

# 藏北双湖县商旭造山型金矿床的中低温低盐度 CO<sub>2</sub> 成矿流体:流体包裹体、H—O 同位素的证据

肖万峰<sup>1)</sup>, 刘洪<sup>2)</sup>, 李光明<sup>2)</sup>, 黄瀚霄<sup>2)</sup>, 马东方<sup>2)</sup>, 张智林<sup>3)</sup>, 闫国强<sup>4)</sup>, 张红<sup>2)</sup>

1) 河南省地质调查院/河南省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室;

2) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081;

3) 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 青海格尔木, 816000;

4) 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170

**内容提要:** 西藏双湖县商旭金矿床位于班公湖—怒江缝合带的中段, 矿体受近东西—北西西的断裂构造控制, 呈脉状、透镜状产于下一中侏罗统木嘎岗日群浅变质复理石中, 矿石类型主要为石英脉型与蚀变岩型。本文在野外地质调查的基础上, 对不同成矿阶段的石英脉进行了流体包裹体的岩相学观测、显微测温、成分分析以及 H—O 同位素测试。流体包裹体结果表明, 主成矿阶段的流体温度为 195 ~ 230℃; 盐度为 2% ~ 9% NaCleqv, 密度为 0.88 ~ 0.95 g/cm<sup>3</sup>; 气相成分以 H<sub>2</sub>O 为主, 含 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 及少量的 CH<sub>4</sub>; 液相成分主要为 Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>。总的来看, 商旭岩金矿床成矿流体为中低温、低盐度、低密度、含 CO<sub>2</sub> 的 CaCl<sub>2</sub>—NaCl—H<sub>2</sub>O 体系流体, 具有典型的造山型金矿床成矿流体的特征。氢氧同位素结果分别为: δD<sub>H<sub>2</sub>O, v-SMOW</sub> 为 -104‰ ~ -136‰, δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O, v-SMOW</sub> 为 4.92‰ ~ 7.82‰, 显示出变质水与大气水混合的特征。综合讨论认为, 商旭金矿床成因类型为造山型金矿, 流体从封闭体系进入开放体系的减压沸腾, 是金沉淀的主要机制。

**关键词:** 流体包裹体; 造山型金矿; 班公湖—怒江缝合带; 商旭金矿床; 热液沸腾作用

汇聚型板块边缘及其造山带是热液型金矿床的集中分布地区。就中特提斯构造演化而论, 班公湖—怒江成矿带具有形成金矿床的得天独厚的条件(李胜荣等, 2005; 唐菊兴等, 2013; 曲晓明等, 2015)。然而由于地质工作程度的限制, 目前发现和评价的岩金矿床数量仍然偏少, 严格制约了该带的金矿床成矿规律总结和下一步的找矿方向。商旭金矿床位于西藏双湖县西南约 180km 处, 是中国地质调查局成都地质调查中心和西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队联合评价的具有较好找矿远景的岩金矿床。由于该矿床的研究工作才初步进行, 其研究成果大多数集中在矿床地质特征和找矿标志上(肖万峰等, 2013; 刘洪等, 2013, 2015; 黄瀚霄等, 2014), 对金矿成矿作用、成矿时代以及成矿动力学机制等关键问题均未涉及。黄瀚霄等(2014)对商旭金矿床的矿床地质特征总结发现其在矿物共

生组合、蚀变类型、构造类型等方面与典型造山型金矿具有相似性, 认为商旭金矿床可能属于造山型金矿床, 但由于缺少相关的室内研究数据的支撑, 该结论而显得“单薄”。热液矿物及其流体包裹体能够记录成矿流体活动过程, 通过流体包裹体研究能够深入了解热液型金矿床的成矿作用过程, 讨论成矿机制, 判定矿床成因类型。本文在野外地质调查和脉系鉴别的基础上, 对各类石英脉系中的流体包裹体、H—O 同位素进行了详细研究。我们的研究成果不仅深化了该金矿流体性质和演化过程的认识, 确定了该金矿成因类型, 也对下一步找矿勘查具有重要实践意义。

## 1 区域地质背景

班公湖—怒江缝合带(BNSZ)呈狭长带状近东西向展布, 以日土—改则—丁青断裂、班公湖—康

注: 本文为国家重点研发计划(编号: 2016YFC0600300), 中国地质调查项目(编号: DD20160015, DD20160026), 中国地质调查局成都地质调查中心青年基金资助项目(编号: 所控基[2014]-03)的成果。

收稿日期: 2016-08-05; 改回日期: 2017-03-16; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.03.018

作者简介: 肖万峰, 男, 1989年生。助理工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事基础地质调查与矿产勘查。Email: wfxiao2010@163.com。通讯作者: 李光明, 男, 研究员, 主要从事青藏高原区域地质与矿产地质研究。Email: li-guangming@163.com。

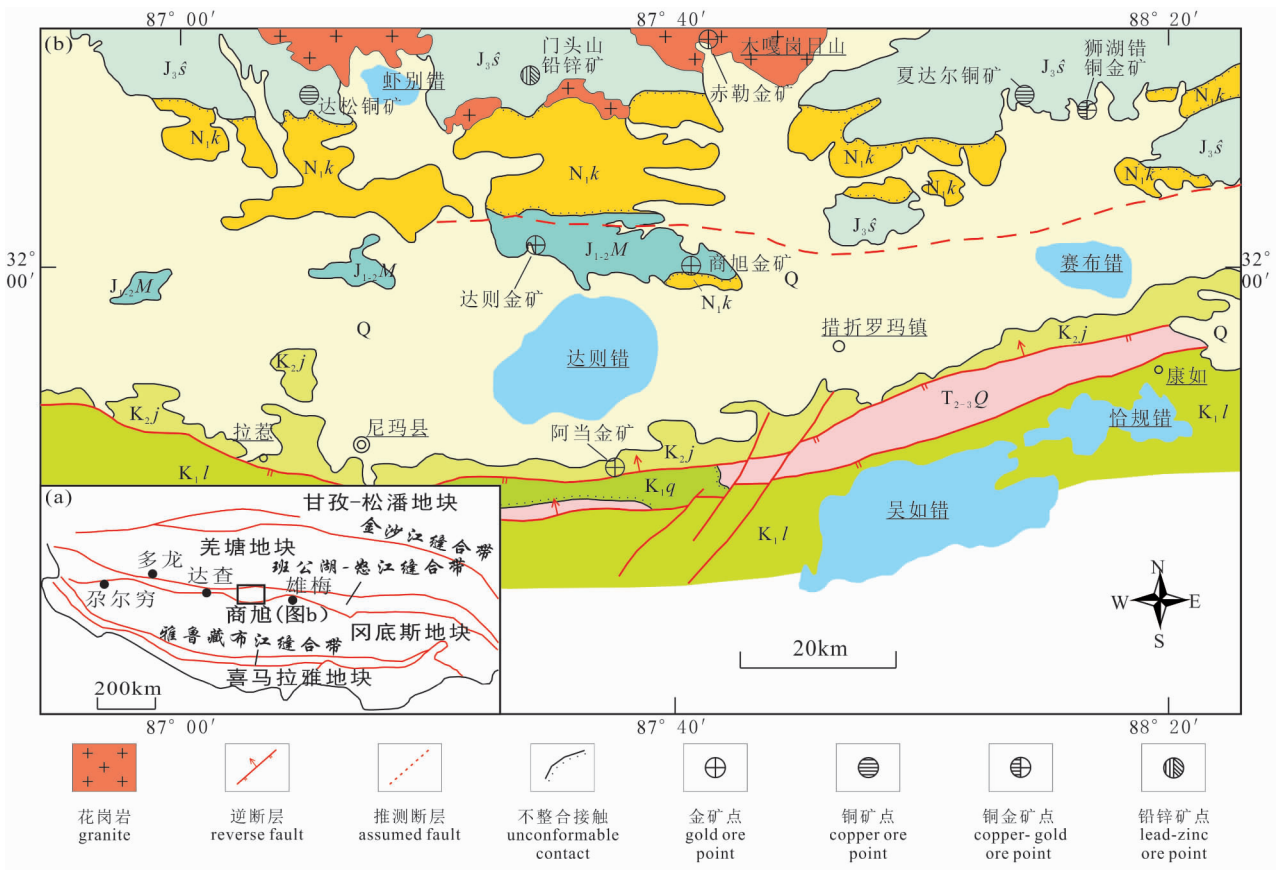


图1 藏北双湖县商旭—拉嘎地区区域地质矿产图

Fig. 1 Regional geological and minerals map of Shangxu—Laga, Shuanghu County, Northern Xizang (Tibet)

Q—第四系;N<sub>1</sub>k—中新统康托组;K<sub>2</sub>j—上白垩统竟柱山组;K<sub>1</sub>l—下白垩统郎山组;K<sub>1</sub>q—下白垩统去申拉组;J<sub>3</sub>s—上侏罗统沙木罗组;J<sub>1-2</sub>M—下—中侏罗统木嘎岗日群;T<sub>2-3</sub>Q—中—上三叠统确哈拉群

Q—Quaternary; N<sub>1</sub>k—Miocene Kangtuo Fm.; K<sub>2</sub>j—Upper Cretaceous Jingzhushan Fm.; K<sub>1</sub>l—Lower Cretaceous Langshan Fm.; K<sub>1</sub>q—Lower Cretaceous Qushenla Fm.; J<sub>3</sub>s—Upper Jurassic Shamuluo Fm.; J<sub>1-2</sub>M—Lower—Middle Jurassic Mugangangri Group; T<sub>2-3</sub>Q—Middle—Upper Triassic Quehala Group

托—兹格塘错断裂为南北两界,是青藏高原仅次于雅鲁藏布江—恒河缝合带的第二条规模巨大的超基性岩带(潘桂棠等,2002,2009;李光明等,2011;耿全如等,2011)。缝合带由镁铁、超镁铁质构造岩片、古生代—中生代地层和微陆块构成,其沿线可见多条中生代蛇绿混杂体,显示出班公湖—怒江中特提斯洋的中生代构造演化属于增生型造山过程。一般认为,中特提斯洋盆在三叠纪打开,在中侏罗世开始双向俯冲消减,并于早白垩世中期闭合。受中特提斯构造演化的影响,在缝合带内部及南北两侧形成一系列铜金多金属矿床(点),组成了班公湖—怒江成矿带。

目前在班公湖—怒江成矿带已发现金矿床(点)共计287处,其中岩金矿床(点)有70余处(中

国地质调查局成都地质调查中心<sup>①,②</sup>)。金矿床(点)在南北两侧的岩浆岩区和缝合带中的蛇绿混杂岩带均有不同程度分布,但受不同的大地构造单元的制约,其矿床类型明显不同。产于岩浆弧内的金矿床类型主要为斑岩型、矽卡岩型和浅成低温热液型,此类矿床的代表主要有多不杂—波龙斑岩型铜金矿床(祝向平等,2012;陈华安等,2013)、铁格隆南浅成低温热液型金矿床、尕尔穷矽卡岩型铜金矿床(唐菊兴等,2013)、雄梅斑岩型铜矿(曲晓明等,2012)等;也有受控于缝合带内混杂岩的热液—蚀变岩型金矿床,以达查(李胜荣等,2005)、商旭(肖万峰等,2013;刘洪等,2013,2015;黄瀚霄等,2014),达则等金矿为代表。

