

沃溪金锑钨矿床的地质特征

李健炎

(湖南黄金公司)

沃溪金锑钨矿床赋存于元古界板溪群马底驿组中、上段紫红色板岩中。划分出逆断层、层间断层、成矿后断层和褶皱等4类构造。区内见有层间石英脉、网状石英脉、节理石英脉3类矿体。金主要赋存于黄铁矿和辉锑矿等硫化物中。矿化与褪色化、中细粒黄铁矿化和硅化有关。认为矿床是沉积—变质热液改造成因,并提出了论据和找矿方向。

关键词: 金锑钨矿床; 矿体类型; 赋存状态; 矿床成因



地质·矿床

矿区地质概况

沃溪金锑钨大型矿床,位于雪峰山弧形隆起带由北东转向东西方向的转折部位。矿田及其附近无岩浆岩出露。

1. 地层

除上白垩统陆相层状巨厚红色砾岩外,矿田内主要出露元古界冷家溪群和板溪群一套巨厚的浅变质海相沉积粘土岩和碎屑岩。

板溪群划分为五强溪组及其下伏的马底驿组。后者厚1122~1248m,按岩性可划分3段:下段灰绿色砂质板岩;中段紫红色绢云母板岩;上段灰绿色薄层状砂质板岩夹紫红色绢云母板岩。矿体赋存于马底驿组中、上段红色板岩中,其特点是氧化钙和铁质含量比一般板岩高。矿区南部冷家溪群板岩中有沿节理充填的含金石英小脉,但不构成工业矿床。

2. 构造

本区构造控矿明显。主要构造形迹有压性逆断层、层间断层和舒缓波状褶皱。

矿床产于古佛山复背斜北翼。围绕“仙

鹅抱蛋”穹状隆起,马底驿组岩层呈反S形展布。矿区处于该反S形构造的西北部,形成向北和北东倾斜的单斜构造(图1)。矿区构造按其规模、性质和发展关系,可分为以下4类:

(1) 沃溪逆断层 纵贯矿区北部,长15km,走向近东西,北倾,倾角30°。断层破碎带厚30~130m,发育于五强溪组与马底驿组之间,呈断层接触。断层具多期活动,属压扭性斜逆断层。其中见金锑钨矿化,是本区的一级断裂构造和主要导矿断裂。

(2) 层间断层 是在沃溪逆断层作用下形成的二级断裂构造,发育于马底驿组上、中段紫色板岩中。产状与岩层基本一致。已发现6条彼此平行的较大层间断层,走向长650~5300m,倾斜延伸达2500m以上。沿走向呈舒缓波状延展,与舒缓波状褶皱的展布空间基本一致。含金石英脉矿床充填于断裂中,是本区的主要储矿构造。

(3) 成矿后断层 系三级断裂,以北东向的斜移正断层最发育,倾向北西,倾角30~80°,断距小并常切断矿脉,使矿脉形成左列雁行排列。

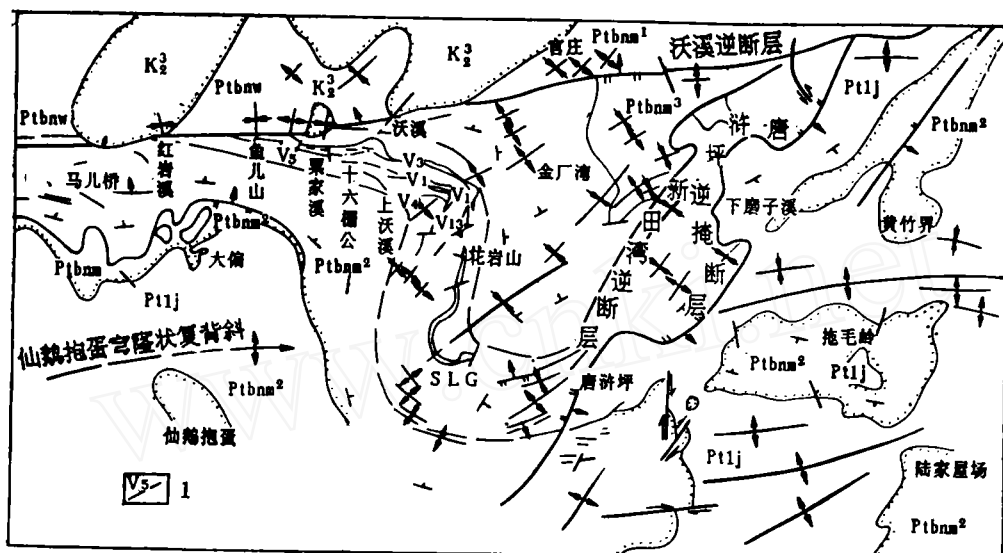


图 1 沃溪金锡钨矿田构造图

K_2 —白垩系红色砂砾岩; Ptbnw—板溪群五强溪组; Ptbnm³—板溪群马底驿组上段; Ptbnm²—板溪群马底驿组中段; Ptbnm¹—板溪群马底驿组下段; Ptlj—冷家溪群; SLG—灰绿色板岩夹层; 1—矿脉及编号

