

数控车床编程 与零件加工

卞化梅 牛小铁 主编

情境课堂

情境1 认知数控车床

情境2 简单阶梯轴的数控车削

情境3 外圆弧球头轴的数控车削

情境4 多槽轴的数控车削

情境5 轴类综合件的数控车削

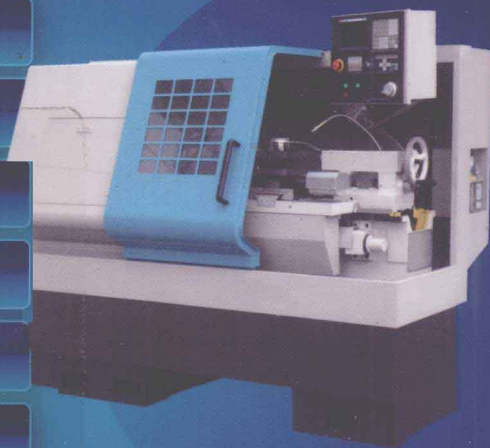
情境6 配合件的数控车削

情境7 盘类零件的数控车削

情境8 轴类综合件的数控车削

情境9 配合件的数控车削

情境10 车铣复合件的数控加工



化学工业出版社

数控车床编程 与零件加工

卞化梅 牛小铁 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床编程与零件加工/卞化梅, 牛小铁主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-122-13087-7

I. 数… II. ①卞…②牛… III. ①数控机床: 车床-程序设计②数控机床: 车床-零部件-加工 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 271956 号

责任编辑: 王 烨

文字编辑: 谢蓉蓉

责任校对: 周梦华

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 301 千字 2012 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

全书贯穿行动导向的学习思想,以数控车床零件加工为主体,以具体的任务实施为模块,系统地介绍了数控车床编程基础和基本理论。书中每个情境都以一个完整的任务为载体,按照基于工作过程的课程内容设计理念,从【任务描述】、【任务目标】、【任务分析】、【知识准备】、【任务实施】、【任务评价】和【任务小结】几个层面展开组织内容。对于每个任务实施都是一个完整的工作过程的再现,符合人才培养的规律。【任务小结】不仅小结本任务的重点、难点,同时还把相关拓展知识作了必要的补充,以作资料查阅,为进一步巩固技能和知识,结合了相关的课后练习。最后两个任务为综合训练的配合件和车铣复合件的编程、加工,没有具体新的编程指令,因此没有严格按前面的顺序编写。

本书共分 10 个情境单元,内容包括认识数控车床、简单阶梯轴、外圆弧球头轴、多槽轴、内轮廓套类件、螺纹套、盘类零件、轴类综合件、配合件、车系复合件的数控加工。其中:

情境 1:从全局出发,简单介绍关于车削加工的工艺知识、数控车床及基本操作。

情境 2:通过简单阶梯轴的编程与加工介绍了编程基本结构和常用指令,主要介绍 G00、G01、G41/G42/G40、G90、G94。

情境 3:主要介绍 G71、G72、G73、G70 指令的使用,并介绍了球头轴的加工方法及编程要领。

情境 4:通过车削多槽轴掌握不同沟槽的车削方法,选择和使用切槽刀具,并通过多槽介绍了子程序的使用。

情境 5:主要介绍了孔的车削加工,并通过内轮廓加工进一步熟悉循环编程指令、刀补建立与取消等。

情境 6:螺纹套的加工主要介绍内、外螺纹的加工方法及编程指令 G32、G92、G76。

情境 7:盘类零件是第一个完整的零件,主要通过分析加工工艺,选用不同的方法保证加工质量,巩固编程指令的使用。

情境 8:这是一个综合件,巩固前面所有知识,并介绍了宏指令编程加工非圆曲线。同时还可与学习情境六组成一套配合件,进一步了解配合的加工需求。

情境 9、10 是两个比较综合的实际生产任务,从实际的生产要求出发,分析图纸、安排加工工艺路线和编写程序、加工。在前面单项练习的基础上结合实际进行了简单的应用总结。

