

新疆三岔口铜矿床地球化学特征及成因*

Genesis and Geochemistry Characteristics of
Copper Deposit in Sanchakou, Xinjiang

孙 燕 唐菊兴 慕纪录

(成都理工大学, 四川 成都 610059)

Sun Yan, Tang Juxing, Mu Jilu

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

摘 要 三岔口铜矿床产于海西中期的斜长花岗岩中,矿体受构造控制,呈脉状。流体包裹体以气-液型为主,气液比较小,变化于 3%~7%之间。矿石硫同位素组成显示出幔源硫的特征,石英脉氧同位素组成表明成矿后期大量地下水加入成矿热液。矿石铅同位素组成为异常铅,富集放射成因 ^{206}Pb 和 ^{208}Pb ,样品线性关系良好,具壳-幔混合成因的特点,成矿模式年龄为 245 Ma。成矿物质主要来源于岩浆活动,同时与地壳物质的加入也有密切的关系。根据三岔口铜矿床所处大地构造位置及矿床地球化学特征,认为该矿床为与中深成相形成的斜长花岗岩有关的、低温(岩浆-地下水)热液交代-充填型铜(钼)矿床。

关键词 三岔口 地球化学 包裹体 同位素 矿床成因

1 矿床地质概况

三岔口铜矿床位于觉罗塔格岛弧带东北缘,北以康古尔-镜尔泉深大断裂为界,南与阿其克-库都克断裂相邻,区内构造线呈东西向展布,以断裂构造为主。出露的地层自老到新主要有下石炭统干洞组和中石炭统梧桐窝子组,下石炭统干洞组为一套浅变质石英砂岩、粉砂岩、板岩、石英岩组成的碎屑岩系,中石炭统梧桐窝子组是一套由角斑岩、石英角斑岩等组成的火山岩系。

含矿岩体为海西期中期侵入的一复式岩体,出露面积约 65 km²,铜矿体赋存于第二期次侵入的斜长花岗岩体的边缘。矿体受构造控制明显,形态多呈透镜状、板状及脉状。产状与区域构造线方向一致,主要受次一级构造破碎带控制,走向以北东-南西向为主,矿体规模悬殊。矿区中围岩蚀变类型较多,含矿岩体蚀变最为强烈,常见的主要类型有黑云母化、绢英岩化、绿帘石-绿泥石化、石英-绢云母化、碳酸盐化。矿石构造以脉状、浸染状、细脉浸染状为主,反映出热液作用的特征。矿石成分以黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、辉铜矿等为主。

2 包裹体地球化学特征

根据含石英脉中流体包裹体的观察和研究,可将矿床中流体包裹体分为气-液型包裹体和少量纯液相包裹体两类,气-液包裹体为矿床主要的包裹体类型,占流体包裹体总量的 90%以上,其特点是气液比较小,变化介于 3%~7%之间。从主要类型包裹体的气液比反映出成矿温度相对较低,说明成矿作用发生在岩浆期后热液活动的晚期。

从镜下观察得知,三岔口铜矿床含石英脉中流体包裹体形态多呈浑圆状,不规则状,并且以负晶形

* 本文系国家科委“305”项目:《赤湖-三岔口-白山铜钼矿亚带成矿系列成矿规律及矿床定位预测》部分研究成果
第一作者简介 孙 燕,女,1958 年生,副教授,矿床地质及资源经济评价专业。

