

文章编号: 1006-6616 (2009) 01-0020-16

# 闽中梅仙峰岩铅锌矿床地球化学特征 及其古构造环境

张 达<sup>1,2</sup>, 吴淦国<sup>1,2</sup>, 狄永军<sup>1</sup>, 余心起<sup>1</sup>, 彭润民<sup>1,2</sup>, 黄火剑<sup>1</sup>

(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. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 尤溪梅仙峰岩铅锌银矿床位于政和—德化前寒武纪变质分布区的南端, 处于北东向丽水—海丰断裂东侧闽东火山断拗带的次级寿宁—华安基底隆起带内。峰岩矿床的含矿岩系主要为上元古界马面山群东岩组 (Pt<sub>3</sub>dy)。铅锌银矿体具层控特点。岩石学及地球化学研究表明赋矿地层东岩组为以绿片岩为主的一套古火山沉积建造。绿片岩的原岩为玄武岩类, 变粒岩主要为英安岩及流纹岩。玄武岩浆的形成可能和板块俯冲相关。矿床地球化学研究表明矿床存在多次成矿作用和多种硫源。铅同位素组成与演化表明从幔源至造山带和上地壳不同的铅源均有混入, 演化趋势较明显, 并显示多次地质事件叠加特点。金属硫化物的稀土分布型式都表现为一定程度的右倾斜, 轻重稀土分异显著。微量元素相对于 MORB 均有不同程度的亏损和富集。高场强元素 (HFSE: Nb、Ta、Zr、Hf) 表现为明显的负异常, 具较强烈的亏损; 而 Pb、Rb 和 Ba 等元素相对富集。东岩组变质火山岩也表现为明显的高场强元素的亏损及低场强元素的富集, 显示出典型和俯冲有关的岛弧岩浆的特征, 表明矿床与东岩组火山岩都形成于俯冲背景下的岛弧环境。

**关键词:** 峰岩铅锌矿床; 地球化学; 古岛弧; 东岩组; 闽中

**中图分类号:** P578.2, P588.3

**文献标识码:** A

## 0 引言

闽中 (福建中部) 地处闽北古隆起、永梅晚古生代拗陷与闽东火山断陷带的交接部位。其主体位于丽水—海丰断裂带以东的火山基底隆起带内<sup>[1]</sup>。该区经勘探发现了较多的铜、铅、锌、金等矿床。地球化学异常浓集区在整条带内分布多达 20 多处, 并且这些高异常区和位于火山岩区的变质基底“天窗”的分布高度吻合。继梅仙丁家山大型铅锌矿床发现后, 近年来经过地质大调查工作, 在峰岩一带铅锌矿床的勘探工作又有重大突破, 增加了在该区

收稿日期: 2008-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40372050); 地质调查项目“武夷山成矿带铜多金属成矿规律研究” (1212010533105)、“武夷山成矿带中生代推覆构造与铜多金属找矿方向研究” (1212010813064)。

作者简介: 张达 (1967-), 男, 教授, 研究生, 主要从事构造地质学及区域成矿规律研究。E-mail: zhangda@cugb.edu.cn

继续扩大储量和寻找新的找矿靶区的信心。由于该区变质及变形作用强烈，对闽中铅锌矿床的成因类型存在不同的认识，如：层控矽卡岩型及后期岩浆热液叠加改造型<sup>[2]</sup>，与大陆裂谷有关的块状硫化物型矿床<sup>[3-7]</sup>，等等。本文通过对梅仙峰岩铅锌多金属矿床金属硫化物地球化学特征与赋矿围岩东岩组中变质火山岩进行对比研究，试图了解铅锌多金属矿床形成与闽中新元古代火山作用的关系，并探讨矿床形成的古构造环境。

## 1 区域地质背景

尤溪梅仙峰岩铅锌银矿床位于政和—德化前寒武纪变质分布区的南端，处于北东向丽水—海丰断裂东侧闽东火山断拗带的次级寿宁—华安基底隆起带内<sup>[1]</sup>。基底隆起带被晚侏罗世火山岩覆盖，其内出露多个大小不等的元古代变质岩基底“天窗”。变质基底主要由新元古界马面山群组成，自下而上划分为龙北溪组、东岩组及大岭组，其中东岩组绿片岩系构成了新元古界地层记录的主体，和该区广泛分布的铅锌等硫化物矿床有直接关系。区域上东岩组主要出露于建瓯东岩、尤溪梅仙一带以北，组成东、西2个北东向展布的、由绿片岩夹大理岩透镜体组成的变质岩条带（见图1）。出露厚度一般为300~400 m，延伸均大于140 km。在丽水—海丰断裂带以西，东岩组变质岩由于加里东期地壳抬升而大面积出露地表；而在断裂以东，由于断陷作用而大面积隐伏于燕山期火山岩之下，只在零星地区以基底“天窗”出露。岩性组合在区域上也存在一定变化：东带碳酸盐岩和基性火山岩均比西带发育，而泥砂质细碎屑岩在西带大量增加，碳酸盐岩则相对减少。北部建瓯及政和以角闪片岩类为主，夹大理岩透镜体，厚度大于542.6 m；建瓯东岩以绿帘、阳起片岩为主，夹绿帘透辉片岩、黑云石英钠长片岩及绿帘石化大理岩，厚度373.0~764.0 m。南部南平以阳起片岩为主，夹阳起绿帘片岩、大理岩及石英黑云钠长片岩，厚度大于349.1 m。由于基底岩系与成矿关系密切，基底出露区常构成矿产聚集区。尤溪梅仙峰岩矿床、丁家山矿床、肖坂—双旗山金矿床就位于尤溪—德化铅、锌、银、金多金属聚矿区内。

## 2 矿床地质特征

峰岩铅锌矿区出露地层主要为新元古界马面山群东岩组绿片岩系（Pt<sub>3</sub>dy），侏罗系下统梨山组砂砾岩（J<sub>1</sub>l）及上统南园组火山岩（J<sub>3</sub>n），其中梨山组与东岩组呈断层接触，南园组与下伏东岩组、梨山组都呈角度不整合接触（见图2）。

矿区西部见燕山晚期的岩浆岩，呈脉状侵入于马面山变质岩内。褶皱以梅仙复背斜为主，轴向NE，由宽缓背斜和向斜组成。矿区出露的变质岩内至少还可鉴别出4期紧闭褶皱，这些褶皱对早期形成的矿层进行了强烈改造。褶皱轴部由东岩组组成，产状平缓，两翼产状稍陡。矿区内主要断裂构造有NE向和近EW向2组，多为成矿后断裂。近EW向断裂中，局部发育脉状铅锌矿体。

### 2.1 赋矿层位与矿体形态、产状及规模

峰岩矿床的含矿岩系主要为新元古界东岩组（Pt<sub>3</sub>dy）。铅锌银矿体多呈层状、似层状、透镜状产在东岩组第一段（Pt<sub>3</sub>dy<sup>1</sup>）与第三段（Pt<sub>3</sub>dy<sup>3</sup>），矿体产状与围岩产状基本一致，与地层呈整合接触关系，走向以NE向为主，倾向SE或NW，倾角多为0~25°，具有鲜明的层控特点（见图3）。

