

小模数齒輪的 公差與測量

楊貴時 李良鴻 合編
李承年 于光舒



國防工業出版社

小模数齒輪的公差與測量

楊貴時 李良鴻
李承年 于光舒 合編



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书簡要地闡述了小模数齒輪的基本知識、測量要素的相互关系和新的公差标准，詳細地介紹了小模数圓柱齒輪、圓錐齒輪、蝸杆及蝸輪等的測量原理、測量方法和測量儀器。書中對各種測量方法的優缺點作了比較，並敘述了在不同條件下如何選擇測量要素和測量方法，列舉了必要的計算公式和一些圖表。

本書可供儀表製造業中從事小模數齒輪和齒輪刀具的設計、工藝以及檢驗人員參考。也可供有關大專院校師生閱讀。

小模数齒輪的公差与測量

楊貴時 李良鴻 合編
李承年 于光舒

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074号

國防工業出版社印刷廠印裝 內部發行

850×1168¹/₃₂ 印張12¹/₈ 311千字

1965年9月第一版 1965年9月第一次印刷 印數：0,001—3,000冊

統一書號：N15034·882 定價：(科七)2.00元

序 言

近年来随着精密机械和精密仪表技术的发展，需要的小模数齿輪越来越多，其精度要求也日益提高。目前所制造的齿輪，其精度还不能滿足于发展的需要，因而，阻碍了进一步提高产品的质量。几年来的实践經驗証明，要提高齿輪的质量，必須相应地解决齿輪的檢驗問題。

鉴于国内目前还缺乏介紹有关小模数齿輪測量方面的較为系統完整的資料，本书在参考了国内外一些先进工厂和科学研究单位的最新資料的基础上，并結合工作中积累的点滴經驗編写而成。本书共分四章：第一章是基础知識介紹，后面三章分別敘述的是圓柱齿輪、圓錐齿輪及蝸輪副的公差和測量，其中包括斜齿齿輪、內齿輪及齿条等。书中所列的公差标准，暫以苏联 1959 年至 1961 年正式頒布的国家标准为主（因我国国家标准尚在草拟中）。

在編写过程中，为了簡化工作中的复杂計算，选用了很多图表。有关理論部分只作簡要的敘述，以保証讀者能正确地理解所闡述的基本知識。书中列举的公式，通常不贅述其来源与証明，为了便于正确地应用这些公式，都一一举例說明。

我們編写的这本书，希望能对工厂解决当前小模数齿輪檢驗方面有所帮助，也希望在今后工作中，共同探討。由于時間仓促且限于水平，謬誤之处在所难免，請同行們和专家們不吝指正。

編者

一九六四年七月

目 录

序言	3
齿輪分类表	7
书中名詞及其代号	8

第一章 小模数齿輪传动基本知識

第一节 齿輪嚙合的基本概念	13
1. 齿輪嚙合的基本定律	13
2. 漸开綫函数及漸开綫齿輪正确嚙合的条件	14
3. 嚙合要素的几何計算	16
4. 圆柱齿輪傳动基本要素的計算	27
5. 圓錐齿輪傳动基本要素的計算	31
6. 蝸輪副傳动基本要素的計算	33
7. 齿条傳动基本要素的計算	34
8. 配制齿輪主要要素的确定	35
第二节 齿輪傳动的基本要求	39
1. 仪表制造对齿輪傳动的使用要求	39
2. 齿輪傳动的精度指标	41
第三节 小模数齿輪檢驗方法及工具的选择	63
1. 小模数齿輪檢驗方法及工具选择的一般原則	63
2. 小模数齿輪檢驗方法允許精度的确定	65

