

江西大湖塘北段石门寺钨铜钼矿化关系研究

叶泽宇¹, 张智宇², 潘小菲², 彭花明^{1,3}

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037;
3. 东华理工大学 地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 江南造山带中段的赣北大湖塘矿集区是我国近年查明的世界级超大型钨矿产地, 并伴生大型铜矿。本文对该区北段石门寺矿区燕山期不同岩石单元的 W、Cu、Mo 矿化特征与成矿年龄进行了系统研究。白钨矿多呈细脉浸染状产于似斑状花岗岩及其与围岩的外接触带; 黄铜矿与辉钼矿多呈浸染状共生于似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩、黑云母花岗岩斑岩及其围岩中。矿石矿物化学研究表明, 似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗岩斑岩中的硫化物成分较均一, 黄铜矿中 Cu 34.215% ~ 35.161%、Fe 29.206% ~ 30.721%、S 34.388% ~ 35.520%, 辉钼矿中 Mo 59.44% ~ 60.54%、S 40.067% ~ 40.370%; 似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩、黑云母花岗岩斑岩和石英大脉中的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄均值分别为 143.3 Ma、145.2 Ma、144.5 Ma、143.6 Ma, 在误差范围内基本相同, 指示该矿区内的 Cu、Mo 矿化为一期成矿作用形成, 由此给出辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄 145.1 ± 1.0 Ma (MSWD=0.46), 代表 Cu、Mo 矿化时间。结合前人岩浆岩研究结果, 石门寺矿区白钨矿与 Cu、Mo 矿化是两期成矿作用的产物, 前者与似斑状黑云母花岗岩密切相关, 而后者可能与燕山晚期黑云母花岗岩斑岩有成因联系, 成矿物质由斑岩向其他岩石单元迁移逐渐成矿。

关键词: 矿化特征; Re-Os 同位素定年; 矿石矿物化学; 成矿金属来源; 石门寺钨铜钼矿

中图分类号: P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)03-0457-12

A study of the relationship of W-Cu-Mo mineralization features of the Shimensi ore district in northern Dahutang, Jiangxi Province

YE Ze-yu¹, ZHANG Zhi-yu², PAN Xiao-fei² and PENG Hua-ming^{1,3}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. College of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: Located in the middle Jiangnan orogenic belt, the Dahutang ore concentration area in northern Jiangxi Province is famous for producing world-class superlarge tungsten ore deposits and large copper ore deposits, thus serving as one of the largest discovered tungsten producing base area in recent years. This study is aimed at investigating the W, Cu and Mo mineralization features and ore-forming age in different rock units of Yanshanian period in the Shimensi ore district. Scheelite mainly occurs in porphyritic granite and the external contact zone of the wall rock with veinlet-disseminated granite. Chalcopyrite and molybdenite are mainly existent in porphyritic granite, fine-grained granite, granite porphyry and the contact zone of wall rock with disseminated granite. Ore chemical composition indicates that the components of sulfides are relatively uniform in three sets of rock units with the following data: chalcopyrite (Cu 34.215% ~ 35.161%, Fe 29.206% ~ 30.721%, S 34.388% ~

收稿日期: 2015-10-22; 接受日期: 2016-04-15

基金项目: 中国地质调查局资助项目(12120115069701); 国家自然科学基金资助项目(41503050)

作者简介: 叶泽宇(1990-), 男, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: yeezeezyuu@163.com。

35.520%) and molybdenite (Mo 59.44% ~ 60.54%, S 40.067% ~ 40.370%). The molybdenite Re-Os isotopic model average ages are 143.3 Ma, 145.2 Ma, 144.5 Ma, 143.6 Ma respectively in porphyritic biotite granite, fine-grained biotite granite, biotite granite porphyry and thick-vein quartz, which are basically identical within the error range, indicating that Cu, Mo mineralization were formed in one metallogenic epoch. Therefore the molybdenite Re-Os isotopic isochron age of 145.1 ± 1.0 Ma (MSWD=0.46) could represent the mineralization time of Cu, Mo. Combined with the previous study of granites in Dahutang, the authors hold that the mineralization of scheelite and Cu, Mo took place in two metallogenic epochs in the Shimensi ore district. The former was closely related to the porphyritic granite and the latter probably had metallogenic relationship with the granite porphyry of late Yanshanian period. The ore-forming materials were delivered from granite porphyry to other rock units to cause mineralization gradually.

Key words: mineralization features; Re-Os isotope dating; ore mineral chemistry; ore-forming metal source; Shimensi W-Cu-Mo ore district

Fund support: China Geological Survey Project (12120115069701); National Natural Science Foundation of China (41503050)

中国华南地区钨铜矿产资源丰富,其中江西钨矿闻名遐迩。赣北大湖塘矿集区产有世界级超大型钨矿并伴生大型铜矿(WO_3 储量为 110.47×10^4 t, Cu 储量为 65.2×10^4 t, 张志辉等, 2014), 这改变了江西“南钨北铜”的格局。目前已探明大湖塘矿集区石门寺矿区 WO_3 金属量 74.255×10^4 t (平均品位 0.195%), 铜金属量 40.36×10^4 t, 钼金属量 2.8×10^4 t (项新葵等, 2013b)。大湖塘矿集区包括大湖塘北区(石门寺、大岭上)、大湖塘南区(狮尾洞)和大雾塘矿区, 其钨矿的巨型规模以及独特的钨铜共生特征, 引起了国内外地质工作者的高度关注。前人对大湖塘矿集区的区域地质和成矿地质条件(林黎等, 2006a, 2006b)、矿床地质特征(项新葵等, 2011, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c)、岩浆岩成因和成岩成矿时代(黄兰椿等, 2012, 2013; 丰成友等, 2012)、成矿物质来源(蒋少涌等, 2015; 王辉等 2015)等做了大量研究。就岩浆岩与金属矿化关系而言, 石门寺燕山期岩浆活动频繁, 主要产有似斑状花岗岩、细粒花岗岩和花岗斑岩多期侵入岩, 矿种繁多且矿化关系复杂。丰成友等(2012)报道的石门寺辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 143.7 ± 1.0 Ma; Mao 等(2013)和项新葵等(2013c)报道的石门寺辉钼矿 Re-Os 等时线年龄分别为 139.2 ± 1.0 Ma 和 149.6 ± 1.2 Ma, 矿化年龄结果相差较大。钨、铜、钼常常伴生, 且铜矿与钼矿常共生于多个岩石单元。由此便引出了尚需解决的科学问题: 石门寺钨矿化与铜矿化是否为一期成矿? 燕山期的多期岩浆作用是否都与铜、钼矿化有成因联系? 这需要对矿区燕山期

各岩石单元中的矿化特征及辉钼矿年龄分别作详细解剖。本文在系统的野外地质调查与室内岩相学观察的基础上, 对石门寺矿区中多个岩石单元中的矿化特征开展系统对比研究, 并对各岩石单元中的辉钼矿分别进行了 Re-Os 同位素定年, 进而约束该区岩浆序列与成矿的关系, 为大湖塘矿集区成岩成矿作用提供依据。

