引用格式：陈柏林，高允，2025. 赣西北大湖塘矿田石门寺钨矿床控矿构造解析[J]. 地质力学学报，31（2）：169−196. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024106

Citation: CHEN B L，GAO Y，2025. Analysis of ore-controlling structures of the Shimensi tungsten deposit, Dahutang ore field, northwest Jiangxi Province［J］. Journal of Geomechanics，31（2）：169−196. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024106

赣西北大湖塘矿田石门寺钨矿床控矿构造解析

陈柏林[1,2]，高　允[3]

CHEN Bailin[1,2]，GAO Yun[3]

1. 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室，北京 100081；
2. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081；
3. 矿冶科技集团有限公司，北京 100160

1. *Key Laboratory of Paleomagnetism and Tectonic Reconstruction of Ministry of Natural Resources*, *Beijing* 100081, *China*;
2. *Institute of Geomechanics*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*;
3. *Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy Technology Group*, *Beijing* 100160, *China*

Analysis of ore-controlling structures of the Shimensi tungsten deposit, Dahutang ore field, northwest Jiangxi Province

Abstract: ［**Objective**］The Dahutang tungsten ore field, located in the nearly EW-trending Jiuling uplift belt in northwestern Jiangxi Province, is a recently discovered area of concentrated, world-class, super-large, hydrothermal polymetallic tungsten deposits. It consists of two large tungsten deposits, namely Shimensi, Kunshan, and three medium-sized tungsten deposits, namely the Shiweidong, Dalingshang, Xin'anli deposits. The large Shimensi tungsten deposit is located in the north of the ore field, and the ore bodies are developed in Neoproterozoic granodiorite and Yanshanian granite. The mineralization is of quartz vein type, disseminated veinlet type, and hydrothermal crypto-explosive breccia type, and the three mineralization types occur regularly around the ore-forming granite mass. The ore bodies in the Shimensi tungsten deposit are obviously controlled by structure, but there is little research. Structure is the important ore-controlling factor. The analysis of ore-controlling structures and the construction of tectonic ore-controlling models can help to reconcile the formation and evolution of ore-forming structures and identify the main ore-controlling factors, which can provide technical support for prospection and prediction. ［**Methods**］This study conducts a detailed field investigation of the ore-bearing fracture system, analyzes the combination of different types of ore-bearing fractures, explores the ore-forming conditions, and constructs a structural ore-controlling model. ［**Results**］The research shows that the ore-bearing structure is a multi-directional small fault structure with the main trend being EW, followed by NEE and NWW; all the ore-bearing structures are present in a nearly elliptical distribution with EW-trending long axes. The ore-bearing structures change from the outside to the inside of the ore-forming granite, from those with conjugate dip at medium dip angles to those with sole outward dip at medium dip angles, and those with high dip angles; then hydrothermal crypto-explosion breccia appears in the center of the deposit. Among them, the ore-bearing conjugate shear fractures (with an X-shape in the profile) formed in the magmatic emplacement period little before mineralization in a tectonic stress field with a vertical maximum principal stress and a horizontal intermediate principal stress. The ore-bearing solely outward-dipping fractures with medium or high dip angles were formed as non-conjugate shear fractures and tension-shear fractures in the

基金项目：国家重点研发项目（2016YFC0600207，2017YFC0602602）；中国地质调查局地质调查项目（DD20242868）；国家自然科学基金项目（42072227，42172258）

This research is financially supported by the National Key R&D Program of China (Grant Nos. 2016YFC0600207 and 2017YFC0602602), the China Geological Survey Project (Grant No. DD20242868), and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 42072227 and 42172258).

第一作者：陈柏林（1962—），男，研究员，主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。Email：cblh6299@263.net

收稿日期：2024−10−20；**修回日期**：2025−02−12；**录用日期**：2025−02−13；**网络出版日期**：2025−02−14；**责任编辑**：吴芳

metallogenic period by hydrothermal crypto-explosion in a tectonic stress field with a vertical maximum principal stress and a horizontal intermediate principal stress. The hydrothermal crypto-explosion center formed in a tectonic stress field with a vertical maximum principal stress and similarly-sized intermediate and minimum principal stresses. [**Conclusion**] The ore-controlling structures of the Shimensi tungsten deposit are the emplacement structure of the ore-forming magmatic rock with an almost EW(NWW)-trending long axis and the hydraulic fracturing structure of the post-magmatic ore-forming fluid. The emplacement structure of the ore-forming magmatic rock, which was formed a little earlier and distributed over a larger area, developed mainly in the overlying surrounding rock (Neoproterozoic granodiorite) on the top of the ore-forming granite rock mass. The hydraulic fracturing structure of the post-magmatic ore-forming fluid was formed in the metallogenic period within a narrow distribution area in the upper and overlying surrounding rocks of the ore-forming granite rock mass. The latent explosion and hydraulic fracturing of ore-forming fluid instantly reduced the pressure of the ore-forming fluid, leading to the precipitation of ore-forming materials and the crystallization of valuable minerals, forming the tungsten deposits. The emplacement structure of the granite rock mass and the hydraulic fracturing structure of the ore-forming fluid are the sites of the tungsten ore body and control the development of tungsten ore body. The near EW(NWW)-trend of the mining area belongs to a concealed petro-controlling basement structure. This structure causes the long axis of the ore-forming granite rock mass to extend nearly EW and plays an indirect ore-controlling role. The NWW-trending faults such as F20 are neither the ore-conducting structures, nor the ore-controlling structures. They are ore-breaking, post-mineralization structures, with sinistral movement and normal shear sense. The NNE-trending concealed structure in the ore-field controls the distribution of the ore-forming magmatic rock belts and is a high-level petro-controlling structure. [**Significance**] This research can not only guide the exploration of the deeper and peripheral parts of the deposits—that is, further prospection should first search for concealed ore bodies at depth in the plunging part of the eastern and western ends of the near EW(NWW)-trending ore-forming granite rock body, and then search for other granites and fluid metallogenic systems in the area where the concealed ore-forming granite rock mass develops—but also has a demonstrative effect for studies of ore-controlling structures in similar deposits in southern China, enriching the theory of ore-controlling structures for high-temperature hydrothermal deposits.

Keywords: ore-bearing structure; ore-controlling structure; petro-controlling structure; intrusion structure of granite rock mass; hydraulic fracturing structure; Shimensi tungsten deposit

摘　要：大湖塘钨矿田位于赣西北九岭近东西向隆起带，是近年发现的1个世界级超大型钨多金属热液矿床聚集区，由石门寺、昆山2个大型矿床和狮尾洞、大岭上、新安里等中型矿床组成。石门寺大型钨矿床位于矿田北部，矿体发育于新元古代花岗闪长岩和燕山期花岗岩中，矿化类型有石英大脉型、细脉浸染型和热液隐爆角砾岩型，三种矿化类型围绕成矿岩体有规律产出，构造控矿作用明显。构造是控矿的最重要因素，开展控矿构造解析和构建构造控矿模型有助于重塑成矿构造的形成演化，为找矿预测提供技术支撑。文章通过野外对含矿裂隙系统的精细调查，分析了不同类型含矿裂隙的组合形式及展布特点，探讨了其形成的动力学条件，构建了构造控矿模型。研究表明：含矿构造是呈近东西向为主、北东东向和北西西向次之、多方向的小型断裂构造，整体呈现长轴为东西向的近椭圆范围内展布；从矿区外侧向中心含矿构造具有中等倾角双倾向裂隙→中等倾角单倾向外倾裂隙→陡倾角裂隙的变化趋势，中心为热液隐爆角砾岩；其中中等倾角双倾向含矿构造形成于成矿前的岩浆侵位期，最大主应力近直立，中间主应力近水平，为剖面X-型共轭剪裂隙；中等倾角单倾向外倾含矿构造和陡倾角含矿构造带形成于热液隐爆的同成矿期，最大主应力近直立，中间主应力近水平，为剖面上的单向剪裂隙和张剪性裂隙；热液隐爆中心为最大主应力近直立，中间和最小主应力均近水平且大小相近。石门寺钨矿床的控矿构造是长轴呈近东西向展布的成矿岩浆岩的岩体侵位构造和岩浆期后成矿流体的液压致裂构造；岩体侵位构造形成稍早，主要发育于成矿岩体顶部的上覆围岩（晋宁期花岗闪长岩）中，分布范围较大；岩浆期后成矿流体的液压致裂构造形成于成矿期，发育于成矿岩体上部和上覆围岩中，分布范围较窄；成矿流体的隐爆和液压致裂瞬间降低了成矿流体的压力，导致成矿物质的大量析出和有用矿物的结晶，形成钨矿床。花岗岩体侵位构造和成矿流体液压致裂构造是钨矿体的赋存空间，控制了钨矿体产出。矿区近东西向构造属于隐伏构造（基底构造），为控岩构造，控制成矿岩体长轴呈近东西向延伸，起到间接控矿作用；北西西向构造如F_{20}断裂既不是导矿构造，也不是控矿构造，而是左行正断的破矿构造；矿田尺度的

北北东向隐伏构造控制成矿岩浆岩带的展布，是高级别的控岩构造。该研究不仅可指导矿床深边部找矿，一是在矿区范围是近东西向成矿岩体东、西两端岩体倾伏部位的深部寻找隐伏矿体；二是在矿田范围有隐伏成矿岩体发育的部位寻找另一个岩体−流体成矿系统；而且该研究对中国华南地区同类型矿床的控矿构造研究具有示范作用，丰富了高温热液矿床的构造控矿理论。

关键词：含矿构造；控矿构造；控岩构造；花岗岩体侵位构造；液压致裂构造；石门寺钨矿床

中图分类号：P613　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1006−6616(2025)02−0169−28

DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2024106

0　引言

大湖塘钨矿田是近年发现的一个世界级超大型钨多金属热液矿床聚集区，地处江西省九江市武宁县。截止到 2016 年其总探明 WO_3 储量已达 125 万吨(张勇等, 2018)，并具有较大的找矿潜力。矿田内矿床类型众多，主要有细脉浸染型、蚀变花岗岩型、石英大脉型、云英岩型、石英细脉带型、隐爆角砾岩型等(项新葵等, 2013a)。大湖塘矿田由石门寺、昆山两个大型矿床和大岭上、狮尾洞、新安里中型矿床及大湖塘、大河里、毛公洞、仙果山等小型矿床组成。

大湖塘钨矿田自 2010 年发现以来，相继开展了众多研究工作，在岩石学(Huang and Jiang, 2014; Mao et al., 2015; 项新葵等, 2015; 刘莹等, 2018; 李宏伟等, 2021)、矿床学(项新葵等, 2012a; 蒋少涌等, 2015; 张勇等, 2018; Fan et al., 2021a)、成矿物质来源与成矿流体(项新葵等, 2013b; 王辉等, 2015; 阮昆等, 2015a; 韩丽等, 2016; 刘磊等, 2016; Ye et al., 2021)、成矿年代学(丰成友等, 2012; Mao et al., 2013; 张勇等, 2017; 陈长发等, 2021; Fan et al., 2021b)、成矿模型与成矿预测(项新葵等, 2017; 毛景文等, 2020)等方面取得大量研究成果和进展。但是对于大湖塘钨矿田的构造特征研究则较少，含矿构造系统研究基本上是空白，仅有项新葵等(2012a, 2012b, 2013a, 2017)和刘南庆等(2011, 2016, 2018)对矿田范围的构造特征进行过初步描述，其中不仅混淆了控矿构造与含矿构造的概念，而且缺乏构造的相关性、组合性、序次性、连续性和变化性分析，也未厘清成矿前、成矿期和成矿后构造。文章以石门寺矿区为例，通过野外对石英脉型钨矿含矿裂隙构造的详细观测研究，建立了含矿裂隙系统，并对控矿构造的形成演化及应力场特征进行了分析，构建了构造控矿模型，并提出进一步找矿的新思路。

1　矿床地质概况

1.1　大地构造背景

大湖塘钨矿田地处扬子板块东南缘江南地块中段，属钦杭结合带的北侧(图 1a; 杨明桂和梅勇文, 1997; 毛景文等, 2011)。在区域构造上为北东东向修水−武宁断裂和慈化−宜丰断裂夹持的九岭隆起带，也是九岭复背斜次级褶皱，靖林街−操兵场背斜的东延部分。在矿产区划上位于下扬子成矿省江南地块中生代铜钼金银铅锌成矿带中。

1.2　矿田地质概况

1.2.1　地层及变质岩

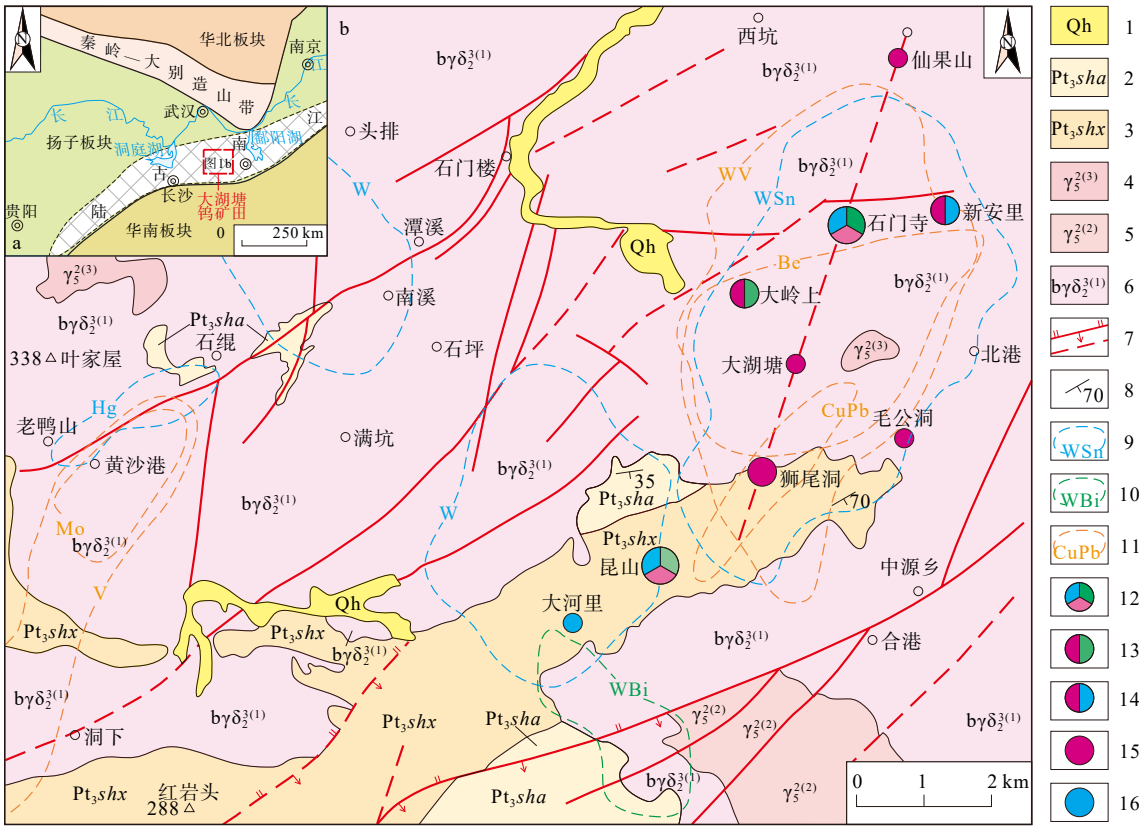
大湖塘钨矿田及其外围地区地层非常单一。仅出露新元古界双桥山群(Pt_3sh)浅变质岩系，主要分布在矿田南部，约占出露面积的 15%(图 1b)。双桥山群浅变质岩为一套断陷环境形成的深海火山−碎屑岩沉积建造，以板岩夹变质杂砂岩、变余云母细砂岩、千枚岩为主，呈厚层状，总体走向北东东、倾向南南东，倾角为 60°～80°，局部夹少量火山岩(丰成友等, 2012; 项新葵等, 2013a)。凝灰岩以及碎屑锆石 U-Pb 年代学的研究显示双桥山群成岩时代约为 825 Ma(Wang et al., 2008; 周效华等, 2012)，区内出露双桥山群分为安乐林组(Pt_3sha)和修水组(Pt_3shx; 图 1b)。

1.2.2　岩浆侵入岩

岩浆侵入岩是大湖塘钨矿田及外围最主要的岩石，出露面积最大的是晋宁期侵入岩，其次是燕山早期侵入岩，少量燕山晚期侵入岩。

晋宁期大规模中酸性岩浆侵入于新元古代双桥山群浅变质岩系中，形成了面积巨大的九岭复式富斜长石花岗闪长岩岩基($b\gamma\delta 2^{3(1)}$)，出露面积达 2300 km^2，在区内占 80% 出露面积，呈近东西向展布(图 1b)，以高钙、中高铝含量为特点。

燕山早期中酸性侵入岩侵入于新元古代双桥



1—全新统；2—新元古界双桥山群安乐林组千枚状变凝灰质砂岩和绢云母千枚岩；3—新元古界双桥山群修水组变凝灰质砂岩和粉砂质板岩；4—燕山晚期花岗岩；5—燕山早期花岗岩；6—晋宁晚期黑云母花岗闪长岩；7— 断层；8—产状；9—重砂扩散晕；10—土壤测量分散晕；11— 岩石测量原生晕；12—钨铜钼矿床；13—钨铜矿床；14—钨钼矿床；15—钨矿床；16—钼矿床

a—大地构造图；b—矿田地质图

图 1 赣西北大湖塘钨矿田及其外围地质矿产略图（据项新葵，2012a 修编）

Fig. 1 Map showing geology and mineral resource distribution of the Dahutang tungsten ore field and its vicinity, northwestern Jiangxi Province (modified after Xiang et al., 2012a)

(a) Tectonic map; (b) Geological map of the ore field

1—Holocene series; 2—Phyllite tuff sandstone and sericite phyllite of the Anlelin Formation of the Neoproterozoic Shuangqiaoshan Group; 3—Phyllite tuff sandstone and silty slate of the Xiushui Formation of the Neoproterozoic Shuangqiaoshan Group; 4—Late Yanshanian granite; 5—Early Yanshanian granite; 6—Late Jinningian biotite granodiorite; 7—Fault; 8—Orientation; 9—Heavy sand dispersion halo; 10—Measured soil dispersion halo; 11—Measured primary halo in rock; 12—Tungsten-copper-molybdenum deposit; 13—Tungsten-copper deposit; 14—Tungsten-molybdenum deposit; 15—Tungsten deposit; 16—Molybdenum deposit

山群浅变质岩系和晋宁期花岗闪长岩岩基之中，主要出露于西北部和东南部，约占出露面积的4%(图 1b)。

燕山晚期中酸性侵入岩侵入于新元古代双桥山群浅变质岩系、晋宁期花岗闪长岩岩基、燕山早期中酸性侵入岩之中，主要出露于中—中东部的大湖塘钨矿田附近，地表出露以规模很小的小岩体为主，约占出露面积的 1%(图 1b)。统计最近 13 年 10 位研究者统计/发表的共 29 个精确测年数据(黄兰椿和蒋少勇，2012; Huang and Jiang, 2014; Mao et al., 2015; 项新葵等，2015; 叶海敏等，2016; 潘大鹏等，2017; 褚平利等，2019; 陈茂松等，2020; 余振东等，2020; 张志辉等，2020)，主要有 3 个侵入阶段：① 为 152～148 Ma 的似斑状花岗岩系列(似斑状黑云母花岗岩、似斑状二云母花岗岩和花岗斑岩)，对应于第 1 次成矿时段；② 为 144～140 Ma 的黑云母花岗岩系列(中粗粒白云母花岗岩、中粗粒二云母花岗岩、中细粒黑云母花岗岩、中细粒白云母花岗岩和花岗斑岩)对应于第 2 次成矿时段，为主成矿阶段；③ 为 136～130 Ma 的花岗斑岩系列(花岗斑岩脉和斑岩脉)，相当于成矿后阶段。

