

粤东莲花山断裂带动力变质作用与动力变质热液成矿

汪礼明¹, 王军¹, 王核², 卜安³, 李莎莎², 钱龙兵³, 王玮¹

(1.广东省有色金属地质局, 广东 广州 510080; 2.中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;
3.广东省有色金属地质局 九三一队, 广东 汕头 515047)

摘要: 莲花山断裂带是广东省内已知最重要的锡铜多金属成矿带, 仅在其南西段 200 km 范围内分布的北山嶂-九龙嶂、棉洋-双华、五指嶂-锅子嶂、梅陇-鲛门-观音山 4 个动力变质带中就已探明有大、中型锡多金属矿床 7 处, 前人将这类矿床类型归结为岩浆热液矿床或斑岩型矿床。本文通过对新发现的金坑锡铜多金属矿床地质、岩石地球化学等特征分析, 探讨动力变质热液与成矿的关系和机理, 研究表明该类矿床产出位置严格受到动力变质带的控制, 矿体主要沿着片理化、面理化分布, 局部切割了早期片理; 与成矿密切相关的蚀变主要有石榴石化、硅化和绿泥石化, 属于动力变质热液改造矿床。动力变质热液成矿发生在晚侏罗世的左行剪切动力变质作用过程中, 而成矿物质主要来自上侏罗统高基坪群火山岩。现产于 4 个动力变质带的矿床及矿点成因大多属同一类别, 且存在巨大的找矿空间, 通过进一步勘查工作本区有望成为华南地区乃至全国重要的锡铜多金属成矿带。

关键词: 莲花山断裂带; 锡铜多金属矿床; 动力变质热液成矿; 找矿预测

中图分类号: P611 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2018)05-0908-010

0 引言

广东莲花山断裂带位于惠阳-梅县新华夏构造带内, 北起大埔, 南及深圳, 在广东省境内全长 360 km, 宽 20~40 km, 呈近 NE45°展布, 是我国东南沿海的一条著名的深大断裂带, 两侧分别为五华-深圳断裂、大埔-海丰断裂(图 1)。受区域动力变质作用改造, 糜棱岩化、片理化、混合岩化及压碎岩等十分发育(古润平等, 2009)。莲花山断裂带中发育的上侏罗统高基坪群为陆相中酸性火山岩建造, 厚 1284~6419 m, 是区内铜、锡多金属矿床的主要含矿层位。带内主要发育 NE、EW、NW 三组构造, NE 向构造走向 50°~60°, 主要为以压性为主的断裂、动力变质带和褶皱构造, 分为莲花山东南、北西两束; EW 向

构造以断裂构造为主; NW 向构造为一系列走向约 300°的张扭性断裂(广东省有色金属地质局九三一队, 2015)。莲花山断裂带内糜棱岩化、片理化和层间构造十分发育, 其中北山嶂-九龙嶂、棉洋-双华、五指嶂-锅子嶂、梅陇-鲛门-观音山动力变质带是最为重要的控矿和储矿构造(广东省有色金属地质局, 2017)。

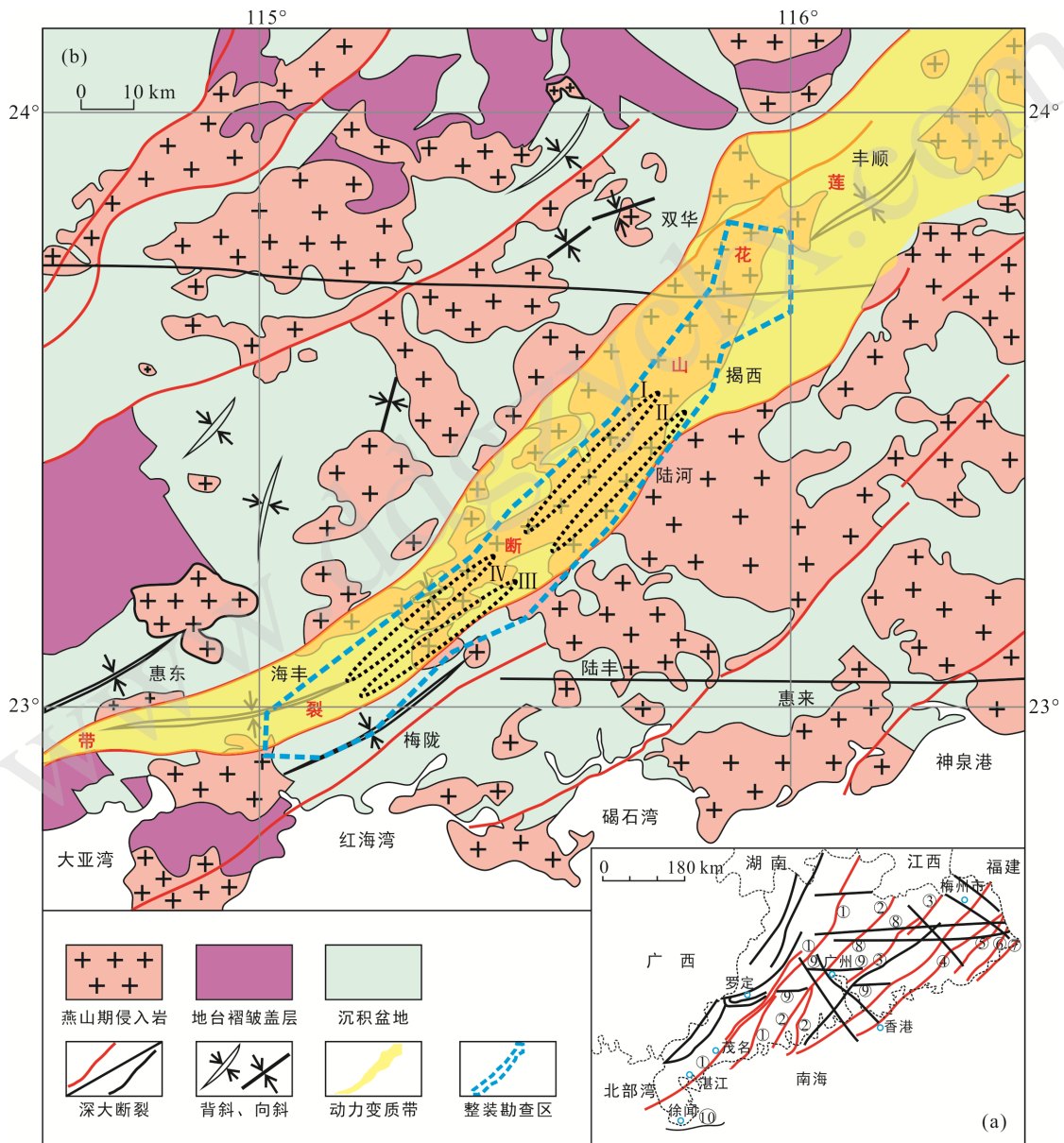
莲花山断裂带也是广东省最重要的锡铜多金属成矿带。多期次岩浆活动和动力变质作用派生的构造体系, 为含矿热液提供了良好的通道和储矿空间(华仁民等, 2008; 王军等, 2014)。带内矿床(点)密集分布, 类型复杂, 主要为 Cu、Sn、Pb、Zn、Ag、W、Mo(图 2)。近年来随着研究程度不断深入, 矿床成因成为了本区的研究热点。一部分学者认为该区矿床