(4) 褶皱 由于矿区南部穹状隆起和沃溪断层的作用,以东风井为中心,地层向北突起,在突起两翼形成一系列与岩层走向基本相交的倾伏张开式背向斜,组成一套舒缓波状褶皱。褶皱轴呈放射状排列,向北东—北东倾伏。由此而产生的层间剥离空间与层间断层重叠。背向斜轴部是良好的储矿部位,控制着板柱状矿体的展布方向与规模。

矿床地质特征

1. 矿体

矿体按其产出形态分为以下3种类型:

(1) 层间石英脉型(层间脉) 为本区的主要矿体类型,约占总储量的70%。层间脉产于马底驿组中、上部紫红色板岩的层间剥离裂隙中,与围岩产状基本一致。裂隙两侧围岩由紫红色褪色蚀变为黄白色。已发现4条彼此平行的层间脉,脉距30~180m,走向近东西,倾向北,倾角25~35°。层间裂隙(蚀变带)走向长300~5300m,倾斜延伸2500m。沿走向呈舒缓波状展布。石英脉充

填于波状的轴部,形成扁豆状含金石英脉矿体。扁豆体之间的无矿地段由蚀变带或层间断层连接。单个矿体走向长50~500m,倾斜延伸大于1800m。石英脉厚0.2~3m,平均0.85m, Au平均品位9.1g/t, Sb—3.5%, W—0.3%, 形成板状矿柱(图2)。矿柱长度小、延深大,倾角稳定(图3)。

(2) 网状石英细脉(网脉) 约占总储量的30%。在层间裂隙两侧的羽状裂隙发育地段,含矿石英细脉充填于侧羽裂隙中,与蚀变围岩共同构成网脉矿体。通常产于两个层间裂隙接近或层间裂隙与节理裂隙相交所构成的“入”字形构造锐角内侧。网脉矿体因受主断裂形态控制,而常呈楔状、帚状和扁豆状(图4)。矿体走向长20~80m,倾斜长60~200m,平均厚度4.5m。网脉以白钨矿和自然金矿化为主,形成石英—白钨矿—自然金和石英—自然金两类网脉矿体。目前尚未发现网脉状锑工业矿体。石英细脉单脉长0.4~5m,厚0.2~10cm。含脉率4~14%。网脉矿体与层间脉空间关系虽密切,但其矿化强度并无消长关系,决定因素是裂

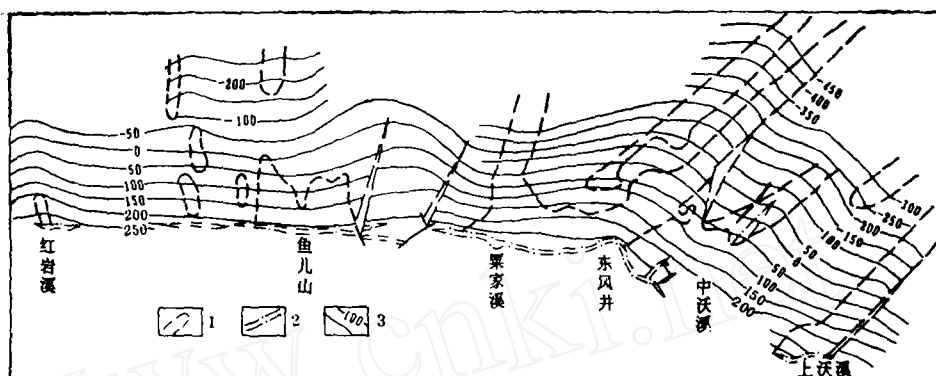


图 2 沃溪矿区V₁脉顶板等高线图

1—矿柱范围；2—蚀变带；3—等高线

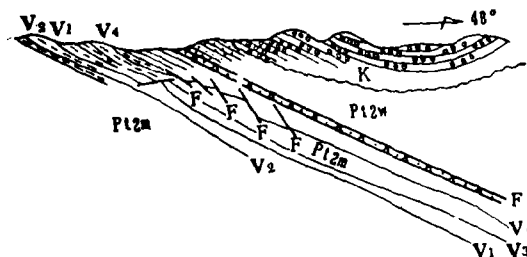


图 3 层间大脉空间分布关系 (4号勘探线剖面)

