

工程材料講義

第一回

504663-1



社團法
考友社
出版發行

工程材料講義 第一回



第一講 工程材料概論.....	1
命題大綱.....	1
重點整理.....	2
一、機械材料的基本認知.....	2
二、金屬材料介紹.....	8
精選試題.....	54

第一講 工程材料概論



命題大綱

一、機械材料的基本認知

- (一)定義
- (二)分類
- (三)元素的分類－金屬和非金屬
- (四)材料選擇原則

二、金屬材料介紹

- (一)金屬的共同特性
- (二)工業用金屬材料
- (三)金屬材料的組織
- (四)金屬及合金的狀態變化和平衡圖
- (五)金屬的塑性加工和塑性變形
- (六)性質



一、機械材料的基本認知

(一)定義：

- 1.機械：是把各種材料施以適當加工後所配製的構造物。
- 2.機械材料：製造機械時所用的材料。

(二)分類：

1.依用途分類：

(1)主體結構材料：

形成構造物之主體，主要性能為強度。如石材、木材、水泥、混凝土、粘土製品、金屬材料等。

(2)非結構材料：

添加於主體材料或為保存、緩衝及裝飾等之目的，附加於主體材料者。

2.依生產方式分類：

(1)天然材料：為天然開採的材料。如石材、木材、砂、石及粘土等。

(2)人造材料：由工廠製造的材料。如水泥、磚、玻璃、金屬、石油、瀝青等。

3.依化學成分分類：

(1)有機材料：由碳、氫、氧共價鍵合成的化合物；如木材、合板、瀝青、塑膠、橡膠，可溶解於有機液體中（如酒精、四氯化碳），不溶於水。

(2)無機材料：非碳、氫、氧化合物，具較高之抗熱性，硬度及強度亦較高。

①金屬材料：如鐵金屬及非鐵金屬。

②非金屬材料：如石材、粘土、水泥及混凝土。（細料可溶於水）具抗熱性，硬度及強度亦佳。

(三)元素的分類－金屬和非金屬：

1.金屬和非金屬：

(1)具有特殊的金屬光澤，可以鎚打成薄板，也能拉成細線，就是富有機械加工性，又容易導電和導熱。具有這些共同的物理性質的元素

，總稱為金屬，而未具有這種性質的元素叫做非金屬。

(2)只依據物理性質，無法嚴密分類金屬和非金屬，而須要考慮化學性質。

①金屬元素：

生成氫氧化物時，大多形成鹼，而會和酸之氫置換生成鹽，並且這種鹽溶於水時，通常會成為陽離子。

②非金屬元素：

氧化物呈酸性，單獨以離子狀態溶於水時，如鹵素、硫等必成為陰離子（Cl⁻、S⁻⁻），而無法單獨成為離子的氮、磷、矽等則會和氧結合溶於水後成為陰離子。

2.元素週期表：

表(一)為元素週期表。依照元素之化學性質來看各元素時，可發現金屬、非金屬元素所占的位置有明顯的區分。這表以兩條粗黑線分成三個區域。左邊粗黑線的左方區域內的元素都是金屬元素，右邊粗黑線的右方區域內的元素都是非金屬。而在這兩條粗黑分界線內的元素有些雖然具有金屬元素的特性，但是同時也具有非金屬元素的特性。

