



海南省东方市踏王山金矿床流体包裹体特征及矿床成因

熊 瑛^{1,2}, 朱自强^{1,2}, 胡祥昭^{1,2}, 鲁光银^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘 要: 踏王山金矿位于海南省戈枕金矿带东南部, 矿体主要产于东西向构造蚀变带中, 矿石类型为蚀变岩型和石英脉型。在详细的野外地质调查基础上, 对踏王山金矿床流体包裹体特征进行研究, 并结合矿体产出形态特征, 对流体来源以及矿床成因进行探讨。结果表明: 矿区流体包裹体主要为气液两相包裹体和纯 CO₂ 包裹体, 成矿流体具有中低温(均一温度为 192~362 °C)、中盐度(平均值为 7.52%)及低密度(0.46~0.87 g/cm³)的特征, 成矿深度为中深环境。从包裹体成分上看, 流体包裹体既有岩浆水特征(高 H₂O、H₂ 含量, $w(F^-)/w(Cl^-) \geq 1$), 又具有地下热卤水的特征($w(Na^+)/w(K^+) > 1$), 明显富集 Ca²⁺ 或者 Ca²⁺ 含量较高的成分, 显示可能为混合流体。矿床成因为岩浆热液与地下热卤水叠加的复合型中低温热液矿床。

关键词: 流体包裹体; 矿床成因; 金矿; 海南

中图分类号: P611.1

文献标志码: A

海南西部戈枕金矿成矿带是海南岛内重要的金矿成矿带^[1-2]。近年来, 相继发现众多中型-大型的金矿床, 如抱伦金矿、包板金矿、不磨金矿等^[3-5], 同时, 也对成矿带内金矿的类型及成矿类型进行了大量的研究, 取得了丰硕的成果。戈枕断裂控制着断裂带内金矿床的分布, 按照金矿床所处的应力环境、成矿作用及变形方式, 成矿带内金矿类型分为蚀变糜棱岩型金矿、蚀变碎裂岩型金矿以及石英脉型金矿床。研究认为戈枕村组混合岩为初始矿源层。成矿带内含金石英脉 $\delta^{18}O$ 为 +9.6‰~+13.8‰, δD_{H_2O} 为 -78.4‰~-54‰, 计算的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 -2.31‰~+3.62‰; 蚀变岩型金矿床中石英 $\delta^{18}O$ 为 +11.5‰~+15.1‰, 包体 δD_{H_2O} 为 -66.6‰~-61.9‰, 计算的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 +2.14‰~+8.11‰, 均显示成矿带内金矿成矿溶液来自变质水和大气降水^[2]; 对成矿带内金矿脉石英爆裂温度和均化温度测定: 石英爆裂温度为 137~418 °C, 主要区间为 200~280 °C, 平均为 245 °C; 均化温度为 123~422 °C, 主要区间为 200~260 °C, 平均为 255 °C, 捕获温度为 235~335 °C; 利用毒砂地温计法计算出矿床成矿温度为 329~450 °C, 均显示成矿带内金矿床形成温度为中温^[6-7]。成矿带内蚀变岩型金矿 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测年为

190~290 Ma, 为海西晚期-燕山早期; 含金石英脉金矿床 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测年为 80~170 Ma^[8]。前人的研究主要集中在戈枕成矿带内金矿的研究, 很少涉及成矿带外围的金矿床研究。随着地质勘查工作的深入, 成矿带内深部和外围找矿工作越来越受到重视, 而踏王山金矿床便是近年来在戈枕金成矿带的东南部新发现的一个具有巨大成矿潜力的中大型金多金属矿床, 但是由于缺少系统的地质成矿规律的研究, 对矿区的进一步找矿局面仍能没有完全打开。为此, 本文作者在详细调查的野外地质调查基础上, 拟从矿床成矿流体特征方面入手, 对矿区矿床成因进行初步的探讨, 以期完善对矿区成矿规律的研究, 指导下一步的找矿工作, 同时也能丰富和补充戈枕金成矿带的理论研究体系。

1 区域地质

踏王山金矿床地处华南褶皱系五指山褶皱带的西部(见图 1^[9]), 位于白沙凹陷带和抱板隆起区接触部的江边—金波断陷带上, 区域上位于戈枕断裂带东南部。区域出露地层主要为古生代志留系空列村组、

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41174061, 41374120)

收稿日期: 2015-11-23; **修订日期:** 2016-04-13

通信作者: 鲁光银, 教授, 博士; 电话: 13975894898; E-mail: 307745092@qq.com

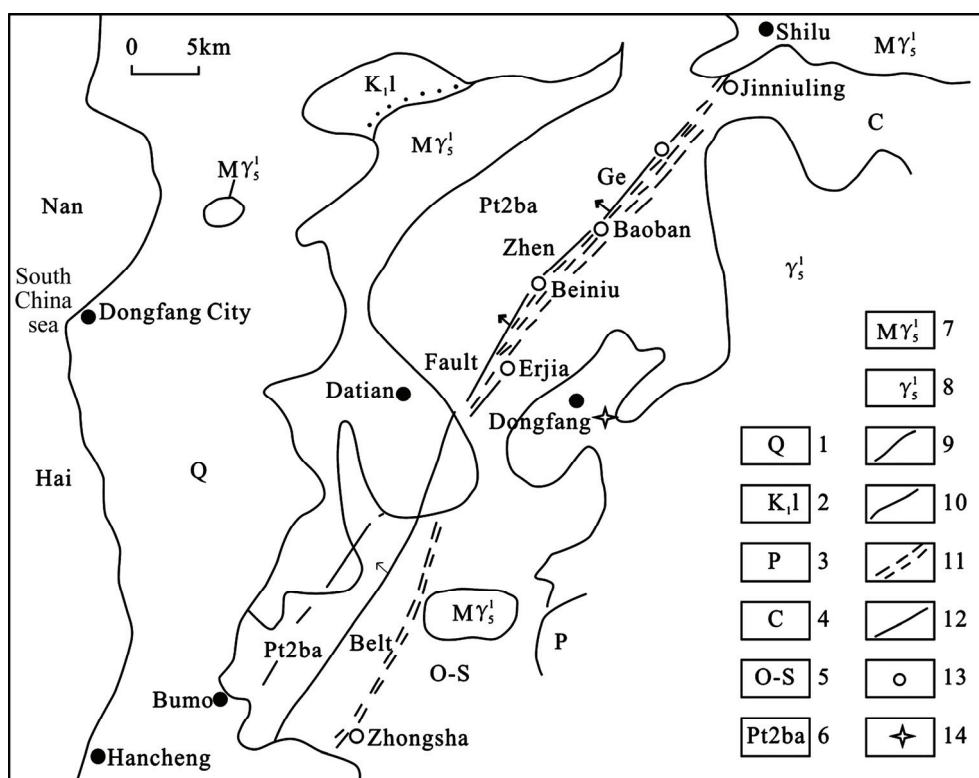


图1 戈枕断裂带构造简图^[9] (1—第四系; 2—下白垩统鹿母湾群页岩、砂砾岩; 3—二叠系结晶灰岩、变质砂岩; 4—石炭系变质砂砾岩、结晶灰岩; 5—奥陶系—志留系变质粉砂岩、千枚岩、片岩; 6—中元古界抱板群混合岩; 7—印支期混合花岗岩; 8—印支期花岗岩; 9—地质界线; 10—不整合界线; 11—糜棱岩带; 12—断层; 13—金矿点; 14—矿区位置)

Fig. 1 Schematic map of Ge-Zhen fault zone(modified from Refs.[9]) (1—Quaternary; 2—Lumuwan group of Lower Cretaceous shale, sand conglomerate; 3—Permian crystalline limestone, metamorphic sandstone; 4—Carboniferous metamorphic glutenite, crystalline limestone; 5—Ordovician-Silurian metamorphic siltstone, phyllite, schist; 6—Mesoproterozoic Baoban group migmatite; 7—Indosinian migmatitic granite; 8—Indosinian granite; 9—Geological boundary; 10—Unconformity boundary; 11—Mylonite zone; 12—Fault; 13—Gold deposit; 14—Deposit)

