

文章编号: 0258-7106 (2006) 01-0269-12

# 四川盐源模范村喜马拉雅期斑岩铜矿床地质特征

李立主, 赵支刚, 贺金良, 杨泽湘

(四川省地质矿产局攀西地质队, 四川 西昌 615000)

**摘要** 文章通过野外地质观察, 结合岩矿鉴定、化学分析、稳定同位素测定、稀土元素分析、成岩成矿同位素年龄测定、包裹体测温及成分等的研究, 表明四川盐源模范村矿床具有典型斑岩铜矿的特征。成岩的多期次构成复式岩体, 断裂构造控制的隐爆碎裂岩筒为成矿提供了通道和沉积场所。多期次成矿, 特别是次生富集作用形成了中型规模的I号矿体, 影响次生富集带发育的F7断裂带起了重要作用。模范村矿床确系典型的斑岩铜矿, 但又具独立的成矿特征。

**关键词:** 地质学; 斑岩铜矿; 复式岩体; 多期次成矿; 隐爆碎裂岩筒; 次生富集带; 模范村; 四川

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

## Geological characteristics of Mofancun Himalayan porphyry copper deposit in Yanyuan, Sichuan Province

LI Lizhu, ZHAO ZhiGang, HE JinLiang and YANG Ze Xiang

(Panxi Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Xichang 615000, Sichuan, China)

### Abstract

Based on field geological observation in combination with such indoor means as rock and mineral identification, chemical analysis, various isotopic determinations, REE analysis, isotopic dating for rocks and minerals, inclusion thermometry and composition analysis, the authors have reached the conclusion that the Mofancun ore deposit has typical characteristics of the porphyry copper deposit. The polyphase rock-forming process resulted in the formation of a composite intrusive body, and cryptoexplosion cataclastite pipe controlled by the fault structure provided the channelway and sedimentation space. The polyphase mineralization, especially the secondary enrichment, led to the formation of the medium-size No. I ore body. F7 fault, which affected the development of the secondary enrichment zone, played an important role in this process. Being a typical porphyry copper deposit, the Mofancun deposit also has its unique metallogenic characteristics. Such a phenomenon has a very important significance in guiding the ore-prospecting work.

**Key words:** geology, porphyry copper deposit, composite stock, polyphase mineralization, cryptoexplosion cataclastite pipe, secondary enrichment zone, Mofancun, Sichuan

在攀西地区发现喜马拉雅期斑岩群和斑岩铜矿床是“八五”国家重点攻关科研项目取得的突破性成果。随后,四川省地矿局给攀西地质队下达了后继普查任务,在该区获得了中型规模的铜储量。

笔者在进行“九龙—木里地区铜多金属矿产控

矿条件和资源远景评价”专题研究时,以1:20万盐源地质图西南角上的2个的印支期石英闪长岩和Cu、Au、Ag、Mo、Pb、Zn、Sb等多元素异常为线索,在1991~1994年期间8次到西范坪—模范村进行野外地质调查,完成了50 km<sup>2</sup> 1:10 000地形地质图,圈

出斑岩体百余个,绘制了80号岩体等的地形地质草图。为了评价岩体的基本地质特征,施工十字主干槽,在探槽 Tc19-2 中获得铜和金的品位分别为 Cu 0.23% 和 Au 0.25 g/t,发现了宽 9 m 的斑岩型铜矿体,从而结束了攀西地区无喜马拉雅期斑岩和斑岩铜矿的历史(李立辉,1992)。1994年在 Tc19-2 下的 PDI 坑道中见到宽 52.1 m 的铜矿体。1995~1997年笔者等继续野外工作,于1998年底提交地质普查报告,获得了中型规模铜矿储量和伴生 Au、Ag、Mo 的储量。为了满足斑岩铜矿新一轮普查的需要,有必要认真研究已取得的原始资料,笔者结合过去多次的野外观察,对该区斑岩和斑岩铜矿有些新的认识,特撰文供同行参考。

## 1 区域地质背景

西范坪—模范村喜马拉雅期斑岩群位于特提斯成矿域金沙江—哀牢山钼铜成矿带的北分支(图1)。具体构造属于扬子地台西部过渡带的盐源盆地西南缘,木里—盐源推覆构造体的前锋,在隐伏的东西向和近南北向构造的交汇处。在遥感图像上有多组断裂发育,且有环状影像连续出现。网状裂隙发育,在 PDI 坑道角岩中统计裂隙为 180~200 条/m<sup>2</sup>,按走向分 NE 向、NW 向、SN 向、EW 向 4 组,以前 2 组为主。

据川西南莫霍界面深度及深部构造图,该斑岩区正处于龙门山—锦屏山幔坡陡区(西部)和康滇隆区(东部)与滇西幔凹区(西南角)三者交汇处,莫霍面深度为 55 km 左右。本区为一个轴向近南北(NNE)向的环状隆起背斜构造,南北长约 12 km,东西宽 8 km。出露最老地层为上二叠统峨眉山玄武岩,其上为乐平组砂泥岩、下三叠统青天堡组和中三叠统盐塘组的红色砂泥岩(图2)。

喜马拉雅期石英二长斑岩体主要分布于背斜构造的西南隐伏端,北部出露的斑岩体小而少,可能尚处于隐伏状态。由于玄武岩喷溢的中心多,斑岩体的侵入及新构造活动,在卫片上连续出现环形影像,且大环中有小环。因此,原来的背斜构造就较模糊,只有认真研究分析后方可辨出庐山真面目。

据肖渊甫(2005)研究,扬子地块西缘古近纪成矿带是与玉龙成矿带相呼应的。印支板块的碰撞,

特别是东构造结部位强烈的挤压,造成北特提斯残留洋壳同时向东侧的扬子地块之下俯冲,在扬子地块西缘产生边缘岩浆弧带,扬子地块向东逃逸而发生大规模右旋走滑并形成拉分盆地,拉分盆地边缘断裂为成矿斑岩体侵位提供了潜在空间,形成了扬子地块西缘斑岩成矿带。如模范村铜矿、云南马厂箐铜钼矿、金平长安、铜厂铜金矿等。

## 2 斑岩群基本地质特征

西范坪—模范村斑岩群中最大岩体(56号)出露面积 1.5 km<sup>2</sup>,一般岩体多在 0.3 km<sup>2</sup> 以下。岩体呈岩株、岩墙、岩脉、岩筒、岩枝状产出。为被动式浅成—超浅成侵入相。以西范坪和模范村之间山脊的 56 号中粗粒角闪石英二长斑岩主岩体为中心向四周呈环状分布。在内环主岩体西有铜矿化 40 号岩体,北有 60 号岩体,东有 80 号含矿复式岩株,已探明铜矿床的规模为中型。在 40 km<sup>2</sup> 范围内有已编号的大小岩体 126 个,加上一些没编号的小岩体,总数可能超过 200 个。