为主,其大小变化于 3~10 μm 之间,个体较小。在矿化富集的石英脉中,包裹体数量明显增多,反映出热液成矿的特点。

我们对二件含矿石英脉样品做了包裹体气相和液相成分分析(表 1),从分析结果可知,液相成分中阳离子以 Na^+ 、 Ca^{2+} 为主, K^+ 、 Mg^{2+} 次之, Na^+ 含量远大于 K^+ 含量;阴离子 HCO_3^- 占绝对优势,其次为 Cl^- 。从中计算出各种阴、阳离子的比值, K^+/Na^+ 为 0.11~0.45; $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 为 0.87~8.88; Na^+/K^+ 为 8.04~2.49; $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 为 3.94~2.49; $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 为 0.015~0.036。从包裹体的液相成分结果可知,成矿流体中 K^+ 、 Na^+ 等碱金属离子含量较低,并且 K^+ 含量远远小于 Na^+ 含量。这从根本上导致了三岔口铜矿床碱质蚀变,特别是钾化(钾长石化、黑云母化)强度较弱。而热液型铜矿化的产生及强弱却与此类蚀变有着重要的联系,这也可能是影响三岔口铜矿床规模和远景的重要原因。

表 1 三岔口铜矿床流体包裹体成分分析($w_B/10^{-6}$)

样号	矿物	H_2O	CO_2	CO	CH_4	H_2	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Li^+	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
SB-1	石英	2460	350.20	2.50	7.28	0.08	0.25	2.31	2.01	0.51	0.002	0.34	2.50	0.0	171.0
SB-2	石英	1020	11.40	0.50	0.00	0.06	1.25	2.79	2.47	0.99	0.008	0.38	5.00	0.0	14.0

测试单位:中国地质科学院同位素研究与测试中心

3 同位素地球化学特征

稳定同位素是研究和解决矿质来源、成矿物理化学条件以及成矿时间的重要手段。在野外实地勘查的基础上,我们分别对矿床的硫同位素组成,铅同位素组成,氧同位素组成,铷、锶同位素等进行了测试和研究。

3.1 硫同位素组成及硫源

各类型矿石中主要矿石矿物均为黄铁矿、黄铜矿。我们选送了黄铁矿、黄铜矿 6 件样品(纯度>99%),从测试结果(表 2)可知, $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围很小为 1.4‰~1.7‰,平均 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 1.6‰。样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 分布具典型的正态分布规律,塔式效应明显。从矿石中单矿物的硫同位素组成上,表现出极强的幔源硫特点。

表 2 三岔口铜矿床硫同位素组成

序号	样号	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
1	S-1-1	黄铁矿	1.72
2	S-1-2	黄铜矿	1.43
3	S-2-1	黄铁矿	1.67
4	S-2-2	黄铜矿	1.53
5	S-3-1	黄铁矿	1.67
6	S-3-2	黄铜矿	1.58

测试单位:中国地质科学院同位素研究与测试中心

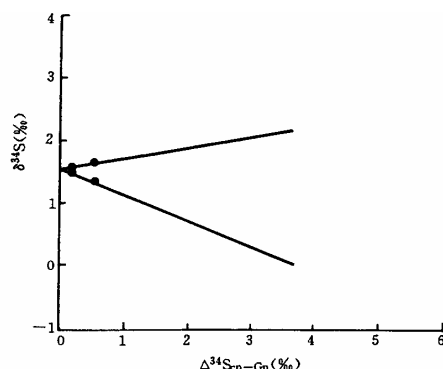


图 1 1000ln α 对 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 与 $\delta^{34}\text{S}_{\text{cp}}$ 关系图

(据 D.M. Pinckney 等, 1972)

为了进一步准确地判断矿床中硫的来源,对该矿床成矿溶液的总硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ 做了研究。根据 Pinekney 等(1972)实验得出的高温条件下热液中各种含硫化合物的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成近于相等,且等于或近似等于热液的总硫同位素 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ 的结果。测定了共生黄铁矿-黄铜矿矿物对其硫同位素组成,利用矿物对的硫

同位素组成与 $1000\ln \alpha$ 图解 (图 1), 求出成矿溶液淀出黄铁矿、黄铜矿时热液的总硫同位素 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma}=1.5\%$ 。由此, 进一步地证实了三岔口铜矿床中的硫来源于地球深部为幔源。

