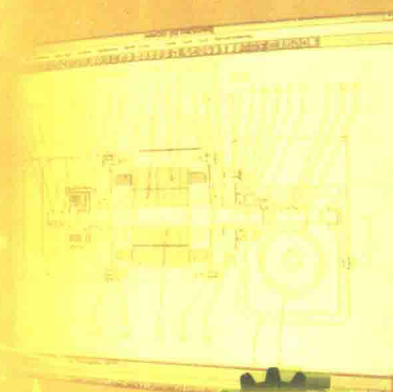


普通高等教育机电类规划教材

数控技术实践

张 宇 主 编
朱巧荣 副主编



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材

数 控 技 术 实 践

主 编	张 宇
副主编	朱巧荣
参 编	王文红
主 审	刘任先



机 械 工 业 出 版 社

本书从数控技术的实用性出发,重点介绍了目前广泛应用的、比较有代表性的数控机床的操作系统及其功能、数控程序编制方法、数控系统插补原理和位置检测装置实验方法等。书中附有数控编程实例和图例,对学生熟悉掌握编程技术和数控机床操作具有一定的指导意义。

本书是普通高等工科院校机电类专业教材,也可用作各类成人教育院校、中专院校的相关专业以及数控技术培训班教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术实践/张宇主编. —北京:机械工业出版社, 2001.7

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-08993-6

I. 数… II. 张… III. 数控机床 高等学校 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 031698 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:冯 钺 高文龙 版式设计:霍永明

责任校对:唐海燕 封面设计:姚 毅 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·4.375 印张·169 千字

0 001—5 000 册

定价:12.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677—2527

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主任委员	邱坤荣
副主任委员	黄鹤汀
	左健民 高文龙
	王晓天 蔡慧官
秘 书	周骥平
委 员	(排名不分先后)
	沈世德 周骥平
	徐文宽 唐国兴
	韩雪清 戴国洪
	李纪明 吴建华
	鲁屏宇 王 钧
	赵连生

序

人类满怀激情刚刚跨入充满机遇与挑战的 21 世纪。这个世纪是经济全球化、科技创新国际化的世纪，是新经济占主导地位的世纪，是科学技术突飞猛进、不断取得新突破的世纪。这个世纪对高等教育办学理念、体制、模式、机制和人才培养等各个方面都提出了全新的要求。培养的人才必须具备新思想新观念、不断创新、善于经营和开拓市场、有团队精神等素质。

高等工程教育是我国高等教育的重要组成部分，21 世纪对它的挑战同样是严峻的。随着现代科学技术的迅猛发展，特别是微电子技术、信息技术的发展，它们与机械技术紧密结合，从而形成传统制造技术、信息技术、自动化技术、现代管理技术等相交融、渗透的先进制造技术，使制造业和制造技术的内涵发生了深刻的变化。面向 21 世纪的机械制造业正从以机器为特征的传统技术时代迈向以信息为特征的系统技术时代。制造技术继续沿着 20 世纪 90 年代展开的道路前进。制造技术和自动化水平的高低已成为一个国家或地区经济发展水平的重要标志。而目前我国制造技术与国际先进水平还有较大差距，亟需形成我国独立自主的现代制造技术体系。面对这一深刻的变化和严峻的形势，我们必须认真转变教育思想，坚持以邓小平同志提出的“三个面向”和江泽民同志提出的“四个统一”为指导，以持续发展为主题，以结构优化升级为主线，以改革开放为动力，以全面推进素质教育和改革人才培养模式为重点，以构建新的教学内容和课程体系、加大教学方法和手段改革为核心，努力培养素质高、应用能力与实践能力强、富有创新精神和特色的应用性的复合型人才。

基于上述时代背景和要求，由国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅（原江苏省教委）、江苏省以及部分省外高等工科院校成立了教材编审委员会，并组织编写了机械工程及自动化专业四个系列成套教材首批 31 本，作为向新世纪的献礼。

这套教材力求具有以下特点：

(1) 科学定位。本套教材主要用于应用性本科人才的培养。

(2) 强调实际、实践、实用，体现“浅、宽、精、新、用”。所谓“浅”，就是要深浅适度；所谓“宽”，就是知识面要宽些；所谓“精”，就是要少而精，不繁琐；所谓“新”，就是要跟踪应用学科前沿，跟踪技术前沿，推陈出新，反映时代要求，反映新理论、新思想、新材料、新技术、新工艺；所谓“用”，就是

