

三道湾子金矿床流体包裹体及 稳定同位素地球化学特征

吕 军^{1,2,3}, 王建民³, 岳帮江³, 王洪波³, 于荣文³, 赵立国³

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 黑龙江地质调查院齐齐哈尔分院, 齐齐哈尔 161005)

[摘 要]三道湾子金矿位于大兴安岭燕山期成矿带东南部, 为典型的石英脉型金矿。通过对矿床地质特征、成矿期次及硫、氢、氧同位素组成和流体包裹体测温研究, 讨论了成矿流体的来源及矿床形成的温度。黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.1\text{‰} \sim -1.7\text{‰}$, 显示硫具地幔来源的特点; 石英 $\delta^{18}\text{O}_*$ 值为 $-15.3\text{‰} \sim -9.9\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值为 $-110\text{‰} \sim -85\text{‰}$, 说明成矿流体主要为大气降水; 流体包裹体均一温度为 $181 \sim 267^\circ\text{C}$; 表明三道湾子金矿为与火山热液有关的中-低温浅成热液矿床。

[关键词]三道湾子金矿 地质特征 流体包裹体 稳定同位素

[中图分类号]P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2005)03-0033-05

三道湾子金矿位于黑龙江省北部, 是我院于90年代末通过区域地质调查及化探异常查证在罕达气-洪业家燕山期金成矿带发现的石英脉型金矿床。该成矿带还有洪叶家金矿床、傲山金矿化点、三道湾子铜钼矿化点等。这些矿床和矿化点主要分布于工作区西南、东北及北部, 从纳金口子至傲山一带呈北东向展布, 构成一明显的矿化带。三道湾子金矿床的发现是该成矿带的一个重大突破, 有力地说明了区域地质调查及土壤地球化学测量工作方法在浅覆盖区的应用效果是显著的, 也为进一步找矿拓展了空间。

1 成矿地质背景

三道湾子金矿大地构造位置属大兴安岭早古生代陆源增生构造带, 多宝山奥陶纪岛弧型活动带东南缘, 大兴安岭中段华力西、燕山期铜(钼)、铁(锡)、铅、锌、金、银成矿带东部。本区处于西伯利亚板块东南海西大陆边缘, 中生代以来主要受滨太平洋构造域构造活动影响, 断裂构造发育。主要构造线方向有北东向、北西向和近东西向, 控制了区内岩浆活动及成矿作用。区域火山活动频繁, 火山岩极为发育, 可划分为中-晚侏罗世塔木兰沟期和早

白垩世光华期, 为活动大陆边缘陆相火山喷发环境。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质概况

矿区出露的地层主要为: 侏罗系中-上统塔木兰沟组($J_{2-3}tm$), 其展布方向为北东向。主要岩性自下而上为粗安岩、安山岩、安山质火山角砾岩等, 岩相以喷溢相和爆发空落相为主。该组岩石呈喷发不整合覆盖于三道湾子单元(T_3sd)二长花岗岩之上, 为近矿围岩, 岩石含金背景值较高(安山岩原岩光谱分析表明金含量为 115×10^{-9} , 银含量为 1.005×10^{-6}), 中性岩石组合对成矿极为有利。白垩系下统光华组(K_1gh)岩石主要分布在矿区中部和北部。岩石组合为流纹质含角砾凝灰岩、火山角砾岩、凝灰岩、流纹岩等。厚度变化较大, 以爆发空落相及喷溢相为主, 覆盖于塔木兰沟组之上。

矿区出露侵入岩主要为晚三叠世三道湾子岩体。单元岩石类型为中粒二长花岗岩。岩体区域上受东西向构造控制, 形成于大陆抬升的晚造山阶段, 属陆内拗陷型, 为“I”型向“A”型过渡型花岗岩(据1:5万达音卢幅区域地质调查报告, 2000年), 系金矿化成矿前岩体。另外, 矿区发育有两条伊列克得

[收稿日期]2004-05-26; **[修订日期]**2004-11-08; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]黑龙江省矿产资源补偿费项目(编号:SD2002-29)、中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室及中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室资助。

[第一作者简介]吕 军(1965年-), 男, 1988年毕业于中国地质大学(武汉), 获学士学位, 高级工程师, 在读硕士, 现主要从事化探异常查证及岩金矿普查工作。

