

西藏嘎拉勒铜金矿床成矿物质来源探讨

——来自硫、铅、碳和氢氧同位素地球化学特征的证据

李志军¹⁾, 赵润东¹⁾, 何子轩¹⁾, 张 志²⁾, 李丕蓉¹⁾,
尤 孟¹⁾, 何 珊¹⁾, 郭奇奇¹⁾, 欧 俊¹⁾

1)成都理工大学, 四川成都 610059; 2)中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

摘 要: 西藏嘎拉勒铜金矿床位于班公湖—怒江成矿带西段, 是近年来发现的一个大型镁质矽卡岩型铜金矿床。本文在野外地质调查的基础上, 通过 S-Pb-C-H-O 同位素分析, 对嘎拉勒铜金矿床的物质来源进行了探讨。结果表明: ①矽卡岩型矿石中黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值在硫同位素直方图上呈塔式分布, 变化范围为-4.4‰~6‰, 有少许样品值变化范围较大, 表明嘎拉勒矿床硫同位素主要以幔源硫为主, 有少量壳源的混染; ② $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化范围为 38.427‰~39.008‰, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化范围为 15.588‰~15.701‰, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化范围为 18.330‰~18.871‰, 显示矿区铅同位素来源以造山带铅为主, 少量上地壳铅相结合的特征; 嘎拉勒矿床形成于碰撞的造山带环境; ③含辉钼矿石英脉中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值范围为 12.2‰~12.8‰, 平均值 12.5‰, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 范围为-103.3‰~-95.3‰, 平均值为-99.3‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值范围为-18.1‰~-17.6‰, 平均值为-17.85‰, 显示受到大气降水加入明显; ④矽卡岩中方解石 C-O 同位素测试结果 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为-2‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 为-15.1‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 15.4‰, 显示嘎拉勒铜金矿床碳酸盐为海相碳酸盐并经历了溶解作用。综合表明, 嘎拉勒铜金矿床是由幔源成矿流体作用形成的, 成矿过程中有大气降水的加入, 成矿流体与碳酸盐岩发生接触交代作用形成矽卡岩型铜金矿床。

关键词: 班公湖—怒江成矿带西段; 同位素地球化学; 幔源物质; 矽卡岩型; 铜金矿床; 嘎拉勒

中图分类号: P618.41; O611.7 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2017.05.06

Source of Ore-forming Materials in the Galale Copper-gold Deposit of Tibet: Evidence from Geochemical Characteristics of Sulfur, Lead, Carbon and Hydrogen-Oxygen Isotopes

LI Zhi-jun¹⁾, ZHAO Run-dong¹⁾, HE Zi-xuan¹⁾, ZHANG Zhi²⁾, LI Pi-rong¹⁾,
YOU Meng¹⁾, HE Shan¹⁾, GUO Qi-qi¹⁾, OU Jun¹⁾

1) Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;
2) Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081

Abstract: The Galale copper and gold deposit in Tibet is located in the western part of the Bangong Co-Nujiang metallogenic belt. It is a large-sized magnesia skarn type copper gold deposit discovered in recent years. Based on field geological survey, the authors investigated the material source of the Galale gold deposit on the basis of S-Pb-C-H-O isotope analysis. Some conclusions have been reached: ① The $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ values of chalcopyrite in skarn-type ore exhibit tower-type distribution on the sulfur isotope histogram, and the variation range is -4.4‰ ~ 6‰, with a few samples showing rather wide variation range. Isotopes are mainly mantle-derived sulfur, with the mixture of a small amount of crustal source. ② The variation range of $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios is 38.427‰ ~ 39.008‰,

本文由中国地质调查局基础性公益性地质矿产调查项目(编号: DD20160026)、四川省科技计划项目(编号: 2017JY0143)、四川省教育厅一般项目(编号: 14ZB0062)联合资助。

收稿日期: 2017-06-23; 改回日期: 2017-08-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李志军, 男, 1974 年生。副教授。从事矿床地质学的教学与科研工作。通讯地址: 610059, 四川省成都市二仙桥东三路 1 号。E-mail: lizhijun@cdut.edu.cn。

the variation range of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios is 15.588‰~15.701‰, and the variation range of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios is 18.330‰~18.871‰, which indicates that the lead isotopic source in the mining area was dominated by orogenic lead. The crustal lead is characterized by the combination; the Galale deposit was formed in a collisional orogenic environment; ③ The $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ range in the quartz vein is 12.2‰~12.8‰, with an average value of 12.5‰, whereas the $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ values vary from -103.3‰ to -95.3‰, with an average of -99.3‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ values vary in the range of -18.1‰ ~ -17.6‰, with an average value of -17.85‰, indicating that the precipitation was significant. ④ The isotope analytical results of calcite in skarn are $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ of -2‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ of -15.1‰ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ of 15.4‰, which shows that the carbonate of the Galale copper-gold deposit was marine carbonate and experienced the dissolution. It is shown that the Galale copper-gold deposit was formed by the mantle-derived ore-forming fluid, and the meteorite was added in the mineralization process. The ore-forming fluid interacted with the carbonate rocks to form the skarn-type copper-gold deposit.

