



常見的汞製品：（左起）體溫計、牙科用的銀粉、紅藥水、螺旋形日光燈及日光燈管。最右邊是筆者實驗室用的一滴汞，大致和左邊體溫計裡含的汞量差不多。如果把瓶蓋開著，讓這些汞在密閉的室內全部揮發，那就有安全顧慮了。

汞

汞與人類的互動已有三千多年的歷史，

對人類的貢獻多而且廣。

現在人類了解它的毒性後，

反而對它敬而遠之，避之唯恐不及。

其實汞的好處應該多於壞處，妥善應用才是正道。

徐統

元素和化合物

汞，又稱水銀，是銀白色液態金屬，是周期表上第80號元素，也是唯一中文名稱不帶金字旁的金屬。它的化學符號Hg取自拉丁文hydrargyrum（水銀），英文名

mercury則來自羅馬神話中跑得很快 的信使神（水星也叫Mercury，同樣的典故）。化學元素中只有極少數是在自然界以游離狀態（元素狀態，非化合物）存在，如金、銀、硫等，汞也是其中一種。但是游離的汞不多見，藏量

多的是硫化汞等化合物。

汞是唯一在常溫下呈液態的金屬，熔點是攝氏零下38.8度，可導電，比重是13.5。其化學活性高，能形成多種無機和有機的化合物，也能和多種金屬形成合金。

汞的用途非常多。例如，液態元素的汞用在溫度計和血壓計中；日光燈管裡用的是氣態的汞；傳統的紅色顏料硃砂是汞的硫化物；外傷消毒的紅藥水是汞的有機化合物；補牙的銀粉是汞的合金。有些電池裡含有汞，而化學工業上也大量使用汞做為電解用的電極。

世界最大的汞礦在西班牙的Almaden。俄國、義大利、美國、加拿大、墨西哥等地也有汞出產。中國最大的汞礦在貴州省萬山縣。商業上汞的交易通常以「瓶」(flask)為單位，一瓶汞淨重34.5公斤，相當於古羅馬的100librae。今天每公斤汞的市價大約新台幣800元。

使用歷史

汞和它的合金、化合物的應用，在東西方都有長久的歷史，可以推到人類文明開幕的時代。地中海沿岸在紀元前5世紀就已使用汞和硃砂。中國商代的甲骨文(紀元前11世紀)上就有硃砂描畫。汞能在常溫和其他金屬形成合金，統稱汞齊。英文裡面也

有個專稱汞合金的字amalgam。很早就用這個特性來採金礦，方法是把礦石和汞混合，使金溶於汞成為汞齊，濾去砂石，把汞齊加熱使汞蒸發。就得到純金。

採銀礦也可以用這個方法，例如16世紀歐洲人在南美洲發現了大銀礦(在今玻利維亞境內Potosi)，要從西班牙運大量的水銀過去。後來在今祕魯境內Huancavelica發現了汞礦，雖然距離有1,600公里的山路，但總比從大西洋對岸運汞過來近多了。採銀的成本大幅下降，大量的銀運往歐洲，支撐了西班牙的「黃金世紀」，然後導致通貨膨脹的災難。

由於汞的毒性，這種提煉金銀的方法已普遍禁用了。但是時至今日，還是有些偏遠的礦場在使用。

金汞齊的另一個應用是在銅器上鍍金，稱為鑲金。方法是把金汞配成大約一比七的泥狀汞齊，可以抹在銅器表面上，然後加熱蒸去汞，就留下一層金膜在銅器表面，再打磨光亮。鑲金法在西方最早的紀錄是紀元前1世紀，中國最早的出土鑲金器則是戰國時代的。

鑲金一則增加美觀，二則保護銅器不受腐蝕，三則可以做出花樣。千百年來，這種工藝產生了無數的精品，被世界各地的博物館和私人收藏。然而鑲金法跟用汞齊法煉金一樣，會產生有毒的汞蒸氣。如今在金屬器物上鍍金，有其他較安全的方法，因此鑲金很少人做了。

雖然汞在自然界有游離汞，但數量不多。較多的汞原料是汞的化合物，特別是硫化物(HgS)。把硫化汞加熱，可使汞還原為蒸氣，冷凝就得到金屬汞。方法很簡單，但也有汞蒸氣中毒的風險。

硫化汞就是硃砂(朱砂、丹



左邊是從西班牙進口的一瓶汞，重34.5公斤；右邊較小的瓶子是日光燈回收工廠用來裝回收蒸餾的高純度汞的。瓶子要用鋼做，因為鐵和汞不會在常溫形成汞齊。裝有少許汞的玻璃瓶容量100 ml，可做為比例尺。

