

白银厂铜-多金属矿床地幔流体 分异演化成矿模式初探

任秉琛*

(中国地质科学院西安地质矿产研究所, 西安)

提 要: 该文在阐明矿床地幔流体成矿的大陆裂谷构造背景、双模式火山岩和地幔流体成矿地质特征基础上, 提出地幔流体由 670 km 上下地幔间上升分异演化成矿模式。

关键词: 大陆裂谷 双模式火山岩 地幔交代事件 地幔流体分异演化成矿模式 白银厂

幔源矿物包裹体及同位素、大陆热点、大陆裂谷及大洋中脊附近的喷气活动以及发育的地幔交代事件, 说明地幔中存在着独立的地幔 C-H-O 流体。白银厂铜-多金属矿床幔源物质来源或壳幔混合来源证实了矿床形成过程中地幔流体做出的贡献。本文就白银厂铜-多金属矿床地幔流体上升分异演化成矿模式进行初步探讨。

1 白银厂矿田地幔流体成矿的大地构造背景

地幔流体上升切穿洋壳进入海底成矿, 壳幔拆离断裂是其地球动力学基础。白银厂矿田位于秦、祁、贺三联裂谷系的 NW-SE 的北祁连裂谷支中。裂谷系是在震旦纪以来克拉通化统一古陆基础上拉开裂谷序幕的。北祁连裂谷支(带)据地球物理资料反映的深部构造特征表明, 地壳厚度达 51 km, 且具有多层结构和显示地幔物质冲入地壳的特征, 而壳幔间出现的异常上地幔表明白银厂矿田形成中曾有地幔交代事件的发生。裂谷带超壳层断裂活动给地幔流体上升和岩浆侵位、海底喷气、海底成矿、提供了构造先提条件。

2 白银厂矿田细碧角斑质岩浆活动特征

2.1 细碧角斑岩系喷发层序及时代

矿区火山岩分别受东区(小铁山矿床)和西区(折腰山、火焰山矿床)两个火山构造控制, 总体构成一酸性火山穹隆构造。火山喷发序列为早期始于东区的角斑质岩石喷发; 中期为东西两区强烈的酸性火山喷发, 铜-多金属矿床的形成与酸性火山喷发具时空的一致性, 且层位上小铁山多金属矿床偏低, 折腰山、火焰山铜锌矿床偏高; 晚期为西区的细碧质岩浆喷发。并呈现由浅海向深海递进的海洋环境。根据酸性火山岩中锆石 U-Pb 法获得的测年, 将火山岩与矿床形成时代定为中寒武世。

* 任秉琛, 男, 1939 年生, 研究员, 长期从事海相火山岩与矿产地质研究。邮政编码: 710054

2.2 白银厂矿田火山岩浆活动特征

白银厂细碧岩和石英角斑岩为具不同源岩浆系列的双模式火山岩套。细碧岩微量元素和同位素研究表明,细碧岩的原始岩浆系上地幔石榴石二辉橄榄岩经 15% 部分熔融的玄武岩浆形成,源区为富化地幔,即不均匀被交代地幔;白银厂细碧质岩浆为受到不同程度混杂的玄武岩浆,其混染程度据 Nd 同位素粗略估算,从总体质量来说,由 77.9% 的地幔物质与 22.1% 陆壳物质混染而成, $\epsilon_{Nd} = 0.5 \sim 4.4$, $\epsilon_{Sr} = 0.70517$ 。石英角斑岩伴随地幔流体上升形成,与矿床具有时空一致性,岩石具有富 Fe、Mg、Sr、Co、Cr 等基性岩石相容元素和 K、Th、P、Ba、Le 等大离子亲石元素高度富集,表明酸性岩浆来源壳幔混合层或由上地幔衍生的下地壳部分熔融, $\epsilon_{Nd} = -8.56$, $\epsilon_{Sr} = 0.70645$, $Rb/Sr = 0.318$ 。白银厂细碧角斑系属偏碱质岩石,钠质细碧岩最高碱度 $K_2O + Na_2O = 6.5\%$,钾细碧岩最高为 8%~9%,石英角斑岩 >6%,钾石英钠长斑岩为 14.17%,白银厂矿田岩浆活动具有强烈的碱交代过程。

