

漸開線圓柱齒輪

徐 灝 編 著



机械工业出版社

出版者的話

本書全面的有系統的闡述了漸開線圓柱齒輪的銜接幾何計算、強度計算以及齒輪的公差。由於修正齒輪的重要性，且正常齒輪可視為修正齒輪的一種特例，故全書均以修正齒輪來講述。一方面重視理論，另一方面也注意到實用，書中列有很多圖表數據，並舉有計算例題，使讀者不但能掌握理論，並能作實際運算。此外，書中有一章講述齒輪減速箱的構造及計算，因為減速箱是齒輪傳動的標準形式，應用非常廣的緣故。

本書可作為機械工程師關於圓柱齒輪方面的參考書。也可作為高等工業學校機械製造專業的機械原理及機械零件課程，有關圓柱齒輪方面的參考書。

NO. 1055

1956年8月第一版

1956年8月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{2}$ 字數 296 千字 印張 11 $\frac{11}{16}$ 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証出字第 008 號

定價(10)2.20元

漸開線圓柱齒輪

徐灝編著



機械工業出版社

1956

007003

親愛的讀者：

當您讀完這本書後，請盡量地指出本書內容、設計和校對上的錯誤和缺點，以及對我社有關出版工作的意見和要求，以幫助我們改進工作。來信請寄北京東交民巷二十七號本社收（將信封左上角剪開，註明郵資總付字樣，不必貼郵票），並請詳告您的通訊地址和工作職務，以便經常聯繫。

機械工業出版社

統一書號

15033·278

定價 2.20 元

目 次

序	5
採用符号	7

第一篇 圓柱齒輪的銜接幾何計算

第一章 緒 論	9
1-1 齒輪傳動	9
1-2 齒輪的種類	11
1-3 齒輪製造方法概述	15
第二章 漸開綫銜接的基本概念	19
2-1 漸開綫及其方程式	19
2-2 漸開綫的性質	24
2-3 圓柱齒輪各部名称	28
2-4 銜接弧、銜接綫及重合係數	31
2-5 齒廓間的滑動及單位滑動	37
2-6 輪齒的沉切現象及避免沉切的最小齒數	43
2-7 齒厚及輪齒的變尖	52
第三章 直齒圓柱齒輪的銜接幾何計算	55
3-1 基本齒板及正常齒輪	55
3-2 齒輪的修正	58
3-3 修正齒輪沉切的避免	63
3-4 修正齒輪的齒厚和輪齒的變尖	66
3-5 兩漸開綫齒輪的銜接角	71
3-6 兩齒輪的中心距	75
3-7 齒高及齒輪的直徑	82
3-8 其他常用的修正齒制	93
3-9 內接齒輪	101
3-10 直齒圓柱齒輪的銜接幾何計算例題	105
第四章 斜齒圓柱齒輪的銜接幾何計算	117
4-1 斜齒圓柱齒輪概述	117
4-2 斜齒圓柱齒輪的銜接幾何計算	122
4-3 斜齒圓柱齒輪的銜接幾何計算例題	135

第二篇 圓柱齒輪的強度計算

第五章 齒輪的材料及輪齒的破壞	143
-----------------	-----

5-1 齒輪的材料	144
5-2 齒輪的破壞	149
第六章 按齒表面疲勞破壞來計算齒輪	159
6-1 直齒圓柱齒輪按齒表面疲勞破壞的計算公式	159
6-2 斜齒圓柱齒輪按齒表面疲勞破壞的計算公式	170
6-3 許用接觸剪應力	179
6-4 壓力比的校對	186
第七章 計算載荷	192
7-1 過載係數	192
7-2 載荷集中係數	193
7-3 相當載荷係數	214
7-4 質量係數	219
第八章 按彎曲強度來計算齒輪	224
8-1 輪齒彎曲應力計算的基本公式	224
8-2 輪齒彎曲強度計算公式	232
8-3 齒形係數	234
8-4 許用彎曲應力	239
8-5 彎曲計算的載荷係數	244
第九章 圓柱齒輪減速箱	246
9-1 圓柱齒輪減速箱的式樣	246
9-2 圓柱齒輪減速箱的主要參數	248
9-3 齒輪的構造	257
9-4 減速箱的構造	264
9-5 減速箱的潤滑	271
9-6 減速箱的散熱計算	275
第十章 圓柱齒輪強度計算例題	278

