

# 江西省冷水坑银铅锌矿床铁锰碳酸盐角砾岩成因研究

孙建东<sup>1,2</sup> 骆学全<sup>1</sup> 张雪辉<sup>1</sup> 张春茂<sup>2</sup> 李春海<sup>1</sup>  
余明刚<sup>1</sup> 朱意萍<sup>1</sup> 宗雯<sup>2</sup>

(1.南京地质矿产研究所,江苏南京210016; 2.成都理工大学,四川成都610059)

**摘要:**江西省冷水坑银铅锌矿床的铁锰碳酸盐角砾岩层与顶底板侏罗系火山杂岩呈整合接触关系,填隙物内存在清晰可辨的火山凝灰物质。铁锰碳酸盐角砾岩的稀土元素配分型式属于轻稀土富集的右倾型,稀土组成特征有类似于正常湖相碳酸盐岩低的稀土总量,又类似于正长质岩浆岩的正Eu异常特征。碳氧同位素显示其形成环境属于陆相火山湖泊,陆相沉积岩与岩浆岩均为成岩提供了物质来源。通过顶底板火山杂岩锆石U-Pb年龄的限定,指示在155 Ma左右,铁锰碳酸盐角砾岩经历了陆相火山湖泊沉积-火山喷发使之角砾化-正长质岩浆物质混入的成岩过程。

**关键词:**冷水坑;铁锰碳酸盐;成因;过程

**中图分类号:**P611;P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)02-0484-13

江西省冷水坑特大型银铅锌矿床地处扬子地块与华夏地块拼接带南侧,属于中国东部中生代环太平洋成矿域,其矿床成因类型分为2类(图1):一类为浅部的斑岩型矿体,出露于银路岭、鲍家、银珠山3个矿段;另一类为深部的火山沉积-热液改造型矿体<sup>[1]</sup>,分布于营林、下鲍、银坑3个矿段。诸多学者对该矿床斑岩型矿体的地质特征、矿化特点与含矿性、围岩蚀变、地球化学等<sup>[2-15]</sup>方面进行过深入的研究;对于火山沉积-热液改造型矿体的矿床特征、含矿性、围岩蚀变、地球化学特征亦有一些研究<sup>[1,16-22]</sup>,但对与火山沉积-热液改造型矿体同空间产出的铁锰碳酸盐角砾岩研究较少。本文通过对下鲍矿段铁锰碳酸盐角砾岩成因的研究,以期对矿区及华南中生代相似情况的火山沉积盆地内下一步的找矿勘查工作有所启示。

## 1 矿区地质概况

矿区地层主要由震旦系变质岩与侏罗系钙碱

性-碱性火山杂岩组成,震旦系变质岩由片麻岩、片岩夹变质砂岩组成。侏罗系火山杂岩由流纹质晶屑凝灰岩、含角砾晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、安山岩、粗安岩等组成。在火山杂岩内产出规模不等的铁锰碳酸盐角砾岩夹层,按区域内火山喷发旋回分为上侏罗统打鼓顶组(J<sub>3d</sub>)和鹅湖岭组(J<sub>3e</sub>)两大旋回(图1),它们是冷水坑银铅锌矿床直接赋矿岩石。

矿区断裂构造发育,主要为北东向F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>断裂。F<sub>1</sub>断裂:总体为逆断层,具有先压后扭再张、以压(扭)为主的活动特征,是冷水坑银铅锌矿床重要的导岩导矿构造;F<sub>2</sub>断裂:形成于晚侏罗世鹅湖岭火山喷发旋回之后、花岗斑岩侵入之前,震旦系上统变质岩被该断裂推覆至侏罗系上统火山岩之上,产状由地表向深部呈缓-陡-缓-陡波折状变化,是斑岩型矿体重要的控矿容矿储矿构造。

侵入岩主要是燕山晚期产物,主要是浅成-超浅成的斑岩侵入体,岩性为早期的花岗斑岩,晚期的流纹斑岩、钾长花岗斑岩及石英正长斑岩。花岗

收稿日期:2013-05-02;改回日期:2013-07-31

基金项目:中国地质调查局项目(1212011120846)资助。

作者简介:孙建东,男,1987年生,助理工程师,从事矿床地质研究工作;E-mail:njsunjiandong@163.com。

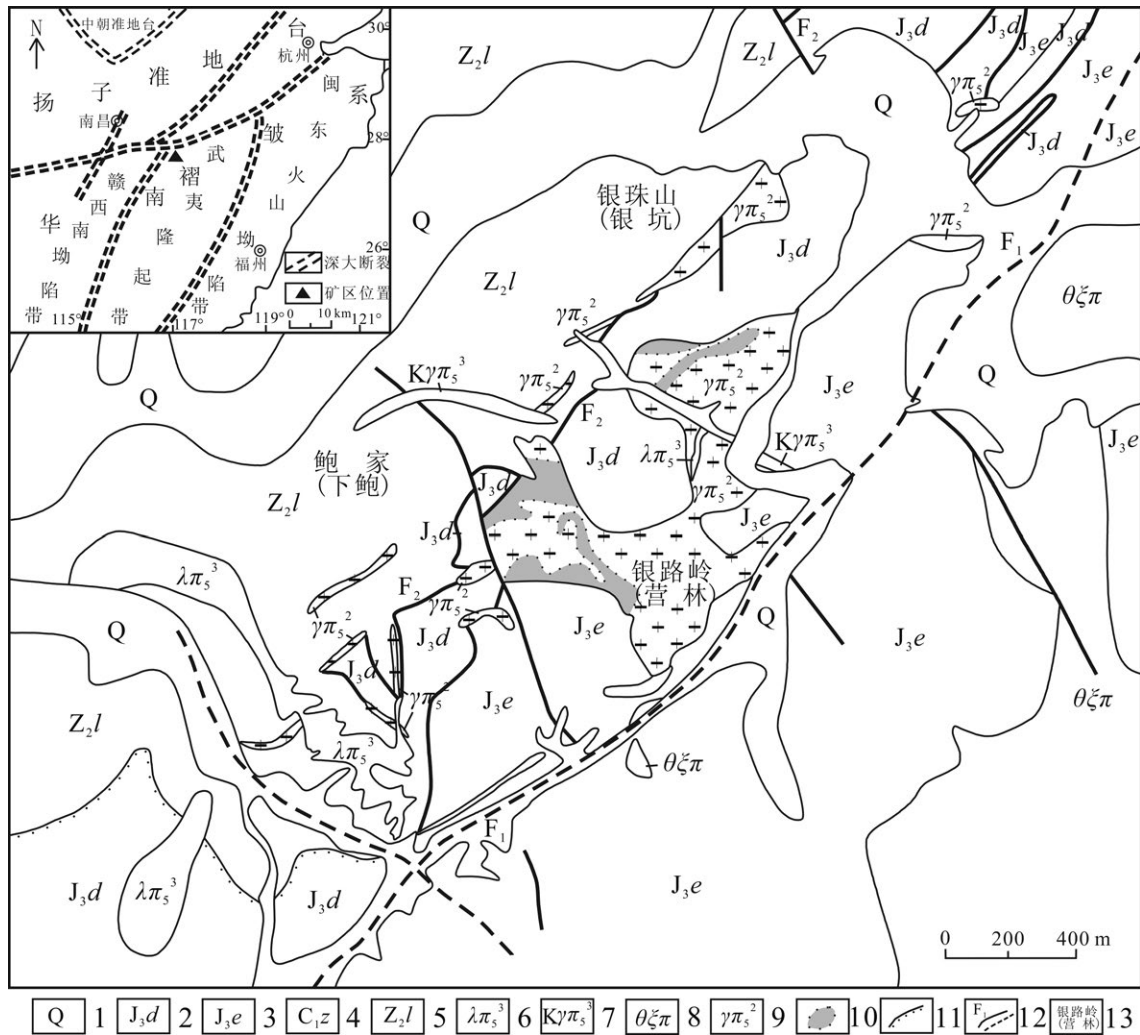


图1 冷水坑矿床地质略图(据①修编)