3 矿床成矿特征

白银厂矿田由东部小铁山、四个圈、铜多金属矿床群和西部折腰山、火焰山铜锌矿床群组成。矿体与酸性凝灰岩共生,二者以整合或断裂滑移接触。并与膏盐层、重晶石岩、硅质岩、碳质千枚岩伴生。

3.1 矿床流体包裹体与矿石成分特征

矿石气液相流体包裹体的激光拉曼探针主要成分为 CO_2 (或 CO) 和 H_2O , 其次为 H_2S 、 SO_2 、 CH_4 、 H_2 、 N_2 等,与幔源包裹体化学组成基本一致,但矿石流体包裹体更富含 H_2O 。白银厂流体包裹体化学成分与幔源包裹体化学成分一致说明成矿流体可能源自地幔的演化流体。白银厂流体包裹体金属元素和挥发分测定其含量 (10^{-6}) 为: Si 50000, Fe 4897~10000 (平均 5024.49), Ca 56.6~142.66 (平均 85.58), Na 6.8~2596.77 (平均 1301.79), K 5.2~165.96 (平均 85.58), Mg 12~50 (平均 31), Ti 100, Cu 1000, Ag 10, F 0.8, Cl 93.8, 包体中富含有大离子亲石元素 K、Ti, 矿石成分中亦富含 Ba、P 和 Ce ($26.33 (10^{-6})$), 其矿石稀土元素球粒陨石标准化分布型式具右倾型特点 $La/Lu = 1.25 \sim 219.86$, 轻稀土元素富集。喷气硅质岩 $\epsilon_{Sr} = 0.7098$ 。矿石组分富含大离子亲石元素和硅质岩高的锶同位素初始值表明,矿石物质组分来源于富化地幔,即被交代了的地幔。

矿石物质组分主要是 Fe、S 和 Cu、Pb、Zn 及微量元素 Co、Ni、Se、Te、Sb、Bi、Ga、In、Ge 等,其矿床主金属类型受成矿流体温压等物理化学条件控制。黄铁矿 S/Se 值为 9000~17000, Co/Ni 值为 2.13~6.5, Se/Te 值为 0.9~26.5, 指示矿质系深部来源。伴随矿床成矿作用的同时,地球深部 CO_2 脱气或去挥发作用明显,形成了碳、硅钙质岩石或矿物。深部去 CO_2 作用在矿体中或近矿围岩形成斑点状 Fe、Mg、Ca 碳酸盐矿物,逸入海水中的 CO_2 则形成方解石,其 $\delta^{13}C = -0.3\text{‰} \sim -1.7\text{‰}$ 。矿床或矿体附近发育碳质的黑色岩系,一些研究者(杜乐天,1996)认为属“地幔流体肇事”,矿床缺乏化石、黑色岩系出现及海底缺氧事件与地幔流体进入海底成矿的强还原性质直接有关。海底火山喷硫作用,尚可见到重晶石层和膏盐层形成,膏盐层 $\delta^{34}S$ 为 -0.9‰ 。

3.2 矿床同位素组成特征及来源分析

氢氧同位素组成: 6件块状矿石中石英包裹体氢氧同位素测试结果为 δD 变化在 -71‰ ~ -95‰ , 平均 -81‰ , $\delta^{18}O$ 在 $+6.1\text{‰}$ ~ $+10.4\text{‰}$, 平均 $+9.8\text{‰}$ 。氢氧同位素组成特征表明, 成矿流体水为源自地幔的初生水, $\delta^{18}O$ 偏高与流体包裹体氧化性气体组分所占比重偏大一致。两件后期热液含铜石英脉石英包裹体氢氧同位素组成平均为 $\delta D = -81\text{‰}$, $\delta^{18}O = +10.7\text{‰}$, 可能有地表水参与而使成矿流体具壳幔来源性质。蚀变岩石氧同位素测试结果, 3件绿泥石片岩 $\delta^{18}O$ 变化在 $+1.6\text{‰}$ ~ $+7.9\text{‰}$, 平均 $+5.0\text{‰}$, 4件绿泥石化酸性凝灰岩、凝灰熔岩 $\delta^{18}O$ 变化在 $+7.5\text{‰}$ ~ $+9.3\text{‰}$, 平均 $+8.3\text{‰}$, 与幔源岩浆岩氧同位素组成($\delta^{18}O = +5.5\text{‰}$ ~ $+9.5\text{‰}$)基本一致。

