第 16 卷第 4 期　　地　质　与　资　源　　Vol. 16 No. 4
2007 年 12 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　Dec. 2007
文章编号: 1671-1947(2007)04-0275-05　　中图分类号: P618.51; P618.66　　文献标识码: A

湖南江溪垄金锑矿床地质地球化学特征及开发应用

尹华锋[1], 向　田[1], 杨洪超[1], 鲍振襄[2], 包觉敏[2]
(1.湖南省有色地质勘查局二四五队, 湖南 吉首 416007; 2.湘西矿产资源综合研究发展中心, 湖南 吉首 416007)

摘　要: 湖南江溪垄金锑矿床赋存于新元古界板溪群五强溪组浅变质岩系中. 成矿严格受 NE 向剪切断裂带控制. 该矿系金锑共(伴)生矿床. 矿体呈陡倾斜的交错脉状产出, 沿走向、倾向变化均较稳定. 金主要产于近矿蚀变围岩中, 毒砂为金的重要载体矿物; 锑的富集则与硅化关系密切. 矿石为高砷含金锑矿石. 以锑为主的选矿试验结果表明, 主要回收对象为辉锑矿, 并可综合回收金.

关键词: 金锑矿; 地质地球化学; 找矿标志; 开发应用; 湖南

江溪垄金锑矿床地处湖南省溆浦县, 为龙王江锑砷金矿带最具代表性的矿床之一[1]. 自 20 世纪 70 年代末, 湖南有色地质勘察局 245 队在该区开展了地质勘查工作, 认为找矿效果良好, 前景可观.

1　矿区地质概况

矿区位于雪峰弧形构造带中段南侧, 湘中白马山-龙山 E-W 向构造-岩浆岩带西北侧. 出露地层主要为新元古界板溪群五强溪组, 其次为震旦系、寒武-志留系等. 赋矿地层五强溪组主要为一套浅变质的板岩、含粉砂质板岩、粉砂质板岩等, 厚度大于 2000 m. 岩石由绢云母、粉砂质及石英、绿泥石等矿物组成, 普遍经受区域变质作用, 表现为鳞片状的绢云母向细片状绢云母转化, 并呈定向排列, 显示平行片状构造, 属次绿片岩相.

区域构造为 NE 向淘金坪-龙鼻桥复背斜, 两侧边界分别为 2 条平行的 NE 向洞坪(F_1)和黑土坡(F_2)逆冲断层所围限, 其间由一系列呈雁行状排列的次级褶皱组成. 倒转背斜是常见的构造形式之一. 沿复背斜近轴部地段及翼部普遍发育宽数百米至千余米的区域性分布的劈理化带, 控制了区域锑砷金矿床的成生与展布.

区内未见岩浆岩出露, 但在矿区东南约 20 km 处出露以加里东期为主的白马山黑云母花岗闪长岩-二长花岗岩体, 在其内、外接触带见有金、铅锌和白钨矿化. 另据区域物探资料, 矿区西南约 20 km 的小横垄发现隐伏花岗岩岩株, 受大辰山-中华山深大断裂带控制, 并通过区内洞坪断层(F_1)与矿区相通.

2　矿床地质特征

江溪垄金锑矿床位于龙王江锑金矿带中部, 淘金坪-龙鼻桥复背斜南东翼近轴部地段之陡倾斜劈理化带与缓倾斜劈理化带的过渡部位(图 1), 构造线方向与区域构造线方向一致. 赋矿地层五强溪组走向 30°～55°, 倾向 SE, 倾角 22°～55°, 基本上为一向 SE 倾斜的单斜构造. 其间发育 1 组大致与劈理走向一致的 NE 向剪切断裂带, 走向 45°, 倾向 SE, 倾角 55°～75°, 与围岩有 30°～55°的交角, 控制了该矿床金锑矿脉的形成与定位.

2.1　矿脉形态产状

矿床内已发现 4 条脉带, 计 9 条矿脉. 矿脉中往往以烟灰色、青灰色、黄褐色石英脉平行展布为特征, 走向 20°～60°, 倾向 SE, 倾角 30°～72°, 脉带间隔 200～300 m, 单脉间隔 4～24 m(Ⅱ脉带), 脉带长 1000～2750 m, 平均厚度 0.34～0.77 m, 最厚 1.78～2.80 m. 平均含 Sb 3.08%～11.17%, 单样最高 30.18%～49.56%; 平均含 Au 2.34×10^{-6}～3.39×10^{-6}, 单样最高 4.31×10^{-6}～9.35×10^{-6}.

