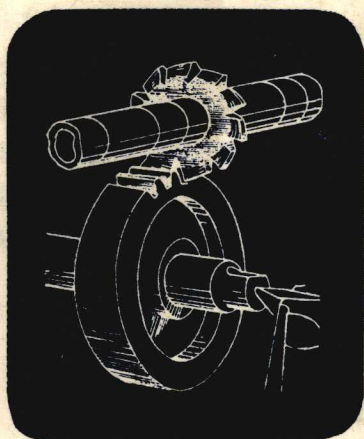


邵組導編著

怎樣銑正齒輪



機械工程質量學資料 157

蘇維德編著

怎樣校正齒輪



機械工业出版社

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。爲了使新工人能够很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了[機械工人活葉學習材料]。

這套活葉學習材料是以機器工廠裏的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉚、鉚等工種的工人爲對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的[活葉]出版。

本書講解正齒輪的銑製法。作者從正齒輪的功用、工作圖以及銑刀的選擇起，敘述了銑製正齒輪的實際操作方法；對於正齒輪的各級精度和銑齒前後的要求也作了扼要的說明。本書可供三級到四級銑工的學習材料。

目 次

一 正齒輪的功用	3
二 普通採用哪一種曲線的齒輪	3
三 正齒輪的工作圖	4
四 怎樣選擇銑正齒輪用的銑刀	5
五 正齒輪的銑製方法及其準備工作	6
六 正齒輪的加工精度	18

附表

1. 布朗型單純和差動分度表	23
2 萬能銑床齒輪切削速度、進刀量表	34

一 正齒輪的功用

正齒輪的用途很廣，在任何機器上都有用到。它的主要功用是使兩軸聯動，並得出正確的傳動速比。雖然兩軸聯動的方法有很多種，但把它們比較一下，便能看出正齒輪的顯著特點來。

繩、皮帶、摩擦輪、鏈輪都能使兩軸聯動。皮帶、繩只能用於兩軸的距離比較長的，並且還得不到正確的速比；摩擦輪雖和齒輪差不多，但也是不能得到正確的速比。這種情況的原因是當兩軸中的任何一個軸受到較大的力時，皮帶、繩、摩擦輪就要受到一定的滑動影響，而速比也就隨之變動。鏈輪一般說來是比較正確些，但在實際應用上，它的速比也略有差異。

大家都知道在機器上工作，有時要求機床的傳動需要非常的正確，如車床的車螺絲，銑床銑螺旋齒輪等等。如果機床的傳動不準確，只要發生少許的滑動，就會使加工出來的工件產生很大的誤差。而正齒輪呢？它的主要特點是互相之間有齒嚙合，能在很大的傳動力下保持兩軸之間的速比不變；並且經過交換後也能得到很精確的傳動速比。

二 普通採用哪一種曲線的齒輪

一般機器上大都採用漸開線齒輪，因為這種齒輪跟齒型曲線的要求條件很相合。現在把漸開線齒型和擺線齒型作一比較，就能得出結果。

1) 擺線齒的上齒面曲線和下齒面曲線是不同的，一般稱為兩曲線制。漸開線齒它只用一種曲線，一般稱為單曲線制。這種曲線

在製圖以及製造銑刀時較為便利，並且和它相啮合的齒條的齒型是直線的。

2) 普通一對漸開線齒型的齒輪，它的中心距離有些變更時，仍能使這對齒輪完全啮合；假使是一對擺線齒型之齒輪，當它的中心稍有變更，轉動時立即發生雜音。

3) 在同一個齒節的齒型，因齒數不同所生的差別，以擺線齒和漸開線齒相比，而擺線齒比漸開線齒來得嚴重；所以擺線齒輪所需的全套銑刀也要比漸開線齒輪多。

4) 漸開線齒輪如果它的壓力角(傾斜角)相等，都可以交換啮合。而擺線齒輪的交換條件就要比較複雜。

5) 齒輪齒數的最少限度，擺線齒輪也比漸開線齒輪為少。擺線齒輪最少為 12 齒；而漸開線齒輪最少需 20 齒以上。

根據上面五點來看，漸開線齒要比擺線齒為好，所以一般機器上都採用漸開線齒輪。

三 正齒輪的工作圖

正齒輪的工作圖，和機器上一般零件的工作圖略有不同，圖上除了註明尺寸以外，還註明齒數、模數、或徑節、壓力角、加工精度等等；並且有些正齒輪工作圖還註明吃刀深度、銑刀號數。假使這些條件在工作圖上沒有註明，那就必需依靠工作者自己來算。標準正齒輪的各部分算法可參閱活葉[標準正齒輪各部尺寸計算]。正齒輪的工作圖如圖 3 所示。