本书由卞化梅、牛小铁主编,陈金英、王继群、郭勇副主编,史丽娟、王秀杰参编。其

中，情境 2、6、8 由卞化梅编写，情境 1 由牛小铁编写，情境 3 由郭勇编写，情境 4 由史丽娟编写，情境 5 由王继群编写，情境 7 由陈金英编写，学习情境 9、10 由王秀杰编写，卞化梅做了全部内容统稿和整理的工作。

本书可供从事数控加工的工程技术人员学习参考，也可作为职业技术学院数控技术应用专业和机械制造专业的教学用书。

限于编者的水平和经验，书中欠妥和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

情境 1 认知数控车床

任务描述	1
任务目标	2
知识准备	2
1. 数控车床简介	2
2. 数控车床的功能	3
3. 数控车床的坐标系	4
4. 数控车削加工工艺	5
任务实施	12
1. 检查数控车床运行是否正常	12
2. 装夹工件和刀具安装	12
3. 熟悉机床面板, 输入程序	12
4. 机床基本操作	14
5. 对刀, 建立工件坐标系	18
6. 数控车床的安全操作规范及日常保养	19
任务评价	20
任务小结	20
1. 重点、难点小结	20
2. 知识拓展	21
思考题	21

情境 2 简单阶梯轴的数控车削

任务描述	23
任务目标	23
任务分析	24
知识准备	24
1. 数控编程指令	24

2. 基点计算	28
任务实施	29
1. 加工工艺分析	29
2. 数控编程数学处理	31
3. 编制加工程序	31
4. 数控机床加工	32
任务评价	32
任务小结	33
1. 重点、难点小结	33
2. 知识拓展	34
思考题	39

情境3 外圆弧球头轴的数控车削

任务描述	41
任务目标	41
任务分析	42
知识准备	42
1. 球头轴的加工	42
2. 数控编程指令	43
任务实施	49
1. 加工工艺分析	49
2. 数控编程数学处理	50
3. 编制加工程序	51
4. 数控机床加工	52
任务评价	52
任务小结	53
1. 重点、难点小结	53
2. 知识拓展	54
思考题	59

情境4 多槽轴的数控车削

任务描述	62
任务目标	62
任务分析	63
知识准备	63
1. 槽加工编程的工艺知识	63
2. 编程指令	65
3. 孔的加工方法	67
任务实施	68
1. 加工工艺分析	68
2. 数控编程数学处理	69

3. 编制加工程序	69
4. 数控机床加工	71
任务评价	71
任务小结	72
1. 难点小结	72
2. 知识拓展	72
思考题	74

情境5 内轮廓套类件的数控车削

任务描述	76
任务目标	77
任务分析	77
知识准备	77
1. 车削内轮廓的方法	77
2. 车床上钻孔方法及刀具	78
3. 内孔车刀简介	78
4. 内径百分表的使用	80
5. 车床内轮廓编程注意事项	80
任务实施	81
1. 加工工艺分析	81
2. 数控编程数学处理	83
3. 编制加工程序	83
4. 数控机床加工	83
任务评价	86
任务小结	86
1. 重点、难点小结	86
2. 知识拓展	87
思考题	88

情境6 螺纹套的数控车削

任务描述	91
任务目标	91
任务分析	92
知识准备	92
1. 螺纹加工的基本知识	92
2. 螺纹加工的编程指令	97
任务实施	100
1. 加工工艺分析	100
2. 数控编程数学处理	102
3. 编制加工程序	103
4. 数控机床加工	106

任务评价	106
任务小结	107
1. 重点、难点小结	107
2. 知识拓展	108
思考题	110

情境 7 盘类零件的数控车削

任务描述	112
任务目标	113
任务分析	113
知识准备	113
1. 盘套类零件的加工工艺	113
2. 数控编程指令	115
任务实施	115
1. 加工工艺分析	115
2. 数控编程数学处理	118
3. 编制加工程序	118
4. 数控机床加工	120
任务评价	121
任务小结	121
1. 重点、难点、小结	121
2. 知识拓展	122
思考题	124

情境 8 轴类综合件的数控车削

任务描述	127
任务目标	127
任务分析	128
知识准备	128
1. 用户宏指令	128
2. 非圆曲线的宏程序	131
任务实施	133
1. 加工工艺分析	133
2. 数控编程数学处理	135
3. 编制加工程序	137
4. 数控机床加工	140
任务评价	140
任务小结	141
1. 重点、难点小结	141
2. 知识拓展	141
思考题	142

