也可以进行复杂的信息处理;可不用修改控制电路或机械结构,通过改变软件来改变信息处理的方式,具有柔性化。

(2) 数控系统(Numerical Control System)。数控系统是指采用数字控制的系统。

(3) 计算机数控系统(Computer Numerical Control)。计算机数控系统是用计算机控制实现数控功能的系统。

(4) 数控机床(Numerical Control Machine Tools)。数控机床是指采用数字形式信息控制的机床。详言之,凡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与工件之间的相对位移量等记录在程序介质上,送入计算机或数控系统经过译码、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一类机床即为数控机床。

(5) 数控技术(Numerical Control Technology)。数控技术是用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术。目前,计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、敏捷制造(AM)和智能制造(IM)等先进制造技术都建立在数控技术的基础上。

(6) 数控加工技术。数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂零件加工的技术,它是指自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。

(7) 计算机辅助设计与制造。简称 CAD/CAM,是以计算机作为主要技术手段,处理各种数字信息与图形信息,辅助完成从产品设计到加工制造整个过程的各项活动。模具 CAD/CAM 技术的主要特点是设计与制造过程的紧密联系——设计制造一体化,其实质是设计和制造的综合计算机化,主要设计和制造加工的是各类模具零件。这类 CAD/CAM 软件典型的有 Master cam、CAXA、I-DEAS、UG、CATIA 等,其中 Master cam、CAXA、Pro/E、UG 等在我国应用较多。

2. 数控机床的特点及其应用

数控机床(见图 1-1)具有普通机床不具备的许多优点,数控机床的应用范围正在不断扩大。但目前它并不能完全代替普通机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。

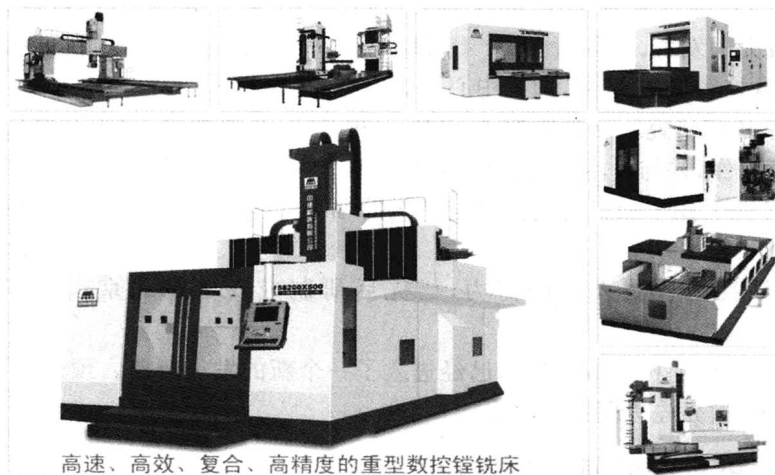


图 1-1 数控机床

(1) 数控机床最适合加工的工件特点

多品种小批量生产的工件;形状结构比较复杂的工件;需要频繁改型的工件;价格昂贵,

不允许报废的关键工件；需要最少周期的急需工件；批量较大，高精度、高要求的工件。

(2) 相对于普通机床，采用数控机床的好处

① 提高加工精度，尤其提高了同批零件加工的一致性，使产品质量稳定。当前的数控装置脉冲当量达到了 0.001mm ，而且运动执行机构的误差（如反向间隙、螺距误差等）均可以通过数控系统的误差补偿计算予以消除。因此，数控机床的加工精度较高，大大适应了高精度的加工要求。

② 提高生产效率，一般约提高效率 $3\sim 5$ 倍，加工中心则可提高生产率 $5\sim 10$ 倍。零件加工所需的时间包括机动时间和加工辅助时间两部分。数控机床的快速移动和停止采用了加、减速措施，提高了运动速度，且保证了定位精度，有效地缩短了加工时间。同时，由于数控机床对市场需求的响应快，生产效率高，使总成本降低，因此可获得良好的经济效益。

③ 可靠性高。衡量可靠性的重要量化指标是平均无故障时间(MTBF)，即一台数控机床在使用中两次故障间隔的平均时间，一般用总工作时间除以总故障次数来计算。目前，世界先进的 CNC 系统的 MTBF 约为 $10000\sim 100000\text{h}$ ，大部分在 $10000\sim 30000\text{h}$ ，而我国的 MTBF 大约等于 1500h 。

