

文章编号 :1000-4734(2002)01-0054-08

新疆萨瓦亚尔顿金矿床成矿特征及其 与穆龙套型金矿床的异同性

刘家军^{1 2} 郑明华³ 龙训荣³ 尹怀信⁴ 王奖臻¹ 李恩东¹ 王 进⁴

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室 贵州 贵阳 550002 ;

2. 南京大学 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 江苏 南京 210093 ;

3. 成都理工大学 矿床地质研究所 四川 成都 610059 ;

4. 新疆地质矿产局 第二地质大队 新疆 喀什 844002)

摘要 新疆萨瓦亚尔顿金矿床,是一个规模大、品位低,并具有细脉浸染和蚀变特征的金矿床。矿床赋存于上石炭统含碳碎屑岩建造中,矿化受构造破碎带的严格控制。组成矿石的基本矿物为硫化物、石英和方解石。金不均匀地分布于硫化物内。成矿溶液主要来自加热的循环地下水。成矿温度主要集中在110~210℃范围内。成矿物质来源较复杂,既有赋矿地层的提供,又有来自下伏的碳酸岩盐和中基性火山岩,同时也有深部物质的参与。该矿床在地质背景、赋矿岩石、矿化形式、矿物组合、元素组合和成矿作用等方面均与邻国的穆龙套型金矿床具有可对比性,但也有其明显的特殊性——低温成矿作用特征。

关键词 萨瓦亚尔顿;金矿床;成矿特征;西南天山

中图分类号:P618.51 文献标识码:A

作者简介 刘家军,男,1963年生,研究员,从事矿床地球化学研究。

新疆萨瓦亚尔顿金矿床,是新疆地质矿产局第二地质大队于20世纪90年代发现并探明的一个大型金矿床。该矿床的发现,被视为在我国西南天山地区寻找穆龙套型金矿床的一个重大突破^[1~4]。作者自1994年以来多次赴该矿区考察和研究,从所获得的资料来看,该矿床既具有与穆龙套型金矿床相类似的特征,又具有其成矿特殊性。

1 地质背景

新疆萨瓦亚尔顿金矿床位于塔里木盆地西北缘的西南天山腹地(图1),矿区地层主体为一套上石炭统浅变质碎屑岩建造^[5],矿区东南为一套碳酸盐岩建造(可能属中泥盆统)。碎屑岩建造与碳酸盐岩建造之间为一巨大逆冲断层,其成为两种不同岩性地层的接触线。

区域内断裂和褶皱发育,构造线整体呈北东-南西向,延伸数十至数百km。萨瓦亚尔顿金

矿床就处于阿热克托如克逆掩断裂(东侧)和依尔克什坦逆掩断裂(西侧)的夹持部位。区域内未见大的侵入岩体,但在赋矿岩系及其下伏地层中均可见少量中、基性岩脉。

2 矿床地质特征

在萨瓦亚尔顿金矿区内分布大小矿化破碎带数十条。矿化破碎带延展与地层的展布大体一致(图1)。已确定的24条矿带大小悬殊明显,以IV矿带规模最大,矿化延续性最好,次为I、II、V、VI矿带。根据I、II、IV等矿带中圈出的工业矿体来看,其形态呈大小不等的似层状、透镜状和脉状等。

矿石矿物多达30余种,其中毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、脆硫锑铅矿、辉锑矿、银金矿、石英和菱铁矿为常见矿物。按矿物组合,可将原生矿石划分出5种自然类型:①金-毒砂-黄铁矿-石英矿石;②金-黄铁矿-脆硫锑铅矿(辉锑矿)-石英矿石;③金-脆硫锑铅矿(辉锑矿)矿石;④金-石英-菱铁矿矿石;⑤金-黄铁矿-磁黄铁矿-石英矿石。

收稿日期 2001-03-09

基金项目 国家自然科学基金项目(批准号:40073019);中国科学院

“百人计划”项目 国家305科技攻关项目(编号 95-04-03-01)

万方数据

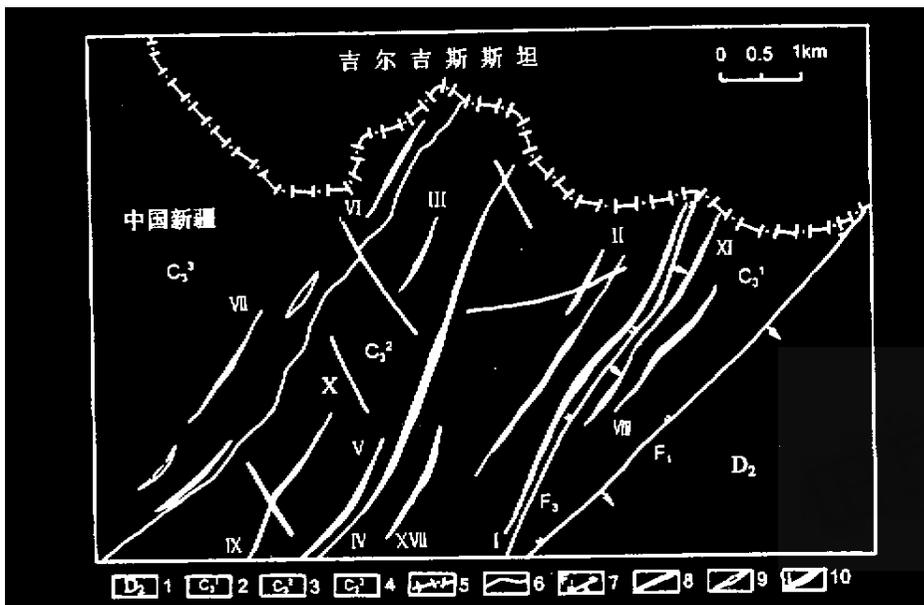


图 1 萨瓦亚尔顿金矿床地质略图(据新疆地质矿产局第二地质大队内部资料修编)

Fig. 1. Geological sketch map of the Sawaya'erdun gold deposit.

