

## 早期的地球(一)－冥古代 Hadean

文·圖／董國安

### 摘要

冥古代(Hadean)是地球地質年代最初期的一階段，原被認為該時期有如地獄般惡劣環境。最早由美籍地質學家普雷斯頓(Preston Cloud)於 1972 年所提出，泛指已知最早岩石之前的地質年代。目前最古老岩石為加拿大西北部 Acasta 地區的片麻岩(4000 Ma)，所以傳統地質學者將其年代訂為 4600-4000 Ma(百萬年前)，但另有一群前寒武紀研究學者認為：冥古宙的最後一個時期對應為月球地質年代中的雨海紀，以月球的東海撞擊事件為結束時間(約為 38.4 億年)，這也是內太陽系的後期重轟擊事件的結束標誌，故認為冥古代應為 4600-3800 Ma。冥古代有 A.地球形成、B.月球形成、C.地核形成、D.最古老鋯石、E.後期重轟擊等事件發生。由於隕石撞擊、環境的惡劣，冥古宙 Hadean 曾被認為是生命的地獄，隨著冥古代末期重轟擊事件的結束太陽系進入較寧靜時期，也為接續而來的太古代(40-25 億年前)地球生命的出現揭開序幕。

關鍵詞：冥古代、地球形成、月球形成、地核形成、後期重轟擊事件

## 前言

冥古代(Hadean)是地球地質年代最初期的一階段，原被認為該時期有如地獄般惡劣環境。最早由美籍地質學家普雷斯頓(Preston Cloud)於 1972 年所提出，泛指已知最早岩石之前的地質年代。目前最古老岩石為加拿大西北部 Acasta 地區的片麻岩(4000 Ma)，所以傳統地質學者將其年代訂為 4600-4000 Ma(百萬年前)，但另有一群前寒武紀研究學者認為：冥古宙的最後一個時期對應為月球地質年代中的雨海紀，以月球的東海撞擊事件為結束時間(約為 38.4 億年)，這也是內太陽系的後期重轟擊事件的結束標誌，故認為冥古代應為 4600-3800 Ma(圖 1)。

## 冥古代大事件

### A. 地球形成：4567 Ma(圖 2-A)

根據星雲學說，在 46 億年前太陽系還只是一團充滿氣體和塵埃的星雲，因鄰近有超新星爆炸射出原子序 26(鐵原子)以上的「重物質」，闖進太陽系星雲中，擾動造成局部密度不均，於是太陽星雲便以這些重物質為中心而開始收縮、旋轉，盤狀中心因收縮力強、密度加大形成太陽，同時在盤狀周圍形成一個以太陽為中心旋轉的星雲環，環中物質如固體微粒、氣體和塵埃等物質因萬有引力作用、在吸積過程中持續不斷碰撞，形成大小不同的行星。地球因距太陽較近、溫度較高，碰撞聚積固態的物質顆粒而成為微小行星，再聚集微小行星形成類地行星。類木行星距太陽較遠、溫度較低，以水冰相互吸附為起點，待質量夠大後，進一步吸附氫、甲烷等物質，形成氣體行星。

### B. 月球形成：4520-4500 Ma(圖 2-B)

關於月球的形成主要有 1.分裂(月球由地球物質分裂出去後再形成)、2.捕獲(月球先在其他地區及由其他物質生成後，再被地球重力捕獲)、3.雙星(太陽星雲在凝聚過程中，在同一區域、同時形成地球與月球)、4.碰撞分裂等四種假說。目前最為大多數學者支持的月球成因假說，即「碰撞分裂說」。有研究認為地球在積聚形成之初(約 4527 Ma)，受到一個火星大小的行星斜向撞擊，分裂出去的撞擊碎片後來(約 4510 Ma)在軌道中形成月球。這個假說合理解釋月岩與地球岩石揮發性元素的差異及同位素的相似，以及地球、月球自轉速度的差異及月球每年 4 公分遠離地球等現象。中研院地科所李德春副研究員利用 21 件月岩標本定出月岩形成於 4520-4500 百萬年前，此研究成果刊登於國際知名 Science 期刊。

