文章编号：1006-6616（2016）02-0338-08

西藏波龙斑岩铜金矿床成矿流体物理化学条件

霍 艳[1]，李 丹[2]
（1. 都理工大学地球科学学院，成都 610059；
2. 河南省岩石矿物测试中心，郑州 450012）

摘 要：应用英国 Linkam THNSG600 型冷热台测试和前人的经验公式，对西藏波龙斑岩铜金矿床在岩浆晚期、磁铁矿-辉钼矿阶段、黄铜矿-黄铁矿阶段和硬石膏-黄铁矿阶段等 4 个成矿阶段利于主成矿元素 Cu 迁移的流体包裹体的一般特征及物理化学条件进行研究。研究结果表明，该矿床流体包裹体类型以含石盐和硫化物子矿物的三相包裹体为主，为高温（232 ~ 549 ℃）、低压（1.40×10^5 ~ 234.41×10^5 Pa）、高盐度（NaCl 质量分数 28.65% ~ 52.16%）、中—高密度（1.0683 ~ 1.1598 g/cm^3）的流体；随着成矿进程的发展，各阶段流体逸度和活度均逐渐降低，pH 值和 Eh 值逐渐升高，铜主要以 $Cu(H_2S)(HS)_2^-$ 形式存在，说明 Cu 在高温酸性流体中易成矿。

关键词：流体包裹体；物理化学条件；斑岩铜金矿床；波龙
中图分类号：P618.41　　**文献标识码**：A

0 引言

波龙斑岩铜金矿床位于西藏自治区改则县北西约 100 km，班公湖—怒江成矿带西段。班公湖—怒江缝合带呈狭长带状近东西向展布，东西延伸超过 2000 km，是一条横贯青藏高原中部的重要缝合带[1~3]。自 2002 年以来，西藏地质五队在发现地表具有相似的褐铁矿化的基础上，通过持续的地质工程施工控制，陆续发现了多不杂和波龙斑岩铜金矿床[4]，而波龙矿床已成为青藏高原中部发现的最大的斑岩铜矿床。

自被确定为独立的斑岩铜矿以来，波龙矿床备受关注，目前开展了波龙矿床的成矿、成岩年龄[4~6]、矿床同位素地球化学[7~9]、矿床岩石学特征[10~11]、成矿构造环境[12]及成矿作用[13~14]等方面的研究。讨论波龙矿床流体方面的文献仅有 2 篇[15~16]，其中李丹[15]虽然已对其进行了研究，但样品数量和统计数据有限，仅仅探讨了流体包裹体的基本特征和温度、盐度、密度、压力等条件；周玉[16]进行了稀有气体同位素研究，结合包裹体气相成分及 H-

收稿日期：2015-09-30
基金项目：四川省教育厅项目（13ZB0066）；成都理工大学中青年骨干教师培养计划资助项目（JXGG201501）；成都理工大学“矿物学、岩石学、矿床学”国家重点（培育）学科建设项目（SZD0407）
作者简介：霍艳（1978-），女，讲师，理学博士，主要从事矿床地球化学及区域地质调查等研究工作。E-mail：huoyan@cdut.cn

