

# 水岩反应中成矿流体浓缩理论 在矿量预测中的应用

林文蔚\*

殷秀兰

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京) (中国地质科学院地质力学研究所, 北京)

**提 要:** 初始稀薄的含矿流体在其生成、运移、演化的过程中, 通过水-岩反应, 生成宽广的含水蚀变带, 水与 C、S 等物质反应消耗自由水以及流体沸腾等作用, 使体系中自由水大量减少, 促成残余流体浓缩。依据这种流体浓缩理论, 借助流体包体的分析资料, 可以进行深部矿量预测。本文以福建上杭紫金山铜金矿为例, 阐述这种方法的实际应用。

**关键词:** 成矿流体 水-岩反应 浓缩 储量预测

近 20 年来, 研究了各种储量的预测方法, 这些预测方法主要以类比法为核心, 建立各种矿床地质模型和统计模型进行预测, 但多年的预测结果却不尽人意, 有鉴于此, 必须着眼于具体矿区成矿规律的研究, 采用新的思路和方法。为此, 本文基于水-岩反应中成矿流体的浓缩理论, 推出一种新的预测方法, 以福建省上杭紫金山矿区铜储量预测为例, 阐释该种方法的理论依据、实施步骤。

## 1 水-岩反应中成矿流体浓缩理论

### 1.1 水-岩反应中成矿流体的浓缩作用的基本概念

所谓成矿流体的浓缩作用是指含矿流体在其运移、循环过程中, 由于物理化学条件的变化和水-岩反应造成自由水的逸失, 体系中水量减少、致使剩余流体浓缩的地质作用。这一作用的直接结果是使残余(剩余)流体中金属浓度增高, 促使金属络合物达到饱和。С. Л. Шварцев 指出, 成矿水溶液在其演化过程中, 即伴有水的分解也伴有水分子向结合水和结构水状态的转化, 即自由水数量逐渐减少, 这种浓缩可达十倍以上, 在各别情况下可达 100 倍。С. Р. Крайнов 等通过实验研究和热力学模拟指出: “当花岗岩-水体系的模拟达到平衡状态时, 体系中水相的数量减少在 3 个数量级以上”。

### 1.2 天然成矿流体系系统浓缩的主要方式

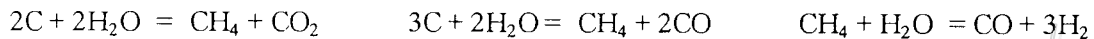
(1) 水-岩反应中的热液蚀变带的形成与水的浓缩各类与热液活动有关的矿床都伴随广泛的蚀变作用, 伴有大量含水矿物的形成, 如在酸性淋滤阶段发育有白云母<sup>①</sup>(4.54)、绢云母(6.19)、水白云母(6.37)、绿帘石(1.88)、黝帘石(2.24)、绿泥石(11.16)、伊利石(7.12)、叶蜡石(5.23)、迪开石(13.91~14.10)、蒙脱石(7.12)、高岭石(14.23)、多水高岭石(19.79)、沸石(9.5~21.3)等富水矿物。这足以说明在成矿作用中大量的水

\* 林文蔚, 男, 1941 年生, 研究员, 从事矿床学、地球化学研究。邮政编码: 100037

① 括号内的数字表示矿物中的含水量

通过水-岩反应“固化”在蚀变岩中，促成了含矿流体的浓缩。如胶东三山岛金矿区围绕主矿体形成广泛的黄铁绢英岩交代建造，通过蚀变岩填图和容矿构造研究得知，这种固化在蚀变带中的水量约等于容矿构造一次储水量的三倍以上，这就需要构造带的多次开合，伴有成矿溶液的多次浓缩和新的流体的补给，促成了溶液物理化学状态的改变和矿质的沉积。

(2) 成矿流体中 C、S 等组分的加入能大幅度促进水的浓缩作用：在大多数金属矿床中，特别是在金矿床中，都有大量的碳质出现，碳质和有机质对金成矿的作用主要表现为：① 碳质对金的吸附作用；② 形成金属的有机质化合物，改变成矿体系的物理化学环境，促使成矿元素淀积。除碳质在上述的成矿作用外，我们认为最具有普遍意义的是碳与水反应能大幅度地促使成矿流体的浓缩。除卡林型金矿具有显著的高碳含量外，含 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等包体在各类金矿床中几乎均可见及，如在阜山金矿流体包裹体的气相组成中 CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> 占气相的 71% ~ 100% (摩尔百分数)，在含液相 CO<sub>2</sub> 的包裹体中则完全由 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、SO<sub>2</sub> 构成。碳质的存在 (在原生热液中) 和碳质的加入能极大地改变成矿溶液的性质，并通过碳-水反应改变体系中的水/岩比，如下述反应 (仅表示其质量平衡)：



