

人猿揖別論化學

聯合國教科文組織將 2011 年定為

“國際化學年”

主題是

“**化學**——”

我們的生活，
我們的未來。

導讀（代序）

聯合國教科文組織曾將公元 2011 年命名為“國際化學年”，並確定以“化學——我們的生活，我們的未來。”作為它的主題。這個主題是一個對人與化學之間關係高度概括的命題，需要予以解讀。《人猿揖別論化學》即是對此命題的一種演繹和詮釋。通過《人猿揖別論化學》，讀者可以更好地瞭解化學並認識每個人以及整個社會與化學之間的密切關係。

《人猿揖別論化學》從縱橫兩個方向簡述了化學學科的形成歷史、化學與其它學科以及人類社會的密切關係，並通過許多眾人熟悉的、有趣的以及有用的事例，介紹了一些化學以及與之相關的知識，提出了作者的若干觀點。閱後，讀者即可從一定的深度和廣度來看待、認識和體驗化學。書中，作者將化學視為人類社會文明發展歷程的一個不可割捨的重要組成部份，並闡述了化學與人類文明之間的同步共生之互動關係。人類祖先與其他生物在智能及行為上的主要差異之一是能否自主地掌握、控制及利用以燃燒為代表的化學反應。在人類進化及文明發展的幾個重要階段，化學均起着關鍵性的作用：燃燒使我們的祖先自主地掌控了由化學能轉化出來的熱能和光能，於是開啟了原始的文明，並與其他古猿類分道揚鑣，走上一條別的生物效仿不了的獨特的進化發展之路；當人類進一步地掌握了將化學能直接或間接轉化為機械能的本領，也就是說發明了火藥、炸藥以及像蒸汽機那樣的熱機之後，便逐步實現工業化，文明隨即進入迅速進步的中期階段；待到發明化學電池，令化學反應在電池這樣的裝置中進行並產生持續的電流，將化學能轉變為可操控的電能時，文明便開始邁向電氣化

時代的高級階段。現今的文明一直處於這個時期並還在不斷地高速向前發展。化學除在上述人類與古猿揖別，並自主掌控能源的過程中起到關鍵性作用外，人造材料的研製、開發、生產和使用，也完全離不開人類的化學活動。無論是由第一種人造材料——在高溫中燒結硬化的陶土製成的陶器還是隨後陸續湧現的青銅器、鐵器以及不勝枚舉的各種近代及現代材料，幾乎無一不與化學過程直接或間接相關聯。化學促進了人類的社會文明，而人類的社會文明則不斷發現及創造出新的化學反應及化學物質。

《人猿揖別論化學》除論述了化學對社會文明的正面推動作用外，也列舉了不少它的負面影響。當化學過程及（或）化學物質被無意或故意地不當或錯誤利用時，化學就會貽害人類自身及社會。特別是，因受自然法則的制約，各種化學活動都會遺留下某些不可消除的後果，其中有許多是不良的或是有害的，會嚴重污染環境和破壞生態平衡，因而威脅到人類的生存和蕃衍。文中，列舉了許多現有的解決途徑並提出若干需要或是可以採取的新舉措，以便將人類化學活動帶來的不利影響控制在可預測、可減輕及可承受的範圍內，令蘊藏在化學中的“正能量”得以充份發掘並利用好，讓化學和社會雙雙共同實現可持續發展的願景。

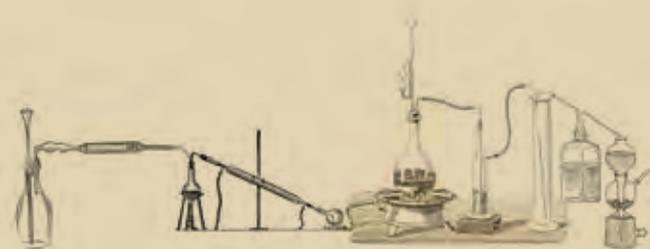
《人猿揖別論化學》對我國古今化學的成就多有着墨，並將這些成就融入對化學發展過程的陳述之中。讀者可以從中感受到我國歷來在化學及與其相關的領域中，對人類社會所作出的重要貢獻。

《人猿揖別論化學》還提出了為何現代化學學科發軔於西方而不是出自於東方的問題。讀者不妨一齊來思考並尋其答案。



導讀（代序）	2
前言	6
一、化學學科形成的歷史過程	8
1. 人類化學活動在火光中開始	9
2. 人造材料在化學反應中問世	14
3. 化學活動伸展至社會各領域	27
4. 化學學科因認知的加深而誕生	40
二、化學在國民經濟中所起的作用	54
1. 化學能源在經濟活動中的重要地位	55
2. 化學為各經濟領域提供原料和物資	58
三、化學學科的主要分支	62
1. 無機化學	64
2. 分析化學	84
3. 有機化學	93
4. 物理化學及結構化學	110

目錄



“化學——”

我們的生活，
我們的未來。

四、化學學科與其它自然學科的關係	126
五、化學與社會的關係	130
1. 人類的非物質文明離不開化學	131
2. 不當的化學活動危害社會	132
六、展望	140
1. 化學走向何方	141
2. 尊崇自然法則，讓化學伴隨人類持續地向前發展	147
後語	150
致謝	155
附錄：化學元素週期表	156
參考資料	158



前言

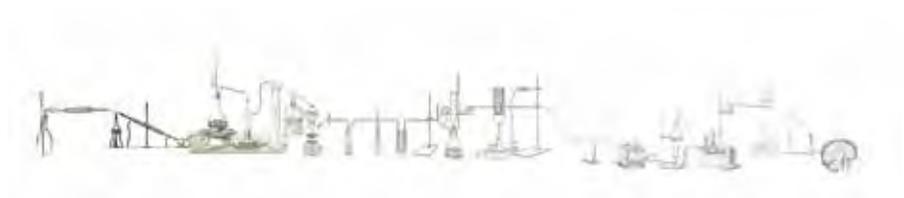
上世紀的 1986 年，那時我在蘭州大學化學系任教。某天，經濟系的趙風博先生來找我，說是他們計劃給學生開設一門介紹自然科學的講座課程，目的是要讓學經濟的學生對自然科學有一個概貌性的認識，以便擴大視野、拓寬思路。希望由我來承擔其中的化學部分。我完全讚同趙先生的觀點，我也認為在現代社會中，不管從事何種工作或職業，每個人都會主動或被動地面對各種現代科學和技術，都要有意或無意地思考現代科技對社會、對個人正面或負面的影響。多認識、多瞭解一些自然科學無論對社會還是對個人都有益處。於是我欣然接受了這個邀請，為經濟系學生從縱向歷史及橫向聯繫兩個方面較為通俗地簡要介紹化學學科的過去、現在和未來，化學學科與其它自然學科、國民經濟的各個領域的關係以及化學在人類社會文明進程中所起的作用。

