

實用金屬材料學

戴良箏編著

中國科學出版社

出版

實用金屬材料學

戴良籌編著

中國科學圖書儀器公司

內 容 提 要

金屬材料學爲從事機械製造工作者必備的知識，本書有系統而扼要的論述各種金屬材料的基本性能與用途，以及有關金屬材料的基本理論。除供給一般技術人員及技工們學習參考外，還可作中等技術學校及技工訓練班教學之用。

本書內容共分九章，第一章講述材料的各種機械性能；第二章講述材料強度的簡單計算與材料試驗法，此兩章爲有關材料的基本知識，以便爲初學者奠定基礎；第三章至第五章爲黑色金屬部分，講述鋼鐵及其合金的各種性能、用途和熱處理法；第六章至第八章爲有色金屬部分，介紹銅、鋁、鎂及其合金的性質和應用。

實 用 金 屬 材 料 學

編 著 者 戴 良 箬

中國科學圖書儀器公司出版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出○二七號

上海新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

編號：84

(原大東版印2,000冊)

開本850×1168 耗1/32·4 5/8印張·121,000字

一九五六年三月新一版

一九五六年三月第一次印刷·印數1-1,520

定價：一 元

前 言

我國正在進行社會主義經濟建設，有關金屬材料的製造和使用方面的知識，對於大家都很感覺需要。因為無論汽車、火車、飛機、拖拉機或是各種機械，都是由金屬材料製造成功的。所以要實現國家工業化，必先建立金屬冶煉工業；而從事建設的工作同志們，也必需要具備一定的有關金屬材料方面的知識！

本書是爲了滿足讀者需要而寫的。但是編者能力有限，缺點在所難免，尙希各方面專家和讀者多多提出指正和補充意見爲感！

目 次

前言

第一章 材料的各種機械性能 1

§ 1-1 強度	1
§ 1-2 剛性	2
§ 1-3 彈性	3
§ 1-4 韌性	4
§ 1-5 展性	4
§ 1-6 延性	5
§ 1-7 韌性	6
§ 1-8 硬度	6
§ 1-9 耐久限度	7

第二章 材料強度的簡單計算與材料試驗法 8

§ 2-1 應力與應變的計算關係	8
§ 2-2 彈性係數與剛性係數	10
§ 2-3 伸長率與斷面收縮率	11
§ 2-4 應力應變曲線圖	13
§ 2-5 抗拉標準試件及萬能試驗機	15
§ 2-6 衝擊試件及衝擊試驗機	19
§ 2-7 硬度試驗及各種硬度試驗機	22

第三章 鐵和鋼及其熱處理法 31

§ 3-1 生鐵的煉製及其種類和用途	31
§ 3-2 各種煉鋼法	37
§ 3-3 碳鋼的種類及其組成	44
§ 3-4 鐵的各種變態	54
§ 3-5 碳鋼的各種顯微鏡組織	55
§ 3-6 鐵碳合金平衡圖	63
§ 3-7 鋼的熱處理法	65
§ 3-8 鋼的化學熱處理法	71

第四章 鑄鐵	75
§ 4-1 鑄鐵的定義、分類及其規格.....	75
§ 4-2 可鍛鑄鐵.....	77
§ 4-3 密烘鑄鐵.....	80
§ 4-4 球墨鑄鐵的應用及進展.....	81
§ 4-5 特殊合金鑄鐵.....	85
第五章 合金鋼	89
§ 5-1 各種元素對於碳鋼的影響.....	89
§ 5-2 各種合金鋼的性質及用途.....	90
第六章 銅與銅合金	107
§ 6-1 銅的煉製及其性質和應用.....	107
§ 6-2 工業用的銅合金.....	109
第七章 巴氏合金和各種鋅料	113
§ 7-1 巴氏合金及其應用.....	113
§ 7-2 鋅料的種類及其應用.....	113
第八章 鋁鎂及其合金	118
§ 8-1 鋁的煉製及其性質和應用.....	118
§ 8-2 工業用的鋁合金.....	119
§ 8-3 鎂的煉製及其性質和應用.....	125
§ 8-4 工業用的鎂合金.....	127
附表	130
附表 1 熱軋圓鋼(重 11—52) 尺寸表.....	130
附表 2 熱軋方鋼(重 12—52) 尺寸表.....	131
附表 3 熱軋六角鋼(重 15—52) 尺寸表.....	132
附表 4 軋製等邊角鋼(重 13—52) 尺寸表.....	133
附表 5 常用扁鋼重量表.....	134
附表 6 鋼板重量表.....	136
附表 7 無縫鋼管(內徑標準)重量表.....	138

