



碳-14 計年法

取材自：郝俠遂 教授（淡江大學化學系）
[考古的利器—碳-14 計年法]
（科學發展：2002 年 12 月，360 期，44～47 頁）

閱讀以下文章，並回答文末的問題…。

維拉·黎比

要如何判別一件古物是真品還是贗品呢？或是出土的岩石、化石究竟年代如何久遠？在科學上有沒有可靠的方法來作真偽的鑑定呢？

約在半個世紀前，美國化學家維拉·黎比（Willard Frank Libby, 1908-1980）發展出一種稱為「碳-14 計年法」的科學技術，用來估算古物的年齡，黎比也因為這項成就而在一九六〇年榮獲諾貝爾獎。

同位素與半衰期

要說明碳-14 計年法這個技術，先要從「同位素」與「半衰期」講起。同位素的「位」字，是指在元素周期表上的「位置」，既然「同位」，就是同一種元素。原子是由質子、中子、電子三者組成，質子與中子構成原子核，與質子數目相同的電子則在原子核外環繞。不同元素的原子核中有不同數目的質子與中子，而質子的數目就決定了原子的種類。比如說，有 6 個質子的原子就是碳原子，有 11 個質子的原子就是鈉原子，有 92 個質子的原子就是鈾原子。質子的數目決定原子在周期表上的次序，所以，原子中質子的數目也稱為這個元素的「原子序」。每個元素根據它質子數目的多少，在元素周期表上都有一定的位置。

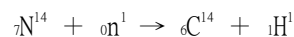
如果兩個原子的質子數目相同，但是中子數目不同的話，它們在周期表上是同一個位置的，就叫「同位素」，就像是孿生兄弟一般。比如說，正常的鈷原子中有 27 個質子及 32 個中子，加起來是 59，我們稱它 鈷-59，沒有放射性；而他的孿生兄弟是大家耳熟能詳的鈷-60，有 27 個質子及 33 個中子，有放射性。有放射性的同位素叫「放射性同位素」，而沒有放射性的同位素叫作「穩定同位素」，所以，並不是所有同位素都有放射性。也有一些元素本來並沒有放射性，但為了科學上的需要，而以人工方法特地製造出放射性同位素來，比如，鋁-27 原子用中子束來撞擊，就會變成有放射性的鋁-28 了。

衰變

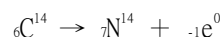
放射性同位素將放射質點或能量逐漸釋出就變成沒有放射性了，這個過程叫「衰變」。不同放射性物質的衰變速度有快有慢，在科學上用「半衰期」來表示衰變的快慢。所謂半衰期，就是放射性物質衰變到其放射性大小只有當初一半強度所需要的時間。當然，半衰期越長就表示要衰變到原來的一半需要越久的時間。比如說，鈾-238 的半衰期是 45 億年，可見它的衰變是極慢極慢的。又如，鈦-46 的半衰期只有 0.006 秒，它的衰變就極快了。在自然界中，碳是極重要且量極多的一種元素，它有三種同位素，即碳-12、碳-13 與碳-14。三者的原子核中都有 6 個質子，而分別有 6、7、8 個中子。三者中，只有碳-14 有放射性，而其他兩者都沒有。自然界中，這三種碳的同位素所占的比率非常懸殊，其中碳-12 占絕大部分，約為 99.89%；碳-13 占 0.11%；而碳-14 所占比率極少，只有全部碳的一兆分之一。

碳-14 是怎麼來的呢？

碳-14 是碳的放射性同位素，通常以「 C^{14} 」為符號，左下角的 6 表示原子核中有 6 個質子，右上角（有的寫在左上角）的 14 表示質子與中子共有 14 個，也就是說原子核中有 8 個中子。碳-14 這種放射性同位素是怎麼來的呢？它是大氣層中的氮氣受到來自外太空的「宇宙射線」中的中子不斷地照射而產生的：



而具有放射性的碳-14 也會釋出電子和能量後衰變成普通的氮氣，不再有放射性。



碳-14 產生的速率與衰變的速率極為接近，所以，亙古以來，地球上碳-14 的含量一直沒甚麼改變。空氣中存在有相當量的二氧化碳，當然應該有一兆分之一的二氧化碳當中的碳原子是放射性的碳-14。植物行光合作用把空氣中的二氧化碳製成養分貯存在體內。所以，植物一直吸收累積碳-14，而這些碳-14 也不斷地衰變損耗掉。只要這株植物還活著，它體內碳-14 的含量

就會一直保持著一兆分之一這個定值。但如果這株植物死亡了，不再進行光合作用，就沒有碳-14 進入體內了，但體內碳-14 的衰變則還在繼續進行著，所以，死亡植物體內的碳-14 所占的比率就日漸下降了。碳-14 的半衰期是 5,720 年，也就是說經過 5,720 年後，死亡植物體內的碳-14 含量只有原來的一半，只占全部碳的一兆分之 0.5 了。如果經過兩個半衰期的時間也就是 11,440 年，死亡植物體內的碳-14 含量只有原來一半的一半，也就是只占全部碳的一兆分之 0.25 了。

