

福建梅仙丁家山铅锌矿成矿系统分析

石得凤^{1,2}, 张术根^{1,2}, 韩世礼^{1,2}, 艾国梁^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘要:通过对丁家山铅锌矿成矿时代、成矿物质来源、成矿流体通道、储矿场等成矿系统要素的全面分析,明确了丁家山铅锌矿成矿作用为燕山期花岗质岩浆与经加里东期区域变质的新元古界马面山群龙北溪组上段富钙质岩之间的接触交代变质作用。Pb 和 S 等同位素研究及化探扫面结果显示: 矿区成矿物质由燕山期花岗岩和马面山群龙北溪组地层共同提供, H 和 O 同位素研究证实: 成矿流体由大气降水和岩浆水共同组成; 精细化矿物场填图指示成矿流体主要通过北东向断层运移, 而矿区储矿场由马面山群龙北溪组上段、上侏罗统长林组和其间的角度不整合接触界面构成。丁家山铅锌矿属挤压构造成矿系统(大类)下属的与燕山期花岗质岩浆有关的接触交代成矿系统类。

关键词: 成矿系统; 成矿作用; 接触交代变质; 丁家山铅锌矿

中图分类号: P61

文献标志码: A

Metallogenic system analysis of Dingjiashan Pb-Zn ore district in Meixian, Fujian Province

SHI De-feng^{1,2}, ZHANG Shu-gen^{1,2}, HAN Shi-li^{1,2}, AI Guo-liang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on the systematic study of metallogenic system elements, such as metallogenic epoch, ore-forming materials source, pass way of ore-forming fluid and site of ore body, it is found that the metallogenesis of Dingjiashan Pb-Zn ore district is contact metasomatic metamorphism between Yanshanian granite and the regional metamorphism calcareous rock of Neoproterozoic Mamianshan Formation Longbeixi group upper. The research on isotope of Pb, S and geochemical exploration confirms that the ore-forming materials are supplied by Yanshanian granite and Mamianshan Formation Longbeixi group, and the research on isotope of H and O confirms that the ore-forming fluid is composed of magmatic water and atmospheric water. The mineral mapping indicates that the ore-forming fluid flows along NE fault. There are three sites of ore body, Neoproterozoic Mamianshan Formation Longbeixi group upper, Jurassic Changlin group and angular unconformity between them. Dingjiashan Pb-Zn ore district is contact metasomatic metamorphism metallogenic system related to Yanshanian granite, which belongs to compression structure metallogenic system.

Key words: metallogenic system; metallogenesis; contact metasomatic metamorphism; Dingjiashan Pb-Zn ore district

丁家山铅锌矿是东南地洼区浙闽地穹系绍广地洼列南平地洼内规模较大的铅锌矿床之一^[1], 自 20 世纪 90 年代初被中国有色金属工业总公司华东地质勘

查局发现以来, 其矿床成因问题一直是研究者争论的焦点^[2-5]。本文作者通过成矿时间、成矿物质来源、成矿流体运移通道、储矿场、成矿作用类型、成矿作用

产物及成矿过程演化等方面的研究对丁家山铅锌矿床成矿系统进行深入剖析,并对其进行归类。

1 区域地质背景

自晚元古代至奥陶纪末,研究区域处于地槽期。晚元古代,南平地洼所在的闽中地区政和—龙岩一线环境动荡,海水时进时退,使得该时期形成的马面山群地槽型碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造组合内厚层钙泥质岩内钙、泥质含量比例交替变化,早期局部还伴有海相火山和火山沉积建造。奥陶纪至晚志留世,加里东运动使地槽封闭,研究区进入褶皱带期,形成大量北东向紧闭褶皱,并伴有区域变质,形成低绿片岩—绿片岩相变质岩。

晚志留世起,闽中地区经准平原化而进入地台阶段,成为华南地台的一部分,地壳运动趋于和缓,岩浆活动微弱。尽管如此,地槽阶段已经发育的政和—大埔断裂在海西运动期间仍具有短暂的插曲性活动,显示断拉谷环境特征^[6-7]。

晚三叠世起,研究区域进入地洼演化阶段,成为东南地洼区的一部分。印支运动期间,在地壳水平运动作用下形成北东向宽展型短线性褶皱和块状断裂。梅仙复背斜就是地槽期形成的褶皱叠加此次褶皱作用后形成的。燕山运动期间,随着西太平洋壳体与东亚大陆壳体间相互作用的增强,区域构造活动继续加强,不但形成部分新的北东、北西向断层,还使得区内早已存在的断层发生活化,并伴随强烈的岩浆侵入和喷出活动。继大范围陆相火山喷发在地势低洼处形成上侏罗统长林组地层,并与下伏强烈褶皱的老地层呈角度不整合接触后,出现大规模中酸性岩浆侵入活动。研究区所处绍广地洼列中的地台型沉积被该阶段形成或活化的几条大断裂及沿断裂侵入的花岗岩所分割,局部地区表现为带状和短带状分布^[8]。

2 矿区地质概况

梅仙地区以构造窗形式出露马面山群龙北溪组(Pt₂₋₃l)和大岭组(Pt₂₋₃dl)地层,与上覆上侏罗统长林组(J_{3c})和零星分布的下侏罗统梨山组(J₁l)呈断层或角度不整合接触(见图1)。根据最新研究成果,马面山群地层形成于新元古界,自下而上分为龙北溪组(Pt₂₋₃l)、东岩组(Pt₂₋₃dy)和大岭组(Pt₂₋₃dl)^[9]。马面山群在梅仙地区表现为由轴向北东的背斜及向斜组成的宽缓复背斜