第一章 材料的各種機械性能

§ 1-1 強 度

任何機械零件或構架必須具有足夠的強度，以免在受外力時斷裂和損壞，這種抵抗破裂、損壞和扭折等能力的量度，就叫做材料的強度。材料所常受的外力，最基本的有拉力（如圖 1 所示）、壓力（如圖 2 所示）和剪力（如圖 3 所示）三種；另外還有由這三種基本力組合而成的混合力，如扭力和彎曲力（如圖 4、圖 5 所示）。

當材料受到外力時，材料的內部就要產生一種內力，來抵抗外力的壓迫，而企圖保持材料本身的完整；這種內力是爲了應付外力而產生的，所以叫做應力。

應力同外力一樣，也有三種基本的形式；而有時在一個機件上，同時存在着數種應力，或是由三種基本應力組成的他種應力。應力的分析是一個比較複雜的工作，所以在設計過程中必須細心研究，才能做出正確而適當的計算。這裏只將三種基本應力的簡

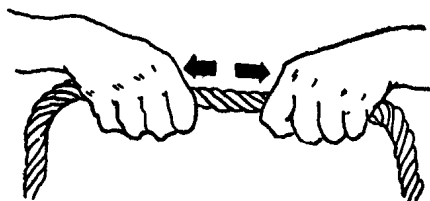


圖 1 拉力

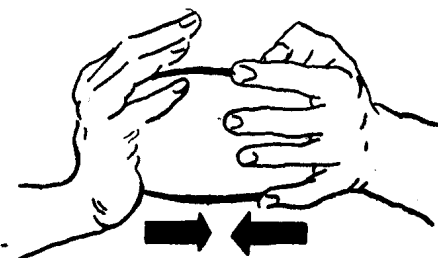


圖 2 壓力

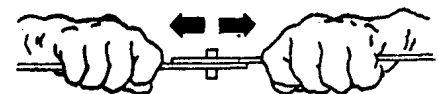


圖 3 剪力

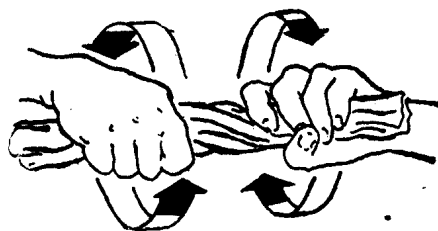


圖 4 扭力

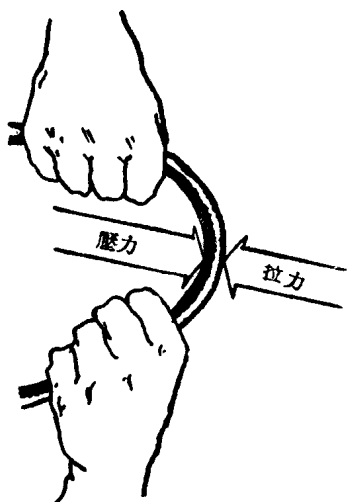


圖 5 彎曲力

單意義，分別解釋於下：

(1) 抗拉應力 材料受到拉力時，依力的方向擴展延長，這時所產生的應力，叫做抗拉應力：如吊車的鋼索、飛機的翼部張線、起重機的吊掛等，都是常受拉力的機件。

(2) 抗壓應力 材料受到壓力時，依力的方向收縮變短，其內部所產生的抵抗力叫做抗壓應力：如內燃機的活塞、機車的推桿、壓力機的主軸等，都是承受壓力的部分。

(3) 抗剪應力 剪力的形成，是所施之力，大小相等，方向相反，施力點不在同一點上，但是距離相差極小。當材料受到剪力時，內部組織所產生的抵抗內力，叫做抗剪應力：如剪刀機截斷鋼板時，鋼板內部就產生了抗剪應力；又如內燃機的活塞銷、鍋爐的鉚釘等，都是受剪力的機件。

另外彎曲應力是抗拉應力和抗壓應力的組成物：如齒輪的齒、壓力機的手把、機車的輪軸，以及飛機機翼的大梁等，都是承受着彎曲力。至於扭轉應力則係剪應力的變相。材料受到扭力時，距扭力中心愈近的部分影響愈小：如內燃機的曲軸、汽車的方向操縱桿、車床的主軸等機件，都是受着扭力作用。

§1-2 剛 性

