

# 铣工工艺与技能训练



工程训练中心

二〇二二年九月



# 目录

- 一、铣工简介
- 二、铣刀简介
- 三、切削液
- 四、常用量具
- 五、铣削运动和铣削用量
- 六、平面铣削的加工工艺
- 七、铣床安全操作规程



# 一、铣工简介

 铣削加工：在铣床上以铣刀旋转作主运动，工件作进给运动的切削加工方法。

 主要特点：

(1) 用多刀刃的铣刀来进行切削，效率较高；

(2) 加工范围广，可以加工各种形状较复杂的零件；

(3) 加工精度也较高，其经济精度一般为IT9~IT7，表面粗糙度值为 $Ra12.5\sim1.6\mu\text{m}$ 。



图1 立式铣床工作图



# 一、铣工简介

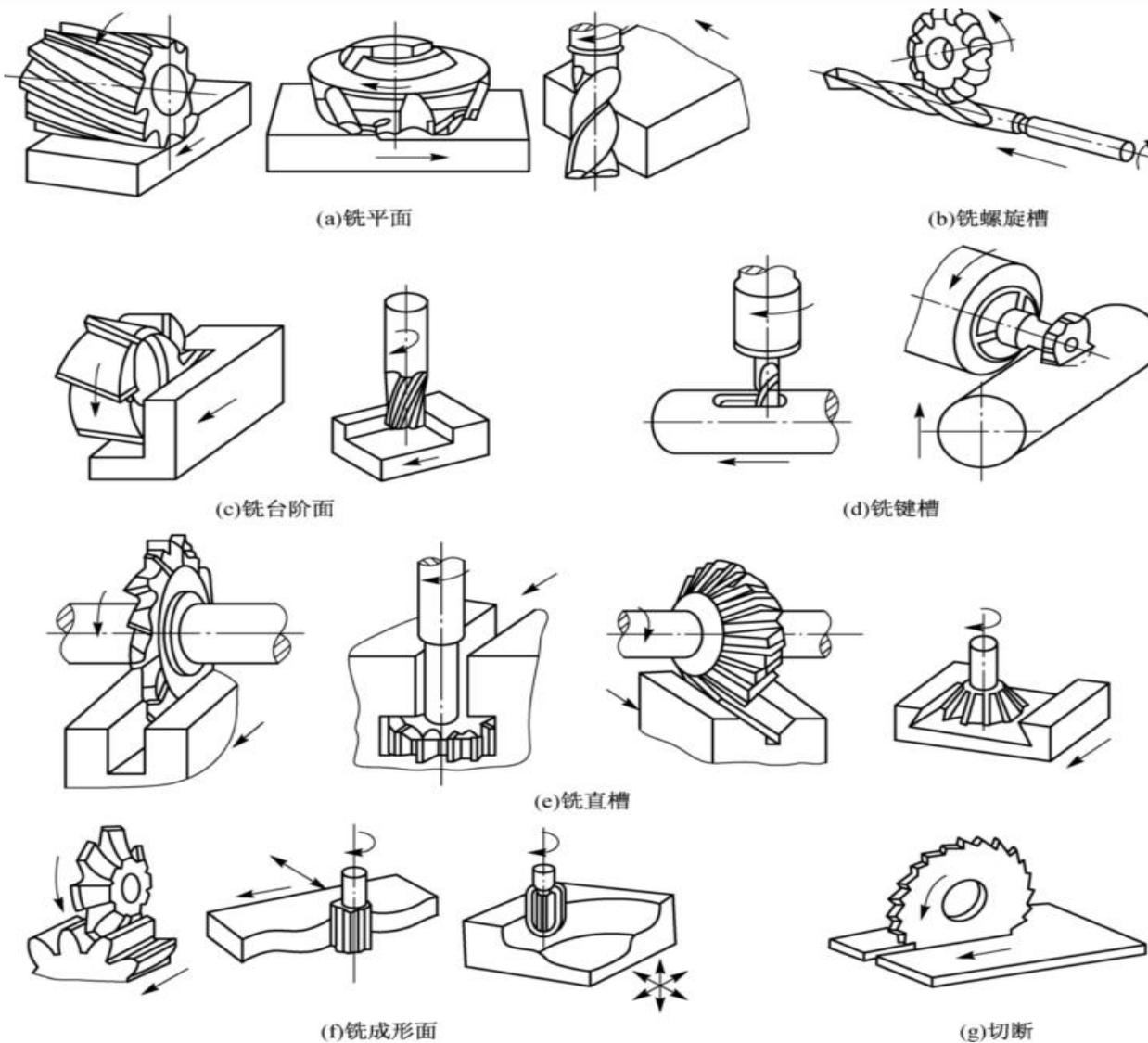
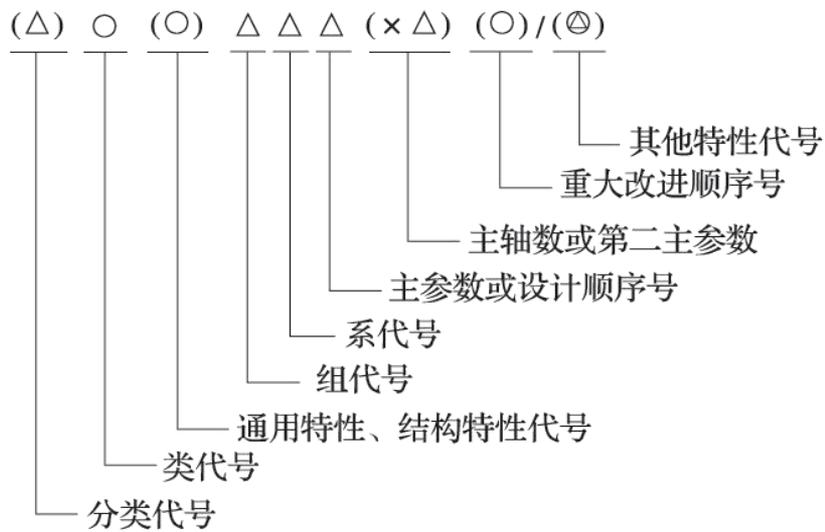


