

文章编号: 1000-4734(2007)03-0414-09

云南中甸地区两个斑岩铜矿容矿斑岩的地球化学特征

——以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例

冷成彪^{1,2}, 张兴春^{1*}, 王守旭^{1,2}, 秦朝建¹, 苟体忠^{1,2}

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 位于义敦岛弧南端的中甸岛弧已成为我国又一重要的斑岩铜矿产地, 其中雪鸡坪中型斑岩铜矿床产于西斑岩带, 普朗超大型斑岩铜矿床产于东斑岩带。详细对比研究了这两个斑岩铜矿床矿床地质, 含矿斑岩的岩石化学、地球化学以及年代学等特征, 认为: ①两者的元素组成非常相似, 如稀土配分形式均为轻稀土元素富集型, 亏损重稀土元素和 Y, 富集 Sr, K, Rb, Ba, Th 等大离子亲石元素, 亏损 Nb, Ta, Zr, Hf, Ti 等高场强元素, 显示了埃达克岩的地球化学特征, 表明它们可能是俯冲的甘孜—理塘洋壳部分熔融的产物, 并受到地壳物质的混染; ②中甸岛弧的结构及时空演化保持了义敦岛弧的共性, 发育完整的海—弧—盆体系, 其中东斑岩带属于外弧, 而西斑岩带属于内弧, 中斑岩带及零星分布的属都蛇绿混杂岩产于弧间盆地。

关键词: 岩石地球化学; 斑岩铜矿床; 埃达克岩; 雪鸡坪; 普朗; 中甸弧; 云南

中图分类号: P595; P618.4101 文献标识码: A

作者简介: 冷成彪, 男, 1982年生, 在读博士, 地球化学专业, 研究方向矿床地球化学。

中甸岛弧是中国西南三江构造火成岩带中义敦岛弧的组成部分, 位于义敦岛弧的最南端, 其东部和南部是甘孜—理塘板块缝合带, 西部是乡城—格咱深大断裂, 该断裂向 SSE 方向延伸, 与甘孜—理塘深大断裂相接, 从而在南部封闭了中甸弧^[1]。最近研究发现, 中甸岛弧已成为我国又一重要的斑岩铜矿的产地(图 1), 并引起了国内外地质工作者的广泛关注^[1-12]。曾普胜等^[2-5]根据中甸地区斑岩体的空间分布、岩性特征、年代学以及岩石地球化学等资料, 把中甸岛弧分成东斑岩带、属都蛇绿混杂岩带和西斑岩带三个构造单元。其中, 普朗大型斑岩铜矿带产于东斑岩带, 而雪鸡坪中型斑岩铜矿产于西带。最近研究认为, 斑岩型矿床主要产于两种环境, 即岛弧—陆缘弧环境和碰撞造山环境^[1]。曾普胜等^[5]认为, 普朗铜矿床产生的构造环境为洋—洋俯冲形成的岛弧带, 故其含矿斑岩具有俯冲洋壳部分熔融形成的埃达克岩的地球化学特征, 而雪鸡坪铜矿床则产于大陆边

缘弧, 并用俯冲带向东后退来解释中甸岛弧的构造格架。这一模型成立的重要前提是同位素测年数据, 即西部斑岩带的年龄较东部斑岩带老约 30 Ma。但是, 雪鸡坪闪长玢岩体由不同的测年方法所得的年龄值相差很大, 角闪石³⁹Ar/⁴⁰Ar 坪年龄为 249.92 Ma^[3], 全岩 Rb—Sr 等时线年龄为 237 Ma^[11], 锆石 SHRIMP 年龄为 215.3 Ma^[7]。本文主要从矿床地质特征, 含矿斑岩的岩石化学、地球化学以及年代学等角度, 详细对比了雪鸡坪和普朗铜矿床的异同, 对现有的构造模型提出了质疑, 并提出不同的解释。

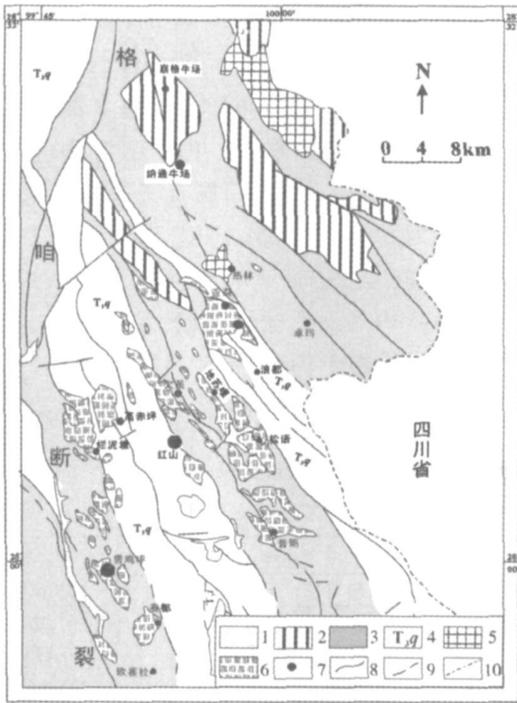
1 地质背景

中甸岛弧主体为一个近 SN 向延伸的较狭窄的盆地, 它的结构及时空演化保持了义敦岛弧的共性^[1], 即在中甸弧中分布最广的为上三叠统火山—沉积岩系, 在火山岩岩浆活动中, 以安山质岩浆喷溢—喷发为特征。火山弧的发育、演化经历了三个阶段, 即俯冲造山作用、碰撞造山作用和陆内汇聚作用^[1], 对应的岩浆活动分别为印支期岛弧火山岩系、燕山期 S 型花岗岩和喜山期富碱斑岩^[3]。其中与雪鸡坪和普朗斑岩铜矿有关的斑岩主要发生在印支期。

