

机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

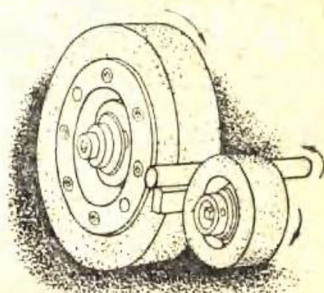
怎样磨剃齿刀

秦秉常 庞仙德 编著

磨工

FG61

3
3



机械工业出版社

目 次

一、概述	1
二、刃磨剃齿刀所用齿轮磨床的工作原理	4
1 Y 7125型齿轮磨床的工作原理(5)——2 Y 7125型齿轮磨床的传动系统(8)	
三、Y 7125型齿轮磨床的调整	11
1 装置渐开线凸轮, 调整工作台倾斜角(11)——2 装置分度齿轮(13)——3 装置分度盘(14)——4 装置工件心轴(16)——5 调整分度机构的分度时刻(18)——6 调整砂轮架的旋转角(18)——7 砂轮的选择和安装(19)——8 砂轮位置的调整(20)——9 调整工作台的行程长度(22)	
四、磨齿形过程中容易出现的问题和调整方法	23
1 齿形误差(23)——2 齿距误差(28)——3 齿距累积误差(29)——4 齿侧面的径向偏摆(30)——5 齿向误差(33)——6 调整计算举例(34)	
五、剃齿刀齿形曲线的修正及其刃磨方法	36
1 剃齿刀齿形曲线修正的原因(36)——2 确定剃齿刀齿形修正曲线的方法(37)——3 按照齿形修正曲线刃磨剃齿刀的方法(38)——4 刃磨齿形修正的剃齿刀容易出现的问题和解决方法(41)——5 根据齿轮的接触斑痕磨制剃齿刀修正曲线的方法(46)——6 刃磨齿形修正的剃齿刀时的“让格”和磨外圆(46)	
六、剃齿刀的检验	50
1 检验渐开线齿形(50)——2 检验螺旋角(54)——3 检验相邻齿距误差(56)——4 检验齿距累积误差(57)——5 检验齿顶圆径向偏摆(57)——6 齿厚的测量(58)	

一、概 述

剃齿是齿轮加工中被广泛采用的一种精加工方法。用剃齿法加工出来的齿轮，由于其精度较高（可达 JB179-60 中的 6~7 级精度）、光洁度好（ $\nabla 7 \sim \nabla 8$ ）、生产效率高（加工一个齿轮，一般仅需 1~2 分钟），同时所用的机床结构简单、调整方便，所以近几年来国内各厂在制造汽车、拖拉机和机床中的齿轮时，都普遍采用了这种加工方法。

