



国防特色教材·职业教育

数控编程与加工技术

SHUKONGBIANCHEN YU JIAGONGJISHU

张丽华 杨静云 主编

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

TG659/286

2009



国防特色教材·职业教育

数控编程与加工技术

张丽华 杨静云 主编

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书是根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的指导思想和国防科技工业局职业教育“十一五”规划教材的编写精神,按照高职教育工学结合的人才培养模式,基于工作过程的教学思想而开发编写的。

书中通过取源于企业的产品而改造为典型学习性工作任务和明确的学习目标,结合具体的数控系统,重点介绍回转体类零件、平面型腔轮廓类零件、方程曲面类零件、箱体类零件及车铣复合类零件的编程与加工技术,使读者理解掌握数控编程加工的实质。内容精炼,深入浅出,突出了基于工作过程的高职教学模式。

本书适用于高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、模具设计与制造和CAD/CAM技术应用等机电类专业的学生。也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的教材,并可供机械加工及自动化行业广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/张丽华,杨静云主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2009.5
ISBN 978 - 7 - 81133 - 439 - 5

I. 数… II. ①张…②杨… III. 数控机床-程序设计
①数控机床-加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 077925 号

数控编程与加工技术

张丽华 杨静云 主编
责任编辑 薛 力

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451 - 82519328 传真:0451 - 82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

肇东粮食印刷厂 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:15 字数:275 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷 印数:2000 册

ISBN 978 - 7 - 81133 - 439 - 5 定价:31.00 元

前言

《数控编程与加工技术》被指定为“十一五”国防特色规划教材。

随着现代科学技术的发展,数控加工在机械制造领域迅速普及。为了满足高职院校和企业培养数控专业人才的需求,为了使 学生获得“工作过程知识”,必须实施基于工作过程的课程,这不是简单地将原有的教学内容进行重新排序,而需要深入彻底地进行教学改革,教学改革的关键是教材改革。我们借鉴了国内外数控技术的先进资料和经验,结合多年高职教学的实践经验编写了这本教材。本教材具有如下特点。

- 1.采用基于工作过程的教学思路。本教材每节都具有明确的学习性工作任务和具体的成果展示,通过工作任务制定学习目标和内容,根据所学知识制定项目实施计划,项目完成后需对成果进行总结和评价。

- 2.理论知识与实践技能相结合。本教材所选项目课题与企业实际生产过程、典型的职业工作任务和职业技能鉴定有直接的关系,根据各高职院校教学实训设备和实际生产设备的不同,主要介绍了日本 FANUC Oi 数控系统和德国 SIEMENS 802D 数控系统的编程与加工。具有一定的应用价值。

- 3.所选项目典型、难度较大。本教材所选项目涉及到的理论知识和加工技能不仅全面而且具有一定的难度,训练学生运用已学知识在一定范围内学习新知识的技能,提高解决实际问题的能力。

- 4.在培养专业能力的同时,促进学生关键能力的发展和综合素质的提高。

本教材适用于高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、模具设计与制造和 CAD/CAM 技术应用等专业的学生。也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的教材,还可供数控加工技术人员参考。

本教材由渤海船舶职业学院张丽华、九江职业技术学院杨静云任主编,九江职业技术学院修辉平、辽宁工程技术大学职业技术学院贺庆山任副主编,渤海船舶职业学院魏林、郝春玲、九江职业技术学院张秀娟参加了部分内容的编写。具体分工如下:第 2 章、第 4 章由张丽华编写,第 1 章由杨静云编写,第 3 章由修辉平编写,第 5 章的 5.1 由张秀娟编写,5.2 由郝春玲编写,5.3 由魏林编写。张丽华老师负责全书的组织和审定。

尽管我们在探索《数控编程与加工技术》教材特色建设的突破方面做出了许多努力,但是,由于作者水平有限,数控技术发展迅速,教材编写中难免存在疏漏之处,恳请各相关高职教学单位和读者在使用本书的过程中给予关注,提出宝贵意见,在此深表感谢!

