

文章编号: 0258-7106 (2006) 02-0123-12

闽中地区铅锌矿床辉石成分特征及其成因意义*

狄永军^{1,2}, 吴淦国^{1,2}, 张达^{1,2}, 余心起^{1,2}, 林东燕^{1,2},
石建基^{1,2}, 臧文拴^{1,2}, 张祥信^{1,2}, 汪群峰^{1,2}

(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 文章在研究闽中地区铅锌矿床蚀变矿物组合的基础上, 将辉石矿物的化学成分与典型矽卡岩 Pb-Zn 矿床的辉石成分进行了对比, 认为该区铅锌矿床的辉石与典型矽卡岩中的辉石类似, 为透辉石和钙铁辉石, 富锰, 具有远温端矽卡岩辉石的特征。因此推论本区铅锌矿床大部分类似于矽卡岩型 Pb-Zn 矿床, 少数为受断裂控制的热液脉型矿床, 是海底火山喷发沉积形成的初始矿源层经变质作用、燕山期构造-岩浆热液顺层交代、强烈叠加改造或活化并重新定位的矿床。

关键词: 地质学; 辉石; 成分特征; 构造-岩浆热液矿床; 闽中

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

Composition characteristics of pyroxenes from Pb-Zn deposits in central Fujian Province and their genetic significance

DI YongJun^{1,2}, WU GanGuo^{1,2}, ZHANG Da^{1,2}, YU XinQi^{1,2}, LIN DongYan^{1,2}, SHI JianJi^{1,2},
ZHANG WenShuan^{1,2}, ZHANG XiangXin^{1,2} and WANG QunFeng^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobng Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

Based on a study of the altered mineral assemblage from Pb-Zn deposits in central Fujian Province, the authors compared their pyroxenes in chemical composition with those from skarn Pb-Zn deposits. It is considered that the pyroxenes from the Pb-Zn deposits in this area are similar to those from skarn Pb-Zn deposits, being manganese-rich diopside and hedenbergite with features of distal skarn pyroxenes. It is thus concluded that the Pb-Zn deposits are mostly akin to skarn Pb-Zn deposits and partly belong to hydrothermal deposits controlled by faults, and that they are ore deposits subjected to metamorphism, replacement, superposition along the bed, strong reformation, or remobilization and deposition by Yanshanian tectono-magmatic hydrothermal fluids.

Key words: geology, pyroxene, composition characteristics, tectono-magmatic hydrothermal deposit, central Fujian Province

* 本文得到国家自然科学基金(40372050)和中国地质调查局工作项目(200310200064)的联合资助
第一作者简介: 狄永军,男,1965生,博士,岩石学专业,现从事岩石学与矿床学研究工作。
收稿日期: 2005-07-07;改回日期:2006-01-23。李岩编辑。

自20世纪50年代以来闽中地区已发现多处与新元古代马面山群东岩组绿片岩有关的铅-锌(银)矿床(点),如尤溪县峰岩和丁家山、建瓯市八外洋、建阳市水吉、政和县夏山、屏南县黛溪铅-锌(银)矿床(点)等,其中仅尤溪县丁家山矿段控制的铅-锌(银)储量就已达大型规模(张立公等,1995)。孙大中等^①首次建立了马面山群,划分为下部东岩组和上部龙北溪组,时代归属中元古代,其下与古元古代麻源群呈断层接触。《福建省1:50万地质图及说明书》(福建省地质矿产勘查开发局,1998)正式将政和—大埔断裂带以西的地层建立为万全(岩)群,东部地层称马面山(岩)群。最近Li等(2005)对马面山群东岩组变质火山岩的SHRIMP定年结果表明其形成于新元古代。前人对该区矿床的成因已有较多研究,部分研究者将其归为裂谷火山成因的块状硫化物矿床,并经过变质作用和岩浆热液的叠加改造(黄树峰等,1990;周兵等,1999;叶水泉等,1999;陈小华,2000;吴志强,2003;吴淦国等,2004);徐克勤等(1996)将此类矿床划分为细碧角斑岩容矿的块状硫化物矿床。目前对含矿岩系的蚀变矿物尚缺乏研究。辉石是矿床主要的蚀变矿物之一,笔者对带内尤溪县峰岩、建瓯市八外洋、西坑、王地后、政和县夏山等几个典型的铅-锌矿床中的辉石进行了初步研究,并进行了电子探针分析,以期对矿床成因的探讨及找矿勘探提供依据。

1 区域地质背景

闽中地区地处欧亚大陆东南缘的华南大陆东部,濒临西太平洋,大地构造分区属古华夏构造域。出露的地层由老到新主要有早元古代麻源群(Pt_1)、新元古代马面山群(Pt_3)及中生代陆相火山岩、火山碎屑岩、沉积岩(图1)。马面山群自下而上为龙北溪组、东岩组和大岭组。

东岩组地层可分为6段:以尤溪县峰岩矿区的ZK4704为例,自下而上为:第一岩性段,由厚层状大理岩、绿帘透辉石岩、绿帘石岩及3层铅-锌银矿层组成;第二岩性段,由阳起钠长变粒岩、钠长变粒岩、钠(钾)长浅粒岩、绿帘钠长变粒岩及透镜状大理岩组成;第三岩性段,由绿帘石岩、绿帘透辉石岩、阳起片

岩、钠(钾)长变粒岩、中厚层状大理岩和2~4层铅-锌银矿层(局部含铜)组成;第四岩性段,由绿帘石化绢云母化钠长变粒岩、阳起钠长变粒岩夹薄层绿帘阳起片岩及透镜状大理岩和1~2层透镜状铅-锌矿组成;第五岩性段,由绿帘石岩、透辉石岩、绿帘透辉石岩、透辉绿帘石岩、阳起绿帘石岩夹阳起钠长变粒岩及薄层大理岩及1~4层铅-锌银矿(化)体组成;第六岩性段,由钠长变粒岩、阳起钠长变粒岩夹薄层绿帘石岩、透辉绿帘石岩及1~2层透镜状铅-锌矿(化)体组成。其中第一、三、五岩性段为主要的含矿层,矿体呈似层状^②。在建阳水吉及政和包源村见有斜长角闪片岩,岩石为一套海相泥灰岩、灰岩、双峰式细碧岩、角斑质凝灰岩、英安质-流纹质凝灰岩、凝灰质砂岩变质的产物。

大岭组地层岩性主要为云母片岩、云母石英片岩、云母(石英)钠长片岩和钠长变粒岩、二长变粒岩等。该地层为一套砂-泥质沉积和火山喷发沉积的变质产物。

政和—大埔断裂带呈 $NE30^\circ$ 左右沿政和—南平—尤溪—漳平一线延伸,两端延入浙、粤两省境内。断裂带中分布的地层比较复杂,以中生代沉积-火山岩地层及花岗岩类为主。断裂带由一系列走向 $NE25\sim35^\circ$,倾向SE或NW的断裂所组成。该断裂带在早古生代就已存在,因而使得闽东地区自早古生代以来,其区域地质特征及发展演化史不同于闽西地区(韦德光等,1997)。

加里东期岩浆侵入活动强烈〔如毛建仁等(1998)测得竹洲岩体 $441\sim421.03\text{Ma}$ (K-Ar法),宁化岩体 $(401\pm10)\text{Ma}$ (全岩Rb-Sr等时线法),武坑岩体 440.8Ma (锆石U-Pb法)〕,尤其以花岗岩岩浆活动发育为特点,分布范围约占福建全境侵入体总面积的12.3%,主要分布于政和—大埔断裂带以西及东南沿海一带,与Nb、Ta、Sn、Be、Li等矿产关系密切(郑声俭等,2000)。

海西期岩浆活动微弱,仅占福建全境侵入体总面积的3%,主要集中于政和—大埔断裂带两侧宽约75km的NE向地带,具Cu、Au、Pb、Zn矿化。

印支期岩浆活动微弱,仅占福建全境侵入体总面积的4.3%,侵入岩呈带状分布于浦城到武平桃溪一线,其中仅见有W矿(化)点。

^① 孙大中,金文山,赵凤清,等.1991.闽北前寒武纪变质岩层层序划分和构造演化.科研报告.

