21世纪高等职业教育示范专业规划教材

数控系统的安装与调试

张亚萍　顾　军　主编

上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

21 世纪高等职业教育示范专业规划教材

数控系统的安装与调试

主　编　张亚萍　顾　军
副主编　吴　萍　王晓丽　徐少华

上海交通大學出版社

内 容 提 要

本书以法那克和西门子数控系统为例，全面、系统地介绍了数控系统的工作原理，主要功能部件的结构、特点、接口定义及各部件之间的连接，系统参数的设定与调整，PMC 程序设计及应用举例，基本电气元件的结构和选型，电气原理图的识读和绘制，电气手册的使用，电气控制系统的连接和注意事项等内容。本书以数控技术应用为目的，在知识结构上注重基础性和实用性，在内容编排上注重实践性；既可作为工程技术人员和培训班学员的参考用书，也可作为高职高专院校数控技术、电气自动化、机电一体化及其他相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控系统的安装与调试/张亚萍，顾军主编. —上海：上海交通大学出版社，2012
21 世纪高等职业教育示范专业规划教材
ISBN 978-7-313-08575-7

Ⅰ.①数… Ⅱ.①张…②顾… Ⅲ.①数控机床-数控系统-安装-高等职业教育-教材②数控机床-数控系统-调试-高等职业教育-教材 Ⅳ.①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 167346 号

数控系统的安装与调试

张亚萍 顾 军 主编

上海交通大学 出版社出版发行
(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)
电话：64071208 出版人：韩建民
上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销
开本：787mm×960mm 1/16 印张：16.25 字数：299 千字
2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
印数：1～3030
ISBN 978-7-313-08575-7/TG 定价：34.00 元

版权所有 侵权必究

告读者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话：021-54742979

前　言

本教材的编写，从生产实际对数控系统安装与调试人员的要求出发，依据高职高专培养“高端技能型专门人才”的原则，以数控技术应用为目的，在知识结构上注重基础性和实用性，在内容编排上注重实践性，按照“数控系统功能部件认识→数控系统连接→数控系统调试”的工作流程，使读者较好地掌握数控系统安装与调试的步骤和方法，提高数控技术的综合应用能力。

本教材以市场占有率较高的法那克和西门子数控系统为代表进行讲解，紧紧围绕数控系统的安装与调试两个方面，全面、系统地介绍了数控系统的工作原理、主要功能部件的特点和接口定义、各部件之间的连接方法、系统参数的设定与调整、PMC 程序设计及应用举例、电气原理图的识读、电气手册的使用、电气控制系统基本元件的选择和连接方法。通过本书的学习并进行相应的实践操作，使读者能较好地掌握数控系统安装与调试的技术，为数控机床的故障诊断与维修打下基础。

本教材内容循序渐进，案例详实，操作步骤具体，插图以实物图和截屏图为

主，有利于体现教师的主导性和学生的主体性，适于具有职业教育特色的“做中教、做中学”教学模式和行动导向教学原则下的各种教学方法。

本教材共分5个模块、19个项目。本教材的模块1由泰州职业技术学院顾军老师编写，模块2由连云港职业技术学院王晓丽老师编写，模块3由泰州职业技术学院张亚萍老师编写，模块4由南通农业职业技术学院徐少华老师编写，模块5由泰州职业技术学院吴萍老师编写。全书由张亚萍老师负责统稿和定稿。承蒙泰州职业技术学院宋正和教授细心审阅，提出了宝贵的意见和建议，在此深表感谢！

在教材编写过程中，我们得到了江苏三星机床制造有限公司和东庆数控机床厂王炎秋、李冬庆等多位高级工程师的帮助和指导，在此表示感谢！同时，我们参考了不少文献资料，在此向有关作者致以诚挚的谢意！

由于编写时间及编者水平有限，书中错误和不妥之处恳请读者批评指正，以尽早修订完善。编者信箱：skjys319@163.com。

编　者

2012年5月

目　录

法那克篇

模块 1　认识数控机床

项目 1.1　数控机床的基础知识

1.1.1　数控机床的基本概念

1.1.2　数控机床的发展历程

1.1.3　数控机床的组成

1.1.4　数控机床的分类

1.1.5　数控机床的控制对象

1.1.6　典型数控系统简介

1.1.7　数控机床的发展趋势

项目 1.2　数控系统的软硬件结构及工作原理

1.2.1　数控系统的硬件结构

1.2.2　数控系统的软件结构

1.2.3　数控系统功能的实现

模块 2　数控系统的连接

项目 2.1　数控系统主要功能部件的认识

2.1.1 FANUC 0i－C 数控装置
2.1.2 交流同步伺服电动机
2.1.3 交流主轴电机
2.1.4 位置检测装置
2.1.5 αi 系列伺服驱动系统的三大模块
项目 2.2 功能部件的连接
2.2.1 电源的连接
2.2.2 CNC 与主轴单元的连接
2.2.3 CNC 与伺服单元的连接
2.2.4 急停的连接
2.2.5 电动机制动器的连接
2.2.6 αi 系列伺服驱动系统的连接
2.2.7 编码器在数控机床中的应用

