

近畿齿轮总公会 会田俊夫 主編

齿轮的设计和制造

第二卷

圆柱齿轮 的制造

中国农业机械出版社

.41

TH132.41

25

3:2

圆柱齿轮的制造

《齿轮的设计和制造》第二卷

[日]近畿齿轮恳话会

会田俊夫 主编

金公望 译



中国农业机械出版社

B 121639

目 录^①

第四章 圆柱齿轮的切齿方法	1
4.1 工艺过程和预加工	1
4.1.1 工艺过程	1
4.1.2 预加工	4
4.2 圆柱齿轮的滚齿	7
4.2.1 滚齿原理	7
4.2.2 滚齿机的分类	8
4.2.3 滚齿机的构造	12
4.2.4 滚齿机的特殊机能和附属装置	15
4.2.5 滚齿机的传动装置和挂轮计算公式	18
4.2.6 滚齿操作	34
4.2.7 轮坯的装夹和自动送料	62
4.2.8 滚齿及其精度	66
4.3 插齿	74
4.3.1 插齿机的构造和机能	74
4.3.2 切削条件的决定	85
4.3.3 插齿刀和轮坯的安装	90
4.3.4 插齿操作	93
4.3.5 斜齿轮的插齿	99
4.3.6 内齿轮的插齿	101
4.3.7 精度	105
4.4 刨齿	108
4.4.1 马格式刨齿机	110
4.4.2 森德兰式刨齿机	120

① 本书是《齿轮的设计和制造》这套书共四卷中的第二卷，章节是第一卷的继续。第一卷共有三章，书名是《圆柱齿轮的设计》。按照原文，本书从第四章开始。——译注

4.5 其它切齿方法	123
4.5.1 铣齿	123
4.5.2 拉削加工	126
4.5.3 高速剪齿	129
4.6 齿轮刀具	130
4.6.1 基准齿形	130
4.6.2 滚齿刀	137
4.6.3 组合滚齿刀	148
4.6.4 插齿刀	151
4.6.5 齿条刀具	159
4.6.6 刀具材料	166
第五章 圆柱齿轮的精加工	172
5.1 磨齿	172
5.1.1 磨齿齿轮的工艺过程	173
5.1.2 耐列斯 (Niles) 公司的齿轮磨床	174
5.1.3 莱歇尔 (Reishauer) 公司的齿轮磨床	178
5.1.4 马格 (Maag) 公司的齿轮磨床	187
5.1.5 其它齿轮磨床	199
5.2 剃齿	201
5.2.1 剃齿原理	201
5.2.2 剃齿机的构造	205
5.2.3 剃齿刀设计	211
5.2.4 剃齿加工的精度管理	218
5.2.5 大型齿轮的剃齿	239
5.3 其它精加工方法	240
5.3.1 研齿	240
5.3.2 珩齿	241
5.3.3 精轧	243
第六章 齿轮的材料和热处理	247
6.1 齿轮用钢	247
6.1.1 锻造	247
6.1.2 淬透性	248
6.1.3 结晶粒度	250

6.1.4	其它因素	252
6.1.5	齿轮用钢的种类	252
6.2	齿轮用钢的热处理	255
6.2.1	淬火回火、调质	255
6.2.2	表面硬化	258
6.2.3	其它热处理方法	265
6.3	齿轮用铸铁和铸钢	266
6.3.1	种类	268
6.3.2	表面硬化热处理	272
6.4	齿轮用铜合金	273
6.4.1	铸造磷青铜	274
6.4.2	铸造铝青铜	274
6.4.3	铸造黄铜	277
6.4.4	高强度铸造黄铜	277
6.4.5	铸造铅青铜	279
6.4.6	其它	279
6.5	齿轮用粉末冶金材料	280
6.5.1	粉末冶金齿轮的优缺点	281
6.5.2	粉末冶金齿轮的使用实例	284
6.6	齿轮用高分子材料	285

第四章 圆柱齿轮的切齿方法

4.1 工艺过程和预加工

4.1.1 工艺过程

应当根据齿轮的大小、形状、材质、热处理、齿面的最终精加工方法、精度要求、产量等来考虑圆柱齿轮的工艺过程，有时简单地在车毛坯后只进行切齿加工，有时为了提高精度和强度，在切齿加工后还要进行磨齿或剃齿等精加工。例如，磨齿齿轮的工艺过程由粗车毛坯、正火、精车、切齿、拉孔、倒角、淬火、磨端面、磨内孔、磨齿组成。

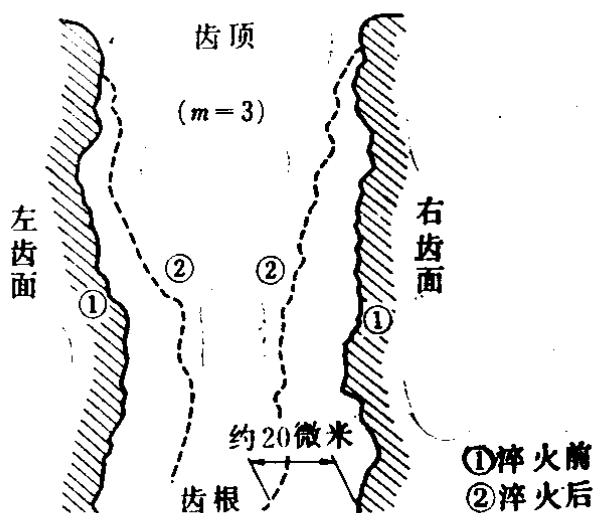


图 4-1 渗碳淬火前后齿形变化

确定采用上述工艺过程是为了选择能最有效地保持高精度的加工方法。切齿后进行热处理的齿轮，需要特别注意齿面变形。图 4-1 所示是滚齿齿轮 ($m=3$ 、材料为SCM21) 渗碳淬火前后齿形变化的测定结果^[1]，齿根部分向外突出约20微米。一般经过渗碳淬火的齿轮，齿形角增大。高频淬火和渗氮的齿轮，虽然变形很小，但据认为还是有齿形角减小的倾向。