^② 福建省地质调查研究院三明地调一所.2002.福建省尤溪县峰岩矿区铅-锌银矿普查报告.

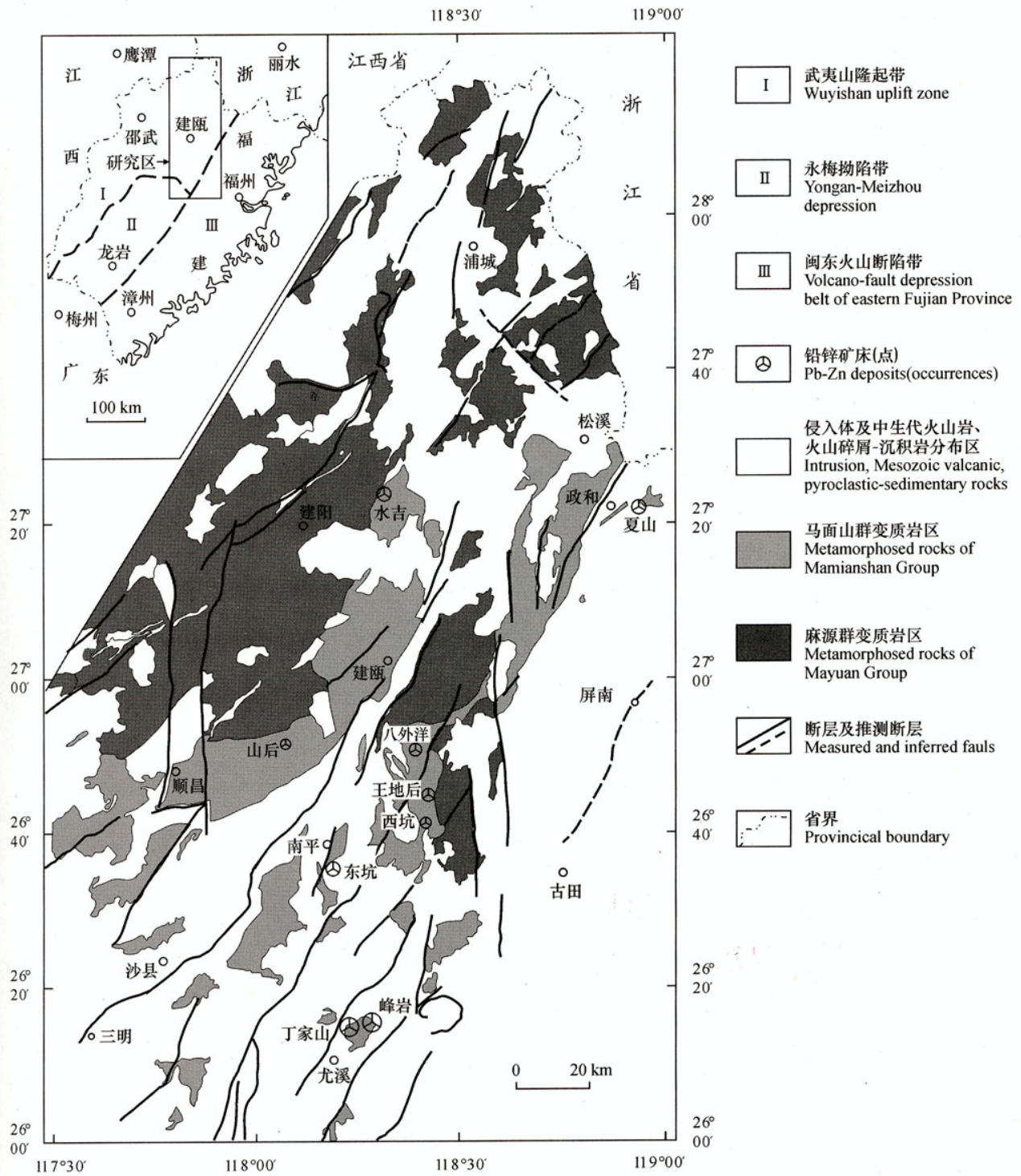


图 1 闽中地区地质构造略图(据 Zhang et al., 2004 修改)

Fig. 1 Geological and structural sketch map of central Fujian Province(modified from Zhang et al. , 2004)

燕山期侵入岩浆活动频繁而强烈,出露面积占福建全境侵入体总面积的 76.96%,其中早侏罗世岩体占 5.5%,主要分布于政和—大埔断裂带以西及东南沿海一带,与 Pb、Zn、Cu、W 及 Sn 矿化有关;晚侏罗世岩体出露面积 18 843 km²,占福建全境侵入体总面积的 44.5%,主要分布于政和—大埔断裂带及其西部地区,闽东南及沿海一带也有较大面积的分布,主要与 W、Sn、Nb、Ta 等大中型矿床及 Cu、Pb、Zn、多金属矿及硫铁矿有关;早白垩世侵入岩面积仅次于晚侏罗世侵入岩,总面积 11 410.8 km²,占福建全境侵入体总面积的 26.96%,中酸性、酸性和碱性岩类发育,主要集中于政和—大埔断裂带以东,尤以南日岛—永春一线以北的闽东地区分布最广,以西地区也有零星分布(郑声俭等,2000)。沿政和—大埔断裂带发育侏罗纪火山岩。矿区内均发育闪长岩脉和花岗斑岩等,并在矿区附近发育绿帘石化花岗(斑)岩。

2 矿床地质特征

2.1 矿体地质特征

2.1.1 八外洋铅-锌矿床

八外洋铅锌矿床赋存于马面山群东岩组绿帘岩、绿帘透辉石岩中(见图1、图2),矿体呈似层状产出,产状与地层产状一致,走向一般 345~5°,倾向 SW 或 NW,倾角 30~65°。矿体长约 100~650 m,最大斜深 500 m,平均厚度 0.92~7.17 m,平均品位 Pb 0.53%~3.61%,Zn 0.17%~25.76%,Ag 2×10⁻⁶~109×10⁻⁶(最高为 469×10⁻⁶)。矿石主要呈条带状构造、团块状构造和浸染状构造等^①。

