

四川拉拉铜矿流体包裹体拉曼光谱特征及其地质意义

李波¹, 唐慧², 罗丽萍³, 陈良¹, 吴锦¹

(1. 凉山矿业股份有限公司, 四川 会理 615100; 2. 成都理工大学, 四川 成都 6100592; 3. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 本文通过对拉拉铜矿流体包裹体拉曼光谱分析, 发现拉拉铜矿流体包裹体类型具有多样性, 既有单相纯气相或纯液相、富气相、富液相、含子晶多相包裹体存在, 也有流体-熔体包裹体存在。流体包裹体气相成分中, 不限于以往发现的以 CO₂ 为主的包裹体成分, 也有以 N₂、CH₄ 或者三者混合为主。流体包裹体子矿物中不仅限于卤化物子晶, 还发现了方解石及赤铁矿子晶。总之, 拉拉铜矿流体包裹体拉曼光谱特征显示拉拉铜矿成矿流体具有多期次、来源复杂的特点。

关键词: 拉拉铜矿; 流体包裹体; 拉曼光谱

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.01.008

中图分类号: TD982 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 01-0063-08

拉拉铜矿是我国西南地区著名的大型铜矿, 自1956年开展系统地质勘查工作以来, 众多学者对该矿床进行了大量科研工作, 在矿物学、成矿时代、矿床类型及成矿机制等方面取得成果^[1-3], 但对矿床的成因仍存在争议, 目前主要分为三类, 其一为火山沉积-变质成因铜矿床^[4-5], 其二为铁氧化物铜金矿床^[6], 其三为火山块状硫化物矿床^[7]。

在成岩、成矿过程中, 不同阶段矿物中形成的包裹体成功地记录了不同阶段、不同世代的流体特征, 而不同世代的流体, 常有着不同的温度、压力、盐度、成分和密度等特征。因此, 研究流体世代有利于了解古流体的特征、演化规律和划分成岩、成矿期次。拉拉铜矿包裹体类型主要为单相(气体或液体)包裹体、富气体包裹体、CO₂包裹体、富液体包裹体, 含盐类子晶多相包裹体等^[8-10], 偶有见熔融晶质和玻璃质包裹体^[8]。前人对其流体包裹体成分的研究主要依赖于镜下观察及群体包裹体测试^[4,11]。从九十年代起, 随着激光等离子体质谱、离子探针、质子探针、电子显微探针、激光拉曼光谱仪等新方法的引进, 流体包裹体研究进入单个流体包裹体研究阶段。为了更充分了解拉拉铜矿成矿流体性质, 本文利用原位激光拉曼光谱对拉拉铜矿单个流体包裹体进

行了进一步研究。

1 地质背景

拉拉铜矿位于扬子西缘康滇铜矿带, 矿区出露地层为古元古代河口群火山沉积岩系, 由三个火山喷发沉积旋回组成。矿体赋存在中旋回上部的火山变质岩中, 含矿岩石为黑云母石英片岩、二云石英片岩、石榴黑云石英片岩及层纹一条带状的磁铁钠长岩。矿区地层总的走向近于东西, 倾向南。沿走向和倾向有一些舒缓的波状小型褶曲, 控制着矿区内矿体的产出形态。

2 样品采集及分析方法

本次流体包裹体样品采自拉拉铜矿落岫大露天采场, 共采集标本9个(表1, 图1)。包裹体磨片主要选取富方解石或石英脉部位。经过切片、磨片、抛光、粘片、再次切片、磨抛等工序^[12], 制作成厚度为200~300 μm的薄片, 最后用丙酮浸泡, 完全除去粘片胶, 避免拉曼光谱采集时胶的荧光影响。

