



徐衡 编著

数控铣床和加工中心 工艺与编程 诀窍

第二版



化学工业出版社

数控铣床和加工中心

工艺与编程诀窍

第二版

徐 衡 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

76547
12

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣床和加工中心工艺与编程诀窍/徐衡编著. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-122-23463-6

I. ①数… II. ①徐… III. ①数控机床-铣床-加工工艺②数控机床加工中心-加工工艺③数控机床-铣床-程序设计④数控机床加工中心-程序设计 IV. ①TG547②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 062293 号

责任编辑: 王 烨

装帧设计: 刘丽华

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 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 397 千字 2015 年 6 月北京第 2 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: 59.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数控程序员、数控铣工是技术性极强的工作。数控技术包括制定数控加工工艺方案，选择加工中的各种工艺参数，数控编程，数控机床操作技能等。本书以数控加工的应用为目的，基于目前企业中广泛使用的数控系统，介绍数控加工工艺方案设计，数控加工程序编制，数控机床操作，数控加工工艺参数的选择等。

本书从实用的数控加工技术出发，以使读者掌握数控加工技能，在生产实际中灵活应用数控加工工艺知识，提高数控加工岗位操作技术为目的，精选了大量数控加工实例，针对实例制定了数控加工工艺方案，工艺方案包括零件的装夹，数控机床参数的调整，选择刀具、切削参数等。书中加工例子经过实践检验，具有可行性，能保证使用中的加工质量。通过数控加工实例的介绍，在实例的引导下，方便读者把握学习要点，掌握工艺方案的设计与实施方法，从而达到提高读者数控加工编程能力与解决数控生产中工艺问题的能力。

本书还介绍了编者在生产和教学实践中积累的诸多数控加工工艺诀窍、实用的数控编程技巧和数控加工一线中使用的操作技巧，适合生产一线的技术人员的需求。书中介绍的数控加工编程与工艺诀窍，可供数控加工技术人员在生产中参考、应用。

本书第一版出版后，广大读者给予了极大的关注与支持，通过信函、电话向作者咨询并提出许多建议。为此，作者对第一版内容作了必要的精简，减少理论阐述，删除不常用的数控编程知识，例如调用宏程序指令在修订版只介绍了常用的 G65 指令，从而使本书内容更加精炼、实用。

本书是集理论和实践于一体的实用型技术图书，并致力于提高读者数控加工岗位能力。书中内容由浅入深，照顾了初学者的学习需要，既可作为初学者学习数控技术的入门书籍，也适合正在从事数控加工的技术工人、数控程序员、数控加工技术人员学习提高之用。

本书由徐衡编著，编写过程中李超、周光宇、栾敏、关颖、田春霞、段晓旭、王雷、赵宏立、孙红雨、李文杰、汤振宁、杨海、赵玉伟、郎敬喜、刘丽华、徐光远、关崎炜、朱新宇、张元军等对本书的编写提供了很多帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，时间仓促，书中不妥之处在所难免，请广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控镗铣加工工艺基础	1	1.6.1 端铣和周铣	43
1.1 数控镗铣加工概述	1	1.6.2 逆铣和顺铣	44
1.1.1 数控镗铣削加工对象	1	1.6.3 加工顺序的安排	45
1.1.2 数控机床加工过程	3	1.6.4 立铣刀轴向下切路线	45
1.2 切削刀具材料与选用	6	1.6.5 立铣刀径向切入、切出工件 (进刀和退刀) 路线	46
1.2.1 高速钢	6	1.6.6 选择合理的走刀路线	47
1.2.2 硬质合金	6	1.7 数控机床操作基础	50
1.2.3 陶瓷材料	8	1.7.1 数控机床准备	50
1.2.4 立方氮化硼 (CBN)	9	1.7.2 阅读工艺文件, 明确加工 任务	51
1.2.5 金刚石	9	1.7.3 工件装夹找正	51
1.2.6 刀具材料表面涂层	9	1.7.4 对刀	51
1.3 数控铣床、加工中心常用刀具	9	1.7.5 加工过程中的主要事项	51
1.3.1 数控加工常用铣刀	9	1.7.6 加工后工件的后处理工作	52
1.3.2 数控铣床、加工中心常用孔加工 刀具	18	1.7.7 数控加工工艺守则	52
1.3.3 钻、铣刀具的选择	22	第 2 章 数控程序指令	53
1.3.4 镶齿刀具硬质合金刀片的 装夹	24	2.1 数控程序编制的基本概念	53
1.3.5 刀具安装在铣床 (加工中心) 主 轴上	26	2.1.1 数控程序组成	53
1.4 选择铣削用量	29	2.1.2 程序段格式及指令 (代码) 简介	54
1.4.1 背吃刀量 a_p (端铣) 或侧吃 刀量 a_e (圆周铣) 的选择	29	2.1.3 常用 M 代码说明	56
1.4.2 进给速度 v_f 的选择	30	2.2 数控加工的坐标系	57
1.4.3 切削速度 v_c 的选择	30	2.2.1 数控机床坐标系	57
1.4.4 球头铣刀的切削厚度	31	2.2.2 数控镗铣床、加工中心设备及其 坐标系	58
1.5 在数控铣床、加工中心上装夹 工件	32	2.2.3 数控机床机械零点	62
1.5.1 定位基准的选择	32	2.2.4 工件坐标系与程序原点	62
1.5.2 数控铣加工对工件装夹的 要求	34	2.2.5 小数点编程	63
1.5.3 数控机床上工件装夹方法	36	2.2.6 绝对坐标值编程与增量坐标值 编程	63
1.5.4 使用平口虎钳装夹工件	36	2.2.7 在机床上建立工件坐标系 (输入 工件原点偏移)	64
1.5.5 使用压板和 T 形螺钉固定 工件	39	2.3 刀具进给指令	69
1.5.6 使用弯板	40	2.3.1 刀具定位	69
1.5.7 使用 V 形块	41	2.3.2 刀具沿直线切削——直线插 补 G01	70
1.5.8 使用托盘	42	2.3.3 刀具沿圆弧切削——圆弧插 补 G02、G03	71
1.5.9 使用组合夹具、专用夹具	42	2.3.4 刀具沿 Z 轴切入工件	75
1.6 数控镗铣方法	43		

