维普资讯 http://www.cqvip.com

江西铜鼓柏树金矿地质地球化学研究

柳德荣 谢国柱
（中南工业大学地质系·长沙）

柏树金矿成矿物质主要来源于深部岩浆活动，次为围岩中元古界九岭群。成矿元素组合与围岩九岭群的元素组合不同。矿石硫来自深部岩浆。成矿流体为富 K^+、Na^+、HCO_3^-、Cl^- 的高温岩浆热液，矿床形成于低压、弱碱性，还原环境。

关键词 金矿 地球化学 江西铜鼓

1 矿床地质特征

柏树金矿位于九岭古隆起的西端，黄金洞—胆坑复式向斜之北翼。矿区出露地层为中元古界九岭群棋坪组和第四系。棋坪组为一套富火山物质的浅变质碎屑—泥质岩系，主要为浅灰、浅灰绿色千枚状板岩，局部夹凝灰质粉砂岩和变质杂砂岩。地层主要呈近东西向展布，总体倾向北。矿区断裂构造发育，并以东西向、北东向、北西向为主（图 1），基本上不含矿。成矿主要受后期南北向、北西向、北东向构造控制，且以北西向构造与成矿关系最为密切。据卫片解译，矿区位于区域同心环形影像之边部，表明深部有隐伏岩体存在。

矿脉主要为北西向蚀变破碎带和含金石英脉。蚀变破碎带一般由数条斜交地层的平行断裂组成，石英线脉沿片理或斜交片理产于透镜体内，局部见石英小团块。蚀变破碎带最大宽度可达 20m，地表最大延长达 600m 以上，局部含金 3g/t 以上。北西向含金石英脉，厚度可达 10cm，长可达 20m 以上，含金性较好，局部达 40g/t 以上。

矿床有用矿物主要为自然金，其次为银金矿。可划分为 3 个成矿阶段：第 I 成矿阶段，以形成较多的毒砂为特征，矿脉多呈南北向产出；第 II 成矿阶段，以含较多的方铅矿为特征，矿脉走向多为北西向；第 III 成矿阶段，矿脉多呈北东向产出。其中，第 I 阶段与金矿化最为密切。

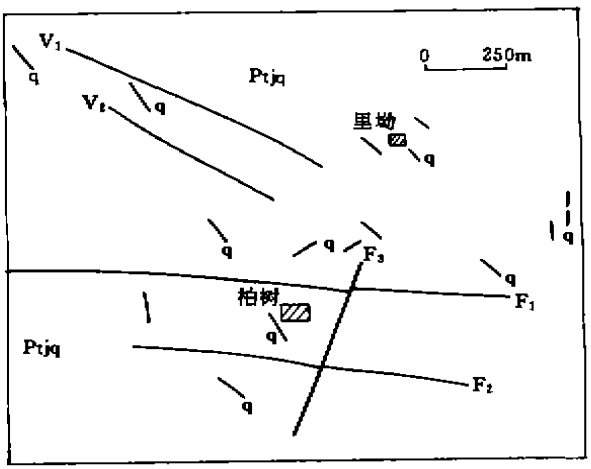

图 1 矿区地质略图

Ptjg—九岭群；F_1—断层及编号；q—含金石英脉；V_1—含金蚀变破碎带及编号

2 地层地球化学

2.1 常量元素

矿区不同岩性化学成分表现出较大的差异性（表 1）。砂岩与板岩相比，前者明显地富 SiO_2、Na_2O、CaO，后者则富 Al_2O_3、$\sum Fe$、

本文 1993 年 7 月收到，1994 年 1 月改回。张启芳编辑。

维普资讯 http://www.cqvip.com

K_2O等。棋坪组板岩与后太古代页岩(PASS)相比，贫Al_2O_3、CaO和K_2O，而相对富Na_2O，Na_2O/K_2O比值明显高于后太古代页岩(PASS)，说明棋坪组板岩含有较多的火山物质。

