

# 滇东北龙街地区泥盆系热液白云岩特征及其成矿指示意义

曾毓灿<sup>1</sup>, 魏爱英<sup>1,2</sup>, 薛传东<sup>2</sup>, 周红琳<sup>2</sup>, 马怀昆<sup>1</sup>, 陆双交<sup>1</sup>, 李徽琪<sup>1</sup>,  
毛荣威<sup>3</sup>, 周发帅<sup>3</sup>

(1. 西南林业大学水土保持学院, 云南 昆明 650224; 2. 昆明理工大学地球科学系, 云南 昆明 650093;  
3. 云南冶金资源股份有限公司, 云南 昆明 650000)

**摘要:** 热液白云岩(HDS)是MVT Pb-Zn矿床的重要赋矿围岩。然而,热液白云岩的特征沿断层的展布规律不明,使其作为MVT矿床的找矿指示尚不明确。扬子地台西南缘川滇黔MVT Pb-Zn矿集区普遍具有HDS赋矿的特点。本文选取滇东北龙街勘查区的赋矿HDS为研究对象,通过地质填图和岩相学观察,结合矿物的元素组成和C-O同位素分析,并与埋藏白云岩对比,系统查明了容矿HDS沿断层的展布特征。结果表明:①赋矿HDS沿走滑正断层或逆冲断层上盘的次级断裂产出,且沿断层上盘的展布范围大于断层下盘。HDS通过交代断层两侧的灰岩或白云岩而形成,离断层的距离越近颜色越浅,白云石结晶粒度越大;②赋矿HDS中V、Cr、Cu、Zr、Rb、Ba含量高于埋藏白云岩,其含量距离断层越远反而越高;稀土元素配分模式呈右倾型,具有 $\delta Ce$ 负异常(0.61~0.98)及 $\delta Eu$ 弱正异常(0.74~1.07),且均沿断层向两侧递减;③区内HDS的白云石化处于还原环境,经历了由埋藏到构造热液作用过程,流体沿断层向两侧运移。因而,HDS的V、Rb、Zn、Pb含量及 $\delta^{13}C$ 值由断层向围岩递增,可作为MVT Pb-Zn矿床的找矿评价指标。

**关键词:** 热液白云岩(HDS); 岩石学特征; 岩石地球化学; C-O同位素; 泥盆系; 滇东北

中图分类号: P588.24<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2025)01-0051-17

## Characteristics of Devonian hydrothermal dolomite in the Longjie area of Northeastern Yunnan and its mineralization indicative significance

ZENG Yu-can<sup>1</sup>, WEI Ai-ying<sup>1,2</sup>, XUE Chuan-dong<sup>2</sup>, ZHOU Hong-lin<sup>2</sup>, MA Huai-kun<sup>1</sup>, LU Shuang-jiao<sup>1</sup>,  
LI Hui-qi<sup>1</sup>, MAO Rong-wei<sup>3</sup> and ZHOU Fa-shuai<sup>3</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Earth Science Department of Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 3. Yunnan Metallurgical Resources Co., Ltd., Kunming 650000, China)

**Abstract:** The hydrothermal dolomite (HDS) is a significance ore-bearing wall rock of the MVT Pb-Zn deposit. However, the distribution pattern of hydrothermal dolomite along faults remains unclear, making it as a prospecting indicator of MVT deposit is uncertain. The MVT Pb-Zn ore concentration area in Sichuan, Yunnan and Guizhou on

收稿日期: 2024-06-24; 接受日期: 2024-12-03; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 云南省教育厅科学研究项目(2019J0183); 云南省科技厅基础研究专项(202201AT070047); 云南省水土保持与荒漠化防治学一流学科开放课题(SBK20240032); 国家自然科学基金项目(42003036); 兴滇英才支持计划青年人才项目(XDYC-QNRC-2022-0136)

作者简介: 曾毓灿(1998-), 男, 硕士研究生, 专业方向为自然地理学, E-mail: 2721841429@qq.com; 通讯作者: 魏爱英(1984-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事热液铅锌成矿作用研究, E-mail: Way84627@yeah.net。

the southwestern margin of the Yangtze platform is generally characterized by HDS ore-endowments. This study focuses on the ore-bearing HDS in the Longjie exploration area of northeastern Yunnan. Through geological mapping and petrographic observation, combined with mineral elemental composition and C-O isotope analysis, and a comparison with buried dolomite, the distribution characteristics of ore-bearing HDS along faults were systematically clarified. The results indicate: ① The ore-bearing HDS is produced along the secondary fracture of the upper disk of the strike-slip normal fault or thrust fault, and the distribution range along the upper disk of the fault is larger than that of the lower disk of the fault. HDS is formed by accounting limestone or dolomite on both sides of the fault. The closer the distance from the fault, the shallower the color, and the larger the crystal size of dolomite. ② The contents of V, Cr, Cu, Zr, Rb and Ba in HDS are higher than those in buried dolomite, and the farther away from the fault, the higher the content is. The distribution pattern of rare earth elements is right-inclined, there are  $\delta\text{Ce}$  negative anomalies (0.61~0.98) and  $\delta\text{Eu}$  weak positive anomalies (0.74~1.07), both of which decrease symmetrically away from the fault. ③ The dolomitization of HDS in the area occurred in a reduced environment and underwent a process from burial to tectonic hydrothermal alteration, with fluid migrating to both sides along the fault. Therefore, the contents of V, Rb, Zn, Pb and  $\delta^{13}\text{C}$  value of HDS increase from the fault to the surrounding rock, which can serve as effective exploration indicators for MVT Pb-Zn deposits.

**Key words:** hydrothermal dolomite (HDS); petrographic characteristics; petrogeochemistry; C-O isotopes; Devonian system; Northeastern Yunnan

**Fund support:** Research Foundation of Education of Yunnan Province (2019J0183); Yunnan Provincial Department of Science and Technology Basic Research Project (202201AT070047); Yunnan Province Soil and Water Conservation and Desertification Prevention First-class Discipline Open Project (SBK20240032); National Natural Science Foundation of China (42003036); Xing-Dian Youth Talent Plan of Yunnan Province (XDYC-QNRC-2022-0136)

热液白云岩是富镁热液(特别是卤水)在温度(高于围岩)和压力升高的埋藏条件下沿着拉张性断层、转换断层上升,在渗透性良好的碳酸盐岩中发生白云石化作用形成的(Davies and Smith, 2006)。热液白云岩作为MVT矿床典型的容矿围岩和蚀变对象,贯穿于MVT铅锌矿床整个成矿阶段(张长青等, 2009; 周志坛, 2017)。同时,热液白云岩在揭示流体特征、硫酸盐还原作用及金属沉淀等方面具有重要意义(Voss and Hagii, 1985; Farr, 1989; Qing and Mountjoy, 1992; Reed and Wallace, 2001; Wei *et al.*, 2015; 李群等, 2018; 朱光有等, 2023; 田力丹等, 2024)。然而,将热液白云岩作为MVT铅锌矿床找矿标志时还存在诸多问题,如:热液白云岩的展布范围远远大于矿体的范围,热液白云岩与其相关的断层关系不明确及其随断层地球化学以及晶体形态变化的特征规律不清。对典型案例的解剖研究有助于解决这些问题。

扬子地台西南缘川滇黔毗邻区发育大量MVT铅锌矿床,主要有会泽、毛坪、茂租、乐红等铅锌矿床(张长青等, 2005; 文德潇等, 2014; Zhou *et al.*,

2018; 朱永清等, 2021)。这些矿床的铅锌矿化在新元古代震旦系、古生代泥盆系、石炭系、二叠系等多套地层的白云岩或白云石化岩层中均有分布(图1),其中热液白云岩赋矿特征突出(Leach and Song, 2019; Tian *et al.*, 2022),以会泽地区和毛坪地区为代表的铅锌矿产出均与围岩中的热液白云岩有关(Wei *et al.*, 2015; 韩润生等, 2023)。其中,中泥盆统曲靖组热液白云岩是铅锌矿体的主要赋矿围岩,但目前关于赋矿热液白云岩与断层之间的关系鲜有研究。

基于此,本文以滇东北龙街勘查区泥盆系白云岩为研究对象,在地质填图的基础之上,通过岩相学观察,结合矿物的元素组成和C-O同位素分析,厘清赋矿热液白云岩随断层变化的规律,建立热液白云岩与铅锌成矿模式,旨在为找矿勘查提供依据。

## 1 地质背景

川滇黔毗邻区铅锌成矿带位于四川、云南及贵州三省交界处,处在康定-彝良-水城断裂、安宁河-

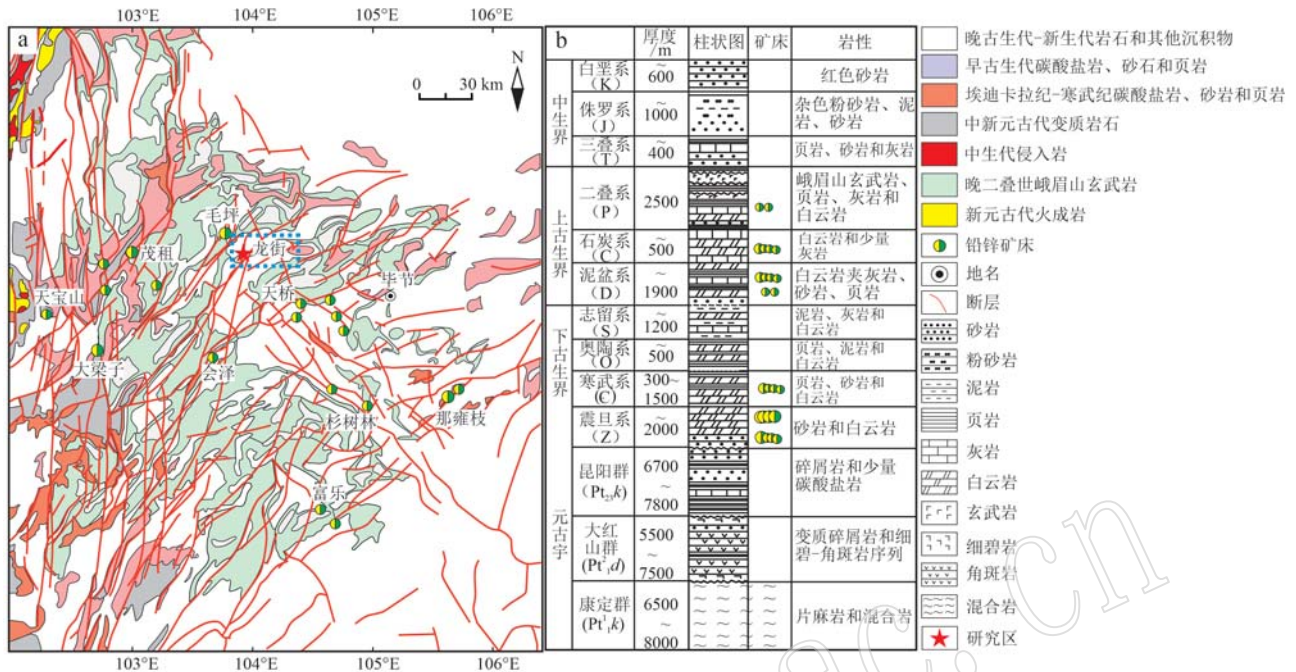


图 1 中国川滇黔铅锌矿集区区域地质图(据 Zhou *et al.*, 2018; Leach and Song, 2019 修改)

Fig. 1 Regional geology of Sichuan-Yunnan-Guizhou lead-zinc ore concentration area in China (modified from Zhou *et al.*, 2018; Leach and Song, 2019)