编 者
2008 年 8 月

目 录

第 1 章 FANUC Oi 系统回转体类零件的编程与加工	1
1.1 圆柱、圆锥、圆弧面零件的编程与加工	1
1.2 复合形状零件的编程与加工	21
1.3 螺纹零件的编程与加工	37
1.4 轴套类零件的编程与加工	46
1.5 配合件的编程与加工	49
第 2 章 SIEMENS 802D 系统回转体类零件的编程与加工	59
2.1 圆柱、圆锥、圆弧面零件的编程与加工	59
2.2 复合形状零件的编程与加工	64
2.3 螺纹零件的编程与加工	73
2.4 轴套类零件及配合件的编程与加工	79
第 3 章 FANUC Oi 系统平面内腔、外型轮廓类零件的编程与加工	89
3.1 平面凸廓类零件的编程与加工	89
3.2 平面型腔类零件的编程与加工	110
3.3 镗铣盘类零件的编程与加工	118
3.4 配合件的编程与加工	137
第 4 章 SIEMENS 802D 系统平面内腔、外型轮廓类零件的编程与加工	151
4.1 平面凸廓类和型腔类零件的编程与加工	151
4.2 镗铣盘类零件的编程与加工	158
4.3 配合件的编程与加工	173
第 5 章 方程曲面类零件的编程与加工	180
5.1 FANUC Oi 系统回转体方程曲面类零件的编程与加工	180
5.2 FANUC Oi 系统平面类方程曲面零件的编程与加工	192
5.3 SIEMENS 802D 系统曲面类零件的编程与加工	205

附录 1	216
附录 2	221
附录 3	227
参考文献	231

第 1 章 FANUC 0i 系统回转体类零件的编程与加工

数控车削适合加工精度、表面粗糙度要求较高,轮廓形状复杂或难于控制尺寸,带螺纹的回转体等零件。数控车削与普通车削有较大区别,不仅包括零件的工艺过程,还包括走刀路线、切削用量、刀具尺寸和车床的运动过程。操作者不仅要掌握数控系统的编程指令,还要熟悉数控车床的性能、特点、运动方式、刀具系统、切削规范及工件的装夹方法。我国目前数控车床的形式和数控系统的种类较多,它们的指令代码定义还没有完全统一,同一 G 指令或同一 M 指令其含义可能完全不同。本章节主要以当前国内外应用较广泛的 FANUC 系统为例介绍数控车床的编程与加工功能。

1.1 圆柱、圆锥、圆弧面零件编程与加工

1.1.1 工作任务(图 1.1)

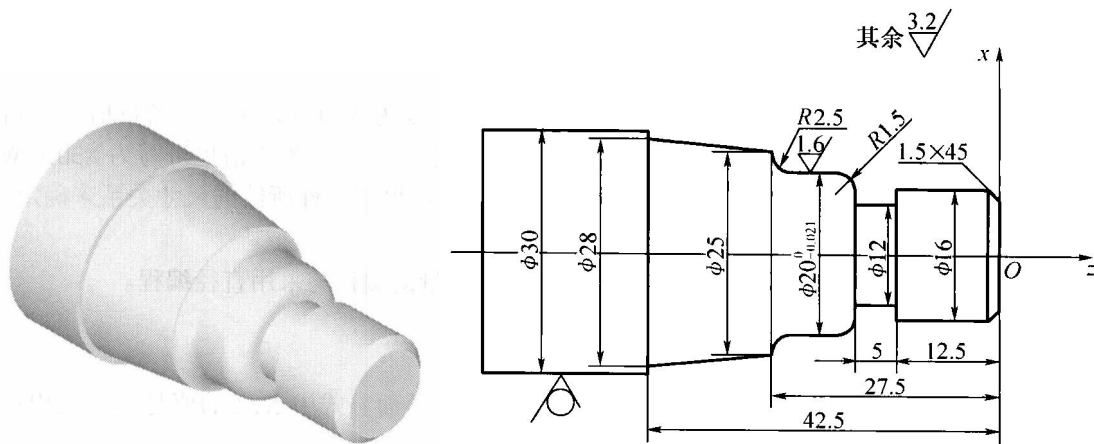


图 1.1 圆柱、圆锥、圆弧面零件

1.1.2 学习目标

- 1.掌握数控车床编程基础知识。
- 2.能够进行简单零件数控车削加工工艺的制定。
- 3.能熟练应用圆柱、圆锥、圆弧面编程指令。
- 4.能合理安排数控车削加工准备工作。
- 5.学会圆柱、圆锥、圆弧面零件数控加工。

1.1.3 学习内容

1.数控车床编程的基础知识

(1)数控车床的编程特点

①绝对值编程/增量值编程

对于车床,绝对值、增量值指令的地址字为:

绝对值指令	增量值指令	备 注
X	U	X 轴移动指令
Z	W	Z 轴移动指令

在图 1.2 中,刀具从 A 点移动到 B 点的绝对值坐标指令为 X30.0 Z70.0;而增量值坐标指令为 U-30.0 W-40.0。另外在数控车床上也可用二者混合编程,即坐标值也可写为 X30.0 W-40.0 或者 U-30.0 Z70.0。具体用哪种坐标值指令编程可根据零件所给的尺寸关系来确定。

②直径编程

数控车削中 X 轴方向坐标无论是绝对值编程还是增量值编程均采用直径编程。

③工件坐标系的设定 G50

格式为:G50 X__ Z__

说明:该指令一般作为第一条指令放在整个程序的最前面。式中 X,Z 的值是起刀点相对于加工原点的位置。

例 按图 1.3 设置加工坐标的程序段如下:

G50 X 128.0 Z375.0;

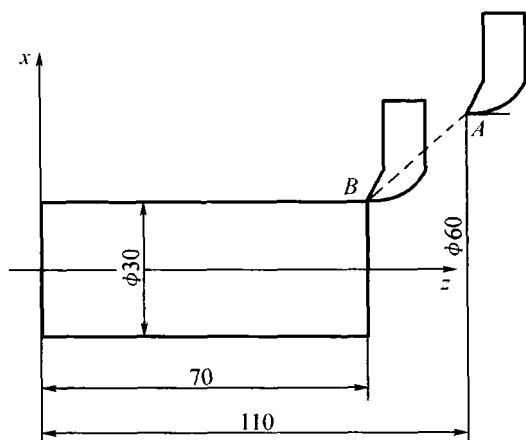


图 1.2 绝对值/增量值编程

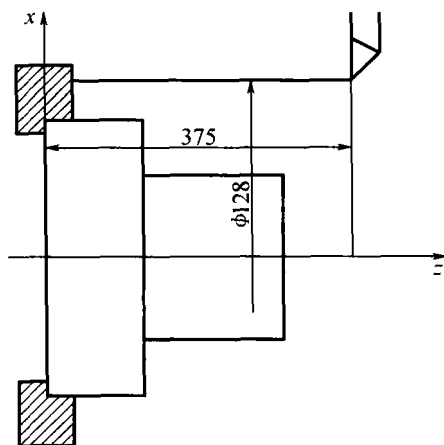


图 1.3 工件坐标系的设定

(2) F, M, S, T 功能简介

①进给功能(F 功能)

a. 快速进给

当给出快速定位指令时,刀具以快速进给速度定位,此速度由机床参数设定,其快慢可用机床操作面板上的开关实现调节:F 0, 25%, 50%, 100%。

b. 切削进给

刀具的切削进给速度由 F 后面的数值指定。

F 的值指切削进给的切线方向速度,如图 1.4(a)、(b)所示。

在数控机床的编程指令中,用 G98 指令每分钟进给方式。

用 G99 指令每转进给方式,单位 mm/r。

G98, G99 均为模态指令,可互相被替代。

切削进给的速度倍率可由操作面板上的倍率开关 0 ~ 150% 来调节,但螺纹切削时无效。

②辅助功能(M 功能)

辅助功能又称“M”功能,主要用来表示机床操作时各种辅助动作及其状态。它由 M 及其

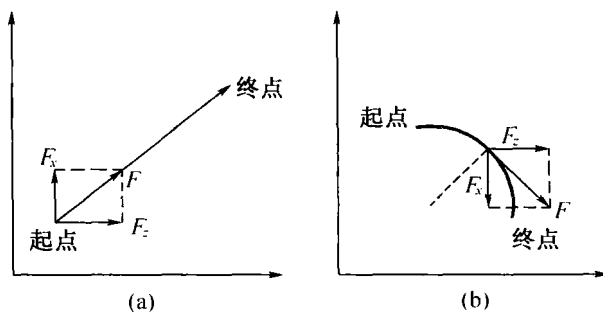


图 1.4 切削进给速度

后的两位数字组成。

a. 程序结束 M02/M30

执行 M30, 程序结束, 变为复位状态, 光标返回到程序的开头。

M02 可用参数设定不返回到程序开头。

b. 程序停止 M00

执行 M00, 自动运行停止。模态信息被保存。按下“循环启动”按钮, 继续执行程序, 主要用于尺寸检验, 排屑或插入必要的手工操作。

c. 任选停止 M01

只有当机床操作面板上的“任选停止开关”有效时, M00 等同于 M01。

d. 子程序调用和子程序结束 M98/M99

e. 主轴正转、主轴反转、主轴停止 M03/M04/M05

如图 1.5 所示为主轴正转。

f. 切削液开、切削液关 M08/M09

③主轴功能(S 功能)