1.2.3 矿田构造特征

大湖塘钨矿田及其外围地区的构造特征主要

基于区域地质调查和矿床勘查(项新葵等, 2012a, 2012b, 2013a, 2017; 刘南庆等, 2018)。

大湖塘钨矿田及外围地层岩石以晋宁期花岗闪长岩为主体、伴以双桥山群浅变质岩系和燕山早期花岗岩, 刘南庆等(2018)认为其主要构造形迹是燕山中期以来的断裂构造。断裂构造主要有北东东向、北东向、北西向和北北东向断裂, 在构造复合部位控制同期岩浆岩的分布(刘南庆等, 2016)。

(1)北东东向断裂: 呈北东东向或近东西向带状展布, 自北向南主要有石门构造带、大岭上−平苗构造带、狮尾洞构造破碎带、昆山断裂−石英脉带、大河里石英脉带及莲花芯石英脉带等, 其形成于成矿前的燕山中期, 在燕山晚期(约 140 Ma)处于伸展构造变形阶段, 演化为低级别的构造, 为成矿构造(刘南庆等, 2018; 图 1b)。

(2)北东向断裂: 主要有大岭上−石门寺、杨狮殿−毛公洞断裂及黄沙坪−中源逆断层(图 1b)。北东向断裂以逆冲断层为主, 一般规模很大, 断错燕山早期及以前地层岩石; 断裂面一般平整光滑, 可见构造片岩、发育反映断裂逆冲活动的正阶步, 部分可见同方向相同力学性质的次级小断裂, 局部可见水平擦痕。断裂带中还见及较强的绿泥石化蚀变。北东向断裂的倾向在矿田南部以倾向南东为主, 倾角陡立或高角度(60°～80°); 在矿田北部则变化复杂, 倾向南东和倾向北西都有。北东向断裂的规模一般延长 5～10 km, 宽度为 2～20 m; 组合呈横向平行分布、间隔发育, 纵向尖灭再现, 总体延长 >20 km。

(3)北西向断裂: 北西向断裂力学性质多为张扭性, 以规模不大的裂隙带形式出现, 比北东向断裂规模小的多; 主要发育在晋宁晚期黑云母花岗闪长岩中; 断层面相对粗糙或不够规则, 常有较强的高岭土化、绢云母化蚀变。最突出的特点是北西向断裂被含钨石英脉充填, 石英脉体以中、细脉为主, 大脉为辅, 延伸(深)数米至数百米, 膨大缩小、尖灭再(侧)现普遍。少量可见含钨铜矿化的细粒花岗岩脉充填, 伴有云英岩化、硅化蚀变。北西向断裂整体上以中等角度(30°～50°)倾向南西, 单条长度为 1～3 km, 宽度为 50～1000 m, 组合形式为横向平行分布、疏密不均, 成带出现, 是石英脉型＋蚀变花岗岩型矿体的主要赋矿构造之一(刘南庆等, 2018)。

刘南庆等(2018)将上述北东向断裂与北西向断裂作为共轭组合, 其缺少共轭的基本特征。

(4)北北东向断裂: 矿田内北北东向断裂最重要特征是强硅化构造破碎带, 主要有仙果山−狮尾洞断裂、黄沙坪东−上百庄东断裂和金盘里−石门楼东断裂(图 1b)。其绝大多数倾向南东东, 倾角陡立(>80°), 单个延长 2～10 km, 宽度为 2～20 m。破碎带内还发育碎裂岩和少量花岗斑岩, 断层面常发育水平擦痕。断裂组合变形为横向相互平行、间隔发育, 纵向尖灭再现、延伸稳定, 规模较大, 总体延长 >20 km, 极少见有钨铜多金属矿化。北北东向断裂旁侧的北东东向断裂带内脆性张裂隙(成矿构造)发育, 被认为是石英脉型钨铜多金属矿体的主要赋矿构造。

1.2.4　矿床分布特征

大湖塘钨矿田内矿区类型众多, 主要有细脉浸染型、蚀变花岗岩型、石英大脉型、云英岩型、石英细脉带型、隐爆角砾岩型等(项新葵等, 2013c)。矿田内发育石门寺大型钨铜钼矿床、昆山大型钨铜钼矿床、大岭中型钨铜矿床、狮尾洞中型钨矿床、新安里中型钨钼矿床以及大湖塘、毛公洞、仙果山、大河里小型钨(钼)矿床(图 1b)。

1.3　石门寺钨矿床地质特征

石门寺钨矿床位于大湖塘钨矿田的北部, 是矿田内 2 个大型钨铜钼矿床之一, 也是目前矿田内投入开采的 2 个矿床之一。

1.3.1　矿区地层岩石

矿区内除第四纪残坡积层外, 基岩全部为岩浆岩, 主要为晋宁晚期黑云母花岗闪长岩岩基(曾定名富斜花岗岩, $b\delta\gamma_2^{3(1)}$)和燕山早期晚阶段先后侵入的似斑状黑云母花岗岩($b\gamma_5^{2(2)a}$)、细粒黑云母花岗岩($b\gamma_5^{2(2)b}$)、黑云母花岗斑岩($\gamma\pi_5^{2(2)b}$)。从具似斑状构造、斑晶为粗粒、基质为中细粒的黑云母花岗岩→细粒花岗结构的黑云母花岗岩→具斑状构造、斑晶为中细粒、基质为隐晶质的黑云母花岗斑岩, 其粒度有规律地逐级变细, 说明其形成深度依次变浅、侵入时间依次变晚。燕山期似斑状黑云母花岗岩为钨铜成矿岩体, 晋宁期黑云母花岗闪长岩为赋矿围岩(图 2)。

1.3.2　矿区断裂构造

矿区断裂构造分为 2 个部分, ①在晋宁期岩体($b\gamma\delta_2^{3(1)}$)内, 燕山早期晚阶段黑云母花岗岩($b\gamma_5^{2(2)b}$)侵位基本冷却的基础上形成的小型断裂构造, 控制矿区内石英大脉型钨矿体的展布; ②成矿后的断裂

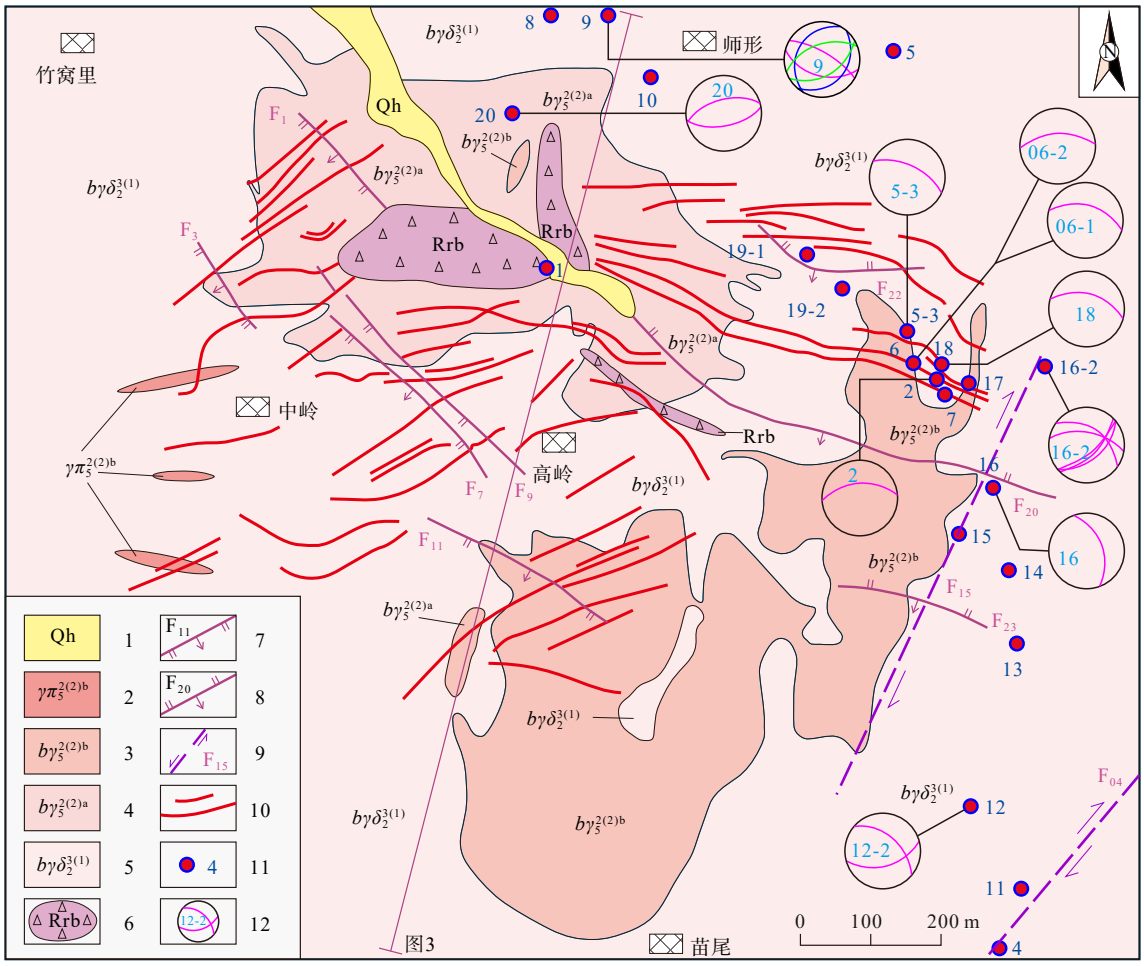


图 2 大湖塘钨矿田北部石门寺钨矿床地质简图（地质底图据项新葵等，2017修编）

Fig. 2 Geological sketch of the Shimensi tungsten deposit in the northern Dahutang tungsten ore field (geological map modified after Xiang et al., 2017)

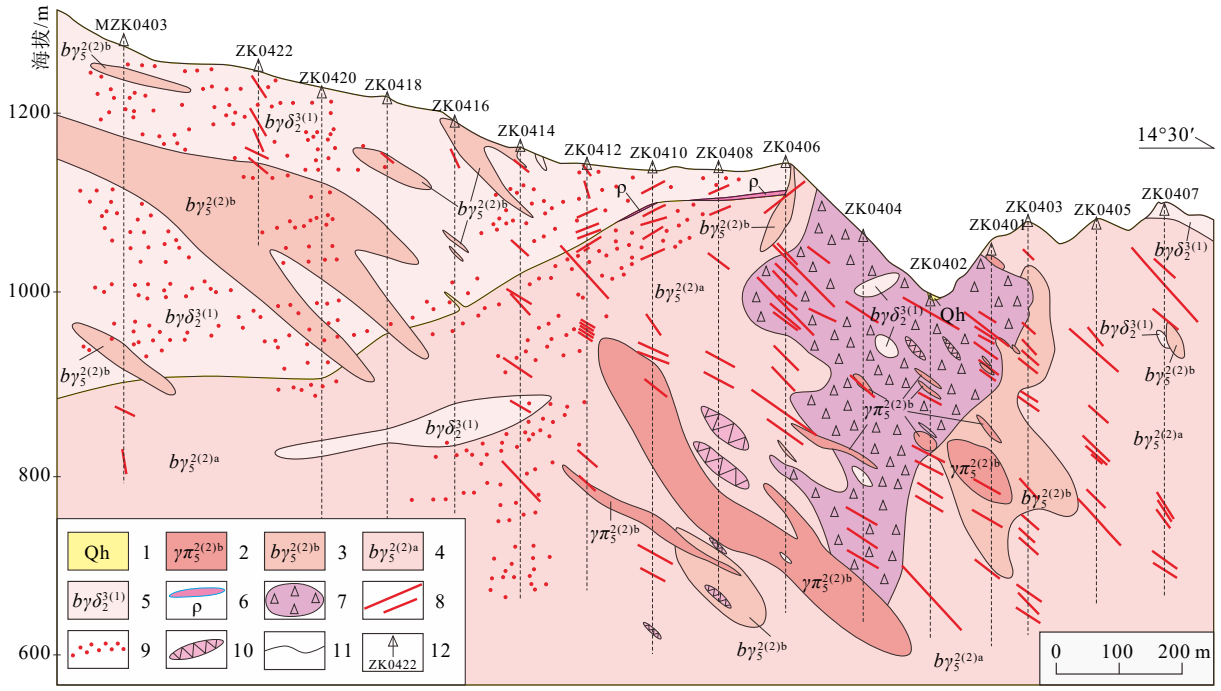
1—Holocene series; 2—Granite porphyry of the second stage in the early Yanshanian period; 3—Fine-grained biotite granite of the second stage in the early Yanshanian period; 4—Porphyritic biotite granite of the second stage in the early Yanshanian period; 5—Middle- to coarse-grained biotite granodiorite of the Jinningian period; 6—Hydrothermal crypto-explosive breccia; 7—Normal fault; 8—Reverse fault; 9—Post-mineralization NE-trending faults; 10—Quartz vein type tungsten ore body; 11—Geological observation points of this study; 12—Projection of occurrence of ore-bearing fractures (stereographic polar projection, lower hemisphere)

构造，断错了钨矿体及其以前的地质体（岩体）。控制石英大脉型钨矿体的小型断裂主要有北东向、近东西向、北西西向，断错石英大脉型钨矿体的断裂主要为北西向，以F20断裂规模最大（图2）。同时，在矿区东南部可见成矿后右行活动的北东向断裂（图2）。

1.3.3 矿体及矿化特征

石门寺矿区的矿体分布于燕山期酸性花岗岩体上部及外接触带晋宁期黑云母花岗闪长岩的一定范围内，属岩浆期后高中温热液矿床（图2，图3）。发育有似层状细脉浸染型、筒状热液隐爆角砾岩型和石英大脉型矿体，形成石门寺“1区3型”钨矿床（项新葵等，2012a），矿体裸露地表（图2）。根据目前的勘查成果，石英大脉型钨矿体大部分为近东西向（包括北东东向和北西西向），倾向南或倾向北，倾角中等为主（图3）。

矿石的主要金属矿物有白钨矿、黑钨矿、黄铜矿、辉钼矿，少量锡石、闪锌矿、黄铁矿等，非金属矿物有石英（脉石英）、斜长石（脉长石）、黑云母



1—全新统；2—燕山早期第二阶段花岗斑岩；3—燕山早期第二阶段细粒黑云母花岗岩；4—燕山早期第二阶段似斑状黑云母花岗岩；5—晋宁期中粗粒黑云母花岗闪长岩；6—似伟晶岩；7—热液隐爆角砾岩型矿体；8—石英大脉型钨矿体；9—细脉浸染型钨矿体；10—无矿石英团块、石英脉带；11—地质界线；12—钻孔及编号

图 3　大湖塘钨矿田石门寺钨矿床 4 线地质剖面图（据项新葵等，2017 修改）

Fig. 3　Geological section along the No. 4 exploration line of the Shimensi tungsten deposit in the Dahutang tungsten ore field (modified after Xiang et al., 2017)

1—Holocene series; 2—Granite porphyry of the second stage in the early Yanshanian period; 3—Fine-grained biotite granite of the second stage in the early Yanshanian period; 4—Porphyritic biotite granite of the second stage in the early Yanshanian period; 5—Jinningian medium coarse-grained biotite granodiorite; 6—Pegmatite-like; 7—Hydrothermal crypto-explosive breccia orebody; 8—Quartz vein tungsten ore body; 9—Fine vein disseminated tungsten ore body; 10—Ore-free quartz cluster and quartz vein belt; 11—Geological boundaries; 12—Drill hole with number

（蚀变白云母）、角闪石、方解石、萤石等。与成矿关系密切的围岩蚀变有钾长石化、黑鳞云母化、云英岩化、硅化、钠长石化、绿泥石化、萤石化等。碳、氢、硫、铅、氧同位素研究显示，成矿物质主要来源于大湖塘燕山期 S 型花岗岩（阮昆等，2015b），成矿流体部分来源于下地壳或上地幔（项新葵等，2013b）；辉钼矿铼–锇同位素定年显示成矿年龄为 149 Ma（项新葵等，2013c）。

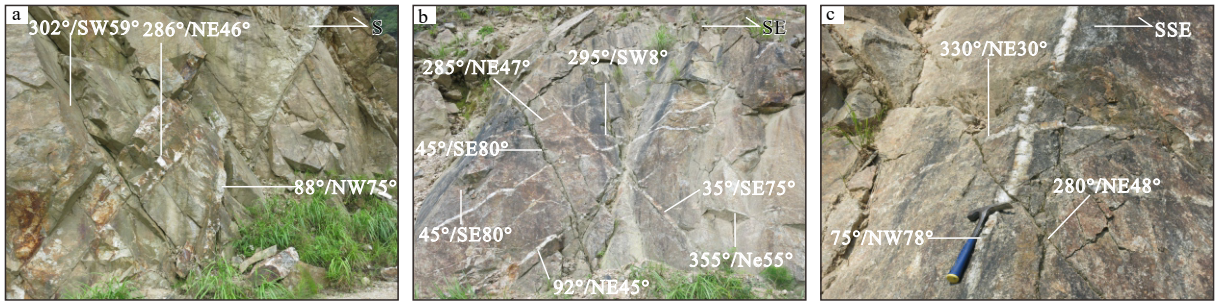
2　含矿裂隙特征

含矿构造是指矿体、矿脉赋存、储存的空间，也称赋矿构造或储矿构造。含矿构造最大的特点是由于其被含矿流体（热液）交代和充填，破坏了大部分原来的构造变形的遗迹，很多甚至是被完全充填固结，如典型的高温含钨锡的石英脉，这给构造裂隙本身力学性质研究带来困难。

石门寺钨矿床主要有 3 种矿化类型，石英大脉型、似层状细脉浸染型、筒状热液隐爆角砾岩型。其中石英大脉型的含钨石英大脉型受花岗质岩石中的断裂裂隙构造控制明显。文中主要讨论石英大脉型钨矿化的含矿裂隙特征。

石门寺钨矿床石英大脉型矿体的含矿裂隙系统是在燕山早期晚阶段黑云母花岗岩侵位并基本冷却固结的基础上形成的。

含钨矿与不含钨矿裂隙的区分主要有 2 种方法，①是通过肉眼可以区分的蚀变，含钨矿裂隙虽然石英脉可以很细，甚至 1～2 mm，但是都有白云母边（图 4）；②是从产状特征上有明显差异，在同一露头上，含矿裂隙往往有多个方向（产状），而不含矿裂隙往往方向比较单一，而且明显断错钨矿脉（图 4a—4c）。



a—含矿裂隙与不含矿裂隙, D06-2 点; b—含矿裂隙与不含矿裂隙, D14-1 点; c—含矿裂隙与不含矿裂隙, D14-2 点

图 4 江西大湖塘钨矿田石门寺钨矿床含矿裂隙与不含矿裂隙

Fig. 4 Picture showing the ore-bearing fractures and ore-free fractures in the Shimensi tungsten deposit in the Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province

(a) Ore-bearing fracture and ore-free fracture, point D06-2; (b) Ore-bearing fracture and ore-free fracture, point D14-1; (c) Ore-bearing fracture and ore-free fracture, point D14-2

