

doi: 10.12029/gc20200212

隰弯弯, 陈世忠, 朱筱婷. 2020. 福建政和夏山铅锌矿成矿时代研究及讨论[J]. 中国地质, 47(2): 440–449.

Xi Wanwan, Chen Shizhong, Zhu Xiaoting. 2020. Research and discussion on the metallogenic epochs of the Xiashan Pb–Zn deposit in Zhenghe County, Fujian Province[J]. *Geology in China*, 47(2): 440–449(in Chinese with English abstract).

## 福建政和夏山铅锌矿成矿时代研究及讨论

隰弯弯, 陈世忠, 朱筱婷

(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 福建政和夏山铅锌矿是福建省于 20 世纪 50 年代发现的大型铅锌矿, 其成因类型长期存在分歧。前人多将其归为沉积-改造型铅锌矿床, 即矿层在新元古代由含矿热水沉积形成, 燕山期岩浆侵入仅对其进行了改造和富集; 但也有部分学者认为夏山铅锌矿是受燕山期铜盆庵正长花岗岩侵入作用影响所形成的矽卡岩型铅锌矿床。本文通过对夏山铅锌矿矿区精细的地质调查表明, 夏山铅锌矿体的分布及形态与矿区内花岗斑岩密切相关, 铜盆庵岩体对夏山铅锌矿的影响表现在后期的叠加、富集作用。为精确厘定夏山铅锌矿成岩成矿时代, 文章对夏山铅锌矿区内与成矿相关的花岗斑岩进行了精确的锆石 La–ICP–MS U–Pb 定年工作。测试结果表明矿区花岗斑岩的侵入时代为  $(173.0 \pm 1.7)$  Ma, 要早于铜盆庵岩体 (155–150 Ma), 而夏山铅锌矿则形成于  $(173 \pm 1.7)$  Ma (燕山早期)。这一成矿时代与赣东北地区主要的铜、银、铅锌多金属矿的成矿时代较为一致, 表明武夷山地区对华南中生代第一期爆发式成矿作用亦有积极响应, 具有早燕山期铜、银、铅锌多金属矿的成矿潜力。而结合前人研究成果, 将武夷成矿带北段成矿期次划分为 173 Ma 和 90–125 Ma 两个重要的成矿期次, 这一研究结果对武夷山成矿带进一步开展隐伏、叠加矿床的找矿工作及成矿规律研究具有重要意义。

**关键词:** 夏山铅锌矿; 矽卡岩型矿床; 铜盆庵岩体; 矿产勘查工程; 武夷山; 福建政和  
中图分类号: P536; P597.3 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2020)02–0440–10

## Research and discussion on the metallogenic epochs of the Xiashan Pb–Zn deposit in Zhenghe County, Fujian Province

XI Wanwan, CHEN Shizhong, ZHU Xiaoting

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

**Abstract:** The Xiashan Pb–Zn deposit is a large-sized Pb–Zn deposit discovered in Fujian Province in the 1950s. Although most researchers have classified this deposit as a sedimentary–reworked Pb–Zn deposit, some geologists still believe that it is a skarn type deposit formed by the intrusion of the Tongpenan pluton (syenite granite) in Yanshanian period. Based on geological survey, the authors hold that the distribution and morphology of orebodies are closely related to granite porphyry. Ore-related granite porphyry samples from the Xiashan Pb–Zn deposit were dated by zircon La–ICP–MS U–Pb chronology, which yielded an age of  $173 \pm 1.7$  Ma. This result confirms that the Xiashan Pb–Zn deposit involved a skarn mineralization process of Early Yanshanian period which

收稿日期: 2018–09–27; 改回日期: 2019–03–14

基金项目: 中国地质调查局项目 (12120114002601) 资助。

作者简介: 隰弯弯, 男, 1986 年生, 工程师, 从事矿产勘查工作; E-mail: xww230@163.com。

was earlier than the intrusion of the Tongpenan pluton (155–150 Ma). In addition, the age of  $173 \pm 1.7$  Ma is consistent with the metallogenic epoch of Cu, Ag, Pb and Zn polymetallic deposits in northeastern Jiangxi Province, suggesting that the Wuyi Mountain metallogenic belt in Fujian Province had a positive response to the first large metallogeny of the Early Yanshanian period in southern China, and has the potential in the search for Cu, Ag, Pb and Zn polymetallic deposits. According to the results obtained by the authors and previous studies, two important metallogenic periods (173 Ma and 90–125 Ma) of Yanshanian period can be recognized in the Wuyi Mountain metallogenic belt, especially in the north region. These results are of great significance for discovering and studying the concealed and superimposed deposits in the Wuyi Mountain metallogenic belt.

**Key words:** Xiashan Pb–Zn deposit; skarn deposit; Tongpenan pluton; mineral exploration engineering; Wuyi Mountain; Zhenghe County

**About the first author:** XI Wanwan, male, born in 1986, assistant researcher, master, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits, engages in mineral resources survey and study; E-mail: xww230@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No.12120114002601).

## 1 引言

武夷山地区新元古代地层中分布有大量的铅锌矿床,而夏山铅锌矿则是这一类型的典型代表(石礼炎等,1996;王绍雄,2003;黄庆敏,2009;张国华,2009;张克尧,2009;王启等,2011;黄昌旗,2014;丁建华等,2016)。该矿床位于福建省政和县,具有悠久的铅锌多金属开采历史。其矿体分布于新元古代变质岩中,多呈扁豆状、透镜状等形态,产状多与地层一致,因而前人多将其划归为沉积-改造型铅锌矿床,认为其成矿时代以新元古代为主,中生代次之,新元古代的含矿热水循环喷流、沉淀、堆积形成了主要的矿体,而燕山期的小规模岩浆活动仅对成矿元素的迁移和富集起了一定的作用(王绍雄,2003;吴淦国,2004;张克尧,2009;黄昌旗,2014;丁建华等,2016)。但亦有部分学者提出夏山铅锌矿的成矿物质可能主要来源于燕山期岩浆热液(郑开旗和周乐生,1987;周乐生和郑开旗,1990;张乾和潘家永,1994;吴开兴等,2002;王建超,2016)。

近年来,对夏山铅锌矿的研究不断深入,如余心起等(2006)明确提出夏山铅锌矿是由燕山期花岗斑岩侵入龙北溪岩组变质岩,在中等深度发生了接触交代和渗透交代作用而形成的中高温热液交代矽卡岩型铅锌矿床;狄永军等(2006)通过对矿区矽卡岩矿物的组合及成分特征等研究,认为夏山铅锌矿是与正长花岗(斑)岩(即铜盆庵岩体)有关的矽卡岩型矿床,其最终的形成和定位可能与燕山期正长花岗岩及其同源火成岩有关,正长花岗(斑)岩还提供了成矿物质,这使得正长花岗岩的定年具有了重要意义;李亚楠等(2015)对矿区南侧铜盆庵岩

