



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

# 数控加工工艺与 编程项目式教程

张文 主编



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

# 数控加工工艺与 编程项目式教程

主 编 张 文

副主编 齐家敏 李 锋 胡 炜

参 编 杜毓瑾 范 敏

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程项目式教程/张文主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.8

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-1589-9

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材 ②数控机床-程序设计-高等学校-教材  
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 052188 号

数控加工工艺与编程项目式教程

Shukong Jiagong Gongyi yu Biancheng Xiangmushi Jiaocheng

张 文 主 编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:张 琼

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:朱 玟

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.75

字 数:338千字

版 次:2016年8月第1版第1次印刷

定 价:30.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

本教材是根据教育部文件《关于地方本科高校转型发展的指导意见(征求意见稿)》的要求,结合企业岗位需求编写而成的。本教材的编写得到了湖北文理学院特色教材建设项目的支持。

本教材以 FANUC 系统为介绍对象,内容包括数控加工工艺与编程基础、数控铣削工艺与编程和数控车削工艺与编程等三个模块。本教材主要具有以下三个特点:

## 1. 教材编写尽可能符合项目式教学的要求

本教材将实践能力的培养放在首位,尽可能将理论知识穿插在各项目的实施中讲解,理论知识主要为项目实施服务。项目实施的每一个步骤、每一个环节都尽可能和企业实际生产过程保持一致。通过典型案例分析、实施将数控工艺和数控编程有机结合起来,培养学生解决企业实际问题的能力、团队协作能力和创新能力。力争在项目的实施后,学生能够具备该行业的基本理论基础和基本的实际应用能力,能够解决数控加工工艺和编程领域内的一般问题。

## 2. 采用校企合作的模式开发教材

在本教材的编写过程中,我们邀请了既有丰富工作经验也非常了解数控加工技术岗位对人才能力需求的企业工程技术人员参与教材案例开发及教材规划,确保所有项目案例均来源于企业工程实践。

## 3. 尽可能满足读者自主学习的要求

在本书编写过程中,针对重要的、难以掌握的内容,我们引用并开发了大量的实例、图表,使得本教材具备更好的可读性。另外,本教材先将数控铣及数控车各模块中典型的、较复杂的综合实例简化分解到不同的项目中逐一讲解、实施,再将各项目的实施过程综合起来,从而得到解决综合案例的方法。这种循序渐进、由简到繁的案例实施过程更加便于读者理解和接受。

本教材由张文(湖北文理学院)任主编并统稿,齐家敏(湖北文理学院)、李锋(陕西理工大学)、胡炜(中国航空工业集团公司)任副主编。模块 1 由齐家敏、杜毓瑾(湖北文理学院)及李锋合编,模块 2 由张文编写,模块 3 由范敏(襄阳职业技术学院)、周小超(皖西学院)及赵小英(湖北文理学院理工学院)合编。中航工业特级技能专家、楚天技能名师胡炜参与



了本教材各案例建设,同时中航工业航宇救生装备有限公司高级工程师王国耀、高级技师李越军等也对本教材的编写提出了不少宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本教材在编写中参阅了大量相关文献与资料,在此向有关作者一并表示谢意!

