

项目五 数控铣床加工工艺与加工

引言

数控铣床加工工艺是以普通铣床的加工工艺为基础，结合数控铣床的特点，综合运用多方面的知识解决数控铣床加工过程中面临的工艺问题。本项目宗旨在于从诸多风动机械零件实际加工中精选典型的案例，来介绍数控铣床加工工艺所涉及的工艺性分析、加工工艺、安装定位、刀具应用及典型零件加工的基础知识和基本原理，以便读者在实训生产过程中科学、合理地设计加工工艺，充分发挥数控铣床的特点，实现数控加工中的优质、高产、低耗。

学习目标

- 掌握数控加工工艺分析方法；
- 了解数控加工工艺过程的设计；
- 掌握数控加工工序的设计；

任务一 数控铣削加工工艺

任务目标

- ◇ 会分析简单零件的加工工艺；
- ◇ 会划分简单零件的加工工序；
- ◇ 能确定零件定位及装夹方法；
- ◇ 能确定简单零件的走刀路线；
- ◇ 会选择合理的加工刀具和切削用量；
- ◇ 会编写加工工艺卡；

任务内容

如果要加工下图所示活塞式空压机曲轴箱，数控铣床加工工艺准备工作步骤是什么？



活塞式空压机曲轴箱

知识链接

一、加工工艺分析

1. 零件图的分析

分析项目	分析内容
尺寸标注方法分析	注意基准统一原则，减少累积误差。
零件图的完整性与正确性分析	几何图素条件要求充分。
零件技术要求分析	尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度、热处理等都会影响工艺方案。同时考虑安装、刀具、切削用量。
零件材料分析	材料影响价格、切削用量、工艺方案。
零件图形的数学处理	计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值。尺寸链的计算。

2. 零件的结构工艺性分析

- (1) 采用统一的几何类型和尺寸，减少换刀，提高效率，减少成本。
- (2) 零件的工艺结构设计应确保能采用较大直径的刀具进行加工。采用大直径铣刀加工，能减少加工次数，提高表面加工质量。内槽圆角影响刀具的选择，应大些，如图5-1所示。

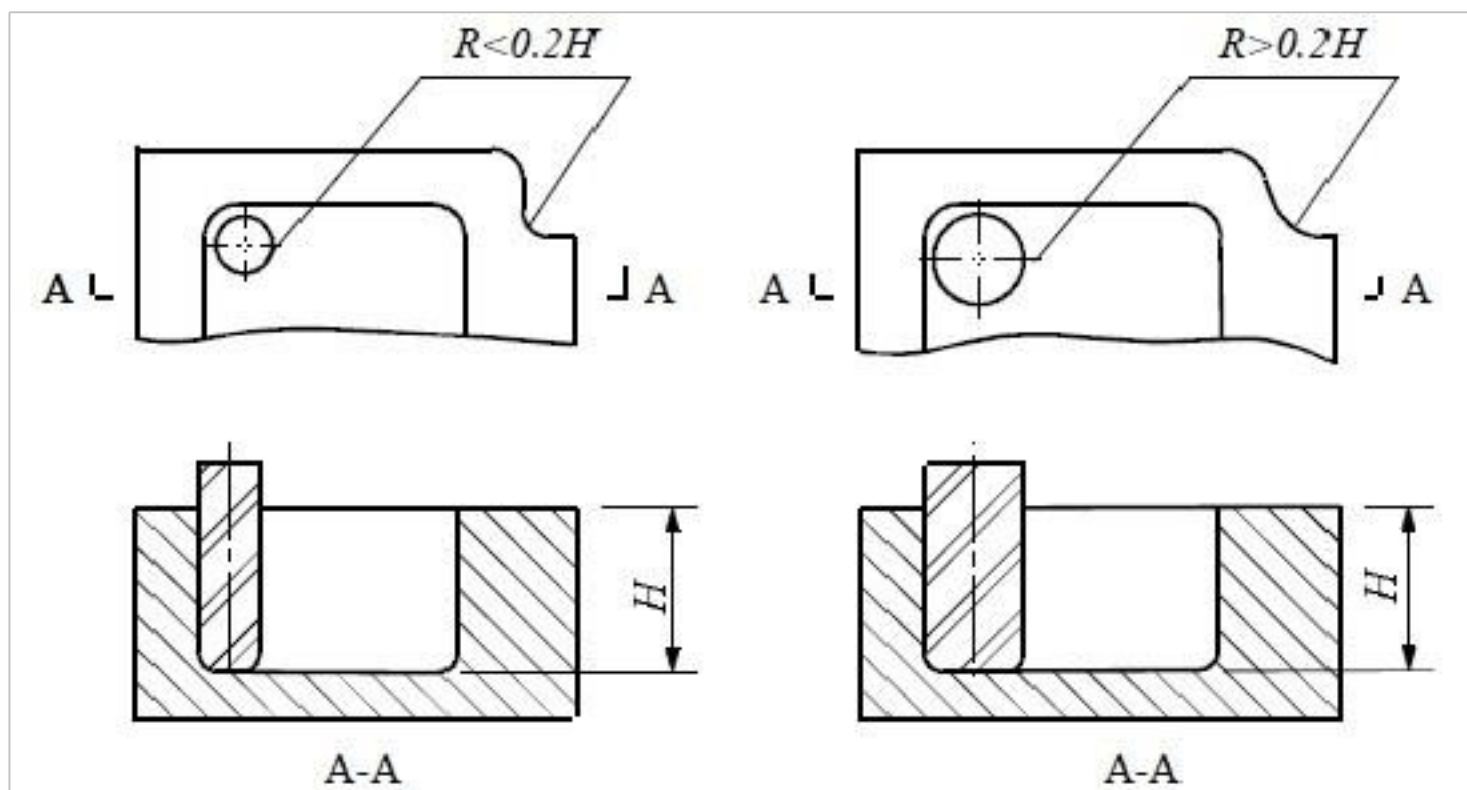


图5-1

(3) 当铣刀直径 D 一定时, 圆角半径 r 越大, 铣刀端刃铣削平面的面积就越小, 铣刀端刃铣削平面的能力就越差, 效率越低, 工艺性也越差。所以槽底圆角半径 r 不宜太大, 如图 5-2 所示。

