

矿物学填图在福建丁家山铅锌矿成因研究中的应用

石得凤, 张术根, 韩世礼

(中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 应用典型矿物富集型异常填图, 揭示了福建丁家山铅锌矿区各种矿物的带状切层分布特征, 指出矿区接触交代变质热源(燕山期花岗岩)自矿区北西方向侵入, 在矿区范围内的侵入中心位于北西向和北东向断层交汇处(Ⅲ-2 矿体中部和Ⅲ-1 矿体之间)。花岗岩在侵入过程中与中新元古代马面山岩群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩发生接触交代作用, 在不同阶段形成石榴石、绿帘石、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿等典型矿物。矿区成矿流体自北东向南西运移。再次证实矿物场填图在变质类型研究方面的重要意义, 希望引起高度重视。

关键词: 矿物学填图; 富集型异常; 成因; 丁家山铅锌矿; 福建

中图分类号: P577; P611

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)02-0243-09

The application of mineralogical mapping on the study of formation of Dingjiashan Pb-Zn deposit, Fujian Province

SHI De-feng, ZHANG Shu-gen and HAN Shi-li

(MOE Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: As a classic study method of genetic mineralogy and prospecting mineralogy, mineralogical mapping is gradually ignored by researchers because of its large workload and time-consuming characteristics. Based on typical mineral enrichment abnormal mapping, the authors have revealed that minerals from the Dingjiashan Pb-Zn ore district have crosscut and banded distribution characteristics in the strata. It is pointed out that contact metamorphism heat (Yanshanian granite) of the Dingjiashan Pb-Zn ore district came from northwest, the intrusion center in the ore district was located at the intersection of northwest and northeast faults (between ore bodies Ⅲ-2 and Ⅲ-1). Typical minerals, such as garnet, epidote, magnetite, pyrrhotite and sphalerite, were formed at different stages of contact metasomatism between Yanshanian granite and regional metamorphosed calcareous rock in Upper Longbeixi Formation of Proterozoic Mamianshan Group. Ore-forming fluids flowed from northeast to southwest. This paper has reconfirmed the significance of mineral mapping in the study of metamorphism type in the hope that researchers will pay attention to this problem.

Key words: mineralogical mapping; enrichment anomaly; genesis; Dingjiashan Pb-Zn ore district; Fujian Province

矿物学填图工作方法由前苏联地质-矿物学家 H. B. 彼得罗夫斯卡娅于 1959 年首次提出, 并在其后的乌拉尔黄铁矿型矿床、鲁德内阿尔泰多金属-黄

铁矿型矿床的远景评价中起到了显著作用, 从而引起了广泛关注。在其后的 30 年中, 该方法在前苏联得到迅速发展, 并成为成因矿物学与找矿矿物学研

研究的重要方法,在确定沉积物来源、划分岩浆活动序列、区分变质作用类型及变质相系定量表达、确定矿化区矿化类型、资源评价、成矿规律及追索河床相原生矿床等方面发挥了极其重要的作用。

20世纪80年代,矿物学填图被引入国内(地质矿产部情报研究所,1987,1989;陈光远等,1987)并初步应用,国内地质工作者在填图要素选择方面进行了新的尝试,并在找矿评价(任英忱等,1986)确定矿液活动轨迹(李胜荣等,1994;国家辉,1998)找矿预测(刘星,1992)等方面都取得了良好的效果。随着遥感技术的兴起,TM、ETM+数据进行蚀变矿物填图成为矿产勘查中的应用焦点。近年来,便携式短波红外光谱测量仪(简称PIMA)更是凭借其仪器轻便、测试速度快、无需制样等诸多优点而被人接受(连长云等,2005),并在建立蚀变矿物分带模式和矿床找矿模式过程中起到了积极指导作用。然而在进入本世纪以后,基本的矿物学填图工作因其耗时长、工作量大等特点而逐渐淡出人们的视线,国内更是鲜有关于矿物学填图的论著出现。尽管如此,矿物学填图作为经典的地质工作方法,其在矿产普查和矿床评价工作中的重要作用仍不容忽视。

丁家山铅锌矿是上世纪90年代探明的大中型矿床,其成因问题一直是研究的焦点,从最早期的矽卡岩型矿床(闽西地质队,1977)^①到后期的海底喷流沉积变质型块状硫化物矿床(徐克勤等,1996;叶水泉等,1999;顾连兴,1999),至今尚无定论。两类成因观点的分歧主要集中在变质类型、成因及其与成矿的关系上。不同变质作用下形成的矿床其内部各类矿物具有不同的分布规律,矿物学填图结果作为填图客体的空间-时间矿物学模型,能反映矿物及矿物组合在一定空间内的分布状态(地质矿产部情报研究所,1987)。本文将应用矿物学填图这一传统工作方法,揭示矿物分布特征在丁家山铅锌矿成因研究方面的重要意义。