矿脉呈中等-陡倾斜的脉状, 顺岩层劈理面延深下插, 多为舒缓波状, 倾角 30°～72°, 产状与劈理面产状一致或呈 5°～15°角斜切. 矿体呈稳定的脉状、薄脉状或连续的薄脉状透镜体产出, 延深(垂深) 190～490 m. 探采资料表明, 随矿脉向深部延伸, 其产状变化处有矿体增厚、品位增高趋势.

2.2　矿石矿物成分和化学成分

矿石的金属矿物成分主要为辉锑矿(5.5%)、毒砂(1.5%)、黄铁矿(1%～2%)和自然金, 次为锑华、黄锑

收稿日期: 2007-03-21; 修回日期: 2007-09-04. 李兰英编辑.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

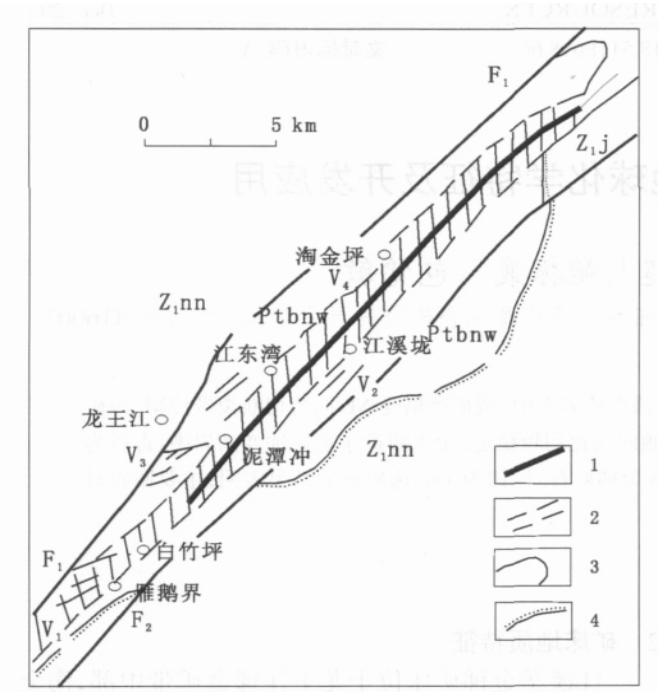


图 1 龙王江锑砷金矿带区域构造与矿床分布略图

Fig. 1 Sketch map of regional structure and deposit distribution of Longwangjiang Sb-As-Au ore belt

Z_1nn—震旦系南沱冰碛岩(Sinian Nantuo tillite); Z_1j—震旦系江口组(Sinian Jiangkou fm); Ptbnw—板溪群五强溪组(Wuqiangxi fm of Babxi group); F_1—断层及编号(fault and number); 2—陡倾斜劈理化带(steeply-dipping cleavage belt); 3—缓倾斜劈理化带(gently-dipping cleavage belt); 4—假整合(disconformity)

华、黄铜矿、闪锌矿、黑钨矿和白钨矿. 非金属矿物主要为石英、绢云母, 次为绿泥石、方解石、白云石、云母以及少量绿帘石、石榴石、电气石、磷灰石、黏土矿物和碳质物等.

据矿石多元素分析结果, 含 Sb 4.26%, Au 1.20×10^{-6}, Ag 3.5×10^{-6}, As 0.65%, Si 0257.54%, Al_2O_3 9.54%, TFe 3.25%, CaO 0.42%, MgO 0.8%, Na_2O 0.42%, K_2O 2.0%, S 2.82%, 此外尚含 Pb 0.0048%, Zn 0.016%, WO_3 0.021%, Cu 0.002%等. 矿石属高砷含金锑矿石.

2.3 矿石物相分析

矿石物相分析结果(表 1)表明❶, 锑的氧化率为 10.38%, 砷 9.59%, 属于氧化的硫化矿物, 但向深部氧化程度趋缓.