第三篇 圓柱齒輪的公差與技術測量

第十一章 圓柱齒輪的公差	304
11-1 圓柱齒輪傳動的檢查基素	304
11-2 圓柱齒輪公差(ГОСТ 1643-46)	310
第十二章 圓柱齒輪幾種主要基素的技術測量	329
12-1 基節的測量	329
12-2 周節的測量	330
12-3 齒廓的測量	331
12-4 齒厚的測量	333
參考文獻	371

序

齒輪是应用最廣的机械零件，同時也是最複雜最重要的机械零件。在祖國机器製造業飛躍發展的今天，对齒輪傳動提出了極高的要求：要求齒輪的轉速高，傳遞動力大，强度够，寿命長，工作可靠，平穩無声等，这样就需要我們从齒輪的設計上，齒輪的製造上不断地提高技術。由齒輪的材料選擇，尺寸決定，完成施工圖及工藝規程起，一直到投入生產達到所要求的精度为止，這一系列的工作並不簡單。要做好這工作，必須要能掌握齒輪的基本理論，無論是設計工程師或製造工程師都不能例外。

本書列述漸開綫圓柱齒輪的基本原理及計算方法，全書分为圓柱齒輪銜接幾何計算，圓柱齒輪强度計算及圓柱齒輪公差三部分。除齒輪原理部分力求完整外，更偏重於实用，在書中附有足够的數據圖表，並举有計算例題，使讀者不但能掌握齒輪的理論，並能作实际应用的計算。

但应指出，齒輪傳動的理論，現在仍然处在形成階段，有很多地方尚有待於我們繼續深入研究的。例如齒上的載荷集中，齒根部的应力集中，以及在不規則載荷下的許用应力等。在這裏作者引入了自己的見解，例題中也可看出這點。作者認為用本書的計算法及數據，在一般的動力傳動齒輪（非特殊精密的齒輪傳動）是比較合適的。

由於在現代齒輪傳動中，修正齒輪逐漸替代了正常齒輪，另一方面因正常齒輪可視為修正齒輪的一特例，所以本書的理論及計算，都以修正齒輪來敘述的，这样可適用於各种情况下的齒輪傳動。

本書可作为机械設計工程師和机械製造工程師關於漸開綫圓柱

齒輪方面的主要參考書。也可作為高等工業學校機械製造類專業機械原理、機械零件及公差等課程，關於漸開綫圓柱齒輪方面的參考書。

最後，因限於作者的水平，書中難免有缺點存在，希望同志們批評指正。

徐 灝

東北工學院機械系 一九五五年二月

採用符 号

(一)圓柱齒輪銜接幾何計算採用符号

A ——齒輪中心距	R_i ——根圓半徑
A_0 ——兩正常齒輪的中心距	r ——節圓半徑
B ——輪寬(計入退刀槽的總輪寬)	r_d ——分圓半徑
b ——齒輪工作輪寬	r_o ——基圓半徑
c ——餘隙(徑向間隙)	s_e ——沿頂圓的齒厚
c_n ——齒隙(側向間隙)	s_d ——沿分圓的齒厚
c' ——餘隙係數	s_{zn} ——沿分圓柱的法面弦綫齒厚
c'_0 ——基本齒板餘隙係數	s'_{zn} ——定弦法面齒厚
D_e ——頂圓直徑	t_a ——軸節
D_i ——根圓直徑	$t_n(t_s)$ ——法周節(端周節)
d ——節圓直徑	t_o ——基節
d_d ——分圓直徑	z ——齒數
d_o ——基圓直徑	z_c ——兩銜接輪齒數和
f ——齒頂係數	α ——銜接角
f_o ——基本齒板的齒頂係數	α_o ——基本齒板的銜接角
h ——齒高	β ——在節圓柱上齒螺旋角
h' ——齒頂高	β_d ——在分圓柱上齒螺旋角
h'' ——齒根高	β_o ——在基圓柱上齒螺旋角
h_3 ——齒工作高度	ε ——重合係數
h_{zn} ——法面齒頂弦綫高度	ξ ——壓力比
h'_{x_n} ——定弦的齒頂高度	η ——單位滑動
i ——傳動比	λ ——中心距改變係數
m ——銜接模數	ξ ——修正係數
$m_n(m_s)$ ——法模數(端模數)	ξ_c ——修正係數和
m_o ——基本齒板模數	σ ——反位移係數
R_e ——頂圓半徑	inv ——漸開綫函數
	ψ ——齒寬係數