构造。丁家山、经通大队和关兜等铅锌矿床串珠状产于梅仙复背斜北西翼上岩兜—关兜次级背斜轴部。丁家山铅锌矿床马面山群主要岩性自下而上为龙北溪组巨厚层白云质大理岩夹云母石英片岩、石榴子石—透辉石—绿帘石系列变质岩夹大理岩团块、石英云母片岩,大岭组绢云母片岩、石英云母片岩、变质石英砂岩、石英岩、千枚状粉砂岩及千枚岩。下侏罗统梨山组由千枚状粉砂岩、页岩和砂岩组成,上侏罗统长林组由泥质粉砂岩、砂砾岩、凝灰质细砂岩、安山岩及安山玄武岩组成。

研究区燕山期花岗质岩浆侵入活动强烈,花岗岩主要沿北东向呈串珠状岩株体分布在岩兜—关兜一线以西地区,而其以东地区则仅见北东向花岗斑岩及石英斑岩的岩墙和岩脉。区内断裂构造发育,主要有NE、NW、SN和EW向4组。部分NE向和NW向断裂控制燕山期花岗岩及中酸性脉岩的侵入就位,也控制部分铅锌硫化物矿体的就位。而SN和EW向断裂往往造成矿体或地层的局部错位。

3 成矿系统

一个完善的成矿系统能够体现与矿床形成有关的物质、运动、能量、空间和时间的统一性和整体性^[11-15]。本文作者从成矿时间、成矿物质来源、成矿流体通道、储矿场、成矿作用条件及产物等方面对丁家山铅锌矿成矿系统进行深入讨论。

3.1 成矿时间

丁家山矿区的铅锌硫化物矿体产出在新元古界马面山群龙北溪组上段、上侏罗统长林组及二者之间的角度不整合接触界面3类部位。不同部位产出的铅锌矿体,无论矿石物质组成或矿物组合的演化顺序都没有明显的差别,显示这些矿体是相同成矿系统的矿化产物,且该系统的成矿作用应发生在晚侏罗世以后。为了确定具体成矿时间,对同成矿期石英的流体包裹体进行了Rb、Sr同位素组成分析(见表1)。结果显示:7件样品的Rb、Sr同位素线性排列特征明显,说明其具有重要的等时线意义。选用矿石构造类型一致且等时线质量相对更高的Q7、Q10、Q11、Q12和Q13样品进行最小二乘法拟合出直线方程 $y=0.0021x+0.718$,相关系数 $r=0.994$,等时线质量很高(见图2)。根据上述方程求得成矿年龄为 $t=(146.15\pm3.95)\text{ Ma}$ 。该年龄与矿区铅锌硫化物矿化就位情况吻合,也与研究区燕山期花岗质岩浆侵入时代吻合,有力地证明了丁

