

黔南独山地区早泥盆世事件沉积记录及地质意义

韩 雪¹⁾, 刘凌云^{1)*}, 陈 仁¹⁾, 唐佐其¹⁾,
叶太平²⁾, 代雅然¹⁾, 陈建书¹⁾

1) 贵州省地质调查院, 贵州贵阳 550081;

2) 贵州省地质矿产中心实验室, 贵州贵阳 550018

摘 要: 事件沉积是地质学研究热点之一。黔南独山地区早泥盆世丹林组沉积时期事件沉积记录为华南板块海西早期构造演化再研究提供了新的线索。通过路线调查、剖面实测、岩相解析、实验测试查明丹林组存在砂岩液化、自形-半自形独居石及金红石、团块状黄铁矿、锑异常层等事件沉积记录。经研究本文认为, 上述现象是由于黔南独山地区早泥盆世丹林组沉积时期可能存在潜火山活动引起, 该潜火山活动导致了同时期的热事件沉积, 并表明事件沉积环境为热水盆地。分布于独山地区的锑、铅、锌、铁、金矿化均赋存于泥盆系地层之中, 且具有显著的层控特点; 故而该地区的多金属矿化很可能与华南板块海西早期的构造-岩浆活动热事件启动密切相关。

关键词: 早泥盆世; 事件沉积; 多金属矿化; 黔南独山

中图分类号: P512.2; P548 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2021.091401

Early Devonian Event-stratigraphic Records and Geological Implications in the Dushan Area, Southern Guizhou Province

HAN Xue¹⁾, LIU Ling-yun^{1)*}, CHEN Ren¹⁾, TANG Zuo-qi¹⁾,
YE Tai-ping²⁾, DAI Ya-ran¹⁾, CHEN Jian-shu¹⁾

1) Guizhou Geological Survey, Guiyang, Guizhou 550081;

2) Guizhou Central Laboratory of Geology and Mineral Resources, Guiyang, Guizhou 550018

Abstract: Event sedimentation is still one of the hotspots of our geological society. The event sedimentation of the Upper Devonian Dalin Formation, Dushan area of southern Guizhou, provides new insights into the early Hercynian tectonic evolution of the South China Block. Field observations, profile measurements, petrographic studies, and some analyses demonstrated that the sandstone of the lowest part of the Dalin Formation had experienced liquefaction, during which a few euhedral or semi-euhedral monazite and rutile along with a large clump of pyrite were formed. Moreover, the Lower Devonian strata display regional antimony anomaly. Synthesizing available data, we suggest that there was likely hidden Early Devonian volcanic activity in the Dushan area, southern Guizhou. This hidden volcanic activity was recorded by the thermohydrous sediments. Thus, the lowest segment of the Dalin Formation likely formed in hot water basin environment. Antimony, lead, zinc, and iron mineralization in the Dushan area are all limited in the lower Devonian strata. Obviously, the polymetallic mineralization was controlled by stratigraphy and closely related to early Hercynian tectonism, which has affected a wide region of the South China Block.

Key words: Early Devonian; event deposition; polymetallic mineralization; Dushan, southern Guizhou Province

本文由中国地质调查局地质调查项目“沉积岩鉴定手册”(编号: DD20190370-34)、贵州省科技支撑计划项目(编号: 黔科合支撑〔2020〕4Y034 号)、贵州省地质矿产勘查开发局项目(编号: 黔地矿科合〔2017〕29 号、黔地矿科合〔2018〕29 号)联合资助。

收稿日期: 2021-06-24; 改回日期: 2021-09-09; 网络首发日期: 2021-09-16。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 韩雪, 女, 1991 年生。硕士, 工程师。主要从事岩石学、矿物学、矿床学及区域地质调查研究工作。通讯地址: 贵州省贵阳市观山湖区长岭北路 171 号地质科技园。E-mail: 645493055@qq.com。

*通讯作者: 刘凌云, 女, 1983 年生。硕士, 高级工程师。主要从事地貌学、第四系地质学、旅游地质研究工作。E-mail: 30372618@qq.com。

《Cyclic and Event Stratification》(Einsele and Seilacher, 1982)的出版, 给沉积学研究注入了新的思想。事件沉积是各种地质事件的记录, 事件沉积特征的多样化是地质事件的种类和规模的大小差异所导致; 对它们的研究手段也随之不同。白垩纪末期的陨石冲击事件是一种极为罕见的地质事件, 它在第三系/白垩系的界限沉积层中留下了痕迹。事件沉积学对这些沉积层进行了稀土元素及氧、碳同位素研究, 为该罕见事件地质诠释做出了重要贡献。