2.1.2 尤溪铅-锌矿床

尤溪铅-锌矿床包括丁家山矿区和峰岩矿区(图1),其中丁家山铅锌矿床赋存于梅仙式背斜的次级

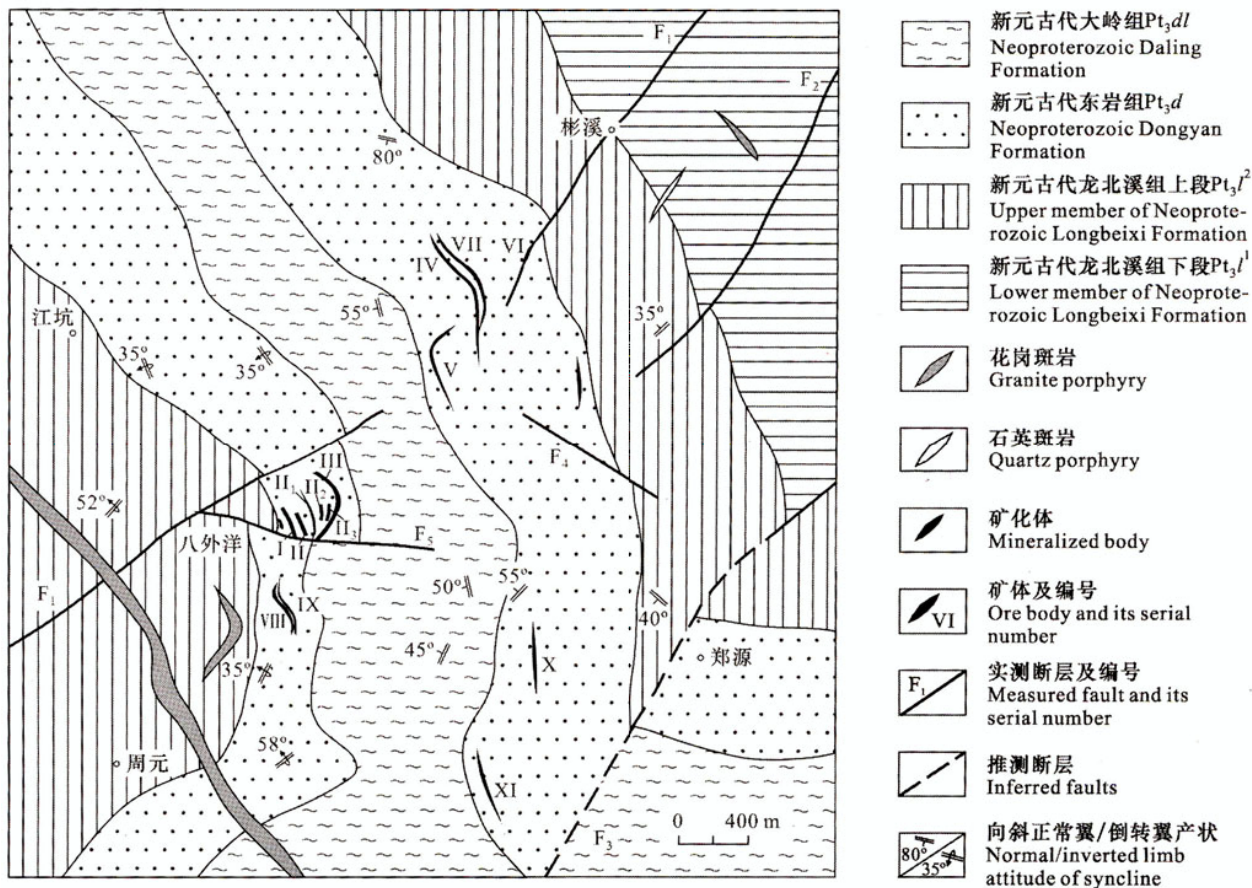


图 2 八外洋矿区地质图

Fig. 2 The geological map of Bawaiyang ore district

① 福建省地质调查研究院. 2004. 福建建瓯八外洋-南平后坪地区铅锌矿评价(年报).

背斜——丁家山—关兜背斜的南东端,目前已发现和控制了7个矿体,其中Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ为主矿体,赋存于东岩组第一岩性段绿片岩(绿帘辉石片岩、绿泥石片岩、阳起辉石片岩)内。主要呈似层状、透镜状,与围岩产状基本一致,走向NE,倾向NW或ES,倾角 $0\sim 17^\circ$ 。主矿体长480~1800 m,延深210~420 m,平均厚度1.29~6.92 m,最大厚度25.77 m。平均品位Pb 0.96%,Zn 4.21%,Ag 40.88×10^{-6} (叶水泉等,1999)。但Ⅳ号矿体以脉状赋存于侏罗纪火山碎屑岩的NNE向断裂中,矿体厚5.50 m。矿石呈次块状-块状构造、条带状构造、浸染状-条带状构造及浸染状-细脉状构造。

峰岩矿区铅锌矿床赋存于东岩组第三岩性段和第五岩性段绿帘辉石岩中,已控制7个主要矿体,走向控制延伸长度800~1250 m,厚度0.4~8.43 m,平均品位Pb 0.75%~2.78%,Zn 1.45%~5.82%,Ag $25.75 \times 10^{-6} \sim 95.27 \times 10^{-6}$ 。矿体主要呈似层状、大透镜状,产状与围岩产状一致,倾向NW或SE,倾角 $5\sim 15^\circ$ 。矿石构造主要有条带状、斑点-斑杂状、次块状-块状构造,次为浸染状、斑点状构造等。但在花岗斑岩脉与含矿地层的接触带中见有铅锌矿(化)脉充填,矿体以脉状充填于断裂中,如F₂断裂总体走向近EW向,成为后期脉状铅锌银铜矿的容矿构造,局部铅锌品位较高,可达20%,该处民采洞沿走向已开采约100 m,沿倾向约20 m,矿石的金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿及少量黄铜矿等。

2.1.3 水吉铅-锌矿床

建阳市水吉铅锌矿床VIA₁矿体为受F₁₁断裂控制的热液脉型矿体,而其他受层位控制的矿体赋存于马面山群东岩组绿片岩(阳起绿帘石岩、透闪辉石岩及斜长角闪片岩)之中(图1),大部分为似层状、透镜状,与围岩产状一致,倾向NW-NNW $270\sim 340^\circ$,倾角一般为 $40\sim 70^\circ$ 。矿石呈脉状、斑杂状、浸染状、细脉浸染状及条带状构造^①。

2.1.4 夏山铅-锌矿床

政和县夏山矿区花岗岩、花岗斑岩分布极广,位于矿区西南面,出露面积近20 km²,呈岩株状,其边缘呈半弧形自南至西把矿区包围,并由此主体沿片理走向伸入5个岩墙,其中接近1号矿带上下盘的2

个岩墙纵贯整个矿区,与矿区北东端之花岗斑岩呈侵入接触,岩墙长达1400 m,宽30~80 m。铅锌矿体产状受地层、岩体接触带产状及NE向褶皱、断裂构造控制,产于花岗斑岩接触带或马面山群龙北溪组(?)云母石英片岩夹大理岩中^②。自花岗斑岩的接触带向外依次为硅化辉石石榴石矽卡岩→硅化石榴石辉石矽卡岩闪锌矿矿石→硅化辉石矽卡岩闪锌矿矿石,而条带状闪锌矿矿石产出于辉石矽卡岩中。走向 $30^\circ\text{N}\sim 45^\circ\text{E}$,倾向SE,倾角 $50\sim 80^\circ$,个别地段小于 40° ,或大于 80° 。矿体多呈扁豆状、似层状,局部为透镜状或囊状。厚度沿走向、倾向不稳定,品位变化也不均匀。总体上矿体变化多为地表窄、品位低,浅部宽、品位高,往深部又逐渐变窄变贫。矿石主要呈星散状和团块状,其次为条带状和块状,局部见有脉状。

2.2 蚀变矿物组合

建甌市八外洋铅锌矿床的蚀变矿物组合以辉石和绿帘石为主,并有阳起石、透闪石、石英、方解石、绿泥石、黑云母、钾长石和绢云母出现,金属矿物除闪锌矿和方铅矿外,尚有黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿。辉石为灰色或灰绿色,呈柱状、束状或放射状,多为粗粒,由背散射图像见钙铁辉石交代辉石的现象(图3);单偏光下具弱多色性,由浅粉红色到略带蓝色。赵一鸣(1992;1997)研究表明随着矿物中锰钙辉石分子的增加,折光率和某些重要红外吸收谱带的频率逐渐变小;而消光角、 $2V(+)$ 和晶胞参数则相应逐渐增大。表1是选取薄片中最厚干涉色颗粒测定的消光角,结果表明随着矿物中锰钙辉石分子的增加,消光角有增大的趋势,但变化范围较宽。绿帘石为浅黄绿色,正交偏光下具鲜艳干涉色,沿裂隙交代辉石,表明它比辉石形成晚;正交偏光下可见到绿帘石强烈交代辉石时,有钾长石细脉出现,而且辉石出现在长石石英细脉之中或附近,并随与长石石英细脉的距离增大而颗粒变小。绿帘石、闪锌矿、方铅矿沿一定方向呈脉状交代辉石;少量方铅矿围绕闪锌矿边部生长;磁铁矿围绕在方铅矿的边部,其中包裹有细粒方铅矿;辉石和绿帘石均与闪锌矿伴生,表明它们是成矿期的产物。

水吉铅锌矿VIA₁矿体为受断裂控制的脉状矿体,其蚀变矿物组合在近矿内带以黄铁矿、石英和碳

① 福建省闽北地质队,1987. 福建省建阳县水吉铅锌矿区凤山林矿段详细普查地质报告.

② 福建省地质局第二地质大队,1963. 福建政和夏山铅锌矿地质勘探报告.

