

FANUC

系统装调与实训

FANUC XITONG ZHUANGTIAO YU SHIXUN

王悦 编著



FANUC 系统装调与实训

王 悦 编著



机械工业出版社

本书围绕如何高效使用 FANUC Oi 系统所提供的功能,通过图解及实例对 FANUC Oi 系列数控系统的硬件连接、机床数控系统调试及系统常见故障诊断与排除所需的常用机床参数含义、PLC 编程指令及相关操作方法、FANUC 辅助 PLC 编程软件 FAPT LADDER III 的使用方法、常用加工程序编制指令及操作等进行了说明。

本书既可以作为职业院校数控维修专业的教材,又可以作为工程技术人员从事维修工作的辅助指导材料。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 系统装调与实训/王悦编著. —北京:机械工业出版社, 2010.7
ISBN 978-7-111-30893-5

I. ①F… II. ①王… III. ①数控机床-调试方法 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 103213 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 责任校对:陈立辉

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京四季青印刷厂印刷 (三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·373 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-30893-5

定价: 35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来，随着装备制造业自动化水平的不断提升，数控技术得到了迅速发展，已广泛应用于金属加工、汽车制造、航空航天、消费电子、模具制造、木工机械、注塑机械等行业，并且已经达到一个引人瞩目的市场规模。据国家相关权威机构提供的统计数字，我国目前数控设备保有量约 70 万台。这其中配置 FANUC 系统的数控机床约占国内数控机床总量的 20% ~ 25%，近 20 万套。随着数控机床使用规模的不断扩大，对数控系统调试与维修人员的需求量和技能要求都有了显著提升，因此编写此书，以期对从事 FANUC 数控系统应用、调试与维修工作的技术人员进行指导。

本书围绕如何高效使用 FANUC Oi 系统所提供的功能，通过图解及实例对 FANUC Oi 系列数控系统的硬件连接、机床数控系统调试及系统常见故障诊断与排除所需的常用机床参数含义、PLC 编程指令及相关操作方法、FANUC 辅助 PLC 编程软件 FAPT LADDER III 的使用方法、常用加工程序编制指令及操作等进行了说明。

目前，越来越多的职业院校开设了“数控系统调试与维修”课程，针对数控维修专业课程注重实际操作的特点，本书强化了课程的实践教学，实训课题典型、实用，以期达到强化使用者实际技能的目的。

本书尤其适用于指导刚进入数控设备应用与维护岗位的技术人员，以及数控维修、机电一体化等专业高校学生，掌握数控系统结构和调试技术，并完成简单机床电气系统故障的诊断与维修。

虽然本书是在多年工程实践应用的基础上编写的，但限于编者的水平，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