据B. P. Roser判别图解，矿区中元古界地层形成于活动大陆边缘环境(图2)。

表1 岩石造岩氧化物成分

样品编号	岩性	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	灼失
B—1	板岩	62.42	16.71	2.52	4.63	0.15	2.74	3.08	1.54	0.96	0.07	0.07	4.93
B—2	板岩	63.58	16.69	6.91	1.11	0.08	0.97	3.23	1.32	0.98	0.1	0.16	4.48
B—3	砂岩	72.4	13.23	1.81	2.8	0.3	1.22	2.18	2.57	0.79	0.05	0.09	3.66
	PAAS	62.8	18.9			1.3	2.2	3.70	1.20	1.00	0.11	0.16	

注：PASS为后太古代页岩(据Taylor，1985)。

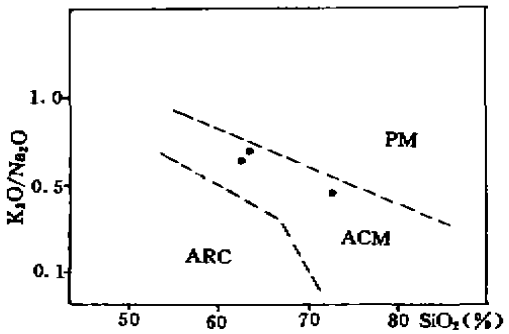

图2 砂泥质岩石大地构造背景判别图解

(据B. P. Roser，1986)

ARC—岛弧边缘环境；ACM—活动边缘环境；PM—被动大陆边缘环境

2.2 微量元素

九岭群为一套富Au、Ag、As、Sb、Co、Ni、Pb等微量元素的含矿建造(表2)。Au平均丰度为3.41×10^{-9}，是上部大陆地壳Au平均丰度的1.89倍，Ag平均丰度为162×10^{-9}，是上部大陆地壳Ag平均丰度的3.24倍。相关分析表明，Au与Ag、As、Sb、Hg、Sn等呈显著的正相关关系，而与Mn、Ti、Cr、V等基性元素呈显著负相关。地层中主要存在两类微量元素组合：①Au—Ag—As—Sb—Hg—Sn—Bi；②Ti—V—Cr—Ni—Co—Pb。与上部大陆地壳元素平均丰度相比，棋坪组明显地富As、Sb、Co、Ni、Pb等元素，Au的平均丰度为0.83×10^{-9}，仅为上部大陆地壳Au平均丰度的0.46倍，表现出强烈亏损。赣西北棋坪组、宜丰组、长水桥组在层位上与湘东北的冷家溪群第三岩性组相当，空间上相连，在平江—铜鼓地区，均相对于上下层位表现出Au、Ag、As、Sb等元素亏损，构成了一条走向北西—近东西向、延长达100km的区

表2 地层微量元素丰度

元素	区域九岭群*(N=70)		区域棋坪组*(N=30)		矿区棋坪组(N=10)		上部大陆地壳平均丰度(Taylor，1985)
	丰度	富集系数**	丰度	富集系数	丰度	富集系数	
Au	3.41	1.89	0.83	0.46	2.5	1.4	1.8
Ag	162	3.24	60	1.2	57	1.12	50
Sb	1.45	7.25	0.89	4.45	3.1	15.5	0.2
Hg	33.5	0.42	20.4	0.26	80	1	80
As	9.9	6.61	5.5	3.67	30	20	1.5
W	3.28	1.64	3.27	1.64	3.0	1.5	2.0
Pb	36.6	1.83	41.6	2.08	38.3	1.92	20
Zn	99.5	1.4	106.3	1.5	90.3	1.27	71
Co	23	2.3	26.9	2.69	15.9	1.59	10
Ni	36.3	1.82	44.4	2.22	40.6	2.03	20
Sr	46.7	0.13	43.2	0.12	50.8	0.15	350
Ba	363.6	0.66	347.8	0.63	275	0.5	550

