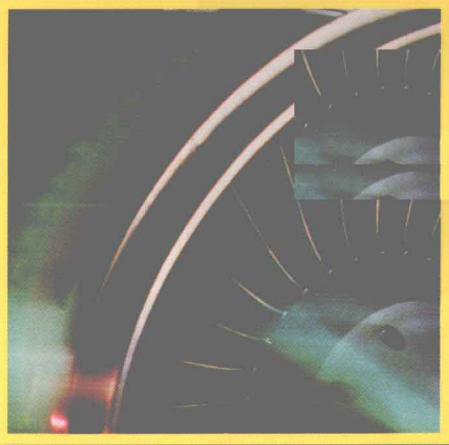
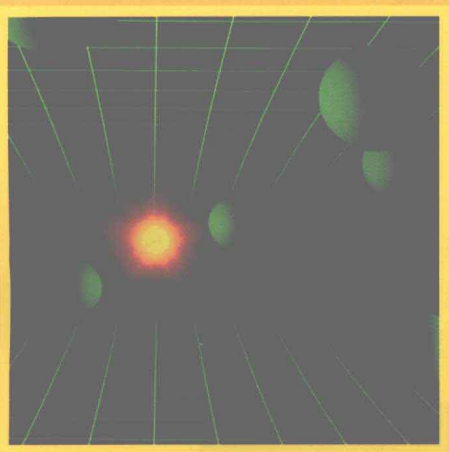




职业教育教学改革规划教材

数控机床 操作与编程

何四平 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业教育教学改革规划教材

数控机床操作与编程

- 主 编 何四平
■ 副主编 李子艳 崔立军
■ 参 编 汪哲能 翟 林 李瑞斌 陈振国
■ 主 审 谭 斌



机械工业出版社

本书参考劳动部职业技能培训要求,由具有多年实践教学经验的教师编写而成,内容由浅入深,遵循职业教育的特点,力求理论够用为度,突出动手能力的培养。

本书主要内容包括数控加工基本知识、数控车床编程与操作(FANUC 0-TD 系统)、数控铣床编程与操作(SIEMENS 系统)、加工中心编程与操作(FANUC-0iM 系统)、数控机床的维护与保养。

本书可作为中等职业技术学校机械制造及机电专业的实训教材,也可作为相应职业技能培训机构的培训教材,同时也可供一线技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床操作与编程/何四平主编. —北京:机械工业出版社,2011.5
职业教育教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-34563-3

I. ①数… II. ①何… III. ①数控机床—操作—职业—教育—教材
②数控机床—程序设计—职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100794 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:崔占军 责任编辑:王佳玮
版式设计:霍永明 责任校对:刘志文
封面设计:鞠 杨 责任印制:杨 曦
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·14 印张·340 千字
0001—3000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-34563-3
定价:27.00 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 封面无防伪标均为盗版
读者购书热线:(010)88379203

前 言

随着技术的进步，传统的机械制造技术已经越来越不能适应现代制造业的需求。在国际市场的竞争中，品质起到至关重要的作用，而现代化的制造技术正是品质的保证，因而以数控机床为代表的制造技术发展迅速。我国是制造大国，这决定了我国机械制造业在由大转强的道路上需要一大批从事数控机床操作与编程的实用型人才。本书正是在这样的社会环境中，依据职业教育的培养目标编写而成的。

本书的编写原则是“实践为主，理论以必要、够用为度”。在内容安排上，简要阐述必备的基础理论知识，简化了大部分生产实际中极少用到的繁琐理论；努力增强理论学习与实际操作的关联性，增加学习的实用性与趣味性；与实际生产相衔接，注重培养读者的数控机床操作、编程等动手能力；列举大量生产中常遇到的典型零件加工案例，将学习与实际生产紧密衔接。在数控系统方面，本书针对的是市场应用广泛的 FANUC 系统和 SIEMENS 系统。

本书由何四平任主编，李子艳、崔立军任副主编，谭斌主审。其中第 1 章由何四平、汪哲能编写；第 2 章由何四平编写；第 3 章由李子艳、李瑞斌编写；第 4 章由翟林、陈振国编写；第 5 章由崔立军编写。

