

74586.1
=72
1

实用技术工人速算丛书

工 件 磨 削 速 算

李秀智 编著



机械工业出版社

前 言

随着机械制造业的快速发展，与机械制造业相关的广大从业人员对速算技术需求越来越高。为适应这一形势，本人根据几十年在生产和教学实践中积累的计算技术、速算资料，特编写成“实用技术工人速算丛书”。

本套丛书共有7个分册，包括《工件车削速算》、《工件铣削速算》、《工件钻削与镗削速算》、《工件刨削、插削及拉削速算》、《工件磨削速算》、《零件装配速算》和《铆焊加工速算》。

由于采用了最新的国家标准和法定计量单位，并附有参考数据、图表资料，因此，本套丛书内容丰富、简明实用、图文并茂、便于查阅。同时，为了方便读者理解书中的计算公式，还列举了一些速算实例。

本套丛书可供从事金属切削加工各工种的技工、工艺技术人员作为工具书使用，也可供城乡机械、修配行业的广大技工、技校师生、参加职业资格考试者阅读和参考，还可作为下岗人员、进城农民工及各种技工的培训教材。

有关专家和读者对本套丛书的出版提出了宝贵意见和建议，在此一并深表谢意。

因限于本人水平，难免有不妥之处，恳请广大读者予以指正。

李 秀 智

目 录

前言

一、概述	1
二、常见的磨削方式	2
三、外圆磨削的计算	6
四、圆锥面的磨削计算	13
(一) 圆锥体各部分名称和代号	13
(二) 磨削圆锥面的方法与计算	14
(三) 圆锥表面的测量计算	22
五、螺纹和偏心工件的磨削计算	29
六、斜面和成形面工件的磨削计算	39
七、球面工件的磨削计算	50
八、花键轴的磨削计算	54
九、齿轮的磨削计算	58
(一) 齿轮的基本概念	58
(二) 齿轮的磨削方法	63
(三) 磨齿用的砂轮选择	69
(四) 磨齿时的磨削用量选择	70
(五) 磨齿机加工计算实例	71
(六) 渐开线圆柱齿轮磨齿工艺守则	73
十、刀具刃磨的计算	76
附表	94
一、磨具代号及其选择	94
二、磨床夹具	124
三、万能工具磨床的主要附件、常用工具及其用途	135
四、磨削用量	143
(一) 磨削用量定义及公式	143

(二) 纵向进给磨外圆的切削用量 (钢)	143
(三) 无心磨削切削用量	147
(四) 内圆磨削用量的选择	149
(五) 平面磨削的切削用量	150
(六) 磨花键的切削用量	154
五、小粗糙度高精度磨削工艺参数的选择	157
六、磨削加工通用工艺守则	161
七、磨床工作精度的检验	163
八、外圆磨削	168
九、内圆磨削	177
十、螺纹磨削	184
十一、平面磨削	187
十二、成形面的磨削	196
十三、刀具刃磨	199
十四、渐开线齿轮	204
(一) 圆柱齿轮传动	204
(二) 锥齿轮传动	213
(三) 圆柱形蜗杆蜗轮传动	216
十五、磨削加工中常见的缺陷及消除措施	224

一、概 述

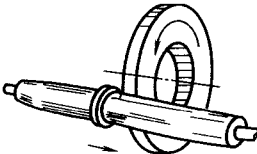
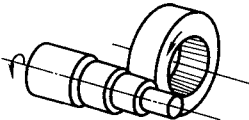
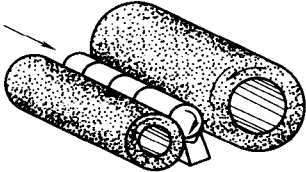
用磨料来切除材料的加工方法，称为磨削加工。磨削加工的范围很广，它可以磨削内外圆柱面、内外圆锥面、平面、螺旋纹、齿轮、花键、成形面等。此外，还适用于刃磨刀具、粗磨工件表面、切除钢锭和铸件上硬表皮，以及切断钢管和各种高硬材料等。

磨削加工能获得很高的加工精度及表面质量精度，它不但可加工软材料，而且还能加工硬度很高的材料，并能在一次行程中切除极薄的金属表层。

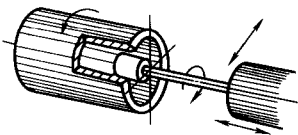
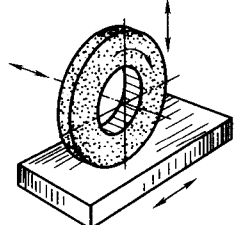
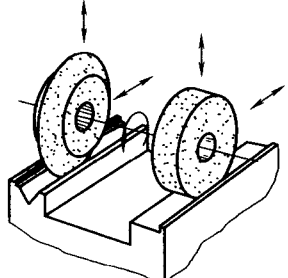
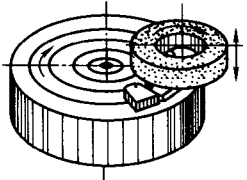
二、常见的磨削方式