岩石类型以石英二长斑岩为主,次为二长斑岩、石英正长斑岩、闪长玢岩、煌斑岩等。斑岩中的暗色矿物以黑云母、角闪石为主,辉石次之。具多期次脉动侵入成岩特点(不同期次侵入生成的岩石在野外能清楚的看出接触界线,但却无法判断先后顺序,故采用“脉动”一词),56号岩体中粗粒角闪石英二长斑岩的角闪石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar法年龄为(47.52±0.95)Ma,钾长石的K-Ar法年龄为(51.9±0.8)Ma<sup>①</sup>。在ZK002钻孔中的4件全岩K-Ar法年龄分别是:黑云母石英正长斑岩35.8Ma,中细粒黑云石英二长斑岩34.18Ma,中细粒角闪石英二长斑岩32.0Ma,斑岩型铜矿31.4Ma。在PDI坑道内的中细粒黑云母石英二长斑岩里的黑云母,其K-Ar法年龄为34.1Ma和34.6Ma(见表1)。根据这些数据结合侵入穿插、包裹情况,总结其成岩顺序及基本特征如表2。

斑晶斜长石呈自形板状,见聚片双晶和环带构造,少数呈炸裂晶屑状;条纹长石多呈半自形似板状,条纹具波状、网纹状;角闪石呈柱状、似柱状。斑晶中裂纹发育,双晶微变形,错位常见;晶体间断裂及晶体碎裂现象较普遍,并常被钾长石、石英、钛铁矿交代,见石英、角闪石、黑云母和长石斑晶被基质

① 茅燕石等,1994.攀西地区喜山期斑岩地质地球化学特征及含矿性研究(内部报告)。

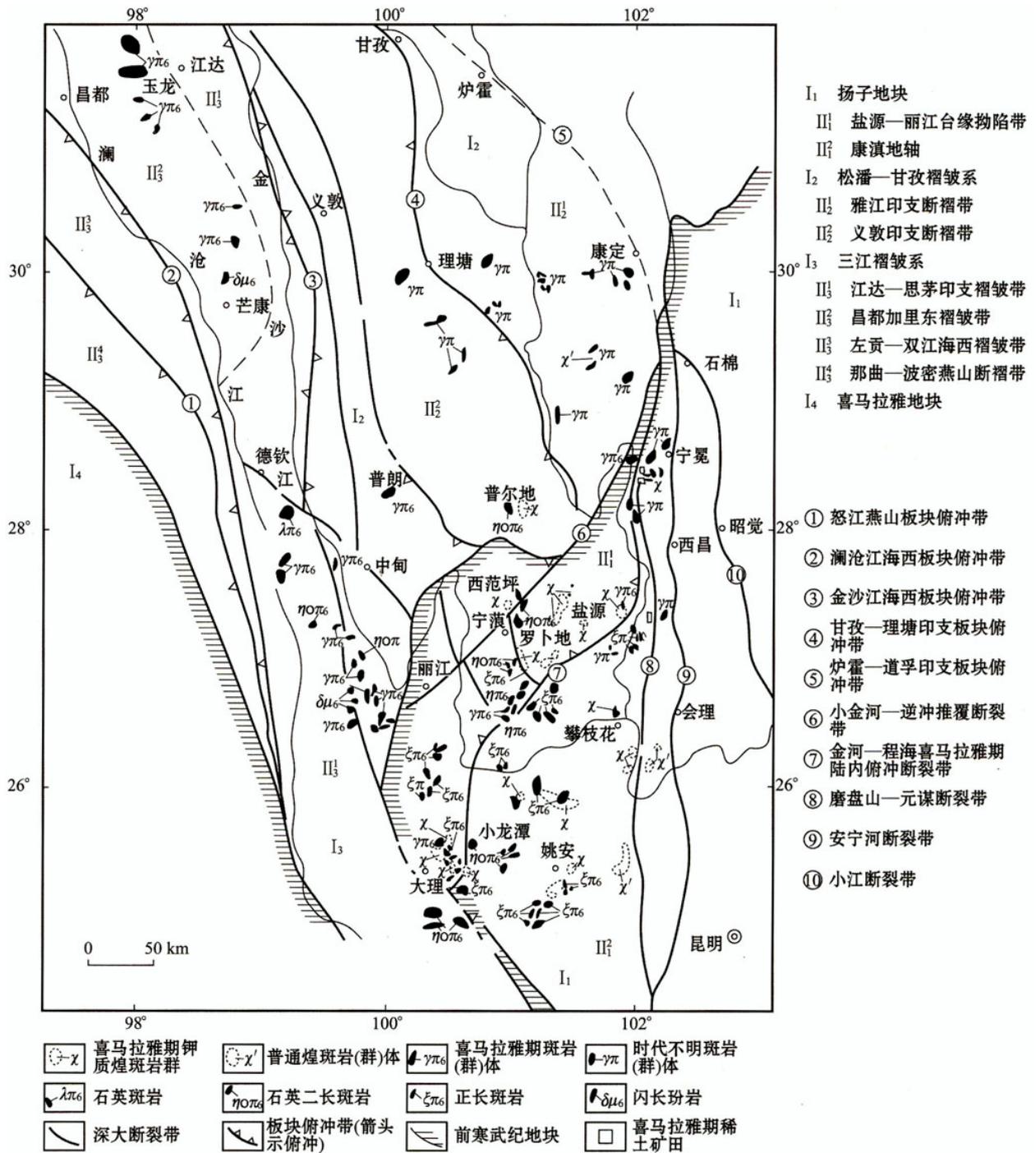


图 1 玉龙—大理—冕宁地区喜马拉雅期斑岩体分布图(据李立主,1996年资料修改)

Fig. 1 Distribution of Himalayan porphyry bodies in Yulong-Dali-Mianning area (modified after Li, 1996)

熔蚀成港湾状、阶梯状。表明岩体形成于超浅成相环境或发生过隐爆作用。岩体相带不明显,56号主岩体的边部粒度较内部为细,暗色矿物以黑云母为主,内部则以角闪石为主,且岩石更新鲜。其它小岩

体则更不明显,但因蚀变的强弱和类型不同而出现岩性的差异。岩体与围岩呈侵入接触关系,界线参差不齐。泥砂质围岩发生角岩化、青磐岩化。无矿化岩体的接触蚀变带窄狭,而矿化的80号岩体接触

● 李立主, 1996. 论扬子地台西缘喜马拉雅期斑岩铜矿的找矿前景. 30届国际地质大会交流论文.

