

21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

数 控 技 术 系 列



数控机床电气控制

王 浩 主编 施振金 吴明友 副主编
刘文波 主审

清华大学出版社



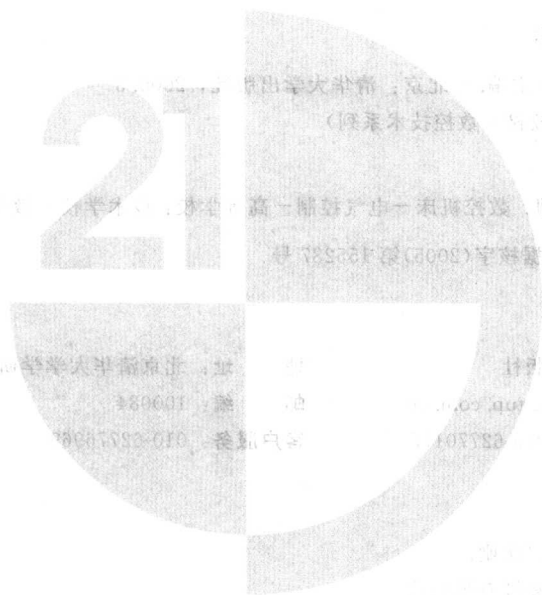
21 世纪高职高专规划教材

数控技术系列

数控机床电气控制

王浩 主编 施振金 吴明友 副主编

刘文波 主审



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍数控机床电气控制系统的组成、工作原理及继电器-接触器控制技术,可编程序控制器控制技术、数控技术、伺服控制技术、传感器控制技术,最后介绍 FANUC Oi 数控系统在某数控铣床上的应用实例。

本书可作为高职高专院校数控技术专业教材,也可作为数控技术培训教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制/王浩主编. —北京:清华大学出版社,2006.3

(21 世纪高职高专规划教材·数控技术系列)

ISBN 7-302-12274-1

I. 数… II. 王… III. 数控机床—电气控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 155287 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:付 迎

文稿编辑:束传政

印 刷 者:北京牛山世兴印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:15.75 字数:318 千字

版 次:2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-12274-1/TN·296

印 数:1~5000

定 价:22.00 元

“高职高专数控技术系列教材建设指导委员会”名单

焦金生 清华大学出版社副总编

钟约先 清华大学机械工程学院副院长

(以下按姓氏笔划为序)

刘 义 武汉船舶职业技术学院教学院长

刘小芹 武汉职业技术学院副院长

刘守义 深圳职业技术学院工业中心主任

刘惠坚 广东机电职业技术学院院长

陈传伟 成都电子机械高等专科学校副校长

李康举 沈阳工业学院应用技术学院机械系主任

杜建根 河南工业职业技术学院副院长

杨兴华 常州轻工职业技术学院党委书记

金潇明 湖南工业职业技术学院院长

姚和芳 湖南铁道职业技术学院副院长

温金祥 烟台职业学院副院长

“高职高专数控技术系列教材建设专家组”名单

(按姓氏笔划为序)

王 浩 广东机电职业技术学院

冯小军 深圳职业技术学院

乔西铭 广东机电职业技术学院机电工程系主任

刘 敏 烟台职业学院机械系主任

吴明友 广东机电职业技术学院

李望云 武汉职业技术学院机械系主任

邱士安 成都电子机械高等专科学校机电系主任

陈少艾 武汉船舶职业技术学院机械系主任

周 虹 湖南铁道职业技术学院副教授

唐建生 河南工业职业技术学院机械系主任

彭跃湘 湖南工业职业技术学院机械系副主任

谢永宏 深圳职业技术学院先进制造系主任

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来源于教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”,以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富教学经验和多年实践经历的教师共同组成,建立“双师

型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

• 公共基础课

公共基础课系列

• 计算机类

计算机基础教育系列

计算机专业基础系列

计算机应用系列

网络专业系列

软件专业系列

电子商务专业系列

• 电子信息类

电子信息基础系列

微电子技术系列

通信技术系列

电气、自动化、应用电子技术系列

• 机械类

机械基础系列

机械设计与制造专业系列

数控技术系列

模具设计与制造系列

• 经济管理类

经济管理基础系列

市场营销系列

财务会计系列

企业管理系列

物流管理系列

财政金融系列

国际商务系列

• 服务类

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设:加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail:gzzg@tup.tsinghua.edu.cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