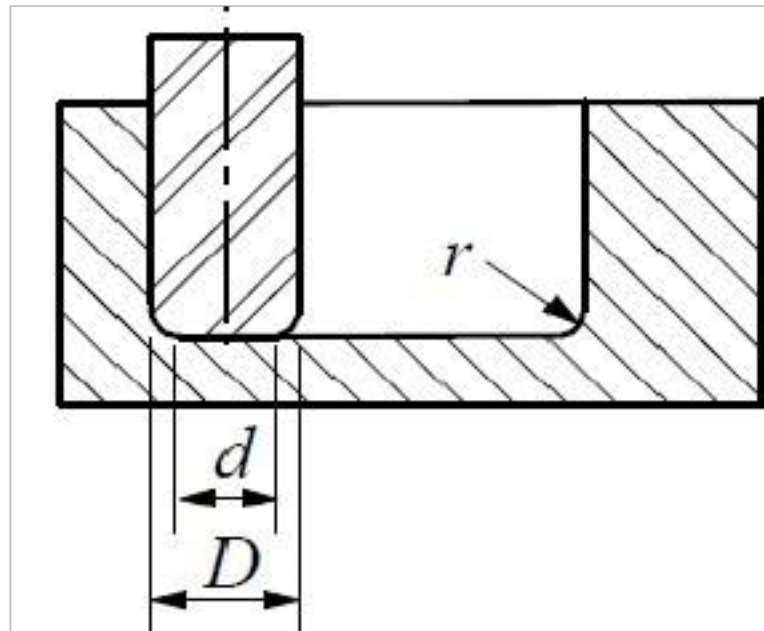


图 5-2

(4) 统一基准定位, 减少定位误差。

(5) 减少刀具数量, 降低成本和减少定位误差。

(6) 审查与分析定位基准的可靠性。

(7) 对于薄壁件、刚性差的零件, 注意加强零件加工部位的刚性, 防止变形的产生。

(8) 分析毛坯余量的大小及均匀性。

二、数控加工工艺过程设计

1. 加工工序的划分

(1) 刀具集中分序法

按所用刀具划分工序, 用同一把刀具加工完所有可以加工的部位, 再用第二、三把刀完成它们可以完成的其他部位。这样可以减少换刀次数压缩时间, 减少不必要的定位误差。

(2) 以加工部位分序法

对于加工部位很多的零件, 可按其结构特点将加工部位分成几个部分, 如内形、外形、曲面、或平面等。

(3) 以粗、精加工分序法

对于易发生加工变形的零件, 由于粗加工后可能发生的变形而需要进行校正, 故一般来说凡要进行粗、精加工的都要将工序分开。

在划分工序时, 一定要视零件的结构与工艺性, 机床的性能, 零件数控加工内容的多少, 安装次数及本单位生产组织状况灵活掌握。

2. 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况, 以及定位安装与夹紧的需要来考虑, 重点是工件的刚性不被破坏; 上道工序的加工不能影响下道工序的定位

与夹紧，中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑；先进行内型、内腔加工工序，后进行外形加工工序；以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序，最好接连进行，以减少重复定位次数，换刀次数与挪动压板次数；在同一次安装中进行的多道工序，应先安排对工件刚性破坏较小的工序。

加工顺序的安排应遵循：

基面先行原则：减少定位误差。

先粗后精原则：减少误差复映。

先面后孔原则：避免切削变形，保证孔的加工精度。

先主后次原则：减少不必要的浪费。

先近后远原则：提高效率。

3. 工件定位

定位安装的基本原则：在数控机床上加工零件时，定位安装的基本原则与普通机床相同，也要合理选择定位基准和夹紧方案。为了提高数控机床的效率，在确定定位基准与夹紧方案时应注意以下三点：

(1) 力求设计、工艺与编程计算的基准统一。

(2) 尽量减少装夹次数，尽可能在一次定位装夹后，加工出全部待加工表面。

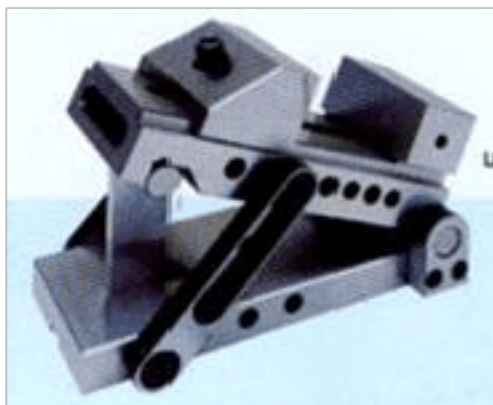
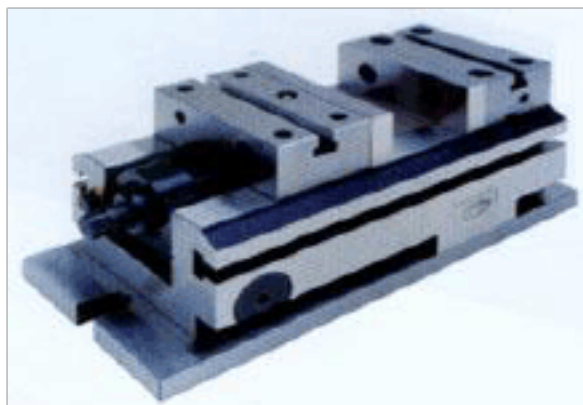
(3) 避免采用占机人工调整式加工方案，以充分发挥数控机床的效能。

4. 夹具的选择

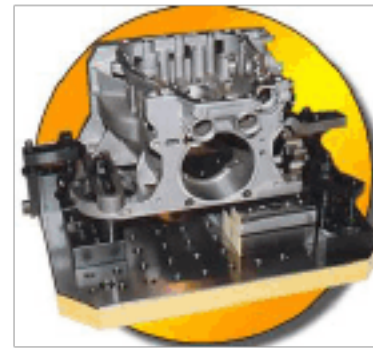
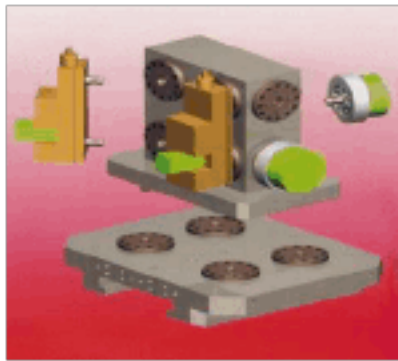
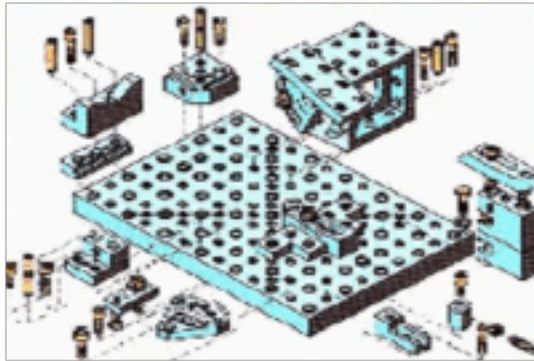
数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求：要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；要能协调零件与机床坐标系的尺寸。

除此之外，主要考虑以下几点：

(1) 当零件加工批量小时，尽量采用组合夹具，可调式夹具及其它通用夹具。



(2) 当小批或成批生产时才考虑采用组合夹具,但应力求结构简单。



(3) 夹具要开敞,其定位、夹紧机构元件不能影响加工中的走刀(如产生碰撞)。

(4) 夹紧力应力求通过靠近主要支承点或在支承点所组成的三角形内。应力求靠近切削部位,并在刚性较好的地方,尽量不要在被加工孔的上方以减少零件变形。

(5) 装卸零件要方便可靠,以缩短准备时间,有条件时,批量较大的零件应采用气动或液压夹具、多工位夹具。

三、数控加工工序的设计

1. 走刀路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为加工路线,它是编程的依据,直接影响加工质量和效率。在确定加工路线时要考虑下面几点:

- (1) 保证零件的加工精度和表面质量,且效率要高;
- (2) 方便数值计算,减少编程工作量和编程时间;
- (3) 寻求最短加工路线,减少空刀时间以提高加工效率
- (4) 刀具的进退刀(切入和切出)路线要认真考虑,以尽量减少在轮廓处停刀(切削力突然变化造成弹性变形)而留下刀痕,也要避免在工件轮廓面上垂直下刀而划伤工件。

(5) 位置精度要求高的孔系零件的加工应避免机床反向间隙的带入而影响孔的位置精度;

以下是几种典型加工的刀具路径:

(1) 孔系加工路线的确定

加工位置精度要求较高的孔系时,应特别注意安排孔的加工顺序。若安排不当,将坐标轴的反向间隙带人,直接影响位置精度。如图 5-3 所示,镗削图中零

件上六个尺寸相同的孔，有两种进给路线。按 1→2→3→4→5→6 路线加工时，由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相反，Y 向反向间隙会使定位误差增加，而影响 5、6 孔与其它孔的位置精度。按 1→2→3→4→P→6→5 路线加工时，加工完 4 孔后往上多移动一段距离至 p 点，然后折回来在 6、5 孔处进行定位加工，这样加工进给方向一致，可避免反向间隙的引入，提高 5、6 孔与其它孔的位置精度。

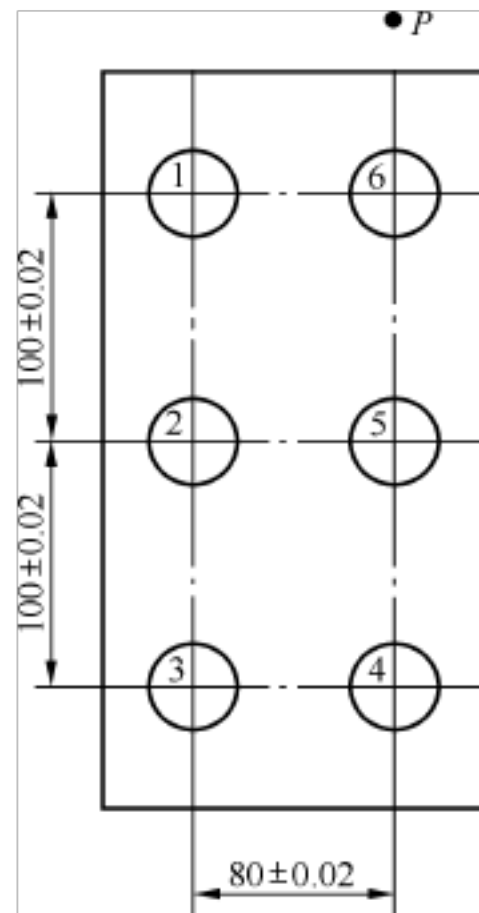


图 5-3

(2) 铣削平面的加工路线
 铣削平面零件时，一般采用立铣刀侧刃进行切削。因刀具的运动轨迹和方向不同，可能是顺铣或逆铣，其不同的加工路线所得的零件表面质量也不同。

沿着刀具的进给方向看，如果铣刀旋转方向与工件进给方向相反，称为逆铣；铣刀旋转方向与工件进给方向相同，称为顺铣。如图5-4所示。

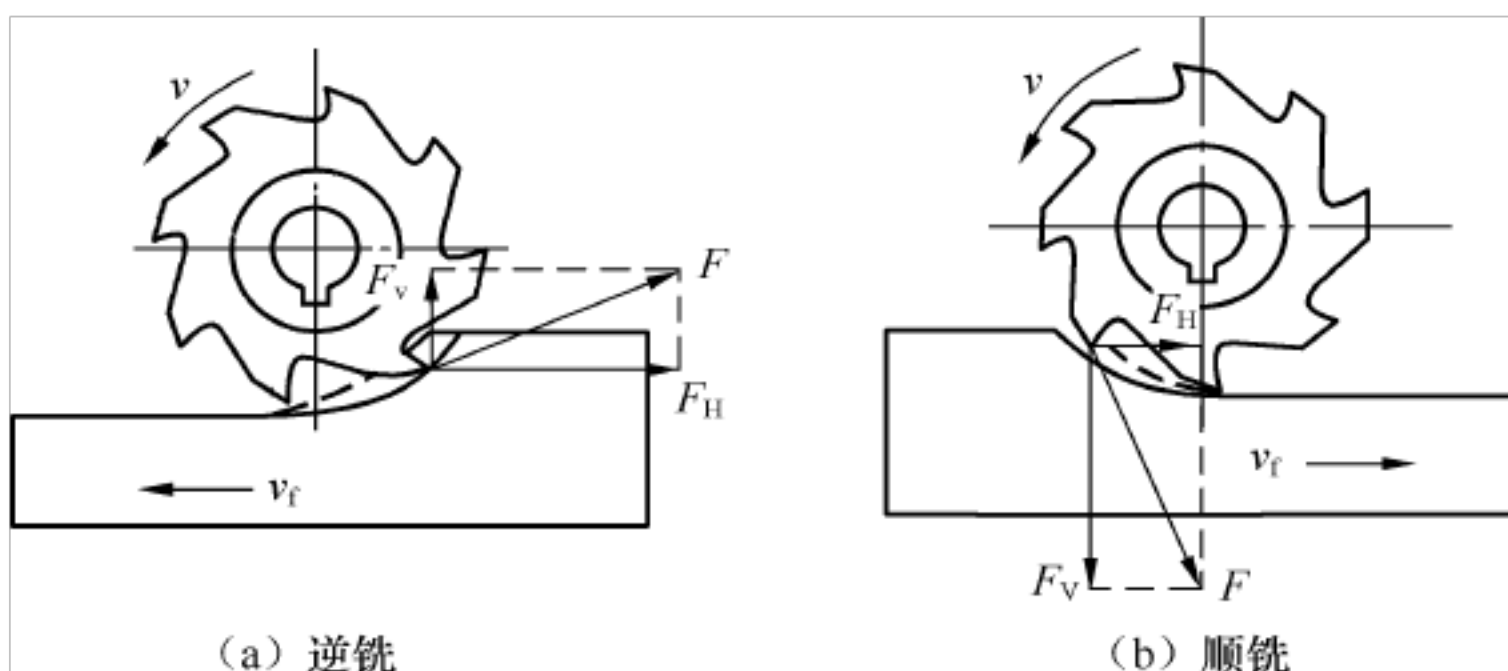


图 5-4

逆铣时，每个刀的切削厚度都是由小到大逐渐变化的，由于铣刀的刀齿接触工件后不能马上切入金属层，而是在工件表面滑动一小段距离，在滑动过程中，由于强烈的磨擦，就会产生大量的热量，同时在待加工表面易形成硬化层，降低了刀具的耐用度，影响工件表面粗糙度，给切削带来不利。

顺铣时，切削厚度是由大到小逐渐变化的，刀齿切入过程中没有滑移现象。

顺铣的功率消耗要比逆铣时小，在同等切削条件下，顺铣功率消耗要低5%~15%（铣削碳钢时，功率消耗可减少5%，铣削难加工材料时可减少14%），同时顺铣也更加有利于排屑，但由于水平铣削力的方向与工件进给运动方向一致，当刀齿对工件的作用力较大时，由于工作台丝杆与螺母间间隙的存在，工作台会产生窜动，这样不仅破坏了切削过程的平稳性，影响工件的加工质量，而且严重时还会损坏刀具。