第二章 小模数圆柱齿輪公差及測量

第一节 小模数圆柱齿輪傳动公差	67
1. 概况	67
2. 測量要素的基本定义和代号	68
3. 公差标准	73
4. 齿輪傳动公差新标准的应用	75

第二节 小模数渐开线圆柱齿轮的测量 93

1. 毛坯公差与测量 96
2. 综合测量 100
3. 单个要素的测量 140

第三节 内齿轮的测量 240

1. 内齿轮测量要素的选择 240
2. 各要素的测量 240

第三章 小模数圆锥齿轮的公差与测量

第一节 小模数圆锥齿轮的公差 252

第二节 小模数圆锥齿轮的测量 269

1. 概况 269
2. 毛坯的公差与测量 271
3. 综合测量 279
4. 单个要素的测量 286

第四章 小模数蜗杆传动的公差与测量

第一节 小模数蜗杆传动及齿条的公差 317

1. 小模数蜗杆传动的公差 317
2. 小模数齿条的公差 342

第二节 小模数蜗杆的测量 343

1. 概况 343
2. 蜗杆毛坯的测量 345
3. 蜗杆各要素的测量 345

第三节 齿条的测量 369

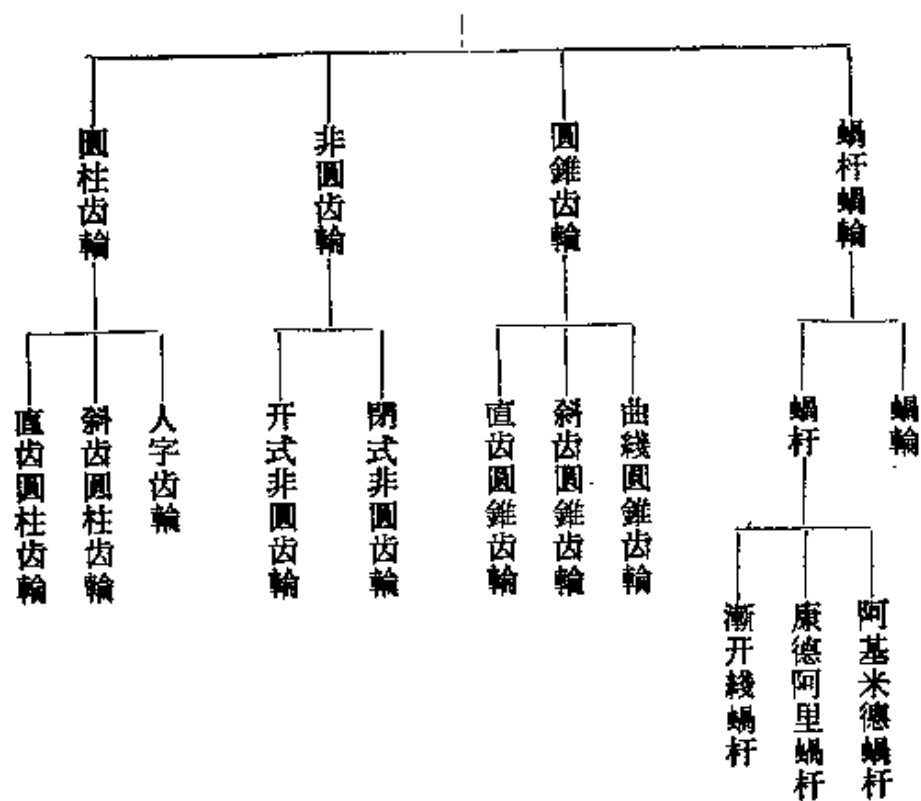
1. 齿条齿距的测量 370
2. 齿槽跳动的测量 372
3. 齿条齿形的测量 373
4. 齿条齿向的测量 374
5. 齿条齿厚的测量 374

