

齒輪加工新技術

熱軋齒輪

曉 路

6.142
67

科學技術出版社



前 言

齒輪的軋制法，目前在世界上還是一項處在試驗研究階段的新技術。雖然在上一世紀末就已經開始了這項新技術的研究，但由於當時的生產水平較低，軋制齒輪受到許多限制，因而以後許多年中，就沒有被發展，直到近年來，生產大大地發展了，在工業生產水平大大提高的情況下，齒輪的軋制法就有可能大大發展。許多國家已開始大力試驗研究軋制齒輪這一新工藝，已取得了相當大的成績。

目前已有一些工業水平較高的國家，在齒輪加工方面運用了這一新工藝方法，如蘇聯、捷克、日本等。

我國近二、三年來對這一先進的齒輪加工方法亦有所研究，尤其在近一年多的時間內，進展很快，獨創性的研究，取得了優異的成績，這是由於黨對科學研究和工業技術正確領導的結果。

中國人民在黨的正確領導下，發揮了敢想敢干的共產主義風格，人們的豪言壯語是：別人有的我們也能有，別人沒有的，我們也要有。它的根據是：我們有光榮偉大的正確的共產黨領導，我們的人民一向是心靈手巧的。因此，我們什么事都可為。

從一年多我國研究熱軋齒輪的事實證明：在科學研究工作中，貫徹黨的技术政策，用兩條腿走路辦一切事業，在研究工作中也要土洋結合，才能取得勝利，做到事半功倍。

熱軋齒輪和切削齒輪比較，有着許多優越性，如材料節約、工時消耗、齒的強度及表面質量……等，都遠遠比切削加工為善，因而軋制加工齒輪成本低，生產率高。

我國研究熱軋齒輪是在資料缺乏、設備不足的情況下進行的，由於這一新技術，還不很成熟，經驗並沒有系統的總結出來，各國研究的方法和結果也有不同。如一般國外的資料都否定土法研究熱軋齒輪的可能性，但我國根據自己的條件，選擇了因地制宜的方法，有專設機構，使用現代化裝備進行研究，同時也有許多單位用簡易的裝備進行研究，如使用普通煤爐、舊式車床改裝的軋機等進行研究，都取得了很大的成績。

本書中，主要根據我國大躍進以來的成就，結合國外研究的成果，較概括地向讀者作一般性的介紹，可供機械加工工廠中的工人或技術人員了解熱軋齒輪的一般知識。

由於編者水平和資料的限制，故未能更詳細透徹的論述有關熱軋齒輪的科學理論；另外，由於編者對熱軋齒輪了解面的缺陷，在內容上不免有一定的局限性或片面性，因此希望讀者指導、批評，幫助編者更進一步地認識熱軋齒輪的一些問題。

編寫本書的目的，在於宣傳熱軋齒輪這一新技術，幫助一些工人同志了解或從事這一工作，吸引更多的群眾參加試驗研究，以使這項新技術更迅速發展。

編者

1959.2.

目 次

前 言

一、齒輪及齒輪加工.....	1
1. 齒輪的種類.....	1
2. 標準齒輪各部名稱及其基本尺寸計算.....	4
3. 齒輪的加工方法.....	9
二、熱軋法加工齒輪.....	16
1. 對軋制法加工齒輪的要求.....	16
2. 加工方法.....	16
3. 毛坯的分齒.....	17
4. 齒的成形過程及內部組織.....	19
三、滾軋設備.....	21
1. 設計改裝滾軋裝置的條件.....	21
2. 改裝簡易實用的滾軋機.....	22
3. 介紹幾種專用軋機.....	27
四、熱軋齒輪毛坯加熱方法.....	37
1. 鹽爐、煤爐加熱毛坯.....	38
2. 火焰表面加熱毛坯.....	40
3. 高周波感應加熱毛坯.....	43
五、軋制工具的設計與製造.....	47
1. 軋輥結構及各尺寸參數的確定.....	47
2. 軋輥材料的選擇.....	51
3. 軋輥的主要加工工序.....	52
六、齒輪熱軋工藝.....	53
1. 軋制的主要工藝過程.....	53
2. 毛坯直徑的選擇.....	53
3. 軋輥數目的選擇.....	55
4. 加熱溫度及深度的選擇.....	55
5. 軋制速度及進給速度的選擇.....	57
6. 軋制時的冷卻與潤滑.....	59
7. 熱軋後輪齒的精加工及其它部分的修整.....	60
8. 熱軋齒輪用心軸與夾頭.....	61
七、結束語.....	63