此次在石门寺钨矿床开展了精细的含矿裂隙调查(图 2; 限于矿区植被覆盖原因, 调查主要集中在矿区的中部、北部、东部和东南部), 查明了控制钨矿体的小型裂隙的特点及其组合形式, 构建含矿裂隙系统, 即含矿构造带是由近东西(北西西)向中等倾角双倾向、近东西(北西西)向中等倾角单倾向(矿区中北部倾向北)和近东西(北西西)向陡立 3 组裂隙为主组成, 矿区中心为热液隐爆角砾岩, 并分析了含矿裂隙系统形成的动力学条件和成矿期构造应力场特点。

2.1 含矿裂隙的单体特征

通过对石门寺钨矿床露头、采场详细野外观测, 含矿裂隙及其所赋存钨矿体具有明显特征。

(1)含矿裂隙规模: 从矿产勘查资料显示, 石门寺钨矿床石英大脉型钨矿体的走向延伸长度一般为 100～200 m, 个别可达 400～600 m(图 2)。地表露头也可见矿体的走向延伸情况和含钨石英脉的宽度(图 5)。如在 D02 地质点, 可见由近东西向(包括北东东向和北西西向)的含钨大石英脉延伸大于 100 m(图 5a); 在 D19 地质点, 可见由北东东向含钨大石英脉延伸近 100 m(图 5b)。露头上还有很多较细的含钨石英脉, 延伸 2～20 m(图 5g—5h)。含钨石英脉厚度一般为 2～20 cm, 最大厚度 50～80 cm(图 5c—5f, 图 6)。在 D03-3 地质点, 发育 2 条产状平缓的含钨石英脉, 厚度约 80 cm(图 5c); 在 D02 地质点, 含钨石英脉厚度约 77 cm(图 5d); 在 D12-3 地质点, 近东西向含钨石英脉厚度约 70 cm(图 5e); 而在 D16 地质点, 北北西向含钨石英脉厚度约 70 cm(图 5f)。但是 D20 地质点, 更多见到的是规模较小的含钨石英脉, 厚度以 2～10 cm 为主(图 5g、5h)。

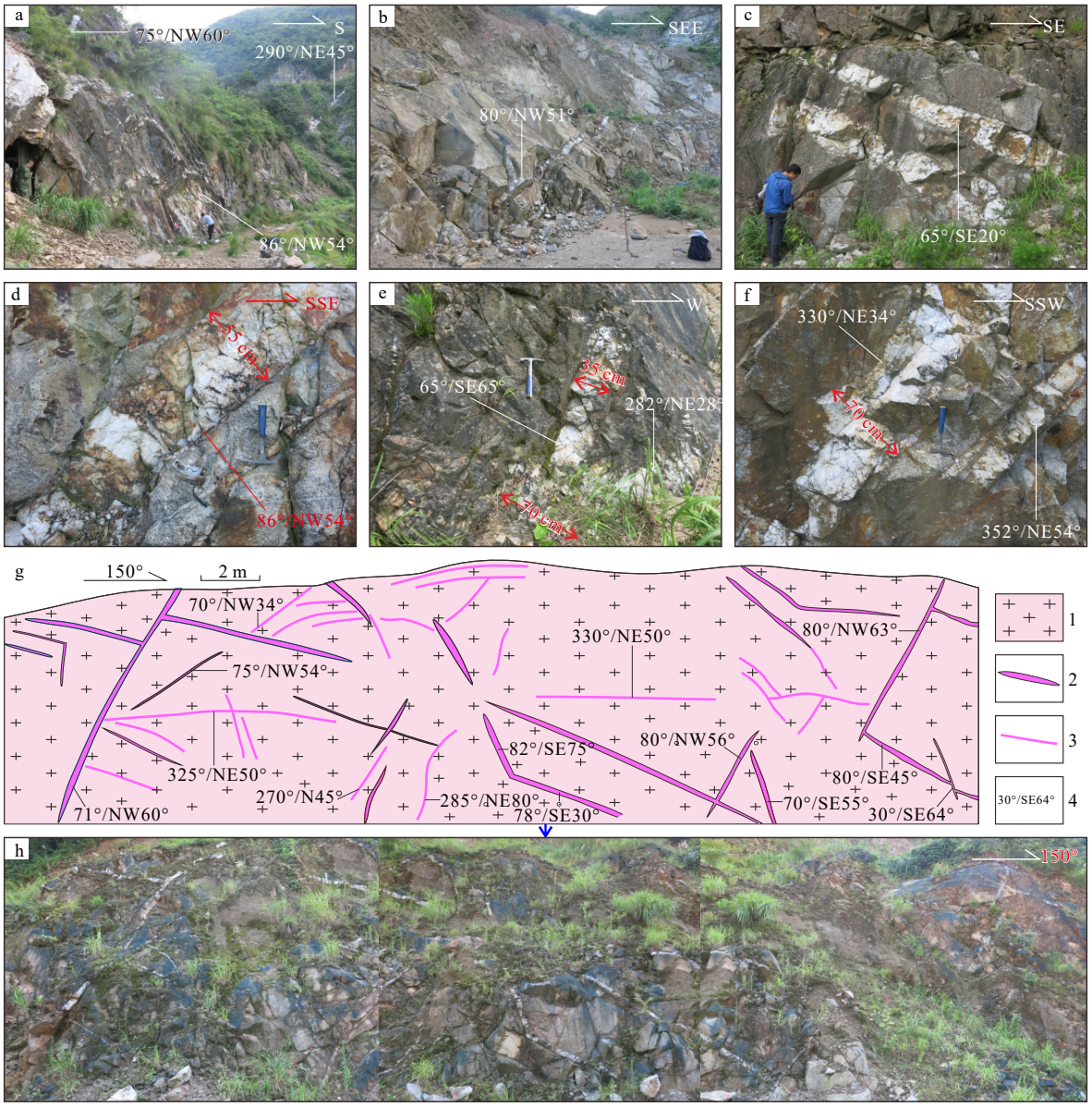
(2)含矿裂隙形态: 含钨石英脉的形态反映了含矿裂隙的形态。石门寺钨矿床控制含钨石英脉产出的裂隙构造的形态非常简单, 绝大多数是比较平直的裂隙, 但是往往存在不同方向裂隙的交汇(图 5g—5h, 图 6)。而且是尽管含矿裂隙具有交汇和少量切割关系, 但含钨石英脉是连续的(图 5g—5h, 图 6)。这与相山铀矿田邹家山铀矿床的含矿裂隙具有显著的差异(陈柏林等, 2021)。

(3)含矿裂隙的内部结构: 含矿裂隙内部结构总体比较简单, 大多数裂隙没有明显的破碎带和相对运动的痕迹(图 4—图 6)。

(4)含矿裂隙产状特征: 钨矿勘查圈定的钨矿体为北西西走向, 中等—陡倾角倾向北东(图 2)。地质意义上含矿裂隙产状复杂的多, 走向以近东西向(包括北东东向和北西西向)为主, 少量为北北西向和北北东向(图 4—图 6)。在石门寺钨矿床采场及各个露头点共测量了 369 个含矿裂隙(钨矿脉)的产状, 通过极射赤平投影成图(图 7)。从图中可以看出, 含矿裂隙以近东西向为主(包括北东东向和北西西向; 代表性产状 87°/NW55°; 走向/倾向倾角, 下同)、少量为北北西向和北北东向的特点。

2.2 含矿裂隙的组合特征

石门寺钨矿床采场及露头低级别含矿裂隙的组合特征存在显著的地域特点, 在矿区北部以偏细含钨石英脉为主, 表现为以近东西走向(包括北西西向和北东东向)、以中等倾角分别倾向北和南的组合特点(倾向北比倾向南的稍多一些); 在矿区中北部以粗大含钨石英脉为主, 组合上以近东西走



1—花岗岩；2—含钨石英脉（大于 5 cm）；3—含钨石英细脉（0.5～5 cm）；4—产状（走向/倾向倾角）

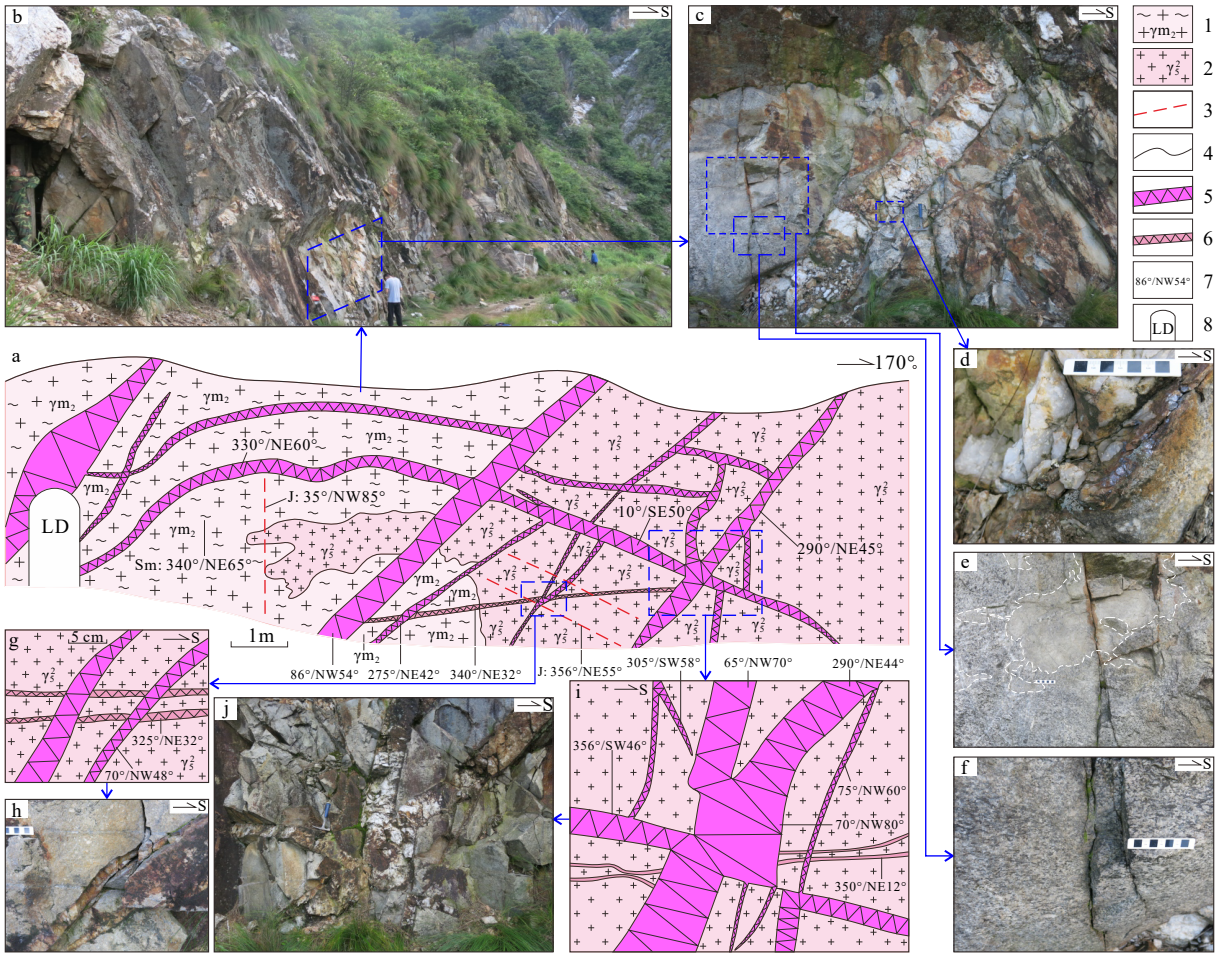
a—近东西向石英大脉型钨矿体，走向延伸长，矿区中北部，D02 点；b—近东西向石英大脉型钨矿体，走向延伸长，矿区中部，D19 点；c—北东东向石英大脉型钨矿体，厚度大，约 80 cm，矿区东南部，D03-3 点；d—近东西向石英大脉型钨矿体，厚度大，约 55 cm，矿区中北东部，D02 点；e—近东西向石英大脉型钨矿体，厚度大，约 70 cm，矿区东南部，D12-3 点；f—北北西向石英大脉型钨矿体，厚度大，约 70 cm，矿区东部，D16 点；g—北东东向和北西西向石英细脉型钨矿体素描，矿区西北部，D20 点；h—素描图 g 对应的照片

图 5　江西大湖塘钨矿田石门寺钨矿床石英大脉和细脉型钨矿体照片及素描

Fig. 5　Photos and sketches showing the quartz vein and veinlet tungsten ore bodies of the Shimensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province

(a) Nearly EW-trending quartz vein tungsten ore body with a long strike extension, at point D02 of the northern part of the mining area center; (b) Nearly EW-trending quartz vein tungsten ore body with a long strike extension, at point D19 of the mining area center; (c) NEE-trending quartz vein tungsten ore body with a large thickness of about 80 cm, at point D03-3 of the southeastern mining area; (d) Nearly EW-trending quartz vein tungsten ore body with a thickness of about 55 cm, at point D02 of the northern part of the mining area center; (e) Nearly EW-trending quartz vein tungsten ore body with a large thickness, about 70 cm, at point D12-3 of the southeastern mining area; (f) NNW-trending quartz vein tungsten ore body with a large thickness of about 70 cm, at point D16 of the eastern mining area; (g) Sketch of NE- and NW-trending quartz veinlet tungsten ore bodies, point D20 of the northwestern mining area; (h) Photo corresponding to sketch g

1—Granite; 2—W-bearing quartz vein (thicker than 5 cm); 3—W-bearing quartz veinlets (0.5～5 cm); 4—Orientation (trend / dip angle)



1—片麻状花岗岩；2—中细粒花岗岩；3—无矿节理裂隙；4—地质界线；5—含钨石英脉；6—早期无矿石英细脉；7—产状；8—老硐

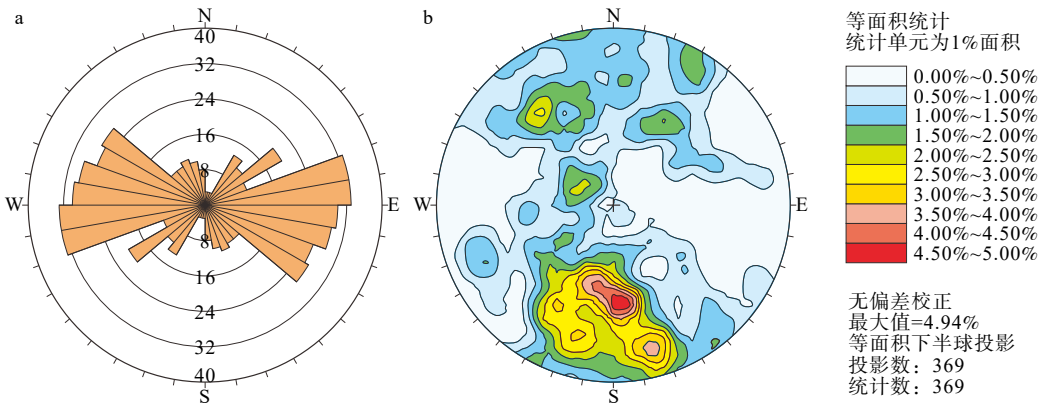
a—含钨石英脉素描，矿区中北部，D02 点；b—剖面 a 对应的照片；c—图片 b 中部偏北侧局部放大，示走向近东西向中等倾角北倾的含钨石英大脉；d—图片 c 的局部放大，示含钨石英脉边部发育辉钼矿；e—图片 c 的局部放大，示含钨石英脉的围岩燕山期细粒花岗岩侵入在晋宁期片麻状粗粒花岗闪长岩中；f—图片 c 的局部放大，示含钨石英脉围岩晋宁期片麻状粗粒花岗闪长岩；g—剖面 a 中部局部放大素描，示北东东向中等倾角北倾含钨石英脉，穿切早期无矿石英细脉；h—剖面 g 对应的照片；i—剖面 a 的南部局部放大素描，示多个产状含钨石英脉同时贯入结晶，穿切早期无矿石英细脉；j—剖面 i 对应的照片

图 6 大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D02 点）

Fig. 6 Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and tungsten-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (point D02)

(a) Sketch of tungsten-bearing quartz veins, north-central mining area, point D02; (b) Photos corresponding to section a; (c) The local enlargement of the north-central part of picture b, shows a tungsten-bearing quartz vein with a nearly east-west strike direction and a moderately northward dip; (d) The local enlargement of picture Cc shows that molybdenite is developed at the edge of the tungsten-bearing quartz vein; (e) The partial enlargement of picture c shows the intrusion of a fine-grained Yanshanian granite into a coarse-grained gneissic Jinningian granodiorite; both are surrounding rocks of the tungsten-bearing quartz vein ore body; (f) The partial enlargement of picture c shows coarse-grained gneissic Jinningian granodiorite as rock surrounding a tungsten-bearing vein ore body; (g) The enlarged sketch of the middle part of section a shows a tungsten-bearing quartz vein with moderate NE-ward dip cutting an early-stage, ore-free quartz vein; (h) Photos corresponding to section g; (i) The enlarged sketch of the southern part of section a shows the penetration of multiple tungsten-bearing quartz veins into fractures and crystalline at the same time, thereby cutting early-stage, ore-free quartz veins; (j) Photos corresponding to section i

1—Gneissic granite; 2—Medium-fine grained granite; 3—Ore-free joints and fissures; 4—Geological boundary; 5—W-bearing quartz vein; 6—Early ore-free quartz veinlet; 7—Orientation; 8—Ancient mining tunnel



a—含矿裂隙走向玫瑰图；b—含矿裂隙极点的极射赤平投影等值线图（下半球投影）

图 7　大湖塘钨矿田石门寺钨矿床含矿裂隙产状投影图

Fig. 7　Projection of the strike of ore-bearing fractures in the Shimensi tungsten deposit of the Dahutang tungsten ore field

(a) Rose diagram showing the strike of ore-bearing fractures; (b) Contoured polar stereographic projection of the poles of ore-bearing fractures (lower hemisphere projection)

向、平行状、中偏陡角倾向北为主，少量其他走向；在矿区中部以走向多变的不规则含钨石英脉为主，并逐渐向热液角砾岩过渡。这种含矿裂隙的组合是岩石在近南北向压应力作用下、且中间主应力为近水平东西向条件下形成的剖面上“X”型节理构造形式基础上，在成矿期受成矿流体高压综合作用的结果。最典型的剖面“X”型节理是矿区北西段的 D09 点（图 8a—8f）、D16-2 点（图 8g—8h）和西部 D20 地质点（图 5g—5h）。

D09 地质点位于矿区北部，以中—细含钨石英脉为主，一般宽度为 1～5 cm，少量达 10 cm 左右。矿脉发育于晋宁期花岗岩中，共有 3 组裂隙系统。①300°/NE70°与 285°/SW48°，形成最早，被无矿石英脉充填，且明显在陡倾角部位变宽（图 8a、图 8b 左下）；②30°/NW32°（50°/NW52°）与 40°/SE32°（20°/SE30°）；③75°/NW45°与 60°/SE53°（55°/SE50°、78°/SE28°），形成最晚，明显穿切①和②，又被②所限制；成矿期含钨石英脉在 3 期裂隙中均有充填，虽然可见裂隙之间存在小的断错，但是充填的含钨石英脉是完整连续的（图 8a—8f）。