前言

数控机床电气控制

近年来,随着数控技术的不断发展,数控机床的应用范围越来越广,数控机床的维修、维护人员越来越紧缺。掌握一定的数控机床电气控制方面知识,对机床的维修及操作都有益处。数控机床电气控制是继电器-接触器控制、可编程序控制器控制、数控系统控制、伺服控制、传感器控制的综合应用。它包含的内容广,其知识和技术随数控技术的发展而需不断地更新。

编写本书的指导思想是使读者通过学习,了解数控机床电气控制的原理和控制方法,掌握数控机床的电气基本知识,并能结合实际去分析数控机床电气线路,看懂数控机床电气说明书有关图纸,为数控机床的故障诊断及维修打下基础。本书共分7章,内容包括:继电器控制技术、可编程序控制器控制技术、数控系统与PLC、数控机床进给伺服驱动系统、数控机床主轴系统、检测装置及FANUC 0i系统在数控铣床上的应用实例。

本书采用工厂实例,通俗易懂、涉及面广、内容丰富、应用性强,特别适合作为高等职业院校的数控技术方面的教材和数控机床电气控制方面的培训教材。

本书由广东机电职业技术学院王浩老师担任主编,并编写了第1章、第7章;由广东机电职业技术学院施振金老师和吴明友老师任副主编,并分别编写了第2章至第4章和第6章;第5章由沈阳隆基工程设备有限公司吴昱编写。承蒙中捷机床有限公司张雄总工程师及沈阳理工大学应用技术学院刘文波教授主审,提出了许多宝贵的修改和补充意见,在此表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

数控机床电气控制

第 1 章 继电器控制技术	1
1.1 绪论	1
1.1.1 数控机床电气控制系统的组成	1
1.1.2 数控机床主要性能指标及要求	2
1.1.3 数控机床系统分类	4
1.1.4 数控机床电气控制系统的发展状况	5
1.2 机床常用电器及选择	8
1.2.1 开关电器	8
1.2.2 熔断器	11
1.2.3 主令电器(开关电器)	13
1.2.4 接触器	17
1.2.5 继电器	19
1.3 机床电气原理图	28
1.3.1 电气控制线路图中的图形符号和文字符号	28
1.3.2 电气原理图	28
1.3.3 电气元件布置图	31
1.3.4 电气安装接线图	31
1.4 机床电气控制系统的基本环节	32
1.4.1 三相异步电动机的起动控制	33
1.4.2 三相异步电动机的正反转控制	37
1.4.3 三相异步电动机的制动控制	39
1.4.4 三相异步电动机的保护环节	42
1.4.5 三相异步电动机应用实例分析	43
本章小结	47

习题 1	47
第 2 章 可编程序控制器控制技术	49
2.1 通用型 PLC 的分类、组成及工作原理	49
2.1.1 通用型 PLC 的分类	49
2.1.2 PLC 系统的组成	51
2.1.3 PLC 的工作原理	54
2.1.4 PLC 的表达方式	55
2.1.5 PLC 的技术指标	57
2.2 MITSUBISHI 公司 FX 系列微型 PLC 简介	58
2.2.1 FX 系列微型 PLC 的型号	58
2.2.2 PLC 的输入输出方式	59
2.3 FX _{1N} 系列 PLC 内部的软元件	60
2.3.1 输入继电器 X 和输出继电器 Y	61
2.3.2 辅助继电器 M	62
2.3.3 定时器 T	63
2.3.4 计数器 C	65
2.3.5 状态器 S	69
2.3.6 数据寄存器 D、V、Z	69
2.3.7 嵌套指针 N、P、I	69
2.4 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令系统及编程方法	70
2.4.1 I/O 指令(LD、LDI、OUT)	70
2.4.2 单个触点及电路块的串并联指令	71
2.4.3 脉冲指令及脉冲检出指令	73
2.4.4 置位复位指令(SET、RST)	75
2.4.5 堆栈指令(MPS、MRD、MPP)	75
2.4.6 主控及主控复位指令(MC、MCR)	76
2.4.7 其他指令	78
2.5 FX 系列 PLC 的步进梯形指令系统	79
2.5.1 SFC 图与 STL 图	79
2.5.2 步进梯形图指令(STL、RET)	80
2.5.3 步进控制实例	80
2.6 FX 系列 PLC 的功能指令系统	82
2.6.1 程序流程功能指令	83