一 齒輪及齒輪加工

齒輪是應用最早、同時又是應用最廣的傳動原件之一，我國早在公元前時代發明的指南車、鼓車（計算里程用的工具），就已經應用了齒輪輪系傳動，近代各種機械傳動中幾乎都離不了齒輪，因為它有着廣闊的適應範圍。

現在齒輪傳動的功率由百分之一馬力至幾萬馬力，圓周速度由每分鐘2公尺至幾千公尺，直徑由若干公厘至12公尺。

現在機械傳動用的齒輪，大都屬漸開綫齒廓，最早使用的齒輪是擺綫齒廓，這種曲綫製造困難，而且傳動中兩輪中心距要求嚴格，這就使得加工和裝配工作複雜而困難。漸開綫齒輪在加工中比較容易且中心距允許在一定範圍內變動而不影響傳動精度，因此漸開綫齒輪以它的優點被人們廣泛的採用着。

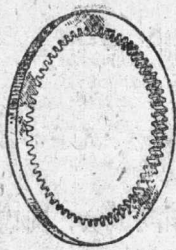
1. 齒輪的種類

根據齒輪所傳遞兩運動軸間的位置，可分以下幾類：

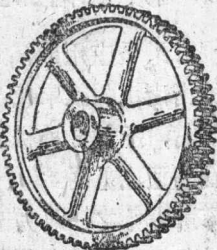
(1) **圓柱齒輪**：輪齒是分布在圓柱體的內表面或外表面上。在外表面上的稱為外齒輪，在內表面上稱內齒輪。輪齒的排列有與軸綫平行的直齒圓柱齒輪和與軸綫成一定角度分布的斜齒圓柱齒輪兩種。

直齒圓柱齒輪：圖1，a、b為內嚙合和外嚙合直齒圓柱齒輪，用於兩輪互相平行的傳動中，內嚙合時兩軸旋轉的方向相同，外嚙合時兩軸旋轉的方向相反。直齒圓柱齒輪嚙合時是沿全齒寬度在同一時間進入嚙合，又在同一時間脫離，這樣就使得傳動不穩，高速時有噪音發生。

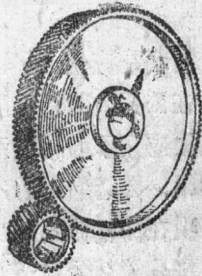
斜齒圓柱齒輪：為了克服直齒圓柱齒輪的缺點，使輪齒和軸傾斜一角度，這樣在嚙合傳動時齒漸次進入嚙合，又漸次地脫



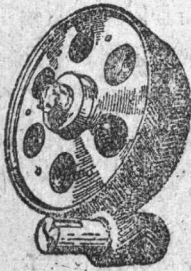
a



b



c



d



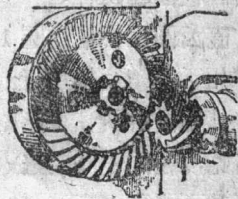
e



f



g



h

圖 1 各種齒輪

齒，因而傳動平穩而無噪音（圖 1 c）。斜齒圓柱齒輪當輪緣的寬度和直齒圓柱齒輪相同時，其所能傳遞的功率要比直齒的大，因為斜齒的齒面長度大於直齒。一般斜齒圓柱齒輪用在較高速傳動中。但斜齒圓柱齒輪有一缺點，在傳動時使軸承受一軸向力，為此，軸承應具有軸向止推的能力。另外如圖 1 d 的人字齒輪，亦是斜齒圓柱齒輪，在大功率傳動中把兩個斜齒圓柱齒輪組合起來，既能傳遞大功率，又能克服斜齒傳動中傳軸受軸向力的缺點。

（2）圓錐齒輪：輪齒分布在錐形表面上，用於傳遞相交兩軸之間的運動，如圖 1 e、f。錐齒輪也分直齒和斜齒兩種。圓錐齒輪又叫做傘齒輪或八字輪。

直齒圓錐齒輪：輪齒和構成齒輪錐面的母綫平行，直齒錐齒輪和直齒圓柱齒輪一樣，傳動時不夠平穩，高速時會有噪音產生，由於直齒錐齒輪的齒分布在錐面上，齒輪兩端的直徑、齒高和齒寬均不相等。

斜齒圓錐齒輪：同樣是為了克服傳動不平穩的缺點，將原來和構成圓錐母綫平行的直綫齒傾斜而成斜齒圓錐齒輪，又叫做螺旋錐齒輪。因其齒的排列像菊花花瓣，有人把它叫做菊花輪。