表(一) 元素週期表

金屬																		半金屬 (半導體)		非金屬				
過渡金屬																				VII B VIII B				
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	III B	IV B	VB	VB	H 1	He 2
Li 3 ☐	Be 4 ⊕																	B 5 ☐	C 6 ○	N 7 ⊕	O 8 △	F 9 ⊕	Ne 10 ⊕	
Na 11 ⊕	Mg 12 ⊕																	Al 13 ⊕	Si 14 ⊕	P 15 △	S 16 △	Cl 17 ⊕	Ar 18 ⊕	
K 19 ⊕	Ca 20 ⊕	Sc 21 ⊕	Ti 22 ⊕	V 23 ⊕	Cr 24 ⊕	Mn 25 ⊕	Fe 26 ⊕	Co 27 ⊕	Ni 28 ⊕	Cu 29 ⊕	Zn 30 ⊕							Ga 31 ⊕	Ge 32 ⊕	As 33 ⊕	Se 34 ⊕	Br 35 ⊕	Kr 36 ⊕	
Rb 37 ⊕	Sr 38 ⊕	Y 39 ⊕	Zr 40 ⊕	Nb 41 ⊕	Mo 42 ⊕	Tc 43 ⊕	Ru 44 ⊕	Rh 45 ⊕	Pd 46 ⊕	Ag 47 ⊕	Cd 48 ⊕							In 49 ⊕	Sn 50 ⊕	Sb 51 ⊕	Te 52 ⊕	I 53 ⊕	Xe 54 ⊕	
Cs 55 ⊕	Ba 56 ⊕	La 57 ⊕	Hf 72 ⊕	Ta 73 ⊕	W 74 ⊕	Re 75 ⊕	Os 76 ⊕	Ir 77 ⊕	Pf 78 ⊕	Au 79 ⊕	Hg 80 ⊕							Tl 81 ⊕	Pb 82 ⊕	Bi 83 ⊕	Po 84 ⊕	At 85 ⊕	Rn 86 ⊕	
Fr 87 ⊕	Ra 88 ⊕	Ac 89 ⊕	Rf 104 ⊕	Db 105 ⊕	Sg 106 ⊕	Bh 107 ⊕	Hs 108 ⊕	Mt 109 ⊕	Uun 110 ⊕	Uuu 111 ⊕	Uub 112 ⊕								Uug 114 ⊕			Uuh 116 ⊕	Uuo 118 ⊕	
鐳系 稀土金屬		⊕	Ce 58 ⊕	Pr 59 ⊕	Nd 60 ⊕	Pm 61 ⊕	Sm 62 ⊕	Eu 63 ⊕	Gd 64 ⊕	Tb 65 ⊕	Dy 66 ⊕	Ho 67 ⊕	Er 68 ⊕	Tm 69 ⊕	Yb 70 ⊕	Lu 71 ⊕								
錒系 稀土金屬		⊕	Th 90 ⊕	Pa 91 ⊕	U 92 ⊕	Np 93 ⊕	Pu 94 ⊕	Am 95 ⊕	Cm 96 ⊕	Bk 97 ⊕	Cf 98 ⊕	Es 99 ⊕	Fm 100 ⊕	Md 101 ⊕	No 102 ⊕	Lr 103 ⊕								

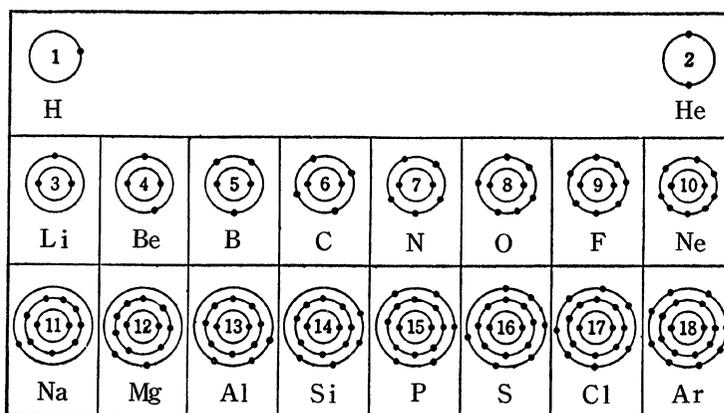
3.原子構造：

(1)在普通化學反應裡，原子的性質是不變的，所以原子是很重要的基本單位。

(2)原子本身是由更小的各種基本粒子所構成。這些粒子當中最重要

是質子 (proton)、中子 (neutron) 和電子 (electron) 三種。質子帶有 e ($4.8 \times 10^{-10} \text{e.s.u.}$) 的陽電荷，中子是不帶電荷的，而電子是帶有 $-e$ 的陰電荷。在原子的中心處，質子和中子結合構成原子核。在原子核周圍，電子則以極高速度循著圍繞原子核的軌道運動。

