

地球的金礦床

文·圖／董國安、劉芷均

摘要

具有明亮光澤及延展性極高的金屬「金」，被應用於貨幣、珠寶、藝術品，或是應用於工業的電子零組件，抑或是醫學上的假牙，「金」可說是存在於生活中的各個角落。

金的比重遠大於鐵，它在地球生成之初，便伴隨著鐵、鎳等元素一起進入地核，而「金」到底是從哪裡來的？地球形成地核、地幔、地殼之後，在大氣層尚未包覆地球之時，地球在隕石持續的撞擊下，除了造成各處的隕石坑外，也為地球帶來豐富的金元素。在之後的地質活動中，金藉由火成岩體的入侵，在地表形成了礦體，而礦體在經過熱液與風化作用後，出露於地表各處。

關鍵詞：地球、金、礦床、隕石

具有明亮光澤及延展性極高的金屬「金」(圖 1)，被應用於貨幣、珠寶、藝術品，或是應用於工業的電子零組件，抑或是醫學上的假牙，「金」可說是存在於生活中的各個角落。長期以來科學家都希望透過特定的方法，將金屬轉化成黃金。然而，以現今的技術及科學知識，「金」並無法從其他元素轉化而來。以下將對「金」的來源進一步的探討。

地球的生成與金的關係

「金」的原子序為 79，化學性質不活潑。地球在 46 億年前形成之初，並沒有分層的現象，然而在隕石的撞擊與放射性元素的衰變下，地球的溫度逐漸增加。因溫度上升，存在於地球內部的元素產生熔融。當溫度開始下降，又因冷卻與重力的交互作用，鐵、鎳等重元素逐漸下沉，形成密度較大的地核；矽、鋁氧化物等較輕的物質則升至表面而組成最外部的地殼；比重介於兩者間，富含鐵、鎂的矽酸鹽類則形成地幔(圖 2)。純金的比重 19.3 遠大於鐵的比重 7.8，在地球形成之初，理應伴隨著重元素一起進入地核，但截至 2014 年底，人類在地表總共已開採 18.36 萬公噸(相當於 9513 立方公尺)的金，究竟它是從哪裡來的呢？

地球金礦的來源

金具有親鐵性，鐵隕石的含金量比一般的岩石高 2 至 3 個數量級。金在地核的豐度約為 2.6 ppm、在地函約為 1 ppm、在地殼約為 0.002 ppm，地球形成之初，99 % 的金進入地核。然而，為何在地函中發現比預期高的含金量？

地球形成後期(重轟炸期(隕石撞擊)，約 38 億年前)，拜小行星撞擊事件所賜，金元素便隨著撞擊事件進入地函。此論點藉由鎢同位素的分析獲得證實。放射性同位素 ^{182}Hf (鈳) 衰變為 ^{182}W (鎢)，其半衰期為 8.9 百萬年。地球形成初期，大部分的鎢隨著鐵、鎳進入地核；而 Hf (鈳) 則留在地幔之中。地核中沒有 ^{182}Hf 衰變產生的 ^{182}W ，而地幔中的 ^{182}W 卻隨著時間不斷的增加，因此兩者的 $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ 比值產生差異。鐵隕石的成分為小行星的鐵、鎳核心，與地核的成分相似，同樣也具有較低的 $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ 比值。格陵蘭的岩石擁有 37 億年的歷史，分析格陵蘭與現代岩石樣本，發現格陵蘭的樣本擁有較低的 $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ 比值。此現象指示，隕石撞擊地球，不僅本身釋放高含量的金、鎢元素，影響地球岩石內 $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ 比值；其巨大的撞擊力也間接促使地幔的對流，帶來了珍貴的禮物「金子」。

金礦的成因及形成環境

「礦床」為地殼中的具經濟價值的元素或礦物，因特定地質作用而富集，其

規模具有經濟價值並是可開採的集合體，以目前金礦開採技術，品味 0.03-0.3 ppm(每一噸礦石中所含之克金屬)即具開採價值。金礦床成因主要受到 1.岩漿、2.熱液、3.沉積等地質作用交互影響而成。形成的礦床類型有以下幾種：a.班岩型、b.淺層熱液型、c.造山型或侵入型、d.卡林型、e.火山硫化物型、f.鐵氧化物-銅-金型、g.砂金型等 7 種類型，各類型金礦蘊含量如圖 3 所示。各類型金礦床所形成地質構造環境如圖 4。

