

老挝帕奔金矿成矿流体特征及成因类型

牛英杰^{1,2}, 孙宏岩², 王居松², 陈京玉², 刘智勇², 汪 宽²

(1. 昆明理工大学国土资源学院, 昆明 650093;

2. 天津华北地质勘查局, 天津 300170)

摘要: 帕奔金矿位于琅勃拉邦—黎府(泰国)成矿带的中部, 矿床容矿围岩主要为灰岩, 矿体严格受 NNW—近 SN 向断裂控制。流体包裹体研究表明, 含矿方解石中包裹体为液、气两相包裹体, 以液相为主; 成矿均一温度为 164~252 °C, 平均盐度($w(\text{NaCl}, \text{eq})$)为 1.77%~7.64%, 具中低温、低盐度特征; 估算成矿压力为 $9.34 \times 10^5 \sim 21.37 \times 10^5 \text{ Pa}$, 成矿深度为 0.48~0.960 km; 矿石中方解石的碳同位素 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -4.5 \times 10^{-3} \sim -5.2 \times 10^{-3}$, 氧同位素 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 20.3 \times 10^{-3} \sim 21.1 \times 10^{-3}$, 方解石为流体与二叠系海相碳酸盐岩相互作用的产物。综合分析认为帕奔金矿为浅成中低温热液型金矿床。

关键词: 帕奔金矿; 成矿流体; 碳、氧同位素; 琅勃拉邦; 老挝

中图分类号: P618.51; P611 **文献标识码:** A

0 引言

帕奔金矿是近年来在老挝北部山区发现的矿化较为特殊的中-大型金矿床, 位于琅勃拉邦—黎府成矿带中部的琅勃拉邦弧形断裂带附近。沿成矿带有华力西—印支期花岗岩及中酸性火山岩, 常见铅、锌、锑、铜、金等多金属矿床、矿化点, 是重要的矽卡岩型、斑岩型、构造破碎蚀变岩型、热液型的铁、铜、金矿集中区, 成矿环境优越^[1]。

前人通过不同方法对帕奔金矿进行过研究, 其成因类型争议较大, 主要观点为: 受剪切带控制的低温热液矿床^[2]; 岩浆构造—热液型金矿床^[3]; 沉积—脆性剪切多期构造活动和热水溶液叠加改造型金矿床^[4]。本文以帕奔金矿的成矿流体作为主要研究对象, 通过对流体包裹体岩相学测温, 估算成矿压力、成矿深度, 分析碳、氧稳定同位素来源等, 研究成矿流体来源与成矿机理, 确定该矿床的成因类型, 以期对区域找矿工作有所帮助。

1 区域地质背景

帕奔金矿区大地构造位置处于琅勃拉邦—黎府(泰国)华力西褶皱带与丰沙里—帕府(泰国)中生代拗陷带的交接部位(图1)。区域内出露地层为泥盆系—下石炭统安山岩、砂质板岩, 上石炭统—下二叠统泥质粉砂岩、灰岩, 二叠统安山质凝灰熔岩, 三叠系—侏罗系泥质粉砂岩, 第四系。区域断裂主要有琅勃拉邦断裂和普雷山断裂, 2个断裂呈 NE 向平行产出。其中, 普雷山断裂是琅勃拉邦岛弧带东南部的边界断裂, 沿断裂发育数千米宽的构造混杂带, 具明显的多金属矿化。

区域内酸性侵入岩以花岗闪长岩、英云闪长岩为主, 伴有二长岩、闪长岩、石英二长岩。侵入体呈岩枝、岩株状产出, 直径 1~10 km。拉瑟雷(1972)^[5]在沙纳坎获得 $(255 \pm 10) \text{ Ma}$ (二长岩)、 $(264 \pm 10) \text{ Ma}$ (花岗闪长岩) 的 K-Ar 法同位素测年值, 时代属中二叠世—晚二叠世。结合本带大地

收稿日期: 2016-02-25; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 中央地质勘查基金和国外矿产资源勘查基金(编号:201211B00200006)资助。

作者简介: 牛英杰(1982—), 男, 工程师, 昆明理工大学国土资源学院地质工程专业在读硕士, 长期从事老挝矿产勘查工作。通信地址: 天津市河东区广瑞西路 67 号, 天津华北地质勘查局 301 室; 邮政编码: 300171; E-mail: 365466312@qq.com

