

機械零件 構造與強度

(一般及航空工程適用)

第 二 冊

С. Е. ДЗЮБЕ 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

一九五五年二月

序

「機械零件構造與強度」第二冊與第一冊一樣，是按照H.E. 儒可夫斯基空軍軍事工程學院的教學大綱編寫的。這本書可以作為學習機械零件教程各有關章節的參考。本書採用了機械製造百科全書第二卷中的材料，蘇聯許多學者的雜誌論文與卓越著作，以及有關機械零件的其他參考書籍。我們以機械製造百科全書第二卷的材料作為主要的材料，因為它是遵照蘇聯人民委員會在1944年3月5日所頒佈的№240號決定：為了「系統與推廣祖國先進經驗」而出版的。為求統一，我們力求採用現代各書中所通用的符號、計算公式、圖形、圖線及表格等。然而，我們却不能完全這麼做，因為同一個量在不同的書中往往以不同的符號表示。我們盡力按照機械製造百科全書中的符號，但是同一量在該書的不同章節中亦常以不同的符號來表示。

因此從教學法的觀點出發，我們不得不允許有某些改變。

1. 機械製造百科全書中有關傳動的許多公式的形式對實際計算很方便，但是，從這些公式中學員很難瞭解到：什麼因素能影響該傳動的工作，它又能影響到什麼程度。有時根據這些形式的公式很難選定傳動的最適宜尺寸。因此我們就舉出了在形式上便於分析諸量的公式。

2. 機械製造百科全書中，不同傳動的中心距離以不同的符號表示，這樣使學員很不易掌握，因此我們就以相同的符號來表示。

3. 機械製造百科全書中，齒輪及蝸輪的節圓直徑及分度圓直徑分別以 d 及 d_g 表示，頂圓直徑及根圓直徑以 D_e 及 D_i 表示。

以 d 表示齒輪直徑常常會使學員發生誤會，特別是在公式中同時含有齒輪的直徑及軸的直徑時，因為軸的直徑也是以 d 表示的。根據上述理由，我們認為這些直徑的符號以 D 來表示是比用 d 來表示要恰當一些。

除上述以外，本書還作了一些根據某種理由認為允許的改變。本書主要是適用於空軍軍事工程學院，同時在該學院的教學過程中，將對教材的份量、敘述的方法及所引用的資料的性質等作一次審查。根據審查結果，著者打算將此書加以修改，作一些適當的修正（補充或刪減），以便此書將來能被廣泛採用。

因此，著者謹向惠予提出指正、希望及建議以改進本書的諸君致以謝意。

C. E 德修培

目 錄

序

緒言

第一章 摩擦輪傳動

§ 1. 概論	10
§ 2. 摩擦輪傳動中摩擦輪工作上的接觸應力	14
§ 3. 傳動比	17
§ 4. 圓柱摩擦輪	18
§ 5. 有槽摩擦輪	24
§ 6. 圓錐摩擦輪	31
§ 7. 圓柱形輪子及圓盤的角度傳動	34
§ 8. 用介件的圓柱摩擦輪傳動	36
§ 9. 無載軸的摩擦傳動	37
§ 10. 周轉摩擦輪傳動	41
§ 11. 摩擦傳動中的損失	43
§ 12. 摩擦輪傳動的發熱計算	47
§ 13. 無級變速傳動的用途及使用範圍	48
§ 14. 各種用途的圓盤無級變速傳動的簡圖	49
§ 15. 無介件的圓錐無級變速傳動	50
§ 16. 用移動介件的圓錐無級變速傳動	51
§ 17. 可移動的圓錐無級變速傳動	52
§ 18. 無級變速傳動中的運動關係	54
§ 19. 用可移動輪及剛性環的摩擦無級變速傳動	58
§ 20. 用可移動輪及撓性件的無級變速傳動	61

§ 21.	用迴轉滾子摩擦無級變速傳動·····	61
§ 22.	圓盤摩擦—齒輪無級變速傳動·····	62
§ 23.	周轉式摩擦—齒輪無級變速傳動·····	65
§ 24.	衝擊無級變速傳動·····	67
§ 24a.	無級變速傳動中摩擦輪工作面上的接觸應力·····	70

