

南岭东段龙源坝铀矿化集中区构造控矿特征与找矿预测

张涛^{1,2}, 章军锋¹, 师志龙³, 陈志平², 方启春², 吕川², 陈欣², 党飞鹏²,
谭双², 魏欣²

1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074
2. 核工业二七〇研究所, 江西 南昌 330200
3. 核工业二一六大队, 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要: 南岭东段龙源坝铀矿化集中区是华东南铀成矿省桃山-诸广铀成矿带的核心区段, 区内花岗岩型铀矿构造控矿机制研究薄弱, 前人尚未系统厘清断裂活动期次与“导矿-储矿-破矿”体系的耦合关系。本研究通过野外构造地质调查、39处含矿构造产状测量、应力场反演及同位素数据验证, 揭示区内构造控矿规律。结果表明: 1) 区内发育近东西向、北东向、北北东向、北西向四组断裂, 其中近东西向黄沙、上竹坑断裂为导矿构造(控制黄沙断陷, 成矿流体汇聚区), 北东向F₅-F₈断裂为铁铅锌多金属含矿构造(伴生白色块状石英脉), 北西向碎裂蚀变岩/辉绿岩脉为铀矿含矿构造(优势方位282°), 北北东向F₁/F₅₃/F₅₅断裂为破矿构造; 2) 铀成矿发生于燕山期NW-SE向伸展阶段(对应89Ma成矿年龄), 与北西向张性裂隙形成时期耦合。根据控矿规律建立了“导矿构造控域-储矿构造控位-破矿构造改造”三级成矿模式, 黄沙断陷内北西向构造深部成矿潜力显著。本研究为龙源坝地区铀矿找矿提供实操靶区, 完善了南岭东段花岗岩型铀矿构造控矿理论。

关键词: 构造控矿特征; 找矿预测; 花岗岩型铀矿; 南岭东段; 龙源坝铀矿化集中区

中图分类号: P581 收稿日期: 2025-09-26

Structural Ore-Control Characteristics and Prospecting Prediction of the Longyuanba Uranium Mineralization Concentration Area in the Eastern Section of the Nanling Range

项目资助: 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室开放基金项目(2020NRE04)、中国铀业有限公司-东华理工大学核资源与环境国家重点实验室联合创新基金项目(2023NRE-LH-12)、中国核工业地质局项目(202231-4、202429-5)及核工业二七〇研究所自主科研项目(270202301)联合资助。

第一作者简介: 张涛(1992-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事铀矿地质科研及生产工作。E-mail: zhangtao270@cug.edu.cn

通信作者: 章军锋(1977-), 男, 教授, 主要从事壳幔岩石流变和地震成因物理机制方面的教学和科研工作。E-mail: jfzhang@cug.edu.cn

ZHANG Tao^{1,2}, ZHANG Junfeng¹, SHI Zhilong³, CHEN Zhiping², FANG Qichun², LV Chuan², CHEN Xin², DANG Feipeng², TAN Shuang², WEI Xin²

1. *School of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China*

2. *No.270 Research Institute, CNNC, Nanchang, Jiangxi 330200, China*

3. *Geologic Party No. 216, CNNC, Urumqi, Xinjiang 830011, China*

Abstract: The Longyuanba uranium mineralization concentration area in the eastern section of the Nanling Range is a core segment of the Taoshan-Zhuguang uranium metallogenic belt within the Southeastern China Uranium Province. Research on the structural ore-control mechanisms of granite-hosted uranium deposits in this area is relatively weak, and previous studies have not systematically clarified the coupling relationship between fault activity episodes and the "ore-guiding, ore-hosting, and ore-breaking" system. This study reveals the structural ore-control through field structural geological surveys, attitude measurements of 39 ore-bearing structures, stress field inversion, and isotopic data verification. The results indicate that: 1) The area develops four fault sets: nearly E-W, NE, NNE, and NW-trending. Among them, the nearly E-W trending Huangsha-Shangzhukeng Fault is an ore-guiding structure (controlling the Huangsha fault depression and serving as a convergence zone for ore-forming fluids); the NE-trending F₅-F₈ faults are ore-bearing structures for iron-lead-zinc polymetallic mineralization (associated with white massive quartz veins); the NW-trending cataclastic-altered rocks/diabase dikes are ore-bearing structures for uranium mineralization (preferred orientation 282°); and the NNE-trending F₁/F₅₃/F₅₅ faults are post-ore structures. 2) Uranium mineralization occurred during the NW-SE extensional stage of the Yanshanian period (corresponding to a mineralization age of 89 Ma), which couples with the formation period of the NW-trending tensile fractures. 3) A three-level metallogenic model of "ore-guiding structures controlling the district - ore-hosting structures controlling the deposit location - post-ore structures causing modification" is established. The NWW-trending structures within the Huangsha fault depression show significant mineralization potential at greater depths. This study provides practical target areas for uranium prospecting in the Longyuanba area and refines the structural ore-control theory for granite-hosted uranium deposits in the eastern section of the Nanling Range.

Key words: Structural Ore-Control Characteristics; Prospecting Prediction; Granite-Hosted Uranium Deposit; Eastern Section of the Nanling Range; Longyuanba Uranium Mineralization Concentration Area

前言

南岭造山带位于华夏板块中西部，是我国核工业发源地之一，1959 年我国第一个花岗岩型铀矿（希望铀矿床）在粤北发现，此后南岭造山带陆续落实一批花岗岩型铀矿床，发展为我国最大的花岗岩型铀矿基地，为我国核工业起步与发展提供了重要支撑（赵如意等，2020；蔡煜琦等，2025）。铀矿被列入我国 36 种战略性矿产目录，其开发利用直接关系国家能源安全。

南岭造山带中铀矿以花岗岩型铀矿为主,少量为碳硅泥岩型。花岗岩型铀矿属典型的热液型矿床,其形成受控于构造变形、成矿流体的运移-沉淀、成矿能量输运及水岩反应等多因素(Sibson et al., 1988,2004; Micklethwaite and Cox, 2006; Deng et al., 2015; Xu et al., 2017; Yang et al., 2019; 许德如等, 2019)。无论成矿物质源于沉积建造、变质建造还是岩浆建造,都与构造运动密切相关;构造为含矿流体运移提供能量与动力,同时作为矿质沉淀的必要储矿空间,陈正乐等(2013)、陈柏林等(2022、2025)认为华南相山、诸广和鹿井铀矿田铀成矿作用均受构造控制。厘清构造变形期次与矿床的时空关系,是成矿预测与找矿指导的重要前提(李四光, 1973; 翟裕生和林新多, 1993; 吴淦国, 1998; 陈正乐等, 2013; 张涛等, 2024)。

龙源坝铀矿化集中区位于南岭造山带东段,属华东南铀成矿省桃山-诸广铀成矿带的重要组成部分。目前区内分布有鹅公塘、良伞寨、上窖三个小型铀矿床,及一个正水铅锌矿和一个萤石矿,显示优越成矿条件与良好找矿前景。前人已经对区内花岗岩以及相关的铀矿床开展了岩石学、地球化学、矿床学等基础研究并取得了重要成果(张敏等, 2006a, b; 柏道远等, 2007; Hu et al., 2008; 朱捌等, 2008; 朱捌, 2010; 王正其等, 2010; 谢焱石等, 2015; 钟福军等, 2017, 2019; 骆金诚等, 2019; Yan et al., 2023)。前人成果强调了构造活动对铀成矿的控制作用,但关于龙源坝铀矿化集中区内构造运动规律、力学性质、断裂活动期次及控矿作用的研究仍较薄弱。总体而言,区内构造-岩浆-热液叠加发育,成矿条件较好,但缺乏系统性的构造特征梳理,制约了龙源坝地区成矿潜力的整体评价。

本文从野外控矿构造分析入手,结合华南大地构造演化与热液型铀成矿特征,理清区内构造变形期次与力学性质,分析构造控矿规律,建立构造控矿模式,为下一步找矿勘探提供依据。

1 区域地质背景

1.1 大地构造背景

龙源坝铀矿化集中区位于华夏板块中西部,在行政区上属于江西省全南县。南岭造山带呈近东西向发育于华夏板块,包括湘南、赣南、桂北、粤北成矿远景带,经历了加里东造山运动(约 460~400Ma)、印支造山运动(250~200Ma)、燕山造山运动(约 200~65Ma)和喜山造山运动等多期构造岩浆活动(图 1)。南岭造山带铀资源丰富,产出数个花岗岩型铀矿田(长江铀矿田、下庄铀矿田、

鹿井铀矿田)，矿田定位于闽、赣加里东隆起与湘、桂、粤北海西-印支凹陷的结合部位，铀矿化受产于高铀背景花岗岩中的构造破碎带控制，在空间上铀矿化常与基性脉岩紧密相连。进入 21 世纪以来，在长江棉花坑矿床、下庄希望矿床、鹿井高昔矿床等老矿区深部及外围实现了铀矿找矿较大突破，充分说明区内存在巨大的铀资源找矿潜力。

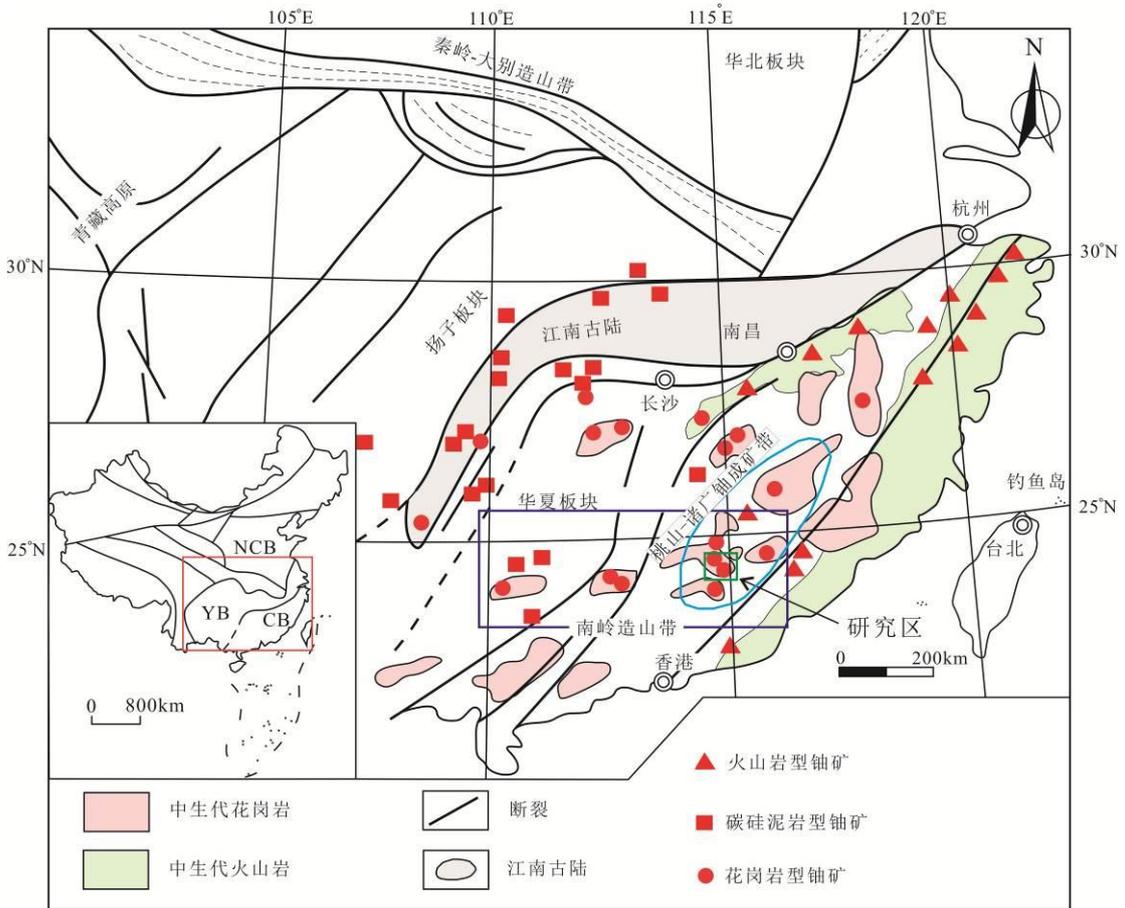


图 1 华南大地构造简图及铀矿床分布图 (改自 Hu et al., 2008)