Key words: the west of the Bangong Co-Nujiang metallogenic belt; isotope geochemistry; mantle material; skarn; copper-gold ore deposit; Galale

嘎拉勒铜金矿床位于班公湖—怒江成矿带(后简称班—怒带)西段,处西藏自治区革吉县境内,西距阿里地区狮泉河镇约 90 km,是尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区的重要矿床,与尕尔穷矿床属于同一大地构造背景-岩浆-成矿事件(唐菊兴等, 2013)。与尕尔穷铜金矿相比,嘎拉勒铜金矿床是以镁质矽卡岩为主的大型铜金矿床,矿床品位较高,资源潜力更大,矿床类型特色明显,经济价值巨大,尤其对于西藏极其贫困的阿里地区,具有重要的经济意义和研究意义。前人已经对该矿床的成矿年龄(李志军等, 2011; 张志等, 2014)、成矿规律与成矿预测(张志, 2015; 唐菊兴等, 2017)、成矿元素赋存状态及空间分布规律(姚晓峰等, 2011; 张志等, 2012; 王立强等, 2017)、矿床地质特征(唐菊兴等, 2013, 2017)等方面做了研究,但是从同位素的角度对矿床的物质来源进行研究程度较低。本文依托中国地质调查局公益性基础地质调查项目,从 S、Pb、C、H、O 同位素的角度开展分析,进一步对嘎拉勒铜金矿床的成矿物质及成矿流体来源进行探讨,总结尕尔穷—嘎拉勒矿集区成矿规律,为区域成矿地质背景研究和矿产调查提供依据。

1 成矿地质背景

嘎拉勒铜金矿床位于西藏冈底斯—念青唐古拉板片与南羌塘—三江复合板片缝合带西段,狮泉河晚燕山期结合带与冈底斯—念青唐古拉板片两大构造单元的交汇处(王红星等, 2012)。矿区主要出露的地层为白垩系、古近系、第四系。白垩系包括下白垩统则弄群(多爱组(K_1d)、托称组(K_1t)、朗久组(K_1lj)和捷嘎组(K_1jg)、郎山组(K_1l); 矿区主要发育有断裂构造和褶皱构造,断裂构造主要为狮泉河断裂是冈底斯火山岩弧与狮泉河蛇绿混杂岩带之间的界限。褶皱构造主要为措勤—申扎地层分区内的则弄群与捷嘎组地层整体构成的复背斜构造和班戈—八

宿地层分区内的狮泉河蛇绿混杂岩群中砂岩基质内发育褶皱构造(王强等, 2013)。矿区主要发育碳酸盐沉积地层和中酸性岩浆岩及少量的超基性岩,其中侵入岩主要为石英闪长岩、中细粒花岗闪长岩、闪长玢岩等,花岗斑岩呈脉状产出,其余的岩体均呈岩株状产出。与嘎拉勒铜金矿有关的岩体主要为东西向分布的岩体,东部的岩体主要为闪长玢岩,岩体产状较陡,与围岩的接触带可见有矽卡岩化、角岩化、硅化,西部岩体岩性主要为中细粒花岗闪长岩与闪长玢岩,形态较不规则。矿体主要分布于围岩的接触带上,矿体主要呈层状、似层状、透镜状及不规则状产出(图 1)(吕立娜等, 2011)。

嘎拉勒铜金矿床矿体产出岩体与碳酸岩的内外接触带上,矿体走向近南北,倾向东、倾角在 $70^\circ\sim 80^\circ$ 之间,矿体呈透镜状,矿体顶底板围岩为石榴石矽卡岩,顶板为蛇纹石白云岩。嘎拉勒矿区的围岩蚀变较发育,主要的蚀变有大理岩化、硅化、绿泥石化、绿帘石化、夕卡岩化、角岩化、绢云母化、高岭土化等。矿石构造以浸染状、块状、条带状构造为主。

2 测试方法及结果

2.1 测试方法

本文所测试的 S、Pb、C、H 和 O 同位素样品均采自嘎拉勒铜金矿床的钻孔和平硐中。S、Pb 同位素样品主要采自脉状、浸染状、稠密浸染状的黄铁矿和黄铜矿矿石中,可见黄铜矿交代黄铁矿的现象,主要的有用矿物为黄铁矿和黄铜矿。S、Pb 同位素分析测试首先将样品进行人工研磨至 40~60 目,在双目镜下挑取单矿物样品 5 g 以上,纯度 99% 以上。再将样品继续研磨至 200 目,送中国地质科学院矿产资源研究所同位素研究室测试,根据 DZ/T 0184.14—1997《硫化物中硫同位素组成的测定》标准,使用 Delta v plus(编号为 10056)质谱仪测定硫