- (3) 原子不同，構成原子的各種粒子之數量也不相同。質子和中子的質量大致相等，電子的質量非常的小，所以可以說原子的質量大部分集中在原子核內。
 - (4) 圍繞原子核的電子數和原子序數相同，所以電子的電荷和原子核的電荷剛好抵消，因此原子是呈中性。
 - (5) 原子的化學性質由原子之價電子所支配，價電子可決定原子間的結合特性，所以可影響機械強度特性。又價電子可決定原子的大小，所以影響物質的導電度。光學特性也受影響。因此價電子不但可支配化學性質，對工學上的性質也具有很大影響。
4. 元素的週期性和原子構造的關係：
週期表上最初的 18 種元素（從 H 到 Ar）可以用圖(-)來表示。



圖(-) 原子構造模型 (中心數字是原子序數)

H 具有 1 單位的中心電荷，所以有 1 個軌道電子。He、Li 分別具有 2 單位和 3 單位的電荷。He 的 2 個電子構成安定的原子殼 (K 殼)，而 Li 的 3 個電子之中 2 個電子會構成安定的原子殼 (K 殼)，但是另一個則在外側形成不完整的原子殼 (L 殼)。隨著原子序數增加，外側原子殼的電子數增多，而到 Ne 時變為 8 個電子形成安定的電子殼 (L 殼)。這排列很安定，用普通的方法，無法使電子從此電子殼脫離，也就是化學上 Ne 呈惰性。

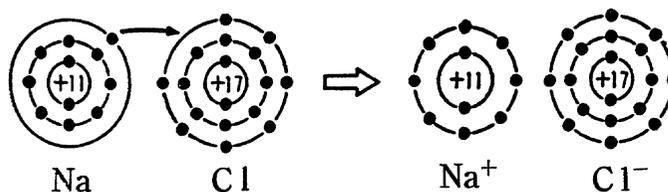
對此狀態的原子，假如想要增加 1 單位電荷，則軌道電子必須進入 Ne 的第 2 電子殼的外側電子殼。由此可說明 Na 容易成爲一價的陽離子。F 和 Ne 的安定電子配置相比較時，假如 F 能從外面取入 1 個電子，就可成爲安定的電子配置，因此想取入 1 個電子的傾向強。這就是 F 容易成爲一價陰離子的原因。

隨著原子核的電荷增加，最外側電子殼的電子增多，而會到達安定的惰性元素之電子排列，然後再開始新的週期。第 4 週期以後雖然電子殼的電子排列較複雜，但本質上會呈現電子排列的週期性，而使元素的化學特性顯示週期性的變化。

5. 物質中的原子結合型式：

(1) 離子結合 (ionic bond)：

例如 Na 原子和 Cl 原子相近時，如圖(二)所示，Na 原子會把最外側電子殼的僅有 1 個電子 (價電子) 給與 Cl 原子成爲陽離子，而 Cl 原子從 Na 原子取入 1 個價電子後，最外側電子殼變爲電子 8 個的安定電子殼 (閉殼) 成爲陰離子。這正負兩離子間由於靜電力之作用相互吸引而產生結合。



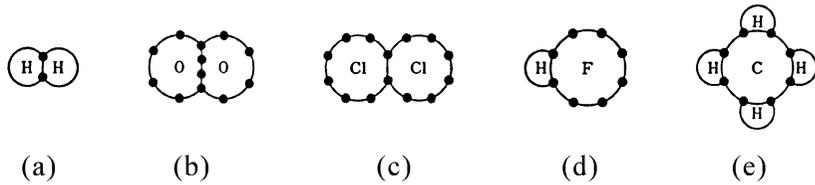
圖(二) Na 和 Cl 的離子結合

(2) 共價結合 (covalent bond)：

也叫做原子結合或等極結合。H₂、O₂、N₂ 等氣體各由 2 個原子結合形成分子者，則以此方式結合。

原子的電子構造，一般在最外殼有 8 個電子時呈爲安定狀態。K 殼則有 2 個電子就變爲安定。例如 O 原子的最外殼有 6 個電子，而由圖(一)可知爲了變爲 8 個電子的安定閉殼則少 2 個電子。假如，按照圖(三)(b)所示，2 個 O 原子互相補不足的 2 個電子時，就會成爲具有 8 個外殼電子的安定狀態。這時，因爲被共有的 2 個電子會圍繞 2 個原子的周圍，各原子交互產生正負電荷而發生引力形成結合。圖(三)表示共價結合分子的形成例。例如(e)圖表示 C 原子和 4 個 H 原子形成共價結合。由此結合方式所形成的分子，雖然分子內的引力強，但是由於外殼電子已滿 8 個，所以對鄰近分子的引力

