



赣西北大雾塘钨矿区地质特征及 Re-Os 同位素年代学研究*

张 勇^{1,2}, 潘家永^{2**}, 马东升¹, 但小华³, 张雷雷², 徐国辉², 杨春鹏²,
江青霞², 江超强²

(1 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210046; 2 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330013;
3 江西省地质矿产勘查开发局赣西北地质大队, 江西 九江 332000)

摘 要 通过对大湖塘钨矿田的大雾塘钨矿区辉钼矿 Re-Os 同位素年代学的研究, 测得辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $0.3368 \times 10^{-6} \sim 8.256 \times 10^{-6}$, 获得的 5 个模式年龄比较一致, 介于 $(136.6 \pm 2.2) \text{ Ma} \sim (138.4 \pm 2.4) \text{ Ma}$, 加权平均年龄为 $(137.7 \pm 2.7) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.07)。将 5 个模式年龄进行等时线年龄计算, 获得一条相关性较好的 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线, 计算得到辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(137.9 \pm 2.0) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.20), 与加权平均年龄一致, 可代表辉钼矿的形成年龄。结合石门寺和狮尾洞矿区典型矿床地质、地球化学特征和成岩作用时空关系, 认为大雾塘矿床的形成是大湖塘钨矿田的第二期次 (140 Ma) 大规模成矿作用的产物, 2 期成矿作用可能是大湖塘钨矿田巨量成矿元素堆积的重要原因之一。

关键词 地球化学 辉钼矿 Re-Os 年龄 细脉浸染型 大雾塘钨矿区 大湖塘钨矿田

中图分类号: P618.67

文献标志码: A

Re-Os molybdenite age of Dawutang tungsten ore district of northwest Jiangxi and its geological significance

ZHANG Yong^{1,2}, PAN JiaYong², MA DongSheng¹, DAN XiaoHua³, ZHANG LeiLei², XU GuoGhui²,
YANG ChunPeng², JIANG QingXia² and JIANG ChaoQiang²

(1 School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, Jiangsu, China; 2 School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3 Northwestern Jiangxi Geological Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

Abstract

This is a brief research report about the recently discovered and currently explored Dawutang tungsten ore district which is a granite-related hydrothermal Tungsten deposit, just after the discovery of the Shimengshi and Shiweidong deposits in the Dahutang tungsten ore field of northwestern Jiangxi. Mineralization is genetically associated with Jurassic Cretaceous porphyritic biotite granite and fine-grained biotite granite, which are both mainly hosted within a Neoproterozoic biotite granodiorite batholith. In order to further deepen the understanding of the genesis of the Dahutang tungsten ore field, the authors studied the metallogenic chronology of the

* 本文得到国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (编号: 2014CB440904)、中国地质调查局矿调项目 (编号: 1212011085395) 和中国地质调查局整装勘查项目 (编号: 12120114034501) 的资助

第一作者简介 张 勇, 男, 1983 年生, 博士, 讲师, 从事矿床地球化学方面的研究。Email: zhycy2004@163.com

** 通讯作者 潘家永, 男, 博士生导师, 教授, 主要从事矿床地球化学方面的研究。Email: jypan@ecit.cn

收稿日期 2016-01-30; 改回日期 2017-04-01。秦思婷编辑。

Dawutang ore district. The authors conducted Re-Os isotope analysis of molybdenite. Re-Os isotopic dating of 5 molybdenite samples from the mineralized quartz veins of the Dawutang deposit yielded a precise isochron age of (137.9 ± 2.0) Ma with the MSWD being 0.20, and a weighted average model age of (137.7 ± 2.7) Ma with the MSWD being 0.07. The intercept of isochron is $(0.049\ 39 \sim 0.100\ 96)$ ng/g. The Dawutang tungsten-molybdenum deposit was formed in the Jurassic-Cretaceous, whose mineralization age corresponds to the second mineralization stage (140 Ma) in the Late Jurassic to Cretaceous of the Dahutang ore field. Distinctively, two stages of mineralization accumulation constituted one of the important reasons for the formation of the Dahutang giant tungsten-molybdenum ore field.

Key words: geochemistry, molybdenite, Re-Os isotope dating, fine vein disseminated type tungsten deposit, Dawutang tungsten deposit, Dahutang tungsten polymetallic ore field

江西大湖塘钨矿田,是近几年在江西西北部武宁县地区发现的以钨(矿石矿物为白钨矿和黑钨矿)为主,伴生铜钼的大-中型到超大型钨多金属矿田(图 1)。它是经几代地质工作者及大量资金的投入下,新发现的一个世界级超大型的钨多金属矿田(包括石门寺、大雾塘、狮尾洞和昆山 4 大主矿区,图 2)。项新葵等(2013b)认为,燕山中期酸性深成-浅成斑状花岗岩可能为成矿母岩之一。蒋少涌等(2015)对大湖塘钨矿田的石门寺和狮尾洞矿区进行了成岩成矿年代学的研究工作,理清了石门寺和狮尾洞矿区成矿与成岩的时空关系。

利用矿石矿物直接测定成矿年龄,是深入理解

成岩成矿时空架构的关键。如锡石原位 U-Pb 同位素定年,非常精确地测定了钨锡多金属矿床成矿时代(Yuan et al., 2008; 2011)。白钨矿的 Sm-Nd 同位素等时线测年在解决低温热液成矿年代的应用非常成熟,可以精确厘定出白钨矿矿床的成矿作用时代(彭建堂等, 2006; Peng et al., 2002),辉钼矿 Re-Os 年代学的研究在热液矿床精确定年和矿床成因方面得到了广泛应用(Mao et al., 1999; 袁顺达等, 2012b)。本文对大雾塘钨矿区辉钼矿进行了 Re-Os 年代学的研究,以矿田地质构造格架和矿区蚀变分带特征为基础,分析成矿的演化,进一步探讨了大湖塘钨矿田大规模的钨多金属矿成矿机制,以便更好的指导找矿工作。

1 矿区地质特征

大湖塘钨矿田地处中国华南地区,大地构造位置为扬子板块东南缘江南地块中段(杨明桂等, 1997; 2006)(图 1)。该带发育一系列铜多金属和钨锡多金属矿产,是一个罕见的多金属成矿带。矿田出露岩体主要为晋宁期黑云母花岗岩闪长岩,另有燕山期的浅色花岗岩零星出露。

大雾塘钨矿区位于石门寺矿区南部,狮尾洞矿区北部,为石门寺矿化体向东南延伸和狮尾洞矿化体的正北延伸交汇区域(图 2,图 3),矿区内大、中型矿体有“一矿带”、“东陡崖”、“西陡崖”和“苗尾”等。其中,“一矿带”为一大型钨矿体,产在燕山期花岗岩侵入晋宁期花岗岩的内外接触带中,以外接触带的细脉浸染型为主($>70\%$),内接触带的蚀变花岗岩型次之,兼有石英大脉型和隐爆角砾岩型矿体。围

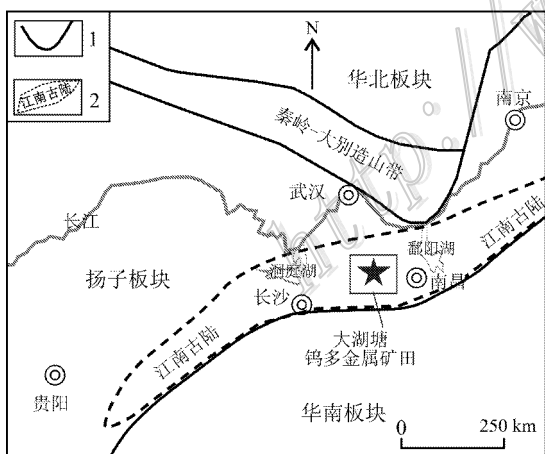


图 1 大湖塘钨矿田区域构造位置图
(刘训等, 2015)

1—板块边界; 2—江南古陆及其边界

Fig. 1 Geotectonic position of the Dahutang tungsten ore field (after Liu et al., 2015)

1—Plate boundary; 2—Jiangnan metallogenic belt

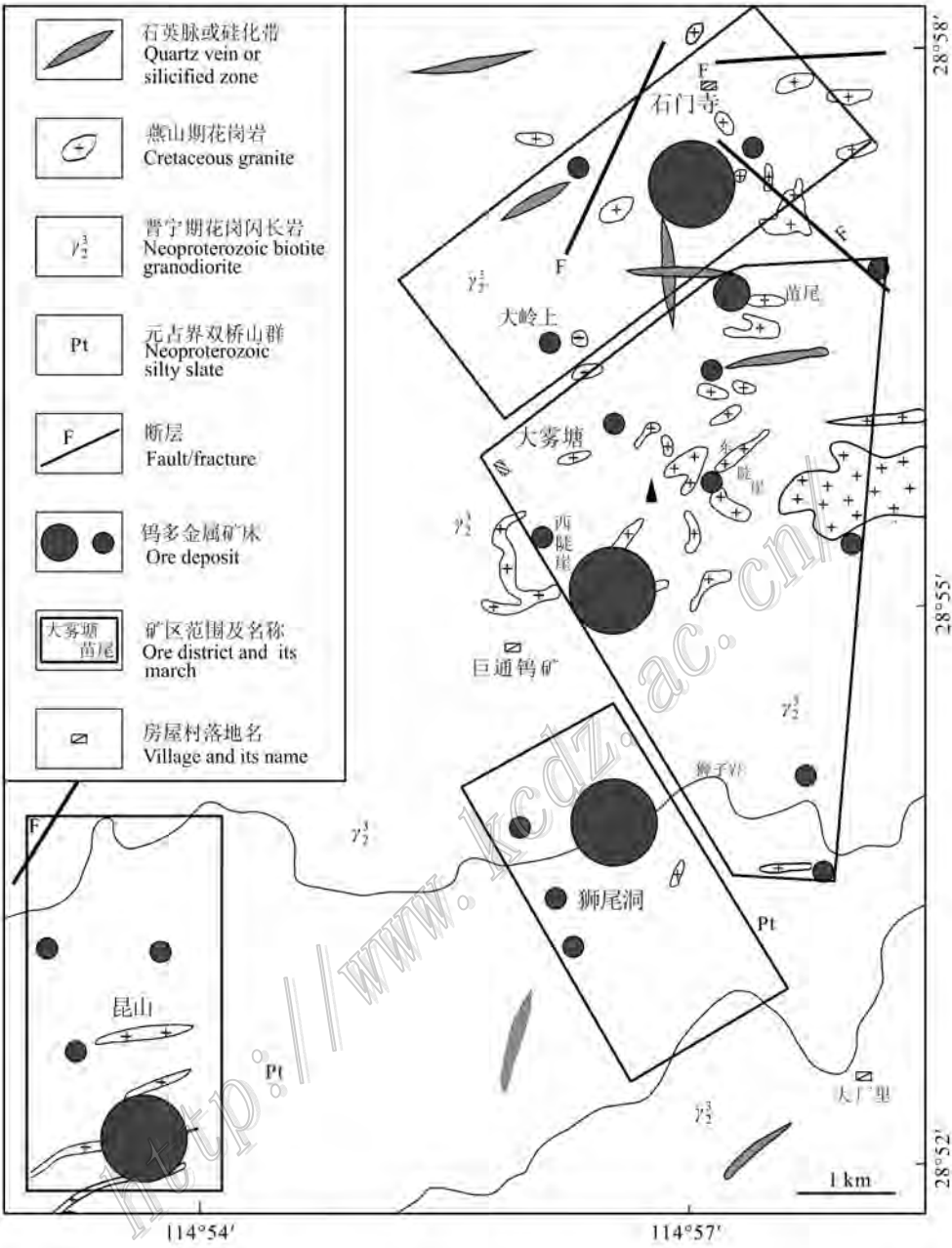


图 2 大湖塘矿田地地质简图(据占岗乐,2015)

Fig. 2 Geological sketch map of the Dahutang tungsten ore field (after Zhan, 2015)

岩多为晋宁期黑云母花岗闪长岩,是九岭岩基一部分。大雾塘钨矿区范围内无地层出露(图 3)。

大雾塘钨矿区是新发现的具有与石门寺钨矿区(北区)相似成矿地质特征的钨多金属矿床,以产在燕山期花岗岩珠顶部内外接触带的细脉浸染型钨(钼、铜)矿为主,蚀变花岗岩型、隐爆角砾岩型和石英大脉型的钨多金属矿次之。大雾塘钨矿区是一个正在开展勘查工作,并已取得了初步勘查成果的矿区,据赣西北地质大队近期对该矿区钨多金属矿储

量核算,发现它是一个钨储量 25 万 t 以上的钨多金属矿床(占岗乐,2015)。大雾塘矿区的燕山期岩浆活动存在多期、多阶段特征,且成岩与成矿空间关系复杂。其中,蚀变花岗岩型矿床是产在燕山中期晚阶段细粒白云母花岗岩中,这与石门寺矿区以产在斑状花岗岩中细脉浸染型为主不同,对比可以看出大雾塘矿区的主成矿作用较石门寺要晚,因而明确成岩成矿期次对于理解巨量物质富集成矿机理具有重要意义,特别是直接获得成矿年龄证据。

