

云南普朗斑岩铜矿蚀变带成矿流体特征及其成矿意义

郭 欣^{1, 2}, 杜杨松^{1, 2}, 庞振山¹, 李顺庭¹, 李 青¹

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 云南普朗铜矿位于义敦一中甸岛弧带南缘, 是近年来我国发现的一个大中型斑岩铜矿床。该矿床具有典型的斑岩铜矿蚀变分带, 由中心向外依次为钾硅化带、绢英岩化带、青盘岩化带。对矿区不同蚀变带中的石英流体包裹体进行了岩相学观察、均一温度测量和激光拉曼探针成分分析。均一温度测量结果表明, 从普朗斑岩铜矿床钾硅化带到绢英岩化带再到青盘岩化带, 成矿流体的平均均一温度从 274.4℃ 到 236.4℃ 再到 203.0℃, 呈明显下降趋势, 可能与天水参与成矿有关。同时, 激光拉曼探针成分分析结果表明, 普朗斑岩铜矿床矿化期间的成矿流体属于富硫富氯流体, 这种温度较高且富硫富氯的成矿流体在钾硅化带和绢英岩化带发生矿化作用将导致成矿物质强烈富集成矿。

关键词: 斑岩铜矿; 蚀变分带; 成矿流体; 云南普朗

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2009)03-0465-07

Characteristics of the Ore-forming Fluids in Alteration Zones of the Pulang Porphyry Copper Deposit in Yunnan Province and Its Metallogenic Significance

GUO Xin^{1, 2}, DU Yang-song^{1, 2}, PANG Zhen-shan¹, LI Shun-ting¹, LI Qing¹

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract The Pulang porphyry copper deposit occurs in the southern segment of the Indosinian Yidun-Zhongdi an island-arc belt and is a large-sized copper deposit discovered in China in recent years. This deposit has a typical alteration zonation of porphyry copper deposit varying from potash and silicic alteration in the inner through phyllic alteration in the middle to propylitic alteration in the outer. This paper presents new petrographic observations, homogeneous temperature measurements and laser Raman microprobe analyses of fluid inclusions in quartz grains from the three alteration zones of the deposit. It is shown that the average homogeneous temperature of ore-forming fluid decreases from 274.4℃ through 236.4℃ to 203.0℃ with outward variation of alteration zone and indicates an evident temperature decreasing trend, which may be resulted from partial participation of meteoric water in mineralization. The laser Raman microprobe analyzing data are consistent with existence of ore-forming fluid with high sulfur and chlorine during mineralization in the deposit and support occurrence of intensive mineralization caused by this high temperature ore-forming fluid with high sulfur and chlorine in the potash and silicic and phyllic alteration zones.

Key words porphyry copper deposit; alteration zonation; ore-forming fluid; Pulang in Yunnan Province

收稿日期: 2009-01-12; 改回日期: 2009-05-10; 责任编辑: 楼亚儿。
基金项目: 云南省地质矿产勘查开发局“云南香格里拉普朗铜矿成矿规律与成矿预测研究项目”(H02215)。
作者简介: 郭 欣, 女, 博士研究生, 1982 年出生, 矿产普查与勘探专业, 从事有色金属矿产普查与勘探研究工作。
Email: guoxin1113@126.com。
通信作者: 杜杨松, 男, 教授, 博士生导师, 1957 年出生, 岩石学专业, 从事包体岩石学和矿床学的教学和科研工作。
Email: duyus551@cugb.edu.cn。