1 成矿地质背景

大湖塘矿集区位于江西省西北武宁、修水、靖安三县交界处, 位于扬子板块东南缘江南地块中段, 隶属于九岭成矿带, 南临钦杭成矿带, 北临长江中下游多金属成矿带。区域地层简单, 新元古代双桥山群浅变质岩是一套深海火山-碎屑岩沉积建造, 岩性以变余云母细砂岩为主, 其次为千枚状的页岩、板岩, 呈厚层状, 走向北东东, 倾向南南东。区域构造广泛发育, 有利于成矿, 褶皱构造为九岭复式褶皱中的靖林-操兵场次级背斜东延部分, 轴向呈北北东向(林黎等, 2006a, 2006b)。断裂构造以近东西(或北东东)和北东-北北东向两组断裂最为重要, 大湖塘矿集区的几个重要矿床就主要沿北东-北北东向断裂分布(蒋少涌等, 2015), 两组断裂交叉复合控制着岩体与矿床的展布。区内岩浆岩包括呈岩基状产出的大面积晋宁期黑云母花岗闪长岩, 为九岭岩基的一部分, 是重要的赋矿围岩, 以及呈岩株、岩瘤或岩床状产出的燕山期花岗岩, 侵入于晋宁期花岗岩与双桥山群浅变质岩系中, 是区内重要的成矿母岩, 岩

性主要为似斑状黑云母花岗岩,中细粒黑云母花岗岩,细粒白云母花岗岩、中粗粒二云母花岗岩和黑云母花岗斑岩等。

2 石门寺矿床地质

2.1 矿区地质

石门寺矿区位于江西武宁县西南方向 38 km, 隶属大湖塘矿集区北区(图 1), 是重要的钨铜多金属

矿床。区内除第四纪残破积层外无其他地层出露, 区内构造发育有韧性剪切带、断裂和节理, 其中走向为北北东向和北东东向, 为主要的控岩控矿构造(图 1), 另有北东向和北西向。区内岩浆岩主要有晋宁期大面积出露的黑云母花岗闪长岩以及燕山期的似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩及黑云母花岗斑岩。根据燕山期花岗岩的侵入接触关系, 从早到晚依次形成似斑状黑云母花岗岩, 细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩。

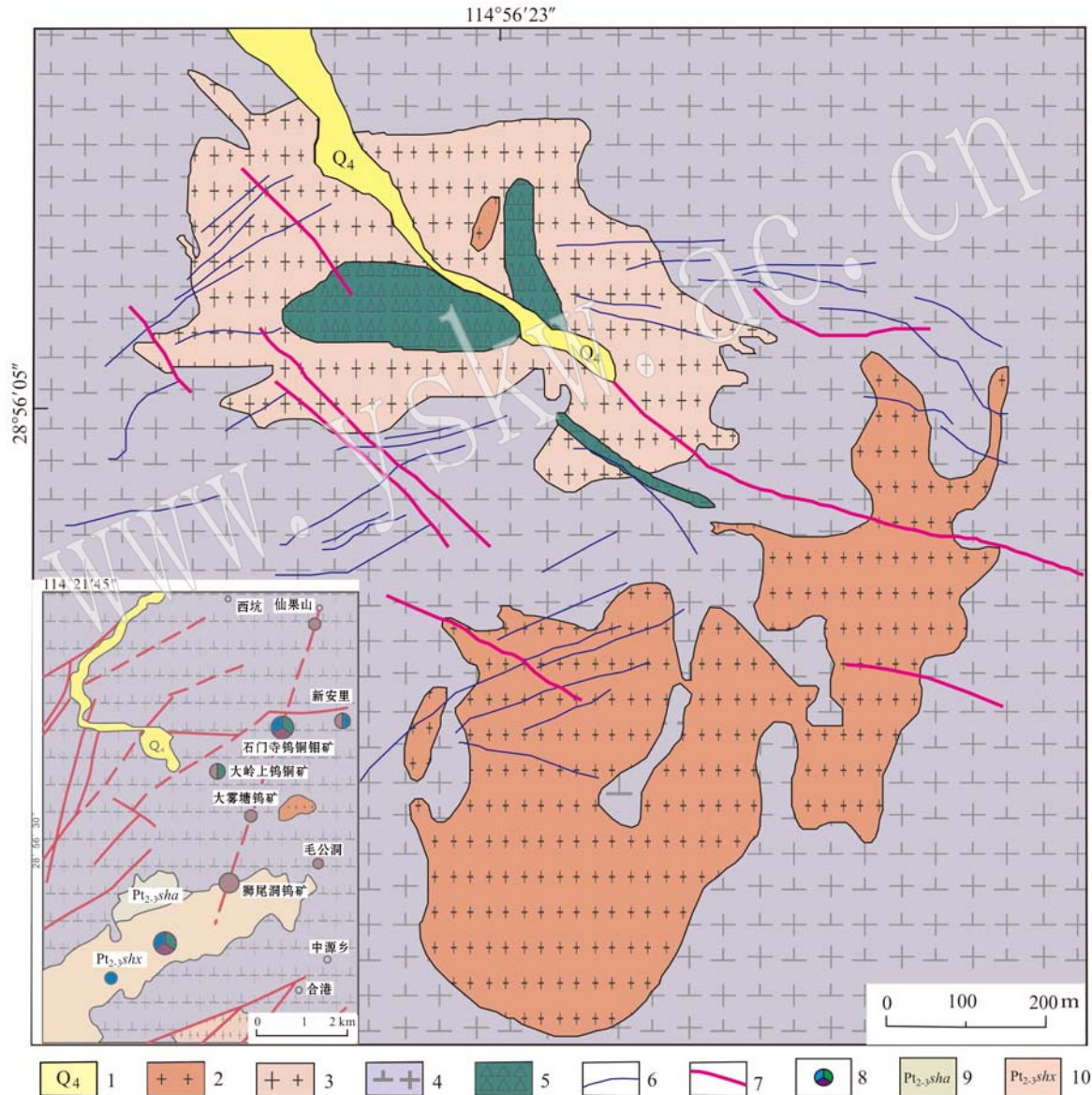


图 1 石门寺矿区地质图(据项新葵等,2012a)

Fig. 1 Geological map of the Shimensi ore district (modified after Xiang Xinkui *et al.*, 2012a)
1—第四系; 2—燕山期细粒黑云母花岗岩; 3—燕山期似斑状黑云母花岗岩; 4—晋宁晚期黑云母花岗闪长岩; 5—隐爆角砾岩; 6—含矿石英大脉; 7—断层; 8—矿床/矿点; 9—新元古代双桥山群安乐林组; 10—新元古代双桥山群修水组
1—Quaternary; 2—fine-grained biotite granite of Yanshannian period; 3—porphyritic biotite granite of Yanshannian period; 4—biotite granodiorite of Late Jinning period; 5—cryptoexplosive breccias; 6—ore-bearing quartz vein; 7—fault; 8—ore deposit/ore spot; 9—Anlelin Formation of Neoproterozoic Shuangqiaoshan Group; 10—Xiushui Formation of Neoproterozoic Shuangqiaoshan Group

2.2 矿体与矿石类型

石门寺矿区矿体主要分为3种类型：①燕山期似斑状黑云母花岗岩与晋宁期黑云母花岗闪长岩内外接触带的细脉浸染型矿体，以外接触带白钨矿为主(图2)；②从似斑状黑云母花岗岩顶部至黑云母花岗闪长岩岩基中的隐爆角砾岩型的钨铜矿体；③广泛分布并穿切区内各岩石单元的石英大脉型矿体，以黑钨矿为主；3类矿化组成了石门寺矿区独特的“一区三型”的模式(项新葵等,2011)。

细脉浸染型矿体分布于石门寺周围，呈似层状分布于内外接触带中。外接触带见厚大的工业钨(铜)矿体(钨储量占整个矿区的74%)，矿化连续性较好；内接触带矿体品位普遍较低，矿化连续性较差