| | |
|----------------------------------|----|
| 绪论 | 1 |
| 0.1 数控系统的组成 | 1 |
| 0.1.1 输入/输出设备 | 1 |
| 0.1.2 数控装置 | 1 |
| 0.1.3 可编程序控制器 | 2 |
| 0.1.4 伺服驱动单元 | 2 |
| 0.2 数控系统的分类 | 2 |
| 0.2.1 按控制运动的方式分类 | 2 |
| 0.2.2 按驱动装置的特点分类 | 3 |
| 0.2.3 按加工方式分类 | 5 |
| 0.3 数控系统硬件结构特点 | 6 |
| 0.3.1 大板式结构 | 6 |
| 0.3.2 模块化结构 | 6 |
| 0.4 数控系统软件结构的特点 | 7 |
| 0.5 数控技术的发展状况 | 7 |
| 0.5.1 数控技术向高速化和高精度化发展 | 7 |
| 0.5.2 智能化、开放式、网络化成为当代数控系统发展的主要趋势 | 8 |
| 0.5.3 复合加工机床快速发展 | 9 |
| 0.6 FANUC 数控系统介绍 | 9 |
| 0.6.1 FANUC 数控系统产品系列及其主流系统的特点 | 9 |
| 0.6.2 FANUC 数控系统的组成 | 11 |
| 0.6.3 FANUC i 系列数控系统的组成 | 11 |
| 0.6.4 FANUC 数控系统的特点 | 12 |
| 0.6.5 FANUC 数控系统型号命令原则 | 13 |
| 0.7 本书的学习方法 | 13 |
| 第1章 数控系统调试控制基本操作 | 14 |
| 1.1 FANUC Oi-B 数控系统操作面板 | 14 |
| 1.1.1 字母键/数字键 | 14 |
| 1.1.2 程序编辑键 | 14 |
| 1.1.3 换挡键 SHIFT | 15 |
| 1.1.4 取消键 CAN | 15 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|-----------|
| 1.1.5 | 输入键 INPUT | 15 |
| 1.1.6 | 功能键 | 15 |
| 1.1.7 | 复位键 RESET | 17 |
| 1.1.8 | 帮助键 HELP | 18 |
| 1.1.9 | 操作软键 | 18 |
| 1.2 | 配备 FANUC 0i-B 系统的数控机床的操作面板 | 18 |
| 1.2.1 | 自动运行方式 (MEM) | 18 |
| 1.2.2 | 编辑方式 (EDIT) | 19 |
| 1.2.3 | 手动数据输入方式 (MDI) | 19 |
| 1.2.4 | DNC 方式 | 19 |
| 1.2.5 | 返参方式 (REF) | 20 |
| 1.2.6 | 手动连续运行方式 (JOG) | 20 |
| 1.2.7 | 手轮操作方式 (HANDLE) | 20 |
| 1.3 | NC 状态显示 | 20 |
| 1.4 | 数控机床的基本操作 | 21 |
| 1.4.1 | 手动操作 | 21 |
| 1.4.2 | 加工参数设置 | 23 |
| 1.4.3 | 程序检查 | 25 |
| 1.4.4 | 程序自动运行 | 26 |
| 1.5 | 数控系统基本操作实训 | 27 |
| 1.5.1 | 手动操作实训课题 | 27 |
| 1.5.2 | MDI 运行实训课题 | 28 |
| 第 2 章 | FANUC 0i 系统硬件 | 29 |
| 2.1 | FANUC 0i 系列数控系统的硬件简介 | 29 |
| 2.1.1 | FANUC 0i-B 系统的硬件组成及各部分的功能简介 | 29 |
| 2.1.2 | FANUC 0i-C 系统的硬件组成及各部分的功能简介 | 30 |
| 2.2 | FANUC 0i-B 系统的结构及各部分的功能 | 31 |
| 2.3 | FANUC 0i-C 系统的结构及各部分的作用 | 38 |
| 2.4 | 伺服系统硬件连接实训课题 | 47 |
| 2.4.1 | CNC 系统硬件连接 | 47 |
| 2.4.2 | 伺服系统异常及其故障排除 | 48 |
| 2.4.3 | 控制主轴用变频器设置及故障排除 | 48 |
| 第 3 章 | FANUC 0i 系统参数设定 | 49 |
| 3.1 | 系统参数基本设定方法 | 49 |
| 3.1.1 | 参数画面的调出方法 | 49 |
| 3.1.2 | 参数的分类 | 50 |
| 3.1.3 | 参数的设定方法 | 52 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 3.2 常用系统参数设定 | 54 |
| 3.2.1 常用数控系统参数及其含义 | 54 |
| 3.2.2 数控系统初始化参数 | 64 |
| 3.3 系统参数设定实训 | 77 |
| 第4章 FANUC 0i 系统 PMC 编程及调试 | 78 |
| 4.1 FANUC 0i 系统 PMC 概述 | 78 |
| 4.1.1 顺序程序的执行过程 | 78 |
| 4.1.2 PMC 程序的结构 | 79 |
| 4.1.3 PMC 接口 | 79 |
| 4.1.4 PMC 的地址 | 80 |
| 4.1.5 梯形图中的符号 | 85 |
| 4.1.6 PMC 的基本指令 | 85 |
| 4.1.7 PMC 的功能指令 | 85 |
| 4.2 PMC 编程实训 | 86 |
| 4.2.1 程序实例 | 86 |
| 4.2.2 PMC 编程练习 | 115 |
| 4.3 数控系统中有关 PMC 的界面及其操作 | 116 |
| 4.3.1 显示梯形图程序 | 116 |
| 4.3.2 查找信号或指令 | 120 |
| 4.3.3 PMC 程序的启动与停止 | 123 |
| 4.3.4 PMC 程序的编辑 | 123 |
| 4.3.5 PMC 参数的设定 | 127 |
| 4.3.6 PMC 参数的传输 | 130 |
| 4.4 梯形图编程软件操作 | 131 |
| 4.4.1 界面介绍 | 131 |
| 4.4.2 创建顺序程序 | 133 |
| 4.4.3 编辑顺序程序 | 135 |
| 4.4.4 在线连接 FAPT LADDER- III | 151 |
| 4.4.5 打印顺序程序 | 157 |
| 第5章 FANUC 0i 系统基本编程及加工 | 161 |
| 5.1 数控车削编程及加工 | 161 |
| 5.1.1 数控车削的基本编程及加工 | 161 |
| 5.1.2 数控车削复杂零件的编程及加工 | 174 |
| 5.2 数控铣削编程及加工 | 180 |
| 5.2.1 数控铣削的基本编程及加工 | 180 |
| 5.2.2 数控铣削加工循环指令 | 187 |
| 5.3 编程模拟软件的使用 | 192 |

