

西藏冈底斯斑岩铜矿带驱龙铜矿 成矿流体特征及其演化

杨志明¹, 谢玉玲¹, 李光明², 徐九华¹

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部成都矿产地质研究所, 成都 610082)

[摘要] 驱龙铜矿是西藏冈底斯斑岩铜矿带东段典型的斑岩型铜矿床。流体包裹体研究显示, 与成矿有关的包裹体主要分为液相包裹体、气相包裹体和含子矿物多相包裹体3类, 它们的均一温度为190℃~510℃; 盐度为0.5~52.5 wt% NaCl_{eq}。激光拉曼显微探针(LRM)分析表明, 各类包裹体中气、液相成分以H₂O为主。含子矿物多相包裹体与不同气相充填度的液相包裹体、气相包裹体共存, 且均一温度相近, 但盐度相差很大, 表明成矿流体经历了沸腾作用。从蚀变矿物组合、流体包裹体显微测温分析及LRM分析可以看出, 驱龙斑岩铜矿床成矿流体富含Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、CO₃²⁻, 具有较高盐度和较强的Cu溶解能力。

[关键词] 冈底斯 驱龙斑岩铜矿床 流体包裹体 流体演化

[中图分类号] P618.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2005)02-0021-06

西藏冈底斯火山-岩浆弧是西藏重要的铜、金成矿远景区带, 目前已发现驱龙、甲马、厅宫、冲江、南木、洞嘎等铜(钼)、金矿床。东段墨竹工卡地区有望成为矿田规模, 而驱龙铜矿为该区最重要的铜矿床, 虽然对其研究已经取得了一定的进展, 然而对其成矿流体特征、形成机理及其流体来源等关键性问题还存在争议^[1-4]。目前正值西部大开发, 国家迫切需要在西部, 特别是在青藏高原腹地建立有色金属资源后备基地^[5], 所以对驱龙铜矿床开展进一步的工作显得刻不容缓。流体包裹体是可以观察到的古地质流体的天然样品, 已成为当今矿床学研究必不可少的手段。研究成矿流体的温度、压力、盐度和流体成分等各种物理化学参数, 对研究成矿物质来源和成矿的物理化学条件等具有重要意义, 也为进一步指导找矿提供理论依据。

1 矿区地质概况

冈底斯斑岩铜矿带位于雅鲁藏布江缝合带北侧, 班公错-怒江缝合带南缘的火山-岩浆弧中, 驱龙铜矿位于该火山岩浆弧东部的墨竹工卡县境内。野外地质观察发现, 矿区出露地层除第四系外, 主要为中侏罗系叶巴组火山岩。矿区出露的岩浆岩主要

为喜山期黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、石英斑岩等。矿区含矿斑岩主要为二长花岗斑岩, 其中I、II、III号含矿斑岩体为主含矿体^[3-4]。由于II、III号含矿斑岩体工程较少, 本文研究样品主要采自I号含矿斑岩体中的钾硅化、黄铁绢云岩化斑岩、辉钼矿(黄铜矿)石英脉、无矿石英脉及黄铁矿石英脉。矿石主要类型以浸染状、细脉浸染状、脉状和网脉状为主。主要矿石矿物有黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿等, 脉石矿物主要有石英、长石、云母、硬石膏等。

I号含矿斑岩体位于矿区东部, 侵位于黑云母二长花岗岩中, 两者分界基本清楚。岩体内部岩性呈有规律变化, 上部以石英斑岩为主, 深部以花岗斑岩为主^[4]。与世界上斑岩铜矿相似^[6-9], 驱龙斑岩铜矿斑岩体内及外围蚀变发育, 包括钾硅酸盐化, 石英绢云母化、粘土化和外围的青盘岩化。钾硅酸盐化包括硅化、钾长石化和黑云母化, 驱龙铜矿钾长石化发育较弱, 以黑云母化为主; 石英绢云母化形成石英绢云母矿物组合, 并以大量发育含辉钼矿(黄铜矿)的绢云母石英脉为特征^[4]。除此之外, 本矿床下部大量发育结晶颗粒粗大的浅紫红色硬石膏, 它们呈脉状、囊团状、浸染状分布于斑岩体内, 含量可