齿宽大的轴式斜齿轮，渗碳淬火后有螺旋角减小的倾向。其减小量因条件而不同， $m=3$ 、齿数=21、螺旋角=12°50'的轴式斜齿轮，大约会产生3'齿向误差。此外，渗碳淬火产生齿厚变形的情况也很多。因此，进行渗碳淬火的齿轮，由于淬火会产生

变形，在切齿时应该预先考虑这些变形量。

图4-2所示三种齿轮的工艺过程见图4-3。

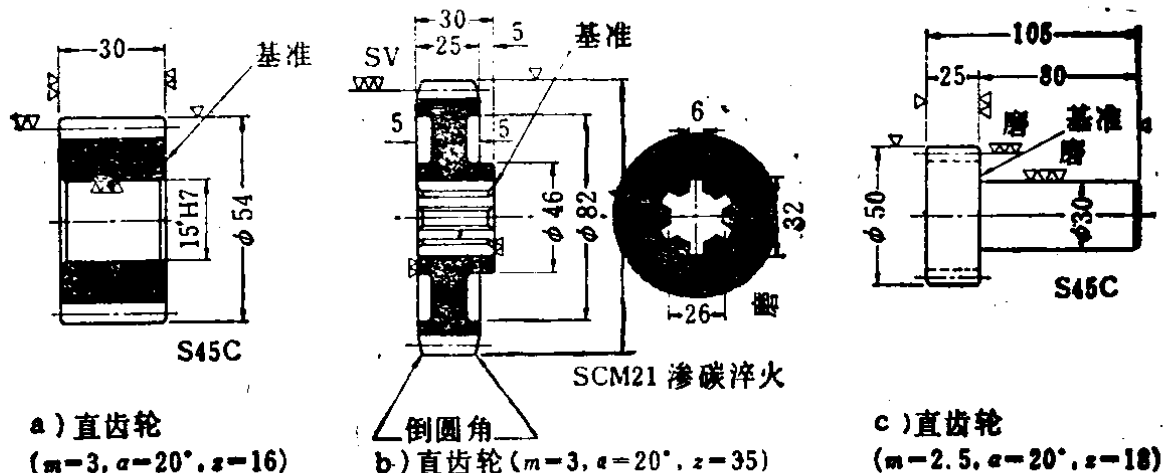


图 4-2 齿轮示例

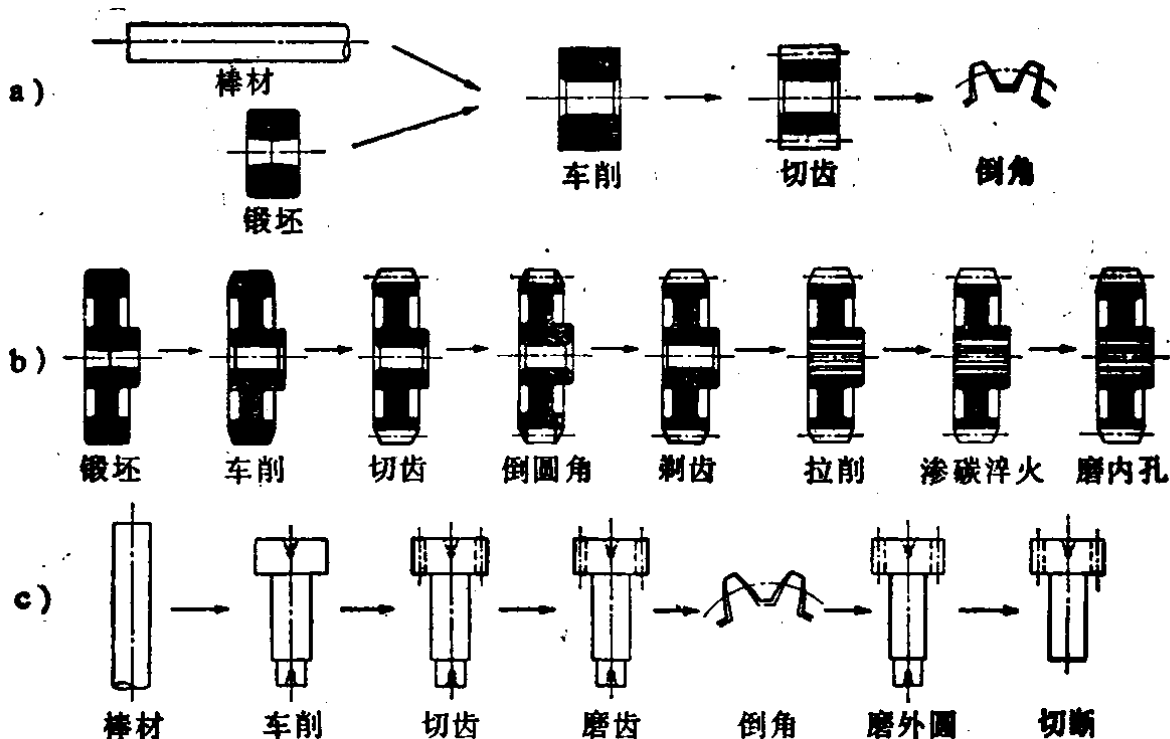


图 4-3 齿轮的工艺过程

图4-3a是最简单的工艺过程，只有车毛坯、切齿、倒角三道工序。毛坯有时是用棒材切断而成，有时用锻坯，批量大时当然用锻坯，这样可以节省材料和缩短加工工时。锻坯的加工余量在1.5毫米左右。车削要保证孔和两端面无跳动。切齿虽然有滚齿、齿条形刀具切齿、插齿、成形刀具切齿等方法，但从效率和精度

方面考虑则滚齿有利。倒角采用专用倒角机，也可以用锉刀进行手工倒角。专用倒角机有几种：用铅笔形倒角刀具的；用砂轮倒角的；用蜗杆形锉刀倒角的。

图 4-3b 所示是剃齿后进行渗碳淬火的齿轮，内孔是矩形花键，轮齿两端倒圆角（倒棱）。毛坯是锻坯，切削余量为 2 毫米左右。内孔车削至 25.85H7，留 0.15 毫米磨削余量。当然，车削时应该保证端面和外圆无跳动。批量大时，也采用锻坯先进行拉削，拉出内孔和花键，再以孔为基准加工端面和外圆。

用滚齿法切齿，预留剃齿余量，在齿厚上约 0.06 毫米。表 4-1 所示为剃齿余量^[2]。

表 4-1 剃齿余量（齿厚） 单位：毫米

模 数	1.5	2.5	4	12
剃齿余量	0.025~0.050	0.038~0.075	0.050~0.100	0.075~0.150

用铅笔形刀具倒角机倒圆角。一般是在倒角后进行剃齿，然后拉孔。这三道工序若颠倒进行，齿面会留下小毛刺，而且在剃齿时会担心因拉削毛刺而使心轴不能插入孔中。渗碳淬火有固体渗碳、气体渗碳及液体渗碳，一般采用气体渗碳（参见第六章）。

