



地质力学学报
Journal of Geomechanics
ISSN 1006-6616, CN 11-3672/P
中文核心期刊
中国科技核心期刊
CSCD 来源期刊（核心库）

《地质力学学报》预出版论文

论文题目：华南诸广铀矿集中区控矿构造格架与形成机制初探

作者：陈柏林，裴英茹，高允

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2026001

投稿时间：2026-01-01

录用时间：2026-08-03

预出版时间：2026-10-19

预出版版权说明

预出版，是指在网络出版或纸质版印刷出版之前，文章的电子版本在网上提前公开，是正式出版的预备版本。预出版的文章是通过严格的“三审制”审查后，本刊确定录用的文章，其内容的著作权等受《著作权法》等法律法规保护。预出版的文章将在之后的印刷版上刊发，印刷版的文章可能与预出版的文章略有不同，预出版文章经录用后便以电子版本形式在网站发出，没有经过排版和编校，会存在部分文字及编排格式与正式出版有出入，但文章主体内容是完全一致的。

学者研究或引述预出版文章，应当以印刷纸质版内容为准；但如果牵涉首创权等时间问题，则应当以适当方式注明文章的预出版日期。

华南诸广铀矿集中区控矿构造格架与形成机制初探

陈柏林¹, 裴英茹¹, 高 允²

CHEN Bailin¹, PEI Yingru¹, GAO Yun²

1、中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

2、矿冶科技集团有限公司, 北京 100160;

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy Technology Group, Beijing 100160, China*

Preliminary study on ore-controlling structural framework and formation mechanism in Zhuguang uranium concentration area, South China

Abstract: [Objective] The Zhuguang uranium concentration area is the most important hard rock type uranium resource and industrial base in South China, which consists of Lujing, Sanjiu, Chengkou, Changjiang, Baishun, Lanhe and Quan 'an uranium fields. The ore deposits and orebodies are obviously controlled by the structures. The uranium deposits occur in the granite body and the early Paleozoic shallow metamorphic clastic rocks near the contact zone, and the host rocks are not selective. There are similarities and differences in ore-bearing structures in different uranium ore fields, which leads to disputes on the understanding of ore-controlling structures in the whole ore concentration area. **[Methods]** Based on the systematic analysis of the morphology, occurrence and combination characteristics of ore-bearing structures in major uranium ore fields, this paper uses the principal stress trace theory of material mechanics and the formation history of regional main faults in ore concentration area to inverse the formation mechanism of ore-bearing structures. **[Results]** The study shows that the morphological characteristics of ore-bearing structures in ore concentration area reflect the mechanical properties of compression and compression-torsion when they are formed. The occurrence of ore-bearing structures is generally dominated by near SN-trending, followed by NNE- and NNW-trending, a little NE-trending, some NW- and NEE-trending, and only these ore-bearing structures of interlayer faults formed earlier in shallow metamorphic clastic rocks are NWW-trending. There is a significant regional law in the trend difference of ore-bearing structures in different uranium fields, that is, the ore-bearing structures in the central part of the ore concentration area are mainly NNW (near SN)-trending, while those in the northern and southern parts of the ore concentration area are mainly NNE-treading, which is S-shaped as a whole. **[Conclusions]** Combined with the regional tectonic setting, it is determined that the ore-controlling

基金项目: 核计划研发科研项目(H2301-2)

This research was financially by the Nuclear Technology Research Program (Grant No. H2301-2).

作者简介: 陈柏林 (1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。Email: cblh6299@263.net

通讯作者: 裴英茹 (1988—), 女, 博士, 从事矿床学、成矿构造环境研究。Email: peiyingru@163.com

收稿日期: 2026-01-01; 修回日期: 2026-07-04; 录用日期: 2026-08-03; 网络出版时间: 2026-10-19

Received: 2026-01-01; Revised: 2026-07-04; Accepted: 2026-08-03; Available Online: 2026-10-19

structure framework in the Zhuguang uranium concentration area is SN-trending, and it is considered that during the formation of ore-bearing structure, the relatively complete rock block as Zhuguangshan complex rock mass was subjected to the maximum principal compressive stress in the near EW-trending. There was no NE-trending concealed structure in the middle part of the ore-concentrated area, so the principal stress trace remained unchanged, that is, the compressive stress trace was near EW trending and the tensile stress trace was near SN-trending, forming a near SN-trending ore-bearing structure. Due to the existence of NE-trending concealed structures in the north and south parts of the ore concentration area, the direction of the main stress trace is changed and the NE-trending ore-bearing structures are formed. [Significane] This study not only reasonably explains the regular changes of ore-bearing structural trends in different uranium fields in Zhuguang uranium concentration area, but also provides theoretical guidance for prospecting prediction in different parts of the ore concentration area, enriching the structural ore-controlling theory of hydrothermal uranium deposits, and has a demonstration role in the structural ore-controlling research of other ore concentration areas and ore fields as well.

Keywords: hard rock type uranium deposit; SN-trending ore-bearing structure; ore-controlling structure framework; principal stress trace, concealed structure; Zhuguang uranium concentration area

摘 要: 诸广铀矿集中区是我国华南地区最重要的硬岩型铀矿资源和产业基地, 有鹿井、三九、城口、长江、百顺、澜河、全安等铀矿田构成, 矿床和矿体受构造控制明显, 铀矿床产于花岗岩体内及接触带附近的早古生代浅变质碎屑岩中, 赋矿围岩没有选择性。不同铀矿田含矿构造既有共性, 又存在差异, 导致对整个矿集区控矿构造的认识争议。文章在系统分析主要铀矿田含矿构造的形态、产状及其组合特征基础上, 运用材料力学主应力迹线理论, 结合矿集区区域性主断裂的形成历史, 反演了含矿构造的形成机制。研究表明: 矿集区内含矿构造的形态特征反映其形成时属于压性、压扭性力学性质。含矿构造走向总体上以近南北向为主, 其次为北北东向和北北西向, 少量北东向, 个别北西向和北东东向, 仅发育于浅变质碎屑岩中形成较早的层间断裂作为含矿构造时呈北西西向。不同铀矿田含矿构造的走向差异存在显著地域性规律, 即矿集区中部含矿构造以北北西向(近南北向)为主, 而矿集区北部和南部以北北东向为主, 整体呈S形。结合区域构造背景, 厘定矿集区控矿构造格架是南北向构造, 认为在含矿构造形成期, 作为诸广山复式岩体比较完整的岩块受到近东西向最大主压应力的作用, 在矿集区中部没有北东向隐伏构造影响, 主应力迹线保持不变, 即压应力迹线近东西向、张应力迹线近南北向, 形成的是近南北向含矿构造; 在矿集区北部和南部由于有北东向隐伏构造的存在, 改变了主应力迹线的方向而形成偏北东向的含矿构造。该研究不仅合理解释了诸广铀矿集中区不同铀矿田含矿构造走向的规律性变化, 为矿集区内不同部位的找矿预测提供理论指导, 丰富了热液铀矿床的构造控矿理论, 对其他矿集区、矿田的构造控矿研究也具有示范作用。

关键词: 硬岩型铀矿床; 南北向含矿构造; 控矿构造格架; 主应力迹线; 隐伏构造; 诸广铀矿集中区

中图分类号: P613 文献标识码: A 文章编号: 1006-6616 (2026) 05-0015-26

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2026001

0 引言

诸广铀矿集中区位于湘粤赣交界的诸广山地区, 包括江西省赣州市崇义县西南部、大余县西部、广东省韶关市仁化县东北部、始兴县北部、南雄市西北部以及湖南省郴州市汝城县东南部。诸广铀矿集中区是我国迄今为止发现的最大的花岗岩型铀矿集中区, 已有六十多年的铀矿勘查、开发和研究历史, 已发现大、中、小型铀矿床六十多处, 呈相对集中分布在鹿井、三九、城口、长江、百顺、澜河、

全安 7 个铀矿田中。此外，前人在该地区先后开展了矿集区成矿地质背景、花岗岩岩石学、铀矿床地质及地球化学、成矿年代学、成矿规律与找矿方向等专题研究，并取得众多认识与成果。

在矿田构造与控矿因素方面也开展了不少研究（何友宇等，2018；黄宝春等，2019；李先福等，1999；李建威等，2000；梁良等，2019；刘军港等 2019c；孙岳等，2020）。李先福等（1999）和李建威等（2000）最早提出鹿井铀矿田的走滑断裂叠接区控矿；林锦荣等（2016）认为拉伸红盆控矿；郭春影等（2013）提出长江铀矿田是北东东向棉花坑断裂的左行走滑派生近南北向的张性断裂控矿；刘军港等（2019）则认为油洞韧性剪切带是主要控矿构造。对诸广铀矿集中区的其他矿田的构造控矿研究相对少很多。陈柏林等（2022, 2025）在详细野外调查基础上，运用构造的序次性、相关性等联系的思路方法重新梳理了矿集区内两个最主要矿田（长江和鹿井）的控矿构造系统，认为铀矿体受独立的近南北向（北北东向和北北西向）构造控制。然而，就整个诸广铀矿集中区而言，除了长江和鹿井主要是近南北向构造含矿外，其他铀矿田既有近南北向构造含矿，也有北东向构造含矿，而对矿集区构造格架的整体分析和系统论述鲜有见及。本文在前人研究基础上，对其他铀矿田开展了精细的野外调查和综合分析，从相似中寻找特性、从个性中寻找共性，并运用材料力学主应力迹线原理，对矿集区内不同矿田的含矿构造进行有机组合和配套分析，提出在同一个外部应力作用下，由于隐伏断裂的影响，导致主应力迹线发生偏转，从而在不同矿田形成走向有差异的含矿构造组合，并为矿集区内进一步找矿预测提供技术支撑。

1、矿集区地质矿产背景

1.1 大地构造背景

诸广铀矿集中区位于湘粤赣交界的诸广山复式岩体的中南部，大地构造位置处于扬子板块与和华夏板块缝合线（北东向钦杭构造带）南侧华夏地块中部（图 1）南岭纬向构造带与新华夏第二隆起带的交汇部位。区域构造受九峰-大余东西向隆起带、万洋-诸广南北向隆起带和万长山北东向隆起带的三重控制。在区域成矿带上属于赣杭火山岩成矿带与赣中南花岗岩成矿带的交汇部位。

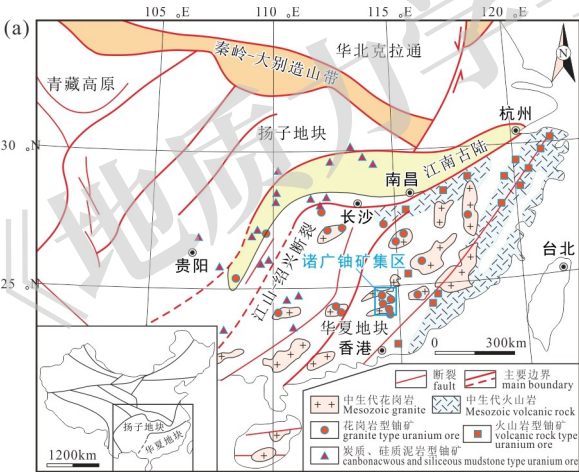


图 1 诸广铀矿集中区大地构造图

Fig. 1 Tectonic map of Zhuguang uranium concentrated area

1.2 矿集区地层特征

诸广铀矿集中区及周边区域出露的地层有震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系和侏罗系、白垩系、古近系，其主要特征见表 1，按照其形成环境、岩性特征和变质程度可划分为三个构造层。第一构造层是震旦—奥陶纪浅变质碎屑岩系，第二构造层是上古生界碳酸盐岩系，第三构造

[illegible]

Fig. 2 Geological structure map of Zhuguang Uranium Concentration Area

1-古新统; 2-上白垩统, 3-侏罗系; 4-二叠系; 5-石炭系; 6-泥盆系; 7-奥陶系; 8-寒武系; 9-震旦系; 10-燕山早期第三阶段花岗岩; 11-燕山早期第二阶段花岗岩; 11-燕山早期第一阶段花岗岩; 13-印支晚期花岗岩; 14-印支中期二长花岗岩; 15-印支早期花岗岩; 16-海西晚期花岗岩; 17-海西中期花岗岩闪长岩; 18-海西中期闪长岩; 19-海西早期云辉二长岩; 20-加里东期片麻状眼球状花岗岩; 21-断裂/韧性变形带; 22-铀矿床/萤石矿床; 23-铀矿田; 24-岩体编号; 25-岩体年龄; 26-含矿构造走向玫瑰花图; F₁: 遂川断裂; F₂: 热水断裂; F₃: 塘洞断裂; F₄: 城口断裂; F₅: 棉花坑断裂; F₆: 烟囱岭断裂; F₇: 牛澜断裂; F₈: 南雄断裂

1- Paleocene; 2- Upper Cretaceous, 3- Jurassic; 4- Permian; 5- Carboniferous; 6 Devonian; 7- Ordovician; 8- Cambrian; 9- Sinian system; 10- Early

Yanshanian third stage granite; 11- Early Yanshanian second stage granite; 11- Early Yanshanian first stage granite; 13- Late Indosinian granite; 14- Middle Indosinian adamellite; 15- Early Indosinian granite; 16- Late Hercynian granite; 17- Middle Hercynian granodiorite; 18- Middle Hercynian diorite; 19-Early Hercynian biotite pyroxene monzonite; 20- Caledonian gneissic - eyeball shape granite; 21- Fault/ductile deformation zone; 22- Uranium deposit/ fluorite deposit; 23- Uranium ore-field; 24- intrusive mass number; 25- Age of intrusive mass; 26-Rose diagram of trend of ore-bearing structure; F₁: Suihuan Fault; F₂: Reshui Fault; F₃: Tangdong Fault; F₄: Chengkou Fault; F₅: Mianhuakeng Fault; F₆: Yantongling Fault; F₇: Niulan Fault; F₈: Nanxiong Fault

表 1 诸广矿集区主要地层单元表

Table 1 main stratigraphic units in Zhuguang uranium concentrated area

地层	代码	出露位置	主要岩性	变质作用	构造层	面理置换
震旦系	Z	西北部热水、鹿井	浅变质碎屑岩系：变质砂岩、变质粉砂岩、千枚岩	低绿片岩相	第一 构造层	强烈
寒武系	Є	复式岩体四周均有	浅变质碎屑岩系：石英砂岩、粉砂岩和千枚岩，沿走向变化大	浅变质		较强烈
奥陶系	O	仅古亭一带	浅变质碎屑岩系：石英砂岩、粉砂岩和千枚岩夹灰岩透镜体	轻微变质		较弱
泥盆系	D	西部，西南局部	浅海相碳酸盐岩：中厚、中薄层灰岩、泥灰岩，底部砂砾岩	未变质	第二 构造层	无
石炭系	C	西北部均布	灰黑色中厚层灰岩、中薄层泥质灰岩，局部夹煤层	未变质		无
二叠系	P	西南局部	灰黑色中厚层灰岩、中薄层泥质灰岩，局部夹煤层	未变质		无
侏罗系	J	仁化局部山间盆地	山间盆地粗碎屑：褐红杂色砾岩、含砾砂岩、砂岩及泥岩	未变质	第三 构造层	无
白垩系	K	丰州和南雄盆地	陆相盆地粗碎屑：褐红砖红砾岩、含砾砂岩、砂岩及粉砂岩	未变质		无
古近系	E	苍石,乌坭,丹霞山	陆相盆地细碎屑：砖红色砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥岩	未变质		无

1.3 矿集区侵入岩特征

诸广铀矿集中区侵入岩非常发育，俗称诸广山复式岩体，总面积大于 2500km²。该复式岩体主要由印支期和燕山期中酸性侵入岩构成，少量为海西期中性、中酸性侵入岩，局部出露加里东期片麻状花岗岩，并按出露位置划分为 18 个岩体（表 2，图 2）。