实验在中国地质科学院矿产综合利用研究所激光拉曼实验室完成, 拉曼光谱采集所采用的仪器是XploRA PLUS激光拉曼光谱仪, CCD信号检

收稿日期: 2022-08-15

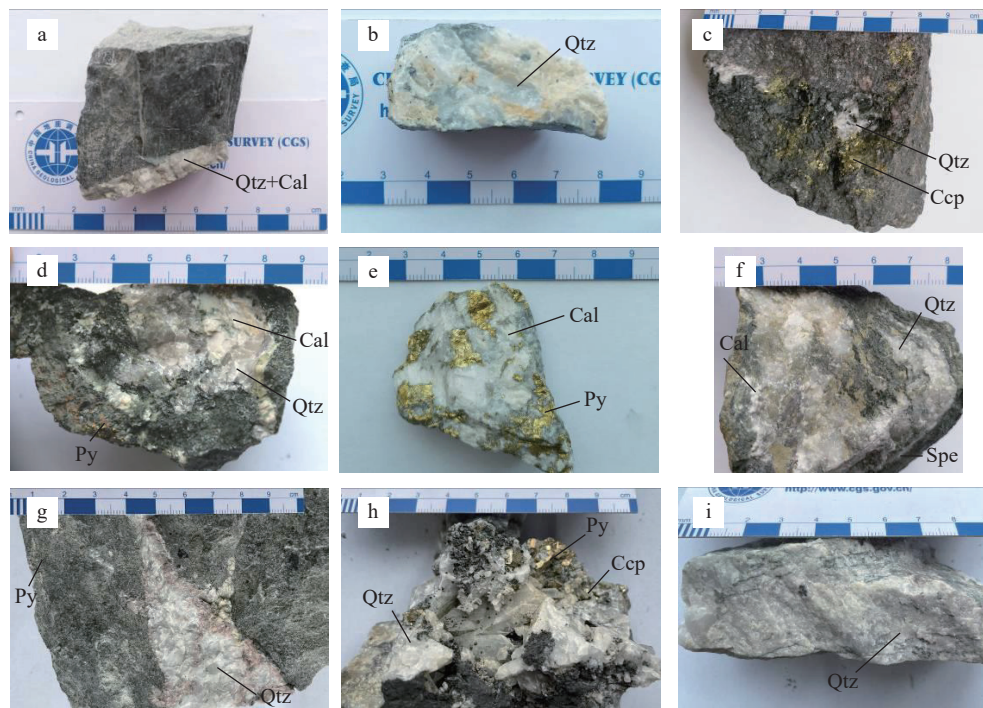
基金项目: 凉山矿业股份有限公司科技计划项目(202213); 国家自然科学基金(42072108)

作者简介: 李波(1987-), 男, 工程师, 从事地质找矿和矿山管理。

通信作者: 罗丽萍(1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事流体包裹体及拉曼光谱应用研究。

表 1 拉拉铜矿流体包裹体测试样品
Table 1 Samples of fluid inclusion from the Lala copper deposit

序号	样品编号	采样地点	包裹体制片部位	岩矿石类型
1	SH028-1	露天采场	石英-方解石脉	块状辉绿岩
2	SH028-2	露天采场	石英脉	顺层石英脉（未见矿化）
3	LL2101	露天采场	石英脉	块状黄铜矿
4	210109-3	1938平台3号矿体	石英-方解石脉	浸染状黄铁矿
5	210109-9	1938平台2号矿体	方解石脉	脉体中发育黄铁矿
6	210109-20	2058平台	石英-方解石脉	镜铁矿
7	DLT-4-1	4号矿体	石英脉	浸染状黄铁矿
8	DLT-4-10	4号矿体	石英脉	含黄铁矿、黄铜矿矿石
9	LL02-4	1938平台2号矿体	石英脉	钠长岩



a. 辉绿岩中石英方解石脉; b. 石英脉; c. 块状黄铜矿; d. 浸染状黄铁矿; e. 方解石脉中黄铁矿; f. 镜铁矿中石英方解石脉; g. 浸染状黄铁矿中石英脉; h. 石英脉中黄铁矿、黄铜矿; i. 钠长岩; 矿物缩写: Qtz. 石英; Cal. 方解石; Py. 黄铁矿; Ccp. 黄铜矿; Spe. 镜铁矿

a. quartz-calcite vein in diabase; b. quartz vein; c. massive chalcopyrite; d. Disseminated pyrite; e. pyrite in calcite vein; f. quartz-calcite vein in specularite; g. quartz vein in Disseminated pyrite; h. pyrite and chalcopyrite in quartz vein; i. albitite