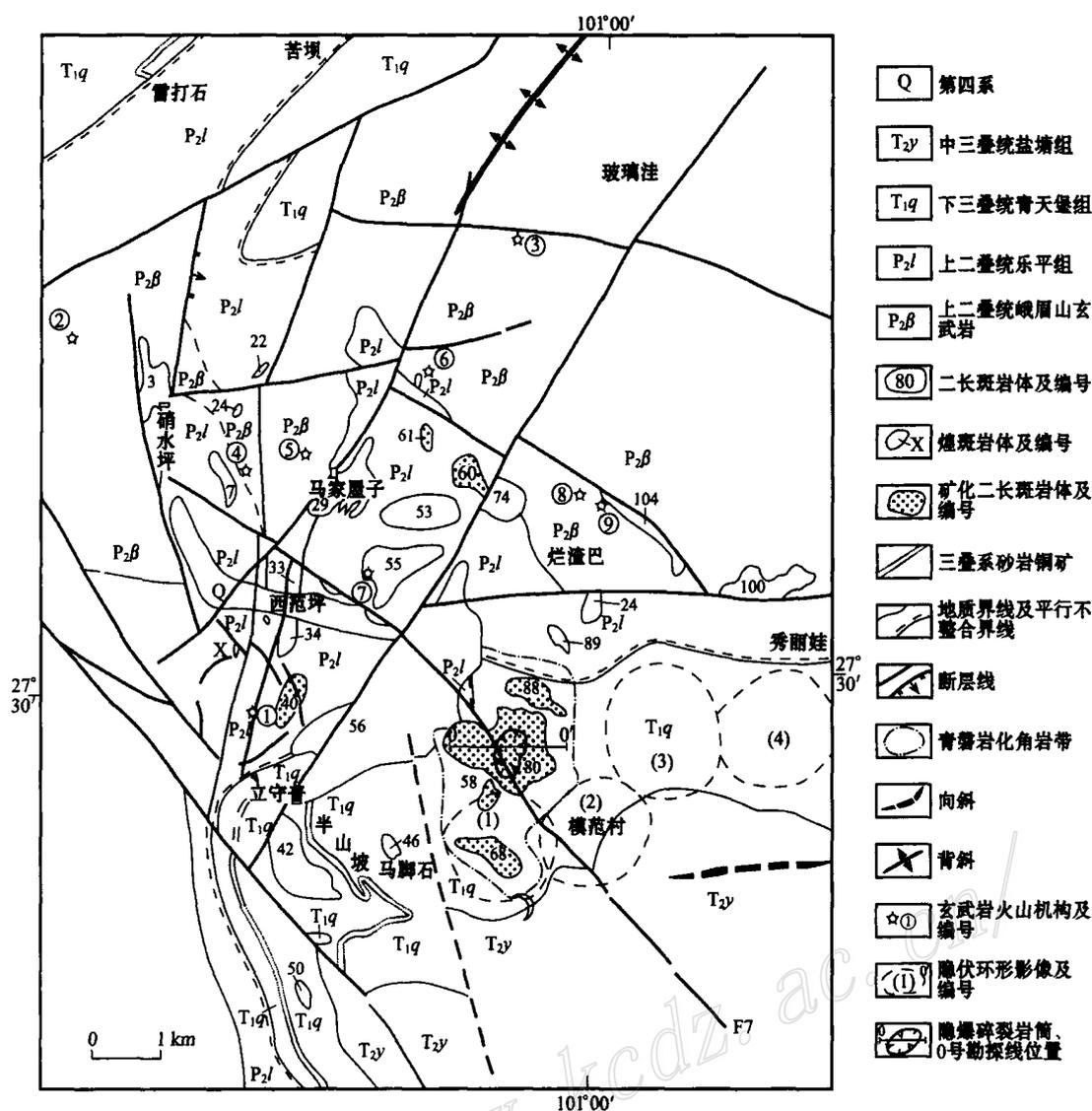


图2 盐源县西范坪—模范村一带地质略图(据李立主等,1996修改)

Fig. 2 Sketch geological map of Xifanping-Mofancun area, Yanyuan County (modified after Li et al., 1996)

表1 西范坪斑岩铜矿 K-Ar 年龄测定结果

Table 1 K-Ar dating results of the Xifanping porphyry copper deposit

样品号	样品名称	采样位置	K/ %	$^{40}\text{Ar}/10^{-6}$	$^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$	年龄值/ Ma	测试单位
Y-16	角闪石	56号岩体角闪石英二长斑岩	0.99	0.00232	0.0019657	33.5	南京地矿所, 1995年
				0.00223	0.0018897	32.2	
PD-36	黑云母	1号坑36m处含矿石英二长斑岩	6.629	0.01582	0.002000	34.1	宜昌地矿所, 1994年
				0.01603	0.002027	34.6	
Tw-1	黑云母石英二长斑岩	K002,265~287m	4.284	0.01025	0.002005	34.18	宜昌地矿所, 1996年
Tw-2	角闪石英二长斑岩	K002,230~256m	4.582	0.01025	0.001875	32.0	宜昌地矿所, 1996年
Tw-3	黑云母石英正长斑岩	K002,440~448	4.578	0.01147	0.002099	35.8	宜昌地矿所, 1996年
Tw-4	矿化黑云母石英二长斑岩	K002,88~147m	6.010	0.01321	0.001842	31.4	宜昌地矿所, 1996年

表 2 西范坪—模范村斑岩群岩石生成顺序及基本特征表  
Table 2 Formation sequence and basic characteristics of Xifanping - Mofancun porphyry group

岩石名称及 代号	同位素 年龄/Ma	代表性 岩体编号	岩性特征				蚀变特征	备注
			斑晶粒度 /mm	斑晶成分 及含量/%	基质 结构	副矿物 组合		
云煌岩 <sup>a</sup>			1~4	Aug 5, Hb 1, Bit 8 Bit 20-30, Pl 50	微粒	磷灰石	多以脉体侵入于早期 各类岩石中	
黑云闪长玢岩 <sup>a</sup>			0.5~2.5	Pl 14-24, Kp 2-5 Bit 2-4, Hb 3-8 Aug 2-4	微晶似交织, 似闪长	磷石膏, 磷灰石, 金红石次之	蚀变较弱, Chl, Ser, Bit, 少量Cai,	
细粒黑云母石英二 长斑岩 <sup>a</sup>			<2	Pl 16, Kp 9, Bit 1 Pl+Kp 50, Qz 10, Bit 4	隐晶质-细粒	磷灰石少, 锎石微	蚀变矿物15%, Bit为主, Kp, Qz, Chl次之, Kl, Ser微	
中细粒角闪石英二 长斑岩 <sup>a</sup>	32.0	80, 62	1~5	Pl 14-21, Kp 10-15, Hb 1-4 Pl 32-38, Kp 24-27, Qz 24-27, Qz 5-6, Hb 1-5, Bit <1	细晶、细粒镶嵌	磷灰石为主, 磷石、 金红石、锎石少	蚀变矿物10-15%, Kp为主, Chl, Qz-Ser, Kl, Kp次之	
中细粒黑云母石英 二长斑岩 <sup>a</sup>	34.18	80, 40, 60	1~5	Pl 6-25, Kp 14-32, Bit 1-10, Qz少-5 Bit 2-5	隐晶-细晶镶嵌, 部分具定向构造	磷灰石、磁铁矿 为主, 锎石、 金红石次之	蚀变矿物5%-25%, Bit, Chl, Qz-Ser为主, Kl, Kp次之	
细粒(角闪)辉石石 英二长斑岩 <sup>a</sup>	80	80	0.5~2.5	Pl 9-20, Kp 8-14, Aug 1-5, Hb, Bit 2, Qz1 Pl+Kp 55-64, Qz 2-6, Aug 1± Hb, Bit <1	细-微粒结构	磷石、磷灰石、 磁铁矿	蚀变矿物占10%, Kp, Qz为主, Bit, Chl, Ser, 透闪石-阳起石化次之	
粗粒黑云母石英正 长斑岩 <sup>a</sup>	35.8	80	>5	Kp 16-40, Pl 0-10, Bit 0-5, Hb 0-1 Qz 10-18, Bit 1-8	细晶粒状镶嵌	磷石、磷灰石、 金红石、锎石	蚀变较弱, Qz, Bit, Cai, 阳起石化	
中粗粒角闪石英二 长斑岩 <sup>a</sup>	519±0.8	56	4~8	Pl 20-31, Kp 8-13, Hb>5, Bit少	细晶镶嵌, 部 分文象	磷灰石、磷石、 锎石、磁铁矿	蚀变弱	

矿物代号: Aug 辉石; Hb 角闪石; Bit 黑云母; Pl 斜长石; Kp 钾长石; Qz 石英; Ser 绢云母; Chl 绿泥石; Cai 碳酸盐; Kl 高岭土

