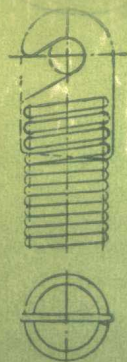


150754

螺旋彈簧

的
種類計算與製造

[德] W. A. 胡爾夫著



2
/4715

科學技術出版社

螺旋彈簧的種類

計算與製造

〔德〕胡爾夫著

霍勵強譯

科學技術出版社

內 容 提 要

本書綜合地，詳盡地敘述了螺旋彈簧的種類、材料、計算、製造、公差問題及檢驗方法等，並附有圓形及矩形斷面的螺旋彈簧的圖算表格及換算資料。本書可作為機械設計人員，專業學生，以及從事于彈簧製造與使用的工程技術人員參考之用。

螺旋彈簧的種類、計算與製造

Die Schraubenfedern ihre Ausführungsformen

Berechnung und Herstellung

原 著 者 [德] Wener A. Wolf

原出版者 V. Girardet·1950年版

譯 者 霍 勵 強

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出○七九號

新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·215

(原大東版印4,000冊)

開本 850×1168 1/32·印張 4 5/16·插頁 1·字數 100,000

一九五六年五月新一版

一九五六年十一月第二次印刷·印數 2,521—5,520

定價：(10)七角五分

原 序

工業彈簧在過去，曾被認為不重要而予以忽視；但在今天，已隨着工業的飛躍發展，而廁身於最重要的機械零件中了。在任何工業產品裏，不論是飛機以及精密儀器、電器；不論是動力機、工具機或者是農業機械；不論是家庭用具，甚至日常用品；設計者都把較重要的任務，託付給彈簧來完成。並且，在大多數情況下，彈簧的作業是否能順利進行，對於整個裝置的性能和工作，有莫大的關係。

彈簧所起的作用雖如此重大，但對於其適當型式的選擇與應用，適當材料的決定，以及製造上的一般問題等，在文獻上所可找到的有關資料，還是相當缺乏的。偶而有些卓越的著作，對於各項彈簧問題，在理論上雖有比較深入的討論，但在結合各個別情況，而選擇合適的彈簧型式，以及怎樣選用適當的材料等方面，則所接觸的範圍仍是不够廣泛。

本書的目的，就是爲了彌補當前的這個缺憾。本書的寫作，不但爲了彈簧的製造者，主要的還是爲了設計者和現場工作者，而同時也爲了彈簧的使用者。

本書是按着實際需要而取材的，同時也極力把基本理論作深入而詳盡的敘述，更列舉許多實際例子來說明。在每章之末，又重複地把最重要的概念和知識綜合成總結的形式。對於彈簧的實際計算，並不限制於那些公式的複演或是呆板的計算，而是結合着個別實際例子的演算。

對於計算矩形和圓形斷面的螺旋彈簧，本書介紹了最簡化的公式。

應用這些公式可迅速地與可靠地求出結果，和我們過去所習用的很複雜的公式同樣準確。此外，本書又提供了關於圓形和矩形斷面彈簧的比較數值，十分便於應用。

關於本書所應用的公式的誘導，只有在個別情況下才完全列出，因為只有在那些需要涉及基本原理的了解，和需要有較深刻印象的地方，公式的從頭誘導才有意義。在計算例題時，則常常引用現成的公式，以便在數學上修養較差的讀者，也容易了解和應用。

除了螺旋彈簧的實際應用之外，本書還概括了彈簧的製造、彈簧的檢驗，最後還敘述了彈簧的公差問題，彈簧的繪圖及彈簧的規範等。因為從事工業也和從事其他事業一樣，人們必須對於他所從事的事物的整體及過程，具有一清楚的認識。只有那些知道彈簧的製造上的特點及困難的人，才能提出合用的彈簧結構形式，以及在不提高製造成本的原則下，要求合理的公差。