- 1. 中泥盆统碳酸盐岩建造
- 2. 上石炭统下段
- 3. 上石炭统中段
- 4. 上石炭统上段
- 5. 国界线
- 6. 地层界线
- 7. 逆断层及编号
- 8. 横断层
- 9. 基性岩脉
- 10. 矿带及编号

矿石结构主要有自形、半自形和它形粒状结构、镶嵌结构、交代及交代残余结构、显微环带和胶状结构。矿石构造有脉状、网脉状、浸染状、角砾状、块状及条带状等,其中前三种是矿石的主要构造类型。

矿床中围岩蚀变以硅化和黄铁矿化为主。大部分金矿化就位于硅化蚀变和黄铁矿化最强烈的范围之内。一般说来,围岩蚀变较强烈的地段,金属硫化物发育,矿化较好,而围岩蚀变较弱的地段,金属硫化物少,矿化较差。

矿石中金主要以下列两种形式存在:① 独立矿物。在原生矿石,特别是富硫化物的块状矿石中,作者发现了大量银金矿。银金矿与黄铁矿、毒砂、黄铜矿和石英共生,与黄铜矿关系最为密切。在显微镜下常见到银金矿与黄铜矿、石英组成细脉、网脉,穿插于毒砂或黄铁矿中,偶见银金矿单独呈微细脉产出。另外,矿石中也有少量的自然金和含银自然金矿物。② 以机械混入物形式进入载金矿物中。常见的载金矿物为黄铁矿、毒砂、黄铜矿和脆硫锑铅矿。此外,金还可能以吸附形式存在。在含有机碳较高的矿石和氧化矿石中金含量均较高,可能与这些矿石中的有机碳、粘土矿物易吸附金有关。

3 矿床地球化学特征

3.1 稀土元素地球化学

采用中子活化分析方法,对矿区及外围 93 件岩石、矿石和热液矿物的稀土元素含量进行了测定,选择有代表性样品的分析结果进行球粒陨石标准化(图 2)。

结果表明,沉积岩、火山岩稀土总量变化较大($2.71 \times 10^{-6} \sim 328.93 \times 10^{-6}$),除 1 件闪长岩外,其它样品均具轻稀土大于重稀土($LREE/HREE > 10$),模式斜率($La/Yb \lambda > 4$),Eu 为负异常($\delta Eu = 0.29 \sim 0.76$),而 Ce 异常不明显的特征(图 2A),尤其是辉绿岩、玄武岩的模式斜率($La/Yb \lambda > 13$),明显大于矿区沉积岩的模式斜率($La/Yb \lambda = 4.86 \sim 8.53$)。矿石和热液矿物的稀土总量变化也较大($8.49 \times 10^{-6} \sim 222.10 \times 10^{-6}$),但根据稀土配分特点可将样品分为三组。第一组(图 2B)为轻稀土富集型($LREE/HREE > 14$),模式斜率($La/Yb \lambda = 4 \sim 8$),轻稀土的分馏程度强于重稀土($La/Sm \lambda = 3.27 \sim 5.84$),($Tb/Yb \lambda = 1.30 \sim 2.38$),Eu 为负异常($\delta Eu = 0.37 \sim 0.84$)。这些特征与该区沉积岩的稀土配分相似,而与火山岩明显不同。说明该地区的沉积岩可能提供了部分成矿物质。第二组

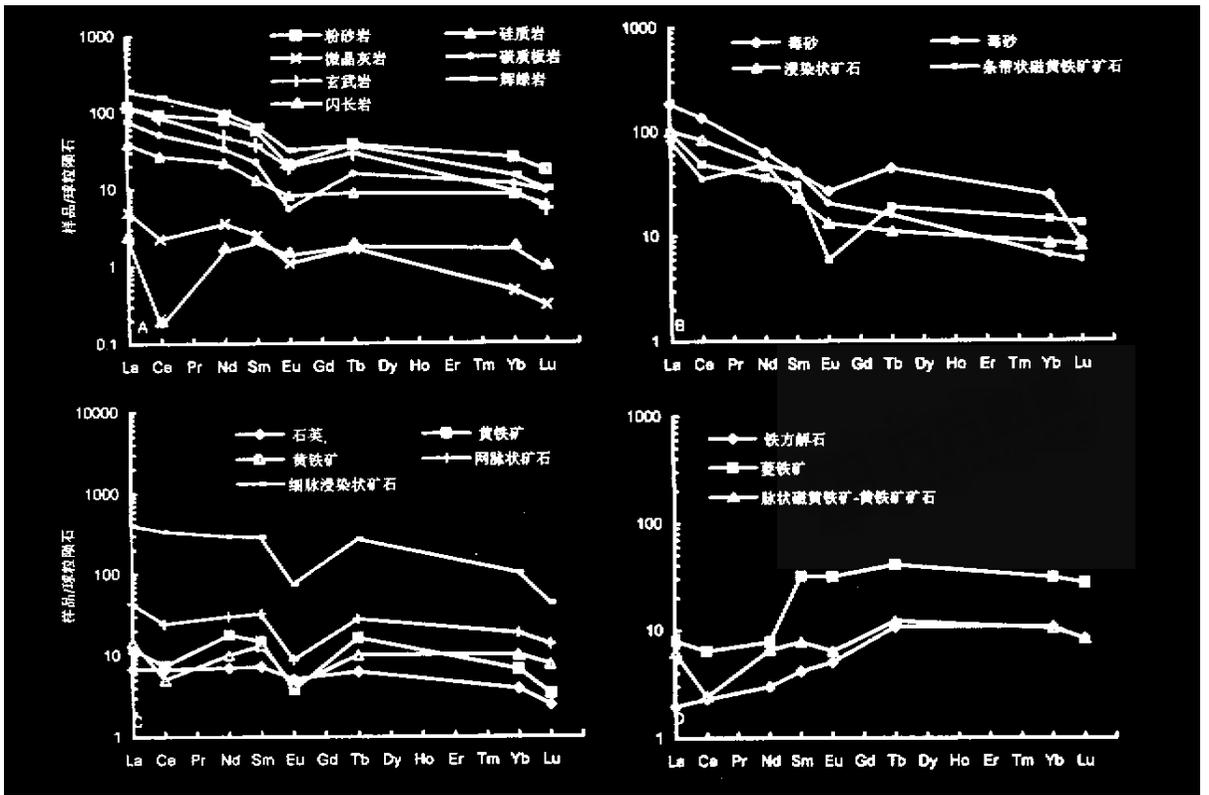


图2 岩石、矿石和热液矿物稀土配分模式

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of rocks, ores and hydrothermal minerals in the Sawaya 'erdun gold deposit.

(图2C)为轻稀土弱富集型, $LREE/HREE = 6 \sim 12$, 稀土配分曲线近于平坦, 模式斜率 $(La/Yb)_N = 1.44 \sim 3.93$, Eu 明显亏损 $\delta Eu = 0.27 \sim 0.76$, Ce 大多亏损, 轻、重稀土的分馏程度接近 $(La/Sm)_N = 0.81 \sim 1.39$ $(Tb/Yb)_N = 0.83 \sim 2.63$, 第三组为重稀土富集型(图2D), 具此特征的样品均为成矿晚期的产物, 其稀土总量低 $(8.49 \times 10^{-6} \sim 30.07 \times 10^{-6})$, $LREE/HREE = 1 \sim 3$, 模式斜率 $(La/Yb)_N$ 仅为 $0.18 \sim 0.59$, 且轻稀土的分馏程度弱于重稀土, $(Tb/Sm)_N = 0.25 \sim 0.79$ $(Tb/Yb)_N = 1.17 \sim 2.46$, Eu 负异常多不明显 $(\delta Eu = 0.65 \sim 0.99)$ 。说明成矿流体在演化过程中, 发生过轻、重稀土分馏, 而且重稀土在成矿作用晚期有较明显的富集。