磨内孔必须保证孔对齿面不偏心。轮齿和外圆无跳动时，用外圆为基准磨内孔。还经常采用图 4-4 所示的方法来磨内孔，在齿面加滚柱，用齿面为基准磨内孔。

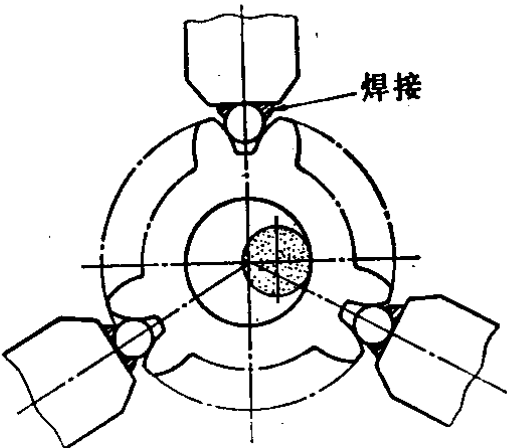


图 4-4 用滚柱定位磨内孔

图 4-3c 所示是进行磨齿的轴式齿轮。毛坯用棒材或单体锻坯，由于轴式齿轮的结构特点，在切齿和磨齿时装夹有困难的情况下，采用两件一体的毛坯或留有夹固余量的毛坯。必须精密加

工中心孔。轴式齿轮要用中心孔作基准进行切齿、磨齿及磨外圆。磨齿余量在齿厚上为0.20毫米。表4-2列出磨齿余量^[3]。

表 4-2 磨齿余量 (齿厚) 单位: 毫米

模 数	1.5	2.5	4	8	12
磨齿余量	0.13~0.25	0.20~0.38	0.30~0.64	0.65~1.15	1.15~1.90

注: 淬火变形大时取上限, 变形小时取下限。

在使用两件一体的毛坯或留有夹固余量的毛坯时, 在完成磨外圆和尺寸检验前, 要保留两端中心孔。若去掉了中心孔, 返修加工困难。

圆柱齿轮的切齿方法有滚齿、用齿条刀具切齿、插齿及用成形刀具切齿, 齿面精加工有剃齿、研齿、磨齿等。需要根据齿轮的形状、精度要求、价格和设备等来确定采用哪一种加工方法。表4-3列出现有加工方法的模数限制的参考值。

表 4-3 齿轮模数和加工方法

加工方法	滚 齿	插 齿	立铣刀铣齿	剃 齿	磨 齿
最大模数	30	18	70~100	12	25

在齿轮形状方面, 间距小的小型塔形齿轮和人字齿轮大多数不能滚齿, 要用插齿或齿条刀具加工。

表 4-4 列出材料硬度和加工性能的关系。切削加工要求硬度在 HB300 以下, 但是, 若改善切削条件, 相当硬的工件也能加工, 例如HB400的小型齿轮用滚齿刀加工还是容易的。

