

引用格式: 胡利娟, 吴祥珂, 乐兴文, 等, 2023. 广西西大明山矿集区德立铅锌矿床成矿时代及其找矿勘查启示 [J]. 地质力学学报, 29 (1): 76–86. DOI: [10.12090/j.issn.1006-6616.2022034](https://doi.org/10.12090/j.issn.1006-6616.2022034)

Citation: HU L J, WU X K, LE X W, et al., 2023. Dating the Deli Pb–Zn deposit, Xidamingshan mining district, South China: Implications for regional exploration [J]. Journal of Geomechanics, 29 (1): 76–86. DOI: [10.12090/j.issn.1006-6616.2022034](https://doi.org/10.12090/j.issn.1006-6616.2022034)

广西西大明山矿集区德立铅锌矿床成矿时代及其找矿勘查启示

胡利娟¹, 吴祥珂^{2,3}, 乐兴文⁴, 余树青³, 张林炎⁵, 朱亿广³, 岑文攀²

HU Lijuan¹, WU Xiangke^{2,3}, LE Xingwen⁴, YU Shuqing³, ZHANG Linyan⁵, ZHU Yiguang³, CEN Wenpan²

1. 北京圣海林生态环境科技股份有限公司, 北京 100192;
2. 广西壮族自治区地质调查院, 广西南宁 530023;
3. 广西壮族自治区矿产资源储量评审中心, 广西南宁 530029;
4. 广西壮族自治区第四地质队, 广西南宁 530031;
5. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

1. *Beijing Sainteco Technology Co., LTD., Beijing 100192, China;*
2. *Guangxi Institute of Geological Survey, Nanning 530023, Guangxi, China;*
3. *Mineral Resource Reservoir Evaluation Center of Guangxi, Nanning 530029, Guangxi, China;*
4. *No.4 Geological Team of Guangxi, Nanning 530031, Guangxi, China;*
5. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*

Dating the Deli Pb–Zn deposit, Xidamingshan mining district, South China: Implications for regional exploration

Abstract: The Youjiang basin is a diamond-shaped Indosinian foreland basin formed during the subduction and merging of the South China plate into the Indo-Chinese plate. A large number of Indo-Chinese tectonic traces have been preserved in the basin. However, little has been reported about the syn-tectonic magma and its related mineralization in the basin. Sphalerites from the newly discovered Deli Pb–Zn deposit in the Xidamingshan mining district at the southeastern margin of the Youjiang basin were sampled for the Rb–Sr isochron dating. We obtained the isochron age of 207.1 ± 0.6 Ma (MSWD = 1.5) with initial Sr isotopic composition of 0.728379 to 0.739226. The Sr isotopic compositions are distinct from those of the Late Cretaceous felsic intrusions and the Late Jurassic high-Mg andesite in or around the Xidamingshan district but similar to those of the Late Triassic granites in the Guangxi province. The results indicate that the ore-forming age of the Deli Pb–Zn deposit may be closely related to the concealed Triassic granite. The Si–Ca fracture zone between the Devonian and Cambrian is a favorable location to search for Pb–Zn deposits in the Xidamingshan mining district. This work proves the Triassic Pb–Zn mineralization has occurred in the Xidamingshan mining district and Late Cretaceous magmatic-hydrothermal Bi–W–Zn–Pb–Ag mineralization in the west of it. It provides new ideas and directions for future exploration in the Xidamingshan mining district.

Keywords: Youjiang basin; Rb–Sr dating; organic matter; late Triassic; Deli Pb–Zn deposit; mineralization

摘要: 右江前陆盆地形成于华南板块向印支板块俯冲拼合过程中, 保留了大量印支期构造形迹。然而

基金项目: 广西关键矿产资源深部勘查人才小高地项目(桂组通字〔2019〕85号); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务项目(DZLXJK202203); 中国地质调查局地调项目(DD20221600-3)

This research is financially supported by the Project of the Deep Critical Mineral Exploration for Guangxi Talents (Grant No.2019-85), Research Fund of Chinese Academy of Geological Sciences (Grant DZLXJK202203), and the Geological Survey Program of the China Geological Survey (Grant DD20221600-3).

第一作者: 胡利娟(1985—), 女, 工程师, 从事矿山调查与环境评价研究。E-mail: 343661884@qq.com

通讯作者: 吴祥珂(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事矿产勘查和基础地质研究工作。E-mail: 405950925@qq.com

收稿日期: 2022-03-18; 修回日期: 2022-06-15; 责任编辑: 王婧

盆地中印支期岩浆及其相关成矿作用鲜有报道。选择右江盆地东南缘西大明山矿集区新发现的与有机质关系密切的德立矿床为研究对象, 采用闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线测年方法, 获得德立矿床成矿时代为 207.1 ± 0.6 Ma, 表明该矿床形成于晚三叠世。Sr 同位素初始比值 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.728379~0.739226, 对比显示, 闪锌矿 Sr 同位素组成与矿集区及周边晚白垩世长英质岩体、晚侏罗世高镁安山岩低 Sr 同位素组成具有明显差异, 而与区域内三叠纪长英质岩体具有相似的 Sr 同位素组成, 表明德立铅锌矿床成因可能与三叠纪岩浆关系密切, 也暗示西大明山矿集区深部或周边存在隐伏三叠纪岩浆岩。此外, 该矿床的矿体产出部位与富有机质地层关系密切, 泥盆系和寒武系之间的硅钙界面破碎带是寻找铅锌矿床的有利位置。此次研究指示在西大明山矿集区不仅有晚白垩世铅锌成矿作用, 矿集区西侧还存在印支期铅锌成矿作用, 不排除在局部地区发育两期成矿作用的叠加, 为今后矿集区找矿勘查拓展了新的思路和方向。

关键词: 右江盆地; Rb-Sr 测年; 有机质; 晚三叠世; 德立铅锌矿床; 成矿

中图分类号: P611.1+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6616 (2023) 01-0076-11

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2022034

0 引言

右江盆地位于中国华南西部, 为华南板块与印支板块之间的古特提斯洋的闭合、碰撞造山形成的前陆盆地。以往研究表明, 盆地内保留了大量印支期构造变形与岩浆活动 (Faure et al., 2014, 2016, 2018; Li et al., 2017; 李三忠等, 2019; 张岳桥和董树文, 2019; Yang et al., 2021; 张达等, 2021)。其中, 目前已发现的岩浆活动主要以基性岩脉为特征, 并与成矿无明显关系 (Qiu et al., 2019; Wu et al., 2019)。虽然相关学者通过热液脉石矿物 (萤石、方解石等)、副矿物 (磷灰石、金红石等) 及金属矿物 (毒砂、黄铁矿) 获得了右江盆地内部分卡林型金成矿作用发生在印支期 (Chen et al., 2015; Pi et al., 2017), 但近年来越来越多的高精度年代学研究显示, 上述卡林型金成矿时代主要集中于燕山早期 (Peng et al., 2003; Su et al., 2009; Chen et al., 2019)。整体而言, 现有研究对右江盆地内印支期成岩成矿的认识相对薄弱, 亟待发现新的印支期成矿事件。此次研究首次在右江盆地东南部广西西大明山矿集区内厘定出印支期铅锌成矿作用, 对理解和认识印支运动及其有关的成矿作用提供了实例支撑。