汞是唯一在常溫下呈液態的金屬，化學活性高，能形成多種無機和有機的化合物，也能和多種金屬形成合金，用途非常多。

砂或辰砂)，是傳統的紅色顏料，它的使用比金屬汞更早。南美洲的印地安人知道用它做顏料，中國人在商朝就知道用它在甲骨上描畫。硫化汞的艷紅長久受人喜愛，歷來普遍用在繪畫、建築物的彩繪、印泥等方面。中國文人用毛筆蘸硃砂批改文卷，皇帝用來批奏摺。科舉考試最高階的殿試，爲了避免閱卷者辨認考生的筆跡，先派人用硃砂墨抄錄考卷，才給考官評閱。這樣的考卷因而叫做硃卷。用來刻印章，做工藝品的雞血石，其中的紅色也

是硫化汞。

硃砂也是一味中藥，傳統中醫認爲它有安神鎮靜的效用，但是毒性和藥性的平衡，尙有待釐清，以便規範。古代道家煉丹藥也用硃砂，服丹藥而飛升的事從來就沒有明證，但致死的事倒是史不絕書。

中國古代的厚葬，多有用到汞和硫化汞。《史記·秦始皇本記》記載秦始皇陵有黃金做的山，水銀做的百川大海，而所用的汞可能產自貴州萬山。近年來的科學探測顯示，秦始皇陵的土

壤的含汞量確實高於周圍地區，可以證明地下有大量的汞。這個結論還有人質疑，如果確定，那麼兩千多年的蒸發，造成多大的污染呢？這應該給考古學者一個警訊：如果開挖秦始皇陵，會不會造成汞污染的生態浩劫？

金屬汞的用途

汞普遍用在溫度計和血壓計上。如今因爲汞的毒性，要禁止家庭用汞溫度計了。但是

醫療場所還是用水銀的溫度計和血壓計，因爲這些都是使用多年，精確可靠的儀器。牙醫補牙用的銀粉，是汞、銀、錫、銅等的合金。汞和其他的成分分開包裝，使用時混合，填進牙齒的蛀孔。

汞在科學史上立過很大的功勞：托里徹利（Evangelista Torricelli）用玻璃管裡的水銀柱證明了大氣壓力。邁克生（Albert Abraham Michelson）和莫雷（Edward Williams Morley）用光學干涉儀測量地球對「以太」的運動，他們爲了讓干涉儀能夠平滑轉動，把它安裝在一塊石板上，並浮在水銀槽裡。這個實驗證明了「以太」不存在，成爲愛因斯坦相對論的實驗基礎。

汞的表面張力很大，不會沾黏一般的物質，會形成圓珠，受重力而滾動，因此有「水銀瀉地，無孔不入」的說法。利用這個性質，水銀可以做成電路的開關。它是唯一能滾來滾去的導電液體，能和任何形狀的固體電極接觸分離。汞的導電性不如金銀銅鋁，因此多用在小電流的繼電器等器件上。當然，電極不能用金銀等會形成汞齊的金屬。

把微量的汞封進安裝有電極的玻璃管中，電極放電，汞受熱而蒸發成氣體，充滿在玻璃管中。汞原子受放電激發時，發出



圖片來源：徐保志畫《墨竹》，局部。

硃砂是上好的紅色顏料，傳統的紅色印泥就是用硃砂做的。但是硃砂價格高，現代的紅印泥不一定都用這種傳統的顏料。這幅水墨畫大約畫於1970年代。畫完當時就簽名並蓋了右邊圖章；左邊的圖章則是2000年代才蓋的。檢測得知右邊的印泥含硫化汞；左邊的不含。

硫化汞就是硃砂，是傳統的紅色顏料，它的艷紅長久受人喜愛，歷來普遍用在繪畫、建築物的彩繪、印泥等方面。

紫外線和某些可見光。這些射線可以直接利用，例如做為紫外線光源。但是如果在玻璃管內壁塗一層螢光粉，螢光粉受到紫外線的打擊，發出可見光，這就是常用的日光燈。不論長條狀的還是螺旋狀的，日光燈都是照這個原理運作的。

化學性質和化合物

除了前面說過的硃砂之外，常見的汞的無機化合物有氯化亞汞(HgCl)，又稱甘汞，有殺菌作用。氯化汞(HgCl_2)又稱昇汞，是一種腐蝕性極強的劇毒物。雷汞($\text{Hg}(\text{ONC})_2$)是敏感又猛烈的炸藥，受到碰撞、摩擦或加熱就發生爆炸，常用做起爆藥。