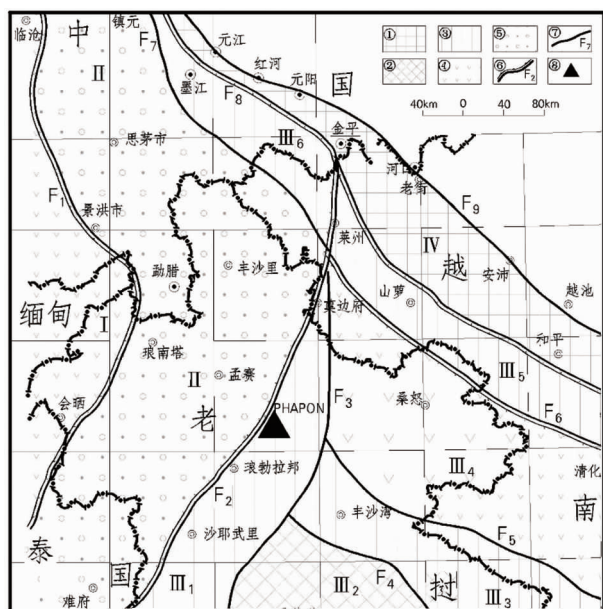


图1 老挝北部构造分区图

Fig. 1 Structural distribution map of north Laos

- ①边缘褶皱带;②盆地;③褶皱带;④岛弧带;⑤拗陷带;
⑥Ⅱ级构造单元界线;⑦Ⅰ级构造单元界线;⑧帕奔金矿;
Ⅰ.景洪—会晒岛弧带;Ⅱ.丰沙里—帕府中生代拗陷带;
Ⅲ₁.琅勃拉邦—黎府华力西褶皱带;Ⅲ₂.呵叻盆地;
Ⅲ₃.长山褶皱带;Ⅲ₄.莫边府—荣市岛弧带;
Ⅲ₅.莱州—清化断隆带;Ⅲ₆.镇元—金平褶皱带;
Ⅳ.金平—和平古生代被动边缘褶皱带;
F₁.澜沧江—班南坎断裂;F₂.琅勃拉邦断裂;F₃.普雷山断裂;
F₄.长山—岷港断裂;F₅.蓝江断裂;F₆.平江断裂

构造演化特征,酸性侵入岩形成于三叠纪,属岛弧环境产物^[6]。

2 矿床地质特征

帕奔金矿赋存于二叠系中厚层灰岩中,矿体严格受NE向、NNW向断裂和古岩溶地貌控制。矿体沿多次活动的断裂带分布,是以充填、交代为主的蚀变岩型、含金方解石脉型金矿。目前发现岩金矿体10条,红土型金矿体11条,在平面上呈雁列式近平行分布(图2)。主矿体地表控制长度650m,平均厚度4.36m,最大控制垂深350m,平均控制延深234m。目前控制矿体的赋存标高650~940m,具膨大、缩小、分支、复合及尖灭再现等特征,平均品位 $\omega(\text{Au})=2.07 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$,品位变化有跳跃现象,产状 $260^\circ \sim 270^\circ \angle 40^\circ \sim 65^\circ$ 。

矿石结构以固熔体分离结构、交代残余结构、压

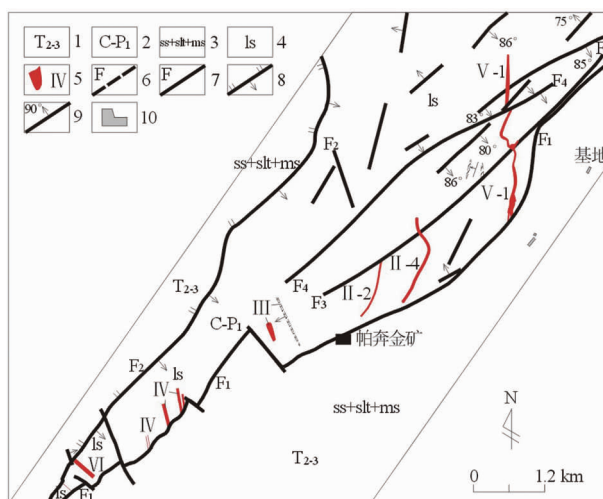


图2 帕奔金矿地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Phopon gold deposit

1. 中-上三叠统;2. 石炭-下二叠系;
3. 砂岩、粉砂岩、泥岩;4. 灰岩;5. 矿(化)体位置及编号;
6. 推测断层;7. 实测断层及编号;
8. 实测逆断层及编号;9. 产状;10. 村庄