期辉绿玢岩脉。倾向 NW, 倾角 50° , 呈脉状产出。辉绿玢岩内未见蚀变、矿化, 岩石较新鲜, 说明辉绿玢岩侵入晚于金矿化, 为成矿期后脉岩, 对成矿有一定破坏作用。

矿区内主要构造线方向为北西向, 其次为北东向。已知的五条含金石英脉均为北西向。而北东向构造仅表现在矿区东部见两条穿切蚀变带、矿化体的辉绿玢岩脉。主控矿床构造为北西向, 为容矿构造, 地表呈舒缓波状, 具追踪张性特征。长约 800m, 总体产状为走向 310° , 倾向 40° , 倾角在 $53^{\circ} \sim 68^{\circ}$, 另有多条与之平行的次级张裂隙, 大致构成斜列式排列。

三道湾子金矿床划分为 I、II、III 3 个矿带, 沿走向延伸 830m, 宽 1~70m, 受控于北西向张性断裂带。I 号金矿带在空间位置上与 I 号石英脉基本一致(图 1)。金矿带长 510m, 平均宽 4.5m, 最宽处 10m, 最窄处不足 1m。石英脉在走向上呈反“S”形, 有膨胀、狭缩现象, 延伸基本稳定。石英脉总体走向北西 310° , 倾向 40° , 倾角较陡, 在 $53^{\circ} \sim 68^{\circ}$ 之间。金矿化主要发生于石英脉中, 共圈出 7 条矿体。

II 号矿带位于 I 号矿带南 70m, 产状与 I 号矿带基本相同。矿带长 210m, 平均宽 0.56m, 共圈出金矿体 3 条, 规模较小。

III 号矿带位于 I 号矿带东约 300m, 矿带长 320m, 平均宽 70m。由含金石英脉群组成, 产状与 I 号金矿带大致相同。带内共圈出金矿体 12 条。

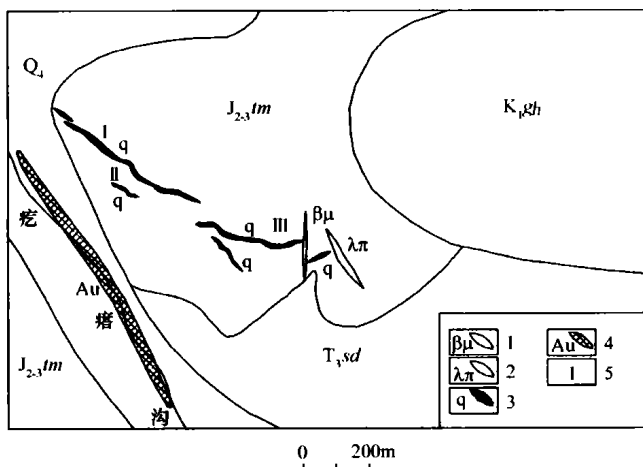


图 1 三道湾子金矿床地质图

Q₄—第四系; K_{1gh}—白垩系光华组流纹岩; J_{2-3tm}—侏罗系塔木兰沟组安山岩; T_{3sd}—三道湾子单元二长花岗岩; I—辉绿玢岩脉; 2—流纹斑岩脉; 3—含金石英脉(金矿体); 4—砂金矿体; 5—金矿带编号

2.2 矿石特征

矿石呈灰白色、浅灰色、黄褐色, 半自型它型粒状

结构、碎裂结构、交代结构、包含结构, 块状构造、角砾状构造、局部呈网脉状、细脉状构造。矿石中金主要以银金矿、自然金形式存在于石英颗粒间、裂隙中, 另有极少量的脉石包裹金。脉石裂隙金占统计数的 16.1%; 粒间金占 81.1% (其中脉石粒间金占 8.2%, 方铅矿与辉银矿粒间占 49.1%, 闪锌矿与黄铜矿粒间 18.4%, 黄铜矿与闪锌矿粒间 5.4%); 脉石包裹金 2.8%。金矿物形态为角粒状、叶片状、针线状、长角粒状和枝杈状。金矿物粒度集中于 0.01~0.074mm 中, 占 81.6%; > 0.1 mm 占 7.2%; < 0.01mm 占 11.2%。矿石含金属硫化物很少, 为 1.79%, 且颗粒细小, 种类有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿与辉银矿, 呈星点状分布。脉石矿物有石英、玉髓、高岭石、绢云母、绿帘石、绿泥石、方解石等。

