

江西弋阳铁砂街中元古代海底火山 喷流成矿作用^①

贺菊瑞,王爱国,芮行健,曾勇,李春海

(南京地质矿产研究所,江苏南京 210016)

摘要:江西弋阳铁砂街铜矿产于中元古代晚期海相火山岩中,矿床在大地构造环境、含矿地层建造、矿体形态、喷流岩组合、喷流岩主量—微量—稀土元素地球化学、同位素地球化学方面都具有海底火山喷流沉积的典型特征,是扬子板块、华夏板块边缘中元古代裂谷海底火山喷流沉积作用的产物。

关键词:中元古代火山岩;喷气岩;地球化学;成矿作用;赣东北弋阳

中图分类号:P611.5

文献标识码:A

1 成矿构造环境

江西省弋阳铁砂街—横峰强盗山中元古火山岩带位于扬子板块南缘、华夏板块北缘,呈条带状,近EW向展布,长约34 km。出露的一套海相细碧质火山岩系划归中元古界铁砂街岩组^[1-2]。据火山岩系岩石学、岩石化学、稀土元素、微量元素等地球化学特征判定,火山岩系形成于中元古代蓟县纪扬子板块南缘/华夏板块北缘的边缘裂陷槽岛弧环境,火山裂谷是壳幔物质和能量长期集中交换地带,海底扩张作用构成了独特的细碧岩—石英角斑岩火山复理石含矿建造。

2 含矿建造和火山岩特征

海底火山喷流沉积成矿作用与火山岩有着密切的成生关系。

铁砂街岩组下部以泥砂质沉积物为主;中部为一套典型的细碧角斑岩系,火山岩石类型齐全,熔岩数量多,厚度大,累加厚475.16 m;上部又渐变为夹中厚层大理岩的海相复理石建造。矿化产于火山岩向细碎屑岩的过渡部位,即整个岩组的中上部。

矿区铁砂街岩组基性和酸性端元火山岩的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果的统一处理(表1、表2、表3),可以得出如下结论:(1)火山岩带具有双峰式组合特征,即既有基性端元,又有酸性端元。铁砂街矿区基性端元SiO₂平均47.81%,而酸性端元SiO₂平均

^① 收稿日期:2008-04-18

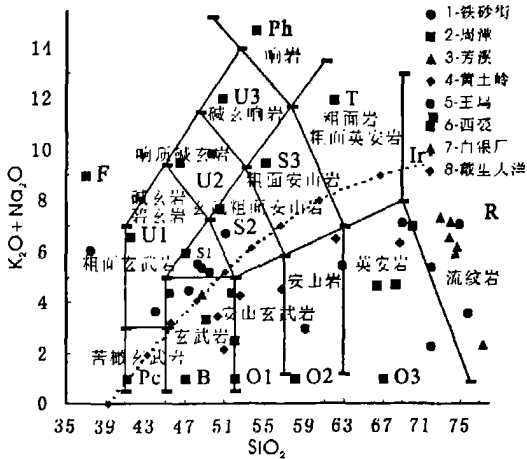
第一作者简介:贺菊瑞(1946~),男,研究员,江西省莲花县人,长期从事矿产地质研究工作。

72.72%。(2)不论是基性端元或是酸性端元 Na_2O 总是大于 K_2O ,充分显示了海相火山岩的富钠特征。矿区二端元平均 Na_2O 分别为 3.93%、3.45%,而 K_2O 分别为 0.68%、2.03%。(3)属于过铝质或偏铝质岩石系列。里特曼和戈蒂尼指数统计,39%的样本 $\delta < 3.3$ 属钙碱性系列,61%的样本 $\delta = 3.3 \sim 9$ 属碱性系列,有 1 个样 $\delta > 9$,属过碱性系列;可以认为中元古代以发育碱性火山岩为特征。硅碱分类图解(图 1)表明,大部分属钙碱性拉斑玄武岩系列;大多数样品都落入岛弧—活动大陆边缘或派生碱性岩区(图 2、图 3、图 4)。(4)稀土元素地球化学特征表明,火山岩很可能形成于岛弧环境,基性端元属重稀土富集型,标准化曲线平缓。而酸性端元属轻稀土富集型,标准化曲线右倾。

