

DOI: 10.12401/j.nwg.2023049

湖南沅陵沃溪金锑钨矿床地质特征 与成矿地质条件探讨

彭桥梁¹, 苏特², 李天虎^{3,*}, 童继初¹, 罗刚¹

(1. 湖南省自然资源调查所, 湖南长沙 410007; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇三地质大队, 贵州铜仁 554300;
3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710119)

摘要: 沃溪矿床为湖南雪峰成矿带弧形转折端非常重要且极具特色的金锑钨共生超大型矿床, 矿体赋存于北西西向断裂破碎带中, 赋矿围岩为元古界板溪群马底驿组中上部绢云母化板岩。矿床类型为中低温热液石英脉型金锑钨矿床。笔者在实地调查并结合前人研究成果基础上, 对该矿床地质特征、围岩蚀变和成矿地质条件进行了系统分析和总结。矿区围岩蚀变作用强烈, 绢云母化、黄铁矿化和硅化与金锑钨成矿关系密切, 此外还有伊利石化、碳酸盐化和绿泥石化等。矿床成矿作用分为热液成矿期及表生氧化期两个成矿期, 其中热液成矿期可划分为石英-白钨矿-黄铁矿、自然金-黄铁矿-石英、辉锑矿-方锑金矿-石英和碳酸盐-石英 4 个阶段。矿床主要受地层和构造控制, 是地层、构造和围岩蚀变三者有利成矿条件下耦合的产物, 其中地层为成矿提供了物源, 一级断裂构造为成矿流体提供运移通道, 二级次生层间断裂和节理裂隙提供了容矿空间, 围岩蚀变则是成矿富集的必备条件, 三者也是矿区找矿的直接标志。

关键词: 金锑钨矿床; 地质特征; 控矿因素; 沃溪

中图分类号: P618.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)06-0262-12

Geological Characteristics and Metallogenic Geological Conditions of the Woxi Gold-Antimony-Tungsten Deposit in Yuanling, Hunan Province

PENG Qiaoliang¹, SU Te², LI Tianhu^{3,*}, TONG Jichu¹, LUO Gang¹

(1. Hunan Institute of Natural Resources Survey, Changsha 410007, Hunan, China; 2. 103 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Tongren 554300, Guizhou, China; 3. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: The Woxi gold antimony tungsten deposit is an important and characteristic gold antimony tungsten symbiotic super large deposit in the arc turning end of Xuefeng metallogenic belt in Hunan province. The deposit controlled by NWW trending faults, and hosted in purplish discoloration sericite slate in the middle and upper part of Madiyi formation of the Proterozoic Banxi group. The genesis of the deposit is metamorphic hy-

收稿日期: 2022-05-25; 修回日期: 2023-05-09; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 湖南省地质院项目“湘中地区锑成矿省成矿作用研究与找矿预测”(HNGSTP202305), 湖南省自然资源厅科技计划项目“湖南省雪峰弧形构造带北东段金锑钨深部成矿预测及靶区优选”(2017-4)联合资助。

作者简介: 彭桥梁(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地质调查与矿产勘查工作。E-mail: 271221430@qq.com。

* 通讯作者: 李天虎(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查工作。E-mail: 229094367@qq.com。

drothermal quartz vein type gold antimony tungsten deposit. Based on the field investigation and previous research results, this paper systematically analyzes and summarizes the geological characteristics, wall rock alteration and metallogenic geological conditions of the deposit. The wall rock alteration in the mining area is strong, pyritization and silicification are closely related to the gold antimony tungsten mineralization. In addition, there are illitization, carbonation and chloritization. The mineralization of the deposit can be divided into two metallogenic periods: hydrothermal metallogenic period and supergene oxidation period. The hydrothermal metallogenic period of the deposit can be divided into four stages: quartz-scheelite-pyrite stage, natural gold-pyrite-quartz stage, stibnite-fangantimony gold-quartz stage and carbonate-quartz stage. The deposit is mainly controlled by stratum, structure and wall rock alteration, which is the product of the coupling of stratum, structure and wall rock alteration under favorable metallogenic conditions. Among them, stratum provides material source for mineralization, primary fault structure provides migration channel for metallogenic fluid, and secondary interlayer faults and joint fissures provide ore holding space. Wall rock alteration is the necessary condition for metallogenic enrichment, and the three factors are also the direct signs of ore prospecting in the mining area.

Keywords: gold-antimony-tungsten deposit; geological characteristics; metallogenic geological conditions; Woxi

雪峰弧形构造带位于江南造山带西段,西起湘西雪峰山,东至湘东北幕阜山,形成一条反“S”的条带横穿湖南,延伸近500 km。带内矿产资源丰富,主要有金、铜、铅、锌、锑、钨等,尤以金矿资源极为丰富,湖南90%以上的金矿均产于此,带内金矿床达数十处,典型矿床有铲子坪、沃溪、大万、黄金洞等金矿,这些矿床成带状分布,被称为湖南的“金腰带”。

沃溪金锑钨矿床位于湖南省怀化市沅陵县境内,是开采逾百年的超大型金锑钨共生矿床。自1875年被发现以来,作为目前世界上独一无二的金锑钨共生超大型矿床而备受关注。20世纪70年代以来,众多生产、科研单位在矿区开展了大量的生产、勘探和研究工作,并发表了大量论著,主要集中在矿床成因(陈爱清, 2012; 易升星, 2012; 陈爱清等, 2014; 柳永康等, 2014)、元素地球化学特征(杨燮, 1992; 刘正庚等, 2000; 彭建堂等, 2003, 2005; 顾雪祥等, 2005; 祝亚男等, 2014)、矿床成矿规律(刘亚军, 1992; 陈明辉等, 2008, 2016; 孙玉珍等, 2013; 徐军伟, 2015)等方面,但详实论述该矿床地质特征和控矿因素的文章较少。笔者在实地调查基础上,并结合前人研究成果,对沃溪金锑钨矿床成矿区域地质背景、矿床与矿体特征、围岩蚀变与成矿期次等方面进行系统分析和研究,探讨矿床的控矿因素,阐述矿区找矿标志,以期对矿区边深部找矿提供依据和有力支撑。

1 区域地质背景

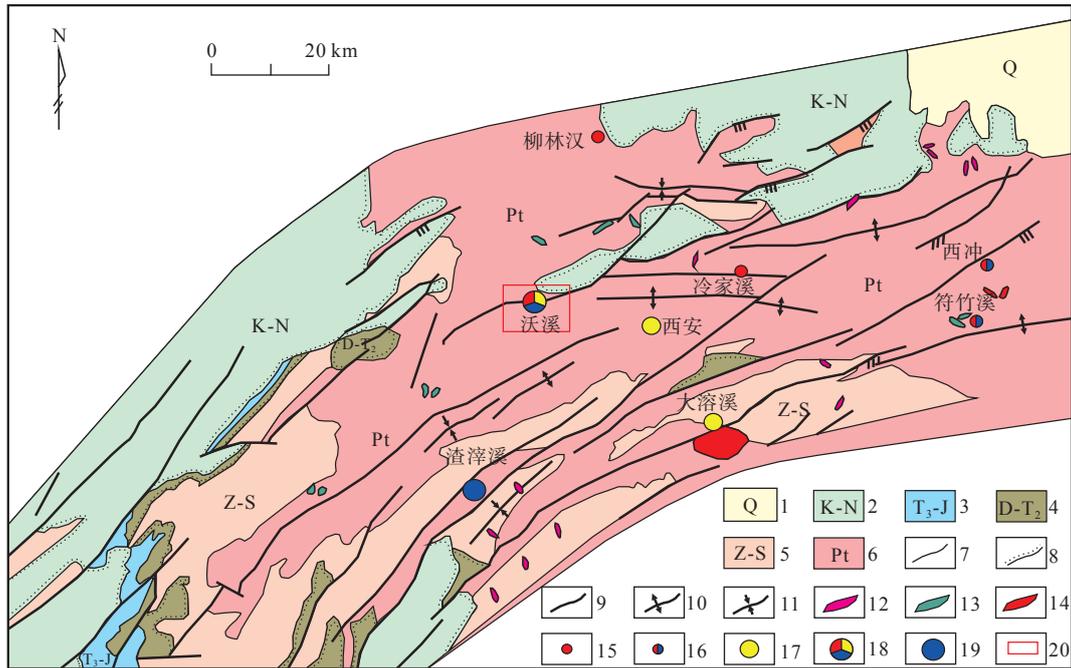
沃溪金锑钨矿床位于雪峰弧形隆起带由北东向转向近东西向弧形转折部位(图1)。该区出露地层主要有冷家溪群、板溪群、震旦系、寒武系和白垩系。冷家溪群和板溪群岩性都为是一套巨厚浅变质海相碎屑岩,为区域出露的最老地层;震旦系、寒武系岩性主要为砂岩和页岩;白垩系为红色砾岩。