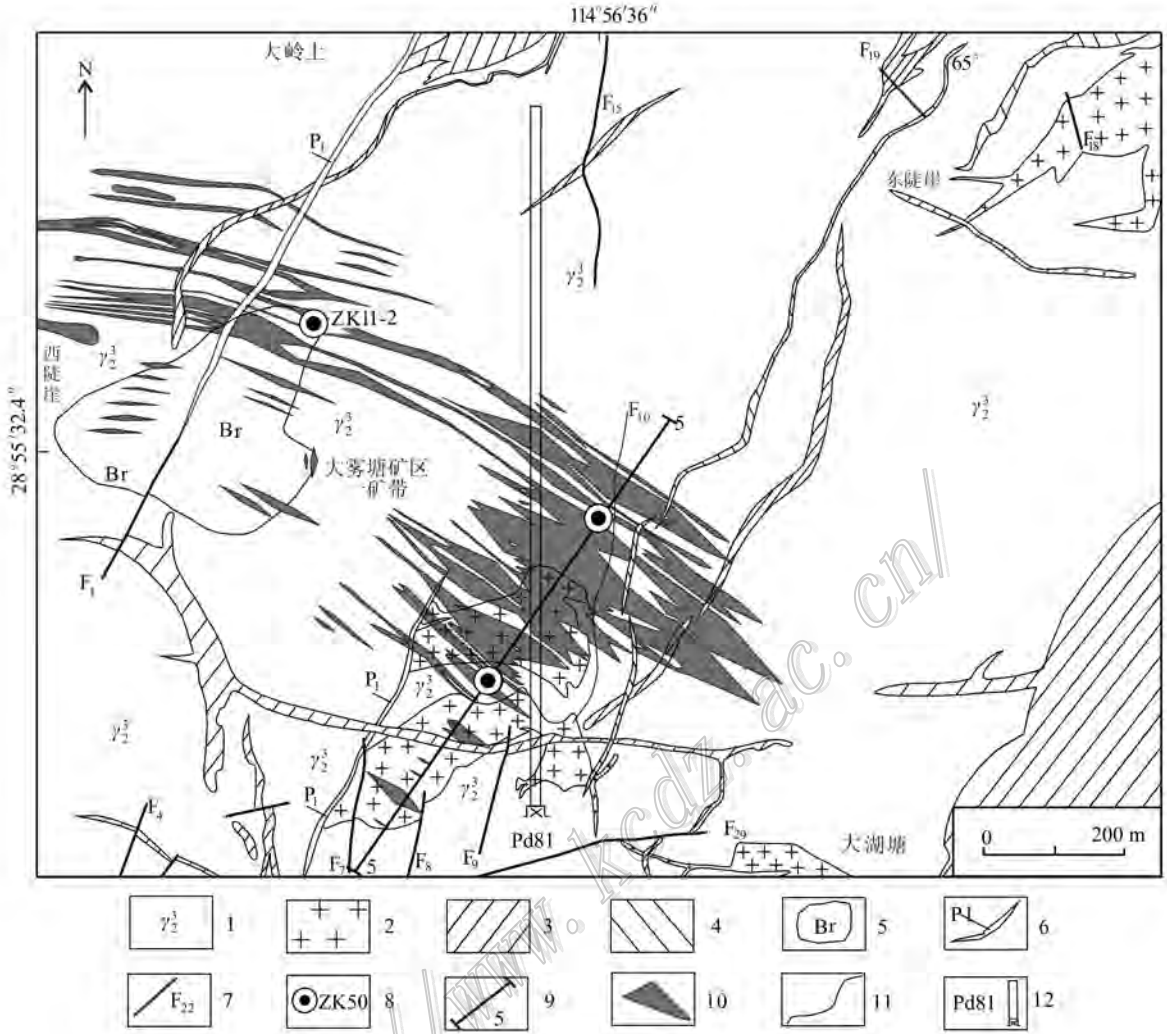


图 3 赣西北大雾塘钨矿区地质简图(占岗乐,2015)

- 1—晋宁期黑云母花岗岩闪长岩; 2—燕山期斑状花岗岩; 3—燕山期绢云母花岗岩斑岩; 4—燕山期花岗斑岩; 5—热液隐爆角砾岩;
6—石英脉或硅化带; 7—断层及编号; 8—钻孔及编号; 9—勘探线及编号; 10—矿体及编号; 11—地质界线;
12—探矿坑道

Fig. 3 Geological sketch map of the Dawutang tungsten ore district (after Zhan, 2015)

- 1—Neoproterozoic biotite granodiorite; 2—Cretaceous porphyritic granite; 3—Cretaceous sericitic granite porphyry; 4—Cretaceous granite porphyry; 5—Hydrothermal crypto-explosive breccia; 6—Quartz vein or silicified zones; 7—Fault fracture and its number; 8—Drill hole and its number; 9—Exploration line and its number; 10—Orebody and its number; 11—Geological boundary; 12—Exploration tunnel

1.1 矿区构造

大雾塘钨矿区构造十分发育,主要表现为断裂构造和节理裂隙。断裂构造主要有近南北向、近东西(北东东)向、北东-北北东向和北北向 4 组,成矿前和成矿后皆有断裂构造活动,矿区构造复杂。近南北向断裂集中分布在矿区范围的中南部(图 3)。区内规模最大的主要有 F₁、F₇、F₈、F₉、F₁₀、F₁₅ 等断裂,它们的特征基本相同,走向 170°~180°,倾向西南,倾角 68°~80°,为成矿后断裂。北东-北北东向和

北西向的断裂控制着矿体及矿化带的分布范围,同时也控制了燕山期花岗岩的展布,是区内主要的控岩控矿构造,大雾塘矿区的石英大脉→细脉带→微细浸染,为同一套断裂裂隙系统,断裂构造具有多期次特征,矿脉多为热液沿构造断裂裂隙充填交代形成,成矿作用期次单一。近东西(北东东)向的断裂构造是区内主要的控矿断裂,其中规模最大的是 F₂₉ 和 F₁ 断裂,其特征基本相同,它们控制了区内矿体、矿脉的展布。但成矿则为构造断裂裂隙形成后的热

液充填交代形成。

1.1.1 成矿前断裂

F_1 和 F_{29} 规模最大, F_{10} 次之, 特征基本相同, 走向北东-北北东, 倾向南东-南南东, 倾角 $40^\circ \sim 50^\circ$, 其中 F_{10} 由南而北, 断层方向依次为北东东至北东, 总体走向西。断裂带内由角砾岩、碎裂岩及糜棱岩(断层泥)充填, 显示断裂构造具有多期次活动的特点。其中, F_1 断裂是本矿区的控制西陡崖矿体的主要断裂, 主要矿体分布于其两侧, 并控制了隐爆角砾岩和斑状花岗岩的展布。主要断裂的性质相近, 为压扭性正断层。

成矿前的断裂构造具有多期次活动的特点, 对矿体具有明显的控制作用, 其中, F_7 、 F_8 、 F_{15} 断层间的矿体相对厚大, 而 F_7 断层的南部, 即上盘, 矿化明显变弱。根据断层对矿体的错动及破碎带本身具有的矿化情况, 认为该断裂构造既是导矿构造, 同时也是破矿构造。

1.1.2 成矿后断裂

在晋宁期黑云母花岗岩中, 成矿后的断裂十分发育, 但规模均较小, 断层延长一般在几米~几十米, 断层之间的断距平均 10 m, 最小者 1 m, 水平断距大小不一, 由几厘米到 15 m 不等。根据产状可分为 3 组: 第一组倾向 $120^\circ \sim 160^\circ$, 倾角 $45^\circ \sim 60^\circ$; 第二组倾向 $60^\circ \sim 105^\circ$, 倾角 $50^\circ \sim 64^\circ$; 第三组倾向 $165^\circ \sim 260^\circ$, 倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。其中, 第一、二组最为发育, 第三组次之。断层面较光滑平直, 一般均有断层泥充填, 多属正断层性质, 只有第二组属斜向滑动正断层, 上盘由南东向下滑, 擦痕倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$, 由于矿脉有陡、缓 2 组, 故同一断层在水平断距上有大小之别。在平面上, 由于矿脉倾向与断层交切方向不同, 出现了向左或向右 2 种错动方式, 一般第一、二组断层向右错。

1.1.3 节理裂隙

矿区的节理裂隙极为发育, 尤其是石英大脉两侧。按与成矿的关系可分为成矿前与成矿后 2 类。

成矿前节理裂隙主要为原生节理裂隙, 按产状可分为 4 组: ① $190^\circ \sim 220^\circ \angle 60^\circ \sim 80^\circ$; ② $150^\circ \sim 170^\circ \angle 30^\circ \sim 80^\circ$; ③ $30^\circ \sim 50^\circ \angle 20^\circ \sim 50^\circ$; ④ $320^\circ \sim 340^\circ \angle 40^\circ \sim 50^\circ$ 。它们多属张性节理, 局部为后期剪切裂隙复合, 多为含矿石英脉充填。以第一组和第四组最为发育, 为后期含矿热液的充填提供了良好的储矿构造, 从而构成北东东向或近东西向的含

钨石英大脉及含钨石英细脉带。

成矿后节理裂隙可能是断裂派生的节理裂隙, 按产状亦可分为 4 组: ① $200^\circ \sim 240^\circ \angle 50^\circ \sim 60^\circ$; ② $70^\circ \sim 80^\circ \angle 40^\circ \sim 60^\circ$; ③ $110^\circ \sim 130^\circ \angle 60^\circ \sim 80^\circ$; ④ $300^\circ \sim 320^\circ \angle 40^\circ \sim 60^\circ$ 。其中, 以第一组和第二组最为发育, 无石英脉充填, 或由无矿石英脉充填。

1.2 岩浆岩

通过对大雾塘矿区野外剖面地质的测量以及系统的坑道和钻孔岩芯地质编录观察, 并选取了相应代表性的岩石矿物样品, 综合室内岩相学和研究区已有的勘探资料, 整理矿区的岩浆岩特征如下。

1.2.1 晋宁期

晋宁期黑云母花岗岩闪长岩, 是整个钨多金属矿田分布和出露的面积最大的侵入岩, 也是九岭复式岩基的一部分, 且是矿区最主要的赋矿围岩之一, 燕山期花岗岩与其呈侵入接触关系, 燕山期花岗岩大部分隐伏在晋宁期花岗岩闪长岩内部。区域内新鲜无蚀变的晋宁期黑云母花岗岩闪长岩具有中粗粒花岗结构, 块状、斑杂状构造, 主要矿物有长石, 自形-半自形, 占 57% (钾长石 17%), 斜长石多为自形板状, 1~5 mm, 钾长石以半自形为主, 表面泥化, 部分绢云母化; 石英, 他形-半自形, 约占 20%~30%, 半自形石英斑晶粗大 1~3 mm, 大者可达 8 mm, 他形充填的石英半径为 1 mm 左右, 主要充填在斜长石或黑云母斑晶的间隙, 部分黑云母和斜长石与石英呈嵌晶形式; 黑云母, 呈自形片状, 0.5~2.5 mm, 含量约 10% (图 4a~c), 部分云母沿边缘发生绿泥石化、绢云母化和白云母化等。晋宁期黑云母花岗岩闪长岩比矿区燕山期花岗岩黑云母含量高, 石英含量低, 微斜长石含量极少。副矿物有锆石、磷灰石、钛铁矿和石榴子石等。

研究区黑云母花岗岩闪长岩的黑云母有 2 个世代 (图 4d~f), 早世代形成的黑云母呈假六方柱片状, 自形程度好; 晚世代为他形鳞片状, 交代早世代黑云母, 同时也交代了斜长石和石英, 形成鳞片状集合体, 呈团块状分布, 致使蚀变的岩石较未蚀变岩石黑云母含量明显增高, 石英含量明显减少。斜长石为自形至半自形的板状、厚板状晶体, 具卡-钠复合双晶, 主要是中性长石, 一般具环带构造, 中心为中长石, 边缘为更长石。蚀变矿物发育, 主要蚀变有黑鳞云母化、云英岩化、绿泥石化、硅化等。