最後我得向所有在本書寫作時支持我，供給我許多寶貴資料的廠家，致衷心的感謝！

華納·埃·胡爾夫 1949年夏於海登堡

譯 序

螺旋彈簧在機械製造各部門中應用很廣泛，而且在很多機構中，它負擔着頭等重要的任務。

然而到目前為止，關於螺旋彈簧的資料卻仍舊很少。爲了彌補文獻中的空白，德國胡爾夫總工程師寫成了這書。這書雖然篇幅有限，但就譯者的體會，覺得有以下幾點優點：

一、對於理論與實際方面的基本問題，例如設計、材料的性能、製造、公差、檢驗等，均有較完備的敘述。

二、關於彈簧計算的例題，能够結合實際情況，且富有啓發性。

三、對於圓形斷面和矩形斷面的螺旋彈簧的比較及換算，提供了較新的資料及圖表。

四、每章末皆有一總結，使各章內容的重點突出，且便於讀者思考及記憶。

值此祖國正在展開大規模經濟建設時期，譯者希望這書能有助於各部門的工程技術工作者。

譯者謹藉此機會向陳邕麟同志致以深切的感謝，他曾在百忙中抽空仔細校閱譯稿，並對譯稿提出許多改進的意見。

譯者學識經驗，均感缺乏。本書錯漏之處，在所難免。譯者將以感激的心情，接受同志們的指正。

譯者 一九五四年十月

目 錄

原 序

第一章 基本概念.....	1
1. 旋繞比.....	2
2. 直線形的彈簧示性線.....	4
3. 單位力和單位變形.....	7
4. 曲線形的彈簧示性線.....	8
5. 彈簧功.....	10
6. 摩擦功.....	14
7. “初壓縮量”和“立定”.....	15
總結 (1)旋繞比 (2)直線形的彈簧示性線——單位力——單位變形彈簧功 (3)曲線形的彈簧示性線——彈簧功 (4)摩擦功 (5)“初壓縮量”和“立定”	
第二章 材料.....	20
8. 冷捲彈簧的材料.....	20
9. 熱捲彈簧的材料.....	26
10. 斷面形狀.....	27
11. 許可應力.....	28
總結 (1)冷捲的螺旋彈簧 (2)熱捲的螺旋彈簧 (3)斷面形狀 (4)許可應力	
第三章 彈簧的式樣構造和應用.....	36
12. 壓力彈簧的種類.....	36
13. 拉力彈簧的種類.....	39
14. 扭力彈簧的種類.....	43
15. 表面保護法.....	44
總結 (1)壓力彈簧 (2)拉力彈簧 (3)扭力彈簧 (4)表面保護法	

第四章 彈簧的計算.....48

- 16. 設計要則 48
- 17. 圓形斷面的壓力彈簧 48
- 18. 矩形斷面的壓力彈簧 63
- 19. 彈簧族 68
- 20. 圓形及矩形斷面的截錐形彈簧 71
- 21. 拉力彈簧 73
- 22. 扭力彈簧 76
- 23. 比較 80
- 24. 計算的輔助方法 88

彈簧計算法公式總結 (1)圓形斷面的壓力彈簧 (2)矩形斷面的壓力彈
簧 (3)彈簧族 (4)截錐形彈簧 (5)拉力彈簧 (6)扭力彈簧

第五章 彈簧製造法.....97

- 25. 壓力彈簧的製造 97
- 26. 拉力彈簧的製造 105
- 27. 扭力彈簧的製造 108
- 28. 彈簧的檢驗 110
- 28. 公差 115
- 30. 彈簧表示法 120
- 31. 彈簧規範 123

