

浙东南陆相火山岩型铅锌 (银) 矿床的成矿作用研究

杨明德 姚金炎 朱桂田

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院)

内容提要: 浙东南地区火山岩型铅锌(银)矿床可进一步分为两个亚类: 火山-次火山热液型和火山喷发沉积-热液叠加(改造)型, 其中以前一类型较重要。硫、铅同位素组成及微量元素等研究表明: 成矿主要与中生代火山作用有关, 成矿物质主要来自与上地幔和下地壳有关的火山岩和次火山岩; 火山机构控制着矿床类型及规模, 火山-次火山热液型矿床主要受火山穹隆控制, 而火山喷发沉积-热液叠加(改造)型矿床主要产于火山洼地中。

主题词: 陆相火山岩型铅锌矿床 成矿作用 浙东南

浙东南地区中生代火山岩非常发育, 该区除了非金属矿产外, 还发现了众多与火山岩有关的铜、铅、锌、银等有色金属矿床(点)。

本文在室内外工作的基础上, 通过火山岩型铅锌(银)矿床地质特征的研究, 进而讨论该类矿床的成矿条件及成矿作用。

一、区域地质概况

浙东南系指江山—上虞深断裂以东地区, 该区中生代火山活动十分强烈, 尤其在丽水—余姚深断裂以东地区, 几乎全被火山岩所覆盖。前中生界的沉积、变质岩地层出露较少, 仅呈“基底天窗”的形式孤立地出现于火山岩区, 并且主要集中在江山—上虞和丽水—余姚两条深断裂所夹持的三角地带(图1)。

中生代火山活动主要分晚侏罗世和白垩纪两个旋回。在每一个大的旋回中, 由开始到结束, 其火山岩的酸度和碱度有不断增高的趋势; 而且在空间上, 由内陆向沿海, 火山岩的酸碱度也趋于增高。晚侏罗世的火山活动广泛而强烈, 主要为中酸-酸性岩浆的中心式爆发, 火山活动主要受北东向和北西向基底断裂控制, 形成一系列北东向排列的近圆形火山穹隆和破火山口。火山岩以中酸性、酸性凝灰岩、熔结凝灰岩为主, 夹部分熔岩, 厚度达二三千米。白垩纪火山活动相对较弱, 以间歇性的火山喷发沉积为主, 后期喷发作用略有加强。该阶段的火山活动受北东向和东西向区域断裂构造控制, 主要形成一系列长椭圆形的构造火山盆地和近圆形火山洼地。在构造火山盆地及火山洼地中, 沉积建造以杂色、红色复理石河湖相火山沉积建造为主, 岩性主要为含凝灰质砂砾岩、粉砂岩夹中基-中酸性熔岩、中酸性火山碎屑岩及沉凝灰岩。

浙东南中生代强烈的火山活动, 对该区成矿有着重要的控制作用。据统计, 全省60%以上的铅锌矿床(点)的形成都与火山岩有关, 并且浙江省仅有的两个大型铅锌(银)矿床

图 1 浙江省铅锌（银）

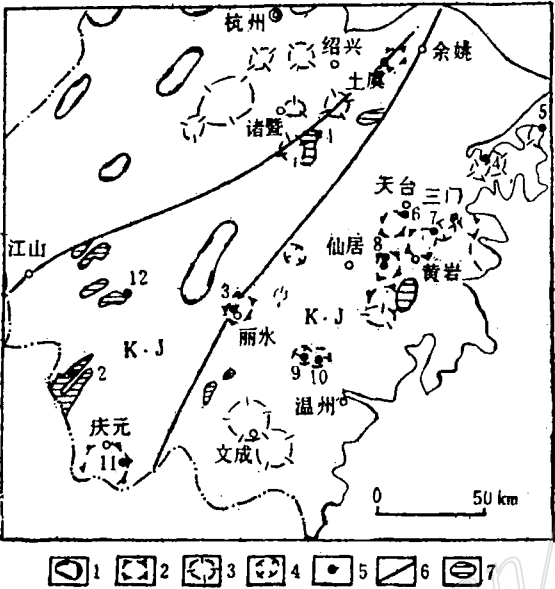
多金属矿床分布略图

（据浙江地质志修改）

1—构造火山盆地,2—火山穹窿,3—破火山口,4—火山洼地,5—铅锌矿床 (①七湾②乌岙③丽阳坑④储家⑤钱仓⑥大岭口⑦龙珠山⑧五部⑨孙坑⑩山根⑪杨家楼⑫治岭头),6—区域深断裂,7—前中生界基底 K—J—中生代火山岩

Fig.1. Sketch map showing distribution of lead-zinc (silver) polymetallic deposits in Zhejiang province.

1—Structural volcanic basin; 2—Volcanic dome; 3—Caldera; 4—Volcanic depression; 5—Lead-zinc deposits: ①Qiwan; ②Wuyao; ③Liayangkeng; ④Chujia; ⑤Qiancang; ⑥Dalingkou; ⑦Longzhushan; ⑧Wubu; ⑨Sunken; ⑩Shangeng; ⑪Yangjialou; ⑫Zhilingtou; 6—Regional deep fault; 7—Pre-Mesozoic basement; K-J Mesozoic volcanic rock.



（五部、大岭口）均属于火山岩型。

二、矿床地质特征

浙东南的火山岩型铅锌（银）矿床由于受不同的火山机构和不同的火山作用阶段控制，所形成的矿床其特征也明显不同。因此，根据铅锌（银）矿床产出的地质构造环境、矿床地

表 1 浙东南地区陆相火山岩型铅锌（银）矿床分类及特征对比简表

Table 1. Classification and characteristics of continental volcanic type lead-zinc (silver) deposits in southeastern Zhejiang

矿床类型	火山-次火山热液型	火山喷发沉积-热液叠加（改造）型
代表性矿床	五部、大岭口	青田洪岩头、孙坑、龙珠山、岭下
矿床产出构造环境	火山穹窿边缘	火山洼地或沉积湖盆中
赋矿地层岩性	中生代中酸性火山碎屑岩及火山岩	中生代砂泥质岩及凝灰岩、沉凝灰岩
矿体形态产状	矿体受断裂控制，呈脉状、透镜状产出， 倾角一般较陡	矿体多呈层状、似层状，与围岩整合接触，产 状平缓
矿石中金属矿物组分	以闪锌矿、方铅矿为主，次为黄铁矿、黄铜 矿、菱锰矿等，并伴有自然银及其它银矿物	以黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿为主， 次为黄铜矿、赤铁矿、毒砂、白铁矿等
矿石结构构造	浸染状、细脉状、角砾状及团块状构造	条带状、似条带状、纹层状及浸染状构造
矿床围岩蚀变	以硅化、绢云母化为主，次为含锰碳酸盐 化、绿泥石化、萤石化等	以硅化、绿帘石化、绿泥石化、含锰碳酸盐 化、绢云母化为主，次为透辉石化、透闪石化 和阳起石化

