

重整你的元素週期表

新元素的發現與合成，填補了化學元素週期表中的空缺，然而完整的週期表，卻失去了原有的「週期」規律！

撰文／塞利（Eric Scerri） 翻譯／王心瑩

重點提要

■2010年發現的117號元素，讓眾所皆知的週期表第一次填補完整；至少在發現其他新元素之前是如此，到時候化學家又得為週期表增加新的一個橫排。

■然而，最近新增添的一些元素竟然與同一直欄的其他元素有不同的化學性質，打破了過去一個半世紀以來規範週期表的週期定律。

■這些令人驚訝的表現，很可能來自於狹義相對論所描述的效應，這種效應會讓一些電子軌域收縮而變小。

■核子物理學家持續努力合成新元素，這些新元素會擁有新的電子軌域，而即使這些原子的存在時間很短，科學家也致力了解這些原子的化學性質。

2010年，俄羅斯的研究人員宣佈，他們率先合成出第117號元素的原子核。這種新型的原子尚未命名，因為科學界有個傳統，在真正命名為新元素之前，要等待另一方的獨立驗證。然而不會有意外了，117目前已在元素週期表上佔據不變的地位。

所有的元素，從1到116，加上118，在此之前都已經發現，因此117填補了週期表底部那一橫排的最後一個空位。這項成就代表著歷史上一個獨特時刻。門得列夫（也是俄國人）和其他人於1860年代創造出週期表時，那是科學史上首次把所有元素整理成序的偉大表格。門得列夫在他的表格上留了好幾個空格，並且做了大膽的猜測：終有一天會有人發現一些新元素能夠填補這些空格。後來又出現許多種形式的週期表，但所有的表格都有空格，直到現在，有了第117號元素，週期表第一次填補完整了。

門得列夫在天之靈很可能對自己的遠見終於實現而沾沾自喜，至少可以持續好一會兒，直到化學家和核子物理學家合成出後續的幾個元素，又需要為週期表增加新的幾個橫排、可能要預留幾個新的空位為止。

然而，即使這張拼圖的最後幾個小塊終於落定，但有些更基礎的問題開始浮現，而這會撼動週期表背後最根本的存在根基：讓週期表之所以有「週期」之名的循環模式。

門得列夫不僅預測了未知元素的存在，更引人注目的是，他正確推測出各種元素的化學性質，依據的便是這種循環模式。然而隨著原子序（原子核內的質子數）逐漸增加，有些新增的元素不再表現出週期定律所預測的性質；也就是說，它們的化學交互作用，例如與其他原子所形成的鍵結方式，變得與表中同一直欄的其他元素不一樣了。原因在

於，環繞在最重原子核外圍的一些電子已達到相當於光速的層級，以物理學術語來說，它們已具有「相對論性」，使原子的化學性質變得與週期表所預期的不一樣；此外，要預測每個原子的軌域結構如何擴展排列也變得極度困難。於是，即使門得列夫創造的週期表已經填滿，看似得到成功，卻也開始失去其解釋和預測的能力。

填補完整，卻不完美

至今我們可以找到超過 1000 種的週期表形式，也許是元素排列方式不同，或者每一排所包含的元素不一樣，然而它們都有一項共同的基本特色。若以連續方式來排列元素，也就是根據其原子數（最早是以原子量來排列），則每每經過特定的一系列元素後，它們的化學性質就會反覆出現。舉例來說，如果從鋰（Li）開始，向前移動 8 個位置，就會到達鈉（Na），它與鋰擁有許多相似的性質：都是軟金屬，軟到可以用刀子切開，而且都會和水產生劇烈反應。如果繼續向前移動 8 個位置，到達的是鉀（K），鉀也很軟，並容易與水反應，依此類推。

在最早的週期表中，不論是門得列夫或其他人所設計，每一週期的長度（即每一橫排的長度）永遠是 8 個元素。然而大家很快就發現，第四和第五週期並非 8 個元素重複一次，而是 18 個；為了與之對應，週期表的第四和第五橫排會比原本表格寬得多，以便容納多出來的元素（即過渡元素，在常見的週期表中位於正中央）。結果第六週期又變得更長，包含 32 個元素，因為中間包含另一系列的 14 個元素，稱為鑷系元素。

1937 年，核子物理學家開始以人工方法合成新元素，最早是鐳（Tc）。當時的週期表從 1 號氫（H）延續到 92 號鈾（U），而鐳填補了表中四個空白處之一。其他三個失落的元素也很快就補齊了，石叵（At）和金叵（Pm）這兩個是人工合成，第三個鈷（Fr）則是在自然界尋得。但即使這些空白處填補起來，新的發現又為週期表在鈾的後面增添元素，也產生新的空位。

美國的化學家西博格（Glenn Seaborg）意識到，錒（Ac）、釷（Th）、鏷（Pa）加上鈾，以及接續的 10 個元素，其實是一個新系列的部份元素，它們就像鑷系元素一樣，總共包含 14 個元素，此即後來所知的錒系元素。（這兩個系列多出來的元素，讓週期表變得更寬，因此標準週期表把這兩個包含 14 個元素的系列獨立出來，放在表格最底下。）

在 20 世紀前半葉，科學家意識到元素的週期性質來自於量子物理學，特別是電子如何環繞原子核運行的物理學。電子的軌道會形成各種形狀和大小的不連續階層。原子序較大的原子，會與原子序較小的原子擁有一些相同的軌道形式（稱為「軌域」），只是再多增加一些新的軌域。第一週期只有一種形式的軌域，稱為 s 軌域，可以容納一或兩個電子（氫有一個電子，氦有兩個）。第二和第三週期各會增加一個 s 軌域，也各外加三個稱為 p 的新軌域。同樣的，這四個軌域各自可以容納一到兩個電子，於是最多容納八個

電子，也因此最早的週期表是每個週期包含八個元素。第四和第五週期除了有 s 和 p 軌域外，還有第三種軌域，稱為 d 軌域，可為電子增添 10 個位置，於是讓這兩個週期擴展到 18 個元素。最後兩個週期則擁有 s、p、d 外加 f 軌域，長度變成 32 個元素(18+14)。

等到奧加涅席恩(Yuri Oganessian)與同事在莫斯科附近的聯合核子研究所(Joint Institute for Nuclear Research)宣佈合成出奇妙的 117 號元素，週期表最後一橫排的所有元素確定全數到位。週期表結構與原子結構之間的密切關聯，顯示週期表的完成不僅是純粹美學方面的議題，也不只是在紙上統整資訊而已。118 號元素是 s、p、d、f 軌域全部填滿電子的唯一元素。

如果有更多的元素合成出來，它們會排列於週期表的全新一個橫排。接下來最可能出現的是 119 號元素(參見上方〈不斷成長的化學寶庫〉)，將會開啟一個新的週期，也再增加最簡單的 s 軌域。119 號元素和接續的 120 號元素會佔據第八週期的最前面兩個位置，但是 121 號元素將開啟一組全新的系列，至少原則是這樣，因為它們會擁有以前從未出現過的 g 軌域。如同以往，新軌域為電子增加新的可能位置，於是讓週期增長、欄數變多。這一組元素將使週期表的寬度多達 50 欄(不過化學家已為不斷擴增的表格設計出比較簡潔的表示法了)。

每一橫排都填滿元素的完整週期表，似乎能讓門得列夫的夢想達到最終的實現。而它也可能已經達成，如果沒有愛因斯坦的狹義相對論的話……

【欲閱讀完整內容，請參閱《科學人》雜誌 2013 年第 137 期 7 月號】