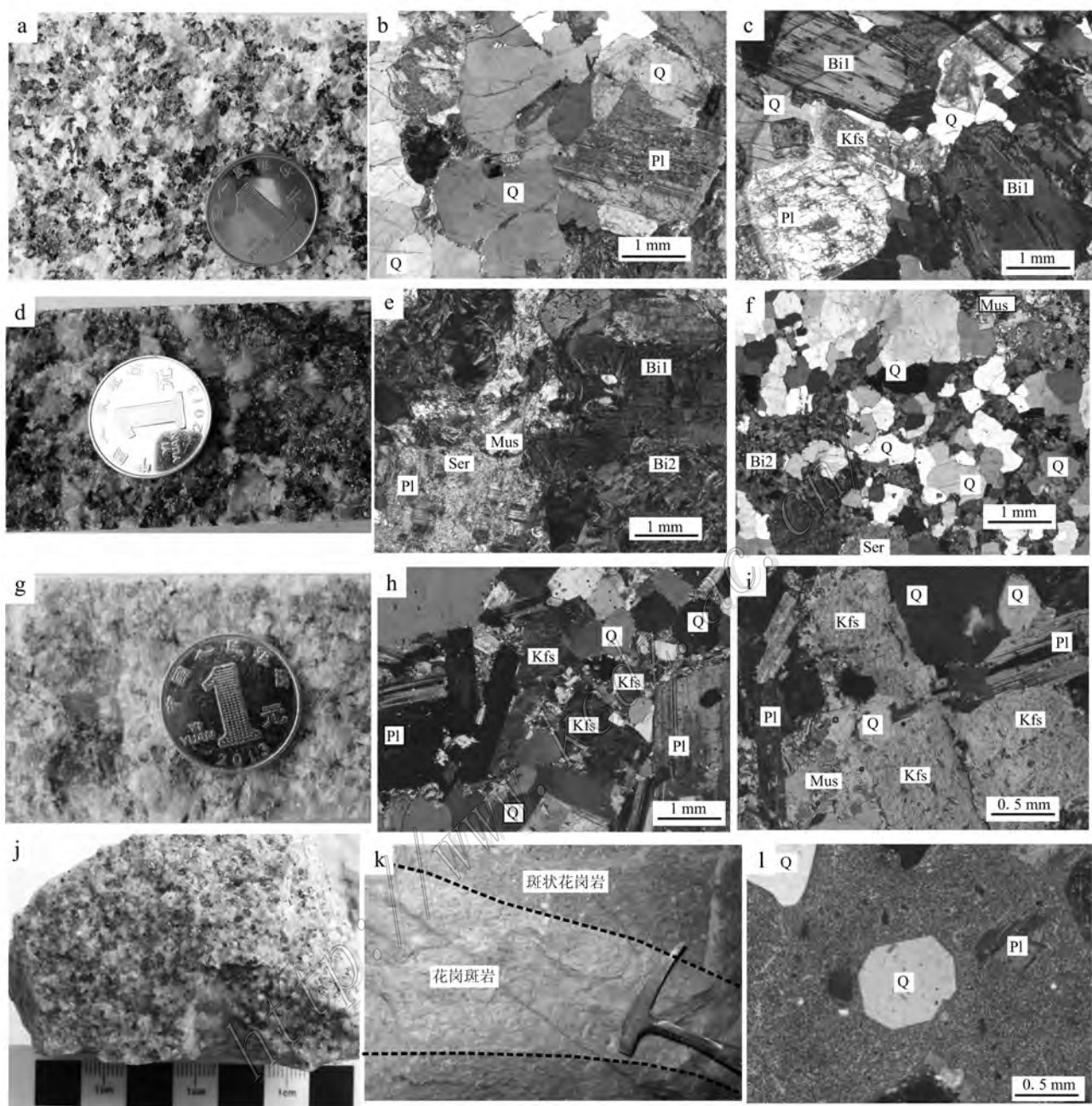


图 4 大湖塘钨矿田大雾塘钨矿区花岗岩照片

a. 未蚀变晋宁期黑云母花岗岩闪长岩手标本; b. 镜下未蚀变晋宁期黑云母花岗岩闪长岩中的斜长石(+); c. 镜下未蚀变晋宁期黑云母花岗岩闪长岩中的黑云母(+); d. 黑鳞云母化黑云母花岗岩闪长岩手标本; e. 斜长石黑鳞云母化(+); f. 石英黑鳞云母化(+); g. 燕山期中期斑状花岗岩; h. 似斑状结构(+); i. 云英岩化(+); j. 燕山期中晚期细粒花岗岩; k. 燕山晚期花岗斑岩; l. 花岗斑岩斑状结构(+)

Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Ser—绢云母; Bi1—原生黑云母; Bi2—蚀变新生黑云母; Mus—白云母; Q—石英

Fig. 4 Photos of granite hand specimen of the Dawutang tungsten ore district

a. Unaltered Neoproterozoic biotite granodiorite; b. Unaltered Plagioclase and quartz of Neoproterozoic biotite granodiorite(+); c. Unaltered biotite of Neoproterozoic biotite granodiorite(+); d. Biotitization of Neoproterozoic biotite granodiorite; e. Biotite metasomatic of Plagioclase(+); f. Biotite metasomatic of quartz(+); g. Cretaceous porphyritic biotite granite; h. Porphyritic structure(+); i. Greisen(+); j. Cretaceous fine grained granite; k. Cretaceous granite porphyry; l. Porphyritic structure of Granite porphyry(+)

Pl—Plagioclase; Kfs—K-feldspar; Ser—Sericite; Bi1—Primary biotite; Bi2—Secondary biotite; Mus—Muscovite; Q—Quartz

1.2.2 燕山期

大雾塘钨矿区是区内燕山期岩浆岩活动最为频繁的地区,就已有的钻孔岩芯和坑道所观察到的穿插关系特征显示:早期的斑状花岗岩在晋宁期花岗闪长岩中主要呈岩株、岩墙、岩瘤及岩脉产出,且从区域和深部情况来看,斑状花岗岩是燕山期侵入岩的主体,其次是中细粒白云母花岗岩和黑云母花岗岩。其中,在斑状花岗岩中的矿体规模最大,且为内接触带中总储量的主体,其次是中细粒黑云母花岗岩(以铜矿化为主)。最晚期花岗斑岩以脉状产出。

燕山期岩浆岩可分为:①燕山中期早阶段侵入的斑状二云母花岗岩和斑状白云母花岗岩(图4g、h);②燕山中期晚阶段侵入的中粗粒白云母花岗岩(中心相)、中细粒白云母花岗岩(边缘相)和中细粒黑云母花岗岩(图4j);③稍晚的花岗斑岩(图4k、l),花岗斑岩规模小,呈岩脉产出,尤其是最晚一期斑岩脉,切割破坏所有岩体及矿体。

(1) 燕山中期早阶段

斑状花岗岩(斑状二云母花岗岩和斑状白云母花岗岩)呈隐伏岩株状产出,与晋宁期黑云母花岗闪长岩的接触面凹凸不平,波状起伏,主要呈灰白色,似斑状结构,基质中粒结构,块状构造(图4g)。斑晶以斜长石、石英为主,含量约49%(斜长石34%、石英15%),粒度一般0.5~1 cm,斜长石斑晶大者大于2 cm。中粒结构的基质由石英、斜长石和白云母组成,含量约51%(石英18%、斜长石25%、白云母5%、黑云母少量)。

(2) 燕山中期晚阶段

中粗粒白云母花岗岩,地表未见出露,一般在钻孔的最深部可见,与斑状花岗岩呈穿插关系,灰白色,中粗粒等粒结构。

细粒白云母花岗岩,以脉状形式穿插到斑状二云母花岗岩中,灰白色,细粒等粒结构。

中细粒黑云母花岗岩,在一矿带地表出露,浸染状铜矿化,且达工业品位,深部见其呈脉状穿插在晋宁期黑云母花岗闪长岩中,并包含晋宁期黑云母花岗闪长岩的捕虏体。中细粒黑云母花岗岩,似斑状结构,斑晶为中粒等粒结构,基质为细粒结构(图4j)。似斑状结构的斑晶以斜长石、石英为主,其次是钾长石及少量黑云母、白云母。斑晶与斑晶形成连斑结构,斑晶0.5~4 cm,钾长石斑晶大者大于4 cm。基质由石英、钾长石及少量更长石组成。钾长石具显微正条纹构造,并有卡氏双晶。钾长石交代

斜长石并包裹斜长石。基质溶蚀斑晶,形成锯齿状边缘和交代穿孔结构。

(3) 燕山晚期花岗斑岩

花岗斑岩主要分布在矿区南部、中部,呈岩脉、岩瘤、脉状产出,倾向不定,倾角一般较陡,切穿早期各类花岗岩体和矿脉。岩脉中石英脉不发育。岩石颜色较浅,为浅肉红色,风化后为黄白色,斑状结构(图4l)。斑晶主要是斜长石和石英,其次是钾长石,含少量黑云母和角闪石。基质主要是长英质和少量水云母集合体,长英质光性模糊,隐晶结构。

1.3 围岩蚀变

大雾塘钨多金属矿区赋矿围岩有晋宁期的黑云母花岗闪长岩,燕山期的斑状二云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩和细粒白云母花岗岩。

蚀变极其发育,主要蚀变类型有:

成矿早期的碱性面型蚀变,如钾化、绢云母化等。其中,钾化在晋宁期黑云母花岗闪长岩中主要为黑云母化(黑鳞云母化),具体表现为斜长石、钾长石和石英被黑云母交代(图4d~f),导致围岩出现明显的去硅、去钠、富钾;而在燕山期斑状花岗岩中主要为绢云母化和白云母化,具体表现为斜长石被绢云母交代,石英被白云母交代(图4h、i)。早期的碱性流体对围岩(晋宁期花岗闪长岩)强烈的钾交代,即从围岩中交代出大量的Ca、Fe、Mn、Si等元素,同时也消耗流体中的K等碱性元素,流体慢慢趋向酸性。

成矿期的酸性蚀变,如云英岩化、绿泥石化、硅化、泥化等,其形成与流体的混合有关,即碱交代蚀变作用到晚期弱碱性流体与细粒黑云母花岗岩的期后酸性流体混合。混合流体中的Ca、Fe、Mn、Si与成矿元素大量析出,表现为云英岩化和硅化(图5a、b),具体的矿物为斜长石、钾长石、黑云母被白云母、石英交代(图5c、d)。矿体蚀变以云英岩化、硅化最为发育,叠加在早期的碱性蚀变上,并且与矿化关系最为密切。伴随着蚀变程度的变化,岩石的岩性特征也随之改变,蚀变最为强烈的形成云英岩(图5a)。酸性蚀变强度与矿化强度呈正相关,矿化完全发生在酸性蚀变范围内,从矿化中心向周围围岩蚀变程度逐渐减弱。

矿区的酸性蚀变叠加在碱性蚀变之上,往往强烈的酸性蚀变将早期的碱性蚀变破坏的非常彻底。强烈的酸性蚀变也是矿化富集中心,因而没有碱性蚀变的现象,但并不代表其早期不存在碱性蚀变,

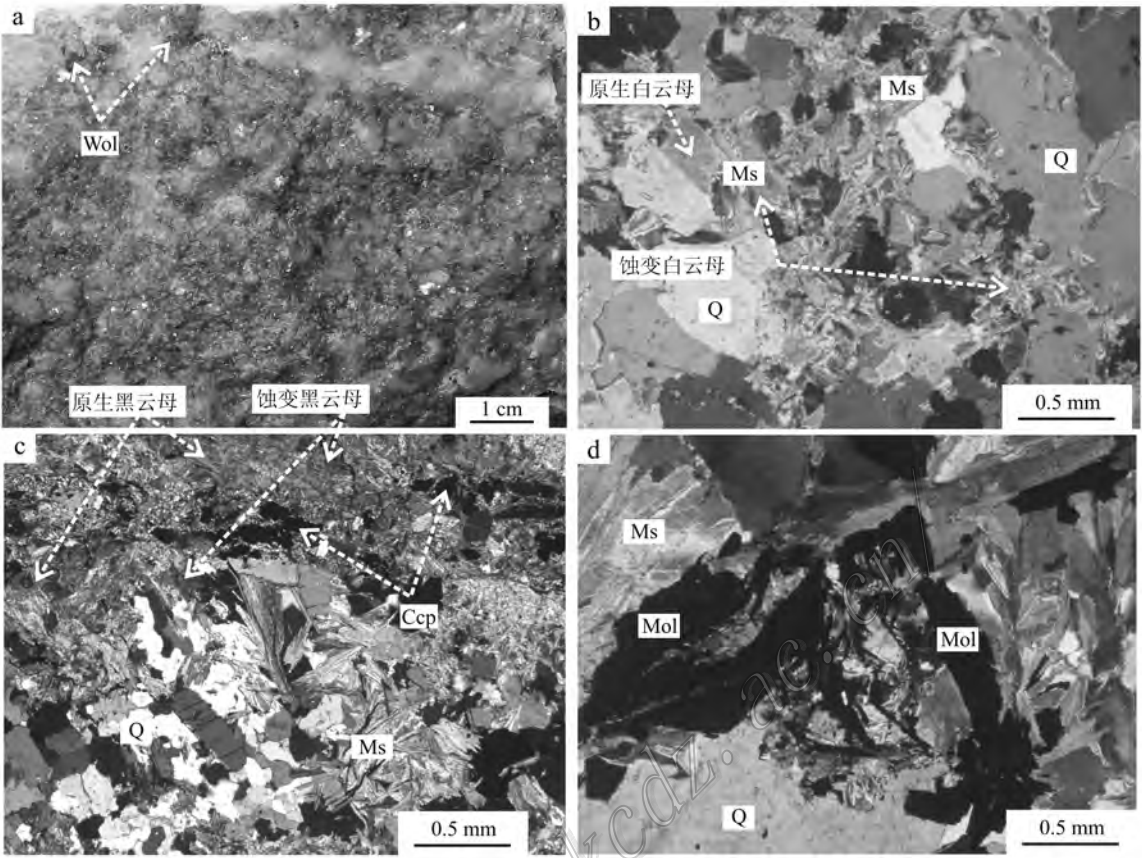


图 5 云英岩化矿石及镜下特征

a. 云英岩化矿石; b. 云英岩化矿石原生白云母和新生白云母; c. 云英岩中的铜矿化; d. 云英岩中的辉钼矿化
Bi—黑云母; Ms—白云母; Q—石英; Wol—黑钨矿; Ccp—黄铜矿; Mol—辉钼矿

Fig. 5 Photomicrographs in transmitted light showing secondary biotite, primary and secondary ores

a. Greisen ore; b. Primary and secondary muscovite of greisen; c. Copper mineralization of greisen; d. Molybdenum mineralization of greisen
Bi—Biotite; Ms—Muscovite; Q—Quartz; Wol—Wolframite; Ccp—Chalcopyrite; Mol—Molybdenite

这个从区域到矿化中的剖面样品的显微岩相学对比研究可以得出确凿的论断,由于涉及到大量证据材料以及篇幅的限制,本文不详细列出。因此,研究区早期的碱性流体对围岩发生交代作用,对成矿起到了至关重要的作用,其作用机制和贡献与华南碱交代型铀矿相似。