陀烈组; 石炭系南好组、清峡组; 二叠系南好组、峨查组, 中生代白垩系鹿母湾组以及新生界第四系。

区域断裂构造较发育, 主要有牙老断裂、王下断裂、用望断裂和燕窝岭断裂。

1) 牙老断裂为南盘上冲的逆断层, 位于俄冲岭至志中水岭一线, 呈东西向延伸, 长约 7 km, 宽约 25 m, 剪切变形影响宽度达到数百米, 断层面的产状 $220^{\circ} \angle 65^{\circ}$ 。断层上盘为南碧沟组下段变质粉砂岩、板岩, 断层下盘为南碧沟组上段及侵入其中的中细粒二长花岗岩。挤压带内为硅化花岗岩糜棱岩, 硅化带内见方铅矿化、黄铁矿化。断层具有多期活动性, 早期活动可能发生于加里东期, 印支期是主要活动期, 以韧性为主。到燕山期又发生了以较宽的片理化带为特征的脆弱性活动。

2) 王下断裂为印支晚期断裂, 走向东西, 长约 10 km, 宽 1~2 m, 地貌上形成线状沟谷或断层崖, 断

层产状: $0^{\circ} \sim 30^{\circ} \angle 30^{\circ} \sim 52^{\circ}$ 。断层两盘地层为下二叠统峨查组变质碎屑岩及鹅顶组灰岩断层内具铜、铅、锌多金属矿化及金矿化。

3) 用望断裂为印支晚期—燕山早期断裂, 断裂呈“S”形, 形成沟谷和断层崖。断裂长约 9 km, 断层破碎带宽约 5 m, 断层面产状大致为: $300^{\circ} \angle 70^{\circ}$ 。破碎带内构造角砾岩发育, 角砾有透镜状、棱角状—次棱角状等, 成分复杂, 有灰岩、砂岩、板岩等, 局部见片理化。断层东盘为上古生界石炭—二叠系南好组、青天峡组、峨查组、鹅顶组。西盘为下留统空列村组。

4) 燕窝岭断裂为印支晚期—燕山早期断裂, 长约 18 km, 断层面产状为 $230^{\circ} \sim 305^{\circ} \angle 40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。断裂发育于花岗岩的外接触带, 西盘北段主要为下二叠统峨查组变质碎屑岩, 鹅顶组灰岩; 南段为广坝超单元的金柄单元的巨斑状黑云二长花岗岩。东盘主要为花岗岩, 包括广坝超单元的金柄单元、哇给寿单元, 以及大仍

村超单元的保山村单元的英云闪长岩。破碎带内构造类型较多, 具有一定的分带性, 属于碎裂岩系列。断层中心主要是多期硅化形成的热液石英岩, 硅化石英砾石、强硅化碎裂岩等。边缘主要为碎裂岩、碎裂花岗岩, 网状石英脉发育。

区内岩浆岩发育, 属于广坝超单元, 由金柄巨斑状黑云二长花岗岩单元(似斑状结构)→欧弄岭中细粒黑云二长花岗岩(中细粒花岗结构)→哇给寿细粒黑云二长花岗岩单元(细粒花岗结构)组成一个结构演化序列。该单元侵入于太仍村正好单元和二叠系峨查组, 被坝王岭超单元、南英岭超单元侵入, 金柄单元的锆石 U-Pb 同位素年龄为(248±25) Ma, 全岩 Rb-Sr 等时

线年龄为(245.9±4.2) Ma^[10]。本超单元为印支早期岩浆活动的产物。

2 矿区地质及矿床地质

2.1 矿区地质特征

踏王山地处华南褶皱系五指山褶皱带的西部(见图 2), 位于白沙凹陷带和抱板隆起区接触部的江边—金波断陷带上, 区域上受东西向昌江—琼海深大断裂带和尖峰—吊罗深大断裂带及次级北东东向构造控制。

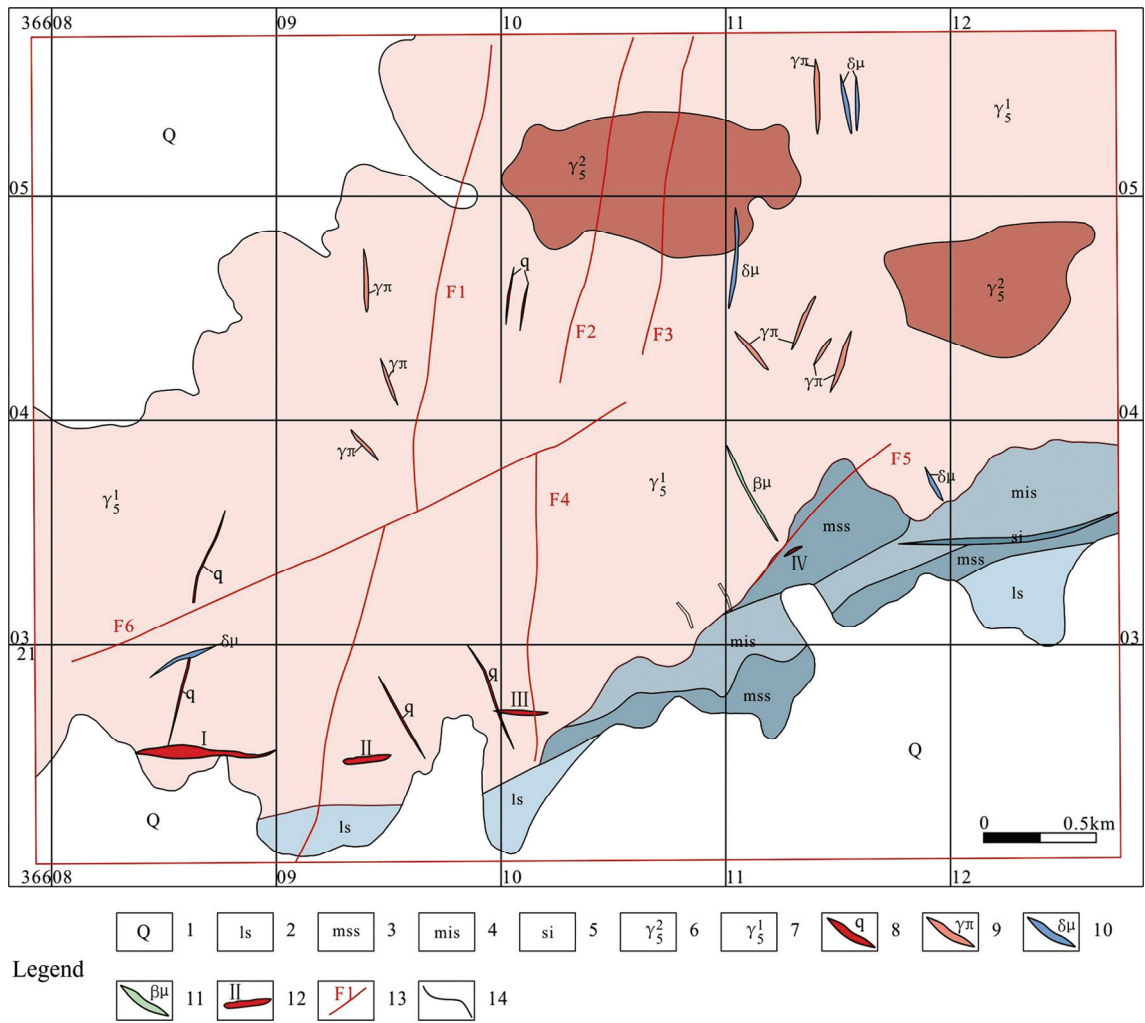


图 2 踏王山金矿床地质简图(1—第四系; 2—二叠系灰岩; 3—二叠系变质砂岩; 4—二叠系云母片岩; 5—二叠系硅质岩; 6—黑云母花岗岩; 7—似斑状花岗岩; 8—石英脉; 9—花岗斑岩脉; 10—闪长玢岩脉; 11—辉绿岩脉; 12—矿化带及编号; 13—断层及编号; 14—地质界线)

