



优秀教学成果奖系列丛书
中等职业教育“十三五”规划教材

模具数控加工技术

■ 主编 范鹤 曲树德



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

优秀教学成果奖系列丛书
中等职业教育“十三五”规划教材

模具数控加工技术

主 编 范 鹤 曲树德
副主编 冯建忠 张井彦 贾璧齐 李 曼

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控加工技术/范鹤, 曲树德主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 9
(2019. 9 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7414 - 2

I. ①模… II. ①范… ②曲… III. ①模具 - 数控机床 - 加工 - 教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 174495 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 308 千字

版 次 / 2019 年 9 月第 1 版 2019 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 69.00 元

责任编辑 / 张海丽

文案编辑 / 张海丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Preface

本书全面适应现代学徒制的要求，着重培养学生实践动手能力，通过具体模具零件的数控车加工、数控铣加工、数控 CAM 加工、数控线切割加工等技能入手，使学生具备模具数控加工基础知识及相关技能，了解模具数控加工技术的基本概念、模具数控加工的原理，依据模具零件的制造和模具装配过程，组织学生完成各种模具零件的制造和模具装配，培养学生实践动手能力。

本书依据“以学生为主体，以就业为导向，以岗位为依据，以能力培养为主线”的原则，以数控加工机床为主，以企业真实生产任务设置为课程教学实施载体，通过导柱、导套、凸模、凹模、固定板的加工项目训练，学生能够独立完成生产准备，根据加工工艺编制程序，完成程序调用，能够选择合理的工件安装方式，完成工件安装和拆卸，完成模具零件的数控加工，培养学生模具数控加工制造能力及岗位工作能力。

建议的课时安排如下：

序号	能力训练项目	能力训练任务	学时
项目一	模具零件的数控车削加工	<ol style="list-style-type: none">1. 熟练运用数控车床的操作面板进行程序的编辑与校验2. 正确选用切削用量和常用刀具3. 正确编制外圆表面加工程序4. 独立操作机床进行对刀5. 独立完成零件的数控加工6. 正确检测零件外圆表面7. 进行数控车床日常维护与保养	20
项目二	模具零件的数控铣削加工	<ol style="list-style-type: none">1. 会制定各类模具零件的数控加工工艺2. 会正确选择数控铣床、刀具、夹具3. 会确定切削用量4. 会确定加工顺序及进给路线5. 会用 FANUC -0i 和 FANUC -0MD 数控系统的指令编制各类模零件的数控加工程序	20

续表

序号	能力训练项目	能力训练任务	学时
项目三	模具零件的 CAM 加工	1. 会使用 CAM 软件 (UG) 进行零件的后置处理并生成加工程序	20
项目四	模具零件的 线切割加工	1. 了解电火花线切割的加工原理及组成 2. 会制定典型模具零件的电火花线切割加工工艺 3. 会正确装夹找正工件 4. 会确定合理的电火花线切割参数 5. 会确定合理的切割方向及进给路线 6. 会用熟练采用 3B、ISO 格式编程	12
合计			72

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

Contents

▶ 项目一 模具零件的数控车削加工	1
模块 1 模具阶梯轴类零件的加工	2
一、教学目标	2
二、工作任务	2
三、工作化学习内容	2
四、相关的理论知识	6
五、思考与练习	34
模块 2 模具曲面轴类零件的加工	35
一、教学目标	35
二、工作任务	35
三、工作化学习内容	36
四、相关的理论知识	40
五、思考与练习	49
模块 3 模具轴套类零件的加工	50
一、教学目标	50
二、工作任务	50
三、工作化学习内容	51
四、相关的理论知识	55
五、思考与练习	69
▶ 项目二 模具零件的数控铣削加工	70
模块 1 凸模零件的外轮廓加工	71
一、教学目标	71
二、工作任务	71
三、工作化学习内容	71
四、相关的理论知识	76
五、思考与练习	95
模块 2 凹模零件的内轮廓加工	97
一、教学目标	97