表 4-5 列出精加工方法和经济精度范围的参考值, 若仔细地进行加工, 剃齿可以加工出 JIS0~1 级齿轮, 即使滚齿, 若使用超高精度滚齿刀, 特别仔细地加工, 也可加工出 JIS0~1 级齿轮。

4.1.2 预加工

若要高效率地对高精度齿轮进行切齿, 当然要用良好的齿轮

表 4-4 钢的硬度和加工性能

硬 度		加 工 性 能	硬 度		加 工 性 能
布氏硬度 (HB)	洛氏硬度 (HRC)		布氏硬度 (HB)	洛氏硬度 (HRC)	
150~200		非常容易	350 400	38 43	切削加工非常困难
200 250	24	容 易	500 550	51 55	精加工要磨削
250 300	24 32	切削加工稍困难	587	58 63	要 磨 削
300 350	32 38	切削加工困难		65 70	最终加工后表面淬火

表 4-5 齿轮精度 (JISB 1702) 和精加工方法

加工方法和 热 处 理		等 级								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
剃 齿	不 淬 火		←————→							
						←————→				
	淬 火				←————→					
								←————→		
磨 齿		←	————→							

机床，但对毛坯正确地进行预加工也是必要的。预加工分为毛坯准备、毛坯热处理、车毛坯及其它加工（钻孔、加工键槽等）。

毛坯要充分进行热处理，以消除毛坯验收前的变形。特别是薄壁齿轮和切齿后进行热处理的齿轮，由于加工变形增大，必须特别注意。对切齿加工影响最大的预加工是车削毛坯。有孔齿轮的毛坯和轴式齿轮的毛坯，由于夹固方法和基准面不同，其车削

加工也不同。

1. 有孔齿轮的毛坯车削

有孔齿轮毛坯车削时，要达到装配基准面和切齿基准面的跳动最小。一般是用内孔作基准，两端面夹持，进行切齿。因此，孔的尺寸加工好后（轮坯内孔公差一般是按 JIS 规定的 H7 级精度），加工两端面，保证端面对孔的垂直度和两端面的平行度。如果两端面的平行度不好，也就是形成切齿中的齿圈跳动和齿向误差的原因。

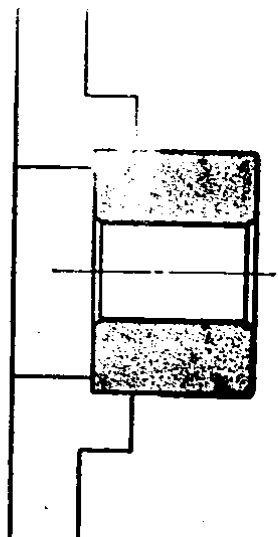


图 4-5 有孔齿轮的毛坯车削

为了提高车削精度，如图4-5所示，孔和一侧端面同时加工。加工另一端面时，以和孔同时加工的端面为基准，使端面没有跳动。需要更高精度时，将和孔同时加工的端面固定在平面磨床的磁性工作台上，磨削另一端面。JIS B 1702 中规定了端面跳动公差。

切齿时，会遇到不能采用以孔为基准的专用夹具（jig）的情况。此时，用轮坯外圆作基准，遇到这种情况切记要保证外圆对孔无跳动。为了减少外圆对孔的跳动，当然希望孔和外圆同时加工。若不能同时加工，还有一种方法，在孔内插入锥度心轴或用专用检具，测量外圆跳动。JIS B 1702 中也规定了外圆跳动公差。

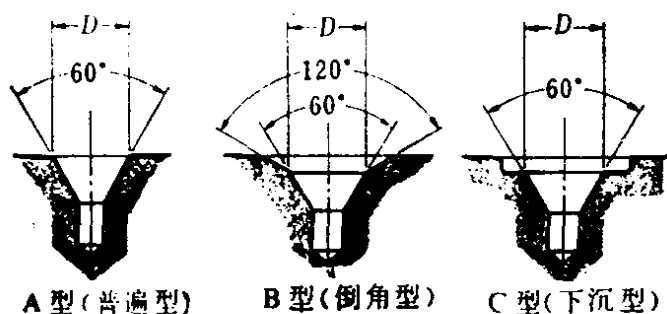
不用外圆尺寸控制切齿尺寸时，外圆尺寸公差取得很大，车削时很容易达到。但是一般不采用正偏差，因为这样会担心产生和与其啮合的齿轮的齿根干涉，一般都是 $0 \sim -0.20$ 毫米左右。

2. 轴式齿轮的毛坯车削

轴式齿轮以两端中心孔为基准进行车削、磨削、切齿、剃齿等加工，所以中心孔要有足够的尺寸，必须精确加工。中心孔的形状有三种，如图 4-6 所示。为了防止搬运和工序流转中碰伤，

尽量采用B型和C型。轴端有螺孔时，要如图4-7所示，除掉螺纹部分。

精密齿轮的中心孔用中心孔钻头钻孔后，还要用车刀修整或进行中心孔磨削。特别是在淬火后磨外圆和磨齿时，要对中心孔再加工后才进行。



A 型(普遍型)

B 型(倒角型)

C 型(下沉型)

图 4-6 中心孔 (JIS B 1011)

