

数控技术实用手册

S S S S S S S

工作的参谋 学习的助手 考试的向导

中国劳动社会保障出版社

数控技术实用手册

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

主编 叶伯生

参编 冯丹凤

主审 韩鸿鸾

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控技术实用手册/叶伯生主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006

ISBN 7-5045-5543-6

I. 数... II. 叶... III. 数控机床-技术手册
IV. TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 019216 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

煤炭工业出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销
787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 12.5 印张 367 千字
2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

定价: 24.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

随着我国国民经济的迅速发展,企业对技能人才的需求越来越迫切。特别是我国加入世界贸易组织后,企业之间的竞争将在很大程度上表现为对技能人才的竞争,由此将极大地激发我国广大技术工人学习技术、掌握技术、提高技术的热情。为跟上产业技术迅速发展的步伐,适应广大技术工人、技术人员生产和学习的要求,满足企业、职业学校及各类培训机构培训技能人才的需要,我们继2002年推出《车工实用手册》《钳工实用手册》《焊工实用手册》《电工实用手册》之后,又组织编写了《电子实用手册》《模具钳工实用手册》《机修钳工实用手册》《数控技术实用手册》等四种。

本套丛书的编写工作,始终坚持了以下几方面的要求:一是强调丛书的实用性,以满足一线生产人员和技术人员的实际需要;二是紧密联系国家相关工种的职业资格考试要求,以适应技术工人和技术人员的考试需要;三是较多地引入新技术和新工艺的内容,以及由生产一线总结出来的有价值的实践经验和操作技巧;四是全面贯彻相关工种的最新国家标准。丛书内容表达简明、生动,并配以大量的插图,具有较强的可读性。

本套丛书适合相关工种的技术工人和技术人员使用,也可供职业学校教师和学生技能训练课上查询和继续学习时使用,还可作为参加职业资格考试人员的参考用书。

劳动和社会保障部教材办公室

2006年6月

内容简介

本书主要包括：数控机床及数控系统概述、数控机床的机械结构、数控编程基础、数控铣床与加工中心的编程、数控车床与车削中心的编程、数控机床的操作、常用数控设备的编程，以及 CAD/CAM 集成编程系统概述。本书适合从事数控工作的技术工人和技术人员使用，也可供职业学校教师和学生技能训练课上查阅和继续学习使用，还可作为参加职业资格考试人员的参考用书。

目 录

第一章 数控机床及数控系统概述.....	(1)
一、数控机床的定义.....	(1)
1. 数字控制	(1)
2. 数字控制系统 (数控系统)	(1)
3. 数控机床	(2)
二、数控机床的产生和发展.....	(3)
1. 数控机床的产生	(3)
2. 数控机床的发展	(4)
三、数控机床的特点.....	(5)
四、数控机床的组成和原理.....	(6)
1. 数控机床的组成	(6)
2. 数控装置的组成与结构	(13)
3. 数控机床的工作原理	(16)
五、数控机床的分类.....	(21)
1. 数控机床的分类	(21)
2. 常用的数控机床	(26)
六、数控机床 (系统) 的主要技术指标与功能.....	(35)
1. 数控机床 (系统) 的主要技术指标	(35)
2. 数控机床 (系统) 的功能	(40)
七、数控机床的应用范围及选用.....	(44)
1. 数控机床的应用范围	(44)
2. 数控机床的合理选用	(46)
3. 选用数控机床应注意的问题	(48)
八、典型数控装置简介.....	(49)
1. 日本 FANUC 公司的 FS 系列 CNC 装置	(49)
2. 德国 SIEMENS 公司的 SINUMERIK 系列 CNC	

