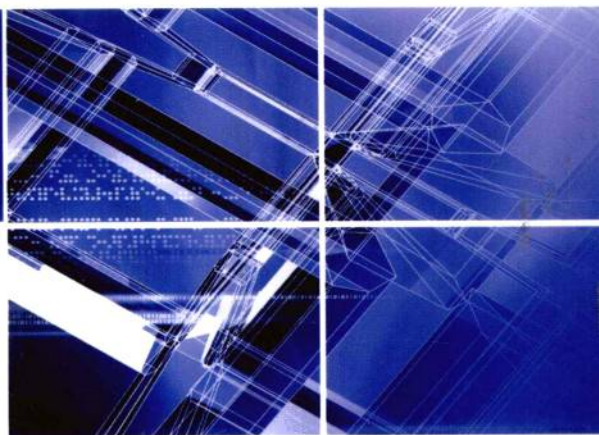




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



数控技术

第2版

大连理工大学 杨有君 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

液压与气压传动 (第2版)	刘延俊	机械制造基础	林江
液压与气压传动 (第3版)	许福玲 陈尧明	机械制造技术基础 (第3版)	卢秉恒
液压与气压传动 (第4版)	左健民	机械制造技术基础 (第2版)	黄健求
液压与气压传动 (第2版)	王积伟	机械制造技术基础 (第2版)	于骏一 邹青
液压与气压传动习题集 (第2版)	王积伟	机械制造技术基础	张茂
液压元件与系统 (第3版)	李壮云	机械制造技术基础 (第3版)	韩秋实 王红军
液力传动	赵静一 王巍	机械制造技术基础课程设计	
精密与超精密加工技术 (第2版)	袁哲俊 王先逵	指导教程 (第2版)	邹青 呼咏
控制工程基础 (第3版)	孔祥东 王益群	机械制造装备设计 (第2版)	李庆余 孟广耀
特种加工 (第5版)	刘晋春 等	机械制造装备设计 (第3版)	关慧贞 冯辛安
互换性与技术测量 (第2版)	韩进宏	金属切削原理与刀具 (第5版)	陆剑中 孙家宁
互换性与测量技术基础 (第3版)	王伯平	机械装备金属结构设计 (第2版)	徐格宁
机床电气控制技术 (第4版)	齐占庆 王振臣	金属学与热处理 (第2版)	崔忠圻 覃耀春
机床数控技术 (第2版)	李郝林	网络化计算机辅助设计与制造技术 (第2版)	江平宇
机床数控技术 (第2版)	胡占齐	现代施工工程机械	张洪
数控技术 (第2版)	朱晓春	现代制造工程技术实践 (第2版)	宋昭祥
数控技术 (第2版)	杨有君	现代机械工程综合实践教程	房海蓉 李建勇
数控机床与编程 (第2版)	郑堤	机械工程实习教程 (第2版)	张进生 王志
机电系统原理及应用 (第2版)	郝安民	工程训练系列教材	王孙安
机电一体化技术与系统	梁景凯 盖玉先	机械工程材料 (第2版)	王章忠
机电一体化系统设计课程设计指导书	尹志强 等	机械工程材料 (第3版)	沈莲
机械CAD/CAE应用技术基础		机械工程材料 (第3版)	王运炎 朱莉
(第2版)	杜静 何玉林	机械工程英语 (第2版)	叶邦彦 陈统坚
机械CAD/CAM技术 (第2版)	王隆太	装配自动化 (第2版)	刘德忠
机械创新设计 (第2版)	张春林	自动化制造系统 (第3版)	张根保
机械工程测试技术 (第2版)	陈花玲	单片机原理与应用 (第2版)	霍孟友
工程测试技术 (第2版)	康宜华	电气控制及PLC (第2版)	周军
机械优化设计 (第4版)	孙靖民 梁迎春	电气控制及可编程序控制器 (第2版)	林明星
机械制造工程学	李伟	压力容器与管道安全评价	杨启明
机械制造工艺学 (第2版)	王先逵	食品加工机械与设备 (第2版)	陈斌
机械制造工艺学	陈明	机械工程CAD基础 (第2版)	肖世德 熊鹰

● ISBN 978-7-111-34516-9

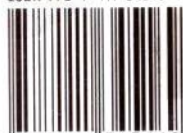
● 策划: 刘小慧/封面设计: 张静

地址: 北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心: (010)88361066
销售一部: (010)68326294
销售二部: (010)88379649
读者购书热线: (010)88379203

邮政编码: 100037
网络服务
门户网: <http://www.cmpbook.com>
教材网: <http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

定价: 44.00元

ISBN 978-7-111-34516-9



9 787111 345169 >

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数 控 技 术

第 2 版

主 编	杨有君		
副主编	姜怀胜	杨振强	
协 编	王仁德	王学俊	黄贤鸿
	王庆鹏	周宝庆	郑贵龙
	丰国虎	唐焕文	
主 审	王先逵	张志弘	



机械工业出版社

本书共分九章。从应用的角度出发,介绍了手工编程、图形交互式自动编程;在介绍插补等轮廓加工的数学模型之后,重点介绍了用于高速曲面加工的 NURBS 曲面的数学基础;用较大的篇幅介绍了各种伺服系统,特别对全数字交流伺服系统作了较详细的讲解;对 PLC 的内容也作了较详细的介绍,很有实用价值;在机床结构的内容中增加了倒置式车削中心、虚拟轴机床和框中框结构加工中心等机床的布局,对高速主轴、高速进给等也作了介绍。全书可以反映当代的新技术。