| | |
|--|-----|
| 附录 常用 PMC 功能指令 | 199 |
| 功能指令 1 一级程序结束 END1 (SUB1) | 200 |
| 功能指令 2 二级程序结束 END2 (SUB2) | 201 |
| 功能指令 3 三级程序结束 END3 (SUB48) | 201 |
| 功能指令 4 定时器 TMR (SUB4) | 201 |
| 功能指令 5 固定定时器 TMRB (SUB24) | 202 |
| 功能指令 6 延时导通定时器 TMRC (SUB54) | 202 |
| 功能指令 7 BCD 译码 (SUB4) | 203 |
| 功能指令 8 DECB 译码 (SUB25) | 204 |
| 功能指令 9 CTR 环形计数器 (SUB5) | 204 |
| 功能指令 10 CTRB 固定计数器 (SUB56) | 205 |
| 功能指令 11 CTRC 追加环形计数器 (SUB55) | 206 |
| 功能指令 12 ROT 旋转指令 (SUB6) | 207 |
| 功能指令 13 ROTB 旋转指令 (SUB26) | 208 |
| 功能指令 14 COD 代码转换 (SUB7) | 209 |
| 功能指令 15 CODB 二进制代码转换 (SUB27) | 210 |
| 功能指令 16 MOVE 逻辑传输指令 (SUB8) | 210 |
| 功能指令 17 MOVOR 逻辑或传输指令 (SUB28) | 210 |
| 功能指令 18 MOVB 一字节数据传送 (SUB43) | 210 |
| 功能指令 19 MOVW 二字节数据传送 (SUB44) | 211 |
| 功能指令 20 MOVN 任意字节数据传输 (SUB45) | 211 |
| 功能指令 21/22 公用线控制开始 COM (SUB9/SUB29) | 211 |
| 功能指令 23/24 跳转指令 JMP/JMPE (SUB10/SUB30) | 212 |
| 功能指令 25 标号跳转指令 1JMPB (SUB68) | 212 |
| 功能指令 26 标号跳转指令 2JMPC (SUB73) | 213 |
| 功能指令 27 标号 LBL (SUB69) | 213 |
| 功能指令 28 奇偶校验 PARI (SUB11) | 213 |
| 功能指令 29 数据变换 DCNV (SUB14) | 214 |
| 功能指令 30 扩展数据变换 DCNVB (SUB31) | 214 |
| 功能指令 31 BCD 大小比较 COMP (SUB15) | 215 |
| 功能指令 32 二进制大小比较 COMPB (SUB32) | 216 |
| 功能指令 33 BCD 一致判断 COIN (SUB16) | 216 |
| 功能指令 34 移位寄存器 SFT (SUB33) | 217 |
| 功能指令 35 BCD 数据检索 DSCH (SUB17) | 217 |
| 功能指令 36 二进制数据检索 DSCHB (SUB34) | 218 |
| 功能指令 37 BCD 变址数据修改 XMOV (SUB18) | 219 |
| 功能指令 38 二进制变址修改数据传送 XMOVB (SUB35) | 219 |
| 功能指令 39 BCD 加法运算 ADD (SUB19) | 220 |