类型为斑岩型矿床(古润平等, 2009; 广东省有色金属地质局九三一队, 2015); 还有部分学者认为是充填交代的岩浆热液型矿床(郭锐, 2008; 郭锐和曾国光, 2008; 丘增旺, 2017; Qiu et al., 2017; 丘增旺等, 2017)。本文通过厘定本区北山嶂-九龙嶂、棉洋-双华、五指嶂-锅子嶂、梅陇-鲛门-观音山 4 个动力变质带的空间展布及其与锡铜多金属矿床的相互关系, 并结合断裂带的地质特征、典型矿床特征、成矿物质与成矿流体来源等分析, 对莲花山断裂带动力变质作用与锡多金属成矿作用的关系提出新的认识。

1 区域动力变质作用

1.1 动力变质带主要特征

莲花山断裂带内动力变质作用十分强烈, 可分为四个带, 分别是北山嶂-九龙嶂()、棉洋-双华()、梅陇-鲛门-观音山()和五指嶂-锅子嶂()动力变质带(图 2)。整体呈 NE-SW 斜列的巨型构造透视镜体, 其间广泛发育糜棱岩带-糜棱岩化带-压碎角砾岩带和片理带, 常常伴有热蚀变, 在矿物组份上



· 吴川-四会深断裂带; · 恩平-新丰深断裂带; · 河源深断裂带; · 莲花山深断裂带; · 潮安-惠来深断裂带; · 汕头-惠来深断裂带; · 南澳深断裂带; · 佛岗-丰良深断裂带; · 高要-惠来深断裂带; · 琼州海峡深断裂带。· 棉洋-双华动力变质带; · 北山嶂-九龙嶂动力变质带; · 五指嶂-锅子嶂动力变质带; · 梅陇-鲛门-观音山动力变质带。

图 1 广东省莲花山断裂带南西段沿线地质简图(a. 广东省深大断裂图; b. 莲花山国家级整装勘查区地质简图)

Fig.1 Simplified geological map of the southwestern part of the Lianhuashan fault

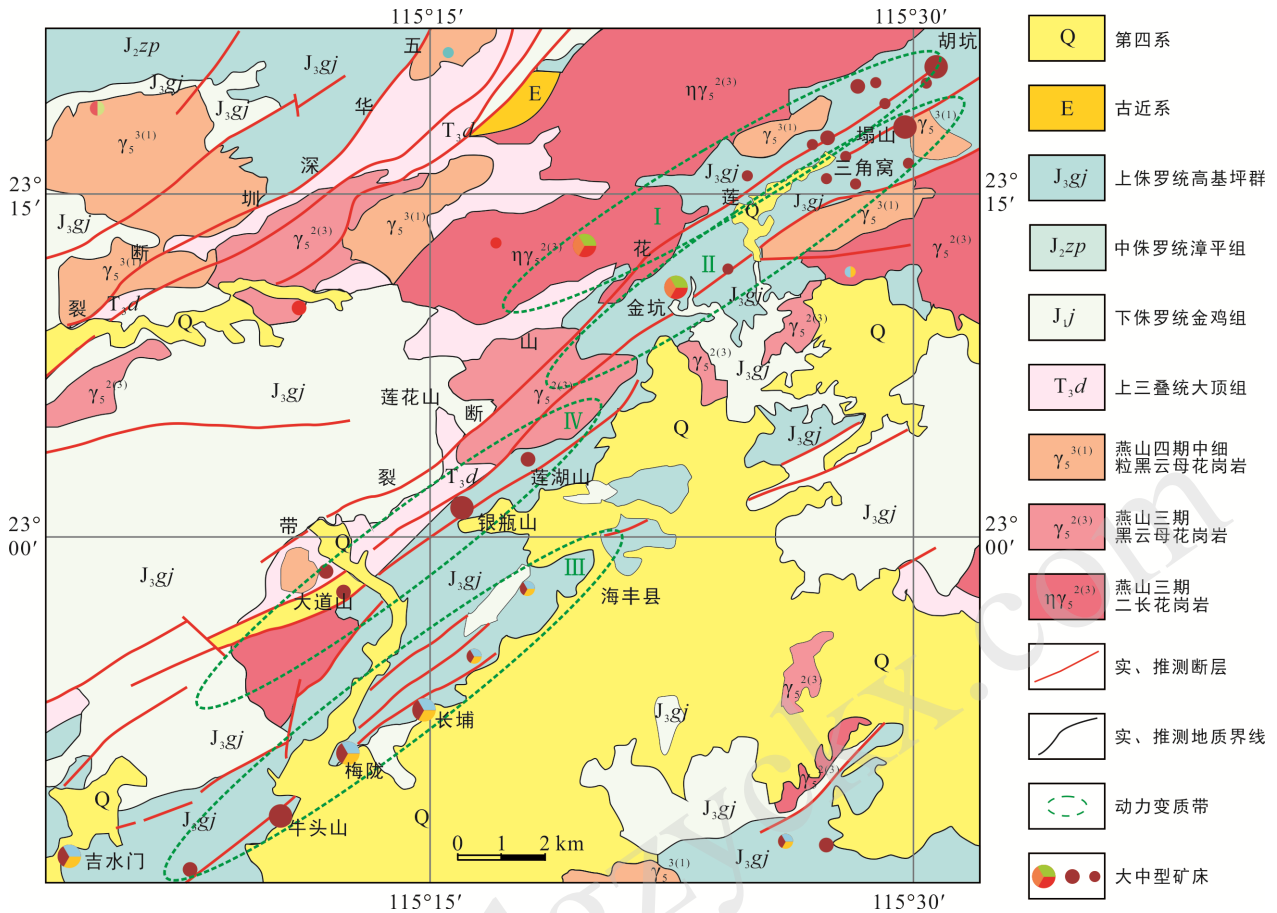


图 2 广东莲花山断裂带沿线主要矿床及动力变质带分布图

Fig.2 Map showing distribution of main ore deposits and dynamic metamorphic zone along the Lianhuashan fault in Guangdong province

