

(2185-89)

液态矿源说 二次迁移论

——内生金矿成矿模式与找矿模型

周乃武

(东北大学黄金学院)

P611.1
P618.51

摘要 根据金矿床的“液态矿源说,二次迁移论”成矿理论要点分析,建立了金矿床“拉张、碰撞、抬升”的成矿模式、定位机制和以确立成矿流体源的找矿模型。实践表明,它具有较普遍的适用性和指导意义。

关键词 金矿成矿理论, 成矿模式, 找矿模型。

中图分类号 P 611.1

内生金矿

金矿床, 成矿理论

为适应当今地质找矿难点即“探深、找盲、求新”和“定位(定量)预测”,需加强对成矿理论的深化认识和探索。能够提出定量表述并合理解释客观与预见未知的成矿理论,否则难以适应客观需求。这是因为①目前所流行的有关成矿理论尚不完善,且处于莫衷一是的假说状态;②尚不能进行定量解释,给出模糊或莫衷两可的结论。有关金矿成矿理论,大体有两种对立观点,即层控论和幔源论。两者的分歧集中表现在有关成矿物质来源上。层控论认为金矿成矿物质归根结底源于地壳与地幔的结合部——太古代绿岩带^[1];幔源论或脉岩论主张成矿物质源于地幔与地核的结合部——一种特殊的富含挥发组分、富金的钙碱性煌斑岩岩浆^[2]。

上述两种理论都存在着不能自圆其说的难点。层控论的难点在于地壳,乃至各种岩石中金的丰度极低。通常在 10^{-3} 数量级,故有人提出必需经历一个予富集过程(B. J. Beklper, 1979)。然而对这个予富集过程的样式、形成过程和机理尚处于假说状态,诸如胚胎矿等。事实上,这些推论并不符合于金矿床的实际地质特征。几乎任何一个金矿床的形成都具有极为鲜明的金的成矿主期或主阶段,故有“残余含金流体”说(W. H. White, 1943)^[3]的解释;脉岩论的难点在于,有些金矿床与中基性脉岩具时空关系,但亦有大量的金矿床却少见脉岩,如卡林型,何况尚

未见到金矿化与脉岩的同时、空性例子;特别是从脉岩本身的组成、规模与数量上,都不可能提供成矿所需要的物质(SiO_2 , H_2O , S 和 Au)及其总量;更难以理解的是其来源之深,达莫测的程度。

鉴于上述两种理论的缺欠,作者十分赞同金矿床的“液态矿源”说。但由于该学说总体上讲尚存在很多需要进一步补充、完善和深化之处,故本人在以往研究的基础上,提出了有关金矿成矿的“液态矿源说,二次迁移论”,并据此建立了成矿模式与找矿模型。

1 “液态矿源说 二次迁移论”概论

“液态矿源说^[4-7]”是近20年提出的。笔者先后运用此说并补充完善之(1991~1996)^[8],加拿大学者郝奇逊亦运用此理论指导金矿的找矿勘探¹⁾。上述学者分别赋予液态矿源以层的概念如水床(Water sill)^[4]、水库(Water Bank)^[5]和古大陆地壳深部存在一个含金液态矿源层^[6],并把它们形象地比喻成如同地下湖、水库一样存在于地壳深部难以触及到的“概念”,Cox(1990)也仅提出了理论上的判别公式: $dp/dz = \rho_w g$ (dp/dz 指垂向上的静水压力梯度, ρ_w 水的密度, g 为重力加速度),即 $dp/dz > \rho_w g$ 流体将产生垂向的迁移,否则或侧向运移,或不发生位移^[7];科兹洛夫根据前苏联实施的科拉超深钻井资料的研究结果,认为

1997-01-27 收到。作者:男,58岁,教授。

1) 1994. 郝奇逊教授来我院讲学。

在埋深变质条件下,在绿帘角闪岩相带与绿片岩相带深度分界约 5 km 以下为液态矿源赋存部位^[5]等。以往的研究成果,尚未有给出成矿事件发生后液态矿源曾经赋存的深度、样式等,因此,难以指导找矿实践,为此,作如下的系统论证。

1.1 金矿床的成矿作用基本属性

大量的内生金矿床的研究揭示表明,其具有如下的基本属性(共性)。

(1) 热液成矿与后生成矿特征

鉴于各类型金矿床几乎无一例外地受构造(褶皱、断裂)控制,具有热液蚀变和热液成矿方式(充填脉状、网脉状、交代浸染状或两者兼而有之的细脉浸染状等),而显示出热液成矿属性与后生的特点。