3.2 同位素地球化学

3.2.1 硫同位素

矿床中 41 件硫化物的硫同位素组成分析结果表明, 矿床 $\delta^{34}S$ 值变化范围较窄 $(-3.0\% \sim +2.61\%)$, 极差仅为 5.61% , 平均值为 0.05% (图3)。其中毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿和脆硫铋铅矿的 $\delta^{34}S$ 平均值分别为 0.73% 、 0.39% 、 -0.05% 和 万方数据

-1.26% , 具有 $\delta^{34}S_{毒砂} > \delta^{34}S_{黄铁矿} > \delta^{34}S_{磁黄铁矿} > \delta^{34}S_{脆硫铋铅矿}$ 特点, 反映随着成矿作用的进行, 从早到晚, 形成矿物的 $\delta^{34}S$ 值有降低的趋势。具此种硫同位素特征的矿床, 其成硫环境可能是一种半封闭环境, 或硫来自下伏地层中的各类中、基性火山岩, 或有深源火山硫的补充^[6,7]。

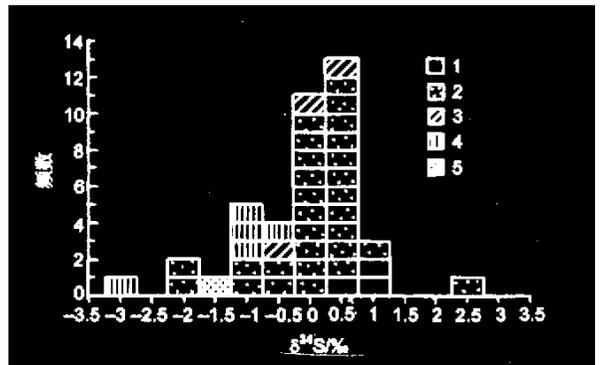


图3 矿床硫同位素组成分布图

Fig. 3. Sulfur isotope distribution of the gold deposit. 1. 毒砂 2. 黄铁矿 3. 磁黄铁矿 4. 脆硫铋矿 5. 辉铋矿

3.2.2 铅同位素组成

矿石铅同位素组成相当稳定, 其中 $^{206}Pb/^{204}Pb$

= 17.965 ~ 18.348, 极差 0.383, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 15.539 ~ 15.749, 极差 0.210, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 38.062 ~ 39.029, 极差 0.967。它们的变化率分别为 2.13%、1.35% 和 2.54%, 但矿石单阶段铅模式年龄 (181.95 ~ 472.48 Ma) 变化较大, 反映矿石铅具多阶段演化的特点。在铅构造模式图 (图 4) 上, 所有样品的投点位于上部地壳及造山带附近, 说明其属地壳源铅与深源铅混合。

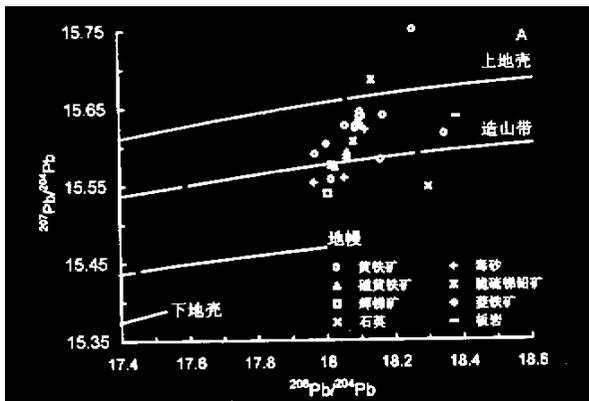


图 4 矿床铅构造模式图

Fig. 4. Plot of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ for the three genetic types of Sawaya'erduan gold deposits.

3.2.3 碳同位素组成

矿石中菱铁矿及石英包裹体中 CO_2 的碳、氧同位素组成见表 1。从中可知, 流体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-10.5\text{‰} \sim +5.0\text{‰}$ (平均 -1.8‰), 变化较大。

表 1 菱铁矿、石英及其包体碳、氧和氢同位素组成 (‰)

Table 1 The carbon, oxygen and hydrogen isotopic compositions of siderite and quartz and their inclusions

样品号	矿物	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ (SMOW)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}$ (SMOW)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (SMOW)	δD (SMOW)
97sw-1	石英		0.0			-1.6	-50
97sw-2	石英		5.0			-3.0	-43
97sw-12	石英		-0.3			-1.2	-65
97sw-14	石英		0.1			2.4	-38
97sw-16	石英		0.9			0.0	-50
97sw-21	石英		-0.7			-2.0	-54
97sw-31	石英		0.9			-1.5	-69
97sw-31	石英						-64
97sw-32	石英		4.8			-1.8	-47
97sw-35	石英		4.0			-3.3	-68
97sw-35	石英					-3.6	
S010	石英		-5.8	24.2			
S016	石英		-5.2	14.5		5.7	-72
S026	石英		-2.4	16.7		2.2	-59
97sw-21	菱铁矿		-3.6			2.9	-54
S46	菱铁矿		-10.5	4.4		-11.6	-62
97sw-21	菱铁矿	-5.27			25.2		
97sw-21	菱铁矿	-5.37			25.2		
S018	菱铁矿	-3.36			17.8		

注: 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所同位素室分析

万方数据

因矿石中未见石墨与碳酸盐矿物共生, 且包裹体中 CO_2 含量远高于 CO 和 CH_4 , 即热液系统中 CO_2 为主要含碳组分, 有 $\delta^{13}\text{C}_{\text{流体}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ [8], 因此流体 $\delta^{13}\text{C} = -1.8\text{‰}$ 左右。与各种成因 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 [9, 10] 比较, 矿床中 CO_2 可能主要有两种成因: 一是碳酸盐岩的溶解; 二是内生无机成因。在 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ 关系图 (图 5) 上, 矿床中 CO_2 既有由海相沉积碳酸盐岩经溶解作用而产生的, 又有岩浆-地幔 CO_2 混入。事实上, 包裹体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (表 1) 有两个集中区: ① $-10.5\text{‰} \sim -2.4\text{‰}$, 平均 -5.8‰ , 可能反映了深源流体的参与; ② $-0.7\text{‰} \sim +5.0\text{‰}$, 平均 $+1.6\text{‰}$, 与正常海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 ($+0.56\text{‰} \pm 1.55\text{‰}$) [11] 相近。

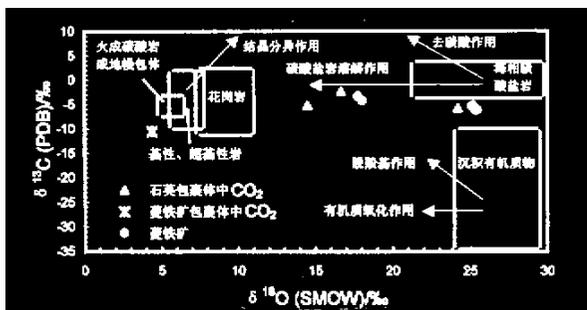


图 5 矿石中菱铁矿及石英流体包裹体的 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ 图解 (底图据文献 [12, 13])

Fig. 5. $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ diagram of siderite and fluid inclusions in quartz and siderite.