由于水平有限,教材中难免有不妥之处,在此恳请广大读者和专家批评指正,邮箱:804034124@qq.com。

编 者

2016年1月

模块 1 数控加工工艺与编程基础 .....	1
项目 1.1 数控刀具 .....	1
1.1.1 数控刀具的种类 .....	1
1.1.2 数控刀具的选择 .....	5
1.1.3 可转位刀片代码 .....	5
思考与练习 .....	7
项目 1.2 数控编程基础 .....	8
1.2.1 数控编程的步骤 .....	8
1.2.2 数控机床的坐标系 .....	9
1.2.3 数控程序结构 .....	14
1.2.4 数控仿真软件介绍 .....	15
思考与练习 .....	19
模块 2 数控铣削工艺与编程 .....	20
项目 2.1 平面铣削工艺与编程 .....	20
2.1.1 项目描述 .....	20
2.1.2 工艺基础 .....	20
2.1.3 项目实施 .....	28
思考与练习 .....	30
项目 2.2 外轮廓铣削工艺与编程 .....	31
2.2.1 项目描述 .....	31
2.2.2 编程基础 .....	31
2.2.3 工艺基础 .....	41
2.2.4 项目实施 .....	47
思考与练习 .....	54
项目 2.3 型腔铣削工艺与编程 .....	55
2.3.1 项目描述 .....	55



2.3.2	编程基础	56
2.3.3	工艺基础	63
2.3.4	项目实施	68
	思考与练习	75
项目 2.4	孔加工工艺与编程	76
2.4.1	项目描述	76
2.4.2	编程基础	77
2.4.3	工艺基础	87
2.4.4	铣孔加工	93
2.4.5	螺纹铣削加工	94
2.4.6	项目实施	96
	思考与练习	104
项目 2.5	加工中心综合实例	105
2.5.1	项目描述	105
2.5.2	编程基础	106
2.5.3	项目实施	112
	思考与练习	118
<b>模块 3</b>	<b>数控车削工艺与编程</b>	<b>122</b>
项目 3.1	数控车削编程基础	122
	思考与练习	131
项目 3.2	阶梯轴加工工艺与编程	132
3.2.1	项目描述	132
3.2.2	编程基础	132
3.2.3	工艺基础	140
3.2.4	项目实施	144
	思考与练习	146
项目 3.3	端面盘加工工艺与编程	148
3.3.1	项目描述	148
3.3.2	编程基础	149
3.3.3	项目实施	158
	思考与练习	160
项目 3.4	仿形件加工工艺与编程	162
3.4.1	项目描述	162
3.4.2	编程基础	162
3.4.3	项目实施	166



思考与练习	168
项目 3.5 槽及孔加工工艺与编程	169
3.5.1 项目描述	169
3.5.2 工艺基础	170
3.5.3 编程基础	172
3.5.4 项目实施	175
思考与练习	177
项目 3.6 螺纹加工工艺与编程	179
3.6.1 项目描述	179
3.6.2 工艺基础	179
3.6.3 编程基础	182
3.6.4 项目实施	190
思考与练习	193
项目 3.7 数控车削综合实例	194
3.7.1 项目描述	194
3.7.2 工步顺序的安排	194
3.7.3 项目实施	195
思考与练习	200
附录	204
参考文献	209



## 项目 1.1 数控刀具

在由机床、夹具、刀具和工件组成的工艺系统中,刀具是最活跃的因素,刀具的选择是数控加工工艺中的重要内容之一。数控机床生产的效率、被加工工件的质量以及生产的成本等,在很大程度上取决于数控刀具材料及其刀具结构的选择。数控刀具不仅为先进制造业提供了高效、高性能的切削刀具,而且还由此开发出了许多新的加工工艺,成为当前先进制造技术发展的重要组成部分和显著特征之一。切削加工技术的进步是与数控刀具的发展和应用密不可分的。只有把数控机床和数控刀具结合起来,才能充分发挥数控加工技术的潜能。