0 引 言

成矿流体一直是斑岩铜矿研究的热点^[1-3]。尤其是近年来,斑岩铜矿成矿流体研究不断深入,不仅查明了许多斑岩铜矿成矿流体的组成、性质及来源,而且揭示了成矿流体演化与斑岩成矿的关系^[4-10]。然而,对斑岩铜矿不同蚀变带成矿流体的特征,特别是它们的演化与成矿关系的研究却不多见。云南普朗铜矿于1999年发现,矿床规模达大型,是我国继江西德兴、西藏玉龙、新疆东天山之后斑岩铜矿的重大发现,也是迄今亚洲单个矿体储量最大的斑岩铜矿^[11-14]。前人对普朗含铜斑岩体的岩石学和地球化学以及矿床地质特征和成因进行了较深入的研究^[12,14-22],但对普朗铜矿流体包裹体研究较少^[18],没有涉及不同蚀变带流体演化与成矿关系问题,这在一定程度上限制了对流体成矿过程的进一步认识。本文拟根据普朗铜矿蚀变带流体包裹体的测温及激光拉曼等测试数据进行比较研究,指出不同蚀变带中成矿流体的性质、来源、特征,为进一步研究普朗斑岩铜矿床成因提供科学依据。

1 矿区地质概况

普朗斑岩铜矿的大地构造位置处于义敦—中甸岛弧带南缘。在义敦—中甸岛弧带上,分布着大量侵入岩体及与之有密切成因联系的矿床和矿(化)点多处,与普朗斑岩铜矿密切相关的普朗复式岩体就是其中之一。普朗复式岩体由5个中酸性浅成—超浅成岩体(编号分别为Ñ、Ò、Ó、Ô、Õ)构成,主要岩性为石英闪长玢岩、石英二长斑岩、花岗闪长斑岩,围岩为三叠系上统图姆沟组一段和二段浅变质的碎屑岩和火山岩。普朗铜矿床成因类型为与印支期斑(玢)岩有关的次火山—热液矿床即斑岩型铜矿床。普朗岩体空间上与图姆沟组的岛弧安山质火山岩密切伴生,成岩时间基本一致或稍晚于火山岩。矿体形态简单,以铜为主,伴生金、硫等多种有益组分。普朗铜矿蚀变及矿化较典型,由内向外,空间上包括相互有联系的3个主要蚀变带:钾硅化带→绢英岩化带→青盘岩化带;矿化亦相应具有分带性,从蚀变中心向外表现为细脉浸染状黄铁矿、黄铜矿→细脉状黄铁矿、黄铜矿→大脉状方铅矿、黄铁矿^[23](图1)。

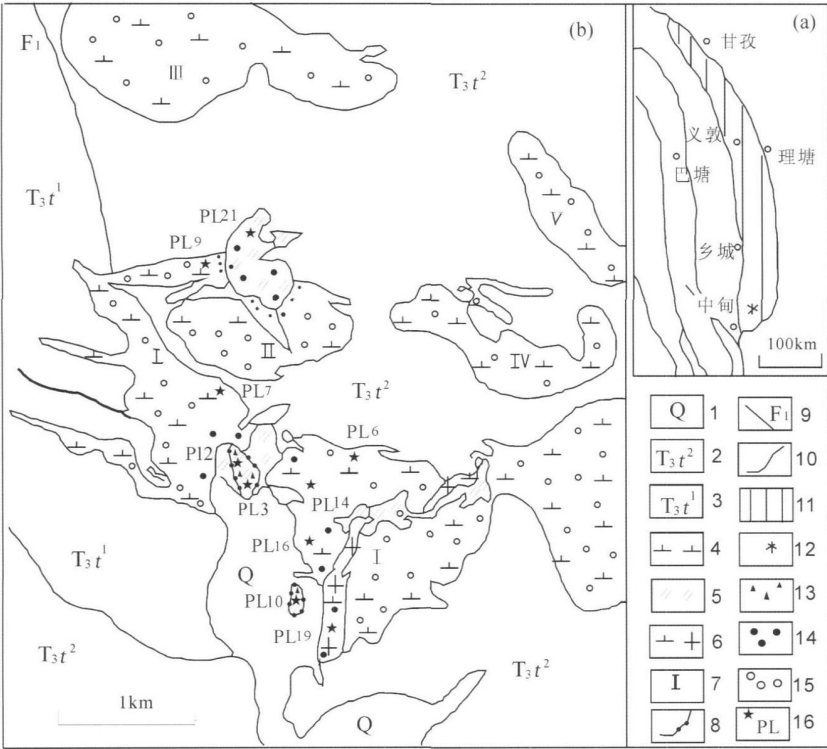


图 1 普朗铜矿地质简图(据曾普胜等^[23], 2007 修改)

