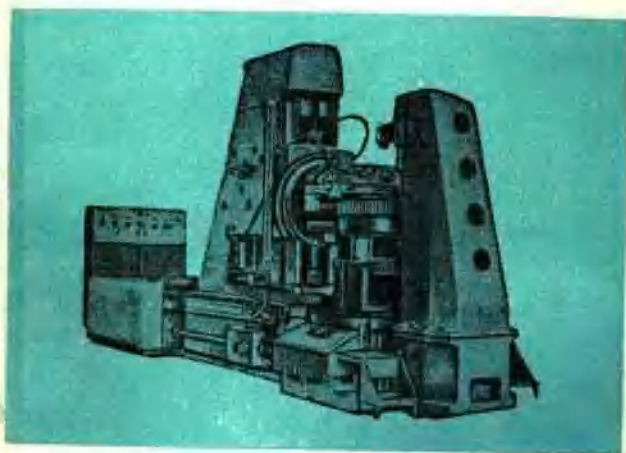


机床工人科学普及丛书

罗斯库托夫著

切齿机床



机械工业出版社

苏联 В. В. Лоскутов 著 'Зуборезные станки' (Машизм 1957
年第一版)

* * *

著者: 罗斯庫托夫 譯者: 甘 立

NO. 2546

1959年3月第一版 1959年3月第一版第一次印刷
787×1092¹/₃₂ 字数 50 千字 印張 2³/₁₆ 0,001—15,100 册
机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店發行

北京市書刊出版业營業
許可証出字第008号

統一書号 T15033·1509
定 价 (9) 0.25 元

出版者的話

蘇聯國立機器制造書籍出版社出版「机床工人科学普及丛書」的目的是为了帮助机床工人提高他們的理論知識和实际知識。这套丛書有系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小册深入浅出地叙述一个問題，文字通俗易懂，插圖多用立体圖，很适合工人閱讀。我們認為这套丛書对我国机床工人系統地提高理論水平有很大帮助，所以决定把它陸續出版。

这套丛書分成三組，共 26 輯。第一組叙述有关金屬切削的一般問題，共 10 輯（1~10）；第二組說明金屬加工的各种方法，共 10 輯（11~20）；最后一組介紹各种金屬切削机床，共 6 輯（21~26）。

本書譯自这套丛書的第三組第 26 輯。本書着重叙述两种典型結構的切齿机床——5A12 型插齿机和 5B32 型滚齿机——的机构、运动和調整法。叙述机床調整法时，推导了机床調整需用公式，并加以論証。

本書可作为切齿工學習材料。

目 次

前言.....	3
一 什么是包絡法(滾切法).....	5
二 用包絡法形成漸開綫齒形.....	7
三 齒輪加工机床的型別和代号.....	10
四 插齒時插齒刀和輪坯所作的運動.....	13
五 5A12型插齒機.....	16
六 5A12型插齒機各挂輪架的調整.....	19
七 5A12型插齒機的調整.....	26
八 在5A12型插齒機上切制螺旋齒圓柱齒輪.....	27
九 幾種其它型號的插齒機.....	28
十 5B32型滾齒機.....	32
十一 直齒圓柱齒輪的切制.....	35
十二 螺旋齒圓柱齒輪的切制.....	45
十三 蝸輪的切制.....	51
十四 為什麼滾齒機上需要复合運動鍵.....	58
十五 5B32型滾齒機的調整.....	64
十六 幾種其它型號的滾齒機.....	67
十七 各種切齒机床加工可能性的比較.....	69

前 言

不用齒輪的機器或機構是很少的。在金屬切削機床和飛機上，在汽車和拖拉機上，在軋鋼機上，在巨大的蒸汽透平機上，在儀器上以及在鐘表機構上，都要用各種不同尺寸的齒輪。現代機器和機構上用的齒輪，其直徑從3~4公厘到9公尺，其模數從0.05公厘到75公厘。齒輪通常分為圓柱齒輪、圓錐齒輪和蝸輪三種。機器上最常用的是直齒圓柱齒輪與螺旋齒圓柱齒輪，它們可以實現外嚙合及內嚙合。得到廣泛應用的還有直齒圓錐齒輪與曲線齒圓錐齒輪。