表 1 铁砂街中元古代海相火山岩化学分析结果表

Table 1 Analysis results of chemical compositions of the Middle Proterozoic marine facies volcanic rocks from Tieshajie deposit (× 10 ⁻²)															
样号	岩性*	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	资料来源
806	基	45.48	2.20	16.84	3.53	8.91	0.14	5.85	7.08	4.05	0.30	0.23	5.03	99.64	①
402	基	51.06	2.25	16.31	5.83	7.33	0.18	4.91	1.87	6.40	0.30	0.29	3.09	99.82	①
8417	基	44.06	1.90	12.89	9.18	4.23	0.18	4.49	7.16	3.15	0.50	0.19	12.03	99.96	①
包1	基	47.41	2.70	14.20	11.96	3.85	0.12	4.25	3.94	3.50	0.95	0.44	5.88	99.20	②
包2	基	37.42	2.40	12.41	3.11	20.40	0.33	4.70	1.82	0.25	5.80	0.42	10.40	99.46	②
包3	基	59.11	1.65	14.66	14.11	0.84	0.13	0.63	0.27	1.27	1.70	0.21	4.87	99.45	②
包5	基	48.27	2.23	16.58	4.68	8.12	0.16	5.38	4.48	5.23	0.30	0.26	4.07	99.76	②
包7	基	49.64	2.88	18.50	1.42	5.73	0.18	1.79	2.63	0.30	9.55	1.83	4.82	99.27	②
801	中酸	62.88	1.34	15.83	3.79	6.14	0.16	5.26	6.56	4.50	0.98	0.19	0.45	108.08	①
225	酸	72.03	0.17	15.41	3.58	0.03	0.03	1.00	0.11	1.00	4.40	0.05	2.50	100.31	①
226	酸	71.94	0.30	14.70	4.52	0.08	0.00	0.68	0.44	0.10	2.19	0.35	4.94	100.24	①
001	酸	69.04	0.55	12.68	2.15	3.54	0.06	0.80	1.41	4.40	2.70	0.11	2.08	99.52	①
包4	酸	75.72	0.23	13.25	1.37	1.44	0.06	0.68	0.21	0.18	3.42	0.04	2.91	99.51	②
包6	酸	74.88	0.20	12.56	0.90	1.42	0.04	0.46	0.61	5.85	1.20	0.06	1.43	99.61	②

注:基—细碧岩、玄武岩;酸—石英角斑岩、变质流纹岩凝灰岩;①-25 万上饶幅;②-包家宝等



1 中元古代火山岩带基性和酸性端元硅碱分类图解
Fig.1 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ classification diagram of the Middle Proterozoic volcanic rocks from the studied area

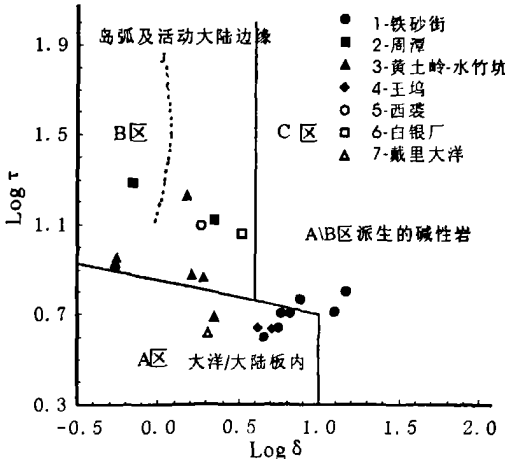


图 2 中元古代基性火山岩构造环境判别图解
Fig.2 $\text{Log}\delta - \text{Log}r$ tectonic discrimination diagram of the Middle Proterozoic volcanic rocks from the studied area

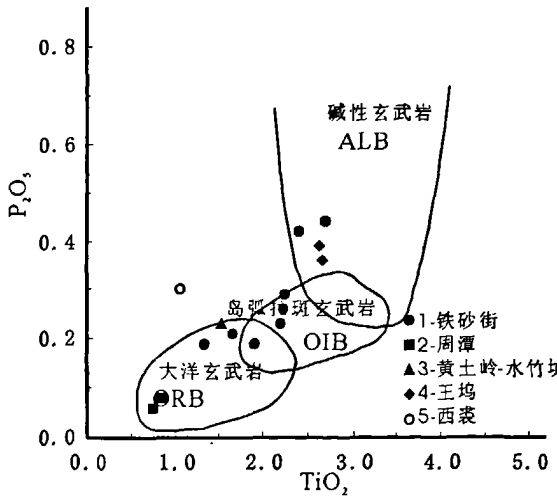


图 3 玄武岩 TiO_2 - P_2O_5 构造环境判别图解

Fig. 3 TiO_2 - P_2O_5 tectonic discrimination diagram of the Middle Proterozoic volcanic rocks from the studied area