本书可作为本科生和研究生教材,也可作为工程技术人员的参考书。

本书有相应的 CAI 多媒体课件,授课教师可根据书末的信息反馈表进行索取。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控技术/杨有君主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,
2011. 6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 34516 - 9

I. ①数… II. ①杨… III. ①数控机床 - 高等学校 - 教材

IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 082804 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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 张丹丹

版式设计:张世琴 责任校对:任秀丽

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 8 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 23.75 印张 · 588 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 34516 - 9

定价:44.00 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

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是教育部评定的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。机械工业出版社承担了出版工作并给予了资助。几年来，我们认真地收集资料，走访生产厂，查阅国内外新技术材料，精心地进行了编写工作。编写中力图做到内容新颖，能够反映现代先进技术，并有实用价值。在文字处理方面，尽力做到语言通顺、叙述简明、逻辑严谨，以不辜负教育部对出版高质量教材的要求。

数控技术发展至今，已经到了网络化、智能控制和自适应控制时代，硬件的体积减小，耗能少，速度更快，且可靠性更好，控制软件更加成熟可靠。全数字系统的应用也越来越广泛。数控精密机械的种类更加繁多，新颖的结构层出不穷。因此，本书力图更好地反映当代先进的技术水平，在内容上精心地选择，在语言和文字上认真修改推敲，努力做得更好。

从应用的角度出发，本书对手工编程、数控车床编程和图形交互式自动编程都作了较详细的介绍，读者可根据本书的内容学会几种编程的基本方法，应用时参考现场的有关资料就能工作。手工编程是根据 ISO 标准，依据日本的 FANUC、德国的 SIEMENS 和美国的 A-B、中国大森数控系统提供的材料编写而成的，涵盖了目前国内外大部分数控机械的编程内容，反映了数控编程的基本原理。图形交互式自动编程是依据大连机床集团的一个真实零件加工程序而编写的。从实例中学习更为生动易学，虽然没有包括全部的加工方法，但仍可通过书中的内容学会 Mastercam 编程的基本方法，可以独立地填写对话框中的内容，进行较复杂零件的造型和编程。

为了适应高速加工的要求，描述曲面的 NURBS 法得到越来越多的应用。本书在讲述一般的插补数学模型以后，对三维空间的数值计算给予了应有的讲解，读者可通过这些内容的学习，对数控技术有更加深入的了解，也可应用这些内容编写后台程序，对某些机械进行控制。

计算机和伺服系统是数控技术的两大核心部分，由于计算机的内容有“数字电路”、“微机原理”、“单片机”、“接口技术”以及“网络”等课程的学习，本书不再重复。伺服系统是控制运动部件的关键技术，数字交流伺服系统更是现代数控技术的前沿技术，本书都有较全面的讲解，读者可以较深入地了解这方面的内容。

PLC 是数控技术的重要组成部分，本书给出的内容反映了当代最新技术，

也是机床生产厂的实用技术,有实用价值,读者可把这章的内容用于实际生产中。

机床是数控对象的主体,近年来机床的结构有了很大的发展,为反映现代机床的发展情况,本书增加了倒置式车削中心、虚拟轴机床、框中框结构加工中心及数控滚齿机等机床的布局,对高速主轴、高速进给机构以及高速换刀机构都作了补充,能够反映现代的机床结构。

本书是在2005年8月出版的、由杨有君主编的《数控技术》(普通高等教育“十五”国家级规划教材)一书的基础上重新编写的。参加2005年版教材各章的编写人员是:第一章杨有君,第二章王仁德、杨有君、姜怀胜,第三章周宝庆、郑贵龙、丰国虎、杨有君、姜怀胜,第四章杨有君,第五章唐焕文,第六章王学俊、杨有君,第七章王仁德、姜怀胜、王庆鹏、杨有君,第八章黄贤鸿,第九章杨有君、姜怀胜。这次修改由杨有君和杨振强共同完成。杨振强重新编写了第七章,杨有君重新编写了第二章的第八节。