有明显改变, 火山岩中形成一套相当于高、中级变质的石榴石片岩、石英云母片岩和十字石片岩等, 其中可见石榴石、十字石、绿泥石、钠长石、红柱石等。按照变质矿物特征可分为角闪岩相和麻粒岩相两个变质相, 推测其变质的温度压力分别为 500~700 °C、0.5 GPa 和 700~900 °C、0.4~0.7 GPa。动力变质带中层理、片理与糜棱岩的走向一致。垂向上从上往下可划分为弱片理化带→糜棱岩化带→片理化带(图 3)。

1.2 动力变质作用期次

莲花山断裂带自印支运动以来经历了多次的拉张与挤压作用。拉张期主要形成地堑、地垒构造, 并控制沉积建造和岩浆建造的形成和展布。挤压期主要形成褶皱、推覆构造、剪切或叠瓦式逆冲断层并控制变质带的形成与展布。本区可划分四个主要变形变质期: 印支期形成 NE 向复式褶皱和断裂, 并发生轻微的区域动力变质(李建超和丘元禧, 1990); 中侏罗世断裂带内地层再次褶皱和断裂, 并形成 4 条近雁列的 NEE 向的绢云母-千枚岩带、石榴石-二云母片岩带、十字石-红柱石片岩带和硅化糜棱岩带

(图 2 动力变质带 I、II、III、IV), 且被晚期的黑云母花岗岩、细粒花岗岩体等切割(图 3); 晚侏罗世断裂发生强烈左行剪切, 受 NE 向基底断裂控制, 在断裂带内形成一系列与主断裂斜交、走向 NEE、以强烈塑性递进形变为特征的韧性剪切带, 并产生了强烈的锡铜多金属成矿活动, 局部矿体与早期的片理、面理斜交(图 4b); 白垩纪以来断裂带内发生过多次拉张与挤压, 以带内地层发生宽缓褶皱, 沿断裂带发生碎裂变形为主。

1.3 动力变质作用时代

广东南澳和莲花山韧性剪切带 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及地质意义研究表明, 莲花山韧性剪切带可分为两组: 162~151 Ma 和 129.7~117.5 Ma。第一组为晚侏罗世发生的左行韧性剪切、褶皱和较深层次动力变质作用, 影响范围涵盖整个莲花山动力变质带, 形成了一系列糜棱岩和糜棱岩带, 以韧性和韧-脆性变形为主; 第二组为早白垩世莲花山断裂带韧-脆性变形作用, 左行平移兼逆断层活动, 仅在主断裂带局部发生(邹和平等, 2000)。

