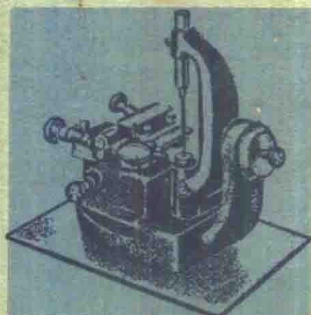


馬爾科夫 著

圓柱齒輪測量法



機械工業出版社

圓柱齒輪測量法

馬爾科夫著

馮子玉 譯
范學震



機械工業出版社

1956

出版者的話

本書介紹圓柱齒輪測量的方法與量具。其中分別介紹圓柱齒輪嚙合的基本概念，計算齒輪各部分及其誤差的公式與定額，介紹齒輪複合檢查的方法與量具、齒輪各部分分別檢查的具體方法等。此外，除對量具的構造及其使用方法作了敘述外，還介紹了量具量儀本身檢查的方法。

齒輪的製造與檢查是目前機器製造工廠存在的主要問題之一。介紹蘇聯在齒輪檢查方面的先進經驗，對上述問題的解決是有指導性的幫助的。

本書的讀者對象是機器製造工廠技術檢查科及實驗室的工作人員。

蘇聯 A. Л. Марков 著 ‘Измерение цилиндрических зубчатых колес’ (Машгиз 1953 年第一版)。

* * *

№ (1051

1956 年 4 月第一版 1956 年 4 月第一版第一次印刷

850×1168 $1/32$ 字數 123 千字 印張 $4\frac{7}{8}$ 0,001— 5,000 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號 定價(8) 0.92 元

目 次

原序	5
第一章 關於圓柱齒輪傳動裝置的一般知識	7
1 漸開線及漸開線嚙合的概念	7
2 齒輪的嚙合要素	9
3 漸開線嚙合的性質	12
4 修正齒輪	17
第二章 圓柱齒輪的公差及其檢驗法	23
5 圓柱齒輪傳動裝置按精度等級的分類	23
6 公差及偏差的術語和代號；圓柱齒輪嚙合的公差及偏差規範	25
7 切銑齒輪不精確的來源	43
8 齒輪檢驗法	47
第三章 保證固定傳動比的齒輪傳動裝置的要素之檢驗法 及檢驗工具	51
9 基本檢驗法	51
10 保證固定傳動比的齒輪傳動裝置的要素之代換檢驗法	99
第四章 保證構成嚙合側隙之各要素的檢驗法及 檢驗工具	135
11 保證構成嚙合側隙之齒輪傳動裝置的要素之基本檢驗法	135
12 保證構成嚙合側隙之齒輪傳動裝置要素的代換檢驗法	143
參考文獻	156

原 序

社會主義工業的重要任務之一便是不斷地提高產品的質量。蘇聯共產黨第十九次代表大會關於1951~1955年蘇聯發展第五個五年計劃的指示中規定：「保證在工業的各個部門中進一步大大提高產品質量」……「堅決採用適合現代要求的國家標準」。

爲了完成這些任務，第五個五年計劃規定着大大增加適合於現代要求的測量工具和測量儀器的產量。

在有效地完成蘇聯共產黨和蘇聯政府指示的同時，我們的機器製造業獲得了顯著的成績。

僅僅在最近三年之中，就創造了將近一千六百種新型機器、儀器和機械裝置。大大地擴大了機器製造業的尺寸測量工具的產量，其中也包括着齒輪檢驗的測量工具和測量儀器，大家都知道，它們是所有現代化機器和機械裝置中不可缺少的一部分。

在最近幾年裏，我們的工具製造業，在創造新的和現代化的齒輪測量儀器方面也獲得了巨大的成就。這些儀器主要是用來檢驗圓柱齒輪的。

工具製造業最近的任務是掌握檢驗圓錐齒輪和蝸輪傳動的儀器，以及檢驗過程的自動化。這一領域內已經在進行着這些工作。例如：創造圓柱齒輪雙齒形檢驗的半自動儀器，計量中心距的極限偏差和齒輪每轉中中心距的變化，均可在該儀器上自動的檢驗。在半自動儀器上具有傳送器和對檢驗齒輪適用性的燈光信號裝置。

