

齒輪 蝸輪傳動和 減速器的計算與設計

伊年柯、葛烈別紐克、尼柯爾斯基著

機械工業出版社

伊年柯、葛烈別紐克、尼柯爾斯基著

齒輪、蝸輪傳動和 減速器的計算與設計

吳克敏等譯

陳 數校訂



機械工業出版社

1956

007618

出版者的話

本書包括齒輪、蝸輪傳動和減速器計算設計所用的主要參考材料：圓柱直齒齒輪，斜齒齒輪，人字齒輪；圓錐直齒齒輪，斜齒齒輪，螺旋齒輪；圓柱蝸桿齒輪，圓弧面蝸桿齒輪。

本書綜合了蘇聯機器製造工廠在減速器製造方面的實際經驗。

本書供從事齒輪傳動和減速器設計製造的機械製造工廠和設計機構中設計師和工藝師參考，也可作高等技術學校學生的參考書。

書末附有蘇聯「機械製造通報」雜誌所刊對本書的批評文章，請讀者參考。

蘇聯 М. С. Ильенко, А. И. Гребенюк, Д. Н. Никольский 著
‘Расчет и проектирование зубчатых и червячных передач
и редукторов’ (Машиз 1953 年初版)

*

*

*

NO. 0830

1956 年 11 月第一版 1956 年 11 月第一版第一次印刷
787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 457 千字 印張 19 $\frac{7}{8}$ 插頁 2 00,001—10,000 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

統一書號
15033·229

定價(10)3.40 元

目 次

原序(吳克敏譯)	7
符号	9

齒輪傳動和蝸輪傳動的嚙合的幾何計算(張和豪譯)

齒輪傳動和蝸輪傳動概說	11
輪齒的下切	14
齒頂變尖	17
干涉	18
重合係數	20
正常和修正齒輪傳動	21
移距係數	24

圓柱齒輪傳動	25
確定外嚙合不等移距直齒齒輪傳動的移距係數	25
外嚙合正常和修正的直齒齒輪傳動	31
確定在標準法向模數下外嚙合不等移距斜齒齒輪傳動的移距係數	55
確定在標準法向模數下外嚙合不等移距人字齒輪傳動的移距係數	56
在標準法向模數下外嚙合正常和修正的斜齒齒輪和人字齒輪傳動	57
在標準端向模數下外嚙合正常和修正的人字齒輪傳動	63
內嚙合正常和修正的直齒齒輪傳動	73
輪齒尺寸的測量	76

圓錐齒輪傳動	81
正常和修正的直齒和斜齒圓錐齒輪傳動	81
正常和等移距直齒圓錐齒輪和正常斜齒圓錐齒輪傳動的輪齒尺寸	83

法向截面內斜齒圓錐齒輪傳動的輪齒尺寸	84
截頭直齒圓錐齒輪的輪齒尺寸	84
等移距斜齒圓錐齒輪傳動的輪齒尺寸	85
正常和修正的異錐頂圓錐齒輪傳動	92
蝸輪傳動	101
具有阿基米德線蝸桿的正常和修正蝸輪傳動	101
圓弧面蝸輪傳動	104
正常圓錐齒輪傳動的基本關係	120
圓周長和漸開線函數	201

齒輪傳動和蝸輪傳動的強度計算(吳克敏譯)

總論	306
一級圓柱齒輪傳動計算	307
作用在齒工作表面上的計算載荷	307
作用在齒根部的計算載荷	311
直齒齒輪傳動計算	313
斜齒齒輪傳動計算	316
人字齒輪傳動計算	318
受峯尖載荷的齒輪傳動的驗算	320
二級和三級圓柱齒輪傳動計算	320
圓錐齒輪傳動計算	322
作用在齒工作表面上和齒根部的計算載荷	322
直齒圓錐齒輪傳動計算	323
斜齒圓錐齒輪傳動計算	327
二級和三級圓錐-圓柱齒輪傳動計算	329
蝸輪傳動計算	330
圓柱面蝸輪傳動	331
圓弧面蝸輪傳動	343