2.3.5 螺旋线插补	75	3.4.1 行切矩形平面宏程序	130
2.4 返回参考点	78	3.4.2 行切矩形槽宏程序	132
2.4.1 参考点	78	3.4.3 环切矩形槽宏程序	134
2.4.2 返回参考点指令格式	78	3.4.4 圆槽环切宏程序	136
2.5 刀具补偿功能	79	3.5 孔系加工宏程序	137
2.5.1 刀具端刃加工补偿——刀具长度 补偿指令	79	3.5.1 环形阵列孔系加工	137
2.5.2 存储多把刀具长度补偿值 操作	83	3.5.2 多组环形阵列孔系加工	139
2.5.3 刀具侧刃加工补偿——刀具半径 补偿指令	84	3.6 球面加工宏程序	141
2.5.4 手动设定刀具半径补偿值	90	3.6.1 球面加工工艺	141
2.5.5 利用程序指令设定刀具补偿值 (G10)	91	3.6.2 外球面加工	142
2.6 孔加工固定循环	91	3.6.3 内球面粗加工——立铣刀自上 而下层切	144
2.6.1 固定循环概述	91	3.6.4 内球面精加工——球头铣刀自 上而下切削	146
2.6.2 钻孔加工循环 (G81、 G82、G73、G83)	92	第4章 数控镗铣编程与工艺诀窍	148
2.6.3 攻螺纹循环 (G84、G74)	94	4.1 数控孔加工编程与工艺诀窍	148
2.6.4 镗孔循环 (G85、G89、 G86、G88、G76、G87)	96	4.1.1 数控钻孔循环 (平口钳装夹 操作)	148
2.6.5 固定循环应用举例	98	4.1.2 铣刀螺旋铣削加工孔 (用孔找 正主轴)	150
2.7 子程序	99	4.1.3 螺纹孔系加工 (使用靠棒分 中对刀)	153
2.7.1 什么是子程序	99	4.1.4 镗孔加工孔系 (利用外圆找 正主轴)	156
2.7.2 调用子程序指令	99	4.2 槽、腔的数控铣削编程与工艺 诀窍	158
2.7.3 子程序编程应用实例	100	4.2.1 偏心弧形槽加工 (三爪自定心 卡盘装夹工件)	158
2.8 简化程序的编程指令	102	4.2.2 精密铣削键槽 (V形槽定位)	159
2.8.1 比例缩放功能 (G50、G51)	102	4.2.3 铣削槽形凸轮	161
2.8.2 坐标系旋转功能 (G68、G69)	105	4.2.4 比例缩放编程铣削宽圆槽 (利用寻边器分中对刀操作)	164
2.8.3 极坐标编程	108	4.2.5 圆腔的数控铣削	166
2.8.4 局部坐标系	110	4.2.6 零件的内平面轮廓加工	168
第3章 数控铣削加工宏程序	112	4.2.7 矩形槽数控铣削 (环切法 加工)	170
3.1 用户宏程序基础 (FANUC Oi 系统)	112	4.3 型面数控铣削编程与工艺诀窍	172
3.1.1 用户宏程序用途	112	4.3.1 用球刀切削加工圆弧槽 (用弯 板装夹工件)	172
3.1.2 变量	112	4.3.2 斜面及弧面的数控铣精加工 (行切 法加工)	174
3.1.3 变量的算术和逻辑运算	115	4.4 工件上多个相同图形的加工编程与 工艺诀窍	176
3.1.4 宏程序语句和 NC 语句	118	4.4.1 极坐标编程实现相同图形的 加工	176
3.1.5 转移和循环	119	4.4.2 通过重新设置编程原点偏移量进行	
3.2 宏程序调用	121		
3.2.1 宏程序调用方法	121		
3.2.2 宏程序非模态调用 (G65)	122		
3.3 用宏程序铣削椭圆	127		
3.3.1 椭圆槽加工	127		
3.3.2 椭圆外轮廓加工	128		
3.4 用宏程序实现行切和环切	130		

相同图形的加工	178	5.4.1 零件数控加工工艺分析	216
4.4.3 镜像加工实现相同图形的 加工	179	5.4.2 零件三维造型	216
4.4.4 坐标系旋转实现相同图形 的加工	181	5.4.3 生成加工轨迹	216
4.5 典型零件数控加工	183	5.4.4 验证加工轨迹	218
4.5.1 汽车弹簧靠模的加工	183	5.4.5 生成 G 代码数控程序	219
4.5.2 减速箱体数控加工	189	5.5 利用自动编程分别完成粗、精加工 (使用 CAXA 软件)	219
4.5.3 梅花联轴器铣削梅花槽	196	5.5.1 零件工艺分析	220
第 5 章 自动编程与工艺诀窍	199	5.5.2 零件三维造型	220
5.1 自动编程软件	199	5.5.3 生成型面粗加工轨迹(等高线粗 加工)	220
5.1.1 数控自动编程系统软件	199	5.5.4 生成型面精加工轨迹(扫描线精 加工)	223
5.1.2 用自动编程软件编程步骤	199	5.6 模具的数控加工(使用 UG NX 软件)	227
5.1.3 制造工程师的用户界面	200	5.6.1 凸、凹模工艺方案	227
5.1.4 CAXA 制造工程师自动编程软件 常用术语	200	5.6.2 凸、凹模数控铣加工	227
5.2 跟我做——零件实体造型操作 (使用 CAXA 软件)	202	5.6.3 工艺诀窍——配合件加工 方法	234
5.3 跟我做——零件自动编程操作 (使用 CAXA 软件)	205	5.7 叶轮加工(使用 UG NX 软件)	234
5.3.1 零件数控加工工艺分析	205	5.7.1 叶轮的数控工艺分析	234
5.3.2 零件加工造型	206	5.7.2 数控加工工序工艺方案	235
5.3.3 定义毛坯	206	5.7.3 叶轮的数控加工程序	236
5.3.4 生成加工轨迹	207	5.7.4 数控机床操作要点	239
5.3.5 验证加工轨迹	214	5.7.5 检验	240
5.3.6 生成 G 代码数控程序	215	5.7.6 工艺诀窍	240
5.4 高效粗加工方法——插铣式粗加工 (使用 CAXA 软件)	216	参考文献	242

第 1 章 数控镗铣加工工艺基础

1.1 数控镗铣加工概述

1.1.1 数控镗铣削加工对象

数控铣床和加工中心用于镗铣加工，适宜加工下述零件。

(1) 平面类零件

加工面平行、垂直于水平面，或加工面与水平面夹角为定角的零件称为平面类零件，如图 1-1 所示。平面类零件的特点是各个加工面是平面，或可以展开成平面，如图 1-1(a) 中的曲线轮廓面 M ，图 1-1(c) 圆锥面 N ，展开后为平面。

