

大水沟碲矿床成矿流体特征及其幔源性质*

魏家秀 毛景文

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 该文是大水沟碲矿床成矿流体研究的成果。经过进一步的稳定同位素、惰性气体同位素和流体包裹体研究, 初步证明该碲矿床成矿流体主要来自地幔。由火山岩浆的多期次活动, 中低温、高盐度的成矿流体, 携带大量 K、Na、Cl、F、CO₂、CH₄ 和 H₂ 等深源物质, 以富碱质、硅质为主的成矿交代作用, 示意出成矿流体的深源性。氢、氧、碳、硫同位素组成均指示其成矿流体的地幔来源。惰性气体同位素测试:³He/⁴He 为 1.34~2.16Ra;⁴⁰Ar/³⁶Ar 为 385~1026, 这进一步反应了大水沟碲矿床成矿流体来自原始地幔。

关键词: 成矿热流体 地幔来源 大水沟碲矿床

大水沟碲矿床是世界首例独立碲矿床。自从 90 年代初发现以来, 许多地质学者对其进行了初步研究。以往, 多从区域地质、矿床学、矿物学和地球化学等方面进行研究^[2~4]。本文从流体包裹体和各种稳定同位素入手, 结合区域地质和矿床地质, 提出了大水沟碲矿床的地幔流体成矿的新认识。

1 矿床地质概况

大水沟碲矿床位于扬子准地台与松潘-甘孜地槽接合部、龙门-大雪山-锦屏山推覆构造中段。大渡河 SN 向深大断裂与磨西等次级 NNE 向断裂为控矿构造。

矿区内主要出露二叠纪大理岩和变玄武岩。成矿直接围岩为变玄武岩。矿区内 13 条矿脉均产于玄武岩层内, 充填于 NE 向构造裂隙中^[4]。

碲矿脉两侧的围岩蚀变十分发育, 主要有碳酸盐化、硅化、黑云母化、白云母化、绿泥石化和绿帘石化, 电气石化和钠-奥长石化等。辉碲铋矿脉两侧蚀变以白云母和绢云母系列发育为特征^[8]。

大水沟碲矿床成矿分成三个阶段: 黄铁矿-磁黄铁矿阶段 (I), 辉碲铋矿阶段 (II) 和黄铁矿-黄铜矿阶段 (III)。成矿 II 阶段为碲矿、碲金、碲铋矿的主要成矿阶段^[2]。含碲矿物以辉碲铋矿为主, 其次有楚碲铋矿, 还有硫碲铋矿、碲铋矿、自然碲、自然金、六方碲银矿、自然铋等^[3]。在同一碲矿床中, 发现如此之多的碲矿物, 实属国内外罕见。脉石矿物以白云石为主, 方解石、石英、白云母等次之。

本矿床的辉碲铋矿呈大片状 (直径 0.2~1 cm), 自形晶, 在矿石中多呈银白色, 大片

* 国家自然科学基金 (项目编号 49672116 和 49473184) 资助项目; 地质行业科学技术发展基金 (项目编号 959617) 资助项目

魏家秀, 女, 59 岁, 研究员, 专长成矿流体地球化学研究。邮政编码: 100037

状集合体产出, 构成富碲的致密块状矿石^[4]。其品位: Te 0.2%~10%; 富矿石, Te 可达 34.58%。大水沟碲矿床不仅富含碲矿, 而且金、银、铜、铋和硒均达工业品位, 构成富矿, 可供综合开发利用。

2 碲成矿的物理化学条件

2.1 成矿物理化学条件

(1) 成矿温度: 用均一温度代表成矿温度。均一温度的测定是在对三个成矿阶段与磁黄铁矿、辉碲铋矿、黄铜矿密切共生的石英、方解石和白云石(少量)中的流体包裹体的特征和类型研究的基础上, 运用谢克斯梅卡(Chaixmeca)冷热台和莱兹(Leitz) 1350 热台上进行的。仪器误差范围在 1~3℃。测试结果示于成矿温度直方图上。由直方图看出: 该矿床磁黄铁矿、辉碲铋矿、黄铜矿等由 400→260→180→80℃递降, 为成矿的温度条件^[6]。该直方图同时反应各成矿阶段具正态双峰型特征, 这进一步指示了成矿的多期次性特征。其成矿 I 阶段主成矿期为 360~260℃; II 阶段为 260~160℃; III 阶段降至 180~80℃。