1—第四系;2—上侏罗统打鼓石组;3—上侏罗统鹅湖岭组;4—下石炭统梓山组;5—震旦系老虎塘组;6—燕山晚期流纹斑岩;7—燕山晚期钾长花岗岩;8—燕山晚期石英正长斑岩;9—燕山晚期含矿花岗岩;10—隐爆角砾岩;11—地层不整合界线;12—实测、推测断层及编号;13—斑岩型矿段名称(隐伏的火山沉积-热液改造型矿段名称)

Fig. 1 Geological sketch map of the Lengshuikeng deposit(modified after ①)

1-Quaternary; 2-Upper Jurassic Daguding Formation; 3-Upper Jurassic Ehuling Formation; 4-Lower Carboniferous Zishan Formation; 5-Sinian Laohutang Formation; 6-Late Yanshanian rhyolite porphyry; 7-Late Yanshanian quartz syenite porphyry; 8-Late-Yanshanian quartz syenite porphyry; 9-Late-Yanshanian ore-bearing granite porphyry; 10-Cryptoexplosion breccia; 11-Unconformity; 12-Measured and inferred faults; 13-Porphyry ore block(concealed volcanic sedimentary-hydrothermal alteration type ore block)

斑岩为斑岩型矿体产出部位,主体侵入于侏罗系上统火山杂岩地层中,岩体沿F<sub>2</sub>推覆构造被动侵入,产状与F<sub>2</sub>推覆构造产状一致。

下鲍矿段侏罗系打鼓顶组(J<sub>3d</sub>):矿区地表仅小面积出露,由于推覆断裂(F<sub>2</sub>)的逆掩推覆,在震旦系变质岩之下,深部钻孔中则广泛见有厚度较大的打

鼓顶组。依喷发韵律分为上、下两段。下段底部为砂砾岩、复成分角砾岩等,下部由浅灰色、肉红色流纹质晶屑凝灰岩、粗晶屑凝灰岩、含角砾晶屑凝灰岩等组成,上部为晶屑凝灰岩夹石英正长质凝灰岩、铁锰碳酸盐角砾岩、白云岩、硅质岩、层凝灰岩等,这是矿段内火山沉积-热液改造型银铅锌矿

① 江西省地矿局912地质大队. 江西省贵溪市冷水坑矿田下鲍矿区银铅锌130+1-44线详查报告[R]. 2004.

体的主要赋存层位;上段下部为浅灰、浅紫色流纹质含集块角砾凝灰岩,底部为凝灰质粉砂岩、凝灰质细砂岩等;上部为灰绿色、杏仁状安山岩、角砾状安山岩等。

下鲍矿段的火山沉积-热液改造型银铅锌矿体产于上侏罗统打鼓顶组(J<sub>3</sub>d)铁锰碳酸角砾岩层内,两者同空间存在。矿体呈似层状、透镜状顺层产出。矿石结构以中细粒半自形、交代结构为主,构造以角砾状、浸染状构造为主,矿石品位富,厚度大且伴生有用组份(Fe、Mn、Au等)多,围岩蚀变以碳酸盐化、弱绢云母化及绿泥石化为主。

## 2 铁锰碳酸盐角砾岩地质特征

铁锰碳酸盐角砾岩的产状与火山岩地层产状一致,呈近水平或缓倾产出,与顶底火山岩地层呈整合接触关系,接触界面清晰、平整(图2-a、b),除局部有成矿期后的小规模断层破碎现象而外,没有大规模的成矿前及成矿期构造破碎现象。该层角砾岩为火山沉积-热液改造型矿体的赋矿层位,可作为找矿标志。

铁锰碳酸盐角砾岩层内角砾以铁锰碳酸盐角砾为主,次为凝灰岩、长英质火山角砾,角砾形态基本均呈棱角—尖棱角状,砾径在2~64 mm,大者可达集块,不定向—略有定向,大小悬殊,无分选无磨圆,具有快速混杂堆积特征(图2-c、d),局部具碎屑粒序,由下到上依次为集块岩、集块角砾岩、粗角砾岩、细角砾岩的变化现象,填隙物由与角砾同成分的岩屑、凝灰物质(图2-e、f)、硫化物、蚀变矿物等组成。铁锰碳酸盐角砾主要的矿物成分为菱铁矿、菱锰矿,岩石普遍发育硅化、碳酸盐化、绢云母化、粘土化蚀变。

矿区内300多个勘查工程和矿山大断面的采掘工程中,没有一个工程揭露出未经角砾化的完整的铁锰碳酸盐角砾岩层。在矿区范围内,铁锰碳酸盐角砾岩还可见于火山沉积-热液改造型矿体之上的晶屑凝灰岩中,进一步说明其应为火山喷发碎屑,即火山角砾岩。

## 3 分析方法

本次研究对矿体内铁锰碳酸盐角砾的碳氧同位素、稀土元素进行了测定,对下鲍矿段顶底板火

山岩进行了锆石U-Pb年龄测定。测试样品均在完成镜下岩石鉴定后,送实验室处理。

本次仅对与铁锰碳酸盐角砾岩层的顶底板围岩——上侏罗统打鼓顶组地层进行了锆石U-Pb测年,以期间接获得其成岩时限。测年样品采自下鲍矿段-144中段31号穿脉,其中LSK-D7-2采于顶板围岩(图2-a),LSK-D6-3采于底板围岩(图2-b)。样品测试在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,测试仪器为激光电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS),同位素质量分馏校正采用国际标准锆石91500,样品的同位素比值及元素含量计算采用Glitter(ver.4.0)软件,使用ComPbCorr#3\_15G程序进行普通铅校正,年龄及谐和图绘制采用Isoplot(ver.3.70)程序。

稀土元素、碳氧同位素测试样品采自下鲍矿段-144中段31号穿脉侧壁的铁锰碳酸盐角砾或集块(图2-a)。测试单位均为中国科学院南京地质古生物研究所实验技术中心国家重点实验室测定。碳氧同位素采用常规磷酸法,仪器为MAT-253质谱仪,工业标样为国际标样NBS-18和国家一级标准4405,质谱仪测试精度高于0.01‰,δ<sup>13</sup>C以PDB为标准表示,δ<sup>18</sup>O分别以PDB和SMOW为标准表示,稀土元素测试方法采用酸溶-ICP-MS方法,首先使用5%硝酸溶样后,使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)对溶液进行测定,分析精度优于1%。