体正长花岗岩进行了较为精确的锆石 La-ICP-MS U-Pb 定年及稀土微量元素分析,最终认为夏山铅锌矿为铜盆庵岩体与马面山岩群变质岩接触交代产生的矽卡岩型矿床,其成矿时代与铜盆庵岩体成岩时代(155–150 Ma)接近。

但是,夏山铅锌矿主矿体并未赋存于铜盆庵岩体与马面山岩群变质岩的内外接触带中,而是与矿区广泛分布的北东向花岗斑岩脉具有更为紧密的空间关系(张克尧,2009)。而这些可能与成矿相关的花岗斑岩是否与铜盆庵岩体为同源、同时代火成岩则尚未确定。为进一步查证、确定夏山铅锌矿的成矿岩体及成矿时代,本文对夏山铅锌矿矿区蚀变矿化特征、成矿相关花岗斑岩等进行了调查研究,发现花岗斑岩为区内成矿岩体并精确测定了其锆石 La-ICP-MS U-Pb 年龄,对其与铅锌矿的成因联系进行了分析,确定了夏山铅锌矿的矿床类型及成矿时代,并对这一研究结果所具有的地质意义进行了初步讨论。

## 2 地质特征

夏山铅锌矿位于闽北政和县境内,政和一大埔深大断裂带东侧。矿区内断裂构造主要为两组,一组为北东向、北西向断裂,其中北东向断裂为成矿前主断裂,为成矿的主要控制构造。另一组断裂为北东至北北东向断裂构造,为成矿后构造,对矿床起了一定破坏作用。整个矿区处于一个北东向背斜中,背斜两翼地层褶皱发育,矿体分别位于背斜的北西、南东两翼。

矿区围岩为马面山岩群龙北溪岩组变质岩系,该套岩石主要为片岩、变粒岩,夹扁豆状、透镜状大

大理岩,大理岩受不同程度的热蚀变形成矽卡岩。龙北溪岩组南部为铜盆庵岩体,主体为正长花岗岩;西部为富镁岩体花岗岩,与成矿未见空间、时间上的联系。北部及东部则为中生代火山岩系,为区域上的主要覆盖岩系(图1)。矿区出露地层为新元古代龙北溪岩组的云母片岩,夹云母石英片岩和大理岩。云母片岩为矿体顶底板,层厚几米至上百米,岩相及物质成分变化复杂,局部石英、长石含量较高。云母片岩片理产状清晰,常具黄铁矿化及角岩化。大理岩为赋矿岩层,呈扁豆状、透镜状或薄层

状夹于云母片岩中,沿走向延伸很不稳定,自几米至上千米,呈灰白色至灰色,中粒至细粒变晶结构,层厚自十几厘米至几十米,具条带状构造。

矿区岩浆活动强烈,有众多的花岗斑岩、正长斑岩、石英斑岩、白岗岩及基性脉岩侵入。这些岩体与铅锌矿成因有密切联系。由于接触交代作用,矿区内大部分钙质层和含钙岩层已形成矽卡岩,在矿区广泛分布,并控制着矿体的分布,矿体产于侵入岩与变质岩的接触带附近,共分为4个矿带,大小矿体45个。矿体形态复杂,以扁豆状、透镜状、似层

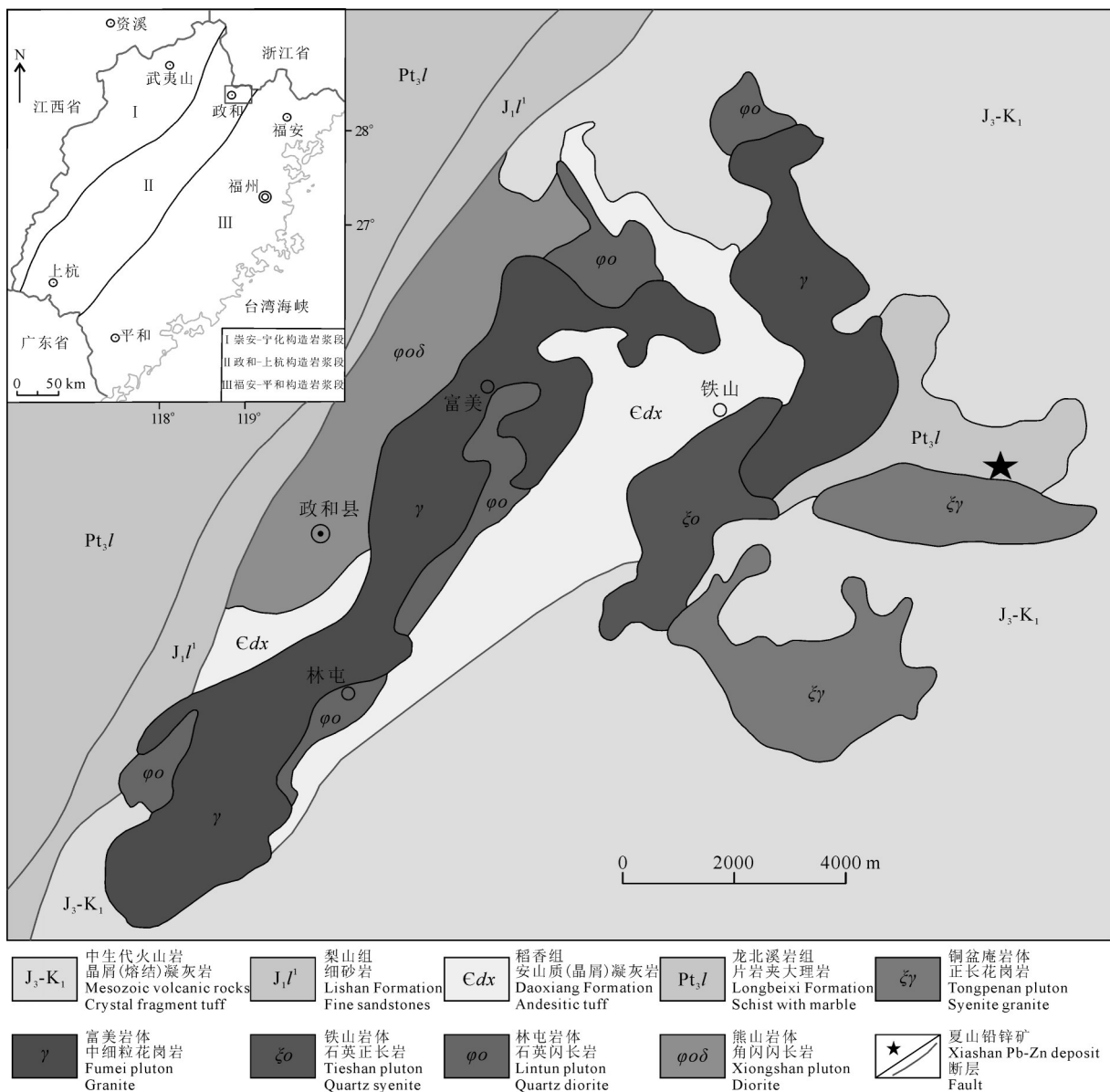


图1 夏山铅锌矿区域地质简图  
Fig.1 Regional geological sketch map of the Xiashan Pb-Zn deposit