Fig. 2 Geological sketch map of Tawangshan gold deposit (1—Quaternary; 2—Permian limestone; 3—Permian metamorphic sandstone; 4—Permian mica schist; 5—Permian siliceous rock; 6—Biotite granite; 7—Porphyritic granite; 8—Quartz vein; 9—Granite porphyry vein; 10—Diorite porphyryite vein; 11—Diabase dykes; 12—Mineralization belt and serial number; 13—Fault and serial number; 14—Geological boundary)

矿区出露地层主要为晚古生代二叠系, 出露于矿区南部和南东部, 老卖山南麓和至大鹅下村北之间, 地层北东向展布, 呈带状, 宽 100~800 m, 长近 4 km, 面积约 2 km²。地层倾向北东或北西, 倾角 50°~65°, 北部与岩浆岩呈断层接触关系, 接触产状, 倾向北西, 倾角 33°~50°。岩性主要为斜长石黑云母片岩、绿片岩、黑云斜长石片岩、斜长石英二云片岩、黑云母石英片岩、白云母片岩、硅质岩、变质石英砂岩等。

矿区构造主要为早期北北东向断裂, 以及晚期北东东向断裂。北西和北东向断裂不发育, 规模较小。

北北东向断裂在区内有 4 条(F1~F4): 走向 10°, 倾向北西, 倾角 70°~80°, 最长一条(F1)在区内 3700 m, 并延至区外, 该组断裂切穿燕山期黑云母花岗岩和二叠系, 被北东东向断裂错断, 该组断裂大多被晚期石英脉充填, 局部被煌斑岩和闪长岩充填, 相对而言为早期断裂。该组断裂在与二叠系接触部局部形成小的铅锌矿化体。

北东东向断裂在区内有两条: 一是沿着岩浆岩与地层接触部分布的断裂(F5), 另一条是中西部断续分布并被石英脉充填(F6)。倾向北西, 倾角 35°~55°, 是在岩浆岩与地层接触面基础上, 由北西南东向应力作用发展起来的。该构造比较复杂, 总体呈压扭性特征, 局部伴有张性特征, 其次一级东西向断裂呈压性雁列型分布, 局部形成金多金属矿体。长度小于 300 m, 北倾, 倾角 33°。主要在岩浆岩一侧。

区内岩浆岩十分发育, 岩性主要为似斑状花岗岩和黑云母花岗岩类两种。

似斑状花岗岩分布在矿区北部, 出露面积约 11 km², 呈岩基状, 南部与地层断层接触, 北部到区外, 属于区域上金柄巨斑状黑云二长花岗岩一部分。该岩基内见较多斜长角闪片麻岩包体, 大者 60 mm×30 mm, 斜长角闪片麻岩具有柱状、粒状变晶结构。片麻岩与似斑状花岗岩界限不清, 为过渡关系, 由此可判断该花岗岩为重熔型。

黑云母花岗岩类分布在似斑状花岗岩岩基中, 与其界限清楚, 为侵入接触关系, 成不规则的岩株状。东侧岩株, 长轴东西向 1000 m, 短轴 500 m, 东侧岩株呈半圆状, 长轴 700 m, 短轴 500 m。

2.2 矿床地质特征

目前, 矿区共发现 4 条矿带, 分别编号为 I、II、III、IV。矿体赋矿岩石因矿体所在位置不同而有所差别, 金矿体总体赋存在蚀变花岗岩中, 东西向含矿构造带在切穿南北向石英脉时, 石英脉含 Au, 而且品位高。IV号金铅锌多金属矿体赋存岩石为南北走向石英

脉与结晶灰岩接触带中的蚀变灰岩。各矿带特征如下:

I 号矿带长上千米, 宽几米至几十米, 呈东西走向, 分支复合形态, 其中见 3 条金矿体, 两条矿化体, 均为脉状产出。其延伸均在 200 m 以上, 尚未完全控制, 剖面上为舒缓波状。编号分别为 I-1、I-3、I-4。I-1 矿体, 厚度平均 2 m, Au 品位 2.34~10 g/t, 平均 5 g/t 以上; I-3 矿体, 厚度平均 4.1 m, Au 品位 4.28~10 g/t, 最高 35 g/t, 平均 6 g/t, 推测该矿体延伸大于 200 m, 倾角小于 10°; I-4 矿体, 厚度 2 m, Au 品位 1~3 g/t, 平均 2 g/t 以上。

II 号矿带长数百米, 宽几米至几十米, 呈东西走向, 其中见两条金矿体, 一条 II-1 矿体地表为脉状, 长数百米, 厚度平均 0.7 m, 倾向 350°, 倾角 55°, Au 平均品位 2.09 g/t; 另一条 II-2 矿化体, 为小扁豆状。长度已控制 250 m, 厚度平均 1 m, 剖面上为楔状尖灭。

III号矿带圈出金矿体 1 条, 用III-1 表示, 在 0 线剖面上除地表III-1 延伸外, 又圈出与其平行一条窄金矿体用III-2 表示; III-3、III-4 矿体为金铅锌多金属矿体。

III-1 号金矿体, 长数百米; 矿最大厚度为 28.4 m, 最小厚度为 1.9 m, 平均厚度 8.05 m, 斜深 200 m 以上, Au 品位由西向东变高(1.91~19.74 g/t), 地表向深部变低(19.74~2.22 g/t), 平均品位为 7.24 g/t, 厚度地表到深部变化较大(28.4~1.9 m), 呈舒缓波状向下延伸, 深部尚未完全控制。

III-2 号金矿体, 为盲矿体, 钻孔穿越厚度 1.6 m, Au 品位 2.06 g/t, 目前深部未完全控制。

III-3 号金、银铅锌多金属矿体长数百米, 平均穿越厚度 2.7 m, 平均品位 Pb 1.61%、Zn 1.91%、Au 1.23 g/t, Ag 27.0 g/t; 目前矿体延长延伸尚未完全控制。

III-4 号铅锌多金属矿体长 260 m, 平均穿越厚度 1.0 m, 平均品位 Pb 9.51%、Zn 3.55%、Au 0.57 g/t, Ag 198.6 g/t。

2.3 矿石特征

矿石类型为蚀变岩型和石英脉型。蚀变岩型金矿含矿围岩为蚀变似斑状花岗岩、蚀变闪长玢岩(少量)。原岩普遍破碎, 呈角砾状、糜棱状或岩粉, 粘土化发育, 有明显的褪色蚀变。

矿石矿物组成简单, 属于少硫化物型。金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿, 次要为磁铁矿、黄铜矿、赤铁矿、钛铁矿。脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、黑云母、角闪石、绿泥石、萤石、粘土矿物、微量独居石、方锆石等。矿石中含金

矿物为自然金、银金矿、金银矿、碲金银矿, 主要的载金矿物为黄铁矿, 少量为方铅矿、石英、钾长石。金的赋存状态主要为裂隙金、包裹金和粒间金, 以包裹金和粒间金为主。矿石结构以他形粒状结构为主, 少量自形-半自形结构。矿石构造: 细脉状、充填脉状构造, 团块状构造, 星散浸染状构造(矿石显微特征见图3)。

3 样品采集及分析方法

包裹体显微测温样品均采自III号金矿带, 矿石类

型为石英脉型。室内将样品磨制成双面抛光的薄片, 厚度约 0.06~0.1 mm。流体包裹体的测试由中南大学流体包裹体实验室承担。实验仪器采用英国产 Linkam THMSG600 型地质用冷-热台。该仪器可操作的温度范围在-196~600 °C之间。经校准, 在 0~600 °C温度范围内精度为 ± 1 °C, 在-196~0 °C范围内时, 精度为 ± 0.1 °C。水溶液包裹体和纯 CO₂ 包裹体的冻结温度 t_f 、冰的最终熔化温度 $t_m(\text{ice})$ 、气液完全均一温度 $t_h(\text{to } L)$ 、固体 CO₂ 相熔化温度 $t_m(\text{CO}_2)$ 、混合物熔化温度 $t_m(\text{cla})$ 、CO₂ 完全均一温度 $t_{hc}(\text{to } L)$ 由显微热台直接测定。流体包裹体的盐度和密度利用 FLINCOR 计算机程序^[11], 采用 Brown 和 Lamb 的等式计算得出^[12]。