K—白垩系红色砂砾岩；Pt2m—板溪群马底驿组紫红色板岩；Pt2W—板溪群五强溪组长石石英砂岩

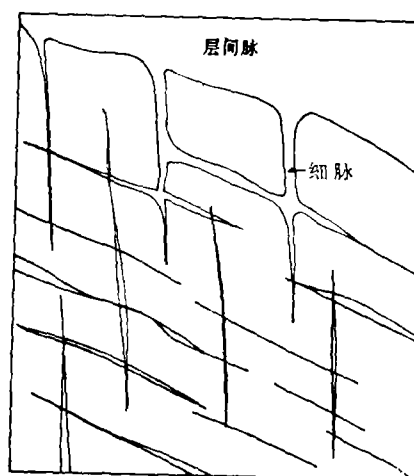
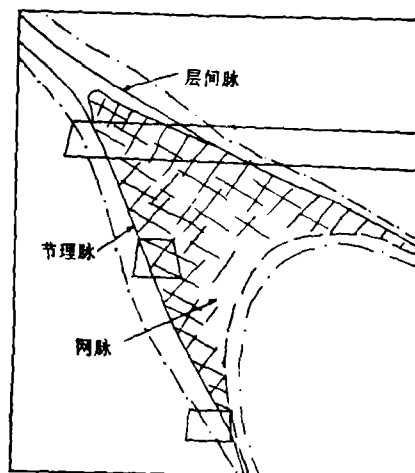


图 4 矿体类型示意图

上图—“入”字形构造及网脉矿体；下图—网脉矿体中的细脉

隙开阔度大，构造条件有利。含脉率高，围岩含钙高，蚀变强烈。细粒黄铁矿和绢云母化强烈的地段，有利于形成网脉矿体。

(3) 节理石英脉型 (节理脉) 产于层间脉两侧的切层节理裂隙中，脉平直，走向长20~50m，倾斜长10~40m，厚0.2~1m，倾角40~70°，规模小，品位富(见图4)。

2. 矿物共生组合和矿石结构构造

(1) 矿物成分 主要金属矿物是自然金、辉锑矿、白钨矿和黄铁矿；次要金属矿物有钨铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黝铜矿等；脉石矿物主要是石英，另有方解石、铁白云石、绿泥石、伊利石、叶蜡石、高岭石、重晶石和石墨等；次生矿物有褐铁矿、水绿矾、锑华、黄锑华和钨华等。

(2) 矿物形成温度 根据中南矿冶学院爆裂法测温结果, 矿床形成温度在317~100℃之间, 可分为3个阶段: ①石英(317℃)→钨铁矿(313℃)→白钨矿(270℃); ②细粒黄铁矿(225℃)→自然金(224℃)→辉锑矿(197℃); ③方解石(100℃)。

(3) 矿物标型特征 具标型特征的主要是钨铁矿和方解石。

据X射线粉晶分析, 本区的黑钨矿属于钨铁矿(FeWO_4), 其化学成分见表1。由表可见, 沃溪矿区黑钨矿中 MnO/FeO 值远小于与浅源岩浆作用有关的钨矿床平均值, FeO 含量大于13%, 应属中—低温条件下的产物。

不同温度下形成的方解石具有不同的晶形。石英晶洞中广泛发育的方解石菱面体{4041}和六方柱{1010}聚形晶体, 其形成温度为100~150℃, 属低温热液产物。

黑钨矿的化学成分(%) 表 1

地 点		WO_3	FeO	MnO	MnO/FeO
沃溪	矿区东部	63.51	18.465	1.84~1.92	0.0108
	矿区西部	72.435	21.69	1.88	0.0867
江西与浅源岩浆作用有关钨矿床平均值		74.33	12.11	11.75	0.89

(4) 矿石结构构造 矿石粒度细—中等, 自形—他形粒状结构和交代残余结构, 另有受后期应力作用形成的花岗变晶结构和压碎结构等。

常见矿石构造为条带状、角砾状、浸染状和细脉状等。

(5) 成矿阶段和矿物生成顺序(表2)

