

機械零件 計算指南

下 冊

С. Г. КУБЛАНОВ 著

汪 學 信 譯

機械原理機械零件教授會校

中國人民解放軍軍事工程學院

一九五五年五月

機 械 零 件 計 算 指 南

С. Г.

汪

機械原理

江苏工业学院图书馆

КУБЛАНОВ 著

學

藏 書 章

言 譯

書

章

機械零件教授會校

中國人民解放軍軍事工程學院

一九五五年五月

目 錄

第七章 摩擦傳動

§ 1. 概論	5
§ 2. 材料	5
§ 3. 工作體表面層的強度（耐久性）核算	6
§ 4. 摩擦傳動的計算	9
§ 5. 摩擦傳動中的損失	11
§ 6. 摩擦傳動設計計算的步驟	14
§ 7. 習題	15

第八章 皮帶傳動

§ 1. 皮帶的尺寸	18
§ 2. 計算皮帶傳動的基本數據	21
§ 3. 皮帶傳動的設計計算	31
§ 4. 平皮帶傳動的校核計算	34
§ 5. 平皮帶傳動的習題	35
§ 6. ГОСТ1284—45所規定的三角皮帶傳動的計算	44
§ 7. 三角皮帶傳動的習題	51

第九章 鏈傳動

§ 1. 傳動鏈的鏈輪	59
§ 2. 鏈的計算	74
§ 3. 習題	90

第十章 齒輪傳動

§ 1. 圓柱齒輪傳動的幾何關係與分類	97
§ 2. 根據齒表面層的接觸剪應力計算圓柱齒輪齒的 耐久性	106

§ 3. 根據彎曲應力計算圓柱齒輪的耐久性	112
§ 4. 圓柱齒輪齒的強度計算	118
§ 5. 嚙合的修正	120
§ 6. 許用應力的選擇	130
§ 7. 計算載荷	138
§ 8. 齒輪傳動的損失及潤滑	144
§ 9. 計算圓錐齒輪齒的耐久性	146
§10. 齒輪傳動作用到軸上的力	157
§11. 齒輪的構造	159
§12. 齒輪計算的步驟	161
§13. 習題	163

第十一章 蝸輪傳動(兩軸成 90°)

§ 1. 蝸輪傳動的幾何關係及分類	181
§ 2. 蝸輪傳動的尺寸	183
§ 3. 蝸輪傳動中齒的計算	190
§ 4. 許用應力與計算載荷的選擇	197
§ 5. 蝸輪傳動的效率	201
§ 6. 習題	205

第十二章 摩擦輪傳動、齒輪傳動及蝸輪傳動的散熱計算

§ 1. 基本公式	210
§ 2. 習題	214

第十三章 轉軸與心軸

§ 1. 轉軸及心軸的構造與材料	217
§ 2. 轉軸與心軸的強度計算	219
§ 3. 計算轉軸的彎曲變形	223
§ 4. 靜不定軸與心軸的計算	228
§ 5. 轉軸的扭轉計算	230
§ 6. 習題	230

第十四章 滑動軸承

§ 1. 概論	241
§ 2. 軸承襯的材料	245
§ 3. 滑動軸承的潤滑	251
§ 4. 徑向滑動軸承的簡易計算	253
§ 5. 止推滑動軸承的簡易計算	255
§ 6. 習題	256

第十五章 聯軸器

§ 1. 計算聯軸器的基本公式與表格	257
§ 2. 接合離合器的裝置的計算	265
§ 3. 計算的步驟	268
§ 4. 習題	268

第十六章 彈 簧

§ 1. 材料和許用應力的選擇	271
§ 2. 彈簧的計算	276
§ 3. 習題	284

第七章 摩擦傳動

§ 1. 概 論

摩擦傳動與無級變速傳動是用來傳遞很小的（電動測量儀器中變速器的傳動機構）以至幾百匹馬力的功率。最常用的是功率在20馬力以下的摩擦傳動。在強力傳動中，傳動比可達 7—15；在調整電動儀器的傳動中，傳動比可達25。轉速的最大調整範圍在單級無級變速傳動中可達 3—4，在有中間件的二級無級變速傳動中可達12—16。

