

卡文迪西由氣生水

文／林雅凡 臺大化學系講師

從希臘哲人亞里斯多德（Aristotle, 384-322 BC）以來，西方人有很長一段時間相信：物質世界由「土、火、空氣、水」這四種元素所組成。直到18世紀，人們在化學實驗上累積足夠的技能與分析方法後，方能推翻此一假設。

如果仔細觀察坊間礦泉水上的包裝，有的會標示「H₂O純水」，意味著水是由氫（H）和氧（O）所組成的化合物。這是否有點不可思議呢？氫和氧都是看不見摸不著的氣體，如何形成能碰能觀的水？這個問題的答案跟氫氣的發現有關。

如今一般咸認英國科學家卡文狄西（Henry Cavendish, 1731-1810 AD）是氫元素的發現者；然而他卻不是史上第一位發現、製備氫氣的人。西元16世紀的瑞士醫生帕拉塞斯（Theophrastus Paracelsus, 1493-1531 AD）曾在將鐵屑溶於稀硫酸的過程中，發現有氣體





（也就是氫）釋出，他描述那情形：「空氣上升而像風一樣溢散。」

一個世紀後，旅居英法的瑞士籍醫生梅耶（Turquet De Mayerne, 1573-1655 AD）重複帕拉塞斯的實驗時，發現氫氣「可燃」的性質。西元1670年間，英國科學家波以耳（Robert Boyle, 1627-1691 AD）嘗試收集氫氣，並進一步發現氫氣只有和其他空氣混合時才可燃。

排水集氣

雖然科學家早懂得製備氫氣，在18世紀以前，卻沒有科學家能對氫氣的性質作精確的描述與分析。為其帶來曙光的，正是英國貴族科學家亨利·卡文狄西。西元1766年，卡文狄西將鐵、鋅、錫等金屬分別與鹽酸與硫酸反應，發現都有氣體釋出。為了研究這些實驗所釋放出來的氣體性質，卡文狄西嘗試以「排水集氣法」收集它們。他發現，這三種金屬與足量的各種酸作用，產生的氣體性質相同；不僅如此，使用某種金屬實驗時，只要用量固定，且酸供量足夠，收集到的氣體量便相同，與酸的種類、濃度無關。

卡文狄西估計出此氣體密度僅為空氣的9%，這就是現在我們熟知的氫氣。從這些定量與定性的結果來看，卡文狄西推斷「從不同種類金屬與酸製備出的可燃氣體應為同一種物質。」不過因為卡文狄西信仰當時流行的「燃素說」，對於「可燃氣體從何而來」

並未能夠進一步解釋。什麼是燃素說呢？十七世紀前後的人們大多認為：「燃燒是一種分解過程，物質燃燒時會釋放出燃素。金屬裡當然也含有燃素，透過燃燒而釋放出來。」卡文狄西於是認定這可燃的奇妙氣體是鋅、鐵、錫的基本成分，在加入酸時被釋放出來；甚至一度認定氫氣即為當時