本书由王先逵教授和张志弘教授主审,并得到赵德堃教授、祝勇先生的帮助,在此表示感谢。

本书曾得到大连理工大学出版基金的资助。

本书配有相应的CAI多媒体课件,授课教师可根据书末的信息反馈表进行索取。

由于本书的编者水平有限,难免会出现不足和纰漏,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

习题 8

第二章 零件加工程序的编制 9

第一节 概述 9

第二节 数控机床编程的基础知识 11

第三节 坐标系 17

第四节 常用编程指令 23

第五节 子程序和固定循环 40

第六节 用户宏程序 50

第七节 编程举例 57

第八节 数控车床的程序编制 61

习题 90

第三章 图形交互式自动编程 93

第一节 概述 93

第二节 Mastercam 造型应用实例 101

第三节 加工工艺、机床和刀具参数的 输入 109

第四节 编程 111

第五节 后置处理 125

习题 133

第四章 轮廓加工的数学基础 134

第一节 逐点比较法的直线和圆弧插补 原理 134

第二节 数字积分插补方法 138

第三节 时间分割法插补原理 142

第四节 扩展 DDA 插补原理 145

第五节 三坐标联动直线和螺旋线插补 原理 151

第六节 刀具半径补偿的坐标计算 152

习题 160

第五章 数控加工与编程的数值计算

方法 162

第一节 引言 基点和节点的计算 162

第二节 三次参数样条曲线 165

第三节 Bezier 曲线 167

第四节 B 样条曲线 168

第五节 NURBS 曲线与曲面 169

第六节 双三次参数曲面(孔斯曲面) 170

第七节 Bezier 曲面与 B 样条曲面 171

习题 173

第六章 数控机床的检测装置 174

第一节 概述 174

第二节 增量式光电编码器和绝对式 编码盘 176

第三节 光栅测量装置 180

第四节 磁尺测量装置 183

第五节 旋转变压器测量装置 186

第六节 感应同步器测量装置 188

习题 193

第七章 数控机床的进给伺服 系统 194

第一节 概述 194

第二节 步进电动机伺服系统 196

第三节 直流伺服系统 207

第四节 交流伺服系统 220

第五节 交流伺服电动机的矢量控制 238

第六节 交流伺服系统举例 247

第七节 直线交流伺服系统简介 257

习题 264

第八章 可编程序控制器与梯 形图 265

第一节 概述 265

第二节 PMC 与数控系统和数控机床的 接口信号 271

第三节 梯形图工作原理 275

第四节 PMC 的基本指令 282

第五节 PMC 的功能指令 289

第六节 数控机床梯形图的设计 314

第七节 梯形图的调试 320

习题 322

第九章 数控机床的结构设计 324

第一节 数控机床总体结构设计 324

第二节 数控机床的主传动系统 334

第三节	数控机床的进给传动系统	344
第四节	机床支承件	348
第五节	数控机床导轨	351
第六节	刀库和机械手	358

第七节	回转工作台	366
习题		370
参考文献		371
读者信息反馈表		

第一章 绪 论

数控机床是一种装有计算机数字控制系统的机床。数控系统能够处理加工程序，控制机床自动完成各种加工运动和辅助运动。与普通机床相比，数控机床能够自动换刀、自动变更切削参数，完成平面、回旋面、平面曲线和空间曲面的加工，加工精度和生产率都比较高，因而应用日益广泛。

一、数控机床的组成

一般来说，数控机床由机械部分、数字控制系统、液压和气压传动系统、冷却润滑及排屑装置等组成。机械部分因各种机床的结构不同而有差别，它主要包括机床的支承件、工作台、滑座、导轨、主轴部件、刀库和装刀机构及传动机构等。数字控制系统包括数字计算机、伺服系统、检测系统、PC 控制部分等。计算机用来完成加工过程中各种数据的计算，利用这些数据由伺服系统完成各坐标轴的运动控制；检测系统用来检测运动部件的坐标位置，将测量的数据提供给计算机，与计算机插补运算的数据进行比较，控制机床各坐标轴的运动位置；PC 控制部分用来控制电器开关器件，例如主电动机及其他控制电动机的起动与停止、各类液压与气压阀的动作、换刀机构的动作、切削液的供给与停止、照明控制等。数控机床是由程序控制的，各种控制软件及零件的编程工作是数控机床加工的重要组成部分。

图 1-1 所示为立式加工中心简图，三个进给伺服电动机 4、6、1 分别驱动纵向工作台 8、横向工作台 7、主轴箱 10，沿 X 、 Y 、 Z 向运动。 X 、 Y 、 Z 是互相垂直的坐标轴，因而当机床三坐标联动时，可以加工空间曲面。

二、数控机床的加工运动

机械加工是由切削的主运动和进给运动共同完成的。控制主运动可以得到合理的切削速度，控制进给运动则可得到各种不同的加工表面。数控机床的坐标运动是进给运动。在三坐标的数控机床中，各坐标的运动方向通常是相互垂直的，即各自沿笛卡儿坐标系的 X 、 Y 、 Z 轴的正负方向移动。如何控制这些坐标运动来完成各种不同的空间曲面的加工，是数字控制的主要任务。在三维空间坐标系中，空间任何一点都可以用 X 、 Y 、 Z 的坐标值来表示，一条空间曲线也可以用三维函数表示。怎样控制各坐标轴的运动才能完成曲面加工呢？下面用二维空间的曲线加工方法加以说明。加工曲线时，刀具的运动轨