齒輪的工作條件是各種各樣的。在某一些情況下，齒輪旋轉的圓周速度應該非常高，有時甚至超過90公尺/秒。相反地，在另一些情況下，齒輪旋轉的圓周速度卻應該非常低，僅為1公厘/小時，有時還不到1公厘/小時。

齒輪的圓周速度愈高和載荷愈大，則對齒輪製造精度的要求，對齒輪材料質量的要求，以及對熱處理的要求就愈高。

技術不斷地向着提高機器的功率、高速性和精度的方向發展。因此，對齒輪製造精度的要求就不斷地增高，這些要求也引起了必須改進齒輪的製造工藝。

早在很古的時候，齒輪傳動就被人類應用了，那是木制的，加工得很粗糙，但它們完全適合於那時的要求。經過相當長一個時期，出現了金屬鑄造齒輪：起初是青銅齒輪，後來才有鑄鐵齒輪。鑄鐵齒輪比較耐用，但是其製造精度仍然不高。這種鑄造齒輪只有在非常低的圓周速度（2~4公尺/分）下工作時才能令人滿意，

圓周速度較高時就會產生振動，發出噪音，迅速地磨損，進而損壞。

進一步提高機器的高速性，就不僅要求提高齒輪的加工精度，而且要求改良齒輪材料的質量。那時候，強度較大的鋼質齒輪還不能鑄造。因此，鋼質齒輪上的齒只能用手工鋸銼製造，後來才用機械加工方法製造。大家都知道，在彼得時代，杰出的發明家那爾托夫（А. К. Нартов）制成了齒輪加工機床。成形切刀的發明，以及後來指狀模數銼刀和盤形模數銼刀的發明，便開始把齒部機械加工。

成形切刀、指狀模數銼刀及盤形模數銼刀切削刀的截形和齒間槽的截形相同。因此，用這些刀具來加工齒部的方法，叫做仿形法。隨著仿形法的應用，齒輪嚙合的質量就大大地改善了。但是，齒形和齒距的加工精度，距離現代對齒輪嚙合的要求，還差得遠。隨著技術的發展，在齒輪數量上和齒輪質量上的要求，一天比一天增高。這個要求只能用提高勞動生產率來滿足，而仿形法實際上限制了提高生產率的可能性。因此，出現了一種較完善的切齒法，叫做包絡法或者叫做滾切法，來代替仿形法。包絡法不僅保證了達到較高生產率的可能性，而且主要的還保證了提高加工精度的可能性。

隨著包絡法的發明，出現了幾種新式刀具。它們是：齒条形刨刀和圓柱形齒輪滾刀，用來加工外嚙合的直齒及螺旋齒圓柱齒輪。插齒刀（齒輪形插刀），不僅可用來加工外嚙合圓柱齒輪，而且還能加工內嚙合圓柱齒輪。蝸輪滾刀，用來加工蝸輪的齒。圓錐形滾刀和端銼刀，用來加工圓錐齒輪的曲線齒。圓錐齒輪刨刀，用來在刨齒機上加工作直齒圓錐齒輪及准雙曲面圓錐齒輪。碟形砂輪、盤形砂輪和蝸杆形砂輪，用來磨精度高的或精度特別高的齒。

金屬切削机床，也包括齒輪加工机床在內，用于切削加工零件。加工的目的，是使零件具有規定的几何形状和尺寸。要用切削加工得到一定的几何形状和尺寸，就要使工件和刀具作相对运动。沒有相对运动，切削是不能进行的。技术上最容易实现的是旋轉运动和直綫运动。因此，在大多数情况下，相对运动是工件和刀具所作的一系列旋轉运动与直綫运动的組合。所需要的旋轉运动和直綫运动的数目，以及这些运动的方向，决定于被加工表面的形状和刀具的形状。机床的机构使工件和刀具作旋轉运动及直綫运动。

为了研究机床，了解机床的机构和运动是怎样构成的，了解机床如何調整，那么，首先必須确切地明了：零件被加工表面的規定形状，在一定的刀具形状的条件下，是怎样形成的，并且为此需要有什么样的相对运动。

因为旋轉运动和直綫运动的数目，以及这些运动的方向，决定于刀具的形状，所以上述加工齒輪的齿部用的每一种刀具，應該与一定类型的机床配合使用，不同机床的运动特点是不同的。由于这个原因，随着包絡法的發明，出現了許多种齒輪加工机床。

