



21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控铣床中级工 实训教程

北京希望电子出版社
秦启书 康新龙
金福吉

总策划
主编
主审



科学出版社
www.sciencep.com



21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控铣床中级工 实训教程

北京希望电子出版社
秦启书 康新龙
金福吉

总策划
主 编
主 审



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想和数控中级工国家职业技能鉴定标准而编写的。

本书系统地介绍了数控车床加工过程中的知识和技能,着重讲述了数控车床中级工认证标准中要求掌握的车削基础知识、加工工艺分析方法、加工程序编制方法及操作技能方面的知识,特意编入了考核实例分析及题库的内容。书中加工程序以华中世纪星(HNC-21T)指令编写。各章后面都配有与数控车床操作技能中级考核范围和内容相符合的习题和试题,并附有答案,以便于教学和读者练习。本书简明扼要,图文并茂,采用了理论和实践结合的方法,是一本针对性、实用性较强的教材。

本书可作为高职数控技术应用专业、机电一体化专业、高职、中职职业资格证书的实用教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

需要本书或需要得到技术支持的读者,请与北京清河6号信箱(邮编100085)发行部联系,电话:010-82702660 010-82702658, 010-62978181 转103或238,传真:010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床中级工实训教程/秦启书,康新龙主编. —北京:科学出版社, 2006.10

21世纪高职高专规划教材·数控专业

ISBN 7-03-018022-4

I. 数... II. ①秦...②康... III. 数控机床:铣床—高等学校:技术学校—教材 IV. TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第107209号

责任编辑:王玉玲 / 责任校对:张月岭
责任印刷:双青 / 封面设计:梁运丽

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年10月第一版 开本:787×1092 1/16
2006年10月第一次印刷 印张:12 3/4
印数:1-3000册 字数:290 000

定价:24.00元

21 世纪高职高专规划教材·数控专业教材

编 委 会 名 单

编委会主任：

张恩祥 全国高等学校制造自动化研究会理事会理事

方 新 北京生产工程学会副主任委员兼秘书长

编委会副主任：

康新龙 全国高校制造技术及机床研究会理事

钱 锐 中国机电装备维修与改造技术协会设备工程专业分会理事

陆卫民 中国科学出版集团北京希望电子出版社社长

企业主审：

金福吉 第一届全国数控技能大赛副总裁判长

周维泉 第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家

编委：（排名不分先后）

张恩祥 方 新 金福吉 周维泉 康新龙 钱 锐

饶 军 雷保珍 宋 昀 何亚飞 邱 坤 田宏宇

姚国强 娄斌超 秦启书 蒋建强 马美英

序

近几年来,我国的高等职业教育取得了令人瞩目的成就。一方面,伴随着高等教育大众化的步伐,高等职业教育的规模迅速扩大,如今的高职教育已经成为我国高等教育的重要组成部分;另一方面,随着高职教育领域里理论研究与实践探索的不断深入,高等职业教育培养人才的质量不断提高。高等职业教育在国家建设和国民经济发展中的重要地位与作用已经得到了全社会的普遍认同。

但是,在高等职业教育迅速发展的同时,也存在着一些亟待解决的问题。首先,从规模与结构上来讲,毕业生的人数与专业的构成在相当程度上还无法满足经济发展的要求,众所周知,数控技术、汽车维修等领域,人才的缺口很大。其次,高等职业教育培养人才的质量与社会需求之间还存在着一定的差距,而产生这一差距的主要原因就是现行的课程体系无法满足高等职业教育的需求,因此,课程的改革与建设已经成为我国高等职业教育发展的重点与难点,其中教材的建设,尤其是精品教材的建设更显得尤为迫切和重要。

为解决目前数控技术专业教材不足,尤其是高水平的教材严重短缺的问题,由北京希望电子出版社与北京联合大学机电学院等十几所院校共同策划、组织、编写了这套数控技术专业系列教材。本套教材最大的特点就是突出“实用性”,因此在编写过程中除了在形式上吸收借鉴了一些先进的课程、教材开发的理念与方法外,在内容上更加注重与生产实际和岗位需求的联系。同时,本套丛书在策划阶段聘请了北京机床研究所的副总工艺师金福吉(第一届全国数控技能大赛副总统裁判长、2005年北京市职工数控技能大赛副总统裁判长)、北京夏金字模具科技有限公司总工艺师周维泉(第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家、2005年北京市职工数控技能大赛数控车床裁判长)作为编委会的企业顾问,两位专家具有丰富的实践经验,他们对于整套教材的编写工作提出了很多宝贵的意见和建议,最后又由他们担任主审,对每本教材都给予了严格的把关,保证了数控加工工艺、数控加工程序的正确性。希望本套教材为我国的高等职业教育数控技术专业的课程体系建设添砖加瓦。