装置	(58)
3. 华中数控公司的 HNC 系列 CNC 装置	(60)
九、数控机床 (系统) 的安装和调试	(63)
1. 安装	(63)
2. 运行与调试	(64)
十、数控机床 (系统) 的检测验收	(64)
1. 开箱检查	(64)
2. 机床几何精度检查	(66)
3. 机床定位精度检查	(66)
4. 机床切削精度检查	(66)
5. 数控机床功能检查	(67)
十一、数控机床 (系统) 的维护保养	(68)
1. 点检	(68)
2. 数控系统日常维护	(72)
3. 诊断用仪器仪表	(73)
4. 技术资料	(74)
十二、数控机床文明生产与安全操作规程	(74)
十三、数控机床中、高级工职业技能鉴定标准	(75)
1. 中级工职业技能鉴定标准	(75)
2. 高级工职业技能鉴定标准	(82)
第二章 数控机床的机械结构	(90)
一、概述	(90)
二、数控机床的组成与布局	(91)
1. 数控车床的组成与布局	(91)
2. 数控铣床的组成与布局	(93)
三、数控机床的主传动结构	(97)
1. 主传动系统的作用	(97)
2. 对主传动系统的基本要求	(98)
3. 主传动系统的驱动方式	(98)
4. 主轴部件	(102)
四、数控机床的进给传动结构	(107)
1. 进给传动系统及其作用	(107)
2. 对进给传动系统的要求	(107)

3. 进给传动驱动系统类型	(108)
4. 进给传动系统的机械机构	(108)
五、数控机床的自动换刀装置	(112)
1. 自动换刀装置的作用	(112)
2. 对自动换刀装置的要求	(113)
3. 自动换刀装置的换刀形式	(113)
4. 刀具交换装置	(113)
5. 刀库	(113)
六、数控机床的刀具系统	(124)
1. 数控刀具的分类	(124)
2. 对数控刀具的基本要求	(124)
3. 数控车床用刀具	(125)
4. 数控铣床用刀具	(127)
第三章 数控编程基础	(131)
一、数控编程概述	(131)
1. 数控加工与传统加工的比较	(131)
2. 数控编程的概念	(132)
3. 数控编程步骤	(132)
4. 数控编程方法	(134)
二、数控机床的坐标系	(139)
1. 机床坐标轴的命名与方向	(139)
2. 机床坐标轴方位和方向的确定	(140)
3. 机床坐标系、机床零点和机床参考点	(143)
4. 工件坐标系、工件坐标系原点	(145)
三、数控加工工艺基础	(146)
1. CNC 机床的选择	(146)
2. 加工工序的划分	(146)
3. 工件的装夹方式	(147)
4. 对刀点与换刀点的确定	(148)
5. 进给路线的确定	(150)
6. 切削用量的确定	(150)
7. 程序编制中的误差控制	(157)
四、手工编程中的数值计算	(157)

1. 直线—圆弧轮廓零件的基点计算	(157)
2. 非圆曲线的离散逼近——节点计算	(160)
3. 列表曲线的拟合与刀位计算	(163)
4. 三维曲面的刀位计算	(165)
五、数控加工程序的格式与组成	(171)
1. 零件程序的定义	(171)
2. 程序字的格式	(171)
3. 程序段格式	(173)
4. 零件程序的一般结构	(173)
六、数控编程的有关功能	(174)
1. 准备功能指令 G	(174)
2. 辅助功能指令 M	(175)
3. 进给速度功能 F	(176)
4. 主轴转速功能 S	(177)
5. 刀具功能 T	(178)
七、数控加工的刀具补偿功能	(178)
1. 数控加工的刀具半径补偿	(178)
2. 数控加工的刀具长度补偿	(182)

第四章 数控铣床与加工中心的编程

(185)

一、数控铣床概述	(185)
1. 数控铣床的分类	(185)
2. 数控铣床的加工对象	(187)
二、数控铣床的基本编程	(188)
1. 编程单位的选定 (G20、G21) / 设置 (G94、G95)	(188)
2. 工件坐标系的设定 (G92) 与选择 (G52 ~ G59)	(189)
3. 坐标平面的选定 G17、G18、G19	(192)
4. 绝对值编程 G90 与增量值编程 G91	(193)
5. 机床运动方式控制指令 G00、G60、G01、G02、G03 和 G07	(194)
6. 刀具补偿功能指令 G40 ~ G44、G49	(200)
7. 回参考点控制指令 G28、G29	(205)