收稿日期: 2007-06-21

基金项目: 国家基础研究规划“973”项目(2002CB412605); 国家自然科学基金项目(批准号: 40372049)

* 通讯作者, 电话: 0851-5895047; E-mail: zhangxingchun@vip.gy.g.cn



1. 第四系 2. 喇嘛垭组 3. 图姆沟组 4. 曲嘎寺组
5. 燕山晚期二长花岗岩 6. 印支期斑(玢)岩
7. 铜多金属矿床(点) 8. 地层界线 9. 断层 10. 省界

图1 中甸岛弧区域地质图(据曾普胜等^[5]简化)

Fig. 1. Regional geology of Zhongdian island arc belt (modified from data by Yunnan Geological Survey, 2004)

雪鸡坪铜矿床位于西斑岩带中部, 该区域出露的地层主要为上三叠统, 在河谷地带零星分布有第四系沉积物。地层自下而上描述为: 曲嘎寺组(T_{3q}), 砂板岩, 顶部为泥灰岩; 图姆沟组(T_{3t}), 砂岩、板岩和安山岩, 中部夹灰岩。雪鸡坪复式岩体侵入于图姆沟组砂板岩和安山岩中。岩体长2.2 km, 宽200~870 m, 受区域上格咱深大断裂的控制, 呈北北西向展布, 面积约0.98 km²。岩性主要为闪长玢岩、石英闪长玢岩、石英二长斑岩和花岗斑岩。岩体普遍具有不同程度的片理化。其中与矿化有关的斑岩主要是石英闪长玢岩和石英二长斑岩。研究认为^[11], 雪鸡坪复式岩体与区域上的火山岩为同源产物。

普朗斑岩铜矿床位于东斑岩带的南端, 出露的地层也主要为上三叠统, 自下而上可分为曲嘎寺组(T_{3q})、图姆沟组(T_{3t})和喇嘛垭组(T_{3l})。其中曲嘎寺组由复理石砂板岩、碳酸盐岩夹中基性火山岩组成; 图姆沟组由砂板岩夹中酸性火山岩构成, 分布范围和厚度大于曲嘎寺组; 喇嘛垭组下

部为海陆交互相碎屑岩, 上部为典型的陆相沉积。普朗复式岩体侵入于图姆沟组的砂板岩和安山岩中, 岩体形状不规则, 地表出露面积约9 km², 早期的角闪黑云石英二长斑岩被晚期的角闪黑云石英闪长玢岩切穿。杨岳清等^[1]认为, 这些斑(玢)岩和区域上的火山岩是同源岩浆在不同阶段以不同形式产出的。

2 矿床地质特征

2.1 雪鸡坪斑岩铜矿床

雪鸡坪斑岩铜矿床矿体主要由蚀变的石英闪长玢岩和石英二长斑岩构成, 围岩以砂板岩、安山岩为主, 矿体展布明显受区域深大断裂的控制。热液蚀变由内向外为: 强硅化带、石英-绢云母化带、绢云母-碳酸盐化带, 矿体赋存于斑岩体中部强硅化、石英绢云母化带内。矿化特征是, 在岩体上部浸染状或者细脉浸染状矿化呈面型分布, 形成较早; 硫化物石英脉矿化呈线型分布, 形成较晚。矿石矿物以黄铁矿、黄铜矿为主, 辉铜矿、磁铁矿、褐铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿等少量分布; 脉石矿物以石英、斜长石、碳酸盐、绢云母和黑云母为主, 白云母、绿泥石、重晶石、高岭石为次要。矿石构造主要为网脉型, 少数为浸染-细脉浸染型和块状硫化物型。矿石平均含铜0.63%, 伴生钼(0.005%)、金(0.06 g/t)、银(1.46 g/t)。已探明铜金属19.91万t, 伴生金3t。近年勘探发现其远景储量大于50万t。

2.2 普朗斑岩铜矿床

普朗斑岩铜矿床含矿岩体为黑云母石英闪长玢岩、黑云母石英二长斑岩, 围岩与雪鸡坪地区类似, 为砂板岩和安山岩, 岩体与围岩呈港湾状接触。岩体蚀变特别发育, 由内向外依次为: 强硅化带、钾硅酸盐化带、硅化带、绢云母化带和青磐岩化带, 岩体外围角岩化带环绕岩体分布^[10]。与矿化关系最密切的是黑云母-钾长石化, 由蚀变中心向外铜矿化逐渐减弱。矿石矿物主要为黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、辉钼矿等, 脉石矿物主要为石英、方解石、黑云母、角闪石、绢云母、绿泥石等。矿石构造简单, 以细脉浸染状构造为主, 其次为浸染状构造和脉状构造、斑杂状构造等。Cu的平均品位为0.57%, 铜金属量114万t, 伴生金金属量28.80t, 金品位0.18 g/t;