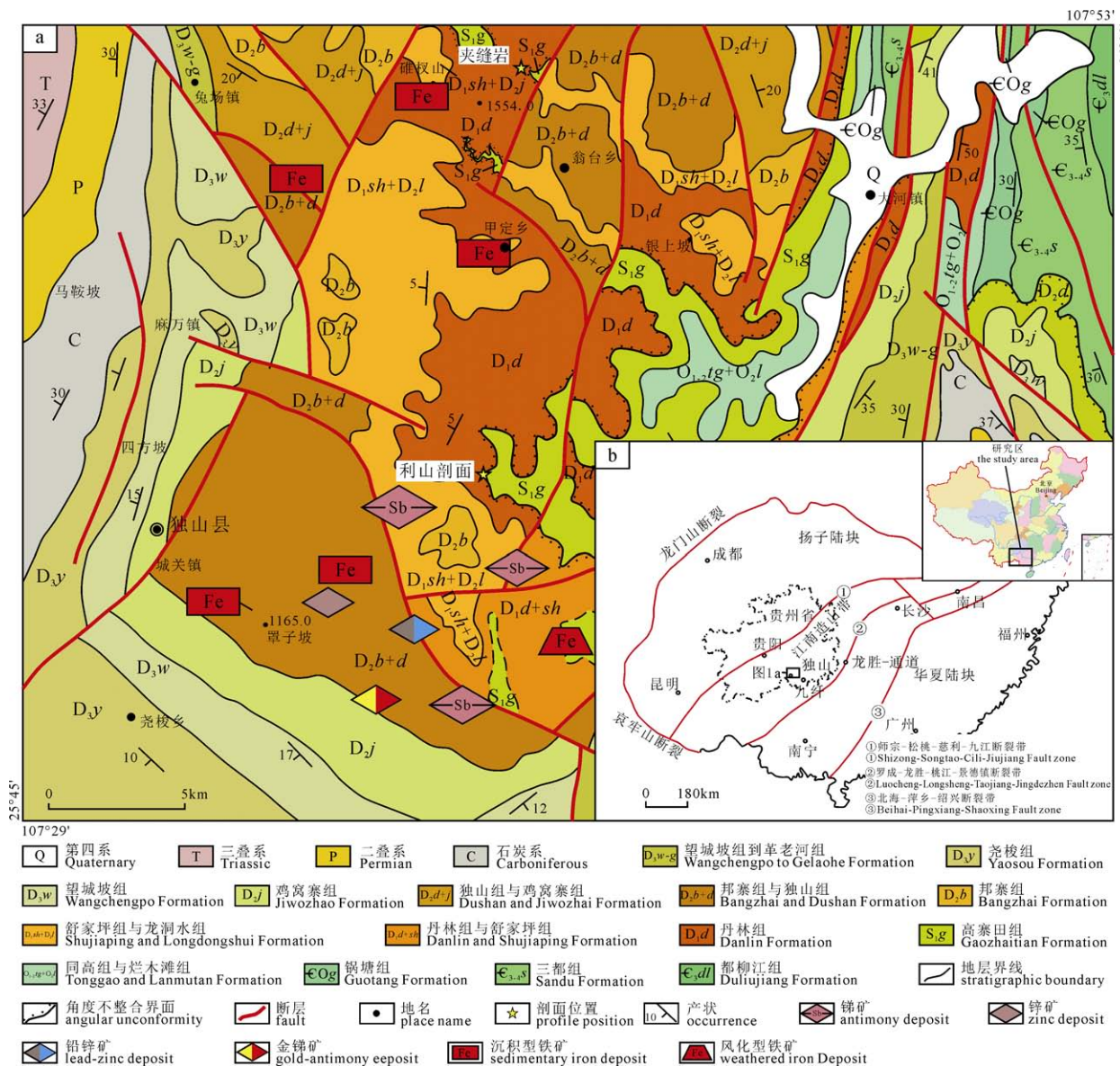
分布于独山地区的锑、铅、锌、铁、金矿化均赋存于泥盆系地层之中(图 1a; 金中国和戴塔根, 2007; 贵州省地质调查院, 待刊), 且具有显著的层控特点; 乃至贵定半边街地区锌矿化(陈国勇等, 2006)、赫章天桥铅锌矿化(周家喜等, 2010)同样如

此。对这类矿床的成矿地质背景、与构造演化的关系目前尚未取得广泛共识, 对这些问题的回答尚需要多种研究手段和方法予以有效制约。

为了诠释黔南独山地区赋存于泥盆系地层的锑、铅、锌、铁、金矿化的成矿地质背景, 我们选取夹缝岩地区和利山地区下泥盆统的事件沉积记录作为研究对象, 通过资料收集、路线调查、剖面实测、岩相解析、实验测试等技术方法, 查明事件沉积的成因及形成背景, 为深入认识该地区成矿地质背景做出贡献。

1 区域地质概况

独山地区位于江南造山带西南段。江南造山带北以师宗—松桃—慈利—九江一线为界, 其西北为



扬子陆块;南以北海—萍乡—绍兴为界,南东为华夏陆块(图 1b;戴传固等, 2010)。江南造山带的形成最早可能始于中元古代末期而终于新元古代早期(丁炳华等, 2008;高志林等, 2008;陈志洪等, 2009;柏道远等, 2010;徐先兵等, 2015;王敏等, 2016),其焊接华夏陆块与扬子陆块(王孝磊等, 2017),从而形成完整的南中国板块。晚元古代造山作用结束后,发生了造山带的垮塌、伸展(Wang et al., 2008, 2012),形成一个夭折的裂谷(Li, 1999),其内发育边缘海沉积,并于古生代早—中期再次褶皱造山,随后进入前陆盆地演化阶段(尹福光等, 2001)。加里东运动在黔东南及邻区表现为上、下古生界之间的明显间断,在独山地区则表现为下泥盆统丹林组低角度不整合上覆于下志留统高寨田组之上;且研究区在该时期尚未有岩浆活动的地质记录。而在湘西、桂北地区,发育早古生代碰撞型岩浆岩组合(柏道远等, 2014, 2015;杨振等, 2014;张文兰等, 2015;魏春夏, 2016),泥盆系高角度不整合于寒武系之上(如通道—龙胜地区、黔东南九阡)。

2 早泥盆世地层中的事件沉积记录

2.1 夹缝岩地区丹林组事件沉积特征

夹缝岩地区大面积出露丹林组石英砂岩。该石英砂岩未见顶、底,出露厚度大于 200 m;产状平缓,倾角在 5°~10°之间;岩性包括白色、灰白色、浅灰色、灰色、深灰色细粒石英砂岩、细中粒石英砂岩