1.4 矿床地质特征

1.4.1 矿体特征

细脉浸染型钨(黑钨+白钨)矿体主要分布在大雾塘钨多金属矿区,以一矿带为代表,已圈定钨矿体 18 个,其中以Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ钨矿体规模最大,占矿区资源储量的 95.5%。钨矿体主要赋存于晋宁期黑云母花岗岩与燕山早期细粒二云母花岗岩株顶部的内外接触带。矿体走向 298°~335°,倾向南西,倾角 60°~65°,延长 20~617 m,延深 29~601 m,最大厚

度 166.7 m。在 1600 m 标高内矿化连续性好,1400~1500 m 标高是大而富矿体的集中部位,1400 m 标高以下,矿体分枝尖灭。在平面上矿体呈蟹状,矿体中心成矿元素富集均匀,向两端分枝变小(图 6a~d)。如 ZK7-5 钻孔,孔深 701.01 m,累计见矿厚度为 414.09 m,WO₃ 平均品位 0.191%;外接触带晋宁期花岗闪长岩的单个矿体最大视厚度达 105.59 m;而燕山期花岗岩内累计见矿厚度为 55.6 m,最大单矿体视厚度达 27.25 m,WO₃ 平均品位 0.158%。

蚀变花岗岩型钨铜钼矿体,产在燕山期细粒白云母花岗岩体内接触带,如图 6 中蚀变花岗岩型矿体,外带晋宁期花岗闪长岩中发育细脉浸染型矿体。

浸染状铜矿体产在矿区北部燕山期细粒黑云母花岗岩体中,以铜矿为主,伴生钨钼矿。铜矿体长 320 m,视厚度 74 m,Cu 平均品位 0.354%。其中,

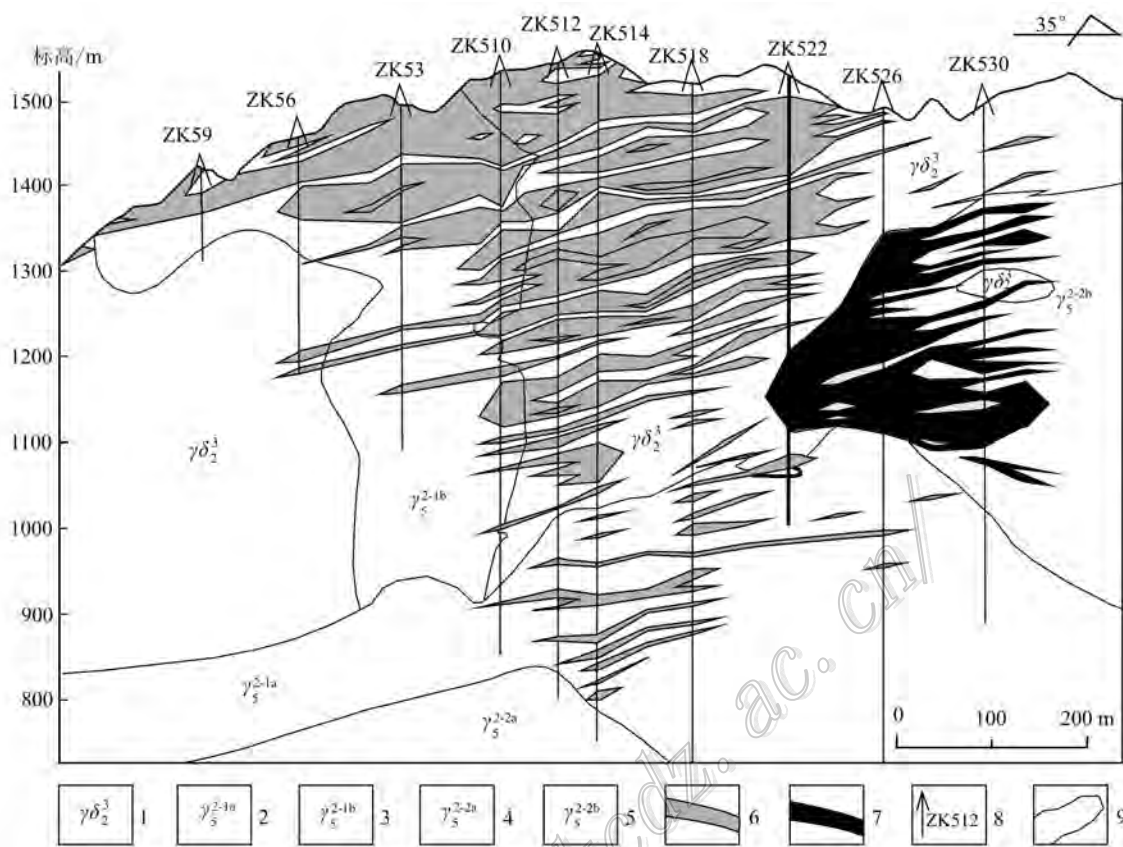


图 6 大雾塘矿体 5 号勘探线剖面图(据占岗乐, 2015)

1—晋宁期黑云母花岗闪长岩; 2—燕山期斑状二云母花岗岩; 3—燕山期细粒黑云母花岗岩; 4—燕山期中粗粒黑云母花岗岩;
5—燕山期细粒白云母花岗岩; 6—细脉浸染型矿体; 7—蚀变花岗岩型矿体; 8—钻孔及编号; 9—地质界线

Fig. 6 Geological sketch section along No. 5 exploration line in the Dawutang tungsten ore district (after Zhan, 2015)

1—Neoproterozoic biotite granodiorite; 2—Cretaceous two mica porphyritic granite; 3—Cretaceous fine-grained biotite granite;
4—Cretaceous medium-macro biotite granite; 5—Cretaceous fine muscovite granite; 6—Veinlet disseminated ore; 7—Altered granite ore;
8—Drill hole; 9—Geological boundary

工业铜矿体厚度 46.72 m, 平均品位 0.42%。细脉浸染型矿体的矿化较均匀, WO_3 品位 0.125% ~ 0.178%, 平均品位 0.165%。

1.4.2 矿石特征

石英大脉型(黑钨矿-黄铜矿-辉钼矿石英脉、白钨矿-黑钨矿-黄铜矿石英脉), 矿石矿物主要有白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿; 脉石矿物主要有石英、长石, 其次为电气石、绢云母、萤石、方解石等(图 7a、f, 图 8a~d)。

细脉浸染型(白钨矿-石英脉、黑钨矿石英脉、白钨矿-黑钨矿石英脉等)(图 7b)矿石主要产在晋宁黑云母花岗闪长岩中, 矿石矿物主要有白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿; 脉石矿物主要有石英、长石, 其次为电气石、绢云母和方解石等。

蚀变花岗岩型(白钨矿细脉、白钨矿-石英细脉、

黑钨矿-石英细脉、白钨矿-黑钨矿石英细脉等)(图 7g)矿石主要产在燕山期细粒白云母花岗岩体内部云英岩化带中, 矿石矿物主要有白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿; 脉石矿物主要有石英、长石, 其次为电气石、绢云母、方解石等。

1.4.3 矿物的生成顺序和成矿阶段

通过显微岩相学的对比和统计研究, 发现石门寺矿区黑钨矿和白钨矿穿插关系存在多世代性, 具体表现为: 在石英大脉矿体中, 黑钨矿被白钨矿穿插(图 8a), 而在细脉浸染型矿体中的白钨矿细脉被黑钨矿细脉错断, 黑钨矿又被更晚期的白钨矿脉错断, 表现出至少 2 期钨成矿作用特征(项新葵, 2015)。而大雾塘矿区矿物世代关系相对简单, 根据野外观察和室内岩矿鉴定, 认为其成矿作用相对石门寺矿区较单一, 成矿时代上以同期成矿作用的不同成矿

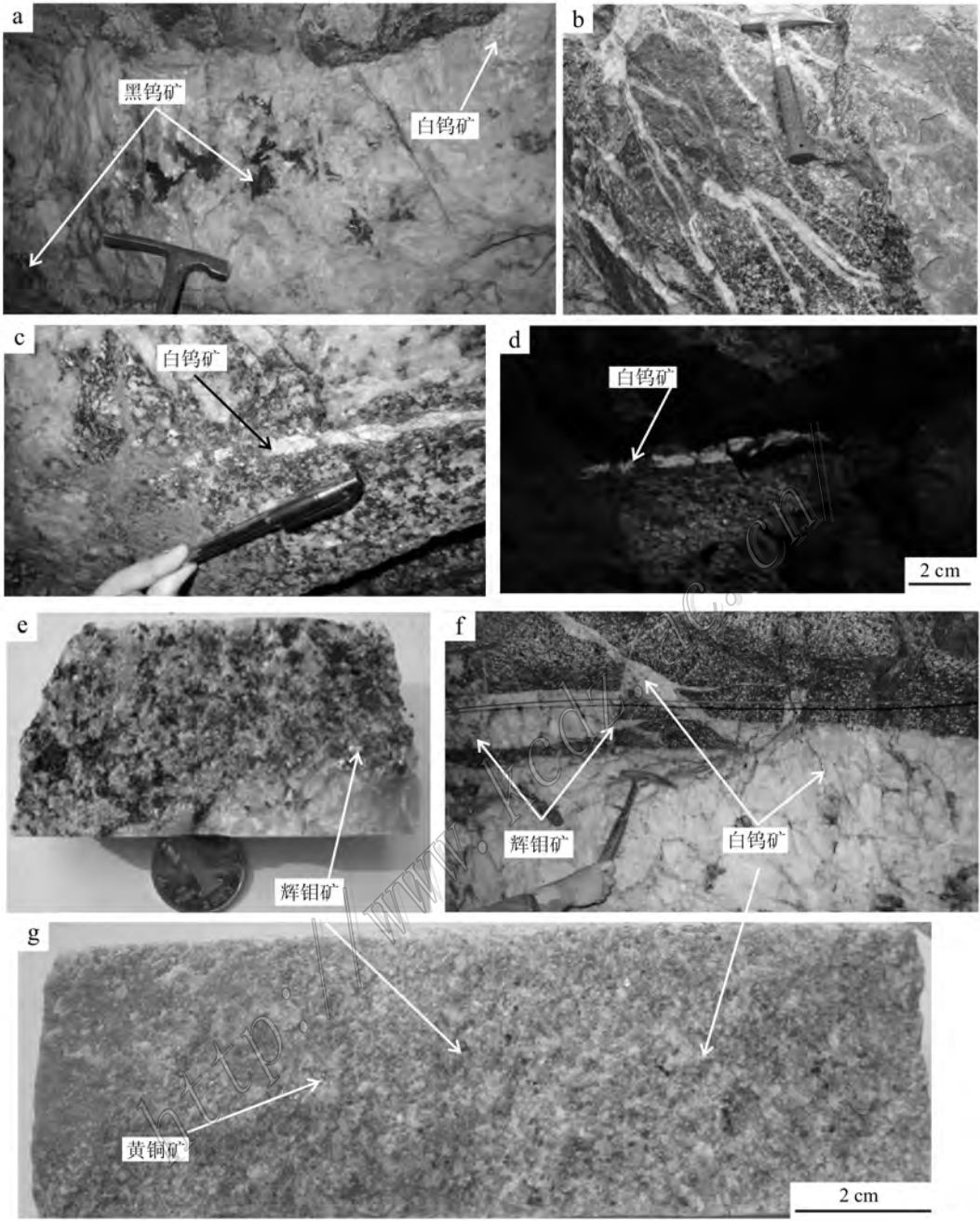


图 7 大雾塘钨矿区细脉浸染状白钨矿矿体和白钨矿-黑钨矿矿体及辉钼矿矿石

a. 石英大脉型矿体(黑钨矿+白钨矿+辉钼矿); b. 细脉浸染型矿体; c. 白钨矿细脉(自然光); d. 白钨矿细脉(荧光灯); e. 辉钼矿化石英矿体; f. 石英大脉型矿体(白钨矿+辉钼矿+黑钨矿); g. 浸染状矿体(白钨矿+辉钼矿+黄铜矿)

Fig. 7 Photos of veinlet disseminated scheelite ore and thick quartz-wolframite-scheelite vein ore in the underground mine and molybdenite samples in drill cores of the Dawutang tungsten ore district

a. Quartz vein ore (wolframite + scheelite + molybdenite); b. Veinlet disseminated ore; c. Scheelite veinlet ore(sunlight); d. Scheelite veinlet ore (ultraviolet light); e. Quartz vein ore (molybdenite); f. Quartz vein type ore (scheelite + molybdenite + wolframite); g. Disseminated ore (scheelite + molybdenite + chalcopyrite)

阶段为特征。宏观上,黑钨矿稍早于白钨矿(图 8a),且黑钨矿、黄铜矿、辉钼矿共生于石英大脉中(图 8b ~d)。大雾塘矿区的石英大脉→细脉带→微细浸染,为同一套构造裂隙系统,同一期成矿流体充填灌