钼 6399 t, 品位 0.004%, 普朗斑岩铜矿床远景储量 400 万 t, 为一个具有超大型规模远景储量的斑岩型铜矿^[5]。

3 岩石化学特征

表1 列出了雪鸡坪和普朗斑岩的主元素数据, 从中可以看出普朗矿区容矿斑岩 SiO₂ 含量为 60.42% ~ 66.89%, 属于中酸性岩石, Al₂O₃ 含量为 14.28% ~ 15.05%, 全碱含量高, 为 6.92% ~ 7.61%, K₂O/Na₂O 为 1.11~ 1.35, 里特曼指数为 2.00~ 3.32, 属于钙碱性系列,

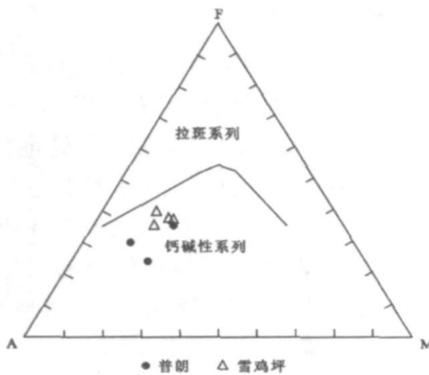
ANKC 为 0.74~ 0.98, 均小于 1, 属于过碱质岩石; 而雪鸡坪矿区容矿斑岩的 SiO₂ 含量为 61.63%~ 69.28%, 也属于中性-酸性岩石, Al₂O₃ 含量为 12.17%~ 14.87%, 全碱含量比前者低, 为 5.37%~ 6.37%, 故里特曼指数也较前者低, 为 1.27~ 2.54, 属于钙碱性系列, K₂O/Na₂O 为 0.46~ 1.35, ANKC 为 0.96~ 1.25, 主要属于准铝-过铝质岩石。在图 2 中, 普朗和雪鸡坪样品均落入钙碱性区域, 在图 3 中, 雪鸡坪斑岩主要投影于钙碱-高钾钙碱系列区, 而普朗斑岩则主要属于高钾-钾玄岩系列。

表1 雪鸡坪和普朗铜矿床容矿斑岩的岩石化学数据(wB/%)及参数表

Table 1. Petrochemical data and parameters for the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang

斑岩铜矿床	普朗			雪鸡坪			
	石英闪长玢岩	石英闪长玢岩	角闪二长斑岩	石英闪长玢岩	石英闪长玢岩(3)	石英二长斑岩	石英二长斑岩(5)
SiO ₂	60.42	64.30	66.89	64.09	61.63	62.88	69.28
TiO ₂	0.71	0.56	0.53	0.77	0.78	0.85	0.63
Al ₂ O ₃	14.39	14.28	15.05	12.17	14.85	14.87	14.22
Fe ₂ O ₃	6.13(FeOt)	3.21(FeOt)	0.49	3.18	1.85	1.30	2.34
FeO			3.15	1.62	3.82	4.08	3.46
MnO	0.10	0.04	0.05	0.02	0.06	0.09	0.06
MgO	3.63	2.64	1.52	2.18	2.87	2.32	1.97
CaO	5.12	4.02	3.33	2.13	2.08	3.12	1.57
Na ₂ O	3.52	3.17	3.28	2.20	4.25	3.87	2.84
K ₂ O	4.08	4.30	3.64	2.97	1.96	3.23	3.53
P ₂ O ₅	0.40	0.37	0.25	0.28	0.32	0.29	0.18
δ	3.32	2.62	2.00	1.27	2.07	2.54	1.54
ANKC	0.74	0.83	0.98	1.14	1.15	0.96	1.25
资料来源	本文	本文	[5]	[2]	[2]	[2]	[11]

注: 本文数据由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 X 荧光分析室分析, 总量介于 99.75%~ 100.25%, 本表省略了 LOI 及总量等项; 括号内数字表示样品个数。



A= K₂O+ Na₂O; F= (FeO)_t; M= MgO

图 2 雪鸡坪和普朗斑岩 AFM 图解

(底图据 Irvine & Baragar^[13])

Fig. 2. AFM plot of the ore-bearing porphyries at

Xuejiping and Pulang.

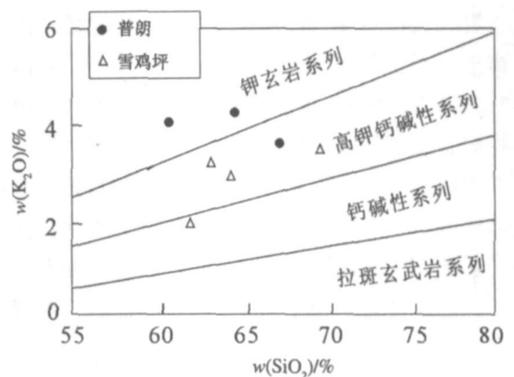


图 3 雪鸡坪和普朗斑岩 K₂O-SiO₂ 图解

(底图据 Muller 等^[14])

Fig. 3. K₂O-SiO₂ plot of the ore-bearing porphyries at

Xuejiping and Pulang.

