

浙江东南沿海地区中生代火山作用 与铅—锌—银的成矿关系

陈克荣 陈 武 魏元柏

(南京大学地球科学系)

提 要 浙江东南沿海发育的中生代酸—中酸性火山岩,属钙碱性和富钾弱碱性岩系,为同源同熔岩浆结晶分异产物;与火山岩系有关的 Pb—Zn—Ag 矿床产于流纹质火山—侵入杂岩体中,受火山基底断裂和火山构造的双重控制;矿床中硫主要来源于岩浆,Pb、Zn、Ag 主要来源于火山基底岩石,部分来源于岩浆,火山热液形成于次火山期后,成矿早期热液具岩浆水与大气降水混合性质,晚期以大气降水为主。

关键词 中生代火山作用 同熔岩浆 铅—锌—银矿床 同位素 浙江东南沿海

我国浙江东沿海地区是西太平洋构造—岩浆成矿带的一个重要组成部分。中生代,特别是早白垩世时期,本区陆相火山活动强烈,形成了大量的中酸性火山岩系及众多的与之相伴生的铅—锌—银矿床(图1)。本文从成矿地质背景和矿床特征出发,结合微量元素、同位素等资料,对该区中生代火山作用与铅锌银成矿的关系进行了研究。

一、成矿地质背景

本区与铅—锌—银矿床有关的中生代火山岩系以酸性和中酸性岩为主,伴有少量的中性或(和)中基性岩石,其主要岩石的平均化学成分列于表1。

根据化学成分所求出的各种岩石化学指数表明:本区中生代火山岩系为钙碱质至弱碱质系列,钙碱指数 CA 为 $57 \pm$, 岩系指数 δ 为 3.21。在碱度率图解上(图2),本区中基性、中性和酸性岩石的投影点分别落在钙碱质区与碱质区的分界线附近,本区中生代火山岩系从富 Ca → 富 Na → 富 K, 从富 Fe、Mg → 富 K、Na 方向演化,即从富钙的钙碱性向富钾的弱碱性方向演化。

本区各类岩石的稀土配分曲线(图3)表明:各类岩石的 REE 配分曲线形式相似,随着岩浆由中基性向酸性演化,其 Eu 亏损程度逐步增加。 $LREE/HREE < 8$, ΣREE 为 108—295ppm。

本区中生代火山岩系中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值频率直方图(图4)表明:绝大多数样品的 $\delta^{34}S$ 值变化于 4.76‰~10.77‰之间,其峰值为 7—8‰(算术平均值为 7.78‰),数据较集中。

