

西藏驱龙超大型斑岩铜矿床成矿 流体对成矿的控制

郑有业^{1,2}, 高顺宝², 张大权³, 张刚阳¹, 马国桃¹, 程顺波¹

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 西藏地调院, 西藏拉萨 850000

3. 中国地质调查局, 北京 100011

摘要: 驱龙斑岩铜矿是冈底斯成矿带新发现的规模最大的超大型矿床, 形成于中新世。原生流体包裹体有5种类型, 主成矿阶段均一温度集中于240~650℃之间, 盐度变化于0.18%~52.04%之间, 明显分为高盐度高密度、低盐度低密度2类。可见含子矿物、液相、气相等包裹体共存现象, 且均一温度相近, 盐度相差很大, 表明成矿流体经历了沸腾过程; 氢氧同位素及单矿物微量稀土元素研究表明, 成矿物质主要来源于斑岩岩浆体系, 而成矿流体主要来源于岩浆水、天然热卤水有关的混合水, 且天然热卤水占优势, 属NaCl(F)-KCl(F)-C₂H₆-HCO₃-CaSO₄型流体。成矿流体总体显示出高温、高盐度、高矿化度、高氧逸度的还原性酸性流体特征, 并且富集Na⁺、K⁺、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、CO₂等成分, 以富F⁻为特征(F⁻/Cl⁻>1, 平均为5.66), 这种特殊性质的流体特别有利于Fe²⁺、Cu²⁺等元素的迁移, 并最终在岩浆期后热液期富集成矿, 它是形成驱龙超大型斑岩铜矿床的必要条件; 流体减压沸腾及不同性质流体混合作用是促使金属离子沉淀富集的主要机制。对该矿床成矿深度(0.5~2 km)进行了探讨, 可作为该矿床勘查评价的依据。

关键词: 驱龙; 超大型斑岩铜矿; 成矿流体; 成矿控制; 必要条件。

中图分类号: P611

文章编号: 1000-2383(2006)03-0349-06

收稿日期: 2005-07-16

Ore-Forming Fluid Controlling Mineralization in Qulong Super-Large Porphyry Copper Deposit, Tibet

ZHENG You-ye^{1,2}, GAO Shun-bao², ZHANG Da-quan³, ZHANG Gang-yang¹,
MA Guo-tao¹, CHENG Shun-bo¹

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Tibet Bureau of Geological Survey, Lhasa 850000, China

3. China Geological Survey, Beijing 100011, China

Abstract: The Qulong porphyry copper deposit is the largest recently found in the Gangdise metallogenic belt. It was formed in the Miocene. The original fluid inclusions can be divided into five types according to the compositions of liquid, gas and single minerals. The temperature of the main ore-forming phase ranges from 240 to 650 °C and the salinity is about 0.18wt. %–52.04wt. %. The fluids can be classified into two types including high salinity and high density, low salinity and low density. Daughter mineral inclusions, liquid and gas inclusions are coexistent and their homogeneous temperature is approximate, however salinity is quite different, showing that the fluid underwent the process of boiling. A study of the H and O isotopes and trace and rare elements of a single mineral indicates that the mineralization substance comes from the system of porphyry magma and fluid belonging to the NaCl(F)-KCl(F)-C₂H₆-HCO₃-CaSO₄ type fluid, which comes from magma and natural hot-brine. The fluid is characteristically reducing and acid, with high temperature, high salinity, high miner-

基金项目: 国土资源部“新一轮国土资源大调查”重大项目(No. 200210200001); 国家自然科学基金项目(No. 40542008)。
作者简介: 郑有业(1962-), 男, 教授, 主要从事西藏高原基础地质、成矿规律、成矿预测及铜金多金属矿产勘查评价工作。

E-mail: zhyouye@sina.com

alization degree, and high oxygen fugacity. The fluid has high concentrations of Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_2 etc., with high F^- ($\text{F}^-/\text{Cl}^- > 1$, average 5.66), which was good for the transfer of Fe^{2+} and Cu^{2+} , finally concentrated and formed the deposit, and is the necessary condition for the Qulong super-large porphyry copper deposit to form. Decompression and the mixing of different quality fluids is the main mechanism for the depositing of metal ions. The mineralized depth is also discussed and could be regarded as the prospecting base of mineral deposit.