汞的有機化合物也很重要。處理外傷時常用的紅藥水，就是汞的有機化合物紅溴汞（又稱紅汞，mercurochrome，也稱merbromin， $\text{C}_{20}\text{H}_8\text{O}_6\text{Br}_2\text{HgNa}_2$ ）的水溶液。

甲基汞（methylmercury 或 methyl mercury, $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ ）是一種有毒的物質。它本身沒有什麼用途，但是從化工廠、焚化爐、燃煤等都能產生這種危險的污染物，散逸在空氣、河川、湖泊中，因此備受關注。二甲基汞



鑲金器有兩千多年的歷史，這是漢朝的製品。

圖片來源：<http://catalog.ndap.org.tw/?URN=838478>

（dimethylmercury, $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ）毒性更高，人經由皮膚吸收微量就可致死。

毒性和環保

汞和它的化合物對人和動物都有劇毒，會損害神經系統，可能致命。歷史上多有中汞毒的記載，但當時的人不一定知道兇手是汞。

《夢溪筆談》載：「余中表兄李善勝，曾與數年輩煉砂為丹。經歲余，因沐砂再入鼎，誤遺下

一塊，其徒丸服之，遂發憎冒，一夕而斃。硃砂至涼藥，初生兒子可服，因火力所變，遂能殺人。以變化相對言之，既能變而為大毒，豈不能變而為大善？既能變而殺人，則宜有能生人之理，但未得其術耳。以此和神仙羽化之方，不可謂之無，然亦不可不戒也。」可見宋人並不知道汞的毒性，只以「硃砂至涼藥」解釋這件中毒事件。

著名的童話故事《愛麗絲夢遊奇境記》裡面有個角色叫「瘋帽匠」。過去西方人做氈帽的過程中要用到硝酸汞處理動物的毛，使它容易黏結成氈。帽匠往往慢性中毒，導致言行舉止異常。因此英文裡有「瘋得像個帽匠」（mad as a hatter）一詞，用來形容暴怒的人。

在中國唐朝就有使用銀錫汞齊補牙的記載。西方人「發明」用銀粉補牙，進而普遍應用也有一百多年。歷來不斷有人質疑銀粉的安全性，畢竟這是放進嘴巴裡面的，到底會不會漸漸釋出汞？脫落了吞下去怎麼辦？但是吵來吵去，銀粉的危險性還是沒有定論。雖然有些國家已經禁止

用銀粉補牙，但大部分的國家還是頂多不鼓勵不提倡而已，銀粉還是非常好用的補牙材料。

如今我們對汞的毒性有較充分的了解，因此也有較完備的安全規範。人吸入揮發在空氣中的元素汞會中毒，環保局訂的安全含量是 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。如果打破一支水銀體溫計，其中所有的汞通通揮發在一間房間裡，那麼汞含量會遠遠超過這個安全值。但是如果立刻處理打破的體溫計：用麵粉等粉末吸取汞，掃進塑膠袋裡，連打掃的工具一起密封交專業回收者，則汞不會全部揮發。如果房間不是密閉的，通風良好，這種打破的體溫計不會造成危害。

打破了日光燈管也是一樣，散到空氣中的汞是微量的，這種事件不會一兩次就要人命。我們該注意不要經常大量發生，並且要推廣專業的回收。

無機汞化合物中毒的例子，如前述的服食含砒砂的丹藥及中藥。煉丹是過去的事了，而用砒砂配方的中藥，近年在台灣也禁

止了。它們的藥效和替代中藥的比較，牽涉太廣，這裡就不討論。

有機汞化合物中毒，最有名的事件發生在日本漁村水俣。當地的化工廠排出的廢水含有甲基汞，在海水中經過食物鏈的濃縮，當地的魚就累積了大量的甲基汞。魚本身行動異常，吃了魚的人和貓也跟著病倒，無法控制動作，甚至肢體扭曲萎縮。相當高比率的病人死亡，因而有「水俣病」(Minimata disease)之稱。

這個案子不是突發事件，而是延連數十年的研究和抗爭。化工廠建立於1908年，病情引起注意，找到禍首甲基汞已是1950年代，其後是種種的求償、抗爭、政治角力，而整個事件落幕，則是1976年。總計登記有案的受害者2,265人，其中1,784人死亡。