彈簧製造的總結 (1)壓力彈簧的製造 (2)拉力彈簧的製造
(3)扭力彈簧的製造 (4)彈簧的檢驗 (5)公差 (6)彈簧
記號 (7)彈簧規範

第一章 基本概念

工業上用的彈簧，有多種多樣，大至火車上用的緩衝彈簧，小至鐘錶上用的小彈簧，都屬於工業彈簧。我們在下面談的是在各工業部門中用得最多的螺旋彈簧。它大約可分為三大類：

1. 壓力彈簧；
2. 拉力彈簧；
3. 扭力彈簧，

圖 1—3 表示上面三種彈簧的典型式樣。

上述的分類，還不能把各種彈簧的特性明確表出；因此，在這三大類裏面，我們還要按照它的外形、材料和種類、斷面形狀等，詳細加以區分。關於各種彈簧和它們的優缺點，以後還要深入討論。在這裏首先介紹一些螺旋彈簧的基本知識和特性。至於它的尺寸的決定和計算公式等，則在彈簧的計算一章裏再談。

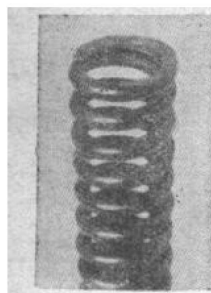


圖 1
壓力彈簧（末圈併緊，
末端磨薄至鋼絲直徑的
 $\frac{1}{4}$ ，內外面皆去毛刺）

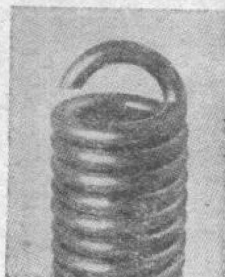


圖 2
拉力彈簧
（德式半耳圈）

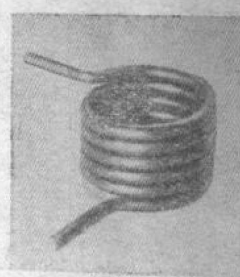


圖 3
扭力彈簧
（股線垂直於彈簧心軸）

1. 旋繞比

在圓形鋼絲盤繞成的彈簧中，鋼絲的直徑 d 和彈簧的平均直徑 D 的比值，叫做旋繞比或曲率比。在矩形切面的鋼絲造成的彈簧中，和彈簧軸垂直的那一邊 a ，與彈簧平均直徑的比例，也叫做旋繞比或曲率比（圖 4—5）。

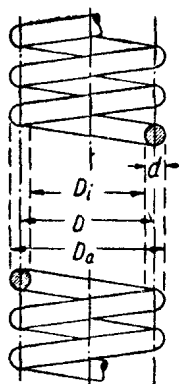


圖 4

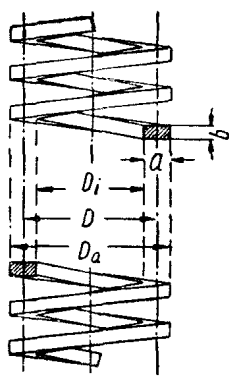


圖 5

旋繞比 $W = D/d = D/a$

旋繞比

$$W = \frac{D}{d} = \frac{D}{a} \quad (1)$$

實用上，彈簧的旋繞比不能定得太低，它的最低限度是 4；也就是說，彈簧的平均直徑等於鋼絲直徑的 4 倍。由於彈簧本身穩度關係和限於目前製造技術條件，旋繞比的最高限度也不能超過 25。

首先，我們應當搞清楚，為什麼旋繞比不能小於 4？原因是這樣的：彈簧是繞在一根心軸上捲繞成的，當旋繞比等於 4 時，彈簧的內徑，只有鋼絲直徑的 3 倍（圖 4）。而彈簧通常是用彈性且具有硬度的材料捲繞成的；由於材料的彈性，鋼絲經捲繞後，它的直徑往往會增大的，這現象名為材料的彈性伸張。所以心軸的直徑，應小於鋼絲直徑的三倍（按