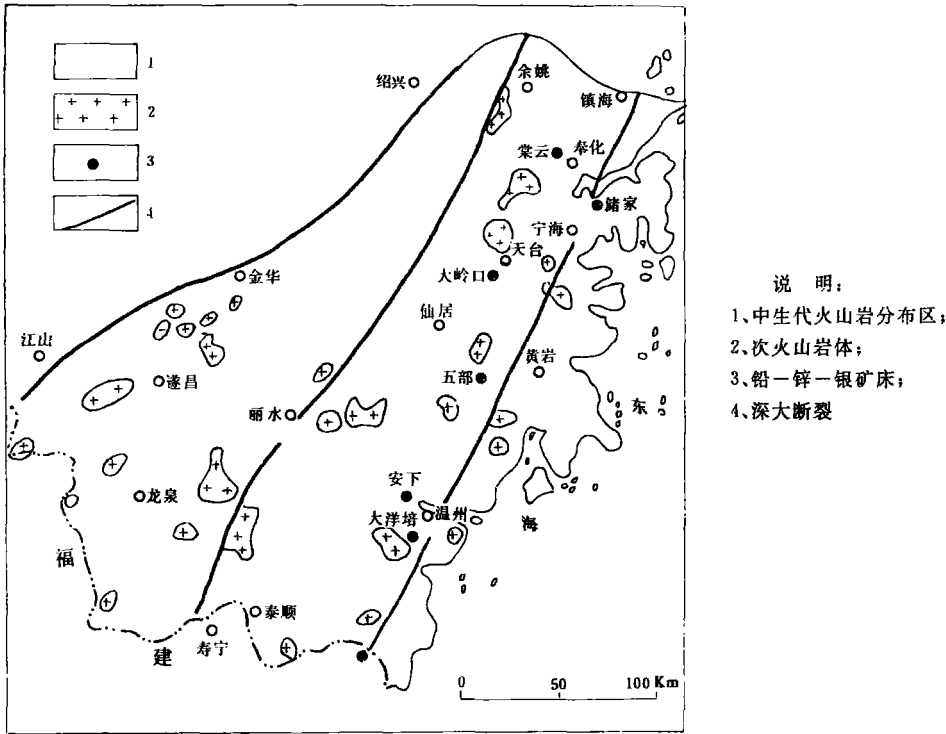


图 1 浙江东南沿海地区中生代火山岩系及铅—锌—银矿床分布略图

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of the veined Ag—Pb—Zn ore deposits and the Mesozoic volcanics in the coastal area, Southeastern Zhejiang province

浙江东南沿海地区中生代火山岩系主要岩类的平均化学成分

表 1

Table 1. Average chemical compositions of the main rock types of the Mesozoic volcanic series in the coastal area of Southeastern Zhejiang province

岩类(样品数)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
基性岩类(18)	47.59	14.48	3.88	7.34	5.88	8.99	2.91	1.70
中性岩类(19)	53.25	15.91	3.41	4.43	6.35	3.69	2.64	2.72
酸性岩类(49)	75.60	12.78	0.98	1.16	0.26	0.52	2.79	5.00
火山碎屑岩(71)	74.96	13.05	1.21	0.98	0.16	0.16	2.45	5.45

(据大岭口、五部、储家、安下资料)

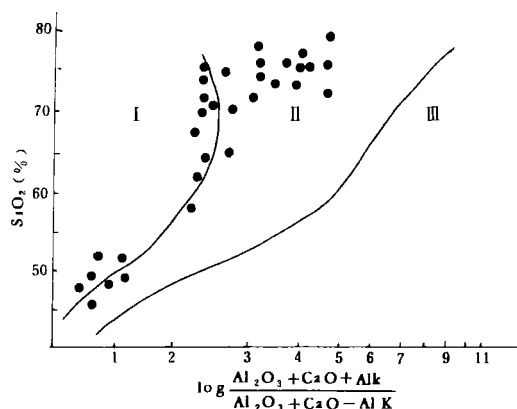
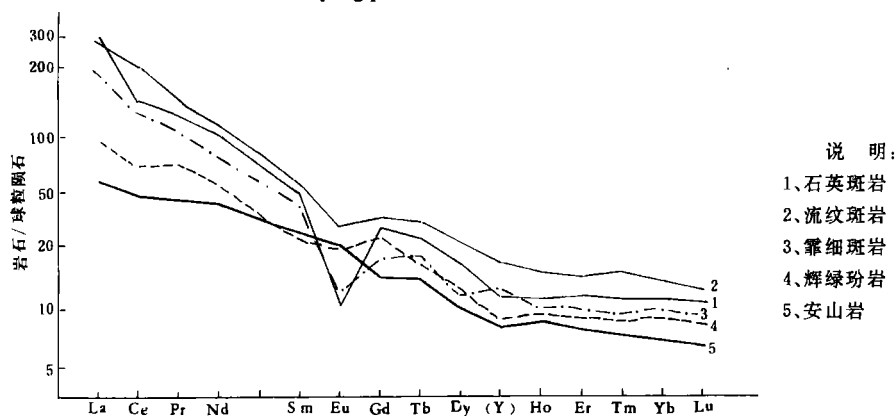


图2 浙江东南沿海地区中生代火山岩系碱度率图解

1、钙碱质 2、碱质 3、过碱质(据大岭口、五部、储家、安下资料编制)

Fig. 2 Diagram of alkaline ratio of the Mesozoic volcanic series in southeastern Zhejiang province



说明:

- 1、石英斑岩
- 2、流纹斑岩
- 3、霏细斑岩
- 4、辉绿玢岩
- 5、安山岩

图3 浙江东南沿海地区中生代火山岩系稀土配分曲线(据大岭口、五部、储家、安下资料编制)

Fig. 3 Chondrite normalized REE patterns of the Mesozoic volcanic rocks in Southeastern Zhejiang Province

二、矿床特征及其与火山作用之关系

1、矿床的时空分布

浙江东南沿海地区铅—锌—银矿化常发生于火山喷出一侵入旋回的晚期,次火山岩侵入之后,时间多为早白垩世。矿体均产在超浅成的次火山岩体及筒状或(和)不规则状爆破角砾岩体的内外接触带或其内部裂隙构造带中(图5)。矿带和矿床明显地受火山基底断裂带和火山构造的双重控制(图6)。