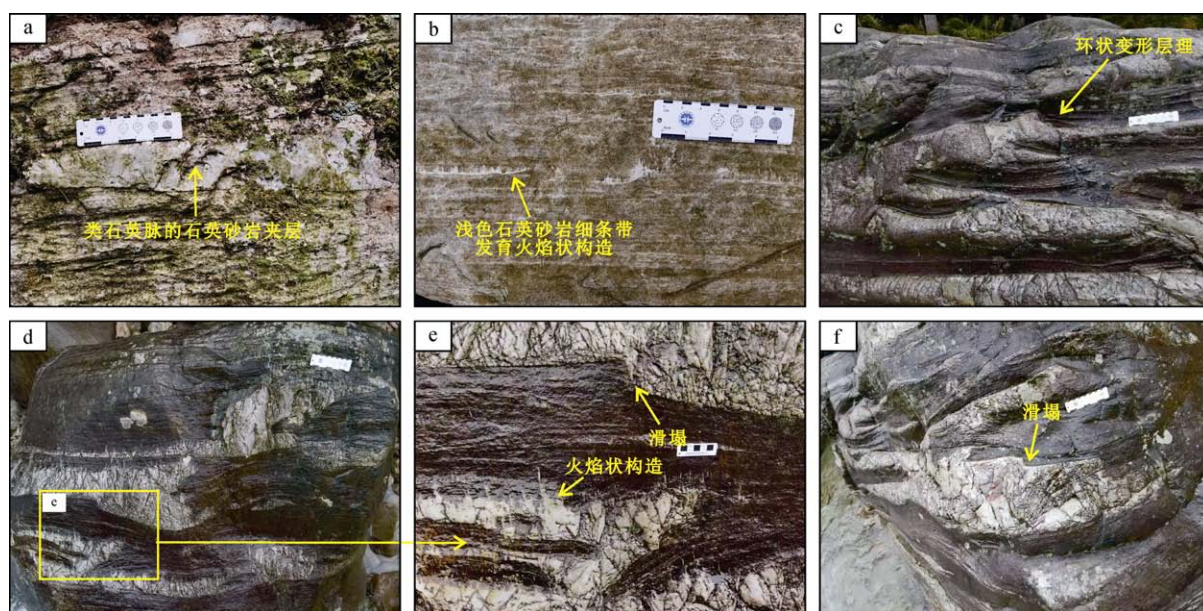
等(贵州省地质调查院, 2017)。

丹林组下部主要由灰白色细粒石英砂岩和深灰色细中粒石英砂岩组成。灰白色细粒石英砂岩包含较多泥质粉砂质条带,深灰色细中粒石英砂岩中含有极少量暗色矿物屑,如电气石及榍石。灰白色细粒石英砂岩发育(准)同生变形层理,且向上(准)同生变形逐渐减弱至消失。

深灰色细中粒石英砂岩中夹有脉状灰白色细粒石英砂岩(图 2a, b),其沿走向厚度变化很大(2~150 mm),并常见尖灭再现现象。灰白色细粒石英砂岩明显可见(准)同生变形层理,如火焰状构造(图 2b, d, e)、环状变形层理(图 2c),同时也可见滑移、滑塌现象(图 2e, f)。在灰白色细粒石英砂岩底部与下伏的深灰色细中粒石英砂岩接触面平整,仅局部也发育滑移、滑塌现象;反之,在灰白色细粒石英砂岩顶部往往发育 2~35 mm 长的火焰状细脉,这些细脉向上尖灭。在部分灰白色石英砂岩中发育环状层理。这种现象表明,灰白色细粒石英砂岩发生了液化作用,当液化细粒石英砂岩喷出地表,形成与下伏沉积物整合的砂质层;若未喷出地表,则发生侧向迁移,形成火焰状构造。

2.2 利山剖面丹林组事件沉积特征

利山地区一带,下志留统高寨田组与下泥盆统丹林组之间缺失中、上志留统,但两者地层产状基本一致。区域上丹林组地层上覆于不同时代(寒武系、志留系)岩石地层之上,因而,两者之间应属低



a—灰白色细粒石英砂岩夹层; b—灰白色细粒石英砂岩条带发育火焰状构造; c—灰白色细粒石英砂岩发育环状变形层理; d, e—灰白色细粒石英砂岩发育滑塌滑移及火焰状构造; f—灰白色细粒石英砂岩发育滑塌。
a—gray fine-grained quartz sandstone interlayer; b—gray fine-grained quartz sandstone band with flame structure; c—gray fine-grained quartz sandstone with annular deformation bedding; d, e—gray fine-grained quartz sandstone with slump and flame structure; f—gray fine-grained quartz sandstone with slump structure.

图 2 夹缝岩地区丹林组野外露头特征

Fig. 2 Field photographs of the rocks of the Danlin Formation exposed in the Jiafengyan area

角度不整合接触。

就丹林组各岩层间接触界面而言,当泥质粉砂岩上覆石英砂岩时,接触界面多不平整呈负荷构造,如图 3a。间歇性可见薄层泥质粉砂岩夹于中厚层石英砂岩中时,发育准同生滑塌现象(图 3b)。