4 地球化学特征

4.1 稀土元素特征

表 2 列出了雪鸡坪和普朗斑岩的稀土、微量元素数据。普朗斑岩的 ΣREE 为 158.05×10^{-6} ~ 176.06×10^{-6} , 变化范围很小, 具有弱的负铕异常 ($0.77 \sim 0.86$), δCe 为 $0.89 \sim 0.98$, 属于铈负异常, 但均接近 1, 表明氧化条件很弱。轻重稀土分馏明显, $(\text{La}/\text{Lu})_N$ 为 $14.22 \sim 24.09$, 重稀土含量很低, 如 Yb 含量为 $1.22 \sim 1.70$, 均小于 1.9, $(\text{Ho}/\text{Lu})_N$ 为 $1.08 \sim 1.31$, 重稀土元素分馏不明显。雪鸡坪斑岩的稀土元素组成与前者相似, 负

铕异常较弱 ($\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 1.00$), δCe 接近 1, 轻重稀土分馏明显, $(\text{La}/\text{Lu})_N$ 为 $19.06 \sim 24.83$, 重稀土含量较低, 分馏亦不明显, $(\text{Ho}/\text{Lu})_N$ 为 $1.22 \sim 1.25$ 。两个岩体的不同之处是后者 ΣREE 变化范围比前者宽, 为 $121.02 \sim 161.07$ 。图 4 显示, 两者配分型式非常相似, 均为向右倾斜的轻稀土富集型, 重稀土比较平坦, Eu 异常不明显。这暗示, 斜长石的分离结晶作用不明显, 并且源区可能存在角闪石或者石榴子石的残留。在 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ - Yb_N 变异图解 (图 5) 中, 多数样品落入埃达克岩与典型岛弧岩石的过渡区域, 雪鸡坪有两个样品落入埃达克岩区域, 表明这些斑岩具有埃达克岩的地球化学亲和性。

表 2 雪鸡坪和普朗铜斑岩微量元素、稀土元素数据 ($w_B/10^{-6}$) 及参数表

Table 2. The trace element and REE concentrations of and parameters for the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang

斑岩铜矿床	普朗				雪鸡坪		
	石英闪长玢岩	石英闪长玢岩	花岗斑岩	角闪二长斑岩	石英闪长玢岩	石英二长斑岩	石英二长闪长玢岩
Sr	837.28	803.49	1186.35	909.00	424	334	
Rb	117.53	98.72	101.62		85	106	
Ba	2131.90	1263.40	1429.21	1080.00	553	9629	
Th	15.78	18.10	11.69		14	26	
Ta	0.68	0.82	0.66		0.93		
Nb	10.97	12.19	11.24		21.76	15	
Ce	70.26	65.53	67.60	68.07	53.22		
Zr	144.14	119.36	231.16		152	138	
Hf	3.58	3.41	5.73		3.7		
Sm	6.31	5.96	5.02	4.79	3.64		
Y	17.27	16.45	11.48	13.99	10.08	17	
La	41.73	35.32	34.12	37.86	27.99	37.10	35.60
Ce	70.26	67.60	65.53	68.07	53.22	62.00	73.00
Pr	8.59	7.82	7.52	7.70	6.03	7.73	9.03
Nd	34.07	31.46	30.88	27.85	21.76	21.90	26.20
Sm	6.31	5.02	5.96	4.79	3.64	4.09	4.99
Eu	1.56	1.08	1.39	1.21	0.82	1.09	1.42
Gd	5.16	3.65	4.78	3.84	2.74	2.86	3.75
Tb	0.65	0.43	0.57	0.54	0.40	0.54	0.67
Dy	3.46	2.49	3.27	2.89	1.98	2.16	2.71
Ho	0.63	0.44	0.60	0.58	0.37	0.43	0.54
Er	1.69	1.22	1.75	1.49	0.94	1.13	1.41
Tm	0.23	0.15	0.26	0.23	0.14	0.22	0.25
Yb	1.50	1.22	1.70	1.52	0.85	1.09	1.30
Lu	0.22	0.16	0.26	0.23	0.14	0.16	0.20
ΣREE	176.06	158.05	158.57	158.80	121.02	142.50	161.07
δEu	0.84	0.77	0.79	0.86	0.79	0.97	1.00
δCe	0.89	0.98	0.98	0.96	0.99	0.88	0.98
$(\text{La}/\text{Lu})_N$	20.13	24.09	14.22	17.63	21.41	24.83	19.06
$(\text{La}/\text{Sm})_N$	4.16	4.43	3.60	4.97	4.84	5.71	4.49
$(\text{Ho}/\text{Lu})_N$	1.31	1.28	1.08	1.17	1.22	1.24	1.25
Sr/Y	48.48	48.85	103.38	64.97	42.06	19.65	
资料来源	本文	本文	本文	[5]	[2]	[12]	[11]

注: 本文数据由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 ICP-MS 实验室分析测试, 微量及稀土元素分析采用电感耦合等离子体光谱法, 分析误差低于 5%; $\delta\text{Eu} = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)^{1/2}$; N 为球粒陨石 (Boynton, 1984) 标准化值。

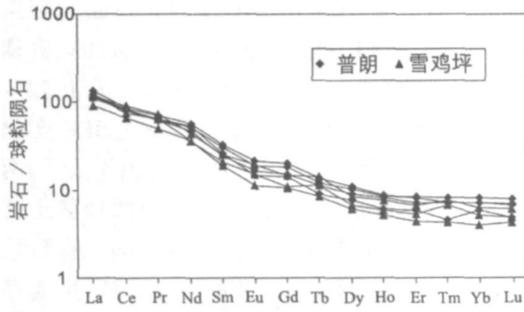


图4 雪鸡坪和普朗斑岩稀土配分曲线
(球粒陨石标准化数据引自 Boynton^[15])
Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang.