目前，数控机床通常具有间隙消除机构，能可靠地消除工作台进给丝杆与螺母间的间隙，防止铣削过程中产生振动。因此对于工件毛坯表面没有硬皮，工艺系统具有足够的刚性的条件下，数控铣削加工应尽量采用顺铣，以降低被加工零件表面的粗糙度，保证尺寸精度。但是在切削面上有硬质层、积渣、工件表面凹凸不平较显著时，如加工锻造毛坯，应采用逆铣法。

铣削平面零件时，切削前的进刀方式也必须考虑。切削前的进刀方式有两种形式：一种是水平方向进刀，另一种是垂直方向进刀。

(3) 铣削外表面轮廓路线

铣削外表面轮廓时，为减少接刀痕迹，保证零件表面质量，铣刀的切入点和切出点应沿零件轮廓曲线上某点的切线延长线来切入和切出零件表面，如图 5-5

(a) 铣削外圆时的加工路线、(b) 铣削内圆时的加工路线。

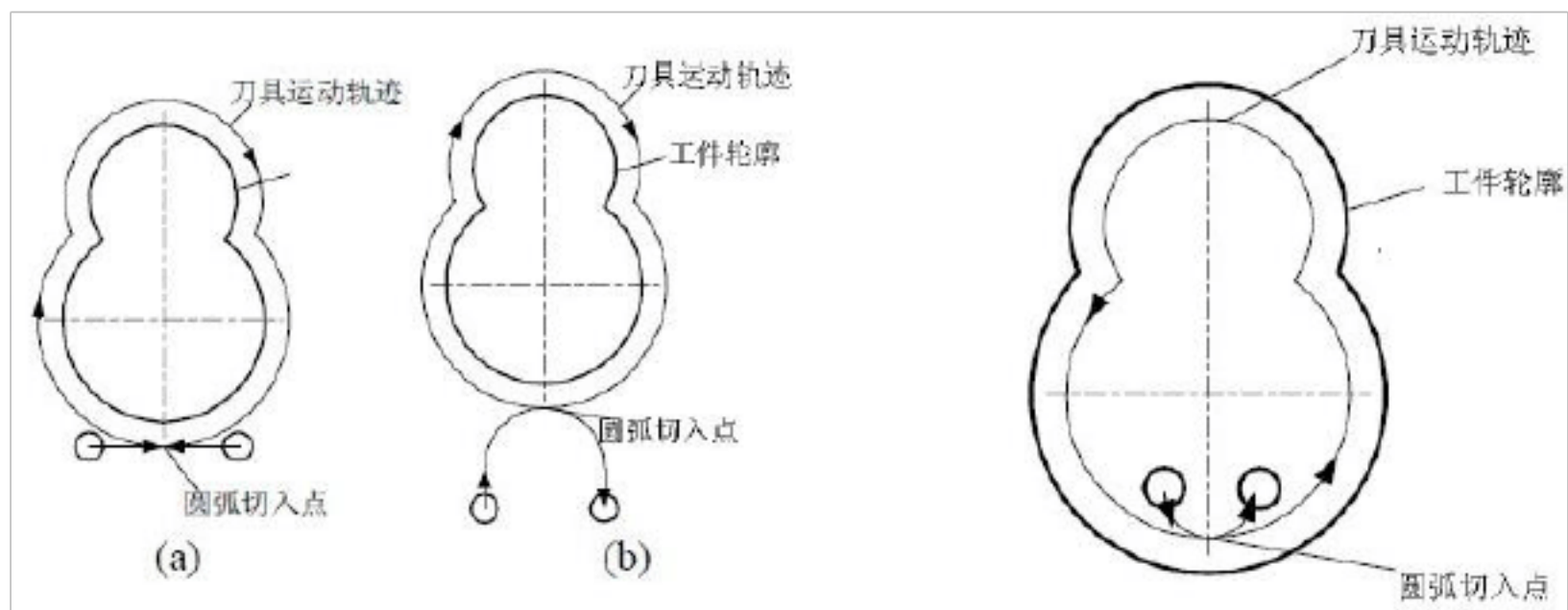
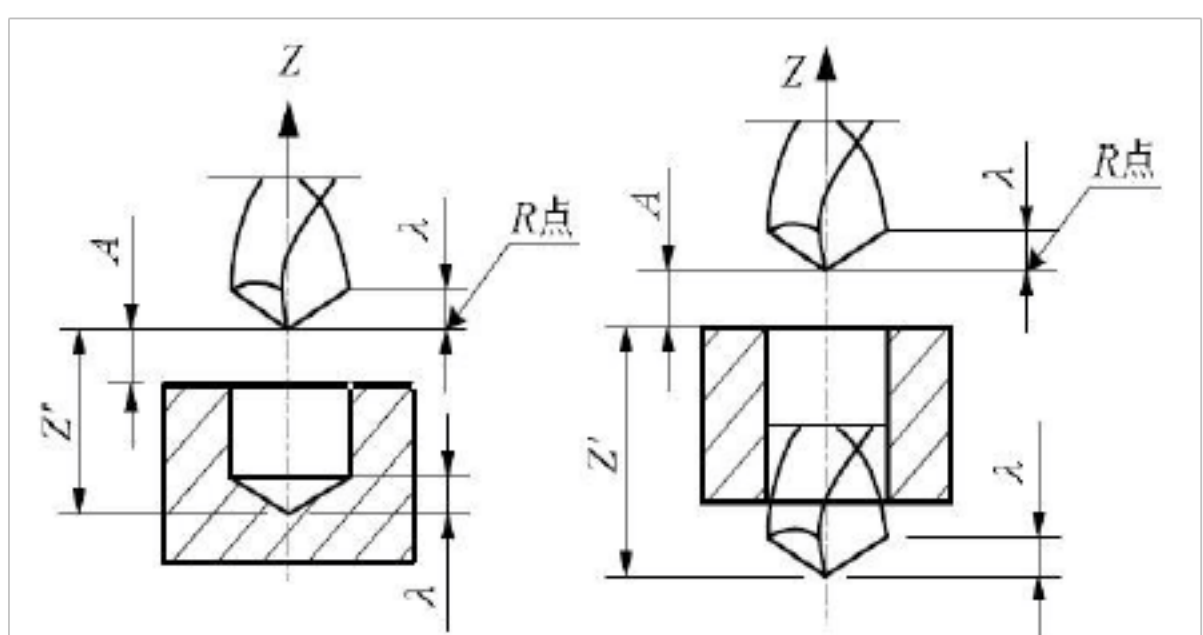


图5-5 (a) 铣削外圆时的加工路线

图5-5 (b) 铣削内圆时的加工路线

(4) 单孔加工路线

如图5-6所示为用钻头钻孔。钻头定位于R点，从R点以进给速度作Z'向进给，到孔底部后，快



速退到R点，距离A为切入点， λ 为切出距离。

图 5-6

2. 刀具的选择

刀具的选择是数控加工工艺中重要内容之一，它不仅影响机床的加工效率，而且直接影响加工质量。编程时，选择刀具通常要考虑机床的加工能力、工序内容、工件材料等因素，合理选择刀具参数。

