

脉状金矿床成因研究的若干问题

Some Problems in Genesis Study on Lode-gold Deposits

李景春^{1,2} 赵爱林¹ 金成洙²

(1 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033; 2 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

Li Jingchun^{1,2}, Zhao Ailin¹, Jin Chengzhu²

(1 Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110033, Liaoning, China; 2 Institute of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, Liaoning, China)

摘 要 成矿流体来源、金的沉淀机制、成矿构造动力学及成矿时代等是脉状金矿床成因研究的主要内容, 目前尚未从根本上解决这些问题。以往基于矿床地质表部特征、流体包裹体特征及同位素示踪等研究判断成矿流体来源得出的结论常具或然性; 金的沉淀机制除流体温、压降低外, 流体的混合可能是更主要的因素; 成矿构造动力学研究尚处于探索阶段; 成矿时代的确定依然不具唯一性。可见对脉状金矿床成因研究仍将有一个深入探索过程。

关键词 脉状金矿床 成因

脉状金矿床 (lode-gold deposits) 最初主要是指石英脉型金矿床, 但随着金矿床勘查与开发的不断进行和新的金矿床陆续被发现, 使得脉状金矿床的含义也发生了很大变化。脉状金矿床的概念实际上表征了一组呈脉状产出的金矿床, 是矿床自然属性的直观表述。显然, 脉状金矿床除石英脉型外, 还应当有蚀变岩型及糜棱岩型等 (李景春等, 1999)。

在我国乃至全世界, 迄今为止所发现的原生金矿床大多是脉状金矿床, 大量地质事实和金元素活化、迁移与富集实验研究结果都表明脉状金矿床是内生热液矿床。脉状金矿床的成因一直是金矿床地质研究中的重要内容和争论焦点。近十几年来, 随着新技术新方法的不断应用、金矿床及其产出地质环境资料的大量积累, 对脉状金矿床的成因研究有了长足进展, 许多学者从成矿流体作用、矿质来源、金的沉淀机制、成矿构造作用及成矿时代等不同角度提出了一些不容质疑的概念, 阐明了诸多金矿床成因的关键问题。但就总体而言, 对脉状金矿床成因的一些本质问题依然未能从根本上加以解决。本文就脉状金矿床的成矿流体来源、构造成矿作用、金的沉淀机制及成矿时代等矿床成因的基本问题加以讨论, 并对一些传统认识提出异议, 敬请批评指正。

1 脉状金矿床成因研究的问题

1.1 成矿流体来源

对成矿流体来源的判定是内生金矿床成因研究的重要内容, 也是矿床地质学家们长期研究的重要课题。人们往往利用现有的技术方法, 通过表征脉状金矿床的地质特征、流体包裹体特征及某些元素的示踪来探索成矿流体的来源。

基于对脉状金矿床产出的地质环境及与其形成有关地质热事件的联系, 不少学者将成矿流体划分为变

质热液、岩浆热液、火山（次火山）热液及渗滤热液等，这无疑是一种理性的认识。然而由于缺少对各种流体来源判定的具体准则，许多人就将这一复杂的问题简单化，把金矿床与围岩间直观的空间关系深化为直接成因联系，即产于变质岩中的金矿床就是变质热液作用形成，产于火山岩中的金矿床就是火山热液作用所形成。

导致上述认识简单化的另外一个重要原因是人们在具体矿床研究中，通常简单直观地利用了成矿流体的 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -D 图解和矿石中矿物流体包裹体成分特征来判断成矿流体的来源，并将其作为金矿床成因类型的重要判据之一。虽然成矿流体的氢、氧同位素组成特征不失为判断流体来源的重要工具，但大量研究成果已表明二者之间并非简单的因果对应关系，存在一果多因的情况。据研究（张理刚等，1984），中国东部中生代大气降水的氢、氧同位素组成为 $^{18}\text{O} = -15.5\text{‰}$ ， $\text{D} = -115\text{‰}$ ，但在 350~400℃，有效 W/R 比值从 0.01 到 0.05 的条件下，大气降水与深在 5 km 以下的中、基性岩相互作用，即可获得与形成焦家金矿床成矿流体相似的氢、氧同位素组成，即 $^{18}\text{O} = -4.7\text{‰} \sim -3.5\text{‰}$ 、 $\text{D} = -73\text{‰} \sim -92\text{‰}$ 的成矿流体。由此可见，大气降水经过水-岩作用后的氢、氧同位素组成可演化到与岩浆水相似的氢、氧同位素组成。所以，以往许多依据 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -D 图解所得出的结论应当予以重新考虑。

许多研究者利用矿物流体包裹体成分特征及有关参数判断成矿流体来源。众所周知，通常利用包裹体对成矿流体的研究是一种抽样观察，在有足够大的样品量时其研究结果才具有意义。实际上我们一般采取的包裹体样品的量与成矿流体所作用的范围相比是极其微小的，而矿床范围内流体的作用是不均匀的。另外，在矿石中所获得的流体包裹体成分应当是一次成矿流体作用演化至终结时被矿物封存的，并不能代表成矿流体的总体成分。所以，基于代表性十分有限的流体包裹体研究所得出的结论也颇具争议性。