1 研究区概况

丁家山铅锌矿地处华南褶皱系武夷-云开褶皱带的东北段(丰成友等,2007),区内中新元古代马面山岩群龙北溪组($Pt_{2.3}l$)中上段和东岩组($Pt_{2.3}d$)以“天窗”形式出露,被大范围分布的侏罗系长林组

(J_3c)包围(图1)。龙北溪组上段为石榴石绿帘石透辉石岩夹大理岩团块,中段为厚层、巨厚层云母石英片岩夹薄层大理岩。东岩组上段为变质石英砂岩、千枚岩等浅变质岩类,下段为斜长片岩、绢云母片岩、石英云母片岩等。侏罗系长林组则为泥质粉砂岩、厚层砂砾岩、角闪安山岩、安山玄武岩等陆相火山喷发-沉积岩系。

矿区主要构造包括梅仙复背斜和北东向、北西向断层。梅仙复背斜轴向向北东,核部为龙北溪组,翼部为东岩组,沿其轴向分布多个矿床(点)。北东向断层多已被矿脉充填,北西向断层则明显错动矿体及侏罗系与马面山岩群龙北溪组之间的不整合接触界线(图1)。因此梅仙复背斜和北东向断层是矿区重要的控矿构造,对成矿及矿体分布具有重要意义。

研究区燕山期花岗岩岩浆侵入活动强烈,受区域性北东向断层控制,花岗岩主要呈岩株体北东向串珠状分布。

矿区变质作用类型包括区域变质和接触交代变质两类,其中区域变质岩类包括云母石英片岩、石英云母片岩、少量阳起石英片岩、阳起透闪石英片岩及大理岩、白云质大理岩和硅质大理岩等;接触交代变质岩类主要为石榴石绿帘石透辉石岩,岩石中3种主要矿物含量变化较大,沿北东向呈串珠状或带状分布,明显斜切地层。热液蚀变类型包括硅化、阳起石化、绿泥石化、碳酸盐化、蛇纹石化等。

矿区中新元古代马面山岩群和侏罗系中均有矿体分布,其中规模较大的矿体均在马面山岩群龙北溪组上段石榴石绿帘石透辉石岩中,矿体切层特征明显(图2a)。由于矿区碳酸盐岩纯度不一致,故有大量质纯的大理岩由于不利于接触交代作用的进行而残留(图2b白)。此外,绿帘石岩常呈不规则脉状穿插切割透辉石岩(图2c)。详细的矿相学研究表明,成矿作用演化顺序为:石榴石、透辉石、硅灰石→绿帘石、透闪石、金云母→磁铁矿(石英)→第1世代黄铁矿、第1世代磁黄铁矿、第1世代闪锌矿(石英、阳起石、绿泥石)→第2世代磁黄铁矿、第1世代方铅矿(石英、绿泥石)→第2世代黄铁矿、第2世代闪锌矿、第2世代方铅矿(方解石、蛇纹石)(图3),可以看出这套矿物之间的交代关系完全符合接触交代作用的发展过程。此外,矿相学研究及磁黄铁矿X射线衍射解译结果显示,矿区磁黄铁矿多为六方与单

① 闽西地质队. 1977. 丁家山、峰岩、关兜等矿点评价报告.