要理论联系实际，学以致用。

(3) 强调特色。就是要体现一般工科院校的特点、特色，符合一般工科院校的实际教学要求，不盲目追求教材的系统性和完整性。

(4) 以学生为本。本套教材尽量体现以学生为本、以学生为中心的教育思想，不为教而教，要有利于培养学生自学能力和扩展、发展知识能力，为学生今后持续创造性学习打好基础。

当然，本套教材尽管主观上想以新思想、新体系、新面孔出现在读者面前，但由于是一种新的探索以及其它可能尚未认识到的因素，难免有这样那样的缺点甚至错误，敬请广大教师和学生以及其它读者不吝赐教，以便再版时修正和完善。

本套教材的编审和出版得到了国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅以及各主审、主编和参编学校的大力支持和配合，在此，一并表示衷心感谢。

普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会

主任 邱坤荣

2001 年元月于南京

前 言

数控技术及数控机床在当今机械制造业中的重要地位和巨大效益,显示了其 在国家基础工业现代化中的战略性作用,并已成为传统机械制造业提升改造和 实现自动化、柔性化、集成化生产的重要手段和标志。数控技术及数控机床的广 泛应用,给机械制造业的产业结构、产品种类和档次以及生产方式带来了革命性 的变化。掌握现代数控技术知识是现代机电类专业学生必不可少的。本书根据国 内数控技术及数控机床的应用情况,针对普通高等院校机电类专业学生的特点, 突出数控技术的实用性和数控机床的操作性能,力求做到理论与实践的最佳结合。 本书可与南京工程学院编写的《数控技术》配套使用,也可作为学生在数控机床 操作学习中的指导教材单独使用。

本书共有五章。第一、三章由常州工业技术学院张宇编写,第二章由沙洲工 学院王文红、常州工业技术学院张宇编写,第四、五章由常州技术师范学院朱巧 荣编写。全书由河海大学常州校区刘任先主审。常州工业技术学院在校学生潘宇 峰参加了部分插图制作及程序编制工作。

本书的出版得到了国家机械工业局教编室、江苏省教育厅、各参编学校的领 导以及机械工业出版社的大力支持,在此一并表示感谢。

由于时间仓促和编者水平有限,书中疏漏和谬误在所难免,恳请读者不吝指 教,以便进一步修改。

编 者

2001 年 2 月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 数控技术实践的重要性	1
第二节 数控机床的组成及分类	2
第三节 数控机床的特点	5
思考题与习题	6
第二章 数控编程实例分析	7
第一节 数控加工的工艺路线分析	7
第二节 夹具、刀具的选择及切削用量的确定	13
第三节 数控编程的有关问题	17
第四节 数控车床编程实例	19
第五节 数控铣床编程实例	34
思考题与习题	42
第三章 数控机床的操作简介	48
第一节 CK0630 的操作面板简介	48
第二节 华中 I 型数控系统的结构	51
第三节 华中 I 型数控系统的菜单结构	55
第四节 华中 I 型数控系统 NC 单元的操作	57
第五节 BEIJING—FANUC SERIES O—MD 操作系统简介	69
思考题与习题	75
第四章 轮廓控制原理实验	76
第一节 逐点比较法插补原理实验	77
第二节 数字积分法插补原理实验	100
第三节 数据采样法插补原理实验	110
第四节 刀补原理实验	119
思考题与习题	123

第五章 位置检测装置实验	125
第一节 光栅位置检测装置	125
第二节 感应同步器	129
思考题与习题	131
参考文献	132

第一章 绪 论

第一节 数控技术实践的重要性

随着科学技术的飞速发展, 社会对机械产品的结构、性能、精度、效率和品种的要求越来越高, 单件与中小批量产品的比重越来越大 (目前已占到 70% 以上), 传统的通用、专用机床和工艺装备已经不能很好地适应高质量、高效率、多样化加工的要求, 因而, 以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术, 将机械技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术和成组技术等有机地结合在一起, 使机器制造行业的生产方式和机器制造技术发生了深刻的、革命性的变化。

当今机床行业的计算机数控化已成为机械制造技术进步的大趋势。数控机床是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物, 它集现代精密机械、计算机、通信、液压气动、光电等多学科技术为一体, 具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点, 是当代机械制造业的主流装备。数控机床大大提高了机械加工的性能 (可以精确加工传统机床无法处理的复杂零件), 有效提高了加工质量和效率, 实现了柔性自动化 (相对于传统技术基础上的大批量生产的刚性自动化), 并向智能化、集成化方向发展。所以, 可以毫不夸张地说, (计算机) 数控技术是现代先进制造技术的基础和核心。