碎结构为主,矿石构造主要有浸染状、条带状、块状、胶状、角砾状。主要矿物为方解石、菱铁矿等。矿石矿物主要为氧化物,金属硫化物少见,主要载金矿物为方解石。金矿物赋存状态以粒间金为主,占60.8%;次为裂隙金,占25.4%;包裹金含量最低,占13.8%。自然金呈金黄色,多为易浸板片状,以中-细粒为主,最大粒度达4mm^①。

与金矿有关的围岩蚀变主要有赤铁矿化、褐铁矿化、硅化、碳酸盐化等。

3 样品特征和分析方法

3.1 包裹体显微测温

测试样品采自帕奔金矿床石英脉及方解石脉。包裹体的显微测温在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成。测试仪器为英国 Linkam THMS-600 型冷热台,测温范围 $-196 \sim 600^\circ\text{C}$,测定精度在 $-120 \sim -70^\circ\text{C}$ 区间为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$,在 $100 \sim 500^\circ\text{C}$ 区间为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。系统校准采用国际标样纯 H_2O 及盐度为25%的人造包裹体。测试升温速率一般为 $0.2 \sim 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$,相变点附近升温速率降低为 $0.2^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

3.2 稳定同位素分析

选取帕奔金矿岩石、矿石的代表性样品进行氧、

碳同位素组成测试。测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所,测试仪器为 MAT-251EM 型质谱计。碳酸盐样品采用 McCrea(1950)^[7] 描述的正磷酸方法,将不同碳酸盐岩矿物与 100% 的 H_3PO_4 在不同温度下反应产生 H_2O 和 CO_2 气,并通过恒温震荡使之达到氧同位素平衡,收集 CO_2 气体,分析精度均为 $\pm 0.2 \times 10^{-3}$ 。碳和氧相对标准分别为 V-PDB 和 V-SMOW。选取 40~60 目的纯净方解石,在 150 °C 低温下真空去气 4 h 以上,以彻底除去表面吸附水和次生包裹体水,然后在 400 °C 高温下爆裂取水,并与金属锌反应生成 H_2 ,分析精度为 $\pm 2 \times 10^{-3}$,相对标准为 V-SMOW。

4 流体包裹体特征

4.1 流体包裹体岩相学特征

本次所测方解石中包裹体较细小,一般为 $(2 \sim 10) \mu\text{m} \times (2 \sim 6) \mu\text{m}$,在镜下可见包裹体的形态主要呈椭圆形、圆形、条状、肾状、眼状、三角状和不规则状,成群或散状分布。包裹体相态主要为气液两相,以液相为主,气液体积分数多为 5%~15%,部分为 20%~30%。

4.2 流体包裹体的均一温度和盐度

(1) 均一温度

本次研究共测试了 10 件样品 354 个气液两相包裹体。测温统计表明,均一温度为 107~332 °C(表 1);根据成矿阶段对应的流体包裹体标本,作出每个成矿阶段对应的均一温度直方图(图 3),可见均一温度主要集中在 3 个区间:120~160 °C、160~260 °C、260~340 °C,其中以 160~260 °C 区段最多,达到 136 个。

由上述可知,帕奔矿床的成矿温度为 120~340 °C,主要成矿温度为 160~260 °C。图 3 有 2 个峰值,分别为 200~220 °C 和 240~260 °C,说明成矿作用中低温变化的过程,流体可能为连续作用流体,矿床形成与岩浆期后热液有关,随着热液演化,后期逐渐有沉积建造水或大气降水的加入^②。

(2) 盐度

盐度测试结果(表 1)表明,矿床较高温阶段盐度为 1.22%~2.55%,平均 1.77%,较低温阶段盐度为 4.17%~16.7%,平均 7.64%,说明矿床成矿盐度不高,明显低于盆地热卤水盐度(>20%)。成矿流体的盐度也是判断流体来源的一个重要标志(黄锡强等,2008)^[8]。帕奔矿床流体包裹体盐度较低,说

