

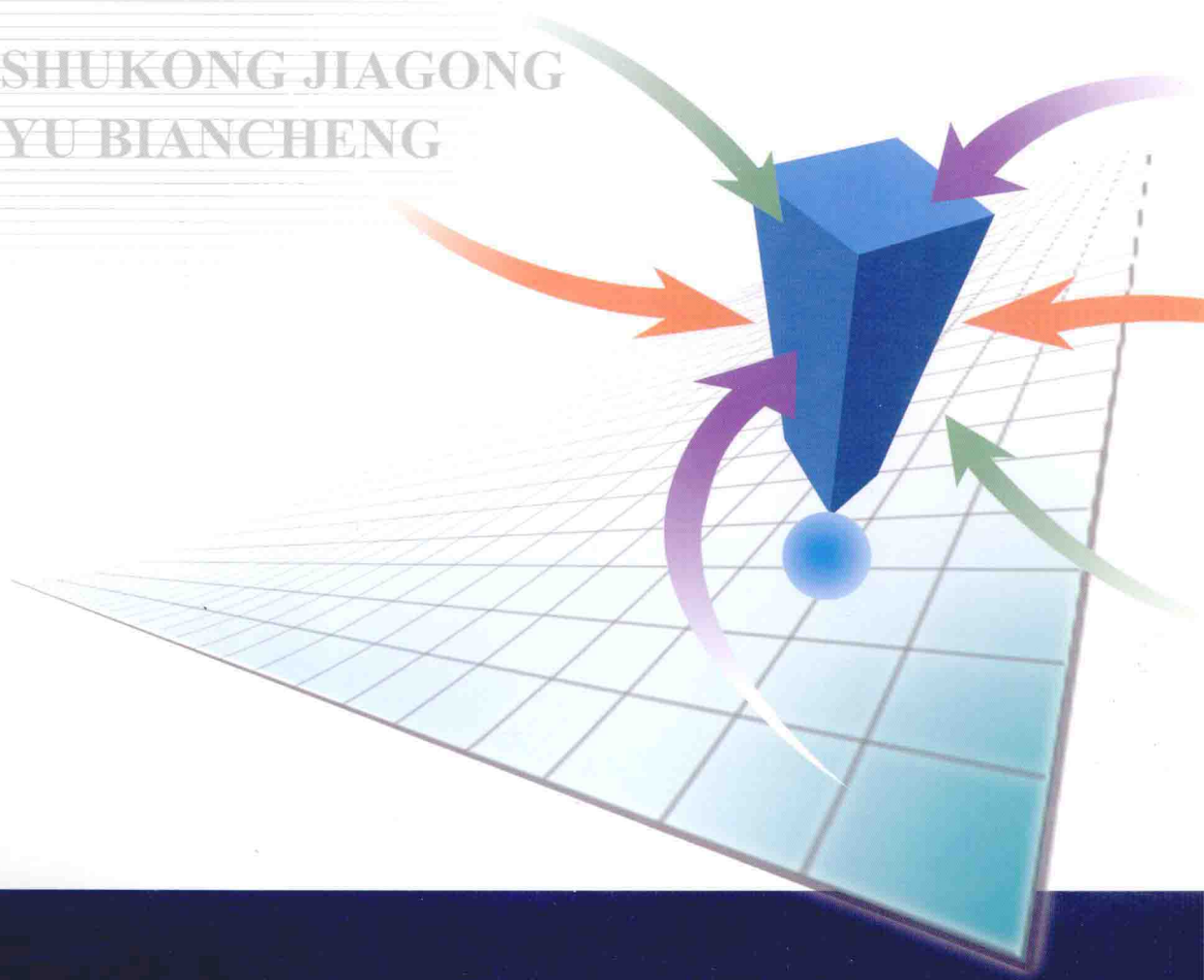


全国高职高专教育精品规划教材

数控加工与编程

主编 王信友

SHUKONG JIAGONG
YU BIANCHENG



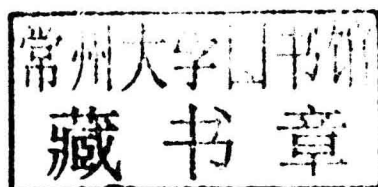
北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