绿汁江断裂、师宗-弥勒断裂和小江断裂的夹持地带(柳贺昌等, 1999; 蒋斌斌等, 2022)。区域内地层由古元古代至中-新元古代形成的基底和新元古代至新生代形成的盖层两部分组成(赵思博等, 2024)。基底自下而上发育元古宙沉积-火山变质岩系, 包括古元古界康定群片麻岩和混合岩、古元古界的变质碎屑岩和碧玉-角斑岩系以及中-新元古界浅变质碎屑岩夹少量碳酸盐岩。结晶基底为以康定杂岩为主体的康定群, 主要由斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云变粒岩和少量二辉麻粒岩等组成, 其分布北起四川康定-泸定, 南延经石棉、冕宁、西昌、攀枝花至云南元谋一带; 褶皱基底主要为一套轻微变质的复理石和枕状熔岩组合, 分布于南北向展布的康定群两侧, 西侧以盐边样为代表, 分在于盐边一带, 厚度近 10 km(张云湘, 1982; 黄智龙等, 2004), 东南部的滇东北地区则以昆阳群为代表, 主要分布于东川、易门一带, 厚度近 10 km, 主要为一套由碳酸盐岩和碎屑岩组成的复理石建造, 著名的“东川式”铜矿床和“易门式”铜矿床均产于该套地层中(柳贺昌等, 1999)。在结晶基底和褶皱基底之上, 发育自震旦系至第四系的盖层岩系, 不同成矿地区同时代地层的岩性组合和出露厚度有所差异(柳贺昌等, 1999; 黄智龙等, 2004; 金中国等, 2008)。

龙街铅锌矿勘查区毗邻毛坪超大型铅锌矿区东南侧, 距离彝良县城约 20 km 处。该地矿石平均品位 Pb 为 1.46%, Zn 为 1.57%, 铅锌金属量 3 200 吨, 属于小型矿床规模。矿区内发育北东走向逆冲褶皱组合, 并被正断层组及右行走滑断层组穿切(图 2a)。根据构造组合的穿切关系, 工作区的构造活动分期为 4 个阶段: 第 1 阶段形成 NE 背斜和 F7 逆冲断层, 第 2 阶段形成 NE 走向右行走滑断层组(F3、F4、F5、F6)并穿切背斜南东翼地层, 第 3 阶段形成 NW 走向正断层组(F1、F2)穿切逆冲褶皱构造组(背斜和 F7 断层), 第 4 阶段形成右行走滑断层组(F3、F4、F5、F6)及正断层组(F1、F2)。

区内出露地层为泥盆系及部分石炭系, 由老到新包括中泥盆统曲靖组(D<sub>2</sub>q)泥质灰岩、泥灰岩夹白云岩、白云质灰岩及少量页岩, 上泥盆统一打得组(D<sub>3</sub>y)泥质灰岩、生物碎屑灰岩、碳质页岩、细晶白云岩, 上泥盆统宰格组(D<sub>3</sub>zg)中-粗晶白云岩以及中石炭统黄龙组(C<sub>2</sub>h)灰白色厚层块状中-粗晶白云岩(图 2b)。主要矿化地段位于簸箕寨直立背斜近核部的 D<sub>2</sub>q 中, 也是本研究的重点。簸箕寨已知铅锌矿体位于 F3 断层上盘, 其热液白云石化显著, 呈现浅灰色-肉红色-灰色, 发育溶蚀孔洞, 在白云石矿石内可见闪锌矿、方铅矿及石英矿物。



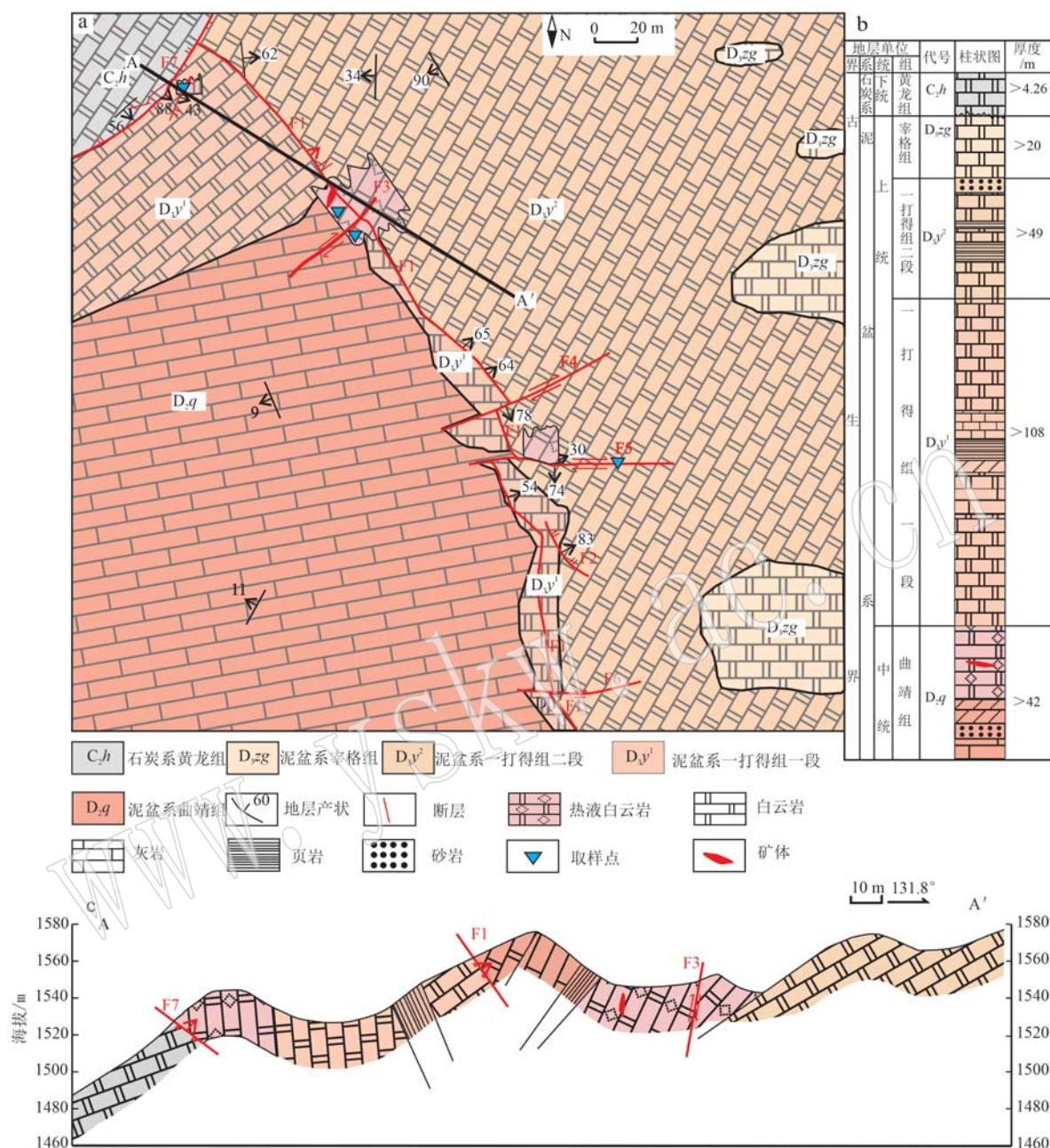


图2 龙街铅锌矿床地质简图(a)、地层柱状图(b)和剖面图(c)

Fig. 2 Geological sketch map (a), stratum column chart (b) and geological profile (c) of Longjie lead-zinc deposit

## 2 样品采集及分析

本次在龙街剖面实测的基础上,采集一打得组白云岩、曲靖组白云岩及曲靖组泥灰岩样品共22件,选择典型样品采用岩相学观察和地球化学分析相结合的方法,对一打得组白云岩和曲靖组白云岩进行细致研究。所做测试分析包括显微薄片观察、微量元素分析、稀土元素分析、碳氧稳定同位素分

析。本文地球化学采用全岩分析,选择相应的碳酸盐岩分析样品,用玛瑙研钵研磨至200目,分袋制成微量元素、稀土元素和碳氧稳定同位素样品。

薄片显微镜观察测试完成于昆明理工大学国土资源工程学院实验室。岩石薄片经茜素红染色后,在型号为CX40P偏光显微镜下观察,图像采集条件为卤素灯的黄光源,根据显微镜下图像使用Nano Measurer软件对白云石的粒径进行统计,并依据Gregg和Sibley理论划分白云石晶体结构。



微量元素分析测试和稀土元素分析测试在中国科学院地球化学研究所(贵阳)矿床地球化学国家重点实验室完成,测试仪器为德国耶拿分析仪器股份公司 PlasmaQuant MS Elite 型电感耦合等离子体质谱仪,在温度环境为 20℃、相对湿度环境为 50% 进行测试,分析的精度为  $\pm 0.2\%$ 。

C-O 稳定同位素分析测试在云南省分析测试中心同位素实验室完成,测试采用的仪器为 MAT\_253 质谱仪,分析的精度为  $\pm 0.1\%$ ,分析测试方法为 Gas-Bench II 连续流法。称取约 100  $\mu\text{g}$  碳酸盐岩样品向其中加入无水磷酸,置于温度条件为 72℃ 的加热盘中反应,待反应平衡后,最后将生成的  $\text{CO}_2$  气体放入 MAT\_253 质谱仪中进行分析。

### 3 热液白云岩的岩石学特征

研究区发育呈顺层产出的埋藏白云岩和沿断层产出的热液白云岩。顺层产出的白云岩主要分布于上泥盆统宰格组 ( $D_{3zg}$ ) 和上泥盆统一打得组 ( $D_{3y}$ ); 穿层产出的白云岩主要沿 F3、F4、F5、F6 及 F7 次级断层并交代上泥盆统一打得组 ( $D_{3y}$ ) 白云岩和中泥盆统曲靖组 ( $D_{2q}$ ) 泥灰岩。考虑到地层岩性及热液蚀变组合特征,本次研究以 F3 断层及 F7 次级断层的白云岩剖面为典型研究对象。

#### 3.1 展布特征

F3 断层为北东向右行走滑断层,沿 F3 断层发生白云石化。F3 剖面露头处,白云岩的走向长约 30 m,宽约 20 m(图 3A),垂向深度未知。白云岩北西侧与泥灰岩的接触界线不规则,局部可见位于距 F3 断层约 16 m 处,南东侧与一打得组白云岩为渐变接触,局部可见位于 F3 断层右盘约 4 m 处。F3 左盘(北西盘)为曲靖组灰色薄-中层泥灰岩夹生物灰岩(图 3a),泥灰岩蚀变成白云岩过程中见珊瑚化石已发生褐铁矿化(图 3b)。随着白云岩蚀变的进行,断层右盘(南东盘)白云岩发生热液褪色,由肉红色到浅灰色(图 3c、3d),方解石细脉逐渐增多,白云岩呈现出破碎结构,且能观察到角砾构造、鞍形白云石和溶蚀孔洞(图 3e)。

F7 断层为北东向逆冲断层,F7 上盘  $D_{3y}^1$  的深灰色细晶白云岩中发育多条次级裂隙,在裂隙带中深灰色细晶白云岩褪色重结晶为灰白色粗晶白云岩。该蚀变带为热流体沿次级裂隙迁移并交代断层上盘围岩的产物,遭受了热液蚀变,为热液白云岩。

F7 次级断层热液白云岩位于断层右盘,白云岩长约 20 m,宽约 8 m(图 3B)。自断层左盘至断层位置白云岩颜色由浅灰色变为肉红色,出现刀砍纹构造(图 3f),颗粒变粗(图 3g);从远断层位置到断层位置,白云岩颜色由浅灰色变为肉红色,白云岩的溶蚀孔洞增多(图 3h、3i)。

#### 3.2 显微结构特征

在偏光显微镜下可见曲靖组和一打得组两个剖面的白云岩呈现出粉晶-细晶-中晶不等晶结构,两个剖面都遭受不同程度的蚀变,表现出不同的蚀变特征。曲靖组白云岩由含珊瑚化石及石英矿物的泥晶灰岩(图 4a)蚀变而来,随蚀变的进行,位于断层端的方解石被白云石交代,白云石晶体结构颗粒变粗,出现重结晶,自形程度好(图 4b);远离断层端的白云石颗粒变小,白云石呈现出细晶结构(图 4c),高倍镜下观察到方铅矿、闪锌矿(图 4d)。一打得组断层端的白云石可见鞍形白云石结构,白云石呈缝合线接触,自形程度差(图 4e);位于一打得组近断层端白云石重结晶显著,普遍发育鞍形白云石(图 4f、4g),方解石充填于白云石孔洞;远离一打得组断层的白云石晶粒变小,发育多条裂隙(图 4h、4i)。