各種材料和鋼絲直徑的大小而稍有不同，通常心軸的直徑約為鋼絲直徑的 2.4—2.8 倍左右。例如，鋼絲直徑等於 10 mm，旋繞比為 4，則心軸直徑約只有 28 mm。這樣，鋼絲的變形太厲害。就材料強度說來，尤其是對於材料的耐久限，都是很不好的。所以，螺旋彈簧的旋繞比小於 4 的情況，應儘量避免。在某些特殊情況下，必須製造一根旋繞比小於 4 的彈簧時，不能用彈性硬度的材料，而必須改用可以淬硬的材料。這兩種材料的基本區別，我們將在“材料”一章裏討論。

但是旋繞比太大，也是不好的。例如，我們有一根旋繞比等於 100 的彈簧，鋼絲直徑是 10 mm，則彈簧的平均直徑是 1,000 mm。憑常識我們也可判斷，這樣子的一根彈簧是不穩定的。由於它的本身重量，它經常在某一定範圍內振動，經常處在不穩定平衡狀態中。再則製造這樣一根彈簧時也有困難；因為由於材料在彎曲時發生彈性伸張的關係，只要材料的硬度稍為不均勻（在一圈彈簧中，鋼絲硬度在某種程度上的差異是存在的），便會造成彈簧直徑上的重大偏差。當旋繞比愈大時，彈簧直徑的偏差也愈大，致使彈簧長度也會發生偏差。因此旋繞比大於 25，也應儘量避免。

最後，還要談一談旋繞比對彈簧力量的影響。假設有兩根壓力彈簧，它們的圈數、長度都是一樣，鋼絲直徑也都是 10 mm，一根彈簧的旋繞比是 4，另一根是 100；則前一根彈簧的平均直徑是 40 mm，後一根彈簧的平均直徑是 1,000 mm。就日常經驗，我們也可知道，對於後一根彈簧，我們可以毫不費力地把它壓縮，但對於前一根彈簧，則幾乎不可能把它壓縮。因此可以總結成一原則：

旋繞比愈小（彈簧的平均直徑愈小），則彈力愈大，這彈簧便愈硬；反之，旋繞比愈大（彈簧的平均直徑愈大），則彈力愈小，這彈簧便愈軟。

當然，上述原則只在所有其他尺寸，如鋼絲大小，圈數，彈簧長度都

相等的條件下才能適用。但它卻對於壓力彈簧、拉力彈簧和扭力彈簧這三種彈簧都適用的。又上述的由經驗總結出來的原則，將來在“彈簧的計算”一章裏，也可用數學公式證明。對彈簧力與彈簧變形有影響的因素很多，已知彈簧的數據來計算一根彈簧是不難的、但是怎樣結合個別具體情況，來決定一根最合適的彈簧種類和尺寸，則並不簡單了。故我們先要把彈簧各個尺寸對彈簧力和變形的影響搞清楚以後，才能設計一根可用的彈簧。

2. 直線形的彈簧示性線

我們已知道了彈簧個別尺寸的變更對於彈簧力的關係。因為相當於每個彈簧力量，皆有一定的變形，故現在我們再進一步研究彈簧力和變形間的相互關係。為達到這個目的，我們把一根標準壓力彈簧的自由長度量出來（所謂標準的壓力彈簧，即是一根圓柱形的節距不變的彈簧，第1圖）。我們先後加力量 $P=1, 2, 3, 4$ kg 去壓它，量出它相應的各個變形 f ，則我們可以看見，彈簧的變形和作用於其上的力量，是相應地增加的。設在作用力為 1 kg 時，彈簧的變形是 10 mm；則作用力為 2、3、4 kg 時，它的變形是 20、30、40 mm 等等。因此，我們可總結出一簡單的定律：“當彈簧的直徑和節距不變時，彈簧力和變形成正比。”另外從材料力學的觀點來看，也可知道這個定律是對的，因為根據虎克定律，在組織均勻的材料的彈性限度之內，應力和伸張是成正比的。這定律只能應用在彈簧材料的彈性限度之內；也就是說，只能用在材料還沒有永久變形的時候。當彈簧受到很大的作用力，力量除去之後，它已不能恢復原來的長度，它變短了，這種情況，便叫做永久的變形。在後面我們談到彈簧的“初壓縮量”和“立定”時，將再討論到這種情況的。

