

最新

数控系统 从入门到精通

胡国清 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

计算机工业出版社 第一版
 北京市西城区百万庄大街22号 邮编100044
 电话：(010) 6841123
 电报挂号：41474
 网址：http://www.cip.com.cn

最新数控系统从入门到精通

胡国清 编著

ISBN 978-7-118-03008-0
 中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第133304号

计算机工业出版社 第一版
 (北京市西城区百万庄大街22号 邮编100044)
 电话：(010) 6841123
 电报挂号：41474
 网址：http://www.cip.com.cn

机械工业出版社

发行所：(010) 6841123
 发行部：(010) 6841123
 发行部：(010) 6841123

图书在版编目(CIP)数据

最新数控系统从入门到精通/胡国清编著. —北京:国防工业出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-118-05464-4

I. 最... II. 胡... III. 数控系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 179304 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 7 5/8 字数 195 千字

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 19.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前言

随着制造技术的发展,数控系统的应用越来越广泛,对数控技术人才的需求也越来越多,掌握并驾驭数控设备,无疑是许多技术人员的梦想。

数控系统的生产商较多,其产品规格、接口类型及通信协议等各具特点,但控制原理与方式大同小异,经过不断地优胜劣汰和技术发展,在市场中占有一定份额的产品也只有几种,掌握当前应用最广泛的主流产品应用技术,是进入数控领域的最佳切入点。SI-MUMERIK 840D 数控系统是当今世界数控产品中的佼佼者,是 SI-EMENS 公司 SINUMERIK 系列产品的突出代表,它广泛应用于各个行业的中高端数控设备。

相对其他数控系统产品而言,SINUMERIK 840D 的开放性、拓展性、接口及通信通用性以及安全稳定性尤为突出。它将主轴和轴统一管理,应用标准 PC 技术和网络通信技术,使产品兼容性、扩展性极好。随着其硬件和软件的不断改进与优化,设备故障诊断与生产线管理功能的不断完善,必将成为机械、汽车、航空航天、医疗器械以及机器人等行业的重要控制中枢。熟练掌握该数控系统的应用并深入研究其技术精华,不但可以强化相关工业的基础,同时还可以推动我国自有产权数控系统产品的改进与发展。

数控系统是一门综合性很强的技术,它综合了数字控制、逻辑控制、驱动及检测技术,掌握它不应仅仅停留在操作、编程上,而应重点掌握其内在技术要领。根据作者多年从事数控机床及专用设备的设计、改造、维修经验,编写了这本书,为希望学习并掌握数控

系统应用的工程技术人员提供参考。

本书以一名未从事过数控技术工作的电气技术人员为对象,从 SINUMERIK 840D 数控系统的构成、硬件连接到上电调试、专用功能实现及 PLC 编程技巧,阐述数控系统的维修、调试、设计与二次开发技术。其中多数专用功能的实现,直接按照书中阐述的步骤一步一步地进行即可完成,并可根据书中的相关说明举一反三。

本书承蒙武汉华中自控技术发展有限公司和在数控机床设计开发与应用方面有突出贡献的国家级专家陈灿、石白坚高级工程师以及西门子公司资深数控专家蒋文杰先生的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢!

鉴于编者理论水平和实践经验所限,书中难免有不足之处,恳请读者和各位同仁提出宝贵的意见,电子信箱 hugqing@163.com。

编者

2007年8月10日

目 录

第 1 章 数控系统概述	1
1.1 数控基本概念	1
1.1.1 基础术语	1
1.1.2 数控功能	6
1.1.3 控制模式	7
1.1.4 精度指标	8
1.2 数控系统基本构成	9
1.3 常用伺服电机	10
1.3.1 性能特点比较	10
1.3.2 伺服电机选型	11
1.4 常用检测装置	12
1.4.1 功能特点	13
1.4.2 常用检测装置选型	14
1.5 基本机床参数	19
1.6 基本接口信号	20
1.7 一个数控应用实例	22
第 2 章 数控系统硬件与连接	25
2.1 NCU 单元	25
2.2 电源模块	28
2.3 驱动装置	31
2.4 MMC 单元	32
2.4.1 OP 单元	33
2.4.2 PCU	34

