

江西浒坑钨矿含矿石英脉的地质特征 及成矿构造演化

章伟¹⁾, 陈懋弘^{1,2)}, 叶会寿²⁾, 刘^{2 3)}, 舒巧¹⁾

1) 中国地质大学, 北京, 100083; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

3) 安徽建筑工业学院土木工程学院, 合肥, 230022

内容提要:位于赣西武功山地区的江西浒坑钨矿是一个大型石英脉型钨矿床,与赣南典型的“五层楼”模式不同,矿脉主要集中在岩体内接触带。含矿石英脉除了普通的块状构造以外,还普遍存在条带状构造。详细的野外编录和镜下研究表明条带状石英脉实为韧性剪切带,以出现透入性的新生面理和线理为特征。岩石学研究表明条带状矿石属于石英质糜棱岩,具有丰富的塑性变形显微构造特征。通过对含矿石英脉的构造解析,认为与岩浆岩有关的原生节理系统基本上是同时形成的,沿节理充填的石英脉经历了长期的、多期次的构造运动,从而形成了复杂的石英脉类型。建立了原生节理形成—块状石英充填—韧性剪切发生—二期块状石英充填—脆性碎裂的矿区构造演化序列。韧性剪切的成因机制可能是受第二期岩浆侵入的影响,最后的脆性破裂应与区域上存在南北向的压应力有关。

关键词: 浒坑钨矿;条带状石英脉;糜棱岩;韧性剪切带;构造演化

江西浒坑钨矿是一个大型的石英脉型钨矿床,发现于1950年,于1953年建矿开采。前人对浒坑钨矿矿床地质特征,矿脉空间分布规律,成岩时代,元素地球化学特征等做了一些工作。陈国达等(1978)认为浒坑钨矿石英脉具有先张后剪的特征。刘志萍等(2004)总结出矿脉大部产于花岗岩外凸于变质岩的内接触带附近,矿脉于接触面缓倾斜部位发育,自上而下矿脉随接触面的南倾而逐渐向南转移,而在空间上表现为东疏西密,南繁北简的特征。刘²等(2008)对矿床的物质组分,元素地球化学特征和成岩时代进行了深入研究。但对于成矿及其之后的动力学机制尚未进行系统的剖析,本文就浒坑钨矿含矿石英脉的地质特征展开研究,拟在建立矿区构造演化序列,并结合前人资料,尝试探讨浒坑钨矿的成因机制。

1 区域地质背景

武功山位于华夏地块和扬子地块碰撞缝合带之南侧(陆松年,1998),即华南加里东褶皱带中段北缘(汤加富等,1991)。武功山地区经过多次岩浆活动,

构造样式复杂。早期普遍认为其为一典型混合岩田(江西省地质矿产局,1984),汤家富等(1991)提出了印支期由水平挤压形成褶皱带,燕山至喜马拉雅期由地壳拉伸和垂直升降而引起伸展构造及与其相关的构造形式。舒良树等(1998,2000),楼法生等(2002,2005),Wang等(2001)则认为武功山花岗岩穹窿为典型的变质核杂岩,区内由中低级变质的新元古代神山群、震旦系及古生代地层组成穹隆构造的基底和盖层。武功山穹隆处的花岗岩大致分布在萍乡、新余、宜春、安福四地,形似近椭圆形(图1),其近EW向长轴约100km,近SN向短轴约50km,轴部大致沿洪江—万龙山一带分布,且被中生代花岗岩所占据。南北两侧不对称分布糜棱岩化片麻状花岗岩、花岗质片麻岩、云母片岩及千枚岩等。

武功山地区在早古生代晚期经历了一次重要的构造-岩浆作用事件,构成武功山变质核杂岩基底,代表岩性有山庄花岗闪长岩($460.5 \pm 1.5\text{Ma}$, 锆石 U-Pb 年龄),武功山似斑状花岗岩、片麻状花岗岩($428.0 \pm 1.0\text{Ma} \sim 462.3 \pm 2.3\text{Ma}$, 锆石 U-Pb 年龄),张佳坊黑云母花岗岩($427.9 \pm 1.2\text{Ma}$, 锆石 U-

注:本文由国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号:2007CB411407和2007CB411405)、中国地质调查局项目(编号:1212010634001)、全国危机矿山接替资源找矿项目(编号200636028)和国家自然科学基金重点项目(编号40434011)资助的成果。

收稿日期:2008-07-12;改回日期:2008-09-03;责任编辑:郝梓国。

作者简介:章伟,男,1984年生。在读硕士研究生,构造地质学专业。Email:zhangwei-china@live.cn。

Pb 法) (楼法生等, 2005), 岩体源区很可能为含有部分富集型幔源物质的下地壳, 构造背景相似于大陆岩浆弧环境 (舒良树等, 2000; 楼法生等, 2002)。印支期华北与华南地块在 230 Ma 左右碰撞对接 (Li 等, 1989, 1993, 1994, 2000), 导致华南造山带重新活动, 位于扬子板块东南侧的武功山受到此次事件的影响, 地壳增厚, 底部部分熔融, 岩浆开始上涌, 武功山变质核杂岩开始隆起, 年代学证据有青龙山岩体边缘花岗质片麻岩年龄为 235~225Ma (白云母、黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 法, Faure et al., 1996), 张家坊岩体

237Ma (K-Ar 法, 江西省地质矿产局, 1984)。中生代受到华南岩石圈减薄事件的影响, 形成了中生代一系列花岗岩体, 代表岩性有雅山花岗岩 (161.0 ± 1.0Ma, 锆石 U-Pb 法), 温汤花岗岩 (143.8 ± 1.6 Ma, 锆石 U-Pb 法), 明月山花岗岩 (126.3 ± 6.4Ma, 单锆石 U-Pb 法) (楼法生等, 2005), 花岗岩类形成源区为大陆地壳, 构造背景为陆内构造环境 (舒良树等, 2000; 楼法生等, 2002)。吴富江等 (2001) 发现武功山变质核杂岩南部剪切剥离带被浒坑超单元和三江超单元 (126.3 ± 6.4Ma, 锆石 U-Pb 法) 切割, 这