Key words: Qulong; super-large porphyry copper deposit; ore-forming fluid; ore-controlling; necessary condition.

流体作用是贯穿于整个矿床形成过程的主要控制因素,而造山带深部作用过程中的流体作用一直是斑岩铜矿床研究的重要内容,因而备受重视与关注。经过近几年的勘查工作,在冈底斯斑岩铜多金属矿带的找矿取得了重大突破,先后评价与发现了冲江、驱龙、吉如、朱诺、得明顶、吹败子斑岩铜矿床(点),一个超千万吨级的斑岩铜矿带已经初现端倪(郑有业等,2004)。本文选择了该矿带中具最大规模的驱龙超大型斑岩铜矿床(郑有业等,2004),对其流体特征进行了详细研究,系统进行了显微测温、盐度测定、成分分析、氢氧同位素及单矿物微量元素测试等工作,目的是为了深入探讨驱龙斑岩铜(钼)矿床成矿流体的来源、性质及其对成矿的控制。

1 矿床地质概况

驱龙斑岩铜(钼)矿床位于西藏墨竹工卡县境内,向西距拉萨市 80 km。大地构造位于冈底斯东段陆缘火山—岩浆弧中的“拉萨—日多弧内局限盆地”南部边缘。

矿区含矿斑岩主要为二长花岗斑岩,呈岩枝状,面积较小(约 $0.15 \sim 1 \text{ km}^2$),其边缘及顶部挤压破碎现象普遍,同时在斑岩体内可见少量辉绿玢岩及闪长玢岩脉等穿插。铜(钼)矿(化)体主要产于含矿斑岩体与黑云母二长花岗岩的内外接触带中,以含矿斑岩体为中心,形成具有中心式、面状、环带分布的蚀变特征,并配套有相应的矿化分带。驱龙铜(钼)矿床的成矿期次可以划分为残浆期、热液期和表生期 3 期 5 个阶段,其中热液期是主要的矿化期,可进一步划分为:(1)最早的硅酸盐多金属硫化物阶段;(2)石英—硫化物阶段;(3)硬石膏—硫化物阶段。

2 成矿流体特征

2.1 流体包裹体特征

石英和硬石膏是驱龙矿床最发育的透明矿物。

其中,石英主要以早期的石英斑晶和后期的次生(硅化)石英及脉体等形式产出,硬石膏则主要以团块状、脉状产出,形成于特定的成矿阶段,发育丰富的流体包裹体。镜下观察表明,各类型包裹体分布极广泛,且有不同类型、不同气液比的包裹体相互共存(图 1c、1d),显示了流体沸腾的特点。在不同主矿物中,以脉石英和硅化石英中包裹体类型最齐全、数量最多,含矿硬石膏中的包裹体数量和类型均较少。矿床中原生包裹体类型主要有:

I 类纯液包裹体:液相,亮灰—暗灰色(图 1c),包裹体大小 $5 \sim 15 \mu\text{m}$,形态多为不规则椭圆形、负晶形、圆形等,含量较少,常与其他类型的包裹体混杂产出。

II 类富液两相包裹体:液相+气相,气液比变化于 $5\% \sim 45\%$;包裹体变化大,从 $3 \sim 30 \mu\text{m}$;形态复杂多样(图 1a);数量较大,是矿床中最多的包裹体类型,呈无序分布。

III 类富气两相包裹体:液相+气相,气液比变化大($50\% \sim 90\%$);包裹体大小变化于 $5 \sim 35 \mu\text{m}$;形态较复杂(图 1c、1d);数量也较多,是矿床中主要的包裹体类型。

