

机械工人活叶学习材料

JIXIE GONGREN HUOYE XUEXI CAILIAO



简易计算

18

机床切削功率计算

葛守勤 编 著



机械工业出版社

目 次

一	功率	1
1	功率的意义(1)——2 功率的单位(2)——3 馬力和 仟瓦的关系(3)	
二	几个名詞的解释	5
1	切削深度和进給量(5)——2 切削力和比压(6)—— 3 順进給銑削和反进給銑削(7)——4 对称銑削和不对 称銑削(8)——5 扭矩和弯矩(8)——6 軸向和徑向 (10)——7 修正系数(10)——8 机床效率(11)—— 9 机动時間和輔助時間(11)	
三	金屬切削的基本知識	11
1	切削时产生的作用力(12)——2 影响切削力大小的一 些因素(12)——3 切削速度(15)——4 切削时消耗的功 率(17)	
四	車削时所需功率的計算	18
1	車削时产生的作用力(18)——2 車削允許速度的計算 (23)——3 車削功率的計算(26)——4 用查表法計算切 削功率(30)——5 刨削时机床功率的計算(31)	
五	銑削时所需功率的計算	33
1	銑削时产生的作用力(33)——2 銑削时允許速度的計 算(36)——3 銑削功率的計算(39)——4 用查表法計算 銑削功率(41)	
六	鑽削时所需功率的計算	43
1	鑽孔时产生的作用力(43)——2 鑽孔时允許速度的計 算(46)——3 鑽孔时所需功率的計算(49)	
七	怎样确定机床上电动机功率的大小	52
1	用計算法确定机床电动机的功率(52)——2 用估算法 确定机床上电动机的功率(54)——3 用比較法确定机床 电动机的功率(55)——4 确定机床电动机功率时应注意 的几个問題(56)	
附表		57
附表 1	常用馬力与仟瓦換算数值表	57
附表 2	三相交流异步电动机的标准功率(单位仟瓦)	57
附表 3	常用小数乘方数值表	58

功 率

1 功率的意义 什么是机器的功率呢？要知道什么是功率，必须先要知道什么是功。因为机器的功率是表示这台机器在单位时间里做了多少功。

功，是从人类生产活动里产生出来的，它和我们日常中所说的工作有些不同。它等于移动物体时所需的力，和物体沿作用力方向所移动距离的乘积。如果用公式表示，就是：

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离} \quad (1)$$

力的单位是公斤，距离的单位是米；所以功的单位是公斤·米。

例如，我们把 5 公斤重的铁锤，向上举起 2 米高，我们在向上举的过程里用了力，这样也就做了功。所做功的大小是 $5 \times 2 = 10$ 公斤·米。

在实际生产中，力的单位不一定是公斤，距离的单位不一定是米，这时就应该把它的单位换算成公斤和米，再计算出所做功的大小。

从上式中可以看出，功只表示机器做功的多少，没有时间的关系。

例如两台起重机，一台起重机用 30 秒钟的时间，把 100 公斤重的东西，升高到 20 米高的地方；另一台起重机，只用 20 秒钟的时间，也能把 100 公斤重的东西，升到同样高的地方。从这两台起重机所做的功来看是相等的，都是 $100 \times 20 = 2000$ 公斤·米。但是这两台起重机在单位时间（秒）内所做的功就不同了。因此，它们的功率也就不同。因为功率的计算，包括两个因素：一个是

功的大小，另一个是做功所需要的时间。用公式表示如下：

$$\text{功率} = \text{功} \div \text{时间} \quad (2)$$

功的单位是公斤·米，时间的单位是秒，所以功率的单位是公斤·米/秒。

我们在计算机器功率的时候，如果知道了做功时作用力的大小，和做功时速度的快慢，同样也可以求出机器的功率。

因为从上式中，我们知道功率 = 功 ÷ 时间。但是功又等于力 × 距离。所以 (2) 式也可以写成下面的式子：

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{距离} \div \text{时间}$$

但距离 ÷ 时间就是速度，用速度代入上式中，上式就可以写成：

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度} \quad (3)$$

式中功率和力的单位跟上式相同。速度的单位是米/秒。

例如，一升降机用 1000 公斤的力量，带动一个物体，以每秒钟 2 米的速度上升，这时升降机的功率是多少？

由上式知道功率 = 力 × 速度。

升降机带动物体所用的力是 1000 公斤，上升的速度是 2 米/秒，所以升降机的功率等于 $1000 \times 2 = 2000$ 公斤·米/秒。

2 功率的单位 在实际应用中，不用公斤·米/秒作为计算机器功率的单位，常用 [马力] (或者仟瓦) 来作为计算机器功率的单位，所谓 1 马力就是在 1 秒钟内做 75 公斤·米的功，它的符号用 H. P. 来代表。