斜齒圓錐齒輪輪齒的形成比較複雜，加工較困難，切削加工時需在專用的銑床上進行，此種機床構造也比較複雜，因此在有些地方由於加工的限制，就縮小了它的使用範圍。

（3）螺旋齒輪和雙曲綫體齒輪：應用在兩軸既不平行也不相交的傳動中。

螺旋齒輪：如圖 1 g 所示，螺旋齒輪的齒廓仍然是漸開綫形，其齒分布在圓柱表面上，齒條為螺旋綫，一般用在兩軸成任意角的傳動中，當螺旋齒輪齒條的螺旋角達 45° 時，齒輪兩軸不相交而成 90° ，蝸杆與蝸輪就是螺旋齒輪的特例。

双曲线体齿轮：如图1,h所示，这种齿轮的轮齿排列在双曲线体的表面上，用于不相交且不平行两轴间的传动，此种齿轮制造困难，在应用上也不如其它类型的齿轮，在外形上看来和斜锥齿轮相像，区别之处在于这种齿轮两轴不相交，轮齿不是分布在圆锥面，而分布在双曲面上。

2. 标准齿轮各部名称及其基本尺寸计算

研究齿轮之前，首先应了解齿轮各部的名称及基本尺寸的求法，下面介绍几种常用齿轮的各部名称及求各部尺寸的方法。

(1) **圆柱齿轮：**各部尺寸如图2所示。

齿顶圆(D_e)：为轮齿的顶部所连成的圆，切削加工时，毛坯是按照该圆周尺寸确定的，有人叫做毛坯圆。

齿根圆(D_i)：轮齿底部所连成的圆周。

节圆(D_g)：齿轮啮合传动类似于两个圆柱形摩擦轮的接触传动，而齿轮比摩擦轮能传递更大的动力且传动速比一定，这是因为摩擦轮仅依靠两光轮之间的压力产生摩擦传递动力，而齿轮则是在光轮上又切出齿来，齿与齿啮合传递动力。

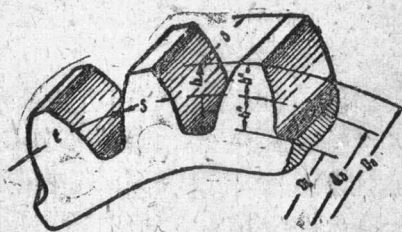


图2 圆柱齿轮各部尺寸

所谓节圆，即是两齿轮啮合传动像理想的摩擦轮一样做无滑动的纯滚转运动的两个圆周。实际上，一个齿轮就无所谓节圆，只有当两个齿轮咬合转动才有节圆，节圆无法度量。前面我们谈到渐开线齿轮的中心距允许在一定范围内变动，也就是节圆直径可以变动而对传动并无影响。标准齿轮的节圆和另外

一个圓相重合，即分度圓。

周节(t)：在分度圓上两相邻齿廓曲綫上相应点之間的距离，称为該圓的周节(或齿距)。

根据周节的定义知分度圓直徑应为：

$$\pi D_g = t \times Z, \quad D_g = \frac{t}{\pi} \times Z,$$

上式中 π 为无理数，为便利計算，命 $\frac{t}{\pi} = m$ ，規定成比較完整的数， m 叫做模数，是齿輪各部尺寸的計算基础，在国家标准中，对模数規定了一些标准值。模数的單位以公厘計。

分度圓：在齿輪中模数为标准模数且压力角 ϕ 为标准压力角的圓周叫做分度圓。分度圓的直徑不可变，是按一定参数計算的，齿輪变位后，它的数值并不受影响，在变位后，分度圓就不和节圓重合，而两圓在齿輪嚙合中也就不能相切的做純滾轉运动。

基圓：在齿根圓外圈(对标准齿輪而言)，是形成漸开綫齿廓的圓周，輪齿在基圓以上为漸开綫形。基圓直徑決定漸开綫的弯曲程度，基圓直徑愈大，漸开綫就愈平直，相反，基圓直徑愈小，則齿廓漸开綫就愈弯曲，当基圓直徑无限大时，漸开綫就变成直綫，齿形就为直綫形，例如齿条，就是基圓直徑增到无限大的齿輪。