在這個工作圖上註明有四項數字。這四項數字對銑工同志很有關係，現分別把它說明如下：

1) 齒數，它是用來計算和調整分度板和插孔多少以及選擇銑刀。

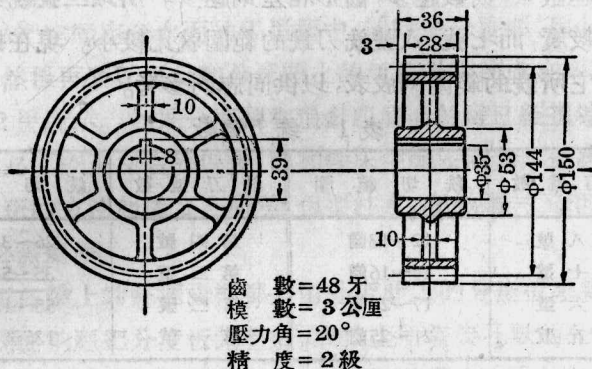


圖 1

- 2) 模數，它是用來計算吃刀深度（齒全深）和選擇銑刀。
- 3) 壓力角對選擇銑刀有一定的關係，但對銑刀號數是不變的。
- 4) 精度就是加工的要求。

四 怎樣選擇銑正齒輪用的銑刀

在萬能銑床上銑齒輪是一齒一齒的銑，所以銑刀的形狀，必須和齒型相同。這種齒輪銑刀也是成形銑刀的一種，根據齒的形狀來製造。但是當齒輪的齒數發生變化時，齒的形狀也隨着變化（指差的多少而言），按道理來講，每銑一種模數或徑節中的一個齒數，就必須有一把成形的齒輪銑刀，但這在實際上是是不可能的。所以銑刀應該按照和齒的曲線比較接近的形狀來分階段，或叫做一個號數；然後再根據這個階段中最大齒數和最小齒數畫成圖，以和兩者最適合的形狀製成銑刀。因此在這個階段中，用這把銑刀所銑出來的齒，它的形狀和正確度相差極微，不會影響質量。一般用的齒輪銑刀都是在每一個模數或徑節中分成八個號數。在這八個號數中，每個號數的銑刀所銑的範圍是不同的，因為齒輪的齒數越少，齒形的

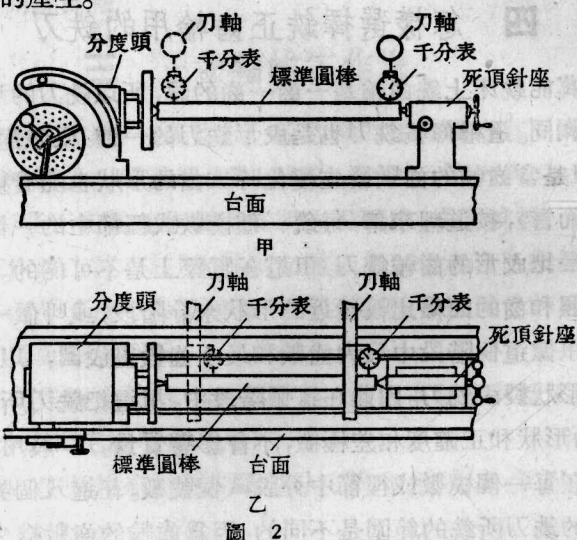
相差也越嚴重，齒數越多，齒形相差則越少。所以二號銑刀所銑的範圍比較廣，而七號、八號銑刀銑的範圍就比較小。現在把銑刀的號數和它所銑的範圍列成表，以供同志們參考。

表 1 銑刀號數

銑 刀 號 數	銑 切 範 圍	銑 刀 號 數	銑 切 範 圍
第 八 號	12~13齒	第 四 號	26~34齒
第 七 號	14~16齒	第 三 號	35~54齒
第 六 號	17~20齒	第 二 號	55~134齒
第 五 號	21~25齒	第 一 號	135至齒條