即：
$$1 \text{ 马力} = 75 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{秒}$$

以上所说的马力是公制马力，简称马力，是世界上多数国家所采用的功率单位，我国现在也是采用这种公制马力。此外，有些采用英制的国家（如英国）他们不采用这种公制马力，不以每

秒钟做 75 公斤·米的功叫做 1 马力，而以每秒钟做 550 呎磅的功叫做 1 马力（呎是英制的长度单位，磅是英制的重量单位）。这种马力，叫做英制马力，在一些老设备上还常常标注着这种英制马力。

以上这两种马力有什么关系呢？下面就把这两种马力来换算一下。

因为 $1 \text{ 呎} = 0.3048 \text{ 米},$
 $1 \text{ 磅} = 0.45359 \text{ 公斤}.$

所以 550 呎磅等于：

$$550 \times 0.3048 \times 0.45359 = 76.0398 \text{ 公斤} \cdot \text{米}.$$

如果把以上的公斤·米化成马力就等于：

$$76.0398 \div 75 = 1.0138 \text{ 马力}.$$

即： $1 \text{ 英制马力} = 1.0138 \text{ 马力}.$

3 马力和仟瓦的关系 马力和仟瓦都是计算机器功率的单位，现在我们就来研究一下仟瓦和马力的关系：

在研究仟瓦和马力的关系之前，先得说说[电能]这个名词的来历。什么叫做能呢？[能]就是物体具有作功的本领。一个物体具备了能，就表示这个物体能够做功。例如前面讲过要把 5 公斤重的铁锤向上举起 2 米高的时候，这时铁锤随时都可以落下来打击别的东西。在铁锤还没有落下来之前，铁锤就具备了一种能量，在铁锤落下来的时候就做了功，这时能量就转变成了功。一个物体能够做功越多，说明它具有的能量也越大；能够做的功越少，它具有的能量也越小。所以，物体的能可以用它能做功的多少来度量。因此，功和能可以用相同的单位来计量。同样电也是能够做功的，如电动机在通电后电能就转变为机械能而带动机床进行切削加工，电的这种能做功的本领，我们就叫它[电能]。

能有多种形式，如机械能、电能、热能等，只要适当的把一种能转变为另一种能，就可能完成多种复杂的工作。电动机带动机器工作，就是通过电动机把电能转变为机械能的一种形式。

电能每单位时间内做功的多少，就叫电功率，它的单位是瓦。它的大小对直流电动机来说，等于电流和电压的乘积；对于交流电动机来说，还应乘以功率因数 $\cos \varphi$ (φ 是电流和电压的相位差)。功率因数的大小，在电动机上都有注明，一般等于 0.8 左右。对三相交流电动机来说，还要乘以常数 $\sqrt{3}$ ，才是它的电功率。用公式表示如下：

$$\begin{aligned} \text{三相交流电动机的电功率} &= \text{线电流} \\ &\times \text{线电压} \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \end{aligned} \quad (4)$$

式中电功率的单位是瓦，常用符号 W 表示；电流的单位是安培，常用符号 A 表示；电压的单位是伏特，常用符号 V 表示。

但是在实际应用中，瓦的数值太小，所以取 1000 瓦作为电功率的单位，一般都叫千瓦。它的符号是 KW 。在一般电动机上都标注出该电动机额定功率的大小。所谓额定功率，就是指该电动机长时间在此容量下运转时，电动机的升温不会超过电动机绝缘材料所允许的最高温度，不会烧毁电动机。