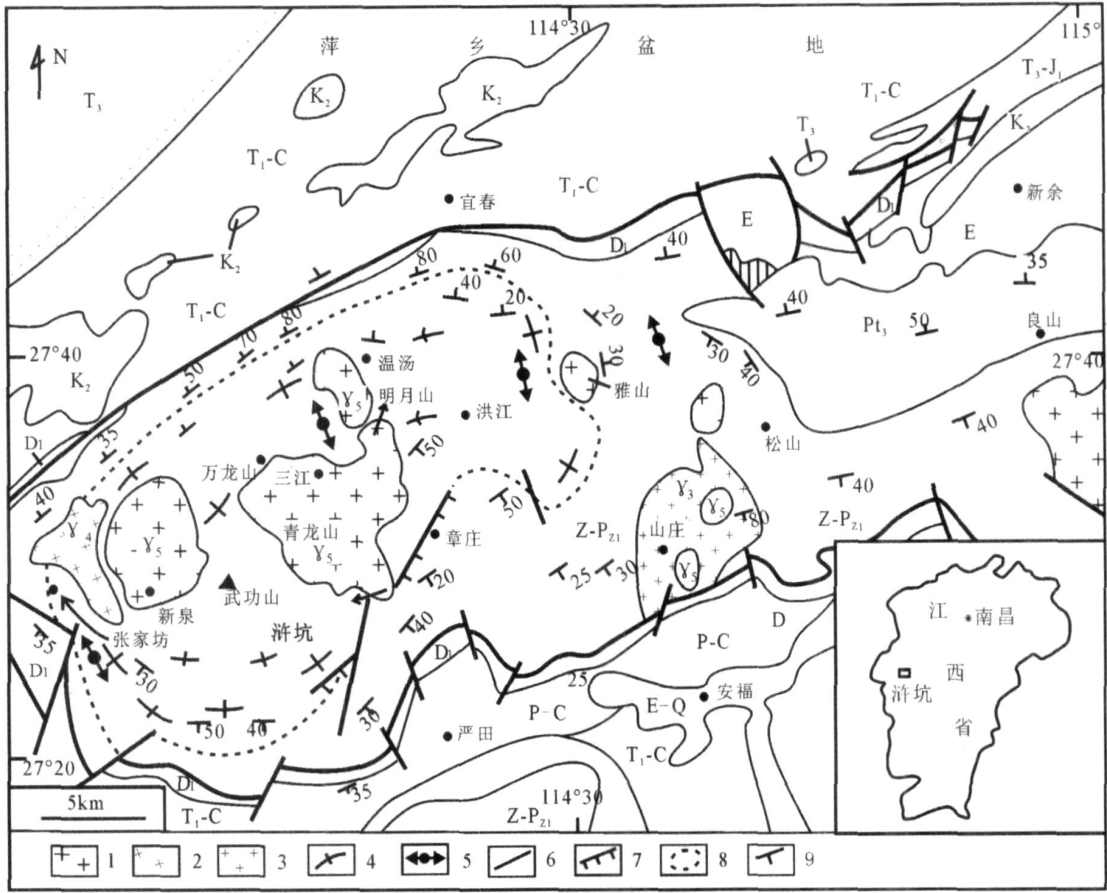


图 1 江西武功山地区地质简图 (据舒良树等, 1998, 略作修改)

Fig. 1 Generalized geologic map of Wugong Mountain in Jiangxi Province

(modified the original map by Shu et al., 1998)

1—燕山期花岗岩; 2—印支期花岗岩; 3—加里东期花岗岩闪长岩; 4—变质核杂岩; 5—沿线理的同轴韧性剪切; 6—大型拆离断层, 被后期断裂所切割; 7—正断层; 8—变质核杂岩边界; 9—面理产状; Q—第四系冲积层; E—下第三系红层; K₂—上白垩统红层; T₃-J₁—上三叠统—下侏罗统碎屑岩; T₁-C—下三叠统沉积岩—石炭系砂岩、页岩、碳酸盐岩; P-C—二叠系—石炭系碳酸盐岩; D₁—下泥盆统石英岩、石英砂岩; Z-Pz₁—变质变形的震旦系—下古生界岩石; Pt₃—上元古界神山群板岩、千枚岩、片岩

1—Yanshanian Granite; 2—Indosinian granite; 3—Caledonian granodiorite; 4—metamorphic core complex; 5—coaxial ductile shear along the lineation; 6—master detachment faults cut by the anaphase break; 7—normal fault; 8—boundary of the metamorphic core complex; 9—fluoatation occurrence; Q—Quaternary alluvium; E—red beds of the Lower Tertiary; K₂—Upper Cretaceous red beds; T₃-J₁—Upper Triassic-lower Jurassic clastic Rock; T₁-C—Lower Triassic-Carboniferous sandstone, shale, carbonate rocks; P-C—Permian-Carboniferous carbonate rocks; D₁—Lower Devonian quartzite, quartz sandstone; Z-Pz₁—metamorphism-deformation Sinian-Lower Paleozoic rocks; Pt₃—Upper Proterozoic Shenshan Group slate, phyllite, schist

说明浒坑花岗岩体形成于拆离作用之后,根据刘 2 等(2008)所测的锆石 SHRIMP 测年,浒坑白云母花岗岩的年龄为 151.7Ma,而前人用 U-Pb 测得的年龄中,三江超单元比浒坑超单元晚,所以拆离作用的结束时间应早于 151.7Ma。

2 矿床地质特征

浒坑钨矿床位于武功山钨、铜、铋、钼多金属成矿带东端的浒坑花岗岩株(燕山期)南缘,属中—高温热液石英脉型黑钨矿床。花岗岩株内接触带中的原生裂隙带和后期断裂破碎带控制含钨石英脉产出,总矿化面积大于 6 km^2 ,矿化深度沿岩株内接触带延伸至 -400m 标高以下。

2.1 地层

矿区内出露震旦系老虎塘组和里坑组,为一套泥砂质夹钙硅质的变质岩,主要岩性有云母片岩、云母石英片岩、千枚状石英片岩、片麻岩、变粒岩、混合岩等。岩层产状较平缓,总体倾向南—南东、倾角 $25^\circ\sim 40^\circ$ 。在矿区南部大脉区段地层产状与岩体接触界面产状近于一致,构成良好的成矿地球化学障,内接触带中的原生裂隙便成了矿质沉淀富集的良好场所。

2.2 花岗岩特征

浒坑花岗岩株($\gamma_5^{(2)c}$)属燕山早期第二阶段第三次岩浆活动的产物,侵入于震旦系老虎塘组中,出露面积约 14 km^2 。岩株形态不规则,岩枝发育。接触面呈舒缓波状,四面倾伏,南面较缓,倾角 $25^\circ\sim 35^\circ$,控制深度已到 -320m 标高。边缘相宽度从几十厘米至数十米,主要岩石是细粒花岗岩,局部见似伟晶岩与变质岩捕虏体。过渡相为中细粒白云母花岗岩,石榴子石含量高,普遍硅化、云英岩化。岩体中三氧化钨含量一般为 $160\sim 1100\times 10^{-6}$,平均为 563×10^{-6} ,比燕山期花岗岩平均含量(7.5×10^{-6})高 75 倍,为浒坑钨矿床的形成提供了丰富的矿质来源。矿脉主要发育于岩体内接触带原生裂隙中,富集于接触面畸变部位。