### C. 地核形成：4470 Ma

地球半徑約 6400 公里，從地球中心往外可分為地核、地函、地殼等三層構造。地核主要由鐵、鎳元素組成，高密度，比重約為 10-13(圖 3)，溫度非常高，約有 6680°C。

地球的地核是鐵、鎳等重元素集聚於地心所形成的。在地球形成之初與多

個小行星互相碰撞，釋放的能量使地球變熱。溫度升高後，鐵、鎳等重元素沉降到地心，沉降作用所釋放出來的重力能轉成熱能，又進一步使地球變暖。據推測，原始地核全部是由熔化的鐵、鎳等重元素形成的液體，外核液體的流動致使地球磁場形成。但地核越往中心壓力越高，最後在中心部位析出固態鐵，形成內核。因重元素沉降形成地核時，會大幅影響地球岩石元素的組成，藉由量測隕石和古老岩石放射性同位素的子元素豐度，科學家推測地球形成後一億年之內地核形成，所以地核大約在 4470 Ma 形成。

#### D. 最古老的鋯石：4404 Ma

雖然目前地質學家在地球上所找到最古老的岩石年齡僅 40 億年(加拿大西北部 Acasta 地區的片麻岩)，但地球最古老的礦物，是位於澳大利亞西部捷克山地區，藏在 30.6 億年前沉積礫岩中的碎屑鋯石，此鋯石經 SHRIMP(Sensitive High Resolution IonMicroProbe) 高解析度二次離子探針質譜儀分析得出：鋯石  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年齡為 4404 百萬年，同時也具有高氧同位素比值( $\delta^{18}\text{O}=7.4$ )及石英包裹物(圖 4)，顯示鋯石結晶自分異過的岩漿，也證明此時地球已有大陸地殼(花崗岩)的形成及海洋的出現。

#### E. 後期重轟擊事件 Late Heavy Bombardment：4100-3800Ma

地球在 46 億年前就是因為一連串隕石撞擊事件所形成，隨著時間而漸趨緩和，但在 41 億年隕石撞擊又開始旺盛、一直到 38 億年才逐漸減緩。地球特殊的地質構造環境，無法保存此事件的記憶，但從月球上形成大量撞擊坑的事件及阿波羅登月計畫所帶回岩石標本，我們可知後期重轟擊事件 Late Heavy Bombardment 大約發生在 41 至 38 億年前，此月球上形成大量撞擊坑的事件，對地球、水星、金星及火星亦造成廣大影響。

## 結論

冥古代是地球 46 億年演化歷史的最早階段。從生命起源的化學演化角度來看，冥古代也是很重要的時期。在地球形成的最初 6-8 億年稱為「冥古代」，普遍認為此一時期為前生命時期，根據俄國生化學家奧巴林(Oparin)和英國演化生物學家荷爾丹(Haldane)所提出「原始湯」(primordial soup) 模型，說明地球原始有機海洋的狀態足以導致簡單有機分子的生成，原始化學湯很可能是生命的搖籃。冥古代頻繁的火山活動、流星雨和雷電所帶來的水與能量，在地表逐漸形成了規模不等的水體和原始海洋(稱為化學原始湯)(圖 5)，為氨基酸、磷酸鹽及其他有機化合物提供了充足的化學物質來源。持續的隕石雨的撞擊，使化學原始湯不斷的濃縮與多聚化，累積了越來越多的大分子量的聚合體，促使蛋白質和核酸等生命分子的發生，為生命的誕生預做準備。

由於隕石撞擊、環境惡劣，冥古宙 Hadean 曾被認為是生命的地獄，隨著冥古代末期重轟擊事件的結束，太陽系進入較寧靜的時期，為接續而來的太古代(40-25 億年前)地球生命的出現揭開序幕。