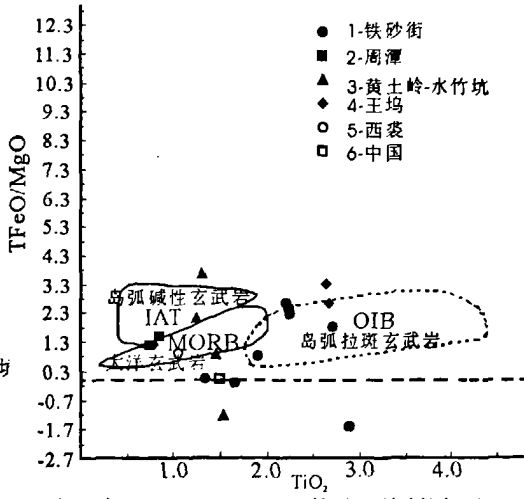


图 4 玄武岩 TiO_2 - TFeO/MgO 构造环境判别图解

Fig. 4 TiO_2 - TFeO/MgO tectonic discrimination diagram of the Middle Proterozoic volcanic rocks from the studied area

3 矿床地质特征

矿体主要赋存在双峰式火山岩系中上部的海相火山—沉积岩层中。

矿体多为层状、似层状、透镜状产出。最长达千余米,厚十余米。主矿层严格受火山岩沉积层控制,与地层及层间破碎带(如绿泥石岩软弱带)产状基本一致。受后期褶皱构造、推覆构造影响,矿层与地层发生同步褶皱。

铁砂街矿区矿石矿物为黄铜矿、赤铁矿、毒砂、菱铁矿,次为闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿。脉石矿物有石英、透闪石、阳起石、方解石、绿泥石、绢云母等。

矿石构造以条带状、层纹状、团块状、块状为主,其次有脉状和浸染状。早期同生沉积层纹状构造遭受后期变质作用呈揉皱形态。矿石残留胶状微粒状、微纹层状结构。

4 喷流岩类型

矿区拥有双峰式火山岩、层状硫化物矿体和喷流沉积岩,三者时空相依、密不可分,构成了一个独特的“三元一体”共生组合。常见喷流沉积岩可划分为硅质岩、碳酸盐岩、水云母绿泥石交代岩,可能还包括绿泥石阳起石岩,以及热水沉淀物胶结的同生角砾岩。主体矿物占优势的硅质岩、碳酸盐岩以及热水交代岩在矿区一般都能见到。但也常见硅质、碳酸盐、硫化物、绿泥石、阳起石呈相互成层的条带,构成各种过渡类型的喷气热水沉积岩组合。

喷流沉积硅质岩

其特点是具有层纹状、条带状构造。石英矿物占优势。在含矿岩系中呈似层状、透镜状及扁豆状产出,在固定的层位内延伸较长、层位稳定,层控时控特征明显,可见与围岩同步褶皱现象。硅质岩厚几厘米至 8 m。硅质岩作为含矿层的顶底板产出(图 5)。硅质岩脱水重结晶后具微细粒镶嵌结构、局部层纹理构造。

喷流沉积碳酸盐岩

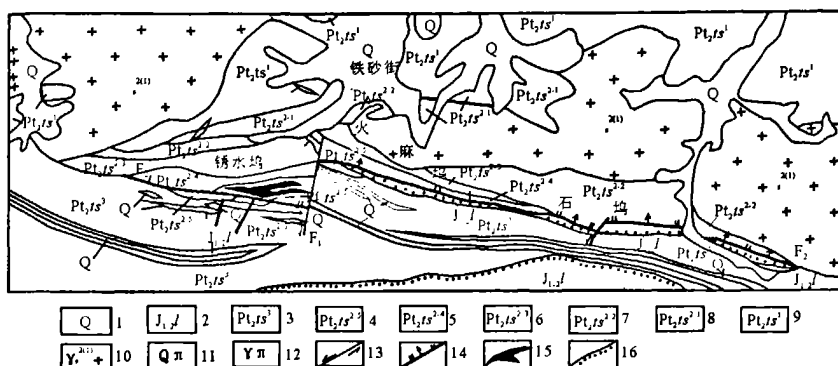


图5 弋阳县铁砂街铜矿区地质图(据包家宝、余志庆)

Fig.5 Geological map of Tieshajie copper deposit, northeast Jiangxi Province

1-第四系;2-下、中侏罗统林山群;3-中元古界铁砂街岩组上段;4-铁砂街岩组中段第5亚段;5-铁砂街岩组中段第4亚段;6-铁砂街岩组中段第3亚段;7-铁砂街岩组中段第2亚段;8-铁砂街岩组中段第1亚段;9-中元古界铁砂街岩组下段;10-燕山早期第一阶段花岗岩;11-石英斑岩;12-花岗斑岩;13-平推断层及编号;14-正断层及编号;15-铜硫矿带;16-不整合面

在矿层中间或作为矿层顶底板产出。锈水坞0线剖面中,喷流沉积碳酸盐岩含铁很高,已作为菱铁矿体单独划出。菱铁矿矿石 FeO 达 24.94%,多呈团块状外貌。显微镜下鉴定,喷气沉积碳酸盐矿物呈褐黄色调,微晶状,粒径 $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$,具束状、放射状、团块状结构、构造。常与团粒状石英、绿帘石共生。但后期成岩或交代脉体碳酸盐常见,粒径在 $0.3 \sim 1.5 \text{ mm}$ (脉体宽 $1.5 \sim 3.0 \text{ mm}$)。