马力和千瓦的关系是：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 马力} &= 75 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{秒} = 735.499 \text{ 瓦} \\ (\text{取 } 736 \text{ 瓦}) &= 0.736 \text{ 千瓦。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 英制马力} &= 735.499 \times 1.0138 = 745.6488862 \text{ 瓦} \\ (\text{取 } 745.7 \text{ 瓦}) &= 0.7457 \text{ 千瓦。} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 千瓦} = \frac{1 \text{ 马力}}{0.736} = 1.36 \text{ 马力。}$$

$$1 \text{ 千瓦} = \frac{1 \text{ 英制马力}}{0.7457} = 1.34 \text{ 英制马力。}$$

例 有一台 7 仟瓦的电动机，它等于多少马力？等于多少英制马力？

解 因为 1 仟瓦 = 1.36 马力，
7 仟瓦 = $1.36 \times 7 = 9.52$ 马力。

因为 1 仟瓦 = 1.34 英制马力，
7 仟瓦 = $1.34 \times 7 = 9.38$ 英制马力。

常用马力和仟瓦的换算数值，可以从附表 1 中查到。

二、几个名词的解释

1 切削深度和进给量 图 1 a 是车削时切削的示意图，待加工面到已加工面间的垂直距离叫做切削深度（用符号 t 表示），工件每转一转车刀沿工件轴线所移动的距离叫做进给量（用符号 S 表示）。

图 1 b 是刨削时切削的示意图，它跟车削时基本相同，从待加工面到已加工面间的垂直距离叫切削深度（用符号 t 表示），不同的是刨刀每双行程沿着垂直于切削方向所移动的距离叫进给量（用符号 S 表示）。

图 1 c 是钻削时切削的示意图，钻削时切削深度等于钻头直径的一半（用符号 t 表示），钻头转一转时钻头轴向移动的距离叫进给量（用符号 S 表示）。

图 1 d 是铣削时切削的示意图，从待加工面到已加工面间的垂直距离叫切削深度（用符号 t 表示）。铣削时的进给量有三种表示方法：第一种表示方法是当铣刀转过一个齿时，工件对铣刀移动的距离叫每齿进给量（用符号 S_z 表示）；第二种表示方法是当铣刀转一转时，工件对铣刀所移动的距离，叫每转进给量（用符

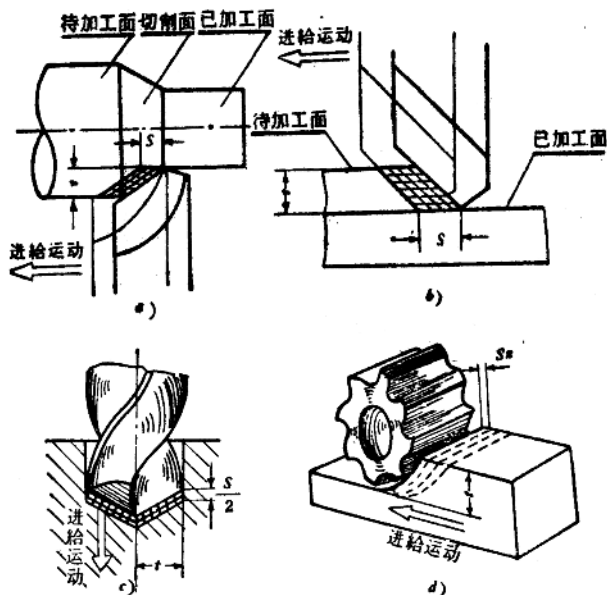


图1 各种切削加工时切削示意图:

a—车削时切削示意图; b—刨削时切削示意图;

c—钻削时切削示意图; d—铣削时切削示意图。

号 S 表示); 第三种表示方法是每分钟内工件对铣刀移动的距离叫每分钟进给量(用符号 S_M 表示)。

以上切削深度的单位是毫米, 进给量的单位是毫米/转(铣削时是毫米/齿或毫米/转或毫米/分, 刨削时是毫米/双行程)。切削深度和进给量的乘积叫切削面积(铣削时的切削面积是铣削深度和每齿进给量的乘积), 它的单位是平方毫米。

