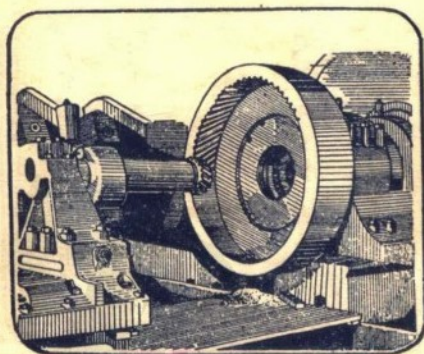


張志揚編著

怎样插内齿轮



中国工业出版社

內容提要 在汽車拖拉机和减速器的机构中，都用到內齒輪。本书从內齒輪的特点談起，深入地介紹了插內齒輪的方法：直齒內齒輪与斜齒內齒輪的插削方法。另外，在书中还列举了一些实例，有助于讀者的理解。

本书內容較為系統，讲解較深入，适合三四級刨工与插工学习。

怎样插內齒輪

張志揚編著

*

机械工业图书編輯部編譯（北京阜成門外黃方庄）

中国工业出版社出版（北京西便門路西10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 $1 \frac{7}{8}$ · 字數 42,000

1963年3月北京第一版·1963年3月北京第一次印刷

印數 0,001—5,941 · 定价(10-5)0.25元

*

統一書号：15165·2112(一机-449)

目 次

一 概 說.....	1
1. 內齒輪的特点(1)——2. 內齒輪的切齒方法(4)	
二 插齒刀和插齒机.....	7
1. 插齒刀的类型和選擇(7) —— 2. 插齒机的种 类 和 用 途(11)	
——3. 插齒机的一般調整程序(15)——4. 切削用量的選擇(22)	
三 直齿內齒輪的插削方法.....	25
1. 在插齒机上插削的方法(25)——2. 在一般插床上的插 削 方法(42)	
四 斜齿內齒輪的插削方法.....	48
1. 在插齒机上的插削方法(48)——2. 測量內齒輪(50)	
附录.....	55

鄭
州
船
塢
製
造
廠
PDG

一 概 說

1 內齒輪的特点 在汽車和拖拉机的后軸里，在减速器和行星齒輪傳动机构中，以及在摩擦离合器和齿形結合子上，都可以遇到这样一种圓柱齒輪：它的牙齒是在輪緣的內側，齒頂圓直徑反而比齒根圓直徑小，这种齒輪我們叫它做內齒輪。

一个內齒輪跟一个小齒輪互相嚙合，通常由小齒輪的迴轉运动傳給內齒輪，这种齒輪傳动，我們叫它做內嚙合傳动。在这里，兩軸的位置还是平行着的，而且兩齒輪的迴轉方向也完全相同（見圖1）。

在机器制造业中，所使用的內齒輪有直齿和斜齿两种。这两种內齒輪的齿形曲線都是漸开綫，牙齒齿形就象外齒輪的齿間那样往內弯。这就是說，除了

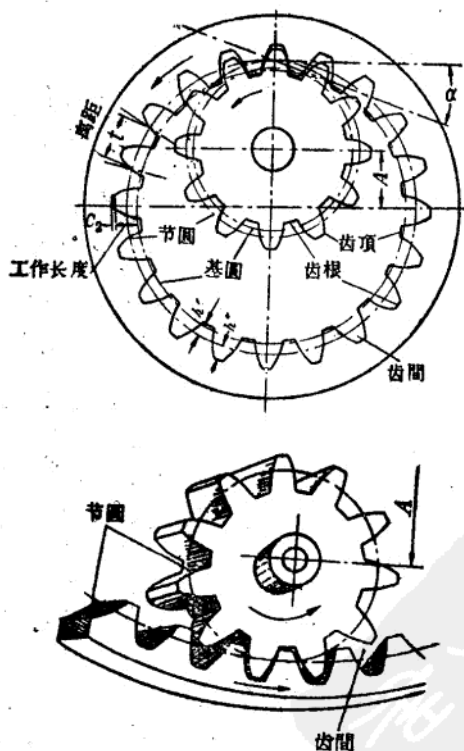


圖1 內嚙合的齒輪傳动。

齿顶跟齿根的位置对换以外，内齿轮的牙齿齿形完全跟同一啮合角、同一模数和同一齿数的外齿轮齿间齿形一样。

内齿轮跟外齿轮比较起来，有下列优点：

一、中心距比较短 两轴的中心距应该是两轮节圆半径之差，而不是半径之和。中心距短，齿轮传动机构的地位就紧凑了，相应地减轻了重量、节省了材料。如果在结构上要求两平行轴往同一方向迴转，采用内齿轮还可省去一个惰轮。