第二章 齒輪傳動

§ 25.	概論·····	71
§ 26.	齒輪傳動與其他傳動的比較·····	73
§ 27.	齒輪的製造·····	73
§ 28.	圓柱齒輪的定義及關係·····	87
§ 29.	重合度·····	94
§ 30.	傳動比·····	99
§ 31.	漸伸齒輪的最小齒數 ·····	102
§ 32.	斜齒及人字齒輪的接觸線長度 ·····	105
§ 33.	輪齒工作面的曲率半徑 ·····	108
§ 34.	誘導齒數 ·····	111
§ 35.	齒輪計算中應注意的事項 ·····	112
§ 36.	圓柱齒輪接觸剪應力的計算 ·····	115
§ 37.	根據彎曲應力計算圓柱齒輪的耐久性 ·····	124
§ 38.	圓柱齒輪的等強度條件 ·····	130
§ 39.	人字齒輪的特點 ·····	133
§ 40.	考慮影響齒輪工作的各種因素的係數 ·····	134
§ 41.	許用接觸剪應力 ·····	142
§ 42.	許用彎曲應力 ·····	144
§ 43.	圓錐齒輪傳動 ·····	148
§ 44.	圓錐齒輪傳動的曲率半徑及誘導曲率半徑 ·····	151
§ 45.	圓錐齒輪接觸剪應力的計算 ·····	154
§ 46.	根據彎曲應力計算圓錐齒輪的耐久性 ·····	158

§ 47. 圓錐齒輪的等強度條件	159
§ 48. 螺旋圓錐齒輪傳動	160
§ 49. 齒輪潤滑	161
§ 50. 作用在軸與軸承上的力	163

第三章 圓柱蝸輪傳動

§ 51. 蝸輪傳動的種類與用途	175
§ 52. 蝸輪傳動中的基本關係	177
§ 53. 傳動比	184
§ 54. 蝸輪傳動中的作用力	185
§ 55. 效率	190
§ 56. 蝸輪的接觸剪應力計算	194
§ 57. 蝸輪材料的許用接觸剪應力	199
§ 58. 根據彎曲應力計算蝸輪輪齒的耐久性	200
§ 59. 蝸輪齒等強度的條件	204
§ 60. 許用彎曲應力	206
§ 61. 載荷係數 K	206
§ 62. 蝸輪傳動中的損失	210
§ 63. 蝸輪傳動的發熱計算	210
§ 64. 螺旋齒輪傳動	211

第四章 圓弧面蝸輪傳動

§ 65. 概論	215
§ 66. 關係式	217
§ 67. 幾何計算	222
§ 68. 力的計算	226
§ 69. 圓弧面蝸輪傳動的計算	226
§ 70. 圓弧面蝸輪傳動的計算例題	228

第五章 鏈傳動

§ 71. 概論	233
§ 72. 鏈傳動中的關係	235
§ 73. 鏈的長度及鏈輪的中心距離	238
§ 74. 鏈的伸長及其對傳動比的影響	240
§ 75. 鉸鏈上的載荷及軸承上的載荷	243
§ 76. 動力效應	247
§ 77. 鏈的選擇	249
§ 78. 壓力角為 20° 的滾子鏈鏈輪的齒廓及寬度	251
§ 79. 鏈傳動的潤滑	252

第六章 皮帶傳動

§ 80. 概論	255
§ 81. 皮帶傳動中的關係	266
§ 82. 皮帶兩邊中的拉力	271
§ 83. 工作皮帶中的應力	275
§ 84. 有效應力的求法	277
§ 85. 求校正係數	282
§ 86. 計算平皮帶傳動的步驟	286
§ 87. 三角皮帶傳動	291
§ 88. 三角皮帶傳動中的關係	292
§ 89. 計算三角皮帶傳動的原始資料	295

參考書籍

緒 言

機械中構成運動對並用來改變運動的部份，稱為傳動。傳動在機械製造中起着決定性的作用，因為它能將一種運動變成另一種運動，能改變一個原件對另一個原件運動的速度與方向。

例如，由兩個輪子所構成的齒輪傳動或摩擦輪傳動，在兩輪外接時能使從動軸按原動軸的反方向旋轉；在兩輪內接時能使從動軸按原動軸的方向旋轉。無論在那種情況下，其轉數都可以不相同。

