

课题 2

数控车削加工工艺

- ◎第一节 数控车床刀具的选择与装夹
- ◎第二节 数控车床切削用量
- ◎第三节 数控车床车削加工工艺
- ◎第四节 数控车床坐标系统
- ◎第五节 数控车床对刀

【知识要点】

掌握数控车床车刀的选择和装夹；了解数控车床主要加工对象；合理选择车削用量；熟练掌握数控车削加工工艺分析过程；掌握典型轮廓的加工路线的拟定方法。了解数控车削用夹具系统；熟练理解掌握机床坐标系统、工件坐标系统等基本概念；掌握数控车床对刀的方法。

数控车床基础知识是操作数控车床工必须掌握的知识点。它主要包括切削参数的确定，数控车床刀具的选择，工件的装夹，数控车床的加工工艺制定，数控车床坐标系和数控车床的对刀等。

第一节 数控车床刀具的选择与装夹

一、数控车刀的类型与选择

数控车床同普通车床一样，主要加工对象为回转体零件。所用刀具基本同普通车床。在此应先了解一下刀具的基本知识。

（一）车刀的组成

车刀有刀头和刀杆两部分组成。刀头部分分担切削工作，所以又叫切削部分。刀杆用来装夹车刀，刀头是一个楔形的几何体，有下列刀面和刀刃组成，如图 2-1 所示。

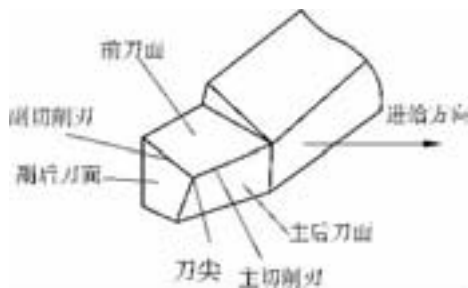


图 2-1 车刀刀头的组成

- ①前刀面：切屑沿着它流出刀面。
- ②主后刀面：刀具上与工件过渡表面相对并相互作用的表面。
- ③副后刀面：刀具上与已加工表面相对并相互作用的表面。
- ④主切削刃：前刀面与主后刀面的交线。它完成主要的切削工作。
- ⑤副切削刃：前刀面与副后刀面的交线。它配合主切削刃完成切削工作，并最终形成已加工表面。
- ⑥刀尖：主切削刃和副切削刃连接处的一段刀刃。它可以是小的直线段或圆弧。

(二) 车刀的种类和用途

1. 按加工内容和基本用途分类

根据不同的车削加工内容，常用的车刀可分为外圆车刀、端面车刀、切断刀、内孔车刀、圆头刀、螺纹车刀等，如图 2-2 所示。

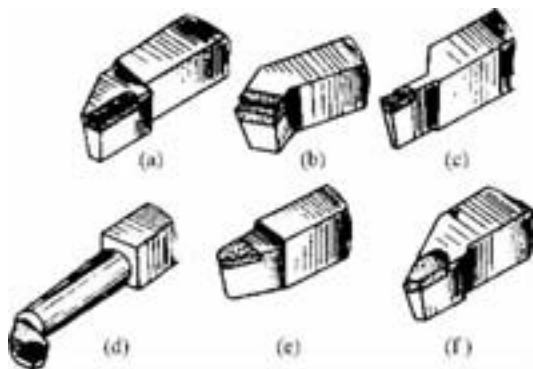


图 2-2 常用车刀

- (a) 外圆车刀 (90°车刀); (b) 端面车刀 (45°车刀); (c) 切断刀;
(d) 内孔刀; (e) 圆头刀; (f) 螺纹车刀

常用车刀的基本用途见图 2-3。基本的车削内容有内外圆柱面、内外圆锥面、内外圆弧面、内外螺纹、内外槽、钻孔铰孔、镗孔等。

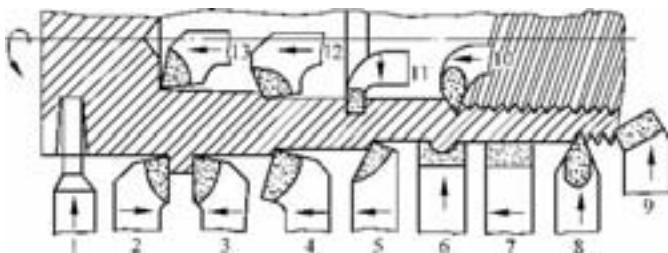


图 2-3 常用车刀的种类、形状和用途

- 1—切槽 (断) 刀; 2—90°反 (左) 偏刀; 3—90°正 (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—内切槽车刀; 12—通孔车刀; 13—盲孔车刀

90°车刀（偏刀）：用来车削工件的外圆、台阶和端面。45°车刀（弯头车刀）：用来车削工件的外圆、端面和倒角。切断刀：用来切断工件或在工件上车槽。内孔车刀：用来车削工件的内孔。圆头刀：用来车削工件的圆弧面或成形面。螺纹车刀：用来车削螺纹。

2. 按车刀形状分类

数控车床车刀形状分为三类，即尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀。

（1）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°内外圆车刀，左右端面车刀，切断（车槽）车刀以及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。

（2）圆弧形车刀。圆弧形车刀是较为特殊的数控加工用车刀，构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差很小的圆弧，该圆弧刃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，圆弧形车刀用于车削内、外表面，特别适宜车削各种光滑连接的成形面。

（3）成形车刀。又叫样板车刀，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。数控加工中，应尽量少用或不用成型车刀。

3. 按车刀结构分类

车刀按结构分为整体式车刀、焊接式车刀和机械夹固式车刀。

（1）整体式车刀。主要是整体式高速钢车刀。通常用于小型车刀、螺纹车刀和形状复杂的成形车刀。具有抗弯强度、冲击韧性好，制造简单和刃磨方便、刃口锋利等优点。

（2）焊接式车刀。焊接式车刀是将硬质合金刀片用焊接的方法固定在刀体上，经刃磨而成。这种车刀结构简单，制造方便，刚性较好，但抗弯强度低、冲击韧性差，切削刃不如高速钢车刀锋利，不易制作复杂刀具。

（3）机械夹固式车刀。机械夹固式车刀是数控车床上用得比较多的一种车刀，它分为机械夹固式可重磨车刀和机械夹固式不重磨车刀。

机械夹固式可重磨车刀将普通硬质合金刀片用机械夹固的方法安装在刀杆上。刀片用钝后可以修磨，修磨后，通过调节螺钉把刃口调整到适当位置，压紧后便可继续使用，如图2-4所示。

机械夹固式可转位车刀的刀片为多边形，有多条切削刃，当某条切削刃磨损钝化后，只需松开夹固元件，将刀片转一个位置便可继续使用，如图2-5所示。这些刀具最大优点是车刀几何角度完全由刀片保证，切削性能稳定，刀杆和刀片已标准化，加工质量好。



图 2-4 机械夹固式可重磨车刀

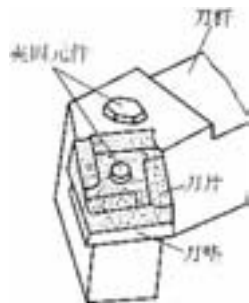


图 2-5 机械夹固式可转位车刀

4. 按车刀材料分类

车刀刀片的材料主要有高速钢刀具、硬质合金刀具、涂层硬质合金刀具、陶瓷刀具、立方氮化硼刀具和金刚石刀具等。

(1) 高速钢。高速钢可以承受较大的切削力和冲击力。可进行锻造，刃口较锋利，故又称“锋钢”、“白钢”，适合做成形刀具和螺纹刀具。它的熔点低在 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。切削时需要冷却液冷却。

(2) 硬质合金。硬质合金具有高硬度、熔点高 ($1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上)、热稳定性好等特点。故其有较高的切削效率 (是高速钢刀具的 $5\sim 10$ 倍)。它是刀具的主流材料。较多的刀具采用硬质合金作为刀具材料。

硬质合金又分为三种牌号：钨钴类硬质合金 (YG)、钨钛类硬质合金 (YT)、通用硬质合金 (YW)。

① 钨钴类硬质合金 (YG) 适用于加工铸铁及有色金属材料。YG3 含钴量少用于精加工。YG8 钴量多用于粗加工。

②钨钛钴类硬质合金（YT）适用于加工钢料。YT30 含钛量多、钴量少用于精加工。YT5 含钛量少、钴量多用于粗加工。YT15 可以用于粗、精加工。

③通用硬质合金（YW）既可以加工钢料又可以加工铸铁及有色金属材料。

其他材料的刀具本节不再详述，请参考相关刀具材料书。

在数控车床加工中应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。常用的可转位的车刀刀片形状及角度如图 2-6 所示。刀片形状有三角形、正方形、五边形、菱形和多边形。

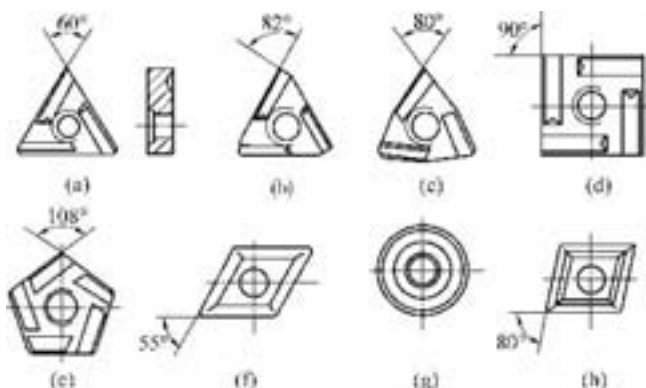


图 2-6 常用可转位车刀刀片

(a) T 形；(b) F 形；(c) W 形；(d) S 形；
(e) P 形；(f) D 形；(g) R 形；(h) C 形

数控加工过程中刀具的选择是保证工件质量和提高生产效率的重要环节。合理选择数控刀具需要综合考虑机床的自动化程度、每道工序加工内容、零件材料的切削性能等因素。

数控车床刀具基本同普通车床刀具。但数控车床刀具应具有更高要求，具体内容是：刚度好和强度高，以适用大切深和快进给；高精度，以适用数控加工的精度和自动换刀要求。较高的耐用度，以保证加工质量和提高生产率。所以应选用优质刀具材料。