3.2 氧同位素组成及热液来源

热液石英的氧同位素组成取决于热液的同位素组成、结晶温度和同位素交换的程度。利用与金属硫化物共生的脉状石英样品, 测定了它们的氧同位素组成, 并利用矿物-水关系式: $1000\ln \alpha_{x-y}=A\times 10^6 t^{-2}+B$ ($A=3.38$, $B=-3.4$ R.N.Clayton, 1972), 计算了与矿物平衡的反应水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值 (表 3), 从中可知与金属硫化物共生的含矿石英氧同位素组成为 $3.13\%\sim 4.30\%$, 与石英平衡的水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-7.4\%\sim 8.58\%$ 。由于均一温度较低 ($t\leq 200^\circ\text{C}$), 表明成矿晚期大量地下水参与成矿, 使成矿溶液转变为以地下水为主的特点。在此过程中主要形成各种受构造裂隙控制的含矿石英脉。

表 3 三岔口铜矿床氧同位素组成

样号	样品名称	平均温度	$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}/\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\%$
SB-1	脉状石英	200℃	4.30	-7.4
SB-2	脉状石英	195℃	3.13	-8.58

测试单位: 中国地质科学院同位素研究与测试中心, 1998

3.3 铅同位素组成及矿质来源

矿石铅同位素组成在矿床研究中作为成矿物质来源的示踪剂。为了研究三岔口铜矿床成矿物质的来源, 成矿作用发生的时间。我们对主要的矿石矿物做了铅同位素组成测定, 根据测试分

析结果 (表 4), 可知矿石铅同位素有以下特征:

(1) 该矿床铅同位素组成变化较大, 尤其是 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 变化范围分别为 18.210~24.200, 37.477~38.630; 标准离差分别是 2.264 和 0.384; 变化率分别为 33.55% 和 3.08%。在同一矿体范围内其铅同位素组成变化率 $\gg 1\%$, 远远超出正常铅变化率的最大范围 1%, 具有异常铅同位素组成特征, 样品特别富集放射成因 ^{206}Pb 和 ^{208}Pb , 尤其富集放射成因的 ^{206}Pb 。

表 4 三岔口铜矿床铅同位素组成及特征值

序号	样号	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	Th/U
1	S-1-1	黄铁矿	20.987	15.664	37.840	9.45	2.52
2	S-1-2	黄铜矿	24.200	15.961	38.216	9.96	1.86
3	S-2-1	黄铁矿	18.120	15.579	38.087	9.46	3.73
4	S-2-2	黄铜矿	19.080	15.809	38.630	9.81	3.52
5	S-3-2	黄铜矿	18.703	15.458	37.477	9.16	3.18
6	S-3-1	黄铁矿	19.021	15.676	38.080	9.56	3.32

测试单位: 中国科学院同位素地质研究与测试中心, 1998.10

(2) 对样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值用最小二乘法进行回归分析处理, 得出样品的异常生长线回归方程:

$$y=0.0595x+14.49 \quad (y \text{ 为 } ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}; x \text{ 为 } ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$$

样品间的相关系数 $r=0.767$, 生长线斜率为 0.0595。将样品在铅等时线与铅增长曲线关系图中投点, S-2-1 号样品落在正常铅增长曲线上, 其余均位于零等时线右侧, 线性关系比较好。根据三岔口铜矿床产出的大地构造环境, 位于觉罗塔格岛弧带, 推断矿床的异常铅极有可能为壳-幔混合而形成。

(3) 由铅同位素组成计算出各样品源区特征值: μ 值为 9.16~9.96, 平均值为 9.567, 远远大于正常铅 μ 值范围 8.686~9.238; Th/u 值为 1.86~3.83, 平均值 3.02, 低于陨石 Th/U 值 (3.81 ± 1), 为一种富含 U 的放

射性成因铅同位素。通常认为(沈渭洲, 1987), 具高 μ 值的放射成因铅来自铀、钍相对富集的上部地壳岩石。由此可见, 三岔口铜矿床的物质来源既与岩浆活动的幔源有关, 更与壳源及壳幔混源有关, 这与矿床产出的大地构造环境相吻合。