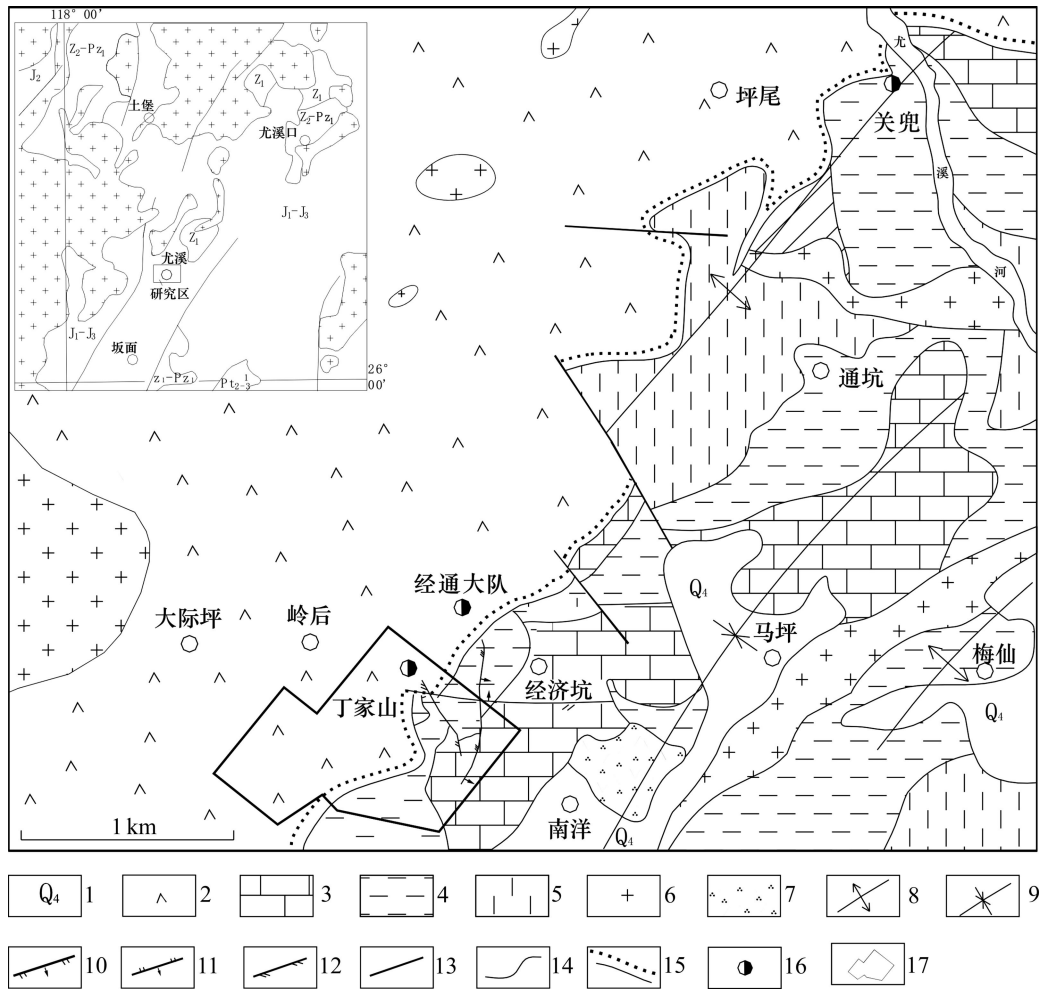


图 1 丁家山铅锌矿区及其外围地质图^[4, 10]: 1—第四系; 2—上侏罗统长林组; 3—新元古界马面山岩群大岭组; 4—新元古界马面山岩群龙北溪组上段; 5—新元古界马面山岩群龙北溪组中段; 6—花岗岩; 7—石英斑岩; 8—背斜; 9—向斜; 10—正断层; 11—逆断层; 12—压扭性断层; 13—性质不明断层; 14—地质界线; 15—角度不整合界线; 16—铅锌矿点; 17—丁家山铅锌矿区范围

Fig. 1 Geological sketch map from Dingjiashan Pb-Zn ore district and its outside^[4, 10]: 1—Quaternary; 2—Jurassic Changlin group; 3—Neoproterozoic Mamianshan Formation Daling group; 4—Neoproterozoic Mamianshan Formation Longbeixi group upper; 5—Neoproterozoic Mamianshan Formation Longbeixi group middle; 6—Granite 7—Quartz-porphry; 8—Anticline; 9—Syncline; 10—Normal fault; 11—Revers fault; 12—Transpressional fault; 13—Unknown fault; 14—Geological boundary; 15—Angular unconformity; 16—Pb-Zn ore deposit; 17—Area of Dingjiashan Pb-Zn ore deposit

表 1 丁家山铅锌矿 Rb、Sr 同位素组成测试结果

Table 1 Rb and Sr isotope examination of Dingjiashan Pb-Zn ore district

序号	样品编号	共生硫化物	w(Rb)/10 ⁻⁶	w(Sr)/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	备注
1	Q6	Py	0.223	0.804	0.802	0.718 11±0.000 02	Q6 和 Q9 采自含矿石英脉, 其他样品采自块状矿体
2	Q7	Po+Sp+Gn	0.505	0.644	2.264	0.722 95±0.000 02	
3	Q9	Py+Sp+Gn	0.911	1.428	1.843	0.722 83±0.000 02	
4	Q10	Po+Sp	0.336	0.251	3.867	0.726 56±0.000 04	
5	Q11	Po+Sp+Gn+Py	0.199	0.509	1.126	0.720 57±0.000 02	
6	Q12	Sp+Py	0.712	0.539	3.815	0.725 73±0.000 03	
7	Q13	Py+Sp+Mag	0.426	0.360	3.413	0.725 54±0.000 02	

测试单位: 宜昌地质研究所同位素实验室; 测试人: 刘重芑; 测试时间: 2009 年 9 月~2010 年 5 月。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素比值同位素分析用 MAT-261 可调多接收质谱计直接测定完成, Rb 和 Sr 的含量采用同位素稀释质谱法测定, 在整个同位素分析过程中, 用 NBS987 和 GBW04411 标准物质对仪器和分析流程进行监控。矿物简写见文献[16]。

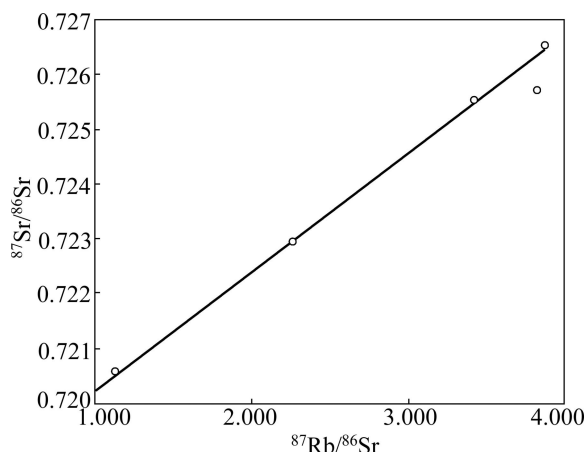


图2 含矿石英 Rb-Sr 等时线图

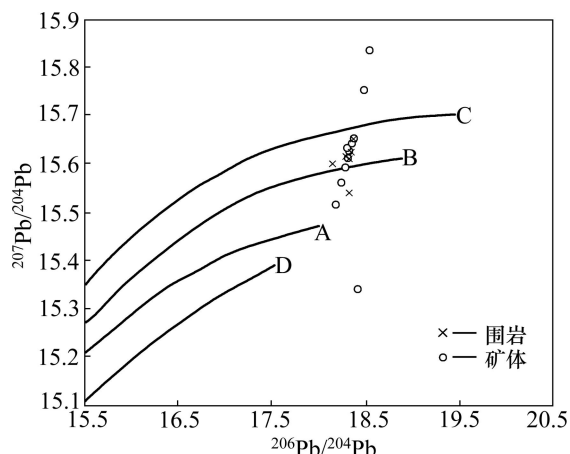
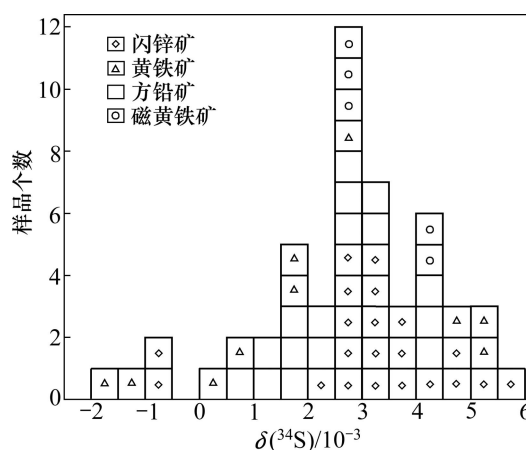
Fig. 2 Rb-Sr isochron of ore-bearing quartz