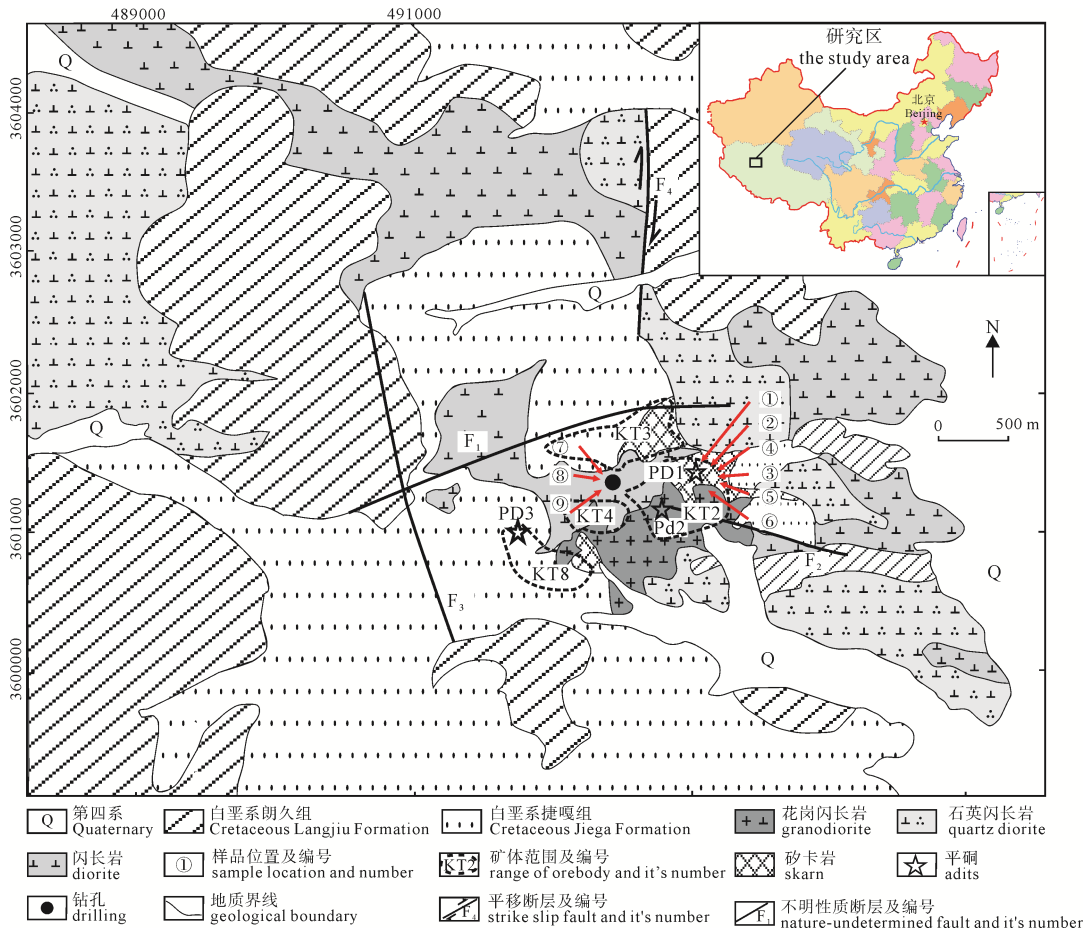


图1 革吉县嘎拉勒铜金矿区地质图
Fig. 1 Regional geological map of the Galale copper-gold ore deposit

同素的含量；首先在样品中按一定比例加入氧化亚铜，之后进行高温加热制备二氧化硫，测试误差小于±0.1‰。7件黄铜矿铅同位素测试采用热表面质谱仪进行测试，仪器型号为ISOPROBE-T，²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb误差均小于0.05%。

C、H、O同位素测试，在中国地质科学院矿产资源研究所同位素研究室进行，H同位素测试采用加热爆裂法将H₂O从样品中提取出来，然后将水与锌在400℃条件下进行反应生成氢气，在MAT-253质谱仪上进行分析测定H₂的δD，测试的误差为±0.2‰。C、O同位素测试将样品中的方解石进行C-O分析，测试方法采用DZ/T 0184.17—1997《碳酸盐矿物或岩石中碳、氧同位素组成的磷酸法测定》。在25℃下将样品与磷酸进行反应，收集CO₂气体，在MAT-253质谱仪上进行测试，测试结果以PDB为标准，测试精度小于0.2‰。

2.2 硫同位素组成

嘎拉勒矿集区矿石硫化物组成见表1。黄铜矿样品S同位素变化为-4.4‰~6‰，平均值为0.63‰，极差为10.4‰，硫同位素主要分布于-1‰~1‰之间，其δ³⁴S频率直方图具有塔式分布(图2)，S来源较单一，具有幔源硫特征。

2.3 铅同位素

嘎拉勒铜金矿集区铅同位素组成见表2，从表2中可以看出，6件黄铜矿样品中Pb同位素²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb比值变化范围为38.427‰~39.008‰，平均值为38.723‰，变化较小。²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb比值变化范围为15.588‰~15.701‰，平均值为15.644‰。²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb比值范围为18.330‰~18.871‰。平均值为18.610‰。6件黄铜矿样品中Pb同位数比值的变化范围均比较小。

表1 嘎拉勒铜金矿集区硫化物S同位素组成
Table 1 Sulfur isotopic composition of sulfides of the Galale ore concentration area

序号	测试对象	岩性	δ ³⁴ S _{V-CDT}	数据来源
1	ZK42-294.16	黄铜矿	6.0‰	本文
2	LPD1-16	黄铜矿	1.0‰	
3	LPD1-17	黄铜矿	-0.9‰	
4	LPD1-20	黄铜矿	1.1‰	
5	LPD1-25	黄铜矿	0.2‰	
6	LPD1-18	黄铜矿	0.3‰	
7	LPD1-11	黄铜矿	1.7‰	
8	GL010-67.2	黄铜矿	0.6‰	宋俊龙, 2014
9	GL08-161.8	黄铜矿	-4.4‰	
10	G-S01	黄铁矿	-0.1‰	
11	GL08-140	黄铁矿	1.5‰	