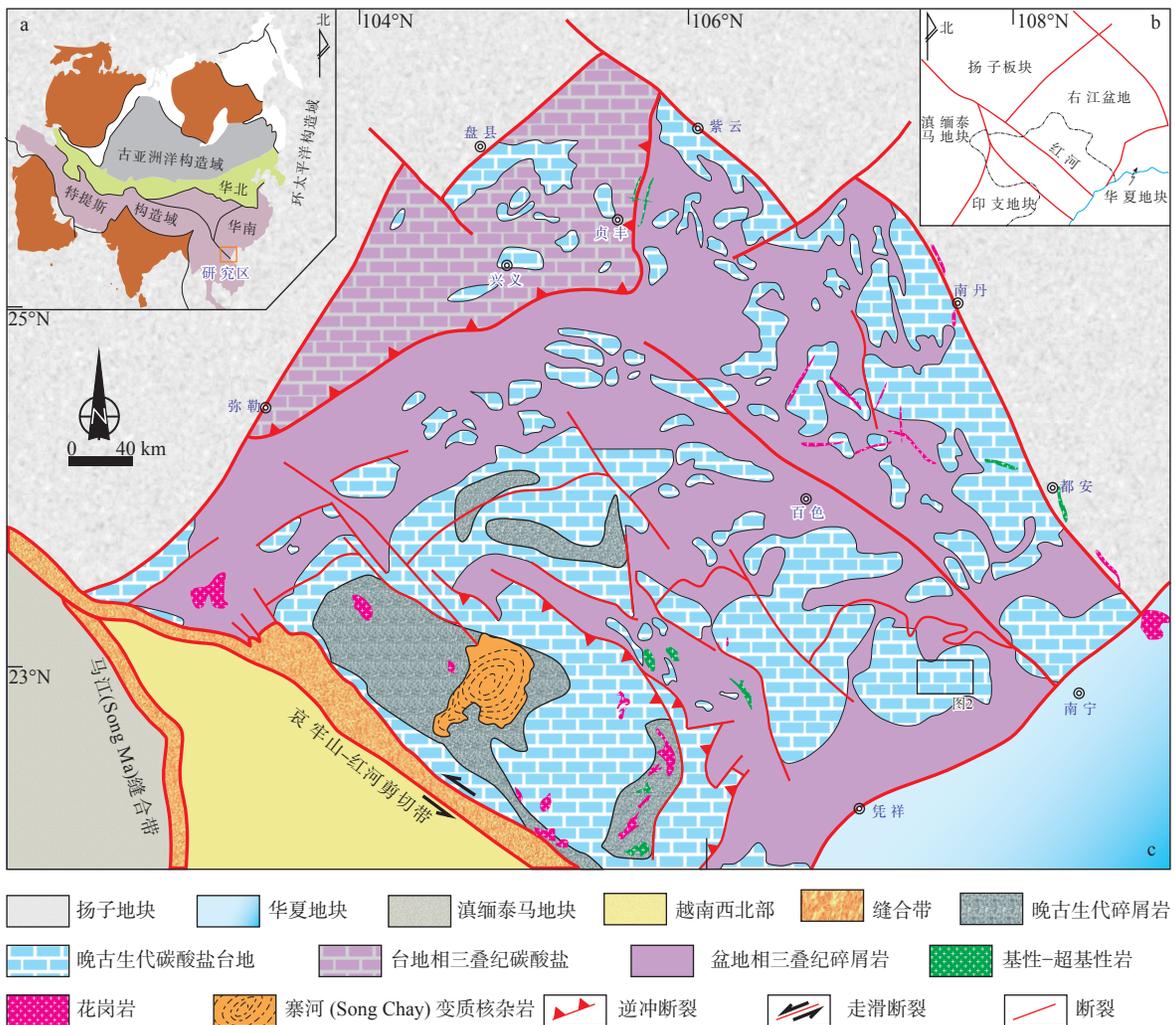
德立铅锌矿床赋矿围岩为富有机质泥灰岩, 其与西大明山矿集区内已发现的罗维钨锌砂卡岩矿床具有明显的差异。肖昌浩等 (2018a) 通过矿石铅同位素研究发现矿集区西侧铅锌矿床属于深部隐伏燕山期岩体远端低温热液矿床。然而, 从赋矿层位和共生矿物组合对比角度上讲, 矿集区西侧铅锌矿床尤其是德立铅锌矿床具有显著的有机质组份,

因此该矿床是否与已知的罗维砂卡岩型钨锌矿床同属岩浆热液成矿系统值得商榷。此外, 按燕山期岩浆成矿系统模型指导, 广西第四地质队在西大明山矿集区西侧至泗城岭一带开展找矿勘查工作, 并未取得理想效果。鉴于此, 文章选择新发现的与有机质密切相关的德立铅锌矿床为研究对象, 采用闪锌矿 Rb-Sr 法精确厘定德立铅锌矿床的成矿时代, 并探讨有机质对铅锌成矿的制约作用, 以期对矿集区找矿勘查提供科学依据。

1 地质背景

1.1 区域地质背景

大地构造位置上, 右江前陆盆地位于古特提斯和古太平洋两大构造域复合叠加区 (图 1a、1b)。该盆地地处华南板块西南部, 位于广西-贵州-云南三省及越南东北部交接部位, 是中国重要的有色金属矿产地。右江盆地整体呈不规则菱形, 其西北边界为弥勒-师宗断裂, 东北边界为紫云-南丹-宾阳断裂, 西南边界为哀牢山-红河剪切带, 东南边界为凭祥-南宁断裂 (图 1c; 肖昌浩, 2018)。该区经历了多期构造运动和陆内再造过程, 主要有加里东陆内造山、印支期古特提斯洋俯冲与碰撞、峨眉山地幔柱活动、燕山期古太平洋板块俯冲及喜马拉雅期青藏高原隆升等 (广西壮族自治区地质矿产局, 1985; Wang et al., 2010; 肖昌浩等, 2018a, 2018b, 2018c)。其中加里东运动主要由于华南板块与冈瓦纳大陆碰撞的远程效应导致华南早古生代发生陆内变形, 形成近东西向逆冲褶皱带, 造就了华南板块的基本格架, 在右江盆地以广泛的泥盆系/寒武系角度不整合及



a—研究区大地构造位置图；b—右江盆地及邻区主要大地构造边界分布图；c—右江盆地沉积建造-构造简图

图1 右江盆地沉积建造-构造简图及研究区位置 (据肖昌浩, 2018 修改)