目前数控车床最常用的是各种机夹可转位刀具。普遍采用的是硬质合金涂层刀片。但由于条件的限制一些刀具如高速刚、焊接硬质合金刀具还是在数控车床上得到应用。

二、数控车床刀具的安装

加工所需要的各种切削刀具（各种车刀、钻头、镗刀等）是通过刀柄座、镗刀座、刀柄套、定位环等刀具辅具装夹在回转刀架上的。如图 2-7 为一种转塔式刀架的工具系统。

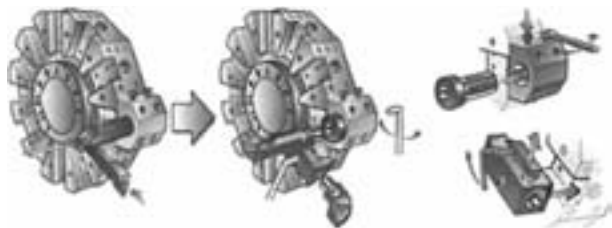


图 2-7 转塔式刀架的工具系统

车刀安装得正确与否，将直接影响切削能否顺利进行和工件的加工质量。安装车刀时，应注意下列几个问题。

（1）安装在刀架上，伸出部分不宜太长，伸出量一般为刀杆高度的 1~1.5 倍。伸出过长会使刀杆刚性变差，切削时易产生振动，影响工件的表面粗糙度。

（2）垫铁要平整，数量要少，垫铁应与刀架对齐。车刀至少要用两个螺钉压紧在刀架上，并逐个轮流拧紧。

（3）刀尖应与工件轴线等高。否则会因基面和切削平面的位置发生变化，而改变车刀工作时的前角和后角的数值。车刀刀尖高于工件轴线，使后角减小，增大了车刀后刀面与工件间的摩擦；车刀刀尖低于工件轴线，使前角减小，切削力增加，切削不顺利。

车端面时，车刀刀尖高于或低于工件中心，车削后工件端面中心处留有凸头，使用硬质合金车刀时，如不注意这一点，车削到中心处

会使刀尖崩碎。

(4) 刀杆中心线应与进给方向垂直, 否则会使主偏角和副偏角的数值发生变化, 如螺纹车刀安装歪斜, 会使螺纹牙型半角产生误差。用偏刀车削台阶时, 必须使车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角在安装后等于 90° 或大于 90° , 否则, 车出来的台阶面与工件轴线不垂直。

第二节 数控车床切削用量

数控车床编程和操作基本内容离不开切削参数的确定。数控车床切削参数基本同普通车床, 所以普通车床操作是数控车床编程和操作的基础。但数控车床在车削参数制定方面相比普通车床稍有不同之处。

在切削加工中, 切削用量选择得合理与否, 直接影响着加工质量、加工成本和生产率。如果切削用量选择得当, 便能充分发挥机床和刀具的功能, 以取得生产的最大效益; 倘若选择不当, 会造成很大的浪费或导致生产事故, 对此必须引起高度重视。

一、切削用量选择原则

数控车床加工的切削用量包括: 背吃刀量 a_p (单边切削深度)、主轴转速或切削速度 v_c (用于恒线速切削)、进给速度或进给量 f 。

确定三要素的基本原则: 根据切削要求先确定背吃刀量 a_p , 再查表得到进给量 f , 然后再经过查表通过公式计算出主切削速度 v_c 。

在许多场合我们可以通过经验数据来确定这三要素的值。

二、切削用量合理选择

合理切削用量的选择与机床、刀具、工件及工艺等多种因素有关。合理选择加工用量的方法如下 (定性分析):

1. 粗加工

粗加工时, 选择较大的背吃刀量 a_p , 较大的进给量 f , 切削速度

v_c 选择中低速度。

2. 精加工

精加工时, 选择较小的背吃刀量 a_p , 较小的进给量 f , 切削速度 v_c 选择较高速度。

粗加工时一般以充分发挥机床潜力和刀具的切削能力为主。半精加工和精加工时, 应重点考虑如何保证加工质量, 并在此基础上尽量提高生产率。在选择切削用量时应保证刀具能加工完成一个零件或保证刀具的耐用度不低于一个工作日, 最少也不低于半个工作日的工作时间。具体数值应根据机床说明书中的规定、刀具耐用度及实践经验选取。

3. 背吃刀量 a_p 的确定

根据机床、夹具、刀具和工件的刚度以及机床的功率来确定。在工艺系统允许的情况下, 尽可能选取较大的背吃刀量。除留给以后工序的余量外, 其余的粗加工余量尽可能一次切除, 以使走刀次数最少。一般粗加工的背吃刀量为 1~3 mm (单边)。当零件精度要求较高时, 应根据精车要求选择精车余量为精车背吃刀量。数控车削的精加工余量小于普通车床, 一般取 0.1~0.5 mm。

4. 进给量 f 的确定

进给量是指在单位时间内刀具沿进给方向移动的距离。确定进给速度的原则是: 当工件的质量要求能够保证时, 为提高生产率, 可选择较高的进给速度。切断、车削深孔或精车时, 宜选择较低的进给速度。进给速度应与主轴转速和背吃刀量相适应。粗加工时, 进给量 f 的选择受切削力的限制。

粗车时, 进给量 f 一般取为 0.3~0.8 mm/r, 精车时常取 0.1~0.3 mm/r, 切断时常取 0.05~0.2 mm/r。

5. 主轴转速 n (切削速度 v_c) 的确定

主轴转速的确定应根据被加工部位的直径, 并按零件和刀具材料及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度可通过计算、查表和实践经验获取。一般情况下在 a_p 和 f 选定后, 再根据规定达到

的合理的刀具寿命 T (min), 就可以确定切削速度 v_c (单位: m/min)。一般硬质合金刀片切削中碳钢的切削速度为 100 m/min 左右, 涂层硬质合金刀片切削中碳钢的切削速度为 300 m/min 左右。切削速度确定后, 再用下式计算主轴转速 n , 并以此主轴转速编程。

$$n = \frac{1\,000\,v}{\pi d}$$

式中: n ——主轴转速, r/min;

v ——切削速度, m/min;

d ——待加工工件表面直径, mm。

粗加工时, 由于切削力较大, 主轴转速一般低于此 n 值。精加工时, 由于切削力较小, 为达到高的表面质量, 主轴转速一般等于或高于此 n 值。使用涂层硬质合金刀片时, 如计算的主轴转速 n 值大于数控车床的额定主轴转速, 则只能取小于额定主轴转速的 n 值。

切削速度计算公式较复杂在此不做详述, 给出较为实用的三要素推荐值。如表 2-1 为数控车削用量推荐表。

表 2-1 数控车削用量推荐表

工件材料	加工方式	背吃刀量 /mm	切削速度 /(m·min ⁻¹)	进给量 /(mm·r ⁻¹)	刀具材料
碳素钢 $\sigma_b > 600$ MPa	粗加工	5~7	60~80	0.2~0.4	YT 类
	粗加工	2~3	80~120	0.2~0.4	
	精加工	0.2~0.3	120~150	0.1~0.2	
	车螺纹		70~100	导程	
	中心孔		500~800 r/min		W18Cr4V
	钻 孔		~30	0.1~0.2	
合金钢 $\sigma_b = 1\,470$ MPa	切断 (宽度≤5 mm)		70~110	0.1~0.2	YT 类
	粗加工	2~3	50~80	0.2~0.4	YT 类
	精加工	0.1~0.15	60~100	0.1~0.2	
铸 铁 200 HBS 以 下	切断 (宽度≤5 mm)		40~70	0.1~0.2	YG 类
	粗加工	2~3	50~70	0.2~0.4	
	精加工	0.1~0.15	70~100	0.1~0.2	
	切断 (宽度≤5 mm)		50~70	0.1~0.2	

续表

工件材料	加工方式	背吃刀量 /mm	切削速度 /($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	进给量 /($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	刀具材料
铝	粗加工	2~3	600~1 000	0.2~0.4	YG 类
	精加工	0.2~0.3	800~1 200	0.1~0.2	
	切断 (宽度 ≤ 5 mm)		600~1 000	0.1~0.2	
黄铜	粗加工	2~4	400~500	0.2~0.4	YG 类
	精加工	0.1~0.15	450~600	0.1~0.2	
	切断 (宽度 ≤ 5 mm)		400~500	0.1~0.2	

第三节 数控车床车削加工工艺

零件的加工工艺实际上就是零件的加工过程，这个过程包含工序、安装、工位、工步和工作行程。其中工序是工艺过程的基本单元。工序是指一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那部分工艺过程。零件加工过程中要合理安排加工顺序，要解决零件的定位和装夹问题。

一、数控车削的主要加工对象

数控加工是指在数控机床上进行自动加工零件的一种工艺方法。区别于普通车床的是数控车床通过编写程序把普通车床操作步骤记录下来，机床自动按照记录轨迹走刀来实现零件的加工。