2.4.3	MCP	35
2.5	PLC 系统	37
2.5.1	SIMATIC S7 - 300 模块	38
2.5.2	PROFIBUS - DP 分布式 I/O	39
2.5.3	SINUMERIK 单 I/O 模块 EFP	40
2.5.4	SINUMERIK DMP 紧凑型模块	41
2.6	MPI/OPI	41
2.7	手持单元	42
2.7.1	B - MPI HHU	42
2.7.2	Mini HHU	45
2.8	840D 数控系统应用实例	46
2.8.1	机床轴分布及功能要求	46
2.8.2	数控系统硬件配置与连接	47
第3章	系统启动与调试	49
3.1	驱动配置	49
3.2	机床数据	51
3.2.1	显示数据	51
3.2.2	通用数据	52
3.2.3	通道数据	53
3.2.4	轴数据	54
3.2.5	驱动数据	57
3.3	PLC 启动	58
3.3.1	Toolbox 安装	58
3.3.2	硬件组态	61
3.3.3	基本程序	64
3.4	轴配置与调整	92
3.4.1	轴配置	93
3.4.2	轴运行优化	94
3.4.3	轴监控	97
3.4.4	数显轴	99

3.5	主轴配置与调整	102
3.5.1	主轴配置	102
3.5.2	挡位设置	103
3.6	检测装置配置与参考点	105
3.6.1	增量型检测装置	106
3.6.2	带距离码标记检测装置	108
3.6.3	绝对值检测装置	109
3.7	刀具补偿	110
3.7.1	常用刀具类型	110
3.7.2	刀具参数	111
3.8	对刀与零点偏置	112
3.9	标准循环	115
3.9.1	标准循环安装	115
3.9.2	循环功能介绍	115
3.9.3	循环调用	117
3.10	程序模拟	119
3.10.1	程序模拟操作	119
3.10.2	模拟功能重建	120
3.11	几何轴交换	120
第4章	数控专用功能实现	122
4.1	龙门同步轴	122
4.1.1	轴同步误差监控	122
4.1.2	主从同步轴的参考	123
4.1.3	龙门同步轴设置	123
4.1.4	龙门同步轴启动调试	125
4.1.5	龙门同步轴分离	126
4.2	设定点交换	126
4.2.1	机床参数	127
4.2.2	接口信号与报警	128
4.2.3	设定点交换应用实例	128

4.3	轴交换	134
4.3.1	通道之间轴交换	135
4.3.2	PLC 控制轴类型交换	136
4.3.3	应用实例 1: 手动换挡时主轴振荡	137
4.3.4	应用实例 2: 链式刀库轴定程步进	138
4.4	多 MMC	140
4.4.1	多 PCU	140
4.4.2	HHU 使用	142
4.4.3	PLC 控制程序	144
4.5	NC 与 PLC 的数据通信	149
4.5.1	PLC 读/写 NC 参数/变量	149
4.5.2	NC 程序读/写 PLC 数据	154
4.6	测头系统应用	156
4.6.1	硬件连接	157
4.6.2	系统设置	160
4.6.3	测头循环	162
4.7	双向定位误差补偿	165
4.7.1	螺距误差补偿	166
4.7.2	轴交叉补偿	168
4.7.3	双向定位误差补偿	171
第 5 章 MMC 专用功能实现		172
5.1	MMC 中安装 STEP 7	172
5.2	在 MMC 中二次开发简单画面	173
5.2.1	常用画面定制指令	174
5.2.2	画面定制实例	175
5.3	应用 EasyMask 在 MMC 中制作监控画面	178
5.3.1	功能特点	178
5.3.2	安装与设置	179
5.3.3	画面编程指令	183
5.3.4	应用实例	191

5.4 直接使用 USB 存储器	195
附录 A 接口信号简表	196
A.1 标准机床控制面板(铣床版)	196
A.2 标准机床控制面板(车床版)	198
A.3 轻巧型机床控制面板	200
A.4 B-MPI 手持单元 HHU	201
A.5 手持编程单元 HPU	202
A.6 DB2 报警信息接口信号	204
A.7 DB10 通用接口信号	207
A.8 DB11 方式组接口信号	214
A.9 DB21 ~ DB30 通道接口信号	215
A.10 DB31 ~ DB61 轴接口信号	225
参考文献	231

第 1 章 数控系统概述

1.1 数控基本概念

数控 (Numerical Control, NC) 是用数字信号对机器的运动及加工过程进行控制的一种方法。由于数控系统的核心是工业计算机, 所以又称为 CNC (Computerized Numerical Control)。

数控系统将按照既定规则编写的程序编译成机器代码, 通过计算和数据处理, 输出控制信息驱动伺服电机定位定向定速运动。通常, 数控系统包括数控单元 NCU、人机通信 (Man-Machine Communication, MMC)、伺服系统、可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC)。

