

# 波以耳與近代化學的誕生

洪振方

國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所

[t1873@knuc.nknu.edu.tw](mailto:t1873@knuc.nknu.edu.tw)

## ■ 煉金術

近代化學是由古代的煉金術演變而來。古時候，人們在製作陶器、冶煉金屬等生產活動中，逐漸認識了如何使物質的顏色、光澤、硬度等物理性質發生改變，同時也認識了很多物質間的變化。古埃及人的冶金技術很發達，有些工匠在製作金飾品時，會偷斤減兩，偷偷在貴重的黃金中加入便宜的黃銅，古希臘人在與古埃及人生意往來中發現了這一點，這給他們一個啟發，是否可以用某種方法將便宜的銅、鐵等金屬轉變為貴重的黃金呢？



圖 1：煉金術士的實驗室

( 圖片來源：[Alchimie](#), Wikipedia )

由於人們對黃金的追求欲望，促進了煉金術的形成和發展。當時所發展出來用於煉金的方法，是將銅、錫、鉛、鐵等普通金屬混合熔煉，得到黑色合金，再加入水銀使它

表面變白，再用硫磺水把合金泡過使它變黃，然後將它洗淨而成。這樣煉出的金屬，當然不是黃金，只是表面顏色相似而已。圖 1 為煉金術士的實驗室。

雖然煉金術士的實驗目的是荒唐的，理論是錯誤的，但是，在長期的活動中，也蒐集到了許多寶貴的事實，對於物質的性質，特別是幾種金屬的性質都有了較深刻的瞭解。由於這些煉金活動的需要，煉金術士除了掌握一些化學操作的方法，例如鍛燒、熔化、溶解、蒸餾、過濾、結晶等，亦製造了燒杯、加熱的坩鍋、過濾器、蒸餾瓶及熔爐等器具，對於化學的發展有一定的意義。由於煉金的過程涉及物質的轉變，煉金術士對物質也有自己的觀點，他們認為物質是由硫、汞、鹽三種元素所組成，但是它們與現代化學之硫、汞、鹽並不相同。

## ■ 波以耳的《懷疑的化學家》

直到十七世紀之前，煉金術一直都有廣大的市場，甚至像牛頓 ( Isaac Newton, 1643~1727 ) 這樣的偉大科學家也曾沉迷於其中。隨著十七世紀文藝復興運動的興起，煉金術也開始向真正的化學過渡，此時出現了一些早期的化學家，他們不再追求點石成金，而是致力於探究其中的科學道理。在這

些人中，與牛頓同時期的英國貴族波以耳（Robert Boyle, 1627~1691）是最重要的一位，如圖 2 所示。



圖 2：波以耳 (1627–1691)  
(圖片來源：[Robert Boyle](#), Wikipedia)

波以耳主張告別帶有神秘色彩的煉金術，以理性思考的態度來研究化學。他在 1661 年出版了《懷疑的化學家》（*The Skeptical Chemist*）一書，如圖 3 所示，這是化學與煉金術分道揚鑣的標誌。在其名著中，第一次明確了化學的研究對象、化學的研究方法，以及他的物質觀。化學不再只是製造貴重金屬的技藝，而是對物質現象進行探究並提出理論解釋的一門科學。

### ■ 波以耳提出元素概念

波以耳是一位技術精湛的實驗化學家，他對物質組成的觀點與亞里斯多德的四元素論（水、火、土、氣）和煉金術士的三元素

論（硫、汞、鹽）很不相同，他用實驗檢驗了四元素論和三元素論，發現他們所說的「元素」未必就是真正的元素。例如黃金等許多物質都不含這些「元素」，黃金不屬於水、火、土、氣中的任何一種，也不能從黃金中分解出「硫、汞、鹽」，而煉金術士稱之為「鹽」的「元素」，卻可以被分解得到酸和鹼。因此，波以耳質疑四元素論和三元素論都不是構成萬物的基本元素；其次，波以耳懷疑構成萬物的元素不只是四種或三種，而是許多種。波以耳把他對四元素論和三元素論的批判，和對元素概念的新認識，系統地進行了分析和說明，寫進了他的名著《懷疑的化學家》一書中。他站在微粒論的立場上，根據實驗事實，對物質組成的舊理論進行了批判。

波以耳第一次提出了科學的元素概念，他認為只有那些不能用化學方法再分解的簡單物質才是元素，此與我們現在所說的元素概念十分接近。例如，黃金可以和其他金屬熔合為合金；可以溶於王水而看不見，但是，仍可設法恢復原形，重新得到黃金。這就說明，黃金雖然經過了種種化學處理而發生了變化，然而，始終未被分解而破壞。因此，黃金是一種用化學方法不能再分解的簡單物質，即為元素。