(2) 金矿床的层控性、成矿定位的突发性和时差性。

综观世界金矿,按其规模、储量,主要有三大类型:与太古代绿岩带有关的绿岩带型金矿,其成矿定位时间集中于 2.7 Ga 的晚太古宙为主;与含碳质的碎屑岩有关的碎屑岩型金矿,该类矿床定位时间通常晚于含矿岩系形成时间和与火山作用有关的浅成低温热液型金矿。前两者的层控性已为人们所公认,但对后者则各有异议,对此略加说明。现统计结果表明,与火山作用有关的金矿几乎无一例外地具有双层结构的构造层,即在火山岩层之下,存在着作为矿源层的基底岩层,如第三纪定位的日本菱刈金矿,下伏地层为浅变质的白垩纪四万十群;美国内华达州大量的第三纪定位的金矿,包括卡林型金矿在内,均与下伏的泥盆—志留系的罗伯茨岩组的不纯碳酸盐岩层有关;霍姆斯塔克金矿被认为是与早元古的带状铁建造有关的金矿,在矿区内也存在着与第三纪火山作用有关的脉状金矿;在我国亦如此,如团结沟金矿定位于侏罗纪,但却与元古宇的黑龙江群有关、河南祁雨沟角砾岩筒型金矿则密切与太古代的太华群有关、辽宁北票二道沟金矿定位于晚侏罗纪,却与晚太古的建平群密切相关等亦证明了与火山作用有关的金矿床的层控性。

成矿的突发性、时差性主要与成矿定位事件的突发性有关。例如环太平洋成矿带诸金矿床则与太平洋板块对大陆板块的俯冲作用密切相关。我国华北陆台周边的金矿除与燕山期太平洋板块作用有关外,尚与海西—印支期的古亚洲洋板块的碰撞有关,与太古代绿岩带有关金矿则与 2.7 Ga 的花岗岩岩基体底辟侵位有关。由此可见,与构造热事件引起的突发性含金地质体抬升是金矿

成矿定位的主因,显然,也是成矿定位突发性、时差性的证据。鉴于成矿作用紧密与构造运动及运动方式有关,必然具备下述的又一基本属性。

(3) 成矿大地构造环境的特定性与专属性

前述的金矿床的基本属性是与金矿所处的大地构造环境及地壳运动密切相关的。纵观世界金矿空间分布规律不难看出,金矿床集中产区的大地构造环境为隆起与拗陷的接触部,隆起一侧,其地壳运动的基本演化过程又几乎均经历了先拉张沉陷,经碰撞挤压和最后抬升的三个构造运动变化时期。拉张的构造环境则利于巨厚的含矿岩系形成,并在固结成岩、深埋变质作用过程中,使矿源层中金转化为成矿流体中金;在碰撞挤压条件下,由于高的热流区形成,可导致液态金发生深层次的迁移汇聚,形成各种样式的深层次的含金液态矿源储库,如深层次(15 km 以下)的韧性剪切带型储库,由花岗岩热穹窿为中心的等变质带式变质杂岩核式储库等。若后续的突发性抬升事件,不仅导致液态矿源储库整体抬升,而且会诱发深切的脆性断裂产生并切割储库,则必然产生成矿流体的突发性向上迁移,进入成矿圈闭沉淀富集成矿。根据金的初溶的温压条件也是金大量沉淀条件的认识,金开始沉淀的深度应为 <5 km 的中深层次,至 <1 km 的浅成条件。对于某些超微细粒浸染型金矿似乎并没有经历深层次的挤压作用,而只经历了拉张深埋和碰撞抬升过程,如卡林型金矿。对此,我们的解释是液态矿源是在成岩过程中形成的,成岩期所形成的含金溶液主要呈孤立互不连通的微孔隙、裂隙或粒向溶液状。鉴于这类矿源层中的溶液未发生任何条件下的再迁移,故在快速抬升后,成矿物质直接从溶液中沉淀,形成了超微细(<5 μ)浸染型金矿,也许正是此种成矿方式,才出现了易挥发(迁移)的元素如 As, Sb, Hg 与金呈伴生状态,构成了富矿难选冶矿石,如我国西南地区的卡林型金矿。

综上所述,特定的大地构造环境是金矿成生及其空间分布的决定性因素,从而显示出其成矿的专属性特征。

1.2 石油的成油理论的启迪与引入

石油成油理论自 70 年代起就被引入至热液矿床成矿机制的研究,从而给经典的水成论注入了新的思考,形成了全新的层控论。因此,有理由运用成油理论来考查金矿床的形成过程。