五 正齒輪的銑製方法及其準備工作

1) 開動銑床，檢查各活動部分是否有過鬆或過緊，和缺少潤滑油的現象。如果有不準確的地方，應加以調整，以防止機器發生故障和廢品的產生。



2) 準備好分度頭和死頂針座，放上銑床工作台面上；並用鍵（或銷子）把它固定在台面的T形槽中，同時使分度頭、頂針座和台面平行。然後再將死頂針和分度頭上的活頂針調節成水平。調節方法如圖2甲所示。如果分度頭和頂針座底面的鍵已經損壞或不準確了，就必須校正左右的偏差（即和銑床主軸成直角），然後才把它固定。校正的方法如圖2乙所示。但要注意，在做這一工作之先，各接觸面必需擦淨。

3) 正齒輪上的每個齒槽都是由分度頭上的分度板來劃分的。所以在銑齒前應把分度板調整好，或換上所需要孔數的分度板。以圖1的那個齒輪作例子，銑這個正齒輪，該用多少孔的分度板呢？我們可以用下列公式來計算：

$$\frac{\text{分度頭蝸輪齒數}}{\text{所銑齒輪齒數}} = \frac{\text{每銑一個齒槽搖過的孔數}}{\text{所選擇的分度板孔數}}$$

因為現在我國製造的分度頭蝸桿和蝸輪的傳動比都是1:40。所以把分度頭蝸輪齒數寫成40，已知齒輪齒數48，上式就變成如下式：

$$\frac{40}{48} = \frac{5}{6} = \frac{5 \times 3}{6 \times 3} = \frac{15}{18}$$

每銑一個齒槽搖過的孔數
所選擇的分度板孔數

從上式我們知道，銑這個正齒輪要用18孔的分度板來分度。於是就把這個分度板裝上。然後再把分度板上的指針插到18孔圓的位置上；並將扇形規尺（又稱分度器）調節到15孔的距離，以避免分度錯誤，如圖3所示。其他齒數的計算可參閱附表1。在工作時，從10齒到364齒，每銑一個齒槽，只要將搖手柄轉過扇形規尺間的距離就可以了。

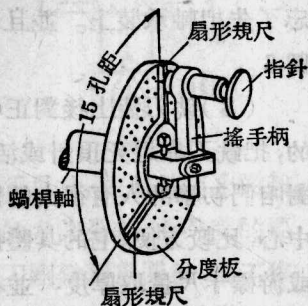


圖 3

4) 選擇刀具，安裝刀具和對中心，這項工作是很重要的。在實

際操作中要小心進行。現在分爲三點來說明：

(1) 銑製正齒輪用的銑刀，可以按工作圖上的條件來選擇。再以圖 1 所示的正齒輪作例子，圖中註明齒數是 48 齒，3 模數，壓力角 20 度，那麼我們便可以在表 1 中 35~54 齒欄內，找出要選用第三號銑刀。不過銑刀號數選對了，但模數和壓力角也要和工作圖符合，因為其餘模數也有三號，並且還有其他不同角度壓力角的銑刀。

(2) 在沒有把銑刀裝上刀軸的時候，先在銑刀中心上劃一條中心線，以備對正刀具中心用。

根據銑刀的孔徑來選擇刀軸。在刀軸裝上銑床主軸前，要擦乾淨，主軸退拔孔和刀軸退拔柄，不允許有污物存在。裝上之後，用螺

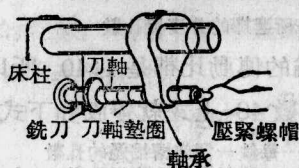


圖 4

釘拉緊刀軸，並將刀軸上的壓緊螺帽和刀軸墊圈取出。然後再把銑刀兩側面擦乾淨，裝在刀軸上，而刀軸墊圈的兩側面也同樣擦乾淨，否則會影響銑刀的準確性的。最後把壓緊螺帽旋緊。但在旋緊螺帽時，別