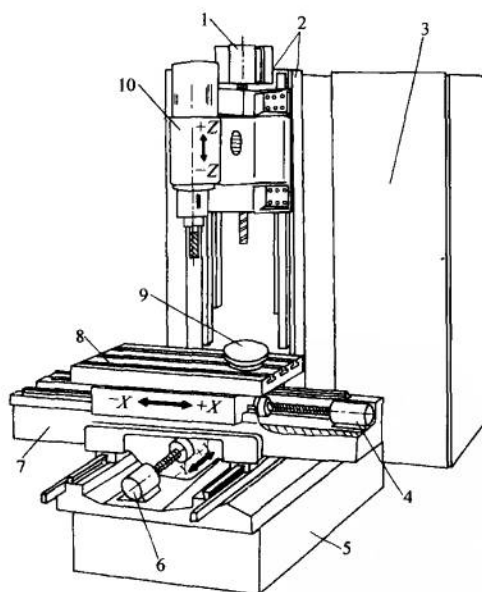


图 1-1 立式加工中心简图

1—Z 向电动机 2—立柱 3—数控柜 4—X 向电动机 5—底座 6—Y 向电动机 7—横向工作台
8—纵向工作台 9—工件 10—主轴箱

迹与理论上的曲线（包括直线）不吻合，而是一条逼近折线。由于各种插补的计算公式不同，因此逼近的折线也不同，通常有下面几种情况。图 1-2 所示是逐点比较法逼近折线，被加工曲线 AB 是由 Δx_i 和 Δy_i 组成的折线逼近的。 Δx_i 和 Δy_i 分别是工作台沿 X 向和 Y 向各移动一步的距离，工作时， X 、 Y 两向电动机不同时转动，而是先后衔接交替工作，因而形成的是线段间相互垂直的折线。折线的拐点多数不在曲线 AB 上，步长 Δx_i 和 Δy_i 越短，逼近精度越高。图 1-3 所示是用积分法（DDA 法）逼近折线，若各坐标方向的脉冲当量相同，则 Δx_i 和 Δy_i 绝对值相等。工作时两个方向的电动机可交替地带动工作台一步一步地移动，也可同时带动工作台移动。交替工作时，刀具轨迹平行于 X 轴或 Y 轴；同时工作时，刀具轨迹与坐标轴成 45° 。积分法逼近折线的拐点多在理论曲线的两侧，也可能在曲线上。图 1-4 所示是用时间分割法逼近折线。两个坐标方向同时移动，步长 f 为定值，由进给速度求出。每走一步的时间也为定值，例如 4ms ，则 Δx_i 和 Δy_i 可由 f 求出，两个方向的每步移动速度也与 Δx_i 和 Δy_i 的大小有关，工作时，两个电动机同时转动，因而合成 f 线段。如此一步一步地工作，可形成由弦线组成的折线，以此来逼近 AB 曲线。折线的拐点在理论曲线 AB 上。

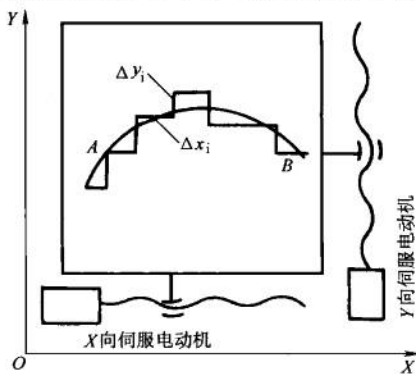


图 1-2 逐点比较法逼近折线

图 1-3 所示是用积分法（DDA 法）逼近折线，若各坐标方向的脉冲当量相同，则 Δx_i 和 Δy_i 绝对值相等。工作时两个方向的电动机可交替地带动工作台一步一步地移动，也可同时带动工作台移动。交替工作时，刀具轨迹平行于 X 轴或 Y 轴；同时工作时，刀具轨迹与坐标轴成 45° 。积分法逼近折线的拐点多在理论曲线的两侧，也可能在曲线上。图 1-4 所示是用时间分割法逼近折线。两个坐标方向同时移动，步长 f 为定值，由进给速度求出。每走一步的时间也为定值，例如 4ms ，则 Δx_i 和 Δy_i 可由 f 求出，两个方向的每步移动速度也与 Δx_i 和 Δy_i 的大小有关，工作时，两个电动机同时转动，因而合成 f 线段。如此一步一步地工作，可形成由弦线组成的折线，以此来逼近 AB 曲线。折线的拐点在理论曲线 AB 上。

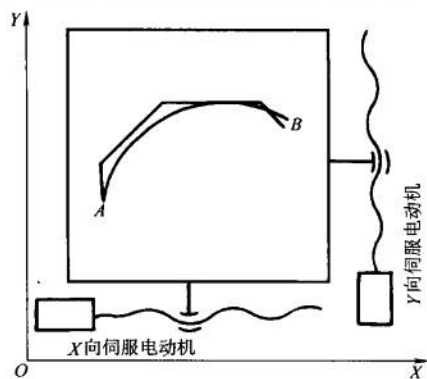


图 1-3 积分法逼近折线

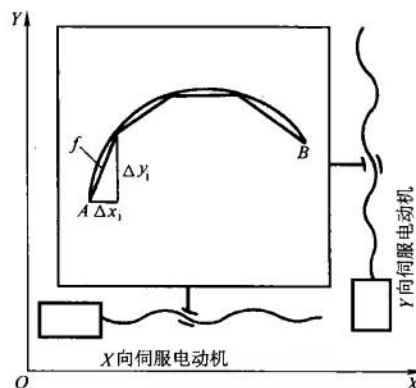


图 1-4 时间分割法逼近折线

三、数控机床的优缺点

数控机床有许多优点，因而发展很快，逐渐成为机械加工的主导机床。其主要优点有：

(1) 用数控机床加工可以获得较高的加工精度，加工质量稳定 数控机床的传动件，特别是滚珠丝杠，制造精度很高，装配时消除了传动间隙，并采用了提高刚度的措施，因而传动精度很高。采用伺服电动机、力矩电动机、直线电动机驱动的系统，没有机械传动误差，传动精度更高。机床导轨采用滚动导轨或粘贴有摩擦因数很小，且动、静摩擦因数很接近，以聚四氟乙烯为基体的合成材料，因而减小了摩擦阻力，消除了低速爬行。在闭环、半闭环伺服系统中，装有精度很高的位置检测元件，并随时把位置误差反馈给计算机，使之能

