

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¹⁸²Hf(鈳)衰變為¹⁸²W(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¹⁸²Hf衰變產生的¹⁸²W,而地幔中的¹⁸²W卻隨著時間不斷的增加,因此兩者的¹⁸²W/¹⁸⁴W比值產生差異。鐵隕石的成分為小行星

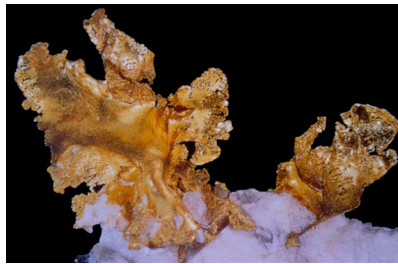


圖1 具有明亮光澤及延展性極高的金屬「金」

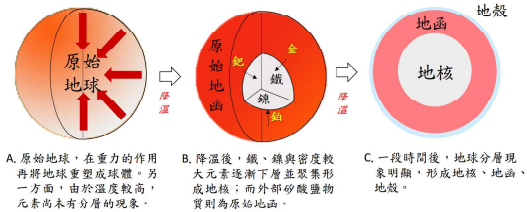


圖2 早期地球分層的過程

的鐵、鎳核心,與地核的成分相似,同樣也具有較低的¹⁸²W/¹⁸⁴W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¹⁸²W/¹⁸⁴W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¹⁸²W/¹⁸⁴W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.斑岩型、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,其火成岩組成為鐵鎂質或超鐵鎂質,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為: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

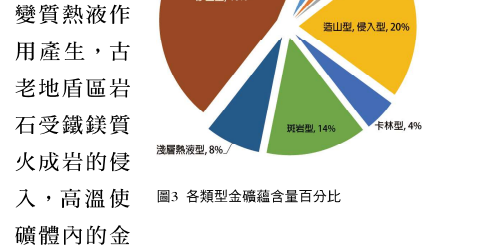


圖3 各類型金礦蘊含量百分比

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,礦石成分主要為金-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為石英。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,這類礦床為海底火山噴發時,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,分布也較為侷限。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。礦石成分包含金-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。

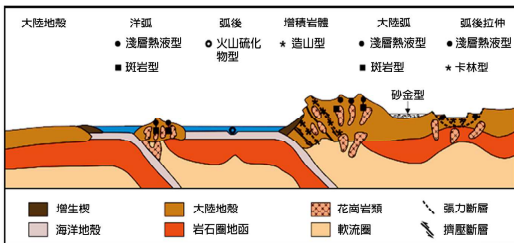


圖4 各類型金礦床形成的地質構造環境

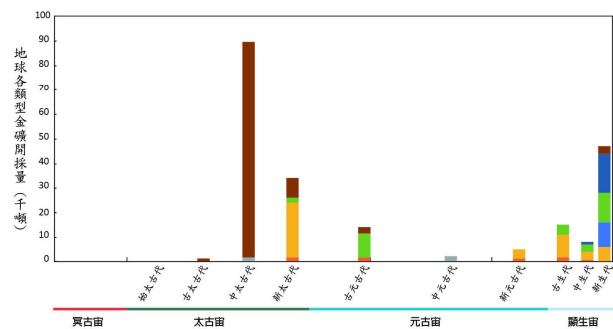


圖5 各地質年代金礦開採量分布圖



圖6 全球金礦產地分布圖