VII

| | | |
|---------|------------------------|-----|
| 功能指令 40 | 二进制加法运算 ADDB (SUB36) | 220 |
| 功能指令 41 | BCD 减法运算 SUB (SUB20) | 221 |
| 功能指令 42 | 二进制减法运算 SUBB (SUB37) | 222 |
| 功能指令 43 | BCD 乘法运算 MUL (SUB21) | 222 |
| 功能指令 44 | 二进制乘法运算 MULB (SUB38) | 223 |
| 功能指令 45 | BCD 除法运算 DIV (SUB22) | 224 |
| 功能指令 46 | 二进制除法运算 DIVB (SUB39) | 224 |
| 功能指令 47 | BCD 常数赋值 NUME (SUB23) | 225 |
| 功能指令 48 | 二进制常数赋值 NUMEB (SUB40) | 225 |
| 功能指令 49 | 信息显示 DISPB (SUB41) | 226 |
| 功能指令 50 | 外部数据输入 EXIN (SUB42) | 226 |
| 功能指令 51 | CNC 数据读取 WINDR (SUB51) | 227 |
| 功能指令 52 | CNC 数据写入 WINDW (SUB52) | 227 |
| 功能指令 53 | 上升沿检测 DIFU (SUB57) | 228 |
| 功能指令 54 | 下降沿检测 DIFD (SUB58) | 228 |
| 功能指令 55 | 异或 EOR (SUB59) | 228 |
| 功能指令 56 | 逻辑乘 AND (SUB60) | 229 |
| 功能指令 57 | 逻辑和 OR (SUB61) | 230 |
| 功能指令 58 | 逻辑非 NOT (SUB62) | 230 |
| 功能指令 59 | 程序结束 END (SUB64) | 231 |
| 功能指令 60 | 有条件子程序调用 CALL (SUB65) | 231 |
| 功能指令 61 | 子程序无条件调用 CALLU (SUB66) | 232 |
| 功能指令 62 | 子程序开始 SP (SUB71) | 232 |
| 功能指令 63 | 子程序结束 SPE (SUB72) | 232 |
| 参考文献 | | 233 |

绪 论

0.1 数控系统的组成

在数控机床行业中，数控系统是指计算机数字控制装置、可编程序控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称。有时仅指其中的计算机数字控制装置，并将计算机数字控制装置称为数控装置。

数控系统的组成如图 0-1 所示。

0.1.1 输入/输出设备

输入设备的作用是将控制介质（信息载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同，输入设备可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控加工程序、数控系统参数、PMC 程序不仅可以通过键盘用手工方式直接输入数控系统，还可以由计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是边读入边加工，另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从存储器中逐行调出进行加工。

各种类型的数控机床中最直观的输出设备是显示器，有 CRT 显示器或彩色液晶显示器两种。输出设备的作用是为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值、报警信号等。

总之，输入/输出设备是机床数控系统和操作人员进行信息交流、人机对话必须具备和必要的交互设备。

0.1.2 数控装置

数控装置就是通常所说的计算机数控系统，它由专用或通用计算机硬件加上系统软件和应用软件组成，完成数控装备的运动控制功能、人机交互功能、数据管理功能和相关的辅助控制功能，是数控装备功能实现和性能保证的核心组成部分，是整个数控体系的中枢。

数控装置从内部存储器中取出或接受输入设备送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。这些信号中最基本的信号是经插补运算决定的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量指令（送到伺服驱动系统以驱动执行部件作进给运动）。其他信号还包括主轴的变速、换向和起停信号，选择和交换刀具的刀具指令信号，控制切削液、润滑油起停、工件和机床部件松开、夹紧、分度工作台转位的辅助

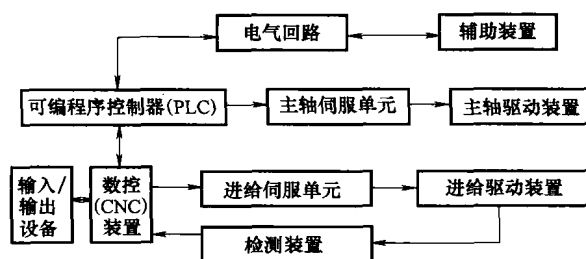


图 0-1 数控系统的组成

指令信号等。

数控装置主要由中央处理单元（CPU）和总线、存储器（ROM、RAM）、内置 PLC、输入/输出（I/O）接口电路、CNC 系统其他组成部分联系的接口等组成。

0.1.3 可编程序控制器

可编程序控制器亦可称为可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller）。

数控系统通过 CNC 和 PLC 的协调配合来共同完成数控机床的控制，其中 CNC 主要完成与数字运算和管理等有关的功能，如零件程序的编辑、插补运算、译码、位置伺服控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作，而不涉及轨迹上的要求。PLC 处理 CNC 送来的辅助功能代码（M 代码）、主轴转速指令（S 代码）、刀具指令（T 代码）等顺序动作信息，对顺序动作信息进行译码，转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床相应的开关动作，如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等一些辅助动作。PLC 还可以与机床侧的输入/输出信号进行交互，接收机床控制面板的指令，一方面直接控制机床的动作，另一方面将一部分指令送往数控装置用于加工过程的控制。

用于数控机床的 PLC 一般分为两类：一类是内装式 PLC，将 CNC 和 PLC 综合起来设计，也就是说，PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是独立型 PLC。