古董辨真偽

要如何知道碳-14 在全部的碳中所占的比率呢？有兩種方法。第一種是利用叫「質譜儀」的儀器來測量，質譜儀是利用磁場使一束運動中的同位素彎曲，不同重量的同位素受到磁場影響而彎曲的程度不同，利用此性質能測出碳-14 所占的比率。假設在一個遠古墓穴中發現一具真偽難辨的木乃伊，科學家可以將包裹用的麻布剪下一小塊，用最精密的化學技術把其中的含碳物質全部還原成元素碳，再用質譜儀來測量其中碳-14 占全部碳的比率，就可估算出這具骷髏的年齡。比如說，碳-14 占全部碳的一兆分之 0.5 的話，表示這具骷髏恰好經歷了碳-14 的一個半衰期的歲月，也就是說這具骷髏大約是活在 5,720 年前。但是如果測量出碳-14 含量並非那麼恰巧的占全部碳的一兆分之 0.5 的話，計算起來就稍稍複雜一點了。因為碳-14 所占比率與半衰期之間並非是簡單的線性比例關係，而是「對數」（或指數）的關係。

第二種測量方法，是由待測物的放射強度來估算的。還活著的或剛被砍下的植物，每克碳中放射性碳-14 的放射強度為 15.3 dpm，dpm 是 disintegrating per minute 的簡稱，即每分鐘有 15.3 個 C^{14} 原子衰變為 N^{14} 。如某古墓中發掘出古竹筒一批，取一小塊用現代的化學技術把竹筒中的含碳物質如纖維素等全部轉化成元素碳，再用精密的放射強度測量儀器，如蓋格氏計數器或閃爍計數器，測出每克碳的放射強度為 11.8 dpm，運用公式就可以估算出這批竹筒的年代了。

以上的實驗與計算都是極為精密與微量的，即使儀器再精良，要測量出一兆分之零點幾的尺度難免會有一些誤差。其實連碳-14 的半衰期都不是完全統一的，不同的研究單位或不同的參考資料中所引用的碳-14 的半衰期並不一致，用 5,715 年、5,720 年或 5,730 年的都有。不同的人在不同的時間，用不同的儀器或不同的方法測量出的結果，在數據上有些出入是很正常的事。所以，這種稱之為「碳-14 計年法」的最先進的古物年齡鑑定技術是會有一些誤差的，一般來說，百分之五到百分之十的誤差是可以接受的。

這個方法好雖好，但有一些先天的限制。第一，待測古物的年代不能太久遠，如果超過三個碳-14 的半衰期，也就是一萬七千多年的話，碳-14 含量少於一兆分之 0.125，測量的誤差會很大，用以估計年代，就非常不可靠了。第二，待測古物的體積不能太小，雖然所有的測量分析工作都是微量分析，但在取樣時，樣本要有一定的體積或重量，才能夠在把樣本還原成元素碳後，還能有儀器可以感應的最低量。如果待測古物是一根纖細的竹籤或是一撮毛髮的話，恐怕測量完畢時古物也不見了，變成「消滅」古物了。第三，這個方法僅限用於含有碳的古物，如木簡、絲綢、綿麻、紙張、木棺、骸骨等，但對於青銅、鐵器、玉器等古物就無能為力了。

十幾年前，大陸西安秦始皇陵文物出土，是轟動考古界的大事。除了眾所矚目的陶俑外，也挖掘出許多青銅器，有銅車、銅馬、銅製兵器等，製作極為精美。照理說，青銅是銅與錫合金，是不含碳的，應該無法用碳-14 計年法來定年代。但是，在考古工作上有變通的辦法，就是用同一墓穴中其他含碳的物品來計年，如當時工人所遺留鋤、斧的木質柄、或是冶煉銅礦時殘留的木材燃料等。

同位素計年法

同位素計年法還有另外一個利用的場合，就是地質學家用來估算礦坑或岩石的年代。這時就不能用碳-14 作為測量對象了，因為它的半衰期 5,720 年實在太短了。鈾-238 經過十餘次的連續衰變後會變成鉛-206，它的半衰期極長，是 45 億年。假如某一礦坑在形成時就有鈾-238，而並沒有鉛-206，經過漫長的歲月之後，漸漸有部分鈾-238 衰變而轉化成鉛-206 了。由此礦坑中兩者存量的比率，就可以估計出這個礦坑的年代，其大半都是以「億年」為單位的。目前地球上被測定最老的礦坑大約有 35 億年，如果能有證據證明某一個礦坑在開天闢地時就已經存在的話，就可以推估地球的年齡了。部分地質學家認為地球的年齡大約是 45 億年，但說不定會被往後發現更老的礦坑所推翻。

回答以下問題…

- () 關於「同位素」的敘述，何者正確？
(A) 質子數不同，中子數相同的原子 (B) 質子數相同，中子數不同的原子。
(C) 電子數不同，中子數相同的原子 (D) 電子數相同，中子數不同的原子。
- () 下列關於文意的敘述，何者正確？
(A) 碳十四計年法，相當準確，誤差在 0.5%~1.0% (B) 現今所知地球最古老的岩石，約有 46 億年，就是用碳十四計年法測出的 (C) 所有的同位素都有放射性。
(D) 在自然界中，含量最多的碳是碳-12，不具有放射性。
- () 所謂「半衰期」，意指放射性物質之何種性質衰變到當初一半所需要的時間。
(A) 中子數 (B) 體積 (C) 放射線強度 (D) 質子數。
- () 由「 C^{14} 」符號的表示法，不能夠推知下列何項數據？
(A) 質量數 14 (B) 原子序 6 (C) 中子數 8 (D) 半衰期。
- () 若某死亡植物體內的碳-14 含量只有原來的四分之一（一兆分之 0.25），則此物體的年齡約在多少年以前？ (A) 11,440 年 (B) 5720 年 (C) 2860 年 (D) 17160 年。

[參考答案] 1.B 2.D 3.C 4.D 5.A