(4) S-2-1 号样品从分析结果及特征值(μ 、Th/U), 表现出正常铅的特征。根据单阶段铅演化模式(Holmes-Houtermaus), (衰变常数: $\lambda_{238}=1.55125 \times 10^{-10}/a$, $\lambda_{235}=9.8485 \times 10^{-10}/a$, $a_0=9.307$, $b_0=10.294$, $c_0=29.476$, 地球年龄(t)=4460 Ma); 由此计算得出成矿(模式)年龄为 245 Ma, 这一年龄值与矿床地质特征表现出的成矿时期相吻合, 基本可参考作为成矿年龄。

(5) 将 S-2-1 号样品的铅同位素组成投入 B.R.Doe 和 R.E.Zartman (1979) 的不同地质环境铅同位素组成模式图(图 2), 样品落入克拉通化地壳及成熟岛弧区, 样品 S-3-2 投点位于原始岛弧区, 反映铅的生成环境和部分源自地球深部的特征。

由此可见, 三岔口铜矿床的物质来源既与幔源岩浆活动有关, 同时与壳源及壳幔混源也有密切的关系。

4 矿床成因

矿床所处大地构造位置在北天山优地槽褶皱带, 产于觉罗塔格岛弧东北缘, 位于不同构造单元的交接部位。三岔口复式岩体主要赋存于康古尔塔格-镜儿泉深大断裂(F_8)下盘次级派生分支断裂及旁侧。地表出露面积达 65 km^2 以上, 规模接近岩基。整个复式岩体由基性-超基性岩、中性岩、酸性岩组成。含矿岩体为深成相的中-粗等粒长英质岩。矿体的形成和规模均受含矿岩体边缘相中的裂隙控制, 反映出岩浆期后热液作用的特点。

根据气液包裹体均一温度测定, 矿床的形成温度为中、低温($140 \sim 280^\circ\text{C}$)。形成深度大约为 $3.2 \sim 5.3 \text{ km}$, 为中深成因。矿石铅同位素组成所反映出的成矿模式年龄为 245 Ma。由此可知成矿年龄与含矿岩体成岩年龄(275.839 Ma)相近。氧同位素组成表明成矿流体为岩浆期后热液与地下水混合而成的流体。硫同位素组成及铅同位素组成表明矿床的物质组分主要来自于上地幔, 其次来自于地壳。

综上所述, 我们认为三岔口铜矿床为一个主要与斜长花岗岩有关的中、低温(岩浆-地下水)热液交代-充填型铜(钼)矿床。

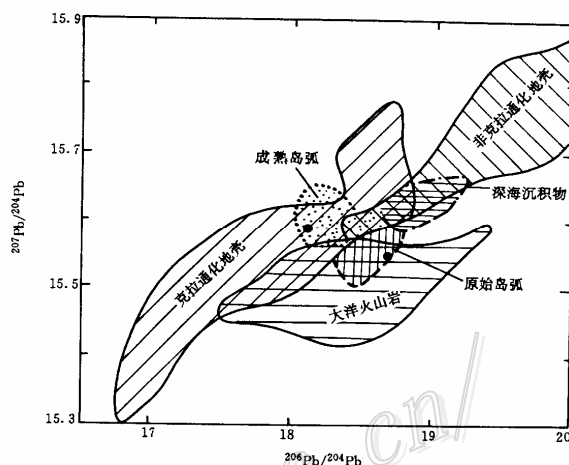


图 2 不同地质环境的铅同位素组成

(据 B.R.Doe 和 R.E.Zartman, 1979)

参 考 文 献

- 何知礼. 1982. 包体矿物学[M]. 北京:地质出版社.
魏菊英,等. 1988. 同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社.
Barnes H L. 1985. 热液矿床地球化学(上、下册)[M]. 北京:地质出版社.