O 同位素分析，认为成矿流体属壳幔混源。本文从流体包裹体的气液相成分入手，结合前人的研究成果，进一步分析波龙矿床成矿流体的物理化学条件。

1　矿床地质概况

波龙斑岩铜金矿床紧邻多不杂矿床，与拿若矿床（点）等组成了班公湖—怒江成矿带西段的多龙矿集区（见图 1）。

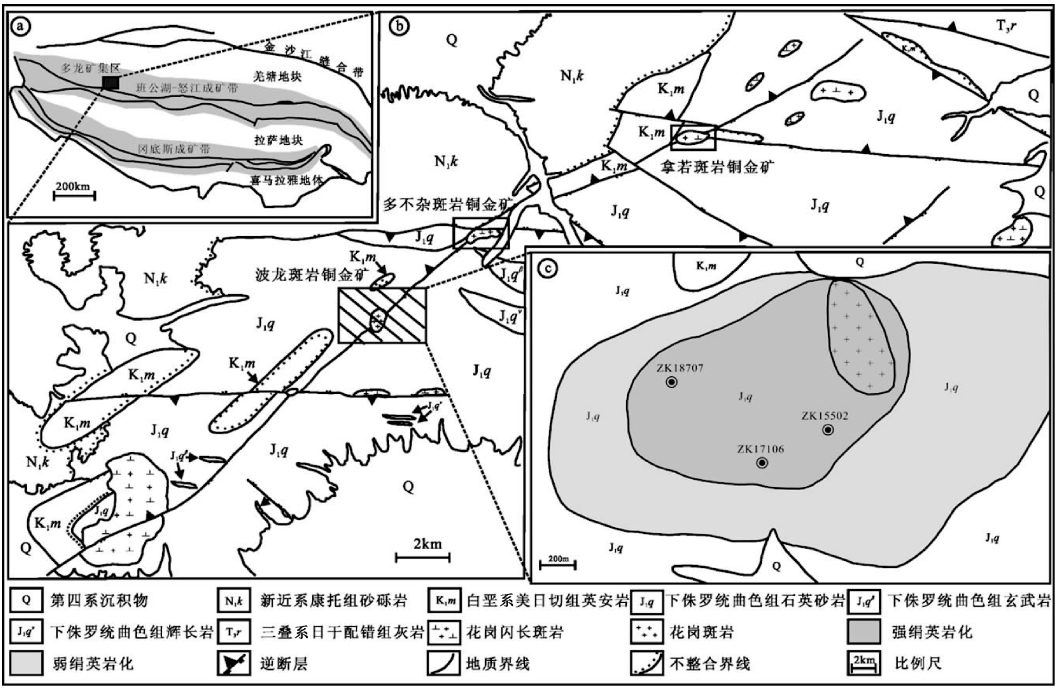

图 1　多龙矿集区构造背景简图（a）、地质简图（b）和波龙矿床地质简图（c）[4]

Fig. 1　Tectonic and geological maps of Duolong metallogenic district and geological map of Bolong porphyry Cu-Au deposit

矿区出露的地层主要有下侏罗统曲色组第一岩性段（J_1q_1）、下白垩统美日切错组第一岩性段（K_1m_1）和第四系（Q）。区内地层呈单斜构造，未见褶皱和断裂。矿区岩浆岩以中酸性的花岗闪长斑岩为主，其次为脉岩，少量火山岩。矿区变质作用不发育，变质程度较浅，以区域变质作用为主，可见少量变石英砂岩和粉砂质板岩。

波龙斑岩铜矿床矿体以隐伏—半隐伏状产出，平面上呈似椭圆形状，地表未见露头。矿石构造以细脉—浸染状及浸染状构造为主，具结晶结构、交代结构和固溶体分离结构。矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿，其次为磁黄铁矿、斑铜矿、辉锑矿、辉钼矿、磁铁矿等；脉石矿物以石英、长石、绢云母、硬石膏为主。矿区围岩与矿化蚀变发育，蚀变类型主要为硅化、黑云母化、绢云母化、黏土化等，其次为硬石膏化、碳酸盐化、绿帘石化和绿泥石化等[7,12]。

根据本矿区野外观察、采样和室内磨片、镜下鉴定等研究，可将波龙铜矿床的形成过程划分为 3 个成矿期次：岩浆晚期、热液成矿期和表生期，其中热液成矿期又分为磁铁矿-辉钼矿阶段、黄铜矿-黄铁矿阶段和硬石膏-黄铁矿阶段。

2 包裹体一般特征

波龙斑岩铜金矿床的流体包裹体分布主要呈成群、成带或星散状。形态多样，多为负晶形、椭圆形和不规则形，大小多在 5 ~ 20 μm 之间，最大可达 70 μm。流体包裹体类型较复杂，主要为含石盐和硫化物子晶的气-液-固三相（L + V + H）包裹体，其次为气-液两相（L + V）包裹体，还有少量的纯气相（V）和纯液相（L）包裹体，其中气液比多在 10% ~ 50% 之间[15]。

3 包裹体温度、盐度、密度与压力特征

包裹体均一温度和冰点温度的测试在成都理工大学资源勘查工程系包裹体实验室进行，所用仪器为英国 Linkam THNSG600 型冷热台和吉林浑江市光学仪器厂 TRL-02 型热台。共测试了 10 件样品 96 个流体包裹体的均一温度。成矿深度和压力依据邵洁涟[17]提出的经验公式计算。依据测得的冰点温度，采用 Hall 等[18]的 H_2O-NaCl 体系公式计算了盐度，根据刘斌[19]的密度计算公式得出了密度。测试及计算结果见表 1。