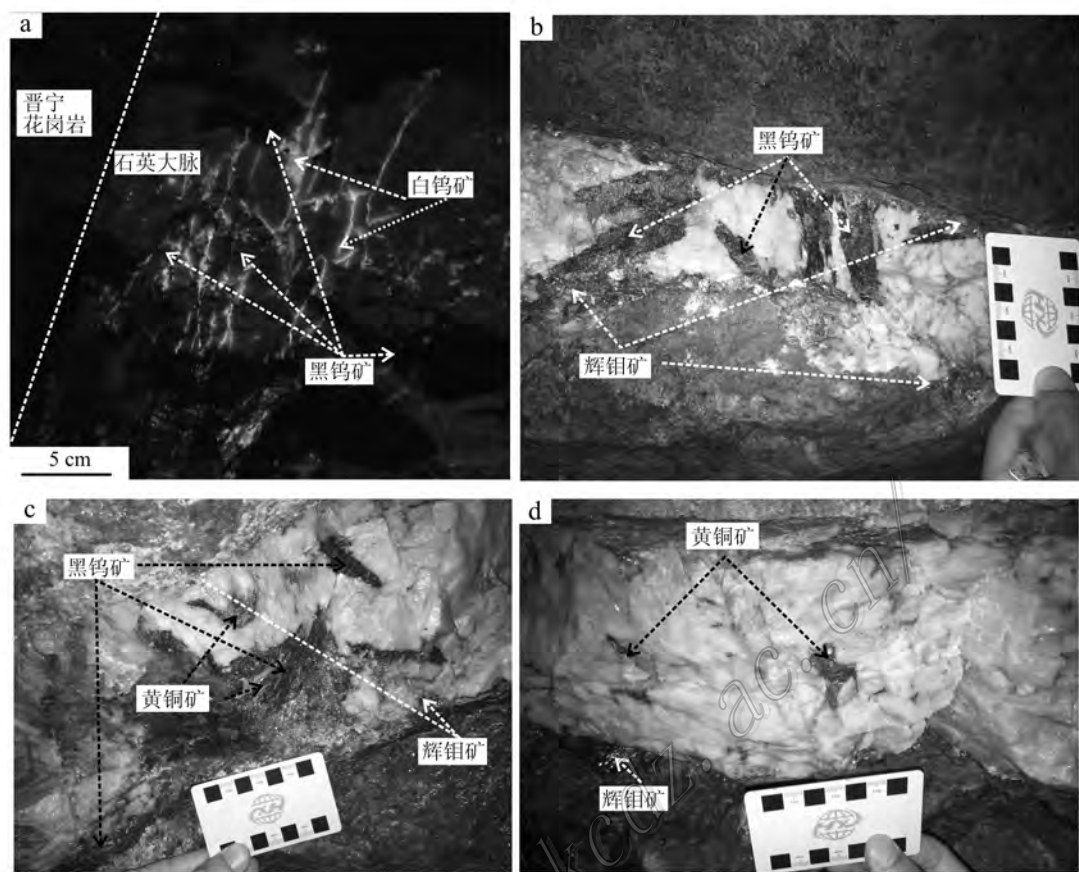


图8 大雾塘钨矿区石英大脉矿体矿物特征

- a. 石英大脉中白钨矿黑钨矿共生; b. 石英大脉矿体中黑钨矿、辉钼矿和黄铜矿共生; c. 黑钨矿、黄铜矿和辉钼矿; d. 黄铜矿和辉钼矿共生

Fig. 8 Photos of thick quartz-wolframite-scheelite vein ore in the underground mine of the Dawutang tungsten ore district

- a. Scheelite and wolframite association in quartz veins; b. Chalcopyrite, molybdenite, and wolframite association in quartz veins; c. wolframite, molybdenite, and chalcopyrite association in quartz veins; d. Molybdenite and chalcopyrite association in quartz veins

入,与围岩发生交代反应,成矿流体物理化学条件的改变,导致成矿物质沉淀堆积成矿。

大雾塘矿区成矿作用阶段划分3个阶段:第一阶段,即氧化强碱性阶段(黑钨矿+白钨矿±锡石±石英);第二阶段,是氧化过渡到还原的中性环境阶段(白钨矿+黑钨矿+黄铜矿+辉钼矿+黄铁矿±石英);第三阶段,即黄铁矿+石英±闪锌矿还原强酸性阶段。同一期成矿作用的黑钨矿、白钨矿和硫化物(黄铜矿和辉钼矿)形成时代相近,辉钼矿的形成年龄可以代表该期成矿作用年龄的下限。

由于成矿作用流体就位和成矿物质卸载的空间部位不同,形成了不同类型矿石(浸染状、细脉带、大脉等),其矿物的沉淀表现为大脉和细脉乃至微脉都是在同一套构造裂隙系统中沉淀,石英大脉中可以出现黑钨矿与白钨矿,大脉两侧断裂出现次级裂隙,

从而形成细脉,在细脉两侧更次一级的裂隙形成微脉。这些裂隙-孔洞系统是由成矿早期的碱性蚀变+构造作用所形成的,流体演化过程中经由与围岩的交代反应,碱的大量消耗,逐渐变酸后,成矿元素沉淀堆积在断裂、裂隙和孔洞中,形成大脉±细脉±微脉±浸染型矿石。

2 样品采集与分析方法

本次用于 Re-Os 同位素分析的辉钼矿样品,其中1件采自八一井主坑道53号矿脉,为近南北向石英大脉型矿体(DH-40)(图8b),另4件样品采自钻孔(ZK11-2)(钻孔位置见图3,取样相对位置见图9),为石英脉型矿石(DH-7、DH-10、DH-17、DH-18),主要金属矿物为白钨矿、辉钼矿、黄铜矿和黄铁矿,脉石矿

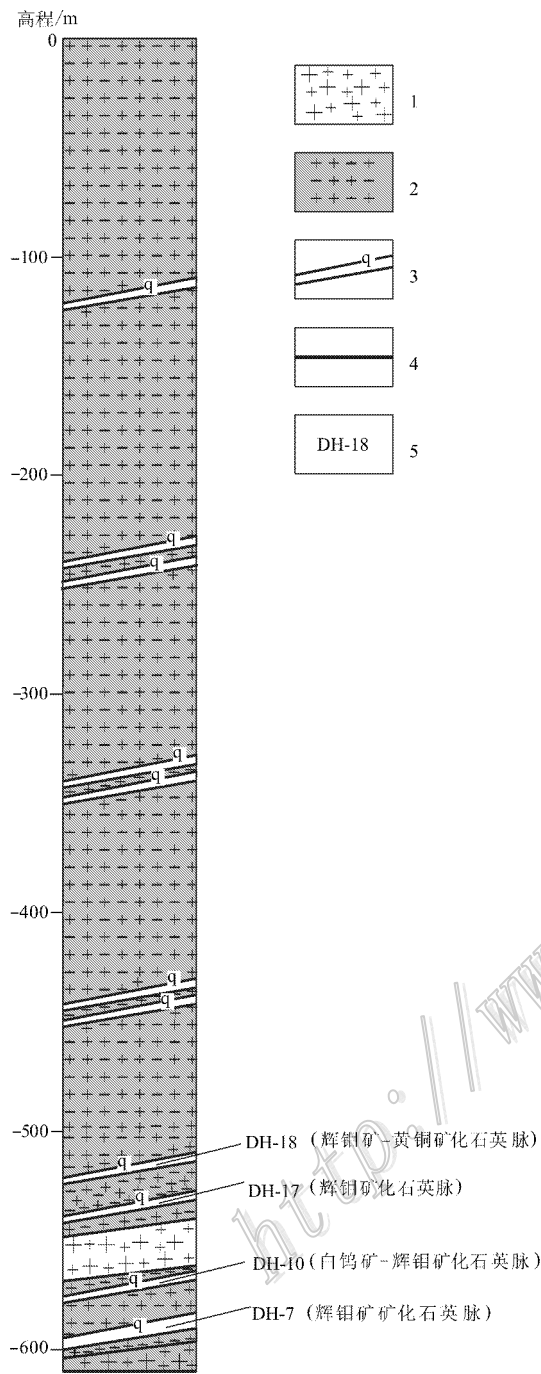


图 9 大雾塘钨矿区 ZK11-2 钻孔柱状图及其样品
取样位置图

1—晋宁期黑云母花岗岩闪长岩；2—燕山期(似)斑状花岗岩；
3—石英脉矿体；4—地质界线；5—样品及编号

Fig. 9 Simplified geological log of ZK11-2 drill hole in the
Dawutang tungsten deposit

1—Neoproterozoic biotite granodiorite；2—Cretaceous porphyritic
granite；3—Quartz vein；4—Geological boundary；5—Sample and its
serial number

物为石英,辉钼矿呈团块状或鳞片浸染状分布于石英脉内,辉钼矿均为钢灰色鳞片状或细粒状集合体(图 8c、d)。

辉钼矿样品经粉碎至 60~80 目,在双目镜下分选至纯度达 99% 以上,并用玛瑙钵研磨至 200 目,用于 Re-Os 同位素分析。Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,采用 Carius 管封闭溶样分解样品,Re-Os 同位素分析原理及详细分析流程参照相关文献(Shirey et al., 1995; Smoliar et al., 1996; Ludwig, 1999; 杜安道等, 1994; 2009; Du et al., 2004; Böhlke et al., 2005; Wieser, 2006)。

采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re-Os 含量很低的样品采用美国热电公司(Thermo Fisher Scientific)生产的高分辨电感耦合等离子体质谱仪 HR-ICP-MS Element 2 进行测量。对于 Re 选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os 选择质量数为 186、187、188、189、190、192。而 Re 用 185 监测。

3 分析结果

大雾塘钨矿区矿石中辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 范围为 $0.3368 \times 10^{-6} \sim 8.256 \times 10^{-6}$,获得的 5 个模式年龄比较一致,介于 $(136.6 \pm 2.2) \text{ Ma} \sim (138.4 \pm 2.4) \text{ Ma}$,加权平均年龄为 $(137.7 \pm 2.7) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.072) (图 10a、b)。将 5 个模式年龄进行等时线年龄计算,获得一条相关性较好的 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线,计算得到辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(137.9 \pm 2.0) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.20),初始 $w(^{187}\text{Os})/w(^{188}\text{Os}) = -0.005 \pm 0.022$,等时线年龄与加权平均年龄非常接近,可代表辉钼矿的形成年龄,这与丰成友等(2012)、Mao 等(2013)获得的石门寺和狮尾洞矿区辉钼矿 Re-Os 同位素成矿年龄 $((139.8 \pm 2.1) \text{ Ma})$ 相近(表 1)。

4 讨 论

4.1 大雾塘矿区的成矿年龄

通过对赣西北大雾塘钨矿区辉钼矿 Re-Os 同位素年代学的研究,测得辉钼矿的 5 个模式年龄比

表 1 大雾塘钨矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果

Table 1 Re-Os isotopic data for molybdenites from the Dawutang tungsten ore field

样品编号	m/g	$w(\text{Re})/10^{-6}$		$w(\text{普 Os})/10^{-9}$		$w(^{187}\text{Re})/10^{-9}$		$w(^{187}\text{Os})/10^{-9}$		模式年龄/Ma	
		测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ
DH-18	0.04939	4.232	0.036	0.0432	0.0198	2660	22	6.127	0.051	138.1	2.0
DH-7	0.10012	8.256	0.110	0.0117	0.0052	5189	69	11.94	0.011	138.0	2.5
DH-10	0.10086	2.477	0.021	0.0090	0.0057	1557	13	3.548	0.035	136.6	2.1
DH-17	0.10046	4.440	0.039	0.0058	0.0059	2790	24	6.444	0.055	138.4	2.0
DH-40	0.10096	0.3368	0.0043	0.0098	0.0025	211.7	2.7	0.4829	0.0079	136.8	3.0

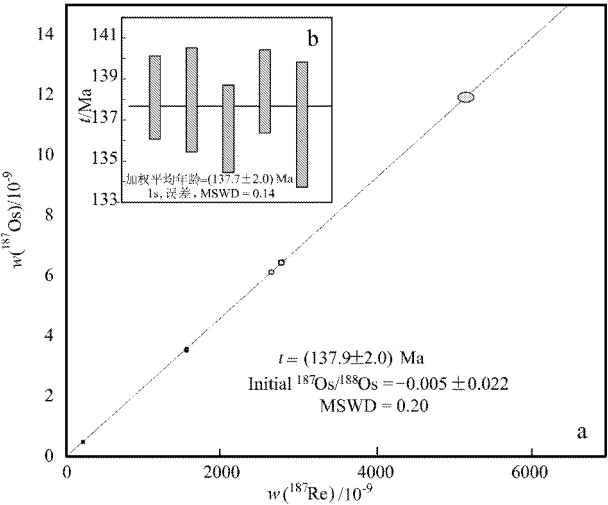


图 10 大雾塘钨矿区矿石辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(a)和加权平均年龄(b)(使用 Isoplot4.15 软件制图)

Fig. 10 Molybdenite Re-Os isochron age (a) and weighted average age (b) of the Dawutang tungsten ore field (by Isoplot4.15)

较一致,介于(136.6 ± 2.2) Ma ~ (138.4 ± 2.4) Ma, 加权平均年龄为(137.7 ± 2.7) Ma (MSWD = 0.07)。计算得到辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(137.9 ± 2.0) Ma (MSWD = 0.20),与加权平均年龄一致,可代表辉钼矿的形成年龄。与邻矿区石门寺的细粒黑云母花岗岩 ((144.7 ± 0.47) Ma) 接近 (Mao et al., 2015),结合大雾塘矿区成矿阶段的特征,辉钼矿所获得成矿年龄可近似代表钨成矿成矿作用的下限。