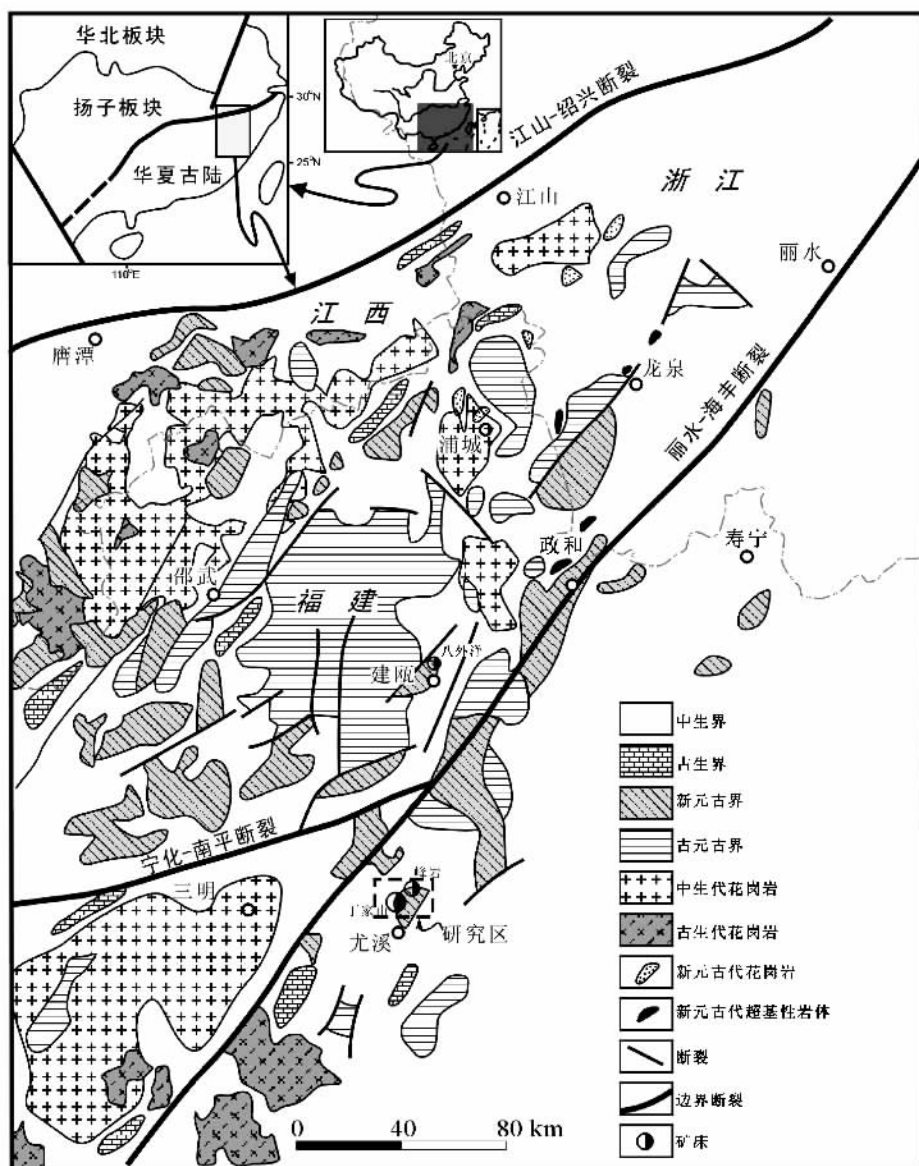


图1 闽中地区地质构造略图

Fig.1 Geological and structural sketch map of central Fujian Province

### 2.1.1 第I矿(化)带

第I矿(化)带矿体产于新元古界东岩组第一段中,已控制铅锌银矿层4层、硫铁矿矿层2层。铅锌银矿体呈层状、似层状产于新元古界东岩组第一段绿帘透辉石岩中,产状与围岩产状基本一致。已控制矿层走向延伸大于400 m、倾向延伸大于300 m。矿体厚1.02~3.83 m,品位 $w(\text{Pb})/10^{-2} = 0.05 \sim 2.78$ 、 $w(\text{Zn})/10^{-2} = 1.13 \sim 5.73$ 、 $w(\text{Ag})/10^{-6} = 20.27 \sim 105.81$ ,矿体局部存在铜矿化,金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿,少量黄铜矿、磁黄铁矿。

### 2.1.2 第III矿(化)带

矿体产于新元古界东岩组第三段中,已控制铅锌银矿层6层。其中III-1产于新元古界东

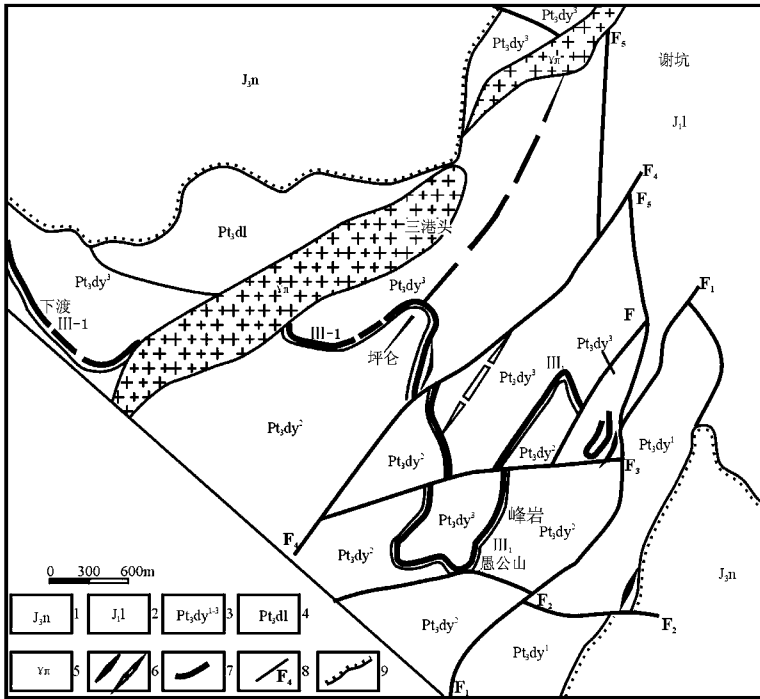


图 2 尤溪峰岩铅锌银矿区地质略图 (据闽西队资料修改)

Fig.2 Geological sketch map of the Fengyan Pb-Zn-Ag deposit in Youxi County

1-上侏罗统南园组; 2-下侏罗统梨山组; 3-新元古界东岩组 1—3 段; 4-新元古界大岭组; 5-花岗斑岩;  
6-背斜及向斜; 7-矿体; 8-断层及编号; 9-角度不整合

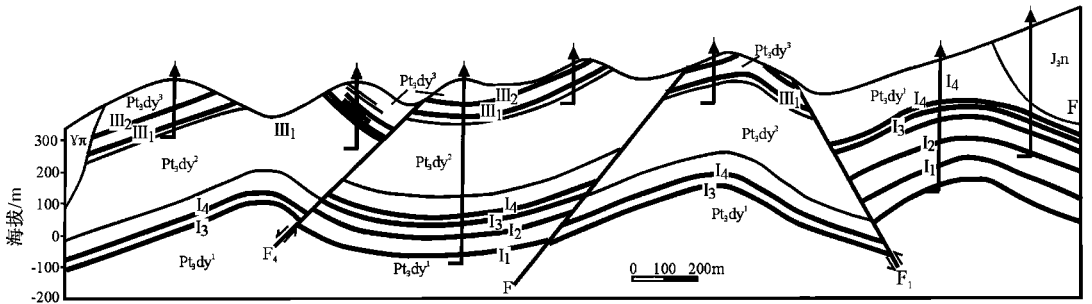


图 3 尤溪梅仙峰岩铅锌银矿区 47 线地质剖面 (据闽西队资料修编)

Fig.3 No.47 geological profile of the Fengyan Pb-Zn-Ag deposit in Youxi County

J<sub>3n</sub>-上侏罗统南园组; J<sub>1l</sub>-下侏罗统梨山组; Pt<sub>3dy</sub><sup>3</sup>, Pt<sub>3dy</sub><sup>2</sup>, Pt<sub>3dy</sub><sup>1</sup>-新元古界东岩组第三、二、一段;  
Pt<sub>3dl</sub>-新元古界大岭组; γn-花岗斑岩; III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>-铅锌银矿体及编号

岩组第三段底部, 呈层状、似层状, 为第 III 矿 (化) 带内主矿体。其余呈似层状、透镜状产出。容矿围岩为绿帘透辉石岩。矿体在走向、倾向上均存在尖灭、再现现象, 厚 1.10 ~ 8.03 m, 品位:  $w(\text{Pb})/10^{-2} = 0.23 \sim 19.85$ ,  $w(\text{Zn})/10^{-2} = 1.10 \sim 24.89$ ,  $w(\text{Ag})/10^{-6} = 12.8 \sim 703.4$ 。金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿, 少量黄铁矿。

## 2.2 矿石的矿物成分及结构与构造

### 2.2.1 矿石的矿物成分

矿石矿物主要有闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿，其次为方铅矿、磁铁矿，少量黄铜矿、赤铁矿、白铁矿、方铅矿、白铅矿、褐铁矿，极少量自然银等；脉石矿物主要有透辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石，次为石榴石、透闪石、石英、碳酸盐矿物（方解石、白云石）、磷灰石、长石及少量萤石等。上述矿石矿物大多分布在透辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石及其集合体之间，部分分布在石榴石晶粒间；而其它热液矿物，如石英、碳酸盐矿物常分布在金属矿物的晶粒间。

闪锌矿呈他形—半自形粒状，粒径一般为 0.02~5.00 mm 不等，其中含有不等量黄铜矿及磁铁矿的乳滴—微粒状包体。方铅矿呈半自形—他形粒状，粒径一般为 0.02~1.20 mm，方铅矿与闪锌矿共生，常分布在闪锌矿粒隙边缘，可溶蚀交代闪锌矿。黄铁矿呈半自形—他形粒状，粒径一般为 0.01~0.20 mm，呈星散状分布在闪锌矿中，可被闪锌矿包含、半包含。磁铁矿呈半自形—他形粒状，粒径一般为 0.02~0.20 mm，分布在闪锌矿、方铅矿中，被闪锌矿、方铅矿包含并溶蚀交代。黄铜矿呈乳滴状、微粒状，分布在闪锌矿中，与闪锌矿、黄铁矿关系密切。磁黄铁矿呈他形粒状、乳滴状，不规则微粒状，分布在闪锌矿中。赤铁矿呈细粒状浸染状、板片状，星散分布在方铅矿边缘，粒径 0.06~0.60 mm。针铁矿呈微晶集合体沿裂隙交代闪锌矿。

