

環保新材料—— 無鉛易切削抗脫鋅黃銅

■ 葉松璋、施景祥、魏嘉民

黃銅是銅鋅合金，添加鉛有助於加工與成形性，卻與環保概念抵觸；若不添加鉛，則切削性很差，無法用於精密的機械加工。環保與工業應用間的取舍，唯有捨去有害的鉛金屬，改用能替代鉛的無毒或低毒害元素，方可雙贏。

無鉛黃銅的價值

銅是一種堅韌、柔軟、富有延展性的紫紅色且有光澤的金屬，又稱為紫銅。1 克的銅可以拉成 3,000 公尺長的細絲，或壓成十多平方公尺幾乎透明的銅箔。純銅製成的器物太軟、易彎曲，把鋅摻到銅裡製成銅鋅合金的「黃銅」，可以補強度的不足。

黃銅因色黃而得名。黃銅的機械和耐磨性能都很好，可用於製造精密的儀器、船舶的零件、槍炮的彈殼等。含鋅量不同，會有不同的顏色，如含鋅量 18 ~ 20% 呈紅黃色，20 ~ 30% 就會呈棕黃色，30 ~ 40% 則呈金黃色。但在銅合金中，鋅的電位比銅低很多，因此黃銅在中性鹽類溶液中易發生電化學腐蝕。電位低的鋅被溶解，銅則呈多孔薄膜殘留在表面，並與表層下的黃銅組成微電池，使黃銅成為陽極而快速腐蝕，稱為脫鋅腐蝕。

一般做為加工用的黃銅，添加金屬鋅的比率是 38 ~ 42%。為了讓黃銅更好加工，通常含有 2% 的鉛以增加強度與加工性。含鉛黃銅具有優良成形性、切削性和耐磨耗性，廣泛應用於各種形狀的機械加工零件，在銅業中占有較大的比率，是世界公認的重要基礎材料。

含鉛黃銅具有優良成形性、切削性和耐磨耗性，廣泛應用於各種形狀的機械加工零件，是世界公認的重要基礎材料。

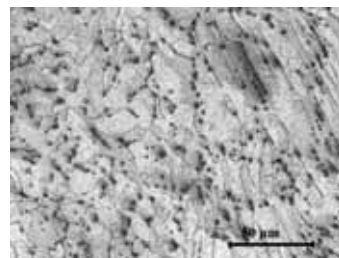
透過改良黃銅成分，以無毒或低毒害物質代替含鉛黃銅中的鉛元素，使其達到易切削並具抗脫鋅腐蝕的功能，既能滿足工業上的需求，又可保護生態環境。



無鉛黃銅的產品

然而，含鉛黃銅在生產或使用過程中，鉛容易以固態或氣態的形式溶出，而鉛對人體造血和神經系統，特別是兒童的腎臟及其他器官的損害較大。各國都很重視鉛造成的污染和引起的危害，美國、日本、德國及歐盟都相繼限制和禁止含鉛黃銅的使用。美國加州發布 AB1953 號鉛含量的限制法令，從 2010 年 1 月 1 日起，含鉛黃銅就在該州永久退出衛浴與自來水管路市場。

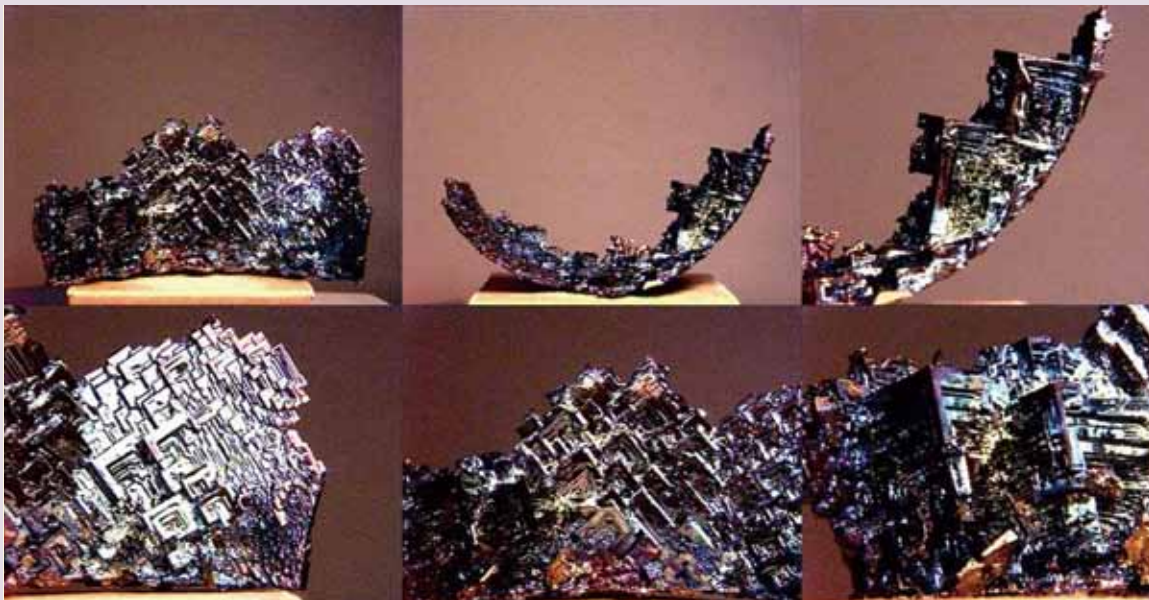
因此，唯有透過改良黃銅成分，以無毒或低毒害物質代替含鉛黃銅中的鉛元素，使其達到易切削並具抗脫鋅腐蝕的功能，才能滿足工業上的需求，又可保護生態環境。