表 2 诸广矿集区主要侵入岩一览表

Table 2 Main intrusive rocks in the Zhuguang uranium concentrated area

侵入时代		代码	出露位置	主要岩性	结构构造	代表性岩体
燕山早期	第三阶段	γ_s^{2-3}	热水、河洞、温泉坝、羊角脑	黑云母花岗岩	中细粒	茶山岩体
	第三阶段	γ_s^{2-2}	企岭-塘湾一带	黑云母花岗岩	中粗粒、中细粒	企岭岩体
	第一阶段	γ_s^{2-1}	长江、城口、三江口、日庄	黑云母花岗岩	中粒、中粗粒	长江岩体、三江口岩体、日庄岩体
印支晚期		γ_s^{1-3}	乐洞、塘洞、油洞、百顺、苍石	黑云母花岗岩	中粗粒、似斑状	塘洞岩体、油洞岩体、百顺岩体
印支中期		$\eta\gamma_s^{1-2}$	丰州、文英、焦坪、澜河	二长花岗岩	中粗粒、似斑状	乐洞岩体、文英岩体、龙华山岩体
印支早期		γ_s^{1-1}	内良、河洞、百顺、闻韶	黑云母花岗岩	中粗粒、似斑状	白云岩体、江南岩体
海西中期		$\gamma_{\delta_4}^2$	扶溪	花岗闪长岩、闪长岩	中细粒	扶溪岩体
海西早期		$v\xi_s^1$	上龙	云辉二长岩	中细粒	无较大岩体
加里东期		$M\gamma_3^1$	帽子峰、澜河	片麻状花岗岩	中粗粒、片麻状	无较大岩体

1.4 主要铀矿田简介

矿集区已发现大、中、小型铀矿床六十多处，呈相对集中分布的鹿井、三九、城口、长江、百顺、澜

河、全安 7 个铀矿田组成，其主要特征见表 3 和图 2。从矿集区内铀矿田、铀矿床的分布特征看，不管是岩浆侵入岩，还是浅变质碎屑岩，铀矿化对赋矿围岩没有选择性。

表 3 诸广矿集区主要铀矿田一览表

Table 3 Main uranium ore field in the Zhuguang uranium concentrated area

序号	矿田名称	位置	出露岩体	出露地层	含矿构造走向	代表性铀矿床
I	鹿井铀矿田	北部丰州、集益一带	乐洞岩体、古亭岩体	少量寒武系	花岗岩中北北东为主，次为北东，寒武系中为北西向西向层间破碎带	鹿井、黄峰岭、高昔、沙坝子、牛尾岭、梨花开、羊角脑
II	三九铀矿田	西北部九曲岭、九龙山	茶山岩体、三江口岩体	少量震旦系	花岗岩中为近南北、北北东断裂为主，震旦系中北北向西向层间破碎带	秀才洞、九龙径、中山、九曲岭、牛头尾、九龙江
III	城口铀矿田	中部西侧的城口、塘湾等	三江口岩体、赤坑岩体	外围有寒武系	近南北向、北北向西、北北东向为主，少量北东东向	城口、木洞、塘湾、石壁窝、黄沙桥、三角口
IV	长江铀矿田	中部长江、油洞、水石等	长江岩体、油洞岩体	无	近南北（北北西）向为主，个别为北东向、北西向	棉花坑、书楼丘、油洞、长排、长坑、水石、企岭、焦坑
V	百顺铀矿田	南部的百顺镇及其南侧	苦竹圩岩体和百顺岩体	无	北东向	东坑、烟筒岭、罗坑
VI	澜河铀矿田	南部偏东侧的澜河一带	白云岩体和龙华山岩体	无	澜河矿床为近南北向，其他铀矿床为北东向	澜河、牛移
VII	全安铀矿田	东南角的中村、全安一带	龙华山岩体	白垩系	中村为北东向、全安为红层层间构造	中村、暖水塘

2 矿集区构造格架

诸广铀矿集中区绝大多数铀矿体赋存在中酸性侵入岩内的断裂破碎带中，虽然复式岩体的侵入时代具多期性，但区内出露面积较大且时代最新的是以长江岩体、三江口岩体等为代表的燕山早期中酸性侵入岩。所以，含矿构造的形成是在燕山早期岩体侵位之后，在主期铀成矿作用之前，即 140~110Ma（陈柏林等，2022，2025）。因此，本文主要分析燕山早期及其以来的断裂构造。

矿集区内规模较大的断裂构造有热水断裂（包含遂川断裂南西段）、塘洞断裂、烟筒岭断裂、南雄断裂，其间发育多条次级断裂，并呈右列式斜列展布。这些断裂构造主体呈北东向（包括北北东向和北东东向），仅少量为北西向和北北西向，北东向断裂构成矿集区的构造格架（图 2）。

2.1 热水断裂

热水断裂是区域上遂川-热水断裂的组成部分。热水断裂位于矿集区北部和西北部，呈北东向延伸，北端位于鹿井矿田北部牛尾岭一带，向南西经过鹿井、羊角脑、热水、热河、木洞，城口，到城口矿田的黄沙桥一带，区内长度约 50km（图 2）。根据不同位置断裂构造的表现特征及其与铀矿化的关系，该断裂可以划分为三段。

（1）北段（包含遂川断裂南西段）：出露牛尾岭—羊角脑一带，线性地貌特征不太明显。断裂由呈斜列状（多字型）的三条二级断裂构成，且以两长一短（中间短、两侧长）、走向偏向北东东向、近等距梯状（“彡”字形），显示出遂川断裂南西端与热水断裂的侧灭再现转换。遂川断裂南西端位于北侧，出露于大场坪、枫树下、蕉叶垅、茶山下一带，向南西至梨花开、沙坝子一带渐弱，向北东出区为遂川断裂主体。中间为金鸡岭断裂，出露于金鸡岭、黄峰岭、庙背垅一带，主体在印支期岩

体中的部分断裂构造规模较大，向两端进入浅变质碎屑岩中渐弱。南侧为热水断裂的北东端，出露于下古选、羊角脑、刘家坑一带，向东北方向进入浅变质碎屑岩后渐弱，向南西为热水断裂主体。热水断裂北段是鹿井铀矿田的主要铀矿床产地，现有研究表明，该断裂主要有三期构造变形：150~140Ma 为局部右行韧性变形，早期（140~110Ma 左右）脆性变形，主干热水断裂仅仅是隐伏断裂雏形，且表现为右行走滑，在岩体内局部形成近南北向、北北东向，少量北东向、北东东向低序次断裂破碎带、密集节理带，构成鹿井铀矿田的主要含矿构造。在铀矿床成矿之后的始新世以来才表现为左行走滑，形成丰州拉分盆地，并导致其北西盘的快速隆升，对鹿井铀矿田及周边矿床的保存与剥露起到控制作用（地质力学研究所，2022；陈柏林等，2025）。

（2）中段：出露于热水、金竹垅、热洞一带，线性地貌非常明显，呈直线状沟谷，表现为单一的脆性断裂。沿着三江口—热水新修公路追索，可以观察到热水断裂的出露特征。在金竹垅一带，可见断裂带附近的密集节理带（图 3a），在金竹垅南可见断裂破碎带及硅化带（图 3b、c）。

金竹垅南沿热水断裂的硅化带发育于中粗粒花岗岩中，呈北北东、北东向延伸，宽度约 3~5m，以不规则交代形式为主，没有明显的硅质脉体，反映了沿热水断裂的热液流体活动（图 3b、c）。

在金竹垅北湘粤交界的湖南一侧，新修公路开挖揭露了热水断裂露头（图4）。该点断裂出露长度约18m，剖面与断层斜交，交角约35°。剖面中可见断裂破碎带，由黄褐色破碎带、未胶结角砾岩和褐红色含角砾断层泥构成，断层泥多位于破碎带下部；局部破碎带产状42°/NW70°，宽度50~70cm，破碎带为未胶结松散的碎裂岩、角砾岩和含角砾断层泥，反映了其属于晚白垩世末期至新生代早期的断裂活动遗迹（图4）。在该露头中段，可见呈左列式斜列的两条次级断裂的交接关系，在交接部位表现为典型的的不同尺度（0.1~6.0m）构造透镜体岩块，各透镜状岩块之间均为小型滑动面，局部滑动面产状43°/NW68°、20°/NW82°；从透镜状岩块的排列方向分析，断裂带具有右行走滑的运动学特征（图4a、b、d、h）。

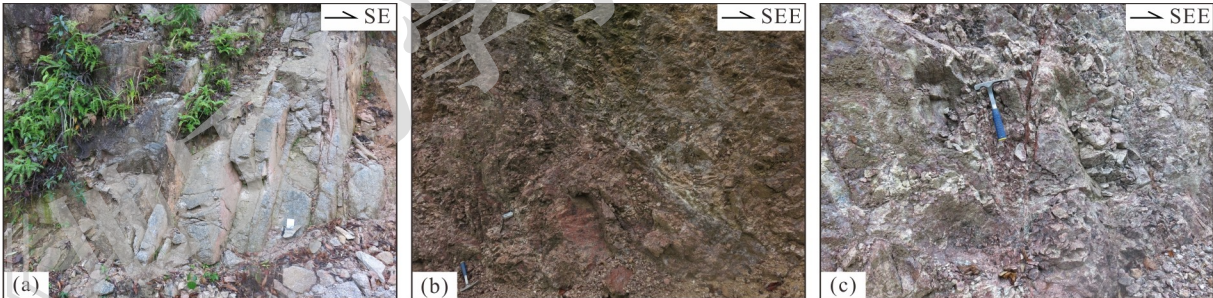


图3 热水断裂中段特征照片

Fig. 3 Photo showing characteristics of middle part of Reshui fault

（a）热水主断裂旁侧密集节理带，金竹垅一带；（b）热水主断裂破碎带，金竹垅南；（c）热水主断裂破碎带中的硅化带特征，金竹垅南。

a. Dense joint zone next to Reshui fault at Jinzhulong area; b. Fracture zone of Reshui fault, south of Jinzhulong; c. Characteristics of silicified zone of Reshui fault, south of Jinzhulong

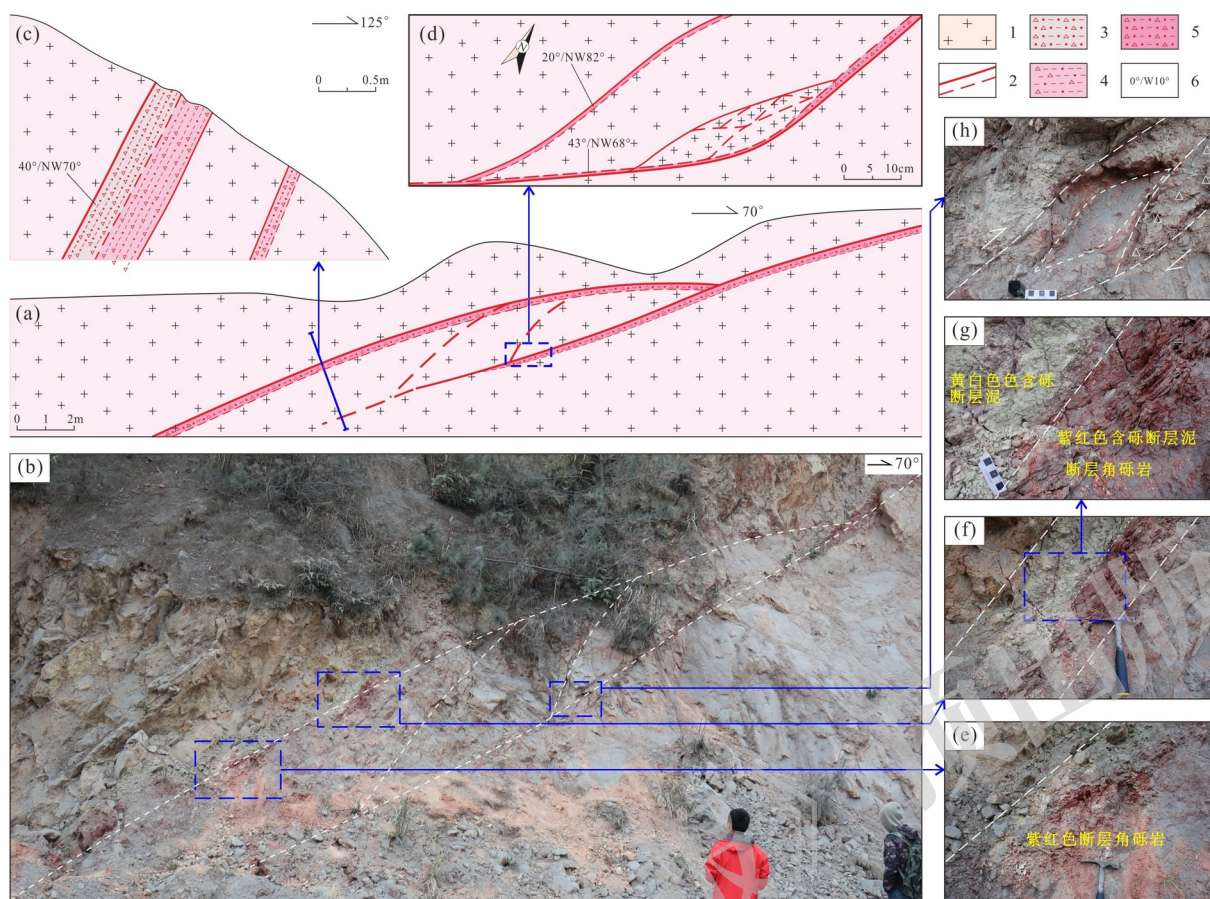


图4 热水断裂中段破碎带特征

Fig. 4 Fault characteristics of middle part of Reshui fault

(a) 断裂带露头整体素描; (b) 断裂带整体照片; (c) 断裂带局部素描(剖面); (d) 断裂带局部素描(平面); (e) 断裂破碎带南西段局部放大; (f) 断裂破碎带中段局部放大, 有黄褐色和褐红色两种断层泥组成; (g) 照片(f)的局部放大, 两种断层泥更清晰可分; (h) 断裂破碎带中段局部放大, 示次级滑动面关系及夹持的透镜体岩块; 1-印支期花岗岩; 2-断裂; 3-黄褐色破碎带、未胶结角砾; 4-褐红色含砾断层泥; 5-褐红色碎裂岩及未胶结角砾; 6-产状

(a) Overall sketch of outcrop of fault zone; (b) Overall photos of the fault zone; (c) Local sketch (profile) of fault zone; (d) Local sketch (plane) of fault zone; (e) local enlargement of the southwest section of the fault zone; (f) The middle section of the fracture zone is enlarged locally, and consists of two fault gouge: yellowish brown and maroon; (g) The local enlargement of photo (f) shows that the two fault gouge can be more clearly separated; (h) The middle section of the fracture zone is partially enlarged, showing the relationship between the secondary sliding surfaces and the clamped lens rock; 1- Indosinian granite; 2- fracture; 3- Yellow-brown fracture zone and unconsolidated breccia; 4- maroon gravelly fault gouge; 5- maroon cataclastic rocks and unconsolidated breccia; 6- occurrence

(3) 南段: 出露于木洞—黄沙桥一带, 线性地貌特征不是太明显。主断裂自木洞向南西逐渐不明显, 并由多条不同方向的小断裂交叉展布形式出露。热水断裂南段(及其与其他方向断裂交接部位)是城口铀矿田的主要铀矿床产地, 也是城口铀矿田主要控矿构造, 后文将做详细分析。

2.2 塘洞断裂

塘洞断裂位于诸广铀矿集中区西南部至东北部, 呈北东向延伸, 北段位于乐洞-文英-关田一带, 向南西经过粤赣交界、三板桥、彭屋、塘洞村、石埂、长江镇北下竹田、牛坳、斜州、犁头咀(双合水), 至黄斜洞、仁化县、丹霞山一带。呈北东走向延伸(图2), 其南西端与左虎断裂呈小角度左列式斜列, 并继续延伸至仁化县西侧一带, 区内长度约70km。塘洞断裂除韧性变形带外, 还发育大

规模硅化带和脆性破碎带。

如赣粤交界的三板桥村北 Z87-1 点，脆性破碎带与硅化带一并出露，该处破碎带宽度不大，约 5m，形成脆性劈理化带（图 5a），产状 $50^{\circ}/NW70^{\circ}$ ；同时硅化石英也发生明显的破碎（图 5b），破碎带西侧为较完整的硅化带（石英脉），产状 $40^{\circ}/NW75^{\circ}$ 。在 Z87-2 点，硅化带出露于西侧，中部为脆性破碎带，东侧为片理化带；脆性断裂产状 $56^{\circ}/NW69^{\circ}$ ，破碎带外（东）为弱硅化带、节理带（图 5c）。



图5 塘洞断裂脆性破碎带特征照片（Z87-1点）

Figure 5 Photo showing the brittle fracture zone of Tangdong fault (point Z87-1)