第四节 小模数蜗轮的测量 374

1. 概况.....	374
2. 毛坯测量.....	377
3. 综合测量.....	378
4. 单个要素的测量.....	380
主要参考文献	388

齒輪分類表

齒 輪

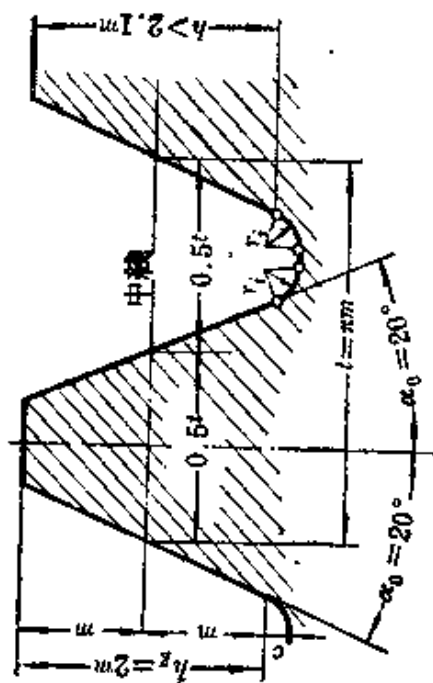
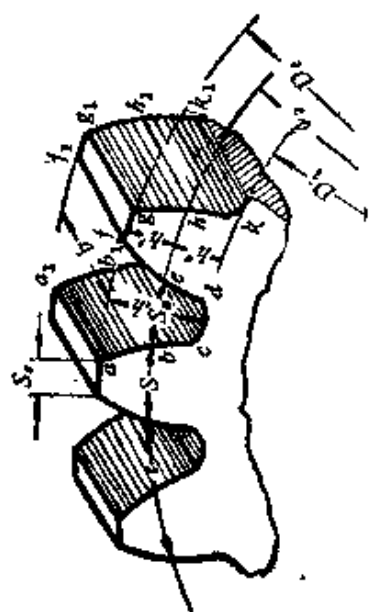
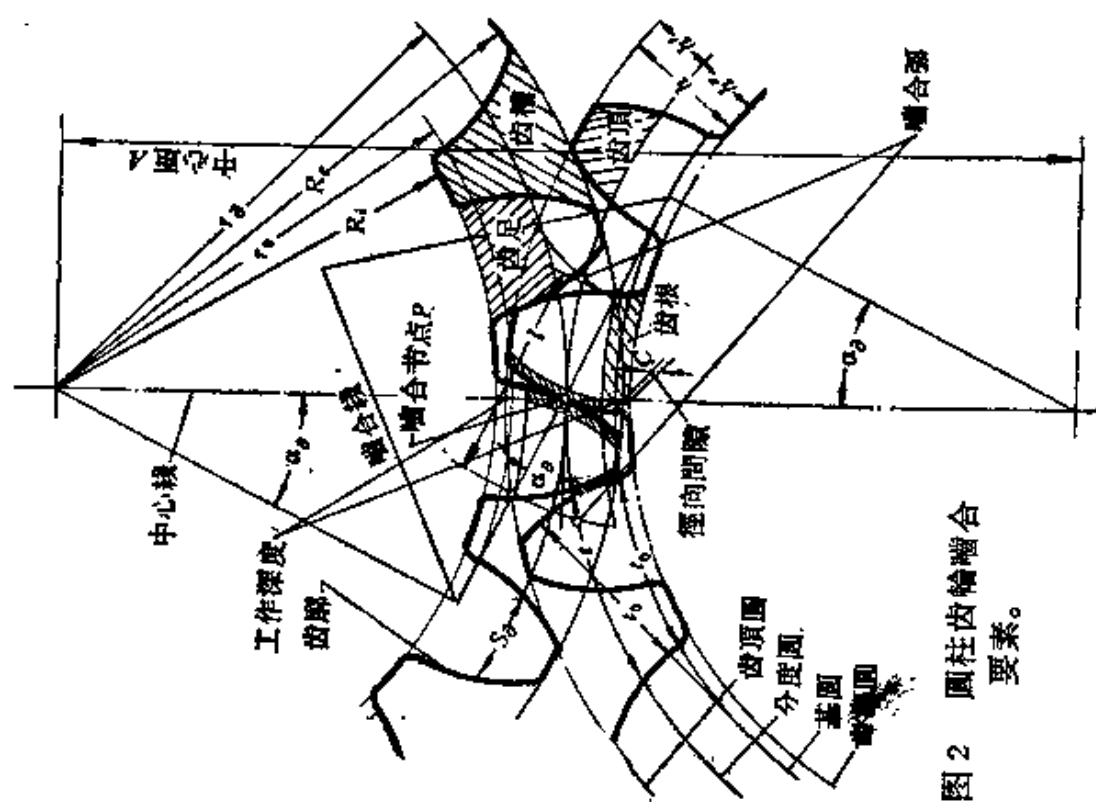