#### 3.3 粒度特征

根据粒径统计结果,研究区内存在粉晶白云石、粉-细晶白云石、细晶白云石、细-中晶白云石,白云石的粒径大小与离断层的位置关系密切。在 F3 剖面中,F3 断层位于 F3-5 与 F3-6 间,远离断层左盘的白云石为粉-细晶白云石(图 5a),粒径大小集中在 25~75  $\mu\text{m}$ ,占比 88%;断层端的白云岩为灰褐色细-中晶白云石(图 5b),发育重结晶作用呈现出中晶白云石;远断层端白云石的粒径均小于 100  $\mu\text{m}$ ,呈现出粉晶白云石(图 5c)。在 F7 剖面中,F7 的断层位于 F7-1 和 F7-2 之间,断层端白云石颗粒出现粗晶白云石(图 5d);断层端白云石颗粒集中在 80~150  $\mu\text{m}$ ,细晶白云石占比 52%(图 5e);远离 F7 断层的白云石粒径粉晶白云石占比 66%(图 5f)。结合 F3 剖面 and F7 剖面白云石粒径特征,白云石粒径与断层位置关系存在两个阶段的变化:第一阶段从断层左盘到断层位置,白云石的粒径增大,且位于断层的白云石颗粒最大;第二阶段由断层位置到断层右盘边缘位置,白云石的颗粒逐渐减小,离断层位置越远白云石粒径越小。综上所述,白云石粒径随断层位置发生变化,离断层越近,白云石粒径越大,在断层处白云石的粒径最大。

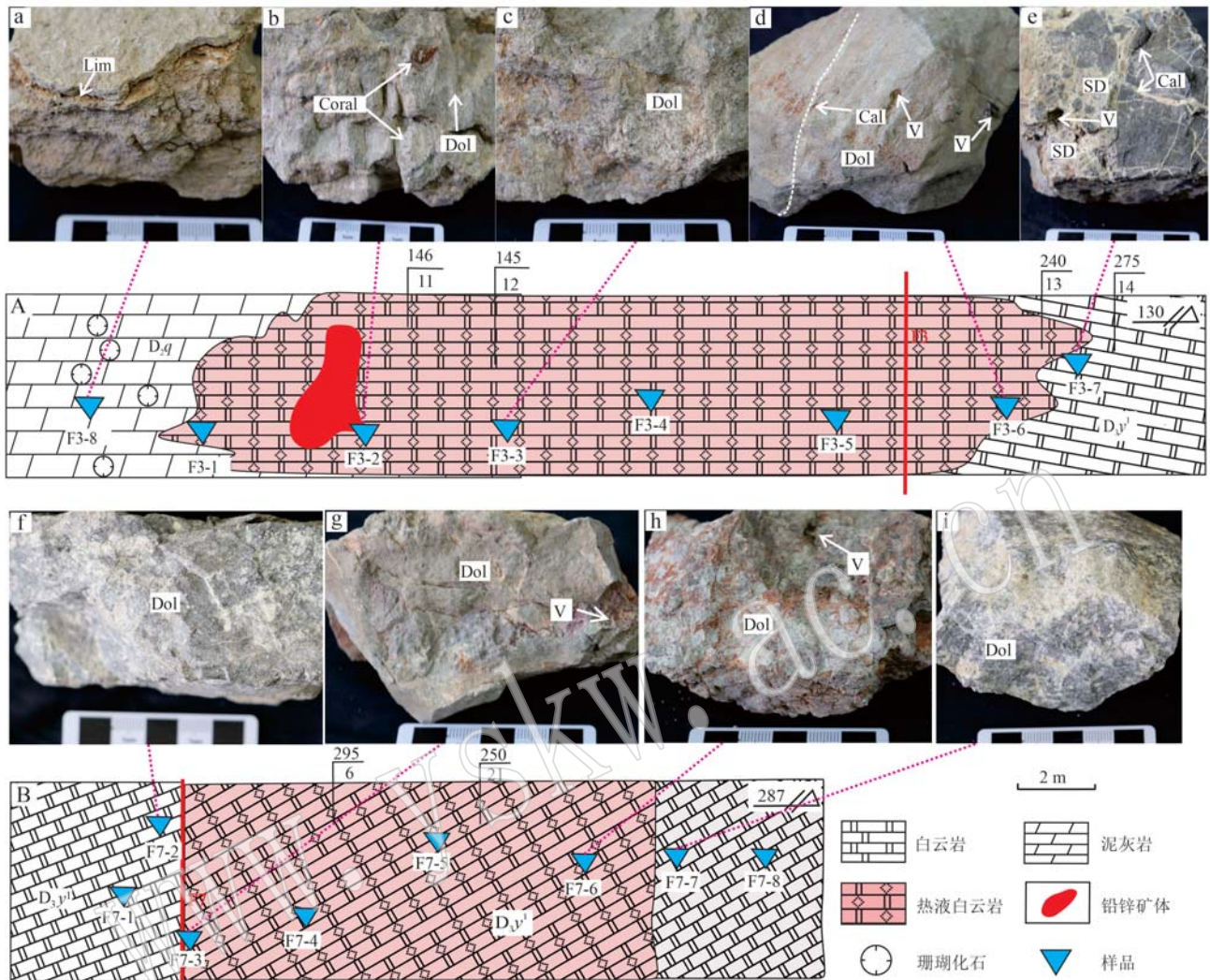


图3 滇东北龙街地区白云岩剖面及手标本特征

Fig. 3 Profiles and hand specimens characteristics of dolomites in Longjie area of northeast Yunnan

a—层状泥灰岩 (F3-8); b—泥灰岩白云石化和珊瑚化石 (F3-2); c—白云石颜色为肉红色,白云岩发生蚀变 (F3-3); d—方解石细脉,白云石内见多个溶蚀孔洞 (F3-6); e—白云岩结构破碎,方解石细脉发育,白云石呈现细晶结构,可见多个溶蚀孔洞及鞍形白云石 (F3-7); f—浅灰色白云岩,刀纹结构发育,观察到方解石细脉 (F7-2); g—浅肉红色白云岩,发育溶蚀孔洞 (F7-3); h—肉红色白云岩,结构破碎,可见溶蚀孔洞 (F7-6); i—浅灰色白云岩-深灰色白云岩,白云岩发生褪色蚀变 (F7-7); Lim—灰岩; Dol—白云岩; Coral—珊瑚化石; Cal—方解石细脉; SD—鞍状白云石; V—溶蚀孔洞

a—laminated marl (F3-8); b—marl dolomitization and coral fossils (F3-2); c—the dolomite color is flesh red, dolomite alteration (F3-3); d—calcite veins are developed, and multiple dissolution holes (F3-6) are found in dolomite; e—dolomite structure is crumble, calcite veins are developed, and dolomite presents fine crystal structure, many dissolution holes and saddle dolomite (F3-7) can be seen; f—light gray dolomite, knife cut structure developed, calcite vee (F7-2) observed; g—light red dolomite, developed dissolution holes (F7-3); h—flesh-red dolomite with crumble structure and dissolution holes visible (F7-6); i—light gray dolomite-dark gray dolomite with fading alteration of the dolomite (F7-7); Lim—limestone; Dol—dolomite; Coral—coral fossil; Cal—calcite vee; SD—saddle dolomite; V—dissolution holes

## 4 岩石地球化学特征

### 4.1 微量元素特征

选取研究区两个剖面(曲靖组和一打得组)样品

进行微量元素测定,结果见表1,微量元素与断层距离特征见图6。结果表明:F3剖面中Cr含量 $0 \sim 44.90 \times 10^{-6}$ ,平均 $18.71 \times 10^{-6}$ ;Cu含量 $3.79 \times 10^{-6} \sim 13.79 \times 10^{-6}$ ,平均 $7.48 \times 10^{-6}$ ;Pb含量 $6.96 \times 10^{-6} \sim 74.30 \times 10^{-6}$ ,平均 $23.53 \times 10^{-6}$ ;Zn含量 $17.90 \times 10^{-6} \sim$



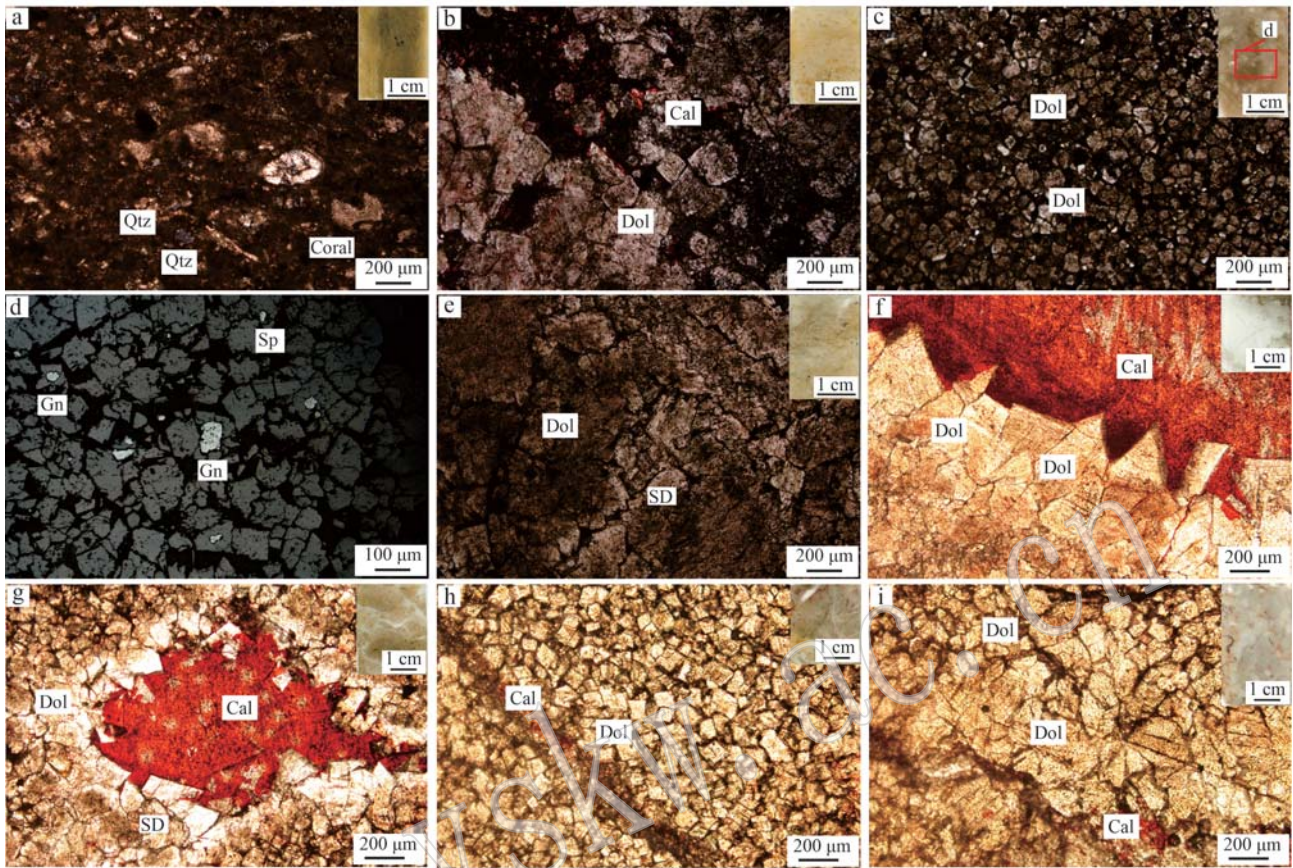


图 4 滇东北龙街地区白云岩镜下微观特征

Fig. 4 Microscopic characteristics of dolomites in Longjie area of northeast Yunnan

a—泥晶泥灰岩,大量珊瑚生物碎屑被他形方解石交代,胶结物为泥晶方解石和石英碎屑,单偏光; b—细-中晶白云石,半自形-自形,茜素红染色后变红,有环带现象,正交偏光; c—颗粒状细晶白云石,自形晶,白云石间的接触为点接触,单偏光; d—c 的反射光,见伴生矿物闪锌矿和方铅矿交代白云石颗粒; e—褐色细到中晶白云石,他形-半自形,缝合线接触,观察到鞍形白云石,单偏光; f—浅褐色锯齿状细-中晶白云石,半自形-自形,发育鞍形白云石,具“雾心亮边”结构,与方解石呈锯齿状排列,发育两组解理,呈凹凸接触,茜素红染色后观察到变红色,单偏光; g—细-中晶白云石,半自形-自形,鞍形白云石,两组解理,缝合线接触,茜素红染色后观察到一颗粗晶方解石镶嵌于白云石中,周边与白云石呈锯齿状排列,单偏光; h—褐色细晶白云石,自形,茜素红染色后观察到被一条方解石细脉贯穿,单偏光; i—浅褐色细-中晶白云石角砾,呈放射状排列,半自形-自形,白云石的粒径逐渐增大,多条胶结物充填,波状消光,正交偏光; Qtz—石英; Coral—珊瑚化石;

Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Dol—白云石; Cal—方解石; SD—鞍形白云石

a—micrite marl, a large number of coral biofragments are replaced by anhedral calcite, the cement is micrite calcite and quartz fragments, single polarization; b—fine-medium crystal dolomite, subhedral-euhedral, turning red after alizarin red staining, with ring phenomenon, crossed polarization; c—granular fine crystal dolomite, euhedral crystal, contact between dolomites is point contact, single polarization; d—reflected light image of c, associated minerals sphaerite and galena account for dolomite particles; e—brown fine to medium crystal dolomite, anhedral-subhedral, with suture contact and saddle-shaped dolomite observed, single polarization; f—light brown serrated fine-medium crystal dolomite, subhedral-euhedral, saddle-shaped dolomite, with “fog center bright edge” structure, serrated arrangement with calcite, two groups of cleavage developed, concave-convex contact. after alizarin red staining, the dolomite turns red, single polarization. g—fine-medium crystal dolomite, subhedral-euhedral, saddle dolomite, two groups of cleavage, suture contact, alizarin red dyeing observed a coarse crystal calcite embedded in dolomite, surrounded by a saw-tooth arrangement with dolomite crystals, single polarization; h—brown fine crystal dolomite, euhedral, showing a fine calcite vein crossing the dolomite after alizarin red staining, single polarization; i—light brown fine-medium crystal dolomite angular gravel, radially arranged, subhedral-euhedral, the particle size of dolomite gradually increases, multiple cementing materials fill the spaces, undulatory extinction, crossed polarization; Qtz—quartz;

Coral—coral fossil; Gn—galena; Sp—sphaerite; Dol—dolomite; Cal—calcite; SD—saddle dolomite

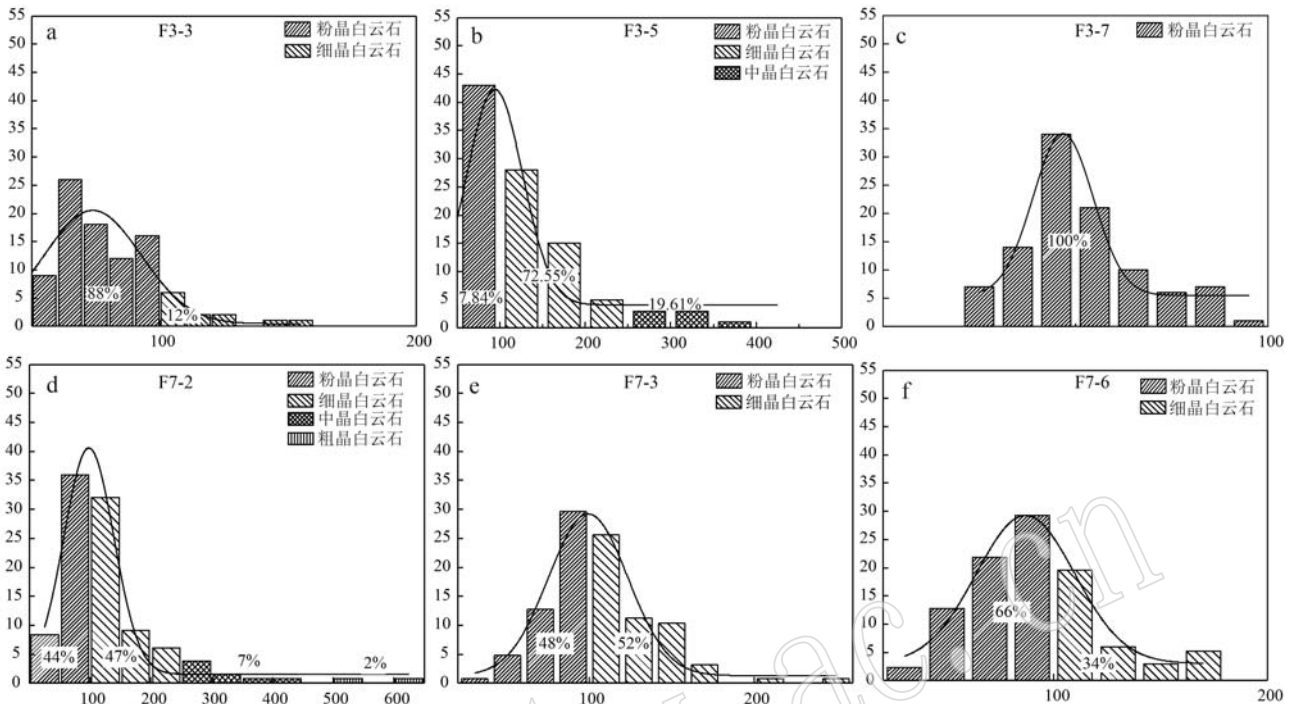


图 5 滇东北龙街地区 F3 和 F7 剖面白云岩中白云石粒度特征

Fig. 5 Grain size characteristics of dolomites in F3 and F7 profiles in Longjie area of northeast Yunnan

$263.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $81.85 \times 10^{-6}$ ; V 含量  $3.50 \times 10^{-6} \sim 64.50 \times 10^{-6}$ , 平均  $26.73 \times 10^{-6}$ ; Rb 含量  $0.83 \times 10^{-6} \sim 163.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $58.31 \times 10^{-6}$ ; Sr 含量  $37.10 \times 10^{-6} \sim 170.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $74.55 \times 10^{-6}$ ; Ba 含量  $5.03 \times 10^{-6} \sim 124.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $48.40 \times 10^{-6}$ 。Pb、Zn、Zr、V 元素含量在 F3 剖面中沿断层往原岩方向增加, 到达围岩接触带 (F3-2) 时最富集, 而 Cr、Cu、Sr、Ba 元素含量由断层往原岩方向呈递增趋势, 但仍小于原岩含量。

F7 剖面中 Cr 含量  $0.38 \times 10^{-6} \sim 23.80 \times 10^{-6}$ , 平均  $9.69 \times 10^{-6}$ ; Cu 含量  $2.68 \times 10^{-6} \sim 12.47 \times 10^{-6}$ , 平均  $5.32 \times 10^{-6}$ ; Pb 含量  $3.35 \times 10^{-6} \sim 38.30 \times 10^{-6}$ , 平均  $16.54 \times 10^{-6}$ ; Zn 含量  $6.59 \times 10^{-6} \sim 145.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $38.834 \times 10^{-6}$ ; Rb 含量  $0.74 \times 10^{-6} \sim 60.50 \times 10^{-6}$ , 平均  $21.74 \times 10^{-6}$ ; Sr 含量  $68.30 \times 10^{-6} \sim 244.00 \times 10^{-6}$ , 平均  $140.05 \times 10^{-6}$ ; Ba 的含量  $4.01 \times 10^{-6} \sim 81.20 \times 10^{-6}$ , 平均值  $26.68 \times 10^{-6}$ 。原岩 (F7-8) 中的 Cr、Cu、V、Pb、Zn 元素含量普遍低于热液白云岩, 由断层往原岩方向呈现递减趋势, 而原岩中 Sr、Ba 元素含量均高于热液白云岩含量。

#### 4.2 稀土元素特征

利用 NASC (北美页岩) 标准值对研究区白云岩稀土元素进行标准化 (表 1)。结果表明, 研究区稀

土元素总量  $\Sigma \text{REE}$  变化范围为  $3.52 \times 10^{-6} \sim 52.71 \times 10^{-6}$ , 平均  $30.73 \times 10^{-6}$ ; 灰岩的稀土元素总量  $\Sigma \text{REE}$  为  $36.49 \times 10^{-6}$ 。其中, F3 剖面粉晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  变化范围为  $4.22 \times 10^{-6} \sim 91.80 \times 10^{-6}$ , 平均  $48.01 \times 10^{-6}$ ; 粉-细晶白云岩为  $52.50 \times 10^{-6}$ ; 细晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  变化范围为  $25.68 \times 10^{-6} \sim 36.48 \times 10^{-6}$ , 平均  $31.08 \times 10^{-6}$ ; 细-中晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  变化范围为  $20.06 \times 10^{-6} \sim 28.09 \times 10^{-6}$ , 平均  $24.175 \times 10^{-6}$ 。F7 剖面的粉-细晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  变化范围为  $3.55 \times 10^{-6} \sim 44.30 \times 10^{-6}$ , 平均  $19.864 \times 10^{-6}$ ; 细-中晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  低于中晶白云岩和粉-细晶白云岩, 为  $18.96 \times 10^{-6}$ ; 中晶白云岩  $\Sigma \text{REE}$  最高, 为  $52.71 \times 10^{-6}$ 。

F3 剖面的稀土配分模式与 F7 剖面的稀土配分模式相近。F3 剖面的曲靖组泥灰岩 (F3-8) 具有以下特点: La~Eu 曲线较陡, Dy~Lu 曲线较平缓, 表现出“右倾型”曲线, 反映曲靖组泥灰岩轻稀土元素富集、重稀土元素亏损; 除 F3-7 白云岩外, 一打得组二段内白云岩与曲靖组泥灰岩表现出同样的特征, 都表现出轻稀土元素富集 (图 7a)。与 F3 剖面的稀土元素相比, F7 剖面的白云岩稀土元素富集程度比 F3 剖面的稀土元素富集程度低 (图 7b), 总体上, F7 剖面的稀土元素呈现出“右倾型”特点, 显示出轻稀土



表 1 龙街地区碳酸盐岩微量、稀土元素测试结果  
Table 1 Test results of trace elements and rare earth elements in carbonate rocks in Longjie area