齒輪傳動和蝸輪傳動的發熱計算(張和豪譯)

總論	362
----------	-----

一級圓柱齒輪傳動的一般計算步驟

設計計算	364
驗算	371

材料的許用應力和減速器所採用的材料(陳 沅譯)

總論	384
決定齒輪傳動和蝸輪傳動中齒和軸的許用應力	384
材料	386

選擇圓柱齒輪減速器

總論	395
選擇圓柱齒輪減速器示例	410
圓柱齒輪減速器的主要參數	414

軸的支承、軸、鍵和底腳螺栓的計算(王爵彝譯)

軸的支承的計算	419
作用在軸和其支承上的力	428
軸的計算	429
根據最大載荷的計算	429
根據計算載荷的計算	441
彎曲和扭轉時的有效應力集中係數	442
鍵的計算	443
底腳螺栓的計算	445

減速器的潤滑(華申占譯)

總則	447
----------	-----

齒輪傳動中的液体循环压力潤滑	447
齒輪傳動的浸入法潤滑(油池潤滑)	452
軸承的潤滑	453
減速器所用潤滑油的选择	457
潤滑計算	473
油封裝置	477

減速器的結構(張直明譯)

各种減速器的应用範圍及特性比較	485
減速器各元件的類型和尺寸	488

技術条件(范若瑛譯)

圓柱齒輪減速器在製造上和裝配上的技術条件	561
圓錐齒輪減速器在製造上和裝配上的技術条件	580
普通蝸輪傳動机械加工的簡單技術条件	585
圓弧面蝸輪減速器机械加工、裝配和跑合的技術条件	590
減速器試驗和驗收的技術条件	600
圓柱齒輪減速器在安裝和使用上的技術条件	604
附錄	611
参考文献	628
苏联[机器製造通報] 1955 年第 5 期对本書的評論	629

原 序

隨着蘇聯機器製造業的成長和發展，對於幾乎是一切機器或機器組的不可分割部分的齒輪、蝸輪傳動和減速器，其要求一直在增高。現在，很多工廠，甚至不是專門製造減速器的工廠，都在組織減速器和各種傳動的生產。由於要在不斷減小機器尺寸的條件下增加機器傳達的動力，高速運轉，增加工作能力，機器製造業對齒輪、蝸輪傳動和減速器元件的製造質量的要求就不斷增高。

由於減速器製造業的廣泛發展，就使我們需要相應地提高減速器生產的一般技藝和培養減速器製造業的熟練幹部。這巨大的任務是要由我們的技術書籍來擔負的。戰後出版了大量有關減速器製造的書籍，主要是專論性質的書籍。但是其中沒有一本敘述到現代所採用的、多多少少大不相同的各種減速器和個別傳動的類型和結構形式。

斯大林新克那馬托爾斯基機器製造工廠（HEM3）的經驗（這工廠在克那馬托爾斯基城，是減速器製造業主要工廠之一），還有其他機器製造工廠的經驗和蘇聯各學者的理論著作，是這本參考手冊的基礎。這本書說明了各種減速器和個別傳動（一級、二級、三級圓柱齒輪，圓錐齒輪，蝸桿蝸輪及其複合）在計算、設計、製造和運用方面的現代方法；並說明了軸、軸承、鍵連接等的計算方法。書中所引述的方法用齒輪傳動計算實例來說明；所採用的公式則不一一推演。