3. 元素组合、品位变化特征及金的赋存状态

(1) 金、锑、钨品位变化特征 金矿化稳定, 含矿系数高, 品位变化系数小, 是本区矿化的一个显著特点。钨和锑的变化则

较大。

(2) 矿石元素组合 相关分析和因子分析结果表明, $\text{Au}-\text{S}$ 的相关系数为0.79, $\text{Au}-\text{Sb}$ 为0.42, $\text{Au}-\text{Pb}$ 为0.399, WO_3-CaO 为0.53。与主元素有关的公因子有3个: F_1 (WO_3 、 CaO) 白钨矿成矿因子; F_2 (Au 、 Sb 、 FeO 、 MgO 、 Mn 、 CaO) 金锑成矿因子; F_3 (Zn 、 Pb 、 Au) 硫化物成矿因子。其中, F_1 反映早期成矿作用是在相对氧化条件下钨、钙结合生成白钨矿。 F_2 反映围岩对成矿的控制与变质热液作用的特

沃溪金锑钨矿床成矿阶段及生成顺序 表 2

矿 物	中—低温变质热液期			表生期
	石英—白钨矿阶段	石英—硫化物—自然金阶段	石英—碳酸盐阶段	
石 英	—	—	—	
钨铁矿	—	—	—	
白钨矿	—	—	—	
毒 砂		—	—	
黄铁矿		—	—	
黄铜矿		—	—	
自然金		—	—	
闪锌矿		—	—	
方铅矿		—	—	
黝铜矿		—	—	
辉锑矿		—	—	
重晶石		—	—	
绢云母		—	—	
绿泥石		—	—	
叶蜡石		—	—	
伊利石		—	—	
石 墨		—	—	
方解石			—	
玉 髓			—	
文 石			—	
白云石			—	
褐铁矿				—
钨 华				—
锑 华				—
锑 赭 石				—
针铁矿				—
水绿矾				—

点,即在相对还原条件下,围岩中的 Fe^{2+} 与金、锑络合物溶液发生反应,形成自然金与黄铁矿共生组合。 F_3 则反映金锑成矿后期有闪锌矿和方铅矿生成。

(3) 金的赋存状态 本区自然金的成色为986.1‰,不含银,有两种赋存形式:一种是粒径大于 $0.5\mu\text{m}$ 的可见金(占53.7%),主要赋存于石英、黄铁矿、辉锑矿中,少数赋存于白钨矿、闪锌矿和毒砂中,另一种为粒径小于 $0.5\mu\text{m}$ 的次显微金(占46.28%),主要呈小圆球状赋存于各种硫化物的微裂隙及解理中或呈离子状态吸附于粘土矿物(伊利石)边缘(表3)。

可见金的光片测定结果表明,其粒度在闪锌矿中最小,其次是黄铁矿、石英和白钨矿,辉锑矿中的粒度最大。不可见金经电子显微镜测定,其粒度在 $0.05\sim 0.3\mu\text{m}$ 范围内。

单矿物中可见金与次显微金百分含量 表 3

矿 物	可见金 (%)	次显微金 (%)
黄铁矿	22.64	19.77
辉锑矿	23.67	20.40
白钨矿	2.62	2.25
石 英	0.46	0.39
伊利石	3.16	2.73
绿泥石	0.59	0.50
叶蜡石	0.12	0.11
方解石	0.16	0.13

可见金在矿物中的赋存状态有以下几种:

①充填于石英的晶隙间,呈环状、星散状或细脉状、树枝状产出。

②沿黄铁矿细脉的一侧进行交代,呈交代残余结构,或沿黄铁矿裂隙充填,呈细脉状、树枝状,也有的沉淀在黄铁矿晶面上,呈球粒状、环带状产出。

③辉锑矿沿金的周边交代,或自然金细脉被辉锑矿交代或被辉锑矿细脉穿插。

张振儒对本区黄铁矿、辉锑矿和伊利石

中的次显微金进行了电子显微镜研究,查明其赋存状态有以下几种:

①次显微金在黄铁矿中呈独立自然金产出,粒径小于 $0.1\mu\text{m}$,呈小圆球状或链状沉淀在黄铁矿晶面上,具同心环带构造。

②次显微金在辉锑矿中呈小圆球状及链状显微包裹体产出或被辉锑矿的(010)解理所切割。说明辉锑矿晚于自然金形成。

③自然金呈极小的圆球状或粒状集合体被吸附在伊利石破碎晶体边缘。

综上所述,本区自然金主要赋存在黄铁矿和辉锑矿等硫化物中,约占88%,少量赋存于石英、白钨矿和伊利石中,约占11.6%。可见金约占53.72%,次显微金约占46.28%。次显金是造成尾矿金品位高的主要原因。金矿化主要与石英—硫化物阶段有关。细粒黄铁矿是主要含金矿物和金的指示矿物。