*据刘英俊，1992。

**富集系数=元素丰度/上部陆壳元素平均丰度(Taylor，1985)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

域负异常。该金矿处于区域负异常带的东南段。矿区棋坪组 Au 平均丰度为 2.5×10^{-9}，是上部大陆地壳平均丰度的 1.4 倍，Ag 平均丰度为 57×10^{-9}，是上部大陆地壳平均丰度的 1.12 倍。与区域棋坪组相比，矿区明显地富 Au、As、Sb、Hg 等元素。

3 围岩蚀变地球化学

围岩蚀变前后的岩石化学成分见表 3。蚀变的砂岩和板岩均表现出 SiO_2 的大量带入，MnO 含量的增多；Al_2O_3、$\sum Fe$、MgO、K_2O 等组分被带出；TiO_2、P_2O_5 等组分表现为惰性。CaO、CO_2 在蚀变板岩中表现为明显带入，而在蚀变砂岩中表现为带出，体现了碳酸盐化对围岩的选择。

4 微量元素组合及硫同位素特征

矿石和矿化围岩微量元素相关分析表明，Au 与 Ag、As、W、Sb、S、Pb 等元素呈显著正相关关系，与 Ba 呈显著负相关关系。在 R 型聚类谱系图上（图 3），在 $r=0.3$ 显著性检验条件下，矿石和矿化围岩中主要存在 3 种微量元素组合：(1)Au—Ag—Pb；(2)As—Sb—S—W；(3)Co—Ni—Zn。

表 3 围岩蚀变前后的岩石化学成分对比

样品数	岩性	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5	CO_2	灼失
2	板岩	63.3	14.62	5.0	2.59	3.4	1.26	0.1	1.64	0.93	0.13	0.13	0.13	4.35
2	蚀变板岩	71.8	13.10	0.81	3.7	2.64	1.8	0.38	1.12	0.87	0.23	0.14	0.98	2.17
1	砂岩	72.4	13.23	1.81	2.80	2.18	2.57	0.30	1.22	0.79	0.05	0.09	0.15	2.51
2	蚀变砂岩	79.29	8.5	1.48	2.7	1.33	1.52	0.15	1.07	0.63	0.1	0.1	0.1	2.32

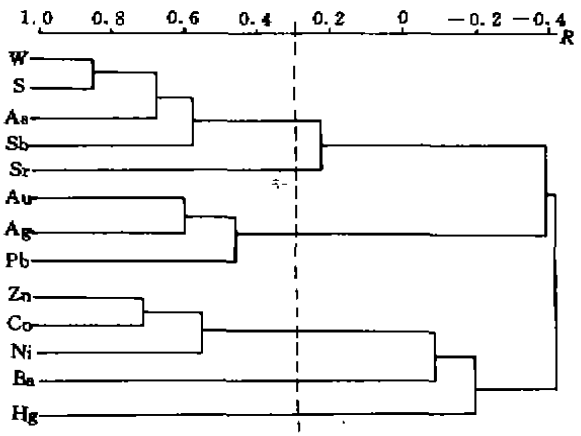

图 3 矿石和矿化围岩 R 型聚类谱系图
($N=26$，$r=0.3$)

矿石和矿化围岩中 Au、Ag 与 As、Sb 等微量元素相关密切，表现出与区域九岭群一定程度的相似性。但区域九岭群中 Au、Ag、与 Pb 相关不密切，Pb 在矿石和矿化围岩中密切相关，表现出两者成矿元素组合的差异性。

矿石硫同位素研究表明，$\delta^{34}S‰$ 均为较小的正值，变化范围小（表 4），表现出岩浆硫的特征，而与区域中元古界浅变质岩中黄铁矿的 $\delta^{34}S‰$ 明显不同。