图2 铣削的基本内容

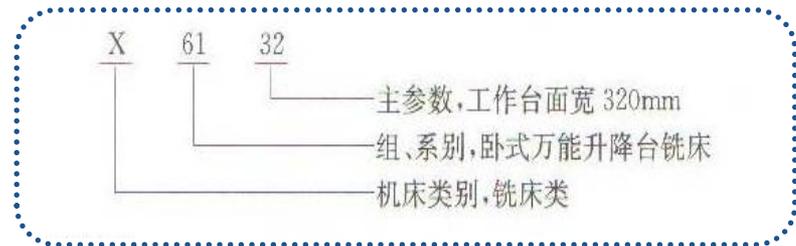


# 一、铣工简介

## ➤ 1. 机床型号编制方法



如某铣床型号表示方法为 X6132，其具体含义如下：





# 一、铣工简介

## ➤ 2.典型铣床

### 👉 (1) 卧式升降台铣床

卧式升降台铣床的典型机床型号为X6132。

X6132型铣床的结构及其特点如图3所示为X6132型铣床，它是国产铣床中最典型、应用最广泛的一种卧式万能升降台铣床。X6132型铣床的主要特征是铣床主轴轴线与工作台台面平行。

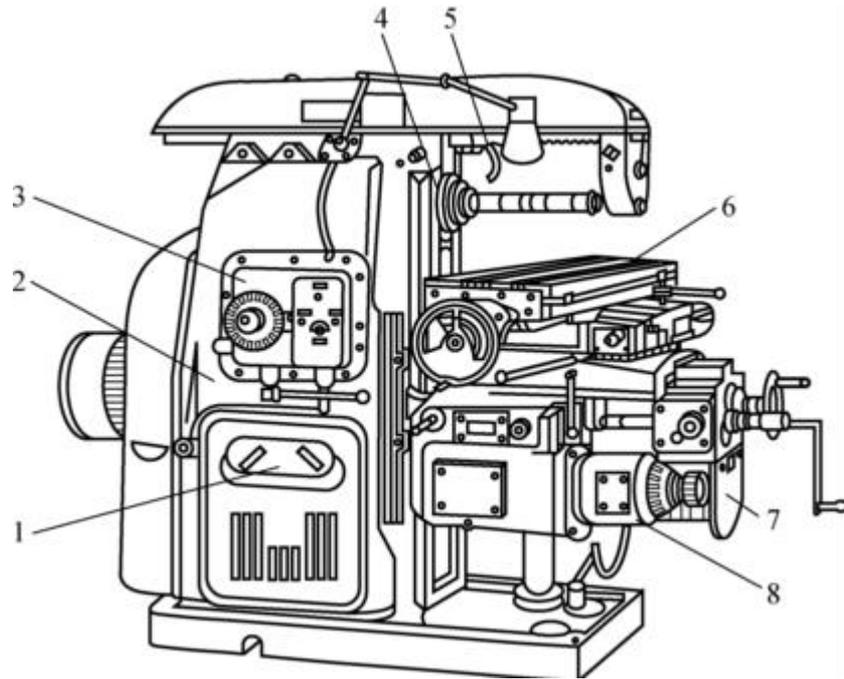


图3 X6132型卧式万能升降台铣床外形及各系统名称  
1—机床电器系统；2—床身系统；3—变速操作系统；  
4—主轴及传动系统；5—冷却系统；6—工作台系统；  
7—升降台系统；8—进给变速系统



# 一、铣工简介

## ➤ 2. 典型铣床

### 👉 (2) 立式升降台铣床

立式升降台铣床的典型机床型号为X5032。

X5032型铣床的外形及各系统名称如图2-4所示。X5032型铣床的规格、操纵机构、传动变速情况等与X6132型铣床基本相同。不同之处主要有以下两点：

①X5032型铣床的主轴与工作台面垂直，安装在可以偏转的铣头壳体内。

②X5032型铣床的工作台与横向溜板连接处没有回转盘，所以工作台在水平面内不能扳转角度。

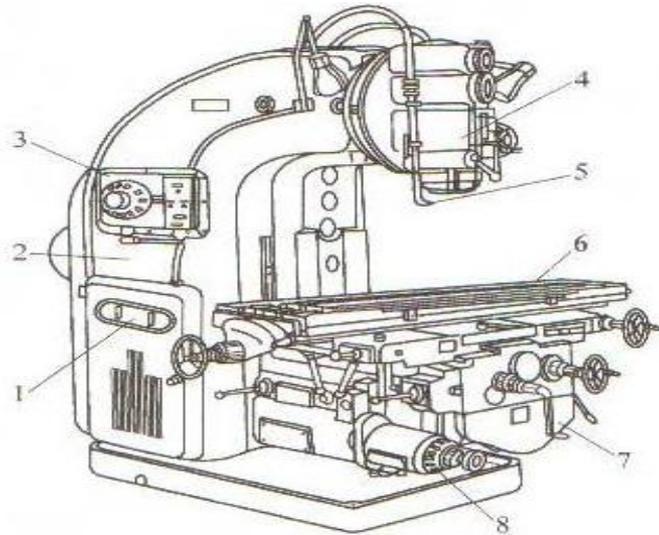


图4 X5032型立式升降台铣床外形及各系统名称  
1—机床电器系统；2—床身系统；3—变速操作系统；4—主轴及传动系统；5—冷却系统；6—工作台系统；7—升降台系统；8—进给变速系统