状、脉状等为主,走向北东,产状与地层中大理岩一致,倾向南东或北西,亦有较小规模的晚期矿脉叠加于主矿体上。矿体厚度沿走向、倾向变化不稳定,品位变化不均匀。金属矿物以闪锌矿、方铅矿为主,并有少量黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿及微量的毒砂。脉石矿物以透辉石为主,其次是石榴子石、绿帘石、石英、方解石及少量阳起石、绿泥石等。矿石主要类型有条带状构造、浸染状构造、块状构造等,矿石结构以他形一半自形粒状结构、他形粒状结构为主。围岩蚀变以矽卡岩为主,次为绿泥石化、硅化、碳酸盐化等,成矿与矽卡岩关系最为密切。

夏山铅锌矿区内矽卡岩分带不甚明显,但由南向北自铜盆庵花岗岩到龙北溪岩组变质岩,整体上有石榴子石减少,透辉石增多的规律。即矿区南部石榴子石矽卡岩较为发育,矿区北部透辉石矽卡岩较多。矿区内花岗斑岩、石英斑岩等酸性岩脉十分发育。为了对矿区内酸性岩脉的成矿、含矿特征进行系统的研究,笔者在夏山铅锌矿区内测制了一条走向303°的地质实测剖面(图2,矿区内矿体走向约北东30°),剖面起点经纬度坐标:118°57'46.37"E;27°23'9.99"N,剖面各分层岩性分别为:

1. 灰色大理岩(弱矽卡岩化)
2. 深灰色变粒岩
3. 黄铁矿化变粒岩
4. 深灰色变粒岩
5. 铅锌矿脉(见花岗斑岩细脉穿插)
6. 大理岩(弱矽卡岩化)
7. 黄铁矿化大理岩(弱矽卡岩化)
8. 大理岩(局部矽卡岩化)
9. 矽卡岩(原岩为大理岩)
10. 铅锌矿体
11. 花岗斑岩

12. 铅锌矿体
13. 矽卡岩(原岩为大理岩)
14. 灰黑色变粒岩

剖面上可见宽约15 m的花岗斑岩基岩残留(图2, 11层),走向北东,呈灰—灰白色,致密块状,含少量石英斑晶,斑晶较圆较小,粒径1 mm左右,花岗斑岩内可见暗色铅锌矿细脉,团块状、浸染状黄铁矿化十分发育,矿区成矿作用受花岗斑岩控制作用明显。花岗斑岩两侧为矿体(图2, 10、12层),矿体分布于花岗斑岩外接触带的矽卡岩中,矿体形态及分布严格受花岗斑岩控制(第5层内的铅锌矿细脉亦均产于花岗斑岩细脉边部)。富银的铅锌矿呈脉状、团块状(1~5 cm)产于灰绿—灰黄绿色矽卡岩中,黄铁矿则呈脉状、致密浸染状、团块状产出。花岗斑岩与两侧矽卡岩(原岩为大理岩)在平面、剖面上均呈锯齿状接触,部分黄铁矿、铅锌矿细脉贯穿围岩和花岗斑岩脉。根据花岗斑岩与围岩的矿化特征、空间位置、矿脉穿切关系等地质特征,花岗斑岩应为两侧矽卡岩铅锌矿体的成矿岩体。为了进一步验证花岗斑岩的成矿性、确定成矿时代,在花岗斑岩(图2, 11层)中进行测年取样(样品编号:XS-TW11, 采样坐标:118°57'42.43"E;27°23'12.04"N)并从中挑选出锆石进行锆石U-Pb定年测试。

### 3 U-Pb 同位素测试方法

样品锆石的分选在河北省诚信地质服务有限公司完成。对样品进行清洗后,粉碎至80~100目,采用重液法和电磁法进行分选,在双目镜下精选、剔除杂质,尽量挑选无包裹体、无裂纹、透明度高、晶形完好的锆石颗粒作为测定对象。阴极发光CL图像分析在北京锆年领航科技有限公司JSM 6510

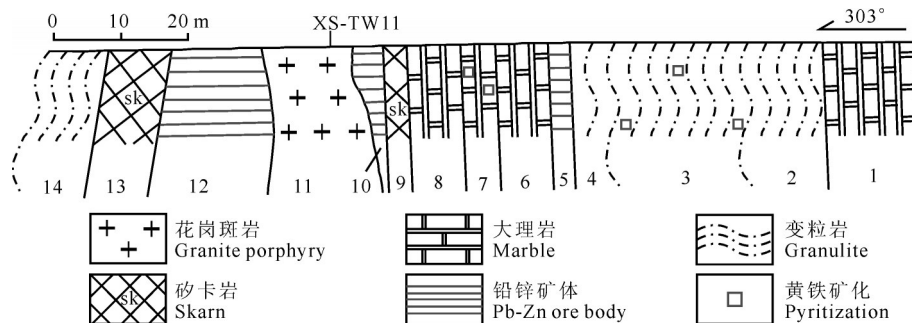


图2 夏山铅锌矿矿区实测地质剖面图  
Fig.2 Measured geological section of the Xiashan Pb-Zn deposit

型扫描电子显微镜和Gatan MiniCL型阴极荧光谱仪上完成。锆石的制靶在合肥工业大学La-ICP-MS实验室完成。La-ICP-MS锆石U-Pb定年在合肥工业大学资源与环境工程学院开展,由ICP-MS和激光剥蚀系统联机完成。ICP-MS为美国Agilent公司生产的Agilent 7500a,激光剥蚀系统为美国Coherent Inc.公司生产的GeoLasPro。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。