剛性這個名詞決不可與前面所講的強度相混。當材料受到外力時，內部產生着應力；但外部的形狀也要發生變化，變形的大小和怎樣變形是根據受力的情況來決定。這裏我們可以斷言，任何材料受到外力之後，無論如何是要發生變形的；但是，所不同的只是變形程度大小的分別。材料受外力時，其抵抗變形的性質叫做剛性。各種材料的剛性各有不同，凡是受外力時變形很少的，我們稱它為具有高剛性的材料；變

形嚴重的，則稱為低剛性的材料。

剛性為材料的一種極重要的性質。例如一般的工作母機（製造一切機器的機器，如車床、鉋床、銑床、鑽床等）在進行工作時，本身僅允許有極少的變形，否則就不可能製造出精確的成品來。在這種情況下，就需要有高剛性的材料。又例如火車軌道，由於經常承受着極重的載荷，因此需要高剛性的材料；但是，為了減少行車的震動起見，採用了剛性較低的木材當作枕木，安放在鐵軌的下面。

當材料受到外力時，其形狀所發生的變化叫做應變。應變依照外力情形的不同，可分下列幾種：

(1) 抗拉應變 當材料受到拉力時，順着力方向所發生的單位長度的伸長，叫做抗拉應變。

(2) 抗壓應變 當材料受到壓力時，依施力方向所發生單位長度的縮短，叫做抗壓應變。

(3) 抗剪應變 當材料受到剪力時，其每單位厚度所推移的距離，叫做抗剪應變。

(4) 撓度 當材料受到彎曲力時，其偏離原位置的垂直距離，叫做撓度。

當材料受外力過大，超過了一定的限度時，材料就不能再恢復原來的形狀，這時所發生的應變，叫做永久應變。

§ 1-3 彈性

當材料受到外力時，發生變形，而將外力解除後，能恢復其原來形狀的性質叫做彈性。物體在各種不同的形態下，如固體、液體及氣體都有彈性的存在。固體可以自己保持它的形狀，不隨位置或容器而變更；液體是隨着容器的不同形狀而變更，容器不需有蓋；氣體則充滿着容器的所有空間，必須加蓋，以保持其本身的原有容積。

液體及氣體僅有容積上的彈性，它的形狀隨容器而變更。例如壓縮空氣是將平時佔空間甚多的空氣，壓縮在高壓瓶中，可壓至極小的容積；假若將壓力解除，將空氣放回大氣中，則空氣就仍然恢復它原有的

容積。液體的情況，也是一樣；不過液體受壓力後，體積減少極小。因此，又有人將液體認為是具有不可壓縮性；但當壓力解除時，液體同樣也會恢復它原有的容積。

固體有容積和形狀上的彈性。為解釋固體的彈性，可以用一根鋼絲來作例子：將鋼絲一端繫牢，而他端下垂，加以重量，如將重量陸續增加，鋼絲就要陸續伸長，伸長與所加重量成正比；如將重量消除，鋼絲就要恢復原有的長度。如果重量增加到一定量後，即使將重量消除，也不能恢復其原有的長度，這個定量就叫做彈性限度。