二、传动比较安全 内齿轮的轮缘实际上就是一个防护罩，所以当两轮转动的时候，牙齿滚转起来不但很安全，而且附在齿面上的润滑油也不致往外飞溅。

三、齿面接触率比较大 两齿轮啮合的时候，因为两轮的节圆都是往内弯的，所以它的啮合弧或啮合线长度都要比外齿轮的长。这就是说，齿面接触率比较大（见图2）。接触率大的话，

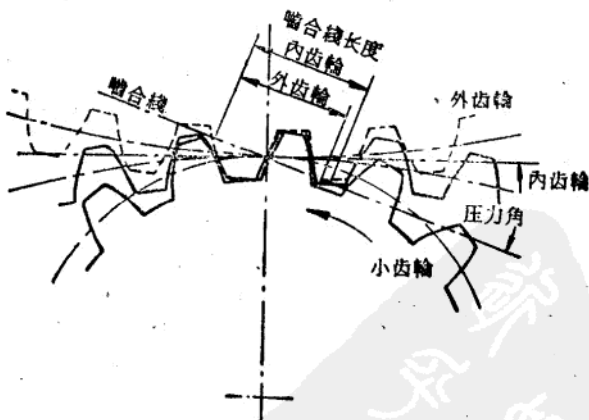


图2 内外啮合时，啮合线长度的比较。

啮合弧比齿距长一点。或者说，啮合线长度比基圆齿距长一点，这样当第一对牙齿还没有脱开以前，第二对牙齿早就开始接触。

因此，內齒輪的傳動工作要比外齒輪平穩得多。

四、齒面滑動量比較小 在嚙合的時候，由於兩輪的齒面工作長度比較接近，所以齒面間的滑動量就比較小，齒面間摩擦和磨損也小。由於內齒輪有這一點好處，這就有可能使它的应用範圍更加擴大。

五、內齒輪壽命比較長 一方面由於內齒輪的齒形曲線是往內彎的，牙齒的根部顯得特別厚，所以它的齒根部分的強度要比外齒輪強得多（要是它們都用同一材料做成的話）。另一方面，上面已經提到，傳動工作比較平穩，磨損要慢一點。因此，內齒輪的壽命比較長。

儘管內齒輪有那麼多的好處，但是由於以下幾點原因，在使用範圍上受到一定的限制，例如：

- 1) 在速比要求上，內齒輪齒數跟外齒輪齒數的速比不能太小。
- 2) 在結構設計上，由於內齒輪與小齒輪各挂一方，軸和軸

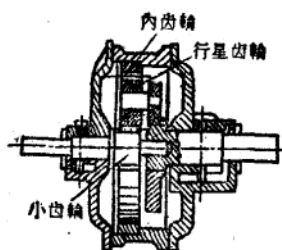


圖3 單級減速箱。

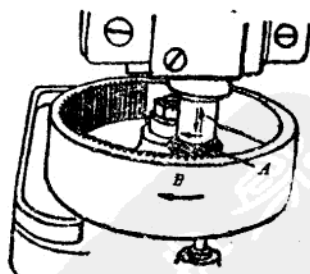


圖4 內齒輪的插削方法。

承的剛度都感到不足（從單級減速箱的結構可以看出這個問題，見圖3），

3) 在切齿方法上, 由于内齿轮的构造特殊, 因而在进一步提高其加工精度要受到现有精加工机床和刀具的限制。

正是有这些缺陷, 所以它的应用范围也受到限制。

尽管如此, 目前在减速器的传动机构上, 应用内齿轮要比外齿轮多一点, 特别是在矿山机械中, 需要直径大的内齿轮。

2 内齿轮的切齿方法 在一般机器厂里, 内齿轮主要是在插齿机上切齿 (见图 4), 要是没有插齿机, 对精度要求不高的内齿轮, 可以根据具体条件用其它机床切齿, 例如:

一、在牛头刨或在一般插床上, 利用直线齿形的刨刀和分度装置, 按仿形法单齿分度来刨齿, 不过这里刨出来的齿形不是渐开线的。因此, 跟它啮合的小齿轮, 必须用特殊齿形的刀具来切齿。假使改用了渐开线齿形的刨刀, 那末在加工小齿轮的时候, 就不受这种约束。

二、在滚齿机上应用特殊装置和盘状成形铣刀, 也可以按仿形法铣齿, 或者直接使用滚刀按刨成法铣齿。

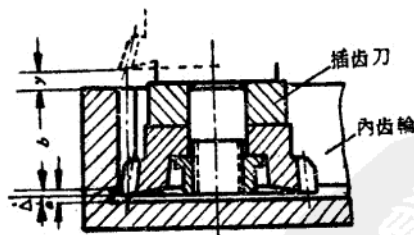


图 5 具有槽底的内齿轮。

不论用那一种方法切齿, 首先对内齿轮的构造和特性应有所了解。譬如说, 常常遇到这样一种内齿轮 (见图 5), 有底的轮缘内只有一条空刀槽, 加工时除了插齿刀能够沿齿圈完整地插削以外, 其它的切齿方法都不适用。为什么说插齿法已被公认为加

表 1 插齿刀空刀槽的宽度

模 数 m	槽 深 c	槽 宽 $a \geq$		
		直 齿	斜 齿	
		$\beta = 0^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$\beta = 23^\circ$
0.5	1.5	4	5	6
0.6	2			
0.8	2.5			
1	3	5	6	7
(1.25)	3.5			
1.5	4			
(1.75)	4.5			
2	5			
(2.25)	5.5	6	7.5	8.5
2.5	6			
3	7.5			
3.5	9			
4	10.5			
5	13	7	9	10
6	15			
8	20	8	10.5	12

工内齿轮的主要方面，道理就在这里。

凡是有槽底的内齿轮，加工时为了避免插齿刀刃面跟槽底相碰，或者避免槽内屑末无法出清，这种齿轮应该有一条足够宽度的空刀槽，建议采用表 1 所列的空刀槽尺寸(带括号的尽量不用)。

用插齿刀插削内齿轮的时候，可能发生下列现象：

1. 由于插齿刀齿根的非渐开线部分参与啮合，往往发生齿轮顶切现象；

2. 当插齿刀径向切入的时候，插齿刀的齿顶又将切去齿轮的齿顶；

3. 在滚切过程中，插齿刀的齿顶和齿轮的齿顶在转出时发生干涉，而又引起齿轮顶切现象；

4. 插齿刀和内齿轮产生负的啮合角，这也得不到正常的啮合。

怎样才能消除这些顶切现象呢？增大内齿轮的齿顶圆直径，能够满意地得到消除。但是，最根本的方法是对插齿刀进行修缘，这样就需要有特殊的插齿刀。这种插齿刀要通过复杂的计算过程，而且要用修整了的砂轮来磨插齿刀的齿形，由于这种操作比较复杂，所以不常使用它。

插齿的时候，遇有顶切现象可以采取下列任一措施来消除：

1. 加大内齿轮的齿顶圆直径；

2. 减小插齿刀齿形的移位距；

3. 减少插齿刀的齿数。

从上面所说，正确选择插齿刀是十分重要的。为了避免插齿刀齿顶引起内齿轮发生顶切，内齿轮齿数跟插齿刀齿数之差要不少于 10~12 个齿。

同样道理，为了避免内齿轮齿顶跟小齿轮齿根的圆角发生干涉起见，内齿轮齿数跟小齿轮齿数之差要不少于 10 个齿。即使是变位齿轮，也不要少于 8 个齿。

多年来，制造精密齿轮的技术有了新的发展，当然制造内齿轮也不例外。这些精密齿轮多半是用于机床、汽车、航空发动机

等机器上。精密齒輪一般都具有这样的特性：傳动效率高，經久耐用；在高速（圓周速度达 $100\sim 150$ 米/秒）下既不震动，也沒有噪音等。要达到这个要求，精密的內齒輪不論是淬火过的或是不淬火的，都必須具有較高的加工精度和齿面光洁度。很明显，这些要求已經超出了插齿机的性能范围，必須改用其他的切齿方法（譬如，剃齿、磨齿、研磨和拉齿等方法）。