(二)圓柱齒輪強度計算採用符号

a ——齒輪迴轉一周齒一邊進入銜接之次數

c ——齒的單位剛度, (公斤/公分²)
 E ——彈性模數
 f ——摩擦係數
 H_g ——齒表面硬度(布氏)
 R_c ——齒表面硬度(洛氏 C)
 K ——接觸應力計算中的載荷係數
 K_u ——彎曲強度計算中的載荷係數
 K_1 ——过载係數
 K_2 ——載荷集中係數
 K_3 ——相當載荷係數
 K_{gu} ——彎曲強度計算中的相當載荷係數
 K_4 ——質量係數
 K_{qu} ——彎曲強度計算中的質量係數
 k_σ ——有效應力集中係數
 M_k ——扭轉力矩(公斤-公分)
 N ——傳遞功率, 馬力
 N_u ——應力循環數
 N_{u0} ——相當應力循環數
 $\frac{N}{n}$ ——馬力及轉數比值(扭轉力矩)
 n ——每分鐘轉數
 P ——圓周力(公斤)
 P_n ——齒廓上垂直力(公斤)
 q ——接觸面上單位長度的載荷(公斤/公分)
 T ——工作時間, 小時
 v ——周速(公尺/秒)

y ——齒形係數
 z' ——相當齒數
 α_σ ——理論應力集中係數
 γ ——齒輪偏斜角
 δ ——齒總的變形
 Δ ——周節或齒廓的誤差(公忽_A)
 Δ_0 ——基節的誤差(公忽_A)
 η ——齒輪傳動效率
 ρ ——在節點上銜接齒的導出曲率半徑(公分)
 σ_u ——齒根部的彎曲應力(公斤/公分²)或(公斤/公厘²)
 σ_{bp} ——齒材料的強度限(公斤/公分²)或(公斤/公厘²)
 $[\sigma]_u$ ——彎曲許用應力(公斤/公分²)或(公斤/公厘²)
 σ_T ——材料的屈服限(公斤/公分²)或(公斤/公厘²)
 σ_0 ——當 $N_u = 10^7$ 時脈動應力耐久限(公斤/公分²)
 σ_{-1} ——當 $N_u = 10^7$ 時對稱循環應力耐久限(公斤/公分²)
 σ_k ——最大接觸壓應力(公斤/公分²)
 τ ——最大接觸剪應力(公斤/公分²)
 $[\tau]_{cn}$ ——直齒許用接觸剪應力(公斤/公分²)
 $[\tau]_{cn}$ ——斜齒許用接觸剪應力(公斤/公分²)