样品 层位 岩性	F3-8 D <sub>2</sub> q 粉晶 泥灰岩	F3-1 D <sub>2</sub> q 细晶 白云岩	F3-2 D <sub>2</sub> q 粉晶 白云岩	F3-3 D <sub>2</sub> q 细晶 白云岩	F3-4 D <sub>2</sub> q 粉-细晶 白云岩	F3-5 D <sub>2</sub> q 细-中晶 白云岩	F3-6 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 细-中晶 白云岩	F3-7 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉晶 白云岩	F7-1 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉-细晶 白云岩	F7-2 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 细-中晶 白云岩	F7-3 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉-细晶 白云岩	F7-4 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉-细晶 白云岩	F7-5 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉-细晶 白云岩	F7-6 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 粉-细晶 白云岩	F7-7 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 中晶 白云岩	F7-8 D <sub>3</sub> y <sup>1</sup> 细-中晶 白云岩
As	16.50	6.90	32.90	4.57	9.92	7.30	12.80	6.70	0.82	1.59	1.36	4.71	5.97	0.84	14.10	3.08
Cr	44.90	23.10	40.60	5.45	24.80	7.70	3.17	-	0.38	26.60	4.56	3.50	15.40	0.68	23.80	2.63
Cu	13.79	6.22	12.58	4.39	9.88	5.02	4.18	3.79	3.73	4.06	3.61	5.22	7.01	3.79	12.47	2.68
Pb	22.40	6.96	74.30	8.88	14.30	11.00	9.50	40.90	5.61	6.85	11.80	31.30	38.30	7.48	27.60	3.35
Zn	124.00	35.40	263.00	31.70	21.80	17.90	82.70	78.30	15.30	20.10	19.40	34.60	45.50	20.20	145.00	6.59
Rb	163.00	38.10	132.00	17.90	76.00	27.20	11.50	0.83	0.74	25.90	14.10	12.20	51.70	0.83	60.50	7.97
Zr	77.10	20.60	113.00	9.07	36.40	11.70	5.65	0.71	1.08	10.80	7.90	9.07	24.70	0.87	40.10	5.64
V	56.70	19.70	64.50	11.00	34.60	14.90	8.96	3.50	2.34	13.60	11.30	18.10	28.00	3.01	30.90	4.09
Sr	170.00	37.10	54.00	68.60	68.50	61.20	63.10	73.90	72.90	162.00	146.00	173.00	177.00	77.20	68.30	244.00
Ba	124.00	33.60	87.30	25.80	63.80	21.80	25.90	5.03	4.01	26.20	16.80	15.10	56.80	4.31	81.20	9.05
Y	19.50	5.45	23.50	5.88	7.49	6.02	6.07	5.75	1.83	5.28	6.65	7.17	9.77	3.70	11.70	4.36
Co	15.20	4.64	9.00	2.99	7.74	4.58	3.36	2.14	2.32	3.11	2.66	2.76	3.09	2.52	6.94	4.63
Ni	49.90	35.60	28.50	28.50	36.20	33.80	36.70	31.20	29.30	33.30	33.20	31.00	30.20	30.40	31.40	52.20
Cu/Zn	0.11	0.18	0.05	0.14	0.45	0.28	0.05	0.05	0.24	0.20	0.19	0.15	0.15	0.19	0.09	0.41
Sr/Ba	1.37	1.10	0.62	2.66	1.07	2.81	2.44	14.69	18.18	6.18	8.69	11.46	3.12	17.91	0.84	26.96
La	8.36	28.10	21.40	5.07	12.60	5.70	3.82	1.02	0.90	4.76	5.25	4.17	9.85	1.74	13.00	3.67
Ce	16.10	52.00	38.90	10.60	22.70	11.80	8.34	1.60	1.05	6.90	9.62	6.41	17.50	2.23	21.8	7.74
Pr	1.68	6.01	4.30	1.16	2.38	1.28	0.90	0.18	0.17	0.91	1.46	0.83	2.03	0.36	2.42	0.84
Nd	5.94	22.20	15.50	4.66	8.54	4.91	3.64	0.71	0.67	3.56	5.98	3.16	7.84	1.52	8.12	3.25
Sm	1.05	4.12	2.78	0.95	1.49	1.04	0.80	0.14	0.14	0.68	1.16	0.62	1.72	0.32	1.65	0.68
Eu	0.21	0.80	0.49	0.21	0.30	0.23	0.18	0.03	0.03	0.16	0.23	0.13	0.33	0.07	0.29	0.15
Gd	0.96	3.33	2.46	0.98	1.37	0.98	0.83	0.20	0.16	0.54	0.75	0.57	1.35	0.32	1.45	0.74
Tb	0.15	0.62	0.39	0.15	0.22	0.16	0.13	0.03	0.03	0.10	0.15	0.10	0.25	0.05	0.25	0.11
Dy	0.83	3.33	2.15	0.84	1.15	0.85	0.71	0.20	0.16	0.54	0.75	0.57	1.35	0.32	1.45	0.60
Ho	0.17	0.66	0.44	0.16	0.23	0.17	0.14	0.04	0.03	0.11	0.15	0.12	0.27	0.07	0.30	0.12
Er	0.47	1.88	1.28	0.43	0.68	0.44	0.37	0.13	0.09	0.29	0.39	0.33	0.72	0.18	0.83	0.30
Tm	0.07	0.28	0.20	0.06	0.10	0.06	0.05	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.10	0.03	0.12	0.04
Yb	0.43	1.77	1.32	0.37	0.65	0.40	0.31	0.11	0.07	0.24	0.32	0.29	0.64	0.15	0.78	0.26
Lu	0.07	0.25	0.19	0.05	0.10	0.06	0.04	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	0.09	0.02	0.13	0.03
ΣREE	36.49	125.35	91.80	25.69	52.51	28.08	20.26	4.43	3.52	18.86	26.30	17.39	44.04	7.38	52.59	18.53
LREE	33.34	113.23	83.37	22.65	48.01	24.96	17.68	3.68	2.96	16.97	23.70	15.32	39.27	6.24	47.28	16.33
HREE	3.15	12.12	8.43	3.04	4.50	3.12	2.58	0.75	0.56	1.89	2.60	2.07	4.77	1.14	5.31	2.20
LREE/HREE	10.58	9.34	9.89	7.5	10.67	8.00	6.85	4.91	5.29	8.98	9.12	7.40	8.23	5.47	8.90	7.42
δCe	0.93	0.87	0.88	0.95	0.89	0.95	0.98	0.81	0.58	0.72	0.76	0.75	0.85	0.61	0.84	0.96
δEu	0.90	0.89	0.82	0.95	0.91	1.00	0.96	0.74	0.91	1.07	0.94	0.90	0.86	0.91	0.80	0.92

注：-表示低于检测下限。

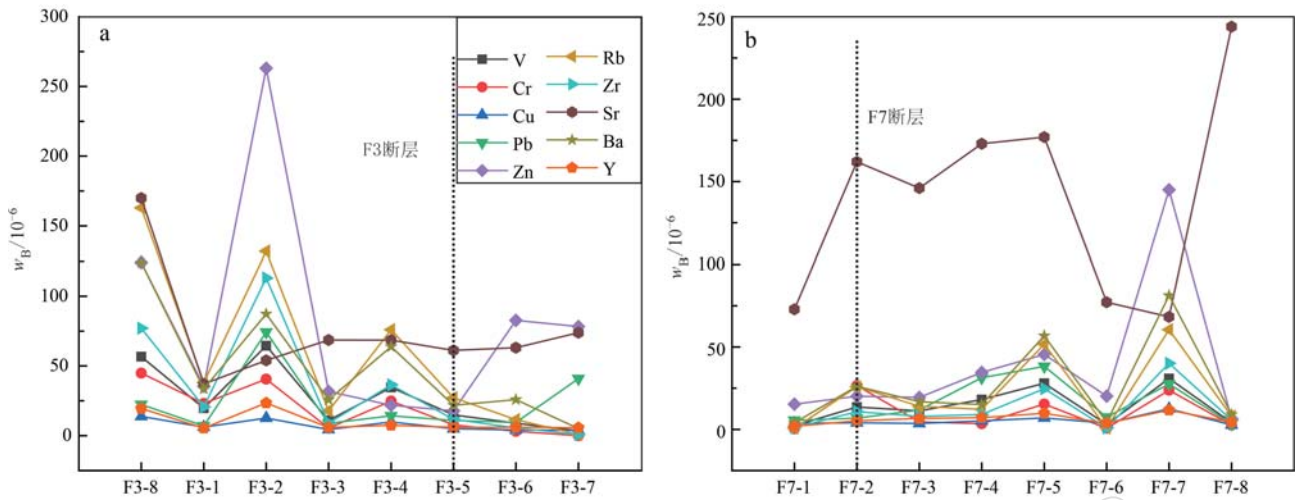


图6 研究区剖面 F3(a)和 F7(b)剖面微量元素特征图

Fig. 6 Trace element characteristics of F3 (a) and F7 (b) profile of the study area

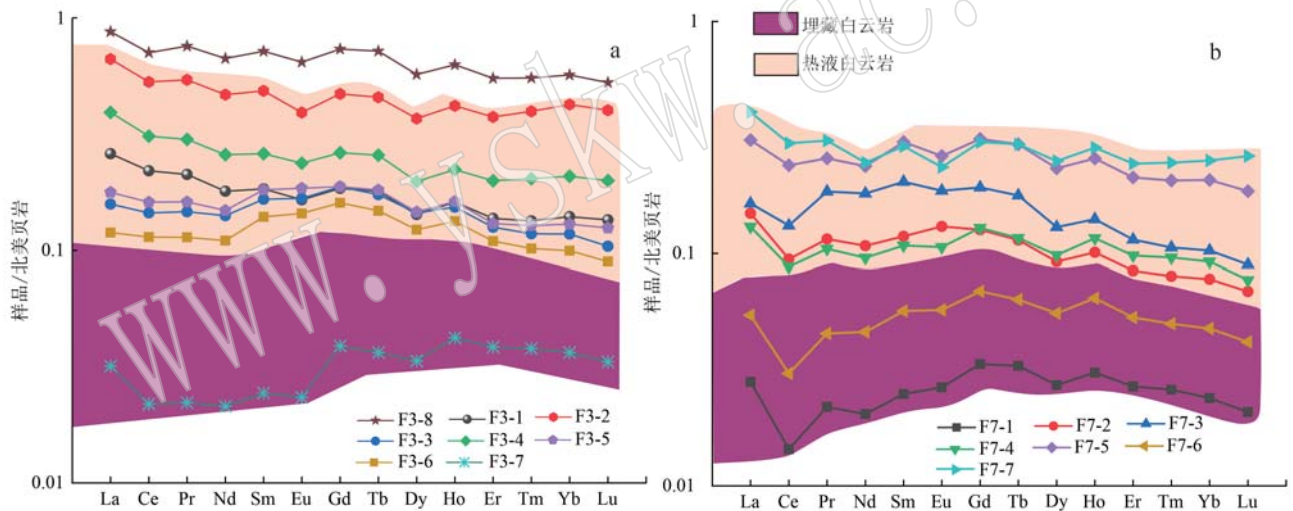


图7 研究区 F3 剖面(a)和 F7 剖面(b)碳酸盐岩稀土元素配分模式图

Fig. 7 Rare earth element distribution model diagram of F3 (a) and F7 (b) profile carbonate rocks in the study area

元素富集的规律性。

### 4.3 C、O 同位素组成

测试结果表明(表2),研究区内灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-5.23\text{‰}$ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-11.66\text{‰}$ ;粉晶白云岩 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-6.13\text{‰} \sim -4.25\text{‰}$ ,平均为 $-5.19\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-12.16\text{‰} \sim -9.93\text{‰}$ ,平均为 $-11.05\text{‰}$ ;粉-细晶白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-5.64\text{‰} \sim -3.67\text{‰}$ ,平均为 $-4.49\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-11.73\text{‰} \sim -9.99\text{‰}$ ,平均为 $-10.82\text{‰}$ ;细晶白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-6.75\text{‰} \sim -2.41\text{‰}$ ,平均为 $-4.93\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-11.74\text{‰} \sim -10.06\text{‰}$ ,平均为 $-10.98\text{‰}$ ;细-中晶白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-7.22\text{‰} \sim$

$-1.70\text{‰}$ ,平均为 $-4.26\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-10.05\text{‰} \sim -9.60\text{‰}$ ,平均为 $-10.19\text{‰}$ ;中晶白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-1.07\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-8.06\text{‰}$ 。根据碳酸盐岩距离断层的位置,绘制碳、氧同位素含量与断层位置关系图(图8)。结果表明,研究区内白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 表现出高负值, $\delta^{18}\text{O}$ 表现出低负值,除个别样品外,其余的碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O} \leq -10\text{‰}$ 。研究区内的 $\delta^{13}\text{C}$ 均为负值,F3剖面的 $\delta^{13}\text{C}$ 值由断层端到围岩增加,由围岩到原岩呈现下降趋势,总体上表现出倒“V”字型特点;而F7剖面白云岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值由断层到围岩远端呈现出增加趋势。



表 2 龙街地区碳酸盐岩碳、氧同位素含量 ‰

Table 2 Carbon and oxygen isotope content of carbonate rocks in Longjie area

样品	层位	岩性	断层类型	$\delta^{13}C_{PDB}$	$\delta^{18}O_{PDB}$
F3-8	D <sub>2</sub> q	粉晶灰岩	远断层	-5.23	-11.66
F3-1	D <sub>2</sub> q	细晶白云岩	远断层	-2.41	-10.06
F3-2	D <sub>2</sub> q	粉晶白云岩	远断层	-6.13	-12.16
F3-3	D <sub>2</sub> q	细晶白云岩	近断层	-6.75	-11.74
F3-4	D <sub>2</sub> q	细晶白云岩	近断层	-5.64	-11.13
F3-5	D <sub>2</sub> q	细-中晶白云岩	断层	-7.22	-9.60
F3-6	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	细-中晶白云岩	近断层	-1.70	-10.50
F3-7	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉晶白云岩	远断层	-4.25	-9.93
F7-1	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉-细晶白云岩	近断层	-5.05	-11.26
F7-2	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	细-中晶白云岩	断层	-4.22	-12.01
F7-3	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉-细晶白云岩	近断层	-4.25	-11.73
F7-4	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉-细晶白云岩	远断层	-4.27	-10.2
F7-5	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉-细晶白云岩	远断层	-4.03	-10.92
F7-6	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	粉-细晶白云岩	远断层	-3.67	-9.99
F7-7	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	中晶白云岩	远断层	-1.70	-8.06
F7-8	D <sub>3</sub> y <sup>1</sup>	细-中晶白云岩	远断层	-3.93	-8.66