二 插齿刀和插齿机

1 插齿刀的类型和选择 插齿刀，我們可以把它看成是一个具有切削性能的齒輪。插齿刀刀齿的齿形是渐开綫的，要是我們把它装在插齿机上，能够插削直齿、斜齿和人字齿的圓柱齒輪。特别是，它能够插削齿条刀和普通結構的滾刀所不能加工的內齒輪。

插齿刀的分类如下：

按被切齒輪的型式来分：

- 1) 切削直齿外齒輪用的；
- 2) 切削直齿內齒輪用的；
- 3) 切削斜齿外齒輪用的；
- 4) 切削斜齿內齒輪用的；
- 5) 切削人字齒輪用的賽克斯型插齿刀。

按被切齒輪的精度来分：

- 1) A級插齿刀，用来加工 7 級精度的齒輪；
- 2) B級插齿刀，用来加工 8 級到 9 級精度的齒輪；
- 3) 粗切插齿刀，用于齒輪的粗加工。

按插齿刀的結構来分（图 6）：

- 1) 盘形插齿刀，用来加工外齒輪或大直徑的內齒輪；

2) 杯形插齿刀，它的紧固螺母安置在刀体内，所以最适合用来加工带有凸缘的外齿轮或有槽底的内齿轮；

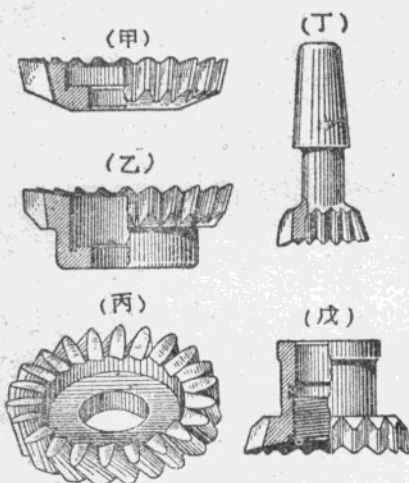


图 6 插齿刀的类型：

甲—圆盘直齿；乙—杯形直齿；丙—盘形斜齿；丁—带柄直齿；戊—筒形直齿。

3) 筒形插齿刀，用来加工内齿轮或小模数的外齿轮；

4) 带柄插齿刀，用来加工内齿轮或小模数的外齿轮。

按插齿刀刀齿的齿向来分，有直齿和斜齿两种。

斜齿插齿刀的螺旋角普遍地采用 15° 和 23° 的，齿的螺旋线方向做成左旋或右旋。

按插齿刀分齿圆的公称直径来分，规定有下列几种：

180、100、75、48、38、25毫米等。

在插齿刀上，打上下列标记：模数、齿数、分齿圆直径、啮合角、螺旋角、螺旋导轨的导程、插齿刀的精度等级、钢号、厂标、出产年份、插齿刀号，使用者一看就能分辨出来。

表 2 列有各类型插齿刀的齿数和分齿圆直径。从表 2 上可以看出，插齿刀的齿数随着模数增大而减少；模数一样，齿数少了，那末插齿刀的分齿圆直径也小。直径小了有两个好处：第一，插齿刀的强度大，所承受的弯曲力矩小；第二，在切削过程中，刀具和机床的工作都比较稳定。齿数少也有好处，在滚切过程中插齿刀的转速较快，使内齿轮的精度能够得到提高（它可以补偿插