2.4 矿石类型、特征及结构构造

矿石自然类型主要为石英脉型锑矿石, 次为蚀变岩型金矿石. 锑矿石主要呈致密块状、角砾状, 次为脉状及细脉状或条带状, 少数脉状, 多产于石英脉下盘. 矿物颗粒较粗, 锑品位较富. 蚀变岩型金矿石主要产于

表 1 原矿锑砷的物相分析

Table 1 Phase analysis of Sb and As in ore

成分	总锑	硫化锑	氧化锑	锑酸盐
含量/%	4.24	3.80	0.38	0.06
质量/%	100	89.62	8.96	1.42
成分	**总砷**	**黄铁矿、毒砂中砷**	**As_2S_3 中砷**	**As_2O_3 中砷**
含量/%	0.73	0.66	0.06	0.01
质量/%	100	90.41	8.22	1.37

近矿围岩之绢云母化、硅化、毒砂化的含粉砂质板岩、砂质板岩及片理化含粉砂质板岩、断层泥和石英裂隙中, 与锑矿脉密切共(伴)生, 并紧贴锑矿脉两侧产出. 其矿物颗粒较细, 含 Au、As 较高, Sb 较低. 矿石具自形、半自形结构, 浸染状、稠密浸染状构造.

2.5 主要矿物成分特征

辉锑矿(Sb_2S_3): 为矿石中主要金属矿物, 呈他形细晶粒集合体的不规则粒状、稀疏浸染状、致密浸染状产出, 局部可见团块状, 并多见单独产在石英脉或板岩中, 极少量呈微脉状、网脉状产在毒砂、黄铁矿的裂隙中, 或呈不规则状沿毒砂、黄铁矿颗粒边缘产出, 在粗粒辉锑矿中常见脉石矿物包裹体, 偶见包裹细粒状的毒砂和黄铁矿. 辉锑矿的化学组成 Sb 71.52%. 单矿物分析显示, 辉锑矿含 Au 2.64×10^{-6}.

毒砂(FeAsS): 主要呈棱柱形晶粒状、楔形、自形晶和半自形晶, 星散状产在蚀变板岩和石英脉中, 少数呈他形颗粒星散状产出或聚集成脉状产在石英和板岩的裂隙中. 毒砂多单独产出, 少量与黄铁矿毗连互相包裹. 可见辉锑矿呈细脉、网脉状产在毒砂的裂隙中或沿其颗粒边缘产出, 也可见毒砂呈细脉状产在辉锑矿中.

毒砂在不同类型矿石中粒度差异较大. 石英脉型矿石的毒砂粒度呈中细粒为主的不等粒, 分布不均匀, 粒径小于 0.07 mm 的占 45.3%; 而蚀变板岩中的毒砂以中粗粒为主的不等粒不均匀分布, 半径小于 0.07 mm 的仅占 5.1%. 毒砂的化学成分: Fe 33.66%, As 45.69%, S 20.74%, S/As 值 1.05, Fe/(As+S) 值 0.48, 系较富硫的成分特点. 化学式为 $FeS_{1.06}As_{1.01}$.

黄铁矿(FeS_2): 粗晶质, 呈自形立方体或他形粒状、稀疏浸染状星散分布在石英和蚀变板岩中, 多单独产出, 少量与毒砂毗连或互为包裹体. 其晶体切割板岩和片理, 粒度一般为 5 mm×5 mm, 最大者 1 mm×1.5 cm. 可见辉锑矿呈细脉状、网脉状产在黄铁矿裂隙中, 偶见黄铁矿包裹于辉锑矿中. 其化学成分: Fe 46.10%, As 0.88%, S 53.14%. 化学式为 $FeS_{2.01}$. 单矿物

❶湖南有色金属研究所, 溆浦县曾家溪锑矿. 溆浦县江溪垄锑矿选矿试验报告. 1996.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分析表明. 黄铁矿含 Au 6.73×10^{-6}.

2.6　金的赋存状态

刻槽样品副样人工重砂淘洗结果显示, 金主要为自然金(表 2), 粒径长轴一般 0.44 ~0.05 mm, 短轴 0.06 mm左右. 大多数为微粒金, 少数为明金, 与毒砂、辉锑矿紧密共生.