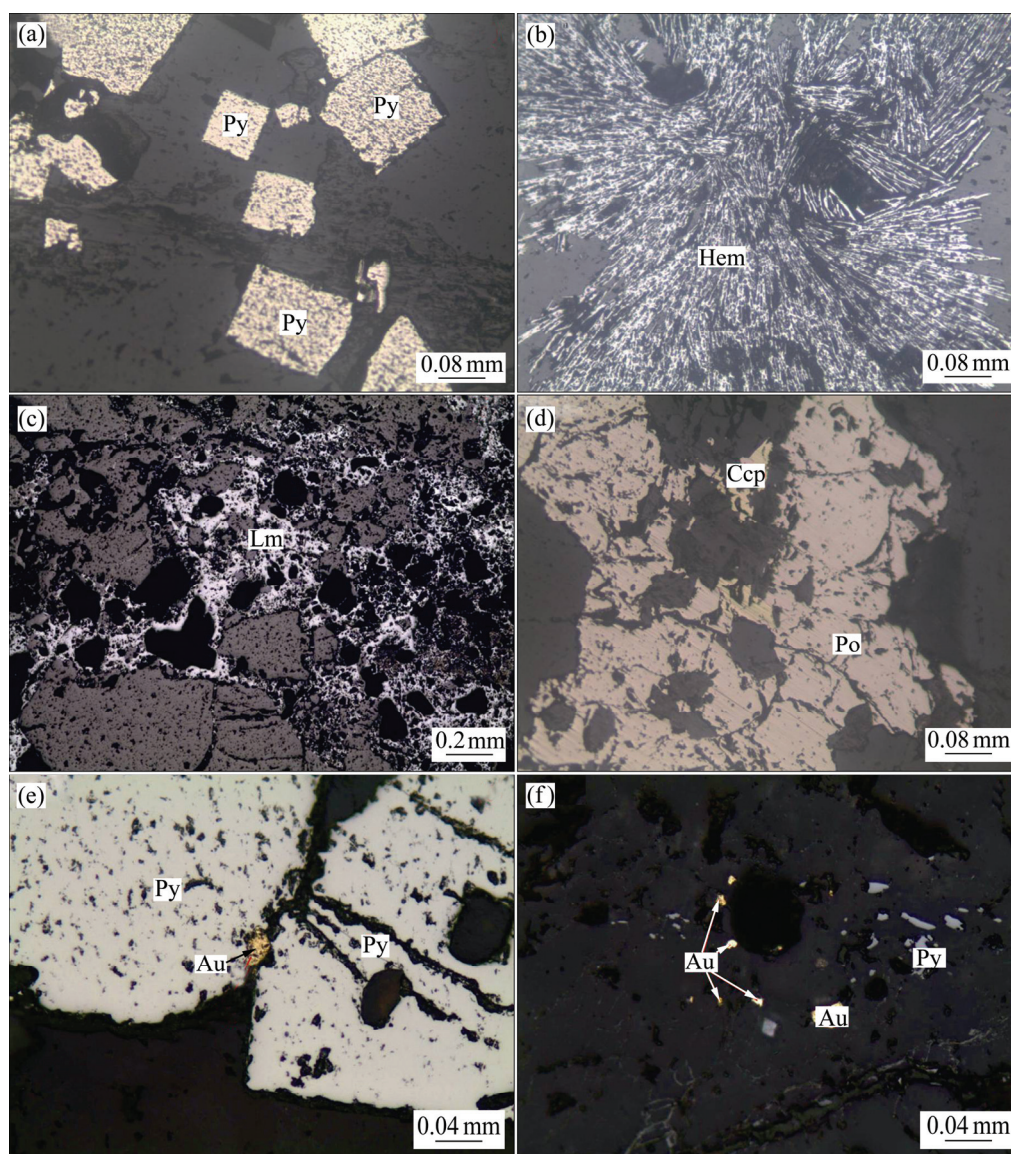


图3 矿石显微特征: (a) 自形-半自形黄铁矿(Py); (b) 放射状、针状赤铁矿(Hem); (c) 褐铁矿(Lm)构成网脉状构造; (d) 他形黄铜矿(Ccp)与磁黄铁矿(Po)共生; (e), (f) 自然金(Au)与黄铁矿(Py)共生

Fig. 3 Micrographs of gold ores: (a) Eu-hedral-subhedral pyrite(Py); (b) Radial,needle hematite(Hem); (c) Net vein structure by limonite(Lm); (d) Anhydrous chalcopyrite (Ccp) and pyrrhotite (Po) symbiosis; (e), (f) Gold (Au) and pyrite (Py) symbiosis

包裹体成分分析样品主要采自蚀变岩型矿石中的石英单矿物,纯度大于98%,分析在中南大学地球科学与信息物理学院地质所实验室完成,测试仪器为SP3400-1型气相色谱仪和DX-120型离子色谱仪。采用液相离子色谱仪测定流体包裹体中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子成分,采用热爆法打开包裹体,用气相色谱法分析包裹体中的气相成分。

4 流体包裹体岩相学及显微测温学

4.1 流体包裹体类型

依据室温下的相态特征,将通过显微镜观察到的流体包裹体分为如下两种。

气液两相包裹体(I型):为矿区主要的包裹体类型,占总量的90%~95%,形态多呈有椭圆形、多边形不规则形等(见图4(a)和4(b));包裹体大小为2~10 μm ;

以富液相型为主,气相比(体积比 $\phi_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$)在5%~40%之间。分布特点多呈自分布显示原生包裹体特征,部分次生成因类型包裹体沿裂隙分布(见图4(b))。

含 CO_2 两相包裹体(II型):为矿区次要的包裹体类型。形态多呈有椭圆形、多边形不规则形等。与气液两相包裹体混杂在一起。在常温(20 $^{\circ}\text{C}$)下常见 CO_2 呈两相(见图4(c)和4(d)),其中气相 CO_2 体积分数($\phi_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$)一般为10%~30%。该类型包裹体大小一般为4~6 μm ,形态多呈椭圆或次圆状,显示原生包裹体特征。

4.2 流体包裹体温度、盐度

本次研究对象为矿石样品5件,在Ta16、Ta17、Ta18、Ta19、Ta20号测温片中测试上百个流体包裹体,主矿物为石英,其中半数以上为气液两相水溶液包裹体(I型),少量 CO_2 两相包裹体包裹体(II型)。显微冷热台测温结果如表1和表2所列。统计的均一温度及盐度直方图如图5所示。