（a）脆性破碎带及弱硅化带；（b）脆性破碎带及弱硅化带；（c）弱硅化带；

(a) Brittle fracture zone and weakly silicified zone; (b) Brittle fracture zone and weakly silicified zone; (c) weak silicification zone;

又如三板桥村一带的 Z93 点，脆性破碎带非常发育（图 6a~i）。该点断裂破碎带宽度超过 20m，由脆性破碎带、挤压带、断层面、白色硅化带及韧脆性片理化带组成（图 6a）；整个断裂破碎带北西侧部分以脆性破碎带为主（图 6b），南东侧部分以韧脆性片理化带为主（图 6c）；脆性破碎带部分为褐红色、砖红色的挤压带、构造透镜体带及稍晚贯入的白色硅质脉等组成，并发育最晚期的断层面（图 6d、e）；部分挤压构造透镜体带中发育不规则网格状晚期白色硅质脉（图 6f）；断裂破碎带中部表现为韧脆性片理化带基础上发育晚期脆性破碎带，破碎带以褐红色和砖红色断层泥为特征（图 6g）；晚期脆性断层面上发育明显的擦痕构造，擦痕向北东侧伏，侧伏角 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，指示右行正断运动特征（图 6h、i）。

再如在塘洞村南的 Z102 点，塘洞断裂带发育脆性破碎带（图 6j~p）。该点断裂破碎带宽度超过 10m，由脆性破碎带、挤压透镜体带、白色硅化带及构造角砾岩组成，整个断裂破碎带呈北东向延伸，走向 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ （图 6j~p）。特别是呈褐红色、砖红色的构造角砾岩非常发育，角砾成分复杂多样，以白色石英脉（硅质岩）为主，占 70%以上，其次是花岗质岩石、浅变质砂岩-泥岩等；角砾以棱角状为主，少量为次棱角状、个别为次圆状；角砾大小以 $0.5\sim 3\text{cm}$ 为主，少数 $3\sim 5\text{cm}$ ；角砾被褐红色、砖红色断层泥胶结；角砾绝大多数排列较混乱，定向不明显（图 6n、o）；部分破碎带中发育稍晚贯入的北北东向白色硅质脉，且白色硅质脉有继续被北北西向和北西西向裂隙断错的现象（图 6p）。

根据上述破碎带特征，可以初步恢复塘洞断裂带活动历史。在以长江岩体为代表的燕山早期（约 150Ma）侵入岩基本冷却固结的基础上，发生右行韧性剪切带和规模较大的硅化带，硅化带中石英流体包裹体年龄 140Ma（地质力学研究所，2022），之后演化为脆性变形。从断错塘洞村南侧的河坝铀矿点内近南北向、北北东向含矿构造及铀矿脉看，该断裂在铀成矿后发生了右行脆性破碎活动，形成韧脆性片理带、挤压透镜体以及半胶结的构造角砾岩等。至始新世以来，继续右行走滑活动，形成较松散的未胶结的构造角砾岩及断层泥、具有明显擦痕的断层面。

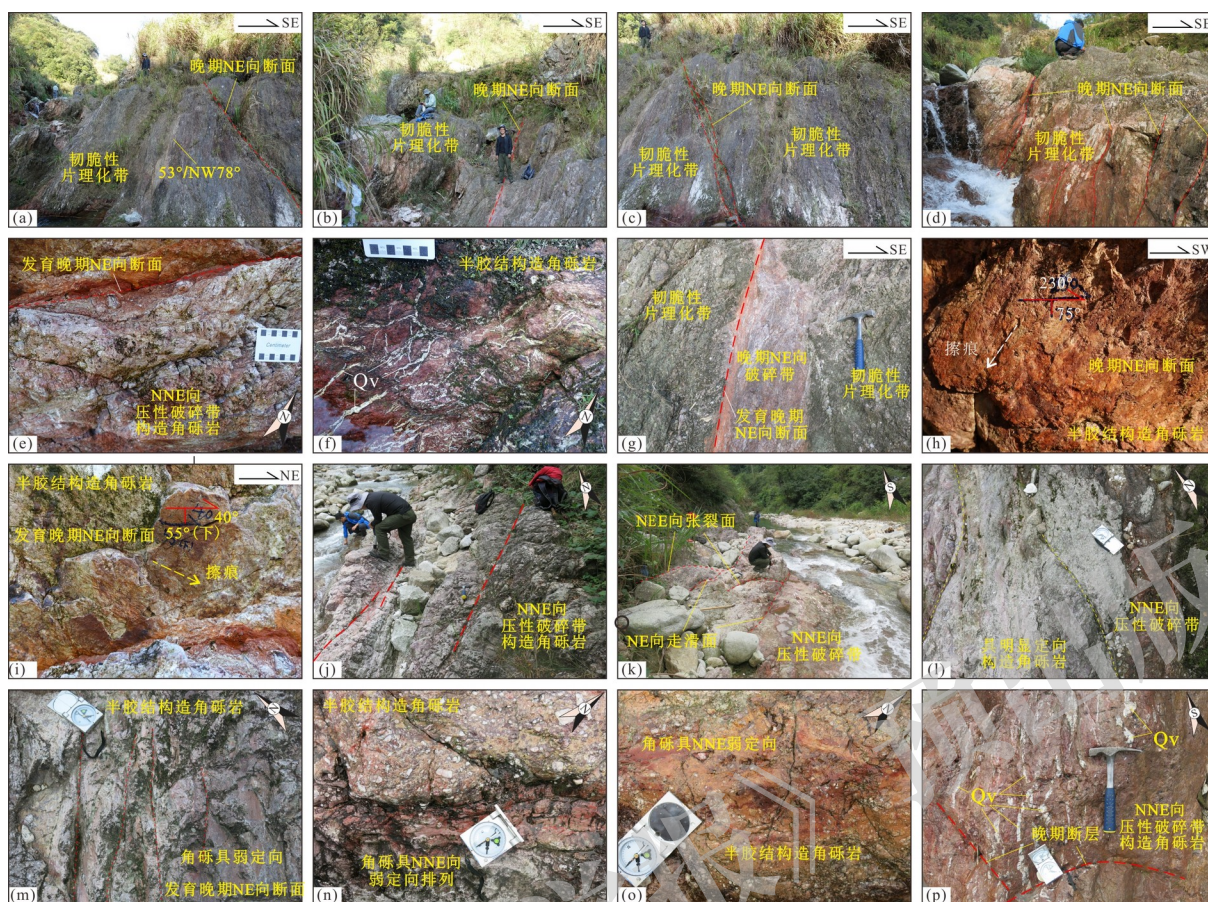


图6 塘洞断裂北段脆性破碎带特征照片 (Z93、Z102 点)

Fig. 6 Photo showing brittle fracture zone of northern part of The Tangdong fault (a~i is at point Z93 and j~p is at point Z102)

(a) 脆性破碎带全景; (b) 图(a)左侧部分, 脆性破碎带西侧部分, 脆性破碎表现更显著; (c) 图(a)右侧部分, 脆性破碎带东侧部分, 保留初脆性片理化带; (d) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造挤压带、角砾岩及白色硅化带; (e) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造挤压带及晚期断层; (f) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造挤压带及角砾岩带中不规则网格状晚期白色硅化脉; (g) 断裂破碎带中部片理化带中的晚期脆性破碎带; (h) 晚期断层; (i) 晚期断层; (j) 脆性破碎带沿河滩出露 (北段部分); (k) 脆性破碎带沿河滩出露 (南段部分); (l) 脆性破碎带及挤压透镜体带局部特征; (m) 脆性破碎带及挤压透镜体带局部特征; (n) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造角砾岩, 角砾成分复杂多样; (o) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造角砾岩, 角砾成分复杂多样; (p) 断裂破碎带中褐红色-砖红色构造挤压带及角砾岩带中不规则网格状晚期白色硅化脉

(a) Panorama of brittle fracture zone; (b) In the left part of Figure (a), the brittle fracture is more obvious in the west part of brittle fracture zone; (c) In the right side of Figure (a), ductile - brittle schistosity is reserved on the east side of brittle fracture zone; (d) Maroon-brick red structural compression zone, breccia and white silicified zone in the fracture zone; (e) The maroon-brick red structural compression zone and the latest fault plane in the fracture zone; (f) Late white silicified veins in the maroon-brick red structural compression zone and breccia zone in the fault fracture zone; (g) Late brittle fracture zone in the flaky zone in the middle of the fracture zone; (h) Late fault plane; (i) Late fault plane; (j) Brittle fracture zone is exposed along the floodplain (northern section); (k) Brittle fracture zone is exposed along the floodplain (southern section); (l) Local characteristics of brittle fracture zone and extruded lens body zone; (m) Local characteristics of brittle fracture zone and extruded lens body zone; (n) Maroon-brick red structural breccia in the fracture zone, and the composition of the breccia is complex and diverse; (o) Maroon-brick red structural breccia in the fracture zone, and the composition of the breccia is complex and diverse; (p) The maroon-brick red structural compression zone in the fracture zone and the irregular grid-like late white silicified veins in the breccia zone.

烟筒岭断裂出露于矿集区中南部偏东侧，它控制百顺和澜河铀矿田的展布，也是矿集区内唯一主断裂含矿的断裂构造，将在文 3.5 节（1）东坑铀矿床中阐述其剖面特征。

南雄断裂发育于南雄盆地西北缘，是形成于晚白垩世的低角度正断层，主要活动时间在矿集区铀成矿作用之后（地质力学研究所，2022），不细述。

3 不同矿田含矿构造共性与差异

本章在鹿井和长江两个铀矿田含矿构造已有精细解析的基础上，通过分析矿集区内其他铀矿田含矿构造的方向性特点，以走向玫瑰花图形式展示各个铀矿田含矿构造的共性特点及其差异变化。

3.1 鹿井与长江铀矿田含矿构造的共性与差异

陈柏林等（2022，2025）对长江铀矿田和鹿井铀矿田的含矿构造开展了解析，长江铀矿田含矿构造为近南北（北北西）向的压扭性密集节理带（劈理带），鹿井铀矿田在花岗岩中含矿构造以北北东向为主，包括北东向和少量北东东向，在寒武纪浅变质碎屑岩中含矿构造以北西西向为主。其共性特征和差异性非常明显（表 4）。

表4 诸广铀矿集中区鹿井铀矿田与长江铀矿田控矿构造异同特征对比表

Table 1 Comparison of similarities and differences of ore-controlling structure between Lujing and Changjiang ore field in Zhuguang uranium concentration area

		鹿井铀矿田	长江铀矿田
相同特征	大地构造位置	扬子板块与和华夏板块缝合线（北东东向钦杭构造带）的南侧，华夏地块中部。	
	区域构造背景	受九峰-大余东西向隆起带、万洋-诸广南北向隆起带和万长山北东向隆起带的三重控制，位于南北向岩浆岩带中	
	导矿构造	区域伸展构造环境及其相关的岩浆活动和岩体侵入构造。	
	运矿（配矿）构造	与深部气液、热流体贯通的高角度正断层及岩体侵位构造，其上部与近南北向为主的不同方向含矿构造相连。	
	控矿构造发育时代	古太平洋—伊佐奈琦板块（Pacific-Izanagi）洋中脊俯冲造山后，“136~80Ma期间表现以伸展为主的第二阶段（118~108Ma）的反转挤压（Li et al, 2014）	
	含矿构造形成应力场	最大主应力为近东西向	
	伴生基性岩脉走向	都伴生有近东西向（含北东东向、北西西向）时代约110Ma的基性岩脉侵位	
	主成矿作用时代	洋中脊俯冲造山后，“136~80Ma期间表现为伸展的第三阶段（108~92Ma）伸展	
	成矿期构造应力场	成矿期最大主应力为近直立，最小主应力为北西-南东向，	
	隆升剥露历史	在60~40Ma期间都经历了隆升剥露	
差异特征	含矿构造发育岩石	印支期花岗岩质岩石、寒武纪浅变质碎屑岩	印支期-燕山早期花岗岩质岩石
	含矿构造总体走向	花岗岩区主要为北北东向，少量北东向、北东东向；浅变质碎屑岩区以北西西向为主。	北北西向（近南北向）
	含矿构造形成时代	花岗岩区含矿构造形成于伸展期第二阶段的近东西向挤压，浅变质碎屑岩区含矿构造形成于前中生代，近南北（北北东）向挤压	最初形成于伸展期第二阶段的近东西向、北东东向挤压
	含矿构造与红盆关系	含矿构造早于红层盆地形成，红盆对铀矿床起保矿作用	铀矿化与红盆未接触，但应早于红盆形成
	局部构造应力场	近东西向挤压应力、受北东向先成断裂影响的主压应力迹线扭曲区	近东西向挤压应力作用，矿集区近中心区

3.2 长江铀矿田外围含矿构造走向特征

长江铀矿田的核心区（图 7a）控矿构造特征已经有了明确的认识（陈柏林等，2022），核心区之外的长江铀矿田外围地区（包括海洋洞-五马归槽地区、草堂地区、黄溪水下游地区和里周石头塘地区）的含矿构造与核心区具有相似的特点。

（1）海洋洞-五马归槽地区

海洋洞-五马归槽地区位于长江铀矿田核心区的东北侧一带，矿区出露燕山早期第一、三阶段和燕山晚期的不同结构的花岗质岩石。主要由 44 号、48 号铀矿带和其他未编号的铀矿带组成。

主矿带 44 号铀矿带位于矿区中东部，自北向南呈弧形延伸，且具有分支复合，长度约 2200m，五马归槽一带的中北段走向变化于 $345^{\circ}\sim 14^{\circ}$ ；白石岐西侧一带的中南段走向 330° ；海洋洞附近的南段呈直线状，走向 359° 。48 号铀矿带位于矿区西部，呈直线状延伸，产状稳定，走向 338° 。此外，在矿区西北角 48 号矿带北段西侧，未编号铀矿带呈 349° 走向；在矿区中部 44 号矿带中段西侧，未编号铀矿带呈 344° 走向（图 7b）。

（2）草堂矿区

草堂地区位于长江铀矿田核心区的西侧，官田之南的草堂一带，矿区出露印支中期、燕山早期第一、二、三阶段及燕山晚期中酸性-酸性侵入岩；矿区出露了 93 号、94 号、95 号、96 号、97 号五条主要铀矿化带及一些未编号铀矿带，铀矿化对岩性没有选择性。

草堂矿区主要铀矿带非常特色的呈北北东向和北西向两个方向交叉的锐角菱形状展布，其中 93 号（走向 19° ）、95 号（走向 39° ）、96 号（北段 9° 南段 48° ）呈北北东走向，而 94 号（走向 340° ）和 97 号（走向 342° ）呈北北西走向（图 7c）。