由于编者的水平和学识有限，不足之处在所难免，诚望读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 数控加工基本知识	1
1.1 数控机床的基本概念	1
1.2 数控机床的分类	2
1.3 数控机床的基本组成及功用	5
1.4 数控机床的工作步骤	6
1.5 数控加工工艺	7
1.6 数控加工的工艺文件	20
1.7 数控机床加工零件的程序编制	21
思考与练习题	29
第2章 数控车床编程与操作	31
2.1 数控车床的坐标系及工件坐标系	31
2.2 FANUC 0-TD 系统数控车床编程格式	32
2.3 常用指令	33
2.4 FANUC 0-TD 系统数控车床操作功能及按钮介绍	47
2.5 操作步骤	51
2.6 数控车床加工典型零件的编程方法	59
2.7 实例分析	64
2.8 数控车床加工典型零件的方法	74
2.9 数控车床编程与操作实训	78
思考与练习题	93
第3章 数控铣床编程与操作	96
3.1 SIEMENS 数控铣床编程规则	96
3.2 SIEMENS 数控铣床编程指令的使用	104
3.3 子程序和循环程序	122
3.4 SIEMENS 数控铣床操作功能及按钮介绍	136

3.5 实例分析	149
3.6 数控铣床编程与操作实训	150
思考与练习题	156
第4章 加工中心编程与操作	158
4.1 加工中心的特点	158
4.2 FANUC-0iM 系统加工中心编程与操作规则	158
4.3 系统指令及编程规则	163
4.4 加工中心操作面板	167
4.5 实例分析	179
4.6 加工中心实训	194
思考与练习题	206
第5章 数控机床的维护与保养	210
5.1 数控车床主要的日常维护与保养工作内容	210
5.2 数控车床维护与保养	213
思考与练习题	214
参考文献	215

1.1 数控机床的基本概念

用数字化信号构成的控制程序对某一具体对象（如速度、位移、温度、流量等）进行控制的技术，称为数控技术，简称 NC（Numerical Control）。它一般是指早期的硬接线数控。随着微型计算机技术的发展，部分或全部的数控功能由软件来实现的数控，称为计算机数控，简称 CNC（Computer Numerical Control）。

广义上说，凡是使用了数控技术的机械设备，统称为数控设备，包括数控机床、数控折弯机、数控电焊机、电脑绣花机、自动绘图机等。

狭义上的数控设备是指应用了数控技术的切削机床，即数控机床。它代表着现代机械制造领域中的先进技术，它的出现使传统的加工工艺方法得到了历史性的革新。

数控机床的各种操作，如主轴启动与停止、主轴变速、工件夹松、刀具进退、切削液自动关停等，及工件的尺寸都是用数字代码的程序指令表示，通过控制介质（如磁盘）将数字信息输送到控制装置，经计算机处理和运算，转化为电信号控制机床的伺服系统及其他驱动元件，使机床自动加工出所要求的工件。

数控机床之所以能得到广泛的应用，主要是因为它具有普通机床无法比拟的诸多优点。

1. 精度高

数控机床机械部分的制造精度要高于普通机床，且它的控制精度高达 0.001mm，高度自动化的控制过程减少了许多人为操作误差。有位置检测装置的闭环或半闭环数控机床，可以加工出精度高于数控机床本身的产品，且精度稳定性好。

2. 效率高

数控机床（特别是加工中心）的工序相对集中，且它的工作过程由加工程序来控制，减少了许多工件装夹、换刀、测量等辅助时间，再就是数控机床好的刚性为实现重切削提供了有利条件，从而实现了高的效率。

3. 自动化程度高

由于数控机床是按预先编好的程序来自动完成加工任务的，工件装卸、换刀等一系列繁重的工作都是自动进行，且通过自动排屑等辅助装置，使得数控机床的自动化程度非常高，从而减轻了操作人员的劳动强度，改善了劳动条件。

4. 加工范围广

数控机床的加工范围比普通机床要广，譬如，数控车床能够加工普通车床难以加工的圆弧表面，数控铣床能够完成普通铣床难以完成的空间曲面加工。

5. 可以控制复杂的运动轨迹

美国麻省理工学院在 1952 年研制出世界上第一台三坐标数控铣床，其产生的背景就是为了解决帕森斯（PARSONS）公司加工飞机螺旋桨叶片轮廓样板曲线的难题，现今的多坐标数控机床更是可以加工复杂的空间曲面，所以，数控机床能实现复杂的运动是它区别于普通机床的重要特征之一。

在数控机床 50 余年的历史进程中，随着数控系统的不断完善和发展，数控机床优良的性能价格比使它的应用越来越广泛。

数控机床与普通机床、专用机床相比较，优势较大，但它主要适合加工精度高、形状复杂的中小批量零件。

1.2 数控机床的分类

数控机床的分类方式很多，下面几种是比较常见的。

1.2.1 按工艺用途分

1. 普通数控机床

工艺性能与传统的通用机床相似的数控机床，包括数控车床、数控铣床、数控刨床、数控镗床、数控钻床及数控磨床等。其中，数控车床除了可以完成普通车床所能加工的表面外，还能加工圆弧面；数控铣床除了可以加工普通铣床所能加工的表面外，还能加工空间曲面。普通数控机床在普通机床的基础上扩大了加工范围，这也是它使用广泛的一个原因。