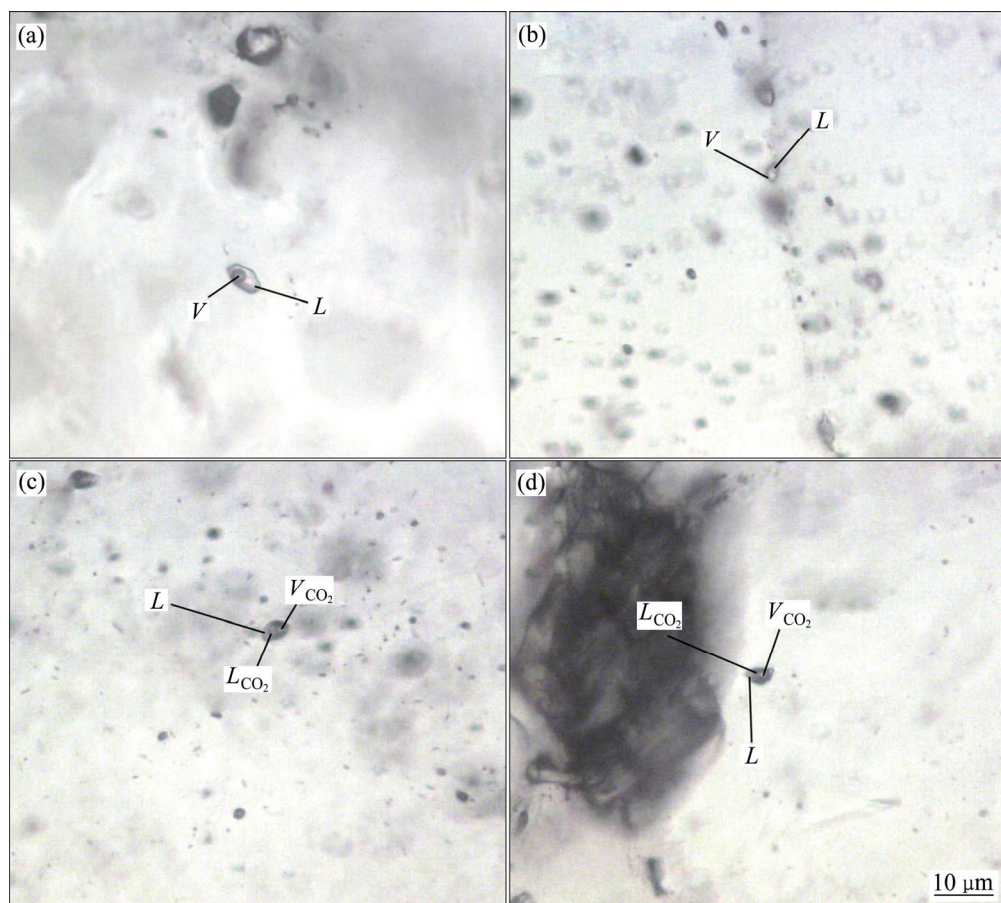


图4 流体包裹体特征图(L—水溶液相; V—蒸汽相; L_{CO_2} —液相二氧化碳; V_{CO_2} —气相二氧化碳): (a) 石英中孤立的气液两相水溶液包裹体; (b) 列状排列的气液两相水溶液包裹体,呈椭圆形及不规则状,为次生成因; (c), (d) 含 CO_2 两相包裹体
Fig. 4 Types of fluid inclusions in Tawangshan gold deposit (L—Aqueous phase; V—Vapor phase; L_{CO_2} —Liquid carbon dioxide; V_{CO_2} —Gas phase carbon dioxide): (a) Quartz in isolated gas-liquid two-phase aqueous inclusions; (b) Column arrangement of gas-liquid two-phase aqueous inclusions, oval or irregular shape, secondary causes; (c), (d) Two-phase inclusions containing CO_2

表 1 矿区气液两相水溶液包裹体测温

Table 1 Temperature of gas-liquid two-phase fluid inclusions

Sample No.	Type	Size/ μm	$\phi_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}/\%$	$t_{\text{f}}/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{m}}(\text{ice})/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{h}}(\text{to } L)/^{\circ}\text{C}$	Salinity (NaCl equiv), w/%	Density/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
Ta16	I	2–9	5–25	–50.3– –44.8	–2.5~–1.8	197–312	3.12–5.35	0.57–0.71
Ta17	I	3–10	5–30	–51.4– –44.6	–2.6~–1.6	192–325	2.63–4.86	0.46–0.90
Ta18	I	3–8	5–40	–48.6– –37.2	–5.5~–3.4	256–304	5.47–8.51	0.76–0.87
Ta19	I	2–5	15–20	–37.3– –32.1	–5.1~–3.8	325–362	6.08–7.96	0.66–0.75
Ta20	I	3–7	10–25	–43.5– –38.4	–3.4~–2.7	319–327	3.72–6.09	0.53–0.69

表 2 矿区纯 CO₂ 包裹体测温

Table 2 Temperature of pure CO₂ fluid inclusions

Sample No.	Type	Size / μm	$t_{\text{f}}/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{m}}(\text{CO}_2)/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{m}}(\text{cla})/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{hc}}(\text{to } L)/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{h}}(\text{to } L)/^{\circ}\text{C}$	Salinity (NaCl equiv), w/%	Density/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
Ta19	II	7.6	–99.6	–58.4	5.5	28.5	441	8.19	0.72
Ta19	II	7.9	–99.4	–58.2	4.1	28.4	469	10.33	0.73
Ta19	II	7.1	–93.2	–58.3	5.4	26.4	458	8.35	0.74
Ta19	II	4.0	–98.6	–58.3	4.8	28.3	464	9.28	0.71
Ta19	II	6.0	–95.4	–57.6	3.2	27.2	473	11.61	0.71
Ta19	II	6.0	–95.3	–58.7	5.3	27.6	482	8.51	0.94

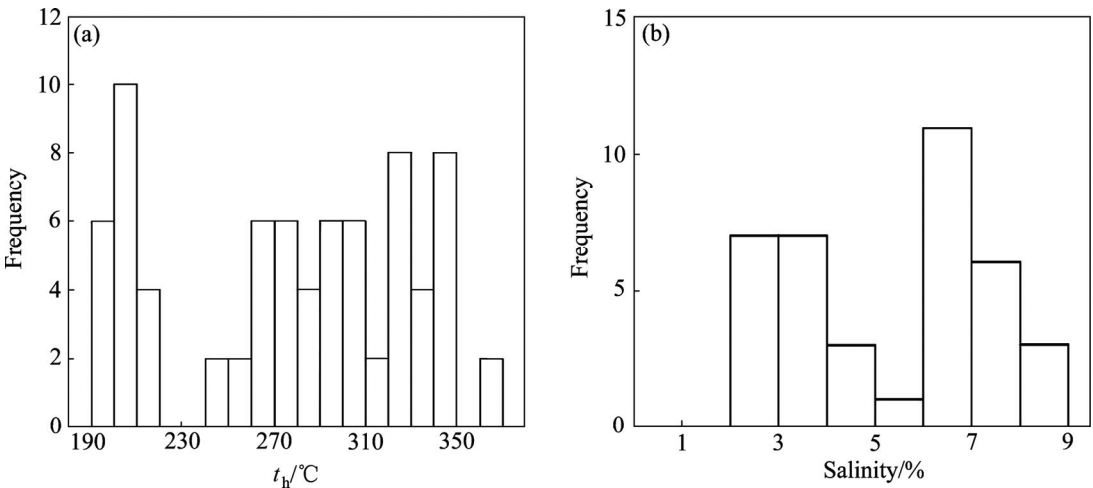


图 5 流体包裹体(I 型)均一温度和盐度统计直方图

Fig. 5 Histogram of homogenization temperature(a) and salinity(b) of fluid inclusions (Type I)

气液两相水溶液包裹体(I 型): 将包裹体冷却至 –32.1~–51.4 °C 时液相冻结, 升温时观测到部分包裹体初熔温度–26.1~–21.6 °C; 冰点温度为–1.6~–5.5 °C, 计算流体盐度为 2.63%~7.96%; 测得均一温度为 192~362 °C, 均一至液相, 属于低温流体; 根据包裹体均一温度及盐度值估算流体密度为 0.46~0.87 g/cm³, 属于低密度流体。研究发现, 流体包裹体均一温度有 319~362 °C 相对高值存在, 以及 192~304 °C 相

对低值存在。对此现象的合理解释如下: 包裹体可能是由不同流体混合形成^[13], 即早期大于 300 °C 的中高温岩浆热液在流通过程中, 与下渗的大气降水相遇发生混合作用。均一温度的复杂性也许反映了本矿床经历了多阶段成矿作用, 推测本矿床至少经历了从高温(319~362 °C)到低温(192~304 °C)的复杂成矿作用, 以低温成矿作用为主。