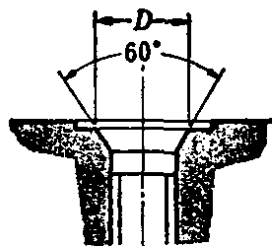


图 4-7 带螺孔的中心孔

轴式齿轮的切齿和磨齿，由于机床或夹具的原因，有时因轴过短或过细而不能加工。此时，最好预留夹固余量或用中心架支承。

4.2 圆柱齿轮的滚齿

4.2.1 滚齿原理

滚齿刀是一种铣刀形刀具，呈螺旋形，沿垂直于螺旋线方向或平行于轴线方向开几道槽，以槽和螺旋面的交线作为切削刃，这种切削刃的外圆、两侧面、螺旋底部全部铲背，只有切削刃是在正确的螺旋面上^[5]。

滚齿刀沿图 4-8 所示箭头的方向转动时，滚齿刀本身并不移动，但滚齿刀切削刃形成的假想齿条从右向左连续地平行移动。若轮坯转动使与假想齿条作理想啮合运动，就会在轮坯上切削出齿。在这种情况下，滚齿刀的转动不仅形成切削运动，还同时使假想齿条平行移动。因此，与轮坯的转动相配合进行一种连续分度运动，在轮坯上切削出等节距轮齿。一面进行这种范成运动，一面将滚齿刀沿轮坯轴线进给，使遍及全齿宽，就可以切削出齿

轮。

在这种情况下,如图4-9所示,将滚齿刀轴安装成与轮坯端面倾斜一个角度 Γ ,使滚齿刀螺旋线和齿向一致。这种切齿法就称为滚齿法。在滚齿法中,滚齿刀形成的假想齿条是梯形齿条时,就切削出渐开线齿轮,另外还可以范成地切制出花键轴、链轮、棘轮及各种锯齿形特殊齿轮。

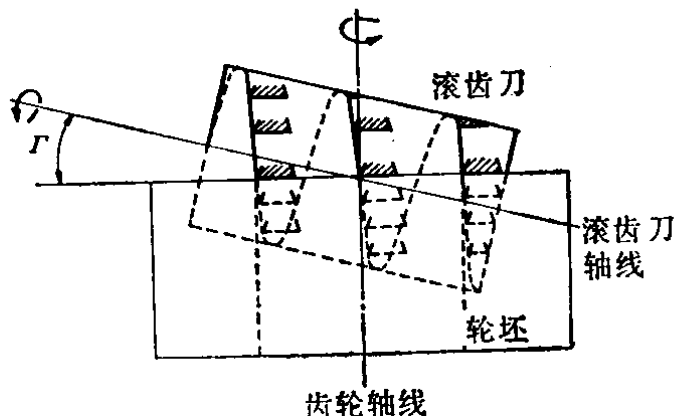
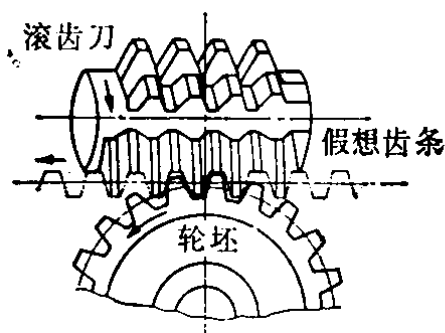


图 4-8 用滚齿刀滚制直齿轮 图 4-9 滚制直齿轮时滚齿刀的安装位置

4.2.2 滚齿机的分类

1. 按大小分类

滚齿机按所能加工的齿轮工件大小分为小型、中型及大型,但没有严格的划分界线。

2. 按齿轮工件的轴线方向分类

滚齿机按齿轮工件的轴线方向可分为立式和卧式。齿轮工件的轴线垂直的为立式,水平的为卧式。小型滚齿机多为卧式;中型的有卧式和立式,以立式为多;大型的几乎都是立式。

3. 按滚齿刀轴线和齿轮工件的轴线之间中心距的移动方式分类

按滚齿刀轴线和齿轮工件的轴线之间中心距的移动方式,滚齿机可分为:图4-10、4-11所示的工作台移动式,齿轮工件安装在工作台上;立柱移动式,滚齿刀安装在立柱上;图4-12所示支持滚齿刀的部分在滚齿拖板上沿齿轮工件径向移动的类型。