剃齿刀有齿条形和圆盘形两种。齿条形剃齿刀虽然在生产效率、精度和刀具耐用度方面都较圆盘形剃齿刀为好，但由于其所

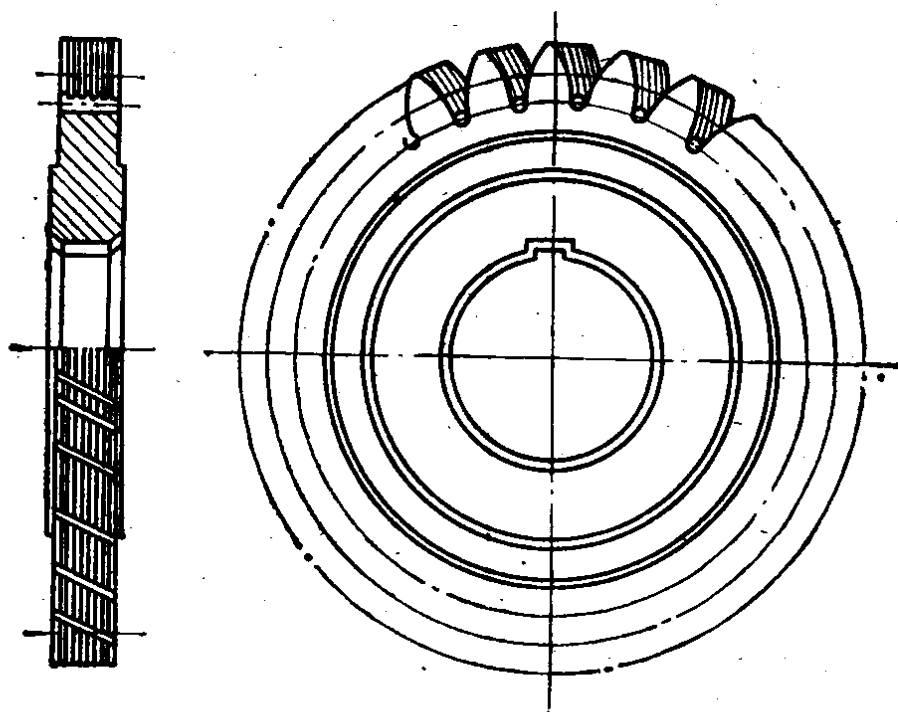


图 1 圆盘形剃齿刀

用的剃齿机床和这种剃齿刀的制造、安装、调整都较困难，所以现已很少使用。本书只介绍圆盘形剃齿刀的刃磨方法。

圆盘形剃齿刀（图1）相当于一个变位齿轮。在齿轮齿面上开有许多小槽。小槽与齿面的交线形成切削刃。剃齿时，被剃的齿轮装夹在心轴上，心轴顶在机床的两顶尖间可以自由转动。剃齿刀装在机床的主轴上，与被剃齿轮成无间隙的啮合，并带动齿轮旋转（图2）。剃齿刀齿面上的切削刃对齿轮齿面相对滑移时，就剃下极薄而细的切屑（切削厚度约为0.005~0.01毫米）。

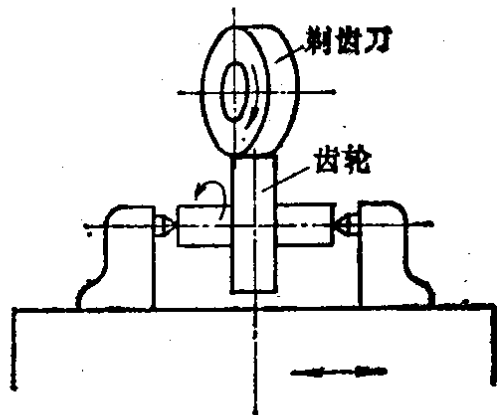


图2 剃齿刀剃齿简图

剃直齿轮时，剃齿刀一般都做成右旋的。剃齿刀与齿轮两轴线间的轴间角 θ 约为 $10^\circ \sim 15^\circ$ （图3）。剃斜齿轮时，轴间角 θ 约为 $10^\circ \sim 12^\circ$ 。例如被剃的齿轮为右旋 25° ，则剃齿刀应为左旋 $13^\circ \sim 15^\circ$ 。剃双联齿轮时，轴间角要取决于双联齿轮之间的距离，但最小不得小于 $5^\circ \sim 6^\circ$ （图4）。

剃齿刀的技术条件（GR81-60）

1. 在剃齿刀的表面上不得有裂纹、刻痕、黑斑、烧伤、毛刺和锈迹等现象。
2. 剃齿刀的表面光洁度（按GB1031-68）：
 - （1）齿形表面和两支承端面——不低于9级；
 - （2）内孔表面——不低于10级；
 - （3）圆柱表面——不低于7级。
3. 剃齿刀切削刃必须磨得锋利，不得有崩刃和钝口。
4. 剃齿刀非工作部分的棱边必须倒钝。

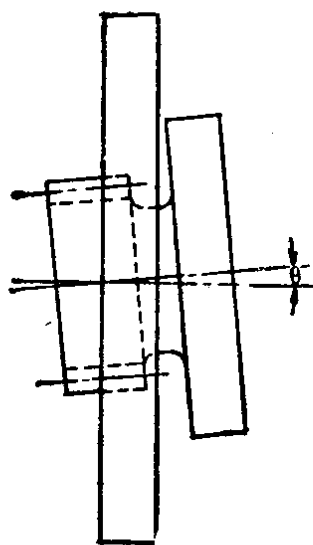


图3 剃齿刀剃齿时的轴间角

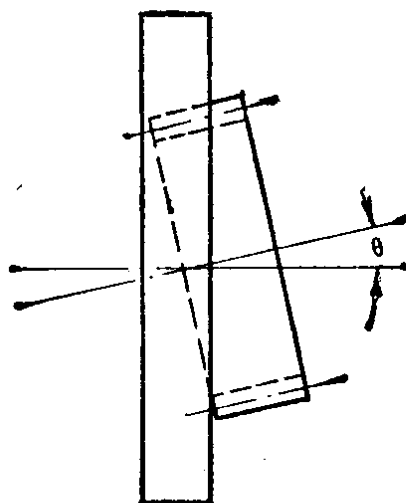


图4 剃齿刀剃削双联齿轮时的轴间角

5. 内孔的偏差:

A 级剃齿刀

+ 0.005毫米

B 级和 C 级剃齿刀

+ 0.008毫米

内孔的锥度和椭圆度允许在内孔直径偏差的一半范围内。

注: 1. 在内孔的两端超出公差范围的喇叭口, 其总长不得超过孔长的25%。

2. 键槽附近的磨扁部分不得超过键槽中心线两边各20°中间角的范围。

6. 剃齿刀各项要素的公差不应超过表1的数值。

7. 剃齿刀应用W18Cr4V高速钢制造, 其碳化物偏析应在3~4级范围内。

8. 剃齿刀工作部分的硬度为HRC62~65。

9. 剃齿刀工作部分不得有脱碳层和软点。

表 1 剃齿刀各项要素公差值

项 目	代 号	精 度 等 级									
		A			B			C			
		模 数 (毫米)									
		1~2	2.25 ~4	大于 4	1~2	2.25 ~4	大于 4	2	2.25 ~4	4.25 ~6	大于 6
		(微 米)									
1. 圆周齿距的最大累积误差	δt_z	12	12	12	20	20	20	25	25	25	25
2. 两相邻的圆周齿距最大误差	δt	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
3. 齿侧面的径向偏摆	δe_j	10	10	10	20	20	20	24	24	24	24
4. 基节的极限偏差	Δt_j	± 3	± 3	± 3	± 5	± 5	± 5	± 9	± 9	± 9	± 9
5. 齿形误差	δ_f	4	5	6	5	6	8	6	8	10	12
6. 与公称齿厚相适应的齿顶高允差		± 15	± 25	± 35	± 15	± 25	± 35	± 15	± 25	± 35	± 35
7. 齿向公差	δB_x	± 9	± 9	± 9	± 11	± 11	± 11	± 13	± 13	± 13	± 13
8. 在50毫米半径处端面对内孔中心线的偏摆		7	7	7	10	10	10	10	10	10	10
9. 外圆直径允差	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300	± 300

注：1. 每一齿测的齿形，在某一端面其齿形误差应如上表所述，在第二端面的齿顶，允许在3°展开角的范围内有不大于0.02毫米的顶切，齿形其余部分的误差与第一端面相同。

2. 剃齿刀刀齿的齿底，允许在2°展开角的范围内有不大于0.02毫米的修缘。

二、刃磨剃齿刀所用齿轮磨床 的工作原理

毛主席教导我们：“大家明白，不论做什么事，不懂得那件事

的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”要想磨好剃齿刀，首先必须对刃磨剃齿刀所用的加工机床有个比较深刻的了解，知道它的传动机构、工作原理、加工范围、磨削性能等，才能更好地掌握和应用它。

目前国内最适于刃磨剃齿刀的机床是 Y 7125 型齿轮磨床。这种机床结构简单、操作方便、万能性强，并且又能达到较高的精度。例如渐开线误差可达到 0.002 毫米，相邻齿距误差可达到 0.003 毫米，圆周齿距的最大累积误差可达到 0.010 毫米。这样的精度，足以能满足刃磨 A 级剃齿刀的要求。

1 Y 7125 型齿轮磨床的工作原理

这种齿轮磨床的工作原理，是利用了齿轮和齿条的啮合原理。

如将绕在基圆上的母线展开时，则母线上各点形成的轨迹，为许多等距的渐开线（图 5）。

$$\widehat{ab} = a_1b_1 = a_2b_2$$

如果带有两根渐开线 aa_1 和 bb_1 的基圆绕轴心 O 回转（图 6），并沿平行于母线 CC_1 的方向滚动，其基圆圆周上一点的速度，等于基圆滚动的速度，则渐开线 aa_1 和 bb_1 将沿不动的切线 AA 和 BB 滑动，并和两切线在 A' 和 B' 两点相切。

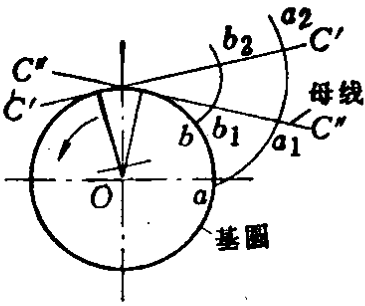


图 5 渐开线的展成

在齿轮磨床上， AA 为砂轮端面， BB 为固定挡板， aa_1 为被磨的齿形， bb_1 为渐开线凸轮。当基圆转动时，渐开线凸轮抵靠挡板，迫使基圆沿导轨方向滚动，于是砂轮便将剃齿刀被磨的齿

形磨成基圆与凸轮基圆相等的渐开线 αa_1 。但是，实际上齿轮磨床不可能按图 6 的方法进行工作，因为：

1. 切点 A' 的位置始终不变，砂轮的工作部分仅仅是在以 A' 点形成的一个圆周处，因此砂轮很快就会磨损，而无法达到要求精度很高的渐开线齿形。

2. 渐开线凸轮的基圆直径必须和被磨的剃齿刀基圆直径精确相等，这就需要为各种不同基圆直径的剃齿刀，准备很多相当的渐开线凸轮。而制造精密的渐开线凸轮非常困难，这样就很不经济。

3. 剃齿刀的齿形和砂轮永远在固定的 A' 点接触，不可能以修整砂轮的形状来刃磨修正剃齿刀的齿形。

人们在不断改革机床结构和扩大机床使用范围的实践中，找到了解决上述问题的方法：将导轨和挡板改为倾斜的，即和水平线成可调整的 α_m 角，而砂轮则仍保持在垂直位置上(图 7)。