家山矿区的铅锌硫化物矿化是燕山期花岗质岩浆活动成矿事件的产物。

3.2 成矿物质来源

3.2.1 Pb、Zn 和 S 的来源

以往研究显示：研究区矿体及围岩的铅同位素组成变化范围较大^[17]，其中，矿石铅同位素组成具有明显的线性分布特征(见图3)，反映铅为混合来源。研究区53件金属硫化物样品 $\delta^{34}\text{S}$ 组成塔式分布特征明显(见图4)， $\delta^{34}\text{S}$ 值范围在 $-1.7 \times 10^{-3} \sim 5.6 \times 10^{-3}$ 之间。浅色闪锌矿和方铅矿成矿系统源区 $\delta^{34}\text{S}$ 组成为 3.97×10^{-3} ，与硫化物塔式分布峰值(3×10^{-3})接近，基本能代表整个成矿系统硫的源区初始值，从而证明研究区成矿体系整体具有深源硫特征，属岩浆来源。同

图3 矿石 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的增长曲线：A—地幔；B—造山带；C—上地壳；D—下地壳Fig. 3 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ growth curves: A—Mantle; B—Orogenic belt; C—Upper crust; D—Lower crust图4 丁家山铅锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 同位素直方图Fig. 4 $\delta^{34}\text{S}$ isotope histogram of Dingjiashan Pb-Zn ore district

成矿期石英流体包裹体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为0.718，从而证明矿区成矿与燕山期重熔型花岗质岩浆活动有关^[18]。此外，研究区1:10 000化探次生晕扫面结果显示地层内铅和锌的丰度值分别为克拉克值的100和50倍以上，为区域背景值的47和35倍以上^[19]。以上证据表明：矿区的铅锌硫化物成矿物质不仅来自燕山期重熔型花岗岩，也有部分可能来自马面山群龙北溪组地层。

为了更加清楚地研究矿区岩体、地层和矿体之间的内在联系，对3类相对独立体系的稀土元素地球化学特征进行了系统研究，并绘制了相关稀土元素及比值投影图(见图5)。从图5可以看出：岩体、地层和矿体内所有样品均呈明显线性排列。对 Sm/Nd — La/Sm 和 La — Nd 曲线进行相关性计算，分别得出 $r_{\text{Sm}/\text{Nd}-\text{La}/\text{Sm}} = -0.8305$ 和 $r_{\text{La}-\text{Nd}} = 0.9604$ ，反映矿区矿体、岩体和地层3类地质体在稀土元素特征方面有很强的相关性，说明矿区铅锌硫化物成矿受岩体和地层共同影响。

3.2.2 成矿流体来源

研究区矿体整体呈北东向切穿地层分布，在现场勘查中也常见铅锌矿体穿切围岩的现象，由此可以推断有流体参与成矿过程。为了确定成矿流体来源，分别对90、70和50 m 3个中段同成矿期石英的O同位素及其包裹体液相成分的H同位素进行测试(见表2)。 $\delta^{18}\text{O}$ 均为较小的正值， δD 平均值为 -45.7×10^{-3} 。利用 $1000 \ln \alpha = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 2.90$ 分馏公式，计算石英流体包裹体的氧同位素^[20]，式中：温度取自包裹体均一测温结果平均值(240℃)，计算结果列于表2。在 δD 与 $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ 投影图(见图6)中，3个样品均投影在大气降水线和岩浆水区域间，并更临近前者。

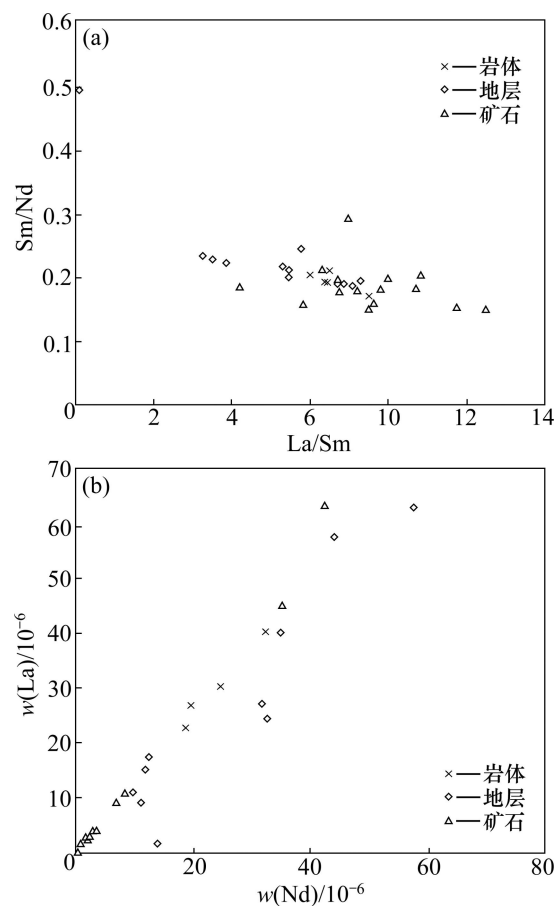


图 5 丁家山铅锌矿区岩体、地层和矿体体系稀土元素及相关比值投影图: (a) Sm/Nd—La/Sm; (b) $w(\text{La})/10^{-6}$ — $w(\text{Nd})/10^{-6}$

Fig. 5 REE and related ratio graph of granite, Mamianshan Formation Longbeixi group and ore body in Dingjiashan Pb-Zn ore district: (a) Sm/Nd—La/Sm; (b) $w(\text{La})/10^{-6}$ — $w(\text{Nd})/10^{-6}$