有槽摩擦輪傳動只能用於移動緩慢且無磨損時，例如在手搖絞車中。

在手動的儀器傳動中，爲要增大摩擦係數，常在其中一個工作面上做出槽。

有載荷劇變的情況下應用高速摩擦傳動時，建議在傳動與原動機間裝置彈性件。

§ 2. 材 料

從動輪最好用比較耐磨的材料製造，因爲這樣可以防止滑移時在從動輪上形成凹面。

淬火鋼與淬火鋼能構成最緊湊最經濟的傳動，但要求精細地製造與加工。當壓緊力過大時，需要裝置滾動軸承。

傳動的材料是表面層的許用接觸應力 $R_c > 60 \text{ kg/cm}^2$ 的滾珠軸承鋼ШХ—15。

鑄鐵與鑄鐵用於外廓尺寸較大的及開式的傳動中。鑄鐵的工

作面常加以冷硬或淬火，使之具有一定的硬度。這種傳動噪聲要比鋼製摩擦輪傳動的小。

鋼或鑄鐵與切克斯多立特或纖維紙只能在乾燥狀態中工作，但製造却不需要高度精確。由於許用單位壓力較小，所以傳動的外廓尺寸就很大。

用切克斯多立特這種材料要比用纖維紙適合，因為纖維紙有吸濕性。鑄鐵可用於外廓尺寸較大時。用切克斯多立特製造的摩擦傳動是噪聲最小的傳動。

在摩擦損失不大時則用皮革、弗洛德、橡膠布當作表面襯料與鋼或鑄鐵相接觸。用皮革的側邊工作要比用皮革的平面工作來得好。

表52列出了摩擦傳動中摩擦係數的值。

摩擦傳動中的摩擦係數 f

表52

摩擦物體的材料	f
潤滑的鋼與鋼.....	0.05
乾燥的鋼與鋼或鑄鐵.....	0.15—0.20
乾燥的鋼與切克斯多立特或纖維紙.....	0.2 —0.25
乾燥的鋼或鑄鐵與皮革.....	0.2 —0.35
乾燥的鋼與弗洛德.....	0.3 —0.35
乾燥的鋼或鑄鐵與橡皮.....	0.35—0.45
乾燥的鋼或鑄鐵與木料.....	0.35—0.5
給料裝置中的鋼與紙.....	0.2
橡皮與紙.....	0.4
槽形工作面的黃銅與紙.....	0.4

§ 3. 工作體表面層的強度（耐久性）核算

判斷摩擦傳動機構中工作體的表面強度，是利用單位壓力。

若在工作接觸面上只有一個曲率半徑（開始為線接觸），即在矩形面上進行接觸時，則按彈性力學的理論對於單位壓力給出一個公式：

$$p = 0.418 \sqrt{\frac{Q_p E_s}{b \rho_0}} \text{ КГ/СМ}^2, \quad (1)$$

式中, Q_p ——計算壓緊力(КГ)；

$E_s = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ ——兩工作體材料的有效彈性係數, 其中 E_1 及

E_2 (КГ/СМ²) 分別為兩物體材料的彈性係數；

$\rho_0 = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ ——兩工作體的誘導曲率半徑, 其中 ρ_1 及 ρ_2 分別

為兩物體的曲率半徑；

b ——接觸面的長度(СМ)。

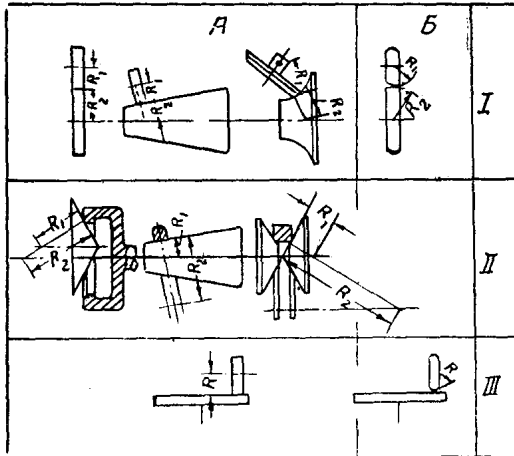


圖146 摩擦傳動中工作面的誘導曲率(接觸面為矩形或圓)。

傳動簡圖:

A. 開始為線接觸:

$$\text{I. } \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{R_1 + R_2}; \quad \text{II. } \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}; \quad \text{III. } \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{R}.$$

B. 開始為點接觸:

$$\text{I. } \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{R_1 + R_2}; \quad \text{II. } \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{R}.$$

當一個或兩個工作體在接觸面上有兩個曲率半徑時，則單位壓力按下述公式計算之。

在球形工作體與平面相接觸的情況下：

$$p = 0.388 \sqrt[3]{\frac{Q_p E_2}{\rho_0^2}} \text{ kg/cm}^2。$$

兩圓柱面間受壓彈性帶中的最大彈性壓力：

$$p = 0.655 \sqrt[3]{\frac{EQ_p^2}{b^2 h \rho_0}} \text{ kg/cm}^2, \quad (3)$$

兩球形面間受壓彈性帶中的最大彈性壓力：

$$p = \sqrt{\frac{2Q_p G}{\pi h \rho_0}} \text{ kg/cm}^2, \quad (4)$$

式中， h —— 彈性帶的厚度 (cm)；

ρ_0 —— 按圖 146 中的公式計算之；

E 及 G —— 彈性帶材料的第一類及第二類彈性係數。

無論是在那種情況下，都必須計算傳動中受載荷最大的構件，以及用強度最弱的材料製造的構件。

當必需的循環次數大於 10^7 時，在油池中工作的鋼製物體的許用單位壓力，可在下面的範圍選取：

$$R_c = (25 \div 30) H_B \text{ kg/cm}^2, \quad (5)$$

式中， H_B —— 布氏硬度。

經淬火後硬度很高的鋼製工作體，其 R_c 可達 18000 kg/cm^2 或 18000 kg/cm^2 以上。(例如，在滾珠軸承中， R_c 可達 50000 kg/cm^2)。

鑄鐵工作體的許用單位壓力不得大於 $1.5 \sigma_{bb}$ ，此處 σ_{bb} 為抗彎強度極限。

切克斯多立特 ($E = 60000 \text{ kg/cm}^2$) 的許用單位壓力應小於 1000 kg/cm^2 。

§ 4. 摩擦傳動的計算

求傳動比的通式爲：

$$i = \frac{R_1 \xi}{R_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (6)$$

式中， R_1 及 R_2 ——相接觸的原動工作體及從動工作體的平均半徑；

ξ ——滑動係數，通常 $\xi = 0.94 \div 0.995$ 。

對於兩軸相交的摩擦傳動：

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2},$$

因此

$$i = \frac{\sin \alpha_1 \xi}{\sin \alpha_2}. \quad (7)$$

式中， α_1 及 α_2 ——圓錐體頂角之半。

在無級變速摩擦傳動中， R_1 與 R_2 同時變化； R_1 由 $R_{1\max}$ 變到 $R_{1\min}$ ， R_2 由 $R_{2\min}$ 變到 $R_{2\max}$ ，所以總傳動比的變化或調速範圍是成比例的：

$$\Pi = \left(\frac{R_{1\max}}{R_{2\min}} \right)^2 = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}. \quad (8)$$

這個公式只能用於 $R_1 = R_2$ 的無級變速傳動中。對於任何一種無級變速傳動 $\Pi = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$ ，其 $n_{\max}$ 及 $n_{\min}$ 應爲從動軸的最大轉數及最小轉數。