选取铣刀时，要使刀具的尺寸与被加工工件的表面尺寸和形状相适应。生产中，平面零件周边轮廓、凸台、凹槽时的加工，常采用立铣刀；如图5-7所示。铣削平面时，应选用盘铣刀；如图5-8所示。加工仿形面、曲面时，常采用球头铣刀。绝大部分铣刀由专业工具厂制造，我们只需选好铣刀的参数就可。铣刀的主要结构参数有：直径、宽度（或长度）及齿数。

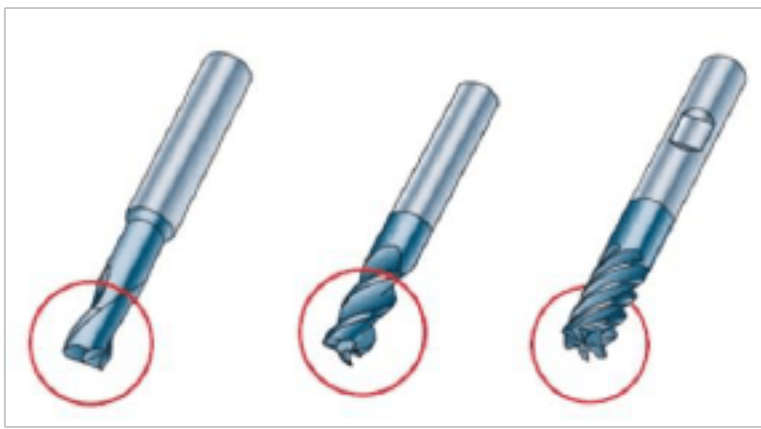


图5-7

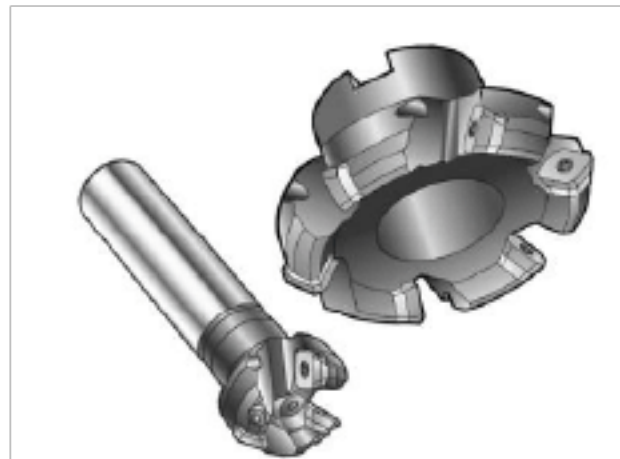


图5-8

在数控铣床和加工中心上钻孔都是无钻模直接钻孔，一般钻孔深度约为直径的5倍左右，加工细长孔时刀具易于折断，因此要注意冷却和排屑，如果钻削深孔，冷却液可以从钻头中心引入。为了提高刀片的寿命，刀片上涂有一层碳化钛，它的寿命为一般刀片的2倍~3倍，使用这种钻头钻箱体孔，比普通麻花钻要提高工效4倍~6倍。如图5-9所示。在钻孔前最好先用中心钻钻一个中心孔，或用一个刚性较好的短钻头划一窝，解决在铸件毛坯表面的引正等问题，如代替孔的倒角，以提高小钻头的寿命，如图5-10所示。



图5-9

图5-10

镗孔一般是悬臂加工，应尽量采用对称的两刃或两刃以上的镗刀头进行切削，以平衡径向力，减轻镗削振动。对阶梯孔的镗削加工采用组合镗刀，以提高镗削效率，选择镗刀主偏角接近 90° ，大于 75° ，如图5-11所示。精镗宜采用微调镗刀，如图5-12所示。镗孔加工除选择刀片与刀具外，还要考虑镗杆的刚度，尽可能选择较粗（接近镗孔直径）的刀杆，及选较短的刀杆臂，以防止或消除振动。当刀杆臂小于4倍刀杆直径时可用钢制刀杆，加工要求较高的孔时最好选用硬质合金制刀杆。当刀杆臂为4~7倍刀杆直径时，小孔用硬质合金制刀杆，大孔用减振刀杆。当刀杆臂为7~10倍的刀杆直径时，需采用减振刀杆。此外，在加工中心上，各种刀具分别装在刀库上，按程序规定随时进行选刀和换刀工作。