第一篇 圓柱齒輪的銜接幾何計算

第一章 緒 論

1-1 齒輪傳動

【我國對於齒輪的發明，至晚也應該是由漢代開始。在羅振玉所著的《雪堂所藏古器物圖》裏邊有一種齒輪範（即鑄模）。考古家們根據它上邊銘文的篆法推斷為漢物無疑（容庚著《金文續編》）。王振鐸先生所著的《指南車記里鼓車之考証及模製》一文中說：「範以陶製，出齒十六，作斜倚形。中有方模突起，因知此輪鑄成後必受貫於方軸之上。軸與輪必有連轉之運動」[●]。作者於1954年5月曾在瀋陽博物館見到陶製齒輪範殘片，據考証為唐代遺物。該齒輪範僅留三齒，齒形與棘輪齒相似，即齒廓綫為一邊長一邊短的兩直綫組成，據考証該範用以鑄銅質齒輪。根據劉仙洲教授的意見，認為我國古時的齒廓所以作斜倚形的緣故，是因為我國古時並未發明輪齒的合理曲綫，所傳的運動又係只向一定的方向，齒形若此，似乎是很自然的。

又就後漢張衡創造的水力天文儀器說，知道他已能應用齒輪系得到複雜的準確運動，也可斷定在他以前就早有了齒輪的發明。所以齒輪的發明至少也有一千八百多年的歷史。

我國對於齒輪的發明不但很早，在全國範圍內其應用也是很廣的。據劉仙洲教授在中國機械工程發明史方面的研究，列舉了很多

● 根據劉仙洲教授《中國在傳動機件方面的發明》《機械工程學報》第2卷第1期，1954年7月。

齒輪傳動的应用例子，其中有些齒輪傳動到今天還為勞動人民廣泛採用，水車就是個很好的例子。雖然由於地區及條件的不同，所採用的原動力有用畜力的，有用風力的也有用水力的，但是齒輪傳動的形式還是很相像的，在各地農村中很多用水車來灌溉田地。其他如水磨等類似的齒輪傳動機械，還有很多為勞動人民所採用，茲不一一列舉。

上面談到齒輪傳動在我國的採用不但歷史悠久，而且在農業上的应用是很廣的。現在讓我們來談一談齒輪傳動在工業上的应用及重要性。大家都知道有機器就離不了有齒輪，沒有齒輪的機器是比較少的。所以齒輪在機器中佔着極重要的地位。在實現國家社會主義工業化的道路中，其中心環節是發展國家的重工業，以建立國家工業化和國防現代化的基礎。斯大林論及工業化方針時說：「不是發展任何一種工業都算做工業化。工業化的中心，工業化的基礎，就是發展重工業（燃料、金屬等等），歸根到底，就是發展生產資料的生產，發展本國的機器製造業。」^①由此可見機器製造業的發展，對於祖國的工業化是如何的重要了，而作為機器重要零件之一的齒輪，在今日大規模經濟建設中，更提高了其重要的地位。

齒輪傳動在各種機器中所以能得到這樣廣泛的应用，是與它的優點分不開的。其最大優點是能保證傳動比（速比）不變，得到確定的運動及動力的傳遞。另一優點是齒輪应用的範圍大，傳遞功率可以由 0.01 至 10 000 馬力，周速可以由很低至每秒鐘 20 公尺以上，直徑可以由數公厘至 12 公尺。此外，還有壽命長，軸承壓力小及效率高等優點。

尤其是在近年以來，齒輪製造的發展，加工精度不斷提高，不斷的出現了許多特种齒輪加工機床，使齒輪製造走向大量生產。再加以修正齒的廣泛採用，使齒輪的应用範圍，更加擴大，而齒輪在

① 「斯大林全集」第八卷第 112 頁，人民出版社出版，1954 年。

機器製造業中的重要性更為顯著。

將來齒輪的發展，在圓形齒輪(即傳遞不變傳動比的齒輪)方面，無論在齒形上，強度計算理論上，以及製造上，都應不斷的研究及充實改進。在另一方面，還應在非圓形齒輪(即傳動比按一定規律變化的齒輪)上加以研究，並實際應用於工業上。