0.1.4 伺服驱动单元

伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分，它是机床工作的动力装置，CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施。驱动装置接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，将控制器数字量的指令输出转换成各种形式的电动机运动，带动执行元件实现其所规划出来的运动轨迹。因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服驱动系统包括驱动放大器和执行机构两个主要部分，其任务实质是实现一系列数模或模数之间的信号转化，表现形式就是位置控制和速度控制。执行机构包括步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机，相应的驱动系统分别为步进驱动系统、直流伺服驱动系统、交流伺服驱动系统。目前使用的主要是直流伺服驱动系统和交流伺服驱动系统。

检测装置是伺服系统的一个重要组成部分。检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入到数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制运动部件按指令设定值运动。

0.2 数控系统的分类

0.2.1 按控制运动的方式分类

1. 点位控制数控系统

点位控制数控系统的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标

点运动，也可以各坐标依次向目标点运动。

这类数控系统主要用于数控冲床、数控钻床等。

2. 点位直线控制数控系统

点位直线控制数控系统的特点是，机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位，而且要控制工作台以一定的速度沿平行坐标轴方向或 45° 斜率直线方向进行直线切削加工。

这类数控系统主要用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制数控系统

轮廓控制数控系统不仅可以完成点位及点位直线控制数控系统的加工功能，而且能够对两个或两个以上坐标轴进行插补，因而具有各种轮廓切削加工能力。它不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成指定的轮廓形状。轮廓控制数控系统的结构要比点位直线控制系统复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，从而实现相应的速度与位移控制。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床都采用轮廓控制数控系统。

0.2.2 按驱动装置的特点分类

数控系统按有无检测装置可分为开环数控系统和闭环数控系统。对于闭环数控系统，根据检测装置所检测的位移量又可分为全闭环数控系统和半闭环数控系统。

1. 开环数控系统

开环数控系统即无位置反馈的系统，其驱动元件主要是功率步进电动机或电液脉冲马达。这两种执行元件工作原理的实质都是进行数字脉冲到角度位移的变换，它不用位置检测元件实现精确定位，而是靠驱动装置本身的精度实现定位，转过的角度正比于指令脉冲的个数；转速由控制脉冲的频率决定。开环数控系统的工作原理如图 0-2 所示。

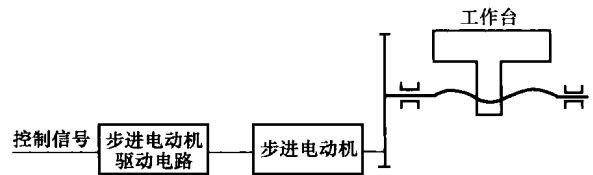


图 0-2 开环数控系统的工作原理图

开环数控系统结构简单，成本较低。但由于系统对移动部件的实际位移量不进行检测，也不能进行误差校正，所以步进电动机的失步、步距角的误差、传动链上齿轮与丝杠等的传动误差都将影响被加工零件的精度。开环数控系统仅适用于加工精度要求不高的简易经济型数控机床。

2. 闭环数控系统

闭环数控系统是利用位置检测元件测出机床进给传动链的执行元件（如机床工作台）的实际位移量或实际所处位置，并将测量值反馈给数控（CNC）装置，与指令值进行比较，求得误差，依此驱动执行元件运动以补偿误差，即构成闭环位置控制。可见，闭环数控系统是误差控制随动系统。闭环数控系统的工作原理如图 0-3 所示。

由于闭环数控系统是反馈控制，反馈检测装置精度很高，所以系统传动链的误差（包括传动链中各元件的误差和传动过程中出现的误差）可以得到补偿，从而大大提高了跟随精度和定位精度。系统精度与传动元件制造精度无关，只取决于检测装置的制造精度和安装

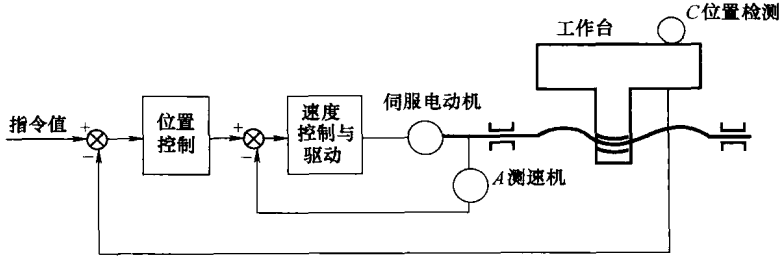


图 0-3 闭环数控系统的工作原理图

精度。

通常机械传动环节中会出现一些可变的误差，如丝杠与螺母、工作台与导轨的摩擦特性；各部件的刚性；位移测量元件安装的传动链间隙等。这些都将直接影响伺服系统的调节参数，并且在闭环系统中对这些非线性参数进行调整和设计有较大难度，设计和调整得不好很容易造成系统的不稳定。