本区岩石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值变化于 0.7090—0.7122 之间,较浙西同类岩石为高(表2),说明本区成岩岩浆中陆壳成分较多

综上所述,我们认为,在 J_3 — K_1 期间,本区在太平洋板块对欧亚板块俯冲的影响下,活化及新生了一些断裂构造,大陆边缘地壳深部—上地幔或下部地壳的熔融物质沿着活动的深大断裂带上升,并同化了一部分上部地壳物质而形成岩浆,这些岩浆在岩浆房中相对稳定的环境下发生结晶分异作用,同时积储能量,最后喷出一侵入形成大量的火山岩及与之共生的侵入岩。

浙江中生代火山岩系的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值

表 2

Table 2 Initial ratios of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr of the Mesozoic volcanic series in Zhejiang province

区域	地 点	时代	岩 性	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) 初始比值
浙 东 南	宁海储家	J ₃	流纹斑岩	0.7094±0.0008
	温州青田	K ₁	花岗斑岩	0.7122
	北雁荡山	K ₁	石英正长岩	0.7090
	天台大岭口 *	K ₁	流纹质熔结凝灰岩	0.7107±0.0001
浙 西 北	建德寿昌 *	K ₁	凝灰岩	0.7083±0.0004
	余杭瓶窑 * *	J ₃	黑曜斑岩	0.7075±0.0057
	桐庐横村埠	J ₃	自碎二长花岗斑岩	0.7064

* 据李坤英等(1987) ** 据霍玉华(1983)

2、矿石的矿物组份特征

本区铅—锌—银矿床，其矿石的矿物组份较为简单，主要为方铅矿、闪锌矿、少量黄铜矿、黄铁矿及银的独立矿物(辉银矿、自然银、浓红银矿等)；脉石矿物中含锰及锰碳酸盐矿物(含锰方解石，菱锰矿等)的出现是该类矿石建造的特征之一。矿石中主要有益元素为 Pb、Zn、Ag。

本区铅—锌—银矿床具有一定的垂直分带现象，由深至浅，一般表现为 Pb、Zn、Cu—Pb、Zn、Ag—Ag、Pb、Zn。

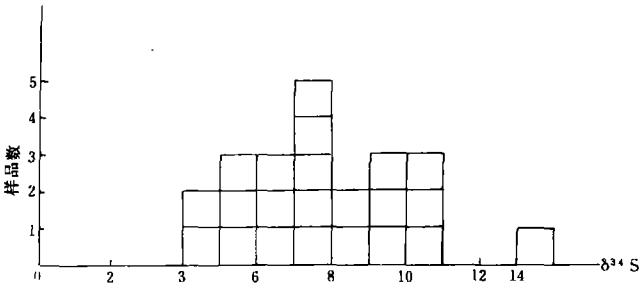


图 4 浙江东南沿海地区中生代火山岩系中黄铁矿的硫同位素组成频率图
(据储家大岭口资料)

Fig. 4 Histogram $\delta^{34}S$ of pyrites of the Mesozoic volcanic rocks in southeastern Zhejiang province

浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床成矿温度

表 3

Table 3 Teperatures of Pb—Zn—Ag mineralizations in the coastal area of Southeastern Zhejiang Province

矿床名称	早期成矿阶段(℃)			晚期成矿阶段(℃)		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
天台大岭口	280±10	295±20	290±10	200±15	200±25	180±20
宁波储家	310±15	300±15		220±20	210±15	
黄岩五部 *	310±15	300±20		240±20	230±30	
温州安下	310±10	300±25		195±10	200±20	