4.2 大湖塘钨矿田两期成矿作用

通过对大湖塘钨矿田的石门寺和狮尾洞矿区 Re-Os 年龄测试数据的重新整理,并进行投图,分别进行等时线和加权平均,矿田由北向南,石门寺矿区辉钼矿等时线年龄为(139.8 ± 2.1) Ma、(143.7 ± 2.5) Ma 和(149.6 ± 2.4) Ma (表 2,图 11a~c) 大雾塘钨矿区辉钼矿等时线年龄为(137.9 ± 2.0) Ma (图 10a) ;狮尾洞矿区辉钼矿等时线年龄为(140.2 ±

3.2) Ma (图 11d)。由此可以看出,大湖塘钨矿田存在相对集中的 2 个成矿时代,其中早期为 149 Ma 左右,成矿作用规模和范围较小,晚期则持续时间相对较长(138~143) Ma,规模和强度都较大。

成矿作用强度和规模显示 140 Ma 左右是大湖塘钨矿田的主成矿期。稍晚于燕山期细粒黑云母花岗岩的成岩时代(144 Ma, Mao et al., 2015),说明成矿与成岩作用关系密切(黄兰椿等, 2012; 2013; 张雷雷, 2013)。加之对已有钻探揭露接触关系的整理和厚度的统计,燕山期斑状花岗岩成岩的规模最大,且大湖塘钨矿田的钨多金属矿体主要赋存在强蚀变的斑状花岗岩和花岗闪长岩(晋宁期)中,占总储量的 90% 以上,其矿体的赋存形态受斑状花岗岩侵入到花岗闪长岩形成的内外接触带界面控制,侵入作用早期形成强碱性蚀变(黑云母化 + 绢云母化)带,并形成相对较小规模的矿化或矿体,后叠加稍晚期次的酸性蚀变(云英岩化 + 硅化),同时伴随着大规模的矿物沉淀作用的发生,形成大型乃至超大型的钨多金属矿体。

同时,浸染型矿体主要赋存在细粒黑花岗岩中,显示相对斑状花岗岩后稍晚的成矿作用,但就其成岩时差来看,只是略晚于斑状花岗岩的成岩作用时间,其岩浆期后热液是导致矿田钨多金属成矿作用关键。大湖塘钨矿田以成矿时间跨度大、持续时间长为特征,最早从 150 Ma 左右开始,一直持续到晚期的 139 Ma 左右 (图 12,表 2),两期成矿时间为 148 ~ 152 Ma 和 138~142 Ma。

4.3 大湖塘钨矿田成矿机制

大湖塘钨矿田成矿作用时间上晚于南岭地区中一晚侏罗世(150~160 Ma)大规模钨锡成矿作用期(胡瑞忠等, 2010; 华仁民等, 2010; 袁顺达等, 2012a; 2012b; Yuan et al., 2007; Zhao et al., 2016; 刘晓菲等, 2012; 源垭斌等, 2014)。华南钨锡钼铜多金属热液矿床众多,从赣-杭拼接带两侧矿床时空

表 2 大湖塘矿集区辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os data for molybdenite from the Shimengshi,Dawutang and Shiweidong W-Cu-Mo ore spots of the Dahutang tungsten ore field													
研究区	样品编号	m/g	w(Re)/10 ⁻⁶		w(普 Os)/10 ⁻⁹		w(¹⁸⁷ Re)/10 ⁻⁹		w(¹⁸⁷ Os)/10 ⁻⁹		模式年龄/ Ma		资料来源
			测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	
石门寺	PD401-1	0.05048	3.712	0.028	0.0053	0.0119	2333	18	5.502	0.050	141.4	2.0	丰成友等, 2012
	PD401-2	0.05022	3.043	0.027	0.0053	0.0060	1913	17	4.522	0.037	141.7	2.0	
	PD401-3	0.05055	6.211	0.051	0.0053	0.0119	3904	32	9.334	0.120	143.3	2.4	
	PD401-4	0.05005	22.134	0.177	0.0053	0.0238	13912	112	33.290	0.320	143.5	2.1	
	PD401-5	0.05076	18.877	0.144	0.0053	0.0118	11864	91	28.550	0.300	144.3	2.2	
	PD401-6	0.05533	1.868	0.014	0.0048	0.0054	1174	9	2.778	0.023	141.8	2.0	
	DHT-1	0.10222	4.059	0.036			2551	23	5.994	0.050	140.9	2.1	Mao et al., 2013
	DHT-13	0.15423	2.417	0.024			1519	15	3.569	0.033	140.8	2.2	
	DHT-14	0.15045	2.508	0.022			1576	14	3.651	0.037	138.9	2.2	
	DHT-7	0.10100	7.879	0.062			4952	39	11.600	0.090	140.4	2.0	
	DHT-8	0.30124	0.550	0.006			345.4	3.6	0.828	0.008	143.8	2.4	
	SPbT-1		22.600	0.225	0.0039	0.0039	14205	141	35.480	0.290	149.7	2.3	项新葵等, 2013a
	SPbT-2		0.955	0.008	0.0002	0.0005	600.5	5.1	1.488	0.013	148.5	2.2	
	SPbT-3		0.334	0.003	0.0066	0.0008	210.2	1.9	0.532	0.005	151.8	2.3	
	SPbT-4		1.246	0.014	0.0002	0.0025	783.0	8.8	1.962	0.020	150.2	2.6	
	SPbT-5		0.864	0.007	0.0002	0.0020	543.1	4.5	1.376	0.016	151.9	2.5	
	SPbT-6		7.193	0.080	0.0055	0.0025	4521	50	11.350	0.140	150.5	2.8	
狮尾洞	DCM11-Mo04	0.20266	0.533	0.004	0.0003	0.0014	334.9	2.6	0.786	0.008	140.8	2.1	丰成友等, 2012
	DCM11-Mo01	0.30163	1.519	0.011	0.0002	0.0010	954.7	7.0	2.221	0.018	139.5	1.9	
	DCM11-Mo02	0.22769	1.807	0.014	0.0009	0.0003	1136	9.0	2.689	0.026	141.9	2.1	
	DCM11-Mo03	0.30140	1.394	0.010	0.0010	0.0005	876.4	6.5	2.035	0.016	139.2	1.9	
	DCM11-Mo05	0.30050	0.641	0.005	0.0002	0.0013	402.9	3.1	0.933	0.008	138.8	1.9	
	DCM11-Mo06	0.20232	0.695	0.008	0.0081	0.0018	436.9	5.0	1.015	0.009	139.3	2.3	

分布情况来看,从赣南到赣北,成岩与成矿的时代上相近(表 3、图 13),湘东南和赣南隶属于南岭成矿省,其成矿时代上较为集中,且早于大湖塘钨矿田大规模的成岩成矿作用,成矿时代集中在 150~160 Ma(毛景文等, 2011; 丰成友等, 2007a; 2007b; 华仁民等, 2007, 2010),但在赣中发现成矿时代更早的矿床,如新安斑岩型钼矿((168.3±1.7) Ma,曾载淋等, 2011),而赣北成矿作用集中在 140~150 Ma; 同时也存在一期 160 Ma 左右的成矿作用,如莲花心铜钼矿((158.6±2.0) Ma,张勇等, 2016),具有明显的多期成矿作用的存在。

大湖塘钨矿田 2 期成矿作用对成矿元素巨量堆积体现在:一是该矿田的燕山期岩浆作用每一期成

岩作用,伴随着一期岩浆期后热液成矿作用,不相容元素在流体中多次的富集效应;二是每一期成矿流体都存在 2 阶段演化模式,即早期的碱性热液阶段(氧化阶段)和成矿期的酸热液阶段(还原阶段),早期的碱性成矿流体对围岩和早形成的岩浆岩交代,成矿元素进一步在流体中富集,演化到后期流体由于交代蚀变过程中碱的耗尽,以及可能中偏酸性流体的加入,流体逐渐变为酸性,同时流体中的成矿元素沉淀卸载成矿。

大湖塘钨矿田成矿作用特征,即类似典型斑岩铜钨热液系统,同时具有典型矽卡岩型矿床内外接触带的特点,围岩(晋宁期黑云母花岗闪长岩)提供部分成矿物质(Ca、Fe和Mn等)。初步认为大湖塘

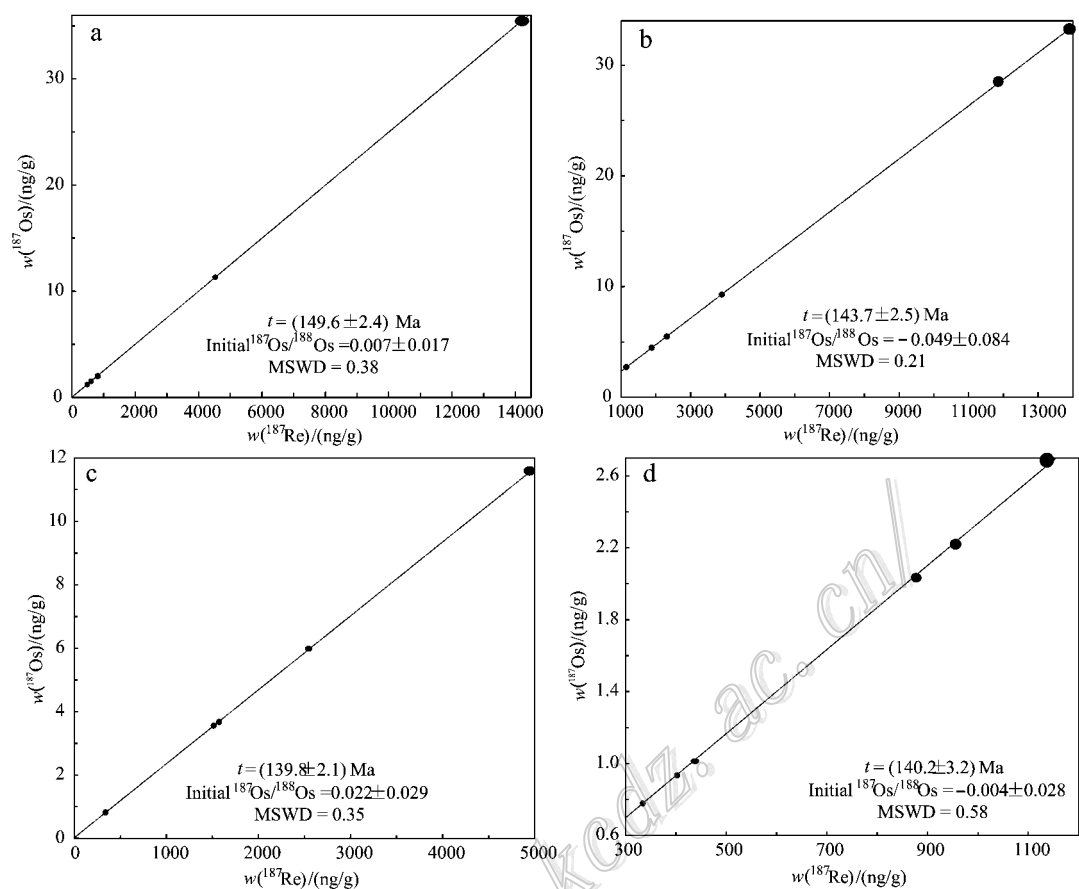


图 11 大湖塘矿田石门寺矿区(a、b、c)和狮尾洞矿区(d)矿石辉钼矿 Re-Os 等时线年龄图(项新葵等, 2013a 丰成友, 2012; Mao et al., 2013,使用 Isoplot4. 15 软件制图)

Fig. 11 Re-Os isochron of molybdenite in Shimengsi depositat (a,b,c) and Shiweidong deposit (d) at the Dahutang tungsten ore field (afterXiang et al., 2013a 丰成友 et al., 2012 Mao et al., 2013 by Isoplot4. 15)

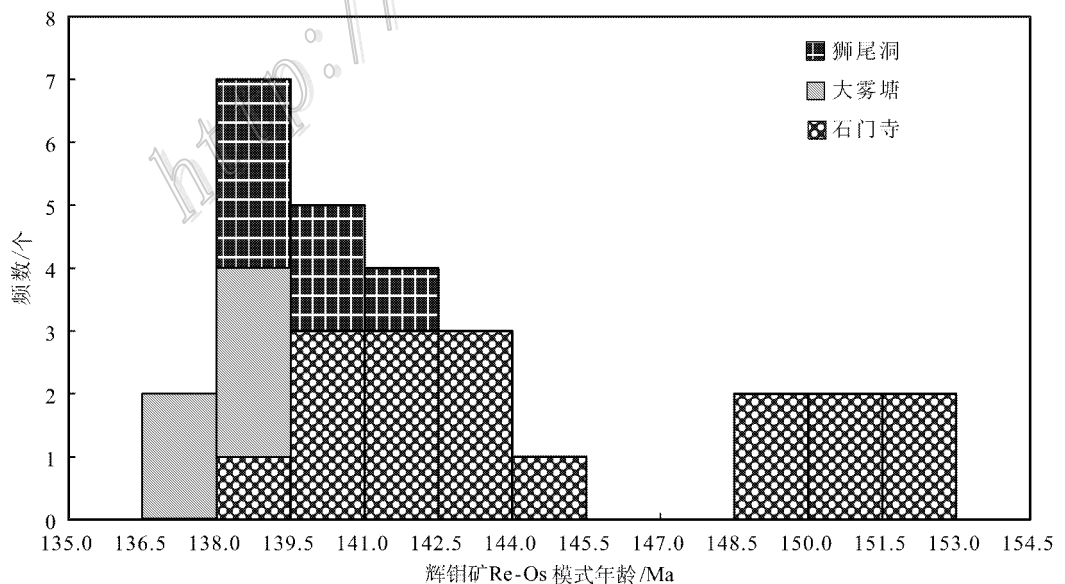


图 12 大湖塘钨矿田 Re-Os 模式年龄直方图(狮尾洞和石门寺模式年龄来源于项新葵等, 2013a 丰成友, 2012 Mao et al., 2013)