## 4 分析结果

### 4.1 锆石U-Pb年龄

数据分析结果见表1~2。CL照片(图3~4)显示锆石无色透明,自形—半自形,呈长柱状,粒径50~300 μm,晶面简单,晶棱锋锐、清晰,具有典型的岩浆锆石韵律环带,均属岩浆锆石。LSK-D7-2样品的15颗锆石和LSK-D6-3样品的18颗锆石在分析误差范围内有一致的<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U和<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U比值,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄的加权平均年龄值分别为(155.1±1.2)Ma和(156.0±1.2)Ma(表1~2,图3~4)。

### 4.2 稀土元素特征

铁锰碳酸盐角砾岩样品稀土元素分析结果(表3)显示,其稀土元素总量较低,为7.18×10<sup>-6</sup>~36.08×10<sup>-6</sup>;稀土配分型式属于轻稀土富集的右倾型(图

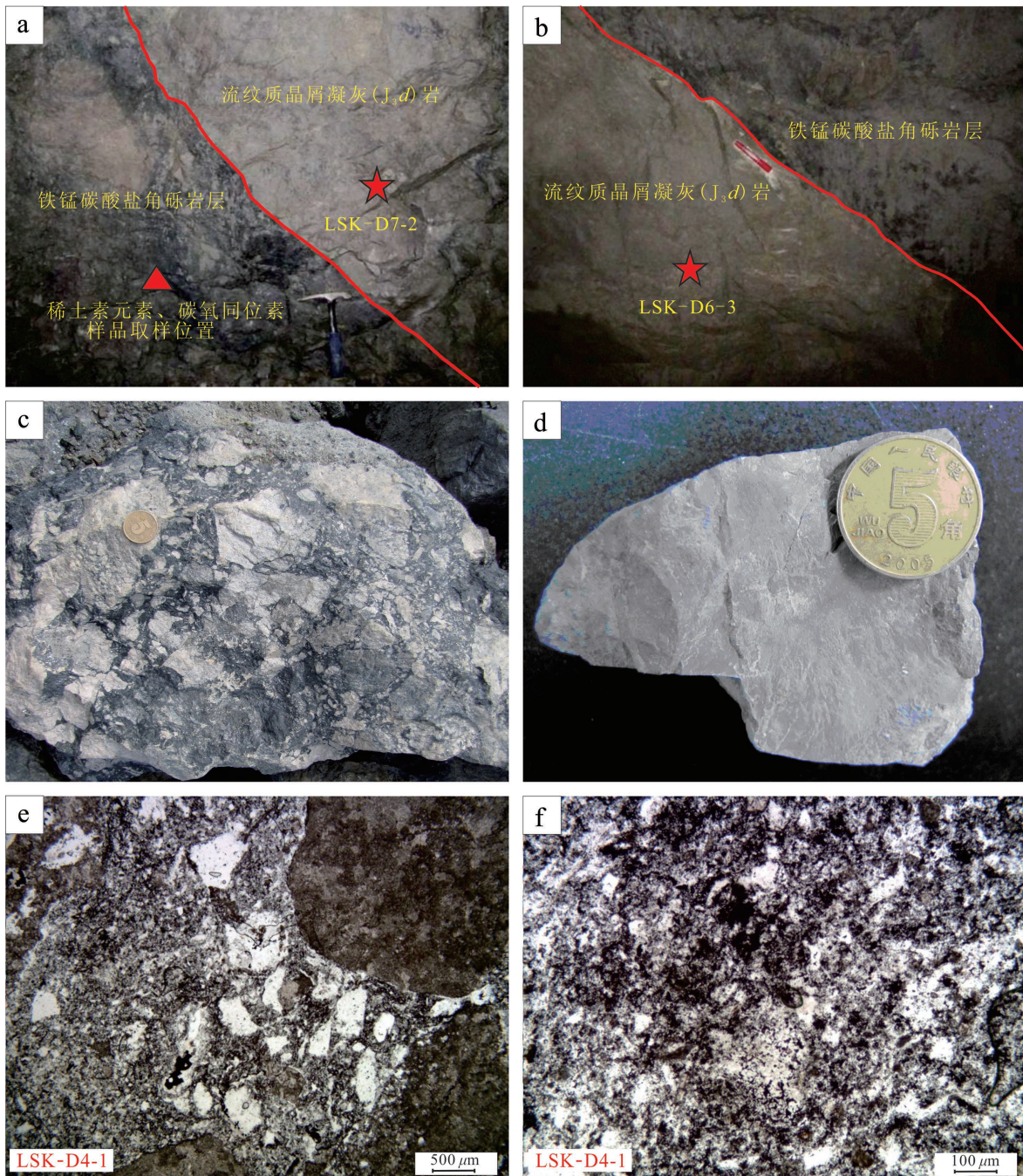


图2 下鲍矿段铁锰碳酸盐角砾岩宏观、镜下特征  
 a—与顶板流纹质晶屑凝灰岩(J<sub>3d</sub>)具整合接触关系;b—与底板流纹质晶屑凝灰岩(J<sub>3d</sub>)具整合接触关系;c—铁锰碳酸盐角砾岩火山凝灰岩角砾结构;d—铁锰碳酸盐集块岩(手标本);e—铁锰碳酸盐角砾岩填隙物部位具凝灰结构(-);f—铁锰碳酸盐角砾岩填隙物部位呈凹面棱角状、不规则状的脱玻化玻屑(-)

Fig.2 Fe-Mn carbonate breccias macroscopic and microscopic characteristics of the Xiabao ore block  
 a-Conformable contact relations with the roof of rhyolitic crystal tuff (J<sub>3d</sub>); b-Conformable contact relations with the bottom of rhyolitic crystal tuff(J<sub>3d</sub>); c- Fe-Mn carbonate breccias with volcanic tuff breccia structure; d- Fe-Mn carbonate agglomerates (hand specimen); e- Fe-Mn carbonate breccias tuff structure filler content part(-); f- Fe-Mn carbonate breccias tuff structure filler content part assuming concave edges of crumbs shape and irregular shape(-)



表2 铁锰碳酸盐角砾岩层底板火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果  
Table 2 LA-ICP-MS analyses of zircon U-Pb isotopes of the Fe-Mn carbonate breccias bottom crystal tuff