全国高等学校制造自动化研究会理事会理事 张恩祥

前 言

本教程是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想和数控铣中级工国家职业技能鉴定标准编写的。

本教程针对高等和中等职业教育机电类数控技术及应用专业的“数控机床与编程”课程的要求，并着重突出了实习、实训、实践性教学环节的内容。能够满足高职学生取得数控中级铣工职业资格证书的要求，可以达到在校期间取得“双证”的目标。

本书是以数控铣工国家职业技能鉴定中级考工的应知应会内容为主线，以培养工艺能力为重点，以模块化思想安排实训内容，同时本书详细介绍了零件数控加工从工艺分析到编制程序的全过程，突出了理论知识与技能培养的有机结合和融通，强化了学生对实际操作的现场意识和运用知识的综合能力。为了方便应考，还特设了数控铣中级工综合练习试题一章。

本书可作为数控铣中级考试培训，也可作为数控铣操作技术工人的岗前培训教材。

本书由河南工业职业技术学院秦启书、康新龙主编，第1章由南阳理工学院熊运昌编写，第2、9章由康新龙编写，第3、4、5章由秦启书编写，第6、7章由唐山科技职业技术学院马美英编写。第8章由河南工业职业技术学院刘志刚编写。全书由北京机床研究所工艺师、高级技师金福吉主审。

由于编者水平有限，谬误欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 数控铣削的基础知识.....1	3.3 刀具补偿指令及其编程49
1.1 数控铣削概述.....1	3.3.1 刀具半径补偿.....50
1.1.1 数控铣削加工原理.....1	3.3.2 刀具长度补偿.....55
1.1.2 刀具几何角度.....6	3.4 固定循环与子程序56
1.1.3 铣削用量.....7	3.4.1 固定循环加工指令.....56
1.1.4 切削液.....7	3.4.2 固定循环加工应用举例.....62
1.2 数控铣床.....8	3.4.3 子程序.....64
1.2.1 数控铣床的组成.....8	3.4.4 镜像.....67
1.2.2 数控铣床的分类.....9	3.4.5 坐标旋转.....69
1.2.3 数控铣床的特点及应用范围.....14	第 4 章 华中系统数控铣床操作70
第 2 章 数控加工工艺基础.....17	4.1 华中系统数控铣床操作70
2.1 机械加工工艺过程的基本概念.....17	4.1.1 华中 I 型 HCNC-IHA 型机床 数控铣床的基本结构.....70
2.1.1 机械加工工艺过程与组成.....17	4.1.2 电器操作面板的组成及使用.....70
2.1.2 生产类型及其工艺特征.....19	4.1.3 数控系统 CRT / MDI 面板的使用 ...73
2.1.3 工件的安装与定位.....20	4.1.4 基本操作步骤.....74
2.2 数控铣削加工工艺.....25	4.2 华中世纪星 (HNC—21/22M)77
2.2.1 零件的工艺分析.....25	4.2.1 基本机构与主要功能.....77
2.2.2 数控加工工艺性分析, 决定数控加工内容.....26	4.2.2 操作装置.....78
2.2.3 数控加工工艺性分析.....28	4.2.3 软件操作界面.....80
2.2.4 数控加工工艺过程设计.....29	4.2.4 软件菜单功能.....81
2.2.5 数控加工工序的设计.....30	4.2.5 通电、关机、急停.....82
2.2.6 数控加工专用工艺文件编写.....35	第 5 章 FANUC 系统数控铣床的操作85
第 3 章 数控铣床编程.....36	5.1 FANUC 标准系统的操作面板及操作85
3.1 数控铣床编程概述.....36	5.1.1 数控铣床的特点及技术参数.....85
3.1.1 数控编程的概念.....36	5.1.2 FANUC 标准系统 CRT / MDI 操作面板.....86
3.1.2 数控编程的内容.....37	5.1.3 FANUC 标准系统铣床 电器控制操作面板.....87
3.1.3 数控编程的方法.....39	5.1.4 数控铣床操作基本方法与步骤.....89
3.1.4 数控铣床的基本功能.....41	5.2 对刀操作及参数设定95
3.2 数控铣床坐标系和常用编程指令.....42	5.2.1 对刀操作.....96
3.2.1 数控铣床坐标系.....42	5.2.2 对刀的参数设置 (G54~G59)99
3.2.2 工件坐标系.....43	5.2.3 多把刀具的对刀操作.....99
3.2.3 常用编程准备功能 G 指令.....44	第 6 章 SIEMENS 系统数控铣床的操作101
3.2.4 进给功能 F、主轴转速 S 功能 和刀具功能 T47	6.1 SIEMENS 802D 操作面板101
3.2.5 辅助功能 M48	