Fig. 1 Geobgical sketch map of the Pu lang copper deposit in Yunnan Province (modified after Zeng et al^[23], 2007)

1. 第四系冰积物及残坡积物; 2. 三叠系图姆沟组二段; 3. 三叠系图姆沟组一段; 4. 石英闪长玢岩; 5. 石英二长斑岩; 6. 花岗闪长斑岩; 7. 岩体编号; 8. 钾硅化带分带界线; 9. 断裂及编号; 10. 地质界线; 11. 义敦—中甸岛弧带; 12. (b)图在(a)图中的位置, Ñ、Ò、Ó、Ô、Õ 为岩体代号; 13. 钾硅化带; 14. 绢英岩化带; 15. 青盘岩化带; 16. 包裹体样品采样位置及编号

2 蚀变分带特征

普朗铜矿矿区斑岩体蚀变强烈, 具有典型的斑岩型蚀变分带^[16-24], 由中心向外依次为钾硅化带 (KSi)、绢英岩化带 (SSe)、青盘岩化带 (ChEp)^[25-27] (图 2)。其中钾硅化带处于岩体核部, 沿普朗复式岩体的中轴线呈北北西向的长条状展布, 长 1 600 m, 其分布范围与中期单元侵入的石英二长斑岩的出露范围基本一致, 北西端窄, 为 120 ~ 300 m, 南东端膨大, 达 360 ~ 600 m。绢英岩化带围绕钾硅化带呈圈状展布, 且西部窄, 东部宽。青盘岩化带位于绢英岩化带外围, 直至岩体与围岩接触边界, 从岩体与围岩接触边界向外为角岩化带。

2.1 钾硅化带 (KSi)

该带大体上与含钼的工业矿体铜矿带对应, 位于岩体的中心部位, 以强烈的钾交代和硅化为特征, 蚀变岩发育有各种方式形成的大量的钾长石和石英, 伴有少量黑云母脉。本阶段各种形式的钾长石化、黑云母化均有所呈现。硅化主要表现为石英变斑晶的形成和再生长及基质硅化, 并伴有石英细脉 (包括石英金属硫化物脉等) 的产生。原岩中的角闪石被次生黑云母取代, 变化过程中释出的钙和微量元素与热流体的有关组分结合, 形成磷灰石、锆石等次生副矿物。

2.2 绢英岩化带 (SSe)

该带内绢云母化、硅化相伴发生, 钾交代作

用被逐渐取代。原岩中的斜长石和钾长石均不同程度地被绢云母和石英交代, 但即使完全被交代亦有假象保留, 故斑岩中的结构仍清晰完整; 原有石英均保存, 且往往发生次生增大现象; 黑云母全部褪色。这样形成的蚀变岩——绢英岩化石英闪长玢岩、石英二长斑岩的矿物成分主要为绢云母和石英, 同时还有大量石英绢云母金属硫化物细网脉贯穿其中。

2.3 青盘岩化带 (ChEp)

该带对应于斑 (玢) 岩体的外缘, 以青盘岩化为特征。它表现为构成青盘岩的矿物 (绿泥石、钠黝帘石、黄铁矿等) 的交代现象和碳酸盐等岩脉的产出; 岩体边缘蚀变带中绿泥石、钠黝帘石团块或脉的出现使岩石颜色变暗^[24]。以黄铁矿化为主, 同时叠加在其余蚀变带上, 使矿化增强。该蚀变带基本无矿化。

3 流体包裹体特征

3.1 包裹体类型

流体包裹体研究表明, 普朗斑岩铜矿中包裹体较为发育, 类型简单, 主要为气液两相包裹体 (N 型)、含子矿物多相包裹体 (O 型) 和纯水溶液包裹体 (O 型)。这些包裹体绝大多数呈小群分布或孤立分布在石英中, 多为原生包裹体 (图 3 中 a), 也有少许呈串珠状分布的次生包裹体 (图 3 中 b), 它们提供了丰富的成岩成矿信息。N 型包裹体大小 2 ~ 30 μm, 常见形态为负晶形、三角形、