区域构造主要表现为“两盆一隆”,中部为雪峰山弧形隆起带,该带为一系列穹窿(如明月山穹窿、仙鹅抱蛋穹窿等)组成的复式背斜构造。隆起带南东侧为湘中晚古生代沉积盆地,北西侧为湘西沅麻中生代沉积盆地。沿隆起带发育有大量NNE-NEE向呈叠瓦状展布的次级褶皱和逆冲断裂,包括沃溪断裂、冷家溪断裂等。这些逆冲断裂规模大、切割深、延伸远,是雪峰弧形成矿带重要的控矿构造。

区域岩浆岩主要为大神山酸性岩体,侵位时代为印支晚期(224.3±1.0)Ma(张龙升等, 2012),局部见晋宁期基性-超基性岩体(脉)侵入。

2 矿区地质特征

沃溪矿区东西长为6 km,南北宽为1~2 km,自西往东分为红岩溪、鱼儿山、栗家溪、十六棚公及上沃



1.第四系; 2.白垩系—新近系; 3.上三叠统一侏罗系; 4.泥盆系—中三叠统; 5.震旦系—志留系; 6.元古界; 7.地层界线; 8.地层不整合界线; 9.断裂; 10.背斜轴; 11.向斜轴; 12.火山岩; 13.基性—超基性岩; 14.花岗岩; 15.小型金矿床; 16.小型金锑矿床; 17.中型钨矿床; 18.大型金锑钨矿床; 19.大型钨矿床; 20.沃溪矿区范围

图1 沃溪矿区区域地质简图

Fig. 1 Generalized regional geological map of the Woxi deposit

溪等5个矿段(图2)。

2.1 地层

矿区出露地层为元古界冷家溪群(Ptln)、元古界板溪群马底驿组(Ptbnm)、五强溪组(Ptbnw)、震旦系(Z)、白垩系(K)及第四系(Q)(图2)。其中板溪群马底驿组为赋矿层位,根据岩性组合可分为3个岩性段,第一岩性段为灰绿色变质砂岩夹砂质板岩;第二岩性段为紫红色条带状钙质绢云母板岩,局部偶夹灰绿色板岩和浅紫红色砂岩,岩石片理、劈理发育,为矿区金锑钨矿最主要赋矿层位;第三岩性段为灰绿色板岩、砂质板岩及中细粒砂岩。

2.2 构造

矿区位于仙鹅抱蛋穹窿状复式背斜北东翼。围绕该穹窿,马底驿组受多期次构造运动的挤压和置换作用,断裂、褶皱、节理和劈理非常发育,发生了弯曲变形,呈“M”形展布(图2)。断裂、褶皱及节理主要特征分述如下。

2.2.1 断裂

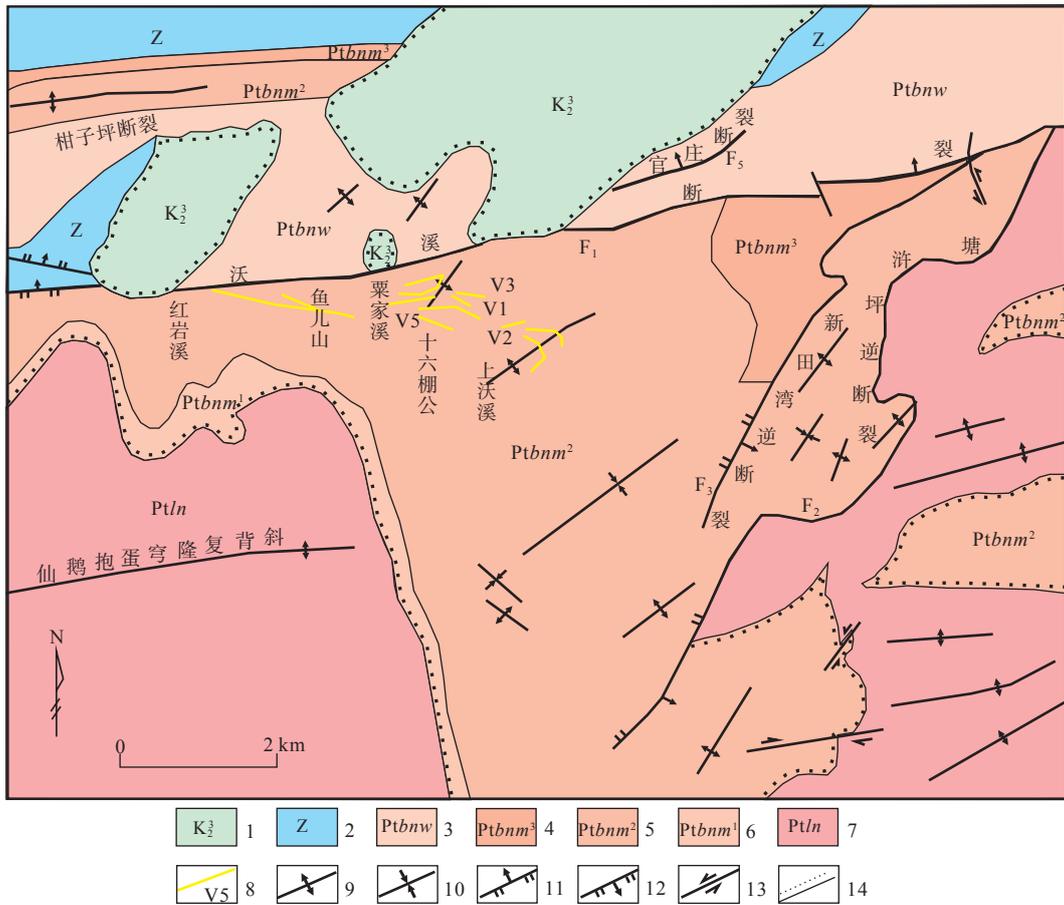
矿区断裂非常发育,根据断裂走向可划分为NEE、NE和NWW向3组。

NEE向断裂:以沃溪大断裂(F₁)和官庄断裂为代

表(F₅)(图2)。F₁走向上呈波状起伏展布于矿区北部,走向NEE,倾向NNW,倾角为30°~50°,走向延长>20 km,倾向延伸>2 km,为矿区规模最大的控矿断裂。断裂带宽数米至百米,带内主要由构造透镜体、断层角砾岩、碎裂化板岩、糜棱岩和断层泥(断裂底部,厚1.5 m左右)组成,带旁侧岩石具强劈理化、片理化,并发育大量张性石英脉,局地出现断滑脱褶皱,说明该方向断裂为先挤压、后拉张的多期次活动断裂。