(项新葵等,2013c)，是该区最主要的工业矿体。矿石矿物主要有白钨矿、黑钨矿、黄铜矿、辉钼矿等，脉石矿物主要为黑云母、长石、石英等，矿石构造呈细脉状构造。

隐爆角砾岩型矿体出露于矿区中部，位于燕山期似斑状黑云母花岗岩的顶部，延伸至晋宁期黑云母花岗闪长岩岩基中。平面上矿体中心完整、周边分枝尖灭。矿体内钨铜矿化基本连续(项新葵等,2013c)。矿石矿物主要为黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、辉钼矿等，脉石矿物主要为石英和长石。矿石构造呈角砾状构造，以似斑状黑云母花岗岩体角砾为主，部分角砾为黑云母花岗闪长岩、石英和长石胶结物组成，金属矿物分布其中。

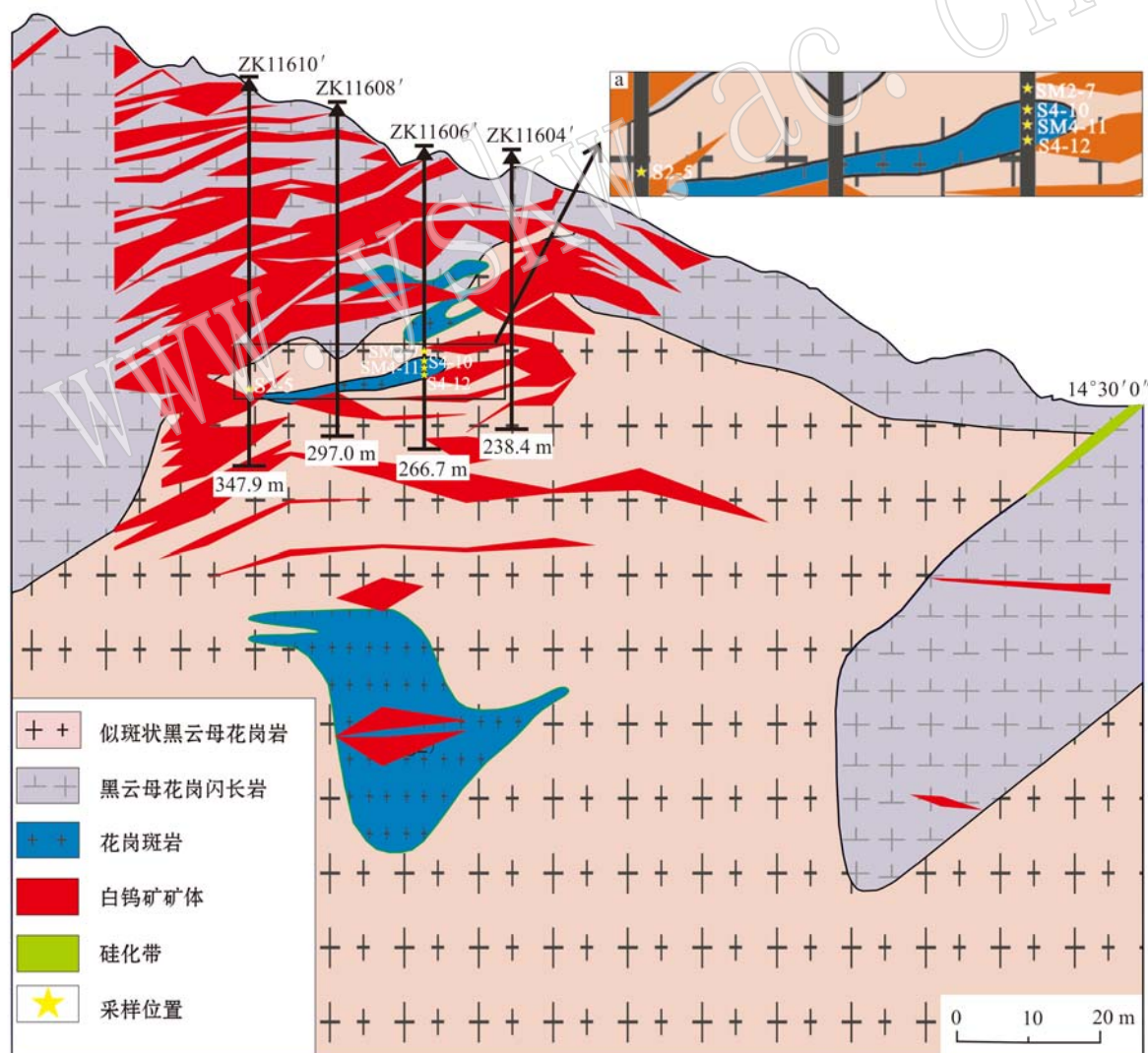


图2 石门寺矿区116勘探线剖面图和采样位置

Fig. 2 Geological section along No. 116 exploration line and sampling locations in the Shimensi ore district

石英大脉型矿体分布于矿区中部,穿切矿区各岩石单元和上述两类矿体,主要赋存在似斑状黑云母花岗岩中,少量分布于黑云母花岗闪长岩中,矿体厚度相对稳定,品位高于以上两种矿体,但矿化不均匀。矿石矿物以黑钨矿为主,另含少量的辉钼矿和黄铜矿,脉石矿物主要为石英、白云母和方解石等。

2.3 围岩蚀变与矿化特征

晋宁期黑云母花岗闪长岩中主要矿化是似层状白钨矿,白钨矿呈浸染状-细脉浸染状分布于晋宁期花岗岩中,次要的矿石矿物包括黑钨矿、黄铜矿和斑铜矿,且白钨矿交代黑钨矿(3e)。燕山期花岗岩分为似斑状黑云母花岗岩和细粒黑云母花岗岩及黑云母花岗斑岩。似斑状黑云母花岗岩中赋存的金属矿物主要为白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿,次要金属矿物为磁黄铁矿、辉钼矿、辉钼矿、毒砂、斑铜矿、黝铜矿等;细粒黑云母花岗岩中赋存的金属矿物主要

为黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿,次要金属矿物为辉钼矿和辉钼矿等;黑云母花岗斑岩中赋存的金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿,次要金属矿物为辉钼矿和辉钼矿等。矿床的围岩蚀变较发育,蚀变类型可以分为钾硅酸盐化包括早期的钾长石化和晚期的黑云母化、云英岩化、绿泥石化、萤石化和硅化,白钨矿与云英岩化的关系密切,黄铜矿与绿泥石化密切相关。

在似斑状黑云母花岗岩中可见白钨矿被黄铜矿交代(图 3a),黄铜矿被磁黄铁矿、闪锌矿(图 3b)和黄铁矿交代(图 3c),部分黄铜矿与闪锌矿呈固溶体分离的形式,辉钼矿叠加于黄铁矿,黄铁矿交代磁黄铁矿等。其中白钨矿为半自形-他形,黄铜矿为它形,黄铁矿表面有麻点,为自形-半自形-他形,闪锌矿呈他形,辉钼矿呈弯曲树枝状,部分辉钼矿可见膝折结构(图 3c),磁黄铁矿呈他形粒状。内接触带的似斑状黑云母花岗岩围岩蚀变以云英岩化和钾长石