• 2 切削力和比压 把切屑切下来所需要的力量叫切削力。切削力在平行于切削速度方向的分力(如图9中 P_x 所示)叫切削主

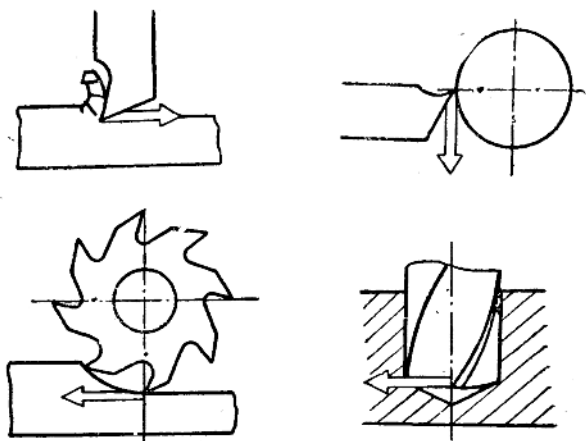


图2 各种切削加工时，切削速度方向示意图。

分力，也叫做切削垂直分力（图2是各种切削加工时切削速度方向示意图）。在每平方毫米的切削面积上所担负的切削主分力的大小，就叫比压。它随加工各种不同的材料而变化。从比压的大小可以看出这种材料是否容易切削。在同样切削速度下，比压大的材料，切削时消耗的功也多，比压小的材料切削时消耗的功也少。比压用符号 p 表示，它的单位是公斤/毫米²，它的计算公式是：

$$\text{比压} = \frac{\text{切削时的切削主分力}}{\text{切削面积}}$$

或

$$p = \frac{F_z}{f} \quad (5)$$

3 顺进给铣削和反进给铣削 在铣削时铣刀旋转的方向和工件进给方向相同时，叫顺进给铣削；若铣刀旋转的方向和工件进给方向相反时，叫反进给铣削。顺进给铣削切下的切屑是由厚而薄；反进给铣削切下的切屑是由薄而厚。因此用圆柱形铣刀铣削

工件时，切削力是时时变化的，图3是两种铣削时的情形。

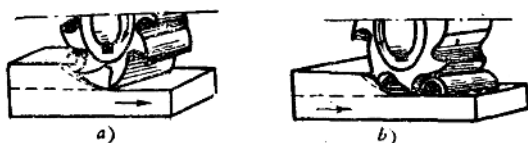


图3 顺进给和反进给铣削：
a—反进给铣削；b—顺进给铣削。

4 对称铣削和不对称铣削 用端面铣刀铣削工件时，工件宽度对称于铣刀之轴心线叫对称铣削(如图4 a)；如果工件宽度不对称于铣刀轴心线叫不对称铣削(如图4 b、c)。不对称铣削又分两种情况：一种情况是铣刀轴落在铣切宽度 B 以内；另一种情况是铣刀轴落在铣切宽度 B 以外，这两种情况在计算它的切削主分力时，也采用不同的计算公式(详见第五章)。

5 扭矩和弯矩 力和力臂(力的作用线和转轴间的垂直距离)的乘积叫做力矩。力矩分两种：一种叫扭矩；另一种叫弯矩。

例如我们在工作中，要想把机器上的一个螺帽拧得很紧的时候，必须用两种办法：一种办法是用手扳扳手的力量加大；另一种办法是用一根长柄扳手来扳(如图5)。前一种方法是加大了施力点的作用力；而后一种方法是加长了施力点到螺帽旋转轴心的距离。因此，都能得到较大的扭矩，把螺帽拧得很紧。又例如，将铁撬撬起重物时，常常增加施力点的压力，或加长力臂(如图6)，这样都可以使弯矩增加，把重物撬起。

从以上的例子中可以看出，力矩的大小包括两个因素：一个是作用力的大小；另一个是力的作用线离旋转轴心的垂直距离(即力臂)的大小。无论加大作用力，或是加长力臂，都会使力矩加大。这时物体本身受到的扭矩也就加大了。