忘了先把軸承裝上。並且在安裝時，銑刀要越接近床柱越好，如圖 6。

(3) 銑刀裝上後對正中心，一般老師傅都是根據經驗來進行的，把銑刀靠近死頂針或活頂針以目力來確定它的中心位置；這樣對咱們初學的人有很大的困難。這裏介紹用劃線方法來校對銑刀中心，比較方便。它的具體操作如下：首先將選好的銑刀，用千分尺或游標卡尺量取厚度，並在銑刀的刀齒周圍，塗上有色藥水（即俗稱劃線藥水），待乾後把它平放在平板上，用劃線的高度游標尺，把劃針調節到銑刀的 $\frac{1}{2}$ 厚度，在銑刀周圍劃一條線。然後再把銑刀

翻過身來，仍放在平板上劃一條線（高度游標尺的劃針高度不變），看一下這兩次所劃的線是否在同一點上；如果這兩線不在同一點上，可以一直調節到在同一點上為止。

於是我們就根據這條中線，把它對準死頂針尖或活頂針尖，就

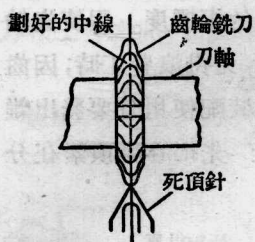


圖 5

可以對正銑刀的中心如圖 5。如果銑刀的厚度或中心不均勻，劃線不方便，那麼我們可以採用如圖 6 的方法，先把工件（齒輪坯）或其他廢軸，頂在分度頭和死頂針座之間，並用桃子軋頭固定。然後開動機床，將工作台面上昇，使銑刀剛碰到工件上，同時把工作台往前後移動，在工

件表面上銑切出一道小長圓的刀痕。這一道痕就給我們對銑刀中心的一個根據。我們只要把銑刀的兩側，對正工件上的小長圓刀痕的兩條線，就可以確定銑刀的位置已在工件的中心上了。但在銑刀對正中心後，必需將工作台的橫走刀緊固，只允許工作台面左右移動，否則會不小心把已校對的中心移動。

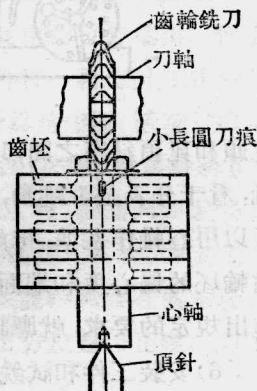


圖 6

5) 檢查齒輪坯這個工作，我們可以分兩點來談：

(1) 檢查齒輪坯頂圓和孔徑。檢查頂圓尺寸，主要是防止齒輪偏心，因為齒輪坯的頂圓尺寸都是有一定的允許公差，而公差的要求不會太嚴格。但我們在銑切時，是按銑刀剛碰到頂圓後，將工作台面上升到規定尺寸來吃刀的；因此檢查頂圓是我們必需做的工作，看這個尺寸和圖紙上所規定的相差多少，而把工作台面的上昇

量作適當調整。

檢查孔徑是否和圖紙以及和我們所使用的心軸相符合；因為我們銑切齒輪大多數都是把幾個齒輪坯串在一起加工，如果孔徑大小不一，會發生偏差，以致影響工件的質量。

(2) 檢查孔徑是否和頂圓同心和兩端面的振擺度。假使齒輪坯的孔與頂圓不同心我們必須預先把它報廢，免得浪費工時；因齒輪坯有偏心，銑出來的齒會深淺不一，輕則在裝配使用時要發出雜聲，重則根本就失去轉動效能。檢查方法如下：先把心軸頂緊在分

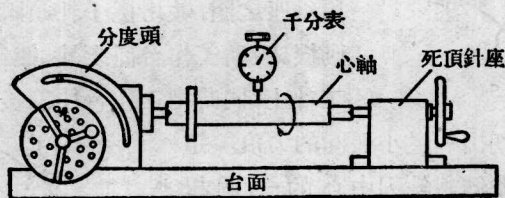


圖 7

度頭和死頂針座之間，以千分表的針尖和心軸的表面；並且旋轉心軸，看千分表是否跳動，以確定心軸的偏心度如圖 7 所示。然後就可以用心軸作基準，把齒輪坯套在心軸上，用同樣的方法，來檢查齒輪坯的偏心度和端面的振擺度。如果齒輪坯的偏心度和振擺度超出規定的要求，就應該報廢。