商旭金矿床位于班公湖—怒江缝合带中段(图

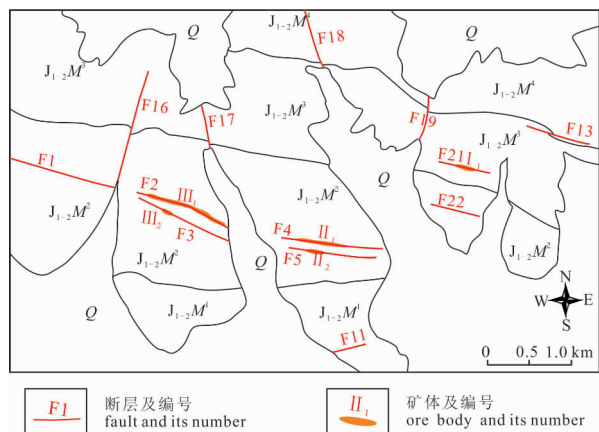


图 2 藏北双湖商旭金矿矿区地质简图

Fig. 2 Geological map of the Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

Q—第四系:洪积物、冲积物、湖积物。下—中侏罗统木嘎岗日群: J<sub>1-2</sub>M<sup>1</sup>—第一岩性段,变杂砂岩夹炭质板岩、灰岩透镜体; J<sub>1-2</sub>M<sup>2</sup>—第二岩性段,变杂砂岩; J<sub>1-2</sub>M<sup>3</sup>—第三岩性段,炭质板岩、变杂砂岩互层; J<sub>1-2</sub>M<sup>4</sup>—第四岩性段,炭质板岩  
Q—Quaternary: diluvium, alluvial, lacustrine deposit. Lower—Middle Jurassic Mugagangri Group: J<sub>1-2</sub>M<sup>1</sup>—the 1st section, graywacke clipping carbonaceous slate, limestone lens; J<sub>1-2</sub>M<sup>2</sup>—the 2nd section, graywacke; J<sub>1-2</sub>M<sup>3</sup>—the 3rd section, carbonaceous slate interbedded with graywacke; J<sub>1-2</sub>M<sup>4</sup>—the 4th section, carbonaceous slate

1a)。区域上出露中、新生代地层(图 1b)。受缝合带主断裂影响,区域构造主线为近东西向,且形成一系列脆性断裂和褶皱构造。岩浆岩分布在虾别错和木嘎岗日一带,形成时代为早白垩世,属于洋壳俯冲的岛弧花岗岩。喷出岩沿缝合带呈断续分布,以去

申拉组(K<sub>1</sub>q)中火山岩最为发育。

## 2 矿床地质概况

矿区地层以中—下侏罗统木嘎岗日群为主,并覆盖大面积的第四系。木嘎岗日群为一套浅变质海相复理石建造,主要由炭质板岩、变杂砂岩组成,总体呈近东西展布(图 2)。控矿断裂(F2、F3、F4、F5、F21)为一组近东西—北西西向构造,呈舒缓波状,断裂带宽 1~5 m 不等,岩石碎裂程度较高,破裂面密集,显示出多期次活动的特征。沿破碎带及其旁侧裂隙中断续有透镜状、带状含硫化物石英脉产出。目前,已评价出有工业价值的金矿体 5 条,其它初略圈定的矿体 10 条(中国地质调查局成都地质调查中心<sup>②</sup>),其中 I<sub>1</sub> 矿体和 III<sub>1</sub> 矿体为主要矿体,分别位于北西西向的 F21 和 F2 断裂中,形态变化较大,连续性较差,局部存在分支、复合、膨大、尖灭等现象。矿区内围岩蚀变总体微弱,矿化中心为硅化和绢云母化,向外依次为碳酸盐化和绿泥石化。根据蚀变特征,将矿石类型分为石英脉型(图 3a)和蚀变岩型(图 3b)两类。石英脉型金矿石为含硫化物石英脉,蚀变岩型金矿石是强烈黄铁绢英岩化蚀变的构造岩。矿石构造则以浸染状、斑点状及网脉状为主。金属矿物含量较少,主要由自然金、方铅矿,以及少量的黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿;非金属矿物主要有石英、绢云母、绿泥石及方解石等。石英呈乳白色、烟灰色,细粒至中粒结构、碎裂结构,块状构造。金以自然金的形式赋存于石英颗粒间和裂隙间、粘土矿物中、黄铁矿边缘或包裹于黄铁矿中。

矿区内石英脉广泛发育,具多期次活动的特征,

表 1 藏北双湖商旭岩金矿床成矿阶段、矿物生成顺序表  
Table 1 Mineralization stages and paragenetic sequence of minerals in Shangxu gold deposit, Northern Xizang(Tibet)

成矿阶段 主要矿物	石英—金—黄铁矿—方 铅矿阶段 (S1)	石英网脉—金—多金属 硫化物阶段 (S2)	石英细脉—碳酸盐 矿物阶段 (S3)
石英	—————		—————
绢云母	—————		—————
方解石			—————
黄铁矿	—————	—————	
方铅矿		—————	
自然金	—————	—————	
闪锌矿		—————	
黄铜矿		—————	

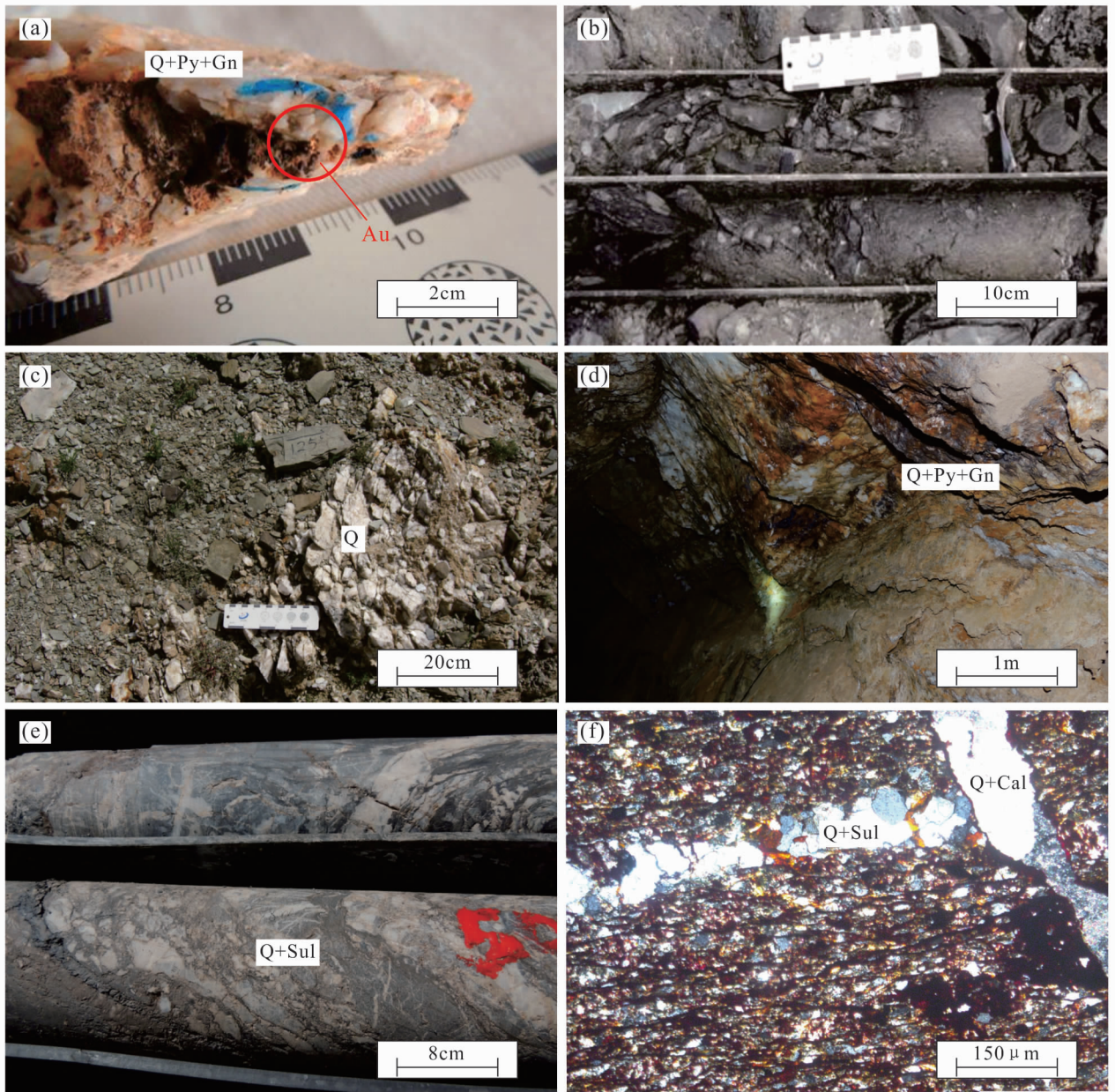


图3 藏北双湖商旭金矿矿脉野外及镜下特征

Fig. 3 Outdoor and microscope photo of Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang(Tibet)

(a) 含金石英脉型矿石; (b) 构造破碎带中的蚀变岩型矿石; (c) 产于劈理中的区域变质期石英脉; (d) S1 阶段烟灰色含粗粒硫化物石英脉; (e) S2 阶段含细粒硫化物石英网脉; (f) S3 阶段石英碳酸盐矿物脉切割 S2 阶段含细粒硫化物石英网脉。Au—自然金; Q—石英; Py—黄铁矿; Gn—方铅矿; Sul—硫化物; Cal—方解石

(a) quartz-veins type ore; (b) altered rock type ore in structural fractured zone; (c) quartz vein of regional metamorphism occurred in cleavage; (d) quartz vein containing coarse sulfide of stage S1; (e) quartz stockwork containing fine sulfide of stage S2; (f) quartz stockwork containing fine sulfide cut by quartz carbonate vein. Au—native gold; Q—quartz; Py—pyrite; Gn—galenite; Sul—sulfide; Cal—calcite

根据矿物组合特征,将矿区与成矿有关的石英脉分为三个期次。①第一期石英脉主要为含黄铁矿、方铅矿石英大脉(图 3a、d),该期石英脉在矿区分布广泛,规模稍大,可成带,多呈细条带状产出,脉体厚度多在 1.0 ~ 4m 左右,其产出明显受断裂控制,矿物

组合上可见大量铁方解石,局部可见褐铁矿化。②第二期含硫化物石英细网脉(图 3e、f),该期石英脉规模大,呈带、脉状产出,脉体厚度多在 1.0 ~ 3.0 cm 左右。其产出明显受断层控制,充填于断裂裂隙中及两侧。根据地表工程控制的分析结果,其含金