Fig. 1 The sedimentary formation and structures of the Youjiang basin, and the location of the study area (modified from Xiao, 2018)

(a) Tectonic map of Asia showing continental blocks and bounding sutures; (b) Distribution of major tectonic boundaries of the Youjiang basin and adjacent areas; (c) Sedimentary formation and structures of the Youjiang basin

地层缺失为特征(李三忠等, 2016; Wang et al., 2020a, 2020b)。泥盆系一早三叠世以孤立的台盆相间格局为特征, 直至中三叠世由于古特提斯洋俯冲与闭合造成印支与华南板块拼合, 导致右江盆地经历强烈缩短变形, 形成北西—北西西向构造形迹。其构造变形造就了现今右江盆地的主要构造格架。随后, 研究区经历了环太平洋板块俯冲及青藏高原侧向挤出作用, 形成以断裂及抬升为主的构造变形(聂冠军等, 2020)。由于地层出露不全且缺少精确的断层年代学证据, 不同学者对印支期与燕山期在右江盆地的初始启动时限存在争议(Li et al., 2017; Wang et al., 2021; Yang et al., 2021)。右江盆地以广泛发育产于盆地边缘的锡和产于盆地内部的金等

矿床为特色。目前关于锡矿研究争议较小, 锡多金属成矿作用主要发生于燕山晚期, 少量为加里东期。近年, 广西西大明山罗维深部隐伏岩体和百色平那钨锡矿床的发现, 再次证实盆地内大规模碎屑岩覆盖区存在寻找燕山期隐伏锡钨矿的潜力。

1.2 研究区概况

1.2.1 西大明山矿集区地质概况

近年来, 广西第四地质队在广西西大明山铅—锌—银—钨多金属矿集区新发现了罗维层状砂卡岩型钨锌中型矿床、弄屯脉状铅锌大型矿床等一系列多金属矿床、矿(化)点(图2)。西大明山矿集区地层主要有寒武系小内冲组(C_{2x})和黄洞口组(C_{3h})长石石英砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩及砂岩与泥岩互层分

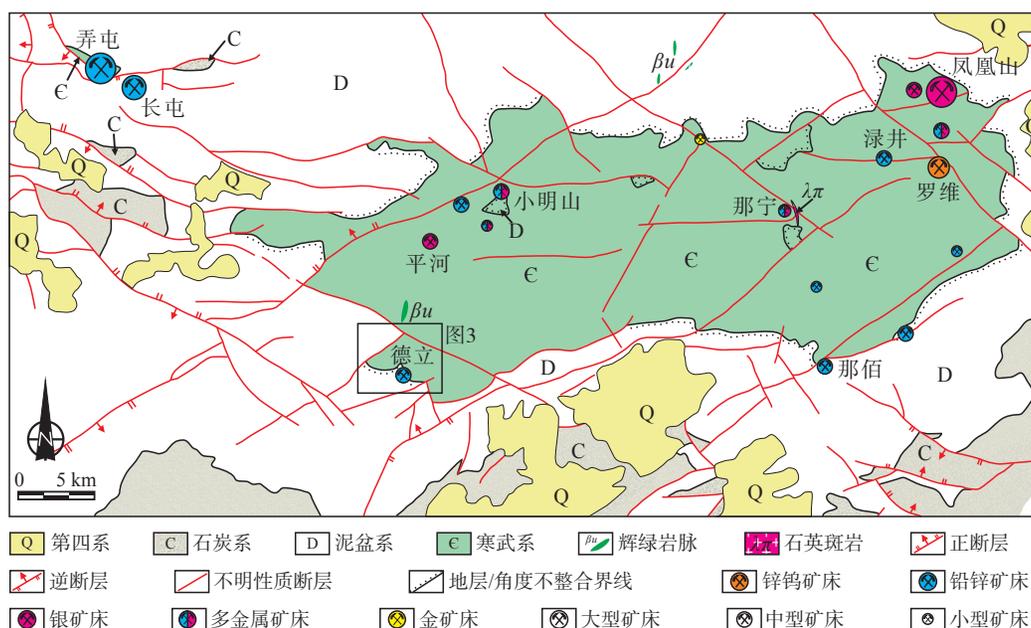


图 2 广西西大明山矿集区大地构造位置图及地质简图(据肖昌浩等, 2018a 修改)

Fig. 2 Geological sketch map of the Xidamingshan mining district along the southeastern margin of the Youjiang basin (modified from Xiao et al., 2018a)

布于矿集区中部, 总体表现为一套浅变质的复理石建造。小内冲组是矿区主要的赋矿层位, 蕴含有罗维砂卡岩型钨锌矿床、淶井铅锌矿床、凤凰山大型银矿床等。同时代斜坡相边溪组(C_2b)为中厚层状不等粒砂岩夹少量泥岩分布于矿集区西侧, 该地层是西侧铅锌矿床主要的赋矿层位, 包含有弄屯和长屯铅锌矿床。边溪组被上覆泥盆系莲花山组(D_1l)石英砂岩不整合覆盖。少量石炭系生物碎屑灰岩, 局部含燧石团块分布于矿集区南部和西侧。上述地层在南部被少量第四系沉积物不整合覆盖。

西大明山矿集区断裂发育, 以东西和北北东向断裂为主, 兼有少量北东向、南北向和北西向断裂。断裂构造控制矿床的空间产出, 如凤凰山大型独立银矿床产于近东西向断裂带内, 罗维钨锌矿床产于北东向断裂与近东西向断裂交汇处, 弄屯和长屯铅锌矿床产于北西向断裂带内。铅锌和银矿床的形状、产状等均严格受构造控制。

矿集区内的岩脉不发育。仅有少量长英质岩脉出露于那宁山顶及少量基性岩岩脉和安山岩脉断裂分布于寒武系和泥盆系地层中(图 2)。锆石 U-Pb 年龄显示那宁山顶长英质岩脉侵位年龄为 93.1 Ma, 深部隐伏的罗维二长花岗岩和黑云母花岗岩侵位年龄分别为 92.9 Ma 和 92.5 Ma(韦昌山等, 2015; 肖昌浩等, 2018c)。Hf-O 同位素研究显示矿集区岩浆岩形成于古老地壳的重熔并有幔源物质

