

数控加工手册

(下册)

宣振宇 主 编

宋 铁 副主编

 辽宁科学技术出版社

数控加工手册

(下册)

宣振宇 主 编

宋 铁 副主编

辽宁科学技术出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC数控加工手册 / 陈为国, 陈昊, 胡育辉编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.3
ISBN 978-7-5381-9093-9

I. ①F… II. ①陈… ②陈… ③胡… III. ①数控机床—加工—技术手册 IV. ①TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 025285 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社
(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 50.25

字数: 1000 千字

出版时间: 2015 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2015 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 高 鹏

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏 张丽萍

书 号: ISBN 978-7-5381-9093-9

定 价: 138.00 元

投稿热线: 024-23284373

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkj1107@126.com

http://www.lnkj.com.cn

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

数控铣削编程基础知识

第一章 数控铣削加工基础知识

第一节 数控铣床简介	3
一、数控铣床的组成	3
二、数控铣床型号代码的含义	4
三、数控铣削的加工过程	5
第二节 数控铣削加工工艺	5
一、数控铣床的主要加工对象	5
二、数控铣削加工工艺的主要内容	7
三、数控铣削加工工艺性分析	7
四、数控铣削加工路线的确定	11
五、数控铣削刀具的选择	15
六、数控铣削切削用量的选择	16
七、数控加工工艺文件的编写	19
第三节 数控铣削编程的基本知识	20
一、数控编程的内容及步骤	20
二、数控编程的方法	21
三、数控编程的基本知识	21
四、程序的结构与格式	23
五、数控系统的指令代码	25

第二章 平面及轮廓零件加工程序的编制

第一节 基本指令介绍	33
一、F功能	33
二、S功能	33
三、T功能	34
四、坐标系的建立及与坐标有关的指令	34
五、基本指令	40

第二节 零件轮廓及平面加工程序的编制

一、平面与轮廓加工的工艺知识	51
二、编程举例	52

第三章 零件孔及螺纹孔加工程序的编制

第一节 孔加工编程基础知识	68
一、孔加工工艺	68
二、刀具的选择	71
第二节 孔加工程序的编制	71
一、孔加工循环指令(G73、G74、G76、G80~G98)	71
二、孔加工编程举例	85
第四章 简化零件加工程序的编制方法	89
第一节 子程序及镜像加工的应用	89
一、子程序	89
二、镜像加工	89
三、其他功能指令	91
第二节 用户宏程序的应用	95
一、宏程序的基本知识	95
二、宏程序的应用	103
数控铣削加工编程实例	
第五章 铣削加工实例	113
第一节 密封板的加工	113
第二节 法兰定位底座的加工	125
第三节 80A上板的加工	139
第四节 25A底板的加工	149
第五节 圆柱头上板的加工	161
第六节 圆柱头下板的加工	168
第七节 V形铁的加工	177
第八节 楔形垫板的加工	183
第九节 上模腔的加工	196
第十节 下模腔的加工	211
附录 SINUMERIK 802DM系统程序指令表	

数控铣削编程基础知识

第一章

数控铣削加工基础知识

第一节 数控铣床简介

数控铣床主要用于加工轮廓类零件。通过数控加工程序的运行,可加工任意平面轮廓和立体轮廓的零件,如模具、螺旋桨、凸轮、叶片等。因为数控铣床大都具有多轴联动的功能,所以一般零件在一次装夹过程中,可完成多个工序的加工,如钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、镗孔、攻螺纹、铣削平面、铣削曲面等。提高了加工精度和生产效率,特别适合于复杂形状零件的加工。数控铣床具有铣、镗、钻等机床的功能,所以数控铣床广泛地应用在生产一线。

一、数控铣床的组成

数控是数字控制(Numerical Control, NC)的简称,是用数字化信号进行自动控制的技术,数控铣床就是装备了数控系统或采用了数控技术的铣床,也叫 NC 铣床。随着计算机技术的发展,硬件数控系统被计算机数控(Computer Numerical Control)系统所取代,计算机数控系统简称 CNC 系统,具有 CNC 系统的铣床称为 CNC 铣床。现在的数控铣床一般都是指 CNC 铣床。

与普通机床类似,在数控机床中,数控铣床是应用最广泛的一类。数控铣床主要由五个部分组成,如图 1-1 所示。

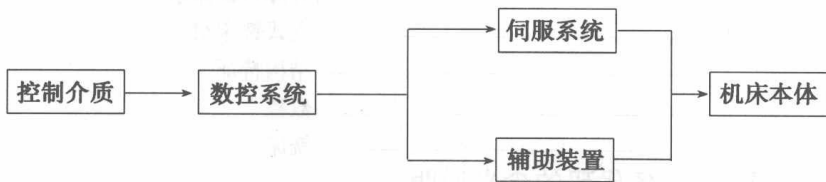


图 1-1 数控铣床的组成

①控制介质。即信息载体,是操作者与数控铣床之间联系的中间媒介物质,包含了数控加工中的全部信息。

②数控系统。即控制系统,是数控铣床实现自动加工的控制核心,主要由输入装置、CRT 显示器、CPU、存储器、可编程控制器、输入/输出接口等组成。

③伺服系统。即驱动装置,是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节。是数控铣床切削工作的动力部分,主要实现主运动和进给运动。