在包絡法出現以前，齒輪的齿大半是在刨床上加工，更常常在臥式銑床上加工，同时还要利用分度机构，以便把圓周分成若干等分，其数目等于被加工齒輪的齿数。

在大多数現代齒輪加工机床上，都用包絡法切齿。由此可見，首先弄清楚包絡法是怎么一回事，就可以从本質上了解齒輪的加工过程了。

一 什么是包絡法（滾切法）

講這個問題以前，我們先看几个例子。

假設有一條曲線 A (圖1甲), 它的形狀是任意畫出的, 如果它在一個平面上移動, 那麼它會占有一系列依次相繼的位置1、2、3、4……, 如虛線所示。一條在曲線 A 所有的位置上和它相切的曲線 BB , 就是曲線 A 的包絡綫; 這條移動的曲線 A 叫做動綫(被包絡綫)。如果動綫 A 變成一個圓(圖1乙), 它的圓心沿圓周 C 移動; 則包絡綫就有兩條: B_1 和 B_2 。從圖1乙可看出, 這兩條包絡綫也是圓。

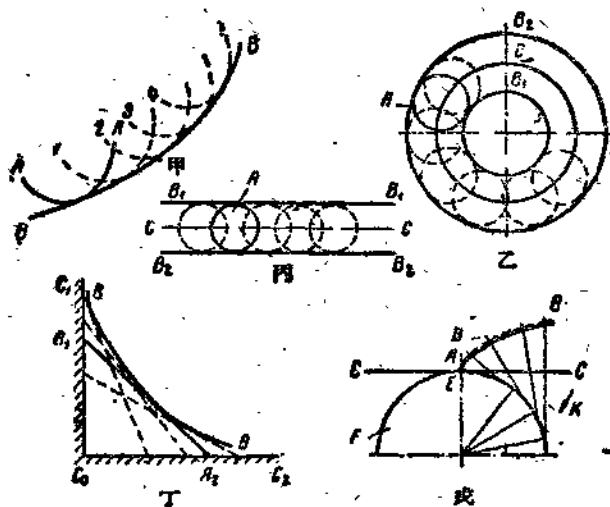


圖1 動綫及其包絡綫。

圖 A 在平面上移動時, 如果它的圓心始終在直綫 CC 上(圖1丙), 那麼它的包絡綫, 也就是在它所有的位置上和它相切的切綫, 是兩條直綫 B_1B_1 和 B_2B_2 。

假設有一根杆子(一條直綫) A_1A_2 (圖1丁), 它這樣地移動: 它的一端 A_1 沿牆壁 C_1C_2 滑動, 另一端 A_2 沿地板 C_3C_4 滑動。那麼, 它就占有一系列的位置, 如虛綫所示。一條在杆子 A_1A_2 ,

所有的位置上和它相切的曲綫 BB ，就是它的包絡綫。大家都知道，如果有一條直綫 CC （圖 1 戊），它按箭頭 K 所指的方向，無滑動地沿不動的圓周 F 滾動，則這條直綫上的一個點 A ，就描繪出一條漸開綫 AB 。現在，有一條和直綫 CC 固定垂直於點 A 的綫段 DE ，它將在直綫 CC 所有的位置上和漸開綫 AB 相切。那麼，這就意味着，在這種情況下，綫段 DE 就是動綫，漸開綫 AB 就是綫段 DE 在它同直綫 CC 一起移動時所占有一系列依次相繼位置的包絡綫。

從這幾個例子可以看出，動綫是一條在平面上移動的直綫或曲綫，包絡綫則是一條在動綫所有的位置上和動綫相切的直綫或曲綫。更確切地說，包絡綫是指一系列無限接近的同形狀曲綫的交叉點的軌迹。動綫及其包絡綫的概念，可以作為滾切漸開綫齒形的理論基礎。用包絡法切齒時，刀具切削刃截形對着齒輪齒形移動，而占有一系列依次相繼的位置，同時切掉齒間槽那一部分金屬。這時，被加工齒輪的漸開綫齒形，就作為刀具切削刃所占有一系列依次相繼位置的包絡綫而形成。換句話說，被加工齒輪的漸開綫齒形，就是一系列依次相繼的金屬切層的包絡綫。因此，這種切齒法叫做包絡法。下面講幾個用包絡法形成漸開綫齒形的例子，同時說明刀具的形狀如何決定機床上運動的種類和方向。

