

南天山萨恨托亥—大山口一带穆龙套型 金矿床地质及地球化学特征^{*}

孟祥金¹⁾ 叶锦华²⁾ 王立本³⁾

(1) 宜昌地质矿产研究所; 2) 中国地质调查局, 北京;
3) 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

摘 要 南天山中段萨恨托亥—大山口成矿带内的金矿赋存在浅变质浊积岩系碎屑岩内。本文以该带内 2 个典型金矿——大山口金矿和萨恨托亥金矿为例, 对其成矿特征进行了初步研究。研究表明, 金矿体受韧—脆性剪切带控制, 产状稳定, 矿石类型简单, 硫化物种类单一且含量较低。成矿可分为糜棱岩阶段和石英脉阶段, 与控矿的韧—脆性剪切带的发展演化各阶段相对应。成矿发生于中低温条件下弱酸性向中性环境过渡阶段, 成矿流体是以深源流体(含岩浆热液)为主的多源混合热液(构造热液)。成矿作用为构造成岩成矿(韧性剪切带成矿), 矿床成因类型为(构造)热液型金矿, 成矿特征与穆龙套金矿类似。

关键词 穆龙套型金矿床 浊积岩 地质地球化学 萨恨托亥—大山口 南天山

位于我国南天山中段的萨恨托亥—大山口成矿带与世界上重要的金矿之一——乌兹别克斯坦的穆龙套超大型金矿同处于南天山构造带^[1-5]。近几年来在该成矿带内发现了一些金矿, 初步工作表明其成矿条件和成矿特征与穆龙套金矿相似, 属穆龙型金矿。本文以该成矿带内规模较大、矿化较好的大山口和萨恨托亥 2 金矿为例来阐述带内金矿的成矿特征。

1 区域地质背景

萨恨托亥—大山口成矿带位于南天山构造带中段塔里木板块北缘南天山晚古生代陆缘盆地萨阿尔明复背斜中。区内广泛出露晚志留世—中泥盆世的浅变质碎屑岩系。主要赋矿地层为下志留统—上泥盆统大山口组; 地层总体呈 NW 向带状展布(图 1)。主要岩性为绿泥石绢云母细砂岩、绢云母千枚岩化泥质粉砂岩、变质砂岩夹含炭质砂岩、砂质砾岩和灰岩透镜体。地层结构总体由下部的砂岩、细砂岩夹砾岩与上部的泥质砂岩、粉砂质泥岩 2 单元互相叠置而成, 各具有由下而上岩石粒级逐渐变细的特点。大山口组内的碎屑岩石粒度分析表明, 其形成于浊流—半深海弱还原环境^①。岩石发生了不同程度的区域变质, 变质程度达到绿片岩相和低绿片岩相。地层受区域动力变质作用而发生面理的构造置换。

萨恨托亥—大山口成矿带内构造复杂, 断裂十分发育, 总体走向为 NW、NNW 向。断裂性质复杂, 多呈压扭性。成矿带内韧性剪切带发育, 其产状与区域构造方向一致, 是区内重要的金矿控矿构造。比较典型的韧性剪切带为大山口韧性剪切带和萨恨托亥韧性剪切带,