2. 数控加工中心

数控加工中心又称多工序数控机床，是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。工件一次装夹后，能实现多种工艺、多道工序的集中加工，减少了装卸工件、调整刀具及测量的辅助时间，提高了机床的生产效率；同时减小了工件因多次安装所带来的定位误差。近年来，数控加工中心机床的发展速度非常迅速。

典型的数控加工中心有镗铣加工中心、钻铣加工中心和车铣加工中心等。由于钻铣加工中心使用较为广泛，所以，行业习惯简称钻铣加工中心为“加工中心”。

3. 多坐标数控机床

数控机床的坐标数是指数控机床能进行数字控制的坐标轴数。如图 1-1a 所示，若 X 轴和 Z 轴能实现数字控制，则称它为两坐标数控机床；如图 1-1b 所示，若 X 轴、Y 轴和 Z 轴能实现数字控制，则称它为三坐标数控机床。

值得注意的是，行业术语中的“两坐标加工”或“三坐标加工”是指数控机床能实现联动的坐标轴数。图 1-1a 所示两坐标数控车床，若它能实现 X 轴和 Z 轴的联动，即能加工圆弧，就可以把它叫做“两坐标加工”。图 1-1b 所示三坐标数控铣床，若它只能控制任意两个坐标轴联动，实现图 1-2a 所示平面轮廓加工，则只能称为“两坐标加工”，若其深度尺寸大，只能通过 Z 轴的周期性进给来控制时，有些也把它称为“两坐标半加工”；若它能控制三个坐标轴联动，即能实现图 1-2b 所示空间曲面加工，那么它就是“三坐标加工”。

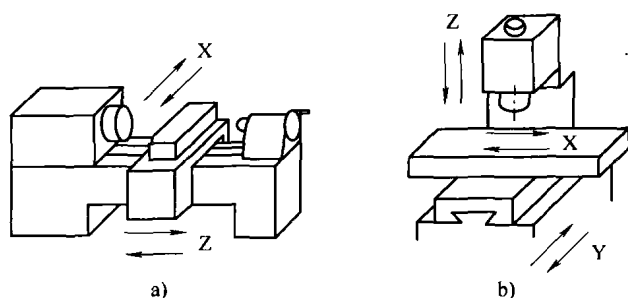


图 1-1 多坐标数控机床

a) 两坐标数控车床 b) 三坐标数控铣床

能实现三个或三个以上的坐标轴数联动的数控机床称为多坐标数控机床。它能加工形状复杂的零件，常见的多坐标数控机床一般为4~6个坐标。

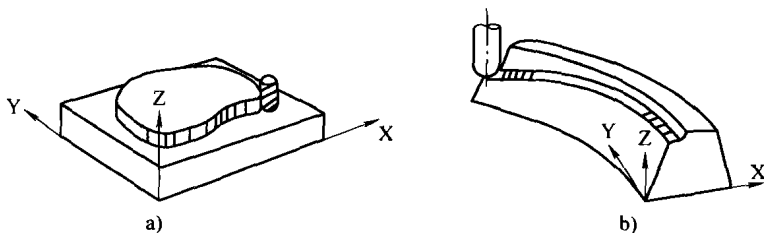


图 1-2 三坐标数控铣床的加工方式

a) 平面轮廓加工 b) 空间曲面加工

4. 特种加工数控机床

特种加工数控机床是指利用电脉冲、激光和高压水流等非传统切削手段进行加工的数控机床，如数控电火花加工机床、数控线切割机床和数控激光切割机床等。

1.2.2 按伺服系统分

1. 开环控制系统

如图1-3所示，数控系统发出的指令信号经驱动电路放大后，驱使步进电动机旋转一定角度，再经传动部分带着工作台移动。它的指令值发送出去后，控制移动部件到达的实际位置值没有反馈，也就是说，系统没有位置检测反馈装置。开环控制系统的数控机床结构简单、调试和维修方便、成本低，但加工精度低。

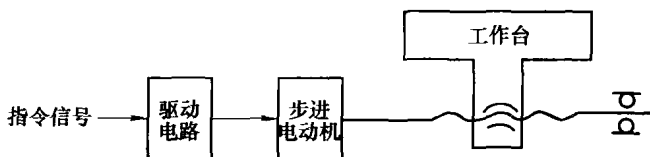


图 1-3 开环控制系统示意图

2. 闭环控制系统

如图1-4所示，数控系统发出指令信号后，控制实际进给的速度量和位移量，经过速度

检测元件 A 及直线位移检测元件 C 的检测，反馈回到速度控制电路和位置比较电路与指令值进行比较，然后用差值控制进给，直到差值为零。这类系统装有检测反馈装置，且位置检测装置在控制终端（工作台），所以，闭环控制系统的数控机床加工精度高，但结构复杂、调试和维修困难、成本高。