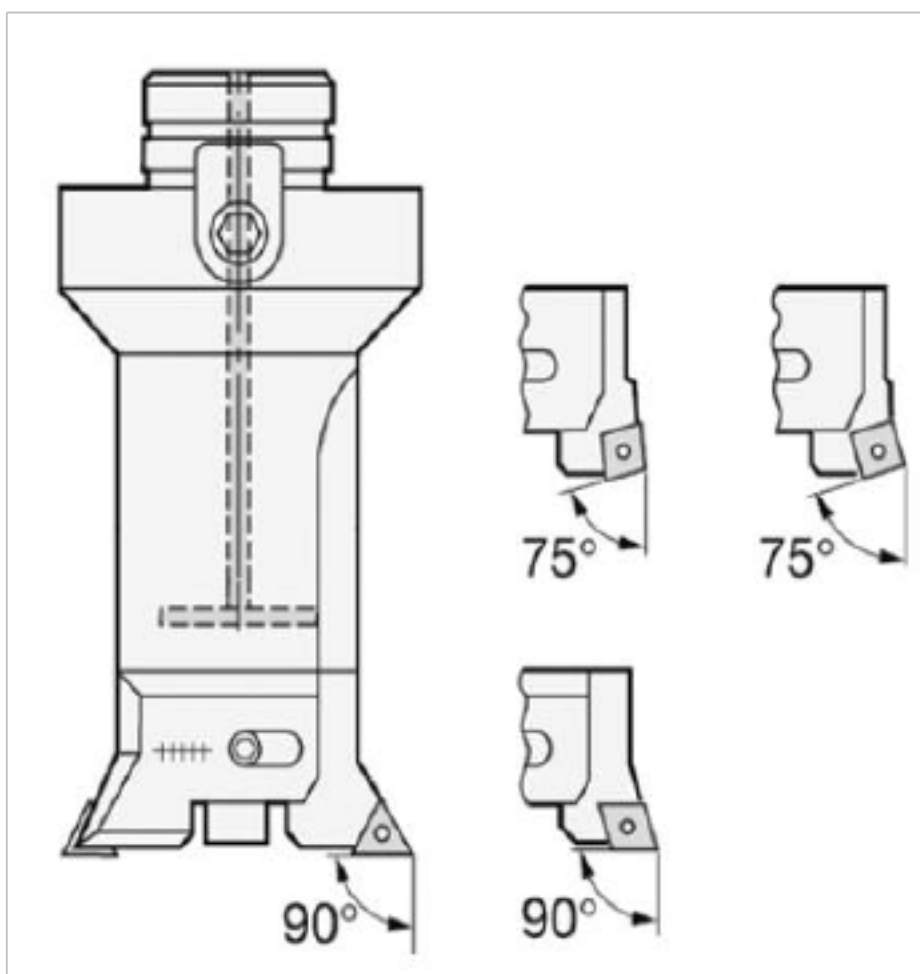


图5-11

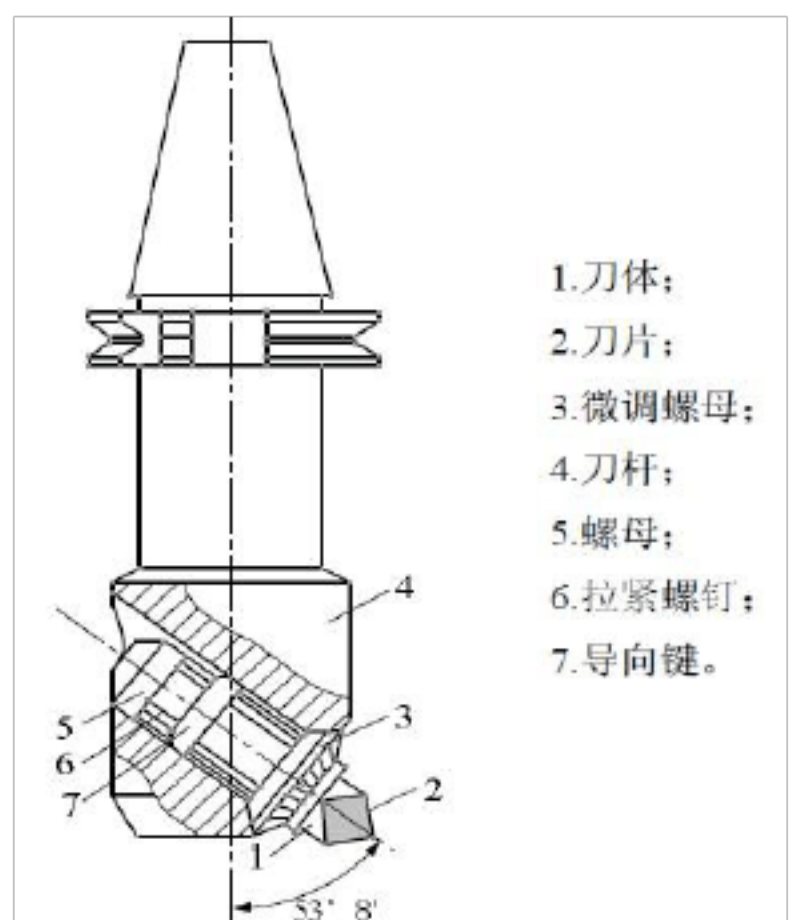


图5-12

数控铣床切削用量选择

数控铣床的切削用量包括切削速度 V 、进给速度 V_f 、背吃刀量（切削深度 a_p 和切削宽度 a_e ）。选择切削用量的原则是：粗加工时，一般以提高生产率为主，但也应考虑经济性和加工成本；半精加工和精加工时，应在保证加工质量的前提下，兼顾切削效率、经济性和加工成本，具体数值应根据机床说明书、切削用量手册，并结合经验而定。

从刀具耐用度出发，切削用量的选择方法是：先选取背吃刀量，其次确定进给量，最后确定切削速度。

(1) 背吃刀量

背吃刀量根据机床、工件和刀具的刚度来决定，在刚度允许的条件下，应尽可能使背吃刀量等于工件的加工余量，这样可以减少走刀次数，提高生产效率。为了保证加工表面质量，可留少量精加工余量，一般 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ 。

(2) 进给速度

进给速度指单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移，单位为 mm/min 。它与铣刀转速 n 、铣刀齿数 Z 及每齿进给量 f_z （单位为 mm/z ）有关。

进给速度的计算公式：
$$V_f = f_z Z n$$

式中：每齿进给量 f_z 的选用主要取决于工件材料和刀具材料的机械性能、工件表面粗糙度等因素。当工件材料的强度和硬度高，工件表面粗糙度的要求高，工件刚性差或刀具强度低， f_z 值取小值。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀的选用值。

(3) 切削速度

主轴转速应根据允许的切削速度和工件（或刀具）直径来选择。其计算公式为：
$$n = \frac{1000 V}{D}$$

n -- 主轴转速，单位为 r/min ；

D -- 工件直径或刀具直径，单位为 mm ；

v -- 切削速度，单位为 m/min ，由刀具的耐用度决定；

铣削的切削速度与刀具耐用度 T 、每齿进给量 f_z 、背吃刀量 a_p 、侧吃刀量 a_e

Z成反比，与铣刀直径D成正比。其原因是 f 、 a_p 、 a_e 、Z增大时，使同时工作齿数增多，刀刃负荷和切削热增加，加快刀具磨损，因此刀具耐用度限制了切削速度的提高。如果加大铣刀直径则可以改善散热条件，相应提高切削速度。常用铣削用量参考表如表5-1所示。

表5-1 铣削用量参考表

工件材料	切削速度 (m/min)		
	高速钢	硬质合金	镀层硬质合金
铝	50~70	100~130	100~130
45#	15~20	40~50	50~60
铸铁	15~20	40~50	50~60
加工方式	每齿切削量 (mm)		
粗加工	0.05~0.1		
精加工	0.03~0.05		
例：用20mm镀层硬质合金4刃精铣45#钢，切削速度取60m，每刃切0.05mm， 转速 $n=60*1000/(20*3.14)=955r/min$ ，进给量 $f=4*0.05*955=191mm/min$ 。			

注：

1. 以上是对铣削用量笼统的概括，实际加工中还要针对不同实际情况作出调整。如：工件形状、加工余量大小、冷却条件等。
2. 每齿切削量如果选择太小，相当于在磨刀；选择太大，相当于在撞击。
3. 总之，切削用量的具体数值应根据机床性能、相关的手册并结合实际经验用类比方法确定。同时使主轴转速、切削深度及进给速度三者能相互适应，以形成最佳切削用量。

四、对刀点与换刀点的确定

对刀点是数控加工中刀具相对工件运动的起点。在编程时不论是刀具相对工件移动，还是工件相对刀具移动，都是把工件看作静止，刀具在运动。

通常把对刀点称为程序原点，它可以设在被加工零件上（如零件的定位孔中心距机床工作台或夹具表面的某一点处），也可以设在与零件定位基准有固定尺寸关系的夹具上的某一位置（如专门在夹具上设计一圆柱销或孔等）。