彈簧力量和變形成正比的定律，對於所有的標準壓力彈簧、拉力彈

簧和扭力彈簧皆適用。

拉力彈簧還有一特殊的情況。我們把這兩種基本不同的情況分爲(1)無初應力的拉力彈簧和(2)有初應力的拉力彈簧。第一類彈簧，圈和圈間的接觸是鬆的，沒有力量把它們併緊的。在特殊情況下，它甚至和壓力彈簧一樣，在圈和圈間有節距的。這種彈簧只要受很小的力量 P ，它便開始伸長，伸長 f 之值，完全依照上述的定律決定；第二類彈簧是用一種特別的方法來捲繞，捲繞的時候使各圈皆具有一定的初應力，圈與圈間因具有壓緊的力量而緊併。加力於這種彈簧後，首先要克服內力 P_0 ，直到拉力 P 大於 P_0 時，彈簧才開始伸長。在這種情況下，彈簧力和變形也是成正比的，但因為考慮到初應力的作用，故要加上一段理想的變形 x_0 。

用來表示彈簧力 P 和變形 f 間的關係的圖形，叫做彈簧的示性線。圖 6 表示壓力彈簧；圖 7 表示拉力彈簧；圖 8 表示具有初應力的彈

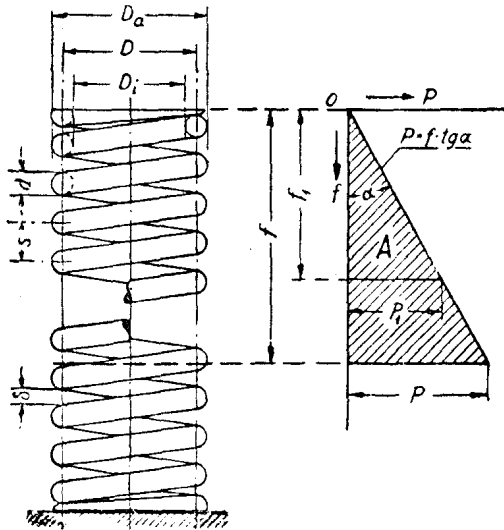


圖 6
壓力彈簧的示性線

簧的示性線圖。

按圖 6、7，對於壓力彈簧和無初應力的拉力彈簧，可有如下的關係式：

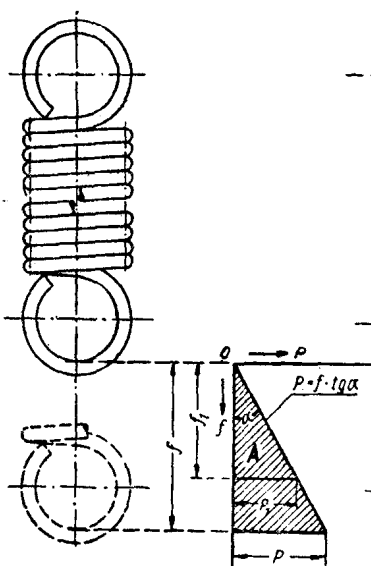


圖 7

無初應力的拉力彈簧

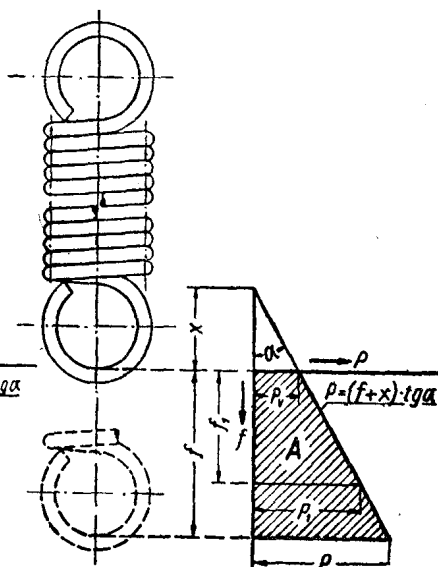


圖 8

有初應力的拉力彈簧

$$\frac{P}{f} = \frac{P_1}{f_1} = \dots = \frac{P_n}{f_n} \quad (2)$$

$$P = f \times \tan \alpha \quad (3)$$

對於具有初應力的拉力彈簧，所不同的，只是 x 還是一個未知數。 x 的意義是：拉力彈簧必須再縮短一段路程 x ，然後內力 P_v 才等於零；這當然是不可能的，因為圈與圈已經緊併接觸了。

按圖 8，對於具有初應力的彈簧，有下列關係：

$$\frac{P}{f+x} = \frac{P_1}{f_1+x} = \dots = \frac{P_n}{f_n+x} = \frac{P_v}{x} \quad (4)$$

$$P = (f+x) \tan \alpha \quad (5)$$

要計算理想的變形 x 時，只要知道示性曲線上的兩點便可。在圖 8 中，由於相似三角形的關係：