所討論的燃素。只是，經由精確實驗測定，發現氫氣雖輕，卻仍具備正質量，這與當時對「燃素質量」的認知不完全一致，也讓他對氫氣的研究陷入膠著。

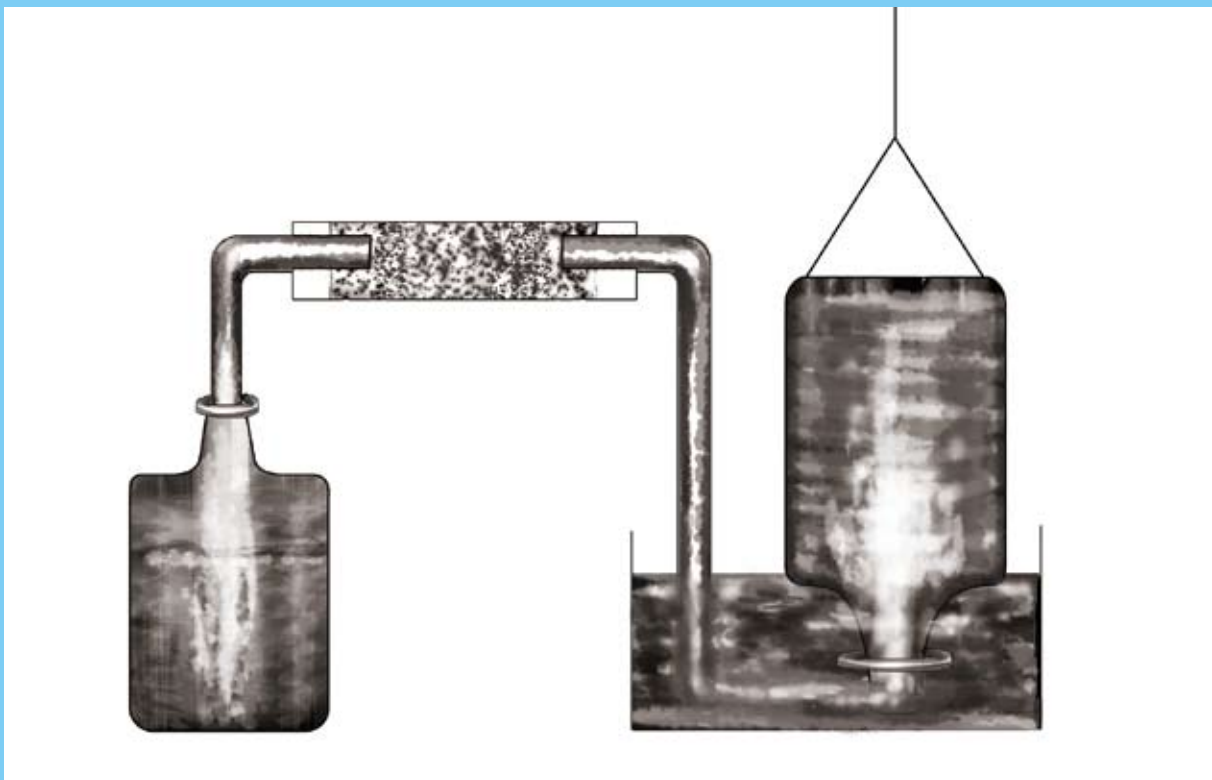


圖一 坊間所賣的純水，包裝上標有水的化學式 H_2O

氧氣加入

對於氣體的研究，在當時社會蔚為風潮。其中包括氧的製備與研究，普里斯特利（Joseph Priestley, 1733-1804 AD）將氧命名為「脫去燃素的空氣」。西元1781年，普里斯特利與其助手瓦爾提爾（John Warltire,

1725/6-1810 AD）利用電火花引爆空氣和氫氣，發現反應後在瓶壁上有露珠形成，且大量釋出熱；若秤量反應後質量，則較反應前為少。他們認為質量的減輕乃因反應後熱的溢失所致。這個實驗引起了卡文狄西的興趣，他認為實驗結果得到質量的減輕應為實驗誤差，因為他並不相信熱具



圖二 卡文狄西用以收集氫氣的「排水集氣法」裝置。排水集氣法為17世紀一位英國牧師黑爾斯（Stephen Hales, 1667-1761）首先發明，18世紀普里斯特利做進一步改進。

備質量。

在好奇心與實事求是的精神驅使下，卡文狄西除了重複普里斯特利的實驗，更進一步以氧氣取代空氣，進行相同的實驗，並精確記錄各成分體積與重量的變化。他發現如果將壁上露珠也列入計算，反應前後的質量便相同。經由仔細的確認，他發現這些露珠即是「水」。並經由精密量化實驗，卡文狄西確認當氫與氧體積為二比一時，能得到大量的水。

前面提到，在卡文狄西的時代，

人們還相信水是四大元素之一，也相信有燃素存在。因此，卡文狄西遷就「燃素」與「水是元素」這兩個觀念，而對實驗結果做出如下詮釋：「可燃氣體由燃素與水組成，『脫去燃素的空氣』盜取水元素後，水自燃素中脫離而釋出。」

聰明的瓦特

不過在這同時，蒸氣機的發明者瓦特（James Watt, 1736-1819 AD）早已猜想到「水在足夠熱量下，應會轉換成其他氣體」。普里斯特利得知卡文狄西的實驗結果後，再重複相同實驗，結果與卡文狄西一致，納悶之餘找瓦特切磋討論。瓦特結合過去自己合理的懷疑，提供這相同的實驗結果截然不同的註解：「水由『脫去燃素空氣』與『可燃氣體』所組成。」

1782年，拉瓦節（Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794 AD）再度進行此實驗，並進一步將水蒸汽分解成氫與氧，再根據他提出的新化學觀念，判斷「水不是元素，而是氫和氧結合的化合物」。拉瓦節



並將過去稱爲「可燃空氣」的氫氣，更名爲「Hydrogen」，意思是「生成水的」。這才終結兩千多年來，人們把水視爲元素的迷思。

事後觀之，究竟誰才配得這頂「揭示真理」的桂冠？是做出美麗實驗，卻扼腕於無法提出有新意之解釋的卡文狄西？還是僅以創意脫穎而出的瓦特？抑或是集此系列實驗於大成的拉瓦節？直到如今，這仍是一個頗具爭議性的問題。這未曾停止辯論的議題，一方面啓迪了我們：先鋒者的競爭固然促成知識的演進，但真理終能全然被闡明，卻不僅歸功於個人的

智慧，也應考慮整個時代科學家的努力累積。另一方面，卡文狄西的實驗也的確展現了化學的美學典範之一：觀察詳實，計量精確。

回顧這段科學史，可以發現人們最初對世界萬物的假設，或許會在下一刻被推翻，但卻不會僅因如此，而讓過去的努力變得毫無價值。卡文迪西未能跨越燃素說，對自己的實驗提出符合新科學潮流的解釋，但他的實驗卻是將亞里斯多德的四元素論送進棺墓，釘上了最後一根釘子。從那裡拉瓦節看見了帷幕揭開的一角，與新世代化學的微光。

參考資料

1. Sutton, M. "Airs and Graces" *Chemistry World*, 2010, October, 50-53
2. Broich, J. "Discovering Water: James Watt, Henry Cavendish, and the Nineteenth-century "Water Controversy" " *Victorian Studies* 2006, 48 (3), 574-576.
3. Seitz, F. "Henry Cavendish: the Catalyst for the Chemical Revolution" *Notes Rec. R. Soc.* 2005, 59, 175-199
4. Ball, P. "An Element Compounded Cavendish's Water and the Beauty of Detail" *Elegant Solutions: Ten Beautiful Experiments in Chemistry*, 2005, Springer (Royal Society of Chemistry)
5. Jacobsen, A. "Water Controversy" *Minerva*, 2002, 44, 459-462.
6. Miller, D. "'Distributing Discovery' between Watt and Cavendish: A Reassessment of the Nineteenth-Century 'Water Controversy'" *Ann. Sci.*, 2002, 59 (2), 149-179.