

西藏隆子县恰嘎锑矿床流体包裹体及 H、O、S 同位素组成特征*

娄元林¹, 陈武¹, 袁永盛², 杨桃³

(1 中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 西藏拉萨 850000; 2 中国人民武装警察部队黄金第九支队, 海南海口 571127; 3 汕头大学, 广东汕头 515063)

摘要 西藏隆子县恰嘎锑矿位于藏南喜马拉雅特提斯造山带的中东部, 属藏南江孜-隆子金锑多金属成矿带。综合研究该矿床的石英流体包裹体特征和 H-O-S 同位素的组成, 发现其流体成矿过程包括: 黄铁矿-石英阶段发育富液相包裹体(W 型), 均一温度集中在 170~180℃, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 2.86%~7.17%, 成矿压力平均为 47.15 MPa, 成矿深度平均为 1.57 km; 石英-硫化物阶段主要发育富液相包裹体(W 型), 其次为 CO_2 - H_2O 三相包裹体(C 型), 均一温度位于 200~220℃区间, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 2.20%~5.11%, 成矿压力平均为 47.46 MPa, 成矿深度平均为 1.58 km。矿区总体上流体属含微量 CO_2 气体的中低温、低盐度的 NaCl - H_2O 热液体系。H-O 和 S 同位素结果表明存在地幔流体参与成矿, 其赋矿浅变质沉积岩地层也为成矿提供了部分成矿流体, 以上研究证明, 恰嘎锑矿属于多来源流体浅层中低温矿床。

关键词 地质学; 成矿流体; 流体包裹体; H-O-S 同位素; 恰嘎锑矿; 西藏

中图分类号: P618.66

文献标志码: A

Fluid inclusion and H, O, and S isotopic composition of Qiaga stibnite deposit in Longzi County, Tibet

LOU YuanLin¹, CHEN Wu¹, YUAN YongShen² and YANG Tao³

(1 No.11 Gold Geological Party of CAPF, Lasha 850000, Tibet, China; 2 No.9 Gold Geological Party of CAPF, Haikou 571127, Hainan, China; 3 Shantou University, Shantou 515063, Guangdong, China)

Abstract

Located in the central-eastern part of the Tethyan Himalayan tectonic belt, the Qiaga stibnite deposit belongs to the Jiangzi-Longzi Au-Sb polymetallic metallogenic belt. Based on the study of fluid inclusions in quartz and isotopic geochemistry of H-O-S analyzed in this study, The authors revealed that the hydrothermal ore-forming process included several stages: the pyrite-quartz assemblage stage, characterized by rich liquid inclusions (type W), with homogenization temperatures clustered at 170~180℃, salinities of 2.86%~7.17%, and average pressure of 47.15 MPa, corresponding to the ore-forming depth of 1.57 km; the quartz-sulfide assemblage stage featured mainly by liquid-rich inclusions (type W); and the third stage containing CO_2 - H_2O three-phase inclusions (type C), having homogenization temperatures around 200~220℃, salinities of 2.20%~5.11%, and average pressure of 47.46 MPa, corresponding to an ore-forming depth of 1.58 km. On the whole, the fluid inclusions belong to the NaCl - H_2O hydrothermal system of micro- CO_2 gas, medium-low temperature, low salinity. The results of H-O-S

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目“西藏哲古-日当一带铅锌锑多金属矿产调查评价”(编号: 12120114083501)和“西藏古堆地区金锑多金属矿产远景调查”(编号: 1212011121236)联合资助

第一作者简介 娄元林, 男, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要从事矿产地质调查及矿产勘查工作。Email: 420418599@qq.com

收稿日期 2016-11-23; 改回日期 2018-02-01。赵海杰编辑。

isotopic geochemistry shows that the ore-forming fluids originated from the mantle and/or the hosted-metamorphic sedimentary rocks. This evidence suggests that the Qiaga stibnite deposit belongs to a multiple sources fluid and shallow medium-low temperature deposit.

Key words: geology, ore-forming fluid, fluid inclusion, H-O-S isotopes, Qiaga stibnite deposit, Tibet

恰嘎锑矿位于西藏山南地区隆子县日当镇恰嘎村。在工作区南侧是乃东县-错那县省道202线,北侧为隆子-日当-热荣-古堆-哲古-措美县级公路,总体而言交通较为方便。在矿区西南部可见著名的扎西康大型铅锌矿,东北部为查拉普大型金矿,北部有马扎拉中型锑金矿床,其成矿地质条件、成矿环境相似,与本矿床具有一定的对比性和借鉴性,附近还有姜仓金矿点、柯月锑铅锌多金属矿、象日锑矿点、邦卓玛金矿点(图1),具有优越的成矿地质条件,是寻找金锑铅锌多金属矿产的重要区段(郑有业等,2007;莫儒伟等,2013;李应栩等,2015;于森,2015;董富权等,2015;陈东太等,2016;娄元林等,2016)。

对恰嘎锑矿较早的研究始于岩浆岩地球化学特征方面,胡古月等(2011)认为恰嘎流纹质次火山岩中存在类似四分组的稀土元素“膝折”效应,同时在另一篇文章中更加详细的阐述了其属于二云母花岗岩的高位体系,是中始新世青藏高原主碰撞时期地壳增厚条件下,中下地壳部分熔融的产物。董富权等(2015)详细分析了恰嘎锑矿的地质特征后认为该区具有很大找矿的潜力。娄元林等(2016)通过分析该矿4的号脉原生晕特征,预测矿体深部有较大延伸或存有盲矿体的可能性仍很大。此外,前人更多的是从区域上分析矿床分布规律、控矿因素、成矿作用以及找矿方向等方面的研究(冯孝良等,1999;付伟等,2005;杨竹森等,2006;戚学祥等,2008;张刚阳,2012),但针对该矿床成因上的分析资料较少,本次工作在总结前人研究的基础上,通过对该矿床流体包裹体的研究,查找矿床形成过程中成矿流体的物理化学条件和地质环境,深化对矿床成矿流体特征及演化过程的认识,为研究该区成矿机制补充了新的地球化学资料,为探讨矿床成因提供新的理论依据,对促进该区内金、锑矿床理论研究和指导找矿勘查均具有重要意义(陈衍景等,2007;刘云飞等,2011;梁玲慧等,2012)。

1 区域地质背景

大地构造上,恰嘎锑矿床处于青藏高原南部喜

马拉雅特提斯造山带的中东部,介于雅鲁藏布缝合带(YS)与藏南拆离系主拆离面(STDS)之间,由于受印度-亚洲大陆碰撞造山作用的影响,引发大规模的成矿作用,造成了区内复杂的沉积作用类型,强烈的岩浆活动和变质作用,形成复杂多样的构造层次、构造样式、构造组合,具备优越的成矿地质条件(冯孝良,1999;尹安,2001;戚学祥等,2008;潘桂棠等,2004)。

区域地层由老到新主要有前寒武系亚堆扎拉岩群、古生界曲德贡岩组、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系,它们之间分布很不均匀,范围相差较大。区内地层中多种成矿元素丰度值均较高,不仅为成矿提供了赋存层位,也可能提供了成矿物质来源,地层总体上表现出金矿主要分布在涅如组中,锑矿主要分布在陆热组和遮拉组中,区内南部侏罗系中分布的金属矿产,80%以上与遮拉组相关;北部涅如组中分布的金属矿产,90%以上与涅如组二段和三段相关,表现为较强的成矿专属性。

中生界上三叠统涅如组为一套以绢云母粉砂质板岩与变质长石石英杂砂岩互层为代表的次深海斜坡复理石相沉积,中生界侏罗系(包括下侏罗统日当组、中-下侏罗统陆热组、中侏罗统遮拉组和上侏罗统维美组,详细岩性见矿床地质部分)总体为一套泥质粉砂岩、泥页岩、长石砂岩、石英砂岩、灰岩组合,代表了一套滨海-浅海陆棚相沉积,期间局部夹有玄武岩、英安岩等,指示了在滨-浅海陆棚背景下的火山喷溢-沉积。

区域自泛非期以来主要经历了碰撞造山、伸展拆离、高原隆升3期构造变形活动,区域处于康马-隆子褶冲带中,以伸展剥离断裂和古堆隆子断裂为界(图1),北部为逆冲推覆带,中部为雅拉香波和达拉花岗岩岩体为核心的变质核杂岩,南部为褶皱冲断带;主要表现为一系列走向近东西向的复式褶皱、滑脱构造、逆冲推覆断裂及南北、北东、北西向断层,为本区成矿提供了很好的导矿和容储矿的空间。