情境 9 配合件的数控车削

任务描述	144
任务目标	145
任务分析	145
任务实施	146
1. 加工工艺分析	146
2. 数控编程数学处理	151
3. 编制加工程序	153
4. 数控机床加工	159
任务评价	160
任务小结	161
1. 重点、难点小结	161
2. 知识拓展	161

情境 10 车铣复合件的数控加工

任务描述	163
任务目标	164
任务分析	164
知识准备	164
1. 链轮的结构和材料	164
2. 链轮的参数计算	164
任务实施	166
1. 加工工艺分析	166
2. 数控编程数学处理	170
3. 编制加工程序	171
4. 数控机床加工	176
任务评价	177
任务小结	177

参考文献	179
------	-----

情境1 认知数控车床

任务描述

数控车床与普通车床相同，主要用于加工轴类、盘套类等回转体零件；不同的是能够自动完成外圆柱面、圆锥面、球面以及螺纹等的加工，还能加工一些复杂的回转面，如椭圆、抛物线等特殊曲面，故数控车床的应用很广泛。图 1-1 为常用的卧式数控车床。

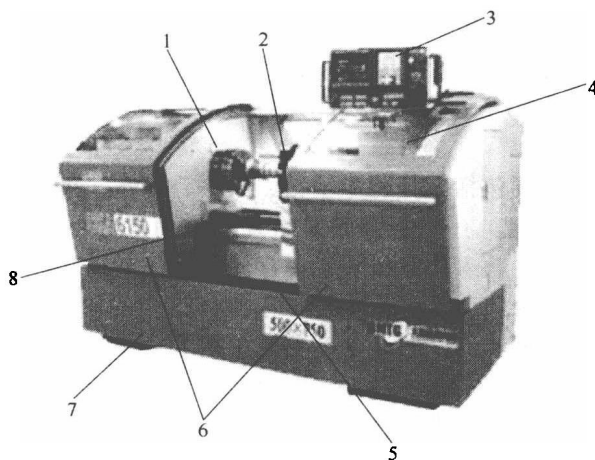


图 1-1 卧式数控车床外形

1—主轴箱；2—刀架；3—数控系统；4—尾座；
5—冷却液箱；6—防护罩；7—床身；8—导轨

本任务要求如下。

1. 认识并熟悉数控车床，了解数控车床的加工特点和车削的加工过程。
2. 了解车削加工的工艺过程设计思路及内容。
3. 熟悉所用数控车床的基本配置和主要技术性能指标；认真阅读使用说明书，掌握机床的基本操作方法。
4. 在机床上熟悉数控车削程序的输入、编辑及校验程序轨迹。



任务目标

1. 了解数控车削加工的特点。
2. 能够制定数控车床加工工艺。
3. 认识数控车床的基本组成及结构。
4. 理解数控车床的坐标系。
5. 能够使用数控车床的编程指令进行编程。
6. 会进行数控车床的基本操作。



知识准备

1. 数控车床简介

数控车床主要用于轴类和盘类回转体零件的多种工序加工,包括内外圆柱面、端面、沟槽、内外圆锥面、圆弧面、成型面、内外螺纹、锥螺纹等回转面的加工。数控车床的刀架由伺服电动机驱动可实现 Z 轴和 X 轴联动,主轴能自动变速,刀架能自动寻刀,具有齿轮间隙、刀具磨损等多种补偿功能。具有高精度、高效率、高柔性化等综合特点,适合中小批量形状复杂零件的多品种、多规格生产。

1.1 数控车床的组成及加工过程

1.1.1 数控车床的组成

数控车床的布局大都采用全封闭或半封闭防护,如图 1-1 所示,主要由以下几个部分组成。

- (1) 主体 机床主体主要包括床身、主轴箱、床鞍、尾座、进给机构等机械部件。
- (2) 数控装置(CNC 装置) 数控装置是数控车床的控制核心,一般采用专用计算机控制,主要由显示器、键盘、输入和输出装置、存储器以及系统软件等组成。
- (3) 伺服驱动系统 伺服驱动系统是数控车床执行机构的驱动部件,将 CNC 装置输出的运动指令信息转换成机床移动部件的运动,主要包括主轴驱动、进给驱动及位置控制等。
- (4) 辅助装置 辅助装置是指数控车床的一些配套部件,包括换刀装置、对刀仪、液压、润滑、气动装置、冷却系统和排屑装置等。不同用途、不同类型的数控车床可以选配不同的辅助装置。