3.2.4 硅同位素组成

表2列出了矿床中热液石英的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值,除1件样品为较大正值(0.5‰)外,其它均在-0.5‰~-0.1‰之间,小于矿区硅质岩和辉绿岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值(0.1‰~1.9‰),而与赋矿粉砂岩、细砂岩和碳质板岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值(-0.5‰~-0.2‰)相近。根据Clayton^[14]研究表明,热水从岩石中淋滤 SiO_2 时,一般不会发生硅同位素的分馏,但当热水中沉淀出 SiO_2 时,会发生程度不等的 $\delta^{30}\text{Si}$ 分馏。如热水温度较高, SiO_2 快速并较完全沉淀时,此种分馏就不明显。反之,当温度较低, SiO_2 缓慢并小比例沉淀时,则 SiO_2 出现低的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值。由于该矿床的形成温度较低(主要在110~210℃之间),故该地区的沉积岩($\delta^{30}\text{Si} = -0.5‰ \sim +1.9‰$)和火山岩($\delta^{30}\text{Si} = +0.1‰$)均有可能为成矿流体提供硅质。

表2 矿床中岩石及石英脉的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值(‰)

Table 2. $\delta^{30}\text{Si}$ values of rock and quartz veins from the Sawaya 'erdun gold deposit

样品号	样品名称	$\delta^{30}\text{Si}$ -NBS-28
97A74	硅质岩(灰绿)	1.9
98s-20	硅质岩(黑色)	0.4
97s-23	辉绿岩	0.1
97A-31	细砂岩	-0.5
97A59	粉砂岩	-0.2
97A-61	碳质板岩	-0.3
97sw-1	石英	-0.1
97sw-2	石英	-0.4
97sw-14	石英	0.5
97sw-16	石英	-0.1
97sw-32	石英	-0.1
97sw-21	石英	-0.5
97s-33	硅化金矿石	-0.7

测试者 地科院矿床地质研究所,万德芳

3.2.5 氢氧同位素组成

14件与矿化有密切联系的石英和菱铁矿样品的氢氧同位素组成见表1,成矿流体的 $\delta^{18}\text{O} = -11.6‰ \sim +5.7‰$, $\delta\text{D} = -72.2‰ \sim -37.6‰$ 。在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 关系图(图6)上,样品落于典型岩浆水和变质水之外,表明成矿流体主要为大气降水补给的地下水。图中部分样品偏离雨水线较近,而另一些样品偏离雨水线较远。这种所谓的“ $\delta^{18}\text{O}$ 漂移”现象,反映了大气降水与岩石中氧同位素发生不同程度交换的结果。但总体上看,成矿流体与岩石发生交换时,水/岩比值较小,交换水相对具万方数据

有较稳定的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,可变的 δD 值。因此,在图6中数据点具有垂向分布的趋势。

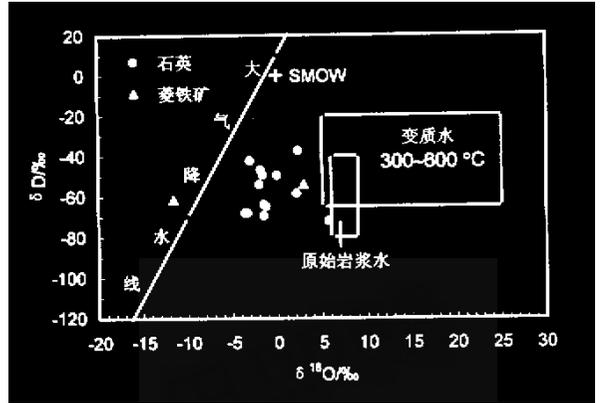


图6 矿床流体包裹体 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 关系图

Fig. 6. $\delta^{18}\text{O}$ - δD diagram of fluid inclusions from the Sawaya 'erdun gold deposit.

3.3 流体包裹体地球化学

3.3.1 流体包裹体特征

在与矿化有关的石英、方解石等矿物中存在大量包裹体。总的特点是,包裹体在石英中较多,而方解石中较少;成矿主阶段石英中包裹体多,而成矿晚阶段石英中包裹体少。石英中包裹体多呈椭圆形、浑圆形和不规则状,大小差异较大,一般为3~15 μm ;方解石中包裹体多呈菱形,个体普遍较小,一般2~6 μm 。

包裹体的类型主要有三种:气液相、液相和富 CO_2 三相包裹体。气液相和液相包裹体均含有液相水和气相水,气相占整个包裹体体积的3%~20%。加热时气相消失成均一液相。富 CO_2 三相包裹体(始溶温度-56~-57.5℃,十分接近于 CO_2 的三相点温度-56.6℃)由液相 CO_2 、气相 CO_2 和盐水组成。 CO_2 相占包裹体体积的5%~75%,变化较大。加热时, CO_2 相多消失,均一成水溶液相,有的包裹体未达到均一程度就已爆裂^[15]。

3.3.2 成矿流体温度

金矿床中矿物包裹体的均一温度为100~290℃(图7)。其中早期无矿石英阶段温度较高(220~290℃),而成矿主阶段和晚阶段石英、方解石的流体包裹体的均一温度均小于220℃,且主要集中在120~210℃之间。叶庆同等^[16]和叶锦华等^[17]的研究也得到类似结论。可见,该矿床

的一个显著特征是低温成矿作用明显。

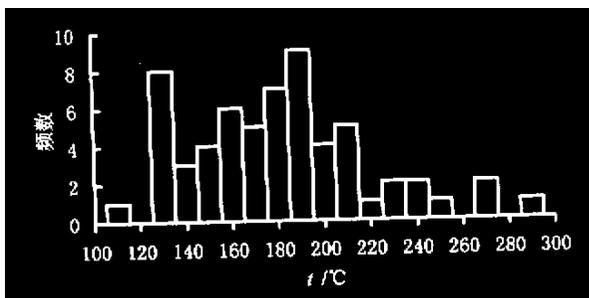


图 7 流体包裹体均一温度直方图

Fig. 7. Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions from the Sawaya 'erduan gold deposit.