2.6.2 传送、比较指令(FNC 10~FNC 19)	84
2.7 编程的注意事项	86
2.8 PLC的应用实例	88
2.8.1 定时器应用电路	88
2.8.2 电动机的起动/停止控制	91
2.8.3 电动机的正反转控制	92
2.8.4 电动机的星形-三角形减压起动控制	93
本章小结	94
习题 2	94
第 3 章 数控系统与 PLC	95
3.1 典型数控系统介绍	95
3.1.1 FANUC 系统	95
3.1.2 SIEMENS 系统	99
3.1.3 FAGOR 系统	100
3.1.4 华中系统	101
3.2 数控系统与 PLC	102
3.2.1 PLC 在数控机床中的配置方式	102
3.2.2 PLC 与外部的信息交换	103
3.2.3 数控系统中 PLC 的分类	103
3.3 FANUC 系列 PMC 的指令系统	105
3.3.1 PMC 的基本指令	106
3.3.2 PMC 的功能指令	108
3.3.3 FANUC PMC 梯形图编制的一般规则	117
3.3.4 FANUC PMC 在数控机床中的应用	118
本章小结	121
习题 3	121
第 4 章 进给伺服驱动系统	122
4.1 概述	122
4.1.1 伺服系统的组成	122
4.1.2 数控机床对伺服系统的基本要求	123
4.1.3 伺服系统的分类	125
4.1.4 伺服系统的发展	128

4.2 步进电动机	128
4.2.1 分类及主要技术指标	128
4.2.2 步进电动机的选用	131
4.2.3 步进电动机的驱动实例	132
4.3 交流伺服电动机	135
4.3.1 直流伺服电动机简介	135
4.3.2 交流伺服电动机	137
4.4 进给伺服驱动系统	141
4.4.1 交流伺服电动机的变频调速	141
4.4.2 交流伺服电动机的矢量变换控制调速系统	147
4.4.3 交流伺服系统的发展趋势	148
4.4.4 进给运动控制参数的设定	150
4.5 直线电动机	154
4.5.1 直线电动机的主要特点	154
4.5.2 直线电动机进给系统的结构设计	156
4.5.3 直线电动机进给系统设计注意事项	156
本章小结	157
习题 4	157
第 5 章 数控机床主轴系统	158
5.1 概述	158
5.1.1 数控机床主轴驱动系统	158
5.1.2 数控机床对主轴的基本要求	159
5.2 主轴传动方式及交流主轴电动机	160
5.2.1 主轴常见的变速方式	160
5.2.2 交流主轴电动机的结构特点及性能	161
5.3 主轴驱动	164
5.3.1 交流主轴的通用变频器控制	164
5.3.2 交流主轴的伺服驱动控制	167
5.3.3 FANUC Oi 系统对交流主轴驱动的控制	172
5.4 主轴定向控制及其分段无级变速控制	172
5.4.1 主轴定向	173
5.4.2 主轴分段无级变速控制	177
本章小结	178