表1 闽中地区铅锌矿床中辉石的消光角

Table 1 Extinction angles of pyroxenes related to Pb-Zn deposits in central Fujian Province

样号	矿区	锰钙辉石分子比例/ %	测定颗粒数	$N_g \wedge c / ^\circ$	消光角平均值/ $^\circ$
By401-02	八外洋	19.01	4	35 ~ 57	43.5
By401-03	八外洋	21.59	2	46 ~ 51	48.5
By408-06	八外洋	16.25	2	48 ~ 50	49.0
D05	八外洋	39.41	1	39	39.0
D06	八外洋	45.12	5	57 ~ 64	60.8
D08	八外洋	3.42	4	41 ~ 43	42.5
BY41 2-02	山后	8.86	2	39 ~ 40	39.5
BY41 3-01	山后	35.98	3	28.5 ~ 40	35.2
D17	西坑	3.45	5	34 ~ 54	43.6
D23	王地后	2.35	4	38 ~ 51	42.8
D39	夏山	13.24	1	42.5	42.5
D40	夏山	19.51	4	43.5 ~ 57.5	48.8
D53	峰岩	42.32	9	30 ~ 53.5	44.8
D70	峰岩	32.97	1	52	52.0
D74	峰岩	39.28	6	38 ~ 54	46.8

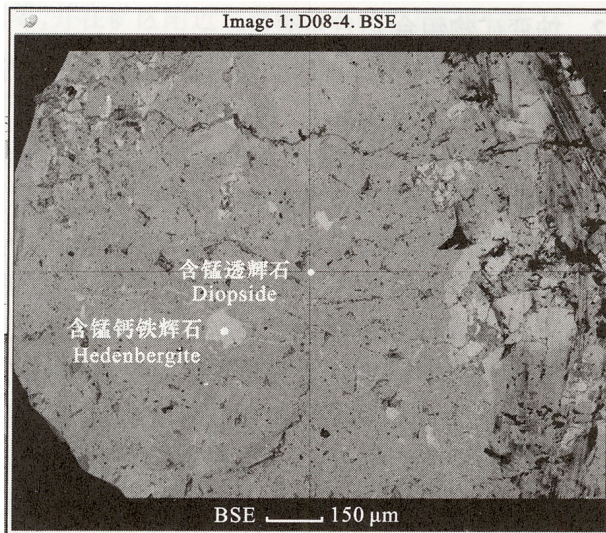


图3 晚期的钙铁辉石交代早期形成的透辉石(背散射电子图像)

Fig. 3 Early diopsides replaced by late hedenbergite in the Pb-Zn deposits of central Fujian Province (backscatter electronic image)

酸盐为主,少量透闪石,往外出现绢云母、绿泥石和钾长石(蔡仕明,1990;黄树峰等,1990)。而受层位控制的矿体蚀变矿物组合主要有辉石、阳起石、透闪石、钾长石、绿帘石、绿泥石、方解石、石英和绢云母等;矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、少量白铁矿和黄铜矿等。

夏山铅锌矿的蚀变矿物组合主要以辉石、石榴

石和石英为主,并有少量透闪石、绿帘石、阳起石、蔷薇辉石、硅灰石、绿泥石、方解石、正长石、斜长石、黑云母和绢云母等;矿石矿物以闪锌矿和方铅矿为主,尚有黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿。石榴石发育环带构造,自中心向外依次为钙铝榴石→钙铁榴石→钙铝榴石。

尤溪丁家山和峰岩铅锌矿的蚀变矿物组合以辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石为主,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;矿石矿物以闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿为主,其次为方铅矿、磁铁矿,少量黄铜矿、赤铁矿、白铁矿、碲铅矿、白铅矿、褐铁矿,极少量自然银等(陈小华,2000;吴志强,2003)。可见到钙铝榴石和钙铁石榴石与磁黄铁矿伴生。

2.3 含锰辉石的分布特征及成分

含锰辉石分布于闽中地区燕山期岩脉或岩体接触带内的铅锌矿脉、绿帘辉石岩中的似层状矿体及近矿围岩中(断裂控制的热液脉状矿体除外),远离矿体则不出现含锰辉石。区域变质作用形成的不含矿透辉石岩类含锰很低, $w(\text{MnO}) < 0.93\%$, $w(\text{TFeO})$ 变化于 $6.42\% \sim 10.25\%$ ^①;少量分析结果表明含矿辉石岩的 $w(\text{MnO})$ 变化于 $3.73\% \sim 13.01\%$, $w(\text{TFeO})$ 变化于 $9.23\% \sim 15.43\%$ (本文及①),后者的 MnO 和 TFeO 含量明显高于前者。

本区辉石的电子探针分析结果和计算结果列于表2。辉石,包括辉绿岩脉中的单斜辉石均属 Ca-Mg-Fe 辉石类,具有非常低的 J 值,表明它们富 Ca +

① 福建省闽北地质队,1980,1:5万迪口幅、夏道幅区域地质调查报告。

Mg + Fe²⁺, 而贫 Na (图 4a)。与铅锌矿有关的辉石主要可分为 2 大类: 一类为透辉石, 另一类为钙铁辉石 (Mori moto, 1989), 仅个别样品落入普通辉石区 (图 4b), 其 w (MnO) 变化于 0.15% ~ 18.9%。后一类大部分属锰钙铁辉石, 少数属于锰钙辉石 (赵一鸣, 1992; 1997)。辉绿岩脉中的辉石投于普通辉石区和透辉石区的分界线上, 指示其比透辉石略微贫钙, 并且由表 2 可以看出辉绿岩脉中的辉石含 Al, 而铅锌矿床中的辉石和区域变质形成的辉石几乎不含 Al, 两者形成明显对比, 表明辉绿岩脉中的辉石是从岩浆中结晶出的。

由图 3、图 4a、c、d 可以看出, 热液成矿作用阶段早期形成的辉石为略含 Fe、Mn 的透辉石, 而晚期形成的辉石为富 Fe、Mn 的钙铁辉石, 由早至晚成矿热液向着富锰的方向演化。由表 2 和图 4d 还可以看出, 本区与铅锌矿有关的辉石明显可分为 2 类, 即低 Fe、Mn 的辉石和富 Fe、Mn 的辉石, 分别对应于分类图上的透辉石和钙铁辉石。低 Fe、Mn 的辉石 w (MnO) 为 0.28% ~ 6.27%, w (FeO) 为 4.17% ~ 12.05%; 富 Fe、Mn 辉石 w (MnO) 为 4.94% ~ 18.9%, w (FeO) 为 11.66% ~ 18.87%。而由碳酸盐岩原岩变质形成的辉石为几乎不含 Mn 的透辉石,