④铣床本体。即数控铣床的机械部件,主要有立柱、主轴箱、工作台、升降台等。

⑤辅助装置。即为机床加工服务配套部分，如液压、冷却、润滑、排屑装置等。
图 1-2 是卧式数控铣床外形图。

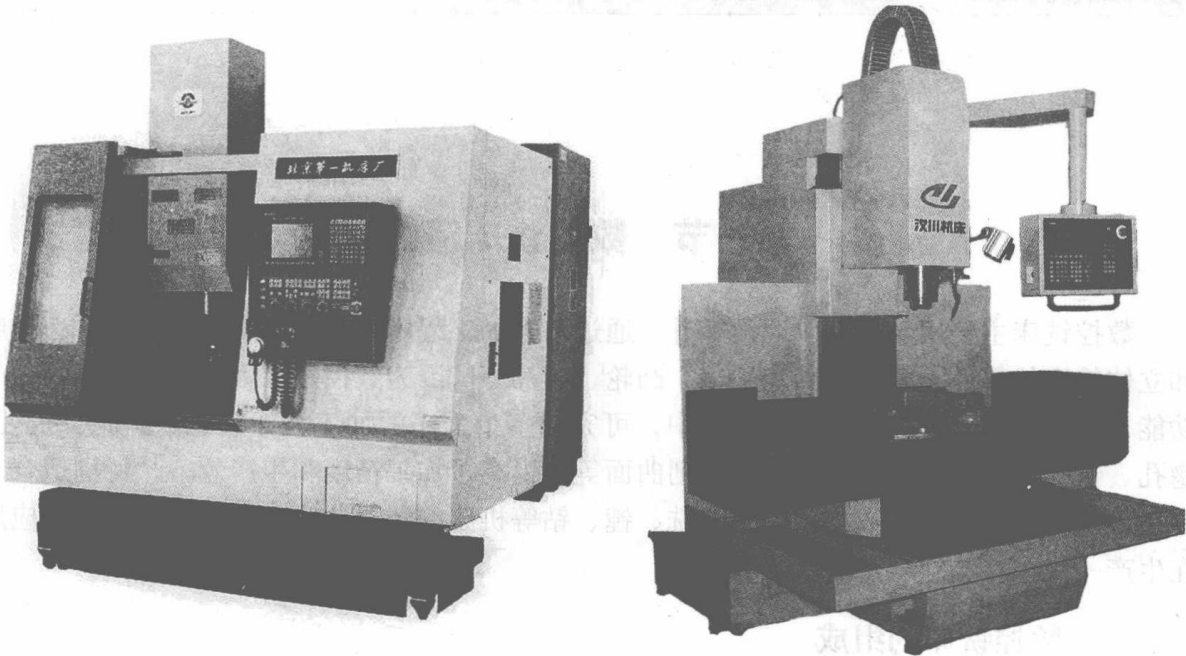
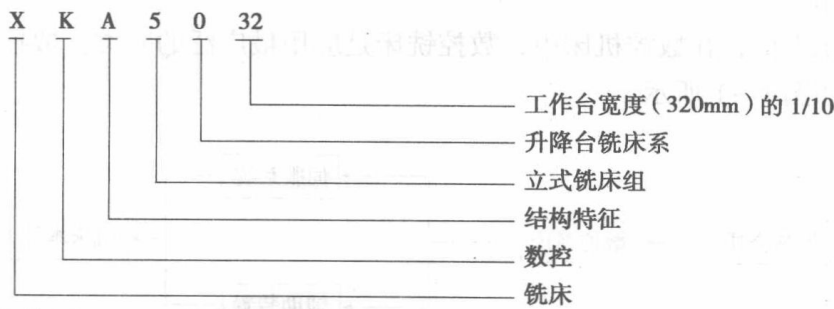


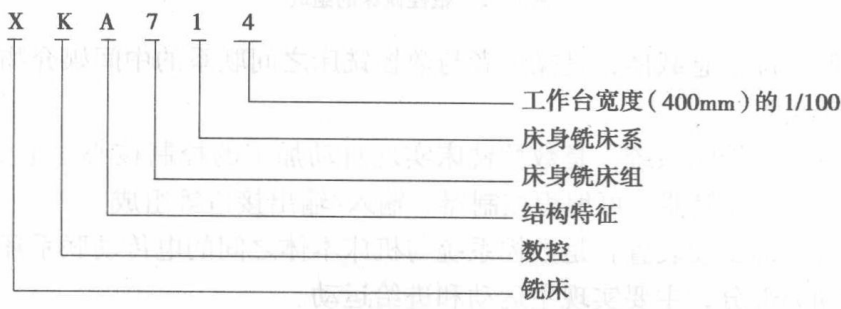
图 1-2 卧式数控铣床外形图

二、数控铣床型号代码的含义

1. 数控铣床 XKA5032 各代码的含义说明



2. 数控铣床 XKA714 各代码的含义说明



三、数控铣削的加工过程

数控铣削的加工过程如图 1-3 所示,其主要步骤是:

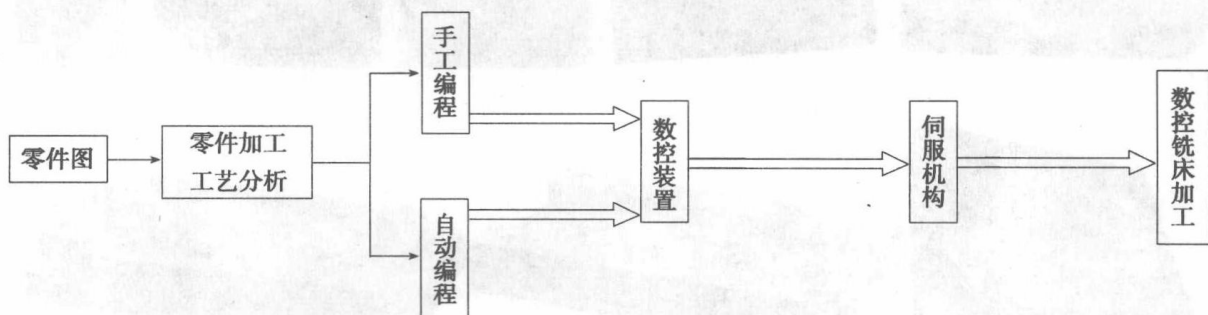


图 1-3 数控铣削的加工过程

①根据被加工零件的零件图所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等,制订零件加工的工艺过程、确定刀具相对零件的运动轨迹、选择合理的切削参数以及辅助动作顺序等。

②按规定的代码和程序格式,用手工编程或计算机自动编程的方法,完成零件加工程序的编写。

③通过数控铣床操作面板将加工程序输入数控装置,或通过通信接口(键盘、软驱、USB、网络 and 伺服卡等)传送程序。

④数控铣床启动后,数控装置根据输入的信息进行一系列的运算和信息控制处理,将结果以脉冲形式送入铣床的伺服机构。

⑤伺服机构驱动铣床的运动部件,使铣床按程序预定的轨迹运动,加工出合格的零件。

第二节 数控铣削加工工艺

一、数控铣床的主要加工对象

数控铣削是数控加工中最常见的加工方法之一。由于数控铣床在加工中能够实现坐标轴的联动插补,从而形成准确的型腔、凸台、曲面等轮廓,加工精度高,同时能够实现主轴旋转和进给运动的自动变速,因此数控铣床比普通铣床加工范围宽得多。针对数控铣床的特点,以下几类零件最适合数控铣削加工。

1. 平面类零件

平面类零件指被加工表面与水平面平行、垂直或与水平面成固定角度的零件。这类零件的特点是无论加工表面是形成区域的凹槽,还是形成轮廓的凸台,表面均为平面或可以展开成平面,如图 1-4 所示。