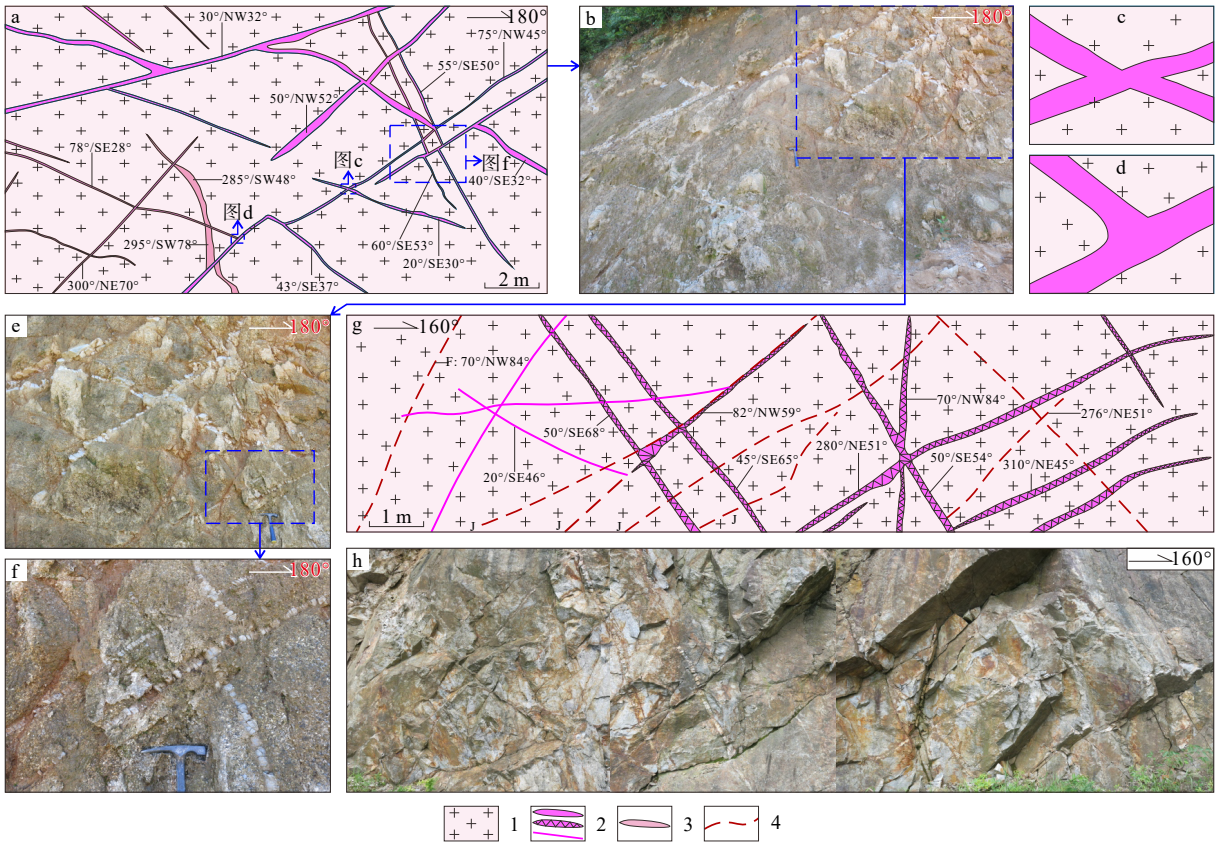
D16-2 地质点位于矿区东部，以中—细含钨石英脉为主，一般宽度为 2～5 cm，少量达 8～10 cm。矿脉发育于晋宁期花岗岩中，主要有 1 组共轭裂隙系统：50°/SE54°（45°/SE65°、50°/SE68°）和 280°/NE51°（305°/NE45°）（图 8g—8h）；共轭裂隙系统的交线为中低角度东倾（70°∠30°），与该部位隐伏岩脊的形态及其侵位时的动力学状态吻合。

D12-2 地质点位于矿区东南部，以中—细含钨石英脉为主，一般宽度为 2～5 cm，少量达 8～10 cm，局部陡脉达 30～40 cm。矿脉发育于晋宁期花岗岩中，主要有 1 组共轭裂隙系统：75°/SE52°（50°/SE32°）和 310°/NE56°（315°/NE61°），共轭裂隙系统的交线为中低角度东倾（95°∠30°），而在 310°/SW82°和 300°/SW85°裂隙中含钨石英脉明显变宽，达 30～40 cm（图 9a—9c）。

D20 地质点位于矿区西北部，以中—细含钨石英脉为主，一般宽度为 2～8 cm，少量达 10～20 cm，个别最大 25 cm 左右。矿脉发育于晋宁期花岗岩中，主要为 1 组裂隙系统。80°/NW56°（80°/NW63°、75°/NW54°、70°/NW34°、270°/N45°、71°/NW60°）和 80°/SE56°（70°/SE55°、78°/SE30°、82°/SE75°），另有少量北北西向和北北东向含矿裂隙（图 5g、5h）。共轭裂隙系统的交线为低角度西倾（258°∠5°）。

D02 地质点位于矿区中北部，以粗大含钨石英脉为主，一般宽度为 10～30 cm，少量达 40～50 cm，个别最大 80 cm 左右。矿脉围岩为晋宁期花岗岩（局部具片麻状构造，产状 340°/NE65°）和燕山期花岗岩。含矿裂隙以近东西走向、中等倾角，倾向北为主。主要产状为 86°/NW54°（275°/NE43°、70°/NW48°、70°/NW80°、75°/NW64°、290°/NE45°），其他产状次之，330°/NE60°、10°/SE52°、356°/SW46°（图 6）。

D05-3 地质点位于矿区中北部，以粗大含钨石英脉为主，一般宽度为 10～30 cm，少量达 40～50 cm，个别最大 80 cm 左右。矿脉发育于晋宁期花岗岩。含矿裂隙以北西西走向、中等倾角，倾向北为特征。主要产状为 286°/NE66°、295°/NE56°、308°/NE55°、



1—晋宁期花岗岩；2—含钨石英脉；3—早期无矿石英脉；4—成矿后断裂

a—中偏缓倾角双倾向含钨石英细脉，矿区北部，D09 点；b—剖面 a 对应的照片；c—剖面 a 的局部放大，示不同倾向含钨石英细脉同时贯入结晶；d—剖面 a 的局部放大，示不同倾向的含钨石英细脉同时贯入结晶；e—照片 b 的局部放大，示不同倾向含钨石英细脉同时贯入结晶；f—剖面 a 和照片 e 的局部放大，示含矿裂隙有小位移，但含钨石英脉为同时贯入结晶；g—中偏缓倾角双倾向含钨石英细脉，矿区东部，D16-2 点；h—剖面 g 对应的照片

图 8 大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D09 号 D16-2 点）

Fig. 8 Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (points D09 and D16-2)

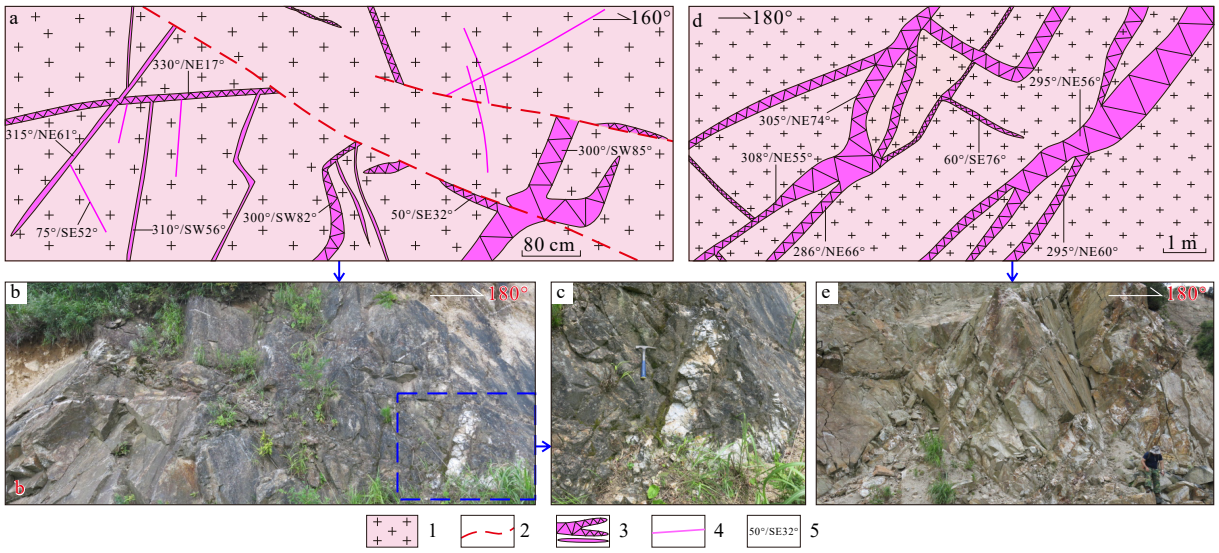
(a) Tungsten-bearing quartz veinlet with moderate-gentle dip angle toward either the south or north, northern part of the mining area, point D09; (b) Photos corresponding to section a; (c) The local enlargement of section a shows the penetration of conjugate tungsten-bearing quartz veinlets into crystalline; (d) The local enlargement of section a shows the penetration of tungsten-bearing quartz veinlets with different orientations penetrate into crystalline at the same time; (e) The local enlargement of photo b shows the penetration of tungsten-bearing quartz veinlets with different trends into crystalline at the same time; (f) The local enlargement of section a and photo e show a small displacement of the ore-bearing fracture, but both segments of the tungsten-bearing quartz vein intruded and crystallized at the same time; (g) Tungsten-bearing quartz vein with moderate-gentle dip angle and conjugate dip, eastern part of the mining area, D16-2; (h) Photos corresponding to section g

1—Jinningian granite; 2—W-bearing quartz vein; 3—Early ore-free quartz vein; 4—Fracture post-dating mineralization

295°/NE60°、305°/NE74°，少量其他产状，60°/SE76°（图 9d—9e）。

D16 地质点位于矿区东北部，以粗大含钨石英脉为主，一般宽度为 10～30 cm，少量达 40～50 cm，个别最大 80 cm 左右。矿脉发育于晋宁期花岗岩。含矿裂隙以北北西走向、中等倾角，倾向北东为主，主要产状为 342°/NE53°、330°/NE49°、330°/NE34°、355°/NE50°、352°/NE54°、352°/NE44°；部分为北西西走向、中等倾角，倾向北，305°/NE24°、282°/NE74°、288°/NE72°、287°/NE48°（图 10）。

D18 地质点位于矿区中北部，以中—粗含钨石英脉为主，一般宽度为 5～15 cm，个别最大达 40～50 cm。矿脉发育于晋宁期花岗岩。含矿裂隙以北西西走向、中等倾角，倾向北为特征，主要产状为 295°/NE48°、280°/NE57°、273°/NE56°、85°/NW41°、325°/NE50°，少量南东倾向的细脉（图 11a、11b）。



1—晋宁期花岗岩；2—晚期裂隙/断裂；3—含钨石英脉（4～40 cm）；4—含钨石英细脉（1～3 cm）；5—产状

a—中等倾角南倾中细含钨石英脉，矿区东南部，D12-2 点；b—剖面 a 对应的照片；c—照片 b 的局部放大；d—中等倾角北倾粗大含钨石英脉，矿区中北部，D5-3 点；e—剖面 d 对应的照片，含钨石英脉最宽达 80 cm

图 9　大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D12-2 点和 D05-3 点）

Fig. 9　Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit of the Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (points D12-2 and D05-3)

(a) Medium-thin tungsten-bearing quartz vein with moderate southward dip in the southeast of the mining area, at point D12-2; (b) Photos corresponding to section a; (c) Local enlargement of photo b; (d) Medium-thick tungsten-bearing quartz vein with moderate northward dip in the north-central part of the mining area, point D5-3; (e) Photo corresponding to section d, the width of the tungsten-bearing quartz vein is up to 80 cm.

1—Jinningian granite; 2—Fracture post-dating mineralization; 3—W-bearing quartz vein; 4—W-bearing quartz veinlet; 5—Orientation

D06 地质点位于矿区中北部，以粗大含钨石英脉为主，一般宽度为 10～30 cm，少量达 40～50 cm，个别最大 80 cm 左右。矿脉发育于晋宁期花岗岩。含矿裂隙以北西西走向、中等倾角，倾向北为特征（图 11c—11h）。D6-1 点主要产状为 280°/NE58°、305°/NE67°、310°/NE65°（图 11c—11h），D6-2 点主要产状为 278°/NE46°、88°/NW75°、83°/NW75°、85°/NW64°、83°/NW57°（图 11i—11j）。

在矿区中部的 D19 点（露天采场 1170 平台），以中细含钨石英脉为主，一般宽度为 2～10 cm，局部脉幅较大，达 15～30 cm，除了西北端外，该平台最显著的特点是脉体绝大多数为陡倾角（图 12）。根据图 12 中测量的 68 个含矿裂隙的产状，经过等角度赤平投影统计，倾向 340°～20°最优势（30°），其次是倾向 160°～180°（10°）；最优势倾角是南倾 71.2°（密度大 16.6%），其中 12.6% 密度线包含了南倾 65°～90°的倾角变化范围。

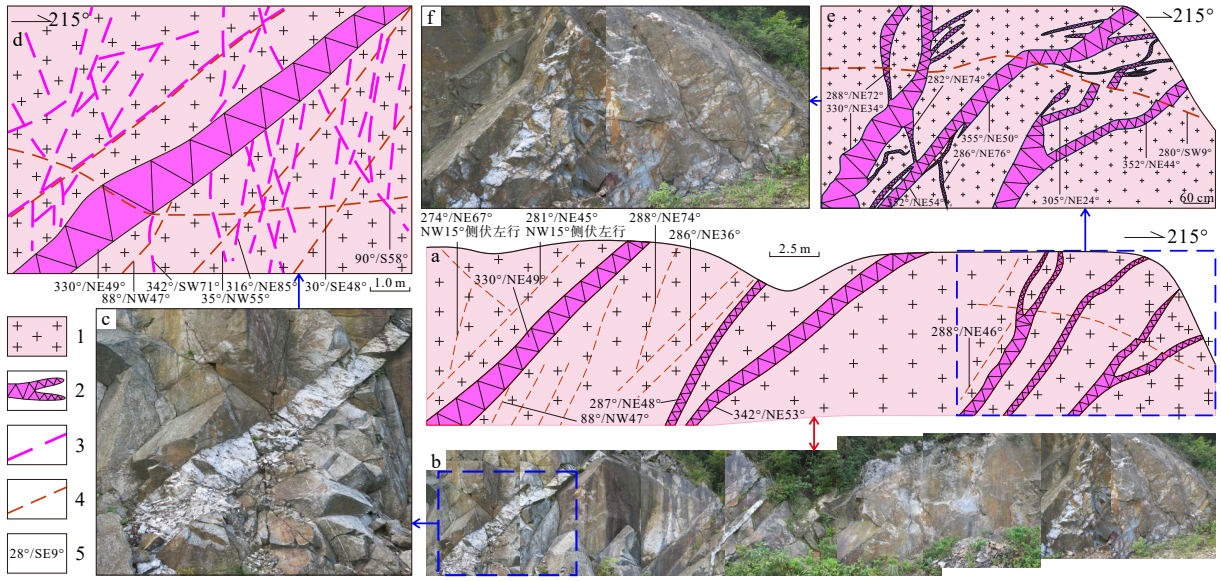
总之，大湖塘钨矿田石门寺钨矿床含矿裂隙的组合特征表现为共轭组合和单斜组合，钨矿床的北部（D9 点）、西北部（D20 点）、东北部（D16-2 点）和东部（D12-2 点）地区，以剖面共轭裂隙为主，控制含钨石英细脉型矿体和部分石英大脉型矿体；在矿床的中北部（D2 点、D5 点、D16 点、D16、D18）地区，以剖面单斜裂隙为主，控制含钨石英大脉型矿体；在矿区近中心部位含钨石英脉产状以近直立为主；最中心（D01 点）为热液隐爆角砾岩。反映了从边部到矿化中心，成矿期局部构造应力场的差异。

3　钨矿体充填结晶特征与成矿动力学

3.1　含钨石英脉充填结晶的同期性特征

石门寺钨矿区含钨石英脉产状虽然有多组，但是前后切割关系不明显，一部分空间上有切割关系，但是脉体本身没有切割关系，反映绝大部分含钨石英脉具有同期充填结晶成矿的特点（图 5，图 6，图 8—12，图 13a—13i）。

但是存在 1 组不常见的早期无矿石英微细脉，被含钨石英脉穿切的现象（图 13j—13l）。



1—晋宁期花岗岩；2—含钨石英大脉（大于 5 cm）；3—含钨石英细脉（1～5 cm）；4—晚期断裂；5—产状

a—中等倾角北倾粗大含钨石英脉，矿区东北部，D16 点；b—剖面 a 对应的照片；c—照片 b 的局部放大，含钨石英脉最宽达 80 cm；d—照片 c 对应的剖面；e—剖面 a 的局部放大剖面；f—剖面 e 对应的照片

图 10 大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D16 点）

Fig. 10 Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit of the Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (point D16)

(a) Tungsten-bearing quartz vein with moderate northward dip and a large thickness, in the northeast of the mining area, point D16; (b) Photos corresponding to section a; (c) The local enlargement of photo b shows that the width of the tungsten-bearing quartz vein is up to 80 cm; (d) Section corresponding to photo c; (e) Local enlargement of section a; (f) Photo corresponding to section e

1—Jinningian granite; 2—W-bearing quartz vein; 3—W-bearing quartz veinlet; 4—Fracture post-dating mineralization; 5—Orientation

3.2 含钨石英脉交代充填的隐爆特征

石门寺钨矿区含钨石英脉总体上以近东西向为主，但是从局部区段（特别是矿区中部）往往具有多走向、不规则状、甚至蟹腿状、放射状且陡倾角的特点，同时各含钨石英脉脉间的花岗岩块体往往具有棱角状、近似可拼合的特点，显示出成矿作用过程中在成矿流体交代充填时流体压力较大，并出现液压致裂的特点（图 13c，图 14a—14f）；部分脉间花岗岩岩块虽然棱角不太明显，也仍然存在近似可拼合特点，显示是流体作用下新形成的裂隙（图 14a—14f）。甚至含钨石英细脉出现菊花状特征（图 14g、14h）。

3.3 成矿构造动力学分析

石门寺钨矿床含矿裂隙形成的动力学条件可分为 2 类 3 型，第 1 类是围岩先存裂隙，即成矿前成矿岩体侵位过程顶托作用形成的中倾角双倾向剖面共轭剪裂隙（I 类），第 2 类是在高压成矿流体作用下同成矿期形成的裂隙（II 类），高压成矿流体作用又分为成矿流体高压隐爆作用形成的隐爆体上方偏线性的中倾角单向剪性裂隙和高倾角张剪性裂隙（II-1 型）以及不规则放射状裂隙（II-2 型）。