的贡献(肖昌浩等, 2018b, 2018c)。

矿集区矿产资源丰富(图 2), 大型矿床有弄屯铅锌矿床和凤凰山银矿床, 中型矿床有罗维钨锌矿床和长屯铅锌矿床, 小型矿床或矿(化)点呈面状分布于寒武系中及寒武系与泥盆系界面附近。凤凰山银矿床是广西唯一的大型独立银矿床, 产于寒武系黄洞口组近东西向断裂破碎带中, 矿体呈脉状、透镜状产出。淶井铅锌矿位于西大明山复式背斜北东部, 那佰铅锌矿位于西大明山复式背斜东段南翼近倾末部位, 小明山铅锌矿位于西大明山复式背斜西段小明山背斜核部。目前发现的铅锌矿体多呈脉状、透镜状产于寒武系或寒武系与下泥盆统之间的断裂破碎带中, 矿体产状受断裂控制明显, 产状陡倾, 形态多为脉状和透镜状, 属中低温热液充填型矿床。弄屯和长屯铅锌矿床产于西大明山矿集区西侧古雾岭背斜近核部偏南翼一带。前者产于寒武系边溪组东西向断裂破碎带中, 而后者产于寒武系与泥盆系不整合接触带中。二者矿体均呈透镜状产出。目前罗维、那宁发现的钨铋矿(化)点空间分布受出露地表的石英斑岩控制, 有两种钨铋矿体类型, 一类为蚀变岩型(砂卡岩型), 另一类为石英脉型钨矿脉, 钨铋矿体(脉)产于石英脉或次级断裂、裂隙蚀变带中, 呈脉状、似层状产出, 属高温热液充填型。然而除罗维砂卡岩矿床具有明确的成矿时代及矿床成因外, 矿集区其它铅锌矿床研

究程度低, 缺乏精确年代学数据, 严重制约了对矿集区成矿系统的全面认识。

1.2.2 广西西大明山矿集区德立铅锌矿床

德立铅锌矿床是2017年广西第四地质队在西大明山复式背斜内的小明山背斜的南西端发现的一种与有机质关系密切的铅锌矿床。矿区铅锌矿体产于寒武系小内冲组一段(C_{2x}^1)及上覆下泥盆统莫丁组(D_{1m})富有机质炭质泥灰岩中(图3, 图4)。

矿区出露地层为寒武系小内冲组(C_{2x})、黄洞组(C_{3h})和泥盆系莲花山组(D_{1l})、那高岭组(D_{1n})、郁江组(D_{1y})、莫丁组(D_{1m})、那叫组(D_{1-2nj})。地表主矿体沿北东向断裂平行展布于寒武系小内冲组内。钻孔揭露显示莫丁组及泥盆系与寒武系不整合界面是重要的赋矿层位。莫丁组主要岩性为深灰色—黑色生物碎屑灰岩、泥灰岩、碳硅质泥岩。矿区断裂构造按走向可分北西向、近东西向、

近南北向及北东向四组, 矿体主要产于北东向断裂带内(图3)。主要含矿构造产状较陡为 $327^\circ \angle 72^\circ$, 断裂带内矿石品位变化较大, 出现富集段和贫化段。矿区发现I号、II号、III号3个铅锌矿体, 呈脉状、透镜状、似层状产出(图4), 其中, III号铅锌矿体可见似层状矿体, 厚度4.90 m, 平均品位Pb 0.85%、Zn 7.69%。矿石呈铅灰色、灰褐色, 呈块状、脉状、星点状、角砾状等; 矿物组成主要有方铅矿、闪锌矿, 少量黄铁矿、黄铜矿、石英。围岩蚀变有黄铁矿化、硅化。岩浆岩少, 仅在矿区外的南东角边出露一辉绿岩脉。

2 采样和测试方法描述

2.1 样品采集及描述

此次采集广西西大明山矿集区德立铅锌矿床含

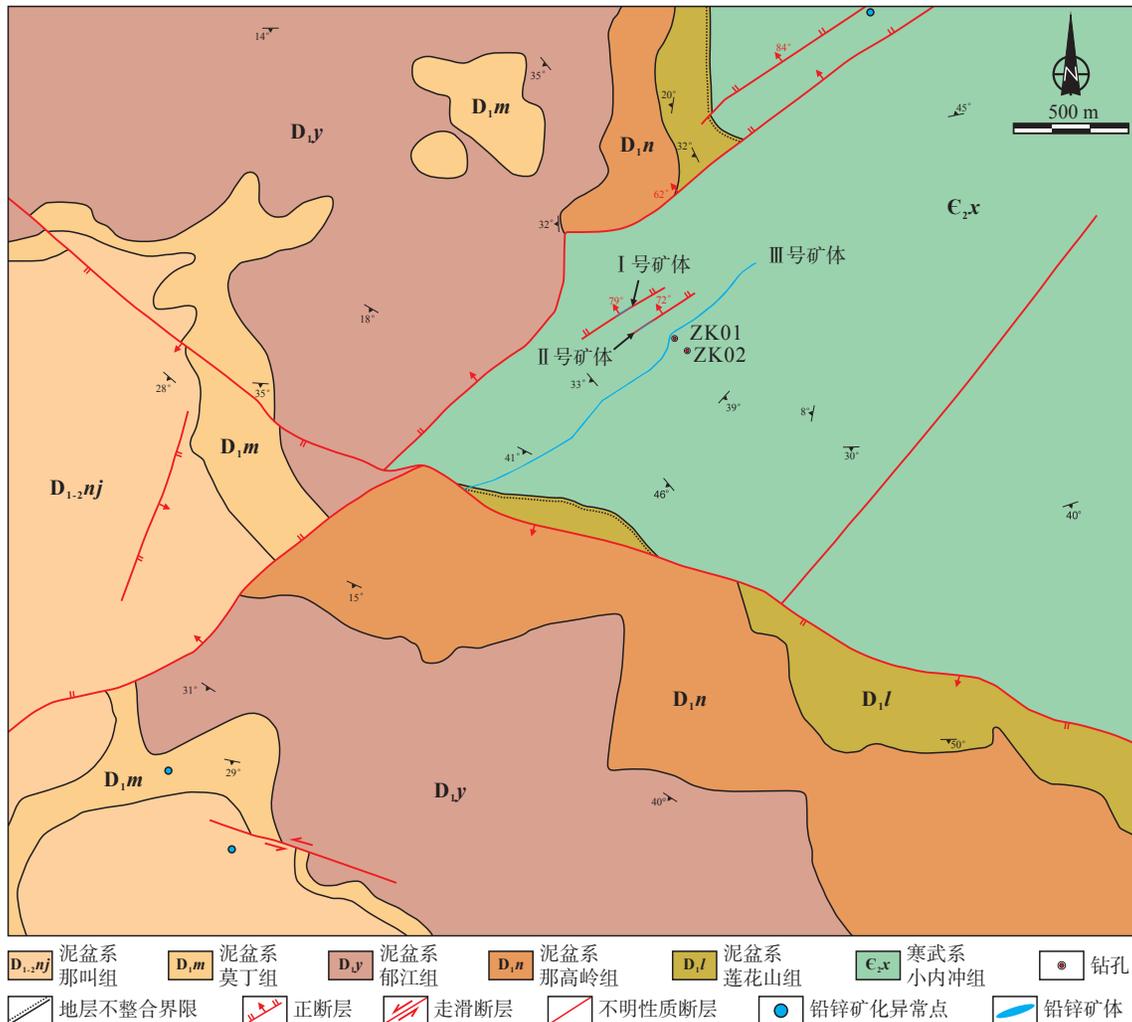
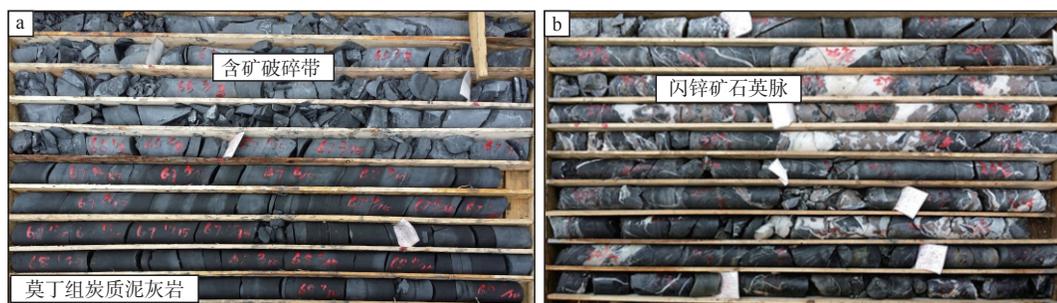