数控车削主要加工对象：

- (1) 精度要求高的回转体。
- (2) 表面质量要求高的回转体零件。
- (3) 表面形状复杂的回转体零件。
- (4) 带特殊螺纹的回转体零件。

二、数控车削加工工艺的特点

1. 数控车削加工的工艺内容十分具体

相对于普通车床，数控车床车削工件时，工艺内容必须事先设计和安排，正确选择工艺参数后，将其编入加工程序中。车削加工中，没有普通车床的随意性，更多的是规范性。

2. 数控车削加工工艺制定严密

数控车削加工过程是自动连续进行的，不能像普通车削加工时，操作者可以适时地任意调整。因此，编程时，必须认真分析加工过程中的每一细小环节，稍有疏忽就会发生错误，甚至酿成重大的机损和质量事故。编程人员必须具备扎实的工艺基础知识和丰富的实践经验，工作时应细致、严谨。操作时，更应做到胆大、心细。

三、数控车削加工工艺的主要内容

数控车削加工工艺内容较多，总的来说包括以下几方面：

(1) 确定工件是否适合数控车床上加工，并确定工序内容。

(2) 确定零件的加工方案，制定数控加工工艺路线。安排加工顺序，确定走刀路线。注意，零件的加工顺序安排原则有基准面先行原则、先粗后精原则、先主后次原则、先近后远原则。

在确定走刀路线时，主要遵循下列原则：①保证被加工零件的精度和表面粗糙度要求。②缩短走刀路线，减少刀具空行程时间。③简化编程计算，减少程序段和编程工作量。

(3) 加工工序的设计。选择零件的定位基准、装夹方案、工步划分、刀具选择和确定切削用量等。

(4) 分配各个工序的加工余量，计算工序尺寸及公差。

(5) 程序编制及调整。

(6) 编写专用技术文件。如数控加工工序卡和刀具调整卡等。

四、数控车床一般零件的车削工艺

数控车床加工的零件表面都有一定的特征。一般为圆柱面、圆锥面、圆弧面等。对圆锥面和圆弧面进行车削，就要去除大量的余量。这里介绍车削这两种表面的常用方法。

1. 圆弧面的车削

圆弧面的常用车削方法有：车锥法、车圆法、移圆法。如图 2-8 所示。

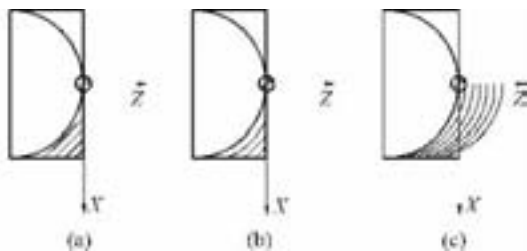


图 2-8 圆弧车削方法

(a) 车锥法；(b) 车圆法；(c) 移圆法

(1) 车锥法 (图 2-8 (a))。在车削圆弧时，可根据加工余量，采用圆锥分层切削来去除多余的余量，再进行圆弧精加工。采用这种加工路线时，加工效率高，但计算较烦琐。通常可大致计算节点进行车削。

(2) 车圆法 (图 2-8 (b))。车圆法就是通过车削与外形同心但不同半径的圆弧，来逐渐加工到圆弧表面的方法。此方法效率高，预留余量均匀，但此方法节点的计算更显烦琐。通常采用计算机辅助 (CAD) 来完成。

(3) 移圆法 (图 2-8 (c))。采用相同半径的圆弧向 Z 轴方向移动，最终将圆弧加工出来。采用这种加工方法，编程简单，节点好计算。但此方法会产生许多空走刀，生产率低。

2. 圆锥面的车削

圆锥面的常用车削方法有：平行车削法、终点车削法。如图 2-9 所示。

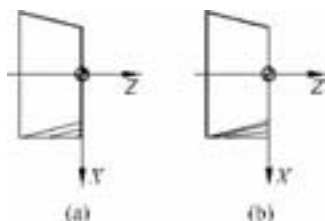


图 2-9 圆锥车削方法
(a) 平行车削法；(b) 终点车削法

(1) 平行车削法（图 2-9 (a)）。去除余量是走的与外形锥体母线平行的线段。刀具每次切削量均匀，加工效率和加工质量很好。但编程需计算起点和终点坐标，所以计算麻烦。

(2) 终点车削法（图 2-9 (b)）。这种方法是通过切削若干直角三角来切削余量的。走刀量是变化的。这种方法编程方便，不需要特别计算节点。特别适用车削锥度不大的圆锥面。

五、工件在数控车床上的定位与装夹

(一) 定位

使工件在机床上或夹具中占有正确位置的过程称为定位。在工件的机械加工工艺过程中，合理地选择定位基准对保证工件的尺寸精度和相互位置精度起到重要的作用。

定位基准有粗基准和精基准两种。以未加工表面定位称为粗基准；用已加工的表面作为定位基准称为精基准。

1. 粗基准的选择原则

①尽量选择不加工的表面作为粗基准。②选择加工余量最小的表面为粗基准。③选择工件上强度、刚性好的表面作为粗基准。④粗基准不能重复使用。

2. 精基准的选择原则

①尽可能采用设计基准或装配基准作为定位基准。②尽可能使定位基准和测量基准重合。③尽可能使基准统一。④选择精度较高、形状简单和尺寸较大的表面作为精基准。

(二) 装夹

数控车床夹具是用于盘类、轴类零件装夹的液压动力卡盘和尾座。如图2-10为液压动力卡盘。图2-10(a)为轴类零件用液压动力卡盘，图2-10(b)为盘类零件用液压动力卡盘。

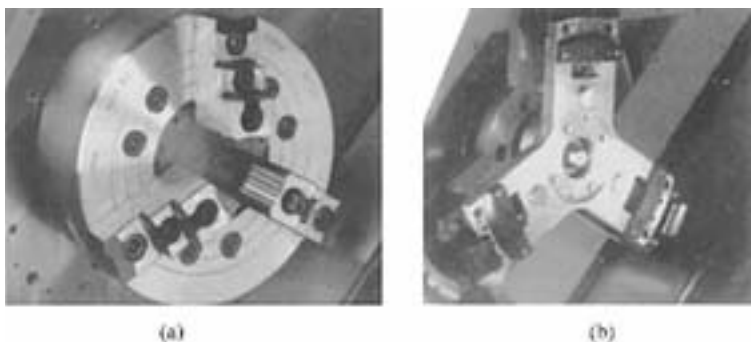


图2-10 液压动力卡盘

(a) 轴类零件用液压动力卡盘；(b) 盘类零件用液压动力卡盘

1. 三爪自动定心卡盘

在数控车床上还有最常用的夹具是三爪卡盘。三爪卡盘装夹工件时可自动定心，不需找正，特别适合夹持横截面为圆形、正三角形、正六边形等工件。但该卡盘夹持力小，只适合装夹中小型工件。

2. 四爪单动卡盘

四爪卡盘(图2-11)不但能夹持横截面为圆形的工件，还能夹持其他各种规则和不规则截面的工件，且夹紧力较大，可用于车削偏心工件。但该卡盘不能自动定心，需操作人员仔细进行找正。

在车削薄壁工件时，夹具常采用轴向夹紧，防止加工时工件变形。常用薄壁工件夹紧机构有弹簧夹头定心夹紧机构(图2-12)



图 2-11 四爪卡盘

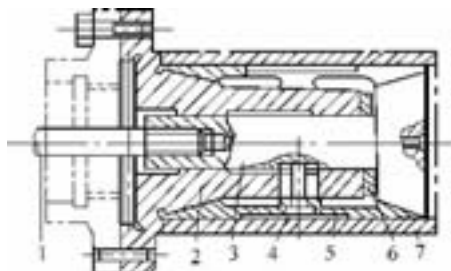


图 2-12 弹簧夹头定心夹紧机构

1—拉杆；2—夹具体；3—心轴；4—制动螺钉；
5—弹簧夹头；6—挡环；7—工件

通常数控车床同普通车床一样，常用夹具还有软爪、双顶尖，定位心轴、花盘和角铁等，在此不作详述，请参照普通车工快速入门教材。

第四节 数控车床坐标系统

一、数控机床坐标轴

1. 机床坐标轴的命名

为了简化编制程序的方法和保证记录数据的互换性。对数控机床的坐标和方向的命名国际上很早就制定有统一标准，在标准中统一规定采用右手直角笛卡儿坐标系对机床的坐标系进行命名。用 X 、 Y 、 Z 表示直线进给坐标轴， X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系由右手法则决定，如图 2-13 所示，图中大拇指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y 轴的正方向，中指指向为 Z 轴的正方向。

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，如图 2-13 所示，以大拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向，则其余四指的指向就是圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

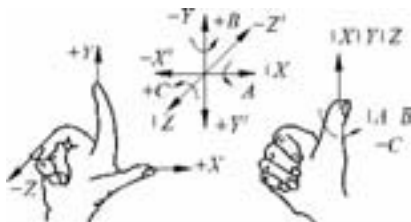


图 2-13 机床坐标轴

数控机床的进给运动，有的是由主轴带动刀具运动来实现，有的是由工作台带着工件运动来实现。上述坐标轴正方向，是假定工件不动，刀具相对于工件做进给运动的方向。

2. 机床坐标轴确定方法

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局。

数控车床坐标轴的确定， Z 轴与主轴轴线重合，沿着 Z 轴正方向移动将增大零件和刀具间的距离。 X 轴垂直于 Z 轴，对应于转塔刀架的径向移动，沿着 X 轴正方向移动将增大零件和刀具间的距离，如图2-14所示。总之，把离开三爪卡盘的方向定义成 Z 轴和 X 轴的正方向。相反，靠近三爪卡盘方向定义为 Z 轴和 X 轴的负方向。