够及时地进行误差校正,因而使数控机床获得很高的加工精度。数控机床的一切动作都是由程序支配的,与手工操作比较,数控机床没有人为干扰,因而加工质量稳定。

(2) 具有较高的生产率 在数控机床上装有自动换刀、自动变换工件方位和自动检测等机构,可实现在一次装夹中完成全部加工工序,减少装卸刀具、装卸工件及调整机床的辅助时间,并可在同一台机床上进行粗、精加工。采用更大功率的主电动机和新型刀具,提高了切削速度,缩短了加工时间。在数控机床上使用的刀具通常是不重磨装夹式刀具,有很硬的表面涂层,因而切削速度较高。采用对刀仪对刀,使刀尖的位置精度很高,每一把刀具都有很精确的长度数据,为自动换刀提供必要的条件。在加工中心的刀库中备有足够数量的刀具,可实现快速自动换刀,换刀速度一般都在几秒到十几秒之间,有的可达 0.8s 。空行程的速度在 15m/min 以上,有些达到 240m/min ,因而辅助时间很短。与普通机床相比,数控机床的生产率可提高 $2\sim 3$ 倍,甚至可提高几十倍。

(3) 功能多 许多数控机床具有很多加工功能,如在一台机床上可以进行钻孔、镗孔、铣平面、铣槽、铣凸轮曲线及各种轮廓线,甚至刻字。除装夹面外,可对六面体的五个面进行加工,有时还能对与坐标平面成一定角度的平面进行加工。有的机床有双主轴,两个主轴严格同步、同心回转,在不停车的情况下自动更换装夹面,可实现六面体的全部加工。在一次装夹下完成多种加工,可消除因重复装夹而带来的误差,也减少了测量和装夹的辅助时间。

(4) 对不同零件的适应性强 在同一台机床上可适应不同品种及尺寸规格零件的自动加工。改变被加工零件的品种时只需更换加工程序。

(5) 能够完成普通机床不能完成的复杂表面的加工 有些空间曲面,例如螺旋桨表面,用普通机床加工很困难,而用五坐标联动数控机床加工就很方便,并可得到很高的曲面精度;采用数控仿形加工曲面也很方便,且可重复应用,有镜像加工功能。

(6) 数控机床可大大减轻工人的劳动强度,并有较高的经济效益。

数控机床也有如下缺点:

(1) 价格昂贵 一次投资较多,价格昂贵。

(2) 维修和操作较复杂 数控机床是高技术产品,一定要求具有较高技术水平的工人和维修人员进行操作和维修。

数控机床适用于多品种,中、小批量生产和对形状比较复杂、精度要求较高的零件加工,也适用于对产品更新频繁、生产周期要求短的零件加工。用数控机床可以组成自动化车间和自动化工厂(FA),目前应用较多的是组成柔性自动生产线(FML)、柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)。

四、数控机床的分类

数控技术除广泛用于各种机床(包括齿轮加工机床)外,也用于各种机械的运动控制。由于控制系统和传感元件的发展,机床的智能化程度越来越高,工艺范围也更为广泛。从控制原理和主要性能上看,数控机床可按下列方法分类。

1. 按工艺用途分类

按工艺特点可分为普通数控机床和加工中心。

普通数控机床有数控车床、数控镗铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床、数控压力加工机床、数控电加工机床等。

加工中心是带有刀库和自动换刀机械手的数控机床,在一台机床上可实现不同工艺加工,通常可完成钻、扩、铰、攻螺纹、镗、铣等多工序加工。为扩大加工范围和减少辅助时间,有些加工中心还能自动更换工作台、刀库和主轴。车铣中心由数控车床发展而来,它有车铣功能。

简易数控机床是在普通机床上进行数控化改造而来的,利用普通机床的一些原有机构,把进给系统改装为伺服电动机和滚珠丝杠机构,由简易数控装置控制。由于其机械部分和数控部分都很便宜,因而整机的价格较低。用量较大的是简易数控车床。

2. 按加工路线分类

按加工路线可分为点位控制数控机床和轮廓加工数控机床。

(1) 点位控制数控机床 只要求机床的移动部件从一点到另一点的定位精度,对其移动路线不作要求。这种机床主要用在孔加工机床中,如钻床、镗床、冲床等,因为这些机床只要求获得孔系坐标位置精度,不要求从一孔到另一孔的运动轨迹精度。为提高生产率,空行程时要快速移动(图1-5)。

(2) 轮廓加工数控机床 这种机床的数控系统能够同时控制多个坐标轴联合动作,对不同形状的工件轮廓表面进行加工,如数控车床能够车削各种回转体表面,数控铣床能铣削轮廓表面(图1-6)。这类机床不但能够加工各种回转曲面、三维曲面,有的还能加工螺旋桨表面,并且可达到很高的加工精度。

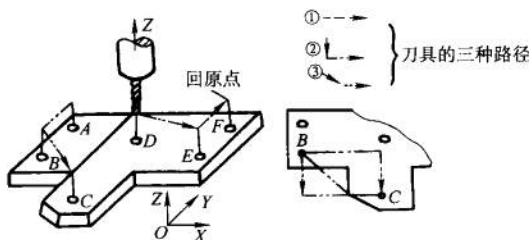


图1-5 数控钻床的工作原理图

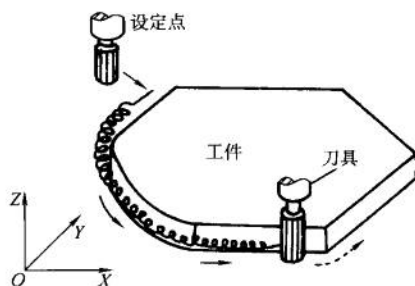


图1-6 两坐标轮廓控制系统的
工作原理图

3. 按有无检测装置分类

按有无检测装置可分为开环、全闭环和半闭环控制系统的数控机床。

1) 开环控制系统的数控机床没有位置检测装置,因此加工精度较低,通常由步进电动机驱动。这种系统结构简单、价格便宜,适用于精度要求不高的数控机床。

2) 全闭环控制系统的数控机床装有位置检测装置,且位置检测装置(如光栅尺)装在床身和移动部件上,可以把坐标移动的准确位置检测出来并反馈给计算机,因此,装有全闭环控制系统的数控机床加工精度很高。