围岩蚀变

1. 褪色化

与金锑钨矿化关系密切,发育于层脉两侧,厚 $0.2\sim 10\text{m}$ 。热液作用使紫红色围岩蚀变为黄白色。据硅酸盐全分析,阳离子带进数, Fe^{2+} 为 $12\sim 19$, K^+ 为 $5\sim 37$, Ca^{2+} 为 $3\sim 13$,带出 Na^+ 为 $2\sim 19$, Fe^{3+} 为 $6\sim 21$ 。S平均含量由 0.1237 增至 0.72% 。主要由绢云母(50%)、他形粒状石英(30%)和方解石(5%)等组成,呈花岗鳞片结构、板状结构。

2. 中细粒黄铁矿化

与矿化关系密切。黄铁矿结晶不完整,粒径小于 0.5mm ,呈细脉状、条带状、浸染状产出。单矿物含金 $92.6\sim 151\text{g/t}$ 。叠加于褪色化板岩中,与绢云母化、碳酸盐化相伴产出。

3. 硅化

早期硅化与白钨矿化关系密切。硅化围岩含硅比一般板岩高 $8\sim 14\%$,主要成分是他形粒状石英,叠加于褪色化板岩之上,与绢云母化和碳酸盐化相伴产出。

4. 伊利石化

与金矿化有一定关系。常伴随绢云母化、叶蜡石化出现，颜色灰白或黄绿，呈鳞片状，石蜡光泽，遇水有粘性。

5. 绿泥石化

颜色深绿，块状，大量出现时预示矿化减弱或矿脉尖灭。

上述蚀变常叠加出现，分带不明显。其中褪色化是良好的找矿标志。褪色化、中细粒黄铁矿化、硅化、伊利石化同时出现，往往指示厚富层间脉或网脉体的出现；大量绿泥石化则预示矿化减弱或尖灭。石英脉两侧围岩无褪色化，则标志石英脉不含矿。

矿床成因

笔者认为，沃溪金锑钨矿床属于沉积—变质热液改造矿床。主要依据如下：

1. 成矿物质主要来源于板溪群马底驿组及其邻近地层

元古代地层中的矿化元素丰度值均高于地壳丰度值（表4），表明成矿物质与围岩密切相关。

矿田范围内赋矿层位硫的平均含量高达1237ppm，其同位素组成与马底驿组灰绿色板岩中变质成因的硫化物硫同位素组成相近，说明矿石中的硫主要来自赋矿层位。同时，钨铁矿中铈、钼含量甚微，铁、锰比值小，完全不同于与岩浆作用有关钨矿床的黑钨矿，显然是矿质来源不同所致。

2. 矿床特征反映了沉积作用与变质作用是主要成矿作用

矿床产于冷家溪群马底驿组中、上段绢云母紫红色板岩中。矿脉产状与围岩一致，并严格受地层岩性控制。板溪群地层中成矿元

区域元古代地层的元素丰度值(ppm)

表 4

地 层		样品段	Au	Sb	W	Cu	Bi	Be	Sn	Mo	S
冷象溪群		52	0.005	12.4	6.6	132.6	2.0	3.4	7.4	<0.5	154
板溪群	马底驿组	39	0.006	25.6	9.7	180.7	4.3	3.9	10.0	<0.5	99.9
	五强溪组	15	0.006	35.1	8.3	202.1	10.7	4.5	10.2	<0.5	96.8
地壳丰度值（泰勒，1964）			0.004	0.2	1.5	55	0.17	2.8	2.0	1.5×10 ⁻⁴	260

素丰度普遍较高，马底驿组和五强溪组底部金趋于富集（刘英俊，1983）。说明在沉积成岩过程中，成矿物质初步富集，形成了矿源层。

元素组合、矿石结构构造和围岩蚀变反映了多阶段中—低温变质热液成矿特征。包裹体测试查明近似压力为138~255atm，主要矿物的形成温度为100~317℃，属中—低温、低压环境。含石英的显微构造和组构，与冷家溪群、板溪群变质砂岩中的变质组构相类似，说明区域变质对矿床的形成有重要作用。石英、白钨矿、黑钨矿和裂隙水