(1)此栏为包裹体均一化温度(2)此栏为共生矿物对硫同位素平衡温度(3)共生矿物对元素平衡温度
* 据浙江省地矿局及李嘉曾资料

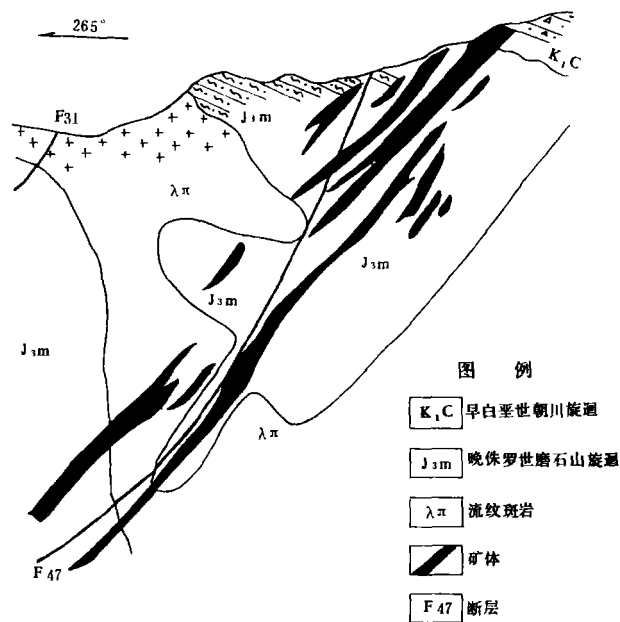


图 5. 大岭口矿区 1 号矿体剖面图(据浙江冶金地质二队资料)

Fig. 5 Profile of ore body No. 1 in Dalingkou Ag—Pb—Zn ore deposits, Tiantai county

3、成矿温度

本区铅—锌—银矿床一般有早、晚二期热液成矿作用。根据气液包裹体均一法测温得知：早期成矿温度为 300℃ 左右，晚期成矿温度为 200℃ 左右（表 3）。与成矿最密切的围岩蚀变是硅化、绢云母化和绿泥石化，亦表现中低温特点。

4、稳定同位素特征

本区铅—锌—银矿床中硫化物的硫同位素分析结果表明，其 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -5.63‰ — 10.63‰ 。图 7 是硫同位素组成的频率直方图，它与本区岩石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值频率直方图（图 4）相似，数据集中，近塔式分布。不同矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值表现为黄铁矿

> 闪锌矿 > 方铅矿，说明硫同位素基本达到平衡。

浙东南沿海地区铅—锌—银矿床之氧同位素组成 表 4

Table 4 Oxygen isotope compositions of Pb—Zn—Ag mineral deposits in coastal area of southeastern Zhejiang province

矿 区	成矿期	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰SMOW})$	温度(均一法)℃	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$
大岭口	早期	9.66~11.35	264~298	2.07~3.04
	晚期	-0.95~9.61	160~220	-6.76~-0.43
储家	早期	3.5~13.44	250~310	-2.07~5.69
	晚期	4.44~12.20	200~220	-6.99~0.50
安下	早期	6.77	260	-1.72
	晚期	4.38	195	-7.6
五部	未分	3.5~4.0		

本区有些矿床中既未出现高氧化态的硫酸盐矿物，也未出现强还原态的石墨等矿物，因此这些矿床中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大致相当于热液总硫的同位素组成，为 5‰ — 7‰ 。有些矿床出现了重晶石，此时，矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值就不能视作 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ 值，对此我们依照平克尼 (Pinckney 1972) 的

方法,采用方铅矿—闪锌矿共生矿物对作图,求得其 $\delta^{34}\text{S}$ 值为4.8‰—6.9‰,平均为4.83‰(图8)。同时我们又采用Ohmato(1972)的模式进行了计算,其结果与上述值十分一致。因此,本区铅—锌—银矿床中热液总硫的同位素组成为5‰左右,说明硫主要来源于地壳深部,即使有上部地壳物质之混染,在成矿时也已发生了均一化作用。

本区铅—锌—银矿床中石英的氧同位素分析见表4。成矿早期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为-2.07‰—-5.69‰,成矿晚期, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为-7.6‰—-0.50‰。它清楚地表明:成矿热液之早期表现为岩浆水与大气降水的混合,晚期则表现为以大气降水为主。

从总体上看,本区铅—锌—银矿床中方铅矿的铅同位素组成(表5)变化不大。铅构造模式图解(图9)清楚地显示出:绝大多数投影点位于地幔和上地壳之间的造山带演化曲线附近,说明本区矿床中的铅属壳幔混合型。我们采用B·R·Doe(1974)参数,用单阶段演化模式计算各矿床之模式年龄,其结果(表5)变化较大,有与围岩时代相近者,亦有明显老于围岩或较围岩为年轻者,此亦反映混合铅之特点。

浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床之铅同位素组成

表5

Table 5 Lead isotope compositions of galena in Pb—Zn—Ag mineral deposits in the coastal area of Southeastern Zhejiang province