3.2.3 成矿能量来源

为了确定研究区成矿能量来源及成矿流体流动方向,进而确定变质作用类型,笔者对矿区 141 件岩石样品和 141 件矿石样品进行了典型矿物含量统计,并进行了精细化矿物场填图^[21]。形成于不同温度条件下的磁铁矿与闪锌矿在 90 m 中段的富集中心整体沿北东向呈带状分布,并具有明显的切层分布特征(见图

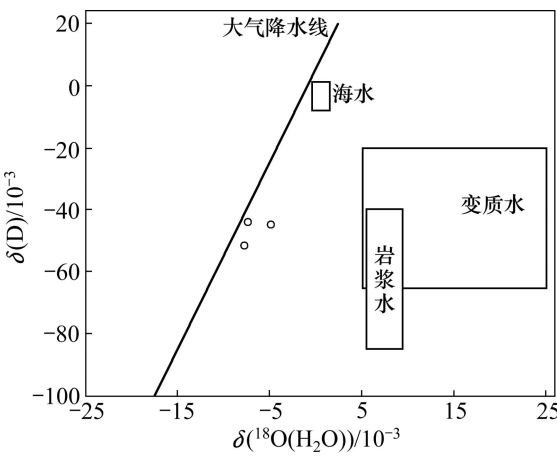


图 6 石英流体包裹体 $\delta(\text{D})$ — $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ 关系图

Fig. 6 $\delta(\text{D})$ — $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ graph of fluid inclusions in quartz

7),其分布方向与矿区主断裂方向一致。自矿区北东向南西方向,形成温度较高的磁铁矿的含量逐渐降低,而形成温度较低的闪锌矿则逐渐增高。可见矿区温度梯度场自北东向南西逐渐降低。这有力地证明了成矿热源自矿区中部北东及北西向断层交汇处侵入后,沿规模较大的北东向断层向南西方向运移。

矿物场填图结果显示:作为矿区主要赋矿围岩的新元古界马面山群龙北溪组上段石榴子石透辉石绿帘石变质岩内 3 类主要造岩矿物的分布特征也具有上述北东向切层分布特征。这与所谓区域变质作用下形成的顺层分布特征有明显的区别^[2-4]。综合性变质原岩恢复证明这类变质岩为经加里东期区域变质的钙质泥岩、钙质泥质粉砂岩、钙质粉砂质泥岩及泥灰岩等富钙质岩类与燕山期花岗质岩浆发生接触交代变质作用而形成的矽卡岩^[22]。在矿区西北部上侏罗统长林组地层中,花岗岩岩株也是沿北东向呈串珠状排列,与矿区主断层及矽卡岩造岩矿物、金属矿物分布方向完全一致。由此,可以证实矿区成矿的能量为自矿区北东、北西向断层交汇处(大概位于 III-1 与 III-2 号矿体之间)侵入,并沿规模较大的北东向断层向南西运移的燕山期花岗岩。

表 2 丁家山铅锌矿区同成矿期石英气液相包裹体 H 和 O 同位素组成

Table 2 H and O isotope examination of fluid inclusion in quartz of Dingjiashan Pb-Zn ore district

样品编号	采样位置	共生硫化物	$\delta(\text{D}_{\text{V-SMOW}})/10^{-3}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/10^{-3}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})/10^{-3}$
Q6	90 m 中段	Py	-44	5.0	-4.9
Q7	70 m 中段	Po+Sp+Gn	-49	2.1	-7.8
Q12	50 m 中段	Sp+Py	-44	2.5	-7.4

测试单位: 中国地质科学院矿产资源研究所稳定同位素地球化学实验室; 测试时间: 2010 年 7 月; 测试仪器: MAT253EM 型质谱计; 分析方法: 氧同位素采用 BrF_5 法, 氢同位素采用火焰燃烧法爆裂取水; 分析精密度: $\pm 0.2\%$ 。

产生大量变质期后含矿热液。由于龙北溪组上段地层顶、底部厚层石英云母片岩、绢云母片岩对含矿热液的良好圈闭作用, 大部分含矿热液被圈闭在石榴子石透辉石绿帘石矽卡岩内, 成为矿区主要矿体。不仅如此, 这套片岩也是接触交代变质期间渗透及扩散交代作用的良好圈闭体, 使得在接触交代作用下形成的矽卡岩及铅锌硫化物矿体脱离狭义概念上的接触带, 顺化学活动较强的富钙质岩向接触带外围远距离延伸。此外, 少部分含矿热液则沿北东向断层运移到上侏罗统长林组地层和两套地层间的角度不整合界面上, 形成规模相对较小的矿体。另有极少部分含矿热液沿龙北溪组上段地层内的岩性层面和云母石英片岩的层间滑动带运移, 形成小规模矿化。

3.5 成矿作用及产物

3.5.1 成矿条件

1) 成矿压力

由闪锌矿(六方磁黄铁矿+黄铁矿)地质压力计公式^[23]求得丁家山铅锌矿区磁黄铁矿的成矿压力集中在 0.197~0.409 GPa 之间(见表 3^[24])。该压力与区内燕山期花岗岩成岩压力基本一致^[22]。

表 3 丁家山铅锌矿闪锌矿单矿物化学成分及相关参数
Table 3 Chemical composition and relevant parameters of sphalerite of Dingjiashan Pb-Zn ore district

样品 序号	w/%			压力/ GPa
	S	Fe	Zn	
1	32.47	10.03	57.65	0.287
2	32.31	9.66	58.19	0.341
3	32.42	9.13	58.25	0.409
4	32.88	9.48	56.60	0.331
5	32.98	9.29	56.94	0.361
6	32.68	9.55	57.28	0.336
7	31.98	10.68	56.78	0.197