3.3.3 成矿流体成分

流体包裹体中气、液相成分分析结果显示,成矿流体中阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主,其次是 Mg^{2+} , K^+ 含量很低, $\text{Na}^+/\text{K}^+ > 5$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} > 1.5 \sim 10$, 高者达 75, $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 1$; 阴离子以 Cl^- 或 HCO_3^- 为主, SO_4^{2-} 、 F^- 含量很低, $\text{F}^-/\text{Cl}^- = 0.0 \sim 0.25$, $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-} > 1$; 气相成分除 H_2O 以外,以 CO_2 为主,含少量的 CO 和 CH_4 。根据气相成分计算得到的氧化还原参数值为 $0.01 \sim 0.81$, 成矿溶液的 pH 值为 $6.6 \sim 7.2$, 盐度 $0.31 \sim 12.08\%$ NaCl 。由此表明,成矿流体为中性-弱碱性的 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 型水。

4 与穆龙套型金矿床的对比

萨瓦亚尔顿金矿床与穆龙套型金矿床具有许多共同特征。① 萨瓦亚尔顿金矿床所处的大地构造位置和区域地质构造条件与邻国穆龙套型金矿床的产出位置^[18, 19]一脉相承,它们所具有的地质结构和成矿特征等均具有可对比性。② 容矿地层是一套典型的浊积岩^[1, 2], 无论是沉积相还是岩性变化特征均与穆龙套型金矿床类似。③ 矿化受破碎带控制, 矿体由含矿石英脉或石英-菱铁矿细脉、网脉组成。脉体中的金属矿物和矿石类型, 与穆龙套金矿床大体一致。④ 矿石中存在众多贱金属硫化物和铋的矿物, 矿物组合与穆龙套金矿床类似, 而异于卡林型金矿床低温矿物组合^[20]。⑤ 萨瓦亚尔顿金矿区 $\text{Au}-\text{As}-\text{Sb}-\text{Hg}-\text{Ag}-\text{Bi}$ 地球化学异常面积大, 元素组合好, 分带清晰^[4], 与穆龙套金矿床的元素组合特征^[21]类似。⑥ 穆龙套金矿床以产出众多明金为特征, 金呈微小包裹体散布于石英和硫化物中, 金的粒度较小(一般万方数据

$0.001 \sim 0.99 \text{ mm}$), 有的呈微细脉产出^[22, 23]。萨瓦亚尔顿金矿床中亦存在众多显微状金和金的细脉, 金分布在石英和毒砂或黄铁矿的压碎部位或其颗粒的边缘。⑦ 萨瓦亚尔顿金矿床的成矿过程与穆龙套金矿床大体相似, 且成矿时代接近或稍晚, 前者为 $207 \sim 231 \text{ Ma}$ ^[18, 24], 后者为 $219 \sim 278 \text{ Ma}$ ^[25, 26]。

尽管如此, 萨瓦亚尔顿金矿床具有独特的一面。主要表现在: ① 成矿温度偏低。前已述及, 萨瓦亚尔顿金矿床除早期无石英阶段温度($220 \sim 290 \text{ }^\circ\text{C}$)较高外, 与成矿有关的石英均一温度均小于 $220 \text{ }^\circ\text{C}$, 且多在 $120 \sim 210 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。但穆龙套金矿床的成矿温度^[21]除第四阶段较低($200 \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$)外, 其它三个成矿阶段均高于 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ (一般为 $220 \sim 350 \text{ }^\circ\text{C}$, 高者为 $500 \sim 410 \text{ }^\circ\text{C}$), 明显高于萨瓦亚尔顿金矿床的成矿温度。② 尽管萨瓦亚尔顿金矿床与穆龙套金矿床均具有 Ag 的高异常特征, 但作为 Au-Ag 类的金矿床而言, 大多具有典型的硒化物, 有的可见碲化物^[27]。穆龙套金矿床中也有硒化物、碲化物产出^[19], 但在萨瓦亚尔顿金矿床中迄今尚未发现硒化物和碲化物。另外, 萨瓦亚尔顿金矿床中还未发现钨的高异常现象, 但可圈出独立的铋矿体。就金的矿物而言, 穆龙套金矿床主要以自然金为主, 金的成色较高, 为 $890 \sim 910$ ^[4], 而萨瓦亚尔顿金矿床则以银金矿为主, 且金的成色多为 $700 \sim 800$ ^[2]。银金矿的形成受元素迁移类型、体系的开放与封闭情况以及在溶液中的沉淀机制等动力学条件的控制^[28]。一般说来, 银金矿主要在低温条件下形成^[29], 但也可以在高温条件下形成^[30]。根据萨瓦亚尔顿金矿床中与银金矿共生石英的均一温度测试显示, 矿床中的银金矿是在低温条件下形成。可见, 萨瓦亚尔顿金矿床的一个重要特点是, 低温成矿特征明显。