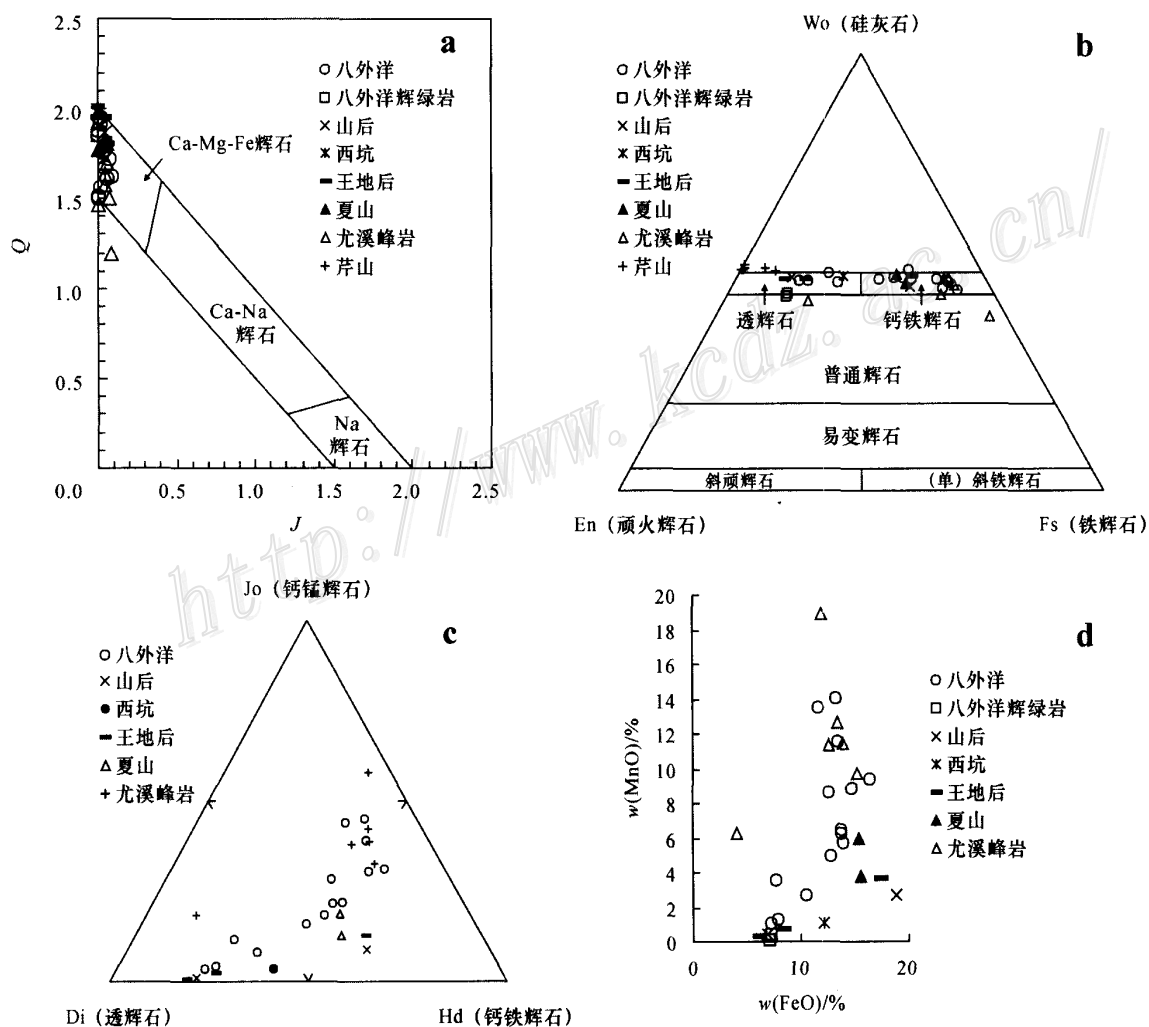


图 4 闽中地区铅-锌矿床辉石化学成分

a. 矿床中辉石的 Q-J 分类图 ($J = 2Na, Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$); b. Wo-En-Fs 图 (据 Mori moto, 1989); c. Jo-Di-Hd 图; d. MnO-FeO 图
 Fig. 4 Pyroxenes from the Pb-Zn deposits in central Fujian Province plotted on the Q-J diagram (a), on the Wo-En-Fs diagram (b) (after Mori moto, 1989), on the Jo-Di-Hd diagram (c) and on the MnO-FeO diagram (d)

表2 闽中地区铅锌矿床中

Table 2 Electron microprobe analyses and calculated results of

位置及样号	w(B) / %															总和
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	NiO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CoO	CuO	
八外洋																
By401-02-1-1	51.13	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	5.69	0.00	6.36	23.29	0.26	0.00	0.09	0.00	0.00	100.82
By401-03-1-1	50.77	0.00	0.00	13.81	0.00	0.00	6.46	0.00	5.56	22.65	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	99.44
By404-02-1-1	52.12	0.00	0.07	7.65	0.00	0.00	3.57	0.00	10.80	23.72	0.05	0.18	0.89	0.00	0.00	99.05
By408-06-1-1	51.74	0.06	0.00	12.80	0.00	0.00	4.94	0.00	7.31	22.62	0.25	0.00	0.28	0.00	0.00	100.00
D05-1-1	49.48	0.16	0.00	13.43	0.00	0.14	11.55	0.11	2.55	21.80	0.11	0.07	0.39	0.00	0.00	99.79
D05-3-1	49.03	0.00	0.00	11.66	0.00	0.00	13.53	0.01	3.21	21.11	0.00	0.20	0.45	0.39	0.44	100.03
D06-2-1	49.49	0.00	0.00	13.20	0.00	0.00	14.02	0.27	2.27	21.14	0.00	0.01	0.18	0.00	0.00	100.58
D08-1-4	49.19	0.10	0.00	16.39	0.00	0.00	9.42	0.00	2.61	21.92	0.36	0.00	0.12	0.00	0.00	100.11
D08-2-1	53.28	0.47	0.00	7.87	0.00	0.00	1.33	0.00	12.70	23.21	0.09	0.00	0.55	0.00	0.00	99.50
D08-2-2	49.75	0.16	0.00	14.78	0.00	0.00	8.84	0.00	3.22	21.72	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	99.05
D08-3-3	53.04	0.07	0.00	10.51	0.00	0.00	2.66	0.00	10.59	23.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	99.91
D08-3-4	50.85	0.00	0.00	13.73	0.00	0.00	6.28	0.00	4.87	23.13	0.47	0.11	0.00	0.00	0.00	99.44
D08-4-1	53.98	0.00	0.00	7.29	0.00	0.00	1.12	0.00	13.74	24.05	0.11	0.09	0.00	0.00	0.00	100.38
D08-4-2	50.72	0.00	0.00	12.64	0.00	0.00	8.61	0.00	5.10	22.33	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	99.70
辉绿岩																
BY411-05-1-1	49.44	1.01	5.83	7.00	0.00	0.00	0.16	0.00	14.05	20.85	0.34	0.12	0.27	0.00	0.00	99.07
BY411-05-3-1	49.41	1.08	5.14	7.15	0.00	0.00	0.41	0.00	14.83	21.22	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	99.43
山后																
BY412-02-1-1	50.83	0.08	0.00	18.87	0.00	0.00	2.74	0.00	5.41	21.57	0.30	0.08	0.08	0.00	0.00	99.96
BY413-01-4-1	53.64	0.06	0.00	6.86	0.00	0.00	0.38	0.00	14.11	24.34	0.00	0.16	0.06	0.00	0.00	99.61
西坑																
D1-7-1	52.85	0.00	0.28	12.05	0.00	0.00	1.03	0.00	9.74	23.03	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	99.33
王地后																
D21-1-1	51.03	0.00	0.00	17.40	0.00	0.00	3.69	0.00	4.92	22.62	0.56	0.04	0.28	0.00	0.00	100.54
D22-2-2	53.94	0.00	0.14	6.09	0.00	0.00	0.28	0.00	14.44	23.80	0.21	0.16	0.15	0.00	0.00	99.21
D23-1-1	53.75	0.00	0.00	8.31	0.00	0.00	0.74	0.00	13.10	23.77	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	100.1
夏山																
D39-3-1	50.35	0.00	0.39	15.62	0.00	0.00	3.78	0.00	5.87	22.91	0.40	0.00	0.13	0.00	0.00	99.45
D40-1-1	49.72	0.05	0.06	15.46	0.00	0.00	5.97	0.00	5.81	22.51	0.04	0.05	0.40	0.00	0.00	100.07
尤溪峰岩																
D53-1-1	49.81	0.00	0.00	13.40	0.00	0.00	12.67	0.00	2.32	20.90	0.42	0.17	0.31	0.00	0.00	100.00
D53-3-4	48.43	0.04	0.45	11.95	0.00	0.00	18.90	0.00	1.07	17.22	0.54	0.60	0.26	0.00	0.00	99.46
D70-2-1	49.67	0.00	0.00	15.23	0.00	0.00	9.70	0.00	2.78	22.09	0.24	0.06	0.30	0.00	0.00	100.07
D74-2-1	49.59	0.00	0.00	13.88	0.00	0.00	11.45	0.00	2.50	22.30	0.24	0.03	0.00	0.00	0.00	99.99
D74-4-2	46.31	0.00	0.00	12.65	0.00	7.82	11.35	0.00	3.33	19.17	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	100.72
D76-3	53.66	0.13	0.98	4.17	0.00	0.00	6.27	0.00	13.06	20.52	0.38	0.10	0.00	0.00	0.00	99.27