一般来说,由于工作台移动式结构简单,中、小型滚齿机大多数采用。大型滚齿机由于移动立柱比移动大型齿轮工件方便一

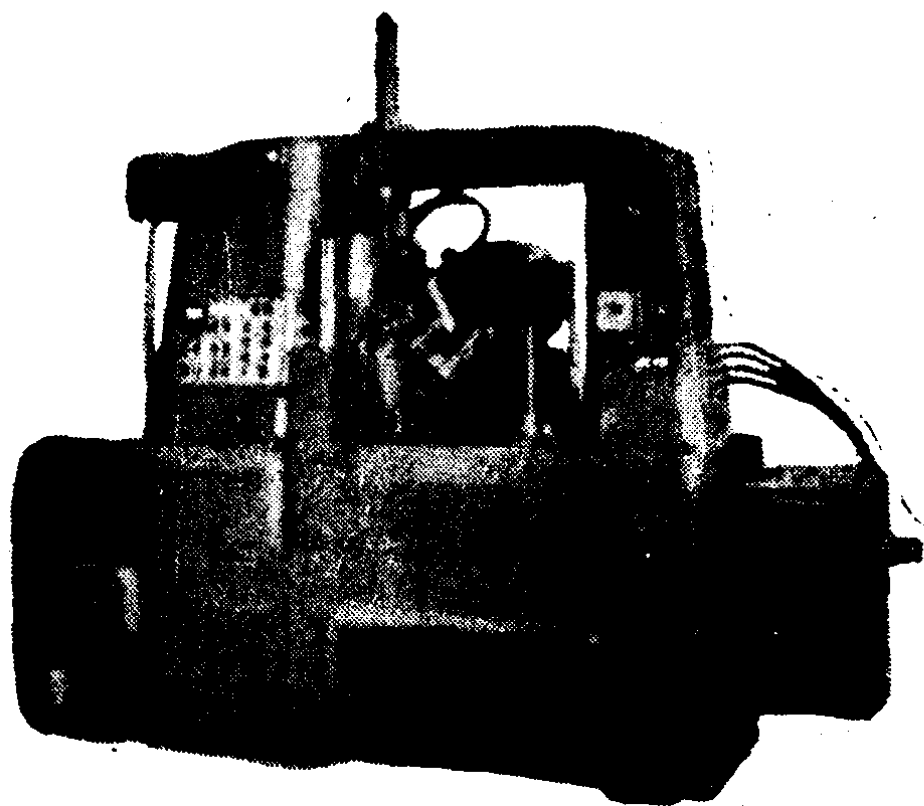


图 4-10 工作台移动式生产用滚齿机（榎藤铁工所制，KS—14型）

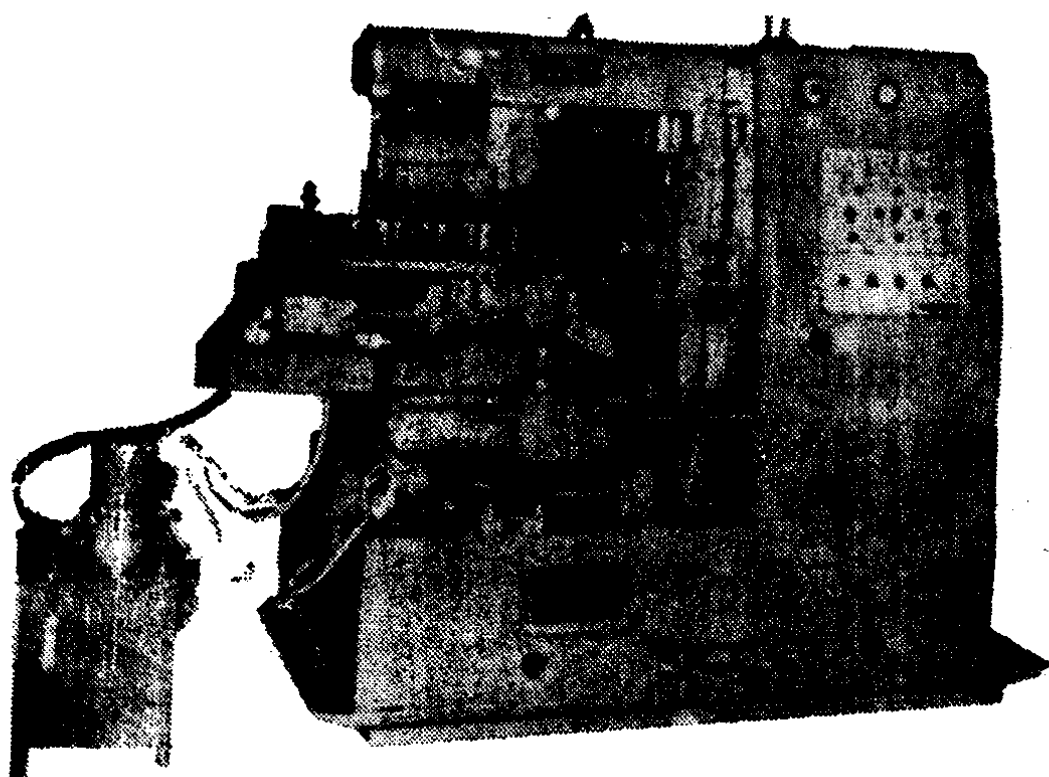


图 4-11 带自动送料机构的滚齿机（三菱重工制，FP250A型）

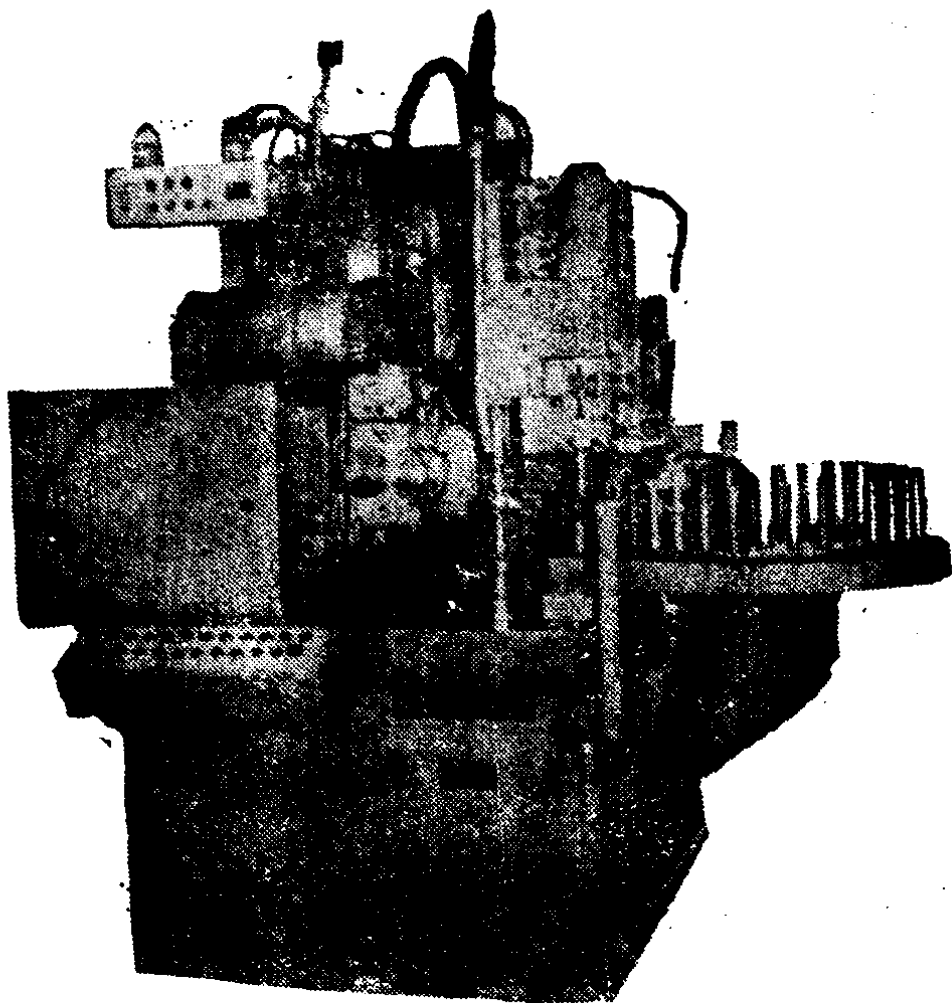


图 4-12 带自动送料机构的滚齿机（榑藤铁工所制，KP—150型）

些，而且母蜗轮可以较大，因此几乎都采用立柱移动式。齿轮工件轴固定的型式比较容易安装自动装料机构。

4. 按滚齿刀和齿轮工件相对进给方式分类

（1）轴向滚齿

轴向进给滚齿是最普通的滚齿方式，滚齿刀只沿齿轮工件轴向进给，形成图4-13所示的齿面切削纹。为了缩短切削距离，用于轴向滚齿的滚齿机大多数可以采用径向—轴向滚齿，切削开始时径向进给切削，滚齿刀吃刀到所要求的吃刀深度后，停止径向进给，进行轴向进给滚齿。

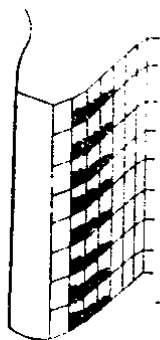


图 4-13 轴向滚齿的齿面切削纹

(2) 对角线滚齿