1.1.2 数控车削的加工过程

数控车削的加工过程如图 1-2 所示,主要步骤如下。

- (1) 分析工件的零件图 根据零件图分析被加工工件的材料、形状、尺寸、精度及毛坯形状和热处理要求等,确定零件的加工方法、加工路线、切削用量及加工中的辅助动作顺序等。

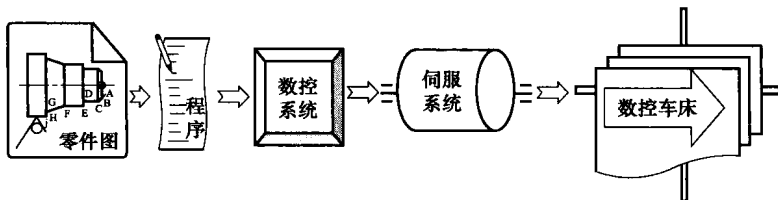


图 1-2 数控车削加工示意图

(2) 加工程序的编制 根据机床数控系统规定的代码和程序格式，按分析的工艺组织刀具相对工件的运动轨迹，编写加工零件所需的数据及操作命令，即零件的加工程序。

(3) 程序输入 通过机床操作面板将加工程序输入到数控系统，或者通过磁盘、移动存储卡、DNC 接口等方式传输程序到数控系统。

(4) 数控系统处理程序 启动机床后，数控系统将程序（代码）进行译码、插补运算和速度预处理，将处理结果以脉冲或数据形式送入伺服系统。

(5) 伺服系统 伺服系统将接收到的数控系统插补的速度和位移的脉冲或数字信号，转化为模拟信号后控制机床各个坐标的伺服电动机的运动速度（机床的进给运动）和方向，使机床按程序指定的轨迹运动，加工出合格零件。

1.2 数控车床的分类

1.2.1 按主轴位置分类

(1) 立式数控车床 其车床主轴垂直于水平面，并有一个直径很大、供装夹工件用的圆形工作台。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

(2) 卧式数控车床 卧式数控车床又分为水平导轨卧式车床和倾斜导轨卧式车床。倾斜导轨结构多采用 45°、60°、75°，可以使车床获得更大的刚性，并易于排除切屑。

1.2.2 按功能分类

(1) 经济型数控车床 一般采用开环控制，具有 CRT 显示、程序存储、程序编辑等功能，加工精度较低，功能较简单。

(2) 全功能型数控车床 这是较高档次的数控车床，具有刀尖圆弧半径自动补偿、恒线速、倒角、固定循环、螺纹切削、图形显示、用户宏程序等功能，加工能力强，适宜于加工精度高、形状复杂、循环周期长、品种多变的单件或中小批量零件的加工。

(3) 精密型数控车床 采用闭环控制，不但具有全功能型数控车床的全部功能，而且机械系统的动态响应较快，适用于精密和超精密加工。

(4) 车削中心 车削中心以全功能型为主，并配有刀库和换刀机械手，扩大了自动选择和使用刀具的数量，功能更全面，从而增强了机床加工的适应能力，扩大了加工范围。

2. 数控车床的功能

2.1 数控车床的主要功能

数控车床能加工回转类零件的端面、轴肩、内外圆柱面和圆锥面、曲面、沟槽、螺纹等形状，其主要功能如表 1-1 所示。

表 1-1 数控车床的主要功能

序号	功能	内 容
1	直线插补	(1)一般在 XOZ 平面 (2)可形成内外圆柱面、圆锥面、倒角
2	圆弧插补	(1)可形成圆弧面、倒圆、非圆曲线回转面 (2)一次插补，一次走刀
3	车削固定循环	(1)外圆粗车、精车 (2)内孔粗车、精车 (3)端面粗车、精车 (4)槽粗车、精车 (5)车螺纹
4	恒线速度车削	(1)通过控制主轴转速保持切削点处的切削速度恒定，可获得一致的加工表面 (2)必须限定加工时主轴最高转速
5	刀具补偿	(1)刀具位置补偿：可分别在 X、Z 方向进行位置补偿，主要用于刀具磨损 (2)刀具半径补偿：用于圆弧车刀车削以及刀尖圆弧半径补偿

