

文章编号: 1000-4734(2014)04-0581-10

# 印度尼西亚金马石金矿流体包裹体对矿床类型和金沉淀机理的指示

郑超飞<sup>1,2</sup>, 张正伟<sup>1\*</sup>, 吴承泉<sup>1,2</sup>, 姚俊华<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 对印度尼西亚金马石金矿的普穗蒙古、金巴克和金盆维特 3 个矿段的矿石中石英流体包裹体进行岩相学观察和显微测温, 结果表明: 包裹体类型简单, 以富液相气液两相包裹体为主, 属于 NaCl-H<sub>2</sub>O 流体体系; 包裹体均一温度集中在 240~320 °C 之间, 盐度峰值为 14%~17%; 流体密度峰值为 0.85~0.95 g/cm<sup>3</sup>, 流体的压力值介于 4.1~46.8 MPa 之间, 相应的成矿深度为 150~1730 m, 总体具有浅成低温热液矿床的特点。根据地质特征和矿石的石英流体包裹体特征推断, 金马石金矿是高硫型浅成低温热液矿床, 可能属于斑岩-(高硫型)浅成低温热液型成矿体系; Au 沉淀以流体混合作用为主。

**关键词:** 流体包裹体; 浅成低温热液; 流体混合; 金马石金矿; 印度尼西亚

**中图分类号:** P579; P618.501

**文献标识码:** A

**作者简介:** 郑超飞, 男, 1988 年生, 在读博士研究生, 主要从事矿床学研究. E-mail: zhengchaofei@mail.gyig.ac.cn

流体包裹体是保留在矿物里的古成矿流体, 是了解成矿流体特点的直接证据<sup>[1,2]</sup>。热液矿床中流体包裹体性质可以反映成矿时环境、流体演化和矿质沉淀特征<sup>[1-4]</sup>, 不同成因类型矿床其包裹体特征也不同, 因此流体包裹体可以作为鉴别矿床类型的依据之一<sup>[2]</sup>。巽他大陆南部边缘(图 1a)西爪哇省新生代碰撞弧火成岩可分为 2 个带, 一个是 Bogor 南部的上新世火山岩带, 另一个是 Ratu 以南的中新世火山岩带(图 1b)。前者发育著名的 Pongkor 浅成低温热液型金矿床, 其流体包裹体常常具有中低温、低盐度的特征; 后者则有斑岩出露。新近在金马石发现了与斑岩有关金矿床(图 1c), 前人尚未对其深入研究。我们对其中普穗蒙古、金盆维特和金巴克 3 个矿段矿石中石英的流体包裹体进行岩相学观察和显微测温, 并计算流体盐度、密度以及压力和 pH 值, 从而探讨该矿床的成因类型及金沉淀机理。

## 1 地质背景与矿床特征

### 1.1 区域地质背景

金马石金矿位于巽他-班达大陆弧的中西部(图 1a), 处于会聚板块边缘<sup>[5-7]</sup>。开始于晚白垩世的印-澳板块俯冲碰撞欧亚板块, 致使该地区成为活跃的岩浆活动带<sup>[5-8]</sup>(图 1b)。

区域上逆断层发育, 断层走向和褶皱轴向主要为 NWW、NW 和 NE 向<sup>[9]</sup>。岩石组成包括凝灰质沉积岩、安山质火山碎屑岩和少量安山质到玄武质岩石(图 1b)。有少量的中新世石英闪长玢岩和细粒安山岩岩脉侵入到上述岩石单元中(图 1c)。

除金马石(Ciomas)金矿床外, 西爪哇地区还有 Gunung Pongkor、Cikotok、Jampang、Cirotan 和 Cikidang 等金、金银多金属矿床<sup>[6-7,10]</sup>。

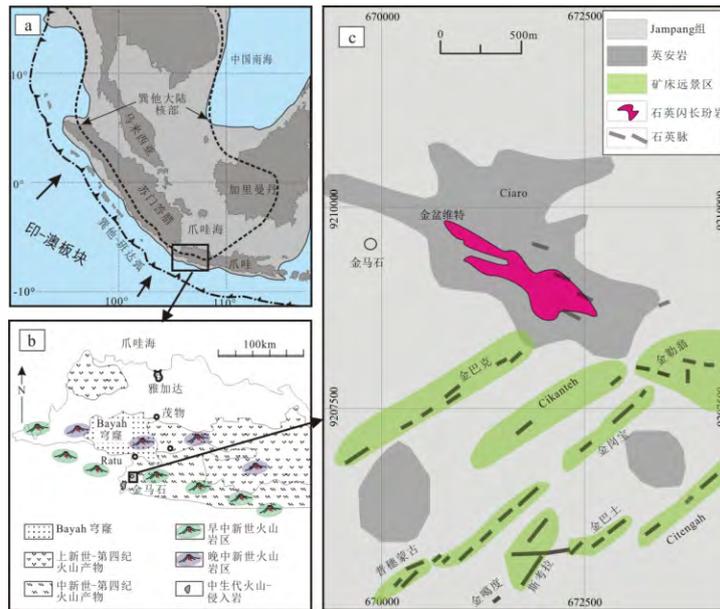
### 1.2 矿床地质特征

矿区出露地层主要为第三系 Jampang 组(图 1c): 中下部为海底软泥泥灰岩、砂岩, 安山钙质角砾凝灰岩, 和内有厚层灰岩及较大有孔虫的英安质组分; 上部为火山角砾凝灰岩、局部含结核的结晶灰岩。含矿构造以东北和北西向两组断裂

收稿日期: 2014-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 41173064); 矿床地球化学国家重点实验室“十二五”项目群(SKLOGD-ZY125-08)

\* 通讯作者, E-mail: zhangzhengw@hotmail.com



a-大地构造位置图; b-西爪哇区域地质简图; c-矿`区地质图

图 1 印度尼西亚金马石金矿地质简图

Fig. 1. Geological sketch map of Ciems gold deposit, Indonesia.