带最宽可达 500 m。从岩体向外可划分为阳起石黑云母角岩带、阳起石绿泥石角岩带和斑点板岩带,加上(黄铜)黄铁矿化的普遍发育,风化后形成特殊的“火烧皮”景观。各期次岩石化学特征如下表 3。

岩石化学类型以铝过饱和为主,正常类型次之,投入化学成分分类图上主要在 8(石英二长岩)和 3(花岗岩)区内,部分在 7(石英正长岩)区中。里特曼组合指数 2.59~5.57,平均 3.93。钙碱指数为 50~59,属钙碱性和碱钙性岩石系列。按标准矿物体积百分比图解属磁铁矿系列(CIPW法计算得出的磁铁矿为 1.6%~3.01%,平均 2.43%)位于德兴、玉龙之间。ACF图解上,怀特和查佩尔界线两侧均有。A/CKN(铝碱比)除少数>1.1外,多数样品<1.1,与 I 型花岗岩相似。

在戈蒂尼—里特曼图解中落于 B、C 界线附近,近似于造山带和岛弧区的火山岩及派生碱性岩。固结指数 SI = 8.87~20.04(大多数原始岩浆为 40 或更大,残留岩浆则迅速降低)。分异指数 DI = 66.05~89.56(越大分异越好)。上两个指数反映岩浆分异和基性程度,说明本区斑岩是岩浆演化的晚期产物。

氧化系数  $[Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO)]$  为 0.40~0.82,平均 0.64,属次火山岩相。但变化范围较大,部分达喷出相。

上述特征表明本区石英二长斑岩是以上地幔和

下地壳物源为主,有壳源物参与的混合成岩物源。与斑岩成矿密切相关的埃达克岩相比,主要矿物组合完全相符外。岩石地球化学方面,本区  $w(SiO_2) > 56\%$ ,  $w(Al_2O_3) > 15\%$ ,  $w(MgO) < 3\%$ ,稀土总量  $190 \times 10^{-6} \sim 480 \times 10^{-6}$ 、LREE/HREE = 8.88~38.25,大多在 10 以上,具高度富集轻稀土的特征(表 4);  $Yb 0.69 \times 10^{-6} \sim 1.79 \times 10^{-6}$ ,  $\delta Eu = 0.60 \sim 1.01$ (平均 0.76),铕亏损不明显,  $Sr 1.247 \times 10^{-6} \sim 1.251 \times 10^{-6}$ ,  $^{87}Sr/^{86}Sr$  为 0.70552(56 号岩体)和 0.70527(80 号岩体)。

根据沈渭洲等(1996)对铷、钕、铅、氧同位素的研究数据,表明本区斑岩群在成因类型上归属同熔型,  $S_{m}/Nd$  值为 0.174,位于地壳岩石正常值(0.16~0.24)的范围内。因此,其 Nd 模式年龄通常可代表它的源区物质平均地壳存留年龄,按 Miller 和 O. Nions(1985)给出的亏损地幔参数( $^{147}Sm/^{144}Nd = 0.2163$ ,  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.513151$ )(沈渭洲等,1996)计算的 Nd 模式年龄为 1 043~1 097 Ma,反映模范村石英二长斑岩的岩浆物源主要是中元古代末的变质火山岩。

### 3 80 号复式岩株主要特征

80 号复式岩株位于斑岩群东南部,背斜南倾伏端的东侧。岩体呈心形(更像佛手柑)出露,面积

表 3 西范坪—模范村斑岩群岩(矿)石化学成分表

Table 3 Chemical composition of rocks and ores in Xifanping-Mofancun porphyry group

岩体号	侵入期次	岩石名称	件数	$w(B)/\%$										$Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO)$	
				$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$		$P_2O_5$
56	$\eta_{\text{Opl}}^a$	中粗粒角闪石英二长斑岩	5	65.34	0.41	16.10	2.10	1.10	0.012	1.52	2.012	4.81	4.27	0.275	0.66
80	$\eta_{\text{Opl}}^b$	黑云石英正长斑岩	1	69.30	0.35	14.04	1.03	0.69	0.065	1.15	1.51	4.29	5.81	0.298	0.60
80	$\eta_{\text{Opl}}^d$	中细粒黑云母石英二长斑岩	12	66.49	0.40	15.42	2.56	1.23	0.03	1.48	0.91	3.84	5.41	0.218	0.68
80	$\eta_{\text{Opl}}^e$	中细粒角闪石英二长斑岩	3	66.06	0.30	16.95	2.93	0.65	0.016	0.92	1.32	3.85	4.30	0.181	0.82
88	$\eta_{\text{Opl}}^d$	中细粒黑云母石英二长斑岩	4	64.45	0.351	15.51	2.45	1.07	0.043	1.34	1.88	4.02	4.50	0.236	0.70
68	$\delta_{\text{M}}^g$	黑云母闪长玢岩	1	57.89	0.525	14.76	1.58	2.34	0.088	3.15	4.26	4.00	4.65	0.458	0.40
		青磐岩化角岩	6	57.18	2.73	14.01	5.84	4.67	0.07	4.59	2.09	2.72	2.12	0.27	
		紫红色泥质粉砂岩	1	47.58	3.20	18.64	14.90	2.57	0.09	2.15	0.38	0.36	2.38	0.28	平均 0.64
		I 号铜矿体	1	67.85	0.40	14.93	0.87	1.04		1.58	0.68	3.54	4.08	0.11	

表 4 模范村斑岩铜矿区稀土元素含量表

Table 4 REE contents of the Mofancun porphyry copper ore district

岩体 编号	岩石 名称	$w(B) / 10^{-6}$															
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma$ REE
80	中细粒角闪石英二 长斑岩(5)	106.67	133.69	18.72	62.9	8.78	1.88	5.61	0.69	3.35	0.62	1.38	0.20	1.21	0.18	16.18	361.98
80	中细粒黑云母角闪 石英二长斑岩(5)	55.12	107.16	11.07	39.8	6.68	1.34	3.65	0.50	2.42	0.48	0.98	0.14	0.87	0.13	10.39	240.74
68	中细粒黑云母石英 二长斑岩(4)	85.43	184.53	15.4	58.06	9.3	1.64	4.42	0.67	3.10	0.62	1.22	0.18	1.01	0.15	14.36	380.20
58	中细粒黑云母石英 二长斑岩(1)	54.95	101.10	10.81	36.65	4.91	1.01	3.25	0.41	1.82	0.33	0.76	0.11	0.69	0.11	8.73	225.03
88	中细粒角闪石英二 长斑岩(2)	86.35	160.85	17.22	62.71	9.36	1.93	5.33	0.74	3.52	0.67	1.46	0.22	1.35	0.21	17.86	369.88
56	中粗粒角闪石英二 长斑岩(1)	80.34	144.20	15.82	54.56	8.12	1.82	5.31	0.65	2.92	0.54	1.25	0.18	1.10	0.18	14.35	331.34