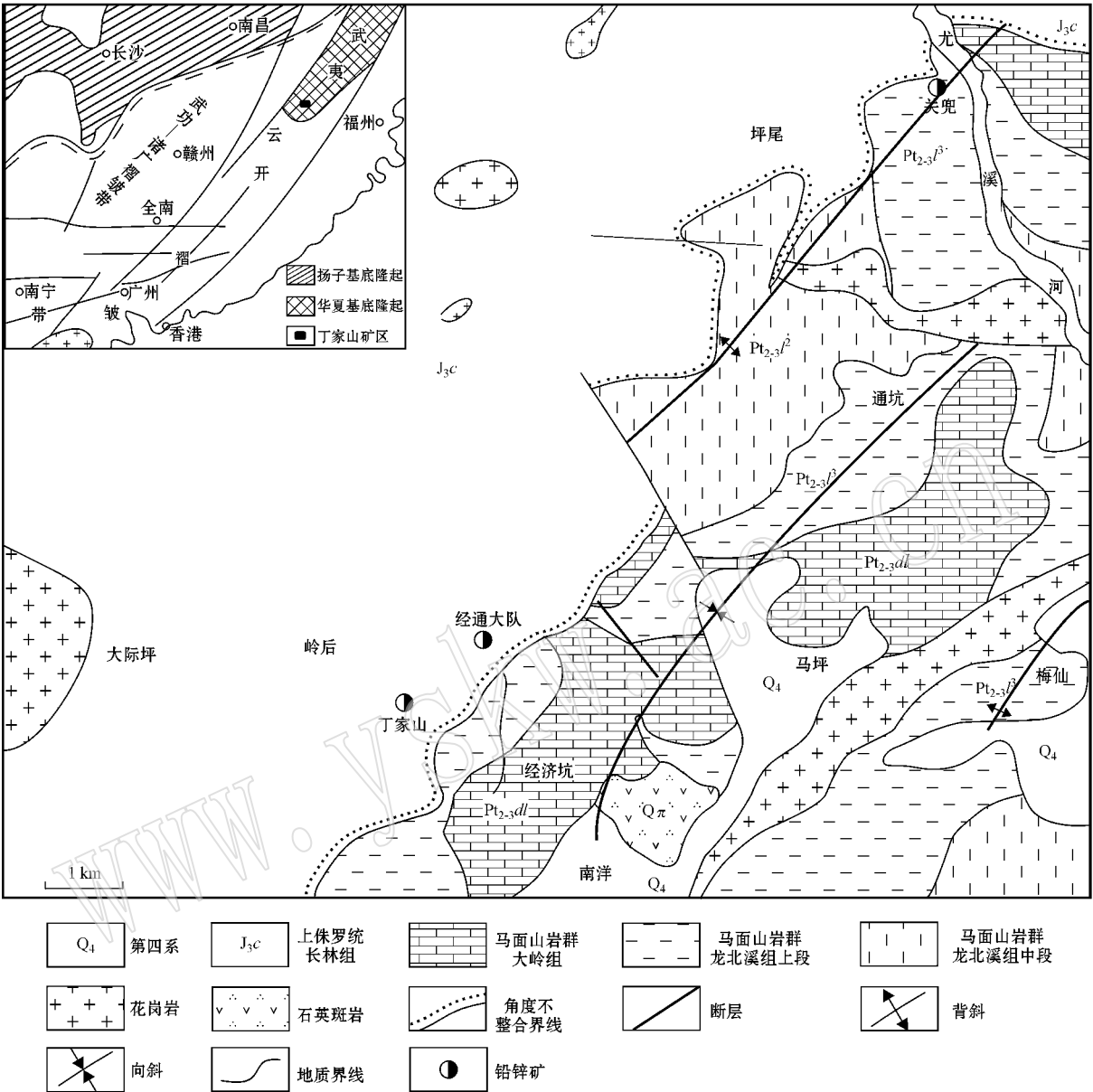


图 1 丁家山矿区及其外围地质略图 据中国地质科学院地质研究所 (2002) 及江苏省有色金属华东地质勘查局 805 队 (2007) [1]
Fig.1 Geological sketch map of the Dingjiashan Pb-Zn ore district and its peripheral areas (modified after Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 2002 and No. 805 Party of Jiangsu, East China Bureau of Nonferrous Geological Exploration, 2007 [1])

斜磁黄铁矿混合物,其中单斜磁黄铁矿多呈叶片状被严格限制在六方磁黄铁矿颗粒内部,明显为六方磁黄铁矿固溶体分离的产物,证明矿区成矿经历了温度由高到低的退变质过程。经系统的变质原岩恢复得知,石榴石绿帘石透辉石岩的原岩为经区域变质的泥质灰岩、泥灰岩等富钙质岩类。这与水涛 (1988) 的研究成果完全一致。

2 矿物学填图

矿物学填图的基础是一套相互密切联系的工作任务,本次研究基本遵循了 H. P. 尤什金和 B. B. 马蒂阿斯总结出的矿物学填图基本操作步骤 (地质矿产部情报研究所, 1987), 由下述步骤进行操作 (选

① 江苏省有色金属华东地质勘查局八〇五队. 2007. 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.



图 2 矿体与围岩、围岩内不同岩石之间的关系

Fig. 2 Relationship between ore body and wall rock as well as different kinds of rocks in wall rocks

- a—矿体与围岩间呈低角度侵入接触关系；b—矿体切层侵入大理岩并使其残留；c—围岩内绿帘石岩呈不规则脉状穿插侵入透辉石岩
a—ore body that intrudes into wall rock at a low angle; b—ore body that intrudes into and cuts marble and makes its residual;
c—irregular pulsed epidosite intrudes into diopside

