

## 物質的構造與材料

### 從水滴、巴黎鐵塔到鳥羽

#### 從一杯水談起

新聞媒體上常有這樣的消息：由某某人造衛星傳回來某行星表面上的一些畫面判斷，在這行星上可能曾經有過水，因此，也可能有過生命。這表示：有了水才可能有生命。(圖 1，圖 2)

我們也常看到從太空中攝取的地球和其他行星的照片。不同的是，只有地球上才有白雲和藍色的海水。這表示只有地球才是一個熱熱鬧鬧的，活的舞台。水在地球表面上，可說是無所不在，海洋中、兩極的冰川中、高山的積雪中、陸地上的河川、湖泊中、動植物的身體中...都是水。可以談的太多了，現在先從一杯水談起。(圖 3)

#### 水的分子

如果我們拿一杯水，從裡面取出一滴，這一滴當然也是水；把這一滴分散成更小的滴，裡面仍然是水。要分得多小就不能再分，再分下去就不是水了？這個最小的單位就是一個水的「分子」。分子，英文是 *molecule*，中文譯得非常傳神，就是一種純的物質，分得不能再分的單位，再分下去就不是他自己了。

水分子是由 1 個氧原子和 2 個氫原子構成的，通常用  $H_2O$  來表示，如過寫成  $HOH$  則為更接近實際的狀況 (圖 4)。有人把氧原子和氫原子畫成小球的樣子，水分子看起來就像個米老鼠的頭了。(圖 5)

氫原子是自然界中最簡單的原子，中央是原子核，裡面有 1 個帶 1 個正電荷的質子，外面有 1 個帶 1 個負電荷的電子，像衛星一樣圍著原子核運轉 (圖 6)。真正氫原子的構造當然不是這麼簡單。這種使我們了解原子大致構造的模型是波爾 (Niels Bohr, 1885–1962) 提出的。(圖 7)

氧原子的波爾模型就比較複雜一點了，原子核裡有 8 個各帶 1 個正電荷的質子，和 8 個中子。中子的名字也取得很好，他是不帶電荷的中性粒子。氧原子有 2 層電子的軌道，第一層上面有 2 個電子，第二層上面有 6 個電子 (圖 8)。這 8 個各帶 1 個負電荷的電子上的電荷正好與原子核裡 8 個質子所帶的正電荷抵消，因此，氧原子整體而言是不帶電的。氫原子也是不帶電的。

各種原子都有一個很有趣的怪癖，他們都希望在最外層的電子軌道上有 8 個電子。只有氫原子是例外，因為它只在最內層的電子軌道上有 1 個電子，能有 2 個，它就很滿意了。因此，總是想盡辦法另外找一個電子。一個辦法就是與另外一個氫原子合夥，組成一個小家庭，每個人都拿出自己電子來與對方的共用。這樣，2 個氫原子共享 2 個電子，這就是 1 個氫分子， $H_2$ 。氫分子中的 2 個原子靠這 2 個電子接合在一起，就是所謂的一個「共價鍵」(covalent bond)。(圖 9)

氧原子的第 2 層電子軌道上，也就是最外層的軌道上，有 6 個電子。它也會

設法另外找 2 個電子以滿足最外層有 8 個電子的願望。也一樣地可以與另外一個氧原子合夥，組成一個小家庭。每個人拿出 2 個電子來與對方共享，因為有 4 個電子是雙方共享的，再加上 4 個屬於自己的，每個氧原子的最外層軌道上都有了 8 個電子。這樣，就是一個氧分子， $O_2$ ，其中的 2 個原子是靠 2 對(4 個)共享的電子接合在一起的，是 2 條共價鍵。(圖 10)

氫分子和氧分子都是由同類的原子結合而成的。這樣的婚姻是不是有些怪呢？結婚當然要以異性為對象比較好。因此，當氫氣與氧氣混在一起，也就是許多氫分子與許多氧分子混在一起的時候，這些小家庭就不免要拆夥了，很容易燃燒起來，甚至爆炸。每個氧原子都會與 2 個氫原子結合，它和每個氫原子都各拿出 1 個電子來共用。也就是說氧原子以 1 個共價鍵與 1 個氫原子結合，以另 1 個共價鍵與另 1 個氫原子接合。這樣就構成了 1 個水分子， $HOH$  或  $H_2O$ ，也就是前面說過像米老鼠頭一樣的水分子。(圖 11)