2.3 矿床主要成矿阶段与蚀变特征

根据三道湾子金矿体的产状、矿物组合及矿物生成顺序, 将该矿床矿化分为 3 个阶段, 第一阶段为石英—黄铁矿化阶段, 早期成矿热液沿构造带充填交代, 形成含少量黄铁矿的石英脉体, 为弱金矿化阶段。第二阶段为石英—金—多金属阶段, 该阶段成矿热液交代围岩及前期石英脉, 局部形成角砾岩型矿石, 含少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿辉银矿等, 为主要的金矿化阶段。第三阶段为碳酸盐化阶段, 主要表现为方解石细脉沿裂隙和空洞穿插充填, 无金矿化(见表 1)。

表 1 三道湾子金矿床矿物生成顺序表

矿物	矿化期次		
	I 石英—黄铁矿 阶段	II 石英—金—多金属 硫化物阶段	III 石英脉—碳酸盐 阶段
黄铁矿	—	—	—
磁铁矿	—	—	—
黄铜矿	—	—	—
闪锌矿	—	—	—
金	—	—	—
石英	—	—	—
方解石	—	—	—
褐铁矿	—	—	—

矿床围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化。硅化主要发生在石英脉两侧安山岩中, 呈网脉状、细脉状、晶簇状, 沿围岩微裂隙进行充填和交代。硅化有 3 期, 早期为灰黑色石英脉, 含微细粒黄铁矿; 第二期为灰白色石英脉, 含少量多金属硫化物, 穿插灰黑色石英脉; 晚期灰白色石英网脉同时穿插前两期石英脉。金矿化与硅化关系密切, 硅化强烈地段金矿化好。

黄铁矿化主要发育于安山岩中,偶尔在石英脉中也可见到。黄铁矿呈星点状分布,立方体晶型,粒径0.01~0.5mm,有的已氧化,但仍保留晶型。绢云母化、高岭土化表现为安山岩和粗安岩褪色,镜下可见到蚀变形成的细小绢云母及高岭石。绿泥石、绿帘石化在安山岩和粗安岩中分布广泛,但强度较弱。碳酸盐化表现为方解石细脉密集分布,充填于安山岩裂隙中。

围岩蚀变总体呈带状,围绕石英脉两侧不对称分布,下盘蚀变带略宽。蚀变分带较明显,自石英脉向两侧依次为含金石英脉-强硅化带-弱硅化带-黄铁矿化带-粘土化带-碳酸盐化带-绿帘石、绿帘石化带。各种蚀变相互迭加,由矿体向两侧蚀变逐渐减弱。

矿石类型中心为石英脉型,边部为石英网脉型(含黄铁矿),围岩中矿化则表现为黄铁矿化、硅化

角砾岩型。石英脉中心处金矿化强,多为表内矿,边部及围岩中矿化较弱,多为表外矿。

3 流体包裹体测温及成矿物理化学参数

流体包裹体样品均采自矿体,使用英国产的LINKAM THMS600型冷热台仪器分别测定各种类型流体包裹体的相变温度,进而估计成矿流体被捕获时的温度、盐度,流体包裹体测温资料及统计处理结果见表2。

三道湾子金矿流体包裹体样品均采自矿体及强蚀变岩石,石英中原生包裹体十分发育,流体包裹体测温资料及物理化学参数见表2。石英中流体包裹体直径一般2~9 μm ,多为气液盐水包裹体,少量液相盐水包裹体、气体包裹体。包裹体均一温度变化范围为181 $^{\circ}\text{C}$ ~267 $^{\circ}\text{C}$,流体包裹体盐度(NaCl_{eq})变化范围为15.6%~16.9%,平均16.1%,盐度中等。