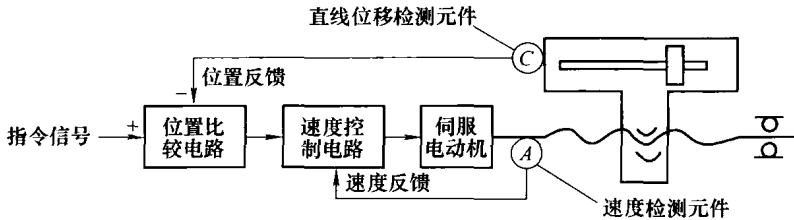


图 1-4 闭环控制系统示意图

3. 半闭环控制系统

如图 1-5 所示，这类系统也装有检测反馈装置。它和闭环控制系统的区别是位置检测装置采用角位移检测元件，且安放在伺服电动机轴或传动丝杠的端部，丝杠到工作台间的传动误差不在反馈控制范围之内，所以，半闭环控制系统的数控机床，其性能介于开环和闭环之间，精度比开环高，但调试、维修比闭环简单。

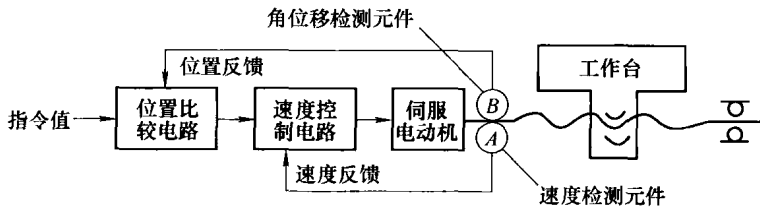


图 1-5 半闭环控制系统示意图

1.2.3 按控制的运动方式分

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只控制移动目标点的精确位置，而对移动过程的速度和轨迹并没有要求，但由于这类机床在移动过程中不进行切削加工，为提高效率，往往要求移动速度较快。常见的有数控钻床、数控测量机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要控制移动目标点的精确位置，而且对移动过程中的速度和轨迹也要求进行控制，移动过程中进行切削加工，其轨迹为平行与坐标轴的方向。这类控制方式常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 连续轮廓控制数控机床

连续轮廓控制数控机床是同时对两个或两个以上坐标轴的位移和速度进行连续相关的控制，使其能够加工出圆弧面或曲面等复杂零件。常见的有数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.4 按功能水平分

该方式分类在中国使用较广（适合国情），但不同时期的划分标准不同。

1. 经济型数控机床

它是指那些功能简单、价格便宜、自动化程度不高的数控机床，主要适用于生产规模较小的企业及旧机床的改造等。

2. 标准型数控机床

它是指功能较多，价格适中的数控机床，适合目前中国的国情，市场份额较大。

3. 多功能高档数控机床

多功能数控是指功能齐全、价格较贵、档次较高的数控机床。它主要适合于经济实力雄厚、生产规模大的企业。

1.3 数控机床的基本组成及功用

无论何种类型的数控机床，一般都是由输入输出设备、数控装置、伺服系统、受控设备及辅助装置等几部分组成。

1. 输入输出设备

早期的数控机床只有键盘、发光二极管显示器、纸带阅读机、磁带（磁盘）输入机、控制面板；现代数控机床的控制面板包括 CRT 操作面板（执行 NC 数据的输入/输出）和机床操作面板（执行机床的手动操作）如图 1-6 所示。为了操作人员方便操作，一般都将数控机床的数控装置与控制面板设计成分离式的；高级的还配有自动编程机或 CAD/CAM 系统。

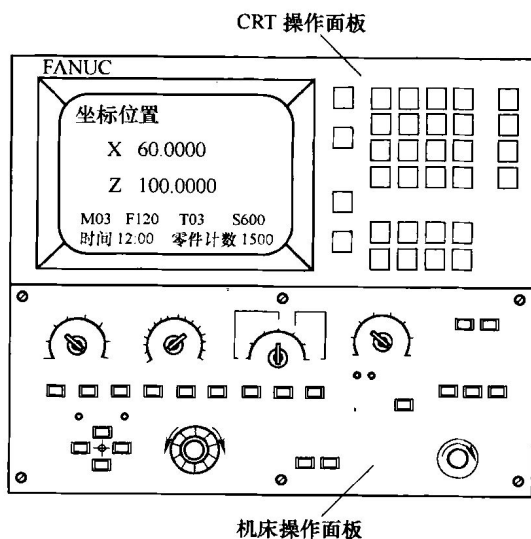


图 1-6 控制面板

它的作用是将零件程序和加工信息送入到数控装置中。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心部分，它一般由专用计算机（包括硬件和软件）、输入输出接口及可编程序控制器等组成。