[收稿日期] 2004-05-17; **[修订日期]** 2004-10-21; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(编号:40272047)资助。

[第一作者简介] 杨志明(1978年-), 男, 2000年毕业于长春工程学院, 获学士学位, 在读硕士研究生, 现主要从事矿产普查与勘探工作。

达 1% ~ 10%。

2 流体包裹体研究

2.1 流体包裹体岩相学特征

本次主要对斑岩中石英斑晶、辉钼矿石英脉、黄铁矿石英脉和硬石膏中的流体包裹体进行了包裹体岩相学、包裹体显微测温分析和包裹体成分的激光拉曼探针分析。首先将样品制成双面抛光的包裹体片,然后在显微镜下仔细观察。观察发现无论是石英脉、石英斑晶还是硬石膏中,都大量发育流体包裹体。包裹体大小从几个 μm 到几十 μm 不等,形状一般为负晶形状、椭圆形、多边形状和不规则状。根据流体包裹体的均一状态以及室温下相态特征可以划分为以下几类:

I:富液相包裹体。由液相和气相组成,加热后均一为液相。按其气相充填度大小又可进一步分为 Ia(图 1-a)和 Ib(图 1-b)两类,其气相充填度分别为:5% ~ 25%、26% ~ 45%。

II:富气相包裹体(图 1-c)。由液相和气相组成,也可见纯气相包裹体。加热后均一呈气相。其气相充填度集中在 45% ~ 100% 之间。

III:含子晶多相包裹体(图 1-d,e)。由气相、液相和子矿物相组成,包裹体中以透明子矿物为主,亦可见少量不透明子矿物。透明子矿物形状主要为立方体、长方体和菱面体状。

IV:纯液相包裹体(图 1-f)。在硬石膏中很发育,多为负晶形状,大小集中于 5 ~ 40 μm 之间。

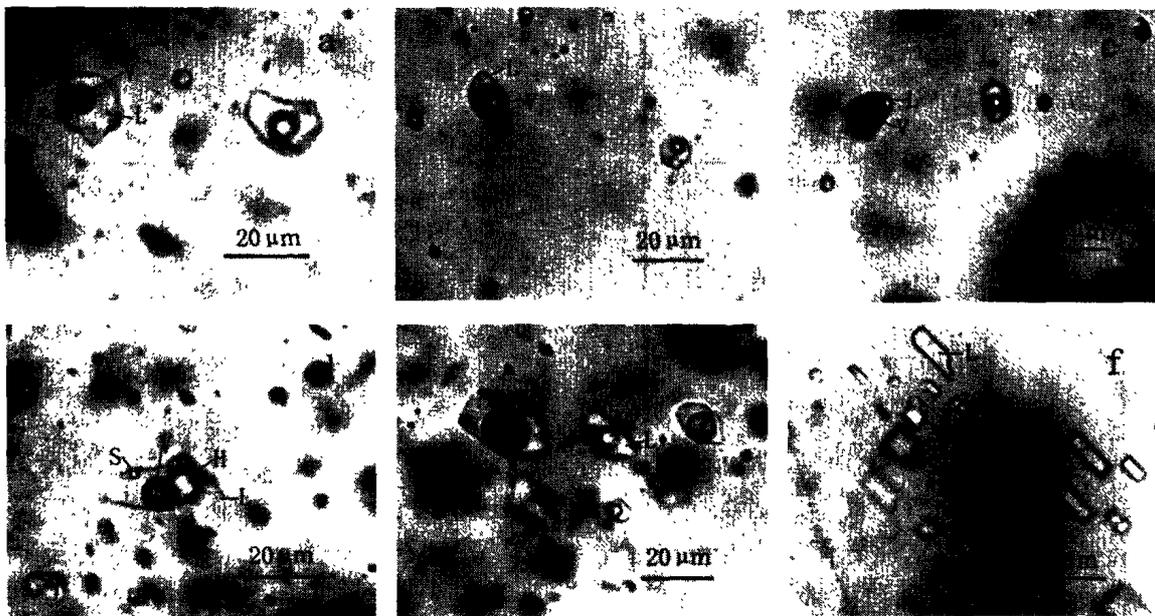


图 1 驱龙铜矿床中流体包裹体显微照片

a—辉钼矿石英脉中的 Ia 类包裹体(QZK1-4);b—石英斑晶中的 Ib 类、III 类包裹体共存(QZK1-4);c—石英斑晶中的 II 类包裹体(QZK1-9);d—石英斑晶中的 III 类包裹体(QZK1-4);e—石英斑晶中的 I 类、III 类包裹体(QZK1-5);f—硬石膏脉中的 IV 类包裹体(QZK1-4)。其中,L 代表液相,V 代表气相,H 代表石盐子矿物,S 代表钾盐子矿物。