2.4 H-O 同位素组成

嘎拉勒铜金矿床含辉钼矿的石英脉采自 PD1 平硐中, 矿体宽 42 m, 其北山梁上矿化脉宽近 100 m, PD1 平硐中石英脉中的辉钼矿主要产自矽卡岩中, 呈片状集合体作星散分布。辉钼矿呈鳞片状、叶片状集合体和单晶, 有时也见以放射状、脉状、菊花状产出。矿物片径 0.01~5 mm, 石英脉中的片径均较大。氢氧同位素测试数据见表 3, 含辉钼矿石英脉中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值范围为 12.2‰~12.8‰, 平均值 12.5‰, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 范围为-103.3‰ ~ -95.3‰, 平均值为 -99.3‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值范围为 -18.1‰ ~ -17.6‰, 平均值为-17.85‰(李永胜等, 2012)。

2.5 C-O 同位素特征

本次工作采集了一件矽卡岩中的方解石样品, 岩石的编号为 GLPD3-16, 测得的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为-2‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 为-15.1‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 15.4‰。

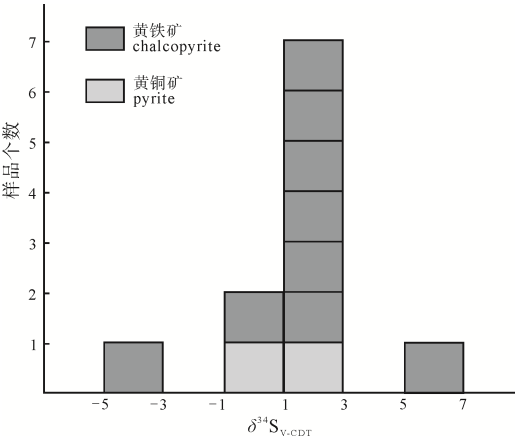


图 2 嘎拉勒矿区黄铜矿、黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图
Fig. 2 Histogram showing $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite and chalcopyrite from the Galale deposit

3 讨论

3.1 成矿物质来源探讨

矽卡岩矿床中矿石中 $\delta^{34}\text{S}$ 的组成总体上体现出 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{黄铜矿}}$ 的特征, 矿区内的 S 同位素基本达到硫同位素分流平衡, 虽然矿床的总硫含量需通过流体中硫的总体含量来确定(田世洪等, 2011), 但通过矿床中矿物共生组合 $\delta^{34}\text{S}$ 值的比较可以估计全硫的组成。嘎拉勒矿区主要的硫化物矿物共生组合为黄铁矿+黄铜矿+磁黄铁矿+方解石组合, $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}}$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铜矿}}$ 等于全硫同位素的组成, 嘎拉勒矿区 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}}$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铜矿}}$ 频率直方图具有塔式分布特征(图 2), 但是有少许样品值变化范围较大, 表明成矿物质主要为幔源岩浆硫有少量的壳源硫的混染。

由于岩石一般含有一定量的 U、Th, 结晶以后 U、Th 所产生的放射性成因铅会对岩石的铅同位素组成产生一定的影响, 但是一般情况下, 金属硫化物中的 U、Th 含量很低, 因而在其结晶以后通过衰变作用产生的放射性成因的铅含量非常低, 对铅同位素组成的影响可以忽略不计(冷成彪等, 2008)。将铅同位素样品在铅同位素构造环境演化图(图 3)进行投点, 根据不同铅源区的 Pb 同位素组成特征做出了不同源区铅的均增长曲线。嘎拉勒铜金矿床的黄铜矿数据点在地幔与上地壳及造山带演化线均有分布, 其中大部分集中于造山带与上地壳之间。因此嘎拉勒矿集区铅同位素来源具有以造山带铅为主, 少量上地壳铅相结合的特征。

将嘎拉勒铜金矿区 6 件黄铜矿样品 Pb 同位素投点到构造环境判别图中(图 4), Pb 同位素组成总体

表 2 嘎拉勒矿区黄铜矿、黄铁矿铅同位素比值表
Table 2 Lead isotope data of chalcopyrite and pyrite from the Galale deposit

序号	样品编号	样品名称	比值						数据来源
			$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2δ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2δ	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2δ	
1	ZK42-294.16	黄铜矿	38.468	0.004	15.622	0.001	18.652	0.002	本文
2	LPD1-16	黄铜矿	38.793	0.003	15.655	0.002	18.871	0.002	
3	LPD1-17	黄铜矿	38.895	0.003	15.663	0.001	18.541	0.002	
4	LPD1-20	黄铜矿	38.427	0.007	15.588	0.003	18.330	0.003	
5	LPD1-25	黄铜矿	39.008	0.004	15.701	0.002	18.745	0.002	
6	LPD1-18	黄铜矿	38.749	0.012	15.638	0.005	18.521	0.006	
7	G-S01	黄铁矿	38.359	< 0.005	15.637	< 0.005	18.141	< 0.005	宋俊龙, 2014
8	GL010-67.2	黄铜矿	38.453	< 0.005	15.602	< 0.005	18.224	< 0.005	
9	G108-140	黄铁矿	38.746	< 0.005	15.597	< 0.005	18.477	< 0.005	

表 3 嘎拉勒矿区氢氧同位素分析表
Table 3 Analytical results of H-O isotope in the Galale copper-polymetallic ore deposit

序号	样品编号	岩石/矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	数据来源
1	ZK42-251.87	含辉钼矿石英脉	12.2	-103.3	5.5	本文
2	ZK42-264.1	含辉钼矿石英脉	12.8	-95.3	5.1	