IV 类纯气相包裹体:暗灰—黑色,包裹体大小 $5 \sim 20 \mu\text{m}$,形态多为圆形、椭圆形、不规则状等(图 1c),含量少,混杂于其他类型包裹体之间。

V 类含子矿物多相包裹体:液相+气相+1 个或多个盐类子矿物(图 1b),包裹体大小 $5 \sim 25 \mu\text{m}$,其中气相占包裹体大小的 $10\% \sim 30\%$,子晶以 $\text{NaCl}(\text{F})$ 晶体为主,包裹体类型以不规则状、椭圆状为主,数量较多。

2.2 成矿流体成分

包裹体成分分析及流程见朱和平和王莉娟(2001),分析结果列于表 1。成矿流体中 Na^+ 、 K^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 大量存在,可以与铜等金属离子形成氟化物、氯化物、硫酸盐等络合物,并使之搬运、迁移。与国内典型斑岩铜矿床相比,驱龙铜矿成矿流体明显富集 F^- 、 N_2 、 Ar 等,以富 F^- 为特征($\text{F}^-/\text{Cl}^- > 1$, 平均为 5.66, 而德兴和玉龙矿床成矿流体的

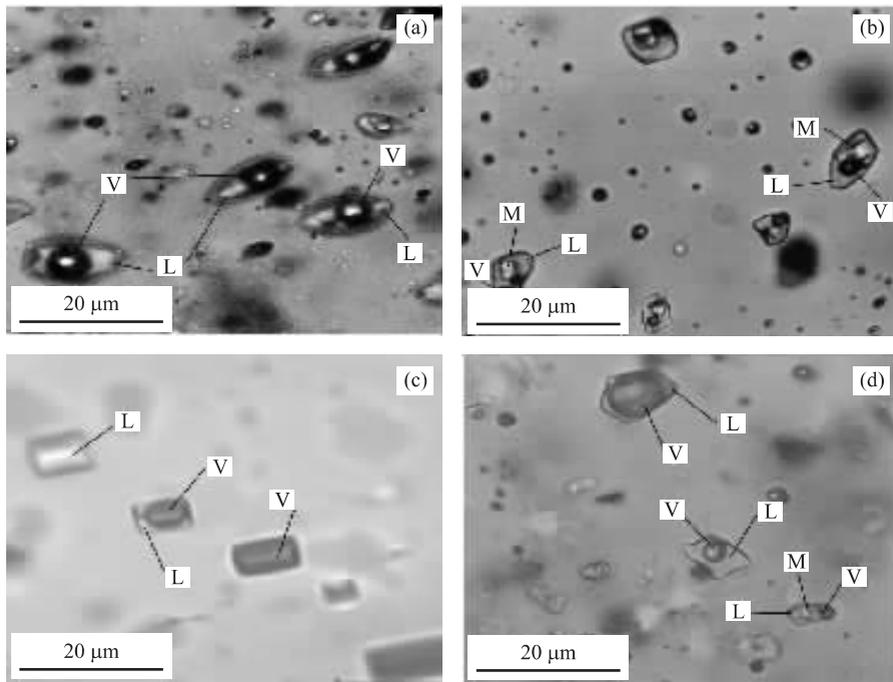


图 1 西藏驱龙铜(钼)矿床主要流体包裹体显微照片

Fig. 1 Micro-photos of fluid inclusions in Qulong porphyry Cu (Mo) deposit

a. 含矿石英脉中的富液包裹体(Ⅱ类); b. 含矿石英脉中的含子矿物多相包裹体(V类); c. 含矿硬石膏中的纯液包裹体(I类)、富气包裹体(Ⅲ类)和纯气包裹体(Ⅳ类)共存; d. 含矿石英脉中富液包裹体(Ⅱ类)、富气包裹体(Ⅲ类)和含子矿物多相包裹体(V类)共存