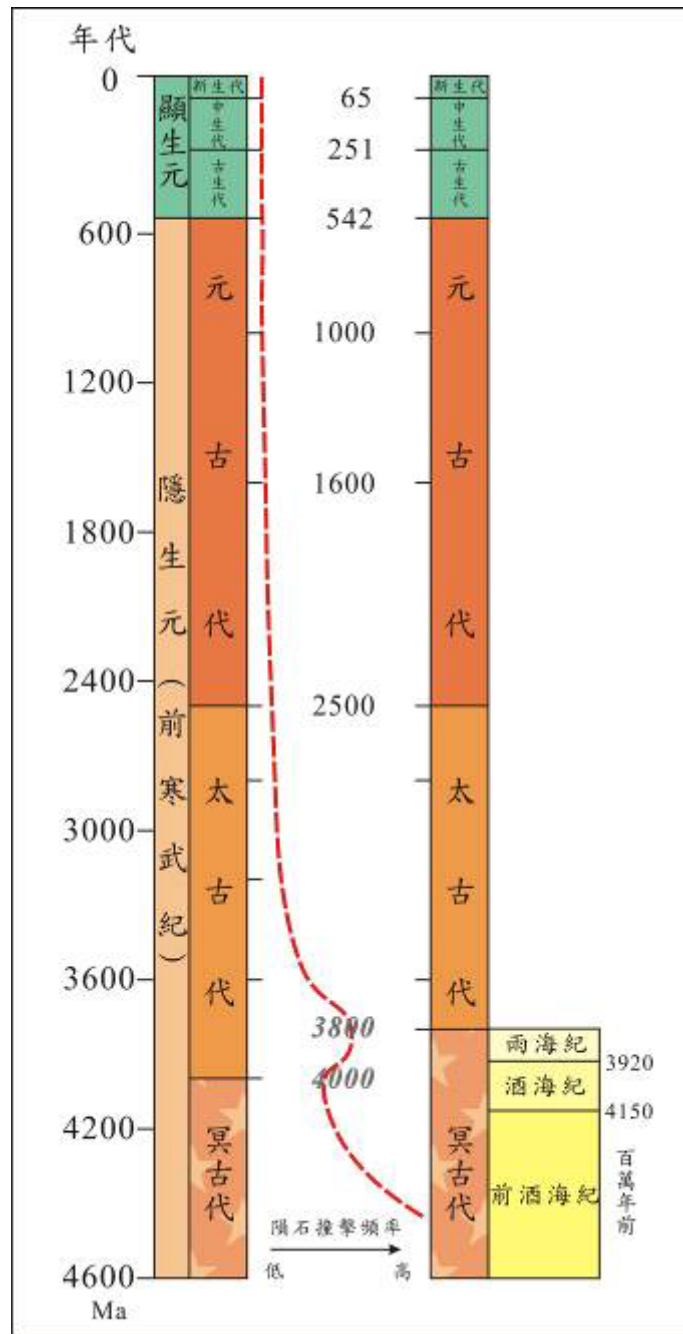


圖 1. 地質年代表。兩種冥古代的界定方式。中間紅色虛線表示隕石撞擊頻率的高低。

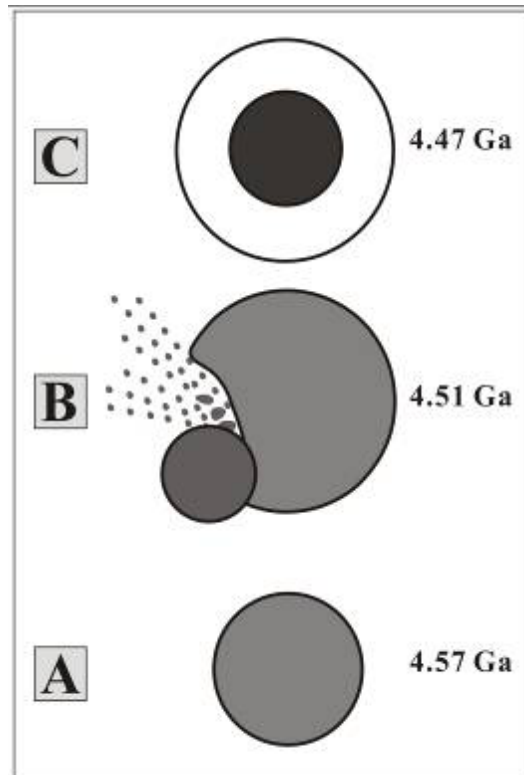


圖 2. 地球冥古代時期演化事件示意圖

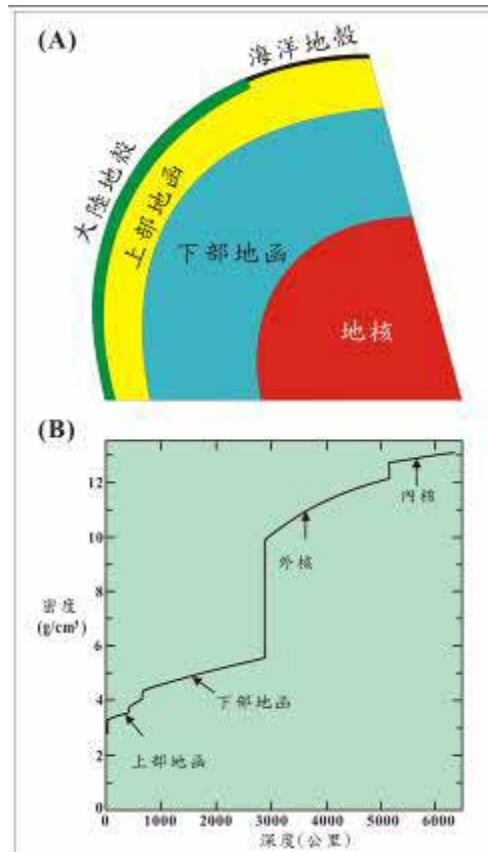