1-2 齒輪的種類

齒輪可分為平面齒輪與立體齒輪兩大類。如齒輪的兩軸平行，

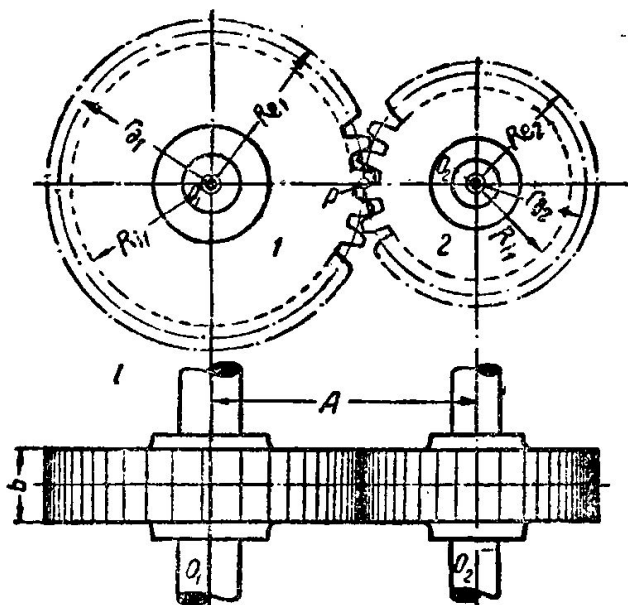


圖 1-1

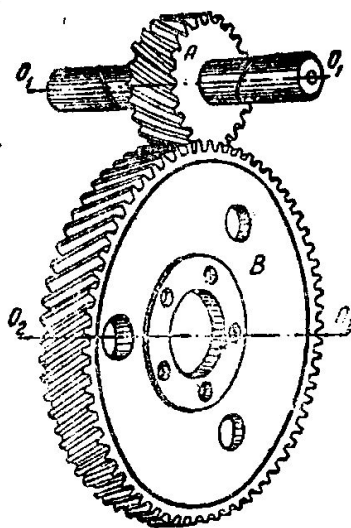


圖 1-2

則輪上所有點的運動，都在互相平行的平面內，這種齒輪，稱為平面齒輪。平面齒輪都為柱體，普通常用的為圓柱體，故稱為圓柱齒輪。圖 1-1 所示的圓柱齒輪，由於其輪齒的素綫

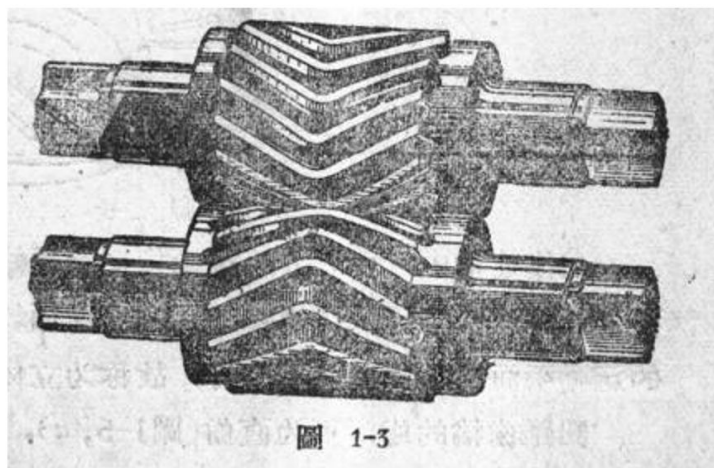


圖 1-3

与軸平行，称为**直齒圓柱齒輪**。齒素与軸成一傾斜角度的圓柱齒輪，称为**斜齒圓柱齒輪**，如圖 1-2 所示。因为斜齒圓柱齒輪有軸向分力，为了消除这軸向力，有將兩相反的斜齒圓柱齒輪合併成一輪，即成圖 1-3 所示的**人字齒輪**。

上面圖示的齒輪，輪齒都在輪的外緣，称为**外接齒輪**。如大齒輪的齒在輪緣的內側，而与小齒輪銜接，这种齒輪傳動，称为**內接齒輪**。該大齒輪称为**內齒輪**(圖 1-4, б)。內接齒輪兩軸的迴轉方向相同，而外接齒輪兩軸的迴轉方向相反(參看圖 1-4)。