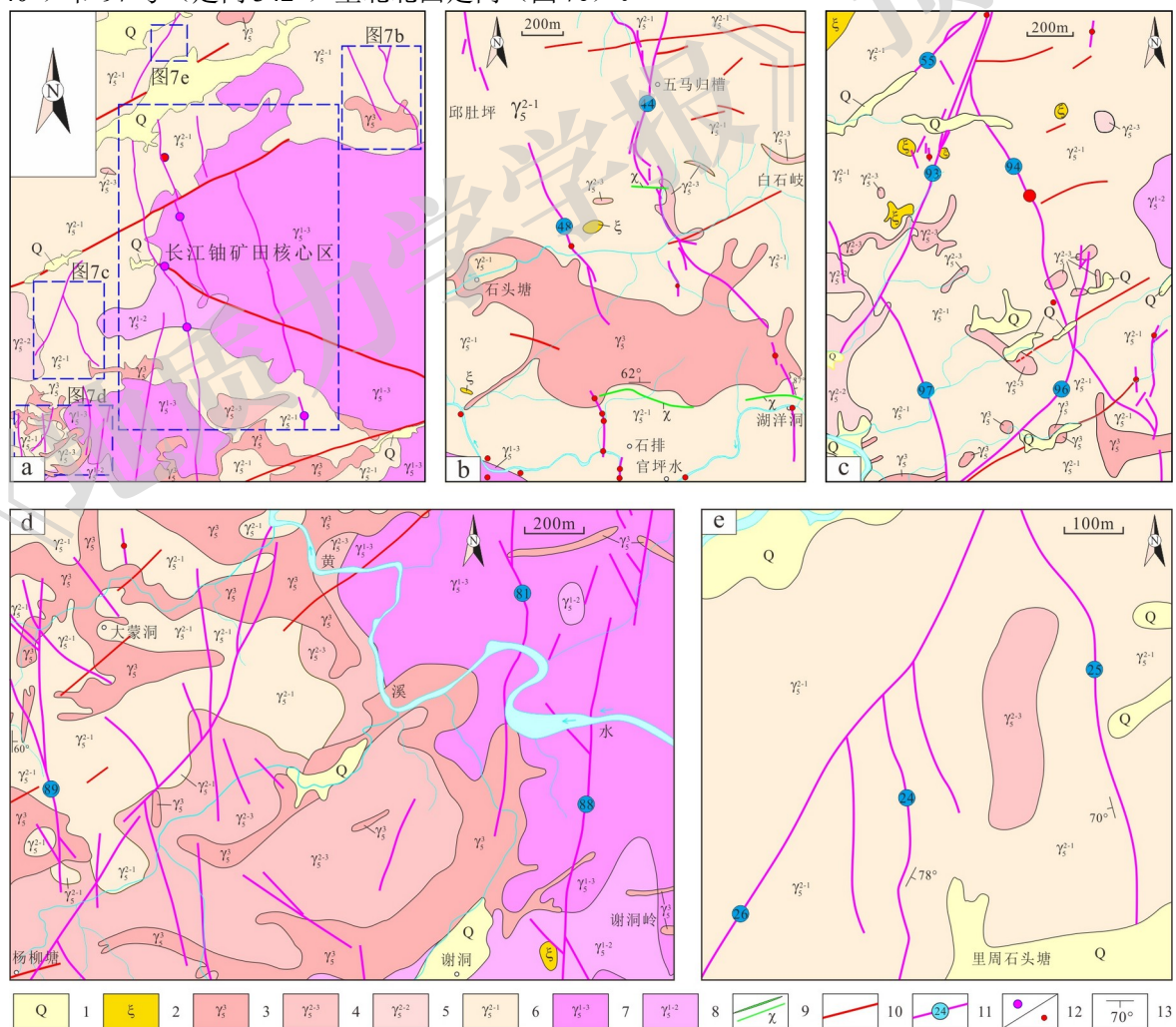


图 7 长江铀矿田核心区周围主要铀矿区地质图

Fig. 7 Geological map of main uranium ore areas around the core area of the Changjiang uranium ore field

a. 长江铀矿田; b. 湖洋洞-五马归槽地区; c. 草堂矿区; d. 黄溪水下流地区; e. 里周石头塘地区; 1-第四系; 2-碱交代岩; 3-燕山晚期细粒二云母花岗岩; 4-燕山早期第三阶段细粒黑云母花岗岩; 5-燕山早期第二阶段中粒斑状二云母花岗岩; 6-燕山早期第一阶段中粒黑云母花岗岩; 7-印支晚期中粒小斑状二云母花岗岩; 8-印支中期中粒斑状黑云母二长花岗岩; 9-煌斑岩脉; 10-断层; 11-铀矿带及编号; 12-铀矿床/铀矿点、矿化点; 13-产状

a. Changjiang Uranium ore field; b. Huyangdong-Wumaguicao area; c. Caotang mining area; d. Lower reaches of the Huangxishui River; e. Shitoutang area in Lizhou; 1- Quaternary; 2- alkali metasomatic rocks; 3- Late Yanshanian fine-grained mica granite; 4- Fine-grained biotite granite in the third stage of early Yanshanian; 5- Middle-grained porphyritic mica granite in the second stage of early Yanshanian; 6- Early Yanshanian first stage medium-grained biotite granite; 7- Late Indosinian medium-grained porphyritic mica granite; 8- Middle Indosinian porphyritic biotite adamellite; 9- lamprophyre vein; 10- Fault; 11- Uranium mineralization zone and number; 12- uranium deposit/ uranium mining site, uranium mineralization point; 13-occurrence

(3) 黄溪水下流地区

黄溪水下流地区位于长江铀矿田核心区西南侧的大蒙洞-杨柳塘-谢洞一带, 矿区出露印支中期、晚期、燕山早期第一、三阶段及燕山晚期中酸性-酸性侵入岩; 铀矿化包括 81 号、88 号、89 号铀矿带及其他未编号铀矿带, 含矿构造及铀矿带对岩性没有选择性。

81 号铀矿带位于矿区的东北部, 呈近南北向(中北段走向变化于 $342^{\circ}\sim 20^{\circ}$, 南段走向约 5°) 延伸, 长度约 1.2km。88 号铀矿带位于矿区东部, 呈近南北向延伸约 1.7km, 走向 6° ; 89 号铀矿带位于矿区西部, 呈近南北向(356°) 延伸约 1.5km; 同时矿区中西部还有多条近南北向、北北西向的未编号含矿构造(铀矿带), 其规模不等; 本矿区仅有个别北北东向含矿构造发育(图 7d)。

(4) 里周石头塘地区

里周石头塘地区位于长江铀矿田核心区北侧偏西位置, 矿区出露燕山早期第一阶段黑云母花岗岩; 铀矿化包括 24 号、25 号、26 号铀矿带, 铀矿带对岩性没有选择性。25 号铀矿带位于矿区东部, 出露长度约 800m, 呈北北西向(走向 346°) 延伸。24 号铀矿带位于矿区中部, 出露长度约 400m, 呈南北向(走向 358°) 延伸。26 号位于矿区西部, 出露长度约 900m, 呈北北东向(走向 30°) 延伸(图 7e)。

此外, 长江铀矿田核心区东部边缘的学堂坳地区主要含矿构造与长江铀矿田基本一致, 为北北西走向(傅中强等, 2019)。再往东侧的高坪地区含矿构造也以北北西向、北北东向为主, 并有部分北东向断裂含矿(况鹏等, 2016)。

3.3 城口铀矿田含矿构造走向特征

城口铀矿田位于矿集区中部偏西侧, 是诸广铀矿集中区的重要铀矿田之一, 矿田内有城口、木洞、黄沙桥、塘湾、石壁窝、三角口等矿床。

(1) 城口铀矿床

城口铀矿床位于城口铀矿田中心部位, 城口镇西南侧。矿区出露燕山早期第一、二阶段和燕山晚期酸性侵入岩。矿区发育 F_1 、 F_2 、 F_4 、 F_6 、 F_7 、 F_8 、 F_9 、 F_{10} 共八条含矿断裂带, 含矿构造对岩性没有选择性。

F_1 、 F_2 、 F_4 位于矿区西部, 呈近南北向展布, 长度约 1.5km, 走向 $354^{\circ}\sim 1^{\circ}$ 。 F_6 位于矿区西部, 呈北北西向延伸, 长度约 700m, 走向 330° 。 F_7 、 F_8 、 F_9 、 F_{10} 位于矿区东部, 呈相互平行状延伸, 长度约 600~1500m, 走向 12° (图 8a)。

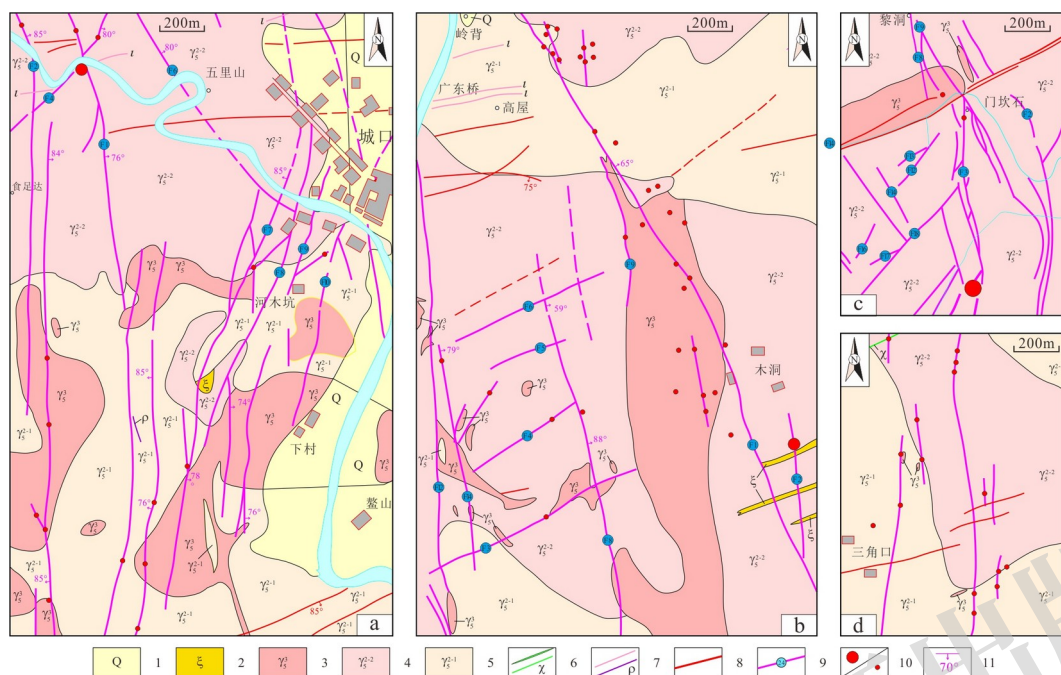


图8 城口铀矿田主要铀矿区地质图

Fig. 8 Geological map of main uranium ore areas in Chengkou uranium ore field

a. 城口矿区; b. 木洞矿区; c. 黄沙桥地区; d. 三角口地区; 1-第四系; 2-碱交代岩; 3-燕山晚期中细粒二云母花岗岩; 4-燕山早期第二阶段中粒斑状二云母花岗岩; 5-燕山早期第一阶段中粗粒斑状黑云母花岗岩; 6-煌斑岩脉; 7-细晶岩脉/伟晶岩脉; 8-断层; 9-铀矿带及编号; 10-铀异常/铀矿床; 11-产状

a. Chengkou mining area; b. Mudong mining area; c. Huangshaping area; D. Sanjiaokou area; 1- Quaternary; 2- alkali metasomatic rocks; 3- Late Yanshanian fine-grained mica granite; 4- Middle-grained porphyritic mica granite in the second stage of early Yanshanian; 5- Early Yanshanian first stage medium-grained biotite granite; 6- lamprophyre vein; 7- Fine-grained dike/pegmatite dike; 8- Fault; 9- Uranium mineralization zone and number; 10- Uranium anomaly/uranium deposit; 11- occurrence

(2) 木洞铀矿床

木洞铀矿床（包括九龙江南部的石壁窝地区）位于城口铀矿田中北部，城口镇北东东方向。矿区出露燕山早期第一、二阶段和燕山晚期酸性侵入岩。矿区发育 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 、 F_8 、 F_9 、 F_{12} 、 F_{14} 共八条含矿断裂带及其他未编号含矿断裂。

F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 位于矿区西部，呈北东向相互平行展布，单个规模较小，长度约 300~500m，走向约 60°。 F_{12} 、 F_{14} 位于矿区西部，呈近南北向延伸，长度各为 500m 和 1000m，走向 352~357°。 F_8 位于矿区中部，呈近北北西向延伸，长度约为 700m，走向 348°。 F_9 位于矿区中东部，呈近南北向-北北西向弧形延伸，长度约为 800m，走向 345~358°。其他未编号含矿断裂呈北北西向展布（图 8b）。

(3) 黄沙桥铀矿床

黄沙桥铀矿床位于城口铀矿田西南部，城口镇南西方向的黄沙桥村西侧门坎石-下洞一带。矿区出露燕山早期第一阶段和燕山晚期酸性侵入岩。矿区发育 F_2 、 F_3 、 F_8 、 F_9 、 F_{12} 、 F_{13} 、 F_{14} 、 F_{16} 、 F_{17} 、 F_{18} 共八条编号含矿断裂带及多条未编号的含矿断裂，铀矿体对岩性没有选择性。

矿区内铀矿带分为 2 组，一组为北北西向，包括 F_2 、 F_3 、 F_8 、 F_9 和 F_{14} ；另一组为北北东向，包括 F_{12} 、 F_{13} 、 F_{16} 、 F_{17} 、 F_{18} 。两组含矿构造可能为共轭裂隙，相互交错构成似菱形状网格。其中 F_3 、 F_9 和 F_{18} 为矿区主含矿构造带，长度约 1000m，呈弧形延伸，自北向南走向依次为 330°、355°和 35°。其他未编号含矿构造带规模较小，长度仅 100~200m（图 8c）。

(4) 三角口铀矿床

三角口铀矿床位于城口铀矿田东南部，城口镇南东方向。矿区出露燕山早期第一、二阶段花岗岩，零星燕山晚期花岗岩。矿区发育近南北向含矿构造和铀矿体（图8d）。

此外，据陈随等（2019）报道，在城口铀矿田西部的独松地区则出现近南北向（北北西向）含矿断裂（硅化碎裂花岗岩）与北东东向基性岩脉组成交点型铀矿化。

3.4 三九铀矿田含矿构造走向特征

三九铀矿田位于诸广铀矿集中区中北部偏西侧，该区有九龙径、九龙江、九曲岭等铀矿床。

（1）九龙径矿区

九龙径矿区位于三九铀矿田的东北部，以九龙径铀矿床和秀才洞中型铀矿床最为典型，该地区铀矿床含矿构造和铀矿带呈北北东向延伸，走向 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ （图2）。

秀才洞铀矿床位于三九铀矿田的东北部，与著名的鹿井铀矿田西南缘相邻。

矿区内出露的地层有新元古界震旦系埃歧岭组（ Z_{2a} ）浅变质碎屑岩和下古生界寒武系香楠组（ ϵ_{1x} ）和茶园头组（ ϵ_{2cy} ）浅变质碎屑岩，出露于矿区东北部、北部及中部和西部。地层构成北西（北西西）向紧闭褶皱、局部北东（北东东）向褶皱。矿区出露的侵入岩有印支中期、燕山早期第一、三阶段酸性侵入岩以及零星的加里东期细粒石英闪长岩（东北部）。

断裂构造有三个方向。（1）北北西向断裂：以 F_1 、 F_2 、 F_3 张性角砾岩带为代表，出露于矿区东北部，总长约800m，走向 $320^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ，倾向北东，倾角陡，一般在 80° 左右。（2）近东西向断裂：以 F_4 及 F_5 为代表，总体走向 $70^{\circ}\sim 100^{\circ}$ ，倾向变化大，倾角大于 60° ，断裂带内成分复杂，不同部位成分也不同，主要以砂岩、板岩、石英脉角砾和硅化角砾岩为主。（3）北东向石英断裂带：矿区北部以 QCF_6 号带为代表，产出于张家背地段，是该地段规模最大的断裂带，总体走向 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，倾向北西，倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ；出露长度700余米，带内以块状石英脉充填为主，局部见硅化角砾岩。

据有关勘查和研究成果，秀才洞铀矿区近东西向断裂无明显矿化，推测为成矿后断裂；北东向断裂有局部伽玛异常高值。而北北西向断裂为矿床的含矿构造。矿区内已圈定的铀矿体均受北北西向的 F_2 断裂控制，矿体走向 335° ，近直立（黄敏等，2019）。

（2）九龙江矿区

九龙江矿区位于三九地区的中东部，矿区出露燕山早期第二、三阶段中酸性侵入岩。

矿区内发育的断裂主要为北东东向（近东西向）断裂组：九龙江断裂和 F_{401-2} ；北东向断裂组：黄洞口断裂；北北东向断裂组：上堡断裂、 F_3 、 F_{3-1} 、 F_{3-2} 、 F_{23} 、 F_{24} 、 F_{101} 、 F_{101-2} 、 F_{101-3} 、 F_{11} 、 F_{11-2} 、 F_{14} 。其中含矿构造有 F_{101} 、 F_{101-1} 、 F_{101-2} 、 F_{101-3} 、 F_{23} 、 F_{24} 等，控制I号、I-1号、II号、III号和IV号铀矿带（图9a）。