细粒白云母花岗岩岩墙位于 207 线以东,20m 标高以下,侵入浒坑花岗岩株之中,东西走向,往深部规模渐大。岩石呈灰至灰白色,细粒结构、块状构造,局部显示微弱的定向构造。组成矿物主要是石英、钾长石、斜长石、白云母,普遍可见石榴子石、萤石、黄铁矿和碳酸盐矿物。矿物粒径一般为 $0.1\sim 2\text{ mm}$ 。岩石具硅化、云英岩化。岩墙外侧中粗粒白云母花岗岩中矿脉增多。

2.3 矿区构造

区内断裂构造大体上有二组(图 2)。北东向主干断裂有浒(坑)—章(庄)断裂和西(家垅)—丫(山)断裂,北西向主干断裂有浒(坑)—西(家垅)断裂。

北东向主干断裂有浒—章断裂(F1)和西—丫断裂(F3):走向北东 30° ,倾向南西、倾角 $65^\circ\sim 88^\circ$ 。走向延长大于 10km,宽 20~30m。前人资料认为由硅化角砾岩及糜棱岩组成,属平推正断层。

北西向主干断裂有浒—西断裂(F2):产状 $210^\circ\sim 225^\circ/\angle 60^\circ\sim 80^\circ$,延伸大于 3km。由硅化角砾岩、糜棱岩组成,从矿区地质图可判断为右旋走滑。

2.4 矿体地质

浒坑钨矿主要由西家垅、新生垅和南部大脉等三个矿段组成(图 2)。其中西家垅矿段以石英网脉型为主,新生垅和南部大脉矿段以石英大脉型为主。南部大脉区是目前生产的主要矿段,矿体主要赋存于浒坑花岗岩株的内接触带过渡相之中,自接触面往岩体深处 300~500m 范围内,构成一个沿内接触带展布的厚大矿化带,与赣南典型的“五层楼”模式明显不同。脉厚一般几十厘米,平均品位 WO_3 一般小于 1%。主要金属矿物为黑钨矿、白钨矿、黄铁矿,次要的有闪锌矿、黄铜矿和辉钼矿。围岩蚀变主要类型有云英岩化、绿泥石化、硅化、电气石化、钾化、萤石化、绿帘石化等。成矿时代为 $149\pm 3\text{ Ma}$ (刘 2 等,2007)。

3 含矿石英脉的主要地质特征

3.1 含矿石英脉的分类

野外观察表明,尽管有不同方向的含矿脉带,但从结构上划分,均可分为三类:

(1) 块状含矿石英脉:脉体外观呈白色,石英呈巨晶状,黑钨矿、黄铁矿等金属矿物常呈自形出现,晶体粗大,粒径多数大于 1cm,部分呈斜列式分布(图版 I-1)。

(2) 条带状含矿石英脉:脉体外观灰白相间,石英呈灰白色竹叶状、条带状定向分布,微细粒绢云母—石英绕其四周或呈大小不一的条带分布。黑钨矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等金属矿物被剪切并细粒化,粒径多数小于 0.2cm,沿剪切面定向分布(图版 I-2)。

(3) 复合状含矿石英脉:实质上是上述两种脉的复合,经常表现出中间为白色块状石英脉,两侧为条带状石英脉,并兼具上述两种脉的特点(图版 I-3)。

上述石英脉的构造类型,在每一条脉上都是变

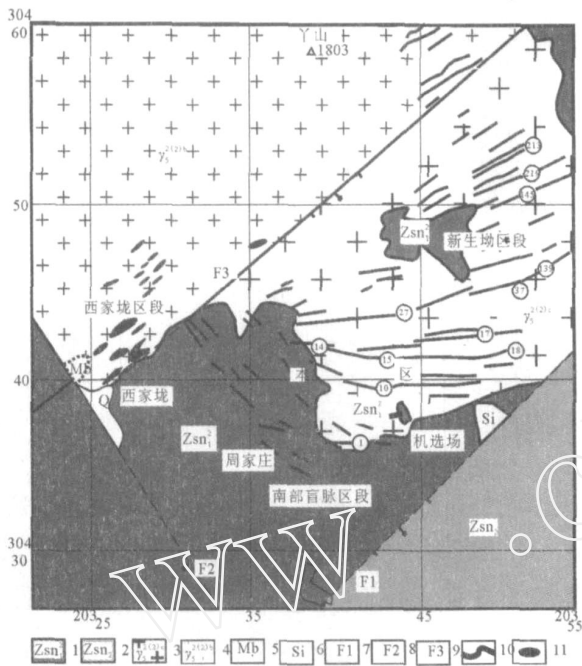


图 2 游坑矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Hukeng mining area

1—震旦系老虎塘组片岩、片麻岩、混合岩;2—震旦系里坑组片岩、片麻岩;3—燕山早期第三次侵入白云母花岗岩;4—燕山早期第二次侵入白云母花岗岩;5—片麻状混合岩;6—硅质岩;7—浒章断裂;8—浒西断裂;9—西丫断裂;10—大脉状矿脉及其编号;11—脉状矿脉

1—Sinian Laohutang Group schist, gneiss, migmatite; 2—Sinian Likeng Group schist, gneiss; 3—third-time intrusive muscovite granite in Early Yanshanian; 4—second-time intrusive muscovite granite in Early Yanshanian; 5—gneissic migmatite; 6—siliceous rock; 7—Hukeng-Zhangzhuang fault; 8—Hukeng-Xijialong fault; 9—Xijialong-Yashan fault; 10—big vein and their codes; 11—network ore vein

化的。例如 - 40m 中段的 V1 号脉,在东部几乎全为条带状,且厚度小;但往西部,块状脉逐渐增多,为复合脉,最终全部变为块状,厚度大。

3.2 含矿石英脉的岩石学和显微构造特征

通过对含矿石英脉及其围岩进行的采样和观察,发现石英脉两侧的围岩均为花岗岩,二者界线截然清晰。花岗岩一般均保持良好的花岗结构,块状构造,少量发生了轻微的碎裂岩化。局部石英还发生波状消光、亚晶化和动态重结晶。含矿石英脉则发生了复杂的变化。根据被后期构造改造的程度不同,可将脉中岩石划分为正常的块状石英脉系列、碎裂岩系列和糜棱岩系列三个系列,现详细叙述如下:

(1) 正常的块状石英脉系列:指基本未遭受后期脆、韧性变形的石英脉。具明显的自形一半自形

结构,块状构造。矿物结晶粗大,无定向性。主要成分为粗粒石英,一般无波状消光;次要矿物为粗粒黑钨矿和黄铁矿。

(2) 碎裂岩系列:根据碎斑和基质含量的不同,可分为碎裂岩化的花岗岩和石英脉、花岗质或石英质初碎裂岩、碎裂岩、超碎裂岩等。具明显的碎裂结构。特别地,可以发现石英碎屑组成的破碎带呈脉状穿插于韧性剪切形成的条带中,说明碎裂作用应该发生在韧性剪切之后。