6.1.1 系统操作面板.....	101	7.1 外形轮廓铣削加工.....	145
6.1.2 SIEMENS 802D 电器控制 操作面板.....	103	7.2 型腔铣削加工.....	147
6.2 SIEMENS 802D 的基本操作.....	104	7.3 孔加工.....	152
6.2.1 对刀操作.....	105	第 8 章 数控铣床的维护	155
6.2.2 设定参数.....	106	8.1 数控铣床的使用要求.....	155
6.2.3 自动加工.....	111	8.2 数控铣床安全操作规程.....	155
6.2.4 MDA 方式.....	112	8.3 数控铣床的维护保养.....	156
6.2.5 数控程序处理.....	112	第 9 章 综合练习试题	158
6.3 SINUMERIK 802D 系统的编程指令 及编程方法.....	116	9.1 理论试题.....	158
6.3.1 编程指令表.....	116	9.2 数控编程与加工实训试题.....	171
6.3.2 程序的结构及格式.....	116	9.3 数控铣床理论试卷.....	174
6.3.3 常见编程指令的用法.....	117	9.4 数控铣床理论试卷参考答案.....	177
6.4 SIEMENS 系统编程及加工实例.....	140	附录 A 常见数控系统命令	180
6.4.1 连杆加工.....	140	附录 B 数控铣削加工工艺卡	189
6.4.2 样板零件铣削.....	142	附录 C 数控机床常用术语	190
第 7 章 数控铣床编程综合实例	145	附录 D 数控铣床操作中高级工国家职业 技能标准	193

第 1 章 数控铣削的基础知识

本章知识

- 数控铣削概述
- 数控铣床的组成
- 数控铣床的分类

1.1 数控铣削概述

1.1.1 数控铣削加工原理

1. 铣削加工

机械加工的实质是刀具相对工件必须有相对运动，刀具切除工件多余金属层，获得已加工表面的过程。在铣削过程中，刀具的旋转为主运动，完成切削任务，刀具相对工件的移动为进给运动，保证连续切削过程。以切削刃为单元，铣刀均为多刃刀具，已加工表面是由刀具相对工件的主运动和进给运动的合成运动轨迹形成的，它是螺旋线。对于某一刀刃来说是断续切削，所以铣削力是变化的，有很大的冲击力。图 1-1 所示是圆柱铣刀铣削平面示意图，图 1-2 所示是端铣刀铣削平面示意图。

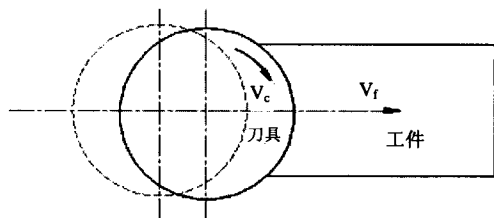


图 1-1 圆柱铣刀铣削平面

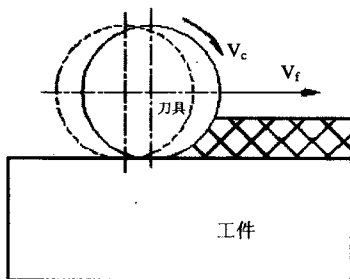


图 1-2 端铣刀铣削平面

在已加工表面上应该切除的材料，由于刀具几何因素的影响而没有切掉的材料叫做残留体，它直接影响到已加工表面粗糙度。

2. 铣削运动和铣削用量

铣削运动分为两种，分别是主运动和进给运动。

(1) 主运动 v_c 。完成切削加工的运动，即铣刀的旋转运动。铣削速度是指铣刀切削刃选定点相对工件的瞬时速度，可按下式计算：

$$v_c = \pi d n / 1000 \quad (1-1)$$

式中：

v_c —瞬时速度，单位为 m / min 或 m / s 。

d —铣刀直径, 一般指最大直径, 单位为 mm 。

n —铣刀转速, 单位为 r/min 或 r/s 。

(2) 进给运动 v_f 为使切削加工连续进行以便切除全部余量的运动。单位为 mm/min 或 mm/r , 即垂直于铣刀轴线的运动, 如图 1-3 所示。

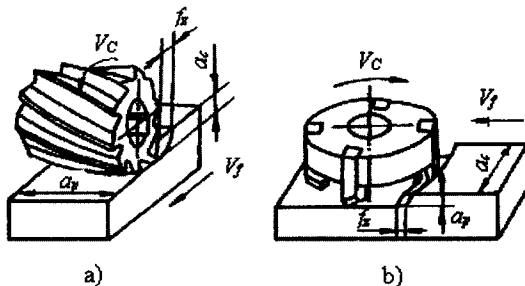


图 1-3 铣削运动与铣削用量

a) 圆柱铣刀铣削

b) 端铣刀铣削

(3) 背吃刀量 a_p 指平行于刀具轴线测量的切削层中最大的尺寸。端铣时, a_p 为切削层深度; 圆周铣削时, a_p 为被加工表面的宽度。

(4) 侧吃刀量 a_e 指平行于刀具轴线测量的切削层中最大的尺寸, 端铣时, a_e 为被加工表面宽度; 圆周铣削时, a_e 为切削层深度。

(5) 进给量 f 进给量是指主运动旋转一周, 刀具在进给方向上的位移量。

铣削时进给量有 3 种表示方法:

① 进给量 f 指铣刀每转过一转, 刀具相对工件在进给运动方向上的位移量, 单位为 mm/r 。

② 每齿进给量 f_z 指铣刀每转过一个刀齿, 刀具相对工件在进给运动方向上的位移量, 单位为 mm/z 。

③ 进给速度 v_f 指铣刀切削刃选定点相对工件进给运动的瞬时速度, 单位为 mm/min 或 mm/r 。

$$v_f = f_z z n \quad (1-2)$$

式中:

v_f —进给速度, 单位为 mm/min 。

z —铣刀齿数。

(6) 切削厚度 h_D 指相邻两个刀齿所形成的过渡表面间的垂直距离, 图 1-4a 所示为直齿圆柱形铣刀的切削厚度。当切削刃转到 F 点时, 其切削厚度为

$$h_D = f_z \sin \psi \quad (1-3)$$

式中 ψ 为瞬时接触角, 它是刀齿所在位置与起始切入位置间的夹角。

由式 1-3 可知, 切削厚度随刀齿所在位置的不同而变化。刀齿在起始位置 H 点时, $\psi = 0$, 因此 $h_D = 0$ 。刀齿转到即将离开工件的 A 点时, $\psi = \delta$, 切削厚度 $h_D = f_z \sin \delta$ 为最

大值。

由图 1-4a 可知, 螺旋齿圆柱形铣刀切削刃是逐渐切入和切离工件的, 切削刃上各点的瞬时接触角不相等, 因此切削刃上各点的切削厚度也不相等。

图 1-4b 所示为端铣时切削厚度 h_D , 刀齿在任意位置时的切削厚度为

$$h_D = \overline{EF} \sin k_r = f_z \cos \psi \sin k_r \quad (1-4)$$

端铣时, 刀齿的瞬时接触角由最大变为零, 然后由零变为最大。因此, 由式 (1-4) 可知, 刀齿刚切入工件时, 切削厚度为最小, 然后逐渐增大。到中间位置时, 切削厚度为最大, 然后逐渐减小。

(7) 切削宽度 b_D 指切削刃参加工作的长度。由图 1-4a 可知, 直齿圆柱形铣刀的 b_D 等于 a_p ; 而螺旋齿圆柱形铣刀的 b_D 是随刀齿工作位置不同而变化的。刀齿切入工件后, b_D 由零逐渐增大至最大值, 然后又逐渐减小至零, 因而螺旋齿圆柱形铣刀铣削过程较为平稳。

如图 1-4b 所示, 端铣时每个刀齿的切削宽度始终保持不变, 其值为

$$b_D = a_p / \sin k_r \quad (1-5)$$

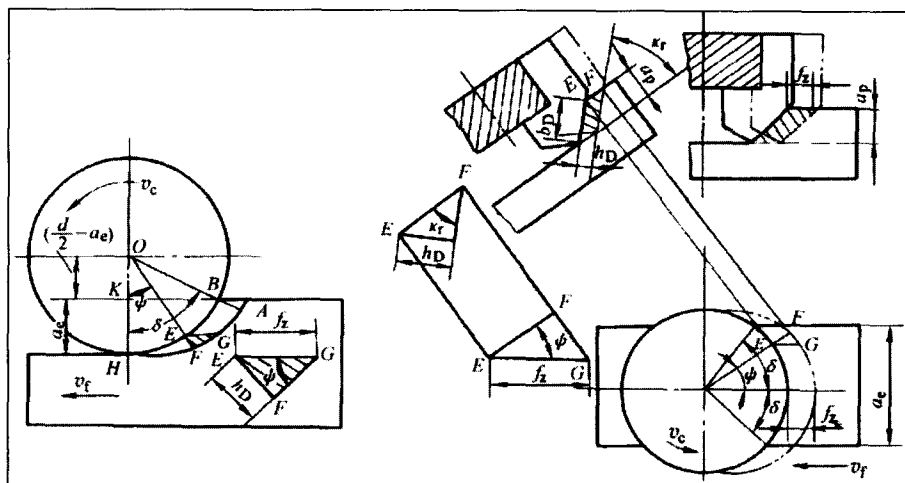


图 1-4 铣刀的切削层参数

a) 圆柱铣刀铣削 b) 端铣刀铣削

3. 铣刀及数控铣刀具

铣削加工是被广泛应用的一种切削加工方法, 常用铣刀的种类如图 1-5 所示。它用于加工平面、台阶面、沟槽、成形表面以及切断等。铣刀是多刃刀具并且又进行断续切削, 因此, 铣削过程具有一定的特殊规律。