爲了研究方便，特將所有各種傳動分爲數類。第一類傳動，是利用零件工作面上產生的摩擦力將功由一個原件傳到另一原件上；第二類傳動，是利用一個零件的原件和另一個零件的原件的嚙合，即利用一個原件對另一個原件的直接壓緊來傳遞運動；第三類傳動，是應用液體將力由一個原件傳到另一原件上來傳遞功。

研究傳動時，必須考慮其效率，亦即被傳遞功的損失。在大多數情況下，轉軸和心軸支承部份中的有害阻力，則是最主要的損失。

在某些類型的傳動中，除這些損失外還有另外一些特殊的、亦即此種傳動所固有的損失。效率的解析式通常可表示出：採用何種措施才能更適當地選擇零件形狀、材料及潤滑等。

第一章

摩擦輪傳動

§ 1. 概 論

以機械方法將轉動從一軸傳到另一軸上，是利用：

- (1) 直接接觸傳動，如摩擦輪傳動、齒輪傳動及蝸輪傳動；
- (2) 撓性傳動，如平皮帶傳動、三角皮帶傳動、繩索傳動及鏈傳動。

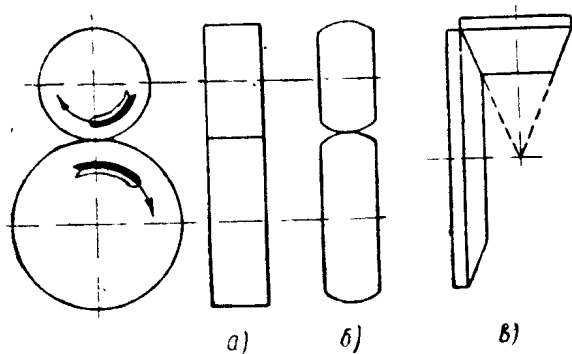


圖 1 定傳動比的摩擦輪傳動的簡圖
a——圓柱摩擦輪；б——球面摩擦輪；B——圓錐摩擦輪。

摩擦輪傳動中，傳遞運動或功的構件是工作面互相壓緊的摩擦輪。壓緊能在輪子工作面上產生摩擦力，利用這個摩擦力就可以使得從動輪及從動軸旋轉。

根據用途、軸的相互位置及其他理由，摩擦輪可分為：圓柱

摩擦輪（如圖1a）一用於平行的兩軸；球面摩擦輪（如圖1b）一用於平行的兩軸及不平行亦不相交的兩軸；圓錐摩擦輪（如圖1c）一用於相交的兩軸。

摩擦傳動可作如下的分類：

- (1) 平行兩軸間及相交兩軸間的傳動；
- (2) 定轉數及變轉數的傳動，正向及反向（可以在原動軸的轉動方向不變時改變從動軸的轉動方向）的傳動；
- (3) 摩擦輪直接接觸的傳動及用介件的傳動；
- (4) 平摩擦輪傳動及有槽摩擦輪傳動；
- (5) 軸承坦負摩擦輪全部壓力的傳動及軸承不坦負該載荷的傳動。

應用的範圍

摩擦輪傳動應用的範圍極其廣泛。它可以用來：

- (1) 在機械、傳動機構及儀器中傳遞兩軸線成任何角度（由 0° 至 90° ）的兩軸間的運動；
- (2) 改變旋轉運動為往復運動或往復運動為旋轉運動（滾輪與軌道傳動、送料輥等）；
- (3) 改變旋轉運動為螺旋運動（壓床、無心磨床等）。

摩擦輪傳動的優點是：構造簡單，轉數很大時工作無噪音，結構適當時能調整轉數及起保險機件（註一）的作用。

但是，在需要絕對保持傳動比恆定的時候，摩擦輪傳動就根本不能採用了，因為在此傳動中將不可避免地發生彈性滑動（註二）。這種彈性滑動決定於摩擦輪的剛性，可達 $2 \div 3\%$ 。