图3 广西西大明山矿集区德立铅锌矿床地质图

Fig. 3 Geological map of the Deli Pb-Zn deposit, Xidamingshan mining district



a—ZK01 含矿破碎带, 底板为富有机质碳质泥灰岩 (ZK01H26-1 采自第 13 箱 112.5 m 处); b—ZK02 含矿破碎带, 石英闪锌矿脉产于破碎带

图 4 广西西大明山矿集区德立铅锌矿床钻孔中含矿破碎带特征

Fig. 4 Characteristics of the ore-bearing fractures from the drill cores in the Deli Pb-Zn deposit, Xidamingshan mining district

(a) Ore-bearing fractures of ZK01 with organic-rich carbonaceous marl at the base (ZK01H26-1 sampled from the 13th box at 112.5 m); (b) Ore-bearing fractures of ZK02 with quartz sphalerite veins produced within

矿破碎带中 6 件石英脉型闪锌矿石开展 Rb-Sr 测年, 样品分别采自 ZK01 岩芯 109.1~112.5 m 和 ZK02 岩芯 38.20~43.98 m 处, 闪锌矿呈淡棕色与石英-黄铁矿共生 (图 4)。ZK01 中 3 件样品 (ZK01-1—ZK01-3 分别采自 109.1 m、110.5 m 和 112.5 m), 为产于莫丁组富有机质泥灰岩破碎带中石英脉型石矿体, 主要由浸染状闪锌矿、黄铁矿组成。ZK02 中 3 件样品 (ZK02-1—ZK02-3 分别采自 39 m、41.5 m 和 43 m), 为产于莫丁组富有机质泥灰岩破碎带中石英脉型石矿体, 矿体中金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿。采样位置矿体总体产于强硬岩层中间软弱层, 岩石破碎, 具硅化、褐铁矿化、黄铁矿化, 多见石英、黄铁矿、闪锌矿 (方铅矿) 呈脉状、团块状、星点状等充填于断裂破碎带及裂隙中。此次工作对 ZK01 第 13 箱 112.5 m 处矿体底板富有机质泥灰岩样品 (ZK01H26-1) 开展岩石有机碳 (TOC) 含量测试。富有机质泥灰岩岩芯箱中可见厚约 13 m, 采样时炭质污手明显, 局部肉眼可见生物碎屑。

2.2 测试方法描述

闪锌矿 Rb-Sr 法测年第一步将野外采集的闪锌矿机械破碎至 250~400 μm , 然后人工分选闪锌矿至纯度 99% 以上, 并用高纯水清洗除去杂质, 最后将净化的闪锌矿样品用玛瑙研钵粉碎至 80 μm 待测。样品 Rb-Sr 同位素上机测试在中国地质调查局天津地质调查中心 Triton 型热电质谱上完成。样品溶解方法、流程参见有关文献 (Liu et al., 2019)。上机溶液测定以 $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=8.375209$ 为标准开展质量分馏校正。国家标样 NIST SRM987 标准溶液作为监控样, 测定结果为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710242\pm 0.000008 (2\sigma)$; 国际岩石标样 BCR-2 用于监控分析方法的可靠性, BCR-2 测定结果为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.705015\pm 0.000009 (2\sigma)$ 。

全流程空白: Rb 小于 $103\times 10^{-12}\text{g}$, Sr 小于 $152\times 10^{-12}\text{g}$ 。此次采用 ISOPLOT 4.0 计算 Rb-Sr 等时线年龄。

样品 (ZK01H26-1) 岩石有机碳 (TOC) 含量测试在长江大学资源与环境学院实验中心 CS-230 碳硫分析仪上完成。结果显示 TOC 含量可达 7.75%, 硫的含量为 1.21%。

3 结果

闪锌矿 Rb-Sr 同位素测年数据见表 1。ZK02 中样品中 Rb 和 Sr 含量分别为 0.2068~1.5330 $\mu\text{g/g}$ 和 0.2433~5.1060 $\mu\text{g/g}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 0.1175~3.2600 和 0.730071~0.739322。相对而言, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化较小。ZK01 样品中 Rb 和 Sr 含量分别为 0.1049~0.4098 $\mu\text{g/g}$ 和 0.1798~6.9620 $\mu\text{g/g}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 0.1707~3.0990 和 0.728470~0.731318。相比较, ZK02 中闪锌矿样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化较大。6 件样品点在 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 投图上, 其中 4 件闪锌矿样品显示一定线性关系, 另外 2 件样品 (ZK01-1、ZK01-2) 相对较为分散 (图 5)。ZK02 的 3 件样品可以获得较好的等时线年龄 $207.1\pm 0.6\text{Ma}$ (MSWD = 1.5), 初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.729728 ± 0.000018 (图 5)。年龄误差小, 可以代表 ZK02 中闪锌矿形成年龄。

4 讨论

4.1 德立铅锌矿床成矿时代及物质来源

铅锌矿床的成矿年龄一直是矿床学研究的一个难点。近年, 通过矿石矿物 (闪锌矿及共生黄铁矿) 和相关脉石矿物 (方解石、萤石等) Rb-Sr 和 Sm-Nd

表 1 德立铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素测试结果

Table 1 Rb-Sr isotopic analyses of sphalerites from the Deli Pb-Zn deposit of the Xidamingshan mining district

样号	矿物名称	Rb/($\mu\text{g/g}$)	Sr/($\mu\text{g/g}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	2σ
ZK02-1	闪锌矿	0.2068	5.1060	0.1175	0.730071	0.730068	0.000006
ZK02-2	闪锌矿	1.5330	2.1260	2.0920	0.735899	0.735837	0.000006
ZK02-3	闪锌矿	0.2733	0.2433	3.2600	0.739322	0.739226	0.000017
ZK01-1	闪锌矿	0.2195	0.2054	3.0990	0.728470	0.728379	0.000015
ZK01-2	闪锌矿	0.1049	0.1798	1.6920	0.729563	0.729513	0.000011
ZK01-3	闪锌矿	0.4098	6.9620	0.1707	0.731318	0.731313	0.000009