常用尖齿铣刀的结构特点与应用。

(1) 圆柱形铣刀。

它用于加工平面, 可分为粗齿和细齿两种。其直径 $d = 50、63、80、100\text{mm}$ 。这类铣刀的几何角度为: $\gamma_n = 15^\circ$ 、 $\alpha_o = 12^\circ$ 、 $\omega = 30^\circ \sim 35^\circ$ (细齿铣刀) 和 $\omega = 40^\circ \sim 45^\circ$ (粗齿铣刀)。

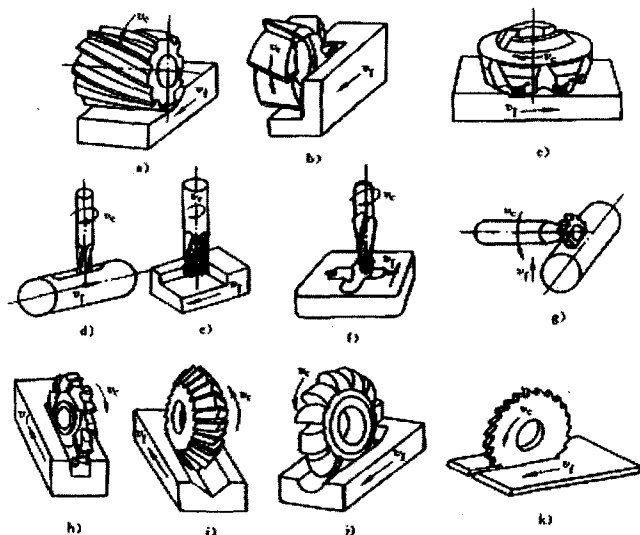


图 1-5 铣刀的用途分类

粗齿圆柱形铣刀具有齿数少、刀齿强度高、容屑空间大、重磨次数多等特点,适用于粗加工;细齿圆柱形铣刀齿数多,工作平稳,适用于精加工。

选择铣刀直径时,应保证铣刀心轴具有足够的刚度和强度,刀齿具有足够的容屑空间以及能在多次重磨的条件下,尽可能选择较小数值。否则,铣削功率消耗多;而且铣刀切入时间长,从而降低了生产率。通常根据铣削用量和铣刀心轴来选择铣刀直径。

(2) 立铣刀。

图 1-6 所示为立铣刀,它主要用于加工平面凹槽、台阶表面。国家标准规定,直径 $d=2\sim 71\text{mm}$ 的立铣刀作成直柄或削平型直柄;直径 $d=6\sim 63\text{mm}$ 作成莫氏锥柄;直径 $d=25\sim 80\text{mm}$ 做成 7:24 锥柄;直径 $d=40\sim 160\text{mm}$ 作成套式立铣刀。此外,还有可转位和硬质合金立铣刀。

立铣刀圆柱面上的切削刃是主切削刃,端面上的切削刃没有通过中心,是副切削刃;工作时不宜做轴向进给运动。为了保证端面切削刃具有足够强度,在端面切削刃的前面磨出 $b'_{r1}=0.4\sim 1.5\text{mm}$ 、 $\gamma'_{o1}=6^\circ$ 的倒棱。

(3) 键槽铣刀。

图 1-7 所示为平键槽铣刀,它主要用于加工圆头封闭键槽。它有两个刀齿,圆柱面和端面上都有切削刃,端面切削刃延至中心,工作时既能沿轴线做进给运动,又能垂直于轴线做进给运动。按国家标准规定,直柄键槽铣刀直径 $d=2\sim 22\text{mm}$,锥柄键槽铣刀直径 $d=14\sim 50\text{mm}$,键槽铣刀直径的精度等级有 e8 和 d8 两种,通常分别加工 H9 和 N9 键槽。

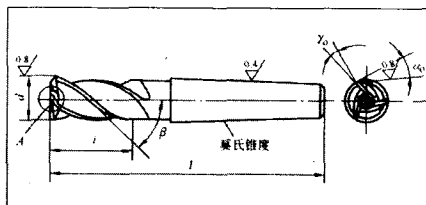


图 1-6 立铣刀

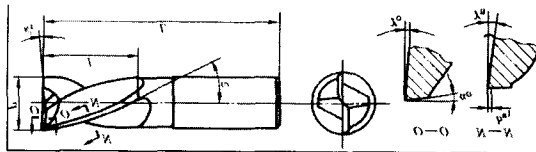


图 1-7 键槽铣刀

键槽铣刀的圆周切削刃仅在靠近端面的一小段长度内发生磨损。重磨时只需刃磨端面切削刃，铣刀直径不变。

(4) 模具铣刀。

模具铣刀如图 1-8 所示，用于加工模具型腔或凸模成形表面。在模具制造中广泛应用，是钳工机械化的重要工具。它是由立铣刀演变而成，主要分为圆锥形立铣刀（直径 $d=6\sim 20\text{mm}$ ，半锥角 $\alpha/2=3^\circ、5^\circ、7^\circ$ 或 10° ）、圆柱形球头立铣刀（直径 $d=4\sim 63\text{mm}$ ）和圆锥形球头立铣刀（直径 $d=6\sim 20\text{mm}$ ，半锥角 $\alpha/2=3^\circ、5^\circ、7^\circ$ 或 10° ）。模具铣刀类型和尺寸按工件形状和尺寸来选择。