圓弧面蝸桿蝸輪減速器的計算、設計和製造方面的材料，是根據斯大林新克那馬托爾斯基機器製造廠的經驗，這是新經驗的初

次發表。書中還有關於減速器潤滑的基本知識。切齒的工藝問題和減速器裝配問題，見「技術條件」一章。

這本參考手冊不討論下列機件的計算和設計問題：齒輪架，行星齒輪減速器，漸開線蝸桿和延伸漸開線蝸桿蝸輪傳動，在節點以外嚙合的齒輪傳動及其他應用有限的特殊傳動。

這本書全部都用非減速器製造專家也可以接受和了解的方式來敘述。敘述書中材料時，假定讀者已經知道齒輪、蝸輪傳動的基本理論和齒輪、蝸輪製造的基本知識。

感謝技術科學候補博士箕凱爾 (Я. И. Дикер)，他在編寫圓弧面蝸桿蝸輪的製造、裝配和跑合方面的技術條件一章給作者很大的幫助；並感謝工程師魯勃列娃 (О. Н. Рублева)，她參加校閱和準備原稿付印。

讀者對這本書的內容如有任何指示和要求，作者將非常感謝，請寫信到下列地址：基輔城，克烈夏季克街 10 號，МАШГИЗ 烏克蘭分社。

作者

符 号

A ——中心距。

A_o ——未修正嚙合的中心距。

A_d ——切齒時，齒坯和插齒刀的中心距。

B ——輪緣寬度。

D_e ——頂圓直徑。

d_{du} ——蝸桿分齒圓直徑。

d_{u1}, d_{u2} ——小齒輪和大齒輪的分齒圓直徑。

D_{eu} ——蝸桿外徑。

$s'_{as\kappa}$ ——蝸輪在中心截面內沿固定弦的齒厚。

f_o, f_{os} ——法向截面和端向截面內的齒高係數。

h', h'' ——齒頭高和齒足高。

h'_{xn} ——齒頂到固定弦的高度。

h_{xn} ——齒頂到分齒弦的高度。

i ——傳動數。

m_n, m_{os} ——法向截面和端向截面內的模數。

n_u, n_{u1}, n_{u2} ——小齒輪，大齒輪和蝸桿轉數。

q ——蝸桿分齒圓直徑和模數的比。

R'_e ——假想齒輪的頂圓半徑。

r_o ——基圓半徑。

s'_{xn} ——沿固定弦的齒厚。

s_{xn} ——沿分齒弦的齒厚。

z ——齒數。

z' ——輔助圓錐上的齒數。

z_{u1}, z_{u2} ——小齒輪和大齒輪齒數。

- z_4 ——蝸桿頭數。
 α_0 ——未修正齒輪的嚙合角。
 α_{0n}, α_{0s} ——法向截面和端向截面內的嚙合角。
 α_s ——齒頂壓力角。
 β ——分齒圓柱上齒的斜角。
 ε_s ——端向截面內的重合係數。
 λ ——螺旋線導角。
 ρ' ——齒足極端接觸點處的漸開線曲率半徑。
 ρ'' ——齒頂圓處的漸開線曲率半徑。
 Δ'_k, Δ'_m ——大、小圓錐齒輪齒頂與分齒圓錐母線間的角度。
 Δ''_k, Δ''_m ——大、小圓錐齒輪齒底與分齒圓錐母線間的角度。
 ΔD_e ——頂圓直徑偏差。
 φ_k, φ_m ——大、小圓錐齒輪軸線與分齒圓錐母線間的角度。
 表中的 $l, \bar{l}$ 為小數點。

齒輪傳動和蝸輪傳動的 嚙合的幾何計算

齒輪傳動和蝸輪傳動概說

圓柱齒輪傳動 我們可以想像：一對圓柱齒輪的工作，是兩個圓柱體互相滾動而無滑動，這兩圓柱體上的圓周速度，在全部轉動時間內，保持不變。這種圓柱體叫做節圓柱體或分齒圓柱體，而其底邊叫做節圓或分齒圓。兩個圓的接觸點 P ，叫做節點（圖1）。節圓把輪齒分為二部分：齒頭 h' 和齒足 h'' 。齒頭高和齒足高組成齒全高

$$h = h' + h''。$$

頂圓限制了齒頂的上部輪廓，而根圓限制了齒足的底部。

要滿足傳動數保持為常數的要求，所用的齒輪嚙合齒廓，可以有許多型式。旋輪線嚙合和漸開線嚙合是最著名的；但是在機械製造實用中，漸開線齒廓的齒輪傳動用得最廣泛。擺線、外擺線和次擺線屬於旋輪曲線；而圓周旋開線屬於漸開曲線。