习题 5	179
第 6 章 检测装置	180
6.1 伺服系统对检测装置的要求	180
6.1.1 伺服系统对位置检测元器件的要求	180
6.1.2 位置检测传感器的分类和特点	180
6.2 编码器工作原理	183
6.2.1 光电式增量编码器	183
6.2.2 光电式绝对编码器	184
6.2.3 高精度脉冲编码器	185
6.2.4 手摇脉冲发生器和主轴位置编码器	186
6.3 光栅测量装置	187
6.3.1 光栅的结构	187
6.3.2 光栅的读数	187
6.3.3 光栅的测量电路	188
6.4 感应同步器	190
6.4.1 感应同步器的结构与工作原理	190
6.4.2 感应同步器的工作方式	191
6.5 旋转变压器	193
6.5.1 旋转变压器的工作原理	193
6.5.2 旋转变压器工作方式	194
6.6 磁栅	196
6.6.1 磁栅的结构和工作原理	196
6.6.2 磁栅的检测方法	198
6.7 测速发电机	199
本章小结	201
习题 6	201
第 7 章 FANUC 0i 系统在数控铣床上的应用	202
7.1 FANUC 0i 系统各主要单元接口	202
7.1.1 FANUC 0i 数控装置	202
7.1.2 电源模块	204
7.1.3 伺服模块	205
7.1.4 主轴模块	207

7.1.5 FANUC Oi 数控系统综合连接	208
7.2 数控铣床操作面板简介	210
7.3 硬件连接	211
7.3.1 主电路控制	212
7.3.2 控制电路	214
7.3.3 系统互联图	216
7.3.4 PMC 的 I/O 接口	218
7.4 软件编程	221
7.4.1 回参考点控制	221
7.4.2 主轴变档控制	223
7.5 参数设定	227
7.5.1 FANUC Oi 系列的参数形式	228
7.5.2 FANUC Oi 的参数设置方法	229
本章小结	230
习题 7	230
附录 常用电器图形符号	231
参考文献	234

继电器控制技术

本章介绍数控机床电气控制系统的基本知识,介绍机床常用的低压电器、电气控制的基本环节以及电气线路分析的有关知识,为学习本书后续内容作必要准备。

1.1 绪论

1.1.1 数控机床电气控制系统的组成

数控机床按其结构和原理可分为机械系统(包括液压、气动)和电气控制系统两大部分。机械部分指机床机械结构本体及其辅助装置。机床机械本体(MT)主要由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等组成;辅助装置包括回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液控制装置、排屑、自动换刀装置及自动交换工作台装置等。

数控机床电气控制系统由电气操纵部分(I/O)、数控系统(CNC)、伺服系统(SERVO)(进给伺服和主轴伺服)、机床强电控制系统(可编程序控制器(PLC)和继电器-接触器控制系统)等组成,如图 1-1 所示。

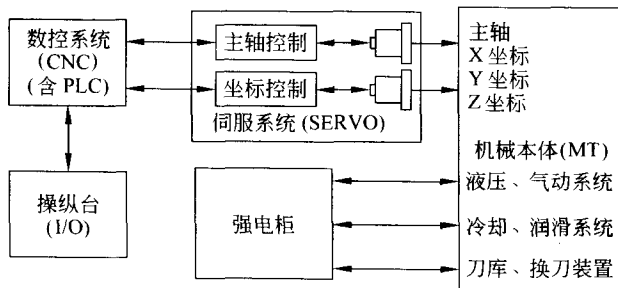


图 1-1 数控机床电气控制系统组成

数控系统(CNC)是数控机床的核心,是数控电气控制系统的控制中心。它能自动处理输入的数控加工程序,并将数控加工程序的信息按两类控制分别输出。如图 1-2 所示,一类是坐标轴运动的位置控制,是由 CNC 控制的连续数字信息,送往伺服系统;另一类是数控机床运行过程的顺序控制,是由 PLC 实现的逻辑离散(开关量)信息,送往机床强电控制系统,最终实现 M(辅助)功能、S(主轴转速)功能、T(刀具)功能并对机床操作面板及各种开关进行控制,从而协调控制机床各部分运动,实现数控机床的加工过程。