表 1 驱龙斑岩铜(钼)矿床流体包裹体群体成分分析结果

Table 1 Analytical results of colony composition for fluid inclusion in Qulong porphyry Cu (Mo) deposit

样号	主矿物	气相成分(%)							液相成分(10 ⁻⁶)	
		CH ₄	H ₂ O	N ₂	C ₂ H ₆	H ₂ S	Ar	CO ₂	F ⁻	Cl ⁻
zk801-b6	石英	0.165	95.715	0.978	0.229	0.081	0.164	2.668	7.11	2.39
zk1101-b6	石英	0.069	96.237	0.427	0.169	0.066	0.168	2.864	3.28	2.01
qu-73	石英	0.099	96.952	0.859	0.213	0.035	0.117	1.725	5.02	1.12
qu-039	硬石膏	0.156	94.271	1.228	0.267	0.352	0.224	3.504	—	0.301
qu-057	硬石膏	0.088	96.266	0.895	0.057	0.063	0.214	2.417	—	0.258

样号	主矿物	液相成分(10 ⁻⁶)					比值计算			
		SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺ /K ⁺	F ⁻ /Cl ⁻	Na ⁺ /(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	
zk801-b6	石英	29.4	25.4	11.05	0.549	1.75	3.90	5.56	16.58	
zk1101-b6	石英	9.20	7.71	2.90	0.153	0.75	4.51	3.05	13.34	
qu-73	石英	27.3	9.45	4.83	0.278	2.33	3.32	8.37	5.88	
qu-039	硬石膏	—	1.53	1.48	—	—	1.75	—	—	
qu-057	硬石膏	—	1.02	0.834	—	—	2.07	—	—	

注:测试单位为中国科学院地质与地球物理研究所,2004;气相成分分析仪器为RG202 四极质谱仪,液相成分分析仪器为HIC-6A 型离子色谱仪。

F⁻/Cl⁻ 比值分别为 0.034 和 0.008),成矿流体属 NaCl(F)-KCl(F)-C₂H₆-HCO₃-CaSO₄ 型流体。

3 成矿流体的物化条件

3.1 温度

流体包裹体均一温度研究表明(图 2),驱龙矿

床各类型流体包裹体的均一温度具有变化大的特点(80~560 °C),其中富气包裹体均一温度集中在 360~440 °C,富液包裹体均一温度集中在 240~440 °C,含子矿物包裹体均一温度集中在 360~400 °C.含矿脉石英和硬石膏脉中流体包裹体的均一温度主区间分别为 360~400 °C 和 240~320 °C;而石英变斑晶中流体包裹体的均一温度主体可明显

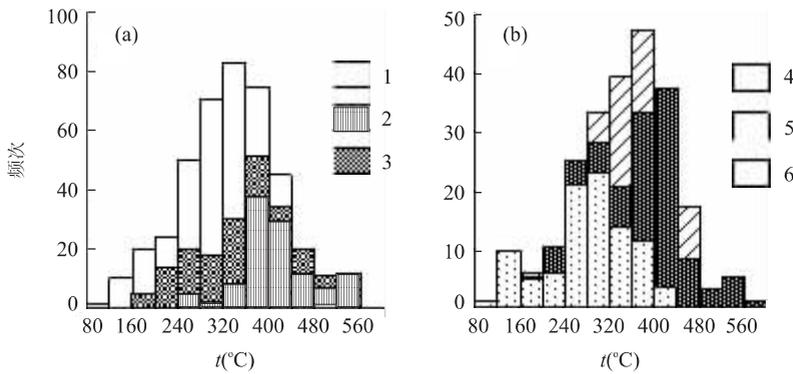


图 2 驱龙矿床流体包裹体均一温度直方图(据 28 件样品 691 个数据成图)

Fig. 2 Homogenization temperature histogram of the fluid inclusion in Qulong deposit

a. 按包裹体类型; b. 按主矿物; 1. 富液包裹体; 2. 富气包裹体; 3. 含子矿物多相包裹体; 4. 含石英英脉; 5. 含矿硬石膏; 6. 石英斑晶