图 1 包裹体测试样品标本

Fig.1 Samples for fluid inclusion from the Lala copper deposit

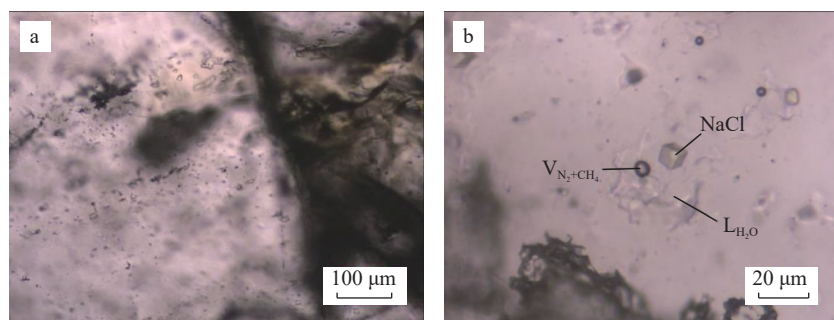
测系统,灵敏度高,单晶硅三界峰优于 20:1,光谱分辨率约 $1\sim 2\text{ cm}^{-1}$ 。该仪器采用显微共焦系统,针孔共焦,横向空间分辨率好于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$,纵向空间分辨率好于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。实验所用激光光源波长为 532 nm ,共焦孔为 $100\text{ }\mu\text{m}$,狭缝 $300\text{ }\mu\text{m}$,积分时间为 5 s ,积分次数为 5 次,实验环境温度为 20°C ,湿度 40%。

3 结果与讨论

3.1 包裹体岩相学特征

经显微镜下观察发现,本批次样品包裹体主

要赋存于石英和萤石矿物中。其中 210109-9 号样品中,包裹体寄主矿物主要为萤石,包裹体含量较多,大小主要为 $5\sim 40\text{ }\mu\text{m}$,个别可达 $50\sim 60\text{ }\mu\text{m}$,形态极不规则,主要呈串状及团状产出(图 2a)。子晶呈立方体产出,镜下为淡黄色,具有典型 NaCl 固定特征(表 2、图 2b)。其他样品中,包裹体主要呈团状或带状分布,大小不一,小到 $1\text{ }\mu\text{m}$,大到超过 $20\text{ }\mu\text{m}$,但主要集中在 $<5\text{ }\mu\text{m}$,超过 $5\text{ }\mu\text{m}$ 大小的包裹体占包裹体总数不到 5%。包裹体形态方面主要为椭圆型和不规则型,个体较小的包裹体主要为椭圆型,形态较圆



a. 包裹体呈串状分布; b. 气-液-固三相包裹体, V 表示气相, 成分为氮气与甲烷组合, L 表示液相, 成分为水, 固相成为为石盐
a. inclusions distribute in series; b. V-L-S-type inclusion, vapour (V) contains nitrogen and methane, liquid (L) contains water, solid contains halite