二、工作任务	97
三、工作化学习内容	98
四、相关的理论知识	101
五、思考与练习	105
模块3 模板零件的孔系加工	108
一、教学目标	108
二、工作任务	109
三、工作化学习内容	110
四、相关的理论知识	116
五、思考与练习	133
模块4 模具零件的综合加工	136
一、教学目标	136
二、工作任务	137
三、工作化学习内容	137
四、相关的理论知识	144
五、思考与练习	149
► 项目三 模具零件的 CAM 加工	152
模块1 平面类模具零件的 CAM 加工	153
一、教学目标	153
二、工作任务	153
三、工作化学习内容	153
四、相关的理论知识	158
五、思考与练习	163
模块2 曲面类模具零件的 CAM 加工	164
一、教学目标	164
二、工作任务	164
三、工作化学习内容	165
四、相关的理论知识	172
五、思考与练习	177
模块3 模具零件孔系的 CAM 加工	177
一、教学目标	177
二、工作任务	177
三、工作化学习内容	178
四、相关的理论知识	183
五、思考与练习	185

模块 4 模具零件 CAM 加工的后置处理	186
一、教学目标	186
二、工作任务	186
三、工作化学习内容	186
四、相关的理论知识	189
五、思考与练习	191
► 项目四 模具零件的线切割加工	193
模块 1 典型模具零件的内轮廓加工——凹模零件加工	194
一、教学目标	194
二、工作任务	194
三、工作化学习内容	194
四、相关的理论知识	197
五、思考与练习	212
模块 2 典型模具零件的外轮廓加工——凸模零件加工	213
一、教学目标	213
二、工作任务	214
三、工作化学习内容	214
四、相关的理论知识	216
五、思考与练习	222
► 编后语	223

1

项目一

模具零件的数控车削加工

教学目标

- ✿ 会制定各类模具轴类零件的数控加工工艺。
- ✿ 会正确选择数控车床、刀具、夹具。
- ✿ 会确定切削用量。
- ✿ 会确定加工顺序及进给路线。
- ✿ 会用 FANUC -0i 数控系统的指令编制各类模具轴类零件的数控加工程序。

工作任务

- ✿ 完成模块 1~3 中各类模具轴类零件的数控工艺编制及程序编制。

模块 1 模具阶梯轴类零件的加工

一、教学目标

1. 会制定模具阶梯轴类零件的数控加工工艺。
2. 了解数控车床的结构，会正确选用数控车床。
3. 会正确选择数控车床夹具并确定零件的装夹方案。
4. 会合理选用车刀。
5. 会确定加工顺序及进给路线。
6. 会确定切削用量。
7. 会用 FANUC - 0i 数控系统的 G00 ~ G03、G40/G41/G42、G90/G91、G71、G70 等指令编程。
8. 会用 FANUC - 0i 数控系统的 S、F、M、D 等指令编程。
9. 会编制模具阶梯轴类零件的数控加工程序。

二、工作任务

(一) 零件图纸。

凸模如图 1-1 所示。

(二) 生产纲领

单件生产。

三、工作化学习内容

(一) 编制凸模的数控加工工艺

1. 分析零件工艺性能

该凸模形状简单，是阶梯形轴类零件。

加工内容：车削端面，车削三段轴，尺寸分别为 $\phi 38 \times 6$ 、 $\phi 32 \times 19$ 、 $\phi 28.2 \times 25$ ，倒圆 $R1$ 、 $R0.5$ ，切断。

加工精度： $\phi 32$ 尺寸公差为 0.016，精度等级为 6 级； $\phi 28.2$ 尺寸公差为 0.02，精度等级为 7 级。 $\phi 28.2$ 与 $\phi 32$ 轴段有同轴度公差要求，各轴段表面与 $\phi 38$ 台阶面表面粗糙度均为 $Ra3.2$ ，其他表面粗糙度为 $Ra6.3$ 。

