

文章编号:1673-9981(2018)01-0064-07

粤西阳春盆地旗鼓岭铜多金属矿流体包裹体研究^{*}

张 龙,陈友良,梁家山,彭渤洋,刘 堃

成都理工大学 地球科学学院,四川 成都 610059

摘 要:旗鼓岭铜多金属矿是广东省有色金属地质局近年来发现的具有重要找矿前景的矽卡岩型铜钼钨矿区。在对该矿区岩石样品进行镜下薄片和光片鉴定的基础上,对其流体包裹体进行了较为系统的研究,结果表明:成矿前期矽卡岩阶段流体包裹体的均一温度变化范围为 302~401 ℃,盐度变化范围为 3.87%~13.72% NaCleqv;成矿早期石英-氧化物阶段流体包裹体的均一温度变化范围为 154~396 ℃,盐度分布范围为 3.71%~7.71% NaCleqv;主成矿期石英-硫化物阶段的流体包裹体均一温度变化范围为 155~301 ℃,盐度变化范围为 1.24%~6.16% NaCleqv;成矿晚期碳酸盐阶段的流体包裹体均一温度变化范围为 117~269 ℃,盐度变化范围为 0.88%~8.28% NaCleqv。主成矿阶段包裹体类型多种多样,L型、V型、C型都发育,沸腾作用是该矿区金属矿物的主要沉淀机制。

关键词:流体包裹体;矽卡岩;阳春盆地;旗鼓岭铜多金属矿

中图分类号:P618.65 **文献标识码:**A

粤西阳春盆地是广东省重要的多金属成矿区之一。盆地内发育有大量以 Cu, Fe, Pb, Zn, Ag, W, Sn 为主的多金属矿床,主要包括锡山钨锡矿床、石碇铜钼矿床、天堂铜铅锌多金属矿床、鸢鹅岭多金属矿床和南山崩坑—石屋铅锌铜锡矿床等在内的 50 余个矿床(点)^[1]。前人对这些大中型矿床的成矿特征已经做了较多的研究^[1-11]。旗鼓岭铜多金属矿是广东省有色金属地质局近年来发现的具有重要找矿前景的矽卡岩型铜钼钨矿区,据钻孔单孔显示铜多金属矿化累计厚度达 120 余米,展现出良好的成矿前景。本文对该矿区的流体包裹体展开研究,为该矽卡岩型铜多金属矿的成矿阶段划分以及成因提供依据。

期均有活动,岩性主要为中酸性-酸性岩,以及少量偏基性的二长岩。区内的内生金属矿床成因与岩浆活动密不可分,与成矿作用关系密切的岩体较集中地分布在盆地两侧边缘地带的吴川—四会断裂带内,并受北西向、东西向构造带的复合部位控制。