量多在  $10 \times 10^{-6}$  以上,总体矿化情况较好。脉体中见微量黄铁矿(呈褐色细—中粗粒不规则状)、方铅矿(呈铅灰色细粒星点状集合体)、闪锌矿(浅棕色微细粒星点状)。<sup>③</sup>第三期含方解石石英细脉(图 3f),该期石英脉在全区零星可见,规模较小,多呈脉状产出,脉厚度多在 2 ~ 6cm 左右,多以裂隙充填的形式产出在地层的各类裂隙中,特征是基本未受构造影响,石英脉体相当完整、纯净。经过了野外调查和室内测试资料综合分析,根据矿物共生组合特征、脉体穿切关系,以石英脉期次划分为基础,可将矿化过程划分为石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1 阶段,图 3a、d),石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2 阶段,图 3e、f)及石英细脉—碳酸盐矿物阶段(S3 阶段,图 3f)(表 1)。各成矿阶段的矿物生成顺序,受成矿流体性质和物理化学条件变化的控制,早阶段形成的产物常被晚阶段的产物切割、叠加、改造,从而使不同阶段形成的矿物叠加产出。自然金产出的成矿阶段为石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段和石英网脉—金—多金属硫化物阶段。

### 3 采样与分析测试方法

流体性质的研究主要基于含金石英脉流体包裹体以及群包裹体 H—O 同位素研究。笔者在矿化阶段划分的基础上,对商旭金矿 I<sub>1</sub>、II<sub>1</sub>、III<sub>1</sub> 矿体含金石英脉进行系统采样,镜下观察包裹体片 29 片,其中选取了 13 片合适的样品进行显微测温实验,5 件有代表性的样品进行单个包裹体激光拉曼分析,8 件含金石英脉样品进行群包裹体 H—O 同位素测试,4 件含金石英脉群包裹体进行成分测试。测温室验分别在北京科技大学资源系流体包裹体实验室和中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,采用 Olympus 显微镜和 Linkam THMS600 型冷热台,其工作温度范围为 -196 ~ 600℃,温度用 Linksys32 软件控制,升降温速率  $\leq 15^\circ\text{C}/\text{min}$ ,相转变点附近升降温控制在  $\leq 2^\circ\text{C}/\text{min}$ ,保证均一温度、三相点温度绝对误差为  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,部分均一、CO<sub>2</sub> 笼形物融化及冰点温度绝对误差为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ;单个包裹体的激光拉曼测试是在国土资源部西南矿产资源监督检测中心(中国地质调查局成都地质调查中心)激光拉曼实验室完成,采用英国雷尼绍公司生产的 inVia Reflex 型激光共焦显微拉曼光谱仪;H—O 同位素测试由中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成,采用 MAT-253 EM 稳定同位素质谱仪,氢同位素的分析绝对误差为  $\pm$

2‰,氧同位素的分析绝对误差为  $\pm 0.2\text{‰}$ 。群包裹体的气液相成分分析在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,液相成分采用 DIONEX-500 离子色谱仪气相成分分析、气相成分采用 PE. Clarus600 气相色谱仪。

具体的分析测试方法参见侯林等(2012)、刘洪等(2012)文献。

## 4 分析结果及数据处理

### 4.1 流体包裹体岩相学特征

#### 4.1.1 流体包裹体类型

室温条件下,通过显微镜观察发现商旭岩金矿床含金石英脉中的流体包裹体极为发育,主要为原生包裹体,局部可见沿裂隙定向发育的次生流体包裹体(图 4a)。

原生包裹体在石英颗粒中呈孤立、群状,(图 4a、b),形态大小各异。按照包裹体的相态类型,可将商旭岩金矿床含金石英脉中的原生流体包裹体划分为以下几种类型。

(1) 气液包裹体(I 型):在样品中最为常见,约占包裹体总数的 90% 以上,个体差异较大,可供观测的包裹体直径从  $5\mu\text{m}$  到  $20\mu\text{m}$  都可见,主要集中在  $5 \sim 10\mu\text{m}$ ,这种类型的包裹体又可进一步划分为三类:富液两相包裹体(I a 型)(图 4c):这种类型的包裹体在矿区含金石英脉中大量可见,约占 70% 以上,多呈负晶形、椭圆形、三角状、长条状以及各种不规则状等,大小  $1 \sim 10\mu\text{m}$  不等,多集中在  $2 \sim 5\mu\text{m}$ ,气相体积约占 10% ~ 30%,均一过程中气泡逐渐变小最终消失,即为  $L + V \rightarrow L$ 。富气两相包裹体(I b 型)(图 4b):此类包裹体约占包裹体总数的 15%,多呈方形,大小  $5\mu\text{m}$  左右,气相体积约占 70% ~ 80% 或更高,均一过程中气泡逐渐变大最终液相消失,即为  $L + V \rightarrow V$ 。纯水液相包裹体(I c 型)(图 4d):该类包裹体约占 5%,呈均一的液相,包裹体体积较小,大部分小于  $3\mu\text{m}$ ,升降温过程中无明显变化,由于个体较小很难观测。

(2) 含 CO<sub>2</sub> 包裹体(II 型):约占总数的 10%,以三相包裹体为主,同时可见极少量纯 CO<sub>2</sub> 包裹体,可以进步分为两类:含 CO<sub>2</sub> 三相包裹体(II a 型):这种类型的包裹体仅在个别流体片中可见,呈三相( $L_{\text{H}_2\text{O}} + L_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}_2}$ ,“双眼皮”)产出(图 4d),CO<sub>2</sub> 气体体积比例一般在 10% ~ 20%,CO<sub>2</sub> 液体体积比例一般在 20% ~ 50%,可供观测的包裹体直径从  $5\mu\text{m}$  ~  $10\mu\text{m}$ 。主要呈群状分布,呈近圆形、短柱形等,此

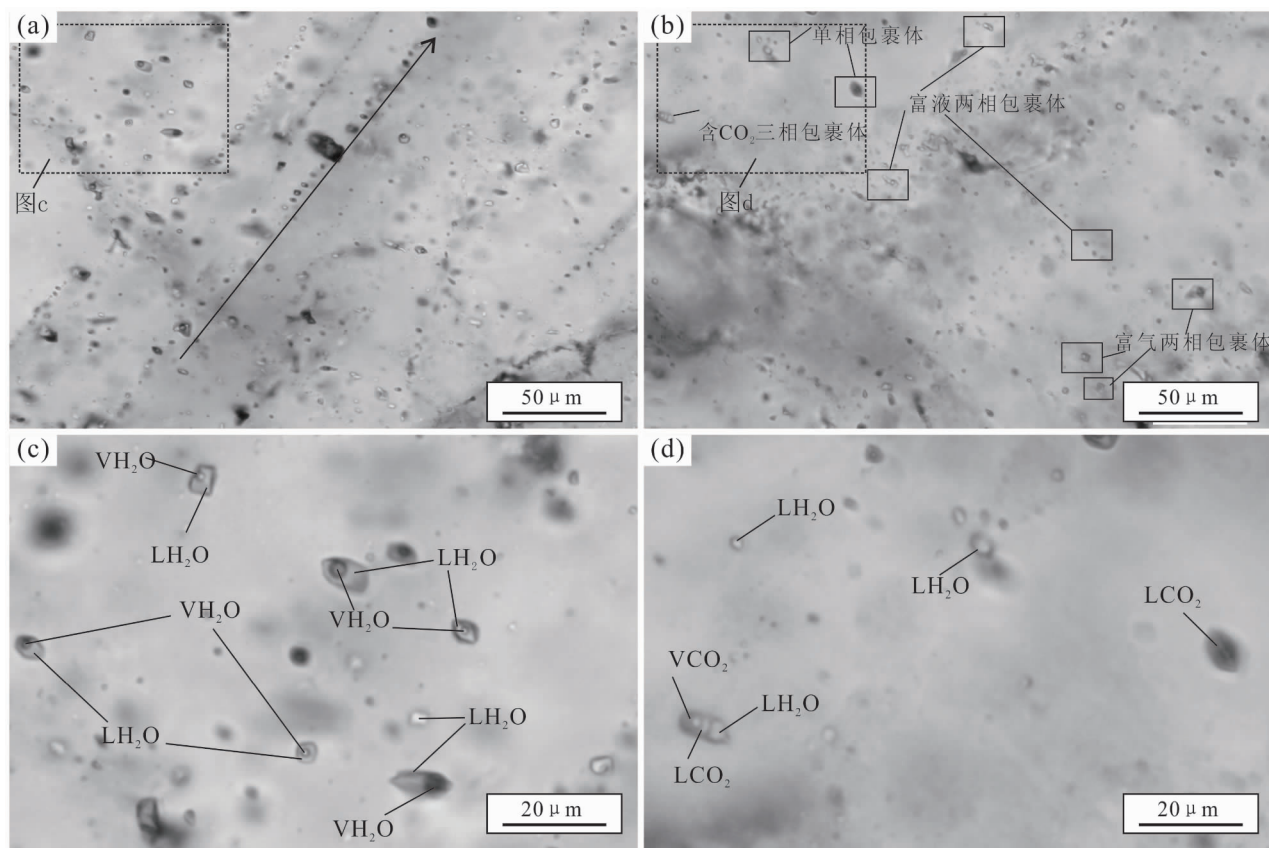


图4 藏北双湖商旭金矿床中流体包裹体的显微照片

Fig. 4 Micrographs of fluid inclusions in quartz from the Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

(a) 流体包裹体的宏观分布; (b) 不同类型共生的流体包裹体; (c) I 类流体包裹体; (d) II 及 I c 型流体包裹体。L—液相; V—气相  
(a) distribution of fluid inclusions; (b) coexistence of different types fluid inclusions; (c) I-type fluid inclusions;  
(d) II and I c-type fluid inclusions. L—liquid; V—vapor

类包裹体数量较少, 约占总数的 7%。纯  $\text{CO}_2$  包裹体 (II b 型) (图 4d): 常温下呈纯液相, 颜色较深, 多呈黑色, 降温过程中会出现  $\text{CO}_2$  气相, 体积较小, 多数小于  $8\mu\text{m}$ , 可供观测的在  $5\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ 。

#### 4.1.2 流体包裹体期次划分

按流体包裹体及其寄主矿物的产状及相互关系, 可将所研究的流体包裹体划分为三个阶段, 与三个成矿阶段对应。第一阶段 (S1) 的流体包裹体以原生包裹体的形式产于石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段的石英矿物颗粒中 (图 4d)。此世代包裹体中富液两相包裹体、少量富气两相包裹体, 少量含  $\text{CO}_2$  三相包裹体共存, 少量纯液相包裹体, 均一温度在同一个区间, 以群状分布和孤立分布为主, 形态相似, 主要呈椭圆状及近椭圆状特征, 体积较大, 直径多在  $8\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ 。第二阶段 (S2) 的流体包裹体 (图 4c) 主要以原生包裹体的形式分布在石英网脉—金—多金属硫化物阶段的石英矿物颗粒中。此阶段的包裹