目前工具製造工業生產着三十餘種檢驗圓柱齒輪各種要素的各式各樣典型尺寸的儀器。成批地生產着新的固定式的儀器，他們擴大了齒輪檢驗的範圍，也提高了檢驗的精度。

截至目前爲止，在現有書籍中，說明齒輪檢驗的工具是十分不足的，同時在多種情況下它們又是說明書的資料，因之，目前能够

詳細地並以通俗的方式說明這種問題的書籍，對於機器製造廠測量實驗室的工作者們和技術檢驗科的工作者們便成為非常必要的了。

本書中收集了關於工業部門內最常用的圓柱齒輪（主要是中等模數的齒輪）測量工具的所有必要的知識。

本書的材料，在各個檢驗方法和檢驗工具編寫的時候均以用途、構造、儀器的工作方法和儀器本身的檢驗等順序排列。

根據輪齒嚙合的主要使用要求，將測量他們使用的工具和方法按專門用途分為兩組，即：

1. 固定傳動比的齒輪傳動的檢驗方法和工具；
2. 保證構成嚙合側隙之要素的測量方法和工具。

根據 ГОСТ 1643-46 中所載分為基本規範和輔助規範，每一組儀器又分成基本檢驗工具和代換檢驗工具。

阿·馬爾科夫

第一章 關於圓柱齒輪傳動裝置的一般知識

1 漸開線及漸開線嚙合的概念

由裝於機器或複合機械軸上之相互配合的齒輪偶所構成，以嚙合的方法將迴轉運動自一根軸傳於另一根軸所用的機構，也就是利用齒輪齒形的相互作用，將迴轉運動自一根軸傳於另一根軸的機構稱為齒輪傳動裝置。根據軸在機器上的相互位置，可能有平行的、相交的或空間交錯的；因此，爲了將運動由一根軸傳遞至另一根軸，可採用圓柱齒輪、圓錐齒輪、蝸輪及其他傳動裝置。

圓柱齒輪傳動裝置用來在各平行軸間傳遞迴轉運動，該裝置爲直齒圓柱齒輪、斜齒圓柱齒輪或曲線形齒圓柱齒輪。

在機械製造中齒形外形所應用的曲線稱為漸開線，與此相適應的齒輪嚙合謂之漸開線嚙合。

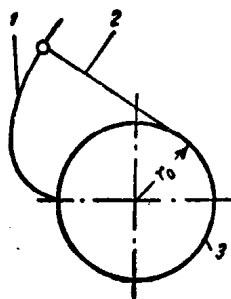


圖1 漸開線的作法。

設取一半徑爲 r_0 的圓盤(圖1)，並於該圓盤3的圓周上捲繞線2，這樣即可得到漸開線。如果於該線的自由端結成一個套子，並插入一枝削尖的鉛筆，那麼將拉緊的線2自圓盤上解開來的時候，鉛筆便描繪出一條曲線1，這就是漸開線。因爲我們在作漸開線的時候，好像把圓展開——變圓周爲直線，那麼漸開線便是一半徑一定的圓的展開線。顯然，漸開線的外形(曲率)將根據獲得漸開線之展開圓的半徑而變化。當圓半徑小時，所得到的漸開線將極爲彎曲，但在半徑等於無限大時，漸開線將變成一條直線。

無滑動的繞於圓周上的直線2(牽緊的細線)稱爲母線，而被

直線捲繞的圓稱為基圓。如果在我們用來作漸開線的細線上結成許多結子，其距離彼此相等，那麼將捲繞在圓盤上的細線自圓盤上解開來的時候，每一個結子將描繪出一條漸開線（圖 2）。用這種方法描出的漸開線將具有同樣的外形，並且可看作是輪齒的一面，其另一面將與第一面對稱的分佈。

顯然，沿牽緊的細線量測之相隣二漸開線間的距離，即沿與基圓相切之直線量測之距離將經常保持不變，並等於該圓周上相隣二漸開線原點間的弧長。這一距離稱為基圓齒距，以 t_0 表示。