漸開線是由直線 ab 沿半徑為 r_0 的圓周滾動而無滑動所形成的（圖2）。直線 ab 在其圓周上滾動的圓叫做基圓。

旋輪線嚙合時，小齒輪齒頭凸面沿大齒輪齒足凹面滑動；而漸開線嚙合時，輪齒齒頭凸面沿另一輪齒齒足凸面滑動。但是在旋輪線傳動中，中心距必須保持正確；否則，傳動數不能保持為常數，而傳動質量降低。在漸開線傳動中，改變中心距時，傳動數仍能夠保持為常數，傳動質量不致降低。此外，漸開線嚙合的輪齒通

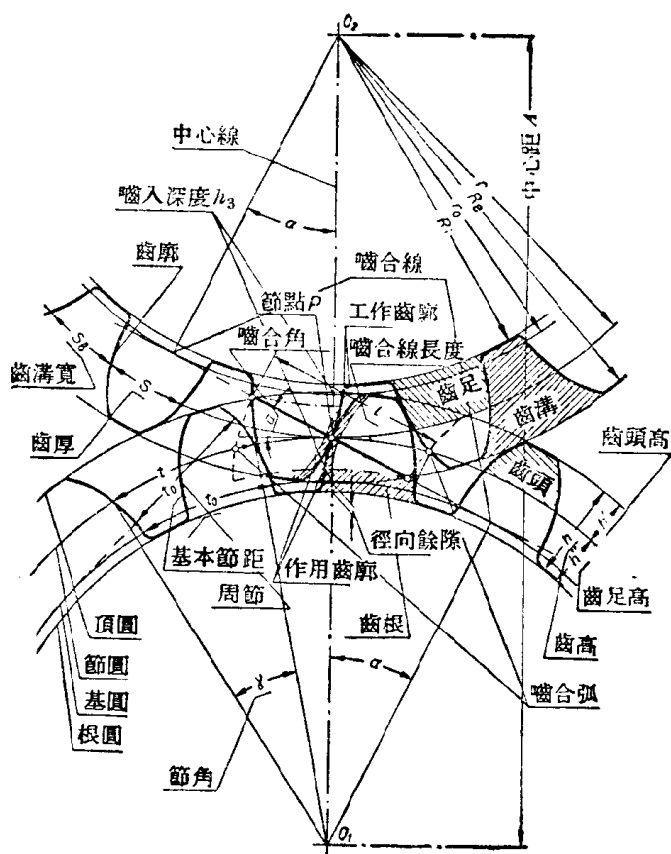


圖 1 圓柱齒輪啮合要素。

常比旋輪線啮合的輪齒強固；所以在相同的參數下，漸開線啮合的輪齒可以傳送較大的力。因此，擺線啮合应用得極少。

圓錐齒輪傳動 我們可以想像：一對圓錐齒輪(圖 3)的工作是兩個截頭圓錐體互相滾動而無滑動，這兩截頭圓錐體上接觸點的圓周速度，在全部轉動時間內，保持不变。這種圓錐體叫做節圓錐體或分齒圓錐體。