^{*} 国家 305 科技攻关项目(编号 96-915-04-03)资助

第一作者: 孟祥金, 男, 1966 年生, 硕士, 从事矿床学研究, 邮编: 443003

① 郑明华等, 新疆南天山穆龙套型金矿床成矿地质条件及找矿靶区研究报告, 1996

具有韧-脆性变形特征。它们分别控制了大山口金矿和萨恨托亥金矿的产状、规模及矿化特征。成矿带内金成矿作用与韧-脆性剪切带具有成生联系^[6]。

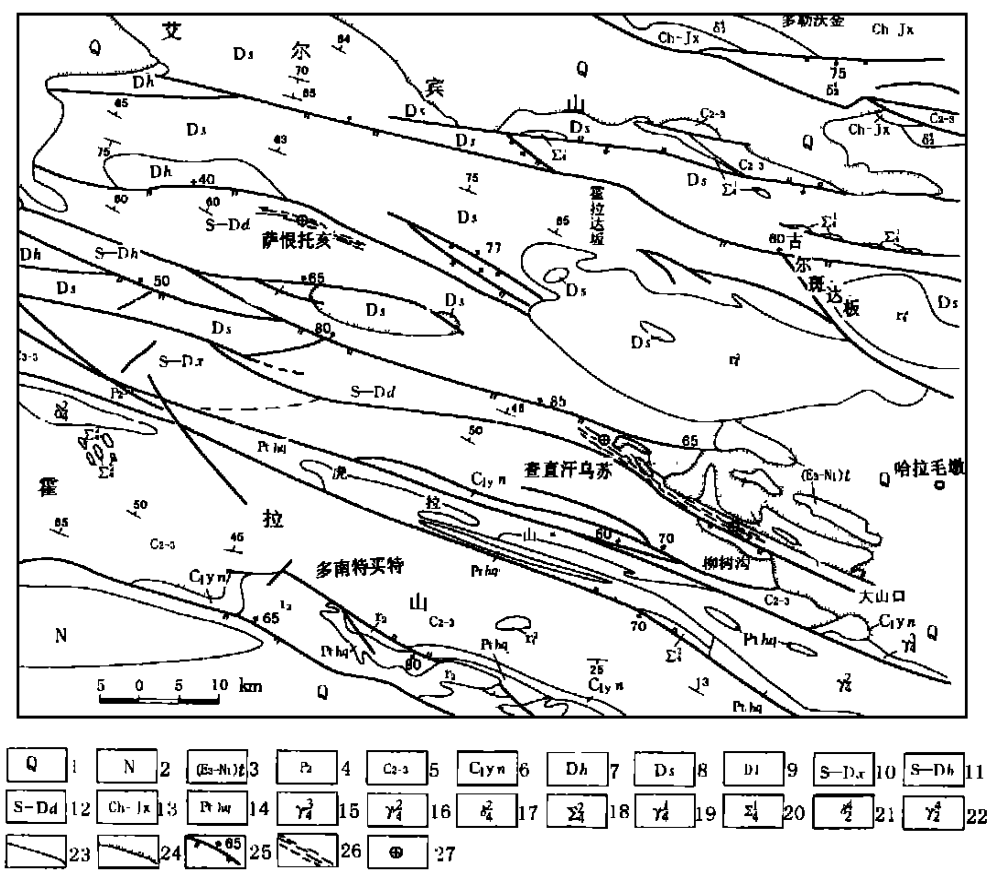


图 1 萨恨托亥-大山口成矿带区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Sahentuohai-Dashankou metallogenical province

(据新疆地质三队 1995 年资源改编)

1—第四系; 2—上第三系; 3—渐新统一中新统桃园组; 4—二叠系上统; 5—中上石炭统卡拉达坂群; 6—下石炭统野云沟组; 7—泥盆系哈加尔布拉克组; 8—泥盆系萨阿尔明组; 9—泥盆系柳树沟组; 10—志留-泥盆系夏哈勒恩郭勒组; 11—志留-泥盆系呼斯坦希力组; 12—志留-泥盆系大山口组; 13—长城—蓟县系; 14—元古宙霍拉山群; 15—海西晚期花岗岩; 16—海西中期花岗岩; 17—海西中期闪长岩; 18—海西中期超基性岩; 19—海西早期花岗岩; 20—海西早期超基性岩; 21—元古宙闪长岩; 22—元古宙花岗岩; 23—地质界线; 24—不整合界线; 25—断层; 26—韧性剪切带; 27—金矿床

成矿带内岩浆岩不发育, 于大山口北部出露规模较大的海西早期钾长花岗岩和二长花岗岩。大山口及其南侧出露规模不大的浅成侵入岩体, 岩性为闪长岩、石英斑岩和英安斑岩。它们是海西晚期造山后期构造活动的产物。大山口矿区内的金矿即产生在英安斑岩体内外接触带中(图 2)。