二 用包絡法形成漸開綫齒形

如果齒條按箭頭 A 所指的方向滾轉（圖 2 乙），並且它的分度平面 BB 和齒輪的分度圓柱 C 相切，那麼齒輪的漸開綫齒形就是移動的齒條齒形的包絡綫。相反地，如果齒輪按箭頭 D 所指的方向，沿不動的齒條滾轉，並且分度圓柱 C 和分度平面 BB 相切，則齒條的齒形便是移動的齒輪漸開綫齒形的包絡綫。這樣兩條能相

互轉換成動綫與包絡綫的曲綫，叫做共軛曲綫。這兩種齒形的共軛性，可利用來用齒條形刨刀滾切齒輪的齒部。為此，要把普通的齒條作某些改變，那就是使它的齒具有能夠切削金屬的形狀。机床的機構使齒條形刨刀按箭頭E所指的方向作往復直綫運動（主運動）（圖2甲），使被加工齒輪按箭頭F所指的方向作旋轉的進給運動，和按箭頭G所指的方向作直綫的進給運動。齒條形

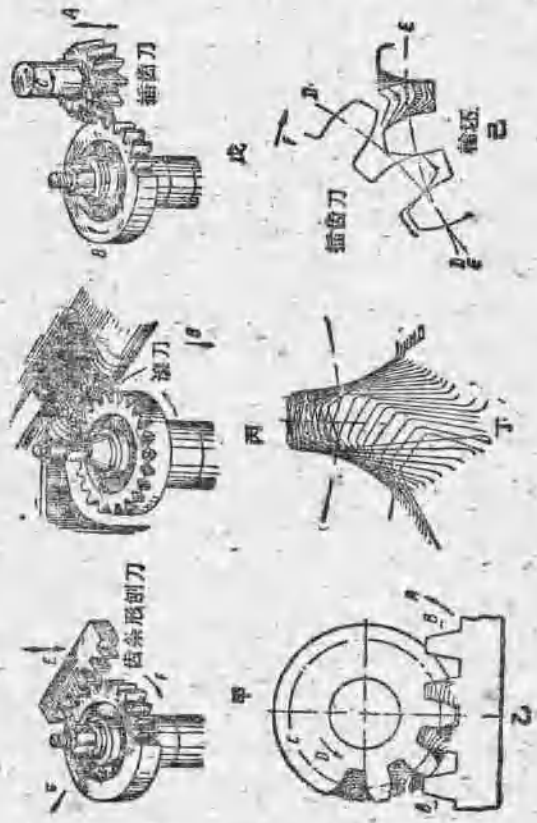


圖 2 用包絡法形成漸開線齒形。

刨刀向下移动时，其刀齿的前刀面就切掉齿輪齿間槽那一部分金屬。如圖 2 乙所示，齿条形刨刀齿形的一系列依次相繼的位置，便形成了齿輪的齿間槽，而齿輪的齿形就是齿条形刨刀齿形的包絡綫。这样，弄清楚了漸开綫齿形的形成过程，就不难确定，齿輪的旋轉进給运动与直綫进給运动之間的关系，应该是什么样的关系。为了保証齿条形刨刀的刀齿正好切在被加工齿輪的齿間槽中，齿輪每旋轉一个齿，同时还應該直綫移动一个齿距的距离。如果齿輪的旋轉进給运动和直綫进給运动之間的这种关系遭到破坏，就不能把齿輪的齿部切成。因此，紧固輪坯（即被加工齿輪）用的心軸与使輪坯直綫移动的絲杠之間，應該用一个准确的运动鏈連系起来，以保証旋轉进給运动和直綫进給运动協調的可能性。

用模数滾刀切齿时，机床的机构使滾刀按箭头 A 所指的方向作旋轉运动（主运动）（圖 2 丙），和按箭头 B 所指的方向作直綫运动（垂直进給运动）。同时，机床的机构还使輪坯作旋轉运动，这个旋轉运动的方向取决于滾刀螺旋綫的方向。例如，如果所用的滾刀是右螺旋滾刀，則輪坯應該按反时針方向旋轉。如果所用的滾刀是左螺旋滾刀，那么輪坯就应该按順时針方向旋轉。