8. 暂停指令 G04	(207)
9. 准停检验 G09	(207)
10. 段间过渡方式 G61、G64	(208)
三、固定循环加工指令	(209)
1. 孔加工固定循环的动作构成	(209)
2. 孔加工固定循环的程序格式	(209)
3. 固定循环指令 G73、G74、G76、G80 ~ G89	(211)
四、子程序与宏程序编程 M98、M99、G65	(218)
1. 子程序编程	(218)
2. 宏程序编程	(220)
五、图形变换(缩放、镜像、旋转)	(227)
1. 镜像功能 G24、G25	(227)
2. 缩放功能 G50、G51	(229)
3. 旋转变换 G68、G69	(231)
六、极坐标编程	(232)
1. FANUC 的极坐标编程	(232)
2. Siemens 的极坐标编程	(234)
七、加工中心及其编程特点	(235)
1. 加工中心概述	(235)
2. 自动换刀程序的编制	(237)
3. 自动交换工作台程序的编制	(238)
第五章 数控车床与车削中心的编程	(239)
一、数控车床概述	(239)
1. 数控车床的分类	(239)
2. 数控车床的基本规格	(239)
3. 数控车床的编程特点	(241)
二、数控车床的基本编程	(243)
1. 编程单位的选定 (G20、G21) / 设置 (G96 ~ G99)	(243)
2. 工件坐标系的设定 (G50) 与选择 (G52 ~ G59) ...	(245)
3. 坐标平面的选定 G17、G18、G19	(247)
4. 绝对值编程与增量值编程 G90、G91	(248)
5. 机床运动方式控制指令 G00、G01、G02、G03	

和 G32	(249)
6. 回参考点控制指令 G27 ~ G30	(262)
7. 刀具补偿功能 G40、G41、G42	(264)
8. 暂停指令 G04	(269)
三、数控车床的固定循环	(269)
1. 车削固定循环 G90、G92、G94	(270)
2. 复合循环 G70 ~ G73、G76	(278)
3. 钻孔固定循环 G83 ~ G85、G87 ~ G89	(290)
四、车削中心的编程特点	(298)
1. 车削中心概述	(298)
2. 动力刀具的控制指令	(298)
3. 主轴和动力刀具同步驱动	(299)
4. 双刀架(转塔刀库)工作	(301)
5. 背面加工	(302)
6. 主轴分度指令, C 轴指令	(304)
五、典型零件的车削加工	(306)
1. 手柄零件的加工	(306)
2. 复杂零件的编程及加工	(307)
3. 子程序编程示例	(310)

第六章 数控机床的操作

一、数控机床的操作步骤	(312)
二、数控机床的操作装置	(313)
1. NC 键盘	(313)
2. 机床控制面板	(313)
三、开机及回参考点	(319)
1. 开机	(319)
2. 复位	(319)
3. 机床回参考点	(319)
四、机床的手动控制	(320)
1. 坐标轴的运动控制	(320)
2. 主轴手动操作	(321)
3. 其他手动操作	(322)
五、工件装夹	(322)

1. 数控车床的工件装夹	(322)
2. 数控铣床的工件装夹	(322)
六、刀具装夹	(323)
1. 数控车床的刀具装夹	(323)
2. 数控铣床的刀具装夹	(324)
七、数据设置	(325)
1. 对刀	(325)
2. 工件坐标系数据的输入	(328)
3. 刀具补偿数据的输入	(329)
4. 工作参数的设置	(330)
5. 用户宏变量的设置	(330)
八、零件程序的输入与调试	(330)
1. 零件程序的输入	(330)
2. 零件程序的调试	(330)
九、零件程序的自动运行	(331)
1. 零件程序的自动运行	(331)
2. 自动运行的暂停	(332)
3. 运行时干预	(332)
十、常见故障及处理	(332)
1. 急停 (E-STOP)	(332)
2. 超过软件行程限位	(333)
3. 超过限位开关设置的极限行程	(333)
十一、关机	(333)
第七章 常用数控设备的编程	(334)
一、数控冲床的编程	(334)
1. 数控冲床简介	(334)
2. 数控冲床的编程	(334)
二、数控快走丝线切割机床的编程	(346)
1. 数控快走丝线切割机床简介	(346)
2. 数控快走丝线切割机床的编程	(347)
第八章 CAD/CAM 集成编程系统概述	(355)
一、计算机辅助数控编程系统的发展历程	(355)