侵入岩分布广泛,且以岩脉形式产出,主要为辉长岩、辉绿岩、煌斑岩和闪长岩等,时间上从中生代—新生代均有岩浆活动,空间上侵入岩主要分布

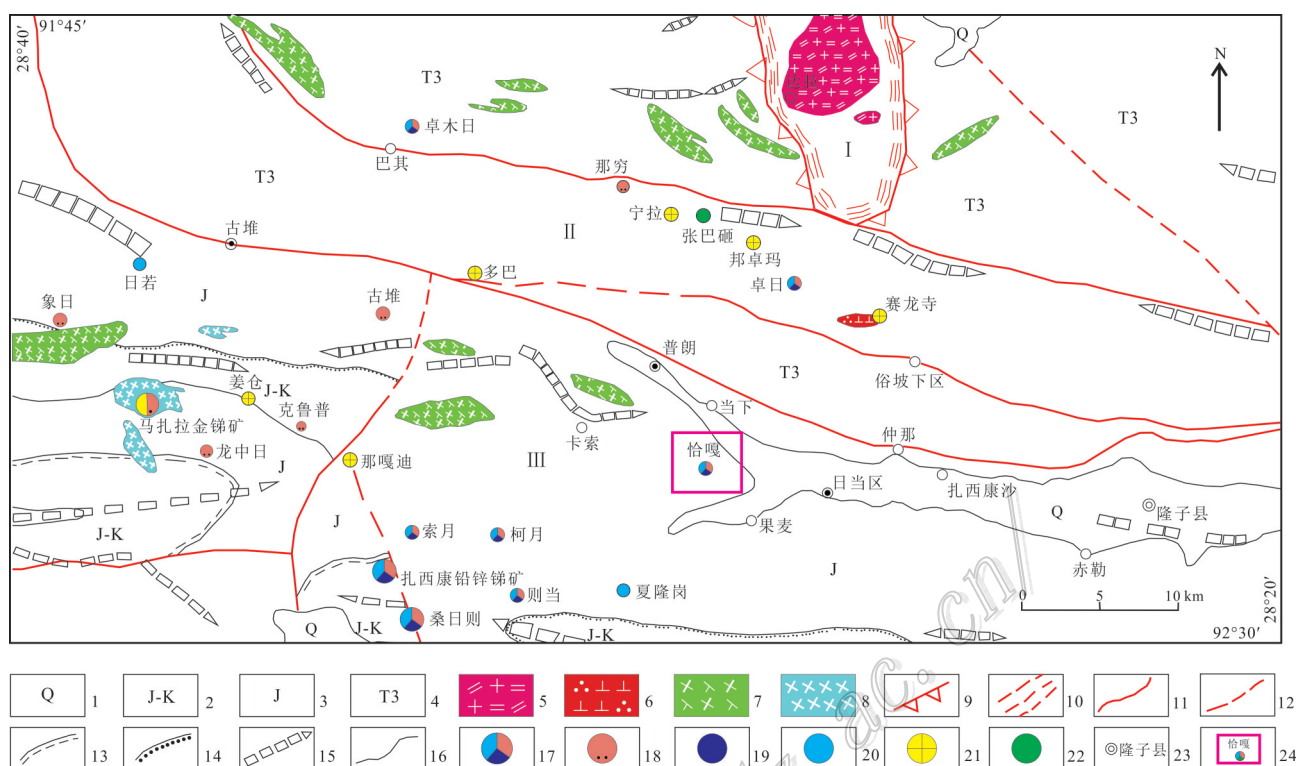


图1 西藏古堆-隆子区域构造纲要及矿产分布图(底图据姜元林等,2016修改)

- 1—第四系沉积物;2—侏罗系—白垩系滨浅海碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造;3—侏罗系海相碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造、碳酸盐岩建造;4—晚三叠世海相碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造;5—中新世二云二长花岗岩;6—始新世石英闪长岩;
7—晚白垩世辉绿玢岩;8—未分岩脉;9—伸展剥离断裂;10—韧性剪切带;11—断层线;12—推测断层线;
13—平行不整合界线;14—角度不整合界线;15—向斜构造及编号;16—地质界线;17—典型锑铅锌矿;
18—典型锑矿;19—典型铅矿;20—典型锌矿;21—典型金矿;22—典型铜矿;23—地名;24—工作区

I—雅拉香波变质核杂岩;II—达拉-三安曲林褶冲带;III—哲古错-日当褶冲带

Fig. 1 Tectonics outline and distribution of mine in the Gudui-Longzi district, Tibet (modified after Lou et al., 2016)

- 1—Quaternary sediments; 2—Jurassic—Cretaceous littoral clastic rocks, including volcanoclastic rock Formations; 3—Jurassic marine clastic rocks, including volcanoclastic rock Formation and carbonate rock Formation; 4—Late Triassic marine clastic rocks, including volcanoclastic rock Formation; 5—Miocene two-mica monzonitic granite; 6—Eocene quartz diorite; 7—Upper Cretaceous diabase-porphyrite;
8—Undivided vein; 9—Extensional detachment fracture; 10—Ductile shear zone; 11—Fault line; 12—Inferred fault line;
13—Parallel unconformity boundary; 14—Angular unconformity boundary; 15—Synclinal structure and number;
16—Geological boundary; 17—Typical antimony lead-zinc ore; 18—Typical antimony ore; 19—Typical lead ore;
20—Typical zinc ore; 21—Typical gold ore; 22—Typical copper ore; 23—Placename; 24—Work area

I—Yalashangbo metamorphic core complex; II—Dala-Sangngagquiling fold thrust belt;

III—Chigun Lake-Ridang fold thrust belt

在西部和东北部;中-基性侵入岩侵位于早白垩世,酸性侵入岩侵位于古近纪和新近纪。火山活动主要集中在晚三叠世、中侏罗世和早白垩世。岩石类型齐全,从超基性岩(超镁铁岩)到酸性岩均有出露,主要分布在上三叠统涅如组、中侏罗统遮拉组 and 上侏罗统至下白垩统桑秀组中(任冲等,2014,任冲,2015)。由于强烈的动力作用以及酸性岩浆

岩的侵入,广泛发育了区域变质、动力变质和接触变质作用。

构造的演化导致元素及不同类型的矿床在空间上有规律的分布,主要表现在受东西向断裂构造(Au矿)、南北向正断层(Sb、Pb-Zn-Ag矿)的控制,总体显示出成矿地质环境和成矿流体具浅成性,而成矿物质来源和成矿热动力机制具深源性

的成矿特征。另外,研究区成矿作用主要经历了初始矿源层的形成(晚三叠—早白垩世)、动力变质热液改造(晚白垩世—渐新世)及火山-次火山岩浆活动的叠加富集成矿(中新世新近纪晚期)3个重要阶段。

研究区晚三叠世—早白垩世处于雅鲁藏布江南缘被动大陆边缘盆地,是新特提斯洋形成和发展阶段,富含中基性火山岩和热水沉积岩的浊流沉积建造形成了大陆斜坡相、陆棚相、滨浅海相碳硅泥岩系沉积,形成初始矿源层(Au、Sb、Pb-Zn-Ag 矿等),其成矿时代对应为印支期—燕山晚期;晚白垩世—渐新世(70~45 Ma)时期,印度板块向北俯冲,藏南特提斯洋逐渐消亡,陆-陆碰撞,形成了大量近东西向褶皱及逆冲推覆构造,受拆离作用影响,地幔热流上升,另外中基性岩和 S 型花岗岩侵位以及区域热流变质作用导致含矿流体向低压扩容带迁移、沉淀,形成新的富集场和分散场,其成矿时代对应为燕山晚期—喜山早期;中新世新近纪晚期(23~8 Ma),藏南地区进入陆内调整阶段,大规模伸展拆离作用,导致了变质核杂岩的隆升并形成了一系列近东西向滑脱构造和近南北向、北东向、北西向张扭性构造,构成青藏高原独具特色的藏南拆离系(STDS),变质核杂岩及垒式构造为含矿热液的迁移、富集成矿提供了有利的空间,其成矿时代对应为喜山中、晚期(黄小东,2011)。

2 矿床地质特征

区内出露地层有下侏罗统日当组(J_1r)、中下侏

罗统陆热组($J_{1-2}l$)和中侏罗统遮拉组(J_{2z}),其次为第四系(Q)(图2)。上侏罗统日当组(J_1r)可细分为2个岩性段,日当组一段(J_{1r}^1):灰黑色页岩、灰黑色薄层砂岩夹中厚层长石石英砂岩,下侏罗统日当组二段(J_{1r}^2):灰黑色粉砂岩夹少量薄层灰岩及灰岩结核;中下侏罗统陆热组分为3个岩性段,中下侏罗统陆热组一段($J_{1-2}l^1$):灰黑色泥质粉砂岩夹中厚层灰岩,陆热组二段($J_{1-2}l^2$)为灰黑色粉砂岩夹薄层灰岩,陆热组三段($J_{1-2}l^3$)为灰黑色泥质粉砂岩夹中厚层灰岩;中侏罗统遮拉组可分为3个岩性段,区内出露有一段、二段,中侏罗统遮拉组一段(J_{2z}^1):灰黑色粉砂质泥岩,遮拉组二段(J_{2z}^2):砂粉质泥岩夹安山岩、英安岩及玄武安山岩等;第四系(Q)主要以砾石、砂、黏土为主。

该区位于古堆-隆子断裂南侧,卡索向斜转折端,区内构造主要发育有近南北向和近东西向断裂构造和轴向近东西的褶皱。甲杰日断裂F3从该中部经过,该断裂为一滑脱构造带,走向近东西向,倾向北,倾角 $30^\circ\sim 40^\circ$,为一个强变形褶皱带,地层及岩脉发生强烈变形,产生大量的平卧、紧闭褶皱及次级小断裂。

区内发育岩浆岩较多,主要呈东西向或近南北向以脉岩形式分布在测区北部和中部,岩性主要有煌斑岩、辉绿岩、少量花岗细晶岩。

区内发现含锑矿化蚀变带5条(表1),其中1、2、4号脉有一定规模(董富权等,2015;娄元林等,2016)。区内控制锑矿化的构造主要为近南北向和近东西向的断裂构造,出露地层主要为侏罗系遮拉组第一段灰黑色粉砂质泥岩为主,在矿区的近南北

表 1 恰嘎锑矿区矿化蚀变带特征表

Table 1 Characteristics of mineralized alteration zone of the Qiaga stibnite deposit

编号	控制工程	厚度/m	控制长度/m	产状	品位	主控矿构造	矿石类型
1	TC021-1、TC056、TC056-1、D1	0.75~3.6	130	$110^\circ\angle 64^\circ$	Sb 2.38%~10.3%	近南北向张扭断裂	构造破碎岩型、矿化煌斑岩脉
2	D2、D3	0.41~1.49	60	$78^\circ\sim 105^\circ$ $\angle 34^\circ\sim 45^\circ$	Sb 12.1%~18.2%	近南北向张扭断裂	构造破碎岩型、矿化煌斑岩脉
3	TC021-1	1		$110^\circ\angle 64^\circ$	Sb 1.44%	近南北向张扭断裂	矿化煌斑岩脉
4	D9、D8、D7、D6、TC076、TC077、TC078、TC079、ZK4001、ZK4301、ZK4401、ZK4701	9~26	300	$330^\circ\sim 55^\circ$ $\angle 28^\circ\sim 56^\circ$	Ag(1.6~98) $\times 10^{-6}$ Pb 0.044%~5.25% Zn 0.026%~1.37% Sb 0.084%~0.39%	近东西向张性断裂	破碎蚀变岩
5	D5	1		$110^\circ\angle 65^\circ$	Sb 0.49%	近东西向张性断裂	构造破碎岩型、矿化煌斑岩脉

