

内生金矿床成因与地幔地壳演化

胡伦积 戚长谋

(长春地质学院)

金矿是当前世界重视的找矿对象。如何认识金矿的形成规律, 提供找矿的理论前提, 是当前地质学界尚待深入研究的重要课题之一。

关于金矿床的成因, W.H.Emmons 最早进行过系统的研究。对内生金矿床的成因, 他在P.Niggli岩浆演化理论的基础上, 强调了热液成因的重要性, 指出酸性小侵入体是成矿的母岩^[1]。近二十年来, 世界对金的找矿和采矿不断扩大, 对金矿床成因的研究已从单一的热液成矿作用扩大到成矿地质作用的范畴。例如, 关于金矿床的成因分类, 分别提出了沉积变质、混合岩化、重熔岩浆-热液、层控矿床等不同类型。从某一成矿作用或成矿地质作用的方面来研究金矿床的成因, 对于反映矿床形成的某些特定的规律无疑是有意义的。作者认为从地球物质演化的角度, 来研究金的迁移与演化, 将能够更为系统的认识金矿床的形成规律。本文试从这一角度, 对于内生金矿床的成因进行某些简要探讨。

一、金的原始成矿物质来源

人类采金的历史, 对金与酸性岩石(如花岗岩、花岗片麻岩等)和硅的氧化物(石英、燧石等)的密切关系有深刻印象。然而, 从金在地球不同圈层和地壳不同岩浆岩中的分布看, 金则明显的与暗色岩石的关系特别密切。

据1151个不同类型的岩浆岩统计, 金在基性岩石中的含量约为酸性岩石的3倍(表1)^[2]。

表1 金在不同类型岩浆岩中的含量

岩石类型	岩石名称	样品数	金平均含量(ppb)
酸性岩	花岗岩、流纹岩等	310	1.7
中性岩	闪长岩、石英闪长岩	261	3.2
基性岩	辉长岩、辉长闪长岩等	580	4.8

(据K. H. Wodepohl, 1974)

金的上述分配的特点具有全球性。如若从金在地球不同圈层中的含量看, 金的分布也具有明显类似的规律性: 地壳岩石圈含金为3.5ppb; 地幔中为5ppb; 地核金含量达2600ppb。若按地球体重计算, 金在地壳中的含量还不足地球金总量的0.002%。

上述事实反映了金在地球物质的早期分配中具有明显的亲铁性, 金与铁密切共生主要集中于地核内, 其次是地幔。可以认为地壳中金矿床的原始成矿物质主要来源于上地幔。

二、金矿床成因的类型

金矿床的原始成矿物质虽然来源于上地幔，然而上地幔的金进入地壳却有兩種不同的分配：与地幔源岩一起侵位于地壳所形成的金的富集；地幔源岩进入地壳形成了含金量较高的地质体，但不构成金的矿床。这些含金的地质体是在后期的多种的（以至多期的）地质作用下，金经过再迁移、再集中才形成了金矿床。为了反映上述金的矿源层的不同特点，可将内生金矿床划分为幔源金矿床和壳源金矿床两大类型。

（一）幔源金矿床

幔源金矿床见于与基性或基性-超基性岩有关的岩浆硫化铜镍矿床。此类矿床中，常含有较高品位的金，并伴有银、铂（族）元素、铋、铼等可供综合利用。矿床含金的总量可分为小型、中型或大型。但从成矿元素整体看，铜和镍是矿床中的主要成矿元素，金为伴生元素，从未发现金作为主要成矿元素的独立金矿床。此类伴生金矿床如我国的金川镍矿、南非的布什维尔德等属之。