数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用 (美国的数控机床已占机床总数的 80% 以上), 是因为它有效地解决了复杂、精密、小批多变的零件加工问题, 能满足高质量、高效益和多品种、小批量的柔性生产方式的要求, 适应各种机械产品迅速更新换代的需要, 经济效益显著, 代表着当今机械加工技术的趋势与潮流, 也是现代机械制造企业在市场竞争激烈的条件下生存与发展的必然要求。

在数控机床发展过程中, 值得一提的是数控加工中心的出现。这是一种具有自动换刀装置的数控机床, 它能实现一次装夹并进行多工序加工。这种机床在刀库中装有钻头、丝锥、铰刀、镗刀等刀具, 通过程序指令自动选择刀具, 并利用机械手将刀具装在主轴上, 这样可大大缩短零件装卸时间和换刀时间。数控加工中心现在已经成为数控机床中一个非常重要的品种, 不仅有立式、卧式等镗铣类加工中心 (用于箱体类零件的加工), 还有车削加工中心 (用于回转体零件加工)

以及磨削加工中心等。这些高性能、高精度、高自动化的数控机床就组成了完整的数控机床家族。

随着社会生产和科学技术的进步，数控技术不仅应用于机床的控制，还用于控制其他的设备，诸如数控线切割机、数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机等，仅数控机床就有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及数控加工中心等。

数控技术是一门实践性很强的技术，因此在学习数控技术这门课的同时，应进一步增强学生的数控技术实践操作能力，以便能够系统、完整地掌握数控机床技术，更快更好地适应机械行业发展的需要。

第二节 数控机床的组成及分类

一、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出设备、CNC 装置（或称 CNC 单元）、伺服单元、驱动装置（或称执行机构）、可编程控制器 PLC 及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-1 是数控机床的组成框图。其中除机床本体之外的部分统称为计算机数控（CNC）系统。

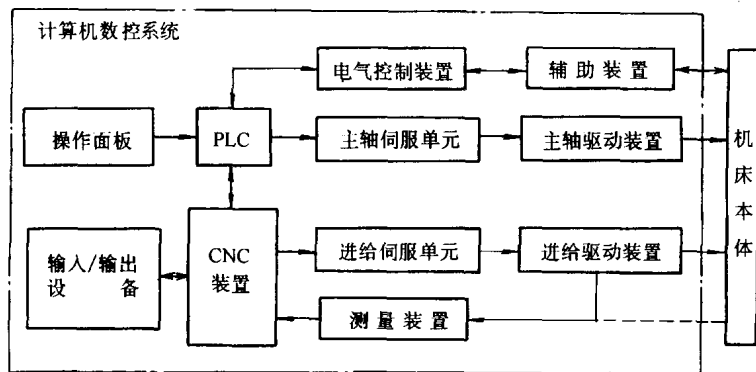


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 机床本体

数控机床由于切削用量大、连续加工发热量大等因素对加工精度有一定影响，加之在加工中是自动控制，不能像在普通机床上那样由人工进行调整、补偿，所以其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密，采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施。

2. CNC 装置

CNC 装置是 CNC 系统的核心，主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总

线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。数控机床的 CNC 系统完全由软件处理数字信息，因而具有真正的柔性化，可处理逻辑电路难以处理的复杂信息，使数字控制系统的性能大大提高。

3. 输入/输出设备

键盘、磁盘机等是数控机床的典型输入设备。除上述以外，还可以用串行通信的方式输入。

数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富，并能显示图形。操作人员通过显示器获得必要的信息。

4. 伺服单元

伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同，伺服单元有脉冲式和模拟式之分，而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动，通过简单的机械连接部件驱动机床，使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出图样所要求的零件。和伺服单元相对应，驱动装置有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置，CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施，所以，伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

6. 可编程控制器

可编程控制器（PC，Programmable Controller）是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的是为了解决生产设备的逻辑及开关控制，故把它称为可编程逻辑控制器（PLC，Programmable Logic Controller）。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，也可称之为编程机床控制器（PMC，Programmable Machine Controller）。

PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合，共同完成对数控机床的控制。用于数控机床的 PLC 一般分为两类：一类是 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制，而将 CNC 和 PLC 综合起来设计，称为内装型（或集成型）PLC；内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分。另一类是利用独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能，称为独立型（或外装型）PLC。