图2 萤石矿物中包裹体镜下特征

Fig.2 Microscopic features of inclusions in fluorite minerals

表2 包裹体主要类型及拉曼成分

Table 2 Main types and Raman components of inclusions

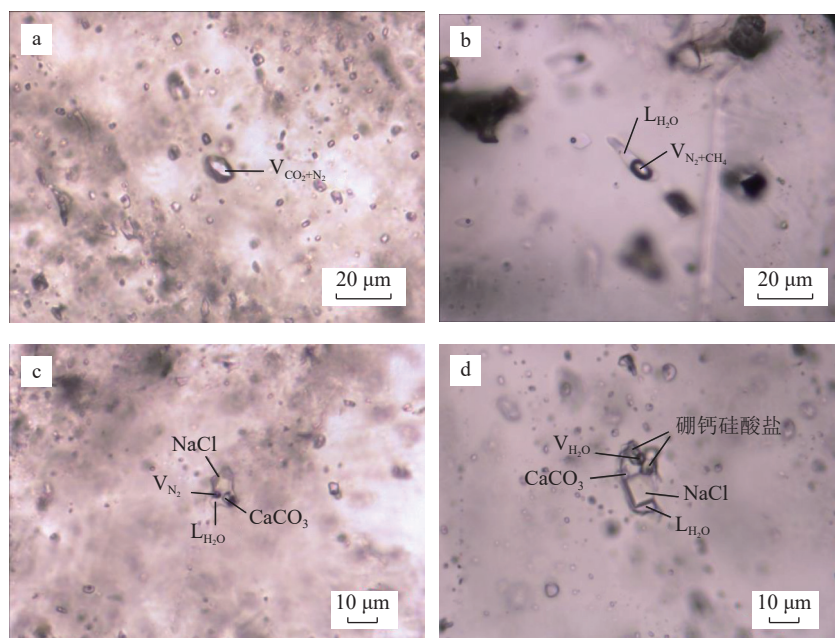
序号	样品编号	主矿物	包裹体类型	拉曼成分	说明
1	SH028-1	石英	气-液两相	H ₂ O-H ₂ O	气液比大致相当, 液相比例大于70%
2	SH028-2	石英	液相	CH ₄ -CO ₂	CH ₄ 含量较低, 气液比变化大, 液相比例10%~90%
			气-液两相	CH ₄ -H ₂ O	
			气-液-液三相	CH ₄ -CO ₂ -H ₂ O	CH ₄ -CO ₂ -H ₂ O (CH ₄ -CO ₂ 组合见气液两相)
			液相	H ₂ O	
3	LL2101	石英	气-液两相	H ₂ O-H ₂ O	气液比变化较小, 液相比例80%~95%
			气-液-固三相	H ₂ O-H ₂ O-子晶 (石盐、方解石、硅酸盐、赤铁矿)	气液比变化较小, 液相比例80%~95%
4	210109-3	石英	气-液两相	N ₂ -H ₂ O	
			气-液-固三相	N ₂ -H ₂ O-子晶 (石盐、方解石)	气液比变化不大, 液相比例95%左右
5	210109-9	萤石	气-液两相	N ₂ -CH ₄ -H ₂ O	
			气-液-固三相	N ₂ -CH ₄ -H ₂ O-石盐子晶	气液比变化较小, 液相比例90%~95%
6	210109-20	石英	气-液两相	N ₂ -H ₂ O	
		萤石	液相	H ₂ O	CH ₄ 浓度较小, 富液相, 液相比例90%~95%
			气-液两相	CH ₄ -H ₂ O	
				CO ₂ -N ₂	气液比变化大, 液相比例10%~90%, 同相中CO ₂ -N ₂ 含量变化较大, CO ₂ 含量占60%~95%
				CH ₄ -H ₂ O	
7	DLT-4-1	石英	气相	CO ₂ -H ₂ O	气液比变化大, 液相比例10%~90%, 同相中CO ₂ -N ₂ 含量变化较大, CO ₂ 含量占60%~95%
			气-液-固三相	N ₂ -CH ₄ -H ₂ O	
				CO ₂ -H ₂ O-石盐子晶	气液比变化较小, 液相比例90%~95%
				CO ₂ -N ₂ -H ₂ O-石盐子晶	
				H ₂ O	气液比变化较小, 液相比例90%~95%
				H ₂ O-H ₂ O	
8	DLT-4-10	石英	气-液两相	N ₂ -H ₂ O	气液比变化较小, 液相比例90%~95%
			液-固两相	H ₂ O-石盐子晶	
			气-液-固三相	N ₂ -H ₂ O-子晶 (石盐、方解石、硅酸盐、赤铁矿)	CO ₂ -N ₂ 相对比例较为一致, CO ₂ 含量约占95%
			气相	CO ₂ -N ₂	
9	LL02-4	石英	气-液两相	CO ₂ -N ₂ -H ₂ O	CO ₂ -N ₂ 相对比例较为一致, CO ₂ 含量约占95%
			气-液-固三相	CO ₂ -N ₂ -H ₂ O-子晶 (石盐、方解石)	

润, 个体较大的包裹体大多形态不规则, 个别包裹体呈近似矩形产出。包裹体类型丰富, 主要有液相单相型、气-液两相型和气-液-固三相型, 及少量气相单相型、液-固两相型及 CO₂-H₂O 的气-液-液三相型, 其成分较为复杂 (表2、图3)。

3.2 包裹体激光拉曼光谱特征

通过对样品中大量包裹体进行激光拉曼光谱仪检测, 其成分根据拉曼特征主要分为以下八类: 第一类, 该物质去除石英主矿物背景拉曼信号后, 以峰位 2330.9 cm⁻¹ 为特征 (图4a, 图中圆

点为拉曼采谱位置, 下同), 是 N₂ 的特征峰, 表明该物质成分为 N₂。第二类, 该成分以 3300~3600 cm⁻¹ 形成的宽峰为特征峰 (图4b), 是典型的水的拉曼峰, 表明该成分为 H₂O。第三类, 该物质排除水的干扰后, 以峰位 2920.7 cm⁻¹ 为特征 (图4c), 表明该成分为 CH₄。第四类, 该物质以波数 1284.5 cm⁻¹、1390.2cm⁻¹ 为特征峰 (图4d), 表明该成分为 CO₂。第五类, 固体成分 S₁, 该类型固相在包裹体中主要为柱形或者板形产出。该物质去除石英背景拉曼信号后, 特征峰值为