模块 3 数控系统参数设置与调整
项目 3.1 参数类型及设置方法
3.1.1 FANUC 数控系统参数分类
3.1.2 系统参数设置的一般方法
3.1.3 基本轴参数设置
项目 3.2 伺服参数设置及调整
3.2.1 伺服参数初始化设置的目的
3.2.2 伺服参数初始化
3.2.3 伺服 FSSB 设置
3.2.4 伺服参数调整
3.2.5 伺服轴虚拟化
项目 3.3 主轴参数设置
3.3.1 模拟主轴参数设置
3.3.2 串行主轴参数设置
项目 3.4 螺距误差补偿和反向间隙补偿参数设置
3.4.1 存储型螺距误差补偿
3.4.2 反向间隙补偿

项目3.5 回参考点参数设置
3.5.1 增量方式回参考点
3.5.2 绝对方式回参考点
项目3.6 数据备份和恢复
3.6.1 CNC 数据文件分析
3.6.2 数据备份和恢复的三种方式
3.6.3 用 BOOT 功能进行整体数据的备份与恢复
3.6.4 用 I/O 方式进行个别数据输入与输出
3.6.5 系统电池的作用与更换方法

模块4 PMC 参数设置及程序编制
项目4.1 PMC 基础知识及指令系统
4.1.1 数控机床的接口
4.1.2 数控机床用 PLC 的种类
4.1.3 数控机床 DI/DO 的标准接口信号
4.1.4 PMC 接口地址表达形式
4.1.5 PMC 信号地址的定义
4.1.6 常用 PLC 指令系统
4.1.7 PMC 指令的执行过程
项目4.2 I/O Link 连接及地址分配
4.2.1 I/O Link 地址的命名规则
4.2.2 I/O Link 连接及地址分配
4.2.3 I/O 模块地址的软件设定
项目4.3 PMC 程序编制应用实例
4.3.1 功能指令
4.3.2 手动进给速度倍率 PMC 程序设计
4.3.3 工作状态开关 PMC 程序设计
项目4.4 PMC 屏幕画面功能及参数设定
4.4.1 PMC 屏幕画面功能的应用
4.4.2 PMC 参数的设定
4.4.3 PMC 程序的启动与停止

模块 5　数控机床电气控制系统的连接
项目 5.1　电气控制基本元件
项目 5.2　电气图的识图
5.2.1　电气原理图
5.2.2　电器安装接线图
项目 5.3　电气图册的使用
5.3.1　电气图册的识图
5.3.2　电气图册识读举例
项目 5.4　电气连接的注意事项
5.4.1　数控系统的信号线的分类
5.4.2　接地
5.4.3　噪声抑制器
5.4.4　电缆卡紧与屏蔽
5.4.5　浪涌吸收器的使用
5.4.6　伺服放大器和电动机的地线处理
5.4.7　导线捆扎处理

西门子篇

模块 6　数控系统的组成与连接
项目 6.1　802S 数控系统的组成与连接
6.1.1　802S 数控系统的组成
6.1.2　STEPDRIVE C/C + 步进驱动器的连接
项目 6.2　802C 数控系统的组成与连接
6.2.1　802C base line 数控系统的组成
6.2.2　TSTE 东元伺服驱动器的连接
6.2.3　SINAMICS G110 变频器的连接及使用
项目 6.3　802D 数控系统的组成及连接
6.3.1　802D 数控系统的组成
6.3.2　611UE 系列驱动器的连接

模块7　数控系统的调试
项目7.1　802S数控系统的调试
7.1.1　参数的类型及保护级
7.1.2　数控系统初始化
7.1.3　参数调试
7.1.4　丝杠螺距误差补偿设置
项目7.2　802C数控系统的调试
7.2.1　参数的调试
7.2.2　PLC实用程序设计
项目7.3　802D数控系统的调试
7.3.1　数控系统的初始化
7.3.2　数控系统的PLC调试
7.3.3　PROFIBUS总线配置及驱动器定位
7.3.4　参数调试
7.3.5　SimoComU软件设定SIMODRIVE 611UE伺服驱动器
7.3.6　PLC用户报警文本的设计
7.3.7　数据的备份和保护