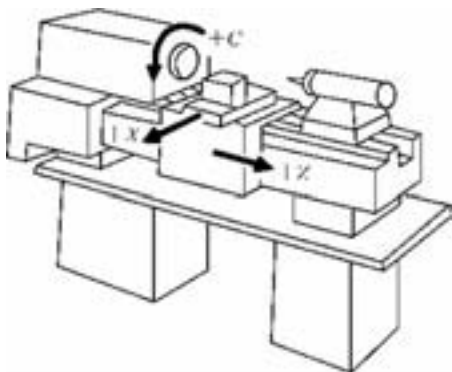


图 2-14 车床坐标轴及其方向

二、机床坐标系

1. 机床坐标系的定义

机床坐标系是指由机床原点为坐标原点建立的直角坐标系。

机床原点也是机床零点，它是机床上的一个固定点，也是机床上的一个极限点，此点一般靠近电动机轴端。数控机床开机后回参考点即为机床的零点。

通常在每个坐标轴设置一个机床参考点，机床参考点可以与机床零点重合，也可以不重合，通过参数指定机床参考点到机床零点的距离。机床各坐标轴回到了参考点位置，也就找到了机床零点位置，建立起了机床坐标系。如图 2-15 为数控车床机床原点、工件原点和机床参考点位置显示。

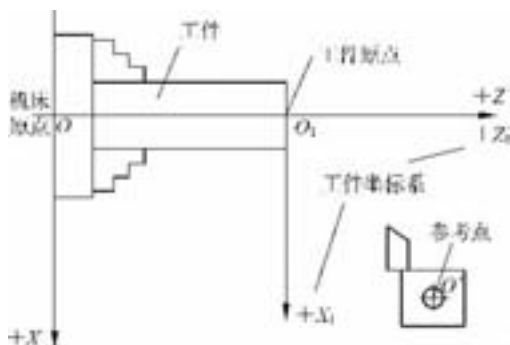


图 2-15 数控车床机床原点、工件原点和机床参考点

2. 机床坐标系的建立作用

机床坐标系的建立是为了确定刀具在机床工作台中的确切位置。这样通过坐标值即可指令刀具移动到要到的位置。才能有的放矢的指令刀具沿零件轮廓运动，切削加工出零件。

三、工件坐标系

1. 工件坐标系的定义

工件坐标系是由工件原点为坐标原点建立的坐标系。

工件原点即工件上有特征的点。这个点也是编程的零点。为了方便编程，选择工件上的某一已知点为原点，即工件原点（编程零点），此点为编程的零点参考。所有的坐标数值都由工件坐标系零点确定。

工件原点选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件，工件原点一般选在设计基准或定位基准上。

2. 工件坐标系的建立方法及作用

数控车床工件原点（编程零点）通常选在主轴轴线与工件的前端面的交点上或主轴轴线与三爪卡盘卡爪前端面的交点上。如图 2-16。

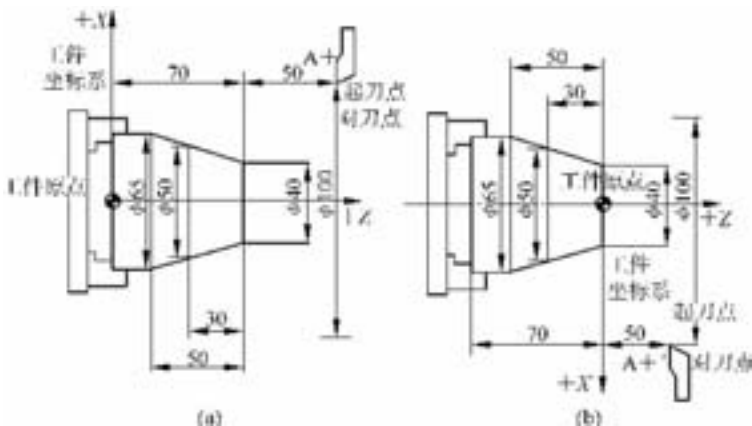


图 2-16 工件坐标系

(a) 斜床身；(b) 平床身

工件坐标系的建立是为了编程方便而建立的。虽然机床坐标系可以确定刀具在机床工作台中的确切位置。但是，工件在机床工作台上的装夹位置是变化的，这样零件上的轮廓节点随零件在机床中的位置而变化。编程很困难。编制的程序不能通用。工件装夹位置变化了程序也要随之变化，这样很不方便。工件坐标系相当于机床坐标系的平行移动。这样以工件上的点（工件原点）编程，工件在机床坐标系中位置变化了，但程序就不需要改变，要变化的只是将工件坐标原点重新输入新值（工件原点在机床坐标系中的位置）即可。

对刀点是零件程序加工的起始点，对刀的目的是确定工件原点在机床坐标系中的位置，对刀点可与工件原点重合，也可在任何便于对刀的位置，但该位置与工件原点之间必须有确定的坐标联系。一般通过对工件的试切或通过刀具、寻边器与工件某些表面接触来实现对刀。

图 2-16 把对刀点 A 设置在工件外面和起刀点重合，该点的位置可由 G50、G92、G54 等指令设定，通常把设定该点的过程称“对刀”，或建立工件坐标系。

(1) 用 G50 和 G92 指令来建立工件坐标系。这种建立方法称为浮点坐标设定，机床关机，此点无记忆功能。

FANUC 系统车床用 G50（国产系统多用 G92）指令来建立工件坐标系（用 G54~G59 指令来选择工件坐标系）。该指令一般作为第一条指令放在整个程序的最前面。其程序段格式为：

G50 (G92) X _____ Z _____

X、Z 分别为刀尖的起始点距工件原点的距离。执行 G50 (G92) 程序后，系统内部即对 (X, Z) 进行记忆并显示在显示器上，这就相当于在系统内部建立了一个以工件原点为坐标原点的工件坐标系。

如图 2-16 (a) 所示，若选工件左端面为坐标原点时，则工件坐标系建立指令为“G50 (G92) X100.0 Z120.0”；若选工件右端面为坐标原点时，如图 2-16 (b) 所示，则工件坐标系建立指令为“G50 (G92) X100.0 Z50.0”。

上述 G50 和 G92 为浮点坐标系统，其使用时只有把刀具的刀位点（刀尖）放在 G50 和 G92 所设定的机床坐标点上才能执行程序，程序结束后一定要回到 G50 和 G92 所设定的机床坐标点。即起点又是终点。一旦机床上刀架移动位置或机床重新启动此点自动消失。再执行程序前必须重新对刀使其移动到 G50 和 G92 所设定的机床坐标点。

(2) 用 G54~G59 指令来建立工件坐标系。这种方法建立的坐标系统相当于机床坐标系的平移，具有记忆功能，机床开机只要回参考点

后，此点一直可以被使用。

用 G54~G59 指令来建立工件坐标系，就是把工件的原点的机床坐标值输入指定的工件坐标系指令 G54~G59 的寄存器里（通俗说为地址单元，放东西的房间），编程时只有写上 G54（房间号）即可。程序自动执行时系统会从 G54（房间号）里取出工件的原点机床位置坐标与实际工件坐标相加或减，计算出刀具应走到的实际机床坐标位置，指令刀具运动。

因为一般车刀是从右端向左端车削，所以将工件原点设在工件的右端面要比设定在工件左端面换算尺寸方便，所以推荐采用图 2-16（b）的方案，将工件原点设定在工件右端面的中心。

车床刀架的换刀点是指刀架转位换刀时所在的位置。换刀点的位置可以是固定的，也可以是任意一点。它的设定原则是以刀架转位时不碰撞工件和机床上其他部件为准则，通常和刀具起始点重合。

第五节 数控车床对刀

数控机床的对刀就是确定编程的原点和刀具刀位点的位置。

一、刀位点

刀位点是指程序编制中，用于表示刀具特征的点，也是对刀和加工的基准点。对于各类车刀，其刀位点如图 2-17 所示。

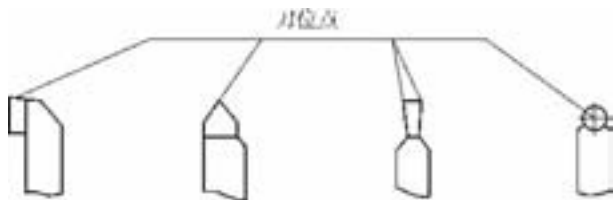


图 2-17 车刀的刀位点

二、换刀点

换刀点是指在数控机床上设置的一个自动换刀的位置点。此点可以由系统参数设定，也可由程序指定。一般在工件外面，距离工件有一定的安全距离。

三、对刀

刀具装在刀架上，在执行程序前，调整每把刀的刀位点，使其全部重合与某一理想的基准点，这一过程称为对刀。

对刀的目的是保证所有的刀具在换刀后所有的刀尖点重合。在加工程序调用刀具时，系统会自动补偿两个方向的刀偏量，从而准确控制每把刀的刀尖轨迹。在数控车床上最常用的是试切对刀法。试切对刀又有两种方法。一种为基准对刀（相对）。另一种为非基准（绝对）对刀。现常用的是后者绝对对刀法。

1. 基准对刀法

基准对刀法就是选择一把刀作为基准刀，它的两个方向（ X 和 Z ）坐标值置零。其他刀具的两个方向值减去基准刀的两个方向的坐标值得到的值即为这把刀的刀补值。如图 2-18。



图 2-18 基准对刀法

图 2-18 中三把刀刀补值为 $T1 (X0, Z0)$ 1 号基准刀， $T2 (X+10, Z-5)$ 与基准刀的差值， $T3 (X+5, Z+5)$ 与基准刀的差值。