体主要为富液两相包裹体, 同时还有少量含  $\text{CO}_2$  三相包裹体, 以群状分布和孤立为主, 主要呈短柱状和椭圆状特征, 直径多在  $10\mu\text{m}$  以下, 整体较第一阶段的包裹体小。第三阶段 (S3) 的包裹体主要出现在石英细脉—碳酸盐矿物阶段的石英细脉中, 相态类型为气液两相包裹体, 此阶段包裹体较小, 通常小于  $8\mu\text{m}$ , 主要为近椭圆状和短柱状, 以较前两个阶段包裹体明亮, 体积较小为特征。此外, 晚期阶段的包裹体还以链状次生包裹体的形式存在于早期阶段的石英矿物中, 与早期阶段的包裹体叠加产出。

整体而言, 本矿床石英中流体包裹体以群状、孤立状、链状分布为主, 形态上整体较为规则, 以椭圆状、短柱状为主, 除少量链状分布的次生包裹体外, 原生包裹体中无不规则状、拉长状、“卡脖子”等现象。小于  $5\mu\text{m}$  的包裹体也比较多, 对于小于  $5\mu\text{m}$  的包裹体在现有实验条件下很难观测, 本矿床中可观测的包裹体大小一般在  $5\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$  之间, 部分

包裹体可达 15~20 μm,所测的包裹体平均约 8 μm,主要为富液两相包裹体,富气两相包裹体,含 CO<sub>2</sub>三相包裹体,纯 CO<sub>2</sub>包裹体。

## 4.2 流体包裹体的显微测温

### 4.2.1 显微测温情况及估算方法

在详细岩相学观测的基础上,通过详实的显微测温实验得到不同类型流体包裹体的冰点下降温度( $t_{m,ice}$ )、CO<sub>2</sub>笼形物熔化温度( $t_{m,cla}$ )、CO<sub>2</sub>部分均一温度( $t_{h,CO_2}$ )、完全均一温度( $t_h$ )等数据,然后由所测得的参数计算求得流体包裹体的盐度、密度、压力等参数。

商旭岩金矿床成矿期含金石英脉中 13 个测温片中 3 个成矿阶段流体包裹体的显微测温结果见表 2。

流体包裹体的盐度是基于冷冻冰点下降或 CO<sub>2</sub>笼形物熔化温度与 NaCl 含量之间的关系计算得到的。对气液两相流体包裹体(I型),当冰点下降温度( $t_{m,ice}$ )低于 21.2℃时,根据公式  $\omega_{NaCl}\% = 1.78t_{m,ice} - 4.42 \times 10^{-2} t_{m,ice}^2 + 5.57 \times 10^{-4} t_{m,ice}^3$  来计算盐度(Hall et al., 1988);对于含 CO<sub>2</sub>流体包裹体(II型),根据公式  $\omega_{NaCl}\% = 15.52022 - 1.02342t_{m,cal} - 0.05286 t_{m,cal}^2$  来计算(Roedder, et

al., 1984),根据包裹体观察和测温结果( $t_{m,ice}$ 或者  $t_{m,cla}$ ),本文采用上述公式计算盐度,并以 NaCl 的浓度百分数来表示流体的盐度。

流体密度尤其是液相密度的确定有多种方法,可以查表、图解和公式计算。本文采用刘斌等(1987)的经验公式:

$$\rho = A + B \times t_h + C \times t_h^2$$

$$A = (0.993531) + (8.72147 \times 10^{-3}) \omega + (-2.43975 \times 10^{-5}) \omega^2$$

$$B = (7.11652 \times 10^{-5}) + (-5.2208 \times 10^{-5}) \omega + (1.26656 \times 10^{-6}) \omega^2$$

$$C = (-3.4997 \times 10^{-6}) + (2.12124 \times 10^{-7}) \omega + (-4.5232 \times 10^{-9}) \omega^2$$

式中  $\rho$  为盐水溶液的密度(g/cm<sup>3</sup>), $t_h$  为均一温度(℃), $\omega$  代表盐度(%)。适用范围:均一温度( $t_h$ ) ≤ 500℃;盐度( $\omega_{NaCl}\%$ ) ≤ 30%。

### 4.2.2 流体包裹体物理参数计算

(1) 均一温度:石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)均一温度为 189~244℃,峰值为 200~230℃,测温数据具有近正态分布特征(图 5a,表 2);石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)均一温度为 183~231℃,峰值为 195~225℃,较前一阶段略

表 2 藏北双湖商旭岩金矿床流体包裹体显微测温结果统计表

Table 2 Microthermometry results of fluid inclusions from Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang(Tibet)

阶段	样号	类型	$t_{m,ice}$ (℃)		$t_{m,cla}$ (℃)		$t_{h,CO_2}$ (℃)		$t_h$ (℃)	
			范围	测点数	范围	测点数	范围	测点数	范围	测点数
石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)	SX-151	I	7.4~3.2	12					189~231	14
	SX-152	I	6.5~5.6	2					193~244	7
	SX-58	I	2.3	1					195~226	10
	SX-59	I							214~219	5
	SX-78	I							203~217	7
	SX-78	II			7.6	1	21.2	1	223	1
石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)	SX-91	I							215~224	3
	SX-06	I	3.7~1.5	8					190~220	23
	SX-06	II			9.8~8.5	4	21.5~30.0	4	201~215	4
	SX-147	I	6.1~0.9	8					183~231	16
	SX-45	I	2.2~1.7	6					190~228	7
	SX-45	II			8.8	1	24.3~24.7	2	198~207	3
	SX-51	I							197~226	10
	SX-51	II			8.2~7.2	2	25.4~26.5	2	208~210	2
	SX-99	I							201~210	5
石英细脉—碳酸盐矿物阶段(S3)	SX-99	II			9.2~8.5	2	21.6~27.0	2	200~210	2
	SX-05	I	2.1~1.2	3					140~207	7
	SX-08	I	2.0~1.3	3					173~197	7
	SX-08	II			8.6~8.2	2	26.1~27.2	2	184~210	2

注: $t_{m,ice}$ 为冰点下降温度; $t_{m,cla}$ 为笼形物熔化温度; $t_{h,CO_2}$ 为 CO<sub>2</sub>部分均一温度; $t_h$ 为完全均一温度;I型流体包裹体为气液两相流体包裹体;II型流体包裹体为含 CO<sub>2</sub>流体包裹体。

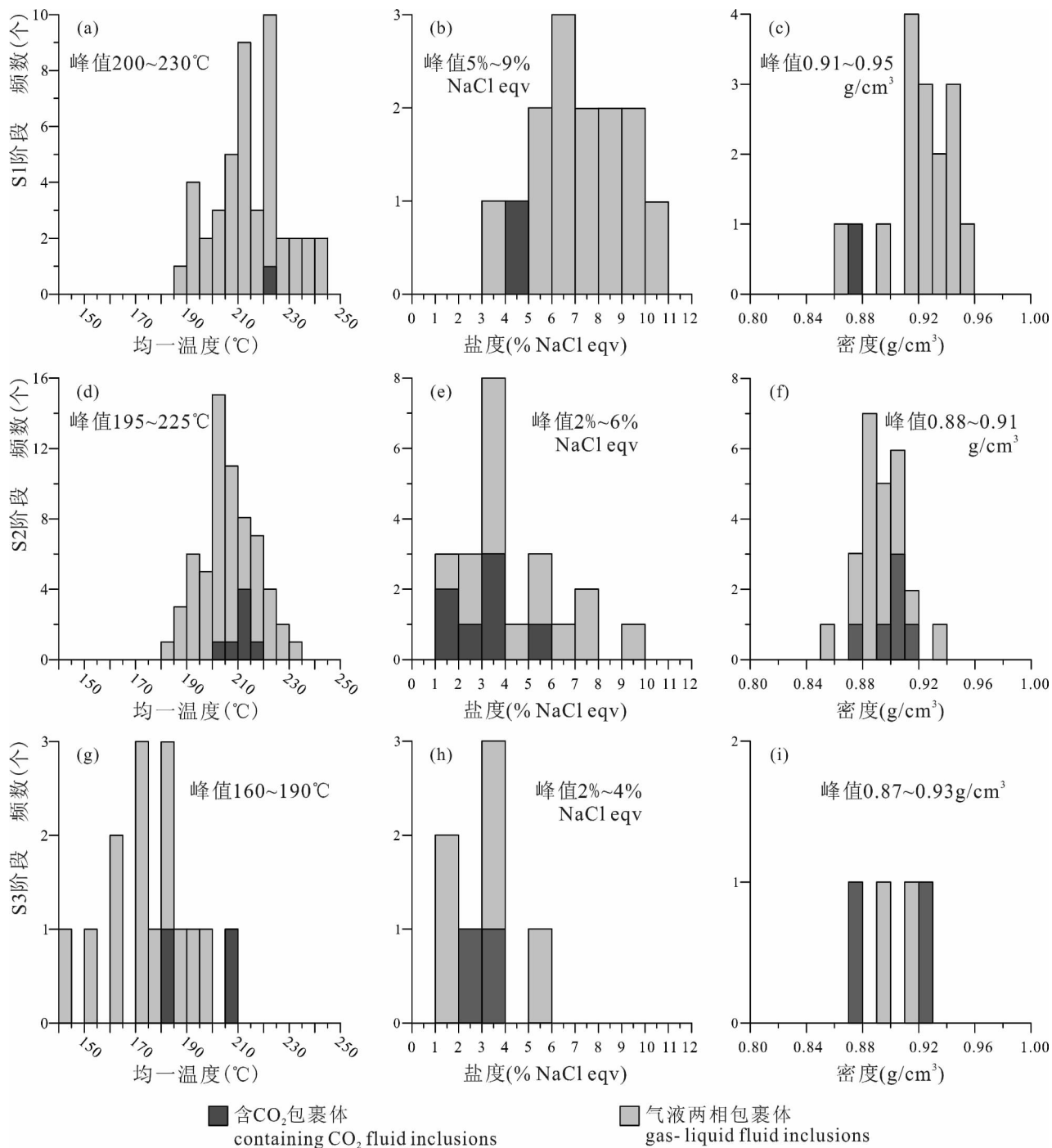


图5 藏北双湖商旭岩金矿床流体包裹体均一温度、盐度、密度直方图

Fig. 5 Histograms showing fluid inclusion microthermometry for the Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

S1—石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段; S2—石英网脉—金—多金属硫化物阶段; S3—石英细脉—碳酸盐矿物阶段

S1—quartz—Au—pyrite—galenite stage; S2—quartz stockwork—Au—polymetallic sulfide stage;

S3—quartz veinlet—carbonate stage

低,测试数据服从正态分布(图5d,表2);石英细脉—碳酸盐矿物阶段(S3)均一温度为140~210℃,峰值为160~190℃(图5g,表2),均一温度低于前两个阶段。此外,S1和S2阶段的包裹体中,在很小

的范围内(单个石英矿物晶体)同时出现不同类型、不同填充度的流体包裹体(图4b、d),不同类型包裹体的均一温度范围基本一致(图5a、d),说明流体包裹体形成于非均一的流体介质条件,指示流体沸腾



作用的存在,即 S1 和 S2 两个阶段的流体包裹体为沸腾包裹体,这两个阶段的均一温度代表了流体包裹体捕获时的成矿温度 (Roedder et al., 1984; 卢焕章等, 2004)。