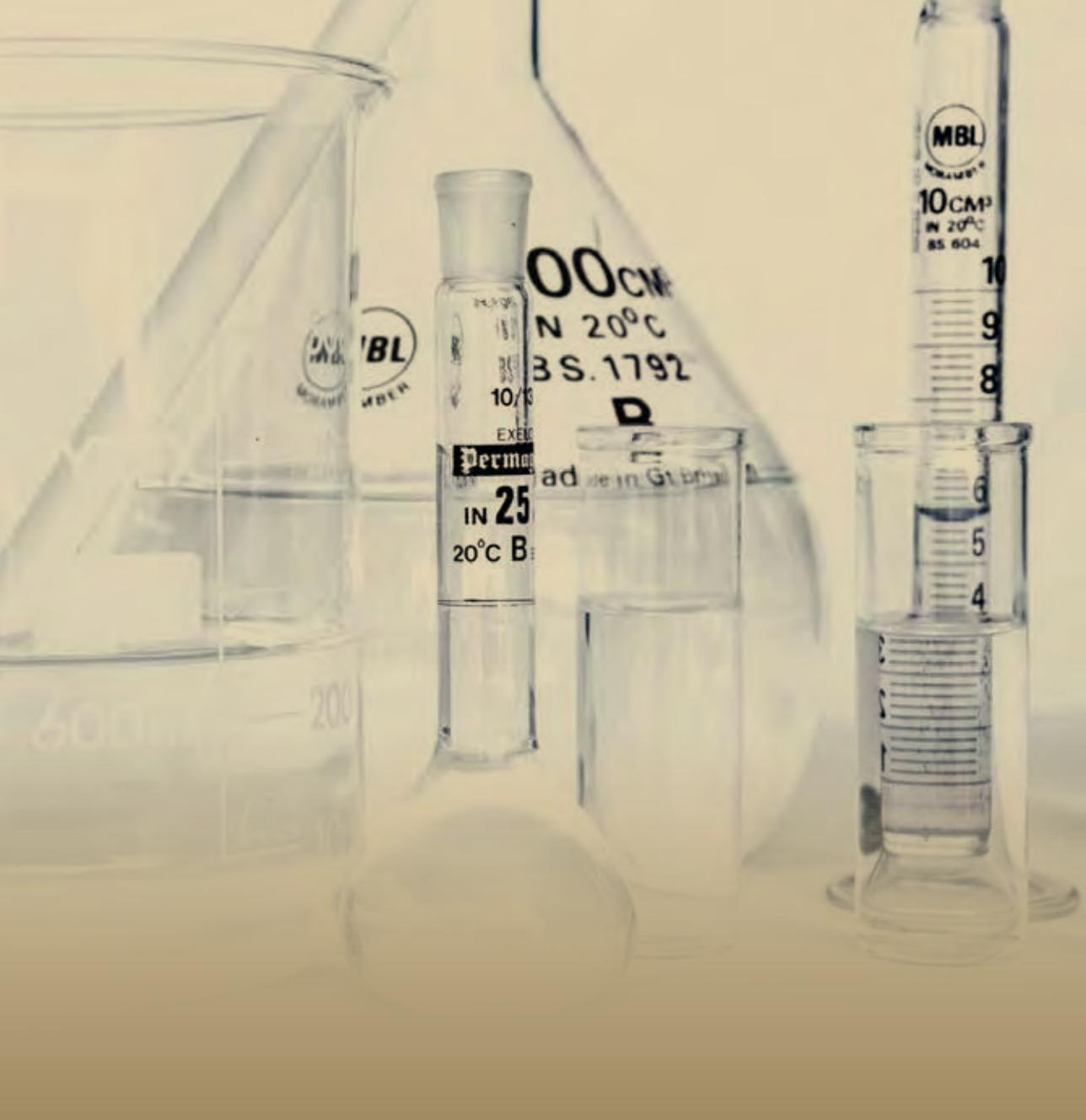
時光荏苒，三十一個年頭匆匆而過。由今天的認知來審視當年的講稿，我感到它依然有價值，許多內容尚未過時，主要觀點經受了時間的檢驗而得到肯定。特別是所持理念與聯合國教科文組織於公元 2011 年所制定的“國際化學年”（International Year of Chemistry）活動的主題“化學——我們的生活，我們的未來。”相吻合，因此值得將它整理編寫出來。用以演繹和詮釋這個主題，並為在人文及社會學科等非自然科學領域工作學習的讀者提供一個無需掌握許多專業知識，就可以從較為寬闊的角度來粗略瞭解和認識化學概貌的平臺。當然，經歷了逾卅年的歲月，無論是社會經濟還是包括化學在內的自然科學都有極大的發展和變化，尤其是進入現

“化學——我們的生活，我們的未來。”

今的互聯網時代後，從網絡中可以很方便地搜尋和取得各種有價值的資料及最新的消息。故此，現今的內容已依據各種新獲資料特別是來自網絡的信息，相應地作出了大量的增補、更新和修正。

受限於本人的學識，資料的取捨未必很得當，所涉內容可能有差錯，所持觀點或有可議之處。凡此種種，如蒙賜教指正，本人當感激不盡。





一、化學學科形成的歷史過程

一般而言，人類的實踐——認識這個互動過程基本上遵循先實踐後認識、再實踐再認識這一不斷循環上升的規律。化學學科由萌芽到成熟，同樣地也經歷了實踐——認識、再實踐——再認識的反復過程。正是在化學學科出現之前，人類所進行的長期且大量的化學實踐以及在實踐過程中對化學現象及其規律的認識、思考和掌握，為化學學科的形成奠定了基礎。

1. 人類化學活動在火光中開始

人類是從什麼時候開始化學活動，掌握並利用化學過程來同大自然搏鬥以求自身的生存及發展的？可以很肯定地說，從我們的祖先注意到天然的火而且學會利用天然的火所發出的光和熱並將火種保存、延續下去那時起，人類就邁出了發現並利用化學反應的第一步。