（註一）將摩擦輪傳動作保險機件用的辦法，只適宜於小馬力及低速的且原動輪為非金屬材料的傳動。此辦法不適宜於高速強力的傳動。

（註二）欲詳細研究彈性滑動，請參看第六章§84。

定傳動比的摩擦輪傳動，現在應用極廣，例如：摩擦壓力機，摩擦落錘，摩擦校車，滾床，無心磨床，平面測量器，示振器，里程計，無線電電容器遊標，縫紉機，電影機，製型材、管子及金屬板的輾壓床等。摩擦輪傳動也常作無級變速之用。

摩擦輪傳動及無級變速傳動所傳遞的功率範圍很大：由電動量具中調整器的傳動機構的極小馬力到幾百匹馬力。功率在20匹馬力以下的摩擦輪傳動應用最廣。

傳動比在強力傳動中可達15，在調整電動儀器的傳動中可達25。

摩擦輪傳動中，工作面相互壓緊是利用：

(1) 初夾緊力，當其中一個摩擦體的彈性係數較小時（例如，皮革）；

(2) 特殊彈簧的初夾緊力（彈簧是傳動結構中規定有的），當所傳遞的力矩不大時；

(3) 本身重量，當此法可行時；

(4) 手力，當人工操縱時；

(5) 液壓法，用於強力傳動；

(6) 自動壓緊，當壓力能隨所傳遞的力矩的增大而自動增大時（這種方法在工作條件嚴重時特別有利）；

(7) 離心力。

材 料

由於所傳遞的功率及工作條件不同，摩擦輪所採用的材料也就不同。本書只扼要地敘述幾種最常用的材料。

淬火鋼與淬火鋼，能保證傳動最緊湊最經濟，但要求傳動精確製造及工作面精細加工。

洛氏硬度 $R_c > 60$ 的滾珠軸承鋼ШХ—15，是製造摩擦輪工作面最好的材料。

鑄鐵與鑄鐵，用於外廓尺寸較大的開式傳動中。鑄鐵工作面

常加以冷硬或淬火，使之具有較大的硬度。這種傳動與鋼質摩擦輪傳動相比較，成本要低得多，並且工作時噪音小。

由於用途、工作條件及製造的不同，鋼質及鑄鐵摩擦輪的傳動可在乾燥狀態中或油池中工作。

鋼或鑄鐵與切克斯多立特（註一）或纖維紙（註二）這種傳動能在乾燥狀態中工作，並且製造不需要高度精確。鑄鐵用於外廓尺寸較大時。以切克斯多立特、皮革及其他軟質材料製造的摩擦輪傳動，在工作時無噪音；但由於許用接觸應力較小，所以其外廓尺寸就要比鋼質摩擦輪大得多。

皮革、弗洛德（註三）、纖維紙、紙、橡膠布及其他類似的材料，在摩擦輪傳動中用來增大摩擦係數並作為原動輪的接觸表面。這些材料通常用於動力小及速度低的傳動中，在這種傳動中從動軸的起動與停止，是利用其中一個摩擦輪（多半是原動輪）的徑向移動來完成。這種傳動用於絞車、衝模、落錘及螺旋壓力機中。