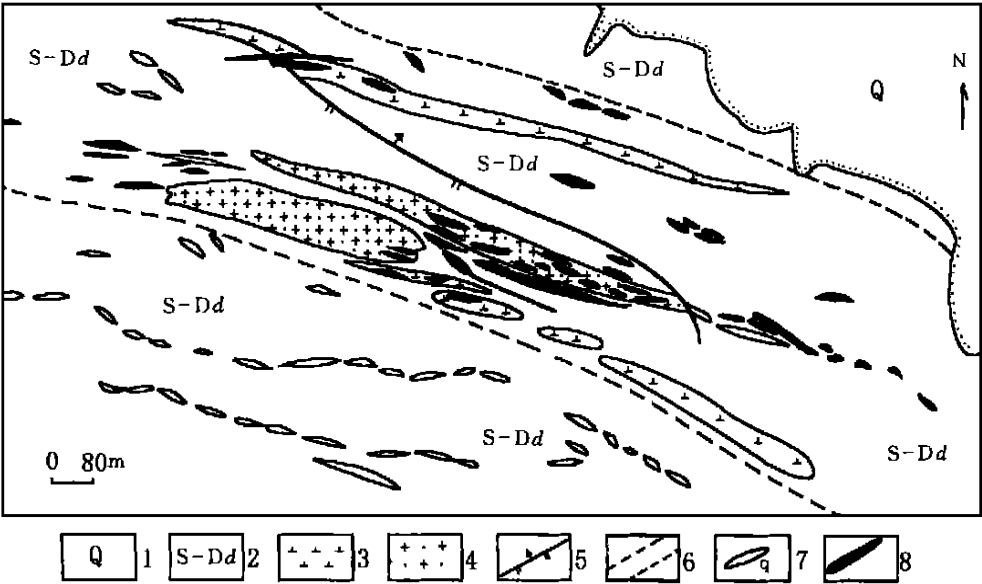


图 2 大山口金矿地质略图

Fig. 2 The geological sketch of Dashankou gold deposit

(据新疆地质三队资料修编)

1—第四系; 2—志留-泥盆系大山口组; 3—闪长岩; 4—英安斑岩; 5—断层

6—韧性剪切带界线; 7—石英脉; 8—金矿体

2 控矿韧性剪切带特征

控矿韧性剪切带呈 NW 向线状分布,长几十公里,宽几百米至 2 km。宏观上表现为强片理化带、糜棱岩带。韧性剪切带内主要发育面理和褶皱构造。①面理:韧性剪切带为强片理化带,发育多种面理,以 *S*、*C* 面理为主。*S* 为剪切带内面理,*C* 面理即糜棱面理,大致平行于剪切带边界;②褶皱构造:在大山口韧性剪带内较为发育,以揉流褶皱为主,多为 b 型褶皱, a 型少见。石英脉因塑性变形而呈拉断的蛇曲状;③膝折构造:为韧性剪切带中较发育的另一种褶皱类型,系剪切构造发展晚期的一种构造。在大山口韧性剪切带内常见。可分为对称和不对称 2 种型式,是不同应力作用的结果;④剪切裂隙和脆性断裂:剪切裂隙为石英或碳酸盐石英脉充填,规模不大,多斜列平行排布。脆性断裂为韧性剪切后期产物,带内充填构造片岩、碎裂岩、糜棱岩透镜体及石英脉。

韧性剪切带内的糜棱岩发育各种粒内变形显微构造,如波状消光、机械双晶、变形纹、扭折带、粒内显微破裂、核幔结构、重结晶及亚晶粒、拔丝构造、石英条带、山羊须构造、沙钟构造、压力影构造、显微石香肠、碎斑异向剪切、不对称眼球状构造、碎裂构造等。