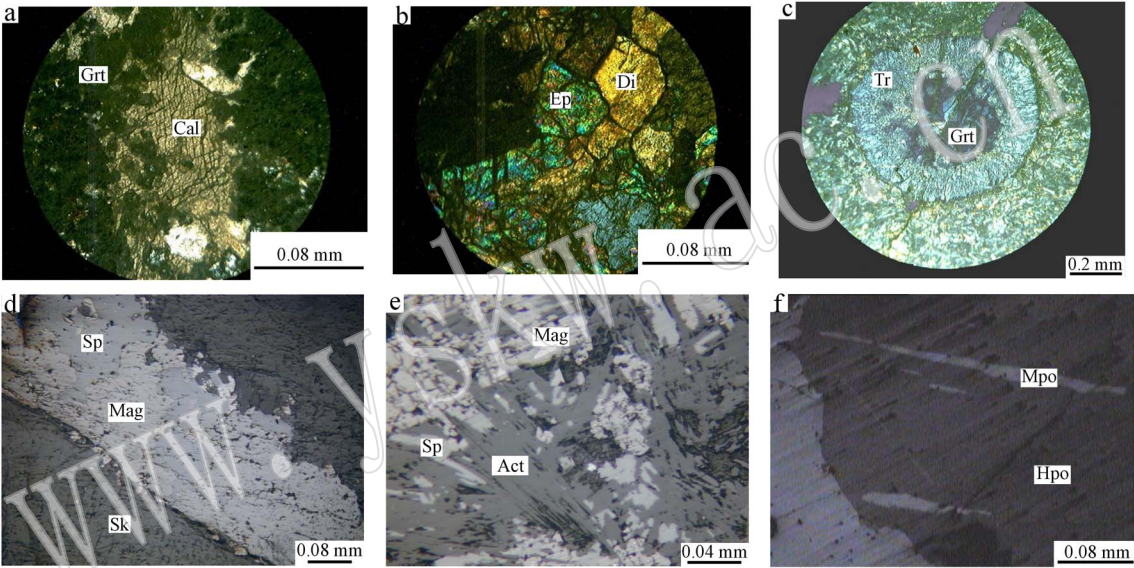


图 3 丁家山铅锌矿主要矿物之间的交代关系(矿物缩写据沈其韩,2009)

Fig. 3 Metasomatic relationship between main minerals from the Dingjiashan Pb-Zn deposit (after Shen, 2009)

- a—石榴石交代方解石，+，90c4-5；b—绿帘石交代透辉石，+，90Pd8-1；c—透闪石交代石榴石，+，pm226-3；d—磁铁矿闪锌矿呈脉状穿插交代围岩，-，50c1-8；e—阳起石穿插交代磁铁矿及深色闪锌矿，-，30c1-6；f—六方磁黄铁矿内叶片状定向单斜磁黄铁矿，斜交光，90CM4-2-10
a—garnet replacing calc spar，+，90c4-5；b—epidote replacing diopside，+，90Pd8-1；c—magnetite and sphalerite replacing wall rock；e—actinolite replacing magnetite and dark-colored sphalerite；f—bladed monoclinic pyrrhotite in hexagonal pyrrhotite

择填图要素及比例尺→确定采样网格、采样、制样→定量矿物学分析(机械台上应用线段法测矿物含量)→统计计算及作图→填图结果解译。

2.1 选择填图要素及比例尺

在填图要素的选择取决于最大信息量、地质-矿物学合理性、经济效益和技术可行性原则(地质矿产部情报研究所,1987)的指导下,研究中选择了最能反映矿物数量-空间分布特征的富集型异常作为填图要素。富集型异常能反映矿物含量和质量的空间定量特征及分布规律和矿物的分带性,并揭示各种局部控制因素的作用结果。最经济、最准确测得各种矿物富集型异常的方法是在机械台上使用线段法

测定薄片和光片中目标矿物的相对含量,并对统计结果进行计算,从而作出各种矿物在平面和剖面上的分布等值线图。

鉴于此次矿物学填图的目的是查明丁家山铅锌矿区矿物的分布规律,加之受采样区域只能局限于采矿区范围,所以选择矿区已有的中段图为基础,进行 1:1 000 的大比例尺填图。

2.2 确定采样网格、采样、制样

研究中同时应用穿越法和几何网格法两类常用的矿物学填图采样方法进行采样,其中在 30、50、70 及 90 中段沿坑道以 5 m 间距进行穿越法采样,在 90 中段采场内以 5 m×10 m 的网度进行网格法采样,

共采集矿石样品 141 件;在 90 中段坑道内以 10 m 间距对围岩进行穿越法采样,共采集岩石样品 141 件。将所有样品磨制成光/薄片。

2.3 定量矿物学分析

在机械台上应用线段法测量各种矿物在薄片/光片中的体积百分含量。需要说明的是,由于第 2 世代闪锌矿、方铅矿含量均较低,故未与第 1 世代闪锌矿、方铅矿进行详细区分;而对于在第 1 世代深色闪锌矿中呈固溶体分离产物产出的乳滴状第 2 世代磁黄铁矿,则由于固溶体粒度太小而未进行统计。虽然第 1 世代深色闪锌矿中含有大量的第 2 世代磁黄铁矿乳滴,但其含量远小于第 1 世代磁黄铁矿,因此不会影响填图结果。

2.4 统计计算及作图

将统计结果进行计算后用克里金法得出各种矿物相对含量平面、剖面等值线图。成图过程中,根据采矿区域实际位置给定界限,并通过反复调试,才得出既能清晰反映矿物富集异常、又保证图幅美观性的数值间距。本文选取石榴石、绿帘石、磁铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿等几种不同阶段形成的矿物作为主要研究对象。