对角线滚齿是：滚齿刀沿齿轮工件轴向进给的同时，沿齿轮工件切向—滚齿刀轴向—进给，工作台作相应于这两种进给的转动。这种滚齿法的特点是：如图4-14所示，滚齿刀的进给运动是齿轮工件轴向进给和切向进给的合成运动，进给方向是合成运动方向^[6]。因此，范成过程中的滚齿刀切削刃的所有切削点连续地改变其位置，因而滚制齿轮的齿面切削纹如图4-15所示，倾斜于齿向；滚齿刀切削刃作用部位逐渐变化，滚齿刀全长都切削，所以在滚制齿宽大的齿轮时，滚齿刀切削刃磨损均匀。

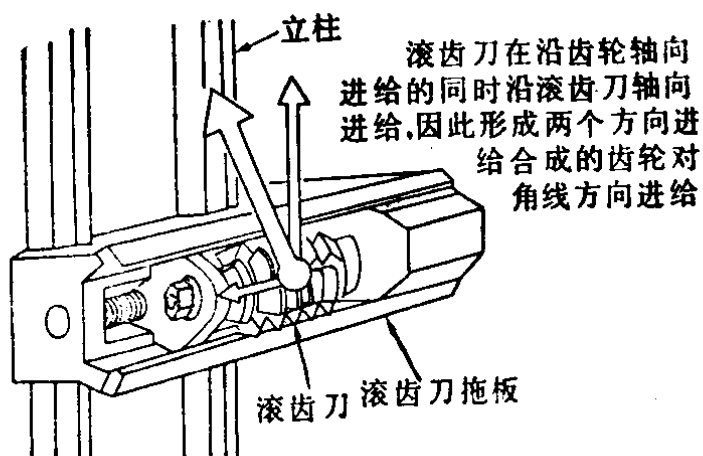


图 4-14 对角线滚齿的进给方向

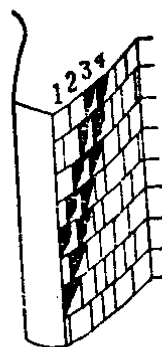


图 4-15 对角线滚齿的齿面切削纹

这种滚齿法在法乌特 (Pfauter) 公司称为对角线滚齿法，巴伯·科尔曼 (Barber Colman) 公司的锥度花键滚齿机也用这种滚齿法。

(3) 滚齿刀沿齿轮工件齿向进给滚齿

(1)、(2) 两种滚齿机滚制斜齿轮时，滚齿刀沿齿轮工件轴向进给，齿轮工件进行相应于螺旋角的补偿转动。齿向进给滚齿由于滚齿刀沿齿轮工件的齿向方向进给，齿轮工件无需进行补偿转动，因此不需要形成补偿转动的差动齿轮装置，而且进给速度也没有相对制约 (可用液压进给)，使滚齿机结构简化。但由于滚齿刀切削范围宽，必须用长滚齿刀 (图4-16)，因而不能