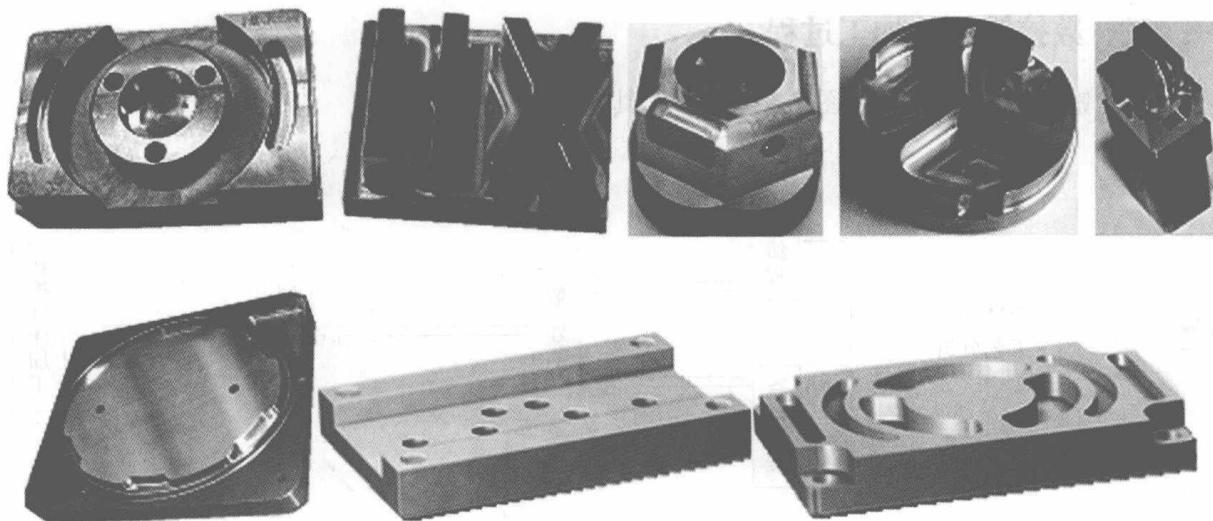


图 1-4 平面类零件

2. 曲面类零件

曲面类零件指被加工表面为空间曲面的零件。这类零件的特点是加工表面不能展开成平面，且加工表面与加工刀具始终是点接触，如图 1-5 所示。

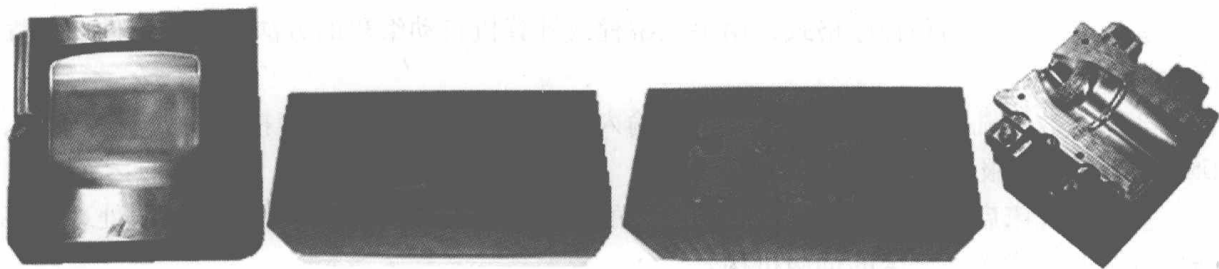


图 1-5 曲面类零件

3. 变斜角类零件

变斜角类零件指被加工表面与水平面有一定夹角，且夹角是按一定规律连续变化的零件。这类零件的特点是加工表面不能展开成平面，但加工时加工表面与加工刀具的圆周接触为直线，如图 1-6 所示。

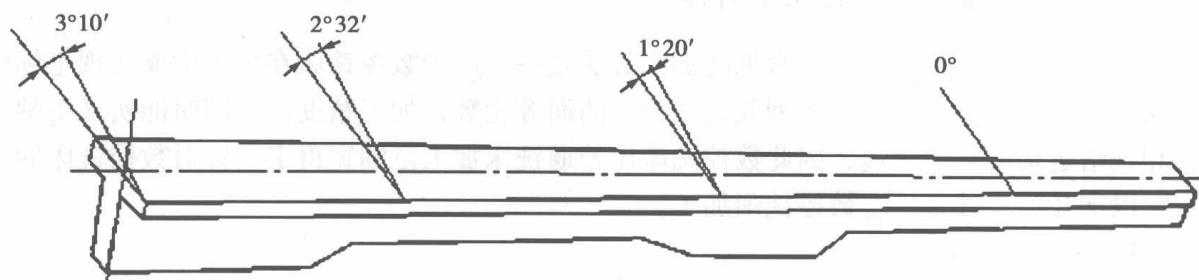


图 1-6 飞机上的变斜角梁橡条

二、数控铣削加工工艺的主要内容

数控铣削多应用于复杂曲面的加工,由于数控铣床只能手动换刀,故不适合需多次换刀的零件加工。

1. 适合在数控铣床上加工的内容

①工件上能用数学表达式给出的曲线内、外轮廓表面,无论是圆弧曲线、列表曲线还是非圆曲线等轮廓表面。

②画线与检测困难的部位。

③能在一次装夹中顺利铣出来的简单表面或形状。

④在普通铣床上加工时难以观察、测量和控制进给的内、外凹槽。

⑤给出数学模型的空间曲线。

⑥尺寸和位置精度要求高的表面。

⑦采用数控铣削能成倍提高生产率或大大减轻体力劳动的一般加工内容。

2. 不宜在数控铣床上加工的内容

①需要进行长时间占机加工或长时间人工调整(如划线找正)的粗加工内容。

②毛坯上加工余量不太充分或加工余量不太稳定的部位。

③简单的粗加工面。

④必须用细长铣刀加工的部位,一般指狭长深槽或高筋板小转接圆弧部位。

⑤需要使用专用工艺装备才能完成的加工内容,如标准样件、模胎等。

三、数控铣削加工工艺性分析

零件的加工工艺性分析有两个主要内容:数控加工零件图形分析和零件结构工艺性分析。

1. 零件图形分析

(1) 检查零件图的完整性和正确性。

应明确构成零件图形的几何要素(点、线、面)间的相互关系(如相切、相交、垂直、平行和同心等),这是数控程序编制的主要依据。在进行零件图分析的过程中,首先确定几何要素间构成各种相互关系的条件是否充分,然后检查有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。如发现问题应及时与设计人员协商解决。