a. 气相包裹体, V 表示气相, 成分为二氧化碳与氮气组合; b. 气-液两相包裹体, V 表示气相, 成分为氮气与甲烷组合, L 表示液相, 成分为水;
c. 气-液-固三相包裹体, V 表示气相, 成分为氮气, L 表示液相, 成分为水, 固相为方解石和石盐; d. 流体-熔体包裹体, 熔体为硼钙硅酸盐

a. V-type inclusion, vapour (V) contains carbon dioxide and nitrogen; b. V-L-type inclusion, vapour (V) contains nitrogen and methane, liquid (L) contains water; c. V-L-S-type inclusion, vapour (V) contains nitrogen, liquid (L) contains water, solids contain calcite and halite; d. fluid-melt conclusion, melt contains danburite

图3 石英矿物中包裹体的镜下特征

Fig.3 Microscopic features of inclusions in quartz minerals

618.6 cm^{-1} 、 1026.4 cm^{-1} 、 3550.2 cm^{-1} 、 3575.3 cm^{-1} 、 3624.8 cm^{-1} (图 4e), 根据数据库 (rruff.info/danburite/display=default/R050602) 对比, 为硼钙硅酸盐。第六类, 固体成分 S_2 , 该物质在包裹体中多呈淡黄色方形或立方体产出, 其拉曼光谱特征与主矿物石英的拉曼光谱完全一致 (图 4f), 考虑到常见氯化钠子晶不具有拉曼活性, 根据镜下特征, 该物质成份为氯化钠子晶。第七类, 固体成分 S_3 , 该物质镜下呈浅灰色块状, 去除石英背景拉曼信号后, 其特征峰值为 282.4 cm^{-1} 、 725.6 cm^{-1} 、 1084.7 cm^{-1} (图 4g), 具有典型方解石拉曼光谱特征, 表明该物质成分为方解石。第八类, 固体成分 S_4 , 该物质镜下观察为透明红色, 去除石英背景拉曼信号影响后, 其特征峰值为 224.5 cm^{-1} 、 292.9 cm^{-1} 、 466.7 cm^{-1} 、 610.7 cm^{-1} 、 1315.5 cm^{-1} (图 4h), 推测该成分为赤铁矿。

3.3 包裹体成分讨论

近三十年来, 许多学者从不同角度对拉拉铜矿的流体包裹体进行了研究^[4,8,9-11,13], 发现该矿区包裹体主要为纯气相、纯液相、富气相、富液相或者含盐类子晶多相等流体包裹体。此外, 对于熔融包裹体仅有个别研究中偶有提及, 但是仅限

于纯熔融包裹体^[8]。本次研究中, 通过拉曼光谱对单个包裹体测试, 取得了新的发现。

首先, 发现大量含钙硼硅酸盐的流体-熔体包裹体, 丰富了该地区包裹体研究类型, 也同时证实了该矿区成矿流体中岩浆—热液过渡性流体的存在^[14]。

其次, 对于子晶的研究, 以往学者发现, 其成分主要为盐类子晶 NaCl 或者 KCl^[4,9-10,13,15]。本次研究发现该批次样品中, 方解石碳酸盐型子晶也较为常见。此外, 本次样品中还发现少量包裹体中含有赤铁矿子晶, 并且该类子晶多存在于复杂成分流体包裹体中。

第三, 包裹体气相成分研究方面, 众多学者通过质谱仪分析或镜下观察, 发现其主要以 CO_2 或 H_2O 为主, 仅有个别研究中表明含有极少量的 N_2 、 CH_4 ^[4,11]。通过本次拉曼光谱测试发现该批次样品中单个包裹体气相成分并不固定, 不仅有少量样品中包裹体气相以 CO_2 和 H_2O 为主, 部分包裹体中气相部分以 N_2 或者 CH_4 或者两者共同组合形式占据了主导地位。并且 N_2 与 CH_4 的相对含量比例并不固定, 存在大于 1、小于 1、近似等于 1 三种情况。