以往许多研究者认为岩浆作用、火山作用及变质过程中形成的流体为脉状金矿床中成矿流体的主要来源。不能否认，岩浆作用、火山作用及变质过程中形成的流体或多或少参与了金成矿的流体作用，应当注意的是这些流体在不同矿床中其参与程度和方式有所不同，有些情况下这些地质作用产生的热效应对金成矿的贡献更为显著，即更重要的是它们为金成矿地质场提供了热动力。已有研究表明（季克俭等，1984），岩浆上升或结晶时所能释放出的水量甚微；高温高压实验结果（涂光炽等，1984）也表明，硅酸盐熔体与水处于平衡状态时，金从高温的硅酸盐熔体中（400℃以上）析出的数量微乎其微，另外，岩浆中的金并不随着岩浆分异和酸度的增加而富集（Boyle，1984）。诸多产于变质岩系中的以含金石英脉为矿化形式的金矿床，其含金石英脉应当是由成矿流体沉淀而出，若以现今所见的石英脉规模反演成矿时的硅—水体系，则无论如何，经变质过程从含金建造中析出的水量是难以满足的。大量地质事实表明，渗滤热液可能在金成矿中起了重要作用。这一方面是金的地球化学性质表明金虽然属于不活泼元素，但在中、低温地质作用过程中容易被活化、迁移和富集沉淀；另一方面是越来越多的地质事实表明金成矿的流体作用主要是中、低温热液作用，特别是浅成低温热液矿床的大量发现更加证实了这一点。渗滤热液是在地质历史中大气降水及被含金建造封存的水受地热或岩浆作用加热形成的热液，加之地壳构造的原因，在地壳某一深度环流。这种被加热的地下水，其温度一般不高，对地质体的作用范围大且持续时间长，往往含有较多的酸根配位基，金容易以配合物的形式溶解于其中，使含金建造中的金渗滤出来，完成活化、迁移和富集过程。渗滤热液这种对金的淋滤作用已被一些实验所证实。莫测辉等（1997）对东坪金矿区的碱性杂岩体进行的碱性碳酸盐溶液（200℃以下）淋滤实验表明，岩石中的金淋出率达 32% 以上。以上表明，渗滤热液在许多金矿床的形成过程中可能起着极为重要的作用。

由上述可见，关于金矿床成矿流体的来源无论在理论上，还是在实验研究上或地质事实上都应当重新审视和进一步研究。

1.2 金的沉淀机制

许多研究者基于传统上认为的金在流体中的迁移形式主要是 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 、 AuCl_2^- 、 $\text{AuH}_3\text{SiO}_4^0$ 等可溶性配合物，因而普遍认为金的沉淀是由于流体的物化条件改变导致配合物不稳定所致，当然也有流体中成核矿物对金的表面吸附或金与硫化物矿物共沉淀作用的因素。人们通常依据温度和压力降低时会引起金配合物稳定性降低，就把成矿流体温度和压力降低作为导致金沉淀的主要因素。但近年来的实验研究

结果表明 (Sibson, 1988, 1990), 在一定的温度区间内, 金配合物稳定性的变化不像人们所认为的那样大, 单一的流体冷却和压力降低只是导致金沉淀的因素之一, 并非总能产生大量金的沉淀, 应当还有其他因素的影响。此外, 近年来的研究表明 (李景春, 1995), 金也可以以 $\text{Au}(0)$ 的纳米金或胶体金形式迁移, 这类迁移形式的金, 此时金沉淀的主要原因应当是纳米金的归并和胶体凝聚。

从许多地质事实来看, 成矿流体在不同方式成矿过程中, 储矿构造场的温度压力变化并不总是很大 (Shenberger et al., 1989), 对以充填成矿为主的流体作用, 成矿流体的混合作用应当引起金沉淀的重要因素之一。如由于大气降水的不断加入, 在混合作用过程中, 首先会导致成矿流体温度的下降, 与此同时, 更重要的是低矿化度的流体与含金高矿化度的流体相混合, 会使成矿流体中配位基浓度大大降低, 会促使金配合物分解, 引起金的沉淀。对于以交代成矿方式为主的流体作用, 金沉淀则主要是流体与围岩作用所致 (Rideley et al., 1996)。

除上述之外, 金沉淀还受矿物表面作用的影响。由于矿物表面的物理吸附作用, 带电的含金配合物通过静电作用被吸附到矿物表面电荷密度高的地方, 如矿物晶体的物理缺陷 (破裂面)、晶体的边棱和化学不均匀带 (微量元素富集置换带) 等, 这也是金矿物在矿石中赋存形式的决定因素之一。总之, 金的沉淀机制涉及热力学及动力学过程。