(2) 检查自动编程时的零件数学模型。

对于不能进行手工编程的零件,应建立数学模型,但必须仔细地检查数学模型的完整性、合理性及几何拓扑关系的逻辑性。数学模型必须满足如下要求。

①数学模型必须是完整、光滑的几何模型,不能有多余或遗漏的曲面。

②数学模型不能有多义性,不允许有曲面重叠现象存在。

③曲面修剪应彻底、干净,无曲面拓扑、结构错误。

④对外表面的数学模型,必须进行光顺处理,以消除曲面内部的微观缺陷,从而满足零件的光顺要求。

⑤数学模型中的曲面参数和曲线分布应合理、均匀。

(3) 确定加工精度的要求。

在检查零件几何要素的同时,还要确定加工精度的要求,如尺寸加工精度、形状位置精度和表面粗糙度等,以便确定经济的加工方案、选择合适的加工方法。

2. 零件结构工艺性分析及处理

(1) 零件图纸上的尺寸标注应使编程方便。

零件图的尺寸标注应从同一基准引出或直接给出坐标尺寸,对于分散标注的局部尺寸应按上述方法修改,对于尺寸公差也应改成对称标注,以方便进行数控编程,如图 1-7 所示。

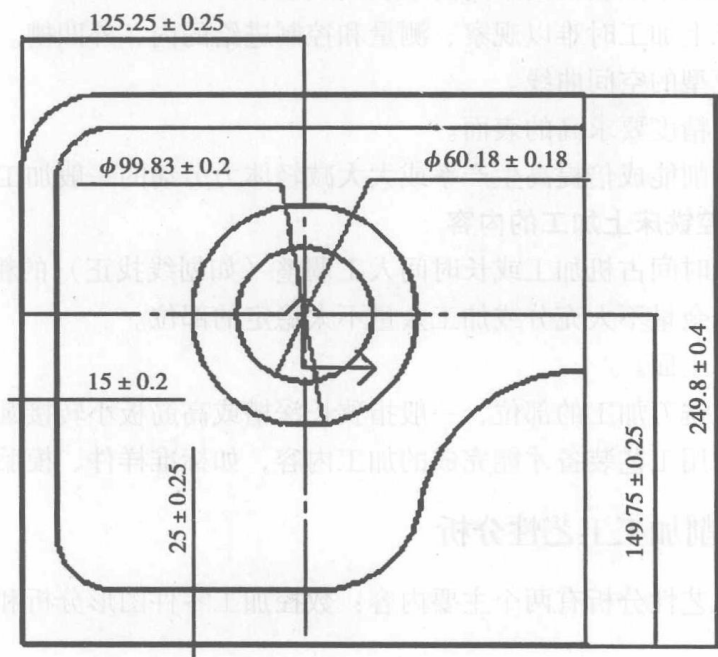


图 1-7 零件尺寸标注及公差的处理

(2) 分析零件的变形情况,保证获得要求的加工精度。

薄壁零件、薄的底板及肋板,在加工时因切削力的推拉作用及零件的弹性退让变形而产生加工振动,使尺寸精度和表面粗糙度都难以达到图纸要求。对于此类零件在加工中要采取适当的工艺措施。

(3) 尽量统一零件轮廓尺寸。

①内轮廓与外形的几何类型及尺寸应尽可能统一,可减少使用刀具的种类,减少加工中的刀具更换次数,从而简化编程,提高生产效率。但内轮廓圆弧半径的大小常常限制了刀具直径的最小值,如果内轮廓圆弧半径过小,则刀具直径就要更小,使加工难度加大,生产率降低,甚至不能在数控铣床上加工,如图 1-8 (a) 所示。

②铣削面的槽底面圆角或底板与肋板相交处的圆角半径 r (如图 1-8 (b) 所示) 越大,圆角铣刀端刃铣削平面的能力越差,效率也越低。当圆角半径 r 大到一定程度时,就必须使用球头铣刀,其加工工艺性就更差,如果用大直径圆角铣刀则 d 值增大,刀具的端面切削能力就更差。