因此，为了使滾刀和輪坯的旋轉运动協調，滾刀主軸与輪坯心軸（工作台）之間，要用一个准确的运动鏈連系起来，这个运动鏈包含有一个配換齿輪架。

垂直于滾刀螺旋綫的滾刀截形，和齿条形刨刀的截形相同，不过和齿輪齿間槽的截形却不相同。由于滾刀和輪坯旋轉运动的結果，和用齿条形刨刀切齿时类似，滾刀刀齿切削刀截形，相对于齿輪齿形，占有一系列依次相繼的位置，如圖 2 丁所示。这时，齿輪的漸开綫齿形，就作为滾刀切削刀所占有一系列依次相繼位置的包絡綫而形成。

齒輪形插刀（插齒刀）刀齒的形狀，要使刀齒具有切削的能力。用插齒刀切齒時，機床的機構使插齒刀按箭頭 *A* 所指的方向，作往復直線運動（主運動）（圖 2 戊）。插齒刀向下移動時，其刀齒就從輪坯上切下金屬。此外，機床的機構還要使插齒刀和輪坯分別按箭頭 *B* 和 *C* 所指的方向，作旋轉運動。

如果故意讓輪坯（即被加工齒輪）固定不旋轉，而使插齒刀按箭頭 *F* 所指的方向（圖 2 己），以其分度圓 *DD* 無滑動地沿輪坯的分度圓 *EE* 滾轉，那麼，插齒刀齒形的漸開綫，將占有一系列依次相繼的位置，如圖 2 己所示。這時，齒輪齒形的漸開綫，就是插齒刀齒形的漸開綫所占有一切位置的包絡綫。在插齒過程中，當插齒刀和輪坯都旋轉的時候，它們的齒形之間，也占有這樣的相對位置。因此，用插齒刀滾切齒部，也是用包絡法實現的。

三. 齒輪加工機床的型別和代號

從上面所舉的三个例子可以看出，儘管刀具的形狀不相同，但都可以用包絡法滾切齒部，而且刀具切削刃的截形和被加工齒輪齒間槽的截形不相同。同樣地，圓錐齒輪刨刀以及端銑刀和圓錐形滾刀，也是用包絡法滾切直齒及曲綫齒圓錐齒輪的齒部。用砂輪磨齒時，在絕大多數的情況下，都是用包絡法滾磨齒輪的齒部。

從这三个例子也應該知道，刀具和工件的相對運動的數目、種類和特征，不僅決定於工件的形狀，而且也決定於刀具的形狀。上面所舉的三个例子中，被加工表面的形狀一樣，但刀具的形狀卻不相同。因此，这三个例子中的刀具和工件的運動各不相同。由於每一種刀具形狀要和一定的運動相適應，所以每一種刀具也就應該與用途一定及運動一定的機床配合使用。例如，要用滾刀加工齒輪的齒部，就要製造滾齒機。要用插齒刀加工齒輪的齒部，就

要制造插齿机。要用齿条形刨刀加工齿轮的齿部，就要制造刨齿机等等。本書下面所講的是插齿机和滾齿机。

苏联机床制造业現在能生产許多品种的齒輪加工机床。例如，532型、5B32型、5B31型、5326型、5327型、5330型、5353型及許多其他型号的滾齿机，就享有盛名。512型、5A12型、514型、516型等等插齿机，也享有不小的名声。

必須指出，不仅齒輪加工机床的代号，而且苏联生产的其它金屬切削机床的代号，都由三个或四个数字組成，有时也由数字和一、两个大写俄文字母組成。机床代号中的数字和字母是根据一定的順序排列的。机床代号的規定如下：