工件坐标系 $G50$ 或 $G92$ 后的坐标值 X 和 Z 值，这时只能采用 $T1$

(1号刀)去设定。具体对刀的方法是常用的试切法对刀、对刀仪对刀。对刀仪又分机械检测对刀仪和光学检测对刀仪。本文不作详述。试切对刀就是手动移动 Z 轴靠近工件右端面,把此时相对坐标置零,再次移动 X 轴少许车削工件然后沿 Z 轴退出,测量所车零件台阶直径值,将此点置零。将此时刀尖点移动到 $G50$ 或 $G92$ 后的坐标值 X 和 Z 值即可。注意 X 值此时要减去刚才测量的直径值。

2. 绝对对刀法

此法对刀原理就是将数控车床所有的刀具的刀位点(刀尖)移动到工件原点,记录每把刀在此点的机床坐标值,即为每把刀的补偿值。这样每把刀相对于工件原点相当于都建立了坐标系(补偿值)。

如图2-19,当机床回到机床零点时,工件坐标系零点相对于机架工作位置上各刀具的刀尖位置的距离即为每把刀的位置补偿值。当执行刀偏补偿时,各刀具以此值设定各自的加工坐标系。

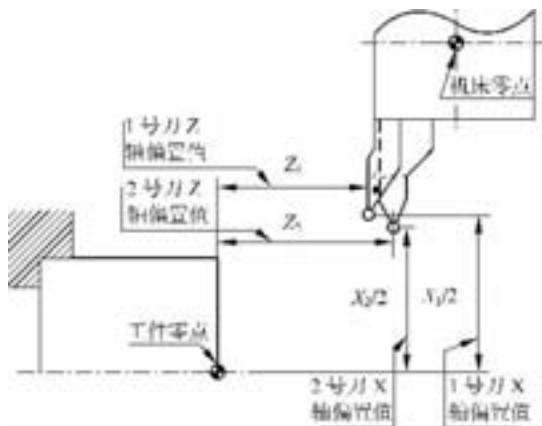


图 2-19 绝对对刀法

绝对对刀法不需要基准刀作参考,这样它的对刀比较灵活,数控车床在加工过程中,坏刀或撞刀后,再次装新刀也只需对这把新刀的刀具补偿值找出输入补偿存储器即可。可见,此方法应用在数控车床,对刀操作可大大提高生产效率,方便调整。所以,在现在数控系统中多数采用此种对刀方法对刀。

课题 3

数控车床编程基础

- ◎第一节 数控车床编程基础知识
- ◎第二节 数控车床的编程规则
- ◎第三节 数控车床程序的指令代码
- ◎第四节 数控车床程序的格式与组成
- ◎第五节 手工编程中的零件轮廓点计算
- ◎第六节 刀具补偿功能

【知识要点】

了解数控加工程序的概念及其编制步骤；掌握数控车床的编程规则；熟悉数控车床编程常用的符号及其指令代码。熟练掌握数控加工程序的格式与组成；掌握手工编程时零件轮廓上基点的计算；掌握刀具补偿功能的应用。

数控编程基础包括了数控编程的步骤，编程的基本功能指令，机床编程的规则，编程中节点的计算，一般工件的编程方法，车床刀具补偿（半径补偿）功能编程方法，通用车床实用编程实例。

第一节 数控车床编程基础知识

一、数控加工程序的概念

数控车床编程就是应用数控系统所提供的功能指令书写零件的轮廓加工路线的过程。运用数控系统提供的指令书写的零件轮廓称为程序。

数控程序不仅仅是单一的编写数控加工指令的过程，它还包含了普通车床车削工件的所有设置：零件轮廓加工路线、零件加工用刀具、加工工艺、车削参数、辅助动作（冷却液开关、主轴转和停）等。

因此，数控加工程序是按规定的格式描述零件几何形状和加工工艺的数控指令集。

二、数控车床程序编制过程

数控编程可分为手工编程和自动编程（计算机辅助编程）。

不同的数控系统他们的零件加工程序指令是不同的。编程时必须按照数控机床的规定进行编程。

1. 手工编程的定义和特点

手工编程的定义：利用规定的代码和格式，人工制订零件的加工程序，称为手工编程。

手工编程的特点是：①对形状简单的工件，编程快捷简便。②不需要具备特别的条件。③不适合编制形状复杂的零件。数控车床车削零件是回转体零件，零件轮廓较简单。因此，数控车床上零件大都采用手工编程来完成。手工编程工作量大、繁琐且易出错，很多时候常采用计算机（CAD）来求取轮廓的基点和节点。不过，车床加工工件轮廓节点的计算并不是难点，这部分内容在下面课题里进行学习。

手工编制程序过程时，要充分掌握本书所讲的简化编程的知识和

技巧。一是在编程时应使所编程序尽可能的短，这就要求会合理运用数控车床所提供的简化指令的使用。二是零件加工路线要尽可能短，切削用量的合理选择和程序中的空走刀路线的选择是关键。

2. 手工编程的步骤

手工编程的步骤如图 3-1 所示。

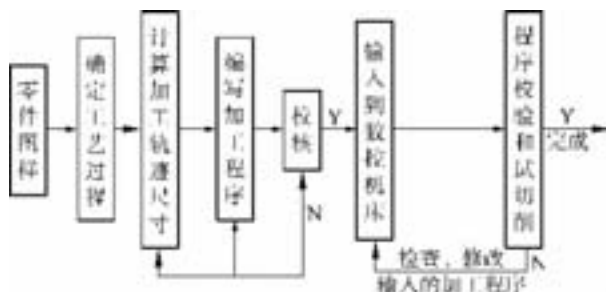


图 3-1 手工编程的步骤

(1) 图样分析。编制零件程序首先要读懂图纸。零件图样是一种工程语言，其包括各种信息，这些信息有：零件的材料、形状、尺寸、精度、热处理要求等。对这些信息的分析，要确定零件是否适合数控车床加工，要加工哪些部分，采用哪几道工序加工等。

(2) 确定工艺过程。根据零件图样进行工艺分析，在此基础上选定加工机床、刀具和夹具，确定零件加工的工艺路线、工序及切削用量等工艺参数。这些参数刚开始希望能参照例题参数（经验参数）照搬使用。先模仿学习，然后再实践中去检验，之后总结变成自己的经验数据。

(3) 计算加工轨迹和加工尺寸。根据零件图样上的尺寸、工艺要求等，选定一个工件坐标系，在工件坐标系内计算工件轮廓的坐标值，即基点和节点坐标。这部分需要学会掌握一些基本的三角函数、几何知识。

(4) 编制加工程序和校核。根据制定的加工工艺方案，按照机床数控系统使用的指令代码和程序格式的规定编写零件的加工程序单，

并校核其内容，纠正其中的错误。

(5) 输入到数控系统。把编制好的程序输入到数控系统，常用的输入方法有：一是在操作面板上利用数控系统提供的键盘直接手工输入；二是利用 DNC（数据传输）功能，将计算机上编制的加工程序通过传输软件和传输接口（例如 RS232 接口）传输到数控系统；三是高级版本数控系统可以直接插入存储卡进行读写（例如 U 盘）。

(6) 程序校验和试切削。所编制的加工程序须经校验和试切削才能用于正式加工。通常采用空运行的方法进行程序校验，但这只能校验程序格式是否正确、代码是否完整，不能校验轨迹的正确性。为检验加工轨迹是否正确，在有图形显示功能的机床上，可利用仿真图形来检查轨迹的正确性；如机床没有仿真功能，可用木材或塑料等材料首件进行试切。

3. 自动编程

自动编程是指计算机辅助编程，也是计算机辅助制造（CAM）技术。这种编程是将零件的二维或三维（CAD）信息进行采集，通过 CAM 软件来生成一定的刀具轨迹文件，再根据所使用的数控系统，选择相应的后处理文件来生成相应的数控系统所使用的数控程序。

这种编程技术需要特定的 CAM 软件，也需要操作者熟练掌握软件使用，并且需要具备一定的切削加工工艺知识。目前，此类流行的软件有：中小型软件 MasterCAM、CimatronCAD/CAM，大型软件系统 UG、Pro/Engineer、CATIA，国产优秀软件 CAXA-ME 制造工程师等。

第二节 数控车床的编程规则

数控车床编程时常有下面几种状态：绝对值编程和增量编程、直径编程和半径编程、小数点编程。

一、绝对值编程和增量编程

数控车床编程可以采用绝对值编程、增量值编程和混合编程。

绝对值编程是根据已设定的工件坐标系计算出工件轮廓上各个点的绝对值进行编程的方法，使用 X 、 Z 轴。增量值编程又称相对值编程，它是用相对前一个位置的坐标增量来表示坐标值的编程方法，使用 U 、 W 轴，其正负由行程相对前一点方向决定，和工件坐标系轴方向一致为正，反之为负。混合编程是将绝对值编程和增量值编程混合起来进行编程的方法。

现在，许多系统都采用了指令来指定其编程状态是绝对值还是增量值。用 $G90$ 表示绝对值编程，用 $G91$ 表示增量值编程。编程地址统一采用 X 、 Z 表示。例如图 3-2 所示，从 A - B 轨迹用三种编程规则编程如下。

