

隐爆角砾岩型金矿的成矿机理探讨*

Discuss on Minerogenesis Mechanism of Crypto-explosion Type Gold Deposit

宋保昌 张宝林 王 杰 徐兴旺

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

Song Baochang, Zhang Baolin, Wang Jie, Xu Xingwang

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

摘 要 本文探讨了隐爆角砾岩型金矿的成矿机理, 流体的地球化学性质、流体压力和热能在隐爆角砾岩筒形成过程中的作用和不同深度下隐爆角砾岩筒的形成过程。研究了隐爆角砾岩筒形成过程中, 主应力对角砾岩筒形态的控制作用及流体成矿过程中对围岩的选择性。

关键词 隐爆角砾岩 金矿 成矿流体 主应力

自 1985 年美国《经济地质》角砾岩型矿床专辑出版以来, 角砾岩型矿床引起了矿床地质学家很大的重视。在角砾岩矿床中, 隐爆角砾岩型金矿具有重要的价值。基于包裹体温度、压力和化学成分的研究, 发表了许多关于隐爆角砾岩型金矿床的文章, 但有关该类型金矿的成矿流体特征及流体含矿隐爆角砾岩筒的形成及角砾岩筒形态的控制因素则少见。本文以与隐爆角砾岩金矿床有关的火成岩侵入相为依据, 列举了我国主要有代表性的一些角砾岩型金矿, 讨论了隐爆角砾岩型矿床的成矿流体化学特征、成矿流体的力学性质和热能对隐爆角砾岩型金矿形成的贡献和主应力对角砾岩筒形态的控制作用以及流体对围岩的选择性。

1 隐爆角砾岩型金矿

(1) 与隐爆角砾岩型金矿有关的一些概念: 隐爆角砾岩型金矿是指赋存在岩浆期后热液隐爆作用形成的角砾岩中的金矿床。隐爆作用形成隐爆结构的岩石, 隐爆结构是指因爆炸性的能量释放造成的呈不同程度的环状结构, 表现出强烈的岩石变形特征。

(2) 含矿隐爆角砾岩构造形成深度及隐爆角砾岩型金矿的划分: 与金矿有关的含矿隐爆角砾岩构造(角砾岩筒, 角砾岩带)可形成在不同的深度上, 从大的次火山侵入体发育深度(包括浅成侵入体发育区)到小的次火山侵入体发育深度均可形成。对大多数这种构造来说, 甚至在次火山条件下, 都具隐伏(地下)性质。

前人对角砾岩型金矿的划分多是按角砾岩的岩石学特征来划分的, 更多的侧重学术角度。从应用角度来看, 按与成矿有关的火成岩侵位的深度及岩相来划分更加有意义。据此, 可以把隐爆角砾岩型金矿简单的分为与浅成侵入体有关的隐爆角砾岩型金矿, 与斑岩及次火山岩有关的隐爆角砾岩型金矿。由于火成岩在深度上的演化是一个连续序列, 且火山岩与次火山岩具有密切的相关性, 因此, 火山通道相的角砾型金矿在本文中也予以考虑。

角砾岩型矿床具有重要的价值。产在不同深度的火成岩中的隐爆角砾岩型矿床, 都可以含有单一的或伴生有从大型到小型的一系列金矿及其它金属矿产。美国的 Cripple Creek、Golden sunlight 和 Round Mountain, 澳大利亚的 Olympic Dam 和 Kidston, 加拿大的 Cinola, B.C., 等都是 50 吨以上的超大型金矿(Richard H.I., 1985)。东南亚许多国家也有一些与新生代火山次火山作用有关的隐爆角砾岩型大型金矿。中国许多大型金矿床属于隐爆角砾岩型或含有部分隐爆角砾岩型矿体, 如团结沟、归来庄、阿希、双王金矿均达到或接近特大型规模(50 t), 并有可能扩大为超大型金矿床。除此之外, 在斑岩型(铜)金矿床中, 角砾岩型矿体在整个矿床中占有重要地位, 相当的矿石产在角砾岩中。并且许多斑岩型矿床都含有一些具有经济意义

* 本项研究得到中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-Y-03)的资助
第一作者简介 宋保昌, 男, 1977 年生, 博士, 矿床地质专业。