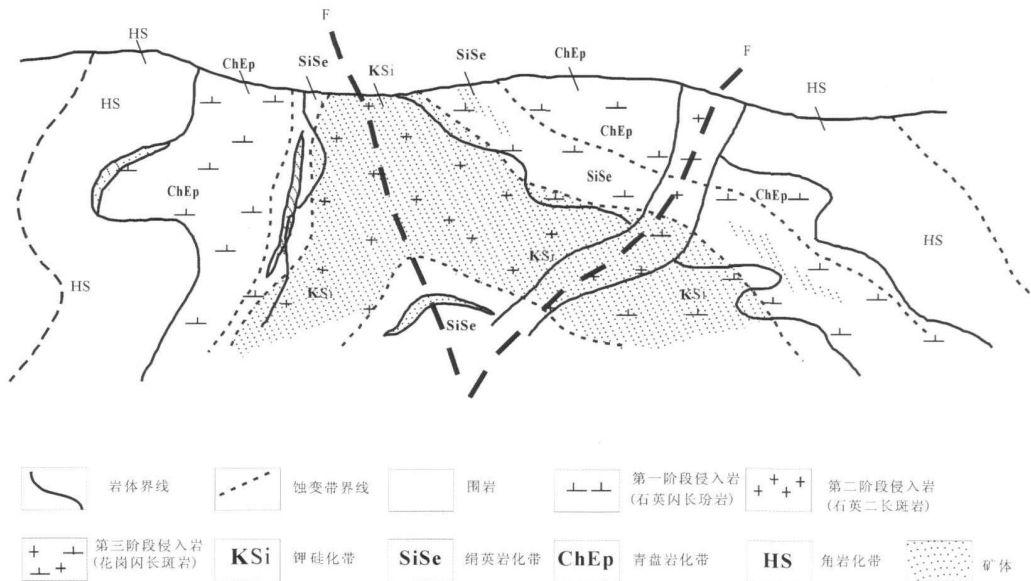


图 2 普朗斑岩铜矿蚀变模式图

Fig 2 Model for alteration of the Pu lang porphyry copper deposit in Yunnan Province

四边形、长条状及不规则状，气液比一般为 5% ~ 20%，多数为 5% ~ 10% 左右，占有包裹体总量的 90% 以上(图 3 中 a、d、e、f)。 $\emptyset$ 型包裹体大小 5~ 25 μm ，常见形态为不规则四边形、负晶形及长条状，气液比一般为 5% ~ 10%，可见 1~ 2 个子矿物，子矿物大小差别较大，为 1~ 8 μm ，子矿物透明，形态呈立方体或板状(图 3 中 g、h)。立方体者可能为石盐或钾盐子晶，板状者可能为碳酸盐子晶，占有包裹体总量的 5% 以下。 $\emptyset$ 型包裹体大小一般为 2~ 10 μm ，常见形态为不规则状，占有包裹体总数量的 2% 以下。