金屬切削机床庫中存放着大量的各种型式的机床。为了把某一型式的机床和另一型式的机床区分开，苏联制訂了專門的机床分类表。机床分类表中，是先把一切机床分成类（車床类，鑽床类，銑床类，齒輪加工机床类等），其次把每一类机床分成型，然后根据机床的尺寸或能在該机床上加工的零件的尺寸，再把型加以划分。机床共分九类。每一类机床可分成九个以下的型。每一类机床用一个一定的数字来代表。例如，齒輪加工及螺紋加工机床类用数字5来代表。同样地，这一类机床的每一个型也用一个一定的数字来代表。例如，用插齿刀工作的齒輪加工机床的型別，用数字1代表；用滾刀工作的齒輪加工机床的型別，用数字3代表。机床代号中的第一个数字表示該机床的类别，第二个数字表示該机床的型別。因此，根据机床代号的头两个数字，就可以确定該机床的类别和型別。机床代号中的第三个数字，或者机床代号有四个数字时第三和第四这两个数字，間接表示該机床的主要尺寸或能在該机床上加工的零件的尺寸。由于这两个数字不能明显說明該机床的特性，因而不能指望它們，去判断該机床的尺寸

或能在該機床上加工的零件的尺寸。例如，5301 型、5321 型、5330 型和 5332 型機床，從代號的頭兩個數字就知道它們是滾齒機。至于能在這幾種滾齒機上加工的齒輪的尺寸，那就是：5301 型滾齒機用于加工直徑不大于 100 公厘的齒輪，5321 型滾齒機用于加工直徑不大于 750 公厘的齒輪，5330 型滾齒機用于加工直徑不大于 1500 公厘的齒輪，而 5332 型滾齒機用于加工直徑不大于 3000 公厘的齒輪。

機床代號中第一個數字後面加了一個字母，就表示這種型式的機床在結構上有了改進，比舊機床的結構完善，或者改變了舊機床的結構。如果機床代號的末尾有一個字母，則表示這種機床是根據舊機床的基本型式，作了不大的改變而制成的，以便適合于作某種專門工作。這種機床表明了舊機床的基本型式有所改變。

用同一形狀的刀具加工齒輪齒部的各種機床，儘管它們的型號不相同，儘管它們在外形上有很大的差別，但是它們的工作原理一樣，它們的運動相同，它們的調整法無異。例如，用插齒刀加工齒部的 512 型、5A12 型、514 型和 516 型插齒機，它們的工作原理、運動和調整法都相同。

因此，要掌握切齒機床的調整法，首先必須根據刀具的形狀，研究這類機床的工作原理。本書下面所講的是插齒機和滾齒機的工作原理，講敘中是以 5A12 型插齒機作為各種型號插齒機的代表，以 5B32 型滾齒機作為各種型號滾齒機的代表。根據 5A12 型插齒機和 5B32 型滾齒機工作的共同性，可以自行分析研究其他型號插齒機和滾齒機的運動和調整法。

研究機器時，要廣泛利用運動圖。運動圖在本書中也要用到。同時，將來還要利用運動圖。因此，自然會產生這樣一些問題：什麼是運動圖？它作什麼用？為什麼要用它？下面較詳細地說明這

些問題。

每一台機器的、每一台機床的各個工作機構，在完成工作時，都要作有一定目的運動。例如，滾齒機，在切制直齒圓柱齒輪時，它的主軸要作旋轉運動和直線運動，而它的工作台只作旋轉運動。

機器上運動的零件和固定的零件（把它們分別叫做運動的環節和固定的環節較確切），使工作機構作必需的運動。為了實現規定的運動，各個環節是用各種不同的方法連接起來的，一個環節對着另一個環節只能作完全一定的位移。兩個環節這樣連接就構成一個運動副。機器由許多運動副組成。組合一些運動副就構成一個運動鏈。運動鏈決定着工作機構相對運動的種類、數目和方向。在機床上，運動鏈使機床的工作機構作相對運動。

只有研究透機床（機器）的運動鏈，也就是說，只有研究透機床的運動，才能懂得操縱機床和調整機床。研究機床時，要利用運動圖。運動圖是運動鏈中構成運動副的環節的專門簡圖。運動圖能夠明確地表示出機床的全部運動。由於環節的簡圖簡化了環節的詳細結構，因而利用運動圖就很容易研究機床的全部運動。懂得操縱機床，也意味着，很了解機床的潤滑系統和潤滑步驟，經常注意潤滑情況是否正常，確切地做到機床說明書上的要求。這就能保證機床的工作正常而持久。

四 插齒時插齒刀和輪坯所作的運動

插齒機分用包絡法加工齒部的插齒機和用仿形法加工齒部的插齒機兩種。工廠中所用的多半是用包絡法滾切齒部的插齒機。在這種插齒機上，可以用插齒刀切制內嚙合的（圖3甲）和外嚙合的（圖3乙）直齒及螺旋齒圓柱齒輪。在某些插齒機上，還能