为主，其次是英安岩体内见有南北向断裂构造和泥化的蚀变带。

金马石金矿已经勘查出 8 个矿段，分别为普穗蒙古 (Pasir Manggu)、金嘎度 (Cikadu)、斯考拉 (Sekolah)、金巴士 (Cibatu)、金岗宝 (Cigombong)、金勒翁 (Cileuweung)、金巴克 (Cibak) 和金盆维特 (Cipirit) 矿段 (图 1c)。

经钻探工程查明<sup>[11]</sup>，矿体赋存于断层构造蚀变带中。矿体形态上以脉状为主，空间上呈陡倾状，倾向多为北西向，少数南东向，倾角很大，多在 70°~80°。矿段主矿体一般长达数百米，厚达数米，Au 品位约 2~15 g/t。

矿石的类型有石英脉型 (2a)、构造蚀变岩型 (图 2b) 和斑岩型 (图 2c)。金属矿物有黄铁矿、白铁矿、砷黄铁矿、褐铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉银矿和银金矿等，其中以黄铁矿最为常见。脉石矿物有石英、斜长石、绿泥石、绿帘石、绢云母、黑云母、粘土方解石、白云石、铁白云石等。含金矿物共生组合主要为黄铁矿-金-石英组合。金以固体小颗粒的形式赋存在靠近贱金属硫化物或溶于砷黄铁矿中。

矿石结构有它形细-微粒状结构、自形-半自形粒状结构、包含结构。矿石构造有浸染状构造、细网脉状构造 (图 2d)、块状构造 (图 2e)。矿石中还有石英晶洞 (图 2f)，有些晶洞中生长有黄铁矿、磁铁矿等。另外可见火成岩中拉长的气孔构造，气孔常被金属硫化物填充 (图 2g)。

岩石蚀变主要为黄铁矿化 (图 2h)、绿泥石化、粘土化 (图 2i)，次为硅化、褐铁矿化 (图 2i)、碳酸盐化和绿帘石化。英安岩体内发育硅质粘土蚀变带并形成网状含金石英脉。普穗蒙古矿段的金矿化显示有 3 期矿化过程，最早一期以条带状的玉髓-硅化为特征，一般不含金矿化；二期为含砷黄铁矿石英脉的再角砾化过程；三期为含矿热液充填交代作用，形成带状结构的玉髓胶结物及硫化物和贵金属共生的矿石。

## 2 样品与分析方法

### 2.1 样品

普穗蒙古、金巴克和金盆维特矿段自北而南展布于金马石，赋矿岩石包含了金马石所有类型 (图 1c)。在普穗蒙古、金盆维特和金巴克矿段选取矿石样，并从中挑选透明度较高、颜色趋于无色，且与金属矿物共生的石英磨制包裹体片。普穗蒙古 (PasirManggu) 矿段选取的样品标号为 P1、P2；金盆维特 (Cipirit) 矿段的样品标号为 CI；金巴克 (Cibak) 矿段的样品标号为 C0、C04、C05、C09、C14 (表 1)。

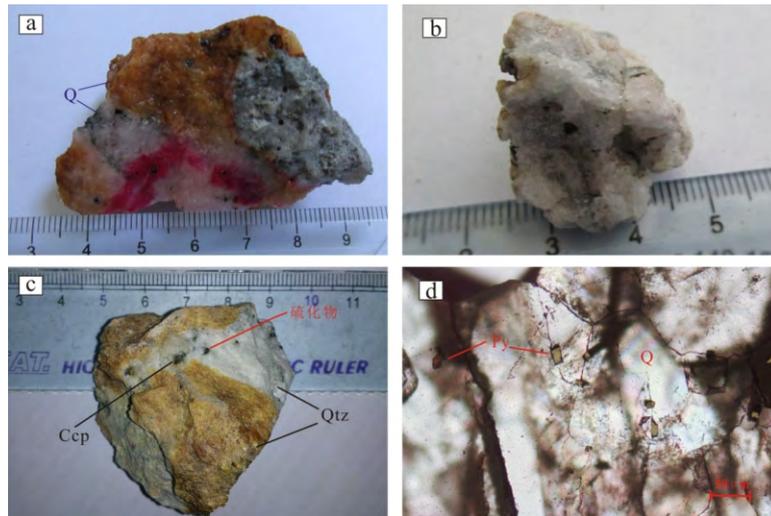
矿石中的石英主要有近无色、乳白色和土黄色 3 种 (图 3a、3b)，并有大量玉髓化。石英晶型有六方双锥和长柱状，呈三维无定向生长，且晶体较小。空间上与金属硫化物关系密切共生 (图 3c、d)。



a-石英脉型矿石; b-含矿构造角砾岩; c-石英闪长玢岩; d-细网脉状构造矿石; e-块状构造矿石; f-石英晶洞;  
g-拉长气孔构造; h-黄铁矿星散浸染状蚀变安山岩; i-斑岩接触带褐铁矿化、粘土化矿石

图 2 金马石矿床矿石手标本

Fig. 2. Specimens of ore rocks from Ciemas deposit.



a-土黄色与乳白色石英 (样品 C0); b-乳白色与近于无色石英 (样品 C1); c-黄铜矿赋存于石英中 (样品 C04); d-细粒黄铁矿赋存在石英晶内、晶内裂隙和晶体间 (C1 包裹体片的显微照片)

图 3 与金属矿物共生的石英

Fig. 3. Quartz coexist with metallic mineral.