2.2.1 丹林组底部沉积特征

利山实测剖面如下,柱状图及采样位置如图 4。

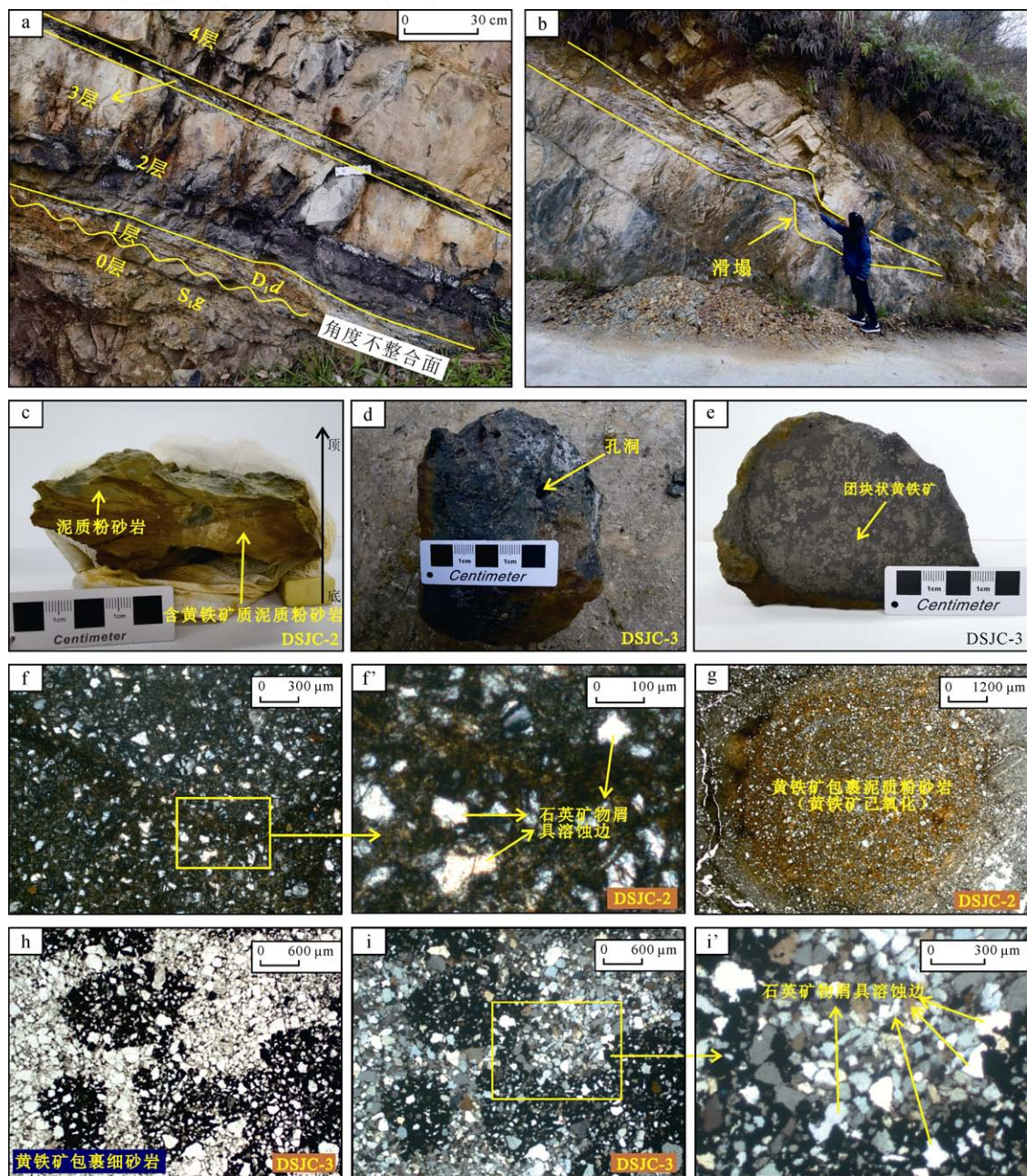
丹林组

4 层,中厚层灰白色细粒石英砂岩。未见顶。

3 层,薄层灰绿色泥质粉砂岩。风化较严重。与下伏石英砂岩接触界面平整。厚 6 cm。

2 层,中厚层细粒石英砂岩。分为上、下亚层。上亚层为浅灰黑色细粒石英砂岩。下亚层为灰黑色具 1~8 mm 孔径不一具孔洞细粒含黄铁矿质石英砂岩(图 3d, e); 其中黄铁矿呈半自形粒状团块状分布。厚 57 cm。

1 层,薄层泥质粉砂岩。分为上、下亚层。上亚层为灰绿色泥质粉砂岩。下亚层为风化色为褐色



a—丹林组底部野外特征; b—丹林组灰白色石英砂岩夹泥质粉砂岩发育滑塌现象; c—泥质粉砂岩(手标本); d, e—细粒含黄铁矿质石英砂岩(手标本); f, f'—砂质粉砂岩(正交偏光); g—粉粒石英矿物屑瘤状体(单偏光); h, i, i'—细粒含黄铁矿质石英砂岩(单偏光、正交偏光)。

a—field characteristic in Danlin formation from the bottom; b—argillaceous siltstone caught in gray quartz sandstone with slump structure in Danlin formation; c—argillaceous siltstone(hand specimen); d, e—fine-grained pyrite-bearing quartz sandstone(hand specimen);

f, f'—sandy siltstone(crossed polarized light); g—nodular silt quartz aggregate(polarized light);

h, i, i'—fine-grained pyrite-bearing quartz sandstone(polarized light, crossed polarized light).

图 3 利山剖面野外露头、手标本及显微照片

Fig. 3 Field photographs of outcrops and hand specimens microphotographs of different rocks from the Lishan section