$$x = f \frac{P_v}{P - P_v} = f_1 \frac{P_v}{P_1 - P_v} = \frac{P_1 f - P f_1}{P - P_1} \quad (6)$$

故 x 可以求出。

扭力彈簧的變形並非直線，而是一根圓弧。因此，在彈性限度之內，彈簧力和扭轉角成比例（因為扭力彈簧的運動是一旋轉運動）。示性曲線圖常用極坐標來表示。因半徑 $r =$ 常數，故極線可直接表示力矩 Pr 代替 P 力（圖 9）：

$$\frac{M}{\omega} = \frac{M_1}{\omega_1} = \dots = \frac{M_n}{\omega_n} \quad (7)$$

$$M = P \times r = \omega \times r^2 \times \tan \beta \quad (8)$$

在 (8) 式中角變形 ω 用弧度作單位。

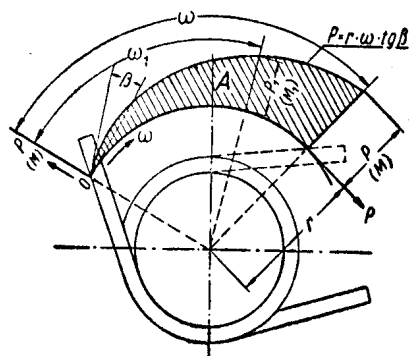


圖 9

扭力彈簧和它的示性線

3. 單位力和單位變形

以 C 表示 $\frac{P}{f}$ 之值，則 C 叫做單位力。 C 的倒數 $c = \frac{f}{P} = \frac{1}{C}$ 叫做單位變形。

若 P 的單位是 kg ， f 的單位是 mm ，則 C 的單位是 kg/mm ，它表示彈簧每 mm 的變形時力量的增減。而 c 則表示每 kg 的負荷的彈簧的變形。在很多書上， C 和 c 都叫做彈簧常數。我們在此把它們加以區分是有必要的：第一、免得發生混亂；其次、以後我們會知道，所謂彈簧常數，在某些特別情況之下，它並非常數，而且簡直是一變數，故把它稱為彈簧常數是不恰當的。

單位力和單位變形的觀念，可應用於壓力彈簧和拉力彈簧。我們甚至可把這基本觀念應用到扭力彈簧上去，因而有所謂“單位力矩”和“單

位角變形”。但後面這兩個名詞在實用上一般還不大習慣。

4. 曲線形的彈簧示性線

在上述直線形的彈簧示性線一節裏，我們曾經聲明，只有在彈簧直徑及節距不變時，彈簧力和變形才成正比例。因此，對於直徑變更的圓錐彈簧，上述的定律便不適用。圖 10 表示一根錐形彈簧（截錐形彈簧）和它的示性線圖。從圖上我們可見，在示性線上的某一點開始，彈簧力和變形便不復成簡單的比例。單位力和單位變形在此不再是一常數，而是一個變數。從 P_1 處開始，單位力比變形增加較多，亦即單位變形從該處起開始較前減小，因此彈簧愈壓縮便愈硬。