石英斑晶中包裹体常显示一定的定向分布,也有些为孤立状分布。从与包裹体有关的蚀变矿物组合上看其多与钾硅化蚀变有关,而与斑岩形成时结晶作用有关的熔体包裹体本次未发现。石英斑晶和与石英绢云母化蚀变有关的辉钼矿石英脉中流体包裹体组合相似,均以液相包裹体(I 类)、气相包裹体(II 类)与含子矿物的多相包裹体(III 类)共存为特征;而硬石膏中则以 I、II、IV 类包裹体为主。

2.2 流体包裹体的显微测温分析及盐度、压力计算

本次包裹体显微测温分析使用仪器为 Linka-

mTHMS 600 型冷热台,仪器测定温度范围为 $-196^{\circ}\text{C} \sim +600^{\circ}\text{C}$,冷冻数据和均一温度数据精度分别为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。本次分别对石英斑晶、石英脉和硬石膏中不同类型的流体包裹体进行了均一温度、冰点温度和含子矿物多相包裹体中子矿物的溶化温度进行测定,测定结果列于表 1。

由于包裹体产状和包裹体类型不同,流体包裹体均一温度、盐度及估算的捕获压力存在差异(表 2)。从表 2 可以看出:在石英斑晶和石英脉中,不同类型包裹体的均一温度和盐度存在一定的规律。

表 1 石英中包裹体的均一温度及盐度

样品号 (宿主矿物)	类型	均一温度/°C			子矿物熔化温度/°C		冰点温度/°C	盐度/wt(NaCl)%	
		范围	测试数	均值	范围	均值		范围	平均值
QZK1-4(石英斑晶)	I a	283~336	4	307			-2	3.4	3.4
	I b	360~390	5	377.2			-4.5~-13(3)	7.2~16.9	11.5
	II	375~405	4	390.8			-2.3~-7.4(3)	3.9~11	8.0
QZK1-4(石英脉)	III	287~380	6	321	213~380(4)	265.8		32.4~44.9	36.1
	I a	210~333	7	283.3			/		
	I b	294~368	13	331.7			/		
	II	/	/	/			/		
QZK1-5(硬石膏脉)	III	190~357	3	276.3	190~357(3)	265.7		31.4~42.6	36.1
	I a	152~300	6	253.2			-0.3~-3.3(2)	0.5~5.4	3.0
	I b	311~353	8	334.8			-1.7	2.9	2.9
	II	356~490	2	423.0			/		
QZK1-5(石英斑晶)	III	/	/	/	/	/			
	I a	285~364	5	327.8			-18~-24.4(2)	21.0~25.2	23.1
	I b	276~395	4	350.0			-20	22.4	22.4
	II	400~510	2	455.0			/		
QZK1-5(石英脉)	III	282~400	4	337.7	247~400(3)	309.7		34.2~47.1	39.3
	I a	286~330	4	307.0			/		
	I b	378~386	3	381.3			/		
	II	372~380	2	376.0			/		
QZK1-6(石英斑晶)	III	278~446	4	372.8	180~446(4)	309.5		31.0~52.5	40.3
	I a	319~372	4	347.8			/		
	I b	356~380	3	369.3			/		
	II	/	/	/			/		
QZK1-6(辉钼矿石英脉)	III	215~290	5	252.4	215~250(2)	232.5		32.5~34.4	33.5
	I a	328~346	3	337.3			-8	11.7	11.7
	I b	328~381	6	348.7			-2~-6	3.4~9.2	6.8
	II	/	/	/			/		
QZK1-9(石英斑晶)	III	229~350	6	291.8	195~350(6)	258.7		31.6~42.0	40.1
	I a	252~494	5	362.4			/		
	I b	347~480	4	386.8			/		
	II	364	1	364			/		
QZK1-9(石英脉)	III	280~375	4	307.5	160~285(3)	239		30.2~36.7	34.2
	I a	290~372	5	324			/		
	I b	312~375	9	341.4			/		
	II	/	/	/			/		
QL-B01(石英斑晶)	III	230~277	2	253.5	230~240(2)	235		33.3~33.8	33.6
	I a	225	1	225			-15	18.6	18.6
	I b	/	/	/			/		
	II	365~389	3	376			/		
QL-B02(石英脉)	III	285~405	9	334.6	240~405(9)	316.9		33.8~47.6	39.6
	I a	215~385	5	292.6			/		
	I b	350~395	3	375.7			/		
	II	380~410	4	396.3			/		
	III	300	1	300	300	300		37.8	37.8