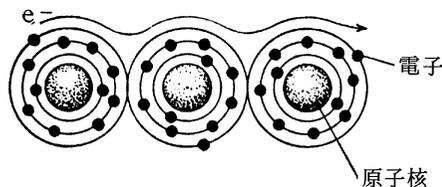
非常弱，也就是分子間之力很弱。



圖(三) 共價結合分子形成例

(3)金屬結合 (metallic bond) :

在空間裡只有 1 個金屬原子時，電子會在規定的軌道上運動。但是另外的金屬原子接近時，外側電子殼的電子就會受到另外原子的影響。例如具有 11 個電子的 Na 原子互相接近時，最外殼的 1 個電子會被鄰近原子的原子核所帶之正電荷吸引，而跳到鄰近原子的電子軌道上。這種現象會在各個原子間互相發生，所以最外側電子的軌道，如圖(四)所示，呈為相連的狀態。這些最外殼電子，因為未受到原子核的強力束縛，所以可以在相連的軌道上自由移動到很遠的地方。這種能自由移動的電子叫做自由電子 (free electron)。自由電子可以在金屬中移動而形成所謂電子雲。這電子雲帶有負電，另一方面被電子跳走的原子帶有正電成為陽離子，因此電子雲和陽離子之間所作用的引力和離子相互間及電子相互間的斥力之間形成平衡而發生結合。



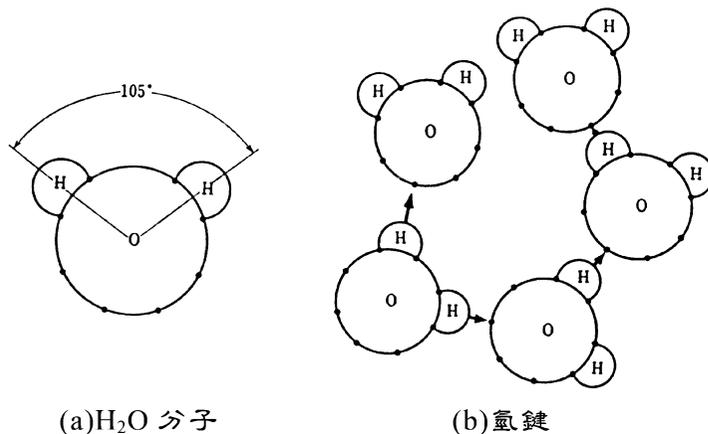
圖(四) 最外側電子軌道相連的金屬原子

(4)分子結合 :

分子間的結合和上面所講的原子結合比較，其結合弱，通常叫做二次結合。這種二次的較弱結合 (引力)，括起來叫做凡得瓦力 (van der Waals force)。

大部分的凡得瓦力起因於電偶極 (電雙極, electric dipole)。

H_2O 分子，如圖(五)(a)所示，是 1 個 O 原子和 2 個 H 原子結合者，而 O 的最外殼經與 2 個 H 原子結合後剛好有 8 個電子呈安定狀態。由圖(五)(a)可知 O 的原子核完全由電子圍繞，但 H 的原子核可認為未被足夠數目的電子圍繞，這狀態下由於 O 原子要吸引電子的力較強，有時 H 原子的電子會被吸去，因此 O 原子的某部分會帶負電，而 H 原子的某部分會帶正電。也就是 H_2O 分子內發生電荷的不均衡，致使正電荷的中心和負電荷的中心不一致，而形成電偶極。此時，如圖(五)(b)所示，水的兩個分子之間產生靜電引力而形成結合。這種結合叫做氫鍵 (hydrogen bond, hydrogen bridge)。



圖(五)

未具有永久偶極的原子，通常由於其電子會均勻分佈所以正負電荷的中心相一致。但是有時在某一瞬間電子的分佈發生不均衡，形成瞬間的偶極，對另一原子產生作用力發生結合。這種效果叫做分散效應 (dispersion effect)。

