

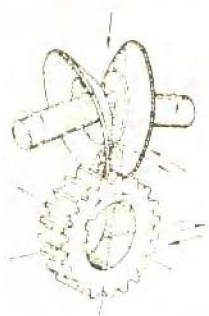
机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

怎样剃齿轮

刘树功 编著

齿轮工



610.6

机械工业出版社

目 次

一 谈谈剃齿	1
1 剃齿的一般概念 (1) —— 2 剃齿的工作原理 (3) ——	
3 介绍几种剃齿方法 (4)	
二 剃齿机和剃齿刀	8
1 剃齿机的用途、分类及加工原理 (8) —— 2 剃齿机的主要	
几何精度及检验方法 (16) —— 3 剃齿刀的安装 (16) —— 4 轴	
交角和刀架回转角 (17) —— 5 剃齿刀转动方向和工作台移动	
方向的关系 (19) —— 6 剃齿机的维护保养 (20)	
三 剃齿工艺	21
1 剃齿的精度 (21) —— 2 剃齿的工装 (23) —— 3 剃前齿	
轮的余量形式及剃量 (26) —— 4 切削用量 (30) —— 5 外啮	
合圆柱齿轮的剃削 (33) —— 6 怎样剃内齿 (38) —— 7 剃齿	
的冷却 (39) —— 8 保证剃齿精度的条件 (41)	
四 剃齿刀的重磨和剃齿刀的修形	43
1 剃齿刀的主要参数 (43) —— 2 怎样判断剃齿刀钝了 (48) ——	
3 怎样正确重磨剃齿刀 (48) —— 4 剃齿刀修形的基本知识	
(52)	
五 剃齿中常见的缺陷及其原因分析	54
1 齿面光洁度不好 (54) —— 2 齿向误差超差 (56) —— 3 公	
法线长度变动量超差 (57) —— 4 齿形误差和基本偏差超差 (58)	
—— 5 齿形的有效长度不足 (58) —— 6 齿轮接触缺陷 (58)	

一 谈谈剃齿

1 剃齿的一般概念 剃齿用于齿轮的最后精加工。齿轮经剃齿后，一般可以达到6级或7级[⊖]精度。剃齿可提高齿轮齿面的光洁度、齿形精度和接触精度，并减小基本偏差，从而使齿轮传动更加平稳。

随着工业的发展，对于齿轮的精度要求日益严格。剃齿法在工业上问世以后，由于它具有生产率高和加工出来的齿轮质量较高、成本低等优点，所以在工业中，特别是在汽车制造、机床制造、飞机制造等行业中，得到广泛的应用。

剃齿可以采用两种不同的刀具：齿轮状剃齿刀（俗称盘形剃齿刀）和齿条状剃齿刀。本书对齿条状剃齿刀及工作原理等内容不作介绍。

剃齿的主要优点为：

（1）剃齿的生产率高（见表1）。

（2）剃齿的加工范围广。可加工内、外啮合的直齿和斜齿圆柱齿轮、多联齿轮、台肩齿轮等。

（3）机床结构简单，机床调整、操作简便。

（4）刀具耐用度较高，一般情况下，一把剃齿刀可以重磨5~6次，总共可剃齿轮8000~15000件。

（5）通过调整机床，剃齿可以比较容易地加工出鼓形齿（图1a）、锥形齿（图1b）。鼓形齿减小了齿轮传动中，由于装配误差、齿轮制造误差或其它原因引起的齿端载荷集中的危险。

[⊖] 文内提到的齿轮精度等级、各项误差及定义。均按JB179~60标准。

锥形齿主要用来满足传动的特殊需要，例如，补偿热变形、受载变形等，使载荷在齿面上均匀分布。

表 1 齿轮不同精加工方法的效率比较

加 工 方 法	单件生产的 时 间 比 例	加 工 方 法	单件生产的 时 间 比 例
平行剃齿法	1	单片砂轮展成磨齿	56
对角剃齿法	0.5	蜗杆砂轮磨齿	22
冷 轧 法	0.23		