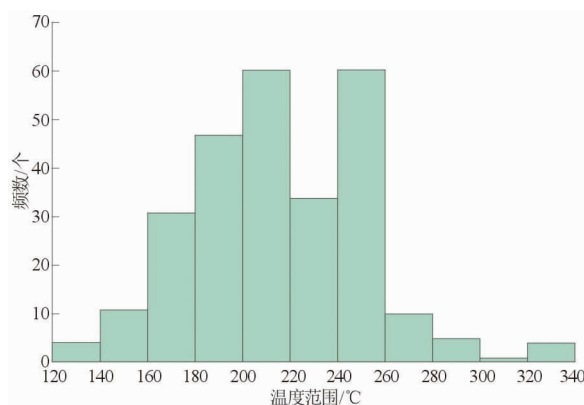


图 3 帕奔金矿床流体包裹体均一温度频数直方图

Fig. 3 Histogram of homogeneous temperature of fluid inclusions in Phapon gold deposit

明其成矿流体既可以是岩浆热液,也可以是变质热液或大气水热液^[9]。基本地质情况表明,矿床的成矿流体不存在变质热液来源,推测其主要为岩浆期后热液,同时伴有大气水热液的存在,可能为混合热液。

(3) 成矿流体类型

据流体包裹体的液相成分数据,其液相主要含 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,且阳离子浓度序列为 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$,成矿流体属 Na-K-Cl 型卤水;各组分的浓度均很低,反映了成矿流体为低矿化度热卤水;流体包裹体液相成分中钠钾阳离子含量比值均大于 2,其均值为 6.12;包裹体水 $\text{pH} = 7.28 \sim 8.56$,属近弱碱性环境。从包裹体气相成分数据分析,成矿流体气相组分主要为 CO_2 ,占气体总量的 97.5% 以上,说明成矿流体为富含 CO_2 的流体。

4.3 成矿压力与深度

所测包裹体的冰点温度为 $-10.7 \sim -0.5$ °C(表 1),符合低盐度 NaCl- H_2O 体系,未见明显沸腾包裹体证据。据成矿压力和成矿深度经验公式^[10]:

T_0 (初始温度) = $374 + 920 \times N$ (成矿溶液的盐度)(°C)

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

H_0 (初始深度) = $P_0 \times 1/300 \times 10^5$ (km)

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

H_1 (成矿深度) = $P_1 \times 1/300 \times 10^5$ (km)

利用上述公式计算出成矿压力 $P_1 = 9.34 \times 10^5 \sim 21.37 \times 10^5$ Pa,平均 16.3×10^5 Pa,成矿深度 $H_1 = 0.48 \sim 0.960$ km,由此可判断帕奔金矿属于浅成中低温热液矿床。

表 1 帕奔金矿床流体包裹体均一法测温结果

Table. 1 Homogenization temperature measurements of fluid inclusion in Phapon gold deposit

序号	样号	矿物	包裹体特征		冰点/℃	盐度/%	均一温度/℃	平均温度/℃	测试数量
			相态	大小/ μm					
1	PB005-1	石英	V-L	(2~8)×(1~4)	-0.5~-5.2	3.23~15.8	121~202	153	42
2	PB005-2	石英	V-L	(2~10)×(1~5)	-0.8~-6.5	2.57~16.7	107~195	148	35
3	PB005-3	石英	V-L	(2~15)×(1~10)	-3.3~-6.5	2.64~12.54	126~232	162	40
4	B255-5	方解石	V-L	(4~33)×(1~8)	-0.7~-4.8	1.22~7.15	182~285	193	29
5	B261-3	方解石	V-L	(4~12)×(2~10)	-1.6~-4.1	2.89~6.72	140~238	186	45
6	B256-4	方解石	V-L	(3~12)×(1~7)	-10.7~-2.3	1.22~4.17	121~252	187	24
7	B276-33	方解石	V-L	(3~6)×(2~5)	-3.2~-4.4	5.25~7.01	214~332	252	29
8	B012-1	方解石	V-L	(3~12)×(2~6)	-1.0~-4.3	1.73~6.87	156~235	165	23
9	PB009-2	方解石	V-L	(3~10)×(2~4)	-3.4~-4.2	5.55~6.87	167~286	209	43
10	B270-4	方解石	V-L	(3~5)×(2~4)	-2.4~-4.5	4.01~7.44	144~266	211	44