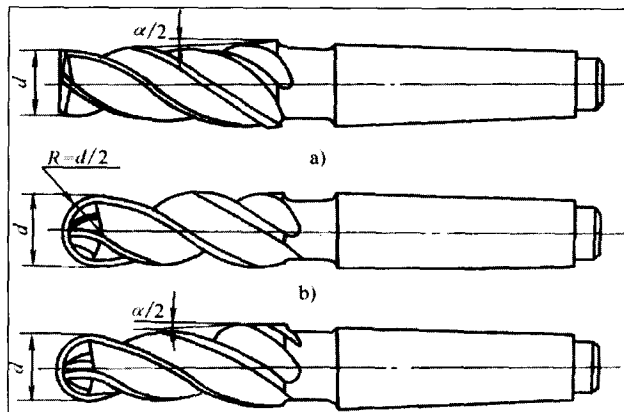


图 1-8 模具铣刀

硬质合金模具铣刀可取代金刚石锉刀和磨头来加工淬火后硬度小于 65HRC 的各种模具，它的切削效率可提高几十倍。

(5) 硬质合金面铣刀。

硬质合金面铣刀适用于高速铣削平面，由于它刚性好、效率高、加工质量好，故得到广泛应用。它可分为整体焊接式、机夹一焊接式和可转位式。整体焊接式面铣刀重磨较费时，当刀齿破损后，无法更换，刀体不能多次使用，目前已很少使用。

机夹-焊接式是先将刀片焊接在刀条上，然后通过夹紧元件将刀齿夹固在刀体上而制成，刀齿破损后可更换新刀齿，因而刀体使用寿命长。这种铣刀的焊接应力大，刀具寿命低；并且重磨时装卸、调整较费时间，已逐渐被可转位面铣刀所代替。

(6) 数控孔加工刀具。

数控铣床由于应用了数字化控制技术，定位准确，不仅可以铣削工件，而且可以代替钻床和镗床较好地完成孔加工任务。常见的孔加工刀具如图 1-9 所示。

(7) 数控铣床用刀具已经标准化系列。

为了更好地发挥数控铣床和加工中心的加工性能，刀具厂商研制了数控铣床专用系列刀具，为现代制造业提供了方便。

(8) 数控刀具材料。

常用的刀具材料有两类，即高速钢和硬质合金。为了提高刀具的切削性能，常将刀具的切削部分涂上一层更好的材料，这样的刀具叫涂层刀具或涂层刀片，这种刀片无须刃磨。另外，陶瓷刀片的发展和应用也越来越普遍。

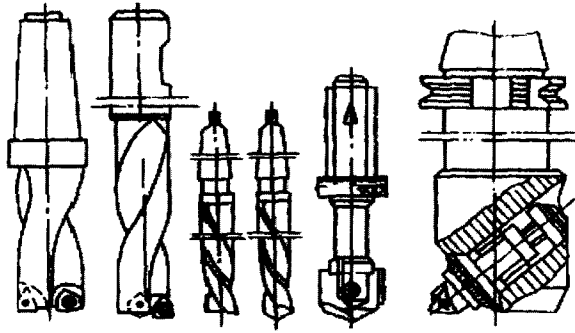


图 1-9 孔加工刀具

1.1.2 刀具几何角度

1. 圆柱形铣刀的几何角度

研究圆柱形铣刀的几何角度，应首先建立铣刀的静止参考系。圆周铣削时，铣刀旋转运动是主运动，工件的直线运动是进给运动。圆柱形铣刀的正交平面参考系由基平面 p_r 、切削平面 p_s 和正交平面 p_o 所组成，基本角度如图 1-10 所示。