通过对剃齿刀的齿形进行修正（即使剃齿刀的齿形偏离标准的渐开线齿形），可以剃出要求的齿形形状。例如，加工出中凸齿形（图 1 c），以达到运转平稳、降低噪声的目的。

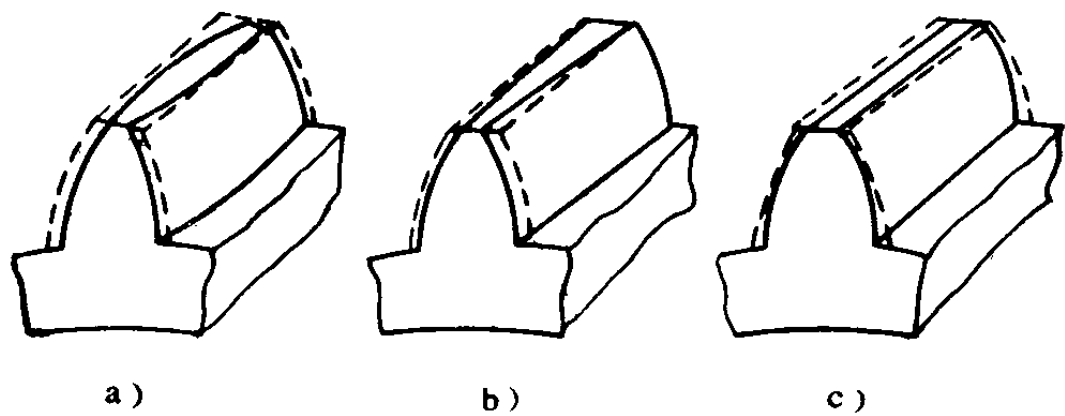


图 1 鼓形齿、锥形齿和中凸齿形

a) 鼓形齿 b) 锥形齿 c) 中凸齿形

（6）加工出的齿轮质量高，达 6~7 级，和一般磨齿不相上下。

（7）加工成本低、较经济。

剃齿的主要缺点为：

- （1）不能加工淬火硬度高的齿轮。
- （2）刀具复杂，价格昂贵。
- （3）剃齿的精度受剃前齿轮精度的影响较大。

2 剃齿的工作原理 我们知道，两轴交叉的螺旋圆柱齿轮啮合，两者在接触点的速度方向不一致（图 2），分别可分解成一垂直于牙齿方向的法向分速度 $V_{\text{工}n}$ 和 $V_{\text{刀}n}$ ，和一平行于牙齿齿向方向的分速度 $V_{\text{工}t}$ 和 $V_{\text{刀}t}$ 。 $V_{\text{工}n}$ 和 $V_{\text{刀}n}$ 使两齿轮产生沿齿形方向的滚动， $V_{\text{工}t}$ 和 $V_{\text{刀}t}$ 使两齿轮产生沿牙齿方向的滑动。

盘形剃齿刀是一个修正的螺旋圆柱齿轮。切削时，被剃齿轮装夹在芯轴上，顶在机床上的两顶尖间，可以自由转动；剃齿刀装在机床主轴上，带动工件旋转（图 3），并与工件形成无侧间隙的螺旋齿轮啮合。剃齿刀的齿侧面上有许多小容屑槽，容屑槽与齿面的交线就是切削刃（图 4）。由于被剃齿轮的齿侧面沿剃齿刀的齿侧面滑移和剃齿刀对被剃齿轮施加的径向压力，因而从被剃齿轮的齿面上切下极细的切屑。在被剃齿轮和剃齿刀进入啮合的齿面上，切屑去除的方向是从齿顶向着齿根；在脱开啮合的齿面上，是从齿根向着齿顶（图 5）。