地球上的元素有九十多種，氫和氧是其中的 2 種。元素與元素結合而成為非常多的化合物，水就是化合物中非常簡單的一種。雖然簡單，卻有一些不尋常的、有趣的性質。

### 水的性質

水是一種日成生活中最常遇到的東西，是熟朋友了，一點也不覺得它有什麼奇怪。但以化學的眼光來看，水真是一個怪胎，怪在哪裡呢？主要是，分子這麼簡單、這麼小，分子量只有 18 的化合物，在地球表面上的環境中，應該是一種氣體才對，但它在海洋、河川和我們的茶杯中時是液體，在北極和高山上時是固體，這是為什麼呢？

主要的原因是，這個像米老鼠頭的水分子，左右雖然對稱，上下卻是不對稱的。2 個氫原子偏向上方，成  $104.5^\circ$  的夾角，氧原子則偏向下方。由電子的分佈圖就可以看出來，水分子是兩極性的，氧的一端是負極，氫的一端是正極，還是有異性相吸、同性相斥的現象。

氫原子與氧原子雖然已經組成了小家庭，分子，但一個水分子中的氫原子看到了別的水分子中的氧原子時，還是喜歡去勾搭。這種勾勾搭搭的關係叫做氫鍵(hydrogen bonding)。氫鍵的力量比起造成水分子的共價鍵來弱的多，不可能造成水分子的家庭破裂，但這種勾勾搭搭的關係，使水分子聚成一團一團的，叫做分子團(clusters)。(圖 12)

水分子間的氫鍵，使它們結合成分子團。這解釋了為什麼如此小的分子，在地球表面上的環境中不會全部化為氣體的原因。正因為如此，地球表面上才能成為一個有生命的，熱熱鬧鬧的舞台。不然的話，就會像一些其他的行星，例如火星、水星、金星一樣，表面上是死的世界。(圖 13,圖 14)

談到溫度，大自然中的溫度有沒有下限和上限呢？有下限。那就是所謂的「絕對零度」，也就是低到不能再低的溫度， $0^\circ K$  或  $0K$ ，相當於攝氏零下大約  $273^\circ$ ，或  $-273^\circ C$ 。上限呢？在太陽表面上有幾千度，在太陽中心更高的多，宇宙中一定

有的地方溫度更高，這是天文學家和物理學家的事，我們就不要追究吧。

從水的冰點  $0^{\circ}\text{C}$  到沸點  $100^{\circ}\text{C}$ ，這一段溫度的範圍與從絕對零度到千萬度的範圍相較，真是太小太小的一段。地球表面上最冷的兩極地區，溫度大約只低到零下  $50$  度 ( $-50^{\circ}\text{C}$ )，最熱的赤道附近的沙漠裡，溫度會高到  $50^{\circ}\text{C}$  吧。這個上下  $100^{\circ}\text{C}$  的範圍，也一樣地是非常小的一段。巧的是，地球表面上的生命都是活在這一小段的溫度範圍中。(圖 15, 圖 16)

爲什麼會這麼巧，水的冰點正好是  $0^{\circ}\text{C}$ ，沸點正好是  $100^{\circ}\text{C}$ ？一點也不巧，只是因爲它的勢力大，攝氏溫度計上的  $0$  度和  $100$  度就是根據水在  $1$  大氣壓下結冰和沸騰時的溫度訂定的。由此可見，水是一種無所不在，大家最常接觸到的東西。(圖 17, 圖 18)