我們必須記牢一個有關彈性的定律，那就是虎克定律，又稱為比例定律，其內容為：

材料受外力時，不管受拉力、壓力或剪力，在彈性限度內，應力與應變成正比。

§1-4 範性

將材料所受的外力解除後，仍能繼續保持其變形的性質叫做範性或塑性。這種性質與彈性完全相反。例如將蠟加上相當壓力後，就會改變它原有的形狀，而蠟的本身沒有什麼抵抗能力，像這樣一類的物質，都叫做可範性的物質。

許多金屬在常溫下為彈性，在靠近其熔點溫度時，就變成可範性。例如鋼和銅等加熱，都可變成可範性的金屬；鉛比其他金屬較有範性，所以加上適當壓力就可將鉛製成鉛管。

彈性與範性的分法，可以說凡是具有彈性的物體，在彈性限度內，將外力解除後，就能恢復原形；而具有範性的物體則不然。

§1-5 展性

展性為材料受錘擊或滾軋時，可向各方向伸展而不破裂並發生永久應變的性質。展性根據範性的大小而定，與強度的關係很小。

金屬的展性，是以其所能製成最薄片的程度作為比較的根據。金為各種金屬中最富於展性的，最薄的金箔可壓成 0.000084 公厘的厚

度，就是要用 3,000,000 片的金箔才能疊合到一吋的厚度。在常溫下各種金屬的展性按次序排列詳見下列第一表：

一般金屬的展性常常根據其內部結晶的情況及純潔度而決定，例如鎢及鉍有較堅定的結晶，所以缺乏展性。又金屬的展性常隨溫度的增減而起變化，例如有些金屬在常溫時，富於展性，在溫度較高時就變成脆性，這叫做熱脆性。又有些金屬在常溫時很脆，溫度增高後，就變成展性，這種性質叫做冷脆性。鋅是介乎這二類之間，在常溫很脆，約在 150°C 時有展性，可以輓輓，可以抽絲；但溫度再高時，又變成脆性，甚至一摔就碎。

在一般材料中，必須注意：純金屬必較其合金更富於展性。

§ 1-6 延 性

任何金屬材料受到拉力時，伸長成為長條細絲而不斷裂的性質，叫做延性。這種性質是由強度及韌性相組合而表現出來。凡是展性良好的材料，延性也是很好的；但是必須注意，獨有鉛是例外的。關於各種金屬的延性按次序排列詳見第一表：

第一表 普通金屬的展性及延性次序表

次 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
展 性	金	銀	銅	鉛	錫	白金	鉛	鋅	鐵	鎳
延 性	金	銀	白金	鐵	鎳	銅	鉛	鋅	錫	鉛

延性並沒有絕對的標準，只是由伸長及斷面積的縮減，相互比較而得，通常是利用彎折試驗以檢查各種材料延性的高低。

延性和展性相似，也是由其本身結晶度及純潔度而定；金屬的結晶體堅定的，就缺乏延性。但是金屬材料在加工後，對延性及展性的影響也很大。例如抽絲的時候，在其斷面縮小到一定程度後，必須施以燭火處理，以增加其延性，而免斷裂。

純金屬比較其合金更富於延性，例如無砂眼及無雜質的愈純潔的金屬材料，其延性就愈好。純鐵可以抽得很細；但是鋼就辦不到了。在

全部金屬中，金爲延性最佳的金屬，可拉細至千分之一吋的直徑；銀與白金僅次於金。在一般極普通的金屬中，以鐵和銅延性較好；至於鉛因其本身的抗拉強度較低，所以延性也是不好的。