它的作用是完成输入信息的存储、数据转换、插补运算和实现各种控制。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行机构，包括伺服控制电路、功率放大电路、伺服电动机、机械传动机构和执行机构。

数控机床的伺服系统主要有两种：一种进给伺服系统，控制切削进给运动；另一种是主轴伺服系统，控制主轴的切削运动。简易的数控机床一般没有主轴伺服系统控制。

伺服系统的作用是把来自数控装置的指令值信号转变为执行机构的位移。例如，数控车床的径向（轴向）尺寸，是由 X 轴方向（Z 轴方向）的伺服电动机接收数控装置及相应处理电路发送的脉冲信号后，驱动中滑板（床鞍），从而带动刀架和车刀，实现径向（轴向）的切削运动。

4. 受控设备

受控设备是被控制的对象，是数控机床的机体部分。它包括主运动部件、进给运动部件和支承部件，以及冷却、润滑和夹紧装置等。

它的作用是完成切削加工运动及各种辅助动作。

1.4 数控机床的工作步骤

数控机床的工作过程如图 1-7 所示，其主要加工步骤如下：

1. 零件加工程序的编制

加工前，根据零件图样规定的尺寸、形状及技术要求等，确定其加工的工艺过程和工艺参数，然后编写零件的加工程序单。

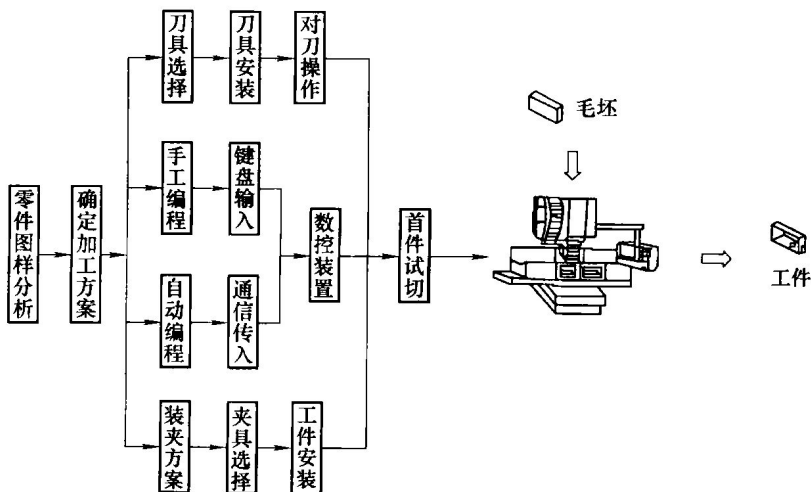


图 1-7 数控机床的工作过程

2. 程序输入

程序输入的方法有：

- 1) 由光电阅读机把穿孔纸带上的程序信息读入数控装置。
- 2) 用手工编制的、较简单的加工程序，一般通过 CRT 操作面板上面的键盘直接把程序输入到数控装置。

3) 对于在编程机上自动编制的、复杂的加工程序，一般通过通信接口从编程机上传入数控装置，或用移动存储设备复制到数控装置中。

3. 轨迹插补

零件加工程序都是用表示零件轮廓的线段起点和终点来编写的，而刀具实际进给的轨迹是数控装置根据图样零件轮廓轨迹要求，在线段的起点和终点之间进行“数据点的密化”计算，即轨迹插补。

如图 1-8a 所示，从起点 O 至终点 A 的直线段进给，数控装置需要根据轮廓轨迹要求进行插补运算，其结果为 A_1 、 A_2 、 A_3 等点的坐标值；对于如图 1-8b 所示，从起点 A 至终点 B 的圆弧段进给，数控装置的插补结果为 B_1 、 B_2 、 B_3 等点的坐标值。最后，插补结果以脉冲形式输出，以控制进给。一个脉冲信号使机床移动部件移动的位移量称为脉冲当量，它是数控机床控制的最小单位量，如图中 A_1A_2 、 B_1B_2 等微小直线段，即为脉冲当量，其大小由数控机床来设定，一般为 0.001mm 或 0.002mm 。