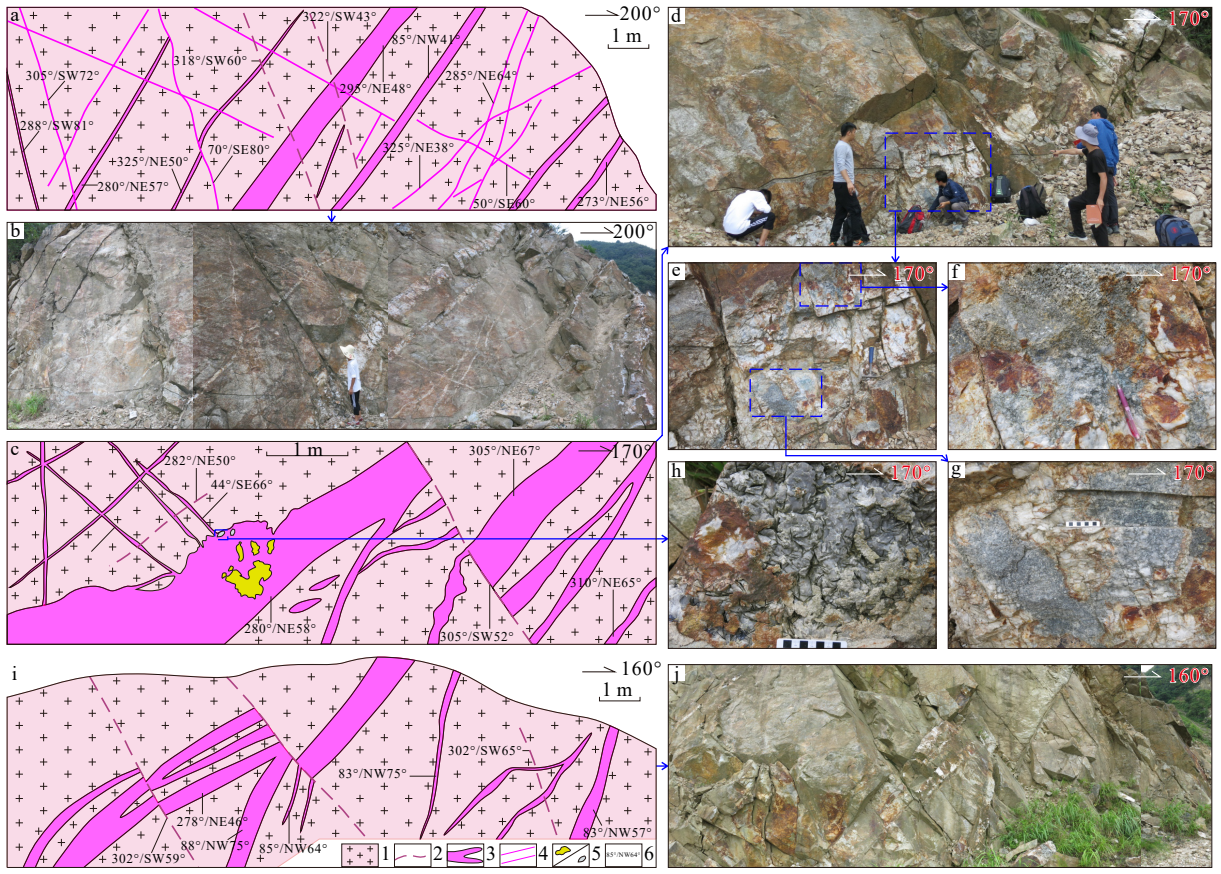
3.3.1 先存含矿裂隙形成的动力学条件

岩石经历构造应力作用，都会形成裂隙。童亨茂等（2014）对先存断层在后期应力场条件下的活动性开展过深入研究，认为构造应力作用导致先存断层的复活，主要取决于先存断层的走向和应力作用的方向。而对于如何判断是先成裂隙还是成矿期形成的液压致裂裂隙，陈柏林（2024）作了专门的论述。

石门寺 I 类含矿裂隙以近东西向走向、中等倾角双倾向（倾向南或者倾向北）的特点，同时根据部分裂隙具有小位移正断的特点，两者构成剖面上的“X-型”共轭剪切裂隙，按照破裂准则，可以恢复这组裂隙形成时期的构造应力场条件，即最大主应力（σ_1）近垂直、中间主应力（σ_2）为近水平近东西向、最小主应力（σ_3）为近水平近南北向（图 15a）。而且具有 $\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$ 特点。

3.3.2 隐爆期含矿裂隙形成的动力学条件

岩体侵位冷却结晶后的岩浆期后成矿流体压



1—晋宁期花岗岩；2—晚期断裂，3—含钨石英脉；4—黄铜矿团块；5—辉钼矿团块；6—产状

a—中等倾角北倾中粗含钨石英脉，矿区中北部，D18 点；b—剖面 a 对应的照片；c—中等倾角北倾中粗含钨石英脉，矿区中北部，D06-1 点；d—剖面 c 对应的照片；e—照片 d 的局部放大，含钨钼石英脉最宽达 80cm；f—照片 e 的局部放大，石英脉中的辉钼矿；g—照片 e 的局部放大，石英脉中的辉钼矿；h—图片 c 的局部放大照片，含钨钼石英脉中辉钼矿被淋滤后残留的片状空洞；i—中等倾角北倾中粗含钨石英脉，矿区中北部，D06-2 点；j—剖面 i 对应的照片

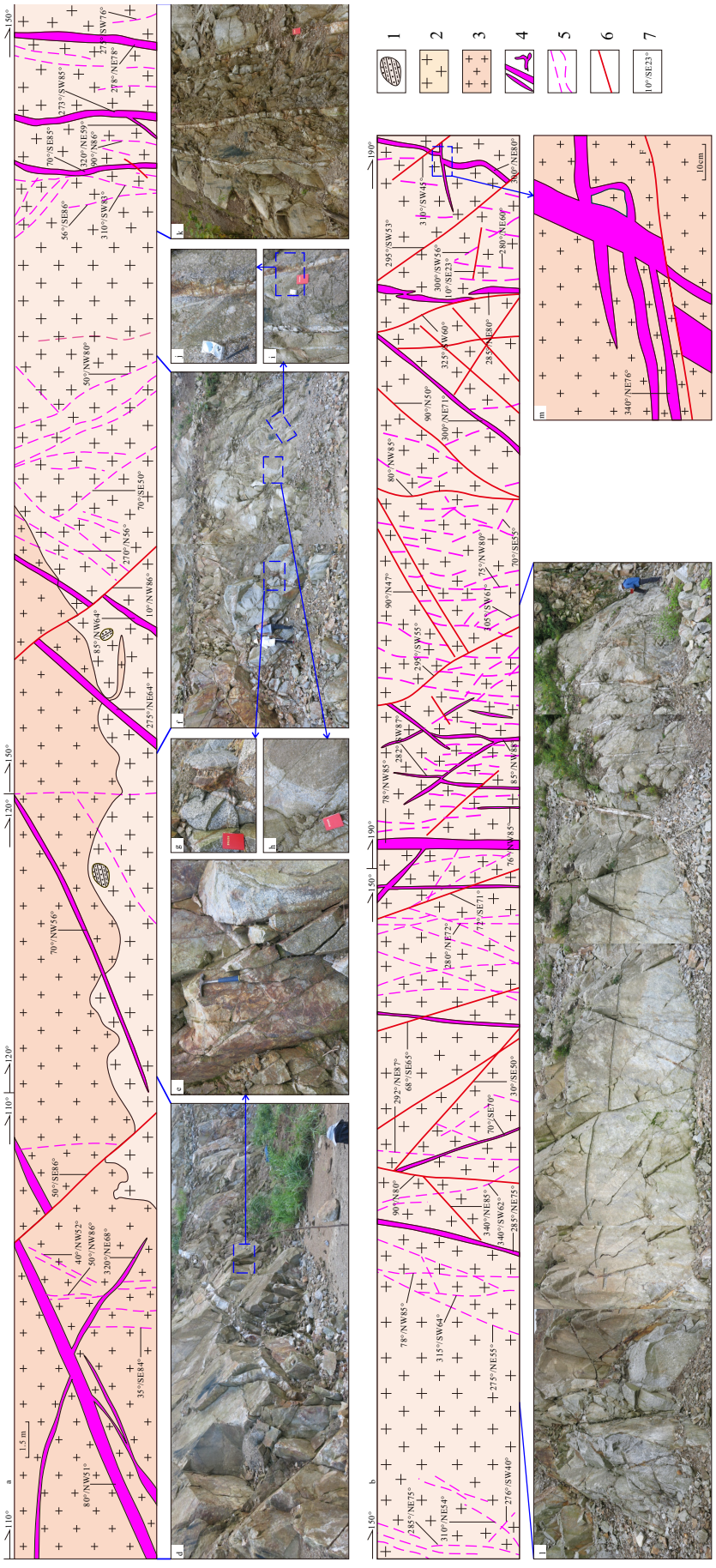
图 11　大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D18 点、D06 点和 D6-1 点）

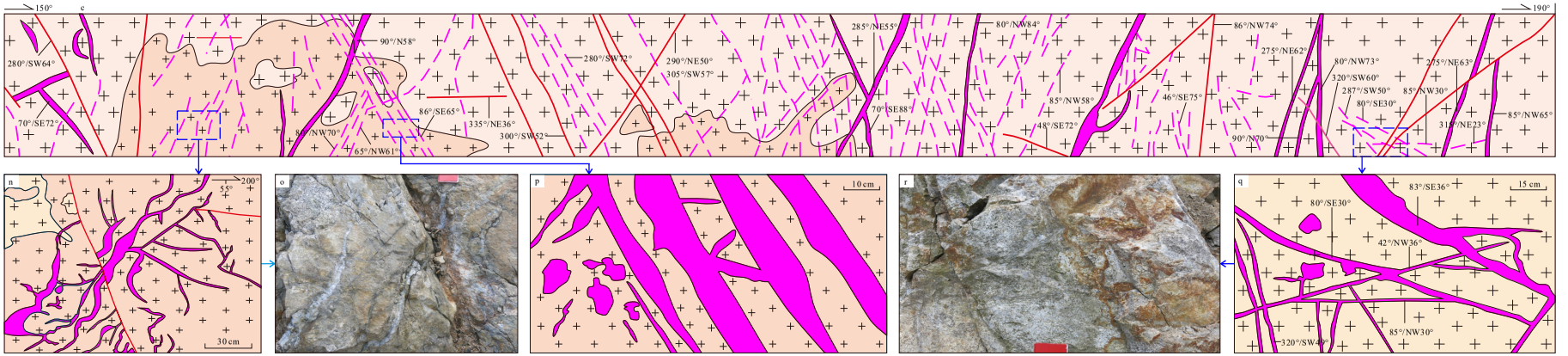
Fig. 11　Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit of the Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (points D18, D06, and D6-1)

(a) Tungsten-bearing quartz vein with medium-large thickness and medium northward dip, from the north-central part of the mining area, point D18; (b) Photos corresponding to section a; (c) Tungsten-bearing quartz vein with medium-large thickness and medium northward dip, from the north-central part of the mining area, point D06-1; (d) Photos corresponding to section c; (e) The local enlargement of photo d shows that the width of the ore-bearing quartz vein containing tungsten and molybdenum is up to 80 cm; (f) Local enlargement of photo e, molybdenite in the ore-bearing quartz vein; (g) Partial enlargement of photo e, molybdenite in a tungsten-bearing quartz vein; (h) The partial enlargement part of picture c show the flaky cavities left by molybdenite leaching in a W-Mo-bearing quartz vein; (i) Tungsten-bearing quartz vein with medium northward dip and medium-large thickness, north-central mining area, point D06-2; (j) Photos corresponding to section i

1—Jinningian granite; 2—Fracture post-dating mineralization; 3—W-bearing quartz vein; 4—Chalcopyrite cluster; 5—Molybdenite cluster; 6—Orientation

力高，且作用范围较岩体侵位明显减小。在局部以点状爆发时，形成热液隐爆角砾岩，形成不规则放射状、蟹腿状裂隙（II-2 型裂隙；图 15c）；当高压成矿流体沿岩体长轴方向向上侵位或者爆发的上方近距离外侧，局部向上应力作用形成中等倾角外倾的单倾向剪裂隙和近直立的张剪性裂隙（II-1 型裂隙；图 15b）。这是典型的热液超压致裂（液压致裂）作用（陈柏林，2024）。按照破裂准则，可以恢复这组裂隙形成时期的构造应力场条件，即最大主应力（σ_1）近垂直、中间主应力（σ_2）与最小主应力（σ_3）大小相近，均为近水平（图 15b—15c）。其中形成线性单倾剪裂隙和陡立张剪性裂隙时，具有 $\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$ 特


1
2
3
4
5
6
7
10°/SE23°
1.5 m
10cm



1—双桥山群变质岩残留体；2—晋宁期花岗岩；3—燕山期花岗岩，4—含钨石英脉（大于 5 cm）；5—含钨石英细脉（1～4 cm）；6—成矿后小断层或裂隙；7—产状

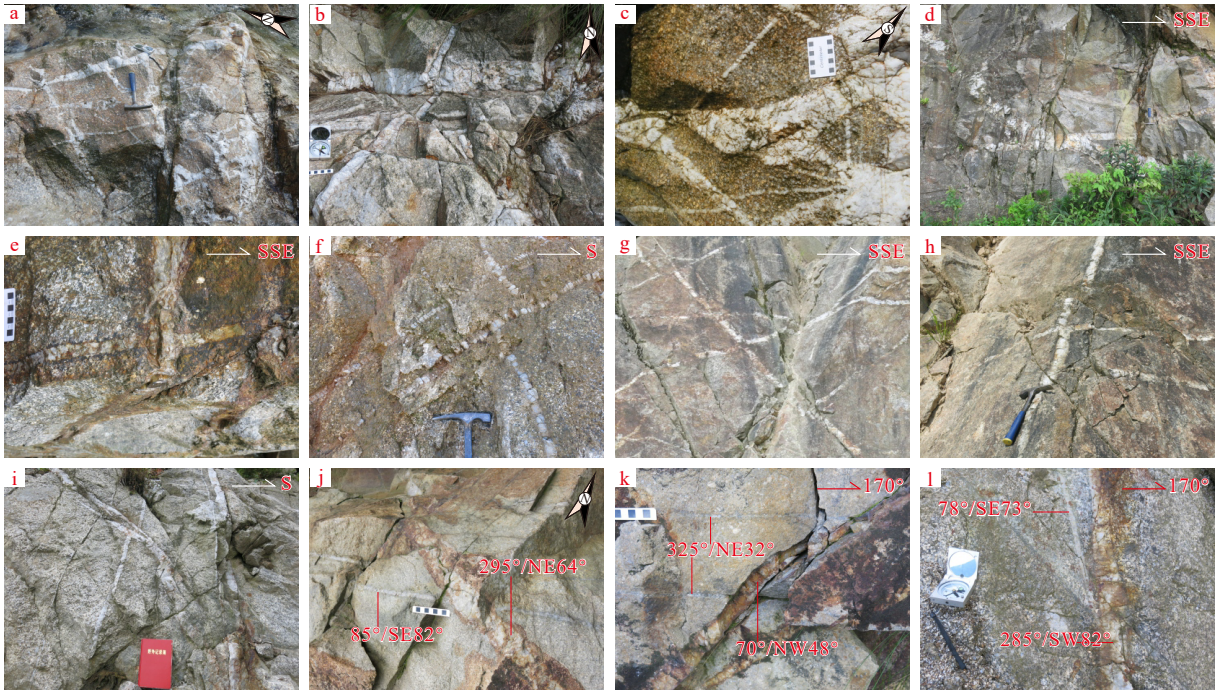
a～c—露天采场 D19 点相连剖面素描，长 190.8 m（a—北西段；b—中段；c—南东段）；d—剖面北西段的北西部分对应照片，显示中等倾角含钨石英脉；e—为 d 的局部放大；f—剖面北西段中南部分对应照片，显示两期花岗岩；g—图片 f 的局部放大，显示燕山期花岗岩；h—图片 f 的局部放大，显示燕山期花岗岩与晋宁期花岗岩的侵入接触关系；i—图片 f 的局部放大，显示中等偏陡倾角含钨石英脉；j—图片 i 的局部放大，显示中等偏陡倾角含钨石英脉；k—剖面北西段的南东部分对应照片，显示产状陡立的含钨石英细脉；l—剖面中段的北西部分对应的照片，显示产状陡立的含钨石英细脉；m—剖面中段的南部局部放大素描，显示多走向的陡立含钨石英脉；n—剖面南段北部局部放大素描，显示不规则树枝状含钨石英细脉；o—素描图 n 对应的照片；p—剖面南段中偏北部分局部放大素描，显示中等偏陡的含钨石英脉；q—剖面南段的南部局部素描，显示中等偏缓倾角的含钨石英脉；r—素描图 q 对应的照片

图 12　大湖塘钨矿含钨石英脉野外照片及素描图（D19 点）

Fig. 12　Sketches and pictures showing the distribution of ore-bearing fractures and W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit of the Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (point D19)

(a)—(c) Sketch of a continuous, 190.8 m long section of the open pit at point D19 (a. northwest section; b. central section; c. southeast section); (d) The photo of the northwestern part of the northwest section in a shows a tungsten-bearing quartz vein with a medium dip angle; (e) Local enlargement of d; (f) Photos of the south-central part of the northwestern section, showing two periods of granites; (g) The partial enlargement of picture f shows a Yanshanian granite; (h) The partial enlargement of picture f shows the intrusive contact between a Yanshanian granite and a Jinningian granite; (i) The local enlargement of picture f shows a tungsten-bearing quartz vein with moderately steep dip angle; (j) The local enlargement of picture i shows a tungsten-bearing quartz vein with moderately steep dip angle; (k) The photograph of the southeastern part of the northwest section shows steep tungsten-bearing quartz veinlets; (l) The photograph of the northwestern part of the central section shows steep tungsten-bearing quartz veinlets; (m) Sketched enlargement of the southern part in the central section, showing multi-directional steep tungsten-bearing quartz veins; (n) Sketched enlargement of the northern part of the southern section, showing irregular dendritic tungsten-bearing quartz veinlets; (o) Photo corresponding to sketch n; (p) Sketched enlargement of the north-central part of the south section, showing a moderately steep tungsten-bearing quartz vein; (q) Sketch of the southern part of the southern section, showing a tungsten-bearing quartz vein with moderate and gentle dip angle; (r) Photo corresponding to sketch q

1—Remnants of metamorphic rocks of the Shuangqiaoshan Group; 2—Jinningian granite; 3—Yanshanian granite; 4—Tungsten-bearing quartz vein; 5—Tungsten-bearing quartz veinlet; 6—Small faults or fractures after mineralization; 7—Orientation



a—北西西向北缓倾与北东向近直立含钨石英脉同期充填结晶，矿区中部，D01点，平面照片；b—东西向与北东向近直立含钨石英脉同期充填结晶，矿区中部，D01点，平面照片；c—北西向和北东向粗大含钨石英脉与东西向和南北向含钨石英细脉同期充填结晶，矿区中部，D01点，平面照片；d—北北东向不同倾角含钨石英脉同期充填结晶，矿区东部，D03点，剖面照片；e—北北西向缓倾与北东东向陡倾含钨石英脉同期充填结晶，矿区北部，D05点，剖面照片；f—北东东向南倾与北倾含钨石英细脉同期充填结晶，矿区北部，D09点，剖面照片；g—北西西向北倾与北西向南倾含钨石英细脉同期充填结晶，矿区东部，D14点，剖面照片；h—北北西向东倾与北东东向北倾含钨石英细脉同期充填结晶，矿区东部，D14点，剖面照片；i—近东西向南倾与北倾含钨石英脉同期充填结晶，矿区中部，D19点，剖面照片；j—北西西向北倾含钨石英脉穿切早期北东东向陡倾无矿石英细脉，D05点，平面照片；k—含钨石英脉（70°/NW48°）切割早期无矿细石英脉（325°°/NE32°），D02点；l—北西西向陡倾含钨石英脉穿切北东东向早期无矿石英细脉，D19点