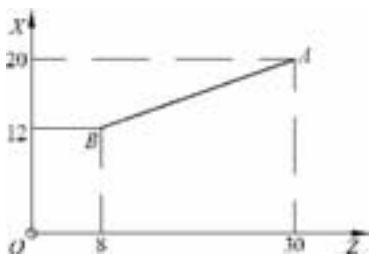


图 3-2 绝对值、增量值编程

绝对值编程： $G1X12Z8F100$ 或 $G90G1X12Z8F100$

增量值编程： $G1U-8W-22F100$ 或 $G91G1X-8Z-22F100$

混合编程： $G1X12W-22F100$ 或 $G1U-8Z8F100$

建议采用状态指令 $G90/G91$ 来切换编程状态，这样较简单。

二、直径编程和半径编程

车床车削工件为回转体零件，其横截面为圆形，故其尺寸有直径指定和半径指定两种方法。

用直径指定时称为直径编程，用半径指定时称为半径编程。数控车床常采用指令来指定其编程时的状态。如 SIEMENS802S/C 系统采用 G22 表示半径尺寸编程，G23 表示直径尺寸编程。国产华中 HNC-21/22T 系统采用 G37 表示半径尺寸编程，G36 表示直径尺寸编程。一般数控车床系统如果不指定状态，应采用直径编程。可以在数控车床系统内部参数设定。注意，如果数控车床没有特别指出其状态，常采用的是直径编程状态。

三、小数点编程

数控车床系统编程时，控制系统可以输入带小数点的数值。小数的位数可以说明控制系统的分辨率，也反映其系统的精度，决定其数控系统的档次。一般数控系统都可以达到小数位数为三位即 0.001 mm。可以用小数点的表示的是 mm、in、($^{\circ}$) 等单位。

小数点编程在有的数控系统中要特别注意的，如日本的三菱数控系统，编程时所有数值必须采用有小数点的数表示。例如 X100 只能写为 X100.，否则就变成 X100 微米了。这一点很容易搞错。因为这跟平时输入数字习惯很不符合。不过，数控系统参数可以关闭其小数点输入法，让其恢复常态输入状态。这样，输入整数时可以不需要再带小数点了。

第三节 数控车床程序的指令代码

一、数控车床常用的术语

1. 字符

字符是计算机的信息术语。它是用来表示数据的各种符号，如字母、数字、符号和数学运算符号等。这是计算机进行存储或传送的信号。数控车床加工程序常用字符分四类。一是字母（26 个英文大写字

母)；二是数字和小数点，0~9 共 10 个数字和小数点；三是符号，正负号（+、-）；四是功能字符。如程序开头符%、程序跳段符/、空格符等。

2. 程序字

程序字是一套有规定次序的字符，可以作为一个信息单元存储、传递和操作。程序字可以说是数控机床加工程序所特有的字符的集合。如 O1234、O18 等。

3. 地址和地址字

地址实际上就是一种特殊的符号。数控系统规定了每个地址符号后跟的数字表示的含义。由地址符号加数字的集合组成地址字。例如 X25、Z100、W20、Z50 等。

二、数控车床的指令代码

数控车床加工程序所使用的指令代码有：程序号、程序段、准备功能字、辅助功能字、坐标功能字、主轴功能字、进给速度字、刀具功能字、刀具补偿功能字、子程序号、循环次数、暂停功能字。

1. 程序号

程序号也是程序的名称。程序号也就是程序的命名，主要是为了对程序进行管理。如检索程序、修改程序、调用、模拟、执行程序等操作。程序命名每种系统稍有区别。FANUC（发那科）系统采用 Oxxxx 命名。大写的字母 O 后跟四个数字组成（例如 O1234）。广州数控系统采用 Pxxxx 命名。大写的 P 后跟四个数字组成（例如 P1818）。SIEMENS802S/C（西门子）字母后跟字母或数字组成（例如：CY123.MPF），最多为 8 个字符。SIEMENS802D/840D 采用字母或数字任意组成（例如：512CZY.MPF），最多可以使用 18 个字符。

程序名应针对各个数控系统规定来具体命名。

2. 程序段号

程序段号是指程序的顺序号，它采用 Nxxxx 表示。N 字母后跟数

字组成。通常为了修改方便规定顺序号之间数字间隔为 5 或 10（如：N5~N10，N10~N20）。一段行结束后都有一个结束符，FANUC 系统采用；表示，SIEMENS 系统采用 LF 表示，三菱系统采用*表示。编写程序时一般不需要写出，程序输入行结束时，只需要加个回车符即可，每种系统都会自动在其行后加入行结束符号的。

3. 准备功能字

准备功能字 G，又称为 G 功能字或 G 指令，它是指定机床工作状态、设定机床工作方式、控制数控系统运动轨迹的一种命令。其表达方式 Gxx（G00~G99）。指令有 100 条，但要求熟练掌握的运动指令只有 G0\G1\G2\G3。其他指定其运动状态的，简化编程的框架指令，固定循环指令等共计 20 条左右是要求必须掌握的。

G 指令分为模态指令和非模态指令两大类。模态指令是指程序中一经使用后就一直有效，直到出现同组中的其他任意指令将其取代才失效的指令。也可以称为续效指令。绝大多 G 指令都是模态指令。非模态指令是指只在其指令出现的程序段有效的指令（例如：G04）。

4. 辅助功能字

辅助功能字又称 M 指令或 M 功能，它是用以指令数控机床中辅助装置的开关动作或状态。例如，主轴的开停，冷却液的开关，刀具的更换等。在数控系统中 CNC 处理 M 指令时就输送给 PLC，让 PLC 去执行接触器的开合，使电机得电和断电。M 指令形式，Mxx（M00~M99）共 100 条指令，由字母 M 和其后的两位数字组成。M 指令虽有 100 条指令，但要求能掌握的只有近 10 条指令，其他许多 M 功能数控系统没有指定。

5. 坐标功能字

坐标功能字主要是指定机床的刀具运动到达的坐标位置。坐标功能字又称坐标尺寸字，尺寸字是由规定的地址符及后续的带符号（+、-）的小数十进制数组成。常用的坐标尺寸字有三种。一是 X\Y\Z 和 U\V\W，用来指定到达点的坐标值或距离；二是 A/B/C，用来指定到达的角度坐标；三是 I/J/K，用来指定零件圆弧轮廓圆心点的

坐标尺寸。

坐标尺寸字指定的坐标值一般是以 mm 为单位的，但有的还以英寸为单位的。数控系统可以以数控指令来指出其状态。如，FANUC 系统用 G20/G21 来切换，G21 表示公制尺寸，G20 表示英寸尺寸。SIEMENS 系列系统采用 G70/G71 来切换，G71 表示公制尺寸，G70 表示英寸尺寸。注意， $1\text{ in}=25.4\text{ mm}$ 。请记住此尺寸换算关系。

6. 进给功能字

进给功能字地址符 F，又称 F 功能或 F 指令。其功能是指定切削速度。格式是 Fxxxx，字母 F 后跟数字表示。后面数字直接表示进给速度值。通常单位有两种，一种是转进给速度，单位 mm/r（毫米每转）、in/r（英寸每转）。另一种是分进给速度，单位 mm/min（毫米每分钟）、in/min（英寸每分钟）。进给速度的两种状态可以通过指令来指定。如，FANUC 系统用 G98/G99 来指定，G99 表示转进给速度，G98 表示分进给速度。SIEMENS 系列数控系统用 G95/G94 来指定，G95 表示转进给速度，G94 表示分进给速度。系统内部在螺纹加工时会采用转进给速度设定。

7. 主轴转速功能字

主轴转速功能字的地址符用 S，又称 S 功能或 S 指令。它主要用来指定主轴的转速或速度。单位是 r/min（转每分钟）或 m/min（米每分钟）。数控系统采用主轴伺服控制单元，速度可以直接指定，并且是无级速度。格式 Sxxxx，字母 S 后跟整数表示。例如 S810 表示主轴转速为 810 r/min。在中档数控车床上有一种使切削速度保持不变的所谓恒线速度功能。这样，主轴在随着回转工件的直径变化而改变转速。在程序中可以用 G96/G97 来配合 S 指令指定主轴的速度。其中 G96 为恒线速度控制指令，如用 G96S180 表示主轴的速度为（线速度）180 m/min。G97S180 表示取代 G96，即主轴不是恒线速度功能，其转速为 180 r/min。

8. 刀具功能字

刀具功能字的地址符用 T，又称 T 功能或 T 指令。它主要用来指

定加工中所用刀具号和刀补号，刀补号内主要存的是刀具的刀位偏差或长度补偿及刀具半径补偿。格式 Txxxx，字母 T 后跟数字表示，通常 T 后跟四位数，前两位表示刀具号，后两位表示自动补偿的编组号（刀补号）。例，T0101 表示 1 号刀执行的是补偿编组号为 01（单元地址，通俗说是 01 号房间）的补偿内容。

9. 其他参数

刀具的补偿功能字 D/H。半径补偿功能格式是 Dxx，字母 D 后跟数字，后跟数字表示补偿编组号。Dxx 取的是其中的刀具半径补偿值。长度补偿功能格式是 Hxx，字母 H 后跟数字，后跟数字表示补偿编组号。Hxx 取的是其中的刀具长度补偿值。

暂停功能字 P/X，一般 P 后所跟的是指毫秒，X 后跟的数字是指秒。

循环次数 L，L 后跟数字表示循环的次数。

子程序号字 P，其后所跟的数字表示的是子程序名。

第四节 数控车床程序的格式与组成

一、加工程序的组成

加工程序包括程序号、程序内容和程序结束三部组成。例如：
程序号 O1818：

```
N10 T0101
N20 S800M3
N30 G0X40Z2
.....
N100 G0X100Z100M5
N110 M30
```

从程序结构体中可以看出，程序是一段一行的书写，程序需要先建立程序名。程序体包括开头部分，一般是指定刀具和刀补，建立工

件坐标系，指定主轴转速，指定刀具的起始位置等。程序体中间部分就是零件加工程序的核心内容，它包括刀具切入轮廓的方式，刀具的半径补偿，刀具沿零件轮廓的运动轨迹描述，刀具切出轮廓，刀具半径补偿的取消等。程序结束部分包括刀具补偿值的取消，回换刀点，关主轴，程序结束等。