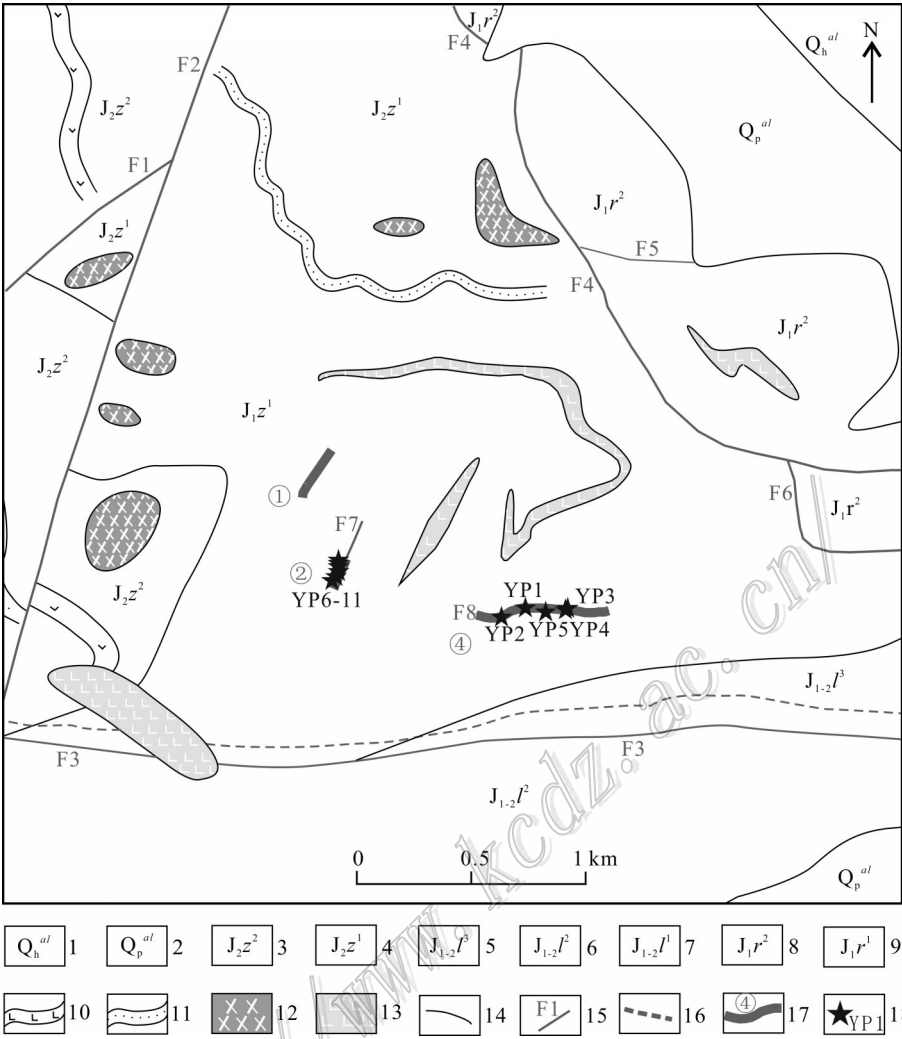


图2 恰嘎锑矿综合地质图(底图据娄元林等,2016)

1—第四系全新统冲积物;2—第四系更新统冲积物;3—中侏罗统遮拉组第二段;4—中侏罗统遮拉组第一段;
5—中-下侏罗统陆热组三段;6—中-下侏罗统陆热组二段;7—中-下侏罗统陆热组一段;8—上侏罗统日当组二段;
9—上侏罗统日当组一段;10—安山质玄武岩;11—砂岩条带;12—辉绿岩;13—煌斑岩;14—地质界线;
15—实测断层;16—推测断层;17—矿脉及编号;18—包裹体及同位素样品位置

Fig. 2 Geological map of the Qiaga stibnite deposit (modified after Lou et al., 2016)

1—Quaternary Holocene alluvial deposits; 2—Quaternary Pleistocene alluvial deposits; 3—The second member of the Middle Jurassic Zhela Formation; 4—The first member of the Middle Jurassic Zhela Formation; 5—The third member of the Middle-Lower Jurassic Lure Formation; 6—The second member of the Middle-Lower Jurassic Lure Formation; 7—The first member of the Middle-Lower Jurassic Lure Formation; 8—The second member of the Upper Jurassic Ridang Formation; 9—The first member of the Upper Jurassic Ridang Formation; 10—Andesite basalt; 11—Sandstone bands; 12—Diabase; 13—Lamprophyre; 14—Geological boundary; 15—Measured fault; 16—Inferred fault; 17—Ore vein and number; 18—Location of inclusions and isotopic samples

向煌斑岩脉中见有辉锑矿细脉,煌斑岩脉为赋矿围岩。

根据矿物共生组合、脉体穿切关系、构造控矿特征及结构构造的综合分析,该矿床形成过程中

经历了多期次多阶段的地质矿化作用,由早到晚依次划分为热液期和表生期2期,其中热液期可进一步划分为黄铁矿-石英阶段、石英-硫化物阶段、石英-方解石-硫化物阶段3个阶段,石英-硫化

物阶段为主要成矿阶段。阶段1(黄铁矿-石英阶段):受到区域性构造应力的作用形成张性断裂和构造角砾,成矿热液沿断裂及地层劈理贯入,或者胶结围岩构造角砾,在断裂带及其两侧的围岩发生带状的蚀变和矿化,此阶段硫化物主要为黄铁矿,基本不含辉锑矿;阶段2(石英-硫化物阶段):断裂构造的再次活动,使早期形成的蚀变岩和围岩地层发生破碎形成构造角砾,被辉锑矿、深灰色石英为主的胶结物等胶结形成角砾岩型矿石。早期乳色石英脉被断裂切割后,充填辉锑矿和深灰色石英,形成脉状锑矿石,该阶段的硫化物以辉锑矿为主,黄铁矿和毒砂相对较少;阶段3(石英-方解石-硫化物阶段):成矿晚阶段出现以方解石-辉锑矿为代表的矿物组合,局部形成方解石晶体聚晶,该阶段出现微量的毒砂,几乎没有黄铁矿;表生期:受构造抬升和风化剥蚀影响,地表浅部的辉锑矿氧化,沿断裂带附近形成锑华,一般规模不大,此外沿断裂构造可形成了地表明显的铁帽、硅帽。

矿石类型主要为构造角砾岩型、蚀变煌斑岩型,矿石构造主要为块状构造、条带状构造,矿石结构主要为自形、半自形晶结构,原生矿石的金属矿物主要为辉锑矿,其次为毒砂,少量的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、褐铁矿等(图3),围岩蚀变主要为硅化、绿泥石化、碳酸盐化。矿石产出部位包括板岩与煌斑岩的内外接触带及煌斑岩内南北向构造裂隙中。

3 流体包裹体地球化学特征

3.1 样品特征及研究方法

在野外地质调研和室内矿相学研究的基础上,本文系统的选取了恰嘎锑矿各主成矿阶段最具代表性的样品进行研究(表2),样品的位置等特征如图2和表2所示,这些样品主要是硅化蚀变带、矿化带及矿体的石英脉及矿石样品(主要为辉锑矿、方铅矿和黄铁矿),对其分别进行了均一温度测定、激光拉曼成分分析以及氢氧同位素测定的分析工作(刘斌等,1999;卢焕章等,2000;2004;郑永飞等,1998;2000)。

测试分析工作均在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,流体包裹体测温工作使用仪器为LINKAM THMS600型冷热台,测试温度和湿度分别为22℃、40%,包裹体先以5℃/min的速率降温到-100℃,保持1 min以确保完成被冻住,后以5℃/min的速率升温至-60℃,保持1 min,降低速率至0.5℃/min,并在温度降低到-56.6℃时保持1 min。随后以3℃/min升温到-10℃,保持1 min后以1℃/min的速度升温到10℃。然后以5℃/min速率升温至100℃后降低升温速率到3℃/min直到完全均一,相变点附近降低速率(约0.5~1℃/min),以便观察到临界点的变化;NaCl-H₂O体系的包裹体盐度通过冰点与盐度关系表(Bodnar, 1993)查得,CO₂-NaCl-H₂O体系包裹体的盐度则通过笼合物熔化温度用Collins(1979)

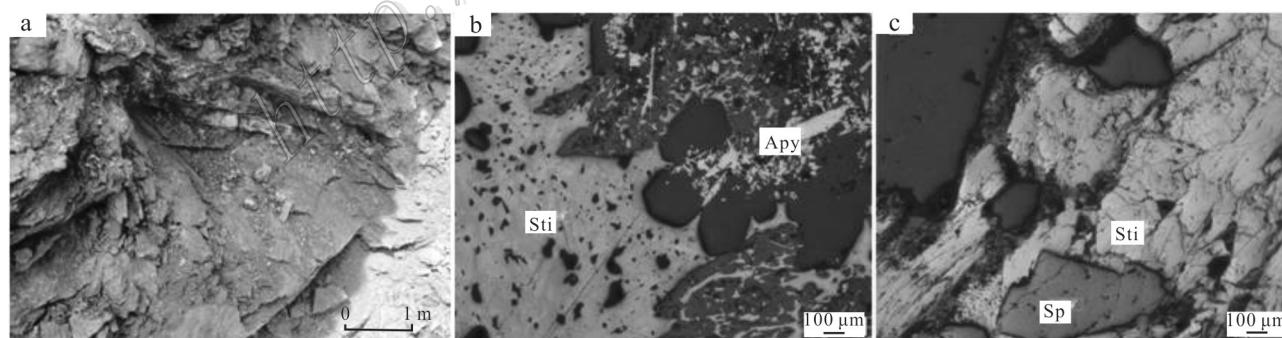


图3 恰嘎锑矿矿石露头(a)和显微特征(b、c)

a. 4号矿化蚀变带TC077中辉锑矿露头;b、c. 恰嘎锑矿矿石金属矿物显微特征

Sti—辉锑矿;Apy—毒砂;Sp—闪锌矿

Fig 3 The outcrop (a) and microscopic features (b, c) of the Qiaga stibnite ore

a. The stibnite outcrop of the TC077 in No. 4 mineralization alteration zone;

b, c. Microscopic features of metallic minerals of the Qiaga stibnite ore

Sti—Stibnite; Apy—Arsenopyrite; Sp—Sphalerite

表2 恰嘎锑矿各主成矿阶段样品数据表

Table 2 Sample description of the main mineralization stages of the Qiaga stibnite deposit

序号	位置	样品编号	岩矿石名称	分析项目
1	恰嘎 TC077	YP1	石英脉	包裹体、H、O 同位素
2	TC078	YP2	方铅矿	S 同位素
3	D8	YP3	石英脉	包裹体、H、O 同位素
4	D8	YP4	方铅矿	S 同位素
5	D324	YP5	辉锑矿矿石	S 同位素
6		YP6		
7		YP7		
8	2号脉	YP8	辉锑矿矿石	包裹体、H、O 同位素、S 同位素
9		YP9		
10		YP10		
11		YP11	黄铁矿	S 同位素