(3) 糜棱岩系列:具有一般糜棱岩的特征,即岩石产于狭长的(石英)剪切带内,矿物粒径明显变小(由正常的 1~5cm 变为 20~300μm),出现强化的透入性面理和线理。物质成分上,以动态重结晶石英为主,一般含量 95% 以上,无论是残斑还是基质中均有分布。次要成分是绢云母,一般含量 2%~3%,粒度细小,主要分布在剪切面理上,部分与石英组成剪切域(图版 I-4),有一定的宽度。鉴于其粒度细小,呈拉伸线理产出,推测是韧性剪切时新生的矿物,适合于测年并确定韧性剪切的年龄。其次是金属矿物,含量在 2%~3%,粒度细小,主要分布在剪切域中定向分布。在剪切面理上可以看到金属矿物被明显的压扁和拉长,说明这些定向分布金属矿物是原热液成因矿物经剪切细粒化而成。

岩石具明显的流状构造,矿物定向明显,显微构造丰富,主要的显微构造有:石英的波状消光、变形纹、亚晶(亚颗粒);核幔构造、动(静)态重结晶(图版 I-5)、缎带构造;长石和云母的扭折;刚性的黄铁矿、长石和石英颗粒形成的旋转残斑系(图版 I-6);金属矿物的书斜构造;云母鱼;S-C-C 面理;压溶构造等。

3.3 含矿石英脉的几何学和运动学特征

矿区南部大脉区最主要的含矿石英脉为 NW 向和近 EW 向,其次是 NWW 向和 NE 向。笔者对 - 60m 中段 NW 向和近 EW 向脉组的面理和线理产状进行了测量和统计,见图 3。现分组叙述如下:

(1) EW 向脉组:近 EW 向脉组一般宽 10~50cm 不等,走向近 EW,均倾向北,倾角 65°~85°,以 70°~80° 居多;线理发育,均倾向 NWW,倾角 40°~60°。脉的深部已遭受韧性剪切,具条带状构造;浅部未变形,仍保留块状构造,局部可见复合脉。条带状石英脉中花岗质包体强烈透镜体化,说明条带状石英脉形成过程中发生了强烈的剪切。EW 向脉组多被其他方向脉组切割,仅在与 NW 向脉组交汇且强度变小的部位,可见二者互切,证明二者可能为

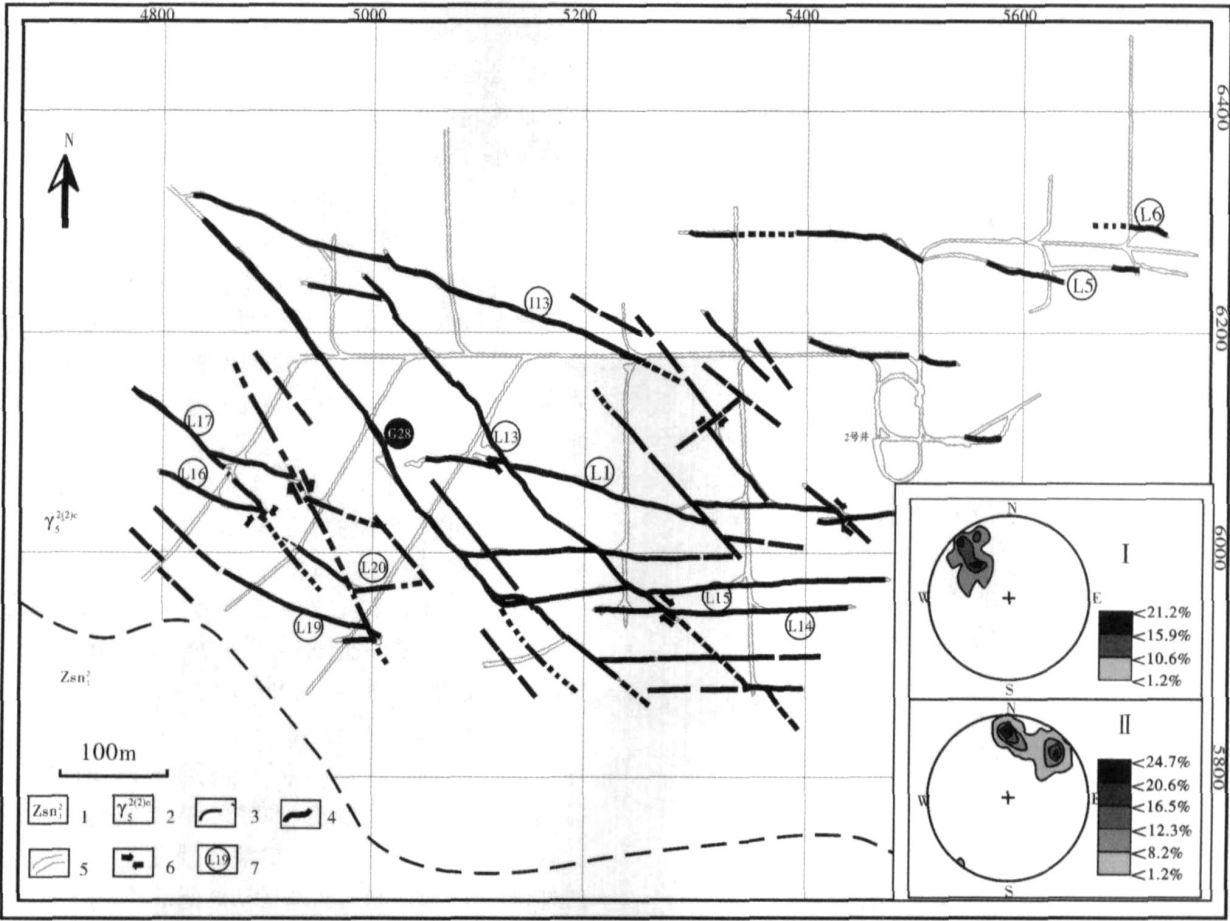


图 3 浒坑钨矿 - 60m 中段平面图

Fig.3 Planar graph of 60m intermediate section of Hukeng tungsten deposit
1—老虎塘组片麻岩、片麻岩、混合岩;2—燕山早期第三次侵入白云母花岗岩;3—岩体边界;4—矿脉;5—巷道;6—矿脉错动方向;
7—矿脉编号; I— 60m 中段石英脉线理优势方位极点等值线图(下半球投影, n = 33); II— 60m 中段石英脉面理法线上半球投影(n = 77)
1—Laohutang Group schist, gneiss, migmatite; 2—third-stage intrusive muscovite granite in Early Yanshanian; 3—boundary of the rock body;
4—ore vein; 5—tunnel; 6—motion direction of ore veins; 7—code of ore veins; I—a pole density diagram on superiority direction of lineation
in the quartz veins in - 60m intermediate section (lower Semisphere Projection, n = 33); II—an interpretation of Wolff net on normal line of the
foliation in the quartz veins in - 60m intermediate section (upper Semisphere Projection n = 77)