同生喷流角砾岩

肉眼不容易识别,镜下呈明显角砾网脉状构造。既有后期叠加网脉体,又有同生“角砾”。角砾呈次浑圆状,次棱角状,砾径大多为 $2 \sim 5 \text{ mm}$,主要为喷气沉积的硅质岩,水云母硅质岩。“硅质岩砾”本身由 $<0.3 \text{ mm}$ 的微细粒石英组成,有些砾石中含较多水云母。叠加网脉由水云母 + 绿泥石集合体构成,形成网脉或角砾状构造。含少量硫化物、褐铁矿。

5 喷流岩地球化学特征

将矿区的喷流沉积岩主量元素 SiO_2 和 Al_2O_3 含量进行成因图解投点,部分点落入热水区,大部分落入水成区,个别落入深海沉积物区(表2、图6)。对喷气沉积碳酸盐岩成分进行 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{MgO})$ 三角图解判别,只有部分喷气沉积碳酸盐岩落入或靠近海相火山沉积岩范畴(表2、图7)。

将喷流沉积岩 21 个微量元素(表3)和 14 个稀土元素(表4)进行地壳标准化,分别制作成蛛网图解(图8)及分布型式图(图9),清楚地显示出喷流沉积岩与整个“地壳岩”元素的相对富集与贫乏关系,图8中构成“六峰元素”有 Li 、 Co 、 As 、 Ag 、 W 、 Pb ,构成“六谷元素”有 Sc 、 Cr 、 Ni 、 Sr 、 Ba 、 Bi 。“六峰元素”显示喷流沉积岩丰度相对地壳富集,而“六谷元素”显示贫乏。

更为引人注目的是微量元素和稀土元素曲线的峰谷走势与本地玄武岩完全亦步亦趋、同步消长,充分说明喷流沉积岩与本地玄武岩、安山玄武岩在微量、稀土元素方面存在明显的继承特点。而与本区中生代花岗岩侵入体不存在“血缘”关系。

表 2 铁砂街喷流岩主量元素分析结果表($\times 10^{-2}$)

Table 2 Main elements of submarine exhalites from Tieshajie deposit

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Σ
1	36.16	1.96	14	3.94	21.32	0.19	6.48	2.5	0.05	8.26	0.33	3.96	99.15
2	56.00	1.04	12.59	0.38	9.94	0.14	2.49	1.44	0.08	4.82	0.21	8.73	97.86
3	25.16	0.67	8.59	6.41	24.48	0.28	3.23	3.38	0	0.3	0.25	26.6	99.35
4	9.14	0.08	1.58	0.58	1.69	0.3	11.87	34.21	0.01	0.06	0.18	39.62	99.3
5	25.34	0.68	8.65	5.08	24.94	0.28	3.26	3.33	0.06	0.34	0.23	26.17	98.35
6	8.76	0.07	1.48	0.36	1.84	0.31	11.69	35.63	0.03	0.09	0.09	40.03	100.39
7	28.52	0.13	2.09	23.35	9.44	0.05	0.65	0.37	0.02	0.62	2.32	15.39	82.94
8	5.49	0.03	0.70	32.10	9.62	0.03	0.32	0.16	0.01	0.10	3.46	18.82	70.84
9	27.85	0.05	7.71	4.40	11.29	0.62	5.19	10.48	0.06	4.05	0.50	17.88	90.09
10	61.69	0.94	16.70	0.71	5.18	0.06	1.62	1.17	0.11	4.89	0.17	6.63	99.88
11	52.15	0.91	13.57	1.74	9.99	0.28	3.03	1.96	0.04	1.86	0.17	13.79	99.48

注:1-铁 B4 深灰色玄武岩(对比用);2-铁 II-15 角砾状硅质岩;3-铁 B7 含硫化物泥晶碳酸盐岩;4-铁 B8 灰白色碳酸盐岩;5-铁 B71 含硫化物泥晶碳酸盐岩;6-铁 B81 灰白色碳酸盐岩;7-铁 II-S1 密浸状硅质黄铜矿;8-铁 II-S5 块状黄铜矿;9-铁 II-S6 斑团状黄铜矿;10-铁 II-13 千枚岩(热水交代绿泥石云母岩);11-铁 II-14 含石英千枚岩(绿泥石云母岩)

表 3 铁砂街喷流岩微量元素分析结果表($\times 10^{-6}$)