### 2.2.2 矿石的结构与构造

矿石结构：主要有他形—半自形微细粒、中粗粒粒状结构，另有交代结构、交代包裹结构、固溶体分解结构等。他形—半自形微细粒结构主要是指在结晶形态上黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿等硫化物呈现的结构；交代结构较常见，有方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿交代闪锌矿和闪锌矿交代磁铁矿、黄铁矿；包裹结构表现为方铅矿中包有闪锌矿或闪锌矿中包有方铅矿，闪锌矿包裹磁铁矿、黄铁矿；固溶体分解结构主要表现了黄铜矿在闪锌矿中呈乳滴状分布，或黄铜矿在闪锌矿中呈方格状分布。

矿石构造：有条带状构造、脉状充填状构造、交代蚀变充填状构造、稠密浸染和稀疏浸染状构造、浸染状—斑杂状构造、斑杂状构造、块状构造、共生角砾状构造。

## 2.3 围岩特征及围岩蚀变

矿区主要矿体赋存于东岩组中，主要近矿围岩为绿帘透辉石（片）岩。近矿围岩矿物颗粒具有显著的加粗变大现象，具中粗粒状变晶结构。围岩蚀变主要有绿帘石化、透辉石化、阳起石化、绿泥石化、硅化及碳酸盐化等类型。

# 3 东岩组变质岩及其地球化学特征

## 3.1 岩石学

闽中地区东岩组主要为以绿片岩为主的一套古火山沉积建造，主要岩性类型包括各种成分的斜长角闪片岩、绿片岩、变粒岩、石英岩、大理岩类。绿片岩类是东岩组中上部的典型岩类，包括钠长阳起片岩和绿帘（泥）钠长阳起片岩。具有明显的变余斑状结构，变余杏仁状构造，板状钠长石斑晶中有变余中空骸晶结构显示海底喷发快速冷凝成岩特征。变粒岩主要为黑云斜长变粒岩和钠长变粒岩，均呈夹层产于绿片岩类之中。

### 3.2 岩石化学

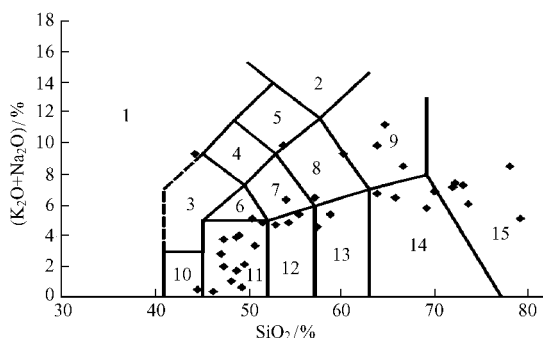
东岩组变质岩  $\text{SiO}_2$  含量的平均值为 57.99%，说明岩浆类岩石所占比例较大；大部分样品  $\text{SiO}_2$  含量集中在 40% ~ 60% 之间（见表 1）。大部分样品落入玄武岩区、苦橄玄武岩和粗面玄武岩区（见图 4），因此绿片岩的原岩应为玄武岩类。变粒岩类样品主要分布于英安岩及流纹岩区，正常安山岩区也有少量样品出现。判别函数图显示大部分样品落入岛弧玄武岩、钙碱性玄武岩区，板内玄武岩区则无样品投入（见图 5），反映东岩组玄武岩浆的形成可能和板块俯冲相关。

表 1 闽中东岩组变质火山岩化学成分

Table 1 Chemical compositions of the Dongyan metamorphic volcanic rocks in central Fujian Province

序号	岩石类型	采样位置	成分含量/%											烧失量/ %	总计
			$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$		
1	阳起黑云绿帘片岩	峰岩 ZK4704	55.94	1.19	17.31	4.47	4.56	0.87	2.35	5.68	0.55	4.00	0.78	2.12	99.82
2	阳起绿帘黑云片岩	峰岩 ZK4704	52.15	2.03	15.85	4.55	9.86	0.24	3.82	4.28	1.62	3.05	0.96	1.22	99.63
3	钠长变粒岩	峰岩 ZK4704	77.42	0.10	10.32	0.38	1.18	0.04	0.12	1.03	1.92	6.58	0.19	0.63	99.91
4	绿帘阳起片岩	峰岩 ZK4704	46.92	2.23	16.95	4.10	8.73	0.27	6.39	9.04	3.00	0.71	0.64	0.83	99.81
5	绿帘钠长变粒岩	峰岩 ZK4704	62.50	0.71	17.40	1.35	2.30	0.11	1.13	2.59	2.08	7.56	0.42	1.66	99.81
6	绿泥石钠长变粒岩	峰岩 ZK4704	64.61	0.73	13.53	3.81	5.66	0.17	1.43	1.68	4.64	1.71	0.33	1.48	99.78
7	绿泥石化钠长云母片岩	八外洋	41.54	0.71	24.27	3.03	8.72	0.15	4.52	1.22	1.82	6.95	1.04	5.50	99.47
8	绿帘阳起片岩	王地后	47.47	0.94	18.21	4.08	6.60	0.27	6.18	9.30	2.03	1.83	0.56	2.33	99.80
9	钠长云母石英片岩	水吉	71.07	0.33	15.38	1.02	1.30	0.05	0.73	0.22	0.33	6.79	0.09	2.39	99.70
10	含石榴石钠长绿帘片岩	水吉	55.52	0.78	19.09	0.60	7.56	0.28	3.77	1.32	0.65	4.41	0.50	5.15	99.63
11	斜长角闪片岩	水吉	50.18	0.92	18.3	1.95	10.23	0.27	5.00	5.741	3.82	0.90	0.33	1.94	99.58
12	黑云钠长石英变粒岩	夏山	62.07	0.78	16.55	0.38	5.13	0.07	2.78	2.59	3.05	3.48	0.57	2.39	99.84
13	斜长角闪片岩	政和包源	50.15	0.82	16.13	2.43	9.28	0.18	7.10	8.52	3.13	0.26	0.86	0.90	99.76
14	云母石英片岩	尤溪峰岩	66.84	0.26	14.64	1.72	2.53	0.28	1.46	1.12	0.86	5.75	0.23	4.05	99.74
15	阳起石片岩	尤溪峰岩	47.96	1.51	16.21	3.12	8.29	0.19	8.08	7.94	2.62	1.30	0.59	1.91	99.72
16	透辉石岩	尤溪峰岩	48.92	0.09	0.80	2.15	13.41	12.94	1.61	18.62	0.14	0.52	0.26	0.18	99.64
17	绿帘透辉石岩	峰岩 I 号洞	47.78	0.09	3.69	3.43	8.70	6.20	1.45	22.86	0.34	1.78	0.32	2.98	99.62
18	钠长云母石英片岩	丁家山	58.86	0.77	19.52	1.27	3.68	0.30	3.00	0.80	3.46	5.68	0.56	1.89	99.79
19	变粒岩	尤溪峰岩	67.74	0.14	8.94	0.76	1.49	0.12	0.17	7.24	3.49	2.09	0.01	7.15	99.34
20	变粒岩	尤溪峰岩	62.53	0.35	17.03	0.54	2.17	0.14	1.11	1.83	4.94	5.97	0.03	3.33	99.97
21	绿片岩	尤溪峰岩	52.19	1.45	17.40	1.51	4.36	0.25	5.50	4.13	4.80	4.77	0.62	3.58	100.56
22	绿片岩	尤溪丁家山	52.42	1.81	14.83	4.21	5.59	0.18	5.64	5.99	5.15	1.01	0.25	2.41	99.49
23	变粒岩	尤溪丁家山	68.11	0.37	12.34	0.56	2.60	0.14	1.25	2.04	2.63	4.43	0.07	4.76	99.30
24	变粒岩	尤溪丁家山	67.98	0.36	12.33	0.47	2.60	0.14	1.34	2.39	2.53	4.22	0.07	5.57	100.00
25	绿片岩	尤溪丁家山	53.13	1.38	14.17	2.18	5.91	0.28	4.90	4.74	3.47	2.63	0.31	7.13	100.23
26	绿片岩	尤溪峰岩	47.86	1.65	14.03	2.35	9.48	0.29	7.90	6.30	3.12	1.73	0.27	4.06	0.37

注：1—18 为本文分析结果，测试单位：中科院贵阳地球化学研究所；19—26 引自文献 [8]。



1-霞石岩或黄长岩; 2-响岩; 3-碱玄岩 (Ol < 10%) 或碧玄岩 (Ol > 10%); 4-响岩质碱玄岩; 5-碱玄岩质响岩; 6-粗面玄武岩; 7-玄武质粗安岩; 8-粗安岩; 9-粗面岩 (Q < 20%)、粗面英安岩 (Q > 20%); 10-苦橄玄武岩; 11-玄武岩; 12-玄武质安山岩; 13-安山岩; 14-英安岩; 15-流纹岩

图4 闽中地区东岩组不同类型变质岩类  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  图解 (图式据 Le Maitre et al, 1989)

Fig.4  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  diagram of various metamorphic rocks in the Dongyang Formation of central Fujian (After Le Maitre et al, 1989)