在  $1$  個大氣壓之下，把冰和水放在一起，不論冰塊有多少，這杯冰水的溫度都不會變，一直維持在  $0^{\circ}\text{C}$ ；同樣地，水在  $1$  個大氣壓之下沸騰時，也就是液體的水和水蒸氣在一起時，溫度也是一直維持在  $100^{\circ}\text{C}$ ，不會改變。這是一個維持溫度不變的方法，也是爲什麼拿它們做爲溫度的標準點的原因。

一般的液體和氣體，通常都是溫度越低密度越大，也就是說比較熱的會上浮，比較冷的會向下沉。空氣是如此，水大致上也是如此，只是水在接近冰點時出現一個不尋常的現象，就是在  $4^{\circ}\text{C}$  的時候密度最大。也就是說，水的溫度降到  $4^{\circ}\text{C}$  以下後，反而是越冷的越浮在上面。因此，水在  $0^{\circ}\text{C}$  時所結成的冰是漂在水上面的。這個比較不尋常的現象，聽起來是一件小事，但卻是地球上所有生命的一件天大的事。

到了冬天，水面上結了一層冰，漂在上面，也保護了下面的水，有時冰層雖然非常厚，下面的水仍然維持在液體的狀態。水裡的生物因此才得以活下去而不會凍成冷凍庫裡的海鮮，雖然很新鮮，但活不成了，當然也不會再有傳宗接代的機會，也沒有進化成高等動物，包括人類的機會了。

水的分子之間，因爲氫鍵的關係，相互之間牽牽扯扯，不容易分開，要把它們分開，或是鬆散一些，都得加入一些能量。因此，水是一種非常好的冷卻劑。炎炎夏日，在院子裡灑些水，或是來一陣西北雨，就可以涼快一些。工廠裡常用水來冷卻，即使整個地球都要靠水來調節氣溫。靠近海洋的地方比較冬暖夏涼，不是嗎？(圖 19)

水的另一項重要性質就是它的溶解力。海裡有那麼多的水爲什麼不能喝呢？是因爲裡面溶解了太多的東西。河川在流向大海的途中，把可以溶解的東西都帶到海裡去了。我們用水來洗這個、洗那個，利用的就是它的溶解力。你也許會問，像硫酸、鹽酸這一類的強酸，溶解的能力不是更厲害嗎？是的，但是這些東西本身是要先溶解在水中才能成爲強酸的。(圖 20)

## 什麼是離子

硫酸、鹽酸在水裡都成爲「離子」的狀態。什麼是離子呢？一個最常見的例子就是把一匙鹽溶在水裡。我們都知道食鹽就是氯化鈉，就先看看鈉原子和氯原

子的構造。

鈉原子的原子核中有 11 個帶正電荷的質子，爲了電性的平衡，原子核的外面也有 11 個電子，如果用波爾的模型來表示，就是第 1 層電子軌道上有 2 個電子，第 2 層軌道上有 8 個電子，第三層軌道上有 1 個電子。

氯原子比鈉原子大，它的原子核中有 17 個帶正電荷的質子，因此外面的電子軌道上共有 17 個帶負電荷的電子。第 1 層，也就是最內層的電子軌道上有 2 個電子，第 2 層上有 8 個，第 3 層上有 7 個。(圖 21)

前面曾經提到過，各種原子都有一個傾向，或是願望，就是希望自己的最外層軌道上能有 8 個電子。每個鈉原子都會想，如果能把第 3 層軌道上的那個電子借給別人，第 2 層軌道就成了最外層，上面正好是 8 個電子，該有多好。每個氯原子都會想，自己的第 3 層，也就是最外層的軌道上已經有了 7 個電子，如果能向別人借 1 個來，就滿足了 8 個的願望，該有多好。

溶在水裡的食鹽，是呈離子狀態的。每個鈉原子都把最外層的 1 個電子借出去了。原子核裡仍然有 11 個帶正電荷的質子，但外面的電子軌道上只剩下 10 個帶負電荷的電子，電性失去了平衡，正電荷比負電荷多 1 個，因此成了 1 個帶正電荷的鈉離子。每個氯原子都如願借到了 1 個電子，電子軌道上一共有  $2+8+8=18$  個帶負電荷的電子，而原子核中仍然是 17 個帶正電荷的質子，因此失去了電性的平衡，成了帶 1 個負電荷的氯離子。