Fig. 12 Model age histogram of the Dahutang tungsten ore field (model age of Shiweidong and Shimengsi after Xiang et al., 2013a 丰成友 et al., 2012 Mao et al., 2013)

表 3 华南典型钨锡钼铜矿床成岩与成矿时代对照表

Table 3 Re-Os ages and U-Pb of zircon from several representative tungsten polymetallic deposits in South China							
研究区域	矿床	成因类型	主要矿物	成岩时代/Ma	数据来源	成矿时代/Ma	数据来源
赣南	淘锡坑	石英脉型	黑钨矿	158.7±3.9	郭春丽等, 2007	154.4±3.8	陈郑辉等, 2006
	摇蓝寨	石英脉型	黑钨矿	156.9±1.7	丰成友等, 2007a	155.8±2.8	丰成友等, 2007a
	樟斗	石英脉型	黑钨矿	151.4±3.1	丰成友等, 2007b	149.1±1.7	丰成友等, 2007b
	盘古山	石英脉型	黑钨矿	161.7±1.6	方贵聪等, 2014	155.3±2.8	方贵聪等, 2014
	牛岭	石英脉型	黑钨矿	151.8±2.9	丰成友等, 2007b	154.9±4.1	丰成友等, 2007b
	园岭寨	斑岩型	辉钼矿	165.49±0.59	黄凡等, 2012	161.1±3.9	周雪桂等, 2011
赣中	浒坑	石英脉型	黑钨矿	151.6±2.6	刘珺等, 2008a	150.2±2.2	刘珺等, 2008b
	下桐岭	石英脉型	黑钨矿	150.1±1.0	杨泽黎等, 2014	152.0±3.3	李光来等, 2011
	新安	斑岩型	辉钼矿	?		168.3±1.7	曾载淋等, 2011
	永平	斑岩型	黄铜矿	160±2.3	丁昕等, 2005	156.7±2.8	李晓峰等, 2007
赣北	石门寺	细脉浸染+蚀变花岗岩型	白钨矿、黑钨矿	(148.3±1.9)~ (144.0±0.6)	Mao et al., 2014 Huang et al., 2014	(149.6±1.2)~ (140.9±3.6)	项新葵等, 2013; 丰成友等, 2012
	狮尾洞	细脉浸染石英大脉	白钨矿、黑钨矿	?		139.8±2.1	丰成友等, 2012
	大雾塘	细脉浸染型、蚀变花岗岩型	白钨矿、黑钨矿、 黄铜矿	?		137.9±2.0	本文
	宝山	斑岩型	黄铜矿	147.81±0.48	贾丽琼等, 2015a	147.7±1.2	贾丽琼等, 2015a
	东雷湾	矽卡岩型	黄铜矿	142.24±0.52	贾丽琼等, 2015b	143.3±5.2	贾丽琼等, 2015b
	塔前	矽卡岩型	辉钼矿、白钨矿	160.9±2.5	胡正华等, 2015	162±2	黄安杰等, 2013
	莲花芯	石英脉型	黄铜矿、辉钼矿	?		158.6±2.0	张勇等, 2016
湘东南	新田岭	石英脉型	白钨矿、辉钼矿	160±2	付建明等, 2004	161.7±9.3	袁顺达等, 2012
	金船塘	矽卡岩型	锡石、辉铋矿	?		158.8±6.6	刘晓菲等, 2012

钨矿成矿作用机制为:第一期成矿作用:A 阶段,即强碱性(氧化)流体作用阶段,也是成矿物质(特别是SiO₂、Na₂O、FeO、Fe₂O₃、CaO)萃取迁移聚集阶段,对应于燕山期斑状黑云母花岗岩((147.4±0.58) Ma~(148.3±1.9) Ma, Mao et al., 2015)冷凝固晶阶段;B 阶段,即中性-弱酸性(弱氧化)流体作用阶段,也是成矿物质二次富集并开始向初步沉淀阶段转变(少量成矿物质成矿阶段)的过程,对应于燕山期斑状黑云母花岗岩期后热液阶段;第二期成矿作用:C 阶段,即强酸性(还原)流体作用阶段,也是主成矿阶段,对应于燕山期细粒黑云母花岗岩期后热液阶段,伴随着流体混合(特别是富集成矿物质 W 等元素的细粒花岗岩结晶分异出的酸性流体的加入),成矿后的热液活动对已堆积成矿的蚀变地质体起到了较弱

的改造作用。

5 结 论

- (1) 大雾塘矿区钨矿床的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(137.9±2.0) Ma, 较石门寺和狮尾洞等矿区成矿作用稍晚, 大雾塘矿区钨矿床的形成与矿区细粒黑云母花岗岩的活动有关。
- (2) 大雾塘矿区的钨矿床是大湖塘钨矿田第二期次(140 Ma) 大规模成矿作用的产物,而大湖塘矿田的成矿作用最早发生在石门寺矿区(149 Ma) 对应于斑状黑云母花岗岩,主成矿期为 139 Ma 左右,对应于细粒黑云母花岗岩。两期成矿作用可能是大湖塘钨矿田巨量成矿元素堆积的重要原因之一。

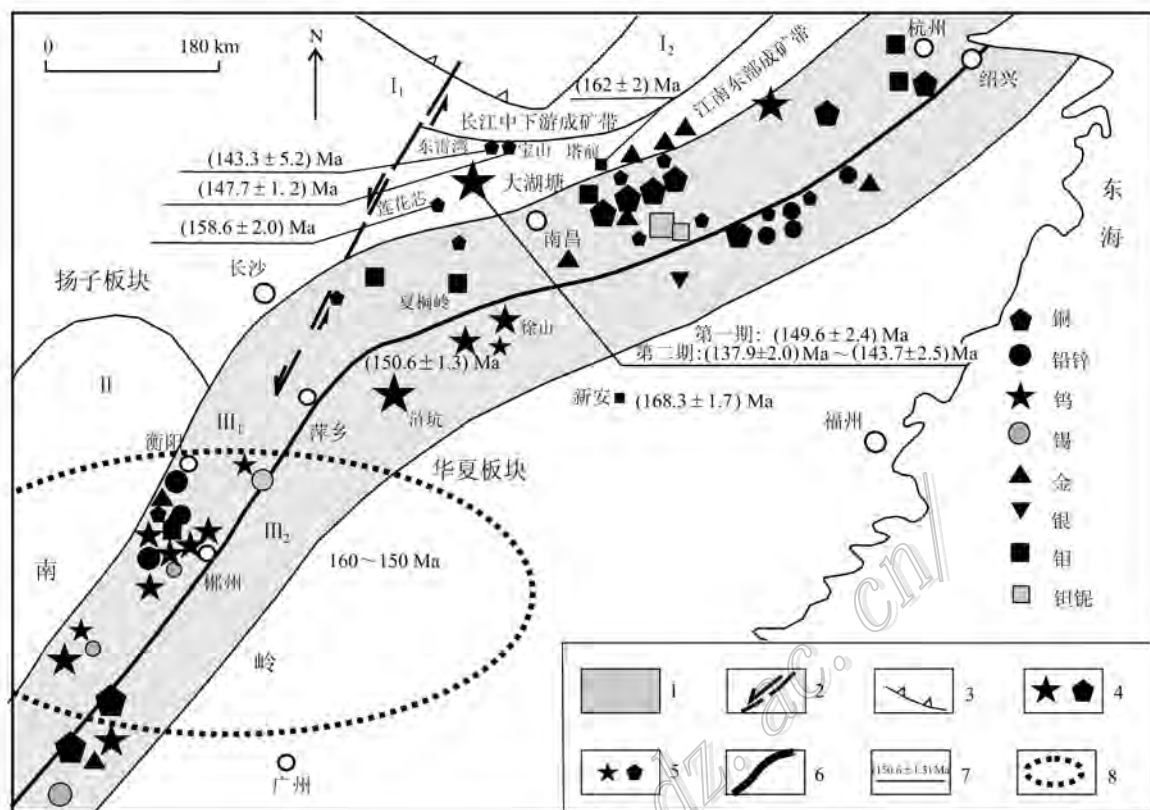


图 13 钦杭成矿带内生金属矿床分布略图(据李光来等,2011 修改)

1—钦杭成矿带; 2—走滑断层; 3—推覆构造; 4—超大型、大型矿床; 5—中小型矿床; 6—深大断裂; 7—辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄;
8—南岭钨锡成矿省

I₁—上扬子成矿带; I₂—下扬子成矿带; II—湘桂成矿带; III₁—钦杭成矿北带; III₂—钦杭成矿南带

Fig. 13 Distribution of ore deposits in the Qin-Hang metallogenic belt (modified after Li et al., 2011)

1—Qin-Hang metallogenic belt; 2—Strike slip fault; 3—Nappe structure; 4—Large-superlarge deposits; 5—Small and medium-sized deposits;
6—Suture; 7—Re-Os isochron of molybdenite; 8—Nanling tungsten tin metallogenic province

I₁—West Yangtze metallogenic belt; I₂—East Yangtze metallogenic belt; II—Hunan-Guizhou metallogenic belt; III₁—North
Qinzhong-Hangzhou metallogenic belt; III₂—South Qinzhong-Hangzhou metallogenic belt

References

- Böhlke J, De Laeter J, De Bièvre P, Hidaka H, Peiser H, Rosman K and Taylor P. 2005. Isotopic compositions of the elements, 2001[J]. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 34(1): 57-67.
- Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang A P, Xu J X, Zhang J Q and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineralization age of Taosikeng Tungsten deposit in Chongy County, southern Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(4): 496-501 (in Chinese with English abstract).
- Ding X, Jiang S Y, Ni P, Gu L X and Jiang Y H. 2005. Zircon SIMS U-Pb geochronology of host granitoids in Wushan and Yongping copper deposits, Jiangxi Province[J]. Geological Journal of China Universities, 11(3): 383-389(in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica, 68(4): 339-347(in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S, Sun D, Wang S, Qu W, Markey R, Stain H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenites HLP and JDC[J]. Geo-standards and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.
- Du A D, Qu W J, Li C and Yang G. 2009. A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 288-304 (in Chinese with English abstract).
- Fang G C, Chen Y C, Chen Z H, Zeng Z L, Zhang Y Z, Tong Q J, Sun J, Huang H X and Guo N X. 2014. Zircon U-Pb and

- Molybdenite Re-Os geochronology of the Pangushan tungsten deposit in South Jiangxi Province and its significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(1) :76-84. (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Feng Y D, Xu J X, Zeng Z L, She H Q, Zhang D Q, Qu W J and Du A D. 2007a. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi [J]. *Geology in China*, 34(4) :642-650 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D and Dong Y J. 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan-Hongtaoling Tungsten-tin ore-field, Southern Jiangxi Province, China and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7) :952-963 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, Xiang X K, Li D X, Qu H Y, Liu J L and Xiao Y. 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).
- Fu J M, Ma C Q, Xie C F, Zhang Y M and Peng S B. 2004. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, South China, and its significance [J]. *Geology in China*, 31(1) :96-100 (in Chinese with English abstract).
- Guo C L, Wang D H, Chen Y C, Wang Y B, Chen Z H and Liu S B. 2007. Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taoxikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi [J]. *Mineral Deposits*, 26(4) :432-442 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Mao J W, Fan W M, Hua R M, Bi X W, Zhong H, Song X Y and Tao Y. 2010. Some scientific questions on the intra-continental metallogeny in the South China continent [J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2) :13-26 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z H, Liu D, Liu S B, Lang X H, Zhang J Q, Chen Y C, Shi G H, Wang Y Y, Lei T H and Nie L M. 2015. Rock-forming and ore-forming ages and significance of Taqian Mo(W) deposit, Leping, Jiangxi, China [J]. *Journal of Chendu University of technology (Science & Technology Edition)*, 42(3) :312-322 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Li G L, Zhang W L, Hu D Q, Chen P R, Chen W F and Wang X D. 2010. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China [J]. *Mineral Deposits*, 29(1) :9-23 (in Chinese with English abstract).
- Huang A J, Wen Z G, Liu S B, Liu X Q, Liu X M, Zhang J Q, Shi G H and Liu Z Q. 2013. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Taqian W-Mo deposit in Leping County, Jiangxi Province and its geological implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(4) :496-504 (in Chinese with English abstract).
- Huang F, Wang D H, Zeng Z L, Zhang Y Z, Zeng Y and Wen Z L. 2012. Petro-geochemical characteristics and isotope chronology study on the Yuanlingzhai Porphyry Mo deposit in southern Jiangxi Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3) :363-376 (in Chinese with English abstract).
- Huang L C and 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 and Jiang S Y. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the tungsten-bearing porphyritic granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12) :4323-4335 (in Chinese with English abstract).
- Huang L C and 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(4) :207-226.
- Jia L Q, Xu W Y, Yang D, Yang Z S and Wang L. 2015a. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating of Baoshan porphyry Cu polymetallic deposit in Jiujiang-Ruichang ore concentration area of Jiangxi Province and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 34(1) :63-80 (in Chinese with English abstract).
- Jia L Q, Yang D, Xu W Y, Lu Q T, Yang Z S, Mo X X and Wang L. 2015b. Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os dating of the Dongleiwang skarn Cu polymetallic deposit in the Jiujiang-Ruichang ore concentration area of Jiangxi Province and its geological significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(2) :177-186 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S Y, Peng N J, Huang L C, Xu Y M, Zhan G L and Dan X H. 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 G L, Hua R M, Huang X E, Wei X L, Qu W J and Wang X D. 2011. Re-Os isotopic age of molybdenite from Xiatongling tungsten deposit, Central Jiangxi Province, and its geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 30(6) :1075-1084 (in Chinese with English abstract).
- Li X F, Watanabe Y and Qu W J. 2007. Textures and geochemical characteristics of granitic in the Yongping climax-type Cu-Mo deposit, Jiangxi, southeastern China, and their alteration, mineralization and tectonic regime [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10) :2353-2366 (in Chinese with English abstract).