对刀点选择原则：

- (1) 找正容易。
- (2) 编程方便。
- (3) 对刀误差小。

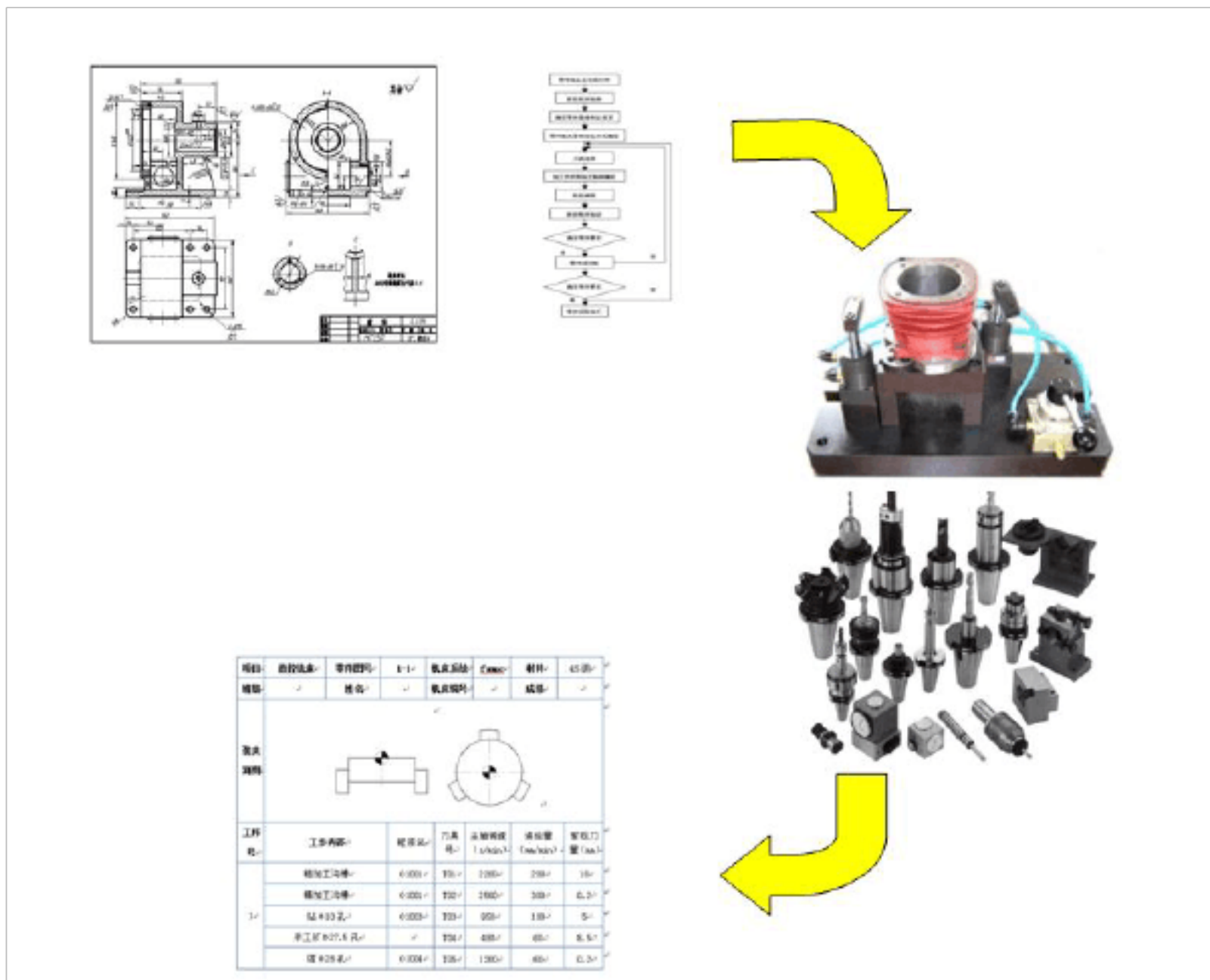
加工时检查方便、可靠。

换刀点是为加工中心、数控车床等多刀加工的机床编程而设置的。为防止换刀时碰伤零件或夹具，换刀点常常设置在被加工零件的外面，并要有一定的安全距离。

任务实施

数控铣床加工工艺准备工作步骤为：

分析零件图、拟定加工方案、定位及安装、选择刀具、编制工艺卡。



一、铣削曲面的进给路线的分析

铣削曲面时，常用球头刀采用“行切法”进行加工。对于边界敞开的曲面加工，可采用两种加工路线。对于发动机大叶片，当采用图 5-13 (a) 的加工方案时，每次沿直线加工，刀位点计算简单，程序少，加工过程符合直纹面的形成，可以准确保证母线的直线度。当采用图 5-13 (b) 的加工方案时，

多。由于曲面零件的边界是敞开的，没有其它表面限制，所以曲面边界可以延伸，球头刀应由边界外开始加工。

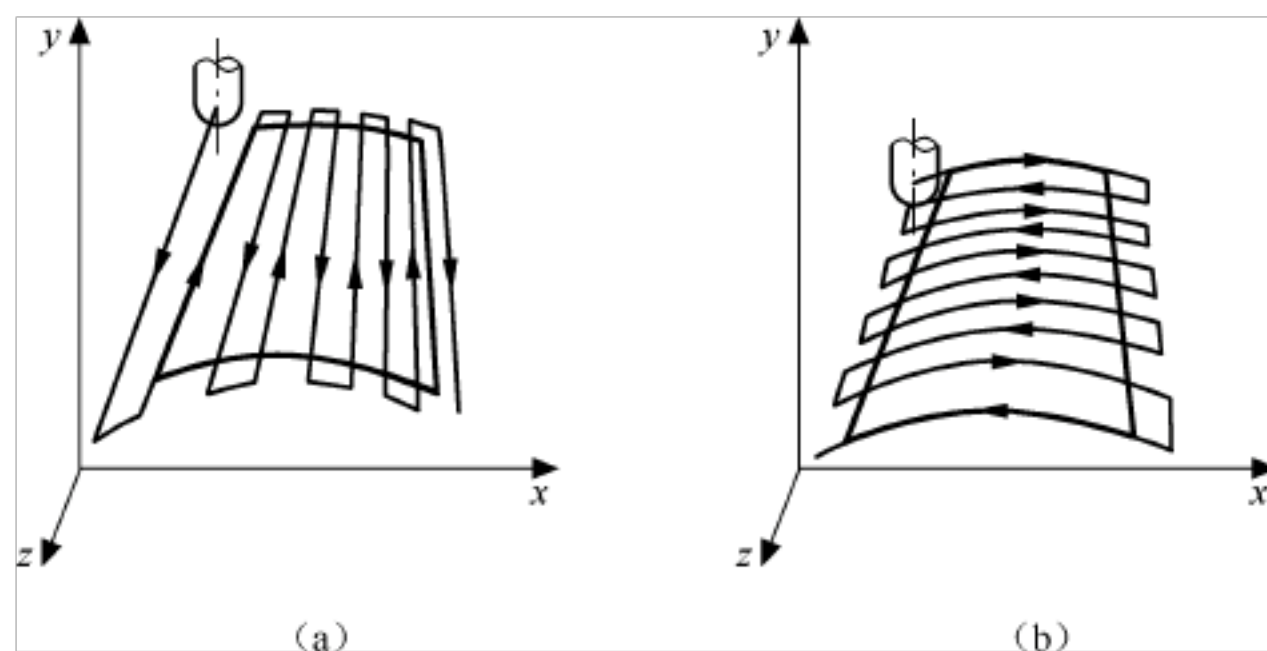
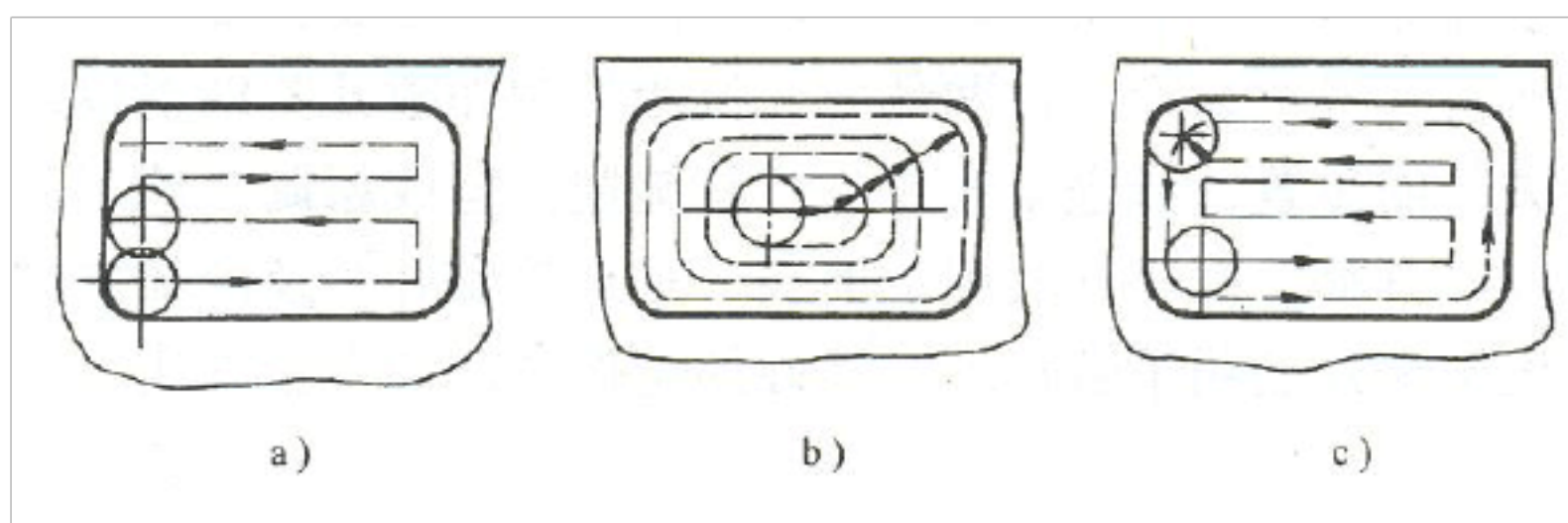