Table 3 Trace elements of submarine exhalites from Tieshajie deposit

	Li	Sc	V	Sr	Y	Nb	Ba	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Sn	Sb	W	Au	Pb	Bi
1	92.3	32	206	25.2	79.6	41.4	524	26.5	22.4	15.7	80.6	189	2.33	2.4	102	129	1.67	11	5	29.7	0.65
2	28.9	15.1	109	32.3	28.9	11.4	98.9	43.4	17.5	39.3	530	175	147	1.4	1335	468	7.94	28	6	31.2	4.42
3	11.6	1.43	55.4	78.6	11	4.94	47.9	5.04	5.59	6.56	15.6	35.2	20.7	1.2	122	7.2	0.81	3.8	2	9.82	0.63
4	-	16.9	106	35.9	20	-	157	37.2	16.4	32.1	604	183	4.55	0.6	134	468	0.21	16	-	24.6	4.22
5	-	1.63	41.8	93.1	21	-	55	3.9	3.1	5.4	21.3	36.1	18.7	0.8	122	7.2	0.63	5	-	0.1	0.63
6	13	30	230	260	20	11	250	185	29	105	75	80	1	1	80	2.5	0.2	1	3	8	60

注:1-铁 B4 深灰色玄武岩;2-铁 B7 硫化物碳酸盐硅质岩;3-铁 B8 碳酸盐硅质岩;4-铁 B7 硫化物碳酸盐硅质岩;5-铁 B81 碳酸盐硅质岩;6-整个陆壳(据陈骏,2002;Taylor,1985)

表 4 铁砂街喷流岩稀土元素分析结果表($\times 10^{-6}$)

Table 4 REEs of submarine exhalites from Tieshajie deposit

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣR	L/H
1	87.2	88.4	11.8	53.0	11.6	6.87	13.9	2.33	13.9	2.76	7.22	1.07	6.67	0.87	307	5.2
2	80.3	84.5	9.72	41.2	10.9	2.33	7.23	1.10	6.14	1.21	3.21	0.52	3.10	0.44	251	9.9
3	72.6	73.0	7.99	33.8	6.87	3.71	5.91	0.83	4.16	0.82	2.09	0.34	1.98	0.26	214	11.9
4	24.5	5.54	0.8	3.86	0.81	0.29	0.96	0.17	0.88	0.20	0.52	0.09	0.48	0.06	39	10.6
5	34.6	58.9	8.41	31.1	6.48	3.29	5.50	0.87	4.38	0.85	2.05	0.35	2.05	0.27	159	8.6
6	32.6	5.77	1.11	3.68	0.87	0.49	0.99	0.15	0.93	0.20	0.52	0.09	0.51	0.07	48	12.7
7	20.0	4.46	0.74	2.73	0.71	0.48	0.58	0.09	0.42	0.09	0.24	0.05	0.29	0.04	31	15.9
8	10.2	58.6	0.22	0.45	0.15	0.35	0.22	0.08	0.14	0.05	0.11	0.04	0.14	0.02	71	87.0
9	32.3	38.1	0.85	2.98	1.15	1.05	1.69	0.28	1.54	0.27	0.68	0.17	0.54	0.08	82	14.4
10	70.0	62.9	7.90	32.1	7.09	1.69	5.03	0.82	4.60	0.98	2.75	0.48	2.97	0.37	199	10.0
11	62.6	69.2	7.91	32.1	5.91	1.56	5.21	0.83	4.37	0.91	2.44	0.39	2.44	0.30	196	10.5
12	0.24	0.61	0.10	0.47	0.15	0.06	0.21	0.04	0.25	0.06	0.17	0.03	0.17	0.03	2.56	1.66

注:1~11-参见表 2 注解;12-球粒陨石

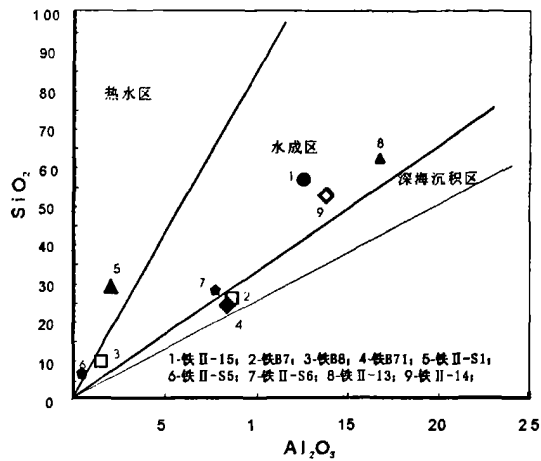


图6 铁砂街中元古代海相火山喷气热水沉积岩 SiO₂ - Al₂O₃ 岩石成因三角图解 (仿路远发, 2005)

Fig. 6 SiO₂ - Al₂O₃ discrimination diagram of genesis for the Middle Proterozoic marine volcanic exhalites from Tieshajie deposit