3) 半闭环控制系统的数控机床也有位置检测元件,与全闭环控制系统的数控机床不同之处在于检测元件为圆盘形(如编码盘),装在伺服电动机的尾部,用测量电动机转角的方式检测坐标位置。由于电动机到工作台之间的传动部件有间隙、弹性变形和热变形等因素,因而检测数据与实际坐标值有误差。但由于半闭环控制系统具有价格较便宜、结构较简单、安装调试方便且检测元件不易受到损害等优点,多用于加工精度要求不太高的数控机床上。

4. 按可联动的坐标轴数分类

按可联动的坐标轴数分类, 有两轴、三轴、四轴、五轴联动的数控机床等。由于可联动的坐标轴数不同, 机床的加工能力区别很大, 例如镗铣床, 如果只有两坐标轴联动, 则只能加工平面曲线表面; 若能三坐标轴联动, 则能加工三维空间曲面。在加工多维曲面时, 为使刀具能合理地切削, 刀具的回转中心线也要转动, 因此需要更多的坐标轴联动。五轴联动的镗铣床能够加工螺旋桨表面。在了解坐标轴联动数时, 要考查控制软件的功能。机床所具有的坐标轴数, 不等于坐标轴联动数。机床所具有的伺服电动机数也不等于坐标轴联动数。所谓坐标轴联动数, 是指由同一个插补程序控制的移动坐标轴数。这些坐标轴的移动规律是由所加工的轮廓表面来规定的。

五、数控机床的发展

1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院合作试制了世界上第一台三坐标数控立式铣床。1954 年美国 Bendix-Cooperation 公司生产出第一台工业用数控机床。最初的数控机床由电子管控制, 随后经历了用晶体管控制、集成电路控制 (NC)、计算机控制 (CNC), 直到用微处理器控制 (MNC)。第一代采用电子管, 第二代采用晶体管, 第三代采用小规模集成电路, 从 20 世纪 70 年代开始, 小型计算机用于数控系统, 成为第四代数控系统, 这个阶段称为 CNC 阶段。1974 年微处理器开始用于数控系统, 发展到第五代。从 20 世纪末到今天, 在生产中使用较多的数控系统还是第五代数控系统。随着个人计算机的飞速发展, 芯片的集成度越来越高, 功能越来越强, 成本也越来越低, 软件和外围器件又越快越好, 出现了以个人计算机 (PC 机) 为平台的数控系统, 从而进入到第六代数控系统。第五代数控系统的 CPU 采用 80286、80386 芯片, 用 DOS3.3、DOS6.2 软件。第六代数控系统采用现代个人计算机 (PC 机), 用 Windows 95、Windows 98 或 Windows 2000 操作系统。第五代数控系统的存储量小, 只有 32KB、64KB。为解决此问题, 采用 RS232、RS485 接口, 与计算机通信传输。由于受到通信瓶颈限制, 不能进行高速进给。当插补线段长度小于 0.05mm 时, 加速度只有每分钟几百毫米, 不能满足高速进给的需要。而第六代数控系统的存储量可达 120GB 以上, CAD、CAM 的加工代码可通过网络传到硬盘上, 网络速度比 RS232 接口速度提高了几千倍, 加工数据可在加工前全部存储到硬盘上, 避免了边加工、边传送数据的缺点, 解决了高速、高精度加工的问题, 也不需要曲线和样条插补。第五代数控系统的显示器分辨率低、价格高、维修困难。第六代数控系统用标准的计算机显示器, 分辨率高、价格低、可靠性好。第六代数控系统具有网络通信功能。

数控机床的发展主要体现在以下三个方面: 高生产率、高精度和网络化。

1. 高生产率

高生产率体现在高速加工和机床的复合化两个方面。

(1) 高速加工 提高主轴转速和进给速度是数控机床发展的一个特征。

1) 提高主轴转速。主轴转速与主轴轴承的中径 d_m 有关。 d_m 与其转速 n 的乘积称为 $d_m n$ 值, 它是评定轴类旋转速度的唯一标准。 $d_m n$ 值相同时, 轴颈越小, 转速越高。目前主轴的最高 $d_m n$ 值可达 $(1.5 \sim 2) \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 。当主轴轴承中径 d_m 为 100mm 时, 主轴的最高转速可达 20000r/min。主轴的高转速, 有时受主轴轴承的极限转速限制。采用小球轴承, 因球的重量轻, 可提高主轴轴承的极限转速。采用重量轻的陶瓷球轴承, 可使主轴轴承的极限转速进一步提高。近年来, 出现了流体动、静压轴承和磁悬浮轴承, 可最大限度地消

