

# 热液矿床水相变控矿的理论及相关问题的思考\*

胡宝群<sup>1</sup>, 吕古贤<sup>2</sup>, 王方正<sup>3</sup>, 孙占学<sup>1</sup>, 李满根<sup>1</sup>

(1 东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 江西 抚州 344000; 2 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 3 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

之所以称热液矿床, 就是在其形成过程中曾有热液的参加, 而这些热液主要组分是水, 水是影响热液成矿作用最主要因素。对水的研究, 除了要重视水的来源、不同介质之间的化学反应、地质背景及演化等因素外, 水的相变及由此引起的物理化学性质突变也是透视热液成矿作用过程的窗口。

## 1 热液矿床水相变控矿理论及意义

水是成矿热液的主体, 水的热容值通常是岩石的 4~5 倍, 渗透性和流动性强, 是成矿物质和能量的携带者和传递者。当水发生相变时可引起热容、水中矿质溶解度、压缩系数和膨胀系数等物理化学参数突变, 特别是在临界点处二级相变时还出现“临界奇异性”, 热容、压缩系数和膨胀系数等部分参数趋于无穷大, 与水在非相变区理化性质的小幅度渐变区别明显, 必将影响成矿物质的活化、迁移和沉淀。而水是否相变及相变种类取决于构造、岩浆活动及地温梯度等; 按岩石圈正常地温线, 则直接取决于断裂、褶皱和韧性剪切等降压条件是否存在。水的相变是连接微观和宏观控矿因素的纽带。水相变研究从物理化学角度揭示出成矿作用与断裂及岩浆活动等之间的内在联系, 可在热液成矿作用中建立起流体系统与构造系统之间的关联, 由此还可以通过热液成矿作用研究来探讨区域大地构造演化。

## 2 热液矿床水相变控矿理论的 3 个关键

① 水在相变区和非相变区物理化学性质的明显差异, 使含水系统中成矿物质带入、带出成为可能。在气-液相变线(含临界点)及超临界区拟相变线上, 水的热容、成矿物质在水中的溶解度、压缩系数、膨胀系数等物理化学性质明显增大、甚至临界奇异性突变, 明显区别于非相变区的小幅度的渐变。在相变线(含临界点)上热容、溶解度等物理化学性质的突然增加或出现临界奇异性, 这正是以水为主体的热液溶解成矿物质的时刻, 而非直接成矿。因此, 含水体系临近相变即“将相变而未相变”状态保持的时间越长, 越利于成大矿、富矿。② 出现与相变线(及临界点)温压一致的地质环境, 促使成矿物质大量活化进入热液。在岩石圈中, 水出现物理化学性质突变的关键是: 含水体系的温度和压力同时达到相变线(含临界点)上的温度和压力。正常地温梯度、封闭的岩石圈中不出现水的物理化学性质突变。在岩石圈中降压是促成水发生相变、物理化学性质明显变化的必要条件。在脆性环境中断裂破碎带无疑是降压相对应的地质条件, 在塑性环境中韧性剪切、褶皱等也可能造成局部降压。③ 后期局部降压使水相变而释放出成矿物质。在相变线和拟临界相变线上溶解度有极大值、随着温压对相变线的偏离、极大值快速消失。沉淀速度最大的温压点对应的就是物理化学变化的拐点。矿质及相关的脉石矿物沉淀过程将发生在溶解度等明显降低的温压区, 即体系性质变成开放时矿质沉淀才发生。

\*本文得到国家自然科学基金资助项目(40862005 和 40872165)、江西省自然科学基金资助项目(2008GZH0053)和江西省教育厅科技项目(2007-230)资助