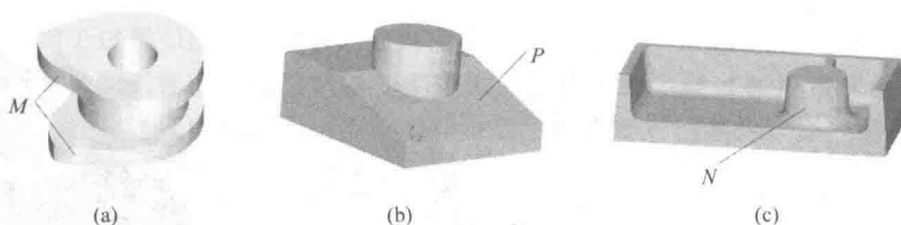


图 1-1 平面类零件

平面类零件采用三坐标数控铣床进行两轴半坐标控制铣加工。有些平面类零件的某些加工单元面（或加工单元面的母线）与水平面既不垂直也不平行，而是呈一个定角。这些斜面的加工常用方法如下。

① 对图 1-1(b) 所示的斜面 P ，当工件尺寸不大时，可用斜垫板垫平后加工；如机床主轴可以摆角，则可以摆成适当的定角来加工。当工件尺寸很大，斜面坡度又较小时，也常用行切法加工，但会在加工面上留下叠刀时的刀峰残痕，要用钳修方法加以清除。用三坐标数控铣床加工飞机整体壁板零件时常用此法。当然，加工此类斜面的最佳方法是用五坐标铣床主轴摆角后加工，可以不留残痕。

② 图 1-1(c) 所示的正圆台 N 面和斜肋表面，一般可用专用的角度铣刀来加工，此时如采用五坐标铣床摆角加工在经济上反而不划算。

(2) 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。这类零件多为飞机零件，如飞机上的整体梁、框、椽条与肋等；图 1-2 所示是飞机上的一种变斜角梁椽条。

变斜角类零件的变斜角表面不能展开为平面，但在加工中加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条线，如图 1-3 所示。应采用四坐标或五坐标数控铣床具有的刀具摆角功能铣削，如采用三轴数控铣床可做近似加工。

(3) 曲面类零件、结构形状复杂零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件，如图 1-4 所示的模具、螺旋桨、叶轮等。加工复杂的曲线、曲面时铣刀与加工面始终为点接触，需要采用多坐标联动加工，普通机床很

难准确加工或不能加工，数控机床具有多坐标轴联动功能，可以有效完成复杂型面的精密加工。

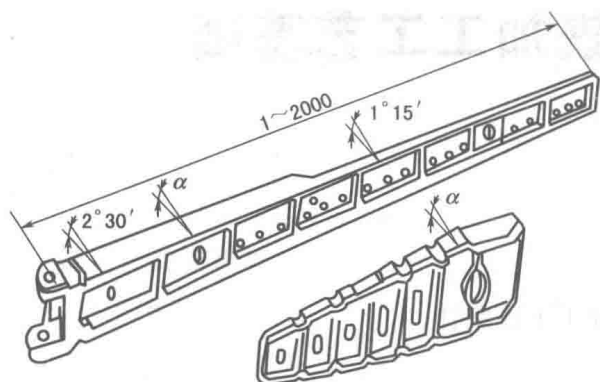


图 1-2 变斜角类零件

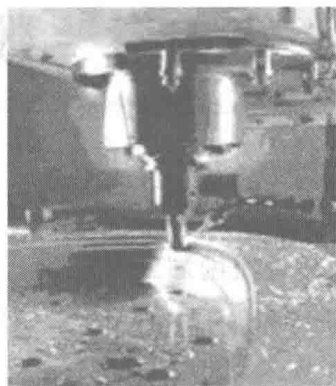
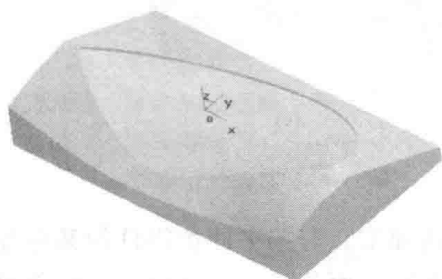
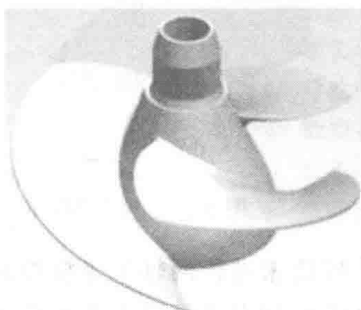


图 1-3 数控铣变斜角表面

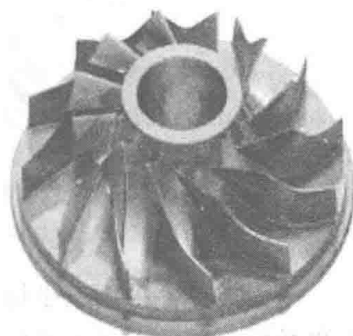
一般曲面采用三坐标数控铣床加工，当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及毗邻表面及需刀具摆动时，要采用四坐标或五坐标铣床，如图 1-5 所示，采用五坐标铣床铣削叶轮。



(a) 模具(叶子型模)



(b) 螺旋桨



(c) 叶轮

图 1-4 曲面类零件

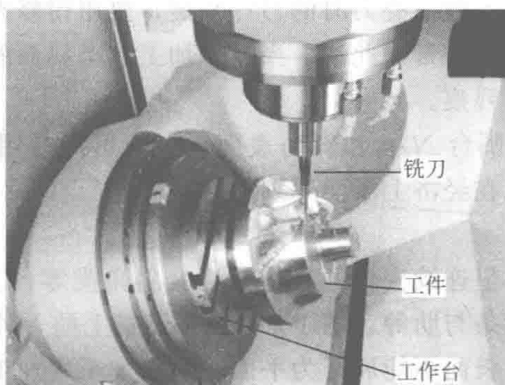


图 1-5 五坐标铣床铣削叶轮

(4) 零件的多表面和孔系加工

数控加工中心可自动换刀，加工工艺范围大，能进行铣削、镗削、钻削和螺纹加工，特别适合加工有多表面和孔系的零件。例如箱体类零件（见图 1-6）一般需要进行多工位孔系

及平面加工, 需要刀具较多, 在普通机床上加工工序多, 工装套数多, 费用高, 加工周期长, 且需多次装夹、找正, 手工测量次数多, 加工时必须频繁地更换刀具, 精度难以保证。而采用加工中心, 则可在一次装夹下, 当加工工位较多, 通过工作台旋转角度加工零件, 可以高效率、高质量完成所有表面的加工。