全国高职高专教育精品规划教材

数控加工与编程

主 编 王信友

副主编 曾显波 董国强 张秀军 王 贡



北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以培养高素质技能人才为目标,遵循技能人才培养规律,以数控加工编程工作过程为主线,将理论知识、工作程序和工作技巧恰当结合编写而成。

全书内容分为7章,包括数控加工概述、数控编程基础、数控机床操作、数控铣编程、数控车编程、其他数控加工编程、数控加工自动编程简介。

本书主要是为高等职业院校数控技术及相关专业的专业课教学而作,也可供从事机械设计与制造、模具设计与制造、数控加工和机电一体化等相关工作的专业人士参考使用。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程 / 王信友主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2009. 12

(全国高职高专教育精品规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5121 - 0005 - 3

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床 - 程序设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 222570 号

责任编辑: 史鸿飞

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010 - 51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印刷者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 × 260 印张: 18.75 字数: 459 千字

版 次: 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5121 - 0005 - 3/TG · 16

印 数: 1 ~ 3 000 册 定价: 32.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。
投诉电话: 010 - 51686043, 51686008; 传真: 010 - 62225406; E-mail: press@bjtu. edu. cn。

全国高职高专教育精品 规划教材丛书编委会

主任：曹 殊

副主任：武汉生（西安翻译学院）

朱光东（天津冶金职业技术学院）

何建乐（绍兴越秀外国语学院）

文晓璋（绵阳职业技术学院）

梅松华（丽水职业技术学院）

王 立（内蒙古建筑职业技术学院）

文振华（湖南现代物流职业技术学院）

叶深南（肇庆科技职业技术学院）

陈锡畴（郑州旅游职业学院）

王志平（河南经贸职业学院）

张子泉（潍坊科技职业学院）

王法能（西安外事学院）

邱曙熙（厦门华天涉外职业技术学院）

逯 侃（步长集团陕西国际商贸学院）

委员：黄盛兰（石家庄职业技术学院）

张小菊（石家庄职业技术学院）

邢金龙（太原大学）

孟益民（湖南现代物流职业技术学院）

周务农（湖南现代物流职业技术学院）

周新焕（郑州旅游职业学院）

成光琳（河南经贸职业学院）

高庆新（河南经贸职业学院）

李玉香（天津冶金职业技术学院）

邵淑华（德州科技职业学院）

刘爱青（德州科技职业学院）

宋立远（广东轻工职业技术学院）

孙法义（潍坊科技职业学院）

颜 海（武汉生物工程学院）

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，其根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基础知识和职业技能，因此与其对应的教材也必须有自己的体系和特点。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教育改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全中国范围内组织并成立了“全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员所在单位皆为教学改革成效较大、办学实力强、办学特色鲜明的高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证精品规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“全国高职高专教育精品规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师和专家。此外，“教材编审委员会”还组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对所列选教材进行审定。

此次精品规划教材按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”而编写。此次规划教材按照突出应用性、针对性和实践性的原则编写，并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必要、够用为尺度；尽量体现新知识和新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们真心希望全国从事高职高专教育的院校能够积极参与到“教材研究与编审委员会”中来，推荐有特色、有创新的教材。同时，希望将教学实践的意见和建议及时反馈给我们，以便对出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有精品规划教材由全国重点大学出版社——北京交通大学出版社出版。适合于各类高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级技术学院使用。

全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会

2010年1月

总 序

历史的年轮已经跨入了公元2010年,我国高等教育的规模已经是世界之最,2008年毛入学率达到23%,属于高等教育大众化教育阶段。根据教育部2006年第16号《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,高职高专院校要积极构建与生产劳动和社会实践相结合的学习模式,把工学结合作为高等职业教育人才培养模式改革的重要切入点,带动专业调整与建设,引导课程设置、教学内容和教学方法改革。由此,高职高专教学改革进入了一个崭新阶段。

新设高职类型的院校是一种新型的专科教育模式,高职高专院校培养的人才应当是应用型、操作型人才,是高级蓝领。新型的教育模式需要我们改变原有的教育模式和教育方法,改变没有相应的专用教材和相应的新型师资力量的现状。