注:电子探针分析在中国地质大学(北京)电子探针室完成,机型为 EMPAI 600,操作条件为:15kV加速电压,计数时间为6s。

$w(\text{MnO})$ 最高为 0.182%, $w(\text{FeO})$ 也很低,为 0.074%~4.431%,如南平芹山透辉石矿床中的辉石(俞建长,1994)。

3 讨论

关于闽中地区 Pb-Zn 矿床的裂谷火山-沉积成因,已有研究者进行过详细阐述(黄树峰等,1990;徐克勤等,1996;周兵等,1999;吴志强,2003),这里不

再赘述。笔者想要强调的是后期构造-岩浆热液对该类型矿床叠加-改造的意义。闽中地区 Pb-Zn 矿床中的辉石为含锰的透辉石和富锰的钙铁辉石,少数属锰钙辉石,与典型矽卡岩型 Pb-Zn 矿床中辉石的特征相同(Meinert, 1987;赵一鸣,1997;2002;毛景文等,1994;1998;Nakano, 1998),而不同于区域变质过程中形成的贫铁锰的透辉石(俞建长,1994),可能表明这些辉石的成因与矽卡岩型 Pb-Zn 矿床中的辉石成因相似,从而可以推断这些 Pb-Zn 矿床受

辉石的电子探针分析及计算结果

pyroxenes related to Pb-Zn deposits in central Fujian Province

以 6 个氧为基准的阳离子数												端员组分			
Si	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Cr	Mg	Ni	Mn	Ca	Na	K	Σ	Di	Jo	Hd
1.993	0	0	0.007	0.424	0	0.37	0	0.188	0.973	0.02	0	3.975	37.41	19.01	43.58
2.016	0	0	0	0.459	0	0.329	0	0.217	0.964	0.015	0	4.000	32.74	21.59	45.67
2.015	0	0	0	0.247	0	0.622	0	0.117	0.983	0.004	0.009	3.997	63.08	11.87	25.05
2.004	0.002	0	0	0.188	0	0.786	0	0.012	0.974	0	0.008	4.001	42.22	16.25	41.53
2.014	0.005	0	0	0.457	0.004	0.155	0.004	0.398	0.951	0.009	0.004	4.001	15.35	39.41	45.25
2.003	0	0	0	0.394	0	0.196	0	0.468	0.924	0	0.01	3.995	18.53	44.23	37.24
2.006	0	0	0	0.448	0	0.137	0.009	0.481	0.918	0	0.001	4.000	12.85	45.12	42.03
1.987	0.003	0	0.013	0.505	0	0.157	0	0.322	0.949	0.028	0	3.964	15.75	32.30	51.96
2.024	0.013	0	0	0.25	0	0.719	0	0.043	0.944	0.007	0	4.000	71.05	4.25	24.70
2.012	0.005	0	0	0.488	0	0.194	0	0.303	0.941	0.045	0	3.988	19.70	30.76	49.54
2.028	0.002	0	0	0.336	0	0.604	0	0.086	0.943	0.001	0	4.000	58.87	8.38	32.75
2.019	0	0	0	0.452	0	0.288	0	0.211	0.984	0.036	0.006	3.996	30.28	22.19	47.53
2.007	0	0	0	0.227	0	0.761	0	0.035	0.958	0.008	0.004	4.000	74.39	3.42	22.19
2.023	0.002	0	0	0.419	0	0.426	0	0.164	0.948	0.019	0	4.000	65.53	1.04	33.44
1.846	0.028	0.154	0	0.194	0	0.782	0	0.005	0.834	0.025	0.006	3.874	79.71	0.51	19.78
1.839	0.03	0.161	0	0.42	0	0.823	0	0.013	0.846	0	0	3.900	79.72	1.22	19.07
2.016	0.002	0	0	0.626	0	0.32	0	0.092	0.917	0.023	0.004	4.000	30.83	8.86	60.31
2.015	0	0	0	0.214	0	0.302	0	0.29	0.95	0.023	0	4.000	37.47	35.98	26.55
2.046	0	0	0	0.39	0	0.562	0	0.034	0.955	0	0	3.987	57.00	3.45	39.55
2.013	0	0	0	0.555	0	0.289	0	0.123	0.956	0.043	0.002	3.981	29.89	12.72	57.39
2.015	0	0	0	0.191	0	0.804	0	0.009	0.953	0.015	0.008	3.995	75.83	0.38	23.79
2.022	0	0	0	0.261	0	0.735	0	0.024	0.958	0	0	4.000	72.06	2.35	25.59
1.991	0	0.009	0	0.486	0	0.346	0	0.127	0.971	0.031	0	3.961	36.08	13.24	50.68
1.974	0.001	0.003	0.023	0.462	0	0.344	0	0.201	0.958	0.003	0.003	3.972	33.40	19.51	47.09
2.020	0	0	0	0.453	0	0.14	0	0.435	0.908	0.033	0.009	3.998	13.62	42.32	44.07
2.000	0.001	0	0	0.363	0	0.066	0	0.661	0.762	0.043	0.032	3.928	6.06	60.64	33.30
2.007	0	0	0	0.508	0	0.167	0	0.332	0.956	0.019	0.003	3.992	16.58	32.97	50.45
2.003	0	0	0	0.455	0	0.151	0	0.392	0.965	0.019	0.002	3.987	15.13	39.28	45.59
1.885	0	0	0	0.431	0.251	0.202	0	0.391	0.836	0	0.005	4.001	19.73	38.18	42.09
2.024	0.004	0	0	0.13	0	0.734	0	0.2	0.829	0.028	0.005	3.956	68.86	18.76	12.38

与碳酸盐岩互层的火山岩系的控制,其形成及最后定位受控于裂谷闭合以后构造-岩浆热液的叠加-改造作用,这对于找矿勘探具有重要意义。建瓯八外洋矿床中所见的铅锌矿脉交代大理岩,闪锌矿粒度变粗、品位变富的现象,显然表明在热液作用下经历了叠加、改造及重结晶作用;政和夏山铅锌矿自正长花岗斑岩的接触带向外依次为硅化辉石石榴石砂卡岩→硅化石榴石辉石砂卡岩闪锌矿矿石→硅化辉石砂卡岩闪锌矿矿石,而条带状闪锌矿矿石产于辉石砂卡岩中;尤溪峰岩钴孔绿片岩中见到的钾长石

化和黑云母交代阳起石的现象,均是初始矿源层受到后期构造-岩浆热液作用改造的证据。丁家山矿段 IV 号矿体赋存于侏罗纪火山碎屑岩中(叶水泉等,1999;陈小华,2000);水吉铅锌矿 VIA1 矿体定位于 NNE 向的 F₁₁ 断裂之中,大部分与变质岩层斜切(黄树峰等,1990;蔡仕明,1990),这些矿体属热液脉型,是初始矿源层经后期构造-岩浆热液作用活化、迁移并重新定位或后期岩浆热液成矿的现象,总之,后期构造-岩浆热液作用在成矿过程中起了重要作用。另外,尚有赋存于早元古代麻源群大金山组、南山组

NE - NNE 向断裂,大金山组与侏罗系梨山组接触带以及加里东期片麻状花岗闪长岩中的脉状铅锌矿床(刘诗光等,2003;刘乃忠等,2004)。看来该区的铅锌矿床并不只局限于裂谷带内,其成因需要从成矿系列的角度考虑,用裂谷火山成因块状硫化物矿源层经改造作用是不能解释这些事实的。这些现象均表明后期的构造-岩浆热液作用已使初始矿源层的成矿物质活化并重新定位,而且后期岩浆热液也带来了成矿物质,表明后期构造-岩浆热液作用具有重要的成矿意义。