岩体同生裂隙的组成部分。根据镜下运动学标志,判断石英脉受剪切时平面上表现为左旋特征,垂向上为正滑特征。据线理侧伏角判断,平移和正滑分量基本相等。

(2) NW 向脉组: NW 向脉组倾向 NE, 以 40°~50° 为主; 倾角以 60°~75° 为主。线理发育, 均倾向 NW, 倾角以 20°~35° 为主。石英脉的两侧蚀变带较窄, 一般 2~10cm, 但也有宽达 40cm 的, 特别是脉间夹石, 可宽达 1m 左右。岩石普遍钠化和硅化, 退色变白, 并伴有含浸染状辉钼矿和黑钨矿化。以复合状石英脉和条带状石英脉为主, 但南东也有少量块状石英脉。在 NW 向脉的南东端, 脉厚度变小, 基本未受后期构造的影响, 常可以看到其与 EW

向脉互切, 说明其早期可能为原生节理。脉中透镜体化花岗质角砾, 指示节理早期为张性特征, 这为石英英脉的贯入提供了条件; 后期遭受韧性剪切变形, 在 - 60m 中段南东尖灭和分岔处, 根据错动的 EW 向脉、NW 向脉的膨大和弯曲现象, 推测 NW 向脉为左旋剪切(图版 I-7)。另据镜下运动学标志, 判断 NW 向石英脉受剪切时平面上表现为左旋特征, 垂向上为正滑特征。据前面的线理判断, 平移分量大于正滑分量。在最后的脆性变形阶段, 很可能是右旋走滑—逆冲运动, 依据是: A) 从矿区地质图上(图 2), NW 向断层 F3 右旋剪切 NE 向的 F1, F2 断层。矿床的 NW 向含矿裂隙与 F3 平行, 可看作 F3 的次级平行裂隙, 运动学特征应相似; B) 根据近 EW 向、

NW 向脉,以及花岗岩中早期节理被拖曳的方向,可以判别为右旋剪切;C) 局部可见条带状石英脉小揉皱,轴面倾向 NE,上盘逆冲(图版 I-8)。这些小褶皱叠加在条带状石英脉之上,说明为韧性剪切之后的脆性变形阶段的产物,故可指示脆性变形阶段的垂直分量为逆冲。

综上所述,NW 向脉组初期为与岩体原生裂隙有关的张剪性节理;随后的韧性剪切阶段发生了左旋的剪切;最后的脆性变形阶段则为右旋平移—逆冲运动。

(3) NWW 向脉组: NWW 向脉组倾向 $15^{\circ} \sim 28^{\circ}$,以 20° 左右为主。倾角一般 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。厚度一般为 $20 \sim 50\text{cm}$,往两侧变小。既有块状,也有条带状石英脉。例如 40m 中段的 V1 号脉,东部为条带状石英脉,厚 $10 \sim 20\text{cm}$,剪切强烈,面理和线理发育;西部逐渐转为以块状石英脉为主,厚 $30 \sim 40\text{cm}$,仅在边部有不明显的条带状脉。局部见脉中有花岗质透镜体,透镜体均为椭圆型,表面线理清晰,指示剪切成因。NWW 向脉的韧性剪切的运动学特征与 EW 和 NW 类似,平面表现为左旋运动,垂向表现为正滑运动。

(4) NE 向脉组: 脉组裂隙稀疏发育,以节理或花岗质韧性剪切带为主,厚度小,一般含矿性差,且切割其他方向的脉组。一般倾向 $130^{\circ} \sim 150^{\circ}$,倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,宽 $20 \sim 150\text{cm}$,面理和线理均发育。带中局部有石英脉充填,其石英脉也发生了强烈的剪切。同时 NE 向剪切带切割 EW 向含钨块状石英脉,上述两证据均说明石英脉形成在先。局部可见 NE 向小断层切割 NW 向韧性剪切带,说明为韧性剪切之后再发生脆性错移。根据被 NE 向脉切割的其他方向脉组的位移情况,可以判断 NE 向脆性变形为左旋逆冲运动。

(5) 近水平脉组: 从有限的两处露头来看,脉厚 $1 \sim 2\text{m}$ 左右,以发育明显的云英岩化和糜棱岩为特点。例如 - 60m 中段东运 102 穿脉起点往北 20m 处,可见近水平条带状石英脉波状起伏,倾向多变,倾角 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 不等,厚度大于 30cm 。石英脉发生强烈的剪切,形成石英质糜棱岩,具明显的条带状构造。剪切带上部花岗岩中的节理作为变形面理发生揉皱,指示右旋的剪切;此外,早期的黑钨矿脉和石英脉均发生明显的揉皱,也指示右旋的剪切(图版 I-9)。

4 成矿构造演化序列

华南石英脉型钨矿床中发育条带状石英脉是较

为普遍的现象,朱炎龄等(1981)把条带状石英脉分为两类: ①条带状交代脉体,认为这是由热液沿裂隙对围岩进行交代作用而形成的脉体。根据其交代作用的外缘和内侧、交代作用的强弱、完缺程度以及交代物质组份的演化等形成各种条带状构造; ②对称条带状矿脉,认为这是由矿物依次沉淀而形成的对称条带状构造。刘梦庚(1981)也强调了条带状矿体形成过程中交代的作用。不可否认,热液充填对围岩的蚀变具有一定的分带性,但是这无法解释浒坑钨矿脉中围岩透镜体的定向排列等现象,浒坑钨矿条带状石英脉的成因显然是遭受后期剪切形成的,按照翟裕生等(1993)的定义,应属成矿后构造。

就整个华南而言,钨矿的多期多阶段成矿现象较为普遍。比较典型的有西华山矿田的多次成岩成矿作用,除最后一次花岗斑岩外,每一次活动均伴随一次成矿(朱炎龄等,1981);漂塘脉钨矿床的多阶段成矿作用,岩浆属一次侵入,其成矿演化过程和构造脉动密切配合,从而分为硅酸盐期—氧化物期—硫化物期—萤石碳酸盐期,每期又分几个阶段(朱炎龄等,1981)。对此,前人提出了脉动成矿理论加以解释(柳志清,1980;刘梦庚,1981;江西冶金地质勘探二队,1978^①),认为岩浆—矿液的演化是一个缓慢的过程,由于成矿期内构造运动的间歇性,导致了矿液作脉动式的充填。早、晚充填的矿脉重叠或交截,在矿物共生组合、矿石结构构造、近矿围岩蚀变等方面各具特征。而中生代华南地区构造运动活跃,岩浆侵入频繁,用构造脉动的理论加以解释很合理。就武功山地区而言,在浒坑岩体形成后还有岩浆继续活动,如明月山岩体的侵入。就浒坑矿区而言,粗粒白云母花岗岩形成之后仍有一期细粒白云母花岗岩的侵入。同时区域断裂也具有多期活动的特征。据此,笔者有理由认为浒坑矿区的成矿石英脉,在区域活动与岩体侵入的影响下,具有多阶段成因。结论如下:

(1) 各方向石英脉是在岩体原生节理基础上发展而成。

(2) 条带状石英脉切割块状石英脉,说明块状石英脉先形成,随后再发生韧性剪切。块状石英脉的逐渐条带化,也反映了块状石英脉形成之后再发生韧性剪切。韧性剪切带主要是由于岩体中的薄弱带,即原生节理裂隙,受后期应力作用,再次活动形成的。

(3) 韧性剪切带形成之后,推测有第二次的块状石英脉充填。依据是部分块状石英脉与条带状石英

脉是截然不同的,不存在过渡关系;部分还可以看到块状脉中的粗大石英晶体垂直条带状石英脉壁生长,暗示块状石英脉的充填在条带状石英脉形成之后。

(4) 晚期有一次强烈的脆性变形,主要表现为北西向条带状石英脉的破碎和角砾岩化,并导致条带状石英脉的揉皱(图版 I-8)。并切割已强烈韧性剪切的東西向、北西向石英脉,说明切割关系发生在韧性剪切之后。北东向脆性破裂切割其他方向的韧性变形也证明了韧性剪切之后有一期脆性变形。

由上可初步建立了矿区的成矿构造序列:主期花岗岩株岩浆侵入—原生节理形成,块状石英脉充填(主成矿期)—晚期细粒花岗岩枝侵入,各脉组发生韧性剪切,形成条带状含矿石英脉(主要构造改造期)—条带状石英脉的再次张开,第二期块状石英脉充填—脆性碎裂。

5 成因机制探讨

浒坑矿区的构造现象复杂,主要是由于武功山地区的构造演化和多次岩浆侵入造成的。早燕山期古太平洋板块向东亚大陆边缘俯冲,形成了武功山地区大量的花岗岩和火山岩(楼法生等,2002,2005;Wang 等,2001),浒坑岩体也是这一时期的产物。岩体的冷凝收缩,形成的原生节理奠定了浒坑矿脉分布的构造格局。

成矿流体的介入,形成了石英脉型钨矿床;而后期的应力作用,形成浒坑钨矿独特的条带状石英脉。与其他地区的条带不同,浒坑钨矿石英脉的条带状构造不是蚀变分带或是多期侵入形成的复脉,而是韧性剪切成因。根据其剪切产生的绢云母取得的 Ar-Ar 测年数据为 $140.3 \pm 1.0\text{Ma}$ (另文发表)。根据上文讨论,剪切在成矿之后,这说明,浒坑钨矿的成矿年代介于 $151.7 \sim 140.3\text{Ma}$ 之间,这与毛景文等(2004,2007)提出的华南地区侏罗纪大规模成矿的时间一致。石英脉的剪切运动学特征表明,-60m 中段东西向、北西西向、北西向的条带状石英脉都具有平面上左旋,垂向上正滑的特征。盛田坤(1979)^①曾认为矿区的石英脉不论在水平或垂直方向上都呈帚状分布,是受浒—章和西—丫两个断裂活动的影响而形成的旋扭构造。

据《江西安福浒坑钨矿区南部详细普查地质报告》(内部资料),矿区 207 线以东,50m 标高以下,有一晚期细粒白云母花岗岩侵入。岩体大致呈东西向延伸,自东向西呈分枝状,向东或南东方向侧伏。向

东或南东方向侧伏侵入的岩体,可以使上部的含矿裂隙重新活动,岩体的上涌形成区域的张力,从而有利于各方向的矿脉具有正滑的特征。此外,向南东侵入的岩体,可以产生向南和向东的分量,使得业已存在的東西向、北西西向、北西向含矿石英脉的下盘分别向东、南东、南东方向运动。从而使各组石英脉平面上具左旋特征。另外,近水平脉组的存在,也表明了矿区的韧性剪切受后期岩体侵入的影响。区域大断裂的活动,是否影响了条带状石英脉的形成以及如何影响,还需要做进一步的工作。

晚期的脆性破裂,据整个矿区整体的构造特征表明,北东向的断裂都具有左旋的特征,北西向的断裂都具有右旋特征。另据新生坳地区断层特征的观察,南北向多为正断层,东西向多为逆断层,北东、北西向多为平推断层,据此确定有一期南北向压应力的存在(冶金工业部地质局江西分局 212 队,1957)^②。

6 结论

(1) 浒坑钨矿除了普通的块状石英脉外,还有别具特色的条带状石英脉。条带状石英脉不是蚀交代成因,而是韧性剪切成因。剪切带以出现新生的面理和线理(拉伸线理),以及变形的先存面理、金属矿物沿剪切面的定向分布为特征。剪切带中岩石为典型的石英质糜棱岩,具有丰富的塑性变形显微构造特征。

(2) 与岩浆岩有关的原生节理系统基本上是同时形成的,但在韧性剪切阶段,北西向剪切带左旋切割近东西向脉带,北东向剪切带切割东西向和北西向脉带。在晚期的脆性变形阶段,北西向石英脉发生明显的角砾岩化和碎裂岩化,并明显右旋平移—逆冲切割近东西向脉带。因此矿区脉带经历了长期的、多期次的构造运动,从而形成了复杂的石英脉类型和矿石类型。

(3) 条带状石英脉是韧性剪切的结果,主要与后期岩浆上涌有关;矿脉晚期脆性变形受控于南北向压应力的作用。

致谢:野外工作中得到了浒坑钨矿童福生矿长,刘志萍主任,秦建云工程师,周孝满工程师,黄忠伟工程师,左国义工程师等同志的大力支持和帮助,在此表示感谢,同时也感谢杨宗喜、向君峰等同志在野外工作中给予的协助和讨论,对本文的帮助很大。本文图片的清绘工作由康红英同志完成,在此表示感谢。

注 释

- ① 江西冶金地质勘探二队. 1978. 江西南部钨矿资料汇编(总论部分). 内部资料, 114~124.
- ② 中华人民共和国冶金工业部地质局江西分局 212 队. 1957. 中华人民共和国浒坑钨矿地质勘探总结报告书. 内部资料, 12~88.
- ③ 盛田坤. 1979. 浒坑脉状钨矿区旋扭构造的研究. 内部资料, 1~5.