2.2 数控车削的编程特点

① 在一个程序段中，根据图样上标注的尺寸，坐标值可以用绝对值，或增量值，或二者混合编程。使用坐标地址 X、Z 时为绝对值编程方式，使用坐标地址 U、W 时为增量值编程方式。

② 被加工零件的径向尺寸在图样上和测量时，一般用直径值表示。所以采用绝对值编程时，X 的编程值用工件直径表示。用增量值编程时，U 的编程值应是 X 轴方向增量值的 2 倍，并要标上方向符号。

③ 由于车削加工常用棒料或锻料作为毛坯，加工余量较大，为简化编程，数控装置常具备不同形式的固定循环，可进行多次重复循环切削。

④ 编程时，认为车刀刀尖是一个点，而实际上为了提高刀具寿命和工件表面质量，车刀刀尖常磨成一个半径不大的圆弧，为提高工件的加工精度，编制圆头刀程序时，需要对刀具半径进行补偿。大多数数控车床都具有刀具半径自动补偿功能（G41、G42），这类数控车床可直接按工件轮廓尺寸编程。

3. 数控车床的坐标系

数控车床的坐标系有机床坐标系、编程坐标系和工件坐标系。

3.1 机床坐标系

机床坐标系是数控机床安装调试时便设定好的一个固定的坐标系统。按国家标准规定数控机床上的坐标系是采用如图 1-3 所示的右手直角笛卡儿坐标系。X、Y、Z 直线进给方向按右手定则规定，而围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给方向 A、B、C 则按右手螺旋定则判定。

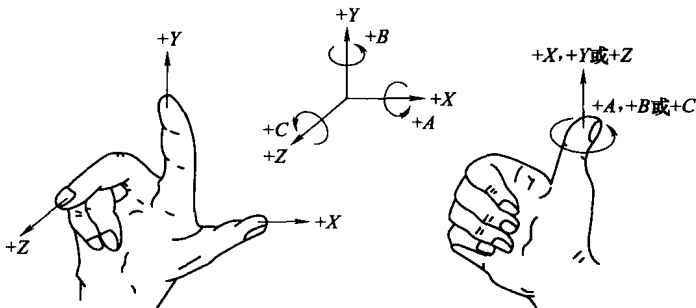


图 1-3 右手直角笛卡儿坐标系

坐标轴运动方向的确定原则：假定刀具运动、工件不动；机床某一部分运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。因此在数控车床上 X、Z 和 C 轴的正方向如图 1-4 所示。

① Z 坐标：平行于主轴，刀具离开工件的方向为正。

② X 坐标：为水平方向且垂直于 Z 轴并平行于工件的装夹面，正方向也是使刀具远离工件的方向。对于刀架后置式（刀架活动范围主要在回转轴心线的后部）的车床来说，X 轴正向是由轴心指向后方，如图 1-4（b）所示。而对于刀架前置式的车床来说，X 轴的正向应是由轴心指向前方，如图 1-4（a）所示。由于车削加工是围绕主轴中心前后对称的，因此无论是前置还是后置式的，X 轴指向前后对编程来说并无多大差别。