质特征及围岩蚀变特征等,可进一步细分为火山-次火山热液型和火山喷发沉积-热液叠加(改造)型两大类(表1)。

1. 火山-次火山热液型

该类型矿床产于浙东南沿海活动大陆边缘的中生代钙碱系列火山弧带内。矿床主要受火山穹窿控制,属于与中酸性火山-次火山作用有关的中-低温热液矿床。该类矿床是浙东南最重要的铅锌(银)矿床类型。其中黄岩五部和天台大岭口两矿床均为大型,是该类矿床的典型代表。另外,宁海储家、象山钱仓和十二炮峰等一些小型矿床矿点也属该类型。

(1) 五部铅锌矿床

该矿床是区内著名的大型脉状铅锌矿床。产于望海岗火山穹窿北缘次一级火山断陷盆地的边缘。矿区主要为一套中酸性、酸性火山碎屑岩及部分熔岩。整个矿带受近南北向(340° — 360°)的五部断裂带控制,断裂带长10km以上,倾向西,倾角 60° — 70° 。矿体与次火山岩

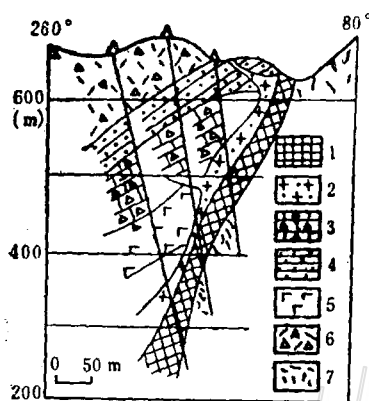


图2 47线剖面石英霏细斑岩形态图

1—矿体, 2—石英霏细斑岩, 3—沉火山角砾岩
4—砂岩, 5—玄武岩, 6—角砾凝灰岩, 7—晶屑熔结
凝灰岩(据五部铅锌矿研究专题组)

Fig. 2. Geological section along No. 47 exploratory line showing the shape of quartz felsite porphyry.

1—Orebody; 2—Quartz felsite porphyry; 3—Sed-volcanic breccia; 4—Sandstone; 5—Basalt; 6—Breccia tuff; 7—Crystal welded tuff.

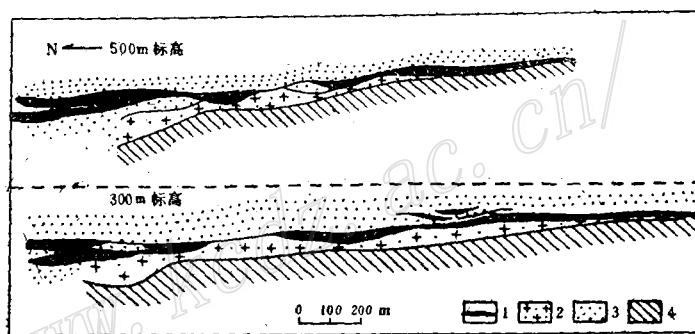


图3 1号矿体水平面形态图

1—铅锌矿体 2—石英霏细斑岩 3—熔结凝灰岩 4—凝
灰岩、沉积岩及基性熔岩
(据五部铅锌矿研究专题组)

Fig. 3. Horizontal shape of No. 1 orebody.

1—Lead-zinc orebody; 2—Quartz felsite porphyry; 3—Welded tuff; 4—Tuff, sedimentary rock and basic lava.

相石英(霏细)斑岩产于同一断裂带内,受同一构造控制(图2、3),表明成矿与次火山热液活动有关。

该矿床共有6个工业矿体,主要呈脉状,透镜状产出。单个矿体长数百至两千米,平均厚4—10m,延深数百米。其中以1、4号矿体规模最大。

矿石中主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿,次为黄铁矿、黄铜矿、菱锰矿、赤铁矿,有少量斑铜矿、铜蓝和磁铁矿等,并有极少量银矿物伴生。矿物组合以闪锌矿-方铅矿-黄铁矿为主。主要呈浸染状、角砾状、团块状及细脉状等。而另两种有用矿物组合:方铅矿-黄铜矿、闪锌矿-碳酸盐形成于成矿作用晚期,多呈细脉状、浸染状穿插或叠加在早期矿化上。

矿床中围岩蚀变发育,以中低温蚀变为主,如绢云母化、硅化、含锰碳酸盐化、蔷薇辉石化、碱性长石化及绿泥石化等。蚀变分带以垂直方向较为明显,绿泥石化主要发育在深部,中部绢云母化、硅化,浅部碱性长石化发育。但由于不同期的蚀变相互叠加,常常使蚀变分带变得复杂。面型绢云母化与成矿关系不大,而沿断裂分布的绢云母化、硅化与成矿关系密切,发育在矿体附近数米或数十米范围内。晚期的菱锰矿及含锰碳酸盐化是在绢云母化、硅化的基础上发育起来的,常交代蔷薇辉石而呈微细脉或网脉状。由于多在控矿断裂及两侧发育,因此对指示找矿意义较大。