理论上，剃齿刀与被剃齿轮啮合时，仅在 K 点上接触（由于压力的作用，实际上为极小的面接触）。 K 点叫做剃齿刀的切削点

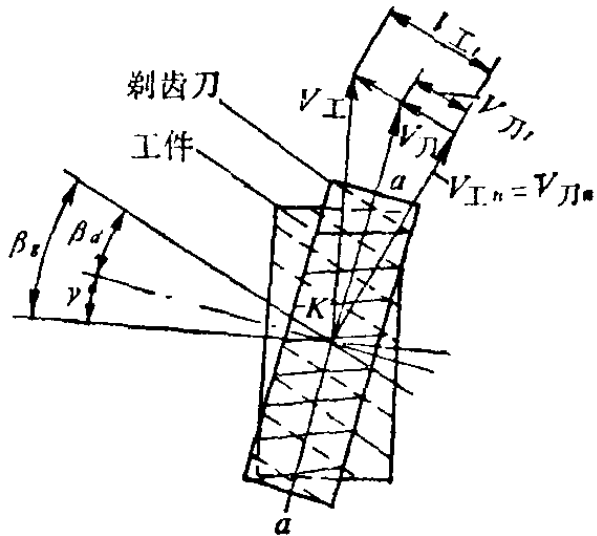


图 2 盘形剃齿刀工作时的切削速度

$V_{\text{工}}$ —工件圆周速度 $V_{\text{刀}}$ —剃齿刀圆周速度 γ —轴交角 β_d —剃齿刀螺旋角 β_g —工件螺旋角

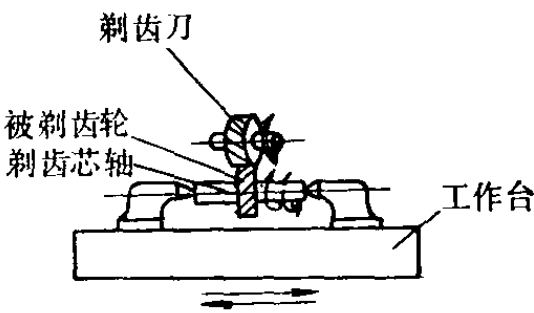


图 3 盘形剃齿刀工作简图

(图 2)，它位于剃齿刀的切削截面 aa 上。加工时， K 点沿齿形移动。当剃齿刀是斜齿而工件是直齿时，在工件齿侧面上的接触线是渐开线，而在剃齿刀齿侧面上的接触线为倾斜于端面的曲线，且左右两侧面上的接触线具有不同的倾斜方向；当剃齿刀和工件都是斜齿时，工件和剃齿刀在齿侧面上的接触线都是倾斜的曲线。

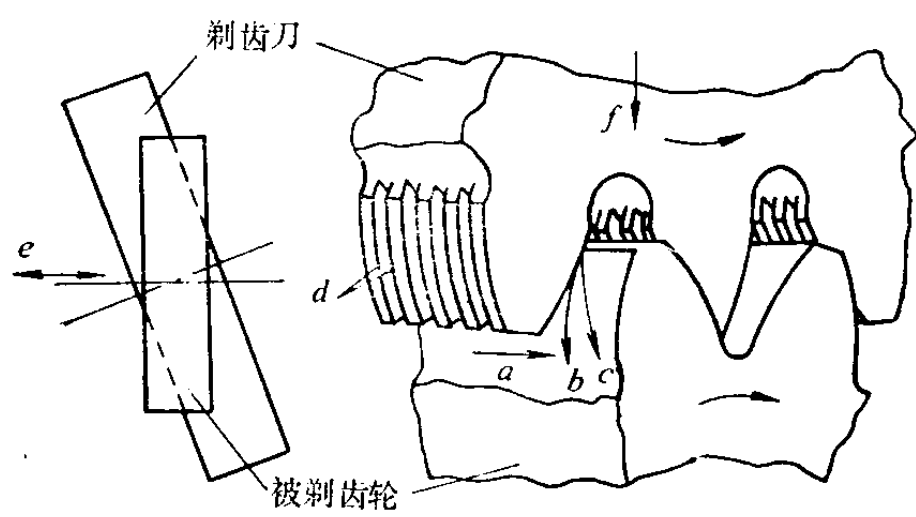


图 4 啮合中的剃齿刀和被剃齿轮

a —沿齿向的滑动 b —沿齿形方向的滚动 c —切屑去除的方向 d —容屑槽形成的切削刃 e —被剃齿轮的进给运动 f —剃齿刀的径向进给运动

因此，为了加工出齿轮牙齿的整个齿侧面，必须使被剃齿轮的整个齿宽都通过切削点 K ，即工作台必须做纵向的往复运动。

工作台每一行程后，剃齿刀做一次径向进给运动，使它的切削刃切入金属层，逐渐切去全部剃齿余量，从而得到要求的齿厚。

3 介绍几种剃齿方法 表 2 列举了几种不同剃齿方法的特点。

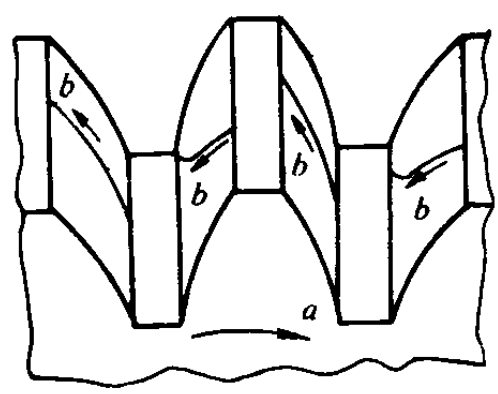


图 5 切屑去除的方向
 a —被剃齿轮的转动方向
 b —切屑去除的方向

这些剃齿方法，基本上是以进给运动相对于工件轴线的方向来区分的。下面对几种剃齿方法做一简要的介绍。

(1) 平行剃齿(图 6)：

平行剃齿是最老的剃齿方法，由于它的剃齿刀通用性强，所以这种剃齿方法，目前仍被普遍采用。

这种剃齿方法的主要缺点是，在几种剃齿方法中，它的加工效率是最低的。因为在剃齿过程中，剃齿刀切削点 K 的位置，始终处在一个切削截面 $b-b$ 中，所以剃齿刀不能被充分利用。为了改变切削截面 $b-b$ 的位置，必须重新安装剃齿刀。在剃齿刀的端面上加垫，以改变剃齿刀和工件轴线交叉的位置（即切削点 K ）。这个操作是比较麻烦的，因为这不仅要重新安装剃齿刀，而且要重新调整被剃齿轮的安装位置，使它以新的切削点为中心，进行往复运动。

