新疆萨瓦亚尔顿金锑矿的成矿机制和成因*

叶庆同[1] 叶锦华[2]
（中国地质科学院，北京：1 矿床地质研究所 2 区划室）

提 要：萨瓦亚尔顿金锑矿床是我国南天山造山带中的 1 个大型穆龙套型金矿，赋存于上志留统碳质千枚岩层中，受韧性剪切带控制，主成矿时代为 231×10^6 a。其成矿机制和成因研究表明，成矿流体由大气降水与岩浆水混合组成，成矿温度 75～310℃，成矿压力为 250～350 MPa，盐度 3.2%～10.3%NaCl；成矿物质部分萃取自含矿围岩，部分来自深源，成矿的物理化学条件变化是矿石堆积的重要原因。在此基础上，与穆龙套和库姆托尔金矿进行了类比。

关键词：金锑矿 成矿机制 成因 萨瓦亚尔顿 新疆

萨瓦亚尔顿金锑矿床是新疆地勘局第二地质大队近年来发现和探明的一个大型穆龙套型金矿[1]，受到国内外矿床学家的关注。通过三年多的研究，作者认为它是一个受碳质千枚岩和韧性剪切带控制的多期成矿的热液充填交代矿床，与穆龙套金矿相比有许多共同之处，但是也有明显的差异。

1 矿床地质概况

萨瓦亚尔顿矿床位于南天山晚古生代陆缘盆地西段，即阿赖复向斜中。赋矿地层为上志留统罗德洛阶，由浅变质的白云质和碳质细碎屑岩与泥质岩互层组成，具有完整和不完整鲍马序列，最常见的是 ABC 组合，有时可见 ABCD、BCD 和 BC 组合，总体表明是浊流环境下的产物。矿区内断裂发育。阿热克托如克和依尔克什坦两条大断裂联合控制了矿床的产出，在它们之间发育了一系列近于平行的层间断裂和韧性剪切带。后者，走向北北东，倾向北西西，倾角 70°～80°，一般长数百米到数千米，宽数米到数十米，控制了金锑矿化带的产出和分布。矿区内无大的岩浆岩体出露，仅有少量基性和酸性岩脉分布（图 1）。

目前已发现 24 条矿带。其中，Ⅳ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅵ号为主要矿带。Ⅳ号矿带研究最详细，长在 4000 m 以上，宽数十至百余米，工程已控制了 5 个矿体。Ⅳ号矿体最大，呈似层状，长 3870 m，平均厚度 16.80 m，品位为 1.22～3.75 g/t，矿体中下部共生厚度 2～4 m 的透镜状锑矿，锑品位为 0.59%～3.26%。围岩蚀变不强，主要为硅化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化、毒砂化，局部绿泥石化。矿石分三类：一类是含硫化物石英细脉、网脉和浸染的蚀变碳质千枚岩，另一类是含硫化物细脉、网脉、浸染和团块的硅化粉砂岩，第三类是块状锑金矿。金矿石中金属矿物含量一般少于 10%，主要有黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、辉锑矿和脆硫锑铅矿，微量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、银金矿、自然金等。根据赋矿构造

* 地质矿产部定向研究课题（编号地科定 95-23）的部分内容
叶庆同，男，64 岁，研究员，长期从事金属矿床地质和成矿规律研究。邮政编码：100037

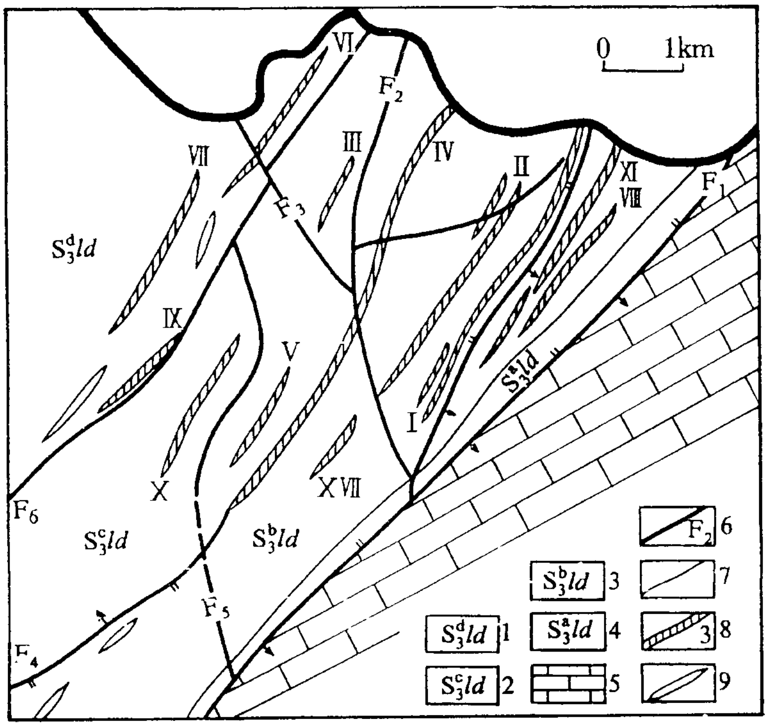

图 1 萨瓦亚尔顿金锑矿床地质略图

1～4—上志留统罗德洛阶：1—d 段；2—c 段；3—b 段；4—a 段；5—中志留统温洛克阶；6—断裂和韧性剪切带及编号；7—地质界线；8—矿带（宽度夸大表示）；9—基性和酸性岩脉（夸大表示）