③ Y 坐标：在 Z、X 坐标确定后，用右手直角笛卡儿坐标系来确定，图 1-4 所示的数控

车床没有 Y 坐标轴。

④ C 坐标：绕 Z 轴的旋转运动方向，用右手螺旋法则来确定。

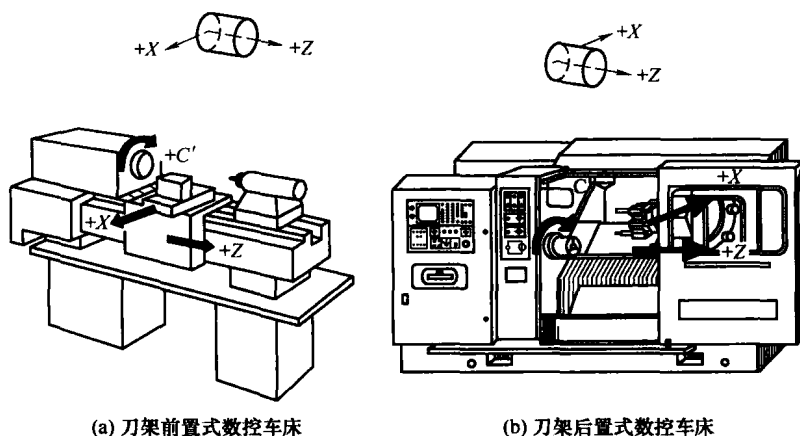


图 1-4 数控车床的坐标系

对带参考点设定功能的车床而言，其机床坐标原点就在车床主轴端头（或卡盘）的中心 O 点，沿轴心方向作为 Z 轴，其正向指向尾座顶尖。以刀架横向拖板运动方向作为 X 轴，其正向由主轴回转中心指向工件外部。如图 1-5 所示的 XOZ 坐标系为机床坐标系。

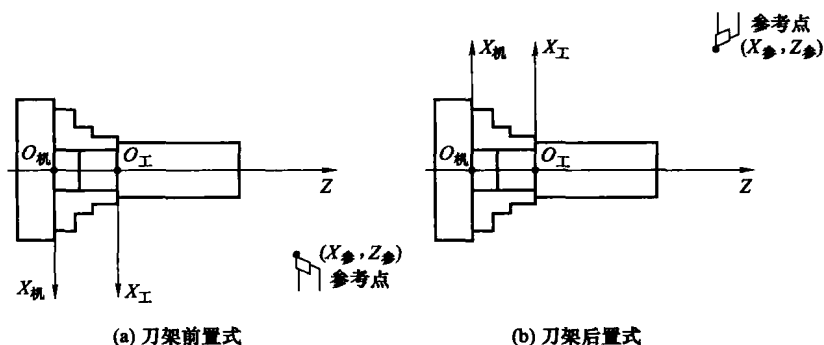


图 1-5 数控车床坐标系与工件坐标系的关系

3.2 工件坐标系

编程坐标系是对图纸上零件编程时建立的，其坐标原点即为程序原点。程序中所有数据便是基于该坐标系的坐标值。

工件坐标系则是因为把程序应用到机床上而表现为工件坐标系的，坐标原点就称之为工件原点。由数控装置内部建立，该坐标系在机床上是根据当前刀具所处的相对位置来确立的。

对刀操作就是用来沟通机床坐标系、编程坐标系和工件坐标系三者之间的相互关系的，由于坐标轴的正负方向都是统一的，因此对刀实际上就是确定坐标原点位置的一种操作。

4. 数控车削加工工艺

编制数控车削程序前要对被加工零件进行工艺分析，拟定加工方案，确定定位基准和零件的装夹方式，选择合适的刀具，确定切削用量。而编程中也要确定一些工艺问题，如对刀

点、加工路线等。

4.1 加工路线的确定

数控车削中，刀具刀位点相对于零件运动的轨迹称为加工路线，加工路线的确定直接与工件的加工精度与表面质量有关。

- ① 加工路线应保证被加工零件的精度和表面粗糙度，且效率较高。
- ② 应使数值计算简便，以减少编程工作量。
- ③ 应使加工路线最短，这样既可以减少程序段，又可减少空刀时间。
- ④ 加工路线还应考虑工件的加工余量和机床、刀具的刚度等。

4.1.1 加工阶段的划分

一般为保证重要零件的加工质量和合理使用设备，可将加工过程划分为四个阶段。

- ① 粗加工阶段：为提高效率，切除毛坯上的大量余量。
- ② 半精加工阶段：达到一定精度并留部分余量，同时完成一些次要表面的加工。
- ③ 精加工阶段：为全面保证工件的尺寸精度和表面质量而切除少量余量。
- ④ 精密（包括光整加工）加工阶段：对于质量要求特殊高的重要零件而划分的。