二、加工程序的结构

1. 主程序和子程序的定义

数控加工程序的结构形式一般为统一的三段论方式。它是加工程序的主体结构，即主程序。但在编制程序时，程序中有许多轮廓重复的部分，为了程序书写简练，可以把重复部分独立出来写成另一个程序，这便是子程序。可见子程序是一个程序块。它可以被程序主体进行调用。

2. 子程序的调用

在主程序中，调用子程序指令是一个程序段，其格式因数控系统不同而不同。FANUC 系统格式为：M98 P_ L_ 式中 M98 为调用子程序指令，P 为被调用的子程序名，L 为被调用程序的次数。例如：M98P1818L2 则表示调用子程序 O1818 程序两次。SIEMENS 系列数控区分主程序和子程序的标志是看程序名的后缀，例，CZY.MPF，CY1.SPF 或 L12，后缀带 MPF 表示的是主程序，后缀是 SPF 表示的是子程序，子程序还有独特的表示就是 Lxx，L 后跟数字西门子系统默认是子程序。它的主程序调用子程序来得更简单，只要把子程序名放在主程序要调用的位置即可，但必须单独一行放置。

3. 程序段格式

程序段是为了完成某个动作要求所需要的程序字的组合。程序段格式在不同的数控系统中稍有区别，一般没有特别固定的格式可套，但相对一种数控系统，它的编程格式相对是比较固定的。希望针对不同数控系统掌握其说明书规定的编程格式。如表 3-1 程序段格式为一般通用的程序段格式，在此只做参考。

图纸中外圆标注有公差的 $\phi 38_{-0.05}^0$, $\phi 22_{-0.021}^0$, $71_{-0.12}^0$ 还有 M20×1.5 螺纹的外圆, 编程时换算的尺寸分别为 $\phi 37.975$, $\phi 21.99$, 70.94, $\phi 19.85$ 。换算方法是取极限尺寸的平均值。

2. 间接换算

利用平面几何、三角函数等计算方法进行必要的计算得到编程尺寸的一种方法。如图 3-3 中的尺寸 $\phi 28.494$, 22.469 就属于间接换算得到的编程尺寸。

二、基点与节点的计算

(一) 基点

1. 基点的定义

构成零件轮廓的不同几何元素线的交点或切点成为基点。如图 3-4 所示, 它就是运动轨迹的起点或终点, 这些点可以直接编程使用。图 3-4 所示的 A-F 点均是该零件轮廓上的基点。

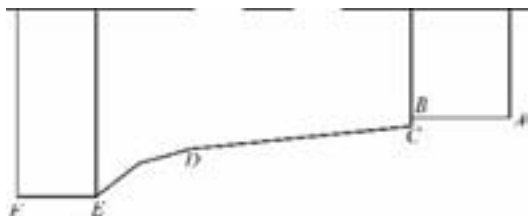


图 3-4 零件轮廓点 (基点) 的计算

2. 基点的计算内容

零件轮廓上的直线、圆弧线之间的交点或切点在选定的工件坐标系中的坐标值和圆弧运动轨迹的圆心坐标值即为基点的计算内容。基点计算方法简单, 但需要能熟练掌握。

(二) 节点的定义

数控机床一般只有直线指令和圆弧指令, 在加工非圆曲线时, 编程中常常采用直线或圆弧去近似代替非圆曲线, 称为拟合处理。拟合线段的交点或切点称为节点。节点拟合计算难度大, 工作量也大。在

生产实际过程中也很少能用到。故节点的计算这里不作要求。

三、基点计算实例

车削如图 3-5 手柄，计算出编程所需的数值。

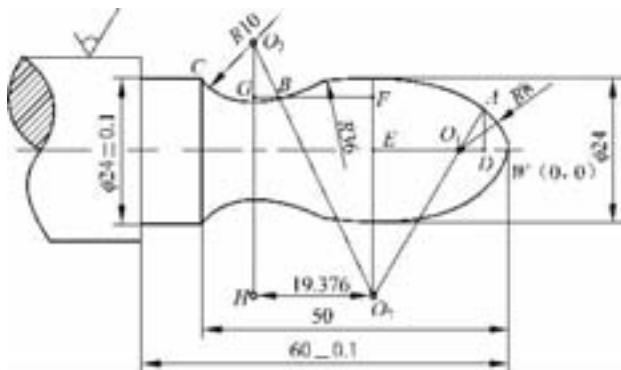


图 3-5 手柄基点计算实例

此零件只要计算出 A、B 点的坐标值即可。图纸中 A/B 分别为圆弧 R8、R36 和 R10 三个圆弧光滑连接而成。

编程零点 W 设在工件右端见图 3-5 所示。

需要计算的编程尺寸分别是轮廓上的基点坐标 (A 点和 B 点)。故连接三圆弧的圆心，过基点作轴线的垂线，延长各线段，组成如图 3-5 中的各三角形。下面计算单位均为毫米 (mm)。

在 $\triangle O_1EO_2$ 中

$$\text{已知: } EO_2 = 36 - 24/2 = 24$$

$$O_1O_2 = 36 - 8 = 28$$

$$O_1E = \sqrt{(O_1O_2)^2 - (EO_2)^2} = \sqrt{28^2 - 24^2} = 14.422$$

1. 先求出 A 点的坐标值

从图纸可以看出 $\triangle ADO_1 \cong \triangle O_1EO_2$ ，可以得出：

$$\frac{AD}{O_2E} = \frac{O_1A}{O_1O_2}$$

$$AD = O_2E \times \frac{O_1A}{O_1O_2} = 24 \times \frac{8}{28} = 6.857$$

$$\frac{O_1D}{O_1E} = \frac{O_1A}{O_1O_2}$$

$$O_1D = O_1E \times \frac{O_1A}{O_1O_2} = 14.422 \times \frac{8}{28} = 4.121$$

得到 A 点的坐标值为:

$$XA = 2 \times AD = 2 \times 6.857 = 13.714(\text{直径值})$$

$$ZA = -DW = -(O_1W - O_1D) = -(8 - 4.121) = -3.879$$

所以 A 点的坐标为 A (13.714, -3.879)

2. 求出 B 点的坐标值

从图纸上可以看出 $\triangle O_1HO_2 \cong \triangle BGO_3$, 可以得出:

$$\frac{BG}{O_2H} = \frac{O_3B}{O_3O_2}$$

$$BG = O_2H \times \frac{O_3B}{O_3O_2} = 19.376 \times \frac{10}{36+10} = 4.212$$

$$BF = O_2H - BG = 19.376 - 4.212 = 15.164$$

所以 $ZB = -(BF + O_1E + O_1W)$

$$= -(15.164 + 14.422 + 8) = -37.586$$

在 $\triangle O_2FB$ 直角三角形中

$$O_2F = \sqrt{(BO_2)^2 - (BF)^2} = \sqrt{36^2 - 15.164^2} = 32.65$$

$$EF = O_2F - O_2E = 32.65 - 24 = 8.65$$

则 $XB = 2 \times EF = 2 \times 8.65 = 17.3$

所以 B 点的坐标为 B (17.3, -37.586)

C 点的坐标可以从图纸中直接得到 C (24, -50)。

从此例题中可以看出求轮廓的基点方法是充分利用已知条件, 关键是连接必要的线段, 这样才可能把已知条件和未知条件之间建立联系。利用三角形之间相似性质求出需要的边长度。尤其是在直角三角形内已知三个条件, 其他边应会求。如果此处还不清楚, 应查一下有关资料, 学习掌握一些三角和几何方面的基础知识。数控车编程所涉

及的计算也只有这些知识点，难度也只有这样。望能努力学习掌握这种基点的计算方法。

四、基点计算要求

数控车床中级工均要求操作者能进行一般的轮廓上基点的计算,下面介绍两种常用的连线计算基点的方法。

1. 直线与圆弧相切点的计算

通常需要计算出两圆公切线的交点坐标。如图 3-6 为两圆相切例图。

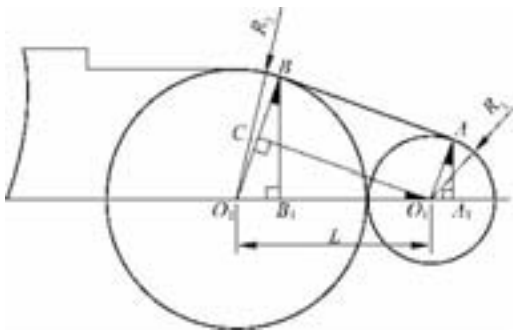


图 3-6 两圆公切线交点例图

计算方法是连接圆心到交点的连线 O_2B , O_1A 。过小圆中心作公切线 AB 的平行线交 O_2B 与 C 点。在直角 $\triangle O_1CO_2$ 中 O_1O_2 已知, $O_2C=O_2B-O_1A=R_2-R_1$ 故 $\angle CO_1O_2$ 可以求得, 而在直角 $\triangle BB_1O_2$ 和直角 $\triangle AA_1O_1$ 中 $\angle BB_1O_2=\angle AA_1O_1=\angle CO_1O_2$, 图示中的阴影部分的角。故可以分别求得 A 点和 B 点坐标。

2. 圆弧与圆弧相切点的计算 (三圆相切)