的含黄铁矿质泥质粉砂岩(图 3c), 其中黄铁矿呈自形粒状星点状散布。厚 8 cm。

~~~~~ 角度不整合 ~~~~~  
高寨田组

0 层, 中薄层灰白色砂质粉砂岩。向上粒度逐渐减小。单层厚度减薄。未见底。

2.2.2 显微结构特征及物质组成

针对丹林组底部层位的样品开展了详细的显微结构观察, 丹林组底部由下至上岩相特征如下:

(1)DSJC-2 采自于 1 层下部。含黄铁矿质泥质粉砂岩由粉粒石英矿物屑、泥质基质及黄铁矿晶粒组成。粉粒石英矿物屑呈次圆状、次棱角状, 分选性好而磨圆度一般(图 3f, f');

局部可见团块状分布的半自形黄铁矿晶粒集

合体(已氧化)包裹粉粒石英矿物屑及少量黏土矿物聚集成生长约 7 mm 的褐色瘤状体(图 3g); 经粉晶 X 射线衍射测定, 黏土矿物为高岭石及伊利石(图 5)。泥质基质对粉粒石英矿物屑起基底式胶结作用。放大镜下可见星点状散布的自形程度好的立方体黄铁矿晶粒, 黄铁矿具不同程度的褐铁矿化现象。

(2)DSJC-3 采自于 2 层下部。细粒含黄铁矿质石英砂岩由细粒石英矿物屑、黄铁矿晶粒及少量泥质基质组成。细粒石英矿物屑呈次圆状、次棱角状, 分选性好而磨圆度一般(图 3h, i, i')。泥质基质对细粒石英矿物屑起接触式胶结作用。团块状分布的半自形黄铁矿晶粒集合体包裹大量细粒石英矿物屑(图 3d, e); 这种结构表明, 黄铁矿形成于富含低价硫的还原环境, 砂岩为快速沉淀的产物。

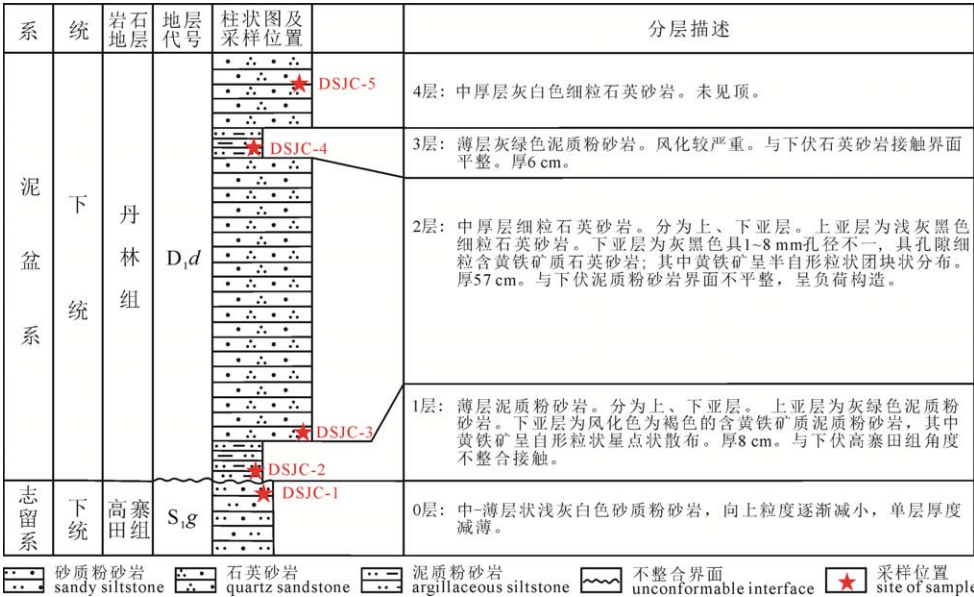


图 4 利山剖面下泥盆统丹林组底部地层柱状图及采样位置  
Fig. 4 A short stratigraphic column of the Dalin Formation from the Lishan section, indicating the sampling location

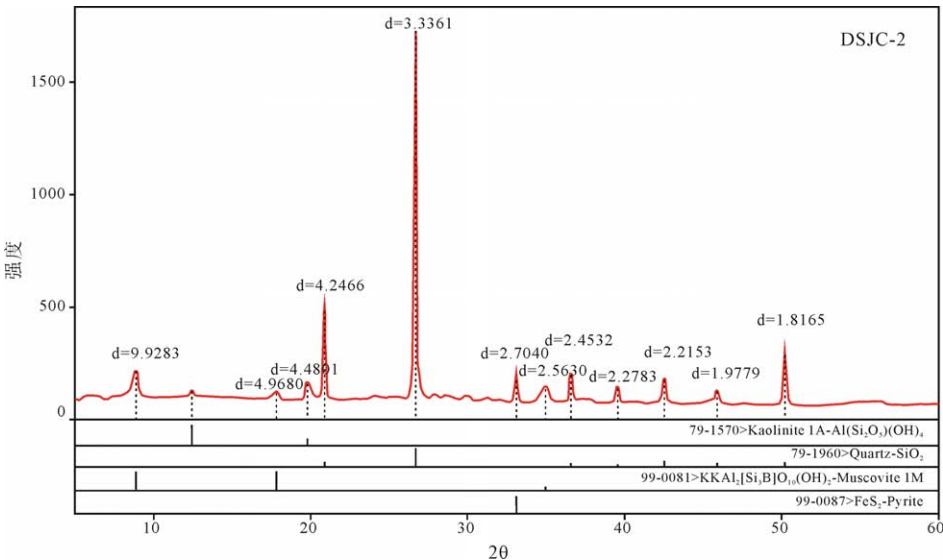


图 5 泥质粉砂岩粉晶 X 射线衍射图谱  
Fig. 5 X-ray power diffraction of argillaceous siltstone

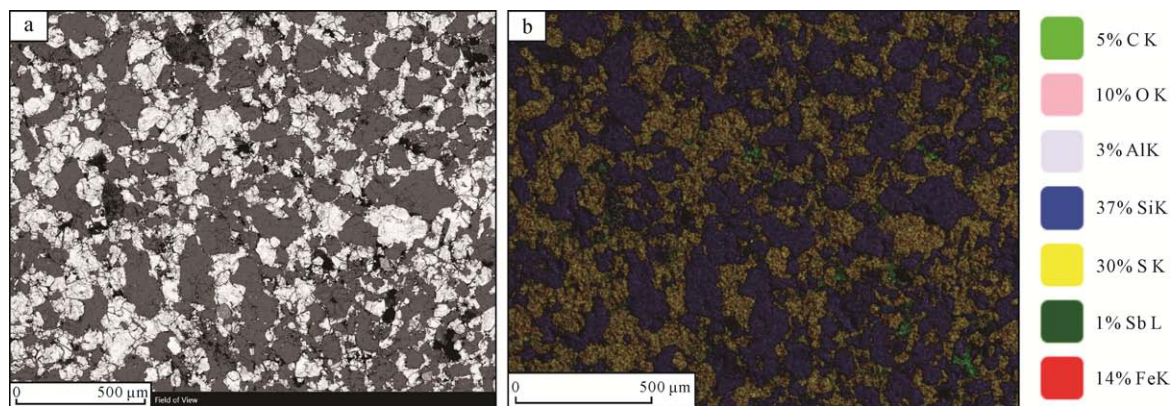


图 6 利山剖面细粒含黄铁矿质石英砂岩(DSJC-3)背散射照片及半定量元素扫描结果  
Fig. 6 Backscatter electron (BSE) image and semi-quantitative element scanning map of the fine-grained pyrite-bearing quartz sandstone (DSJC-3) from the Lishan section

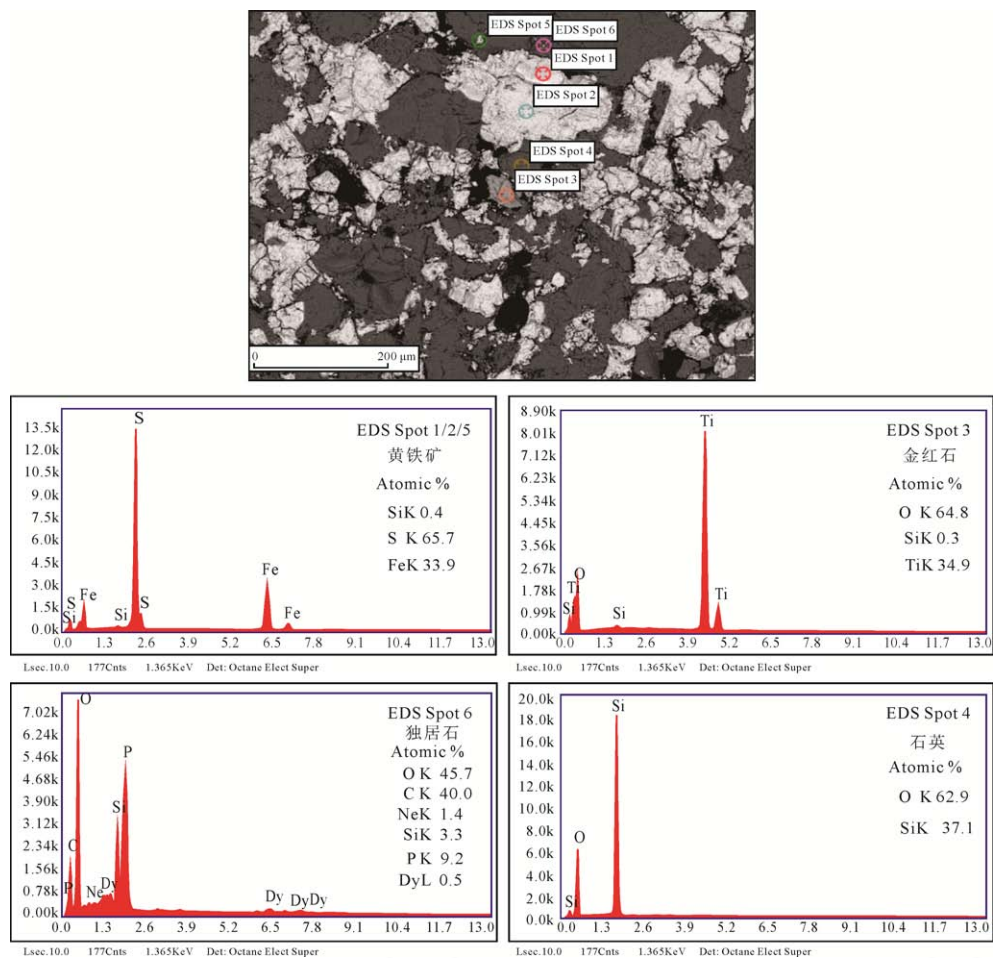


图 7 利山剖面细粒含黄铁矿质石英砂岩(DSJC-3)背散射照片及能谱  
Fig. 7 Backscatter electron image and related energy spectrum of fine-grained pyrite-bearing quartz sandstone (DSJC-3) from the Lishan section

通过双束扫描电镜测试发现: (1)面扫描元素含量分析显示, 细粒含黄铁矿质石英砂岩中发现有铈的异常(图 6)。(2)细粒含黄铁矿质石英砂岩中, 除石英矿物屑及黄铁矿晶粒之外, 还可见少量自形—半自形的金红石及独居石(图 7); 独居石中存在微量的 Ne(氖)及 Dy(镝)。

上述结构、矿物组合、成分变化显示, 丹林组底部沉积时热液流体活动强烈、流体成分颇为复杂。

### 3 讨论

#### 3.1 砂岩液化与潜火山活动

饱水沉积物在稳定状态下不会发生液化。剪切震动是饱水沉积体发生液化的主因(乔秀夫和李海兵, 2009)。火山引发的地震强度一般较小, 不会发生大规模的液化事件。局限于夹缝岩地区的下泥盆统丹林组记录了不少较小规模砂体液化事件; 而且

液化作用主要发育于热水沉积层含黄铁矿质泥质粉砂岩、细粒含黄铁矿质石英砂岩内及上、下相邻层位;这与独山地区下泥盆统丹林组中的液化现象极为吻合。

目前没有在独山地区发现早泥盆世火成岩。但在江南造山带其他地区,这期火成岩则十分常见,包括桂北苗儿山—越城岭花岗岩(415~382 Ma, Zhang et al., 2012; Zhao et al., 2013),越城岭花岗岩(435~417 Ma, Zhao et al., 2013)等。暗示该地区不排除存在潜火山作用的可能性。

### 3.2 热水沉积与潜火山活动

利山剖面的细粒含黄铁矿质石英砂岩(DSJC-3)中发现了自形程度较好的具 Ne(氖)、Dy(镝)异常的独居石及金红石(图 7)。独居石常产于与酸性岩浆岩或与其有关的高温热液矿床中(王濮等, 1982),且其中含有 Ne 及 CO<sub>2</sub>;在 Ne 的同位素中,<sup>20</sup>Ne 通常存在于火山气体中,且通常与地幔息息相关(王叶剑, 2012)。而 Ti 元素在常温环境下往往难以迁移,半自形金红石的存在,暗示着沉积期热水的温度还不会太低;这类含钛高温热液很可能来自于下地壳或上地幔(万方等, 2009)。在利山剖面丹林组底部的含黄铁矿质泥质粉砂岩及细粒含黄铁矿质石英砂岩中,均发现了被黄铁矿包裹的石英矿物屑具有溶蚀边的现象,表明沉积时期热液温度较高。上述现象暗示了该地区附近存在潜火山作用,与之相关,在本地区发育了海底喷流沉积系统,因而造就了本区的热水沉积环境。

团块状黄铁矿集合体直接成为细粒石英矿物屑的胶结物(图 3h, i)。这些现象表明,利山剖面中丹林组底部细粒含黄铁矿质石英砂岩沉积于还原性热水环境。另含黄铁矿质泥质粉砂岩、细粒含黄铁矿质石英砂岩中的黄铁矿韵律性产出也显示了热水间歇性供给的特点,热水来源尚值得探讨。

细粒含黄铁矿质石英砂岩具铋(Sb)异常及部分细粒石英矿物屑有溶蚀边的特征。且独山下令当地铅锌矿床铅同位素测试年龄( $\Phi$ 值年龄)为 392 Ma,与含矿地层年代基本一致,属“准同生沉积型铅锌矿床”,认为是喷流沉积的结果(陈国勇等, 2006)。裘隰卓等(1997)的研究成果也指出,此泥盆纪地层显示为铋、锡、铅、锌等地球化学异常层。所以我们推测独山地区可能存在早泥盆世潜火山活动;自早泥盆世初期开始,脉动式岩浆热液间歇性排入前陆盆地,形成还原性热水沉积环境;因火成岩与多种战略性关键矿产相关(曾普胜等, 2021),此类现象的存在,为独山地区广泛存在的铋、铅、锌、铁、金矿化成因机理解析提供了新的思路。

## 4 结论

(1)独山地区下泥盆统丹林组下部砂岩层为近源快速沉积,发育地震液化构造。

(2)独山地区早泥盆世丹林组沉积时期发育热水沉积,主要表现为存在 Ne(氖)、Dy(镝)异常的独居石、黄铁矿胶结的细粒石英砂岩、铋(Sb)异常的细粒石英砂岩。

(3)地震液化及同时期热水沉积可能由早泥盆世潜火山活动引发,这期潜火山活动为独山地区的铋、铅、锌、铁、金等多金属热液矿化提供了矿源。

(4)独山地区的多金属矿化很可能与华南板块海西早期的构造—岩浆活动热事件启动密切相关。

**致谢:**衷心感谢贵州省地质调查院戴传固研究员团队、王敏研究员团队的大力支持和贵州省地质调查院刘爱民高级工程师对野外工作的大力协助,感谢审稿专家的建设性修改意见并表示衷心感谢。

### Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20190370-34), Science and Technology Support Program of Guizhou Province (No. [2020] 4Y034), and Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province (Nos. [2017] 29 and [2018] 29).