## 5 讨论

### 5.1 热液白云石化流体特征

断层处产生的断裂形成多条裂隙,为热液流体溶蚀白云岩并发生热液蚀变提供了有利条件,因此位于此部位的白云岩易遭受强烈的溶蚀改造。研究区内白云岩蚀变特征明显,可见溶蚀孔洞、热褪色及重结晶现象。曲靖组和一打得组白云岩内观察到多个溶蚀孔洞(图 3d、3g),白云岩的颜色由肉红色(图 3h)变为浅灰色(图 3i)。这是因为处于高温条件下的热液流体沿着溶蚀孔洞进入白云岩内,加速了白云石重结晶的进程,导致白云石颗粒变粗,表现出自断层向围岩由中晶白云石变为粉-细晶白云石(图 5)。地球化学分析结果显示,曲靖组白云岩 Zn、Pb 元素和与铅锌矿有关的 Rb 元素含量比一打得组白云岩高,经热液流体改造的白云岩从热液中获得了这些元素(金之钧等, 2006; 丁茜等, 2019),意味着曲靖组白云岩热液流体与铅锌矿赋矿机理密切

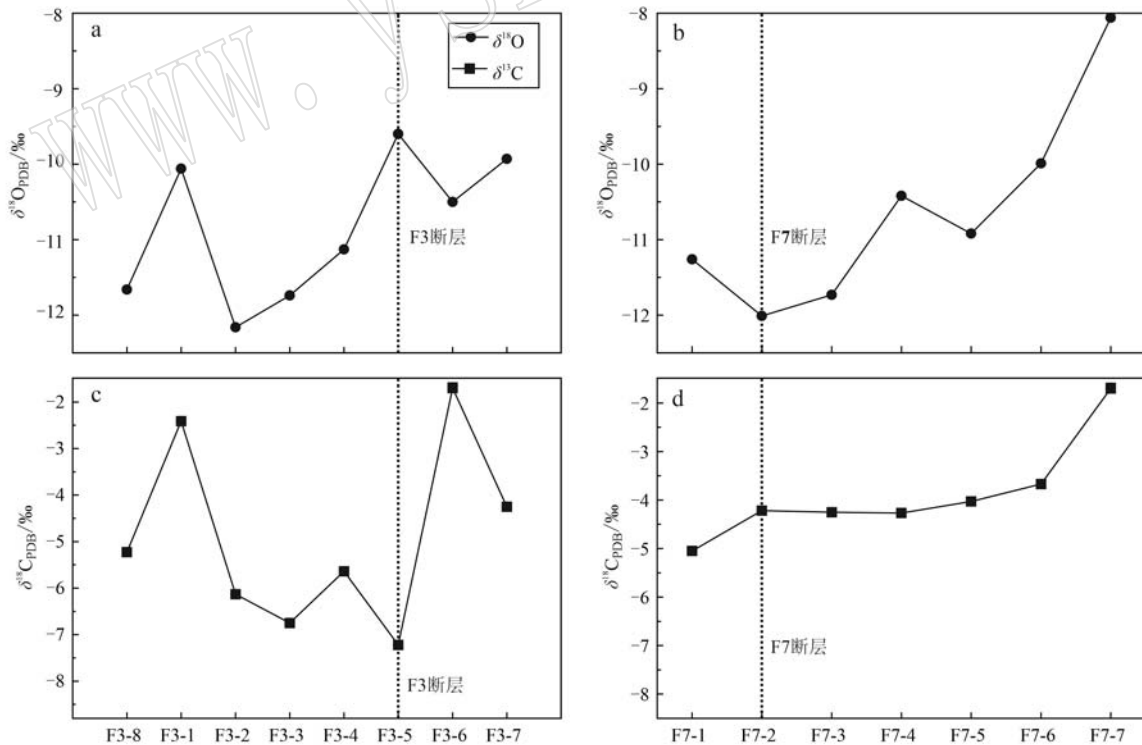


图 8 滇东北龙街地区泥盆系碳酸盐碳、氧同位素与断层距离位置图

Fig. 8 Location map of carbonate carbon, oxygen isotope and fault distance in Devonian system in Longjie area of northeast Yunnan

相关。

稀土元素具有稳定的地球化学性质,不同来源的流体在 REE 配分模式、轻重稀土元素含量比值以及  $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$  方面存在较大差异,因此可以来推测流体的性质和来源。在热液流体的作用下,研究区曲靖组和一打得组热液白云岩与围岩的稀土元素配分模式相似,均表现出轻稀土元素富集,重稀土元素亏损的特点(Xu *et al.*, 2024)。轻、重稀土元素比值是评价热液流体中轻重稀土元素协同迁移的指标,曲靖组的轻重稀土元素比值为 9.32,一打得组的轻重稀土元素平均比值为 7.26,这说明研究区内热液流体中的轻重稀土元素协同迁移性较好(郭春涛等, 2018)。Ce、Eu 元素异常是判断氧化还原环境的重要标志(Bierlein, 1991; Gaspar *et al.*, 2008),研究区  $\delta\text{Ce}$  值在 0.61~0.98,具有明显的 Ce 负异常,除个别白云岩样品具有正 Eu 异常外( $\delta\text{Eu} = 1.0 \sim 1.07$ ),其余样品均具有负 Eu 异常( $\delta\text{Eu} = 0.74 \sim 0.96$ ),反映研究区的热液流体是处于弱氧化-弱还原的环境(苏中堂等, 2011; Li *et al.*, 2022; 郑方顺等, 2023)。结合曲靖组 Cu/Zn 的平均值为 0.16,一打得组 Cu/Zn 的平均值为 0.20,均小于 0.21(田景春等, 2016),进一步证实研究区的热液流体处于还原环境。

## 5.2 热液白云岩特征及与断层的关系

关于热液白云岩的识别,前人做了大量的工作,在岩相学和地球化学等方面取得重要突破。根据前人的研究,结合研究区白云岩的分布特点,从显微结构特征、粒度特征以及地球化学特征阐述热液白云岩与断层的关系。研究区内热液白云岩相较于埋藏白云岩分布存在明显差异,热液白云岩主要集中在靠近断层区域。在断层附近位置出现细-中晶自形程度好的鞍形白云石,内部伴有石英、闪锌矿及方铅矿热液矿物(图 4d),是热液白云岩的典型特征(Davies and Smith, 2006; 陈代钊, 2008; 赵文智等, 2012, 2018; 吴承炆等, 2023)。根据白云石的粒度统计特征,热液白云岩分布在断层两侧,且白云岩粒度大小与断层距离联系密切,靠近断层位置白云石的粒度大,由断层往两端白云石粒度变小(图 5)。

通过对曲靖组和一打得组白云岩样品的地球化学分析,发现曲靖组剖面中的 V、Cr、Cu、Zr、Rb、Ba 元素含量普遍高于一打得组剖面(表 1)。在成岩过程中,由于经热液流体改造,导致 Sr 含量的丢失和

Ba 含量富集(王旭等, 2011),因而具有较低的 Sr/Ba 值。对比可知,曲靖组 Sr/Ba 值普遍小于一打得组的 Sr/Ba 值,由此表明曲靖组的热液流体活动比一打得组更为剧烈。 $\delta^{18}\text{O}$  值是判断白云岩成因类型的重要指标(Ye *et al.*, 2019; 何溥为等, 2021)。此外, $\delta^{18}\text{O}$  值在热液流体表现出低值,根据碳氧同位素结果,研究区白云岩的  $\delta^{18}\text{O}$  平均值为  $-11.03\text{‰}$ ,低于  $-10\text{‰}$ (Allan and Wiggins, 1993; 贺训云等, 2014; 郭颖等, 2023),曲靖组和一打得组的  $\delta^{18}\text{O}$  均在断层处呈现出下降趋势,这表明热液流体来源于断层处。研究区  $\delta^{13}\text{C}$  在曲靖组和一打得组存在不同的变化特征,曲靖组的  $\delta^{13}\text{C}$  值由围岩沿断层不断减小,表明曲靖组的 C 为有机碳的加入,而一打得组  $\delta^{13}\text{C}$  值增大,表明一打得组有无机碳的加入,但整体上两组剖面的  $\delta^{13}\text{C}$  仍为负值。

## 5.3 热液白云石化与金属成矿的关系

通过研究发现,滇东北龙街地区泥盆系存在由两组不同围岩蚀变成热液白云岩的白云石化过程。曲靖组白云岩是由灰岩经过埋藏和热液叠加作用形成的热液白云岩,一打得组白云岩则是由白云岩经埋藏和热液流体作用所形成的热液白云岩,而曲靖组的热液流体与铅锌矿的形成有关。因此,本次讨论曲靖组热液白云化和金属成矿过程。

曲靖组的热液白云岩形成过程与传统的白云石化过程相似,是由灰岩发育而来。研究区的岩石学特征与地球化学特征表明,曲靖组发现了走滑断层,该断层为热液流体提供通道,深部热液流体沿断层垂直上涌到达近地表,沿着断层裂隙向上运移至埋藏白云岩附近,使得白云岩处于高温、高压环境,发生热液交代作用,加速热液白云石化过程(冯明友等, 2016),导致灰岩及埋藏环境下的白云岩发生热液白云石化,因而白云岩中产生大量孔隙(图 9)。热液白云岩的稀土元素配分模式与灰岩相似,表现出“右倾型”的特点,与前人的研究结果一致(何溥为等, 2021),表明曲靖组白云岩继承了灰岩的稀土元素配分模式的特征。随着埋藏作用的进行,温度不断升高,灰岩内的 Ca 离子逐渐被 Mg 离子所替代,进入白云石晶格。体现在 Sr 元素向热液白云岩迁移富集,进入白云石晶格中,热液白云岩 Sr 含量增加,而稀土元素逐步贫化,导致曲靖组的白云岩稀土元素出现亏损(崔广申等, 2023)。