点号	同位素比值					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ /Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ /Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ /Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ /Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ /Ma	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ /Ma
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$						
1	0.04655±0.00193	0.02453±0.00037	0.15736±0.00649	0.00284±0.00006	26.0±96.69	148.4±5.7	156.2±2.36	156.2±2.36	156.2±2.36	57.4±1.11	
2	0.05017±0.00099	0.02481±0.00033	0.17156±0.00352	0.00289±0.00004	202.7±45.06	160.8±3.05	158±2.1	158±2.1	158±2.1	58.3±0.85	
3	0.04817±0.00198	0.02469±0.00038	0.16391±0.0067	0.00271±0.00006	107.6±94.29	154.1±5.84	157.2±2.38	157.2±2.38	157.2±2.38	54.6±1.2	
4	0.04999±0.0016	0.02438±0.00035	0.16768±0.0054	0.00279±0.00005	190.2±73.08	157.4±4.7	155.3±2.22	155.3±2.22	155.3±2.22	56.4±1.01	
5	0.04774±0.00123	0.0245±0.00034	0.16122±0.00421	0.00277±0.00005	85.5±60.92	151.8±3.69	156.1±2.15	156.1±2.15	156.1±2.15	55.9±0.99	
6	0.04996±0.00074	0.02488±0.00033	0.17133±0.00277	0.00283±0.00004	193.2±34.12	160.6±2.4	158.4±2.05	158.4±2.05	158.4±2.05	57.1±0.74	
7	0.04839±0.00345	0.02439±0.00044	0.16265±0.01147	0.00277±0.00008	118.6±160.05	153±10.02	155.3±2.79	155.3±2.79	155.3±2.79	55.9±1.58	
8	0.04596±0.00301	0.02515±0.00043	0.15931±0.01034	0.00281±0.00007	0.1±145.88	150.1±9.05	160.1±2.68	160.1±2.68	160.1±2.68	56.8±1.47	
9	0.04843±0.00276	0.02404±0.00041	0.16048±0.00906	0.00271±0.00007	120.5±129.19	151.1±7.93	153.2±2.55	153.2±2.55	153.2±2.55	54.7±1.36	
10	0.04562±0.00145	0.02508±0.00036	0.1577±0.00503	0.00281±0.00005	0.1±52.51	148.7±4.41	159.7±2.29	159.7±2.29	159.7±2.29	56.7±1.00	
11	0.04971±0.00203	0.02436±0.00037	0.16697±0.00679	0.00611±0.00018	181.4±92.64	156.8±5.91	155.2±2.32	155.2±2.32	155.2±2.32	123.1±3.53	
12	0.04903±0.00435	0.02427±0.00051	0.16406±0.01435	0.0056±0.0002	149.3±195.66	154.3±12.52	154.6±3.21	154.6±3.21	154.6±3.21	112.9±4.00	
13	0.04887±0.00316	0.02403±0.00044	0.1619±0.01034	0.00619±0.00021	141.4±145.32	152.4±9.04	153.1±2.74	153.1±2.74	153.1±2.74	124.8±4.12	
14	0.04859±0.00248	0.02419±0.0004	0.16207±0.00816	0.00595±0.00018	128.0±115.89	152.5±7.13	154.1±2.55	154.1±2.55	154.1±2.55	119.8±3.62	
15	0.04915±0.00287	0.02358±0.0004	0.1598±0.00921	0.00574±0.00018	155.0±131.13	150.5±8.07	150.3±2.53	150.3±2.53	150.3±2.53	115.6±3.56	
16	0.04932±0.00329	0.02444±0.00045	0.16616±0.01091	0.00633±0.00021	163.0±148.75	156.1±9.5	155.6±2.86	155.6±2.86	155.6±2.86	127.5±4.31	
17	0.05112±0.00281	0.02453±0.00041	0.17288±0.00939	0.00633±0.00018	246.1±121.77	161.9±8.13	156.2±2.59	156.2±2.59	156.2±2.59	127.6±3.64	
18	0.05004±0.0027	0.02437±0.0004	0.1681±0.00898	0.00605±0.00017	196.9±120.7	157.8±7.8	155.2±2.52	155.2±2.52	155.2±2.52	121.8±3.37	

注: 测试单位: 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 测试仪器: 激光电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)。

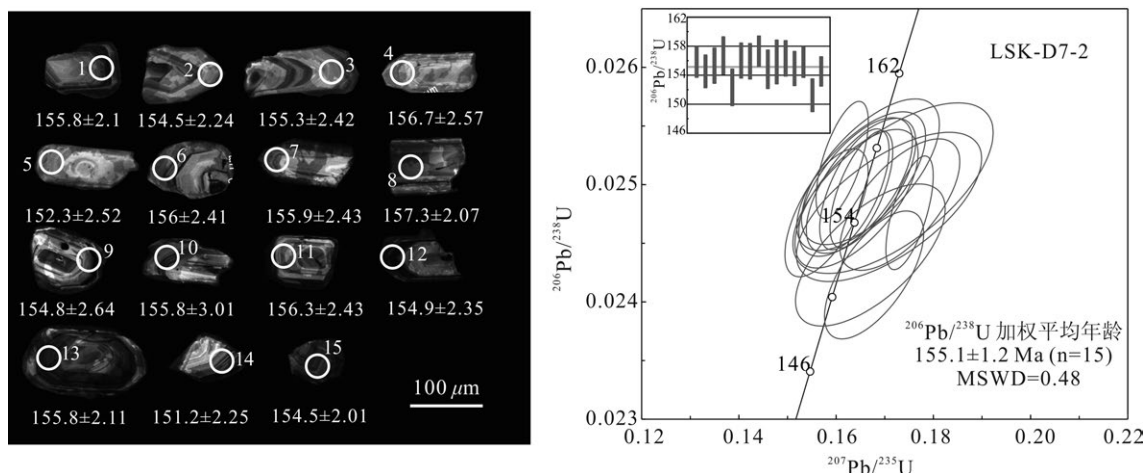


图3 铁锰碳酸盐角砾岩层顶板晶屑凝灰岩内锆石阴极发光电子图像及U-Pb年龄谐和图  
Fig.3 Zircon U-Pb concordia diagram and cathodoluminescence electron images of Fe-Mn carbonate breccias roof crystal tuff

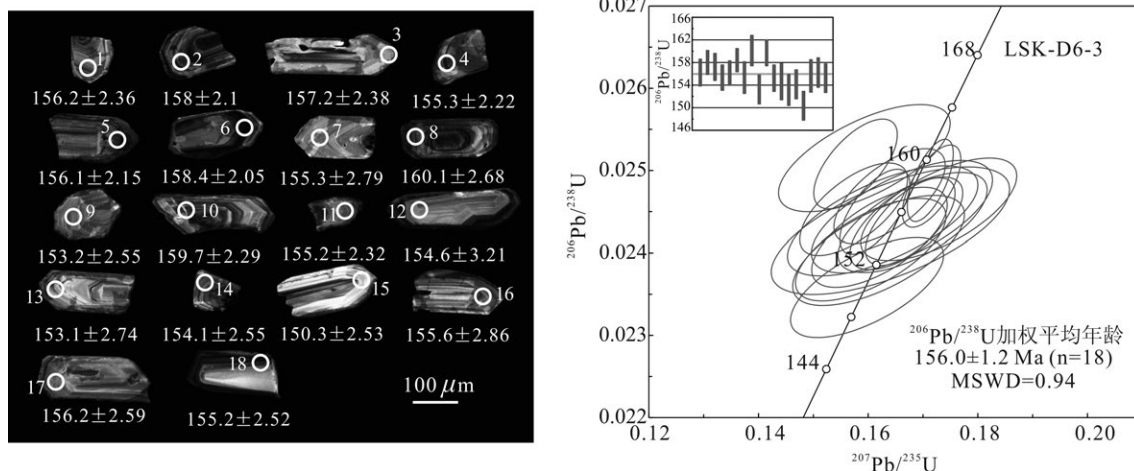


图4 铁锰碳酸盐角砾岩层底板晶屑凝灰岩内锆石阴极发光电子图像及U-Pb年龄谐和图  
Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagram and cathodoluminescence electron images of Fe-Mn carbonate breccias bottom crystal tuff