表 2　江溪垅矿床金的赋存状态

Table 2　Occurence state of gold in Jiangxilong deposit

矿石类型	样品数	Sb/%		Au/%		自然金粒径/mm	颗粒数	明金含量/10^{-6}	明金质量与样品质量比/10^{-6}
		平均	区间	平均	区间				
金锑石英脉	13	3.89	0.3~17.85	3.62	2.90~4.70	0.026~17.85	7~761	0.0025~0.003	0.04~154
蚀变板岩夹石英脉	1	1.50		3.51		未分	48	0.0007	0.23
蚀变板岩	2	1.49	0.86~2.04	2.19	2.01~2.35	未分	2~6	0.0005~0.0006	0.15~0.32

本表为同一刻槽样品的正样(化学分析) 与副样(人工中砂) 资料比.

毒砂为主要载金矿物, 自然金主要呈微粒状包裹于毒砂中, 其次被包裹在黄铁矿、辉锑矿和脉石中. 据单矿物分析结果, 毒砂含 Au 101.5×10^{-6} ~191.0×10^{-6}, 平均 155.1×10^{-6}(4 件), 所见自然金粒度一般小于 15 μm. 计算的毒砂单矿物中金的含量比例是, 显微金占 24.07%, 次显微金占 71.37%, 超微粒金占 4.56%, 后者属于“纳米金”范畴[2].

2.7　围岩蚀变

近矿围岩蚀变主要有褪色化、硅化、黄铁矿化、毒砂化等. 褪色化(绢云母化) 使灰绿色粉砂质绢云母板岩依次向外变为灰白色、褐色、紫红色至灰绿色. 蚀变带宽 25 ~100 m. 硅化、毒砂化是金锑矿赋存的重要标志. 当褪色化、硅化、毒砂化强烈时, 金锑矿化增强, 尤其是毒砂化的矿脉下盘 0.3 ~1 m部位毒砂化强, 金锑品位富. 探采资料表明, 含矿石英脉旁必然伴有褪色化、毒砂化, 且从金锑矿脉向两侧的蚀变分带为硅化→毒砂化→褪色化, 而在绿泥石化出现部位, 金锑矿化随即减弱以致消失.

2.8　硫同位素组成特征

据硫砷矿物硫同位素组成测定结果, $\delta^{34}S$ 值 -9.4% ~ -0.8%, 平均 -6.17%(6 件), 以较富含轻硫同位素为特征. 研究表明, 这种富集轻硫同位素的硫化物是在氧化态硫达到平衡时形成的, 亦即在氧化程度较高的热液体系中, 由氧化还原反应形成的, 故其氧逸度较高, 沉淀的硫化物富集 ^{32}S, 表明 Au 与硫砷化物是同时形成或稍晚时期形成的, 二者在成因和时间之间必然存在关系. 此外, 据爆裂法测温资料, 黄铁矿为 255~250℃, 块状石英 330 ~190℃, 锑矿化石英为 308 ~178℃, 一般 245℃. 矿床属中低温变质热液金矿床[1].

2.9　金锑矿化关系

该矿床为金锑共(伴) 生矿床. 锑与金在热液成矿过程中关系密切. 通常在辉锑矿化部位都有金矿化发生, 二者呈正相关关系, 锑异常是多数金矿床的显著特征, 这是金、锑共(伴) 生矿床的共同特点. 在走向上, Au、Sb 呈跳跃式同步变化, 只是 Au 的矿化范围往往大于 Sb 的矿化范围; 倾向上 Au、Sb 矿化亦呈同步增长(或变化) 关系, 从而出现有 Sb 必有 Au, 有 Au 不一定有 Sb, 但有 Au 处 As 含量必定增高的 Sb、As、Au 元素三者之间的成矿关系.

研究表明, 金锑矿床中 Sb、As 和 Au 的这种密切的成矿关系, 是由它们的地球化学性质决定的. 由于 Sb、As 和 Au 都属于亲硫元素, 以亲硫作媒介, 而共存于同一矿化阶段(一般而言, Au 矿化期早于 Sb), 故其成矿的物理化学条件不尽相同, 因此, 在成矿作用的晚期产生 Au、Sb 分离现象. 总的说来, 该金锑矿床具有成因一致的、独立的金锑矿石建造, 它们在时间上具有连续性, 空间上具有一定的分带性, 并呈现既相容又分离的“若即若离”的成矿关系, 从而产生共(伴) 生分离成矿效应.