2.5 填图成果解译

图 4a、4b 显示石榴石和绿帘石在 90 中段的分布情况,从中可以看出两类矿物具有以下分布特征:①二者含量极不均匀,石榴石平均体积百分含量为 8.16%,绿帘石为 30.9%,前者明显低于后者。②石榴石、绿帘石分布不受地层层位控制,具明显的切层分布特征。③两种矿物富集程度不一致:石榴石有 4 个富集中心,两个中心位于Ⅷ-1 和Ⅷ-2 号矿体之间,另外两个中心分别位于Ⅰ-3 和Ⅱ号矿体附近,而且Ⅰ-3 号矿体附近石榴石富集中心其体积百分比明显小于其他 3 个富集中心。与之相比,绿帘石则拥有更多的富集中心,且沿两个方向形成富集中心集中带:一条富集中心集中带沿Ⅲ-2 号矿体北西向分布;另一条沿Ⅰ、Ⅱ号矿体北东-南西方向分布。

图 4c、4d、4e 显示磁铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿在 90 中段的分布情况,图 5a、5b、5c 显示这 3 种矿物在 30 至 90 四个中段之间产状为 $270^{\circ}/\angle 22^{\circ}$ 剖面上的分布情况。从以上图中可以看出 3 种矿物具有以下分布特征:① 3 种矿物分布均不受地层层位控制,呈明显的切层分布特征。② 3 种矿物整体呈带状分布,北东走向,这与矿区内矿体的平面延伸方向大体一致。③ 3 种矿物富集程度不均匀,平面上富集程度

北东偏高,南西偏低。这点在矿体规模方面可以得到证实,即矿区沿北东—南西方向依次分布Ⅲ-1、Ⅲ-2、Ⅱ、Ⅰ号矿体,这些矿体的规模和矿化富集程度依次递减。④磁铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿的富集中心自北东向南西依次集中,这与 3 种矿物的生成顺序(温度)有关。为了更加清楚地观察不同温度下形成的矿物富集中心分布规律,分别选取磁铁矿和闪锌矿作为高中温热液阶段和中低温热液阶段的代表,将两种矿物的等值线叠加进行对比(图 4f)。从图上可以看出,在同一位置上磁铁矿体积百分数明显高于闪锌矿。此外,以Ⅲ-1 号矿体为研究对象可以看出,磁铁矿的富集中心明显偏向北东,而闪锌矿的富集中心偏向南西。这证明了成矿流体由北东向南西运移。⑤从 3 种金属矿物分布剖面图(图 5)上看,各种金属矿物分布等值线正北方向标高,而正南方向标高低。结合金属矿物分布走向判断可知,金属矿物富集中心倾向南东。为了更清晰地观察金属矿物分布规律,将 30 至 90 四中段内磁铁矿和闪锌矿分布等值线进行叠加分析,从图(图 6)上可以看出两种矿物富集中心标高均具有北高南低的趋势。结合矿区北西方向出露大量的花岗岩岩株体,说明矿区成矿热源自矿区北西侧侵入,成矿热流体向南西运移。在成矿热流体运移过程中,随着温度降低,不同矿物相继沉淀析出,温度较高的磁铁矿析出较早,因此较靠近岩体侵入中心,温度较低的闪锌矿晶出较晚,因此较远离热源中心。

3 矿物学填图有效性评价

通过以上研究,可以从以下几个方面分析矿物场填图在丁家山铅锌矿成因研究中的特殊意义。

3.1 区分变质作用类型

矿物场填图结果显示丁家山铅锌矿区含矿地层中各类矿物均具有呈带状切层分布的特征,而非所谓在区域变质作用下形成的沿地层产状呈面状分布,显示矿区成矿必定有流体参与。矿区矿物之间的交代关系完全符合接触交代变质作用的发展过程。由于热液流体的广泛参与,绿帘石、磁黄铁矿、闪锌矿等矿物分布范围明显比形成于矽卡岩阶段的石榴石更广。由此可以确定丁家山铅锌矿的成矿作用为发生在燕山期花岗岩与中新元古代马面山岩群龙北溪组上段经区域变质的泥质灰岩、泥灰岩等富钙质岩类之间的接触交代变质作用。