Fig.1 Geotectonic diagram of South China with distribution of uranium deposits (modified from Hu et al., 2008)

1.2 矿床地质概况

南岭东段龙源坝位于华南铀成矿省桃山-诸广铀成矿带南西端，区内岩浆-断裂构造-热液活动强烈，出露一套印支期到燕山期多期次岩浆活动的龙源坝复式岩体，面积约 500km²，主体年龄为 210~240Ma (张敏等, 2006b; 陶继华等, 2013)，主要由粗粒-粗中粒似斑状黑云母花岗岩、中粒似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩细脉及辉绿岩细脉组成，其中辉绿岩锆石 U-Pb 年龄为 196Ma (数据未发表)。区内印支期花岗岩 U 含量为 13×10⁻⁶~17×10⁻⁶，铀的克拉克

值为 2.7×10^{-6} , Th/U 比值大于 2.12, 指示该花岗岩可以为成矿提供丰富的铀源。区内已落实上窰、鹅公塘、良伞寨三个小型铀矿床等大量铀异常点 (图 2)。

区内断裂构造发育, 构造线以近东西向、北东向、北北东向及北西向等四组构成。其中近东西向断裂构造由北往南为黄沙 ($F_{\text{黄}}$) 和上竹坑 ($F_{\text{上}}$) 两条断裂; 北东向断裂由西往东依次发育 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_8 等 4 条; 北北东断裂由西往东依次发育良伞寨 F_1 、 F_{53} 、 F_{55} 等 3 条; 北西向构造主要为断续发育的辉绿岩脉或蚀变碎裂岩带。

上窰铀矿床位于龙源坝镇上窰村附近, 赋矿围岩为印支期粗粒似斑状黑云母花岗岩, 矿床主要由 15 号硅化破碎带和 16 号蚀变碎裂岩带控制, 15 号带呈近南北向展布, 地表断续长约 2.5km, 宽 6~10m, 走向 $350^\circ \sim 20^\circ$, 倾向 NW (局部 SW), 倾角 $65^\circ \sim 85^\circ$, 带内碎裂岩、角砾岩发育, 分带不明显, 发育不同强度硅化和不同阶段的玉髓脉, 其中玉髓脉最长 200m, 一般 2~4m, 呈透镜状、雁列式分布, 显示多次构造活动特征。16 号带走向 $70^\circ \sim 80^\circ$, 倾向 310° , 倾角 $75^\circ \sim 60^\circ$, 长约 1.4~2.1km, 宽约 6~27m, 由碎裂花岗岩、花岗碎裂岩、硅质脉、萤石脉、碳酸盐脉组成, 构造带物质成分变化大。矿石类型为沥青铀矿-玉髓型。

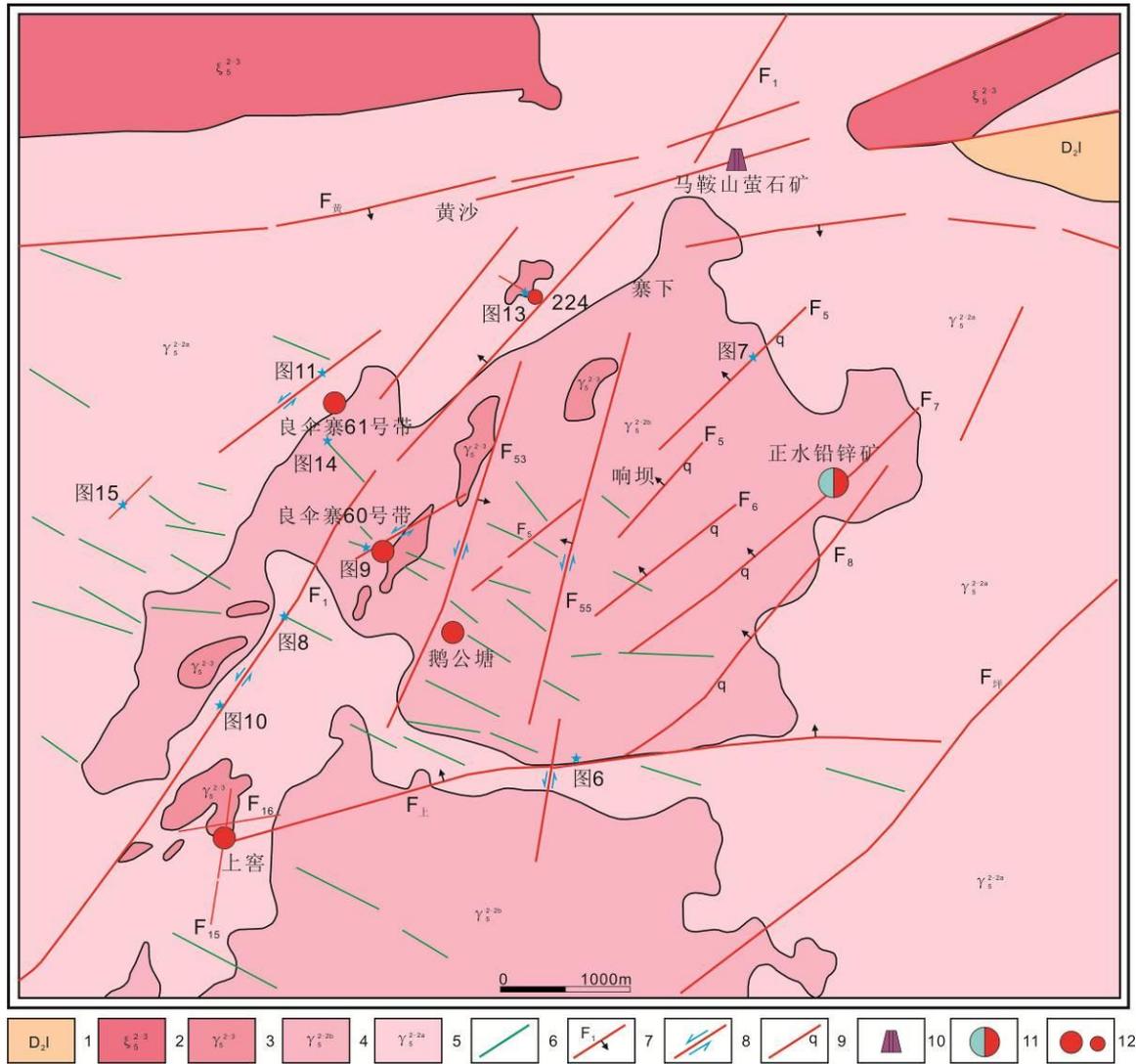


图 2 龙源坝地区地质简图

Fig.2 Geological Sketch Map of the Longyuanba Area

1-中泥盆统；2-二长岩；3-细一中粒似斑状黑云母花岗岩；4-中细粒、细粒二云母花岗岩；5-中粗粒似斑状二云母花岗岩；6-中基性岩脉；7-断裂构造及断裂编号、产状；8-左行走滑断裂构造；9-硅化石英断裂构造；10-萤石矿；11-铅锌矿床；12-铀矿床、铀矿点

1-Middle Devonian Series; 2-Monzonite; 3-Fine- to Medium-grained Porphyritic Biotite Granite; 4-Medium- to Fine-grained and Fine-grained Two-mica Granite; 5-Medium- to Coarse-grained Porphyritic Two-mica Granite; 6-Intermediate-Mafic Dike; 7-Fault Structure with Fault Number and Attitude; 8-Sinistral Strike-Slip Fault Structure; 9-Silicified Quartz Vein/ Fault Zone; 10-Fluorite Deposit; 11-Lead-Zinc (Pb-Zn) Deposit; 12-Uranium Deposit, Uranium Occurrence

鹅公塘铀矿床位于龙源坝镇鹅公塘村附近，赋矿围岩为印支期粗粒似斑状黑云母花岗岩，同时发育大量基性脉岩，铀矿体主要受北北东 F₅₃ 和 F₅₅ 的夹持区控制，矿体主要赋存在 F₅₃ 上盘，由 6 条矿带构成。鹅公塘矿床可见富矿石，肉眼可见几毫米宽的沥青铀矿脉，铀矿物主要为沥青铀矿。

良伞寨铀矿床位于龙源坝镇良伞寨村附近，赋矿围岩为印支期的粗粒似斑状黑云母花岗岩，发育基性脉岩，主要由 60 号和 61 号两条矿带组成，北东向次级断裂构造、北西向中基性脉岩与矿化关系密切。矿石类型为沥青铀矿-萤石型、

沥青铀矿-方解石型。铀矿物主要为沥青铀矿，铀矿化与紫黑色萤石、方解石关系密切。

区内热液蚀变发育，蚀变类型复杂，期次明显，分为矿前期、成矿期及矿后期：矿前期热液蚀变主要为碱交代、绿泥石化，该组蚀变是铀预富集的典型特征；成矿期热液蚀变为赤铁矿化、黄铁矿化、硅化、紫色萤石化、绿泥石化（图3）；矿后期蚀变主要为碳酸盐化、浅色萤石化、水云母化。蚀变空间分布特征受断裂构造控制，在矿体中心-近矿蚀变岩-远矿新鲜围岩中蚀变组合及蚀变强度具有明显的分带特征。

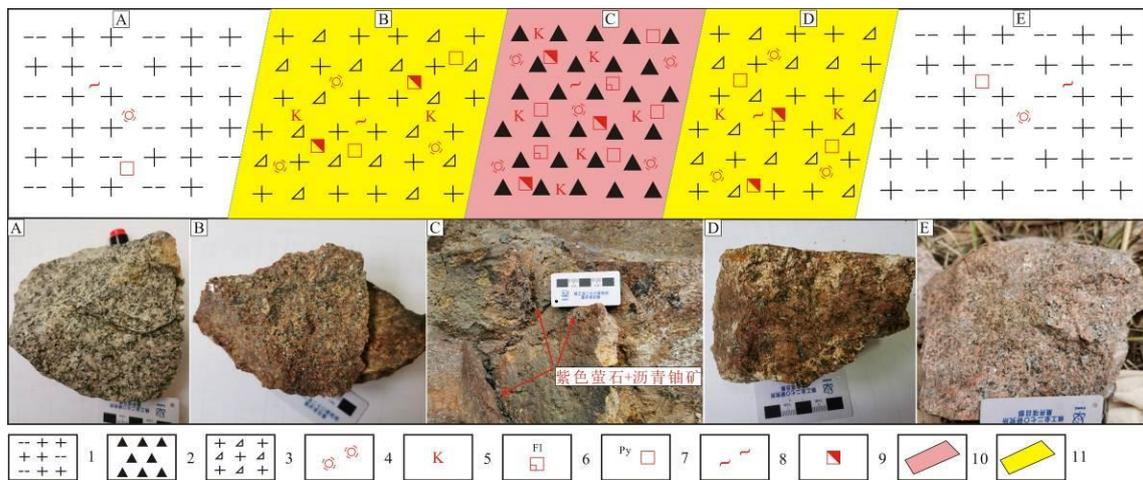


图3 龙源坝地区典型铀矿化蚀变分带特征

Fig. 3 Characteristics of Typical Uranium Mineralization and Alteration Zoning in the Longyuanba Area

1-花岗岩；2-构造角砾岩；3-碎裂花岗岩；4-硅化；5-钾化；6-萤石化；7-黄铁矿化；8-绿泥石化；9-赤铁矿化；10-工业铀矿体；11-铀异常段

1-Granite; 2-Tectonic Breccia; 3-Cataclastic Granite; 4-Silicification; 5-Potassium Metasomatism; 6-Fluoritization; 7-Pyritization; 8-Chloritization; 9-Hematitization; 10-Economic Uranium Orebody; 11-Uranium Anomalous Interval

A-远矿新鲜花岗岩，发育弱绿泥石化、硅化、黄铁矿化；B-近矿蚀变岩，发育中等钾化、赤铁矿化、绿泥石化、黄铁矿化、硅化等蚀变；C-矿化中心，发育强硅化、钾化、赤铁矿化、绿泥石化、黄铁矿化、萤石化，见黑色含铀矿物；D-近矿蚀变岩，发育中等钾化、赤铁矿化、绿泥石化、黄铁矿化、硅化等蚀变；E-远矿新鲜花岗岩