### 1.1.1 数控刀具的种类

数控刀具的种类较多,数控刀具通常可按照刀具材料、刀具结构和切削工艺等进行分类,如图 1-1 所示。

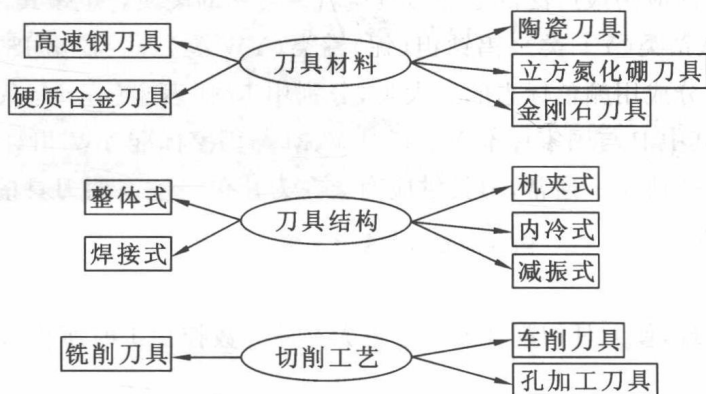


图 1-1 数控刀具的种类

### 一、数控刀具材料

刀具材料对刀具的使用寿命、加工效率、加工质量和加工成本都有很大影响,因此必须合理选择。数控刀具材料包括高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼及聚晶金刚石等。通常刀具材料的硬度越高越耐磨,但其耐冲击的能力会随之降低,各种刀具材料的硬度与韧性的关系如图 1-2 所示。

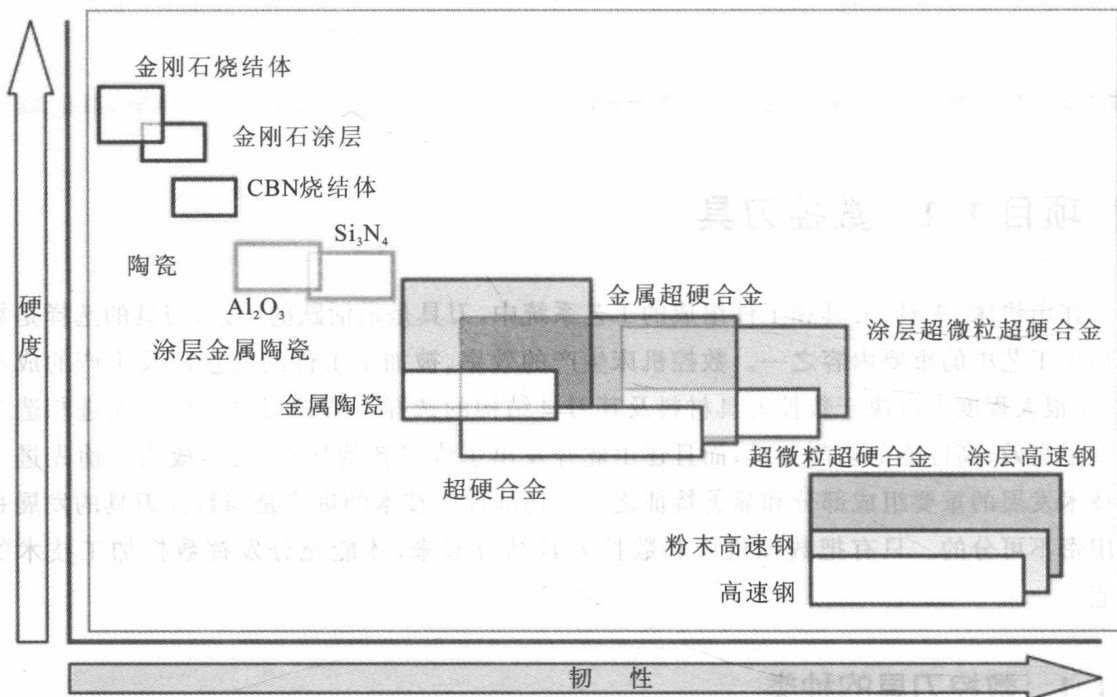


图 1-2 刀具材料的硬度与韧性的关系

#### 1. 硬质合金刀具

硬质合金为目前应用最广泛的数控刀具材料。常用的硬质合金按其化学成分可分为钨钴类(YG 类)、钨钛钴类(YT 类)、钨钛钽(铌)钴类(YW 类)等。根据 ISO 标准,可把所有硬质合金刀具牌号分成用颜色标志的三大类,分别用 P(代表蓝色)、M(代表黄色)和 K(代表红色)来表示。其中 P 与国家标准 YT 相对应,M 与国家标准 YW 相对应,K 与国家标准 YG 相对应,如图 1-3 所示。通常,刀具供应商会在刀片包装上注明刀具的材料及对应的切削参数,如图 1-4 所示。

