

过渡岩浆作用与斑岩铜矿床

王龙生* 芮宗瑶

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 深源花岗质岩浆受深断裂控制高侵位, 产生过渡性花岗岩浆, 在这种过渡性岩浆的演化过程中必然形成独立流体相, 释放出蒸汽缕。当上侵到 1~3 km 的浅成-超浅成环境中, 蒸汽内压力聚集到足够大时便会导致浅成岩浆房顶部的冷凝壳破裂并发生隐蔽爆破, 产生密集网状裂隙系统和爆破角砾岩筒, 同时在上升蒸汽缕的带动下引发天水对流循环, 形成有限开放系统。这个演化过程构成大多数斑岩铜矿的共同地质特征。其关键是在花岗质岩浆演化过程中有无过渡岩浆的出现。

关键词: 过渡岩浆 斑岩铜矿 蒸汽缕

近年来, 许多岩石学家和矿床学家都注意到与斑岩铜矿床成矿有关的花岗质岩浆起源于大陆边缘环境的洋壳之间或陆壳与陆壳之间俯冲引起的部分熔融作用^[5,6]。它们的源岩属于俯冲带下的洋壳镁铁质岩石或大陆壳下部较老的镁铁质岩石, 或者有少量陆壳长英质变质沉积岩的混合。这类花岗质岩总体来看属于钙碱性系列, 但有时在演化中期出现碱性系列的钾玄岩浆。由于这类岩浆受深断裂控制形成高侵位, 故有利于过渡性花岗岩浆的形成, 过渡性岩浆的演化过程中必然形成独立流体相, 释放出蒸汽缕。当其上侵到距地表 1~3 km 的浅成-超浅成环境时, 受上部岩石盖层的圈闭作用, 随蒸汽不断产生、聚集, 当其压力足够大时便会导致浅成岩浆房顶部的冷凝壳破裂并发生隐蔽爆破, 产生密集网状裂隙系统和爆破角砾岩筒, 同时在上升蒸汽缕的带动下引发天水对流循环, 形成有限开放系统。这个演化过程构成大多数斑岩铜矿的共同地质特征。因此, 我们将花岗质岩浆的演化划分为 3 个演化阶段: 正岩浆阶段、过渡岩浆阶段和热液岩浆阶段。

1 正岩浆阶段 (>900℃)

正岩浆阶段演化表达形式为:

$$m \rightarrow m' + s$$

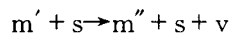
式中 m 为硅酸盐熔融相; m' 为与凝聚相共存的硅酸盐熔融相; s 为凝聚相。该阶段的演化取决于硅酸盐熔融体与凝聚相之间的物理化学性质的差异及凝聚相各种矿物之间的物理性质的差异。由于花岗质岩浆粘度大, 不可能像基性-超基性岩浆那样发生韵律堆积作用, 因此在正岩浆阶段, 由于结晶分异作用和熔离作用引起的有用物质的聚集可忽略不计。由于硅酸盐熔融体与矿物相之间化学位的差异而引起二者之间的质量交换可使许多矿物形成环带结构。

* 王龙生, 男, 1963 年生, 副研究员, 从事矿床地质研究。邮政编码: 100037

对许多深成花岗质岩体,正岩浆阶段可能为主要演化形式。在正岩浆阶段的演化过程中,由于压滤作用可使相对富集挥发分的 m' 与 s 发生相对分离,或引起残余岩浆侵位,形成深成环境的伟晶岩矿床。或许我国大吉山和西华山大脉型钨矿床也是由正岩浆阶段演化到晚期并过渡到热液阶段的产物。地质观察还表明,这些矿床产于深成环境(8 km 以下),成矿热液以岩浆水为主,没有天水参与^[1]。

2 过渡岩浆阶段(900~700℃)

花岗质岩浆在深成侵位条件下很少出现过渡岩浆阶段或过渡岩浆阶段离固相线很近。为此,过渡岩浆阶段的出现可作为浅成-超浅成侵位体或斑岩的特征。其演化的表达式为:



式中 m'' 为残余硅酸盐熔融相, v 为与 $m'' + s$ 共存的独立挥发相。 v 相是通过岩浆后退沸腾来实现的。因此, v 相是否出现,主要取决于花岗质岩浆系统的压力、岩浆水含量和围压。

Burnham^[5]对花岗质岩浆过渡阶段与侵位环境的依赖关系进行过一系列实验研究和理论计算。

(1) 花岗质岩浆熔融体中含水量对于围岩压力的依赖关系:

围岩压力	熔融体中含水量 (%)
50 MPa (2 km)	2.7~3.0
200 MPa (8 km)	6.1~6.4
500 MPa (18 km)	9.0~10.0