当渐开线凸轮绕中心 O 点顺 F 方向旋转时，凸轮抵靠固定的挡板，使滑块沿导轨方向滑动。 O_1 和 O_2 为中心 O 点的两个位置， b_1b_1 和 b_2b_2 为渐开线凸轮的两个位置。假定在单位时间内，凸轮的基圆由位置 I 滚动到位置 II，则对挡板 BB 来讲，中心点 O 沿导轨倾斜方向的滑动速度为：

$$V_1 = C_1C_2 = O_1O_2 = R_K \cdot \omega$$

式中 R_K ——渐开线凸轮的基圆半径，

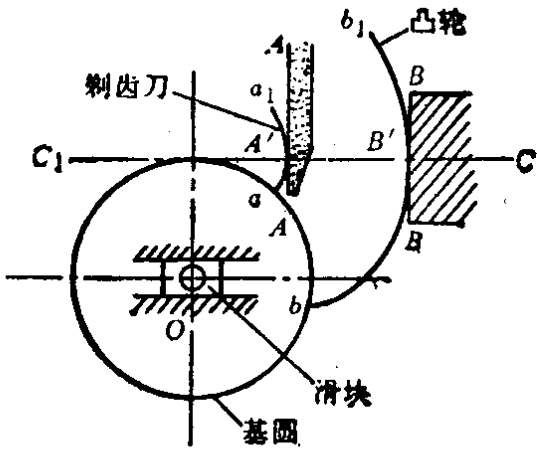


图 6 Y7125型齿轮磨床的工作原理

ω —— 主轴回转的角速度。

对砂轮 AA 来讲, 中心点 O 在单位时间远离砂轮的距離为:

$$GN_2 = M_2N_2 - M_1N_1 = O_2E$$

啮合点 M 沿垂直于砂轮并和基圆相切的啮合线 MN 移动的速度为:

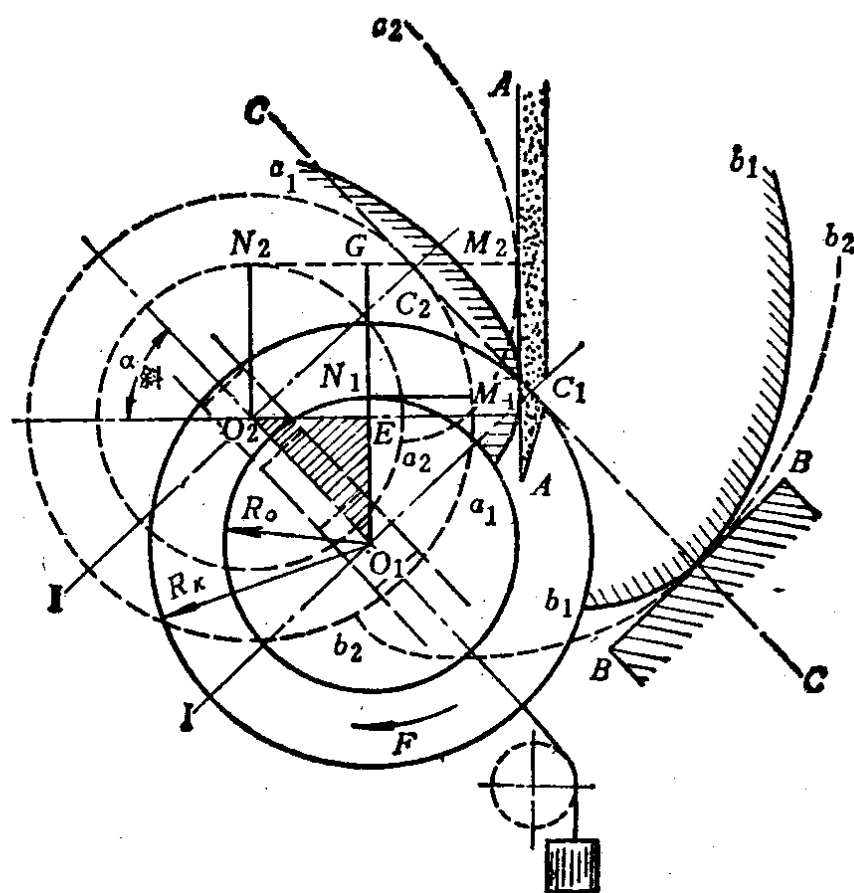


图 7 Y7125型齿轮磨床的工作原理

$$V = GN_2 = O_2E$$

从三角形 O_1O_2E 中可求得 V 和 V_1 的关系:

$$V = V_1 \cos \alpha_m$$

根据渐开线啮合原理, 我们知道, 啮合点沿啮合线移动的速度, 等于基圆上一点的圆周速度:

$$V = R_o \omega$$

$$R_o \omega = R_K \cdot \omega \cos \alpha_{\text{渐}}$$

$$R_o = R_K \cdot \cos \alpha_{\text{渐}}$$

式中 R_o ——被磨剃齿刀的基圆半径。

由上面的公式可知，当齿轮磨床的导轨倾斜时，就不需要为基圆直径不同的剃齿刀专备许多相应直径的渐开线凸轮，而只要改变导轨倾斜角 $\alpha_{\text{渐}}$ ，每个凸轮即能适应很多个基圆直径在一定范围内的剃齿刀。