NE向断裂:以F₂塘浒坪逆断裂、F₃新田湾逆断裂为代表(图2),断面呈“S”弯曲,走向NE,倾向SE,倾角为50°~70°。断裂带宽为1~2 m,带内主要由围岩角砾及少量石英脉组成,具逆时针扭动迹象,表明该方向断裂为压扭性断裂,后期由于弹性恢复局部具有张性特征。

NWW向断裂:该方向断裂为层间断裂,平行产于沃溪断裂下盘(图2、图3),为矿区主要的容矿构造,断面呈舒缓波状,产状与地层小角度相交。矿区西部走向近EW,倾向N;从十六棚公矿段往东,走向逐步转为NWW,倾向为NNE,倾角为25°~40°。断裂走向长为650~5 000 m,倾向延深可达2 000 m以上。断



1.白垩系上统; 2.震旦系; 3.板溪群五强溪组; 4.板溪群马底驿组第三岩性段; 5.板溪群马底驿组第二岩性段; 6.板溪群马底驿组第一岩性段; 7.冷家溪群; 8.蚀变带(矿脉)及编号; 9.背斜轴; 10.向斜轴; 11.逆断层; 12.正断层; 13.平移断层; 14.地层不整合界线

图 2 沃溪矿区地质简图

Fig. 2 Generalized geological map of the Woxi deposit

裂带内由角砾状金锑矿石、条带状含金锑钨石英脉、角砾岩和断层泥组成, 断裂带内及两侧围岩具强烈硅化、黄铁矿化和绢云母化。断裂两侧常发育张性羽状分支裂隙, 其与主断裂相交的锐角指向显示上盘向上运动, 以上特征表明该方向断裂为压剪性断裂。

2.2.2 褶皱

矿区褶皱按其轴向方向可分为 NEE、NE 和近 SN 向 3 组。

NEE 向褶皱: 以仙鹅抱蛋穹窿箱状倾伏复式背斜为代表(图 2), 穹窿顶部平缓翼部陡峭, 育裙边褶皱。轴面倾向 NNW, 轴线 NEE, 向 NE 倾伏, 倾伏角为 20°, 两翼岩层走向近 SN, 北翼倾向为 340°~360°, 倾角为 32°~65°, 南翼倾向为 170°~180°, 倾角为 60°~70°。核部为冷家溪群, 两翼依次为板溪群马底驿组、五强溪组。

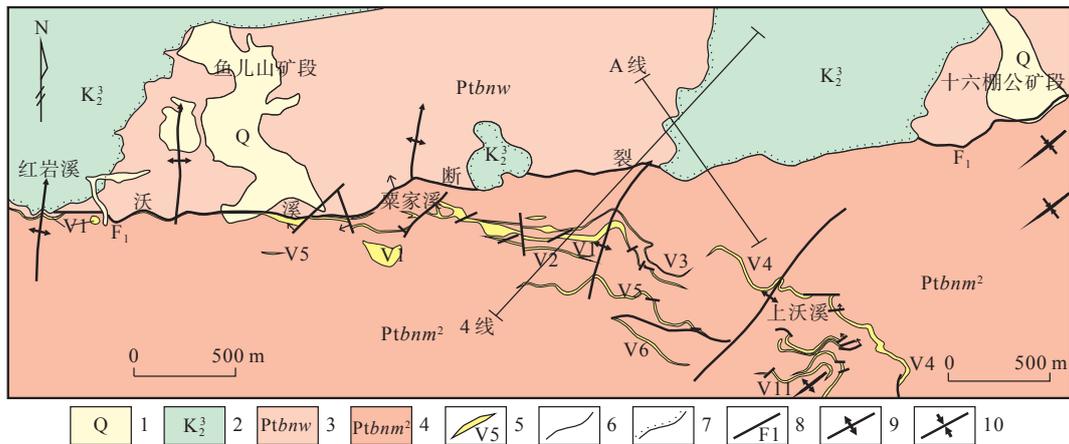
NE 向褶皱: 为一系列以十六棚公为中心的倾伏

裙边式横跨褶皱, 以十六棚公、上沃溪等背斜及其间的向斜为代表形成矿区次一级控矿构造(图 3)。褶皱倾伏方向和倾伏角基本上与岩层产状一致, 呈线状展布, 轴向为 23°~48°, 枢纽向 NE 倾伏, 由板溪群和震旦系组成, 翼展为 100~500 m, 沿倾伏方向延伸 1 000~5 000 m, 且自浅部向深部倾伏角逐渐变缓。

近 SN 向褶皱: 以仙鹅抱蛋穹窿南北两侧鼻状褶皱及红岩溪、鱼儿山等背斜及其间的向斜为代表(图 2、图 3), 轴向为 340°~5°, 枢纽向 N 倾伏, 由冷家溪群和板溪群组成, 西翼倾向 NW, 倾角为 25°~42°, 东翼倾向 NE, 倾角为 23°~60°。

2.2.3 节理

矿区节理裂隙十分发育, 主要分布于褶皱轴部、两条层间断裂靠近部位及断裂分支复合部位。按产状可分为以下几组: 平行层间断裂的节理, 产状为 5°~67°∠25°~33°; 与层间断裂呈锐角斜交的剪节理,



1.第四系；2.白垩系上统；3.板溪群五强溪组；4.板溪群马底驿组第二岩性段；5.蚀变带、石英脉及编号；
6.地质界线；7.地层不整合界线；8.断层及编号；9.背斜轴；10.向斜轴

图3 沃溪矿区鱼儿山—十六棚公矿段地质简图

Fig. 3 Generalized geological map of Yuershan-Shiliupengong ore section in the Woxi deposit

产状 $120^{\circ} \angle 40^{\circ}$ ；与层间断裂成大角度相交的张节理及剪节理，其主要有3组，产状分别为 $345^{\circ} \sim 360^{\circ} \angle 41^{\circ} \sim 71^{\circ}$ ， $243^{\circ} \sim 282^{\circ} \angle 56^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 和 $89^{\circ} \sim 128^{\circ} \angle 26^{\circ} \sim 28^{\circ}$ ；节理走向长为10~50 m，延深为10~30 m，脉厚为0.1~2 m；节理内部常充填网状含金锑或含金石英脉。

2.3 岩浆岩

矿区范围内无岩浆岩出露，矿区南缘仙鹤抱蛋山800 m标高处见岩浆岩，产于冷家溪群浅灰色板岩夹浅变质石英砂岩中，与围岩接触部位被第四系覆盖，受EW向构造影响，岩体沿东西向断续零星产出，出露长为150~500 m，宽为20~30 m(易升星, 2012)。一组近SN向节理发育，并为后期石英脉带充填，脉宽为2~3 cm。出露岩石新鲜面呈灰白色，风化后呈黄褐色，具斑状结构，斑晶主要为条状钠长石，其次为石英，成岩后有较强的热液蚀变，主要为碳酸盐化、绿泥石化，其次为星点状黄铁矿化，未发现金锑钨矿化。

3 矿体特征

3.1 矿体规模与形态

按矿体产出形态可分为层间脉(层脉)、网状细脉(网脉)和节理脉3种类型，以层脉为主，后两者依附于层间脉产出。目前共发现层脉10余条，自西往东，自下而上为鱼儿山V6、V6、V5、V2、V1、V3、V3-1、V4、V7和V8，其中盲脉4条(V3-1、V4、V7、V8)。走向长为35~350 m，倾向延伸180~2 500 m，倾向延深是走向延长的4~13倍，赋存于褶曲轴部的层脉常重