2.2 分析技术方法

流体包裹体实验测试工作在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室流体包裹体室完成。在光学显微镜下观察双面抛光的包裹体片的岩相学特征, 再选择有代表性、成形较好的包裹体进行显微测温。

仪器型号为 Linkam THMSG 600 型冷热台, 技术参数为: 铂电阻传感器, 测温范围为-196~

600 °C, 冷冻数据和加热数据精度分别为±0.1 °C 和±2 °C [12-14]。

对于富液相气液两相包裹体, 通过加热均一到液相, 测得包裹体的均一温度<sup>[1]</sup>。通过冷冻再升温, 观察到第一块冰溶解的温度大约在-21 °C, 结合岩相观察, 表明流体是 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系; 最后一块冰的消失温度, 即得冰点温度<sup>[1]</sup>。利用测出的冰点值, 根据 Bodnar<sup>[15]</sup>的冰点温度与盐度计算公式得出水溶液包裹体的盐度。利用包裹体计算软件

MacFlincon<sup>[16]</sup>, 在 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系下, 选用 Brown 和 Lamb<sup>[17]</sup>计算公式算出流体密度。根据刘斌等<sup>[18]</sup>提出的等容式, 利用流体包裹体均一温度和盐度值计算成矿流体的压力。包裹体数据的统计直方图和散点图处理利用 Geokit 软件<sup>[19]</sup>完成。

### 3 流体包裹体分析结果

实验共观察了 8 件样品近 200 个包裹体, 其中, 测得包裹体均一温度值 169 个, 测得包裹体盐度值 102 个, 测试结果见表 1。

#### 3.1 岩相学特征

光学显微镜下观察, 石英流体包裹体的类型较简单, 根据包裹体室温下相态, 可分为气液两相包裹体和纯液相包裹体, 气液两相包裹体占绝大多数, 缺乏含 CO<sub>2</sub> 包裹体和含子矿物包裹体。气液两相包裹体都是富液相两相包裹体, 室温下有液相水溶液 (L) 和气相 (G) 两相, 且液相充填度多在 70%~85%。液相的充填度变化不是很大, 未见有明显的沸腾包裹体特征。包裹体分布不均, 呈线状分布、群聚状和孤立状及线状交叉分布等, 包裹体线状分布带没有穿过石英晶体, 可推断包裹体为原生包裹体和假次生包裹体。单个包裹体形状多不规则, 规则者呈负晶形、椭圆

形或三角形。大小差异很大, 从小于 5 μm 到大于 35 μm, 以个体较小者 (<15 μm) 居多。

从单个矿段的石英包裹体来看, 普德蒙古矿段石英包裹体的类型简单, 主要有气液两相和极少数纯液相包裹体, 个别两相包裹体的气泡在常温下跳动, 缺乏含 CO<sub>2</sub> 包裹体和含子矿物包裹体。包裹体分布不均, 有呈线状分布、群聚状和孤立状等。个别包裹体形状规则呈椭圆形、负晶形 (图 4a), 但多不规则 (图 4b、c)。大小差异很大。金盆维特矿段几乎全为富含液相的气液两相包裹体, 缺乏含 CO<sub>2</sub> 包裹体和含子矿物包裹体。包裹体分布不均, 有呈线状分布、群聚状等。形状少有规则者, 规则者呈未完全负晶形 (图 4d), 不规则者可呈近等腰梯形 (图 4e、f) 等。大小差异很大, 较小者 (<10 μm) 居多。金巴克矿段石英包裹体的类型除了富含液相的气液两相包裹体 (图 4i), 还有数目可观的纯液相包裹体 (图 4j), 部分两相包裹体的气泡在常温下跳动 (图 4g)。仍缺乏含 CO<sub>2</sub> 包裹体和含子矿物包裹体。包裹体分布也无规律, 分布形式呈线状 (图 4l)、交叉状、群聚状和孤立状等。形状以不规则者居多, 但有部分呈椭圆、豆状、三角形 (图 4h) 或负晶形。大小差异很大 (图 4k), 有少数较大者 (>20 μm)。

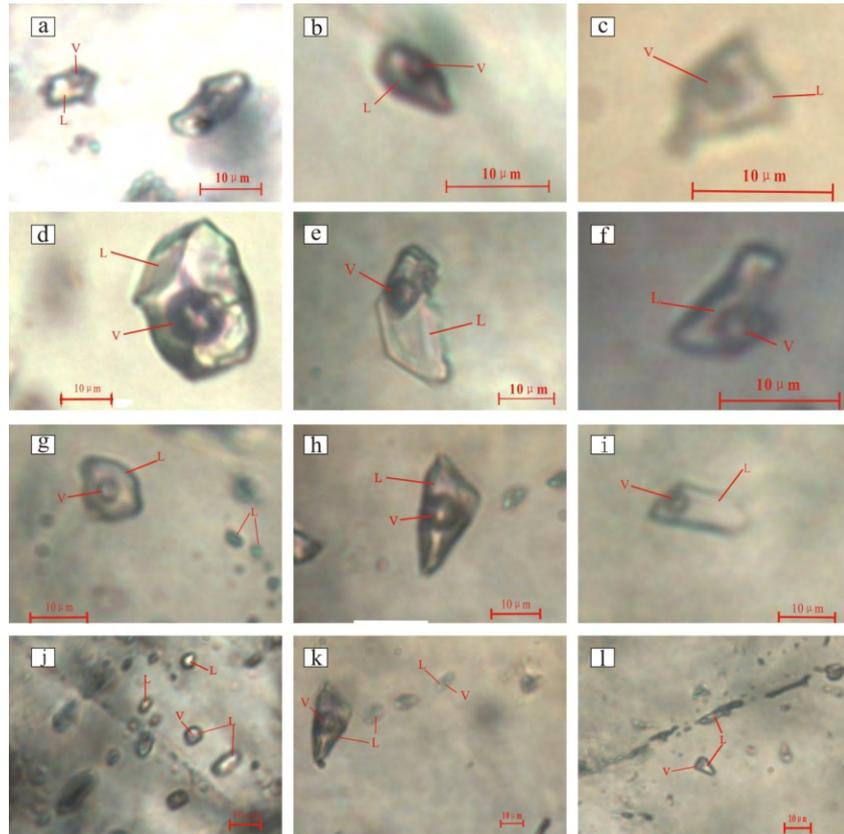
表 1 金马石金矿床石英流体包裹体显微测温结果

Table 1. Data of quartz fluid inclusions from Ciemas gold deposit

样品编号	矿石描述	包裹体大小/μm	液相充填度/%	均一温度/°C	
				范围	平均值
P1	含矿角砾岩	3~41	80~96	230.8~313.4	279.4(18)
P2	含矿氧化角砾岩	3~43	76~92	285.4~350.8 (除去一极大值 425.0)	303.3(16)
CI	含矿褐铁矿化、粘土化斑岩	4~33	76~96	237.8~332.5 (除去一极大值大于 450)	289.2(32)
C0	含矿石英岩	4~36	78~95	194.0~354.0	281.6(23)
C04	烟灰色硅质岩	3~35	85~97	146.8~411.0	264.1(19)
C05	黄铁矿硅质岩	3~28	75~93	256.5~431.7	304.2(20)
C09	蚀变花岗岩	4~28	60~97	168.0~447.0	299.6(24)
C14	含矿石英岩	3~28	80~96	247.0~346.7	294.9(17)