表 1 波龙铜金矿床流体包裹体均一温度、盐度、密度及压力测定结果

Table 1 Homogenization temperature, salinity, density and pressure of fluid inclusions in Bolong Cu-Au deposit

成矿阶段	主矿物	均一温度/℃		盐度/%		密度/(g·cm^{-3})		压力/10^5Pa	
		变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均
岩浆晚期	斑晶石英	334 ~ 549	467	38.24 ~ 52.16	41.86	1.0683 ~ 1.1067	1.0761	58.76 ~ 234.41	102.47
磁铁矿-辉钼矿	石英	312 ~ 533	429	34.56 ~ 50.49	42.34	1.0683 ~ 1.0975	1.0771	26.72 ~ 212.69	109.59
黄铜矿-黄铁矿	石英	262 ~ 502	388	29.47 ~ 40.79	35.01	1.0683 ~ 1.1494	1.0930	3.14 ~ 86.81	33.54
硬石膏-黄铁矿	硬石膏石英	232 ~ 471	332	28.65 ~ 36.90	32.48	1.0765 ~ 1.1598	1.1153	1.40 ~ 45.74	17.68

由表 1 可以看出，包裹体均一温度在 232 ~ 549 ℃之间变化。随着成矿过程从岩浆晚期→磁铁矿-辉钼矿阶段→黄铜矿-黄铁矿阶段→硬石膏-黄铁矿阶段发展，均一温度逐渐降低（467→429→388→332 ℃），包裹体盐度（NaCl 的质量分数，下同）也逐渐降低（41.86%→42.34%→35.01%→32.48%）。根据波龙矿区包裹体均一温度、盐度计算出的流体密度逐渐增高（1.0761→1.0771→1.0930→1.1153 g/cm^3）。该矿床各成矿阶段的成矿压力都不高，平均值在 17.68×10^5 ~ 109.59×10^5 Pa 之间，基本呈逐渐降低的特点。矿床主要成矿于地下 0.01 ~ 0.78 km 深度，因此属浅成矿床。

包裹体测试数据显示，从岩浆晚期→磁铁矿-辉钼矿阶段→黄铜矿-黄铁矿阶段→硬石膏-黄铁矿阶段，波龙铜金矿床是在高温、低压、浅成—超浅成环境下形成的，成矿流体属于高盐度、中—高密度流体。

4 逸度

根据波龙斑岩型铜金矿床脉石矿物石英中包裹体的气相成分与均一温度测试结果，按照有关热力学逸度计算公式[20]，计算了不同阶段样品的氧逸度（$\lg f_{O_2}$）、二氧化碳逸度（$\lg f_{CO_2}$）和硫逸度（$\lg f_{S_2}$）（见表 2）。由表 2 可得，$\lg f_{O_2}$ 均值的变化为 -27.280→ -29.631；

lgf_{CO_2}均值的变化为 1.851→1.242；lgf_{S_2}均值的变化为 −3.284→ −4.138，表明从磁铁矿-辉钼矿阶段→黄铜矿-黄铁矿阶段，流体逸度总体呈下降趋势。

表 2　波龙铜金矿床流体逸度

Table 2　Fugacity of fluid inclusion in Bolong Cu-Au deposit, Tibet

样号	lgf_{O_2}	lgf_{CO_2}	lgf_{S_2}	阶段
BL002	−27.280	1.851	−3.284	磁铁矿-辉钼矿
BL019	−28.778	1.295	−3.865	
BL045	−30.167	1.177	−4.323	黄铜矿-黄铁矿
BL058	−29.946	1.254	−4.227	

5　pH 值和 Eh 值

根据包裹体气液相成分测试及均一温度，运用 Crerar[21] 和李葆华等[22] 的公式，计算出波龙矿区成矿流体的酸碱度（pH）和氧化还原电位（Eh），结果见表 3。

表 3　波龙铜金矿床流体 pH 和 Eh 值

Table 3　The values of pH and Eh of the fluid inclusions in Bolong Cu-Au deposit, Tibet

样号	pH	Eh	阶段
BL002	5.149	0.009	磁铁矿-辉钼矿
BL019	5.427	0.013	
BL045	5.486	0.018	黄铜矿-黄铁矿
BL058	5.448	0.016	