繼而，從火焰被雨水淋熄或當草木燒盡後便自行熄滅等自然現象中慢慢學會用潑水及撤除或隔離各種易燃物等方法控制燃燒和防火滅火。與此同時，古人類的各個族群在大量製造及加工各種石質、木質的工具及器皿的過程中，對燧石、黃鐵礦石、鐵隕石等多種質地堅硬的石料以及各種木材頻繁地採取了相互敲擊或鑽、刮、磨、削等手段。其間，偶爾會發生由擊出的火花或磨擦產生的高溫將處於周邊的燠絨焦絮或乾枝枯葉引燃甚至蔓延成熊熊烈火的嚴重事故。面對這類因敲擊和磨察而引起的大火，古人類也許會作出三種不同的反應：其中的大多數，尤其是老弱婦孺因恐懼害怕而慌忙逃離現場；另有一些勇敢無畏的青壯年選擇（也有可能是受族群首領的挑選和指派）留在現場，冷靜理智地採用業已掌握的各種方法撲救；更有個別的，正如中國古代傳說中的“燧人氏”一類聰睿超群的智者則憑



藉已進化出來的高度智慧，對燃燒的大火進行了認真的思考並從中獲得啟發，由此意識到只要將過多的易燃物隔離開，通過敲擊燧石或急速鑽擦木燧的方法，就可以無須依賴大自然的“賜予”便能自主地隨時取得極為寶貴的火種，而且還能夠避免引起各種程度的火災。經過他們不斷的試驗、實踐、改進並通過傳授、交流和推廣，古人類的各個部族便更進一步地創造出並最終掌握了採用“擊燧”及（或）“鑽燧”兩大類型的人工取火方法。

考古學家曾在德國的杜塞爾多夫附近的尼安特峽谷找到三至五萬年前古人類用敲擊燧石的方法進行人工取火的遺蹟^{〈1〉}。在我國，北京房山周口店龍骨山的古山頂洞人燒火遺址處也發現有可以用來敲擊取火的燧石片^{〈2〉}。此外，古代華夏各族群還一直口頭流傳着燧人氏“鑽木取火”的故事，而且自兩三千年前的春秋戰國時期起，這個傳說更被用文字記載於諸如【管子·輕重篇】、【尸子】、【韓非子·五蠹】等書籍之內。雖然因木質的鑽木取火器具易於腐爛而難以保存下來，致使至今尚未發現遠古人類鑽木取火的實質性證物，但上世紀七十年代，我國考古工作者在甘肅金塔縣二千餘年前漢代邊塞的烽火臺遺址處，發現了當時使用的木燧以及點燃烽火用的草苳。所出土的木燧由一根木棒和一塊有孔木板組成。這組實物乃是當今世上已發現的最早的鑽木取火工具，現被珍藏在甘肅省博物館內。

擊燧及（或）鑽燧取火的發明乃是人類對化學反應的掌握和認識所邁出的最為關鍵的第二步，更是人類進化歷程中極為重要的一次飛躍。如果說由電閃雷鳴、火山噴發、磷火自燃等天然引起的大火迫使人類祖先被動地面對並利用燃燒這一類的化學反應，那麼用擊燧、鑽燧、潑水及添減或撒離草木等方法來取火、控火、防火及滅火，則是古人類有意識而非意外地更非憑靠自然力量來引發燃燒並主動地操控化學反應的開始。從此，我

們的祖先與化學結下了不解之緣，並且演化成為地球上獨一無二的，唯一能夠自主掌控和應用以燃燒為代表的化學反應的生物物種。

儘管我們的祖先並不懂得燃燒是一種化學現象，不明白燃燒的原因，對光燦熾熱、焚罄一切卻又變幻無窮的猛烈火焰既崇拜又畏懼，但在同大自然的搏鬥中，確確實實認識到了火的威力和使用價值。在北京房山周口店龍骨山所發現的曾經居住過比山頂洞人更古老的猿人——北京人的另一個洞穴中，就遺有燃燒後的灰燼、燒剩的木炭和燒焦的動物骨骼。這證明早在五十萬年前的舊石器時代，古猿人已經掌握用柴草燃燒取火並予以利用的方法。用現代化學術語來講，就是已會利用碳水化合物在氧化反應即燃燒時，由化學能所轉化出來的熱能和光能。

火讓我們的祖先在寒風中獲得了溫暖、在夜幕中迎來了光明，火也替人類的祖先驅趕了禽獸、撲殺了蟲豸，火還使古人類增強了狩獵能力、燒烤了食物，並以烹飪熟食逐漸取代那種茹毛飲血的原始生活方式，從而豐富了食物、保障了安全、維護了健康、增長了壽命、促進了智力，並且壯大了群體、擴展了活動及生存的地域和空間。正是對燃燒這一化學過程的注意、認識、掌控和利用並配合以石質、木質、骨質及角質等簡單工具及器皿的製作及使用，人類祖先便遠遠拋離了猿猴等其它靈長類動物，邁向獨特的進化發展道路並最終完成了由猿變人的偉大轉化。

隨着歲月的推移，人類對火的認識越來越深，駕御能力越來越強。

例如以燃火燒荒作為開墾大片農地，種植禾黍果蔬的一種重要手段。雖然祖先們在遠古時代的燒荒種地事跡早已蕩然無存，但自商周時期起便



開始將燒荒種地稱為“畚”（音“奢”），並記載在書籍中。在那時的【易·无妄】中就有“不耕穫，不菑畚，則利有攸往。”的爻辭。到了唐宋年間，許多著名詩人在他們所賦的詩詞中對燒畚均有描述，如“煮井為鹽速，燒畚度地偏”（杜甫）；“金釧銀釵來負水，長刀短笠去燒畚”（劉禹錫）；還有“山高正對燒畚火，溪近時聞戽水聲”（陸游）等等。尤其是，劉禹錫在他的另一篇詩作《畚田行》中更是詳盡且生動地描述了那時巴人（居於現在重慶市奉節縣一帶的原住民）燃火燒荒的耕作習俗、過程和效果：

何處好畚田，團團縵山腹。
 鑽龜得雨卦，上山燒臥木。
 驚麕走且顧，群雉聲咿喔。
 紅焰遠成霞，輕煤飛入郭。
 風引上高岑，獵獵度青林。
 青林空靡靡，赤光低復起。
 照潭出老蛟，爆竹驚山鬼。
 夜色不見山，孤明星漢間。
 如星復如月，俱逐曉風滅。
 本從敲石光，遂至烘天熱。
 下種暖灰中，乘陽坼牙孽。
 蒼蒼一雨後，苕穎如雲發。
 巴人拱手吟，耕耨不關心。
 由來得地勢，徑寸有餘陰。