有許多在常溫中甚脆的物質，例如玻璃及石英等，在高溫時延性極佳。玻璃在高溫時，可以拉成如蜘蛛絲那樣細的直徑，而韌性還是很好的，所以有人用玻璃絲來代替蜘蛛絲作爲經緯儀和水平儀鏡筒中的十字線。石英也可在高溫中拉成細絲，以至肉眼看不見的程度。

在第一表中各種金屬的展性及延性是按次序排列的，可以作一比較。

§ 1-7 韌 性

一般材料韌性的高低，是看材料破壞時所需要總壓力或工作多少而定，韌性的量度也沒有絕對的單位。凡是材料具有難以破壞及發生裂紋的性質，這種材料就叫做有韌性。韌性的好壞與材料本身的強度和韌性有關，強度低而易變形的材料，也就是沒有韌性的材料。但是強度高而極少變形的材料，也不能說是柔韌。前者如燒紅的玻璃棒，後者如切削用的極硬的工具鋼。這些沒有韌性的材料，也可換一種說法，稱爲是具有脆性的材料。所謂脆性，即是指與韌性相反的性質：韌性高時，脆性便低；脆性高時，韌性便低。

由實用觀點來看，若干使金屬材料發生脆性的原因，可以設法取消，脆性對於加工是極其不利的。例如因加熱過度或速冷以致使金屬內部組織結晶粗大；或翻砂時，未留適當的餘地；或砂子太濕，透氣孔不足，以致使模內空氣不能逸出等，都是發生脆性的原因。

脆性材料在機械製造中無法應用，凡是由於衝擊及溫度的變化而能使材料脆裂，則材料的脆性必定嚴重。在震動較大的機械中，更不能允許脆性材料的存在。

§ 1-8 硬 度

硬度爲材料最重要的性質；但是硬度的大小，並沒有絕對的量度標準。一般所測定的硬度可分爲材料抵抗磨剝能力的量度及抵抗鑽鑿能

力的量度。這兩種硬度雖然有相互連帶關係，但其相差的程度，對於各種材料並非一致，所以要說明材料的硬度，必先規定確定硬度的方法。

一般確定硬度的方法，是用一標準的硬度試驗器，將各種材料分別予以試驗，求出硬度數，以作比較。關於硬度試驗器及試驗計算法，詳見第二章。

§ 1-9 耐久限度

當材料所受的外力，一時加上，一時又解除，不斷的交換，這樣材料內部就產生反覆應力，例如汽車和機床中的齒輪在運轉時，每一個齒就產生着這種應力；這時破壞材料所需外力較只加靜力破壞材料所需外力的數值為低；即發生反覆應力時，只需較小的外力便能使材料破壞，因此對於反覆應力必須加以研究。凡材料因受反覆而連續的外力，以致發生破損，這種現象叫做疲勞。

我們在試驗室中可以把材料做成試件，加上外力，使它產生反覆應力，例如先是抗拉應力，而後變為抗壓應力，再後又是抗拉應力、抗壓應力等，然後研究反覆應力對於各種材料的影響。

這裏舉一個例子：含碳 0.52% 的中碳鋼在受到普通的靜力作用時，它的抗拉破壞強度是 63 公斤/方公厘；但在受到反覆應力時，即使應力還只 41 公斤/方公厘，反覆 15,000 次後便會折斷。假使應力只有 35.5 公斤/方公厘，那麼反覆 200,000 次後才會折斷。而當應力為 30 公斤/方公厘時，可以反覆到 1,250,000 次；假若應力為 28.5 公斤/方公厘時，則幾乎可以無限制地反覆了。

由此可見，反覆的次數越多，所能容許的應力越低，但並不是沒有限度的。隨着反覆次數的增多，所能容許的應力的限度亦漸可摸得見底了。材料在受到反覆應力時，假使應力不超過這個限度，那麼即使反覆次數極多，也是沒有關係的，所以這個限度就叫做材料的耐久限度。