对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及U-Th-Pb同位素比值和年龄计算)采用由中国地质大学(武汉)刘勇胜教授编写的ICPMSDataCal软件(Liu et al., 2008a; Liu et al., 2010a, b)。锆石样品的U-Pb谐和图绘制和年龄加权平均值计算均采用Isoplot/Ex\_ver3(Ludwig, 2003)完成。表达式中所列单个数据点的误差均为 $1\sigma$ ,加权平均年龄具95%的置信度。

#### 4 U-Pb同位素测试结果

花岗斑岩锆石阴极发光(CL)图像如图3所示,测试结果列于表1。

锆石晶体发育较好,多呈灰色,半自形到自形,短柱状或长柱状,长轴多80~200  $\mu\text{m}$ ,长宽比多介于1.5:1~3:1,多可见较为清晰的岩浆震荡环带。Th/U比值为0.26~1.73(大多数大于0.3),平均为0.44,与岩浆成因的锆石具有一致的Th/U比值(吴元保和郑

永飞, 2004)。

对38粒锆石的La-ICP-MS锆石U-Pb测试结果表明,它们有谐和的U-Pb年龄,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为(173.0  $\pm$  1.7) Ma(MSWD = 0.63, 图4),这一年龄代表了花岗斑岩的结晶年龄,为中侏罗世,属燕山早期岩浆侵入体。

#### 5 讨 论

对于夏山铅锌矿的成矿时代及成矿物质来源,有人有不同的认识:如郑开旗(1987)和周乐生(1990)认为成矿物质主要来源于花岗斑岩期后热液,矿床成因与岩浆侵入的热液活动紧密相关;张乾和潘家永(1994)认为其成矿时代为140 Ma左右(花岗斑岩K-Ar年龄),成矿物质(矿石铅)来自壳源岩浆,没有或较少受围岩铅的污染。狄永军等(2006)和李亚楠等(2015)则认为夏山铅锌矿成因与铜盆庵岩体的侵入活动密切相关,其成矿时代应为155~150 Ma。夏山铅锌矿的矿体分布、产出特征表明其成因应与区内众多的花岗斑岩密切相关,虽然矿体多顺层分布,但未发现单独的、未受岩浆岩影响的热液沉积铅锌矿层,因此,岩浆热液的接触交代作用应为夏山铅锌矿的主成矿作用。

本文通过对夏山铅锌矿矿区精细的地质剖面测量和La-ICP-MS锆石U-Pb定年,发现了矿区内与成矿作用密切相关的成矿花岗斑岩,其侵入时代为173 Ma,早于铜盆庵岩体的形成时代。本文完成

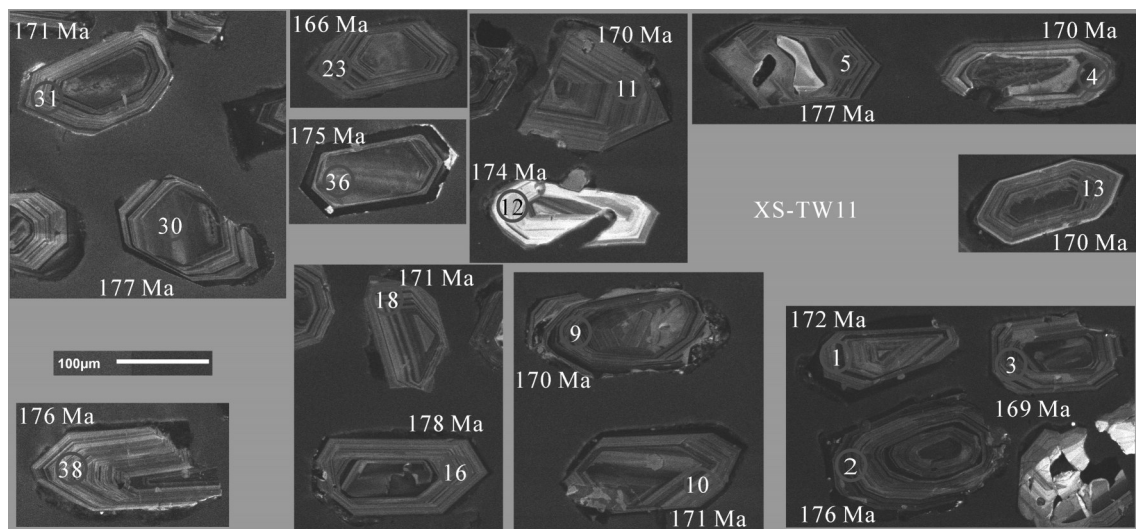


图3 夏山铅锌矿矿区花岗斑岩锆石CL图像、测试点位置及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄结果

Fig.3 CL images and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of zircons from granite-porphry in the Xiashan Pb-Zn deposit

表1 夏山铅锌矿矿区花岗斑岩锆石U-Pb测年数据  
Table 1 Zircon U-Pb isotope analyses of granite-porphyry in the Xiashan Pb-Zn deposit