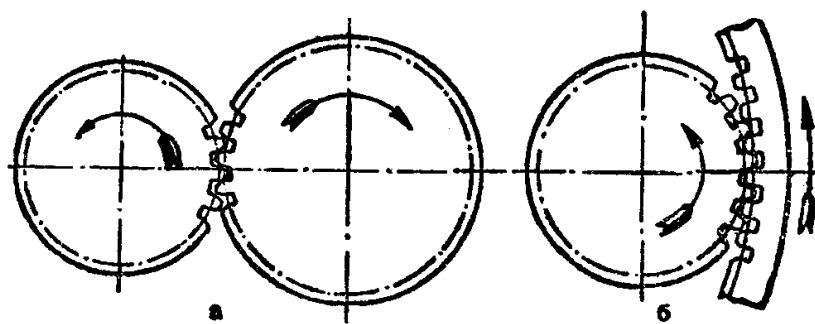


圖 1-4

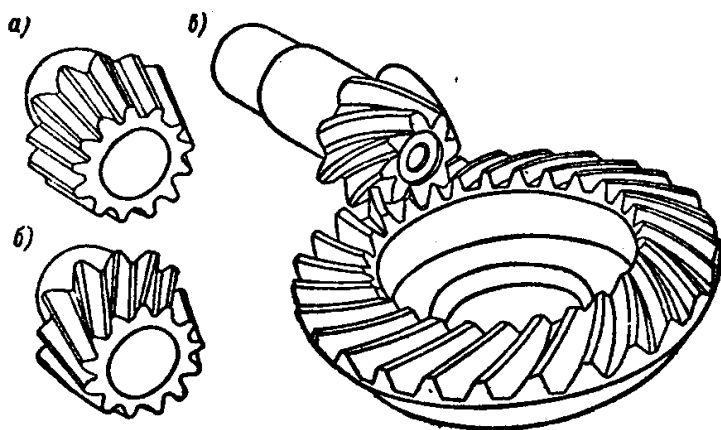


圖 1-5

立體齒輪中，可以分为兩軸相交的**圓錐齒輪**和兩軸既不相交又不平行的**雙曲綫迴轉體齒輪**(圖 1-6)兩類。由於这种齒輪輪上各點的運動平面，彼此間並不平行，故称为**立體齒輪**。