(2) 盐度: 石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段 (S1) 盐度为 3.87% ~ 10.98% NaCl<sub>eqv</sub>, 峰值为 5.00% ~ 9.00% NaCl<sub>eqv</sub>, 测温数据具有近正态分布特征 (图 5b); 石英网脉—金—多金属硫化物阶段 (S2) 盐度为 1.57% ~ 9.34% NaCl<sub>eqv</sub>, 峰值为 2.00% ~ 6.00% NaCl<sub>eqv</sub>, 较前一阶段流体盐度降低 (图 5e); 石英细脉—碳酸盐矿物阶段 (S3) 均一盐度为 2.07% ~ 3.57% NaCl<sub>eqv</sub>, 峰值为 2.00% ~ 4.00% NaCl<sub>eqv</sub> (图 5h), 较前两个阶段, 流体盐度逐渐降低。

(3) 密度: 石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段 (S1) 密度为 0.87 ~ 0.96 g/cm<sup>3</sup>, 峰值为 0.91 ~ 0.95 g/cm<sup>3</sup>, 测温数据具有近正态分布特征 (图 5c); 石英网脉—金—多金属硫化物阶段 (S2) 密度为: 0.85 ~ 0.93 g/cm<sup>3</sup>, 峰值为 0.88 ~ 0.91 g/cm<sup>3</sup>, 随着温度和盐度的降低, 该阶段较前一阶段流体密度也随着降低 (图 5f); 石英细脉—碳酸盐矿物阶段 (S3) 均一盐度为 0.87 ~ 0.93 g/cm<sup>3</sup> (图 5i), 较前两个阶段, 流体密度逐渐降低。

### 4.3 流体包裹体成分分析

#### 4.3.1 显微激光拉曼光谱分析

在岩相学观察与显微测温结果的基础上, 笔者对不同阶段的流体包裹体进行了系统的气、液相成分的激光拉曼分析。绝大部分包裹体的气相成分谱

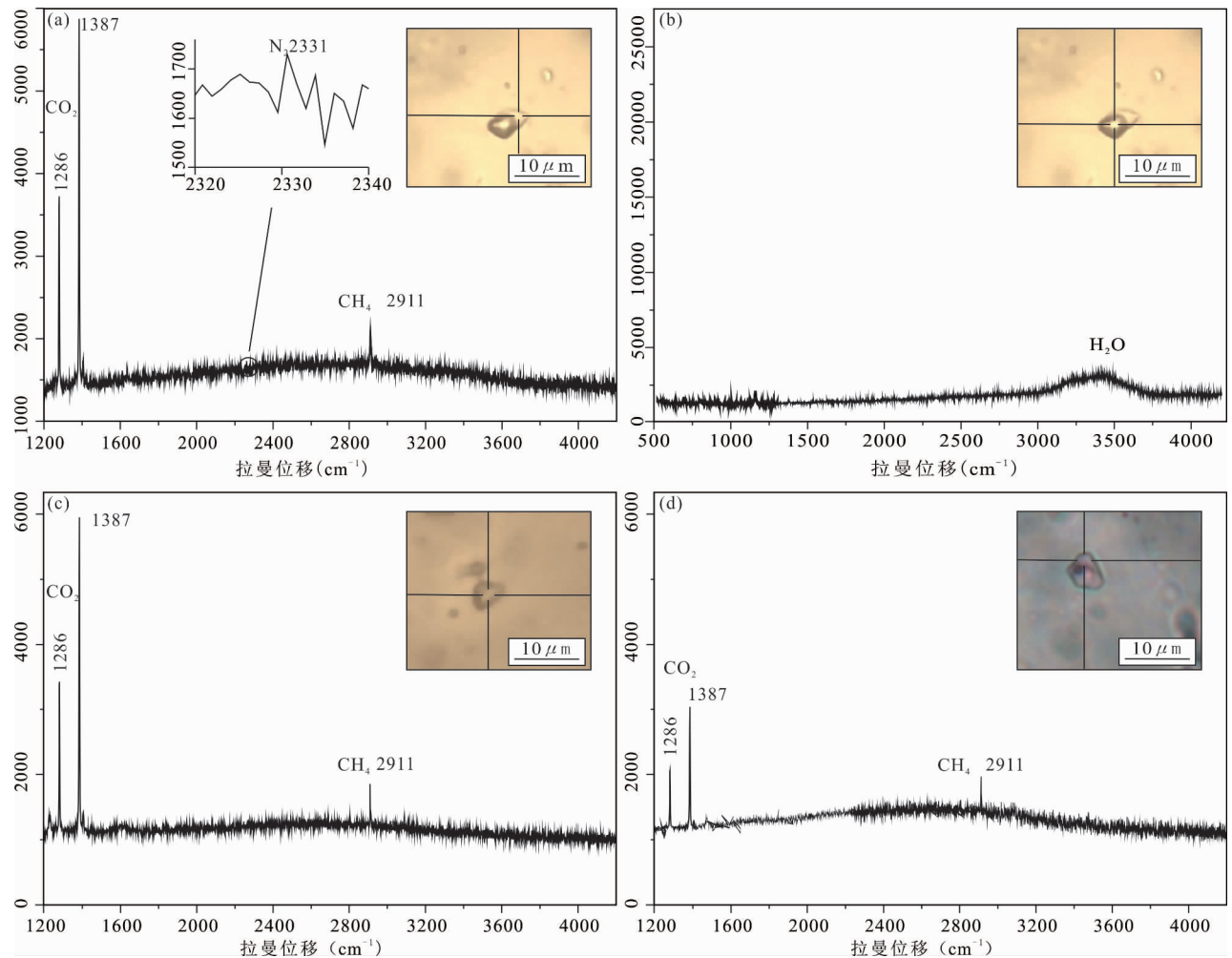


图6 藏北双湖商旭岩金矿床各阶段包裹体显微照片及激光拉曼光谱

Fig. 6 Laser Raman spectra and photographs of fluid inclusions in quartz, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

- (a) 石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)气液两相包裹体气相; (b) 石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)流体包裹体液相;  
 (c) 石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)流体包裹体气相; (d) 石英细脉—碳酸盐矿物阶段(S3)流体包裹体气相  
 (a) gaseous phase components of gas—liquid fluid inclusions in stage S1; (b) liquid phase components of fluid inclusions in stage S1;  
 (c) gaseous phase components of fluid inclusions in stage S2; (d) gaseous phase components of fluid inclusions in stage S3

表3 藏北双湖商旭岩金矿床含金石英脉流体包裹体液相成分分析结果( $\mu\text{g/g}$ )Table 3 Liquid composition( $\mu\text{g/g}$ ) analysis results of fluid inclusions in Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang(Tibet)

样号	采样位置	阴离子					阳离子				离子质量比				
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	$\frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+}$	$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{F}^-}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$
SX111	Ⅲ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.32	4.92	<0.02	2.74	2.22	0.22	0.82	7.05	10.266	0.317	8.654	0.285	0.065	1.797
SX118	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.14	10.58	<0.02	21.62	3.16	0.48	0.68	8.22	6.686	0.385	12.225	0.356	0.013	0.489
SX119	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.14	18.26	<0.02	3.34	5.42	0.36	0.74	10.70	14.960	0.507	14.448	0.474	0.008	5.476
SX120	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.32	25.36	<0.02	4.08	10.72	0.44	0.90	9.96	24.364	1.077	10.963	0.987	0.012	6.215

图在 1200 ~ 1400  $\text{cm}^{-1}$  范围内呈现清晰的  $\text{CO}_2$  谱峰(图 6a、c、d, 特征峰值为 1286  $\text{cm}^{-1}$ 、1387  $\text{cm}^{-1}$ ), 这与镜下观察到含有大量的富(含)  $\text{CO}_2$  包裹体结果相一致, 说明商旭岩金矿床的成矿流体中含有大量的  $\text{CO}_2$  气体。

图 6a 为石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1) 流体包裹体的气相谱图, 从图中除可见清晰的  $\text{CO}_2$  谱峰之外, 还在 2905 ~ 2925  $\text{cm}^{-1}$  范围内有明显的  $\text{CH}_4$  峰, 说明包裹体气相中除了含有含量较高的  $\text{CO}_2$  外, 还存在含量相对较高的  $\text{CH}_4$ , 气体  $\text{CH}_4$  的存在也解释了为什么包裹体冷冻法实验过程中观察到的富  $\text{CO}_2$  流体包裹体的  $\text{CO}_2$  固相熔化温度( $T_m$ ,  $\text{CO}_2$ ) 会低于  $-57^\circ\text{C}$ 。图 6b 为石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1) 流体包裹体的液相谱图, 仅在 3310 ~ 3610  $\text{cm}^{-1}$  附近出现较宽的强峰, 表明其液相成分以  $\text{H}_2\text{O}$  为主。图 6c 为石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2) 流体包裹体气相图谱, 见清晰的  $\text{CO}_2$  谱峰和  $\text{CH}_4$  峰, 表明该阶段流体包裹体中主要气相成分为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 。图 6d 为石英细脉—碳酸盐矿物阶段(S3) 阶段流体包裹体气相图谱,  $\text{CO}_2$  谱峰和  $\text{CH}_4$  峰较前两个阶段弱, 表明该阶段主要气相成分为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ , 但含量较前两个阶段少。

#### 4.3.2 群体包裹体成分分析

4 件商旭金矿含金石英脉群体包裹体成分测试的结果见表 3、表 4。

4 件石英包裹体阳离子成分中  $\text{Na}^+$  含量变化范围 2.238 ~ 10.720  $\mu\text{g/g}$ , 平均值 5.583  $\mu\text{g/g}$ ;  $\text{K}^+$  含量变化范围 0.218 ~ 0.472  $\mu\text{g/g}$ , 平均值 0.373  $\mu\text{g/g}$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化范围 7.051 ~ 10.690  $\mu\text{g/g}$ , 平均值 8.97  $\mu\text{g/g}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  含量变化范围 0.82 ~ 0.90  $\mu\text{g/g}$ , 平均值 0.783  $\mu\text{g/g}$ ,

$\text{NO}_3^-$  含量低于检出限。 $\text{Na}^+/\text{K}^+$  质量比值变化范围从 6.868 ~ 24.364, 平均值为 14.069,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  质量比值变化范围从 0.317 ~ 1.077, 平均值为 0.572,  $\text{Na}^+(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$  质量比值变化范围从 0.285 ~ 0.987, 平均值为 0.525,  $\text{F}^-/\text{Cl}^-$  质量比值变化范围从 0.008 ~ 0.065, 平均值为 0.025,  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  质量比值变化范围从 0.489 ~ 6.215, 平均值为 3.949。显示其流体液相具有富集  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ , 贫  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{F}^-$  的特点。气相成分以  $\text{H}_2\text{O}$  为主, 占气相体积 99% 以上, 其次为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ , 少量的  $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ , 与拉曼研究基本一致。 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$  的存在反映了成矿环境为还原条件(范宏瑞等, 2001), 即金的矿化是在还原条件下进行的。