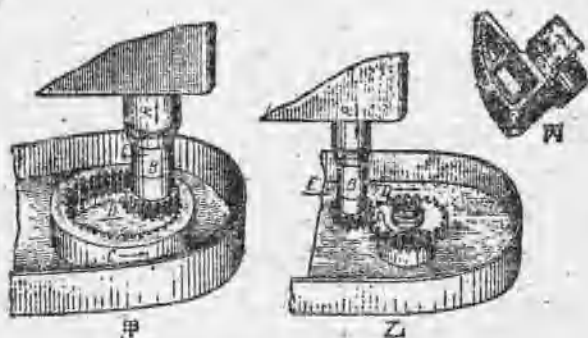


圖3 在插齒机上切制齒輪：

甲一切制內啮合齒輪；乙一切制外啮合齒輪；丙一扇形齒輪。

用插齒刀切制人字齒輪。切制人字齒輪時，要用兩把螺旋齒插齒刀。在插齒机上切制扇形齒輪（圖3丙）很方便。插齒机也适用于切制塔齒輪（圖4乙）。在滾齒机上切制塔齒輪時，必須把上下兩齒輪相鄰兩端面之間的距離增大，以便滾刀切出，如圖4甲所示。

插齒刀和輪坯所必需作的旋轉運動和直線運動的數目，以及這些運動的方向，決定于是插外啮合齒還是插內啮合齒，決定于

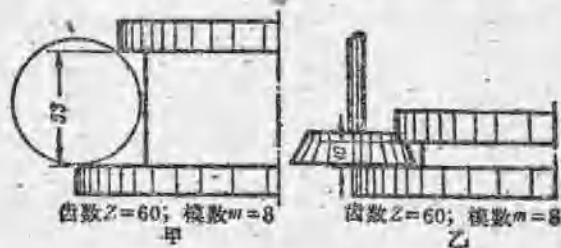


圖4 用滾刀和插齒刀切制塔齒輪時的切出量：

甲一用滾刀切制塔齒輪；乙一用插齒刀切制塔齒輪。

是插直齿还是插左螺旋齿或右螺旋齿。

不过，应该指出，研究任何机床的运动和结构时，首先必须明了刀具和工件应该作什么样的运动，也只有在这以后，才能利用运动图，确定用什么样的运动链来连系这些运动。

首先要确定的是，为了实现主运动，必须使插齿刀对着轮坯作直线运动，或者相反地，使轮坯对着插齿刀作直线运动。通常，多半是使插齿刀作直线运动，因为在大多数情况下，插齿刀比轮坯轻而小。此外，由插齿刀作主运动时，还能改善观察插齿过程的条件。因此，如图3所示，插齿刀按箭头A所指的方向，作往复直线运动。插齿刀向下移动时，就切削金属。插齿刀向上移动时，切削不进行。

其次，为了实现进给运动，必须使插齿刀旋转，同时它又沿不旋转的轮坯滚转。或者相反地，使轮坯旋转，同它又沿不旋转的插齿刀滚转。无论第一种情况或第二种情况，插齿机的运动和结构都很复杂。为了简化插齿机的运动和结构，是使插齿刀和轮坯如同两个齿轮啮合一样地旋转，如图3所示，插齿刀和轮坯分别按箭头B和C所指的方向，都作旋转运动，来实现进给运动。这时，插齿刀主轴和轮坯心轴要用一个准确的运动链连系起来，这个运动链中包含一个配换齿轮挂轮架形式的调整部件。插外啮合齿时，插齿刀的旋转方向和轮坯的旋转方向相反（图3乙）。插内啮合齿时，插齿刀的旋转方向和轮坯的旋转方向相同（图3甲）。因此，使插齿刀和轮坯旋转的运动链中，要有变向装置，以使它们的旋转方向相适应。主运动和进给运动相结合时，就能把齿部滚切出来。但是，主运动和进给运动并不能保证刀具的工作正常。插齿刀在空回程时，向上移动，不切削金属。可是，插齿刀和轮坯在连续旋转。因此，轮坯旋转时，应切掉而尚未切掉的金