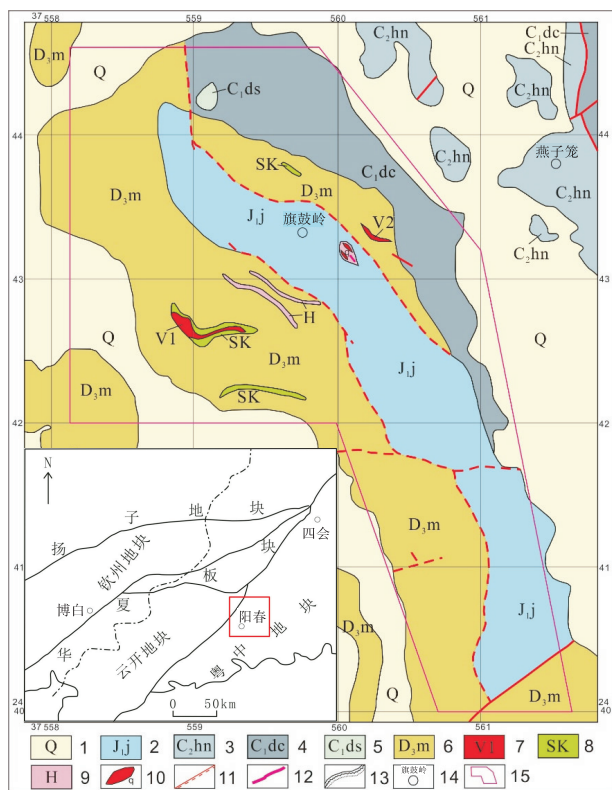
1 矿区地质背景

旗鼓岭矿区地表无岩体出露,矿区内出露的地层主要有泥盆系、石炭系、侏罗系和第四系。其中泥盆系和石炭系与矿化密切相关,是主要的控矿地层。主要发育有北西、北东和近南北向的断裂,北西向断裂与矿化蚀变密切相关,是主要的控矿构造。近南北向的断裂发育时代晚于北西向断裂,区内地表矿体受北西向断裂控制呈北西向及受后期近南北向断裂的影响,略呈“S”型展布,如图 1 所示。从钻孔和地表含矿岩性来看,矿化主要产于矽卡岩中,因此属于矽卡岩型矿床。

2 样品的采集与分析

本次测试的样品主要采集于旗鼓岭矿区施工的

收稿日期:2017-11-16
^{*} 基金项目:中国地质调查局地质调查项目(12120114015801)
作者简介:张龙(1989-),男,四川平武人,硕士研究生,研究方向:主要从事地球化学领域研究。



- 1—第四系;2—侏罗系中统含砾石英砂岩及砂质砾岩夹粉砂岩;
3—石炭系中统黄龙组灰岩、白云质灰岩、白云岩;4—石炭系下统测水组泥质粉砂岩;5—石炭系下统石蹬子组灰黑色灰岩、生物碎屑灰岩、白云质灰岩;6—泥盆系中统帽子峰组长石石英砂岩、页岩、泥质灰岩及粉砂岩;7—矿体及编号;8—砂卡岩;9—角岩带;10—含石英英脉;11—实测或推测断层;12—石英英脉;13—地质整合界线/不整合界线/推测界线;14—地名;15—工作区

图 1 旗鼓岭铜多金属矿矿区的地质图

Fig. 1 Geological map of Qiguling copper polymetallic ore district

ZK3001 钻孔和 KD4 坑道中,在仔细观察岩矿石矿物组成和脉体相互关系的基础上,依据成矿阶段分别选取矿化石榴子石、透辉石砂卡岩(代表砂卡岩形成阶段,ZK3001-1516 样品)以及含石英、方解石脉的矿石样品(代表成矿阶段,包括 ZK3001-1510、ZK3001-1511、ZK3001-1512、QGL-KD4-1502 共 4 个样品)。

将样品带回实验室切片,双面抛光,制成 0.2mm 的薄片,进行矿相学和岩相学研究,并选取具有代表性的包裹体进行测试。在核工业北京地质研究院分析测试中心使用 LINKAM THMS600 型冷热台进行流体包裹体显微测温分析,可测定温度范围为 $-196 \sim +600$ $^{\circ}\text{C}$,在 $-100 \sim 25$ $^{\circ}\text{C}$ 范围内测量精度为 ± 1 $^{\circ}\text{C}$,在 $25 \sim 400$ $^{\circ}\text{C}$ 范围内测量精度

± 1 $^{\circ}\text{C}$,在 400 $^{\circ}\text{C}$ 以上测量精度为 ± 2 $^{\circ}\text{C}$ 。测温过程中升温速率为 $1 \sim 5$ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,相转变温度附近的升温速率降低为 0.4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。测试时实验室温度和湿度分别为 26 $^{\circ}\text{C}$ 和 50% ,能够保证数据的准确可靠。

3 流体包裹体研究

3.1 流体包裹体岩相学

对样品薄片进行显微镜下观察,石英、方解石和透辉石中的包裹体均较为发育,主要呈成群分布,部分呈带状分布,石榴子石矿物内也可见少量包裹体发育,如图 2(c) 所示。根据室温条件下流体包裹体岩相学特征将原生包裹体主要分为以下几类。