括号中为样品数。

0.47 km<sup>2</sup>,呈岩株状侵入于下三叠统青天堡组,东部边缘有数条呈岩脉侵入于围岩中。岩体与围岩呈犬牙交错侵入接触,在周边形成宽 12 ~ 500 m 的青磐岩化带(图 3)。岩体内有较多的围岩俘虏体,各期次岩类接触关系多为脉动型。中细粒黑云母石英二长斑岩是复式岩株的主体,次为中细粒角闪石英二长斑岩在东南呈岩株侵入,深部包裹辉石石英二长斑岩和黑云母石英正长斑岩(图 4)。主体岩石围绕角闪石英二长斑岩体作半环状分布,细粒黑云母石英斑岩、闪长玢岩和云煌岩以岩脉侵入于先期各类岩石中。在岩体西部,北部地表见青天堡组地层俘虏体,出露宽度 40 ~ 90 m,长 125 ~ 150 m,形态不规则。岩体中部有一约 450 × 350 m<sup>2</sup>(约 0.16 km<sup>2</sup>)的似肾状隐爆碎裂岩筒。这名称是与杨铸生高工讨论后确定的,因为叫隐爆角砾岩筒而角砾岩很少见,但镜下见到长石斑晶不规则裂纹发育,部分还稍有位移(但无角度转动),确实反映有隐爆现象存在。热液蚀变和矿化的各种微细脉(宽 0.01 ~ 0.22 mm 不等,由石英、黑云母、绢云母和黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿等矿物组合成近十种脉体,如石英脉、黄铜矿石英脉、黄铜黄铁矿石英脉、黄铜黄铁矿黑云母石英脉、黄铜黄铁矿绿泥石石英脉及黄铜黄铁矿绢云母石英脉等等)分布其中,还有互相穿插、切断现象,加之成矿后的裂隙也很发育(80 ~ 200 条/m<sup>2</sup>),它对次生富集带的发育是很重要的,因此称之为隐爆碎裂岩筒。它由近东西和南北 2 条隐伏深断裂所控制(物探磁法测量结果清楚的反映了其存在),产状近直立,十分密集的裂隙网,以陡倾裂隙(钻孔中其轴夹角 0 ~

25°)为主,缓倾角的裂隙为辅,它既是富矿气热液的良好通道,又是其沉淀成矿的空间,因此它控制了矿体的分布范围。在该隐爆碎裂岩筒及其附近的所有岩石都被矿化。

该岩体的蚀变作用较普遍且强烈,由于多期次的岩浆侵入和热液蚀变迭加使其蚀变分带复杂,变得不易区分,但仍依稀可见中心式面型蚀变特征,平面上以中细粒角闪石英二长斑岩为中心,钾长石化带不很对称的向外分布,再外面是绢英岩化带,局部出现高岭石化带和青磐岩化带。在剖面上也大致显示出这种趋势,具有经典型斑岩铜矿床的蚀变分带特征。

从蚀变带的分布和有较多的围岩包体出现,说明 80 号岩体的剥蚀程度是不深的。

岩体外接触带的蚀变是伴随着石英二长斑岩岩浆侵入而导致热力变质和相伴不同程度的热液蚀变作用,主要表现为岩体附近围岩重结晶,80 号岩体外接触带形成宽 12 ~ 500 m 的角岩带,东侧可划分出阳起石黑云母角岩带、阳起石绿泥石角岩带和斑点板岩带。普遍有热液期的黄铁矿(少许黄铜矿) + 绿泥石 + 黑云母-石英或碳酸盐细脉产出,因此也可统称青磐岩化带。还可因含铜矿物较多而形成角岩型工业矿体,如 II 号矿体。

#### 4 矿体特征

模范村斑岩型铜矿的 I 号矿体产于 80 号复式岩株中部,受隐爆碎裂岩筒的控制(图 4)。就矿化体

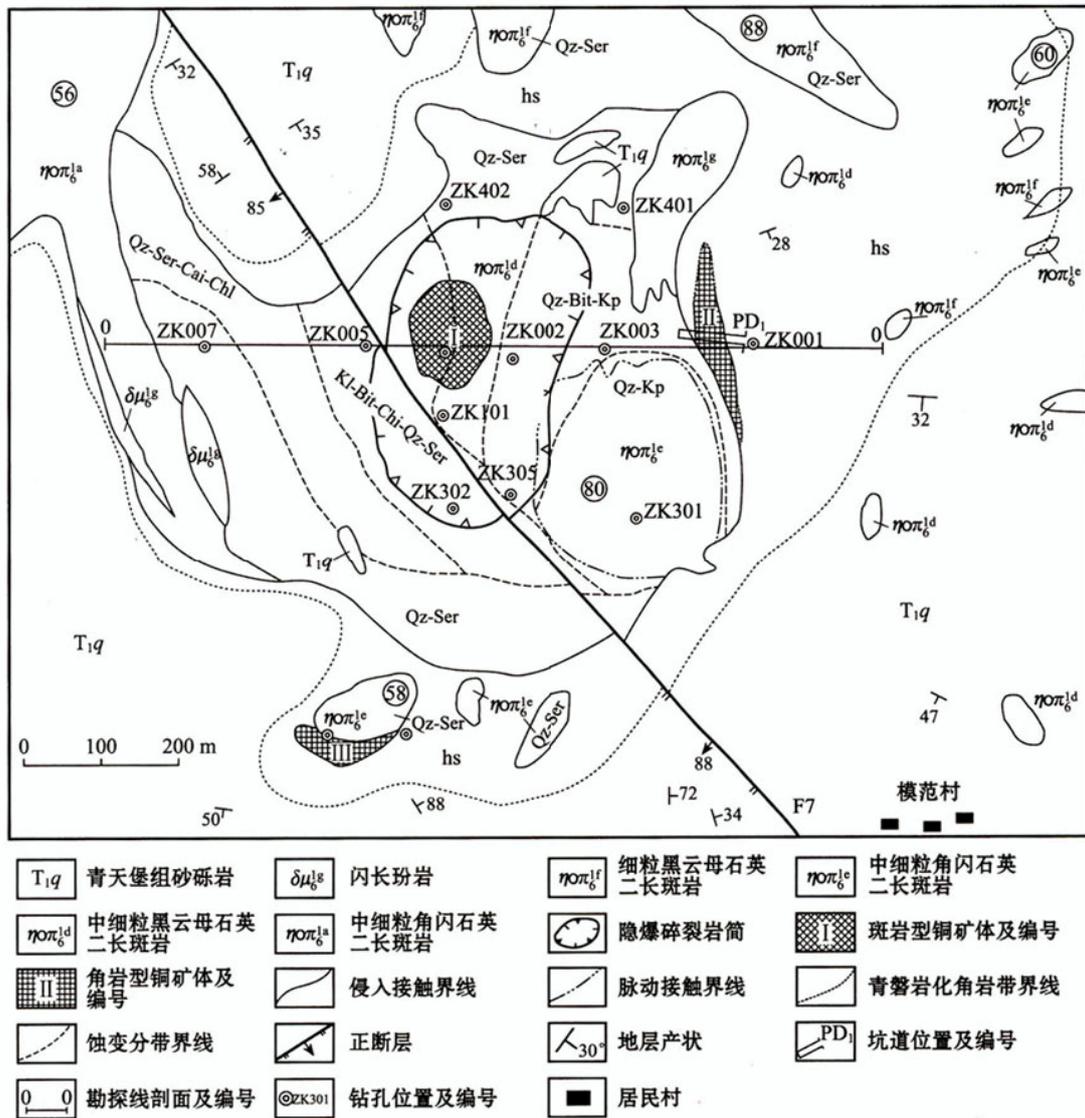


图3 模范村斑岩铜矿地质图(据矿区普查报告<sup>①</sup>修改)

hs:青磐岩化带;Qz-Kp:石英钾长石化带;Qz-Bit-Kp:石英黑云母钾长石化带;Qz-Ser:石英绢云母化带;Kl-Bit-Chl-Qz-Ser:高岭土黑云母绿泥绢英岩化带;Qz-Ser-Cai-Chl:绢英岩碳酸盐绿泥石化带