④ 可加工形状复杂的零件，减轻了劳动强度，改善了劳动条件。数控机床加工是自动进行的，工件加工过程不需要人工干预，且自动化程度较高，大大改善了操作者的劳动强度。

⑤ 有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，使用了计算机控制方法，为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

但由于数控系统本身的复杂性增加了维修的技术难度和维修费用，因此广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大。考虑上述种种原因，在决定选择数控机床加工时，需要进行科学的技术经济分析，使数控机床发挥最大的经济效益。

3. 数控机床的组成和工作原理

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统、检测装置和机床本体组成。图 1-2 中的实线所示为开环控制的数控机床框图。为了提高机床的加工精度，在上述系统中再加入一个检测装置（即图 1-2 中的虚线部分），这样就构成了闭环控制的数控机床框图。

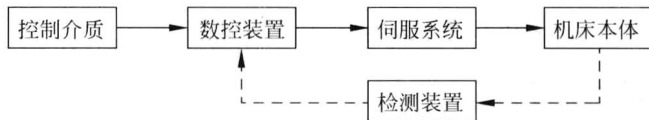


图 1-2 数控机床的组成

开环控制系统的工作过程是将控制机床工作台运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置，数控装置根据这些参量指令计算得出进给脉冲序列（包含上述 4 个参量），然后经伺服系统转换放大，最后控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统，则在输入指令值的同时，反馈检测机床工作台的实际位移值，反馈量与输入量在数控装置中进行比较，若有差值，说明二者之间有误差，则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动。

现将各组成部分简述如下。

(1) 控制介质

数控机床工作时，不需要去摇手柄操作机床，但又要自动地执行人为的意图，这就必须在人和数控机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物称之为控制介质（程序介质、输入介质、信息载体）。

控制介质是用于存取零件加工程序的装置,可将加工程序以特殊的格式和代码存储在载体上,常用的有纸带、磁盘、磁带、硬盘和闪存卡等。由于复杂模具和大型零件的加工程序占用内存空间大与网络 DNC 技术的发展,目前将加工程序的执行方式按数控机床系统的内存空间大小分为两种方式:一种是采用 CNC 方式,即先将加工程序输入机床,然后调出来执行;另一种是采用 DNC 方式,即将机床与计算机连接,机床的内存作为存储缓冲区,加工程序由计算机一边传送,机床一边执行。

(2) 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,在普通数控机床中一般由输入装置、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计算机来完成。

(3) 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为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出符合图样要求的零件。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有功率步进电动机、电液脉冲马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

(4) 检测装置

检测与反馈装置有利于提高数控机床的加工精度。它的作用是将机床导轨和主轴移动的位移量、移动速度等参数检测出来,通过模/数转换变成数字信号,并反馈到数控装置中,数控装置根据反馈回来的信息进行判断并发出相应的指令,纠正所产生的误差。

(5) 机床本体

数控机床中的机床,在开始阶段使用通用机床,只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面作些改变。实践证明:数控机床除由于切削用量大、连续加工发热多等影响工件精度外,由于是自动控制,在加工中不能像在通用机床上那样可以随时由人工进行干预,所以其设计要求比通用机床更严格,制造要求更精密。因而后来在数控机床设计时,采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施,使数控机床的外部造型、整体布局、传动系统以及刀具系统等方面都发生了很大的变化。

1.3.4 数控机床的分类

由于制造业中零件的形状多种多样,而且精度要求高,因此,根据零件的功能和结构的需要选择各种类型的数控机床来适应其加工的需要。

1. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床。主要有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床以及加工中心等。

(2) 金属成形类数控机床。主要有数控折弯机、数控弯管机和数控桩头压力机等。

(3) 数控特种加工机床。主要有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控冲床和数控激光切割机床等。

(4) 其他类型数控机床。主要有数控三坐标测量机等。

2. 按运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制机床的特点是在刀具相对于工件移动过程中,不进行切削加工,它对运动的轨迹没有严格要求,只实现一点到另一点坐标位置的准确移动,几个坐