1.3 成矿构造动力学

由于脉状金矿床是典型的受裂隙构造系统控制的矿床, 因而许多学者从成矿构造动力学的角度探讨了金矿床的成因, 但目前对这方面的研究多限于构造动力作用与成矿作用的直观联系。随着糜棱岩型金矿床的发现和勘查与开发, 使得这方面的研究进入了一个新的阶段。Sibson (1988, 1990) 首次将构造变形过程与成矿流体作用结合起来, 提出了断层阀模式 (Sibson, 1988, 1990)。这一模式比较合理地解释了脆—韧性转换带的活动机制, 阐述了充填成矿作用与构造变形阶段的相互关系。然而, 大量地质事实表明成矿流体作用与构造变形之间的关系并非简单的力学关系, 显然应当包含有复杂的流体力学和热力学过程, 这是目前成矿动力学研究中并未从根本上解决的问题。

1.4 成矿时代

矿床的形成时代也是脉状金矿床成因研究中最基本的内容之一, 是成矿作用演化研究的主要时间标尺, 尤其是在建立矿床成因模式中是不可缺少的内容。近年来, 随着同位素地球化学研究的不断深入和质谱技术的逐步提高以及对成矿背景认识的深化, 使金矿床测年的精度在很大程度上有了提高。但也应看到, 由于对成矿地质背景的认识问题和样品的采集、加工处理及分析方法本身的一些原因, 仍然存在不少有待进一步解决的问题, 如对成矿时代概念的理解并不统一, 同位素测年方法本身也有其适宜性和局限性。

脉状金矿床主要具热液矿床属性, 金的地球化学特性决定了其矿化作用明显受原生或转生含金建造的控制, 在具体某一个矿化集中区内成矿作用具有继承性而且是一个复杂的地质过程, 通常成矿物质 (包括成矿介质) 具有多源性, 成矿作用的演化具有多 (长) 期性, 矿床的形成具多 (复) 成因性。因而要准确确定矿床的形成时代就困难得多, 这既包括测年方法本身的原因, 也有对成矿时代认识上的差异。

已有大量资料表明, 脉状金矿床往往是多期、多阶段矿化作用的产物, 或者是多期成矿作用叠加的复成热液矿床, 因此, 对某一具体金矿床而言其成矿年龄往往是一个时段, 而不是一个时间点, 对于某一具体金矿床而言, 一个同位素测年的结果往往不能代表其成矿时代。此外, 近年来许多金矿床成矿地质背景及区域成矿条件研究结果表明, 脉状金矿床的形成, 通常是首先具备含金建造, 然后经过成矿作用富集而成。在我国东部地区, 这一特点表现的尤为明显, 无论何种类型金矿床, 或多或少都受其变质基底的影响或制约, 这样在研究过程中所获取的成矿时代信息经常包含了含金建造的形成年龄和矿化期的年龄。以往由于对测年结果的地质解释不够, 有时出现同位素测年结果的误用。有些矿床中早期形成的金矿体被后期的成矿作用改造成新的矿体甚至重新就位, 若对其早期矿化研究不够就往往忽略了早期成矿时代的信息。

除上述原因外, 样品和分析方法的局限性也大大影响了对金矿床测年的准确性。目前对成矿时代的确定主要依靠金矿体与侵入体、矿体围岩的时空关系来确定成矿年龄, 现有的测年方法中, 除铀-铅和铅-铅法能给出不同阶段年龄外, 其它方法往往只能给出某一次矿化作用的时间, 所以用一种方法或一个样品的

测定结果并不能完全代表矿床的成矿时代。另外，样品对所研究的地质体的代表性主要取决于地质研究的详细程度，而不同研究者对此的理解也不完全相同。上述这些问题都不同程度地影响着测年的准确性。

2 结 语

总之，对金成矿流体来源的传统认识已受到来自多方面的挑战，仍需进行深入研究；对金沉淀的研究，近 10 多年来也有较大进展，出现了许多修正传统认识的理论和实验结果。尽管如此，由于金成矿流体作用涉及到热力学和动力学等复杂过程及诸如水-岩反应界面特性、界面化学和纳米金成矿等许多问题；有关成矿构造动力学的研究实际上仍处于早期探索过程；关于脉状金矿床的成矿时代仍存在着认识上和测试方法上的许多问题。综上所述，我们对脉状金矿床成因研究仍将有一个深入探索过程。

参 考 文 献

- 李景春, 毋瑞身. 1999. 脉状金矿床研究的若干问题. 贵金属地质, 8 (2): 110 ~ 114.
- 李景春. 1995. 金在热液流体中存在形式的讨论. 贵金属地质, 4 (4): 307 ~ 311.
- 涂光炽, 等. 1984. 金的经济地质学. 北京: 地质出版社.
- Boyle R W. 1984. 马万钧译. 金的地球化学及金矿床. 北京: 地质出版社.
- Rideley J, et al. 1996. Archean lode-gold deposits: fluid flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems. Ore Geology Reviews, (10).
- Shenberger D M, et al. 1989. Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 105 to 350 °C. Geochim. Cosmochim. Acta.
- Sibson R H. 1988. 1990. Fault structure and mechanics in relation to greenstone gold deposit. Nuna Conference on Greenstone Gold and Crust Evolution, D'Or, May: 54 ~ 60.