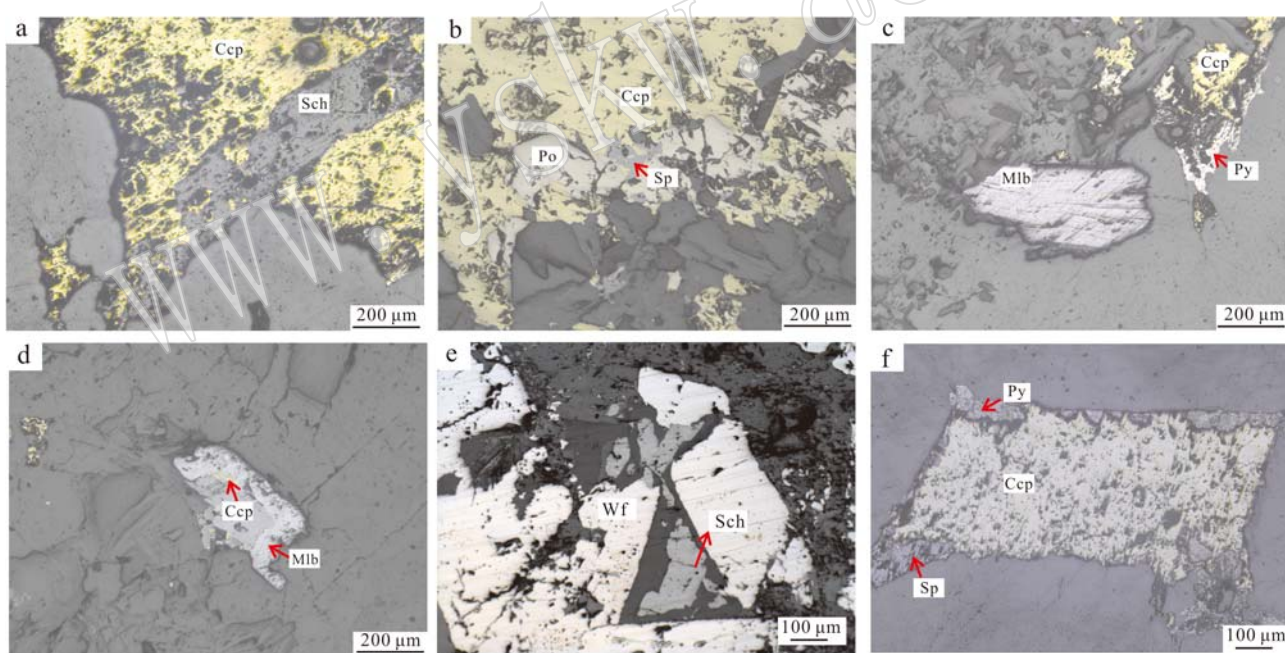


图3 燕山期花岗岩矿化特征显微照片(单偏光)

Fig. 3 Photomicrographs of mineralization features of Yanshannian period granite (plainlight)

a—似斑状黑云母花岗岩中的白钨矿被黄铜矿交代; b—似斑状黑云母花岗岩中黄铜矿被磁黄铁矿、闪锌矿交代; c—似斑状黑云母花岗岩中黄铜矿被闪锌矿和黄铁矿交代; d—黑云母花岗斑岩中辉钼矿交代黄铜矿; e—晋宁期黑云母花岗闪长岩中白钨矿交代黑钨矿; f—细粒黑云母花岗岩中黄铜矿被黄铁矿和闪锌矿交代; Ccp—黄铜矿; Mlb—辉钼矿; Po—磁黄铁矿; Py—黄铁矿; Sch—白钨矿; Sp—闪锌矿; Wf—黑钨矿

a—scheelite replaced by chalcopyrite in porphyritic biotite granite; b—chalcopyrite replaced by pyrrhotite and sphalerite in porphyritic biotite granite; c—chalcopyrite replaced by sphalerite and pyrite in porphyritic biotite granite; d—chalcopyrite replaced by molybdenite in biotite granite porphyry; e—wolframite replaced by scheelite in biotite granodiorite of Jinning period; f—chalcopyrite replaced by sphalerite and pyrite in fine-grained biotite granite; Ccp—chalcopyrite; Mlb—molybdenite; Po—pyrrhotite; Py—pyrite; Sch—scheelite; Sp—sphalerite; Wf—wolframite

化为主,外接触带的黑云母花岗闪长岩围岩蚀变以黑鳞云母化和云英岩化为主。

黑云母花岗斑岩中可见黄铜矿被辉钼矿交代(图 3d),黄铜矿被黄铁矿和闪锌矿交代,其中黄铜矿为他形,黄铁矿表面有麻点,为自形-半自形-他形,闪锌矿呈他形,辉钼矿呈弯曲叶片状。花岗斑岩的围岩蚀变以云英岩化、萤石化和绿泥石化为主。

细粒黑云母花岗岩中可见黄铜矿被黄铁矿和闪锌矿等交代(图 3f),黄铜矿为他形,黄铁矿表面有麻点,为自形-半自形-他形,闪锌矿呈他形,辉钼矿呈弯曲叶片状。细粒黑云母花岗岩普遍发生云英岩化。

综上,似斑状黑云母花岗岩以似层状白钨矿矿化为主,细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩以黄铜矿和辉钼矿矿化为主,且黄铜矿产状为浸染状-细脉状。

2.4 矿化期次

石门寺矿区的成矿过程可以划分为 2 个成矿期:第 1 期为钨酸盐成矿期,包括长石石英伟晶岩壳阶段、云英岩化阶段、白钨矿主成矿阶段、成矿期后的石英碳酸盐阶段,金属矿物生成顺序为黑钨矿(少量)、白钨矿;第 2 期为金属硫化物-黑钨矿成矿期,包括硫化物阶段(I)依次为钾化阶段、云英岩化阶段、萤石化阶段、绿泥石-黄铜矿化阶段,金属矿物生成顺序为黄铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿等和黑钨矿-石英大脉阶段(II),金属矿物生成顺序为黑钨矿、白钨矿(少量)、黄铜矿和辉钼矿等。

3 矿石矿物化学

用于电子探针分析的样品采集石门寺矿区燕山期 3 个不同的花岗岩石单元,分析测试在中国地质科学院矿产资源研究所的成矿作用与资源评价重点实验室完成。所用仪器为日本电子 JOEL 公司生产的 JXA-8230 型电子探针分析仪,实验中的加速电压为 20 kV,束流为 20 nA,束斑直径为 5 μm 。测试结果列于表 1。

根据电子探针得出似斑状黑云母花岗岩黄铁矿中铁的含量平均为 46.181%,硫为 53.504%,相对于标准的黄铁矿亏损铁,富集硫;黄铜中铜的含量平均为 34.775%,铁为 30.398%,硫为 34.904%,相对于标准的黄铜矿富集铜,亏损铁,亏损硫;闪锌矿中

锌的含量平均为 57.125%,硫为 33.135%,相对于标准的闪锌矿亏损锌,富集硫;辉钼矿中钼的含量平均为 59.850%,硫为 40.203%,相对于标准的辉钼矿亏损钼,富集硫。

细粒黑云母花岗岩黄铁矿中铁的含量平均为 46.436%,硫为 53.331%,相对于标准的黄铁矿亏损铁,亏损硫;黄铜矿中铜的含量平均为 34.643%,铁为 30.356%,硫为 35.121%,相对于标准的黄铜矿富集铜,亏损铁,富集硫;闪锌矿中锌的含量平均为 56.934%,硫为 32.740%,相对于标准的闪锌矿亏损锌,亏损硫。