落到造山带范围内, 少部分落在下地壳范围内。结果表明嘎拉勒矿床构造环境为造山带, 并存在少量的下地壳。通过构造环境判别图可以得出嘎拉勒矿床主要的形成环境为碰撞的造山带。

由于成矿流体的来源不同, 其 H-O 的同位素组成不同, 所以 H-O 同位素的组成特征是判断成矿流体来源的重要依据(谭泽模等, 2014)。其中水是成矿流体的基本组分, 成矿溶液中氢氧同位素组成是研究不同成因水的重要示踪剂(潘小菲等, 2009)。因此 δD_{V-SMOW} 测试值可代表成矿流体的氢同位素组成(郑永飞和陈江峰, 2000; 郑永飞等, 2000)。将成矿流体的 δD 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 投于氢氧同位素图解中(图 5), 从图中可以看出嘎拉勒铜金矿床 H-O 同位素测试样品落入岩浆水与雨水之间, 其中有向大气降水线的方向偏移趋势, 突显出大气降水对成矿的作用有一定影响。

嘎拉勒铜金矿区方解石碳氧同位素组成范围与海相碳酸盐岩碳氧同位素组成较接近, 同时受到

地幔来源碳氧同位素(吕立娜, 2012)影响。在 $\delta^{18}O$ - $\delta^{13}C$ 图解中 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 落于碳酸盐溶解作用区域, 并结合尕尔穷矿区的 C-O 同位素情况, 显示出嘎拉勒矿床在成矿作用发生时, 矿区的海相碳酸盐岩经历了溶解作用。

嘎拉勒 C-O 同位素落于碳酸盐溶解作用源区(图 6), 显示出嘎拉勒矿床的碳氧同位素组分为海相碳酸盐岩经过碳酸盐溶解作用形成。

3.2 矿床成因及模式

晚白垩世班怒洋关闭后, 冈底斯—念青唐古拉板片与南羌塘—三江复合板片之间的弧-陆碰撞作用(曹圣华等, 2006), 使得地壳发生重熔, 中酸性岩浆沿构造裂隙上侵就位。在 131 Ma 时形成巨斑状石英闪长岩, 与碎屑岩接触形成角岩化; 地壳重熔岩浆受幔源岩浆的混染, 沿构造裂隙继续上侵, 喷发的安山质火山岩覆盖在早白垩世地层之上, 形成地球化学障; (86.52 ± 0.41) Ma 时花岗闪长岩在侵位过程中与嘎拉勒碳酸盐岩接触部位发生矽卡岩

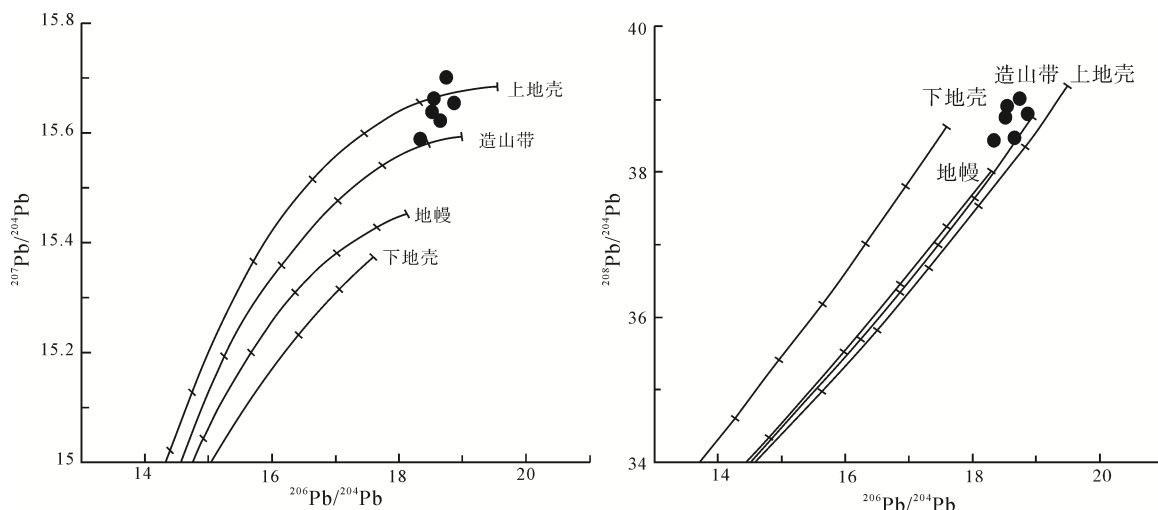


图 3 铅同位素构造环境演化图(据 Zartman and Doe, 1981)

Fig. 3 Diagram of lead isotope from the Galale copper deposit (after Zartman and Doe, 1981)