5), LREE 变化于  $6.29 \times 10^{-6} \sim 27.25 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $0.89 \times 10^{-6} \sim 8.83 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为 2.77~7.83, 轻重稀土分馏程度低,  $(La/Yb)_N$  为 2.04~12.05, Eu 有明显的正异常,  $\delta Eu$  大多数分布在 1.32~3.12, 但有 3 个样品有较大的正 Eu 异常 ( $> 10$ ), Ce 有弱的负异常,  $\delta Ce$  在 0.81~0.93。铁锰碳酸盐角砾岩的稀土组成特征不同于正常的湖相沉积型碳酸盐岩<sup>[24]</sup>, 既有类似于正常湖相沉积碳酸盐岩低的稀土总量, 又类似石英正长质岩石的正 Eu 异常特征<sup>[15]</sup>。

#### 4.3 碳氧同位素特征

从铁锰碳酸盐角砾岩样品的碳氧同位素组成

(表 4) 分析,  $\delta^{13}C_{PDB}$  值为  $-3.844\% \sim -8.389\%$ , 平均值  $-6.108\%$ ,  $\delta^{18}O_{PDB}$  值在  $-12.978\% \sim -19.522\%$ , 平均值  $-15.667\%$ ,  $\delta^{18}O_{SMOW}$  值在  $10.736\% \sim 17.481\%$ , 平均值  $14.709\%$ 。

## 5 讨论

### 5.1 成岩时限及物质来源

由铁锰碳酸盐角砾岩层与顶底板火山岩之间的整合接触关系, 以及顶底板火山岩锆石 U-Pb 年龄结果分析, 铁锰碳酸盐角砾岩成岩时代在 155 Ma 左右。

表3 铁锰碳酸盐角砾岩稀土元素含量(10<sup>-6</sup>)及其特征值  
Table 3 REE content (10<sup>-6</sup>) and characteristic values of Fe-Mn carbonate breccias

分析项目	LSK-D13-1	LSK-D13-2	LSK-D13-3-1	LSK-D13-3-2	LSK-D13-4	LSK-D13-5	LSK-D13-6	LSK-D13-7	LSK-D13-8	LSK-D13-9	LSK-D13-10	LSK-D13-13	LSK-D13-14	LSK <sup>[15]</sup> (3个数据平均)	DH <sup>[23]</sup> (11个数据平均)
	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	铁锰碳酸盐角砾岩	石英 正长斑岩	湖相 碳酸盐岩
La	1.59	6.66	2.30	4.64	1.92	4.55	1.57	1.85	1.91	1.86	1.43	4.60	3.19	78.87	13.18
Ce	2.73	11.40	3.74	7.77	2.84	7.50	2.64	3.17	2.97	3.36	2.36	7.61	6.02	119.00	28.52
Pr	0.38	1.38	0.44	0.96	0.31	0.84	0.33	0.39	0.34	0.38	0.27	0.80	0.76	17.40	2.83
Nd	1.44	5.45	1.66	3.79	1.18	3.26	1.29	1.44	1.20	1.47	1.02	2.85	3.16	62.80	10.63
Sm	0.35	1.29	0.35	0.87	0.26	0.71	0.27	0.33	0.24	0.35	0.21	0.48	0.84	10.32	2.06
Eu	0.27	1.08	1.28	0.76	0.29	0.41	1.63	0.31	0.17	0.21	0.98	0.50	0.40	3.54	0.44
Gd	0.37	1.54	0.41	1.02	0.32	0.83	0.33	0.39	0.30	0.40	0.23	0.58	1.01	9.76	2.05
Tb	0.06	0.28	0.07	0.18	0.06	0.14	0.05	0.07	0.05	0.07	0.03	0.09	0.18	1.23	0.27
Dy	0.42	2.31	0.53	1.55	0.47	1.01	0.42	0.51	0.36	0.52	0.26	0.61	1.34	6.05	1.50
Ho	0.11	0.60	0.14	0.43	0.12	0.26	0.10	0.13	0.08	0.12	0.06	0.14	0.33	1.22	0.33
Er	0.30	1.85	0.44	1.45	0.38	0.75	0.29	0.38	0.24	0.35	0.15	0.38	0.97	3.26	0.92
Tm	0.04	0.27	0.07	0.23	0.06	0.10	0.04	0.06	0.04	0.05	0.02	0.05	0.13	0.45	0.13
Yb	0.26	1.70	0.42	1.63	0.36	0.56	0.26	0.34	0.20	0.34	0.12	0.27	0.78	2.69	0.86
Lu	0.04	0.27	0.07	0.28	0.06	0.09	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02	0.04	0.13	0.39	0.13
Y	3.88	20.92	4.79	14.74	4.45	11.04	3.82	4.00	3.03	3.63	1.79	5.34	12.12	36.40	9.11
ΣREE	8.35	36.08	11.92	25.56	8.62	21.02	9.28	9.45	8.14	9.54	7.18	19.00	19.25	316.98	63.84
LREE	6.76	27.25	9.78	18.78	6.80	17.28	7.73	7.49	6.82	7.63	6.29	16.84	14.37	291.92	57.67
HREE	1.59	8.83	2.14	6.78	1.82	3.74	1.54	1.94	1.31	1.91	0.89	2.15	4.88	25.05	6.17
LREE/HREE	4.24	3.09	4.58	2.77	3.74	4.62	5.01	3.87	5.19	4.00	7.04	7.82	2.95	11.65	9.34
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.41	2.81	3.92	2.04	3.86	5.83	4.27	3.84	6.67	3.88	8.56	12.05	2.94	21.00	11.05
δEu	2.28	2.33	10.28	2.44	3.12	1.64	16.65	2.67	1.97	1.75	13.36	2.88	1.32	1.06	0.65
δCe	0.84	0.88	0.85	0.86	0.81	0.87	0.86	0.87	0.84	0.93	0.87	0.89	0.92	0.75	1.09

注: 测定单位: 中国科学院南京地质古生物研究所国家重点实验室; 测试仪器: ICP-MS; 分析精度优于1%; δEu=(Eu)<sub>N</sub>/0.5(Sm+Nd)<sub>N</sub>, δCe=(Ce)<sub>N</sub>/0.5(La+Pr)<sub>N</sub>, 球粒陨石标准值据文献[23]。



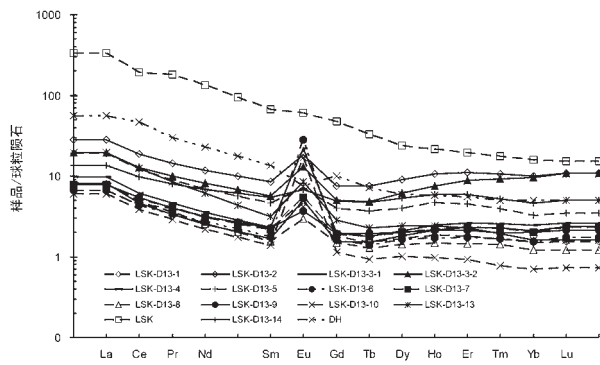


图5 铁锰碳酸盐角砾岩稀土元素配分型式图  
Fig.5 REE patterns of Fe-Mn carbonate breccias

通过稀土元素,我们注意到铁锰碳酸盐角砾岩有着与上部石英正长质岩石相类似的正Eu异常,暗示岩石可能同样富含长石,这是因为Eu有2种价态:Eu<sup>2+</sup>和Eu<sup>3+</sup>,而在长石中Eu<sup>2+</sup>比Eu<sup>3+</sup>有更强的相容性,从而造成正Eu异常,另有3个样品具有更高的正Eu异常可能是因为局部长石异常富集。因此,铁锰碳酸盐角砾岩的成岩物质组成中应含有大量正长质岩浆岩组分。