把一匙鹽溶在水裡之後，這杯水裡是許多帶 1 個正電荷的鈉離子和帶 1 個負電荷的氯離子。整杯裡的電荷是中性的，鈉離子的數目與氯離子的數目相等；杯中任何一個部位的電性也是中和的，正離子和負離子的數目是相等的。

鈉原子的符號是 Na，鈉離子是  $\text{Na}^+$ ，這個 + 號表示是帶 1 個正電荷，或是失去了 1 個電子的意思；氯原子的符號是 Cl，氯離子的符號是  $\text{Cl}^-$ ，這一個 - 號表示是帶 1 個負電荷，或是得到了 1 個電子的意思。

$\text{Na}^+$ 和  $\text{Cl}^-$ 的數目相等，在水中游來游去，它們之間沒有婚姻關係，只有債權、債務關係。每個鈉離子都是借出去 1 個電子的債權人，每個氯離子都是借到 1 個電子的債務人。只是分不清，也沒有必要分清楚是誰借給誰的，因爲每個相同的原子都是一樣的，分不出誰是誰。

海水裡含食鹽(氯化鈉)的量大約是 3%；在水裡面食鹽的溶解度大約是 30%，也就是說 100 公克的鹽水中，最多可以含有大約 30 公克的食鹽。如果拿一杯鹽水在太陽下曬，或是加熱，讓水分蒸發，當食鹽的濃度到達這個「飽和」的濃度後，固體的食鹽就跑出來了。

固體的食鹽是一種結晶。氯離子有 3 層電子軌道，鈉離子有 2 層電子軌道，因此氯離子比較大。如果把它們用一大一小的兩種彈珠來表示，食鹽的結晶就像圖 22 中的模型一樣，每個氯離子的上、下、前、後、左、右也都有 1 個鈉離子；每個鈉離子的上、下、前、後、左、右也都有 1 個氯離子。這只是食鹽結晶的一個模型，實際上當然不是這麼簡單，但 X-光的檢測，也證實這個模型也的確八九不離十了。

## 鹽、酸、鹼

鹽，通常是指食鹽或是氯化鈉，但在化學上是指鹽類的離子型化合物。無機的鹽類是由 1 種帶正電荷的正離子，例如  $\text{Na}^+$ ， $\text{Ca}^{++}$ ，...，與 1 種帶負電荷的負離子，例如  $\text{Cl}^-$ ， $\text{Br}^-$ ，...，組合而成的。

前面談過，水分子中有 2 個氫原子和 1 個氧原子，通常寫成  $\text{H}_2\text{O}$ ，也可以寫成  $\text{HOH}$ 。水分子可以解離成一個帶正電的  $\text{H}^+$  離子和一個帶負電的  $\text{OH}^-$  離子。 $\text{H}^+$  是失去了一個電子的氫原子，實際上就是一個氫的原子核，所失去的一個電子借給了  $\text{OH}^-$  離子。 $\text{OH}^-$  離子中的氧原子最外層電子軌道上原來有 6 個電子，拿出 1 個來與氫原子的 1 個電子共享，也就是說形成 1 個共價鍵；它們也共享那 1 個借來的電子。這樣，氧原子滿足了最外層軌道上有 8 個電子的願望；氫原子也滿足了他唯一一個電子軌道上有 2 個電子的願望。(圖 11)

實際上，水分子是一個非常美滿的小家庭，它們的成員並不願意被分離開來。在一杯清水中， $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  離子都是非常少的。多麼少呢？用一個量化的數字表示就是  $(\text{H}^+\text{的濃度}) \times (\text{OH}^-\text{的濃度}) = 10^{-14}$ 。(註：這裡濃度的單位是每公升中的莫耳數)。 $10^{-14}$  是一個很小的數字，用話來說，就是 10 兆分之 1。(圖 23)