二、几个典型的 CAD/CAM 集成数控编程系统	(355)
1. Pro/ENGINEER	(355)
2. UG II (UNIGRAPHICS II)	(356)
3. CATIA	(356)
4. IDEAS	(356)
5. DelCAM	(356)
6. Cimatron	(357)
7. MasterCAM	(357)
三、MasterCAM 系统的应用概述	(357)
1. 熟悉 MasterCAM 系统的功能与使用方法	(358)
2. 分析加工零件	(358)
3. 对待加工表面及其约束面进行几何造型	(359)
4. 选择合适的刀具	(359)
5. 刀具轨迹生成及刀具轨迹编辑	(359)
6. 刀具轨迹验证	(360)
7. 后置处理	(360)
四、MasterCAM 系统的应用实例	(360)
1. 应用实例 1	(360)
2. 应用实例 2	(365)
附录 A 国际规定的准备功能 G 代码 (JB 3208 - 83)	(369)
附录 B FANUC 数控系统的准备功能 G 代码及其功能	(372)
附录 C FANUC 数控系统的辅助功能 M 代码及其功能	(376)
附录 D 华中 HNC 数控系统准备功能 G 代码及其功能	(378)
附录 E SINUMERIK 数控系统的编程指令表	(381)
参考文献	(388)

第一章

数控机床及数控系统概述

数控机床是 20 世纪中期发展起来的一类数字控制机床。虽然其起因是为了满足航空航天企业加工复杂零件的需要,但由于加工质量高、生产效益好,特别适合于多品种、小批量柔性生产方式,能适应各种产品迅速更新换代的需要。因此,自问世以来,数控机床已逐渐发展成为现代企业为适应激烈市场竞争而采用的重要生产设备。

与此同时,以电子信息技术为基础,集传统的机械制造技术、计算机技术、自动控制技术、传感检测技术、电机技术、电气传动技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体的现代数控技术得到迅速发展和广泛应用,使得普通设备逐渐被高效率、高精度的数控设备所代替,从而形成了巨大的生产力,导致制造业发生了根本性的变化。

一、数控机床的定义

1. 数字控制

数字控制 (numerical control, 简称 NC) 是一种自动控制方法,它用数字、字母和符号等数字化的信息对被控对象的运动及其加工过程进行可编程自动控制。

2. 数字控制系统 (数控系统)

数字控制系统是指实现数字控制相关功能的软、硬件模块的有机集成系统。具体地说,就是用数字、字母和符号等数字信息对被控对象的工作过程进行可编程自动控制的一类控制系统。在应用于机床时,数字控制系统一般简称为数控系统。

数字控制系统具有如下特点:

(1) 系统中的信息是离散的数字量,因而可用不同的字长表示不同精度的信息。

(2) 系统具有算术运算能力, 因而可进行复杂的信息处理。

(3) 系统具有逻辑运算能力, 即在不改变电路或机械机构的前提下, 可用软件来改变信息处理的方式或过程, 因而具有柔性。

因此, 数字控制系统特别适合机械装备的轨迹控制和逻辑控制。数字控制系统已从最初只应用于机床的控制, 发展到目前广泛应用于各种机械装备的控制, 产生了诸如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控加工中心和数控车削中心、数控线切割机、数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机、工业机器人等数控机械。

本书以机床用数字控制系统为主要阐述对象, 因而统一采用数控系统这一术语。

随着计算机技术的发展, 最初由数字逻辑电路构成的硬件数控系统已完全被计算机数控系统 (computer numerical control system, 简称 CNC 系统) 所取代, 因此现在所说的数控系统指的均是计算机数控系统。