2. 选用毛坯或明确来料状况

凸模的最大外形尺寸为 $\phi 38 \times 50$ mm，考虑到车左、右端面和留装夹长度为 30 mm，

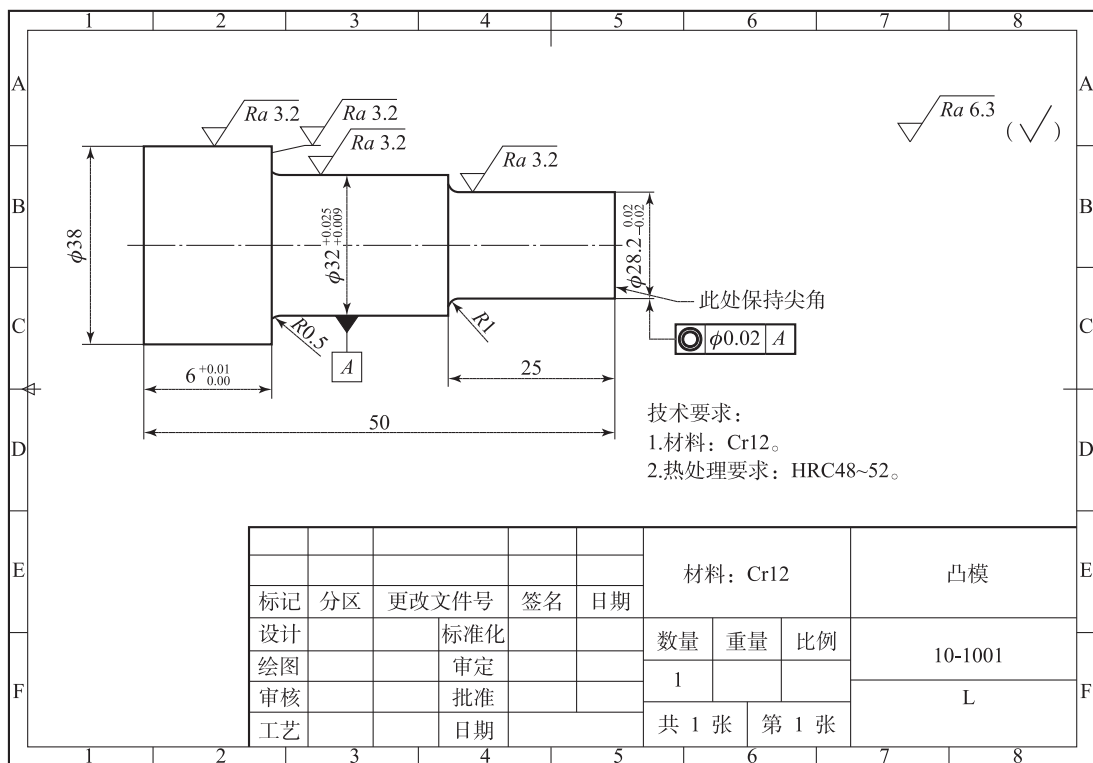


图 1-1 凸模

给车轮廓留够加工余量，选用毛坯尺寸为 $\phi 45 \times 90$ mm 的 Cr12。

3. 选用数控机床

此凸模是典型的轴类零件，需要二轴联动数控车床成形，零件不大，加工所需刀具不多，综合上述原因，利用现有生产设备，选用长春科教城模具实训中心现有的 KDCK-20A 数控车床。