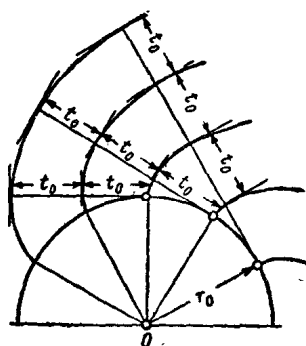


圖 2 漸開線系。

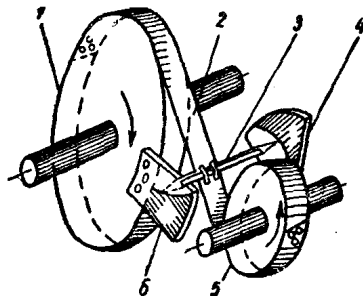


圖 3 描繪兩個相互配合的漸開線的例子。

爲了設想兩個相互配合齒輪的輪齒如何相互作用，即怎樣進行嚙合，我們取兩個圓盤（其半徑各爲 r_{01} 和 r_{02} ，圖 3），將它們分別裝在二平行軸上並繫一張緊的皮帶 2。如在皮帶上緊繫一鉛筆 3，其尖端與釘在圓盤上的薄板 4 和 6 接觸，當其中一個圓盤等速轉動時，那麼鉛筆將在每一塊薄板上分別描繪出一條漸開線。如果將薄板的陰影部分去掉，即把皮帶取下後將陰影的部分精確的沿漸開線切去，把所得之曲線凸出部分沿漸開線的截形嚙合，那麼在圓盤 1 轉動的時候，固定在圓盤上的漸開線凸出部分將推壓圓盤 5 上的漸開線凸出部分並以此使圓盤 5 轉動。

爲了使二圓盤變成齒輪，就必須沿每一個圓盤的圓周均勻地配置兩面都具有漸開線截形的薄板。

圖 4 為兩個以漸開線齒形相互配合的齒輪。其中 cP 即是捲繞在半徑為 r_{o2} 圓盤上之細線的一部分，漸開線 1 就是用該細線描出的曲線。完全一樣， Pd 是繞於半徑為 r_{o1} 圓盤上之細線的一部分，漸開線 2 也是用它描出的曲線。我們將各該線置於 MN 直線上，而把它們聯成一條整個的線段 cd 。這條直線所佔據的這一位置，無疑的就是圖 3 中皮帶 2 的位置。直線 MN 是半徑為 r_{o1} 和 r_{o2} 圓的公切線，又因為各該圓為基圓，那麼公切線 MN 同時又是二漸開線的母線。