求摩擦體的相互壓緊力，可利用下述公式：

$$Q = \frac{P}{f_1 - f_2 \frac{r_2}{R_2}} \quad (9)$$

式中， R_2 ——從動工作體的半徑；

r_2 ——從動體軸頸的半徑；
 f_1 ——工作體的摩擦係數；
 f_2 ——軸承中的摩擦係數；
 P ——摩擦傳動中的圓周力。

通常 $\frac{r_2}{R_2} \approx 0.1$ ，因此當 f_2 很小時，例如對於滾珠軸承，應用下述的簡單公式已十分準確了：

$$Q_p = \frac{kP}{f_1}, \quad (10)$$

式中， k ——摩擦餘裕係數。

對於強力傳動， $k = 1.25 \div 1.5$ ；對於儀器製造中的傳動，摩擦餘裕係數 k 可達 3（參看第十五章中的表 150）。計算有槽摩擦輪時，必須在上述公式中用所謂誘導摩擦係數 f'_1 來代替 f_1 ， f'_1 按下式求之：

$$f'_1 = \frac{f_1}{\sin \alpha + f_1 \cos \alpha}. \quad (11)$$

式中， α ——摩擦體的旋轉軸與接觸面間的交角。

公式 (11) 表明， $f'_1 > f_1$ ；因此在傳遞同一扭轉力矩時，有槽摩擦輪所需的相互壓緊力就要比平摩擦輪小。

對於其他的摩擦傳動，如在傳遞圓周力的過程中不產生這種移動：移動在接觸面長度上的投影不等於零，則誘導摩擦係數為：

$$f'_1 = \frac{f_1}{\sin \alpha}. \quad (12)$$

（因為只有當摩擦零件在這個方向上有相對速度時，才會在該方向上產生摩擦力，如保持力）。根據這個誘導摩擦係數，就可以算出：傳遞圓周力時為保證接觸面上有充分的摩擦，而使摩擦體緊壓在軸上所必需的壓緊力。

§ 5. 摩擦傳動中的損失

摩擦傳動中的總損失包括以下幾種：(1) 工作體的滾動摩擦損失；(2) 由於工作體表面有油膜、衝擊載荷及壓力不均勻等而引起的滑移損失；(3) 由於接觸面上各點速度不同而引起的滑動損失；(4) 軸承中的摩擦損失。

(1) 工作體的滾動摩擦損失。由滾動摩擦定律得知，一圓柱體沿平面滾動的摩擦力為：

$$T = \frac{f_k Q}{R}, \quad (13)$$

式中， T —— 摩擦力 (公斤)；

f_k —— 滾動摩擦係數 (厘米) (參看表53)；

R —— 圓柱體的半徑 (厘米)；

Q —— 圓柱體對平面的壓力 (公斤)。

摩擦傳動中的滾動摩擦係數 f_k 表53

工作物體的材料	f_k (厘米)
鋼與鋼 (工作面精細加工)	0.005
鑄鐵與鑄鐵	0.005 ÷ 0.01
鋼或鑄鐵與木料	0.015
木料與木料	0.015 ÷ 0.06

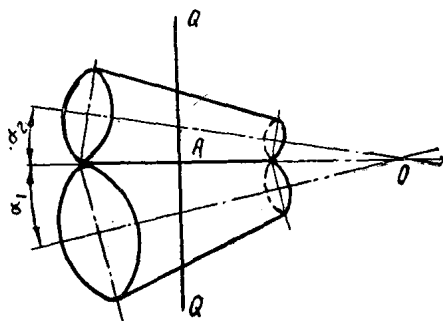


圖147

現在研究兩個圓錐工作體的工作情形 (圖 147)，它們以角速度 $\omega_1 > \omega_2$ 相互滾動。在這種情況下，在 A 點上的圓周速度為：

$$\begin{aligned} v &= r_1 \cos \alpha_1 \omega_1 = \\ &= r_2 \cos \alpha_2 \omega_2. \end{aligned} \quad (14)$$

因為兩個圓錐體相互滾動，所以在外接時的滾動摩擦力

爲：

$$T = f_k Q \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \circ \quad (15)$$