点号	含量/ $10^{-6}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	比值						表面年龄/Ma			
	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
XS-TW11, 花岗斑岩													
1	302	788	0.38	0.0489	0.0022	0.182	0.008	0.0271	0.0008	169.9	7.0	172.2	4.7
2	543	1271	0.43	0.0495	0.0021	0.189	0.008	0.0277	0.0007	175.7	6.5	176.0	4.7
3	394	1057	0.37	0.0486	0.0022	0.185	0.008	0.0265	0.0007	172.5	6.8	168.7	4.5
4	423	982	0.43	0.0492	0.0022	0.182	0.008	0.0267	0.0007	169.6	6.9	170.0	4.6
5	180	618	0.29	0.0515	0.0031	0.199	0.012	0.0279	0.0008	183.9	10.2	177.2	4.9
6	591	1338	0.44	0.0499	0.0022	0.181	0.008	0.0263	0.0007	169.1	6.6	167.1	4.5
7	279	498	0.56	0.0455	0.0026	0.167	0.009	0.0266	0.0007	156.5	8.2	169.5	4.6
8	245	803	0.31	0.0532	0.0024	0.194	0.008	0.0265	0.0007	179.9	7.2	168.5	4.5
9	451	1346	0.34	0.0480	0.0020	0.177	0.007	0.0267	0.0007	165.8	6.1	169.8	4.6
10	451	1088	0.41	0.0474	0.0023	0.176	0.008	0.0269	0.0007	164.9	6.8	170.9	4.6
11	309	803	0.39	0.0510	0.0023	0.189	0.008	0.0268	0.0007	175.8	7.0	170.5	4.5
12	269	441	0.61	0.0479	0.0026	0.181	0.010	0.0274	0.0008	168.8	8.2	174.1	4.8
13	270	792	0.34	0.0520	0.0023	0.192	0.008	0.0268	0.0007	178.3	6.9	170.5	4.6
14	360	950	0.38	0.0534	0.0024	0.210	0.009	0.0284	0.0008	193.6	8.0	180.3	4.8
15	471	1224	0.38	0.0548	0.0026	0.210	0.010	0.0278	0.0008	193.9	8.2	177.0	4.7
16	211	676	0.31	0.0524	0.0027	0.202	0.010	0.0280	0.0008	186.5	8.1	177.8	4.7
17	279	439	0.64	0.0547	0.0031	0.207	0.011	0.0277	0.0008	190.9	9.3	176.2	4.9
18	383	922	0.41	0.0530	0.0024	0.202	0.009	0.0269	0.0007	186.7	7.8	171.4	4.6
19	440	1202	0.37	0.0499	0.0020	0.198	0.008	0.0286	0.0008	183.1	6.9	181.9	4.9
20	370	992	0.37	0.0493	0.0022	0.189	0.008	0.0276	0.0008	176.2	7.2	175.6	4.7
21	249	839	0.30	0.0501	0.0025	0.189	0.009	0.0273	0.0008	176.0	7.7	173.8	4.8
22	256	783	0.33	0.0514	0.0024	0.194	0.009	0.0273	0.0007	180.1	7.5	173.9	4.7
23	288	869	0.33	0.0534	0.0025	0.198	0.009	0.0261	0.0007	183.2	7.6	166.0	4.5
24	5730	5614	1.02	0.0524	0.0019	0.198	0.007	0.0273	0.0007	183.5	6.0	173.3	4.6
25	625	1641	0.38	0.0516	0.0021	0.186	0.007	0.0260	0.0007	173.5	6.2	165.6	4.4
26	540	1875	0.29	0.0526	0.0021	0.199	0.008	0.0273	0.0007	184.0	6.5	173.8	4.6
27	75.4	120	0.63	0.0494	0.0042	0.184	0.014	0.0279	0.0009	171.5	11.9	177.3	5.4
28	456	1257	0.36	0.0526	0.0024	0.197	0.009	0.0273	0.0007	182.5	7.3	173.9	4.7
29	366	1023	0.36	0.0543	0.0024	0.204	0.009	0.0272	0.0007	188.4	7.3	173.3	4.7
30	427	1426	0.30	0.0530	0.0025	0.205	0.010	0.0278	0.0008	189.0	8.1	176.9	4.8
31	406	1194	0.34	0.0525	0.0022	0.196	0.008	0.0269	0.0007	181.6	7.1	171.2	4.6
32	204	777	0.26	0.0469	0.0022	0.179	0.008	0.0275	0.0008	166.9	7.0	174.7	4.8
33	422	1053	0.40	0.0470	0.0022	0.177	0.008	0.0271	0.0007	165.1	6.9	172.2	4.7
34	288	953	0.30	0.0516	0.0025	0.197	0.009	0.0276	0.0008	182.8	7.7	175.4	4.8
35	517	1393	0.37	0.0517	0.0022	0.196	0.008	0.0273	0.0007	182.0	6.8	173.7	4.6
36	422	1168	0.36	0.0489	0.0020	0.186	0.007	0.0275	0.0007	172.9	6.4	174.7	4.7
37	1199	692	1.73	0.0491	0.0023	0.188	0.009	0.0278	0.0008	174.7	7.7	176.5	4.9
38	338	984	0.34	0.0491	0.0021	0.187	0.008	0.0276	0.0007	174.5	6.7	175.6	4.7

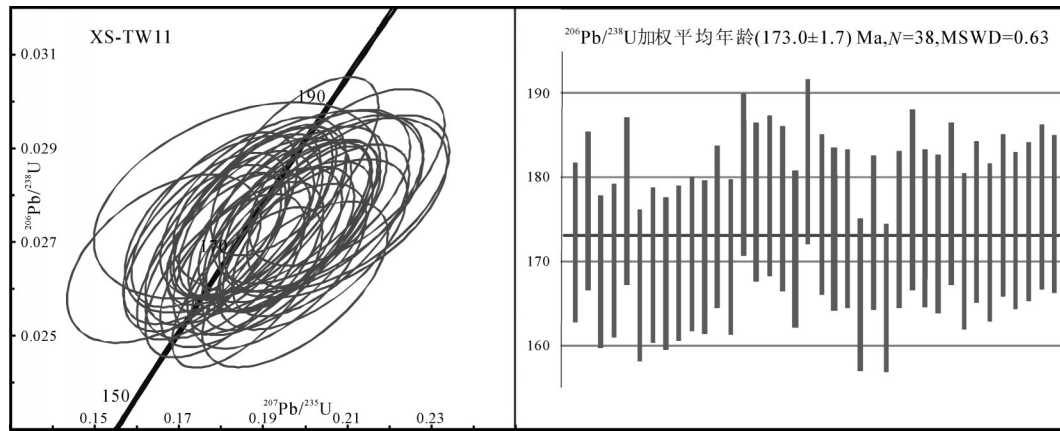


图4 夏山铅锌矿矿区花岗斑岩锆石U-Pb谐和图

Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagram of granite-porphry in Xiashan Pb-Zn deposit

之际,在上述矿区实测剖面矿体的矽卡岩中(图2, 10层)已经完成La-ICP-MS 锆石U-Pb定年,获得40个数据点年龄,其中最年轻1颗锆石年龄为167 Ma,共计7颗锆石年龄位于174 Ma(167~182 Ma)附近,其余锆石年龄则多分布于1800 Ma左右(陈世忠,未发表数据),未见代表龙北溪岩组年龄的俘获锆石(贺健等,2018)。该数据进一步证明了矿区内花岗斑岩是成矿岩体,与铅锌矿体关系密切。

夏山铅锌矿区内与成矿密切相关的花岗斑岩的发现表明,其具有燕山早期(173 Ma)的成矿期次,而之后铜盆庵岩体的侵入对这一期次的成矿具有叠加、富集作用,使夏山铅锌矿矿体规模、品位进一步提高。因而夏山铅锌矿是受中侏罗世花岗斑岩、晚侏罗世铜盆庵岩体岩浆活动影响的多期次的岩浆热液接触交代型矿床,至少自173 Ma起就已经开始了成岩成矿作用,铜盆庵岩体的侵入对成矿作用有进一步的叠加作用,这也解释了夏山铅锌矿矿区内矽卡岩分带不甚明显的地质现象。而其成矿物质应主要来源于壳源岩浆,与武夷山燕山期多期次的构造、岩浆活动密切相关(郑开旗和周乐生,1987;周乐生和郑开旗,1990;张乾和潘家永,1994;狄永军等,2006;李亚楠,2015)。