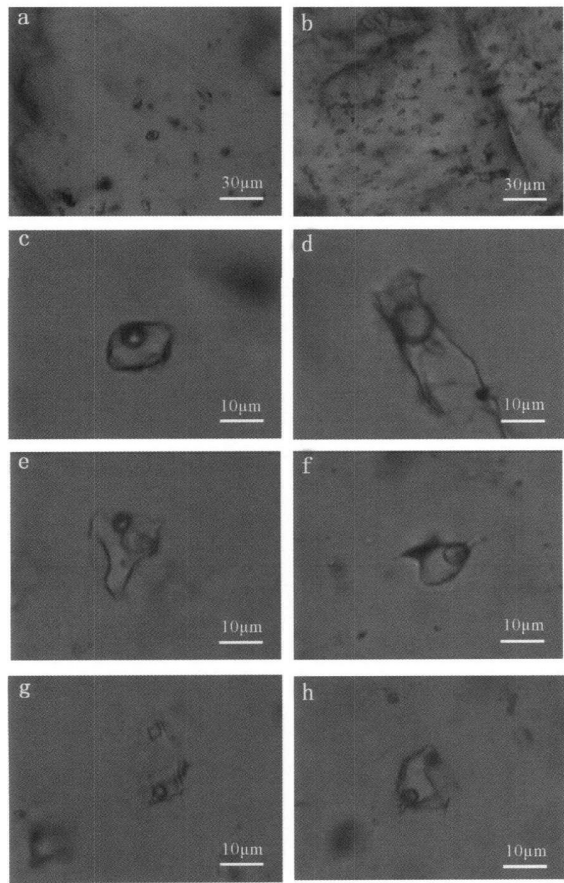


图 3 云南普朗铜矿床石英含矿英脉中流体包裹体显微照片
Fig 3 Microphotographs of fluid inclusions in quartz veins at the Pu lang porphyry copper deposit in Yunnan Province
a. 流体包裹体呈星散状分布; b. 流体包裹体定向分布; c. N 型包裹体，圆形; d. N 型包裹体，四边形; e. N 型包裹体，负晶形; f. N 型包裹体，椭圆形; g. $\emptyset$ 型包裹体，不规则状; h. $\emptyset$ 型包裹体，不规则状

3.2 流体包裹体均一温度

本次研究的样品均在西安地质矿产研究所实验室测试中心的 Linkam TMS 94 冷热台上进行包裹体均一温度测试，测试结果列于表 1。由表 1 可

见：钾硅化带 3 个样品的均一温度最高为 293.3 $^{\circ}\text{C}$ ，最低为 249.7 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度范围为 267.2 ~ 287.6 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度为 274.4 $^{\circ}\text{C}$ 。绢英岩化带 4 件样品的均一温度最高为 250.2 $^{\circ}\text{C}$ ，最低为 225.0 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度范围为 227.2~ 248.2 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度 236.4 $^{\circ}\text{C}$ 。青盘岩化带 3 件样品的均一温度最高为 245.3 $^{\circ}\text{C}$ ，最低为 173.2 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度范围为 173.2~ 220.5 $^{\circ}\text{C}$ ，平均均一温度 203.0 $^{\circ}\text{C}$ 。与前人所测温度范围一致^[16]。

表 1 普朗铜矿流体包裹体均一温度测试结果
Table 1 Homogeneous temperature measurements of fluid inclusions in the Pu lang copper deposit in Yun nan Province

蚀变带	样号	序号	冰点温度 / $^{\circ}\text{C}$	均一温度 / $^{\circ}\text{C}$
钾 硅 化 带	PL2	1	- 17. 8	270. 0
		2	- 17. 5	268. 5
		3	- 17. 6	265. 7
		4	- 17. 2	264. 6
		平均	- 17. 5	267. 2
	PL3	1	- 29. 2	293. 3
		2	- 29. 0	292. 8
		3	- 28. 8	285. 5
		4	- 29. 4	278. 6
		平均	- 29. 1	287. 6
	PL10	1	- 17. 8	287. 2
		2	- 17. 0	284. 5
		3	- 16. 5	252. 6
		4	- 16. 2	249. 7
		平均	- 16. 9	268. 5
绢 英 岩 化 带	PL21	1	- 35. 0	225. 0
		2	- 32. 2	226. 7
		3	- 33. 6	230. 4
		4	- 33. 5	226. 8
		平均	- 33. 6	227. 2
	PL16	1	- 29. 3	227. 5
		2	- 27. 8	226. 4
		3	- 27. 2	245. 7
		平均	- 28. 1	233. 2
	PL14	1	- 16. 1	241. 5
		2	- 15. 5	240. 8
		3	- 16. 3	228. 6
		平均	- 16. 0	237. 0
青 盘 岩 化 带	PL19	1	- 23. 1	250. 2
		2	- 24. 3	247. 6
		3	- 23. 5	246. 8
		平均	- 23. 6	248. 2
	PL9	1	- 21. 5	245. 3
		2	- 20. 3	208. 4
		3	- 18. 1	207. 8
		平均	- 20. 0	220. 5
	PL6	1	- 12. 0	215. 5
		2	- 12. 3	215. 4
		3	- 11. 8	214. 6
		平均	- 12. 0	215. 2
	PL7	1	- 3. 2	173. 2