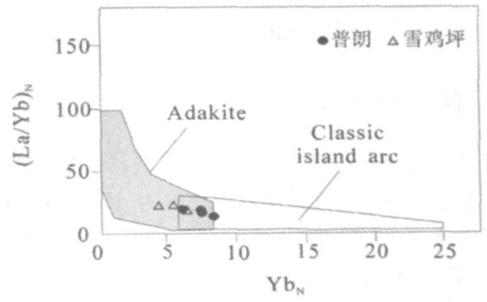


图5 雪鸡坪和普朗斑岩(La/Yb)_N-Yb_N变异图解
(底图据 Martin^[16-17])
Fig. 5. (La/Yb)_N-Yb_N plot of the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang.

4.2 微量元素特征

普朗斑岩 Sr 含量较高, 为 803~ 1186, 均大于 400, Y 含量较低, 为 11.48~ 17.27, 均小于 18; Sr/Y 比值为 48.48~ 103.38, 均大于 20; 雪鸡坪斑岩与前者相比, Sr 含量降低, 为 424~ 334, Y 含量相当, 为 10.08~ 17, Sr/Y 比值亦降低为 19.65~ 42.06。但是在微量元素蛛网图中, 两者具有基本相同的配分形式, Sr、K、Rb、Ba、Th 等大

离子亲石元素富集, Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等高场强元素相对亏损, 重稀土元素元素和 Y 含量很低(图 6)。这些特征与埃达克岩的微量元素特征相似。在 Sr/Y-Y 图解中, 普朗 4 个样品均落入埃达克岩区域, 雪鸡坪 1 个样品落入埃达克岩区域, 另外一个则投影于典型岛弧岩石区域(图 7)。此外, 所有样品均沿 MORB 部分熔融趋势线分布, 表明其形成过程可能与洋壳部分熔融过程有关。

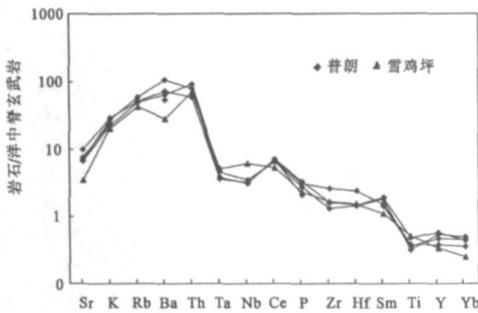
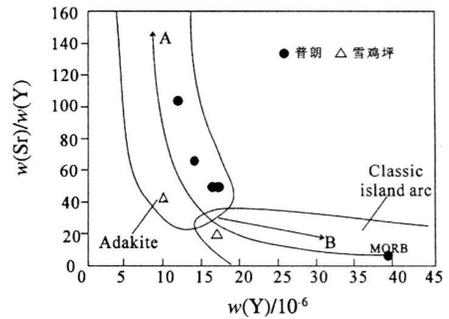


图6 雪鸡坪和普朗斑岩微量元素蛛网图
(据 Pearce^[18])
Fig. 6. The trace element spider diagram of the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang.



A. MORB 部分熔融曲线, 具有榴辉岩残留体
B. 分离结晶趋势(橄榄石 + 斜长石 + 斜方辉石 + 单斜辉石)

图7 雪鸡坪和普朗斑岩 Sr/Y-Y 变异图解
(据 Defant 和 Drummond^[19]; Atherton 和 Peford^[20])
Fig. 7. Y-Sr/Y plot of the ore-bearing porphyries at Xuejiping and Pulang.

4.3 同位素年代学

近年来, 国内学者对中甸地区的斑岩进行了大量的年代学研究工作(表 3), 初步厘定了区内出露岩体的时空关系, 将印支期岩体划分为东中西三个斑岩带^[2-5]。西斑岩带系指兰泥塘-雪鸡坪

-春都-阿热-一带, 岩体分布较为集中, 活动时限主要为 215~ 249 Ma。中斑岩带位于高赤坪-红山-洛吉-一带, 隐伏岩体较多, 多为石英二长斑岩和石英闪长玢岩, 地表出露闪长玢岩。东斑岩带系指欠虽-地苏嘎-普朗-一带及其以东地区, 岩体分布较为分散, 活动时限为 203~ 235 Ma。必须注意

表 3 中甸地区印支期斑岩成岩与成矿年代学数据
Table 3. Chronology data for the Indosinian porphyry at Zhongdian

矿床	所属斑岩带	岩石	样品	测年方法	年龄/Ma	资料来源
普朗	东带	无矿化斑岩体	黑云母	K-Ar	221.5 ± 2.0	[4]
		低品位斑岩体	黑云母	K-Ar	230.9 ± 2.2	[4]
		高品位斑岩体	黑云母	K-Ar	235.4 ± 2.1	[4]
		石英-辉钼矿脉	辉钼矿	Re-Os	213 ± 3.8	[4]
浪都	东带	黑云二长花岗岩	黑云母	Ar-Ar	216.93 ± 4.34	[3]
		石英二长斑岩	黑云母	Ar-Ar	218.04	[2]
红山	中带	石英二长斑岩隐伏体	全岩	Rb-Sr	214	[21]
雪鸡坪	西带	石英闪长玢岩	角闪石	Ar-Ar	249.92 ± 4.99	[3]
		石英闪长玢岩	全岩	Rb-Sr	237	[11]
		石英闪长玢岩	全岩+黑云母	Rb-Sr	225	[11]
		石英闪长玢岩	锆石	SHRIMP	215.3 ± 2.3	[7]
春都	西带	石英闪长玢岩	全岩	Rb-Sr	237.5	[21]