氯化氫， $\text{HCl}$ ，是氯和氫的化合物，氫原子的軌道上有 1 個電子，氯原子最外層的軌道上有 7 個電子，各拿出 1 個電子來共享，靠著 1 條共價鍵形成一個氯化氫分子。這樣，氫原子滿足了軌道上有 2 個電子的願望；氯原子也滿足了最外層軌道上有 8 個電子的願望。(圖 24)

可是，氯化氫分子並不是一個美滿的小家庭。在沒有別人存在的時候，氫原子氯原子沒有別的方法，只好結合在一起，是一種氣體。但是一旦遇到水的時候，氫原子就說：這個電子借給你好了。自己成了缺少 1 個電子的氫離子， $\text{H}^+$ ，跑到水裡去了；氯原子借到了這個電子，成了多一個電子的氯離子， $\text{Cl}^-$ ，也跑到水裡去了。裡面溶解了  $\text{H}^+$  和  $\text{Cl}^-$  離子的水，叫做鹽酸，是一種強酸。(圖 25)

氫離子的濃度如果是每公升 0.01 莫耳，或是  $[\text{H}^+] = 0.01 = 10^{-2}$ ，這水溶液就很酸了。我們說這水溶液的 pH 值是 2，就是氫離子濃度是  $10^{-2}$  的意思，這就是所謂 pH 值的定義。前面講過： $[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ ，如果 pH 值是 2，那麼因為  $[10^{-2}] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ ， $\text{OH}^-$  離子的濃度應該是  $[\text{OH}^-] = 10^{-12}$ 。一杯中性的水， $\text{H}^+$  離子和  $\text{OH}^-$  離子的濃度是相等的，因此， $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ ， $[\text{OH}^-] = 10^{-7}$ ， $[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ ，pH 值是 7。pH 值小於 7 的水溶液是比較酸的水溶液，pH 值越低酸性越強；pH 值大於 7 的水溶液是比較鹼的水溶液，pH 值越高，鹼性越強。

如果把金屬的鈉在氧氣中燃燒，會得到氧化鈉， $\text{Na}_2\text{O}$ ，這和把氫與氧燃燒得到水，也就是氧化氫非常類似。可是，氧化鈉分子並不像水那樣，是個不願分開的美滿小家庭。一遇到水的時候，這個  $\text{Na}_2\text{O}$  小家庭就拆夥了，形成鈉離子， $\text{Na}^+$ ，和氫氧離子， $\text{OH}^-$ 。在  $\text{Na}^+$  和  $\text{OH}^-$  的水溶液中， $\text{OH}^-$  離子的濃度很高，是一種很強的鹼。叫做氫氧化鈉，工業上叫「燒鹼」。(圖 26)

在酸的水溶液中，有濃度相當高的氫離子， $\text{H}^+$ ，另外是一個非金屬的離子，

例如氯離子， $\text{Cl}^-$ 。在鹼的水溶液中，有濃度相當高的氫氧離子， $\text{OH}^-$ ，另外一個是金屬離子，例如  $\text{Na}^+$ 。如果把酸的水溶液和等量鹼的水溶液相混，酸中的  $\text{H}^+$  離子一見到他最喜歡的鹼中的  $\text{OH}^-$  離子，二話不說，馬上就結婚，形成中性的水分子，溶液中剩下的是帶正電荷的金屬離子，例如  $\text{Na}^+$ ，和帶負電荷的非金屬離子，例如  $\text{Cl}^-$ 。這就是所謂「鹽」的溶液，酸加鹼的反應叫做中和反應。

## 金屬材料

前面談過，兩個氧原子用電子共享，或是共價鍵的方式形成氧分子；氯分子或是許多類似的分子也是一樣，它們的電子都各有所屬，沒有多少亂跑的自由，因此是不易導電的「非金屬」。