碳氧同位素同样为铁锰碳酸盐角砾岩的成岩物质来源提供了线索(图6)。不同源区CO<sub>2</sub>的C同

位素具有不同的分馏趋势,而地质流体中CO<sub>2</sub>大致有3种来源:①海相碳酸盐岩溶解和去碳酸作用;②有机质脱羧基和氧化作用;③地幔去气和岩浆结晶分异作用<sup>[25-27]</sup>。有机成因 $\delta^{13}C_{PDB} < -10\text{‰}$ ,主要在 $-10\text{‰} \sim -30\text{‰}$ ,无机成因 $\delta^{13}C_{PDB} > -8\text{‰}$ ,主要在 $-8\text{‰} \sim 3\text{‰}$ 。在无机成因二氧化碳中,由于碳酸盐岩变质成因 $\delta^{13}C_{PDB}$ 接近于沉积的碳酸盐岩的 $\delta^{13}C$ 值,在 $0 \pm 3\text{‰}$ ;火山-岩浆成因和幔源的二氧化碳, $\delta^{13}C_{PDB}$ 值大多在 $-6\text{‰} \pm 2\text{‰}$ <sup>[28]</sup>,而下鲍矿段的矿体铁锰碳酸盐角砾岩 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值在 $-3.844\text{‰} \sim -8.389\text{‰}$ ,属于无机成因的火山-岩浆成因来源或陆相沉积岩。氧同位素是一种非常有效的手段,可以区分形成于与地幔平衡的岩石以及那些形成于与地壳平衡的岩石,在通常情况下,大陆地壳比地幔富集 $\delta^{18}O$ ,这可能主要是由于大陆地壳和水圈之间长期相互作用的结果,在低温地质过程中<sup>18</sup>O分配到地壳矿物中,因此从基性岩浆岩到酸性岩浆岩再到沉积岩 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值逐步增高。冷水坑铁锰碳酸盐角砾岩的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值位于岩浆岩与沉积岩之间,指示陆相沉积岩与岩浆岩均为成岩提供了物质来源。

5.2 成岩环境

将 $\delta^{13}C_{PDB}$ 、 $\delta^{18}O_{PDB}$ 值二者结合起来,可以区分

表4 铁锰碳酸盐矿物碳氧同位素组成  
Table 4 C, O isotopic composition of Fe-Mn carbonate breccias

序号	样品号	岩石名称	测试对象	$\delta^{13}C_{PDB}$ /‰	$\delta^{18}O_{PDB}$ /‰	$\delta^{18}O_{SMOW}$ /‰	Z
1	LSK-D13-1	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-6.713	-17.632	12.684	104.771
2	LSK-D13-2	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-3.844	-14.772	15.632	112.071
3	LSK-D13-3-1	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-5.469	-16.159	14.202	108.052
4	LSK-D13-3-2	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-4.548	-16.761	13.582	109.639
5	LSK-D13-4	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-6.444	-18.173	12.126	105.053
6	LSK-D13-5	铁锰碳酸盐集块	菱铁(锰)矿	-6.332	-13.942	16.488	107.389
7	LSK-D13-6	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-4.898	-16.758	13.585	108.923
8	LSK-D13-7	铁锰碳酸盐集块	菱铁(锰)矿	-7.215	-19.522	10.736	102.802
9	LSK-D13-8	铁锰碳酸盐集块	菱铁(锰)矿	-8.042	-14.194	16.228	103.761
10	LSK-D13-9	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-7.120	-16.250	14.109	104.626
11	LSK-D13-10	铁锰碳酸盐角砾	菱铁(锰)矿	-4.843	-13.531	16.911	110.643
12	LSK-D13-13	铁锰碳酸盐集块	菱铁(锰)矿	-8.389	-12.978	17.481	103.656
13	LSK-D13-14	铁锰碳酸盐集块	菱铁(锰)矿	-5.546	-13.003	17.456	109.466

注:测定单位:中国科学院南京地质古生物研究所国家重点实验室;测试仪器:MAT-253;测试精度 $\geq 0.01\text{‰}$ 。

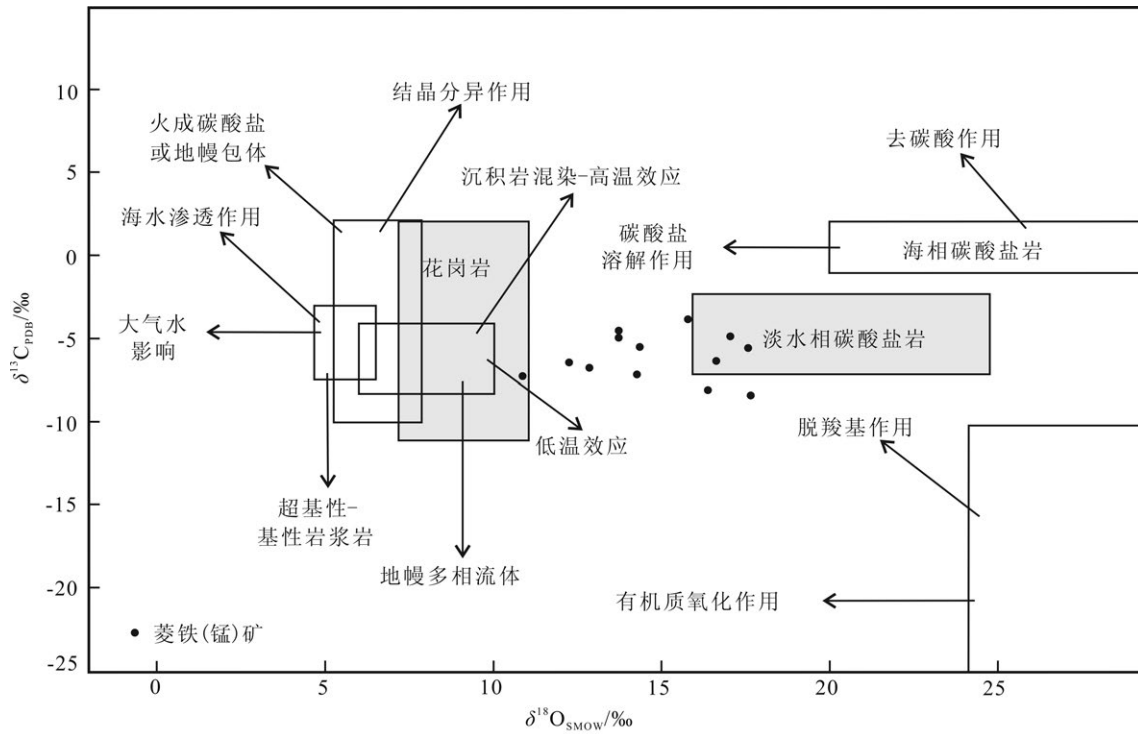


图6 铁锰碳酸盐角砾岩 $\delta^{13}C_{PDB}-\delta^{18}O_{SMOW}$ 同位素图解(底图据文献[24-26]改编)

