

岩石圈减薄的Cu-Mo成矿作用—— 以鲁西王家庄矿床为例

蓝廷广

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081)

众所周知, 华北克拉通中生代特别是早白垩世发生了强烈的岩石圈减薄, 岩石圈丢失厚度 >120 km, 该过程不仅引发了大规模的岩浆作用, 同时也导致了强烈的成矿作用, 相关矿床主要为斑岩型-矽卡岩型 Mo (Cu, W)、矽卡岩型 Fe 矿, 热液型 Pb-Zn 矿和 Au 矿等(毛景文等, 2003, 2005; Mao et al., 2011, 2014; Li and Santosh, 2014; Pirajno and Zhou, 2015)。值得注意的是, 斑岩型矿床主要产于俯冲-碰撞环境, 而本区的斑岩型矿床与岩石圈减薄有关, 并远离俯冲碰撞带 (>1000 km, Maruyama et al., 1997), 同期产出 A 型花岗岩、碱性岩、基性岩墙、变质核杂岩、基性-酸性火山岩、沉积盆地等, 指示的是陆内拉张环境 (Ren et al., 2002; Wu et al., 2005; Pirajno and Zhou, 2015), 这明显不同于传统的斑岩型矿床。因此, 这些斑岩型矿床是如何矿化的? 其与传统的斑岩型矿床有何异同? 探讨这些问题有助于从本质上揭示斑岩型矿床形成的原因。

王家庄 Cu-Mo 矿位于华北克拉通东部鲁西地块邹平火山岩盆地, 其具有两种矿化类型, 一种以伟晶状产出, 另一种为细脉浸染状, 前者以颗粒粗大、晶形良好的石英+钾长石+黑云母+辉钼矿+含 Cu 硫化物(如黄铜矿、斑铜矿、砷黝铜矿)矿物组合为特征, 以平缓脉状位于矿区浅部, 后者为微细粒辉钼矿和含铜硫化物浸染状或细网脉状分布于钾硅化或绢英岩化石英二长岩中, 同时矿体产状相对较陡, 并位于矿区深部。伟晶状矿体 Cu 品位较高, 变化为 $0.97\text{wt}\% \sim 17.03\text{wt}\%$ (通常 $6.19\text{wt}\% \sim 9.05\text{wt}\%$) (孔庆友等, 2006), 并含其他有用元素如 Mo (最高达 $0.86\text{wt}\%$)、Au (最高 13.67×10^{-6}) 和 Ag (最高 84.98×10^{-6})。细脉浸染状矿体的 Cu 品位较低, 变化为 $0.51\text{wt}\% \sim 1.15\text{wt}\%$, Mo 小于 $0.1\text{wt}\%$ (孔庆友等, 2006)。围岩蚀变发育, 主要包括钾化、钾硅化、硅化、绢英岩化等, 其中钾硅化与矿体关系最为密切。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿和砷黝铜矿等, 脉石矿物主要为石英、长石、黑云母、绢云母。Re-Os 同位素定年表明其矿化时间为 128.1 ± 1.9 Ma, 接近赋矿围岩石英二长岩的侵位年龄 128.8 ± 1.0 Ma, 同时与华北克拉通岩石圈减薄的峰期时间 (Wu et al., 2005; Xu et al., 2009; Zhu et al., 2012) 一致。伟晶状矿体石英中流体包裹体发育, 包裹体主要分为 3 类: (1) H_2O 两相包裹体; (2) H_2O +子矿物包裹体; (3) $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ 包裹体。第 1 类包裹体孤立或群状产出, 大小和气泡比变化较大, 分别为 $5 \sim 35 \mu\text{m}$ 和 $5\text{vol}\% \sim 95\text{vol}\%$, 均一温度和盐度分别为 $280 \sim 415^\circ\text{C}$ (平均 349°C) 和 $1.9\text{wt}\% \sim 21.8\text{wt}\%$ NaCl (平均 $7.0\text{wt}\%$ NaCl), 其中多数包裹体均一至液相, 而气泡比较大的包裹体 ($>80\%$) 通常均一至气相, 少量临界均一, 均一温度非常一致 ($384 \sim 388^\circ\text{C}$)。第 2 类包裹体气泡比小于 10% , 子矿物主要为石盐和钾盐, 个别出现赤铁矿, 其均一温度和盐度分别为 $287 \sim 466^\circ\text{C}$ 和 $33.8\text{wt}\% \sim 55.3\text{wt}\%$, 多数包裹体气泡先消失, 然后子矿物融化, 少数子矿物在气泡消失之前融化, 最终都均一至液相。第 3 类包裹体非常少见, 仅测得一个包裹体, 其笼合物融化温度为 8.6°C , 相应盐度 $2.77\text{wt}\%$ NaCl, CO_2 部分均一温度 19.0°C , 完全均一温度 384°C , 与 H_2O 包裹体临界均一温度一致。这些包裹体表明成矿流体具有高温高盐并相对贫 CO_2 的特征, 此外赤铁矿子晶的出现表明成矿流体为氧化性, 与绝大多数斑岩型矿床一致。此外, 富气相、富液相和含子晶包裹体共存的现象普遍, 并具有相似的均一温度, 这暗示成矿过程中流体可能发生了不混溶作用。矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为负值, 并具有从早期钾化阶段 ($-7.22\text{‰} \sim -5.05\text{‰}$) 到晚期矿化阶段 ($-3.61\text{‰} \sim -1.40\text{‰}$) 不断升高的趋势, 可能指示了成矿流体不断被还原的过程, 该过程也是成矿物质沉淀、硫酸盐在矿区缺乏的重要控制因素。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目《鲁西中生代高镁闪长岩成矿作用研究》(批准号: 41472079)