3　找矿标志与方向

3.1　找矿标志

(1) 成矿构造标志　淘金坪 - 龙鼻桥复背斜近轴部地段的区域性陡倾斜与缓倾斜的劈(片) 理化带过渡部位为成矿部位. 沿走向发育的 NE 向劈理化带内的剪切断裂带、石英脉、石英细脉带, 为找矿的直接构造标志, 尤其是 NE 向构造与 E - W 向构造交汇的部位, 往往是富金矿的成矿部位.

(2) 地层标志　五强溪组浅变质的含粉砂质板岩、粉砂质板岩等泥质岩石, 属柔性岩石, 在构造应力作用下易于产生韧性剪切变形, 形成容矿空间, 为矿液沉淀提供良好场所. 此类岩石一旦出现金负异常地段, 则既是找矿的地质地球化学标志, 又是 Au 的成矿作用标志.

(3) 围岩蚀变　作为找矿直接标志的围岩蚀变, 通常沿控矿断裂带发育. 绢云母化(褪色化) 是金锑矿化

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的典型近矿围岩蚀变标志;硅化、黄铁矿化、毒砂化为金锑矿化有效的找矿标志.由此可利用含金石英脉周围的蚀变组合有规律的分布和矿物的分带性指导找矿.而蚀变围岩中金的一个最重要指示矿物就是毒砂,其含量富集方向与矿脉富金的方向一致.

(4) 地球化学标志 矿床原生晕测量结果表明,Sb、As 综合异常呈带状分布,由南西向北东方向逐渐收敛,其异常宽度大于构造-蚀变带宽度 1~2 倍,值得进一步研究验证.相关分析显示 Au-As、Sb-As、Sb-Au 之间均存在不同程度的相关关系,尤其是 Au-As、Sb-As 关系更为密切,故 As 是本区金锑矿找矿的有效指示元素.此外,主要载金矿物毒砂 Sb 含量高,故含 Sb 高的毒砂是含 Au 毒砂的找矿指示元素之一.

(5) 载金的硫砷矿物均以较富含轻硫同位素为特征,其 $\delta^{34}S$ 值和 Au 含量之间存在一定的相关关系,说明二者具成因联系.因此,$\delta^{34}S$ 值可作为预测和评价金锑矿床的有效同位素地球化学标志[3].

3.2 找矿方向

多年探采实践资料表明,已知矿床(脉)的深部可能存在"第二成矿空间",即控矿断裂构造带产状呈现有规律的变化;同时,矿带(脉)间还可能存在隐伏平行的 NE 向剪切断裂带及隐伏矿体,这已为新近发现的Ⅳ号脉带所证实.因此矿床深部及脉间的有利构造-岩性部位,都有找到金锑矿的可能,前景可观.

4 开发应用

根据湖南有色金属研究所所作江溪垄金锑矿以锑为主要选矿对象的试验结果❶,可以看出:

(1) 该矿床主要回收矿物为锑矿物,可综合回收金.辉锑矿、毒砂和金的嵌布粒度细,并有一定程度的氧化,原矿含砷高,属难选矿石.

(2) 矿石中自然金包裹在毒砂中,其次被包裹在黄铁矿、辉锑矿和脉石矿物中.Sb 含量高于 As(Sb/As 为 6.55%),无论利用全浮或部分优先浮选流程都有其适应性.

(3) 锑矿石中硫化物的相互嵌生较简单,主要是自然金与硫化物和脉石的相互嵌生密切.因此,在选矿过程中,主要是把硫化矿物回收好,金的回收率就相应提高.所以金的回收率取决于硫化矿物的回收率.选矿后的废石含矿较低.其中 Sb 0.25%~0.30%,As 0.052%,Au 0.2×10^{-6}.

(4) 锑砷矿物最终解离粒度:辉锑矿为 2~10 μm,毒砂为 0.9~10 μm.所以自然金一般小于 15 μm.如果把矿石磨到最终解离程度进行选别,磨矿费用高,磨矿技术难度大,从经济上考虑也是不合算的.从试验结果看,把矿石磨到 65%~70%(-200 目)左右的粒度,此时大部分脉石已成单体,而锑和砷部分优先浮选流程均能获得较好的指标.