表 4 矿石硫同位素组成

样品数	成矿阶段	测试矿物	$\delta^{34}S‰$
2	第Ⅰ成矿阶段	毒砂	3.2～3.69
2	第Ⅱ成矿阶段	黄铁矿	1.4～1.86
2	区域中元古界浅变质岩	黄铁矿	−10.6～−10.4

5 成矿流体地球化学

从表 5 可以看出，柏树金矿形成爆裂温度为 305℃～388℃，形成压力为 440bar。成矿温度为 305℃时，pH=7.03，Eh=−0.70，$f_{O_2}=2.51\times10^{-32}$，表明成矿处于高温、低压、弱碱性、还原环境。石英包裹体成分研究表明，成矿流体具 $H_2O\gg CO_2>N_2>H_2$、CH_4、CO、HCO_3^-、$Cl^->F^-$，$K^+>Na^+>Ca^{2+}>Mg^{2+}$ 的特点，成矿流体以 H_2O 为主，占包裹体的 77.6wt%～95.5wt%，平均为

维普资讯 http://www.cqvip.com

87.7wt%。成矿流体盐度低，为0.17wt%～1.31wt%，平均为0.92wt%。N_2/H_2O、CH_4/H_2O、CO_2/H_2O比值随着成矿从早阶段到晚阶段表现出递增的趋热。与金矿化最为密切的第Ⅰ成矿阶段成矿流体具低Na^+/K^+、Ca^{2+}/Mg^{2+}、F^-/Cl^-比值，高$(H_2+CO+CH_4)/CO_2$、高盐度的特点。

表5 柏树金矿成矿物理化学参数

测定矿物			石英	石英	石英	均值
成矿阶段			Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	
包裹体成分(mol/kg H_2O)	气体含量	H_2	0.2493	0.9378	0.5668	0.5846
		N_2	0.1537	1.0277	2.1557	1.1124
		CH_4	0.0431	0.1536	0.9145	0.3704
		CO	0.036	0.2399	0.2071	0.161
		C_2H_2	无	痕	痕	
		CO_2	0.883	1.363	4.5144	2.2535
		C_2H_6	无	无	无	
	阳离子浓度	K^+	0.0056	0.1101	0.0767	0.0641
		Na^+	0.0076	0.0363	0.045	0.0296
		Ca^{2+}	0.0066	0.0104	0.031	0.016
		Mg^{2+}	0.0009	0.0028	0.0031	0.0023
	阴离子浓度	F^-	0.0105	0.029	0.0534	0.031
		Cl^-	0.0098	0.0653	0.0698	0.0483
		HCO_3^-	0.0079	0.0785	0.0667	0.051
爆裂温度(℃)			388	315	305	
压力(bar)				440		
fo_2					2.51×10^{-32}	
Na^+/K^+			1.37	0.33	0.59	0.76
Ca^{2+}/Mg^{2+}			7.61	3.96	10.05	7.12
F^-/Cl^-			1.07	0.44	0.76	0.76
$(H_2+CO+CH_4)/CO_2$			0.3692	0.965	0.3709	0.5684
盐度(%)			0.17	1.31	1.27	0.92
Eh(V)					−0.70	
pH					7.03	

据Roedder(1972)资料，岩浆热液中Na^+/K^+比值一般较小，往往小于1。柏树金矿成矿流体中$Na^+/K^-=0.33\sim1.37$，平均为0.76，结合矿石硫同位素特征认为柏树金矿成矿流体为岩浆热液。