4. 确定装夹方案

零件形状简单，原材料长度也足够，直接将工件装夹在卡盘上即可，这里假设工件伸出卡盘的长度为 60 mm。

5. 确定加工方案及加工顺序

根据零件形状及加工精度要求，一次装夹完成所有加工内容：车端面→从右端到左端粗车外圆→从右端到左端精车外圆→切断。

6. 选择刀具

粗车选用“装 CN 型刀片的 93° 偏头仿形车刀 CNMG120408”，刀尖圆弧半径 $r = 0.8$ 。

精车选用“装 CN 型刀片的 93° 偏头仿形车刀 CNMG120404”，刀尖圆弧半径 $r = 0.4$ ；主副偏角都不会发生碰工件的现象。

7. 确定切削用量

粗车：背吃刀量 $a_p = 1$ ，进给量 $F = 0.15$ ，切削速度 $V_c = 100$ ，主轴转速 $S = 600$ 。

精车：背吃刀量 $a_p = 0.5$ ，进给量 $F = 0.1$ ，切削速度 $V_c = 120$ ，主轴转速 $S = 1\ 200$ 。

8. 填写工艺文件

根据上述分析与计算，填写表 1-1 数控加工工艺卡片。

表 1-1 数控加工工艺卡片

单位名称		零件名称		零件材料		零件图号		
		凸模		45#钢		10-1001		
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		
		01/02		卡盘		KDCK-20A 数控车床		
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格	主轴转速 $/(r \cdot \min^{-1})$	进给速度 $/(mm \cdot r^{-1})$	背吃刀量 $/mm$	备注
1	车端面		T01	93°偏头仿形车刀	600	100	2	
2	粗车外轮廓，留精加工余量 0.2		T01	93°偏头仿形车刀	600	100	1.8~4.8	
3	精车外轮廓至图纸要求		T02	93°偏头仿形车刀	1 200	100	1.8~4.8	
编制		审核	批准	年 月 日		共 页	第 页	

(二) 编制凸模零件的数控加工程序

1. 建立工件坐标系

对于卧式车床，工件原点通常设在工件的左端面中心上，编程、对刀比较方便。为此，加工图 1-1 所示阶梯轴数控车削程序的工件坐标系原点选在工件左端面回转中心上，如图 1-2 所示。

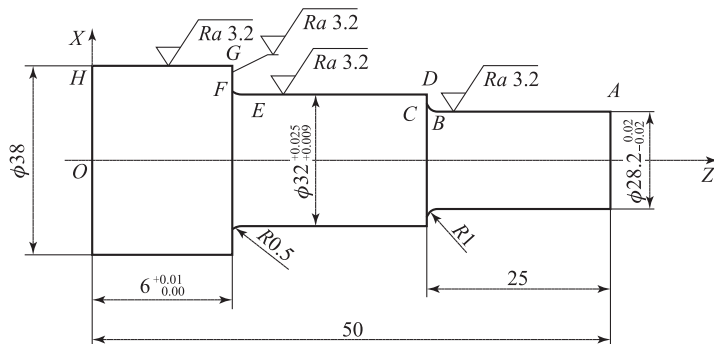


图 1-2 工件坐标系

2. 编程方案及走刀路径

为提高编程效率,减轻编程人员的负担,采用内径/外径粗车复合循环指令 G71 和轮廓精加工复合指令 G70 编程,走刀顺序详见本模块相关理论部分。子程序编程节点顺序为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$ 。

3. 计算编程尺寸

编程所需的基点坐标如表 1-2 所示。

表 1-2 基点坐标

基点序号	X 坐标值	Z 坐标值	基点序号	X 坐标值	Z 坐标值
A	28.2	50	F	33	6
B	28.2	26	G	38	6
C	30.2	25	H	38	0
E	32	25			

4. 编制程序

凸模零件数控加工主程序如表 1-3 所示。

表 1-3 凸模零件数控加工主程序

主程序	注释
O0001	程序号;
N10 G00 G40 G97 G99 M03 S600;	启动主轴;
N20 T0101;	选用 1 号刀;
N30 M08;	切削液开;
N40 G00 X60 Z50;	进刀;
N50 G01 X0 F0.15;	车端面;
N60 G00 X50 Z50.5;	退刀至粗车循环起始点;
N70 G71 U1 R1;	粗车循环,每刀 2 mm,退距离 1 mm;
N80 G71 P90 Q160 U0.5 W0.02 F0.15;	留精车余量 $X=0.5$ mm, $Z=0.02$ mm,进给速度为每转 0.15 mm;
N90 G00 X28.2;	进刀至精加工形状起始点;
N100 G01 Z24;	车削外圆柱 $\phi 28.2$;
N110 G02 X30.2 Z25 R1;	车削圆弧 R1;
N120 G01 X32;	车削台阶面;
N130 Z6.5;	车削外圆柱 $\phi 32$;
N140 G02 X33 Z6 R0.5;	车削圆弧 R0.5;
N150 G01 X38;	车削台阶面;
N160 Z0;	车削外圆柱 $\phi 38$;
N170 G00 X150 Z150 M05;	退刀返回,主轴停;

续表

主程序	注释
N180 G00 G40 G97 G99 M03 S1200;	主轴开;
N185 T0202;	换 2 号精加工车刀
N190 M08;	冷却液开;
N200 G00 X50 Z50.5;	进刀, 准备精车;
N210 G70 P90 Q160 F0.1;	精加工循环, 进给速度为每转 0.1 mm;
N220 G00 X150 Z150;	返回;
N230 M30;	程序结束。