## 二、铣刀简介

### ➤ 1. 铣刀材料的基本要求

- ◆ (1) 高的硬度
- ◆ (2) 良好的耐磨性
- ◆ (3) 足够的强度和韧性
- ◆ (4) 良好的热硬性
- ◆ (5) 良好的工艺性



## 二、铣刀简介

### ➤ 2. 铣刀的分类

#### 👉 (1) 按铣刀切削部分的材料分类

按铣刀切削部分的材料分类，可分为高速钢铣刀、硬质合金铣刀、高速钢和硬质合金涂层铣刀及金刚石、陶瓷、立方氮化硼等超硬材料制造的铣刀。



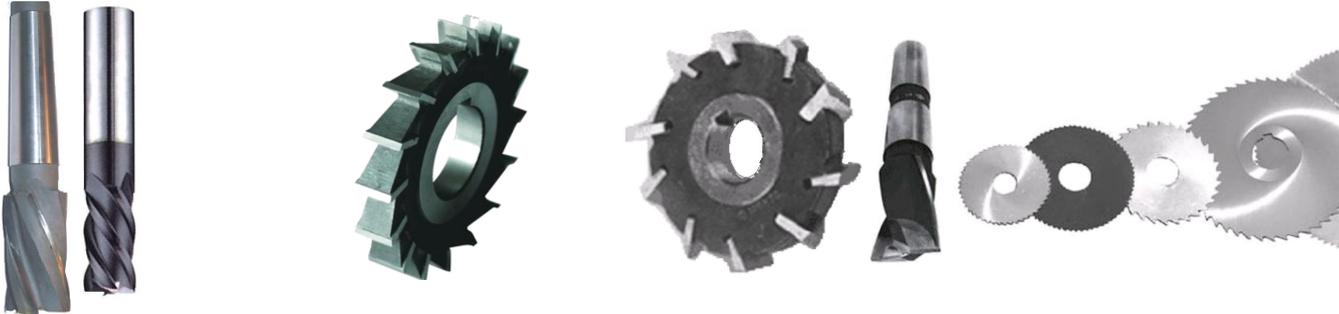
## 二、铣刀简介

### 👉 (2) 按铣刀的用途分类

类型	简图及说明
铣削平面用铣刀	 <p>圆柱形铣刀      套式端铣刀      硬质合金刀片      可转位端铣刀</p> <p>铣削平面用铣刀主要有圆柱形铣刀和端铣刀。圆柱形铣刀主要分为粗齿和细齿两种，用于粗铣和半精铣平面；端铣刀有整体式、镶嵌式和机械夹紧式三种</p>



## 二、铣刀简介

类型	简图及说明
铣削 直角 沟槽 用铣 刀	 <p>立铣刀      直齿和错齿三面刃铣刀      键槽铣刀      锯片铣刀</p> <p>立铣刀的用途较为广泛，可以用来铣削各种形状的沟槽和孔、台阶平面和侧面、各种盘形凸轮与圆柱凸轮、内外曲面；三面刃铣刀分直齿、错齿，结构上又分为整体式、焊接式和镶齿式等几种，用于铣削各种槽、台阶平面、工件的侧面及凸台平面；键槽铣刀主要用于铣削各种槽、台阶平面、工件的侧面及凸台平面；锯片铣刀用于铣削各种窄槽，以及对板料或型材的切断</p>



## 二、铣刀简介

类型	简图及说明
铣削特形沟槽用铣刀	 <p data-bbox="434 763 1632 813">T形槽铣刀      燕尾槽铣刀      单角铣刀      双角铣刀</p> <p data-bbox="376 849 1719 1063">铣削特形沟槽用铣刀主要有 T 形槽铣刀、燕尾槽铣刀和角度铣刀，角度铣刀又分为单角铣刀、对称双角铣刀和不对称双角铣刀三种</p>