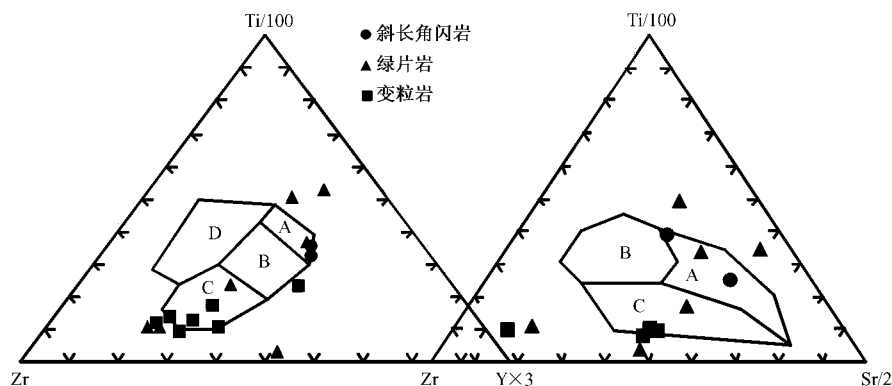


图5 马面山群东岩组三角图解 (图式据 Pearce 和 Cann<sup>[9]</sup>)

Fig.5 Ternary discrimination diagram of Dongyan Formation from Mamianshan Group

A区 - 岛弧拉斑玄武岩; B区 - MORB、岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩;

C区 - 钙碱性玄武岩; D区 - 板内玄武岩

### 3.3 稀土元素

从东岩组岩石稀土元素含量分析结果看, 斜长角闪片岩稀土总量变化于  $18.72 \times 10^{-6} \sim 82.92 \times 10^{-6}$  之间。轻重稀土比值为  $1.89 \sim 3.72$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值为  $1.18 \sim 2.80$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_N$  比值为  $1.04 \sim 1.93$ , 表明斜长角闪片岩为轻稀土富集型。 $\delta\text{Eu}$  值  $0.95 \sim 1.77$ , 其中绝大多数大于 1, 表明斜长角闪岩具轻微的铕正异常。稀土配分曲线为平缓右倾型, 与低钾拉斑玄武岩相似 (见图 6)。

绿片岩稀土总量变化于  $14.01 \times 10^{-6} \sim 299.76 \times 10^{-6}$  之间, 平均值为  $139.97 \times 10^{-6}$ 。轻重稀土比值为  $4.24 \sim 9.04$ , 平均为  $6.13$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值为  $4.41 \sim 15.27$ , 平均  $7.41$ , 表现为较强的轻稀土富集。 $\delta\text{Eu}$  值变化范围为  $0.50 \sim 1.25$ , 平均值是  $0.95$ , 表明该岩类正负铕异常都存在。稀土配分曲线具明显右倾 (见图 6)。

变粒岩稀土总量变化于  $105.83 \times 10^{-6} \sim 497.60 \times 10^{-6}$  之间, 平均值为  $281.55 \times 10^{-6}$ 。轻重稀土比值为  $4.7 \sim 11.15$ , 平均值为  $8.26$ 。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值从  $4.01 \sim 19.02$ , 平均为  $0.95$ , 表明该岩类较斜长角闪片岩及绿片岩轻稀土富集更强烈。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$  比值为  $1.87 \sim 4.86$ , 平均

值 3.66，也支持上述结论。 $\delta Eu$  主要在 0.30 ~ 0.89 之间变化，平均为 0.61，明显不同于以上两种岩类，表现为明显的负铕异常。相应地稀土配分曲线更加明显地右倾（见图 6）。

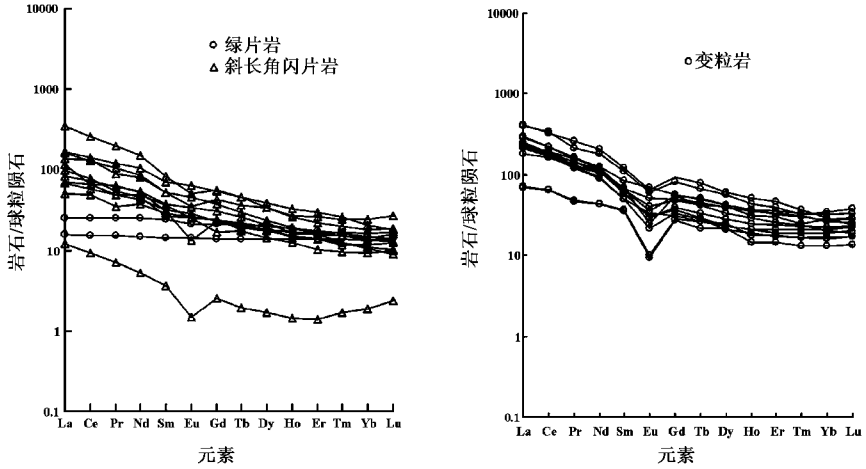


图 6 闽中东岩组绿片岩稀土配分模式图

Fig.6 Rare earth element abundances normalized to chondritic meteorite values against atomic number for greenschist of Dongyan Group

### 3.4 微量元素

东岩组变质火山岩微量元素测定结果列于表 2，以上 3 类岩石经过 MORB 标准化<sup>[10]</sup>的蛛网图见图 7。对于斜长角闪片岩，一些不活动元素如高场强元素（HFSE：Nb、Ta、Zr、Hf、Ti）表现为明显的负异常，表明具较强烈的亏损。相反大离子亲石元素如 K、Pb、Th 及低场强元素（LFSE：Rb、Cs、Ba）则明显富集。更进一步表明了该岩类和岛弧拉斑玄武岩的亲缘性。绿片岩和变粒岩总体曲线和斜长角闪岩相似，但前者显示低 P 和 Ti，高 K、Pb、Zr 和 Hf，并且至变粒岩越来越富集，可能表明变粒岩是在原始岛弧玄武岩浆的基础上受到了后期地壳物质的混染。

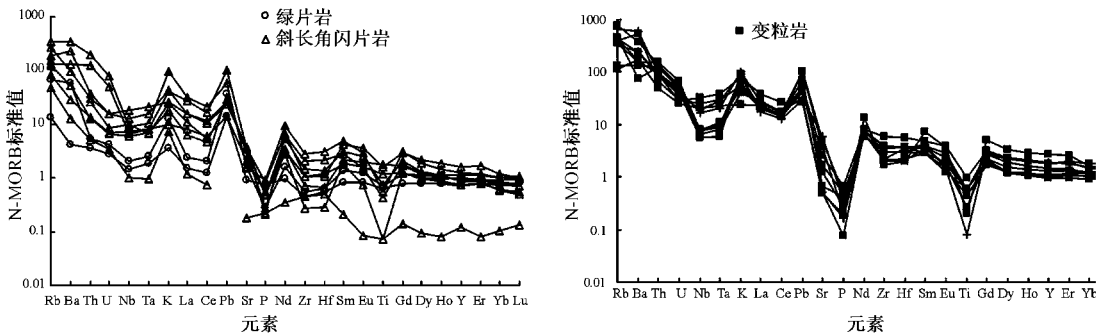


图 7 闽中地区东岩组绿片岩微量元素标准化蛛网图（图式据 Pearce J A<sup>[10]</sup>）

Fig.7 Normalized diagram of trace element concentrations for schist of Dongyan Group in central Fujian Province

## 4 矿床地球化学特征

### 4.1 硫同位素

峰岩及外围地区铅锌矿床的硫同位素组成见表 3。峰岩矿床的  $\delta^{34}S$  值为 0.5‰ ~ 3.8‰，

表2 闽中东岩组变质火山岩稀土元素分析数据  
Table 2 REE data of the Dongyan metamorphic volcanic rocks in central Fujian Province