叠出现，背斜上部矿体往往比下部矿体走向延伸长；产状与围岩产状基本一致，相互平行呈雁列式展布，倾向N或NE，倾角为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ，矿体厚度大，走向长度小，倾向延深大，倾角稳定。坑探揭露在-800 m以下仍然有很好的矿化及工业矿体存在，显示矿体往深部继续延伸，矿区深部具有良好的找矿远景。

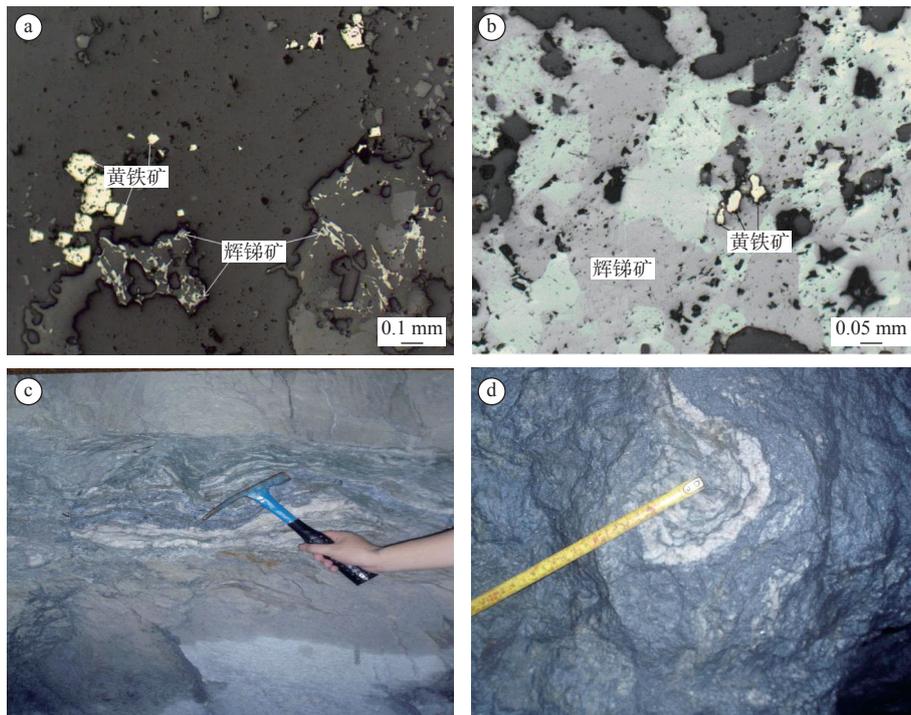
网脉多赋存在层脉下盘，大部分表现为平行层脉方向或沿不同方向的节理填充的含金石英脉，与围岩一起构成含金锑钨矿体或脉带，含脉率约为10%，倾向SW，倾角平均为 50° 。走向长一般为20~80 m，倾向延伸40~140 m，矿体厚为3~8 m，单条网脉延伸长1~4 m，厚一般 < 10 cm。

节理脉多赋存在层脉下盘或两条层脉之间的切层节理裂隙中，长一般为10~50 m，厚为0.1~2 m，延伸10~30 m，一般规模小，但矿石品位高。

3.2 矿石特征

矿石中金属矿物主要为自然金、辉锑矿、白钨矿、黑钨矿，次为毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、辰砂等；非金属矿物为石英，次为方解石、铁白云石、绿泥石、绢云母，少量叶腊石、伊利石、高岭石等。次生矿物有褐铁矿、水绿矾、钨华、锑华等，无经济价值，但指示找矿意义重大。

矿石结构有中细粒自形—半自形结构(图4a)、他形粒状结构(图4b)、充填结构、溶蚀交代结构和压碎结构等；矿石构造有条带状构造(图4c)、块状构造(图4d)(孙泓波等, 2012)、细脉状构造、角砾状构造、网脉状构造和浸染状构造等。



a.针状、毛发状、板柱状辉锡矿与黄铁矿共生; b.他形粒状、柱粒状辉锡矿,重结晶后相互镶嵌呈花岗岩变晶结构;
c.辉锡矿、白钨矿-石英、细粒黄铁矿、组成黑白相间的条带; d.块状辉锡矿包裹有石英、白钨矿角砾

图4 矿石典型组构照片

Fig. 4 Photographs of typical ore texture and structure

3.3 围岩蚀变与成矿期次

矿区发育强烈的围岩蚀变,蚀变主要类型有绢云母化(褪色化)、黄铁矿化和硅化,其次为伊利石化、碳酸盐化和绿泥石化等。其中,绢云母化、黄铁矿化和硅化为主要近矿围岩蚀变,与成矿关系密切。

根据矿石中矿物的共生组合、矿石结构构造、围岩蚀变及矿物的相互穿插及限制关系以及矿物的次生变化特点,矿床成矿作用可分为热液成矿期和表生氧化期2个成矿期。①热液成矿期:矿源层中Au、Sb、W等元素在热液作用下发生活化和迁移,并在有利成矿地段富集形成矿体。②表生氧化期:主要是矿体形成后在近地表环境中经氧化淋滤而发生次生蚀变作用,白钨矿及黑钨矿形成表生矿物钨华,辉锡矿形成锡华、锡赭石等,黄铁矿则形成水绿矾、褐铁矿等。由于成矿构造的多期性和继承性特点,可将热液成矿期划分为石英-白钨矿-黄铁矿阶段(I)、自然金-黄铁矿-石英阶段(II)、辉锡矿-方钨金矿-石英阶段(III)和碳酸盐-石英阶段(IV)4个成矿阶段(表1)。

石英-白钨矿-黄铁矿阶段(I),为白钨矿的主要成矿阶段,少量黑钨矿也伴随出现,呈半自形-他形,不规则粒状、团块状及细脉状产出,充填交代于石英

或钙质板岩裂隙中。早期白钨矿、石英常被后期形成的石英、黄铁矿和辉锡矿穿插、交代和胶结成角砾状。该阶段形成的矿体厚度变化较大,沿走向及倾向延伸较远,均呈舒缓波状。

自然金-黄铁矿-石英阶段(II),为金矿的主要成矿阶段,该阶段主要特征为含石英黄铁矿热液大量出现,并沿断裂及围岩节理裂隙侵入,形成块状、脉状和浸染状矿石。黄铁矿呈半自形-自形,晶型总体较好,根据观察黄铁矿颗粒越细,金矿化越好。

辉锡矿-方钨金矿-石英阶段(III),为辉锡矿、方钨金矿的主要成矿阶段。辉锡矿呈他形-半自形,不规则粒状、团块状和细脉状产出。辉锡矿细脉常切割黄铁矿细脉,或两者各呈条带状构造,界线明显。

碳酸盐-石英阶段(IV),主要由方解石、石英组成,沿成矿期断层充填呈细脉状不连续分布,裂隙面粗糙不平,变化大,受限于前期形成的矿脉,常与层脉形成“T”字形构造,切穿破坏了层脉矿体。

4 成矿地质条件探讨

根据区域成矿地质背景、矿区及矿床地质特征可

表1 沃溪矿床热液成矿期矿物生成顺序表

Tab. 1 Sequence of mineral formation during hydrothermal mineralization of the Woxi deposit

成矿阶段	I	II	III	IV
石英	—————			
白钨矿	—————			
黑钨矿	—————			
黄铁矿		—————		
自然金		—————	—————	
辉锑矿			—————	
毒砂		—————		
闪锌矿			—————	
方铅矿			—————	
黄铜矿		—————		
方锑金矿			—————	
方解石	—————	—————	—————	—————
绿泥石	—————	—————	—————	
绢云母	—————			
白云石			—————	
叶腊石		—————	—————	
伊利石		—————	—————	