Fig. 3 Geological map of the Mofancun porphyry copper deposit (modified after the Reconnaissance Report by the Mine)

( $w_{Cu} > 0.1\%$ 者)而言为筒状,面积约 $0.24\text{ km}^2$ ,9个钻孔平均厚 $220\text{ m}$ ,Cu平均品位( $w_B$ ,下同)为 $0.185\%$ (单孔样品长度加权平均品位是 $0.102\% \sim 0.5168\%$ ),德兴铜厂的Cu平均品位为 $0.458\%$ ,富家坞 $0.501\%$ ,朱砂红 $0.423\%$ ,多宝山 $0.147\%$ ,玉龙 $0.543\% \sim 0.94\%$ ,马拉松多 $0.36\%$ ,多霞松多 $0.36\%$ <sup>②</sup>,而在西藏冈底斯成矿带发现的3个斑岩铜矿驱龙、冲江和帮浦的Cu品位分别为 $0.16\% \sim$

$0.59\%$ 、 $0.1\% \sim 0.18\%$ 和 $0.13\% \sim 0.23\%$ (孟祥金等,2005)。在2000年时全球斑岩铜矿的平均开采品位是 $0.25\%$ 。在模范村最高品位的钻孔终孔时仍处于矿体中,在ZK002深达 $484\text{ m}$ 时仍有 $\text{Cu} > 0.1\%$ 的样品出现。已有钻孔控制的工业矿体长 $450\text{ m}$ 、宽 $350\text{ m}$ 、深 $350\text{ m}$ ,平面上为椭圆形,剖面上为厚大透镜体(0号剖面上则呈厚大似层状),边缘分枝普遍,总体产状近水平。铜品位在剖面上变化较大,

① 李荣晨,袁林,田玉福,任光辉,等.四川省盐源县西范坪斑岩铜矿区普查报告.

② 肖渊浦.2005.斑岩铜矿研究及找矿新进展.固体矿产勘查与实践论文集.成都理工大学地球科学院.

总体上是从中心向四周变贫、变薄。在标高 2 760 ~ 2 976 m 之间为表内矿,属次生富集带部位。矿体厚 5 ~ 226 m,平均 70 m,Cu 平均品位 0.59 %,伴生 Mo 0.012 %、Au 0.14 g/t 和 Ag 1.77 g/t,达到综合利用评价指标。

矿体围岩主要为中细粒黑云母石英二长斑岩,次为中细粒角闪石英二长斑岩和少量黑云母闪长玢岩、黑云母石英正长斑岩、细粒黑云母石英二长斑岩。顶板普遍具黄铁矿化、黄铜矿化,一般呈细脉浸染状充填于裂隙中,底板仍是矿化的石英二长斑岩。

1 号矿体的次生富集作用发育,地表局部为氧

化矿石,大部为氧化淋滤后的风化、半风化岩石,一般深 50 ~ 70 m,金属矿物为褐铁矿、孔雀石,次为铜蓝、辉铜矿、黄铁矿及风化残余黄铜矿,偶见赤铜矿、自然铜、自然银、辉钼矿等,Cu 0.1 % ~ 0.3 %、Mo 0.006 % ~ 0.027 %、Au 0.07 % ~ 0.63 %、Ag 0 ~ 0.7 g/t。次生富集带分布于 60 ~ 180 m,金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、磁铁矿、钛铁矿、自然金、辉钼矿、自然银等。Cu 品位 0.37 % ~ 1.74 %,平均 0.59 % (单孔平均 0.53 % ~ 0.86 %),Mo 0.008 % ~ 0.021 %、Au 0.08 ~ 0.15 g/t、Ag 1.30 ~ 2.20 g/t。其下原生带金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、

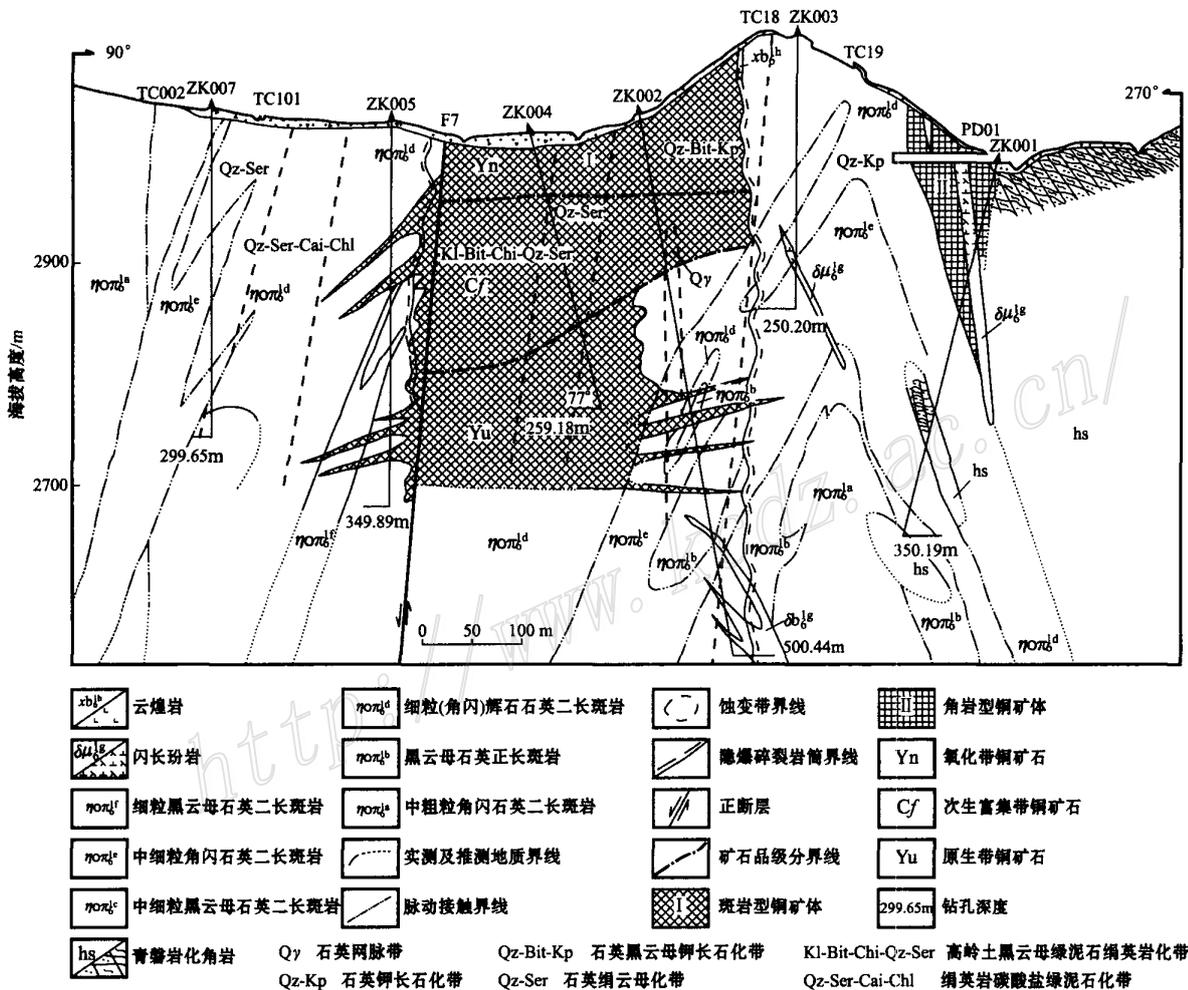


图 4 模范村斑岩铜矿区 0 号勘探线剖面图(据李立主、赵支刚,2005 年资料<sup>①</sup>)