可見這種造田及耕作方法直到唐宋年間，在荆楚、巴蜀、雲貴一帶仍然相當普遍。不僅如此，時至今日，世界上某些族群和地區還在繼續以這種古老的墾植方式進行農耕。從《畬田行》中可以感受到，這種刀耕火種的耕作方式十分落後，效率極其低下而且對資源及生態環境的破壞力極強。但在尚無任何有效的農耕器具的遠古時代，燃火燒荒確實無異是一種相當成功的耕作方法。它不僅開闢了農地，燒出了可以肥田的草木灰，而且無需耗費勞力去田間管理便可待享收成。由此，人類祖先便從狩獵時代逐步進入到農耕時代。於是食物來源更有保障而且種類更加豐富多樣、社會活動的分工更加清晰明確、交換和貿易更為活躍、居所更加安定而無須頻頻遷徙、村落和市集逐漸湧現，社會結構也因此而更趨成熟和穩定。所以說，燃火燒荒的出現對當時人類的文明來說有着劃時代的意義。

又如利用燃燒的火光及濃煙傳遞信息和示蹤標誌。周幽王為博取愛姬褒姒歡心而“烽火戲諸侯”的故事大家都很熟悉，可見早在我國周代，已經在邊境線上建立起烽火臺，用燃燒產生濃煙及（或）火光的方法，不分晝夜地迅速傳遞邊關軍情；古埃及位於地中海畔的亞歷山大港用矗立在高大建築物頂上並燃燒着明亮火焰的鉅大火炬作為燈塔，在暮色及黑夜中引領遠方的航船安全駛入港口。

再如以火為武器，將着火的箭簇射入敵營或用燃燒着烈火並滿載淋有燃油的乾柴枯草等易燃物的舟船乘風衝入敵陣，以作進攻或退敵之法。三國時代吳蜀的周瑜、孔明一方在赤壁之戰中，火燒連環船而大勝曹魏這一以弱制強，以少勝多的經典戰例正是火在當時已作為有力武器的佐證。不僅在古代的中國運用了“火攻”戰術，許多位處西亞和地中海沿岸的古國同樣也有以火為武器的記錄。例如，在火燒連環船的赤壁之戰約四百六十年之後的公元七世



紀下半葉，位於地中海東北岸的拜占庭古國（即“東羅馬帝國”）也開始配製一種被史書稱為“希臘火”的比水輕的液體燃料，它以天然的石油為基本原料，經過精煉並加入多種易燃及助燃的物料而成^{〈3〉}。裝在罐中的“希臘火”受活塞的擠壓後便會經管腔噴向遠方的敵陣並燃燒成為強烈的火焰，亦可將它傾瀉在有敵人舟船游弋的海面上，一旦着火，敵艦便陷於一片火海之中。

可以毫不誇張地說，以火為標誌的化學過程從最原始的文明起，就一直伴隨着人類的進步直到今天乃至永遠。

2. 人造材料在化學反應中問世

在人類文明進程不斷的推動下，我們的祖先對火的掌控越來越嫻熟，而且發現並使用燃燒溫度比草木更高的煤炭類礦物燃料，因而獲得了更高的溫度。隨着所掌控的溫度越來越高，人類的文明亦由石器時代一步一步邁入陶器時代、青銅時代和鐵器時代。無論燒製而成的陶器、冶煉出來的青銅還是鍛鑄所得的鐵器，在生產製作它們的過程中，都必然要發生一係列化學變化。

陶器是人類採用自己創造出來的第一種材料——在高溫中，被人為燒結過的陶土所製成的器具。最粗略的製陶步驟是：首先將含一定水份的濕軟陶土反復搓揉並塑造成坯，此過程在我國古代稱為“埴埴”（音“山直”，見老子【道德經】第十一章）。然後將土坯與柴草木炭之類的燃料一起裝入陶窯中並點火燃燒，令坯料在燃燒所產生的高溫以及氧化性或還原性的氛圍中經歷一系列的物理及化學變化，並最終燒結成器。

我國及世界各處已出土了大量的古陶器文物，如有陶製的罐、甕、缸、瓶、樽、鼎、簋（音“鬼”）、鬲（音“立”）、鬻（音“規”）、罍（音“假”）、釜、卣（音“友”）、盃（音“和”）、觚（音“姑”）、觶（音“至”）、甗（音“演”）、盆、盂、豆、盞、盤、碟、壺、碗、鉢、杯、盅、爵、匜（音“移”）以及陶製的紡輪、網墜、勺柄、器座、箕、硯等等種類繁多的實用器皿和用具；有鑄造用的陶模、陶範；有磚、瓦、瓦當、去水管之類的建築構件以及建構水井用的無底大型陶罐；有陶偶、陶俑、陶龍、陶獸、陶畜、陶禽、陶蛇、陶蟾蜍、陶珠之類的擺設或佩戴用的藝術品以及祭祀、陪葬和宗教用品；有陶埙（音“熏”）、陶笛、陶號角、陶磬、陶鼓、陶缶（音“否”，也是一種裝盛器具）等吹奏及敲擊樂器。此外，還有在埃及和地中海東岸出土的玻璃珠狀飾物、西亞的底格里斯河和幼發拉底河所處之兩河流域及其周邊地區出土的，用於記事或計數的陶籌⁽⁴⁾以及按壓有印記或刻着古代楔形文字並經高溫烘烤硬化，因而得以保存下來的泥版文牘及印章等等。

在各種出土的古代陶器文物中，尤應專門提一下被稱為世界八大奇蹟之一的，發現於陝西臨潼秦始皇墓附近的秦兵馬俑群及由它們組成的極其龐大的陣列：它由七千餘件陶製將士、百多匹陶質戰馬、逾百乘木構戰車，還有大量的各式青銅和鐵質兵器按秦時軍隊的兵種及建制整齊列陣而成，所有陶俑的身材體型均與真人無異，各俑面貌、神情、髮型、鎧甲、服飾以及恣態均不相同，造型逼真細膩，並以多種色彩的顏料施以彩繪。毫無疑問，這出土的近八千件秦兵馬俑中的每一具以及由這批陶製兵馬整齊排列所組成的龐大軍陣充份表明，我國秦代的製陶業所採用的工藝技術、生產規模以及管理水平均處於當時世界之巔。