样品编号	矿石描述	冰点温度/°C	盐度/%		流体密度/(g/cm <sup>3</sup> )	压力/MPa
			范围	平均值		
P1	含矿角砾岩	-13.5~-11.5	15.47~17.34	16.32(12)	0.874~0.961	12.2~21.0
P2	含矿氧化角砾岩	-13.5~-10.9	14.87~17.34	15.87(10)	0.876~0.914	9.0~32.6
CI	含矿褐铁矿化、粘土化斑岩	-14.0~-10.9	14.87~17.79	16.13(11)	0.897~0.947	5.0~19.5
C0	含矿石英岩	-11.4~-7.2	10.73~15.37	12.95(17)	0.792~0.985	12.1~46.8
C04	烟灰色硅质岩	-12.7~-7.3	10.86~16.62	13.78(13)	0.646~0.999	4.1~28.1
C05	黄铁矿硅质岩	-13.9~-11.5	15.47~17.70	16.26(14)	0.702~0.934	19.6~33.1
C09	蚀变花岗岩	-13.0~-8.9	12.73~16.89	14.96(15)	0.676~0.972	2.3~28.0
C14	含矿石英岩	-12.2~-10.4	14.36~16.15	15.23(10)	0.859~0.935	4.1~35.1



a-较小的负晶形包裹体 (左侧的), 来自 P1; b-较小规则包裹体, 来自 P2; c-不规则包裹体 (L>90), 来自 P2; d-未完全负晶形包裹体, 来自 CI; e-较大不规则近梯形包裹体, 来自 CI; f-较小不规则包裹体, 来自 CI; g-常温下跳动包裹体, 来自 C05; h-三角形包裹体, 来自 C09; i-富液相两相包裹体, 来自 C04; j-纯液相包裹体, 来自 C09; k-大小差异显著的包裹体群, 来自 C04; l-线状分布的包裹体, 来自 C05

图 4 金马石金矿床石英流体包裹体形态与分布

Fig. 4. Morphology and distribution of fluid inclusions in quartz from Ciemas gold deposit.

### 3.2 均一温度

3 个矿段的石英包裹体共测得 169 个均一温度。其中普穗蒙古矿段测得均一温度值 35 个, 除去一个极大值 425.0 °C, 均一温度值范围为 230.8~350.8 °C, 多集中在 240~320 °C, 平均值为 290.65 °C, 温度变化范围不大 (图 5a)。金盆维特矿段测得包裹体均一温度 33 个, 除去一个极大值 435.0 °C, 均一温度值变化于 237.8~332.5 °C, 多集中在 260~320 °C, 平均值为 287.83 °C, 温度范围相对集中 (图 5b)。金巴克矿段共测得均一温度 101 个, 均一温度值变化于 146.8~447 °C, 峰值温度在 280~320 °C, 范围变化较大, 但平均值 289.29 °C 与上述 2 个矿段接近 (图 5c)。其统计直方图呈现单峰式, 较低温度 (小于 300 °C) 和较高温度 (大于 300 °C) 都具有一定规模, 可能都处于成矿期。

统计结果表明, 169 个均一温度值变化于 146.8~447.0 °C, 峰值温度在 240~320 °C, 平均

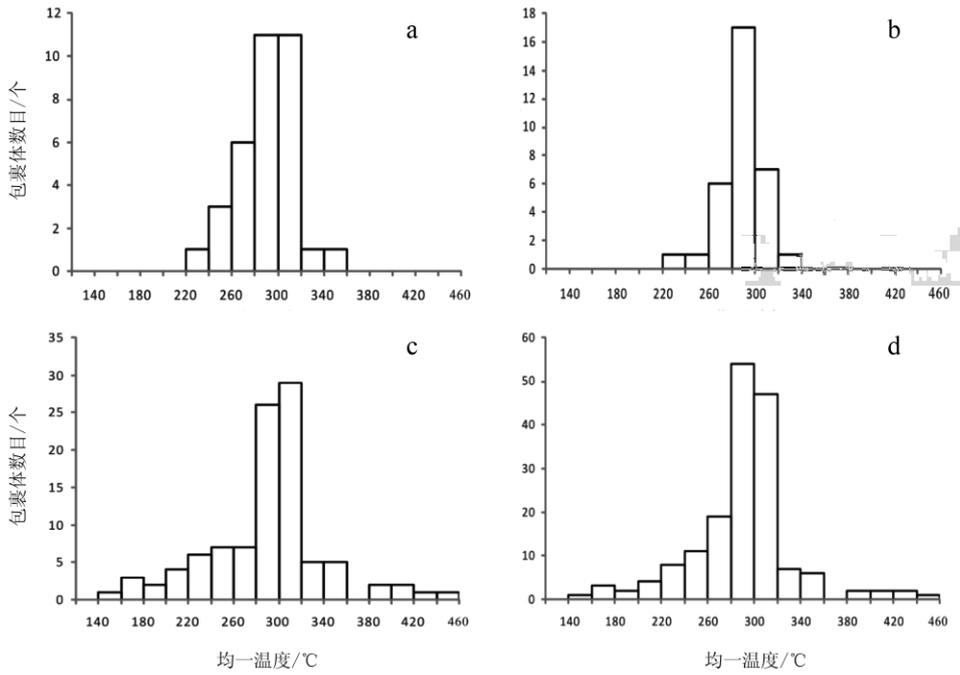
290.38 °C, 直方图呈单峰式 (图 5d)。金马石金矿床的石英流体包裹体总体属于中低温, 偶见中高温流体包裹体, 显示了具有岩浆热液的信息。