S、Fe 和 Zn 含量引自文献^[24]。

2) 成矿温度

矿相学研究证实矿区浅色闪锌矿和方铅矿之间已达到平衡状态, 本文作者将二者组成矿物对, 并采用地质温度计方程 $1000 \ln \alpha_{\text{Sp-Gn}} = 7.0 \times 10^5 t^{-2}$ 进行成矿温度计算^[25], 计算结果见表 4。矿区 11 件同成矿期石英样品内 112 个气液相包裹体均一法测温结果显示矿区成矿温度主要集中在 180~240 ℃ 和 260~310 ℃ 两个范围(见图 8), 并以前一组为主, 平均温度为 240 ℃, 少量达 350 ℃ 以上。结合以上分析可知, 矿区成矿温度

范围在 200~350 ℃ 之间。

3.5.2 成矿作用类型

研究区马面山群龙北溪组上段赋矿围岩其原岩为经过加里东期区域变质的富钙质岩类, 北东向断层为燕山期花岗质岩浆的侵入提供了通道。此外, 根据通常环境地压深度换算的矿区燕山期花岗岩侵入深度在 6.6~9.9 km 范围内, 属中深成相花岗岩。以上方面满足了形成接触交代变质作用的物化、岩浆、围岩及构造条件。研究确定矿区成矿物质由马面山群龙北溪组地层和燕山期花岗岩共同提供, 成矿时代为燕山期岩浆活动极为活跃的时期, 矿区矿体成矿压力与燕山期花岗岩侵入的压力基本一致。此外, 矿体内磁黄铁矿成因矿物学研究证明矿区成矿经历了温度由高到低的退变质作用^[26]。以上各项证据均有力地证明丁家山铅锌矿是发生在马面山群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩和燕山期花岗质岩浆之间的接触交代变

表 4 丁家山铅锌矿成矿温度计算结果
Table 4 Calculation results of ore-forming temperature of Dingjiashan Pb-Zn ore district

样品	浅色闪锌矿 $\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	方铅矿 $\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	$1000 \ln \alpha$	$t/^\circ\text{C}$
90pd4-3	3.9	1.9	2.0	318.6
90cm3-3j	3.4	1.2	2.2	291.1
90cm3-5	3.6	2.3	1.3	460.8
90c1-8j	3.3	1.5	1.8	350.6
K2-1	3.2	0.5	2.7	236.2

硫同位素组成测试单位: 中国地质科学院矿产资源研究所; 测试人: 王成玉; 硫化物矿样以 Cu_2O 作氧化剂制样, 质谱仪型号 MAT251EM, 采用国际标准 CDT, 分析精密度 $\pm 0.02\%$; 测试时间: 2009 年 11 月~2010 年 2 月。

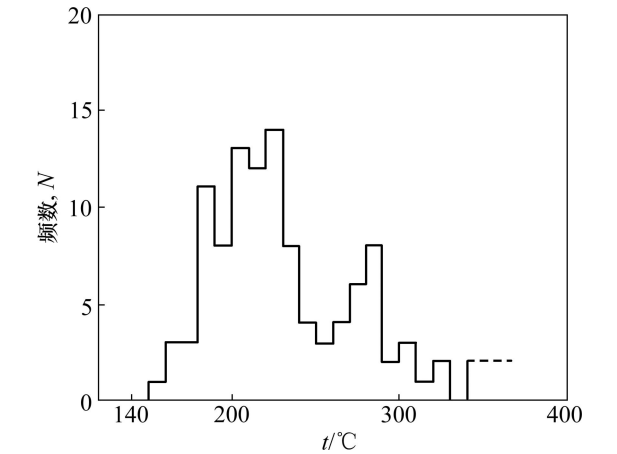


图 8 石英包裹体均一温度直方图
Fig. 8 Homogenization temperature histogram of quartz inclusions

质矿床。

必须指出的是,虽然同成矿期石英流体包裹体 $\delta(D)-\delta(^{18}O(H_2O))$ 关系图(见图6)显示矿区成矿流体主要为大气降水,但结合矿区成岩、成矿过程考虑,在龙北溪组上段富钙质岩经历加里东运动、印支运动和燕山期运动的强烈影响后产生了大量的层间滑动带和其他构造裂隙。这些构造是大气降水混入地层的重要通道。在燕山期花岗质岩浆与龙北溪组上段富钙质岩发生接触交代作用时,赋存于龙北溪组上段各类构造裂隙中的大气降水在高温高压作用下被压出,并与岩浆水混合,起到稀释岩浆水的作用,与岩浆水共同参与成矿。3个样品点均位于大气降水线与岩浆水区域中间,就是很好的证明。因此,不能否认岩浆水在成矿方面的重要作用。

3.5.3 成矿作用产物

在燕山期岩浆与马面山群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩发生接触交代变质作用的过程中,地层和岩体中的S、Pb和Zn等成矿物质在由大气降水和岩浆水组成的成矿流体中逐渐富集起来,形成以磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿及方铅矿等矿物为主的硫化物矿床。大部分成矿物质就近储存在马面山群龙北溪组上段石榴子石透辉石绿帘石矽卡岩中,少部分含矿热液则通过岩性层面、层间滑动带、北东向断层和角度不整合接触界面等构造运移到马面山群龙北溪组上段石英云母片岩层间界面、上侏罗统长林组地层及其间的角度不整合接触界面,并在各类储矿场所内形成规模不一的矿体。此外,此次接触交代变质作用还在矿区范围内形成了大量北东向物探、化探和遥感异常。