计算机数控系统完全由软件处理数字信息, 并可处理数字逻辑电路难以处理的复杂信息, 因而具有真正的柔性和更高的性能。

3. 数控机床

采用数控技术控制的机床, 或者说装备了数控系统的机床称为数字控制机床, 简称数控机床。

国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing, 简称 IFIP) 对数控机床作了如下定义: 数控机床是一种装有程序控制系统的机床, 该系统能逻辑地处理具有特定代码和其他符号编码指令规定的程序。

具体地说, 凡是用代码化的数字信息将与加工零件有关的信息, 如刀具相对于工件的移动轨迹、切削加工工艺参数 (背吃刀量、主轴转速、进给速度)、各种辅助操作 (主轴启动/停止、刀具更换、切削液开/关、刀具松开/夹紧) 等, 记录在控制介质 (或叫程序介质, 通常有磁带、磁盘、穿孔带或半导体存储器) 上, 然后送人或直接手动输入数控系统, 经过数控系

统分析处理后，发出与上述信息相关的信号控制机床动作，自动加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

与普通机床相比，数控系统取代了手工操作。采用普通机床加工时，是操作人员操纵机床手轮使刀具沿着工件表面移动而进行的零件加工；而采用数控机床加工时，凡是普通机床中需要操作人员操作手轮的工作，现在都可以由数控系统在程序控制下自动完成。

二、数控机床的产生和发展

1. 数控机床的产生

机床是机械制造行业的一种主要生产设各，其发展过程历经普通机床、自动机床和数控机床几个阶段。

数控机床是为了提高劳动生产率和产品质量，同时改善劳动条件而发展起来的一种以零件程序为输入信息，通过数控系统控制的高效、高柔性的自动化机床，特别适用于复杂、精密零件的单件、小批量生产。普通机床、专用的自动生产线和数控机床的比较见表 1—1。

表 1—1 普通机床、专用的自动生产线和
数控机床的比较

对比项 类别	控制器	控制 介质	效率	柔性 (改型 难易)	生产 准备 周期	初始 投资	劳动 强度	适用 范围
普通机床	人	工序卡	低	好	短	小	高	简单、 小批量
自动机床、 专用生产线、 组合机床	控制 机构	挡块、靠模、 凸轮、限位 开关等	高	差	长	大	低	大批量
数控机床	数控 系统	零件程序	高	好	短	大	低	多品种、单 件小批量 复杂零件

数控机床最早诞生在飞机制造业。最初，飞机制造业使用仿形机床进行加工，即在图样和试验完成后，先制作昂贵的靠模和样件，然后在仿形机床上加工。第二次世界大战后，美国

为加速飞机制造业的发展，要求革新这种加工设备。1948年，美国帕森斯（Parsons）公司在研制直升机叶片加工机床时，提出了数控机床的初始设想，后由空军部门委托帕森斯公司和麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所进行数控机床的研究工作，历经三年，他们于1952年试制成功世界上第一台数控机床（三坐标数控立式铣床）。其数控系统全部采用电子管元件，几经改进，直到1955年才真正在飞机制造业中应用。

数控机床的研制成功是机械制造业的一次技术革命，它使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。如今，几乎所有种类的机床均实现了数控化。数控机床的应用领域也从飞机制造业逐步扩展到船舶、汽车、铁道、电力、电子、建筑等民用机械制造业。数控机床已成为现代企业至关重要的基础机械和适应市场竞争必不可少的柔性制造手段，在国民经济中发挥着巨大的作用。

2. 数控机床的发展

从1952年至今，数控机床按数控系统的发展经历了五代，见表1—2。

表1—2 数控机床的发展经历

代	阶段	时间	特点
第一代（电子管时代）	—	1952年	数控系统以电子管组成，体积大，功耗大
第二代（晶体管时代）	—	1959年	数控系统以晶体管组成，广泛采用印制电路板
第三代（小规模集成电路时代）	—	1965年	数控系统采用小规模集成电路作为硬件，其特点是体积小、功耗低，可靠性进一步提高
第四代（小型计算机时代）	—	1970年	数控系统采用小型计算机取代专用计算机，其部分功能由软件实现。它具有价格低、可靠性高和功能强等特点