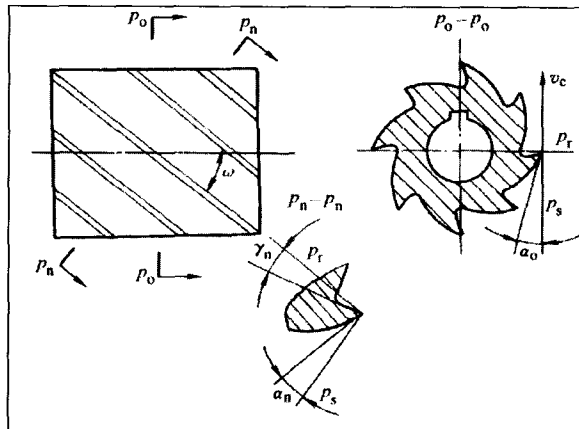


图 1-10 圆柱形铣刀的几何角度

由于设计与制造需要，还采用法平面参考系来规定圆柱形铣刀的几何角度。

① 螺旋角 螺旋角 ω 是螺旋切削刃展开成直线后，与铣刀轴线间的夹角。显然，螺旋角 ω 等于圆柱形铣刀的刃倾角 λ_s 。它能使刀齿逐渐切入和切离工件，能增加实际工作前角，使切削轻快平稳；同时形成螺旋形切屑，排屑容易，能有效防止切削堵塞现象。一般细齿圆柱形铣刀 $\omega = 30^\circ \sim 35^\circ$ ，粗齿圆柱形铣刀 $\omega = 40^\circ \sim 45^\circ$ 。

② 前角 通常在图纸上应标注 γ_n ，以便于制造。但在检验时，通常测量正交平面内前角 γ_o 。可按式，根据 γ_n 计算出 γ_o ：

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \omega$$

前角 γ_n 按被加工材料来选择，铣削钢时，取 $\gamma_n = 10^\circ \sim 20^\circ$ ；铣削铸铁时，取 $\gamma_n = 5^\circ \sim 15^\circ$ 。

③ 后角 圆柱形铣刀后角规定：在 p_o 平面内度量。铣削时，切削厚度 h_D 比车削小，磨损主要发生在后面上，适当地增大后角 α_o ，可减少铣刀磨损。通常取 $\alpha_o = 12^\circ \sim 16^\circ$ ，粗铣时取小值，精铣时取大值。

2. 面铣刀的几何角度

面铣刀的静止参考系如图 1-11 所示，面铣刀的几何角度除规定在正交平面参考系内度量外，还规定在背平面、假定工作平面参考系内表示，以便于面铣刀的刀体设计与制造。

如图 1-11 所示，在正交平面参考系中，标注角度有了 γ_o 、 α_o 、 λ_s 、 k_r 、 κ'_r 、 α'_o 、 α'_{oe} 和 k'_{re} 。

机夹面铣刀每个刀齿安装在刀体上之前，相当于一把 γ_o 、 λ_s 等于零的车刀，以利于刀齿集中制造和刃磨。为了获得所需的切削角度，使刀齿在刀体中径向倾斜 λ_f 角、轴向倾斜 λ_p 角。

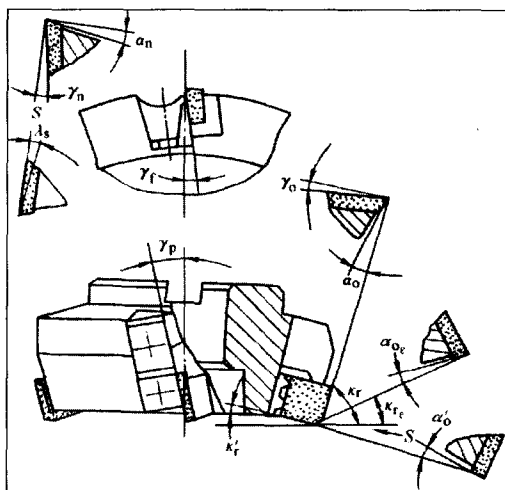


图 1-11 面铣刀的几何角度

硬质合金面铣刀铣削时，由于断续切取削，刀齿经较大的机械冲击，在选择几何角度时，应保证刀齿具有足够强度。一般加工钢时 $\gamma_o = -10^\circ \sim -5^\circ$ ，加工铸铁时取 $\gamma_o = -5^\circ \sim 5^\circ$ 、通常取 $\lambda_s = -15^\circ \sim -7^\circ$ 、 $k_r = 45^\circ \sim 75^\circ$ 、 $\kappa'_r = 5^\circ \sim 15^\circ$ 、 $\alpha_o = 6^\circ \sim 12^\circ$ 、 $\alpha'_o = 8^\circ \sim 10^\circ$ 。

1.1.3 铣削用量

较大的铣削用量可以提高生产率，但是切削力和切削温度以及表面粗糙度都会增大，随着数控铣床制造技术的发展和刀具材料更新换代，允许的切削用量极限值也在提高。目前我国还没有新的标准，数控加工的切削用量主要根据加工要求以及铣床厂商和刀具厂商提供的参数来确定。