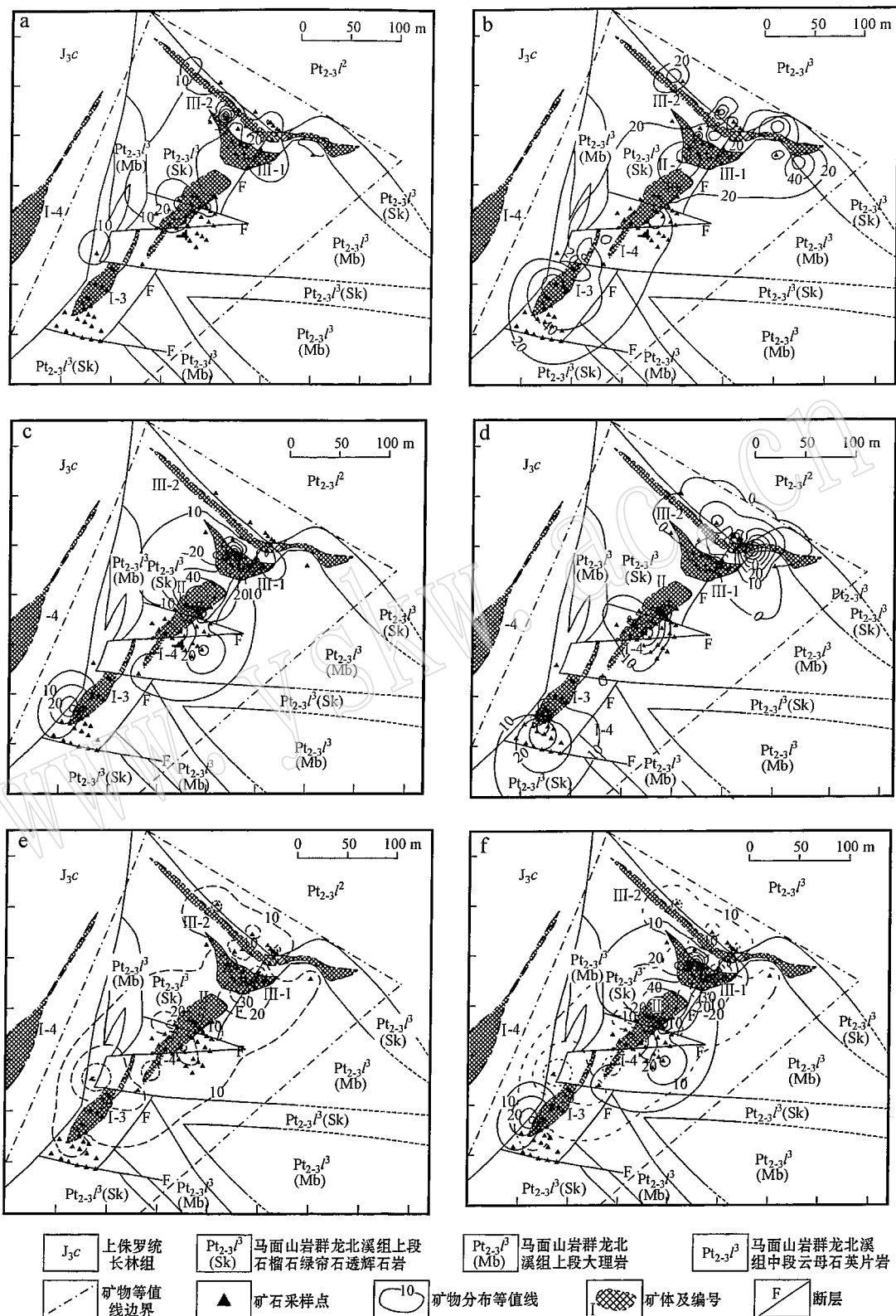


图 4 丁家山铅锌矿 90 中段围岩及矿体内各类矿物分布等值线图

Fig. 4 Mineral distribution contour at 90 level of the Dingjiashan Pb-Zn ore district

a—石榴石; b—绿帘石; c—磁铁矿; d—磁黄铁矿; e—闪锌矿; f—磁铁矿 (实线) 叠加闪锌矿 (虚线)

a—garnet; b—epidote; c—magnetite; d—pyrrhotite; e—sphalerite; f—magnetite (solid line) and sphalerite (dotted line)

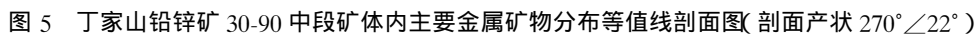


Fig. 5 Contour profile of main metallic minerals volume percentage at 30-90 level of the Dingjiashan Pb-Zn ore district
(attitude of profile : $270^{\circ} \angle 22^{\circ}$)

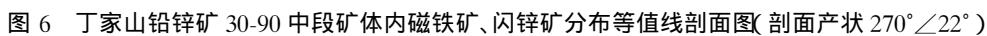


Fig. 6 Contour profile of magnetite and sphalerite volume percentage at 30-90 level of the Dingjiashan Pb-Zn ore district (attitude of profile : $270^{\circ} \angle 22^{\circ}$)

3.2 寻找变质热源,确定流体流动方向

矿物场填图结果显示矿区含矿地层中的各种矿物富集中心主要沿北东和北西方向呈带状分布。这两个方向恰好与矿区主要断裂方向完全一致,可见北东向和北西向断裂是矿区主要的控矿构造。燕山期花岗岩自矿区北西方向侵入,在矿区范围内的侵入中心位于北西向断层和北东向断层的交汇处,后沿两条断层分别侵入。在侵入过程中,岩浆岩体与中新元古代马面山岩群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩发生接触交代作用,并在不同作用阶段形成不同的岩石矿物类型。如作为矿区主要围岩的石榴石绿帘石透辉石岩便是接触交代作用的典型产物。随着成矿流体的运移,其温度逐渐降低,不同温度下形成的矿物其富集中心便沿流体运移方向有所偏移,如在北东向富集中心带上,形成温度较高的磁铁矿其富集中心明显偏向北东,而形成于中低温热液阶段的闪锌矿其富集中心偏向北西。这证明了成矿流体由北东向南西运移。