### 参考文献:

- 柏道远, 贾宝华, 刘伟, 陈必河, 刘耀荣, 张晓阳. 2010. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束[J]. 地质学报, 84(12): 1715-1726.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄, 黄文义. 2014. 南岭西段加里东期苗儿山岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(3): 407-423.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄, 黄文义. 2015. 南岭西段加里东期越城岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地质地球化学特征及其形成构造背景[J]. 地球化学, 44(1): 27-42.
- 陈国勇, 安琦, 王敏. 2006. 贵州南部“半边街式”铅锌矿床地质特征及其成因探讨[J]. 地球学报, 27(6): 570-576.
- 陈志洪, 郭坤一, 董永观, 陈荣, 李龙明, 梁一鸿, 李春海, 俞锡明, 赵玲, 邢光福. 2009. 江山-绍兴拼合带平水段可能存在新元古代早期板片窗岩浆活动: 来自锆石 LA-ICP-MS 年代学和地球化学的证据[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 39(7): 994-1008.
- 戴传固, 张慧, 王敏, 陈建书, 卢定彪, 曾昭光. 2010. 江南造山带西南段地质构造特征及其演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 郑磊, 陈雷. 2008. 江南造山带存在新元古代(~850 Ma)俯冲作用——来自皖南 SSZ 型蛇绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄证据[J]. 岩石矿物学杂志, 27(5): 375-388.
- 高志林, 杨明桂, 丁孝忠, 刘燕学, 刘训, 凌联海, 张传恒. 2008.

- 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约[J]. 地质通报, 27(10): 1744-1751.
- 贵州省地质调查院. 2008. 1:25 万独山县幅区域地质调查报告[R]. 贵阳: 贵州省地质调查院.
- 贵州省地质调查院. 2017. 中国区域地质志·贵州志[M]. 北京: 地质出版社.
- 贵州省地质调查院. 待刊. 中国矿产地质志·贵州志[M].
- 金中国, 戴塔根. 2007. 贵州独山半坡锑矿田地质地球化学特征及成矿模式[J]. 物探与化探, 31(2): 129-132.
- 乔秀夫, 李海兵. 2009. 沉积物的地震及古地震效应[J]. 古地理学报, 11(6): 593-610.
- 裘愉卓, 于炳松, 李娟. 1997. 扬子地块西南部地球化学异常层与地壳演化和成矿作用[J]. 矿物学报, 17(4): 369-375.
- 万方, 周文戈, 姜能, 范大伟, 陈海红, 谢鸿森. 2009. 1.5GPa、950℃下块状斜长角闪岩部分熔融微量元素的分配特征[J]. 地学前缘, 16(1): 125-133.
- 王敏, 戴传固, 陈建书, 王雪华, 马会珍. 2016. 贵州省梵净山区新元古代岩浆活动的年代学格架及其大地构造意义[J]. 中国地质, 43(3): 843-856.
- 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝. 1982. 系统矿物学[M]. 北京: 地质出版社.
- 王孝磊, 周金城, 陈昕, 张凤凤, 孙梓铭. 2017. 江南造山带的形成与演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 36(5): 714-735.
- 王叶剑. 2012. 中印度洋脊 Kairei 和 Edmond 热液活动区成矿作用对比研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 魏春夏. 2016. 桂东北加里东期花岗岩岩石成因及其地质背景[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 徐先兵, 汤帅, 李源, 章泽军. 2015. 江南造山带东段新元古代至早中生代多期造山作用特征[J]. 中国地质, 42(1): 33-50.
- 杨振, 王汝成, 张文兰, 储著银, 陈骏, 朱金初, 章荣清. 2014. 桂北牛塘界加里东期花岗岩及其矽卡岩型钨矿成矿作用研究[J]. 中国科学: 地球科学, 44(7): 1357-1373.
- 尹福光, 许效松, 万方, 陈明. 2001. 华南地区加里东期前陆盆地演化过程中的沉积响应[J]. 地球学报, 22(5): 425-428.
- 曾普胜, 李睿哲, 刘斯文, 温利刚, 赵九江, 王十安. 2021. 中国东部燕山期大火成岩省: 岩浆-构造-资源-环境效应[J]. 地球学报, 42(6): 721-748.
- 张文兰, 陈文迪, 王汝成. 2015. 桂北苗儿山-越城岭地区独石岭钨-铜矿床——加里东期和印支期叠加成矿作用的典型实例[J]. 矿物学报, 35(S1): 367.
- 周家喜, 黄智龙, 周国富, 金中国, 李晓彪, 丁伟, 谷静. 2010. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质评论, 56(4): 513-524.
- HUANG Wen-yi. 2014. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of Caledonian Miao'ershan pluton in the western part of the Nanling Mountains and their tectonic significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 33(3): 407-423(in Chinese with English abstract).
- BAI Dao-yuan, ZHONG Xiang, JIA Peng-yuan, XIONG Xiong, HUANG Wen-yi. 2015. The zircon SHRIMP U-Pb dating, geochemical characteristics and tectonic setting of Caledonian Yuechengling pluton in the western segment of the Nanling Mountains[J]. Geochimica, 44(1): 27-42(in Chinese with English abstract).
- CHEN Guo-yong, AN Qi, WANG Min. 2006. Geological characteristics and genesis of the Banbianjie type lead-zinc deposits in southern Guizhou Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(6): 570-576(in Chinese with English abstract).