注: I、II类包裹体盐度计算根据 Potter(1978)、Hall(1988)公式^[10,11], III类用 Bischoff(1991)公式^[12], 标注“/”为未测数据。测试在北京科技大学进行, 仪器 LinKam THMS600 冷热台, 时间 2004.2-2004.4。

I、II类包裹体随气相充填度增大, 均一温度略有升高, 如 I a、I b、II类包裹体平均温度分别为: 317.9°C、358.4°C、393°C; 而盐度随气相充填度增大而减小, 如 I a 平均 14.4wt% NaCleq, I b 平均 10.5 wt% NaCleq, II类平均 8.0 wt% NaCleq; III类包裹体

中子矿物以石盐为主, 在加热过程中, 大多数包裹体的气泡先消失石盐子矿物后消失, 也有少数为石盐先消失, 气泡后消失。III类包裹体的平均均一温度为 323.1°C, 与 I、II类包裹体均一温度相差不大, 据石盐子矿物熔化温度估算的盐度为 30.2%~52.5wt%

表 2 石英及硬石膏中不同类型包裹体均一温度、盐度及压力统计表

宿主矿物	类型	均一温度/℃		盐度/wt% NaCleq		压力/MPa	
		温度范围	均值	盐度范围	均值	压力范围	均值
石英斑晶	I a	225 ~ 494	331.3	3.4 ~ 25.2	17.1	6.3 ~ 16.0	11.1
	I b	276 ~ 480	371.3	7.9 ~ 22.4	14.2	17.0 ~ 20.0	18.7
	II	364 ~ 510	396.5	3.9 ~ 11.0	8.0		
	III	215 ~ 405	342.2	30.2 ~ 47.6	37.5	0.5 ~ 17.2	4.8
石英脉	I a	210 ~ 386	304.4	11.7	11.7	15	15
	I b	294 ~ 395	345.5	3.4 ~ 9.2	6.8	12.7 ~ 17.1	14.8
	II	372 ~ 410	389.5	/	/		
	III	190 ~ 446	304	31.0 ~ 52.5	41.0	0.9 ~ 24.4	6.1
硬石膏脉	I a	152 ~ 300	253.2	0.5 ~ 5.4	3.0	0.5 ~ 3.9	2.2
	I b	311 ~ 353	334.8	2.9	2.9	12.0	12.0
	II	356 ~ 490	423	/	/		

注: I、II类压力估算据 Haas(1976)公式^[13], III类压力估算据 Bischoff(1991)公式^[12]。标“/”处为未测数据。

NaCleq。石英斑晶和石英脉中 I、II、III类包裹体共存,且均一温度相似,而盐度变化范围较大(图 2),显示沸腾包裹体的特点。而硬石膏中包裹体少见 III类包裹体,其均一温度较低,盐度和压力较石英斑晶和石英脉中的小得多,结合其野外产状和包裹体特征上看应属稍晚阶段产物。