金礦主要形成年代

以地質年代來說，金礦主要形成在中太古代、晚太古代、早元古代。地球發展早期，地殼的金豐度較高，因此在太古宙的綠岩帶中，其火成岩組成爲鐵鎂質或超鐵鎂質，金的豐度高於地殼的各類岩石。金在地殼中的豐度極低，又具有親硫、親鐵及高熔點等特性，因此要形成具工業價值的礦床，往往需要成千上萬倍的富集並長時期的積累，與多次的成礦作用，所以前寒武時期金礦蘊含量高且成因單純，中-新生代金礦蘊含量較少但成因複雜(圖 5)。地球目前金礦資源豐富的國家分別爲：南非、俄羅斯、美國、加拿大、澳大利亞及中國(圖 6)。這些國家的金礦床形成年代與類型各不相同，以下介紹不同年代的礦床生成方式。

A. 太古宙(Archean)

距今 40-26 億年間，金礦床主要發育於綠岩帶(Greenstone belt)內。此類礦床受變質熱液作用產生，古老地盾區岩石受鐵鎂質火成岩的侵入，高溫使礦體內的金伴隨著熱液流動，最後含金的溶液流入岩體的裂隙岩石中，經冷卻與沉澱形成含金的礦床。此類礦床分布廣泛、規模大，礦體延展穩定，礦石成分主要爲金-石英、金-黃鐵礦。分布於加拿大、南非、印度、澳洲西部及南美洲南部。

B. 元古宙(Proterozoic)

距今 25-5.4 億年間，於綠岩帶內形成的金礦床，在風化作用下經過剝蝕、搬運和沉積，形成巨大的礫岩型金礦床，而此類礦床中之礫岩成分主要爲石英。此類礦床分布受限於綠岩帶附近的古老陸臺上，因此僅出現在南非蘭德地區、加納、巴西、加拿大等地。除此之外，元古代尚有少數沉積變質型金礦，這類礦床爲海底火山噴發時，沉積物中的金在變質作用中得以遷移並聚集而成。

C. 古生代(Paleozoic)

距今 5.4-2.5 億年間，金礦規模不大，分布也較爲侷限。礦床的發育主要受構造岩漿活動影響，因而形成多種熱液礦床。礦石成分包括金-石英、金-石英-硫化物、玉髓、重晶石等。

D. 中-新生代(Mesozoic、Cenozoic)

距今 2.5 億年至今，此時期全球構造活動加劇，在島弧邊緣和陸塊外側出現新的構造岩漿活動區，岩漿也將地幔中的金帶至離地表較近的岩體中，生成

環太平洋金礦帶。環太平洋金礦帶可區分成東帶與西帶，東帶北起加拿大南至智利，有斑岩型金銅礦床、熱液型礦床；西帶北起日本南至紐西蘭，主要為金屬硫化物礦床、熱液型脈狀金礦床。

結論

1. 地球的金礦除了早期隱沒於地核內，大部分為隕石撞擊所帶來。
2. 地球多數金礦儲藏於中太古代綠岩帶內，綠岩帶金礦床占全球金礦產量 60 % 以上。
3. 從太古宙至中-新生代，礦床的規模逐漸變小，礦床的類型增加，礦床內的礦石組合更加多元。

參考文獻

- Willbold, M., Elliott, T., & Moorbath, S., 2011. The tungsten isotopic composition of the Earth's mantle before the terminal bombardment. *Nature*, 477(7363), 195.
- Lee, D. C., & Halliday, A. N., 1996. Hf-W isotopic evidence for rapid accretion and differentiation in the early solar system. *Science*, 274(5294), 1876-1879.
- Lee, D. C., 2005. Protracted core formation in asteroids: evidence from high precision W isotopic data. *Earth and Planetary Science Letters*, 237(1-2), 21-32.
- Bateman, A. M., & Jensen, M. L., 1985. *Economic mineral deposits*. New York: Wiley, 3rd edition, pp.593.
- Nguimatsia, D.F.W., 2017, Diversity of Gold Deposits, Geodynamics and Conditions of Formation: A Perspective View. *Open Journal of Geology*, 7, 1690-1709. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.711113>。

