



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高职高专机电工程类规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JIDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

数控加工工艺 设计与编程(项目式)



hukong Jiagong Gongyi
Sheji Yu Biancheng (Xiangmushi)

■ 阳夏冰 主编

李峰 王焱 任重

副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高职高专机电工程类规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

数控加工工艺 设计与编程(项目式)

■ 阳夏冰 主编

李峰 王焱 任重 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工工艺设计与编程 : 项目式 / 阳夏冰主编

— 北京 : 人民邮电出版社, 2011.9

21世纪高职高专机电工程类规划教材

ISBN 978-7-115-25621-8

I. ①数… II. ①阳… III. ①数控机床—加工—工艺
设计—高等职业教育—教材②数控机床—程序设计—高等
职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第143613号

内 容 提 要

本书以工作过程为导向、典型零件数控加工为工作任务,以华中数控系统 HNC-21 为主、FANUC 和 SIEMENS 数控系统为辅,详细介绍了数控加工工艺设计、程序编制和宇龙、宇航数控仿真软件的操作等内容。本书采用项目教学的方式组织内容,每个项目都来源于企业的典型案例。全书共设 8 个项目,主要内容包括 8 个由简单到复杂的零件数控编程与加工,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、拓展知识和项目检验与评分 5 部分组成,每个项目都配备了自测题。通过学习和训练,读者不仅能够掌握数控编程知识,还能够掌握零件数控加工程序编制的方法,达到中级数控车工、数控铣工和加工中心操作工水平。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、中等职业学校和独立学院数控技术、模具设计与制造、机械制造及自动化、计算机辅助设计与制造和机电一体化等机械类专业的教学用书,也可供相关技术人员参考、学习、培训使用。

工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

21 世纪高职高专机电工程类规划教材

数控加工工艺设计与编程 (项目式)

◆ 主 编 阳夏冰

副 主 编 李 峰 王 燧 任 重

责任编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.25

2011 年 9 月第 1 版

字数: 409 千字

2011 年 9 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-25621-8

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前言

零件的数控加工工艺设计、数控程序编制和数控机床操作工艺,是数控技术高技能人才必须掌握的技能,也是高职机械类专业的一门重要的专业核心课程。

本书以训练学生的数控加工程序编制技能为目标,详细介绍数控加工工艺设计,数控车、铣床的编程指令(华中数控 HNC-21 为主、FANUC 0i 数控系统和 SIEMENS 802C 数控系统为辅),数控仿真软件(宇龙为主、宇航为辅)的操作等内容。

本书采用项目教学的方式组织内容,每个项目都来源于企业的典型案例。全书共设 8 个项目,主要内容包括 8 个由简单到复杂的零件数控编程与加工,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、拓展知识和项目检验与评分 5 部分组成,每个项目都配备了自测题。

在项目导入部分,给出编程任务,即需要进行数控加工程序的零件图及技术条件;在相关知识部分,介绍完成项目时,学生需要学习的数控加工工艺、华中数控系统 HNC-21 编程指令、宇航数控仿真软件等知识;在项目实施部分,介绍完整的数控编程工作过程,即零件工艺性分析、制订数控工艺方案、编制数控技术文档、试加工与优化;在拓展知识部分,介绍 FANUC 0i 数控系统、SIEMENS 802C 数控系统编程指令和宇龙数控仿真软件的操作;在自测题部分,精心筛选了一定数量的习题,供学生检测学习效果。

通过 8 个项目的学习和训练,学生不仅能够掌握数控编程知识,还能够掌握零件数控加工程序的编制方法,达到中级数控车工、数控铣工、加工中心操作工水平。

本书的参考学时为 90 学时,建议采用理论实践一体化教学模式,各章的参考学时见下面的学时分配表。

学时分配表

项 目	课 程 内 容	学 时
	绪论	4
项目一	销轴的数控加工	14
项目二	球形轴的数控加工	12
项目三	螺纹轴的数控加工	10
项目四	椭圆手柄的数控加工	8
项目五	U 形槽的数控加工	12
项目六	凸模板的数控加工	12
项目七	调整板的数控加工	10
项目八	基座的数控加工工艺设计与编程	8
课时总计		90