3. 半闭环数控系统

大多数数控机床采用半闭环数控系统。半闭环数控系统中位置检测元件不直接安装在进给坐标的最终运动部件上，而是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置，通过检测丝杠的转角间接地检测进给坐标上最终运动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中，对误差进行修正。半闭环数控系统的工作原理如图 0-4 所示。

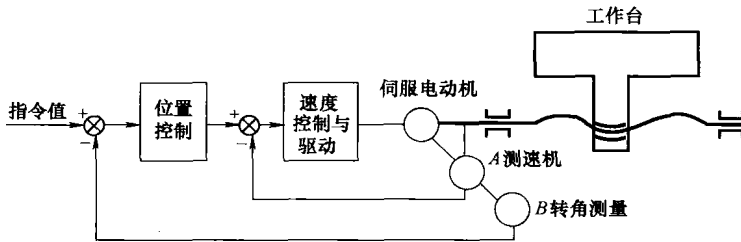


图 0-4 半闭环数控系统的工作原理图

由于这种系统的闭环环路内不包括滚珠丝杠螺母副及工作台，因此可获得稳定的控制特性，而且由于采用了高分辨率的测量元件，可以获得比较满意的精度。但是环外的传动误差没有得到系统的补偿，因而这种数控系统的精度低于闭环系统。

4. 反馈补偿型开环控制及反馈补偿型半闭环控制

反馈补偿型开环控制的特点是基本控制采用开环伺服系统，另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移检测元件测得的反馈信号输入到校正电路，补偿进给系统误差。

指令脉冲既供给到驱动系统控制步进电动机按指令运转，又供给到感应同步器的检测系统。工作在鉴幅方式的感应同步器既是位置检测器，又是比较器，将正弦、余弦发生器给定的滑尺励磁信号与由步进电动机驱动的定尺移动位置进行比较。反馈补偿型开环数控系统原理如图 0-5 所示。

误差信号经过一定处理，由电压频率变换器产生变频脉冲，把它与指令脉冲相加减，实现对开环系统进行位置误差补偿的目的。

反馈补偿型开环控制具有开环的稳定性和闭环的精确性，不会因为机床的谐振频率、爬

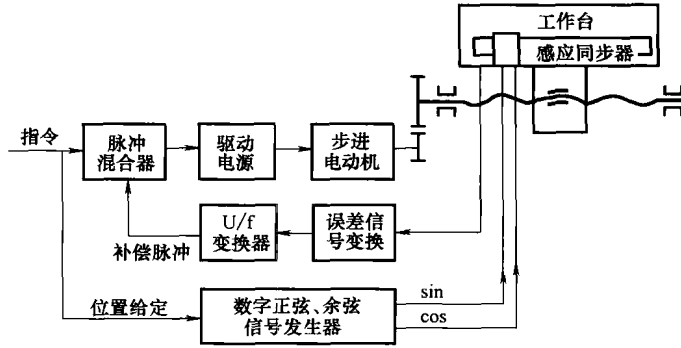


图 0-5 反馈补偿型开环数控系统原理图

行、死区、失动等因素引起系统振荡，不需间隙补偿和螺距补偿。

反馈补偿型半闭环控制的特点是用半闭环控制方式取得高速度控制，再用装在工作台上的直线位移检测元件实现全闭环误差修正。反馈补偿型半闭环数控系统的工作原理如图 0-6 所示。

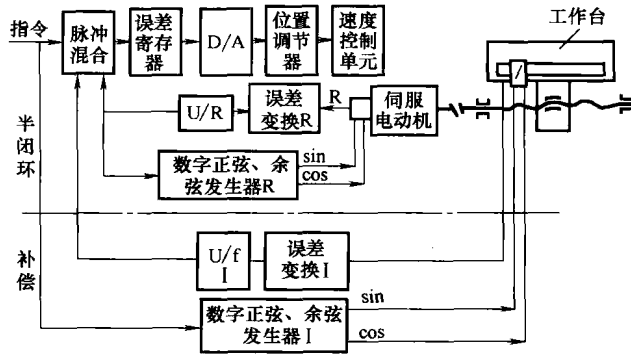


图 0-6 反馈补偿型半闭环数控系统工作原理图

半闭环控制的检测元件旋转变压器 R 检测系统的正弦、余弦励磁信号由其反馈脉冲自动修改，故转角始终按指令值变化；直接位置检测的感应同步器 I 检测系统的正弦、余弦励磁信号的电气角由数控装置给定。感应同步器不断比较指令转角与实际转角，若出现偏差，产生误差信号，经变换后产生补偿脉冲加到脉冲混合电路，对指令脉冲进行随机补偿，提高整个系统的定位精度。反馈补偿型半闭环控制系统比全闭环系统容易调整，稳定性好，适用于高精度大型数控机床的进给驱动。