滚制螺旋角大、齿宽大的齿轮。采用这种滚齿法的滚齿机有高尔特-埃伯尔哈特 (Gould & Eberhardt) 公司的滚齿机及戴维·布朗 (David Brown) 公司的液压滚齿机。

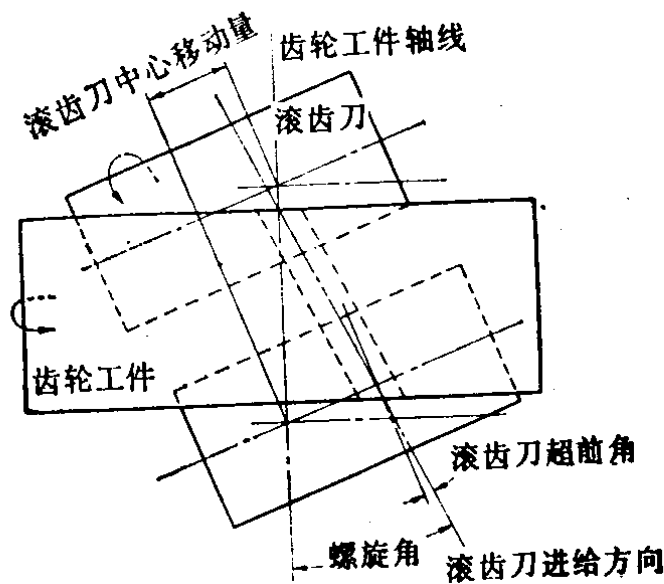


图 4-16 齿向进给滚齿

4.2.3 滚齿机的构造

图4-17是立式工作台移动型滚齿机传动系统实例之一。

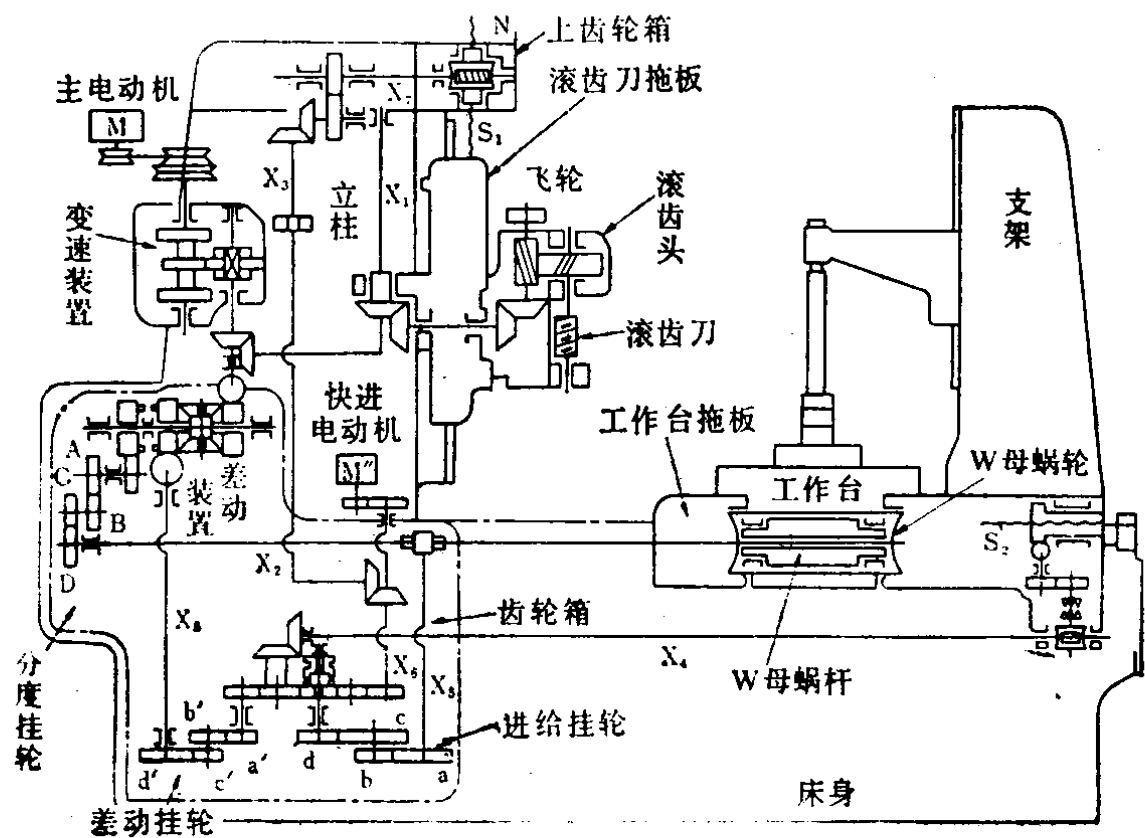


图 4-17 滚齿机传动系统