#### 2. 涂层刀具

涂层刀具的出现,使刀具切削性能有了重大突破。数控加工时所用刀具中有 80% 左右为涂层刀具。

如图 1-5 所示,涂层刀具是在韧性较好的硬质合金基体上或高速钢基体上,涂覆一层或多层耐磨性较好的难熔化合物而制成的,从而使刀具切削性能大大提高。常用的涂层材料有 TiC、TiCN、TiN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等。

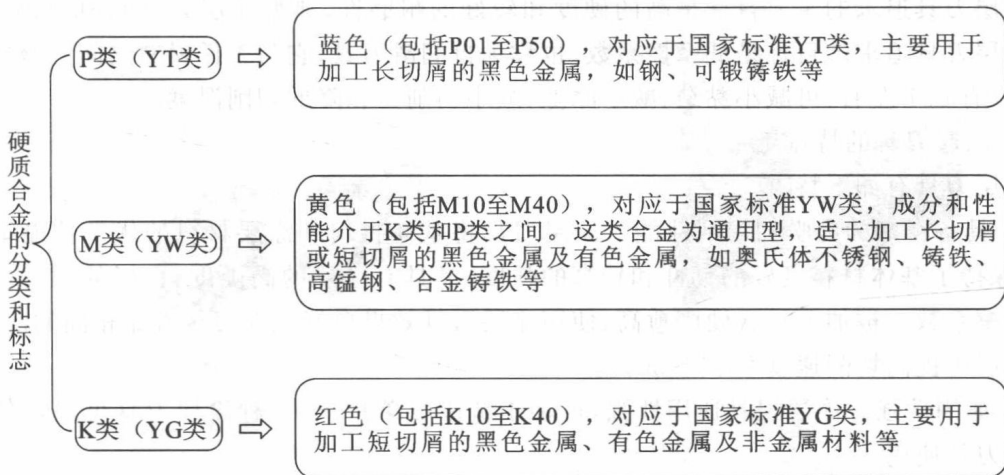


图 1-3 硬质合金 ISO 分类

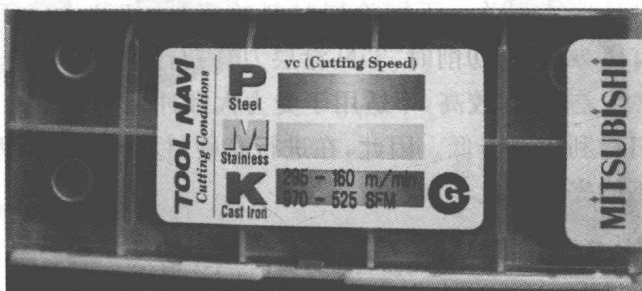


图 1-4 刀片包装

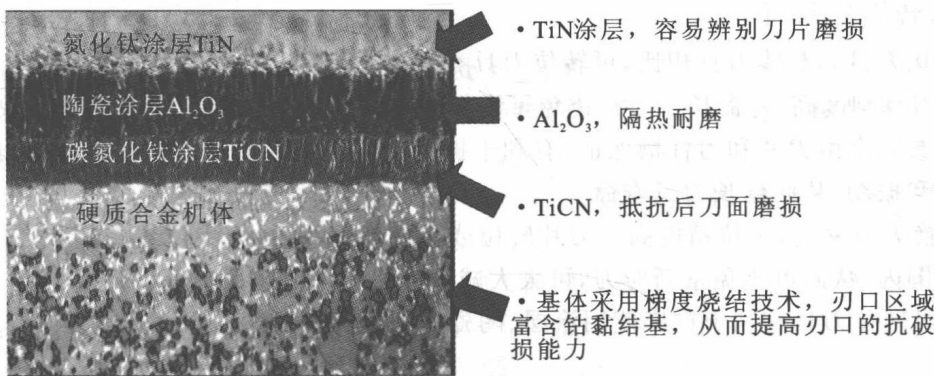


图 1-5 硬质合金涂层显微结构

1) 涂层刀具的种类

根据涂层方法, 涂层刀具可分为化学气相沉积(CVD)涂层刀具和物理气相沉积(PVD)涂层刀具。涂层硬质合金刀具一般采用化学气相沉积法, 沉积温度在 1 000 °C 左右。涂层高速钢刀具一般采用物理气相沉积法, 沉积温度在 500 °C 左右。

根据涂层刀具基体材料, 涂层刀具可分为硬质合金涂层刀具、高速钢涂层刀具、陶瓷涂层刀具和超硬材料(如金刚石和立方氮化硼等)涂层刀具等。

根据涂层材料的性质, 涂层刀具又可分为两大类, 即“硬”涂层刀具和“软”涂层刀具。



“硬”涂层刀具追求的主要目标是高的硬度和较好的耐磨性,典型涂层有 TiC 和 TiN 涂层;“软”涂层刀具追求的目标是低摩擦系数,也称为自润滑刀具,它与工件材料之间的摩擦系数很小,只有 0.1 左右,可减小黏结,减小摩擦,减小切削力和降低切削温度。