6 成矿地质地球化学机理

中元古代，区域上处于活动大陆边缘环境，沉积了一套富火山物质的碎屑—泥质岩系，富集Au、Ag、As、Sb、Co、Ni、Pb等微量元素。武陵—雪峰期，发生区域变质作用，地层中微量元素发生重新分配、组合，形成Au—Ag—As—Sb—Hg—Sn和Mn—Ti—Cr—V等元素组合，同时Au等微量元素由变质热液携带主要以顺层方式迁移在有利构造部位形成变质热液金矿(如黄金洞)，同时形成Au等微量元素含量区域负异常带。柏树地区处于该区域负异常东南段，以后又经历了重熔作用。重熔岩浆本身含有丰富的成矿物质，并在岩浆期后热液中残留富集，含矿岩浆热液沿构造薄弱带上升，在储矿构造中，由于物理化学条件发生改变，含金络合物〔主要呈$Au(HS)_2^-$、$Au_2(HS)_2S^{2-}$〕发生分解，金自成矿

(下转第62页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

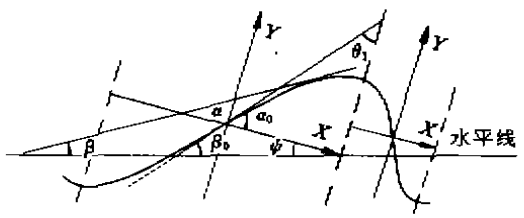

图 5　非对称型褶皱坐标系的确定

θ_1为褶皱翼在拐点处产状与轴面夹角，虚线为轴面，其他代号同图 2

这时，式(9)仍是适用的，但 $\alpha_0 = 90° - \theta_1$。

褶皱函数的拟合具有十分重要的意义。对于已知的褶皱方程，可以根据弧微分定义和辛普生求积法，借助于计算机求出研究区域褶皱的弧长(S)，从而求得褶皱作用在水平方向上的缩短总量：

$$D = \sum (S - L)\cos\psi \qquad (16)$$

在找矿勘探应用中，通过对已知褶皱进行拟合，结合矿床(点)的分布规律等信息，可以对相邻第四系覆盖地区的成矿进行预测，并合理地布置勘探工程。

因此，本文所讨论的方法无疑为构造地质剖面的平衡恢复提供了一种新的手段，同时也具有找矿的应用价值。

参考文献

1　Harbaugh J W and Preston F W. Symp Comut Appl Miner Explor Tuscon Ariz, 1965, 1 R1～R46.

2　Hudleston, P J. Tectonophysics, 1973, 16: 1～46.

Fitting Fold Funtion from Layer Strike-dip Data

Xie Guoyuan, Yang Xinyue, Li Zhichun

Fourier series was used to fit a fold shape in traditinonal ideas of structural geology. Its coefficients are gotten according to several coordinate values of a fold layer. The ratio b_3/b_1 is used to distinguish the shape type of a fold. After discussing the relationship between the fourier series and the strike—dip of a folded layer, the authors give a new thinking for getting fourier coefficients and suggest a tangent ratio graph used to distionuish the shape type of a fold.

(上接第 75 页)

流体中沉淀富集成矿。同时，区域棋坪组少量成矿物质被岩浆加热建造水溶液携带向矿区迁移并在矿区发生弱程度富集。

参考文献

1　Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits. Canada Geological Survey, Bulletin, 11979.

2　Taylor SR, Mclennan SM. The contiental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, 1985.

3　Roser BP, Koksem KJ. Discrimination of tectonic setting of sandstone—mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio. The Journal of Geology, 1986, 94(5), 635～650.

4　刘英俊等．赣西北地体金分布及其成矿地球化学研究．地质找矿论丛，1992，(4)：1～11.

5　柳德荣等．江南古陆中段中元古界地层中金成矿地球化学特征．中南工业大学学报增刊，1993.

Geology and Geochemistry of Baishu Gold Deposit in Tonggu, Jiangxi

Liu Derong, Xie Guozhu

The metallogenic material mainly came fron deeper magma in Boshu deposit. The metallogenic element association of deposit was obviously different form that of surrounding rock, mid—proterozoic Jiuling group. Metallogenic sulfur came from deeper magma. Metallogenic solution was magmatic hydrothermal solution of high temperature and rich in K^-, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, the deposit was formed under the circumstance of low pressure, weak alkalnity and reduction.