本书由武汉工业职业技术学院阳夏冰任主编并负责统稿,武汉工业职业技术学院李峰、王

燚和长江工程职业技术学院任重任副主编，武汉工业职业技术学院操成佳、黎显宁和天津市轻工职业技术学校王敏参与编写，其中绪论、项目四和项目八由阳夏冰编写，项目一、项目二、项目三由李峰编写，项目五、项目六、项目七由王燚编写，全书仿真软件的实施由任重编写，王敏提供资料并协助编写，操成佳和黎显宁验证程序。

由于编者水平和经验有限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者批评指正。

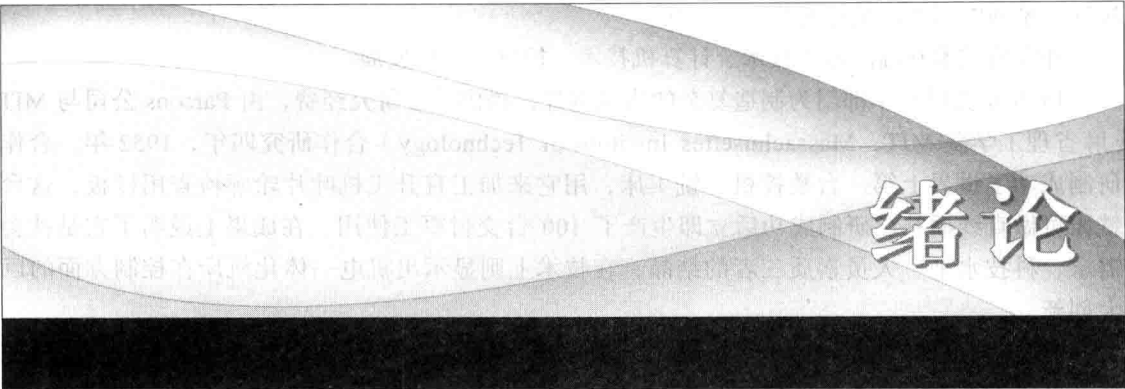
编 者

2011 年 4 月

目 录

绪论	1	四、检验与评分	141
一、数控机床概述	1	五、拓展知识	142
二、数控编程基础	11	小结	143
三、学习内容与方法	25	自测题	144
小结	26	项目五 U形槽的数控加工	146
自测题	26	一、项目导入	146
项目一 销轴的数控加工	29	二、相关知识	146
一、项目导入	29	三、项目实施	164
二、相关知识	30	四、检验与评分	167
三、项目实施	65	五、拓展知识	168
四、检验与评分	71	小结	175
五、知识拓展	71	自测题	176
小结	76	项目六 凸模板的数控加工	179
自测题	76	一、项目导入	179
项目二 球形轴的数控加工	79	二、相关知识	179
一、项目导入	79	三、项目实施	190
二、相关知识	79	四、检验与评分	196
三、项目实施	91	五、拓展知识	196
四、检验与评分	95	小结	198
五、知识拓展	95	自测题	198
小结	100	项目七 调整板的数控加工	202
自测题	100	一、项目导入	202
项目三 螺纹轴的数控加工	103	二、相关知识	202
一、项目导入	103	三、项目实施	214
二、相关知识	104	四、检验与评分	220
三、项目实施	117	五、拓展知识	221
四、检验与评分	122	小结	222
五、知识拓展	123	自测题	222
小结	126	项目八 基座的数控加工工艺设计与编程	226
自测题	127	一、项目导入	226
项目四 椭圆手柄的数控加工	130	二、相关知识	226
一、项目导入	130	三、项目实施	230
二、相关知识	130	四、检验与评分	236
三、项目实施	137	五、拓展知识	236