(2) 盐度: 按统计学原理, 将测得的同一样品同一包裹体的均一温度和相对应的盐度值, 按产状和成矿阶段投于大水沟碲矿床形成温度与盐度关系图。该图反应了碲矿成矿 II 阶段——辉碲铋矿主成矿期, 其形成温度中等, 而盐度高达 14.6%~8.0% NaCl, 这具体表现了大水沟碲矿床成矿独特的物理化学条件。

(3) 由包裹体均一温度、盐度及其气、液相成分分析结果, 结合 Hass (1976), Potter (1976) 等人的 T - P - D - X 相图及有关公式, 测算出该碲矿床形成时压力为: 79~56~33 MPa; 成矿流体密度范围在 0.98~0.86~0.71 g/cm³。在碲的主成矿阶段, 还有一组高密度(1.02~0.95 g/cm³) 流体与之共存。高密度与低密度成矿流体的同时存在, 是成矿热流体沸腾、不混溶成矿的证据^[9]。碲成矿时, pH=6.53~6.07。测算数值表明: 成矿溶液属中、偏酸性。而随着碲迁移, 富集过程, 其氧逸度有由高向低($f_{O_2}=10^{-12.36}-10^{-14.39}$) 变化。

2.2 成矿流体地球化学

(1) 成矿流体化学组分: 由包裹体气相和液相分析获得该碲矿床成矿流体化学组分, 共有 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、F⁻、SO₄²⁻ 和 H₂O、CO₂、CH₄、CO、N₂、H₂、C₂H₆ 等 14 项成分。液相中阳离子, Na⁺ 含量最高, 为 55.65~2.44 μg/g, K⁺ 其次, 为 9.78~1.26 μg/g, Ca²⁺、Mg²⁺ 含量较低。阴离子, Cl⁻ 高为特征, 在 92.71~1.51 μg/g 范围; F⁻ 含量很小, SO₄²⁻ 含量因样品而异。其包裹体气相成分: 以 H₂O 和 CO₂ 为主, CH₄ 含量占第三位。CH₄ 在 4.93~0.20 mol%, 所分析样品都含有 CH₄。有 8 件样品分析出 H₂, 在 27.97~0.032 mol% 范围。

(2) 成矿流体性质与演化: 成矿流体中所含各种化学元素的定性、定量值, 在一定程度上反应了成矿流体的地球化学性质与特征^[5]。该碲矿床, Na⁺/K⁺ 比值一般在 2.418~0.904。在碲矿主成矿阶段, 总的 Na⁺ 比 Ca²⁺ 高。Na⁺/Mg²⁺、Na⁺ 高出 Mg²⁺ 2.69~20.75 倍, 由此可见, Na⁺ 和 K⁺ 的岩浆热液性质。Cl⁻/F⁻>Cl⁻/SO₄²⁻ 为特征。H₂O/CO₂ 一般在 3.29~0.48。但在碲主成矿阶段, CO₂ 可高于 H₂O 的含量, 可见 CO₂ 参与碲的成矿作用^[1]。

在近半数样品中有 C_2H_6 的存在。美国成矿流体研究权威 E Roedder (1972) 指出: 有机气体在流体中的存在, 有利于对金属成分的硫酸盐的分解。

综上所述, 碲的成矿溶液为富 K^+ 和 Na^+ 的富碱质流体, 同时还富含 Cl 、 CO_2 、 CH_4 和 H_2 的性质。碲的成矿流体由成矿早阶段到晚阶段: $Na^+ + K^+ \rightarrow Na^{2+} + Mg^{2+}$; $CO_2 \rightarrow H_2O$ 及 $Cl^- + F^- + H_2 + CH_4 \rightarrow SO_4^{2-}$ 方向演化。