黑云母花岗斑岩黄铁矿中铁的含量平均为 45.908%,硫为 53.262%,相对于标准的黄铁矿亏损铁,亏损硫;黄铜矿中铜的含量平均为 34.819%,铁为 30.109%,硫为 34.975%,相对于标准的黄铜矿富集铜,亏损铁,富集硫;闪锌矿中锌的含量平均为 57.498%,硫为 33.204%,相对于标准的闪锌矿亏损锌,富集硫;辉钼矿中钼的含量平均为 60.187%,硫为 40.194%,相对于标准的辉钼矿富集钼,富集硫。

4 成矿年代学

4.1 样品和分析方法

为了确定石门寺矿区精确的成矿年龄,采集了 9 件不同岩性的含辉钼矿花岗岩石单元样品,所采的钻孔为 ZK116 和 ZK1820(图 2),具体采样信息见表 2。如果燕山期 3 个岩石单元和后期石英大脉中辉钼矿的模式年龄接近结合各岩石单元的矿化特征可以证明辉钼矿为一期形成,那么辉钼矿的等时线年龄有效。

辉钼矿单矿物挑选工作在河北廊坊完成,将野外采集到的矿石样品首先粉碎过筛,再从 100 目以上的样品中用重力分离电磁分离等方法和在实体显微镜下挑选获得辉钼矿,辉钼矿质纯,无氧化无污染,纯度在 98% 以上,最后用玛瑙钵研磨至 200 目待测。

样品分析和测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室进行,分析仪器是 TJA X-series ICP-MS, Re-Os 同位素分析的原理和详细分析方法参见有关文献(Shirey and Walker, 1995; 杜安道等, 2001; 屈文俊等, 2003; Du *et al.*, 2004)。普钼根据原子量表和同位素丰度表通过测量比计算得出(Bohlkea *et al.*, 2005)。Re、Os 含量的置信水平 95%,模式年龄的置信水平 95%。

表 1 燕山期 3 类不同花岗岩体的金属硫化物探针成分

Table 1 Chemical composition of metal sulfides from three kinds of Yanshanian granites determined by electron microprobe analysis																		
岩体名称	金属矿物	样号	位置	深度/m	As	Se	S	Mn	Cu	Ti	Pb	Fe	Co	Mo	Ni	Zn	Bi	Total
似斑状黑云母 花岗岩	黄铁矿	SI-4-3	ZK1820	381.8	0.713	0	53.569	0	0.026	0	0	46.059	0.036	0.029	0	0.015	0	100.447
	黄铁矿	SI-4-4	ZK1820	381.8	0.003	0.034	53.298	0	0.04	0.013	0	46.039	0.219	0.03	0	0.016	0	99.692
	黄铁矿	SI-4-7	ZK1820	381.8	0.031	0.022	53.288	0	0	0	0	46.352	0.061	0.03	0	0	0	99.784
	黄铁矿	M2(2)-1	ZK1160'	279.9	0.061	0.003	40.259	0	0.016	0	0	59.688	0.113	0.022	0.005	0.016	0	100.183
	黄铁矿	M2(3)-8	ZK1160'	279.9	0.011	0	53.894	0	0	0.002	0	46.369	0.094	0.03	0	0.002	0	100.402
	黄铁矿	M2(2)-7	ZK1160'	279.9	0	0.017	53.472	0	0.013	0.006	0	46.085	0.108	0.031	0.02	0.027	0	99.779
细粒黑云母 花岗岩	黄铁矿	S2-1-1	ZK1160'	279.9	0.009	0.026	53.523	0	0	0	0.052	46.096	0.088	0.029	0	0	0	99.823
	黄铁矿	S2-3-1	ZK11610'	282.4	0.057	0	52.81	0	0.011	0	0.029	46.026	0.072	0.027	0.007	0.025	0.004	99.068
	黄铁矿	S2-3-4	ZK11610'	282.4	0	0	53.114	0	0	0.009	0.011	46.023	0.037	0.029	0.003	0.021	0	99.247
	黄铁矿	S2-3-6	ZK11610'	282.4	0.029	0.013	50.344	0	0.008	0.021	0	48.014	0.054	0.028	0.013	0	0	98.524
	黄铁矿	S2-3-9	ZK11610'	282.4	0.06	0.022	53.386	0.01	0.215	0	0.066	46.204	0.078	0.03	0.015	0.04	0.006	100.132
	黄铁矿	S2-3-12	ZK11610'	282.4	0.004	0.037	53.822	0.005	0	0	0	46.253	0.114	0.029	0	0.015	0.012	100.291
黑云母花 岗斑岩	黄铁矿	S3-1-4	ZK11606'	113.2	0.035	0	53.231	0.03	0.046	0.012	0.02	46.423	0.097	0.026	0	0.012	0	99.932
	黄铁矿	S3-1-5	ZK11606'	113.2	0	0.015	53.403	0.005	0	0	0	46.022	0.084	0.029	0	0.026	0	99.584
	黄铁矿	S3-1-6	ZK11606'	113.2	0	0	39.135	0	0.104	0	0.009	59.747	0.051	0.02	0	0.044	0	99.11
	黄铁矿	S3-1-8	ZK11606'	113.2	0.07	0.017	52.986	0.01	2.275	0.006	0.043	45.11	0.079	0.029	0	0.048	0.023	100.696
	黄铁矿	S3-2-3	ZK10802'	79.1	0.117	0	53.335	0	0.031	0.004	0	45.928	0.058	0.033	0	0	0	99.506
	黄铁矿	S3-2-4	ZK10802'	79.1	0.024	0	53.357	0	0.007	0.006	0	46.057	0.095	0.034	0	0.008	0	99.588
似斑状黑云母 花岗岩	黄铜矿	SI-4-5	ZK1820	381.8	0	0	35.091	0.001	34.556	0.003	0	30.112	0.055	0.022	0	0	0	99.84
	黄铜矿	SI-4-8	ZK1820	381.8	0.037	0.008	35.151	0	34.215	0	0.025	30.541	0.033	0.022	0	0.05	0	100.082
	黄铜矿	M2(2)-4	ZK11610'	279.9	0	0.045	34.952	0.001	34.99	0.018	0	30.152	0.023	0.024	0	0.019	0	100.224
	黄铜矿	M2(2)-9	ZK11610'	279.9	0	0.012	34.986	0.027	34.975	0.014	0	30.491	0.022	0.021	0	0.052	0	100.6
	黄铜矿	M2(3)-3	ZK11610'	279.9	0	0.031	34.706	0	34.784	0.01	0	30.371	0.046	0.025	0	0.019	0	99.992
	黄铜矿	M2(3)-5	ZK11610'	279.9	0	0.021	34.536	0.006	35.131	0.01	0	30.721	0.024	0.023	0	0.052	0	100.524
细粒黑云母 花岗岩	黄铜矿	S2-1-3	ZK11610'	279.9	0	0.005	34.868	0	34.976	0.006	0	30.466	0.013	0.023	0	0.065	0	100.422
	黄铜矿	S2-3-3	ZK11610'	282.4	0	0.007	35.415	0.011	34.372	0.018	0	30.577	0.036	0.018	0	0.084	0	100.538
	黄铜矿	S2-3-10	ZK11610'	282.4	0	0	35.324	0.019	34.361	0.008	0	30.165	0.045	0.023	0	0.049	0	99.994
	黄铜矿	S2-3-11	ZK11610'	282.4	0.014	0	35.125	0.027	34.353	0.002	0	30.368	0.037	0.021	0	0.01	0	99.957
	黄铜矿	S2-3-13	ZK11610'	282.4	0	0	34.871	0	35.152	0	0	30.202	0.079	0.022	0	0.035	0.006	100.367
	黄铜矿	SI-1-2	ZK1820	366.1	0.001	0	34.388	0.023	35.161	0.073	0	30.296	0.037	0.022	0	0.022	0	100.023
黑云母花岗 斑岩	黄铜矿	S3-1-2	ZK11606'	113.2	0	0.044	35.52	0.008	34.88	0.002	0	29.717	0.036	0.023	0	0.018	0	100.248
	黄铜矿	S3-1-7	ZK11606'	113.2	0	0.029	35.224	0	34.239	0.007	0.028	30.382	0.037	0.016	0.003	0.028	0	99.993
	黄铜矿	S3-2-2	ZK11606'	113.2	0	0.035	34.524	0	35.131	0.007	0	30.692	0.03	0.021	0	0.077	0	100.517
	黄铜矿	M4-2	ZK11606'	191.5	0	0	35.143	0	34.832	0.017	0	29.206	0.002	0.072	0	0.027	0	99.299
	黄铜矿	M5-3	ZK11606'	191.5	0	0.045	35.048	0.036	34.667	0	0.025	30.361	0.015	0.023	0	0.037	0	100.257