注:测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所。

5 稳定同位素特征

从帕奔金矿床的碳、氧同位素组成分析结果(表2)可见,方解石碳、氧同位素值较均一, $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -5.2 \times 10^{-3} \sim -4.5 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}) = -10.3 \times 10^{-3} \sim -9.6 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 21.1 \times 10^{-3} \sim 20.3 \times 10^{-3}$,靠近海相碳酸盐岩范围。样品同位素组成特征相对集中,表明其成因单一,为同成因。在碳酸盐成因碳、氧同位素图解(图4)中,样品同位素组成投影皆落在海相碳酸盐区域附近,并表现出碳酸盐溶解再次沉淀结晶的成因演化趋势。

矿体和矿石特征的研究表明,本区矿化有2种类型:一是蚀变岩型,金矿化与铁镁碳酸盐化、硅化、褐铁矿化关系密切,铁镁碳酸盐化主要是菱铁矿化、铁白云石化、白云石化;二是方解石脉型。包体测温揭示这2种矿化的共同特点是成矿温度低,一般为

100~250℃。矿体中经常存在溶洞和褐铁矿,脉体中大量发育孔洞和自型晶簇状方解石,矿体形成于近地表开放环境。另外,帕奔金矿矿石中硫化物很少,仅见微量的黄铁矿。同位素、稀土地球化学和成矿地质特征综合研究表明,帕奔金矿为与岩浆作用有关的浅成低温热液矿床^[7]。

6 讨论

6.1 成矿流体的来源及其演化

牛英杰等^[11]曾依据氢、氧同位素及稀土元素地球化学特征认为其成矿流体为岩浆水与地层封存的古大气降水混合来源,成矿流体与岩浆活动为背景的较强热液循环驱动力一致;李会凯等^[2]认为矿床属于受剪切带控制的低温热液型,热源、物源主要来自剪切动力变质作用,成矿物质来源是沿韧性剪切带上升的深部幔源热液;张泰等^[4]依据不同产状构造岩中方解石均一温度测定,确定帕奔金矿床成矿温度为140~300℃,属中低温热液矿床类型。魏菊英等^[12]认为地幔射气 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -5 \times 10^{-3} \sim -2 \times 10^{-3}$;岩浆来源碳同位素组成为 $-9 \times 10^{-3} \sim -3 \times 10^{-3}$;沉积岩中碳酸盐岩脱气或含盐卤水与泥质岩相互作用,碳同位素组成具有重碳同位素特征,其 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -2 \times 10^{-3} \sim +3 \times 10^{-3}$;海相碳酸盐岩 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}})$ 大多稳定在0左右;各种岩石中的有机碳一般富集 ^{12}C ,碳同位素组成很低, $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -30 \times 10^{-3} \sim -15 \times 10^{-3}$,平均为 -22×10^{-3} 。

本次研究确定成矿流体来自地幔或岩浆活动,依据为:①帕奔地区缺少区域古老变质岩系;②区域岩浆活动强烈,矿区地层深部见安山质喷出岩和闪

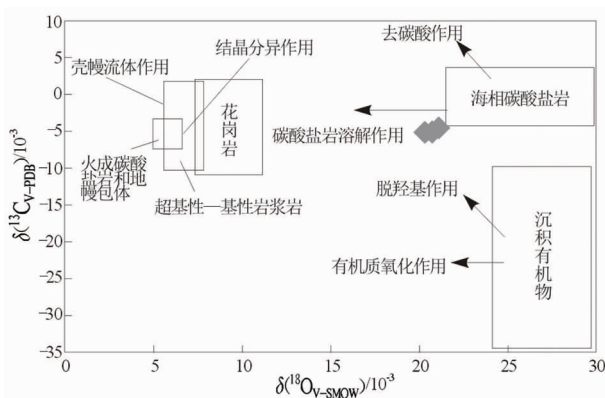
图 4 方解石 $\delta(^{13}\text{C})$ — $\delta(^{18}\text{O})$ 关系图解Fig. 4 Diagram showing $\delta(^{13}\text{C})$ — $\delta(^{18}\text{O})$ Relation of calcite