## 三、切削液

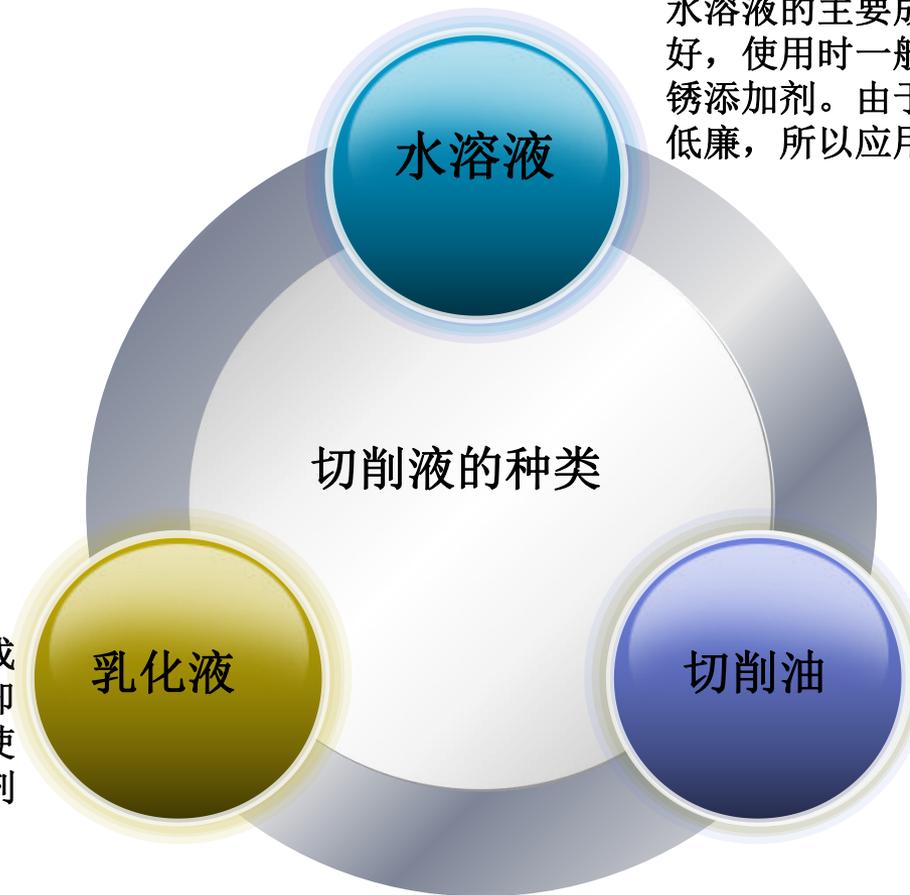
### ➤ 1. 切削液简介

切削时会产生切削热，使刀具和工件被切处温度升高，刀具磨损加快。使用切削液能显著地延长刀具的寿命和提高加工质量，并能减小切削力及提高生产率。



# 三、切削液

## ➤ 2. 切削液的种类



水溶液的主要成分是水，故冷却性能很好，使用时一般加入一定量的水溶性防锈添加剂。由于水溶液流动性大，价格低廉，所以应用较广泛。

切削油的主要成分是矿物油（柴油和机油等），也可选用植物油（菜油和豆油等）、硫化油和其他混合油等。这类切削液的比热容低，流动性差，是一种以润滑为主的切削液。使用时，也可加入油性防锈添加剂，以提高其防锈和润滑性能。

乳化液是将乳化油用水稀释而成的。这种切削液具有良好的冷却性能，但润滑防锈性能较差。使用时常加入一定量的防锈添加剂和极压添加剂。



# 三、切削液

## ➤ 3. 切削液的作用

### 冷却作用

采用切削液可以从两方面降低切削温度：一方面减小刀具与工件、切屑之间的摩擦，从而减少摩擦热；另一方面能将已产生的切削热从切削区迅速带走。

### 润滑作用

切削液可以减小切削过程中的摩擦，减小切削阻力，显著提高表面质量和刀具耐用度。

### 切削液的作用

### 冲洗作用

在浇注切削液时，铣刀齿槽和工件上的切屑可以被冲去。尤其在铣削沟槽时，由于切屑不易流出，较大流量的切削液能把切屑冲出来，使铣削不因切屑阻塞而影响表面质量。

### 防锈作用

切削液能起到防锈作用，使机床、工件和刀具不受周围介质（如空气、水分、手汗等）的腐蚀。



## 四、常用量具

### ➤ 1. 游标量具

游标量具是利用游标读数原理制成的一种常用量具，它具有结构简单、使用方便、测量范围大等特点。下面以游标卡尺为例来介绍游标量具的结构、用法及读数。

游标卡尺的结构如图所示，主要由尺身和游标尺等组成。使用时，松开紧固螺钉即可。外测量爪用来测量工件的外径和长度，内测量爪用来测量孔径和槽宽，测深尺用来测量工件的深度和台阶的长度。