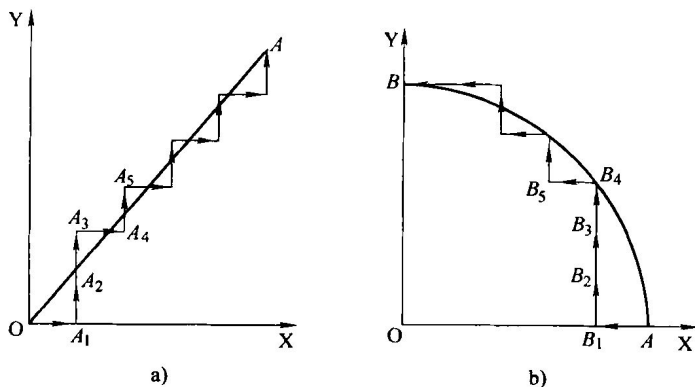


图 1-8 轨迹插补

a) 直线插补 b) 圆弧插补

4. 伺服控制和机床加工

伺服系统把数控装置输出的脉冲信号经功率放大后，驱动伺服电动机，通过机械传动机构，最后使工件和刀具按一定的轨迹和速度进行运动，从而加工出符合图样要求的零件。

1.5 数控加工工艺

数控加工工艺的内容包括以下一些方面：

- 1) 选择适合在数控机床上加工的零件待加工表面，确定工序加工内容。
- 2) 根据零件图样上的技术要求，确定加工方案，制定数控加工工艺路线（包含与非数

控加工工序的衔接等)。

3) 分配加工余量。

4) 工序、工步设计。选择零件的定位基准, 确定夹具、辅具方案, 选择刀具及切削用量等。

5) 编程的相关计算, 包括工件坐标系、编程坐标系的建立, 对刀点和换刀点的选取, 刀具补偿等。

6) 处理数控机床及数控系统的工艺指令。

7) 编制加工程序。

8) 首件试切加工, 检验程序。

9) 工艺文件归档。

数控加工工艺是编制加工程序的依据, 直接关系到加工程序的合理性, 而且, 一些在普通机床上加工时可由操作者掌握和调整的工艺内容, 在数控机床上加工时, 就必须预先考虑好, 编制成程序来实现自动控制, 所以, 数控加工的工艺安排显得非常重要。

1.5.1 工序划分

由于数控机床具有高自动化的特点, 能实现多工序集中加工, 所以, 它与普通机床的工序划分方法有着根本性的区别。在数控加工中, 一次装夹应尽量完成大部分的加工。一般来说, 数控机床的工序划分应遵循以下几点原则:

1. 加工内容划分工序

如果零件上有内腔、外型、曲面、平面、各种孔, 加工内容较多, 要根据零件的这些结构特点, 将加工内容分成若干类别; 然后, 选择机床, 根据机床的加工功能合理划分、整和工序加工内容, 并结合机床的类型, 确定正确的定位、夹紧方案。

2. 按所用刀具划分工序

数控机床的加工功能与所使用的刀具是相对应的。改变所使用的刀具, 可能意味着必须更换机床, 也就意味着要增加一个工序。但在加工中心进行数控加工时, 由于其复合的加工功能, 在同台设备上, 一次安装可以加工多种类型的零件结构, 可以使用多种类型的刀具, 相对具有工序更加集中的特点。应该注意的是, 工序过分集中, 工序加工内容过多, 所需要的加工程序也会很大, 会增加程序的出错率, 查错检索时间长, 修改困难。同时程序太大, 也受数控系统内存容量, 机床可允许连续工作时间的限制。

3. 按粗、精加工划分工序

当零件的加工质量要求较高时, 一般须将加工过程划分为粗加工、半精加工、精加工三个阶段。在数控加工中要划分粗加工工序、精加工工序(经常将半精加工和精加工合并为一个工序)。

粗加工主要是高效地切除加工表面上的大部分材料, 使毛坯在形状和尺寸上接近成品零件。

半精加工目的是为了切除粗加工留下的误差, 为精加工作准备, 并可完成次要表面的加工, 如钻孔、攻螺纹、铣键槽等。

精加工目的是使重要表面达到零件图规定的加工质量要求。

4. 工序先后顺序划分

1) 先加工定位基准面，再加工其他表面，以保证后面工序的加工余量及相应的位置精度。

2) 先加工主要表面，后加工次要表面。

3) 先粗加工，后精加工。

4) 先外后内，以保证加工内轮廓时，有装夹定位基准。

另外，为改善工件切削性能安排的退火、正火、调质等热处理工序，要安排在切削加工前进行；为消除工件内应力安排的热处理工序（如人工时效、退火等），且零件加工精度要求较高的工件，最好安排在粗加工工序之后进行，加工精度要求不高，也可安排在粗加工之前；为改善工件材料力学性能的热处理，如淬火、渗碳淬火等，一般安排在半精加工和精加工之间进行。

总之，数控加工工序划分应根据生产纲领及设备具体情况灵活对待。

1.5.2 机床的选用

机床选用应合理，所谓“量体裁衣”，即根据零件的数量、精度和要求，分析该零件是否适合数控机床加工，在数控机床较多的地方，应确定各工序所使用的数控机床类别、型号。基本原则是：在保证所加工零件精度和要求的前提下，追求高的生产效率和良好的经济效益。