最典型的数控系统应用就是数控机床, 如数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控钻床、数控冲床、数控压床、数控滚齿机、数控磨齿机、数控弯管机、数控电火花切割机、数控火焰切割机等, 还有一些数控组合机床及专用机床。若在此基础上增加刀库、附件库及自动换刀换附件装置, 实现一机多能, 则称为数控加工中心, 如车削加工中心、镗铣加工中心、五面体加工中心等。

数控系统还广泛应用于汽车、机器人等行业, 成为柔性生产线、装配线和运输线的核心控制。

1.1.1 基础术语

1) 轴 (Axis)

轴是指机器的一个独立运动。通常, 一台数控机床由多个轴组成。根据轴的特性, 定义了多种轴名称。

主轴 (Spindle): 直接用于加工, 且加工时必须运动的轴。一台机床可以有多个主轴, 其中最常用的一个称为主主轴 (Main Spindle 或 Master Spindle)。主轴通常为旋转轴。主轴确定一个笛卡儿、右手坐标系。

进给轴 (Feed Axis): 直接驱动刀具或工件移动的轴。一台机床通常有多个进给轴, 例如, 车床有 X、Z 轴, 铣床有 X、Y、Z 轴, 带回转工作台的镗床有 X、Y、Z、V、B 轴等。

几何轴 (Geometry Axis): 直接组成右手几何坐标系的进给轴。例如车床几何轴有 X、Z 轴, 铣床、镗床几何轴有 X、Y、Z 轴。在 SINUMERIK 840D 中, 几何轴是可以交换的, 将在 3.11 节有详细的阐述。

辅助轴 (Accessorial Axis): 机床中用于辅助运动的轴, 如刀库、机械手、附件库控制轴等。

直线轴 (Linear Axis): 运动轨迹是直线的轴。多数进给轴为直线轴。

旋转轴 (Rotary Axis): 旋转运动轨迹的轴, 如主轴、回转台、回转运动、花盘分度、数控分度头、机械手旋转运动等。

同步轴 (Synchronized Axis): 从起点至任意位置的运动均同步运行的轴。同步轴一般是指一个同步轴组, 通常, 1 个同步轴组中可有两三个轴, 其中 1 个为主同步轴。在 SINUMERIK 840D 最多支持 3 个同步轴组, 将在 4.1 节有详细的阐述。

模拟轴 (Simulative Axis): 通过模拟量信号控制一个轴的运动, 模拟数控轴的功能。通常, 模拟轴为非伺服驱动。模拟轴在机床数控改造中经常出现, 例如, 主轴电机为普通交 / 直流电机, 驱动装置采用交 / 直流调速装置, 通过模拟轴定位控制模块接入数控系统控制总线, 实现模拟数控主轴功能。

PLC 轴: 通过 PLC 程序中专用功能块控制运动的轴。它可与所有其它的轴异步运行。

2) 通道 (Channel)

在同一时间内, 一个通道只能执行一个任务。如果一台机床

有多个通道，则在同一时间内，它可以执行多个任务。所以说，通道是能够直接共同执行任务的功能组合。

高性能的 SINUMERIK 840D 最多可支持 10 个通道，其各个通道既可以单独工作，又可以协同执行任务，它通过通道协调指令来完成。

为了操作与编程方便，同一个轴可以被分配到多个通道中，使用时直接切换或通过指令切换当前通道。

3) 方式组 (Mode Group)

机床工作方式主要有 JOG 点动、REF 参考点、MDA 手动数据访问、AUTO 自动、TEACH-IN 示教、INC 增量方式等，分别用于不同的运行需求。

方式组是指工作方式始终相同的通道组合。一个通道可以是一个方式组，也可以几个通道对应一个方式组。根据机床的应用特性，可以将通道分配到相应的方式组。

通常，加工中心、组合机床具有 2 个或 2 个以上方式组。

4) 参考点 (Reference Point)

机床坐标中各轴的零点位置。所有轴的绝对位置值是以其参考点为参照在相应方向上的偏移值。

5) 机床坐标系 (Machine Reference Frame)

机床坐标系由所有实际存在的机床轴构成。在机床坐标系中定义参考点、换刀点和工作台交换点等机床固定点。

坐标系与机床的相互关系取决于机床的类型。按照 ISO841 和我国 JB3051-82 数控标准，数控机床坐标系采用右手笛卡儿坐标系(图 1-1)：站到机床面前，伸出右手，中指与主要主轴进刀的方向相对。然后可以得到：