到, 雪鸡坪闪长玢岩体由不同的测年方法所得的年龄值相差很大, 全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 237 Ma, 全岩+黑云母 Rb-Sr 内部等时线年龄为 225 Ma, 角闪石³⁹Ar/⁴⁰Ar 坪年龄为 249.92 Ma, 锆石 SHRIMP 年龄为 215.3 Ma。林清茶等^[7]认为 215.3 Ma 是金沙江缝合带最后碰撞时段, 同碰撞时限为 266~214 Ma。笔者测得的普朗复式岩体锆石 SHRIMP 年龄为 228 Ma(另文发表)。

5 讨论

5.1 中甸印支期斑岩是否为俯冲板片熔融形成的埃达克(质)岩

Adakite 是 Defant 和 Drummon(1990)^[19]提出的一个岩石学概念, 其原始定义是指形成于火山岛弧环境, 由俯冲的年轻(<25 Ma)大洋板片熔融形成的火成岩。具有以下特征: 岩石类型为中酸性钙碱性岩石, 缺失基性端元, 岩石组合为岛弧安山岩、英安岩、钠质流纹岩及相应的侵入岩; 主要矿物组合为斜长石+角闪石+黑云母+辉石+不透明矿物; SiO₂ ≥ 56%, Al₂O₃ ≥ 15%, MgO 通常 < 3% (很少 > 6%); 与正常的岛弧岩石组合相比, 低重稀土元素和 Y (如 Y ≤ 18 μg/g, Yb ≤ 1.9 μg/g), 高 Sr (大多数 > 400 μg/g), 而高场强元素 (HFSEs) 含量相似; ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 通常小于 0.7040。近年研究发现, 埃达克岩 (adakite) 与斑岩型 Cu、Cu-Mo、Cu-Au 矿床有密切的关系^[22-29]。

最近研究认为普朗斑岩可能是洋壳板片熔融形成的埃达克岩^[5] (I 类埃达克岩^[30]), 但是埃达

克岩作为岩石学的概念, 指的是新鲜的岩石样品, 把蚀变、矿化斑岩与埃达克岩进行对比, 进而判断是否为埃达克岩, 显然不合适。这是因为, 斑岩在发生热液蚀变时, 重稀土元素 Yb 和 Y 以及大离子亲石元素 Sr 通常会发生迁移。如秦克章等^[31]认为乌奴格吐山铜矿斑岩发生石英-钾长石化蚀变后, 除 Eu 外, 其余各稀土元素含量均升高, 其中又以重稀土增高幅度最大; 孟祥金等^[32]认为驱龙斑岩铜矿发生钾硅酸盐化和青磐岩化时, Sr 含量亏损, 而冲江斑岩铜矿发生青磐岩化时, Sr 含量增加。本文所列的斑岩数据均为新鲜岩石样品, 故可以与埃达克岩进行对比。

普朗容矿斑岩 SiO₂ 为 60.42~66.89, Al₂O₃ 为 14.28~15.05, MgO 为 1.52~3.63, Sr 较高, 为 803~1186, Y 为 11.48~17.27, Yb 为 1.22~1.70; 雪鸡坪容矿斑岩 SiO₂ 为 61.63~69.28, Al₂O₃ 为 12.17~14.87, MgO 为 1.97~2.87, Sr 为 424~334, Y 为 10.08~17, Yb 为 0.85~1.30。这些特征与埃达克岩的地球化学组成很相似, 在图 5 和图 7 中投影于埃达克岩和典型岛弧岩石的过渡区域。Sajona 等^[23]将这种过渡类型的岩石定义为与埃达克岩有成因联系的安山岩系列 (Adakite-linked andesites, 缩写为 ALA), 并归入埃达克岩家族 (“the adakite clan”)。这类岩石的重稀土含量通常略高于 2~3 倍原始地幔值, 普朗斑岩的重稀土元素丰度为原始地幔值的 3.27~4.44 倍, 而雪鸡坪斑岩的重稀土含量为原始地幔值的 2.54~3.69 倍。

由于普朗和雪鸡坪斑岩元素组成非常相似,

笔者认为,两者应该具有相同的或是相似的源区或者源岩。曾普胜等^[5]认为普朗斑岩产于洋壳基础上的岛弧环境,而雪鸡坪斑岩则产于陆壳基础上的大陆边缘弧环境,如果这一观点可信,后者的地球化学组成应该具有大陆地壳的亲合性,比如钾含量应该高于前者,而实际情况相反。关于这种富钾埃达克岩, Rapp 等^[33]从实验岩石学的角度论述了其可能的形成机制,认为较高的钾含量可能是由源区钾含量较高或者是埃达克母岩浆遭受了同化混染和结晶分异作用造成的。此外两者的元素组成也应具有许多不同之处,而现有数据并不支持这个观点。