硫同位素组成: 白银厂不同矿物硫同位素测定计200余件, 重硫富集顺序是黄铁矿>黄铜矿>磁黄铁矿>闪锌矿>黝铜矿>方铅矿。 $\delta^{34}S$ 变化范围为 -1.2‰ ~ $+6.0\text{‰}$, 集中在 $+3\text{‰}$ ~ $+5\text{‰}$, 表明硫源来源均一。 $\delta^{34}S$ 值靠近 0‰ 和陨石硫($\delta^{34}S = -0.4\text{‰}$ ~ $+1.7\text{‰}$)范围及附近, 可能系深部硫源在上升进入海底经分馏再平衡的初生硫。

铅同位素组成: 矿区13件矿石和方铅矿铅同位素组成为 $^{206}Pb/^{204}Pb = 17.123 \sim 18.116$; $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.122 \sim 15.885$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 36.135 \sim 38.045$; (值为 $8.04 \sim 8.29$, (值为 $29.8 \sim 39.47$, $K(Th/U)$ 值为 $3.46 \sim 4.11$, 矿石和方铅矿铅同位素组成与火山岩铅同位素组成一致。与地幔同位素组成对比($^{206}Pb/^{204}Pb = 17.730$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.455$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 37.395$)仍有组成上的差别。由于成矿流体来自不均一地幔, 地幔中储集了不同含量U、Th, 铅同位素组成经历了两个以上阶段U-Th-Pb体系的演化, 铅同位素组成具有壳幔来源性质。

4 地幔流体时空分异演化成矿模式探讨

4.1 地幔流体的来源与性质讨论

大洋玄武岩和幔源岩包裹体研究认为, 地幔中的C-H-O流体是种高密度高温的超临界流体, 其中主要挥发分为 H_2O 和 CO_2 , 含少量F、Cl、S、P等及惰性气体组分, 并溶解了大量常量和微量元素(Navon, 1988; 曹荣龙, 1995, 1996)。地幔金伯利岩发现自然铁、铜、锡、硅铁石、二硅铁矿、碳化钨等矿物(赵磊等, 1993), 表明地幔具有丰富成矿物质, 而上地幔条件下 H_2O 蒸气对Sn和亲铜元素的强搬运能力的实验研究(Durasova, 1993), 说明地幔流体具有将成矿物质搬运到海底并成矿的能力。根据He-Ar同位素体系示踪指示地幔流体的源区和细碧岩导源上地幔以及大陆裂谷构造背景, 可推断地幔流体源自670 km处的上地幔与下地幔间的储集层, 源区属地幔柱型。

4.2 地幔流体上升与下地壳重熔

地幔流体上升, 保留有自身的高温特点, 但压力降低。当地幔流体上升至上地幔时, 因上地幔顶部角闪石的稳定存在而消耗了流体 H_2O , 使地幔流体变得更富含 CO_2 或 CO , 导致幔源C-H-O流体产生分异作用, 但自身的高温特点致流体中挥发分难以形成固体矿物。地幔流体进入地壳, 在较高地热温度和挥发组分作用下, 地幔流体与地壳发生交代作用并使壳下层熔融, 此时出溶的流体与熔体共存。据石英角斑岩的斑晶石英岩浆包裹体资料, 地幔流

体富含 Si、Al、Mg、Ca、Na、K、Mn、P 常量元素, 硅碱质组分增高, 同时含有大量微量元素 Cr、Ni、Co、Sc、Rb、Sr、Ba、U、Th、Zn、Mo、Sb、As、Se 等。石英斑晶岩浆包裹体均一温度法求得酸性岩浆形成温度为 860~910℃, 压力 40~70MPa, 照此估算酸性岩浆形成在 10 km 以下。