0.2.3 按加工方式分类

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床及数控加工中心、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。

2. 板材加工类数控机床

板材加工类数控机床有数控冲床、数控折弯机等。

3. 特种加工类数控机床

特种加工类数控机床有数控线切割机床、数控电火花机床、数控激光切割机床等。

4. 其他类型数控机床

其他类型数控机床有数控三坐标测量机等。

0.3 数控系统硬件结构特点

从组成 CNC 系统的电路板的结构特点来看,有两种常见的结构,即大板式结构和模块化结构。

0.3.1 大板式结构

大板式结构的特点是,一个系统一般都有一块大板,称为主板。主板上装有主 CPU 和各轴的位置控制电路等。其他相关的子板(完成一定功能的电路板),如 ROM 板、零件程序存储器板和 PLC 板都直接插在主板上面,组成 CNC 系统的核心部分。由此可见,大板式结构紧凑、体积小、可靠性高、价格低,有很高的性能/价格比,也便于机床的一体化设计。大板式结构虽有上述优点,但其硬件功能不易变动,不利于组织生产。

0.3.2 模块化结构

模块化结构即总线模块化的开放系统结构,是一种柔性化比较高的结构,其特点是将微处理器、存储器、输入/输出控制分别做成插件板(也称为硬件模块),甚至将微处理器、存储器、输入/输出控制组成独立微计算机级的硬件模块,相应的软件也是模块结构固化在硬件模块中。硬软件模块形成一个特定的功能单元,称为功能模块。功能模块间有明确定义的接口,接口是固定的,符合工厂标准或工业标准,彼此可以进行信息交换,可以积木式组成 CNC 系统,使设计简单、有良好的适应性和扩展性、试制周期短、调整维护方便、效率高。

从 CNC 系统使用的微机及结构来分,CNC 系统的硬件结构一般分为单微处理器和多微处理器结构两大类。

1. 单微处理器

在单微处理器结构中,只有一个微处理器,对存储、插补运算、输入/输出控制、CRT 显示等功能进行集中控制,分时处理。微处理器通过总线与存储器、输入/输出控制等各种接口相连,构成数控(CNC)装置。在有的数控(CNC)装置中,虽然有两个以上的微处理器,但其中只有一个微处理器能够控制系统总线,其他的微处理器不能控制系统总线,不能访问主存储器。这种主从结构也被归于单微处理器结构中。

由于只有一个微处理器集中控制,故数控功能的实现受微处理器字长、数据宽度、寻址能力和运算速度的影响。

单微处理器结构的基本组成包括:微处理器和总线;存储器;纸带阅读机以及纸带穿孔机接口;I/O 接口;MDI/CRT 接口;伺服驱动装置接口;PLC 接口。

初期的 CNC 系统和现有一些经济型 CNC 系统采用单微处理器结构。

2. 多微处理器

CNC 把机床数字控制这个总任务划分为子任务即子功能模块。在多微处理器的结构中,

有两个或两个以上的微处理机构成的子系统，子系统之间采用紧耦合，有集中的操作系统，共享资源；或者有两个或两个以上的微处理机构成的功能模块，功能模块之间采用松耦合，多种操作系统有效地实现并行处理。在硬件方面，以多个微处理机配以相应的接口形成多个子系统，把划分的子任务分配给不同的子系统承担，由各子系统之间的协调动作完成数控功能。

多微处理器结构可以满足数控机床高进给速度、高加工精度和许多复杂功能的要求。由于多微处理器结构中的每一个微处理机各完成系统中指定的一部分功能，故与单微处理器相比提高了计算机处理速度，适应了多轴控制、高精度、高进给速度、高效率的数控要求。多微处理器结构中将微处理机、存储器、输入/输出控制分别做成插件板，即硬件模块。这种模块化结构具有良好的适应性和扩展性，并且即使某个模块出了故障，其他模块仍照常工作，更换硬件模块较为方便，可使故障对系统的影响减到最小程度。