小结	238	附录 B 数控铣工国家职业标准	246
自测题	239	参考文献	254
附录 A 数控车工国家职业标准	240		



绪论

一、数控机床概述

（一）数控机床的产生与发展

1. 数控机床基本概念

数字控制技术，简称数控（Numerical Control，简称 NC）采用数字化信息实现加工自动化的控制技术。

数字控制机床（Numerical Control Machine Tool，简称 NC 机床）是一种应用数字化信号对控制对象（如机床的运动及其加工过程）进行自动控制的技术，即对加工过程进行控制的机床，或者说是装备了数控系统的机床。

计算机数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tool，简称 CNC 机床）是指装备了计算机数控系统的机床，也称现代数控机床，综合应用了计算机、自动控制、电气传动、精密测量、精密机械制造等技术的最新成果而发展起来的，它采用微处理器作为机床的数控装置，通过编制各种系统软件来实现不同的控制功能和加工功能。

数控机床就是将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、装夹刀具、进刀退刀、自动关停冷却液、程序的启停等）、步骤和工件的形状尺寸用数字化代码表示，然后通过控制介质（磁盘、串口、网络）送入数控装置，数控装置对输入的信息进行处理与运算，发出相应的控制信号，控制机床的伺服系统或其他驱动元件，使机床自动加工出所需要的工件。

2. 数控机床的产生与发展

数控机床的诞生是内因、外因共同作用的结果。

内在动力。零件加工的复杂程度迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备。随着科学技术和社会生产的迅速发展，机械产品日趋复杂，社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。尤其是在航空航天、造船、军工和计算机等工业中，零件精度高、形状复杂、批量小、品种多、加工困难、劳动强度大，传统的机械加工方法已难以保证质量和零件的同一性。为解

决这一问题,数控机床应运而生。

外在的技术基础。电子技术、计算机技术、控制技术的发展。

1948年美国空军部门为制造复杂的飞机零件,提供设备研究经费,由Parsons公司与MIT(麻省理工学院MIT, Massachusetts Institute of Technology)合作研究四年,1952年,合作研制成功了世界上第一台数控机(铣)床,用它来加工直升飞机叶片轮廓检查用样板,这台铣床可做直线插补。研制成功后立即生产了100台交付军工使用。在成果上说明了它是社会需求、科技水平、人员素质三者的结晶,在技术上则显示出机电一体化机床在控制方面的巨大创新。

数控机床为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。半个世纪以来,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。数控机床的发展至今已经历了2个阶段和6个时代。

(1) 数控(NC)阶段(1952—1970年)。早期的计算机运算速度慢,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了3代,即1952年的第1代——电子管数控机床,1959年的第2代——晶体管数控机床,1965年的第3代——集成电路数控机床。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年—现在)。1970年,通用小型计算机已出现并开始成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了3代,即1970年的第4代——小型计算机数控机床,1974年的第5代——微型计算机数控系统,1990年的第6代——基于PC的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每5年就会更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。当今的数控机床已经在机械加工中占有非常重要的地位,是计算机直接数控(DNC, Direct Numerical Control)系统、柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)、计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)、自动化工厂(FA, Factory Automation)的基本组成单位。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

我国从1958年开始研制数控机床,1966年研制成功晶体管数控系统,并将样机应用于生产。1968年成功研制X53K-1立式铣床。20世纪70年代初,加工中心研制成功。1988年FMS通过验收投入运行,用于生产伺服电动机的零件。

近年来,在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,我国对数控机床进行了大量的开发工作。一些高档次的数控系统,如五轴联动的数控系统,为柔性制造单元配套的数控系统陆续开发出来。目前我国数控机床生产已经初步建立了以中、低档为主的产业体系,为今后的发展奠定了基础,与发达国家的差距在不断缩小。