矿 区	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$T_D(\text{Ma})$
大岭口	17.899~18.384	15.350~15.634	38.3807~39.6350	72.4~229.5
储 家	18.2871~18.3270	15.5200~15.5724	38.4960~38.6976	153~241
五 部*	17.990~18.358	15.390~15.638	37.740~38.776	146~334
安 下	18.4672~18.5014	15.6578~15.6817	38.8020~38.8527	194~197

据李嘉曾资料 计算中的参数据B. R. Doe(1974)

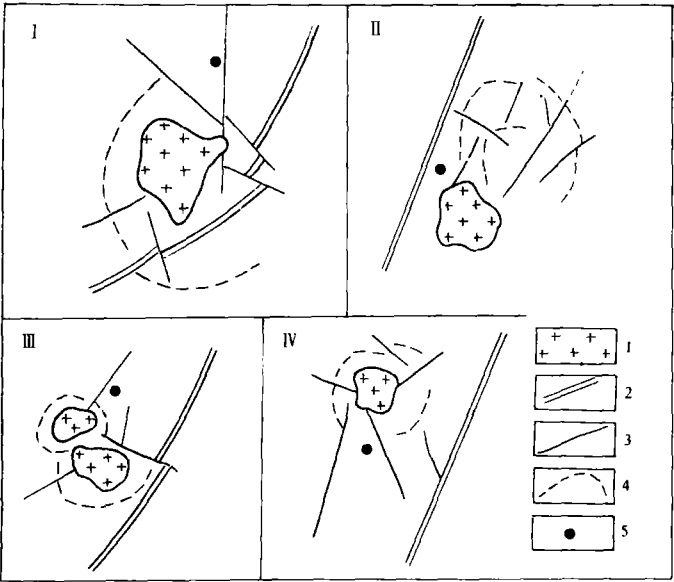


图6 浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床与环形构造关系示意图

1、次火山岩体 2、深大断裂 3、断裂构造 4、环形断裂构造 5、矿床
I、五部 II、储家 III、大岭口 IV、安下

Fig. 6 Locality of the Ag—Pb—Zn ore deposits and the ring structure in southeastern Zhejiang province

本区铅—锌—银矿床中,碳酸盐矿物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于-4.64—-6.735‰之间,根据

Ohmoto (1972) 的观点, 此值近似于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CC}}$ 值, 这与福克斯和贝克 (Fuex amd Baker, 1973) 的上地幔估计值 ($\delta^{13}\text{C} = -7\text{‰}$) 相近。因此有理由认为本矿床中的碳来自地壳深部, 与岩浆作用有关。

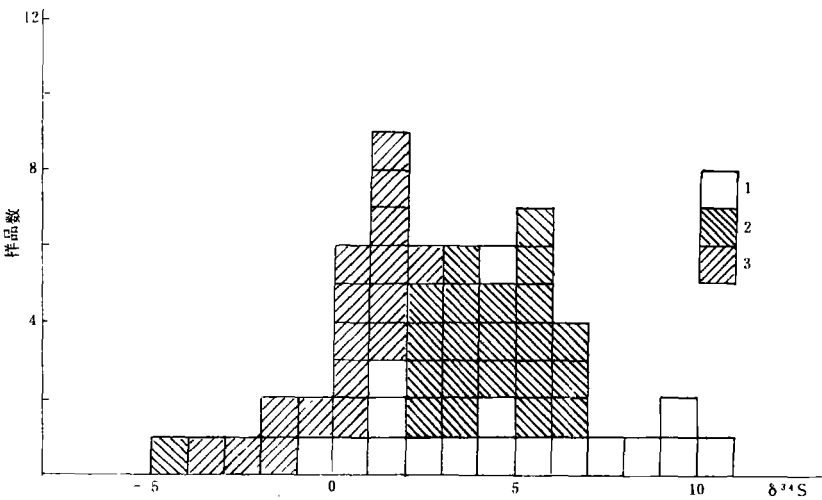


图 7 浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床硫同位素组成频率图

(据大岭口, 五部, 储家, 安下资料编绘) 1、黄铁矿 2、闪锌矿 3、方铅矿

Fig 7 Frequency histogram of $\delta^{34}\text{S}$ of the Pb—Zn—Ag ore deposits in Southeastern Zhejiang province