把金矿矿源层视为生油层,自生自储型油气藏视为矿源层形成期通过成岩作用所形成的含金流体即含金液态矿源,则可称之为自生自储型含

金液态矿源,如形成卡林型金矿的矿源那样。当在构造作用下,油气发生二次运移进入新的圈闭后所形成的油气藏被称之为它生它储型油气藏。这类油气藏可与前述的经历碰撞挤压作用形成的韧性剪切带型,变质核杂岩型含金液态矿源储库相比拟。由此比较则可把成油的全过程视为含金液态矿源的形成过程,亦可把含金液态矿源储库划分为自生自储型和他生他储型,并且所给出的上述三种主要样式及其矿床类型是与现今所揭示的主要金矿类型十分吻合(包括成矿地质环境、成矿地质条件和矿化类型)。

但需十分注意的是,两者间还存在着形成物化条件方面的本质差别,特别是经历二次迁移后所形成的油气藏和含金液态矿源储库样式。油、气是在较低的温压条件下形成的,其门限温度和深度通常在 100°C , 1 km 左右,而金的溶解条件表明,在 $>500^{\circ}\text{C}$ 和 $>2\times 10^8\text{ Pa}$ ($>6\text{ km}$)条件下,越是富 CO_2 的条件下金才可能大量呈溶解态,因此,含金溶液应为高温高压流体,故在二次迁移发生时,两者的流向不同,石油主要向低洼的向斜构造核部迁移,而含金流体主要向上部扩容区(含背斜构造核部)迁移,且应保持金的最佳溶解状态的地质地球化学条件及前提,故含金流体的二次迁移是一个深层次条件下的汇聚性迁移。

综上所述,根据金的地球化学性状及内生金矿床的基本属性,唯含金液态矿源说与二次迁移论的结合方能解释金矿床客观属性与基本地质特征,显然也就能依此建立相关的成矿模式与找矿模型。

2 金矿床成矿作用过程

从金矿床的表观特征上看,大体可划分为两种类型:一是脉状矿床;二是似层状的超微细浸染型矿床,因此有必要运用“液态矿源说,二次迁移论”成矿理论来解释此两种类型矿床的形成过程。

2.1 矿源层与自生自储型含金液态矿源形成

从目前所揭示的金矿源层或称含金岩系来看概括起来有两大类:其一是源于地幔的基性—超基性熔岩或侵入岩;另一类则是火山喷发间歇期的层流沉积物或含金岩系的转生的含碳质碎屑岩建造,其中包括碳酸盐相的带状铁建造,碳硅泥岩建造(相当不纯碳酸盐岩建造),含金砾岩建造等。两者都显示了它们的化学组成是以富 Fe 、 S 和 C 为标志的地球化学特征,这一特征恰恰是金

能够相对富集,并可从固态转化为液态的主要地球化学条件,即金的亲铁、亲硫性以及碳对金的吸附作用有关^[9]。无论熔岩在冷凝过程中,还是与海水反应中,无论是沉积岩系在成岩过程中,还是在深埋的变质作用中,都会因为脱挥发分作用($\text{S}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{CO}_2$)导致金从被岩石的束缚态转化为可溶解的活化迁移状态,从而形成了赋存于岩石裂隙、微孔隙式粒间的含金溶液,构成了自生自储型含金液态矿源储库。这类自生自储型液态矿源对于含金的沉积岩系尤为重要,且可作为唯一的成矿前提。其原因在于含金沉积岩系多形成于相对稳定的冒地槽型或地台型沉积,金多以吸附态赋存而易于被萃取,故经受低—中级的区域变质,甚至未经受变质作用就能够形成含金溶液。

2.2 它生它储型含金液态矿源储库的形成

对于形成于地槽区的含金岩系来讲,不仅经受了成岩期的自生自储型液态矿源储库形成作用,而且还经历了强烈的变质变形甚至花岗岩化作用过程。在这一复杂过程中,金将较彻底的从原岩中被萃取出来,且有条件向新的扩容区迁移汇聚,形成了含金韧性剪切带型液态矿源储库或者形成变质核杂岩型热穹窿式含金液态矿源储库,即本文称之为它生它储型液态矿源储库。

2.3 抬升成矿定位

无论是自生自储型还是它生它储型含金液态矿源储库,一旦因快速抬升构造事件,均将会改变含金流体的初始的相对稳定状态。对于自生自储型则因快速抬升导致矿源层内的微孔隙、粒间溶液中金发生沉淀,从而形成层控式超微细浸染型金矿;对于它生它储型尽管可能被大幅度抬升,毕竟因初始所处层次较深($>15\text{ km}$),只有在被脆性断裂切割条件下,才能导致成矿流体向上快速运移进入成矿圈闭沉淀成矿,从而形成脉状金矿或明显受断裂控制的金矿床。