### 3.3 盐度

普穗蒙古矿段测得冰点温度-13.5~-10.9 °C, 对应的盐度为 14.87%~17.34%, 盐度值在各个数学区间比较均一, 较多集中在 15.25%~16.35%; 金盆维特矿段测得冰点温度-13.5~-10.9 °C, 对应的盐度为 14.87%~17.79%, 盐度值集中在 14.86%~15.28%; 金巴克矿段测得冰点温度-14.0~-7.2 °C, 对应的盐度为 10.73%~17.70%, 盐度变化比较分散, 较多集中在 13.71%~16.71%。

综合 3 个矿段来看, 包裹体盐度范围为 10.73%~17.79%, 主要集中在 14.0%~17.0% (图 6a)。金马石金矿床的流体总体属于低中盐度。

均一温度-盐度散点图 (图 6b) 表明, 金巴克矿段温度和盐度值的变化范围几乎完全覆盖



a-普穗蒙古矿段; b-金盆维特矿段; c-金巴克矿段; d-3个矿段综合

图5 包裹体均一温度统计直方图

Fig. 5. Histogram for homogenization temperatures of fluid inclusions.

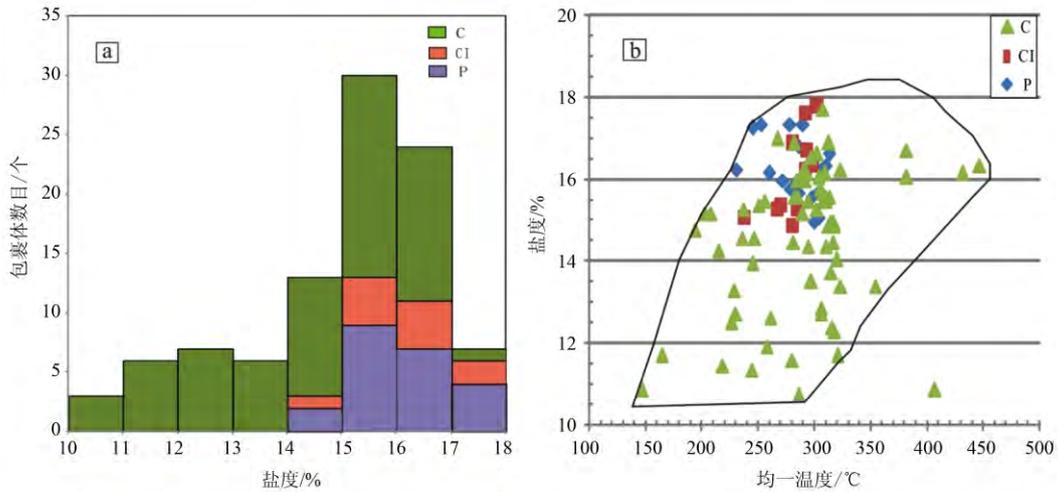


图6 包裹体盐度统计图 (a) 和均一温度-盐度散点图 (b)

Fig. 6. Histogram for salinities of inclusions (a) and scatter plot of homogenization temperatures-salinities (b).

了前2个矿段,可能是经历了更宽广的成矿时期。总体上,包裹体盐度值随着温度值升高而升高,说明高温流体含有较高的盐度。

### 3.4 流体密度、压力、成矿深度和 pH

共计算获得101个石英包裹体流体密度值。其中,普穗蒙古矿段(21个)的密度值为0.874~0.961 g/cm<sup>3</sup>;金盆维特矿段(11个)的密度值为0.897~0.947 g/cm<sup>3</sup>;金巴克矿段(69个)的流体密度值为0.646~0.999 g/cm<sup>3</sup>,该矿段流体密

度值<0.850 g/cm<sup>3</sup>的包裹体仅有11个。总体上,3个矿段的流体密度值集中在0.850~0.950 g/cm<sup>3</sup>,只有金巴克矿段出现了较低的流体密度值(图7)。普惠蒙古矿段成矿流体的压力值介于9.0~32.6 MPa;金盆维特矿段成矿流体的压力值介于5.0~19.5 MPa;金巴克矿段成矿流体的压力值介于4.1~46.8 MPa。假设以27 MPa/km的增压率来算<sup>[15]</sup>,3个矿段的形成深度分别为330~1210、180~640、150~1730 m,为浅成形成环境。

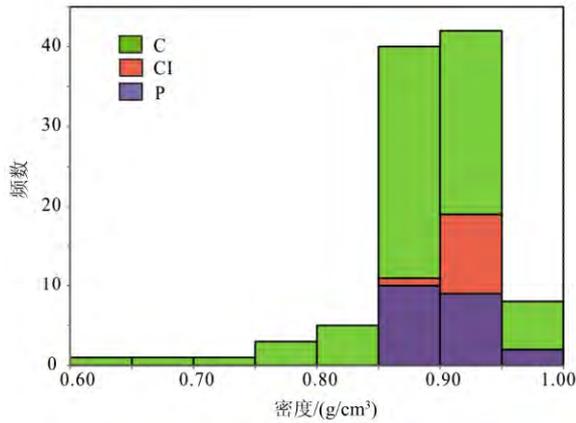


图 7 包裹体流体密度统计图  
Fig. 7. Histogram for fluid densities of fluid inclusions.