(四)材料選擇原則：

首先應瞭解煉製之方法，材料之酸鹼性，有何特性及缺點，應如何處理或加工以改善並進而增加其效果，並注意以下之原則：

1. 材料規格與品質，應符合一定標準。根據需求與用途，選擇具有正字標記或國家標準如美國 ASTM，德國 DIN，日本 JIS 及中國 CNS 等明確定其品質者。
2. 材料物美價廉，適合工程設計的要求，品質先後一致，不虞供應中斷。其抗壓、抗拉、硬度等須合乎工程要求。
3. 材料的品質，應有合理的管制。派有專人從事品質管制，配有精密儀器加以檢驗。

♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥
♥♥ 精選試題 ♥♥
♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥♥

一、比較斷面為 10mm×9mm 的鋼棒，在 3000kg 負荷下，與直徑為 5mm 的鋁棒，在 1000kg 負荷下，應力的大小。

答：鋼棒所受的應力：

$$\sigma = \frac{3000}{10 \times 9} = 33.3 \text{ kg/mm}^2$$

鋁棒所受的應力：

$$\sigma = \frac{1000}{\pi \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^2} = 50.9 \text{ kg/mm}^2$$

故鋁棒所受應力較大。

二、取一鋼棒做拉力試驗，在原棒上的標距為 50mm，當其受應力後成為 54mm，求其應變。

答：應變 = $\frac{54-50}{50} = 0.08 \text{ mm/mm}$

三、詳述工程材料之分類。

答：(一)化學成份：

1. 有機材料：含碳者如竹材、木材、合板、塑合板、棉、毛、塑膠、瀝青。
2. 無機材料：不含碳者，可細分如次：
 - (1) 非金屬材料：砂、石、水泥、玻璃、石綿、陶瓷耐火材料。
 - (2) 金屬材料：可分為鐵金屬與非鐵金屬：
 - ① 鐵金屬：鑄鐵、銅、熟鐵、合金鋼等。
 - ② 非鐵金屬：銅、鋅、鋁、錫、鎂、鉛、鎳等。

(二)產出來源：

1. 天然材料：岩石、石灰、木材、樹脂、粘土。
2. 人造材料：布、紙、酚樹脂、磁器、氧化膜、人造石、人造木材、塗料、炸藥等。

(三)材料性能：以使用性能區分：

1. 構造物主構材：

包括上述天然材料、人造材料、金屬材料、非金屬材料、有機材料、無機材料等，材質雖異，但其強度、硬度極高，以形成構造物之主體，發揮承載功能，如混凝土、H型鋼等。

2. 構造物輔材：

使構造物耐久、耐衝擊、耐腐蝕、耐震、美觀，符合特殊用途而附加於構造物主體之材料，如防水瀝青、木料、磚塊、馬賽克等。

四、何謂虎克定律？

答：在彈性限度內，應力與應變之比值 E 須為定數。

五、選擇工程材料時，應注意那些原則？

答：(一)材料規格與品質，應符合一定標準。

根據需求與用途，選擇具有正字標記或國家標準如美國 ASTM，德國 DIN，日本 JIS 及中國 CNS 等明確定其品質者。

(二)材料物美價廉，適合工程設計的要求，品質先後一致，不虞供應中斷。

材料的顏色、型式、質感、觸感必須能與外國產品媲美，價格與其不相上下。其抗壓、抗拉、硬度等須合乎工程要求。在施工進行中材料品質發生不合（偷工減料等），退貨換貨或缺貨，均有礙於工程進度與完成時間，這些缺失小者浪費金錢，大者損害個人及國家榮譽。

(三)材料的品質，應有合理的管制。

派有專人從事品質管制，配有精密儀器加以檢驗。保證材料之上選品質。

六、解釋下列名詞。

(一)應力。

(二)應變。

(三)硬度。

(四)彈性。

答：(一)應力：

當材料受外力作用時，材料的內部產生一種抗力抵抗，使材料本身產生力的平衡，此抗力為材料的內力，稱為應力。

(二)應變：

材料承受外力作用時將產生變形，應變即為材料單位長度之變化量。

(三)硬度：

凡材料其有抵抗磨損、刮痕、刻劃等之性能，稱為硬度。

(四)彈性：