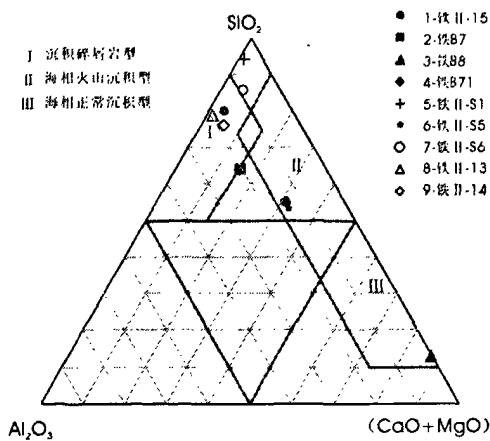
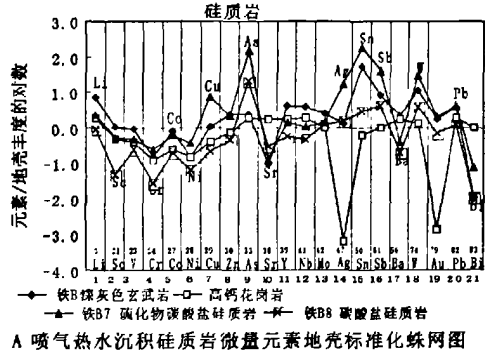
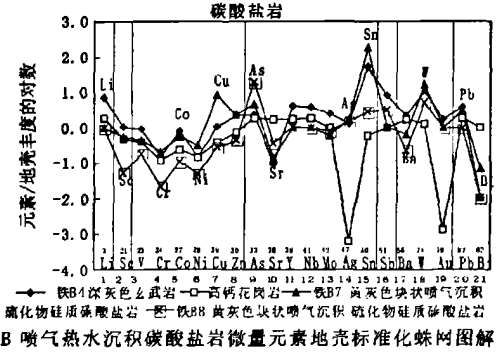


图7 铁砂街中元古代海相火山喷气热水沉积(碳酸盐)岩 SiO₂ - Al₂O₃ - (MgO + CaO) 岩石成因三角图解 (仿季绍新, 1993)

Fig. 7 SiO₂ - Al₂O₃ - (CaO + MgO) discrimination diagram of genesis for the Middle Proterozoic marine volcanic exhalites from Tieshajie deposit



A 喷气热水沉积硅质岩微量元素地壳标准化蛛网图



B 喷气热水沉积碳酸盐岩微量元素地壳标准化蛛网图解

图8 铁砂街喷气热水沉积岩微量元素地壳标准化蛛网图解成因追踪

Fig. 8 Crust-normalized trace elements spidergrams for genesis tracking for exhalative hot-water sedimentary rocks from Tieshajie deposit

(纵坐标: 喷流沉积岩微量元素除以整个地壳丰度的对数, 地壳丰度取自陈骏、王鹤年编著的《地球化学》, 2005 年, P45)

以上图解充分说明, 喷流沉积岩在微量和稀土元素方面携带着玄武岩的“继承信息”或者“血缘”关系。因此, 在相当程度上可以认为, 喷流沉积岩的微量和稀土元素地壳标准化蜘蛛图解, 展示了追踪它们与中元古代海相火山岩继承关系的一种有效的地球化学方法。可简称为“成矿自组织系统基因继承的微量元素地球化学追踪法”。

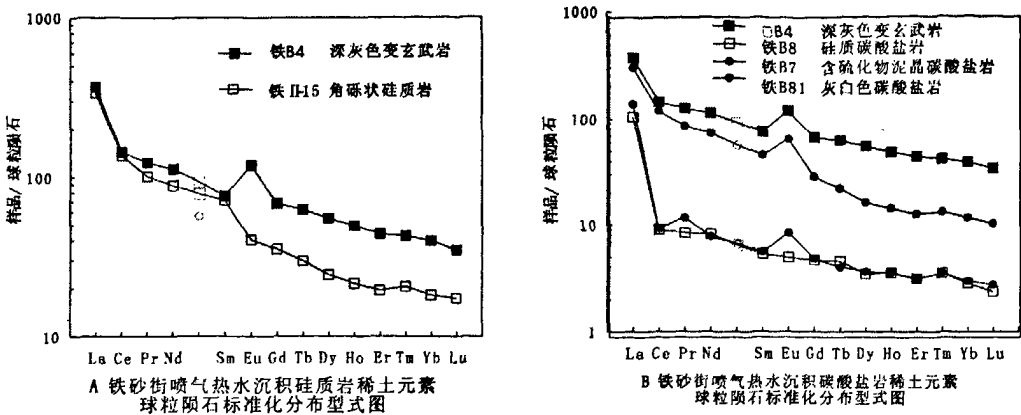


图 9 铁砂街喷气热水沉积岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns of exhalative hot-water sedimentary rocks from Tieshajie deposit