指定主轴转速或速度, 用地址 S 和其后的数字组成。

成。

G96: 恒线速度控制的指令。系统执行 G96 指令后, S 后面的数值表示切削速度。例如: G96 S100 表示切削速度是 100 m/min。

G97: 取消恒线速度控制的指令。系统执行 G97 指令后, S 后面的数值表示主轴每分钟的转数。例如: G97 S 800 表示主轴转速为 800 r/min, 系统开机时为 G97 状态。

G50: 除有坐标系设定功能外, 还有主轴最高转速设定功能, 即用 S 指定的数值设定主轴每分钟的最高转速。例如: G50 S2000 表示主轴转速最高为 2 000 r/min。

用恒线速度控制加工端面、锥度和圆弧时, 由于 X 坐标值不断变化, 当刀具逐渐接近工件的旋转中心时, 主轴转速会越来越高, 工件有从卡盘飞出的危险, 所以为防止事故的发生, 有时必须限定主轴的最高转速。

④刀具功能(T 功能)

a. 用 T 代码后面的最后 1 位数字指定偏置号。

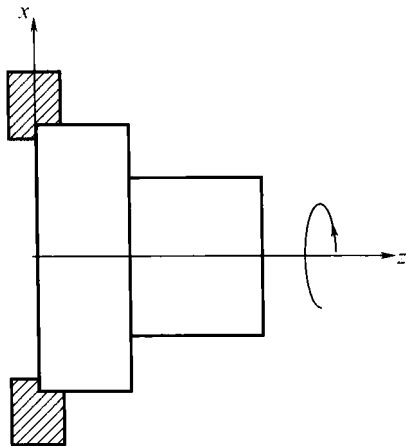
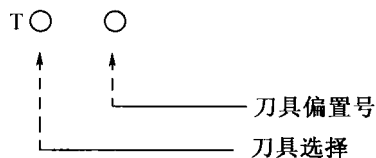
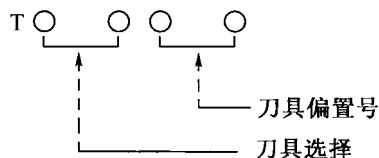


图 1.5 主轴正转



b. 用 T 代码后面的最后 2 位数字指定偏置号。



具体使用上述的哪一种,可由系统参数设定。

F 功能、M 功能、S 功能、T 功能均为模态代码。

(3) 补偿功能

① 刀具位置偏置补偿

当采用不同尺寸的刀具加工同一轮廓尺寸的零件,或同一把刀具因换刀重调、磨损以及切削力使工件、刀具机床变形引起工件尺寸变化时,为加工出合格的零件必须进行刀具位置补偿。

所谓的刀具位置偏置补偿,是对编程时的假想刀具(一般为基准刀具)与实际加工使用的刀具位置的差值进行补偿的功能。

刀具位置补偿可分为刀具形状补偿和刀具磨损补偿两种,如图 1.6 所示。刀具形状补偿是对刀具形状及刀具安装的补偿;刀具磨损补偿是对刀尖磨损的补偿。两种偏移补偿值可分别设定。

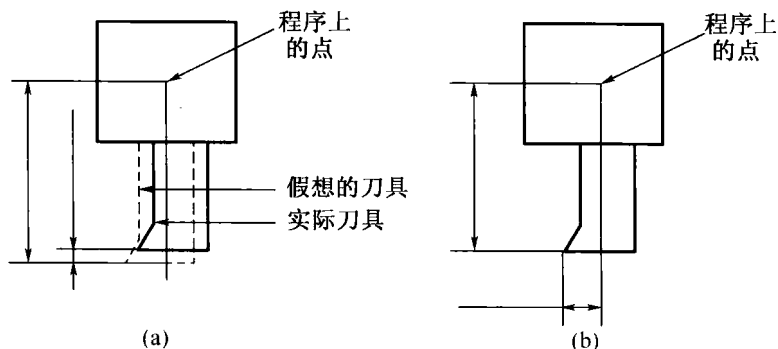


图 1.6 刀具位置偏置补偿

用 T 代码指定刀具选择号及刀具位置偏置号,一旦指令了偏置号,便意味着选择了与其相适应的偏置量,即开始补偿。刀具偏置号为 0 或 00 时,偏置量为 0,相当于取消偏置。