为了使高职院校的办学有特色,毕业生有专长,需要建立“以就业为导向”的新型人才培养模式。为了达到这样的目标,我们提出“以就业为导向,要从教材差异化开始”的改革思路,打破高职高专院校使用教材的统一性,根据各高职高专院校专业和生源的差异性,因材施教。从高职高专教学最基本的基础课程,到各个专业的专业课程,着重编写出实用、适用高职高专不同类型人才培养的教材,同时根据院校所在地经济条件的不同和学生兴趣的差异,编写出形式活泼、授课方式灵活、满足社会需求的教材。

培养的差异性是高等教育进入大众化教育阶段的客观规律,也是高等教育发展与社会发展相适应的必然结果。只有使在校学生接受差异性的教育,才能充分调动学生浓厚的学习兴趣,才能保证不同层次的学生掌握不同的技能专长,避免毕业生被用人单位打上“批量产品”的标签。只有高等学校的培养有差异性,其毕业生才能有特色,才会在就业市场具有竞争力,从而使高职高专的就业率大幅度提高。

北京交通大学出版社出版的这套高职高专教材,是在教育部“十一五规划教材”所倡导的“创新独特”四字方针下产生的。教材本身融入了很多较新的理念,出现了一批独具匠心的教材,其中,扬州环境资源职业技术学院的李德才教授所编写的《分层数学》,教材立意新颖,独具一格,提出以生源的质量决定教授数学课程的层次和级别。还有无锡南洋职业技术学院的杨鑫教授编写的一套《经营学概论》系列教材,将管理学、经济学等不同学科知识融为一体,具有很强的实用性。

此套系列教材是由长期工作在第一线、具有丰富教学经验的老师编写的,具有很好的指导作用,达到了我们所提倡的“以就业为导向培养高职高专学生”和因材施教的目标要求。

教育部全国高等学校学生信息咨询与就业指导中心择业指导处处长
中国高等教育学会毕业生就业指导分会秘书长
曹 殊 研究员

前 言

数控加工作为一种先进的零件加工技术，在产品制造中应用相当广泛。在数控加工中，数控编程是一项重要的工作，本书是专门为初学者讲述编程方法的专业教材。

在高等职业教育教学体系中，“数控加工与编程”是数控技术专业的一门骨干专业课，该课程对本专业培养人才专业能力的形成具有决定性作用。通过本课程的学习，学生可以获得数控加工工艺与编程的理论知识、工作程序和工作技巧，形成数控加工工艺分析与编程的基本能力，具备编制中等难度数控加工零件的工艺与数控程序的能力。

高等职业教育与其他教育相比，发展历史较短，还有许多问题需要解决与完善，其中缺少既反映科学技术新发展又符合技能人才培养规律的教材，是人才培养中急需解决的现实问题。本书依据高等职业教育的人才培养目标，遵循技能人才培养规律，将数控加工工艺与编程的理论知识、工作程序和工作技巧有机结合，力求科学实用。

本书具有以下特点。

（1）注重完善知识体系。

知识体系的完善对学生创新能力与发展能力的培养具有积极的影响。本书将数控加工工艺与编程的相关知识以工作过程（思维过程）为导向建立，具有脉络清晰、体系完善的特点。

（2）注重知识认知规律。

遵循知识认知规律，有助于降低学习难度，提高学习效果。本书以完成实际工作任务为目的，以工作要求的形式提出问题，以分析工作过程引入相关知识，以构建工作过程导入解决问题的程序、方法与技巧，循序渐进，逐步提高。

（3）注重技能形成规律。

认知、理解与重构、固化与重复训练提高是技能形成的规律。本书力求以概论的形式完成基本概念认知，以案例促进理解与重构，以重复构建工作过程强化技能训练。

（4）注重专业能力的培养。

能够发现问题、用专业知识分析问题并用专业技能解决问题是工程技术人员的专业能力。本书围绕培养专业能力而设计。

（5）注重理论与实践相结合。

本书既具有相当丰富的理论科学知识，也是一种实用技术。本书更注重其实用性，所有案例、工作程序与工作技巧均来自工程实践，所有案例均进行了技术性、经济性和可行性评估。对全面掌握相关知识，提高工程实践能力会有帮助。