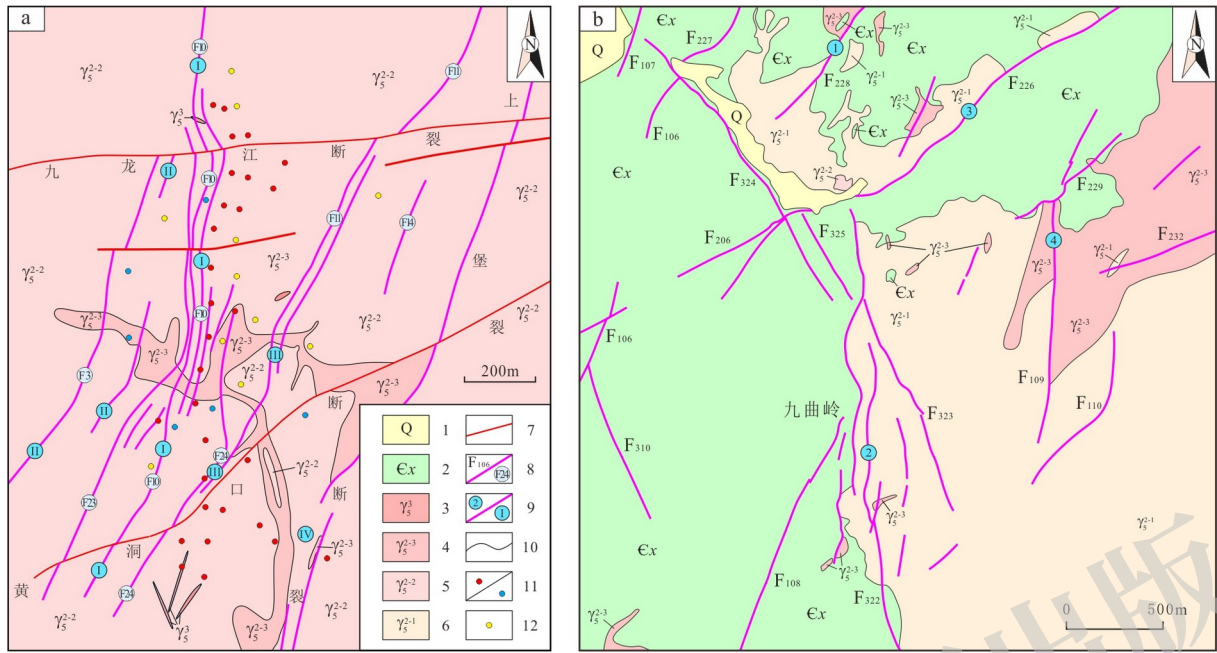


图9 三江口铀矿田九龙江矿区 (a, 据何友宇等, 2018) 和九曲岭矿区 (b, 据王前林等, 2021) 地质构造图

Fig. 9 Geological structure map of Jiulongjiang mining area (a, from He Youyu et al, 2018) and Jiucunling mining area (b, from Wang Qianlin et al, 2021) in Sanjiangkou uranium ore-field

1. 第四系; 2. 寒武系香楠组; 3-燕山晚期细粒二云母花岗岩; 4-燕山早期第三阶段细粒黑云母花岗岩; 5-燕山早期第二阶段中粒斑状二云母花岗岩; 6. 燕山早期第一阶段中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩; 7-晚期断裂; 8-含矿断裂及其编号; 9-铀矿带及其编号; 10-地质界线; 11-工业铀矿钻孔/铀矿化钻孔; 12-铀异常钻孔

1. Quaternary; 2. Cambrian Xiangnan Formation; 3- Late Yanshanian fine-grained mica granite; 4- Fine-grained biotite granite in the third stage of early Yanshanian; 5- Middle-grained porphyritic mica granite in the second stage of early Yanshanian; 6. The first stage of early Yanshanian medium-coarse porphyritic biotite adamellite; 7- late fault; 8- Ore-bearing faults and their numbers; 9- Uranium mineralization zone and its number; 10- Geological boundary; 11- industrial uranium drilling/ Uranium mineralization borehole; 12- uranium anomaly borehole

I号铀矿带: 位于矿区中偏西部, 受 F_{101} 、 F_{101-1} 、 F_{23} 等断裂控制, 呈近南北向略微弧形延伸, 长度约1300m, 中北段走向 5° , 南段走向 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。II号铀矿带: 位于矿区中偏西部, 受 F_3 、 F_{3-1} 、 F_{3-2} 等断裂控制, 呈近南北向略微弧形延伸, 长度约1200m, 中北段走向 5° , 南段走向 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。I-I号铀矿带: 位于矿区中偏西部, 受 F_{101-1} 、 F_{101-2} 断裂控制, 呈近南北向略微弧形延伸, 长度约900m, 整体走向 3° 。III号铀矿带: 位于矿区中偏东部, 受 F_{11} 、 F_{11-1} 、 F_{24} 等断裂控制, 呈北北东向略微弧形延伸, 长度约800m, 整体走向 32° 。IV号铀矿带: 位于矿区东南部, 受上堡断裂控制, 呈近南北向(北北东)略微弧形延伸, 长度约500m, 整体走向 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

总之, 九龙江矿区的5条主要铀矿带均非常一致的呈北北东走向。

(3) 九曲岭矿区

九曲岭铀矿床位于三江铀矿田西部, 矿区出露寒武系浅变质碎屑岩, 主要分布于西部和北部; 岩浆岩有燕山早期第一、二、三阶段酸性侵入岩(图2、图9b)。

矿区内断裂构造发育, 以南北向、北北西向为主, 其次是北东向断裂。近南北向断裂有 F_{106} 、 F_{107} 、 F_{108} 、 F_{322} 、 F_{109} 、 F_{110} , 北北西向断裂有 F_{310} 、 F_{323} 、 F_{324} 、 F_{325} , 北东向断裂有 F_{216} 、 F_{227} 、 F_{228} 、 F_{229} 、 F_{232} 。以近南北向断裂为主要含矿构造, 北东向断裂为次要含矿构造(图9b)。

2矿带为九曲岭矿区的主矿带, 受南北向断裂 F_{322} 及其剖面上的次级断裂控制, 主体倾向西, 倾角 $70^{\circ} \sim 87^{\circ}$, 宽 $5 \sim 20$ m, 穿切岩体内外接触带, 矿化主要为深灰色-褐红色微晶石英脉、紫黑色萤石

脉充填胶结的硅化角砾岩，矿体规模大，其中a线剖面铀矿体真厚度达20m。

1、3、4矿带分别受 F_{228} 、 F_{226} 、 F_{228} 三条北东向断裂控制，构造带规模较大，但是以白色石英为主，1矿带含有一定的杂色（红褐色）石英和紫黑色萤石脉及微脉状黄铁矿外，其余两条矿带杂色石英不够发育，仅仅有规模小、品位低的铀矿化（王前林等，2021）。

三九矿田的其他铀矿床，含矿构造整体走向为北北东向和近南北向，如中山铀矿床（颜越等，2021）、三江口异常区（费天伟等，2012；姜必广等，2017；何友宇等，2018）。

3.5 百顺-澜河地区含矿构造走向特征

百顺-澜河地区位于诸广铀矿集中区南部，前人一般分为百顺铀矿田和澜河铀矿田，也有学者将两者合称百澜铀矿田。该区铀矿床主要受北东向烟筒岭断裂、牛澜断裂及其伴生、派生的低级别、低序次断裂控制，发育有东坑中型铀矿床、烟筒岭、牛移、澜河 201 三个小型矿床及众多铀矿点（图 2）。

（1）东坑铀矿床

东坑铀矿床位于百澜地区（矿田）的西南部，百顺镇南东 3km。矿区出露印支早、中、晚期和燕山早期酸性侵入岩。

区内断裂构造为北东向烟筒岭断裂及其次级断裂，多数呈北东向和北北东向，少量呈近南北向（北北西向），穿切近东西向辉绿岩脉。晚期断裂呈北西向（肖为，2022）。

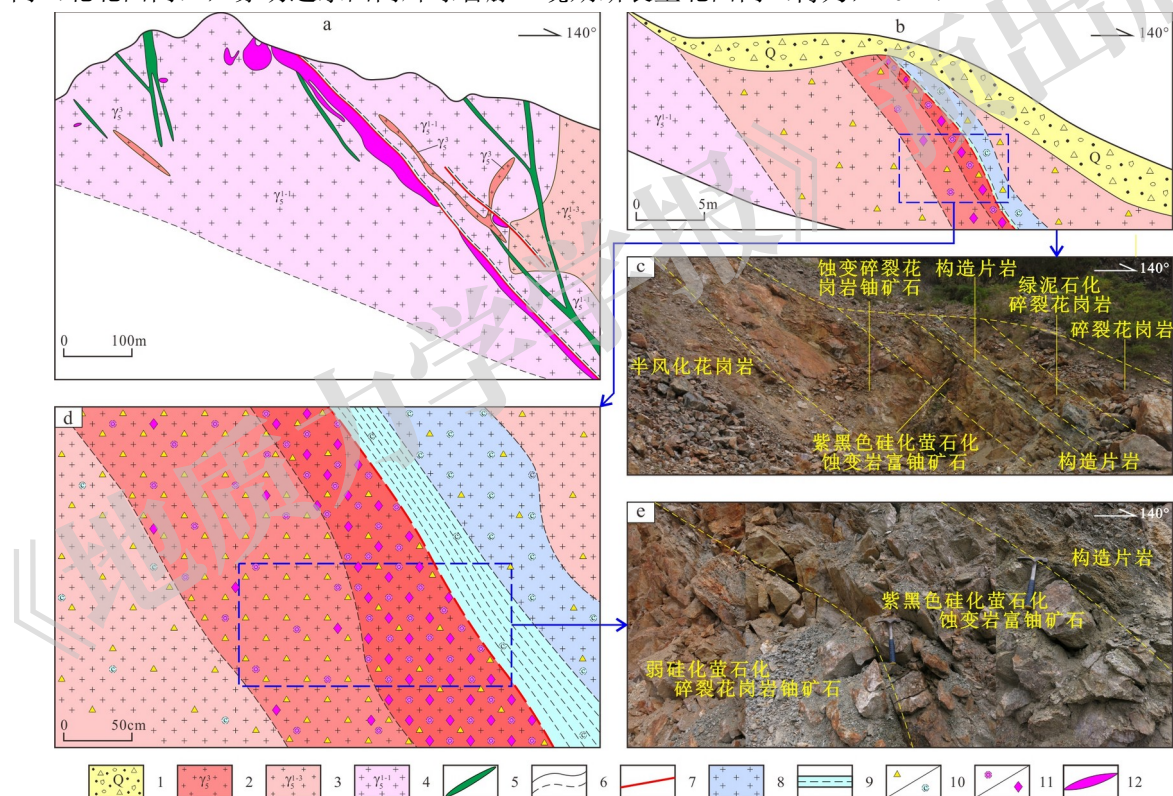


图 10 东坑铀矿床 13 号勘探线剖面（a，据肖为，2022 资料编制）和露天采场剖面（b~e）

Figure 10 Profile of No.13 exploration line (a, compiled according to Xiao Wei's 2022 data) and profile of open pit (b~e) in Dongkeng uranium deposit

1-第四系；2-燕山晚期细粒二云母花岗岩；3-印支晚期中粒斑状二云母花岗岩；4 印支早期-粗粒巨斑状黑云母花岗岩；5-辉绿岩；6-地质/岩性界线；7-断裂；8-绿泥石化碎裂花岗岩；9-构造片岩；10-碎裂岩化/绿泥石化；11-硅化/萤石化；12-铀矿体

1- Quaternary; 2- Late Yanshanian fine-grained mica granite; 3- Late Indosinian medium grained porphyritic mica granite; 4-Early Indosinian coarse-grained porphyritic biotite granite; 5- diabase; 6- Geological /Lithologic Boundary; 7- fracture; 8-chloritized crack granite; 9-structural schist; 10-cataclastic rock /chloritization; 11- silicification/fluoridation; 12- uranium ore body

铀矿化主要发育于主断裂（烟筒岭断裂）顶部构造片岩的下侧，含矿构造及铀矿体穿切不同时代花岗岩和辉绿岩脉，走向 38°，倾向南东，倾角 47~52°（图 10a）。地表露天采场可见富铀矿体露头（图 12b、c），矿带小剖面自上盘往下依次是①淡肉红色完整花岗岩、②黄褐色碎裂花岗岩、③灰色-灰绿色绿泥石化蚀变花岗岩、④灰绿色构造片岩、⑤灰紫色-灰褐色强硅化-萤石化蚀变岩、⑥黄褐色中等硅化-萤石化蚀变岩、⑦黄褐色碎裂花岗岩、⑧完整花岗岩（图 10b~e）。其中⑤是品位达百分级的富铀矿体，⑥为一般铀矿体。从矿体露头剖面、含矿构造特征来看，有三个显著的特点。第一，断裂平直延伸大，显示其形成时为压扭性（偏扭性）力学性质；第二，早期的酸性蚀变（绿泥石化、绢云母化）流体作用，导致花岗质岩石容易发生韧性变形，长石矿物分解形成绢云母和绿泥石，并定向排列，形成构造片岩带；第三，由于构造片岩的低渗透性，促使主成矿期的流体被阻隔在构造片岩带下侧，因此，富铀矿体都产在主断裂的偏下盘一侧（图 10d~e）。东坑铀矿床是诸广铀矿集中区内主断裂含矿的典型代表。

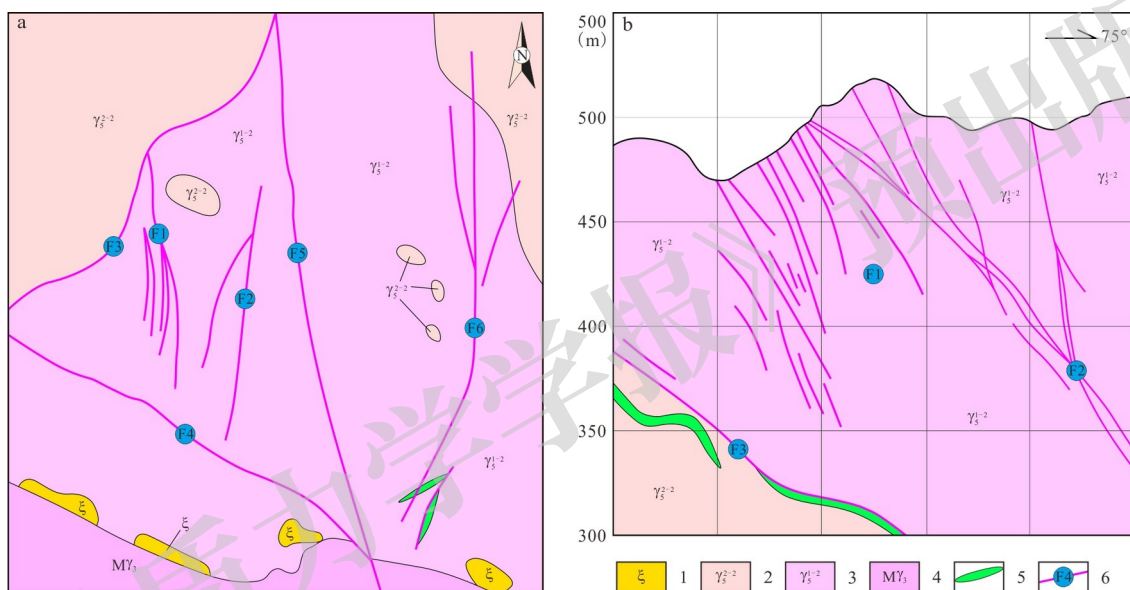


图11 澜河铀矿田201铀矿床地质（a）和0线剖面（b）图（据唐迪，2013，编制）

Fig. 11 Geological map (a) and No.0 line section (b) of uranium deposit 201 in Lanhe uranium ore field

1-碱交代岩；2-燕山早期第二阶段中粒斑状二云母花岗岩；3-印支中期中粒斑状黑云母二长花岗岩；

4-加里东期混合花岗岩；5-辉绿岩；6-硅化断裂带及编号

1- alkali metasomatic rocks; 2- Middle-grained porphyritic mica granite in the second stage of early Yanshanian; 3- Middle Indosinian porphyritic biotite adamellite; 4- Caledonian mixed granite; 5- diabase; 6- Ore-bearing fault zone and its number

（2）澜河 201 铀矿床

澜河 201 铀矿床位于百澜地区（矿田）的东北部，澜河镇北 1.5km。矿区出露印支中期中粒斑状黑云母二长花岗岩（分布于矿区大部，占 78%）燕山早期第二阶段中粒斑状二云母花岗岩（西北部、东北部，约占 15%），少量加里东期片麻状混合（南部边缘，约占 6%）、零星出露碱交代岩（南部，约占 1%），另有少量辉绿岩脉。

澜河 201 铀矿区内断裂构造较发育，主断裂为烟筒岭断裂的北东段（F₃），另有北西向断裂（F₄）和众多近南北向小断裂（F₁、F₂、F₅、F₆）。矿床主体受北东向烟筒岭断裂控制，但是含矿构造也是以近南北向和北北西向为特征，其中近南北向 F₁ 为主要储矿构造。F₂、F₅、F₆ 也是含矿构造，只是规模明显小于 F₁（唐迪，2013）（图 11）。