书中名詞及其代号

序号	名 称	代 号	定 义
1	模数	m	齿輪每个齿在分度圆直径 d_θ 上所佔的长度, $m = \frac{d_\theta}{Z}$, Z ——齿数
	端面模数	m_s (或 m)	
	法向模数	m_n	
	軸向模数	m_c	
2	径节(英制)	P	每吋分度圆上所包含的齿数 $P = \frac{Z}{d_\theta}$ $= \frac{25.4}{m}$
3	传动比	i_{12} 或 i_{21}	两共軛齿輪角速度 ω_1, ω_2 (或轉数 n_1, n_2) 之比
	传动数	i	主动軸轉数与从动軸轉数之比
4	端面	SS	齿輪的軸向投影面(錐齿輪为背錐面)
	法向断面	NN	垂直齿向的断面
	軸向断面	OO	通过軸綫的断面
	徑向断面	mm	通过直径方向的断面
	中間断面	CC	通过蜗輪中心并垂直軸綫的断面
5	齿高	h	齿的頂圓与根圓之間的徑向距离
	齿頂高	h'	齿的頂圓与分度圓之間的徑向距离
	齿根高	h''	齿的根圓与分度圓之間的徑向距离
6	徑向間隙	C	两嚙合齿輪中, 其一齿頂圓与另一齿根圓之間的徑向距离
7	側隙	C_n	两非工作齿面間的法向間隙
8	圓周齿距(周节)	t_s	相邻两同名齿面在分度圓上切割的弧长, $t = \pi \cdot m$
	法向齿距	t_n	法向断面上的圓周齿距
	軸向齿距	t_c	軸向断面上, 两同名齿面在分度圓柱母綫上所切割的直綫距离
9	基圓齿距(基节)	t_0	相邻两輪齿同名齿面間的基圓圓周长, 等于它們在公法綫上所切割的距离

序 号	名 称	代 号	定 义
10	齿厚	s_a	齿輪齿廓两异名齿面相对点在分度圓上的弧长
	齿槽寬	s_B	齿槽相邻两异名齿面在分度圓上所切的弧长
11	齿寬	b	輪齿寬度
12	嚙合长度	l	两共軛輪齿实际接触的起点到終点的距离
13	嚙合节点	P	两共軛齿輪相对旋轉的瞬时中心
14	嚙合系数	ε	嚙合弧与节圓齿距之比
15	嚙合角	α_p	嚙合綫和中心綫垂綫間的夹角
	法向嚙合角	α_{pn}	
	端面嚙合角	α_{pt}	
16	压力角	α_x	齿形任意一点 x 的切綫与向量之間的夹角
	分度圓压力角	α_d	
	預圓压力角	α_c	
	根圓压力角	α_i	
17	齿形角	α_0	齿条齿側直綫与中綫法向断面的夹角
18	漸开角	θ_x	从漸开綫起点到动点 x 之两向量半径之間的夹角
19	展开角	φ_x	齿形上动点 x 的发生綫滾动的弧长所对应的中心角
20	齿距角	γ	圓周齿距对应的中心角
21	中心包角	2δ	蝸輪兩側棱面到蝸杆中心引綫的夹角
22	基圓螺旋升角	ω_0	基圓上螺旋綫的切向与徑向直綫所夹的角
	分度圓螺旋升角	ω_d	分度圓上螺旋綫的切向与徑向直綫所夹的角
23	基圓螺旋傾斜角	β_0	基圓螺旋綫的切綫与軸綫的夹角
	分度圓螺旋傾斜角	β_d	分度圓螺旋綫的切綫与軸綫的夹角