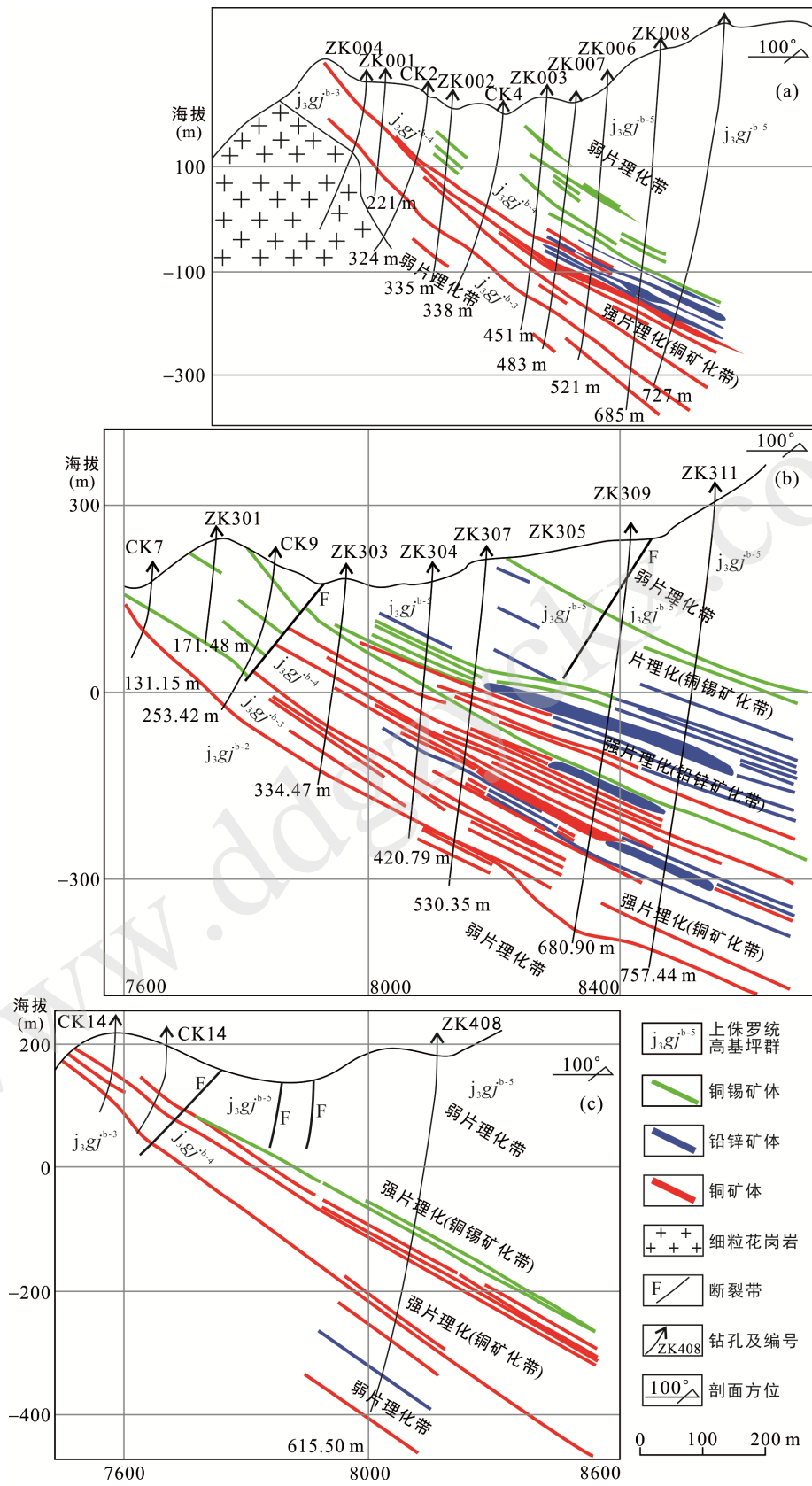
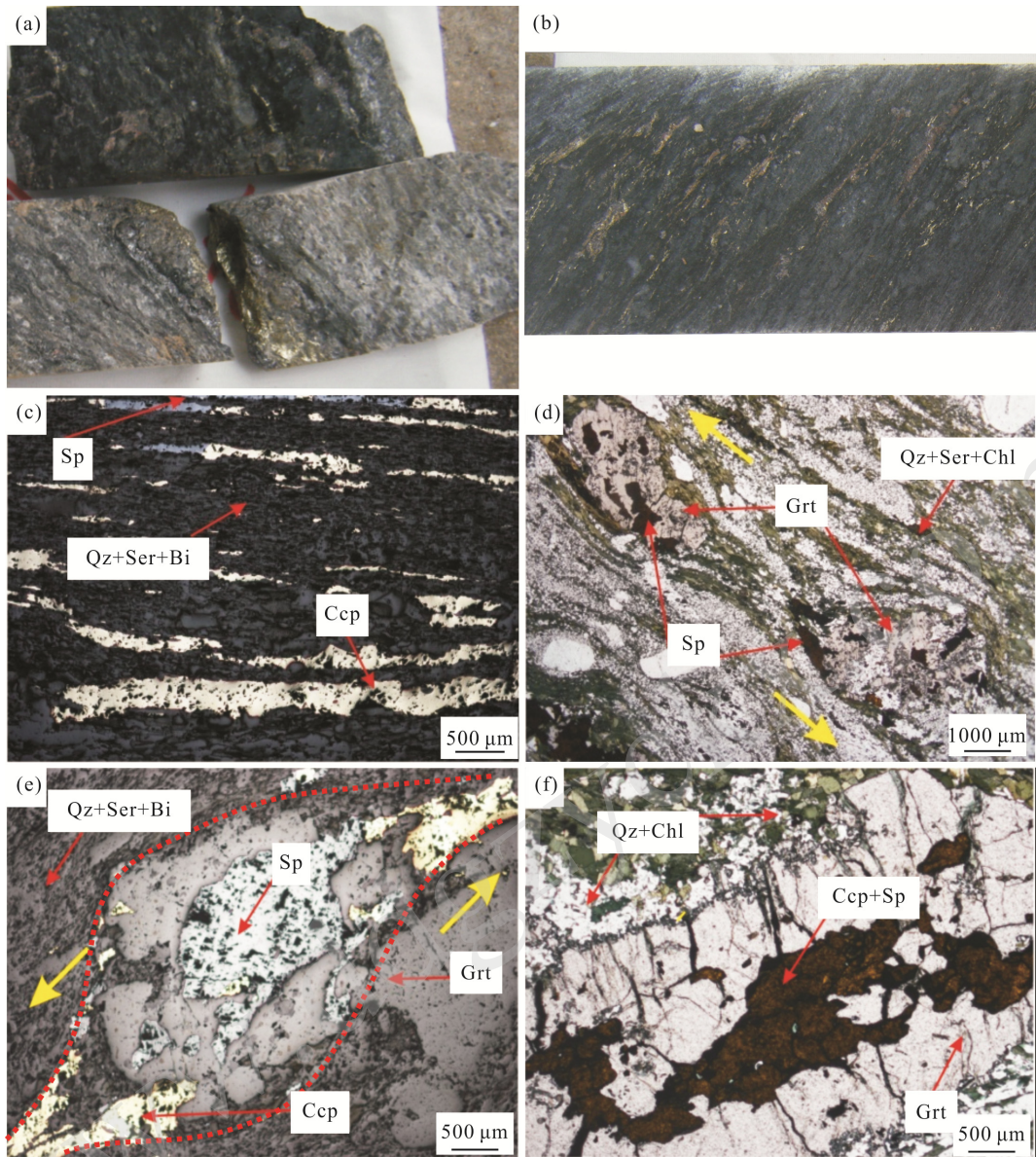


图 3 金坑矿区典型钻孔联合剖面图

Fig. 3 Representative sectional profiles of the Jinkeng ore area



矿物代号: Ccp. 黄铜矿; Sp. 闪锌矿; Gn. 方铅矿; Qz. 石英; Ser. 绢云母; Bi. 黑云母; Grt. 石榴石; Chl. 绿泥石。

图 4 广东揭西县金坑矿区矿体呈片理化产出特征

Fig.4 Schistosity of ore-bodies in the Jinkeng ore area in Jiexi county, Guangdong province

2 金坑锡铜多金属矿床动力变质热液成矿特征

2.1 矿区地层

金坑锡铜多金属矿床位于北山嶂-九龙嶂动力变质带内(图 2), 宏观上明显受控于 NE 向区域动力变质作用。区内出露地层主要为上侏罗统高基坪群火山岩与火山碎屑岩, 属高基坪群上亚群上段 ($J_3gj_2^b$), 其中成矿元素含量均值为 Sn 24.2×10^{-6} 、Cu 18.3×10^{-6} 、Pb 50.1×10^{-6} 、Zn 80.1×10^{-6} 、Ag 0.11×10^{-6} ,