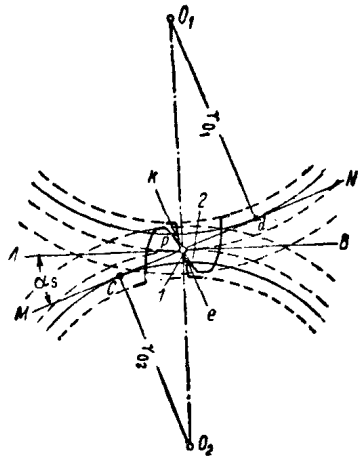


圖 4 漸開線的相互作用。

當齒輪運轉時，相配合漸開線齒形的接觸點在各該齒輪基圓的公切線上移動，因此，這條線稱為嚙合線。所以相互配合齒形的接觸點所沿着移動的、切於基圓的線謂之嚙合線。

通過切點 P 並垂直於漸開線切線 ke 的直線稱為法線，所以嚙合線 MN 又是相配合漸開線的公法線。

2 齒輪的嚙合要素

連接兩個相配合齒輪的中心（軸心線） O_1 及 O_2 （圖 4）的直線稱為中心連線。

中心連線與二相配合齒形的公法線的交點稱為節點 P 。

以相配合齒輪偶的圓心為圓心並通過節點的外切圓稱為母圓。

當齒輪偶運轉時，其母圓相互滾動而無滑動。

嚙合線與相配合齒輪偶的母圓切線間的夾角 α_s 稱為嚙合角。

在一個單獨取出的齒輪中，當與它配成一對的齒輪及中心距

齒溝的界限圓稱為齒溝圓。該圓直徑以 D_i 表示，半徑以 R_i 表示。齒頂圓半徑與齒溝圓半徑的差數構成齒高 h 。

節圓將齒高 h 分為二不相等的部分，位於齒頂圓和節圓之間的一部分稱為齒頂高 (h')，位於節圓和齒溝圓之間的另一部分謂之齒根高 (h'')。

被齒形兩側所限制的節圓弧長謂之齒厚 (S_θ)。

在等於齒厚 S_θ 的節圓弧所對的弦上測得的齒厚稱為弦齒厚 $S_{x\theta}$ 。

節圓上被相隣二輪齒的齒形側面所限制的弧長謂之齒溝寬 (S_θ)。

相隣二輪齒的同側齒形間節圓的弧長謂之嚙合齒距 l 。

嚙合齒距與基圓齒距之間有下列關係：

$$l_0 = l \cos \alpha_s,$$

也就是說，齒輪的基圓齒距等於嚙合齒距乘以嚙合角的餘弦。

基圓齒距 l_0 及嚙合齒距 l 之間的這種關係，僅當漸開線齒形正確的條件下方才正確，各該齒距在此漸開線間的二不同方位上測出。

在相隣二輪齒的同側齒形間，沿與節圓同心的任意圓弧量出的距離謂之圓周齒距。

圓周齒距沿靠近節圓圓弧所對的弦測量之。

嚙合齒距 l 是計算齒輪其他各參數的基本參數。

如齒輪的齒數為 z ，那麼 lz 的乘積給出了節圓圓周的長度，即 $d_\theta \pi$ ，其中 d_θ 為節圓直徑； $\pi = 3.141$ 。

所以
$$d_\theta = z \frac{l}{\pi}.$$

齒距 l 與圓周率 π 之比稱為嚙合模數 m ，其比值通常取公厘的整數。

因此 $m = \frac{l}{\pi}$ 。因為 $d_\theta = zm$ ，所以 $m = \frac{d_\theta}{z}$ 。模數像齒距 l 一樣以公厘表示。

模數制無論是對齒輪的計算或者是製造均大大地簡化了。在

工業上各種齒輪所採用的模數列是標準的(OCT 1597)。

利用模數可以表示齒輪所有的幾何尺寸。對於標準齒高之非修正齒輪,在各個要素之間有下列關係:

$$1) \quad h' = m \approx 0.3t,$$

式中 h' ——齒頂高; m ——模數; t ——嚙合齒距;

$$2) \quad h'' = 1.25m \approx 0.4t,$$

式中 h'' ——齒根高;

$$3) \quad h = 2.25m = 0.7t,$$

式中 h ——齒高;

$$4) \quad S_o = \frac{\pi m}{2} = 0.5t,$$

式中 S_o ——齒厚;

$$5) \quad D_e = d_o + 2h' = zm + 2m = m(z + 2),$$

式中 D_e ——齒頂圓直徑;

d_o ——節圓直徑;

z ——齒輪輪齒數。

在現代的機械製造中,除標準嚙合外,各種修正齒輪以及短齒齒輪都獲得了廣泛的應用。短齒齒輪的齒頂高和齒根高,以及齒頂圓直徑和齒溝圓直徑,利用和模數 m 另外的比例關係決定。其中對於短齒 $h' = 0.8m$; $h'' = m$; $h = 1.8m$ 。

3 漸開線嚙合的性質

漸開線嚙合具有下列優點:

1) 同一切削工具可用以切銑同一模數 m 和同一嚙合角 α_s 的各種不同尺寸的齒輪,由是模數相同而尺寸不同的齒輪相互配合的可能性與其齒數之多少沒有關係。

2) 當配合的齒輪偶中心距變更時,其傳動比[⊙]仍保持不變。

⊙ 齒輪偶的傳動比是相配合齒輪間的角速比(一般是主動齒輪比從動齒輪);傳動比 i 一大的角速度比小的角速度,即經常是 $i \geq 1$ 。1951年出版的[蘇聯機器製造百科全書]第三卷,第621頁。

當齒輪運轉時，齒輪間的嚙合在任何時刻間均不能中斷，也就是說，任一對輪齒在終止嚙合之前，其他另一對輪齒便已開始嚙合。

當一對相配合的輪齒在 A 點終止嚙合時（圖 6），而另一對輪

齒已經在 B 點開始嚙合，這樣是容許的。

爲了保證傳動比在任何時候均固定不變，必須使嚙合線的工作部分（即二相配合齒輪齒頂圓間的嚙合線 AB 部分）與基圓齒距之比大於 1。這一比值稱爲交接係數，或叫作嚙合持續性，用 ε 表示。 ε 的大小同樣也可以用嚙合弧（齒形在