华南大陆板块内部在中生代发生了强烈的壳幔相互作用,导致陆内大规模成矿作用十分明显(胡瑞忠等,2010)。从燕山早期开始,华南内部进入了造山后岩石圈局部伸展-拉张裂解的地球动力学环境(谢桂青,2003;华仁民等,2005;余心起等,2008),与此相关的大规模岩浆、成矿活动开始(毛

景文和王志良,2000;毛景文等,2004,2005;华仁民等,2005)。而170 Ma左右以及之后的花岗岩类分布范围广、面积大,主要由地壳物质的部分熔融形成,地幔物质的参与较少(华仁民等,2005;郭爱民等,2017)。武夷山成矿带对这一时期的岩浆、成矿作用有着积极的响应,形成了规模宏大的北东向侏罗纪构造岩浆岩带(闽西南地区的汤泉花岗岩体、才溪二长花岗岩体等,均为170~150 Ma的以壳源物质为主的侵入岩体),大量岩浆热液型矿床产出,如马头山铜矿、汤泉铁矿等铁、铜、铅锌多金属矿床及行洛坑钨(钼)矿等钨、锡、钼、铋矿床(张振杰和左仁广,2015)。而位于武夷山成矿带北部的夏山铅锌矿的成矿时代、物质来源与华南该时期区域上的大规模岩浆、成矿作用背景十分吻合,近年来在闽北政和地区亦发现部分原划归为晚燕山期的侵入岩体应为早燕山期侵入体,如桃坪闪长岩体和落花洋二长花岗岩体,其La-ICP-MS 锆石U-Pb定年均均为171 Ma(陈世忠,未发表数据)。表明闽北地区与闽西南地区一致,对华南中生代燕山早、中期大规模岩浆、成矿作用有着积极的响应。

夏山铅锌矿为浙西南-闽东地区具有代表性的铅锌多金属矿床,对区内乃至整个武夷山成矿带的成矿时代、期次、模式等都具有一定的指示意义。因此,夏山铅锌矿的成矿时代、期次等在一定程度上能反映武夷山成矿带尤其是北段的成矿时代、期次等特征。众所周知,90~125 Ma是武夷山成矿带重要的集中成矿时期(毛景文等,1999;华仁民和毛景文,1999;裴荣富等,1999;赵希林等,2008,

2012, 2016; 陈世忠等, 2010, 2013, 2014)。但据夏山铅锌矿的成矿时代, 可以初步确定武夷山成矿带具有 173 Ma 左右的铅锌多金属成矿时代。而这一成矿时代与赣东北地区主要的铜、银、铅锌多金属矿的成矿时代较为一致, 与华南中生代第一期(170~150 Ma)爆发式成矿作用(毛景文等, 2004)的时间亦较为吻合。表明武夷山地区亦具有早燕山期铜、银、铅锌多金属矿的成矿潜力。此次研究工作确定了武夷成矿带尤其是北段存在 173 Ma 左右的成矿期次, 对武夷山成矿带进一步开展隐伏、叠加矿床的找矿工作及成矿规律研究具有重要意义。

## 6 结 论

(1) 通过精细的矿区地质剖面测量和调查, 发现夏山铅锌矿矿体形态和分布受区内花岗斑岩影响和控制, 其成矿时代与花岗斑岩成岩时代一致。

(2) 夏山铅锌矿区内成矿花岗斑岩锆石 La-ICP-MS U-Pb 测年结果为 173 Ma, 为中侏罗世, 属燕山早期岩浆侵入体。表明夏山铅锌矿成矿时代为 173 Ma 左右, 为燕山早期的矽卡岩型铅锌矿床。

(3) 此次研究工作初步确定了武夷山成矿带尤其是北段存在 173 Ma 左右的成矿期次, 表明武夷山地区亦具有早燕山期铜、银、铅锌多金属矿的成矿潜力。对武夷山成矿带进一步开展隐伏、叠加矿床的找矿工作及成矿规律研究具有重要意义。

**致谢:** 湛龙高级工程师指导了矿区剖面测制, 李亚楠工程师完成了样品锆石 U-Pb 的测试工作, 邢新龙工程师对测年数据进行了进一步整理; 赵希林研究员和姚远博士对论文草稿进行了认真审阅和修改; 审稿专家和编辑提出了宝贵修改意见。在此一并表示真挚的感谢。

## References

Chen Shizhong, Chen Gang, Ma Ming, Zhu Xiaoting, Huang Zhengqing. 2014. Metallogenic regularity and ore-prospecting orientation of the Taoxi circular area[J]. *Geology in China*, 41(5): 1522-1538 (in Chinese with English abstract).

Chen Shizhong, Huang Zhengqing, Zhu Xiaoting, Chen Gang, Ma Ming. 2013. Magmatism and its mineralization of the main deposits in Taoxi circular structure in Wuyishan ore belt[J]. *Geology in China*, 40(5): 1569-1582 (in Chinese with English abstract).

Chen Shizhong, Ma Ming, Chen Gang, Zhou Yan, Zhu Xiaoting, Qiu

Jinliang, Mao Jianren. 2010. Taoxi uplift, its tectonics, magmatism and metallogeny, Wuyi metallogenic belt[J]. *Earth Science*, 35(6): 969-984 (in Chinese with English Abstract).

Di Yongjun, Wu Ganguo, Zhang Da, Yu Xinqi, Lin Dongyan, Shi Jianji, Zang Wenshuan, Zhang Xiangxin, Wang Qunfeng. 2006. Composition characteristics of pyroxenes from Pb-Zn deposits in central Fujian Province and their genetic significance[J]. *Mineral Deposits*, 25(2):123-134(in Chinese with English abstract).

Ding Jianhua, Fan Jianfu, Yin Jiangning, Liu Yaling. 2016. Geological Characteristics and mineral resource potential of the Wuyishan Cu-Pb-Zn polymetallic metallogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(7):1537-1550(in Chinese with English abstract).

Guo Aimin, Chen Bihe, Chen Jianfeng, Zhou Chao, Si Chengshang, Zheng Zhengfu. 2017. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of granitoids from northern Zhuguangshan granitic composite batholith, Hunan Province[J]. *Geology in China*, 44(4): 781-792 (in Chinese with English abstract).