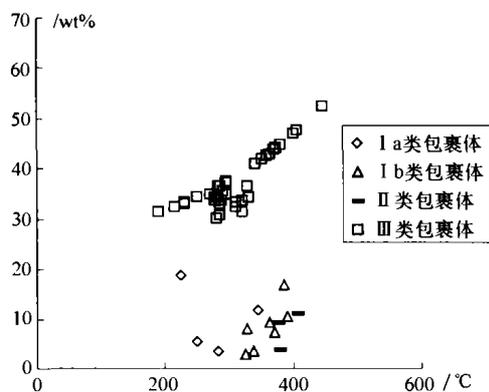


图 2 驱龙铜矿流体包裹体均一温度、盐度图

刘斌等(1999)认为,流体沸腾时由于内部饱和蒸气压和外部压力相等,外压对包裹体均一温度的影响可以忽略,因此均一温度不需要进行压力校正,它等于形成温度^[14]。当测定出富液相包裹体和富气相包裹体的均一温度后,如果两者的数值又相差不大,这时可以把他们的平均值作为形成温度。II类包裹体在测试过程中,由于大气相充填度(>65%)包裹体中水溶液含量很少,又呈一层薄膜吸附在包裹体壁上,加之包裹体壁不平整,水溶液相完全均一呈气相的现象很难看清,所以测试的包裹体气相充填度多集中于45%~65%,导致了我们所测定的II类包裹体均一温度较高。由于富液相包裹体(I a)气泡消失温度能够准确地测定出来,所以我们以其平均温度来代替成矿温度^[14],即318℃为本

矿床的主成矿期温度。由成矿温度(318℃)和盐度(14.4wt% NaCleq)估算出的最小捕获压力为10MPa^[13],按地压梯度27Mpa/km,估算的成矿最小深度应大于350 m。

本次测得 I 类包裹体低共熔点温度在 -22℃ ~ -25℃ 之间,平均为 -23.3℃,显示出流体中除 NaCl 外还含少量的 KCl。III类包裹体中子矿物除含大量石盐外,同时亦可见少量难溶透明子矿物,在加热到 550℃ 以上时还没有溶解的趋势,该类子矿物多为菱形或浑圆状,初步判断为碳酸盐子矿物。

2.3 流体包裹体成分的激光拉曼探针(LRM)分析

流体包裹体成分的 LRM 分析在中国地质科学院矿产资源研究所进行,测试仪器为 Renishaw-2000 型显微共焦激光拉曼光谱仪,光源为 Spectra-Physics 氩离子激光器,波长 514nm,激光功率 20mW。本次对石英斑晶和辉钼矿石英脉中的 I、II、III类包裹体进行了气、液相成分和透明子矿物相的激光拉曼探针分析,部分谱图列于图 3。测试结果表明, I、II、III类包裹体中气、液相成分均以 H₂O 为主,多数样品除水峰外,还可见 CO₃²⁻ 的峰(1060~1071cm⁻¹)(图 3-d)。一些含子矿物包裹体在测定时,除水峰和主矿物峰外常可见碳酸盐矿物的谱峰特征(图 3-b)。进一步证实碳酸盐子矿物的存在。

3 讨论

从驱龙铜矿蚀变矿物组合、流体包裹体中子矿物的类型、流体包裹体的均一温度、流体包裹体低共熔点温度及包裹体成分的激光拉曼探针分析结果可以看出,驱龙铜矿从钾硅化、石英绢云母化到硬石膏化,成矿流体的温度变化不大,盐度和压力显示出从