## 4 讨论

### 4.1 流体包裹体对矿床类型的指示

普穗蒙古矿段与金盆维特矿段的石英包裹体(表 1)的均一温度 230~350 °C, 盐度 14.87%~17.79%, 具有较高的温度和盐度; 金巴克矿段的包裹体均一温度、盐度、流体密度、成矿压力值变化范围相比于前两者较大(表 1), 可能因为其位于前两个矿段之间经历了更广泛的成矿阶段。但总体上 3 个矿段都具有中、低温和成矿浅的特征。

根据经验, 若流体包裹体气相占比少于 50%, 则表明是在热液条件下形成, 指示为一般的热液矿床<sup>[20]</sup>。浅成低温热液型金矿的流体包裹体以组合极为简单, 主要发育水溶液包裹体, 缺乏含 CO<sub>2</sub> 包裹体为特征<sup>[20]</sup>。研究区的石英包裹体组合极为简单, 都具有富液相的气液两相包裹体, 缺乏 CO<sub>2</sub> 包裹体, 反映了浅成低温热液型金矿床的包裹体特点。然而, 相比于一些典型的浅成低温热液矿床的水溶液包裹体<sup>[21-22]</sup>, 它们具有较高的均一温度和较大的盐度(表 1)。尤其是与西爪哇地区其他几个低硫型浅成低温热液型金矿床<sup>[6-7,23-24]</sup>的流体包裹体(表 2)相比, 温度和盐度值差别较大, 未见有明显的沸腾包裹体特征, 似乎不具有低硫型浅成低温热液型金矿床特点, 而是相当于

一些典型的高硫型浅成热液矿床和斑岩型矿床。

一般来讲, 低硫型浅成热液矿床的成矿流体以大气降水为主<sup>[25-26]</sup>, 常常含有沸腾包裹体, 盐度常小于 3.5%, 成矿温度为 200~300 °C, 形成深度从小于 400 m 到 600 m 左右<sup>[27,28]</sup>; 高硫型浅成热液矿床的成矿溶液较多的由岩浆热液参与, 由酸性流体淋滤形成, 温度变化范围较宽, 可以从 100 °C 到大于 400 °C, 盐度通常小于 5%。但也有不少高硫型矿床的含矿流体盐度大于 5%, 如西班牙阿尔马利亚地区的帕莱-伊斯里卡(Palai-Islica) Au-Cu 矿床<sup>[29]</sup>, 均一温度为 224~381 °C, 盐度为 0.4%~41.1%; 紫金山浅成低温-斑岩型金矿床<sup>[30]</sup>的盐度也有高达 20%。Camprubi 和 Albinson<sup>[31]</sup>总结了墨西哥浅成低温热液型矿床, 以流体作用为主的低硫型矿化温度一般小于 240 °C, 盐度 3.5%~7.5%; 而中(高)硫矿化流体温度在 230~300 °C, 表现出更高的盐度 7.5%~23%。斑岩型矿床与浅成低温热液型矿床之间不仅在时空和成因上有密切联系, 而且反映在包裹体特征上(尤其是高硫型)也有交叉性和连续性(斑岩型比浅成低温热液型温度更高、盐度更大)。因此, 很多学者提出了斑岩-(高)硫型浅成低温热液型成矿体系<sup>[30,32-35]</sup>。金马石流体包裹体更接近高硫型浅成低温热液型矿床的特点, 可能反映了一个斑岩-(高)硫型浅成低温热液型成矿系统的上部特征。

### 4.2 Au 沉淀机制及流体演化

金马石金矿床石英流体包裹体气液相比变化不大, 不具有明显的沸腾特点; 包裹体盐度随均一温度升高而变大(图 6b), 说明盐分主要由热流体贡献, 流体混合机制可能是 Au 沉淀主要原因。高硫化型矿床主要形成于挤压应力场环境<sup>[36]</sup>, 流体混合导致矿物质沉淀<sup>[29]</sup>, 而低硫化型矿床主要产于张性或中性环境下<sup>[36]</sup>由流体的沸腾作用形成<sup>[37,38]</sup>, 这与本矿床特征及上节讨论结果相符。由此可知, 在成矿作用过程中两种以上流体混合, 引起化学梯度急剧变化, 从而含金等硫化物快速成核沉淀。

表 2 西爪哇地区其他浅成低温热液型金矿床包裹体的温度和盐度

Table 2. Homogenization temperatures and salinities of inclusions from other epithermal gold deposits in West Java

矿床	成因类型	均一温度/°C	盐度/%	数据来源
Cikidang	低硫型	170~260	<3	文献[5]
Gunung Pongkor		150~382	1~2	文献[6]
Cirotan	低硫型	235~255	2.89~7.15	文献[21]
Cigaru (Jampang 地区)	低硫型	280~302	5.4~7.5	文献[22]

新生代以来的印-澳板块北向俯冲欧亚板块引起西瓜哇地区火山岩浆作用<sup>[7,39]</sup>。晚渐新世一早中新世瓜哇地区火山作用突发增强<sup>[40]</sup>，金马石侵入岩的锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $18.1\pm 0.3\text{ Ma}$  到  $18.5\pm 0.4\text{ Ma}$ <sup>[41]</sup>，那么金马石金矿的形成可能与晚渐新世一早中新世的火山岩浆活动有关。

Gammons 和 Willams<sup>[42]</sup>根据单一岩浆流体实验提出的斑岩-浅成低温热环境下金的运移过程：认为离开斑岩体的岩浆流体发生沸腾作用，分离出的含 Au 稠密卤水下沉形成斑岩金铜矿，富  $\text{H}_2\text{S}$  大气水具有很强的溶解和活化斑岩 Au 特性。Pokrovski 等<sup>[43]</sup>试验模拟也证明含硫体系中，S 浓度越大的气水相越能吸引 Au。结合前人研究成果和本文实验结果推测金马石金矿的流体演化成矿过程如下：