根据剪切带内变形所产生的宏观与微观显微构造中的相应指向构造,判别出萨恨托亥韧性剪切带为一左行脆-韧性剪切带,大山口韧性剪切带为右行脆-韧性剪切带。

对韧性剪切带中糜棱岩内动态重结晶石英的粒度统计测定,应用有关古差应力值计算

公式 $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = Ad^{-m}$ (A 量纲常数; d 颗粒平均粒度; 单位为 μm ; m 常数), 得出大山口韧性剪切带的古差应力平均值为 $0.1763 \sim 0.1973 \text{ GPa}$ (表 1)。郑明华等^①通过对糜棱岩中石英位错密度的分析, 得出萨恨托亥韧性剪切带古差应力值为 123.70 MPa 。大山口韧性剪切带的应变强度比萨恨托亥韧性剪切带的高。根据大山口韧性剪切带内充填于剪切裂隙中的碳酸盐-石英细脉内发育的细小纤维脉的生长方向判定, 早期主应力方向为 $\text{NNE}10^\circ$, 晚期转化为 $\text{NNE}40^\circ$ 。

萨恨托亥-大山口成矿带内控矿的韧性剪切带的发展大致可分 3 阶段, 并且各阶段具有相应的矿化作用: 早期韧性变形阶段, 形成糜棱岩系列岩石, 构造变形呈韧性特点, 如形成面理、旋转碎斑系和剪切褶皱等。矿化作用表现为含金糜棱岩呈似层状、脉状分布于糜棱岩带之中, 矿石为浸染状; 中期韧-脆性变形阶段, 形成一系列剪切裂隙、膝折、剪切透镜体等。含金的石英细(网)脉状矿石沿细小的剪切裂隙产出; 晚期为脆性变形阶段, 产生脆性断裂。金矿化石英大脉充填于脆性构造中, 矿石具脉状构造。

表 1 大山口剪切带古应力差值计算表

Table 1 The paleostress in Dashankou ductile shear zone

样号	岩性	粒数/颗	平均粒度 $d/\mu\text{m}$	差应力 $\Delta\sigma/\text{GPa}$		备注
				a	b	
I DB10	糜棱岩化砂岩	100	46.45	0.1639	0.1785	a: $\Delta\sigma = 1.1 d^{-0.5}$, Post. 1973 b: $\Delta\sigma = 4.0 d^{-0.81}$, Mercier. 1976
I DDB12	糜棱岩	120	31.6	0.1957	0.2439	
平均			41.07	0.1763	0.1973	

3 矿床地质特征

3.1 矿化特征

大山口金矿和萨恨托亥金矿均赋存于大山口组内, 围岩为浅变质的碎屑岩。金矿体产于韧性剪切带中, 产状与韧性剪切带一致。

矿体多呈群带、密集脉带状产出, 单矿体以脉状、似层状为主, 少量呈不规则状、透镜状、鞍状、豆荚状。矿体沿走向和倾向具尖灭再现、侧现及平行分布特点。单矿体长度一般几十米至 200 多米, 平均厚几十厘米到 2 米余。

矿石类型分石英脉型和糜棱岩型, 以糜棱岩型为主。石英脉型矿石具块状、碎裂状、网纹状构造, 半自形粒状变晶结构, 主要矿物为石英, 有少量的铁白云石, 微量金属硫化物, 呈粒状、细粒集合体分布于石英矿物间或微裂隙中。石英脉型矿体矿化不均匀。矿石金品位一般 $1 \sim 10 \mu\text{g/g}$ 。糜棱岩型矿石具鳞片变晶结构、糜棱结构、碎裂结构, 细脉状构造、块状构造。沿糜棱面理有少量的含黄铁石英细脉和细粒状黄铁矿、黄铜矿集合体细脉分布。黄铁矿呈浸染状、豆荚状、细脉状产出。糜棱岩型矿石含金 $1 \sim 7 \mu\text{g/g}$ 。矿物成分以石英、绢云母、铁白云石、方解石为主, 极少量的黄铁矿、黄铜矿、方铅矿。由糜棱岩型矿石组成的矿体产状稳定, 厚度 $1 \sim 3 \text{ m}$, 长几十米至几百米。糜棱岩型矿石与围岩不易区别, 多由化学分析结果来圈定矿体。