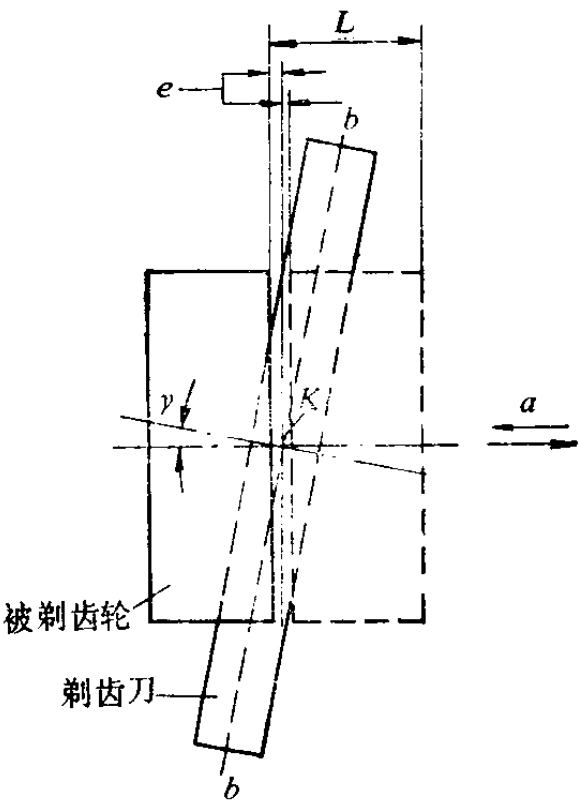


图 6 平行剃齿

$b-b$ —切削截面 K —切削点 a —
工件进给运动的方向 L —工件进给
运动的行程长度 e —超越切削点 K
的长度 γ —轴交角

(2) 对角剃齿和横向剃齿(图 7)：图 7 表明，尽管工件的进给运动的行程长度 L 比它的齿宽 B_0 小，切削点还是划过了剃齿刀的整个齿宽 ($K_1 \rightarrow K_2$)，因此剃齿刀得到充分利用，其寿命比平行剃齿的高。这种剃齿方法和平行剃齿相比，由于工件往复运动行程短，所以加工效率较高，约为平行剃齿的两倍。

这种剃齿方法，由于它的剃齿刀通用性差，所以仅在大批量

表 2 不同剃齿方法的比较

剃齿方法	平行剃齿	对角剃齿	横向剃齿	切向剃齿	径向剃齿
轴交角 γ	$10^{\circ} \sim 15^{\circ}$				
工件进给运动方向和自身轴线的交角 ε	平行于工件轴线	$0^{\circ} < \varepsilon < 45^{\circ}$	$45^{\circ} < \varepsilon < 90^{\circ}$	90°	90° 剃齿刀向工件做径向进给运动
工件进给运动的行程长度 L	大于工件的齿宽 B_g	取决于 ε	小于工件的齿宽 B_g	很小	0
剃齿刀齿宽 B_d	和工件齿宽 B_g 无关	取决于工件齿宽 B_g	小于工件齿宽 B_g	大于工件齿宽 B_g	
剃齿刀容屑槽的排列情况	正 常			交 错	
剃齿刀节面形状	圆 柱 形	双曲面回转体			
剃齿刀利用	不 充 分	充 分			
剃鼓形齿和锥形齿	靠调整机床		靠剃齿刀齿形修正		
剃中凸齿形	靠剃齿刀齿形修正				
剃齿效率	低—————→高				

生产中被采用。

(3) 切向剃齿 (图 8)：在切向剃齿中,工件在不断旋转的同时, 还围绕剃齿刀轴线做摆动运动, 从最初的中心距 A_1 , 经几次摆动达到较小的, 最终的中心距 A_2 。