有時在從動輪上蒙以這些材料，但這種辦法的效果却是不大的，因為滑動時在從動輪上將產生局部磨損，以致在工作時引起衝擊而使傳動很快損壞（詳見§4）。

工作面為非金屬材料的摩擦輪傳動，通常在乾燥狀態中工作。

定傳動比的摩擦輪傳動

定傳動比的摩擦輪傳動由於有很多基本優點—簡單及經濟，

（註一）切克斯多立特（Текстолит）是塑膠的一種，係由亞麻織物作為填料並浸以膠結物，在 15°C 以下加高壓而製成，也有譯成『夾布膠木』的。

（註二）纖維紙（Фибра）是紙質材料的一種，係由許多薄紙層浸以氧化鋅溶液而製成。

（註三）弗洛德（Фирод）是一種塑料，也有譯成『夾鐵紗帆布』的。

所以在工程上應用極廣。圖 1 表示作為機械傳動機構用的最簡單的傳動簡圖。

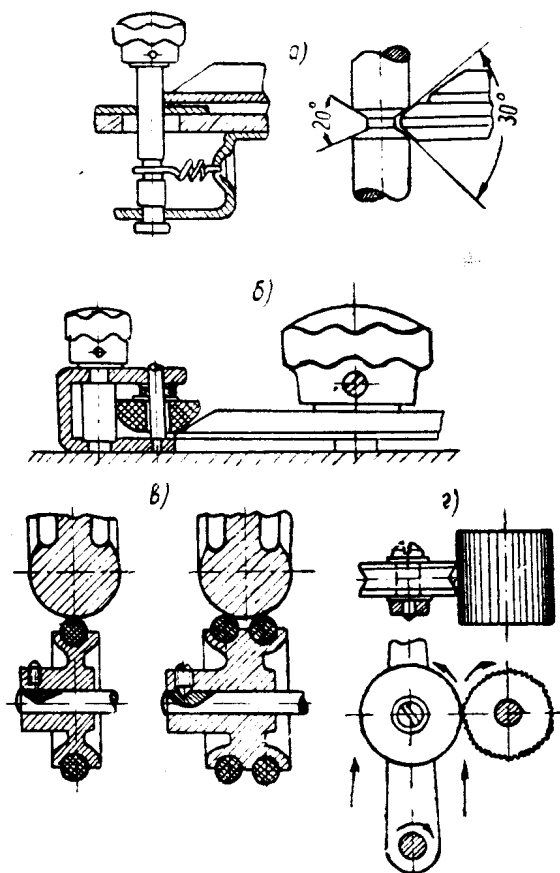


圖 2 儀器製造中的摩擦傳動

a, б——可變電容器的傳動；в——縫紉機中的傳動；
г——給紙機構。

儀器及小型機構中，摩擦輪傳動的簡圖與構造是各色各樣的。圖 2 表示數個此種傳動的結構簡圖。在可變電容器的傳動中（圖 2, a），軸是利用彈簧壓在摩擦片上；在某些情況下，為了改

善摩擦，在軸上做一個槽，將摩擦片做成楔形（見圖 2, a 中的左圖）。

爲了同樣目的，在二級傳動中，應用圓柱摩擦輪與圓錐摩擦輪的聯合（圖 2, 6）；此處當左邊的軸轉動時，中間摩擦輪一方面自己轉動，另一方面又使摩擦片轉動。工作面的相壓在此處也是用彈簧來完成的。

圖 2, B 表示縫紉機中將線繞在線捲上的一種摩擦傳動。圖 2, r 表示自動記錄儀器及其他類似的儀器中拉緊紙的機構。

高速摩擦輪傳動及大動力的增速器（增速器就是增加從動輪轉數的傳動）的工作體通常是以淬火鋼製造，通常軸是無載的，而工作面是自動相壓的（其性與構造，將於下面說明）。

§ 2. 摩擦輪傳動中摩擦輪

工作上的接觸應力

在摩擦輪傳動中，將功自一原件傳至另一原件上是利用力 Q 使兩件相壓而產生的摩擦力。

用剛性工作體的傳動中，將力 P 自一原件傳至另一原件上所必需的壓力 Q ，由下面的方程式來求：

$$Qf = \beta P, \quad (1)$$

式中 f ——摩擦係數（見表 1）；

β ——摩擦餘裕係數，在強力傳動中爲 $1.25 \div 2$ ，在儀器中可達到 3。

在方程式 (1) 中，若係數 $\beta = 1$ 而摩擦係數 $f = 0.1$ ，則欲傳遞圓周力 P ，就必須以比力 P 大到十倍的力 Q 使兩輪相壓緊。由此可知，摩擦傳動的工作面承受着很大的法向力，而且在極高的壓縮應力下工作。這裏應當指出，工作中承受這種載荷的情況，在工程上的很多傳動中是常常可以遇到的；例如，滾動軸承中、齒輪傳動的齒上、鏈傳動的工作面上、火車輪子的輪緣上所受載荷的情形都可作爲例子。