四、相关的理论知识

(一) 数控车床的结构

数控车床就是装备了数控系统的车床或采用了数控技术的车床, 它是将事先编好的加工程序输入数控系统中, 由数控系统通过伺服系统去控制车床各运动部件的动作, 加工出符合要求的各种回转体类零件的一类金属切削机床。

1. 数控车床的类型

(1) 按主轴布局方位分类, 数控车床可分为卧式数控车床和立式数控车床两大类。卧式数控车床的主轴成水平放置, 主要用来车削轴类、套类零件。立式数控车床的主轴成垂直放置, 主要用来车削盘类零件。立式数控车床多数是工作台直径大于 1 000 mm 的大机床。还有具有两根主轴的车床, 称为双轴卧式数控车床或双轴立式数控车床。

(2) 按加工功能分类, 数控车床可分为数控车床和车削中心两大类。车削中心是在数控车床功能的基础上增加了数控回转刀架或者刀具回转主轴, 并配有换刀机械手。工件经一次装夹后能完成车、铣、钻、铰、车螺纹等多种工序。

(3) 按数控系统的功能分类, 数控车床可分为全功能型数控车床和经济型数控车床两类。全功能型数控车床如配有 FANUC - OTE、德国 SINUMERIK - 810T 系统的数控车等。经济型数控车床是在普通车床基础上改造而来的, 一般采用步进电动机驱动的开环控制系统, 其控制部分通常采用单片机来实现。

2. 数控车床的组成及布局

(1) 数控车床的组成。数控车床与普通车床相比较, 其结构上仍然是由床身、主轴箱、刀架、进给传动系统、液压、冷却、润滑系统等部分组成的。在数控车床上由于实现了计算机数字控制, 伺服电动机驱动刀具做连续纵向和横向进给运动, 所以数控车床的进给系统与普通车床的进给系统在结构上存在着本质上的差别。普通车床主轴的运动经过挂轮架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动。而数控车床是采用伺服电动机经滚珠丝杠, 传到滑板和刀架, 实现纵向 (Z 向) 和横向 (X 向) 进给运动。可见数控车床进给传动系统的结构大为简化。

(2) 数控车床的布局与特点。数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与普通车床基本一致。因为刀架和导轨的布局形式直接影响数控车床的使用性能及机床的结构与外观,所以刀架和导轨的布局形式发生了根本的变化。另外,数控车床上大都设有封闭的防护装置,有些还安装了自动排屑装置。

床身和导轨的布局。数控车床床身导轨与水平面的相对位置如图 1-3 所示,共有四种布局形式:平床身、斜床身、平床身斜滑板、立床身。

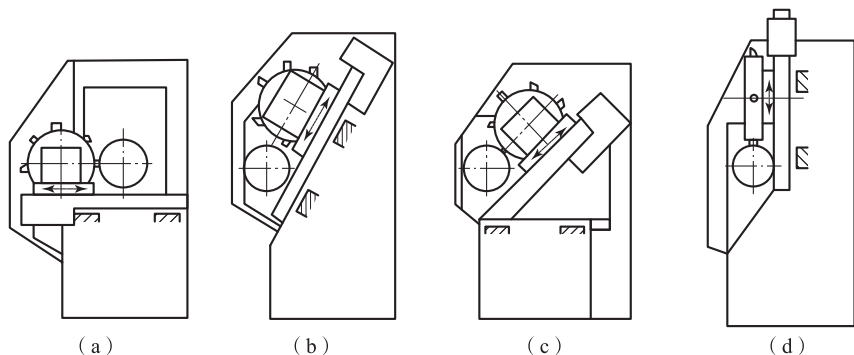


图 1-3 卧式数控车床的布局形式

(a) 平床身; (b) 斜床身; (c) 平床身斜滑板; (d) 立床身

水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,工艺性好,便于导轨面的加工,多用于大型数控车床或小型精密数控车床。

水平床身配上倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的要小,且排屑方便。斜床身导轨倾斜的角度分别为 30° 、 45° 、 60° 、 75° ,当角度为 90° 时称为立式床身。中小规格的数控车床,床身的倾斜角度一般是 60° 。