0.4 数控系统软件结构的特点

CNC 系统软件可分为管理软件与控制软件两部分。管理软件包括零件程序的输入、输出，显示，诊断和通信功能软件；控制软件包括译码、刀具补偿、速度处理、插补运算和位置控制等功能软件。

数控（CNC）装置的存储器中除了存储有上述系统软件外，还存储有用户软件、各种系统参数等。系统软件是数控系统正常工作必不可少的，数控系统会按照工作过程顺序调用，无需用户设置。从应用的角度，对数控系统的软件应该主要了解数控系统的参数和 PLC 程序。

参数的主要作用表现在，数控机床在出厂前，对所采用的 CNC 系统设置许多初始参数来配合、适应相配套的数控机床的具体状况，部分参数还要经过调试来确定（例如，某些用于补偿机床误差的参数），数控系统故障的诊断与排除也常要借助数控系统的参数。参数表或参数纸带会交付给用户。这就要求用户必须了解系统参数的分类和作用、主要参数的含义以及设置方法。

CNC 系统内部处理的信息大致可分为两大类，一类是控制坐标轴运动的连续数字信息，这种信息主要由 CNC 系统本身来完成；另一类是控制刀具更换、主轴起停、换向变速、零件装卸、切削液开/停和控制面板 I/O 等的逻辑离散信息。PLC 在 CNC 系统中是介于 CNC 装置与机床之间的中间环节，它根据输入的离散信息，在内部进行逻辑运算，并完成输出功能。对数控系统进行调试、故障诊断与排除，要求用户掌握顺序程序的接口以及顺序程序的执行、与 PLC 有关的参数、PLC 编程技术。

0.5 数控技术的发展状况

随着计算机技术的飞速发展，推动了数控机床技术更快的更新换代。数控技术发展中最活跃的几个方面主要包括：

0.5.1 数控技术向高速化和高精度化发展

要实现数控机床高速化，必须实现主轴、进给系统、刀具交换系统、托盘交换系统等关

键部分的高速化。也就是要求数控系统读入加工指令数据后能高速处理并计算出伺服电动机的移动量；并要求伺服系统能快速做出反应，使数控机床在极短的空程内由零加速到高速度，并在高速下保持高定位精度；同时还要求具有高加（减）速度、高精度的位置检测系统。

20世纪90年代以来，欧洲、美国、日本争相开发应用新一代高速数控机床，加快了机床高速化发展的步伐。高速主轴单元（电主轴，转速15000~100000r/min）、高速且高加/减速度的进给运动部件（快移速度60~120m/min，切削进给速度高达60m/min）、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破，达到了新的技术水平。美国CINCINNATI公司的HyperMach机床进给速度最大达60m/min，快速为100m/min，加速度达2g，主轴转速已达60000r/min。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具，大功率高速电主轴、高加/减速度直线电动机驱动进给部件以及高性能控制系统（含监控系统）和防护装置等一系列技术领域关键技术解决，这些新技术已应用于新一代高速数控机床。

从精密加工发展到超精密加工（特高精度加工），是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级，乃至纳米级（<10nm），其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削（车、铣）、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工（三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等）。近10多年来，普通级数控机床的加工精度已达到 $\pm 5\mu\text{m}$ ，精密级加工中心的加工精度则可以达到 $\pm(1\sim 1.5)\mu\text{m}$ 。

0.5.2 智能化、开放式、网络化成为当代数控系统发展的主要趋势

随着人工智能在计算机领域的渗透和发展，数控系统的智能化程度将不断提高。智能化的内容包括在数控系统中的各个方面：为追求加工效率和加工质量方面的智能化，如加工过程的自适应控制、工艺参数自动生成；为提高驱动性能及使用连接方便的智能化，如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等；简化编程、简化操作方面的智能化，如智能化的自动编程、智能化的人机界面等；还有智能诊断、智能监控方面的内容，方便系统的诊断及维修等。

为解决传统的数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题。目前对开放式数控系统进行研究的有美国的NGC（The Next Generation Work-Station/Machine Control）、欧盟的OSACA（Open System Architecture for Control within Automation Systems）、日本的OSEC（Open System Environment for Controller）。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上，面向机床厂家和最终用户，通过改变、增加或剪裁结构对象（数控功能），形成系列化，并可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，形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求，也是实现新的制造模式，如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近年推出了相关的新概念和样机，如日本山崎马扎克（MAZAK）