4.3 地幔流体成矿与地幔流体时空分异演化成矿模式探讨

在裂谷断裂的不断延深情况下, 导致酸性岩浆和富含 CO₂、F、Cl、S、Cu、Pb、Zn 而相对贫水的地幔流体上升, 引发了酸性岩浆的海底喷发和地幔的突然去挥发分作用。据矿石

流体包裹体资料, 矿液是高盐度 (KCl + NaCl = 22%) 富含贱金属的热卤水, 密度为 1 g/cm³ 左右。并且是富含多种络合物的电解质溶液, 络合物配位有 Cl⁻、F⁻、OH⁻、SO₂ 及 CO₂、CO 等。根据实验资料, 在偏碱性环境下 (350℃, pH=6.45), 在 HS⁻ 稳定区, 铜和锌形成稳定的二硫化物络合物, 铅则只形成二硫化物络合物, 以硫的络合物搬运的

溶液富含铜和锌, 当温度、压力下降和 pH 值增高时溶液达饱和状态, 铜和锌沉淀形成铜锌型矿床。在 pH=4.3~5.2 和温度小于 200~255℃ 条件下, 酸性矿液中硫以 H₂S 形式出现, 铜、铅、锌以氯化物络合物形式搬运, 当富含矿液 H₂S 饱和时, 发生铜铅锌沉淀, 形成锌铅铜型矿床。矿床形成物理化学参数如表 1。含矿溶液的高盐度可以大大提高金属的搬运能力和进入海底的堆积效率, 对形成大型矿床提供了有利的内在条件, 而致密块状、层状、条带状高比重矿石的形成表明矿液高的金属浓度一次成矿的结果。

综上所述, 白银厂地幔流体分异演化成矿模式归纳为表 2。

表 1 矿床物理化学数据

矿床	折腰山矿床	小铁山矿床
$t/^\circ\text{C}$	238~350	<200~255
$p/(10^5\text{Pa})$	180~280	>48
pH	6.45~6.63	4.3~5.2
$\lg f_{\text{O}_2}$	-28.7~34.5	-31.5~-41.73
$\lg f_{\text{S}_2}$	-11.62~14.06	-7.15~-9.58

表 2 地幔 C-H-O 流体分异演化成矿模式

位置	裂谷发育	幔源 C-H-O 分异演化与成矿地质作用
水圈与岩石圈界面	裂谷萎缩期	幔源基性火山喷发和堆积
	裂谷强烈扩张期	地幔流体铜多金属矿床形成和酸性次火山岩侵入
		海底酸性火山爆发与地幔深部脱气, 高盐度含大量金属地幔流体上升
地壳	裂谷早期	地幔 C-H-O 流体交代重熔, 壳源酸性岩浆形成
地幔		进入地壳、地幔 C-H-O 流体分异, 相对富含硅碱质
		高密度地幔 C-H-O 流体, 含大量常量和微量元素, 进入上地幔失 H ₂ O 分异

参 考 文 献

- 1 杜乐天. 地壳流体与地幔流体间的关系. 地学前缘, 1996, 3 (3-4): 172~180.
- 2 曹荣龙, 朱寿华. 地幔流体与成矿作用. 地球科学进展, 1995, 1 (4): 323~329.
- 3 曹荣龙. 地幔流体的前缘研究. 地学前缘, 1996, 3 (3-4): 161~171.
- 4 王先彬等. 地球内部流体研究的关键问题. 地学前缘, 1996, 3 (3-4): 105~118.
- 5 赵磊等. 在金伯利岩中发现的几种矿物及其意义. 岩石矿物学杂志, 1993, 12 (3): 284~287.
- 6 任秉琛. 白银厂铜多金属矿床——壳幔交代中地幔流体成矿探讨. 地球学报, 1996, 17: 58~63.
- 7 Durasova N A et al. Tin in a water-saturated at mantle-process parameters. Geochem. Int, 1993, 28 (2): 125~129.
- 8 Navono O et al. Mantle-derived in diamond micro-inclusions. Nature, 1988, 335: 784~789.
- 9 Pliner I R. Broken Hill Pb-Zn-Ag deposits product of mantle metasomatism. Mineralium deposita, 1985, 20: 147~153.