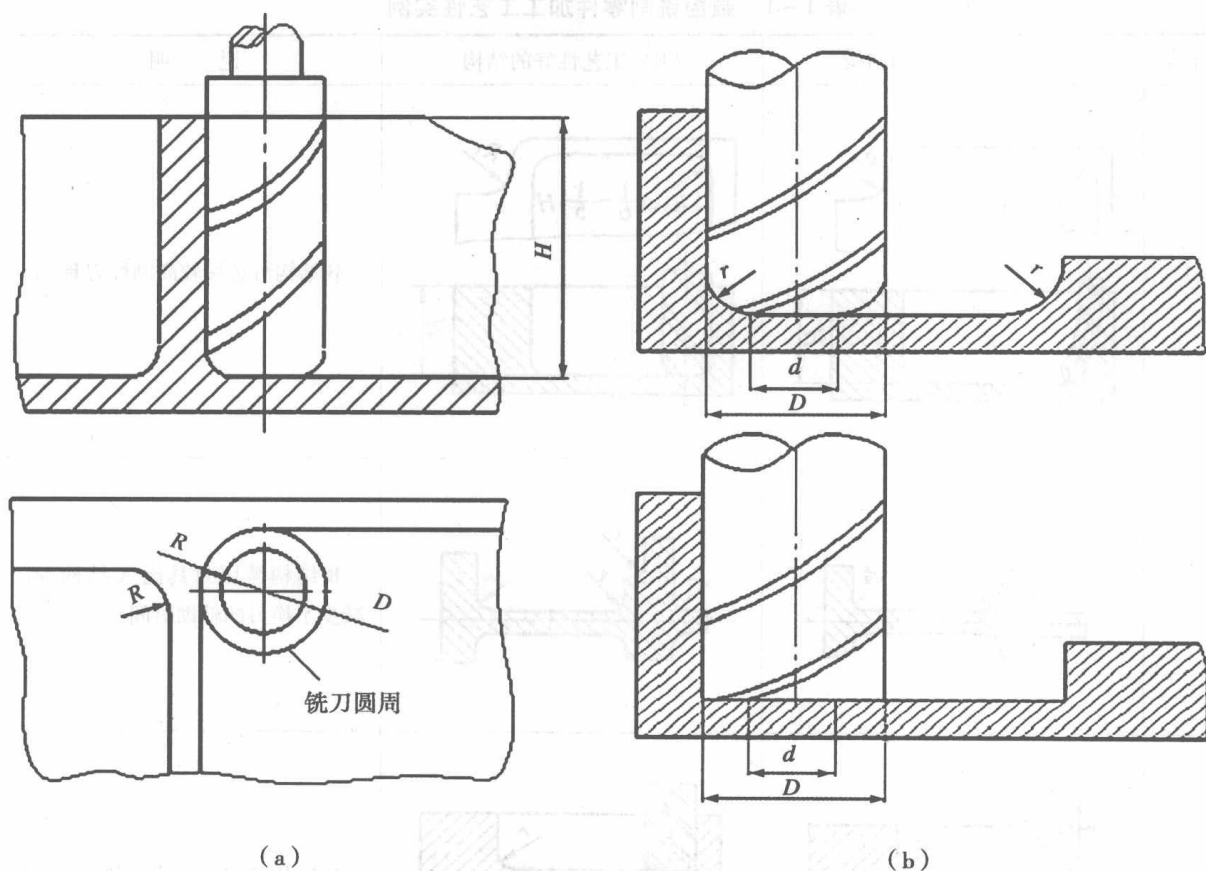


图 1-8 零件内轮廓圆角及底部转接状态

(4) 采用统一的定位基准。

数控铣削加工与普通铣削加工不同，在二次装夹时不能用试切的办法进行接刀，如果没有统一的定位基准，就会因为零件重新安装产生的定位误差而使加工后的零件达不到技术要求，尤其是位置精度，因此，在数控铣削加工中应采用统一的定位基准。定位基准最好利用零件上提供的孔或设置辅助的工艺孔，也可以用精加工的表面等。

(5) 分析零件的变形情况。

加工变形是切削加工的特有现象，但变形过大将影响加工质量，甚至无法继续进行加工。所以，在加工中要适当采取一些预防性的工艺措施，如进行热处理，对称加工，以及粗、精加工分开等。

部分数控铣削零件的结构工艺性实例见表 1-1 所示。

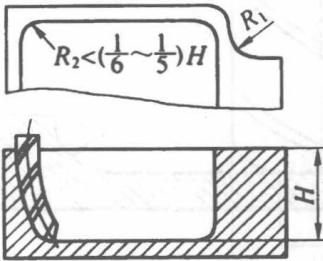
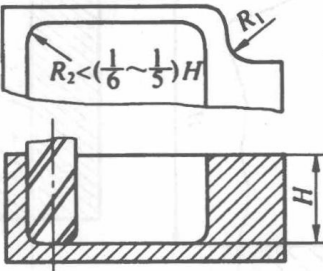
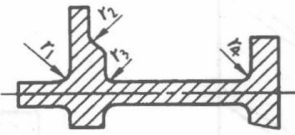
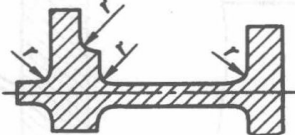
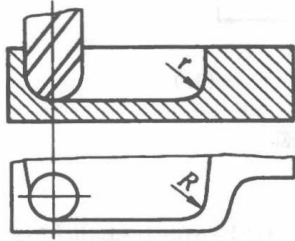
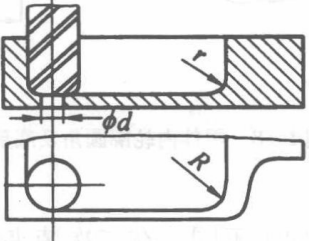
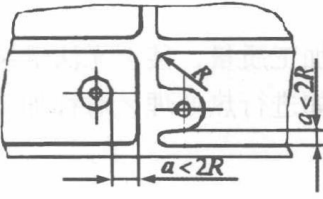
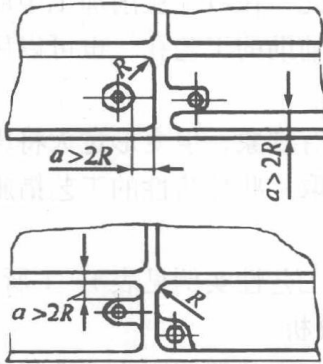
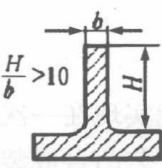
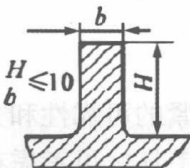
3. 零件毛坯加工工艺性分析