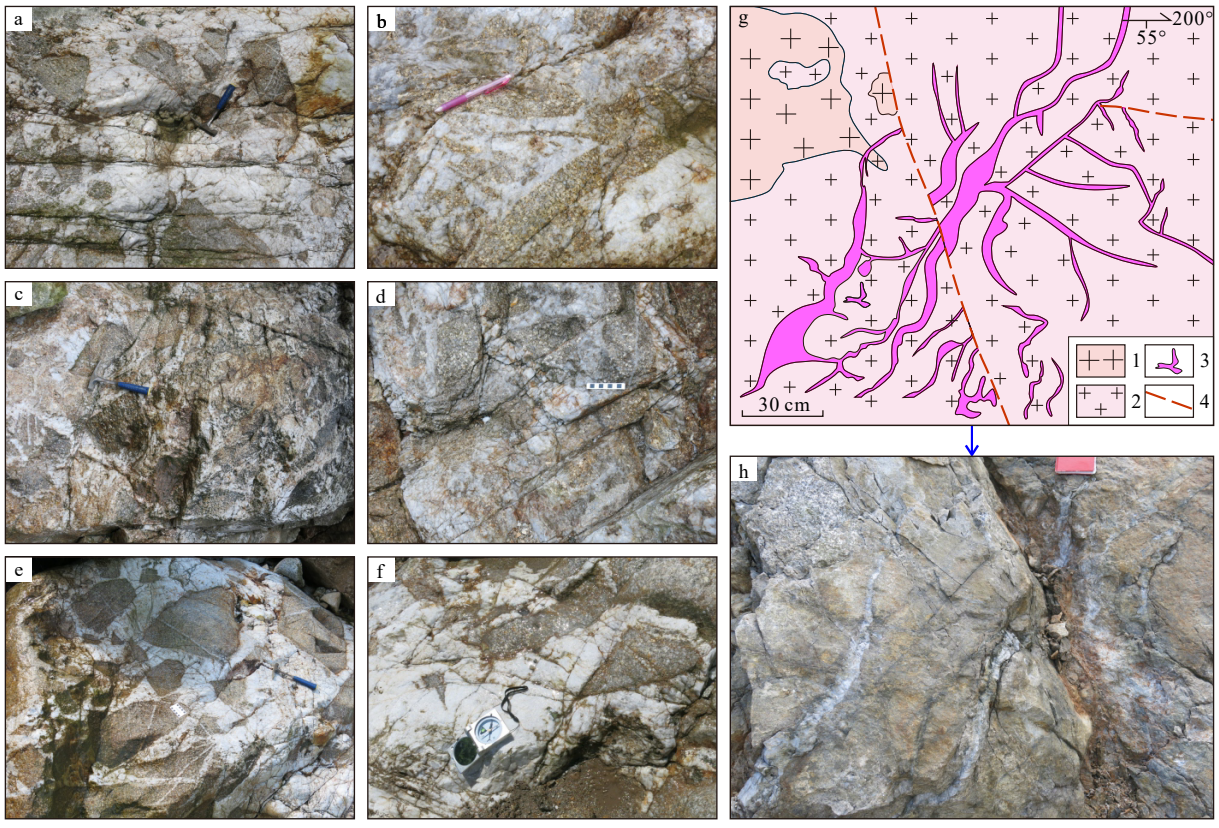
图 13 石门寺钨矿床不同产状含钨石英脉具有同期充填结晶的特点

Fig. 13 Photos showing the intrusion-crystallization characteristics of different occurrences of W-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province

(a) Simultaneous intrusion and crystallization of WNW-trending gently N-dipping and NE-trending nearly vertical tungsten-bearing quartz veins, central part of the mine, point D01, plan photo; (b) EW-trending and NE-trending vertical tungsten-bearing quartz veins intruded and crystallized at the same time in the center of the mining area, point D01, plane photo; (c) NW-trending and NE-trending thick tungsten-bearing quartz veins and EW-trending and SN-trending tungsten-bearing quartz veinlets intruded and crystallized at the same time, center of the mining area, point D01, plane photo; (d) NNE-trending tungsten-bearing quartz veins with different dip angles intruded and crystallized at the same time, eastern part of the mining area, point D03, profile photo; (e) WNW-trending tungsten-bearing quartz veins with low dip angle and ENE-trending vertical tungsten-bearing quartz veins filled and crystallized at the same time, northern part of the mining area, D05 point, profile photo; (f) ENE-trending tungsten-bearing quartz veinlets dipping to south and these dipping to north fill and crystallize at same time in the north of the mining area, point D09, profile photo; (g) WNW-trending, N-dipping tungsten-bearing quartz veinlets and NE-trending, S-dipping tungsten-bearing quartz veinlets intruded and crystallized at the same time in the east of the mining area, point D14, profile photo; (h) NNW-striking, E-inclining and NEE-striking, N-inclining tungsten-bearing quartz veinlets intruded and crystallized at the same time, eastern part of the mining area, point D14, profile photo; (i) Contemporaneous intrusion and crystallization of tungsten-bearing quartz veins with nearly E–W strike and S-dip or N-dip, central mining area, point D19, profile photo; (j) WNW-striking tungsten-bearing quartz veins intersect early NE-striking steeply dipping ore-free quartz veinlets, point D05, plane photo; (k) A tungsten-bearing quartz vein (70°/NW48°) cuts an early ore-free quartz veinlet (325°/NE32°) at point D02; (l) WNW-trending steeply dipping tungsten-bearing quartz vein cuts a ENE-trending early ore-free quartz vein, point D19.

点（图 15b），形成放射状和不规则树枝状裂隙时，具有 $\sigma_1>\sigma_2\approx\sigma_3$ 特点（图 15c 中 σ_2 和 σ_3 均用 σ_3 表示）。

值得指出的是，石门寺矿床 2 类 3 型含矿构造形成的构造应力场是矿田–矿床范围内由于形态不同的岩浆侵入岩、岩浆期后热液活动的局部构造应力场所致，与区域–大地构造环境关系不大。



1—晋宁期花岗岩；2—燕山期花岗岩；3—含钨石英脉；4—晚期小断层

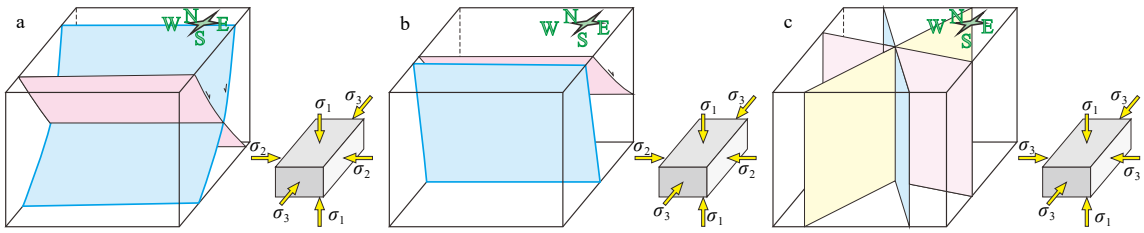
a—热液隐爆角砾岩，角砾为燕山期花岗岩，含钨石英质为胶结物，花岗岩角砾总体呈棱角状，但尖角被熔蚀、具有近似可拼合特点，矿区中部，D01 点，近水平面照片；b—含钨石英脉呈多方向、不规则状发育，倾角较陡，脉间花岗岩块体具有棱角状、近似可拼合特点，矿区中部，D01 点，近水平面照片；c—含钨石英胶结物较多、不规则状发育，花岗岩角砾熔蚀较强，棱角不太明显，矿区中部，D01 点，近水平面照片；d—含钨石英质呈多方向、不规则状发育，脉间花岗岩块体棱角被熔蚀，矿区中部，D01 点，近水平面照片；e—热液隐爆角砾岩，角砾为燕山期花岗岩，含钨石英质为胶结物，花岗岩角砾总体呈棱角状，但尖角被熔蚀、具有近似可拼合特点，矿区中部，D01 点，近水平面照片；f—热液隐爆角砾岩，角砾为燕山期花岗岩，含钨石英质为胶结物，花岗岩角砾总体呈棱角状，但尖角被熔蚀、具有近似可拼合特点，矿区中部，D01 点，近水平面照片；g—素描图，示含钨石英脉呈蟹腿状或菊花状形态，矿区中部，D19-4 点；h—素描图 g 对应的照片

图 14　大湖塘钨矿田石门寺钨矿床含钨石英脉的隐爆特征（D01 点和 D19-4 点）

Fig. 14　Sketch and pictures showing the crypto-explosion characteristics of tungsten-bearing quartz veins in the Shimensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, Jiangxi Province (points D01 and D19-4)

(a) Hydrothermal crypto-explosion breccia, the breccia is Yanshanian granite which is cemented by tungsten-bearing quartz; the granite fragments are generally angular, but the sharp corners have been and corroded, which has characteristics of approximate splicing, photo of a nearly horizontal plane taken at point D01 of the central part of the mining area; (b) Tungsten-bearing quartz veins developed in multiple directions and irregularly, with a steep dip angle, and the granite blocks between veins are angular and approximately splitable, photo of a nearly horizontal plane taken at point D01 of the central mining area; (c) There are many tungsten-bearing quartz cements with irregular development, granite breccia is eroded strongly, and the edges and corners are not obvious, photo of a nearly horizontal plane taken at point D01 of the central part of the mining area. (d) Tungsten-bearing quartz develops in multi-directional and irregularly, and the edges and corners of the granite blocks between the veins were corroded, photo of a nearly horizontal plane taken at point D01 of the central part of the mining area. (e)—(f) Hydrothermal crypto-explosive breccia, the breccia is Yanshanian granite cemented by tungsten-bearing quartz, and the granite breccia is generally angular, but its sharp corners were corroded, similar to splicing characteristics; central part of the mining area, point D01, near-horizontal photos; (g) Sketch showing that the tungsten-bearing quartz vein is crab-leg-like or chrysanthemum-shaped, taken at D19-4 in the center of the mining area; (h) Photo corresponding to sketch g

1—Jinningian granite; 2—Yanshanian granite; 3—Tungsten-bearing quartz vein; 4—Late small fault



σ_1—最大主应力；σ_2—中间主应力；σ_3—最小主应力

a—第 I 类含矿裂隙形成的应力场条件；b—第 II-1 型含矿裂隙形成的应力场条件；c—II-2 型含矿裂隙形成的应力场条件

图 15 石门寺钨矿床 2 类 3 型含钨裂隙形成应力场条件

Fig. 15 Stress field of two types (three kinds) of tungsten-bearing fractures in the Shimensi tungsten deposit

(a) Stress field for the formation of kind I ore-bearing fractures; (b) Stress field for the formation of type II-1 ore-bearing fractures; (c) Stress field for the formation of type II-2 ore-bearing fractures

σ_1—the maximum principal stress; σ_2—the intermediate principal stress; σ_3—the minimum principal stress

3.4 岩体侵位、含矿流体活动与含矿构造形成

第 1 类含矿裂隙的形成受控于伸展构造环境，很可能是成矿期岩浆活动（成矿母岩）侵位的结果，岩体侵位具有顶托作用，使上覆岩石受到垂向主应力作用。近东西走向为主的含矿裂隙很可能代表了成矿岩体的长轴方向为东西向，即岩脊呈近东西向延伸。

第 2 类含矿裂隙的形成与成矿作用同时发生，是成矿岩体演化的后期形成的含矿流体具有高的内压力，在半固结或者弱固结的岩体内或者内外接触带附近以高压力隐爆，形成似放射状多走向的陡倾裂隙，成矿流体迅速充填，同时向成矿岩体接触带以外稍早形成的第一类裂隙中充填成矿。

4 控矿构造及其形成演化

控矿构造是指控制矿体、矿化带、矿床及成矿带形成与分布的构造及构造活动过程。在石门寺钨矿床范围内，控矿构造就是控制矿床内的矿化带、矿体（含钨石英大脉、含钨石英细脉带）形成与分布的构造及构造活动过程。按照翟裕生和林新多（1993）、翟裕生和王建平（2011）对矿田构造的划分，控矿构造分为导矿构造、运矿（配矿）构造和储矿构造 3 部分，其中储矿构造也就是含矿构造，是指矿体就位的空间，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成分，是引发成矿作用发生，控制成矿流体运移的构造。在 1 个矿田或矿床范围内，导矿构造和运矿（配矿）构造是高级别的主干构造或二级构造，而含矿构造是低级别的次级构造。

由于钨矿属于高温热液矿床类型，成矿作用与一定的花岗质侵入岩关系密切。对于石门寺钨矿床的控矿构造也已开展了一些研究。此次研究在对石门寺钨矿床含矿构造精细调查的基础上，运用构造相关性、连续性、变化性、时间性、矿化性等特征分析，认为石门寺钨矿床控矿构造主要是岩体侵位构造系统和岩浆期后成矿流体液压致裂构造系统，成矿前的区域性构造影响有限，成矿后构造明显，以隆升剥露为主。

4.1 石门寺钨矿床控矿构造厘定

4.1.1 矿化类型的规律性变化

从图 2 和图 3 可以看出，矿区中心以隐爆角砾岩型为主（图 13c，图 14a—14f）；其周边是细脉浸染型，其中南侧发育较宽（图 3 左侧），北侧发育较窄，且以密集细脉型为特征，最典型的是露天采场的 1470 平台中南段（图 12）；往外是石英大脉型（图 5a—5f，图 6，图 9d—9e，图 10，图 11c—11j），再外侧是稀疏石英细脉型（图 5a—5f，图 8，图 9a—9c，图 11a—11b）。

4.1.2 钨矿脉走向变化规律

首先是钨矿脉走向的变化，矿区平面图及矿区内各地质观测点含矿裂隙投影显示（图 2），钨矿脉总体以近东西向为主，这也是认为北西向构造派生的次级东西向构造控矿的主要依据之一，但是在石门寺矿床范围内不同矿段是存在明显差异的，项新葵等（2012a，2012b，2013a）划分了 5 组，即 65°/NW60°、85°/NW60°、285°/NE55°、285°/SW60°、65°/SE60°。其中位于矿区西北部的竹窝里矿段为 85°/NW60°，位于矿区东北部的师形矿段为 285°/NE55°，位于矿区南部的高岭矿段有 3 组，为 65°/NW60°、285°/SW60°、65°/SE60°。这样的分组是统计性的，事实上，在西

部矿段还发育少量北北东走向和北北西走向的钨矿脉(如图 2 左侧中岭附近及其西侧一带)，而野外调查结果与上述总体上是相似的(西北部的 D9 点、D20 点为北东东和北东走向少量北北东走向，中北部的 D2 点、D5 点、D6 点、D18 点以近东西向和北西西向为主)外，但是在矿区东部(D16 点)发现发育了北北西走向钨矿脉，局部近南北向钨矿脉(图 2 右侧)。所以从矿区西部到北部、东北部，再到东部，钨矿脉走向变化规律非常明显，即北北东→北东东→近东西→北西西→北西 →北北西→近南北向，构成一个非常完整的半圆环形态。至于南部钨矿脉走向比较复杂多变，由于植被覆盖，此次研究未能够开展调查。依据项新葵等(2017)的资料，矿区南部总体是近东西向和北西西向及北东东向，除了矿区西南角北西向钨矿脉发育较少外，钨矿脉走向上构成了近于封闭的、长轴近东西(北西西)向椭圆形的环(图 2)。文中统计的钨矿脉走向具有全方位都存在的特点，但最主要是近东西向和北西西向，在 369 次投影中，80°～100°为 59 次，280°～300°为 55 次；其次是北东东向和北西向，60°～80°为 43 次，300°～330°为 47 次；再次是北东向和北北西向，30°～60°为 44 次，330°～360°为 31 次；最少的是北北东向，0°～30°为 12 次(图 7a)。这一分布也与成矿岩体的出露形态、矿区钨矿脉出露区的轮廓线形态均呈长轴为近东西(北西西)向的不规则椭圆形态(图 2)具有很好的吻合性。

而燕山期成矿岩体长轴呈近东西向可能受到前期东西向隐伏构造(基底构造)的影响和制约。

4.1.3　钨矿脉倾向与倾角变化规律

项新葵等(2012a, 2012b, 2013a)统计的钨矿脉产状显示矿区南部的高岭矿段矿脉倾向分别倾向南和倾向北，倾角为中等略偏陡为主，矿区西北部的竹窝里矿段和东北部的师形矿段虽然以倾向北为主，但是仍然存在较多倾向南的钨矿脉，倾角同样以中等偏陡为特征。测量结果显示有很大部分的钨矿脉为中等略偏陡的倾角分别倾向南或倾向北，倾向北多于倾向南；同时存在一部分北倾的陡倾角钨矿脉(图 7b)。

钨矿脉的这种产状(特别是倾向和倾角)变化在矿区近中心部位的采场剖面(图 12)反映的非常明显。该剖面全长 190.8 m，总体自北西向南东，其中北段为向南东东和南东，南段为向南南东和南。剖面北段钨矿脉以中等倾角倾向北为主，也有中等倾角倾向南的(图 12a 左侧部分、图 12d—12j)；剖面中段以陡立倾角的钨矿脉为主，矿脉密都大，脉幅以细和中偏细为主(图 12a 右侧部分、12b、12k—12m)；在剖面中段偏南位置发育具有液压致裂(隐爆特征)的钨矿脉(图 12c 左侧部分、12n～12o)；在剖面南段钨矿脉以密集陡倾角细矿脉为主，逐渐出现中等倾角的钨矿脉(图 12c 中部和右侧部分、12p—12r)。

4.1.4　钨矿脉(含矿裂隙)的组合关系

含矿裂隙控制矿脉的展布与产出，矿脉的组合关系代表了含矿构造的组合关系。根据矿脉的产状特征，结合矿脉(矿化类型)的分布特征，石门寺钨矿区含矿裂隙可以分为 3 种组合类型。

第 1 组是走向相近或走向差异不大、中等倾角双倾向含矿裂隙组合，这类含矿裂隙主要分布于矿区北部，走向以近东西向、北东东向和北西西向为主，分别倾向南或倾向北，倾向北稍多于倾向南，交线近于水平。在其东端出现南倾的北东东走向、北倾的北西向走向、交线东倾的组合；西端则是南倾的北西西走向、北倾的北东东走向、交线西倾的组合。该类型裂隙系统形成于最大主应力(σ_1)近直立，最小主应力(σ_3)近水平南北(北北东)向，中间主应力(σ_2)近水平东西(北西西)向的对称性构造应力作用环境，为剖面 X-型(对称型)共轭剪裂隙。该裂隙系统控制矿区外围(北部)的稀疏石英细脉型钨矿体。在矿区南部高岭矿段则以向南倾多于向北倾(项新葵等, 2012a, 2012b, 2013a)为特点。

第 2 组是走向以近东西(北西西)向为主，中等倾角单倾向(矿区北部倾向北)，这类含矿裂隙主要分布于矿区中北部，该类型裂隙系统形成于最大主应力(σ_1)近直立，最小主应力(σ_3)近水平南北(北北东)向，中间主应力(σ_2)近水平东西(北西西)向的非对称性构造应力场环境，为不对称单向剪裂隙。该裂隙系统控制矿区中北部的石英大脉型钨矿体。

第 3 组是走向以近东西向为主，陡立(矿区中心偏北为高角度倾向北)，并伴有不规则裂隙，这类含矿裂隙主要分布于矿区中心稍偏北部，形成于最大主应力(σ_1)近直立，最小主应力(σ_3)近水平南北向，中间主应力(σ_2)近水平东西向的非对称性构造应力场环境，为不对称单向张–张剪性裂隙。该裂隙系统控制矿区中心稍偏北部的密集含钨石英细脉群。

此外，在矿区中心的热液角砾岩型钨矿体部位

发育的是不规则放射状裂隙、蟹腿状等裂隙。

4.1.5 控矿构造厘定

根据上述含矿裂隙系统的特点和钨矿体的产出特征，可以确定，石门寺钨矿床的控矿构造是成矿岩体侵位构造系统和岩浆期后成矿流体液压致裂构造系统。

4.2 石门寺钨矿床控矿构造形成演化

前节确定了石门寺钨矿床的控矿构造是岩浆侵入–岩浆期后热液构造系统。所以对石门寺钨矿床控矿构造的形成演化从与该矿床成矿作用密切相关的燕山期中酸性侵入岩的侵位开始，其主要经历成矿前期、成矿期、成矿后早期、成矿后晚期4个演化阶段。其中成矿后构造主要以北北东向陡立断层的左行断错、北西西向（以F_{20}为代表）陡倾角断裂的右行活动、北东东向南倾低角度断层的逆冲推覆和区域整体隆升剥露为特征，将另文讨论。