3.3 流体包裹体成分

本次流体包裹体成分测试均在西安地质矿产所实验室测试中心完成, 所用仪器为英国雷尼绍公司的 Renishaw-inVia 型激光拉曼探针。实验条件为: Ar+ 激光器波长 514.5 nm, 激光功率 20 mW, 扫描速度 10 s/6 次叠加, 光谱仪狭缝 10 μm, 以及温度 230 ℃, 测试环境为温度 25 ℃, 湿度 65%。对普朗斑岩铜矿的流体包裹体 10 个样品 (其中样品 PL2、PL3、PL10 采自钾硅化带, PL21、PL16、PL14、PL19 采自绢英岩化带, PL9、PL6、PL7 采自青盘岩化带) 进行了流体包裹体气相和液相成分分析, 结果列于表 2 和表 3 中。

由表 2 可见, 气相成分主要为 CO₂、CO、N₂、CH₄、H₂S、SO₂, 且以 CO₂、CO、CH₄ 为主, 占气相成分的 80% 以上。不同蚀变带气相成分差异不

大, 但其成分含量有较大变化。CO₂ 含量逐渐减少, 温度也逐渐降低, 与大别山花岗岩流体包裹体气相成分类似^[28]。钾硅化带以 CO₂、CO 为主, CH₄ 少量, 而绢英岩化带和青盘岩化带中 CH₄ 大量增加。同时与金属矿化密切相关的 H₂S 和 SO₂ 中, H₂S 仅在钾硅化带和绢英岩化带发育, SO₂ 仅在钾硅化带显示。

由表 3 可见, 液相成分以 H₂O 为主, 占液相成分摩尔数相对含量的 99.6% 以上, 其次为 CO₂、CH₄、H₂S。盐水溶液相成分主要为 Cl⁻, 平均含量 1.16~2.06 mol/L, 其他成分有 HS⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻。HS⁻ 仅在钾硅化带中存在, 绢英岩化带和青盘岩化带未见显示。CO₃²⁻ 在 3 个蚀变带中含量都很少, 且在钾硅化带中未见显示。HCO₃⁻ 在钾

表 2 普朗铜矿流体包裹体气相成分检测结果
Table 2 Gaseous phase components measurements of fluid inclusions in the Pulang copper deposit in Yunnan Province

试样编号	送样编号	蚀变带	气相 /%						总和
			CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	CO	N ₂	
07R-53	2	钾硅化带				17.7	71.5	10.8	100.0
07R-54	3		94.7	2.6				2.7	100.0
07R-63	10						81.7	18.3	100.0
07R-57	21	绢英岩化带	8.9	1.9	54.7		30.2	4.3	100.0
07R-58	16		41.8		58.2				100.0
07R-59	14		75.9	20.6	3.5				100.0
07R-61	19				89.4		8.1	2.5	100.0
07R-62	9	青盘岩化带			98.4			1.6	100.0
07R-55	7						71.6	28.4	100.0
07R-56	6		45.8		9.3		44.9		100.0

注: H₂O、Cl₂、O₂、H₂、C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、C₃H₆、C₃H₈、C₄H₆、C₆H₆、F₂ 等的含量过少, 低于检测限。

表 3 普朗铜矿流体包裹体液相成分检测结果
Table 3 Liquid phase components of fluid inclusions in the Pulang copper deposit in Yunnan Province

试样编号	送样编号	蚀变带	液相 /%					盐水溶液 / (mol/L)			
			CO ₂	H ₂ S	CH ₄	H ₂ O	总和	HS ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
07R-53	2	钾硅化带			0.2	99.8	100.0	0.32			
07R-54	3			0.1	0.2	99.7	100.0		2.75		0.01
07R-63	10		0.5			99.5	100.0		0.72		
07R-57	21	绢英岩化带			0.1	99.9	100.0		0.55	0.03	
07R-58	16		0.4	0.1		99.5	100.0		3.32		
07R-59	14				0.1	99.9	100.0		4.35		0.03
07R-61	19			0.2		99.8	100.0			0.02	
07R-62	9	青盘岩化带		0.1		99.9	100.0				0.03
07R-55	7				0.1	99.9	100.0		2.68		1.84
07R-56	6		0.3		0.1	99.6	100.0		0.90	0.05	