7. 测量装置

测量装置也称反馈元件，通常安装在机床的工作台或丝杠上，相当于普通机

床的刻度盘和人的眼睛，它把机床移动部件的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置，供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。按有无检测、反馈装置，CNC 系统可分为开环与闭环数控系统，而按测量装置的安装位置，又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电动机和丝杠的精度，闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此，测量装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外，由测量装置和显示环节构成的数显装置，可以在线显示机床移动部件的坐标值，大大提高工作效率和工件的加工精度。

二、数控机床的分类

数控机床的品种和规格繁多，分类方法不一。根据不完全统计，目前已有近 500 种数控机床。根据数控机床的功能和组成，一般可分为以下几类（见表 1-1）。

表 1-1 数控机床的分类

分类方法	机床类型		
按坐标轴数分类	一般数控机床	数控加工中心机床	多坐标数控机床
按系统控制特点分类	点位和直线控制数控机床		轮廓控制数控机床
按有无测量装置分类	开环数控系统	半闭环数控系统	闭环数控系统
按功能水平分类	经济型	普及型	高级型

三、加工中心

加工中心是在普通数控机床的基础上增加了自动换刀装置及刀库，并带有自动分度回转工作台或主轴箱（可自动改变角度）及其他辅助功能，从而使工件在一次装夹后，可以连续、自动完成多个平面或多个角度位置的钻、扩、铰、镗、攻螺纹、铣削等工序的加工，工序高度集中。

加工中心能自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对于工件的运动轨迹。有的加工中心带有双工作台，一个工作台上的工件在加工的同时，另一个处于装卸位置的工作台进行工件装卸，然后交换加工（装卸）位置，因而节省总加工时间。

由于加工中心具有上述功能，因而可以明显减少工件装夹、测量和机床的调整时间，减少工件的周转、搬运和存储时间，大大提高生产率，尤其是对于加工形状比较复杂、精度要求较高、品种更换频繁的零件，更具有良好的经济性。

加工中心的外形结构各异，但大体都由基础部件、主轴部件、数控系统、自动换刀系统（含刀库）和辅助装置等组成。按机床的形状，加工中心一般分为卧式加工中心、立式加工中心等。

加工中心自动换刀装置的功能是通过机械手完成刀具的自动更换，它应当满足换刀时间短、刀具重复定位精度高、结构紧凑、安全可靠等要求。自动换刀装

置有以下几种基本形式：①回转刀架形式；②更换主轴形式；③更换主轴箱形式；④带刀库的自动换刀系统形式（目前这种形式应用得最为广泛）。

加工中心的常用刀库类型有盘式刀库（刀具较少时）、链式刀库（刀具数量在 30~120 把时）。有的数控加工中心还有机外对刀仪，用来测量刀具的长度、直径和角度，以便利用程序对刀具参数偏差进行补偿，保证准确加工。

第三节 数控机床的特点

与普通机床相比，数控机床具有以下特点：

一、适应性强

由于数控机床能实现多个坐标的联动，所以数控机床能完成复杂型面的加工，特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件，加工非常方便。当改变加工零件时，数控机床只需更换零件加工的 NC 程序，不必用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备，且可采用应用了成组技术的成套夹具。因此，生产准备周期短，有利于机械产品的迅速更新换代。所以，数控机床的适应性非常强。

二、加工质量稳定

对于同一批零件，由于使用同一机床和刀具及同一加工程序，刀具的运动轨迹完全相同，且数控机床是根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工的一致性且质量稳定。

三、生产效率高

数控机床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，而且无需工序间的检验与测量，所以比普通机床的生产率高 3~4 倍甚至更高。

数控机床的主轴转速及进给范围都比普通机床大。目前数控机床的最高进给速度可达到 100m/min 以上，最小分辨率达 $0.01\mu\text{m}$ 。一般来说，数控机床的生产能力约为普通机床的 3 倍，甚至更高。数控机床的时间利用率高达 90%，而普通机床仅为 30%~50%。

四、加工精度高

数控机床有较高的加工精度，一般在 $0.005\sim 0.1\text{mm}$ 之间。数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响，机床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿，其定位精度比较高，同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。

五、工序集中，一机多用

数控机床特别是带自动换刀的数控加工中心，在一次装夹的情况下，几乎可

以完成零件的全部加工工序，一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省车间的占地面积，带来较高的经济效益。

加工中心的工艺方案更与普通机床的常规工艺方案不同，常规工艺以“工序分散”为特点，而加工中心则以工序集中为原则，着眼于减少工件的装夹次数，提高重复定位精度。

六、减轻劳动强度

在输入程序并启动后，数控机床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。这样就简化了工人的操作，使劳动强度大大降低。