序号	岩性	元素含量/ $10^{-6}$														$\sum \text{REE}/(\sum \text{HREE} + \text{Y})$	$\delta \text{Eu}$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hb	Er	Tm	Yb	Lu					
1	斜长角闪片岩	5.890	15.203	2.381	11.817	3.666	1.239	4.330	0.789	5.042	1.065	2.887	0.410	2.497	0.349	57.564	2.31	0.95	1.69	1.04
2	斜长角闪片岩	3.724	9.341	1.435	6.871	2.202	0.823	2.868	0.521	3.524	0.782	2.270	0.349	2.262	0.352	37.324	1.89	1.00	1.18	1.09
3	阳起石片岩	15.853	35.204	4.657	19.830	4.769	1.654	4.599	0.721	4.385	0.864	2.306	0.314	1.828	0.255	97.237	5.37	1.08	6.22	2.15
4	透辉石岩	2.876	5.591	0.666	2.480	0.559	0.087	0.510	0.072	0.431	0.082	0.233	0.043	0.320	0.059	14.010	7.01	0.50	6.45	3.32
5	绿帘透辉石岩	26.994	40.758	6.078	24.062	4.731	0.773	4.660	0.768	4.575	0.953	2.727	0.429	2.719	0.434	120.661	5.99	0.50	7.12	3.68
6	阳起黑云绿帘片岩	53.573	116.291	15.102	58.700	12.752	4.022	11.657	1.874	10.710	2.072	5.843	0.851	5.464	0.845	299.757	6.62	1.01	7.03	2.71
7	阳起绿帘黑云片岩	39.051	85.660	11.440	49.226	10.844	3.679	10.998	1.717	9.682	1.863	4.879	0.663	3.527	0.451	233.680	5.92	1.03	7.94	2.32
8	绿帘阳起片岩	19.852	43.774	5.822	24.745	5.741	1.989	6.273	0.953	5.257	1.036	2.749	0.386	2.265	0.322	121.164	5.30	1.01	6.29	2.23
9	绿帘阳起片岩	38.497	78.430	9.941	40.268	7.931	2.629	7.625	1.124	5.866	1.103	2.560	0.318	1.808	0.228	198.328	8.61	1.03	15.27	3.13
10	钠长变粒岩	43.197	98.433	12.072	48.829	10.573	1.447	11.157	1.885	10.657	2.057	5.359	0.765	4.652	0.719	251.802	5.76	0.41	6.66	2.64
11	绿帘钠长变粒岩	67.094	133.735	15.190	55.882	9.822	2.317	9.836	1.546	8.564	1.621	4.285	0.607	3.441	0.474	314.414	9.35	0.72	13.99	4.41
12	绿帘石钠长变粒岩	56.512	112.717	13.801	55.505	10.336	2.971	10.126	1.662	9.845	1.995	5.493	0.783	4.453	0.646	286.845	7.19	0.89	9.10	3.53
13	绿帘石化钠长云母片岩	80.964	157.379	18.593	70.008	12.724	2.934	11.375	1.681	8.614	1.449	3.579	0.502	3.053	0.473	373.328	11.15	0.75	19.02	4.11
14	钠长云母石英片岩	70.506	134.267	15.483	56.436	9.370	1.711	7.999	1.247	7.122	1.375	3.945	0.593	3.741	0.578	314.373	10.82	0.60	13.52	4.86
15	含石榴石钠长绿帘片岩	59.519	114.961	13.758	50.718	9.047	1.726	7.671	1.100	5.789	1.175	3.114	0.485	3.232	0.509	272.803	10.82	0.63	13.21	4.25
16	黑云钠长石英变粒岩	50.694	104.592	11.469	42.632	7.538	1.247	6.819	1.039	5.393	1.080	2.818	0.419	2.742	0.432	238.915	10.52	0.53	13.26	4.34
17	云母石英片岩	97.151	201.238	24.707	97.572	18.713	3.731	19.040	2.948	15.429	2.940	7.588	0.933	5.014	0.600	497.605	8.13	0.60	13.90	3.35
18	钠长云母石英片岩	51.883	108.850	12.017	43.033	7.578	1.921	6.413	1.000	5.801	1.199	3.470	0.527	3.544	0.573	247.809	10.00	0.84	10.50	4.42
19	变粒岩	53.78	117.60	12.20	51.65	9.90	2.09	11.28	1.59	10.28	1.74	4.94	0.63	4.80	0.75	283.230	6.87	0.60	8.04	3.51
20	变粒岩	94.18	204.10	20.11	85.67	16.55	3.46	16.72	2.49	14.39	2.47	6.42	0.83	5.82	0.95	474.160	8.47	0.64	11.61	3.67
21	绿片岩	23.13	47.57	5.12	20.95	4.16	1.44	3.45	0.66	3.61	0.71	1.67	0.24	1.56	0.25	114.520	8.43	1.16	10.64	3.59
22	绿片岩	32.85	80.04	8.48	37.70	7.95	2.06	8.81	1.33	8.46	1.53	4.22	0.62	4.15	0.68	198.880	5.67	0.75	5.68	2.67
23	变粒岩	16.82	40.09	4.35	20.47	5.49	0.55	5.63	0.81	5.48	0.81	2.41	0.33	2.24	0.35	105.830	4.86	0.30	5.39	1.98
24	变粒岩	16.23	38.86	4.53	20.18	5.60	0.58	5.80	0.98	6.17	1.01	2.90	0.42	2.90	0.44	106.600	4.17	0.31	4.01	1.87
25	绿片岩	16.85	40.08	4.62	22.43	5.49	1.45	4.94	0.68	5.51	0.91	2.64	0.39	2.44	0.40	108.830	5.08	0.85	4.95	1.98
26	绿片岩	11.98	29.35	3.30	17.52	4.39	1.51	4.77	0.81	4.84	0.80	2.25	0.30	1.95	0.32	84.090	4.24	1.01	4.41	1.76

注:1—18 为本文分析结果,测试单位为中科院地质与地球物理研究所;19—26 引自文献[8]。

表 3 闽中尤溪梅仙一带铅、硫同位素组成

Table 3 Pb and S stable isotopic compositions of Meixian deposit in Youxi County, central Fujian Province

采样地点	测定 矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	采样 位置	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$
福井		18.271	15.590	38.511	峰 岩	黄铁矿	18.4366	15.8012	39.0445	0.4
丁家山 zk704, 89 m	闪	18.292	15.600	38.552		黄铁矿	18.5730	15.8970	39.2970	0.5
尤溪	锌	18.236	15.726	38.943		黄铁矿	18.4135	15.7831	38.9678	1.7
谢坑	矿	18.404	15.687	38.883						
谢坑		18.337	15.658	38.758						
东井亭		18.430	15.762	38.097		磁黄铁矿	18.3816	15.8136	39.0626	0.8
丁家山 zk902, 89.9 m	黄	18.269	15.582	38.485	峰 岩	磁黄铁矿	18.4716	15.8101	39.0760	0.8
丁家山 zk704, 89 m	铁	18.276	15.579	38.482		磁黄铁矿	18.3979	15.7850	38.9750	3.3
丁家山 zk903, 113.5 m	矿	18.307	15.627	38.641		磁黄铁矿	18.3888	15.7731	38.9290	0.9
梅仙		18.203	15.667	38.732						
坑口		18.538	15.835	38.108						
丁家山坑道		18.307	15.631	38.678	峰 岩	闪锌矿	18.5730	15.9920	39.6550	2.9
丁家山坑道		18.304	15.613	38.561		闪锌矿	18.4474	15.8292	39.1120	2.2
丁家山 zk4, 113 m		18.483	15.752	38.947		闪锌矿	18.4182	15.8013	38.9920	3.8
丁家山 zk4, 190 m		18.605	15.932	38.666						
丁家山 zk8, 100 m	方	18.476	15.701	38.812						
丁家山 zk8, 138 m	铅	18.112	15.629	38.357	峰 岩	方铅矿	18.3825	15.7545	38.8788	1.6
丁家山 zk8, 160 m	矿	18.339	15.639	38.694		方铅矿	18.4418	15.7724	38.9410	0.5
丁家山 zk4, 192 m		18.308	15.627	38.629		方铅矿	18.3906	15.7845	38.9700	0.7
丁家山 zk4, 200 m		18.243	15.563	38.459						
丁家山 zk5, 102 m		18.182	15.517	38.331		方铅矿	18.4171	15.7948	39.0000	1.7
谢坑鬼洞		18.380	15.653	38.676						
根竹园		18.409	15.740	38.018						

注：峰岩样品为本次工作所测，丁家山样品分析数据引自文献 [8]。

与丁家山铅锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$  变化范围 ( $-3.33\text{‰} \sim 4.2\text{‰}$ ) 相似，以正值为主，变化范围较小，都呈近塔式分布 (见图 8)，大部分显示出深源硫特征。若剔除 2 个低值样本，则硫同位素范围为  $2.1\text{‰} \sim 4.2\text{‰}$ ；该数值仅稍高于火成岩成因的  $\delta^{34}\text{S}$ ，具有火成成因深源硫与海水成因硫酸盐矿物混合特征。峰岩矿床闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值都存在差异，反映矿物间硫同位素组成未达到平衡，硫化物形成于多期矿化，存在多次不连续的成矿作用和多种硫源。多种硫源并存现象，可能是热水沉积矿床硫同位素组成的特征之一，与丁家山矿床硫来源的多样性相同。

#### 4.2 铅同位素

峰岩铅锌矿的代表性矿石铅同位素分析结果 (见表 3) 表明，梅仙矿区 (峰岩及丁家山矿床) 各类矿石铅同位素组成在  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图解中，总体比较稳定，变化范围小。丁家山铅锌矿床的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值为  $18.112 \sim 18.605$ ，平均值为  $18.34$ ； $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值为  $15.517 \sim 15.932$ ，平均值为  $15.67$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值为  $38.331 \sim 39.666$ ，平均值为  $38.74$ 。