是粤东地区地层平均含量的 3 倍左右(广东省有色金属地质局, 2018)。

2.2 矿区花岗岩

金坑矿区侵入岩主要有粗粒黑云母花岗岩和细粒花岗岩两类。粗粒黑云母花岗岩呈灰白色、肉红色, 花岗结构, 矿物成分主要为石英(25%~40%)、斜长石(25%~28%)、钾长石(32%~38%)、黑云母(5%~12%); 副矿物有锆石、少量电气石等(2%); 蚀变矿物有绢云母、绿泥石。细粒花岗岩呈灰白色、浅肉红色, 细粒花岗结构, 矿物成分主要为钾长石(35%)、斜长石(28%)、石英(28%)、黑云母(4%)以及

绿泥石、绿帘石等(广东省有色金属地质局九三一队, 2015)。花岗岩体与赋矿地层呈侵入接触关系, 岩体基本未发生变形, 在已揭露的钻孔中花岗岩体内部尚未发现矿化体。

2.3 矿体特征

矿区已揭露的矿体呈似层状、条带状沿片理带分布。上部控矿构造以脆性构造为主, 下部逐渐过渡为韧性构造控矿; 矿体具有明显的垂直逆向分带现象, 上部以铜、锡为主, 中部以铅、锌、银为主, 再往深部以铜、铅、锌为主(图3)。根据三个联合剖面可以看出, 花岗岩体切割了矿体且岩体本身尚未揭露到矿(化)体(图3a), 而矿体基本产于上侏罗统高基坪群上亚群第二段至第五段, 且尚未控制矿体埋深(图3b、c)。矿石以浸染状、块状构造为主, 自形片状、板状结构等(图4)。矿石金属矿物主要为锡石、毒砂、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿, 次为蓝铜矿、辉钼矿等, 局部还有自然银分布; 脉石矿物主要为石英、黑云母、绿泥石、斜长石、白云母和石榴石等(广东省有色金属地质局九三一队, 2015)。矿石手标本特征显示矿体主要沿着片理化充填, 且有部分矿体切割了片理(图4a、b); 显微镜下特征显示黄铁矿和闪锌矿局部交代了围岩(图4c、d), 旋转碎斑以及石榴石斑晶中充填了黄铜矿、闪锌矿。

2.4 矿区动力变质热液成矿

矿区分布的动力变质带宽约 2~2.5 km, 沿金坑河两边展布, 地层岩石变形较强, 岩体基本无变形。从野外露头及钻孔中可见大规模糜棱岩化带及片理化带, 呈千糜状、透镜状、片状, 矿物拉伸且定向排列, 斑晶碎裂呈眼球状。围岩蚀变范围广, 尤其马山区段蚀变带最宽可达几十米, 主要有硅化、绿泥石化、石榴石化及黄铁矿化等。矿化强度与矿区动力变质作用强弱有关, 如马山区段闪锌矿化强的地段常伴有较强的硅化和石榴石化现象。根据动力变质作用和蚀变强弱可划分成 3 个变质蚀变带: 弱片理化带(弱硅化蚀变带)→糜棱岩化(石榴石化、硅化蚀变带)→片理化(硅化、绿泥石化)(图3), 矿体主要产于糜棱岩化带和片理化带中。该矿区矿床分布上明显受到动力变质带控制, 而与花岗岩空间关系不紧密。此外矿石矿物结构、构造特征和矿化分带现象也显示区内锡铜多金属成矿活动具有明显的动力变质热液成矿特征, 且矿石镜下的旋转碎斑也指示了本区曾经历了一期明显的左行剪切构造作用(图4e、f)。综上所述表明, 本区锡铜多金属矿是在区域动力变质作用下形成的。

2.5 动力变质热液成矿机理分析

2.5.1 宏观指示特征

基于金坑矿床的典型特征, 宏观上矿体明显受控于区域动力变质带, 微观上矿石矿物结构、构造特征显示本区具有动力变质热液改造成矿特征; 结合剖面对比表明矿区花岗岩在宏观上与金属成矿活动没有直接关系, 且金坑矿区的钻孔剖面揭示的矿体在垂向上具有逆向分带特征(图4), 即上部以锡、铜矿化为主, 下部为铜、铅、锌、银, 蚀变分带和蚀变特征, 这与大部分岩浆成因热液矿床特征(钱敏, 2015; 孙文龙, 2017)也明显不同。

北山嶂-九龙嶂、棉洋-双华、五指嶂-锅子嶂、梅陇-鲛门-观音山是莲花山断裂带沿线一系列呈 NE 向展布的动力变质带, 伴生了层间滑动断层及节理、裂隙等, 这些构造体在应力释放后发生滑脱, 可形成相当规模的储矿空间, 成矿热液在这类空间往往形成顺层状、片状矿体(图4a、b); 其次动力变质作用形成的糜棱面理和片理也是成矿活动密切相关的运移、沉淀场所, 矿体主要沿着糜棱面理和片理充填(图4c、d); 经动力变质而变形碎裂的矿物, 如石榴石旋转碎斑也可提供矿化空间, 金属矿物沿其颗粒裂隙及颗粒边部压力薄弱部位沉淀富集(图4e、f)。因此本区动力变质作用形成的构造为成矿热液的运移、沉淀及富集提供了通道和空间, 从而在 4 个动力变质带内形成一系列动力变质成因的锡、铜多金属矿床。

2.5.2 地球化学特征

动力变质作用为本区的成矿元素活化-迁移-富集提供了必要的动力、热液和空间。前人通过对本区 Sn 元素地球化学场分析认为, 在上侏罗统高基坪群火山岩中, 尚未发生变形的火山岩地层中 Sn 含量小于 15×10^{-6} , 脆性破碎带中的火山岩石中为 $20 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6}$, 而在经历了动力变质作用的火山质糜棱岩中 Sn 含量可达 $300 \times 10^{-6} \sim 1500 \times 10^{-6}$, 因此韧性变形即动力变质作用对 Sn、Cu 等金属元素的富集成矿极为有利。金坑矿区地层经历了多期动力变质作用, 由于变质热液长时间加热围岩且在围岩中循环, 从而萃取了围岩中的 Sn、Cu 等多金属元素(刘经纬等, 2016), 并在动力变质过程中形成的韧性剪切带、片理、面理及裂隙中聚集沉淀。