除机械摩擦,使主轴的转速更高。采用电主轴,使电动机的转子与主轴连成一体,没有了电动机与主轴间的齿轮或带传动带来的速度限制、振动和噪声等问题。磁悬浮轴承电主轴在空气中回转,其 $d_m n$ 值可高出滚动轴承的1~4倍,最高线速度可达200m/s(陶瓷轴承为80m/s)。现在的电主轴多为异步电动机,转子发热冷却困难,而永磁同步电动机的电主轴,转子是永久磁铁,因而不发热。为减小装刀后主轴的振动,出现了主轴在线自动平衡装置,每换刀一次,进行一次包括刀具重量在内的自动平衡,在一秒钟内可消除80%~99%由不平衡引起的振动。为减小主轴组件的温升,高速主轴都采用主轴内冷技术,有些还装有轴承外圈、电动机定子的冷却装置。

2) 提高进给速度。提高进给速度主要体现在采用高速精密滚珠丝杠、直线电动机和计算机快速数据处理等几个方面。采用一般滚珠丝杠的最高进给速度只有20~30m/min,加速度小于(0.1~0.3) g 。新型高速滚珠丝杠的进给速度可提高到60~120m/min,加(减)速度可达(1~2) g 。其特点是:采用多头大导程大直径丝杠,增大导程可提高进给速度,但使丝杠的螺旋角增大。为使丝杠的螺旋角不增加太大,必须增大丝杠的直径。提高丝杠和螺母之间的相对速度,有的线速度已达到100~120m/min, $d_m n$ (丝杠滚道中径和转速的乘积)值达到200000mm·r/min。为减小回弹对丝杠提高速度的影响,采用三维型导珠管,沿内螺纹导程角方向插入螺母体内并与滚道相切。有的在螺母内设置封闭槽,改进滚珠反向循环。为减小滚动体的惯量,采用重量轻的陶瓷滚珠或小直径滚珠。为减少滚动体间的摩擦,在滚珠链各相邻滚珠之间加入隔圈。为防止细长杆高速回转时失稳,让丝杠固定而由螺母回转,将螺母与伺服电动机的转子刚性连接在一起,使螺母旋转的同时也作移动。还有的用螺母与丝杠互为反向回转来实现高速直线运动。其最大移动速度可达120m/min。最大加速度小于3 g 。为减小丝杠传动副的温升,高速滚珠丝杠都采用空心内冷结构。

直线电动机使移动件和支承件间没有传动件,靠电磁力驱动移动部件,称为“零传动”。采用直线电动机机床的进给速度可达60~200m/min,加速度达(2~10) g 。早期的直线电动机多用永磁同步电动机,其传动品质好,但防磁难度大。近来多用矢量控制的异步电动机,其传动品质好,防磁难度降低。直线电动机使机械结构简化而电气控制更为复杂。

高速进给要求数控系统的运算速度快、采样周期很短(有些系统的速度环、位置环为0.1ms),还要求数控系统具有足够的超前路径加(减)速优化预处理能力,即应具有超前程序段预处理能力,有些系统可提前处理2500个程序段。在多轴联动控制时,可根据预处理缓冲区里的G代码规定的内容进行加(减)速优化处理。为保证加工速度,第六代数控系统可在每秒钟内进行2000~10000次进给速度的改变。

(2) 机床向复合化发展 复合化就是将加工工件的所有工序尽可能的集中在一台机床上完成,这就节省了辅助时间,提高了生产率,也使机床的结构发生了变化。20世纪70年代出现了车削中心,在数控车床的回转刀架上增加了动力刀架,能驱动刀具作回转运动,可进行钻、扩、铰、攻螺纹、镗、铣等加工,并使主轴具有C轴功能。20世纪80年代又出现了双主轴车削中心,两个主轴同步同心回转,当一个主轴夹持的工件加工完后,主轴不停转动,另一个主轴移动过来,同步夹紧已加工端,再继续加工,可实现回转件的全部加工,提高了生产率。20世纪90年代出现的车铣中心,增加了大功率刀具驱动轴。刀具驱动轴具有B轴和Y轴功能,有刀库和换刀机构,能进行车、铣、钻、镗等加工。有的车铣中心在回转刀架上安装了第二主轴和砂轮轴,可实现外磨。在第二主轴上也可安装齿轮刀具,加工

带轴的齿轮和蜗轮,甚至可实现 X 、 Y 、 Z 、 B 、 C 五轴联动,用指形铣刀加工弧齿锥齿轮等。到了 21 世纪,出现了将一台立式车床、一台立式加工中心和一台卧式加工中心集成在一起的复合机床,还有由加工中心和棒料车床集成的复合化机床。

2. 高精度

早期数控机床的加工精度为 0.01mm 的数量级,到目前为止已经发展到 $0.001\mu\text{m}$ 的数量级,提高了 10^4 数量级。在全闭环的数控机床中,坐标检测装置多是光栅测量尺。测量尺的分辨率都在 $1\mu\text{m}$ 以上,运动件的定位精度可达 $1\sim 2\mu\text{m}$ 。在超高精加工的数控机床中采用激光直线测量装置,测量精度可达 $0.001\mu\text{m}$ 级;在切深方向的进给采用电致(磁致)伸缩材料,进给精度很高。有的公司在主轴端部装有轴向尺寸传感器,可与机床数控系统连接,进行轴向尺寸补偿。在机床上装有多种监控、检测装置,如红外线、声发射、温度测量、功率测量、激光检测等,对加工精度、刀具的磨损与破坏和工件的装夹等进行监控,提高了机床的综合性能,使之能够更为精确、可靠地自动工作。