表 2 驱龙斑岩铜(钼)矿床单矿物微量元素含量

Table 2 Analytical results of trace elements of single mineral in Qulong porphyry Cu (Mo) deposit

样号	矿物	分析项目(%)										Co/Ni	地质温度 $t(^{\circ}\text{C})$
		S	Fe	Co	Ni	Cu	Ag	Se	Te	Zn	Total		
zk001-255	黄铜矿	33.05	29.84	0.60	0.50	36.98	0.06	0.00	0.24	0.00	101.28	1.20	607.8
	黄铁矿	52.07	46.98	0.57	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	100.18	1.43	
zk001-b010	黄铜矿	32.53	29.92	0.39	0.43	35.22	0.15	0.00	0.22	0.00	98.85	0.91	256.6
	黄铁矿	51.76	45.62	1.00	0.41	0.00	0.05	0.19	0.00	0.45	100.00	2.44	
zk1101-b032	黄铜矿	33.24	30.33	0.39	0.62	34.89	0.16	0.06	0.00	0.00	99.69	0.63	650.3
	黄铁矿	51.23	46.84	0.34	0.09	0.14	0.34	0.00	0.02	0.76	99.77	3.78	
zk001-b045	黄铜矿	32.81	30.67	0.29	0.20	35.17	0.00	0.00	0.00	0.00	99.14	1.45	472.9
	黄铁矿	51.78	46.35	0.38	0.83	0.00	0.00	0.00	0.32	0.34	100.00	0.46	
zk1101-b008	黄铜矿	33.47	30.82	0.27	0.00	34.51	0.01	0.00	0.03	0.82	100.00	—	368.7
	黄铁矿	50.93	46.56	0.49	0.21	0.00	0.06	0.26	0.33	0.25	99.09	2.33	

注:测试单位为中国地质大学(北京)电子探针室,2004;测试仪器型号为 EPMA-1600,工作条件采用加速电压 15.0 kV,束流 0.7×10^{-8} A,束斑直径 $1 \mu\text{m}$ 。地质温度计算公式: $K\{^{\text{B}}\text{P}\} = (\text{Co}_{\text{Cp}}/\text{Co}_{\text{Py}}) \times 1.53, \lg K = [774/(t \cdot K)] - 1.844, t = 1184.22 \times \text{Co}_{\text{Cp}} / [(\lg \text{Co}_{\text{Cp}} - \lg \text{Co}_{\text{Py}} + 2.029) \text{Co}_{\text{Py}}]$ 。

分为 360~440 °C 和 240~320 °C 2 个区间,均分别近似与石英—硫化物阶段和硬石膏—硫化物阶段的成矿温度相对应,这一方面进一步证明了前面所述 2 个成矿阶段的成矿温度,另一方面也说明了斑岩中的石英变斑晶的发育和再生长明显受到岩浆期后热液蚀变作用的影响,并贯穿于整个成矿过程。此外,通过分析该矿床黄铜矿—黄铁矿矿物中微量元素 Co 的含量,计算得到相应的成矿温度列于表 2。可以看出成矿温度变化于 256.6~650.3 °C,结合矿物对的野外产状可知,550~650 °C 代表了矿床多金属硫化物阶段的成矿温度,250~470 °C 代表了石英—硫化物阶段和硬石膏—硫化物阶段的成矿温度。

由此可见,驱龙斑岩铜(钼)矿床的主成矿期成矿温度在 240~650 °C,其中多金属硫化物阶段的成矿温度为 550~650 °C,石英—硫化物阶段为 360~400 °C,硬石膏—硫化物阶段为 280~320 °C,属高