(5) 选矿产品的检测.锑精矿杂质分析结果:含 Sb 55.18%,As 0.49%,Pb 0.066%,Au 14.99×10^{-6}.表明锑精矿质量符合一级品标准.但砷的粗精矿产品检查结果为硫化物 85%,脉石矿物 15%,而脉石矿物有一半是金属矿物的连生体,这项工作有待进一步研究.

总之,据矿石特性及流程方案对比,以混合浮选流程为建厂流程,并在锑-金砷分离粗选后,增加 1 次含金砷扫选作业,以保证锑精矿达到 YB2419-82 精矿指标.

参考文献:

[1] 鲍振襄.溆浦县龙王江锑金矿带地质特征[J].湖南地质,1990,9(1):35—42.

[2] 鲍珏敏,万容江,鲍正襄.湘西泥潭冲锑砷金矿地质特征及成因机制新探[J].湖北地矿,1999,13(1):20—27.

[3] 鲍振襄.龙王江锑砷金矿带地质地球化学[J].地质地球化学,1997,(1):1—5.

❶湖南有色金属研究所,溆浦县曾家溪锑矿.溆浦县江溪垄锑矿选矿试验报告.1996.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF JIANGXILONG GOLD-ANTIMONY DEPOSIT IN WESTERN HUNAN PROVINCE

YIN Hua-feng[1], XIANG Tian[1], YANG Hong-chao[1], BAO Zhen-xiang[2], BAO Jue-min[2]
(1. No. 245 Team, Hunan Bureau of Geologic Exploration for Nonferrous Metals, Jishou 416007, Hunan Province, China;
2. Western Hunan Research and Development Center for Mineral Resources, Jishou 416007, Hunan Province, China)

Abstract: The Jiangxilong gold-antimony deposit in Western Hunan Province, occurring in the epimetamorphic rock series of Wuqianxi formation, Banxi group, Neoproterozoic, is a cogentic (associated) Au-Sb deposit. The metallogenesis is strictly controlled by NE-trending shear fault zone. The ore-bodies are steeply-dipped crossing veins, stably reappearing in the direction of dip and striking. The gold occurs in the near altered wallrock. Arsenopyrite is the main gold carrier. The enrichment of antinomy is closely related to silicification. The Au-bearing antimony ore is with high As. The result of ore dressing experiment focused on antimony shows that the main recovered mineral is antimonite, with recoverable of gold.

Key words: gold-antimony deposit; geology and geochemistry; prospecting criteria; development and utilization

作者简介:**尹华锋**(1966—),**男**,**湖南省沅陵县人**,**助理工程师**,2007 **年毕业于湖南科技大学**,**现主要从事地质找矿与勘探工作**,**通信地址 湖南省吉首市人民南路** 35 **号**.

(**上接第** 274 **页**)

GEOLOGIC CHARACTERS AND EXPLORATION DIRECTION OF BEIGANGOU GOLD DEPOSIT IN HUAIROU, BEIJING

SHEN Guang-yin
(North China Institute of Geological Survey for Nuclear Industry, Tianjin 301800, China)

Abstract: The Beigangou gold deposit, located in the middle section of Yanshan metallogenic belt, belongs to quartz vein type in ductile shear zone. The Neoarchean metamorphic rock, which contains abundant gold, is the source bed for gold metallogenesis. Ductile shear zone controls the gold metallization, which can be divided into two stages. The gold metallization is related to the brittle deformation of the ductile shear zone. Natural gold occurs mainly in the microfissures, intergranular porosities or cavities of pyrite, chalcopyrite and their oxides. The wallrock alteration is intense, with mainly pyritization, silicification, sericitization, carbonation, albitization, chloritization, baritization etc. The exploration in the future should focus on quartz vein type and altered rock type of gold mineralization in No. 1 fault belt and shear zone quartz vein type of gold mineralization in the tensional extended range of No. 2 ductile shear zone in the east.

Key words: ductile shear zone; mylonite; quartzose ultramylonite; gold metallization; wallrock alteration; exploration direction

作者简介:**沈光银**(1962—),**男**,**河北省固安县人**,**工程师**,1985 **年毕业于核工业地质学校**,1990 **年毕业于长春地质学院**,**从事地质找矿生产、科研工作**,**通信地址 天津市宝坻区** 36 **号信箱**,**邮政编码** 301800.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net