He Jian, Li Longming, Lin Shoufa, Xing Guangfu, Jiang Yang, Ren Shenglian, Li Jiahao, Feng Lamei, Ge Yanpeng. 2018. Petrogenesis and tectonic attribute of metabasite rocks in the Zhenghe-Dapu fault zone[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(5):946-963(in Chinese with English abstract).

Hu Ruizhong, Mao Jingwen, Fan Weiming, Hua Renmin, Bi Xianwu, Zhong Hong, Song Xieyan, Tao Yan. 2010. Some scientific questions on the intra-continental metallogeny in the South China continent[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2):13-26 (in Chinese with English abstract).

Hua Renmin, Chen Penrong, Zhang Wenlan, Lu Jianjun. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. *Mineral Deposits*, 24(2):99-107 (in Chinese with English abstract).

Hua Renmin, Mao Jingwen. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4) 300-307(in Chinese with English abstract).

Huang Changqi. 2014. Research on prospecting model and metallogenic prognosis of Pb-Zn deposit in Pucheng-Youxi area, Fujian Province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(4): 480-488(in Chinese with English abstract).

Huang Qingmin. 2009. On the Geologic Characteristics and Ore controlling Factors of Middle and Late Proterozoic Mamiashan Group Strata in Fujian Province[J]. *Geology of Fujian*, 28(2):81-91 (in Chinese with English abstract).

Li Yanan, Xing Guangfu, Zhou Taofa, Chen Shizhong, Chen Zhihong, Duan Zheng, Dou Zhijuan, Mai Tingcheng, Xi Wanwan. 2015. Isochronology study on the Tongpanan Pluton in the Zhenghe region of Fujian Province and its geological significance[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 35(1):73-81 (in Chinese with English abstract).

Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by La-ICP-MS without applying



- an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257, 34–43.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010a. Continental and oceanic crust recycling—induced melt—peridotite interactions in the Trans—North China Orogen: U—Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51: 537–571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, Gao Changgui, Gao Shan, Xu Juan, Chen Haihong. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U—Pb isotope and trace element analyses by La—ICP—MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3. 00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California, 1–74.
- Mao Jingwen, Hua Renmin, Li Xiaobo. 1999. A preliminary study of large scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 291–299(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Zhiliang. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large—scale metallogeny in East China[J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289–296(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1):45–55(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Zuoheng, Wang Yitian, Wang Zhiliang, Zhao Caisheng, Yang Fuquan, Li Houmin. 2015. Geodynamic process and metallogeny: History and present research trend, with a special discussion on continental accretion and related metallogeny throughout geological history in South China[J]. *Mineral Deposits*, 24(3):193–205(in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Qiu Xiaoping, Yin Bingchuan, Xiong Qun Yao. 1999. The explosive anomaly of ore—forming processes and superaccumulation of metals[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 333–340(in Chinese with English abstract).
- Shi Liyan, Gao Tianjun. 1996. Study on the mineralizing sequence of deposits associated with magmatite activity in Fujian Province[J]. *Geology of Fujian*, 15(1):1–19(in Chinese with English abstract).
- Wang Jianchao. 2016. The research on the ore—controlling structure of Shangshangang gold—silver deposit in Zhenghe, Fujian[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 31(3): 362–368(in Chinese with English abstract).
- Wang Qi, Jiang Yongjian, Yu Haitao, Liu Guochun, Liu Yongli. 2011. Primary halo characteristics and concealed ore body prognosis in the Nannong lead—zinc polymetallic deposit, Southwestern Zhejiang Province[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 35(2):170–175(in Chinese with English abstract).
- Wang Shaoxiong. 2003. Relations between Mineralization, Tectonic evolution of the lithosphere and composition of the crust—mantle within Fujian Province[J]. *Geology of Fujian*, 22(2):89–100(in Chinese with English abstract).
- Wu Ganguo, Zhang Da, Peng Runmin, Wu Jianshe, Gao Tianjun, Chen Bailin, Wang Qunfeng, Di Yongjun, Zhang Xiangxin. 2004. Study on the evolution regularity of mineralization ages in southeastern China[J]. *Earth Science Frontier*, 11(1):237–247 (in Chinese with English abstract).
- Wu Kaixing, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Peng Jiantang, Tang Qunli. 2002. Ore lead isotopes as a tracer for ore—forming material sources: A review[J]. *Geology—Geochemistry*, 30(3):73–81(in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genetic mineralogy and trace element geochemistry of zircon[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16):1589–1604(in Chinese).
- Xie Guiqing. 2003. Late Mesozoic Mafic Dikes(Body) from Southeastern China: Geological and Geochemical Characteristics and Its Geodynamics—A case of Jiangxi Province[D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1–128 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xinqi, Wu Jianshe, Di Yongjun, Wu Ganguo, Zhang Da. 2006. Study on the ore—controlling effects of the structure in Xiashan Pb—Zn deposit in Zhenghe County, Fujian Province[C]//Proceedings of the 8th National Deposit Conference, 628–631(in Chinese).
- Yu Xinqi, Wu Ganguo, Zhang Da, Di Yongjun, Dai Yanpei, Qiu Junting. 2008. Thrust nappe structure and its ore—controlling effects in the North Wuyi area, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10):1667–1677(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guohua. 2009. Metallogenic features and its ore—controlling conditions on lead—zinc in northwest Fujian[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 31(2):97–104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Keyao. 2009. Study on the Metallogenic System and Prognosis of Cu—Mo Polymetal Deposit in the Pucheng—Ningde Metallogenic Belt of Fujian[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 1–90(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qian, Pan Jiayong. 1994. Sources of ore—forming materials of the contactmetasomatic Skarn—type Cu—Pb—Zn deposits in special reference to their lead isotopic composition[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 14(4):369–372 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenjie, Zuo Renguang. 2015. Tectonic Evolution of southwestern Fujian Province and spatial—temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 217–229(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xilin, Liu Kai, Mao Jianren, Ye Haimin. 2012. Metallogenesis of two types of late Early Yanshanian granitoids in South China: Case studies of south Jiangxi and southwest Fujian[J]. *Geology in China*, 39(4): 871–886 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, Xu Naizheng. 2008. Zircon SHRIMP age and their implications of the Zijinshan pluton from southwestern Fujian Province[J]. *Geology in China*, 35(4): 590–597(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xilin, Yu Shengyao, Yu Minggang, Jiang Yang, Liu Kai, Mao Jianren. 2016. Geological characteristics and metallogenic epochs