峰岩铅锌银矿床的矿石  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 18.382 ~ 18.573, 矿石  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 15.773 ~ 15.992,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 38.879 ~ 39.655, 与丁家山矿床的铅同位素组成变化特征相似。在根据 Doe 和 Zartman<sup>[11]</sup> 图式做出的铅同位素组成与演化趋势图 (见图 9) 上, 投影范围比较分散, 明显地呈线性分布, 表明正常铅同位素组成中混入了放射性成因铅, 即从幔源至造山带和上地壳不同  $\mu$  值的铅源均有混入, 演化趋势较明显。铅同位素来源具有多样性显示多次地质事件叠加特点。但指示铅来自陆壳的信息较为强烈, 表明矿床成矿物质铅可能由新元古代结晶基底构造层中的铅及深部地幔来源的铅叠加而成。不同地质体铅同位素组成的一致性充分说明, 区内多金属矿床成矿作用与同期火山-热事件存在成因联系。

### 4.3 硫化物稀土元素

对峰岩矿床主要金属硫化物 (如磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等) 进行稀土元素及微量元素化学分析是在韩国忠南大学自然科学学院地质系分析测试室完成的, 所测结果见表 4。

金属硫化物稀土总量很低, 都小于 40。LERR/HREE 为 4.0 ~ 15.2, 多数集中在 10.0 左右, 平均 8.9, 表明总体上硫化物为轻稀土富集型。不同的金属硫化物轻稀土富集程度也有差别。方铅矿 LERR/HREE 为 8.7 ~ 12.2, 平均为 10.0; 黄铁矿 LERR/HREE 为 6.3 ~ 9.9, 平均 8.4; 磁黄铁矿 LERR/HREE 为 15.2; 闪锌矿 LERR/HREE 为 4.0 ~ 11.9, 平均为 7.5。 $\delta\text{Eu}$  变化范围为 0.38 ~ 2.04, 不同金属硫化物表现也不一样。方铅矿  $\delta\text{Eu}$  变化范围为 1.09 ~ 1.37, 平均值为 1.25, 表现为明显的铕正异常; 黄铁矿  $\delta\text{Eu}$  值为 0.68 ~ 0.82, 平均为 0.77, 为弱的负铕异常; 磁黄铁矿  $\delta\text{Eu}$  值为 2.04; 闪锌矿  $\delta\text{Eu}$  值为 0.38 ~ 0.48, 平均为 0.42, 表现为强烈的铕负异常。因此铕负异常集中在闪锌矿、黄铁矿, 而磁黄铁矿和方铅矿则为正铕异常。方铅

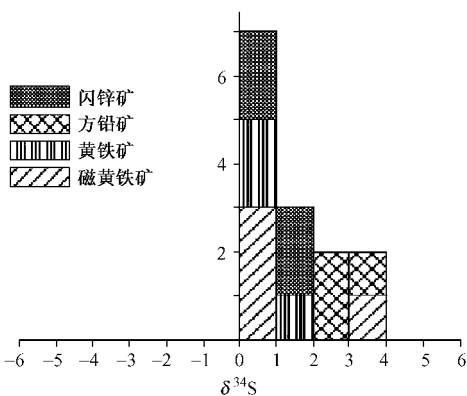


图 8 梅仙峰岩矿区硫同位素分布频率

Fig.8 Diagram of S isotope distribution of Fengyan deposit

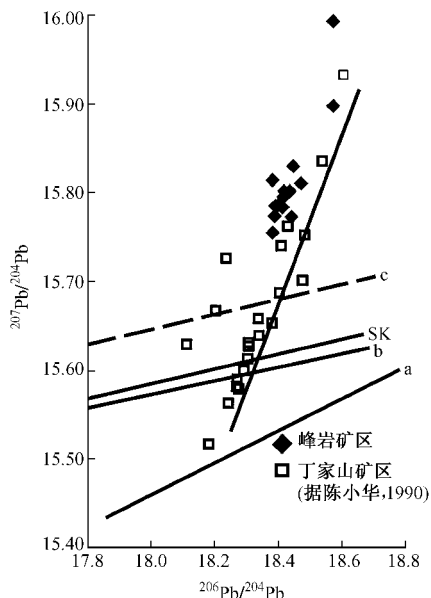


图 9 梅仙峰岩及丁家山铅锌矿区铅同位素组成

(图式据 Doe 和 Zartman<sup>[11]</sup>)

Fig.9 Diagram of Pb stable isotope composition of Fengyan and Dingjiashan deposits  
a—地幔演化线; b—造山带; c—上部地壳演化线; SK—两阶段演化线

表 4 闽中尤溪梅仙峰岩矿床矿石中金属矿物微量及稀土化学元素测试结果

Table 4 Trace element and REE data of the Fengyan deposit in Youxi County, central Fujian Province

元素	样品号														
	(2)3901-61	D4-8	G-2	F09-2	(1)3901-61	XK-0	F05-1	D1	(1)F18-2	F26-3	YK-4	F-7	F-10	DJ-14	(2)F18-2
Tl	92.31	117.97	402.97	145.13	131.77	151.09	139.25	30.80	121.65	66.28	39.07	168.13	134.48	60.89	1102.91
V	45.55	37.66	50.51	42.51	37.68	36.64	41.67	25.71	13.39	16.69	19.32	25.98	36.01	29.22	32.16
Cr	1.58	1.74	15.86	1.76	1.71	1.44	1.00	nd	nd	nd	nd	0.92	5.50	0.42	2.73
Mn	30.48	371.47	2194.30	1590.72	113.71	76.67	679.98	119.03	1354.17	151.94	31.74	4336.76	1.16	6749.27	8189.5
Fe	55.36	57.59	56.99	52.84	42.81	42.07	40.98	1172.29	2505.42	576.30	254.54	2.96	12.50	5.77	4082.25
Ni	4217.18	4370.73	4362.58	4049.51	3235.25	3206.33	3164.34	7.78	18.92	3.27	0.64	231.67	979.95	445.10	29.36
Co	0.41	607.25	114.55	6.15	164.03	2.56	175.44	6.55	0.92	1.95	0.24	327.87	53.81	448.25	1.03
Cu	647.93	1889.61	1874.63	670.38	716.34	276.39	203.71	70.85	64.45	58.69	56.63	93.03	3507.94	282.77	93.91
Zn	80.74	90.88	369.60	3.83	748.26	142.74	256.62	6766.61	498.80	2233.80	204.23	31.50	45.93	42.76	88.61
Ga	1.87	1.48	3.96	1.65	1.28	1.26	1.95	0.57	0.65	0.47	0.37	2.14	4.43	3.07	2.48
Ge	0.71	0.93	0.80	0.59	0.44	0.41	0.50	4.67	4.93	1.73	0.92	0.76	0.38	0.23	0.97
Se	10.38	79.55	29.07	6.41	4.93	4.12	6.75	972.55	856.07	351.50	180.30	142.31	64.84	37.03	nd
Rb	1.59	10.07	31.74	1.72	0.72	0.81	3.71	0.19	0.24	0.16	0.50	0.16	9.75	1.29	9.81
Sr	2.43	1.45	7.62	1.57	3.49	1.84	6.73	1.49	7.28	5.36	1.50	7.19	6.43	2.75	137.16
Y	0.17	0.47	4.80	1.05	0.15	0.32	0.21	0.28	1.17	0.45	0.26	4.30	0.56	0.39	3.76
Mo	2.21	0.39	0.36	0.35	7.27	6.36	11.36	0.26	2.94	5.30	0.19	0.38	0.20	0.60	17.02
Ag	32.64	12.29	80.36	84.59	1.82	1.95	9.77	512.03	356.19	382.96	484.11	31.92	526.79	39.53	0.73
Cd	0.61	0.41	3.18	354.26	5.70	0.49	1.70	81.78	46.53	44.82	31.27	1700.29	3076.12	2373.39	0.39
In	0.02	0.04	0.56	73.03	0.63	0.12	0.51	0.80	0.05	0.08	0.03	20.68	842.22	7.52	0.05
Sn	1.59	1.76	27.44	3.33	2.58	1.48	1.82	1.44	3.03	1.77	4.20	7.56	5.76	2.95	3.72
Te	4.04	1.01	1.16	2.15	4.12	0.56	4.91	95.03	257.17	156.09	31.94	12.72	20.38	3.75	0.91
Ba	50.20	37.66	54.39	31.58	36.55	40.12	53.49	27.29	24.60	17.92	19.63	26.53	33.98	43.32	79.84
Ta	0.05	0.04	0.27	0.08	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.08	0.03	0.04	0.13
Au	0.61	0.54	0.62	0.56	0.44	0.43	0.43	0.25	0.17	0.13	0.14	0.23	1.65	0.35	0.15
Ti	3116.95	2233.17	3102.62	2953.47	3072.20	2937.03	2812.66	2215.68	1742.73	1789.62	1656.40	2370.30	2838.20	3058.61	2819.05
Pb	5907.85	467.90	3771.67	1.29	419.58	498.10	3784.13		nd	nd	nd	2.52	1.28	5.55	290.64
Bi	120.37	224.58	195.27	224.11	13.80	2.42	27.69	3822.80	3022.52	890.33	840.35	5.91	2804.86	85.76	2.12
La	0.31	0.90	7.28	1.96	0.30	1.12	0.32	0.28	1.18	0.43	0.54	3.93	0.99	0.38	2.28
Ce	0.54	1.67	14.71	3.68	0.57	2.00	0.57	0.54	2.24	0.77	1.02	6.42	1.96	0.69	4.21
Pr	0.07	0.21	1.70	0.43	0.06	0.26	0.06	0.07	0.33	0.10	0.12	0.92	0.25	0.09	0.56
Nd	0.32	1.05	8.89	2.18	0.30	1.27	0.34	0.34	1.44	0.52	0.60	4.40	1.30	0.43	2.8
Sm	0.05	0.16	1.24	0.31	0.03	0.16	0.05	0.05	0.24	0.07	0.08	0.70	0.19	0.08	0.49
Eu	0.02	0.04	0.23	0.12	0.02	0.06	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.10	0.05	0.02	0.08
Gd	0.04	0.18	1.47	0.36	0.03	0.15	0.04	0.04	0.27	0.08	0.08	0.93	0.19	0.07	0.63
Tb	0.02	0.03	0.22	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.15	0.02	0.01	0.1
Dy	0.03	0.10	1.08	0.23	0.02	0.07	0.03	0.03	0.21	0.06	0.04	0.81	0.12	0.07	0.6
Ho	0.01	0.02	0.20	0.04	0.005	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.16	0.02	0.01	0.14
Er	0.02	0.05	0.52	0.10	0.02	0.04	0.03	0.02	0.11	0.04	0.03	0.42	0.08	0.05	0.44
Tm	0.005	0.005	0.06	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005	0.06	0.01	0.01	0.08
Yb	0.02	0.03	0.33	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.08	0.05	0.02	0.30	0.06	0.04	0.51
Lu	0.005	0.01	0.04	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005	0.04	0.01	0.01	0.09
$\delta$ Eu	1.37	0.72	0.52	1.10	2.04	1.18	1.37	0.68	0.48	0.82	0.38	0.38	0.80	0.82	0.44
La/Yb	10.50	20.20	14.90	22	20.20	37.80	10.79	18.88	9.94	5.80	18.20	8.83	11.12	6.40	3.01
La/Sm	3.90	3.54	3.69	3.98	6.29	4.40	4.03	3.52	3.09	3.86	4.25	3.53	3.28	2.99	2.93
Gd/Yb	1.61	4.84	3.59	4.84	2.42	6.05	1.61	3.23	2.72	1.29	3.23	2.50	2.56	1.41	1.00