常见的磨削方式见表 2-1。

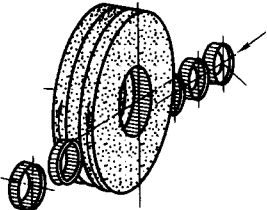
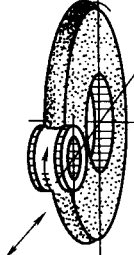
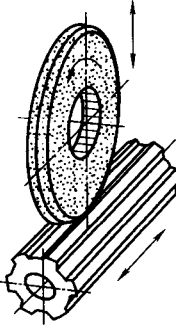
表 2-1 常见的磨削方式

磨削方法	简图	砂轮运动	工件运动
周 边 磨 削	外圆纵磨 	1. 旋转 2. 横进给	1. 旋转 2. 纵向往复移动
	外圆横向切入磨削 	1. 旋转 2. 横进给	旋转
	周面外圆斜切入磨削 	1. 旋转 2. 斜进给	旋转
	无心外圆磨削 	旋转	由导轮带动 旋转并轴向移动

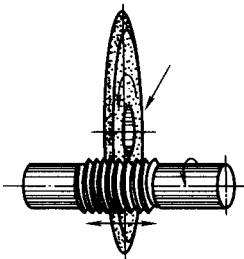
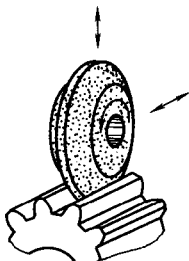
(续)

磨削方法	简图	砂轮运动	工件运动
周 边 磨 削	内圆纵磨 	1. 旋转 2. 横进给 3. 纵向往复运动	旋转
	平面磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给 3. 横进给	纵向往复移动
	导轨磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给	纵向往复移动
端 面 磨 削	平面磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给	旋转

(续)

磨削方法	简图	砂轮运动	工件运动
端面磨削	双端面磨削 	旋转	沿导向板移动
	轴承滚道磨削 	旋转	1. 旋转 2. 横向进给
成形磨削	花键磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给	1. 纵向往复移动 2. 分度

(续)

磨削方法	简图	砂轮运动	工件运动
成形磨削	螺纹磨削 	1. 旋转 2. 横向进给	1. 旋转 2. 纵向移动
	齿轮成形磨削 	1. 旋转 2. 往复移动 3. 垂直进给	分度

三、外圆磨削的计算

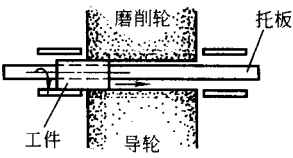
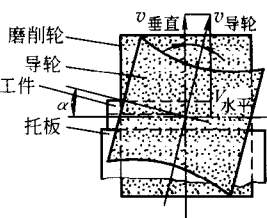
外圆磨削的计算公式见表 3-1。

表 3-1 外圆磨削的计算公式

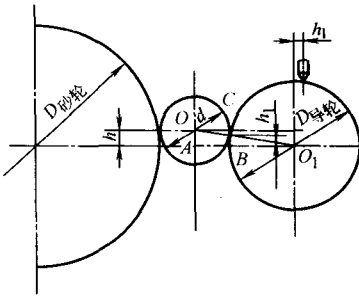
名称	解 释 与 公 式
中心型外圆磨削	图 3-1 中心型外圆磨削 中心型外圆磨削是最常用的一种磨削形式。工件以两端中心孔为定位基准，用前、后顶尖或卡盘装夹。磨削时工件绕两顶尖的尖端构成的旋转中心旋转，如图 3-1 所示
端面外圆磨削的形式	端面外圆磨削是中心型外圆磨削的变形形式。磨床砂轮主轴轴线相对工件轴线倾斜 β 角，砂轮斜向切入时，可同时磨削工件的外圆柱面和轴肩面，如图 3-2 所示 图 3-2 端面外圆磨削 砂轮主轴倾斜角 β，通常按工件加工圆柱面长度 L 和轴肩高度 h 的比值来选取，其计算公式如下： $\frac{L}{h} > 8, \beta = 10^\circ$ $\frac{L}{h} = 1 \sim 8, \beta = 30^\circ$ $\frac{L}{h} \leq 1, \beta = 45^\circ$