加工余量的大小、工件如何安装等问题应在选择毛坯时认真对待，否则，很有可能因毛坯选择不合适而使加工难以进行下去。在进行零件图纸的工艺分析时就应结合数控铣削的特点，对毛坯也进行工艺分析。

(1) 分析毛坯装夹的适应性。

主要考虑毛坯安装时定位、夹紧的可靠性和方便性，尽可能实现在一次装夹中完成多个表面的加工。对于装夹条件差的毛坯，可考虑在毛坯上增加工艺凸台或装夹余量，也可制作工艺孔或工艺凸耳（图 1-9）等作为辅助定位基准进行定位和夹紧。

表 1-1 数控铣削零件加工工艺性实例

序号	(A) 工艺性差的结构	(B) 工艺性好的结构	说 明
1			B 结构可选用较高刚性刀具
2			B 结构需用刀具比 A 结构少，减少了换刀的辅助时间
3			B 结构 R 大，r 小，铣刀端刃铣削面积大，生产效率高
4			B 结构 $a > 2R$ ，便于半径为 R 的铣刀进入，所需刀具少，加工效率高
5			B 结构刚性好，可用大直径铣刀加工，加工效率高

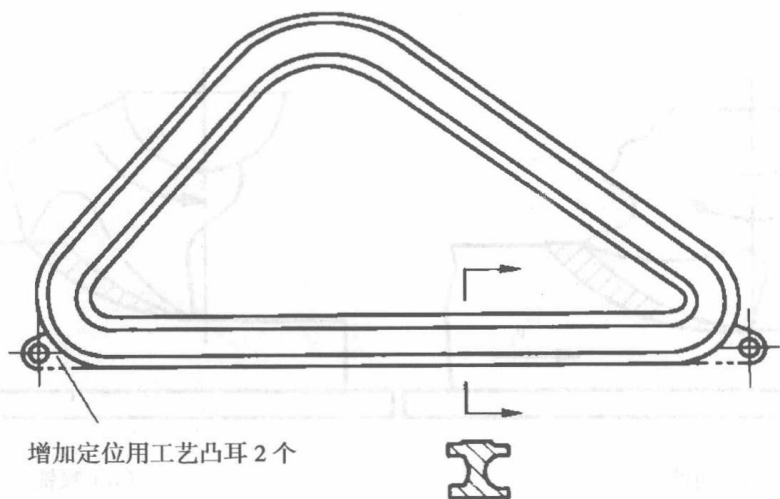


图1-9 增加辅助基准

(2) 毛坯应有充分的加工余量且余量均匀。

无论是铸件、锻件、型材，还是黑金属、有色金属，只要是准备在数控铣床上进行加工，就要考虑到毛坯的缺陷和因热处理或加工而引起的变形等因素。保证毛坯有足够的加工余量，从而确保加工质量。余量要均匀，余量的大小与分切削层数、加工精度及加工质量等因素有关，加工质量要求高，分的切削层就要多一些，余量相对要大些，反之，余量可小些。

四、数控铣削加工路线的确定

加工路线是刀具刀位点在整个加工工序中相对于零件的运动轨迹。加工路线既反映加工内容，也反映加工顺序，是编写数控程序的主要依据。确定加工路线时，首先按已定加工方案的工步顺序确定各表面或轮廓的加工进给路线顺序；然后，确定进给路线，并保证能满足工件轮廓表面加工后的精度和粗糙度要求；同时兼顾寻求最短加工路线（包括空行程路线和切削路线），减少行走时间以提高加工效率；要选择工件在加工时变形小的路线，对薄壁零件应分几次走刀加工到最后尺寸或者使用对称去余量法安排进给路线。