(2) 大岭口铅锌(银)矿床

该矿床是浙东南地区又一个大型脉状含银多金属矿床。其与五部矿床处于同一火山岩弧之上。矿床位于上张一大地林北东向断裂与天台火山断陷盆地南缘的复合部位。矿区除主要

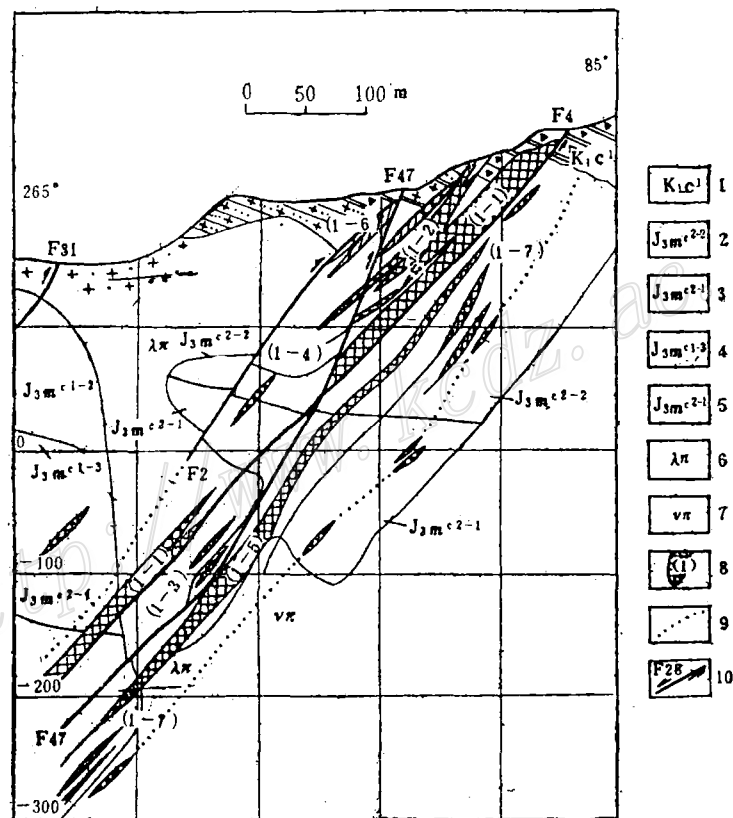


图4 大岭口银铅锌矿区五线地质剖面图

(据浙江省冶金地质勘探公司二队)

1—沉火山角砾岩、集块岩; 2—晶屑凝灰岩、沉火山角砾岩; 3—晶屑熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩; 4—集块岩、角砾凝灰岩、沉火山角砾岩; 5—晶屑熔结凝灰岩等组成韵律层; 6—流纹斑岩; 7—霏细斑岩; 8 矿体及编号; 9—矿化蚀变带界线; 10—断层及编号

Fig.4. Geological section along No.5 exploratory line of the Dalingkou silver-lead-zinc ore district. 1—Sed-volcanic breccia and agglomerate; 2—Crystal tuff and sed-volcanic breccia; 3—Crystal welded tuff and crystal tuff; 4—Agglomerate, breccia tuff and sed-volcanic breccia; 5—Rhythmic bedding composed of crystal welded tuff; 6—Rhyolite porphyry; 7—Felsite porphyry; 8—Orebody and its serial number; 9—Boundary of mineralized altered zone; 10—Fault and its serial number.

出露上侏罗统和白垩系的酸-中酸性火山碎屑岩外,沿南北向断裂带,还有流纹斑岩、霏细斑岩等酸性次火山岩呈岩墙、岩脉或小岩株侵入。次火山岩与成矿关系密切,在岩脉附近常见细脉状、浸染状及团块状铅锌矿化。

矿床受断裂构造控制(图4),主要控矿断裂带呈近南北向,长约3 km,宽300—400m,倾向西,倾角40°—60°。断裂带中分布着大小矿体20多条,其中有11条具工业价值,受次级断裂控制,呈雁行状排列。单个矿体多呈脉状,一般长几十至几百米,厚几米至几十米。

表2 大岭口铅锌(银)矿床矿化阶段及
主要矿物生成顺序表

Table 2. Mineralization stages and formation
sequence of major minerals in the Dalingkou
lead-zinc (silver) deposit

矿化阶段 矿物	早期硫化物阶段	中期硫化物阶段	晚期碳酸盐阶段
黄铁矿	—	—	
毒砂	—	—	
石英	—	—	—
绿泥石	—	—	
绿帘石	—	—	
绢云母	—	—	
闪锌矿		—	—
方铅矿		—	—
深红银矿		—	
银黝铜矿		—	
黄铜矿		—	—
菱锰矿		—	—
萤石		—	—

大,闪锌矿颜色浅,多呈浅黄色,松脂光泽强,与石英组成细脉状穿插叠加在早期矿化之上。

2. 火山喷发沉积-热液叠加(改造)型

该类矿床主要产于受深断裂控制的火山洼地或沉积湖盆地中,其成因与火山喷发沉积作用有关,并有后期热液叠加改造。依据主要有:

①矿床呈层状、似层状,产状与围岩一致,具有明显的层控特征,且矿床主要产于火山洼地。含矿层中均含较多火山物质,含矿层顶底板均为火山岩层。反映了成矿与火山喷发沉积作用有关,而火山洼地又为接受和汇聚火山物质提供了有利场所。

②在温州岭下矿区见有透镜状含铅锌的铁锰质体,顺层产在玻屑凝灰岩中。表明在火山喷发过程中,可携带含矿物质,并混在火山碎屑岩内。

③火山沉积岩系中大量条带状、似条带状尤其纹层状铅锌矿石的存在,说明在沉积过程

矿石中金属矿物以方铅矿、闪锌矿为主,次为黄铁矿、黄铜矿、毒砂等,并伴有大量的银矿物。银主要产于矿区北段,南段较少。在垂向上,浅部银含量高于深部。非金属矿物以石英、绢云母为主,次为绿泥石、绿帘石、萤石等。

矿区内矿化及围岩蚀变强烈,成矿作用主要可分为三个阶段(表2),早期硫化物阶段主要形成黄铁矿和毒砂,围岩蚀变以绢云母化、硅化为主,次为绿泥石化、绿帘石化。围岩蚀变范围广,呈面型蚀变;中期硫化物阶段是成矿主要阶段,形成的金属矿物主要是闪锌矿、方铅矿,次为黄铜矿,并伴生有大量银矿物。该阶段形成的金属硫化物颗粒较细,闪锌矿颜色较深,多呈棕黑色,矿石多具浸染状、团块状构造。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化,其分布受断裂控制,范围窄,呈线型。该类线型蚀变在矿体周围较发育,与成矿关系密切。晚期碳酸盐化阶段以大量菱锰矿、萤石出现为标志,也是成矿作用的晚期。所形成的金属硫化物颗粒粗

中就有铅锌矿形成。

④矿区内除次火山岩外,未见岩体出露,亦无隐伏岩体之征兆,但矿区内砂卡岩矿物(绿帘石、透辉石、绿泥石等)出现及部分脉状铅锌矿石存在,说明成矿后期火山气液参与了成矿作用。

该类矿床分布较广、但规模不大,如青田洪岩头、孙坑、温州岭下及龙珠山等铅锌矿床均属此类型。现以洪岩头、龙珠山两矿床为例讨论该类矿床的特征。

(1) 青田洪岩头铅锌矿床

洪岩头矿区位于塘后—孙坑铅锌矿田的西部。含矿层主要由灰色—灰黑色粉砂岩、粉砂质泥岩组成,全层厚约20m,属上侏罗统底部。其上、下盘均为酸性晶屑、玻屑凝灰岩。含矿层呈北西向(345°)展布,产状平缓,倾角为15°左右,倾向变化大,呈波状挠曲。