的伴生金元素, 或者有的一些斑岩型矿床是以金为主的贫铜型金矿床(刘连登, et al., 1999)。

2 隐爆角砾岩型金矿的成矿流体化学特征

尽管不同类型角砾岩型金矿床表现出各自不同的一些特征, 但是它们都是地下深部的岩浆分离出的流体经过对围岩的改造形成的。因此, 研究初始与矿床有关的岩浆内的流体化学特征, 是研究所有岩金矿床成矿流体特征的一个重要方面。

(1) 含金流体从熔体中分离: 含金熔融岩浆分离结晶前, 金主要集中在熔体中。金从结晶熔体转移到含矿盐水的过程中, 受到两个因素的影响: 金在熔体和盐水之间的分异系数和熔体中初始的饱和水含量。目前观点认为: 成矿金属经过分异, 进入到一个出溶的岩浆挥发相内, 其特征是高的金属浓度的盐水(Audetal.et.al., 2001)。有数据表明金在盐水-熔体体系之间的能斯特分异系数的变化范围在 100~300 之间(Frank et al., 2001)。因此火成流体内的高的金属浓度是一个对成矿金属的极有效的提取过程, 相当数量的金可以从结晶的熔体中提取出来, 并且由含矿盐水运移到有关的热液系统中。由于成矿过程中熔体初始金属浓度的大小不占主导地位, 所以在某些地层中或某些高级变质岩区, 即使其源岩的金含量低于其地壳中的丰度值, 也可以形成大型甚至超大型的隐爆角砾岩型金矿床。

(2) 金在从结晶熔体内分离出的盐水中的存在形式: 实验数据表明含铜的人造花岗质硅酸盐熔体-金系统, 在低 HCl 含量条件下, 金可能是以氢氧化物的形式存在于盐水中。当氯的含量较高时, 金是以复杂氯化物的形式存在于盐水中(A.Audetal et al., 2001)。

3 流体在隐爆角砾岩筒的形成过程中所起的作用

在隐爆角砾构造形成过程中, 流体起到最主要的作用: 岩浆分异出的流体首先是岩浆热能和多种金属物质的主要载体, 可提供部分成矿物质; 其次, 流体内部可能建立偏高的压力, 且当压力改变时, 水溶液能发生爆炸, 使围岩发生破裂及角砾岩化。当水溶液从深部进入上部构造层时, 发生热传递, 这种热传递部分可转变为形成角砾岩的机械能(图戈维克, 1976)。

(1) 流体的力学效应在含矿角砾岩形成过程中的作用: 一般认为隐爆角砾岩筒的形成主要是由流体在物理化学环境急剧变化时爆炸形成的。但它的形成不是一次流体爆发作用就可以完成的, 而是多次重复爆炸的结果, 爆炸前缘向地表逐渐推进。爆炸活动以两种方式表现出来: ① 当压力由于流体爆发作用释放出来时, 表现为跳跃式的绝热膨胀; ② 析出的气相中将形成二元体系, 而二元体系间的化学作用具有链式作用的特点(图戈维克, 1976)。

此外, 流体对围岩还有压裂作用: Hubbert 认为在岩石中存在许多封闭的破裂、节理, 在破裂和节理切穿孔隙位置的岩石的强度系数非常的小, 当流体压力高于这种位置的岩石强度时, 在破裂的尖端将出现张应力集中, 破裂和节理迅速的生长(徐兴旺等, 2001)。这种作用对于成矿非常有利。

(2) 流体的热能在含矿角砾岩形成过程中的作用: 热能对角砾岩筒的形成也起着相当重要作用, 热能引发的对流等物理作用对于角砾岩筒内部的构造现象起着重要的作用。在热液沿通道上升过程中, 由于存在从流体中心到围岩的热力梯度, 将会发生热扩散、热对流现象和流化作用。热对流使大小不同的角砾发生不同程度的混合; 流化作用使角砾发生磨圆; 高温的流体对冷的围岩的作用还可起到热应力致裂作用; 热能对冷的角砾岩还有热变质作用, 在角砾岩的碎屑中常可见到轻微的热变质。

4 不同深度下隐爆角砾岩筒的形成方式

含矿流体可在不同深度的岩石中爆破形成隐爆角砾岩筒。当侵入体尚未最终固结时, 可在侵入体的顶部形成爆发角砾岩筒; 侵入体之上的围岩地层中也可形成含矿角砾岩爆发构造, 这种方式可形成斑岩型及次火山岩型隐爆角砾岩型金矿。