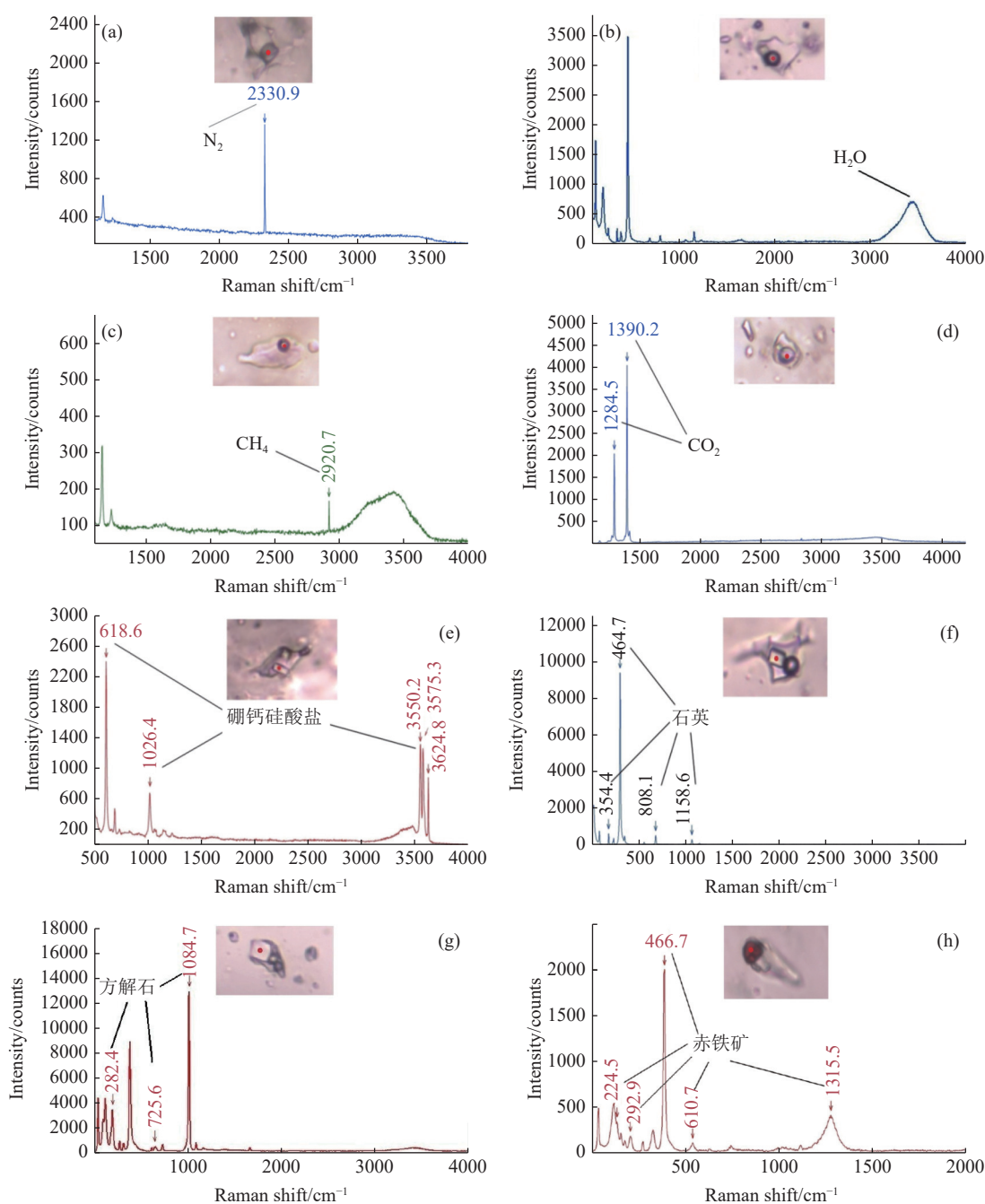


图4 包裹体成分激光拉曼光谱特征

Fig.4 Laser Raman spectroscopy characteristics of inclusions

3.4 地质意义

LL02-4 样品中包裹体富 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{O}$, 210109-3、DLT-4-10 样品中包裹体富 $\text{N}_2\text{-H}_2\text{O}$ 成分, 在 LL2101 样品中, 方解石子晶所伴随包裹体成分富 H_2O 为主, 其成分由含 CO_2 过渡到完全不含 CO_2 , 指示其流体分别经历了 CO_2 去气作用, 岩浆水与大气水流体混合作用, 混染了沉积地层中碳酸盐组分过程, 这与该地区 C-O 同位素研究一致^[10,15]。