## 2) 涂层刀具的特点

涂层刀具有如下特点。

① 具备良好的力学和切削性能。涂层刀具将基体材料和涂层材料的优良性能结合起来,既保持了基体材料良好的韧性和较高的强度,又具有涂层的高硬度、良好的耐磨性和较小的摩擦系数。被加工材料硬度愈高,使用涂层刀具效果愈好。在刀具寿命相同的前提下,使用涂层可提高切削速度 25%~30%。

② 通用性强。涂层刀具通用性强,可加工范围显著扩大,一种涂层刀具可以代替数种非涂层刀具使用。

③ 涂层厚度与刀具性能相关。随着涂层厚度的增加,刀具寿命也会增长,但涂层厚度达到饱和后,刀具寿命不再明显增长。涂层太厚时,易引起剥离;涂层太薄时,耐磨性能差。

④ 涂层材料与刀具性能相关。不同涂层材料的刀具,切削性能不一样。如低速切削时,TiC 涂层刀具占有优势;高速切削时,TiN 涂层刀具较合适。

⑤ 涂层刀片重磨性差、成本较高,不适用于受力大和冲击大的粗加工,并且涂层刀具经过钝化处理后,切削刃锋利程度降低。因此,在进行高硬材料的加工以及进给量很小的精密切削时,涂层刀具还不能完全取代非涂层刀具。

## 二、机夹可转位刀具

机夹式刀具分为机夹可转位刀具和机夹不可转位刀具。机夹可转位刀具在数控加工中已得到广泛应用。

### 1. 可转位刀具的优点

与焊接刀具和整体刀具相比,可转位刀具有下述优点。

(1) 刀具刚度高、寿命长。刀片避免了由焊接和刃磨高温而引起的热裂纹等缺陷,且刀具几何参数完全由刀片和刀杆槽保证,有利于提高刀尖及切削刃部分的强度,使刀具能够经得起冲击和振动,从而延长刀具寿命。