表 3 显示，磁铁矿-辉钼矿阶段 pH 值为 5.149，Eh 值为 0.009；黄铜矿-黄铁矿阶段 pH 平均值为 5.454，Eh 平均值为 0.016，表明从磁铁矿-辉钼矿阶段到黄铜矿-黄铁矿阶段，流体 pH 和 Eh 值均具有增高的趋势。

6　总硫活度和总碳活度

根据 Helgeson[23]、Crerar[24] 和 Haymob 的 lg*K* 值（某些气体元素和盐类平衡常数，转引自李葆华等[22]）及已算出的 pH、f_{O_2}、f_{S_2}和f_{CO_2}，得到硫和碳的各溶解类型的活度及总硫活度和总碳活度（见表 4）。由表 4 可以看出，本矿床成矿流体中总硫活度 $a_{\Sigma S}$为 0.536 ~ 14.067 mol/L，总碳活度 $a_{\Sigma C}$为 0.660 ~ 3.121 mol/L。成矿溶液中硫的溶解类型以 HSO_4^- 和 H_2S 形式为主，碳的溶解类型以 H_2CO_3 和 CO_2 形式为主。从磁铁矿-辉钼矿阶段→黄铜矿-黄铁矿阶段，总硫活度和总碳活度依次降低，说明随着成矿过程的进行，硫化物和碳酸盐矿物的含量依次增加。

7　Cu 的迁移、沉淀机制分析

热液在流经含矿岩系时活化并萃取了大量铜和其他成矿物质，随后演化成含矿热液。

铜在热液中的迁移形式主要是氯的络合物和硫氢络合物等，如 $Cu(HS)^{3-}$、$CuS(HS)_3^{3-}$、$CuCl_3^-$ 等[25~26]。根据公式计算得到各种铜络合物离子活度和铜的总溶解度（见表 5）。

表 4 波龙铜金矿床总硫、总碳活度计算结果

Table 4 Activity of total sulphur and total carbon in Bolong Cu-Au deposit, Tibet mol/L

样品编号	lgf_{S_2}	lgf_{O_2}	lga_{H_2S}	lga_{HS^-}	$lga_{S^{2-}}$	$lga_{HSO_4^-}$	$lga_{SO_4^{2-}}$	$lga_{\Sigma S}$	$a_{\Sigma S}$	阶段
BL002	-3.284	-26.714	-0.785	-4.636	-11.587	1.135	-0.596	1.148	14.067	磁铁矿-辉钼矿
BL019	-3.865	-28.152	-0.357	-3.930	-10.603	-1.033	-2.486	-0.271	0.536	
BL045	-4.323	-29.691	0.184	-3.330	-9.944	-3.512	-4.906	0.184	1.529	黄铜矿-黄铁矿
BL058	-4.227	-29.513	0.143	-3.409	-10.062	-3.235	-4.667	0.143	1.391	
样品编号	lgf_{CO_2}	lga_{CO_2}	$lga_{H_2CO_3}$	$lga_{HCO_3^-}$	$lga_{CO_3^{2-}}$	$lga_{\Sigma C}$	$a_{\Sigma C}$			阶段
BL002	1.851	0.151	0.231	-3.530	-10.811	0.494	3.121			磁铁矿-辉钼矿
BL019	1.295	-0.405	-0.325	-3.808	-10.811	-0.062	0.867			
BL045	1.177	-0.523	-0.443	-3.867	-10.811	-0.180	0.660			黄铜矿-黄铁矿
BL058	1.254	-0.446	-0.366	-3.829	-10.811	-0.103	0.788			