含 CO₂ 两相包裹体(II 型): 本次研究还测得 6 个

纯 CO₂ 包裹体, 为含有气相、液相 CO₂ 的两相包裹体。包裹体冷却至-93~-100 °C 时, 完全冻结, 升温时, 包裹体固相 CO₂ 的熔化温度在-57.6~-58.7 °C 之间, 均一温度在 26.4~28.5 °C 之间, 都均一为液相。依据 CO₂ 的均一方式及温度估算 CO₂ 相密度为 0.71~0.94 g/cm³。

4.3 成矿流体性质

以上测温结果表明, 成矿流体主要为 H₂O 和 CO₂。I 型包裹体的冻结温度在-32.1~-51.4 °C 之间, 冰的初熔温度数据不多, 一般在-26.1~-21.6 °C 之间, 接近纯 NaCl-H₂O 体系标准低共熔点(-20.8 °C)说明水溶液中电解质以 NaCl 为主, 可能含有 K⁺等杂质成份。II 型包裹体固相 CO₂ 的熔化温度为-57.6~-58.7 °C, 这与纯 CO₂ 熔化温度(-56.6 °C)比较接近, 说明其成分以 CO₂ 为主, 还含有少量杂质, 推测其为 CH₄ 和 H₂S。

I 型、II 型包裹体密切共生于同一主矿物(石英)中, 表明其捕获时成矿流体处于不均匀状态。产生上述现象的原因可能是本区成矿流体发生了不混溶。通常认为上述气液两相水溶液包裹体和纯 CO₂ 包裹体是原来超临界均一的 H₂O-NaCl-CO₂ 流体发生相分离的结果^[14-18]。

4.4 成矿流体压力及深度

成矿压力的计算主要是选取主成矿阶段中 CO₂-H₂O 包裹体热力学数据为计算对象, 利用 Flincor 软件中的 Brown and Lamb 公式计算流体包裹体的捕获压力。采用较低的均一温度(192~304 °C)数据获得包裹体压力分布范围为 129~187 MPa。

成矿深度主要利用不同压力段与成矿深度的耦合关系^[19-20]计算求得, 计算公式如下:

- 1) 当 $x < 40$ MPa 时, $y = x/10$;
- 2) 当 $40 \text{ MPa} \leq x < 220 \text{ MPa}$ 时,
 $y = 0.0868/(1/x + 0.00388) + 2$;
- 3) 当 $220 \text{ MPa} \leq x < 370 \text{ MPa}$ 时,
 $y = 11 + e^{(x-221.95)/79.075}$;
- 4) 当 $x > 370 \text{ MPa}$ 时, $y = 0.0331385x + 4.19898$;

式中: x 、 y 分别代表测得的流体压力值和成矿深度, 单位分别为 MPa 和 km。

根据上述成矿深度计算公式, 求得踏王山金矿床的成矿深度约为 9~11 km, 总体上为中-深环境。

4.5 包裹体成分研究

本研究选取 6 件代表性的样品进行流体包裹体气液相成分分析, 分析结果列于表 3。

表 3 踏王山金铅锌矿流体包裹体气液相成分

Table 3 Gas and liquid composition of fluid inclusions

Composition	$w/10^{-6}$				
	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	Ta5
H ₂ O	1089	2580	1564	1092	2460
CO ₂	280.898	382.69	367.78	350.678	315.706
H ₂	0.626	1.767	1.345	0.657	0.613
CH ₄	0.12	3.431	3.242	3.268	3.167
F ⁻	6.6	3.2	2.1	2	3.25
Cl ⁻	6.36	11.69	10.67	10.65	14.69
K ⁺	1.05	1.26	3.22	4.15	4.9
Na ⁺	2.18	2.05	2.1	2.9	4.06
Ca ²⁺	2.27	3.3	2.52	2.67	3.9
Mg ²⁺	0.4	0.38	0.35	0.4	0.35
$w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$	2.08	1.63	0.65	0.70	0.83
$w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$	1.04	0.27	0.20	0.19	0.22

从表 3 中可以看出, 流体气相成分以 H₂O 和 CO₂ 为主, 次为 H₂ 和 CH₄。其中 H₂O 含量占气相成分的 75.5%~88.5%, 与岩浆热液型金矿床矿物包裹体中的 H₂O 含量相当(84.5%~96.9%)^[21-23]。H₂ 的存在可以推测物质来源, 据苏联学者 KAPAKABNH 等^[24]的实验证明, 包裹体中 H₂ 单质的大量存在时深成岩的标志, 即来源于深部热液, 本矿床矿物包裹体中 H₂ 含量为 0.613%~1.767%, 说明成矿物质具有深源的特征。

气相成分中富含 CO₂ 和 CH₄, 无 O₂, 表明成矿环境应为还原环境。

包裹体液相成分中阳离子以 Ca²⁺、K⁺ 为主, 其次为 Na⁺、Mg²⁺, 含量变化趋势为 Ca²⁺ > K⁺ > Na⁺ > Mg²⁺; 阴离子以 Cl⁻ 为主, 其次为 F⁻, 含量变化趋势为 Cl⁻ > F⁻, 成矿流体化学类型为 F⁻-Cl⁻-Na⁺-Ca²⁺ 型, 为一种成分较为复杂的热热水溶液。

$w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 比值、 $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 比值可作为判断热液类型的一个标志, 即 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) < 1$, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) \geq 1$ 的流体与岩浆热液有关; $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 1$, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) < 1$ 的流体与沉积或地下热卤水有关^[25-26]。从表 3 可以看出, 本区矿床 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 为 0.65~2.08, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 为 0.19~1.04, 样品中显示了 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 、 $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 比值变化范围较大, 显示出本区成矿流体既有岩浆水的特征, 又具有地下热卤水特征, 体现了混合流体特征。

测试样品中均具有明显的富集 Ca²⁺ 特征, 一方面, Ca²⁺ 含量较高可能与矿区含钙质的地层有关, 热液流经地层时萃取岩石中的 Ca²⁺, 因而具有较高的 Ca²⁺ 含量; 另一方面, 前人研究表明, 富钙或者钙含量较高的

热液可能与大气降水转化的地热水或热卤水有关^[27-28]。因此, 样品中高 Ca^{2+} 含量可能与地下热卤水有关。

综上所述, 本区成矿流体特征显示, 成矿流体以高 H_2O 、 H_2 、 Cl^- 含量为特征, 成矿流体来源为岩浆热液与地下热卤水热液的混合流体。

5 讨论

5.1 均一温度与盐度的关系

已有的研究表明, 在流体混合过程中捕获的流体包裹体其均一温度与盐度在一定程度上均表现出正相关的关系; 而在流体沸腾或相分离过程中捕获的流体包裹体其均一温度与盐度则均呈负相关关系^[29-31]。踏王山金矿床流体包裹体均一温度与盐度散点图如图6所示。由图6可知, 气液两相流体包裹体均一温度和盐度基本呈正相关性, 由此说明矿区成矿流体曾发生过流体混合作用, 这与前文所述的流体成分分析结果相吻合。

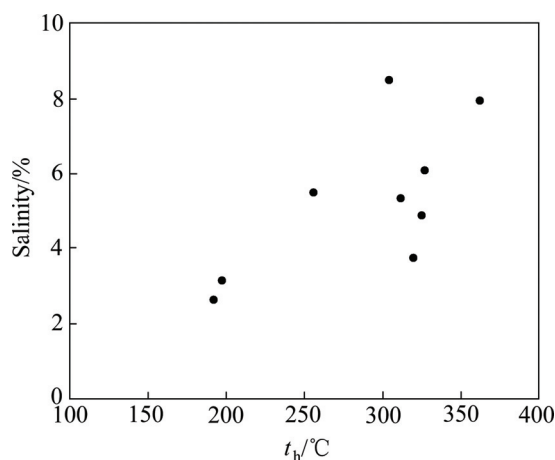


图6 流体包裹体(I型)均一温度-盐度关系散点图

Fig. 6 Diagram showing temperature and salinity diversification of fluid inclusions (Type I)