滾動摩擦的功率爲：

$$A = T \cdot v = f_k Q (\cos \alpha_1 \omega_1 + \cos \alpha_2 \omega_2) \circ \quad (16)$$

如果兩圓錐體不是在外接而是在內接時相互滾動，那末：

$$T = f_k Q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) ; \quad (17)$$

$$A = f_k Q (\cos \alpha_1 \omega_1 - \cos \alpha_2 \omega_2) \circ \quad (18)$$

如工作體的彈性係數很大，則可完全略去滾動摩擦。

(2) 滑移損失以百分數表示，爲相對滑動的2—3%。

(3) 由於接觸面上各點速度不同而引起的滑動損失，發生在圓錐工作體頂點不重合時（見圖148）。

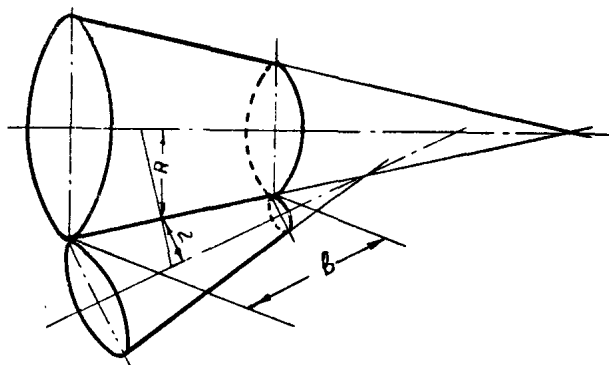


圖148

爲了使計算簡單，假設在兩圓錐體圓周速度相同處，其接觸面的斷面的座標是在接觸面的中央，即等於 $\frac{b}{2}$ 。這樣，在接觸長度上的圓周速度是隨着距圓錐體頂點的遠近而增減，其值爲：對於一個圓錐體是 $(r_{max} - r_{min})\omega_1$ ；對於另一個圓錐體是 $(R_{max}$

$-R_{min}) \omega_2$ 。但因為 $r_{max} - r_{min} = b \sin \alpha_1$ ， $R_{max} - R_{min} = b \sin \alpha_2$ ，所以沿兩圓錐體接觸長度上速度變化的平均值為：

$$v_{cp} = \frac{b(\sin \alpha_1 \omega_1 \pm \sin \alpha_2 \omega_2)}{2}, \quad (19)$$

此處，當兩圓錐體頂點位於相反方向時取正號，當兩圓錐體頂點同位於接觸面的一方時取負號。當速度是這樣不同時，摩擦損失可用下式表示：

$$A = f_k Q v_{cp}, \quad (20)$$

或

$$A = f_k Q b \frac{\sin \alpha_1 \omega_1 \pm \sin \alpha_2 \omega_2}{2}. \quad (21)$$

若不沿母線接觸而在一點接觸時，公式(21)就比較複雜了，因為這時必須考慮接觸橢圓的兩個半軸 a_s 及 b_s 的影響；必須以下的量來代替接觸面的長度 b ：

$$2 a_s \sqrt{1 + \left(\frac{3}{8} \frac{b_s}{a_s} \right)^2}. \quad (22)$$

a_s 及 b_s 也可以由彈性力學中解有關問題的公式來求（參看機械製造百科全書第二卷的575頁）。

在應用槽形工作體時，兩工作體在接觸面上將產生不同的相對速度。這種情況將使得一個工作體對另一個工作體產生有害的滑動，以致磨損加速，並且功率遭受附加損失。這附加損失等於：

$$A = f_1 Q b v \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \cos \alpha, \quad (23)$$

式中， v ——兩物體的公共圓周速度； α ——槽的錐角。

(4) 軸承中的摩擦損失。在一般的情況下，軸承上作用着這樣一個力：

$$\sqrt{Q^2 + P^2} = \sqrt{Q^2 + Q^2 f_1^2} = Q \sqrt{1 + f_1^2} \approx Q \left(1 + \frac{f_1^2}{2} \right), \quad (24)$$