参考文献

法 那 克 篇

模块1 认识数控机床

装备制造业是衡量一个国家综合实力的主要标志，被称为“国家的脊梁”。数控机床则被称为装备制造业的“工作母机”，是振兴装备制造业的关键设备。本模块分为两个项目：第一个项目主要介绍数控机床的发展历程、趋势、组成及分类；第二个项目主要介绍数控系统的软硬件结构及工作原理。通过这两个项目的学习，使读者对数控机床形成一个较为全面的认识。

项目1.1 数控机床的基础知识

【知识目标】

(1) 数控机床的发展历程及发展趋势。

(2) 数控机床的特点、组成及分类。

(3) 数控系统的软硬件结构。

(4) 数控系统的工作原理。

【能力目标】

(1) 能依据数控机床的分类标准，进行正确分类。

(2) 能依据数控机床的组成，分析数控机床的三大控制对象。

(3) 能通过查阅资料，了解数控技术的最新发展动态和未来的发展趋势。

【学习重点】

开、闭环控制系统的控制方式及特点。

1.1.1 数控机床的基本概念

数控机床是数字控制机床(Computer Numerical Control Machine Tools)的简称，指采用数字化的代码，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。

在数控机床上加工零件的基本工作过程如图1.1所示。

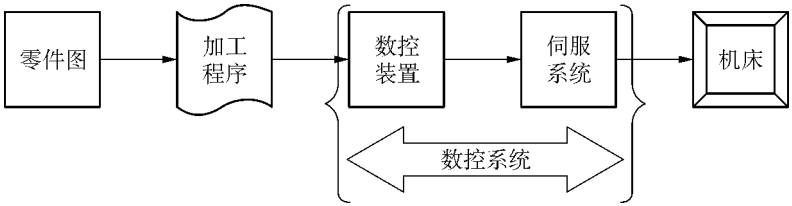

图 1.1　数控机床加工零件的基本工作过程

在数控系统中，数控装置是实现数控技术的关键。数控装置根据输入的零件程序和操作指令进行相应的处理，输出位置控制指令至进给伺服驱动系统以实现刀具和工件的相对移动；输出速度控制指令到主轴伺服驱动系统以实现切削运动；输出 M、S、T 指令到 PLC 以实现对开关量的输入/输出控制，从而加工出符合零件图样要求的零件。其中，CNC 系统对零件程序的处理流程包括译码、刀补处理、插补运算、位置控制、PLC 控制等环节，如图1.2 所示。

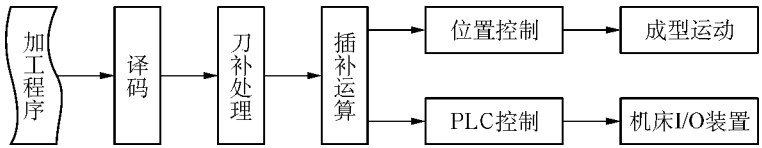

图 1.2　数控装置对零件程序的处理流程

1.1.2　数控机床的发展历程

1949 年美国空军为了在短时间内造出经常变更设计的火箭零件，与帕森斯(John C. Parson)公司合作，并选择麻省理工学院伺服机构研究所作为协作单位，于 1952 年成功研制了世界上第一台数控铣床。1958 年，美国的克耐・杜列克公司(Keaney & Trecker Co.)在一台数控镗床上增加了自动换刀装置，第一台加工中心问世了。

1956 年，联邦德国、日本、苏联等国分别研制出数控机床。20 世纪 60 年代初，美国、日本、联邦德国、英国相继进入数控机床商品化试生产阶段，当时的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。

1959 年，晶体管元件印制电路板的问世，使数控装置进入了第二代，体积逐渐减小，成本有所下降。

1965 年，出现了第三代的集成电路数控装置，其特点是体积小，功率消耗少且可靠性提高，价格进一步下降，集成电路数控装置促进了数控机床品种和产量的发展。

20 世纪 60 年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台数控机床的直接数控系统（DNC），又称群控系统，以及采用小型计算机控制的计算机数控系统（CNC）。数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年，使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置（MNC）研制成功，这是第五代数控系统。第五代与第三代相比，数控装置的功能扩大了 1 倍，而体积则缩小为原来的 1/20，价格降低了 3/4，可靠性也得到了极大的提高。