而金屬呢？他們最外層的電子軌道上有的只有 1 個電子，有的有 2 個電子。就拿鈉， $\text{Na}$ ，來說，它的最外層的電子軌道上只有 1 個電子。前面也說過，每種原子都有使它們最外層的電子軌道上有 8 個電子的傾向。如果一塊金屬鈉，它裡面的原子怎樣才能達到這個願望呢？每 1 個鈉原子要與鄰近的 7 個同伴共享最外層軌道上的電子才行。但是，老張與老李是相鄰的同伴，與老張最近的同伴除了老李以外另有 6 個；與老李最近的同伴除了老張之外也另外有 6 個。因此，我們可以說，鈉的最外層電子軌道上的電子根本分不清是屬於那個鈉原子的，而是自由地跑來跑去的。換句話說，鈉，和其他許多的金屬，都是很好的導電材料。金屬材料真正的導電機制當然不是那麼簡單，但這也不失為一個簡化的說明的方法。(圖 27)

在許多材料中，電子是不能跑來跑去的，叫做絕緣體。在絕緣體中可以故意參入一些雜質，給電子一些移動的機會，但不能像在導體中那麼自由，這種材料叫做「半導體」。

金屬是非常好用的材料，歷史上最早用到的是銅，我們到故宮博物院去參觀，看到許多骨董都是銅器。為什麼會有那麼多數千年前的銅器能夠保留到現在呢？是因為銅的鏽，也就是銅器的表面與空氣中的氧氣和水分反應所生成的鏽，或鏽，質地非常的緻密，一旦生了一層之後，氧氣和水份很難透過，因而就不會繼續鏽下去，許多骨董也得以保留下來。金屬鋁和鈦也有類似的性質，為什麼故宮博物院中沒有鋁製品和鈦製品呢？理由很簡單，就是從礦石，多是金屬的氧化物中把鋁或鈦提煉出來是難度非常高的事，都是近年來科技相當進步之後才做到的。鐵是一種用的非常多的金屬材料，它的問題就在於生鏽，空氣中的氧氣和水汽容易透過鏽層讓他一直鏽下去。(圖 28,圖 29, 圖 30)

金屬材料從礦石中冶煉的過程中，首先得到的往往是高溫的液態的金屬，可以先用鑄造的方式得到所希望的形狀的固體金屬材料。液態的金屬在冷卻固化的時候，結晶的現象是很難避免的。常用的金屬器具或飾品，看上去亮晶晶，好像材質是均勻的，但如果用顯微鏡觀察就會發現是由許多小的結晶構成的。有結晶就會有結晶與結晶之間的界面，和不完美的地方，影響了金屬材料的強度，腐蝕的作用往往也是從結晶之間的界面和不完美的地方開始的。一個避免金屬材料的

結晶現象的方法，就是使其冷卻凝固的速度比結晶的速度更快，所得到的是「非晶性」的金屬材料，各方面的性能都比晶性的優越，只是在生產技術上尚有一些問題。

金屬材料的加工，除了鑄造之外，還有鍛造(就是古時候的打鐵)、壓延、切削、焊接等等的方法。

每一種金屬都有其獨特的性質、優和缺點，如果把不同的金屬熔化後做成混合的金屬材料，就是所謂的合金，又叫做「齊」，就可以得到各種性質優越的合金材料。其中最有名的一種就是不銹鋼，是鐵與鎳等金屬混合製成的。不銹鋼依成份和性能的不同有許多種，它們也並非絕對不會生鏽，只是很不容易生鏽而已。

實際上常用的金屬材料幾乎都是合金，就連金飾也不是純金的，有九成金、18K 金、24K 金等等。純金太軟了，並不真的好用。近年來常在餐具、錶殼上用氣相蒸鍍法鍍上一層氮化鈦，色澤和黃金一樣但硬度卻高得很多。(圖 31)

### 非金屬材料

我們常以所使用的材料來區分文明進步的階段，最早的就是石器時代了。但在石器時代，先民是以石材做為工具和武器，而現代人是以天然的石材做為材料。切割、磨的工具和技術越來越高明了，做為建築材料的稱之為各種的「石」，價位高，質地細緻的則稱之為各種的「玉」。