晚渐新世一早中新世，大量的岩浆上侵，引起地表火山作用。在较深层位（斑岩区）部分岩浆结晶，酸性岩浆流体从中分离并继续向上运移。刚离开斑岩区的热液系统转变为较开放环境，引起流体减压沸腾而分离出 2 种流体：一种富含 Au 等金属的稠密卤水，Au 主要以  $\text{AuCl}_2^-$  形式溶解，且流体中 Au 是欠饱和；另一种贫金属低盐度气相流体，包含着大量气态  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2\text{S}$ 。伴随着沸腾，部分稠密卤水由于密度较高在母岩侵入体附近下沉并与深部外来流体混溶，降温、稀释和 pH 的改变促使 Au 等金属沉淀而形成斑岩型金铜矿；剩余的含 Au 稠密卤水和富  $\text{H}_2\text{S}$  气相流体继续上升。但气相流体速度快而优先进入浅成低温区，部分富  $\text{H}_2\text{S}$  气相流引起上覆岩石发生绢英化和黄铁矿化；部分富  $\text{H}_2\text{S}$  气相遇到冷的大气水，冷凝进入其中而形成了低盐度富  $\text{H}_2\text{S}$  大气水，同时引起附近岩石高级粘土化。当水饱和的熔体回落更深层位时，加热的富  $\text{H}_2\text{S}$  大气水下渗并以  $\text{Au}(\text{HS})_2$  形式溶解和再活化斑岩体中 Au，同时产生广泛的绢英化。活化了斑岩 Au 的大气降水、含 Au 等金属的稠密卤水被热流推动上升至浅成低温区。这两种流体和冷大气水、少部分未溶解的气体大规模混合，产生了中低盐度（10%~17%）、中低温（150~350 °C）流体。同时，富含 Au 卤水中  $\text{AuCl}_2^-$  转变为  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ ，流体混合作用引起的 pH 升高，降温和稀释等致使 Au 沉淀

（图 8）。持续的岩浆流体演化及矿质沉淀，最终形成了金马石（Ciemas）金矿床。

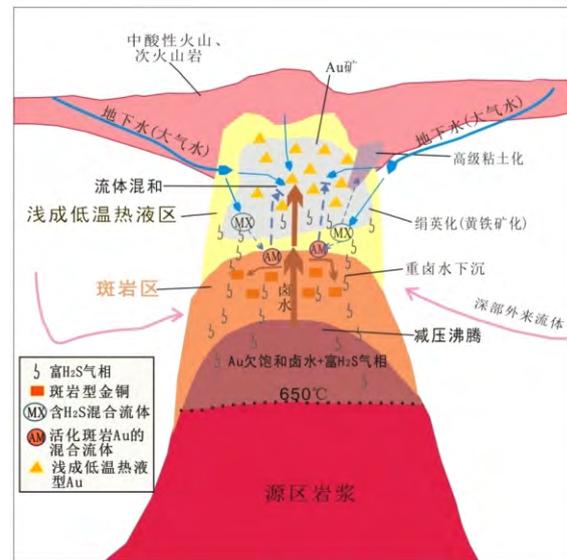


图 8 金马石矿床成矿流体 Au 沉淀机理  
(据文献<sup>[42, 44]</sup>改编)

Fig. 8. Schematic diagrams for Au precipitation of ore-forming fluid, Ciemas deposit.

## 5 结论

普穗蒙古、金盆维特和金巴克矿段石英流体包裹体都具有中低温、中低盐度和成矿浅的特征，反映了金马石金矿的流体包裹体具有高硫型浅成低温热液型金矿的特点。流体混合作用是金马石矿物质沉淀的最主要作用。印-澳板块俯冲碰撞欧亚板块致使西瓜哇地区发生火山岩浆作用，晚渐新世-早中新世，西瓜哇火山岩浆作用突发增大为成矿成矿提供充足动力。后期的岩浆流体在浅部斑岩区经过沸腾作用，分离出含矿卤水和富  $\text{H}_2\text{S}$  气相流体，含矿卤水折沉形成少量的 Au 矿；活化了斑岩体 Au 的富  $\text{H}_2\text{S}$  的大气水，在浅成低温区与含矿卤水、冷的大气水发生流体混合作用，致使 Au 溶解度降低而沉淀成矿。那么暗示从北部金盆维特或深部到南部普穗蒙古可能为一个斑岩-（高硫型）浅成低温热液型成矿系统。