为充分了解 Cu、Pb、Zn、Sn 成矿元素在成矿活动中的化学性质, 前人针对不同成矿元素在流体/熔体中的分配系数做了一系列实验(彭省临和曾骥良, 1990; 胡晓燕等, 2009; 管申进, 2010)。研究表明当流

体介质为纯水体系时,上述在流体/熔体相间的分配系数很小($D_{Cu}=0.06$; $D_{Pb}=0.06$; $D_{Zn}=0.03$; $D_{Sn}=0.142$) (表 1); 随着含 Cl 熔体中 Cl 浓度增加(0→4 mol/L),上述成矿元素在流体/花岗质熔体间的分配系数均呈显著增大趋势,且 Sn 元素的分配系数最大,表明其更容易在熔体中富集;而在含 F 熔体中上述成矿元素的分配系数都较低(胡晓燕等, 2009; 管申进, 2010), Cu、Pb、Zn 和 Ag 等金属元素主要通过非桥氧的亲合作用而固定在硅铝氧四面体格架上,从而固定于熔体中,在变质热液 Cl、F 共存的条件下, Cu、Pb、Zn、Ag 等离子被水解后的 H^+ 交换反应置换并与 Cl⁻ 和(OH)⁻ 形成稳定的羟基氯化物 [Me(OH)Cl] (彭省临和曾骥良, 1990), 而 Sn 作为亲 F 元素更易于形成 SnF₄。已有实验表明(赵博等, 2015), 在含氟热液的运移过程中, 在氧逸度较高的条件下 SnF₄ 容易发生分解: $SnF_4+2H_2O=SnO_2+4HF$ 。

金坑矿区在富含 F、Cl 的变质热液长时间作用过程中, 其热液成分充分演化。由于 Cu、Sn、Pb、Zn 等成矿元素在变质流体/熔体中的化学性质差异(表 1), 且在动力变质变形中地表浅部脆、韧性断裂发育, 氧逸度较高, 从而导致 Sn 成矿元素在上部聚集成矿。这很好地佐证了金坑矿区在垂向上存在逆向分带这一地质事实, 也是传统岩浆成因热液成矿理论所不能解释的。此外, 对动力变质热液成矿期不同阶段的石英进行 H-O 同位素分析(广东省有色金属地质局, 2017), 金坑矿区成矿流体是变质流体与大气降水混合的产物, 且从早阶段到晚阶段, 成矿流体从变质流体向大气降水区域演化, 早阶段以变质流体为主, 晚阶段加入大气降水, 因此成矿流体温度逐渐降低, 盐度逐渐下降。而金坑矿区 Pb 同位素测试, 也表明成矿物质主要来自火山岩地层(丘增旺, 2017)。

2.5.3 矿床年代学特征

野外地质调查表明锡铜多金属矿(化)体和花岗岩体在空间上没有联系(图 3), 矿体主要产于上侏罗统高基坪群上亚群第二段至第五段火山岩中, 即卷

入动力变质作用的地层部分, 而钻探工程揭露的花岗岩体均不含矿, 围岩也无矿化蚀变现象。通过对矿区主要岩石类型进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 其中富矿地层的流纹质晶屑凝灰岩年龄为 157.2 ± 1.0 Ma, 流纹斑岩年龄为 154.1 ± 1.2 Ma, 石英斑岩年龄为 150.6 ± 1.2 Ma, 而花岗闪长斑岩年龄为 147.5 ± 0.5 Ma, 粗粒黑云母花岗岩年龄为 144.1 ± 0.5 Ma, 细粒花岗岩年龄为 141.0 ± 0.3 Ma(Qiu et al., 2017; 丘增旺等, 2017)。结合宏观地质现象、岩体年代学数据和钻孔剖面资料(图 3), 我们推测金坑矿区锡铜多金属矿床的成矿时代在粗粒黑云母花岗岩和花岗闪长斑岩侵位之前, 应与区域上于晚侏罗世发生的大规模左行韧性剪切动力变质作用时间一致。已有 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究表明, 莲花山韧性剪切带在 162~151 Ma 左右曾经历了一次大规模的左行剪切构造作用(邹和平等, 2000)。丘增旺等(2017)采用与石英-锡石-毒砂共生的辉钼矿通过 Re-Os 定年, 获得辉钼矿成矿年龄为 139.3 ± 2.5 Ma, 由于采样介质为石英脉型锡石, 与本文探讨的上侏罗统高基坪群火山岩地层的成矿类型不一致, 因此该年龄不能代表金坑矿区动力变质成因的锡铜多金属成矿年龄, 只能代表本区更晚期的石英脉型锡矿的成矿年龄。

2.5.4 动力变质成矿的地球动力学背景

已有研究表明莲花山断裂带区域上存在两种重要的大地构造体制, 即前侏罗纪的 EW 向古特提斯构造域和中新世以来的 NE 向太平洋构造域(舒良树和周新民, 2002; 舒良树等, 2004)。前侏罗纪区域上受到 EW 向古特提斯构造域控制, 构造带呈近 EW 向; 中侏罗世开始受到 EW 向古特提斯洋和 NE 向太平洋构造域联合控制; 到了晚侏罗世, 华南大部分地区完成 NE 向构造域转换(舒良树等, 2006), 而莲花山断裂带则全部已进入 NE 向太平洋构造域体制, 正是在这一时期(162~151 Ma)由 EW 向向 NE 向构造域转换的左行剪切动力变质作用, 诱发了本地区锡铜多金属成矿作用。华南地区粤北梅子窝钨锡矿床

表 1 Cu、Sn、Pb、Zn 等成矿元素在不同介质中的分配系数
Table 1 Partition coefficients of tin, copper, lead, and zinc in different media

成矿元素	温压条件	分配系数 D			数据来源
		纯水体系	熔体(含氟)(0→4 mol/L)	熔体(含氟)(0→1 mol/L)	
Sn	850 100 MPa	0.142	0.142~49.81	0.008~0.006	胡晓燕等, 2009
Cu		0.06	0.06~43.55	4.64~3.11	管申进, 2010
Pb		0.06	0.06~27.38	0.54~0.49	
Zn		0.03	0.03~30.03	0.17~0.20	