(3) 刀架的布局。根据刀架回转轴心线与主轴的方位不同,刀架在机床上有两种布局形式:一种是适用于加工轴类和盘类零件的刀架,其回转轴心线与主轴平行;另一种是适用于加工盘类零件的刀架,其回转轴心线与主轴垂直。根据回转刀架与主轴的方位不同,刀架在机床上也有两种布局形式:一种是刀架在主轴前,即前置式,也就是通常所说的右手车 [图 1-3 (a)];另一种是刀架在主轴后,即后置式,也就是通常所说的左手车 [图 1-3 (b)、(c)、(d)]。不管是前置式还是后置式,装在刀架上的镗刀都应能过工件中心,以便退刀,否则可能会造成无法镗孔的严重缺陷。

3. 数控车床的规格参数

数控车床基本规格及功能与所选择的配置有直接关系,如图 1-4 所示。总的来说,有五个方面的内容,分述如下:

(1) 尺寸规格。尺寸规格参数有工件最大回转直径、工件最大长度,它们限制了所能加工的工件大小。

(2) 成形能力。成形能力主要由进给联动坐标轴插补功能实现,使工件成为要求的形状。不管是全功能型数控车床还是经济型数控车床,最少应有两轴联动功能,以实现

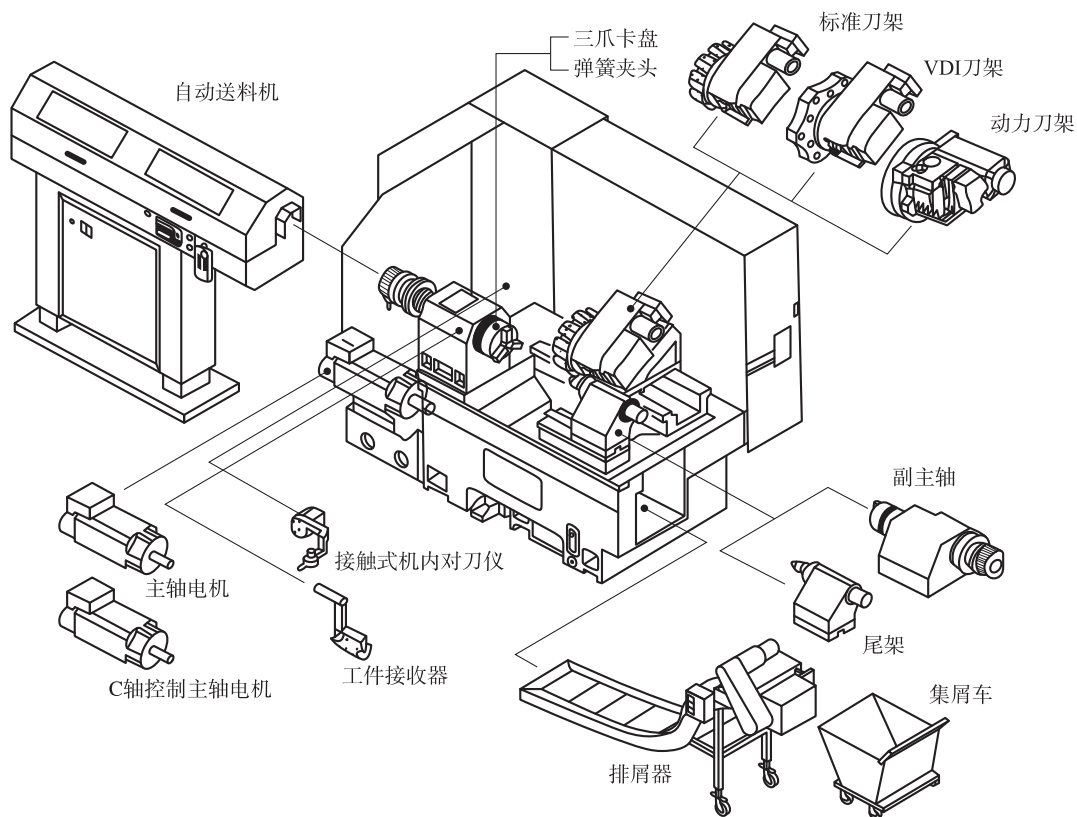


图 1-4 数控车床的选择配置

刀具的进给插补运动，加工出曲面。一般只有一个回转刀架的数控车床，都具有两轴联动功能。

数控车床加工时，如果刀杆能始终垂直于加工表面联动回转，保持车刀主偏角不变，能防止干涉、扩大加工范围，大大改善切削性能。轮胎模具制造业很需要这种机床。

(3) 数控机床的精度指标。数控机床的精度指标有几何精度、位置精度和切削精度三个方面。几何精度与普通车床类似。位置精度主要有定位和重复定位精度两项指标，定位精度决定着被加工零件的坐标尺寸，重复定位精度决定着这些尺寸的稳定性。机床精度越高，加工出的零件精度越高，机床价格也越高。

(4) 数控机床的负荷指标。负荷指标主要由主电机的功率、进给电机的扭矩、机床尺寸规格大小等决定。

(5) 数控车床的辅助功能。辅助功能主要与自动化程度有关，如自动回转刀架、换刀机械手、集中润滑装置、冷却装置、自动排屑装置等。