作者简介: 蓝廷广, 男, 1983 年生, 副研究员, 主要从事岩浆岩和金属矿床研究。E-mail: lantingguang@126.com

赋矿围岩石英二长岩为碱性($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=9.0\text{wt}\%\sim 9.3\text{wt}\%$),轻重稀土分馏较强 [$(\text{La}/\text{Yb})_N=21.9\sim 25.8$],富 Sr ($729\times 10^{-6}\sim 1185\times 10^{-6}$)、贫 Y ($11.1\times 10^{-6}\sim 11.9\times 10^{-6}$) 和 Yb ($0.90\times 10^{-6}\sim 1.07\times 10^{-6}$),高 Sr/Y (63~106) 和 La/Yb (33~38) 比值,显示明显的埃达克质特征。Sr-Nd-Hf 同位素组成分别为 0.705309~0.705704, -0.3~0.1 和 0.2~4.6,明显不同于研究区的富集岩石圈地幔 ($\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 小于 -10) 和前寒武基底的同位素组成 [$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 小于 -20], 结合研究区远离俯冲带的特征,石英二长岩不可能来自俯冲板片的部分熔融,而最有可能来自约 85% 的软流圈地幔熔体与 15% 的下地壳熔体的混合,并且经历了强烈的低 Mg 角闪石的结晶分异作用。石英二长岩富含黑云母,暗示其初始岩浆富水 ($>4\text{wt}\% \text{H}_2\text{O}$, Richards et al., 2012),同时具有磁铁矿+榍石的矿物组合和高 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (1.1~14.0) 比值,显示其为氧化性花岗岩, f_{O_2} 至少处于铁橄榄石-磁铁矿-石英缓冲线 (FMQ buffer) 之上 (Wones, 1981; Blevin, 2004), 同样与绝大多数斑岩型矿床的成矿岩浆特征一致。研究区这种来自软流圈地幔的成矿岩浆富水氧化特征可能古太平洋板块 (Izanagi 板块) 的俯冲交代有关。实验和数字模拟表明老的、冷的俯冲板片可以携带大量水至地幔过渡带 (Komiyama and Maruyama, 2007), 这些水可以导致软流圈的水化和氧化,从而产生富水氧化的岩浆。高分辨地球物理图像表明研究区之下的地幔过渡带 (410~610 km) 确实存在停滞的俯冲板片 (Ichiki et al., 2006; Zhao et al., 2011), 而在早白垩世时 Izanagi 板块俯冲于中国东部之下,并且俯冲角度也发生了变化 (Maruyama et al., 1997)。这些证据表明 Izanagi 板块可能携带了大量水俯冲至研究区之下的地幔过渡带,伴随俯冲方向的转变,引发了软流圈上涌和部分熔融,最终导致研究区的岩石圈减薄和相应的岩浆-成矿作用。

参 考 文 献:

- Blevin P L. 2004. Redox and compositional parameters for interpreting the granitoid metallogeny of eastern Australia: Implications for gold-rich ore systems. *Resource Geology*, 54: 241-252.
- Ichiki M, Baba K, Obayashi M, Utada H. 2006. Water content and geotherm in the upper mantle above the stagnant slab: interpretation of electrical conductivity and seismic P-wave velocity models. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 155: 1-15.
- Li S R, Santosh M. 2014. Metallogeny and craton destruction: Records from the North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 56: 376-414.
- Mao J, Pirajno F, Cook N. 2011. Mesozoic metallogeny in East China and corresponding geodynamic settings-An introduction to the special issue. *Ore Geology Reviews*, 43: 1-7.
- Mao J, Pirajno F, Lehmann B, Luo M, Berzina A. 2014. Distribution of porphyry deposits in the Eurasian continent and their corresponding tectonic settings. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 576-584.
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonics synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc*, 6: 121-142.
- Maruyama S, Okamoto K. 2007. Water transportation from the subducting slab into the mantle transition zone. *Gondwana Research*, 11: 148-165.
- Pirajno F, Zhou T. 2015. Intracratonic porphyry and porphyry-skarn mineral systems in Eastern China: Scrutiny of a Special Case "Made-in-China". *Economic Geology*, 110: 603-629.
- Ren J, Tamaki K, Li S, Zhang J. 2002. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in eastern China and adjacent areas. *Tectonophysics*, 344: 175-205.
- Richards J P, Spell T, Rameh E, Raziq, A, Fletcher T. 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu±Mo±Au Potential: Examples from the tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology*, 107: 295-332.
- Wones D R. 1981. Mafic silicates as indicators of intensive variables in granitic magmas. *Mining Geology*, 31: 191-212.
- Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, Zhang X O, Yang J H. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233: 103-119.
- Xu Y G, Li H Y, Pang C J, He B. 2009. On the timing and duration of the destruction of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 54: 3379-3396.
- Zhu R X, Xu Y G, Zhu G, Zhang H F, Xia Q K, Zheng T Y. 2012. Destruction of the North China Craton. *Science China Earth Sciences*, 55: 1565-1587.
- 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 徐军祥, 潘元林, 李献水, 等. 2006. 山东矿床. 济南: 山东科技出版社, 1-902.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景. *岩石学报*, 21(1): 169-188.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学-背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 33(4): 289-299.