含鉛黃銅的顯微組織圖，黑色顆粒是散布在黃銅中的鉛金屬粒子。

無鉛黃銅的條件

鉛的熔點低，為攝氏 327.5 度，與黃銅合金原不會互相溶解。在凝固時，鉛會以細小顆粒散布在黃銅內，使得比不含鉛的黃銅具有更好的切削性。因此，用來替代鉛的合金元素須具備三項特性：元素在固



鉍元素的
金屬礦物

體狀態下不溶解於黃銅中，能以細小顆粒散布在黃銅內；對人體無毒，不會造成環境汙染；可提高黃銅切削性能，而不影響原來的強度和延展性。

根據上述特性，添加的合金元素依其在銅內的存在形式主要分為3類。第1類是在固體狀態下少部分溶解於黃銅中，大部分則以純元素的狀態散布在黃銅內，如鉍、銻、銻等。第2類是在固體狀態完全不溶解於黃銅內並與銅元素形成化合物，如氧、硫、鈣等。第3類是固體狀態下少部分溶解在黃銅中，其他過飽和的元素和銅形成化合物，如矽、鎂、銻、磷等。

綠色元素—鉍

鉍是一種可安全使用的綠色小原子量元素，與鉛在元素周期表中相鄰，在性能方面也有較多相似之處。但含鉍黃銅可成形性約為含鉛黃銅的75%左右，仍有改善的空間。

美國貝爾實驗室和日本所研發的鉍與銻銅合金，已應用於水龍頭、閥門等供水零件上；德國也已研發出以鉍代替鉛的紅

銅鑄造合金，英國則研發出一種低鉛鑄造黃銅合金，主要用於供水系統。國內目前已開發添加0.92%的鉍元素於含鉍黃銅中的配方，可進一步改善切削性。當鉍含量超過2%時，可成形性微幅下降，當鉍元素與鉍元素含量相近時，適度提升鉍元素含量可改善成形性。

物美價廉—鎂

鎂元素較難溶解於黃銅，且能與鋅、銅形成化合物，質地不硬且脆，並均勻散布在黃銅中，切削性與含鉛黃銅相似。大陸學者曾製備出以鎂代鉛的易切削黃銅，拉伸強度達550 MPa，延展率是16.3%，切削性接近含鉛黃銅，並具有良好的抗腐蝕性能。

此外，由於地球上的鎂資源較豐富，以鎂代鉛的無鉛黃銅，除了具環保方面的優勢外，還有價格低的成本優勢。

世界首富—矽

矽是地殼上含量最多的半金屬元素，以廉價的矽元素替代有毒的鉛和昂貴的鉍、



矽元素的礦物



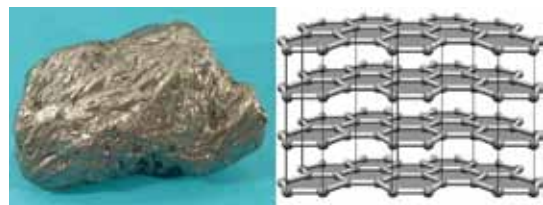
鎂元素的金屬礦物

錒等元素，可獲得新型環保銅合金材料。添加少量矽元素於黃銅中可增加強度，在銅合金鑄造與銲接製程中，藉由矽的添加也可降低鋅的氧化反應，增加合金在高溫下的液態流動性。待高溫成形冷卻後，能在零件表面生成二氧化矽薄膜，有保護內部材質的功能，提高黃銅的耐蝕性。

但當矽含量超過 4% 時，會導致合金在高溫下的液態流動性降低。而以矽代鉛的黃銅的切削性是含鉛黃銅的 70 ~ 80%。國外學者提出一種無鉛易切削矽磷銅合金，其合金組成是 65 ~ 70% 的銅、2.0 ~ 3.5% 的矽、0.02 ~ 0.15% 的磷，其餘是鋅和不可避免的雜質元素。這合金具有良好的切削性、銲接性、耐磨耗性與抗高溫氧化性，適用於切削加工成形的鍛件與鑄件。

潤滑高手—石墨

石墨是元素碳的一種同素異形體，其原子以 sp^2 鍵結形成六角形，其層與層之間以微弱的凡得瓦爾力結合，不但具有良好的導電及導熱性，也是工業上常用的高溫潤滑劑。因此，以石墨替代鉛將提升銅合



石墨礦物與其片狀結構

金的切削性，也是無鉛黃銅研發的方向。

美國礦物局的研究人員透過在黃銅中添加石墨，提高合金的潤滑性能並降低切削加工刀具的耗損。在銅合金中加入石墨粉，形成石墨 / 黃銅的複合材料，其切削性與含鉛黃銅相當。

無鉛黃銅的用途廣泛，除了添加少量無害的元素來代替含鉛黃銅中的鉛，使其達到易切削且環保的目的外，透過合金冶煉技術控制黃銅的結構與組織，是未來提升切削成形性的一個重要課題。

葉松璋、施景祥、魏嘉民
金屬工業研究發展中心