4.2.1 成矿前（岩体侵位期）剖面X-型共轭含矿裂隙形成阶段

矿区在晋宁期花岗岩岩块中发育了近东西向基底构造（隐伏构造）基础上，晚侏罗世纪晚期（约150 Ma），区域上中酸性岩浆沿北北东向构造带侵位，在北北东向构造带与近东西向构造交汇部位，岩浆受近东西向构造制约，形成区域上北北东成带、东西（北西西）向成行的岩浆岩分布特点，单个岩体呈长轴近东西向的椭圆形态。由于岩浆岩顶面总体相对较平缓、弧度较小，岩浆侵位顶托作用改变了局部构造应力场，形成最大主应力为近直立、最小主应力为近水平南北向、中间主应力为近水平东西向的应力作用方式，晚侏罗世岩浆岩顶面之上的晋宁期岩体中形成了走向相近、倾角中等、倾向相反的剖面X-型共轭剪裂隙系统（图16a）。由于受椭圆形岩体形态的影响，在长椭圆状岩体的两端（东端和西端），中间主应力方向有所变化，即东端倾向东、西端倾向西，导致共轭剪裂隙产状局部有所变化，即共轭剪裂隙交线东端东倾，西端西倾。

4.2.2 同成矿单倾向剪裂隙和张剪裂隙形成阶段

在花岗岩侵位后不久，随着主要矿物结晶析出和顶部岩体的冷却固结，残余岩浆中流体含量越来越多，形成岩浆期后成矿热液系统；由于热液系统与深部岩浆系统贯通或相连，具有很大的内压力；当超过上覆基本固结的顶部岩体的抗破裂强度时，发生隐爆作用，形成热液隐爆角砾岩。因为岩浆期后热液系统规模较岩浆侵位范围要小的多，局部热液爆破向上的应力作用只对隐爆部位较近外侧的先期结晶的岩体或者更老的岩体产生影响，有限范围向上的局部最大主应力作用使得隐爆部位上方外侧形成中等倾角外倾的单向正断层，而正对爆破部位上方或者稍近部位则形成陡立的张性–张剪性裂隙（图16b）。同时岩浆期后热液本身是含矿热液，在隐爆并向上流动过程中，在隐爆形成的角砾间、陡立张–张剪性裂隙、中倾角单向外倾剪裂隙、以及稍早形成的剖面共轭剪裂隙中几乎同时结晶形成钨矿脉，成矿年龄149 Ma（图16b）。

成矿后早期矿区内形成北东向断裂右行平移（如F_{15}），北西向（近东西向）左行扭性断裂（如F_{20}等），成矿后晚期北东/北北东向断裂左行逆冲，近东西向/北西西向断裂右行正断；并且发生区域性隆升剥露，使处于地壳深处2.5～4 km的钨矿体抬升至近地表，最终形成目前的状态。

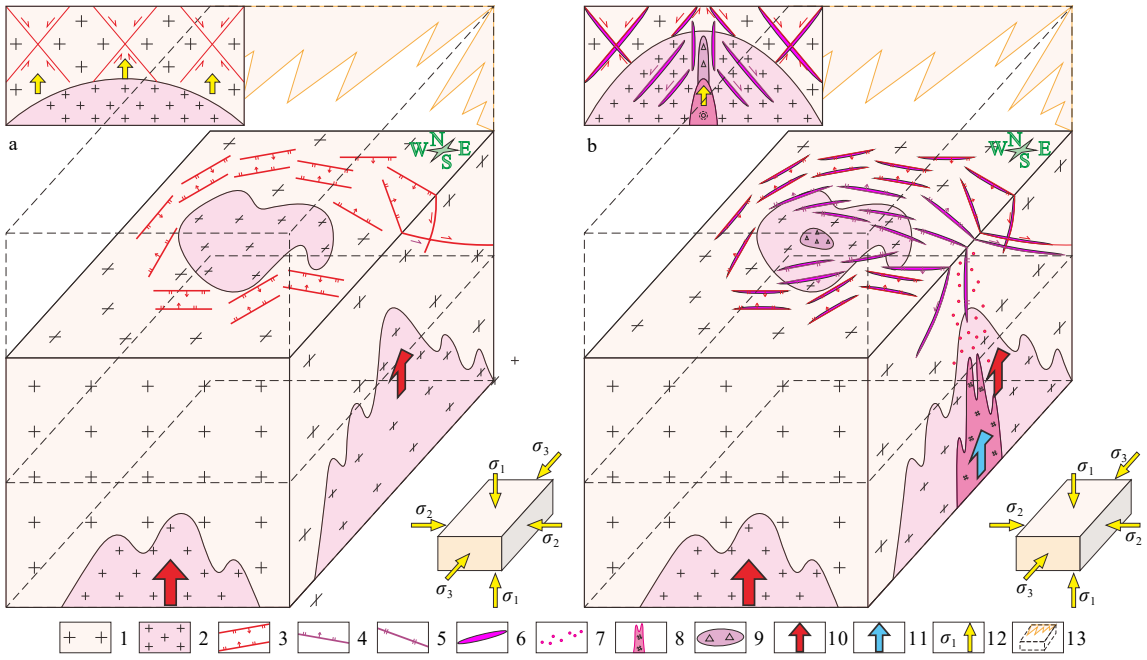
5 讨论

5.1 不同级序构造的控岩作用

矿区构造无疑是区域构造的一个局部的具体表现，矿区构造受区域构造的影响和控制。

矿田及其外围范围内断裂构造主要有北东东向、北东向、北西向和北北东向断裂，在构造复合部位控制同期岩浆岩的分布（刘南庆等，2016）。北东东向的修水–武宁、慈化–宜丰断裂带，规模大、切割深，作为北、南边界断裂，控制了九岭（大湖塘）隆起带的演化。而北东—北北东向的靖安–村前、大湖塘–宜丰、铜鼓–余家坪、湘赣边界4条走滑冲断裂带相互平行、大致呈35～40 km等间距展布，在时间上先后相继、分阶段演化，空间上相互交织、叠加复合，并伴有燕山期S型花岗岩体底辟侵位，构成该区特殊的构造–岩浆复合系统。矿田内主要是北北东向构造与近东西向构造控制成矿岩浆岩的分布，形成北北东成带、东西向成行的分布特点（图1b）。

在矿区尺度，控制成矿岩体的构造是近东西向的隐伏构造（或基底构造），含矿构造主要是成矿岩体侵位构造和岩浆期后成矿流体的液压致裂构造，以F_{20}为代表的北西—北西西向断裂构造主要是成矿后构造，与含矿构造没有成因联系。项新葵等（2013a）曾认为热液隐爆角砾岩受F_{20}断裂构造控制，但是缺少必要的依据。①成矿岩体的展布方向



1—晋宁期花岗闪长岩；2—燕山期成矿花岗岩；3—成矿期剖面共轭断裂；4—成矿期单倾向断裂；5—成矿期陡倾角张扭性断裂；6—石英大脉型钨矿体；7—细脉浸染型钨矿体；8—岩浆期后成矿流体；9—热液隐爆角砾岩；10—岩浆侵位方向；11—成矿流体运移方向；12—主应力及方向；13—浅部块体；σ_1—最大主应力；σ_2—中间主应力；σ_3—最小主应力

a—岩体侵位早期含矿构造形成期；b—晚期含矿构造形成与成矿期

图 16　赣西北大湖塘矿田石门寺钨矿床控矿构造形成演化模式

Fig. 16　Evolution model of the ore-controlling structures of the Simensi tungsten deposit, Dahutang tungsten ore field, northwestern Jiangxi Province

(a) Formation period of the early ore-bearing structures with emplacement of the rock mass; (b) Formation of the late ore-bearing structures and metallogenic period

1—Jinningian granodiorite; 2—Yanshanian metallogenic granite; 3—Conjugate faults in the profile of the metallogenic period; 4—Single-dip fault of the metallogenic period; 5—Tension-torsion fault with steep dip angle of the metallogenic period; 6—Quartz vein type tungsten ore body; 7—Disseminated vein tungsten ore body; 8—Post-magmatic ore-forming fluid; 9—Hydrothermal blasting breccia; 10—Magma emplacement direction; 11—Migration direction of ore-forming fluid; 12—Principal stress with direction; 13—Shallow block; σ_1—the maximum principal stress; σ_2—the intermediate principal stress; σ_3—the minimum principal stress

是近东西向，受近东西向（北东东向）隐伏构造（基底构造）控制，而不是受 F_{20} 断裂控制；②从含矿构造的展布来看，呈长轴近东西向的椭圆状环形，与 F_{20} 为代表的北西向断裂存在非常明显的交角，而且其左行走滑活动也不可能派生矿区内产状各异的 3 种类型含矿构造；③从图 2 中热液隐爆角砾岩的分布看，与三连点形式的张裂更吻合，从中心 1 支向北，1 支向西，第 3 支向南东，显然受北西西向断裂的影响有限，而且是中心一点式高压力隐爆的张裂隙形式。更何况，热液隐爆晚于成矿岩体的侵位，是岩体顶部已经部分冷却结晶的情况之下，隐爆的角砾基本上都是晚侏罗世的成矿岩体，退一步说，即使 F_{20} 断裂形成较早，也已经被岩体充填结晶所焊接了。目前在成矿期岩体中见到的 F_{20} 断裂显然是成矿后的活动形迹，甚至是局部沿已经形成的热液隐爆角砾岩（东南支）的边部发育所致。

所以，对于像石门寺钨矿床这种赋存在岩体中高温热液矿床类型，不同级序（尤其是高级序）的成矿前构造只起到控岩作用，对矿体展布仅仅是起间接控制作用，直接的控矿构造主要为岩体侵位构造和高温高压成矿流体的液压致裂构造。F_{20} 为代表的北西西向断裂既不是控岩构造，也不是控矿构造，更不是导矿构造，仅仅是成矿后的破矿构造的一部分。

5.2　控矿构造“导–运–储–变–保”作用

5.2.1　导矿构造

无论石门寺矿床还是大湖塘钨矿田、九瑞多金属矿集区，乃至整个扬子板块东南缘和长江中下游

成矿带，成矿的大地构造背景是经历160～150 Ma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，并在九瑞及整个中国东部地区形成大面积重熔型花岗岩类，并导致中国东部成矿大爆发。该区在前侏罗纪构造演化基础上，晚侏罗世末期（约150 Ma）的岩浆活动及其相关的成矿作用就是其具体表现，也是挤压构造背景向伸展构造背景的转换时期。

导矿构造或运矿构造是指含矿流体运移的通道，其中的“导”早期被定义为“导流”，与成矿流体运移的“运”模糊不清（翟裕生和林新多，1993）。翟裕生（2002）、翟裕生和王建平（2011）总结成矿构造系统形成与演化，提出“导–运–储–变–保”，并进一步定义导矿构造是导致成矿作用发生的构造及构造作用过程，而将“含矿流体运移的通道”定义为“运矿构造”。注意“构造”和“构造作用过程”的表述。所以将导矿构造简单理解为1条断裂，是明显曲解了导矿构造的概念和含义。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1个表现形式。所以，石门寺钨矿床的导矿构造是“晚侏罗世末期区域由挤压构造环境向伸展构造环境转换及其相关的岩浆活动”。具体的说控制大湖塘矿田的成矿岩浆岩带的是北北东向构造，控制石门寺矿床的成矿岩体的是近东西向构造。

5.2.2 配（运）矿构造

石门寺钨矿床属于高温岩浆热液矿床，成矿流体为岩浆期后热液，矿体赋存于成矿岩体上部内外接触带及其附近，没有经过较长距离的运移。区内由于成矿流体内压大，发生热液隐爆，形成热液隐爆角砾岩，在热液隐爆角砾岩上部附近形成液压致裂断裂，并在这些液压致裂断裂以及偏上部、外围的早期共轭断裂中结晶成矿，所以对区内石英大脉型钨矿来讲，液压致裂断裂下半部分是石英脉钨矿床的运矿构造（图16b）。

5.2.3 储（容）构造

储（容）构造，也称为含矿构造。矿区含矿构造分2部分，①是发育在晋宁期花岗闪长岩中的、由于成矿期岩浆岩侵位的顶托作用形成的、近东西走向为主、以中等倾角分别倾向南北的剖面X-型共轭剪裂隙；②是成矿流体（岩浆期后热液）的高压力引起液压致裂断裂（图4—图6，图8—图14，图16b）。

5.2.4 破（改）矿构造

成矿后至晚白垩世早期的成矿后早期，成矿后构造对已形成的钨矿床起破坏与改造作用。矿区发育1组明显的北东走向、陡倾角的脆性断裂（以F_{04}和F_{15}为代表），其力学性质为扭性，运动方式为右行平移为主，其中F_{04}和F_{15}规模较大，明显断错已经形成的钨矿体（图2）。同时伴有北西（包括北西西）向左行正断活动的断裂构造。从图2来看，以F_{20}为代表的北西（包括北西西）向脆性断裂也是成矿后断裂，两者构成平面上共轭关系。显然，这是近东西向（北东东向）挤压应力作用的结果。

对于这期区域构造应力场的时代，需要从大地构造背景上进行分析。Li et al.（2014）认为中国东部145～137 Ma期间为北西—南东向的挤压造山，136～86 Ma期间为造山后伸展，但后者可进一步分为3个阶段，其中第2阶段117～108 Ma期间，东亚与西菲律宾板块的碰撞作用影响，发生北西西—南东东向的构造挤压作用；而李三忠等（2019）研究认为110 Ma左右，古太平洋板块的运动方向是向正西的。所以矿区成矿后近东西向挤压作用的时代很可能是110 Ma左右的早白垩世晚期。

5.2.5 保矿构造

晚白垩世末期至新生代早期（成矿后晚期），在70～40 Ma包括大湖塘钨矿田在内的九岭地区发生快速隆升，并遭受剥露，浅部浅变质岩（双桥山群）（晋宁期中酸性侵入岩顶部围岩）和晚侏罗世晚期以前的中酸性侵入岩被侵蚀剥露，其中晋宁期花岗闪长岩整体变形不明显，断裂构造不发育。晚侏罗世晚期的中酸性侵入岩及形成的钨矿床被抬升至近地表浅部，但是幅度合适，使原来形成于约2.5～4.0 km深处的钨矿床抬升暴露于近地表或浅部，按张勇等（2018）成矿流体压力推算，如果考虑成矿流体超压，实际成矿深度要稍浅一些。同时受太平洋板块持续俯冲作用，区内最大主应力为北西—南东向，导致沿北东东走向、低角度倾向南东的石门寺断裂发生逆冲以及陡倾角北东（北北东）向断裂左行、北西西（近东西）向断裂右行正断的晚期活动，小位移断错钨矿体。新生代中晚期以来区内没有发生大规模的隆升剥露，使已经在近地表和浅部的钨矿床绝大部分得以保存。所以保矿构造是幅度合适的隆升剥露。

5.3 其他控矿因素问题

晚侏罗世晚期似斑状黑云母花岗岩是钨矿床

的成矿岩体。

晋宁期黑云母花岗闪长岩形成之后至燕山期之前变形很弱，断裂构造不发育，项新葵等（2013a）认为具有屏蔽作用；张勇等（2018）认为燕山期岩体接触带具有重要的控矿作用，对于蚀变岩型钨矿可能比较重要，对于细脉带型重要性明显降低，而对于石英大脉型而言，关系不大甚至没有关系。所以晋宁期岩体是作为含矿裂隙的载体出现，对钨矿床的形成不起控矿作用；同样，双桥山群变质岩也仅是作为含矿裂隙发育的载体，对控矿没有太直接的关系。

在矿田中部的大湖塘钨矿床，含钨石英脉也是近东西向为主，具有中等倾角南倾或北倾的，其中北西西走向的还发育 1 组向南陡倾的，此外也发育少量其他走向的含钨石英脉，并且同样发育北北东（近南北）向成矿后断裂（张勇等，2017）。与石门寺矿床的含矿构造极为相似。在矿田西南部的昆山钨铜钼矿床，含矿石英脉以北东东（近东西）向为主，少量为北东向和北西西 向，但其具普遍偏陡南倾，缓倾角含矿石英脉比例相对较少（张明玉等，2018）。矿田中南部的狮尾洞钨矿床矿体产状主要走向呈北东东向，倾向北北西，倾角中等，45°～55°（但小华等，2019）。反映出大湖塘矿田各个矿床含矿构造具有总体相似性，又有局部性特点。

5.4　找矿预测意义

按照岩体构造和成矿流体液压致裂构造控矿的认识，在矿田或更大的地区范围内找矿的最重要方法是寻找同类隐伏成矿岩体。在石门寺矿区范围内，根据成矿岩体呈长轴为近东西向椭圆状的形态特点，在矿区东部石英大脉型矿体的东侧深处和西部石英大脉型矿体的西侧深处（即岩脊的倾伏方向不太远的位置）可能存在隐伏矿体。最近在石门寺矿区西部的青岭地区深部已有矿化显示（杨治等，2022）。

据杨治等（2022）报道，青岭地区位于石门寺矿床的北西西侧 1.5 km，地表出露几乎全部是晋宁期花岗岩，仅局部有燕山早期花岗岩呈非常小的岩枝（直径<100 m）出露，钻孔探矿工程揭露的燕山早期花岗岩体顶界（燕山早期花岗岩与晋宁期花岗岩的接触带）由石门寺矿床平均海拔 885 m 向北西西方向逐渐降低至青岭矿区平均 230 m，且已经有较好的钨矿化（铜钼矿化较弱）。 这说明文中建立的构造控矿模型是经得起验证的，据此提出的找矿预测方向是有实效的。

6　结论

（1）大湖塘矿田石门寺钨矿床的含矿构造是呈近东西向为主、北东东向和北西西向次之、多方向的小型断裂构造，整体呈现长轴为东西向的近椭圆状展布特征；从矿区外侧向中心含矿构造具有中等倾角双倾向裂隙→中等倾角单倾向外倾裂隙→陡倾角裂隙的变化趋势，最中心为热液隐爆角砾岩；其中中等倾角双倾向含矿构造形成于成矿前的岩体侵位期，最大主应力近直立，中间主应力近水平，为剖面 X-型共轭剪裂隙；中等倾角单倾向外倾含矿构造和陡倾角含矿构造带形成于热液隐爆的同成矿期，最大主应力近直立，中间主应力近水平，为剖面上的单向剪裂隙和张扭性裂隙；热液隐爆中心为最大主应力近直立，中间和最小主应力均近水平且大小相近。

（2）石门寺钨矿床的控矿构造是长轴呈近东西向展布的成矿岩浆岩的岩体侵位构造和岩浆期后成矿流体的液压致裂构造。岩体侵位构造形成稍早，主要发育于成矿岩体顶部的上覆围岩（晋宁期花岗闪长岩）中，分布范围较大；岩浆期后成矿流体的液压致裂构造形成于成矿期，发育于成矿岩体上部和上覆围岩中，分布范围较窄。成矿流体的隐爆和液压致裂瞬间降低了成矿流体的压力，导致成矿物质的大量析出和有用矿物的结晶，形成钨矿床。岩体侵位构造和成矿流体液压致裂构造是钨矿体的赋存空间，控制了钨矿体产出。

（3）矿区近东西向构造属于隐伏构造（基底构造），为控岩构造，控制成矿岩体长轴呈近东西向延伸，起到间接控矿作用。北西西向 F_{20} 断裂不是导矿构造，是破矿构造。矿田尺度的北北东向隐伏构造控制成矿岩浆岩带的展布，是高级别的控岩构造。