流体包裹体成分分析表明, 商旭金矿床成矿流体应该为还原状态的含  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  及少量  $\text{CH}_4$  的  $\text{CaCl}_2$ — $\text{NaCl}$ — $\text{H}_2\text{O}$  体系流体。

#### 4.4 氢氧同位素特征

对商旭岩金矿床 8 件含金石英脉样品进行氢、氧同位素测试, 并利用 Clayton 等(1972) 的石英—水同位素分馏方程  $10^3 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 * 10^6 T^{-2} - 3.40(T = 473 \sim 773\text{K})$  (式中  $\alpha$  是分馏作用系数,  $T$  为绝对温度值, 单位为 K) 将  $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$  换算成  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,

表4 藏北双湖商旭岩金矿床含金石英脉流体包裹体气相成分分析结果( $\mu\text{L/g}$ )Table 4 Gas composition( $\mu\text{L/g}$ ) analysis results of fluid inclusions in Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang(Tibet)

样号	采样位置	V( $\text{H}_2$ )	V( $\text{N}_2$ )	V( $\text{CO}$ )	V( $\text{CH}_4$ )	V( $\text{CO}_2$ )	V( $\text{H}_2\text{O}$ )
SX111	Ⅲ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.3268	3.803	0.1635	0.3346	1.881	599900
SX118	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.1821	2.291	0.0773	0.0342	1.045	36460
SX119	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.0705	2.069	0.0716	0.015	1.422	17910
SX120	Ⅱ <sub>1</sub> 含金石英脉	0.0844	2.513	0.0521	0.0134	3.2	21110

表5 藏北双湖商旭岩金矿床石英及其流体包裹体水的氢、氧同位素组成

Table 5  $\delta^{18}\text{O}$ — $\delta\text{D}$  isotopic compositions of quartz and fluid inclusions in auriferous quartz veins from Shangxu gold deposits, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

成矿阶段	样号	流体包裹体水		
		$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$ (‰)
石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)	SX-01	18.6	7.82	-104
	SX-02	17.8	7.02	-119
	SX-04	16.7	5.92	-115
	SX-05	17.1	6.32	-114
	SX-07	17.9	7.12	-112
石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)	SX-10	16.3	4.92	-120
	SX-12	16.4	5.02	-136
	SX-13	16.7	5.32	-108

其中平衡温度取各阶段流体包裹体均一温度的加权平均值,结果如表5所示,石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  值的变化范围为 -104‰ ~ -119‰, 极差 15‰, 均值 -112.8‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  值的变化范围为 5.92‰ ~ 7.82‰, 极差 1.90‰, 均值 6.84‰; 石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  值的变化范围为 -108‰ ~ -136‰, 极差 24‰, 均值 -121.3‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  值的变化范围为 4.92‰ ~ 5.32‰, 极差 0.40‰, 均值 5.09‰。

## 5 讨论

### 5.1 成矿流体来源

成矿流体的来源可分为大气降水、海水、建造水、岩浆热水、变质水等(翟裕生等,2011)。现有野外工作中在本矿区及附近暂未发现岩浆活动踪迹(距离矿区最近的木嘎岗日岩体也在50km以外),同时我们对本区岩屑地球化学数据的分析表明代表岩浆作用的W—Mo—Bi高温元素组合在本区地球化学非常弱(刘洪等,2015),而流体包裹体中  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  质量比值(表3, 6.868 ~ 24.364) 表现为非岩浆热液矿床的数值的特征(岩浆热液的  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值一般小于1,而非岩浆热液有关的矿床其  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值较高, Roedder, 1971), 这使我们相信岩浆水不应该是商旭金矿成矿流体组成的主要贡献者。在  $\delta^{18}\text{O}$ — $\delta\text{D}$  同位素图解上(图7), 商旭金矿的投影点表现为变质水和岩浆水向西藏地热水方向的漂移, 其中S2阶段比S1阶段成矿流体更靠近西藏地热

水,与达查金矿较为相似(肖润等,2002); 流体包裹体研究表明商旭金矿流体为还原状态的含  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  及少量  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$  的  $\text{CaCl}_2$ — $\text{NaCl}$ — $\text{H}_2\text{O}$  体系流体,具有中低温、低盐度、含  $\text{CO}_2$  等特点,符合变质流体的特征(陈衍景等,2007); 卢焕章等(2004)认为,成矿流体中出现  $\text{F}^-/\text{Cl}^-$  比值很小,可代表有大气降水(地下水)的加入,本矿床中  $\text{F}^-/\text{Cl}^-$  比值(0.008 ~ 0.065)表现的非常小,显示本矿床成矿流体具有大气降水(地下水)成分。综上讨论,我们认为,商旭金矿初始成矿流体主要为变质流体,同时变质流体沿深大断裂循环过程中,不断有大气降水的加入。

### 5.2 成矿流体性质及演化

与金有关的成矿阶段为石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段(S1)和石英网脉—金—多金属硫化物阶段(S2)。其中S1阶段均一温度(成矿温度)集中在200 ~ 230℃,盐度集中在5.00% ~ 9.00%  $\text{NaCl}_{\text{eq}}$ ,密度集中在0.91 ~ 0.95  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; S2

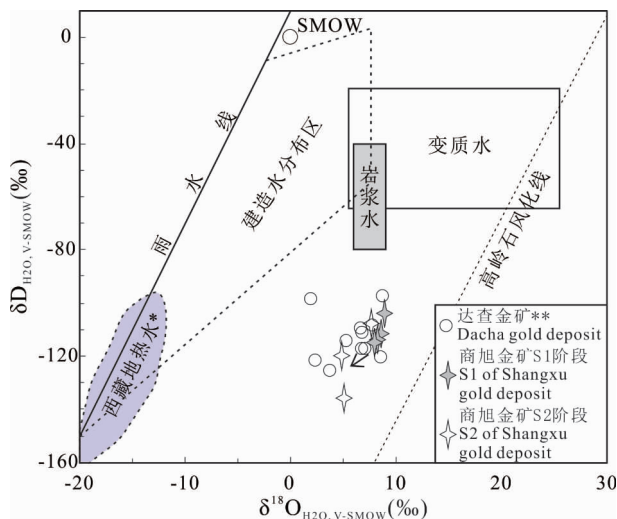


图7 藏北商旭、达查金矿床成矿流体的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$ — $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  图解(底图据 Taylor, 1979; \* 据郑淑蕙等, 1982; \*\* 据肖润等, 2002)

Fig. 7 Plot of  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  versus  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O, V-SMOW}}$  for ore-forming fluids from Shangxu and Dacha gold deposit, Northern Xizang (Tibet) ( Modified after Taylor, 1979; \* after Zheng Shuhui et al., 1982; \*\* after Xiao Run et al., 2002)

S1 阶段: 石英—金—黄铁矿—方铅矿阶段; S2 阶段: 石英网脉—金—多金属硫化物阶段

S1: quartz—Au—pyrite—galenite stage; S2: quartz stockwork—Au—polymetallic sulfide stage

阶段集中 195 ~ 225℃, 盐度集中在 2.00% ~ 6.00% NaCl<sub>eqv</sub>, 密度集中在 0.88 ~ 0.91 g/cm<sup>3</sup>; 激光拉曼测试及群体包裹体成分分析显示, 成矿流体液相具有富集 Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>, 贫 K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 F<sup>-</sup>, 气相含 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>, 为还原状态。综上认为, 商旭金矿成矿流体属还原状态下中低温、低盐度、低密度、含 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的 CaCl<sub>2</sub>—NaCl—H<sub>2</sub>O 体系流体, 具有典型的造山型金矿床成矿流体 (Groves et al. 1998; 陈衍景等, 1992, 2007) 的特征。

随着流体从深部上升到浅部, 以及构造环境的改变, 流体混合、沸腾或水岩反应等引起的热液物理化学条件变化会导致含金流体的溶解度降低, 发生金矿化 (朱江等, 2014)。温度、压力对超临界态且铁硫化物饱和热液中金溶解度的影响尤为明显, 温度降低 100℃ 或者压力降低 10.0MPa 均能导致其中 90% 以上的金沉淀, 这是导致造山型金矿床中金沉淀的主要机制 (Loucks, et al., 1999)。从主成矿阶段 (S1、S2) 到成矿期后 (石英—碳酸盐阶段, S3), 流体的温度、盐度、压力明显降低 (S3 阶段均一温度集中在 160 ~ 190℃, 盐度集中在 2.00% ~ 4.00% NaCl<sub>eqv</sub>, 前文已分析, S1 和 S2 的流体包裹体为不均一捕获的沸腾包裹体, 因此我们认为成矿流体沿断裂向上运移过程中, 从封闭体系进入开放体系迅速减压沸腾可能是商旭金矿床中主成矿阶段 (S1 和 S2 阶段) 金沉淀的最主要原因。

石英细脉—碳酸盐矿物阶段 (S3), CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等拉曼谱峰明显减弱 (图 6), 早期流体包裹体群 (S1 和 S2 阶段) 发育大量含 CO<sub>2</sub> 三相包裹体, 晚期 (S3) 只发育水溶液包裹体。这表明随着成矿作用进行和温度降低, 流体中矿质含量降低, 盐度降低 (图 5、图 8), CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 等气体含量有明显减少。流体运移过程中, 环境突变减压沸腾导致 CO<sub>2</sub> 等气体大量逃逸, 并促使大量成矿物质 (自然金) 及金属硫化物 (黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等) 在有利的导矿—容矿构造中快速沉淀, 结晶成矿: 在 S1 阶段主要形成自然金 (明金) 及粗粒的黄铁矿、方铅矿; 在 S2 阶段主要形成自然金 (显微包裹体金) 及细粒的多金属硫化物 (黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等)。同时, 含金热液沿着断裂构造运移过程中与围岩发生反应, 致使围岩中原来的矿物组合转变为更加稳定的矿物组合, 在矿体两侧因热液交代作用形成矿化蚀变带, 蚀变类型包括硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化。随着含矿热液成矿物质及金属硫化物的大量析出, 同时伴随着大气降水等因素的影响, 流体温

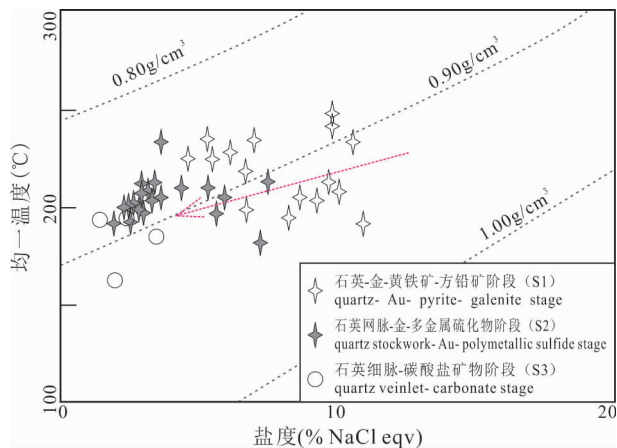


图 8 藏北双湖商旭金矿床盐度—均一温度图

Fig. 8 The salinity vs. homogenization temperature diagram of the Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