温热液矿床。

3.2 盐度和密度

对驱龙矿床各类流体包裹体盐度测试(图 3)表明,该矿床流体包裹体盐度变化很大,从 0.18%~52.04% NaCl,其中,含子矿物包裹体的盐度最高(平均为 40.53% NaCl),而富气包裹体和富液包裹体的盐度较近似,平均值分别为 9.46% NaCl 和 8.40% NaCl;对于不同主矿物,石英变斑晶中流体包裹体的盐度最高(平均为 27.44wt. % NaCl),其次为含石英英脉(平均为 19% NaCl),而含矿硬石膏脉中包裹体的盐度最低(平均为 5% NaCl),都显示了成矿流体高盐度的特点。同时可得出含子矿物多相包裹体的密度最大,变化范围为 1.05~1.15 g/cm³(集中于 1.08~1.13 g/cm³);富液包裹体的密度次之,变化范围为 0.50~1.00 g/cm³(集中于 0.65~0.85 g/cm³);富气包裹体的密度最小,变化范围为

表 3 驱龙矿床成矿流体物理化学参数

Table 3 Physical-chemical parameter of ore-forming in Qulong deposit

样号	主矿物	物理化学参数计算							
		$p(\text{MPa})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$MC(\text{g/L})$	R	pH	Eh	f_{S_2}	f_{O_2}
zk801-b6	石英	500	340	358.34	0.09	4.15	-0.783	$10^{-10.05}$	$10^{-31.1}$
zk1101-b6	石英	500	340	155.45	0.05	4.21	-0.778	$10^{-10.05}$	$10^{-31.1}$
qu-73	石英	500	340	216.79	0.08	4.08	-0.783	$10^{-10.05}$	$10^{-31.1}$
qu-039	硬石膏	500	350	28.67	0.14	4.31	-0.777	$10^{-9.63}$	$10^{-30.3}$
qu-057	硬石膏	500	350	15.83	0.06	4.39	-0.776	$10^{-9.63}$	$10^{-30.3}$

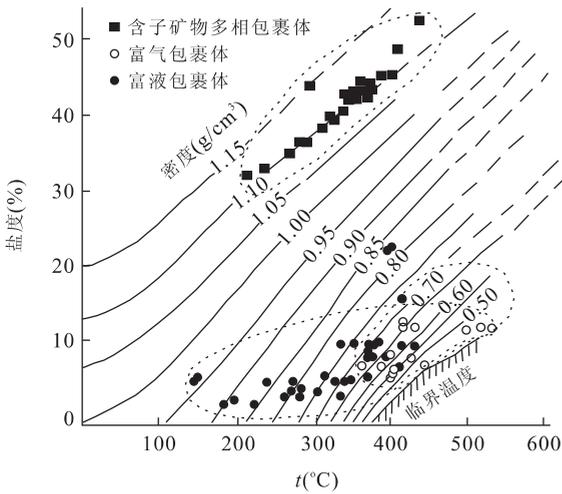


图 3 驱龙矿床流体包裹体温度、盐度及密度关系图(据 68 个数据成图)

Fig. 3 Homogenization temperature, salinity and density of the fluid inclusions in Qulong deposit

0.40~0.70 g/cm³ (集中于 0.50~0.60 g/cm³), 表明成矿流体经历了沸腾过程。

结合流体包裹体的盐度和密度, 可以将成矿流体明显分为 2 种类型: 一种是高盐度(30~50 wt. % NaCl)、高密度(1.05~1.15 g/cm³)的流体; 另一种为低盐度(3~10 wt. % NaCl)、低密度(0.40~1.00 g/cm³)的流体, 且均一温度相近, 反映成矿过程中不同成矿阶段或不混溶流体被同时捕获时的盐度密度变化。

3.3 成矿压力及深度

由于驱龙矿床流体包裹体中所含的 CO₂ 及其他组分不足以形成单一相, 因此我们可以将其简单地看作为 NaCl(F)-H₂O 体系。根据 Roedder 编制的 NaCl-H₂O 体系 P-T-D 图解, 利用驱龙矿床中气液包裹体的温度、盐度投图, 结合等容法、包裹体热力学计算和静岩压力法, 并经过温压校正, 计算成矿流体压力为 150~3 000 MPa, 集中在 150~500 MPa, 由上述压力计算得到的成矿深度为 0.5~

