

热液成矿动力学的基本理论研究

王维¹⁾, 汤静如²⁾, 刘正安¹⁾

1) 四川省核工业地质局二八一大队, 西昌, 615000; 2) 桂林理工大学地球科学学院, 桂林, 541004

长期以来, 热液矿床仅局限于岩浆期后热液矿床, 而热成矿溶液形成的、非岩浆热液矿床, 则被视为非热液矿床。随着现代技术的不断发展, 对热液矿床的认识发生显著变化, 认为热液矿床是地幔热流上侵与上部岩石发生各种反应形成的(杜乐天, 1992)。虽一定程度上阐释了热液矿床的成矿机理, 但不全面。热液是形成热液矿床最基本、重要组成, 对其气相和液相进行研究(陈天虎等, 2001; 胡宝群等, 2009)很必要。同时, 热液矿床成为地质作用的产物, 从动力学机制上对其进行研究是最直接、基本要求, 对认识热液矿床有重要意义(孙宝田, 1984; 宫同伦, 1989; 杨兴科等, 1992; 鲍征宇等, 1994; 赵伦山等, 1994)。

1 流体热液成矿过程

热液成矿过程是成矿物质分离并富集的过程。成矿元素在局部的富集并形成分带是成矿热液的非线性脉冲和环境介质的线性弥散取得平衡而形成的相干结构(於崇文, 1999): 热液侵入前原岩中物质成分处于均匀定态, 热液侵入则刺激(扰动)该平衡, 当非平衡水平超过临界值时, 成矿物质开始富集, 近似均匀的围岩局部成矿物质浓度急剧增加, 成矿物质富集。

同时, 从地质流体过程的角度来看, 形成热液矿床有 3 个条件: (1) 富含金属流体的“源区”; (2) 具有某种特定物理化学条件突变, 以适宜于金属的“沉淀区”; (3) 沟通“源区”和“沉淀区”的通道。这三者是靠营力流体作为媒介, 最终形成矿床: 流体作为溶解剂从“源”萃取成矿物质; 作为携带者把巨量的成矿物质带到“沉淀区”; 而在抵达“沉淀区”时, 条件的突变使得溶解的成矿物质“集中”沉淀(梁俊红等, 2001)。流体对成矿物质的萃取、搬运和沉淀直接与岩石的渗透率有关, 渗透率问题

以及更具体化的岩石断裂和流体流动问题、岩石变形和流体之间相互作用等成为研究热液矿床的热点。

1.1 流体运动的驱动机制

应力是流体的驱动力, 其对渗透率具多方面作用。首先, 当应力施加岩石上时, 孔隙会收缩或塌陷, 导致渗透率降低; 或在围压作用下, 断裂开度缩小引起渗透率快速衰减(周利敏等, 2008)。其次, 应力突然释放导致破裂发生(图 1), 断裂在增加岩石渗透率的同时也改变流体的分布。

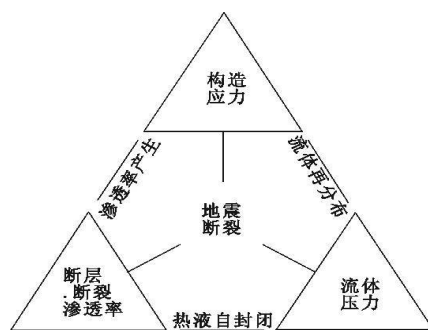


图 1 地震断裂作用三角图解

流体运动驱动机制主要包括重力驱动、浮力驱动和应力驱动(季克俭等, 1992)。重力驱动主要发生在地壳浅部, 流体压力接近于静水压力。地形的起伏是控制流体水头梯度并进而决定流体流动的主导因素。在重力驱动机制下, 流体可以渗透到地下数千米到万米, 而流体运移距离可达几百千米到上千千米。浮力驱动机制源于流体的温度差、浓度差, 表现为热对流系统、浓度对流系统。应力驱动机制是由于压实作用、化学成岩作用和区域应力场及构造扩容作用等异常压力梯度产生的瞬态流场, 其能通过改变表面积等形态特征最终对水岩反应中矿物的溶解度、溶解速率等起到控制作用(杨光忠, 2007)。