表 2 帕奔金矿区含金方解石碳、氧同位素组成

Table 2 Carbon and oxygen isotope composition Au-bearing calcite in the Phapun Au deposit

样号	$\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}})/10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}})/10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})/10^{-3}$
PB006	-5.1	-10.3	20.3
PB008	-5.1	-10.0	20.6
PB009(浅色)	-4.9	-9.9	20.7
PB009(深色)	-5.0	-9.9	20.7
PB010	-4.9	-9.8	20.8
PB011	-5.0	-9.9	20.7
PB012	-5.0	-9.9	20.7
PB013	-5.2	-9.9	20.7
PB014	-5.0	-9.9	20.7
PB015	-5.1	-9.8	20.8
PB017	-4.9	-9.8	20.8
PB287-1	-4.7	-9.7	21.0
PB287-2	-4.6	-9.6	21.0
PB287-5	-4.5	-9.6	21.1

注:测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室。

长质侵入岩体,镜下观察仅见长石斑晶,可观察到双晶现象。中性岩的岩浆源区可能为地壳深部,是幔源基性岩浆结晶分异的结果,这就为地球深部 Au 元素带至地表成矿提供了必要条件。③岩浆活动后期,富含挥发分流体活化萃取 Au、As、Sb 等络合物形成热液,沿深大断裂运移与围岩发生交代作用,金的络合物遭受破坏后以裂隙金和包体金存在于黄铁矿、菱铁矿中。镜下可见黄铁矿包体金的存在以及高品位矿石中硫化物含量很多可为佐证。④本次研究显示,方解石碳、氧同位素值较均一, $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -5.2 \times 10^{-3} \sim -4.5 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}) = -10.3 \times 10^{-3} \sim -9.6 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 20.3 \times 10^{-3} \sim 21.1 \times 10^{-3}$,在碳酸盐成因碳、氧同位素图解(见图 4)中,样品同位素组成投影皆落在海相碳酸盐区域附近,呈现出碳酸盐溶解再次沉淀结晶的成因演化趋势。对比有关资料,可以确定含矿方解石脉的碳同位素为岩浆来源,显示出帕奔金矿与岩浆作用有一定的联系。

6.2 矿床成因

从帕奔金矿的流体包裹体岩相学特征分析,成矿温度为 $160 \sim 260^{\circ}\text{C}$,成矿压力为 $9.34 \times 10^5 \sim 21.37 \times 10^5 \text{ Pa}$,平均盐度为 $1.77\% \sim 7.64\%$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 20.3 \times 10^{-3} \sim 21.1 \times 10^{-3}$,靠近海相碳酸盐岩范围。前人^②稀土元素数据显示为岩浆水与地层封存的古大气降水混合来源。上述研究表明帕奔金矿成矿作用的中低温变化过程,流体可能为连续作用流体,矿床形成与岩浆期后热液有关,随着热液演化,后期逐渐有沉积建造水或大气降水加入。朱迁浙等研究^[6]表明,控制中酸性岩浆活动的区域

性断裂如琅勃拉邦断裂、兰江断裂、马江断裂、长山断裂的活动时间基本一致,均为二叠纪末期—三叠纪中末期,断裂活动控制的岩浆活动也集中于这一时期,同位素年龄为 $240 \sim 250 \text{ Ma}$,其成矿作用及成矿年龄更具可比性,成矿时代应该一致。这也是判断帕奔金矿成矿流体与岩浆活动有关的地质背景依据之一。

6.3 成矿模式

前人^[5]对老挝区域地质演化研究表明,晚二叠世至中三叠世洋壳北西-南东挤压俯冲,导致海盆闭合及岩层褶皱隆升,使老挝东北部、长山一带形成褶皱带及走滑断层,伴有大规模中酸性岩浆活动。帕奔金矿床形成与区域内岩浆年龄基本相符,初步判断成矿时间为印支期。