演化、各种矿脉的特征和穿插关系，可分出 4 个主要成矿阶段：①（碳酸盐-）石英阶段；② 金-石英阶段，包括毒砂-黄铁矿-石英亚阶段和硫化物-硫锑盐-石英亚阶段；③ 锑-石英阶段；④ 石英-碳酸盐阶段。

2 成矿机理分析

2.1 流体包裹体温压地球化学特征

各阶段石英脉中流体包裹体均多而小，一般在 1～8 μm 左右，呈椭圆形、圆形和滴状等。它们可以分为气液相、液相和富 CO_2 的多相包裹体，其中以气液相包裹体为主，气液比 10%～20%（早阶段）至 6%～7%（晚阶段）。

流体包裹体均一温度为 75～310℃，早阶段在中温条件下成矿，晚阶段在中—低温或低温条件下成矿。

根据气液包裹体冰点估算流体盐度：石英阶段为 2.6%～5.1%NaCl；金-石英早阶段为 3.2%～6.4%，晚阶段为 3.7%～9.5%；锑-石英阶段为 5.8%～10.3%；石英-碳酸盐阶段为 4.2%～9.8%；即从成矿早阶段到晚阶段，流体盐度有不断增大趋势。从 NaCl-H_2O 体系的盐度-密度-温度图解上可以看出，从成矿早阶段到晚阶段，随流体盐度不断增大，流体的密度也不断增大，由 0.790 g/cm^3 增至 0.975 g/cm^3。

利用多相包裹体的气相和石盐子晶消失温度，在 p-t-V 图解[2]中估算成矿压力：石英阶段为 110～130 MPa；金-石英早阶段为 300～350 MPa，晚阶段为 280～300 MPa；锑-石英阶段为 250～300 MPa，石英-碳酸盐阶段为 80～100 MPa。

流体成分以 Na^+、Cl^-和 CO_2 为主，金-石英阶段的流体成分要比石英阶段复杂，总体上属 Cl^--SO_4^{2-}-Na^+-K^+型。

流体包裹体氢氧同位素组成：δD 为 －83.8‰～－58.7‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$为 －7.74‰～－6.41‰❶，表明流体水的性质近于在大气降水。由于成矿作用是在地壳深部发生的，大气

❶ 中国地质科学院矿床地质研究所分析

降水深循环时，在沿途必然要和围岩发生水岩反应，现在获得的 δD 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$值是水岩反应后的特征值，可以推想流体水的 $\delta^{18}O$ 值比现在的数值大，很可能是混有循环大气降水的岩浆水。

2.2 稳定同位素地球化学和成矿物质来源

（1）硫同位素组成和硫来源：矿石的 $\delta^{34}S$ 值变化在 $-2.2‰\sim1.3‰$之间，接近于0（图2），而且 $\delta^{34}S_{毒砂}>\delta^{34}S_{黄铁矿}>\delta^{34}S_{辉锑矿}$，硫化物间存在硫同位素平衡迹象。根据矿物共生组合推断，流体的 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$值应介于 $-0.3‰\sim-0.2‰$之间，不同于沉积矿床，硫可能来自深部岩浆活动。

（2）铅同位素组成和铅来源：矿石铅同位素组成比较稳定：$^{206}Pb/^{204}Pb=18.012\sim18.203$，$^{207}Pb/^{204}Pb=15.470\sim15.639$，$^{208}Pb/^{204}Pb=38.062\sim38.464$❶，为单阶段演化的正常铅，与围岩中的分散铅同位素组成基本上一致，表明它们有着共同的铅来源，即以壳源为主。

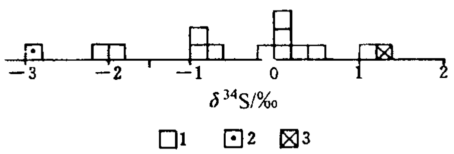

图2 萨瓦亚尔顿矿床硫化物的硫同位素组成直方图

1—黄铁矿；2—辉锑矿；3—毒砂

（3）碳氧同位素组成和碳的来源：流体包裹体成分中 $CO_2/(CO+CH_4)>4$，即碳主要以 CO_2 形式存在。流体包裹体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$为 $-8.69‰\sim-2.35‰$，$\delta^{18}O_{CO_2}$为 $14.5‰\sim24.2‰$，与沉积成因碳酸盐的特征明显不同，趋向于热液成因。

3 成矿时代讨论

碳酸盐石英脉的 Rb-Sr 法等时线年龄为$(389\pm42)\times10^6$ a，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值为 $0.71607\pm0.00020$❶，与赋矿围岩上志留统的时代相近，可能是变质热液的产物。硫化物石英脉的 Rb-Sr 法等时线年龄为$(231\pm10)\times10^6$ a，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值为 0.71643 ± 0.00020，与赋矿围岩时代晚志留世相差甚远，可能表明主成矿作用发生在海西晚期，与穆龙套金矿主成矿时代 $258\times10^6\sim278\times10^6$ a[3]相近。