- CHEN Zhi-hong, GUO Kun-yi, DONG Yong-guan, CHEN Rong, LI Long-ming, LIANG Yi-hong, LI Chun-hai, YU Xi-ming, ZHAO Ling, XING Guang-fu. 2009. Possible early Neoproterozoic magmatism associated with slab window in the Pingshui segment of the Jiangshan-Shaoxing suture zone: Evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb geochronology and geochemistry[J]. Science in China Series D-Earth Science, 39(7): 994-1008(in Chinese).
- DAI Chuan-gu, ZHANG Hui, WANG Min, CHEN Jian-shu, LU Ding-biao, ZENG Zhao-guang. 2010. Geological Characteristics and Tectonic Evolution of the Southwestern Segment of the Jiangnan Orogen[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- DING Bing-hua, SHI Ren-deng, ZHI Xia-chen, ZHENG Lei, CHEN Lei. 2008. Neoproterozoic (~850 Ma) subduction in the Jiangnan orogen: evidence from the SHRIMP U-Pb dating of the SSZ-type ophiolite in southern Anhui Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 27(5): 375-388(in Chinese with English abstract).
- EINSELE G, SEILACHER A. 1982. Cyclic and event stratification[M]. Berlin: Springer-Verlag.
- GAO Lin-zhi, YANG Ming-gui, DING Xiao-zhong, LIU Yan-xue, LIU Xun, LING Lian-hai, ZHANG Chuan-heng. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China—constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 27(10): 1744-1751(in Chinese with English abstract).
- Guizhou Geological Survey. 2008. 1: 250,000 Dushan County Regional geological Survey Report[R]. Guiyang: Guizhou Geological Survey(in Chinese).
- Guizhou Geological Survey. 2017. Regional geology of China-Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Guizhou Geological Survey. Mineral Geology of China-Guizhou[M]. in press(in Chinese).
- LI X H. 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern

## References:

- margin of the Yangtze Block: timing of Neoproterozoic Jin-ni: Orogeny in SE China and implications for Rodinia Assembly[J]. *Precambrian Research*, 97(1-2): 43-57.
- JIN Zhong-guo, DAI Ta-gen. 2007. A discussion on the geological and geochemical characteristics and metallogenic model of the Banpo antimony orefield in Dushan, Guizhou Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 13(2): 129-132(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, LI Hai-bing. 2009. Effect of earthquake and ancient earthquake on sediments[J]. *Journal of Palaeogeography*, 11(6): 593-610(in Chinese with English abstract).
- QIU Yu-zhuo, YU Bing-song, LI Juan. 1997. Geochemically abnormal horizons and their relations to crustal evolution and mineralization in southwest Yangtze Massif[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 369-375(in Chinese with English abstract).
- WAN Fang, ZHOU Wen-ge, JIANG Neng, FAN Da-wei, CHEN Hai-hong, XIE Hong-shen. 2009. The partition characteristic of trace elements in the partial melting massive amphibolite at 1.5 GPa and 950°C[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 125-133(in Chinese with English abstract).
- WANG Min, DAI Chuan-gu, CHEN Jian-shu, WANG Xue-hua, MA Hui-zhen. 2016. Neoproterozoic geochronologic framework of magmatism in Fanjingshan area and its tectonic implications[J]. *Geology in China*, 43(3): 843-856(in Chinese with English abstract).
- WANG Pu, PAN Zhao-lu, WENG Ling-bao. 1982. *Systematic Mineralogy*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Xiao-lei, ZHOU Jin-cheng, CHEN Xin, ZHANG Feng-feng, SUN Zi-ming. 2017. Formation and Evolution of the Jiangnan Orogen[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5): 714-735(in Chinese with English abstract).