### 3 与热液矿床水相变控矿理论相关的一些思考

仅从热液矿床水相变控矿理论角度,重新审视一些地质现象,会产生一些新思路。

① 大量热液矿床包裹体均一法测温结果显示为 100~450℃之间,这正对应水气-液相变线及超临界区拟相变线物理化学性质明显变化的温度段。热液成矿作用时间上的期次性,温度上的期次性,断裂活动的期次性,可通过水相变分析建立它们之间的联系。不少论文论及沸腾对金、铜、铀成矿的意义,应是以水为主体的流体发生一级相变而成矿。② 深源成矿论的矿质来源深度大致为水的临界温度相对应的深度。岩石圈深部高温压的超临界流体不一定具有强的溶解能力,只有温压接近于临界点处的超临界水才具有很强的浸取能力。这可能是岩石圈中超临界水常有而热液矿床(特别是大而富的热液矿床)不常有、仅出现一些特殊区域(如减压环境)的根本原因。③ 成矿作用过程中水的来源推测相当一部分水是因地温状态和地压状态的改变,原赋存在各类岩石裂隙中及矿物中的水,被活化迁移出来。如华东南构造伸展阶段、形成断陷盆地的时期深部热物质上拱,地温梯度提高,形成一些深大断裂,热压存在的封闭条件消失,地压梯度降低,相应地各种岩石的熔点降低,矿物脱各类水的温度也将下降。这些因素使原赋存于矿物中和岩石裂隙中的水份部分脱出,有利于火山岩和侵入岩的形成,也为板内热液成矿提供水源。沿上述思路,华东南伸展期次与铀成矿期次的对应关系及成矿的脉动性可以得到较好地解释。④ 本理论认为油气的迁移是和水在一起、或溶于水中进行迁移的。降压使水发生相变,而使油水、油气分离。与降压条件相对应的有断裂降压和褶皱降压等。油气孕育或源头可能更深、很有可能达 374℃左右。这或许有助于油气无机成因的认识。⑤ 斑岩型矿床成矿作用的思考:由于斑岩所处的地区地温梯度高,斑岩岩枝可以高侵位至近地表 1.1~0.7 km 的深处,使含水热体系具有临界温压值,在理论上这时的水可以溶解大量的成矿物质。且这时的水是表面张力近于零的超临界水,可在岩体的空隙中近于无阻力运动,类似于罗照华等提出的“透岩浆流体”。若这种“临界相变而未相变”状态保持的时间越久对成大矿越有利。深部大岩基是提供大量水及成矿物源的保障,而上侵至地表的小岩株就成为一个成矿物质的“聚集器”,水的温度和压力临界值就是控制成矿的关键“阀值”。⑥ 中生代地壳减薄与热液成矿的关系:断裂产生、岩石圈破裂,即岩石圈局部的体系性质由封闭变为开放体系,热压存在的条件消失、地压梯度下降,必将影响同一压力值厚度计算的结果,进而影响矿床形成深度及岩石圈厚度演化的认识。岩石圈破坏,热压消失,矿物岩石的熔点降低,可造成岩石圈减薄的等效效应。断裂产生起到降压的效果,引发相变而与成矿作用相关。⑦ 矿种区域性分布的原因,一方面是深部基底及围岩不同所致,另外一方面还与各组分在热液发生相变时物理化学行为的差异有关。相变区和非相变区各组分溶解差异性对热液成矿作用有着重要影响,将带给人们很多成矿作用过程的信息,是下一步研究的重点。

#### 参考文献

- 陈衍景,陈华勇, Zaw K, Pirajno F, 等. 2004. 中国陆区大规模成矿的地球动力学:以夕卡岩型金矿为例[J]. 地学前缘, 11(1): 57-83.
- 侯增谦, 王二七. 2008. 印度—亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展[J]. 地球学报, 29(3):275-292.
- 胡瑞忠, 毕献武, 彭建堂, 等. 2007. 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题[J]. 矿床地质, 26(2):139-152.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 24(2): 99-107.
- 吕古贤, 邓 军, 李晓波, 等. 2006. 构造物理化学的思路、研究和问题[J]. 地质学报, 80(10): 1616-1626.
- 罗照华, 卢欣祥, 郭少丰, 等. 2008. 透岩浆流体成矿体系[J]. 岩石学报, 24(12): 2669-2678.
- 马东升. 2008. 华南重要金属矿床的成矿规律—时代爆发性、空间分带性、基底继承性和热隆起成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 209-217.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45-55.
- 倪师军, 金景福. 1992. 302 铀矿床热液的混合和沸腾及其地质意义[J]. 成都地质学院学报, 19(4):9-15.
- 王登红, 许建祥, 张家菁, 等. 2008. 华南深部找矿有关问题探讨[J]. 地质学报, 82(7): 865-872.
- 肖新建, 顾连兴, 倪 培. 2002. 安徽铜陵狮子铜-金矿床流体多次沸腾及其与成矿的关系[J]. 中国科学(D), 32(3): 199-206.
- 翟裕生, 吕古贤. 2002. 构造动力体制转换与成矿作用[J]. 地球学报, 23(2): 97-102.
- 张德会. 1997. 流体的沸腾和混合在热液成矿中的意义[J]. 地球科学进展, 12(6): 49-55.
- 张荣华, 胡书敏. 2001. 地球深部流体演化与矿石成因[J]. 地学前缘, 8(4): 297-309.