知(马承等, 2021), 沃溪金锑钨矿床主要受地层、岩性、构造的控制, 同时和围岩蚀变关系非常密切, 三者与成矿之间关系探讨如下:

4.1 地层岩性与成矿的关系

矿区已发现的工业矿体均产于板溪群马底驿组中, 该组中岩性差异面和岩层的不整合面易产生层间断裂带, 为矿液的运移和富集提供了有利空间和场所。根据矿区及其外围土壤地球化学测量结果, 马底驿组紫红色板岩中具有较高 Au、Sb、W 背景值, 既是主要矿源层, 又是矿床后期变质改造的控矿层位。据野外观察, 不同的岩性也对矿体的定位及形态也有着一定的控制作用。若在同一矿段中, 产于绢云母板岩中的矿脉较平直, 且形态较为规则, 延伸较长; 而产于砂岩或石英砂岩中的矿脉则较为复杂, 形态多样, 延伸较短, 矿化极不均匀。白钨矿与黑钨矿的空间分带亦与该地层中氧化钙含量高低密切相关, 如十六棚公矿段至鱼儿山矿段, 板岩中氧化钙含量由 2.86% 降低到 1.09%, 矿石中白钨矿化相应转变为黑钨矿化。

4.2 构造与成矿的关系

矿区最早受南北向压应力作用形成轴向近 EW 的古佛山复背斜, 由于北面压应力较南面大, 在马底驿组板岩和五强溪组石英砂岩 2 种岩性差异的界面

间形成了沃溪大断层(属导矿构造), 同时马底驿组板岩的板理发育及属塑性岩石, 导致岩层沿倾向呈舒缓波状起伏, 并出现层间滑动(即层间断裂)。后期受 SE-NW 向挤压力作用, 与 SN 向压应力叠加, 使北东翼马底驿组塑性岩层形成一系列横跨褶曲, 由于早期发育有层间断裂。因此, 在褶曲轴部形成剥离空间, 成为良好的容矿构造。后期由于压应力继续作用在层间断裂旁形成剪切裂隙及张裂隙, 为网脉矿体的形成创造了良好的空间, 在后期的弹性恢复期, 这些张性裂隙形成了张性正断层, 破坏了矿体的连续性。

根据野外观察并结合前人资料(方福康等, 2013), 成矿前、成矿期及成矿后构造与成矿之间关系见表 2。与成矿关系密切的构造主要为沃溪断裂、派生的次级构造及横跨褶曲。矿脉的空间分布、形态、产状和规模明显受断裂构造和褶曲影响和控制, 褶曲、断裂和节理起着多级控矿作用。

4.2.1 断裂对成矿的控制

沃溪断裂和冷家溪断裂为矿区一级控矿构造, 起着重要的导矿作用, 为深部矿液活动提供了运移通道, 同时断层上盘底部断层泥的存在限制了矿液向上盘迁移, 具体表现为: ①沃溪断裂具多期活动特点, 断裂张开时有利于热液活动。②前人所测构造地球化学

表 2 矿区构造及其控矿作用表
Tab. 2 Structure of mining area and its ore-control function

构造	分布或名称	活动时间			控矿作用
		成矿前	成矿期	成矿后	
一级断裂	沃溪大断裂				导矿构造
	冷家溪大断裂				
次级构造	层间断裂				导矿、容矿构造
	横断裂				
	横跨褶曲				控矿、容矿构造
	节理				
成矿后断裂	北东向张扭性断层				破坏矿体

注：椭圆长度表示活动时长，宽度代表活动强度。

数据表明，带内 Au、Sb、W、As、Hg 等成矿元素含量明显高出断层上下盘。③断裂在鱼儿山矿段与矿体相交地段矿化减弱，厚度变薄(图 5a)，且该断裂上盘均未控制到有价值的矿脉和含矿蚀变体。

其派生的次级构造(即层间断裂、节理裂隙)，控制着主矿体下盘支脉及细脉带矿体形态和规模，具体表现为：①层脉、支脉、细脉带及矿化蚀变带基本沿层间断裂及两侧分布。②层间断裂破碎带、蚀变带、矿体三者厚度上具正相关关系，即层间断裂破碎带厚度越大，绢云母化蚀变带强度越大，矿体厚度越大，矿脉下盘层间裂隙、节理裂隙发育且密度大，其细脉带矿体厚度也大；反之破碎带窄，蚀变宽度小则矿体厚度薄或矿体尖灭(图 6)。③层间断层亦控制矿石构造，断裂具多层次性，呈条带状构造，矿石亦具层纹状构造(图 5b)。

成矿后北东向张扭性断裂对矿体具有一定的破坏，表现为矿体被截断、错位、破碎等现象(赵世启等，2020)(图 7)。

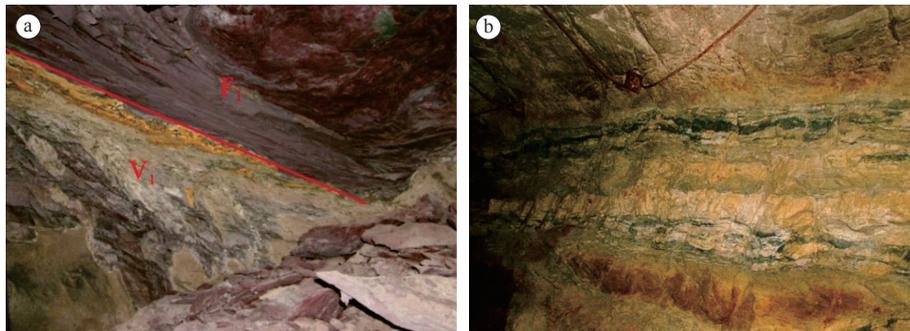
4.2.2 褶皱对成矿的控制

矿床位于冷家溪复式背斜的北翼，为舒缓波状的

单斜构造，沿其走向有形成一系列裙边横跨褶曲，横跨褶曲波弧大小、开闭程度和倾伏延伸等控制着矿体规模的大小和展布方向，为矿液富集和沉淀的有利场所。具体表现为：①矿区由西向东，褶皱轴向由 SN 向逐步转为 NE 向，矿柱走向随褶皱轴向偏转而偏转，鱼儿山-粟家溪矿段矿柱主要为 SN 向，而沃溪矿段矿柱则主要为 NE 向。②矿柱分布范围与次级褶皱核部扩容带吻合较好(图 8)。③层脉状厚大矿体赋存在矿脉沿走向成舒缓波状弯曲形成的倾伏开张式背向斜轴部(图 9a)，矿体走向长受到弯曲弧的长短制约，矿体沿倾斜顺背向斜轴倾伏方向稳定延伸可达 2 000 m 以上，而在两翼方向上逐渐变薄。④矿体的空间展布总体上具有规律的定向性，矿体埋深由西向东逐渐变深，各层状矿体间呈叠瓦状雁列式分布，相互间具有大致等距的特点，平距 200~350 m(图 3、图 10)。