20 世纪 80 年代以后，微处理器运算速度快速提高，功能不断完善，可靠性进一步提高，出现了小型化、能进行人机对话式自动编制程序并可以直接安装在机床上的数控装置。

20 世纪 90 年代，数控机床得到了普遍应用，数控机床技术有了进一步发展，柔性单元、柔性系统、自动化工厂开始得到应用，标志着数控机床产业化进入了成熟阶段。

进入 21 世纪，军事技术和民用工业的发展对数控机床的要求越来越高，应用现代设计技术、测量技术、工序集约化、新一代功能部件以及软件技术的发展，使数控机床的加工范围、动态特性、加工精度和可靠性有了极大提高。科学技术，特别是信息技术的迅速发展，高速高精控制技术、多通道开放式体系结构、多轴控制技术、智能控制技术、网络化技术、CAD/CAM 与 CNC 的综合集成，使数控机床技术进入了智能化、网络化、敏捷制造、虚拟制造的更高阶段。

1.1.3 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出设备、操作装置、计算机数控装置、伺服系统、机床本体、检测装置及各类辅助装置等组成，如图 1.3 所示。

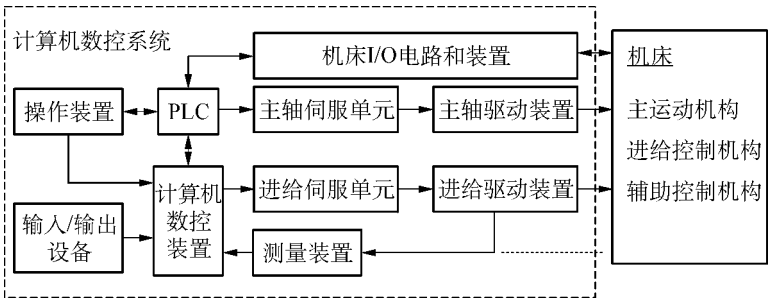

图 1.3 数控机床组成框图

1）输入/输出设备

输入/输出设备主要用来完成零件程序的输入/输出过程。现代数控机床常用

磁盘、移动硬盘、U盘、CF卡及其他半导体存储器等控制介质。此外，现代数控机床也可以不用控制介质，直接由操作人员通过MDI（Manual Data Input，手动数据输入）键盘输入零件程序，或采用通信方式进行零件程序的输入/输出。目前数控机床常用的通信方式有串行通信（RS232、RS422、RS485等）；自动控制专用接口和规范，如DNC（Direct Numerical Control）方式，MAP（Manufacturing Automation Protocol）协议等；网络通信（Internet、Intranet、LAN）等。

2）操作装置

操作装置是操作人员与数控机床进行交互的工具。操作装置主要由显示装置、NC键盘、机床控制面板（Machine Control Panel，MCP）、状态灯、手持单元等部分组成。

3）计算机数控装置（CNC单元或CNC装置）

计算机数控装置是数控机床的核心，其主要作用是根据输入的零件程序和操作指令进行相应的处理（如运动轨迹处理、机床输入/输出处理等），然后输出控制命令到相应的执行部件，控制其动作，加工出需要的零件。

4）伺服系统

伺服系统是数控装置与机床本体之间的电气连接环节，主要由驱动和执行两大部分组成。它接受数控装置的指令信息，并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。目前数控机床的伺服机构中，常用的执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

5）检测装置

检测装置（也称反馈装置）对数控机床运动部件的位置及速度进行检测，通常安装在机床的工作台、丝杠或驱动电动机转轴上，它把机床工作台的实际位移或速度转变成电信号反馈给CNC装置或伺服驱动装置，并与指令信号进行比较，以实现位置或速度的闭环控制。数控机床上常用的检测装置有光栅、编码器、感应同步器、旋转变压器等。

6）机床本体

机床本体是指其机械结构实体，主要由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身及立柱等部分组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构较为简单，在精度、刚度、抗震性等方面要求高，而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

7）辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置（Automatic Tool Changer，ATC）、自动交换工作台（Automatic Pallet Changer，APC）、工件夹紧放松机构、回转工作台、润滑装置、排屑装置等。

8）强电控制柜

强电控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，还在PLC的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起连接作用，控制机床辅助装置如各种交流电动机、液压系统电磁阀等。

1.1.4 数控机床的分类

目前，数控机床的品种很多，通常按下面几种方法进行分类。

1）按加工方式和工艺用途分类

（1）普通数控机床。普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床，如数控铣床、数控车床、数控钻床、数控磨床与数控齿轮加工机床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善，刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。图1.4所示为XK5040型数控铣床。