3 稳定同位素地球化学

3.1 氢氧同位素地球化学

大水沟碲矿床的石英及蚀变岩中的黑云母和白云母, 经氢、氧同位素分析, 将所获 δD 、 $\delta^{18}O$ 对应的数值投于大水沟矿床成矿溶液 δD - $\delta^{18}O$ 图中, 其结果 δD - $\delta^{18}O$ 组成, 绝大部分落到岩浆水区域内。辉碲铋矿阶段成矿流体 $\delta^{18}O = 3.17\text{‰} \sim 9.11\text{‰}$; $\delta D = -54\text{‰} \sim -64\text{‰}$; 该成矿阶段脉旁蚀变岩的水/岩反应, 流体的 $\delta^{18}O = 5.9\text{‰} \sim 8.0\text{‰}$, $\delta D = -64\text{‰} \sim -59\text{‰}$ 。

碳同位素组成特征, I 和 II 成矿阶段, 无矿白云石脉及二叠系大理岩中方解石, 其碳氧同位素组成十分相似: $\delta^{13}C_{PDB} = -5\text{‰} \sim -7\text{‰}$; $\delta^{18}O_{SMOW} = 16.8\text{‰} \sim 28.2\text{‰}$ 。由此可以认为, 大水沟矿区中的碳来自地幔或地壳岩浆房^[10]。

3.2 硫同位素地球化学

在硫同位素分布直方图中, 上图为黄铁矿-磁黄铁矿成矿阶段, 所示 $\delta^{34}S = -3.1\text{‰} \sim +2.8\text{‰}$; 下图辉碲铋矿成矿阶段 $\delta^{34}S = -0.5\text{‰} \sim +1.4\text{‰}$, 二者均呈塔式正态分布。

3.3 惰性气体同位素测试

本次, 对大水沟碲矿脉中的白云母进行了惰性气体同位素测试。结果: $^3He/^4He = 1.34 \sim 2.16Ra$; $^{40}Ar/^36Ar = 385 \sim 1026$ 。由于白云母封闭性较差, 因而, 数据变化范围较大, 但总的, 它们明显地反应出地幔流体的性质。

4 成矿物质来源及其幔源性质

成矿流体是成矿过程起决定性作用的因素之一。大水沟碲矿床成矿流体来自何处? 由于对于其成矿作用的认识不同, 因而众说纷云。在前人工作基础上, 我们经过进一步的稳定同位素、惰性气体同位素和流体包裹体研究, 由前两节所阐述的内容和大量的物化参数, 可以证明形成大水沟碲矿床的成矿流体主要来自地幔。

大水沟碲矿床位于扬子地块西缘。自中生代以来, 扬子地块西缘及邻区最突出的地质作用表现为地幔蠕动, 壳幔作用和南北向大型走滑断裂及韧性剪切。两种作用的结合, 不但引起地幔和地壳变形, 岩浆多期次活动, 而且有大量深源物质向上运移成矿。区内区域变质、花岗岩侵位和矿化的放射性同位素测年集中于 $167 \times 10^6 \sim 93 \times 10^6$ a 之间。

尽管二叠纪峨嵋玄武岩 (K-Ar 法测年数据为 253×10^6 a) 为碲成矿的主岩, 但成矿作用却表现出以富集碱质和硅质组分及碳酸盐为特征。在矿脉中, 脉石矿物以碳酸盐类 (包括

白云石、方解石及菱铁矿和菱镁矿)为主。从矿脉边侧向外, K/Na 比值变化由 4.74、3.12、0.16 (原岩), Mg/Fe 比值从 0.94、0.74、0.65、0.48 (原岩)。这些特点反映出富碱质的成矿流体向外的渗浸交代作用。这种富含 CO_2 和 Cl, 并以碱质、硅质组分为主的成矿交代作用, 示意出成矿流体的深源性。