**致谢：**感谢卢焕章教授给予的中肯建议和讨论，感谢博士生鲍谈在实验和讨论上的帮助。

## 参考文献:

- [1] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-487.
- [2] 池国祥, 赖健清. 流体包裹体在矿床研究中的作用[J]. 矿床地质, 2009, 28(6): 850-855.
- [3] Wilkinson J J. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits [J]. *Lithos*, 2001, 55(1): 229-272.
- [4] 倪培, 范宏瑞, 丁俊英. 流体包裹体研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 1: 1-5.
- [5] 徐晓璐, 高建国, 张利军. 印度尼西亚西爪哇内格拉萨金矿区古成矿流体研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(9): 2004-2007.
- [6] Rosana Mega F, Matsueda Hiroharu. Cikidang hydrothermal gold deposit in Western Java, Indonesia [J]. *Resource Geology*, 2002, 52(4): 341-352.
- [7] Marcoux E, Milsis J P. Epithermal gold deposits in West Java, Indonesia: geology, age and crustal source [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 50(1): 393-408.
- [8] 王承书. 东南亚的活动俯冲和碰撞[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 92-112.
- [9] Sukamto R. *Geological Map of the Jampang and Balekambang Quadrangles, Java (Quadrangles 9-XIV-A, 8-XIV-C) Scale 1:100000* [M]. Bandung: Geological Research and Development Center, 1975.
- [10] Marcoux E, Milesi J P, Sohearto S, et al. Noteworthy mineralogy of the Au-Ag-Sn-W(Bi) epithermal ore deposit of Cirotan, West Java, Indonesia [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1993, 31(3): 727-744.
- [11] Jonathan N M. *Ciemas Prospect West Java, Indonesia Geological Evaluation Study* [R]. Jakarta, 2007.
- [12] 顾雪祥, 李保华, 付绍洪, 等. 右江盆地含油气流体的物理化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 3: 214-217.
- [13] 冯光英, 刘燊, 彭建堂, 等. 新疆塔木—卡兰古铅锌矿带流体包裹体特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(3): 406-414.
- [14] 王守旭, 张兴春, 秦朝建, 等. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿流体包裹体初步研究[J]. 地球化学, 2007, 36(5): 467-478.
- [15] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solution [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57(3): 683-684.
- [16] Brown P E. Fincor: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data [J]. *American Mineralogist*, 1989, 74(12): 1390-1393.
- [17] Brown P E, Lamb W M. P-V-T properties of fluids in the system H<sub>2</sub>O±CO<sub>2</sub>±NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(6): 1209-1221.
- [18] 刘斌, 段光贤. NaCl-H<sub>2</sub>O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
- [19] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
- [20] 王奎仁. 地球与宇宙成因矿物学[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1989: 1-554.
- [21] White N C, Hedenquist J W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration [J]. *SEG Newsletter*, 1995, 23(1): 1-9.
- [22] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 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.
- [23] Milesi J P, Marcoux E, Sitorus T, et al.. Pongkor (West Java, Indonesia): A pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit [J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34(2): 131-149.
- [24] Saing S, Syafrizal S, Suryantini S, et al. Mineralization in Jampang district for small scale mining, Indonesia [A]. Proceedings of the Geological Society of America Abstracts with Programs, 2013.
- [25] Bonham J R, Harold F. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review [C]. Proceedings of The International Volcanological Congress, Symposium, France, 1986.
- [26] Heald P, Foley N K, Hayba D O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types [J]. *Economic Geology*, 1987, 82(1): 1-26.
- [27] 胡朋, 赫英, 张义, 等. 浅成低温热液金矿床研究进展[J]. 黄金地质, 2004, 10(1): 48-54.
- [28] 陈根文, 夏斌, 肖振宇, 等. 浅成低温热液矿床特征及在我国的找矿方向[J]. 地质与资源, 2001, 10(3): 165-171.
- [29] Carrillo Rosua, F J, Morales R S, Boyce A J, et al.. High and intermediate sulphidation environment in the same hydrothermal deposit: the example of Au-Cu Palai-Islica deposit, Carbonera (Almeria) [A]. Eliopoulos D G. eds. *Mineral Exploration and Sustainable Development* [C]. Netherlands: Millpress, Athens, Greece, Proceedings of the Seventh Biennial SGA Meeting, 2003.
- [30] 黄仁生. 福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温热液-斑岩铜金银成矿系统[J]. 地质力学学报, 2008, 14(1): 74-86.
- [31] Camprub A, Albinson T. Epithermal deposits in México—Update of current knowledge, and an empirical reclassification [J]. *Geological Society of America*, 2007, 422: 377-415.
- [32] 李国文. 浅成低温热液型金矿成矿流体特征[J]. 西部资源, 2012, 2: 108-109.
- [33] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1997, 44(3): 373-88.
- [34] 缪宇, 秦克章, 李金祥, 李光明. 高硫型浅成低温热液金(铜)矿与斑岩铜矿---成因联系与互为指示标志[A]. 中国科学院地质与地球物理研究所 2006 年论文摘要集. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2007.
- [35] 毛景文, 张建东, 郭春丽. 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌-远接触带热液金矿床模型-一个新的矿床模型-以德兴地区为例[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(1): 1-14.
- [36] Kojima S. Some aspects regarding the tectonic setting of high-and low-sulfidation epithermal gold deposits of chile [J]. *Resource Geology*, 1999, 49(3): 175-181.

- [37] 江思宏, 聂凤军, 张义, 等. 浅成低温热液型金矿床研究最新进展[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 401-411.
- [38] Scott A M, Watanabe Y. "Extreme boiling" model for variable salinity of the Hokko low-sulfidation epithermal Au prospect, southwestern Hokkaido, Japan [J]. *Mineralium Deposita*, 1998, 33(6): 568-578.
- [39] Basuki A, Aditya S D, Sinambela D. The Gunung Pongkor gold-silver deposit, West Java, Indonesia [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 50(1): 371-391.
- [40] Clements B, Hall R. Cretaceous to Late Miocene stratigraphic and tectonic evolution of West Java [A]. Indonesian Petroleum Association, 31st Annual Convention, 2007.
- [41] Wu Cheng-Quan, Zhang Zheng-Wei, Zheng Chao-Fei, Yao Jun-Hua. Mid-Miocene (~17 Ma) quartz diorite porphyry in Ciemas, West Java, Indonesia, and its geological significance [J]. *International Geology Review*, 2014.
- [42] Gammons C H, Williams J A. Chemical mobility of gold in the porphyry-epithermal environment [J]. *Economic Geology*, 1997, 92(1): 45-59.
- [43] Pokrovski G S, Borisova A Y, Harrichoury J C. The effect of sulfur on vapor-liquid fractionation of metals in hydrothermal systems [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 266(3): 345-362.
- [44] Heinrich C A. The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: A thermodynamic study [J]. *Mineralium Deposita*, 2005, 39(8): 864-889.

## Study of Fluid Inclusions and its Indication of the Genetic Type and Gold Precipitation of the Ciemas Gold Deposit, Indonesia

ZHENG Chao-fei<sup>1,2</sup>, ZHANG Zheng-wei<sup>1</sup>, WU Cheng-quan<sup>1,2</sup>, YAO Jun-hua<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Petrographic observation and microthermometric measurement of quartz inclusions from the Pasir Manggu, Cibak and Cipirit ore blocks from Ciemas, Indonesia, allow for the following conclusions to be drawn: inclusions are mainly liquid-rich two phase inclusions, incorporating a NaCl-H<sub>2</sub>O fluid system, with homogenization temperatures occurring mainly between 240 to 320 °C and salinities clustering between 14%—17% NaCl eqv. The fluid densities calculated from former data are 0.85—0.95 g/cm<sup>3</sup>. The fluid pressure ranges from 4.1 MPa to 46.8 MPa, indicating a relevant ore-forming depth of 150—1730 m and revealing a generally epithermal deposit. According to the geological characteristics and the quartz inclusions, we speculate that the Ciemas gold deposit is a high-sulfidation epithermal deposit. It may belong to a porphyry-(high-sulfidation) epithermal metallogenic system where the mechanism of gold precipitation is the result of a mixing of different ore-forming fluids.

**Key words:** fluid inclusions; epithermal gold deposit; fluid mixing; Ciemas gold deposit; Indonesia