(二) 数控机床的组成与工作原理

1. 数控机床的组成

数控机床一般是由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、机床本体和检测反馈装置组成,

其基本组成框图如图 0-1 所示。

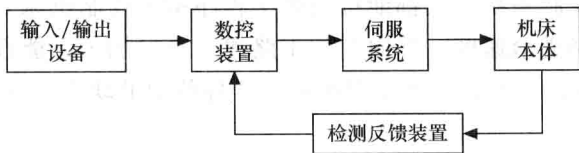


图 0-1 数控机床的组成

(1) 输入/输出设备。输入设备可将不同加工信息传递给计算机。在数控机床产生的初期，输入装置为穿孔纸带，现已趋于淘汰，后来发展成用盒式磁带，再发展成使用键盘、磁盘等，大大减化了信息输入工作，现在用 DNC 网络通讯串行通信的方式输入。

输出指输出内部工作参数（含机床正常、理想工作状态下的原始参数，故障诊断参数等），一般在机床开始工作时需输出这些参数作记录保存，待工作一段时间后，再将输出与原始资料作比较、对照，可帮助判断机床工作是否正常。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富，并能显示图形。操作人员通过显示器获得必要的信息。

(2) 数控装置。数控装置是数控机床的核心，它接受输入装置送来的数字信息，经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行，加工出所需的零件。目前数控装置一般使用多个微处理器，以程序化的软件形式实现控制功能。

(3) 伺服系统。伺服系统是数控机床的执行部分，其作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床的运动，使机床工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量（也叫做最小设定单位），常用的脉冲当量为 0.001mm 。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服系统，伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床的加工精度、表面质量和生产率。伺服系统一般包括驱动装置和执行机构两大部分，常用执行机构有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

(4) 检测反馈装置。检测反馈装置的作用是将机床的实际位置、速度等参数检测出来，转变成电信号，传输给数控装置，通过比较校核机床的实际位置、速度与指定位置、速度是否一致，并由数控装置发出指令修正所产生的误差。目前数控机床上常用的检测反馈装置主要有光栅、磁栅、感应同步器、码盘、旋转变压器、测速发电动机。

(5) 机床本体。数控机床的本体是完成各种切削加工的机械部分，主要包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置。与普通机床相比，数控机床具有更好的刚性和抗振性，相对运动面的摩擦系数小，传动间隙小，所以数控机床的外观、整体结构、传动系统、刀具系统以及操作机构与普通机床有着很大的差异。

2. 数控机床的工作原理

在数控加工中，编程人员首先按照零件图纸的加工技术要求和工艺要求，编写零件的加工程序，并将程序输入到数控装置；数控装置对加工程序进行相应的译码和运算，并将处理结果送到机床各个坐标系的伺服系统；伺服系统接收来自数控装置输出的指令信息并经过功

率放大后，带动机床部件按照规定的轨迹和速度运动，从而使机床自动加工出符合图纸要求的零件。数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速，能自动控制进给速度、方向和加工路线，进行加工，能选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹，能完成加工中所需要的各种辅助动作。数控加工的原理如图 0-2 所示。