1.5.3 刀具选择

刀具选择的原则是：

1) 考虑到数控加工过程中的高速度和重切削等特点，一般选用强度高、耐磨及热硬性好的数控机床专用刀具。

2) 所用刀具越少越好，这样可降低成本，减少装刀和换刀等辅助时间来提高生产效率。

3) 尽可能地使用成形刀，如车削小圆弧宜选用圆弧车刀，铣削键槽宜选用直径与键槽宽度相同的键槽铣刀，以达到提高切削效率，精简程序的目的。

4) 粗加工应选用厚实的刀具，如尺寸大、后角小的刀具，强度高，适宜重切削；而精加工需选用后角较大的锋利刀具，以利于减小切削变形，便于控制尺寸精度。

5) 所选用的刀具在加工过程中不能与已加工表面发生干涉。如图1-9a所示，使用外圆刀车削凹圆弧时，因副偏角过小而出现副切削刃

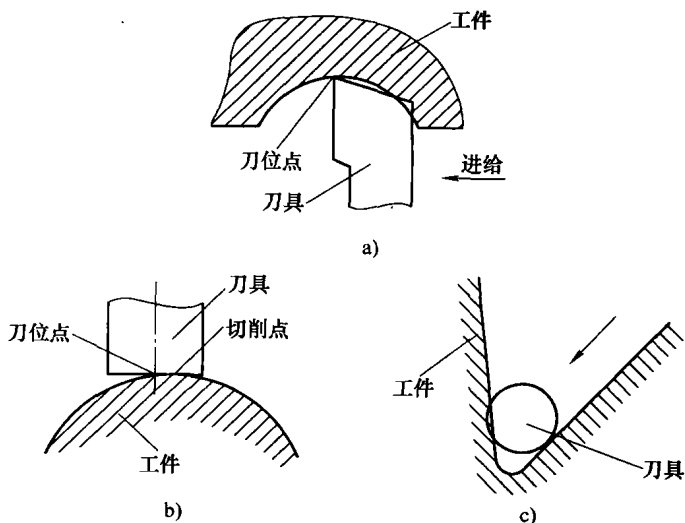


图 1-9 刀具与工件发生干涉的情况

破坏已加工表面的情况；如图 1-9b 所示，在三坐标数控铣床上，用面铣刀铣削曲面时，因编程使用的刀位点与切削点不一致的情况；如图 1-9c 所示，所选刀具半径大于零件内轮廓圆弧半径，从而出现过切的情况。

1.5.4 工件装夹方案的确定

- 1) 尽量使用气动（液动或电动）夹具，以减轻劳动强度，提高生产效率。
- 2) 优先考虑选择通用、标准夹具，降低夹具成本，缩短生产周期。
- 3) 使定位基准和设计基准重合，减小定位误差。
- 4) 装夹部位稳固，夹紧力靠近主要支承点，夹紧可靠，满足数控加工时重切削的需求。
- 5) 加工部分露在夹具外面，保证刀具在切削、进刀、退刀和换刀时不与夹具发生干涉，在刀具的极限位置与夹具之间留有一定安全距离，车削加工的安全距离一般留 10 ~ 15mm。

工件装夹时，应注意压紧点与支承点要相对应，当采用多个螺母压紧时，应轮流拧紧各个螺母，切忌某个螺母完全拧紧后，再拧紧下一个螺母，以防止压紧过程中工件松动或局部变形（刀具装夹过程中也应注意这点）。

1.5.5 加工路径的安排

加工路径即为刀具刀位点相对于静止工件而运动（数控编程时统一的设定）的轨迹及方向，包括切削、进刀、退刀等，它的合理正确与否，直接影响到加工零件的精度。在安排数控加工工艺路径时应注意以下几点：

- 1) 加工路径越短越好，以减少空行程时间，提高生产效率。
- 2) 粗加工时应考虑留给精加工的余量分布均匀，使精加工切削稳定。
- 3) 先加工离装夹部位远的，后加工离装夹部位近的，以保证毛坯或半成品的刚性，防止加工过程中引起振动。
- 4) 复杂曲面加工要根据零件的精度要求和曲面的特点、加工效率等因素确定加工路线，是行切，还是环切；是等距切削，还是等高切削。
- 5) 对于铣削加工，刀具的运动方向决定了顺逆铣方式，同时对工件表面质量和刀具寿命有着直接的影响。