注: SO₂、C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、C₃H₆、SO₄²⁻ 的含量过少, 低于检测限。

硅化带中含量较少，而在青盘岩化带较为发育，从钾硅化带到绢英岩化带再到青盘岩化带， HCO_3^- 含量从 0.01 mol/L 到 0.03 mol/L 再到 1.84 mol/L，增加明显。

4 讨论与结论

(1)从普朗斑岩铜矿床钾硅化带到绢英岩化带再到青盘岩化带，成矿流体的平均均一温度从 274.4℃ 到 236.4℃ 再到 203.0℃，呈明显下降趋势，可能与天水参与成矿有关。这可能是由岩浆热流体先由下而上运移，进入到浅部孔隙发育地段后，近水平由内向外、由矿化中心向外部边缘活动，且有天水加入造成的^[21]。这与典型斑岩铜矿成矿流体温度由矿化中心向外部逐渐降低^[2]是吻合的。

(2)普朗斑岩铜矿床成矿流体属于富硫富氯流体。在钾硅化带及绢英岩化带中明显富硫富氯，这为其成为矿化主体提供了重要条件。成矿流体中含有较高的ΣS，硫主要以 H_2S 的形式存在，次为 SO_2 。特别是在钾硅化带及绢英岩化带中ΣS最高，青盘岩化带ΣS极少。较高的ΣS使得铜等金属离子在热液中运移并最终在硫化物的形式在钾硅化带及绢英岩化带中大量沉淀成矿^[29]，而在青盘岩化带中则只存在零星矿化。钾硅化带及绢英岩化带中具有较高的 Cl⁻，一般可达 0.55~4.35 mol/L，氯作为挥发性组分，作为主要矿化剂与铜等金属离子结合，使得铜等金属在热液中运移，有利于成矿。 H_2S 和 SO_2 在成矿流体中具有较高的溶解度，对成矿具有十分重要的意义^[30-31]。

(3)从斑岩体中心到岩体边缘，再过渡到围岩，它们的流体包裹体均一温度依次降低， CO_2 、Cl⁻等含量逐渐降低，这很可能与斑岩岩浆的侵位深度及成矿深度有一定依赖关系，即成矿深度越浅，均一温度越高，矿化产于斑岩体中的比例越高；相反，均一温度越低，矿化产于斑岩体中的比例越低。前人对普朗含矿斑岩体各蚀变带的样品中 Cu 含量分析得出，钾硅化带铜含量为 0.65%，绢英岩化带为 0.34%，青盘岩化带为 0.017%^[32]。结合以上资料可推知，在钾化硅化和绢英岩化作用阶段温度较高的富硫富氯流体更有利于成矿物质的富集成矿。

参考文献:

[1] Dilles JH, Solomon G G, Taylor H P J et al. Oxygen and hy-

drogen isotope characteristics of hydrothermal alteration at the Archaean Mason porphyry copper deposit, Yerington, Nevada [J]. *Economic Geology*, 1992, 87: 44-63.

[2] Bodnar R J. Fluid inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits [M] // Thompson J F H. *Magmatic Fluids and Ore Deposits*. Victoria, British Columbia: Mineralogical Association of Canada, 1995, 23: 139-152.

[3] Hedenquist J W, Richards J P. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits [J]. *Review Economic Geology*, 1998, 10: 235-256.

[4] Ulrich T, Genter D, Heinrich C A. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits [J]. *Nature*, 1999, 399: 676-679.

[5] Calagari A A. Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23(2): 179-189.

[6] Rusk B G, Reed M H, Dilles J H, et al. Compositions of magmatic hydrothermal fluids determined by LA-ICP-MS of fluid inclusions from inclusions from the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, MT [J]. *Chemical Geology*, 2004, 210(1-4): 173-199.