致谢: 在野外工作期间, 得到了新疆地质矿产局张良臣、刘德权、王福同三位前、后任总工程师的指导以及新疆第二地质大队罗志凌队长、王进高级工程师等的大力帮助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 田作基. 新疆南天山穆龙套型金矿成矿地质条件及找矿靶区研究[J]. 成都理工学院, 1996, 1~113.
- [2] 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 张寿庭. 我国首例穆龙套型金矿床的发现[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 381~384.
- [3] 李新生, 罗卫东. 中国首例穆龙套型金矿-新疆萨瓦亚尔顿金矿地质特征[J]. 甘肃地质, 1997, 1(1): 62~66.
- [4] 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 新疆穆龙套型金矿的找矿方向[J]. 黄金科学技术, 1998, 6(1): 18~22.
- [5] 刘家军, 郑明华, 龙训荣, 张寿庭等. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床赋矿地层时代的重新厘定及其意义[J]. 科学通报, 1999, 44(6): 653~656.
- [6] 刘家军, 李朝阳, 潘家永, 胡瑞忠, 刘显凡, 张乾. 兰坪-思茅盆地砂页岩中铜矿床同位素地球化学[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 223~234.
- [7] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 周德安. 西秦岭寒武系金矿床中硫同位素组成及其地质意义[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 150~156.
- [8] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposit[J]. *Econ. Geol.*, 1972, 67: 551~578.
- [9] 戴金星. 云南省腾冲县硫磺塘天然气的碳同位素组成特征和成因[J]. 科学通报, 1988, 33(15): 1168~1170.
- [10] 戴金星, 陈英. 中国生物气中烷烃组分的碳同位素特征及其鉴别标志[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(3): 303~305.
- [11] Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestone and fossil[J]. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 1964, 28(11): 1787~1816.
- [12] 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床盆地流体成因模式[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 448~456.
- [13] 刘建明, 刘家军, 顾雪祥. 沉积盆地中流体活动及其成矿作用[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(4): 341~352.
- [14] Clayton R N. High temperature isotope effects in the early solar system[J]. *Reviews in mineralogy*, 1986, 16: 129~139.
- [15] 龙训荣, 郑明华, 张寿庭, 刘家军. 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 973~976.
- [16] 叶庆同, 叶锦华. 新疆萨瓦亚尔顿金矿的成矿机制和成因[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 287~290.
- [17] 叶锦华, 叶庆同, 孟祥金, 王进, 张晓华. 中国西南天山地区穆龙套型金矿成矿地质条件和找矿远景[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 41~42.
- [18] 刘家军, 郑明华, 龙训荣, 张寿庭, 尹怀信. 新疆萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床的确认及其意义[J]. 贵金属地质, 2000, 9(3): 129~132.
- [19] Drew L J and Kurbanov N K. Geology and structural evolution of Muruntau gold deposit Kyzylkum desert, Uzbekistan[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, (11): 175~196.
- [20] Arehart G B. Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposit: a review[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, (11): 383~403.
- [21] Скрибин В Ф 等. 穆龙套金矿床的原生地球化学[J]. 国外地质勘探技术, 1998, (2): 17~23.
- [22] 蔡宏渊, 郑跃鹏, 李福春等. 穆龙套金矿地质考察[J]. 矿产与地质, 1993, 7(6): 408~413.
- [23] 谭克仁. 穆龙套型金矿田超深钻地质研究新进展[J]. 黄金科技动态, 1993, (3): 17~28.
- [24] 叶锦华, 叶庆同, 王进, 吴益平, 杨富全, 傅旭杰. 萨瓦亚尔顿金(银)矿床的地质地球化学特征与成矿机理探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(1), 64~72.
- [25] Заири Н М, Курбанов Н К. Изотопно геохимическая модель рудообразования на рудном поле Мурунтау[J]. *Советская Геология*, 1991, (8): 64~69.
- [26] Иванкин П Ф, и др. Особенности отложения золота и черносланцевых зонах[J]. *Советская Геология*, 1985, (11): 52~60.
- [27] Shimizu T, Matsueda H, Ishiyama D and Matsubaya O. Genesis of epithermal Au-Ag mineralization of the Koryu Mine, Hokkaido, Japan[J]. *Econ. Geol.*, 1998, 93: 303~325.
- [28] Wilkenson J J, Boyce A J, Earls G and Fallick. Gold remobilization by low-temperature brines: evidence from the Curraghinalt gold deposit, Northern Ireland[J]. *Econ. Geol.*, 1999, 94: 289~296.
- [29] Shelton K L, So C S, Haeussler G T, Chi S J and Lee K Y. Geochemical studies of the Tongyoung gold-silver deposits, Republic of Korea. Evidence of meteoric water dominance in a Te-bearing epithermal system[J]. *Econ. Geol.*, 1990, 85: 1114~1132.
- [30] Hagemann S G, Brown P E, Ridley J, Stem P and Fournelle J. Ore petrology, chemistry and timing of electrum in the Archean Hypozonal lode gold deposit, western Australia[J]. *Econ. Geol.*, 1998, 93: 271~291.

METALLOGENIC CHARACTERISTICS OF SAWAYA 'ERDUN GOLD DEPOSIT IN XINJIANG , AND THEIR SIMILARITIES TO AND DIFFERENCES FROM THOSE OF THE MURUNTAU-TYPE GOLD DEPOSITS

Liu Jiajun^{1 2} Zheng Minghua³ Long Xunrong³ Yin Huaixin⁴
Wang Jiangzhen¹ Li Endong¹ Wang Jin⁴

(1. *Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 ;*

2. *State Key Laboratory of Mineral Deposits Research , Nanjing University , Nanjing 210093 ;*

3. *Institute of Mineral Deposits , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 ;*

4. *Geological Team 2 , Xinjiang Bureau of Geology and Exploration , Kashi 844002)*

Abstract : The Sawaya 'erdun gold deposit , discovered at the beginning of 1990 's , is situated in the hinterland of southwestern Tianshan near northwestern Tarim Basin . The deposit is characterized by large reserves , low grade and intense alteration . The deposit occurs in the slightly metamorphosed Upper Carboniferous clastic rock formation characterized by flyschoid . The occurrence of orebodies is strictly restricted within the fractured strata . Sulfides are the dominant ore minerals . Electrum , and , secondly , native gold occur in sulfides unevenly . It is shown that the origin of the deposit is associated mainly with an ancient meteoric hydrothermal convection system . Temperatures range between 110 ~ 210 °C . In the light of the rare earth element distribution patterns and the S , C , Si and Pb isotopic compositions , it is concluded that the ore-forming materials were derived mainly from the country rocks and underlying rocks , partially deeper parts . As for its geological setting , ore-hosted rock , mineral and element paragenesis , or metallogenic mechanism , the gold deposit is pretty similar to the Muruntau gold deposit and can be contrasted completely . But its particularity is low temperature mineralization

Key words : Sawaya 'erdun ; gold deposit ; metallogenic characteristics ; southwestern Tianshan

异同性

作者: [刘家军](#), [郑明华](#), [龙训荣](#), [尹怀信](#), [王奖臻](#), [李恩东](#), [王进](#)
作者单位: [刘家军\(中国科学院,地球化学研究所,矿床地球化学开放研究实验室,贵州,贵阳,550002;南京大学,内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,江苏,南京,210093\)](#),
[郑明华,龙训荣\(成都理工大学,矿床地质研究所,四川,成都,610059\)](#), [尹怀信,王进\(新疆地质矿产局 第二地质大队,新疆,喀什,844002\)](#), [王奖臻,李恩东\(中国科学院,地球化学研究所,矿床地球化学开放研究实验室,贵州,贵阳,550002\)](#)
刊名: [矿物学报](#) **ISTIC PKU**
英文刊名: [ACTA MINERALOGICA SINICA](#)
年,卷(期): 2002, 22(1)
引用次数: 7次

参考文献(30条)