顺铣是指刀具旋转方向与工件进给方向相同的铣削方式，该方式由待加工表面切入，切入过程中没有滑移现象，对提高刀具寿命有利，且其加工的表面质量较好，一般尽量采用顺铣法；逆铣是指刀具旋转方向与工件进给方向相反的铣削方式，该方式由已加工表面切入，切削由薄变厚，对于表面有硬质层和积渣等工件宜采用逆铣法，有利于保护刀具，但加工的表面质量较差。因此，为了提高表面质量和精度，可以采用多次走刀进行粗加工，最后一刀精加工时使用顺铣法。

铣削图 1-10 所示工件的平面内轮廓，如果采用图 1-10a 所示的行切法进给（行距 S 必须小于刀具直径 D ），它是顺铣和逆铣交替进行，进给路径也较短，但在行与行的交接处，有残留面积存在，残留高度影响到表面粗糙度（残留高度跟行距 S 与刀具直径 D 的比值有关）；图 1-10b 所示的环切法进给，是单一的顺（逆）铣方式，没有切削残留，但进给路径

较长，切削效率低；图 1-10c 所示为行切法完成后，再用环切法沿四周光整进给，清根，以去除残留高度，所以，相比较而言，这种行切法后清根的进给方案是最好的一种。

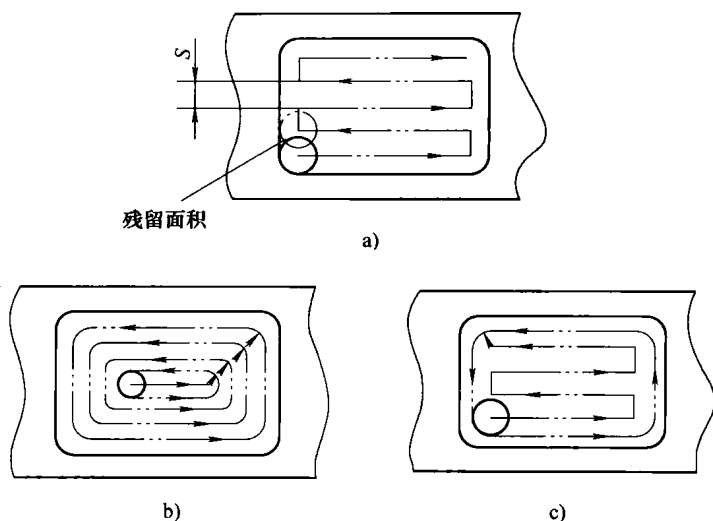


图 1-10 平面内轮廓加工的方案
a) 行切法 b) 环切法 c) 行切清根法

6) 连续铣削轮廓曲线，刀具的切入和切出应放在各几何元素连接点（基点）的切线上，避免从曲线上的某一点直接切入和切出，因为连续切削时，机床处于负载弹性状态下的平衡，切入和切出瞬间，平衡被打破，致使在切入和切出点留下凹凸不平的痕迹，影响表面质量。如图 1-11 所示，铣削零件外轮廓，刀具应沿着两曲线交点 A 的切线方向延长线切入和切出。

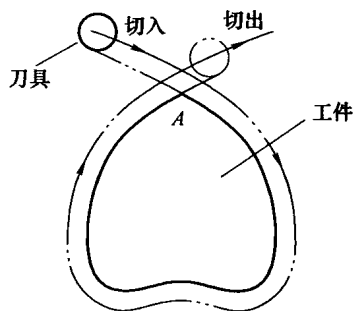


图 1-11 切入切出轨迹

7) 机械传动进给部分，如传动丝杠螺母、传动齿轮等之间存在传动间隙。如图 1-12 所示，传动丝杠螺母之间的传动间隙，当遇到反向进给信号时，伺服电动机带着丝杠需先走完间隙量后，才能驱动螺母和工作台或溜板箱进行移动，其道理和普通机床进给刻度盘的“空行程”一样，必然会带来反向进给间隙误差。

加工图 1-13 所示工件上的五个小孔，根据图样要求，五个孔的 X 方向和 Y 方向尺寸的设计基准都一致。通过工艺分析，X 轴的正向进给方向应为沿着它的正方向，Y 轴的正向进给方向也应是沿着 Y 轴的正方向。如图 1-13a 所示，若刀具进给路径为 $O \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$ ，则孔 C 的 Y 方向是反向进给，孔 E 的 X 方向是反向进给，必然会使孔 C 的 Y 方向尺寸“30”和孔 E 的 X 方向尺寸“65”出现反向进给误差。此时，采用图 1-13b 的进给路线 $O \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow C \rightarrow Q \rightarrow E$ （即当遇到有反向进给误差的位置，让刀具反向运动超过该点，然后再正向运动至目标位置），就可解决孔 C 和孔 E 的反向进给误差问题。其原理与普通机床消除空行程的操作相似。