切向剃齿的加工效率比上述剃齿方法的效率还要高。

切向剃齿采用专用剃齿刀。由于工件不做轴向往复运动, 为保证工件的齿面光洁度, 剃齿刀的容屑槽必须做成交错排列的 (图 9)。

剃鼓形齿时 (图 1 a), 必须把剃齿刀的刀齿做成反鼓形齿。

切向剃齿只在齿轮大批量生产中采用, 多用于剃削齿宽小于

50 毫米的多联齿轮或台肩齿轮。

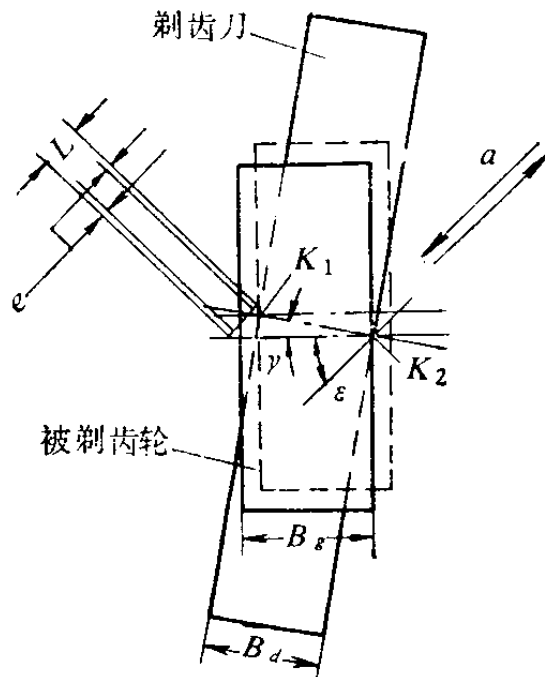


图 7 对角剃齿和横向剃齿

a —工件进给运动的方向 L —工件进给运动的行程长度 e —超越切削点 K 的长度 γ —轴交角 ε —工件进给运动方向和自身轴线的夹角 K_1, K_2 —剃齿刀的切削点 B_d —剃齿刀齿宽 B_g —工件齿宽

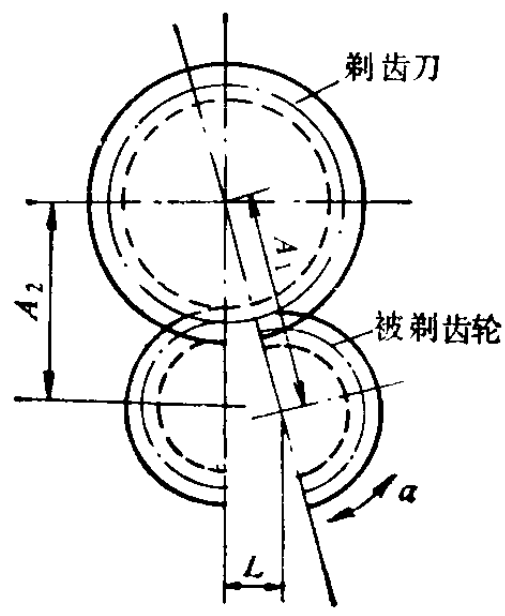


图 8 切向剃齿

a —工件进给运动的方向 L —工件进给运动的行程长度 A_1 —最初的中心距 A_2 —最终的中心距

切向剃齿是在切向剃齿机上进行的。

(4) 径向剃齿：在几种剃齿方法中，它的加工效率最高。它是由剃齿刀在高速转动的同时，向工件做径向进给来完成剃齿加工的。由于它也必须采用容屑槽交错排列的专用剃齿刀，所以它只在大批量生产中被采用，并且多用于剃削齿宽小于 50 毫米的多联齿轮和台肩齿轮。

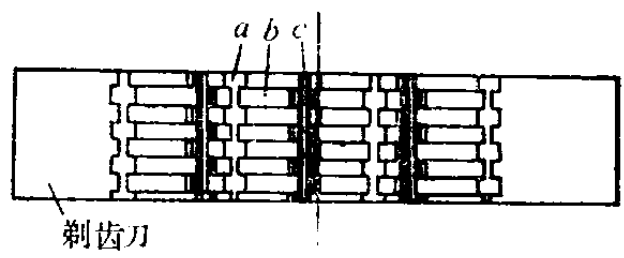


图 9 交错排列的容屑槽

a —剃齿刀齿顶 b —容屑槽 c —剃齿刀齿底

径向剃齿是在径向剃齿机上进行的。

由于目前普遍采用的剃齿方法是平行剃齿，所以本书主要讲述有关平行剃齿的几个问题。

二 剃齿机和剃齿刀

1 剃齿机的用途、分类及加工原理 按机床布局，剃齿机可分为立式剃齿机和卧式剃齿机两大类；按采用的剃齿方法分，有普通剃齿机（采用平行剃齿法），径向剃齿机，万能剃齿机等。常见剃齿机的规格、性能见表3。表3所列的剃齿机，都是采用平行剃齿法的剃齿机。它们可剃削未经淬硬或经调质处理的直齿、斜齿圆柱齿轮，连轴齿轮，多联齿轮，台肩齿轮，鼓形齿齿轮和锥形齿齿轮。表3所列的剃齿机只有Y42125A能剃削内齿轮。