(1) 熔融岩体中形成的角砾岩爆发构造: 熔融岩浆在侵入体退化沸腾过程中, 在侵入的顶部形成大量挥发性气泡。这些挥发性气泡流沿一定的通道穿过熔融体时, 不断的发生绝热自发膨胀、爆发。在岩浆变冷时, 气泡流的活动逐渐停止。在气泡流穿过的地方, 所形成的壳发生破裂, 形成单成分角砾岩筒。岩浆期后热液沿这些角砾岩筒构造进行循环和充填时, 引起了交代作用和矿物质的沉淀, 形成矿化。Wolfe 称之为岩浆的气化爆破作用。

(2) 地下较浅层次固态介质中角砾岩爆发构造的形成: 地下斑岩型、次火山岩型角砾岩筒的形成可视为这种情况。其形成方式如下: 在含大量挥发分的含矿流体向较坚固的围岩的推进过程中, 利用断裂、断裂交汇处及其它的构造要素, 沿阻力最小的道路向前推进。挥发分气泡剧烈的甚至是爆发式的逸出可引起更多的超临界流体突然的降压沸腾, 这个过程中形成

角砾岩化。这主要是一个能量释放转化的过程,流体的热能转化为围岩角砾岩化所需的动能,使其发生角砾岩化。具体过程是,当构造空间从封闭系统转变为半封闭系统甚至是开放系统时,产生非常大的压力梯度,流体发生减压沸腾,其中的挥发分带走大量的热量,流体的温度也以相当大的速度下降,在这种减压降温的物理环境下,成矿元素陆续沉淀于角砾岩筒中,形成矿化角砾岩筒。

5 隐爆角砾岩形成的力学机制及其对形态的控制

自然界出现的隐爆角砾岩筒形态相当复杂,但其形成的力学机制则比较简单,角砾岩筒地表长短轴的比例可从1:1到 $>10:1$ (Richard, 1985)。地下岩层(变质岩、沉积岩)可视为连续介质。 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 为地下隐爆角砾岩筒爆发处的最大、中间和最小主应力。在连续介质中,隐蔽爆破角砾岩筒的爆发条件是流体压力大于围岩抗拉强度和最小主应力之和: $P > \sigma_3 + T_C$ 。不同矿山,角砾岩筒的大小、形态均不相同。角砾岩筒规模受流体爆发能量大小及围岩抗拉强度大小的控制;而总体形态则只受其3个主应力相对大小的控制。如图1所示,左边为角砾岩筒剖面示意图,右边为应力椭球体的正视图。当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, σ_1 为垂直方向时,形成垂直方向拉长的三轴椭球隐爆角砾岩筒(a);当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, σ_1 为水平方向时,形成的角砾岩筒形态为一扁平的三轴椭球体形态的隐爆角砾岩筒(b);当 $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ 时, σ_1 为水平方向时,形成等轴隐爆角砾岩筒,正视图为圆形(c)。(b)和(c)情况发生的原因主要是区域上存在较大的水平应力。此外,狭长椭圆状或带状角砾岩带的形成,可能是成矿期断裂带干扰了当时的主应力场,致使角砾岩带的分布严格受断裂带的控制。如堡子湾隐爆角砾岩型金矿床。

流体压力致裂作用在角砾岩发育过程中起着重要作用。王杰在“八五”期间煤田有控压裂的实验研究证明,水压致裂的方向是可以控制的,在一定装置条件下形成的有控压裂方向始终垂直于最小主应力的方向,有控压力条件下裂隙的形成和扩展与岩体中先存断裂构造的产状无关(王杰, 1986)。地下流体爆发前的应力条件与有控压裂条件非常相似,故这个结论可以移用于地下某些角砾岩筒的形成机理。因此,角砾岩筒的发生、发展也是严格的受到围岩主应力条件制约。当已有断裂等构造条件与围岩的3个主应力条件不一致时,即使有较好的成矿构造,也不能成矿。

流体压力致裂作用在角砾岩发育过程中起着重要作用。王杰在“八五”期间煤田有控压裂的实验研究证明,水压致裂的方向是可以控制的,在一定装置条件下形成的有控压裂方向始终垂直于最小主应力的方向,有控压力条件下裂隙的形成和扩展与岩体中先存断裂构造的产状无关(王杰, 1986)。地下流体爆发前的应力条件与有控压裂条件非常相似,故这个结论可以移用于地下某些角砾岩筒的形成机理。因此,角砾岩筒的发生、发展也是严格的受到围岩主应力条件制约。当已有断裂等构造条件与围岩的3个主应力条件不一致时,即使有较好的成矿构造,也不能成矿。