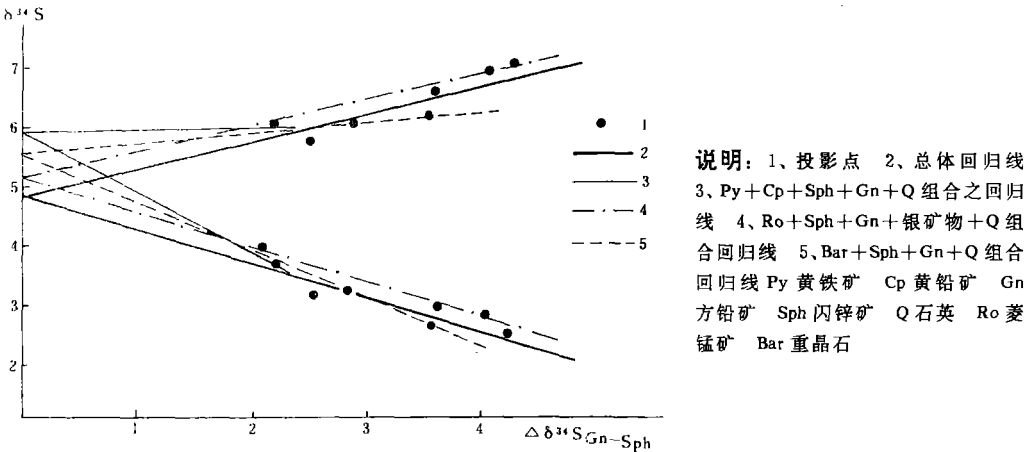


图 8 浙江天台大岭口矿床 Gn—Sph 共生矿物对硫同位素 Pinckney 图

Fig 8 Diagram $\delta^{34}\text{S}$ of paragenesis minerals (galena—sphaerite) in Dalingkou Pb—Zn—Ag ore deposits in Southeastern Zhejiang Province

5、成矿物质来源

与本区同处中生代火山断陷活动带的福建福鼎地区出露了一套中石炭统的复理石建造,结合同位素地质资料,我们认为本区中生代火山岩基底为海西—印支期产物的可能性较大。福鼎地区中石炭统的岩石具备提供成矿物质之条件(表 6)。

福建福鼎南溪地区中石炭统之 Pb、Zn、Ag 含量(ppm) 表 6

Table 6 Pb,Zn,Ag contents of the middle carboniferous rocks in the Nan Xi area
of Fuding County,Fujian province

岩 石 (样数) 元 素	细砂岩 (2)	粉砂岩 (4)	泥 岩 (4)	灰 岩 (4)	硅质岩 (2)	沉积岩维氏 平均值(1962)
Pb	60	65	432.5	54.5	1575	20
Zn	—	100	< 50	—	50	80
Ag	< 0.5	—	0.51	< 0.25	1.25	0.1

据郭令智等(1983)

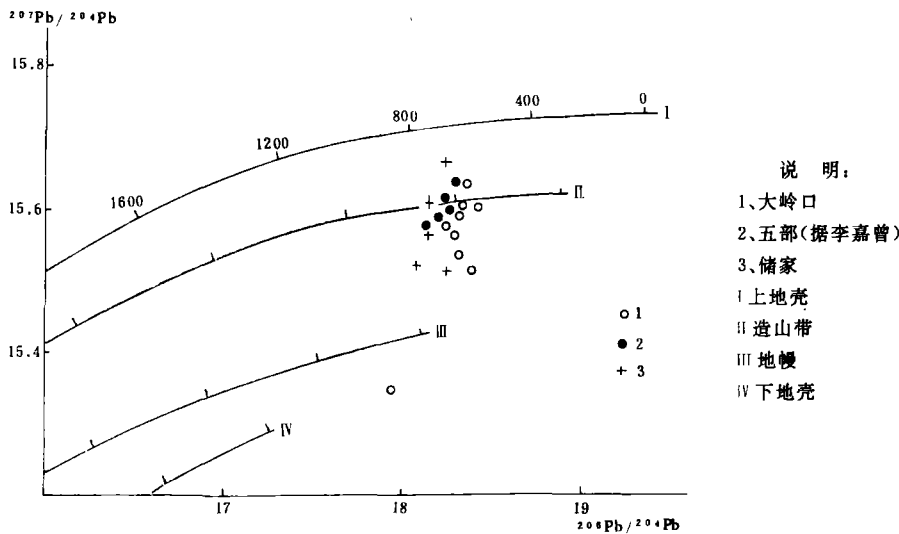


图 9 浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床铅同位素组成投影图(底图据 Zartman)