（4）下一步的找矿方向：①在矿区范围是近东西向成矿岩体东、西两端岩体倾伏部位的深部寻找隐伏矿体；②在矿田范围是有隐伏成矿岩体发育的部位寻找另一个岩体–流体成矿系统。

References

CHEN B L, GAO Y, SHEN J H, et al., 2021. Study on the ore-bearing fracture system of the Zoujiashan uranium deposit, Jiangxi, SE China[J]. Acta Geologica Sinica, 95(5): 1523-1544. (in Chinese with English ab-

stract)

CHEN B L, 2024. Characteristics of hydraulic ore-bearing structure: A case study of hydrothermal tungsten and uranium deposits in South China[J]. Journal of Geomechanics, 30(1): 15-37. (in Chinese with English abstract)

CHEN C F, GAO J F, ZHANG Q Q, et al., 2021. Evolution of ore-forming fluids in Shimensi tungsten polymetallic deposit of northern Jiangxi: constraints from in situ trace element analysis of scheelite[J]. Mineral Deposits, 40(2): 293-310. (in Chinese with English abstract)

CHEN M S, XIANG X K, ZHAN G L, et al., 2020. Geochronology, geochemical characteristics of the post-mineralization late Yanshanian granite porphyry and its constraints for the terminal of the metallogeny in the No. 1 Ore Beltt of the Dahutang district of the Dahutang district[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 43(5): 401-416. (in Chinese with English abstract)

CHU P L, DUAN Z, LIAO S B, et al., 2019. Petrogenesis and tectonic significances of late Mesozoic granitoids in the Dahutang area, Jiangxi province: constraints from zircon U-Pb Dating, mineral-chemistry, geochemistry and Hf isotope[J]. Acta Geologica Sinica, 93(7): 1687-1707. (in Chinese with English abstract)

DAN X H, JIANG S Y, ZHAN G L, et al. , 2019. Geological characteristics and ore controlling factors of Shiweidong and its peripheral tungsten deposit in Wuning County, Jiangxi Province[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 42(4): 342-350, 391. (in Chinese with English abstract)

FAN X K, ZHANG Z Y, HOU Z Q, et al., 2021a. Magmatic processes recorded in plagioclase and the geodynamic implications in the giant Shimensi W-Cu-Mo deposit, Dahutang ore field, South China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 212: 104734,

FAN X K, HOU Z Q, ZHANG Z Y, et al., 2021b. Metallogenic ages and sulfur sources of the giant Dahutang W-Cu-Mo ore field, South China: constraints from muscovite $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating and in situ sulfur isotope analyses[J]. Ore Geology Reviews, 134: 104141,

FENG C Y, ZHANG D Q, XIANG X K, et al., 2012. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Dahutang tungsten deposit in northwestern Jiangxi Province and its geological implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 3858-3868. (in Chinese with English abstract)

HAN L, HUANG X L, LI J, et al., 2016. Oxygen fugacity variation recorded in apatite of the granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province, South China[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(3): 746-758. (in Chinese with English abstract)

HUANG L C, JIANG S Y, 2012. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and petrogenesis of the porphyric-like muscovite granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 3887-3900. (in Chinese with English abstract)

HUANG L C, JIANG S Y, 2014. Highly fractionated S-type granites from the giant Dahutang tungsten deposit in Jiangnan Orogen, Southeast China: geochronology, petrogenesis and their relationship with W-mineralization[J]. Lithos, 202-203: 207-226.

JIANG S Y, PENG N J, HUANG L C, et al., 2015. Geological characteristic and ore genesis of the giant tungsten deposits from the Dahutang ore-concentrated district in northern Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(3): 639-655. (in Chinese with English abstract)

LI H W, ZHAO Z, CHEN Z Y, et al., 2021. Genetic relationship between the two-period magmatism and W mineralization in the Dahutang ore-field, Jiangxi Province: evidence from zircon geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 37(5): 1508-1530. (in Chinese with English abstract)

LI J H, ZHANG Y Q, DONG S W, et al., 2014. Cretaceous tectonic evolution of south China: a preliminary synthesis[J]. Earth-Science Reviews, 134: 98-136.

LI S Z, CAO X Z, WANG G Z, et al., 2019. Meso-Cenozoic tectonic evolution and plate reconstruction of the Pacific plate[J]. Journal of Geomechanics, 25(5): 642-677. (in Chinese with English abstract)

LIU L, YAN B, WEI W F, et al., 2016. Characteristics and significance of the fluid inclusions in quartz veins type ore bodies from Shimensi tungsten deposit, northern Jiangxi[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 36(3): 44-52. (in Chinese with English abstract)

LIU N Q, YIN Z, SHI Q, et al., 2011. Analysis on the mechanism of tectonic movement and its ore-controlling effect in the Pengshan and Jiujiang-Ruichang areas, northern Jiangxi province[J]. Geology and Exploration, 47(3): 333-343. (in Chinese with English abstract)

LIU N Q, QIN R J, YIN Q Q, et al., 2016. Characteristics and mineralization model of the Dahutang tungsten—copper—polymetallic ore concentration area in northern Jiangxi province[J]. Geological Review, 62(5): 1225-1240. (in Chinese with English abstract)

LIU N Q, QIN R J, SUN T J, et al., 2018. Formation age and origin of reticulate layers in southern Anhui Province[J]. East China Geology, 39(2): 106-115. (in Chinese with English abstract)

LIU Y, XIE L, WANG R C, et al., 2018. Comparative study of petrogenesis and mineralization characteristics of Nb-Ta-bearing and W-bearing granite in the Dahutang deposit, northern Jiangxi province[J]. Acta Geologica Sinica, 92(10): 2120-2137. (in Chinese with English abstract)

MAO J W, CHEN M H, YUAN S D, et al., 2011. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 85(5): 636-658. (in Chinese with English abstract)

MAO J W, WU S H, SONG S W, et al., 2020. The world-class Jiangnan tungsten belt: geological characteristics, metallogeny, and ore deposit model[J]. China Science Bulletin, 65(33): 3746-3762. (in Chinese with English abstract)

MAO Z H, CHENG Y B, LIU J J, et al., 2013. Geology and molybdenite Re-Os age of the Dahutang granite-related veinlets-disseminated tungsten ore field in the Jiangxin Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 53: 422-433.

MAO Z H, LIU J J, MAO J W, et al., 2015. Geochronology and geochemistry of granitoids related to the giant Dahutang tungsten deposit, middle Yangtze River region, China: implications for petrogenesis, geodynamic setting, and mineralization[J]. Gondwana Research, 28(2): 816-836.

PAN D P, WANG D, WANG X L, 2017. Petrogenesis of granites in Shimensi in northwestern Jiangxi Province and its implications for tungsten deposits[J]. Geology in China, 44(1): 118-135. (in Chinese with English abstract)

RUAN K, PAN J Y, WU J Y, et al., 2015a. Geochemical Characteristics and ore genesis of the Shimensi cryptoexplosive breccia type tungsten deposit in Dahutang, Jiangxi province[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and

Geochemistry, 34(3): 633-641. (in Chinese with English abstract)

RUAN K, PAN J Y, CAO H J, et al., 2015b. Study on C-O-S Isotopes of Shimensi tungsten deposit in Dahutang[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 35(1): 57-62. (in Chinese with English abstract)

TAO N, LI Z X, DANIŠÍK M, et al, 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[J]. 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 H, FENG C Y, LI D X, et al., 2015. Sources of granitoids and ore-forming materials of Dahutang tungsten deposit in northern Jiangxi Province: constraints from mineralogy and isotopic tracing[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(3): 725-739. (in Chinese with English abstract)

WANG X L, ZHAO G C, ZHOU J C, et al., 2008. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen[J]. Gondwana Research, 14(3): 355-367.

XIANG X K, CHEN M S, ZHAN G N, et al., 2012a. Metallogenic geological conditions of Shimensi tungsten-polymetallic deposit in north Jiangxi province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 27(2): 143-155. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, LIU X M, ZHAN G N, 2012b. Discovery of Shimensi superlarge tungsten deposit and its prospecting significance in Dahutang area, Jiangxi Province[J]. Resources Survey & Environment, 33(3): 141-151. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, WANG P, ZHAN G N, et al., 2013a. Geological characteristics of Shimensi tungsten polymetallic deposit in northern Jiangxi province[J]. Mineral Deposits, 32(6): 1171-1187. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, WANG P, SUN D M, et al., 2013b. Isotopic geochemical characteristics of the Shimensi Tungsten-polymetallic deposit in northern Jiangxi province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(3): 263-271. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, WANG P, SUN D M, et al., 2013c. Re-Os isotopic age of molybdeinte from the Shimensi tungsten polymetallic deposit in northern Jiangxi province and its geological implications[J]. Geological Bulletin of China, 32(11): 1824-1831. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, YIN Q Q, SUN K K, et al., 2015. Origin of the Dahutang syncollisional granite-porphyry in the middle segment of the Jiangnan orogen: zircon U-Pb geochronologic, geochemical and Nd-Hf isotopic constraints[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 34(5): 581-600. (in Chinese with English abstract)

XIANG X K, YIN Q Q, ZHAN G N, et al., 2017. Metallogenic conditions and ore-prospecting of Shimensi tungsten ore section in the North of Dahutang area in Jiangxi province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 47(3): 645-658. (in Chinese with English abstract)

YANG M G, MEI Y W, 1997. Characteristics of geology and metatllization in the Qinzhou-Hangzhou paleoplate juncture[J]. Geology and Mineral Resources of south China(3): 52-59. (in Chinese with English abstract)

YANG M G, WANG F N, ZENG Y, et al. , 2004. Metallogenic geology of North Jiangxi[M]. Beijing: China Land Publishing House: 1-184. (in Chinese)

YANG Z, TAN R, YU Z D, et al., 2022. Geological characteristics and Metallogenic potential analysis of Qingling tungsten deposit, Jiangxi province[J]. China Tungsten Industry, 37(1): 12-19. (in Chinese with English abstract)

YE H M, ZHANG X, ZHU Y H, 2016. In-situ monazite U-Pb Geochronology of granites in Shimensi tungsten polymetallic deposit, Jiangxi province and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogenia, 40(1): 58-70. (in Chinese with English abstract)

YE Z H, WANG P, LI Y K, et al., 2021. Mineralization in the Shimensi deposit, northern Jiangxi province, China: evidence from Pb and O isotopes[J]. Geochemical Journal, 55(2): 39-49.

YU Z D, XIANG X K, TAN R, et al., 2020. Zircon U-Pb chronology, geochemistry and geological significance of coarse muscovite granite in Pingmiao mining area of Dahutang, north Jiangxi[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 50(5): 1505-1517. (in Chinese with English abstract)

ZHAI Y S, LIN X D, 1993. Structural geology in ore field[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-214. (in Chinese)

ZHAI Y S, 2002. A brief retrospect and prospect of study on ore-forming structures[J]. Geological Review, 48(2): 140-146. (in Chinese with English abstract)

ZHAI Y S, WANG J P, 2011. A historical view of mineral deposit research[J]. Acta Geologica Sinica, 85(5): 603-611. (in Chinese with English abstract)

ZHANG M Y, FENG C Y, LI D X, et al., 2018. Geochemical and Hf isotopes of granites in the Kunshan W-Mo-Cu deposit, northern Jiangxi province[J]. Acta Geologica Sinica, 92(1): 77-93. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Y, PAN J Y, MA D S, et al., 2017. Re-Os molybdenite age of Dawutang tungsten ore district of northwest Jiangxi and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 36(3): 749-769. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Y, LIU N Q, PAN J Y, et al. , 2018. Alkali-acid metasomatism characteristics and formation mechanism of Dahutang tungsten ore field[M]. Beijing: Science Press: 1-116. (in Chinese)

ZHANG Z H, HU B J, ZHANG D, et al., 2020. Zircon U-Pb age, geochemistry and Hf isotope characteristics of Shimensi granite porphyry in northern Jiangxi province and its constraint on mineralization[J]. Geological Bulletin of China, 39(8): 1267-1284. (in Chinese with English abstract)

ZHOU X H, ZHANG Y J, LIAO S B, et al., 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks in the Shuangqiaoshan group at Anhui-Jiangxi boundary region and its geological implication[J]. Geological Journal of China University, 18(4): 609-622. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

陈柏林，高允，申景辉，等，2021. 邹家山铀矿床含矿裂隙系统研究[J]. 地质学报，95(5)：1523-1544.

陈柏林，2024. 液压成因含矿构造主要特征：以华南热液钨矿和铀

矿为例[J]. 地质力学学报, 30(1): 15-37.

陈长发, 高剑峰, 张清清, 等, 2021. 赣北石门寺钨多金属矿床成矿流体演化过程: 白钨矿微区成分限定[J]. 矿床地质, 40(2): 293-310.

陈茂松, 项新葵, 占岗乐, 等, 2020. 大湖塘矿集区一矿带燕山晚期成矿后花岗斑岩年代学、地球化学特征及对成矿结束时间的约束[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 43(5): 401-416.

褚平利, 段政, 廖圣兵, 等, 2019. 江西大湖塘中生代花岗岩的成因与构造指示意义: 年代学、矿物化学、地球化学与Lu-Hf同位素制约[J]. 地质学报, 93(7): 1687-1707.

但小华, 蒋少涌, 占岗乐, 等, 2019. 江西省武宁县狮尾洞及外围钨矿床地质特征及控矿因素[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 42(4): 342-350, 391.

丰成友, 张德全, 项新葵, 等, 2012. 赣西北大湖塘钨矿床辉钼矿Re-Os同位素定年及其意义[J]. 岩石学报, 28(12): 3858-3868.

韩丽, 黄小龙, 李洁, 等, 2016. 江西大湖塘钨矿花岗岩的磷灰石特征及其氧逸度变化指示[J]. 岩石学报, 32(3): 746-758.

黄兰椿, 蒋少涌, 2012. 江西大湖塘钨矿床似斑状白云母花岗岩锆石U-Pb年代学、地球化学及成因研究[J]. 岩石学报, 28(12): 3887-3900.

蒋少涌, 彭宁俊, 黄兰椿, 等, 2015. 赣北大湖塘矿集区超大型钨矿地质特征及成因探讨[J]. 岩石学报, 31(3): 639-655.

李宏伟, 赵正, 陈振宇, 等, 2021. 江西大湖塘矿田两期岩浆作用与钨成矿的关系: 来自锆石矿物地球化学的证据[J]. 岩石学报, 37(5): 1508-1530.

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

刘磊, 严冰, 魏文凤, 等, 2016. 赣北石门寺钨矿床石英大脉型矿体流体包裹体特征及其研究意义[J]. 矿物岩石, 36(3): 44-52.

刘南庆, 尹祝, 施权, 等, 2011. 赣北九瑞-彭山地区构造运动机制及其控矿作用分析[J]. 地质与勘探, 47(3): 333-343.

刘南庆, 秦润君, 尹青青, 等, 2016. 赣北大湖塘钨铜多金属矿集区特征与成矿作用模式[J]. 地质论评, 62(5): 1225-1240.

刘南庆, 秦润君, 孙团结, 等, 2018. 赣北大湖塘地区燕山期构造—岩浆活动与成矿关系研究[J]. 华东地质, 39(2): 106-115.

刘莹, 谢磊, 王汝成, 等, 2018. 赣北大湖塘矿床的含铌钽与含钨花岗岩成岩成矿特征对比研究[J]. 地质学报, 92(10): 2120-2137.

毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等, 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 85(5): 636-658.

毛景文, 吴胜华, 宋世伟, 等, 2020. 江南世界级钨矿带: 地质特征、成矿规律和矿床模型[J]. 科学通报, 65(33): 3746-3762.

潘大鹏, 王迪, 王孝磊, 2017. 赣西北大湖塘石门寺钨矿区花岗岩的成因及其对钨矿的指示意义[J]. 中国地质, 44(1): 118-135.

阮昆, 潘家永, 吴建勇, 等, 2015a. 江西大湖塘石门寺钨矿隐爆角砾岩型矿体地球化学特征与成因探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 34(3): 633-641.

阮昆, 潘家永, 曹豪杰, 等, 2015b. 大湖塘石门寺钨矿床碳、氧、硫同位素研究[J]. 矿物岩石, 35(1): 57-62.

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.

王辉, 丰成友, 李大新, 等, 2015. 赣北大湖塘钨矿成岩成矿物质来源的矿物学和同位素示踪研究[J]. 岩石学报, 31(3): 725-739.

项新葵, 陈茂松, 詹国年, 等, 2012a. 赣北石门寺矿区钨多金属矿床成矿地质条件[J]. 地质找矿论丛, 27(2): 143-155.

项新葵, 刘显沐, 詹国年, 2012b. 江西省大湖塘石门寺矿区超大型钨矿的发现及找矿意义[J]. 资源调查与环境, 33(3): 141-151.

项新葵, 王朋, 詹国年, 等, 2013a. 赣北石门寺超大型钨多金属矿床地质特征[J]. 矿床地质, 32(6): 1171-1187.

项新葵, 王朋, 孙德明, 等, 2013b. 赣北石门寺钨多金属矿床同位素地球化学研究[J]. 地球学报, 34(3): 263-271.

项新葵, 王朋, 孙德明, 等, 2013c. 赣北石门寺钨多金属矿床辉钼矿Re-Os同位素年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 32(11): 1824-1831.

项新葵, 尹青青, 孙克克, 等, 2015. 江南造山带中段大湖塘同构造花岗斑岩的成因: 锆石U-Pb年代学、地球化学和Nd-Hf同位素制约[J]. 岩石矿物学杂志, 34(5): 581-600.

项新葵, 尹青青, 詹国年, 等, 2017. 江西大湖塘北区石门寺矿段钨矿成矿条件与找矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 47(3): 645-658.

杨明桂, 梅勇文, 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产(3): 52-59.

杨治, 谭荣, 余振东, 等, 2022. 江西青岭钨矿床地质特征及成矿潜力分析[J]. 中国钨业, 37(1): 12-19.

叶海敏, 张翔, 朱云鹤, 2016. 江西石门寺钨多金属矿床花岗岩独居石U-Pb精确定年及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 40(1): 58-70.

余振东, 项新葵, 谭荣, 等, 2020. 赣北大湖塘平苗矿段白云母花岗岩锆石U-Pb年代学、地球化学及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 50(5): 1505-1517.

翟裕生, 林新多, 1993. 矿田构造学[M]. 北京: 地质出版社: 1-214.

翟裕生, 2002. 成矿构造研究的回顾和展望[J]. 地质论评, 48(2): 140-146.

翟裕生, 王建平, 2011. 矿床学研究的历史观[J]. 地质学报, 85(5): 603-611.

张明玉, 丰成友, 李大新, 等, 2018. 赣北昆山钨钼铜矿床花岗岩地球化学及Hf同位素研究[J]. 地质学报, 92(1): 77-93.

张勇, 潘家永, 马东升, 等, 2017. 赣西北大雾塘钨矿区地质特征及Re-Os同位素年代学研究[J]. 矿床地质, 36(3): 749-769.

张勇, 刘南庆, 潘家永, 等, 2018. 大湖塘钨矿田碱-酸交代特征及其形成机制[M]. 北京: 科学出版社: 1-116.

张志辉, 胡擘捷, 张达, 等, 2020. 赣北石门寺花岗斑岩锆石U-Pb年龄、岩石地球化学、Hf同位素特征及其对成矿的制约[J]. 地质通报, 39(8): 1267-1284.

周效华, 张彦杰, 廖圣兵, 等, 2012. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其地质意义[J]. 高校地质学报, 18(4): 609-622.