例 N1 X50.0 Z100.0 T0202; 建立偏移矢量,偏置号为 02

N2 X200.0;

N3 X100.0 Z250.0 T0200; 指定偏置号为 00,取消偏置

② 刀具半径 R 补偿

对于车削数控加工,由于车刀的刀尖通常是一段半径很小的圆弧,而假设的刀尖点(一般是通过对刀仪测量出来的)并不是刀刃圆弧上的一点。因此,在车削锥面、倒角或圆弧时,可能会造成切削加工不足(不到位)或切削过量(过切)的现象。

因此,当使用车刀来切削加工锥面或圆弧时,必须将假设的刀尖点的路径作适当的修正,使之切削加工出来的工件能获得正确的尺寸,这种修正方法称为刀尖半径补偿(Tool Nose Radius Compensation,简称 TNRC)。

a. 车刀形状和位置是多种多样的,车刀形状还决定刀尖圆弧在什么位置。和刀具偏置量一样,必须在加工前事先设定刀尖相对于工件的方位。假想刀尖的方向由切削时的刀具方向确定,观察基点为刀尖圆弧的中心。

假想刀尖的方位可分为以下 9 种类型,表 1.1 中标示了其对应的编号。表示了刀具与出发点的位置关系。A 点为假想刀尖,假想刀尖号的设定的地址是偏置号画面的 OFFSET。

b. 刀尖半径和位置的输入

刀具参数设置见表 1.2,1.3。

表 1.1 刀尖的方位

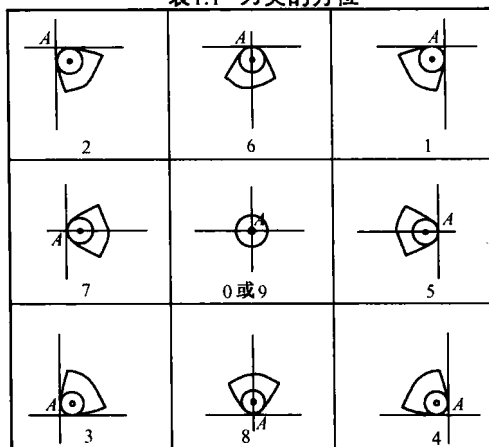


表 1.2 几何形状补偿

几何形状 补偿号	OFGX(X 轴几何 形状偏置量)	OFGZ(Z 轴几何 形状偏置量)	OFGR(刀尖 R 几何 形状偏置量)	OFT(假想 刀尖方位)
G01	10.040	50.202	0	1
G02	20.060	30.030	0	2
G03	0	0	0.20	6
G04	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 1.3 磨损补偿

磨损补偿号	OFWX(X 轴 磨损补偿量)	OFWZ(Z 轴 磨损补偿量)	OFWR(刀尖 R 磨损补偿量)	OFT(假想刀 尖方位)
W01	0.040	0.020	0	1
W02	0.060	0.030	0	2
W03	0	0	0.20	6
W04	:	:		:
W05	:	:		:
:	:	:		:
:	:	:		:

c. 刀具半径的左右补偿

G41 刀具左补偿。如图 1.7(a)所示,顺着刀具运动方向看,刀具在工件的左侧,称为刀具左补偿。

G42 刀具右补偿。如图 1.7(b)所示,顺着刀具运动方向看,刀具在工件的右侧,称为刀具右补偿。

G40 取消刀具左、右补偿。如需要取消刀具左、右补偿,可编入 G40 代码。这时,车刀轨迹按理论刀尖轨迹运动。

d. 刀具半径补偿的编程规则

车床刀具补偿必须遵循以下规则。

G40, G41, G42 只能用 G00, G01 结合编程。不允许与 G02, G03 等其他指令结合编程,否则报警。

在编入 G40, G41, G42 的 G00 与 G01 前后的两个程序段中, X, Z 值至少有一个值变化。否则产生报警。

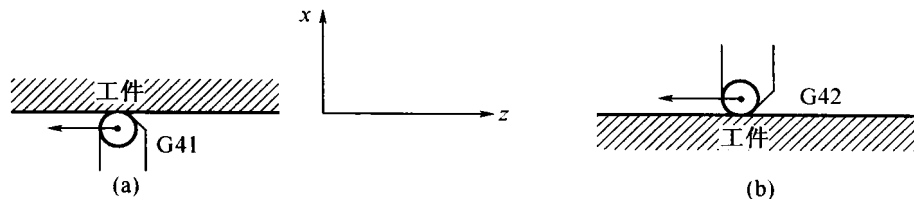


图 1.7 刀具半径补偿

2. 数控车床编程的工艺知识

(1) 数控车削加工刀具及切削用量选择

① 数控车削加工刀具及其选择

a. 数控车削加工中使用的刀具

数控刀具可分为常规刀具和模块化刀具。其中模块化刀具是主要的发展方向。

图 1.8 为数控车削加工中常用的刀具。其中各种车刀都是镶嵌式的模块化刀具。数控车削刀具的夹持部分为方形刀体(加工外表面)或圆柱刀杆(加工内表面)。方形刀体一般采用槽形刀架螺钉紧固方式固定;圆柱刀杆用套筒螺钉紧固方式固定。它们与机床刀盘之间的连接是通过槽形刀架和套筒接杆来连接的。在模块化车削工具系统中,刀盘的连接以齿条式柄体连接为多,而刀头与刀体的连接是“插入快换式系统”(即 BTS 系统;符合 ISO5608—80 标准)。

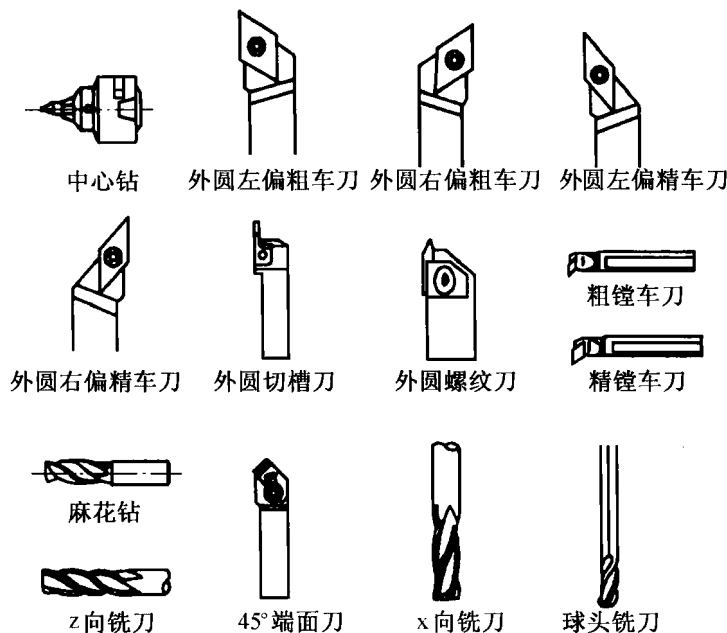


图 1.8 数控车削常用刀具

b. 常用车刀类型和用途

数控车床使用的刀具按切削部分的形状一般分为三类,即尖形车刀、圆弧形车刀和成型车刀,从切削方式上分包括圆表面、端面和中心孔类加工刀具。

尖形车刀:以直线形切削刃为特征的车刀一般称为尖形车刀。这类车刀的刀尖(同时也为

其刀位点)由直线形的主、副切削刃构成,如 90 度内外圆车刀,左右端面车刀,切断(车槽)车刀及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。

圆弧形车刀:其特征是,构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或线轮廓误差很小的圆弧;该圆弧刀每一点都是圆弧形车刀的刀尖,因此,刀位点不在圆弧上,而在该圆弧的圆心上。