提供的方程计算获得。含子矿物包裹体盐度根据子矿物熔化温度和盐度换算表查出(卢焕章等, 2004), 利用 Flincor 程序(Brown, 1989)估算流体包裹体流体密度。成分分析使用仪器为 LABR-VIS LabRAM HR800 研究级纤维激光拉曼光谱仪, 波长为 532 nm, 激光器为 Yag 晶体倍频固体激光器, 扫描范围为 100~4200 cm^{-1} , 测试温度和湿度分别为 25℃、50%, 在 7 件样品中共测得 146 个包裹体数据。

氢氧同位素测试仪器均为 MAT 251 EM 质谱仪, 分析精度为 $\pm 2\%$, 氢同位素分析先使用压碎法把水从流体包裹体中释放出来, 然后在 400℃ 条件下使水与锌反应产生氢气(Coleman et al., 1982), 再用液氮冷冻后, 收集到有活性炭的样品瓶中。对于石英中的氧同位素分析则采用了 BrF_3 法提取 CO_2 (Clayton et al., 1963), 石英水中的氧同位素根据分馏工程 $1000\ln\alpha = \delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (Clayton et al., 1972) 计算获得, 检测方法和依据分别为 DZ/T 0184.19-1997《水中氢同位素锌还原法测定》、DZ/T 0184.13-1997《硅酸盐及氧化物矿物中氧同位素组成的五氟化溴法测定》。硫同位素测试仪器为 Delta v plus, 分析采用 Robinson 等(1975)的方法从硫化物中分离出 SO_2 , 实验结果用 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 表示, 分析误差优于 0.2‰, 检测方法和依据为 DZ/T 0184.14-1997《硫化物中硫同位素组成的测定》。

3.2 典型矿床地质特征对比

由图 2 可以看出, 查拉普金矿床、扎西康铅锌矿、马扎拉锑金矿床、车穷卓布与本文中的恰嘎锑矿床同位于藏南拆离系江孜-隆子金-锑成矿带内, 其相

似的成矿地质背景(大地构造位置、地层、地球物理化学特征和矿产特征等), 必然导致其包裹体的地球化学特征具相似性和对比性。

由表可以得出, 该地区矿床皆产出于三叠系一侏罗系中, 以蚀变岩型、构造角砾型和石英脉型矿石为主。地球化学特征方面, 包裹体也多以水溶液包裹体为主, 尤其在测温、盐度上大致相当, 流体均为中低温低盐度的热液体系, 矿体多见于浅层, 在同位素方面具一定性的差异性, 详细内容见表 3。

3.3 岩相学特征

包裹体在石英中极为发育, 主要呈成群、均匀分布, 部分为成带状分布(表 4)。以透明无色的纯液包裹体为主, 部分视域内较为发育呈无色-灰色的富液体包裹体与呈深灰色的气体包裹体, 仅局部视域内发育少量呈无色、灰色的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体。富液包裹体分布非常广泛, 大约占包裹体总数的 90% 以上, 包裹体成群(带)分布, 形态呈不规则状、椭圆状, 大小在 $(3 \times 5) \mu\text{m} \sim (10 \times 35) \mu\text{m}$ 之间, 气相分数一般为 15%~25%; 微-细晶石英矿物内包裹体较为发育, 主要为成群、均匀分布。以透明无色的纯液包裹体为主, 部分视域内较为发育呈无色、灰色的富液体包裹体与呈无色-灰色的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体, 仅局部视域内发育少量呈深灰色的气体包裹体, 大小在 $(2 \times 3) \mu\text{m} \sim (40 \times 40) \mu\text{m}$ 之间, CO_2 相比可达 35%(图 4)。

流体包裹体类型主要有水溶液包裹体(W 型)、 $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体(C 型), 极少量气体包裹体, 没有含子矿物多相包裹体。水溶液包体是所有金属类型矿床中最为丰富的包裹体。前人的研究认为(杜泽

表 3 恰嘎锡矿区与邻区典型矿床地质特征对比表 (据黄小东, 2011; 张刚阳, 2012 修改)
Table 3 The geological characteristics comparison of Qiaga deposit with typical deposits from adjacent areas
(modified after Huang, 2011; Zhang, 2012)

对比项目	恰嘎	查拉普	扎西康	马扎拉	车穷卓布
含矿岩性	中侏罗统遮拉组粉砂质板岩、粉砂质泥岩、煌斑岩	上三叠统涅里组碳质板岩、细砂质板岩、泥晶灰岩、辉绿岩、石英闪长岩	中-下侏罗统日当组黑色板岩、变质粉砂岩、流纹岩、辉绿岩、辉长岩	中-下侏罗统日当组板岩、变余细砂岩、变质粉砂岩、灰岩、流纹岩、安山岩、辉绿岩、闪长玢岩	侏罗系中-下统日当组及陆相组板岩、英泥质岩、板岩与微晶灰岩
矿石类型	构造角砾岩型、蚀变煌斑岩型	以蚀变岩型为主, 其次为构造角砾型和石英脉型	氧化矿石 (以 Pb、Sb 和 Fe 的氧化物为主)、硫化矿石 (Pb、Zn、Sb、Ag 的硫化矿)	含金锡石英 (方解石) 脉型、含金石英 (方解石) 脉型、含金黄铁矿 (毒砂) 板岩型和含金蚀变岩型	硅化角砾岩型矿石、石英-辉绿矿矿石、方解石-辉绿矿矿石
成矿阶段	热液期 (黄铁矿-石英阶段、石英-硫化物阶段、石英-方解石-硫化物阶段) 和表生期	热液期 (黄铁矿-石英阶段、石英-硫化物阶段)、石英-毒砂-黄铁矿阶段、石英-自然金阶段) 和表生期	铅-锌期 (方铅矿-闪锌矿阶段)、铅-锌-银期 (铁菱锰矿-闪锌矿-方铅矿-黄铁矿阶段、石英-毒砂-硫化物阶段、方解石-黄铁矿阶段、石英-辉绿矿阶段、石英阶段) 和表生期 (氧化物阶段)	热液期 (毒砂-黄铁矿-石英阶段、方解石-石英阶段、石英-硫化物阶段、方解石-硫化物阶段) 和表生期	
包裹体类型	W 型水溶液包裹体	富 CO ₂ 低盐度水溶液包裹体	W 型水溶液包裹体	富 CO ₂ 低盐度水溶液包裹体	W 型水溶液包裹体
均一温度	170~180℃	164~308℃	253~328℃	134~324℃	121~234.5℃
包裹体盐度	2.20%~5.11%	2.7%~9.3%	1.05%~5.11%	0.41%~7.81%	1.40%~4.65%
成矿深度	1.30~2.00 km	1.1~3.8 km	0.4~1.9 km	1.1~2.8 km	0.6~1.9 km
石英氢同位素	-134.1‰~-106.7‰	-124.4‰~-101.1‰	-165.4‰~-138.6‰	-138.6‰~-63.6‰	-160.4‰~-111.1‰
石英氧同位素	18.0‰~22.1‰	11.6‰~19.9‰	-1.3‰~-21.4‰	14.57‰~22.7‰	-3.5‰~-1.5‰
流体中氧同位素	3.7‰~12.2‰	3.2‰~9.7‰	-13.7‰~-12.5‰	7.84‰~14.91‰	-15.9‰~-13.9‰
流体来源	建造水	从变质水向建造水方向演化的趋势, 二者均参与了成矿	从西藏地热水向建造水过渡, 属于混合水的特征	岩浆水与地热水的混合水	成矿流体更接近于西藏地热水, 其成矿流体中的水主要来自大气降水
硫同位素	深源岩浆硫	深源岩浆硫	围岩中的海相地层中的还原硫	深源岩浆硫	深源岩浆硫
铅同位素	从造山带向上地壳演化的趋势, 与区域广泛分布的基性岩脉、玄武岩脉特征相似	从造山带向上地壳演化的趋势, 与区域广泛分布的基性岩脉、玄武岩脉特征相似	处于上地壳演化线外侧, 富含放射成因铅, 与区域的板岩地层具有相似的铅来源特征	在造山带铅附近, 位于俯冲带岩浆作用范围内	处于地壳铅的演化线上方, 矿石硫化物中含有较多的放射成因铅
矿种	锡矿	金矿	铅锌锡银金矿	金锡矿	锡矿
成矿环境	伸展环境	藏南逆冲推覆挤压构造活动	逆冲推覆挤压构造活动 (古近纪), 伸展分离构造活动 (新近纪)	喜马拉雅期陆陆碰撞	类似于热泉
成矿类型	多来源流体浅层中低温矿床	卡林型-类卡林型	喷流沉积-热泉水改造型	造山型金锡矿	中低温热液矿床

表4 恰嘎锑矿流体包裹体显微测温结果

Table 4 Microthermometric data of fluid inclusions from the Qiaga stibnite deposit

成矿阶段	样号	个数/N	包裹体类型	包裹体分布形态	形状	大小/ μm	气相分数/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$
阶段1	1-TC077	19	C、W	均匀、成群	椭圆状	3~12	15~25	145~273	0.53~9.44
	2-D8	22	C、W	均匀、成群	椭圆状	3~35	15	142~179	2.04~6.59
	3-YP6	24	W	均匀、成群	不规则状、椭圆	4~40	15~20	156~224	3.23~7.17
阶段1、2	4-YP7	15	W	成群	椭圆状	3~13	15~20	157~206	2.86~6.74
	5-YP8	7	W	成群	椭圆	2~4	15	145~189	4.18~6.45
阶段2、3	6-YP9	32	C、W	均匀、成群	不规则状、椭圆	4~25	10~35	156~299	1.14~4.68
	7-YP10	27	C、W	均匀、成群	椭圆状	4~25	10~20	148~249	1.64~5.11

忠等,2011;付伟等,2005;孟祥金等,2008;杨竹森等,2006):藏南地区包裹体特征(表3),从金属类型上来比较,金矿和金锑矿流体包裹体特征相似,含有较多的富 CO_2 包裹体,如马扎拉金锑矿,查拉普金矿;铅锌矿与锑矿相似,但是又有不同。