- of the Dapai Fe-Pb-Zn polymetallic deposit in Yongding County, Fujian Province[J]. *Geology in China*, 43(1): 174-187(in Chinese with English abstract).
- Zheng Kaiqi, Zhou Lesheng. 1987. The characteristics of trace elements and genesis of Xiashan Pb-Zn Deposit, Zhenghe, Fujian[J]. *Journal Of Fuzhou University*, 2:93-100(in Chinese with English abstract).
- Zhou Lesheng, Zheng Kaiqi. 1990. The geological and geochemical features of stratabound lead-zinc deposits in Fujian Province[J]. *Geoscience*, 4(1):90-100(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈世忠, 陈刚, 马明, 朱筱婷, 黄正清. 2014. 武夷山成矿带南段桃源环形区成矿规律和找矿方向[J]. *中国地质*, 41(5): 1522-1538.
- 陈世忠, 黄正清, 朱筱婷, 陈刚, 马明. 2013. 武夷山成矿带桃源环形构造与紫金山铜金矿等矿床存在内在联系[J]. *中国地质*, 40(5): 1569-1582.
- 陈世忠, 马明, 陈刚, 周延, 朱筱婷, 邱金亮, 毛建仁. 2010. 武夷山成矿带桃源隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用[J]. *地球科学*, 35(6): 969-984.
- 狄永军, 吴淦国, 张达, 余心起, 林东燕, 石建基, 臧文控, 张祥信, 汪群峰. 2006. 闽中地区铅锌矿床辉石成分特征及其成因意义[J]. *矿床地质*, 25(2):123-134.
- 丁建华, 范建福, 阴江宁, 刘亚玲. 2016. 武夷山Cu-Pb-Zn多金属成矿带主要成矿地质特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 90(7):1537-1550.
- 郭爱民, 陈必河, 陈剑锋, 周超, 司程山, 郑正福. 2017. 南岭诸广山北体复式花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及多期岩浆活动[J]. *中国地质*, 44(4):781-792.
- 贺健, 李龙明, 林寿发, 邢光福, 姜杨, 任升莲, 李加好, 冯腊梅, 葛延鹏. 2018. 政和一大埔断裂带内变基性岩成因及构造属性研究[J]. *地质学报*, 92(5):946-963.
- 胡瑞忠, 毛景文, 范蔚茗, 华仁民, 毕献武, 钟宏, 宋谢炎, 陶琰. 2010. 华南陆块内成矿作用的一些科学问题[J]. *地学前缘*, 17(2):13-26.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. *矿床地质*, 24(2):99-107.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 18(4):300-307.
- 黄昌旗. 2014. 福建浦城一尤溪地区铅锌矿床找矿模型与成矿预测[J]. *地质找矿论丛*, 29(4): 480-488.
- 黄庆敏. 2009. 福建中-晚元古代马面山群地质特征及其控矿作用[J]. *福建地质*, 28(2):81-91.
- 李亚楠, 邢光福, 周涛发, 陈世忠, 陈志洪, 段政, 窦志娟, 买廷成, 隰弯弯. 2015. 福建政和地区铜盆庵花岗岩年代学研究及其地质意义[J]. *矿物岩石*, 35(1):73-81.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. *矿床地质*, 18(4): 291-299.
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. *矿床地质*, 19(4):289-296.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 11(1):45-55.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张作衡, 王义天, 王志良, 赵财胜, 杨富全, 李厚民. 2005. 大陆动力学演化与成矿研究: 历史与现状——兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用[J]. *矿床地质*, 24(3):193-205.
- 裴荣富, 邱小平, 尹冰川, 熊群尧. 1999. 成矿作用爆发异常及巨量金属堆积[J]. *矿床地质*, 18(4): 333-340.
- 石礼炎, 高天钧. 1996. 福建省与岩浆岩活动有关的矿床成矿系列研究[J]. *福建地质*, 15(1):1-19.
- 王建超. 2016. 福建政和上山岗金银矿床控矿构造研究[J]. *地质找矿论丛*, 31(3):362-368.
- 王启, 蒋永建, 于海涛, 刘国春, 刘永利. 2011. 浙西南南弄铅锌多金属矿床原生晕特征与隐伏矿预测[J]. *物探与化探*, 35(2):170-175.
- 王绍雄. 2003. 福建境内壳幔成分和岩石圈构造的演化与成矿作用的关系[J]. *福建地质*, 22(2):89-100.
- 吴淦国, 张达, 彭润民, 吴建设, 高天钧, 陈柏林, 汪群峰, 狄永军, 张祥信. 2004. 东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究[J]. *地学前缘*, 11(1):237-247.
- 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 彭建堂, 唐群力. 2002. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J]. *地质地球化学*, 30(3):73-81.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 49(16):1589-1604.
- 谢桂青. 2003. 中国东南部晚中生代以来的基性岩脉(体)的地质地球化学特征及其地球动力学意义初探——以江西省为例[D]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所, 1-128.
- 余心起, 吴建设, 狄永军, 吴淦国, 张达. 2006. 福建政和夏山铅锌矿区构造控矿作用研究[C]//第八届全国矿床会议论文集, 628-631.
- 余心起, 吴淦国, 张达, 狄永军, 代堰镔, 邱骏挺. 2008. 北武夷地区逆冲推覆构造的特征及其控矿作用[J]. *地质通报*, 27(10):1667-1677.
- 张国华. 2009. 闽西北铅锌矿成矿特征及控矿条件浅析[J]. *化工矿产地质*, 31(2):97-104.
- 张克尧. 2009. 福建浦城—宁德铜钨多金属成矿带成矿系统及预测研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-90.
- 张乾, 潘家永. 1994. 论接触交代矽卡岩型多金属矿床的矿质来源——以铅同位素组成为依据[J]. *矿物学报*, 14(4):369-372.
- 张振杰, 左仁广. 2015. 闽西南地区大地构造演化和矿床时空分布规律[J]. *岩石学报*, 31(1):217-229.
- 赵希林, 刘凯, 毛建仁, 叶海敏. 2012. 华南燕山早期晚阶段两类花岗岩质岩体与成矿作用: 以赣南—闽西南地区为例[J]. *中国地质*, 39(4): 871-886.
- 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 许乃政. 2008. 闽西南地区紫金山岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 35(4): 590-597.
- 赵希林, 于胜尧, 余明刚, 姜杨, 刘凯, 毛建仁. 2016. 福建省永定大排铁铅锌多金属矿床特征及成矿时代[J]. *中国地质*, 43(1): 174-187.
- 郑开旗, 周乐生. 1987. 福建政和夏山铅锌矿微量元素特征及矿床成因[J]. *福州大学学报*, 2:93-100.
- 周乐生, 郑开旗. 1990. 福建省层控铅锌矿床地质地球化学特征现代地质[J]. *现代地质*, 4(1):90-100.