续表 1-1
Continued Table 1-1

岩体名称	金属矿物	样号	位置	深度/m	As	Se	S	Mn	Cu	Ti	Pb	Fe	Co	Mo	Ni	Zn	Bi	Total
似斑状黑云母 花岗岩	闪锌矿	S1-4-6	ZK1820	381.8	0	0	33.135	0.041	4.204	0	0	5.657	0	0.02	0.019	56.021	0	99.097
	闪锌矿	S1-4-9	ZK1820	381.8	0	0.009	32.955	0.099	3.391	0	0	5.291	0.027	0.019	0	57.901	0.001	99.693
	闪锌矿	M2(2)-2	ZK11610'	279.9	0	0.013	32.725	0.097	0.008	0	0	9.024	0.043	0.021	0	56.692	0.001	98.624
	闪锌矿	M2(2)-10	ZK11610'	279.9	0	0	32.893	0.058	0.247	0	0.019	9.264	0.033	0.023	0	56.849	0	99.386
	闪锌矿	M2(3)-4	ZK11610'	279.9	0	0	33.427	0.092	0.005	0	0	9.593	0.046	0.023	0.005	57.171	0	100.362
	闪锌矿	M2(3)-7	ZK11610'	279.9	0.021	0	33.674	0.08	0.094	0	0	7.369	0	0.02	0	58.116	0	99.374
	闪锌矿	S2-1-2	ZK11610'	282.4	0.033	0	33.596	0.002	0.002	0	0.046	9.732	0.066	0.021	0.025	57.028	0	100.551
细粒黑云母 花岗岩	闪锌矿	S2-3-2	ZK11610'	282.4	0	0.01	32.472	0.015	0.003	0	0	9.467	0	0.023	0.038	57.309	0	99.337
	闪锌矿	S2-3-5	ZK11610'	282.4	0	0	32.34	0.057	0.001	0	0	10.027	0.034	0.026	0	56.338	0	98.823
	闪锌矿	S2-3-14	ZK11610'	282.4	0	0	32.55	0.04	0.093	0	0	9.427	0.001	0.02	0	57.06	0	99.191
	闪锌矿	S3-1-3	ZK11606'	113.2	0	0.036	32.626	0.063	5.537	0	0.09	8.989	0	0.023	0	51.507	0.019	98.89
黑云母花岗岩 斑岩	闪锌矿	S3-1-9	ZK11606'	113.2	0.045	0	32.478	0.131	0.061	0	0	8.293	0.038	0.023	0.009	58.152	0	99.23
	闪锌矿	S3-2-1	ZK10802'	79.1	0	0	33.109	0.114	0.027	0	0	9.176	0.028	0.025	0	57.621	0	100.1
	闪锌矿	M4-5	ZK11606'	191.5	0.032	0	33.727	0.119	2.371	0	0	5.798	0.029	0.022	0	56.714	0	98.812
	闪锌矿	M5-4	ZK11606'	191.5	0	0	33.501	0.155	0.334	0	0	8.022	0	0.023	0	57.505	0	99.54
	辉钼矿	S1-4-1	ZK1820	381.8	0	0.001	40.04	0.001	0.024	0	0	0.032	0	59.44	0	0.048	0.11	99.693
似斑状黑云母 花岗岩	辉钼矿	S1-4-2	ZK1820	381.8	0	0.031	40.333	0	0	0	0	0.048	0.012	59.79	0.016	0	0.063	100.293
	辉钼矿	M2(2)-5	ZK11610'	279.9	0	0.013	40.371	0.028	0	0.011	0	0.024	0.002	60.22	0	0	0.039	100.707
	辉钼矿	M2(2)-6	ZK11610'	279.9	0	0.017	40.067	0	0.006	0	0	0.022	0.002	59.95	0.01	0.006	0.043	100.12
	辉钼矿	M4-1	ZK11606'	191.5	0.007	0.012	40.091	0.014	0	0.018	0	0.008	0	60.08	0	0.026	0.041	100.293
黑云母花岗岩斑岩	辉钼矿	M4-4	ZK11606'	191.5	0	0	40.352	0	0	0.007	0	0.035	0.041	60.31	0	0.032	0.024	100.798
	辉钼矿	M5-1	ZK11606'	191.5	0.002	0	40.089	0	0.089	0	0	0.08	0	59.82	0	0.003	0.036	100.119
	辉钼矿	M5-2	ZK11606'	191.5	0	0	40.244	0.029	0	0	0	0.013	0	60.54	0.015	0.005	0.013	100.863

表 2 辉钼矿年龄样品的采样位置及描述
Table 2 Sampling locations and description of molybdenite samples

样品号	采样位置	赋矿围岩	样品特征(产状及粒度)
S2-5	ZK11610'-282.8 m	似斑状黑云母花岗岩	似斑状黑云母花岗岩中见浸染状黄铁矿(1 mm)和辉钼矿(2 mm)
SM2-7	ZK11606'-181.5 m	似斑状黑云母花岗岩	似斑状黑云母花岗岩中见浸染状黄铁矿(1 mm)和辉钼矿(3 mm)
S1-1	ZK1820 -366.1 m	细粒黑云母花岗岩	细粒黑云母花岗岩中见浸染状黄铁矿(1 mm)和辉钼矿(2 mm)
S4-10	ZK11606'-189.5 m	黑云母花岗斑岩	黑云母花岗斑岩中见浸染状黄铜矿(1 mm)和辉钼矿(2 mm)
SM4-11	ZK11606'-191.5 m	黑云母花岗斑岩	黑云母花岗斑岩中见浸染状黄铜矿(1 mm)和辉钼矿(2 mm)
S4-12	ZK11606'-192.5 m	黑云母花岗斑岩	黑云母花岗斑岩中见浸染状黄铜矿(1 mm)和辉钼矿(2 mm)
S3-1	ZK11606'-113.23 m	黑云母花岗闪长岩中的石英大脉	黑云母花岗闪长岩中石英大脉含粗粒辉钼矿(1 cm)
S3-3	ZK11610'-282.6 m	似斑状黑云母花岗岩中的石英大脉	似斑状黑云母花岗岩中石英大脉含粗粒辉钼矿(1 cm)
S3-4	ZK10802'-7.6 m	似斑状黑云母花岗岩中的石英大脉	似斑状黑云母花岗岩中石英大脉含粗粒辉钼矿(1 cm)和浸染状黄铜矿(1 mm)