4.2.3 节理对成矿的控制

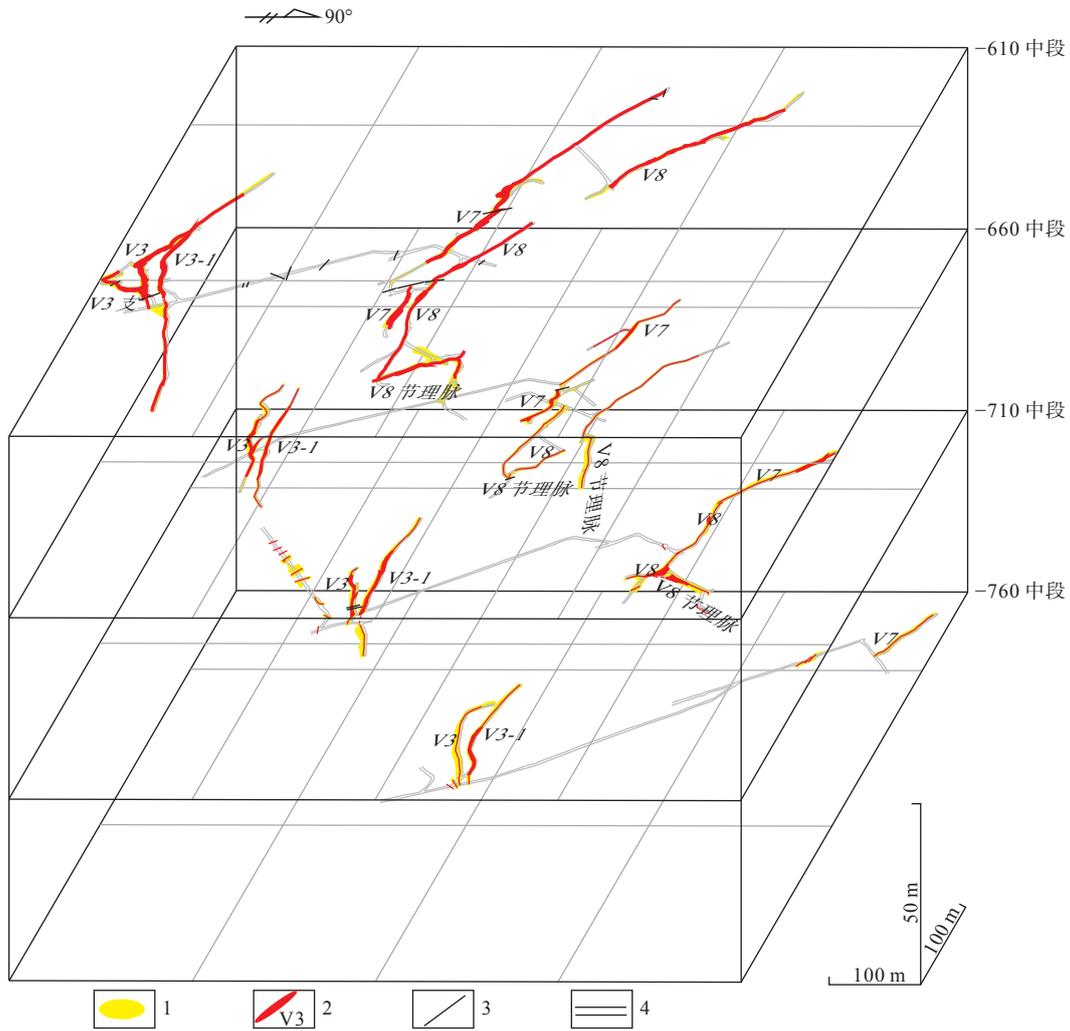
矿区节理发育，有剪节理、张节理及张剪复合节理，主要分布于褶皱两翼、矿脉两侧和弯曲处、两条主脉接近部位或主脉和支脉的交接处，以及主脉与节理脉相交的“入”字形构造的锐角内侧部位(图 9b)。



a. 矿体与沃溪断裂接触面(鱼儿山矿段，V1 矿体)；b. 矿体呈层纹状构造(沃溪矿段，V3 矿体)

图 5 断裂对成矿的控制情况图

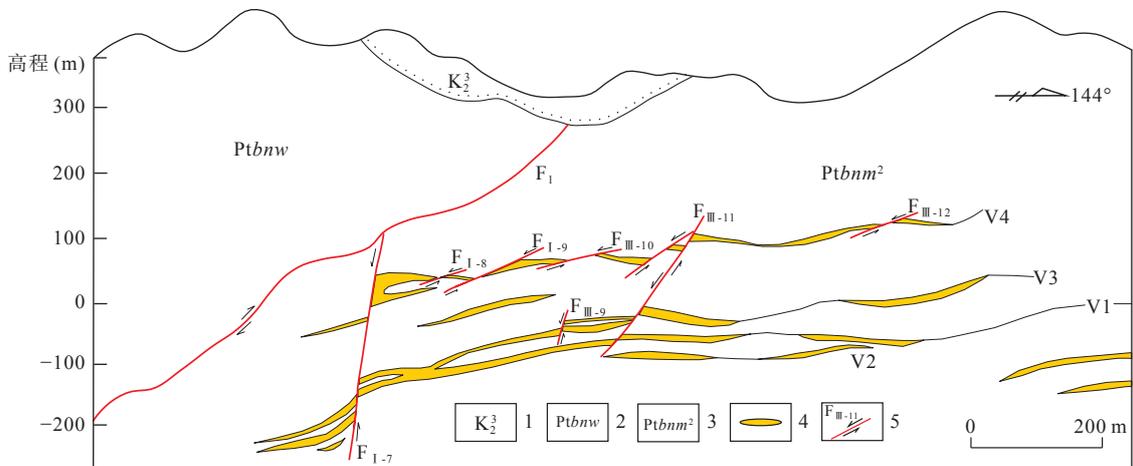
Fig. 5 Control of faults on mineralization



1. 蚀变带; 2. 矿体及编号; 3. 断裂; 4. 坑道

图6 沃溪矿区十六棚公矿段联合中段图

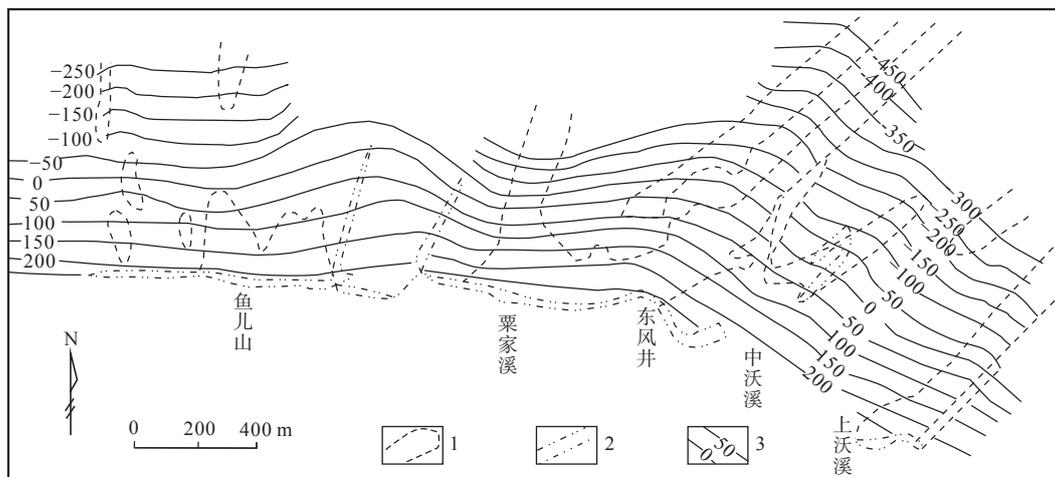
Fig. 6 Combined geological level plan of Shiliupengong ore section in the Woxi deposit