表2 插齿刀的型式尺寸和被切内齿轮的最小齿数

模数 m	$\phi 180$ 盘形插齿刀			$\phi 100$ 盘形及杯形插齿刀			$\phi 75$ 盘形及杯形插齿刀			$\phi 100$ 盘形斜齿插齿刀 15°			$\phi 100$ 盘形斜齿插齿刀 23°		
	$d_{刀}$	$z_{刀}$	$z_{工小}$	$d_{刀}$	$z_{刀}$	$z_{工小}$	$d_{刀}$	$z_{刀}$	$z_{工小}$	$d_{刀}$	F_N	F_{H_N}	$d_{刀}$	F_N	F_{H_N}
1				100	100	—	76	76	—	103.625	100	—	102.212	94	—
1.25				100	80	—	75	60	89	103.625	80	—	103.502	76	—
1.5	180	120	—	102	68	—	75	50	76	102.515	66	99	100.93	62	94
1.75	182	104	—	101.5	58	91	75.25	43	67	101.405	56	88	100.611	53	82
2	180	90	123	100	50	79	76	38	60	103.625	50	79	102.212	47	73
2.25	180	80	110	101.25	45	72	76.5	34	51	102.515	44	71	99.973	41	64
2.5	180	72	102	100	40	63	75	30	46	103.625	40	63	100.292	37	58
(2.75)	178.75	65	94	99	36	57	77	28	43	102.515	36	57	100.57	34	53
3	180	60	88	102	34	53	75	25	39	99.195	32	51	104.798	32	51
(3.25)	178.75	55	81	100.75	31	48	78	24	37	100.852	30	47	98.388	28	44
3.5	182	52	77	98	28	44	77	22	35	101.406	28	44	102.855	27	41
(3.75)	180	48	72	101.25	27	41	75	20	32	100.852	26	40	101.891	25	39
4	180	45	69	100	25	39	76	19	31	103.625	25	39	99.655	23	36
4.25	178.5	42	64	102	24	37	76.5	18	30	101.129	23	36	101.57	22	34
4.5	180	40	62	99	22	34	76.5	17	29	102.515	22	34	102.855	21	33
5	180	36	57	100	20	32				103.625	20	32	103.502	19	31
5.5	176	32	51	104.5	19	31				107.515	18	30	101.57	17	29
6	180	30	49	102	17	29				99.195	16	28	104.798	16	28
6.5	182	28	46	104	16	28				100.852	15	27	98.388	14	26
7	182	26	44	105	15	27				101.406	14	26	98.388	13	25
8	176	22	38	104	13	25									
9	180	20	35	99	11										
10	180	18	31	100	10										
11	176	16	29												
12	180	15	27												

注: $\phi 100$ 盘形直齿和斜齿插齿刀, $m=5.5$ 以下的国内已生产。

$\phi 75$ 盘形直齿插齿刀有国产产品。

$\phi 180$ 盘形直齿插齿刀, $m=2.25$ 以下的建议不采用。

齿刀本身的误差)。

但是，我們并不赞成选择少于允许值的齿数，因为插齿刀的齿数太少，渐开线齿形的工作部分就会缩短，从而引起内齿轮齿形的畸变。

究竟怎样正确地选择插齿刀呢？我们认为，插齿刀的齿顶高总是比小齿轮的齿顶高大，为了避免插齿时产生顶切现象，选择插齿刀的齿数稍微要少于小齿轮的齿数。更确切地说，必须让内齿轮跟插齿刀之间的齿数差 ($z_n - z_{\pi}$) 不低于齿轮传动限定的最小值。

为了提高插齿刀的寿命，理论尺寸都是在距离前面为 a 的原始截面上， a 的大小叫做计算截面的移位距。根据 $\frac{a}{m}$ 数值，可以按图表 (图 7) 求取 ($z_n - z_{\pi}$) 的最小差值。

这个图表怎么查？譬方，已知插齿刀的数据： $m=2$ ， $z_{\pi}=38$ ， $a=8$ 。根据 $\frac{a}{m} = \frac{8}{2} = 4$ 数值，从图 7 中可找出 $(z_n - z_{\pi})_{\min} = 22$ ，所以内齿轮的最小齿数应该是 $z_n = 22 + 38 = 60$ 。

为了让使用者便于选择插齿刀，根据这个图表，我们就不同规格的插齿刀编制出允许加工内齿轮最小齿数的数值表 (见表 2)。

选择插齿刀的时候，不仅要考虑齿数问题，还要观察插齿刀的结构是否适用于插齿机，所以必须根据具体条件加以选择。譬如说，从表 2 中可知，同一模数有不同类型和不同分齿圆直径的插齿刀。从齿数角度来看，这种或那种插齿刀都能用，不过要观察插齿刀的结构特性、内孔尺寸和精度要求，也许只能用这种插齿刀，甚至这种或那种都不宜适用。遇到这种情况，要是重新设计和制造一把插齿刀很不经济，要是做一个接套 (参看图 14)；使它的上端尺寸和形状适合于插齿机的主轴，下端尺寸和形状要