2 研究方法

为系统分析研究区构造运动规律、力学性质、断裂活动期次及控矿作用，主要开展了以下研究工作：①野外构造观测（采用追索法和穿越法相结合的方法布设8条地质路线，共计150余处地质点，覆盖各组断裂关键露头）；②含矿构造产状测量及典型剖面素描图绘制（采用精度 $\pm 1^\circ$ 的地质罗盘，测量了39处含矿构造走向、倾向、倾角）；③应力场分析（针对野外发育的典型共轭节理露头，系统测量其产状，通过共轭节理赤平投影法反演主应力方向）；④数据验证和综合研究（结合已有锆石U-Pb定年、成矿年龄及土壤地球化学面积测量数据等）。

3 断裂构造特征

龙源坝地区断裂活动强烈，构成以近东西向、北东向、北北东向及北西向为主的构造格架（图 2），断裂沿倾向、走向延伸稳定，断裂内及两侧围岩热液蚀变发育。

3.1 近 EW 向构造特征

研究区近东西向断裂规模最大，经历了多期次活动，研究区北侧为黄沙断裂，南侧为上竹坑断裂，两组断裂夹持区为黄沙断陷，其控制了区内铀矿化范围。

黄沙断裂在研究区北侧黄沙村附近，走向 $81^{\circ} \sim 95^{\circ}$ ，倾向南，倾角 $60^{\circ} \sim 74^{\circ}$ （图 4A），地表断裂带宽几米至十几米，长几十公里，断裂在地表主要以笔直的溪流形式产出（图 4B），局部为正地形，断裂带内主要为硅化构造角砾岩，角砾成分较复杂，包括花岗岩角砾、硅质角砾，角砾呈棱角-次棱角状，砾径从几毫米至几厘米不等，硅质胶结（图 4C、D），该硅化构造角砾岩为一致密性较好的隔水层。在断裂上盘，为一套粘土化碎裂岩或碎裂花岗岩，整体较破碎，地形较低；断裂下盘，为硅化碎裂花岗岩，比上盘岩石抗风化能力强，上盘呈正地貌，下盘呈负地貌。在断裂内，主要发育硅化，局部发育水云母化、褐铁矿化。

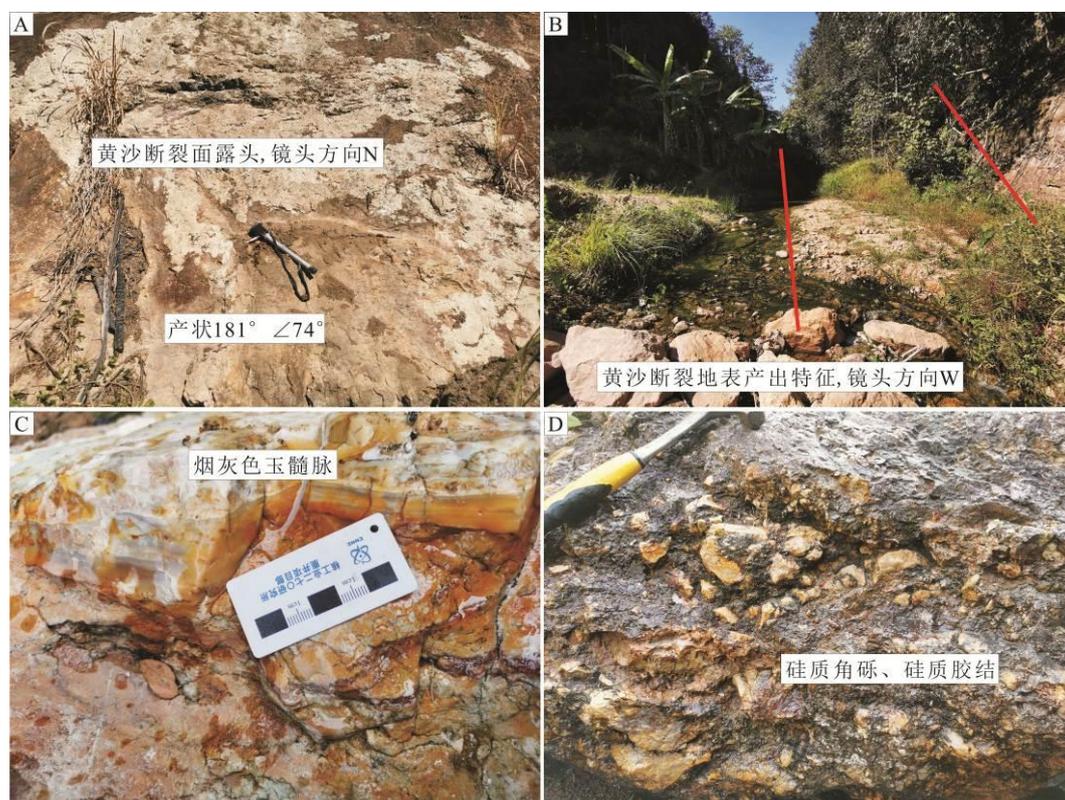


图 4 黄沙断裂西侧典型特征

Fig.4 Typical Characteristics of the Western Huangsha Fault Zone

A-黄沙断裂断面；B-黄沙断裂地貌特征；C-黄沙断裂中发育的硅化构造角砾岩；D-硅化构造角砾岩

上竹坑断裂走向 $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ，倾向北，倾角较陡，地表出露宽度一般几米，走向延长十几公里，由蚀变碎裂花岗岩、角砾岩、碱交代岩等组成。上竹坑断裂东部在水背村附近较为发育，在地表表现为沟谷小溪流，断裂带内为一套暗红色赤铁矿化钾化蚀变碎裂岩。根据地貌影像图（图 5）分析上竹坑断裂被北北东向的 F_{55} 断裂切割错动，指示 F_{55} 具有左行剪切特征，水平滑距约 500m。



图 5 近东西向上竹坑断裂与北北东向断裂地貌特征图

Fig.5 Geomorphological Features Map of the Shangzhukeng Fault in the Near

East-West Direction and the North-Northeast Direction Fault A-近东西向的上竹坑断裂与北北东断裂地貌特征，北北东向断裂将近东西向断裂切割；B-近东西向断裂地貌特征；C-近东西向断裂中发育的赤铁矿化蚀变碎裂岩

在上竹坑断裂上盘，发育产状 $13^{\circ} \angle 81^{\circ}$ 次级裂隙；该次级裂隙被产状 $90^{\circ} \angle 44^{\circ}$ 断裂切割，该组断裂内发育密集劈理带和薄层半固结断层泥，裂隙面上发育擦痕，指示近南北向断裂经历了左行逆冲活动（图 6）。

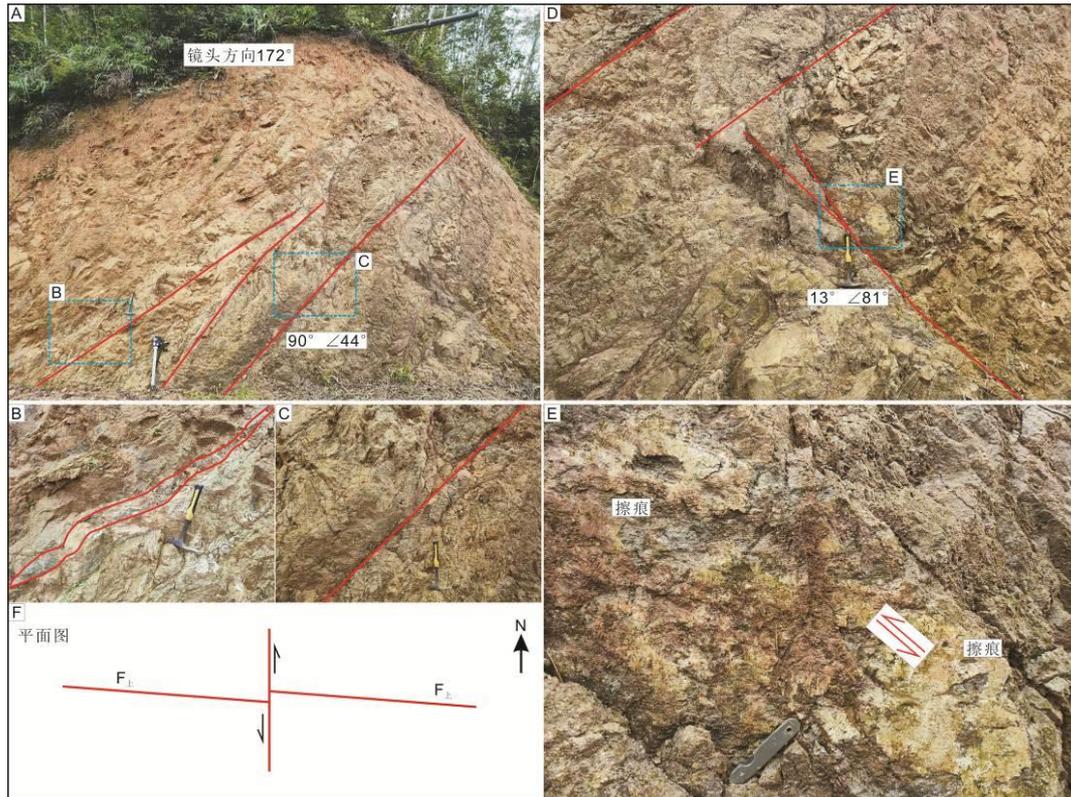


图6 上竹坑断裂中部典型地质点观察图

Fig.6 Geological Point Observation Map of a Typical Section in the Central Shangzhukeng Fault
 A-地质点剖面全貌，发育近南北向断层破碎带；B-近南北向断层破碎带中发育硅化；C-近南北向破碎带中发育密集劈理；D-近东西向次级裂隙，被近南北向断裂切割；E-近南北向断裂面中发育擦痕，指示近南北向断裂经历了左行逆冲活动；F-近南北向构造与近东西向次级裂隙平面示意图

3.2 北东向构造特征

区内北东向断裂在地貌上以山脊形式为主，在鹅公塘、响坝、正水村一带最为发育，由北往南依次发育 F₅、F₆、F₇、F₈ 等 4 条规模断裂（图 2），断裂内以发育白色块状石英脉为特征（图 7）。该组断裂总体走向北东，倾角较陡（65° ~ 85°），块状石英地表出露宽 1.5~40m，走向延长 200~800m，沿走向断续发育，且被北北东断裂切割错动。

区内正在开采的正水铅锌矿的控含矿构造为北东向 F₇ 断裂，断裂北端地貌为山脊，露头良好，也是矿床首个地表矿体的发现处。该矿体沿山脊出露宽度约 10m，长度约 50m，走向约 35°，沿断裂充填白色块状石英脉；石英脉两侧发育宽约几米的青磐岩化蚀变碎裂岩，在石英脉、蚀变碎裂岩中发育块状、浸染状或星点状铅锌铁矿化。分析认为，北东向白色块状石英脉及两侧蚀变围岩是铅锌铁矿化的有利部位，也是区内寻找多金属矿直接标志。



图 7 F₅ 断裂构造地貌特征与典型剖面露头

Fig.7 F₅ Fault Structural Geomorphological Characteristics and Typical Section Outcrops

3.3 北西向构造特征

研究区北西向构造主要以辉绿岩脉或蚀变碎裂岩带产出。辉绿岩脉总体走向呈北西向，倾向南西或北北东，间隔 100~500m，单脉宽度以 0.5~1m 为主，脉体沿走向断续发育，长度一般 50~100m，辉绿岩脉露头风化中等，发育中等-强高岭土化，风化面呈土黄色，较松散。辉绿岩脉被北北东良伞寨断裂切割错动，良伞寨断裂表现为产状 $115^{\circ} \angle 85^{\circ}$ 裂隙，指示北北东断裂具有左行走滑性质（图 8）。