综上所述,丁家山矿区为西太平洋壳块与东亚大陆壳块相互挤压作用下燕山期花岗质岩浆沿北东向断层侵入过程中与马面山群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩发生接触交代变质作用而形成的矽卡岩型矿床。根据大地构造位置及地壳运动特性,依据成矿系统的构造动力地质分类法^[12-13,15],可将丁家山铅锌矿区划入挤压构造成矿系统(大类)下属的与燕山期花岗质岩浆有关的接触交代变质成矿系统类。

4 成矿系统演化机制

自晚元古代至奥陶纪末,处于地槽演化阶段的闽中地区因地壳不均匀活动导致沉积环境动荡,引发政和—龙岩—一线海水出现多次往复进退,从而形成新元古界马面山群龙北溪组砂质泥岩→钙质泥质粉砂岩→泥灰岩→白云质灰岩、灰岩过渡沉积建造组合。加里

东运动期间,研究区内形成大量北东向断裂和褶皱构造,龙北溪组上段粉砂质泥岩、钙质泥质粉砂岩、泥质钙质粉砂岩及泥灰岩等富钙质岩类经区域变质形成低绿片岩相变质岩。地台演化阶段,研究区所处的政和—一大埔断裂由于海西期构造运动而发生活化,成为古断拉谷。

晚三叠世至白垩纪,由于西太平洋壳块与东亚大陆壳块间的挤压运动加强,使处于地洼演化阶段的闽中地区形成新的北东及北西向断层,并使原有断层发生活化。燕山运动期间,大量中酸性岩浆在矿区范围内沿北东向断层侵入过程中,与马面山群龙北溪组上段经区域变质的钙质泥岩、钙质泥质粉砂岩、钙质粉砂质泥岩和泥灰岩等富钙质岩类发生接触交代变质作用,形成现今所见的石榴子石透辉石绿帘石矽卡岩。在接触交代变质作用后期,富含由马面山群龙北溪组地层和花岗岩体共同提供的S、Pb及Zn等成矿物质的热液在石英云母片岩和绢云母片岩的圈闭作用下卸载成矿,部分含矿热液则通过北东向断层运移到角度不整合接触界面和上侏罗统长林组地层中形成矿体。

5 结论

1) 丁家山铅锌矿床铅、硫、铷和锶同位素研究及矿体、岩体和围岩的稀土元素综合性研究表明:矿区成矿物质由燕山期花岗岩体和马面山群龙北溪组地层共同提供;成矿流体由岩浆水和大气降水共同组成。

2) 精细化矿物场填图揭示:矿区成矿热源为燕山期花岗质岩浆,其侵入中心位于矿区北东和北西向断层交汇部位(III-1与III-2号矿体之间);成矿流体运移通道主要为矿区北东向断层;矿区储矿场则主要由马面山群龙北溪组上段、被北东向断层切割的上侏罗统长林组和其间的角度不整合接触界面构成。

3) 矿区成矿时间为 (146.15 ± 3.95) Ma,为燕山期岩浆活动活跃时期;成矿压力为0.197~0.409 GPa,与燕山期花岗岩侵入压力基本一致;花岗岩侵入深度为6.6~9.9 km,属中深成岩。此外,矿区新元古界马面山群龙北溪组上段石榴子石—透辉石—绿帘石系列变质岩的原岩为经区域变质的富钙质沉积岩。以上要素均证实矿区完全具备发生接触交代变质作用的条件。

4) 丁家山铅锌矿区为燕山期花岗质岩浆与新元古界马面山群龙北溪组上段经区域变质作用的富钙质沉积岩发生接触交代变质作用而形成的接触交代变质矿床,属挤压构造成矿系统(大类)下属的与燕山期花岗质岩浆有关的接触交代成矿系统类。