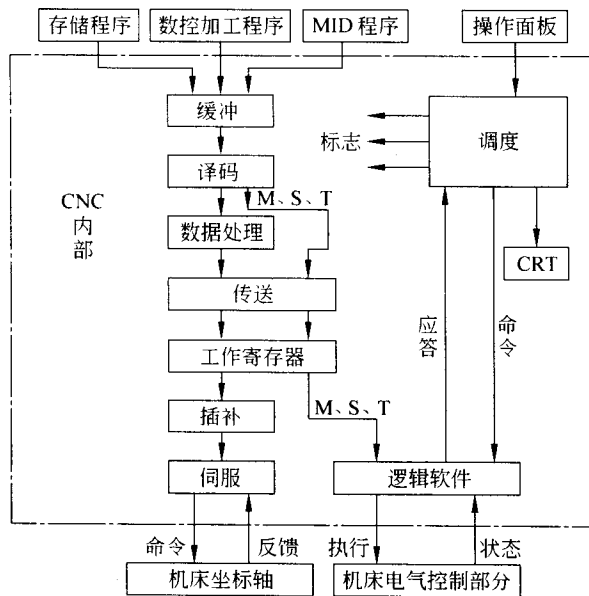


图 1-2 数控装置的信息流

伺服系统(SERVO)由伺服电动机(含检测装置)和伺服装置(或称伺服放大器)组成,分为进给伺服系统和主轴伺服系统。进给伺服系统驱动机床各坐标轴的切削进给,提供切削过程中所需要的转矩和运行速度;主轴伺服系统实现主轴的转速调节和控制,还可提供主轴定向等功能。

机床强电控制系统,除了对机床辅助功能的控制外,还对操作面板上所有元件(包括各种按钮、操作指示灯、波段开关等)、保护开关、各种行程限位开关进行检测和控制。其中,PLC 在润滑、冷却、气动、液压和主轴换刀等系统的逻辑控制中起着重要作用。

1.1.2 数控机床主要性能指标及要求

1. 数控机床的运动性能指标

(1) 数控机床的可控轴数和联动轴数

数控机床的可控轴数是指数控机床能够控制的坐标轴数量。数控机床可控轴数与数控

系统的运算处理能力、运算速度及内存量有关。目前,高档数控装置的可控轴数可达24轴。

数控机床的联动轴数是指数控机床能同时进行控制的坐标轴数。目前有2轴联动、2轴半联动、3轴联动、4轴联动、5轴联动等。2轴半联动主要用于可控轴数3轴以上机床的控制,其中2根轴可以联动,而另1根轴可以做周期性进给。3轴联动数控机床能进行三坐标联动,可以加工空间复杂曲面。4轴联动、5轴联动数控机床可以加工飞机叶片、螺旋桨等零件。

(2) 快速移动速度(G00 速度)及进给速度

快速移动速度也称为G00速度,是指坐标轴快速移动的最高速度(单位m/min),直接影响零件加工的生产效率。目前数控机床的坐标快速移动速度可达到40~70m/min。

进给速度是指机床切削时坐标轴的移动速度(单位mm/min),是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。它受数控装置运算速度、机床运动特性、刚度等因素的限制。目前数控机床的进给速度可达到15 000~40 000mm/min。

(3) 主轴转速

主轴转速是指数控机床主轴的旋转速度(单位r/min)。数控机床的主轴一般采用交流伺服电动机或交流变频电动机驱动(直流伺服电动机逐渐被取代),而高速电主轴也在不断地应用。目前,数控机床主轴转速已普遍达到5000~10 000r/min。采用高速电主轴,主轴转速能达到40 000r/min以上,这有利于提高零件加工精度和表面质量,更适于加工各种小孔。

(4) 坐标行程

坐标行程通常是指数控机床坐标轴(如X轴、Y轴、Z轴)的行程大小,它是直接体现机床加工能力的指标参数,决定了数控机床的加工范围,即加工零件的尺寸范围。

(5) 刀库容量和换刀时间

刀库容量是指加工中心刀库能存放的刀具数量。中小型加工中心刀库容量多为16~60,大型加工中心可达100。

换刀时间是指将主轴上的刀具与刀库中的刀具进行交换所需要的时间(单位s)。目前加工中心换刀时间多为5~8s,少数可达0.7s。刀库容量和换刀时间这两个指标对数控机床的生产效率有着直接的影响。

2. 数控机床的精度指标

(1) 定位精度

定位精度是坐标轴在数控系统控制下的位置精度,是衡量实际位置与指令位置准确程度的指标。

定位误差是指数控机床移动部件(如工作台)实际移动位置与指令位置之间的误差,包括驱动此坐标轴的控制系统的误差及移动部件的几何误差等。定位误差直接影响零件加工的位置精度。