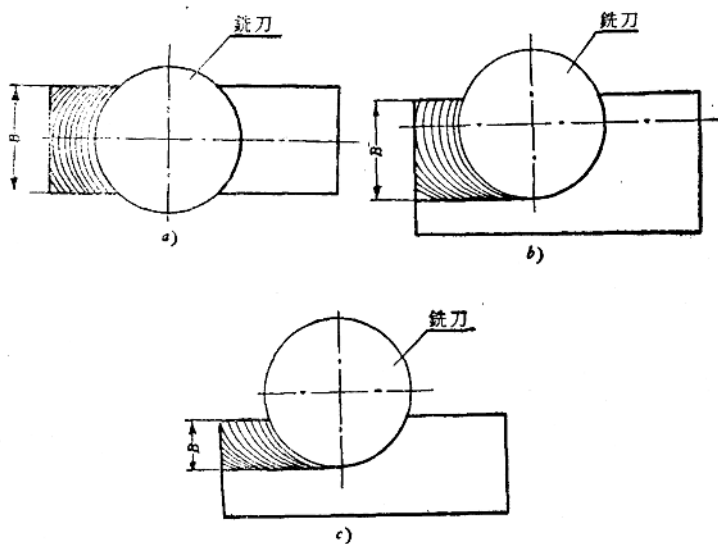


图 4 对称铣削和不对称铣削:

a—对称铣削; *b*—不对称铣削 (铣刀轴落在 *B* 以内);

c—不对称铣削 (铣刀轴落在 *B* 以外)。

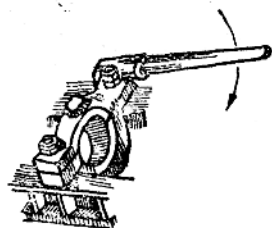


图 5 扭矩实例。

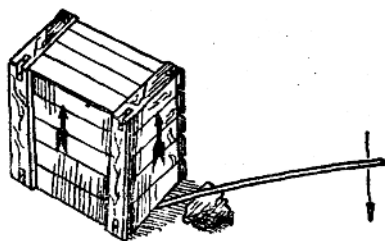


图 6 弯矩实例。

6 軸向和徑向 在圓柱體上，沿圓柱體軸心線方向叫軸向，順着半徑方向叫徑向。例如图 7 a 是在車床上加工工件。當車削工件的圓柱面時，就產生一種向後推動車刀的力量，這個力量就叫徑向力。同時在走刀時，還產生一種向右推動車刀的力量，這個力量就叫軸向力。車削時如果徑向力很大，加工細長的工件就容易產生彎曲和振動。在鉗孔時軸向力過大，容易使鉗頭產生彎曲或折斷。

图 7 b 是在銑床上銑削工件。當銑削工件時，銑刀杆的彎曲就是由於銑刀在銑削時產生一種徑向力的關係。如果銑刀刃口是螺旋形，在銑削時，便產生一種使銑刀沿軸向滑動趨勢的力量，這個力量就叫軸向力。

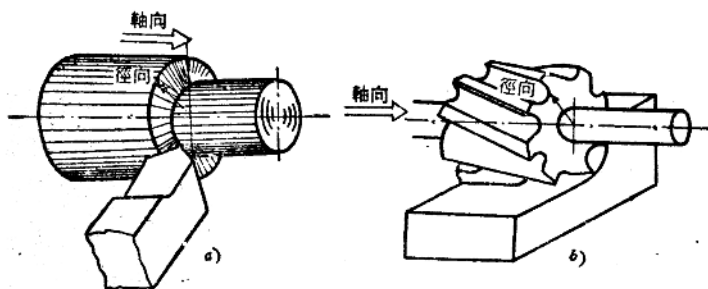


图 7 軸向和徑向示意图:

a—車削; b—銑削。

7 修正系数 在金属切削过程中，影响切削力和切削速度的因素很多，并且影响的大小也不一样。在计算切削力和切削速度的公式中，又不能把所有的因素都包括进去，只是把一些主要因素包括到里面去。为了使计算出来的理论数值，和实际情况更接近些，所以常常把计算出来的数值，再根据切削时的不同条件，