Fig. 4 Geological section along No. 0 exploration line of the Mofancun porphyry copper ore district

① 李立主,赵支刚. 2005. 再论盐源模范村喜马拉雅期斑岩铜矿床地质特征及找矿前景(内部资料)

辉钼矿等, Cu品位 0.13% ~ 0.30%, 平均 0.27%、Mo 0 ~ 0.018%、Au 0.02 ~ 0.30 g/t、Ag 0.45 ~ 0.70 g/t。

根据选矿样物质组分研究和大量光薄片鉴定出矿物 42 种, 其中金属矿物 25 种, 脉石矿物 17 种, 其含量情况如下表 5。

微量矿物有银金矿、自然金、自然银、磁黄铁矿、孔雀石、闪锌矿, 偶见矿物有自然铜、赤铜矿、辉镍矿、镍黄铁矿、硫镍钴矿(?)、自然铅、重晶石、白云石、萤石等。矿石矿物仅占 2.55% (其中: 铜钼矿物只占 1.2% 士), 而脉石矿物却高达 97.45%。辉钼矿中含 Re 高,  $w(\text{ReO})$  0.11% ~ 0.25% 居中国斑岩铜矿之首, 比玉龙、德兴矿区高出 1 ~ 2 个数量级<sup>①</sup>, 它在辉钼矿中呈均匀类质同象, 说明成矿物质深源成因和成矿时代的特点。矿石化学组分见表 2。

矿石的结构有自形粒状结构、半自形—他形粒状结构、板片—叶片状结构、反应边结构、压碎结构、交代残余假像结构、交代穿孔结构。构造有星散浸染状构造、稀疏浸染状构造、胶状变胶状构造、交代细脉网脉状构造、细脉浸染状构造。

多期次成矿是模范村铜矿床的突出特点, 根据大量宏观、微观资料结合包体测温数据, 可划分 3 个成矿期(岩浆晚期、热液期和表生期)、5 个成矿阶段(热液期分高、中、低 3 个成矿阶段)。

初步选矿试验结果表明, 采用硫化矿和氧化矿同时浮选方法, Cu 回收率 80.65%, 金回收率 39.15%, Ag 回收率 79.87%, Mo 回收率 86.93%, 可见选矿性能良好。

产于外接触带的角岩型矿体有 80 号岩体东侧的 II 号和 58 号岩体南侧的 III 号, 皆为表外矿。

II 号矿体由于是槽—坑—钻在同一剖面上控制, 因此对其产状等形态特征无法获得确切资料。推测其为透镜状, 产状  $70^\circ \angle 70^\circ$ , 走向长 > 200 m, 沿倾斜方向控制 234 m。槽探控制矿厚 4 m, 在其下 20 ~ 40 m 的 PDI 中见矿 20.53 m (Cu 0.27%), ZK001 中的相应位置见矿 24.57 m (114.49 ~ 139.06 m, Cu 0.27%)。向东北有宽达 200 ~ 500 m 的青磐岩化角岩带, 既是土壤金属量测量的 Cu、Au、Ag、Mo、Pb、Zn、Sb 异常重叠区, 也是中等激化率所在地, 和 I 号矿体处在同一等值线范围内, 是一个很有希望提供储量的区段。角岩中的蚀变主要是黑云母化、绿泥石化、硅化、黄(褐)铁矿化、碳酸盐化等。槽探中未见任何铜矿物, 坑、钻中的金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、兰辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石、自然金、自然银、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿等, 矿石构造为细脉浸染型。

## 5 成矿机制的探讨

15 件硫同位素样品采自斑岩和角岩中的星散状、细脉状黄铁矿(1 件为细脉状方铅矿), 其  $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围不大(-3.37‰ ~ 2.65‰), 平均 0.46‰, 与德兴铜矿 0.15‰ ~ 0.48‰ 和玉龙铜矿 2.098‰ (100 件样品平均值) 相近似, 并接近于陨硫硫的特点, 表明矿床中的硫主要来源于深部岩浆。

4 件取自斑岩中的星散状黄铁矿和中长石及角岩中星散状和细脉状黄铁矿的铅同位素组成相当一致, 反映成矿热液中铅的来源均一。在  $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  图解中(沈渭洲等, 1996), 矿石铅同位素数据点更接近长石铅值, 说明矿床中成矿组分铅以

表 5 模范村斑岩铜矿区矿石主要矿物含量

Table 5 Major mineral contents of ores in the Mofancun porphyry copper ore district

矿物名称	$\alpha(\text{B})/\%$	$w(\text{B})/\%$	矿物名称	$\alpha(\text{B})/\%$	$w(\text{B})/\%$	矿物名称	$\alpha(\text{B})/\%$	$w(\text{B})/\%$
长石	76.60	74.70	磷灰石	0.067	0.08	斑铜矿	0.019	0.04
黑云母	7.949	8.52	楣石	0.047	0.06	铜蓝	0.01	0.02
石英	8.192	7.86	普通角闪石	0.029	0.03	辉钼矿	0.003	0.01
绿泥石	1.924	2.12	锆石	0.027	0.04	磁、赤铁矿	0.069	0.13
伊利石	1.401	1.39	绿帘石	0.022	0.03	褐铁矿	0.146	0.22
绢云母-白云母	1.635	1.73	黄铁矿	0.658	1.16	方铅矿	0.01	0.03
金红石	0.132	0.22	黄铜矿	0.38	0.58	钛铁矿	0.159	0.25
高岭土	0.138	0.13	辉铜矿	0.236	0.48	合计	100	99.99
方解石	0.125	0.12	兰辉铜矿	0.022	0.04			

① 付德明, 赵支刚, 1997. 扬子地台西缘盐源、双会铜(金)矿靶区优选及综合评价.