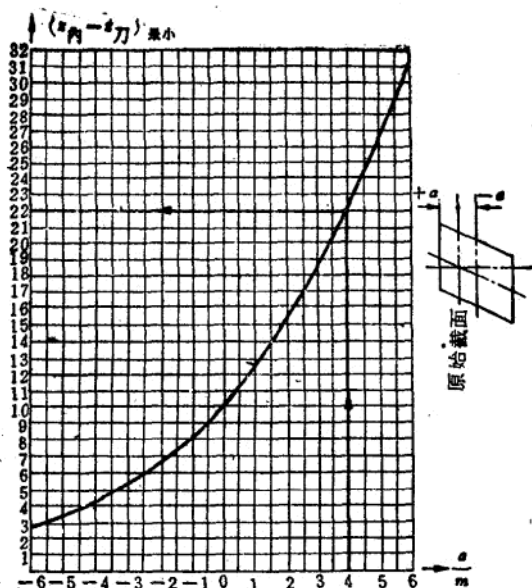


图7 根据移位距求最小齿数差 ($z_{内} - z_{刀}$) 图表。

适合于插齿刀。虽然这种接套的加工精度比较高，但比重做一把插齿刀要方便得多。

2 插齿机的种类和用途 用插齿刀工作的插齿机，都是以两个齿轮无间隙啮合的创成原理为基础，按滚切法进行加工的。加工内齿轮的切削原理跟加工外齿轮一样，在切削过程中，插齿刀和被切内齿轮进行无间隙啮合，象一个小齿轮和一个内齿轮那样啮合，结果内齿轮的齿形被插齿刀切出许多波紋形折线，它的形状就是插齿刀切削刀刃连续位置的包络线（见图8）。

为了实现这种切削过程，插齿机应该具备以下四种运动：

- 1) 插齿刀主轴的往复运动；
- 2) 插齿刀主轴的圆周进给运动；

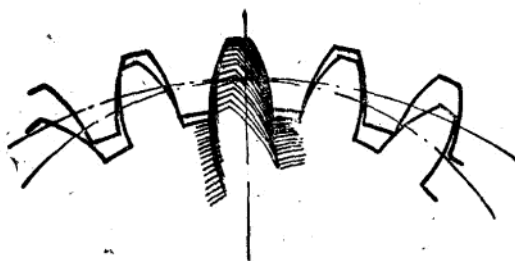


图8 插齿刀切削刀连续位置的包络线。

不是工件退离插齿刀，就是插齿刀退离工件。在插齿刀工作行程开始前，工件或插齿刀又自动地回到原来的位置。这种动作，我们叫它做让刀运动。

插齿机分两种：立式插齿机和卧式插齿机。从国内外生产的立式插齿机来看，由于让刀方式不同，它又分为工件退离插齿刀和插齿刀退离工件的两种。前一种的让刀方式为中型插齿机所采用（见图10），后一种为小型和大型插齿机所采用（见图11）。

卧式插齿机国内外生产的有两种：一种是用一把插齿刀工作的，主要用来加工大型内齿轮（见图12）；另一种是用双插齿刀工作的，适用于加工无沟槽的连轴人字齿轮（见图13）。