秦兵馬俑不僅具有無與倫比的極高藝術價值，而且還蘊涵着極為豐富的歷史信息。可以說是全面記載及描述秦王朝的社會、政治、經濟、科技、風俗、文化、軍事諸方面狀況的一部不可多得的立體或者說是 3d 版的“歷史鉅著”！在人們眼前，它將秦代的重要歷史形象生動無遺地展現了出來。

對秦兵馬俑的發掘、清理、修復、保育、考證、探討和研究，從公元 1974 年春挖出第一件當時被在場眾人稱呼為“瓦爺爺”或是“瓦神爺”的陶俑頭像起到本世紀初，經過數十年的積澱，成果累累並逐步建成為一門像“敦煌學”那樣，跨學科、跨領域，綜合性的“秦俑學”。

從製陶的原理來看，原始陶器的燒製本質上同以後的製瓷、製陶、燒磚、燒瓦以及現代的玻璃、水泥等矽（或稱“硅”）酸鹽工業甚為相似，僅是原料及燒製所採用的窯型、工藝、溫度等有所不同。因此可以認為早在陶器時代甚至是石器時代晚期，人類社會就已經因為能夠自主地運用“火”而出現了原始的“矽酸鹽工業”。

人類最早製造和使用的金屬器具可能是銅器，它的出現可以追溯到九千年前。在土耳其的某古人類文化遺址處就曾發掘出那時製造的銅器，而我國也曾挖掘出六千餘年前屬仰韶文化時期的銅器。當時的古人也許尚未掌握真正意義上的冶煉技術，各種銅器可能是利用燃燒所獲的高溫將自然銅直接熔鑄、打製而成。數千年之後，古人對化學反應的認識和應用出現了一個新的飛躍，此時除已經掌握可獲取高溫或火光的氧化過程外，還開始掌握從礦物中冶煉出金屬或合金的還原反應，並對某些金屬及合金的特性有所認識，於是人類社會迎來了青銅時代。

在這個時代裡，中華大地擁有非常先進且龐大的青銅產業。迄今，已出土大量且種類繁多的青銅炊具、量具、刃具、工具、車具、農具、漁具、燈具、時計、冰鑿、鑿燧、鏡鑿、盛器、食器、酒器、弄器、禮器、樂器、祭器、兵器、冑甲、錢幣、飾物及建築構件等。它們之中，有的繼承或仿照了古陶器的原有器型，有的在陶器原有樣式的基礎上進行了改進及修飾，更多的則是利用陶質材料所不具備的金屬性質，如可熔鑄性、可塑性、可鍛性、可切割性、延展性、韌性、彈性還有金屬光澤等所創造出來的新型器物。有學者統計，在中國僅屬周代的含高等級工藝技術的出土青銅文物就多達十三萬件⁽⁵⁾！

從歷代文物中可以看到，我國早在夏、商、周、秦、漢時代，青銅的冶煉和鑄造工藝以及生產規模均已達到令現代人也感到十分驚訝的水平。展現在人們眼前的那些古青銅器物無論是冶煉鑄造工藝之精細還是構型圖案之優美均可與現代產品相媲美。不僅如此，許多出土的青銅器如鐘、鼎、盤中還銘刻有大量文字，記錄下許多重大事件。它們和發掘出來的古代竹簡一樣，盛載着極為珍貴的歷史資料。

像公元 1939 年 3 月在河南安陽武官村北，古為殷商朝代都城之處發掘出的后母戊鼎（原先因鼎之內壁鑄有由“司母戊”三個大字組成的銘文，而稱它為“司母戊鼎”，近年有學者經多方考證，認為其中的“司”字乃為反寫的“后”字，故稱其為“后母戊鼎”更能符合史實），它高 1.33 米，長 1.1 米，寬 0.78 米，重量約達 830 千克，乃是迄今世界上出土的最大、最重的單件古青銅器。此鼎之造型不僅厚重高大，氣勢雄偉莊嚴而且紋飾華麗多樣：鼎身四周佈有雲雷紋和饕餮（音“濤帖”乃傳說中一種貪食的惡獸）紋；兩鼎耳之外廓各鑄雙虎，虎口相向而對並且共同銜着一個人頭，



耳側飾以魚紋；鼎足刻有弦紋，上方鑄成獸面形。可見，其時青銅的冶煉、鑄造技術和工藝已十分高超，而且生產規模亦已非常龐大。

又如公元 1977 年 9 月在湖北隨州出土的戰國時期一套共六十五件，總重逾 2.5 噸的曾侯乙青銅編鐘，它們造型優美，音色純正，音域寬廣，音階齊準。這表明每個鐘的製造材料——青銅的成份均完全相同，也就是說有了一定的、嚴格的且能重復的配料比，建立了化學反應中量的概念並掌握了甚為精密的鑄造工藝。

關於冶煉青銅時所投入的銅錫之比，早在二千五百年前春秋戰國時期便出現了世界上第一張配方。

此方出自那時所編寫的【周禮·考工記】之中，它總結了商周以來六類不同的青銅器具各自所應取之銅錫比例。方中指明“金有六齊：六分其金而錫居一，謂之鐘鼎之齊；五分其金而錫居一，謂之斧斤之齊；四分其金而錫居一，謂之戈戟之齊；叁分其金而錫居一，謂之大刃之齊；五分其金而錫居二，謂之削殺矢之齊；金、錫半，謂之鑿燧之齊”。此配方中，與大量製造及廣泛使用的鐘鼎、斧斤、戈戟等其它五類“金”即青銅製品並列的第六類“金”製品——“鑿燧”是何種器物？它乃是一種取火用的凹面青銅鏡，在歷代許多著作中均有介紹，不過各作者所取之名稱往往不同。

在【周禮·秋官】中，將鑿燧稱為“夫燧”，由職稱為“司烜（音“選”）氏”的官員用它“取明火於日”，以點燃祭祀時的燭炬。為何【周禮】中指明，司烜氏要用夫燧而不以擊燧或鑽燧之法來點燃祭祀燭炬？也許當時的社會認為，如此之火乃是取自太陽的“上天之火”而非從地下人