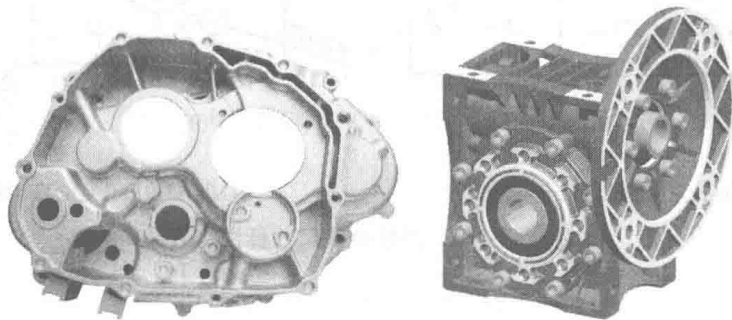


图 1-6 箱体类零件

1.1.2 数控机床加工过程

数控机床加工过程如图 1-7 所示, 首先根据零件图样进行工艺分析, 确定加工方案, 用规定代码编写零件加工程序, 然后把加工程序输入数控系统, 经过数控系统的译码、运算, 发出指令, 自动控制机床完成切削加工, 从而加工出符合要求的零件。详述如下。

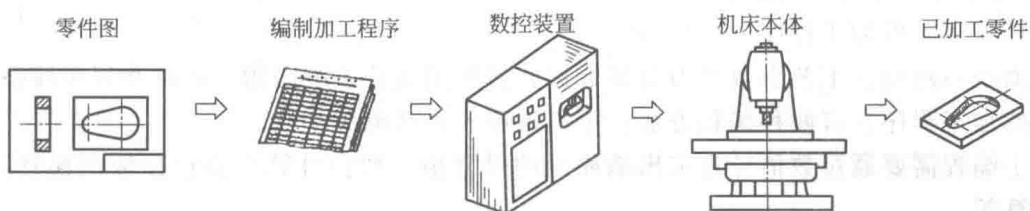


图 1-7 数控机床加工过程

(1) 分析零件图样, 审查结构工艺性

数控加工前, 应认真分析零件图样, 注意以下几点。

① 明确加工任务。确认零件的几何形状、尺寸和技术要求, 本工序加工范围和对加工质量的要求。

② 审查零件图样的尺寸、公差和技术要求等是否完整。零件设计图样中几何要素的定位尺寸应尽量选同一表面, 在加工中可以避免基准不重合误差的影响, 容易保证几何要素的位置尺寸。例如图 1-8(a) 所示零件图样, 零件的 A、B 两面均为孔系的设计基准, 加工孔时如采用 A 面定位, 而 $\phi 50H7$ 孔和两个 $\phi 30H7$ 孔取 B 面为设计基准, 定位基准与设计基准不重合, 欲保证 70 ± 0.08 和 110 ± 0.05 尺寸, 则受到上道工序 240 ± 0.1 尺寸误差的影响, 为保证精度需要压缩 240 尺寸的公差, 致使增加了加工难度和成本。如果改为图 1-8(b) 所示标注孔位置的设计尺寸, 各孔位置的设计尺寸都以 A 面为基准, 加工孔的定位基准取 A 面, 可使定位基准与设计基准重合, 各孔的设计尺寸都直接由加工误差保证, 避免基准不重合误差影响。

③ 分析零件的技术要求是否合理。根据零件在产品中的功能, 分析各项几何粗糙度和技术要求是否合理; 考虑加工能否保证其粗糙度和技术要求; 选择何种加工方法。

④ 审查零件的结构工艺性。分析零件的结构刚度是否够用, 各加工部位的结构工艺性

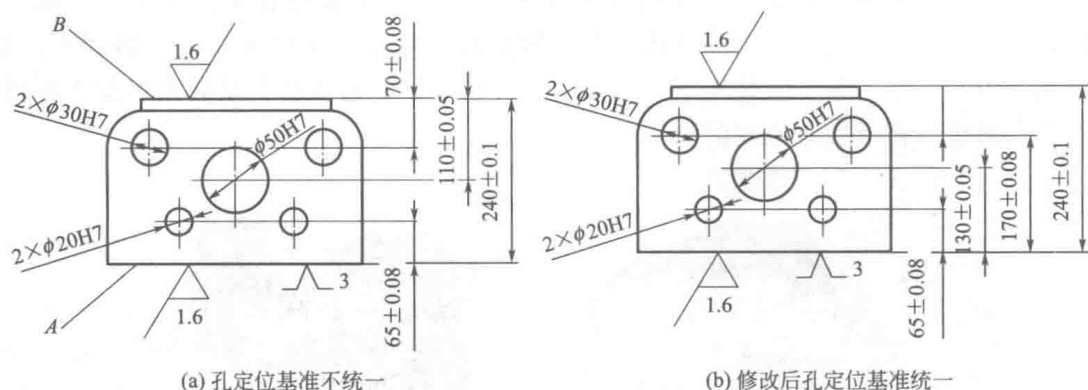


图 1-8 图样设计尺寸标注

是否合理等。

(2) 数控加工中的工艺分析和工艺处理

对零件进行数控加工的工艺分析和工艺处理，制定如何加工零件的加工计划，其内容是：

- ① 确定工件的加工表面；
- ② 工件在机床上装夹工件的方法；
- ③ 每一切削过程中的走刀路线；
- ④ 选择切削刀具和切削条件。

(3) 编写零件加工程序

根据走刀路线、工艺参数及刀具等数据，按所用数控系统的指令代码和程序段格式，编写零件的加工程序。有两种编程方法：手工编程和自动编程。

手工编程需要通过数值计算求出编程用的尺寸值。数值计算主要包括数值换算，基点、节点计算等。

① 数值换算

a. 标注尺寸换算。当零件标注尺寸与编程尺寸不一致时，经过运算求解编程尺寸。

b. 尺寸中值换算。加工误差尺寸分散一般按正态分布，为使加工误差分布在公差范围内，编程尺寸应该采用零件的尺寸中值。所以当标注尺寸公差不对称时，需将标注尺寸换算成中值。