2.4 成矿后的叠加改造

多数金矿床常常会出现成矿后的叠加改造事件,如火山一次火山作用,地下热水作用等从而使矿床中的金发生再溶解,近迁移沉淀事件,如受断裂改造的微细浸染型金矿可形成细脉、网脉状、角砾状矿化的矿床,我国陕甘一带的金矿当属此类(如太白金矿)而有别于典型的卡林型金矿;若受断裂控制的脉状金矿(蚀变岩型为主)则因叠加改造作用则易形成相对富集,形成富明金的矿床,如我国山东蓬莱地区的富明金矿床、河北后沟金矿、辽宁排山楼金矿的局部富集段等均可作为此例。

3 成矿模式与找矿模型

依据前述的分析和论证，可以建立对应于含金液态矿源说、二次迁移论的成矿模式与找矿模型。

3.1 成矿模式

从大量的金矿床的研究中发现，每个金矿床都具有自身的特点，因此试图建立一个具有普遍代表性的成矿模式则是困难的。人们从各自的成因观建立了相关的成矿模式，如三源模式、矿源-岩浆-构造三位一体模式、板块模式、对流循环模式等。可以说上述诸模式可称为理论的或者是抽象的成矿模式，本文所提出的成矿模式则是给出了相对具体和定量的概念（图1），而且可用本模式解释目前已发现的各类金矿床。因此，该成矿模式也就具有了切实指导找矿实践的意义。

3.2 找矿模型

找矿模型通常是对特定成矿地质条件的找矿实践的规范化总结，因此，具有局限性。本找矿模型给出了可操作性且适于不同成矿地质条件的全部金矿床的找矿，因此，具可操作性的特点和实现定位成矿预测的目的（图2）。

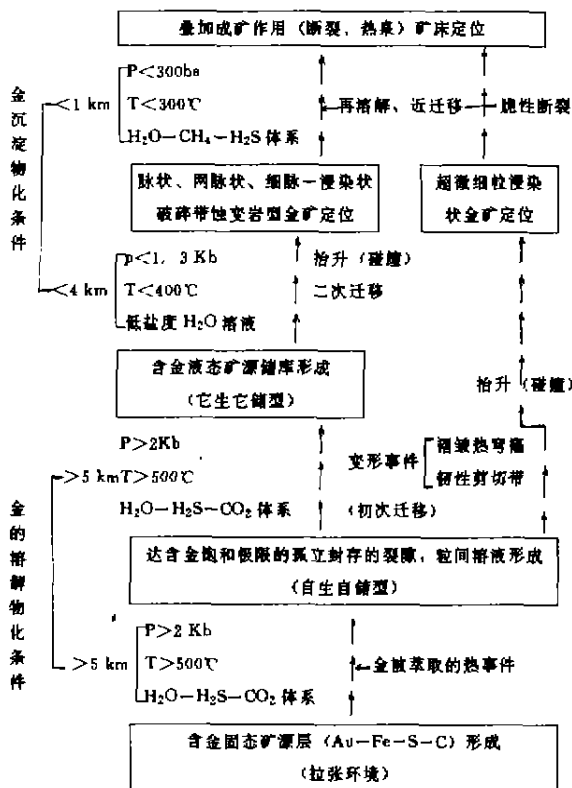


图1 成矿模式图

本找矿模型可以概括为追根溯源的找矿思路指导下的定量找矿模式，如在基础地质工作和研究基础上，准确给出区带，矿区的构造热事件及成矿定位事件，显然需要进行地质年代化学的定量查定；确定含金液态矿源储库的样式及其成矿时的空间层次的确定（即液态矿源的深度），成矿流体迁移的径及进入成矿圈闭的排泄口的确定（即矿床的最大赋存深度的确定）等，从而实现定位成矿预测。

需要指出的是有关定位的精度理解，人们总是希望能够给出矿在哪（定位）？有多少（定量）？来取代勘探工程揭露的过程（验证），从我们的实践经验的体会可提出两点供借鉴：

①定位成矿预测的精度首先取决于成矿预测研究所采用的比例尺精度。对于小比例尺只能给出预测区带，1/万只能给出预测靶区，唯1/千才能给出可供勘探工程设计的定位，甚至定量的预测。