(1) 大拇指为方向+X；

(2) 食指为方向+Y；

(3) 中指为方向+Z。

通常，Z 轴与主轴平行，X 轴垂直于 Z 轴且为水平。机床轴的正向取远离工件的方向。

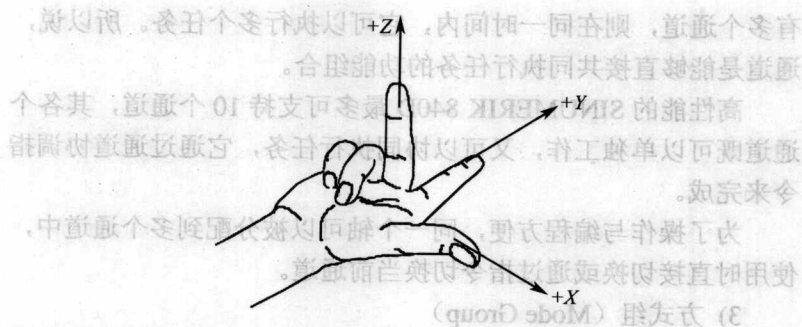


图 1-1 右手笛卡儿坐标系

不同的机床类型其机床轴定义可能会不同，这里给出 2 种常见重型机床的机床坐标系（图 1-2）。

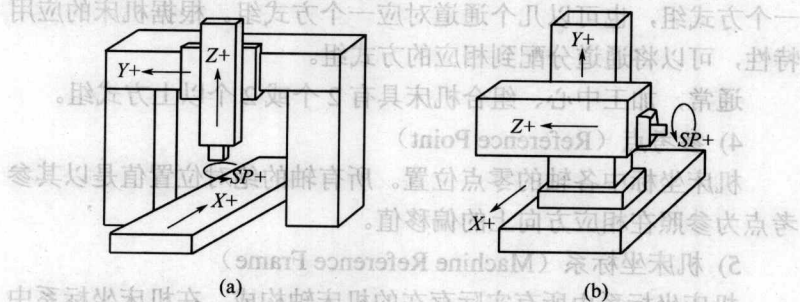


图 1-2 机床坐标系示例

(a) 定梁龙门铣；(b) 落地铣镗床。

图 1-2 中标识的轴向是指刀具在相应方向上的运行方向定义。对于图 (a) 来说，若是龙门移动，其轴名 X 和方向均如图示；若为工作台移动，则相对工件来说刀具的运动方向相反，其工作台移动的正方向应与图中相反。

6) 工件坐标系 (Workpiece Reference Frame)

一台机床安装调试完毕，其机床坐标系就已确定，各点的机床坐标值也是固定的。如果加工时都以机床坐标值编程，则非常不方便，且工件加工程序的通用性差，不同的机床加工相同的工

件要用不同的工件程序，因此，还需要定义工件坐标系。

根据工件的特点，参照机床坐标系的轴设置，建立一个工件坐标系。工件坐标系始终是直角坐标系，并且与具体的工件相联系。在工件坐标系中确定一个工件零点，据此给出的工件各点几何坐标值来编程，所以 NC 程序中的数据通常是以工件坐标系为基准。

如图 1-3 是一个工件坐标系示例，图中原点为工件零点。工件零点相对机床参考点的偏移值成为零点偏置 (Zero Offset / Frame)。

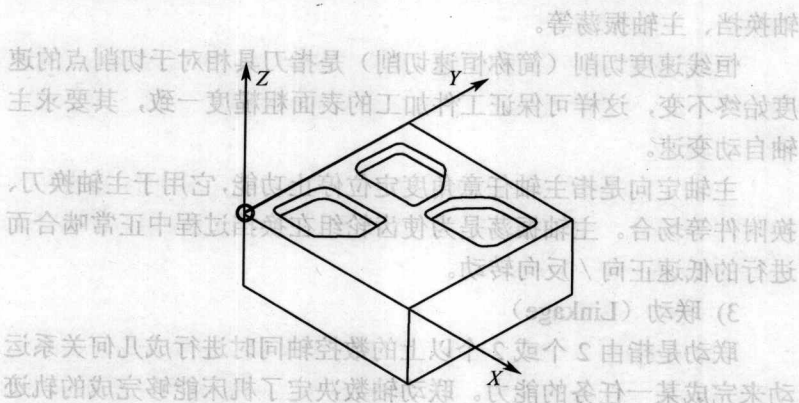


图 1-3 工件坐标系

7) 绝对方式 (Absolute Dimension Mode)