圓錐齒輪的齒，可为直齒(圖 1-5, а)，斜齒(圖 1-5, б)，及曲

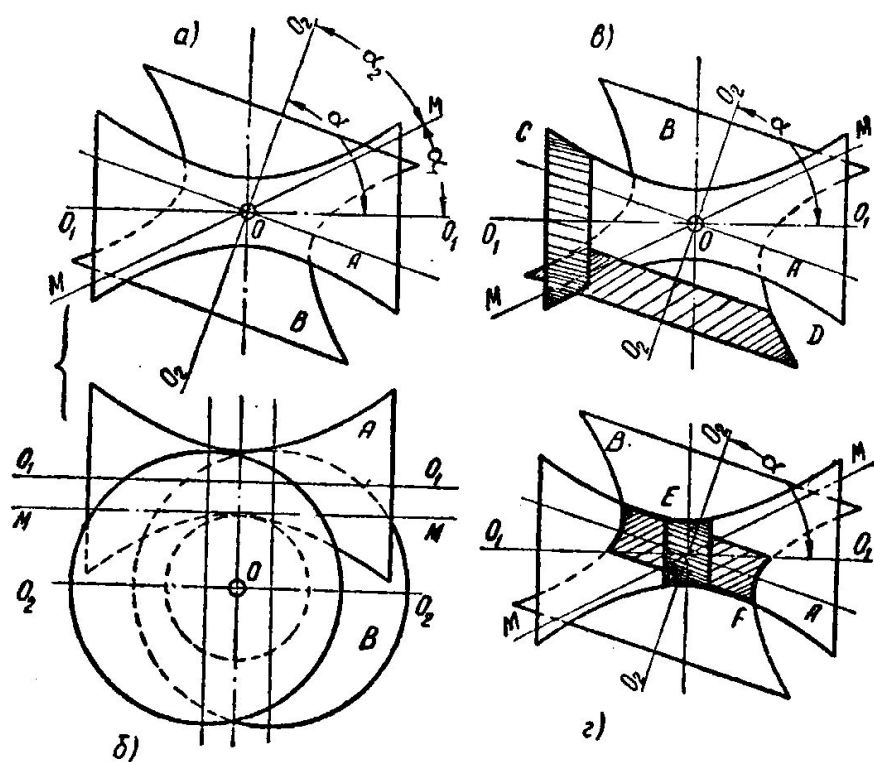


圖 1-6



圖 1-7

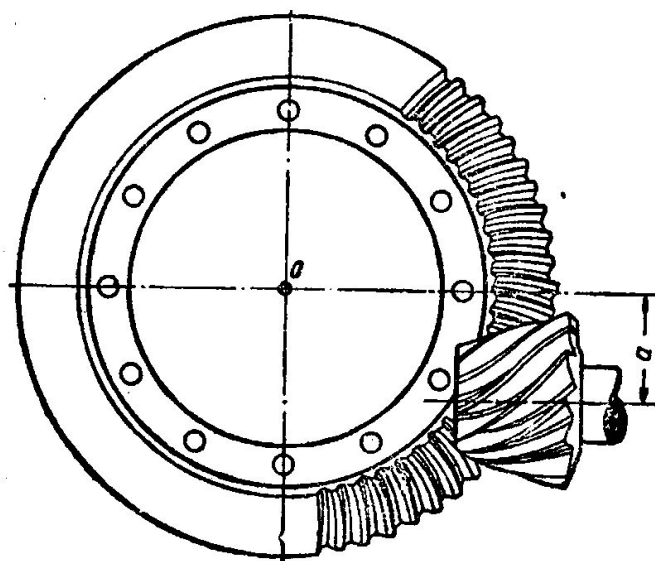


圖 1-8

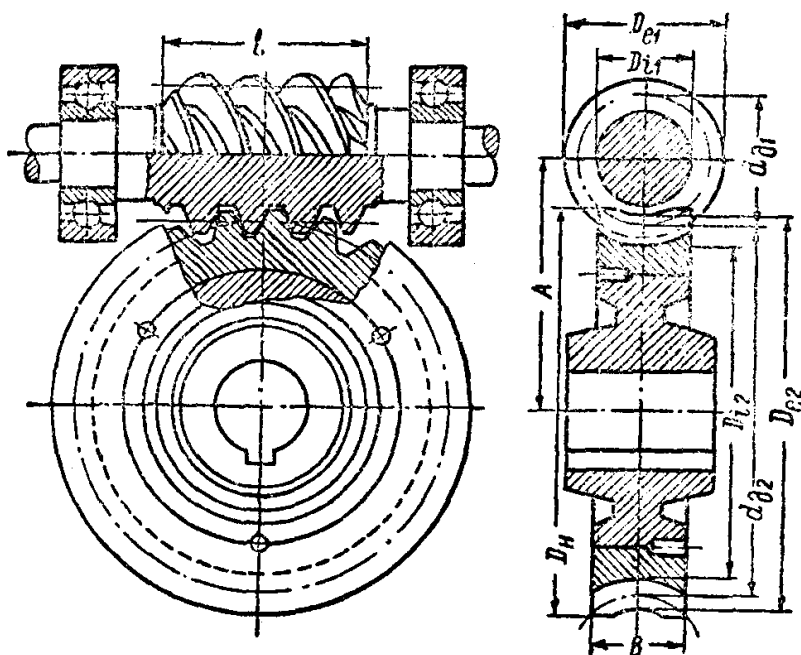


圖 1-9

綫齒(圖 1-5, θ)三種。

圖 1-6 示雙曲綫迴轉體齒輪的形成。首先我們應了解雙曲綫迴轉體的双曲面是由一直綫範成的。圖 1-6 a 中的 MM 直綫，為與軸 O_1 及 O_2 成 α_1 及 α_2 兩夾角的不同平面的直綫。如將該直綫各繞軸 O_1 及 O_2 迴轉，即範成為雙曲綫表面 A 及 B 。在實用上並不應用雙曲面體的全部，而僅取其最短的一部分。如取其中央喉徑部分(圖 1-6