4.1.2 工序划分

数控车削主要按工序集中的原则划分。

- ① 按所需刀具分：用同一把刀完成的工艺过程为一道工序。用于加工部位多的情况。
- ② 按安装次数划分：一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。用于加工内容不多的情况。
- ③ 按粗、精加工分：粗、精加工完成的工艺过程各是一道工序。用于加工后变形大的工件。
- ④ 按加工部位分：完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序。用于加工表面多而复杂的零件。

4.1.3 工序的安排

工序的安排应根据零件的结构、毛坯情况以及安装定位与夹紧的需要来考虑，一般按以下原则安排。

- ① 基面先行：先加工用作精基准的表面。
- ② 先粗后精：按“粗加工—精加工—半精加工—精密加工”的顺序逐步提高加工精度，如图 1-6 (a) 所示。
- ③ 先主后次：先加工零件的主要工作表面、装配基面，次要表面穿插进行。
- ④ 先近后远：先加工离刀架近的部位，后加工远的部位，以缩短刀具移动时间，如图 1-6 (b) 所示。
- ⑤ 内外交叉：内外表面的粗、精加工交叉进行以提高加工精度。

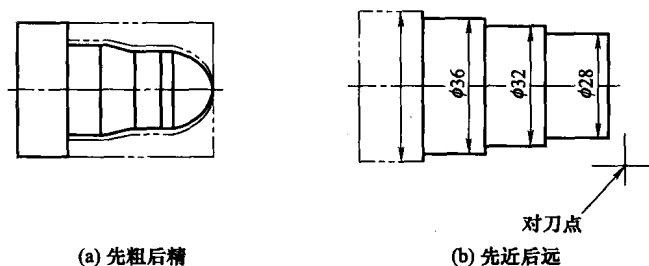


图 1-6 工序安排示例

4.2 工件的定位与装夹

数控车削加工时，必须通过相应的夹具对零件进行定位和夹紧。在加工中用作定位的基准称为定位基准。有以毛坯表面为基准的粗基准和已加工表面为基准的精基准两种。除第一道工序采用粗基准外，其余都应采用精基准定位。选择基准主要考虑减少误差、保证精度、装夹方便并使加工容易。

加工中尽量采用通用夹具装夹，且要减少装夹次数，尽量在一次装夹中能把零件上所有加工表面加工出来。

车削常用的夹具有三爪自定心卡盘、四爪卡盘、尾座顶尖、中心架、各种心轴和液压、电动及气动夹具等其他多种夹具。

4.3 数控车削刀具的选择

4.3.1 对刀具的要求

数控车削加工对刀具的要求比普通车削的要高。

(1) 刀具结构 数控车床应尽可能使用机夹刀。由于机夹刀在数控车床上安装时，一般不采用垫片调整刀尖高度，所以刀尖高的精度在制造时就应得到保证。对于长径比较大的内径刀杆，应具有良好的抗震结构。

(2) 刀具强度、耐用度 数控车床能兼作粗精车削，为使粗车能大切深、大走刀，要求粗车刀具强度高、耐用度好；精车则保证加工精度，所以要求刀具锋利、精度高、耐用度好。

(3) 刀片断屑槽 数控车床一般在封闭环境中进行，要求刀具具有良好的断屑性能，断屑范围要宽，一般采用三维断屑槽，其形式很多，选择时应根据零件的材料及精度要求来确定。

常用数控车刀的种类和用途如表 1-2 所示。

表 1-2 常用数控车刀的种类和用途

常用 焊接 车刀	外圆精车刀	外圆粗车刀	端面车刀	切槽车刀	螺纹车刀	内孔车刀
						
常用 机夹 可转位 车刀	外圆右偏精车刀	外圆右偏粗车刀	45°端面车刀	外圆切槽车刀	外圆螺纹车刀	
						
内孔 车刀	中心钻		麻花钻	粗镗孔车刀		精镗孔车刀
						

4.3.2 数控可转位车刀的种类和结构形式

目前数控车床用刀的主流是可转位刀片的机夹刀具，可转位车刀按其用途可分为外圆车刀、仿形车刀、端面车刀、内圆车刀、切槽刀、切断刀和螺纹车刀等，如表 1-3 所示。