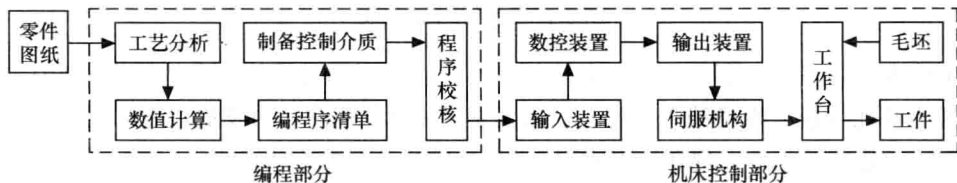


图 0-2 数控加工原理框图

3. 数控机床的工作过程

利用数控机床完成工件加工的过程，如图 0-3 所示，主要包括以下内容。

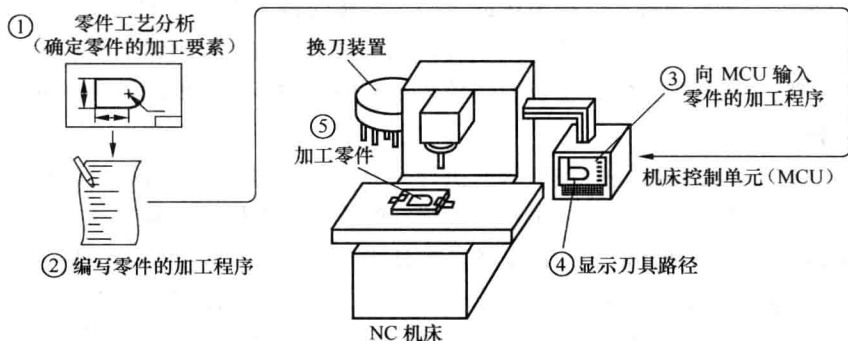


图 0-3 数控机床加工工件的过程

- (1) 根据零件加工图纸进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写数控加工程序单或用自动编程软件直接生成数控加工程序文件。
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元（MCU）。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序进行刀具路径模拟、试运行等。
- (5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成工件的加工。

（三）数控机床的分类

数控机床的种类繁多，根据数控机床的功能和组成的不同，可以从多种角度对数控机床进行分类。

1. 按工艺用途分类

- (1) 金属切削类数控机床。指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机

床。此类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、加工中心等。

(2) 金属成型类数控机床。指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。此类数控机床有数控板料折弯机、数控弯管机、数控冲床等。

(3) 特种加工类数控机床。此类数控机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机、数控激光切割机等。

(4) 其他类数控机床。包括数控三坐标测量仪、数控对刀仪等。

2. 按运动控制方式分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床只要求控制机床的移动部件从某一位置移动到另一位置的准确定位，对于两位置之间的运动轨迹不作严格要求，在移动过程中刀具不进行切削加工，如图 0-4 所示。为了实现既快又准的定位，常采用先快速移动，然后慢速趋近定位点的方法来保证定位精度。

具有点位控制功能的数控机床有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要保证两点之间移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线，因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工，所以对移动的速度也要进行控制，如图 0-5 所示。

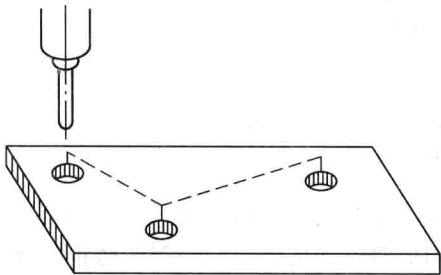


图 0-4 点位控制系统加工

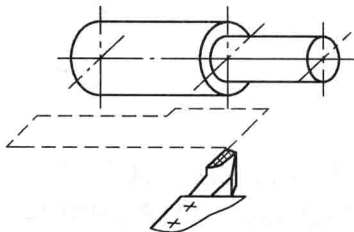


图 0-5 直线控制系统加工

具有直线控制功能的数控机床有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床目前不多见。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制又称连续轨迹控制，能对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制，以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这类数控机床能够对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制，功能齐全，可加工任意形状的曲线或型腔，如图 0-6 所示。

具有轮廓控制功能的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

3. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环控制数控机床。开环控制数控机床不带位置检测反馈装置，采用步进电动机进行驱动。数控装置输出的指令脉冲由驱动电路进行功率放大，并驱动步进电动机转动，再经传动机构带动执行部件运动，如图 0-7 所示。

开环控制数控机床工作比较稳定，反应快，调试维修方便，结构简单，但控制精度低，所以这类数控机床多为经济型数控机床或对旧机床进行数控化改造。

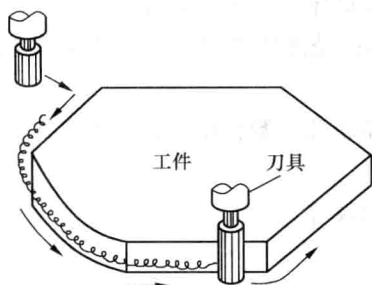


图 0-6 轮廓控制系统加工



图 0-7 开环控制系统框图

（2）闭环控制数控机床。闭环控制机床是在机床移动部件上直接装备位置检测反馈装置，将测量的结果直接反馈到数控装置中，与输入的指令位移进行比较，用偏差进行控制，使移动部件按照实际的要求运动，最终实现精确定位，其原理如图 0-8 所示。它采用伺服电动机驱动。闭环控制数控机床加工精度高，但结构复杂，造价高，调试维修困难。主要适用于精度要求高的数控机床，如精密数控镗铣床、超精密数控车床等。