REFERENCES

- [1] 国家地震局广州地震大队. 中国大地构造图(按地洼说及递进说编制)[Z]. 北京: 地图出版社, 1977.
Guangzhou Earthquake Group, State Seismological Bureau, Tectonic map of China (According to Diwa and progression theory) [Z]. Beijing: China Map Publishing House, 1977.
- [2] 周兵, 顾连兴. 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, 1999, 18(2): 99-109.
ZHOU Bing, GU Lian-xing. Geological characteristics and formation environment of the Meixian massive sulfide deposit [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(2): 99-109.
- [3] 叶水泉, 倪太平, 吴志强. 福建省梅仙式块状硫化物矿床[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(3): 172-180.
YE Shui-quan, NI Da-ping, WU Zhi-qiang. Meixian-type massive sulfide deposits in Fujian Province [J]. Volcanology and Mineral Resources, 1999, 20(3): 172-180.
- [4] 陈小华. 福建省丁家山铅锌矿床地质特征及成因[J]. 福建地质, 2000, 19(2): 57-65.
CHEN Xiao-hua. Geological features and genesis of Dingjiashan Pb-Zn deposit in Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 2000, 19(2): 57-65.
- [5] 闽西地质队. 丁家山、峰岩、关兜等矿点评价报告[R]. 三明: 福建省地质矿产勘查开发局, 1977: 57.
Minxi Geological Team. Ore occurrence evaluation report of Dingjiashan, Fengyan and Guandou[R]. Sanming: Fujian Bureau of Geology and Mineral Resources, 1977: 57.
- [6] 韦德光, 揭育金, 黄廷淦. 福建区域地质构造特征[J]. 中国区域地质, 1997, 16(2): 162-170.
WEI De-guang, JIE Yu-jin, HUANG Ting-gan. Regional geological structure of Fujian [J]. Regional Geology of China, 1997, 16(2): 162-170.
- [7] 彭省临, 陈子龙. 论华南古斯拉谷与多因复成铜多金属矿床的关系[J]. 中南矿冶学院学报, 1991, 22(5): 493-499.
PENG Sheng-lin, CHEN Zi-long. On the relationship between the paleo-aulacogens and polygenetic compound copper polymetallic ore deposits in South China [J]. Journal of Central-South Institute of Mining and Metallurgy, 1991, 22(5): 493-499.
- [8] 福建省地质矿产局. 福建区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 547.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Fujian. Regional geology of Fujian Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 547.
- [9] 张祥信. 闽中地区新元古代马面山群的形成及构造变形演化研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006: 25.
ZHANG Xiang-xin. Study of formation of the Neoproterozoic Mamianshan Group and its evolution of deformation in central Fujian Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006: 25.
- [10] 805 地质队. 福建省尤溪县梅仙丁家山矿床深部及其外围铅锌矿普查工作报告[R]. 南京: 江苏省有色金属华东地质勘查局, 2007: 12.
805 Geological Team. Mineral census report from deep of Dingjiashan Pb-Zn ore district and its outside in Youxi, Meixian, Fujian Province [R]. Nanjing: East China Geological Survey (Group) Co., Ltd., 2007: 12.
- [11] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13-28.
ZHAI Yu-sheng. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(1): 13-28.
- [12] 翟裕生. 成矿系统研究与找矿[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(3): 129-135.
ZHAI Yu-sheng. Research on metallogenic system [J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(3): 129-135.
- [13] 陈衍景, 肖文交, 张进江. 成矿系统: 地球动力学的有效探针[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1059-1073.
CHEN Yan-jing, XIAO Wen-jiao, ZHANG Jin-jiang. Ore-system as a geodynamic probe [J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1059-1073.
- [14] 翟裕生, 王建平, 邓军, 彭润民, 刘家军. 成矿系统时空演化及其找矿意义[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 143-150.
ZHAI Yu-sheng, WANG Jian-ping, DENG Jun, PENG Run-ming, LIU Jia-jun. Temporal-spatial evolution of metallogenic systems and its significance to mineral exploration [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 143-150.
- [15] 曾文乐, 郭湖生. 桃山铀矿田成矿系统及矿化网络[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 343-351.
ZENG Wen-le, GUO Hu-sheng. Metallogenic system and mineralization network of Taoshan uranium orefield [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(2): 343-351.
- [16] 沈其韩. 推荐一个系统的矿物缩写表[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(5): 495-500.
SHEN Qi-han. The recommendation of a systematic list of mineral abbreviation [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2009, 28(5): 495-500.
- [17] 华东地质局矿产勘查开发院. 福建中部前寒武纪地层中梅仙式铅锌(银)矿床找矿预测报告[R]. 南京: 华东地质局, 1995: 60.
Institute of Mineral Exploration, East China Geological Survey (Group) Co., Ltd. Prospecting prediction research report of Meixian-type Pb-Zn(Ag) ore district in Precambrian stratum, central Fujian province[R]. Nanjing: East China Geological Survey (Group) Co., Ltd., 1995: 60.
- [18] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 李大新, 蒋崇俊. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 135.
ZHAO Yi-ming, LIN Wen-wei, BI Cheng-si, LI Da-xin, JIANG Chong-jun. Skarn deposits in China [M]. Beijing: Geological

- Publishing House, 1990: 135.
- [19] 807 地质队. 福建省尤溪县梅仙铅锌矿普查地质报告[R]. 南京: 华东地质调查局, 1993: 34.
- 807 Geological Team. Mineral resource prospecting report of Meixian Pb-Zn ore district, Youxi, Fujian province[R]. Nanjing: East China Geological Survey (Group) Co., Ltd, 1993: 34.
- [20] 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 163.
- WEI Ju-ying, WANG Guan-yu. Isotope geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 163.
- [21] 石得风, 张术根, 韩世礼. 矿物场填图在丁家山铅锌矿成因研究中的应用[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(2): 243-251.
- SHI De-feng, ZHANG Shu-gen, HAN Shi-li. The application of mineralogical mapping in Dingjiashan Pb-Zn deposit, Fujian Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 2012, 31(2): 243-251.
- [22] 石得风, 张术根. 福建省尤溪县丁家山铅锌矿成矿规律及定位预测研究[R]. 长沙: 中南大学, 2010: 45.
- SHI De-feng, ZHANG Shu-gen. Research on minerogenetic regularity and minerals positioning predication of Dingjiashan Pb-Zn ore district in Youxi, Fujian Province[R]. Changsha: Central South University, 2010: 45.
- [23] 王大伟, SCOTT S D. 闪锌矿地质压力计原理及其应用[J]. 地质论评, 1988, 34(3): 277-281.
- WANG Da-wei, SCOTT S D. Principle and application of sphalerite geologic barometer [J]. Geological Review, 1988, 34(3): 277-281.
- [24] 北京有色冶金设计研究院. 福建省尤溪县丁家山铅锌矿矿石物质组成研究报告[R]. 北京: 北京有色冶金设计研究院, 1998: 26.
- Beijing Engineering and Research Institute of Nonferrous Metallurgy. Mineral composition research report of Dingjiashan Pb-Zn ore district in Youxi, Fujian Province[R]. Beijing: Beijing Engineering and Research Institute of Nonferrous Metallurgy, 1998: 26.
- [25] 张儒瑗, 从柏林. 矿物温度计和矿物压力计[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 245.
- ZHANG Ru-yuan, CONG Bai-lin. Mineral thermometer and pressure gauge [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983: 245.
- [26] 张术根, 石得风, 韩世礼, 李桂秀. 福建丁家山铅锌矿区磁黄铁矿成因矿物学特征研究[J]. 矿物岩石, 2011, 31(3): 11-17.
- ZHANG Shu-gen, SHI De-feng, HAN Shi-li, LI Gui-xiu. A genetic mineralogical study of pyrrhotite in Dingjiashan Pb-Zn ore district, Fujian Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2011, 31(3): 11-17.

(编辑 陈卫萍)