5.2 流体来源和矿床成因分析

本研究所论述的踏王山金矿床流体包裹体具有高 H_2O 和 H_2 含量、中低温、中盐度、低密度等特征, 与岩浆热液型金铅锌矿床特征极为相似。从流体包裹体液相成分分析可知, 本区流体包裹体特征兼具地下热卤水特征($w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 1$, 明显富集 Ca^{2+}), 而且样品盐度和均一温度散点图显示, 矿区流体包裹体温度与盐度具有明显的正相关性, 显示流体混合的特征。

从矿体产出的地质特征可看出, 金矿体产出的直接围岩为蚀变花岗岩。矿体以脉状形式充填在早期岩

体内部形成的裂隙中, 形成含矿破碎带。因此, 成矿作用与岩浆期后热液密切相关(体现为成矿温度为中低温)。

综合矿体产出特征以及流体包裹体特征分析可知, 本区成矿流体包裹体不是单一的岩浆热液, 而是岩浆热液与地下热卤水的混合流体。一般认为, 岩浆活动能为成矿带来物源、热源。岩浆侵位后期, 分异出的热液充填于早期形成的裂隙, 同时与地下热卤水混合, 导致金属元素的沉淀, 最终形成矿体。因此, 本矿区的成矿流体既具有岩浆热液的特征, 又具有地下热卤水特征。

6 结论

1) 踏王山金矿流体包裹体具有中低温、中盐度、低密度、高 H_2O 和 H_2 含量、 $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) \geq 1$ 的特征, 显示岩浆热液特征; 同时 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 1$, 明显富集 Ca^{2+} , 显示了地下热卤水特征。而盐度与均一温度呈正相关关系, 显示了流体混合特征。因此, 本矿区流体可能为岩浆热液与地下热卤水的混合流体。

2) 根据矿脉的产出形态以及产出部位可看出, 成矿活动与岩浆活动密切相关, 主要为岩浆期后热液充填形成。

3) 踏王山金矿床可能与岩浆期后热液有关, 后期叠加地下热卤水, 为多成因复合型中低温热液矿床。

REFERENCES

- [1] 廖香俊, 王平安, 丁式江, 黄香定, 董法先, 刘晓春, 雷伟志. 海南岛主要成矿系列与矿床成矿规律研究[J]. 地质力学学报, 2005, 11(2): 187-194.
LIAO Xiang-jun, WANG Ping-an, DING Shi-jiang, HUANG Xiang-ding, DONG Fa-xian, LIU Xiao-chun, LEI Wei-zhi. Main minerogenetic series and metallogenic characteristics on Hainan Island[J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(2): 187-194.
- [2] 江明贵, 路西坤. 海南西部戈枕金矿成矿带的矿床类型及成因[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(4): 402-406.
JIANG Ming-gui, LU Xi-kun. Types and genesis of Gezhen gold deposit metallogenic belt in the western area of Hainan[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2004, 24(4): 402-406.
- [3] 付王伟, 许德如, 傅杨荣, 杨昌松, 周迎春, 杨东生, 吴传军, 王智琳. 海南省后万岭铅锌矿床控矿因素、矿床成因及成矿模式探讨[J]. 矿床地质, 2012, 31(6): 1211-1226.
FU Wang-wei, XU De-ru, FU Yang-rong, YANG Chang-song, ZHOU Ying-chun, YANG Dong-sheng, WU Chuan-jun, WANG

- Zhi-lin. A tentative discussion on ore-controlling factors, ore genesis and metallogenic model of Houwanling Pb-Zn deposit in Hainan Province[J]. *Mineral Deposits*, 2012, 31(6): 1211–1226.
- [4] 张羽, 于立红, 孙通, 张善良. 海南省琼中县乘坡农场铅锌矿地质特征[J]. *有色矿冶*, 2015, 31(3): 1–3.
- ZHANG Yu, YU Li-hong, SUN Tong, ZHANG Shan-liang. Geologic characteristic of Chenpo Farm lead and zinc deposit, Qiongzong county, Hainan Province[J]. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 2015, 31(3): 1–3.
- [5] 许德如, 梁新权, 唐红峰. 琼西抱板群变质沉积岩地球化学研究[J]. *地球化学*, 2002, 31(2): 153–160.
- XU De-ru, LIANG Xin-quan, TANG Hong-feng. Geochemical characteristics of Baoban Group metasedimentary rocks in western Hainan, China[J]. *Geochimica*, 2002, 31(2): 153–160.
- [6] 舒斌, 王平安, 董法先, 李中坚. 海南西南部抱伦金矿床流体包裹体及稳定同位素特征[J]. *地质通报*, 2006, 25(7): 880–893.
- SHU Bin, WANG Ping-an, DONG Fa-xian, LI Zhong-jian. Fluid inclusion and stable isotope studies of the Baolun gold deposit, southwestern Hainan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(7): 880–893.
- [7] 王婧, 周汉文, 钟增球, 张小文, 向华. 海南抱伦金矿床流体演化与成矿作用[J]. *中国矿业*, 2013, 22(1): 76–82.
- WANG Jing, ZHOU Han-wen, ZHONG Zeng-qiu, ZHANG Xiao-wen, XIANG Hua. Evolution of fluid inclusions in the Baolun gold deposit, Hainan and its metallogenesis[J]. *China Mining Magazine*, 2013, 22(1): 76–82.
- [8] 陈新跃, 王岳军, 范蔚茗, 彭头平, 葛铁辉. 琼西南 NE 向韧性剪切带构造特征及其 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学约束[J]. *地球化学*, 2006, 35(5): 479–488.
- CHEN Xin-yue, WANG Yue-jun, FAN Wei-ming, PENG Tou-ping, GE Tie-hui. Microstructure characteristics of NE trend ductile shear zones of southwestern Hainan: Constraints from ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology[J]. *Geochimica*, 2006, 35(5): 479–488.
- [9] 丁式江, 彭少梅. 海南戈枕断裂带构造演化与金矿化的关系[J]. *大地构造与成矿学*, 1993, 17(4): 385–394.
- DING Shi-jiang, PENG Shao-mei. Tectonic evolution and gold mineralization of the Ge-Zhen fault zone of Hainan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1993, 17(4): 385–394.
- [10] 汪啸风, 马大铨, 蒋大海. 海南岛地质[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- WANG Xiao-feng, MA Da-quan, JIANG Da-hai. Hainan geological[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [11] BROWN P E. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data[J]. *American Mineralogist*, 1989, 74(5): 1390–1393.
- [12] BROWN P E, LAMB W M. P-V-T properties of fluids in the system H_2O - CO_2 - NaCl : New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(6): 1209–1221.
- [13] 刘长征, 李世金, 陈岳龙, 李大鹏, 高永旺, 郭海明, 李连松, 王元奎. 羌塘地区多才玛铅锌矿床流体包裹体特征及成因类型[J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(4): 658–669.
- LIU Chang-zheng, LI Shi-jin, CHEN Yue-long, LI Da-peng, GAO Yong-wang, GUO Hai-ming, LI Lian-song, WANG Yuan-kui. Characteristics and genetic type of fluid inclusion of the Duocaima Pb-Zn deposit in Qiangtang Area[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015, 39(4): 658–669.
- [14] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 168–169, 313–315.
- LU Huan-zhang, FAN Hong-rui, NI Pei, OU Guang-xi, SHEN Kun, ZHANG Wen-huai. Fluid inclusions[M]. Beijing: Science Press, 2004: 168–169, 313–315.
- [15] 丰成友, 张德全, 王富春, 李大新, 余宏全. 青海东昆仑造山型金(锑)矿床成矿流体地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2004, 20(4): 949–960.
- FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, WANG Fu-chun, LI Da-xing, SHE Hong-quan. Geochemical characteristics of ore-forming fluids from the orogenic Au (and Sb) deposit in the eastern Kunlun area, Qinghai Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(4): 949–960.
- [16] DIAMOND L W. Review of the systematic of CO_2 - H_2O fluid inclusions[J]. *Lithos*, 2001, 55: 69–99.
- [17] WILKINSON J J. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits[J]. *Lithos*, 2001, 55: 229–272.
- [18] 徐方颖, 赖健清, 王雄军. 铜陵老鸦岭铜矿床流体包裹体特征及成矿作用[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(10): 2871–2882.
- XU Fang-ying, LAI Jian-qing, WANG Xiong-jun. Characteristic of fluid inclusions and metallization of Laoyaling copper deposit in Tongling, Anhui Province, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(10): 2871–2882.
- [19] 徐九华, 张国瑞, 魏浩, 林龙华, 吴晓贵. 脉状金矿床的成矿压力与深度: 流体包裹体方法及其影响因素[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 2012, 48(3): 266–277.
- XU Jiu-hua, ZHANG Guo-rui, WEI Hao, LIN Long-hua, WU Xiao-gui. Ore-forming pressures and depths of vein gold deposit: fluid inclusion studies and their influence factors[J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 2012, 48(3): 266–277.
- [20] 武广, 孙丰月, 赵财胜, 丁清峰, 王力. 额尔古纳成矿带西北部金矿流体包裹体研究[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2227–2240.
- WU Guang, SUN Feng-yue, ZHAO Cai-sheng, DING Qing-feng, WANG Li. Fluid inclusion study on gold deposits in northwestern Erguna metallogenic belt, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2227–2240.