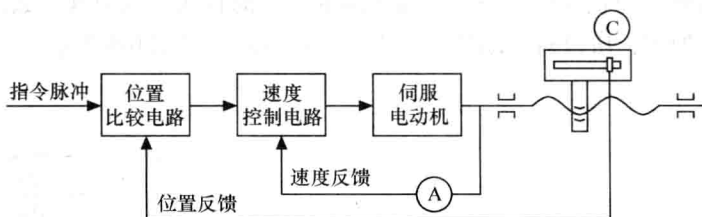


图 0-8 闭环控制系统框图

（3）半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床是在伺服电动机或丝杠端部装有角位移测量装置（如感应同步器和光电编码器等），通过检测伺服电动机或丝杠端部的转角间接地检测移动部件的位移，然后反馈到数控系统中，由于惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内，因而称做半闭环控制系统。

半闭环控制框图如图 0-9 所示。由于半闭环的环路内不包括滚珠丝杠螺母副及工作台，所以具有比较稳定的控制特性，调试比较方便，因而被广泛采用。这种系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中，不能补偿该部分装置的传动误差，所以半闭环伺服系统的加工精度低于闭环伺服系统的加工精度，中档数控机床广泛采用半闭环数控系统。

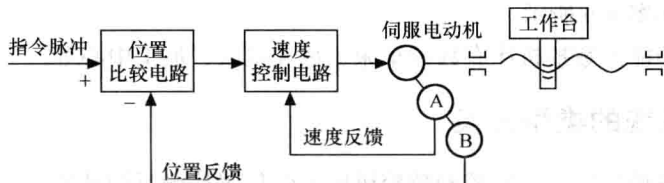


图 0-9 半闭环控制系统框图

4. 按功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平可分为低、中、高三档。这种分类方式，在我国用得很多。

低、中、高档的界限是相对的，不同时期的划分标准有所不同，就目前的发展水平来看，数控系统可以根据表 0-1 的一些功能和指标进行区分。大体可以从以下几个方面区分。

表 0-1 数控系统不同档次的功能及指标表

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率和进给速度	10 μ m, 8~15m/min	1 μ m, 15~24m/min	0.1 μ m, 15~100m/min
伺服进给类型	开环、步进电动机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	5 轴或 5 轴以上
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8bitCPU	16 或 32bitCPU	64bitCPU

我国还有经济型数控的说法。所谓经济型数控，即低档数控系统，是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统以及其他功能简单、价格低廉的数控系统。它主要用于旧机床的改造。

5. 按数控系统分类

目前，数控系统的种类规格很多，在我国，使用比较广泛的有日本 FANUC、德国 SIEMENS 公司的产品，以及国产的广州数控、华中数控系统等。

(1) 日本 FANUC 系列数控系统。0i 系列具有高性价比，整体软件功能包，高速、高精度加工，并具有网络功能。0i—MB/MA 用于加工中心和铣床，四轴四联动；0i—TB/TA 用于车床，四轴两联动；0i—mate MA 用于铣床，三轴三联动；0i—mateTA 用于车床，两轴两联动。CNC16i/18i/21i 系列具有网络功能的超小型、超薄型；控制单元与 LCD 集成于一体，具有网络功能，超高速串行数据通信。其中 FS16i—MB 的插补、位置检测和伺服控制以纳米为单位。CNC 16i 最多可控 8 轴；CNC 18i 最多可控 6 轴；CNC 21i 最多可控四轴，四轴联动。

(2) 德国 SIEMENS 公司的 SINUMERIK 系列数控系统。SINUMERIK 系列数控系统主要有 SINUMERIK3、SINUMERIK8、SINUMERIK810/820、SINUMERIK850/880 和 SINUMERIK840 等产品。