工件尺寸公差不对称时，取尺寸中值编程，有利于保证加工精度。例如，用 $\phi 10\text{mm}$ 铣刀镗铣加工 $\phi 30^{+0.02}_0\text{mm}$ 孔 [图 1-9(a)]，若按基本尺寸 30mm 编程，因存在加工误差，且加工误差分布中心偏离公差带中心，加工后尺寸可能小于 $\phi 30\text{mm}$ ，产生废品的概率如图 1-9(b) 所示。而取尺寸的中值编程，即对于尺寸 $\phi 30^{+0.02}_0\text{mm}$ 取中值 30.01mm ，由于加工后误

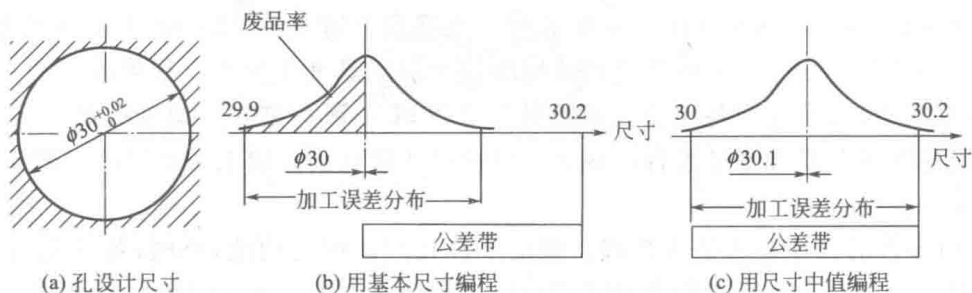


图 1-9 用尺寸中值编程

差分布中心与公差带中心重合，误差相对于尺寸中值对称分布，如图 1-9(c) 所示，加工后尺寸在公差范围的概率大，容易保证加工精度。

② 基点计算 基点是指构成工件轮廓的不同几何要素之间交点或切点，如直线与直线的交点、直线与圆弧的交点或切点、圆弧与圆弧的交点或切点等。例如图 1-10 所示凸轮，图中 A、B、C、D 点是凸轮的基点。基点计算相对方便，建立坐标系后，可用几何方法计算出。也可以借助 CAD/CAM 软件，画出工件的几何图形，通过软件查询功能，查出所需的基点坐标，如图 1-10 所示凸轮，用 CAD 软件 1 : 1 画出凸轮图形，在图上可查询基点坐标：A(X0, Y75)，B(X0, Y-30)，C(X-7.5, Y29.407)，D(X0, Y38.73)。

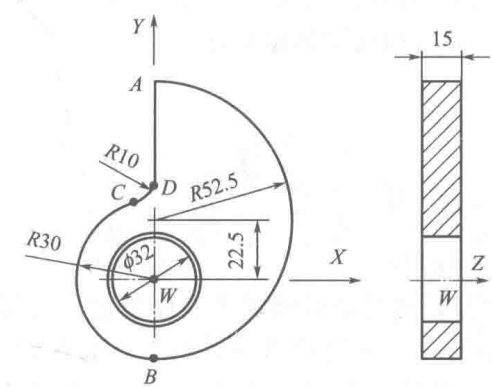


图 1-10 变速凸轮基点

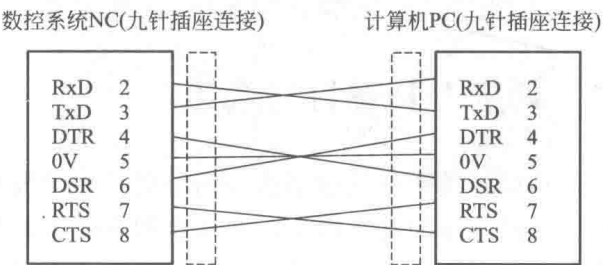


图 1-11 数控系统与计算机通信连接

③ 节点计算 一般数控系统只具备直线和圆弧插补功能，对直线和圆弧以外的复杂曲线，如椭圆线、阿基米德螺旋线等，只能用直线或圆弧逼近，具体方法是将复杂轮廓曲线按允许误差分割成若干小段，再用直线或圆弧逼近这些小段，逼近线段的交点称为节点。节点越密，轮廓曲线的逼近程度越高。但人工计算节点很困难，通常需要借助 CAD/CAM 软件，