1.1.4 切削液

切削加工过程中，采用切削液的主要目的是冷却、排屑，同时必须具有润滑、清洗和防锈功能。数控铣床和加工中心在加工过程中，连续加工的时间较长，因此必须使用切削

液。切削液分为 3 大类，即水溶液、乳化液和切削油。

1.2 数控铣床

1.2.1 数控铣床的组成

组成一台完整的数控铣床，主要由控制介质（穿孔带、磁带）、数控装置、伺服系统和铣床 4 部分及辅助装置组成，图 1-12 所示为其基本框图。

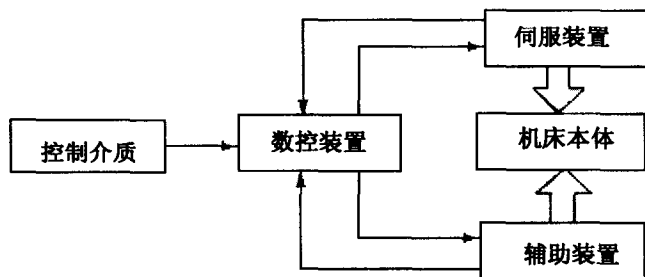


图 1-12 数控铣床组成示意图

1. 控制介质

数控铣床工作时，不需要人直接操纵铣床，但铣床又必须执行人的意图。这就需要一种在人与铣床之间建立某种联系的中间媒介物，此中间媒介物称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息。因此，控制介质就是指将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式，它随着数控装置类型的不同而不同，常用的有穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘存储卡等。控制介质上记载的加工信息要经过输入装置传送给数控装置，常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器输入/输出单元等。

除了上述几种控制介质以外，还有一部分数控铣床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外，随着 CAD / CAM 技术的发展，有些数控设备利用 CAD / CAM 软件在其他计算机上编程，然后通过计算机与数控系统通信，将程序和数据直接传送给数控装置。

2. 数控装置

数控装置是数控铣床的控制中心，被喻为“中枢系统”。数控装置由输入装置、控制运算器（CPU）和输出装置等构成，如图 1-13 所示，图中虚线内包含部分为数控装置。

数控装置的功能是接受控制介质上的各种信息，经过识别与译码后，送到运算控制器进行计算处理，再经过输出装置将运算控制器发出的控制命令送到伺服系统，带动铣床完成相应的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元（CPU）又称为微处理器，是一种大规模集成电路，它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中，输入与输出电路也采用大规模集成电路，即所谓的 I / O 接口。微型计算机拥

有较大容量的寄存器，并采用高密度的存储介质，如半导体存储器和磁盘存储器等。

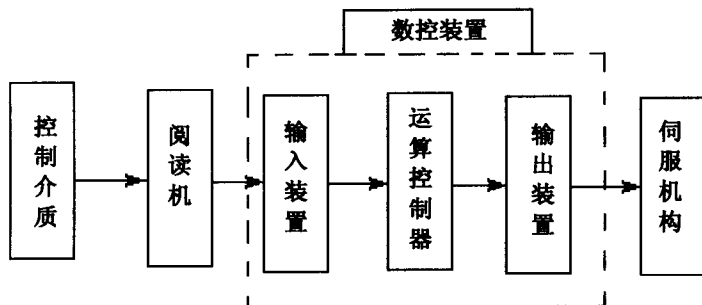


图 1-13 数控装置组成图

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行机构，包括驱动、执行和反馈装置。伺服系统接受数控系统的指令信息，并按照指令信息的要求与位置、速度反馈信号相比较后带动铣床的移动部件或执行部件动作，加工出符合图样要求的零件。指令信息以脉冲信号表示，反映到铣床移动部件上的移动量称为脉冲当量，常用脉冲当量为 $0.001\sim 0.01\text{mm}$ ，脉冲当量在设计数控铣床时既已规定。

伺服系统直接影响数控铣床的速度、位置、加工精度、表面粗糙度等。

当前数控铣床的伺服系统，常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。后两者都带有光电编码器等位置测量元件，可用来精确控制工作台的实际位移量和移动速度。

4. 铣床本体

铣床本体是数控铣床的实体，是完成实际切削加工的机械部分，包括床身、底座、工作台、床鞍、主轴等。它与普通铣床相比较，具有以下特点：

- (1) 数控铣床采用了高性能的主轴及伺服系统，机械传动结构简化，传动链较短。
- (2) 机械结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性，热变形小。
- (3) 更多地采用高效传动部件，如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

与普通铣床相比，数控铣床的外部造型、整体布局，传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这些变化的目的是为了满足不同数控铣床的要求和充分发挥数控铣床的特点。因此，必须建立数控铣床设计的新概念。

5. 辅助装置

辅助装置主要包括换刀机构、工作台（托盘）自动交换机构、工件夹紧机构、润滑装置、冷却装置、照明装置、排屑装置、液压气动系统、过载保护与限位保护装置等。

1.2.2 数控铣床的分类

数控铣床的种类很多，一般可以按以下几种方式来划分，见表 1-1。