也就是说,只要花岗质岩浆熔融体中含水量超过相应的侵位深度或相应的围岩静压力,便会发生花岗质岩浆水过饱和。

(2) Burnham^[5]还计算了初使含水 2.0% 的花岗质熔融体在什么侵位环境和什么结晶条件下发生过渡阶段,或可能发生岩浆的后退沸腾:

侵位深度	晶出百分率
2 km	33 %
8 km	73 %
18 km	83 %

由此可见,在深成条件下很难出现花岗质岩浆过渡阶段。

许多观察都证明花岗质岩浆过渡阶段的实现对于成矿是至关重要的。在岩浆过渡阶段中,由于 $m'' + s + v$ 三相共存,它们的演化自然取决于三相之间的物理化学性质的差异。特别是新的独立挥发相(v)的出现,它与凝聚相和围岩具有很大的物理化学性质差异,由此决定它们之间必然会发生交代作用。这种挥发相通常是由 900~650℃ 的临界—超临界状态的 H_2O 、 HCl 、 HF 、 P_2O_5 、 CO_2 、 B 、碱金属配合物和重金属配合物等组成,它们与冷凝的花岗质岩体顶部和泥砂质围岩发生化学反应,这就是碱质硅酸盐的交代作用。碱质硅酸盐交代作用通常分为两类:一类为钾硅酸盐交代岩,典型交代矿物为黑云母和钾长石等;另一类为钠硅酸盐交代岩,典型交代矿物为钠长石等,这两种交代反应主要发生在斑岩体的内部。

这种挥发相如果与碳酸盐围岩发生反应, 就形成早期的夕卡岩化, 典型交代矿物为石榴石和透辉石等。吴言昌等^[2]将这类早期夕卡岩称之为岩浆夕卡岩, 说明这类夕卡岩形成于岩浆晚期阶段。这种挥发相如果与泥砂质碎屑岩等围岩发生反应, 也常常形成碱质硅酸盐交代岩及似夕卡岩, 其中钾硅酸盐岩更为常见。如江西德兴矿田的富家坞和铜厂矿床周围形成1~3 km宽的黑云母-钾长石交代岩、黑云母交代岩和斑点状黑云母交代岩等。

由于挥发相能引起具有冷凝硬壳的高位斑岩体内部的残余硅酸盐熔融相体积急剧膨胀, 使体系内压力增大。一般说来, 岩浆体积的增量与饱和条件下的岩浆水含量成正比, 与围岩静压力成反比。例如, 当一个初始含水2.7%的花岗闪长斑岩岩浆体侵位于距地表4 km深完全结晶时体积大约膨胀15%; 侵位于距地表2 km深完全结晶时, 岩浆体的膨胀率可达50%, 内压力足有300 MPa以上, 足以引起斑岩体顶部已冷凝岩石及邻近围岩产生网状破裂系统和爆破角砾岩筒, 为成矿热流体对流循环和矿石沉淀提供了良好空间。有时隐蔽爆破作用达到极大的强度, 会造成更大范围内破火山口的陷落。

可以说, 过渡岩浆阶段的形成是夕卡岩型、斑岩型和某些浅成热液型矿床形成的关键。一个花岗质岩浆体系不能演化为过渡岩浆阶段是绝无可能形成上述矿床的。

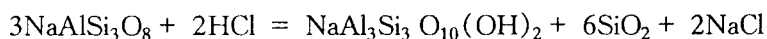
3 热液阶段

我们将花岗质岩浆固相线以下的(通常低于700℃)演化归为热液阶段。若一种流体相的平均盐度为5% NaCl, 则高于420℃的流体相处于临界状态, 而低于此温度的流体相为正常状态的水溶液相。

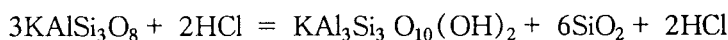
大量氢氧同位素研究表明, 以西华山和大吉山钨矿等为代表的深成环境的成矿流体以岩浆水为主^[1]; 以玉龙和多宝山夕卡岩-斑岩铜矿为代表的中浅成环境的成矿流体早期以浆水为主, 中晚期以天水为主^[3]; 以吉林五凤和闹枝金矿为代表的中浅成环境的成矿流体则完全为加热的天水^[4]。

热液与花岗质岩本身和围岩的化学反应(蚀变)能力, 主要取决于热液中几种活动性组分, 其中尤以HCl、HF、SO₂、H₂S、CO₂、P₂O₅、碱金属离子、碱土金属离子等最为重要。现对于其中的几种略作分析。