4.2 分析结果

9 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测定结果见表 3。辉钼矿的含量 ^{187}Re 为 $1\,458 \times 10^{-9} \sim 8\,621 \times 10^{-9}$, ^{187}Os 的含量为 $3.480 \times 10^{-9} \sim 20.849 \times 10^{-9}$, 辉钼矿的模式年龄范围分布在 142.9~145.2 Ma。其中,似斑状黑云母花岗岩中的辉钼矿的模式年龄范围是 143.1~143.5 Ma,均值为 143.3 Ma;细粒黑云母花岗岩中辉钼矿的模式年龄为 145.2 Ma;黑云

母花岗斑岩中辉钼矿的模式年龄范围是 144.1~145 Ma,均值为 144.5 Ma;石英大脉中辉钼矿的模式年龄范围是 142.9~144.6 Ma,均值为 143.6 Ma。所得的较好的等时线年龄为 145.1 ± 1.0 Ma(MSWD = 0.46),加权平均年龄为 143.96 ± 0.69 Ma,等时线年龄与模式年龄在误差范围内一致,辉钼矿为一期成矿作用形成。

表 3 石门寺矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果
Table 3 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Shimensi ore district

样品号	样重/g	$\text{Re}/10^{-9}$		普 Os/ 10^{-9}		$^{187}\text{Re}/10^{-9}$		$^{187}\text{Os}/10^{-9}$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
S2-5	0.050 44	2 320	16	0.032 8	0.003 6	1 458	10.186	3.480	0.020	143.1	1.9
SM2-7	0.021 3	5 676	41	0.056 9	0.008 8	3 567	25.725	8.537	0.051	143.5	1.9
S1-1	0.049 7	7 658	60	0.026 0	0.002 5	4 813	37.611	11.655	0.067	145.2	2.0
S4-10	0.031 65	13 716	130	0.073 3	0.00 85	8 621	81.928	20.849	0.133	145.0	2.2
SM4-11	0.030 98	10 584	93	0.065 7	0.008 0	6 652	58.285	15.984	0.130	144.1	2.2
S4-12	0.030 21	6 042	47	0.046 2	0.006 1	3 798	29.347	9.148	0.081	144.4	2.2
S3-1	0.050 53	8 177	82	0.140 8	0.005 9	5 139	51.324	12.392	0.081	144.6	2.2
S3-3	0.050 81	2 750	18	0.028 1	0.007 3	1 729	11.422	4.137	0.029	143.5	2.0
S3-4	0.050 85	2 731	19	0.020 1	0.007 8	1 717	11.763	4.091	0.032	142.9	2.0

注: Os 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度,通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量; Re-Os 含量的不确定度包括样品稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。不确定度是 2σ 。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),模式年龄计算中 ^{187}Re 衰变常数 $\lambda=1.666 \times 10^{-11}/\text{a}$ 。

5 讨论

石门寺矿区在燕山期经历了多次岩浆作用,依次侵入似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩。前人已经对石门寺各岩石单元开展过高精度的年代学测定。Mao 等(2014)分别测得似斑状黑云母花岗岩为 147.4 ± 0.58 Ma(LA-ICP-

MS),细粒黑云母花岗岩为 144.67 ± 0.96 Ma(LA-ICP-MS),黑云母花岗斑岩为 143.0 ± 0.76 Ma(LA-ICP-MS)。黄椿兰等(2012)和王辉等(2015)均认为大湖塘似斑状花岗岩属于过铝质的 S 型花岗岩,其物质来源是来自地壳物质;彭花明等(2015)认为大湖塘黑云母花岗斑岩的源区有地幔物质的参与,地幔物质可能携带铜元素。

野外观察发现白钨矿在似斑状黑云母花岗岩及

其与围岩的外接触带中多呈细脉浸染状产出,而黄铜矿和辉钼矿在似斑状黑云母花岗岩,细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩中多呈浸染状产出。岩相学的观察同样可以发现,黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿和辉钼矿共生,代表这 4 种金属矿物形成于同一次矿化作用。似斑状黑云母花岗岩与白钨矿的形成密切相关,白钨矿矿体主要分布在黑云母花岗闪长岩与似斑状黑云母花岗岩的内外接触带,同时似斑状黑云母花岗岩岩体年龄与细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩的岩体年龄相差 3~4 Ma,且似斑状黑云母花岗岩与晋宁期黑云母花岗闪长岩之间存在似伟晶岩壳,因此可以断定白钨矿来自于似斑状黑云母花岗岩。张智宇等(2015)认为似伟晶岩壳是大湖塘矿集区花岗质演化形成的特色标志层,为初始含矿岩浆流体出溶的产物,是白钨矿由似斑状黑云母花岗岩进入晋宁期黑云母花岗闪长岩的一种过渡。电子探针得到黄铁矿中铁在似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩中的百分含量平均值分别为 46.181%、46.436% 和 45.908%;黄铜矿中铜的百分含量平均值分别为 34.775%、34.643% 和 34.819%;闪锌矿中锌的百分含量平均值分别为 57.125%、56.934% 和 57.498%,显然矿石矿物的成分均一。

本文通过辉钼矿 Re-Os 同位素测年得到似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩、黑云母花岗斑岩和石英大脉中辉钼矿的平均年龄分别 143.3 Ma、145.2 Ma、144.5 Ma、143.6 Ma。这四组年龄在误

差范围内基本可以代表是同一期矿化作用形成的辉钼矿,因此可以用模式年龄计算出辉钼矿的等时线年龄和加权平均年龄(图 4)从而代表这次成矿作用的时间,所得的较好的等时线年龄为 145.1 ± 1.0 Ma (MSWD=0.46),加权平均年龄为 143.96 ± 0.69 Ma,等时线年龄与模式年龄在误差范围内一致,本文测年的结果与丰成友等(2012)的数据比较一致。结合前人研究的黑云母花岗斑岩锆石成岩年龄与本文辉钼矿硫化物成矿年龄基本一致,因此推断黄铜矿和辉钼矿主要来自于黑云母花岗斑岩。黑云母花岗斑岩中辉钼矿成矿时间相对较早指示成矿物质由黑云母花岗斑岩向其他岩石单元迁移逐渐成矿。

综上所述,石门寺矿区白钨矿与黄铜矿为两期成矿作用形成,似斑状黑云母花岗岩与白钨矿的形成密切相关;黑云母花岗斑岩很可能与黄铜矿的形成有成因联系。

6 结论

(1) 江西大湖塘矿集区北段石门寺矿区燕山期花岗岩包括似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩和黑云母花岗斑岩。似斑状黑云母花岗岩的地球化学特征显示其为过铝质 S 型花岗岩,成岩物质为壳源,其岩浆成矿作用形成该矿区工业类型的大规模似层状白钨矿;黑云母花岗斑岩的地球化学特征表明其源区有幔源物质的参与,其岩浆成矿作用很可能与黄铜矿有关。