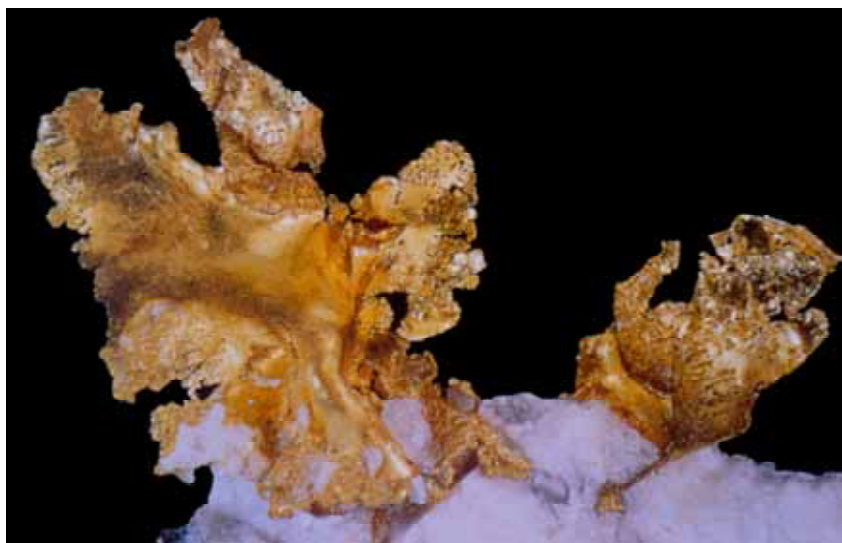


圖 1 具有明亮光澤及延展性極高的金屬「金」

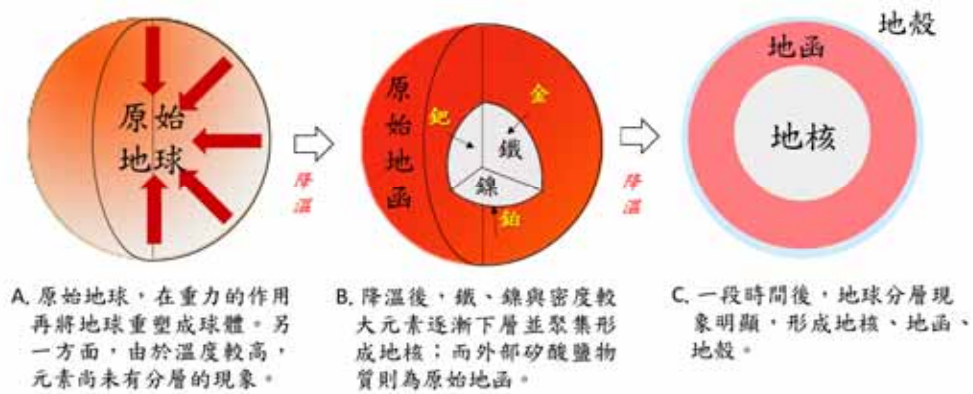


圖 2 早期地球分層的過程

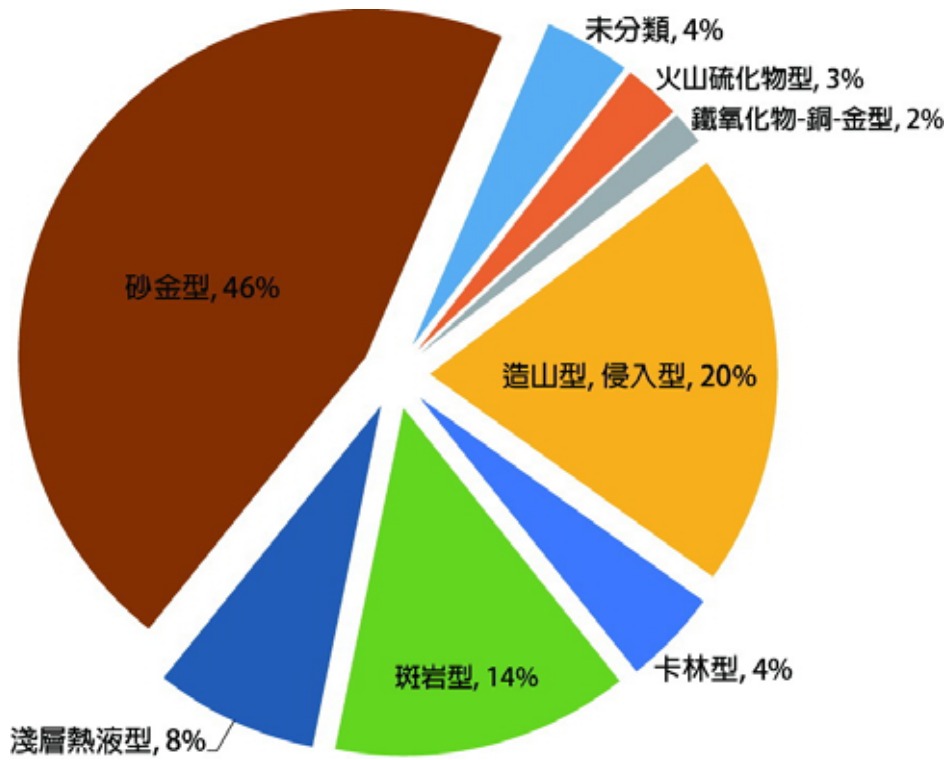


圖 3 各類型金礦蘊含量百分比