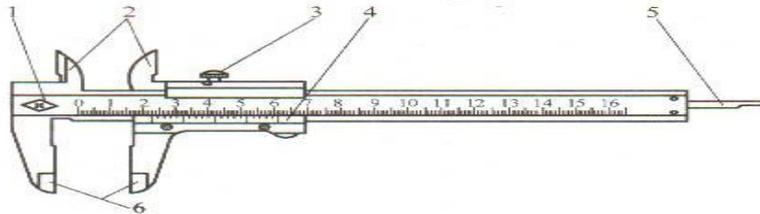


图4 精度为0.02 mm的游标卡尺



# 四、常用量具

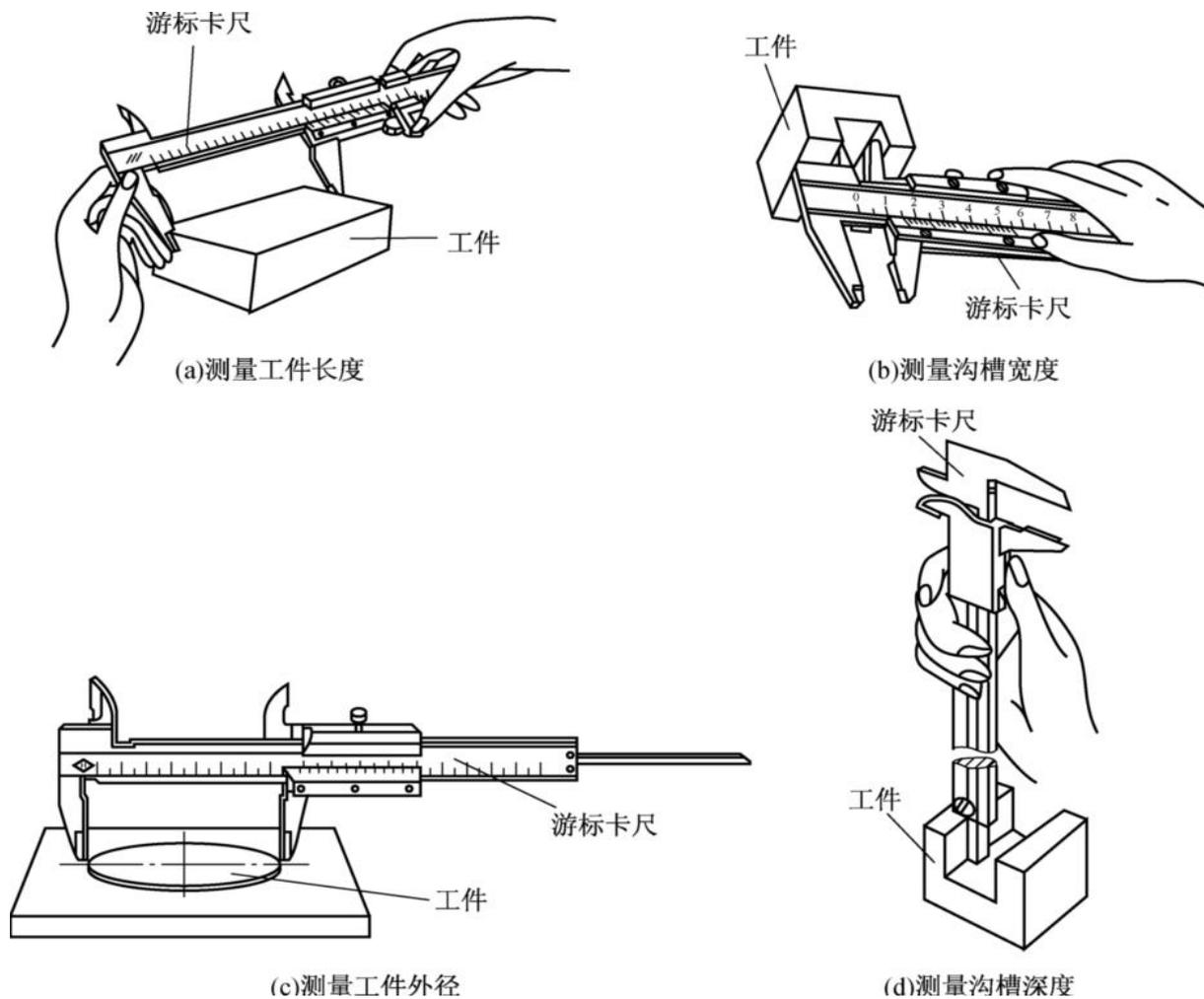


图5 游标卡尺的用法



# 四、常用量具

## ➤ 2. 90° 角尺

90° 角尺主要用来测量工件相邻表面的垂直度。如图所示，使用时，90° 角尺底座的一边与被测量面的基准贴合，观察90° 角尺另一边与被测量面的另一边是否贴合，如果接触严密、不透光或透光细而均匀，说明垂直度符合要求；否则，有一定的误差。使用90° 角尺时要放正放好，如图7 (b)、(c)、(d) 所示为不正确的使用方法。

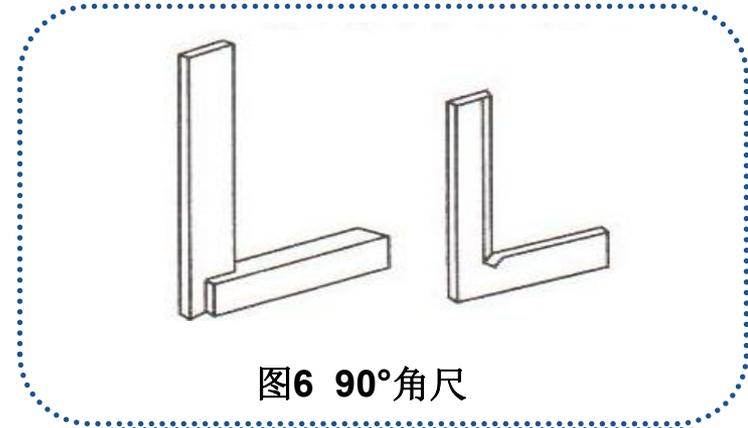


图6 90°角尺

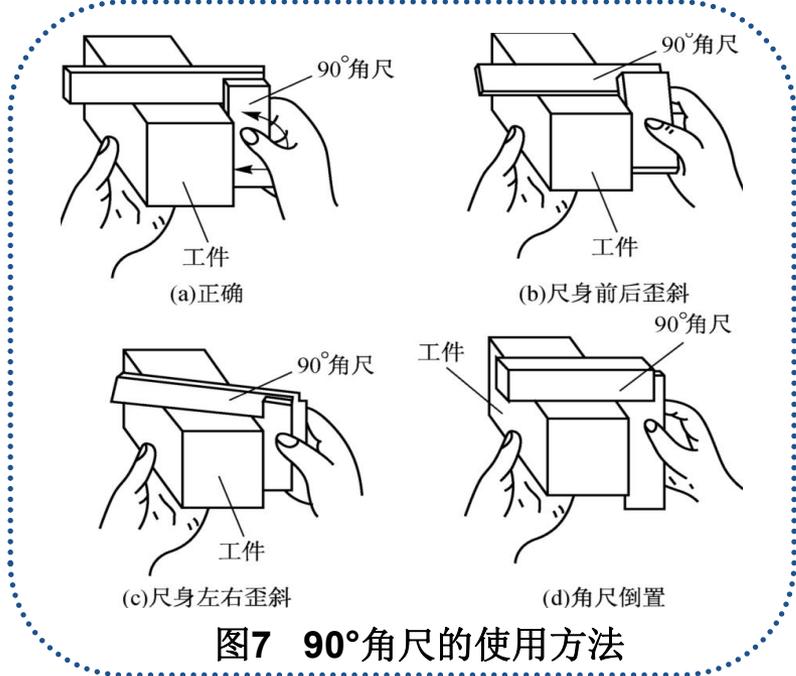


图7 90°角尺的使用方法



# 五、铣削运动和铣削用量

## ➤ 1. 铣削的基本运动

铣削是以铣刀的旋转运动为主运动，而以工件的直线或旋转运动或铣刀直线运动为进给运动的切削加工方法，即铣削时工件与铣刀的相对运动称为铣削运动，它包括主运动和进给运动。