铅锌矿包裹体主要为水溶液包裹体,但是仍然含有一些的富 CO_2 包裹体,如扎西康铅锌锑多金属矿床;锑矿则主要为水溶液包裹体,很少含有含 CO_2 包裹体,如车穷卓布锑矿。从大小上比较,金矿和金锑矿的包裹体一般体积较大,主要在10~25 μm 之间,铅锌矿次之;锑矿的包裹体,体积较小,主要在5~12 μm 之间。与本次研究具有一定的可比性。

3.2 测温、盐度

流体包裹体热梯度的研究是找矿的一种方法,恰嘎矿区均一温度直方图(图4)表明,本区矿石石英样品中原生流体包裹体的均一温度位于170~180 $^{\circ}\text{C}$ 区间,而在三相流体包裹体中的均一温度位于200~220 $^{\circ}\text{C}$ 区间。与区内马扎拉金(锑)、查拉普金、扎西康铅锌(锑)矿相比成矿温度略低,均反映了低温成矿的特点。

由于石英中的原生包裹体与石英晶体为同期生长,所测均一温度与石英的结晶温度是比较接近的,再者石英与恰嘎锑矿成矿关系表现很密切,故实验中所测温度可作为推测该矿床成矿温度的依据。恰嘎矿区均一盐度直方图(图4)表明,4号脉富液相包裹体盐度波动范围较大,可达0.53%~9.44%;2号脉黄铁矿-石英阶段富液相包裹体盐度为2.86%~7.17%,平均4.85%,石英-硫化物阶段三相包裹体盐度为1.14%~2.63%,平均2.01%。石英-硫化物阶段富液相包裹体盐度为2.20%~5.11%,平均3.72%。

3.3 激光拉曼分析

流体包裹体的成分分析是流体包裹体研究得基

本任务之一,通过对气液相成分的分析,可获取成岩和成矿流体的组分信息,为判断成矿流体来源和源区特征提供依据。

从分析结果可知(图6a、b),恰嘎矿区的2、4号脉黄铁矿-石英阶段流体的气体成分主要为 CO_2 、 CH_4 ,2号脉石英-硫化物阶段流体的气体成分主要为 CO_2 、 N_2 、 CH_4 、 H_2O 。结合显微测温结果,可以推断恰嘎矿区流体为含微量 CO_2 气体的中低温、低盐度 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 热液体系,在石英脉中可见碳酸盐化和少量方解石产出也符合这一观点。

3.4 成矿压力和成矿深度的估算

成矿深部对隐伏矿床的找矿工作具有较好的指导意义,利用流体包裹体测温结果估算成矿深度的方法有多种(张德会等,2011;付旭,2012;侯鹤楠,2012)。据目前国内外关于成矿压力和成矿深度的研究现状,本文根据恰嘎锑矿流体包裹体均一温度、密度、盐度等的测试结果,采用邵洁涟等(1986)经验公式方法对成矿深度进行估算。

利用邵洁涟等(1986)计算成矿压力的经验公式:

$$T_0(\text{初始温度})=374+920\times S(\text{成矿溶液的盐度})(^{\circ}\text{C})$$

$$P_0(\text{初始压力})=219+2620\times S(\text{成矿溶液的盐度})(10^5\text{Pa})$$

$$P_1(\text{成矿压力})=P_0\times T_1(\text{矿区实测成矿温度})/T_0(10^5\text{Pa})$$

根据邵洁涟等(1986)计算成矿深度的经验公式:

$$H_1(\text{成矿深度})=P_1(\text{成矿压力})\times 1/300\times 10^5$$

利用邵洁涟等(1986)计算成矿压力的经验公式得出恰嘎锑矿4号脉黄铁矿-石英阶段的成矿压力为27.05~75.29 MPa,平均为46.27 MPa,成矿深度为0.90~2.51 km,平均为1.54 km;2号脉黄铁矿-石英阶段的成矿压力为38.39~58.78 MPa,平均为47.15 MPa,成

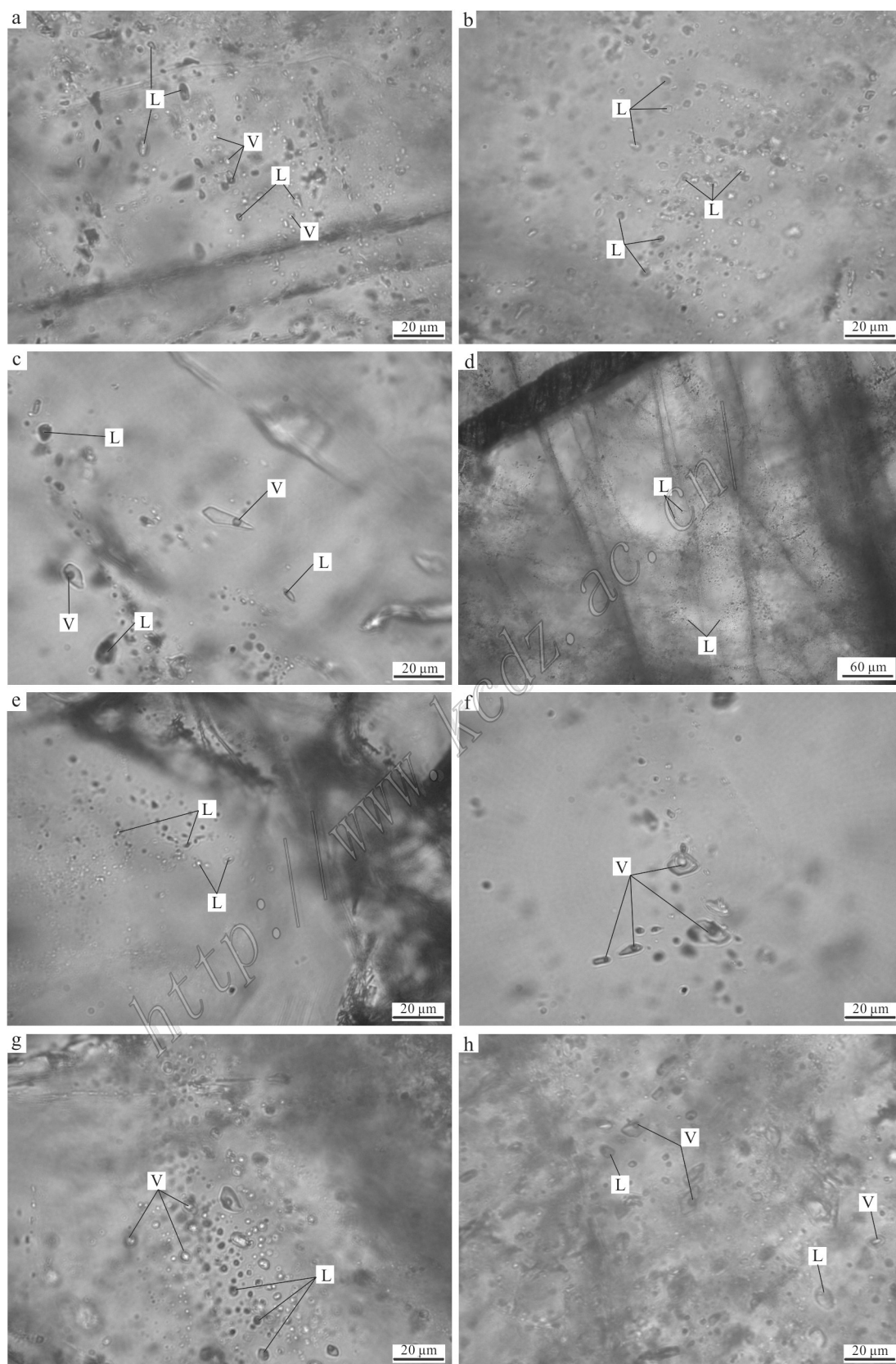


图 4 恰嘎锡矿区各阶段包裹体显微镜下照片

a. YP1 中呈无色、灰色的富液体包裹体与呈深灰色的气体包裹体; b. YP3 中呈无色、灰色的富液体包裹体; c. YP6 中呈无色、

灰色的富液体包裹体与呈深灰色的气体包裹体;d. YP7中呈无色、灰色的富液体包裹体;e. YP8中呈无色、灰色的富液体包裹体;f. YP9中呈无色、灰色的富液体包裹体与呈无色-灰色的 H_2O-CO_2 三相包裹体;g. YP9中呈无色、灰色的富液体包裹体与呈无色、灰色的 H_2O-CO_2 三相包裹体与呈深灰色的气体包裹体;h. YP10中呈无色、灰色的富液体包裹体与呈深灰色的气体包裹体。

Fig. 4 Microscope photos of fluid inclusions in various stages under in the Qiaga stibnite deposit

a. YP1 shows a colorless gray liquid inclusion and a dark gray gas inclusion; b. YP3 shows a colorless gray liquid rich inclusion; c. YP6 shows a colorless gray liquid inclusion and a dark gray gas inclusion; d. YP7 shows a colorless gray liquid rich inclusion; e. YP8 shows a colorless gray liquid rich inclusion; f. YP9 shows a colorless gray liquid inclusion and a colorless gray H_2O-CO_2 three-phase inclusion; g. YP9 shows a colorless gray liquid rich inclusion and a colorless grey H_2O-CO_2 three phase inclusions and dark grey gas inclusions ; h. YP10 shows a colorless gray liquid inclusion and a dark gray gas inclusion

矿深度为1.28~1.96 km,平均为1.57 km;其石英-硫化物阶段的成矿压力为39.10~60.06 MPa,平均为47.46 MPa,成矿深度为1.30~2.00 km,平均为1.58 km。

3.5 氢、氧、硫同位素地球化学

对于探讨成矿母岩和成矿流体的起源和演化,

流体包裹体氢、氧同位素的研究是一种重要的手段,同时是研究矿床成因、建立成矿模式等较为有效的方法(李永峰等,2005;杨德智等,2010;王浩等,2013)。本文氢、氧、硫同位素组成样品采自区内含金脉体以及各种蚀变矿化岩石中的石英,测定结果