近几年来，SIEMENS 公司又推出了 SINUMERIK802 系列 CNC 系统，有 802S、802C、802D 等型号。802S/C 用于车床、铣床等，可控 3 个进给轴和 1 个主轴；802S 适用于步进电动机驱动；802C 适用于伺服电动机驱动，具有数字 I/O 接口；802D 控制 4 个数字进给轴和 1 个主轴，PLC I/O 模块，具有图形式循环编程，车削、铣削/钻削工艺循环，FRAME（包括移动、旋转和缩放）等功能，为复杂加工任务提供智能控制；810D 用于数字闭环驱动控制，最多可控 6 轴（包括 1 个主轴和 1 个辅助主轴），紧凑型可编程输入/输出；840D 全数字模块化数控设计，用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机，最大可控 31 轴。

(3) 华中数控系统 HNC。HNC 是武汉华中数控研制开发的国产型数控系统。它是我国 863

计划的科研成果在实践中应用的成功项目,已开发和应用的产品有 HNC—1 和 HNC—2000 两个系列,共计 16 种型号。

华中 1 型数控系统。该数控系统有 HNC—1M 铣床、加工中心数控系统, HNC—1T 车床数控系统, HNC—1Y 齿轮加工数控系统, HNC—1P 数字化仿形加工数控系统, HNC—1L 激光加工数控系统, HNC—1G 五轴联动工具磨床数控系统和 HNC—1FP 锻压、冲压加工数控系统, HNC—1ME 多功能小型数控铣系统, HNC—1TE 多功能小型数控车系统和 HNC—1S 高速珩缝机数控系统等。

华中 21 型数控系统。HNC—21 型是在 HNC—1 型数控系统的基础上开发的高档数控系统。该系统采用通用工业 PC, TFT 真彩液晶显示,具有多轴多通道控制功能和内装式 PC,可与多种伺服驱动单元配套使用,具有开放性好,结构紧凑,集成度高,性价比高和操作维护方便等优点。同样,它也有系列派生的数控系统如 HNC—21M、HNC—21T、HNC—21Y、HNC—21L、HNC—21G 等。

此外,国产的数控系统还有广州数控和北京凯恩帝等,它们采用前后台结构,为多机数控系统。

6. 按控制坐标数(轴数)分类

(1) 两坐标数控机床。两坐标数控机床指的是可以同时控制两个坐标轴。

(2) 两轴半坐标数控机床。两个轴是连续控制,第 3 轴是点位或直线控制。可实现 3 个主要轴 X、Y、Z 之间的两维控制,即是通常所说的三轴两联动。

(3) 多坐标数控机床。三轴控制,3 个轴同时插补,实现三维连续控制,刀具在空间可作任意方向的移动,用于加工三维立体形状的零件。

四轴控制,同时控制 3 个坐标轴和 1 个旋转坐标,用于加工叶轮或圆柱凸轮。

五轴控制,3 个坐标再加上转台的回转及刀具的摆动。刀具可在空间任意方向移动,当加工曲面时,刀具可以相对曲面保持一定角度,还可加工圆锥台的外圆周面。此性质决定了五轴控制特别适合于加工蜗轮机叶片、机翼等复杂曲面类零件。

(四) 数控机床的加工特点和应用范围

1. 数控机床加工的特点

数控机床与普通机床相比,具有以下特点。

(1) 适应性强,具有高柔性。适应性即所谓的柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新的零件的加工;而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点,也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

(2) 加工精度高,产品质量稳定。数控机床是按数字形式给出指令并进行加工的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时,采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动当量普遍达到了 0.01~0.000 1mm,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,高档数控机床采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{mm}$ 甚至更高。定位精度在 20 世纪 90 年代初中期已达到 $\pm 0.002\text{mm} \sim \pm 0.005\text{mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术,数控机床可获得比本身精度更高的加工精度。尤其提高了同一批零件生产的一致性,产品合格率高,加工质量稳定。

(3) 自动化程度高,劳动强度低(改善劳动条件)。数控机床加工前调整好后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要是进行程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作,劳动强度极大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁、又安全。