以工件坐标系或机床坐标系中的实际位置值作为编程数据。使用绝对尺寸，所有位置参数均以当前有效的零点为基准。

刀具的运动：绝对尺寸表示刀具将要运行到达的位置。

8) 增量方式 (Incremental Dimension Mode)

在生产过程中经常有一些图纸，其尺寸不是以零点为基准，而是以另外一个工件点为基准。为了避免不必要的尺寸换算，可以使用相对尺寸系统。相对尺寸系统中，输入的尺寸均以在此之前的位置为基准。

刀具的运动：相对尺寸表明刀具必须运行多少距离。

1.1.2 数控功能

1) 进给功能 (Feed Function)

通常所说的进给功能包括快速进给、切削进给、点动进给、手动固定增量进给、手动连续进给、进给倍率修调、快移倍率修调、自动加减速等功能。

2) 主轴功能 (Spindle Function)

主轴功能包括恒线速度切削、主轴定向、主轴转速修调、主轴换挡、主轴振荡等。

恒线速度切削 (简称恒速切削) 是指刀具相对于切削点的速度始终不变, 这样可保证工件加工的表面粗糙度一致, 其要求主轴自动变速。

主轴定向是指主轴任意角度定位停止功能, 它用于主轴换刀、换附件等场合。主轴振荡是为使齿轮组在换挡过程中正常啮合而进行的低速正向 / 反向转动。

3) 联动 (Linkage)

联动是指由 2 个或 2 个以上的数控轴同时进行成几何关系运动来完成某一任务的能力。联动轴数决定了机床能够完成的轨迹特性。如 2 轴联动只能完成同一平面内的曲线插补, 如直线插补、圆弧插补等; 3 轴联动能够完成螺旋线插补等、球面插补等; 5 轴联动机床可以完成许多更复杂的轨迹。

4) 插补 (Interpolation)

插补是在工件轮廓的加工起始点与终止点之间进行“数据密化”并求取中间点的过程。插补功能是指数控机床能够实现的线性加工能力。常用的如直线插补、圆弧插补、螺旋线插补、抛物线插补等。

5) 刀具补偿 (Tool Compensation)

刀具的中心加工点与刀片之间存在距离 (刀具半径), 且随着刀具加工过程中的磨损或更换新刀等, 都会引起其距离的改变;

刀尖至接刀杆端部的长度（刀具长度）同样与上述条件相关。要想加工程序不受实际所使用的刀具改变而修改，则必须采用刀具补偿的办法来解决。

刀具补偿是根据刀具外形规格数据来修正进给轴的实际加工位置，使最终刀片轨迹与要求的加工轨迹一致。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。不同的刀具其补偿数据数量不同，刀具加工过程中的磨损可以通过刀具磨损参数来修正。

6) 精度补偿 (Precision Compensation) 机床是一种机电结合的典型设备，其精度取决于多方面因素，单纯依赖传动系统的位置控制很难达到数控精度要求。如果系统传动链定位误差无过大超差且基本稳定，则可以通过软件实现精度补偿，使其实际定位精度达到系统要求。

精度补偿是通过软件数据修正来弥补自然误差的不足。它包括反向间隙补偿、螺距补偿、测量误差补偿，还有轴交叉补偿、温度补偿、运动摩擦系数补偿等。它们都需要应用标准仪器仪表测量自然误差，然后通过软件修正。如测量误差补偿是数控机床精度检验中常有的环节，以激光干涉仪作为标准测量值依据，对轴进行定位精度修正。

1.1.3 控制模式

1) 半闭环控制 (Half-loop Control)

半闭环控制的特点是在轴传动链中的某个部件（如伺服电机、减速箱传动轴、丝杠等）上安装测量装置（如编码器、旋转变压器、感应同步器等）作为间接的轴位置反馈检测，通过该反馈信号结合传动比计算轴实际位置值。

显而易见，这种控制方法有其局限性：需依赖于机械传动链后半部分的制造、安装调整精度（如丝杠制造精度、丝杠螺母与丝杠的间隙、传动齿轮之间的间隙等）。

由于半闭环控制方式对位置检测器件和安装要求（如直接采用伺服电机尾端自带编码器作为半闭环检测反馈等）及系统调试