由上可见，由于碳-水反应促使了水的分解，形成碳质化合物，促使流体体系中自由水减少。

地层中硫的捕获，在高温状态下与水反应形成硫氢化合物也能使体系中的水发生浓缩。并可能使含矿流体向酸性演化。

由于裂隙中的水与围岩反应，促使构造带内水的减少，内压降低，必然引发体系外围水的补给，发生流体的混合冷却作用，导致金属矿物的淀积。

(3) 沸腾、酸碱分异及流体相的浓缩：在成矿流体沸腾过程中，CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub> 等酸性组分大量逸出，同时引起水的广泛气化，促成残余流体相盐度增高，pH 值增大，流体冷却，金属络合物饱和程度增强，体系内压的减小导致了新的流体的补给，又促成了混合-冷却机制的发生，致使金属硫络合物的解体。

## 2 矿量预测

(1) 矿量预测原理与方法：依据水岩反应进行矿脉、矿床、矿区的储量预测的基本原理是：总矿量 = 成矿流体的总量 × 流体中金属含量

成矿流体总量包括形成蚀变带所需水量，以及由于 C、S 与水反应所需水量以及流体沸腾所逸失的水量。在通常情况下只有蚀变带中“固化”的水量能较准确求出，C、S 等等元素分解的水可依据岩石化学分析及流体成分资料概略推定，而在沸腾中逸失的水量目前尚难准确求出，只能概略计算。

目前成矿流体中金属的浓度的确定可借鉴下述方法：① 对成矿流体包裹体进行高精度的成分分析，直接测定重金属的浓度；② 针对所研究的矿区进行实验研究是厘定金属元素迁移形式、溶解度的重要方法；③ 利用流体包体的分析数据确定 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的含量，我们可以依据 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的含量计算出热液中硫总量，再根据各硫化矿物中金属的平均含量计算出成矿流体中金属总量。看来这是目前具有较强实用价值的计算方法；④ 依据地质模型计

算或推断溶液中金属的浓度，如我们在玲珑花岗岩的重熔模型的基础上，采用最优化的数学方法，得出玲珑花岗岩流体相中金浓度在  $200 \times 10^{-9}$  以上；⑤ 经验方法：在矿床勘探的初期阶段，资料较少，参照矿区内地球化学资料，综合考虑异常的特点和有关参数进行确定。

## 2.2 矿量预测实例

以水岩反应水的浓缩理论为基础对福建上杭紫金山矿区铜金属量进行预测。紫金山矿区具有强烈的交代蚀变现象，从外向内展布有绢云岩化带→石英-迪开石交代带→石英-明矾石交代带。矿区中心部分发育有高硅质交代岩带（图 1）。该图展示了各交代带的分布状况，据此可以确定各带的规模，参照紫金山矿区的勘探资料，确定蚀变带的延伸达 1500 m 以上。岩石体重按  $2.8 \text{ g/cm}^3$  计算，石英-迪开石带平均含水量为 5.7%，石英-明矾石带为 6.72%。

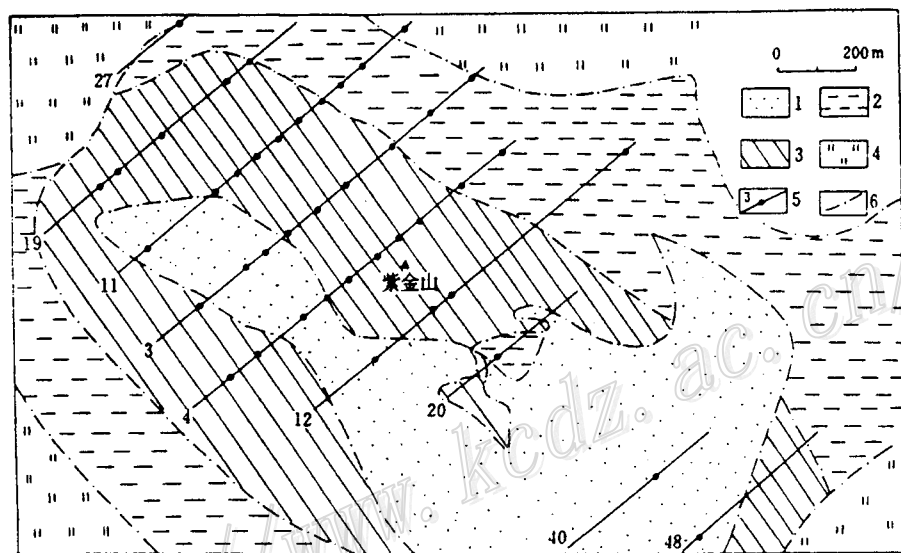


图 1 紫金山矿床交代岩相分带地质平面图

(据张德全等, 1992)

1—强硅质交代岩相；2—石英-迪开石交代岩相带；3—石英-明矾石交代岩相带；4—石英-绢云母交代岩相带；  
5—勘探线；6—地质体界线

矿产储量的预测计算采用两种方法：其一是依据目前对热液中有关铜溶解度的资料，估测流体中铜的浓度进行计算，另一种方法是以流体包裹体成份分析数据为依据进行计算。以下简单叙述这两种方法的实施步骤：