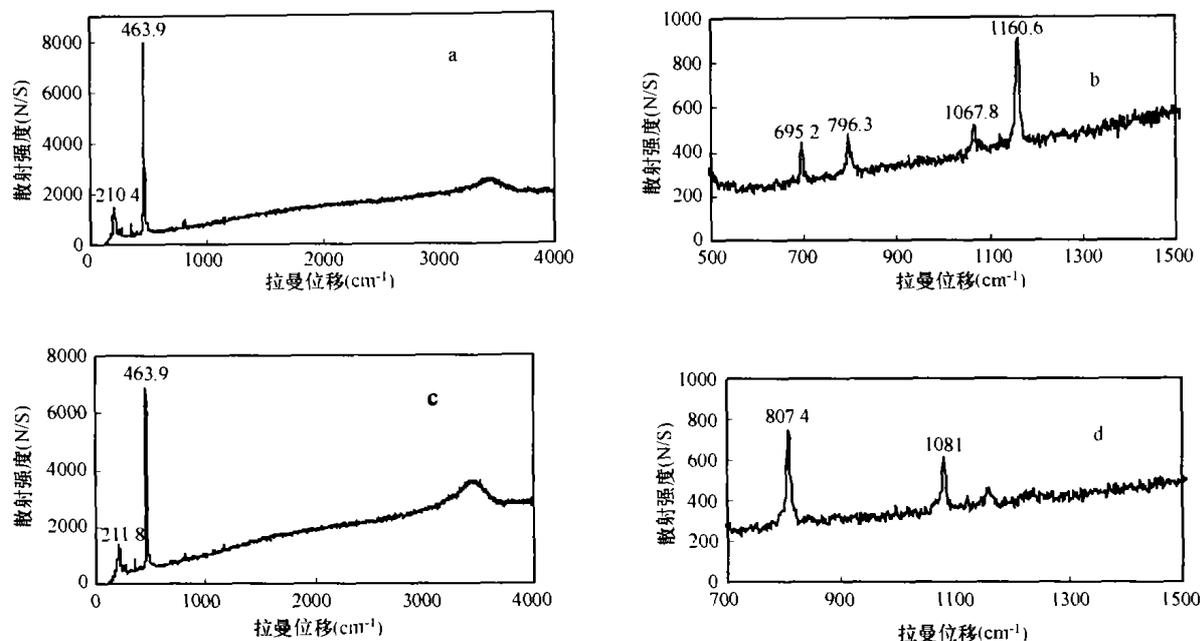


图 3 驱龙铜矿流体包裹体激光拉曼图谱

a、b—I 类包裹体中液相 (QZK1-4L 石英); c—I 类包裹体中气相 (QZK1-4G 石英); d—II 类包裹体中液相 (QZK1-4L 石英)

高到低的演化趋势。从流体成分上看,早期钾硅化阶段和石英绢云母化阶段形成石英、钾长石、黑云母和绢云母等蚀变矿物组合,高盐度多相流体包裹体中子矿物以 NaCl 为主,少量的 KCl,气液相成分以 H₂O 为主,表明流体以高盐度、富 Si、富 K、Na 为特征,LRM 分析中碳酸盐子矿物的发现及液相中 CO₃²⁻ 的发现,表明成矿流体中阴离子以 Cl⁻、CO₃²⁻ 为主。硬石膏阶段流体包裹体均一温度略有降低,但流体包裹体盐度和估算的捕获压力明显降低,从其矿物组成上看流体中富含 SO₄²⁻。高盐度、富钾流体是岩浆热液的典型特征,高盐度促使金属矿物的迁移。在高盐度流体包裹体中有时可见不透明金属子矿物,从其矿相学特征上看应为硫化物子矿物。斑岩铜矿流体包裹体中富含金属硫化物子矿物已被许多学者证实。陈培荣等(1996)在盐源斑岩铜矿流体包裹体中鉴定出了黄铜矿等子矿物^[15],我们在最近的研究工作中通过 SEM/EDS 研究在玉龙斑岩铜矿床辉钼矿石英脉中也发现了黄铜矿子矿物,而在富气相的盐度较低的流体包裹体中未见金属子矿物,也再一次表明高盐度流体具有较高的金属溶解能力。高盐度、富 K、Na 的流体是金属迁移的重要条件。资料显示,驱龙铜矿的成矿年龄被限定在 16Ma 左右^[16,17,18],此时正值冈底斯火山岩浆弧受到持续的印度板块碰撞后应力开始释放的时候,以前的封闭体系突然变成开放体系,富 Cu 等成矿金属

的高盐度、富钾、钠流体发生减压沸腾,随着压力、温度等物理化学条件的变化和蚀变矿物的生成,成矿金属在流体中的溶解度降低,发生沉淀,进而形成斑岩型铜矿床。

野外工作中得到了中国地质科学院矿产资源研究所余宏全博士、丰成友博士,成都矿产地质研究所林方成博士、廖忠礼博士及刘波同志等的大力帮助;在 LRM 分析过程中得到徐文艺博士的悉心指导和大力支持,在此表示感谢。

[参考文献]