① 郑明华等, 新疆南山穆龙套型金矿床成矿地质条件及找矿靶区研究报告, 1996

3.2 围岩蚀变

围岩蚀变有硅化、绢云母化、铁白云石化和方解石化、高岭土化。硅化分布于糜棱岩带内, 强化地段形成石英细脉、网脉带, 与金矿化十分密切。绢云母化广泛出现于含矿的剪切带内, 金矿化强的地段绢云母化也强。铁白云石化呈条带状分布, 多形成铁白云石化岩石, 与金矿化关系密切。方解石化为矿化后期蚀变, 以含少量石英的方解石脉形式出现。高岭土化在大山口矿区见及, 产于岩体内及其附近的金矿脉体旁侧, 出现强烈的高岭土化蚀变。

大山口和萨恨托亥 2 矿区均发育石英脉和石英碳酸盐脉, 可分 3 期: 早期为地层内石英脉, 受区域变质作用和剪切变形作用而呈透镜状、肠状、蛇曲状, 厚度几厘米至几米, 长几米至几十米。石英呈褐色、致密块状, 含少量的碳酸盐(方解石)矿物。弱或无金矿化; 中期为韧性变形产物, 呈网脉状、细脉状和大脉状分布于韧性剪切带之中。脉体主要成分为石英, 有少量的绢云母、黄铁矿、铁白云石, 系主要的含金地质体; 晚期为含石英的碳酸盐脉, 细脉脉, 长几十米, 金矿化无或弱。

3.3 成矿阶段

根据含金脉体的地质特征和它们之间的关系, 区内金成矿可划分 2 个阶段:

第 1 阶段: 含金糜棱岩阶段。形成糜棱岩型矿石, 含金糜棱岩中有大量的细网脉状石英, 主要矿物组合为石英+黄铁矿+黄铜矿+铁白云石+金。石英呈烟灰色、浅灰色。本阶段矿化范围较大但强度不高, 是区内金主要矿化阶段。

第 2 阶段: 含金石英脉阶段。形成石英脉型矿石, 主要矿物组合为石英+黄铜矿+黄铁矿(褐铁矿)+方解石+金。石英呈灰白色、块状。本阶段金矿化强度较大但不均匀, 且规模有限。

4 矿床地球化学特征

4.1 流体包裹体基本特征

对大山口和萨恨托亥 2 矿区的含金糜棱岩、含金石英脉和萨恨托亥矿区地层内区域变质形成的早期石英分别进行的石英流体包裹体研究表明: 萨恨托亥矿区地层内区域变质成因石英脉中石英流体包裹体数量不多, 呈不规则状不均匀分布, 大小为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$, 以液相包裹体为主; 含金糜棱岩中石英流体包裹体丰富, 个体较小, 大小为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$, 呈不规则状, 椭圆状、圆滴状分布, 以液相包裹体为主, 少量的气相包裹体和含 CO_2 多相包裹体。液相包裹体气液比 $15\% \sim 30\%$; 含金石英脉的石英中流体包裹体较多, 以原生包裹体为主, 少量的次生包裹体, 大小为 $1 \sim 5 \mu\text{m}$, 个别为 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 。包裹体形态为椭圆状、滴状、板片状、负晶形、四边形及不规则状。原生包裹体中液相包裹体占主导, 气液比 $10\% \sim 30\%$, 最高达 65% 。

4.2 成矿温度

从各成矿阶段含金岩石石英中的原生流体包裹体测得均一温度(表 2)。萨恨托亥矿区地层内的石英脉, 其流体包裹体均一温度 $230 \sim 350^\circ\text{C}$, 峰值 310°C , 与区域变质相形成的温度条件一致。含金糜棱岩石英流体包裹体均一温度变化比较大, $260 \sim 460^\circ\text{C}$, 其中可以分为 $410 \sim 460^\circ\text{C}$ 和 $260 \sim 320^\circ\text{C}$ 2 个温度段。含金石英脉的石英流体包裹体均一温度为 $170 \sim 340^\circ\text{C}$, 温度分布较为连续, 这种含金石英脉形成于连续的降温过程中。

表 2 萨恨托亥及大山口金矿石英流体包裹体均一温度测定结果

Table 2 Homogenization temperature of quartz fluid inclusions in Sahentuohai and Dashankou gold deposit