3.3 确定控矿因素

矿物学填图结果显示矿区各类矿物富集中心主要沿北东、北西方向分布在马面山岩群龙北溪组上段石榴石绿帘石透辉石岩当中,而质纯的大理岩则由于不利于接触交代的进行而残留。由此可以确定丁家山铅锌矿成矿由马面山岩群龙北溪组上段富钙质岩、北东向和北西向断层及燕山期中酸性侵入岩三者共同控制。

4 讨论

丁家山铅锌矿矿体中的主要金属矿物和围岩主要造岩矿物分布均不受层位控制,而表现为切层分布的特征。金属矿物和围岩主要造岩矿物呈北东-南西向带状分布,与区域内岩体分布走向、主要构造形迹走向一致。按各种金属矿物的形成温度排列,整体情况为北东富集高温矿物(如磁铁矿)而南西富集低温矿物(如闪锌矿);从剖面图上看,各种金属矿物富集中心标高北高南低。由此可以断定丁家山铅锌矿的成矿热源是来自于北西向的岩浆活动。矿区热源中心大概在Ⅲ-2矿体中部和Ⅲ-1矿体之间,即北东向断层和北西向断层的交汇处。岩浆从该中心侵入,并沿地层倾向向南西运移,其间与中新元古代马面山岩群龙北溪组上段经区域变质的富钙质沉积岩发生接触交代作用。随着流体温度逐渐降低,依

次沉淀磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等金属矿物,于是在平面上便形成了北东富集高温矿物、南西富集低温矿物的分布特征,而在剖面上则形成矿化体标高北东高南西低、高温矿物普遍靠近热源、低温矿物普遍远离热源分布规律。这种分布规律明显反映接触交代作用下形成的矿物分布特征,区域变质作用下是不能形成这样的矿物分布规律的。

丁家山砂卡岩铅锌矿床在地理位置上属浙闽粤多金属成矿带的一部分,该成矿带地处华南褶皱系东部,大致呈北东向,主要沿丽水-海丰大断裂西北侧分布,延展长达1000余公里,北起浙江绍兴的漓渚,南西经云和、福建政和、南平、大田、德化、漳平、龙岩、广东平远、连平,一直到香港九龙的马鞍山(赵一鸣等,1990)。晋宁运动期间,丁家山铅锌矿区处于广海盆地边缘,接受浅海陆棚相-浅海台地相沉积,形成岩性过渡、交替明显的粉砂质泥岩、钙质泥质粉砂岩、泥灰岩、白云质灰岩、灰岩沉积建造组合(韦德光等,1997)。加里东运动使之褶皱回返隆起,形成大量北东向、北北东向断裂构造、梅仙复背斜的主体部分及以低绿片岩相为代表的区域变质岩。燕山运动期间,大量中酸性岩浆沿北东向、北西向断裂侵入,与经过区域变质的富钙质岩发生接触交代作用,从而成矿。

5 结论

通过对丁家山铅锌矿区矿体及围岩中主要矿物的富集型异常填图,可以得出如下结论:

(1)矿体及围岩中各种矿物的富集中心沿北东向、北西向断层呈带状分布,并不受地层层位控制,证明矿区成矿有流体广泛参与,而并非所谓区域变质作用的结果。

(2)矿区燕山期花岗岩的侵入中心位于北东向断层和北西向断层的交汇处(即Ⅲ-2矿体中部和Ⅲ-1矿体之间)。不同温度下形成的矿物其分布特征显示成矿流体运移方向为自北东向南西。