間之處獲得的“凡間之火”，只有採用這種火點燃的燭炬才可以充份表達出祭祀者對上天或先祖虔誠的敬意。

在儒家學者所錄述的【禮記·內則】中，它被稱之為“金燧”，並指出它與“木燧”同為兩種可佩帶的小型取火工具。文中對夫婦在探望父母翁姑時的穿戴及禮儀作出了規範。指出，各人應該“左佩紛帨（各色佩巾）、刀、礪（磨刀石）、小觶（音“西”，用於開解繩結的小錐）、金燧”，右邊佩以木遂及另外一連串物件，“以適父母舅姑之所”。

東漢著名的思想家王充將其稱為“陽燧”，他在【論衡·卷十六亂龍篇】中寫道：“鑄陽燧取飛火於日”。西晉惠帝時期曾任太傅的崔豹在他所著的【古今注】中，亦稱其為“陽燧”並指出：“陽燧以銅為之，形如鏡，向日則火生，以艾承之則得火也”。

另外，唐末的馬縞在【中華古今注】中將鑿燧稱為“燧銅鏡”，他寫道：“燧銅鏡以銅為之，形如鏡，照物則影倒，向日則火生，與艾承之，則火出矣”。到了宋代，科學家沈括在他著名的【夢溪筆談】中更是準確描述了陽燧的形狀並道出其引火原理：“陽燧面窪，向日照之，光皆聚向內，離鏡一二寸，光聚一點，大如麻菽，着物則發火”。

這一系列文字記載表明，我國古代除採用擊燧及鑽燧方法取火外，最遲在商周時代就已創造出並廣泛採用了以太陽光被拋光的凹面高錫含量的青銅鏡聚焦後所產生的高溫來人工取火的“鑿燧之法”，其後還科學地闡明了聚光引燃的原理。



公元 1956 年在河南三門峽上村嶺虢（音“國”）國墓葬中發掘出一枚直徑為 7.5 厘米的約二千五百年前的鑿燧，此燧現珍藏於三門峽博物館內。其後，在陝西、山東、江西、安徽、江蘇、浙江各處也陸續出土了一批產自不同年代的陽燧，從周到宋都有，前後跨越達二千年之久。這些出土陽燧的尺寸均不大，直徑小的只有 4.4 厘米，最大也不超過 11 厘米，多數背面鑄有精緻的花紋和圖案並附有帶孔的凸鈕，繫繩或帶於鈕孔即可隨身佩帶，就同以後流行的火鏟以及現代的火柴、打火機一樣，攜帶相當方便。

現代分析測得它們的錫含量為 30% 左右，是各類出土青銅文物中含錫量最高者，且與“金、錫半（即錫含量為銅之一半），謂之鑿燧之齊”的古配方大致相符。很顯然，只要有陽光，鑿燧取火法比用擊燧或鑽燧來得簡易和方便，所以在更易製造和使用的鐵質“火鏟”出現之前，此法一直被普遍採用。

為何鑿燧要採用高錫含量的青銅？理由之一是這種青銅色澤最為銀白，反光效率高，故最宜用於製作鏡鑿。

除古代中國外，另一文明古國希臘同樣也曾採用陽光反射聚焦的方法來人工取火。在那廣為流傳的古希臘神話故事中，英雄普魯米修斯 Prometheus 也許就是用聚焦之法，以陽光點燃所持之茴香樹枝，從太陽神阿波羅 Apollo 那裡將火種“盜取”出來並傳授給人類的。現代每屆奧林匹克運動會前夕，均會沿用古代的傳統，在希臘的奧林匹亞山赫拉神廟遺址處，由所扮演的女祭司仿照古代的儀式，莊嚴隆重地將火炬置於凹面鏡的焦點處，由射過來的陽光點燃起熊熊的“奧運聖火”。很顯然，這個點燃“聖火”的過程再現了古希臘人用凹面鏡反射聚焦，以陽光取火之法。

關於利用光學原理，依靠陽光取火的方法，我國古代不僅有如鑿燧那樣的用凹面鏡將陽光反射聚焦之法，還有利用凸透鏡的折射作用，令從凸透鏡透射出來的陽光聚焦的方法。所用的凸透鏡可以由透明的冰塊雕琢削磨加工而成，正如西晉時代的張華在其【博物志】中所記錄的那樣：“削冰為圓，舉以向日，以艾於後承真影則得火”。

以上的史料和文物均令我們見到了祖先們人工取火或者說人工引發氧化反應的成就，同時也領略到了古人對研究和開發取火技術的重視和執着。

除大鼎，編鐘及鑿燧外，我國還有許多實屬稀世珍品的青銅文物同樣名聞天下：譬如，出土於甘肅武威雷臺東漢古墓，且已被選定為中國旅遊業標志的青銅“馬踏飛燕”（又稱“馬超龍雀”。“龍雀”是秦漢時期神話傳說中的風神——飛廉。東漢學者張衡在其所著【東京賦】中有“龍雀蟠蜿，天馬半漢”之說）就是其中之一。它造型驕健優美，寓意深邃而且構思精巧。製作者充份運用了靜力學的平衡原理，巧妙佈局並以不均等澆鑄的方法，令若大的一個逾七千克重的青銅鑄件的重心之垂向地面的投影準確落在被奔馬右後蹄踏着的一隻小小的平底“飛燕”（或稱“龍雀”更為确切，此“雀”之尾羽未分叉故不似燕）身上，使整匹馬得以悠然地揚起三蹄，僅用一蹄穩穩地站立在燕背之上。

此外，尚有諸如令人震撼的四川廣漢三星堆出土的，重逾 180 千克，連底座高達二米七的青銅立人和兩眼高凸威嚴無比的高 65 厘米，寬 1.38 米的大型青銅縱目面具、發現於廣西及貴州等省的各種銅鼓以及在雲南挖掘出來的，屬古滇國時期的眾多精美青銅器等等，它們無一不是極為珍貴的文化遺產。



這些出土文物還表明，即使在遠離黃河流域和長江中下游且正如唐代大詩人李白在他的【蜀道難】樂府詩篇中所感嘆的“蜀道之難，難於上青天！”那樣，被綿延不絕的崇山峻嶺所阻隔的巴蜀地區中建起來的古蜀國和古巴國、位於兩廣和貴州一帶的古南越國以及地處雲南的古滇國等南方和西南邊陲也同樣曾經擁有相當璀璨的但與中原又不盡相同的青銅文明。