矿体呈层状,断续延伸约600m,计有4层,单层厚一般0.5—1m,与围岩呈整合接触。矿石中金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,次为黄铜矿、磁铁矿、赤铁矿等;脉石矿物有石英、绿帘石、绿泥石、透闪石等。矿石中平均有益组分含量为:铅5.14%,最高13.04%;锌3.51%,最高8.79%。

矿区内断裂主要呈北西向和北东向,且沿断裂有较多次火山岩脉侵入。这些断裂及岩脉多数切割和破坏矿层,但局部具铅锌矿化,形成少量脉状矿体,而且这类脉状矿石的含银量往往比层状矿石高,但规模小。

围岩蚀变为硅化、绿帘石化、斜绿泥石化、绢云母化、含锰碳酸盐化及黄铁矿化。铅锌矿化与绿帘石、绿泥石密切伴生。

(2) 龙珠山铅锌矿床

矿区位于五部铅锌矿床东北部、宁波—温州深断裂附近的三门火山洼地中。赋矿地层为上侏罗统火山沉积岩系,岩性以紫红色凝灰质砂砾岩、粉砂岩为主夹薄层灰岩。矿区为一北东向小背斜。矿体产于背斜两翼,受地层控制,呈似层状、扁豆状。矿体(层)分四层出现,断续长1200多米,单个矿体最长达400m,小的仅30m;倾向延深30—200m,厚0.62—2.7m。

矿石中金属矿物以闪锌矿、磁铁矿、黄铁矿为主,次为方铅矿、镜铁矿、黄铜矿等。矿石具条带状、浸染状及块状构造。围岩蚀变为硅化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、砂卡岩化、黄铁矿化等。

洪岩头、龙珠山矿床的成因均与火山喷发沉积作用有关。但相比之下,龙珠山矿床的含矿围岩以紫红色火山—沉积岩系为主,具氧化特征,并且围岩蚀变较发育。说明龙珠山矿床后期热液叠加改造作用较强烈。而洪岩头矿床主要产于灰色—灰黑色粉砂岩、粉砂质泥岩中,含矿层具还原特征,围岩蚀变较微弱。

三、成矿地质条件分析

1. 火山岩的地球化学特征

浙东南地区火山作用非常强烈,火山岩出露占该区总面积的70%以上,其区域火山活动特征前已述及。为了讨论火山作用与成矿的关系,我们特对五部、大岭口两个大型矿床所在

表 3 大岭口、五部火山岩类岩石全分析结果 (%)
Table 3. Analysis of volcanic rocks in Dalingkou and Wubu (in percentage)

采样地点	编号	岩石名称	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	H ₂ O	烧失	总量
大岭口矿区	D ₁	流纹斑岩	74.84	0.26	13.41	1.16	0.50	0.08	0.28	0.13	1.06	6.30	0.03	1.29	1.73	99.78
	D ₁₁	"	74.95	0.22	14.18	1.05	0.53	0.02	0.20	0.18	4.80	2.84	痕	0.95	1.33	100.30
	D ₁₂	"	81.08	0.20	9.90	0.98	0.67	0.02	0.10	0.08	0.77	5.80	"	0.63	0.99	100.59
	D ₆	火山角砾岩	88.04	0.08	5.43	0.35	0.69	0.05	0.15	0.83	0.03	1.66	"	0.89	1.81	99.12
	D ₂₀	凝灰岩	79.09	0.13	10.03	2.49	0.45	0.08	0.08	0.05	0.07	5.90	0.02	1.34	1.75	100.14
	D ₂₇	含角砾凝灰岩	85.02	0.17	7.67	1.28	0.64	0.06	0.33	1.20	0.04	2.52	0.02	1.43	1.89	100.84
	D ₁₇	凝灰岩	75.91	0.18	11.95	0.93	0.67*	0.88	0.18	0.08	0.15	7.20	0.03	1.06	2.05	100.20
大岭口西部矿区	D ₂₄	流纹斑岩	81.55	0.17	8.62	0.71	0.88	0.10	0.23	1.70	1.36	3.88	痕	1.02	1.72	100.74
	D ₃₁	"	76.26	0.24	12.46	0.78	0.64	0.02	0.20	0.15	1.80	5.80	0.02	1.08	1.61	99.98
	D ₂	凝灰岩	70.36	0.35	14.50	1.27	1.07	0.14	0.35	1.01	3.00	5.80	0.10	0.99	1.60	99.55
	W ₁	"	66.76	0.30	13.10	1.28	1.62	1.10	0.98	2.40	3.29	2.79	0.08	1.75	6.34 +50.84	100.04
五部矿区	W ₈	"	76.52	0.23	12.33	0.71	1.03	0.50	0.50	0.35	0.06	4.00	0.03	2.45	3.95	100.21
	*W ₂₃	"	71.11	0.16	12.26	1.60	1.14	0.88	0.30	1.05	0.11	6.10	0.04	1.47	4.30	99.08
	W ₁₀	石英斑岩	70.52	0.46	10.86	1.46	2.70	0.07	1.15	3.40	1.90	3.52	0.07	1.69	4.68	100.79
全国平均值(黎明、饶纪龙, 1962年)		"	72.88	0.32	14.15	0.84	1.43	0.06	0.69	1.66	3.77	2.61	0.82	0.10	0.67	100.00
		流纹岩	72.06	0.29	13.10	1.81	2.11	0.08	0.28	0.75	3.74	4.55	0.63	0.10	0.20	100.00

注: 样品由本院分析

区的火山岩做了部分工作。

(1) 岩石化学成分特征

由表3知,大岭口矿区火山岩和次火山岩的 SiO_2 含量为74.84—81.08%,高于我国同类流纹岩或石英斑岩的 SiO_2 含量(72.06—72.88%),并且富 K_2O (一般为5.80—7.20%)。在 SiO_2 对 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 变异图(图5)上,样品全部落在亚碱性区,为钾质火山岩。

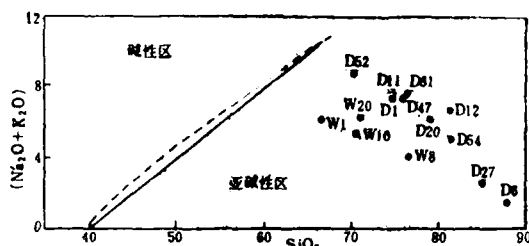


图5 SiO_2 对 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 变异图

实线—麦克唐纳(1968)确定的界线;虚线—T.N.欧文等(1971)确定的界线

Fig. 5. SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ variogram.