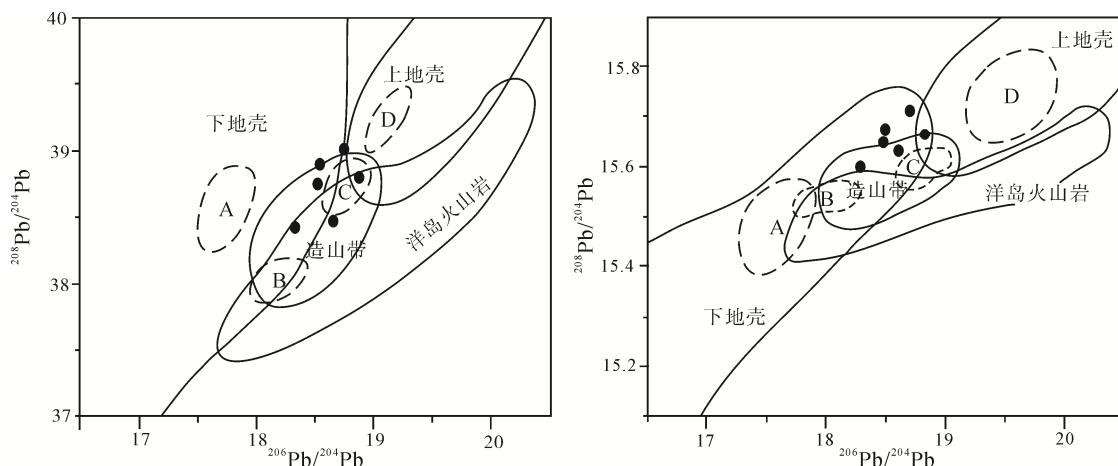


图 4 嘎拉勒铜金矿床铅同位素源区图解(据姚晓峰等, 2012 修改)

Fig. 4 Diagram of lead isotope from the Galale copper deposit (modified after YAO et al., 2012)

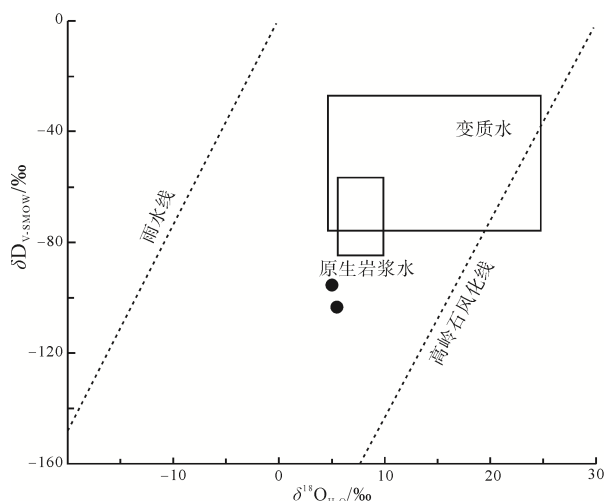


图5 嘎拉勒铜金矿床氢氧同位素投影图

Fig. 5 The projection of $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ versus δD of the Galale copper-polymetallic deposit

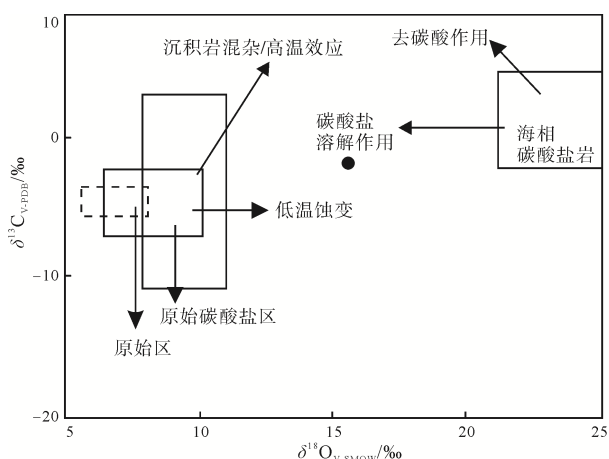


图6 嘎拉勒铜金矿床碳氧同位素投影图

(底图据刘建明等, 1997 修改)

Fig. 6 Carbon and oxygen isotope projection of the Galale copper-gold deposit (basemap modified after LIU et al., 1997)

化。流体再次向上侵位时, 在大约 1 Ma 的时间内, 压力和大气降水的参与导致了该阶段成矿流体物理化学性质的骤变, 出现为温度、盐度、氧逸度降低, pH 值升高等现象, 使得成矿流体发生了不混溶(沸腾)作用, 成矿金属物质的稳定络合物失稳或在流体中的溶解度降低, 进而导致了金属成矿物质快速沉淀成矿(图 7)(唐菊兴等, 2013)。

4 结论

通过对嘎拉勒铜金矿床同位素地球化学特征的分析, 得到以下结论:

(1) 西藏嘎拉勒铜金矿床硫的来源主要为幔源岩浆硫, 有少量的地壳硫的混染。(2) 嘎拉勒矿床铅同位素组成以上地壳和造山带的混源为主, 矿区构造环境主要以造山带为主, 矿床形成于碰撞的造山带环境。(3) H-O 同位素研究表明, H-O 同位素数据

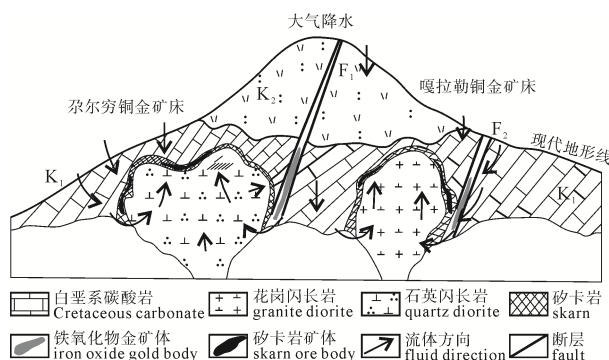


图7 嘎拉勒矿床成矿模式示意图(据唐菊兴等, 2013 修改)

Fig. 7 Schematic diagram of deposit model for the Galale ore deposit (after TANG et al., 2013)

落在岩浆水区域的左下方, 位于岩浆水与大气降水混合及水岩交换演化趋势线上, 表明大气降水加入后变化明显。(4) 嘎拉勒铜金矿区的碳氧同位素组分为海相碳酸盐经过溶蚀作用形成的。(5) 嘎拉勒铜金矿床是由幔源岩浆成矿流体和大气降水的加入共同作用, 与碳酸盐岩接触交代而形成的矽卡岩型矿床。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20160026), Science & technology Department of Sichuan Province (No. 2017JY0143), and Education Department of Sichuan Province (No. 14ZB0062).