图10说明了剃齿机的加工原理，以及剃齿机具有的几种主要运动。

剃齿机的主要运动有：
剃齿刀3的旋转运动；刀架的径向进给运动和快速退回运动；溜板7和工作台6一起进行的往复运动，它带动被剃齿轮形成被剃齿轮的纵向进给运动。

这里要注意，工作台置于溜板之上，并且工作台可相对溜板调整成所要求的角度，以加工锥形齿；工作台在进行往复运动的

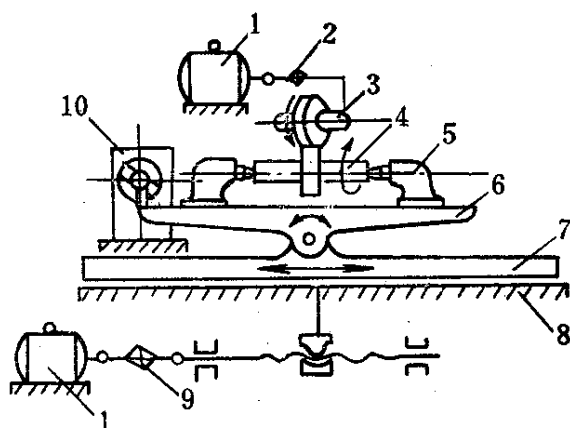


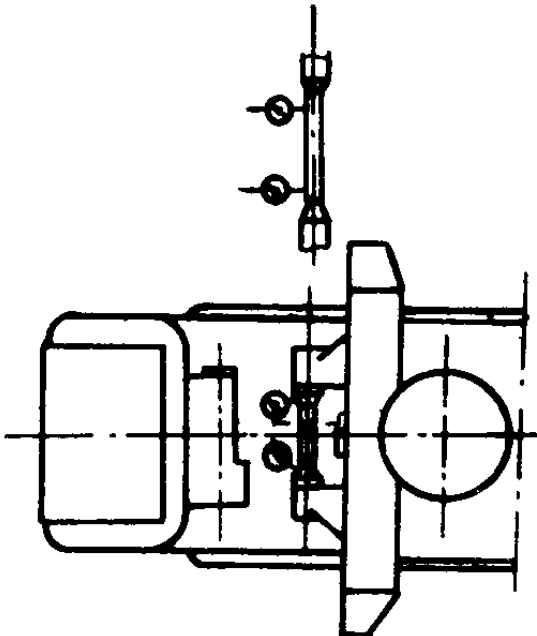
图10 剃齿机的加工原理

- 1—电动机 2—速度变换 3—剃齿刀
4—被剃齿轮 5—顶尖架 6—工作台
7—溜板 8—床身 9—进给变换
10—剃鼓形齿和锥形齿机构

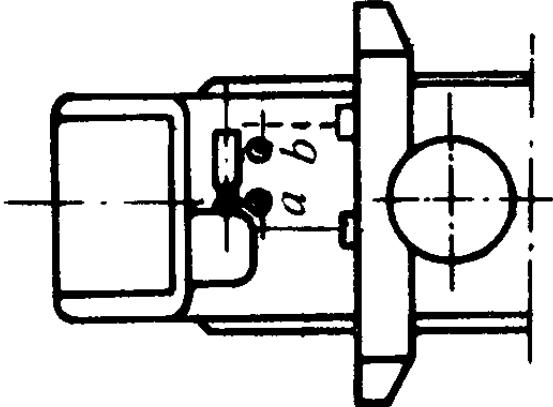
表 3 常见剃齿机的规格、性能一览表

型	号	Y 4232 A	Y 4232 B	Y 4236	Y 4245	Y 4250	Y 42125 A
可加工齿轮直径	毫米	30~320	30~320	50~360	50~450	60~500	200~1250
可加工模数	毫米	1~6	1~6	1.75~8	1.75~8	1~8	2~12
可加工工件最大齿宽	毫米	90	125	100	100	90	200
剃齿刀分圆直径	毫米	180~250	180~240	200~250	200~250	180~240	最大为300
剃齿刀孔径	毫米	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
剃齿刀最大齿宽	毫米	30	50	40	40	40	—
刀架的回转角度	度	±30°	±30°	±30°	±30°	±30°	±20°
剃齿刀主轴的转速	转/分	110, 166	60~280	118~294	118~294	80~250	33~200 (工件)
剃齿刀中心至工件中心的距离	毫米	130~314	105~280	140~360	140~360	150~350	140~770
工作台两顶尖最大距离	毫米	675	500	125~300	125~300	500	—
工作台中心孔径	毫米	—	—	—	—	—	250