3.6 含矿构造差异性及其地域特点

从上述可以看出, 诸广铀矿集中区各铀矿田的含矿构造的走向特征, 表现为在整体相似的背景下, 各个铀矿田存在一定的差异和个性特点, 而且这些差异也显示出明显的地域性规律。

(1) 鹿井铀矿田位于诸广铀矿集中区的北部, 依据该矿田内的主要铀矿床(鹿井、黄峰岭、高昔、沙坝子、牛尾岭、蕉叶垌、羊角脑)共 80 个含矿构造(陈柏林等, 2025)走向统计, 其最高峰值为 33° , 高频值介于 $20^\circ \sim 50^\circ$, 两个弱次峰值为 316° 和 65° , 反映鹿井铀矿田含矿构造以北北东、北东向为主, 少量为北东东向和北西向(图 12a)。

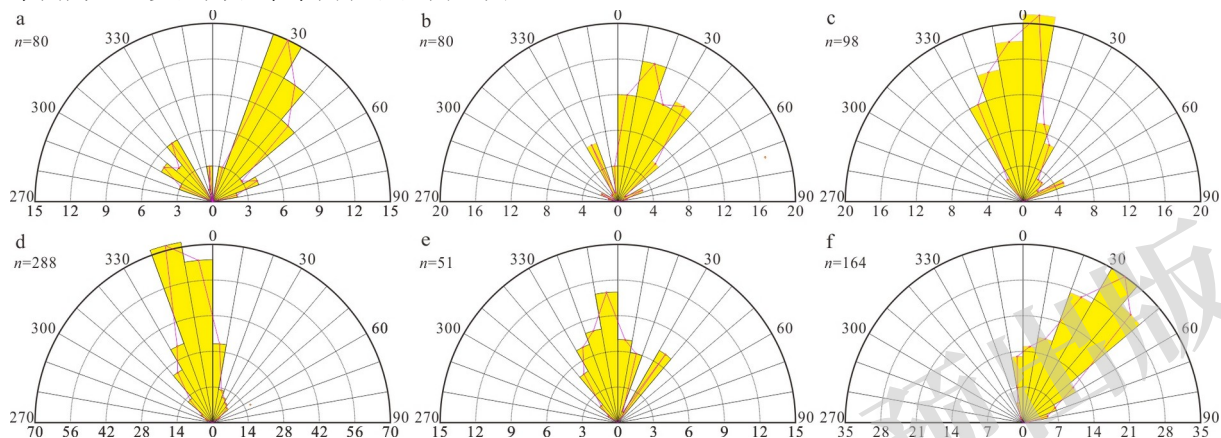


图 12 诸广铀矿集中区各矿田含矿构造走向玫瑰花图

Fig.12 Trend rose diagram of ore-bearing structures in the Zhuguang uranium concentrated area

a. 鹿井铀矿田; b. 三九铀矿田; c. 长江铀矿田核心区; d. 城口铀矿田; e. 长江铀矿田外围; f. 百顺-澜河地区

a. Lujing uranium ore field; b. Sanjiu uranium ore field; c. core area of Changjiang uranium ore field; d. Chengkou uranium ore field; e. surrounding area of Changjiang uranium ore field; f. Baishun - Lanhe area

(2) 三九铀矿田位于矿集区西北部偏南侧, 依据该矿田内的三江口、九龙径、九曲岭三个矿区共 80 个含矿构造(何友字等, 2018; 黄敏等, 2019; 图 9)走向统计, 其最高峰值为 18° , 高频值介于 $0^\circ \sim 40^\circ$, 一个中等次峰值为 335° , 反映三九铀矿田含矿构造以北北东向为主, 少量为北北西向(图 12b)。

(3) 城口铀矿田位于矿集区中部偏西侧, 依据该矿田内城口、木洞、黄沙桥、三角口四个矿区共 98 个含矿构造(图 8)走向统计, 其最高峰值为 2° , 且在 $330^\circ \sim 10^\circ$ 范围内为连续高频区, 一个弱次峰值为 64° , 反映城口铀矿田含矿构造以北北西向、近南北向为主, 少量为北东-北东东向(图 12c)。

(4) 长江铀矿田核心区位于矿集区中心部位, 陈柏林等(2022)对区内 87 个有编号和 201 个未编号共 288 个含矿构造的走向统计, 其最高峰值为 349° , 且在 $340^\circ \sim 0^\circ$ 范围内为连续高频区, 没有明显的次级峰值出现, 反映含矿构造走向优选性非常明显, 以北北西(近南北)向含矿构造为特色(图 12d)。

(5) 长江铀矿田周边, 包括海洋洞地区、草堂地区、黄溪水地区和里周石头塘地区共 51 个含矿构造的走向统计, 其最高峰值为 353° , 且在 $330^\circ \sim 20^\circ$ 范围内为连续的较开阔高频区, 一个中等次峰值 36° , 反映含矿构造走向优选性明显, 以北北西向、近南北向和北北东向含矿构造为主, 少量北东向含矿构造(图 7、图 12e)。

(6) 百顺铀矿田位于矿集区南部, 澜河铀矿田位于矿集区南部偏东侧, 包括东坑铀矿床、澜河铀矿床、烟筒岭-罗坑一带、牛澜铀矿带以及澜河铀矿床的西北区、东区、东南区共计 164 个含矿构造

的走向统计，其最高峰值为 35°，且在 350°~60°范围内为连续的开阔高频区，没有明显的次级峰值出现，反映含矿构造走向优选性明显但变化大，既有近南北向和北北东向含矿构造，也有北东向含矿构造（图 7、图 12f）。

因此，诸广铀矿集中区主要铀矿田含矿构造走向特征及其在矿集区中的位置、围岩与含矿构造走向相关性等可归纳为表 5。

表 5 诸广铀矿集中区主要铀矿田含矿构造方向差异变化一览表

Table 2 Table showing changes of ore-bearing structure direction in main uranium ore fields in Zhuguang uranium concentration area

序号	铀矿田名称	在矿集区中的位置	赋矿围岩	主体含矿构造	次要含矿构造	备注
1	鹿井铀矿田	北部	花岗岩	北北东向	北东向、少量北东东向	
			浅变质碎屑岩	北西向	北北东向	含矿构造为早期的顺层构造
2	九龙径地区	中北部偏西侧	花岗岩	北北东向	南北向	
3	九曲岭地区	中北部偏西南侧	花岗岩	近南北向	北北西向	
4	九龙江地区	中北部偏南侧	花岗岩	近南北向	北北东向	零星浅变质碎屑岩
5	城口铀矿田	中部偏西侧	花岗岩	北西向	近南北向	
6	长江铀矿田	中部中心位置	花岗岩	北北西向	近南北向	
7	百顺铀矿田	南部	花岗岩	北东向	北北东向	
8	澜河铀矿田	南部偏东侧	花岗岩和碎屑岩	北北东向	北东向	

总之，从诸广铀矿集中区的不同位置铀矿田来看，发育于花岗质岩石中的含矿构造的走向虽然存在差异，但是其变化存在明显的规律性。即在矿集区中心部位的长江铀矿田及外围学堂坳地区（陈柏林等，2022；傅中强等，2019）、城口铀矿田（包括城口、黄沙桥、木洞、石壁窝等铀矿床）（陈旭等，2019）、独松地区（陈随等，2019）、中北部花岗质岩石中的三九铀矿田（姜必广等，2017；何友宇等，2018）含矿构造为近南北（北北西）向；而位于矿区北部的鹿井铀矿田和位于矿区南部的百顺铀矿田、澜河铀矿田，其含矿构造为北北东向或者北东向。自北向南依次是北东向→南北向→北东向的变化趋势，整体呈S形展布（表5、图2、图12）。

4 含矿构造形成的构造应力场与机制

诸广铀矿集中区内含矿构造走向呈 S 形分布，那么它形成于什么样的区域构造应力场条件，又是如何形成的。作为脉状热液型矿床，矿集区内铀矿体的产出主要受断裂裂隙构造控制。本节将从含矿构造的形成时代、该形成时段的区域构造应力场方向、在这个区域应力作用下矿集区内部又是如何调整、受哪些内部因素制约，最后形成这种 S 形的含矿构造。

4.1 含矿构造的力学性质和形成时代

长江铀矿田核心区以近南北向含矿构造为特点，表现为弧形延伸夹不同规模的透镜状岩块的特点，反映其形成时属于压扭性构造（陈柏林等，2022）。长江铀矿田周边不管是湖洋洞一带，还是草堂一带，含矿构造的弧形特点显而易见（图 7）。鹿井铀矿田以黄峰岭、高昔地区花岗岩中的含矿构造以北北东向为特征，也具有近平行延伸的特点。而城口铀矿田的含矿构造也同样具有弧形延伸（黄沙桥矿区和三角口矿区）和近平行延伸（城口矿区、木洞矿区）的特点（图 8）；三九矿田则兼具弧形延伸和平行延伸的特点（图 9）。含矿构造的这些特点反映其形成是属于压扭性力学性质。

含矿构造的形成时代，是受整个诸广矿集区乃至华东南、东亚构造形成与演化所控制的。陈柏林等（2022）在对矿集区内铀矿床发育最佳、包含目前国内唯一在产硬岩型棉花坑铀矿床的长江铀矿

田的活动时代进行了精细分析。

诸广铀矿集中区的铀矿床、铀矿脉具有发育于燕山早期中酸性侵入岩及其之前不同时代地层、岩石中的特征，其中尤以不同时代中酸性侵入岩最多见，包括长江岩体和油洞岩体在内的18个岩体（前文1.3节）。长江岩体主体为中粒和中粗粒黑云母花岗岩，成岩年龄为 $157.2\pm 1.7\sim 161.6\pm 2.1\text{Ma}$ （黄国龙等，2014）。所有含矿构造形成、变形、铀成矿作用都是晚于长江岩体成岩时间（ $157.2\pm 1.7\text{Ma}$ ），并且是在长江岩体基本冷却固结之后。这是含矿构造形成的时代下限。长江岩体侵位后的140Ma前后也存在一期近东西向的挤压变形，在诸广地区主要表现为深层次的韧性变形，以塘洞北东向韧性变形带的右行剪切为代表（地质力学研究所，2022）。

另一方面在矿集区内，广泛发育一组近东西向（北西西向、北东东向）的基性岩脉，曹豪杰等（2013）较早测得其年龄为 $110.6\pm 2.0\text{Ma}$ ，潘雅庆等（2023）最近也测得长江铀矿田基性岩脉Ar-Ar年龄为 $113.8\pm 0.8\sim 110.1\pm 0.8\text{Ma}$ 。被基性岩脉充填的近东西向偏张性断裂属于近南北向压性含矿构造的伴生构造，两者可以配套且与应力场状态谐调（陈柏林等，2022）。所以，110Ma是矿集区内含矿构造形成的上限。

4.2 早白垩世区域构造应力场

诸广铀矿集中区，乃至华南地区花岗岩型铀矿床，成矿的大地构造背景是经历160~136Ma古太平洋—伊佐奈琦板块（Pacific-Izanagi）及洋中脊向东亚板块俯冲（Li et al, 2014; Tao et al, 2019），表现为北西西-南东东向挤压构造背景，并在诸广及整个华南地区形成大面积重熔型花岗岩类。

Li et al（2014）研究认为，在古太平洋—伊佐奈琦板块（Pacific-Izanagi）洋中脊俯冲造山后，“136~80Ma期间表现为伸展为主的演化周期，具体又分为的三个演化阶段”。第一阶段（136~118Ma）的早期（136~128Ma）为北西—南东向伸展，在中国华南-东南沿海地区形成了广泛的中酸性火山喷发；第一阶段晚期（128~118Ma）华南地区岩浆活动仍然强烈。第二阶段（118~108Ma）为北西西—南东东向的反转挤压作用。第三阶段（108~80Ma）期间的北西西—南东东向的伸展期（主要铀成矿期，下文）。

所以，118~108Ma的北西西-南东东向挤压应力、近南北走向的压性-压扭性含矿构造、伴生的近东西向张性-张扭性断裂、110Ma的基性岩脉沿近东西向张性-张扭性断裂的侵位，构成了研究区早白垩世晚期早阶段（118~110Ma）完整的时间-应力-应变图象，四者具有高度的谐调性。

因此，诸广铀矿集中区的含矿构造形成于距今118~110Ma的早白垩世晚期早阶段。

4.3 矿集区S形含矿构造的形成机制

近东西向挤压应力的作用，在诸广铀矿集中区内如何形成中部近南北向、北部和南部为北东-北北东向的S形的含矿构造、又是什么样的形成机制，这可以用主应力迹线理论来解释。

主应力迹线（principal stress trace, 也称主应力轨迹线）是材料力学和连续介质力学中的一个概念，它是指受力物体内部各点处主应力方向连续变化所形成的曲线族。曲线上任意一点的切线和法线代表了该点两个主应力方向（刘鸿文, 2011）。它更是描述构造应力场的一种可视化方法，在岩石力学中，主应力迹线分为主拉（张）应力迹线和主压应力迹线，能够直观地展示岩石（岩块、地块）中的构造应力场特征，即主应力的方向分布规律（贾喜荣，2017）。主应力迹线在工程地质上已得到广泛的应用，在区域构造应力场分析上也有所应用，在矿田构造领域的应用还非常有限。

岩块或地块中的构造应力场主要受两个因素影响，其一是外因，外作用力的大小和方向，这是决定性的；其二是内因，岩石力学性质和内部结构构造，它决定了岩块或地块内部的点应力状态（大小和方向）。所以，在外力作用确定的情况下，岩块的结构构造（如先存断裂的存在与否）是其内部构造应力场的重要决定因素。童亨茂等（2014）运用摩尔空间理论开展了先存断裂活动性预测研究，揭示了外力作用下先存断裂复活的条件与机制。主应力迹线理论表明，不管外界主应力方

向如何作用，在无限逼近先存破裂面（如隐伏断裂）时，主应力迹线都趋于垂直或平行于该先存破裂面。如果是一个理想状态的完整块体，在近东西向挤压力作用下，块体内的主压应力迹线是东西向，张应力迹线是南北向（图 13a），则形成南北向压性构造面和东西向张性构造面。然而实际上的诸广地块肯定不是铁板一块的完整均质地块，会存在一些先期构造或隐伏构造，如可能存在北东向隐伏断裂。在存在北东向隐伏构造的条件下，同样的东西向挤压力作用下，在远离隐伏断裂的位置，主应力迹线变化不大，而临近隐伏断裂的部位，主应力迹线会发生较大的偏转，偏转规律是压应力迹线趋于垂直隐伏断裂的方向（图 13b）；这时候形成的压性构造面在远离隐伏断裂时为南北向，接近北东向隐伏构造时逐渐转向至北北东向、北东向（图 13b）。

回到诸广铀矿集中区，长江铀矿田和城口铀矿田位于诸广复式岩体近中心，受基底断裂或隐伏断裂（热水断裂、烟筒岭断裂、南雄断裂）影响较小，在东西向（北东东向）挤压应力作用下，又处于相对较高温压条件下，形成北北西（近南北）向断裂或压性劈理带，成为后期铀成矿的含矿构造（图 14c）。北部鹿井铀矿田和南部百顺、澜河铀矿田位于诸广复式岩体近两端，受基底断裂或隐伏断裂（热水断裂、烟筒岭断裂、南雄断裂）影响较大，在东西向（北东东向）挤压应力作用下，又处于相对较高温压条件下，形成北北东（北东）向压性断裂或劈理带，成为后期铀成矿的含矿构造（图 13c）。