剃齿刀齿形和砂轮的接触点，在单位时间内由 M_1 移到 M_2 的移动速度为：

$$V_2 = M_1 M_2 = O_1 E = V_1 \sin \alpha_{\text{渐}}$$

这样，砂轮的工作部分将不再是以 A 点形成的圆周，而是一个环形面。倾斜角愈大，环形面也愈宽。但是如果倾斜角过大，则砂轮环形面上各点的线速度相差也大，砂轮的磨损将不均匀，也不可能保证剃齿刀齿形的精度。此外，当倾斜角过大时，也可能使砂轮碰着相邻齿面；当倾斜角过小时，渐开线凸轮又容易与挡板脱离。根据工厂的操作经验，最适当的工作台倾斜角应为 $12^\circ \sim 25^\circ$ 。在一般情况下，工作台倾斜角应小于剃齿刀的压力角。在加工大压力角的剃齿刀时，只要不超过剃齿刀的压力角，要尽量选用大一点的工作台倾斜角，这对增加砂轮环形区域、减少砂轮磨损和改善剃齿刀两端截面齿形的差值是有益处的。

2 Y 7125型齿轮磨床的传动系统

机床的传动系统由三部分组成（图 8）：砂轮的旋转运动、头架的摆动运动和头架的分度运动。

1. 砂轮的旋转运动 由功率为 1.7 千瓦、转速为 1420 转/分的电动机，通过三角皮带，带动砂轮旋转。

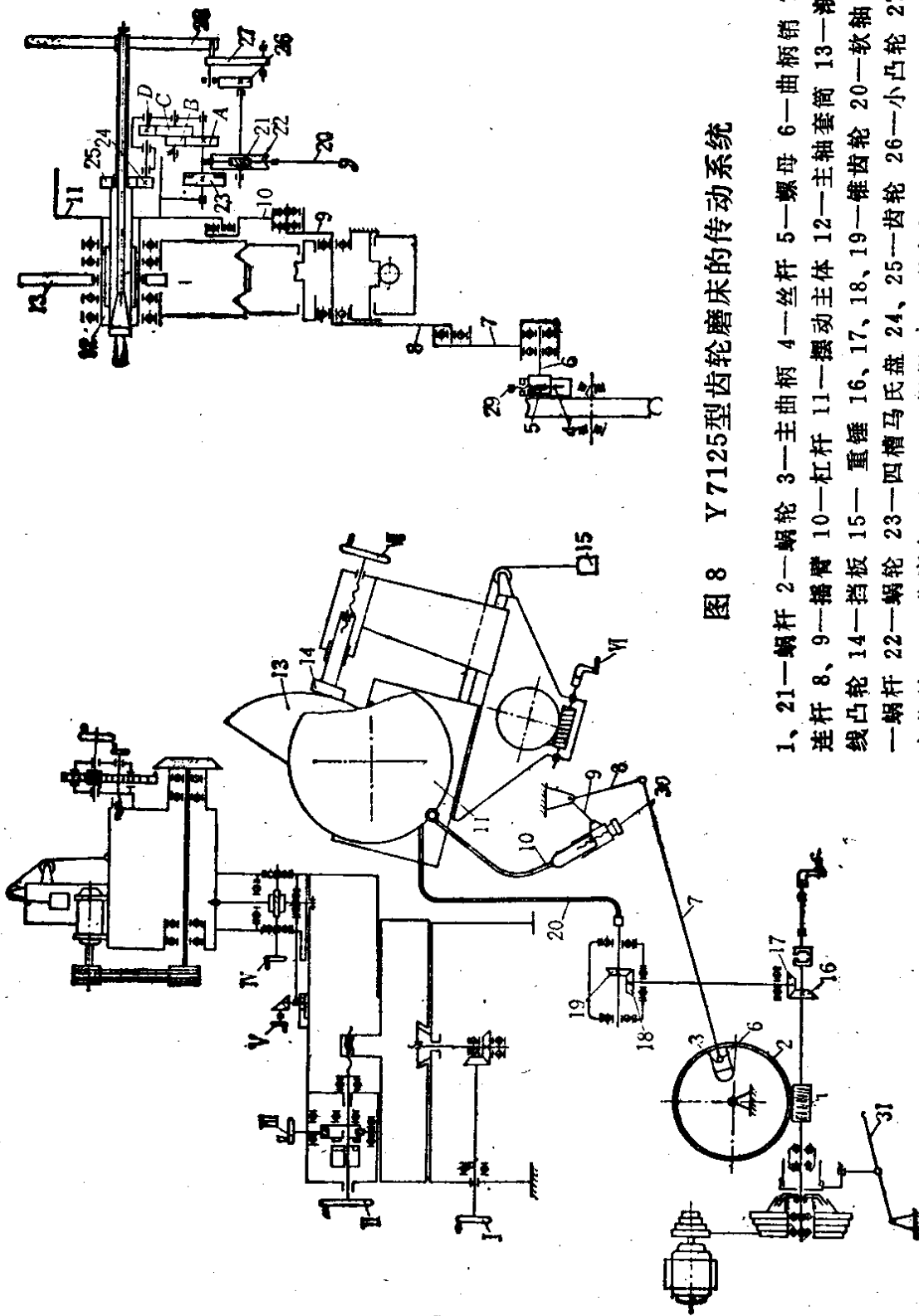


图 8 Y7125型齿轮磨床的传动系统

1、21—蜗杆 2—蜗轮 3—主曲柄 4—丝杆 5—螺母 6—曲柄销 7—
连杆 8、9—摇臂 10—杠杆 11—摆动主体 12—主轴套筒 13—渐开
线凸轮 14—挡板 15—重锤 16、17、18、19—锥齿轮 20—软轴 21
—蜗杆 22—蜗轮 23—四槽马氏盘 24、25—齿轮 26—小凸轮 27—
定位销 28—分度盘 29、30—螺帽 31—刹车板 A、B、C、D—交换
齿轮 I、II、III、IV、V、VI—传动手柄 V、VI—传动手柄

2. 头架的摆动运动 由功率为1千瓦、转速为930转/分的电动机通过分级皮带轮,最后使头架得到四种不同速度的摆动运动(13往复/分、18往复/分、24往复/分、36往复/分)。

这四种不同速度,可根据实际需要选择。一般情况下,第一种速度(13往复/分)很少使用,原因是效率太低。第二种速度(18往复/分)效率虽较低,但分度稳定,适合于加工齿数少(少于14齿)的工作时使用。第三种速度(24往复/分)适于粗磨或精磨15~120个齿之间的工件,不仅效率高,而且加工精度也好。第四种速度(36往复/分)效率高,可用于粗磨。但一般不常使用。因为速度过高,容易影响机床精度和机床的使用寿命。