Solid line stands for boundary defined by MacDonald (1968) whereas broken line for boundary defined by Owen et al. (1971).

五部矿区的样品主要采于矿化带内,烧失量较大。据浙江地科所资料,矿床东盘为上侏罗统熔结凝灰岩,其下部含 SiO_2 较低(66.68—69.02%), $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$,属英安质;上部 SiO_2 较高(73.50—73.83%),属流纹质。矿床西盘为下白垩统熔结凝灰岩,其成分以流纹质为主, SiO_2 含量多数在72.06—76.56%之间, $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ 。含矿带中次火山岩相石英细斑岩的 SiO_2 含量为72.73—74.76%, K_2O 平均为4.55%, Na_2O 平均为3.59%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$,分异指数为88.23—93.10,属正常分异。

(2) 火山岩的微量元素特征

从表4、图6可以看出,大岭口、五部两矿区火山岩和次火山岩的微量元素含量非常相

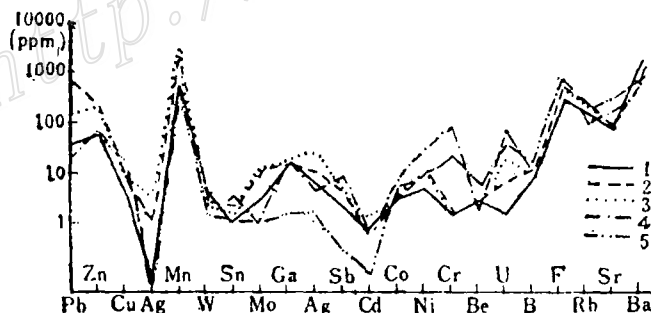


图6 大岭口、五部矿区火山岩类岩石微量元素含量对比图

1—大岭口流纹斑岩,2—大岭口凝灰岩,3—五部凝灰岩,4—五部石英斑岩,5—花岗岩(维氏)

Fig. 6. Comparison of minor elements between various volcanic rocks in Dalingkou and Wubu ore districts.

1—Rhyolite porphyry from Dalingkou; 2—Tuff from Dalingkou; 3—Tuff from Wubu; 4—Quartz porphyry from Wubu; 5—Granite (according to Vinogradov).

似。与花岗岩比较,岩石中Pb、Zn、Mn、Ag、Ga、W、Mo、As、Sb普遍较高,而Cu、Ni、Co、Cr、V等元素普遍低于维氏值。另外,两矿区的火山岩比次火山岩的Pb、Zn、

表 4 大岭口、五部铅锌矿床火山岩类微量元素含量 (ppm)
Table 4. Minor element contents of volcanic rocks in Dalingkou and Wubu lead zinc deposits

矿区样品编号	岩石名称	Pb	Zn	Cu	Ag	Mn	W	Sn	Mo	As	Sb	Co	Ni	Cr	Be	V	B	F	Rb	Sr	Ba	Ga	Cd	Bi
D ₁	流纹斑岩	41	117	4	0.12	880	5.6	<1	<1	1	4	3	5	<3	2.8	4	9	440	260	53	1739	19	<1	<1
D ₁₁	"	25	47	3	<0.1	158	3.2	<1	7	4	170	3	5	<3	2.6	<3	5	310	110	150	676	18	<1	<1
D ₁₂	"	52	20	5	<0.1	101	1.6	<1	2	13	2	2	5	<3	1.7	<3	7	140	170	48	2308	8	<1	<1
D ₅₄	"	34	69	8	0.13	925	1.6	3	5	2	1	3	6	<3	2.4	<3	10	400	150	65	995	14	<1	<1
D ₅₅	"	20	65	5	<0.1	237	6.3	6	1	6	1	2	<5	<3	2.0	<3	6	280	230	86	1650	15	<1	<1
D ₂₀	凝灰岩	860	208	13	0.14	910	1.6	2	6	5	1	3	9	<3	1.6	4	8	400	280	74	604	10	<1	<1
D ₁₇	"	361	390	6	1.85	4356	1.6	2	30	22	10	3	6	<3	1.8	<3	22	400	270	4.1	1869	17	1.3	<1
D ₁₂	"	44	118	8	0.1	1700	1.6	2	1	6	2	4	14	<3	2.5	14	5	500	210	225	2305	23	<1	1.2
D ₂₇	含角砾凝灰岩	1437	242	97	2.0	580	4.8	2	2	2	2	2	9	4	2.3	10	16	680	190	11	515	13	<1	<1
W ₁₀	石英斑岩	16	70	18	<0.1	620	1.6	1	1	4	8	6	30	7	1.8	72	11	380	110	188	631	15	<1	<1
W ₁	凝灰岩	352	315	12	2.5	3750	1.6	1	1	19	8	6	8	5	1.4	39	9	650	110	148	437	17	1.5	<1
W ₄	"	44	153	8	0.3	3025	3.2	1	2	10	3	3.0	6	<3	3.2	4	10	1100	190	48	336	27	1.1	<1
W ₂₁	"	60	117	8	6.3	4025	1.6	2	34	48	3	7	11	<3	2.3	17	10	800	220	51	1851	15	1.2	<1
大岭口平均值	流纹斑岩	34.4	63.6	5	0.08	460.2	3.7	1	3	5.2	2	2.6	5	<3	2.3	<3	7.4	314	184	80.4	1473.6	14.8	<1	<1
	凝灰岩	675	240	9	1.02	1886.5	2.4	2	10	10.25	3.75	3	9.5	<3	2.7	7.4	12.8	495	237.5	78.5	1323.3	15.8	<1	<1
五部平均值	石英斑岩	16	70	18	<0.1	620	1.6	1	1	4	8	6	30	75	1.8	72	11	380	110	188	631	15	<1	<1
	凝灰岩	152	195	9.3	3.03	3600	2.1	1.3	12	25.7	4.7	4	8.3	<3	2.3	20	10	850	173.3	82.3	874.7	20	1.3	<1
花岗岩 (维氏)		20	60	20	0.05	600	1.5	3	1	1.5	0.26	5	8	25	3.5	40	15	800	200	300	830	1.4	0.1	0.05

注: 样品由本院分析室分析

表 5 五部铅锌矿床火山岩类稀土元素含量 (ppm)
Table 5. REE contents of volcanic rocks in the Wubu lead-zinc deposit