### 👉 (1) 主运动

主运动是形成机床切削速度或消耗主要动力的运动。铣削运动中，铣刀的旋转运动是主运动。

### 👉 (2) 进给运动

进给运动是使工件切削层材料相继投入切削，从而加工出来完整表面所需要的运动。铣削运动中，工件的移动或转动、铣刀的移动等都是进给运动。另外，进给运动按运动方向可分为纵向进给、横向进给和垂直进给三种。



# 五、铣削运动和铣削用量

## ➤ 2. 铣削用量及其选择

铣削用量是指在铣削过程中所选用的切削用量，是衡量铣削运动大小的参数。铣削用量包括四个要素，即铣削速度、进给量、铣削深度和铣削宽度，如图2-45所示。在保证被加工工件能获得所要求加工精度和表面粗糙度的情况下，根据铣床、刀具、夹具的刚度和使用条件，适宜地选择铣削速度、进给量、铣削深度和铣削宽度。

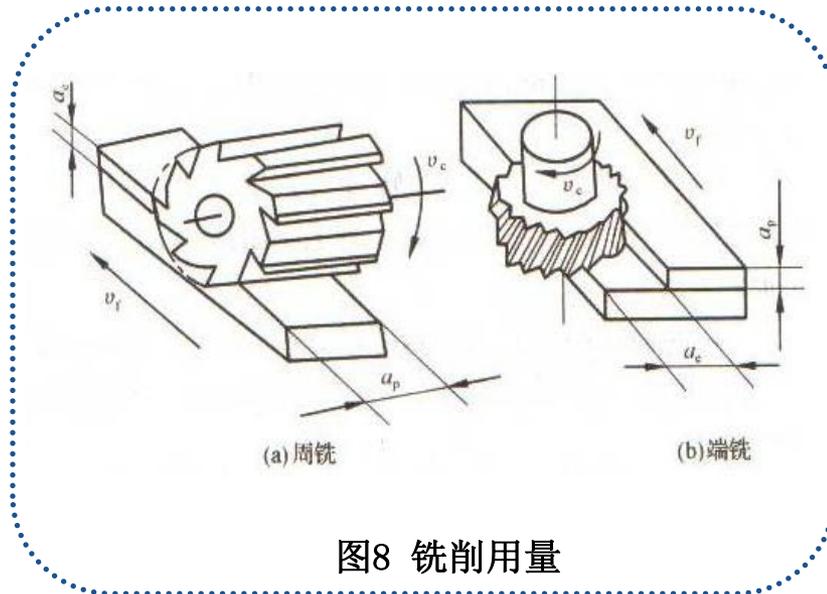


图8 铣削用量



## 五、铣削运动和铣削用量

### (1) 铣削用量及其计算

#### ① 铣削速度

主运动的线速度即为铣削速度，也就是铣刀刀刃上离中心最远的一点1min内在被加工表面所走过的长度，用符号 $v_c$ 表示，单位为m/min。在实际工作中，应先选好合适的铣削速度，然后根据铣刀直径计算出转速。它们的相互关系为

$$n = \frac{1000v_c}{\pi d}$$

式中， $v_c$ 为铣削速度，m/min； $d$ 为铣刀直径，mm； $n$ 为转速，r/min。

注：如果在铣床主轴转速盘上找不到所计算出的转速时，应根据选低不选高的原则近似确定。



# 五、铣削运动和铣削用量

## (2) 进给量

进给量是指刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。根据具体情况的需要，在铣削过程中有三种表示方法和度量方式。

①每齿进给量 $f_z$ 。铣刀转过一个刀齿的时间内，在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离为每齿进给量，单位为 $\text{mm}/z$ 。

②每转进给量 $f$ 。铣刀转过一整周的时间内，在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离为每转进给量，单位为 $\text{mm}/r$ 。

③进给速度 $v_f$ 。铣刀转过1 min的时间内，在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离为进给速度，单位为 $\text{mm}/\text{min}$ 。

3种进给量之间的关系为：
$$v_f = f_n = f_z z n$$



## 五、铣削运动和铣削用量

### (3) 铣削深度

铣削深度是指通过切削刃基点并垂直于工件平面的方向上测量的吃刀量，又称为背吃刀量，用符号 $a_p$ 表示。对于铣削而言，是沿铣刀轴线方向测量的刀具切入工件的深度。

### (4) 铣削宽度

铣削宽度是指在平行于工件平面并垂直于切削刃基点的进给运动方向上测量的吃刀量，又称为侧吃刀量，用符号 $a_c$ 表示。对于铣削而言，侧吃刀量是沿垂直于铣刀轴线方向测量的工件被切削部分的尺寸。



## 五、铣削运动和铣削用量

### (5) 选择铣削用量的基本要求

铣削用量的选择是否合理将直接关系到铣削效果的好坏，即能否达到高效、低耗及优质的加工效果。选择铣削用量应满足如下基本要求：

- ①保证铣刀有合理的使用寿命，能够提高生产率和降低生产成本。
- ②保证铣削加工质量，主要是保证铣削加工表面的精度和表面粗糙度达到图纸要求。
- ③不超过铣床允许的动力和转矩，不超过铣削加工工艺系统（刀具、工具、机床）的刚度和强度，同时又充分发挥它们的潜力。