序 号	名 称	代 号	定 义
24	軸綫交角	φ	两节圓軸綫在軸向断面上的交角
25	軸綫夹角	θ	两节圓軸綫投影在軸向断面上的夹角
26	分度圓錐角	ψ_d	軸綫与分度圓錐母綫的夹角
	頂圓錐角	ψ_c	軸綫与頂圓錐母綫的夹角
	根圓錐角	ψ_f	軸綫与根圓錐母綫的夹角
27	背錐角	ψ	垂直于分度圓錐母綫的圓錐錐面与軸綫的夹角
28	齿頂角	γ_r	軸向断面上, 分度圓錐母綫与頂圓錐母綫的夹角
	齿根角	γ_f	軸向断面上, 分度圓錐母綫与根圓錐母綫的夹角
29	頂圓直徑	D_a	連接齿頂面的圓
	根圓直徑	D_f	連接齿根面的圓
	分度圓直徑	d_d	周节(或模数)及压力角等于原始齿条齿距(或模数)及齿形角的圓
30	基圓半徑	r_0	发生綫沿其滾动能生成漸开綫的圓
31	向量半徑	r_v	沿漸开綫移动的一点 * 与基圓中心的距离
	曲率半徑	ρ_v	
32	公法綫长度	l	两异名齿面之平行切面的垂直距离
33	螺旋綫的导程	H	螺旋綫旋轉一周后沿軸綫移动的距离
34	分度圓錐长	L_d	分度圓錐頂点至端点的母綫长度
35	安装距	K	分度圓錐頂点至支承端面的距离
	支承端距	L_c	支承面到頂圓錐大端徑向平面的距离
	錐頂端距	L_k	分度圓錐頂点到頂圓錐大端徑向平面的距离
36	中心距	A	两共軛齒輪中心連綫的长度
	度量中心距	a	測量齒輪与被檢驗齒輪紧密嚙合时, 中心連綫的距离