比甲基汞更毒的是二甲基汞。有個近年的個案：美國Dartmouth College的化學教授Karen Wetterhahn，專攻毒物學，做實驗時不慎灑了些二甲基汞在手上。她當時帶著乳膠手套，但

是沒有人知道二甲基汞能滲過乳膠手套被皮膚吸收。幾天後她感覺不適，住院治療。醫院診斷出發病的原因，但是無法排毒救命，終於不治。這件事警告我們，做實驗千萬要注意安全。還有，Wetterhahn教授享年48歲，是正教授，當過院長，可是她還親手做實驗！

中年以上的人當記得，紅藥水曾是家庭、醫務室、醫院診所必備的外傷藥，也是舞台上充當血液的道具。由於含汞，如今有些國家已禁用(如美國)。台灣還沒有禁，但是不多見了。傷口殺菌，大都改用優碘。從前沒有優碘，用碘酒(碘酊)，可是碘酒擦上傷口會引起劇烈的刺痛，紅藥水則不會。優碘是不含汞又不具刺激性的殺菌劑。

工業用的汞和它的化合物，以及廢電池、日光燈管等，都有可能污染環境。控制污染的第一步是要能檢測污染物。汞的檢測基本上利用汞的物理化學性質，跟探測其他元素差不多，可使用原子吸收光譜等方法。但是汞能和金形成汞齊，卻提供了一個很特別的測汞法：把一片金箔暴露在待測的空氣中，量金箔的電阻。若空氣中有元素汞，則汞吸附在金箔上會使電阻增高。經過校正，就可以從電阻換算成空氣中汞的含量。



攜帶式的汞汽探測儀，利用金箔吸附了汞後電阻會增加的原理。

汞的回收已經進行多年，近來越來越受人注意，因為要回收的東西越來越多，體溫計就是一個新加的項目。



日光燈管回收廠。這台機器把燈管打破，回收汞、玻璃、燈絲、接頭的金屬及螢光粉。左邊的方形框架是運送燈管的推車。這台機器每天可以處理一百多車，每車大約裝 1,000 支燈管，能回收 10 公克水銀，大約是 8 支體溫計的用量。

發明這個儀器的人，是筆者在美國讀研究所時的一位學長。當時筆者並不認識他，也不知道他做這方面的研究，最近從文獻中讀到這個測汞法，從他的指導教授得知，他拿這個專利辦了個工廠生產測汞儀，40 歲就把廠賣掉而退休了。教授說這個發明他也有份，但是他很早就把股份脫手，沒撈到多少好處。目前教授已經七十多歲了，還沒退休。

汞的回收已經進行多年，近來越來越受人注意，因為要回收的東西越來越多，體溫計就是一個新加的項目。日光燈管的回收是大規模的工業，不但回收汞，也回收玻璃、金屬、螢光粉等。在目前最火紅的「節能減碳」口

號之下，用水銀產生螢光的省電燈泡已經普遍風行。跟鎢絲做的白熾燈相比，「能」是節了，發電的「碳」也減了，但是也提高了汞的使用量。若是回收工作不好好做，麻煩還在後頭。若是好好做，那也是要耗能的，要用碳的。

汞與人類的互動已有三千多年的歷史，對人類的貢獻多而且廣。人類現在了解它的毒性，因而對它敬而遠之，避之唯恐不及。其實汞的好處應該多於壞處，妥善應用才是正道。

對有害的物質，人們一貫的做法是尋求替代品。金屬汞的溫度計和壓力計是最準確的，無可取代。在不需要精準時，自然可以用其他的儀器取代，例如家庭用

的耳溫槍，又方便又快又安全。電池用汞，化工上電解法製造苛性鈉用汞做電極，都已有替代方案。補牙有高分子材料可以代替銀粉。內服的中藥已經明令禁止用硫化汞，有替代配方了。至於不放進嘴裡的硃砂顏料，應該沒有安全顧慮。

照明方面，

用汞取代鎢是個滿特別的現象。這裡不但不能限汞，反而還要提倡用汞，才能節省用電。目前配套的唯一方案是努力回收。不然，就要把日光燈也禁掉，寄望於發光二極體（LED）等的光源了。

唐朝人高駢聽到一個他看不起的人升了官，頗不以爲然，寫詩諷之：「煉汞燒鉛四十年，至今猶在藥爐前；不知子晉緣何事，只學吹簫便得仙。」可惜現代人的生活中，少了汞，少了鉛，日子都不能過，更別說成仙了。怎麼才能「吹簫便得仙」？還有待未來的科學啦！ □

徐統

清華大學材料科學工程系