現在，一般是計算摩擦輪工作面上及其他受這種載荷的機械零件工作上的接觸應力，因為由其大小就可從材料疲勞的觀點來判斷工作面的耐久性。『材料疲勞』的概念，就是指材料在反覆應力多次作用下，即使這些應力不超過彈性極限，而損壞的現象。而由於似乎是彈性的變形，但因能量不可逆的轉換（消失）因而產生的彈性滯後現象是零件工作損壞的基本原因。由於金屬不均勻，發生這種變形時，就在個別地方產生微小的一定的塑性變形，從而使疲勞裂縫逐漸發展，直至金屬折斷而終止，這種現象即使是在韌性極大的金屬中也不例外。

核算摩擦輪傳動工作體的表面層，是根據接觸面上的接觸應力。計算物體沿線接觸的接觸應力可根據赫爾滋及Н.М.別遼耶夫(Н.М.Беляев)研究受壓圓柱體所得出的關係來求。

受壓圓柱體因材料的彈性而變形，因此就在接觸的地方形成寬度為 Δ 的長條（圖3）：

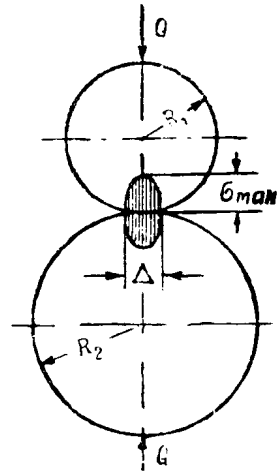


圖3 計算摩擦輪傳動中的接觸應力

$$\Delta = 3,04 \sqrt{\frac{R_1 R_2}{E}} \quad (2)$$

式中

p ——圓柱體單位長度上的載荷（公斤）

$$p = \frac{Q}{b};$$

ρ ——誘導曲率半徑（厘米）（外接時 $\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ ）；

Q ——壓縮圓柱體的力（公斤）；

b ——被壓縮圓柱體的接觸線長度（厘米）；

E ——圓柱體材料的誘導彈性係數（公斤／厘米²）；如接觸工作體的彈性係數為 E_1 及 E_2 ，則

$$E = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}.$$

垂直壓應力 σ_c ，按橢圓規律分佈在長條的寬度上。由此可知，垂直應力圖的面積 F 為：

$$F = \frac{\pi}{4} \Delta \sigma_{\text{макс}} \quad (3)$$

壓縮圓柱體的力可以用面積 F 及圓柱體長度 b 表示之（圖4）：

$$Q = Fb = \frac{\pi}{4} b \Delta \sigma_{\text{макс}}$$

由此式可求 $\sigma_{\text{макс}}$ ：

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{4Q}{\pi b \Delta} = \frac{4Q}{\pi b \cdot 3,04 \sqrt{\frac{F\rho}{E}}} = 0,418 \frac{Q}{b \sqrt{\frac{p\rho}{E}}}.$$

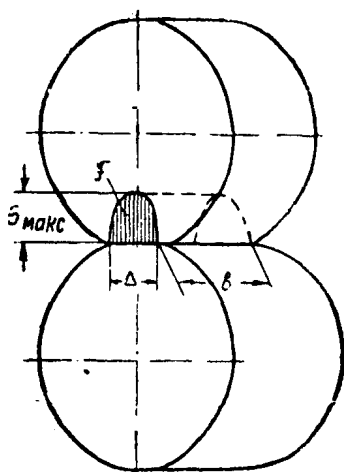


圖4 接觸應力圖

以 $p = \frac{Q}{b}$ 及 $\sigma_{\text{макс}} = R_k$ 代入

並化簡之，則得：

$$\text{或 } R_k = 0,418 \sqrt{\frac{QE}{\rho p}} \text{ 公斤/厘米}^2; \quad (4)$$

$$b = 0,175 \frac{QE}{R_k^2 \rho} \text{ 厘米}. \quad (5)$$

求得的方程式是摩擦輪傳動的基本方程式，由它能求出輪子工作面的寬度；該寬度是由壓力、輪子材料的彈性係數、許用接觸應力、輪子直徑而決定。