6 成因信息探讨

铁砂街矿石硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围很窄(表 5)。处于 2.98‰~5.9‰之间,平均值为 4.88‰,说明中元古代的海相火山喷流沉积硫来源于玄武质地壳。这与火山岩来源于深部的结论一致,也与现代大洋底的黑烟囱壁硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 3.0‰~4.5‰十分相似。

表 5 铁砂街矿区硫化物同位素测试结果表(‰)

Table 5 S-isotopic compositions of sulfides from Tieshajie deposit

序号	样号	岩性	矿区	测试对象	$\delta^{34}\text{S}$	资料来源
1	5 个样均值	矿石	铁砂街	黄铁矿	5.4	包家宝等
2	5 个样均值	矿石	铁砂街	黄铜矿	4.7	包家宝等
3	5 个样均值	矿石	铁砂街	闪锌矿	5.1	包家宝等
4	4 个样均值	块状闪锌矿	铁砂街	方铅矿	2.98	包家宝等
5	3 个样均值		铁砂街	毒砂	5.9	包家宝等
6	铁 II - S1	矿石	铁砂街	黄铜矿	4.91	本文
7	铁 II - S2	矿石	铁砂街	黄铜矿	5.00	本文
8	铁 II - S4	矿石	铁砂街	黄铜矿	4.8	本文
9	铁 II - S4	矿石	铁砂街	黄铜矿	4.74	本文
10	铁 II - S5	矿石	铁砂街	黄铜矿	5.22	本文
11	铁 II - S6	矿石	铁砂街	黄铜矿	4.97	本文
均值	22	矿石	铁砂街	硫化物	4.88	

包家宝等(2002)测得铁砂街铜矿 2 个方铅矿和黄铁矿以及作为对比的燕山期花岗岩中钾长石的铅同位素^[1], $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 18.27~18.71, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 15.49~15.95,这与华南地区的地壳平均值(根据花岗岩长石铅同位素)和南海海洋现代沉积物的组成十分一致。而 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 以及 μ 值则偏高。这些特征表明本区铅同位素具有二个阶段的演化历史。

重新计算铅同位素组成及一系列特征参数,将样品铅同位素特征参数 V1、V2 投于中国大陆铅同位素的分区图解(图 10)上,二个矿石硫化物落于华南和华北的边缘线附近,而花岗岩钾长石落于华南、扬子、华北三结点旁侧,远离上述二硫化物的投点。进一步说明硫化物与燕山期花岗岩二者来源有很大差别。硫化矿石和燕山期花岗岩钾长石铅同位素的 Δr

- $\Delta\beta$ 成因分类图解中(图 11),二个矿石铅落入化学沉积型区域,而花岗岩钾长石远离前者,这说明硫化物铅为古老沉积成因,并与花岗岩来源不同^[5]。

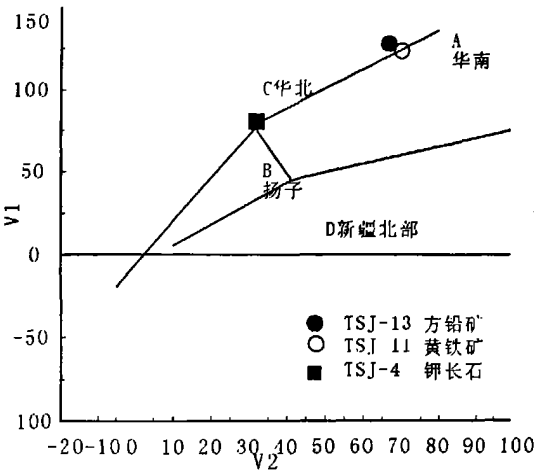


图 10 铁砂街矿区铅同位素在中国大陆铅同位素省中投影(仿朱炳泉,1996)

Fig. 10 Projection of lead isotopes of sulfides from Tieshajie deposit on V1 - V2 diagram of lead isotopic divisions of China continent

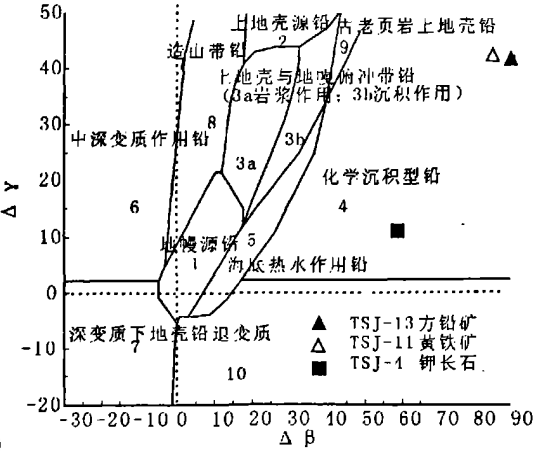


图 11 铁砂街矿区铅同位素和花岗岩钾长石铅同位素的 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ 成因分类图解(仿朱炳泉,1996)