回转刀架有多少个工位数，就意味着能装多少把刀具，相当于刀库的容量。两轴联动数控车床多采用 12 工位，也有采用 6 工位、8 工位、10 工位回转刀架的，8 工位回转刀架如图 1-5 所示。

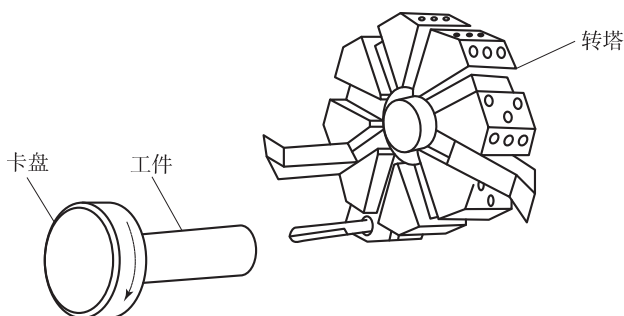


图 1-5 8 工位回转刀架

4. 数控机床的定位精度和重复定位精度

(1) 定位精度。数控机床定位精度是指机床各运动部件在数控装置的控制下空载运动所能达到的位置准确程度。直线运动定位精度是指数控机床的移动部件沿某一坐标轴运动时实际值与给定值的接近程度，其误差称为直线运动定位误差。影响该误差的因素包括伺服、检测、进给等系统的误差，还包括移动部件导轨的几何误差等。直线运动定位误差将直接影响零件的加工精度。

(2) 直线运动的重复定位精度。直线运动的重复定位精度是指在同一台数控机床上，应用相同程序、相同代码加工一批零件，所得结果的一致程度。直线运动重复定位精度受伺服系统特性、进给传动环节的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下，重复定位精度是正态分布的偶然性误差，它影响一批零件加工的一致性，是反映轴运动精度稳定性的最基本指标。

(3) 回转刀架的回转定位精度。回转刀架的回转定位精度是指回转刀架分度选刀后所能到达位置的准确程度。它直接影响机上自动换刀的刀具尺寸，间接影响零件的加工精度。

5. 数控车床的主要加工对象

(1) 表面形状复杂的回转体类零件。由于数控车床具有直线和圆弧插补功能，只要不发生干涉，可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的零件。

(2) “口小肚大”的封闭内腔零件。如图 1-6 所示零件在普通车床上是无法加工的，而在数控车床上则可以加工出来。

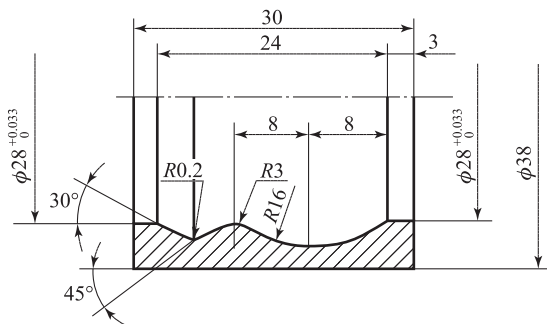


图 1-6 “口小肚大”的封闭内腔零件