摆动运动由蜗杆1带动蜗轮2旋转。在蜗轮上装有曲柄连杆机构的主曲柄3。曲柄长度可通过丝杆4、螺母5来调节,使曲柄销6沿主曲柄3的径向移动。蜗轮2的旋转运动,通过主曲柄3、连杆7、摇臂8、9以及杠杆10,使摆动主体11得到摆动运动。其摆动速度和范围,由蜗杆轴旋转的速度和主曲柄的长度所决定。摆动主体11与主轴套筒12相连。主轴上装有凸轮13。凸轮的靠模面抵靠在可调整的挡板14的端面上,依靠重锤15的拉力,使它们经常接触在一起。

当摆动机构往复摆动时,凸轮也随着一起摆动,从而使头架获得沿工作台导轨的往复运动。在返回行程时,借助于重锤作用,使头架回到原位置。

3. 头架的分度运动 当蜗杆1旋转时,通过两对锥齿轮16、17和18、19使软轴20同时旋转。软轴的另一端与分度机构中的蜗杆21相连接。蜗杆21带动蜗轮22,经过四槽马氏盘23、交换齿轮A、B、C、D、齿轮24、25,使主轴进行分度。由于采用了马氏机构,分度运动就成了间歇性运动。分度开始时,小凸轮

26 将定位销 27 抬起，使它和分度盘 28 的齿槽脱开（详见图 10 分度机构）。分度盘转过一槽后，立即又被定位销 27 销住。头架往复运动一次，分度运动也进行一次。

除了上述的主要传动系统外，还有以下调整用的辅助机构：

- (1) 砂轮纵向移动（转动手轮 I）；
- (2) 砂轮横向移动（转动手轮 II）；
 砂轮横向微量移动（转动手轮 III）；
- (3) 砂轮上下移动（转动手轮 IV）；
- (4) 砂轮架旋转角调整（转动手柄 V）；
- (5) 工作台倾斜角调整（转动手柄 VI）；
- (6) 挡板位置的调整（转动手轮 VII）；
- (7) 头架行程长短的调整（旋转螺帽 29）；
- (8) 凸轮接触面位置的调整（旋转螺帽 30）；
- (9) 头架运动的制动（踏刹车板 31）。

三、Y7125 型齿轮磨床的调整

I 装置渐开线凸轮，调整工作台倾斜角

渐开线凸轮的基圆直径，应大于被磨剃齿刀的基圆直径，小于或等于剃齿刀的节圆直径，即 $D_o < D_k \leq D_g$ 。

式中 D_o ——剃齿刀的基圆直径；

D_k ——渐开线凸轮的基圆直径；

D_g ——剃齿刀的节圆直径。

工作台倾斜角 α_* 可以变更的范围为 $0^\circ \sim 30^\circ$ ，一般以选择在 $12^\circ \sim 25^\circ$ 之间为宜。选择渐开线凸轮的基圆直径，最好是使工作台的倾斜角最小不低于 12° ，最大不超过剃齿刀的压力角，特别