富液相包裹体(L 型):包裹体室温下为气液两相(L+V),约占包裹体总数的 70% 以上。包裹体主要呈成群分布,部分呈带状分布,形态呈不规则状、椭圆状或负晶形,呈无色透明、灰色,大小主要在 $5 \sim 15$ μm 之间,气液比主要在 $0.1 \sim 0.3$ 之间,均一状态为液相。这类包裹体在石英、方解石、透辉石、石榴子石中都有发育。

富气相包裹体(V 型):包裹体室温下为气液两相(L+V),约占包裹体总数的 5% 左右。包裹体主要呈成群分布,部分呈带状分布,形态呈不规则状、椭圆状或者负晶形,呈无色透明,大小约 12 μm ,气液比主要为 0.65 左右,均一状态为气相。一般与 L 型包裹体相共生。

$\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三相包裹体(C 型):主要由液态 CO_2 、气态 CO_2 和水组成,约占石英包裹体总数的 20% 左右,形态呈椭圆状或不规则形,呈灰色、深灰色,大小主要在 $6 \sim 12$ μm 之间,气液比在 $0.35 \sim 0.45$ 之间,液相和气相成分主要为水。这类包裹体主要发育在石英中,在别的矿物中没有发现。

3.2 流体包裹体显微测温分析

旗鼓岭铜多金属矿流体包裹体显微测温结果见表 1 和图 3。由表 1 可知,所有矿物中包裹体的均一温度变化范围较大,为 $117 \sim 401$ $^{\circ}\text{C}$,盐度变化范围为 $0.88\% \sim 13.72\%$ NaCleqv。

透辉石中的包裹体代表砂卡岩阶段的流体特征,其均一温度变化范围为 $302 \sim 401$ $^{\circ}\text{C}$;盐度变化范围为 $3.87\% \sim 13.72\%$ NaCleqv。

石英中包裹体的均一温度变化范围为 $129 \sim 396$ $^{\circ}\text{C}$,盐度变化范围为 $1.24\% \sim 9.98\%$ NaCleqv。