- Liu J, Mao J W, Ye H S, Xie G Q, Yang G Q and Zhang W. 2008a. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating of Hukeng granite in Wugongshan area, Jiangxi Province and its geochemical characteristics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (8) :1813-1822 (in Chinese with English abstract).
- Liu J, Ye H S, Xie G Q, Yang G Q and Zhang W. 2008b. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi Province, and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82 (11) :1572-1579 (in Chinese with English abstract).
- Liu X and You G Q. 2015. Tectonic regional subdivision of China in the light of plate theory [J]. *Geology in China*, 42 (1) :1-17 (in Chinese with English abstract).
- Liu X F, Yuan S D and Wu S H. 2012. Re-Os dating of the molybdenite from the Jinchuantang tin-bismuth deposit in Hunan Province and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (1) :39-51 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0 : A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. *Geochronology Center*. 1-15.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63 (s11-12) :1815-1818.
- Mao J W, Chen M H, Yuan S D and Guo C L. 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*, 28 (5) :636-658 (in Chinese with English abstract).
- Mao Z H, Cheng Y B, Liu J J, Yuan S D, Wu S H, Xiang X K and Luo X H. 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, Deng J, Zhang F, Meng X Y, Xiong B K, Xiang X K and Luo X H. 2014. 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.
- Mao Z H, Liu J J, Mao J W, Deng J, Zhang F, Meng X Y, Xiong B K, Xiang X K and Luo X H. 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.
- Peng J T, Hu R Z, Lin Y and Zhao J. 2002. Sm-Nd isotope dating of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit, Central Hunan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 47 (13) :1134-1137.
- Peng J T, Fu Y Z, Yuan S D, Shen N P and Zhang D L. 2006. Sm-Nd isotope dating of Some Ca-bearing minerals in Hydrothermal deposits [J]. *Geological Review*, 52 (5) :662-667 (in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. *Analytical Chemistry*, 67 (13) :2136-2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, III A, IV A, and IV B iron meteorites [J]. *Science*, 271 (5252) :1099.
- Wieser M. 2006. Atomic weights of the elements 2005 (IUPAC Technical Report) [J]. *Pure and Applied Chemistry*, 78 (11) :2051-2066.
- Xiang X K, Wang P, Zhan G N, Sun D M, Zhong B, Qian Z Y and Tan R. 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 and Zhong B. 2013b. Re-Os isotopic age of molybdenite 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. 2015. Seminar of special mapping and technology application demonstration of the Dahutang tungsten monoblock exploration area, Wuning of Jiangxi Province [R]. (in Chinese).
- Yang M G and Mei Y W. 1997. Characteristics of geology and metallogenization in the Qinzhou-Hangzhou paleoplate juncture [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 1 (3) :52-59 (in Chinese with English abstract).
- Yang M G and Zeng Y. 2006. On several regional geological issues in the South-East China [A]. A collection of papers on the science and technology forum of six provinces in East China [C]. *Geological Society of Jiangxi Province*. 9p (in Chinese with English abstract).
- Yang Z L, Qiu J S, Xing G F, Yu M G and Zhao J L. 2014. Petrogenesis and magmatic evolution of the Yashan granite pluton in Yichun, Jiangxi Province, and their constraints on mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 88 (5) :850-868 (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Ruizhong H U and Dai T M. 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in southern Hunan, China and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (2) :278-286.
- Yuan S D, Peng J T, Hu R Z, Li H M, Shen N P and Zhang D L. 2008. A precise U-Pb age on cassiterite from the Xianghualing tin-polymetallic deposit (Hunan, South China) [J]. *Mineralium Deposita*

ta, 43(4):375-382.

- Yuan S D, Peng J T, Hao S, Li H M, Geng J Z and Zhang D L. 2011. In situ LA-MC-ICP-MS and ID-TIMS U-Pb geochronology of cassiterite in the giant Furong tin deposit, Hunan Province, South China: New constraints on the timing of tin-polymetallic mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 43(1):235-242.
- Yuan S D, Liu X F, Wang X D, Wu S H, Yuan Y B, Li X K and Wang T Z. 2012a. Geological characteristics and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Hongqiling tin deposit in southern Hunan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12):3787-3797 (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Zhang D L, Shuan Y, Du A D and Qu W J. 2012b. Re-Os dating of molybdenite from the Xintianling giant tungsten-molybdenum deposit in southern Hunan Province, China and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1):27-38 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Y B, Yuan S D, Chen C J and Huo R. 2014. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of the granitoids in the Huangshaping mining area and their geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(1):64-78 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Z L, Liu S B, Deng M C, Huang F, Cheng Y C, Lai Z J and Qu W J. 2011. Geological characteristics and Re-Os dating of the Xin'an molybdenum deposit in Jiangxi Province[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 30(2):144-149 (in Chinese with English abstract).
- Zhan G L. 2015. Seminar of special mapping and technology application demonstration of the Dahutang tungsten monoblock exploration area, Wuning of Jiangxi Province[R]. (in Chinese).
- Zhang L L. 2013. The genetic relationship between the geochemical characteristics of granites and mineralization in SuoYiDong mine of the Tungsten ore field of DaHuTang in Jiangxi Province[D]. Advisor: Peng H M. Nanchang: East China University of Technology (ECUT). 59p (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Pan J Y, Ma D S, Liu G Q, Wei X Y, Zhang L L, Ma C J and Yang C P. 2016. Re-Os isotope dating of molybdenite from the Lianhuaxin Cu-Mo-W deposit, Xiushui, Jiangxi Province (south China) and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 35(4):867-880 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P L, Yuan S D, Mao J W, Santosh M, Li C and Hou K J. 2016. Geochronology and geochemistry of the skarn Cu-(Mo)-Pb-Zn and W deposits in southern Hunan Province: Implications for Jurassic Cu and W metallogenic events in South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 78:120-137.
- Zhou X G, Wu J H, Qu W J, Gong M, Yuan C X, Liao M H, Zhao G, Li M, Wei J H and Ma Z D. 2011. Re-Os dating of molybdenites from Yuanlingzhai molybdenum deposit in [J]. *Mineral Deposits*, 30(4):690-698 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 陈毓川, 王平安, 许建祥, 张家菁, 许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. *地质通报*, 25(4):496-501.
- 丁昕, 蒋少涌, 倪培, 顾连兴, 姜耀辉. 2005. 江西武山和永平铜矿含矿花岗岩体锆石 SIMS U-Pb 年代学[J]. *高校地质学报*, 11(3):383-389.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 68(4):339-347.
- 杜安道, 屈文俊, 李超, 杨刚. 2009. 铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. *岩矿测试*, 28(3):288-304.
- 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 曾载淋, 张永忠, 童启荃, 孙杰, 黄鸿新, 郭娜欣. 2014. 赣南盘谷山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义[J]. *地球学报*, 35(1):76-84.
- 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 曾载淋, 余宏全, 张德全, 屈文俊, 杜安道. 2007a. 赣南张天堂地区岩体钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据[J]. *中国地质*, 34(4):642-650.
- 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 张德全, 屈文俊, 余宏全, 李进文, 李大新, 杜安道, 董英君. 2007b. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. *地质学报*, 81(7):952-963.
- 丰成友, 张德全, 项新葵, 李大新, 瞿泓滢, 刘建楠, 肖晖. 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.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2004. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *中国地质*, 31(1):96-100.
- 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 王彦斌, 陈郑辉, 刘善宝. 2007. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定[J]. *矿床地质*, 26(4):432-442.
- 胡瑞忠, 毛景文, 范蔚茗, 华仁民, 毕献武, 钟宏, 宋谢炎, 陶琰. 2010. 华南陆块陆内成矿作用的一些科学问题[J]. *地学前缘*, 17(2):13-26.
- 胡正华, 刘栋, 刘善宝, 郎兴海, 张家菁, 陈毓川, 施光海, 王艺云, 雷天浩, 聂龙敏. 2015. 江西乐平塔前钨(钨)矿床成岩成矿时代及意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 42(3):312-322.
- 华仁民, 李光来, 张文兰, 胡东泉, 陈培荣, 陈卫锋, 王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J]. *矿床地质*, 29(01):9-23.
- 黄安杰, 温祖高, 刘善宝, 刘清渭, 刘献满, 张家菁, 施光海, 刘战庆. 2013. 江西乐平塔前钨钨矿中辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 32(04):496-504.
- 黄凡, 王登红, 曾载淋, 张永忠, 曾跃, 温珍连. 2012. 赣南园岭寨大

- 型钼岩石地球化学、成岩成矿年代学及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 363-376.
- 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.
- 黄兰椿, 蒋少涌. 2013. 江西大湖塘富钨花岗斑岩年代学、地球化学特征及成因研究[J]. 岩石学报, 29(12): 4323-4335.
- 贾丽琼, 徐文艺, 杨丹, 杨竹森, 王梁. 2015a. 江西九瑞地区宝山斑岩型铜多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 34(1): 73-80.
- 贾丽琼, 杨丹, 徐文艺, 吕庆田, 杨竹森, 莫宣学, 王梁. 2015b. 江西九瑞地区东雷湾砂卡岩型铜多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 36(2): 177-186.
- 蒋少涌, 彭宁俊, 黄兰椿, 徐耀明, 占岗乐, 但小华. 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.
- 李光来, 华仁民, 黄小娥, 韦星林, 屈文俊, 王旭东. 2011. 赣中下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 30(6): 1075-1084.
- 李晓峰, Watanabe Y, 屈文俊. 2007. 江西永平铜矿花岗质岩石的岩石结构、地球化学特征及其成矿意义[J]. 岩石学报, 23(10): 2353-2365.
- 刘●, 毛景文, 叶会寿, 谢桂青, 杨国强, 章伟. 2008a. 江西省武功山地区浒坑花岗岩的锆石 U-Pb 定年及元素地球化学特征[J]. 岩石学报, 24(8): 1813-1822.
- 刘●, 叶会寿, 谢桂青, 杨国强, 章伟. 2008b. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(11): 1572-1579.
- 刘晓菲, 袁顺达, 吴胜华. 2012. 湖南金船塘锡铋矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义[J]. 岩石学报, 28(1): 39-51.
- 刘训, 游国庆. 2015. 中国的板块构造区划[J]. 中国地质, 42(1): 1-17.
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 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, (5): 636-658.
- 彭建堂, 符亚洲, 袁顺达, 沈能平, 张东亮. 2006. 热液矿床中含钨矿物的 Sm-Nd 同位素定年[J]. 地质论评, 52(5): 662-667.
- 项新葵, 王朋, 詹国年, 孙德明, 钟波, 钱振义, 谭荣. 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, 钟波. 2013b. 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. 2015. 江西大湖塘钨铜多金属矿整装勘查区野外现场研讨会[R].
- 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.
- 杨明桂, 曾勇. 2006. 中国东南部几个区域地质问题[A]. 加强地质工作促进可持续发展--2006 年华东六省一市地学科技论坛论文集[C]. 9 页.
- 杨泽黎, 邱检生, 邢光福, 余明刚, 赵蛟龙. 2014. 江西宜春雅山花岗岩体的成因与演化及其对成矿的制约[J]. 地质学报, 88(5): 850-868.
- 袁顺达, 刘晓菲, 王旭东, 吴胜华, 原垭斌, 李雪凯, 王铁柱. 2012a. 湘南红旗岭钨多金属矿床地质特征及 Ar-Ar 同位素年代学研究[J]. 岩石学报, 28(12): 3787-3797.
- 袁顺达, 张东亮, 双燕, 杜安道, 屈文俊. 2012b. 湘南新田岭大型钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义[J]. 岩石学报, 28(1): 27-38.
- 原垭斌, 袁顺达, 陈长江, 霍然. 2014. 黄沙坪矿区花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 30(1): 64-78.
- 曾载淋, 刘善宝, 邓茂春, 黄凡, 陈毓川, 赖志坚, 屈文俊. 2011. 江西广昌新安钨矿床地质特征及其铼-钨同位素测年[J]. 岩矿测试, 30(2): 144-149.
- 占岗乐. 2015. 江西大湖塘钨铜多金属矿整装勘查区野外现场研讨会[R].
- 张雷雷. 2013. 江西大湖塘钨矿田蓼衣洞矿区花岗岩地球化学特征及其与成矿关系[D]. 导师: 彭花明. 南昌: 东华理工大学. 59 页.
- 张勇, 潘家永, 马东升, 刘国奇, 韦新亚, 张雷雷, 马崇军, 杨春鹏. 2016. 江西修水县莲花芯 Cu-Mo-W 矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 35(4): 867-880.
- 周雪桂, 吴俊华, 屈文俊, 龚敏, 袁承先, 廖明和, 赵赣, 李牟, 魏俊浩, 马振东. 2011. 赣南园岭寨钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 30(4): 690-698.