Fig. 11 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ tectonic discrimination diagram of lead isotopes of sulfides and K - feldspar of granite from Tieshajie deposit

表 6 铁砂街矿区硫化物矿石 Re - Os 同位素测试结果表

Table 6 Re - Os isotopic data for sulfide ores from Tieshajie deposit

原样号	矿物	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$
铁 II - S1	黄铜矿	83.671	2.226	697.845	18.568
铁 II - S2	黄铜矿	17.730	1.931	147.876	16.109
铁 II - S3	黝铜矿/毒砂	163.477	2.109	1363.450	17.587
铁 II - S4	黄铜矿	22.949	1.979	191.404	16.504
铁 II - S5	黄铜矿	57.250	2.499	477.487	20.839
铁 II - S6	黄铜矿	77.711	5.005	648.135	41.746

测试者:国家地质测试中心 Re - Os 同位素测试室屈文俊、杜安道,2006; 等时线年龄:Age1 = (350 ± 4 400) Ma、Age2 = (2 078 ± 9 900) Ma、Age3 = (858 ± 150) Ma,采用各种组合作图,年龄在 3.5 ~ 20 亿年。其初始值在 1.5 ~ 2.4 之间,显然靠近地壳来源。

铁砂街矿区选取了铜矿石中的五个黄铜矿和一个黝铜矿/毒砂单矿物进行 Re - Os 年龄同位素测试(表 6),求得三组等时线年龄(3.5 ~ 20 亿年)。年龄组 1 = (350 ± 4 400) Ma,年龄组 2 = (2 078 ± 9 900) Ma、年龄组 3 = (858 ± 150) Ma。从测试误差范围来看,“年龄组 3”精确度较高。如果 858 Ma 加上 150 Ma 年,则说明矿石形成年龄为 1 008 Ma,数据接近中元古代末期。铁砂街细碧角斑岩同位素等时线年龄值为 1 159 Ma、石英角斑岩锆石 U - Pb 单点信息年龄值为 1 201 Ma、1 162 Ma、1091 Ma。表明作为矿层围岩的双峰式火山岩年龄为中元古代晚期,因此产于其中的铜矿石 Re - Os 同位素年龄为(858 ± 150) Ma

是较为可信的。

矿区四个黄铜矿 $^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$ 为147.876~697.845,平均587.6, $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ 为16.504~41.746,平均21.89,大大高于地幔(橄榄岩为代表, $^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$ 为1.055),也高于统计的地壳平均值($^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$ 为400)。

这说明:(1)铁砂街的双峰式火山岩可能是大陆根一下地壳玄武质岩石重熔上升的结果,同时混染有上地壳的Re-Os储库,而不是直接来源于地幔。(2)亲铁元素铜可能大部分来自地壳的某些矿源层,与之相配合的硫则来自玄武岩浆。

综上所述,弋阳铁砂街中元古代火山岩系中的层状含铜硫化物矿层为海底喷流成矿作用的产物。

参考文献

- [1] 包家宝,汤树清,余志庆,等.江西铜矿床[M].南昌:江西科学技术出版社,2002.
- [2] 杨明桂,赖新民,黄水保,等.江西北部金属成矿地质[M].北京:中国大地出版社,2004.
- [3] 路远发. GeoKit: 一个用VBA构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
- [4] 陈骏,王鹤年. 地球化学[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [5] 朱炳泉,等. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京:科学出版社,1998.

Middle Proterozoic submarine volcanic exhalative metallogenesis of Tieshajie, Yiyang, Jiangxi Province

HE Ju-rui, WANG Ai-guo, RUI Xing-jian, ZHEN Yong, LI Chun-hai
(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China*)

Abstract

Tieshajie copper deposit, Yiyang, northeast Jiangxi Province, is occurred in the late Middle Proterozoic marine facies volcanic rocks. The study on geotectonic setting, ore-bearing strata formation, configuration of ore bodies, assemblage of exhalites, main element-trace element-REE geochemistry, isotopic information about source of ore-forming material and isotopic geochronology of the deposit indicates that the deposit has typical characteristics of submarine volcanic exhalative sedimentary deposits and is formed in the geotectonic environment of the Middle Proterozoic rift island arc at the south margin of the Yangtze plate and the north margin of the Cathaysia plate.

Key words: Middle Proterozoic volcanic rocks; exhalites; geochemistry; metallogenesis; Yiyang, northeast Jiangxi Province