6) 安裝工件和試銑：

(1) 銑切正齒輪時，工件安裝的方法大致像圖 6 那樣，用心軸把齒輪坯串在一起，由頂端的螺帽壓緊，在靠近分度頭的一端用桃子軋頭固定住，以使心軸和分度頭主軸同時旋轉，能夠進行分度。齒輪坯裝在心軸上之前，先將心軸的中心孔擦乾淨。桃子軋頭要固定在分度頭主軸上不能鬆動。

(2) 銑切正齒輪時試銑的工作很重要，我們絕不可忽視。試銑

的主要目的是爲了防止分度計算錯誤，或在調整分度板時疏忽。在試銑前首先要檢查一下上面所說的幾點，如工件有無頂緊，螺絲有否壓緊，刀具有否裝緊等，免得開動機器後出毛病。開始試銑時先把工作台上昇到銑刀將碰到工件表面爲止，然後用紙片一張放進銑刀和工件之間，如圖 8 所示，同時把工作台慢慢的上昇使紙片很緊

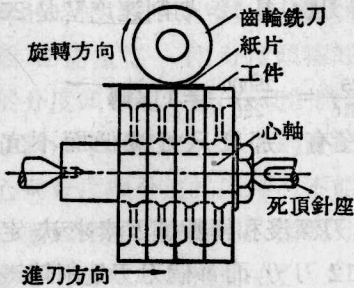


圖 8

的從銑刀與工件之中抽出來，而不致使它破碎。把抽出來的紙片，用千分尺測量它的厚度，根據這個厚度再上昇台面。這就是吃刀深度的起點。然後把升高工作台用的手輪千分箍對到 0 點上，並把工作台從這個位置搖出，使銑刀離開工件後，再上昇工作台到齒全深的數值 6.471 公厘（仍以圖 1 爲例，計算請參閱[活葉]‘標準正齒輪各部尺寸計算’）。如千分箍每格爲 0.01 公厘，就是轉過 647 格；如銑床是英制的，千分箍每一格爲 0.001 吋，那麼只要將公英制換算一下，每格即得 0.0254 公厘，也就是轉過 255 格，固定工作台。工作台轉過之後，就可以開始試銑，但試銑時只要在齒輪坯的最外面角上刻出刀痕就可以，目的是能看出分度是否正確，以便在開始正式銑齒時加以校正。

7) 切削速度、進刀量的選擇，對刀具的使用壽命和工作效率都有相當的關係。一般的切削速度是由刀具的材料、冷卻劑使用情況和工件材料來決定的。在銑切齒輪時，齒輪坯的材料多用鑄鐵、碳素鋼、合金鋼、銅等；銑刀一般用碳鋼、高速鋼和硬質合金。現在大多數都採用高速鋼做刀具，用碳鋼和硬質合金做刀具仍然很少。用高速鋼銑刀切削鑄鐵，它的切削速度是 25 公尺/分，銑碳鋼是 32

公尺/分左右，銑合金鋼是 22~30 公尺/分，銑銅是 40 公尺/分。假使刀具是碳鋼的，只要把高速鋼刀具的切削速度減少一半即可。但在實際上，僅僅知道切削速度還不够，還要知道轉數，所以必需把切削速度換算成轉速。它的換算公式如下。

再以圖 1 所示的齒輪為例，按蘇聯標準 3 模數的齒輪，所用銑刀的外徑 D 是 70 公厘，齒數 n （即刀刃數）是 12，切削速度 V 是 25 公尺/分，得

$$\text{轉速} = \frac{1000 \times V}{D(\text{公厘}) \times \pi} = \frac{1000 \times 25}{70 \times 3.1416} = \frac{25000}{220} = 114 \text{轉}$$

但要注意，假使算出的轉數，銑床上沒有，那麼只好減低而不宜增加。

進刀量是根據銑刀的刀刃數、吃刀深淺和轉數等因素來決定的；如蘇聯規格的 3 模數銑刀，全週 12 刀刃，而每個刀刃銑削鑄鐵的進刀量為 0.16~0.17 公厘，那麼銑刀旋轉一週進刀量是 $0.165 \times 12 = 1.98$ 公厘/轉；如要得到銑刀每分鐘的進刀量還要乘上銑刀的轉速，所以進刀量是 $1.98 \times 114 = 225$ 公厘/分。為了便利同志們計算起見，特把它列成附表 2，以作為參考。