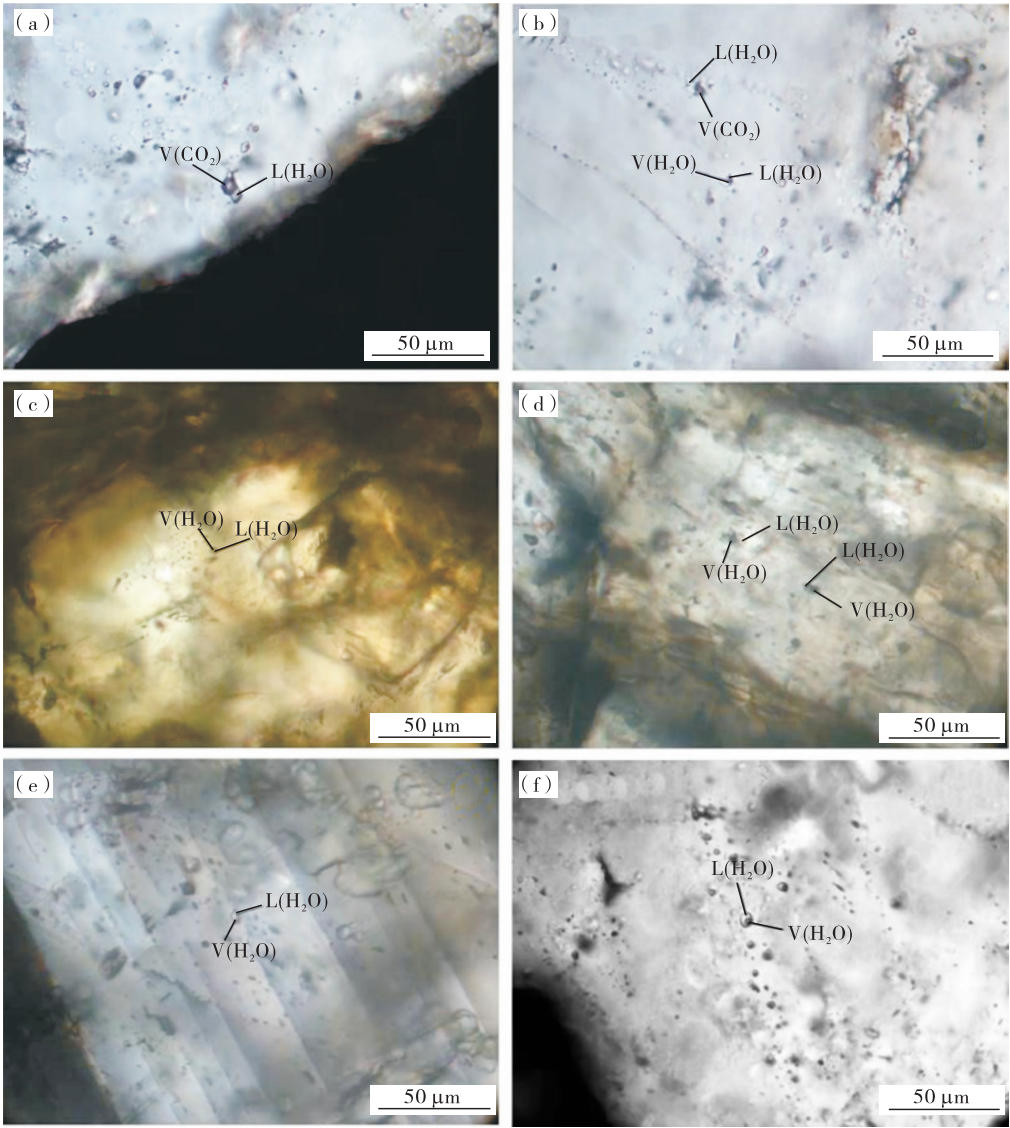


图 2 旗鼓岭流体包裹体镜下特征

(a)石英中 CO₂-H₂O 三相包裹体(C 型);(b)石英中成群分布富液相包裹体(L 型)及 CO₂-H₂O 三相包裹体(C 型);(c)石榴子石中富液相包裹体(L 型);(d)透辉石中富液相包裹体(L 型);(e)方解石中富液相包裹体(L);(f)石英中成群分布的富液相包裹体(L 型)

Fig.2 Characteristics of Qiguling fluid inclusions under the microscope

(a)CO₂-H₂O three-phase inclusions in quartz (type C);(b)Rich fluid inclusions (type L) and CO₂-H₂O three-phase inclusions (type C) in quartz;(c) Rich fluid inclusions in garnet (type L);(d) Rich fluid inclusions in diopside (type L);(e) Rich fluid inclusions in calcite (type L);(f) Rich fluid inclusions in quartz (type L)

其中样品 ZK3001-1511 的石英包裹体代表石英-氧化物阶段的流体特征,其均一温度变化范围为154~396℃,盐度变化范围为3.71%~7.71%NaCleqv;样品 ZK3001-1512 和 QGL-KD4-1502 的石英包裹体代表石英-硫化物阶段的流体特征,其均一温度变化范围为155~301℃,盐度变化范围为1.24%~6.16%NaCleqv;样品 ZK3001-1510 的石英包裹体

代表碳酸盐阶段的流体特征,其均一温度变化范围为129~239℃,盐度变化范围为6.3%~8.14%NaCleqv.方解石中的包裹体代表碳酸盐阶段流体特征,其均一温度变化范围为117~269℃,盐度变化范围为0.88%~8.28%NaCleqv.

表 1 旗鼓岭矿区流体包裹体温度-盐度数据表

Table 1 Temperature-salinity data of fluid inclusions in the Qiguling area

样 号	赋存矿物	测温包裹体类型	测点数/个	均一温度/℃	盐度 $w(\text{NaCl})/\%$
ZK3001-1510	石英	富液包裹体	24	129~239	6.3~8.14
ZK3001-1511	石英	富液包裹体	18	154~396	3.71~7.17
	方解石	富液包裹体	3	139~167	4.96~7.02
ZK3001-1512	石英	H ₂ O-CO ₂ 三相包裹体	6	226~285	1.24~1.64
		富液包裹体	22	155~301	1.42~6.16
ZK3001-1516	方解石	富液包裹体	18	117~166	2.2~8.28
	透辉石	富液包裹体	8	302~401	3.87~13.72
QGL-KD4-1502	石英	富液包裹体	7	140~249	3.89~9.98
	方解石	富液包裹体	8	127~269	0.88~8