是磨制螺旋角较大的剃齿刀，工作台的倾斜角更不应超过剃齿刀的压力角，否则不仅难以保证精确的渐开线齿形，而且还容易分不过去齿或碰相邻齿面而造成废品。

使用渐开线凸轮时，应注意渐开线凸轮的 40° 梯形槽必须与机床凸轮座上的 40° 梯形键严格相配。如果有多台同样的机床，更应注意每台机床凸轮座的基准平面至回转轴线的距离必须严格相等，否则各台机床的凸轮就不能串用。因此，当有多台机床时，最好将渐开线凸轮座的尺寸做得一致，使渐开线凸轮能够互换使用，这样就不需为每台机床配备成套的专用凸轮。

调整工作台倾斜角可根据下式决定：

$$\cos \alpha_{\text{斜}} = \frac{r_o}{D_K}$$

式中 $\alpha_{\text{斜}}$ ——工作台倾斜角。

渐开线凸轮的渐开线允许误差为 0.003 毫米。如果计算出的 $\alpha_{\text{斜}}$ 过小而又没有合适的渐开线凸轮时，可以用斜挡板来加大这一角度。此时工作台倾斜角可由下式决定：

$$\cos \alpha_{\text{斜}} = \frac{r_o}{D_K} \cos \alpha_{\text{斜板}}$$

式中 $\alpha_{\text{斜板}}$ ——斜挡板的角度。

斜挡板的角度可以做成 6° 、 9° 、 12° 或再大一点，但不能太大，否则会增大斜挡板的反作用力，使工作台运行发生困难。

用斜挡板时，一般是采用正放（图9 a）。但有时渐开线凸轮滚动时会碰到凸轮罩壳底部的加强筋上，这时可将斜挡板反放（图9 b），其结果和正放一样，并不改变工作台的倾斜角。

安装或更换渐开线凸轮时，先在工作台尾座与凸轮罩壳之间垫放木块，使凸轮与挡板脱开，以免工作台滑下时撞坏凸轮或挡板。再将工作台调整到所需要的倾斜角度，使凸轮与挡板相接触

并取下木块，然后转动手柄或盘动皮带，使工作台沿滑座导轨往复移动。此时应注意凸轮与挡板的接触位置是否合适，如上面长就往下串，下面长就往上串，直至调整到使凸轮上下剩余的长度基本对称为止（凸轮两端一定要留有一小段剩余长度，否则容易发生设备事故）。

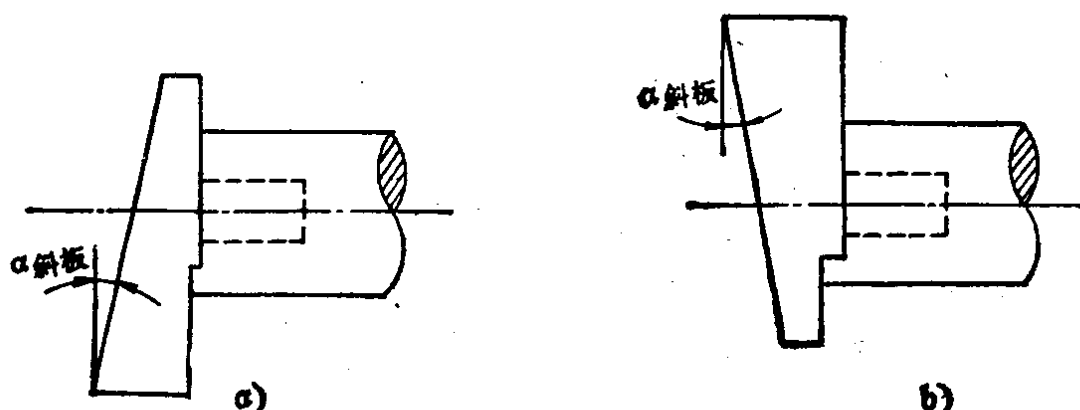


图9 斜挡板的放置法

在一般情况下，都希望用凸轮的中间部分，但有时因受凸轮形状的限制或为使凸轮能均匀地磨损起见，可以适当地偏上或偏下一点。

在磨剃齿刀时，由于凸轮过大，一般就选用凸轮的下半部分，否则当凸轮滚到上面时，容易使挡板的油杯和凸轮的防护罩壳相碰。

2 装置分度齿轮

分度机构如图 10 所示。分度齿轮按下式选择：

$$\frac{AC}{BD} = \frac{24}{z}$$

式中 A、C——主动齿轮；

B、D——从动齿轮；

z ——剃齿刀齿数。

安装分度齿轮时，必须留有适当的间隙（0.2~0.3毫米）。因为无论过松或过紧（特别是过紧），不仅会使剃齿刀的相邻齿距误差增大，而且还会加快软轴的磨损，甚至造成设备事故。