编号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δEu	La-Nd	Sm-Lu	Er-Lu	$\frac{La-Eu}{Gd-Y}$
W ₁	凝灰岩	14.11	75.67	8.10	27.85	5.30	1.34	3.55	0.67	4.12	0.80	1.72	0.23	1.33	0.20	13.42	188.71	10.967	155.73	16.08	3.48	7.34
W ₂	"	57.80	102.50	11.61	44.28	8.85	1.10	7.14	1.06	5.09	1.05	2.69	0.37	2.10	0.32	25.42	271.38	0.447	216.19	24.29	5.18	4.77
W _{2a}	"	50.97	77.95	8.65	31.82	5.35	1.18	4.15	0.81	5.55	0.97	1.98	0.27	1.52	0.23	21.65	213.05	0.805	169.39	18.01	4.00	4.73
W ₁₀	次火山岩 石英斑岩	34.58	62.47	6.75	23.68	4.91	1.28	3.94	0.72	4.66	0.95	2.41	0.32	1.78	0.27	18.87	167.59	0.941	127.18	16.14	4.78	6.68

注: 样品由本院分析室分析

表 6 十二炮峰铅锌矿点火山岩类稀土元素含量 (ppm)
Table 6. REE contents of volcanic rocks in the Shierpaofeng lead-zinc occurrence

编号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δEu	La-Nd	Sm-Ho	Er-Lu	$\frac{La-Eu}{Gd-Y}$
S ₁₅	闪锌矿化 蚀变英安 质晶屑凝 灰岩	34.78	53.33	6.11	23.71	4.98	1.46	3.44	0.65	4.29	0.79	1.73	0.24	1.47	0.23	10.95	148.16	1.111	117.95	15.61	3.67	5.22
S ₂₁	硅化晶屑 凝灰岩	21.72	56.87	5.96	19.67	4.51	1.28	4.73	1.01	7.46	1.43	3.35	0.51	3.27	0.50	27.92	160.19	0.927	104.22	20.42	7.63	2.19
S ₂₃	闪锌矿化 英安质熔岩	43.80	65.16	7.71	31.55	6.06	1.28	4.63	0.77	4.40	0.79	1.65	0.20	1.03	0.16	14.97	181.16	0.775	148.22	17.93	3.04	5.42

注: 样品由本院分析室分析

表 7 大岭口铅锌银矿床火山岩类稀土元素含量 (ppm)
Table 7. REE contents of volcanic rocks in the Dalingkou lead-zinc-silver deposit

编号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	δEu	La-Nd	Sm-Ho	Er-Lu	$\frac{\text{La-Eu}}{\text{Gd-Y}}$
D ₉	火山角砾岩	16.60	21.65	2.75	12.38	2.57	0.88	2.42	0.51	3.74	0.68	1.45	0.21	1.36	0.21	12.40	79.90	1.167	53.47	10.80	3.23	2.47
D ₂₀	凝灰岩	30.02	47.96	4.94	15.68	2.38	0.67	2.02	0.46	3.55	0.58	1.03	0.17	1.15	0.18	9.52	120.31	0.996	98.60	9.66	2.53	5.44
D ₁₇	"	71.69	125.9	13.56	47.17	7.86	1.71	6.01	1.03	6.18	1.10	2.27	0.34	2.18	0.34	123.36	310.79	0.798	258.41	23.89	5.13	6.25
D ₂₇	含角砾 凝灰熔岩	28.49	47.81	5.22	18.65	3.61	0.96	2.42	0.60	4.91	0.86	1.72	0.23	1.31	0.20	13.69	130.68	1.017	100.17	13.36	3.46	4.02
D ₁	次火山岩 流纹斑岩	59.36	98.10	10.73	38.44	7.21	1.82	5.67	0.99	5.96	1.04	2.07	0.27	1.51	0.23	20.23	253.63	0.917	206.62	22.69	4.08	5.67
D ₁₁	"	83.56	108.3	11.56	39.47	7.38	2.05	5.68	1.00	6.09	1.10	2.85	0.40	2.37	0.37	21.92	274.19	1.017	222.89	23.39	5.99	5.54
D ₁₂	"	50.54	87.10	9.51	34.02	6.40	1.92	4.78	0.84	5.20	0.92	1.91	0.27	1.61	0.25	16.74	222.01	1.109	181.17	20.06	4.04	5.82
D ₃₂	凝灰岩	75.50	129.8	14.08	49.74	8.72	2.63	6.46	1.06	5.95	1.12	2.55	0.39	2.55	0.39	24.59	325.53	1.118	269.12	25.94	5.88	6.22
D ₃₄	次火山岩 流纹斑岩	49.61	85.72	9.24	32.22	6.26	2.16	4.78	0.87	5.60	0.90	2.04	0.28	1.66	0.26	15.60	217.29	1.266	176.79	20.66	4.24	5.77
D ₃₇	"	50.26	73.50	8.49	33.44	6.13	1.73	3.00	0.74	4.95	0.80	1.86	0.24	1.27	0.20	16.80	204.39	1.097	165.69	18.33	5.57	5.62

注: ① D₉₂、D₃₁、D₃₄为大岭口西部, 其余样品为大岭口本部;

② 样品均由本院分析室分析

Mn、Ag、Cd和As等成矿元素的含量普遍要高,尤其凝灰岩中的Pb、Zn、Ag三种主要成矿元素含量是次火山岩中的几倍到上百倍,在火山角砾岩中更高。这说明岩浆喷发侵入时,成矿元素在硅酸盐岩浆中就有所分异。

(3) 火山岩的稀土元素特征

由五部、十二炮峰和大岭口三个矿床(点)的火山岩类岩石的稀土元素分析结果(表5、6、7)不难看出:a、火山岩中相对富集轻稀土, δEu 值多在0.798—1.118之间,无明显铕亏损,稀土分配模式均为由左向右倾斜的曲线(图略)。b、火山岩的稀土总量(ΣREE)界于167—325ppm之间,大部分为204—274ppm,均高于地壳中稀土元素的平均含量165.35ppm(黎彤,1976),而硅化及铅锌矿化火山岩的稀土总量明显降低(为79.9—130.68ppm),如大岭口D₆、D₂₆、D₂₇和十二炮峰的S₁₅、S₂₁和S₂₃号样品。因此说明在矿化过程中稀土元素发生了迁移。

2. 火山作用与成矿的关系

浙东南地区中生代的火山活动对该区铅锌(银)等多金属矿床的形成起着重要的控制作用。据统计,全省60%以上的铅锌矿床(点)以及已知铅储量的80%,锌储量的70%均与火山作用有关。