赤铁矿、方解石子矿物伴随石盐子晶析出,

伴随中低温成矿温度^[9,15], 这一时期流体呈高盐度, Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 含量高, 处于氧化环境。根据拉拉铜矿矿物生成顺序显示^[16], 萤石主要生成于热液成矿期 II 期初期, 萤石中包裹体气相部分主要为 CH_4 或者 CH_4 与 N_2 混合物, 液相部分主要为 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系, 并可见 NaCl 子晶, 具有中高盐度流体特征, 并处于还原环境。

不同成矿期石英流体包裹体成分较为复杂, 通过大量单个包裹体拉曼测试发现, 其组分由富

含 $\text{CO}_2\text{-CH}_4\text{-N}_2\text{-H}_2\text{O}$ -多子矿物成分到单一富 H_2O 成分, 其组合形式多种多样, 该矿区流体盐度、密度、同位素测试结果均显示该矿区成矿流体来源广泛, 成矿期次复杂^[17]。

4 结 论

(1) 通过镜下观察发现, 拉拉铜矿单个包裹体类型多样, 既有单一液相或气相类型, 也有富气相、富液相、气-液-固多相型, 其中富液相与气-液-固多相型较为丰富。

(2) 通过激光拉曼光谱测试发现, 拉拉铜矿地区单个包裹体成分组合较为复杂, CO_2 、 CH_4 、 N_2 、 H_2O 及其不同比例组合分别在不同时期占据了流体成分主导地位。此外, 在包裹体内发现前人鲜有报道的方解石、赤铁矿及硅酸盐子矿物。

(3) 单个包裹体成分组合的多样性证明了拉拉铜矿地区流体来源的多元性及成矿作用的复杂性。

参考文献:

- [1] 朱志敏, 曾令熙, 周家云, 等. 四川拉拉铁氧化物铜金矿床 (IOCG) 形成的矿相学证据 [J]. *高校地质学报*, 2009, 15(4):485-495.
- [2] 罗丽萍, 朱志敏. 拉拉铜矿脉的分布和潜在资源利用意义 [J]. *矿产综合利用*, 2016(4): 27-30.
- [3] 陈良, 刘富权, 钱永超, 等. 四川会理红泥坡铜矿工艺矿物学 [J]. *矿产综合利用*, 2021(3):200-204.
- [4] 申屠保涌. 四川会理拉拉厂铜矿床地质地球化学特征及成矿模式 [J]. *沉积与特提斯地质*, 1997, 17(21):113-115.
- [5] 孙燕, 舒晓兰, 肖渊甫. 四川省拉拉铜矿床同位素地球化学特征及成矿意义 [J]. *地球化学*, 2006, 35(5):553-559.
- [6] 李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 等. 中国首例铁氧化物-铜-金-铀-稀土型矿床的厘定及其成矿演化 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2002, 21(4):258-260.
- [7] 陈根文, 夏斌. 四川拉拉铜矿床成因研究 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(1):42-44.
- [8] 金明霞, 沈苏. 四川会理拉拉铜矿床流体特征及成矿条件研究 [J]. *地质科技情报*, 1998, 17(增刊): 45-48.
- [9] 柯丹丹. 四川会理拉拉铜矿床流体包裹体特征研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [10] 黄丛俊. 扬子地块西南缘拉拉 IOCG 矿床地质地球化学研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- [11] 孙燕, 李承德. 四川拉拉铜矿床成矿机制研究 [J]. *成都地质学院学报*, 1990, 17(4):1-9.
- [12] 王鑫涛, 陈勇, 周瑶琪, 等. 一种有效的岩盐流体包裹体薄片的制作方法 [J]. *矿物学报*, 2016, 36(3):397-403.
- [13] 宋昊. 扬子地块西南缘前寒武纪铜-铁-金-铀多金属矿床及区域成矿作用 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [14] 李保华, 唐菊兴, 董树义. 纳日贡玛铜钼矿床包裹体研究及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 2006, 25(增刊): 407-410.
- [15] 路远发, 吴越, 王亚东. 四川省会理县拉拉铜矿接替资源勘查项目综合研究课题研究报告 [R]. 荆州: 长江大学, 2015.
- [16] LU Y F, WU Y, WANG Y D. Report on the comprehensive research project of Lala Copper Mine in Huili County, Sichuan Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1):42-44.
- [17] JIN M X, SHEN S. Fluid Features and metallogenic conditions in Lala Copper Deposit, Huili, Sichuan, China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(Supplement): 45-48.
- [18] CHEN G W, XIA B. Study on the genesis of Lala Copper Deposit, Sichuan Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21(4):258-260.
- [19] HUANG C J. Geology and geochemistry study on the Lala IOCG deposit, Southwestern margin of Yangtze Block [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019.
- [20] SUN Y, LI C D. Mineralization mechanism of Lala Copper deposit in Sichuan Province [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1990, 17(4):1-9.
- [21] WANG X T, CHEN Y, ZHOU Y Q, et al. An effective method for making thin section of fluid inclusions in rock salt [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2016, 36(3):397-403.
- [22] SONG H. Precambrian copper-iron-gold-uranium polymetallic deposits and their regional metallogeny in Southwestern margin of Yangtze Block [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.
- [23] LI B H, TANG J X, DONG S Y. A study of inclusions in the Narigongma Cu-Mo deposit and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(Supplement): 407-410.
- [24] LU Y F, WU Y, WANG Y D. Report on the comprehensive research project of Lala Copper Mine in Huili County, Sichuan Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1):42-44.