岩浆来源为主。

12 件氧同位素数据表明(徐士进等,1997),铜矿床中石英均具有较高的  $\delta^{18}\text{O}$  值,为 8.22%~11.60%。经计算得出的成矿热液的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$  值变化较大,为 9.34%~4.16%。其中成矿早期阶段的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$  值 4.40%~4.16% 有所降低,反映有一定数量大气降水参与。这与德兴、玉龙及世界其他斑岩铜矿十分相似。

矿化岩体中的石英含包裹体较多,以含子矿物的多相流体包裹体为主,气相包裹体数量少,表明成矿热液曾发生过沸腾作用。多相流体包裹体的子矿物有 2 种:一种是 NaCl 晶体;另一种是呈四面体、似四面体和球粒状的黄铜矿。包裹体的均一温度变化于 350~650℃,但主要集中于 470~530℃ 之间,成矿温度较高;还具有高的盐度,  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  变化于 39.70%~66.50%,主要集中于 55%~65%。对数十个多相流体包裹体进行的相体积估测表明,气相百分数 11%~17%,液相百分数 44%~51%,石盐 33%~40%,黄铜矿 2% 土。气相成分中除水蒸气外,以  $\text{CO}_2$  为主(17.9~18.3 ml/100 g),含少量  $\text{CO}$  (1.63~3.37 ml/100 g),但不含  $\text{CH}_4$ ,液相成分中阳离子以  $\text{Na}^+$  ( $3.62 \times 10^{-6} \sim 3.85 \times 10^{-6}$ )、 $\text{K}^+$  ( $1.37 \times 10^{-6} \sim 1.55 \times 10^{-6}$ ) 为主, $\text{Cu}^{2+}$  ( $0.45 \times 10^{-6} \sim 0.61 \times 10^{-6}$ ) 和  $\text{Mg}^{2+}$  ( $0.06 \times 10^{-6} \sim 0.63 \times 10^{-6}$ ) 少量。阴离子成分以  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $5.67 \times 10^{-6} \sim 15.35 \times 10^{-6}$ ) 为主,其次为  $\text{HCO}_3^-$  ( $0.44 \times 10^{-6} \sim 2.45 \times 10^{-6}$ ) 和  $\text{Cl}^-$  ( $0.49 \times 10^{-6} \sim 2.06 \times 10^{-6}$ ),pH 值为 5.52~6.68。

综上所述,成矿流体是一种富含 Cu、Fe、S 的 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系,具有高温(470~590℃)、高盐度(55%~65%)、高铜含量(有黄铜矿子矿物析出)和沸腾的特点。但这仅是代表成矿初期阶段的成矿流体特征,而真正形成工业矿体还须有从高温到低温多期次成矿的叠加。高品位的矿体还依赖次生富集带的形成。流体水的氧同位素组成与典型岩浆水一致,黄铁矿的硫、铅同位素表明成矿物质主要来自深源岩浆,部分来自围岩。所有这些特征符合斑岩铜矿的正岩浆模式,矿床为经典型斑岩矿床。

始新世中期金河—程海深断裂在印支板块碰撞下复活,相伴的次级断裂交汇处为斑岩体快速侵位提供了空间。首先是 NE 向的 56 号主岩体生成(45~51 Ma),后有近东西、南北向断裂的发生(物探磁测的隐伏断裂的存在是实据),生成了像 80 号这样

的含矿岩体。不同期次岩性的岩浆脉动式侵入(32~35.8 Ma)生成多期次的复式岩体,相伴的蚀变和初步成矿作用相继发生,接着 2 组断裂继续活动而使刚冷凝不久的岩体中部生成隐爆碎裂岩筒,这就为深部岩浆残余含矿气液的上升提供了运移的通道和沉淀场所,多期次的富矿气液的上升,成矿组分叠加而生成了低品位的铜矿体。到第四纪时在喜马拉雅 II、III 期运动影响下,地壳上升,矿体上部被风化剥蚀淋滤,F7 断层通过矿体,节理破碎裂隙发育,这就为次生富集带的发育创造了良好条件,使铜矿品位得到了成倍的提高而生成了 I 号工业矿体。可见外生成矿期的次生富集作用是极为重要的,而围岩性质与蚀变种类和强弱在形成工业矿体中的作用就不是那么重要了,各钻孔的实际资料充分表明了这点,同种岩性与蚀变种类和强度在不同位置其矿化程度相差很大。

上述大量资料表明模范村确系经典型斑岩矿床,但又具独自の成矿特征。只有认识到这一点,才能总结出适合本区的找矿标志以指导今后的找矿工作,扩大矿床规模和找到新矿体。不断发现的找矿新线索预示着该区找矿潜力还较大。

## References

- Li L Z and Yang S C. 1992. Discovery of Himalayan porphyry group in Xichang[J]. Acta Geologica Sichuan, 12(1):65(in Chinese).
- Li L Z and Yang S C. 1995. Geological features and ore content porphyry group in the Himalayan epoch in Xifanping-Mofancun, Yanyuan[J]. Acta Geologica Sichuan, 15(4):283~293(in Chinese with English abstract)
- Li L Z, Yang S C and Kang B H. 1996. Geological features and ore-prospecting of copper porphyry group in the Himalayan epoch in Xifanping-Mofancun, Yanyuan County[A]. Papers on geology and mineral deposits of intercontinental orogenic belt in the southwestern of Yangzi platform[C]. Chengdu: Chengdu Univ. Techn. Pub. House (in Chinese).
- Meng X J, Hou Z Q and Li Z Q. 2005. Fluid inclusions and ore-forming processes of three porphyry copper deposits in Gangdese belt, Tibet [J]. Mineral Deposits, 24(4):398~408(in Chinese with English abstract).
- Shen W Z, Xu S J, Luo Y N and Li L Z. 1996. Isotope geochemistry of Xifanping porphyry copper deposit, Yanyuan County, Sichuan Province[A]. Papers on geology and mineral deposits of intercontinental orogenic belt in the southwestern of Yangzi platform[C]. Chengdu: Chengdu Univ. Techn. Pub. House(in Chinese).
- Xiao Y F, Sun Y, Wang J Z, Lu Y and Wen C Q. 1999. Petrology of Himalayan Porphyries in Yanyuan, Sichuan and their specialization of

mineralization[J]. *Geology and Prospecting*, 35(6):37~39 (in Chinese with English abstract).

Xiao Y F. 2005. Study on porphyry copper deposit and ore-prospect[A]. *Papers on geology and mineral deposits of intercontinental orogenic belt in the southwestern of Yangzi platform*[C]. Chengdu: Chengdu Univ. Techn. Pub. House (in Chinese).

Xu S J, Sheng W Z, Wang R C, Lu J J, Lin Y P, Nie P, Luo Y N and Li L Z. 1997. Characteristics and origin of Xifanping porphyry copper deposit, Yanyuan County, Sichuan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(1):56~62 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

李立主, 杨仕长. 1992. 西昌地区首次发现喜马拉雅期斑岩群. *四川地质学报*, 12(1).

李立主, 杨仕长, 康本和. 1995. 盐源县西范坪—模范村喜马拉雅期

斑岩群地质特征及找矿前景探讨[J]. *四川地质学报*, 15(4):283~293.

李立主, 杨仕长, 康本和. 1996. 论盐源县西范坪—模范村喜马拉雅期斑岩群地质特征及找矿前景探讨[A]. *扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集*[C]. 成都: 四川科学技术出版社.

孟祥金, 侯增谦, 李振清. 2005. 西藏冈底斯三处斑岩铜矿床流体包裹体及成矿作用研究[J]. *矿床地质*, 24(4):398~408.

沈渭洲, 徐士进, 骆耀南, 李立主. 1996. 四川省盐源县西范坪斑岩铜矿同位素地球化学研究[A]. *扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集*[C]. 成都: 四川科学技术出版社.

肖渊甫, 孙燕, 王奖臻, 陆彦, 温春齐. 1999. 四川盐源喜山期斑岩岩石学特征及[J]. *地质与勘探*, 35(6):37~39.

徐士进, 沈渭洲, 王汝成, 陆建军, 林雨萍, 倪培, 骆耀南, 李立主. 1997. 四川盐源西范坪斑岩铜矿特征和成因[J]. *矿物学报*, 17(1):56~62.