本书由山东省精品课程“数控加工与实训”教学团队成员完成，青岛港湾职业技术学院王信友教授主编，曾显波讲师、董国强高级技师、张秀军高级技师、王贡高级技师为副主

编。在编写过程中得到了青岛港湾职业技术学院各级领导以及其他兄弟院校教师和企业技术人员的大力支持，参考了大量相关教科书、资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中定会有不当甚至错误，还望读者批评指正。

该书的电子文档下载网址：<http://www.qdgw.com/zhuanweb/jpkc/2008/skjg/index.htm>

编 者

2010 年 1 月于青岛

目 录

第1章 数控加工概述	(1)
1.1 数控加工特点与应用	(1)
1.2 数控机床	(3)
1.2.1 数控机床的组成与工作原理	(3)
1.2.2 数控机床的分类与应用特点	(5)
1.2.3 数控系统	(8)
本章小结	(10)
思考与练习	(10)
第2章 数控编程基础	(11)
2.1 数控编程前的工艺处理	(11)
2.1.1 数控加工工艺性分析	(11)
2.1.2 确定加工方案	(14)
2.1.3 走刀路线的设计	(15)
2.1.4 刀具选择	(18)
2.1.5 切削用量选择	(20)
2.1.6 数控加工工艺文件	(20)
2.2 数控编程的数学处理	(21)
2.2.1 基点坐标计算	(21)
2.2.2 节点坐标计算	(22)
2.3 数控加工坐标系	(25)
2.4 数控系统指令代码	(29)
2.5 数控加工程序	(32)
本章小结	(40)
思考与练习	(41)
第3章 数控机床操作	(42)
3.1 华中 (HNC-21/22M) 数控铣床操作	(42)
3.1.1 数控铣床操作系统介绍	(42)
3.1.2 数控铣床操作	(45)
3.2 华中 (HNC-21T) 数控车床的操作	(51)
3.2.1 数控车床操作系统介绍	(51)
3.2.2 数控车床的操作	(53)
思考与练习	(59)
知识链接	(59)

第4章 数控铣编程	(68)
4.1 数控编程的工艺处理	(68)
4.1.1 数控加工工艺分析	(69)
4.1.2 确定加工方案	(70)
4.1.3 切削用量选择	(72)
4.1.4 填写数控加工工艺卡片	(73)
4.2 数控编程的数学处理	(76)
4.3 编写数控加工程序	(77)
4.3.1 编写加工准备程序段	(77)
4.3.2 编写轮廓加工程序段	(82)
4.3.3 编写孔加工(包含螺纹)程序段	(89)
4.3.4 编写球面加工程序段	(95)
4.3.5 编写结束程序段	(97)
4.4 程序结构设计	(97)
4.4.1 主、子程序结构	(97)
4.4.2 子程序应用	(103)
4.5 拓展训练	(109)
4.5.1 零件数控加工工艺性分析	(109)
4.5.2 数控编程的数学处理	(113)
4.5.3 简化编程功能应用	(114)
本章小结	(121)
思考与练习	(121)
知识链接	(125)
第5章 数控车编程	(161)
5.1 数控编程的工艺处理	(161)
5.1.1 数控加工工艺分析	(162)
5.1.2 确定加工方案	(162)
5.1.3 切削用量选择	(163)
5.1.4 编制数控加工工艺文件	(165)
5.2 数控编程的数学处理	(167)
5.3 编写数控加工程序	(168)
5.3.1 编写加工准备程序段	(168)
5.3.2 编写端面加工程序段	(172)
5.3.3 编写外轮廓加工程序段	(173)
5.3.4 编写螺纹退刀槽加工程序段	(178)
5.3.5 编写螺纹加工程序段	(178)
5.3.6 编写结束程序段	(180)
5.4 子、宏程序应用	(183)
5.4.1 主、子程序结构	(183)