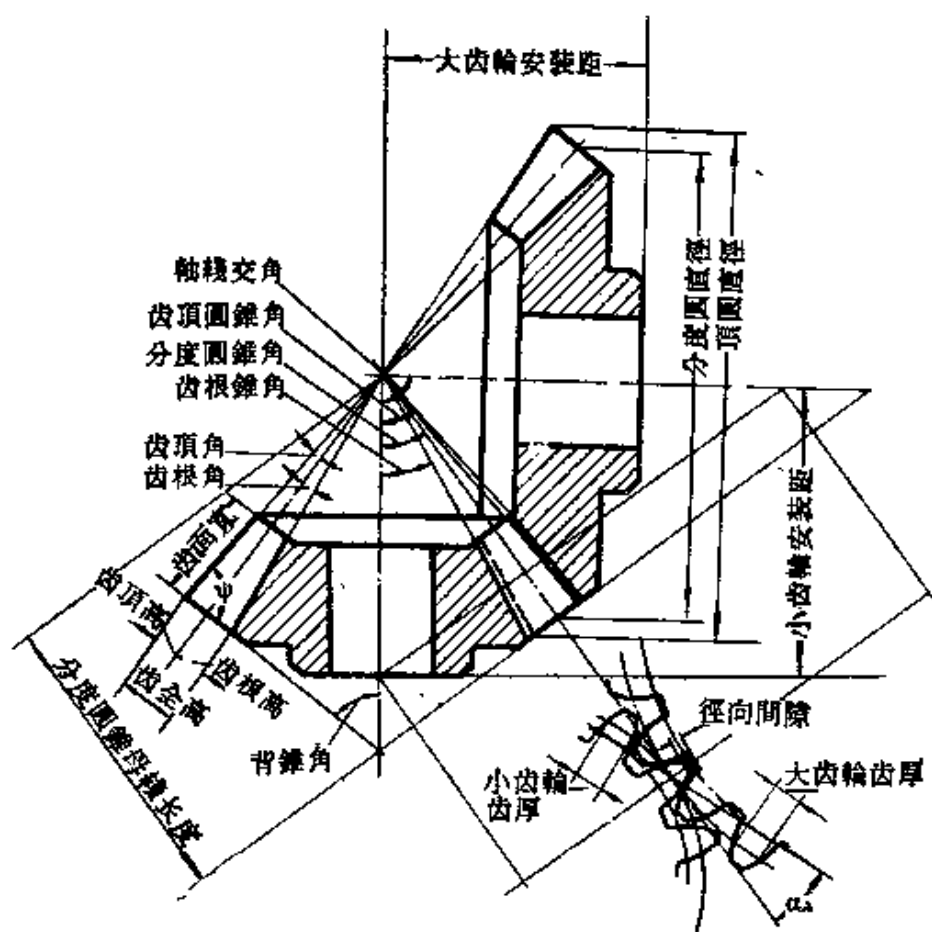


图3 圓錐齒輪嚙合要素。

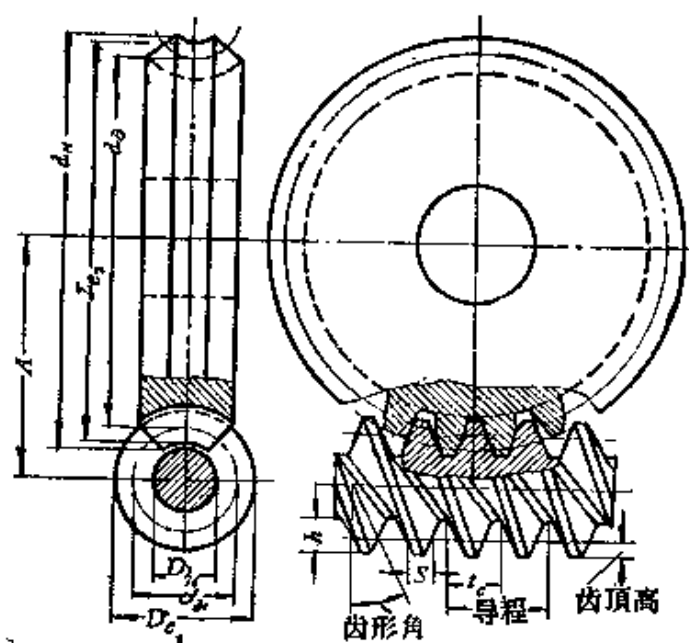


图4 蝸杆蝸輪嚙合要素。

第一章 小模数齿輪传动基本知識

第一节 齿輪啮合的基本概念

1. 齿輪啮合的基本定律

齿輪傳动基本的要求为角速比恒定不变或按一定函数关系变化。如不符合上述要求,对傳遞动力來說,則会产生慣性力,由此可能产生振动和額外的冲击載荷,还可能发生輪齿断裂的危險;而对傳遞运动來說,則会导致傳遞运动不平稳。

齿輪的傳动比,以整周來說,不論齿形的形状如何,都是恒定不变的。即其傳动比 $i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \text{常数}$ 。而每轉中某一瞬时的傳动比則可能改变。要使瞬时傳动比不变,齿輪的齿形必須符合一定的条件。

如图 5 所示,因 $\triangle KV_1V_2 \sim \triangle KO_2Z$, 得:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{KZ}{O_2K},$$

因

$$V_1 = \omega_1 \cdot O_1K,$$

$$V_2 = \omega_2 \cdot O_2K,$$

所以

$$\frac{\omega_1 \cdot O_1K}{\omega_2 \cdot O_2K} = \frac{KZ}{O_2K};$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{KZ}{O_1K}。$$

又因

$$PK \parallel O_2Z, \text{ 即}$$

$$\frac{KZ}{O_1K} = \frac{O_2P}{O_1P},$$

所以

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P} = i_{12}。$$

欲使兩輪的角速比（即傳動比 i_{12} ）恒定不變，則 $\frac{O_2P}{O_1P}$ 應恒定不變，即P點位置不變。

而兩輪的運動等於節圓的滾動：

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_{g2}}{d_{g1}} = \frac{O_2P}{O_1P}。$$