度、盐度迅速降低, 金的成矿作用随之结束, 进入石英细脉—碳酸盐矿物阶段 (S3), 产生大量的石英—方解石等碳酸盐矿物脉体。

各阶段流体包裹体热力学参数表明, 商旭金矿床变质成矿流体沿着断裂从深部向浅部逐渐运移, 从封闭体系进入开放体系, 环境从中温中压向低温低压变化, 并迅速减压沸腾, 导致成矿物质在有利的导矿—容矿构造中结晶成矿 (图 9)。

### 5.3 成因类型厘定

矿床的形成受构造、岩浆、地层、流体等多种地质因素的制约, 其产出形式多种多样, 导致矿床成因分类的思路、依据很难统一。为方便讨论, 本文采用

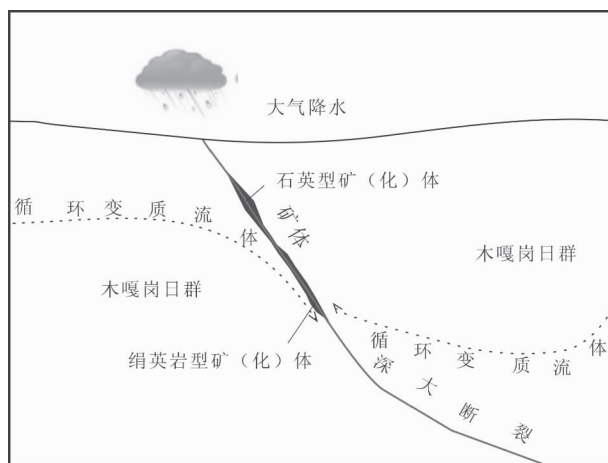


图 9 藏北双湖商旭金矿床成因示意图

Fig. 9 The metallogenic model of Shangxu gold deposit, Shuanghu, Northern Xizang (Tibet)

表6 商旭岩金矿床、邦布金矿与典型造山型金矿地质特征对比表

Table 6 Comparisons of geological of Shangxu, Bangbu and typical orogenic gold deposits

地质特征	典型造山型金矿床 (据 Groves et al. 1998)	雅鲁藏布江缝合带邦布金矿床 (据孙晓明等,2010)	班公湖—怒江缝合带商旭金矿床 (据肖万峰等,2013;黄瀚霄等,2014; 刘洪等,2015)
围岩	与各时代的变形变质岩有关	矿区地层岩性主要为炭质绢云千枚岩及变砂岩	矿区地层岩性主要为炭质板岩、变杂砂岩
构造背景	矿床形成于聚合板块边缘增生造山由挤压到扭压变形过程	与印度板块向欧亚板块俯冲碰撞作用密切相关	可能与冈底斯地块与羌塘地块碰撞作用相关
控矿构造	矿体严格受构造控制,多位于大型挤压构造二级或三级构造	矿体产于雅鲁藏布江结合带东段南侧的曲松—错古—折木朗脆—韧性剪切带的次级及三级断裂中	矿体产于班公湖—怒江缝合带中段拉惹—康如断裂北侧近东西—北西西向次级断裂中
矿石类型	以石英脉为主,含有≤3%~5%的硫化物	矿脉中以石英为主,硫化物含量一般≤3%~5%	以石英单脉型、构造蚀变岩型为主,矿石中贫金属硫化物
围岩蚀变	碳酸盐化、硫化物化和绿泥石化等	黄铁绢英岩化、黄铜矿化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、白云母化和绿泥石化等	硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等
成矿流体成分	以 CO <sub>2</sub> —H <sub>2</sub> O—NaCl ± CH <sub>4</sub> 组合为特征,富含 CO <sub>2</sub>	主要为 H <sub>2</sub> O—NaCl—CO <sub>2</sub> , 含少量 N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 及其他碳氢化合物	以 CO <sub>2</sub> —H <sub>2</sub> O—NaCl ± CH <sub>4</sub> 组合为主
成矿温度	200~700℃	190~290℃	195~230℃
盐度	3%~10% NaCleqv	2%~9% NaCleqv	2%~9% NaCleqv
金属元素组合	Au, Ag, ± As, Sb, Te, W, Bi	—	Au, Ag, As, Sb

陈衍景等(2007)根据热液系统而划分金矿床分类方案,即将金矿以主导成矿系统发育的地质作用特征划分为浆控高温热液型、造山型(变质热液型)、浅成低温热液型、微细粒浸染型以及热水沉积型5种类型。

将位于雅鲁藏布江缝合带西段的邦布造山型金矿、班公湖—怒江缝合带中段的商旭金矿与典型的造山型金矿进行对比(表6),发现它们在构造环境、控矿构造特征、围岩蚀变、成矿流体特征、成矿物理化学环境、金属元素组合等方面极其相似,我们认为商旭金矿在成因类型上应该属于造山型金矿。

## 6 结论

(1)商旭金矿床含矿石英脉中存在2种类型的流体包裹体,即气液包裹体(富液两相包裹体、富气两相包裹、纯水包裹)和含 CO<sub>2</sub>包裹体(含 CO<sub>2</sub>三相包裹体、纯 CO<sub>2</sub>包裹体),以气液包裹体为主。

(2)商旭金矿初始成矿流体主要为变质流体,同时变质流体沿深大断裂循环过程中,不断有大气降水的加入。

(3)商旭金矿床成矿流体具中低温、低盐度、低密度特点,属于还原状态下含 CO<sub>2</sub>的 CaCl<sub>2</sub>—NaCl—H<sub>2</sub>O 体系流体,具有典型的造山型金矿床成矿流体的特征。

(4)商旭金矿床严格受断裂控制,成矿流体沿着断裂从深部向浅部逐渐运移,从封闭体系进入开放体系中迅速减压沸腾,是导致成矿物质在有利的导矿—容矿构造中结晶成矿的主要因素。

(5)商旭金矿床的成因类型为造山型金矿床,其所处的班公湖—怒江缝合带成矿带中段,具有寻找造山型金矿床的潜力。

**致谢:** 本文在实验测试过程中得到了北京科技大学谢玉玲教授,中国地质调查局成都地质调查中心潘忠习老师、李应翔工程师,内蒙古科技大学胡庆成讲师、中国地质大学(武汉)王丛丛硕士的指导与帮助,匿名审稿专家及编辑部同志为完善本文提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

## 注释 / Notes

- ① 中国地质调查局成都地质调查中心. 2012. 西藏班公湖—怒江铜多金属成矿规律研究项目成果报告. 成都.
- ② 中国地质调查局成都地质调查中心. 2012. 西藏尼玛县商旭—达查地区金矿调查评价项目成果报告. 成都.

## 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈华安,祝向平,马东方,黄瀚霄,李光明,李玉彬,李玉昌,卫鲁杰,刘朝强. 2013. 西藏波龙斑岩铜金矿床成矿斑岩年代学、岩石化学

- 特征及其成矿意义. 地质学报, 87(10): 1593~1611.
- 陈衍景, 富士谷, 卢冰, 季海章, 胡受奚, 胡志宏, 于昕. 1992. 金矿成因类型和系列的划分. 地球科学进展, 7(3): 73~79.
- 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. 岩石学报, 23(9): 2085~2108.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国. 2001. 冀西北东坪金矿成矿流体研究. 中国科学(D辑:地球科学), 31(7): 537~544.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 班公湖—怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景. 地质通报, 30(8): 1261~1274.
- 侯林, 邓军, 丁俊, 汪雄武, 彭惠娟. 2012. 四川丹巴燕子沟造山型金矿床成矿流体特征研究. 地质学报, 86(12): 1957~1971.
- 黄瀚霄, 李光明, 刘波, 张智林, 马东, 曲扎, 肖万峰, 刘洪. 2014. 藏北商旭造山型金矿床的发现及意义. 矿床地质, 33(3): 486~496.
- 李光明, 段志明, 刘波, 张晖, 董随亮, 张丽. 2011. 西藏班公湖—怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的特征及意义. 地质通报, 30(8): 1256~1260.
- 李胜荣, 肖润, 周肃, 莫宣学, 申俊峰, 闫柏琨, 刘波. 2005. 西藏改则地区金成矿作用. 矿床地质, 24(1): 1~14.
- 刘斌, 段光贤. 1987. NaCl—H<sub>2</sub>O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用. 矿物学报, 7(4): 345~352.
- 刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 肖万峰, 张智林, 刘波, 马东方, 董磊, 马东. 2015. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用. 中国地质, 42(4): 1126~1136.
- 刘洪, 黄瀚霄, 张智林, 肖万峰, 李光明, 刘波, 马东, 曲扎. 2013. 藏北商旭金矿床地质特征、控矿因素及发现意义. 矿物学报, S2: 337~338.
- 刘洪, 吕新彪, 刘阁, 尚世超, 李春诚, 柯昌辉, 王玉奇, 胡庆成. 2012. 河南罗山金城金矿成矿流体性质及演化. 矿物岩石, 32(3): 51~61.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社: 487.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分. 地质通报, 21(11): 701~707.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分. 中国地质, 36(1): 1~28.
- 曲晓明, 范淑芳, 马旭东, 宋杨. 2015. 西藏班公湖—怒江成矿带上的碰撞后铜矿床. 矿床地质, 34(3): 431~448.
- 曲晓明, 王瑞江, 代晶晶, 李佑国, 戚迅, 辛洪波, 宋杨, 杜德道. 2012. 西藏班公湖—怒江缝合带中段梅雄斑岩铜矿的发现及意义. 矿床地质, 31(1): 1~12.
- 孙晓明, 韦慧晓, 翟伟, 石贵勇, 梁业恒, 莫儒伟, 韩墨香, 张相国. 2010. 藏南邦布大型造山型金矿成矿流体地球化学和成矿机制. 岩石学报, 26(6): 1672~1684.
- 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. 西藏杂尔穷—嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向. 地球学报, 34(4): 385~394.
- 肖润, 李胜荣, 傅璐珈, 王勇, 杨伟光, 闫柏琨, 刘波. 2002. 西藏尼玛县达查金矿床同位素地球化学研究. 现代地质, 16(2): 165~169.
- 肖万峰, 李光明, 黄瀚霄, 马东, 张智林, 曲扎. 2013. 藏北商旭金矿床控矿因素及其找矿标志. 黄金, 34(10): 17~21.
- 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 2011. 矿床学 第三版. 北京: 地质出版社: 417.
- 郑淑蕙, 张知非, 倪葆龄, 侯发高, 沈敏子. 1982. 西藏地热水的氢氧稳定同位素研究. 北京大学学报(自然科学版), 1: 99~106.
- 朱江, 吕新彪, 彭三国, 龚银杰. 2014. 甘肃拾金坡金矿床成矿过程中流体—岩石反应. 矿物岩石地球化学通报, 33(3): 334~341.
- 祝向平, 陈华安, 马东方, 黄瀚霄, 李光明, 刘朝强, 卫鲁杰. 2012. 西藏多不杂斑岩铜金矿钾长石<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义. 现代地质, 26(4): 656~662.
- Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. Journal of Geophysical Research, 77(17): 3057~3067.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G, Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews, 13(1-5): 7~27.
- Hall D L, Sterner S M, Bodn R J. 1988. Freezing point depression of NaCl—KCl—H<sub>2</sub>O solutions. Economic Geology, 83(1): 197~202.
- Loucks Robert R, Mavrogenes John A. 1999. Gold solubility in supercritical hydrothermal brines measured in synthetic fluid inclusions. Science, 284(5423): 2159~2163.
- Roedder E. 1971. Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. Econ. Geol.; (United States), 66: 1, bateman issue(1): 98~118.
- Roedder. 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of Amer. 644.
- Chen Huaan, Zhu Xiangping, Ma Dongfang, Huang Hanxiao, Li Guangming, Li Yubin, Li Yuchang, Wei Lujie, Liu Chaoqian. 2013. Geochronology and geochemistry of the Bolong porphyry Cu—Au deposit, Tibet and its mineralizing significance. Acta Geologica Sinica, 87(10): 1593~1611.
- Chen Yanjing, Fu Shigu, Lu Bing, Ji Haizhang, Hu Shouxi, Hu Zhihong, Yu Xin. 1992. Classification of metallogenic series and types of gold deposits. Advance in Earth Sciences, 7(3): 73~79.
- Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, Pirajno F, Lai Yong, Su Wenchao, Zhang Hui. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2085~2108.
- Fan Hongrui, Xie Yihan, Zhai Mingguo. 2001. Ore-forming fluids of Beidongping gold deposit in western Hebei provinve. Science in China, Ser. D, 31(7): 537~544.
- Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liqun, Peng Zhimin, Zhang Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co—Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet. Geological Bulletin of China, 30(8): 1261~1274.
- Hou Lin, Deng Jun, Ding Jun, Wang Xiongwu, Peng Huijuan. 2012. Ore-forming fluids features of the Yanzigou orogenic gold deposit, Danba County, Sichuan Province, China. Acta Geologica Sinica, 86(12): 1957~1971.
- Huang Hanxiao, Li Guangming, Liu Bo, Zhang Zhilin, Ma Dong, Qu Zha, Xiao Wanfeng, Liu Hong. 2014. Discovery of Shangxu orogenic type gold deposit in northern Tiber and its significance. Mineral Deposits, 33(3): 486~496.
- Li Guangming, Duan Zhiming, Liu Bo, Zhang Hui, Dong Suiliang, Zhang Li. 2011. The discovery of Jurassic accretionary complexes in Duolong area, northern Bangong Co—Nujiang suture zone, Tibet, and its geologic significance. Geological Bulletin of China, 30(8): 1256~1260.
- Li Shengrong, Xiao Run, Zhou Su, Mo Xuanxue, Shen Junfeng, Yan Bokun, Liu Bo. 2005. Gold mineralization in Gaize area, Tibet.