数控机床是一种高技术的设备，尽管机床价格较高，而且要求具有较高技术水平的人员来操作和维修，但是数控机床的优点很多，它有利于自动化生产和生产管理，使用数控机床的经济效益还是很高的。

思考题与习题

- 1-1 什么是计算机数字控制机床？
- 1-2 CNC 机床由哪些部件组成？
- 1-3 何谓点位控制、点位直线控制和轮廓控制？数控加工中心采用的是哪种控制方式？

第二章 数控编程实例分析

通过数控技术课程的学习,我们已知道,数控加工是把编好的加工程序输入数控装置,数控装置再将输入的信息进行运算处理后转换成驱动伺服机构的指令信号,最后由伺服机构控制机床的各种动作,自动地加工出零件。由此可看出,用数控机床加工零件,编制程序是一项重要的工作,它对有效利用数控机床起主要作用。数控加工的程序编制也称为数控编程。数控编程时,必须对零件进行分析,将加工零件的全部工艺过程、工艺参数、位移数据等以规定的代码、程序格式写出。我们已经学习了数控编程的基本知识(坐标系的确定、基本数控指令、指令格式等),为了编制出适合某一数控机床的实用加工程序,在编程前必须对该数控机床的规格、性能、切削范围、CNC系统所具备的功能、编程指令及指令格式等有较全面的了解,并将机床的运动过程、零件的工艺过程、切削用量和走刀路线等都编入程序,最后通过上机床进行加工模拟、试切加工等来验证程序的正确性、合理性。

由此可以看出,数控编程是集工艺于程序中,且其实践性很强。通过本章的学习,要求掌握数控编程的一般步骤、基本方法和常用编程技巧,学会数控机床的调整、参数设置和数控系统的基本操作等。

第一节 数控加工的工艺路线分析

理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样的合格工件,同时应能使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥。数控机床是一种高效率的自动化设备,它的效率高于普通机床的2~3倍,所以,要充分发挥数控机床的这一特点,必须熟练掌握其性能、特点、使用操作方法,同时还必须在编程之前正确地确定加工方案。

由于生产规模的差异,对于同一零件的加工方案是有所不同的,应根据具体条件,选择经济、合理的工艺方案。

一、加工工序划分

在数控机床上加工零件,工序可以比较集中,一次装夹应尽可能完成全部工序。与普通机床加工相比,加工工序划分有其自己的特点,常用的工序划分原则有以下两种:

1. 保证精度的原则

数控加工要求工序尽可能集中, 常常粗、精加工在一次装夹下完成, 为减少热变形和切削力变形对工件的形状、位置精度、尺寸精度和表面粗糙度的影响, 应将粗、精加工分开进行。对轴类或盘类零件, 将待加工面先粗加工, 留少量余量精加工, 来保证表面质量要求。对一些箱体工件, 为保证孔的加工精度, 应先加工表面而后加工孔。

2. 提高生产效率的原则

数控加工中, 为减少换刀次数, 节省换刀时间, 应将需用同一把刀加工的加工部位全部完成后, 再换另一把刀来加工其他部位。同时应尽量减少空行程, 用同一把刀加工工件的多个部位时, 应以最短的路线到达各加工部位。

实际生产中, 数控加工工序要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

二、加工路线的确定

在数控加工中, 刀具 (严格说是刀位点) 相对于工件的运动轨迹和方向称为加工路线, 即刀具从对刀点开始运动起, 直至结束加工程序所经过的路径, 包括切削加工的路径及刀具引入、返回等非切削空行程。加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量, 其次考虑数值计算简单, 走刀路线尽量短, 效率较高等。

下面举例分析数控机床加工零件时常用的加工路线。

1. 车圆锥的加工路线分析

数控车床上车外圆锥, 假设圆锥大径为 D , 小径为 d , 锥长为 L , 车圆锥的加工路线如图 2-1 所示。

按图 2-1a 的阶梯切削路线, 二刀粗车, 最后一刀精车。二刀粗车的终刀距 s 要作精确的计算, 可由相似三角形得

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{\frac{(D-d)}{2} - a_p}{s}$$

$$s = \frac{L[\frac{D-d}{2} - a_p]}{\frac{D-d}{2}}$$

此种加工路线, 粗车时, 刀具背吃刀量相同, 但精车时, 背吃刀量不同, 同时刀具切削运动的路线最短。

按图 2-1b 的相似斜线切削路线, 也需计算粗车时终刀距 s 。同样, 由相似三角形可计算得

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{a_p}{s}$$