石器時代之後下一個文明進步的階段是陶器時代。陶器和瓷器的原料是陶土和瓷土，多是金屬的氧化物，經加水揉合，製成坯以後再以高溫燒製而成。建築用的磚瓦也是用類似的方法製造的，只是原料的選擇不是那麼的精緻而已。幾十年前，在苗栗、竹南一帶有許多磚瓦窯，現在再到那裡去看一下，你會發現許多在歐美觀光景點販賣的瓷製藝品，以及歐洲名牌白蘭地的酒瓶都是在那裡燒製的。(圖 32)

電子陶瓷是現在當紅的新材料。電子器材中的被動元件，多是以陶瓷材料做為基材。做得輕、薄、短、小，這與陶器時代先民所使用的黑陶、彩陶相較之下，真是不可同日而語了。(圖 33)

天然的材料和人造的陶瓷都不是均勻的材料，在顯微鏡下，都可以看到顆粒和結晶。在固體的無機材料中只有玻璃是均勻的。玻璃就是融化後再冷卻了的各種金屬的矽酸鹽。製造玻璃的一種原料是二氧化矽，就是常見的沙；另一個原料是金屬的氧化物，兩者相混後加高溫燒融化了，再冷卻後就成為玻璃。

融化的玻璃在冷卻成為固體時為什麼不會產生結晶呢？主要的原因就是融化的玻璃黏度非常大。在前面曾經說過，要製成非晶性的金屬，一定要使冷卻凝固的速度比結晶的速度快。但在融化的玻璃中，因為黏度太大，冷卻固化的速度一定比結晶快，結晶根本沒有機會形成。(圖 34)

玻璃的性質決定於所用的金屬氧化物，常說的水晶玻璃實際上並不是水晶，而是含鉛量高的玻璃，鉛的含量越大玻璃的密度就越大，折光率和硬度也越大，顯得就更為高貴。玻璃裡面加入不同的金屬氧化物，也會使它有不同顏色。近

年來有一種玻璃，在強烈的陽光照射時就變成黑色，像太陽眼鏡一般，到了夜間又能恢復無色透明，是因為含有會感光的氯化銀之類的粒子的關係。(圖 35)

### 高分子材料

顧名思義，高分子材料就是分子量很大的化學品。自然界中有 2 種量非常大的天然高分子材料。其一是纖維素，人類利用它的歷史已經數千年了；另一種是甲殼素，就是蝦、蟹類殼裡的主要成分。

從前科學家把天然的植物纖維，作成紙漿，設法用溶劑溶解後再抽成絲，做成織物，雖然有人叫它人造絲，但實際上不是人造的，只能算是再生的纖維。

在今日，我們用石油裂解的產物合成了各種高分子材料，例如叫做什麼龍、什麼龍的纖維。(圖 36, 圖 37)

### 生物材料

各種生物，包括動物和植物的身體當然也是由材料構成的。經過億萬年的演化以及物競天擇的篩選，生物身體的構造已經達到出神入化，最佳化的地步。因此，仿生，也就是設法模仿生物是如何做到的，已經成爲一個時髦的研究領域。

有許多材料，人們已經用了上千年了，例如木造的居室，冬暖夏涼又有自動調節溼度的作用，用棉花、羊毛、蠶絲織成的衣服也比一般人造纖維更適合人體穿著。(圖 38)

鳥類因爲要飛起來，所以重量非常重要，看看他們骨骼和羽毛的材料和構造，如何在最小重量的條件下達到最大的強度？(圖 39)

植物的枝幹，都是最佳化的複合材料，如何在強風中只是彎一彎，搖搖擺擺而不會折斷。(圖 40)

貝殼的主要成分是碳酸鈣，和大理石是一樣的，但貝殼的機械強度比大理石高的多。用顯微鏡觀察一下才發現原來貝殼的構造是層狀的，層與層之間是有機的材料，有吸收衝擊力的作用。(圖 41)

生物的身體是由細胞構成的，細胞壁都是非常巧妙的薄膜，叫什麼東西通過就通過，不叫什麼東西通過就通不過。

可以舉的例子太多了，都是人要向生物界學習的地方。但生物有一個罩門，就是沒有能力應付新興的，因科技的發達而造成公害的能力。這方面，人類非得靠自己不可了。