## 五、铣削运动和铣削用量

### (6) 选择铣削用量的基本方法

在铣削过程中，如果能在一定的时间内切除较多的金属，就有较高的生产率。显然，增大背吃刀量、铣削速度和进给量，都能增加金属切除量。但是，影响刀具寿命最显著的因素是铣削速度，其次是进给量，而背吃刀量对刀具影响最小。为了保证合理的刀具寿命，应当优先采用较大的背吃刀量，其次选择较大的进给量，最后才是根据刀具的寿命要求选择合适的铣削速度。

#### ①选择背吃刀量。

在铣削加工中，一般根据工件切削层的尺寸来选择铣刀。例如，用面铣刀铣削平面时，铣刀直径一般应大于切削层宽度。若用圆柱铣刀铣削平面时，铣刀长度一般应大于切削层宽度。当加工余量不大时，应尽量一次进给铣去全部加工余量。只有当工件的加工精度要求较高时，才分粗铣和精铣两步进行。

#### ②选择进给量。应视粗、精加工要求分别选择进给量。

粗加工时，影响进给量的主要因素是切削力。进给量主要根据铣床进给机构的强度、刀柄刚度、刀齿强度以及机床—夹具—工件系统的刚度来确定。在强度和刚度许可的情况下，进给量应尽量选取得大一些。