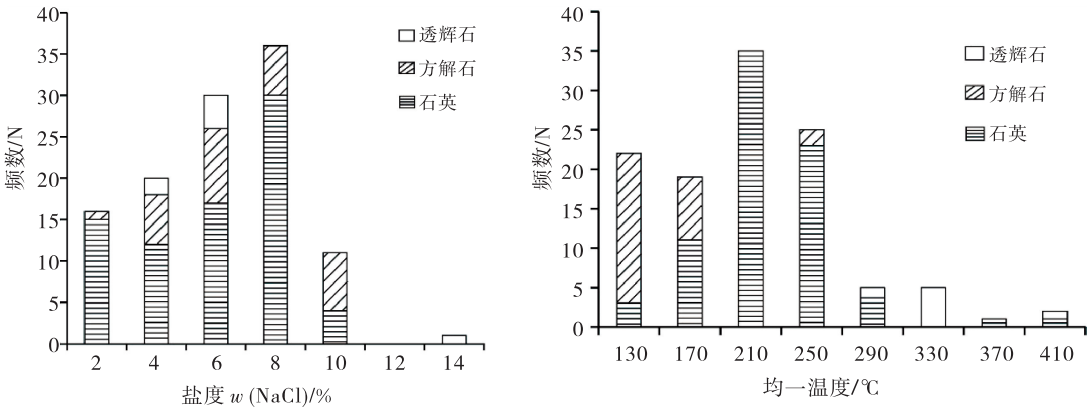


图 3 旗鼓岭流体包裹体盐度和均一温度的直方图

Fig. 3 Salinity and uniform temperature histogram of Qiguling fluid inclusions

4 讨 论

根据镜下薄片和光片鉴定结果,旗鼓岭铜多金属矿的流体成矿过程可划分为 4 个阶段,即矽卡岩阶段、石英-氧化物阶段、石英-硫化物阶段和碳酸盐阶段,其中主成矿期为石英-硫化物阶段.参照镜下矿物共生组合并结合显微测温结果,样品中的透辉石、石英、方解石的流体包裹体分别代表了不同成矿阶段的产物.其中透辉石包裹体代表早期矽卡岩阶段的流体特征,石英中的包裹体代表成矿期石英-氧化物阶段和石英-硫化物阶段的成矿流体特征,方解石中的包裹体则代表晚期碳酸盐阶段的流体特征.

在不同温度下测得的旗鼓岭矿区流体包裹体的

盐度和均一温度散点图如图 4 所示.由图 4 可知,不同阶段流体包裹体的均一温度明显不同,盐度差别也很大.透辉石中流体温度最高,总体温度均高于 300 ℃,反映成矿前期矽卡岩化作用是在高温环境中进行的,其盐度变化范围也最大,为 3.87%~13.72% NaCleqv,均属于低盐度流体.流体包裹体类型主要为富液相包裹体.成矿期石英脉极其发育,石英-氧化物和石英-硫化物阶段的石英脉体穿插前期的蚀变矽卡岩和围岩,石英流体包裹体在各成矿阶段均有发育,其均一温度和盐度区别也大.均一温度变化范围为 129~396 ℃,总体上反映成矿阶段是在中高温的环境中进行的,盐度变化范围为 1.24%~9.98% NaCleqv.包裹体类型也多种多样,L 型、V 型、C 型都发育.成矿晚期发育方解石脉,其流体温

度和盐度都是相对最低的. 均一温度变化范围为 117~269 °C, 总体上反映成矿晚期主要为低温环境, 盐度变化范围为 0.88%~8.28% NaCleqv. 从透辉石→石英脉→方解石, 其流体包裹体的温度逐渐下降, 反映随着成矿作用的进行, 从成矿前期至晚期成矿温度不断降低. 而盐度的变化不太明显, 均为低盐度流体.