北西向蚀变碎裂岩带是该组构造表现的另一种形式，发育硅化、水云母化、钾化、赤铁矿化等蚀变组合，地表出露宽约几十厘米至几米不等，沿走向断续发育，与辉绿岩脉产出空间位置大致相同。新鲜辉绿岩铀含量与区内花岗岩相近，只有当辉绿岩脉受到后期成矿热液叠加时，才在脉体与花岗岩接触部位或两侧围岩中发生铀矿化（图 9），表明辉绿岩脉侵入界面或辉绿岩与花岗岩接触部位是铀成矿热液运移、富集、沉淀的有利空间，辉绿岩本身为铀沉淀提供还原环境，对铀源的贡献较小。

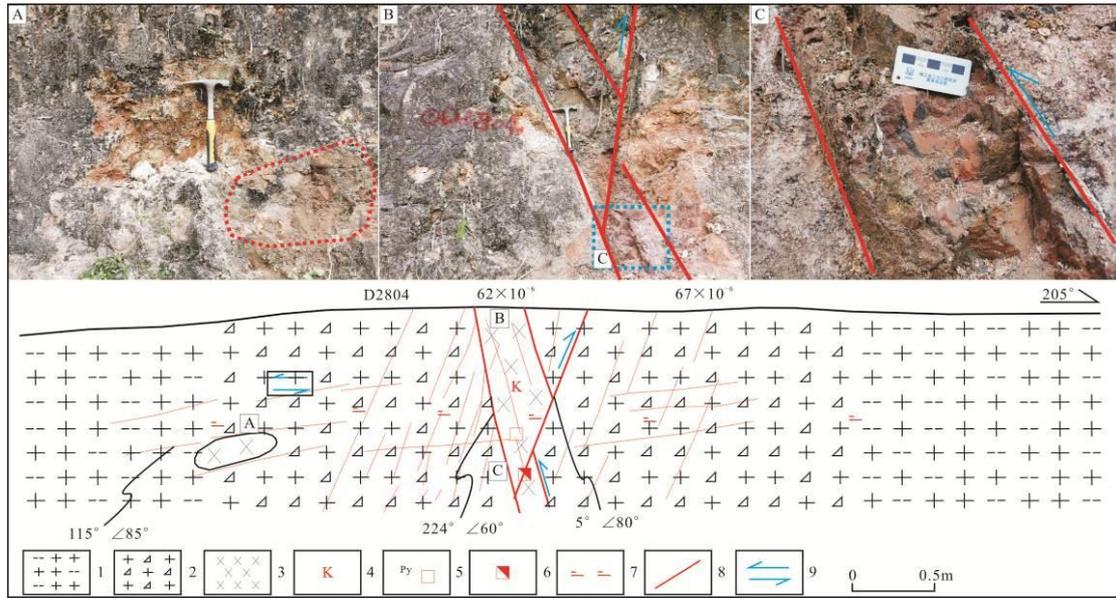


图 8 D2804 地质点剖面素描图

Fig.8 Geological Sketch Profile of Site D2804

1-中粗粒二云母花岗岩; 2-碎裂花岗岩; 3-辉绿岩; 4-钾化; 5-黄铁矿化; 6-赤铁矿化; 7-粘土化; 8-断裂构造; 9-左行走滑运动

1-Medium to Coarse-grained Two-mica Granite; 2-Cataclastic Granite; 3-Diabase; 4-Potassic Alteration; 5-Pyritization; 6-Hematitization; 7-Argillic Alteration; 8-Fracture Structure; 9-Sinistral Shear Fault

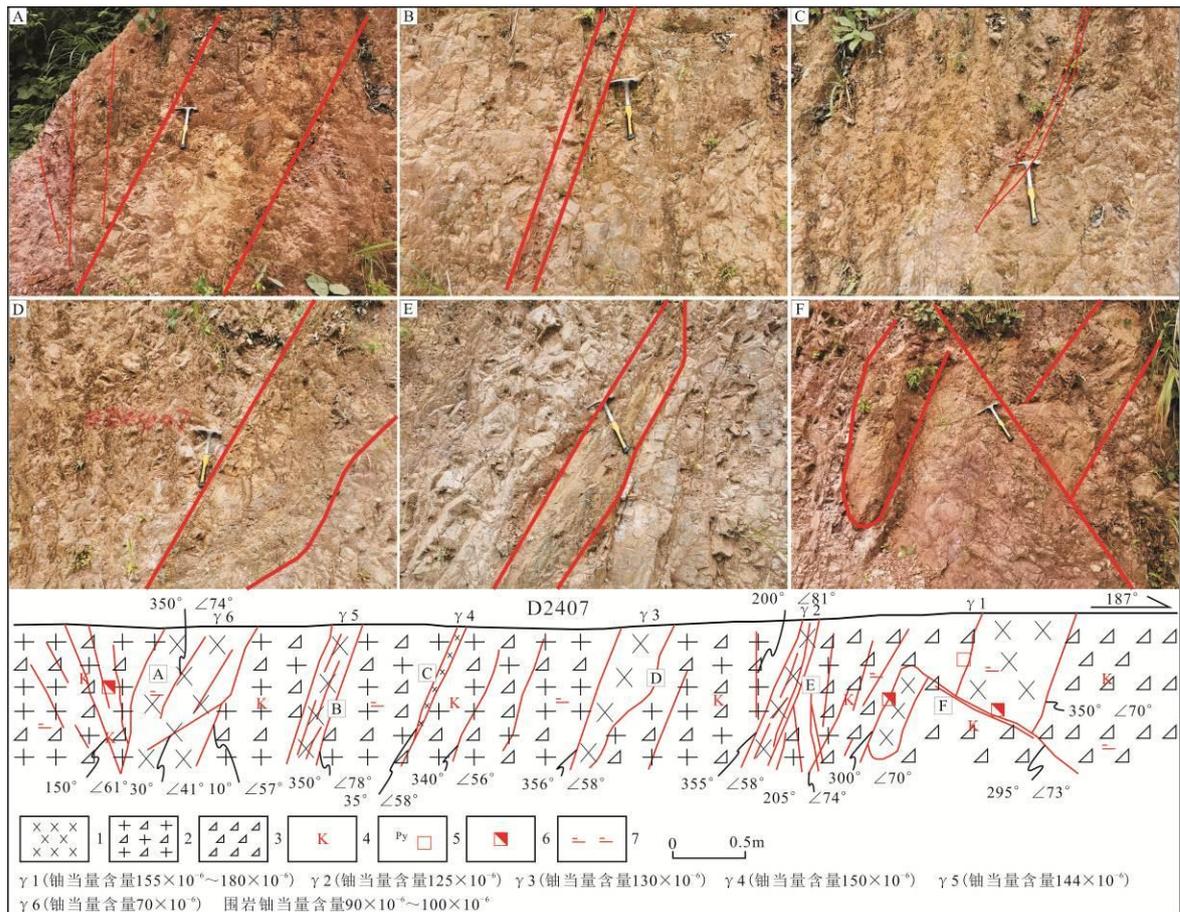


图 9 D2407 地质点剖面素描图

Fig.9 Geological Sketch Profile of Site D2407

1-辉绿岩; 2-碎裂花岗岩; 3-碎裂岩; 4-钾化; 5-黄铁矿化; 6-赤铁矿化; 7-粘土化

1-Diabase; 2-Cataclastic Granite; 3-Cataclasite; 4-Potassic Alteration; 5-Pyritization; 6-Hematitization; 7-Argillic Alteration

3.4 北北东向断裂构造特征

北北东向构造在区内主要以断裂形式表现，主要发育良伞寨 F_1 、 F_{53} 及 F_{55} 断裂构造，在地貌上主要以负地形或溪流形式表现，在良伞寨、寨下村附近，均能见到较好的露头。

在 F_1 北侧发育一宽约 4m 硅化构造角砾岩，构造带内发育白色块状石英角砾，角砾主要为石英碎块，棱角状，砾径 1~10cm 不等，粘土质胶结，半固结，无定向，断裂产状 $120^\circ \angle 78^\circ$ ；露头见北北东断裂把近东西向断裂构造切割错动，指示 F_1 具有左行走滑性质，断裂至今仍在活动；断裂中部断裂面呈波状，发育擦痕（图 10），同样指示 F_1 具有左行逆冲性质。

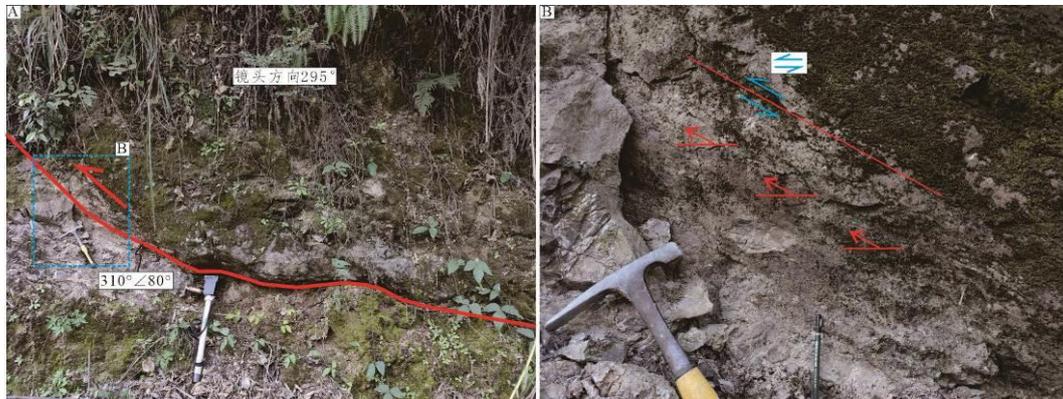


图 10 良伞寨断裂 (F_1) 特征图

Fig.10 Structural Map of the Liangsanzhai Fault (F_1)

A- F_1 断裂全貌，指示断裂为逆冲性质；B-断裂面中发育擦痕，指示断裂为左行逆冲

在良伞寨断裂上盘，发育宽约 3m 断裂构造破碎带，破碎带内发育水云母化、高岭土化、硅化碎裂花岗岩和烟灰色硅质脉，硅质脉宽 2~7cm 不等，脉体之间近平行展布，与围岩呈侵入接触关系，界线清晰，产状 $290^\circ \angle 67^\circ$ （图 11）。



图 11 良伞寨断裂 (F_1) 上盘次级构造特征图

Fig.11 Structural Features of the Hanging Wall in the Liangsanzhai Fault (F_1)

A- F_1 断裂上盘次级构造全貌，发育北北东向硅质脉；B-北北东向硅质脉以充填形式产出，两侧岩石破碎

F55 断裂构造在地表以沟谷、河流形式产出，寨下村-响坝-水背-陈屋往南沿水泥路及两侧第四系为 F55 主要露头，断裂沿走向延伸稳定，延伸约 6km，倾向北西西，通过影像及地表调查，F55 具有左行走滑特征，将近东西向上竹坑断裂切割错动，位错约 500m。

F53 断裂在地表以沟谷、小溪形式产出，基本被第四系覆盖，沿走向较稳定，大致延长约 2.5km，倾向南东。

野外地质调查发现，北北东向断裂沿走向延伸稳定，断裂中未见铀异常，指示该组断裂不含矿。

3.5 含矿构造特征

含矿构造是指矿体、矿脉赋存、储存的空间，热液型脉状矿床的含矿构造是各种断裂、裂隙构造，花岗岩型铀矿属于典型的热液型脉状矿床，含矿构造被含矿流体（热液）交代和充填，原本的构造行迹被破坏，甚至完全被交代充填固结。通过对研究区地表含矿构造调查，铀矿化赋存在蚀变碎裂岩带或辉绿岩脉中，系统测量 39 处含矿构造产状，投影后的玫瑰花图显示区内含矿断裂优势方位为 282°（图 12），指示区内含矿构造优势方位为北西，倾向南西，倾角较陡。