[7] Landtwing M R, Petke T, Halter W E, et al. Copper deposition during quartz dissolution by cooling magmatic hydrothermal fluids: The Bingham porphyry [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 235(1-2): 229-243.

[8] Hezarkhani A. Mass changes during hydrothermal alteration/mineralization at the Sar-Cheshmeh porphyry copper deposit, Southeastern Iran [J]. *International Geology Review*, 2006, 48(9): 841-860.

[9] Hezarkhani A. Hydrothermal evolution of the Mehriz porphyry copper system, Kerman, Iran: A fluid inclusion investigation [J]. *International Geology Review*, 2008, 50(7): 665-684.

[10] Rusk B G, Reed M H, Dilles J H. Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana [J]. *Economic Geology*, 2008, 103(2): 307-334.

[11] 杨岳清, 侯增谦, 黄典豪, 等. 中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统 [J]. *地球学报*, 2002, 23(1): 17-24.

[12] 李光军, 谭康华, 张世权, 等. 普朗铜矿找矿标志及找矿模型 [J]. *云南地质*, 2005, 24(2): 175-185.

[13] 曾普胜, 李文昌, 王海平, 等. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床: 岩石学及年代学特征 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 989-1000.

[14] 李文昌, 曾普胜. 云南普朗超大型斑岩铜矿特征及成矿模型 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(4): 436-446.

[15] 曾普胜, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿 [J]. *矿床地质*, 2003, 22(4): 393-400.

[16] 范玉华, 李文昌. 云南普朗斑岩铜矿床地质特征 [J]. *中国地质*, 2006, 23(2): 352-362.

[17] 王守旭, 张兴春, 冷成彪, 等. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿床

地球化学与成矿机理初探 [J]. 矿床地质, 2007, 26 (3): 277- 288.

[18] 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, 26 (3): 467 - 478

[19] 任光明, 李佑国. 云南中甸普朗、红卓斑岩铜矿床地质特征及找矿前景 [J]. 四川地质学报, 2007, 27(4): 266- 269.

[20] 王功文, 郭远生, 杜杨松, 等. 基于 GIS 的云南普朗斑岩铜矿床三维成矿预测 [J]. 矿床地质, 2007, 26 (6): 651 - 658

[21] 尹光候, 杨淑胜. 中甸雪鸡坪斑岩铜矿地质及找矿远景 [J]. 云南地质, 2008, 27(1): 27- 34.

[22] 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 滇西北中甸松诺含矿斑岩的锆石 SHRMP U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 124- 130

[23] 曾普胜, 侯增谦, 李丽辉, 等. 滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时代及其意义 [J]. 地质通报, 2004, 23(3): 1127- 1131.

[24] 谭康华, 张世全, 黄定柱, 等. 普朗斑岩铜矿蚀变及矿化特点 [J]. 云南地质, 2007, 26(3): 271- 276

[25] 侯增谦. 斑岩矿床——新认识与新进展 [J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 131- 144.

[26] 连长云, 章革, 元春华. 短波红外光谱矿物测量技术在普朗斑岩铜矿区热液蚀变矿物填图中的应用 [J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 621- 637.

[27] 郭欣. 中甸普朗斑岩铜矿蚀变特征及分带模式 [M] / 郭远生. 依靠科学技术推动地质找矿. 昆明: 云南科技出版社, 2008: 141- 145.

[28] 倪培, 范建国, 周进, 等. 大别山花岗岩流体包裹体面的初步研究 [J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 691- 700

[29] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜 (钼) 矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 119- 221.

[30] 倪培, 田京辉, 朱筱婷, 等. 江西永平铜矿下盘网脉状矿化的流体包裹体研究 [J]. 岩石学报, 2005, 21 (5): 1339 - 1346.

[31] 陈衍景, 张莉. 含硫化物脉状矿床成矿流体的中阶段 δD 亏损: 实例与原因 [J]. 地球化学, 2008, 37(4): 353- 360.

[32] 谭雪春. 滇西主要有色金属矿床区域成矿地质背景 [J]. 云南地质, 1991, 10(1): 11- 43.