3. 网络化

在第六代开放式系统中,安装网络通信以及配套的软件可实现网络化制造。有资料显示,在多种小批量生产中,一台数控机床实际上只有 25% 的时间在切削。联网后可提高到 65%,使生产率提高 2.6 倍。联网可使企业与企业之间进行跨地区的协同设计、协同制造、信息共享、远程监控、远程服务,以及进行企业与社会间的供应、销售和服务。网络化能够为制造商提供完整的生产数据信息,数据传递速度得到很大的提高。通过网络可将工件的加工程序传送给异地机床,进行远程控制加工,也可以进行远程诊断并发出指令进行调整。这就使各地区某些分散的数控机床通过网络联系在一起,相互协调,统一优化调度,使产品加工不局限在某个工厂内,而成为社会化的产品。

网络和数控机床的融合已使制造业进一步发展,近期国际上经常使用的一个名词“e 制造”,即数字化制造。e 不仅有电子的含义,还表示网络化、电子商务、电子银行、电子邮件、电子政务等。e 制造实现了 IT(信息技术)与 MT(制造技术)的融合。数控机床只是工作母机本身的数字化,不过是 e 制造中的一个环节。当然,它是一个非常重要的环节。

我国从 1958 年开始研制数控机床,20 世纪 70 年代初得到广泛发展。数控技术在车床、铣床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、电加工机床等方面得到应用,并制造出加工中心。经过 40 年的跌宕起伏,我国数控机床的发展已经由成长期进入成熟期,成为当代机械制造业的主流装备。目前我国可向市场供应的数控机床有 1500 多种,覆盖了超重型机床、高精度机床、特种加工机床、锻压机床、前沿高技术机床等领域,可与日本、德国、意大利、美国并驾齐驱。数控系统经过多年的市场激烈竞争,已经形成由日本的发那科(FANUC)公司占市场 50%、德国的 SIEMENS 公司占市场 25% 的垄断局面。我国从 20 世纪 90 年代末开始掌握基于通用 32 位工业控制机开放式体系结构的数控系统,一举登上当代同一起跑线,开发出能与加工中心、复合车削机床、齿轮机床配套的数控系统,特别是能够控制五轴联动并具备网络化远程监测、诊断、操作功能的数控系统,并开发出弧齿锥齿轮数控加工、三维激光视觉检测、螺旋桨七轴五联动加工和独创的空间曲面插补软件。目前批量投入市场的国产数控系统,具有性能价格比的优势,正在改变国外强手在中国市场上的垄断局面。

习 题

1. 数控机床由哪几部分组成?
2. 数控机床怎样完成直线和曲线加工? 试述书中介绍的几种逼近方法的特点。
3. 试述数控机床的优缺点。
4. 数控机床是怎样分类的?
5. 数控机床发展至今共有几代? 怎样划分的?
6. 数控机床有哪几方面的发展?
7. 都有哪些方法来提高主轴的转速和进给速度?
8. 提高数控机床加工精度的办法有哪些?
9. 试述数控机床复合化发展的情况。
10. 试述网络化和 e 制造的含义。
11. 试述我国数控机床的发展情况。

第二章 零件加工程序的编制

第一节 概 述

数控机床是由计算机控制的，而计算机又必须通过程序来控制。零件加工程序是控制机床运动的源程序，它提供零件加工时机床各种运动和操作的全部信息，主要包括加工工序各坐标的运动行程、速度、联动状态、主轴的转速和转向、刀具的更换、切削液的打开和关闭以及排屑等。

零件加工程序的语言，在国际上大部分已经标准化了（ISO 标准），世界各国都用这些标准语言编程。但有些尚未标准化，为今后技术进一步发展留有余地。对那些没有标准化的语言，各生产厂家略有不同。本书所讲的一些语言和语句格式，是根据日本 FANUC、德国 SIEMENS 以及美国 A-B 公司提供的材料编写的。不同类型的数控系统、不同厂家生产的机床编程方法都不尽相同，请读者应用时，一定要参考机床编程说明书。

一、数控机床程序编制的内容和步骤

数控机床编程的主要内容有：分析零件图样、确定加工工艺过程、进行数学处理、编写程序清单、制作控制介质、进行程序检查、输入程序以及工件试切。

数控机床编程的步骤如图 2-1 所示。

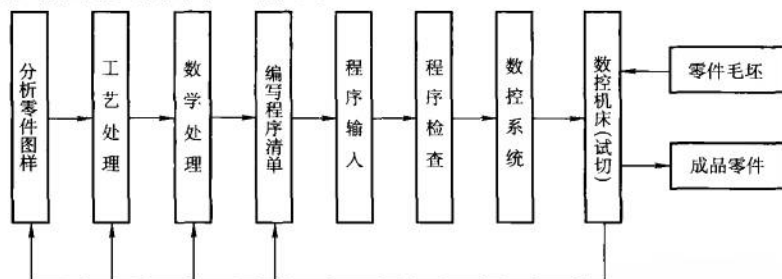


图 2-1 数控机床编程的步骤

1. 分析零件图样和确定工艺方案

根据图样对零件的几何形状尺寸、技术要求进行分析，明确加工的内容及要求，确定加工方案、确定加工顺序、设计夹具、选择刀具、确定合理的进给路线及选择合理的切削用量等。同时还应发挥数控系统的功能和数控机床本身的能力，正确选择对刀点、切入方式，尽量减少诸如换刀、转位等辅助时间。

2. 数学处理

编程前，根据零件的几何特征，先建立一个工件坐标系，根据零件图样的要求，制订加工路线，在建立的工件坐标系上，首先计算出刀具的运动轨迹。对于形状比较简单的零件