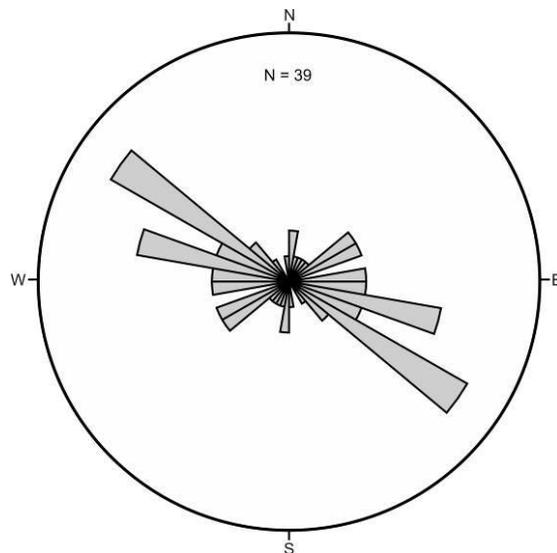


图 12 龙源坝地区含矿构造走向玫瑰花图

Fig.12 Rose Diagram of ore-bearing structure trends in the Longyuanba area

图 13 显示，铀矿化发育在北西向蚀变碎裂岩中，矿化宽度约 60cm，蚀变碎裂岩带受断裂构造控制，走向北西，倾向南西；在蚀变碎裂岩中心为半固结的构造角砾岩，构造角砾岩宽约 20cm，该部位铀矿化最强，见次生铀矿钙铀云母和硅钙铀矿，矿石发育赤铁矿化、钾化、硅化及水云母化蚀变，两侧围岩为中粗粒二云母花岗岩。

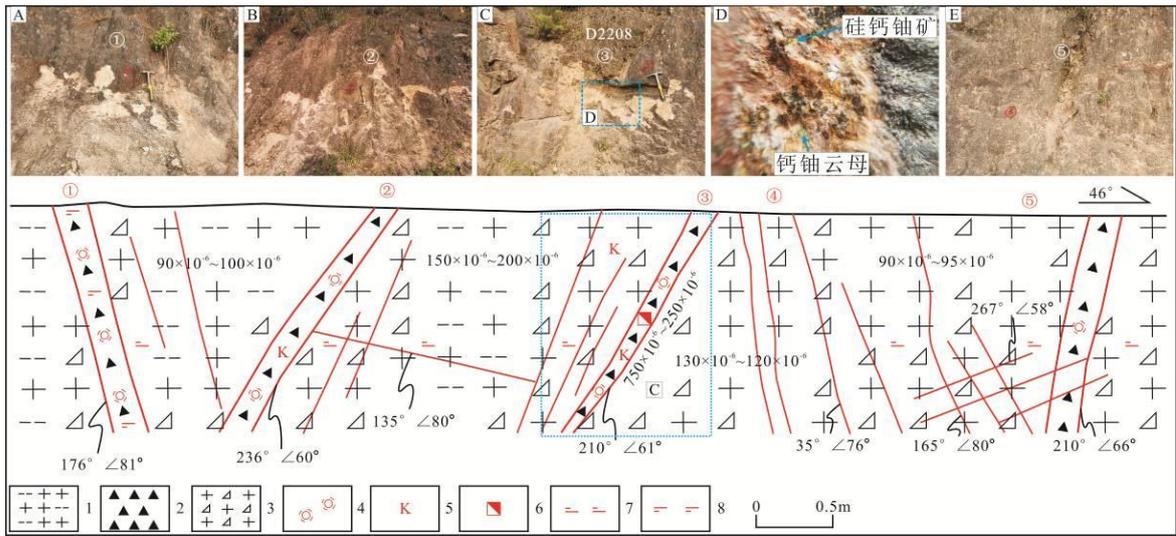


图 13 D2208 地质剖面素描图

Fig.13 Geologic Sketch Section D2208 1-花岗岩; 2-构造角砾岩; 3-碎裂花岗岩; 4-硅化; 5-钾化; 6-赤铁矿化; 7-粘土化; 8-水云母化

1-Granite; 2-Tectonic Breccia; 3-Cataclastic Granite; 4-Silicification; 5-Potassic Alteration; 6-Hematitization; 7-Argillic Alteration; 8-Hydromuscovitization

A-水云母化硅化构造角砾岩; B-钾化硅化构造角砾岩; C-钾化赤铁矿化硅化构造角砾岩; D-钾化赤铁矿化矿石, 见钙铀云母和硅钙铀矿 E-硅化构造角砾岩

图 14 显示铀矿化发育在辉绿岩脉与花岗岩接触部位, 矿体产状与辉绿岩脉产状基本一致, 辉绿岩脉走向北西, 倾向南西, 在侵入接触位置, 发育密集劈理, 劈理产状与辉绿岩侵入产状近平行, 铀矿化往往发育在劈理面上, 可见草绿色钙铀云母沿裂隙面发育。

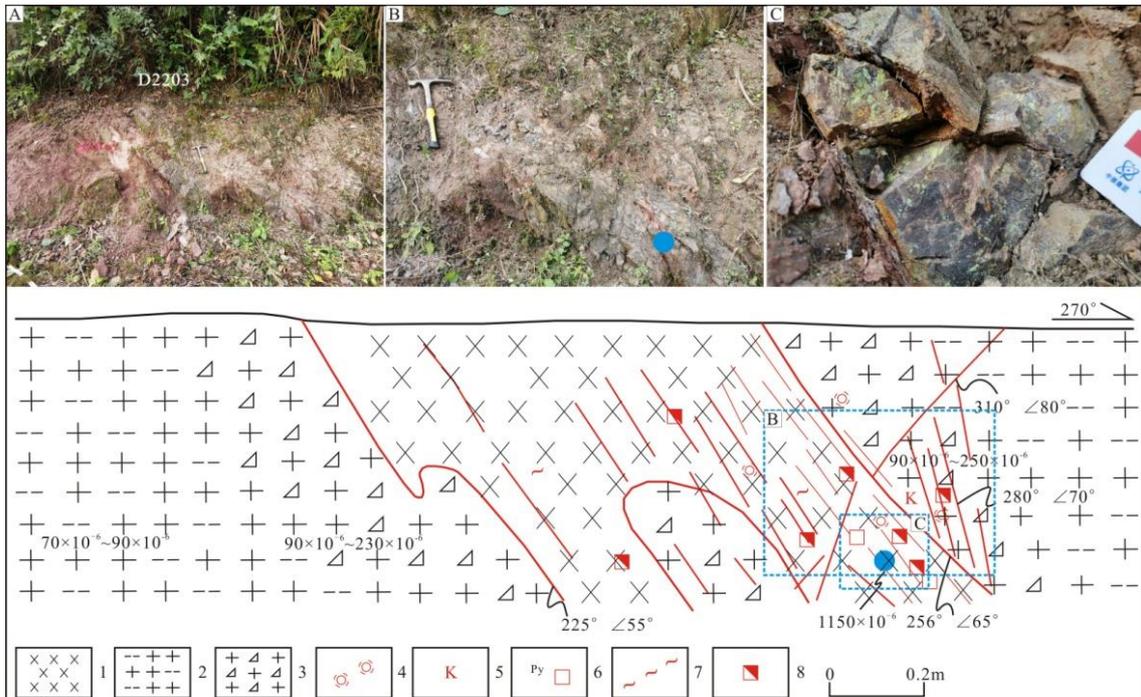


图 14 D2203 地质点剖面素描图

Fig.14 Schematic Geological Profile of Site D2203

1-辉绿岩; 2-中粗粒二云母花岗岩; 3-碎裂花岗岩; 4-硅化; 5-钾化; 6-黄铁矿化; 7-绿泥石化; 8-赤铁矿化

1-Diabase; 2-Medium to Coarse-grained Two-mica Granite; 3-Cataclastic Granite; 4-Silicification; 5-Potassic Alteration; 6-Pyritization; 7-Chloritization; 8-Hematitization

A-D2203 点全貌; B-辉绿岩脉与花岗岩上界面; C-辉绿岩脉中发育的次生铀矿

图 15 显示, 沿北东向裂隙发育铀矿化, 铀矿化范围较窄, 仅沿裂隙面发育, 裂隙面发育钾化、赤铁矿化、萤石化、黄铁矿化、硅化。该组方向铀矿化范围较小, 强度较弱。

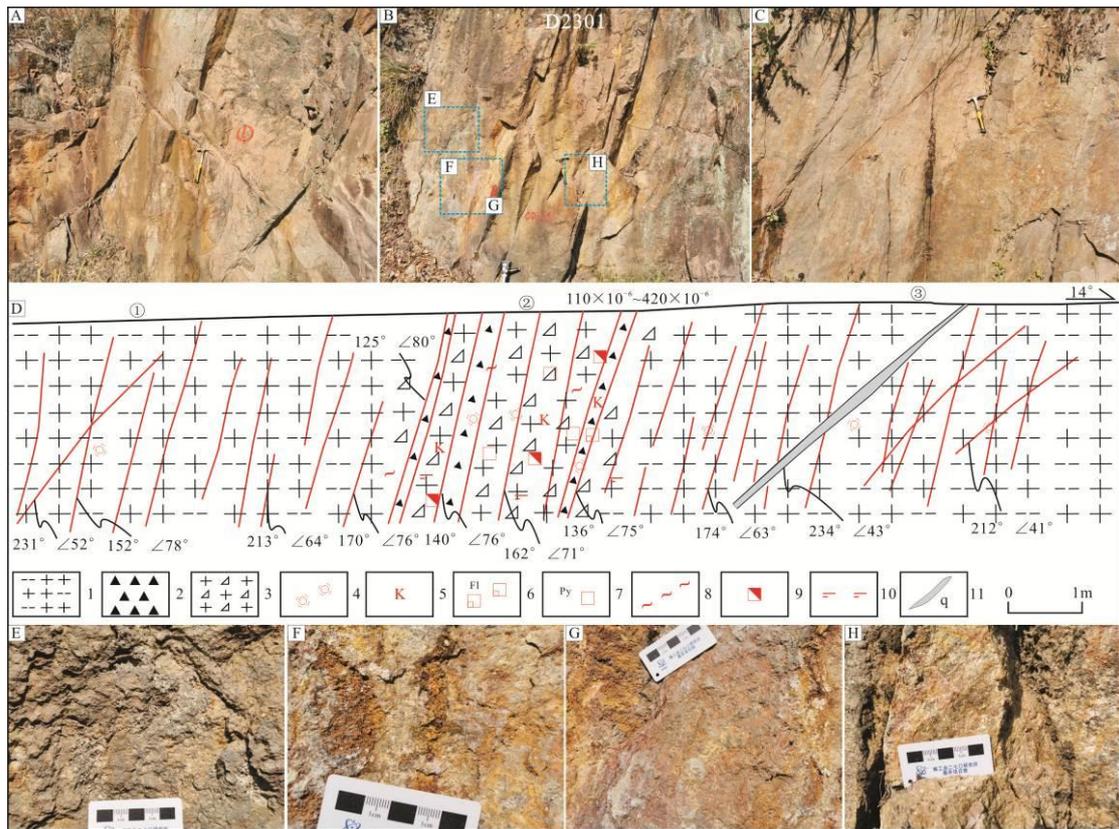


图 15 D2301 地质点剖面图

Fig.15 Schematic Geological Profile of Site D2301

1-中粗粒似斑状二云母花岗岩; 2-构造角砾岩; 3-碎裂花岗岩; 4-硅化; 5-钾化; 6-萤石化; 7-黄铁矿化; 8-绿泥石化; 9-赤铁矿化; 10-水云母化; 11-硅质细脉

1-Medium to Coarse-grained Porphyritic Two-mica Granite; 2-Tectonic Breccia; 3-Cataclastic Granite; 4-Silicification; 5-Potassic Alteration; 6-Fluoritization; 7-Pyritization; 8-Chloritization; 9-Hematitization; 10-Hydromuscovitization; 11-Siliceous Veinlet

A-北东向裂隙面。发育硅化; B-D2301 热液蚀变及铀矿化中心位置; C-北西向裂隙与近东西裂隙; D-D2301 剖面素描图; E-图 B 中发育的黄铁矿化, 呈集合体形式产出; F-图 B 中发育的黄铁矿化和赤铁矿化, 受表生氧化作用氧化为褐铁矿; G-图 B 中发育的赤铁矿化、萤石化; H-图 B 中发育的赤铁矿化和钾化