晚二叠世,老挝地区海盆在继续扩张中发生了分异,在东部桑怒以东地区沉陷较深,发育以厚层碳酸盐岩为主的沉积,而西部琅勃拉邦一带以及南部地区沉陷相对较浅,主要是以碎屑岩为主的沉积。晚二叠世早期,洋壳开始向陆壳碰撞,海盆西部大部分地区发生了 NNE 向延伸褶皱隆升,致使矿区形成与其同向韧性剪切带。

晚二叠世后,NE 向断裂产生压扭性活动形成深大断裂,剪切活动形成一系列 NNW 向张性断裂。强烈的构造活动引发了岩浆活动(矿区为浅色闪长岩),岩浆活动和张性断裂带有助于为热卤水的循环提供驱动热能和通道。岩浆流体开始沿断裂裂隙进入沉积地层,同时混合了盆地热卤水(可能还有下渗地表水参与),在岩浆热能的驱动下开始循环,循环过程中交代围岩,在矿源层萃取成矿物质,在不纯碳

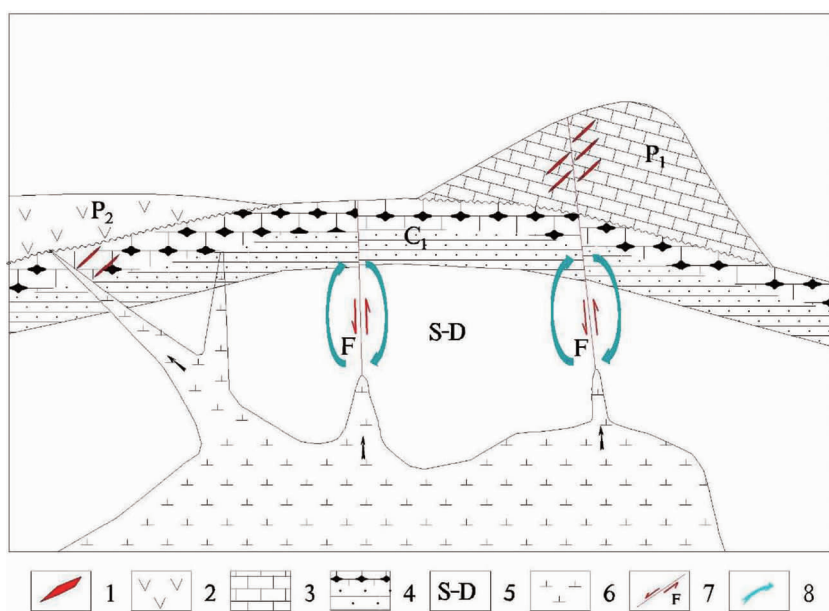


图5 帕奔金矿成矿模式示意图

Fig. 5 Metallogenic model of the Phapon gold deposit

1. 金矿体; 2. 安山岩; 3. 灰岩; 4. 泥岩、页岩、含燧石结核灰岩;
5. 基底; 6. 岩浆源; 7. 深大断裂; 8. 热液运移方向

酸盐岩及细碎屑岩地层,通过交代作用而成矿。

综上所述,通过分析成矿物化条件、流体条件、成矿物质来源、构造条件、成矿阶段及期次等矿床成因因素,总结了帕奔金矿矿床成因及成矿模式(图5),矿床类型为与岩浆活动有关的中低温热液矿床。

7 结论

(1)帕奔金矿成矿流体发育气液两相包裹体,流体均一温度为 $107 \sim 332^{\circ}\text{C}$,盐度为 $1.22\% \sim 16.74\%$ 。成矿早阶段,流体为以岩浆水为主的低盐度的中温流体;主成矿阶段盐度、温度降低;成矿晚阶段,温度与盐度快速下降,逐渐演变为低温、低盐度的盐水溶液,该过程与大气降水有关。整个阶段表现出中低温、低盐度、盐度变化稳定的特征。

(2)据稳定同位素测试结果,碳、氧同位素显示成矿流体以岩浆水为主,后期有少量大气降水混入。

(3)矿体中方解石碳、氧同位素研究表明,确定含矿方解石脉的碳同位素为岩浆来源,显示出帕奔金矿与岩浆作用有一定的联系;方解石为流体与二叠系海相碳酸盐岩相互作用的产物,灰岩溶解形成含矿流体重结晶是主要的成矿方式。