所以，P點為嚙合節點。因此，要得到傳動比不變的齒輪，其齒形必須符合下列條件：不論在任何位置，經過齒形接觸點的公法線必須通過一定點（節點）。此即為齒輪嚙合的基本定律。

凡能符合上述基本定律，且在互相嚙合時不發生干擾的兩齒形，稱為共軛齒形。從理論上說，任何曲線皆可作為齒輪的齒形，然後求出其相應的共軛曲線，作為另一齒輪的齒形。但是，由於製造及互換性上的原因，在工程上應用的齒形，只有漸開線、擺線、簡化曲線等。

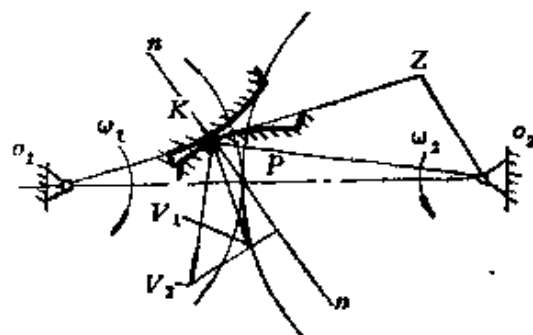


圖5 輪齒的嚙合。

2. 漸開線函數及漸開線齒輪正確嚙合的條件

凡一直線沿一曲線作無滑動的滾動時，直線上任意一點的軌跡稱為該曲線的漸開線。如該曲線為一圓，則所得的漸開線稱為圓的漸開線，該圓叫做基圓，該直線稱為發生線。

對非圓齒輪來說，其齒面曲線是一直線在給定函數的曲線上滾動而得的曲線（即漸開線）。

根據漸開線產生的方法，它有下列幾個特性：

- 1) 發生線的長度等於展開弧的長度（如圖6）。

$$\rho_s = \widehat{AB} = (\alpha_s + \theta_s)r_0。$$

- 2) 漸開線上任意一點的法線必與基圓相切，且愈接近基圓，其圓的漸開線曲率愈大（即曲率半徑愈小）。

3) 如基圓相同, 則漸開綫亦相同; 基圓大, 則漸開綫的曲率小 (漸開綫愈平直)。

4) 基圓以內无漸開綫。

根据漸開綫的特性, 可以列出漸開綫的方程式

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

$$\text{則} \quad \theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x。$$

角 θ_x 称为漸開角, 它是 α_x 的函数, 且随自变数 α_x 而变。在工程上, 漸開綫函数 θ_x 通用 $\operatorname{inv} \alpha$ 表示

$$\operatorname{inv} \alpha = \theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x;$$

$$\text{动徑} \quad R_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x}。$$

上两式为漸開綫的极坐标方程式。若用直角坐标表示, 则为:

$$Y = r_0 [\cos(\alpha_x + \theta_x) + (\alpha_x + \theta_x) \sin(\alpha_x + \theta_x)];$$

$$X = r_0 [\sin(\alpha_x + \theta_x) - (\alpha_x + \theta_x) \cos(\alpha_x + \theta_x)].$$

漸開綫齒輪正确嚙合的条件:

- 1) 两輪分度圓上的模数必須相等;
- 2) 两輪分度圓上的压力角必須相等。

这是因为:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{02}}{r_{01}} = \frac{Z_2}{Z_1},$$

$$r_{02} = \frac{m_2 Z_2}{2} = \cos \alpha_{\theta 2},$$

$$r_{01} = \frac{m_1 Z_1}{2} = \cos \alpha_{\theta 1},$$

所以

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{r_{02}}{r_{01}} = \frac{\frac{m_2 Z_2}{2} \cos \alpha_{\theta 2}}{\frac{m_1 Z_1}{2} \cos \alpha_{\theta 1}};$$