Einaudi 等(1982)研究表明,矽卡岩辉石中的 Mg、Fe、Mn 的比例是热液流体中活度、氧化还原条件、温度的函数,并且随矽卡岩的类型而变化。Meinert(1987)更进一步指出大多数矿物相特别是辉石富集 Mn 是矽卡岩热液体系远温端的特征。控制矽卡岩分带的因素包括温度、形成深度、岩体和围岩的成分、氧化态及构造环境。与 Zn 有关的矽卡岩矿物富含铁锰,这些矿物包括石榴石、辉石、蔷薇辉石、硅灰石类、黑柱石、角闪石、绿泥石、碳酸盐和闪锌矿,与其他成矿类型的矽卡岩形成区别(Nakano et al., 1994; Nakano, 1998; 赵一鸣, 1997; 2002; Meinert, 1992)。更富锰的辉石形成于流体的远温端,而近岩体形成的辉石富镁。形成辉石的流体先亏损 Mg, 然后亏损 Fe, 最后亏损 Mn。本区铅锌矿床中的辉石富锰,且由早至晚向更富锰的方向演化,与矽卡岩型铅锌矿的辉石特征一致。区域上变质作用形成的不含矿透辉石岩类,其含 Mn 很低, MnO 含量小于 0.93%; 尤溪峰岩矿区含矿地层的大理岩不含 Mn, 地层提供 Mn 的可能性不大,而在岩体接触带及似层状矿体中的辉石却富含 Mn, 远离接触带或矿体则不含 Mn, 可能表明本区铅锌矿床中的富锰辉石是燕山期岩浆流体演化的结果,富锰的辉石矽卡岩是岩浆流体顺层渗滤交代形成的,岩浆流体参与了成矿。

大多数矽卡岩分带为近接触带的石榴石矽卡岩带,远离接触带的辉石和符山石矽卡岩带,对于某些矽卡岩系统来说,这些分带可以延伸几公里远(Meinert, 1987; 赵一鸣, 1997)。除建阳水吉矿区 VI A₁ 矿体、尤溪丁家山矿区 IV 矿体及峰岩矿区 F₂ 断裂

控制的脉型矿体外,本区的铅锌矿床均产于含锰的辉石矽卡岩之中,在峰岩、丁家山和夏山铅锌矿中甚至出现典型的矽卡岩矿物钙铝榴石和钙铁榴石,且含锰,因此,与围岩中区域变质过程中形成的铁铝榴石有所区别(本文及①)。Araujo 等(1995)研究表明块状硫化物矿床的蚀变岩石经过变质作用形成的是铁铝榴石,而不是钙铝榴石或钙铁榴石,表明出现何种石榴石与物理化学条件有关,排除了矿床中的钙铝榴石和钙铁榴石经区域变质作用形成的可能性。这些研究成果及本区 Pb-Zn 矿床的矽卡岩化特征表明闽中地区的 Pb-Zn 矿床类似于矽卡岩型 Pb-Zn 矿床,是构造-岩浆热液作用强烈叠加-改造的矿床,部分为热液脉型矿床。

Cu-Fe 矽卡岩一般与含 $w(\text{SiO}_2) < 68\%$ 的花岗闪长岩、石英二长岩、闪长岩,甚至辉长-正长岩有关,而 Pb-Zn 矽卡岩与含 $w(\text{SiO}_2) 68\% \sim 75\%$ 的闪长岩-正长岩、花岗闪长岩-花岗岩、石英斑岩或花岗斑岩有关,但常常不出现侵入体,若出现,则为岩株或岩脉(Shimazaki, 1975; Einaudi et al., 1982; 赵一鸣, 1997)。本区 Pb-Zn 矿区发育闪长岩脉、花岗斑岩脉及辉绿岩脉,尤溪 Pb-Zn 矿体赋存于侏罗纪火山碎屑岩中的事实表明其最终定位晚于侏罗纪火山岩浆作用。吴淦国等(2004)测得尤溪峰岩铅锌矿中与金属矿物共生的钾长石⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(85.4 ± 8.9) Ma, 等时线年龄为(86.19 ± 0.89) Ma, 表明是晚白垩世热液叠加的结果。纵观闽中地区地质矿产图可以看出,各 Pb-Zn 矿区外围均有大的燕山期正长花岗岩出露,而夏山 Pb-Zn 矿本身就是与正长花岗(斑)岩有关的矽卡岩型矿床,正长花岗(斑)岩 w_{Zn} 变化于 $(54 \sim 4000) \times 10^{-6}$, 而矿区未蚀变片岩 w_{Zn} 仅 63×10^{-6} ②。这表明本区铅锌矿的最终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,这对正长花岗岩的定年将具有重要意义。

4 结论及意义

该区铅锌矿床的辉石与典型矽卡岩 Pb-Zn 矿床中的辉石类似,为透辉石和钙铁辉石,富铁、锰,具有

① 孙大中, 金文山, 赵凤清, 等. 1991. 闽北前寒武纪变质岩层层序划分和构造演化. 科研报告.

② 福建省闽北地质大队. 1988. 福建省闽北变质岩地层含矿性研究报告.

远温端矽卡岩辉石的特征,因此本区的铅锌矿床类似于矽卡岩型 Pb-Zn 矿床,部分为受断裂控制的热液脉型矿床,可能是在海底火山喷发沉积形成的初始矿源层的基础上经变质作用、燕山期构造-岩浆热液作用、顺层渗滤交代、强烈叠加改造或活化迁移并重新定位形成的矿床。