Fig.6  $\delta^{18}O_{SMOW}$  versus  $\delta^{13}C_{PDB}$  diagram of Fe-Mn carbonate breccias(modified after References [24-26])

罗纪以来的碳酸盐沉积环境,其经验公式如下:

$$Z=2.048(\delta^{13}C_{PDB}+50)+0.498(\delta^{18}O_{PDB}+50)^{[29]}$$

若  $Z > 120$ , 则表明形成环境属于海相环境;若  $Z < 120$ , 则表明形成环境属陆相湖泊环境;若  $Z = 120$ , 则表明未定型其形成环境。

由表4可知,其Z值在102.802~112.071,平均值106.989,  $Z < 120$ , 结合区域地质背景判断,铁锰碳酸盐角砾岩形成于陆相火山湖泊环境。

## 6 结论

从铁锰碳酸盐角砾岩的宏观特征、地球化学特征、成岩时限分析,通过研究沉积-角砾化-成岩过程,可得出如下结论:

(1)中晚侏罗世火山喷发与沉积交替进行,在火山喷发沉积间歇期,于陆相火山湖泊内沉积形成铁锰碳酸盐岩层。

(2)在155 Ma左右,火山强烈喷发活动,形成了侏罗系两大旋回火山杂岩,并使沉积于陆相火山湖泊内的铁锰碳酸盐岩层随着火山强烈的喷发作用而破碎成铁锰碳酸盐角砾(火山角砾岩),在成岩过程中,存在正长质岩浆物质的混入。

**致谢:** 研究过程中得到了江西省地质矿产勘查开发局912地质队(在野外工作、资料收集中)的鼎力帮助,镜下鉴定工作得到了黄光昭研究员的悉心指导,初稿得到了叶海敏副研究员的悉心审阅,在此一并致以诚挚的谢意!

## 参考文献(References):

[1] 王长明, 徐贻赣, 吴淦国, 等. 江西冷水坑Ag-Pb-Zn矿田碳、氧、硫、铅同位素特征及成矿物质来源[J]. 地学前缘, 2011, 18(1): 179-192.  
Wang Changming, Xu Yigan, Wu Ganguo, et al. C, O, S and Pb isotopes characteristics and sources of theore metals of the Lengshuikeng Ag- Pb- Zn ore field, Jiangxi[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(1): 179-193(in Chinese with English abstract).

[2] 邓绍明. 江西贵溪冷水坑古火山岩区隐爆碎屑岩类型及成因探讨[J]. 江西地质科技, 1991, 18(1): 28-32.  
Deng Shaoming. Cryptoexplosive breccia type and metallogeny in the paleo volcanic rock zone in Lengshuikeng, Guixi, Jiangxi Province [J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 1991, 18(1): 28-32(in Chinese with English abstract).

[3] 齐进英. 江西冷水坑斑岩类型及其矿化特征[J]. 岩石学报, 1987, 3(1): 40-48.  
Qi Jinying. Porphyry type and its mineralization characteristics in

- Lengshuikeng, Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1987, 3(1): 40–48(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘迅, 申世亮. 江西冷水坑银铅锌矿田构造地球化学的若干问题[J]. *大地构造与成矿学*, 1991, 15(1): 41–54.
- Liu Xun, Shen Shiliang. Several problems of tectono-geochemistry in Lengshuikeng Ag–Pb–Zn ore–field, Jiangxi Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1991, 15(1): 41–54(in Chinese with English abstract).
- [5] 王安城. 冷水坑斑岩银铅锌矿床的赋存状态及富集规律[J]. *江西地质*, 1991, 5(3): 227–237.
- Wang Ancheng. Occurrence and concentration regularity of silver in Lengshuikeng porphyritic Ag–Pb–Zn deposit[J]. *Geology of Jiangxi*, 1991, 5(3): 227–237(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄振强. 冷水坑银矿田成矿条件及矿床特征[J]. *贵金属地质*, 1993, 2(4): 284–291.
- Huang Zhenqiang. The mineralization conditions and deposit characteristics of Lengshuikeng silver orefield in Jiangxi, China[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1993, 2(4): 284–291(in Chinese with English abstract).
- [7] 杨存来. 江西冷水坑铅锌银矿床地球化学异常特征及找矿模式[J]. *物探与化探*, 1993, 17(3): 173–181.
- Yang Cunlai. Geochemistry abnormality and prospecting model in the Lengshuikeng Pb–Zn–Ag deposit, Jiangxi Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 1993, 17(3): 173–181(in Chinese with English abstract).
- [8] 董绍芳. 江西冷水坑含金斑岩及金矿化特征[J]. *江西地质*, 1994, 8(1): 14–20.
- Dong Shaofang. The characteristics of Lengshuikeng auriferous porphyry and its gold mineralization in Jiangxi Province[J]. *Geology of Jiangxi*, 1994, 8(1): 14–20(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈繁荣, 裘愉卓. 江西贵溪冷水坑多金属矿床成矿过程流体地球化学模拟及其地质意义[J]. *地球化学*, 1995, 24(C00): 24–32.
- Chen Fanrong, Qiu Yuzhuo. Fluid geochemical modeling in ore-forming process of Lengshuikeng polymetallic ore deposit, Guixi, Jiangxi Province, China and its geological implications[J]. *Geochimica*, 1995, 24(C00): 24–32(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈武, 周建平. 江西冷水坑斑岩型银铅锌矿床矿化特征[J]. *矿物岩石*, 1988, 8(2): 84–91.
- Chen Wu, Zhou Jianping. Mineralization of the Lengshuikeng porphyritic Ag–Pb–Zn deposit in Jiangxi Province[J]. *Journal of Mineral Rock*, 1988, 8(2): 84–91(in Chinese with English abstract).
- [11] 徐文炘, 肖孟华, 陈民扬. 江西冷水坑银铅锌矿床同位素地球化学研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(4): 370–372.
- Xu Wenxi, Xiao Menghua, Chen Minyang. Stable isotope characteristics of minerals in the Lengshuikeng porphyry Ag–Pb–Zn deposit in Jiangxi Province[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4): 370–372(in Chinese with English abstract).
- [12] 左力艳, 孟祥金, 杨竹森. 冷水坑斑岩型银铅锌矿床含矿岩系岩石地球化学及Sr、Nd同位素研究[J]. *矿床地质*, 2008, 27(3): 367–382.
- Zuo Liyan, Meng Xiangjin, Yang Zhusen. The research on petrochemistry, and Sr, Nd isotopes of intrusive in Lengshuikeng porphyry type Ag–Pb–Zn deposit[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(3): 367–382(in Chinese with English abstract).
- [13] 左力艳. 江西冷水坑斑岩型银铅锌矿床成矿作用研究[D]. 中国地质科学院, 2008.
- Zuo Liyan. Research on Mineralization of the Lengshuikeng Porphyry Ag–Pb–Zn Deposit in Jiangxi Province, China[D]. Chinese Academy of Geological Sciences, 2008(in Chinese with English abstract).
- [14] 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 等. 江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床地质特征、热液蚀变与成矿时限[J]. *地质学报*, 2009, 83(12): 1951–1967.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Dong Guangyu, et al. Geological characteristics and mineralization timing of the Lengshuikeng porphyry Pb–Zn–Ag deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(12): 1951–1967(in Chinese with English abstract).
- [15] 孟祥金, 董光裕, 刘建光, 等. 江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1–84.
- Meng Xiangjin, Dong Guangyu, Liu Jianguang, et al. Porphyry Pb–Zn–Ag Deposit of Lengshuikeng in Jiangxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1–84(in Chinese with English abstract).
- [16] 严学信, 赵志刚, 何细荣. 贵溪冷水坑银矿田天银元素富集规律研究[J]. *资源调查与环境*, 2007, 28(1): 46–53.
- Yan Xuexin, Zhao Zhigang, He Xirong. On Ag element enrichment in Lengshuikeng Ag mine, Guixi, Jiangxi Province [J]. *Resources Survey and Environment*, 2007, 28(1): 46–53(in Chinese with English abstract).
- [17] 魏明秀. 江西冷水坑斑岩银矿床的蚀变碳酸盐矿物与银矿化关系[J]. *矿产与地质*, 1997, 11(1): 39–45.
- Wei Mingxiu. Relationship between altered carbonate minerals and silver mineralization in the Lengshuikeng porphyry silver deposit, Jiangxi Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 1997, 11(1): 39–45(in Chinese with English abstract).
- [18] 黄振强. 冷水坑碳酸盐型银矿床成因探讨[J]. *江西地质*, 1992, 6(1): 1–9.