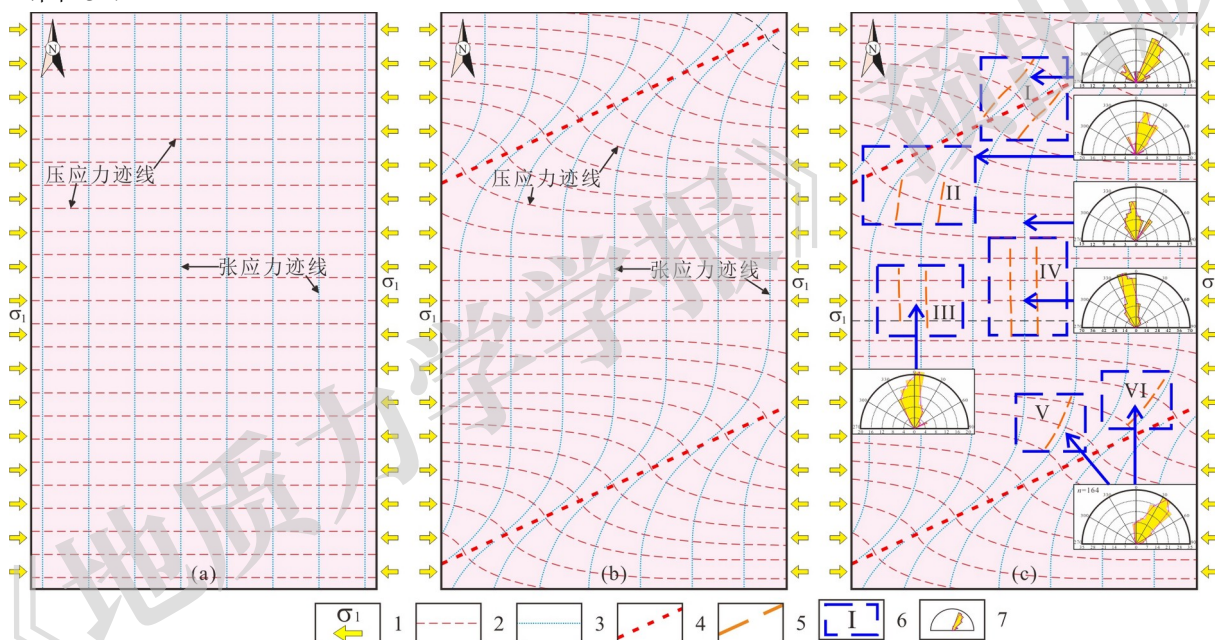


图13 诸广铀矿集中区S形含矿构造形成的主应力迹线解释图

Fig. 13 Interpretation diagram of the principal stress trace during the formation period of ore bearing structures in the Zhuguang uranium concentration area

(a) 理想平板单向挤压应力迹线图 (b) 有先存断裂时应力迹线图; (c) 诸广矿集区应力迹线及铀矿田位置、含矿构造走向玫瑰花展布图; 1-最大主应力方向; 2-压应力迹线; 3-张应力迹线; 4-基底断裂或隐伏断裂; 5-压性劈理带 (含矿构造); 6-铀矿田; 7-含矿构造走向玫瑰花图; I-鹿井铀矿田; II-三九铀矿田; III-城口铀矿田; IV-长江铀矿田; V-百顺铀矿田; VI-澜河铀矿田

(a) stress trace diagram of a flat plate in unidirectional extrusion (b) stress trace diagram with pre-existing fracture; (c) Stress trace of Zhuguang ore concentration area and location of uranium ore fields; 1- direction of maximum principal stress; 2- compressive stress trace; 3- tensile stress trace; 4- basement fault or concealed fault; 5- compressive cleavage zone (ore-bearing structure); 6-uranium ore field; 7-Rose diagram of trend of ore-bearing structure; I- Lujing uranium ore field; II- Sanjiu uranium ore field; III- Chengkou uranium ore field; IV- Changjiang uranium ore field; V- Baishun uranium ore field; VI- Lanhe uranium ore field

5、讨论

5.1 南北向岩浆岩带

诸广山复式岩体呈南北向展布。从南岭地区来看，在南岭纬向构造带呈近东西向的大构造背景中，发育了一系列经向构造带，主要有滇缅带、川滇带、黔桂带、湘桂带、赣南带、闽浙带、台湾带，这些经向构造带由区域性褶皱、断裂和岩浆岩带组成（图 14）（李四光，1973，北京大学地质系，1978）。

诸广山复式岩体位于湘粤赣交界地区，介于近南北向的湘桂带与赣南带之间靠近赣南带一侧（图 14）。该岩浆岩带整体呈南北走向，由三个复式岩体组成，北部为万洋山复式岩体，中部为诸广山复式岩体，南部为贵东复式岩体（图 14）。万洋山复式岩体与诸广山复式岩体地表有距离不大的相隔，诸广山复式岩体与贵东复式岩体被南雄盆地相隔，区域地球物理资料显示三者在深部是相连的。三个复式岩体组成的南北向岩浆岩带长度约 270km，贯穿湘东南与赣西南交界一带，并直至粤北中部（图 14）。这个万洋山-诸广山-贵东岩浆岩带是我国华南地区最主要的产铀岩浆岩带之一。

南岭地区与万洋山-诸广山-贵东岩浆岩带相平行的南北向岩浆岩带还有桃山-隘高带（与经向构造赣南带一致）和关帝庙-金鸡岭带（与经向构造湘桂带一致），这反映了华南地区南北向构造的存在不是偶然的。就诸广山复式岩体本身的形态特征看，整体呈南北向，但在中部城口一带向西伸出一截横支，显示了经向构造与纬向构造的复合特点。所以，它是受近东西向构造带和近南北向构造带的联合控制，其形态呈现近“十”字状。

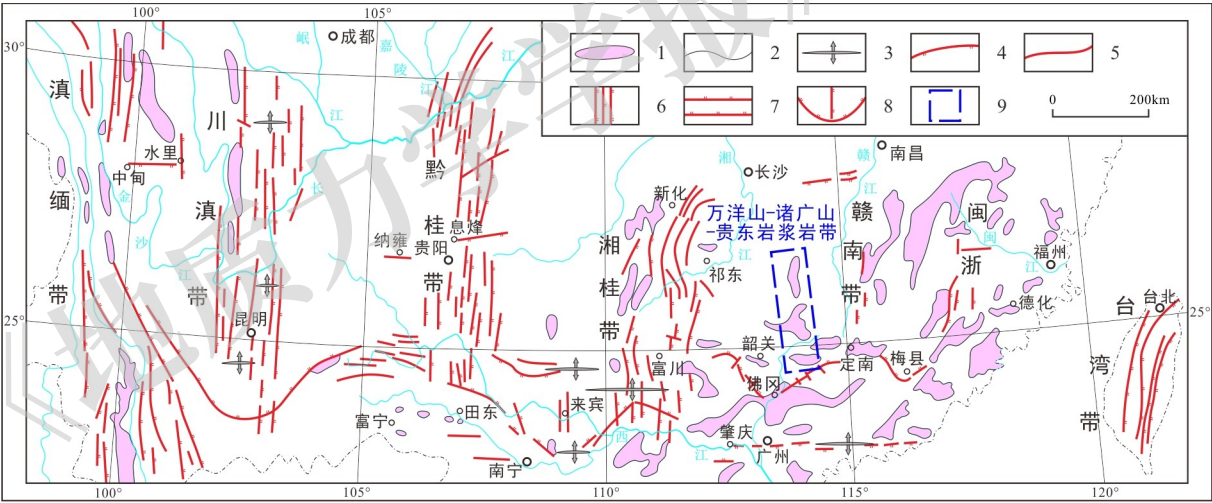


图 14 华南地区南北向构造展布图（据北京大学地质系，1978）

Figure 14 Map showing the North-South trending structural zone in the Southern China (according to Geological Department of Peking University, 1978)

1-中酸性侵入岩；2-地质界线；3-复背斜构造；4-压性断裂带；5-一般断裂；6-经向构造带；7-纬向构造带；8-山字型构造；9 研究区

1- intermediate acid intrusive rocks; 2- Geological boundary; 3- anticlinorium structure; 4- compressive fault zone; 5- general fracture; 6- meridional structural belt; 7- zonal structural belt; 8- chevron structure; 9 study area

5.2 诸广矿集区铀矿床的构造控矿作用

早期的导矿构造指的是“含矿熔浆或热液自深部地段（上地幔、地壳深部）进入矿田范围内的通道”（翟裕生等，1993）。各种类型的深断裂是最常见的导矿构造，沿着导矿构造断续地分布有

矿田和矿床。随着矿田构造研究的深入，特别是构造动力成岩成矿理论提出之后，认为“构造不仅控岩控矿，而且能够成岩成矿”（杨开庆，1986），所以，作者认为“导矿构造”的概念不能仅限于成矿流体的通道，应该扩展为“构造作用过程”，即指“导致成矿作用发生的构造及构造作用过程”（陈柏林等，2022, 2025），因此，导矿构造不能够简单的理解为断裂，甚至是一条规模较大的断裂。同时，构造作用过程更不是简单的断裂活动，而是具有成因联系的一系列构造地质作用的总和，包括深部岩浆活动、深层次韧性变形，断裂构造只是其中的一个表现形式。很显然，这样对导矿构造的表述能够更直观、明确的反映构造在成矿过程中的角色，也进一步明确了运矿（配矿）构造的含义，即运矿构造是矿液运移通道，配矿构造是控制矿床或矿脉展布的构造（较高序次），含矿构造是矿脉（矿体）的赋存空间（较低序次）（陈柏林等，2022, 2025；陈柏林，2024）。

早白垩世晚期早阶段（118~108Ma），在近东西向主压应力（ σ_1 ）的作用下，已经固结为整体的花岗岩块中形成近南北向压扭性断裂（密集劈理带），伴随少量东西向张性断裂，这些平行状压扭性断裂（密集劈理带）向深部可能趋于归并成一、二条主变形带或主断裂；由于近东西向的挤压应力作用，近南北向断裂处于闭合状态，中基性岩脉主要沿近东西向（北西西向、北东东向）张性、张扭性断裂充填侵位（基性岩脉年龄110Ma左右，曹豪杰等，2013）。

早白垩世晚期晚阶段~晚白垩世初期（108~92Ma），在中基性岩脉侵位之后，北西西—南东东向的伸展及其岩浆活动（大多数侵入岩没有出露地表、火山岩也仅仅在局部发育）是区域上铀成矿的重要时期之一（诸广铀矿集中区绝大多数铀矿成矿年龄在108~80Ma，夏毓亮，2019），这一时期的岩浆岩是铀矿床的成矿地质体。

所以，诸广铀矿集中区的导矿构造是晚白垩世早期区域伸展构造环境及其相关的岩浆活动，运矿构造是沟通深部岩浆成矿流体与浅部低级别含矿裂隙的近南北向主断裂，在早白垩世晚期早阶段近东西向挤压应力作用下形成的近南北向断裂和密集劈理带以及部分更早形成于浅变质碎屑岩中的其他方向裂隙是含矿构造（储矿构造、容矿构造）。晚白垩世晚期的伸展构造背景下的差异升降是破矿构造，在相对隆升区，已经形成的铀矿床遭受剥蚀，而相对下降的断陷盆地对已经形成的铀矿床起到保矿作用。

5.3 找矿预测

运用主应力迹线理论揭示了诸广铀矿集中区内不同铀矿田含矿构造走向变化的形成机制，对于矿集区内的进一步找矿预测具有重要指导意义。

在矿集区中部，如长江铀矿田及其外围、城口铀矿田等广大地区，注重近南北向构造的含矿性，找矿预测要沿着近南北向（北北西向）构造部署工作，特别在长江铀矿田中南部的油洞、长排、水石一带，沿主要含矿构造带走向向南追索、向深部追索，可望发现新矿体，甚至在两条南北向铀矿带之间地表空白区的深部，发现新的铀矿带可能性也非常大，例如水石铀矿床304线勘探剖面，在60号与64号铀矿带之间约400~500m深度控制到了隐伏铀矿体（叶永钦等，2022）。在城口铀矿田，同样要关注近南北（北北西）向的塘湾断裂、黄沙桥断裂的及其旁侧次级断裂的含矿性，如塘湾断裂北段已有木洞小型铀矿床，中部最近发现的塘湾铀矿床虽然不在塘湾断裂上，而位于塘湾断裂东侧600m处，是否是和塘湾断裂平行的次级断裂含矿也是值得探索。黄沙桥断裂已有黄沙桥小型铀矿床，其沿走向南北两段尚有进一步的找矿空间。需要注意的是，南北向（北北西向）含矿断裂构造也可能以分别呈北北东向和北西向的更低序次共轭裂隙形式出现，这在黄沙桥矿区已有所显现。

在矿集区的南部（烟筒岭断裂附近、牛澜断裂带附近或者南雄盆地北缘断裂北侧邻区）要注重北东向（北东东向）断裂构造的含矿性。如烟筒岭断裂沿主断裂发育了东坑中型和烟筒岭小型铀矿床，沿主断裂还有希望发现新的铀矿床。另一方面，理论上离开先存断裂一定距离，主应力迹线会很快恢复到无先存断裂影响的状态，所以，在主断裂两侧，可能发育与主断裂方向有差异、更接近区域应力场作用形成的近南北向低级别或低序次裂隙含矿的情况，这在澜河201铀矿床显示的比较

明显, 该矿床位于牛澜断裂的北东端的北西侧, 含矿构造以近南北向为主。

在矿集区的北部热水断裂、遂川断裂的影响区域也要关注北东向断裂的含矿性, 以鹿井铀矿田为例找矿预测主要考虑三个重要因素, 第一, 是北东向主断裂含矿, 如矿田北部蕉叶垌、牛尾岭、枫树下等地主要是北东向主断裂(遂川断裂南西段)及平行的次级断裂含矿, 南部的羊角脑铀矿床同样是北东向主断裂(热水断裂北东段)及平行次级断裂含矿, 而矿田中部黄峰岭、高昔地区则可能受先存断裂影响较小, 含矿构造以北北东向为主。第二, 要考虑赋矿围岩的类型, 花岗岩中的含矿裂隙是在早白垩世晚期早阶段形成的, 而寒武系浅变质碎屑岩中的含矿裂隙形成可能要早的多, 可能是近东西向(北西西向)褶皱构造形成过程中的层间滑动带, 所以浅变质碎屑岩中关注北西西向断裂的含矿性。第三, 要重视丰州盆地的覆盖保矿作用, 白垩系红色之下是非常有利的找矿区段, 特别是矿田西北部牛尾岭、枫树下一带铀矿带向南西延伸至红层之下的位置以及东北部大场坪、洞房子一带的铀矿带向南西延伸至红层之下的位置是找矿的最有利部位。

6. 结论

(1) 诸广铀矿集中区是我国华南地区最重要的硬岩型铀矿资源和产业基地, 由鹿井、三九、城口、长江、百顺、澜河、全安等铀矿田构成, 铀矿床产于花岗岩体内及接触带附近的早古生代浅变质碎屑岩中, 赋矿围岩没有选择性。矿床和矿体受构造控制明显, 从含矿构造的形态特征反映其形成时属于压性、压扭性力学性质。

(2) 矿集区内含矿构造以近南北向为主, 其次为北北东向和北北西向, 少量北东向, 个别北西向和北东东向, 仅发育于浅变质碎屑岩中受早期层间断裂控制的铀矿体呈北西西向。矿集区内不同铀矿田含矿构造具有较多共性特点, 同时也存在一些差异, 即主要含矿构造的走向有所不同, 而且这些差异存在地域性规律, 即矿集区中部含矿构造以北北西向(近南北向)为主, 而矿集区北部和南部以北北东向、北东向为主, 整体呈 S 形。

(3) 结合区域构造背景, 厘定矿集区控矿构造格架是南北向构造。运用主应力迹线理论探讨了矿集区含矿构造呈 S 形的形成机制, 认为含矿构造形成期, 岩块受到近东西向最大主压应力的作用, 在整体为诸广山复式岩体比较完整的岩块中, 北部和南部由于有北东向隐伏构造的存在, 改变了主应力迹线的方向而形成偏北东向的含矿构造, 在矿集区中部没有北东向隐伏构造影响, 主应力迹线保持不变, 即压应力迹线近东西向、张应力迹线近南北向, 形成的是近南北向含矿构造。

References

- Cao Haojie, Huang Guolong, Xu Lili, Huang Lezhen, Wang Xiaodong, Wu Jianyong, Wang Chunshuang. 2013. The Ar-Ar age and geochemical characteristics of diabase dykes of the Youdong fault zone in South Zhuguang granite pluton. *Acta Geologica Sinica*, 87(7): 957~966 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bailin. 2024. Structural generation and its application in ore-prospecting -take hydrothermal uranium deposits in South China as an example. *Acta Geologica Sinica*, 98(7): 2173~2192 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bailin and Pei Yingru. 2025. Analysis of ore-controlling structure of Lujing uranium ore field in Hunan-Jiangxi border. *Acta Geologica Sinica*, 99(10): 3431~3455 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bailin, Gao Yun, Shen Jinghui Zeng Guangqian. 2022. Analysis of ore-controlling structure of Changjiang uranium ore field, Northern Guangdong. *Earth Science*, 47 (1): 159~177 (in Chinese with English abstract).
- Chen Sui, Liu Jianwei, Qiu Riping. 2019. Study on geological conditions of uranium mineralization in Dusong area of Southern Zhuguang. *World Nuclear Geoscience*, 36(3): 140~146 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xu, Liu Xiaodong, Pan Jiayong, Jiang Biguang, Qin Jinning. 2019. Geochemical characteristics and geological significance of REE in Shibiwo occurrence located in South Jiulongjiang uranium deposit of Zhuguangshan massif. *Journal of Guilin*