對於鋼鐵材料，耐久限度普通僅約為抗拉破壞強度的一半不到；而當試驗時的反覆次數到達 10,000,000 次時，那時所能容許的應力差不多就可視作耐久限度。

第二章 材料強度的簡單計算及材料試驗法

§ 2-1 應力與應變的計算關係

材料中任何面積上的應力(即材料單位面積上所受的外力,或單位面積上所發生的應力)是以材料的斷面積除其所受的外力計算而得。但是這種計算的方法,僅僅用於抗拉應力和抗壓應力的範圍;而抗剪應力則是以與力平行的面積除外力而得。

令 P = 外力; A = 材料斷面積或與力平行的面積;

S = 單位應力。

$$\text{則} \quad S = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

應力的單位,在蘇聯和我國以及其他歐洲大陸各國,均用公制,以每平方公分若干公斤(kg/cm^2),或每平方公厘若干公斤(kg/mm^2)來表示;英美制國家則用每平方吋若干磅(lb/in^2),或每平方吋若干噸(ton/in^2)來表示。

假設有一棒,所受的外力是拉力,則每單位長度的伸長,叫做單位伸長;也就是前面所講的抗拉應變,如圖 6 所示。

令 I = 棒的原來長度;

δ = 棒的總伸長;

e = 單位伸長或抗拉應變。

$$\text{則} \quad e = \frac{\delta}{I} \quad (2.2)$$

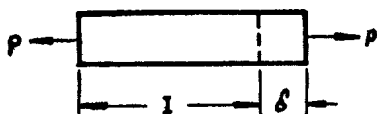


圖 6

實地試驗可以知道,當棒受到拉力時,棒就順着拉力的方向伸長,同時棒的斷面積也隨之減小,因此由材料所受的外力、材料的斷面積以及材料的長度等關係,也可求算出棒的抗拉應變。

令 P = 外力, 公斤(kg);
 A = 斷面積, 平方公分(cm^2);
 l = 棒的原來長度, 公分(cm);
 δ = 棒的總伸長, 公分(cm)。

$$\text{則} \quad \delta = \frac{Pl}{AE} \quad (\text{見 § 2-2}) \quad (2.3)$$

上式中 E 為揚氏係數或稱縱彈性係數(見 § 2-2), 為一比例常數, 可由材料強度表中查得之。

例 1. 有一鋼棒, 長 100 公尺, 下端吊 2 公斤重的鉛錘一個, 已知單位應力為 $S = 1050 \text{ kg/cm}^2$, 求棒的斷面積及其總伸長?

解: 已知 $E = 200,000 \text{ kg/cm}^2$ (由材料強度表中查出)

$$l = 10,000 \text{ cm}; \quad P = 2,000 \text{ kg}$$

$$\text{由(2.1)式知} \quad S = \frac{P}{A}$$

$$\text{所以} \quad A = \frac{P}{S} = \frac{2,000}{1,050} = 1.90 \text{ cm}^2$$

$$\text{由(2.3)式得} \quad \delta = \frac{Pl}{AE} = \frac{2,000 \times 10,000}{1.90 \times 200,000} = 5 \text{ cm}$$

同理, 當棒受到壓力時, 則棒必沿力的方向而縮短, 這時的單位縮短可以由下式求算出來, 如圖 7 所示:

令 c = 單位縮短, 也稱為抗壓應變; d = 棒的總縮短。

$$\text{則} \quad c = \frac{d}{l} \quad (2.4)$$

當材料受到剪力時, 與外力平行的物體層, 沿力的方向發生平行的相互推移, 如圖 8 所示, 每單位厚度所推移的距離為抗剪應變。

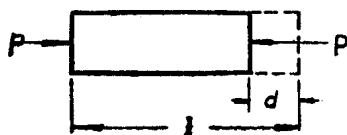


圖 7

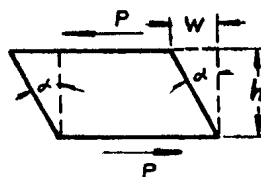


圖 8

令 S_s = 抗剪應變； h = 厚度； W = 推移的總距離。

$$\text{則} \quad S_s \frac{W}{h} = \tan \alpha \quad (2.5)$$

抗剪應變等於推移角 α 的正切函數。

如令材料的斷面積為 A ，當受剪力時，單位剪應力可由下式求算之：

令 τ = 單位剪應力

$$\text{則} \quad \tau = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.6)$$