如图 3-7 三圆弧相切与 A 点, B 点。图示中给出了计算的方法。

连接圆心到交点的连线 O_3O_2 , O_3O_1 在任意三角形 $\triangle O_3O_2O_1$ 中已知三条边即 O_1O_3 已知, $O_2O_3=R_2+R_3$, $O_1O_3=R_1+R_3$ 。利用余旋定律求出图示阴影处的角度 $\angle O_3O_2O_1$ 和 $\angle O_3O_1O_2$ 在直角 $\triangle BB_1O_2$ 和直

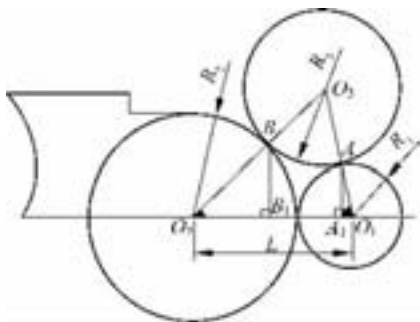


图 3-7 三圆相切交点例图

角 $\triangle AA_1O_1$ 中均已知三个条件故 A、B 点坐标即可以求得。

第六节 刀具补偿功能

刀具补偿功能是指用来补偿刀具实际安装位置与理论编程位置之差的一种功能。刀具的补偿包括刀具的位置补偿，刀尖圆弧半径补偿。

一、刀具位置补偿

零件加工程序中的指令值是刀具的刀位点值。编程时设定的零点即编程零点是以刀具基准点为依据的。刀位点到基准点的矢量值为刀具位置补偿。建立刀具位置补偿后，改变刀具时，不用修改和改变零件加工程序，只要改变刀具的位置补偿值即可，这样简化了编程。

1. 刀具位置补偿的设定方法

刀具位置补偿方法有两种，一是相对位置补偿，另一是绝对补偿。

刀具位置补偿值在课题 2 对刀一节已经详述了，这里不再重述。

2. 刀具的几何形状补偿与刀具磨损补偿

刀具的几何形状补偿即为初始的刀具位置补偿值，当对刀完成，工件加工一段时间后，刀具的刀尖有磨损，这时还需要补偿即修正刀

尖的位置。其实，刀具的位置补偿值就是刀具的几何形状补偿与刀具磨损补偿的数值之和。

3. 刀具的位置补偿功能的实现

编程时，当用到哪把刀具，程序即可调出哪把刀具，调出刀具并一起执行这把刀具的位置补偿。例，T0202 便是调用 2 号刀具，执行补偿号 02 存储器内的刀具补偿值。

二、刀尖半径补偿

1. 刀尖圆弧半径补偿的目的

在选择车刀时，为了提高刀尖强度，通常在刀尖处磨有一圆弧过渡刃，这样可以降低表面粗糙度。但在编程中，通常将刀尖看做是一个点，即所谓理想刀尖（如图 3-8 所示），但一般刀尖处都是有一定的圆弧的。在切削内孔，外圆及端面时，刀尖圆弧不影响加工尺寸和形状，但在切削锥面和圆弧时，则会造成过切或少切现象。如图 3-9 所示。



图 3-8 理想刀尖

早期的经济型数控车床，有的不具备半径补偿功能。解决零件轮廓误差的方法是一般采用较尖的刀尖进行加工，即使这样，零件轮廓还是有误差的。刀尖太尖，刀头强度降低，刀具寿命缩短，导致频繁换刀，降低生产率，这种情况下，通常最好的方法是采用局部补偿计算加工和按刀具的刀位点即圆弧中心编程加工。这样会给编程带来了

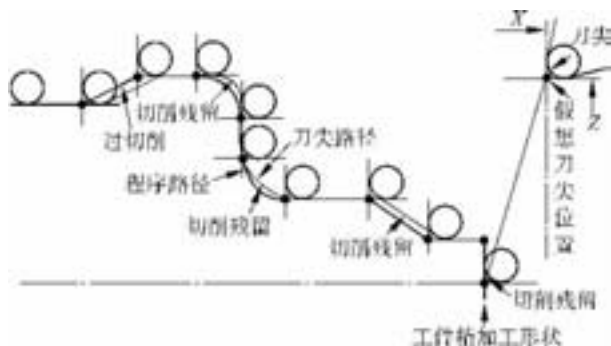


图 3-9 刀尖圆角造成的少切和过切现象

很大的麻烦，使编程变得繁重。

图 3-10 所示即为按刀尖圆弧中心轨迹编程加工的情况，可以看出如果数控机床没有自动偏移的功能，需要人工进行零件轮廓等距线的偏移，再进行基点的计算，工作量是可想而知。现在，数控车床具备了半径补偿的功能，即刀具运动到零件轮廓上时，会自动偏移一个刀具半径。这样编程时就可以按零件轮廓轨迹编程了，不需要考虑刀具半径问题了。

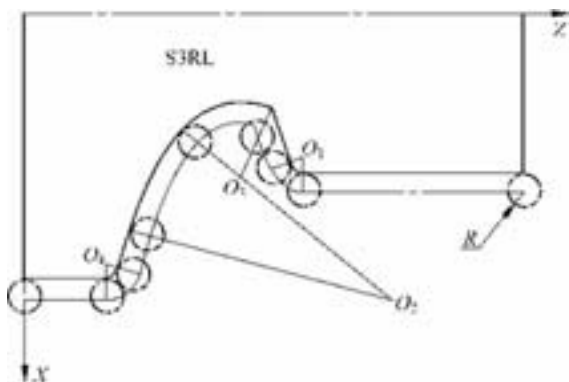


图 3-10 刀具中心轨迹编程实例

2. 刀尖圆弧半径补偿的指令

刀具半径补偿指令为 G41/G42，取消半径补偿为 G40。刀具半径补偿建立后，刀具中心在偏离工件轮廓的一个刀尖圆弧半径的等距线轨迹上运动。如图 3-8 所示的刀具中心轨迹线。

G41 为刀尖半径左补偿指令，顺着刀具运动方向看，刀具在工件的左侧，称为刀尖半径左补偿；

G42 为刀尖半径右补偿指令，顺着刀具运动方向看，刀具在工件的右侧，称为刀尖半径右补偿；如图 3-11 所示。

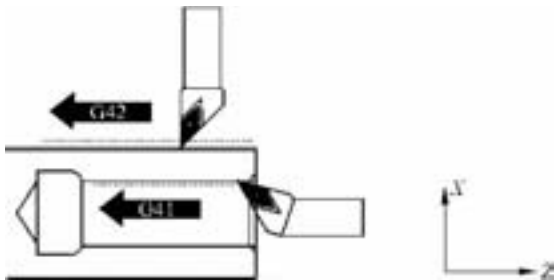


图 3-11 后置刀架刀尖圆弧半径补偿

G40 为刀尖半径补偿值的取消指令。取消半径补偿后，刀具的刀尖（刀位点）轨迹与编程轨迹重合。刀具此时不再偏移，取消了偏移值。

使用刀具半径补偿时应注意：

(1) G41/G42 不带参数，其后带上 Dxx 补偿号，D 后跟刀具补偿号，是取补偿号存储器中的设定的半径值。刀尖圆弧补偿号一般应与刀具偏置补偿号对应。刀具补偿号存储了刀具的位置补偿值、刀尖圆弧半径值和刀尖方位值。

(2) 刀尖半径补偿的建立与取消只能用 G00 或 G01 指令，不能用 G02 或 G03。

(3) 注意上手刀和下手刀中 G41/G42 的区别，图 3-11 为上手刀，下手刀架方向定义与图 3-11 所示方向对称，将图按轴线向下镜

像即可。

(4) 在进行调用新刀具前或更改刀具补偿方向时，中间必须取消刀具半径补偿。否则，会引起加工误差或刀具干涉。

(5) 在使用 G41 或 G42 指令后，其后指令不能连续有两个及两个以上的不移动指令，否则 G41/G42 会失效。

3. 刀尖圆弧半径补偿的过程

刀具半径补偿过程是：刀补的建立，刀具中心从编程轨迹重合过渡到与编程轨迹偏离一个偏移量（刀尖圆弧半径值）的过程。

刀补执行时，刀具中心始终与编程轨迹相距一个偏移量；刀补取消时，刀具离开工件，刀具中心轨迹要过渡到与编程轨迹重合的过程。

所以刀补建立和取消是个过程。那编程时一定要注意刀补的建立过程和取消过程。建立和取消都需要一定的移动距离让刀补偏移值进行过渡。编程实例具体见后面课题。

4. 刀尖方位的确定

刀尖圆弧半径补偿寄存器中，定义了车刀圆弧半径及刀尖的方向号。车刀刀尖的方向号定义了刀具刀位点与刀尖圆弧中心的位置关系，从 0~9 有十个方向，如图 3-12 所示车刀刀尖方位号。

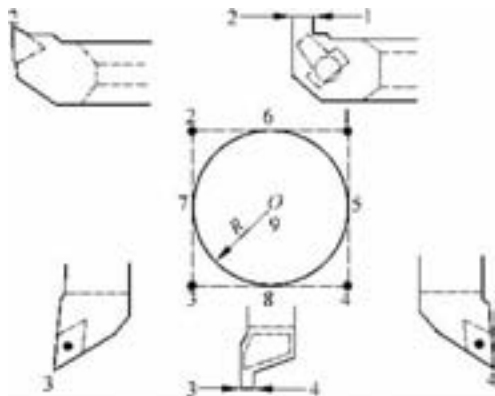


图 3-12 车刀刀尖方位号（后置刀架）



从图 3-12 中可以看出在使用刀具补偿时应对照刀具刀尖圆弧圆心的位置来选择合适的刀尖方位号。

常用的外圆车刀刀尖刀位为 3，内孔镗刀刀尖刀位为 2，圆弧 R 车刀刀尖刀位为 8。