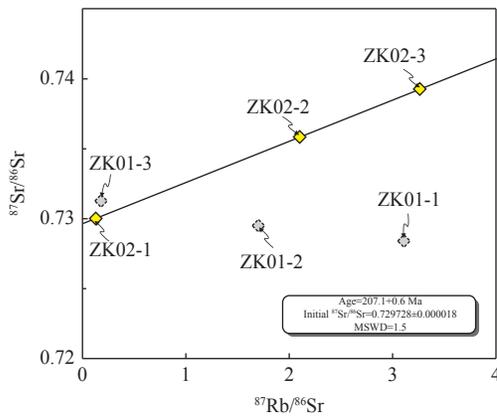


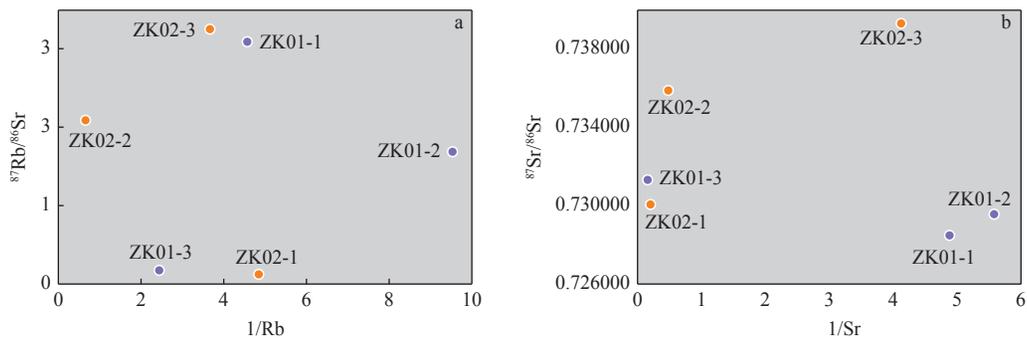
图 5 右江盆地东南缘西大明山矿集区德立铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线年龄

Fig. 5 Rb-Sr isochron ages of sphalerites from the Deli Pb-Zn deposit of the Xidamingshan mining district, southeast of the Youjiang basin

同位素测年来直接获得矿床形成年龄成为可能 (Leach et al., 2010)。大量闪锌矿 Rb-Sr 同位素体系成功的案例表明,该方法能有效厘定矿床形成时代 (Leach et al., 2010)。此次研究选择测年的样品来自两个钻孔。其中 ZK02 采样处矿化强度高,矿石品位高,其闪锌矿样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 较为稳定;而 ZK01 采样

处矿化较弱,破碎带内围岩成分更多,其闪锌矿样品 Sr 同位素比值变化较大。散点图显示样品之间 $1/\text{Rb}$ 和 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 及 $1/\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 不存在明显线性关系,表明闪锌矿结晶过程中初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值总体保持稳定 (Petke and Diamond, 1996; 图 6)。那么 ZK01 中闪锌矿样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化较大可能是由于有不同来源 Sr 混合所造成。其次,通过对测试 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值换算到 207.1 Ma 前的初始 Sr 同位素比值来看, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 与测试数据在误差范围内基本相同,表明闪锌矿形成过程中基本可以排除放射性 ^{87}Rb 衰变对 Sr 同位素造成的影响。另外, ZK02 中闪锌矿同位素计算获得平均标准权重偏差小于 3,说明该数据可信度较高,反应了石英-闪锌矿脉的形成时代。

目前,广西西大明山矿集区一致被认为存在深部与隐伏岩体有关的矽卡岩型钨锌矿和浅表热液脉型的铅锌矿成矿系统 (肖昌浩等, 2018a, 2018b, 2018c; Feng et al., 2021)。以往详细的成岩成矿年代学分析表明,罗维隐伏岩体锆石 U-Pb 年代学显示成矿母岩形成于晚白垩世 (92~95 Ma)。矽卡岩型白钨矿 U-Pb 年龄为 92 ± 5.9 Ma (Tang et al., 2022), 云英岩化白云母 Ar-Ar 年龄为 92 ± 3 Ma 及热液脉

a— $1/\text{Rb}-^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$; b— $1/\text{Sr}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图 6 德立铅锌矿床闪锌矿 $1/\text{Rb}-^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $1/\text{Sr}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 投图Fig. 6 Plots of $1/\text{Rb}-^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ and $1/\text{Sr}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of sphalerites from the Deli Pb-Zn deposit(a) The $1/\text{Rb}-^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ plot; (b) The $1/\text{Sr}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plot

锌矿化,该类型矿化是否与德立铅锌矿床进行对比值得关注。

此研究首次在西明山矿集区厘定印支期铅锌成矿作用,且该铅锌成矿作用与深部罗维隐伏岩体成矿时代和 Sr 同位素组成具有明显差异,暗示西大明山矿集区除具有燕山期中高温—低温成矿系统外,在深部还可能存在印支期岩体和中高温—低温热液成矿系统,在今后找矿勘查工程中应予以重视和区分。综上,在今后找矿勘查过程中应加强对近岩体铅锌矿床和远岩体铅锌矿床的精细对比研究工作,为两套成矿系统的确立提供更加充足的证据,为西大明山西侧至泗城岭一带找矿勘查提供科学依据。

5 结论

(1)右江盆地东南缘西大明山矿集区德立铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 207 Ma 左右,表明矿床形成于晚三叠世。德立铅锌矿床闪锌矿具有较高的 Sr 同位素初始比值,与矿集区及周边晚白垩世长英质岩体、晚侏罗世高镁安山岩低 Sr 同位素组成具有明显差异,而与广西三叠纪长英质岩体具有相似的 Sr 同位素组成,表明德立铅锌矿床可能与三叠纪岩浆关系密切,也暗示了西大明山矿集区深部或周边存在隐伏三叠纪岩浆岩。