圖 3. 地球內部分層示意及密度圖

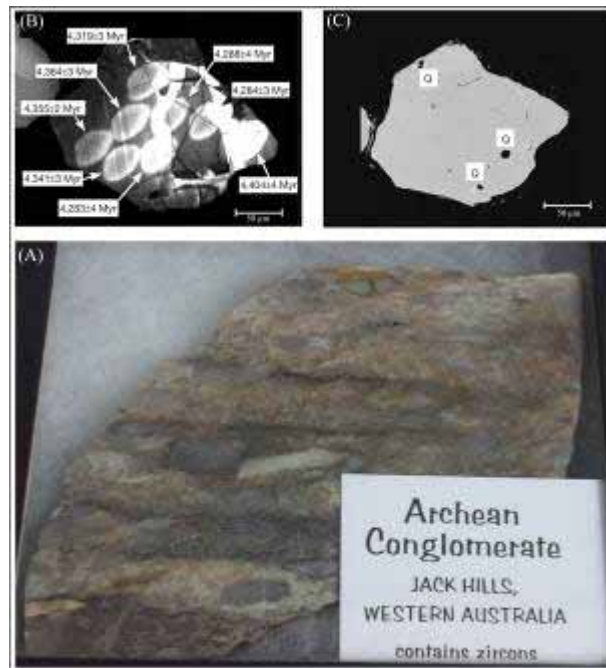


圖 4. 地球最古老的礦物—44 億年前的鋯石，藏在 36 億年前的沉積礫岩中(圖 4A)。圖 4B、4C 為鋯石的背散射式影像，圖 4B 為 SHRIMP 定年點位及年代，圖 4C 顯示有石英(Q)包裹物。



圖 5. 冥古代地球模擬景象，在地表分布有規模不等的「化學原始湯」。