5.4.2 子程序应用	(184)
5.4.3 宏程序编程	(186)
5.5 拓展训练	(189)
5.5.1 数控编程的工艺处理	(189)
5.5.2 数控编程的数学处理	(193)
5.5.3 数控加工程序编制	(194)
本章小结	(194)
思考与练习	(198)
知识链接	(199)
第6章 其他数控加工编程	(223)
6.1 数控磨削加工编程	(223)
6.1.1 数控磨床	(223)
6.1.2 数控外圆磨床的控制功能	(225)
6.1.3 数控磨床编程实例	(227)
6.2 数控冲床加工编程	(230)
6.2.1 数控冲床	(230)
6.2.2 数控冲床的控制功能	(231)
6.2.3 数控冲床编程实例	(237)
6.3 数控电火花线切割编程	(238)
6.3.1 数控电火花线切割编程的工艺处理	(239)
6.3.2 数控电火花线切割编程的数值处理	(245)
6.3.3 数控电火花线切割程序编写	(246)
6.4 数控电火花成形加工简介	(252)
6.4.1 数控电火花成形加工工艺过程	(252)
6.4.2 电极材料的选择与加工	(255)
6.4.3 电极与工件的找正与装夹	(258)
6.4.4 电加工工艺参数的选定	(261)
本章小结	(261)
思考与练习	(262)
知识链接	(263)
第7章 数控加工自动编程简介	(272)
7.1 数控加工自动编程	(272)
7.2 典型 CAD/CAM 软件介绍	(273)
7.3 自动编程的主要工作内容和工作过程	(278)
7.4 UGS NX CAM 编程实例	(279)
本章小结	(287)
思考与练习	(287)
参考文献	(288)

第 1 章

数控加工概述

1.1 数控加工特点与应用

用数控机床加工零件的方法称为数控加工。数控加工的过程如图 1.1 所示，被加工零件的信息（如二维线图/三维实体）经过编程人员的工艺处理后编制成数控加工程序，数控加工程序通过程序载体（或控制面板）输入到数控系统，数控系统对输入的加工程序通过计算机处理后生成控制机床加工动作与运动的指令，数控机床在加工指令的控制下自动完成零件的加工。

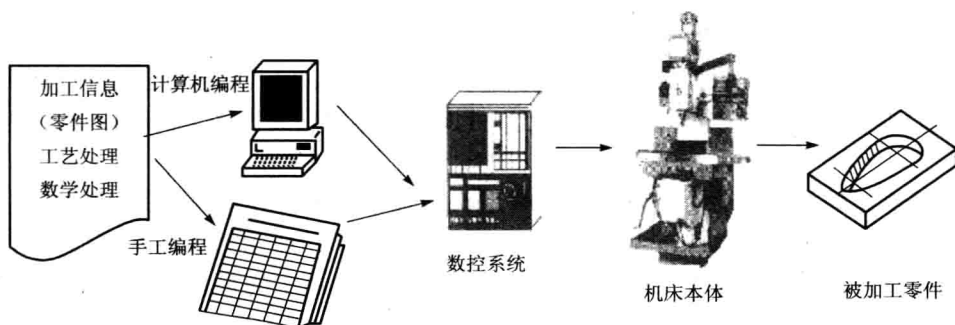


图 1.1 数控加工过程

与普通机床加工相比，数控加工的主要特点表现在控制方式上。普通机床加工时，机床的加工动作与运动主要是由操作者通过手柄、按钮等手动控制进行的；数控加工时，机床的加工动作与运动主要是由预先输入数控机床系统的数控加工程序控制进行的。

与普通加工相比，数控加工除在控制方式上有所不同外，还具有许多显著的特点。

1. 加工精度高，产品质量稳定

一方面，数控加工是在预先设计好的程序控制下由机床自动完成的，可以将加工过程中的人为误差对加工质量的影响降到最低；另一方面，数控机床比普通机床具有更好的刚性和更高的运动精度，进给传动链的换向间隙与丝杠传动误差等均可由数控装置进行补偿。另外由于数控机床具有多种补偿功能和精确重复定位功能，因此，数控机床能够达到较高的加工精度和获得稳定的加工质量。

2. 可以加工复杂型面

普通机床难以精确加工轨迹方程为三次以上的曲线或曲面形状的零件，如螺旋桨、汽轮

机叶片之类的空间曲面,而数控机床则可实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面。

3. 适应性强

一方面,数控加工中一把刀具可以加工相当多的型面;另一方面,当加工对象改变时,数控加工一般只需更改数控加工程序即可满足新零件的加工,而不必像普通机床那样需要更换相应的工艺装备。