我國出土的青銅器中另外還有一類，它們不僅工藝精湛，而且科技含量很高，乃屬採用了當時的“高科技”而製成的“尖端”產品。

如湖北江陵楚墓出土的越王勾踐的佩劍以及陝西臨潼秦兵馬俑坑出土的秦國長劍，兩者就是其中的代表。越王勾踐的那把佩劍，它至今依然寒光閃閃，鋒利無比，經上海交通大學用現代的中子衍射法無損傷鑑定，它是一種複合型的青銅合金劍。青銅合金主要成份是銅和錫，當錫的含量較低時，這種青銅就比較軟而有韌性不易折斷，當錫的含量增加到一定程度後，就變得十分堅硬但較脆易斷。這把佩劍經化驗發現其刃口一帶同劍身的銅錫比例不同，恰好是刃口部份錫的含量較高，使它堅硬而鋒利，其劍身則錫含量較低，令它有良好的韌性，因此整枝佩劍既鋒利又難以折斷。此外，這枝佩劍的劍身表面還飾有許多整齊的黑色菱形網狀暗紋。現代鑑定證實，其表面的這種網紋的成份為硫化銅，它很有可能是由劍身表面的青銅經過精準的定域硫化處理所得之效果。

至於那把秦劍，其表面已被含鉻的鹽類處理過。依現代化驗分析結果，它的表面存有一層厚度僅為 10 至 15 微米的緻密並且完整的氧化膜，從而得到了十分完美的保護。因此，雖然它已經被埋在地下，歷經了數千載卻沒有出現任何鏽蝕之蹟。鑑定時，它竟然能夠一下就划穿十九張疊在一起

的報紙，其身之完好，其刃之鋒利可想而知。我們的祖先在二千餘年前就已經掌握了如此高超的青銅冶煉、鑄造、防鏽和表面化學處理技術，這怎能不令人欽佩讚嘆呢！

繼青銅之後，燃燒的溫度因古稱橐（音“駝”）的鼓風皮囊、木製風箱以及其它各種使用人力、畜力或水力的大型鼓風裝置的發明、使用和改良而進一步提高，再加上含鐵礦石的發現、冶煉爐的改進和擴大、生產工藝的提高以及使用了更有效的還原材料和其它配料，另一種重要的金屬——鐵被冶煉出來。而且，還在生產過程中逐步創造出多種如翻炒、鍛打、錘鍊等利用空氣進行氧化、滲碳以及除渣的工藝技術，對留存在鐵中的碳含量加以調整並清除某些有害雜質，進而冶煉出因碳含量不同而性能迥異的生鐵、熟鐵和鋼三大類產品。我們經常用以比喻一個人往往要經歷過艱辛苦難的反復磨煉方能成長為真正強者的“千錘百煉”、“百煉成鋼”等成語正是我國古代優質鋼鐵生產過程的一個真實寫照。

此外，在煉製過程中，古人還採用了退火或淬火等工序，調整鋼鐵製品的金相結構，或令其增加柔性，或使其更加堅硬，以適用於不同的需要。正因採用了上述一系列的工藝、工序以及一種與前文介紹過的复合型青銅勾踐劍製作方法相似的“包鋼”技術，令所打造出來的鋼製刀劍極其鋒利和堅韌。正如許多古書中所讚嘆的那樣，這些兵器既鋒利無比可以“削鐵如泥”，又堅柔得宜，不會在斬砍撕殺中崩口或捲刃。就這樣，人類對化學的實踐和認識上到一個更高的台階，社會文明也隨之邁入嶄新的鐵器時代。

由於鐵礦石比銅礦石分佈更廣，蘊藏量更大因而更易覓得，再加上冶煉鍛鑄工藝和技術的不斷進步，使得生產成本下降、效率提高、規模擴大、產



量和品種增加。於是除誕生了令人工取火變得更為便易，且在火柴發明前一直被普遍使用的鐵片擊石取火即“火鑷”法外，還大量湧現被更廣泛使用的，性能比青銅器更優良耐用的各種生鐵、熟鐵及鋼製器具、工具、農具和兵器。這就令社會生產力得以提高，並促使那時的經濟和社會向前跨越了一大步。

雖然人類產鐵用鐵始於數千年之前，而且現時早已超越“鐵器時代”，湧現出大量形形色色的各種材料，不過鋼鐵以及含有各種其它化學元素的鐵合金或是合金鋼的生產、加工、運輸、貿易以及使用仍然是當今人類社會十分的重要經濟活動，並形成了一條以鋼鐵產業為中心的從上游探礦採礦到下游名目繁多的各種製造、運輸、銷售及使用鋼鐵製品的十分龐大的產業鏈。就以公元 2015 年的統計來看，這一年全球粗鋼總產量為 16 億噸⁽⁶⁾，遠高於其它金屬，例如是原鋁的 28 倍^(7,8)、精銅的 73 倍⁽⁹⁾，這足以顯示鋼鐵產業在現代社會的經濟活動中之重要性依然不可動搖。

與青銅煉製相似，我們的歷代祖先對鋼鐵生產的發展進步也作出過許多重要貢獻。像採用高爐煉鐵、建造和運用以水力作為動力的大型鼓風機、煉製和使用焦炭等等均屬世界首創⁽¹⁰⁾，而且在河南鞏縣鐵生溝冶鐵遺址出土的漢、魏時期的鐵斧乃是最早的與現代球墨鑄鐵相類似的鐵製品⁽¹¹⁾。此外，在十六世紀早期的明朝正德年間還出版了由工部郎中（正五品官職）傅浚所著的【鐵冶志】，這是世界上第一部冶鐵專著，對我國古代冶鐵業起着重要的指導作用。

正因為有着蓬勃的鋼鐵鑄冶產業，所以一直到宋代，我國的鋼鐵生產無論是工藝技術還是產量和用量都始終處於世界的最前列，並留下了大量珍貴的鋼鐵質文物。除已發掘出許多歷代各種類型的鐵或鋼製生產工具、

生活用品以及作戰兵器等實用型的物件外，還有不少用於建築工程或宗教活動的古代鉅型鑄件留存至今。

例如，在河北滄州東南的古城之中現存着一尊千餘年前，後周朝代所鑄的鐵獅，其高 5.4 米、其長 5.3 米、其寬 3 米、其重近 50 噸；又如，在湖北當陽玉泉寺內豎有一座號稱高 7 丈（實測 17 米）、重十萬六千餘斤（實重 26.5 噸）的十三層鐵塔，它鑄建於九百五十多年前的北宋時期；再如，在西安小雁塔旁的鐘樓內安置着一座高 3.55 米、口徑 2.45 米、重 8 噸的鐵鐘，它乃為八百餘年前金代所鑄。