大水沟是一个中低温热液矿床。第一阶段(黄铁矿-磁黄铁矿阶段)为 360~260 °C, 第二阶段(辉碲铋矿阶段)为 260~160 °C 和第三阶段(石英-黄铜矿阶段)为 180~80 °C。其相应盐度为 2.4% NaCl~10.1% NaCl、8.0%~14.6% NaCl 和 0.7%~5.8% NaCl, 部分地段成矿经历过沸腾作用。成矿流体组分为 H_2O 、 CO_2 、 H_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} , 基本上属于 CO_2 - H_2O -NaCl-KCl 流体体系。从早阶段到晚阶段成矿流体主要由 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; $\text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$; $\text{Cl}^- + \text{F}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ 方向演化; 大水沟矿区的金属元素随着成矿流体演化, 相应 Te 和 Bi 向 Cu 和 Au 的运移、沉淀、富集成矿。

大水沟碲矿的硫同位素分布范围很窄, 整体以 1.5‰ 为塔峰。各成矿阶段的硫同位素均显示出成矿流体的地幔来源。两个成矿阶段矿石的碳和氧同位素组成十分相似, 在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 对 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图上的投影点, 全部集中于地幔来源火成碳酸盐区之右侧, 与矿区内二叠系大理岩的截然不同。二叠系大理岩的 $\delta^{13}\text{C} = -0.3\text{‰} \sim -2.5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 16.8\text{‰} \sim 28.2\text{‰}$ 。

本矿床的氢氧同位素组成, 前已述及, 其结果与 Ohmoto (1986) 和 Sheppard (1986) 提出的岩浆水范围 ($\delta^{18}\text{O} = +5.5\text{‰} \sim +9.5\text{‰}$, $\delta\text{D} = -80\text{‰} \sim -40\text{‰}$) 相吻合^[10]。

大水沟碲矿床的惰性气体同位素测试工作还在继续进行中, 就以上所述, 获得的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 1.34~2.16Ra, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 385 \sim 1026$, 直接明显地反应出地幔流体参与了大水沟碲的成矿作用^[7]。因此, 可以认为大水沟碲矿床的成矿流体来自地幔。

此外, 碲 (Te) 本身就是一种亲地幔的气化元素, 因而在地幔脱 CO_2 、 H_2 和排气过程中, Te、Bi、Au、Se、Cu、Ag 等随气热流体上升至地壳, 在适宜的地质、构造条件, 以及合适的物化条件及地球化学环境中, 迁移、沉淀、富集成矿。

参 考 文 献

- 1 涂光炽. 关于 CO_2 若干问题的讨论. 地学前缘, 1996, 3 (3): 53~62.
- 2 陈毓川 等. 四川石棉县大水沟独立碲矿床地质特征. 地质科学, 1994, 29 (2): 165~167.
- 3 骆耀南. 曹志敏. 四川发现世界首例独立碲矿床. 中国地质, 1994 (2): 27~28.
- 4 毛景文. 陈毓川等. 四川省石棉县大水沟碲矿床地质. 矿物学、岩石学和地球化学. 地球学报, 1994, 2 (3): 276~290.
- 5 魏家秀. 酸性热流体在紫金山铜金矿床形成过程中的作用. 岩石矿物学杂志, 1997, 16, (增刊): 305~310.
- 6 卢焕章. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990, 74~88.
- 7 朱永峰. 地幔的不均一性及地幔流体的形成机制. 矿物岩石地球化学通讯, 1995, (1): 42~44.
- 8 Mao Jingwen, Chen Yuchuan, and Wei Jiayou. The Dashuigou tellurium deposit in West Sichuan, In: Jan Pasava, Bohan Kribek & Karel Zak (editors), Mineral Deposits: from Their Origin to Their Environmental impacts. A. A. Balkema/Rookfield. China. 1995, 149~152.
- 9 Roedder. E., Fluid Inclusions Reviews in Mineralogy, 1984, 12: 25~35.
- 10 Sheppard, S. M. F., Characterization and isotopic variations in natural waters. Rev. mineral. 1986, 16: 165~183.