式中， f_1 ——接觸面上的摩擦係數。

因此，軸承中的損失為：

$$A = Qf_2 \left(1 + \frac{f_1^2}{2} \right) v \left(\frac{d_1}{D_1} + \frac{d_2}{D_2} \right) \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{сек}, \quad (25)$$

式中， v ——接觸面上的圓周速度；

d_1 及 d_2 ——工作體軸頸的直徑；

D_1 及 D_2 ——工作體的直徑；

f_2 ——軸承中的摩擦係數。

摩擦傳動的效率。摩擦傳動的效率可以下式表示：

$$\eta = \frac{A_{\text{получ}}}{A_{\text{затрач}}} = \frac{P_v}{P_v + A_{\text{кач}} + A_{\text{скольж}} + (\psi P_v)_{\text{проск}} + A_{\text{подшип}}};$$

如 $\alpha_1 = \alpha_2$

$$\eta = 1 - \frac{1}{D_1} \left(1 \pm \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \left(\frac{2f_k}{f_1} \cos \alpha + b \sin \alpha \right) - \psi - \frac{f_2}{f_1} \left(1 + \frac{f_1^2}{2} \right) \left(\frac{d_1}{D_1} + \frac{d_2}{D_2} \right). \quad (26)$$

由最後一個公式知道，增高摩擦傳動的效率可利用下列方法：

- (1) 改善軸承，即減小摩擦係數 f_2 ；
- (2) 減小 $\frac{d}{D}$ 的比值；
- (3) 減小接觸面的長度 b ，即應用彈性係數很大的材料製造工作體，這樣也可以降低滾動摩擦係數 f_k ；
- (4) 減小接觸面上與滾動物體形狀有關的滑移；
- (5) 增強工作情況的平穩，以影響 ψ 的大小。

§ 6. 摩擦傳動設計計算的步驟

進行摩擦傳動的設計計算，必須知道下列數據：

- (1) 扭矩的大小與方向，扭矩延續的時間，或載荷與時間

的關係圖。

(2) 兩個軸或一個軸的轉數，傳動比與調整範圍，並指出其容許誤差的百分率；

(3) 用現有設備製造傳動所可能達到的最高精度等級；

(4) 關於現有材料及熱處理可能性的資料；

(5) 使用期限或總工作時數；

(6) 對傳動尺寸的要求。

知道了上述資料，就可以按下述步驟進行計算：

(1) 確定傳動的型式（如果它未給出）；

(2) 根據已知條件：調整範圍、傳動比及對傳動尺寸的要求，選取可以採用的摩擦物體的尺寸與形狀；

(3) 根據現有材料及加工與熱處理的可能性，而預先確定摩擦物體的這些資料；

(4) 求出傳遞最大扭矩時在接觸面上所必需的壓緊力，此時以係數 k 考慮工作情況；係數 k 可按第十五章中的表150來確定；

(5) 計算出接觸面上的單位壓力，為此先求出工作體的有效彈性係數及誘導曲率半徑。

如果最弱的一個摩擦物體材料的許用單位壓力稍大於根據第五項所求出的值，則傳動設計正確，否則得改變接觸面的長度或摩擦物體的材料。偶而可能要改變傳動的構造甚至傳動的型式。

§ 7. 習 題

習題。試根據圖149核算無級變速傳動的摩擦面。 $N_{B\text{м}}=5$ 馬力， $n_{B\text{м}}=1500$ 轉/分， $R_{\text{max}}=10\text{cm}$ ， $R_{\text{min}}=3.0\text{cm}$ ， $R_1=12.0\text{cm}$ ， $b=1\text{cm}$ ，材料——鋼圓錐體與鑄鐵圓杯體；摩擦餘裕係數 $k=2$ 。

求接觸處的法向計算壓緊力：

$$fQ_p = \frac{M_{\kappa p}}{R_{\text{min}}} k。$$