在基圓上的周节称为基节，也就是基圓周节。

齿高(h)：由齿輪的根圓至頂圓間半徑方向齿的高度，在节圓以上的叫做齿頂高(h')，由节徑往下到齿根的高度叫做齿根高(h'')。

① 压力角：齿廓上某一点压力作用綫与該点速度之間的夾角。

$h = h' + h''$, 正常齿 $h' = 1m$, $h'' = 1.25m$,

齿厚(S): 沿节圆周一個輪齒齒廓曲綫間的弧長叫做齿厚, 以公厘为單位。

齿槽寬: 两相鄰輪齒之間, 沿节圓周的弧長, 以公厘为單位。代表符号为 S_b 。

从理論上講, 周节应等于齿厚和齿槽寬相加, 但在傳动中, 若齿厚正好等于齿槽寬, 二者之和等于周节, 两齿嚙合就發生咬住的情况, 即一齿紧紧的嵌入另一齿輪的齿槽中, 为了避免此种情况, 一般齿輪的槽寬均大于齿厚。

側向和徑向間隙: 如圖 3 所示。

$$\text{側向間隙 } C_1 = S - S_b。$$

在傳动中, 为了不使齒輪的齿頂和另一齒輪的齿根碰撞造成磨損, 輪齒在徑向亦有一間隙, 即齿根高和齿頂高的差数, 以 C_2 代表, $C_2 = h'' - h' = 0.25m$ 。

中心距: 齒輪傳动軸心之距离为中心距, 标准齒輪中心距即两节圓半徑之和, 以字母 A 代表:

$$A = \frac{D_{g1} + D_{g2}}{2}$$

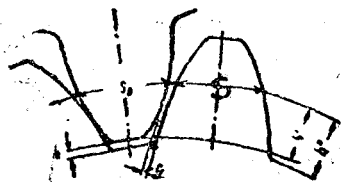


圖 3 側向和徑向間隙

式中 D_{g1} 为主动輪节圓直徑, D_{g2} 为从动輪节圓直徑。

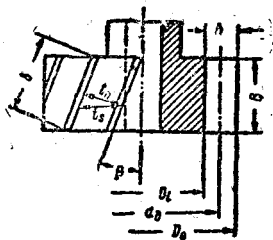
变位齒輪的中心距不等于标准中心距, 此式不适用計算变位齒輪中心距。

直齒圓柱齒輪的計算公式列于表 1 中。

关于斜齒圓柱齒輪的計算, 基本上和直齒圓柱齒輪相同, 所不同的是斜齒輪的輪齒和軸成一角度, 因而齒輪的端面不垂直于輪齒的齿条, 这样, 研究斜齒輪, 应分两个面来研究, 一个

是与齿条垂直的截面叫做法向截面，另一个是端面。

斜齿輪有两个周节，也就有两个模数，即端面周节 t_s 及法向周节 t_n ，端面模数 m_s 和法向模数 m_n 。



在法向截面中的齿形和直齿圆柱齿輪相同，斜齿輪計算的基础模数是法向模数 m_n ，如圖 4 所示为斜齿輪的各部尺寸圖。斜齿輪各部尺寸計算公式列于表 2。

以上所談是公制齿輪，又叫模数齿輪，在我国采用这种制度。在英美吋制国家中，所采用的齿輪是英制，又叫徑节齿輪，徑节是齿輪各部尺寸計算的基础。

徑节以 P 代表，它的意义是这样：每一吋分度圓直徑中所包含的齿数，因此得：

$$P = \frac{Z}{D}, \text{ 式中 } D \text{ 为分度圓直徑。 } Z \text{ 为齿数。}$$

$$D = \frac{Z \cdot t}{\pi}, \text{ 故 } P = \frac{\pi}{t}, \text{ 式中 } t \text{ 为周节。}$$