(2)广西西大明山矿集区德立铅锌矿床形成于晚三叠世,与有机质关系密切。矿集区内寒武系和泥盆系不整合面硅钙破碎带是寻找与有机质有关的铅锌矿床的有利区。矿集区及周缘可能存在印支期铅锌和燕山期岩浆热液有关多金属成矿作用叠加。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region, 1985. Regional geological survey of Guangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-853. (in Chinese)
- CHEN H, DENG Q H, 1997. Genesis of Guangxi Fenghuangshan silver deposit[J]. *Guangxi Geology*, 10(2): 37-44. (in Chinese with English abstract)
- CHEN M H, BAGAS L, LIAO X, et al., 2019. Hydrothermal apatite SIMS Th-Pb dating: constraints on the timing of low-temperature hydrothermal Au deposits in Nibao, SW China[J]. *Lithos*, 324-325: 418-428.
- CHEN M H, MAO J W, LI C, et al., 2015. Re-Os isochron ages for arsenopyrite from Carlin-like gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi "golden triangle", southwestern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 64: 316-327.
- CUI B, ZHAI Y S, MENG Y F, et al., 2000. Au-Ag ore-forming system in Dayaoshan-Xidamingshan, Guangxi, China[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 25(4):352-355; 396. (in Chinese with English abstract)
- FAURE M, LEPVRIER C, NGUYEN V V, et al., 2014. The South China block-Indochina collision: where, when, and how?[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 260-274.
- FAURE M, LIN W, CHU Y, et al., 2016. Triassic tectonics of the southern margin of the South China Block[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 348(1): 5-14.
- FAURE M, NGUYEN V V, HOAI L T T, et al., 2018. Early Paleozoic or Early-Middle Triassic collision between the South China and Indochina Blocks: the controversy resolved? Structural insights from the Kon Tum massif (Central Vietnam)[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 166: 162-180.
- FENG Y Y, FU W, FENG Z H, et al., 2021. Petrogenesis and metallogenesis of an extraordinary deeply hidden granite pluton overlain by W-Zn-Pb-Ag-mineralized roof: example from Xidamingshan district, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 130: 103932.
- GAN C S, WANG Y J, BARRY T L, et al., 2020. Late Jurassic high-Mgandesites in the Youjiang Basin and their significance for the southward continuation of the Jiangnan Orogen, South China[J]. *Gondwana Research*, 77: 260-273.
- GAN C S, WANG Y J, ZHANG Y Z, et al., 2022. Petrogenesis of Late Cretaceous granites and implications for W-Sn mineralization in the Youjiang Basin, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 144: 104846.
- GU X X, ZHANG Y M, LI B H, et al., 2010. The coupling relationship between metallization and hydrocarbon accumulation in sedimentary basins[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 83-105. (in Chinese with English abstract)
- HOEFS J, 2015. Stable isotope geochemistry[M]. 7th ed. Cham: Springer International Publishing: 1-285.
- HSIEH P S, CHEN C H, YANG H J, et al., 2008. Petrogenesis of the Nanling Mountains granites from South China: constraints from systematic apatite geochemistry and whole-rock geochemical and Sr-Nd isotope compositions[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33(5-6): 428-451.
- LEACH D L, SANGSTER D F, KELLEY K D, et al., 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective[M]//Economic geology: one hundredth anniversary volume. USA: Society of Economic Geologists: 561-608.
- LEACH D L, SONG Y C, HOU Z Q, 2017. The world-class Jinding Zn-Pb deposit: ore formation in an evaporite dome, Lanping Basin, Yunnan, China[J]. *Mineralium Deposita*, 52(3): 281-296.
- LEACH D L, TAYLOR R D, FEY D L, et al., 2010. A deposit model for Mississippi valley-type lead-zinc ores[R]. Reston: U. S. Geological Survey: 1-52.
- LI J H, ZHAO G C, JOHNSTON S T, et al., 2017. Permo-Triassic structural evolution of the Shiwandashan and Youjiang structural belts, South China[J]. *Journal of Structural Geology*, 100: 24-44.
- LI S Z, LI X Y, ZHAO S J, et al., 2016. Global Early Paleozoic Orogens (III): Intracontinental orogen in South China[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 46(4): 1005-1025. (in Chinese with English abstract)

- English abstract)
- LI S Z, CAO X Z, WANG G Z, et al., 2019. Meso-Cenozoic tectonic evolution and plate reconstruction of the Pacific plate[J]. *Journal of Geomechanics*, 25(5): 642-677. (in Chinese with English abstract)
- LI Y J, WEI J H, SANTOSH M, et al., 2016. Geochronology and petrogenesis of Middle Permian S-type granitoid in southeastern Guangxi Province, South China: implications for closure of the eastern Paleo-Tethys[J]. *Tectonophysics*, 682: 1-16.
- LI Z Q, DONG B L, LEI Y P, et al., 1998. Lead isotope geochemistry of turbidite-type silver deposit at Fenghuangshan, Guangxi, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(4): 473-482.
- LIU W G, LI Z D, WEI S, et al., 2019. Rapid separation and precise determination of strontium isotopic from geological samples with high rubidium/strontium ratios[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 47(7): 1054-1060.
- LIU W H, SPINKS S C, GLENN M, et al., 2021. How carbonate dissolution facilitates sediment-hosted Zn-Pb mineralization[J]. *Geology*, 49(11): 1363-1368.
- NIE G J, YU H M, HE S, et al., 2020. Physical simulation analysis of the Cenozoic fault activities and structural deformation mechanism of the Youjiang area[J]. *Journal of Geomechanics*, 26(3): 316-328. (in Chinese with English abstract)
- PENG J T, HU R Z, JIANG G H, 2003. Samarium-Neodymium isotope system of fluorites from the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province: constraints on the mineralizing age and ore-forming materials' sources[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 785-791. (in Chinese with English abstract)
- PETKE T, DIAMOND L W, 1996. Rb-Sr dating of sphalerite based on fluid inclusion-host mineral isochrones: a clarification of why it works[J]. *Economic Geology*, 91(5): 951-956.
- PI Q H, HU R Z, XIONG B, et al., 2017. In situ SIMS U-Pb dating of hydrothermal rutile: reliable age for the Zhesang Carlin-type gold deposit in the golden triangle region, SW China[J]. *Mineralium Deposita*, 52(8): 1179-1190.
- QI C S, DENG X G, LI W X, et al., 2007. Origin of the Darongshan-Shiwandashan S-type granitoid belt from southeastern Guangxi: geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 403-412. (in Chinese with English abstract)
- QIU L, YANG W X, YAN D P, et al., 2019. Geochronology of early Mesozoic diabase units in southwestern China: Metallogenic and tectonic implications[J]. *Geological Magazine*, 156(7): 1141-1156.
- SU W C, HU R Z, XIA B, et al., 2009. Calcite Sm-Nd isochron age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China[J]. *Chemical Geology*, 258(3-4): 269-274.
- SUN P C, LI C, ZHOU L M, et al., 2021. Dating metallogenic age of Jinding Pb-Zn deposit in Yunnan: Evidence from Re-Os Isotope of bitumen[J]. *Earth Science*, 46(12): 4247-4259. (in Chinese with English abstract)
- TANG Y W, HAN J J, LAN T G, et al., 2022. Two reliable Calibration methods for accurate *in situ* U-Pb dating of Scheelite[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 37(2): 358-368.
- WANG Q F, DENG J, LIU X F, et al., 2010. Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(6): 701-712.
- WANG Q F, YANG L, XU X J, et al., 2020a. Multi-stage tectonics and metallogeny associated with Phanerozoic evolution of the South China Block: a holistic perspective from the Youjiang Basin[J]. *Earth-Science Reviews*, 211: 103405.
- WANG Y J, WANG Y, ZHANG Y Z, et al., 2021. Triassic two-stage intra-continental orogenesis of the South China Block, driven by Paleotethyan closure and interactions with adjoining blocks[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 206: 104648.
- WANG Y N, LI G J, WANG Q F, et al., 2020b. Early Paleozoic granitoids from South China: implications for understanding the Wuyi-Yunkai orogen[J]. *International Geology Review*, 62(2): 243-261.
- WEI C S, LE X W, XIAO C H, et al., 2015. Methods of structure and alteration survey and establishment of prediction model[R]. Beijing: Institute of Geomechanics, CAGS: 1-264. (in Chinese)
- WU S Y, HOU L, JOWITT S M, et al., 2019. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of Late Triassic dolerites associated with the Nibao gold deposit, Youjiang Basin, southwestern China: implications for post-collisional magmatism and its relationships with Carlin-like gold mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 111: 102971.
- WU Y, ZHANG C Q, MAO J W, et al., 2013. The relationship between oil-gas organic matter and MVT Mineralization: a case study of the Chipu Lead-zinc Deposit, Sichuan[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(4): 425-436. (in Chinese with English abstract)
- XIAO C H, 2018. Characteristics of ore-controlling structures and the dynamic setting of the Danchi Metallogenic Belt, South China[R]. Beijing: China University of Geosciences: 1-109. (in Chinese with English abstract)
- XIAO C H, LIU H, SHEN Y K, et al., 2018a. Lead isotope geochemical characteristics of Xidamingshan ore concentration area on the southeastern margin of Youjiang fold belt, and their significance[J]. *Mineral Deposits*, 37(5): 1037-1051. (in Chinese with English abstract)
- XIAO C H, SHEN Y K, LIU H, et al., 2018b. Oxygen isotopic compositions and geological significance of zircons from the Yanshanian felsic intrusions in the Xidamingshan cluster, southeastern margin of the Youjiang fold belt, South China: in situ SHRIMP analysis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(5): 1441-1452. (in Chinese with English abstract)
- XIAO C H, SHEN Y K, WEI C S, et al., 2018c. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, Hf isotopic composition and Ce⁴⁺/Ce³⁺ characteristics of the Yanshanian acid magma in the Xidamingshan cluster, southeastern margin of the Youjiang fold belt, Guangxi[J]. *Geoscience*, 32(2): 289-304. (in Chinese with English abstract)
- YANG B, PENG S L, LI S R, et al., 2007. Metallogenic series and metallogenic belt of nonferrous metals in Guangxi[J]. *Mineral Resources and Geology*, 21(1): 8-11. (in Chinese with English abstract)
- YANG W X, YAN D P, QIU L, et al., 2021. Formation and forward propagation of the Indosinian foreland fold-thrust belt and Nanpanjiang Foreland Basin in SW China[J]. *Tectonics*, 40(4): e2020TC006552.
- ZHANG D, LI F, HE X L, et al., 2021. Mesozoic tectonic deformation and its rock/ore-control mechanism in the important metallogenic belts in South China[J]. *Journal of Geomechanics*, 27(4): 497-528. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Y Q, DONG S W, 2019. East Asia multi-plate convergence in late Mesozoic and the development of continental tectonic systems [J]. *Journal of Geomechanics*, 25(5): 613-641. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