- [21] 武 广, 陈衍景, 糜 梅, 朱明田, 刘 军. 大兴安岭北部小伊诺盖沟金矿床流体包裹体特征及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(2): 185-194.
- WU Guang, CHEN Yan-jing, MI Mei, ZHU Ming-tian, LIU Jun. Fluid inclusion characteristics of the Xiaoyinuogagou gold deposit in Da Hinggan Mountains and its geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(2): 185-194.
- [22] 蔡建明, 徐新煌, 李保华. 五圩多金属矿体包裹体地球化学特征研究[J]. 成都理工大学学报, 1995, 22(1): 69-77.
- CAI Jian-ming, XU Xin-huang, LI Bao-hua. A study of geochemical characteristic of inclusions in the Wuxu polymetallic ore field[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 1995, 22(1): 69-77.
- [23] 鞠培娇, 赖健清, 杨洪基, 王乐进, 宋吉杰, 李龙义, 徐兴保, 董文国, 杨 冰. 山西灵丘县梨园金矿流体包裹体特征及成矿作用[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(9): 2537-2550.
- JU Pei-jiao, LAI Jian-qing, YANG Hong-ji, WANG Yue-jin, SONG Ji-jie, LI Long-yi, XU Xing-bao, DONG Wen-guo, YANG Bing. Characteristics of fluid inclusions and mineralization of Liyuan Gold Deposit in Lingqiu County, Shanxi Province, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(9): 2537-2550.
- [24] 王雅丽, 金世昌. 贵州独山半坡与巴年锑矿包裹体地球化学特征对比[J]. 有色金属, 2010, 62(3): 123-128.
- WANG Ya-li, JIN Shi-chang. Geochemistry characteristics comparison of in clusion in Banpo and Banian antimony deposit of Guizhou[J]. *Nonferrous Metals*, 2010, 62(3): 123-128.
- [25] 陈衍景, 倪 培, 范宏瑞, PIRAJNO F, 赖 勇, 苏文超, 张辉. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2085-2108.
- CHEN Yan-jing, NI Pei, FAN Hong-rui, PIRAJNO F, LAI Yong, SU Wen-chao, ZHANG Hui. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2085-2108.
- [26] 彭南海, 黄德志, 辛宇佳, 刘忠法, 柳永康. 湘西沃溪金锑钨矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(9): 2605-2612.
- PENG Nan-hai, HUANG De-zhi, XIN Yu-jia, LIU Zhong-fa, LIU Yong-kang. Characteristics of fluid inclusions and genesis of Woxi Au-Sb-W deposit in western Hunan, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2013, 23(9): 2605-2612.
- [27] 黄德志, 戴塔根, 孔 华, 邱瑞龙, 徐 祥, 王奎仁. 安徽张八岭构造带石英脉型金矿成矿流体来源研究[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(3): 231-236.
- HUANG De-zhi, DAI Ta-gen, KONG Hua, QIU Rui-long, XU Xiang, WANG Kui-ren. Study on the origin of ore-forming fluid of Quartz-Vein-Type gold deposits in Zhangbaling tectonic belt, Anhui[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(3): 231-236.
- [28] 李 杰, 陈必河, 安江华, 谭仕敏, 张孝国, 姚宇军. 湖南黄金洞金矿成矿流体包裹体特征[J]. 华南地质与矿产, 2011, 27(2): 163-168.
- LI Jie, CHEN Bi-he, AN Jiang-hua, TAN Shi-min, ZAHNG Xiao-guo, YAO Yu-jun. Characteristics of fluid inclusions of the Huangjindong gold deposit, Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2011, 27(2): 163-168.
- [29] 马星华, 刘家军, 李立兴, 毛光剑, 郭玉乾. 甘肃寨上金矿床成矿流体性质与成矿作用探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2069-2078.
- MA Xing-hua, LIU Jia-jun, LI Li-xing, MAO Guang-jian, GUO Yu-qian. Zhaishang gold deposit in Gansu province characteristics evolution of ore-forming fluids and their metallogenic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(9): 2069-2078.
- [30] 张连昌, 赵伦山. 成矿流体研究的若干进展与动态[J]. 地质与勘探, 2001, 37(1): 7-10.
- ZHANG Lian-chang, ZHAO Lun-shan. Some advances and trends in ore-forming fluid research[J]. *Geology and Prospecting*, 2001, 37(1): 7-10.
- [31] 宋泽友, 赖健清, 王雄军, 张建东, 宋文彬. 青海三色沟铅锌矿流体包裹体特征及矿床成因[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3): 715-725.
- SONG Ze-you, LAI Jian-qing, WANG Xiong-jun, ZHANG Jian-dong, SONG Wen-bin. Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of Sansegou Pb-Zn deposit in Qinghai Province, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2012, 22(3): 715-725.

Characteristics of fluid inclusions and genesis of Tawangshan gold deposit in Dongfang County, Hainan Province, China

XIONG Ying^{1,2}, ZHU Zi-qiang^{1,2}, HU Xiang-zhao^{1,2}, LU Guang-yin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geoscience and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The Tawangshan gold deposit is located in the southeast of Gezhen gold ore belt in Hainan Province. The orebody is hosted by east-west tectonic alteration zone. The main mineralized types are altered rock type and quartz vein type. Based on the detailed field geological survey, the characteristics of fluid inclusions were studied, and the origin of ore-forming fluid and deposit genesis were discussed. The results indicate that, in Tawangshan mine area, the fluid inclusions are gas-liquid two-phase type and pure CO₂ type, and the characteristics of moderate or low temperature (in homogeneous temperature range of 192–362 °C), moderate salinities (average of 7.52%), low density (0.46–0.87 g/cm³) and moderate-deep metallogenic depth environment. The composition of fluid inclusions of Tawangshan gold deposit shows that the fluid inclusions have characteristics of both magmatic water (high H₂O, H₂ content, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) \geq 1$) and geothermal brine water ($w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 1$), which represents mixing of magmatic water and geothermal brine water, obviously rich in Ca²⁺ or component with high Ca²⁺ content. The genesis of Tawangshan gold deposit belongs to the moderate to low temperature hydrothermal deposit complexing with magmatic water and geothermal brine water.

Key words: fluid inclusions; deposit genesis; Au deposit; Hainan

Foundation item: Projects(41174061, 41374120) supported by the Natural Science Foundation of China

Received date: 2015-11-23; **Accepted date:** 2016-04-13

Corresponding author: LU Guang-yin; Tel: +86-13975894898; E-mail: 307745092@qq.com

(编辑 何学锋)