1. 白垩系上统; 2. 板溪群五强溪组; 3. 板溪群马底驿组第二岩性段; 4. 矿化蚀变带; 5. 断裂及编号

图7 沃溪矿区A线剖面图

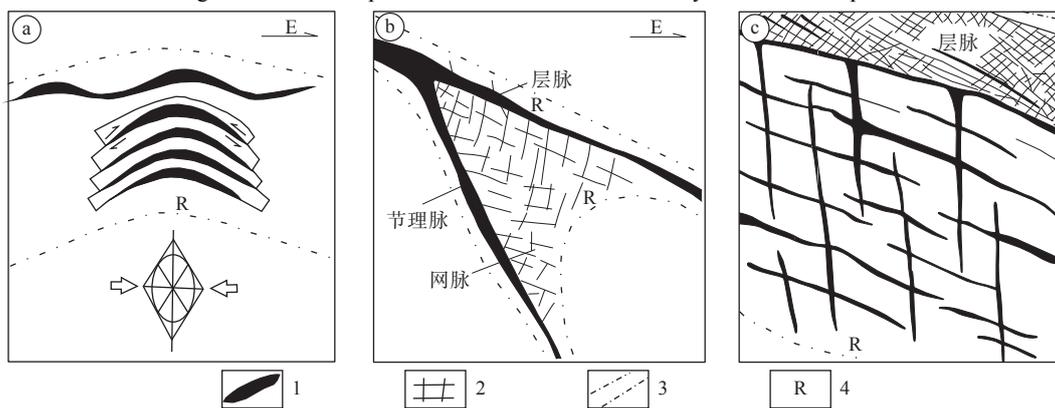
Fig. 7 Section of Line A in Woxi deposit



1.矿柱范围; 2.蚀变带; 3.底板等高线

图 8 沃溪矿区 V1 脉矿体底板等高线图

Fig. 8 Contour map of the bottom of V1 vein orebody in the Woxi deposit

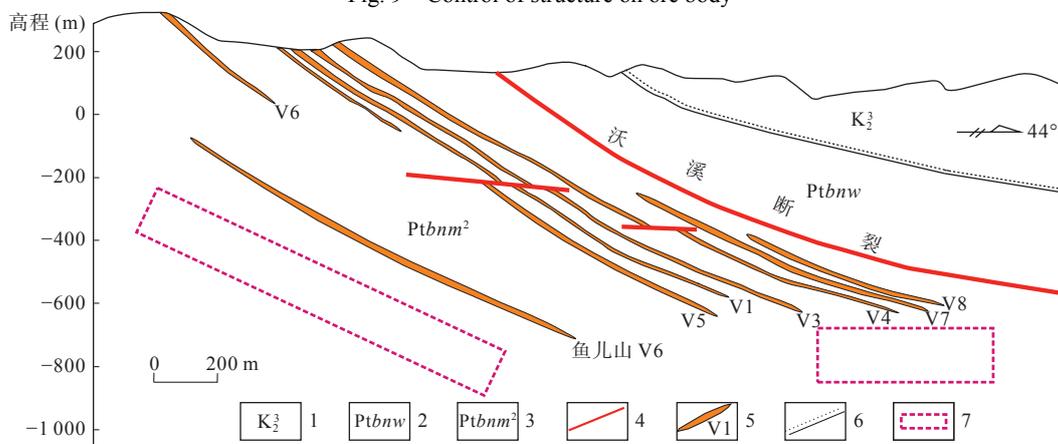


1.块状矿体; 2.网脉状矿体; 3.蚀变带; 4.蚀变板岩; a.褶曲轴部形成剥离空间示意图;

b. “入”字型构造及网脉矿体; c.网脉矿体中的细脉

图 9 构造对矿体的控制情况图

Fig. 9 Control of structure on ore body



1.白垩系上统; 2.板溪群五强溪组; 3.板溪群马底驿组第二岩性段; 4.断裂; 5.矿化蚀变带编号;

6.地层不整合界线; 7.找矿远景区

图 10 溪矿区 4 线剖面图

Fig. 10 Section of Line 4 in the Woxi deposit

节理特别发育,由此形成节理脉矿体或网脉矿体,网脉矿体受主裂隙形态控制,其主要形状有带状、网状、扁豆状等。网脉以钨、金矿化为主,与石英细脉相伴产出。组成网脉矿体的石英细脉有2组,一组大致平行层间裂隙,另一组与层脉大角度相交,两组细脉相互交织成网状(图9c)。网脉的矿化强度与节理裂隙的开阔程度及石英细脉含脉率密切相关。

4.3 围岩蚀变与成矿的关系

据野外观察,含金石英脉均产于绢云母化蚀变中,石英脉两侧围岩无绢云母化蚀变则不含矿。绢云母化可以作为矿区甚至整个沃溪-冷家溪金锑钨矿带的找矿标志。硅化、黄铁矿化随绢云母化分布于矿体两侧,硅化、黄铁矿化分别与白钨矿、自然金关系密切,中细粒黄铁矿化越强,则金矿化强,硅化越强地段钨矿化越好。碳酸盐化和绿泥石化仅在局部可见。从矿区整体来看,蚀变分带现象并不明显,远离矿体蚀变明显减弱甚至消失。

以上控矿因素探讨表明,沃溪金锑钨矿是由“地层+构造+围岩蚀变”三者有利成矿条件下耦合形成的产物(图11)(方福康等,2013)。其中,地层提供物源,构造起导矿、容矿和控矿作用,围岩蚀变则是矿化的必备基础条件。

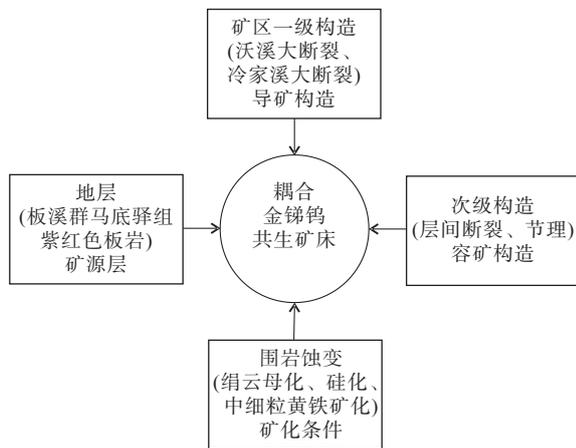


图11 控矿因素耦合成矿示意图

Fig. 11 Schematic diagram of coupling ore control factors

5 找矿标志

矿床地质特征与控矿因素的探讨对矿区边深部金锑钨矿找矿具有重要指导作用。沃溪矿区找矿标志主要有3个方面。①板溪群马底驿组紫红色板岩为容矿层,其上部岩石中铁质、钙质含量高,因绢云母化使岩石颜色褪色变浅,是矿脉的赋矿层位,也是以

后找矿的最重要标志。②沃溪大断层派生的次一级构造控制着主矿体下盘支脉及细脉带矿体形态和规模,尤其在两条层间断裂相接近或相交的锐角部位或横跨褶曲轴部是有利的成矿构造地段。③绢云母化、中细粒黄铁矿化和硅化为矿区直接而明显的找矿标志。

6 结论

(1)沃溪矿床赋存于板溪群马底驿组地层紫红色板岩中,其成矿过程可分为热液成矿期和表生氧化期两个成矿期,矿床热液成矿期可划分为石英-白钨矿-黄铁矿、自然金-黄铁矿-石英、辉锑矿-方锑金矿-石英和碳酸盐-石英等4个阶段。

(2)矿床主要受地层、构造和围岩蚀变控制,是三者有利成矿条件下耦合的产物。沃溪断裂具导矿作用,褶曲、断裂和节理起着多级控矿作用,层间断裂、蚀变带和矿体三者厚度上具正相关关系。

(3)近矿围岩的绢云母化、中细粒黄铁矿化及硅化为沃溪矿区直接而明显的找矿标志。根据构造对矿体控制的分析,矿脉间具有大致等距的特点,且往深部仍有延伸的迹象,因此,V3、V4、V7和V8号矿体往深部延伸区域及鱼儿山V6号矿体西南方向水平距离200~350m内具有较好的成矿条件和进一步找矿潜力。

致谢:野外工作得到辰州矿业有限公司的大力支持,文章撰写过程中得到桂林理工大学钱建平教授的悉心指导,审稿专家给出了很好的修改建议,在此表示感谢!