②对已知矿床（体）的深部预测可对已开拓的部分工作（如深部）采取冷处理的办法以备作预测成果的检验工程，从而可实现主客观都会满意的效果。

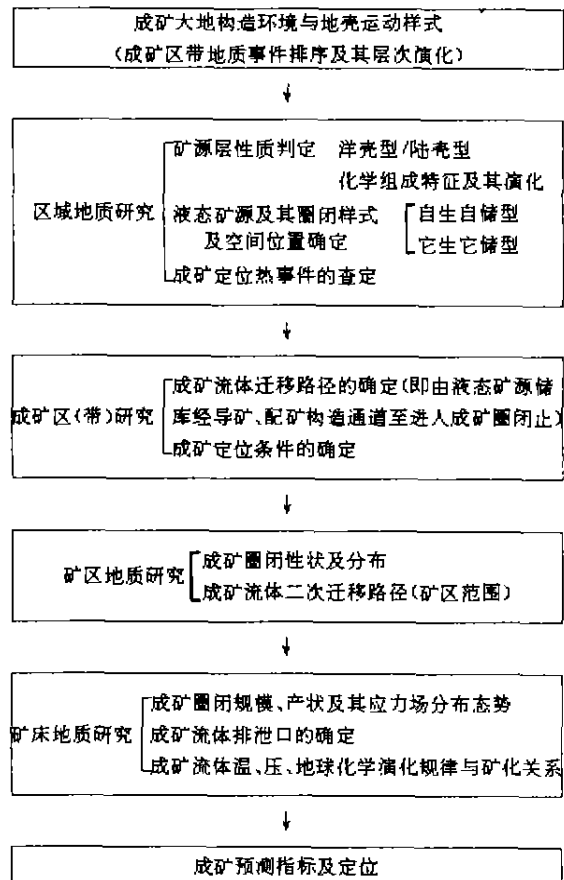


图2 找矿模式方框图

4 结 语

笔者自1988年至今,在运用和完善液态矿源说的过程中,实现了不同成因类型和金矿区的找矿突破。如在确定NW320(°)韧性剪切带为含金液态矿源储库的赤峰红花沟矿区的研究中,突破了90 m厚层黄土覆盖区的找矿;对辽宁岫岩金矿新甸矿区的研究^[1],在确认北西向韧性剪切带为含金液态矿源储库前提下,区分了矿区矿脉体所赋存的变质相带差异与矿化的关联,在已知井区范围不仅找出可供生产的五条矿脉,而且较准确地判定成矿有利区段,实现了定位定量预测。近年对山东胶西北金矿集中区的较全面调研结果,指出了栖霞背斜(东西向)核部为含金液态矿源储库,从而较客观地预见南北翼矿脉体的总体侧伏方向,为本区找矿和深化认识奠定了科学依据。对辽西金厂沟梁一二道沟金矿田的研究中,在确认变质核杂岩构造为含金液态矿源储库的基础上,提出了二个成矿体系,三个成矿定位构造系统的成矿模式,在二道沟矿区成功地预测了具有相当成矿潜力的预测靶区(已为物探、化探和局

部山地工程所证实)。因此“液态矿源说,二次迁移论”成矿理论具有趋于客观的普遍性,值得更进一步完善和发展。

参考文献

- 1 Keays R R. 太古宙金矿床及其源岩, 上地幔与地壳的结合部. *Gold*, 1982 (82): 17~18
- 2 Rock N, Ferring C, Golding S. Gold lamprophyres and porphyries, What does their association mean?. *Economic Geology*, 1988
- 3 Boyle R W. 黄金开发史和金矿床成因. 中译节(1991). 北京: 原子能出版社, 1984. 379~390
- 4 Fyfe W S. *Fluids in the earth's crust*. Elsevier Scientific Publishing Company, A master dam-oxford-New York 1978. 1~383
- 5 科兹洛夫, 科拉超深钻井, 中译本(1989). 北京: 地质出版社, 1984
- 6 张秋生. 1987 金矿集中区及其深部液态矿源层 (IGCP 第247项二次会议发言). 长春地质学院学报, 1988
- 7 Cox S F. Fluid generation, fluid circulation and deformation. *Nuna Conference on greenstone gold and crustal evolution, VALD'OR, May, 1990*
- 8 周乃武. 辽东半岛南部脉金矿床. 沈阳: 东北大学出版社, 1996. 1~50

The Metallogenetic Theory of Gold Deposits: Liquid-Source and It's Re-migration

Zhou Naiwu

ABSTRACT Based on the analysis of liquid-source and re-migrating theory on metallogenetic theory of gold deposits, metallogenetic model of collision-lift and prospecting model of gold deposits are established. A large amount of field works show that it has more general applicability and guiding significance.

KEY WORDS Metallogenetic theory of gold deposits, metallogenetic model, prospecting model.

(Received January 27, 1997)