火山机构控制着铅锌矿床及矿床特征。全区主要的铅锌矿床受火山穹窿控制,而少部分铅锌矿床则与破火山口及火山洼地关系密切。在火山穹窿区,火山喷发及岩浆作用都十分强烈,其中心部位除大规模的酸性火山碎屑岩外,往往还有火山作用晚期次火山岩或少量杂岩体侵入,有时可伴有钨、钼矿化,但规模很小;穹窿周围环状及放射状断裂发育,形成有利的导矿构造和容矿空间,与火山-次火山作用有关的成矿溶液充填在其中并形成矿床。这类矿床规模大小不一,在空间分布上与次火山岩体基本一致,往往产于次火山岩体下盘内外接触带或其附近破碎带中,矿体受断裂控制,多呈脉状,产状较陡。如五部、大岭口两个大型铅锌(银)矿床均属此类型。破火山口周围也可产生环状及放射状断裂,但由于火山喷发作用后期火山活动减弱,因而仅形成了少量与早期火山喷发作用有关的火山热液铅锌矿床,其矿床特征与五部、大岭口矿床基本相似,也呈脉状充填于断裂中,但规模则小得多,如宁海储家、象山钱仓等铅锌矿床。

火山喷发过程中,火山碎屑可带有大量的成矿物质,因而在火山洼地可形成火山喷发沉积型的层状铅锌矿。当然后期热液可能对该类矿床有进一步的改造作用。青田洪岩头、孙坑及龙珠山等铅锌矿床就属此类。

四、成矿作用及其模式

1. 成矿物质来源

对于该区火山岩型铅锌(银)矿床的成矿物质来源问题,前人已做过大量工作,但仍存在不同看法。我们认为:该类矿床的成矿物质主要来源于与深部(上地幔和下地壳)有关的火山及次火山岩。其主要依据为:

(1) 矿床直接受不同的火山机构控制。其中火山-次火山热液型矿床主要产于火山穹窿周围断裂中,矿体与次火山岩处于同一断裂带中,受同一断裂带控制;火山喷发沉积-热

液叠加(改造)型矿床产于火山洼地,矿体呈层状、似层状,含矿层为沉积岩及火山沉积岩,上、下为火山碎屑岩,矿体与地层产状一致。

(2) 火山碎屑岩中Pb、Zn、Ag等主要成矿元素含量明显高于次火山岩,说明岩浆喷发侵入时已发生了分异作用,成矿物质富集于火山碎屑物和热液中,而这种含矿热液对后来成矿起着重要作用。另外,矿床中常见蔷薇辉石及含锰碳酸盐,也说明与火山岩、次火山岩中含锰高有关。

(3) 硫同位素资料^[1]表明,五部矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 的塔峰值在0—+4‰之间,大岭口矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 的塔峰值在+2—+4‰之间,属典型的岩浆型硫同位素组成特征,且 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Sph}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Ga}}$,符合硫同位素分馏的一般规律。说明硫源主要来自深部(上地幔和下地壳)。

(4) 五部、大岭口矿床的铅同位素资料^[1]表明,两矿床的24个铅同位素模式年龄值中,仅有5个值大于240Ma,而大多数小于240Ma,并且铅同位素组成极大多数落在岩控型铅锌矿或中央海岭拉斑玄武岩的铅同位素组成范围内(图7),显然说明矿床形成与中生代火山作用有关,成矿物质来源于深部岩浆。

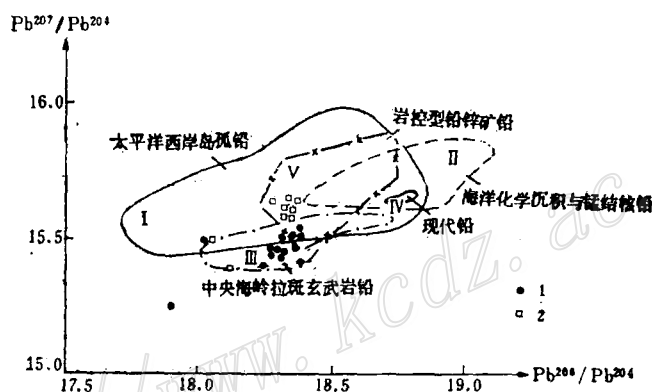


图7 大岭口(1)、五部(2)铅锌矿床铅同位素组成对比图
(I—IV 引自陈毓蔚等, V—引自本院铅锌矿组)

Fig.7. Comparison of lead isotope composition between Dalingkou and Wubu lead-zinc deposits
1—Dalingkou; 2—Wubu.

2. 成矿作用及其成矿模式

综上所述,浙东南地区不同火山岩型铅锌(银)矿床的形成均与火山作用有关,分别受不同的火山活动阶段、不同的火山构造——火山穹窿和火山洼地控制。成矿机理为:

中生代时期,浙东南地区的构造作用十分强烈。来自深部的岩浆在上侵过程中,不断重熔基底(下地壳)硅铝物质,同时攫取了基底地层中的部分铅锌等成矿物质,形成了含矿的混熔岩浆。当火山喷发时,将已分异的岩浆和有用组分相继喷出地表,形成固体及半固体碎屑。其散落下来堆积成矿层和凝灰岩层。火山喷发沉积型矿床的形成,一方面可能与火山碎屑物质和有用金属组分在喷发散落时,由于重力作用而产生自重分异有关。另一方面,在火山喷发沉积形成贫矿层之后,火山渐趋宁静,气成热液占主要地位。由火山口内上升的大量富含酸性挥发组分(如F、Cl、H、CO₂、SO₂、HCl等)的气水溶液,不断渗入堆积不久的疏松火山碎屑岩层中,并通过液化和水解作用,使火山碎屑物中的成矿物质加入溶液。这些含矿的气水溶液在火山洼地处沿层面交代沉淀,从而形成了火山喷发沉积-热液叠加(改造)型