(3)丁家山铅锌矿是燕山期中酸性侵入岩、中新元古代马面山岩群龙北溪组上段经区域变质的富钙质岩类及北东向、北西向断层共同作用形成的砂卡岩型矿床。

(4)矿物富集型异常填图在丁家山铅锌矿变质类型、成因及控矿构造研究等方面取得了良好的效

果,因此可在同类型矿床中进行推广应用。

References

- Chen Guangyuan and Sun Daisheng. 1987. Genetic Mineralogy and Prospecting Mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Feng Chengyou, Feng Yaodong, Zhang Dequan, *et al.* 2007. Sulfur and lead isotope tracing for sources of ore-forming material and ore-forming age of the Meixian-style Pb-Zn(-Ag) deposits in the central Fujian rift, south east China[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 906~916 (in Chinese with abstract).
- Gu Lianxing. 1999. Advance in research on massive sulfide deposits: A review[J]. Geological Review, 45(3): 265~275 (in Chinese with abstract).
- Guo Jiahui. 1998. The application of mineralogical mapping on prospecting in Jinlonggou gold field, Tanjianshan[J]. Journal of Precious Metals Geology, 4(7): 258~268 (in Chinese with abstract).
- Institute of Geological Information, Ministry of Geology and Mineral Resources. 1987. Prospecting Mineralogy and Mineralogical Mapping[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House (in Chinese).
- Institute of Geological Information, Ministry of Geology and Mineral Resources. 1989. Mineralogical Mapping and Method in Mining Area[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press (in Chinese).
- Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. 2002. Description of Fujian Province(1:1 500 000)[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Li Shengrong, Chen Guangyuan and Shao Wei. 1994. A study on the application of zoning structure of quartz in mineralogical mapping[J]. Acta Mineralogica Sinica, 4(14): 378~382 (in Chinese with abstract).
- Lian Changyun, Zhang Ge and Yuan Chunhua. 2005. Application of SWIR reflectance spectroscopy to Pulang porphyry copper ore district, Yunnan province[J]. Mineral Deposits, 6(21): 621~637 (in Chinese with abstract).
- Liu Xing. 1992. Mineralogical mapping as a means of revealing the hidden zonation of gold deposits as example by vein No. 52 in Linglong gold mine[J]. Acta Mineralogica Sinica, 3(12): 227~234 (in Chinese with abstract).
- Ren Yingchen, Cheng Mingqing, Zhu Zuoshan, *et al.* 1986. A primary test of geological mapping applying pyrite crystal form features in evaluating altered type gold deposits at Zhao-Ye district, Shandong province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2(1): 61~69 (in Chinese abstract).
- Shen Qihan. 2009. The recommendation of a systematic list of mineral abbreviation[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(5): 495~500 (in Chinese with abstract).
- Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, *et al.* 1988. Metamorphosed Basement Geology in Zhejiang and Fujian, China[M]. Beijing: Science Press, 30~31 (in Chinese).
- Wei Deguang, Jie Yujin and Huang Tinggan. 1997. Regional Geological Structure of Fujian[J]. Regional Geology of China, 16(2): 162~170 (in Chinese with abstract).
- Xu Keqin, Wang Henian, Zhou Jianping, *et al.* 1996. A discussion on the exhalative sedimentary massive sulfide deposits of south China[J]. Geological Journal of China University, 2(3): 241~256 (in Chinese with abstract).
- Ye Shuiquan, Ni Daping and Wu Zhiqiang. 1999. Meixian-Type massive sulfide deposits in Fujian province[J]. Volcanology and Mineral Resources, 20(3): 172~180 (in Chinese with abstract).
- Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, *et al.* 1990. Skarn Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 19 (in Chinese).
- ## 附中文参考文献
- 陈光远, 孙岱生. 1987. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 北京: 地质出版社.
- 地质矿产部情报研究所. 1987. 找矿矿物学与矿物学填图[M]. 福州: 福建科学技术出版社.
- 地质矿产部情报研究所. 1989. 含矿区的矿物学填图与方法[M]. 北京: 冶金工业出版社.
- 丰成友, 丰耀东, 张德全, 等. 2007. 闽中梅仙式铅锌银矿床矿质来源的硫-铅同位素示踪及成矿时代[J]. 地质学报, 81(7): 906~916.
- 顾连兴. 1999. 块状硫化物矿床研究进展评述[J]. 地质评论, 45(3): 265~275.
- 国家辉. 1998. 摊间山金龙岗金矿区找矿矿物学填图应用效果[J]. 贵金属地质, 4(7): 258~268.
- 李胜荣, 陈光远, 邵伟, 等. 1994. 石英环带结构填图有效性研究——以胶东乳山金矿为例[J]. 矿物学报, 4(14): 378~382.
- 连长云, 章革, 元春华. 2005. 短波红外光谱矿物测量技术在普朗斑岩铜矿区热液蚀变矿物填图中的应用[J]. 矿床地质, 6(21): 621~637.
- 刘星. 1992. 矿物学填图揭示金矿脉的隐蔽分带性——以玲珑金矿52号脉为例[J]. 矿物学报, 3(12): 227~234.
- 任英忱, 程敏清, 朱作山, 等. 1986. 山东招远-掖县地区蚀变型金矿找矿评价中用黄铁矿晶体形貌填图的初试[J]. 地质找矿论丛, 2(1): 61~69.
- 沈其韩. 2009. 推荐一个系统的矿物缩写表[J]. 岩石矿物学杂志, 28(5): 495~500.
- 水涛, 徐步台, 梁如华, 等. 1988. 中国浙闽变质基底地质[M]. 北京: 科学出版社, 30~31.
- 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.
- 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 等. 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(3): 172~180.
- 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 1990. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 19.
- 中国地质科学院地质研究所. 2002. 福建省地质图(1:1 500 000)[M]. 北京: 地质出版社.