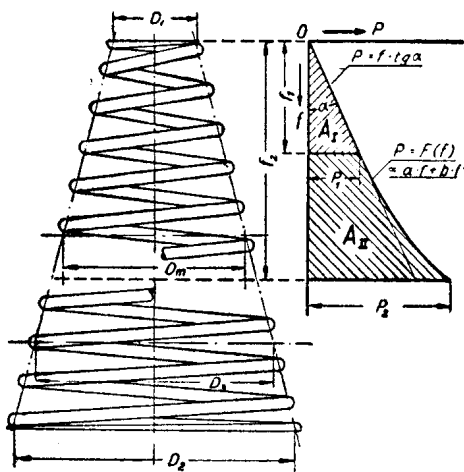


圖 10
錐形彈簧和它的示性線

這結論也可由我們已知的事實推演出來的。因為旋繞比愈小，則彈簧愈硬，旋繞比愈大，則彈簧愈軟，圓錐彈簧的旋繞比不是一個常數，而是每圈不同的；它介乎最大值 $\frac{D_2}{d}$ 和最小值 $\frac{D_1}{d}$ 之間。平均旋繞比之值是 $\frac{D_1 + D_2}{2d}$ ，一根圓錐彈簧被壓縮的時候，較軟部分（即較大的彈簧

直徑 D_2 那部分)的變形比較硬部分大得多。因此,當彈簧受力後變形達到某一數值時,彈簧的下端較軟部分的各圈便首先接觸,併緊成一整體,這部分便不再參加變形。彈簧力和變形間的正比例關係,在第一圈開始接觸時便已消失。例如,當直徑等於 D_3 以下的那一部分彈簧圈開始接觸時,則這時彈簧的平均旋繞比是 $\frac{D_1+D_3}{2d}$, 這數值是向着最小的旋繞比 $\frac{D_1}{d}$ 發展的,所以彈簧便愈來愈硬。

截錐彈簧的單位力愈來愈增加,除了由於上述的旋繞比變更這原因之外,還有第二個原因。對於直徑不變節距不變的標準彈簧,當它被壓縮到達併緊長度時,理論上應當是所有各圈同時接觸並併緊的。但是在圓錐彈簧被壓縮時,並不是所有各圈同時接觸,而是接觸的圈數,隨着彈簧被壓縮的程度,一圈一圈地增加;因此,參加變形的圈數,在壓縮過程中,便愈來愈少,彈簧便愈來愈硬。關於“圈數愈少,彈簧愈硬”這規律,在這裏我們不妨暫時作為經驗的事實而接受,等談到彈簧的計算時再去證明它。

剛才敘述的定律,也可適用於節距變更的圓柱形螺旋彈簧。彈簧變形愈大,則彈簧力愈大的現象,在這裏可以這樣解釋:因為節距不相等,彈簧受壓時,節距最小的那幾圈先併緊在一塊,消失了彈性作用。當彈簧被壓縮差不多達到它的併緊高度時,那時只餘節距最大的那幾圈在發生作用,所以彈簧便愈壓愈硬了。由於製造上的困難,這種節距不等的彈簧,只在特殊的情況下才應用。

理論上,我們也可製造具有直線形示性線的錐形壓力彈簧的。我們把各個直徑不同的彈簧圈造成適當的但相異的節距,則亦可使彈簧變形時,各圈同時接觸併緊,而得到一根直線形的示性線。但是,這種節距不等的圓錐壓力彈簧實際上應用很少,因為這類彈簧製造困難,並且繞製圓錐形彈簧的目的,本來就是希望它的單位力隨變形而增大的;所以