1.2 热液矿床中普遍存在对流

1.2.1 成矿热液在裂隙内是流动的

通过以下现象可以说明成矿时成矿热液在不停流动：云母、黄铁矿等小晶体出现在石英脉晶洞中的水晶朝上的晶面，而朝下的晶面没有；石英脉脉壁的锡石晶体不对称的生长环带；同一成矿阶段的矿物出现两种相反的分带，在钨多锡少的地区，分带呈上锡下钨(漂塘等)，而在锡多钨少的地区，分带呈上钨下锡(栗木水溪庙等)(徐克勤等, 1981)；在一个矿床或一条矿脉中，各种矿物的分布极不均匀，黑钨矿常呈砂包出现在矿脉形态、产状变化处，且间隔一定距离出现。

2.2.2 成矿时裂隙腔周边是闭合的

大量现象、事实说明成矿时裂隙腔周边是闭合的：

(1)石英脉向深部及沿走向尖灭的现象是普遍存在的：如不少内接触带矿床，石英脉向上至花岗岩与角岩接触时逐渐或突然尖灭；石英脉一进入角岩也很快尖灭，脉侧角岩没有明显的蚀变现象；产于外接触带的矿床，石英脉向上也趋于尖灭，不通地表；一些具有“五层楼”分带的矿床，石英脉向上都明显分散成细脉线脉带而尖灭(汪劲草等, 2008)。这些都说明石英脉向上是闭合的。

(2)柳志青用地层厚度法对瑶岗仙钨矿进行计算，其顶部压力为 367Pa，底部压力为 705Pa(柳志青, 1981)。倪纪文用 CO₂ 包体密度法测定成矿时裂隙腔内的压力为 700Pa~720Pa(倪纪文, 1994)，与裂隙腔底部的围压相近，同样说明成矿时裂隙腔是闭合的。

(3)石英脉脉侧有不同程度的围岩蚀变，但除了深部碱性长石化带较宽外，蚀变带很少超过 1m，说明裂隙腔的封闭性较好，上部进入围岩进行物质交换的溶液很少(何立贤, 2006)。

2 矿床对流循环运动的动力

由上可见，成矿时裂隙腔周边是闭合的，溶液充满裂隙腔后既没有大量漏出，也不可能大量补充。所以，在一个周边闭合的裂隙腔内，溶液的流动只能是对流。

2.1 裂隙腔被充满前的压力差

裂隙腔被填充前存在压力差。起初，热液存在于花岗岩矿物颗粒间空隙中，当应力释放，花岗岩及其邻近的受热围岩冷凝收缩使裂隙张开，裂隙腔的压力比围岩压力小。此时，热液迅速进入裂隙腔中，直到压力达到平衡为止(张德会, 1996；张映红等, 2003)。由于压力突然降低，先进入的热液发生气化，使溶液急剧冷却、显著过饱和，早期石英英脉脉壁的糖粒状石英就是证明。

2.2 裂隙腔被充满后的温度差、浓度差

在内接触带矿床中，一些矿脉的围岩蚀变下部主要是碱性长石化，上部则是云英岩化，说明矿脉形成时下部温度较高，上部温度较低，存在垂直温差、浓度差。从矿床矿脉的纵投影图上发现，云英岩化带和碱性长石化带的分界线岩体顶板近于平行，且随着岩体顶板的起伏而起伏。而一些脉石英包裹体爆裂温度等值线与岩体顶板等高线也相吻合()。这些现象说明裂隙腔内不仅存在垂直温差，还存在水平温差。受温差作用，裂隙腔发生对流，从而发生上下不同物质的运动、交换(杨斌等, 2004;)。同时，热液与围岩(花岗岩)发生反应后，成份也发生变化(郝英, 2002)。

3 结语

热液成矿受多重因素共同决定影响，流体、构造、动力等是其中关键因素。渗透率决定着流体运动方向，而流体和流体运动又改变着岩石介质特征，两者的耦合作用为热液成矿提供了条件。流体在动力作用下通过构造运动并形成矿床，它们相互关联，热液矿床的形成是其耦合作用的产物。热液成矿分带的结构特征与其形成的动力学机制是：①形成截然的分带边界；②从下游至上游，交代前锋以递减的常速向下游移动；③形成定常成分的分带序列；④交代前锋和交代分带同时发生和发展；⑤多组分成矿系统自发产生不同矿物组合和元素组合的时空热液矿床的分带结构是成矿耗散系统的一种空间相干结构(张德会等, 1996)。