圓錐體 O_1CC_1 和 O_2CC_2 叫做輔助圓錐體 (圖 4)，根據這種圓錐體來決定齒的尺寸和重合係數。

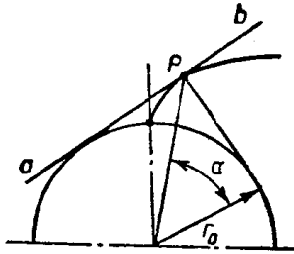


圖 2 漸開線的形成。

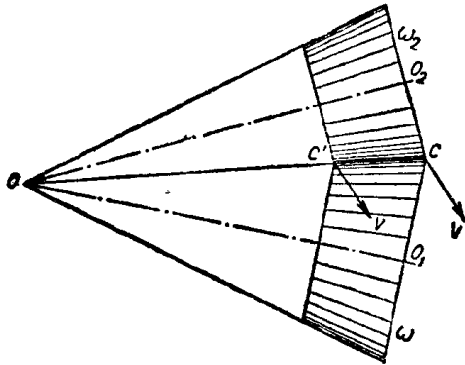


圖 3 兩個截頭圓錐體的滾動圖。

圓錐齒輪嚙合的基本型式有二種，即：漸開線嚙合和八字線嚙合。因為圓錐齒輪切削較困難，實用上，採用錐面漸開線嚙合，這種嚙合是由直線刃刀具用滾切法切削出來的。

蝸輪傳動 蝸輪傳動乃是螺旋 (蝸桿) 和螺旋輪 (蝸輪) 的連接；螺旋輪好像不完整的螺母元素，僅僅部分地包圍著螺旋 (圖 5, a)。螺旋僅有轉動，而螺母僅有前進移動。蝸桿和蝸輪的軸心在互相垂直的平面內。

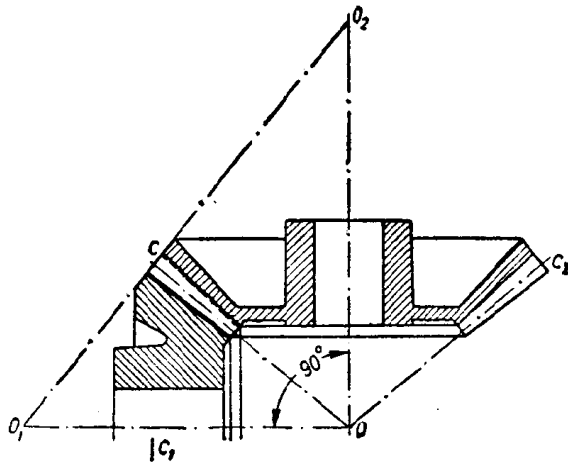


圖 4 圓錐齒輪傳動的輔助圓錐體。

螺母元素可以當作是斜齒條，它的斜齒對螺旋軸傾斜的角度，

等於螺旋導角。假定把齒條節線沿中心為 O 的圓弧彎成一個扇形元素(圖 5, 6), 則扇形元素轉動時, 齒條的前進運動將改變為旋轉

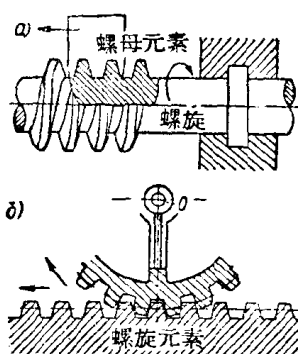


圖 5 蝸輪傳動構成圖。

運動; 若再把扇形元素擴展成為輪子, 就得到了蝸輪傳動。

蝸桿可分為單頭蝸桿和多头蝸桿。由一個螺旋面構成的蝸桿叫做單頭蝸桿, 而同時由兩個節距相同的螺旋面構成的蝸桿叫做雙頭蝸桿, 等等。

現有幾種蝸桿的類型: 阿基米德線蝸桿、漸開線蝸桿、延伸漸開線蝸桿和圓弧面蝸桿。

如果蝸桿在它軸線的垂直截面內具有阿基米德螺旋線形狀, 而在軸向截面內(通過蝸桿軸線的平面內)具有直線形狀者, 它就叫做螺旋線或阿基米德線蝸桿。

如果蝸桿具有漸開線螺旋面, 在蝸桿軸線的垂直截面內具有漸開線形狀者, 它就叫做漸開線蝸桿。

螺旋面母線不通過蝸桿軸線的, 叫做延伸漸開線蝸桿。

與其他一切具有圓柱面的蝸桿不同; 包圍着蝸輪而具有圓弧面的蝸桿, 叫做圓弧面蝸桿。近代的圓弧面蝸桿, 在軸向截面內, 大多做成直線側形。

輪齒的下切

用滾切法切齒時, 可採用等移距或不等移距(修正)嚙合, 來避免小齒輪輪齒的下切。

用滾刀或齒條刀切齒時, 避免下切的最小移距係數依下列公式決定:

對於直齒

$$\varepsilon_{\min} = f_0 - \frac{z \sin^2 \alpha_0}{2}; \quad (1)$$

對於斜齒或人字齒

$$\varepsilon_{\min} = f_{os} - \frac{z \sin^2 \alpha_{os}}{2}; \quad (1a)$$

或

$$\varepsilon_{\min} = f_{on} \cos \beta - \frac{z \sin^2 \alpha_{os}}{2}。 \quad (1b)$$

小齒輪不致產生下切的最小齒數如下：

對於直齒小齒輪

$$z_{\min} = \frac{2f_0}{\sin^2 \alpha_0}; \quad (2)$$

對於斜齒和人字齒小齒輪

$$z_{\min} = \frac{2f_{on} \cos \beta}{\sin^2 \alpha_{os}}。 \quad (2a)$$

表 1 中列出用滾刀或齒條刀切齒時，不致產生輪齒下切的最小移距係數。

用直齒插齒刀切齒時，避免輪齒下切的最小移距係數，依下列方法決定。最小移距係數比表 1 中的數值較低；但是因為計算中不宜用下切的極限值，所以在用直齒插齒刀切齒的計算中，亦可以取表 1 的數據。

用斜齒插齒刀切齒時，人字齒小齒輪的最小齒數

$$z_{\min} = \frac{2(f_{os} + c)}{\sqrt{\left(\frac{\sin 2\alpha_{os}}{2}\right)^2 + (i_\partial + \sin^2 \alpha_{os})^2 - i_\partial}}, \quad (2b)$$

式中 c ——餘隙係數；

i_∂ ——插齒刀和小齒輪的傳動數 $\left(i_\partial = \frac{z_\partial}{z_{ul}}\right)$ 。

使工件輪齒不致產生下切的插齒刀的最大齒數依下式決定

$$z_{d \max} = z_{u \min} i_d \quad (3)$$

表 1 用滾刀或齒條刀切齒時,不致產生輪齒下切
的最小移距係數($\alpha_0=20^\circ$)

齒數 z	法向截面內的齒 高係數 f_0		齒數 z	法向截面內的齒 高係數 f_0		齒數 z	法向截面內的齒 高係數 f_0	
	1.0	0.8		1.0	0.8		1.0	0.8
8	+0.532	+0.332	17	+0.006	-0.192	26	-0.520	-0.720
9	+0.474	+0.274	18	-0.052	-0.252	27	-0.578	-0.778
10	+0.416	+0.216	19	-0.111	-0.311	28	-0.636	-0.836
11	+0.358	+0.158	20	-0.170	-0.370	29	-0.692	-0.892
12	+0.300	+0.100	21	-0.228	-0.428	30	-0.752	-0.952
13	+0.241	+0.041	22	-0.286	-0.485	31	-0.810	—
14	+0.182	-0.018	23	-0.344	-0.544	32	-0.829	—
15	+0.124	-0.076	24	-0.403	-0.603	33	-0.928	—
16	+0.065	-0.135	25	-0.461	-0.661	34	-0.983	—

切削人字齒輪輪齒時,小齒輪和插齒刀的極限齒數,見表 2。

表 2 切削人字齒輪輪齒時,小齒輪和插齒刀的極限齒數

i_d	$z_{u \min}$	$z_{d \max}$
1.0	13	13
1.5	14	21
2.0	15	30
2.5	16	40
3.0	16	48
4.0	17	68
5.0	17	85