6 流体爆发之后流体性质的变化

流体发生隐爆作用后,其各种性质必然要发生改变。主要表现在化学和物理变化。

(1) 流体的化学变化:在隐蔽爆破点流体爆发之后,流体所处的化学场及流体本身都发生改变:流体的pH值、Eh值、不同元素的含量都会发生改变。其中围岩蚀变是一个重要的方面,流体与围岩发生交代,使围岩发生蚀变,同时自身化学性质也产生变化。

在与岩浆热液有关的隐爆角砾岩筒中,绢云母化是一种最常见的蚀变,通常还伴有电气石化、绿泥石化和硅化;在与斑岩系统有关的蚀变中,以黑云母和钾长石为主的钾化是主要的蚀变;在与浅成岩浆有关的角砾岩筒中,最特征的蚀变是作为浸染性交代产物和碎屑胶结物广泛分布的石英,经常以玉髓的形式出现。围岩蚀变的同时,流体也可以淬取出围岩中的成矿元素,使其占矿体的一部分。因此,总的看来,流体对围岩的蚀变不仅是元素交换过程,更重要的是成矿元素再富集的过程。

(2) 流体的物理性质变化:流体物理性质的变化表现在流体所处温度场、压力场等的变化。流体发生隐爆作用后,流

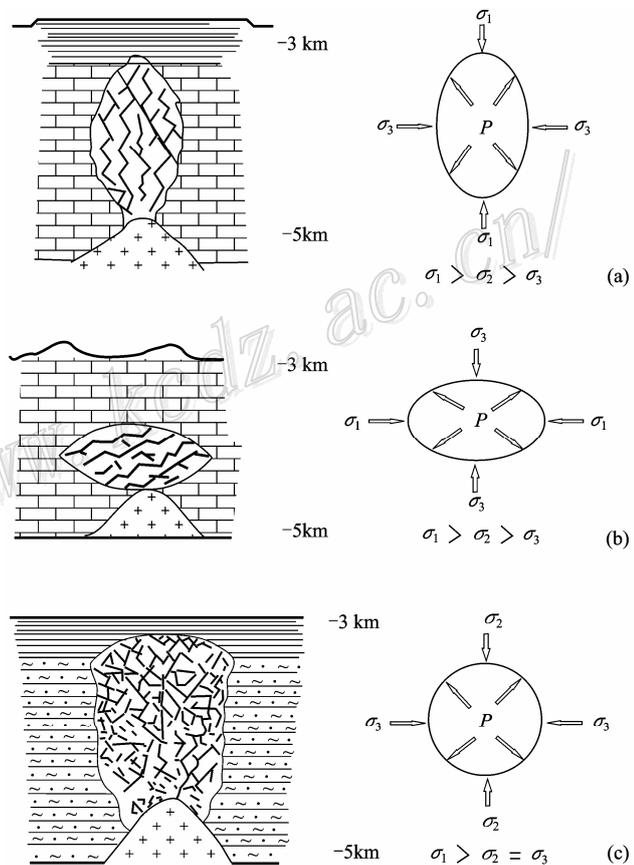


图1 主应力对角砾岩筒的形态控制

体所处环境的温度梯度和压力梯度都发生了急剧的变化, 由原来的封闭系统转为半开放系统甚至开放系统。

由于隐爆角砾岩型矿床的成矿是一种主动成矿的过程, 流体运移的通道也是很集中的, 因此, 该类型矿床找矿预测的重点应当放在寻找适宜的流体封闭与开放的构造、岩性条件。如果岩筒过多, 过密, 则可能使成矿元素分散, 不利于形成大规模矿床(张宝林等, 2000)。

7 成矿流体对隐爆角砾岩型金矿床围岩的选择性

金的成矿, 归根到底是含金流体的富集过程, 因此, 也可以说是流体的成矿。一般的说, 金的成矿对于围岩没有特别的选择性。这一特点在隐爆角砾岩型金矿床中依然适用。从表 1 中可以看出, 隐爆角砾岩型金矿床的围岩在岩性上可以包括三大岩类: 岩浆岩, 沉积岩和变质岩; 可以从酸性岩, 中性岩直到基性岩。新疆老山口一部分矿石产在闪斜煌斑岩质角砾岩中。但作为金的载体的流体在流动、扩散过程中有选择性, 它选择岩石的孔隙度, 角砾岩型金矿床正是对成矿流体对围岩具有选择性这一性质的很好说明。它和地下承压水有相似性: 周围为低孔隙度低渗透性的岩石作为圈闭层, 中间为高孔隙度高渗透性的岩石有利于含金矿物的沉淀。含金流体选择在高孔隙度的岩石中沉淀成矿。