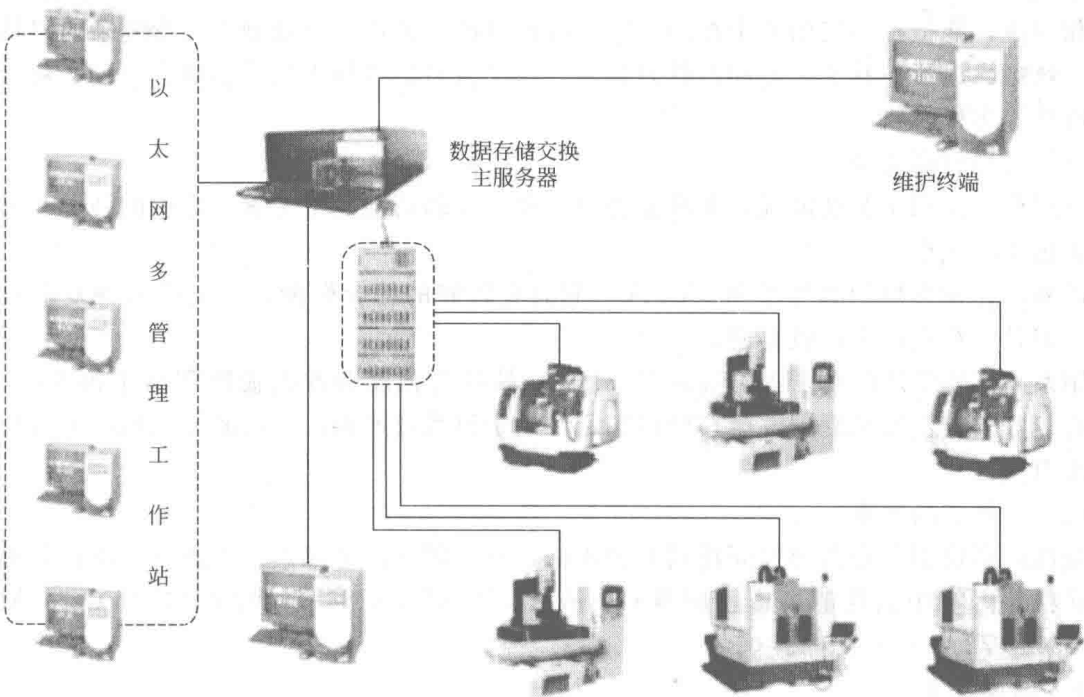


图 1-12 数控机床 DNC 控制网络

这里不再赘述。

自动编程是利用专用编程软件,编制零件程序,无需人工数值计算,详见本书第6章。常用自动编程软件有:CAXA 制造工程师、UG、ProE 等。

(4) 输入加工程序

机床操作者可以操作数控系统键盘输入加工程序到数控装置,此外输入程序的方式还有软盘、存储程序纸带、通信等。

采用自动编程,一般程序较大,只能用通信方式传输程序。单台数控系统与计算机通信连接,如图 1-11 所示,用数控系统的 DNC 接口,采用九针电缆与计算机连接,然后在计算机上利用软件与数控机床进行数据传输,把计算机中的数控程序输到数控系统中,实现数控加工。对于已实现联网的数控机床,如图 1-12 所示,一般采用通信传输程序。

(5) 加工零件

启动加工程序,数控机床运行,加工零件。

1.2 切削刀具材料与选用

刀具材料是指刀具切削部分的材料。在切削加工中刀具材料是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的基本因素,必须合理选择刀具材料。生产中常用的刀具材料有:高速钢,硬质合金(含金属陶瓷),陶瓷,PCBN(立方氮化硼),PCD(聚晶金刚石),其硬度按顺序依次增高,所以一般而言,切削速度也依次升高。陶瓷、金刚石、立方碳化硼仅用于有限场合,生产中使用最多的刀具材料是高速钢和硬质合金。

1.2.1 高速钢

高速钢是在合金工具钢中加入了较多的钨、铬、钼、钒等合金元素的高合金工具钢。高速钢具有较高的硬度(热处理硬度可达 63~66HRC)和耐热性(600~650℃),切削碳钢时的切削速度一般不高于 50~60m/min,具有高的强度(抗弯强度为一般硬质合金的 2~3 倍)和韧性,能抵抗一定的冲击振动。它具有较好的工艺性,可以制造刃形复杂的刀具,如钻头、丝锥、成形刀具、拉刀和齿轮刀具等。高速钢刀具可加工从碳钢到合金钢,从有色金属到铸铁等多种材料。

(1) 通用型高速钢

通用型高速钢工艺性能好,能满足通用工程材料的切削加工要求。常用的种类有钨系高速钢和钼系高速钢。

钨系高速钢常用的牌号是 W18Cr4V,它具有较好的综合性能,可制造各种复杂刀具和精加工刀具,在我国应用较普遍。

钼系高速钢常用的牌号是 W6Mo5Cr4V2,其抗弯强度和冲击韧度都高于钨系高速钢,并具有较好的热塑性和磨削性能,但热稳定性低于钨系高速钢,适合制作抵抗冲击刀具及各种热轧刀具。

(2) 高性能高速钢

高性能高速钢是在普通型高速钢中加入钴、钒、铝等合金元素,以进一步提高其耐磨性和耐热性等。常用高性能高速钢牌号有:W6Mo5Cr4V3(M3)、W2Mo9Cr4VCo8(M42)、W6Mo5Cr4V2Al(501)等。

1.2.2 硬质合金

硬质合金是由硬度和熔点很高的金属碳化物(碳化钨 WC、碳化钛 TiC、碳化钽 TaC、

碳化铌 NbC 等)和金属黏结剂(钴 Co、镍 Ni、钼 Mo 等)以粉末冶金法烧结而成。硬质合金的硬度高达 89~93HRA,能耐 850~1000℃的高温,硬质合金具有良好的耐磨性,允许的切削速度比高速钢高 4~10 倍,可加工包括淬火钢在内的多种材料。硬质合金抗弯强度低、冲击韧性差,工艺性差,较难加工,不易做成形状复杂的整体刀具。硬质合金刀具分为整体硬质合金刀具和镶片式刀具,即把硬质合金刀片焊接或机械夹固在刀体上使用,如图 1-13 所示。