参 考 文 献

- 陈国达. 1978. 成矿构造研究法. 北京:地质出版社, 1~100.
- 江西省地质矿产局. 1984. 江西地质志. 北京:地质出版社, 1~921.
- 刘 2, 毛景文, 王登红, 等. 2007. 中生代浒坑钨矿床含钨石英脉 Rb-Sr 年龄测定. 矿学报, 27(增刊): 282~284.
- 刘 2, 毛景文, 叶会寿, 等. 2008. 浒坑花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和元素地球化学特征. 岩石学报, 24(8): 1813~1822.
- 刘梦庚. 1981. 中国南方脉型钨矿床的沙钨矿床的原生分带及其成因. 钨矿地质讨论会论文集(中文版), 地质出版社, 221~231.
- 刘志萍, 徐勇. 2004. 浒坑钨矿大脉区矿脉赋存规律及深部探矿方向. 中国钨业, 19(6): 30~33.
- 柳志清. 1980. 脉状钨矿床成矿预测理论. 科学出版社, 72~77.
- 楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 等. 2005. 江西武功山穹窿复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究. 地质学报, 79(5): 636~644.
- 楼法生, 舒良树, 王德滋. 2002. 武功山中生代花岗岩穹窿伸展构造及岩石地球化学特征. 地质通报, 21(4/5): 264~269.
- 楼法生, 舒良树, 于津海, 等. 2002. 江西武功山穹窿花岗岩岩石地球化学特征与成因. 地质论评, 48(1): 80~88.
- 陆松年. 1998. 新元古代时期 Rodinia 超大陆研究进展论评. 地质论评, 44(5): 489~495.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景. 岩石学报, 23(20): 2329~2338.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45~55.
- 舒良树, 孙岩, 王德滋, 等. 1998. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学(D 辑), 28(5): 431~438.
- 舒良树, 王德滋, 沈渭洲. 江西武功山中生代变质核杂岩的花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究. 2000. 南京大学学报(自然科学), 36(3): 306~311.
- 汤加富, 王希明, 刘芳宇, 等. 1991. 武功山变质岩区构造变形与地质填图. 武汉:中国地质大学出版社, 1~24.
- 吴富江, 钟春根, 钟达洪. 2001. 江西武功山岩浆热穹窿伸展滑覆构造的基本特征及形成时代. 江西地质, 15(3): 161~165.
- 翟裕生, 林新多. 1993. 矿田构造学. 地质出版社, 158~161.
- 朱炎龄, 李崇佑, 林运淮. 1981. 赣南钨矿地质. 江西人民出版社, 323~386.
- Wang Dezi, Shu Liangshu, M. Faure, et al. 2001. Mesozoic magmatism and granitic dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi province and their genetical relationship to the tectonic events in southeast China. Tectonophysics, 339, 259~277.
- Faure M, Sun Yan, Shu Liangshu, et al. 1996. Extensional tectonics within a subduction-type orogen. The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi Province, Southeastern China). Tectonophysics, 263: 77~106.
- Li Shuguang, Harts R, Zheng Shuanggen, et al. 1989. Timing of collision between the north and south China Blocks—The Sm-Nd isotopic age evidence. Sci. in China (Series B), 32: 1393~1400.
- Li Shuguang, Jagoutz E, Chen Yizhi, et al. 2000. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, central China. Geochim. Cosmochim. Acta, 64(6): 1077~1093.
- Li Shuguang, Wang Songshan, Chen Yizhi, et al. 1994. Excess argon in phengite from eclogite: Evidence from dating of eclogite minerals by Sm-Nd, Rb-Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ methods. Chem. Geol., 112: 343~350.
- Li Shuguang, Xiao Yilin, Liu Deliang, et al. 1993. Collision of the North China and Yangtz Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. Chem. Geol., 109: 89~111.

The Geological Features of the Ore Bearing Quartz Veins at the Hukeng Tungsten Deposit, Jiangxi Province

ZHANG Wei¹⁾, CHEN Maohong^{1,2)}, YE Huishou²⁾, LIU Jun³⁾, SHU Qiao¹⁾

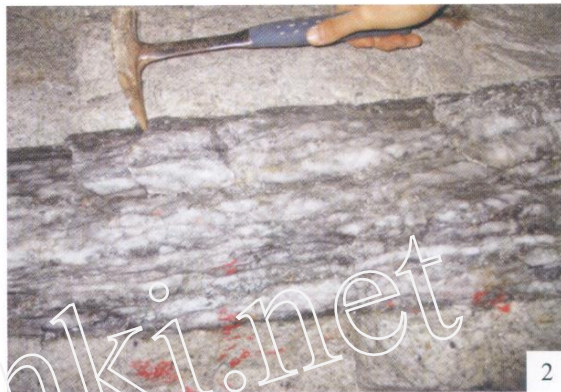
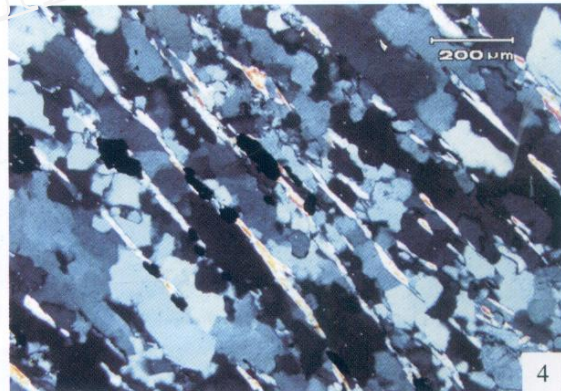
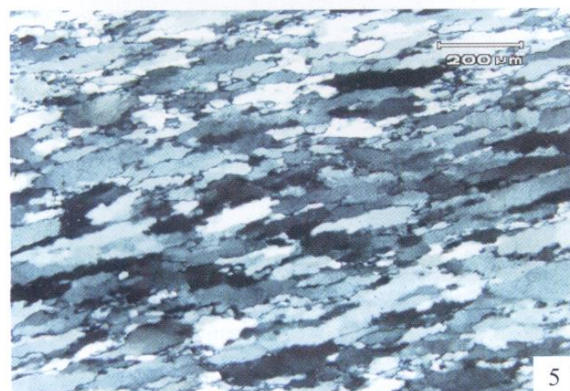
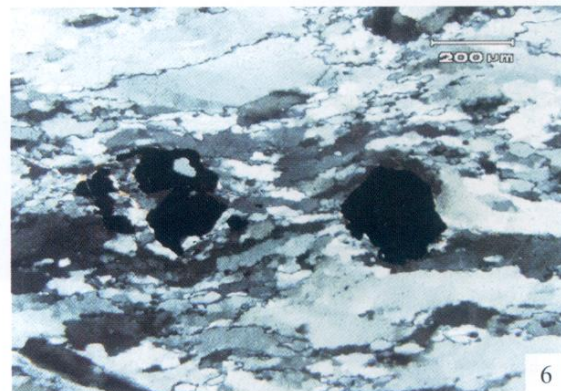
1) China University of Geosciences, Beijing, 100083; 2) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

3) The Civil Engineering School of Anhui University of Architecture, Hefei, 230022