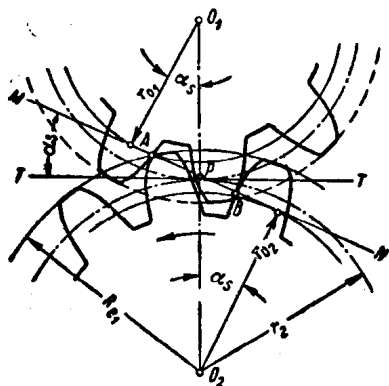


圖 6 漸開線嚙合。

實際嚙合時間內在母圓上所經過的路程）與嚙合齒距之比計算。

爲使齒輪偶均勻運轉起見——齒輪堅固和耐久——係數 ε 最好大於 1，否則一對輪齒接觸的終止便會較下一對輪齒的嚙合在先，結果從動齒輪的運動就會發生間斷。

二相配合齒輪的標準中心距少許變更而不損及傳動比值的可能性，正如以前所指出的，它是漸開線嚙合較其他形式嚙合的優點之一[●]。中心距的增加造成齒輪母圓半徑的改變，因爲這些半徑是根據二基圓的公切線與該二圓中心連線的交點決定的。此外，中心距 A 的改變將會影響到嚙合角 α_s 的大小，而嚙合角 α_s 的值將隨中心距的增加按下列關係改變：

$$\cos \alpha_s = \frac{r_{01} + r_{02}}{A},$$

式中 A ——傳動裝置的中心距；

● 雖然標準中心距的改變並不影響傳動比，但因 ε 由於嚙合線工作部分的減短而減小，故傳動勻調性將會變壞。

側隙 C_n 依中心距而定，該側隙的大小，對於以較大角速度運轉的齒輪是非常重要的。

r_{01} 及 r_{02} ——相配合齒輪偶的基圓半徑。

在該公式中以 $\frac{mz_1}{2} \cos \alpha_0$ 代 r_{01} ，而以 $\frac{mz_2}{2} \cos \alpha_0$ 代 r_{02} ，則得：

$$A = \frac{m(z_1 + z_2) \cos \alpha_0}{2 \cos \alpha_s},$$

式中 α_0 ——原始齒形的齒形角；

α_s ——相配合齒輪偶的嚙合角；

z_1 及 z_2 ——相配合的齒輪偶的齒數：大齒輪和小齒輪的齒數。

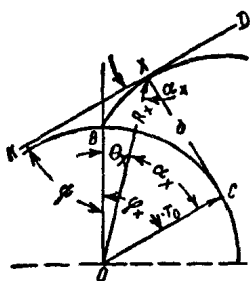


圖 7 漸開線齒形的幾何圖形。

在 $\alpha_s = \alpha_0$ 的情況下，上述公式對標準的非修正的直齒齒輪為下列形式：

$$A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}.$$

漸開線的曲率半徑，正如以前所指出的，它是一個變數。

在漸開線的任意一點上，例如在 X 點上（圖 7），其曲率半徑等於母線自其與基圓之切點 C 至 X 點的長度。該母線上 b 線段的長度，便是 XOC 直角三角形的直角邊，等於：

$$b = \sqrt{R_x^2 - r_0^2},$$

式中 R_x ——向量半徑（動徑）的長度（即基圓圓心與漸開線上 X 點的聯線的長度）；

r_0 ——基圓半徑。

由於母線上 XC 線段的長度為基圓上角 θ_x 和 α_x 所對的弧的展開長度，所以

$$b = r_0(\theta_x + \alpha_x).$$

等於角 $(\theta_x + \alpha_x)$ 之和之圓心角 φ_x 謂之漸開線上 X 點的展開角。為了獲得至 X 點的一段漸開線，母線 CX 就應旋轉這樣一個角度。

母線線段 b 的長度也等於：

$$b = r_0 \operatorname{tg} \alpha_x,$$

所以

$$r_0(\theta_x + \alpha_x) = r_0 \operatorname{tg} \alpha_x,$$

由此得

$$\varphi_x = \theta_x + \alpha_x = \text{tg } \alpha_x,$$

$$\theta_x = \text{tg } \alpha_x - \alpha_x,$$

也就是說，自原點至任意點 X 的一段漸開線所包含之圓心角 θ_x 的大小，利用角 α_x 的正切和以弧度表示的角 α_x 之差計算。

角 θ_x 之大小為角 α_x 的函數。該函數謂之漸開線函數^①，以 $\text{inv } \alpha_x$ 表示。

$$\text{由是} \quad \theta_x = \text{inv } \alpha_x。$$

$$\text{因為 } b = r_0 \varphi_x = r_0 \text{tg } \alpha_x, \quad \text{則 } \varphi_x = \text{tg } \alpha_x。$$