表2 三道湾子金矿流体包裹体特征及物理化学参数

样号	岩石名称	包裹体类型	测试矿物	包裹体大小/ μm	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	盐度/ $\omega_1\%$ NaCl
BT2	强硅化安山岩	液相盐水包体15%,气液盐水包体80%,气体包体5%	石英	2~9	15~40	267	15.6
BT3	石英脉	液相盐水包体10%,气液盐水包体75%,气体包体15%	石英	2~7	20~40	262	16.2
BT6	强硅化安山岩	液相盐水包体25%,气液盐水包体70%,气体包体5%	石英	2~5	20~40	201	
BT7	强硅化安山岩	液相盐水包体10%,气液盐水包体75%,气体包体15%	石英	2~7	20~30	181	
BT8	石英脉	液相盐水包体10%,气液盐水包体70%,气体包体20%	石英	2~6	10~50	232	15.8
BT9	石英脉	液相盐水包体15%,气液盐水包体80%,气体包体5%	石英	2~6	20~40	206	
BT10	石英脉	液相盐水包体15%,气液盐水包体80%,气体包体5%	石英	2~7	20~30	262	16.9

测试单位:国土资源部矿产资源研究所,2003年。

4 稳定同位素地球化学特征

4.1 分析方法

稳定同位素样品均采自矿体,测试的黄铁矿和石英在显微镜下手工挑选,纯度均在99%以上。测试研究了10件成矿期的黄铁矿中的硫同位素和石英流体包裹体的氢、氧同位素组成。硫同位素组成的测试流程为:以 Cu_2O 和 V_2O_5 作为混合氧化剂,在高温、真空条件下与测试矿物反应制取 SO_2 。所用仪器为MAT251 EM,以CDT为标准,分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。氢氧同位素样品经清洗、去吸附水和次生包裹体后,再采用加热爆破法从样品提取原生流体包裹体中的 H_2O 和 CO_2 。将提取的包裹体 H_2O 与Zn在400 $^{\circ}\text{C}$ 条件下反应30min制取 H_2 ,测定 H_2O 中的 δD 值;石英的氧同位素测定采用 BrF_3 分析法。测试的质谱仪型号为MAT 251 EM,以SMOW为标准,分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

4.2 稳定同位素组成

4.2.1 硫同位素组成

地球上硫同位素主要有3个储存库,一是幔源硫($\delta^{34}\text{S}=0\pm 3\text{‰}$)(Chaussidon and lorand,1990),二是海水硫,现代海水中 $\delta^{34}\text{S}\approx 20\text{‰}$;第三种是沉积物中还原硫,这种硫的同位素主要以具有较大的负值为特征(Rollinson,1993)。三道湾子金矿硫化物含量较少,约占1.79%,黄铁矿占1.76%。用黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值近似代表了成矿流体中全硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,分析结果表明(表3), $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -1.1‰ ~ 1.7‰ ,极差2.8 ‰ ,均值为1.1 ‰ ,分布范围显示具有幔源硫同位素组成特点,接近陨硫石(图2)。

4.2.2 氢氧同位素组成

三道湾子金矿含金石英脉氢氧同位素测试结果显示(表3): $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 变化范围: -2.3‰ ~ -0.2‰ , $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化范围: -110‰ ~ -85‰ 。采用分馏方程: $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.38\times 10^6\text{ T}^{-2}-3.4$ (Clayton,1972)计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$: -15.3‰ ~ -9.9‰ 。所有 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 均低于 -85‰ ,与本区中生

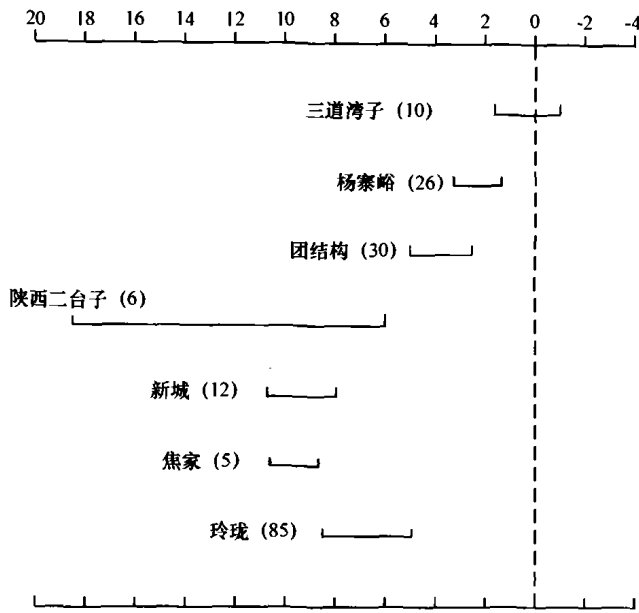
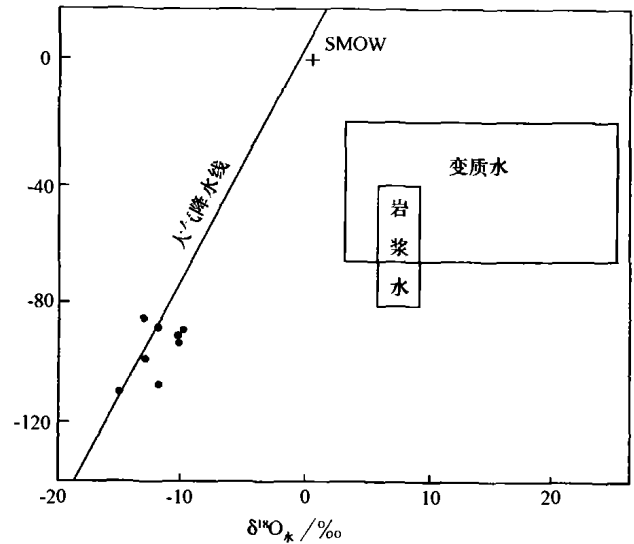