产于强烈褶皱变形的变质岩中, 其 Rb-Sr 等时线年龄为 150 ± 5 Ma(杨晓君等, 2008); 粤西地区河台金矿也是一个受强烈韧性剪切带控制的金矿床, 韧性剪切变质主成矿期年龄为 152.5 ± 3.1 Ma(翟伟等, 2006), 这表明莲花山断裂带锡铜多金属成矿与华南地区大规模锡多金属成矿在时间上是相吻合的。

金坑矿区的粗粒黑云母花岗岩、细粒花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 144.1 ± 0.5 Ma、 141.0 ± 0.3 Ma(丘增旺等, 2017), 其岩石地球化学特征表明, 本区花岗岩具有活动大陆边缘向后造山伸展环境转变的特征, 是区域伸展地球动力学背景下的产物(毛景文等, 2004; 周新民等, 2007; 徐先兵等, 2009; 陈毓川和王登红, 2012), 并且伴随有晚期热液石英脉型锡多金属成矿活动。

根据金坑矿区地层、花岗岩体和矿体的产出关系及矿体特征, 结合矿床的宏观特征、地球化学特征、年代学特征和地球动力学背景, 我们认为晚侏罗世的左行剪切使得本地区发生了角闪岩相、麻粒岩相的变质作用, 伴随产生的含矿变质热液在糜棱面理和片理中富集沉淀。

3 动力变质热液成矿理论找矿成效

自设立广东省莲花山断裂南西段国家级整装勘查区以来, 区内先后开展了矿产远景调查、重点矿产勘查、关键基础地质研究以及技术应用示范等项目(汪礼明等, 2016)。结合已取得成果, 以动力变质成因的锡、铜矿为重点, 在整装勘查区内开展找矿工作, 目前已发现中型矿床 7 处, 其中远景规模有望达大型矿床 2 处, 小型矿床 12 处, 矿点 36 处, 已知矿床(点)大多产于动力变质带以内(图 2)。

位于北山嶂-九龙岗动力变质带的金坑铜锡铅锌矿找矿成果显著, 矿区共发现了 59 条矿(化)体, 包括马山、崆角、赤告岭、黄竹嶂 4 个区段。主矿脉马山区段 V_4 矿体长 1350 m, 斜深 1000 m, 平均脉幅 2.27 m; V_1 长 1400 m, 斜深 850 m, 平均脉幅 1.59 m; 崆角区段矿体延长大于 600 m, 延深大于 250 m, 矿体平均脉幅为 1.30 m; 赤告岭区段矿体延长大于 150 m。矿石类型为铜铅锌多金属硫化矿石, 主要矿产为铜、锡, 共生矿产有锌、铅(广东省有色金属地质局九三一队, 2015), 已控制矿体规模近大型, 矿体延长和延深尚未控制(图 3)。金坑矿区赤告岭和黄竹嶂两个区段尚未开始评价, 全区资源量可达超大型规模。

位于梅陇-鲛门-观音山动力变质带的长埔锡矿

也是粤东地区典型的中-大型锡铅锌矿床, 矿区内长埔矿段已发现 5 条矿体, 主要矿体 V_2 连续性好, 延长大于 560 m, 厚约 2~8 m; 邻近次要矿体延长约 40~360 m, 厚约 1~9 m, 呈层间脉状产出, 具有动力变质热液改造矿床特点。矿床的延长、延深均尚未控制, 有望达超大型规模。此外, 研究区东部的厚婆坳锡铅锌多金属矿床同样受动力变质构造带控制, 矿物种类多、分带性明显, 中区和东区的资源储量已经审批, 探获资源储量银达大型, 铅+锌达大型; 西区、南区的资源储量尚未审批, 探获锡资源储量可达大型, 矿床深部及周边尚有较大找矿空间。

近年工作新发现的仙水沥、江西坑、大湖、淘锡湖等化探异常具有规模大、强度高的特点, 产于其中的矿床及矿点也严格受到动力变质带控制。通过对其综合研究认为, 上述四个找矿远景区均具有大型-超大型锡多金属矿床找矿前景。

4 结 论

(1) 莲花山断裂带内晚侏罗世的左行剪切动力变质作用导致了本区锡铜多金属成矿。北山嶂-九龙岗、棉洋-双华、梅陇-鲛门-观音山、五指嶂-锅子嶂 4 个动力变质带控制了沿线锡铜多金属矿床的空间分布, 上侏罗统高基坪群火山岩是本区的赋矿地层, 而花岗岩体与成矿活动没有直接关系。

(2) 莲花山断裂带内的糜棱岩化、片理化发育, 矿体主要沿着片理化裂隙分布, 与矿化密切相关的蚀变主要有石榴石化、绿泥石化和硅化。

(3) 金坑矿区的动力变质热液经历了充分演化, 由于铜、锡、铅、锌等成矿元素在流体/熔体中客观存在的地球化学性质差异, 在变质热液成矿过程中锡元素在上部聚集成矿, 出现了逆向分带。

(4) 按照本区动力变质热液成矿的新成因观点, 在莲花山断裂带内已经查明了金坑、长埔、厚婆坳等大中型矿床, 并圈定了仙水沥、江西坑、大湖、金坑和淘锡湖等矿区的找矿远景区。莲花山断裂带沿线分布的 4 个动力变质带具有与金坑矿区一致的成矿地质条件, 显示其具有重要的找矿潜力, 通过进一步工作, 本区有望成为华南地区乃至全国重要的锡铜多金属成矿带。

致谢: 衷心感谢中国科学院广州地球化学研究所陈华勇研究员、东华理工大学许德如教授在论文评审中给予的宝贵意见。

参考文献(References):