4 矿床成因讨论

由于区域是一个金地球化学高背景值区，下部古生界，特别是元古界，金的丰度值更高，为成矿创造了有利的物质前提。矿石铅同位素组成从一个侧面暗示了部分成矿物质与下部古生界或元古界的密切关系。上志留统金丰度为 1.3×10^{-9}，矿区内其丰度降低为 0.6×10^{-9}。以贫化面积 50 km^2、厚 1 km 计算，淋滤带出的金达 95 t。这可能暗示了部分金来源于围岩和深部已克拉通化的地壳。

矿区内虽然没有发现规模较大的岩浆侵入活动，但是见有基性和酸性岩脉，在穆龙套矿田深部见花岗岩体，说明地壳深部存在岩浆房，有可能为成矿提供热源和成矿物质。矿石

❶ 由中国地质科学院同位素地质研究与测试中心（宜昌）分析

硫、碳同位素组成支持了这一推断。

成矿流体属于下渗循环大气降水与岩浆水的混合流体，脉动式地进入韧性剪切带中张裂构造，盐度和矿化度随成矿温度降低而增大，在中低温时具有卤水性质。

矿体受一组早期为韧性、中晚期为脆性的剪切带控制。韧性剪切可能发育于海西晚期，脆性变形叠加发生稍晚。断裂活动和演化，可以为成矿提供热能，也可促进地层中某些成矿物质活化、迁移和富集。

因此，萨瓦亚尔顿矿床是一个热液充填交代型矿床。矿石堆积的重要原因是物理化学条件迅速变化。成矿温度和压力变化，碳质岩层产生的还原环境和对金的吸附作用，上升流体与下渗流体的汇合等，都是成矿流体卸载的重要原因。

萨瓦亚尔顿矿床与乌兹别克斯坦穆龙套金矿和吉尔吉斯斯坦库姆托尔金矿类比如表 1 所示。

表 1 萨瓦亚尔顿金锑矿与穆龙套金矿、库姆托尔金矿对比表

特征 / 矿床	萨瓦亚尔顿	穆龙套	库姆托尔
成矿环境	产于南天山晚古生代陆缘盆地的东阿赖复向斜中	产于南天山晚古生代陆缘盆地北缘古陆(克齐尔库复背斜)中	产于中天山早古生代岛弧带的博尔什肯复背斜中
赋矿地层	上志留统罗德洛阶细碎屑岩建造，赋矿岩性为碳质千枚岩	上元古宇塔斯卡兹冈组变质碳质细碎屑岩建造，赋矿岩性为碳质千枚岩	里菲群变质碎屑岩建造，赋矿岩性为碳质千枚岩
控矿构造	北北东向顺层韧性剪切带	东西向缓倾斜褶皱与层间陡倾斜劈理带结合，叠加北东向和北西向断裂破碎带	东西向顺层破碎带
侵入岩	矿区内仅见少量中基性和酸性岩脉	矿区内发育海西晚期酸性和基性岩脉，深部有隐伏花岗岩体	矿区内无侵入岩出露
矿体特征	目前已发现 24 条矿带，矿体呈层状、似层状和透镜状，由含金细脉和网脉组成，产状与地层产状基本一致，规模很大	矿体呈层状和大脉。层状矿体由细脉和网脉组成，具有多层，产状与地层产状一致；大脉斜切地层；规模巨大	矿体呈层状，有 3 层，由细脉和网脉组成，走向与地层走向一致，倾向与地层有一定交角，规模巨大
围岩蚀变	硅化、绢云母化、毒砂化、黄铁矿化、碳酸盐化	硅化、绢云母化、绿泥石化、电气石化、铁白云石化	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化
矿石特征	矿石分金矿石和锑金矿石。金矿石中硫化物含量一般少于10%，硫化物、砷化物、硫锑盐种类繁多，金品位低，一般 1～3 g/t。锑金矿石中硫化物含量高，主要为辉锑矿和脆硫锑铅矿，锑品位高	矿石类型简单，硫化物含量少于10%，金品位 3～5 g/t，大脉中金品位高，一般 5～10 g/t	矿石类型简单，硫化物含量高，30%～60%，主要为黄铁矿，金品位高，一般 5～10 g/t
金属类型	Au-Sb	Au	Au
主成矿时代	231×10^6 a	258×10^6～278×10^6 a	

参 考 文 献

1 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. 甘肃地质学报，1997，6(1)：62～66.

2 Леммлейн Г Г, Клевцов П В. Соотнощенця термодинамических параметров *P-T-V* для воды и 30%-х водных растворов NaCl. Зап. Всес. Мин. Общ., 1956, ч LXXXV, (4).

3 Иванкцн П Ф и др., Особенности отложения золота и черносланцевых зонах. Сов. геология, 1985, (11): 52～60.