5.2 大地构造背景与演化

中甸地区在早三叠世处于甘孜-理塘洋盆西侧的被动大陆边缘;晚三叠世中晚期,甘孜-理塘洋壳向西俯冲,中甸褶皱带东缘由被动大陆边缘转化为活动大陆边缘,沿俯冲方向依次发育岛弧和弧后盆地。晚三叠世末,甘孜-理塘洋盆闭合,经短暂的残留海盆发育阶段,最后碰撞造山。侯增谦等^[34]认为,甘孜-理塘洋壳的俯冲时限为 238~206 Ma;杨岳清等^[1]认为,中甸地区洋壳俯冲时限为 235~210 Ma。

需要注意的是雪鸡坪石英闪长玢岩体由不同的测年方法所得的年龄值相差很大,并且出现³⁹Ar/⁴⁰Ar坪年龄最大,Rb-Sr等时线年龄其次,而锆石 SHRIMP 年龄最小的异常情况,这与岩浆的结晶分异过程不符,如果测年结果可信的话,暗示了雪鸡坪石英闪长玢岩不是单一阶段的产物,而是岩浆活动多期次侵位形成的。笔者认为中甸地区邻近格咱深大断裂一带在 249~238 Ma 之间可能受到金沙江缝合带同碰撞作用影响,深部岩浆可能沿断裂带侵位,从而在西带发育有零星的印支早期的斑岩体,而东部地区可能不受其影响。雪鸡坪石英闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄为 215 Ma,中带隐伏的红山石英二长斑岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 214 Ma,我们测得普朗复式岩体锆石 SHRIMP 年龄为 228 Ma(作者另文发表),这些年龄数据相差不大。因此,笔者认为 235~210 Ma,整个中甸地区均受到甘孜-理塘洋壳俯冲的强烈影响,其中印支期东中西三个斑岩带基本上是同时形成的,前文已述,雪鸡坪和普朗斑岩可能具有相同的源区或者源岩。笔者等认为中甸岛弧的

整体构造格架继承了义敦岛弧的特点,即发育完整的沟-弧-盆体系,甘孜-理塘洋壳向西部的中甸微板块俯冲时,形成了中甸火山弧,其中普朗斑岩所在的东火山岩带属于外弧,靠近俯冲带一侧,而雪鸡坪斑岩所在的西火山岩带属于内弧,靠近中甸微板块一侧,内弧和外弧之间夹有弧间盆地,其中即有来源于两侧火山弧的陆源碎屑沉积物,也有来自于浅海环境的碳酸盐沉积,这与曲嘎寺组的岩石组合吻合。洋壳在俯冲时,往往会发生仰冲,从而把折返或者是刮落的洋壳残片带入弧间盆地或者弧后盆地之中。这些洋壳的残片在中甸地区就构成了结构极不完整的属都蛇绿混杂岩带。在中甸地区由于俯冲角度的变缓,从而形成了挤压性岛弧,并产出与压性构造环境有关的斑岩型铜矿床^[35,35](如普朗铜矿和雪鸡坪铜矿),这区别于义敦岛弧北段的张性岛弧及其与之相关的呷村式黑矿型块状硫化物矿床^[35,36]。此外这种低角度斜向缓俯冲容易造成洋壳板片部分熔融^[37,39],据吕伯西等^[11]研究,这些侵入岩的(⁸⁶Sr/⁸⁷Sr)_i变化于 0.708~0.711,反映了壳幔岩浆混合作用的存在。雪鸡坪和普朗斑岩的微量元素组成也很好的印证了这一点。

6 结论

(1) 雪鸡坪斑岩铜矿床产于中甸弧的西斑岩带,普朗斑岩铜矿床产于东斑岩带,含矿斑岩均为石英闪长玢岩和石英二长斑岩。二者的元素组成非常相似,如稀土配分形式均为轻稀土元素富集型,亏损重稀土元素和 Y,富集 Sr、K、Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等高场强元素,显示了埃达克岩的地球化学特征,这表明它们可能是俯冲的甘孜-理塘洋壳部分熔融的产物,并受到地壳物质的混染。

(2) 中甸弧的结构及时空演化保持了义敦岛弧的共性,发育完整的沟-弧-盆体系,其中东斑岩带属于外弧,而西斑岩带属于内弧,中斑岩带及零星分布的属都蛇绿混杂岩产于弧间盆地。

致谢:野外工作过程中得到了云南地勘局第三地质大队杨朝志、王万全和曹晓明等高级工程师和严治安等工程师的指导和帮助;成文过程中与北京大学陈衍景教授以及长安大学姜常义教授、李永军教授等进行了有益的讨论,作者在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献:

- [1] 杨岳清, 侯增谦, 黄典豪, 等. 中甸弧碰撞造山作用与岩浆成矿系统[J]. 地球学报, 2002, 23(1): 17-24.
- [2] 曾普胜, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北中甸地区中酸性斑岩及其含矿性初步研究[J]. 地球学报, 1999, 20(增刊): 359-336.
- [3] 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, 20(4): 393-400.
- [4] 曾普胜, 王海平, 莫宣学, 等. 中甸岛弧带构造格架及斑岩铜矿前景[J]. 地球学报, 2004, 25(5): 535-540.
- [5] 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(4): 989-1000.
- [6] Hou Z-Q, Ma H-W, Za W-K, et al. The Himalayan Yubng porphyry copper belt: Product of strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. *Economic Geology*, 2003, 98: 125-145.
- [7] 林清茶, 夏斌, 张玉泉. 云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J]. 地质通报, 2006, 25(1-2): 133-135.
- [8] 侯增谦. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化特征[A]. 地质矿产部. 青藏高原地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1991, 21: 163-165.
- [9] 钟惜时. 雪鸡坪斑岩铜矿地质特征及对成矿因素的初步认识[J]. 云南地质, 1982, 1(2): 134-146.
- [10] 范玉华, 李文昌. 南普朗斑岩铜矿床地质特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 352-361.
- [11] 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 32-47.
- [12] 张玉学, 陈文一, 王成元. 云南雪鸡坪斑岩铜矿床地球化学特征及成因研究[M]. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室年报, 1990: 105-115.
- [13] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Canad Earth Sci*, 1971, 8: 523-548.
- [14] Muller D., Heithersag P S, Groves D I. The shoshonite porphyry Cu-Au association in the Gronumbla district, N. S. W., Australia[J]. *Mineral Petrol*, 1993, 51: 299-321.
- [15] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[A]. Henderson P. *Rare Earth Elements Geochemistry* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1984: 63-114.
- [16] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Petrol*, 1984, 25: 956-983.
- [17] Martin H. Effect of steeper Archean geothermal gradient on geochemistry of subduction-zone magmas[J]. *Geology*, 1986, 14: 753-756.
- [18] Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids[J]. *Lithos*, 1999, 46: 411-429.
- [19] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. *Nature*, 1990, 347: 662-665.
- [20] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362: 144-146.
- [21] 云南省地质矿产局. 云南区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [22] Thiéblemont D, Stein G, Lescuyer J L. Gisements é pithermaux et porphyriques: la connexion adakite[J]. *C R Acad Sci Paris Earth Planet Sci*, 1997, 325: 103-109.
- [23] Sajona F G, Maury R C. Association of adakites with gold and copper mineralisation in Philippines[J]. *C R Acad Sci Paris Earth Planet Sci*, 1998, 326(1): 27-34.
- [24] Oyarzún R, Márquez A, Lilb J, et al. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism[J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 794-798.
- [25] Munhall J E. Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits[J]. *Geology*, 2002, 30: 915-918.
- [26] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东北燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236-244.
- [27] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的含矿母岩-以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 1-12.
- [28] 赵振华, 王强, 熊小林, 等. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1249-1265.
- [29] 王元龙, 张旗, 王强, 等. 埃达克质岩与 Cu-Au 成矿作用关系的初步探讨[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 543-550.
- [30] 王强, 许继锋, 赵振华. 一种新的火成岩-埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 201-208.
- [31] 秦克章, 王之田. 内蒙古乌奴格吐山铜-钼矿床稀土元素的行为及意义[J]. 地质学报, 1993, 67(4): 323-335.
- [32] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 碰撞造山型斑岩铜矿蚀变分带模式-以西藏冈底斯斑岩铜矿带为例[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 201-212.
- [33] Robert P R, 肖龙, Nobu S. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 293-302.
- [34] 侯增谦, 杨岳清, 曲晓明, 等. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 109-118.
- [35] 侯增谦, 杨岳清, 王海平, 等. 三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统[M]. 北京: 地质出版社, 2003, 1-345.
- [36] 侯增谦, 侯立纬, 叶庆同, 等. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [37] Yagodinski G M, Kay R W, Bolynets O N, et al. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge[J]. *Geol Soc Am Bull*, 1995, 107: 505-519.

- [38] Yogodzinski G M, Lees J M, Churikova T G, et al. Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges [J]. *Nature*, 2001, 409: 500-504.
- [39] Gutscher M A, Maury F, Eissen J P, et al. Can slab melting be caused by flat subduction? [J]. *Geology*, 2000, 28: 535-538.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PORPHYRY COPPER DEPOSITS IN THE ZHONGDIAN AREA, YUNNAN AS EXEMPLIFIED BY THE XUEJIPING AND PULANG PORPHYRY COPPER DEPOSITS

LENG Cheng-biao^{1, 2}, ZHANG Xing-chun¹, WANG Shou-xu^{1, 2}, QIN Chao-jian¹, GOU Ti-zhong^{1, 2}

(1The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Recent studies suggest that the Zhongdian Arc, south of the Yidun Island Arc, has become one of our country's important producing areas of porphyry copper ores. One of them, the Xuejiping medium-scale porphyry copper deposit, lies in western porphyry belt; and in eastern porphyry belt the Pulang superlarge-scale porphyry copper deposit lies. Detailed comparison and study were made in this paper. The geological characteristics, petro-chemistry, geochemistry and chronology of the two porphyry copper deposits are dealt with, and the understandings are presented below: (1) The two deposits have very similar elemental compositions, e. g. both are enriched in LREE, depleted in HREE and Y, enriched in LIL elements such as Sr, K, Rb, Ba, Th, etc., depleted in HFS elements such as Nb, Ta, Zr, Hf, Ti, etc. All this indicates that the two deposits are the products of partial melting at Ganzhi-Litang and have been contaminated by crustal materials. (2) As the structural and spatial and temporal evolution of the Zhongdian Arc maintain most of the characteristics of the Yidun Island Arc, it has developed as an integrated FA-BA system. In the system the eastern porphyry belt is situated on the outer arc, the western porphyry belt on the inner arc, and the middle porphyry belt and Shundu ophiolitic mélangé within the interarc basin.

Key words: litho-geochemistry; porphyry copper deposit; adakite; Xuejiping; Pulang; Zhongdian Arc; Yunnan