(续)

名称	解 释 与 公 式
端面外圆磨削	式中 β——砂轮主轴倾斜角 ($^{\circ}$) L——工件加工圆柱面长度 (mm) h——轴肩高度 (mm)
外圆磨削的形式	图 3-3 无心外圆磨削 无心外圆磨削是外圆磨削之一。这种磨削形式生产率高，加工质量好，易于实现自动化。因而，适于大批生产。它主要用于磨细长轴、无中心孔的短轴、台阶轴及特定销等 所谓无心磨削，即工件自由地安装在两个砂轮之间，并以托板支承进行磨削。无心外圆磨削中的砂轮，一个是磨削轮，它在高速旋转过程中能磨去工件表面的金属层；另一个是导轮，其直径尺寸比磨削轮小些，转速也较慢，工件与导轮间的摩擦力较大，同时导轮在垂直平面内倾斜一角度，故能带动工件作旋转运动和轴向进给运动，如图 3-3 所示 磨削轮和导轮以不同的圆周速度作同一方向的旋转运动，磨削轮的圆周速度 (35m/s) 为导轮圆周速度的 60 ~ 80 倍，工件在导轮和磨削轮的作用下作低速转动，磨削轮对工件进行磨削。根据经验证明，在无心磨削过程中，工件的中心有如下规定： 1) 工件的中心越高越易被磨圆，但中心过高，会使工件跳动，甚至从托板上滑出造成砂轮碎裂等事故。工件的中心应比砂轮的中心高出工件直径的一半，但不得超过 14mm 2) 若用软砂轮，则工件的中心比用硬砂轮时高些，因软砂轮对工件的接触压力小，减少了工件从托板上滑出的可能性 3) 磨长而翘曲的工件时，为防止工件滑出和消除翘曲引起的颤动，迫使工件压向托板，工件的中心一般应低于两砂轮中心连线 6mm 左右

名称	解 释 与 公 式
概述	磨削时,把工件放在托板上并推入(手工或机械)磨削区域,则工件在导轮和磨削轮的作用下,就一面旋转一面沿其轴线方向前进,穿过磨削区域后,即自动落入工件匣中(见图3-4),这种磨削方法称为贯穿法(纵磨法),此法只用于加工无台肩的圆柱形工件  图 3-4 纵向进给磨削法
无心磨削法的计算	用贯穿法磨削时,由于导轮的轴线相对于磨削轮的轴线倾斜角α为$1^\circ \sim 6^\circ$,如图3-5所示,所以,导轮和工件表面接触点的线速度$v_{\text{导轮}}$,可分解为两个方向不同,大小不等的水平分速$v_{\text{水平}}$和垂直分速$v_{\text{垂直}}$。其水平分速$v_{\text{水平}}$推动工件作纵向进给,垂直分速$v_{\text{垂直}}$完成工件的旋转运动 水平分速和垂直分速可按下列公式计算: $v_{\text{水平}} = v_{\text{导轮}} \sin \alpha$ $v_{\text{垂直}} = v_{\text{导轮}} \cos \alpha$ 导轮的圆周线速度为 $v_{\text{导轮}} = \frac{\pi D_{\text{导轮}} n_{\text{导轮}}}{1000}$ 则水平分速和垂直分速为 $v_{\text{水平}} = \frac{\pi D_{\text{导轮}} n_{\text{导轮}}}{1000} \sin \alpha$ $v_{\text{垂直}} = \frac{\pi D_{\text{导轮}} n_{\text{导轮}}}{1000} \cos \alpha$ 式中 $v_{\text{水平}}$——导轮平行于工件轴线方向的水平分速度 (m/min) $v_{\text{垂直}}$——导轮切于工件,并垂直于工件轴线的垂直分速度 (m/min)  图 3-5 无心磨削运动分析图

(续)