的青田洪岩头、孙坑、龙珠山式的铅锌矿床。

火山喷发作用晚期,火山喷发口-火山管道被后来贯入的次火山岩充填而封闭,在相对稳定的环境条件下,成矿物质Pb、Zn、Cu、Ag、Cd等进一步与岩浆硅酸盐熔体分离进入成矿溶液。火山作用末期,由于成矿断裂多次活动,致使次火山岩和围岩发生破碎,形成裂隙,为成矿提供了良好空间,有利于成矿溶液渗透、交代和充填作用。根据矿床特征,成矿作用主要分为三个阶段,早期硫化物阶段主要形成黄铁矿、毒砂,围岩蚀变分布广,为面型的绢云母化、硅化、绿泥石化、绿帘石化等,中期硫化物阶段是成矿阶段,形成大量闪锌矿、方铅矿等金属硫化物,并伴生铜、银等。大量金属硫化物的包裹体测温及硫同位素交换温度计算资料^[1]表明,该类矿床成矿温度120—340℃之间,多数为200—300℃,属中低温热液矿床;矿床中晚期碳酸盐化的出现,表明热液成矿作用趋于结束,仅含锰碳酸盐及石英细脉中可见到少量浸染状方铅矿和闪锌矿。

全面综合考虑矿床的成矿条件、矿床特征和围岩蚀变等多方面因素,将浙东南地区的陆相火山作用分为火山-次火山热液成矿作用和火山喷发沉积-热液叠加(改造)成矿作用两个系列。成矿模式归纳为图8:

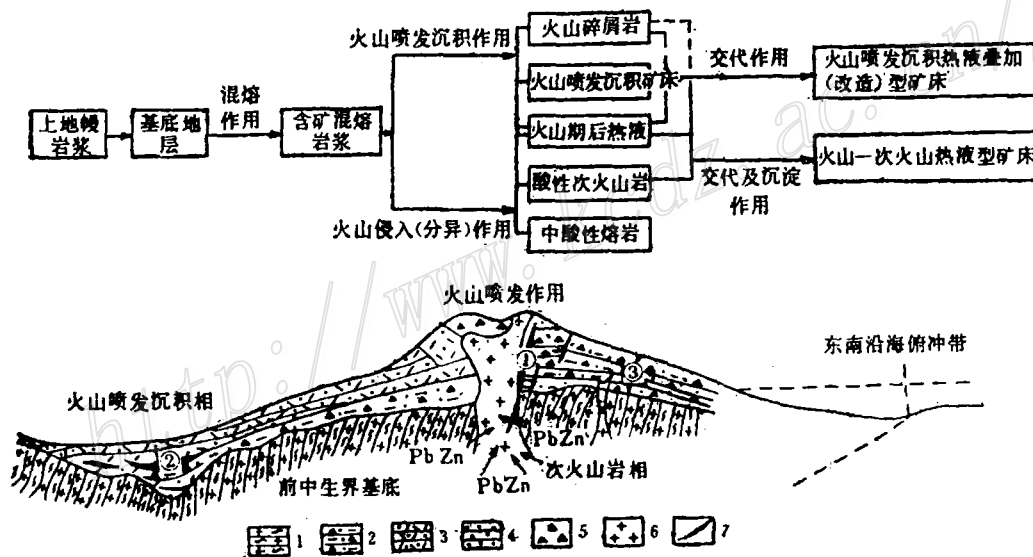


图8 浙东南陆相火山成矿作用模式

1—前中生界基底, 2—流纹质角砾凝灰岩, 3—晶屑岩屑凝灰岩, 4—沉火山碎屑岩, 5—爆破角砾岩, 6—次火山岩, 7—矿床及矿床类型: ①—次火山热液型 ②—火山喷发沉积-热液叠加改造型 ③—火山热液型

Fig. 8. Model for continental volcanic metallogenesis in southeastern Zhejiang

1—Pre-Mesozoic basement; 2—Rhyolitic breccia tuffs; 3—Crystalline tuffs; 4—Volcaniclastic rocks; 5—Explosion breccias; 6—Subvolcanic rock; 7—Ore deposits and their types; ①Subvolcanic hydrothermal types; ②Volcanic eruptive sedimentary-hydrothermal transformation types; ③Volcanic hydrothermal type

参 考 文 献

- [1] 杨明德等 1989 浙东南地区铅锌(银)矿床稳定同位素特征及成矿物质来源探讨 矿产与地质 第3卷 第4期

① 五部铅锌矿研究专题组, 1983, 浙江省黄岩县五部铅锌矿地质特征及成矿规律研究报告

〔2〕 魏元柏等 1988 浙江天台大岭口AgPbZn矿床稳定同位素研究 南京大学学报 第1期

MINEROGENESIS OF CONTINENTAL VOLCANIC TYPE LEAD-ZINC (SILVER) DEPOSITS IN SOUTHEASTERN ZHEJIANG

Yang Mingde, Yao Jinyan and Zhu Guitian

(Research Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Guilin, Guangxi)

Abstract

Mesozoic volcanic activity was extremely intense in areas east of the Jiangshan-Shangyu deep fault; the area east of the Lishui-Yuyao deep fault, in particular, is almost wholly covered with volcanic rocks. Volcanic activity mainly includes two cycles: Late Jurassic and Cretaceous. The Late Jurassic volcanic activity, characterized mainly by central type explosion or intermediate-acid to acid magma, was extensive and strong and controlled by NE- and NW-trending basement faults, forming a series of NE-distributed nearly round volcanic domes and calderas; volcanic rocks are predominantly intermediate-acid to acid tuff and welded tuff interbedded with lava, some 3000 m in thickness. Cretaceous volcanic activity was relatively weak, noted mainly for intermittent volcanic eruption and sedimentation; volcanic rocks are chiefly tuffaceous sandy conglomerate and siltstone intercalated with intermediate-basic to intermediate-acid lava, intermediate-acid volcanoclastic rocks and tuffite.

Over 60% lead-zinc deposits in Zhejiang province are related to volcanic rocks, and the volcanic type lead-zinc deposits can be further divided into volcanic-subvolcanic hydrothermal type and volcanic eruptive sedimentary-hydrothermal superposition type. The former deposits, exemplified by Wubu deposit of Huangyan county and Dalingkou deposit of Tiantai county, are mainly controlled by volcanic dome and belong to mesothermal-epithermal deposits related to volcanic-subvolcanic activity, being the major type of lead-zinc deposits in this province; the latter deposits occur mainly in volcanic depression or sedimentary lacustrine basin, and are related to volcanic eruptive sedimentation with late hydrothermal superposition.

The volcanic hydrothermal mineralization can be divided into three stages. The early sulfide stage mainly formed pyrite and arsenopyrite, accompanied by extensive wall rock alterations such as sericitization and silicification; the middle sulfide stage was the principal metallogenic stage and formed large quantities of sphalerite and galena accompanied by other metallic sulfides (copper, silver etc.); the late carbonate stage formed manganese carbonate and quartz as well as small amounts of disseminated galena and sphalerite. Data on ore-forming temperatures (200-300°C) suggest that these deposits are of mesothermal-epithermal type.