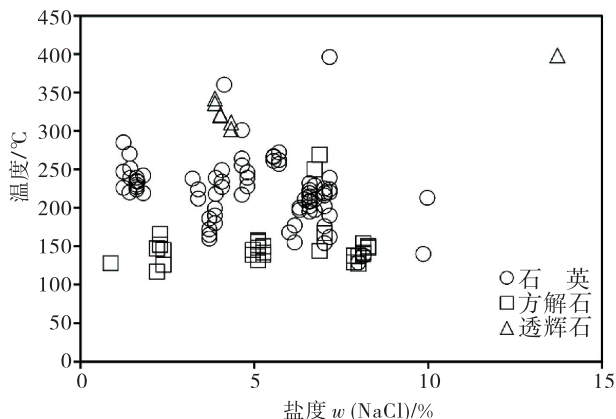


图4 旗鼓岭流体包裹体盐度和均一温度的散点图

Fig.4 Scatter plot of salinity and uniform temperature in Qiguling fluid inclusions

根据旗鼓岭矿区的矿物共生组合, 矽卡岩阶段早期主要生成无水矿物透辉石-石榴子石矽卡岩组合和硅灰石-石榴子石矽卡岩组合, 晚期开始出现阳起石、绿帘石等含水硅酸盐矿物, 形成透闪石-阳起石-绿帘石-绿泥石-石榴子石-磁黄铁矿-磁铁矿矿物组合, 偶见有萤石、方铅矿、黄铁矿等. 透辉石中的流体包裹体研究表明, 矽卡岩阶段流体均一温度变化范围为 302~401 °C. 流体类型主要为富液相包裹体, 属 $H_2O-NaCl$ 体系, 其中未见富液相和富气相包裹体共生现象, 表明该阶段流体未发生明显的沸腾作用^[12]. 在矽卡岩阶段晚期形成有磁铁矿, 表明这一阶段的流体具有较高氧逸度, 其流体表现出高温、高氧逸度的特性. 因此该成矿阶段流体中 S^{2-} 活度较低, 不利于硫化物沉淀, 此阶段的系统矿化较为微弱^[13], 代表了成矿前期的流体特征.

石英-氧化物阶段的矿物组合为磁铁矿-磁黄铁矿-黄铁矿-石英, 是交代成矿前期的矽卡岩矿物. 该阶段流体包裹体均一温度变化范围为 154~396 °C, 盐度变化范围为 3.71%~7.71% NaCleqv, 主要是石英和磁铁矿共生, 此外含有少量黄铁矿和磁黄铁矿. 此阶段说明成矿早期的流体特征为中高温、高氧

逸度. 在此成矿阶段的开始, 生成的磁铁矿交代矽卡岩期的石榴子石和透辉石, 随着氧的不断消耗, 流体从氧化环境过渡到氧化还原环境, 开始出现了黄铁矿等矿物, 进入到石英-硫化物阶段.

石英-硫化物阶段的矿物组合主要为石英-白钨矿-黄铁矿、石英-黄铁矿-黄铜矿、石英-方铅矿和石英-辉钼矿, 该阶段大量的金属矿物沉淀成矿, 白钨矿、黄铜矿、方铅矿等硫化物和石英一起沿断裂构造及其旁侧形成脉状、团块状的蚀变带, 是铜钨钼等金属矿物成矿的主要时期. 在镜下观察, 该阶段的流体中可见富液相、富气相和三相包裹体共生现象, 同时生成的黄铁矿和黄铜矿局部受到强烈的挤压呈破碎团块状, 表明这一阶段发生了强烈的沸腾作用. 该阶段石英流体包裹体的均一温度变化范围为 155~301 °C, 盐度变化范围为 1.42%~6.16% NaCleqv; C型包裹体的均一温度变化范围为 226~285 °C, 盐度变化范围为 1.24%~1.64% NaCleqv, 流体为 $CO_2-H_2O-NaCl$ 体系, 反映主成矿阶段为中温低盐度的特性. 随着流体不断向地表运移, 流体由封闭系统变为开放系统, 压力骤降, 发生沸腾作用, 大量的 CO_2 等酸性气体流失, 流体 pH 增大^[14]. 白钨矿大量沉淀成矿, 表明钨在流体中是以钨杂多酸的形式存在^[12]. 流体酸性的减弱使钨的稳定性下降, 开始分解沉淀, S^{2-} 浓度随之升高. Cu 和 Pb 溶解度比 Mo 小, 开始和还原硫反应沉淀形成黄铜矿和方铅矿. 随着流体中 Cu 和 Pb 等因沉淀而浓度不断降低, Mo 开始与剩余的还原硫反应, 沉淀形成辉钼矿. 随着辉钼矿开始生成, 沸腾作用变得微弱, 对成矿作用的影响也逐渐消失. 辉钼矿主要以脉状的形式充填于近水平的早期矽卡岩带裂隙中, 表明流体的动力也逐渐降低. 综合来看, 成矿早期流体具有较高的氧逸度, 成矿晚期氧逸度逐渐减小.