乘以不同的系数，这些系数就叫修正系数。常用符号 $K(k)$ 表示。

8 机床效率 机床上电动机输出的功率，要经皮带、齿轮、轴承等传动部件才能传到机床主轴上去。这样机床主轴上所得到的功率，要小于电动机输出的功率。这是因为机床的皮带、齿轮、轴承等传动部分的摩擦，需要一部分功率去克服这些摩擦力，才能使机床电动机输出的功率传到机床主轴上去。这些摩擦力的大小，和机床的结构型式及制造的精密程度有密切关系。摩擦面多的消耗的功率越多；接触面越光滑的，消耗的功率就减少。计算机床的效率时，常用下面的公式：

$$\begin{aligned}\text{机床效率} &= \frac{\text{电动机输出的功率} - \text{消耗在摩擦中的功率}}{\text{电动机输出的功率}} \\ &= \frac{\text{机床切削时实际得到的功率}}{\text{电动机输出的功率}}\end{aligned}\quad (6)$$

代表机床效率的符号是 η 。它的数值永远小于1。

各种型号的机床，它的效率是多少，在机床说明书上都有说明，可查看一下机床说明书。

9 机动时间和辅助时间 在机床上进行切削加工的连续工作时间，叫机动时间，机动时间是电动机消耗功率最多的时间。在工作时进行各种辅助工作所花的时间，叫辅助时间；在辅助时间内电动机消耗的功率最少。由此可知，在一般机床上加工工件时，电动机功率的消耗是变化的。

三、金属切削的基本知识

大家都知道在加工金属时比加工木材要困难得多，即便从金属上切下很薄的一层切屑，也要化费不小的力量。这是因为金属

跟木材比较，它有很大的强度，所以切削时所产生的阻力也比木材要大。

金属切削阻力的大小，是直接影响机床功率消耗的一个因素。此外，切削速度，也是直接影响机床功率消耗的一个因素。所以在计算机床切削功率的时候，必须先对切削时所产生的作用力和切削速度有一概括的了解。这样才知道切削时功率消耗在什么地方，和如何减少功率的消耗等等。

1 切削时产生的作用力 在切削过程中刀具的切削部分切入被加工金属里面，使金属产生弹性变形，直到塑性变形把金属的小块剪下来，整个的切削过程都是这样连续进行的。当被加工金属受到刀具的切削时，它一面抵抗着刀具切削部分进入金属，一面给刀具前面压力；这种压力产生的力量，能把刀子弯曲或折断，这种力量叫做切削阻力。

在产生这种切削阻力的同时，因切屑跟刀具前面部分发生摩擦，以及工件与刀具后面也有摩擦产生的摩擦力就叫摩擦阻力。必须有一种力量来克服这些摩擦力，才能正常工作。

由此可知，对于一般刀具来说，在切削时，都要受到上面所说的这两种作用力。这些作用力的合力，就叫切削力，它作用在刀具的切削部分，随各种不同型式的刀具和不同的切削方式，而分为几个分力，各分力对功率的消耗也不一样。各种分力的计算方法，将在以后各种切削加工中加以说明。

2 影响切削力大小的一些因素 金属切削时切削力的大小，跟下面一些因素有密切的关系：

一、切削用量对切削力的影响——切削面积大了，切削力也大。粗加工时比精加工时所需的切削力要大，这是因为粗加工时的切削面积比精加工时的切削面积大的缘故。若在切削面积一定

的情况下，增大进给量对切削力的影响比增加切削深度对切削力的影响为小。因此，切下同样面积的切屑时，宜取小的切削深度和大的进给量。如果切削深度和进给量不变，切削速度的变化也影响切削力的大小。例如切削碳钢时，切削速度小于 30 米/分时，切削力逐渐减小，当切削速度在 30~70 米/分时，切削力又增加，如果切削速度大于 70 米/分时，切削力又减小。这是由于在加工塑性材料时，随着切削速度的增加，在刀具的前面上形成了积屑瘤，使刀具前角增加，切削力减小。如果继续提高切削速度时，随着积屑瘤的逐渐消失而切削力又增加，直至积屑瘤完全消失，切削力增到最大。当积屑瘤消失后再增加切削速度，切削力又减小。因为在高速切削时，切屑与刀具前面接触的很薄的一层金属热到了熔化温度，形成了特殊的润滑，因此使摩擦力减少，切削力也减少了。目前在考虑这个问题时当切削速度小于 50 米/分时，切削速度对切削力的影响一般可略去不计。

二、刀具几何形状对切削力的影响——当刀具前角增大时，切屑变形较小，切屑跟刀具前面的摩擦力也减小。因此，作用在刀具上的切削力也减小。当前角增大时，加工韧性金属(如钢料)比加工脆性金属(如铸铁)切削力减小的较多。