（二）壳源金矿床

主要的壳源金矿床是在含金量较高的绿岩带或类绿岩带的基础上演化而产生的。就目前已知的资料，国外绿岩带对各类金矿床产出的控制作用已是普遍存在的事实。例如加拿大的波克普金矿、澳大利亚的卡尔古力金矿、印度的科拉尔金矿、南非的巴伯顿金矿等均产于24—29亿年以前的太古界绿岩—花岗岩体内。我国华北地台太古界（包括东北南半部的鞍山群、山东的胶东群、河北的桑干群、河南的太华群、山西阜平群和五台群等）中，广泛发育有斜长角闪岩、黑云变粒岩等一套可能由基性和中性火山岩为原岩成的老变质岩系，这套地层中具有明显较高的金含量。如夹皮沟金矿区内的鞍山群三道沟组斜长角闪片麻岩和角闪片岩中，金的平均含量达80ppb；山东玲珑金矿外围的胶东群黑云母变粒岩及斜长角闪岩中，平均含金162ppb。它们各高出地壳金克拉克值（3.5ppb）的20—40倍。应当指出，对于我国上述地区太古代变质岩系的原岩是否为绿岩问题，尚有争论，但著者认为它与世界绿岩带一样皆可能属于来自于地幔物质的海底喷发，这表明它们是地幔金的携带者，它是内生壳源金矿床形成的物质前提。地壳中绝大多数的金矿床是在它的基础上，经过重熔、分熔、交代和各种再改造作用形成的。并可根据其成矿的不同特点将内生壳源金矿床分为若干亚类。

三、地幔地壳演化与内生金矿床的成矿规律

从上述地球物质演化的角度，关于金的分配、迁移与富集等机制，可概括为以下几个方面：

1. 地球早期演化阶段，金突出亲铁，集中地核、地幔中，上地幔是提供地壳金矿床成矿物质的主要来源。
2. 地幔演化过程中，伴随地幔岩的分熔，金的亲铁性减弱，亲硫性增加。金的亲硫性并不表现为金与硫结合形成金的硫化物，而表现为金以自然元素或互化物状态与硫及似硫

(As、Sb、Te、Bi等)化物共生。在岩浆成矿阶段,反映在全球性的幔源岩浆伴生金矿床仅仅与产出铜镍硫化矿床的基性或含长石的超基性侵入体有关,而不见于富铁贫硫的各类超基性岩体中。

3. 由地幔分熔出的基性或中基性的大量的火山物质(绿岩带或类绿岩带)是壳源型金矿床金的物质来源的载体,但它并不直接形成金的局部富集,壳源型金矿床是在它的含金高的背景基础上经再次的迁移富集而成矿的。

4. 壳源型金矿床成矿的地质、构造背景是多样的(变质、交代重熔、混合岩化等),但金的活化淋出和成矿受严格的物化条件的控制。实验证明高变质带(温度大于400—500℃,深度大于10公里)在有水参加的条件下,金活化迁移,而在低变质带(温度小于400℃)中,特别是温度在150—300℃间,压力小于1500大气压时(相当于5公里以下),金沉淀富集^①。这就可以解释为什么国外产于绿岩带中的变质热液金矿床均见于绿片岩中,也可解释我国北方高变质岩系中为什么未见有变质热液型金矿床。

5. 产于绿岩带中的金矿床,多见于与绿岩紧密伴生的花岗质岩石地质体中。花岗质岩石的生成主要是绿岩改造(分熔)的结果或地壳重熔(或分熔)的产物。

从钾、钠碱金属在花岗质岩石中的不同分配特征看,可将花岗质岩石分为钠质($\frac{Ab+An}{Or} < 4$)和钾质($\frac{Ab+An}{Or} > 4$)的两个系列(Lanbert和Holland, 1976),二者皆有金矿床的产生。钠质花岗岩可视为与绿岩有更亲密的成因关系,而钾质花岗岩则多属于更晚期构造的脉体,它与绿岩的关系则更间接了。花岗质岩石的产生,是金的迁移进入了新的酸性体系的标志。显示其亲铁性更加减弱,亲硫和亲硅性更为明显的特点。此时金的亲硫与亲硅性表现在相当多的金矿床中,金与硫化物(特别是黄铁矿)和硅的氧化物(石英、燧石等)关系特别密切。

6. 在相当多的金矿脉体附近,常伴生有闪长玢岩、细晶岩、煌斑岩等岩脉(岩床),可成为找矿标志。对于岩脉和矿脉的成因关系,目前尚不完全清楚。对于与金矿脉属同构造期不同次序的某些岩脉来说,它们有可能与含金脉体均为同源,由结晶分异所造成的富水(含金矿脉)和贫水的(脉岩)两种不同体系所造成。

7. 金的亲硅性质不可能在花岗质岩石的成岩阶段中产生金的富集,而只能在热液期成矿。如上所述,当温度大于400℃的花岗岩成岩期时,金无论在子体或母体中均处于活化状态,没有金的沉淀富集的条件,只有在花岗岩形成之后,金才能在较低温度和较低压力条件下产生沉淀(例如石英脉型金矿)。