3) 工作台主轴的圆周进给运动；

4) 插齿刀（或工作台）的径向进给运动（见图8）。

为了避免插齿刀的变钝和擦伤已加工的齿面，在插齿刀空回行程中，

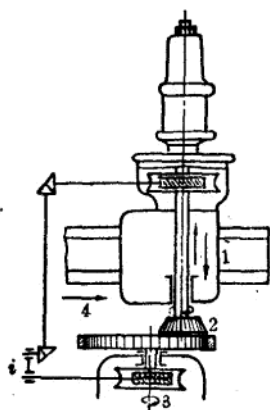


图9 插齿机的切齿运动简图。

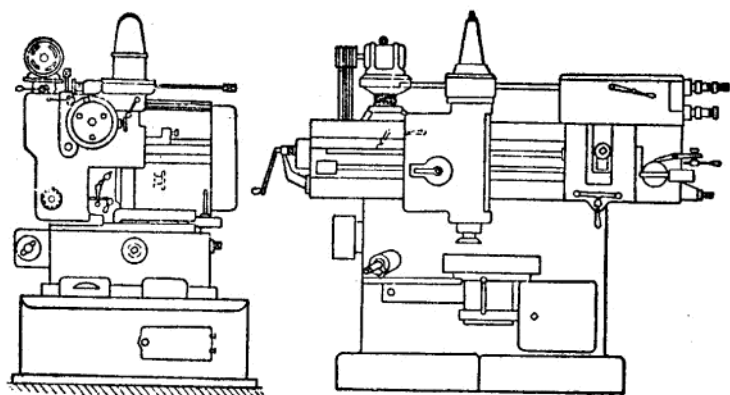


图10 工件退离插齿刀的立式插齿机。

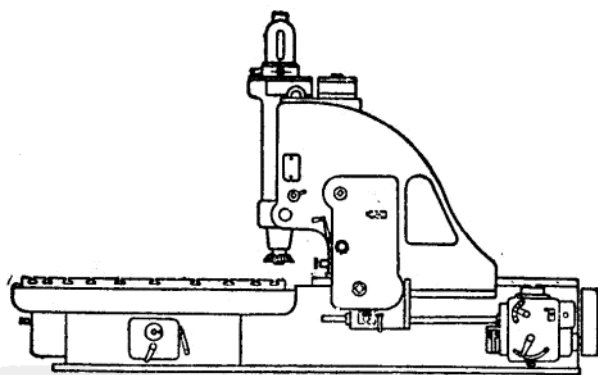


图11 插齿刀退离工件的立式插齿机。

大家知道，所有立式插齿机都可以用来加工直齿的外齿轮和內齿轮。要是在这种插齿机上，附加螺旋导轨和应用斜齿插齿刀，还可以加工斜齿的外齿轮和內齿轮。这时候，插齿刀除作迴轉运动以外，还要作附带的旋轉运动来形成斜齿。此外，在这些机床

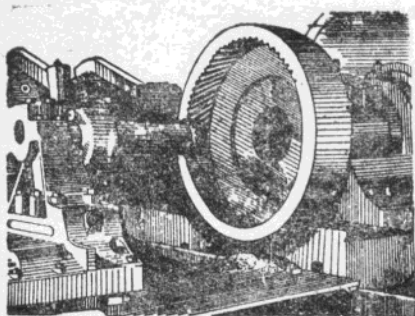


图12 用单插齿刀工作的卧式插齿机。

上，附加专用夹具还可以用来加工齿条。加工齿条的工作原理跟加工齿轮没有两样（因为无穷地增大齿轮的半径，那末齿轮就变成齿条）。插齿机既然能够加工齿轮，那末只是使工件的迴轉运动变为直綫运

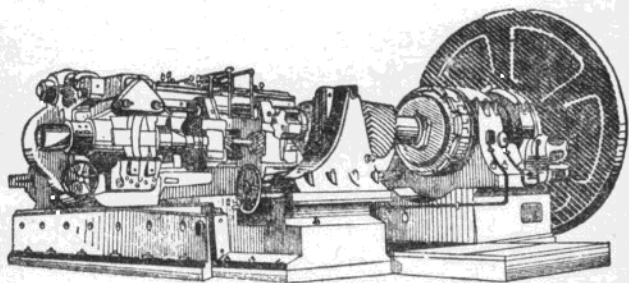


图13 用双插齿刀工作的卧式插齿机。

动，同样也可以用来加工无穷大的齿轮了（即齿条）。在加工齿条过程中，插齿刀母圆跟齿条的母綫滾切，好象齿轮跟齿条嚙合那样。

立式插齿机的主要特点是加工万能性广，几乎任何齿形的圆柱齿轮都能加工，特别是加工内齿轮、多联齿轮、齿条和特殊齿形的零件。卧式插齿机也能加工大型内齿轮和人字齿轮，这些特点不是其它齿轮机床所完全具备的。

近年来，在插齿机上安装工件和卸下成品都能做到自动化，它还跟滚齿机一起組成自动生产綫，因此立式插齿机在齿轮机床