参考文献:

- 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 廖六根. 2006. 班公湖—怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 26(4): 25-32.
- 冷成彪, 张兴春, 秦朝建, 王守旭, 任涛, 王外全. 2008. 滇西北雪鸡坪斑岩铜矿流体包裹体初步研究. 岩石学报, 24(9): 2017-2028.
- 李永胜, 吕志成, 严光生, 甄世民, 杜泽忠. 2012. 西藏甲玛铜多金属矿床 S、Pb、H、O 同位素特征及其指示意义[J]. 地学前缘, 19(4): 72-81.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 多吉, 刘鸿飞, 邓世林, 张志, 张金树, 胡正华. 2011. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. 矿床地质, 30(6): 1149-1153.
- 刘建明, 刘家军, 顾雪祥. 1997. 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用[J]. 岩石矿物学杂志, 16(4): 341-352.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 赵元艺, 曲晓明, 王江朋. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224-242.
- 吕立娜. 2012. 西藏班公湖—怒江成矿带西段富铁与铜(金)矿床模型[D]. 北京: 中国地质科学院.

- 潘小菲, 宋玉财, 王淑贤, 李振清, 杨志明, 侯增谦. 2009. 德兴铜厂斑岩型铜金矿床热液演化过程[J]. 地质学报, 8(11): 1929-1950.
- 宋俊龙. 2014. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区流体包裹体研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 谭泽模, 唐龙飞, 黄敦杰, 蔡明海, 彭振安, 常江, 赵京. 2014. 广西大厂矿田 C、H、O 同位素及成矿流体来源研究[J]. 矿产勘查, 5(5): 738-743.
- 唐菊兴, 王勤, 杨欢欢, 高昕, 张泽斌, 邹兵. 2017. 西藏斑岩-矽卡岩-浅成低温热液铜多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力[J]. 地球学报, 38(5): 571-613.
- 唐菊兴, 张志, 李志军, 孙燕, 姚晓峰, 胡正华, 王红星, 宋俊龙, 何林. 2013. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向[J]. 地球学报, 34(4): 385-394.
- 田世洪, 杨竹森, 侯增谦, 刘英超, 宋玉财, 王富春, 薛万文. 2011. 青海玉树东莫扎抓铅 锌矿床 S、Pb、Sr-Nd 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 岩石学报, 27(7): 2173-2183.
- 王强, 孙燕, 李志军, 徐超, 王瑜亮, 何建娟, 郭显忠. 2013. 班公湖—怒江成矿带嘎拉勒铜金矿床发现罕见铋矿物[J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(3): 343-348.
- 王立强, 王勇, 旦真王修, 李宝龙, 李壮, 李申, 范源, 李威, 龚福志. 2017. 班公湖—怒江成矿带西段主要岩浆热液型矿床成矿特征初探[J]. 地球学报, 38(5): 615-626.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 胡正华, 张志. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床 S、Pb 同位素地球化学特征——成矿物质来源示踪[J]. 地球学报, 33(4): 528-536.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 李志军, 邓世林. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿金矿物特征研究[J]. 地质与勘探, 47(6): 1018-1025.
- 张志, 唐菊兴, 陈毓川, 何林, 李志军, 姚晓峰, 宋俊龙. 2014. 西藏嘎拉勒大型金铜矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, (S1): 59-60.
- 张志, 唐菊兴, 杨毅, 李志军, 姚晓峰, 邓世林, 王红星, 宋俊龙. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 地球学报, 33(4): 663-672.
- 张志. 2015. 西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区成矿规律与成矿预测[D]. 成都: 成都理工大学.
- 郑永飞, 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社: 143-192.
- 郑永飞, 徐宝龙, 周根陶. 2000. 矿物稳定同位素地球化学研究[J]. 地学前缘, 7(2): 299-320.
- LENG Cheng-biao, ZHANG Xing-chun, QIN Chao-jian, WANG Shou-xu, REN Tao, WANG Wai-quan. 2008. Study of fluid inclusions in quartz veinlets in the Xuejiping porphyry copper deposit, Northwest Yunnan, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(9): 2017-2028(in Chinese with English abstract).
- LI Yong-sheng, LÜ Zhi-cheng, YAN Guang-sheng, ZHEN Shi-min, DU Ze-zhong. 2012. Isotopic characteristics of S, Pb, H and O of Jiama copper-polymetallic ore deposit, Tibet and their significance[J]. Earth Science Frontiers, 19(4): 72-81(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-jun, TANG Ju-xing, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, WANG You. 2011b. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. Journal of Chendu University of Technology, 38(6): 678-683(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-ming, LIU Jia-jun, GU Xue-xiang. 1997. Basin Fluids and Their Related Ore Deposits[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 16(4): 341-352(in Chinese with English abstract).
- LÜ Li-na, CUI Yu-bin, SONG Liang, ZHAO Yuan-yi, QU Xiao-ming. 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galaskarngold(copper) deposit, Tibet and its significance[J]. Earth Science Frontiers, 18(5): 224-242(in Chinese with English abstract).
- LÜ Li-na. 2012. Metallogenic Model of Rich Iron and Copper (Gold) Deposits in Western part of Bangong Co-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- PAN Xiao-fei, SONG Yu-cai, WANG Shu-xian, LI Zheng-qing, YANG Zhi-ming, HOU Zeng-qian. 2009. Evolution of hydrothermal fluid of Dexing Tongchang copper-gold porphyry deposit[J]. Acta Geologica Sinica, 8(11): 1929-1950(in Chinese with English abstract).
- SONG Jun-long. 2014. Study on the Fluid Inclusions of Gaerqiong-Galale Copper-Gold Ore Concentration Area Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- TAN Ze-mo, TANG Long-fei, Huang Dun-jie, CHANG Jiang, ZHAO Jing, Peng Zhen-an. 2014. Study on isotopes of carbon hydrogen and oxygen ore forming fluids in the Dachang tin ore field and sources of Guangxi[J]. Mineral Exploration, 5(5): 738-743(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, WANG Qin, YANG Huan-huan, GAO Xin, ZHANG Ze-bin, ZOU Bing. 2017. Mineralization, Exploration and Resource Potential of Porphyry-skarn-epithermal Copper Polymetallic Deposits in Tibet[J]. Acta Geoscientia Sinica, 38(5): 571-613(in Chinese with English abstract).