(2) 换刀效率高,定位精度高。刀片转位或更换新刀片后,刀尖位置的变化在工件精度允许的范围内,从而可避免重新对刀,可大大减少停机换刀等辅助时间。

(3) 可转位刀具有利于推广使用涂层、陶瓷等新型刀具材料。

### 2. 可转位刀具的组成

如图 1-6 所示,可转位刀具一般由刀片、刀垫、夹紧元件和刀体等组成,其中刀垫的作用为保护刀体和确定刀片的位置。

### 3. 刀片的夹紧方式

如图 1-7 所示,常见的可转位刀片的夹紧方式有杠杆式、螺钉上压式、楔块式、楔块压板式等多种方式。其中杠杆式夹紧系统是最常用的刀片夹紧方式,

其定位精度高,排屑流畅,操作简便,可与其他系列刀具产品通用。

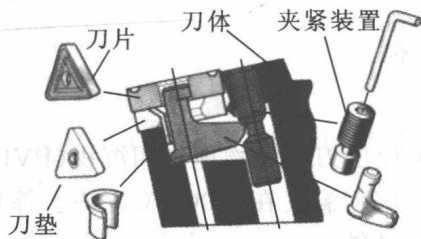


图 1-6 可转位刀具的组成



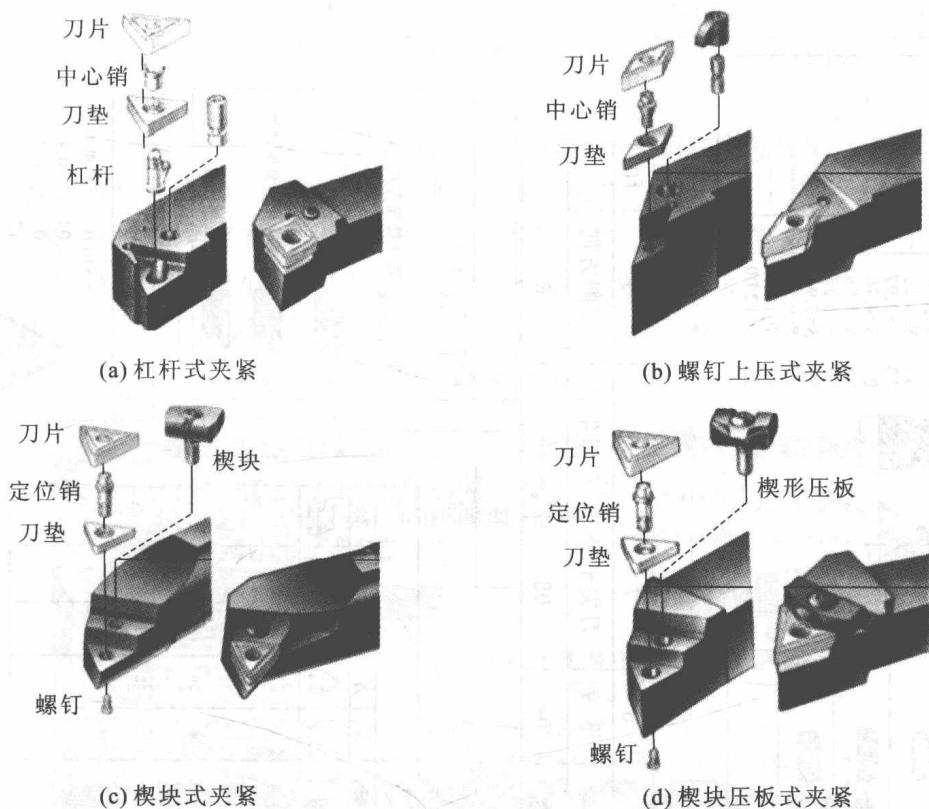


图 1-7 可转位刀片的夹紧方式

### 1.1.2 数控刀具的选择

在保证加工质量、兼顾效率和成本的前提下,选择数控刀具时,首先应优先选用标准刀具,必要时才可选用各种高效率的复合刀具及特殊的专用刀具。在选择标准数控刀具时,应结合实际情况,尽可能选用各种先进刀具,如可转位刀具、整体硬质合金刀具、陶瓷刀具等。