2 km, 为浅成—超浅成成矿环境。结合该矿床的矿体埋藏深度(0.01~0.15 km)可知, 该矿床属于浅剥蚀—半隐伏矿床。

3.4 矿化度和还原参数

根据王真光和张姿旭(1991)对成矿流体矿化度和还原参数的定义及公式计算得到表 3: 驱龙矿床成矿流体的矿化度(MC)变化较大, 15.83~358.34 g/L, 平均 155.02 g/L, 具有很高的矿化度。对于不同成矿阶段, 成矿流体的矿化度相差较大, 其中脉石英中成矿流体的矿化度达 243.56 g/L, 而硬石膏中成矿流体的矿化度却不到 30 g/L。还原参数(R)变化于 0.05~0.14, 其中脉石英中成矿流体的还原参数平均为 0.10, 硬石膏中成矿流体的还原参数平均为 0.07, 呈早低晚高的特点。

3.5 pH 和 Eh 值

根据该矿床蚀变矿化机制(钾长石、绢云母、石英与金属硫化物共生)、流体成分、用于计算 pH 和 Eh 值的化学反应式及公式(王真光和张姿旭, 1991)计算得到, 成矿流体的 pH 值为 4.08~4.39, 为酸性流体; Eh 值变化于-0.776~-0.792, 为还原性溶液。

3.6 逸度

根据驱龙矿床脉石矿物石英和硬石膏中包裹体的气相成分, 按照有关热力学逸度计算公式(王真光和张姿旭, 1991)计算出该矿床成矿流体的硫逸度和氧逸度。成矿流体硫逸度为 10^{-10.05}~10^{-9.63}, 氧逸度变化于 10^{-31.1}~10^{-30.3}, 该矿床成矿流体具有高的氧逸度。

4 成矿物质及流体来源探讨

4.1 成矿流体来源

根据不同矿物中流体 δD-δ¹⁸O 图解(图 4)来看, 硬石膏的 δD 为-76.7‰~-40.0‰, δ¹⁸O_{H₂O} 为-3.11‰~0.68‰, 落在了靠近建造水的海水区域;

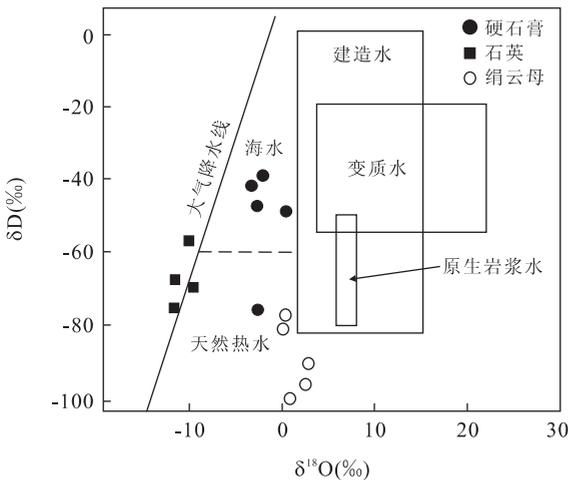


图 4 驱龙矿床不同成因水的 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 组成

Fig. 4 $\delta^{18}\text{O}$ - δD coordinate diagram of Qulong deposit

石英的 δD 为 $-75.6\text{‰} \sim -56.9\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-11.60\text{‰} \sim -9.42\text{‰}$, 位于大气降水线附近; 绢云母的 δD 为 $-99\text{‰} \sim -78\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $2.4\text{‰} \sim 5.1\text{‰}$, 落在靠近岩浆水的天然热水附近, 可见都处于岩浆水、大气降水与天然热卤水的混合区域。根据流体成分特征(表 1)可知, Na^+/K^+ 变化于 $1.75 \sim 4.51$ (平均为 3.11), $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 变化于 $5.88 \sim 16.58$ (平均为 11.93), 成矿流体具混合流体特征。因此驱龙矿床成矿流体早期以深源流体为主, 随着成矿过程的演化, 大气水所占的比重也越来越大。