- University of Technology, 39(1): 38~47 (in Chinese with English abstract).
- Department of Geology, Peking University. 1978. Course in Geomechanics. Beijing: Geological Publishing House, 1~320 (in Chinese).
- Fei Tianwei, Liu Xiang, Qin Jinning, Xia Zequn, Jiang Biguang, Mei Shuiquan. 2012. Geological characteristics and genesis of uranium in Sanjiangkou ore-field, Rucheng County, Hunan Province. Journal of University of South China (Science and Technology), 26 (3): 39~46 (in Chinese with English abstract).
- Fu Zhongqiang. 2019. Analysis of prospecting potential of uranium mine in the Xuetao'ao area in Southern Zhuguang granite pluton. Mineral Exploration, 8(5): 782~788 (in Chinese with English abstract).
- Guo Chunying, Xu Hao, Bai Yun and Liu Jialin. 2013. A discussion on the rules of structural ore-controlling of the Cangjiang uranium ore field, northern Guangdong. Acta Mineralogica Sinica, 33(s): 547~548 (in Chinese).
- He Youyu, Nan Xiaolong, Li Zhuyi, Jiang Biguang, Jiang Guoqing, Zhou Xiping, Qin Jinning. 2018. Ore-controlling structures of Sanjiangkou uranium deposit and its prospecting significance in Middle Zhuguang Mountain. Uranium Geology, 34(4): 257~263 (in Chinese with English abstract).
- Huang Baochun, Xiao Zhenhua. 2019. Metallotectonic characteristics and ore-prospecting direction of Yangjiaonao area in the middle segment of Zhuguangshan. Mineral Resources and Geology, 33(3): 454~462 (in Chinese with English abstract).
- Huang Guolong, Liu Xinyang, Sun Liqiang, Li Zhongshu, Zhang Shijia. 2014. Zircon U-Pb dating, geochemical characteristics and genesis of the Cangjiang granite in Northern Guangdong[J]. Acta Geologica Sinica, 88(5): 836~849 (in Chinese with English abstract).
- Huang Min, Li Ran, Chen Xinyue, Lai Jianqing, Yu Xuhui, Ming Xiaoquan. 2019. Geology and geochemistry of magmatic rocks and genesis of the Xiucaidong uranium deposit in Hunan Province[J]. Geology and Exploration, 55(5): 1173~1184 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geomechanics, CAGS. 2022. Study on metallogenic dynamics and tectonic spatial constraints of hydrothermal uranium deposits [R]. Beijing: Institute of Geomechanics, CAGS, 1~297 (in Chinese).
- Jia Xirong, Gong Peilin. 2017. Rock Mechanics. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 1~270(in Chinese).
- Jiang Biguang, He Youyu, Chen Xiong, Luo wenqin, Tan Qi, Qin Jinning. 2017. Mineralization and metallogenic model of Sanjiangkou uranium deposit in San-Jiu area[J]. Uranium Geology, 33(5): 266~272 (in Chinese with English abstract).
- Kang Di. 2013. Analysis on geology and altered rock characteristics of 201 deposit in Lanhe area. Mining Engineering, 11(6): 7~10 (in Chinese with English abstract).
- Kuang Peng, Pan Jiayong, Li Weilin, Wang Jiayao, Wang Zhi, Jiang Chunhui. 2016, A study on wall-rock alteration of uranium mineralization in Gaoping area, Zhuguang pluton. Uranian Geology, 32(2): 85~92 (in Chinese with English abstract).
- LEE J S. 1973. Introduction to Geomechanics[M]. Translate by Chen Qingxuan. Beijing: Geological Publishing House, 1~136.
- Li J H, Zhang Y Q, Dong S W and Johnston S T. 2014. Cretaceous tectonic evolution of south China: a preliminary synthesis. Earth Science Reviews, 134(1): 98~136.
- Li Jianwei, Li Xianfu, Li Zijin and Fu Zhaoren. 2000. The Mesozoic-Cenozoic intracontinental strike-slip fault system and the associated hydrothermal uranium mineralization in the border area of eastern Hunan and western Jiangxi provinces. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 15(2): 166~173 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianfu, Li Jianwei, Fu Zhaoren and Chen Xiaodong. 1999. Analysis of strike-slip tectonics in the Lujing ore field at the border between Hunan and Jiangxi provinces, China. Geotectonica et Metallogenia, 23(2): 12~3129 (in Chinese with

English abstract).

- Liang Liang, Li Jianhong, Liu Chengdong. 2019. Feature of mylonite belt and its relation to granite-type uranium deposit in Northern Guangdong metallization cluster. *Uranium Geology*, 35(2): 73~79 (in Chinese with English abstract).
- Lin Jinrong, Li Ziyang, Hu Zhihua, Wang Yongjian and Wang Feng. 2016. Controlling factors for the spatial positioning of hydrothermal uranium ore field. *Uranium Geology*, 32(6): 333~339 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongwen. 2011. *Mechanics of Materials*. Beijing: Higher Education Press, 1~370(in Chinese).
- Liu Jungang, Li Ziyang, Nie Jiangtao, Jin Nianxian, Zhao Yuting, Tao Yi. 2019. Study on structural properties and prospecting significance of Youdong fault in Changjiang uranium ore field, South Zhuguang. *Uranium Geology*, 35(4): 199~205(in Chinese with English abstract).
- Pang Yaqing, Fan Honghai, Gao Fei, Wu Jianyong, Xie Xiaozhan. 2019. Helium and Argon isotopic compositions of fluid inclusions and tracing to the source of ore-forming fluids for the southern Zhuguang uranium ore field in northern Guangdong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 35(9): 2765~2773 (in Chinese with English abstract).
- Pang Yaqing, Gao Fei, Meng Xiaoqing, Fan Honghai, Wang Yongjian, He Debao. 2023. Geochronological and geochemical characteristics and geological significances of mafic dykes from Changjiang uranium ore field in Northern Guangdong. *Uranium Geology*, 39(2): 251~264 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yue, Pan Jiayong, Xiao Zhenhua, Liu Ying, Pan Chunrong, Zhong Fujun and Lai Jing. 2020. Structural analysis and ore-prospecting prediction of the Lujing uranium ore field in middle Zhuguangshan, South China. *Geology in China*, 47(2): 362~374 (in Chinese with English abstract).
- Tang Di. 2013. Analysis on geology and altered rock characteristics of 201 deposit in Lanhe area. *Mining Engineering*, 11(6): 7~10 (in Chinese with English abstract).
- Tao Ni, Li Zheng-Xiang, Martin Danišik, Noreen J. Evans d, Li Rong-Xi, Pang Chong-Jin, Li Wu-Xian, Fred Jourdan, Yu Qiang, Liu Li-Ping, Geoffrey E. Batt, Xu Yi-Gang. 2019. Post-250 Ma thermal evolution of the central Cathaysia Block (SE China) in response to flat-slab subduction at the proto-Western Pacific margin. *Gondwana Research*, 75: 1~15
- Tong H M, Wang J J, Zhao H T, et al. , 2014. Mohr space and its application to the activation prediction of pre-existing weakness[J]. *Science China: Earth Sciences*, 57(7): 1595-1604.
- Wang Qian-lin, Li Kun, Qu Li-peng, 2021. Ore-controlling factor and exploring direction of Jiuquling uranium deposit in "Sanjiu" region[J]. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 44(6): 553-560 (in Chinese with English abstract).
- Xia Yuliang. 2019. *Geochronology of uranium mineralization in China*. Beijing: China Atomic Energy Press, 1~301 (in Chinese).
- Xiao Wei. 2022. Positioning conditions and metallogenic mechanism of rich granite-type uranium deposits in the south of Zhuguang (D). Beijing Institute of Geology, Nuclear Industry, 1~159 (in Chinese with English abstract).
- Xu Pulin, Tang Xiangsheng, Guo Fusheng, Dang Feipeng, Li Guangrong, Lu Chuan, Huang Di, Xu Shunsheng, Wu Zhichun, Li Zhipeng. 2023. The geological features of QF2 fault and its relationship with uranium mineralization in Lujing uranium ore-field, South China. *Geotecton et Metallogenia*, 47(1): 98~114 (in Chinese with English abstract).
- Yan Yue, Wu Xiangbin, Ouyang Pingning, Wang Qianlin, Liu Xinyang, Jiang Hong'an. 2021. The characteristics of alteration zonation, elements migration rule and its constraints on ore-forming fluid of Zhongshan uranium deposit in Hunan. *Uranium Geology*, 33 (5): 780~796 (in Chinese with English abstract).
- Yang Kaiqing. 1986. Research subjects and orientation on the theory of tectono-petrogenesis and tectono-metallogenesis. *Bulletin of the Institute of Geomechanics*, CAGS(7), Beijing: Geological Publishing House, 1~13(in Chinese).
- Ye Yongqin, Xu You, Luo Qiang, Guo Xinwen. 2022. Metallogenic characteristics and metallogenic model of Shuishi

deposit in Changjiang uranium ore field, Guangdong Province. Uranium Geology, 38(5): 894 ~ 908 (in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng and Lin Xinduo. 1993. Structural Geology in Ore Field. Beijing: Geological Publishing house, 1 ~ 214(in Chinese).

附中文参考文献

北京大学地质系. 1978. 地质力学教程. 北京: 地质出版社, 1~320.

曹豪杰, 黄国龙, 许丽丽, 黄乐真, 王小冬, 吴建勇, 王春双. 2013. 诸广花岗岩体南部油洞断裂带辉绿岩脉的 Ar-Ar 年龄及其地球化学特征. 地质学报, 87 (7): 957~966.

陈柏林 高允, 申景辉, 曾广乾. 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. 2024. 构造序次及其在找矿预测中的应用——以华南热液型铀矿床为例. 地质学报, 98(7): 2173~2192.

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, 99(10): 3431~3455.

陈随, 刘建伟, 邱日平. 2019. 诸广南部独松地区铀成矿条件研究. 世界核地质科学, 36(3): 140~146.

陈旭, 刘晓东, 潘家永, 姜必广, 覃金宁. 2019. 诸广山九龙江铀矿床南部石壁窝矿段稀土元素地球化学特征及其地质意义. 桂林理工大学学报, 39(1): 38~47.

地质力学研究所. 2022. 热液型铀矿成矿动力学和构造空间约束研究[R]. 北京: 地质力学研究所, 1~297.

费天伟, 刘翔, 覃金宁, 夏泽群, 姜必广, 梅水泉. 2012. 湖南汝城三江口铀矿地质特征及成因探讨. 南华大学学报(自然科学版), 26 (3): 39~46.

傅中强. 2019. 诸广岩体南部学堂坳地区铀矿找矿潜力分析. 西部探矿工程, (8): 142~144.

郭春影, 徐浩, 白云, 刘佳林. 2013. 粤北长江铀矿田构造控矿规律初探. 矿物学报, 33 (增刊): 547~548.

何友宇, 南小龙, 李竹溢, 姜必广, 蒋国清, 周锡平, 覃金宁. 2018. 诸广山中段三江口铀矿床构造控矿特征及其找矿意义. 铀矿地质, 34(4): 257~263.

黄宝春, 肖振华. 2019. 诸广山中段羊角脑地区成矿构造特征及找矿方向. 矿产与地质, 33(3): 454~462.

黄国龙, 刘鑫扬, 孙立强, 李钟枢, 张世佳. 2014. 粤北长江岩体的锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其成因研究. 地质学报, 88(5): 836~849.

黄敏, 李冉, 陈新跃, 赖健清, 余旭辉, 明小泉. 2019. 湖南秀才洞铀矿岩浆岩地质与地球化学特征及成因浅析. 地质与勘探, 55(5): 1173~1184.

贾喜荣. 2017. 岩石力学 (第二版). 北京: 中国矿业大学出版社: 1~270.

姜必广, 何友宇, 陈雄, 罗文琴, 谭奇, 覃金宁. 2017. “三九”地区三江口铀矿床成矿作用及成矿模式. 铀矿地质, 33(5): 266~272.

康迪. 2013. 澜河地区 201 矿床地质及蚀变岩石特征分析. 矿业工程, 11(6): 7~10.

况鹏, 潘家永, 李伟林, 王家跃, 王志, 姜春晖. 2016. 诸广岩体高坪地区铀矿化围岩蚀变特征. 铀矿地质, 32(2): 85~92.

李建威, 李先福, 李紫金, 傅昭仁. 2000. 湘赣边区中生代走滑断裂系统及对热液铀成矿作用的控制. 地质找矿论丛, 15(2): 166~173.

李四光, 1973. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1~136.

李先福, 李建威, 傅昭仁, 陈小东. 1999. 湘赣边区鹿井矿田走滑构造特征分析. 大地构造与成矿学, 23(2): 12~3129.

梁良, 李建红, 刘成东. 2019. 粤北花岗岩型铀矿集区糜棱岩带特征及其与铀成矿的关系. 铀矿地质, 35(2): 73~79.

林锦荣, 李子颖, 胡志华, 王勇剑, 王峰. 2016. 热液型铀矿空间定位的控制因素. 铀矿地质, 32(6): 333~339.

刘鸿文. 2011. 材料力学 (第五版). 北京: 高等教育出版社: 1~370.

- 刘军港, 李子颖, 聂江涛, 等. 2019. 诸广南长江铀矿田油洞断裂性质及其找矿意义研究. 铀矿地质, 35(4): 199~205.
- 潘雅庆, 高飞, 孟晓庆, 范洪海, 王勇剑, 何德宝. 2023. 粤北长江铀矿田基性岩脉年代学、地球化学特征及其地质意义. 铀矿地质, 39(2): 251~264.
- 庞雅庆, 范洪海, 高飞, 吴建勇, 谢小占. 2019. 粤北诸广南部铀矿田流体包裹体的氦氩同位素组成及成矿流体来源示踪. 岩石学报, 35(9): 2765~2773.
- 孙岳, 潘家永, 肖振华, 刘颖, 潘春蓉, 钟福军, 赖静. 2020. 诸广山中部鹿井铀矿田构造解析与找矿远景探讨. 中国地质, 47(2): 362~374.
- 唐迪. 2013. 澜河地区201矿床地质及蚀变岩石特征分析. 矿业工程, 11(6): 7~10.
- 童亨茂, 王建君, 赵海涛, 等. 2014. “摩尔空间”及其在先存构造活动性预测中的应用[J]. 中国科学: 地球科学, 44(9): 1948-1957.
- 王前林, 李鲲, 屈李鹏. 2021. “三九”地区九曲岭铀矿床控矿因素及找矿方向探讨. 东华理工大学学报(自然科学版), 44(6): 553~560.
- 夏毓亮. 2019. 中国铀成矿地质年代学. 北京: 中国原子能出版社, 1~301.
- 肖为. 2022. 诸广南部富大花岗岩型铀矿定位条件及成矿机理(D). 核工业北京地质研究院, 1~159.
- 许谱林, 唐湘生, 郭福生, 党飞鹏, 黎广荣, 吕川, 黄迪, 徐勋胜, 吴志春, 李志鹏. 2023. 华南鹿井铀矿田NE向 QF_2 断裂特征及其与铀成矿关系探讨. 大地构造与成矿学, 47(1): 98~114.
- 颜越, 吴湘滨, 欧阳平宁, 王前林, 刘鑫扬, 蒋红安. 2021. 湖南中山铀矿床蚀变分带特征、元素迁移规律及其对成矿流体的约束. 铀矿地质, 33(5): 780~796.
- 杨开庆. 1986. 动力成岩成矿理论的研究研究内容和方向. 地质力学研究所所刊(7), 北京: 地质出版社, 1~13.
- 叶永钦, 许幼, 罗强, 郭新文. 2022. 广东省长江铀矿田水石矿床矿化特征与成矿模式. 铀矿地质, 38(5): 894~908.
- 翟裕生, 林新多. 1993. 矿田构造学. 北京: 地质出版社, 1~214.