刀具的后角增大，会减小工件跟刀具后面的摩擦力，使切削力减小。不过后角对切削力影响较小，一般略去不计。

主偏角的大小，对切削力的影响随被加材料不同也不一样。如果加工铸铁时，随着主偏角的增大切削力是一直减小；如果加工钢料时，随主偏角的增大而切削力减小，但主偏角大于 55° 时，随主偏角的增大而切削力也增加。

刀尖半径增大时，切削刃上曲线部分加长了，切屑变形增加，因此，切削力也增加。

三、刀具磨损对切削力的影响——刀具的磨损，是从刀具的前面和后面开始的。当切削钢料时，刀具的前面磨损特别快，会在刀具的前面上产生一月牙洼。由于月牙洼的产生，使刀具前角增大，切削力减小。但月牙洼继续扩大到刃口时，刀具就磨损了，切削力会很快增加。当切削铸铁时，刀具的后面磨损较快，使后角减小，切削力随后角的减小而增加。由于切削方式不同(如车、铣、钻等)，切削力增加的多少也不一样。当切削层薄时，切削力增加的较多；切屑层厚时，切削力增加的较少。为了使切削力减小，在每加工完一批工件时，应该用油石把刀具的刃口修研一下，以保持刃口锋利。

四、刀具材料对切削力的影响——由于刀具材料不同，切屑跟刀具的摩擦系数也不一样，摩擦系数小的，切削力也小。如用钨钴钛类硬质合金刀具比用其他材料的刀具，它的切削力要小5~10%。

五、冷却和润滑对切削力的影响——在切削过程中，使用冷却润滑剂，能减小刀具跟切屑和刀具跟工件的摩擦；特别是使用有化学活性剂的冷却润滑液(如硫化植物油)时，冷却液还会渗透到切屑分离处的细小缝隙中，帮助破坏金属，扩大裂缝，使金属易于切削，因此，切削力也减小。

六、被加工工件的材料性能对切削力的影响——切削力与被加工工件材料的主要机械性能有关。加工钢时，它的主要机械性能是抗拉极限强度(用符号 σ_b 表示)；加工铸铁时，它的主要机械性能是硬度(用符号 HB 表示)。当这些主要机械性能越高时，切削力也越大。一般来说，切削铸铁比切削钢料时所需的切削力小；切削软钢比切削硬钢所需的切削力要小；切削一般有色金属比切削黑色金属所需的切削力小。

七、工件表面状况对切削力的影响——工件毛坯的制造方法，会影响金属表面组织状况，因此，也影响到切削力的大小。如切削热轧钢、退火钢、回火钢时，比加工冷拔钢时的切削力大；加工有外皮的锻件或铸件，也比加工没有外皮的钢铁件的切削力要大些。

3 切削速度 所有的切削加工，都是由工件和刀具刃口间有两种以上的相对运动形成的。一种运动决定被切层的厚度；另一种运动决定切削速度。换句话说，就是刀具刃口对工件加工部位相对运动的快慢程度，就叫切削速度。例如在车床上加工工件时，工件旋转的速度越快、在刨床上加工时，刨刀顺着加工平面移动的速度越快、在钻床上或铣床上钻头或铣刀旋转得越快，它的切削速度就越高。如果转速相等时，在车床上被加工工件的直径越大，或钻头、铣刀的直径越大，它的切削速度也就越高。

如果我们知道了切削速度，求机床主轴的转数，或者知道机床主轴转数，计算切削速度时，用以下公式：

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ 或 } n = \frac{1000 V}{\pi D} \quad (7a)$$

式中 V ——切削速度，单位米/分；

π ——等于 3.14；

D ——车削时是工件的直径，钻或铣时是钻头或铣刀的直径，单位毫米；

n ——车削时是工件的转数，钻或铣时是钻头或铣刀的转数，单位转/分。

在计算刨加工的切削速度时，如果刨床的往复行程一样的话，则刨加工的切削速度与刨床工作台（龙门刨床）或滑枕（牛头刨床）移动的距离，和单位时间内往返的次数有关。用公式表示如下：