表 5 铜络离子活度及铜的总溶解度

Table 5 Activity of Cu complex ion and total solubility

样品编号	$lga_{Cu(HS)^{2-}}$	$lga_{Cu(H_2S)(HS)^{2-}}$	lga_{Cu^+}	lga_{CuCl^0}	$lga_{CuCl_2^-}$	$lga_{CuCl_3^{2-}}$	阶段
BL002	-6.674	-7.148	-6.428	-14.607	-20.786	-30.765	磁铁矿-辉钼矿
BL019	-5.753	-5.800	-7.065	-21.923	-34.780	-51.438	
BL045	-4.883	-4.389	-7.509	-12.438	-15.366	-22.095	黄铜矿-黄铁矿
BL058	-4.983	-4.530	-7.426	-13.964	-18.502	-26.841	
样品编号	$lga_{Cu^{2+}}$	lga_{CuCl^+}	$lga_{CuCl_2^0}$	$lga_{CuCl_3^-}$	$lga_{CuCl_4^{2-}}$	$lga_{\Sigma Cu}$	阶段
BL002	-13.955	-18.834	-29.214	-40.093	-51.372	-6.183	磁铁矿-辉钼矿
BL019	-15.230	-26.788	-43.845	-61.403	-79.361	-5.464	
BL045	-16.117	-17.746	-24.875	-32.504	-40.533	-4.268	黄铜矿-黄铁矿
BL058	-15.951	-19.190	-27.928	-37.167	-46.805	-4.398	

由表 5 可知：从磁铁矿-辉钼矿阶段到黄铜矿-黄铁矿阶段，成矿流体中的总铜活度变化为 $10^{-6.183}$ ~ $10^{-4.268}$ mol/L，显示出由低到高的变化规律。

根据计算出的 Cu 络离子活度值，可知 Cu 在热液中主要以 $Cu(HS)^{2-}$、$Cu(H_2S)(HS)^{2-}$、Cu^+ 形式存在。随着流体 pH 值增大，温度降低，主要成矿元素开始以硫化物的形式沉淀下来。

8 结论

波龙斑岩铜金矿床流体包裹体类型以含石盐和硫化物子矿物的气-液-固三相包裹体为主，其次为气-液两相包裹体，还有少量的纯气相及纯液相包裹体。

从流体测试分析数据可判断出，波龙斑岩铜金矿床形成于高温（232 ~ 549 ℃）、低压（1.40×10^5 ~ 234.41×10^5 Pa）和浅成—超浅成（0.01 ~ 0.78 km）环境；成矿流体表现出高盐度（28.65% ~ 52.16%）和中—高密度（1.0683 ~ 1.1598 g/cm^3）特征。从岩浆晚期→磁铁矿-辉钼矿阶段→黄铜矿-黄铁矿阶段→硬石膏-黄铁矿阶段，成矿流体的均一温度、成矿压力和盐度逐渐降低，而成矿流体密度逐渐升高。

随着成矿阶段的发展，各阶段流体氧逸度 lgf_{O_2} 均值（-26.714→-29.118）、二氧化碳逸度 lgf_{CO_2} 均值（1.851→1.242）和硫逸度 lgf_{S_2} 均值（-3.284→-4.138）逐步降低，pH 值（5.149→5.454）和 Eh 值（0.009→0.016）逐步升高；总硫活度 $a_{\Sigma S}$（$10^{1.148}$→$10^{0.019}$）和总

碳活度 $a_{\Sigma C}$（$10^{0.494}\rightarrow10^{-0.115}$）逐渐降低，与矿化具有一致性，说明硫化物和碳酸盐矿物的含量在逐步增加。

在成矿热液中，铜的络离子化合物主要以 $Cu(H_2S)(HS)_2^-$ 形式存在，其次是 $Cu(HS)_2^-$，少量为 $CuCl_2^-$ 和 $CuCl_3^{2-}$ 的形式存在，其余活度很低。

参　考　文　献

[1] 曹圣华，罗小川，唐峰林，等. 班公湖—怒江结合带南侧弧-盆系时空结构与演化特征 [J]. 中国地质，2004，31（1）：51～56.
CAO Sheng-hua，LUO Xiao-chuan，TANG Feng-lin，et al. Time-space structure and evolution of the arc-basin system on the southern side of the Bangong Co-Nujiang junction zone [J]. Geology in China，2004，31（1）：51～56.

[2] 曲晓明，辛洪波. 藏西班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境 [J]. 地质通报，2006，25（7）：792～799.
Qu Xiao-ming，XIN Hong-bo. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet，China [J]. Geological Bulletin of China，2006，25（7）：792～799.

[3] 李光明，李金祥，秦克章，等. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体：流体包裹体证据 [J]. 岩石学报，2007，23（5）：935～952.
LI Guang-ming，LI Jin-xiang，QIN Ke-zhang，et al. High temperature，salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt，Tibet：Evidence from fluid inclusions [J]. Acta Petrologica Sinica，2007，23（5）：935～952.