4.2 成矿物质来源

根据单矿物电子探针分析结果(表 2), 驱龙矿床黄铁矿铁、硫含量是: Fe 为 $45.62\% \sim 46.98\%$ (平均 46.47%), S 为 $50.93\% \sim 52.07\%$ (平均 51.55%), 与黄铁矿的理论值(Fe: 46.55% , S: 53.45%) 相比, 属亏硫弱铁型黄铁矿, 显示与热液成因有关。黄铁矿的 Se 含量为 $0.19 \times 10^{-2} \sim 0.26 \times 10^{-2}$, S/Se 的比值为 $179 \sim 172$, $\text{Au}/\text{Ag} > 1$, Co/Ni 比值绝大部分大于 1, 显示具有岩浆热液的亲缘性。

5 结论

(1) 驱龙原生流体包裹体有 5 种类型, 其中主要类型为富液包裹体、富气包裹体和含子矿物多相包裹体, 主成矿阶段均一温度集中于 $240 \sim 650\text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 盐度变化于 $0.18\% \sim 52.04\%$ 。含子矿物、液相、气相等包裹体共存, 且均一温度相近, 盐度相差很大, 表明成矿流体经历了沸腾过程。

(2) 盐度测试显示成矿流体明显分为高盐度高密度、低盐度低密度 2 类, 明显富集 F^- 、 N_2 、 Ar 等, 以 F^- 为特征 ($\text{F}^-/\text{Cl}^- > 1$, 平均为 5.66), 属 $\text{NaCl}(\text{F})-\text{KCl}(\text{F})-\text{C}_2\text{H}_6-\text{HCO}_3-\text{CaSO}_4$ 型流体。

(3) 成矿物质主要来源于斑岩岩浆体系, 而成矿流体主要是与岩浆水、天然热卤水有关的混合水, 且天然热卤水占优势。另外硬石膏的形成部分可能与天然热卤水有关。

(4) 成矿流体显示岩浆中硫以 S^{+6} 形式为主, 当硫达到饱和后则不会形成硫化物而形成硬石膏, 铜等并不进入硬石膏而是仍然留在岩浆流体相中, 这种含膏盐流体将相当数量的 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 CO_2 离子带入岩浆, 特别有利于 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 等元素的迁移, 并最终在岩浆期后热液期富集成矿, 这种流体环境是驱龙超大型斑岩铜矿床形成的必要条件。驱龙矿床空间上产于弧盆转换边缘, 时间上形成于向伸展转换阶段, 并处于高氧化态过渡性岩浆阶段至岩浆期后热液阶段, 伴随着流体沸腾以及流体混合等作用形成超大型矿床。

(5) 驱龙斑岩铜(钼)矿床形成于浅成—超浅成环境, 属于浅剥蚀一半隐伏矿床。

References

- Wang, Z. G., Zhang, Z. X., 1991. Calculation code of physical and chemical parameters of composition in fluid inclusion in minerals. *Geology and Prospecting*, 27(7): 22-27 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Xue, Y. X., Cheng, L. J., et al., 2004. Finding, characteristics and significances of Qulong super-large porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(1): 103-108 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. P., Wang, L. J., 2001. Quadrupole mass spectrometer analysis of gases fluid inclusion. *Science in China (Series D)*, 31(7): 586-590 (in Chinese).

附中文参考文献

- 王真光, 张姿旭, 1991. 矿物包裹体成分物理化学参数的计算程序. *地质与勘探*, 27(7): 22-27.
- 郑有业, 薛迎喜, 程力军, 等, 2004. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床: 发现、特征及意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(1): 103-108.
- 朱和平, 王莉娟, 2001. 四级质谱测定流体包裹体中的气相. *中国科学(D辑)*, 31(7): 586-590.