Fig. 9 Diagram $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ of the Pb—Zn—Ag ore deposits in Southeastern Zhejiang Province

本区中生代火山岩系中各类岩石的 Pb、Zn、Ag 含量(表 7),随着岩浆演化至晚期有增大的趋势,有利于 Pb、Zn、Ag 的成矿。

根据浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床之特征及其稳定同位素特征,Pb、Zn 和 Ag 地球化学性质,我们认为:这类矿床之热液性质为次火山期后热液,硫主要为次火山期后热液从深部岩浆房携带上来;Pb、Zn、和 Ag 主要来源于中生代火山岩之基底,其次来源于岩浆。

根据本区铅—锌—银矿床与中生代火山喷出岩、次火山岩及火山构造的密切相关性；成矿物质来源与成岩物质来源的亲缘性；热液的性质等，我们认为：浙江东南沿海地区铅—锌—银矿床的成矿作用在时间上、空间上、成因上都与火山活动有着密切的联系，其中与次火山岩的关系显得尤为密切，矿床成因类型为陆相次火山期后热液型。在找矿勘探中，应注意火山基底构造，火山构造及次火山岩体的“三位一体性”。

浙江东南地区中生代火山岩系中主要岩石的成矿元素含量(ppm) 表 7

Table 7 Lead zinc and silver contents of various rocks of the Mesozoic volcanic series in the coastal area of Southeastern Zhejiang Province (ppm)

时代	岩石名称	Cu	Pb	Zn	Ag
K ₁ C	熔结凝灰岩	32	96	108	1.5 *
	流纹斑岩	14	84	95	1.8 *
	霏细斑岩	26	89	94	1.2 *
J ₃ m	熔结凝灰岩	41	34	61	0.96
	流纹岩	27	63	106	—
	流纹斑岩	30	52	101	2.28
	英安岩	49	46	100	—
	辉绿玢岩	51	38	104	0.40
酸性岩维氏值(1962)		20	20	60	0.05

* 引自封益城等(1983)

参 考 文 献

[1] 封益城等, 浙江天台大岭口银铅锌矿床的地质背景和成因, 南京地质矿产研究所刊, 4 (4) 1983
[2] 魏六柏等, 浙江天台大岭口银铅锌矿床的稳定同位素研究, 南京大学学报(地球科学版), (1) 1988
[3] 陈克荣等, 浙江宁海储家地区上侏罗世火山喷出一侵入杂岩特征、演化及成因, 南京大学学报(地球科学版), (1) 1988
[4] Doe, B. R. et. al, The Application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation. A review; Econ. Geol. , 69 (7) 1974
[5] Wang, Dezi and Chen Kerong, Characteristics of Messozoic volcanism, subvolcanic granitic rocks and metallogenetic relation in the coastal region of Southeastern China, Proceedings of Symposium on Geology of Continental Margins (Abstract), Nanjing University, 1986, 119—120

THE MESOZOIC VOLCANISM AND THE Pb—Zn—Ag METALLOGENY ON THE COAST OF SOUTHEASTERN ZHEJIANG PROVINCE

Chen Kerong, Chen Wu, Wei Yuanbai

(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract

The Early Cretaceous and some late Jurassic, terrestrial acidic, intermediate — acidic volcanic rocks are developed on a large scale in the coastal zone of southeastern Zhejiang province. They belong to calc — alkaline rock series, and in the later stage of magmatic evolution, they change gradually to k — rich subalkaline rocks. The characteristics of the trace elements, REE and initial ratios of strontium isotopes indicate that they are the results of crystallization differentiation of the magmas of the syntectonic origin.

Over 120 Pb—Zn—Ag deposits, genetically related to the volcanic and subvolcanic rock series, have been found in this area. Most deposits occur in the rhyolitic volcano—intrusive complexes. The ore deposits and the entire metallogenic zone are controlled obviously by the fault zone which cuts the coastal volcanic basement in conjunction with the volcanic structures. The mineralization temperature ranges from 200—300°C.

Based upon the Pb, Zn, Ag, abundances in the volcanics, subvolcanic rocks and their basement, and S, O, C, Pb isotopic analyses, we considered that, the sulfur mainly originated from the magma and partly from the basement rocks, and the Pb, Zn, Ag, were mainly from the basement rock and partly from the magmas. The ore — forming hydrothermal solutions were produced after the subvolcanic stage.

Key words: Mesozoic volcanism; syntectonic magmas; Pb, Zn, Ag deposits