名称	解 释 与 公 式
无 心 外 圆 磨 削 法 的 计 算	$v_{\text{导轮}}$——导轮圆周线速度 (m/min) $D_{\text{导轮}}$——导轮直径 (mm) $n_{\text{导轮}}$——导轮转速 (r/min) α——导轮轴线相对于磨削轮轴线在垂直面内的倾斜角 ($^{\circ}$)。 由上式可知, 当导轮直径 $D_{\text{导轮}}$ 一定时, 工件的纵向进给量和圆周速度, 决定于导轮的转速和倾斜角的大小 通常情况下, 导轮倾斜角的数值是: 粗磨时取 $\alpha = 2^{\circ}30' \sim 4^{\circ}$, 精磨时取 $\alpha = 1^{\circ}30' \sim 2^{\circ}30'$
	例 1: 已知导轮 $D_{\text{导轮}}$ 为 200mm, 导轮转速 $n_{\text{导轮}}$ 为 50r/min, 导轮轴线相对于磨削轮轴线倾斜角 $\alpha = 2^{\circ}$, 试求水平分速 $v_{\text{水平}}$ 和垂直分速 $v_{\text{垂直}}$ 解: 将已知条件代入公式得: (1) $v_{\text{水平}} = \frac{3.14 \times 200 \times 50}{1000} \times \sin 2^{\circ} \text{m/min} = 31.4 \times 0.0349 \text{m/min} = 1.096 \text{m/min} \approx 1.1 \text{m/min}$ (2) $v_{\text{垂直}} = \frac{3.14 \times 200 \times 50}{1000} \times \cos 2^{\circ} \text{m/min} = 31.4 \times 0.99939 \text{m/min} \approx 31.38 \text{m/min}$
导轮的修整计算	用贯穿法磨外圆时, 为了使磨削时平稳和正常, 必须使工件与导轮沿母线的全长接触, 为此, 对导轮要进行修整 由于工件中心比两砂轮中心连线高出 h, 而使得工件与导轮的接触线比两砂轮中心连线高出 h_1。金刚钻接触导轮表面的位置, 必须相当于工件和导轮的接触处。因此, 金刚钻也应偏移 h_1, 见图 3-6 所示  图 3-6 修整导轮时 金刚钻的偏移量

名称	解 释 与 公 式
无 心 外 圆 磨 削 法 的 计 算	已知工件安装高度 h 后, 金刚钻偏移量 h_1 可从下列公式求出: $h_1 = \frac{D_{\text{导轮}} h}{D_{\text{导轮}} + d}$ 式中 h_1——金刚钻偏移量 (mm) h——工件安装高度 (mm) $D_{\text{导轮}}$——导轮直径 (mm) d——工件直径 (mm) 例 2: $D_{\text{导轮}}$ 为 260mm, h 为 30mm, d 为 100mm, 求金刚钻偏移量 h_1 是多少毫米 解: $h_1 = \frac{D_{\text{导轮}} h}{D_{\text{导轮}} + d} = \frac{260 \times 30}{260 + 100} \text{mm} \approx 21.7 \text{mm}$
圆 磨 削 法 的 计 算	1. 计算托板长度: 在磨削过程中, 托板是用来支承工件的。而托板的长度, 取决于磨削区及工件的长度, 见图 3-7a。它们之间的关系由下列公式决定: $L = A + B + H$ 式中 L——托板长度 (mm) A——托板在磨削区前伸出长度 (mm), 为工件长度的 1 ~ 3 倍 B——托板在磨削区后伸出长度 (mm), 为工件长度的 0.75 ~ 1 倍 H——砂轮宽度 (mm) Figure 3-7 consists of two diagrams. Diagram (a) is a top-down view of a grinding wheel (stippled area) of width H mounted on a support plate. The support plate extends a distance A before the grinding zone and a distance B after it. Diagram (b) is a side view showing the support plate of total length L supporting a workpiece of length l. The grinding wheel is positioned above the workpiece, and a dimension of 6~10 is indicated at the top.

图 3-7 托板的长度

(续)

名称

解 释 与 公 式

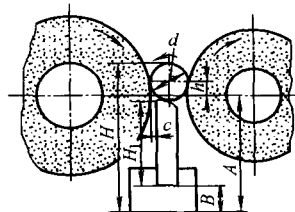


图 3-8 托板高度的调整

用切入法磨削时,托板的长度由托板导槽支承面的长度 L 决定,支承面比加工面要长出 $6 \sim 10\text{mm}$,见图 3-7b 所示

2. 计算托板高度:托板的高度是工件中心高出两砂轮中心连线的高度,见图 3-8 所示。其由斜面中点至支架槽底的距离 H_1 可按式粗略地计算:

$$H_1 = A - B - \frac{d}{2} + h$$

式中 A ——砂轮中心至底板距离 (mm)

B ——支架槽底至底板距离 (mm)

d ——工件直径 (mm)

h ——工件中心高出砂轮中心的值 (mm),由下表查取

生产实际中,为测量方便,要决定工件在托板上的高度,可测量工件顶点到支架底座底面的距离 H ,计算公式为

$$H = A + h + 0.5d$$

例 3: 已知砂轮中心至底板距离 A 为 34mm ,工件中心高 h 为 3.8mm ,工件直径 d 为 11mm ,试求工件顶点到支架底座底面的距离 H

$$\text{解: } H = A + h + 0.5d = (34 + 3.8 + 0.5 \times 11) \text{ mm} = 43.3 \text{ mm}$$