- Huang Zhenqiang. Metallogeny of the carbonate Ag deposit in Lengshuikeng[J]. *Geology of Jiangxi*, 6(1): 1-9(in Chinese with English abstract).
- [19] 何细荣, 黄冬如, 饶建锋. 江西贵溪冷水坑矿田下鲍银铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. *中国西部科技*, 2010, 9(25): 1-3.
- He Xirong, Huang Dongru, Rao Jianfeng. The geological characteristics and cause discussion on XiaBao Ag- Pb- Zn deposit in the Lengshuikeng ore- field, Jiangxi Province[J]. *Science and Technology in Western China*, 2009, 9(25): 24-28(in Chinese with English abstract).
- [20] 周建祥. 冷水坑矿田层控叠生型矿体特征及成因[J]. *民营科技*, 2009, (12): 4-6.
- Zhou Jianxiang. The stratabound telescoped orebody characteristics and causes of Lengshuikeng ore- field[J]. *Private Science and Technology*, 2009, (12): 4-6(in Chinese with English abstract).
- [21] 承斯. 江西冷水坑银铅锌矿下鲍矿区闪锌矿的矿物学特征研究[D]. 中国地质大学(北京), 2011.
- Chen Si. The Mineralogical Study of Sphalerite of Xiabao Deposit in Lengshuikeng Ag- Pb- Zn ore- field, Jiangxi Province[D]. *China University of Geosciences(Beijing)*, 2011(in Chinese with English abstract).
- [22] 孙建东. 江西省冷水坑银铅锌矿床同位素地质研究[D]. 成都理工大学, 2012.
- Sun Jiandong. Research on Isotope Geology of the Lengshuikeng Ag-Pb-Zn Deposit, Jiangxi Province[D]. *Chengdu University of Technology*, 2012(in Chinese with English abstract).
- [23] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). *Magmatism in the Oceanic Basin. Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42: 313-345.
- [24] 王东, 王国芝, 郝雪峰, 等. 东营凹陷沙四段碳酸盐岩稀土元素地球化学特征[J]. *沉积与特提斯地质*, 2009, 29(4): 62-67.
- Wang Dong, Wang Guozhi, Hao Xuefeng, et al. REE geochemistry of the carbonate rocks from the 4th member of the Shahejie Formation in the Dongying depression, Shandong[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2009, 29(4): 62-67 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘家军, 何明勤, 李志明, 等. 云南白秧坪银铜多金属矿集区碳氧同位素组成及其意义[J]. *矿床地质*, 2004, 23(1): 3-6.
- Liu Jiajun, He Mingqin, Li Zhiming, et al. Oxygen and Carbon isotopic geochemistry of Baiyangping silver copper polymetallic ore concentration area in Lanping Basin of Yunnan Province and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 20(1): 246-250(in Chinese with English abstract).
- [26] 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J]. *矿物学报*, 1997, 17(4): 448-456.
- Liu Jianming, Liu Jiajun. Basin fluid genetic model of sediment-hosted microdisseminated gold deposits in the gold-triangle area between Guizhou, Guangxi and Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1997, 17(4): 449-455(in Chinese with English abstract).
- [27] 毛景文, 赫英, 丁梯平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氢氧同位素证据[J]. *矿床地质*, 2002, 21(2): 121-128.
- Mao Jingwen, Hao Ying, Ding Tiping. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) gold district: evidence of C, O and H isotopes[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(2): 121-128(in Chinese with English abstract).
- [28] 戴金星, 宋岩, 洪峰, 等. 中国东部无机成因的二氧化碳气藏及其特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 1994, 8(4): 215-222.
- Dai Jinxing, Song Yan, Hong Feng, et al. Inorganic genetic carbon dioxide gas accumulations and their characteristics in east part of China[J]. *China Offshore Oil and Gas(Geology)*, 1994, 8(4): 215-222(in Chinese with English abstract).
- [29] Keith M L, Weber Y N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, 28: 1787-1816.

## A genetic study of Fe–Mn carbonate breccias in the Lengshuikeng Ag–Pb–Zn deposit, Jiangxi Province

SUN Jian–dong<sup>1,2</sup>, LUO Xue–quan<sup>1</sup>, ZHANG Xue–hui<sup>1</sup>, ZHANG Chun–mao<sup>2</sup>,  
LI Chun–hai<sup>1</sup>, YU Ming–gang<sup>1</sup>, ZHU Yi–ping<sup>1</sup>, ZONG Wen<sup>2</sup>

(1. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

2. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

**Abstract:** The Fe–Mn carbonate breccias strata are in conformable contact with the roof and floor Jurassic volcanic complex in the Lengshuikeng Ag–Pb–Zn deposit of Jiangxi Province, with clear volcanic tuffaceous substance existent in interstitial materials. The REE distribution patterns are right–oblique, and the composition characteristics are similar to features of lower total rare earth content of normal lacustrine carbonate and positive Eu abnormal characteristics of pyroxenitic magmatic rocks. C, O isotopes show that the deformation occurred in continental volcanic lakes, and continental sedimentary and magmatic rocks provided diagenetic material source. The zircon U–Pb age of the roof and floor volcanic complex is constrained around 155 Ma, and the Fe–Mn carbonate breccias underwent a diagenetic process of sedimentary–volcanic eruption of continental volcanic lakes, with the addition of the intrusion of pyroxenitic magmatic rocks.

**Key words:** Lengshuikeng; Fe–Mn carbonate; genesis; process

---

**About the first author:** SUN Jian–dong, male, born in 1987, assistant engineer, engages in the study of ore deposit geology; E–mail: njsunjiandong@163.com.