从此式中看出：英制的徑节为公制模数的倒数，相反，徑节的倒数即和模数相等，但必須注意，公制模数是公厘为單位，而英制徑节以吋为單位，換算时需化清單位。

$$\text{即： } m = \frac{25.4}{P}。 (1 \text{ 吋} = 25.4 \text{ 公厘})$$

在公制齿輪中模数愈大，說明当基圓直徑相同时齿的体积愈大，而徑节齿輪則相反，徑节愈小齿愈大。

(2) 圓錐齿輪各部的名称及各部尺寸的求法：圖 5 所示为圓錐齿輪各部尺寸。

圓錐齒輪的齒分布在錐形表面上，兩端直徑不等，因而在研究圓錐齒輪時，需從兩端着手。

兩端直徑的差別使得圓錐齒輪兩端之模數和周節均不相等，而在計算時是依照大端的模數為基礎的，這樣會使得所求尺寸最為可靠。

圓錐齒輪的分度圓齒頂圓及齒根圓其意義和圓柱齒輪同：

在計算時還需要了解以下幾個名詞：

端面模數：即圓錐齒輪大端的模數以 m_s 代表。

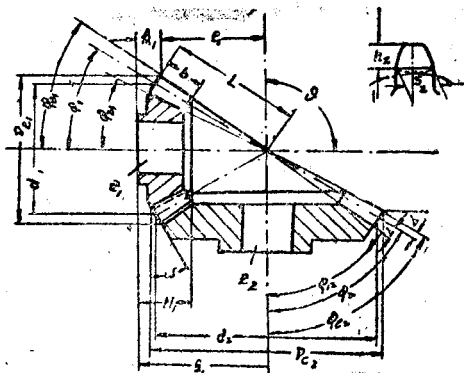


圖5 圓錐齒輪各部尺寸

分度圓錐角(Φ)：圓錐齒輪分度圓錐母綫和軸綫的夾角，

軸間角：互相嚙合兩圓錐齒輪軸綫的夾角，以字母 φ 表示，從圖中看出軸間角和分度圓錐角的关系為：

$$\varphi = \Phi_1 + \Phi_2$$

即軸間角為兩相嚙合圓錐齒輪分度圓錐角之和，一對圓錐齒輪在嚙合時，兩錐頂角應交於一點，否則將不能進行嚙合傳動，這是因為圓錐齒輪輪齒的形成要求的。

分度圓：節圓母綫與大端錐面 \odot 母綫相交的圓，以字母 d 代

\odot 圓錐齒輪的齒按理論應在球面上形成，但這樣製造與設計均有許多困難，因此用兩個輔助圓錐來代替，在已知圓錐的大端設頂角背向圓錐的外輔助圓錐，大端的齒系在此圓錐中刻出，而在已給圓錐的小端設一內圓錐，小端的齒系在這個圓錐上刻出。

表。分度圓錐角按下式計算（按圖形，用三角齒數解在角三角形求得）：

$$\operatorname{tg} \Phi_1 = \frac{Z_1 \cdot m_s}{Z_2 \cdot m_{s_2}} = \frac{Z_1}{Z_2}, \quad \operatorname{tg} \Phi_2 = \frac{Z_2 \cdot m_s}{Z_1 \cdot m_{s_1}} = \frac{Z_2}{Z_1}。$$

錐齒輪各部尺寸計算公式列于表 3 中。

3. 齒輪的加工方法

齒輪的制造，大都應用切削加工，可以說這是傳統的齒輪加工方法，近年來，已有一些國家試驗齒輪加工的新途徑，即應用無切削制齒，並已得到應用。我國最近兩三年來也進行這種新方法的研究和試驗，取得了不小成就。

(1) 切削加工制齒：最早的切削加工制齒方法，是用成形刀具有齒輪毛坯上切出溝槽，留下凸起的輪齒，在普通銑床上进行。這種方法生產率很低，精度不高，消耗的高級合金鋼刀具多。隨着生產的發展，這種方法就遠遠不能滿足要求，漸次由新的創成法所代替。

近代齒輪的切削加工，大都採用創成法，這種方法系利用齒輪嚙合的滾動原理，即漸開綫的形成原理來加工輪齒。這種方法和仿形法比較，在生產率及精度方面，都有優點，但是這種加工，把一些金屬切掉變成廢鐵屑；在加工過程中破壞了金屬的纖維，降低了齒的強度，因此在計算中就必须增大齒輪的尺寸或選用高級材料等不經濟的缺點，因此按現在生產的要求來說，這仍然是一種不完善的方法。