4 应力场特征

中生代华南发生了强烈的大陆再造, 并伴随巨量岩浆活动和爆发式成矿作用 (Li et al., 2003; Zhou et al., 2006; Mao et al., 2013)。构造地质研究表明, 印支运动使华南产生的褶皱构造线方向主要为近东西向, 指示该时期挤压应力方向为近南北 (万天丰等, 1989, 2004; 张岳乔等, 2009)。燕山期岩浆-构造活动愈加强烈, 在 190~175Ma 之间, 沿南岭东西向构造带出现了以 A 型花岗岩和双峰式

火山岩为特征的火成岩浆活动（徐先兵等，2009），区内近东西向断裂中发育大量棱角状-次棱角状角砾，指示该时期区内经历了近南北向伸展；中晚侏罗世，175~165Ma 华南东部地区岩浆活动处于低谷期，该时期华南形成了构造走向为北东-北北东 NE-NNE、宽达 1300km 的褶皱逆冲构造系统；紧随其后，在 165~155Ma 发生大规模的花岗岩岩浆活动，构造应力场以东西挤压为主（徐先兵等，2009；李建华，2013）。早白垩世初，华南陆壳发生强烈伸展断陷，在 145~117Ma 发生大规模岩浆爆发，同时形成一系列伸展盆地，构造应力场为北西-南东伸展；早白垩世晚期构造应力场为北西-南东挤压，诱发大型北北东走向断裂/剪切带左行走滑剪切；晚白垩世构造应力场转变为南北伸展，在 107~80Ma 华南东部再次爆发大规模的岩浆侵位和火山喷发活动（张岳桥等，2012；李建华等，2024；Li et al., 2023）。

研究区龙源坝复式岩体形成印支期，主体年龄为 210~240Ma，辉绿岩年龄 196Ma（未发表）。根据华南中生代岩浆-构造演化特征，结合野外地质调查，认为研究区经历了以下地质演化过程：区内近东西向上竹坑和黄沙断裂形成最早，经历了形成时的挤压和后期伸展的复杂改造，对应华南经历的印支运动，构造应力由南北向挤压转变为近南北向伸展过程中，辉绿脉岩形成；北北东向良伞寨、F₅₃、F₅₅ 断裂对应华南中晚侏罗世形成走向北东-北北东的褶皱逆冲构造系统，且叠加了早白垩世晚期北西-南东挤压，区内北北东向断裂表现出左行走滑特征，该组断裂至今仍在活动；同时区内发育大量共轭节理（图 16），对区内共轭节理产状统计确定形成节理的主应力方向为北北西、南南东（图 17）。北东向石英脉充填的断裂构造对应华南早白垩世初北西-南东伸展。区内铀成矿年龄为 89Ma（Zhu et al., 2024），对应华南晚白垩世南北向伸展应力阶段，与北西向含矿构造（张性裂隙）的形成时期耦合，证实该构造为成矿关键储矿空间。

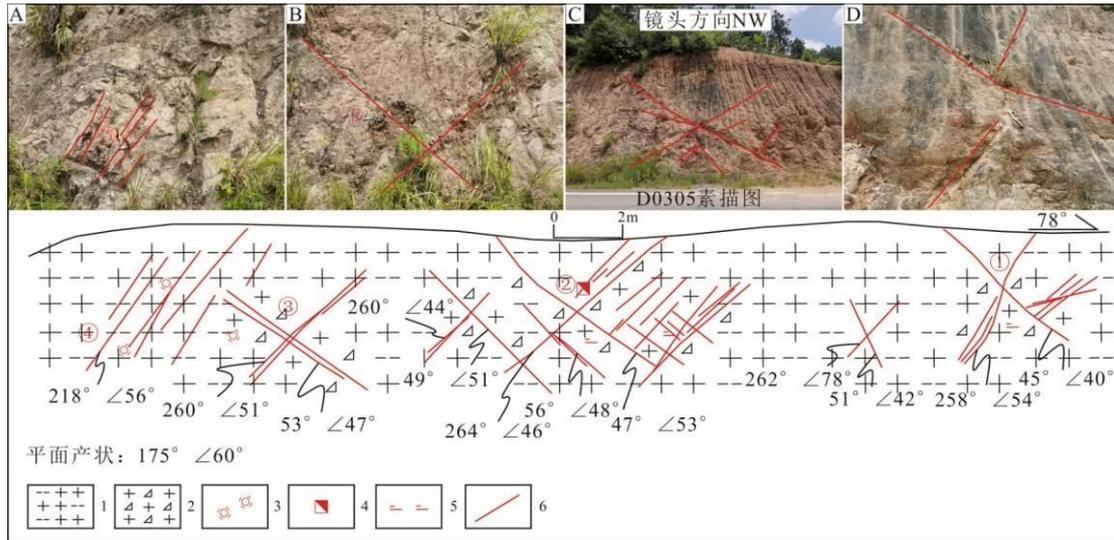


Fig.16 Sketch Map of Conjugate Joints at Geological Locality D0305

1-中粗粒二云母花岗岩; 2-碎裂花岗岩; 3-硅化; 4-赤铁矿化; 5-粘土化; 6-节理
 1-Medium to Coarse-grained Two-mica Granite; 2-Cataclastic Granite; 3-Silicification; 4-Hematitization;
 5-Argillic Alteration; 6-Joint

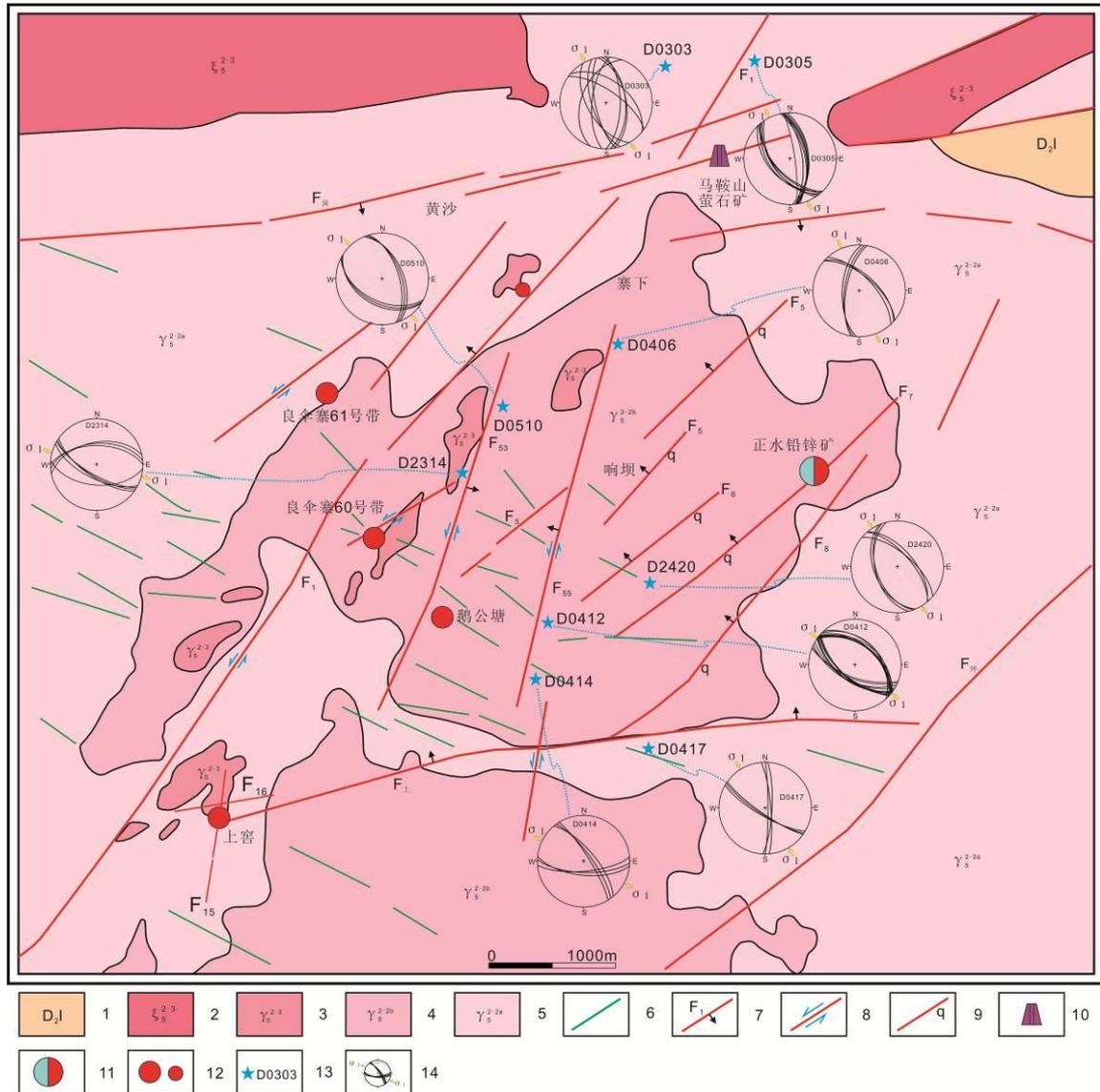


图 17 龙源坝地区共轭节理应力反演示意图

Fig.17 Schematic Diagram of Stress Inversion from Conjugate Joints in the Longyuanba Area
 1-中泥盆统; 2-二长岩; 3-细-中粒似斑状黑云母花岗岩; 4-中细粒、细粒二云母花岗岩; 5-中粗粒似斑状二云母花岗岩; 6-中基性岩脉; 7-断裂构造及断裂编号、产状; 8-右行走滑断裂构造; 9-硅化石英断裂构造; 10-萤石矿; 11-铅锌矿床; 12-铀矿床、铀矿点; 13-共轭节理观测点及点号; 14-共轭节理应力反演
 1-Middle Devonian Series; 2-Monzonite; 3-Fine- to Medium-grained Porphyritic Biotite Granite; 4-Medium- to Fine-grained and Fine-grained Two-mica Granite; 5-Medium- to Coarse-grained Porphyritic Two-mica Granite; 6-Intermediate-Mafic Dike; 7-Fault Structure with Fault Number and Attitude; 8-Sinistral Strike-Slip Fault Structure; 9-Silicified Quartz Vein/ Fault Zone; 10-Fluorite Deposit; 11-Lead-Zinc (Pb-Zn) Deposit; 12-Uranium Occurrence; 13-Geological Locality; 14-Stress Inversion from Conjugate Joints

5 铀成矿模式

上文对区内近东西、北东向、北北东向、北西向四组断裂出露情况、产出特征进行了客观描述, 本节重点对各断裂间归属和分级控矿规律进行讨论。党飞鹏等 (2017)、石亚飞等 (2022) 认为鹅公塘的基本构造骨架由东西向、北东向、北北东向、北西向、南北向等五组构造构成, 提出区内北东向断裂控矿, 近南北向、北东向次级断裂容矿的成矿规律。党飞鹏等 (2014)、聂斌等 (2018)、张

熠阳等(2022)提出区内辉绿岩属大陆拉斑玄武岩系列,由软流圈物质与俯冲板片脱水产生的流体交代形成的岩石圈富集地幔相互作用后发生部分熔融形成的,辉绿岩为区内铀成矿提供了有利的赋矿空间和还原环境。

翟裕生和林新多(1993)将矿田构造划分为导矿构造、运矿(配矿)构造和储矿构造三部分,其中储矿构造也就是含矿构造,是控矿构造中级别序次最低的部分;导矿构造和运矿(配矿)构造是控矿构造中级别序次较高的构造部分,是引发成矿作用发生、控制成矿流体运移的构造。通过野外大量地质调查分析,认为龙源坝地区铀矿控矿构造可分为三部分,即导矿构造、储矿构造、破矿构造。近东西向黄沙断裂和上竹坑断裂为导矿构造,控制了区内铀矿床的分布,在黄沙、上竹坑断裂构成的夹持区黄沙断陷中,落实了鹅公塘和良伞寨两个小型铀矿床及 224 铀矿点。北东向断裂(F₄、F₆、F₇、F₈)为区内多金属矿(硅石矿)含矿断裂,其走向延长稳定,倾向延深较好,基本发育在黄沙断陷内,多金属矿化与石英脉共伴生。北西向构造为区内铀矿含矿构造,以辉绿岩脉或蚀变碎裂岩形式产出,沿走向断续发育,其中辉绿岩脉宽约 0.1~2.0m 不等,以 0.2~0.5m 宽为主,铀矿化产于辉绿岩脉中、辉绿岩脉与花岗岩接触附近或蚀变碎裂岩中,该组构造主要发育在黄沙断陷中。北北东断裂(F₁、F₅₃、F₅₅)为破矿构造,该组断裂切割了区内近东西向、北西向、北东向断裂构造,断裂面发育擦痕、阶步,指示该组断裂具有左行逆冲性质。