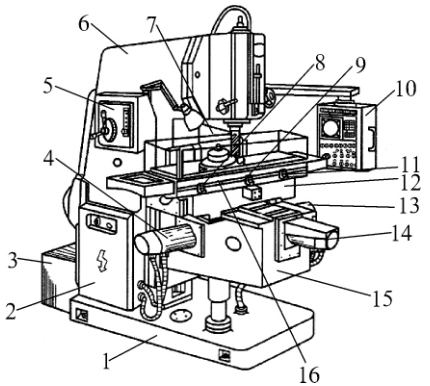

图1.4 XK5040型数控铣床

1—底座；2—强电柜；3—变压器箱；4—升速进给伺服电动机；5—主轴变速手柄和按钮板；6—床身立柱；7—数控柜；8、11—纵向行程限位保护开关；9—纵向参考点设定挡块；10—操纵台；12—横向溜板；13—纵向进给伺服电动机；14—横向进给伺服电动机；15—升降台；16—纵向工作台

（2）加工中心。加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床，它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起，零件在一次装夹后，可以将其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。由于加工中心能有效地避免因多次安装造成的定位误差，所以它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。图1.5为XH754型卧式加工中心，它的刀库容量是16把刀具，在刀具和主轴之间有一换刀机械手，工件一次装夹后，可自动连续进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多工序加工。

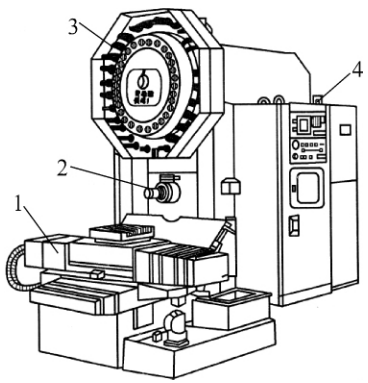

图1.5 XH754型卧式加工中心

—工作台；2—主轴；3—刀库；4—数控柜

（3）六杆/三杆数控机床（并联数控机床）。

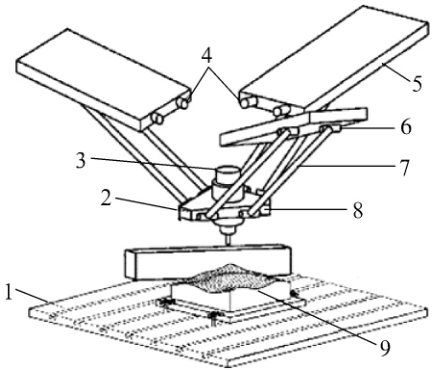

图 1.6　六杆数控机床

1—工作台；2—刀具夹板；3—主电机；
4—丝杠；5—箱体；6—螺母；
7—连杆；8—夹板铰链；9—刀具

在计算机数控多轴联动技术和复杂坐标快速变换运算方法发展的基础上，出现了六杆/三杆数控机床，图 1.6 是一种六杆数控机床的示意图。六杆数控机床既有采用滚珠丝杆驱动的，又有采用滚珠螺母驱动的。

2）按运动方式分类

（1）点位控制。如图 1.7 所示，点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位，然后进行定点加工，而点与点之间的路径不需控制，采用这类运动方式的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

（2）直线控制数控机床。如图 1.8 所示，直线控制是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外，还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削。采用这类运动方式的有数控铣床、数控车床和数控磨床等。

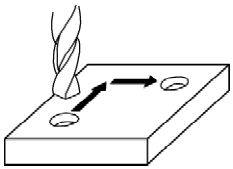

图 1.7　点位控制方式

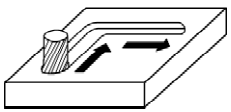

图 1.8　直线控制方式

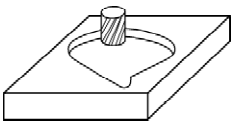

图 1.9　轮廓控制方式

（3）轮廓控制数控机床。如图 1.9 所示，轮廓控制是指能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。为了使刀具按规定的轨迹加工工件的曲线轮廓，数控装置应具有插补运算的功能，使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线，并协调各坐标方向的运动速度，以便在切削过程中始终保持规定的进给速度，采用这类运动方式的有数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

3）按控制方式分类

（1）开环控制系统。如图 1.10 所示。开环控制系统的特点是：不带反馈装置，使用步进电机作为伺服执行元件。数控装置经过控制运算发出脉冲信号，每一脉冲信号使步进电机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。用开环控制系统的数控机床结构简单、制造成本较低，但是由于系统对移动部件的实际位移量不进行检测，因此无法通过反馈自动进行误差检测和校正。另外，步进