4. 生产率高

一方面,数控加工可以采用较高的切削速度和较大的进给量(高速切削),有效节省加工时间;另一方面,数控机床的快速移动与定位缩短了切削空行程的定位和非切削时间。复杂零件往往只需一次装夹就能完成所有的加工工序,减少了工件重复装夹与定位的时间。此外,由于数控加工具有高稳定性,可以减少加工中间环节的检测,节省测量时间。

5. 改变了对操作者的要求

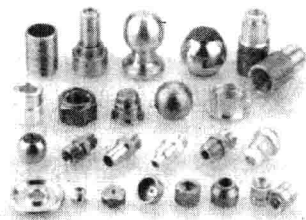
由于数控加工的自动化程度高,数控加工过程降低了对操作者技能的依赖程度,而对操作者智能提出了较高的要求。数控加工的许多优势是否得以发挥,在很大程度上决定于数控程序的优劣和数控机床功能的合理利用,这都依赖于操作者的智能水平。

6. 便于实现信息化、网络化和智能化

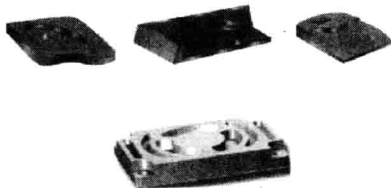
由于数字信息技术是数控技术的核心与基础,数控加工在应用现代化设计(CAD)、制造(CAM)和管理(CAPP)软件的基础上,可以方便地实现制造加工的信息化、网络化和智能化。

就数控机床的加工能力讲,凡是能用普通机床加工的零件,都可以采用数控加工,图1.2(a)所示为数控车削加工的常见零件类型,图1.2(b)所示为数控铣削加工的常见零件。但从经济角度看,数控加工并不是所有类型零件机械加工的最优选择。例如,形状简单、精度不高、大批量生产的零件,工艺装备简单的零件,依靠工人具有特殊技艺进行操作的工序以及材质不均匀或刀具质量差等情况下,都没有必要或不宜采用数控加工。数控加工最适合应用在具有以下特点零件的加工:

- ① 用普通机床加工需很长调整时间或要求复杂工装保证的零件;
- ② 小批生产或需要多次更改设计的复杂零件;
- ③ 加工精度高,形状复杂,需用数学方法表达的各种曲面零件;
- ④ 要求精密复制的零件;



(a) 数控车削加工零件



(b) 数控铣削加工零件

图1.2 数控加工常见零件

- ⑤ 价值高的零件（此类零件，如果加工中出现差错而报废，会造成巨大的浪费）；
- ⑥ 钻、镗、铰、铰、攻丝、铣削工序联合进行的零件，如航空附件壳体、机匣等；
- ⑦ 要求 100% 检验的零件。

随着数控技术的发展和数控机床的普及，数控加工适用范围将进一步扩大。尤其是随着机械制造现代化进程的发展，数控加工终将成为零件机械加工的主要手段。

1.2 数控机床

1.2.1 数控机床的组成与工作原理

早期的数控机床主要由输入装置、数控装置、伺服系统、辅助控制装置、机床本体等组成。现代数控机床主要由计算机数控系统与机床组成。如图 1.3 所示。

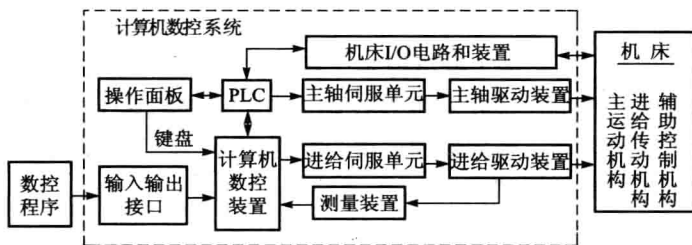


图 1.3 数控机床组成

1. 输入程序

接受输入的程序是数控机床工作的第一步，数控机床通过输入装置接受由外部输入的数控程序。早期数控程序输入载体主要是穿孔纸带，现在主要通过 NC 键盘、磁盘或在线传输。