图2 国内几种金矿床硫同位素分布图

矿流体明显受大气降水的影响。在 $\delta D_{SMOW} - \delta^{18}O_{\text{水}}$ 关系图 (图3) 上, 投影点落在大气降水线附近, 表明成矿流体主要由大气降水组成。

图3 三道湾子金矿床成矿流体 $\delta D_{SMOW} - \delta^{18}O_{\text{水}}$ 水图表3 三道湾子金矿氢氧稳定同位素分析结果一览表
‰

样号	测定对象	Th/℃	$\delta D_V - SMOW$	$\delta^{18}O_V - SMOW$	$\delta^{18}O_{\text{水}}$	样号	测定对象	$\delta^{34}S_V - CDT$
TZ11	石英	181	-110	-2.3	-15.3	TZ1	黄铁矿	-1.1
TZ12	石英	232	-107	-2.0	-11.9	TZ2	黄铁矿	0.5
TZ13	石英	206	-97	-1.8	-13.1	TZ3	黄铁矿	1.0
TZ14	石英	262	-86	-0.2	-12.0	TZ4	黄铁矿	0.8
TZ15	石英	264	-94	-1.8	-10.1	TZ5	黄铁矿	-0.8
TZ16	石英		-103	-2.2		TZ6	黄铁矿	-0.2
TZ17	石英		-95	-0.7		TZ7	黄铁矿	0.0
TZ18	石英	201	-85	-1.5	-13.1	TZ8	黄铁矿	-0.3
TZ19	石英	267	-89	-1.7	-9.9	TZ9	黄铁矿	-0.5
TZ20	石英	262	-92	-1.9	-10.3	TZ10	黄铁矿	1.7

注: (1) 测试单位: 国土资源部矿产资源研究所, 2003 年; (2) 表中 Th 为实测平均值。

5 矿床成因探讨

三道湾子金矿赋存于中生代火山岩内, 受区域构造与火山构造双重控制。燕山晚期, 本区发生了大规模火山活动及岩浆活动, 从而形成了大面积的中性火山岩及岩脉。火山热液活动及岩浆活动起到了热机作用, 由此导致了大气降水流体对流循环, 而大气降水直接淋滤中性火山岩, 使岩石中的金、银等成矿元素从中活化、迁移出来, 并在火山口附近的张性裂隙中与富含硅质的中-低温热液汇合并富集、沉淀成矿。从矿体产出形态、控制深度、围岩蚀变、矿物组合看, 矿体形成深度小于 1km, 矿床成因类型为浅成中-低温火山热液型。

6 结论与讨论

1) 三道湾子金矿床产于中生代火山岩内, 石英脉为金矿的主要载体, 矿床工业类型是典型的石英脉型金矿床。

2) 塔木兰沟组安山岩原岩光谱分析表明金含量为 115×10^{-9} , 银含量为 1.005×10^{-6} , 金、银丰度较高, 表明成矿物质主要来源于中生代侏罗系中-上统塔木兰沟组中性火山岩。

3) 气液相盐水包裹体几乎在各种地质环境下均可见到, 是分布最广的一类包裹体。纯液相包裹体通常是在较低温度下甚至是在冷水条件下形成的。纯气相包裹体是在火山喷汽、汽水溶液和沸腾条件下形成。从三道湾子矿床流体包裹体中纯气相