References:

- CAO Sheng-hua, DENG Shi-quan, XIAO Zhi-jian, LIAO Liu-gen. 2006. The archipelagic arc tectonic evolution of the Me-so-Tethys in the western part of the Bangong Lake-Nujiang suture zone[J]. Deposition and Tethys Geology, 26(4): 25-32(in Chinese with English abstract).

- TANG Ju-xing, Zhang Zhi, LI Zhi-jun, SUN Yan, YAO Xiao-feng, HU Zheng-hua, WANG Hong-xing, SONG Jun-long, HE Lin. 2013. The Metallogensis, Deposit Model and Prospecting Direction of the Ga'erqiong-Galale Copper-gold Ore Field[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(4): 385-394(in Chinese with English abstract).
- TIAN Shi-hong, YANG Zhu-shen, HOU Zeng-qian, LIU Ying-chao, SONG Yu-cai, WANG Fu-chun, XUE Wan-wen. 2011. Sulfur, lead, strontium and neodymium isotope compositions of the Mohailaheng lead-zinc ore deposit in the Yushu area, southern Qinghai: Implications for the sources of ore-forming material in the deposit and comparison with those of Dongmozhaizhuo lead-zinc ore deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2173-2183(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-qiang, WANG Yong, DANZHEN Wang-xiu, LI Bao-long, LI Zhuang, LI Shen, FAN Yuan, LI Wei, GONG Fu-zhi. 2017. A Tentative Discussion on Metallogeny of the Main Magmatic-hydrothermal Ore Deposits in the Western Bangong Co-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(5): 615-626(in Chinese with English abstract).
- WANG Qiang, SUN Yan, LI Zhi-jun, XU Chao, WANG Yu-liang, HE Jian-juan, GUO Xian-zhong. 2013. Bangong Lake - Nujiang metallogenic belt Galale copper gold deposit found rare bismuth minerals. *bulletin of mineralogy*[J]. *Petrology and Geochemistry*, 32(3): 343-348(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin, HU Zhen-hua, ZHANG Zhi. 2012. S, Pb Isotope Characteristics of the Ga'erqiong Gold-Copper Deposit. in Tibet: Tracing the Source of Ore-forming Materials[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 528-536(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, TANG Ju-xing, WANG-You, LI Zhi-jun, DENG Shi-lin. 2011. The study of the characteristics of gold minerals in Gaerqiong copper-gold deposit. *Tibet*[J]. *Geology and Exploration*, 47(6): 1018-1025(in Chinese with English abstract).
- ZARTMAN R E, DOE B R. 1981. Plumbtectonics: The model[J]. *Tectonophysics*, 75(2): 136-162
- ZHAI Yu-sheng. 1999. On the metallogenic system[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 13-27(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, TANG Jun-xing, CHEN Yun-chuan, HE Lin, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, SONG Jun-long. 2014. Re-Os dating of molybdenum in the large-scale gold-copper deposit, Gaale, Tibet, and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, (S1): 59-60(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi, TANG Ju-xing, YANG Yi, LI Zhi-jun, YAO Xiao-feng, DENG Shi-lin, WANG Hong-zing, SONG Jun-long. 2012. Element Spatial Distribution of the Gaerqiong Cop-per-gold Deposit in Tibet and Its Geochemical Exploration model[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 663-672(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi. 2015. Metallogenic regularity and metallogenic prediction for Ga'erqiong-Galale copper-gold concentrated area, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Yong-fei, CHEN Jiang-feng. 2000. Stable isotope geochemistry[M]. Beijing: Science Press: 143-192(in Chinese).
- ZHENG Yong-fei, XU Bao-long, ZHOU Gen-tao. 2000. Mineral Stable Isotope Geochemistry[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 299-320(in Chinese with English abstract).