2. 数据处理与伺服运动

数控机床的计算机数控系统负责对输入程序的运算处理并生成加工控制指令，伺服系统在加工控制指令的控制下，产生机床加工所需的伺服运动。

计算机数控系统一般由操作面板、输入输出接口、数控装置、可编程控制器、伺服驱动系统组成。

1) 操作面板

一般的数控系统操作面板划分为显示器、NC 键盘、功能键、机床控制面板四部分（详见第 3 章）。NC 键盘用于零件程序的编制、参数输入、MDI 及系统管理操作等；功能键中的每个功能包括不同的操作菜单，采用层次结构；机床控制面板用于直接控制机床的动作或加工过程。

2) 输入输出装置

输入装置可将不同加工信息传递给数控系统计算机的存储单元。在数控机床产生的初期，输入装置为穿孔纸带，现已被淘汰；目前使用的键盘、磁盘、网络传输等，大大方便了信息输入工作。

输出装置功能是输出系统内部的工作参数（含机床正常、理想工作状态下的原始参数，

故障诊断参数等),一般在机床刚进入工作状态时需输出这些参数作记录保存,待工作一段时间后,再将输出与原始记录资料作比较、对照,可帮助判断机床工作是否维持正常。

3) 数控装置

数控装置是数控机床的运算和控制系统,完成所有数据的加工处理、计算工作,最终实现对数控机床各功能的指挥工作。其一般由输入输出接口、存储器、控制器、运算器及相应的软件等组成。

输入接口接受输入介质或操作面板上的信息,并将信息代码加以识别,经译码后送入相应的存储器,作为控制和运算的原始依据。

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口,使机床按规定的要求协调地进行工作。运算器接受控制器的指令,及时地对输入的数据进行运算,并按控制器的控制信号不断地向输出接口输出脉冲信号。

输出接口则根据控制器的指令,接受运算器的输出脉冲,经过功率放大,驱动伺服系统,使机床按规定要求运动。

4) 可编程控制器

可编程控制器(PLC)是一种工业用控制计算机,具有抗干扰能力强、可靠性极高、体积小等显著优点,是实现机电一体化的理想控制装置。它在机床上主要完成M、S、T功能动作的控制,即除了进给运动以外的辅助运动的控制,目前,PLC在机床上的功能正在逐渐扩大。例如,用它直接控制坐标轴。

5) 伺服驱动系统

伺服驱动系统简称伺服系统,包括驱动单元和伺服电机,是一种以机械位置或角度作为控制对象的自动控制系统。它是把来自数控装置的脉冲信号经驱动单元放大后传递给电机,带动机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动,以加工出符合图纸要求的零件。对于数控机床,如果说CNC装置是数控机床的“大脑”,是发布“命令”的“指挥机构”,那么伺服驱动系统便是数控机床的“四肢”,是一种“执行机构”,准确地执行由CNC装置发出的运动命令。

数控装置每发出一个脉冲,伺服系统驱动机床运动部件沿确定的坐标轴进给一步,产生一定的位移量,这个位移量称为脉冲当量。常用的脉冲当量为每脉冲 $0.001 \sim 0.01 \text{ mm}$ 。显然,数控装置发出的脉冲数量决定了机床移动部件的位移量,而单位时间内发出的脉冲数量(即脉冲频率)则决定了部件的移动速度。

对于闭环控制系统,还包括工作台等机床运动部件的位移检测反馈装置。检测反馈装置由检测元件和相应的电路组成,主要是检测速度和位移,并将信息反馈于数控装置,实现闭环控制以保证数控机床加工精度。

伺服系统的性能在很大程度上决定了数控机床的性能。例如,数控机床的最高移动速度、定位精度等重要指标,均取决于进给伺服系统的静、动态特性。

3. 机床本体

主轴、工作台、进给传动机构等机械部件包括它们的安装基础——床身——构成机床本体。

4. 加工零件

在数控机床伺服系统控制下,数控加工的实施通过与零件直接接触的刀具、提供刀具或

零件运动的主轴、工作台等自动完成。

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的，但也作了许多改动和提高，如采用滚珠丝杠进行传动，采用滚珠导轨或贴塑导轨消除爬行，采用带有刀库及机械手的自动换刀装置来实现自动快速换刀，以及采用高性能的主轴系统，并努力提高机械结构的动刚度和阻尼精度等。