注：元素含量单位为  $w_B/10^{-6}$ ，nd 表示未检出。

矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿  $(La/Yb)_N$  变化范围分别为 11.7~40.2、6.2~21.5、21.5、3.2~19.4,  $(La/Sm)_N$  比值分别为 4.0~4.5、3.06~3.97、6.45、3.06~4.36。金属硫化物的稀土分布型式都表现为一定程度的右倾斜(见图 10)。轻重稀土分异显著,轻稀土部分增加更快,因而斜率更大。

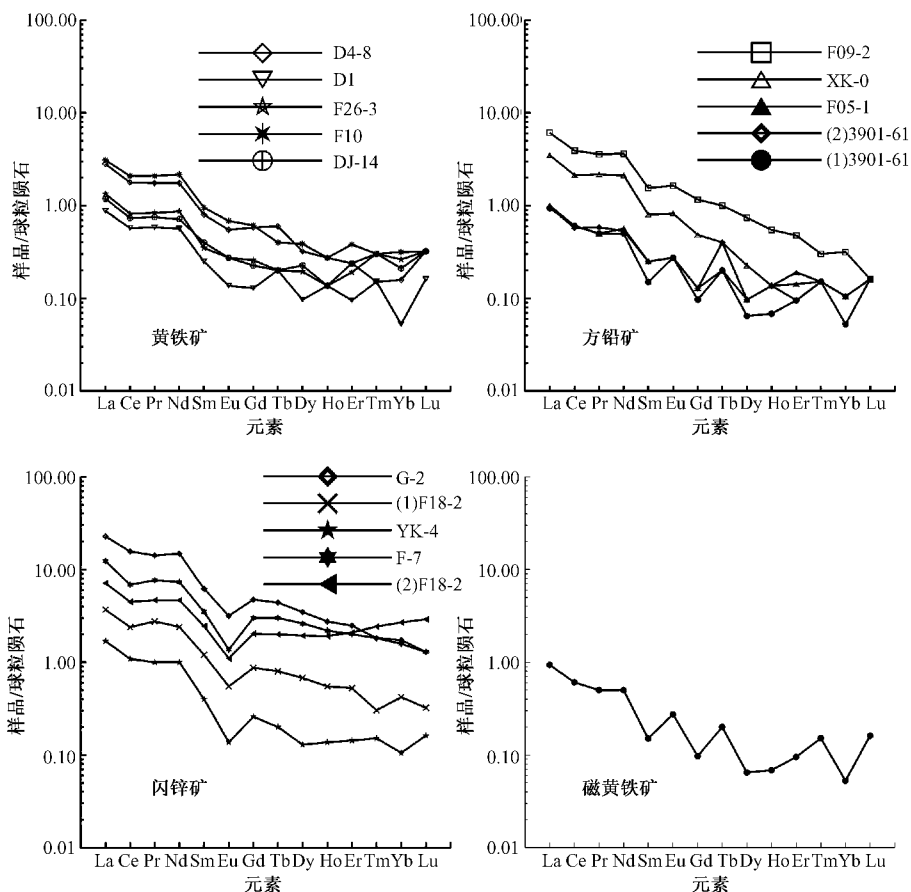


图 10 闽中梅仙峰岩铅锌矿矿石中单矿物稀土配分模式图

Fig.10 Rare earth element abundances normalized to chondritic meteorite values against atomic number for minerals in Fengyan deposit

#### 4.4 硫化物微量元素

金属硫化物微量元素洋中脊玄武岩的 MORB 标准蜘蛛图解的曲线表现出微量元素相对于 MORB 均有不同程度的亏损和富集。金属硫化物的 MORB 标准化蛛网图见图 11。总体上金属硫化物 MORB 标准化曲线比较相似。其中不活动元素如高场强元素 (HFSE: Nb、Ta、Zr、Hf) 由于含量太少而无法检出,实际上也表现为明显的负异常,具较强烈的亏损。而 Pb、Rb 和 Ba 等元素相对富集。这种特征与前述绿片岩系的微量元素地球化学特征相似。

## 5 矿床形成的古构造环境

为了确定金属硫化物形成与东岩组原火山岩之间的关系,拟对比矿床金属硫化物与火山

岩稀土及微量元素特征。东岩组变质火山岩主要分为三类，即斜长角闪片岩、绿片岩和变粒岩。岩相学和岩石化学研究表明，斜长角闪片岩和绿片岩的原岩都属于基性岩类<sup>[12]</sup>，其中斜长角闪片岩在判别图上投入岛弧玄武岩；绿片岩大多是在斜长角闪片岩的基础上经过一定程度的交代作用而形成的，镜下可见阳起石交代部分角闪石。判别图上部分投入岛弧玄武岩，部分为钙碱性玄武岩的范围。说明绿片岩在原始基性岩的基础上受到了地壳物质的交代。而变粒岩原岩主要为酸性流纹岩或英安岩类，长英质矿物为主要组成部分，表明有较多的地壳物质参与成岩过程。以上三种岩类的稀土配分曲线总体上相似，都表现为右倾型，可能说明变质火山岩具有相同的岩浆来源，即岛弧玄武岩浆。但不同岩类轻重稀土比值、 $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$  及  $\delta Eu$  都不一致。其中斜长角闪片岩  $\delta Eu$  总体上大于 1，绿片岩  $\delta Eu$  平均值是 0.95，正负铕异常都存在，变粒岩  $\delta Eu$  平均为 0.61，为负铕异常。说明从斜长角闪片岩到变粒岩，原始岩浆受到了越来越强烈的地壳物

质的混染。金属硫化物是闽中地区铅锌多金属矿床的主要矿石矿物。磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等是组成矿床的常见金属硫化物。金属硫化物稀土总量较变质火山岩低，但轻重稀土比值较变质火山岩高，多数集中在 10 左右，说明金属硫化物较火山岩分离作用更加彻底。不同的金属硫化物的稀土配分曲线都表现为不同程度的右倾型，和变质火山岩相似，说明金属硫化物和变质火山岩具有相似的演化过程，是统一原始岩浆基础上分离演化不同阶段的产物。因此两者之间有较为紧密的关系，进而可以推断铅锌多金属矿床的形成和新元古界火山作用相关。不同的金属硫化物也各有自身的特征，方铅矿轻重稀土比值平均为 8.9，表明总体上硫化物为轻稀土富集型。不同的金属硫化物轻稀土富集程度也有差别。磁黄铁矿和方铅矿的  $\delta Eu$  值较大，为明显的正铕异常，而黄铁矿和闪锌矿表现为负铕异常。磁黄铁矿和方铅矿与斜长角闪片岩及部分绿片岩稀土特征相似，很大程度上表明这两种金属硫化物可能和基性岩浆有亲缘关系，而黄铁矿和闪锌矿则与中酸性岩浆有关。综合上述特点，闽中地区铅锌多金属矿床金属硫化物可能有多种来源，一类来自地幔，而另一类则和壳源物质有关。这些特征和该区金属硫化物的硫同位素及铅同位素所得出的结论一致。闽中铅锌矿床中闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿的  $\delta^{34}S$  值存在明显差异，表明硫化物矿床存在多种硫源或形成于多次不连续的成矿作用。金属硫化物的铅同位素分散及呈线性分布的特点表明从幔源至造山带和上地壳不同来源的铅源均有混入，显示成矿是多种来源的物质叠加的结果。