包裹体与液相、富液相包裹体共存的特点,表明矿体顶部发生过沸腾。

4) 在 $\delta D_{SMOW} - \delta^{18}O$ 水关系图上,投影点落在大气降水线附近,表明成矿流体主要由大气降水组成。

5) 流体包裹体盐度 ($NaCl_{eq}$) 变化范围为 15.6% ~ 16.9%, 平均 16.1%, 盐度中等。

6) 流体包裹体测温表明三道湾子金矿成矿温度为 181℃ ~ 267℃, 为浅成中-低温热液型矿床。

[参考文献]

- [1] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- [2] 张理刚. 成岩成矿理论与找矿[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1989.
- [3] 葛良胜, 邹依林, 李振华, 等. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质

特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 2002, 38(5): 11 ~ 17.

- [4] 武汉地质学院地球化学教研室. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [5] 赵一鸣, 林文蔚, 张德全, 等. 交代成矿作用及其找矿意义[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992.
- [6] 林文蔚, 殷秀兰. 胶东金矿成矿流体同位素的地质特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(3).
- [7] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [8] 何知礼. 包体矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [9] 张晓军, 张均, 贾永胜, 等. 川西北金木达矿床地质地球化学特征研究[J]. 地质与勘探, 2002, 3: 28 ~ 32.
- [10] 沈远超, 谢宏远, 李光明, 等. 山东蓬家乔金矿的基本地质特征及其找矿方向[J]. 地质与勘探, 1998, 34(5): 3 ~ 7.

FLUID INCLUSION AND STABLE ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF SANDAOWANZI GOLD DEPOSIT

LU Jun^{1,2,3}, WANG Jian-min³, YUE Bang-jiang³, WANG Hong-bo³, YU Rong-wen³, ZHAO Li-guo³

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobe Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083; 3. Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Qiqihar 161005)

Abstract: Sandaowanzi gold deposit is located in the southeast of Daxinganling metallogenic belt during Yanshanian epoch. It is a typical quartz vein gold deposit. Geological features, mineralizing periods, fluid inclusions and S, H, O isotope compositions are discussed to identify ore-forming source and temperature. $\delta^{34}S$ values of pyrite range from -1.1‰ to 1.7‰, showing mantle-derived sulfur character. $\delta^{18}O$ water values of ore-forming fluids responsible for quartz formation are estimated to be -15.3‰ ~ -9.9‰. δD_{V-SMOW} values of inclusion fluids in quartz are measured to be -110‰ ~ -85‰. The meteoric water was dominated. Homogenization temperatures are from 181 to 267℃. The Sandaowanzi gold deposit is a mesothermal-epithermal volcanogenic gold deposit.

Key words: Sandaowanzi gold deposit, geological feature, fluid inclusion, stable isotope

江西探明特大型钽矿

据报载,日前,江西省有色地勘局通过地质资料二次开发和三年多的野外勘查,前不久在江西省上饶市横峰县发现一储量高达6万多吨、品位可以满足工业要求的特大型钽矿。目前,地质报告编制工作和矿床开发可行性研究工作正在进行。

横峰钽矿最早发现于20世纪60年代,由于工作程度低,矿床的经济价值一直无法确定。2002年,详查工作开始,施工了斜井和两个中段坑道,对矿石加工选冶技术条件和矿床开采技术进行了深入研究,并于2004年基本结束。

详查发现,横峰钽矿为钠长石花岗岩型,隐伏在地表180m以下。矿体形态呈钟状,目前已控制的矿长1320m,宽640m,矿体最大厚度为450m;控制储量3573t,预测资源储量近6万t,矿石品位超过工业要求,为亚洲最大型钽矿床。另外,该床还伴生铌、铷、钨、锡、钼、钠长石、黄玉等,可达到中大型矿床。省有色地勘局局长、地质专家崔国华说,保守估计,如建设日处理2000t矿石量的选厂,矿山服务年限可达数百年,潜在经济价值100多亿元。

钽是一种深灰色耐熔金属,熔点高达2996℃,并具有强度高、抗疲劳、抗变形、抗腐蚀、导热、超导、单级导电等特性,可用于电子、宇航、机械工业等领域。