在机床加工过程中，如何减少切削热量对加工精度的影响是极为关键的一个问题，对加工精度和速度要求都较高的数控机床来说更是如此。为了减少热变形，数控机床常采取以下措施：采用热对称结构及热平衡措施；对于发热部件（如主轴箱、静压导轨等）采取散热、风冷、液冷等控制温升；对切削部位采取强冷措施；专门采用热位移补偿，即预测热变形规律建立数学模型存入计算机，来进行实时补偿。

1.2.2 数控机床的分类与应用特点

自20世纪50年代数控机床在美国出现以来，数控机床的种类和功能都有了很大的发展。目前数控机床的种类越来越多，一般可按加工方式、工艺用途、运动方式和控制方式进行分类。

1. 按加工方式分类

- ① 切削机床类：如数控车床、铣床、锤床、钻床和加工中心等。
- ② 成型机床类：如数控冲压机、弯管机、折弯机等。
- ③ 特种加工机床类：如数控电火花、线切割、激光加工机床等。
- ④ 其他机床类：如数控等离子切割、火焰切割、点焊机、三坐标测量机等。

2. 按运动方式分类

1) 点位控制系统

点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间，一般先快速移动到终点附近位置，然后低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床等。图1.4(a)所示是点位控制加工示意图。

2) 点位直线控制系统

点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到下一个点，而且保证在两点之间的运动轨迹是一条直线的控制系统。刀具移动过程可以进行切削。

应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。图1.4(b)所示是直线控制切削加工示意图。

3) 轮廓控制系统

轮廓控制系统也称连续切削控制系统，是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、数控齿轮加工机床和加工中心等。图1.4(c)所示是轮

廓控制加工示意图。

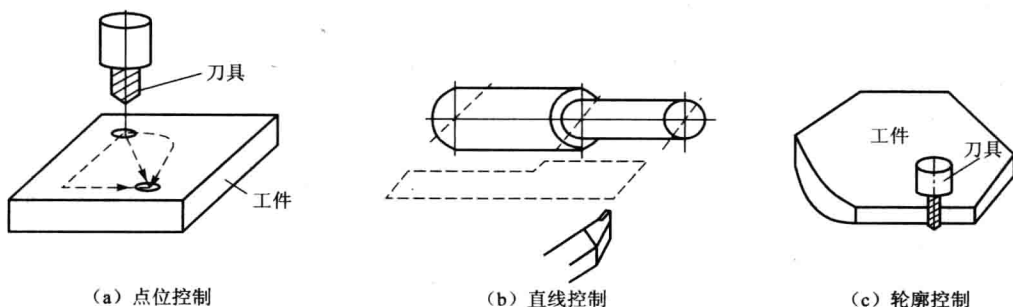


图 1.4 点位、直线、轮廓控制运动方式

3. 按控制方式分类

1) 开环控制数控机床

开环控制系统的特征是系统中没有检测反馈装置，控制信号发出后不再反馈回来，故称开环控制。

受步进电动机的步距精度和工作频率以及传动机构的精度影响，开环系统的速度和精度都较低。但由于开环控制结构简单，调试方便，容易维修，成本较低，仍被广泛应用于经济型数控机床上。典型的开环数控系统如图 1.5 所示。

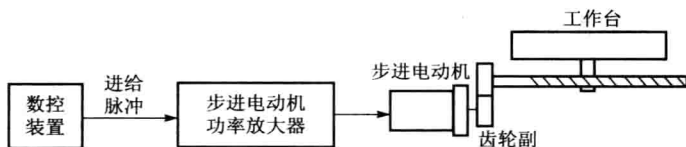


图 1.5 开环控制系统示意图

2) 半闭环控制数控机床

这种控制方式是将转角位移检测装置安装在伺服电动机或滚珠丝杠的轴端，检测出伺服电动机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机中进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈环内没有包含工作台，故称半闭环控制，如图 1.6 所示。

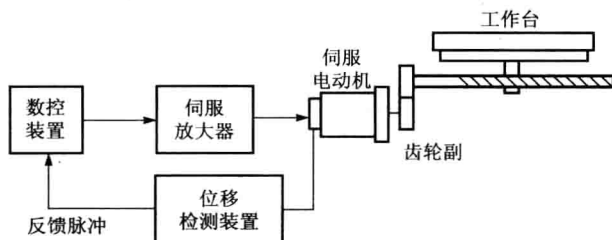


图 1.6 半闭环控制系统示意图