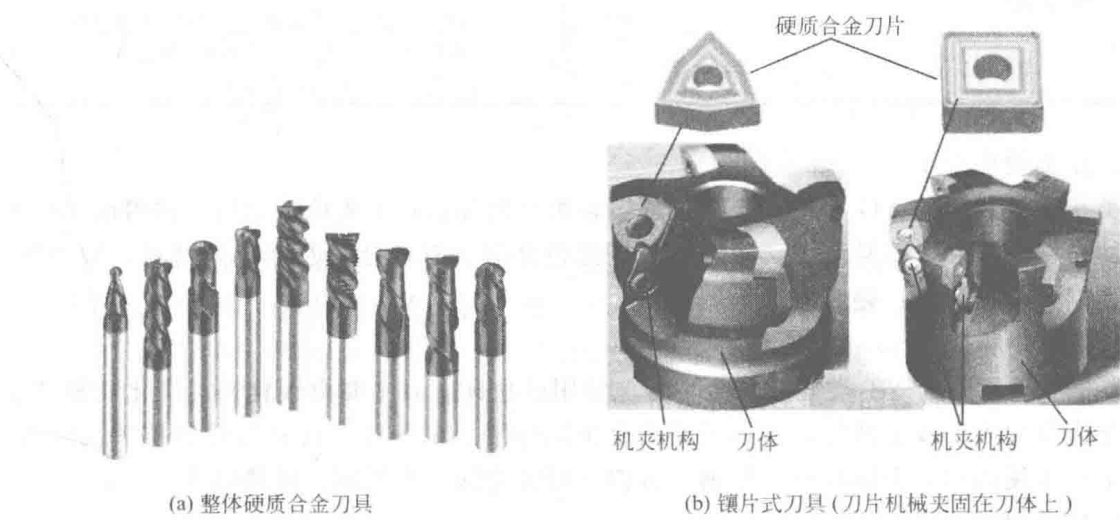


图 1-13 硬质合金刀具

国际标准化组织 [ISO513—1975 (E)] 规定,将切削加工用硬质合金分为三大类,分别用 K、P、M 表示。常用硬质合金牌号及用途见表 1-1。

表 1-1 切削加工常用硬质合金分类及用途

代号	加工材料大类	分类号	国产牌号	性能比较	适用场合
K	短切屑的 黑色金属;非 铁材料;非金 属材料	K01	YG3 YG3X	↑硬度、 耐磨性、 切削速度 ↓抗弯强度、 韧性、进 给量	铸铁、有色金属及合金,也用于合金钢、淬火钢等的精加工、不能承受冲击载荷。车削、精车镗、精铣
		K10	YG6X		铸铁、冷硬铸铁、合金铸铁、耐热钢、合金钢的半精加工、精加工
		K20	YG6		铸铁、有色金属及合金的粗加工、半精加工
		K30	YG8		铸铁、有色金属及合金、非金属的粗加工,能适应断续切削
P	长切屑的 黑色金属	P01	YT30	↑硬度、 切削速度 ↓抗弯强度、 韧性、进 给量	碳钢和合金钢连续切削时的精加工
		P10	YT15		碳钢和合金钢连续切削时的半精加工、精加工
		P20	YT14		碳钢和合金钢连续切削时的粗加工、半精加工、精加工或断续切削时的精加工
		P30	YT5		碳钢和合金钢的粗加工,也可用于断续切削
		P40			钢、铸钢。切速低,允许刀具大前角和不利条件下切削,适用于自动机床
		P50			钢、铸钢。切速低,允许刀具大前角和不利条件下切削,适用于自动机床

续表

代号	加工材料大类	分类号	国产牌号	性能比较	适用场合
M	长或短切屑的黑色金属;非铁材料	M10	YW1	↑硬度、切削速度 ↓抗弯强度、韧性、进给量	不锈钢、耐热钢、高锰钢及其他难加工材料及普通钢料、铸铁的半精加工和精加工
		M20	YW2		钢、铸铁、奥氏体钢、灰铸铁、锰钢。车削、铣削;中等切削速度,中等切削截面
		M30			钢、铸铁、奥氏体钢、灰铸铁耐热合金。车削、铣削;刨削,中等切削速度,切削截面中等或较大
		M40			低碳钢、低强度钢、非铁材料、轻合金。车削、成形切削。主要在自动机床上使用

(1) K 类硬质合金

K 类相当于我国的 YG 类硬质合金,外包装用红色标志;主要由碳化钨和钴组成,抗弯强度和冲击韧性较好,不易崩刃,适用于加工黑色金属、有色金属及非金属材料,如铸铁、铝合金、铜合金、塑料、硬胶木等。

(2) P 类硬质合金

P 类相当于我国的 YT 类硬质合金,外包装用蓝色标志。主要由碳化钨、碳化钛和钴组成,合金成分加入了碳化钛后,增加了硬质合金的硬度、耐热性、抗粘接性和抗氧化能力。用于加工产生长切屑的金属材料,如钢、铸钢、可锻铸铁、不锈钢、耐热钢等。

(3) M 类硬质合金

M 类相当于我国的 YW 类硬质合金,外包装用黄色标志。M 类在普通硬质合金成分中加入了碳化钽或碳化铌,从而提高了硬质合金的韧性和耐热性,使其具有较好的综合切削性能。适用于加工长、短切屑的黑色金属和有色金属,因此被称为通用型硬质合金。如钢、铸钢、奥氏体不锈钢、耐热钢、可锻铸铁、合金铸铁等。

根据被加工材料及适用的加工条件,每大类硬质合金中又分为若干组,用两位阿拉伯数字表示组号,每类中组号数字越大,其耐磨性越低、韧性越高。选择切削用量时,每类中组号越大,则可选用越大的进给量和切削深度,而切削速度则应越小,如表 1-2 所示。

表 1-2 K、P、M 类硬质合金与选择切削用量关系

硬质合金 金牌号	K	K01	K10	K20	K30	K40				
	P	P01	P05	P10	P15	P20	P25	P30	P40	P50
	M	M10	M20	M30	M40					
切削用量	进给量	→增大								
	背吃刀量	→增大								
	切削速度	减小→								

注:钨钢与硬质合金区别,钨钢指的是含钨较多的钢材,比如含钨高速钢和某些模具钢,钢材中含钨对钢材硬度和耐热性能有显著的提高,钨钢在使用前一般需要热处理。硬质合金是指采用粉末冶金方法制造出来的一种合金,硬质合金只需要经过磨削就可使用,不需要热处理。在我国珠三角、福建、台湾一带,大多也把硬质合金叫做钨钢。

1.2.3 陶瓷材料

陶瓷材料是以氧化铝为主要成分,经压制成形后烧结而成的一种刀具材料。它有很高的硬度和耐磨性,硬度达 78HRC,耐热性高达 1200℃ 以上,化学性能稳定,故能承受较高的切削速度。但陶瓷材料的最大弱点是抗弯强度低,冲击韧性差,主要用于钢、铸铁、有色金

属、高硬度材料及大件和高精度零件的精加工。

1.2.4 立方氮化硼 (CBN)

立方氮化硼由氮化硼在高温高压作用下转变而成。它具有仅次于金刚石的硬度和耐磨性,硬度可达 8000~9000HV,耐热高达 1400℃,化学稳定性好,与铁族元素亲和力小,但强度低,焊接性差,主要用于淬硬钢、冷硬铸铁、高温合金和一些难加工材料。

1.2.5 金刚石

金刚石是目前已知的最硬物质,其硬度接近 10000HV,是硬质合金的 80~120 倍,但韧性差,金刚石刀具可用于加工非金属及有色金属材料。金刚石刀具不能用于加工黑色金属,因为黑色金属中的某些元素会腐蚀金刚石,从而导致刀具快速磨损。金刚石刀具更多地应用于高速精加工及半精加工中。

1.2.6 刀具材料表面涂层

刀具材料表面涂层是在刀具的硬质合金或高速钢基体上通过沉积法涂覆一层高耐磨、难熔金属化合物。常用涂层材料是 TiN,涂层后刀具表面呈金黄色。表面涂层提高刀具表面硬度,刀具磨损率显著降低,在相同刀具寿命的前提下,可以提高切削速度 30%~50%。表面涂层刀具广泛用于切削钢、铸铁的精加工、半精加工或轻负荷的粗加工中。

1.3 数控铣床、加工中心常用刀具

数控铣床与加工中心使用的刀具种类很多,主要分铣削刀具和孔加工刀具两大类,所用刀具正朝着标准化、通用化和模块化的方向发展,为满足高效和特殊的铣削要求,又发展了各种特殊用途的专用刀具。