為了解釋元素構成萬物，他運用了希臘德莫克利特（Democritus, 約西元前 460~西元前 370 或 356）和牛頓的原子論觀點，認為自然界的物質均由微粒所構成，化學元素也是一種微粒。元素的不同只是由於構成其微粒的大小、形狀和運動的不同所致。並且，由於基本微粒的結合，可以產生物質的粒子，而不同的物質是由於基本微粒的數目、

位置和運動的不同所造成。這種帶有層次性的微粒觀，顯然已經具備了近代原子論和分子論的雛形。這樣，波以耳就把元素思想和原子思想聯繫起來，以微粒的觀點解釋了元素的構成及其多樣性，又以元素的思想說明了原子的存在。波以耳認為化學現象不是簡

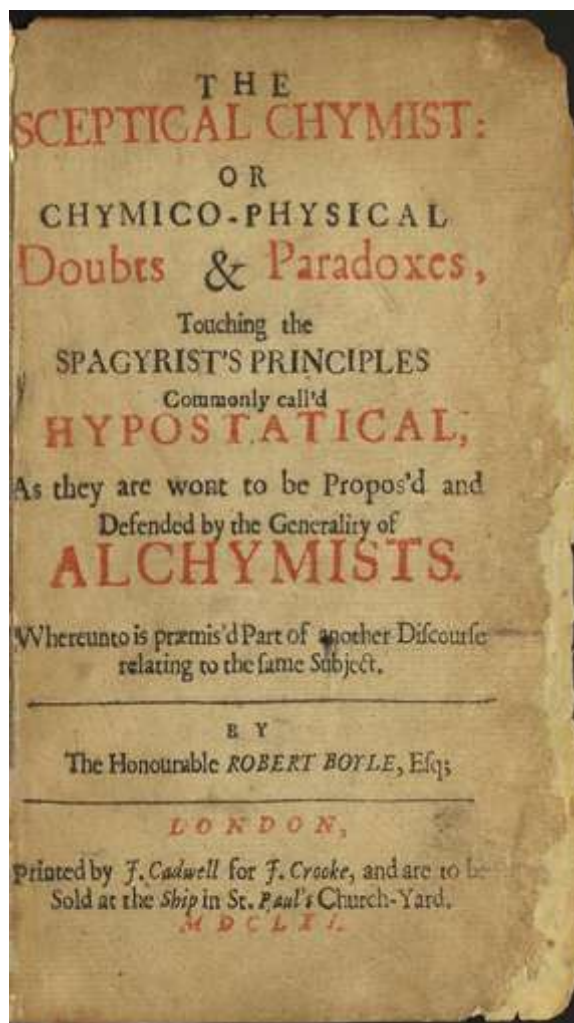


圖 3：《懷疑的化學家》封面

(圖片來源：[The Sceptical Chymist](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Sceptical_Chymist), Wikipedia)

單的物質位移運動，而是物質中原子的大小、形狀、運動狀態、以及排列順序和方式都有所不同，才造成了千變萬化的化學現象。這是一種接近於近代化學結構理論的思想。

## ■ 波以耳重視實驗

波以耳認為，作為科學的分支，化學主要是從事自然現象的理論解釋，而不是實際應用。波以耳強調化學研究的目的是在於認識物質的本性，化學研究必須進行實驗，蒐集事實。冶金家的研究也可以給出一些科學解釋，但實驗的目的均屬於實用性的。化學不應從屬於冶金術，化學不僅在冶金方面有其應用價值，還應有其理論的指導意義。這樣，波以耳就把化學從煉金術中分離出來，使化學成為一門獨立學科，使化學在理論的深度和廣度方面都得到了快速發展，同時反過來也促進了冶金的發展。

波以耳極為重視實驗，他認為，化學家只有透過實驗才能取得成就，在未悉心觀察和實驗以前是不能建立學說的。波以耳本人也正是這樣做的，他是一位技術嫻熟的實驗化學家，這是他取得成功的一個重要因素。波以耳雖然重視實驗，但也不忽略理論。他認為實驗、觀察固然重要，但還需要用啟迪人們思想的理論去指導觀察和理解事實。沒有充分實驗根據的思想是空想，而沒有充分思想的實驗是盲目的實驗。波以耳把嚴密的科學實驗方法引進化學，並建立了科學的化學觀和元素觀，為近代化學奠定了良好的基礎。所以，後人把波以耳譽為近代化學的始祖。