参考文献(References):

- 陈爱清. 湖南沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿与黑钨矿的成矿规律及成因机制的研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- CHEN Ai-qing. Study on Mineralization Regularity and Formation Mechanism of Scheelite and Wolframite in the Woxi Au-Sb-W Deposit in Hunan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- 陈爱清, 唐攀科, 李国武, 等. 湖南沃溪 Au-Sb-W 矿床中黑钨矿族矿物特征及其对矿床成因的指示[J]. 高校地质学报, 2014, 20(2): 213-221.
- CHEN Ai-qing, TANG Pan-ke, LI Guo-wu, et al. Characteristics of the Wolframite Mineral Series and Implications for Metallogeny of the Woxi Au-Sb-W Deposit in Hunan Province[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2014, 20(2): 213-221.
- 陈明辉. 湘西地区脉状钨锡金矿床的矿体侧伏与板柱状赋存规

- 律[J]. 地质找矿论丛, 2016, 31(3): 340–345.
- CHEN Minghui. Pitch of ore bodies and occurrence pattern of the tabular ore body in vein-like W-Tb-Au deposits in western Hunan province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2016, 31(3): 340–345.
- 陈明辉, 杨洪超, 娄亚利, 等. 湘西沃溪钨锑金矿床成矿的独特性[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(1): 32–35+42.
- CHEN Minghui, YANG Hongchao, LOU Yali, et al. Minerogenic particularity of WoXi W-Sb-Au deposit in west Hunan[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(1): 32–35+42.
- 方福康, 杜杨松, 曹毅. 安徽省桃冲铁矿地质特征、控矿因素及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2013, 28(2): 181–188.
- FANG Fukang, DU Yangsong, CAO Yi. Geological characteristics, ore-controlling factors and prospecting orientation of the Tao-chong iron deposit in Anhui province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2013, 28(2): 181–188.
- 顾雪祥, 刘建明, Oskar Schulz, 等. 湖南沃溪金-锑-钨矿床成因的稀土元素地球化学证据[J]. 地球化学, 2005, 34(5): 428–442.
- GU Xuexiang, LIU Jianming, Oskar Schulz, et al. REE geochemical evidence for the genesis of the Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan Province[J]. Geochimica, 2005, 34(5): 428–442.
- 刘亚军. 湘西沃溪金锑钨矿床褶皱构造及其控矿规律与动力成矿作用[J]. 矿床地质, 1992, 11(2): 134–141.
- LIU Yajun. Fold structure of the Woxi Gold-Antimony-Tungsten deposit in West Hunan and its orecontrolling regularity as well as dynamic ore forming process[J]. Mineral Deposits, 1992, 11(2): 134–141.
- 柳永康. 湖南沃溪十六棚金锑钨矿床地质地球化学特征及成因分析[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- LIU Yongkang. Geochemical Characteristics and Genesis of the sixteen penggong Au-Sb-W deposit in Woxi Hunan[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- 刘正庚, 余景明, 刘升友, 等. 湖南沃溪金锑钨矿床稀土元素特征研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 270–280.
- LIU Zhenggeng, YU Jingming, LIU Shengyou, et al. REE Characteristics of the Woxi Gold-Antimony-Tungsten deposit, Hunan Province[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(3): 270–280.
- 马承, 葛战林, 郑艳荣, 等. 陕西商洛杨斜金矿床地质特征与控矿因素探讨[J]. 西北地质, 2021, 54(2): 137–148.
- MA Cheng, GE Zhanlin, ZHENG Yanrong, et al. Discussion on Geological Characteristics and Ore-Controlling Factors of the Yangxie Gold Deposit in Shangluo, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2021, 54(2): 137–148.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中富放射成因铯的成矿流体及其指示意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(3): 193–196.
- PENG Jiantang, HU Ruizhong, ZHAO Junhong, et al. The Ore-forming Fluid with a Marked Radiogenic ^{87}Sr Signature From the Woxi Au-Sb-W Deposit and its Significant Implications[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2003, 22(3): 193–196.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 湘西沃溪金锑钨矿床中白钨矿的稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 115–122.
- PENG Jiantang, HU Ruizhong, ZHAO Junhong, et al. Rare earth element (REE) geochemistry for scheelite from the Woxi Au-Sb-W deposit, western Hunan[J]. Geochimica, 2005, 34(2): 115–122.
- 孙泓波, 彭南海, 邹天平, 等. 湖南省沅陵县沃溪矿区十六棚公矿段-610~810米标高金锑钨矿勘探报告[R]. 长沙: 湖南省有色地质勘查研究院, 2012.
- 孙玉珍. 湘西沃溪金锑钨矿床成因与沃溪断层的控矿作用分析[J]. 湖南有色金属, 2013, 29(6): 1–3+43.
- SUN Yuzhen. Discussion on Ore Genesis of the Woxi Au-Sb-W Deposit and Ore-controlling Role of the Woxi Fault[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2013, 29(6): 1–3+43.
- 徐军伟, 陈明辉, 周旭林, 等. 沃溪钨锑金多金属矿床成矿特征及深部构造与垂向矿化变化研究[J]. 矿产与地质, 2015, 29(6): 708–713.
- XU Junwei, CHEN Minghui, ZHOU Xulin, et al. Metallogenic characteristics and structure in deep part of W-Sb-Au polymetallic deposit and vertical variation of mineralization, Woxi in western Hunan[J]. Mineral Resources and Geology, 2015, 29(6): 708–713.
- 杨燮. 湖南沃溪金-锑-钨矿床成矿物质来源及成矿元素的共生机制[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(2): 23–31.
- YANG Xie. Source of ore material and paragenesis of orebuilding elements in WoXi Au-Sb-W deposit, Hunan[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1992, 19(2): 23–31.
- 易升星. 湖南省沃溪金锑钨矿床地质特征、流体包裹体特征及矿床成因研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- YI Shengxing. Research on Geological Features, Fluid Inclusion and Genesis of Woxi Au-Sb-W Deposit in Hunan Province[D]. Central South University, 2012.
- 赵世启, 袁波, 陈荔湘, 等. 陕西略阳金家河金矿床地质特征及控矿因素分析[J]. 西北地质, 2020, 53(4): 120–129.
- ZHAO Shiqi, YUAN Bo, CHEN Lixiang, et al. Geological Characteristics and Ore-Controlling Factors of Jinjiahe Gold Deposit in Lueyang County, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(4): 120–129.
- 祝亚男, 彭建堂, 刘升友, 等. 湘西沃溪矿床中黑钨矿的地质特征及微量元素地球化学[J]. 地球化学, 2014, 43(3): 287–300.
- ZHU Yanan, PENG Jiantang, LIU Shengyou, et al. Mineral deposit geology and trace element geochemistry of wolframite from the Woxi deposit, western Hunan, China[J]. Geochimica, 2014, 43(3): 287–300.
- 张龙升, 彭建堂, 张东亮, 等. 湘西大神山印支期花岗岩的岩石学和地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 137–148.
- ZHANG Longsheng, PENG Jiantang, ZHANG Dongliang, et al. Geochemistry and Petrogenesis of the Indosinian Dashenshan Granite, Western Hunan, South China[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2012, 36(1): 137–148.