碳酸盐阶段代表了成矿晚期的产物, 主要形成方解石、硬石膏和石英等脉体. 该脉体延伸不远, 切穿石英-硫化物阶段生成的矿脉. 方解石中的流体包裹体代表这一阶段的流体特征, 其流体包裹体的类型均为富液相型, 为 $H_2O-NaCl$ 体系, 均一温度分布范围为 117~269 °C, 总体上为低温环境, 盐度分布范围为 0.88%~8.28% NaCleqv. 这一阶段成矿流体动力不足, 矿质沉淀基本结束. 随着硫酸盐矿物的形成, 流体显示出大气降水的特征, 流体成矿作用结束.

5 结 论

在对旗鼓岭铜多金属矿进行详细的镜下薄片和光片鉴定的基础上,对该矿区成矿各阶段的代表性矿物透辉石、石英和方解石的流体包裹体进行了较为系统的研究,得到如下结论:

(1)矽卡岩阶段透辉石中包裹体的均一温度变化范围为 302~401 °C,盐度变化范围为 3.87%~13.72% NaCleqv,反映成矿前期的流体具有高温低盐度的特征.该阶段主要发生交代作用,形成矽卡岩矿物.

(2)石英-氧化物阶段流体包裹体均一温度变化范围为 154~396 °C,盐度变化范围为 3.71%~7.71% NaCleqv,反映成矿早期流体具有中高温、高氧、低 pH 等特性,生成磁铁矿等氧化矿物.

(3)石英-硫化物阶段是旗鼓岭铜多金属矿的主成矿期,该阶段的流体包裹体均一温度变化范围为 155~301 °C,盐度变化范围为 1.24%~6.16% NaCleqv,反映主成矿阶段具有中温、低盐度、低氧、高 pH 等特征.包裹体类型也多种多样,L型、V型、C型都发育,反映沸腾作用是金属矿物的主要沉淀机制.

(4)碳酸盐阶段的流体包裹体均一温度变化范围为 117~269 °C,盐度变化范围为 0.88%~8.28% NaCleqv,反映成矿晚期为低温、低盐度的特征.此阶段碳酸盐矿物与硫酸盐矿物共生,显示成矿晚期流体有大气降水加入.

参考文献:

[1] 梅玉萍,杨红梅,段瑞春,等.广东阳春锡山钨锡矿床成岩成矿年代学研究[J].地质学报,2013,87(9):1370-1376.