- [1] 曲晓明,侯增谦,黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带? [J]. 矿床地质,2001,20(4):355~366.
- [2] 王全海,王保生,李金高,等. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估 [J]. 地质通报,2002,21(1):35~40.
- [3] 姚鹏,王全海,李金高. 西藏甲马-驱龙矿集区成矿远景 [J]. 中国地质,2002,29(2):197~202.
- [4] 郑有业,薛迎喜,程力军,等. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报,2004,29(1):103~108.
- [5] 王小春,晏子贵,周维德,等. 初论西藏冈底斯带中段尼木西北部斑岩铜矿地质特征 [J]. 地质与勘探,2002,38(1):5~8.
- [6] Meyer C, and Hemley J J, Water-rock alteration. in Barnes, H. L.(ed), Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. New York, 1967,166~235.
- [7] Lowell J D, and Guibert J M, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits [J]. Econ. Geol.,

- 1970,65:373~408.
- [8] Sillitoe R H. , A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits[J]. *Econ. Geol.* , 1972,67:184~197.
- [9] Drummond A D. and Godwin C I. , Hypogene mineralization: an empirical evaluation of alteration zoning. In *Porphyry Deposits in Canadian Cordillera*[J]. *Special*, 1976,15:52~63.
- [10] Potter R W et al. . The volumetric properties of aqueous sodium chloride solutions from 0°C to 500°C at pressures up to 2000 based on a regression of available data in the literature[J]. *U. S. Geol. Survey Bull.* ,1978,1421~C,36.
- [11] Hall D L et al. . Freezing point depression of NaCl - KCl - H₂O solution[J]. *Econ. Geol.* ,1988,83:197~202.
- [12] Bischoff J L. . Densities of liquids and vapors in boiling NaCl - H₂O solutions: A PVTX summary from 300°C to 500°C [J]. *Amer. J. Sci.* ,1991,291:309~338.
- [13] Haas J L. . Physical properties of the coexisting phases and thermodynamic properties of the H₂O component in boiling NaCl solutions[J]. *U. S. Geol. Survey Bull.* 1976,1421~A:73.
- [14] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 地质出版社,1999.
- [15] 陈培荣,陈小明,倪培. 等. 盐源斑岩铜矿流体包裹体中黄铜矿矿物的发现[J]. *科学通报*,1996,41(7):633~635.
- [16] 侯增谦,莫宣学,高永丰. 等. 埃达克岩:斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. *矿床地质*, 2003,22(1):1~12.
- [17] 芮宗瑶,侯增谦,曲晓明. 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. *矿床地质*,2003,22(3):217~215.
- [18] 黄志英,李光明. 西藏雅鲁藏布江成矿区斑岩型铜矿基本特征与找矿潜力[J]. *地质与勘探*,2004,40(1):1~6.

CHARACTERISTICS AND FORMING PROCESS OF ORE - FORMING FLUIDS AT QULONG COPPER DEPOSIT IN GANGDISE PORPHYRY COPPER BELT, TIBET

YANG Zhi - ming¹, XIE Yu - ling¹, LI Guang - ming², XU Jiu - hua¹

(1. *The Civil and Environmental Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083;*

2. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resource, Ministry of Land and Resource, Chengdu 610082)*

Abstract: The Qulong copper deposit is a typical porphyry copper deposit (PCD), and discovered in the east Gangdise porphyry copper ore belt of Tibet. Three types of fluid inclusions, namely liquid, gas - rich and daughter mineral - bearing inclusions, have been found. Fluid inclusions from this deposit have a salinity between 0.5 and 52.5 wt% NaCl eq., and homogenization temperatures range between 190 and 510°C. H₂O is dominated in the liquid and gas phases by laser Raman spectroscopy (LRM), at the same time minor CO₃²⁻ has been detected too. Boiling, which is proved by the coexisting of liquid, gas - rich and the daughter mineral - bearing inclusions with similar homogenization temperatures, is an important factor during the mineralization. Ore - forming fluids of Qulong copper deposit is rich in Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺ and CO₃²⁻ with high salinity and strong solubility of copper, according to altered mineral assemblage and the analysis of Linkam THMS600 and LRM.

Key words: fluid inclusion, fluid evolution, Qulong porphyry copper deposit, Gangdise