例 2. 如圖 9 所示，直徑為 30mm 的軟鋼銷，其所受外力為 2,000kg，試求單位剪應力？

解：

$$P = 2,000 \text{ kg}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 3^2 = 7.07 \text{ cm}^2$$

由(2.6)式得

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{2,000}{7.07} = 283 \text{ kg/cm}^2$$

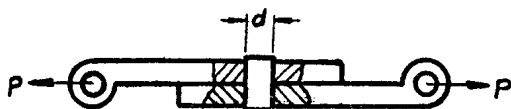


圖 9

§ 2-2 彈性係數與剛性係數

由虎克定律中知道，當材料受到外力時，在彈性限度內，應力與應變成正比。所謂彈性係數，就是在彈性限度內，單位應力與單位應變的比值；也就是單位應力被單位應變所除得的商數。這個商數，根據各種不同性質的材料，為一常數；也就是各種材料，有其一定的彈性係數。如軟鋼的彈性係數為 21,500,000 kg/cm²；鑄鐵的彈性係數為 750,000 ~ 150,000 kg/cm²。彈性係數可以用下式求算：

令 E = 彈性係數； e = 單位應變； S = 單位應力。

$$\text{則} \quad E = \frac{S}{e} \text{ (kg/cm}^2 \text{ 或 kg/mm}^2 \text{, 英制爲} \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}\text{)}$$

抗壓情況時的彈性係數與抗拉時相同，所以又稱這個彈性係數為

縱彈性係數，以便區別於抗剪應力時的橫彈性係數。在英制中，又稱縱彈性係數為揚氏係數。

$$\text{又} \quad S = \frac{P}{A}; \quad e = \frac{\delta}{I}.$$

$$\text{則} \quad E = \frac{S}{e} = \left(\frac{P}{A} \right) \div \left(\frac{\delta}{I} \right) = \frac{P}{A} \cdot \frac{I}{\delta} = \frac{PI}{A\delta}$$

$$\text{所以} \quad \delta = \frac{PI}{AE}$$

在抗剪時的彈性係數，稱為剛性係數，又稱為橫彈性係數。剛性係數是由抗剪應力被抗剪應變所除得的商數。

$$\text{令} \quad E_s = \text{剛性係數}; \quad S_s = \text{抗剪應變}; \\ S = \text{抗剪應力}.$$

$$\text{則} \quad E_s = \frac{S}{S_s} \quad (2.7)$$

$$\text{通常} \quad E_s = 0.385E$$

關於各種常用金屬材料的彈性係數，可參閱第二表（見第 12 頁）：

該表中的比例限度，是在彈性限度內，最大應力與原有的斷面積之比。如令 $P_{\max}$ = 最大應力； A = 原有斷面積。

$$\text{則比例限度爲：} \quad \frac{P_{\max}}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

§ 2-3. 伸長率及斷面收縮率

伸長率也可叫做延伸率，是當材料受拉力時，其在最後斷裂前的伸長量與其原有的長度之比，以百分數表示之。在量伸長率時，試料的尺寸必須說明。在試料斷裂處的附近，伸長率最大，距離斷裂處愈遠，伸長率愈小；如果將試料上的標記長度增加時，則其相對的伸長率必減低。

$$\text{令} \quad l = \text{試料原來長度}; \quad l' = \text{最後斷裂時的試料總長度}.$$

$$\text{則} \quad \text{伸長率} = \frac{l' - l}{l} \times 100 = \frac{\delta}{l} \times 100 = e \times 100\% \quad (2.8)$$