本区铅锌矿床中的辉石富锰,可能指示该区的铅锌矿床经历了燕山晚期构造-岩浆热液的强烈叠加改造。同时富锰辉石可以作为该类型铅锌矿床的找矿标志。

References

- Araujo S M, Fawcett J and Scott S D. 1995. Metamorphism of hydrothermally altered rocks in a volcanogenic massive sulfide deposit: the Palmeirópolis, Brazil, example [J]. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(3): 173 ~ 184.
- Cai S M. 1990. Geological characteristics of Pb-Zn-Ag mineral deposit of ore zone No. VI in Shuiji, Jianyang, Fujian [J]. *Geol. Fujian*, 9(4): 256 ~ 265 (in Chinese with English abstract).
- Chen X H. 2000. Geological features and genesis of Dingjiashan Pb-Zn deposit in Fujian Province [J]. *Geol. Fujian*, 19(2): 57 ~ 65 (in Chinese with English abstract).
- Einaudi M T and Burt D M. 1982. Introduction-terminology, classification, and composition of skarn deposits [J]. *Econ. Geol.*, 77(4): 745 ~ 754.
- Hu X J, Xu J, Tong Z X and Chen C H. 1991. Precambrian geology in southwestern Zhejiang Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Huang S F, Cai S M and Huang X Y. 1990. Ore-formation mechanism and evolution pattern of Fengshanlin Ag-Pb-Zn stratabound deposit, Shuiji ore area, Jianyang [J]. *Geol. Fujian*, 9(1): 1 ~ 13 (in Chinese with English abstract).
- Li W X, Li X H and Li Z X. 2005. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia block of South China and its tectonic significance [J]. *Precambrian Research*, 136(1): 51 ~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Liu N Z and Liu S G. 2004. Geologic characteristics and genesis of the Jinzhukeng lead-zinc deposit in Pucheng County, Fujian Province [J]. *Geol. Fujian*, 23(2): 59 ~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G and Liu N Z. 2004. Discussion on the genetic type of Dajinshan lead-zinc deposit in Jianyang County, Fujian Province [J]. *Geol. Fujian*, 22(3): 116 ~ 124 (in Chinese with English abstract).
- Mao J R, Tao K Y, Chen S Y, Chen H M, Tao Y X, Liu F X, Chen Y Z and Chen J S. 1998. The granitic magmatism and mineralization in southwest Fujian [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 19(4): 311 ~ 320 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y and Wang P A. 1994. Manganoan skarn in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Hunan Province [J]. *Mineral Deposits*, 13(1): 38 ~ 46 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y and Song X X. 1998. Geology and geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi polymetallic deposit, Hunan, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 215p (in Chinese with English summary).
- Meinert L D. 1987. Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, central Mining District, New Mexico [J]. *Econ. Geol.*, 82(3): 523 ~ 545.
- Meinert L D. 1992. Skarn and skarn deposits: Summary and weblinks [EB/OL]. Skarn Website. <http://www.wsu.edu:8000/~meinert/skarnhp.html>.
- Morimoto N. 1989. Nomenclature of pyroxenes [J]. *Canadian Mineralogist*, 27: 143 ~ 156.
- Nakano T, Yoshino T, Shimazaki H and Shimizu M. 1994. Pyroxene composition as an indicator in the classification of skarn deposits [J]. *Econ. Geol.*, 89: 1567 ~ 1580.
- Nakano T. 1998. Pyroxene geochemistry as an indicator for skarn metallogenesis in Japan [A]. In: Lentz D R, ed. *Mineralized intrusion-related skarn systems* [C]. *Min. Assoc. Can. Short Course* 26, 147 ~ 167.
- Shimazaki H. 1975. The ratios of Cu/Pb + Zn of pyrometamorphic deposits in Japan and their genetical implications [J]. *Econ. Geol.*, 70: 711 ~ 724.
- Wei D G, Jié Y J and Huang T G. 1997. Regional geological structure of Fujian [J]. *Regional Geol. China*, 16(2): 162 ~ 170 (in Chinese with English abstract).
- Wu G G, Zhang D, Peng R M, Wu J S, Gao T J, Chen B L, Wang Q F, Di Y J and Zhang X X. 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 Z Q. 2003. The geological characteristics and genetic model of Meixian lead-zinc-silver ore field in Fujian Province [J]. *Mineral Resour. & Geol.*, 17(5): 606 ~ 609 (in Chinese with English abstract).
- Xu K Q, Wang H N, Zhou J P and Zhu J C. 1996. A discussion on the exhalative sedimentary massive sulfide deposits of south China [J]. *Geol. J. China Univ.*, 2(3): 241 ~ 256 (in Chinese with English abstract).
- Ye S Q, Ni D P and Wu Z Q. 1999. Meixian-type massive sulfide deposits in Fujian Province [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 20(3): 172 ~ 180 (in Chinese with English abstract).
- Yu J C. 1994. Geology and genesis of Qinshan diopside deposit, Nanping, Fujian Province [J]. *J. Fuzhou Univ. (Natural Science)*, 22(1): 98 ~ 105 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D, Wu G G, Ye Y J, Zhang X X, Peng R M, Wu J S and Wang Q F. 2004. Paleotectonic setting of Dongyan Group of Middle and Upper Proterozoic in central Fujian Province [J]. *J. China Univ. Geosci. (English edition)*, 15(1): 29 ~ 35.
- Zhang L G and Li S H. 1995. Metallogeny and geophysical-geochemical anomalies of the Meixian large-sized lead-zinc (silver) deposit, Fujian

- Province[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 19(6) : 449 ~ 455 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y M, Lin W W, Zhang D Q, Li D X, Zhao G H and Chen R Y. 1992. *Metasomatic mineralization: Study of some ore-bearing metasomatic formations*[M]. Beijing: Beijing Sci. & Technol. Press (in Chinese) .
- Zhao Y M. 1997. *Metasomatic zoning in some major Pb-Zn poly metallic skarn deposits of China*[J]. *Mineral Deposits*, 16(2) : 120 ~ 129 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y M, Zhang Y N and Lin W W. 1997. *Characteristics of pyroxenes and pyroxenoids in skarn deposits of China and their relationship with metallization*[J]. *Mineral Deposits*, 16(4) : 318 ~ 329 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y M. 2002. *Some new important advances in study of skarn deposits*[J]. *Mineral Deposits*, 21(2) : 113 ~ 136 (in Chinese with English abstract) .
- Zheng S J, Yan B Q and Huang Q Z. 2000. *Unit division of intrusive rock lineage in Fujian Province*[M]. Xiamen: Xiamen Univ. Press (in Chinese) .
- Zhou B and Gu L X. 1999. *Geological characteristics and formation environment of the Meixian massive sulfide deposit*[J]. *Mineral Deposits*, 18(2) : 99 ~ 109 (in Chinese with English abstract) .
- 附中文参考文献**
- 蔡仕明. 1990. 福建建阳水吉 VI号矿带铅锌银矿床地质特征[J]. *福建地质*, 9(4) : 256 ~ 265 .
- 陈小华. 2000. 福建省丁家山铅锌矿床地质特征及成因[J]. *福建地质*, 19(2) : 57 ~ 65 .
- 福建省地质矿产勘查开发局. 1998. 福建省地质图(1:500000)及说明书[M]. 福建: 福建省地图出版社 .
- 胡雄健, 许金坤, 童朝旭, 陈程华. 1991. 浙西南前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社 .
- 黄树峰, 蔡仕明, 黄新源. 1990. 建阳水吉风山林层控银铅锌矿成矿机制及演化模式[J]. *福建地质*, 9(1) : 1 ~ 13 .
- 刘乃忠, 刘诗光. 2004. 福建浦城金竹坑铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. *福建地质*, 23(2) : 59 ~ 66 .
- 刘诗光, 刘乃忠. 2003. 福建建阳大金山铅锌矿床成因探讨[J]. *福建地质*, 22(3) : 116 ~ 124 .
- 毛建仁, 陶奎元, 陈三元, 陈宏明, 陶于祥, 刘富祥, 陈云钊, 陈金水. 1998. 闽西南花岗质岩浆作用与成矿[J]. *火山地质与矿产*, 19(4) : 311 ~ 320 .
- 毛景文, 李红艳, 王平安. 1994. 湖南柿竹园钨多金属矿床中的锰质矽卡岩[J]. *矿床地质*, 13(1) : 38 ~ 46 .
- 毛景文, 李红艳, 宋学信. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 215页 .
- 韦德光, 揭育金, 黄廷淦. 1997. 福建省区域地质构造特征[J]. *中国区域地质*, 16(2) : 162 ~ 170 .
- 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 .
- 吴志强. 2003. 福建省梅仙铅锌银矿田成矿地质特征和成因模式[J]. *矿产与地质*, 17(5) : 606 ~ 609 .
- 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 朱金初. 1996. 论华南喷流-沉积块状硫化物矿床[J]. *高校地质学报*, 2(3) : 241 ~ 256 .
- 叶水泉, 倪大平, 吴志强. 1999. 福建省梅仙式块状硫化物矿床[J]. *火山地质与矿产*, 20(3) : 172 ~ 180 .
- 俞建长. 1994. 福建南平芹山透辉石矿床地质特征及成因探讨[J]. *福州大学学报(自然科学版)*, 22(1) : 98 ~ 105 .
- 张立公, 李盛汉. 1995. 梅仙大型铅锌银矿成矿地质与物化探异常特征[J]. *物探与化探*, 19(6) : 449 ~ 455 .
- 赵一鸣, 林文蔚, 张德全, 李大新, 赵国红, 陈仁义. 1992. 交代成矿作用及其找矿意义——几个重要含矿交代建造的研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社 .
- 赵一鸣. 1997. 我国一些重要夕卡岩 Pb-Zn 多金属矿床的交代分带[J]. *矿床地质*, 16(2) : 120 ~ 129 .
- 赵一鸣, 张轶男, 林文蔚. 1997. 我国夕卡岩矿床中的辉石和似辉石特征及其与金属矿化的关系[J]. *矿床地质*, 16(4) : 318 ~ 329 .
- 赵一鸣. 2002. 夕卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. *矿床地质*, 21(2) : 113 ~ 136 .
- 郑声俭, 严炳铨, 黄泉祯. 2000. 福建省侵入岩岩石谱系单位划分[M]. 厦门: 厦门大学出版社 .
- 周兵, 顾连兴. 1999. 论梅仙块状硫化物矿床的特征及成矿地质环境[J]. *矿床地质*, 18(2) : 99 ~ 109 .