近东西向导矿构造与深部沟通,保证成矿流体持续运移,是成矿流体运移的主要通道;含矿构造为张性构造,在北西向挤压应力作用下,形成北北东向压扭性断裂和北西向张性裂隙,与此同时,成矿热液沿张性裂隙汇聚,成矿物质在张性裂隙中沉淀成矿。平行主应力形成的张裂隙在走向上本身就断断续续,连续性、贯通性一般,是研究区矿体不连续的根本原因。

Zhu et al., (2024) 对区内与沥青铀矿伴生的黄铁矿开展 S 同位素分析,显示成矿流体来自岩浆,铀源来自区内花岗岩。Bonnetti et al., (2018) 和 Zhong et al., (2023) 认为诸广、下庄铀矿的铀源来自赋矿围岩花岗岩。Yan et al., (2026) 对华南主要的花岗岩型、火山岩型及碳硅泥岩型铀矿床进行系统对比分析,提出该三种类型铀矿床中的铀主要由赋矿围岩贡献,先存构造的伸展活化和晚期次级裂隙的发育为成矿流体的循环创造了有效渗透性,同时这些构造为铀沉淀提供了空间,铀因氧化反应从赋矿围岩中活化淋滤,被热液流体搬运,在还原环境重新沉

淀。研究区龙源坝岩体为一套复式花岗岩，岩浆活动频繁，属高分异S型花岗岩，具有较高的铀背景值，为成矿做好了物质保障。翟裕生（2014）将成矿系统理论扩展为“源-运-储-变-保”五阶段过程，综合热液型铀成矿理论认识及研究区成矿特征，构建了区内铀成矿模式（图 18），区内构造活动强烈，早期形成的近东西向构造格架，为全区构造演化奠定基础，同时黄沙断陷成为区内地下水的主要排泄区，地表富氧水长期沿深切的断裂下渗、淋滤、补给，将复式岩体中初始铀活化，活化出来含铀流体汇集在黄沙断陷中，在黄沙断陷中形成了铀富集且相对集中的地质单元，土壤地球化学面积测量成果同样指示黄沙断陷范围内铀含量明显高于外围，断陷内铀含量较外围高 70%~200%。当含氧含铀流体下渗到一定深度时，氧逸度逐渐降低，慢慢变为还原性流体，同时在深部岩浆热的驱动下，含铀流体在还原性的张性裂隙中沉淀成矿。杨建俊等（2024）和程银行等（2025）认为氧化还原是控制铀沉淀的关键因素。综合分析认为，龙源坝复式岩体为成矿提供了物质基础，断裂构造提供了成矿流体富集通道和储矿空间，大气降水是铀活化的载体。

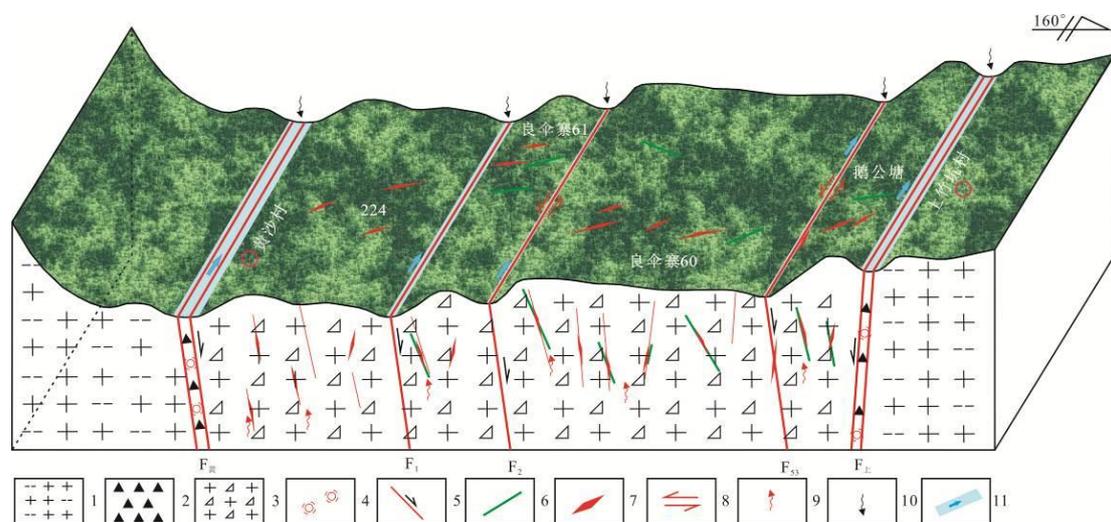


图 18 龙源坝地区铀成矿模式图

Fig.18 Metallogenic Model of Uranium Mineralization in the Longyuanba Area

1-中粗粒二云母花岗岩；2-构造角砾岩；3-碎裂花岗岩；4-硅化；5-正断层；6-辉绿岩脉；7-铀矿体；8-左行走滑；9-岩浆热液；10-大气降水；11-溪流及水流向

1-Medium to Coarse-grained Two-mica Granite; 2-Tectonic Breccia; 3-Cataclastic Granite; 4-Silicification; 5-Normal Fault; 6-Diabase Dike; 7-Uranium Ore Body; 8-Sinistral Strike-slip; 9-Magmatic Hydrothermal Fluid; 10-Meteoritic Water; 11-Stream and Flow Direction

综上所述，黄沙断陷是龙源坝复式岩体铀成矿潜力最佳地段，北西向构造属含矿构造，对区内北西向构造浅深部的揭露是扩大鹅公塘、良伞寨及 224 矿点铀资源量的有利保障。

6 结论

(1) 龙源坝铀矿化集中区主要发育近东西向、北东向、北北东向及北西向四组断裂构造, 最早形成的近东西向断裂构造为导矿构造, 北东向断裂是铅-锌-铁含矿构造, 北西蚀变碎裂岩带或辉绿岩脉是铀矿含矿构造, 现今仍在活动的北北东断裂将早期三组构造改造破坏。

(2) 区内铀矿化形成于燕山期北西南东向挤压向北西南东伸展的构造背景, 铀矿体产状及空间分布与北西向蚀变碎裂岩带或辉绿岩脉紧密相连。

(3) 建立了区内铀成矿模式图, 分析认为黄沙断陷是区内成矿流体汇聚、储存的重要场所, 区内下一步找矿重点方向是揭露北西方向构造含矿性, 将鹅公塘、良伞寨矿床和 224 矿点连点成片。

References

- Bonnetti, C., Liu, X. D., Mercadier, J., et al., 2018. The genesis of granite-related hydrothermal uranium deposits in the Xiazhuang and Zhuguang ore fields, North Guangdong Province, SE China: Insights from mineralogical, trace elements and U-Pb isotopes signatures of the U mineralisation. *Ore Geology Reviews*, 92: 588-612. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.010>
- Bai, D. Y., Huang, J. Z., Li, J. D., et al., 2007. Multiple geological elements constraint on the Mesozoic tectonic evolution of South China: apocalypse of the Mesozoic geological evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(1):1-13 (in Chinese with English abstract).
- Cai, Y. Q., Zhang, J. D., Li, Z. Y., et al., 2025. Metallogenic Regularity, Centennial Exploration Results of Uranium Deposits in China, and Suggestions for a New Round of Prospecting: Research and Compilation of "Geology of Mineral Resources in China • Uranium Deposits Volume". *Acta Geoscientica Sinica*, 46(1):52-68 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3975/cagsb.2024.112611>
- Chen, Z. L., Wang, P. A., Wang, Y., et al., 2013. Ore-controlling Tectonic Analysis and Ore prospecting in Shannan Mining Area of Xiangshan Uranium Ore-field, Jiangxi. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 35(2):8-18 (in Chinese with English abstract).
- Chen, B. L., Gao, Y., Shen, J. H., 2022. Analysis of Ore-controlling Structure of Changjiang Uranium Ore Field, Northern Guangdong. *Earth Science*, 47(1): 159-177 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.048>
- Chen, B. L., Pei, Y. R., 2025. Analysis of ore controlling structure of Lujing uranium ore field in Hunan Jiangxi border. *Acta Geologica Sinica* (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.19762/j.cnki.hixuebao.2024506>
- Cheng, Y. H., Jin, R. S., Miao, P. S., et al., 2025. Two Metallogenic Models of Sedimentary-Hosted Uranium Deposit: Jingchuan and Tale Types. *Earth Science*, 50(1): 46-57 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2024.078>
- Deng, J., Wang, C., Bagas, L., et al., 2015. Cretaceous–Cenozoic tectonic history of the Jiaojia Fault and gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: constraints from zircon U–Pb, illite K–Ar, and apatite fission track thermochronometry. *Mineralium Deposita*, 50(8):987-1006. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0584-1>
- Dang, F. P., Chen, L. M., Li, Z. P., et al., 2017. Structural characteristics of Shangjiao section and direction of deep prospecting in the Huangsha uranium mining area, southern Jiangxi Province. *Geology and Exploration*, 53(4):624-631 (in Chinese with English abstract).
- Dang, F. P., Liang, F. H., Li, Z. P. 2014. Geological conditions of the intersection-type uranium metallization in central south of Longyuanba composite granite body in Jiangxi Province. *Geology and Resources*, 23(5):482-485 (in Chinese with English abstract).

- Hu, R. Z., Bi, X. W., Zhou, M. F. 2008. Uranium metallogenesis in South China and its relationship to crustal extension during the Cretaceous to Tertiary. *Economic Geology*, 103(3):583-598. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.3.583>
- Li, S. G., 1973. *Introduction to Geomechanics*. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Chen, Z. G., Liu, D. Y., et al., 2003. Jurassic gabbro granite syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, origin, and tectonic significance. *International Geology Review*, 45(10):898-921. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.45.10.898>
- Li, J. H. 2013. The Mesozoic tectonic evolution of South China-New structural and geochronological constraints from the Dabashan, Yuan ma Basin and Hengshan. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Li, J. H., Dong, S. W., Zhao, G. C., et al., 2024. Late Mesozoic continental deformation, deep processes, and geodynamic evolution of South China. *Acta Geologica Sinica*, 98(3):829-861 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. H., Dong, S. W., Cawood, P. A., et al. 2023. Cretaceous long-distance lithospheric extension and surface response in South China. *Earth Science Reviews*, 243:104496. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104496>
- Mao, J. W., Cheng, Y. B., Chen, M. H., et al., 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings. *Mineralium Deposita*, 48(3):267-294. <https://doi.org/10.1007/s00126-012-0446-z>
- Micklethwaite, S and Cox, S. F. 2006. Progressive fault triggering and fluid flow in aftershock domains: Examples from mineralized Archaean fault systems. *Earth and Planetary Science Letters*, 250(1-2):318-330. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.050>
- Nie, B and Zhang, W. L. 2018. Ar-Ar age of the diabase and its relationship with uranium mineralization in Huangsha mining district, southern Jiangxi Province. *Mineral Resources and Geology*, 32(3):390-396 (in Chinese with English abstract).
- Luo, J. C., Qi, Y. Q., Wang, L. X., et al., 2019. Ar-Ar dating of mafic dykes from the Xiazhuang uranium ore field in northern Guangdong, South China: A reevaluation of the role of mafic dyke in uranium mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 35(9):2660-2678 (in Chinese with English abstract).
- Sibson, R. H., Robert, F., Poulson, K. H., et al. 1998. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold quartz deposits. *Geology*, 16:551-555. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1988\)016<0551:harffp>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1988)016<0551:harffp>2.3.co;2)
- Sibson, R. H. 2004. Controls on Maximum fluid overpressure defining conditions for mesozonal mineralization. *Journal of Structural Geology*, 26:283-293. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.11.003>
- Shi, Y. F., Liang, F. H., Dang, F. P. 2022. Spatial temporal location of uranium mineralization in Longyuanba rock mass and its significance. *Mineral Exploration*, 13(1):52-60 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H., Li, W. X., Li, X. H., et al., 2013. Petrogenesis of Early Yanshanian highly evolved granites in the Longyuanba Area, Southern Jiangxi Province: evidence from zircon U-Pb dating, Hf-O Isotope and whole-rock geochemistry. *Scientia Sinica Terrae*, 43(5):770-788 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4593-6>
- Wang, Z. Q., Li, Z. Y., Wu, L. Q., et al., 2010. Geochemical evidences for mantle-derived uranium metallogenesis: a case study of Xiaoshui intersection-type uranium deposit in Xiazhuang area. *Uranium Geology*, 26(1):24-34 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. G. 1998. Orefield Structure and Metallogenic Prognosis. *Journal of Geomechanics*, 4(2):1-4 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F. 1989. Tectonic evolution of Pre-Tertiary-Jurassic in six provinces of southeastern China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 14 (1):45-50 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F. 2004. *Tectonic Outline of China*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