(1) 根据零件材料的切削性能选择刀具。如车或铣高强度钢、钛合金或不锈钢零件时,建议选择耐磨性较好的可转位硬质合金刀具。

(2) 根据零件的加工阶段选择刀具。粗加工阶段以去除余量为主,应选择刚度较高、精度较低的刀具;半精加工、精加工阶段以保证零件的加工精度和产品质量为主,应选择耐用度高、精度较高的刀具。如果粗、精加工选择相同的刀具,建议粗加工时选用精加工淘汰下来的刀具,因为精加工淘汰的刀具刃部大多轻微磨损,继续使用会影响精加工的加工质量,但对粗加工的影响较小。

### 1.1.3 可转位刀片代码

按国际标准 ISO 1832—1985,可转位刀片的代码是由 10 位字符串组成的,各字符串的含义如图 1-8 所示。任何一个型号可转位刀片代码中的前 7 位必须注明,后 3 位必要时才标注。另外,第 10 位字符串的含义没有国际统一标准定义,由各厂家自己定义。





其中,第 5 位表示刀片主切削刃长度,用两位数字表示。该位选取舍去小数数值部分的刀片切削刃长度或理论边长值作代号,若舍去小数部分后只剩一位数字,则必须在数字前加“0”。

第 6 位表示刀片厚度,用两位数字表示。该位选取舍去小数数值部分的刀片厚度值作代号,若舍去小数部分后只剩一位数字,则必须在数字前加“0”。

第 7 位表示刀尖圆角半径或刀尖转角形状,用两位数字或一个英文字母表示。当刀片转角为圆角时,该位用舍去小数点的刀片圆角半径值作代号,若舍去小数点后只剩一位数字,则必须在数字前加“0”;当刀片转角为尖角或圆形刀片时,该位代号为“00”。

例 1-1 解释如图 1-9 所示的刀片盒上的代码 CNMA120404 的含义。



图 1-9 刀片代码示例

查图 1-8 可知:

C——80°菱形刀片;

N——法后角为 0°;

M——刀尖转位尺寸允差 $\pm(0.08\sim 0.18)$ mm,内接圆允差 $\pm(0.05\sim 0.15)$ mm,厚度允差 $\pm 0.13$  mm;

A——圆柱孔固定,无断屑槽;

12——刀刃长度 12.70 mm;

04——厚度 4.76 mm;

04——刀尖半径 0.4 mm。

## 思考与练习

1. 简述数控刀具的种类。最常用的数控刀具材料是什么?
2. 说明可转位刀片代码的表示方法并解释刀片代码 SNGM150612ER 中各字符串的含义。
3. 利用互联网查询国内外数控刀具生产厂商,收集各种刀具资料。



## 项目 1.2 数控编程基础

### 1.2.1 数控编程的步骤

从零件图纸(或 CAD 模型)到制成数控 G 代码的全过程,称为数控机床加工程序的编制。一般来说,不管是手动编程还是自动编程,数控机床程序编制的步骤可分为数控工艺设计、计算运动轨迹、程序编制及轨迹仿真、程序传输及校验和试切五大部分,如图 1-10 所示。

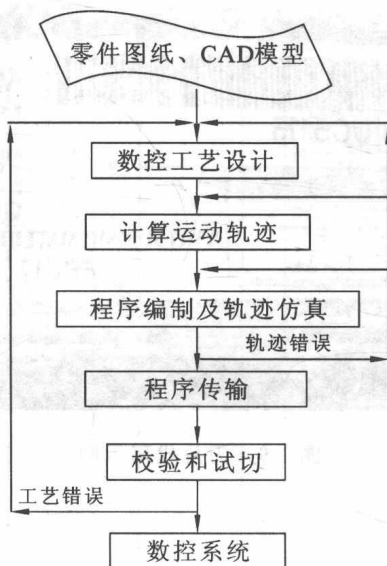


图 1-10 数控机床程序编制的步骤

其中数控工艺设计是数控机床程序编制的关键步骤,数控机床程序编制必须以数控工艺作指导。数控工艺设计的内容及过程主要包括:

- (1) 确定零件数控加工各表面的技术要求;
- (2) 确定零件的装夹方法及夹具,包括工件原点的确定;
- (3) 确定零件的加工工艺路线,如各表面的加工顺序、粗精加工分开等;
- (4) 刀具的选择,包括刀具材料、类型及几何参数等;
- (5) 机床的选择;
- (6) 确定切削工艺参数;
- (7) 确定辅助动作,如冷却液开关、主轴启停等;
- (8) 规划刀具的走刀路线,包括确定下刀点、切入工件路线、切削路线、切出工件路线、抬刀点等;
- (9) 编写数控工艺文件。

在上述过程中,重点在于工艺路线的确定、刀具的选择、切削参数的确定及走刀路线的规划等。





现有的数控仿真软件绝大多数只具备几何仿真的功能,不能够发现由于切削力、切削热等因素对加工质量造成的影响,因此并不能完全代替试切。

## 1.2.2 数控机床的坐标系

### 一、机床原点(零点)与机床坐标系

机床原点是数控机床厂家在机床上设置的一个固定点,它在机床装配、调试时就已调整好,主要用于对机床工作台、滑板与测量系统进行标定和控制。一般情况下,不允许用户对机床原点进行更改。机床坐标系是以机床原点为坐标系原点的坐标系,它是机床固有的坐标系,具有唯一性。

通常,在数控车床上,机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处,如图 1-11(a)所示;在数控铣床上,机床原点一般取在 X、Y、Z 坐标轴的正方向极限位置上,如图 1-11(b)所示。

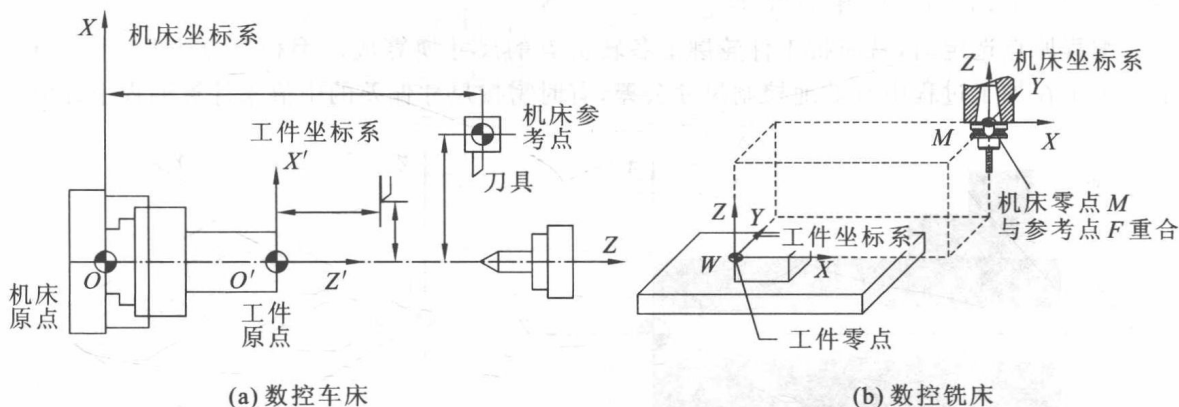


图 1-11 数控机床原点、参考点和工件原点

注意:如果将机床坐标系作为编程坐标系,将使对刀过程非常复杂,且大多数零件会由于刀具超行程而无法加工。因此,机床坐标系一般不作为编程坐标系,仅作为工件坐标系的参考坐标系。

### 二、机床参考点

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定点。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的,其坐标值已输入数控系统中,因此机床参考点在机床坐标系下的坐标值是已知的。

在数控车床上,机床参考点通常是离机床原点最远的极限点;在数控铣床上,机床原点和机床参考点通常是重合的,如图 1-11 所示。

注意:当数控机床的位置检测装置采用增量式编码器时,在每次断电重启后,通常都要做回零操作,目的是使刀具或工作台到达机床参考点,从而建立正确的机床坐标系。