(2) 用熱軋法加工輪齒：熱軋法加工輪齒是新的、先進的齒輪加工法。

它的實質是利用金屬高溫時的良好塑性使齒成形；利用金

屬塑性變形的原理，按齒輪漸開綫的形成方法加工齒輪的輪齒。加工的示意圖如圖6。

金屬加熱到高溫，塑性很好，把這樣的齒輪毛坯放到齒條或一對齒輪中間，使其轉動，結果就可以滾出漸開綫的齒形，冷卻后就成為齒輪。

熱軋法的特点是：無切削加工，毛坯的金屬纖維不被切斷，生產率高，操作簡單。因而，現在看來，它是大有發展前途的制齒方法。

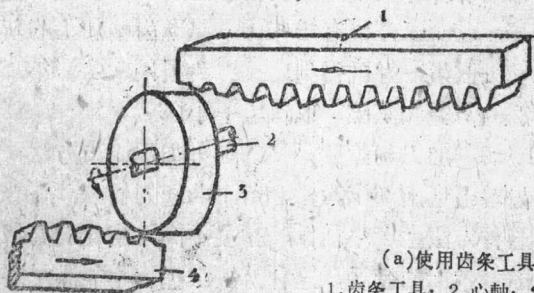


圖6 熱軋加工齒輪示意圖

表1. 直齒圓柱齒輪各尺寸計算公式

要素名稱		單位	符號	計 算 公 式
模 數		公厘	m	按OCT1597的標準系列中選用
沿分度圓的節距		公厘	t	$t = m \cdot \pi, \pi = 3.1416$
基 節		公厘	t_0	$t_0 = m \cdot \pi \cos 20^\circ$
齒 數	主 動 齒 輪		z_1	按結構的需要選用 當 $z \leq 17$ 時, 要加以修正
	從 動 齒 輪		z_2	
分度圓直徑		公厘	d_0	$d_0 = m \cdot z$
齒頂圓直徑		公厘	D_e	$D_e = d_0 + 2m = m(z + 2)$
齒根圓直徑		公厘	D_i	$D_i = d_0 - 2.5m = m(z - 2.5)$
齒 高		公厘	h	$h = h' + h'' = 2.25m$
齒頂高		公厘	h'	$h' = m$
齒根高		公厘	h''	$h'' = 1.25m$
徑向間隙		公厘	c_s	$c_s = h'' - h' = 0.25m$
沿分度圓弧的齒厚		公厘	S	$S = \frac{t}{2} = \frac{m \cdot \pi}{2}$
齒 長		公厘	b	b 到10 π
中心距		公厘	A	$A = \frac{d_{a1} + d_{a2}}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2}$

表2. 圓柱斜齒輪各尺寸的計算公式

要素名称			單位	符号	計 算 公 式
法向模数			公厘	m_n	按OCT1597标准系列中选用
沿分度圓的法向节距			公厘	t_n	$t_n = m_n \pi, \pi = 3.1416$
齿数	齿輪	主动輪		z_1	根据結構需要选用 当 $z \leq 17$ 时, 应采用修正 合
		从动輪		z_2	
分度圓上的齿傾斜角	齿輪	主动輪	度	β_1	根据結構需要选用
		从动輪	度	β_2	
軸綫夹角			度	ϑ	$\vartheta = \beta_1 + \beta_2$
分度圓直徑			公厘	d_a	$d_a = \frac{m_n \cdot z}{\cos \beta}$
齿頂圓直徑			公厘	D_e	$D_e = d_a + 2m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} + 2 \right)$
齿根圓直徑			公厘	D_i	$D_i = d_a - 2.5m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2.5 \right)$
齿高			公厘	h	$h = 2.25m_n$
齿頂高			公厘	h'	$h' = m_n$
齿根高			公厘	h''	$h'' = 1.25m_n$
徑向間隙			公厘	c_s	$c_s = 0.25m_n$
在法向截面上沿分度圓的齿厚			公厘	S	$S = \frac{t_n}{2} = \frac{m_n \cdot \pi}{2}$
中心距			公厘	A	$A = \frac{d_{a1} + d_{a2}}{2}$
端面模数			公厘	m_s	$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta}$
沿分度圓的端面节距			公厘	t_s	$t_s = \frac{t_n}{\cos \beta} = \frac{m_n \cdot \pi}{\cos \beta}$

續表2

在分度圓上的齒傾斜角	公厘	β	$\cos\beta = \frac{m_n \cdot z}{d_a} = \frac{m_n \cdot z}{D_e - 2m_n}$
齒的螺旋綫導程	公厘	S_p	$S_p = \frac{m_n \cdot \pi \cdot z}{\sin\beta}$
齒數	公厘	Z	$Z = \frac{d_a \cdot \cos\beta}{m_n}$
在端面上沿分度圓弧的齒厚	公厘	S_s	$S_s = \frac{ts}{2} = \frac{m_n \cdot \pi}{2 \cos\beta}$
基圓半徑	公厘	r_o	$r_o = \frac{d_a \cdot \cos 2\alpha^\circ}{2}$
基節	公厘	t_o	$t_o = m_n \cdot \pi \cos 2\alpha^\circ$