(4) 生产效率高,减少辅助时间和机动时间。零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床结构刚性好,因此允许进行大切削用量的强力切削,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快,工件装夹时间短,刀具可自动更换,辅助时间比一般机床大为减少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更为显著。

(5) 良好的经济效益。数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高。但在单件、小批量生产的情况下,使用数控机床加工可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,降低了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积和建厂投资。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化。使用数控机床加工工件,可预先精确估算出工件的加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已同计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

(7) 价格较贵。数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业渗透形成的机电一体化产品,它涉及机械、信息处理、自动控制、伺服驱动、自动检测、软件技术等许多领域,尤其采用了许多高、新、尖的先进技术,使得数控机床的整体价格较高。

(8) 调试和维修较复杂。由于数控机床结构复杂,所以要求调试与维修人员应经过专门的技术培训,才能胜任此项工作。此外,由于许多零件形状较为复杂,目前数控机床编程又以手工编程为主,所以编程所需时间较长,这样会使机床等待时间变长,导致数控机床的利用率不高。

2. 数控机床的使用特点

(1) 数控机床对操作维修人员的要求。数控机床采用计算机控制,驱动系统具有较高的技术复杂性,机械部分的精度要求也比较高。因此,要求数控机床的操作、维修及管理人员具有

较高的文化水平和综合技术素质。

数控机床的加工是根据程序进行的,零件形状简单时可采用手工编制程序。当零件形状比较复杂时,编程工作量大,手工编程较困难且往往容易出错,因此必须采用计算机自动编程。所以,数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应了解数控机床的结构特点、工作原理非常了解,具有熟练操作计算机的能力,须在程序编制方面进行专门的培训,考核合格才能上机操作。

正确的维护和有效的维修也是使用数控机床的一个重要问题。数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术,要了解数控机床的机械结构,懂得数控机床的电气原理及电子电路,还应比较广泛的机、电、气、液专业知识,这样才能综合分析,判断故障的根源,正确地进行维修,保证数控机床的良好运行状况。因此,数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门的培训。

(2) 数控机床对夹具和刀具的要求。数控机床对夹具的要求比较简单,单件生产时一般采用通用夹具。当批量生产时,为了节省加工工时,应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠,可自动夹紧或松开工件。夹具还应具有良好的排屑、冷却性能。

数控机床的刀具应该具有以下特点。

- ① 具有较高的精度、耐用度,几何尺寸稳定、变化小。
- ② 刀具能实现机外预调和快速换刀,加工高精度孔时要经试切削确定其尺寸。
- ③ 刀具的柄部应满足柄部标准的规定。
- ④ 很好地控制切屑的折断和排出。
- ⑤ 具有良好的冷却性能。

3. 数控机床的应用范围

数控机床具备普通机床所没有的许多优点,但这些优点只有在一定的具体条件下才能得以体现。数控机床的应用范围正在不断扩大,但它并不能完全取代其他类型的机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。根据数控机床自身的特点,它通常最适合加工以下类型的零件。

(1) 结构复杂、精度高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面类零件。

通常数控机床适合于加工结构较为复杂,在普通机床上加工时需要准备复杂、贵重工艺装备的零件。

(2) 多品种小批量生产的零件。零件加工批量大时,选择数控机床加工是不利的,原因之一一是数控机床设备费用昂贵。此外,与大批量生产通常采用的专用机床相比,数控机床的效率还是不够高。数控机床一般适合于单件小批生产加工,并有向中批量发展的趋势。

(3) 需要频繁改型的零件。在军工企业和科研部门,零件频繁改型是司空见惯的事,这就为数控机床提供了用武之地。

(4) 价值昂贵、不允许报废的关键零件。

(5) 希望最短生产周期的急需零件。

目前,在中批量生产甚至大批量生产中已有采用数控机床加工的情况,这种方案就产品直接经济效益而言并非最佳,但其投资风险小,能经受市场的波动与冲击,可以动态地适应市场,实现柔性制造。