[4] 祝向平，陈华安，马东方，等. 西藏波龙斑岩铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J]. 岩石学报，2011，27（7）：2159～2164.
ZHU Xiang-ping，CHEN Hua-an，MA Dong-fang，et al. Re-Os dating for the molybdenite from porphyry copper-gold deposit in Tibet，China and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica，2011，27（7）：2159～2164.

[5] 祝向平，陈华安，马东方，等. 西藏波龙斑岩铜金矿床钾长石和绢云母 40Ar/39Ar 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质，2013，32（5）：954～962.
ZHU Xiang-ping，CHEN Hua-an，MA Dong-fang，et al. 40Ar/39Ar dating of hydrothermal K-feldspar and hydrothermal sericite from Bolong porphyry Cu-Au deposit in Tibet [J]. Mineral Deposits，2013，32（5）：954～962.

[6] 陈华安，祝向平，马东方，等. 西藏波龙斑岩铜金矿床成矿斑岩年代学、岩石化学特征及其成矿意义 [J]. 地质学报，2013，87（10）：1593～1611.
CHEN Hua-an，ZHU Xiang-ping，MA Dong-fang，et al. Geochronology and geochemistry of the Bolong porphyry Cu-Au deposit，Tibet and tis mineralizing significance [J]. Acta Geologica Sinica，2013，87（10）：1593～1611.

[7] 周玉，温春齐，周雄，等. 西藏波龙铜矿区含矿斑岩主量元素特征及地质意义 [J]. 矿物学报，2011，31（S1）：444.
ZHOU Yu，WEN Chun-qi，ZHOU Xiong，et al. The main elements characteristics and geological significance of ore-bearing porphyry in Bolong copper mining area，Tibet [J]. Acta Mineralogica Sinica，2011，31（S1）：444.

[8] 周玉. 西藏波龙铜矿区含矿斑岩元素地球化学研究 [D]. 成都：成都理工大学，2012.
ZHOU Yu. Elements Geochemistry of Ore-bearing Porphyry in the Bolong Copper Mine District，Tibet [D]. Chengdu：Chengdu University Technology，2012.

[9] 周玉，多吉，温春齐，等. 西藏波龙铜矿床 S-Pb 同位素地球化学特征 [J]. 矿物岩石，2013，33（23）：43～49.
ZHOU Yu，DUO Ji，WEN Chun-qi，et al. Geochemical characteristics of Sulfur and Lead isotopes from the Bolong copper

deposit, Tibet [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2013, 33 (23): 43 ~ 49.

[10] 周玉, 多吉, 温春齐, 等. 西藏波龙铜矿区变质岩特征及地质意义 [J]. 矿物学报, 2013 (S1): 378 ~ 379.
ZHOU Yu, DUO Ji, WEN Chun-qi, et al. The metamorphic rocks' characteristics and geological significance of Bolong copper mining area, Tibet [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013 (S1): 378 ~ 379.

[11] 倪曦, 刘志鹏, 杨蜜蜜. 西藏波龙矿区含矿岩体地质特征 [J]. 四川有色金属, 2016, 1: 30 ~ 32.
NI Xi, LIU Zhi-peng, YANG Mi-mi. Geological characteristics of ore-bearing rock mass in Bolong mining area, Tibet [J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2016, 1: 30 ~ 32.

[12] 李丹, 温春齐, 费光春, 等. 西藏波龙铜矿床的砂岩成分与构造环境探讨 [J]. 矿物学报, 2011, 31 (S1): 311 ~ 312.
LI Dan, WEN Chun-qi, FEI Guang-chun, et al. The discussion of sandstone composition and tectonic environment in Bolong copper deposit, Tibet [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31 (S1): 311 ~ 312.

[13] 周玉. 西藏波龙铜矿床成矿作用研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
ZHOU Yu. Research on metallization of the Bolong copper deposit in Tibet, China [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.

[14] 李海宾. 西藏波龙铜 (金) 矿矿体地质要素特征研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
LI Hai Bin. Study on the Characteristics of Geological Factors of Cooper and Gold Ore Deposit in Bolong, Tibet [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.

[15] 李丹. 西藏波龙铜矿床流体包裹体研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
LI Dan. Study on the Fluid Inclusions of the Bolong Copper Deposit, Tibet [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.