可惜，由於諸多原因，自 17 世紀的明末起，我國鋼鐵生產便開始停滯下來，而這時歐洲的鋼鐵產業卻在穩步發展，尤其是進入 18 世紀中葉後，在工業革命的推動下，產量及品種迅速超越我國，而且隨着時間的推移兩者差距越來越大。

不過，到了公元 1996 年，我國的生鐵及粗鋼產量又重新回到世界最高的位置，那年我國的粗鋼產量首次突破一億噸大關^{〔6〕}。自此，我國的粗鋼產量逐年穩步增加，依“中國鋼鐵工業協會”在【中國鋼鐵工業發展報告（2016）】披露的數據，中國在公元 2015 年中生產了逾 8 億噸的粗鋼，這個數量應是當年全球粗鋼總產量的一半。現在，雖然因應可持續發展和環境保護的需要，我國正在有計劃地逐步實施去產能，對鋼鐵生產加以規範和適當限制，但鋼鐵產量依然高居世界的首位。

從青銅時代到鐵器時代期間，除銅、錫、鐵之外，還有若干種金屬被提煉出來，其中之一是水銀。西漢時期的太史公司馬遷在他所著的【史記】



中記敘了秦始皇陵墓內，用水銀製成江河大海圖形的史料，現代考古工作者確實檢測出了陵墓中的水銀蒸汽。一般來說，水銀除少量來自無需通過冶煉的自然汞外，主要是從汞的化合物，多數是硫化汞即朱砂中提煉出來的，這個提煉方式同樣也是一個化學過程，在提煉過程中原本處於化合狀態的汞被還原為游離狀態的金屬汞——水銀。

此外，金和銀也是古代人類早已發現、認識並使用的兩種貴重金屬。金因有自然金的存在而可以不經冶煉，直接從金礦中採集，多數的銀卻是在冶煉爐的高溫中通過化學途徑從含銀礦物中還原出來的。阿基米德 Archimedes 用排水法鑒定王冠的純度是一個世人熟悉的故事，它表明在當時，古希臘人已經冶煉出金銀合金。

還有，鉛因熔點低和柔軟而易冶煉及加工，早就被古羅馬人製成城市的引水管和各種日用器皿。有研究斷定，由於長期大量接觸金屬鉛及含鉛化合物，使許多古羅馬人罹患鉛中毒症甚至影響了壽命。而古稱“鋈”（音“誤”）的含鎳白銅和古稱“鋤（音“偷”）石”的含鋅黃銅分別在我國的西漢及南北朝時期就已經出現。

到了明代晚期，我國科學家宋應星在他的名著【天工開物·卷下】之《五金·第十四卷》中還錄下了以爐甘石——一種含碳酸鋅的菱鋅礦石為原料，冶煉出“倭鉛”即金屬鋅的工藝技術。因鋅的沸點較低（907℃），高溫中比銅、錫、鉛等金屬更容易氣化蒸發，所以宋應星在文中同時指出，倭鉛“此物無銅收伏，入火即成煙飛去，以其似鉛而性猛，故名之曰倭云”。文獻指出，明萬曆十三年即公元 1585 年銷往歐洲之金屬鋅純度為 98%，到了公元 1745 年，由廣州出口至瑞典的鋅純度已高達 98.99%^{〔12〕}。

3. 化學活動伸展至社會各領域

除陶器燒製、金屬及合金的冶煉外，古代先民還將多種化學及生物化學方法有意或無意地應用到日常生活的各個方面。例如，將麵團發酵，利用酵母菌在代謝過程中所產生的二氧化碳微小氣泡使之膨化鬆軟；用風吹、曝曬、冷凍、冰鎮、鹽醃、蜜漬或煙薰之法保存各種蔬果及肉類；用火燒烤、烘焙及蒸、煮、煎、炸等方法烹製各種食物；用皂角、草木灰以及由豬胰臟與豆粉或草木灰共同加工而成的含多種生物酶的“胰子皂”洗濯衣物或清潔膚髮以除油污和汗漬；將鉛鍛燒成氧化鉛並碾磨過篩，製成白色粉末狀的，用於塗敷在臉手皮膚之上的化妝品——“鉛華”等等。此外，還有如釀酒、製醋、製醬、炮製草藥、庖廚烹飪、鞣革、漚麻、漂染、曬鹽、煮鹽、熬硝、榨油、煉製生漆、燒炭、燒石灰、煅石膏、殮葬以及我國所特有的製墨和製豆腐等等這些年代久遠，古已有之的行業也都與化學或生物化學過程密切相關。

也許大家感到有些疑惑，製墨及點豆腐怎麼會與化學扯上關係？是的，墨是以某些木材、松脂、桐油或石油經不完全燃燒所得的煙炱即炭黑為主要原料製成的。炭黑是一種非晶態的無定形碳，它與石墨、金剛石即鑽石以及近年新研製出的包括納米碳管、納米碳球（“納米”是一種長度單位，1 納米 = 1×10^{-9} 米。當某材料前面冠以“納米”時，表示該材料的結構尺寸在 0.1 — 100 納米之間）在內的各種富勒烯 Fullerene 還有石墨烯等都是碳元素的同素異性體。富勒烯和石墨烯分別是諾貝爾 Nobel 化學及物理獎的獲獎成果，二者雖然都屬碳元素但均有許多獨特的優越性質，如富勒烯比鑽石還硬，石墨烯有很強的抑菌能力，此外兩者的抗拉強度是鋼的一百倍，導電能力超過金屬銅但比銅輕得多等等。



人猿揖別論化學

作者

柳南輝

編輯

林榮生

美術設計

samwong

出版者

萬里機構出版有限公司

香港鰂魚涌英皇道1065號東達中心1305室

電話：2564 7511

傳真：2565 5539

電郵：info@wanlibk.com

網址：<http://www.wanlibk.com>

<http://www.facebook.com/wanlibk>

發行者

香港聯合書刊物流有限公司

香港新界大埔汀麗路36號

中華商務印刷大廈3字樓

電話：2150 2100

傳真：2407 3062

電郵：info@suplogistics.com.hk

承印者

Best Motion

出版日期

二零一八年二月第一次印刷

版權所有 · 不准翻印

Copyright ©2018 Wan Li Book Company Limited.

Published in Hong Kong

ISBN 978-962-14-6596-2