在地壳浅部金的亲硫性为什么不表现为与硫结合形成硫化物,而仍仅与黄铁矿等共生,这与金和Pb、Zn、Cu、Ag等亲硫元素具有不同的地球化学亲合性有关,这取决于元素的结合规律。金的电子层结构为 $4f^{14}5d^{10}6s^1$,其电离能(2127千卡/克分子)和电负性(2.3)比其同族元素铜和银都高,这导致了金在自然界化学性质不活泼趋向形成自然金或以低能阳离子状态与低能的 Te^{2-} 离子(与 O^{2-} 、 S^{2-} 比较)(表2)结合形成金的Te化物。从元素的电负性

① 王秀峰1981年资料。

看, 金的氧化物、硫化物和碲化物在水溶液中的稳定性, 必定随 $\text{Te} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{O}$ 电负性增大的顺序而减低。因此在多元系热水溶液体系中, 即便是有硫和氧的情况下金也从不形成硫化物和氧化物。金的这种低能的聚合特点决定了金在多矿物共生组合中常常在热水溶液的较晚阶段的低温条件下析出。

表 2 O、S、Te 的离子电位和电负性

元 素	电 价	离子半径 (Å)	离 子 电 位	电 负 性
O	-2	1.32	1.515	3.5
S	-2	1.74	1.149	2.5
Te	-2	2.11	0.447	2.1

8. 金矿床的成矿围岩可以是多种多样的, 只要构造和温压条件适合, 金即可富集成矿。在金有较大迁移距离的多数情况下, 金矿床对围岩的要求没有明显的专属性。只有当围岩的环境有利于含金热液中的 HS^- 和 Cl^- 离子浓度降低和还原介质出现时, 将导致金的沉淀。

主要参考文献

- [1] Emmons, W. H., 1937, Gold Deposit of the World.
- [2] Wedepohl, K. H., 1974, Handbook of Geochemistry. Vol. II/4, Gold.
- [3] Boyle, R. W., 1979, The Geochemistry of Gold and Its Deposits.
- [4] Tatsch, J. H., 1975, Gold Deposits: Origin, Evolution and Present Characteristics.
- [5] Bains, H. J., 1967, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.

THE METALLOGENY OF ENDOGENIC GOLD DEPOSITS AS APPROACHED FROM THE EVOLUTION OF THE EARTH'S CRUST AND THE MANTLE

Hu Lunji and Qi Changmou

(Changchun College of Geology)

Abstract

This paper discusses the source bed, the genetic types and the metallogenic regularity of gold deposits from the viewpoint of the evolution of the Earth's crust and the mantle.

The initial source bed of endogenic gold deposits probably stems from the upper mantle. The distribution of gold in different zones of the concentric earth shows obviously the siderophile property, and the abundance of gold in the earth increases gradually from the crust through the mantle to the core. In the process of the evolution of the crust and the mantle, the

partial melting and emplacement of pyrolite acts as motive factor making it possible for gold to be transferred from the mantle to the crust. The partial melting of the mantle decreases the siderophile trend and increases the sulphophile trend of gold; as a result, gold is comparatively concentrated in basic rocks but relatively deficient in ultrabasic rocks. Based on the distribution of the source bed of gold, the authors have classified the endogenic gold deposits into the mantle type and the crustal type. The associated gold in the copper-nickel sulfide deposits related to basic and ultrabasic rocks belongs to the mantle type, while the gold deposits produced as a result of the evolution of the gold-bearing greenstone belt and greenstone-like belt are of crustal type. The formation of the crustal type gold deposits is strictly controlled by such physical and chemical conditions as the introduction of enough water, temperatures lower than 300°C and pressures less than 1500 atm. Therefore the gold deposits of the metamorphosed greenstone belts are chiefly products of low grade metamorphism of the greenschist facies. Generally speaking, granites of I type or S type fail to concentrate gold. Nevertheless, under local conditions, the formation of granite, the hot water activities and the increasing sulphophile tendency and F, Cl and SiO₂ affinity all contribute to promote the migration and enrichment of gold, thus producing the favorable conditions for the formation of crustal type gold deposits.

Gold deposits may occur in various sorts of host rocks, though preferentially related to basic volcanic rocks.