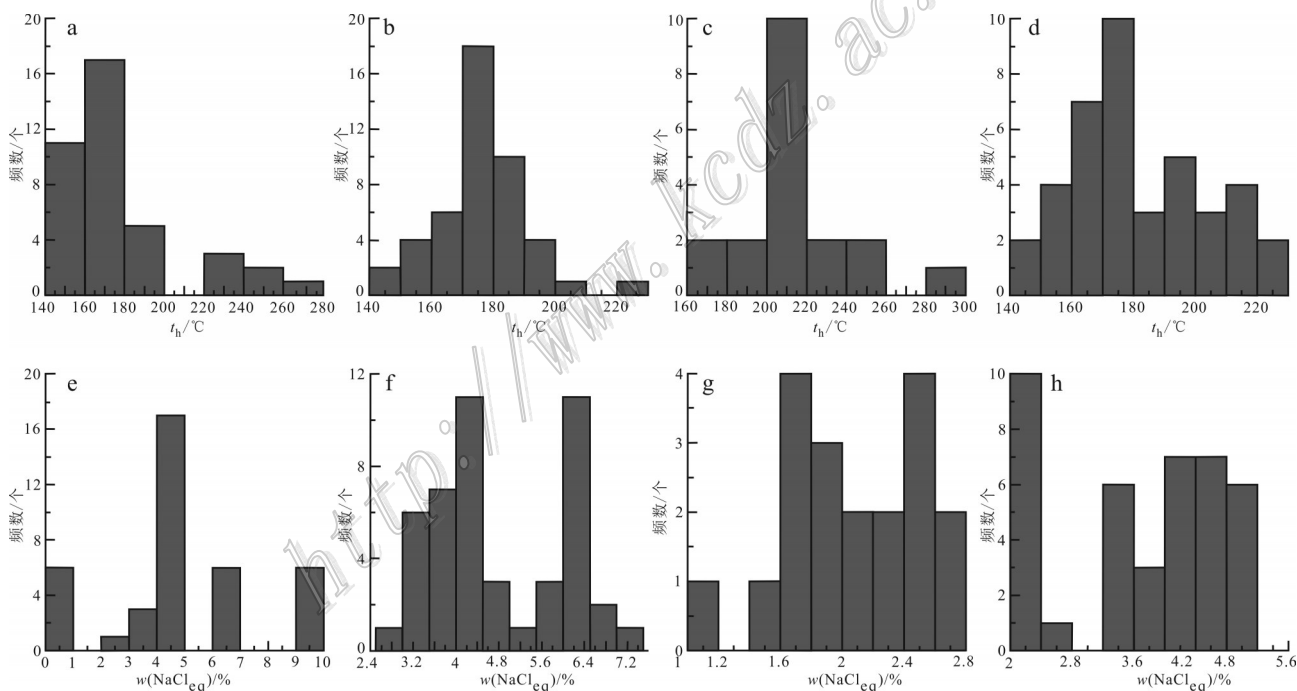


图5 恰嘎锡矿石英流体包裹体均一温度(a~d)和盐度(e~h)直方图

a. 4号脉黄铁矿-石英阶段均一温度; b. 2号脉黄铁矿-石英阶段均一温度; c. 2号脉石英-硫化物阶段均一温度(三相); d. 2号脉石英-硫化物阶段均一温度(液相); e. 4号脉黄铁矿-石英阶段均一盐度; f. 2号脉黄铁矿-石英阶段均一盐度; g. 2号脉石英-硫化物阶段均一盐度(三相); h. 2号脉石英-硫化物阶段均一盐度(液相)

Fig. 5 Histogram for homogenization temperatures(a~d) and salinities(e~h) of fluid inclusions in quartz

from the Qiaga stibnite deposit

a. The homogenization salinity of pyrite quartz stage in vein 4; b. The homogenization salinity of pyrite quartz stage in vein 2; c. The homogenization salinity of quartz sulfide stage in vein 2 (triple phase); d. The homogenization salinity of quartz sulphide stage in vein 2 (liquid phase); e. The homogenization salinity of pyrite quartz stage in vein 4; f. The homogenization salinity of pyrite quartz stage in vein 2; g. The homogenization salinity of quartz sulphide stage in vein 2(triple phase); h. The homogenization salinity of quartz sulphide stage in vein 2(liquid phase)

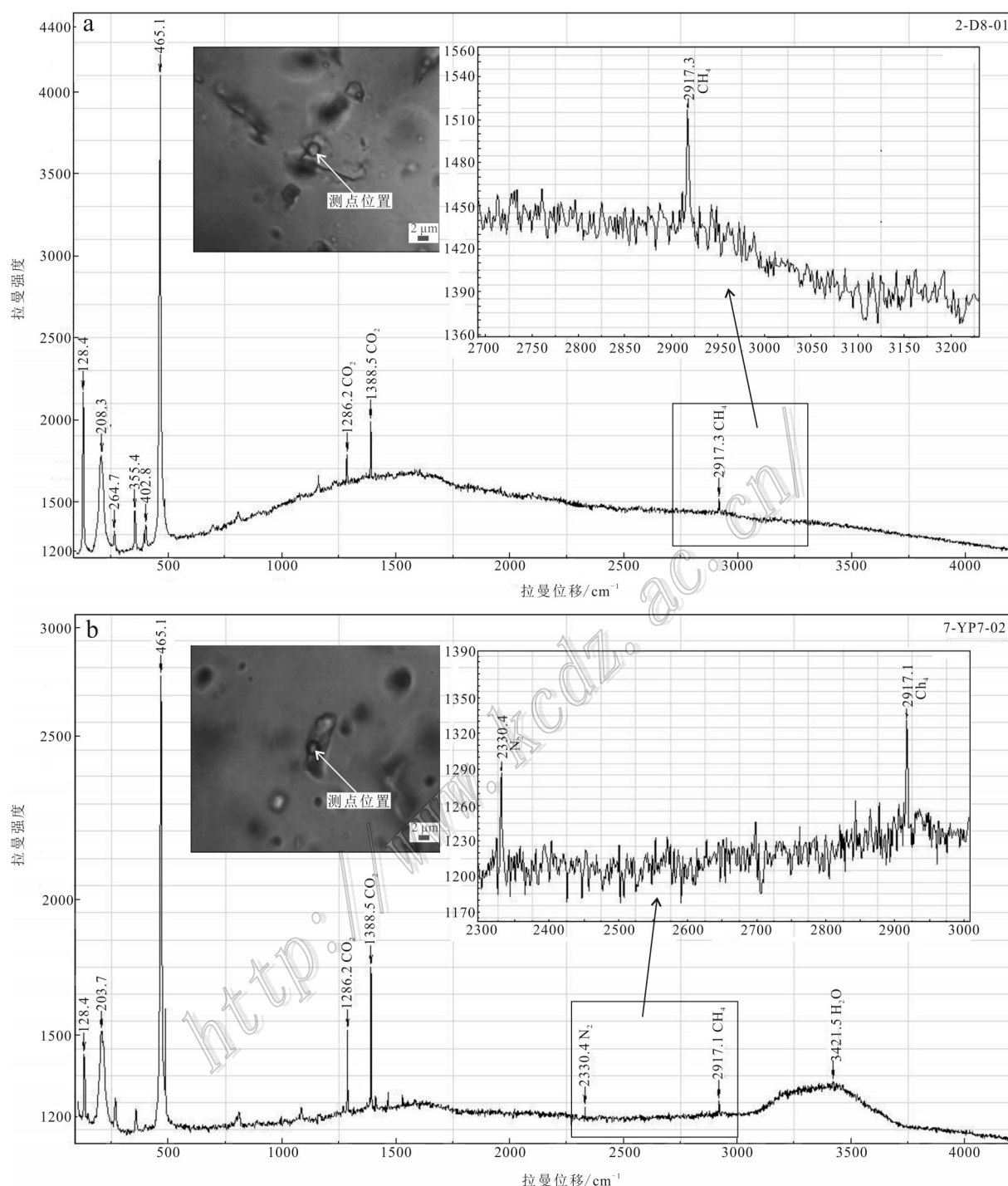


图6 恰嘎锡矿区4号脉样品YP3(a)和2号脉样品YP7(b)流体包裹体激光拉曼图谱

Fig. 6 Laser Raman spectrum of YP3 (a) and YP7 (b) fluid inclusions from vein 4 and vein 2 samples in the Qiaga stibnite deposit

列于表5。

从表5中可见,矿床的石英氢、氧同位素组成为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英(SMOW)}}$ 值介于18.0‰~22.1‰之间, $\delta\text{D}_{\text{(SMOW)}}$ 值在-134.1‰~-106.7‰之间。利用每个

样品的流体包裹体均一温度平均值和Clayton (1972)平衡方程可计算得出与石英达到平衡是的成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O(SMOW)}}$ 值,其计算公式为: $1000\ln\alpha = \delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$, (式中

表5 恰嘎锑矿流体包裹体氢、氧硫同位素组成

Table 5 H, O and S isotopic composition of fluid inclusions in the Qiaga stibnite deposit

样号	测定对象	成矿温度 $t_h/^\circ\text{C}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O-SMOW}}/\text{‰}$
YP1-d1	石英	196.9	-118.8	19.2	-	11.90	7.30
YP2-d2	方铅矿	-	-	-	1.8	-	-
YP3-d3	石英	164.1	-124.4	18.0	-	14.28	3.72
YP4-d4	方铅矿	-	-	-	0.2	-	-
YP5-d5	辉锑矿	-	-	-	0.5	-	-
YP6-d6	石英	180.7	-112.6	18.4	-	13.01	5.39
YP6-d7	辉锑矿	-	-	-	-1.5	-	-
YP7-d8	石英	174.8	-132.8	20.5	-	13.44	7.06
YP7-d9	辉锑矿	-	-	-	0.4	-	-
YP8-d10	石英	169.0	-134.1	22.1	-	13.89	8.21
YP8-d11	辉锑矿	-	-	-	-2.2	-	-
YP9-d12	石英	182.0	-116.1	18.4	-	12.92	5.48
YP10-d13	石英	181.8	-106.7	-	-	12.93	-
YP10-d14	辉锑矿	-	-	-	-1.8	-	-
YP11-d15	黄铁矿	-	-	-	1.4	-	-

注:“-”代表未检测。

$\delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}}$ 的测定对象为石英, T 代表形成温度, $T = t_h + 273.15\text{ }^\circ\text{C}$, T 为绝对温度, t_h 为摄氏度) 计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(\text{-SMOW})}$ 值为 3.7‰~12.2‰, 其中计算得出的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}}$ 值和石英中的流体包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(\text{-SMOW})}$ 值代表了石英圈闭的成矿流体的氢、氧同位素组成(表 5)。