此外 R_x 為三角形 OXC 的斜邊故等於：

$$R_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x}。$$

該公式給出了計算漸開線上任意一點 X 的向量半徑的可能性。

假若相配合的一對齒輪之一的基圓半徑 r_0 無限制的增大，那麼齒輪的直徑在嚙合角不改變的情況下將隨 r_0 也相應的增大。當 $r_0 = \infty$ 時母圓便變成一條直線，因而，齒輪即變為兩側面為直線形頂角等於 $2\alpha_s$ 的齒條。

這一規則可以確定齒輪要素的形狀和尺寸，同樣也可以確定齒條式切削工具要素的形狀和尺寸。

正確、緊密而又無側隙^②地與齒輪（該齒輪的齒厚沒有減小——用以得到側隙）嚙合的齒條之齒形稱為原始齒形。

齒條的原始外形用來確定齒輪輪齒的形狀和尺寸，以及切削輪齒所用工具的齒的形狀和尺寸。

按 ГОСТ 3058-45 之規定，原始外形為一直線齒形的齒條，其主要規範載於圖 8 上。

- ① 所研究的該 X 點的向量半徑 R_x 與通過該 X 點的漸開線的切線 KD 間之夾角 α_x 稱為壓力角。此壓力角等於向量半徑和在此情況下垂直於母線的基圓半徑所構成的夾角。
- ② 1 弧度為等於半徑長度之圓弧所對的圓心角，該半徑便是對此圓弧的半徑。
1 弧度等於 $\frac{360^\circ}{2\pi} = 57^\circ 17' 45''$ 。
- ③ inv —漸開線的。
- ④ 按緊密嚙合規定徑向間隙。

當齒條式切削工具的斷面為標準齒條時謂之工具齒條。當齒輪與齒條嚙合時，齒條的齒進入齒輪齒溝的深度等於 $2f_0m + C$ 。 f_0 的值謂之齒高係數一般等於：

$$f_0 = \frac{h'_d}{m},$$

式中 $h'_d = 0.5(D_e - d_d)$ —— 輪齒在齒頂圓和節圓之間的高度。

按 ГOCT 3058-45 之規定取 f_0 等於 1，僅在特殊的情況下容許取 $f_0 = 0.8$ 。

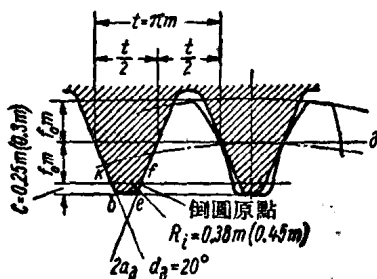


圖 8 齒條的原始齒形(按ГOCT 3058-45之規定)。括號中之 C 和 R_f 的尺寸係 $f_0 = 0.8$ 的短齒的尺寸。

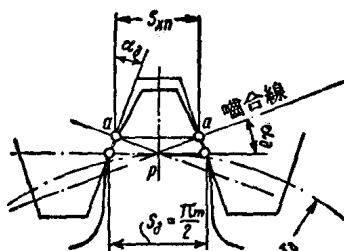


圖 9 固定弦的形成。

當齒輪與齒條嚙合時，嚙合角 α_s 等於齒條原始齒形之齒形角 α_d ，而與齒條至齒輪中心的距離無關。可是，嚙合角 α_s 就像以前所指出的，隨相配合的齒輪偶中心距的改變而改變。嚙合角 α_s 也像母圓一樣僅當一對齒輪嚙合時才能確定。在研究一單個齒輪時，只能稱為齒形角。當齒形角等於 20° 時以 α_d 表示，在其他數值的情況下以 α_0 表示。

當齒輪與齒條相嚙合時，因為嚙合線為漸開線的法線，所以它便垂直於齒條的齒側面(圖 9)，那麼當齒輪與齒條無間隙的嚙合時，齒形的接觸點 aa 應位於嚙合線上，而同一模數的齒輪的弦長 aa 固定不變，與其齒數之多少無關，因此，該弦即稱為固定弦。

在齒形與固定弦交點 aa 處，切於齒形二平面所夾之角等於二

● 固定弦除與模數有關係外，還與嚙合角及修正係數有關係。