无心外圆磨削时 h 、 B 、 c 的值 (mm)

工件直径 d	托板厚度 B	工件安装高度 h	托板 $\varphi = 30^\circ$
			托板与磨削轮距离 c
5 ~ 12	4 ~ 4.5	2.5 ~ 6	1 ~ 2.4
12 ~ 25	4.5 ~ 10	6 ~ 10	1.65 ~ 4.75
25 ~ 40	10 ~ 15	10 ~ 15	3.75 ~ 7.5
40 ~ 80	15 ~ 20	15 ~ 20	7.5 ~ 10

无
心
外
圆
磨
削
法
的
计
算

托
板
的
计
算
和
安
装

(续)

名称	解 释 与 公 式
无心外圆磨削法的计算和安装	3. 托板的安装: 安装托板时, 其顶面必须水平, 否则, 工件磨削后成圆锥形 工件与托板的接触面积为托板倾斜面宽度的 $1/3$。工件安装在托板上, 可采用升高或降低托板来调整工件的中心高 调整托板左侧面在水平面内与磨削轮的距离 c 也是不可忽视的, 因切削液和磨屑从 c 处空隙流出。c 值可从上表中查取
深度磨削法的计算	用较大的横向进给量, 在一次纵向行程内磨去工件的全部磨削余量的磨削方法称为深度磨削法 (又称阶梯磨削法), 如图 3-9 所示 这种磨削方法, 纵向进给量小, 横向进给量等于工件的磨削余量。为了改善砂轮端面尖角处的受力状态及使砂轮磨损均匀, 可将砂轮修整成台阶形或较小的斜度 阶段砂轮: 阶段砂轮的前边一个或几个阶段主要起切削作用, 作粗磨用, 最后一个阶段应较宽些, 修整成修光部分, 作精磨用 阶段砂轮的阶段数及阶段的深度, 由工件长度和磨削余量来确定 当工件长度 $L \leq 80 \sim 100\text{mm}$ 时, 采用双阶段砂轮。砂轮阶段尺寸: 阶段深 $a = 0.05\text{mm}$; 阶段宽度 $k_1 = (0.3 \sim 0.4) B$ 当工件长度 $L \geq 100 \sim 150\text{mm}$, 磨削余量 $> 0.6\text{mm}$ 时, 采用五阶段砂轮。砂轮阶段尺寸为: 阶段深度 $a = 0.05\text{mm}$; 前四个阶段宽 $k = 0.15B$
特点	深度磨削法的特点: 1) 砂轮工作负荷比较均匀, 使用寿命长 2) 一次行程能磨去全部磨削余量, 生产率高 3) 粗、精磨在一次行程中完成, 加工精度达到 IT7 级, 表面粗糙度 R_a 为 $0.63\mu\text{m}$ 4) 操作简便

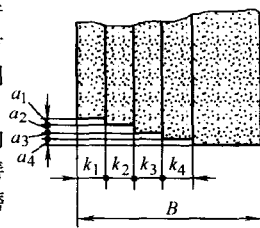


图 3-9 深度磨削法

四、圆锥面的磨削计算

在机械结构中，零件之间广泛地采用圆锥面配合。如磨床头架主轴和砂轮法兰盘之间的配合；尾架套筒与顶尖的配合；铣床主轴孔与刀杆圆锥体的配合等。

圆锥面有内、外圆锥之分，具有如下优点：配合的零件能自动对准中心，配合紧密，装卸方便，而且能达到较高的同轴度；当圆锥面的锥角较小（在 3° 以下）时有自锁性，可传递较大的扭矩；特别是大部分圆锥面零件可以进行修磨，以恢复原来的精度。

（一）圆锥体各部分名称和代号

圆锥体各部分的名称和代号见表 4-1。

表 4-1 圆锥体各部分名称和代号

名称	代号	解 释	图 示
大直径	D	圆锥体的大端直径	
小直径	d	圆锥体的小端直径	
锥角	α	圆锥体两条母线之间的夹角	
斜角	$\frac{\alpha}{2}$	圆锥体的母线与轴心线之间的夹角	
锥长	L	圆锥体的锥形部分长度（与轴线平行）	
锥度	C	圆锥体大小直径之差与锥形部分长度之比	
斜度	M	圆锥体大小直径之差的一半与锥形部分长度之比	
全长	L_1	圆锥体工件的全部长度（包括非锥形部分）	