- 陈毓川, 王登红. 2012. 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题. 大地构造与成矿学, 36(3): 315-321.
- 古润平, 卜安, 陈少青. 2009. 广东省揭西金坑铜锡铅锌矿区矿床地质特征与远景预测. 资源调查与环境, 36(2): 109-114.
- 管申进. 2010. Cu-Pb-Zn-Mo-W在含水流体/花岗质熔体间分配的实验研究. 北京: 中国科学院大学博士学位论文: 30-47.
- 广东省有色金属地质局. 2017. 广东莲花山锡铜多金属矿整装勘查区专项填图与技术应用示范报告.
- 广东省有色金属地质局. 2018. 广东双华-平安镇地区矿产地质调查报告.
- 广东省有色金属地质局九三一队. 2015. 广东省揭西县金坑矿区铜锡铅锌矿普查报告.
- 郭锐. 2008. 粤东成矿地质背景及银铜铅锌成矿特征研究. 长沙: 中南大学博士学位论文: 42-60.
- 郭锐, 曾国光. 2008. 粤东成矿地质背景及银-铜-铅-锌成矿物质来源探讨. 矿产与地质, 22(3): 236-240.
- 胡晓燕, 毕献武, 尚林波, 胡瑞忠, 蔡国盛, 陈佑纬. 2009. 氟氯共存体系锡在流/熔体相间分配的实验研究. 科学通报, 54(11): 1552-1561.
- 华仁民, 李光来, 张文兰, 胡东泉, 陈培荣, 陈卫锋, 王旭东. 2008. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. 矿产地质, 29(1): 9-23.
- 李建超, 丘元禧. 1990. 广东莲花山燕山早期断裂动热变质带的基本特征及形成机制的探讨. 长春地质学院学报, (1): 11-20, 123.
- 刘经纬, 陈军胜, 陈斌. 2016. 赣东北高分异花岗斑岩的成因及其对钨矿化的意义. 矿物岩石地球化学通报, 35(6): 1156-1180.
- 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. 地学前缘, 11(1): 45-55.
- 彭省临, 曾骥良. 1990. 铅锌在花岗质硅酸盐熔体和共存含水流体间分配机理的实验研究. 岩石学报, (2): 12-19, 97.
- 钱敏. 2015. 德兴斑岩铜矿床蚀变与矿化特征研究. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文: 9-40.
- 丘增旺. 2017. 粤东金坑锡多金属矿床动力学背景及成矿作用研究. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所博士学位论文: 74-96.
- 丘增旺, 王核, 闫庆贺, 李莎莎, 汪礼明, 卜安, 魏小鹏, 李沛, 慕生禄. 2017. 广东陶锡湖锡多金属矿床花岗斑岩锆石U-Pb年代学、地球化学、Hf同位素组成及其地质意义. 大地构造与成矿学, 41(3): 516-532.
- 舒良树, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代构造格架. 地质论评, 48(3): 249-260.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起. 2006. 南岭构造带的基本地质特征. 地质论评, 52(3): 251-265.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起, 王彬, 祖辅平. 2004. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化. 地质通报, 23(9-10): 876-884.
- 孙文龙. 2017. 铜陵地区高钾钙碱性侵入岩成矿分带性研究. 合肥: 合肥工业大学硕士学位论文: 12-50.
- 汪礼明, 王军, 王核, 卜安, 郭锐, 王涌泉, 朱沛云. 2016. 广东莲花山断裂带动力变质成矿作用新认识. 地质论评, 62(增刊): 91-93.
- 王军, 万传辉, 文昌生, 王模坚. 2014. 粤东塘唇钨锡矿区地质特征及其主要控矿因素. 资源环境与工程, 28(3): 280-283.
- 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 舒良树, 王瑞瑞. 2009. 华南早中生代大地构造过程. 中国地质, 36(3): 573-593.
- 杨晓君, 付建明, 马丽艳, 李祥能, 徐德明, 魏君奇. 2008. 粤北梅子窝钨锡矿床地质特征及其成矿年龄研究. 大地构造与成矿学, 32(3): 346-351.
- 翟伟, 李兆麟, 孙晓明, 黄栋林, 梁金龙, 苗来成. 2006. 粤西河台金矿锆石SHRIMP年龄及其地质意义. 地质论评, 52(5): 690-699.
- 赵博, 张德会, 张荣臻, 石成龙. 2015. 富F熔体-溶液流体体系的地球化学性状及成矿效应研究进展. 地质科学, 50(1): 222-240.
- 周新民, 陈培荣, 徐夕生. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社.
- 邹和平, 王建华, 丘元禧. 2010. 广东南澳和莲花山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. 地球学报, 21(4): 356-364.
- Qiu Z W, Yan Q H, Li S S, Wang H, Tong L X, Zhang R Q, Wei X P, Li P, Wang L M, Bu A and Yan L M. 2017. Highly fractionated Early Cretaceous I-type granites and related Sn polymetallic mineralization in the Jinkeng deposit, eastern Guangdong, SE China: Constraints from geochronology, geochemistry, and Hf isotopes. *Ore Geology Reviews*, 88: 718-738.

Dynamic Metamorphism Origin for the Tin-Copper Polymetallic Mineralization in the Lianhuashan Fault, Eastern Guangdong Province

WANG Liming¹, WANG Jun¹, WANG He², BU An³, LI Shasha², QIAN Longbing³ and WANG Wei¹

(1. *Geology Bureau for Nonferrous Metal of Guangdong Province, Guangzhou 510080, Guangdong, China;*
2. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*
3. *Geology Bureau for Nonferrous Metal of Guangdong Province 931 Battalion, Shantou 515047, Guangdong, China*)

Abstract: The Lianhuashan fault is the most important tin and copper polymetallic ore belt in Guangdong province. Seven medium- to large- sized ore deposits have been found in the southwest part of the Lianhuashan fault which is about 200 km long and consists of four dynamic metamorphic belts. The geological and geochemical characteristics of the newly discovered Jinkeng tin polymetallic deposit demonstrated a genetic relationship between the dynamic metamorphism and the hydrothermal mineralization, which contrasts with the hypothesis of magmatic hydrothermal origin previously proposed by other researchers. A dynamic metamorphic hydrothermal origin for the Jinkeng deposit is supported by geological evidence such as 1) the orebodies are strictly controlled by the dynamic metamorphic belts; 2) the ore veins mainly occur along the sheet, plane and occasionally cut the early cleavage; 3) ore-related alteration includes garnetization, silicification, and chloritization. These deposits are dynamic metamorphic hydrothermal origin related to the late Jurassic left-lateral shear dynamic metamorphism, and the ore metals are mainly derived from the volcanic rocks of the Upper Jurassic Gaojiping Group. In light of our new metallogenetic model, the Lianhuashan fault is very promising for ore prospecting, and possibly becomes one of the most economically significant Sn-Cu ore belts in South China.

Keywords: Lianhuashan fault; tin copper polymetallic ore deposits; dynamic metamorphic hydrothermal mineralization; prospecting