- WANG Xiao-lei, ZHOU Jin-cheng, QIU Jian-sheng, JIANG Shao-yong, SHI Yu-ruo. 2008. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic mafic rocks from western Hunan, South China: implications for petrogenesis and post-orogenic extension[J]. *Geological Magazine*, 145(2): 215-233.
- WANG Xiao-lei, SHU Liang-shu, XING Guang-fu, ZHOU Jin-cheng, TANG Ming, SHU Xu-jie, QI Liang, HU Yan-hua. 2012. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: Evidence from ca 800-760 Ma volcanic rocks[J]. *Precambrian Research*, 222-223: 404-423.
- WANG Ye-jian. 2012. Comparison study of mineralization of Karirei and Edmond active hydrothermal fields in Central Indian Ridge[D]. Hangzhou: Zhejiang University(in Chinese with English abstract).
- WEI Chun-xia. 2016. Petrogenesis and tectonic geological setting of Caledonian granitoids in Northeast Guangxi[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- XU Xian-bing, TANG Shuai, LI Yuan, Zhang Ze-jun. 2015. Characteristics of Neoproterozoic-Early Mesozoic multiphase orogenic activities of eastern Jiangnan Orogen[J]. *Geology in China*, 42(1): 33-50(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhen, WANG Ru-cheng, ZHANG Wen-lan, CHU Zhu-yin, CHEN Jun, ZHU Jin-chu, ZHANG Rong-qing. 2014. Skarn-type tungsten mineralization associated with the Caledonian (Silurian) Niutangjie granite, northern Guangxi, China[J]. *Science China: Earth Science*, 44(7): 1357-1373(in Chinese).
- YIN Fu-guang, XU Xiao-song, WAN Fang, CHEN Ming. 2001. The sedimentary response to the evolutionary process of Caledonian foreland basin system in South China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 425-428(in Chinese with English abstract).
- ZENG Pu-sheng, LI Rui-zhe, LI Si-wen, WEN Li-gang, ZHAO Jiu-jiang, WANG Shi-an. 2021a. Yanshanian Large Igneous Provinces in Eastern China: Magmatism-Tectonics-Resources-Environment Effects[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 42(6): 721-748(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Fei-fei, WANG Yue-jun, ZHANG Ai-mei, FAN Wei-ming, ZHANG Yu-zhi, ZI Jian-wei. 2012. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of Middle Paleozoic (Kwangsi) massive granites in the eastern South China Block[J]. *Lithos*, 150: 188-208.
- ZHANG Wen-lan, CHEN Wen-di, WANG Ru-cheng. 2015. Dushiling W-Cu deposit in Miaoshe Shan Yuechengling area, Northern Guangxi: a typical example of Caledonian and Indosinian superimposed mineralization[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1): 367(in Chinese).
- ZHAO Kui-dong, JIANG Shao-yong, SUN Tao, CHEN Wei-feng, LING Hong-fei, CHEN Pei-rong. 2013. Zircon U-Pb dating, trace element and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of Paleozoic granites in the Miaoshe Shan-Yuechengling batholith, South China: Implication for petrogenesis and tectonic-magmatic evolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 244-264.
- ZHOU Jia-xi, HUANG Zhi-long, ZHOU Guo-fu, JIN Zhong-guo, LI Xiao-biao, DING Wei, GU Jing. 2010. Sources of the ore metals of the Tianqiao Pb-Zn deposit in Northwestern Guizhou Province: Constraints from S, Pb isotope and REE geochemistry[J]. *Geological Review*, 56(4): 513-524(in Chinese with English abstract).