1. 确定加工路线的原则

①保证加工质量原则。加工路线应保证零件的加工精度和表面粗糙度。

②简化编程原则。在满足加工质量、提高生产率的前提下，尽量使数学处理简单，使计算工作量变小，方便程序编制；进给路线重复使用时，应用子程序，简化编程。

2. 顺铣和逆铣的选择

数控铣削与普通铣削一样，也有顺铣与逆铣两种加工方式，如图1-10所示。如果机床进给机构没有间隙，且工件表面无硬皮，首选顺铣加工。因为顺铣加工所得到的零件加工表面质量好，刀具磨损小，尺寸精度高，适合精加工，特别是加工材料为铝镁合金、钛合金、耐热合金的工件。反之，则应选择逆铣加工。

3. 铣削加工路线的选择

铣削加工时，刀具的加工过程应当是连续的、行走路线应当是圆滑的（零件轮廓有尖点除外），否则刀具将在零件表面存留刀痕，影响加工质量。进给路线不同，其加工结

果也不一样。

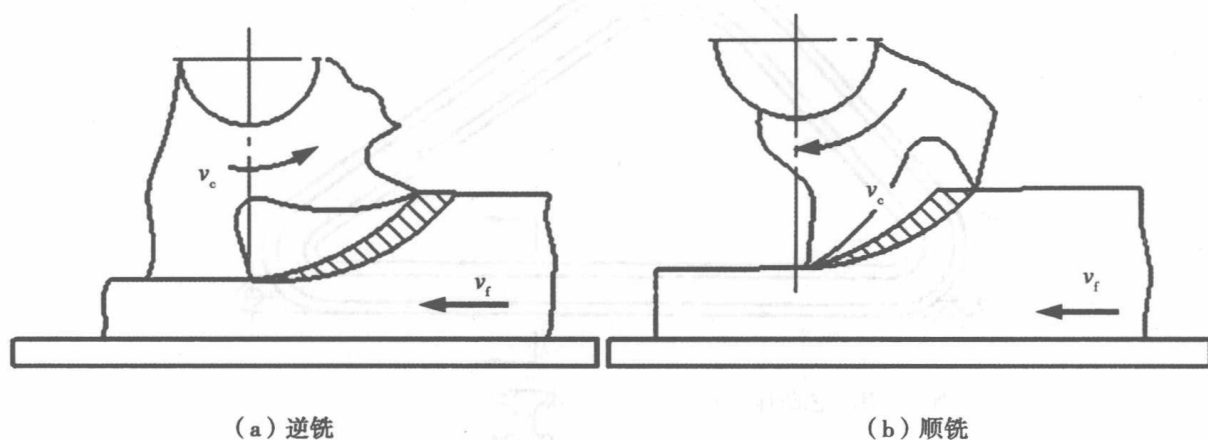


图 1-10 顺铣与逆铣

(1) 铣削平面类零件外轮廓的加工路线。

一般在数控立铣床上，用立铣刀的侧刃切削。刀具切入零件表面时，应从外侧以直线或圆弧方式从切向切入，保证零件表面曲线的平滑性。同理，刀具切出时，也应从切向切出零件加工表面的外部，如图 1-11 所示。切记不可沿加工表面的法向切入。

(2) 铣削平面类零件内轮廓的加工路线。

铣削方式与外轮廓一样，刀具尽可能从切向切入、切出，当内轮廓不允许外延时，刀具的切入、切出点应选择在两几何要素的交点（凸）处，如图 1-12（a）所示。当内圆铣削或几何要素的交点均为内凹的内轮廓铣削时，刀具可沿一过渡圆弧的切向切入、切出加工表面，如图 1-12（b）、1-12（c）所示。

(3) 铣削内槽的加工路线。

内槽是指以几何要素构成的边界封闭的平底凹槽。这类凹槽只能用平底立铣刀加工，如果凹槽的底面与侧壁有过渡圆弧，则要使用圆角（圆角大小与零件图纸要求相符）立铣刀加工。内槽加工路线有三种，如图 1-13 所示。图 1-13（a）和图 1-13（b）是两种不同的加工方法，即行切法和环切法。行切法和环切法都能实现内腔中全部面积的加工，不留死角、不伤轮廓，并且还能尽量避免进给路线的重复或搭接。所不同的是行切法的进给路线比环切法短，但是，行切法在每次往返的起点与终点间留有残留面积，加工表面粗糙度要求高的零件时很难达到要求。环切法的轮廓表面是连续加工完成的，表面粗糙度比环切法好，但环切法是从内向外逐次扩展加工的，编程时需要计算过多的刀位点。为了减少编程计算工作量，使加工路线尽可能短，又能获得较好的表面粗糙度，加工时经常采用如图 1-13（c）所示的加工进给路线，即中间部分采用行切法，轮廓部分采用行切法加工。

(4) 曲面铣削的加工路线。

曲面的铣削加工与平面加工不同，刀具与零件表面以点的方式接触，因此，一般情况选择球头铣刀。用行切法进行曲面加工，如图 1-14 所示。在加工中切削点的轨迹是一行一行的，行间距的大小与零件加工精度要求有关，精度高的距离就小，反之则大。