大量研究表明,热液白云岩可作为铅锌矿的容



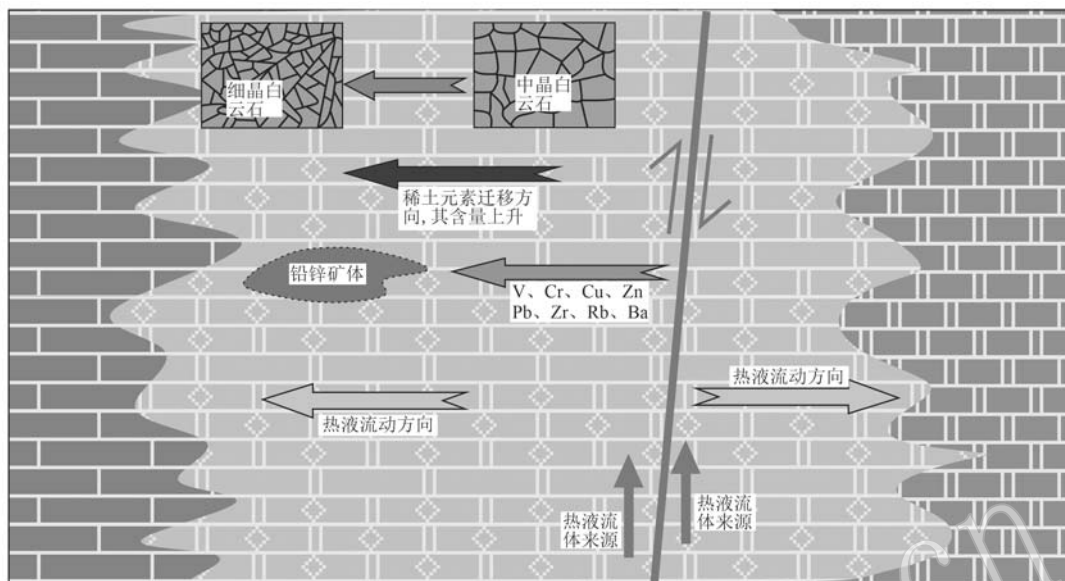


图 9 龙街地区中上泥盆系热液白云岩模式图

Fig. 9 Middle-Upper Devonian hydrothermal dolomite model map in the Longjie area

矿围岩(李驰等, 2018),对铅锌矿的赋存起到重要作用。水岩相互作用往往会使得成矿流体的性质发生改变,促使成矿元素产生沉淀,在成矿过程中起着极为关键的作用。曲靖组热液白云石化过程中,从断层产生的热液流体在水岩相互作用下携带 V、Rb、Zn、Pb 等元素进入白云石内,改造后的热液白云岩从热液中获得这些元素,导致 V、Rb、Zn、Pb 由断层到围岩呈现递增趋势。由于热液流体沿断层往围岩迁移,成矿元素随热液流体往围岩方向增加,到达围岩接触带时达到峰值(谭茂等, 2022),因此成矿元素 V、Rb、Zn、Pb 呈现出由断层→矿体→围岩依次升高的趋势。但是,由于缺乏有机碳参与,硫酸盐热化学还原反应(TSR)过程难以启动,成矿金属元素难以沉淀(Machel, 2001; 熊索菲等, 2016),而曲靖组热液白云岩  $\delta^{13}\text{C}$  值呈现出负值,这表明曲靖组的 C 属于有机碳(齐荣等, 2024)。然而值得注意的是,曲靖组原岩为含生物化石的泥灰岩,富含有机碳,这为热液流体提供了有机碳源,热液流体中携带的成矿元素与有机碳在围岩端结合,TSR 反应得以进行,使得金属硫化物沉淀,形成铅锌矿体,因而在围岩附近成矿元素 V、Rb、Zn、Pb 含量高。由于金属硫化物在沉淀过程中需要消耗有机碳,所以  $\delta^{13}\text{C}$  值表现出短暂升高,进而  $\delta^{13}\text{C}$  值整体上表现出由断层→矿体→围岩呈现倒“V”字形特征。综合曲靖组地球化学特

征,可以推断,靠近断层端白云岩受热液流体影响程度高,热液白云岩的水岩相互作用越强,越容易获得流体中的成矿元素,围岩中有机碳含量高,硫酸盐结合有机碳启动 TSR 过程,使得金属硫化物沉淀,从而导致热液白云岩赋存铅锌矿,据此可以判断铅锌矿体位于围岩接触带中(图 9)。

## 6 结论

(1) 龙街勘查区白云岩由埋藏白云岩和热液白云岩构成,而热液白云岩与断层位置有关。研究区内的热液白云岩中白云石粒度大小和微量元素含量表现出距离断层越近,其粒度越大而微量元素含量越低,氧同位素呈现出相同的变化趋势。

(2) 区内曲靖组和一打得组两个地层的热液白云石化流体存在异同。整体上,两组白云石化流体处于相对还原环境,表现出轻稀土元素富集、重稀土元素亏损和右倾型配分模式。然而,曲靖组热液白云石化流体与铅锌矿的成矿过程有关。

(3) 曲靖组热液白云石化过程热液流体方向是沿断层向两端运移,热液流体在运移的过程中成矿元素容易进入热液白云岩中。其热液白云岩的 V、Rb、Zn、Pb 元素含量沿断层向断层两端递增, $\delta^{13}\text{C}$  值由断层沿围岩递增,可作为铅锌找矿标志。

**致谢** 本研究在野外工作中得到了彝良驰宏矿业有限公司钟华、徐波、龚小龙、邓平等同志的大力协助,微量元素测试分析得到了中科院地化所(贵阳)相关实验老师的帮助,C-O同位素测试分析得到云南省分析测试中心老师的帮助,审稿专家提出宝贵的修改意见及建议,在此表示衷心的感谢!

## References

- Allan J R and Wiggins W D. 1993. Dolomite Reservoirs: Geochemical Techniques for Evaluating Origin and Distribution[M]. American Association of Petroleum Geologists.
- Bierlein F P. 1991. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium[J]. *Chemical Geology*, 93(3~4): 219~230.
- Chen Daizhao. 2008. Structure-controlled hydrothermal dolomitization and hydrothermal dolomite reservoirs[J]. *Oil & Gas Geology*, 29(5): 614~622 (in Chinese with English abstract).
- Cui Guangshen, Bao Zhiwei and Li Qun. 2023. The origin of hydrothermal dolomite in the Huize giant Pb-Zn ore-field in the Yunnan Province and its geological implications[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 47(2): 361~375 (in Chinese with English abstract).
- Davies R G and Smith B L. 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview[J]. *AAPG Bulletin*, 90(11): 1 641~1 690.
- Ding Qian, Hu Xiufang, Gao Qidong, *et al.* 2019. The hydrothermal alteration types and zoning features of Ordovician carbonate in Tarim Basin[J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 46(5): 361~375 (in Chinese with English abstract).
- Farr M R. 1989. Compositional zoning characteristics of late dolomite cement in the Cambrian Bonnetterre Formation, Missouri: Implication for brine migration pathways[J]. *Carbonates and Evaporites*, 4: 177~194.
- Feng Youming, Qiang Zitong, Shen Ping, *et al.* 2016. Evidences for hydrothermal dolomite of Sinian Dengying Formation in Gaoshiti-Moxi area, Sichuan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 37(5): 587~598 (in Chinese with English abstract).
- Gaspar M, Knaack C, Meinert L D, *et al.* 2008. REE in skarn systems: A LA-ICP-MS study of garnets from the Crown Jewel gold deposit[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(1): 185~205.
- Guo Chuntao, Li Ruyi, Chen Shumin, *et al.* 2018. Rare earth element geochemistry and genetic model of dolomite of Ying shan Formation in Gucheng area, Tarim Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 48(4): 1 121~1 134 (in Chinese with English abstract).
- Guo Ying, Du Xiaofeng, Yang Bo, *et al.* 2023. Geochemical characteristics and genesis of Upper Sinian-Lower Paleozoic dolomite in Lower Yangtze Region: A case study from Nanjing area[J]. *Earth Science*, 48(12): 4 558~4 574 (in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Zhang Yan, Ye Tianzhu, *et al.* 2023. An overview of the metallogeny and geological prospecting model of Mississippi Valley Type (MVT) Lead and Zinc deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 47(5): 915~932 (in Chinese with English abstract).
- He Puwei, Xu Wang, Zhang Lianjin, *et al.* 2021. Characteristics and genetic mechanism of Qixia Formation dolomite in Moxi-Gaoshiti area, Central Sichuan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 39(6): 1 532~1 545 (in Chinese with English abstract).
- He Xunyun, Shou Jianfeng, Shen Anjiang, *et al.* 2014. Geochemical characteristics and origin of dolomite: A case study from the middle assemblage of Majiagou Formation Member 5 of the west of Jingbian Gas Field, Ordos Basin, North China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 41(3): 375~384 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong, Li Wenbo, Han Runsheng, *et al.* 2004. Several problems involved in genetic studies on Huize superlarge Pb-Zn deposit Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(2): 105~111 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Binbin, Zhu Xinyou, Huang Xingkai, *et al.* 2022. Discussion on the metallogenic age of Mississippi Valley-type (MVT) lead-zinc deposit in Northeastern Yunnan[J]. *Geological Review*, 68(1): 138~146 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, *et al.* 2006. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 245~253 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhongguo and Huang Zhilong. 2008. Study on controlling-ore factors of Pb-Zn deposit and prospecting model in the area of Southwestern Guizhou[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 28(4): 467~472 (in Chinese with English abstract).
- Leach D L and Song Yucai. 2019. Chapter 9 sediment-hosted Zinc-Lead and copper deposits in China[C]//Chang Z S and Goldfarb R J. *Mineral deposits of china*. Society of Economic Geologists, 22: 325~409.
- Li Chi, Pan Wen and Du Yuansheng. 2018. Characteristics and metallogenic significance of the Cambrian dolostone in Tongren area, eastern Guizhou Province[J]. *Journal of Palaeogeography*, 20(5): 869~876 (in Chinese with English abstract).
- Li L P, Wen H G, Zhou G, *et al.* 2022. Petrographic, rare earth elemental and isotopic constraints on the dolomite origin: A case study



- from the Middle-Upper Cambrian Xixiangchi Formation in Eastern Sichuan Basin, Southwest China [J]. *Minerals*, 12 (10): 1 224 ~ 1 224.
- Li Qun and Bao Zhi Wei. 2018. Hydrothermal dolomite: A review and perspective [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(4): 699~717 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hechang and Lin wenda. 1999. Study on the Regularity of Lead-zinc-silver Deposits in Northeast Yunnan [M]. Kunming: Yunnan University Press (in Chinese).
- Machel H G. 2001. Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings—Old and new insights [J]. *Sedimentary Geology*, 140(1): 143~175.
- Qi Rong, Li Guorong, Zhang Juntao, *et al.* 2024. Mechanism and significance of hydrothermal activity in the Majiagou Formation, Fuxian area, Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 26(3): 632~643 (in Chinese with English abstract).
- Qing H and Mountjoy E. 1992. Large-scale fluid flow in the Middle Devonian Presqu' ile barrier, Western Canada Sedimentary Basin [J]. *Geology*, 20: 903~906.
- Reed C P and Wallace M W. 2001. Diagenetic evidence for an epigenetic origin of the courtbrown Zn-Pb deposit, Ireland [J]. *Mineralium Deposita*, 36(5): 428~441.
- Su Zhongtang, Chen Hongde, Xu Fenyang, *et al.* 2011. Geochemistry and dolomitization mechanism of Majiagou dolomites in Ordovician, Ordos, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(8): 2 230~2 238 (in Chinese with English abstract).
- Tan Mao, Wu Peng, Han Run Sheng, *et al.* 2022. Geochemical characteristics of in-situ micro-analyzed dolomites in “ore-contact zone-wall rock” of the Huize super-large lead-zinc deposit and their indicative significances [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 42(3): 315~328 (in Chinese with English abstract).
- Tian Jingchun and Zhang Xiang. 2016. *Sedimentary Geochemistry* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Tian L D, Song Y C, Zhuang L L, *et al.* 2022. Characteristic and genesis of dolostone reservoirs around the Proterozoic/Cambrian boundary in the Upper Yangtze block for Mississippi valley-type Zn-Pb ores: A review [J]. *Ore Geology Reviews*, 150: 105179.
- Tian Lidan, Song Yucai, Zhong Liangliang, *et al.* 2024. Genetic relationship between Mississippi Valley type (MVT) lead-zinc deposit and evaporite: A review [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 43(4): 1~29 (in Chinese with English abstract).
- Voss R L and Hagni R D. 1985. The application of cathodoluminescence microcopy to study of sparry dolomite from the Viburnum Trend, southeast Missouri [C]//Hausen D M and Kopp O C. *Mineralogy: Applications to the minerals industry; Proceedings of the Paul F. Kerr Memorial Symposium, AIME, New York, NY*, 51~68.
- Wang Xu, Shen Jianwei, Chen Daizhao, *et al.* 2011. Dolomites types and trace element geochemistry of the early Paleozoic strata in the Keping-Bachu area Tarimbasin [J]. *Mineral Petrol*, 31(2): 23~32 (in Chinese with English abstract).
- Wei A Y, Xue C D, Xiang K, *et al.* 2015. The ore-forming process of the Maoping Pb-Zn deposit, northeastern Yunnan, China: Constraints from cathodoluminescence (CL) petrography of hydrothermal dolomite [J]. *Ore Geology Reviews*, 70: 562~577.
- Wen Dexiao, Han Runsheng, Wang Feng, *et al.* 2014. Features and formation mechanism of HTD dolomites in the Huize lead-zinc deposit, Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(6): 1 086~1 098 (in Chinese with English abstract).
- Wu Chengyang, Liu Bo, Yu Jiaxin, *et al.* 2023. A review of dolomite genesis analysis [J]. *Advances in Geosciences*, 13(6): 673~680 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Suofei, Yao Shuzhen, Gong Yongjun, *et al.* 2016. Ore-forming fluid and thermochemical sulfate reduction in the Wusihe Lead-Zinc Deposit, Sichuan Province, China [J]. *Earth Science*, 41(1): 105~120 (in Chinese with English abstract).
- Xu F B, Li L, Luo N N, *et al.* 2024. Distribution and genesis of the Maokou Formation dolomite in Fengdu-Shizhu area, eastern Sichuan Basin [J]. *Energy Exploration & Exploitation*, 42(3): 1 098~1 114.
- Ye N, Zhang S N, Qing H R, *et al.* 2019. Dolomitization and its impact on porosity development and preservation in the deeply buried Lower Ordovician carbonate rocks of Tarim Basin, NW China [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 182.
- Zhang Changqing, Mao Jingwen, Wu Suoping, *et al.* 2005. Distribution characteristics and genesis of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area [J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 336~348 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing, Yu Jinjie, Mao Jingwen, *et al.* 2009. Advances in the study of Mississippi Valley-type deposits [J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 195~210 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuxiang. 1982. A North-South important geological tectonic unit in Southwest China, the Panzhihua-Xichang rift belt [J]. *Geology of Sichuan*, 3(Z1): 11~24, 58 (in Chinese).
- Zhao Sibao, Liu Ying Chao, Yue Longlong, *et al.* 2024. Types, characteristics, and genesis of the Lower Carboniferous Baizuo Formation dolomite in the super-large Huize Pb-Zn orefield [J/OL]. *Earth Science*, 1~34 (in Chinese with English abstract).

- Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Hu Suyun, *et al.* 2012. Types and distributional features of Cambrian Ordovician dolostone reservoirs in Tarim Basin, northwestern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 758~768 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Qiao Zhanfeng, *et al.* 2018. Genetic types and distinguished characteristics of dolomite and the origin of dolomite reservoirs[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 45(6): 923~935 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Fangshun and Song Guoxue. 2023. Application of Eu anomaly in geology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 45(6): 2 832~2 856 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jiayi, Xiang Zhenzhong, Zhou Meifu, *et al.* 2018. The giant Upper Yangtze Pb-Zn province in SW China: Reviews, new advances and a new genetic model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 154: 280~315.
- Zhou Zhitan. 2017. In-chspace Zones of the Hydrothermal Dolomite of the Heweilang Rock Lead-zinc Deposit in Northwestern Guizhou and its Genesis[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhu Guangyou and Li Xi. 2023. Progress in genetic types and research methods of dolomite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 44(7): 1167~1190 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongqing, Yu Hongping, Li Shuai, *et al.* 2021. The Cu mineral characteristics and geological significance of Lehong Pb-Zn deposit in NE Yunnan[J]. *Geology of Yunnan*, 40(4): 432~445 (in Chinese with English abstract).
- 陈代钊. 2008. 构造-热液白云岩化作用与白云岩储层[J]. *石油与天然气地质*, 29(5): 614~622.
- 崔广申, 包志伟, 李群. 2023. 云南会泽超大型铅锌矿田热液白云岩的成因及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 47(2): 361~375.
- 丁茜, 胡秀芳, 高奇东, 等. 2019. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩热液蚀变类型及蚀变流体的分带特征[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 46(5): 600~609.
- 冯明友, 强子同, 沈平, 等. 2016. 四川盆地高石梯-磨溪地区震旦系灯影组热液白云岩证据[J]. *石油学报*, 37(5): 587~598.
- 郭春涛, 李如一, 陈树民. 2018. 塔里木盆地古城地区鹰山组白云岩稀土元素地球化学特征及成因[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 48(4): 1121~1134.
- 郭颖, 杜晓峰, 杨波, 等. 2023. 下扬子地区上震旦统-下古生界白云岩地球化学特征及成因: 以南京地区为例[J]. *地球科学*, 48(12): 4558~4574.
- 韩润生, 张艳, 叶天竺, 等. 2023. MVT 铅锌矿床成矿规律与找矿预测地质模型[J]. *大地构造与成矿学*, 47(5): 915~932.
- 何溥为, 胥旺, 张连进, 等. 2021. 川中磨溪-高石梯地区栖霞组白云岩特征及成因机制[J]. *沉积学报*, 39(6): 1532~1545.
- 贺训云, 寿建峰, 沈安江, 等. 2014. 白云岩地球化学特征及成因: 以鄂尔多斯盆地靖西马五段中组合为例[J]. *石油勘探与开发*, 41(3): 375~384.
- 黄智龙, 李文博, 张振亮, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中的几个问题[J]. *矿物学报*, 24(2): 105~111.
- 蒋斌斌, 祝新友, 黄行凯, 等. 2022. 关于滇东北 MVT 型铅锌矿成矿时代的讨论[J]. *地质论评*, 68(1): 138~146.
- 金之钧, 朱东亚, 胡文瑄, 等. 2006. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响[J]. *地质学报*, 80(2): 245~253.
- 金中国, 黄智龙. 2008. 黔西北铅锌矿床控矿因素及找矿模式[J]. *矿物学报*, 28(4): 467~472.
- 李驰, 潘文, 杜远生. 2018. 黔东南仁地区寒武系热液白云岩特征及其成矿意义[J]. *古地学报*, 20(5): 869~876.
- 李群, 包志伟. 2018. 热液白云岩的研究现状及展望[J]. *大地构造与成矿学*, 42(4): 699~717.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社.
- 齐荣, 李国蓉, 张军涛, 等. 2024. 鄂尔多斯盆地富县地区马家沟组热液改造特征与研究意义[J]. *古地学报*, 26(3): 632~643.
- 苏中堂, 陈洪德, 徐粉燕, 等. 2011. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩地球化学特征及白云岩化机制分析[J]. *岩石学报*, 27(8): 2230~2238.
- 谭茂, 吴鹏, 韩润生, 等. 2022. 会泽超大型铅锌矿床“矿石-接触带-围岩”白云石微区原位地球化学特征及其指示意义[J]. *矿物学报*, 42(3): 315~328.
- 田景春, 张翔. 2016. 沉积地球化学[M]. 北京: 地质出版社.
- 田力丹, 宋玉财, 庄亮亮, 等. 2024. 密西西比河谷型(MVT)铅锌矿床与蒸发岩的成因关系[J]. *岩石矿物学杂志*, 43(4): 1~29.
- 王旭, 沈建伟, 陈代钊, 等. 2011. 塔里木盆地柯坪-巴楚地区早古生代白云岩类型及微量元素地球化学特征[J]. *矿物岩石*, 31(2): 23~32.
- 文德潇, 韩润生, 王峰, 等. 2014. 云南会泽超大型铅锌矿床 HTD 白云岩的厘定及其形成机制[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(6): 1086~1098.
- 吴承扬, 刘波, 于家鑫, 等. 2023. 白云岩成因分析综述[J]. *地球科学前沿*, 13(6): 673~680.
- 熊索菲, 姚书振, 宫勇军, 等. 2016. 四川乌斯河铅锌矿床成矿流体特征及 TSR 作用初探[J]. *地球科学*, 41(1): 105~120.

## 附中文参考文献



- 张长青,毛景文,吴锁平,等. 2005. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. 矿床地质, 24(3): 336~348.
- 张长青,余金杰,毛景文,等. 2009. 密西西比型(MVT)铅锌矿床研究进展[J]. 矿床地质, 28(2): 195~210.
- 张云湘. 1982. 中国西南部一个南北向重要地质构造单元“攀枝花-西昌裂谷带”[J]. 四川地质学报, 3(Z1): 11~24, 58.
- 赵思博,刘英超,岳龙,等. 2024. 会泽铅锌矿区摆佐组地层白云石类型、特征及成因[J/OL]. 地球科学, 1~34.
- 赵文智,沈安江,胡素云,等. 2012. 塔里木盆地寒武-奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J]. 岩石学报, 28(3): 758~768.
- 赵文智,沈安江,乔占峰,等. 2018. 白云岩成因类型, 识别特征及储集空间成因[J]. 石油勘探与开发, 45(6): 923~935.
- 郑方顺,宋国学. 2023. 铀异常在地质学中的应用[J]. 岩石学报, 39(9): 2 832~2 856.
- 周志坛. 2017. 黔西北赫章亮岩铅锌矿床热液白云岩的时空分带性及其成因[D]. 昆明: 昆明理工大学.
- 朱光有,李 茜. 2023. 白云岩成因类型与研究方法进展[J]. 石油学报, 44(7): 1 167~1 190.
- 朱永清,余红平,李 帅,等. 2021. 滇东北乐红铅锌矿床铜矿物特征及地质意义[J]. 云南地质, 40(4): 432~445.

## 致 谢

2024 年度,许多专家在百忙之中抽出时间,接受编辑部邀请为本刊评审了稿件,他们对文章的学术质量进行了严格把关,付出了辛勤的劳动,为提高刊物质量做出了贡献。在此,编辑部特代表主编及主办单位,向这些专家表示衷心的感谢!

这些专家有(以姓氏拼音为序):

安 慰 白 峰 柏道远 蔡剑辉 曹华文 曹玉婷 陈建林 陈建书 陈 雷 陈天虎 陈言飞  
 陈振宇 陈正乐 程银行 程志国 崔 浩 崔天顺 代鸿章 代晶晶 代作文 丁 涛 董 杰  
 董磊磊 董永胜 杜利林 段向东 段晓侠 樊献科 范宏瑞 冯佐海 付建刚 高利娥 高 阳  
 郜玉杰 葛文春 郭春丽 郭 颖 韩世礼 郝艳玲 何小虎 贺振宇 洪汉烈 侯 通 胡 娟  
 黄 勇 黄智龙 冀 磊 孔凡梅 旷红伟 兰中伍 李 斌 李登峰 李光明 李国武 李厚民  
 李腊梅 李 鹏 李瑞保 李 舫 李胜荣 李小伟 李旭平 李 妍 李 艳 李英杰 梁 培  
 廖志伟 林 伟 林秀斌 凌明星 刘超辉 刘 冬 刘福来 刘冠男 刘 欢 刘家军 刘建峰  
 刘 磊 刘明贤 刘平华 刘学飞 刘学龙 刘 琰 刘英超 刘勇胜 鲁安怀 罗 开 马昌前  
 马绪宣 孟繁聪 孟郁苗 欧阳友和 彭 澎 平先权 钱 青 邱昆峰 丘志力 饶 灿 任留东  
 史 森 史仁灯 舒启海 宋谢炎 宋玉财 孙金凤 孙 祥 唐燕文 滕 霞 田作林 汪方跃  
 王春连 王 丹 王 辉 王建民 王九一 王凯兴 王立成 王连训 王 盟 王梦飞 王梦玺  
 王 楠 王汝成 王 瑞 王 伟 王孝磊 王彦斌 王义天 王勇生 王长秋 吴柏林 吴彩斌  
 吴宏海 吴佳林 吴石头 吴小奇 吴 越 武 广 夏 彬 夏明哲 夏群科 肖玲玲 谢巧勤  
 谢玉玲 熊富浩 徐旺春 许 博 许 成 薛传东 闫金人 闫 臻 严立龙 颜丽丽 杨德彬  
 杨进辉 杨瑞东 杨天南 杨晓勇 杨永强 杨志军 杨竹森 姚佛军 叶 霖 尹继元 游国庆  
 于胜尧 于文彬 余文超 余晓艳 袁学银 曾令森 翟庆国 张贵宾 张贵山 张 恒 张洪瑞  
 张吉衡 张建新 张金阳 张 进 张 磊 张 良 张起钻 张拴宏 张 巍 张英利 张招崇  
 张照伟 章凤奇 赵太平 赵希林 赵元艺 赵志新 赵子福 郑常青 郑建平 郑远川 钟日晨  
 周根陶 周家喜 周美夫 周涛发 周艳艳 周征宇 朱建江 朱建喜 朱 江 朱永峰 朱志敏  
 祝禧艳 祖恩东