从氢、氧同位素图解(图 7)中, 可以看出, 恰嘎矿区的流体的投影点比较集中, 主要位于建造水内, 说明该区成矿流体主要为建造水。所测含矿石英脉中流体包裹体的盐度较低, 同时也表明成矿过程中还

有浅部流体的混入。对比研究表明, 恰嘎锑矿与区内的马扎拉金锑矿床、扎西康铅锌多金属矿床、查拉普金矿床等在成矿地质条件、矿化特征、成矿物理化学条件和成矿流体来源等方面均具有可比性。从图 7 可以看出, 马扎拉和哲古金锑矿床的成矿流体处于建造水与岩浆水及其之间, 显示金锑矿的成矿流体中有较多的建造水、岩浆水混合的特征; 而扎西康铅锌多金属矿床中流体包裹体氢、氧同位素范围较宽, 从建造水一直演化到西藏地热水范围, 显示为成矿流体主要是建造水和西藏地热水不同程度的混合, 缺乏岩浆水和变质水的参与, 查拉普金矿床中的成矿流体主要表现为建造水, 少量西藏地热水混合的特征(张刚阳, 2012)。

为探讨矿床成因和成矿物质来源, 本文对矿石中的黄铁矿、辉锑矿和方铅矿单矿物做了硫同位素的研究测定, 8 件矿石单矿物硫同位素结果见表 3, 可见有如下特征:

(1) 矿石硫化物黄铁矿和方铅矿富集重硫, 辉锑矿相对富集轻硫。1 个黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值为 1.4‰, 2 件方铅矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值分别为 1.8‰、0.2‰, 波动范围较大, 5 件辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值范围为 -2.2‰~0.5‰, 平均为 -0.92‰, 极差为 2.7‰。

(2) 虽然样品数目较少, 但总体上呈现 $\delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{辉锑矿}}$, 矿石中的硫同位素分馏基本上

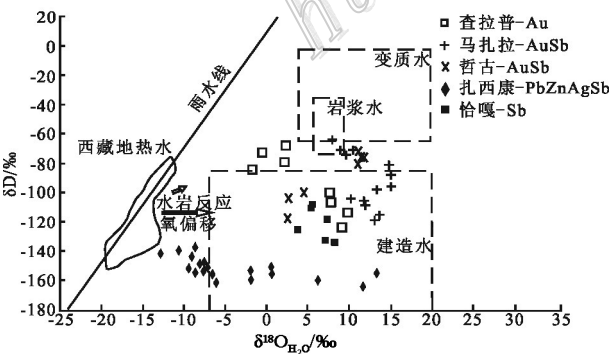


图7 恰嘎锑矿区成矿流体氢氧同位素组成
(底图据张刚阳, 2012 修改)

Fig. 7 Plot of H_2O isotope composition in the Qiaga stibnite deposit (base map modified after Zhang, 2012)

达到平衡,是在平衡共生条件下形成的矿物组合,为同一矿化期的产物。

(3) 矿石矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 值不具有明显差别,分布范围也较窄,表明硫来源唯一,符合与岩浆热液作用有关的矿床的硫同位素特征,且均落在幔源S范围之内($0\pm 3\text{‰}$),表明S主要来自于深部岩浆,包括岩浆释放的S和从火成岩硫化物中淋滤出来的S。

4 结 论

(1) 成矿早期阶段的黄铁矿-石英脉内富液相流体包裹体(W型)表现为中低温、低盐度,计算其成矿压力平均为47.15 MPa,成矿深度平均为1.57 km,推测该阶段可能主要形成围岩中的硅化及黄铁矿化;其后热液流体在侏罗系遮拉组(J_2^{z1})地层运移的过程中,通过文中分析该地区流体包裹体地球化学特征可知,流体温度有所升高和 CO_2 含量增高的,导致形成成矿晚期阶段的石英-硫化物富液相流体包裹体(W型)和 CO_2 - H_2O 三相包裹体(C型),为该矿床的主成矿阶段,计算得到此时成矿压力平均为47.46 MPa,成矿深度平均为1.58 km。表明矿床形成于浅层环境中。

(2) 包裹体成分分析表明,流体气相成分主要为 H_2O ,其次为 CO_2 ,此外还含有少量的 N_2 、 CH_4 。

(3) H、O同位素表明恰嘎锑矿的成矿流体主要来自建造水,可能后期成矿过程中还有浅部流体的混入,这与邻区的矿床是一致的。矿石中的S指示成矿物质主要来源于深部岩浆,在上升过程中受到了上地壳物质的混染,主要是火成岩中硫化物的淋滤作用,表明成矿流体具有混合多源的特征。

References

- Bodnar R J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solutions[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(3): 683-684.
- Brown P E. 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data[J]. *American Mineralogist*, 74(11): 1390-1393.
- Chen D T, Chen W, Hu K W, Yu J and Huang Q D Z. 2016. Geological characteristics and geochemical anomaly of Bangzhuoma gold deposit in Longzi County, Tibet[J]. *Gold*, 37(8): 25-28 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Ni P, Fan H R, F Pirajno, Lai Y, Su W C and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2085-2108 (in Chinese with English abstract).
- Coleman M L, Shepherd T J, Durham J J, John E R and Gillian R. 1982. Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis[J]. *Analytical Chemistry*, 54(6): 993-995.
- Clayton R N and Mayeda T K. 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27: 43-52.
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. *Journal of Geophysical Research*, 77(17): 3057-3067.
- Collins P L F. 1979. Gas hydrates of CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity[J]. *Econ. Geol.*, 74(6): 1435-1444.
- Dong F Q, Hu K W, Li W Y, Lü X C, Luo M X, Gao W X and Jiang Y J. 2015. Geological characteristics and prospecting potentiality of Qiaga village stibnite property in Longzi county, Tibet[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 30(1): 98-102 (in Chinese with English abstract).
- Du Z Z, Gu X X, Li G Q, Zhang Y M, Cheng W B, Jing L B and Zhang X G. 2011. Sulfur, lead isotope composition characteristics and the relevant instructive significance of the Lamuyouta Sb (Au) deposit, South Tibet[J]. *Geoscience*, 25(5): 853-861 (in Chinese with English abstract).
- Feng X L and Du G S. 1999. The distribution, mineralization types and prospecting and exploration of the gold deposits in Xizang[J]. *Tethyan Geology*, 23: 31-38 (in Chinese with English abstract).
- Fu W, Zhou Y Z, Yang Z J, Nie F J, He J G and Li W. 2005. Characteristics of multi-horizon ore-bearing formations in southern Tibet Au-Sb metallogenic belt and its controlling factors[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 321-327 (in Chinese with English abstract).
- Fu X. 2012. A study on diagenetic and metallogenic depths of the Huangshaping lead-zinc deposit in Hunan Province(dissertation for bachelor degree)[D]. Supervisor: Zhang D H. Beijing: China University of Geosciences. 1-78 (in Chinese with English abstract).
- Hou H N, Ren Y S, Wang C, Wang H and Ju N. 2012. Characteristics of fluid inclusions and its significance for ore prospecting of the

- Ciweigou gold deposit in Yanbian Region[J]. *Global Geology*, 31(4): 704-711 (in Chinese with English abstract).
- Hu G Y, Zeng L S, Gao L E and Xie K J. 2011. Lanthanide kinked shape, similar to Tetrad effect, observed in sub-volcanic rocks from Qiaga, southern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(1): 82-94 (in Chinese with English abstract).
- Hu G Y, Zeng L S, Qi X X, Hou K J and Gao L E. 2011. The Mid-Eocene subvolcanic field in the Lhunze-Qiaga area, Tethyan Himalaya, southern Tibet: A high-level magmatic suite related to the Yardio two-mica granite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3308-3318 (in Chinese with English abstract).
- Huang X D. 2011. Study on metallogenic regularity and ore-prospecting direction of Gyantse-Lhunze gold-antimony metallogenic belt in the South Tibetan detachment system[D]. Supervisor: Zhang C J. Chengdu: Chengdu University of Technology. 1-84(in Chinese with English abstract).
- Li Y X, Li G M, Dong S L, Xia X B, Wu J X and Zhou Q. 2015. Preliminary study on fluid evolution in the ore forming process of the Zhaxikang polymetallic deposit, Tibet, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 34(3): 571-582 (in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Hu H B, Bai F J, Li H M, Li M W, Guo B J and Ye H Q. 2005. The fluid inclusions and their He-Ar-S-H-O isotopic compositions and tracing to the source of ore-forming fluids for the Gongyu gold deposit, western Henan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5): 1347-1358 (in Chinese with English abstract).
- Liang L H, Peng Z N, Wang M, Zhang F, Liu H, Guo T F and Huang D J. 2012. Characteristics of mineralizing fluid inclusion in Sn-Nb-Ta polymetallic deposit in Limu of Guangxi[J]. *Mineral Resources and Geology*, 26(6): 502-510(in Chinese with English abstract).
- Liu Bin and Shen Kun. 1999. *Thermodynamic of fluid inclusions* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Liu Y F, Hou Z Q, Yang Z M, Xie Y L, Li Y X and Du D H. 2011. Study on fluid inclusion of Nongruri gold deposit, Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2150-2158 (in Chinese with English abstract).
- Lou Y L, Chen W, Chen D T, Huang Q D Z and Hua L P. 2016. The characteristics of primary halo of No. 4 vein and depth prospecting prediction of the Qiaga stibnite deposit in Longzi County, Tibet[J]. *Northwestern Geology*, 49(4): 146-164 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou G X, Shen K and Zhang W H. 2004. Fluid inclusion[M]. Beijing: Science Press. 1-496 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z. 2000. High temperature, salinity and high concentrated ore metal magmatic fluids: An example from Grasberg Cu-Au porphyry deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 465-472 (in Chinese with English abstract).
- Meng X J, Yang Z S, Qi X X, Hou Z Q and Li Z Q. 2008. Silicon-oxygen-hydrogen isotopic compositions of Zaxikang antimony polymetallic deposit in southern Tibet and its responses to the ore-controlling structure[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1649-1655 (in Chinese with English abstract).
- Mo R W, Sun X M, Zhai W, Zhou F and Liang Y H. 2013. Ore-forming fluid geochemistry and metallogenic mechanism from Mazhala gold-antimony deposit in southern Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4): 1427-1438 (in Chinese with English abstract).
- Qi X X, Li T F, Meng X J and Yu C L. 2008. Cenozoic tectonic evolution of the Tethyan Himalayan foreland fault-fold belt in southern Tibet, and its constraint on antimony-gold polymetallic mineralogenesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1638-1648 (in Chinese with English abstract).
- Ren C, Liu S, Zhu L D, Pan J T and Gao W X. 2014. Geochemistry and zircon SHRIMP U-Pb dating and their tectonic significance for intermediate-basic dyke in the Gudui region, South Tibet[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 34(4): 881-890 (in Chinese with English abstract).
- Ren C. 2015. *Geochemistry, geochronology and its geological significances of Early Cretaceous magmatic rocks of Comei district in Tibet*(dissertation for bachelor degree)[D]. Supervisor: Zhao Z D. Beijing: China University of Geosciences. 1-70 (in Chinese with English abstract).
- Robinson B W and Kusakabe M. 1975. Quantitative preparation of sulfur dioxide, for $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ analyses, from sulfides by combustion with cuprous oxide[J]. *Analytical Chemistry*, 47(7): 1179-1181.
- Shao J L and Mei J M. 1986. On the study of typomorphic characteristics of mineral inclusion in the gold deposits from volcanic terrain in Zhejiang and its genetic and prospecting significance[J]. *Minerals and Rocks*, 6(3): 103-111 (in Chinese with English abstract).
- Wang H, Xu Z W, Liu S M, Lu X C, Chen W, Chen J Q and Wang S H. 2013. Fluid inclusion and H, O, S, and Pb isotope studies on Beilou porphyry copper deposit in Zouping County, Shandong Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 33(1): 83-91 (in Chinese with English abstract).