[16] 周玉, 多吉, 温春齐, 等. 西藏波龙铜矿区成矿流体来源示踪 [J]. 中国矿业, 2015, 24 (3): 76 ~ 80.
ZHOU Yu, DUO Ji, WEN Chun-qi, et al. The source of ore-forming fluids in the Bolong copper mine area, Tibet [J]. China Mining Magazine, 2015, 24 (3): 76 ~ 80.

[17] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社. 1988.
SHAO Jie-lian. Prospecting mineralogy of gold ore [M]. Beijing: China University of Geosciences Press. 1988.

[18] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H2O solutions [J]. Economic Geology, 1988, 83 (1): 197 ~ 202.

[19] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
LIU Bin, SHEN Kun. Thermodynamics of fluid inclusions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.

[20] 徐文炘, 陈民扬, 喻铁阶, 等. 矿物包裹体成分数据的热力学计算方法及应用 [J]. 矿产与地质, 1985, 1: 35 ~ 50.
XU Wen-xi, CHEN Ming-yang, YU Tie-jie, et al. Thermodynamic calculation methods and applications of mineral inclusion composition data [J]. Mineral Resources and Geology, 1985, 1: 35 ~ 50.

[21] Crerar D A, Susak N J, Borcsik M, et al. Solubility of the buffer assemblage pyrite + pyrrhotite + magnetite in NaCl solutions from 200 to 350 degrees C [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42 (9): 1427 ~ 1438.

[22] 李葆华, 蔡建明, 刘若兰. 矿物包裹体学 (下册) [M]. 成都: 成都地质学院矿床教研室 (内部教材), 1991.
LI Bao-hua, CAI Jian-ming, LIU Ruo-lan. Mineral inclusion study (Part Ⅱ) [M]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Deposits (internal teaching materials), 1991.

[23] Helgeson H C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures [J]. American Journal of Science, 1969, 267 (7): 729 ~ 804.

[24] Crerar D A, Barnes H L. Ore solution chemistry, V, Solubilities of chalcopyrite and chalcocite assemblages in hydrothermal solution at 200 degrees to 350 degrees C [J]. Economic Geology, 1976. 71 (4): 772 ~ 794.

[25] 金章东，李福春. 斑岩型铜矿床成矿过程中铜的迁移与沉淀机制研究新进展 [J]. 矿产与地质，1998，12 (2)：73 ~ 78.
JIN Zhang-dong, LI Fu-chun. New progress of copper mingation and precipitation mechanism during porphyry ore-forming process [J]. Mineral Resources and Geology, 1998, 12 (2): 73 ~ 78.

[26] 李福春，刘源，金章东，等. 流体在金属成矿过程中的作用 [J]. 矿产与地质，1999，13 (3)：129 ~ 134.
LI Fu-chun, LIU Yuan, JIN Zhang-dong, et al. Role of fluid in the metal forming process of ore deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 1999, 13 (3): 129 ~ 134.

STUDY ON THE FLUID INCLUSION PHYSICOCHEMICAL CONDITIONS OF BOLONG PORPHYRY COPPER-GOLD DEPOSIT IN TIBET

HUO Yan[1], LI Dan[2]

(1. *College of earth sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *Sichuan*;
2. *Rock and Mineral Testing Center of Henan Province, Zhengzhou* 450012, *Henan*)

Abstract: Using Linkam THNSG600 dating and calculating by experience formulas, this paper discusses the fluid inclusion characteristics of Bolong porthyry copper-gold deposit in Tibet, which is beneficial to the migration of the main ore-forming element Cu, and the metallogenic process includes four periods: magma-advanced stage, magnetite-molybdenite period, chalcopyrite-pyrite period and anhydrite-pyrite period. It shows that the type of fluid inclusion is mainly the three-phases inclusion including NaCl and metal sulfide daughter minerals. The ore-forming fluid forms in high temperature (232 ~ 549 ℃) and low pressure ($1.40 \times 10^5 \sim 234.41 \times 10^5$ Pa), with high salinity (28.65 ~ 52.16wt% NaCl) and middle-high density (1.0683 ~ 1.1598 g/cm^3). Along with the metallogenic process, the fluid fugacity and activity gradually reduce in each stages, while the values of pH and Eh increase. The element Cu mainly exits in the form of Cu (H_2S) $(HS)_2^-$, which shows that Cu is easier to mineralization in high tempreture and acidic fluids.

Key words: fluid inclusion; physicochemistry conditions; porphyry copper-gold deposit; Bolong