的 $\delta^{18}\text{O}$ 值，表明成矿流体是以变质水为主的混合热液。

3. 成矿机理

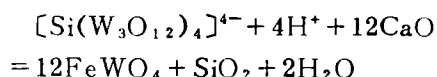
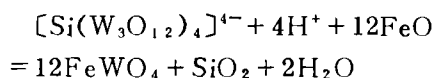
张振儒根据本区区域地质发展史和矿床特征，将成矿过程分为以下3个阶段：

（1）沉积阶段 冷家溪群形成后，发生了强烈的武陵运动（距今约1400Ma）。本区处于地槽阶段由陆棚海到大陆斜坡的过渡环境，沉积了一套含钙泥质岩和碎屑岩的过渡类型沉积（马底驿组），来自陆源剥蚀区、海水和古火山喷发的成矿元素Au、Sb、S和W等随之沉积，形成矿源层。

(2) 活化阶段 距今1050Ma前,发生了长时间、强烈的雪峰运动,导致了广泛的区域变质作用,沉积岩中的空隙水和矿物中的结构水、结晶水大量析出,并伴随大量SiO₂释离及成矿元素和矿化剂进入流体,形成热液。岩石中的硫等矿化剂也可以S⁻、S²⁻等形式进入热液,并淋取围岩中的Au、Sb等金属元素。金还可能是被SiO₂结合的微粒悬浮物或胶体,或者以有机化合物形式进入热液。钨则与SiO₂结合,形成杂多酸Si(W₃O₁₂)₄⁴⁻进入溶液。

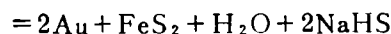
(3) 迁移沉淀阶段 随着区域变质作用的进行和发展,热液不断增多,并活化吸取围岩中的成矿物质。在重力和局部应力作用下,热液沿裂隙或孔隙向低压区流动,汇聚成较大规模的热流。热液进入层间剥离构造后,由于物理化学条件的改变,或是与围岩中的钙、铁、碳等物质相遇,络合物分解,成矿物质分阶段沉淀。

第一阶段:氧逸度较大,温度降至239~275℃,热液吸取围岩中的Fe和Ca,生成钨铁矿和白钨矿:



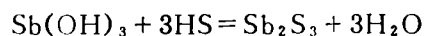
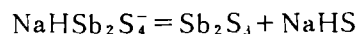
说明钨矿化与硅化关系密切。

第二阶段:氧逸度降低、硫逸度增高,温度179~228℃,热液从围岩吸取Fe:



致使金矿化与黄铁矿化关系密切。

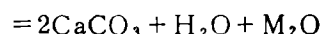
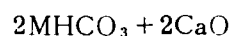
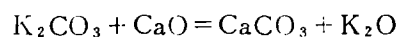
第三阶段:氧逸度继续增高,温度160~172℃,



从而使其后的剩余溶液显弱碱性。

本阶段硫逸度很高,对前阶段沉淀的金有很强的溶解能力,使金再度进入溶液并沉淀结晶。

第四阶段:温度降至118~160℃,热液中起保护剂和搬运剂作用的HCO₃²⁻或HCO₃浓度增大,热液吸取围岩中的Ca,形成碳酸盐矿物:



(M=Na、K等)

剩余的SiO₂也随之沉淀。

找矿方向

1. 加强矿田反S形构造南东段的找矿,特别是唐许坪逆掩断层西侧马底驿组地层,具有与沃溪矿区相似的有利层位和构造条件,且唐许一带地表已发现含矿异常。

2. 根据沃溪矿区板柱状矿体沿走向等距离分布和由西向东其埋深变小的规律,今后应注意不等距空白地段和东翼深部盲矿体的找矿。

Geological Features of the Woxi Au-Sb-W Ore Deposit

Li Jianyan

The Woxi Au-Sb-W ore deposit is present in slate, purplish red in colour, located at the medium and upper members of the Madiyi Formation of the Proterozoic Banxi Group. Four kinds of structures are recognized: reverse fault, interformational fault, post mineral fault and fold. In the mining area ore bodies occur as interbedded quartz vein, network quartz vein or joint quartz vein. Gold is mainly found in pyrite and antimonite. Mineralizations bear a relationship with decolourization, the medium to fine grained pyritization and silicification. It is believed that the ore deposit is polygenetic, being of sedimento-metamorphic and hydrothermal-reformation origins. Grounds for explaining the origins of the deposit and exploration guide are also put forward in this paper.