(1) HCl: HCl易于进入水溶液相, 并易于水解为Cl⁻和H⁺。Cl⁻与碱金属离子、碱土金属离子和重金属等容易形成稳定的中性配合物, 并易于迁移。同时又在一定温度、pH、Eh条件下和稀释时先卸载, 沉淀为矿石。芮宗瑶等^[3,4]和唐仁鲤等对与花岗质有关水溶液中Cl⁻含量作过大量研究。在深成侵位条件下水溶液中Cl⁻含量通常为 $15000 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$; 在高侵位条件下水溶液中Cl⁻的含量为 $35000 \times 10^{-6} \sim 350000 \times 10^{-6}$, 在与破火山作用有关的浅成条件下水溶液中Cl⁻含量通常只有 $5000 \times 10^{-6} \sim 20000 \times 10^{-6}$ 。因此在斑岩铜矿中HCl对蚀变作用、成矿金属的迁移和沉淀是至关重要的。通常氯化物矿物在中性-酸性花岗质岩浆中不稳定, 在中低压力下花岗质岩浆中流体相的氯与氢、碱、碱土和重金属均可形成高度稳定的中性氯化配合物; 在较高压力下氯几乎完全从岩浆中分离出来, 形成氯化物的热流体。在600~400℃时, 流体相中HCl具有强烈的分解斜长石类矿物的能力, 如:



钠长石 钠云母 石英



钾长石 水云母 石英

说明斑岩中 HCl 对于斑岩和围岩的绢英岩化有多么重要。

(2) HF: HF 具有明显的双重性,一方面它具有很高的溶解度,在水溶液中形成 NaF 和 KF 等;同时 F^- 易于进入含氟矿物,如萤石和黄玉等,这些矿物具有很高的热稳定性。由此热液中 F^- 含量通常要比 Cl^- 含量低得多,例如玉龙斑岩铜矿流体包裹体的 F^-/Cl^- 比值仅为 1/65~1/296;马拉松多的 F^-/Cl^- 比值为 1/21~1/57;德兴的 F^-/Cl^- 比值为 1/13~1/320,多宝山的 F^-/Cl^- 比值为 1/39~1/85。由于热液中 F^- 含量较低,故 HF 在热液蚀变和成矿过程中比 HCl 的作用要小得多,但对于云英岩化具有重要意义。

(3) SO_2 : 硫在花岗质岩浆中以 (SH^-) 形式存在,一旦独立挥发相(v)形成后, (SH^-) 极易强烈地进入水溶液相,而以 H_2S 和 SO_2 两种形式存在。决定 H_2S 和 SO_2 二者多少的因素主要为 f_{O_2} 和 $f_{\text{H}_2\text{O}}$ 。如 $f_{\text{H}_2\text{O}}$ 大,则 f_{H_2} 也大, $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ 则高,有利于硫化物沉淀;相反, f_{O_2} 大, f_{H_2} 则小, $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 则高,则有利于斑岩铜矿早期硬石膏化形成。有时 $\text{SO}_2 \gg \text{H}_2\text{S}$, 有利于大规模的酸性蚀变作用。德兴斑岩铜矿中有很发育的红色硬石膏化,表明当时 f_{O_2} 高,有大量 SO_2 水解转化为 SO_4^{2-} 。

(4) CO_2 : CO_2 易于强烈地进入挥发相。在较深侵位环境中 CO_2 流体包裹体易见到;在浅侵位环境则少见。 CO_2 对于金等成矿元素迁移富集亦是有着不可忽视的作用。

(5) P_2O_5 : P_2O_5 一方面易于强烈地进入挥发相,同时又易于与含钙矿物发生反应,形成热稳定性很高的矿物,如磷灰石。在玉龙矿带和长江中下游许多斑岩-夕卡岩型矿床中都可以见到磷灰石交代黑云母、角闪石和斜长石等矿物。

参 考 文 献

- 1 丁悌平, 彭子成, 黎红等. 南岭地区几个典型矿床的稳定同位素研究. 北京: 科学技术出版社, 1988.
- 2 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1991.
- 3 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明等. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社, 1984.
- 4 芮宗瑶, 张洪涛, 王龙生等. 吉林延边地区斑岩型-浅成热液型金铜矿床. 矿床地质, 1995, 14 (2): 99~125.
- 5 Burnham C W and Ohmoto H. Late-stage processes of felsic magmatism. in Ishihara, S. and Takenouchi, S., eds., Granitic magmatism and related mineralization, Min., Geol., Special Issue, 1980, (8): 1~11.
- 6 Sillitoe R H. Gold and copper metallogeny of the central Andes - past, present, and future exploration objectives. Econ. Geol., 1992, (87): 2205~2216.