English abstract).

- Yang D Z, Zhou J X, Wang J S, Liu J H and Liu Y K. 2010. Isotopic constraint of S-H-O on ore-forming fluids origin of the Congjiang-Nage Cu multiple-metallic ore deposit, southeast Guizhou Province[J]. *Geology and Exploration*, 4(3): 455-461 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z S, Hou Z Q, Gao W, Wang H P, Li Z Q, Meng X J and Qu X M. 2006. Metallogenic characteristics and genetic model of antimony and gold deposits in South Tibetan detachment system[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1377-1391 (in Chinese with English abstract).
- Yin A. 2001. Geologic evolution of the Himalayan: Tibetan orogen in the context of Phanerozoic continental growth of Asia[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(3): 193-230 (in Chinese with English abstract).
- Yu M. 2015. Characteristics of ore geology and ore-forming fluid in the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag deposit, southern Tibet, China (dissertation for bachelor degree) [D]. Supervisor: Zheng Y Y. Beijing: China University of Geosciences. 1-70 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D H, Xu J H, Yu X Q, Li J K, Mao S D, Wang K Q and Li Y Q. 2011. The diagenetic and metallogenic depth: Main constraints and the estimation methods[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(1): 112-125 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G Y. 2012. Metallogenic model and prospecting potential in southern Tibet Au-Sb polymetallic belt (dissertation for doctor degree) [D]. Supervisor: Zheng Y Y. Wuhan: China University of Geosciences. 1-175 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y F, Xu B L and Zhou G T. 1998. Oxygen isotope fractionation in hydroxide minerals[J]. *Geochimica*, 27(2): 141-152 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y F, Xu B L and Zhou G T. 2000. Geochemical studies of stable isotopes in minerals[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 299-320 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y Y, Duo J, Ma G T, Chen J and Dai F H. 2007. Mineralization characteristics, discovery and age restriction of Chalapu hard rock gold deposit, southern Tibet[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 185-189 (in Chinese with English abstract).
- 矿床地质特征及地球化学异常特征[J]. *黄金*, 37(8): 25-28.
- 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, Pirajno F, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. *岩石学报*, 23(9): 2085-2108.
- 董富权, 李武毅, 胡可卫, 吕晓春, 罗敏玄, 高伟先, 蒋亚军. 2015. 西藏隆子县恰嘎村辉锑矿地质特征及找矿潜力[J]. *地质找矿论丛*, 30(1): 98-102.
- 杜泽忠, 顾雪祥, 李关清, 章永梅, 陈文斌, 景亮兵, 张兴国. 2011. 藏南拉木由塔锡(金)矿床S、Pb同位素组成及指示意义[J]. *现代地质*, 25(5): 853-861.
- 冯孝良, 杜光树. 1999. 西藏金矿资源分布规律、矿化类型及找矿方向[J]. *特提斯地质*, 23: 31-38.
- 付伟, 周永章, 杨志军, 聂凤军, 何俊国, 李文. 2005. 藏南多层位金锑含矿建造特征及其控矿因素制约[J]. *大地构造与成矿学*, 29(3): 321-327.
- 付旭. 2012. 湖南黄沙坪铅锌矿成岩成矿深度估算(硕士论文)[D]. 导师: 张德会. 北京: 中国地质大学. 1-78.
- 侯鹤楠, 任云生, 王超, 王辉, 鞠楠. 2012. 延边刺猬沟金矿床流体包裹体特征及其找矿意义[J]. *世界地质*, 31(4): 704-711.
- 胡古月, 曾令森, 高利娥, 谢克家. 2011. 藏南隆子地区恰嘎流纹质次火山岩稀土元素类似四分组效应[J]. *地质通报*, 30(1): 82-94.
- 胡古月, 曾令森, 戚学祥, 侯可军, 高利娥. 2011. 藏南特提斯喜马拉雅带始新世隆子-恰嘎次火山岩区: 雅拉香波二云母花岗岩的高位岩浆体系[J]. *岩石学报*, 27(11): 3308-3318.
- 黄小东. 2011. 藏南拆离系江孜-隆子金-锑成矿带成矿规律与找矿方向研究[D]. 导师: 张成江. 成都: 成都理工大学. 1-84.
- 李应栩, 李光明, 董随亮, 夏祥标, 吴建阳, 周清. 2015. 西藏扎西康多金属矿床成矿过程中的流体性质演化初探[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 34(3): 571-582.
- 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 白凤军, 李厚民, 李蒙文, 郭保健, 叶会奇. 2005. 豫西公峪金矿床流体包裹体及其He、Ar、S、H、O同位素组成对成矿流体来源的示踪[J]. *岩石学报*, 21(5): 1347-1358.
- 梁玲慧, 彭振安, 汪明, 张芳, 刘虎, 郭腾飞, 黄敦杰. 2012. 广西栗木锡铌钽多金属矿床成矿流体包裹体特征[J]. *矿产与地质*, 26(6): 502-510.
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社. 1-306.
- 刘云飞, 侯增谦, 杨志明, 谢玉玲, 李应栩, 杜等虎. 2011. 西藏弄如日金矿流体包裹体研究[J]. *岩石学报*, 27(7): 2150-2158.
- 姜元林, 陈武, 陈东太, 黄青冬智, 华利鹏. 2016. 西藏隆子县恰嘎锡矿4号脉原生晕特征及深部找矿预测[J]. *西北地质*, 49(4): 146-164.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体[M].

附中文参考文献

陈东太, 陈武, 胡可卫, 余杰, 黄青冬智. 2016. 西藏隆子县邦卓玛金

- 北京:科学出版社. 1-496.
- 卢焕章. 2000. 高盐度、高温和高成矿金属的岩浆成矿流体——以格拉斯伯格 Cu-Au 矿为例[J]. 岩石学报, 16(04): 465-472.
- 孟祥金, 杨竹森, 戚学祥, 侯增谦, 李振清. 2008. 藏南扎西康锑多金属矿硅-氧-氢同位素组成及其对成矿构造控制的响应[J]. 岩石学报, 24(7): 1649-1655.
- 莫儒伟, 孙晓明, 翟伟, 周峰, 梁业恒. 2013. 藏南马扎拉金锑矿床成矿流体地球化学和成矿机制[J]. 岩石学报, 29(4): 1427-1438.
- 潘桂棠, 丁俊. 2004. 青藏高原及邻区 1:150 万地质图说明书[M]. 成都:成都地图出版社. 1-130.
- 戚学祥, 李天福, 孟祥金, 于春林. 2008. 藏南特提斯喜马拉雅前陆断褶带新生代构造演化与锑金多金属成矿作用[J]. 岩石学报, 24(7): 1638-1648.
- 任冲, 刘顺, 朱利东, 潘江涛, 高伟先. 2014. 藏南哲古基性岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 四川地质学报, 34(4): 881-890.
- 任冲. 2015. 西藏措美地区早白垩世岩浆岩地质年代学、地球化学及地质意义(硕士论文)[D]. 导师:赵志丹. 北京:中国地质大学. 1-70.
- 邵洁涟, 梅建明. 1986. 浙江火山岩区金矿床的矿物包裹体标型特征研究及其成因与找矿意义[J]. 矿物岩石, 6(3): 103-111.
- 王浩, 徐兆文, 刘苏明, 陆现彩, 陈伟, 陈进全, 王少华. 2013. 山东邹平碑楼斑岩铜矿床流体包裹体及 H、O、S、Pb 同位素研究[J]. 矿物学报, 33(1): 83-91.
- 杨德智, 周家喜, 王劲松, 刘金海, 刘永坤. 2010. 黔东南从江那哥铜多金属矿床成矿流体来源的 S-H-O 同位素制约[J]. 地质与勘探, 46(3): 455-461.
- 杨竹森, 侯增谦, 高伟, 王海平, 李振清, 孟祥金, 曲晓明. 2006. 藏南拆离系锑金成矿特征与成因模式[J]. 地质学报, 80(9): 1377-1391.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化-显生宙亚洲大陆生长[J]. 地球学报, 22(3): 193-230.
- 于森. 2015. 藏南扎西康锑铅锌银矿床地质及成矿流体特征(硕士论文)[D]. 导师:郑有业. 北京:中国地质大学. 1-70.
- 张德会, 徐九华, 余心起, 李健康, 毛世德, 王科强, 李泳泉. 2011. 成岩成矿深度:主要影响因素与压力估算方法[J]. 地质通报, 30(1): 112-125.
- 张刚阳. 2012. 藏南金锑多金属成矿带成矿模式与找矿前景研究(博士论文)[D]. 导师:郑有业. 武汉:中国地质大学. 1-175.
- 郑永飞, 徐宝龙, 周根陶. 1998. 氢氧化物族矿物的氧同位素分馏[J]. 地球化学, 27(2): 141-152.
- 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.
- 郑有业, 多吉, 马国桃, 陈静, 代芳华. 2007. 藏南查拉普岩金矿床特征、发现及时代约束[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 32(2): 185-193.