工作台主轴孔径	毫米	—	—	—	—	—	100
电动机总容量	千瓦	4.25	4.02	3.925	3.925	3.79	7.5
主电动机	千瓦	3	3	2.8	2.8	2.2	5.5
外形尺寸(长×宽×高)	毫米	2390×1740 ×1380	1740×1500 ×2050	1510×1660 ×1470	1510×1660 ×1470	1396×1600 ×2325	2903×1642 ×1878
重量	公斤	2350	3500	2500	2500	4000	6800

表 4 剃齿机的主要几何精度及检验方法

检 验 1	1. 顶尖锥面跳动 2. 左右顶尖连线的径向跳动	最大工件直径 (毫米)	允 差 (毫米)
		≤125	0.003
≤320		0.005	
≤800		0.008	
≤2000		0.015	
1.2均为以上允差值			
检 验 方 法			
1. 将千分表固定在工作台上，使千分表测头顶在顶尖锥面上。旋转顶尖锥面，就是顶尖锥面跳动的误差。			
2. 在左右顶尖间，顶紧一根检验棒。将千分表固定在工作台上，使千分表测头分别顶在检验棒两端靠近顶尖的地方。旋转检验棒检验。千分表读数的最大差值，就是径向跳动的误差。			

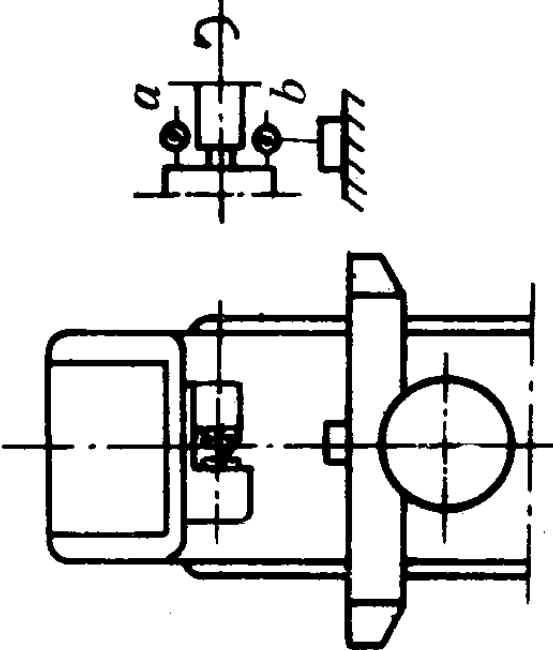
(续)

检验 2	剃齿刀轴的径向跳动	最大工件直径 (毫米)	允 差 (毫米)
		≤125	a 0.005
			b 0.007
		≤320	a 0.007
			b 0.010
		≤800	a 0.010
			b 0.015
		≤2000	a 0.015
			b 0.018

检 验 方 法

将千分表固定在工作台上，使千分表测头顶在剃齿刀轴的两端 a 处和 b 处。旋转剃齿刀轴检验径向跳动。

a 、 b 的误差分别计算。千分表读数的最大差值，就是径向跳动的误差。

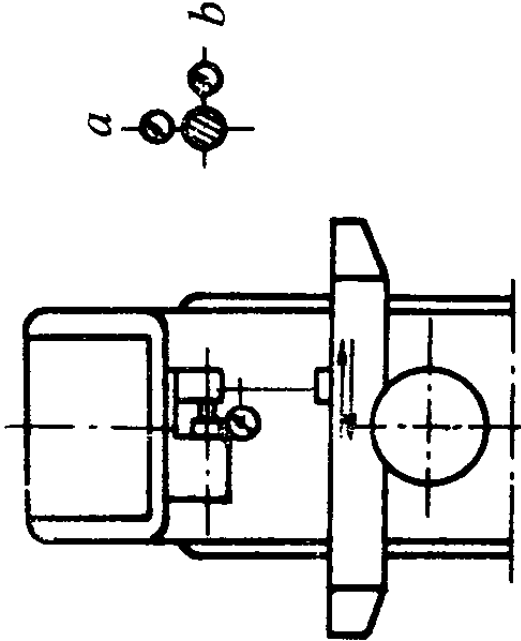
检 验 3	剃齿刀轴轴肩的端面跳动	最大工件直径 (毫米)	允 差 (毫米)
		≤125	0.005
		≤320	0.008
		≤800	0.010
		≤2000	0.015