8 流体作用的其它效应

流体边缘的剪切力可在围岩中产生一些类似韧性剪切带的构造形迹; 当具较大规模的成矿流体的流体源中的物质——气体、液体转移后, 流体源处将形成空腔, 由于回弹作用, 势必将引发围岩的调节, 从而导致一些正断层等构造现象的发生, 可视为流体作用的滞后效应。

致谢: 王杰、蔡新平对本文提出了宝贵意见, 并且在写作过程中给予关键性的指导。在此表示感谢!

参 考 文 献

- 葛良胜. 1994. 用期熊耳山东部岩浆隐爆角砾岩体地质特征及其含矿性差异原因初探[J]. 黄金科学技术, 2(3).
- 黄民智, 陈伟十, 李蔚铮, 等. 1999. 广西龙头山火山~隐爆角砾岩型金矿床[J]. 地球学报, 20(1):39~46.
- 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 2001. 新疆阿希金矿浅成低温流体特征[J]. 黄金地质, 7(1):39~46.
- 姜晓玮, 王永江, 程博. 2001. 西天山阿希型金成矿系列的成矿流体特征[J]. 地学前缘, 8(4):277~280.
- 李胜荣. 1995. 以隐爆角砾岩型为主的金矿床系列模式[J]. 有色金属矿产与勘查, 4(5):272~277.
- 李先福, 李建威, 李紫金, 等. 2001. 水力压裂角砾岩: 一种重要的地质异常和找矿标志[J]. 地球科学, 26(2):135~138.
- 刘连登, 李颖, 兰翔. 1999. 论角砾/网脉-斑岩型金矿[J]. 矿床地质, 18(1):29~36.
- 罗镇宽, 关康. 1995. 河南祁雨沟金矿床地质地球化学特征和矿床成因讨论[J]. 贵金属地质, 4(1):1~11.
- 罗镇宽, 苗成来, 关康. 1999. 角砾岩型金矿床: 一种值得重视的金矿床类型[J]. 地质找矿论丛, 14(4):15~23.
- 邵世才. 1995. 爆破角砾岩型金矿床的成因及其定位机制[J]. 矿物学报, 15(2):230~235.
- 沈昆, 倪培, 林景任. 2001. 鲁西南归来庄金矿成矿流体特征和演化[J]. 地质科学, 36(1):1~13.
- 陶奎元. 1997. 台湾金瓜石金(铜)矿床及其与福建紫金山铜(金)矿床的比较[J]. 火山地质与矿产, 14(4):260~275.
- 王书来, 樊江, 祝新友, 等. 1998. 豫西隐爆角砾岩型金矿特征与形成条件[J]. 有色金属矿产与勘查, 7(4):203~209.
- 王照波. 2001. 隐爆岩及其形成模式探讨[J]. 地质找矿论丛, 16(3):201~205.
- 徐兴旺, 蔡新平, 王杰, 等. 2001. 流体构造动力学及其研究现状与进展[J]. 地球科学进展, 16(3):324~331.
- 喻亨祥, 夏斌, 郑永飞. 2001. 新疆老山口金矿岩浆隐爆角砾岩地质地球化学[J]. 地质地球化学, 29(4):21~26.
- 张宝林, 蔡新平, 韩金良, 等. 2000. 含矿流体集中沉淀的主要制约因素[J]. 地学前缘, 7(sup):238.
- 张宝林, 韩金良, 高浩, 等. 2001. 山西堡子湾金矿区成矿流体场特征与隐伏矿床定位预测[J]. 地质地球化学, 29(3):179~184.
- 章邦桐, 饶冰, 陈培荣, 等. 2001. 论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制[J]. 矿床地质, 20(2):129~136.
- 赵嘉农, 任富根, 丁士应, 等. 1998. 元古宙爆破角砾岩型店坊金矿[J]. 前寒武纪研究进展, 21(1):1~10.
- Burnham C W. 1985. Energy Release in Subvolcanic Environments: Implications for Breccia Formation[J]. Economic Geology, 80(6):1515~1522.
- McCallum M E. 1985. Experimental Evidence for Fluidization Process in Breccia Pipe Formation[J]. Economic Geology, 80(6):1523~1543.
- Richard H. 1985. Illite-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs[J]. Economic Geology, 80(6):1467~1514.