(4)据帕奔金矿流体包裹体及同位素地球化学

研究,结合矿床成因及成矿模式,认为帕奔金矿为浅成中低温热液型金矿。

致谢:本野外工作得到天津华勘老挝有限公司领导及地质工作者的支持和帮助,成文过程中得到华勘矿业总工程师刘学武教授、专家冯建忠博士的帮助与指导,在此一并表示感谢。

注释:

- ① 辛建伟,胡金才,牛英杰,等. 老挝琅勃拉邦省巴乌县爬奔金矿区详查地质报告[内部资料]. 天津:天津华勘矿业投资有限公司, 2012.
- ② 杨海林,辛建伟,牛英杰,等. 老挝爬奔金矿床地质特征及成因研究[内部资料]. 天津:天津华勘矿业投资有限公司, 2013.

参考文献:

- [1] 张瑞华,张宝华,刘禧超,等. 老挝琅勃拉邦省巴乌县帕奔金矿构造变形特征及控矿规律[J]. 地质找矿论丛, 2012, 27(3): 341-348.
- [2] 李会恺,张翔君,王军. 老挝琅勃拉邦爬奔金矿床地质及成因探讨[J]. 云南地质, 2011, 30(3): 280-284.
- [3] 孙佳. 老挝琅勃拉邦省爬奔金矿成矿特征及找矿标志[J]. 河南科技, 2013(5): 68-69.
- [4] 张泰,刘运纪,周琳,等. 老挝爬奔金矿构造地质特征与金矿的关系[J]. 矿产与地质, 2013, 27(2): 132-136.
- [5] 朱廷浙,吴军,严城民. 老挝岩浆岩成因[J]. 云南地质, 2007, 26(2): 189-196.

- [6] 朱廷浙, 吴军, 胡建军, 等. 老挝地质矿产概论[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2009: 1-200.
- [7] McCea J M. On the isotope chemistry of carbonates and apatite temperature scale[J]. Jour. Chem. Phys, 1950, 18: 849-857.
- [8] 白丹丹, 胡宝群, 孙占学, 等. 相山铀矿田邹家山矿床流体包裹体研究[J]. 铀矿地质, 2012, 28(5): 290-296.
- [9] 朱文戈, 秦祐阳. 成矿流体研究内容与方法[J]. 甘肃科技, 2006, 22(9): 135-137.
- [10] 邵洁涟, 梅建明. 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, 1986, 6(3): 103-111.
- [11] 牛英杰, 刘威, 高亚龙, 等. 老挝爬奔金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学特征[J]. 地质调查与研究, 2016, 38(4): 277-283.
- [12] 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 123-124.

Study on features of ore-forming fluid and ore genesis of phapon gold deposit, Luangprobang, Laos

NIU Yingjie^{1,2}, SUN Hongyan², WANG Jusong², CHEN Jingyu², LIU Zhiyong², WANG Kuan²

(1. Kunming University of science and technology, Kunming 650093, China;

2. Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300171, China)

Abstract: Phapon gold deposit is located at middle of LuangPrabang-Loei (Thailand) metallogenic belt and hosted by limestone. Ore body is strictly controlled by limestone and ore bodies are controlled by NNW-near NS fault. Inclusion in Au-bearing calcite is liquid gas two-phase inclusion but dominated by fluid phase. The homogenization temperature is $164 \sim 252^{\circ}\text{C}$, average salinity ($w(\text{NaCl, eq})$) is $1.77\% \sim 7.64\%$ characteristic of medium-low temperature and low salinity. metallogenic pressure is estimated at $9.34 \times 10^5 \sim 21.37 \times 10^5 \text{ Pa}$, metallogenic depth $0.48 \sim 0.960 \text{ km}$. $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}) = -4.5 \times 10^{-3} \sim -5.2 \times 10^{-3}$ and $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 20.3 \times 10^{-3} \sim 21.1 \times 10^{-3}$ of the calcite indicate that the calcite is the product of the interaction of liquid and Permian marine carbonate. Comprehensive analysis suggests that Phapon gold deposit is a shallow epithermal gold deposit.

Key Words: Phapon gold deposit; ore-forming fluid; C-O isotope; Laos