检 验 方 法

将千分表固定在工作台上，使千分表测头顶在剃齿刀轴的轴肩端面上。旋转剃齿刀轴，分别在相隔180°的 *a* 处和 *b* 处检验。*a*、*b* 的误差分别计算。

千分表读数的最大差值，就是端面跳动的误差。

(续)

检 验 4	剃齿刀轴中心线对支承孔中心线的同轴度	最大工件直径 (毫米)	允 差 (毫米)
		≤ 125	0.008
		≤ 320	0.012
		≤ 800	0.015
		≤ 2000	0.022
		$a、b$ 均为以上允差值	

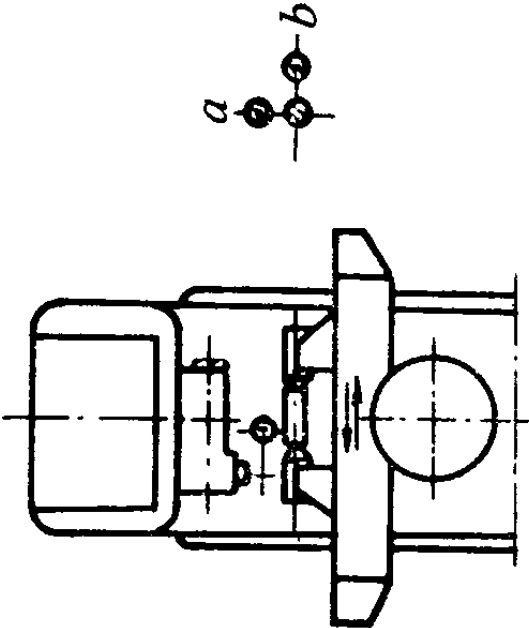
检 验 方 法

将活动支承套入剃齿刀轴，使刀轴自由端伸出工作台上，使千分表测头顶在剃齿刀轴自由端伸出部分的表面上。

拧紧与拧松活动支承的固定螺钉，分别在剃齿刀轴的 a 上母线和 b 侧母线上检验。 $a、b$ 的测量结果分别以千分表读数的最大差值表示。

然后，将剃齿刀轴旋转 180° ，再同样检验一次。
 $a、b$ 的误差分别计算。两次测量结果的代数和的一半，就是同轴度的误差。

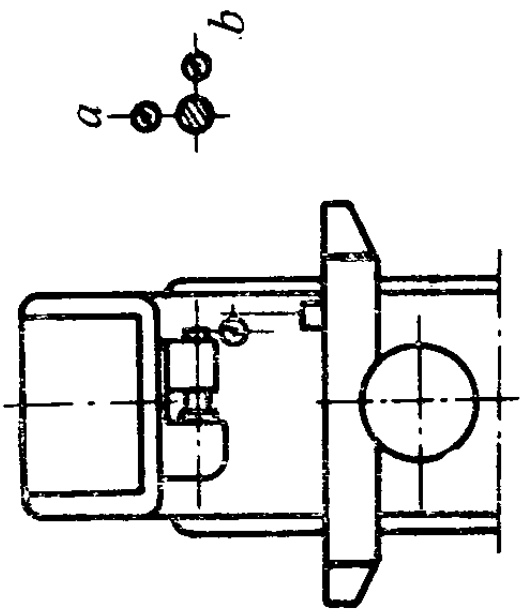
(续)

检 验 5	两顶尖中心线对工作台纵向移动的平行度	最大工件直径 (毫米)	长 度 L (毫米)	允 差 (毫米)
		≤ 125	100	0.005
		≤ 320	100	0.008
		≤ 800	300	0.010
		≤ 2000	300	0.015

检 验 方 法

检验棒顶紧在左右顶尖间。将千分表固定在机床上，使千分表测头顶在检验棒表面上。移动工作台，分别在 a 上母线和 b 侧母线上检验。 a 、 b 的误差分别计算。千分表读数的最大差值，就是平行度的误差。

(续)

检 验 6	工作台纵向移动对剃齿刀轴中心线的平行度	最大工件直径 (毫米)	允 差 (毫米)
		≤ 125	0.005
		≤ 320	0.007
		≤ 800	0.010
		≤ 2000	0.015
		在每100毫米测量长度上 a 、 b 均为以上允差值	

检 验 方 法

将千分表固定在工作台上，使千分表测头顶在剃齿刀轴表面上。纵向移动工作台，分别在 a 上母线和 b 侧母线上检验。

a 、 b 的误差分别计算。千分表读数的最大差值，就是平行度的误差。