Province[R]. Jinzhou: Yangtze University, 2015.5.

[16] ZHU Z M, TAN H Q, LIU Y D, et al. Multiple episodes of mineralization revealed by Re-Os molybdenite geochronology in the Lala Fe-Cu deposit, SW China[J]. *Mineralium Deposita*, 2018, 53(3):311-322.

[17] 唐慧, 刘顺, 钱永超, 等. 四川拉拉铜矿构造变形与成矿

的关系[J]. *矿产综合利用*, 2022(4):87-93.

TANG H, LIU S, QIAN Y C, et al. Relation between structural deformation and mineralization in Lala copper deposit, Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022(4):87-93.

Fluid Inclusion Raman Spectrometry and Geological Implications of the Lala Copper Deposit in Sichuan

Li Bo¹, Tang Hui², Luo Liping³, Chen Liang¹, Wu Jin¹

(1.Liangshan Mining Co., Ltd., Huili, Sichuan, China; 2.Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China; 3.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: In this paper, through the Raman spectroscopy analysis of fluid inclusions in Lala copper deposit, it is found that the types of fluid inclusions are diverse, including not only single pure gas phase or pure liquid phase, gas-rich phase, liquid-rich phase, and many daughter crystals, but also melt-fluid inclusions. The gas phase components of fluid inclusions are not limited to the CO₂, but also include N₂, CH₄ or a mixture of the three. Not only halide daughter crystals but also calcite and hematite daughter crystals are found in fluid inclusion daughter minerals. In conclusion, the Raman spectroscopy characteristics of fluid inclusions show that the ore-forming fluids of the Lala copper deposit have the characteristics of multiple stages and complex sources.

Keywords: Lala copper deposit; Fluid inclusion; Raman spectroscopy

(上接第 54 页)

and belong to low salinity and low temperature fluid. The results of C-H-O isotope test show that the $\delta D/\text{‰}$ of spotamene in the Redamen rare metal deposit ranges from -97.5 to -104.7 (average of -102.8). Compared with the Lijiagou deposit in the southeast of the ore field, the $\delta D/\text{‰}$ of spodumene is obviously smaller, with the $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$ ranging from -0.34 to 2.88 (average of 1.032). However, it is basically consistent with the main metallogenic period of spodumene in Lijiagou deposit, indicating that the ore-forming fluid of late mineralization (that is, the main metallogenic period of spodumene) is mixed with meteoric water. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$ of spodumene in the Redamen rare metal deposit ranges from -10 to -16.6, with an average of -12.7, indicating that the carbon source in the main mineralization period (spodumene formation period) has a mixed nature of magmatic system and meteoric precipitation system, which is related to the low temperature alteration of magmatic mantle source (granite, mantle multi-phase system) and may be mixed with CO₂ generated by the decarboxylation of deposited organic materials. Through the study of mineral C-H-O isotopes and fluid inclusions, the source and evolution process of ore-forming fluids were further clarified.

Keywords: Pegmatite type; Rare metal; Spodumene; C-H-O isotope; Redamen

(上接第 62 页)

alteration zones, and the remote sensing alteration anomaly information could effectively indicate the mineralization location. Based on the comprehensive alteration anomaly information, anomaly verification analysis results and regional geological background, five metallogenic prospects were delineated, which provided reference for further prospecting work in this area.

Keywords: MPT method; Mask technology; Principal component analysis; Threshold classification; Alteration information extraction; Metallogenic prediction