8) 在銑切正齒輪時，應用的冷却劑要根據齒輪坯材料來選擇。一般工廠中所用的冷却劑，大都採用切削油、柴油、肥皂水^①等幾種，但各種冷却劑都有各種不同的效用。肥皂水最適用於工件材料不頂硬的，它的冷却作用最好，但不適宜用於硬的和韌的工件材料。切削油和柴油能用於硬材料，但冷却作用不頂好。總而言之，使用冷却劑的目的是能夠沖去鐵屑，不致使刀具和工件發熱，並能使工件表面光滑。但在加工鑄鐵的時候，却不用冷却劑，而是乾銑的。

9) 在做完上面所說的幾項工作之後就可以正式開始銑齒。但

① 油肥皂水是乳化油或稱可溶性油（俗稱肥皂油）調配的，一般都是用 1 分乳化油加入 20 分水。

在這時首先要將計算好的切削速度和進刀量調整好，然後開動銑床，用橫進刀手柄進刀。銑完第一個齒槽後停車，將銑刀退到原來位置，使銑刀離開齒輪坯，將分度頭上指針拔出，搖過 15 孔，也就是一個齒的距離，固定分度頭的壓緊螺絲，再開車銑削第二個齒槽。這樣繼續往下銑直到銑完為止。注意：在銑削時，當銑刀碰到工件的時候，看一下它是否和試銑時的刀痕相符，否則就是分度頭搖錯，必需重搖一下；分度頭搖好後，不要忘記固定壓緊螺絲，免得由於分度頭中的空隙，在切削時使齒輪發生擺動；每銑完一個齒槽都必需停車，退出銑刀，否則會把加工好的齒槽表面搞毛；萬一不小心將分度頭分度搖過時，不能仍倒退至所須要孔中一定要多倒退一圈或半圈，再往前搖，因為分度頭內部齒輪有間隙的關係，否則會影響齒輪坯的精度的。

在銑完三個齒槽或四個齒槽後，必需要檢查一次齒的深淺（即齒高）和齒厚是否符合圖上的要求。如果有不符合的情形應加以適

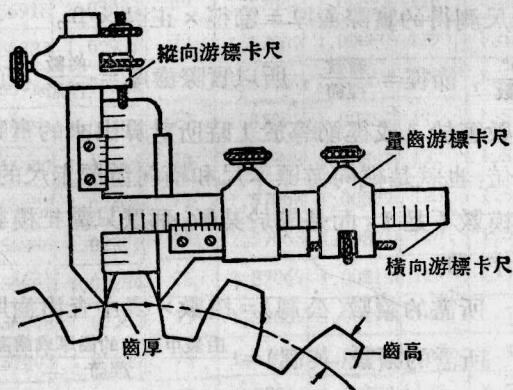


圖 9

當的調節。檢查用的工具就是量齒的游標卡尺，如圖 9 所示。這種卡尺是由兩支互相垂直的游標卡尺配合而成；橫向游標卡尺可以

測量的齒輪在節圓直徑上的齒厚。但是這樣測得的數值並不是弧的長度，而是弦的長，如圖 10 所示。假設齒的模數或徑節已知，則正規的齒厚齒高當為：

$$\text{齒厚} = 1.5708 \times \text{模數}, \quad \text{齒厚} = \frac{1.5708}{\text{徑節}}$$

$$\text{齒高} = 1 \times \text{模數}, \quad \text{齒高} = \frac{1}{\text{徑節}}$$

那麼從卡尺所量得的高度，由圖 10 可知是：實際齒高 = 齒高 + 弦高；

$$\begin{aligned} \text{但 齒高} &= 1 \times \text{模數或} \frac{1}{\text{徑節}} \text{而弦高} \\ &= \text{半徑} \times (1 - \text{餘弦} \beta); \end{aligned}$$