- Xu, D. R., Wang, Z. L., Wu, C. J., et al. 2017. Mesozoic gold mineralization in Hainan province of south China: Genetic types, geological characteristics and geodynamics settings. *Journal of Asian Earth Sciences*, 137:80-108. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.09.004>
- Xu, D. R., Ye, T. W., Wang, Z. L., et al., 2019. Spatially heterogeneous distribution of metallogenesis and its controlling factors. *Geotectonica et Metallogenia*, 43(3):368-388 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. S., Tan, K. X., Hao, T. 2010. Fractal and chaotic dynamics mechanism for tectonic-fluid mineralization. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(3):510-519 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. B., Zhang, Y. Q., Jia, D., et al. 2009. Early Mesozoic geotectonic processes in South China. *Geology in China*, 36(3): 573-593 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. J., Dai, J. W., Wu, J., et al. 2024. Geochemical Characterization of Hematite in Haidewula Uranium Deposit of East Kunlun Orogenic Belt and Its Implication for Mineralizing Fluids. *Earth Science*, 49(12): 4351-4368 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2023.180>
- Yang, C. S., Zhao, L. D., Zheng, H., et al. 2019. The multiple granitic magmatism in the giant Huayangchuan uranium polymetallic ore district: Implications for tectonic evolution of the southern margin of North China Craton in the Qinling Orogen. *Ore Geology Reviews*, 112:103055. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103055>
- Yan, J., Zhong, F. J., Pan, J. Y., et al. 2023. Hydrothermal alteration and element migration in the Egongtang uranium deposit, central Nanling Range, South China. *Geological Magazine*, 160:755-775. <https://doi.org/10.1017/S0016756822001224>
- Yan, J., Wang, Q. F., Xia, F., et al., 2026. Genetic types, mineralization styles, and geodynamic drive of uranium deposits in the South China Block. *Geoscience Frontiers*, 17:102241. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2025.102241>
- Zhou, X. M., Sun, T., Shen, W. Z., et al., 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1):26-33. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0175-7>
- Zhu, J. J., Zhang, L., Dang, F. P., et al., 2024. The genesis of intersection-type uranium deposits in south China: insights from zircon and pitchblende U-Pb geochronology and pyrite sulfur isotopes of the Egongtang uranium deposit, southern Jiangxi. *Applied Geochemistry*, 175:106178. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106178>
- Zhu, B., Ling, H. F., Shen, W. Z., et al., 2008. Geochemical characteristics of late Cretaceous diabase porphyrite dikes in the Xiazhuang uranium ore-field, Northern Guangdong province and its tectonic significance. *Geological Review*, 54(1):26-36 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, B. 2010. The study of mantle liquid and uranium metallogenesis. Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhong, F. J., Pan, J. Y., Xu, Y., et al., 2017. Mineral chemistry of biotites and chlorites from Huangsha uranium mine area in the middle Nanling Range: Restraints for petrogenesis and uranium mineralization. *Journal of China Universities*, 23(4):575-590 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, F. J., Yan, J., Xia, F., et al., 2019. In-situ U-Pb isotope geochronology of uraninite for Changjiang granite-type uranium ore field in northern Guangdong, China: Implications for uranium mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 35(9):2727-2744 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.18654/1000-0569/2019.09.07>
- Zhong, F. J., Wang, L., Wang, K. X., et al., 2023. Mineralogy and geochemistry of hydrothermal alteration of the Mianhuakeng uranium deposit in south China: implications for mineralization and exploration. *Ore Geology Reviews*, 160:105606. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105606>
- Zhao, R. Y., Wang, D. H., Chen, Y. C., et al., 2020. Geological characteristics metallogeny and geospatial mineralization model of uranium in the Nanling metallogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 94(1):149-160 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020108>
- Zhai, Y. S and Lin, X. D. 1993. Study of Orefield Structure. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y. S. 2014. A preliminary discussion on fundamental model of metallogenic mechanism. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, Y. Q., Xu, X. B., Jia, D., et al. 2009. Deformation record of the change from Indosinian related tectonic system to Yanshanian subduction related tectonic system in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 16(1):234-247 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Q., Dong, S. W., Li, J. H., et al., 2012. The new progress in the study of Mesozoic tectonic of south China. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(3):257-279 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Y., Zhong, F. J., Pan, J. Y., et al., 2022. Petrogenesis and its relationship with uranium mineralization of diabase in Huangsha uranium ore-field, South Jiangxi Province. *Earth Science*, 47(1):206-223 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.132>
- Zhang, T., Pan, J. Y., Xia, F., et al., 2024. Brittle-ductile deformation dominated uranium mineralization in the Gaodi area of the Western Motianling Dome, Northern Guangxi. *Geotectonica et Metallogenia*, 48(6):1240-1257 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2022.05.012>
- Zhang, M., Chen, P. R., Huang, G. L., et al., 2006a. The Re-research on the Geochemical Characteristics of Longyuanba Composite Pluton in Nanling Region. *Uranium Geology*, 22(6):336-344 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, M., Chen, P. R., Huang, G. L., et al., 2006b. Single-Zircon LA-ICP-MS Ages of the Longyuanba Pluton in the Eastern Nanling Region and Geological Implication. *Acta Geologica Sinica*, 80(7):984-994 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 柏道远, 黄建中, 李金冬, 等. 2007. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束-湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示. *大地构造与成矿学*, 31(1):1-13.
- 蔡煜琦, 张金带, 李子颖, 等. 2025. 中国铀矿成矿规律与百年勘查成果及新一轮找矿突破行动建议-《中国矿产地质志·铀矿卷》研编. *地球学报*, 46(1):52-68.
- 陈正乐, 王平安, 王永, 等. 2013. 江西相山铀矿田山南矿区控矿构造解析与找矿预测. *地球科学与环境学报*, 35(2):8-18.
- 陈柏林, 高允, 申景辉, 等. 2022. 粤北长江铀矿田控矿构造解析. *地球科学*, 47(1): 159-177.
- 陈柏林, 裴英茹. 2025. 湘赣边界鹿井铀矿田控矿构造解析. *地质学报*, doi: 10.19762/j.cnki.hixuebao. 202406.
- 程银行, 金若时, 苗培森, 等. 2025. 砂岩型铀矿的两种成矿模式: 泾川式和塔勒式. *地球科学*, 50(1): 46-57.
- 党飞鹏, 陈黎明, 李志鹏, 等. 2017. 赣南黄沙铀矿区上窖地段构造特征及深部找矿方向. *地质与勘探*, 53(4):624-631.
- 党飞鹏, 梁发辉, 李志鹏. 2014. 江西龙源坝岩体中南部“交点型”铀成矿地质条件浅析. *地质与资源*, 23(5):482-485.
- 李四光. 1973. *地质力学概论*. 北京:科学出版社.
- 李建华. 2013. 华南中生代大地构造过程-源于北部大巴山和中部沅麻盆地、衡山的构造变形及年代学约束. 中国地质科学院博士论文.
- 李建华, 董树文, 赵国春, 等. 2024. 华南晚中生代大陆变形、深部过程及动力学. *地质学报*, 98(3):829-861.
- 聂斌, 张万良. 2018. 赣南黄沙矿区辉绿岩 Ar-Ar 年龄及其与铀成矿关系. *矿产与地质*, 32(3):390-397.
- 骆金诚, 齐有强, 王连训, 等. 2019. 粤北下庄铀矿田基性岩脉 Ar-Ar 定年及其与铀成矿关系新认识. *岩石学报*, 35(9):2660-2678.
- 石亚飞, 梁发辉, 党飞鹏. 2022. 龙源坝岩体铀矿化时空定位研究及其意义. *矿产勘查*, 13(1):52-60.
- 陶继华, 李武显, 李献华, 等. 2013. 赣南龙源坝地区燕山期高分异花岗岩年代学、地球化学及锆石 Hf-O 同位素研究. *中国科学:地球科学*, 43(5):770-788.
- 王正其, 李子颖, 吴烈勤, 等. 2010. 慢源铀成矿作用的地球化学证据-以下庄小水“交点型”铀矿床为例. *铀矿地质*, 26(1):24-34.

- 吴淦国. 1998. 矿田构造与成矿预测. 地质力学学报, 4(2):1-4.
- 万天丰. 1989. 中国东南六省元古代-侏罗纪构造演化. 地球科学, 14(1):45-50.
- 万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要. 北京:地质出版社.
- 许德如, 叶挺威, 王智琳, 等. 2019. 成矿作用的空间分布不均匀性及其控制因素探讨. 大地构造与成矿学, 43(3):368-388.
- 谢焱石, 谭凯旋, 郝涛. 2010. 构造-流体-成矿作用的分形与混沌动力学. 大地构造与成矿学, 34(3):510-519.
- 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 2009. 华南早中生代大地构造过程. 中国地质, 26(3):573-593.
- 杨建俊, 戴佳文, 吴佳, 等. 2024. 东昆仑造山带海德乌拉铀矿床赤铁矿的地球化学特征及其对成矿流体的指示. 地球科学, 49(12): 4351-4368.
- 朱捌, 凌洪飞, 沈渭洲, 等. 2008. 粤北下庄矿田晚白垩世辉绿玢岩的地球化学特征及其构造意义. 地质论评, 54(1):26-36.
- 朱捌. 2010. 地幔流体与铀成矿作用研究-以诸广山南部铀矿田为例. 成都理工大学.
- 钟福军, 潘家永, 许幼, 等. 2017. 南岭中段黄沙铀矿区黑云母与绿泥石的矿物化学特征及其对成岩成矿的约束. 高校地质学报, 23(4):575-590.
- 钟福军, 严杰, 夏菲, 等. 2019. 粤北长江花岗岩型铀矿田沥青铀矿原位 U-Pb 年代学研究及其地质意义. 岩石学报, 35(9):2727-2744.
- 赵如意, 王登红, 陈毓川, 等. 2020. 南岭成矿带铀矿地质特征、成矿规律与全位成矿模式. 地质学报, 94(1):149-160.
- 翟裕生, 林新多. 1993. 矿田构造学. 北京:地质出版社.
- 翟裕生. 2014. 试论矿床成因的基本模型. 地学前缘, 21(1): 1-8.
- 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录. 地学前缘, 16(1):234-247.
- 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 2012. 华南中生代大地构造研究新进展. 地球学报, 33(3):257-279.
- 张熠阳, 钟福军, 潘家永, 等. 2022. 赣南黄沙铀矿区辉绿岩成因及其与铀成矿关系. 地球科学, 47(1):206-223.
- 张涛, 潘家永, 夏菲, 等. 2024. 桂北摩天岭西段高堤地区脆韧性变形特征与铀成矿关系. 大地构造与成矿学, 48(6):1240-1257.
- 张敏, 陈培荣, 黄国龙, 等. 2006a. 南岭龙源坝复式岩体的地球化学特征研究. 铀矿地质, 22(6):336-344.
- 张敏, 陈培荣, 黄国龙, 等. 2006b. 南岭东段龙源坝复式岩体 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质学报, 80(7):984-994.