1.3.1 数控加工常用铣刀

(1) 面铣刀

面铣刀可以是套式的,也可以是整体带柄式的,如图 1-14 所示。面铣刀的主切削刃分布在外圆柱面或外圆锥面上,其端面上的切削刃为副切削刃。面铣刀适用于加工平面,尤其适合加工大面积平面。

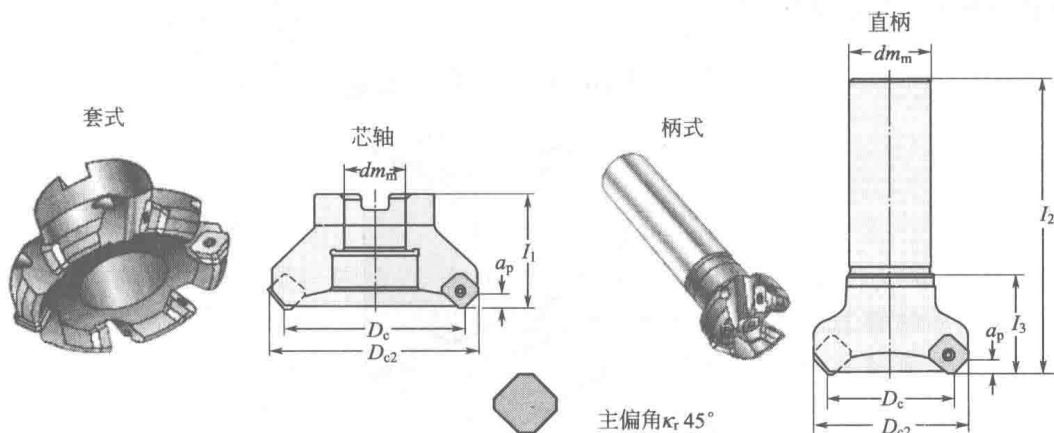


图 1-14 面铣刀 (直径 32~250mm)

① 镶齿面铣刀 面铣刀的直径一般较大,通常将其制成镶齿结构,即将其刀齿和刀体分开。刀齿是由硬质合金制成的可转位刀片,刀体的材料为 40Cr,把刀齿夹固在刀体上,

刀齿的一个切削刃用钝后,只需松开夹固件,直接在刀体上转换刀片新的切削刃或更换刀片,重新夹固,即可继续切削。目前普遍使用的硬质合金铣刀片的规格有四边形的和三角形的,可分为带后角的和不带后角的两种。一般带后角的刀片用于正前角铣刀,不带后角的刀片用于负前角铣刀。

面铣刀可以用于粗加工,也可以用于精加工。粗加工要求有较大的生产率,即要求有较大的铣削用量,为使粗加工时能取较大的切削深度,切除较大的余量,粗加工宜选较小的铣刀直径。精加工要求够保证加工精度,要求加工表面粗糙度值要低,应该避免在精加工面上的接刀痕迹,所以精加工的铣刀直径要选大些,最好能包容加工面的整个宽度。

② 方肩面铣刀 主偏角为 90° 的面铣刀称为方肩面铣刀,如图 1-15 所示。方肩面铣刀在加工平面的同时,能加工出与平面垂直的直角面,这一直角面的高度受到刀片长度的限制。如果需要加工出高于刀片长度的直立面,可以采用层切的方法,分层加工直立面,如图 1-16 所示。

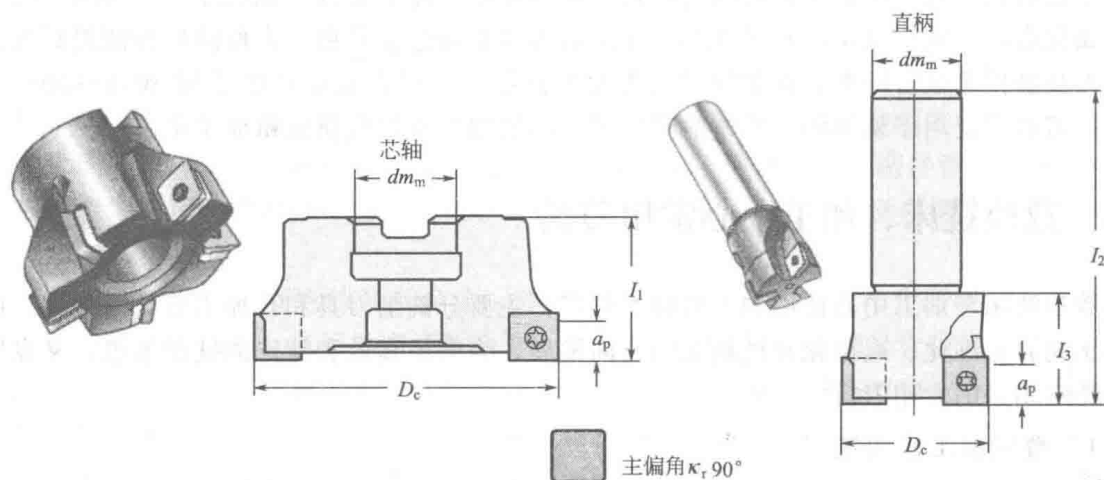


图 1-15 方肩面铣刀 (主偏角 90° , 直径 40~250mm)

方肩面铣刀还可以铣槽。采用螺旋线进给能够镗铣加工孔,螺旋铣削加工孔是建立在螺旋式下刀的加工方法,螺旋铣孔时每螺旋铣削一周,刀具的 Z 轴方向下刀移动一个导程。方肩面铣刀加工范围如图 1-17 所示。

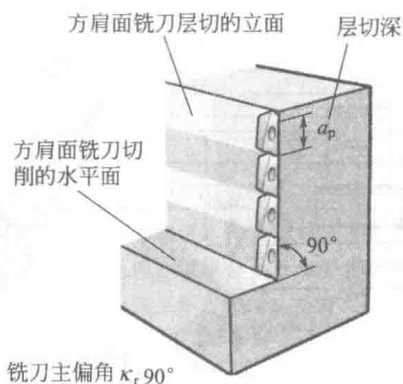


图 1-16 方肩面铣刀层切的直立面

③ 面铣刀齿数 面铣刀齿数对铣削生产率和加工质量有直接影响,齿数越多,同时工作齿数也多,生产率高,铣削过程平稳,加工质量好。直径相同的可转位铣刀根据齿数不同