陈海, 邓琼慧, 1997. 广西凤凰山银矿床成因探讨 [J]. *南方国土资源*, 10(2): 37-44.

崔彬, 翟裕生, 蒙义峰, 等, 2000. 广西大瑶山-西大明山金银成矿系统研究 [J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 25(4): 352-355, 396.

顾雪祥, 章永梅, 李葆华, 等, 2010. 沉积盆地中金属成矿与油气成藏的耦合关系 [J]. *地学前缘*, 17(2): 83-105.

广西壮族自治区地质矿产局, 1985. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社: 1-853.

李三忠, 曹现志, 王光增, 等, 2019. 太平洋板块中—新生代构造演化及板块重建 [J]. *地质力学学报*, 25(5): 642-677.

李三忠, 李玺瑶, 赵淑娟, 等, 2016. 全球早古生代造山带 (III): 华南陆内造山 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 46(4): 1005-1025.

李泽琴, 董宝林, 雷英凭, 等, 1998. 广西凤凰山浊积岩型银矿床铅同位素地球化学: 成矿物质来源 [J]. *矿物学报*, 18(4): 473-482.

聂冠军, 于红梅, 何声, 等, 2020. 右江地区新生代断裂活动及构造变形机制的物理模拟分析 [J]. *地质力学学报*, 26(3): 316-328.

彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪, 2003. 贵州晴隆锑矿床中萤石的 Sr 同位素地球化学 [J]. *高校地质学报*, 9(2): 244-251.

祁昌实, 邓希光, 李武显, 等, 2007. 桂东南大容山—十万大山 S 型花岗岩带的成因: 地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约 [J]. *岩石学报*,

23(2): 403-412.

孙鹏程, 李超, 周利敏, 等, 2021. 云南金顶铅锌矿成矿时代厘定: 来自沥青 Re-Os 同位素证据 [J]. *地球科学*, 46(12): 4247-4259.

韦昌山, 乐兴文, 肖昌浩, 等, 2015. 广西西大明山地区构造-蚀变调查方法总结及找矿预测地质模型构建项目报告 [R]. 北京: 中国地质科学院地质力学研究所: 1-264.

吴越, 张长青, 毛景文, 等, 2013. 油气有机质与 MVT 铅锌矿床的成矿: 以四川赤普铅锌矿为例 [J]. *地球学报*, 34(4): 425-436.

肖昌浩, 2018. 华南丹池锡多金属多金属成矿带控矿构造特征和构造动力学背景 [R]. 北京: 中国地质大学: 1-109.

肖昌浩, 刘欢, 申玉科, 等, 2018a. 右江褶皱带东南缘西大明山矿集区铅同位素地球化学特征及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 37(5): 1037-1051.

肖昌浩, 申玉科, 刘欢, 等, 2018b. 右江褶皱带东南缘西大明山矿集区燕山期长英质岩浆锆石 SHRIMP 原位氧同位素组成与地质意义 [J]. *岩石学报*, 34(5): 1441-1452.

肖昌浩, 申玉科, 韦昌山, 等, 2018c. 广西右江褶皱带东南缘西大明山矿集区燕山期酸性岩浆锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和 Ce(IV)/Ce(III) 特征 [J]. *现代地质*, 32(2): 289-304.

杨斌, 彭省临, 李水如, 等, 2007. 广西有色金属成矿系列与成矿区带 [J]. *矿产与地质*, 21(1): 8-11.

张达, 李芳, 贺晓龙, 等, 2021. 华南重要成矿区带中生代构造变形及其控岩控矿机理 [J]. *地质力学学报*, 27(4): 497-528.

张岳桥, 董树文, 2019. 晚中生代东亚多板块汇聚与大陆构造体系的发展 [J]. *地质力学学报*, 25(5): 613-641.