东岩组变质火山岩中不论基性或中酸性都表现为明显的高场强元素的亏损及低场强元素的富集，显示出典型和俯冲有关的岛弧岩浆的特征。原岩为基性岩类的斜长角闪片岩及绿片岩可能来自岛弧玄武岩浆，而原岩为酸性岩类的变粒岩等则是在基性玄武岩浆基础上混染地壳物质的结果。金属硫化物微量元素特征和火山岩相似说明硫化物的起源和演化与火山岩一致，更进一步证明矿床与东岩组火山岩都形成于俯冲背景下的岛弧环境。

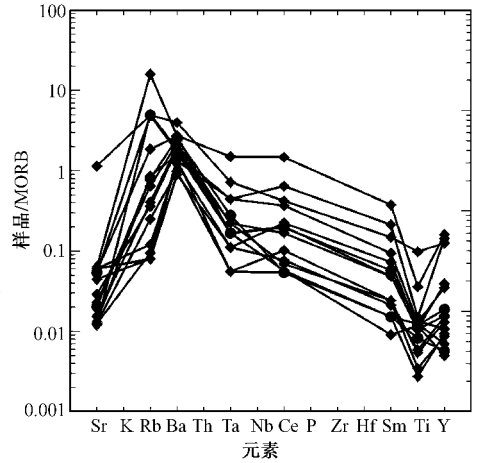


图 11 闽中尤溪梅仙峰岩矿石金属矿物微量元素标准化蛛网图

(图式据 Pearce J A<sup>[10]</sup>)

Fig. 11 Normalized diagram of trace element concentrations for schist of metal minerals from Fengyan deposit

## 6 结论

闽中峰岩铅锌矿床的硫同位素研究结果表明该矿床存在多次成矿作用和多种硫源。铅同位素组成与演化表明从幔源至造山带和上地壳不同的铅源均有混入, 演化趋势较明显, 并显示多次地质事件叠加特点。金属硫化物的稀土分布型式都表现为一定程度的右倾斜, 轻重稀土分异显著。微量元素相对于 MORB 均有不同程度的亏损和富集。高场强元素 (HFSE: Nb、Ta、Zr、Hf) 表现为明显的负异常, 具较强烈的亏损; 而 Pb、Rb 和 Ba 等元素相对富集。东岩组变质火山岩也表现为明显的高场强元素的亏损及低场强元素的富集, 显示出典型和俯冲有关的岛弧岩浆的特征。表明矿床与东岩组火山岩都形成于俯冲背景下的岛弧环境。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.  
Fujian Geology and Mineral Resources Bureau. Regional geology of Fujian Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [ 2 ] 高天均, 王振民, 吴克隆, 等. 台湾海峡及其周边地区构造岩浆演化与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.  
GAO Tian-jun, WANG Zhen-min, WU Ke-long, et al. Tectonic-magmatic evolution and metallogensis in Taiwan Strait and its surrounding areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- [ 3 ] 顾连兴, 徐克勤. 论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床 [J]. 矿床地质, 1986, 5 (2): 1~13.  
GU Lian-xing, XU Ke-qin. On the south China type massive sulfide ore deposits formed in marine fault depression troughs on the continental crust [J]. Mineral Deposits, 1986, 5 (2): 1~13.
- [ 4 ] 胡文瑄, 顾连兴, 徐克勤, 等. 论华南块状硫化物矿床成矿规律与找矿方向 [J]. 地质论评, 1994, 40 (6): 513~519.  
HU Wen-xuan, GU Lian-xing, XU Ke-qin, et al. Metallogenic regularities and prospecting direction of massive sulphide deposits in south China [J]. Geological Review, 1994, 40 (6): 513~519.
- [ 5 ] 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 等. 论华南喷流-沉积块状硫化物矿床 [J]. 高校地质学报, 1996, 2 (3): 241~256.  
XU Ke-qin, WANG He-nian, ZHOU Jian-ping, et al. A discussion on the exhalative sedimentary massive sulfide deposits of south China [J]. Geological Journal of China Universities, 1996, 2 (3): 241~256.
- [ 6 ] 叶水泉, 唐瑞来, 张一梅. 论福建省闽中裂谷带成矿系统 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8 (6): 400~403.  
YE Shui-quan, TANG Rui-lai, ZHANG Yi-mei. On the metallogenic system of central Fujian rift [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1999, 8 (6): 400~403.
- [ 7 ] 叶水泉, 倪大平, 吴志强. 福建省梅仙式块状硫化物矿床 [J]. 火山地质与矿产, 1999, 20 (3): 172~180.  
YE Shui-quan, NI Da-ping, WU Zhi-qiang. Meixian-type massive sulfide deposits in Fujian Province [J]. Volcanology & Mineral Resources, 1999, 20 (3): 172~180.
- [ 8 ] 张达, 吴淦国, 彭润民, 等. 闽中地区马面山群东岩组变质岩形成的古构造环境研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (1): 310~320.  
ZHANG Da, WU Gan-guo, PENG Run-min, et al. Paleotectonic setting of the Dongyan Formation of the Mamienshan Group in Central Fujian Province, south-east China [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (1): 310~320.
- [ 9 ] Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1973, 19 (2): 290~300.
- [ 10 ] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries [A]. In: Thorpe R S (ed.). Andesites [C]. New York: John Wiley and Sons, 1982. 525~548.

- [11] Doe B R, Zartman R E. Plumbo-tectonics, the Phanerozoic [A]. In: Barnes H (ed.). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. New York: John Wiley & Sons, 1979. 22 ~ 70.
- [12] 陈小华. 福建省丁家山铅锌矿床地质特征及成因 [J]. *福建地质*, 2000, 19 (2): 57 ~ 65.  
CHEN Xiao-hua. Geological Features and Genesis of Dingjiashan Pb-Zn Deposit in Fujian Province [J]. *Geology of Fujian*, 2000, 19 (2): 57 ~ 65.

## GEOCHEMISTRY AND PALEO-TECTONIC ENVIRONMENT OF FENGYAN Pb-Zn ORE DEPOSIT IN MEIXIAN, CENTRAL FUJIAN PROVINCE

ZHANG Da<sup>1,2</sup>, WU Gan-guo<sup>1,2</sup>, DI Yong-jun<sup>1</sup>, YU Xin-qi<sup>1</sup>, PENG Run-min<sup>1,2</sup>, HUANG Huo-jian<sup>1</sup>

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

2. *Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobng Technology of Ministry of Education,*

*China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Pb-Zn-Ag ore deposit in Meixian, Youxi County is located at the south of the Zhenghe-Dehua pre-Cambrian metamorphic area, and geologically situated at Shouning-Hua'an sub-basement uplift zone in Eastern Fujian volcanic depression belt, east of the NE-striking Lishui-Haifeng fault. The ore-bearing beds of Fengyan ore deposit is mainly the Upper Proterozoic Dongyan Fomation of Mamianshan Group (Pt<sub>3</sub>dy). The Pb-Zn-Ag ore bodies are of strata bound type. Petrology and geochemistry studies show that the ore-bearing Dongyan Formation is a paleo-volcanic sedimentary formation dominated by greenschists. The formation of the basaltic magma may be related to the slab subduction. The original rocks of the greenschists are basaltic rocks, and granulites are mainly dacite and rhyolite. Geochemical study of ore deposit reveals that the ore deposit is characterized by multiple ore-forming processes and various kinds of sulfur sources. The composition and evolution of Pb isotopes show that different Pb sources from mantle to orogenic belt and upper crust are intermingled. The evolvement is of clear trend and demonstrates a superposition of multiple geological events. The REE pattern of metal sulfides shows a down-to-right slope with remarkable differentiation between LREE and HREE. Compared to MORB, the different trace elements are depleted and enriched to different degrees. High field strength elements (HFSE: Nb, Ta, Zr, Hf) show distinct negative anomaly and are strongly depleted while Pb, Rb and Ba are relatively enriched. Metavolcanics in the Dongyan Formation, with the same trend of HFSE depletion and the enrichment of LFSE, displays typical features of arc-magma related to subduction and indicates that the ore deposit and the Dongyan vocanics were formed under the arc environment with subduction background.

**Key words:** Fengyan Pb-Zn ore deposit; geochemistry; paleo-arc; Dongyan Formation; central Fujian