图 5-13

二、型腔的三种加工方法



a) 行切法

b)

环切法

c)

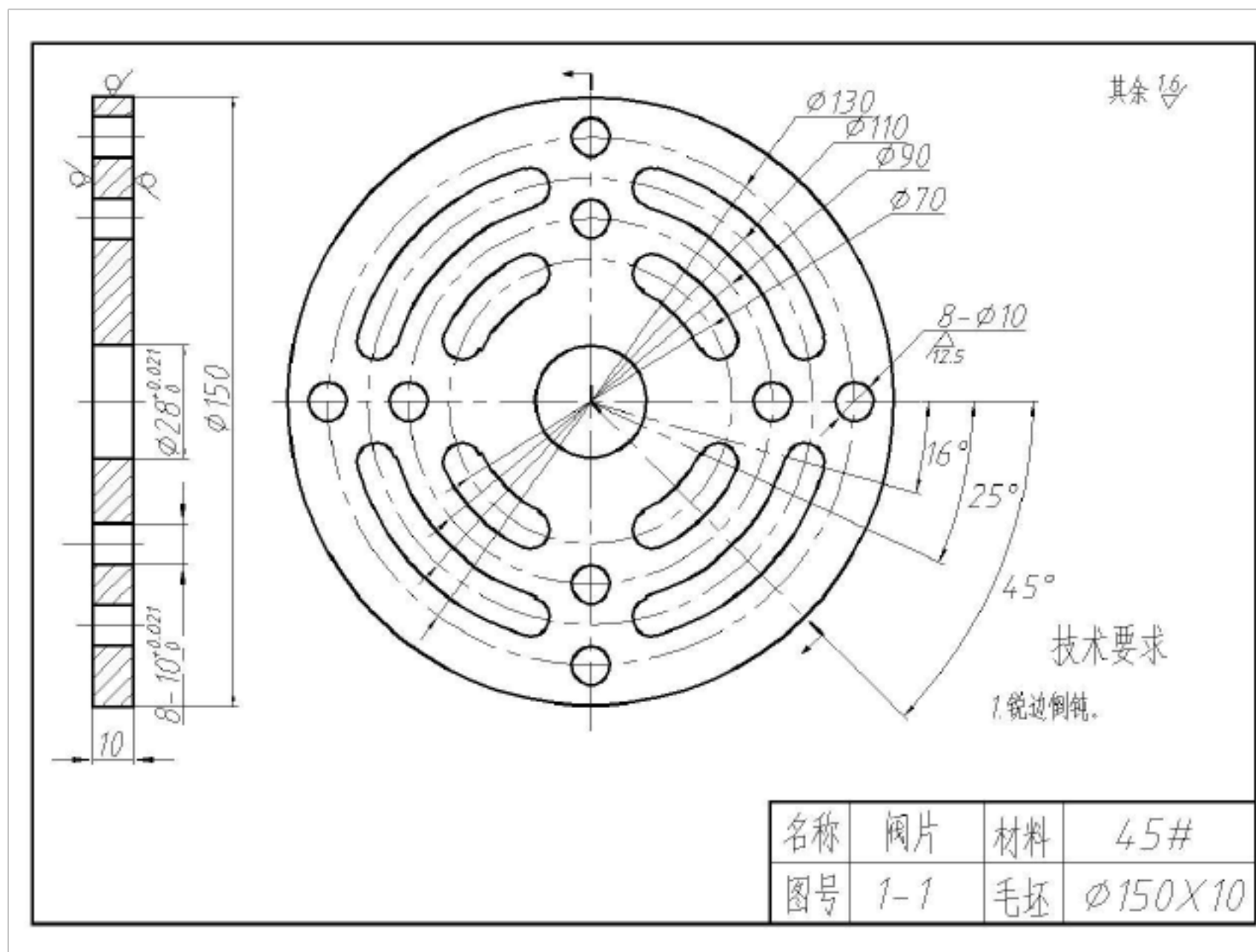
先行切后环切法

- 1、加工工序划分的方法有哪几种？
- 2、加工顺序安排的原则？
- 3、在确定定位基准与夹紧方案时应注意什么？
- 4、确定加工路线时要考虑哪几个方面内容？
- 5、顺铣、逆铣的定义及其优缺点。

任务二 阀片的数控加工

任务目标

- ◇ 能分析零件图并根据图纸要求拟定加工方案；
- ◇ 能根据零件图加工内容选择合适的工、量、刀具；
- ◇ 能灵活应用编程指令对零件进行编程加工；



阀片零件图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/698074101105007010>