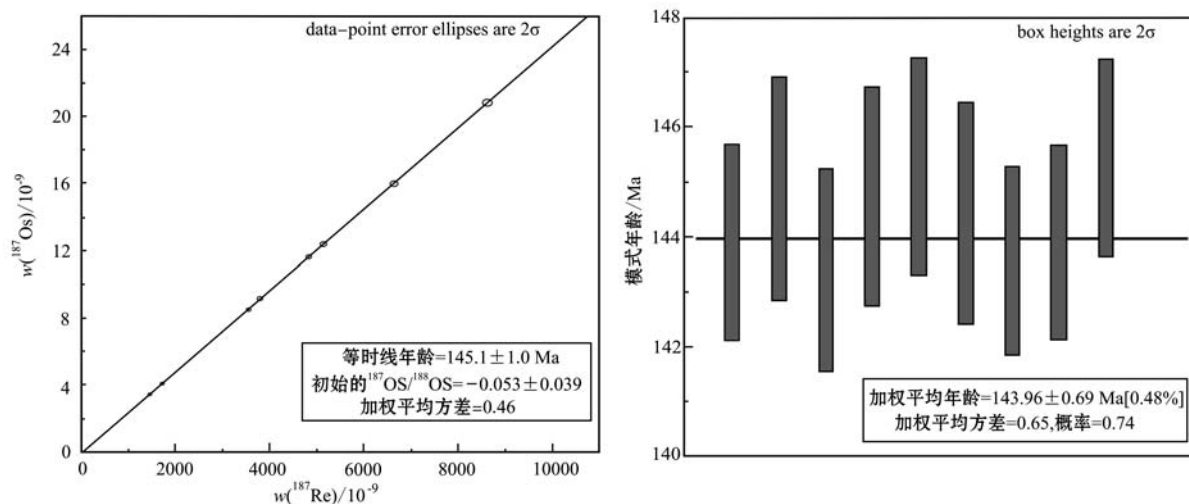


图 4 石门寺矿区的辉钼矿等时线图 and 加权平均年龄

Fig. 4 Re-Os isotopic isochron diagram and weighted average age of molybdenite from the Shimensi ore district

(2) 白钨矿的成矿作用时间应晚于似斑状黑云母花岗岩的成岩年龄,但应早于黄铜矿的成矿作用时间,辉钼矿等时线年龄代表黄铜矿的成矿作用年龄,因此白钨矿与黄铜矿实际上是两期成矿作用的产物。

致谢 野外地质工作得到江西 916 地质大队的全力协助与支持,辉钼矿 Re-Os 同位素测年得到国家地质实验测试中心周利敏的帮助,电子探针分析测试得到中国地质科学院矿产资源研究所的成矿作用与资源评价重点实验室的陈振宇老师和田晓龙的帮助与指导,得到侯增谦老师的悉心指导,审稿人认真审阅本文并提出宝贵的修改意见,编辑亦对本文付出辛勤劳动,在此一并致谢!

References

- Bohlke J K, Laeter J R and Bievre P D. 2005. Isotopic compositions of the elements[J]. *Phys. Chem. Ref. Data*, 34(1): 57~67.
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, *et al.* 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41~52.
- Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, *et al.* 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247~252(in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Xiang Xinkui, *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): 3 858~3 868(in Chinese with English abstract).
- Huang Lanchun and Jiang Shaoyong. 2012. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and petrogenesis of the porphyritic-like muscovite granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3 887~3 900(in Chinese with English abstract).
- Huang Lanchun and Jiang Shaoyong. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the tungsten-bearing porphyritic granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4 323~4 335(in Chinese with English abstract).
- Jiang Shaoyong, Peng Ningjun, Huang Lanchun, *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).
- Lin Li, Yu Zhongzhen, Luo Xiaohong, *et al.* 2006a. The metallogenic prognosis of Dahutang Tungsten ore field in Jiangxi[J]. *Journal of east China institute of Technology*, (S1): 139~142(in Chinese with English abstract).
- Lin Li, Zhan Gangle and Yu Xiaoping. 2006b. Geological characteristics and oresearch prospect of Dahutang tungsten (tin)orefield in Jiangxi[J]. *Resources Survey & Environment*, 27(1): 25~32(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 graniterelated 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.* 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*, doi:10.1016/j.gr.2014.07.005.
- Peng Huaming, Yuan Qi, Li Qiuyun, *et al.* 2015. U-Pb ages, Hf isotope of zircons from biotite granite porphyry in Dalingshang tungsten deposit, northwestern Jiangxi, and relations to the W-Cu mineralization[J]. *Geological Review*, 61(5): 1 089~1 098(in Chinese with English abstract).
- Qu Wunjun and Du Andao. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254~257(in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. *Analytical Biochemistry*, 67(13): 2 136~2 141, doi:10.1021/ac00109a036.
- Wang Hui, Feng Chengyou, Li Daxin, *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).
- Xiang Xinkui, Chen Maosong, Zhan Guonian, *et al.* 2012b. 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 Xinkui, Liu Xianmu and Zhan Guonian. 2012a. Discovery of Shi-

- mensi 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 Xinkui, Wang Peng, Sun Deming, *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 Xinkui, Wang Peng, Sun Deming, *et al.* 2013c. 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): 1 824~1 831(in Chinese with English abstract).
- Xiang Xinkui, Wang Peng, Zhan Guonian, *et al.* 2013a. Geological characteristics of Shimensi tungsten polymetallic deposit in northern Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 32(6): 1 171~1 187(in Chinese with English abstract).
- Xiang Xinkui, Wang Shilin, Zhan Guonian, *et al.* 2011. Geological feature of one area-three ore types of a W-Cu-Mo deposit in Shimen Temple area[J]. Zhejiang Land and Mineral Resources, (Suppl.): 60~71(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhihui, Geng Lin, Jia Wenbin, *et al.* 2014. Regional geological characteristics study of tungsten-polymetallic orefield in Dahutang tungsten polymetallic deposit in North Jiangxi[J]. China Mining Magazine, 23 (Suppl. 2): 133~148 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhiyu, Hou Zengqian, Peng Huaming, *et al.* 2015. Exsolution of primary fluids from magma in the superlarge Dahutang tungsten deposit of Jiangxi Province: Records from the pegmatoid shell[J]. Geological Bulletin of China, 34(2/3): 487~500(in Chinese with English abstract).
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. 2001. Carius管溶样-负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4): 247~252.
- 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): 3 858~3 868.
- 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): 3 887~3 900.
- 黄兰椿, 蒋少涌. 2013. 江西大湖塘富钨花岗岩斑岩年代学、地球化学特征及成因研究[J]. 岩石学报, 29(12): 4 323~4 335.
- 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.
- 林黎, 余忠珍, 罗小洪, 等. 2006a. 江西大湖塘钨矿田成矿预测[J]. 东华理工学院学报, (增刊): 139~142.
- 林黎, 占岗乐, 喻晓平. 2006b. 江西大湖塘钨(锡)矿田地质特征及远景分析[J]. 资源调查与环境, 27(1): 25~32.
- 彭花明, 袁琪, 李秋耘, 等. 2015. 赣西北大岭上钨矿黑云母花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及其与 W、Cu 矿化的关系[J]. 地质论评, 61(5): 1 089~1 098.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4): 254~257.
- 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. 2012b. 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. 2012a. 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, 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): 1 824~1 831.
- 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): 1 171~1 187.
- 项新葵, 汪石林, 詹国年, 等. 2011. 石门寺“一区三型”钨铜钼矿床地质特征[J]. 浙江国土资源, (增刊): 60~71.
- 张志辉, 耿林, 贾文彬, 等. 2014. 赣北大湖塘钨多金属矿田区域地质特征研究[J]. 中国矿业, 23(增刊2): 133~148.
- 张智宇, 侯增谦, 彭花明, 等. 2015. 江西大湖塘超大型钨矿初始岩浆流体出溶: 来自似伟晶岩壳的纪录[J]. 地质通报, 34(2/3): 487~500.

附中文参考文献