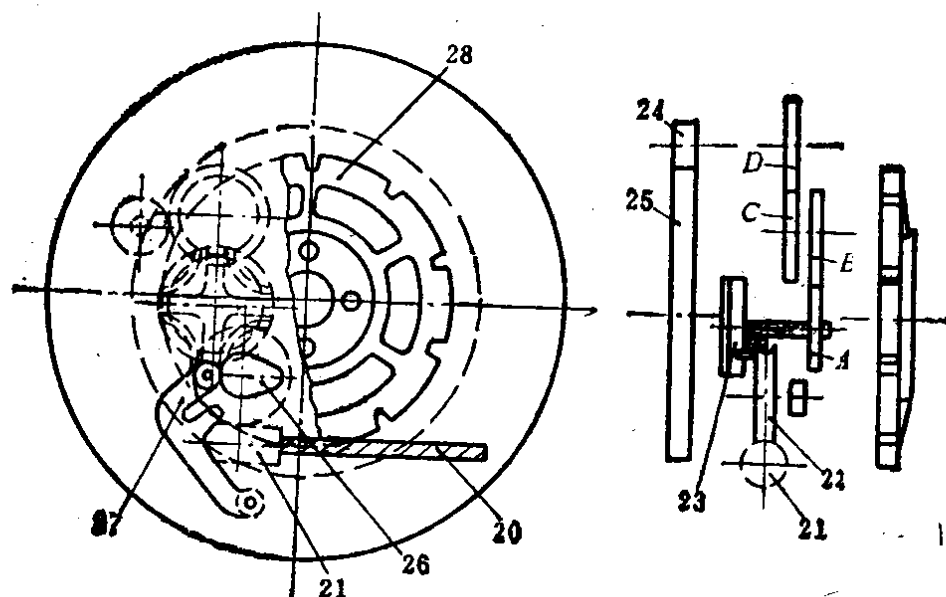


图10 分度机构

20—软轴 21—蜗杆 22—蜗轮 23—四槽马氏盘 24、25—齿轮
26—小凸轮 27—定位销 28—分度盘 A、B、C、D—交换齿轮

3 装置分度盘

分度盘的精度直接影响到剃齿刀的相邻齿距和齿距累积误差，因而对分度盘本身的精度要求很高：相邻齿距误差不得超过0.003毫米；齿距累积误差不得超过0.008毫米。分度盘座的径向和端面摆差均不得超过0.002毫米。

分度盘的槽数应等于剃齿刀的齿数或等于其齿数的整倍数。

安装分度盘时，要将分度盘的孔和分度盘座的安装基面擦净，并均匀地涂上一层润滑油，以免分度盘偏斜，影响剃齿刀齿距累积误差的增大。

分度齿轮和分度盘也可以根据表 2 直接选择。

表 2 分度齿轮齿数及分度盘槽数

工 件 齿 数	分 度 齿 轮				分 度 盘 槽 数		工 件 齿 数	分 度 齿 轮				分 度 盘 槽 数
	A	B	C	D				A	B	C	D	
8	64	60	90	32	48		43	48	86	72	72	43
9	64	60	90	36	45		44	48	80	60	66	44
10	64	60	81	36	50		45	48	90	72	72	45
11	64	60	90	44	44		46	36	80	80	69	46
12	64	60	90	48	48		47	36	94	80	60	47
13	60	60	72	39	52		48	36	90	80	64	48
14	63	60	80	49	42		49	27	90	80	49	49
15	64	60	90	60	45		50	32	80	72	60	50
16	60	60	72	48	48		51	27	90	80	51	51
17	54	60	80	51	51		52	36	72	60	65	52
18	64	72	90	60	54		53	27	90	80	53	53
19	54	60	80	57	57		54	30	90	80	60	54
20	64	80	90	60	60		55	36	90	72	66	55
21	64	80	90	63	42		56	30	90	81	63	56
22	64	80	90	66	44		57	27	90	80	57	57
23	64	80	90	69	46		58	27	87	80	60	58
24	64	80	90	72	48		59	27	90	80	59	59
25	64	80	72	60	50		60	27	90	80	60	60
26	54	81	90	65	52		61	27	90	80	61	61
27	48	81	90	60	54		62	36	93	60	60	62
28	48	80	90	63	56		63	27	90	80	63	63
29	48	87	90	60	58		64	27	90	80	64	64
30	64	60	54	72	60		65	27	90	80	65	65
31	48	93	90	60	62		66	27	90	80	66	66
32	48	90	90	64	64		67	27	90	80	67	67
33	48	90	90	66	66		68	27	90	60	51	68
34	36	90	90	51	68		69	27	90	80	69	69
35	48	90	81	63	35		70	24	90	81	63	70
36	48	90	80	64	36		71	27	90	80	71	71
37	54	90	80	74	37		72	36	90	60	72	72
38	48	80	60	57	38		73	36	90	60	73	73
39	48	72	60	65	78		74	36	90	60	74	74
40	48	90	81	72	80		75	24	90	72	60	75
41	48	82	72	72	41		76	27	90	60	57	76
42	36	90	90	63	42		77	26	91	72	66	77