1. [郑明华,刘家军,龙训荣,田作基](#) 新疆南天山穆龙套型金矿成矿地质条件及找矿靶区研究 1996
2. [郑明华,刘家军,龙训荣,张寿庭](#) 我国首例穆龙套型金矿床的发现 1998(z1)
3. [李新生,罗卫东](#) 中国首例穆龙套型金矿—新疆萨瓦亚尔顿金矿地质特征 1997(1)
4. [刘德权,唐廷龄,周汝洪](#) 新疆穆龙套型金矿的找矿方向[期刊论文]-[黄金科学技术](#) 1998(1)
5. [刘家军,郑明华,龙训荣,张寿庭,宋谢炎,谷团](#) 新疆萨瓦亚尔顿金矿床赋矿地层时代的重新厘定及其意义[期刊论文]-[科学通报](#) 1999(6)
6. [刘家军,李朝阳,潘家永,胡瑞忠,刘显凡,张乾,兰坪-思茅盆地砂页岩中铜矿床同位素地球化学](#)[期刊论文]-[矿床地质](#) 2000(3)
7. [刘家军,郑明华,刘建明,周德安](#) 西秦岭寒武系金矿床中硫同位素组成及其地质意义[期刊论文]-[长春科技大学学报](#) 2000(2)
8. [Ohmoto H](#) Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits 1972
9. [戴金星](#) 云南腾冲县硫磺塘天然气碳同位素组成特征和成因 1988(15)
10. [戴金星](#) 中国生物气中烷烃组分的碳同位素特征及其鉴别标志[期刊论文]-[中国科学B辑](#) 1993(3)
11. [Keith M L,Weber J N](#) Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestone and fossils 1964(11)
12. [刘建明,刘家军](#) 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[期刊论文]-[矿物学报](#) 1997(4)
13. [刘建明,刘家军,顾雪祥](#) 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用 1997(4)
14. [Clayton R N](#) High temperature isotope effects in the early solar system 1986
15. [龙训荣,郑明华,张寿庭,刘家军](#) 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床流体包裹体研究 1998(z1)
16. [叶庆同,叶锦华](#) 新疆萨瓦亚尔顿金锑矿的成矿机制和成因 1998(z1)
17. [叶锦华,叶庆同,孟祥金,王进,张晓华](#) 中国西南天山地区穆龙套型金矿成矿地质条件和找矿远景 1998(z1)
18. [刘家军,王进,郑明华,龙训荣,张寿庭,尹怀信](#) 新疆萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床的确认及其意义[期刊论文]-[贵金属地质](#) 2000(3)
19. [Drew L J,Kurbanov N K](#) Geology and structural evolution of Muruntau gold deposit Kyzylkum desert Uzbekistan 1996(11)
20. [Arehart G B](#) Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposit: a review 1996(11)
21. [С к р я б н н в Ф](#) 穆龙套金矿床的原生地球化学晕 1998(2)
22. [蔡宏渊,郑跃鹏,李福春](#) 穆龙套金矿地质考察 1993(6)

23. 谭克仁. 穆龙套型金矿田超深钻地质研究新进展 1993(3)
24. 叶锦华, 叶庆同, 王进. 萨瓦亚尔顿金(银)矿床的地质地球化学特征与成矿机理探讨 1999(1)
25. За и р и н М., К у р б а н о в Н К
И з о т о п н о г е о х и м и ч е с к а я м о д е л ь р у д о г е н е з а н а р у д н о м п о л
е М у р у н т а у 1991(8)
26. И в а н к ц и П Ф., и д р
О с о б е н н о с т и о т л о ж е н и я з о л о т а и ч е р н о с л а н ц е в ы х з о н а х
1985(11)
27. Shimizu T, Matsueda H, Ishiyama D, Matsubaya O Genesis of epithermal Au-Ag mineralization of the Koryu Mine Hokkaido, Japan 1998
28. Wilknsn J J, Boyce A J, Earls G, Fallick Gold remobilization by low-temperature brines:evidence from the Curraghinalt gold deposit Northern Ireland 1999
29. Shelton K L, So C S, Haeussler G T, Chi S J and Lee K Y Geochemical studies of the Tongyoung gold-silver deposits Republic of Korea. Evidence of meteoric water dominance in a Te-bearing epithermal system 1990
30. Hagemann S G, Brown P E, Ridley J, Stem P and Fournelie J Ore petrology chemistry and timing of electrum in the Archean Hypozonal lode gold deposit, western Australia 1998

相似文献(10条)

1. 学位论文 李恩东. 新疆萨瓦亚尔顿(穆龙套型)金矿床物质来源与成矿机制 2004
萨瓦亚尔顿金矿床是我国90年代金矿地质工作者在新疆西南天山地区寻找穆龙套型金矿床的一个突破. 该文通过对新疆萨瓦亚尔顿金矿床的矿石矿物组成、稀土元素地球化学、同位素地球化学以及流体包裹体特征等方面的研究, 探讨了萨瓦亚尔顿金矿床地质地球化学特征、金的赋存状态及成矿流体特征、成矿流体来源, 提出了该矿床的成矿机制.
2. 期刊论文 郑明华, 刘家军, 张寿庭, 龙训荣. 萨瓦亚尔顿金矿床的同位素组成特征及其成因意义 -成都理工大学学报2002, 29(3)
新疆西南天山的萨瓦亚尔顿金矿床, 赋存于中-上石炭统浊积岩系地层中, 矿化受构造破碎带控制, 以含矿的石英(网)脉和含矿的石英-碳酸盐(网)脉形式产出. 矿体呈似层状和透镜状, 矿石的矿物组成和矿石类型复杂, 矿石中金与黄铁矿、毒砂、黄铜矿等硫化物密切共生, 金矿物以银金矿为主. 成矿具多阶段性. 据发现的生物化石和铷-锶同位素, 控矿地层时代为中-上石炭统. 铅和硫同位素组成表明, 成矿物质主要来自于深部较老的地层和岩石; 硅同位素组成显示, 硅质由地层和岩石提供; 氢氧同位素特征显示, 成矿作用乃通过大气降水补给的地下水渗入深部, 经加热循环并溶滤围岩中的矿质, 随后迁移到减压空间和有利岩性层中而成矿. 钾-氩法测定表明, 成矿作用发生于燕山中-晚期. 萨瓦亚尔顿金矿床的众多特征与乌兹别克斯坦穆龙套金矿床的特征极具可比性, 是中国最具典型意义的穆龙套型金矿床.
3. 期刊论文 杜恩社, 陈静, 张能军, DU En-she, CHEN Jing, ZHANG Neng-jun. 西南天山萨瓦亚尔顿金矿地质特征及矿床成因 -资源环境与工程2006, 20(5)
萨瓦亚尔顿金矿床赋存于中-上石炭统含碳碎屑岩建造中, 矿化受构造破碎带的控制, 矿石矿物为黄铁矿、毒砂、黄铜矿等硫化物, 脉石矿物为石英和方解石, 金矿物以银金矿为主. 通过同位素研究表明成矿物质主要来自深部较老的地层, 氢、氧、碳同位素特征显示, 成矿作用主要为大气降水补给的地下水渗入深部, 经加热循环并溶滤围岩中的矿质, 迁移到低压空间和有利岩性层中而成矿. K-Ar同位素表明其成矿时代属燕山中-晚期, 甚至更新, 萨瓦亚尔顿金矿床属于穆龙套型金矿床.
4. 期刊论文 刘家军, 王进, 郑明华, 龙训荣, 张寿庭, 尹怀信. 新疆萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床的确认及其意义 -贵金属地质2000, 9(3)
位于新疆南天山冒地槽褶皱带西段的萨瓦亚尔顿金矿床, 无论其产出地质背景、赋矿岩石、矿化形式、矿物组合及元素组合, 还是成矿作用, 均可与邻国的穆龙套型金矿床进行对比. 它是我国在西南天山发现的首例大规模、低品位, 并具有细脉浸染和蚀变特征的典型穆龙套型金矿床.
5. 会议论文 龙训荣, 郑明华. 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床流体包裹体研究 1998
萨瓦亚尔顿金矿床为国内首例穆龙套型金矿床. 该文对其进行了系统的流体包裹体研究, 结果表明, 该矿床矿物中普遍存在流体包裹体, 且包裹体类型较简单. 包裹体成分显示成矿溶液当属H₂O-NaCl-CO₂体系. Au在溶液中主要呈Au(Hs)²⁺形式迁移. 金的成矿作用主要发生在中-低温(170~220℃)、中浅成(7.0~3.50MPa)、中-低盐度(4.22%~21.78%NaCl)、弱碱性至碱性(pH=7.53~8.51)和弱还原(Eh=-0.272~1.349V)条件下.
6. 会议论文 郑明华, 刘家军, 阳正熙, 张寿庭, 龙训荣. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床成矿的物理化学条件 2002
金矿床赋存于中-上石炭统浊积岩系地层中, 矿体受北东-南西向构造破碎带控制. 金矿体呈似层状和透镜状. 矿石矿物成分复杂, 金主要以银金矿形式产出. 金矿床的形成经历5个成矿阶段, 成矿温度为140~200℃, 成矿压力为7.0~35MPa. 根据实测和理论计算获得的成矿主阶段和晚阶段流体各种物理化学参数表明, 萨瓦亚尔顿金矿床成矿溶液具碱性、低温、还原性、中等盐度和中等密度等性质. 金在溶液中主要以Au(HS)₂⁻形式迁移. 沸腾减压和温度下降是成矿溶液发生卸载的主要机制.
7. 会议论文 龙训荣, 郑明华, 刘家军. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床同位素地球化学特征 2002
萨瓦亚尔顿金矿床为国内首例穆龙套型金矿床. 本文对其进行了较系统的同位素地球化学研究, 铅和硫同位素组成特征