## 六、平面的铣削

用铣削方法加工工件的平面称为铣平面。

平面质量的好坏， 主要从平面的平整程度和表面的粗糙程度两个方面来衡量， 分别用形状公差项目平面度和表面粗糙度来考核。

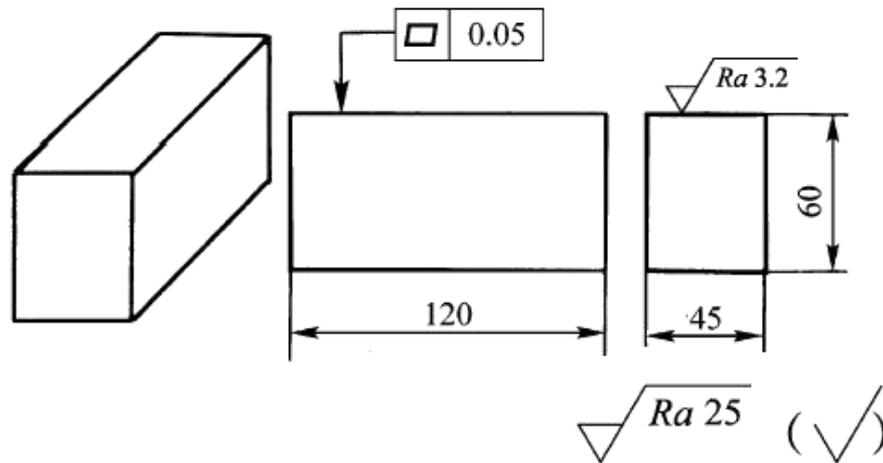


图9 平面质量的表示



# 六、平面的铣削

## ➤ 1. 平面的铣削方法

### 👉 (1) 周铣平面

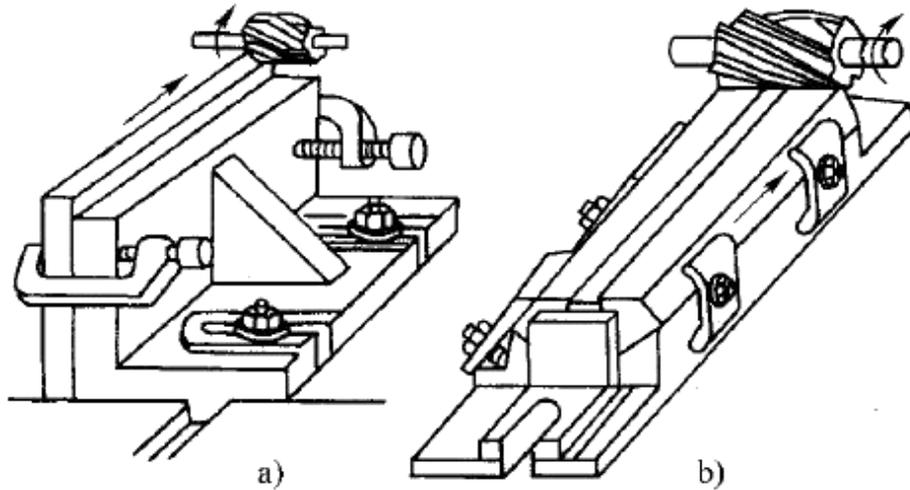


图10 卧式铣床上圆柱形铣刀铣平面



# 六、平面的铣削

## 👉 (2) 端铣平面

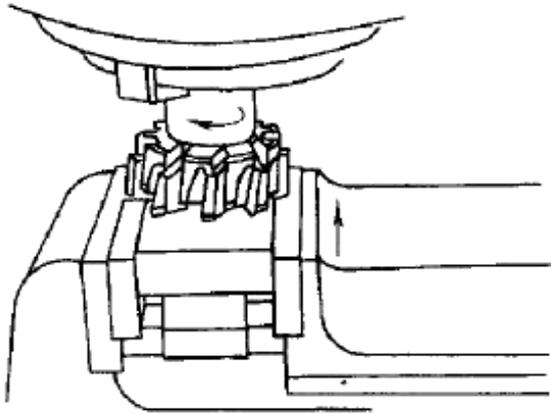


图11 立式铣床上用面铣刀铣平面

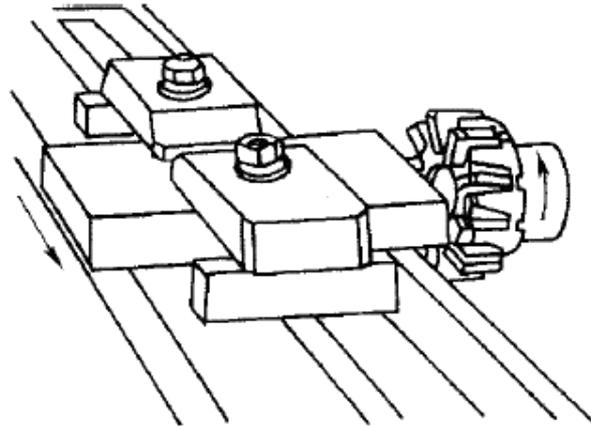


图12 卧式铣床上用面铣刀铣平面



## 六、平面的铣削

### ➤ 2. 铣平面的工作步骤

#### (1) 确定铣削方法， 选择铣刀

①在卧式铣床上用圆柱形铣刀周铣平面时， 圆柱形铣刀的宽度应大于工件加工面的宽度。

②用面铣刀铣平面时， 面铣刀的直径应大于工件加工面的宽度， 一般为它的1.2~1.5倍。

#### (2) 装夹工件

铣削中、小型工件的平面时， 一般采用平口钳装夹； 铣削形状、尺寸较大或不便于用平口钳装夹的工件时， 可采用压板装夹。装夹应按相应要求和注意事项进行。



## 六、平面的铣削

### (3) 确定铣削用量

- ①周铣时的铣削深度、端铣时的铣削宽度一般等于工件加工面的宽度。
- ②周铣时的铣削宽度、端铣时的铣削深度，粗铣时，若加工余量不多，则可一次切除，即等于余量层深度；精铣时，一般为 $0.5\sim 1\text{mm}$ 。
- ③每齿进给量一般取 $0.02\sim 0.3\text{mm} / z$ 。粗铣时可取得大些；精铣时，则应取较小的进给量。
- ④铣削速度用高速钢铣刀铣削时，一般取 $16\sim 35\text{m} / \text{min}$ ，粗铣时应取较小值，精铣时应取较大值。用硬质合金面铣刀进行高速铣削时，一般取 $80\sim 120\text{m} / \text{min}$ 。



## 六、平面的铣削

### ➤ 3. 铣削工件

在卧式或立式升降台铣床上铣削，都是由工作台带着工件向铣刀方向移动来完成工件与铣刀的相对位置的调整和实现铣削运动。移动工作台的方法有手动和机动两种。切削位置的调整和工件趋近铣刀的运动一般多用手动完成；连续进给实现铣削则多用机动方式。



## 六、平面的铣削

### ➤ 4. 平面的铣削质量分析

#### 👉 (1) 影响平面度的因素

- ①用周铣铣削平面时，圆柱形铣刀的圆柱度误差大。
- ②用端铣铣削平面时，铣床主轴轴线与进给方向不垂直。
- ③工件受夹紧力和铣削力的作用产生变形。
- ④工件自身存在内应力，在表面层材料被切除后产生变形。
- ⑤工件在铣削过程中，因铣削热引起的热变形。
- ⑥铣床工作台进给运动的直线性差。
- ⑦铣床主轴轴承的轴向和径向间隙大。
- ⑧铣削时因条件限制所用圆柱形铣刀的宽度或面铣刀的直径小于工件被加工面的宽度而接刀，产生接刀痕。



## 六、平面的铣削

### (2) 影响表面粗糙度的因素

- ①铣刀磨损，刀具刃口变钝。
- ②铣削时，进给量太大。
- ③铣削时，工件切削层深度（周铣时的铣削宽度或端铣时的铣削深度）太大。
- ④铣刀的几何参数选择不当。
- ⑤铣削时选用切削液不当。
- ⑥铣削时有振动。
- ⑦铣削时有积屑瘤产生，或有切屑粘刀现象。
- ⑧铣削时有拖刀现象。
- ⑨在铣削过程中因进给停顿而产生“深啃”现象。



# 七、铣工安全操作规程

## (1) 开车以前

- ①正确着装，衣服“三紧”（领口、袖口、衣摆）；
- ②检查机床纵向、横向手柄是否处于中间位置；
- ③检查切削液是否正常；
- ④检查工作台是否处于正常位置。

## (2) 安装工件

- ①工件要装正、夹牢、敲紧；
- ②工件安装、拆卸完毕后随手取下扳手；



# 七、铣工安全操作规程

## (3) 开车以后

- ①不能改变主轴转速及工作台纵横向移动速度；
- ②不能度量工件尺寸；
- ③不能用手触摸旋转的工件；
- ④不能用手触摸切屑；
- ⑤切削时要戴好防护眼镜；
- ⑥工作中严禁戴手套；
- ⑦切削时要精力集中，不许离开机床，切削液如不能正常冷却工件，应停止工作台纵、横向移动，然后手动摇动工作台离开工件，最后停止主轴运动，并汇报指导教师。



# 七、铣工安全操作规程

## (4) 下班之前

- ①擦净机床，清理场地，关闭电源；
- ②擦试机床时要注意不要被刀尖、切屑划伤手。

## (5) 发生事故后

- ①立即停止工作台移动，其后手动摇动工作台离开工件，最后停止主轴运动，关闭电源；
- ②保护好现场；
- ③及时向有关人员汇报，分析原因，总结经验教训。