2) 就得到了螺旋齒輪(圖 1-7)。如取兩端圓錐形部分，就得到了雙曲面圓錐齒輪(圖 1-8)。當兩軸間的交角成為直角，同時小齒輪的齒數減少至很少數目，則得到了蝸輪傳動，小齒輪稱為蝸桿，大齒輪稱為蝸輪。圖 1-9 示圓柱形蝸桿的蝸輪傳動，圖 1-10 為圓弧面蝸桿的蝸輪傳動。

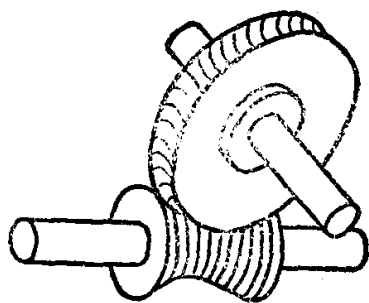


圖 1-10

1-3 齒輪製造方法概述

漸開綫齒輪的製造方法有兩大類，一為仿形法切製，一為滾切法製造。仿形法的工作原理，就是切削出來的齒廓曲綫，與其刀具切削刃的相應外形完全一致。圖1-11所示為兩種常用的仿形式切齒方法。圖1-11, a所示為用圓盤銑刀切銑齒輪的情形。圓盤銑刀刀刃的外形為輪兩齒間的齒間形狀，刀一方面轉動，一方面沿齒的側向

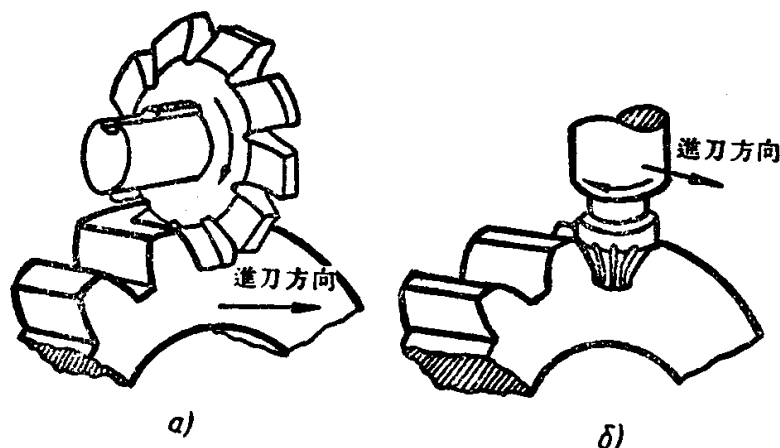


圖 1-11

移動以完成切銑工作。刀沿輪軸進刀的每一行程，就切削出一個齒間。當銑刀將整個齒間切削完成後，就退回原來的位置，然後用分度盤將輪坯轉過 $\tau = \frac{2\pi}{z}$ 的角度，再重複上述的工作，切削出第二個齒間來，這工作如此繼續下去，直到輪齒完全切削出為止。

圓盤銑刀每一模數有一組銑刀，每組銑刀有八把，每一號銑刀所銑的齒輪齒數範圍為：

№ 1.	12~13 齒;	№ 5.	26~ 34 齒;
№ 2.	14~16 齒;	№ 6.	35~ 54 齒;
№ 3.	17~20 齒;	№ 7.	55~134 齒;
№ 4.	21~25 齒;	№ 8.	135~ ∞ 齒。

如將每號銑刀間加入半號的銑刀 7 把，則每組銑刀為 15 把，如此每把銑刀所銑的齒數範圍可以減小。