($\delta^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.965\sim 18.348$, $\delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.062\sim 39.029$, $\delta^{34}\text{S}$, CDT)为 $-3.0\%\sim +2.61\%$, 均值为 $+0.05\%$)反映成矿物质主要来自深部较老地层和岩石;硅同位素组成(热液石英的 $\delta^{30}\text{Si}$, NBS)为 $-0.5\%\sim +0.5\%$)表明,矿区内沉积岩和岩浆岩均有可能为成矿流体提供必要的硅质;氢、氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}$, SMOW)为 $-11.57\%\sim +5.73\%$, δD , SMOW)为 $-72.2\%\sim -37.6\%$)特征显示,成矿流体(介质)乃通过大气降水补给的地下水。

8. 会议论文 [张寿庭](#), [郑明华](#), [萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床构造控矿特征](#) 1998

穆龙套型金矿床已成为当今最重要的金矿类型之一;新疆萨瓦亚尔顿盆矿床是中国首例穆龙套型金矿床。研究表明,矿床受一套浊积岩系控制外,构造控矿特征明显:矿带(体)严格沿断裂破碎带产出,并且控矿构造基本格局及其时空演变特征,还相应决定着各矿(化)带的空间展布格局与多阶段矿化组合特征、矿化强度规模等方面的差异性递变规律。

9. 期刊论文 [王玉山](#), [王士元](#), [邓松良](#), [WANG Yu-shan](#), [WANG Shi-yuan](#), [DENG Song-liang](#) [新疆萨瓦亚尔顿金矿床标型矿物特征及金的分布富集规律研究](#) -[矿产与地质](#)2008, 22(5)

萨瓦亚尔顿金矿是新疆地区在西南天山发现的第一个穆龙套型金矿,具有规模大,品位低,矿化均匀的特点。矿石中以Au为主,伴有Ag、Sb。文章通过对该金矿床标型矿物特征、矿石类型、金在矿体中的分布富集规律等研究,提出了寻找该类金矿的找矿标志。

10. 期刊论文 [郑明华](#), [刘家军](#), [张寿庭](#), [龙训荣](#), [萨瓦亚尔顿金矿床成矿地质特征及同位素组成](#) -[地质与资源](#) 2002, 11(3)

西南天山的萨瓦亚尔顿金矿床,赋存于中-上石炭统浊积岩系中,矿化受构造破碎带控制,以含矿的石英细(网)脉和含矿的石英-碳酸盐细(网)脉形式产出。矿体呈似层状和透镜状,矿石的矿物组成和矿石类型复杂,矿石中金与黄铁矿、毒砂、黄铜矿等硫化物密切共生,金矿物以银金矿为主。铅、硅、硫同位素组成表明,成矿物质主要来自深部较老的地层和岩石。氢、氧、碳同位素特征显示,成矿作用乃通过大气降水补给的地下水渗入深部,经加热循环并溶滤围岩中的矿质,迁移到减压空间和有利岩性层中而成矿。成矿时代属燕山中-晚期。

引证文献(10条)

1. [马华东](#), [涂其军](#), [张玉萍](#), [夏国彬](#) [新疆天山成矿带金矿床特征及可持续发展](#) [期刊论文] -[资源环境与工程](#) 2008(02)

2. [王科强](#), [李汉光](#), [王春宏](#) [我国黄金矿产资源特点、勘查进展与可持续发展建议](#) [期刊论文] -[资源与产业](#) 2006(04)

3. [杨富全](#), [毛景文](#), [王义天](#), [赵财胜](#), [叶会寿](#), [陈文](#) [新疆萨瓦亚尔顿金矿床年代学、氢氧同位素特征及其地质意义](#) [期刊论文] -[地质论评](#) 2006(03)

4. [杨富全](#), [毛景文](#), [王义天](#), [李蒙文](#), [叶会寿](#), [叶锦华](#) [新疆西南天山萨瓦亚尔顿金矿床地质特征及成矿作用](#) [期刊论文] -[矿床地质](#) 2005(03)

5. [李明艳](#) [海南抱伦金矿的地质特征及成因探讨](#) [学位论文] 硕士 2005

6. [杨富全](#) [西南天山金矿成矿条件及成矿机制](#) [学位论文] 博士 2005

7. [刘家军](#), [李恩东](#), [龙训荣](#), [郑明华](#), [王奖臻](#) [新疆布隆金矿床的成矿特征与成矿时代](#) [期刊论文] -[地质与勘探](#) 2004(05)

8. [刘家军](#), [李恩东](#), [龙训荣](#), [郑明华](#), [王奖臻](#), [桑海清](#) [西南天山大山口金矿床中石英 \$^{40}\text{Ar}\$ - \$^{39}\text{Ar}\$ 快中子活化年龄及其意义](#) [期刊论文] -[吉林大学学报\(地球科学版\)](#) 2004(01)

9. [鲍庆中](#) [大山口穆龙套型金矿床及其找矿意义](#) [学位论文] 博士 2004

10. [刘家军](#), [龙训荣](#), [郑明华](#), [李恩东](#), [王奖臻](#), [桑海清](#), [尹怀信](#) [新疆萨瓦亚尔顿金矿床石英的 \$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}\$ 快中子活化年龄及其意义](#) [期刊论文] -[矿物岩石](#) 2002(03)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_kwxb200201010.aspx

下载时间: 2009年12月15日