- [2] 郑伟,毛景文,赵海杰,等.粤西阳春盆地多金属矿床成矿系列及动力学背景[J].矿床地质,2015,34(3):465-487.
- [3] 郑伟,毛景文,赵辛敏,等.广东天堂铜多金属矿床二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其找矿潜力分析[J].矿床地质,2014,33(S1):1055-1056.
- [4] 郑伟.云开地区阳春盆地燕山期多金属矿床成矿系列[D].北京:中国地质大学,2016.
- [5] 郑伟,陈懋弘,赵海杰,等.广东天堂矽卡岩型铅锌矿地质特征及其成矿机制[J].矿床地质,2012,31(S1):407-408.
- [6] 麦有东,黎少洋.广东阳春盆地的成矿规律及找矿标志[J].西部探矿工程,2006(1):98-99.
- [7] 吴剑,曾小华.广东省阳春市南山崩坑—石屋铅锌铜锡矿床地质特征[J].资源环境与工程,2011,25(3):201-202,208.
- [8] 段瑞春,杨红梅,张利国,等.广东阳春盆地石茛铜矿床 U-Pb 年代学及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2013,37(4):754-764.
- [9] 邢波,郑伟,欧阳志侠,等.粤西庙山铜多金属矿床硫化物原位微区分析及 S 同位素对矿床成因的制约[J].地质学报,2016(5):971-986.
- [10] 赵海杰,胡耀国,郑伟,等.粤西石茛铜钼矿床地质特征及成岩成矿时代约束[J].矿床地质,2012,31(S1):401-402.
- [11] 赵海杰,郑伟,余长发,等.粤西石茛铜钼矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].中国地质,2012,39(6):1604-1613.
- [12] 吴胜华,王旭东,熊必康.江西香炉山矽卡岩型钨矿床流体包裹体研究[J].岩石学报,2014,30(1):178-188.
- [13] 王玘,杨永飞,糜梅,等.河南省新县姚冲钼矿床流体包裹体研究[J].岩石学报,2013,29(1):107-120.
- [14] 牛斯达,李胜荣,张聚全,等.山西灵丘县刁泉银铜矿流体包裹体特征及成矿流体演化[J].岩石学报,2014,30(11):3432-3442.

Study on fluid inclusions of Qiguling copper polymetallic ore in Yangchun basin of western Guangdong province

ZHANG Long, CHEN Youliang, LIANG Jiashan, PENG Boyang, LIU Kun

College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Qiguling copper polymetallic ore has important prospects for prospecting of skarn Cu-Mo-W is found in recent years by Non-ferrous Metal Geological Bureau of Guangdong Province. In this paper, a
 万方数据 (下转第 74 页)

Research on the influence factors of ammonia nitrogen determination
in an industrial wastewater

WU Hongyan, LI Bo, XIAO Feiyan, ZHANG Lili

Guangdong Institute of Resources Comprehensive Utilization, State Key Laboratories of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, Guangdong Provincial Key Laboratory of Mineral Resources Development and Comprehensive Utilization, Guangzhou 510650, China

Abstract: There are many interference factors in the process of ammonia nitrogen determination, which will affect the accuracy of the results. Nessler's reagent colorimetric method has been adopted to determinate the ammonia nitrogen content in waste water, and the conditions such as water storage time, sample pretreatment method, pH value, reaction temperature, coloration time and so on were analyzed. Test results show that it's necessary to deal with the waste water on time. After pretreatment by distillation, good accuracy and repeatability of ammonia nitrogen determination can be obtained under the optimum conditions of the pH value is 9-9.5, the reaction temperature is 20 °C, and the color reaction time is 15 min. **Key words:** nessler's reagent colorimetric method; ammonia nitrogen determination; industrial wastewater; ifactors

(上接第 69 页)

detailed examination of the rock specimen in the mine area is carried out under the microscope. The fluid inclusions were systematically studied. The results show that the homogenization temperature of the fluid inclusions in the early stage of the metallogenic stage is in the range of 302-401 °C and the salinities are in the range of 3.87%-13.72% NaCleqv. The average temperature range of fluid inclusions in quartz-oxide stage during the early mineralization ranged from 154 °C to 396 °C, and the salinity ranged from 3.71% to 7.71% NaCleqv. During the main mineralization, the fluid inclusions in the quartz-sulfide phase homogenized. The range of variation is from 155 °C to 301 °C, and the range of salinity is from 1.24% to 6.16% NaCleqv. The homogenization temperature range of fluid inclusions in the late stage of carbonate mineralization ranges from 117 °C to 269 °C, and the salinity ranges from 0.88% to 8.28% NaCleqv. During the main mineralization, the types of inclusions are diverse. L type, V type and C type are all developed. Boiling is the main precipitation mechanism of metal minerals in this ore district. **Key words:** fluid inclusions; skarn; Yangchun basin; Qiguling copper polymetallic ore