Abstract

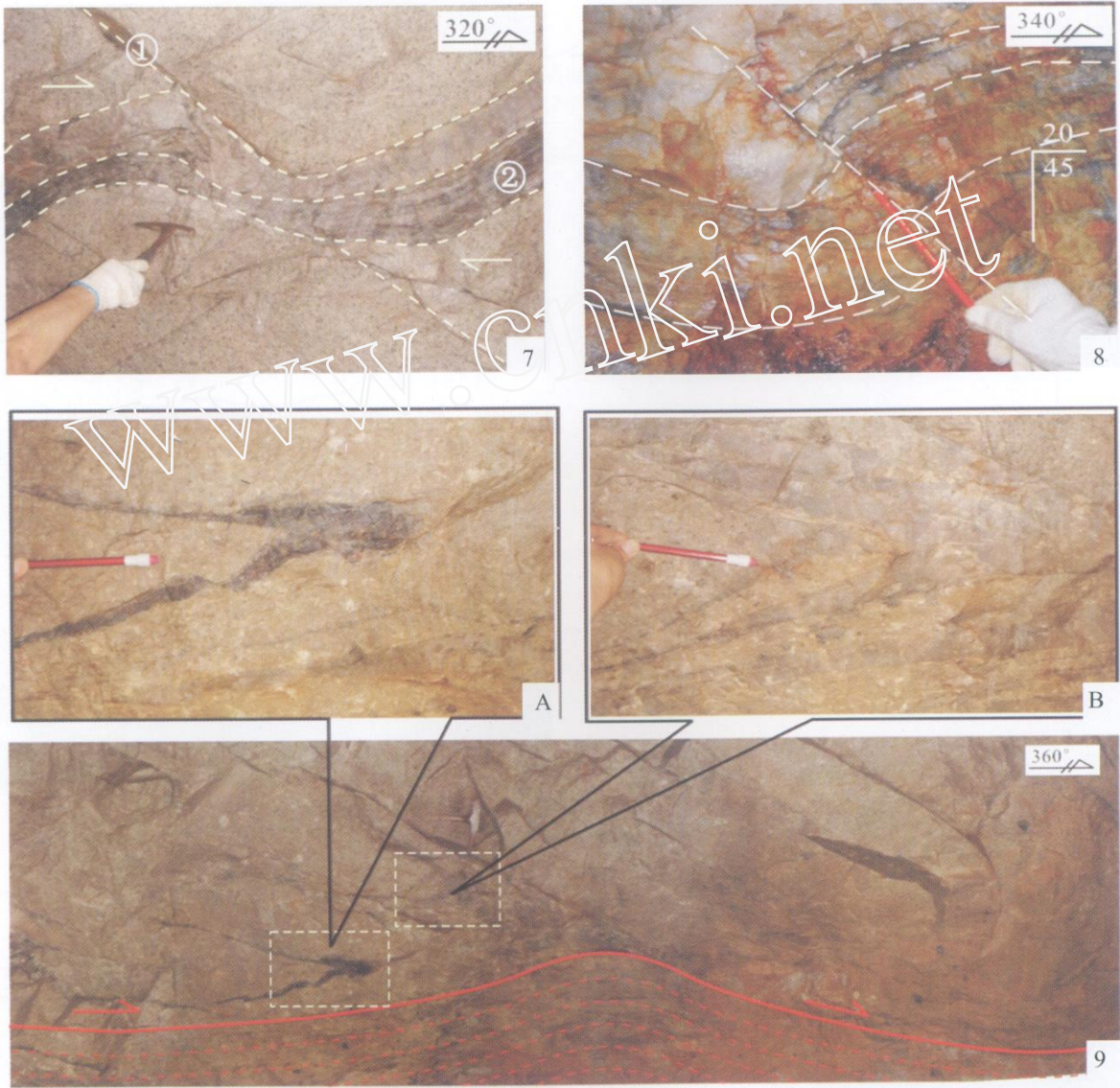
Hukeng tungsten deposit is a large scale tungsten deposit which locates at the Wugong Mountain in the west of Jiangxi Province. Different from the typical five-layer model in southern Jiangxi Province, ore bearing quartz veins are mainly concentrated on the inner contact zone of the rock body. Along with massive structure, banded structure appears widely in the ore bearing quartz veins. Detailed field work and microscope observation suggests that the banded quartz veins are various ductile shearing zones, which are characterized by new penetrative foliation and lineation. The petrological study shows that banded ores belong to mylonite, with abundant microstructure features of plastic deformation. Structural analysis of the ore bearing quartz veins reveal that most primary joints related to magmatic rocks are synchronogenic. The quartz veins which intruded into the joints underwent long-term and multi- tectonic movements, thus forming complicated quartz veins and ore types. The evolution series of structure in the mining area are as follows: formation of the primary joints →filled by the quartz veins →ductile shear →filled by the quartz veins again →formation of brittle fractures. The geodynamic setting of the ductile shear may be affected by the second magma intrusion, while the brittle fracture could be related to the NS-trending stress field in this area.

Key words: Hukeng tungsten deposit; banded quartz vein; mylonite; ductile shear zone; tectonic evolution



1. 北西向块状石英脉。
1. Northwest-striking massive quartz vein.
2. 东西向条带状石英脉。
2. east-westward banded quartz vein.
3. 北西向复合脉，两侧已韧性剪切，具条带状构造，中间未变形，仍保留块状构造。
3. northwest-striking quartz vein, both sides suffered ductile shear and have banded structure, central part is undeformed.

4. 由定向排列的石英和绢云母组成的剪切面理。
4. shear foliation consist by directional alignment of quartz and sericite.
5. 石英的动态重结晶，定向排列。
5. dynamic recrystallization of quartz, directional alignment.
6. 金属矿物残斑与石英拖尾组成“σ”残斑系，指示左旋的剪切。
6. metallic minerals porphyroblast and the tailing of quartz constitute rotational porphyroblast, indicate the left-lateral shearing.



7. G28受早期东西向节理限制，呈“S”型弯曲，指示左旋的剪切（镜头朝上）。
7. The earlier joint confine the later quartz vein named G28 to a “S” shape, indicate the left-lateral shearing(camera lens upward).
8. 北西向条带状石英脉（L13）的小褶皱指示后期的逆冲。
8. the small fold in the northwest-striking banded quartz vein indicate the later thrust movement.
9. 近水平韧性剪切带。
下部为韧性剪切带，代表岩石为石英质糜棱岩。剪切带上部花

岗岩中的节理作为变形面理发生揉皱，指示右旋的剪切；此外，早期的黑钨矿脉（图A）和石英脉（图B）均发生明显的揉皱，指示右旋的剪切。
9. nearly horizontal ductile shear zone.
lower part is the ductile shear zone, lithology is mylonite. Joints in the upper part of ductile shear zone are transform to folds, indicate the right-lateral shearing; the early wolframite mineral vein and quartz vein were deformed, illustrate the right-lateral shearing.