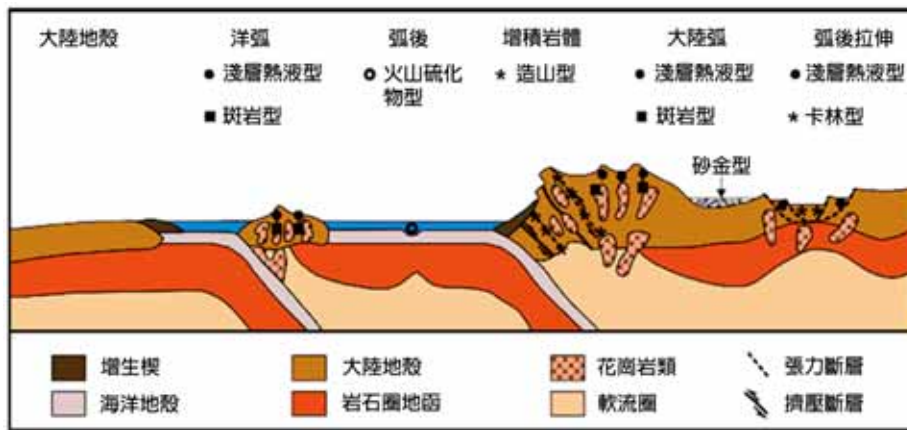


圖 4 各類型金礦床形成的地質構造環境

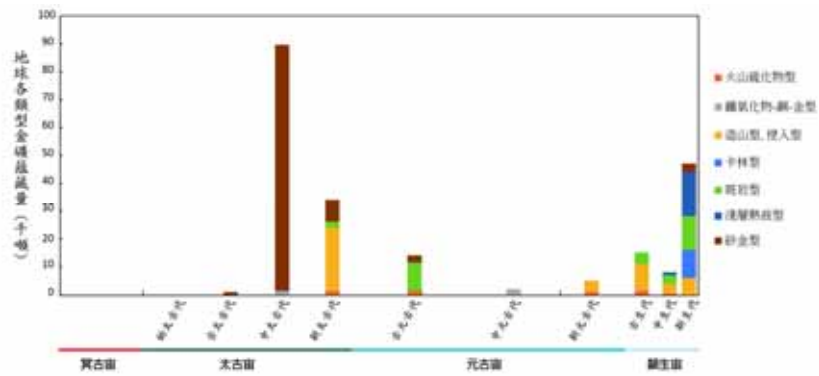


圖 5 各地質年代金礦開採量分布圖

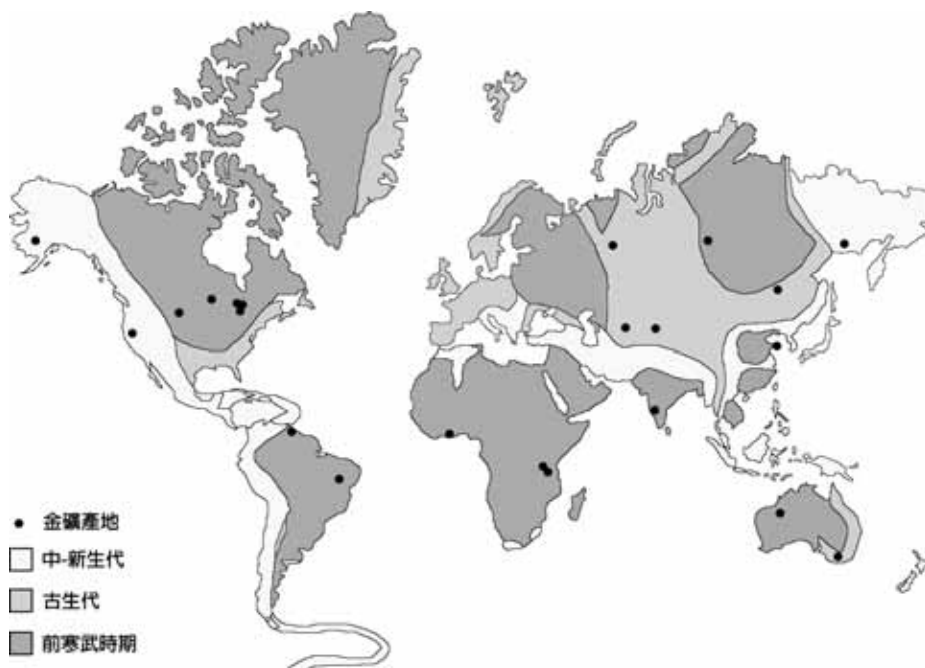


圖 6 全球金礦產地分布圖