- Mineral Deposits, 24 (1): 1~14.
- Liu Bin, Duan Guangxian. 1987. The density and isochoric formulae for NaCl—H<sub>2</sub>O fluid inclusions ( salinity ≤ 25wt% ) and their applications. *Acta Mineralogica Sinica*, 7 (4): 345~352.
- Liu Hong, Huang Hanxiao, Li Guangming, Xiao Wanfeng, Zhang Zhilin, Liu Bo, Ma Dongfang, Dong Lei, Ma Dong. 2015. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet. *Geology in China*, 42 (4): 1126~1136.
- Liu Hong, Huang Hanxiao, Zhang Zhilin, Xiao Wanfeng, Li Guangming, Liu Bo, Ma Dong, Qu Zha. 2013. Geological characteristic, ore-controlling factors of Shangxu gold deposit in northern Tiber and its discovery significance. *Acta Mineralogica Sinica*, S2: 337~338.
- Liu Hong, Lv Xinbiao, Liu Ge, Shang Shichao, Li Chuncheng, Ke Changhui, Wang Yuqi, Hu Qingcheng. 2012. Origin and evolution of ore-forming fluids in Jincheng gold ore deposit, Luoshan, Henan. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 32 (3): 51~61.
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, Ou Guangxi, Zhang Wenhui. 2004. *Fluid Inclusions*. Beijing: Science Press. 487.
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liqian, Ding Jun, Chen Zhiliang. 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai—Tibet Plateau and its adjacent regions. *Geological Bulletin of China*, 21 (11): 701~707.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Deng Jinfu, Fegn Yimin, Zhang Kexin, Zhang Zhiyong, Wang Fangguo, Xing Guangfu, Hao Guojie, Feng Yanfang. 2009. Subdivision of tectonic units in China. *Geology in China*, 36 (1): 1~28.
- Qu Xiaoming, Fan Shufang, Ma Xudong, Song Yang. 2015. Post-collisional copper ore deposits along Bangong Co—Nuijiang metallogenic belt, Tibetan Plateau. *Mineral Deposits*, 34 (3): 431~448.
- Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, Dai Jingjing, Li Youguo, Qi Xun, Xin Hongbo, Song Yang, Du Dedao. 2012. Discovery of Xiongmei porphyry copper deposit in middle segment of Bangonghu—Nuijiang suture zone and its significance. *Mineral Deposits*, 31 (1): 1~12.
- Sun Xiaoming, Wei Huixiao, Zhai Wei, Shi Guiyong, Liang Yeheng, Mo Ruwei, Han Moxiang, Zhang Xiangguo. 2010. Ore-forming fluid geochemistry and metallogenic mechanism of Bangbu lagre-scale orogenic gold deposit in southern Tibet, China. *Acta Petrologica Sinica*, 26 (6): 1672~1684.
- Tang Juxing, Zhang Zhi, Li Zhijun, Sun Yan, Yao Xiaofeng, Hu Zhenghua, Wang Hongxing, Song Junlong, He Lin. 2013. The metallogenesis, deposit model and prospecting direction of the Ga'erqiong—Galale copper—gold ore field, Tibet. *Acta Geoscientica Sinica*, 34 (4): 385~394.
- Xiao Run, Li Shengrong, Fu Lujia, Wang Yong, Yang Weiguang, Yan Bokun, Liu Bo. 2002. Isotope geochemistry of Dacha gold deposits in Tibet. *Geoscience*, 16 (2): 165~169.
- Xiao Wanfeng, Li Guangming, Huang Hanxiao, Ma Dong, Zhang Zhilin, Qu Zha. 2013. Prospecting indicator and ore-controlling factors of Shangxu gold deposit in north Tibet. *Gold*, 34 (10): 17~21.
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cai Keqin. 2011. *Mineral Deposits* (3rd Edition). Beijing: Geological Publishing House. 417.
- Zheng Shuhui, Zhang Zhifei, Ni Baolin, Hou Fagao, Shen Minzi. 1982. Hydrogen and oxygen isotopic studies of thermal waters in Xizang. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 1: 99~106.
- Zhu Jiang, Lv Xinbiao, Peng Sanguo, Gong Yinjie. 2014. Fluid—rock interaction during mineralization of the Shijipo gold deposit, Gansu, China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 33 (3): 334~341.
- Zhu Xiangping, Chen Huaan, Ma Dongfang, Huang Hanxiao, Li Guangming, Liu Chaoqian, Wei Lujie. 2012. 40Ar/39Ar dating for K-feldspar from Duobuza porphyry copper—gold deposit in Tibet, China and its geological significance. *Geoscience*, 26 (4): 656~662.

## Low to Moderate Temperature, Low Salinity and Enrichment of CO<sub>2</sub> Hydrothermal Fluid at Shangxu Orogenic Gold Deposit in Shuanghu, Northern Xizang (Tibet): Evidence from Fluid Inclusions, H—O Isotopic Composition

XIAO Wanfeng<sup>1)</sup>, LIU Hong<sup>2)</sup>, LI Guangming<sup>2)</sup>, HUANG Hanxiao<sup>2)</sup>, MA Dongfang<sup>2)</sup>, ZHANG Zhilin<sup>3)</sup>, YAN Guoqiang<sup>4)</sup>, ZHANG Hong<sup>2)</sup>

1) Henan Institute of Geological Survey/ Henan Key Laboratory of Metal Mineral Mineralization Geological Processes and Resource Utilization;

2) Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, 610081;

3) The 5th Geological Team of Tibet Geological Exploration Bureau, Golmud, Qinghai, 816000;

4) Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170

**Objectives:** The Shangxu gold deposit in Shuanghu county of Tibet is located in the middle segment of Bangong Co—Nuijiang suture belt. Ore bodies controlled by the nearly EW—NWW fractures occur as veins and lens in the Lower—Middle Jurassic Mugangri Group which is mainly composed of metamorphic flysch, quartz veins type ore and altered rock type ore coexist.

**Methods:** On the basis of detailed geological fieldwork, we selected quartz veins in different mineralization stages for the study of fluid inclusion including petrographic characteristic observation, micro temperature measurement, composition analysis and the test of the hydrogen and oxygen isotope.

**Results:** Fluid inclusion studies show that the temperature of the fluid in main mineralization stages ranges from 195 to 230°C, the salinity from 2 to 9 wt% NaCl equiv and the density from 0.88 to 0.95 g/cm<sup>3</sup>. The content of gas phase primarily contains H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> with a small amount of CH<sub>4</sub>, and the liquid part mainly contains Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>. The ore-forming fluid of the Shangxu gold deposit belongs to CaCl<sub>2</sub>—NaCl—H<sub>2</sub>O fluid system with content of CO<sub>2</sub>, low to moderate homogenization temperature, low salinity and low density, which are similar to those of typical orogenic gold deposits. According to the hydrogen and oxygen isotope test, the  $\delta D_{H_2O, V-SMOW}$  values of fluid inclusions in auriferous quartz veins range from -104‰ to -136‰, and  $\delta^{18}O_{H_2O, V-SMOW}$  from 4.92‰ to 7.82‰, indicating a mixture of metamorphic water and meteoric water.

**Conclusions:** The Shangxu gold deposit may be an orogenic gold deposit formed under continental collisional background, and decompression caused by the migration of fluid from closed to open system is the main mechanism for the depositing of gold.

**Keywords:** fluid inclusions; orogenic gold deposit; Bangongco—Nuijiang suture belt; Shangxu gold deposit; hydrothermal boil

**Acknowledgements:** Thanks are due to the reviewers and editors for their very useful comments. This work is granted by National Key Basic Research Program of China ( No. 2016YFC0600300 ), China Geological Survey Project ( No. DD20160015 and DD20160026 ), and *Chengdu Center, China Geological Survey Youth Fund* ( No 所控基[2014]-03 ).

**First author:** XIAO Wanfeng, male, born in 1989, assistant engineer, Mineralogy, Petrology and Metallogeny majors, engages in basic geologic survey and deposit explore; Email: wfxiao2010@163.com

**Corresponding author:** LI Guangming, male, research fellow, mainly engages in the study of regional geology and ore deposit geology in Qinghai—Tibet Plateau. Email: li-guangming@163.com

Manuscript received on: 2016-08-05; Accepted on: 2017-03-16; Edited by: ZHANG Yuxu.

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2017.03.018