(1) 以流体中铜浓度的估测值所进行的预测：由图 1 可以确定各交代带的规模：石英-迪开石带长 2182 m，图上宽度为 1727 m，其中圈闭有石英-明矾石交代相，宽 1000 m，所以石英-迪开石带的净宽为 727 m，深度 1500 m，石英-明矾石带长 2182 m，宽 1000 m，深 1500 m。岩石体重按  $2.8 \text{ g/cm}^3$  计算，上述两带的平均含水量分别为 5.7%、6.72%，据此可计算出石英-迪开石带所“固结”的水为 6662518800 t，石英-明矾石带为 9164400000 t。总水量 995611251.6 t。以溶液中铜的浓度为  $1000 \times 10^{-6}$  进行估算，得到预测储量为 995611.25 t。

上述计算方法简单,但是溶液中铜浓度的确定仅能依靠现有的资料进行估定,这无疑降低了计算结果的可信程度,但是随着流体包裹体研究的进展,在不久的将来这一方法便成了简单快速准确的方法了。

(2)以流体包裹体分析资料为基础的计算方法:以流体包裹体分析资料为基础的计算方法无需假设溶液中金属浓度,而是利用流体包裹体中关于 $S(SO_4^{2-})$ 的测试结果直接计算出流体中 $S$ 的总量,然后按两种方法计算铜金属量。其一是根据探矿、采矿中所获得铜/硫比进行计算,其二是以矿石中硫化物种类、相对含量、矿物中 $S$ 的含量计算出与所要预测的金属相结合的 $S$ 数量,进一步计算出金属总量。以紫金山矿区石英-明矾石交代带中铜总量预测为例予以说明:①按前述的方法求出石英-迪开石带,石英-明矾石带水的总量分别为379763571.6 t及615847680 t,总水量995611251.6 t;②按流体包裹体分析数据,石英-迪开石带 $SO_4^{2-}$ 的含量为1.62 g/L,石英-明矾石带为27.51 g/L。据此可以计算出流体中 $SO_4^{2-}$ 总量,石英-迪开石带为615216.99 t,石英-明矾石带为16941969.7 t,由于铜矿体主要分布于石英-明矾石带中,故只对石英-明矾石带进行计算;③由 $SO_4^{2-}$ 的数量计算出 $S$ 含量,石英-迪开石带为205337 t,石英-明矾石带为5654613 t。以下采用两种方法由 $S$ 的数量计算出铜金属量:A.由矿石化学分析、矿山勘探、开采等到资料确定矿区的 $Cu/S$ 比,本文采用的 $Cu/S$ 为0.19。依此比值计算出铜储量。石英-明矾石带为1074377 t,石英-迪开石带应小于、等于39014 t。紫金山矿区铜总量约为113万吨。B依据铜矿石分析数据计算出 $S$ 在蚀变岩和矿体中的比例,计算方法参见文献[3],得出这两者的分配比例,岩石为0.45,矿石为0.55,计算出矿石中 $S$ 的数量为3110037 t;

矿石中黄铁矿占80%,含铜矿石占20%,含铜矿物以蓝辉铜矿为主,为简单起见,以蓝辉铜矿进行计算,得出与蓝辉铜矿结合的硫为290167 t;按蓝辉铜矿的 $Cu/S$ 比换算成 $Cu$ 的总量,其值为1035156 t。

由计算过程可见,以流体包裹体的成分分析数据为依据的计算方法无需做任何假定即能得到计算结果,这是目前可以广泛采用的方法。这三种计算方法预测出紫金山矿区铜金属量可能为99~113万吨。其中90%以上的铜储量分布在石英-明矾石带中。应该说明,依据水-岩反应流体浓缩理论所预测的储量大多数情况下是实际储量的下限,在一般情况下是能够通过地质勘探得到的。不仅如此,它还能提供关于深部矿化的有关信息。

由以上的概略叙述可以看出,水-岩反应中水浓缩理论不仅有重要的理论意义,而且有着重要的实用价值。

### 参 考 文 献

- 1 张德全,李大新,赵一鸣等.紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带.北京:地质出版社,1992.
- 2 林文蔚,殷秀兰.成矿流体的浓缩作用及浓缩方式研究.地球科学,1998,(2):158~165.
- 3 林文蔚.岩(矿)石中真实矿物组成的计算及矿物化学成分的初步逼近.岩石学报,1987,(2):37~51.
- 4 林文蔚,赵一鸣,赵国红,彭聪,赵维刚.胶东西北部金矿的控制因素.矿床地质,1997,16(2):107~119.
- 5 Краинов С Р, Рыженко В Н, 与有争议的地下热水地球化学问题有关的具有挥发性阴离子(Cl, S, C)团的花岗岩/水体系地球化学过程的模拟.林文蔚译.国外矿床地质,1997,(1):1~15.
- 6 Ковалеко Н И, Рыженко В Н, Бар-суков В К Т Л.花岗岩-SnO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-HCl体系中云英岩化作用的实验与计算机模拟.林文蔚译,国外矿床地质,1997,(1):16~29.
- 7 Коваленко Н И, Рыженко В Н 等.花岗岩-SnO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-HF-NaF体系中云英岩化的实验与计算机模拟.林文蔚译.国外矿床地质,1997,(1):30~44.