当某些尖形车刀或成型车刀(如螺纹车刀)的刀尖具有一定的圆弧形状时,也可作为这类车刀使用。

圆弧形车刀可以用于车削内、外表面,特别适宜于车削各种光滑连接(凹形)的成型面。

成型车刀:成型车刀俗称样板车刀,其加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。

图 1.9 给出了常用车刀的种类、形状和用途。数控车削加工中,常见的成型车刀有小半径圆弧车刀、切槽刀和螺纹车刀等。

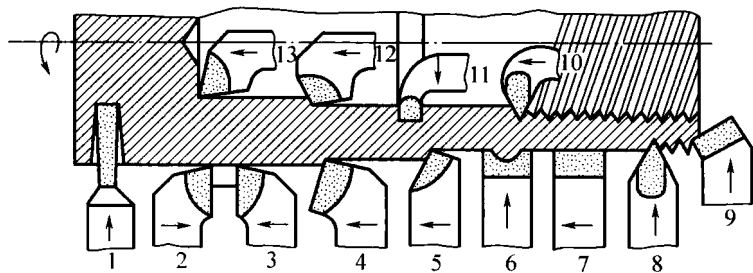


图 1.9 常用车刀的种类、形状和用途

1—切断刀;2—90°左偏刀;3—90°右偏刀;4—弯头车刀;5—直头车刀;6—成型车刀;7—宽刃精车刀;8—外螺纹车刀;9—端面车刀;10—内螺纹车刀;11—内槽车刀;12—通孔车刀;13—盲孔车刀

为了减少换刀时间和方便对刀,便于实现机械加工的标准化,数控车削加工时,应尽量使用标准的机夹可转位刀具。

② 数控车削加工的切削用量选择

数控车削加工中的切削用量包括:切削深度 a_p 、主轴转速 n 或切削速度 V_c (用于恒线速度切削)、进给速度或进给量 f 。这些参数均应在机床给定的允许范围内选取。

a. 选择切削用量的一般原则

粗车时切削用量的选择 粗车一般以提高生产率为主,兼顾经济性和加工成本。提高切削速度、加大进给量和切削深度都能提高生产率。其中切削速度对刀具寿命的影响最大,切削深度对刀具寿命的影响最小。所以考虑粗加工切削用量时首先应选择一个尽可能大的切削深度 a_p ,其次选择较大的进给速度或进给量 f ,最后在刀具使用寿命和机床功率允许的条件下

选择一个合理的切削速度 V_c 。

精车、半精车时切削用量的选择 精车、半精车时切削用量要保证加工质量,兼顾生产率和刀具使用寿命。因为加工精度和表面粗糙度要求较高,加工余量不大且较均匀,因此选择精车、半精车的切削用量时,应着重考虑如何保证加工质量,并在此基础上尽量提高生产率。因此,精车、半精车时应选用较小的切削深度 a_p 和进给量 f ,并选用性能高的刀具材料和合理的几何参数,以尽可能提高切削速度 V_c 。

b. 背吃刀量的确定

背吃刀量应根据加工余量确定。在机床、刀具和工件系统刚度允许的情况下,尽量选择较大的背吃刀量,以减少走刀次数,提高生产率。

粗加工时,在不影响加工精度的条件下,可使背吃刀量等于零件的加工余量。在工件毛坯加工余量很大或余量不均匀的情况下,粗加工要分几次进给,前几次进给的背吃刀量应大一些。粗加工、半精加工一般取 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$,精加工一般取 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

c. 主轴转速的确定

光车时的主轴转速 主轴转速要根据机床和刀具允许的切削速度来确定,可以用计算法或查表法来选取切削速度,通常由经验确定。用下式计算主轴转速:

$$n = \frac{1\,000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \quad (1.1)$$

式中 n ——主轴转速,单位 r/min ;

V_c ——切削速度,单位 m/min ;

D ——工件直径,单位 mm 。

对于有级变速的车床,要根据计算值选择相近的转速。选择主轴转速应尽量避免产生积屑瘤的速度区域;间断切削时,应适当降低转速;加工大件、细长件和薄壁件时,应选较低转速;加工带外皮的工件时,应适当降低转速。

表 1.4 为硬质合金刀具切削速度的参考数值,供选用。

表 1.4 硬质合金刀具外圆切削速度的参考数值

零件材料	热处理状态	$a_p = 0.3 \sim 2$	$a_p = 2 \sim 6$	$a_p = 6 \sim 10$
		$0.08 \sim 0.3$	$0.3 \sim 0.6$	$0.6 \sim 1$
		切削速度/(m/min)	切削速度/(m/min)	切削速度/(m/min)
低碳钢	热轧	140 ~ 180	100 ~ 120	70 ~ 90
中碳钢	热轧	130 ~ 160	90 ~ 110	60 ~ 80
	调质	100 ~ 130	70 ~ 90	50 ~ 70