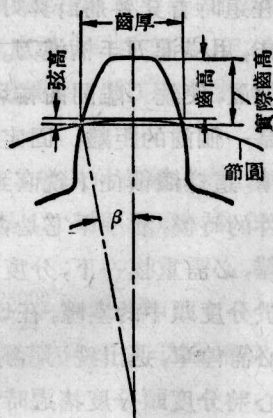


圖 10

$$\begin{aligned} \text{所以 實際齒高} &= \text{齒高} + \text{弦高} = \frac{1}{\text{徑節}} + \text{半徑} \times (1 - \text{餘弦} \beta) \\ &= \frac{1}{\text{徑節}} \times \left\{ 1 + \frac{\text{齒數}}{2} \times (1 - \text{餘弦} \times \frac{90^\circ}{\text{齒數}}) \right\} \end{aligned}$$

$$\text{橫向游標卡尺測得的實際齒厚} = \text{節徑} \times \text{正弦} \times \beta,$$

$$\text{而 } \beta = \frac{90^\circ}{\text{齒數}}, \quad \text{節徑} = \frac{\text{齒數}}{\text{徑節}}, \quad \text{所以實際齒厚} = \frac{\text{齒數}}{\text{徑節}} \times \text{正弦} \frac{90^\circ}{\text{齒數}}.$$

表 2 就是模數等於 1 或徑節等於 1 時所計算出來的實際齒厚和實際齒高的數值，也就是縱向游標卡尺和橫向游標卡尺的讀數。假如加工齒輪的模數不是 1，而是等於某數，那麼只需把模數去乘由表中查出的數字，即：

$$\text{所需的讀數(公制)} = \text{模數} \times \text{表中查出齒厚或齒高}$$

$$\text{或： 所需的讀數(英制)} = \frac{\text{由表中查出的齒厚或齒高}}{\text{徑節}}$$

這樣就能把計算出來的數值和游標卡尺上讀出來的讀數，校對看它是否正確，否則就需再調節一下銑床的升降機構。

例 仍以圖 1 為例，已知齒數 = 48，模數 = 3，在測量時橫向

表 2 模數或徑節等於 1 吋實際齒厚實際齒高的讀數

分割	齒 厚	齒 高	分割	齒 厚	齒 高	分割	齒 厚	齒 高
齒數	橫向游標卡尺的讀數	縱向游標卡尺的讀數	齒數	橫向游標卡尺的讀數	縱向游標卡尺的讀數	齒數	橫向游標卡尺的讀數	縱向游標卡尺的讀數
10	1.56435	1.06156	59	1.57061	1.01046	108	1.57074	1.00570
11	1.56546	1.05598	60	1.57062	1.01029	109	1.57075	1.00565
12	1.56631	1.05133	61	1.57062	1.01011	110	1.57075	1.00560
13	1.56698	1.04739	62	1.57063	1.00994	111	1.57075	1.00556
14	1.56752	1.04401	63	1.57063	1.00978	112	1.57075	1.00551
15	1.56794	1.04109	64	1.57064	1.00963	113	1.57075	1.00546
16	1.56827	1.03852	65	1.57064	1.00947	114	1.57075	1.00541
17	1.56856	1.03625	66	1.57065	1.00933	115	1.57075	1.00537
18	1.56880	1.03425	67	1.57065	1.00920	116	1.57075	1.00533
19	1.56899	1.03244	68	1.57066	1.00907	117	1.57075	1.00529
20	1.56918	1.03083	69	1.57066	1.00893	118	1.57075	1.00524
21	1.56933	1.02936	70	1.57067	1.00880	119	1.57075	1.00519
22	1.56948	1.02803	71	1.57067	1.00867	120	1.57075	1.00515
23	1.56956	1.02681	72	1.57067	1.00855	121	1.57075	1.00511
24	1.56967	1.02569	73	1.57068	1.00843	122	1.57075	1.00507
25	1.56977	1.02466	74	1.57068	1.00832	123	1.57076	1.00503
26	1.56986	1.02371	75	1.57068	1.00821	124	1.57076	1.00499
27	1.56991	1.02284	76	1.57069	1.00810	125	1.57076	1.00495
28	1.56998	1.02202	77	1.57069	1.00799	126	1.57076	1.00491
29	1.57003	1.02127	78	1.57069	1.00789	127	1.57076	1.00487
30	1.57008	1.02055	79	1.57069	1.00780	128	1.57076	1.00483
31	1.57012	1.01990	80	1.57070	1.00772	129	1.57076	1.00479
32	1.57016	1.01926	81	1.57070	1.00762	130	1.57076	1.00475
33	1.57019	1.01869	82	1.57070	1.00752	131	1.57076	1.00472