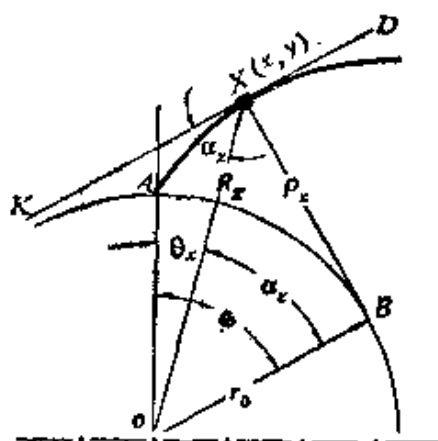


图6 漸開綫。

$$1 = \frac{m_2 \cos \alpha_{\theta 2}}{m_1 \cos \alpha_{\theta 1}};$$

$$m_2 \cos \alpha_{\theta 2} = m_1 \cos \alpha_{\theta 1}。$$

上式表示，如相嚙合的两齒輪能滿足上式的關係，那末，即使是當兩輪的 m 及 α_{θ} 不等時，仍能正確的嚙合，且保持傳動比不變。但分度圓壓力角（原始齒形角 α_0 ）已標準化，即

$$\alpha_{\theta 1} = \alpha_{\theta 2} = \alpha_{\theta} = 20^{\circ}。$$

故兩嚙合齒輪的模數必須相等，即

$$m_2 = m_1 = m。$$

3. 嚙合要素的幾何計算

1) 引用齒數

設計、製造、測量斜齒圓柱齒輪及圓錐齒輪時，需要知道斜齒圓柱齒輪法向斷面上的齒形及圓錐齒輪背錐面上的齒形。為此，首先應計算出與該齒形相當的直齒圓柱齒輪的齒數，即“引用齒數”。

A. 斜齒圓柱齒輪的引用齒數

通過斜齒圓柱齒輪任意一輪齒的 K 點，作該輪齒的法向斷面 nn (如圖 7)，它與分度圓柱的交線為橢圓，其長半徑 a 、短半徑 b 及橢圓 K 點

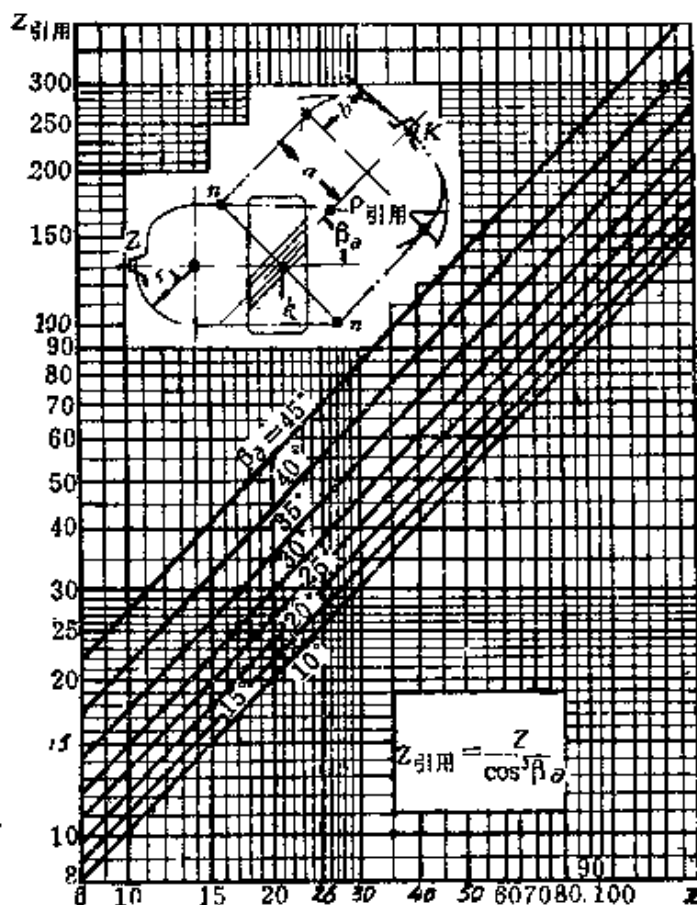


圖 7 斜齒圓柱齒輪的引用齒數。