矿区	成矿阶段	测定点数/个	温度变化范围/℃	平均值温度/℃	峰值温度/℃
萨恨托亥	金-石英脉	39	170~340	251	220、290
	金-糜棱岩	17	260~460	344	280、440
	早期石英脉	26	230~350	309	310
大山口	金-石英脉	36	150~380	250	190、280、320、
	金-糜棱岩	27	170~430	316	260、400

大山口矿区含金糜棱岩石英流体包裹体均一温度为 170~430℃, 主要在 200~350℃ 和 320~430℃ 区间。含金石英脉石英流体包裹体均一温度为 150~380℃, 有 3 个高峰区间: 150~240℃, 260~300℃ 和 200~350℃。说明石英脉是流体多次作用形成的, 即形成具有脉动性特点, 金矿化相伴于其中。

据卢焕章等^[7]压力校正图表得温度校正值 $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$, 据此得出大山口金矿成矿温度为 170~450℃, 萨恨托亥金矿成矿温度为 190~370℃。从含金糜棱岩和含金石英脉中石英流体包裹体形成的均一温度分布区间的重叠和连续性特点可知, 金矿化在糜棱岩形成时就已开始, 矿化主要发生在韧性剪切带由韧性向脆性转换过程中的中低温环境。

4.3 成矿流体盐度、密度和成矿压力

从含矿岩石的石英液相流体包裹体测得冰点得出流体盐度, 并计算出相应的流体密度和压力(表 3)。成矿流体具低盐度[$w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) < 10\%$], 低密度特点。萨恨托亥矿区含矿流

表 3 萨恨托亥及大山口金矿成矿流体盐度、密度及成矿压力

Table 3 Salinity, density and pressure of ore-forming fluid in Sahentuohai and Dashankou gold deposit

矿区	成矿阶段	冰点/℃	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	压力/MPa
萨恨托亥	金-石英脉	0.5	0.85	0.6989	9.4
	金-糜棱岩	-4.5~6.5	7.25~9.9	0.5611~0.8625	6.4~32.2
	早期石英脉	-5.4	8.5	0.7667	11.5
大山口	金-石英脉	-3.1~6.5	5.1~9.9	0.6524~0.9718	1~20
	金-糜棱岩	1.2	2.1	0.6835	12

体从矿化早期到晚期盐度减小, 密度变化不明显。大山口矿区含矿流体从早到晚盐度增大, 密度略有增大。萨恨托亥矿区地层内石英流体捕获时压力为 11.5 MPa, 糜棱岩阶段的流体压力为(32.2~6.4) MPa, 压力值变化范围大, 含金石英脉阶段流体压力为 9.4 MPa, 应为半开放低压环境。大山口矿区糜棱岩石英中流体形成压力 12 MPa, 含金石英脉阶段的流体压力为(20~1) MPa。上述成矿流体压力的变化说明在成矿过程中构造环境有局部的张一合转化, 致使矿化具脉动性或阶段性。

4.4 流体包裹体成分

萨恨托亥和大山口 2 矿区含金流体包裹体组分特征基本相同(表 4)。气相成分以含 CO_2 为主, 普遍含 CH_4 。液相成分中阴离子以 Cl^- 占主导, 同时含少量 SO_4^{2-} 和 F^- , 阳离子以 K^+ 、 Na^+ 为主。在糜棱岩阶段流体富 K^+ , 在石英脉阶段流体富 Na^+ , 大山口矿区 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 略有增加。成矿流体属 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ 型, 流体富含炭质($\text{CH}_4 + \text{CO} +$

CO₂)。

据 Roedder^[8] 的判别关系式: $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) < 2$, $w(\text{Na}^+)/w(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 4$ 为典型岩浆热液; $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 10$, $w(\text{Na}^+)/w(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < 1.5$, 为典型热卤水。大山口金矿成矿流体介于二者之间, 为混合热液。萨恨托亥金矿成矿流体在糜棱岩阶段具典型岩浆热液(深源)特征, 在石英脉阶段 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 50$, $w(\text{Na}^+)/w(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 4$, 具混合热液特征。成矿流体成分特点显示成矿流体来源的深源性和多方面性。

表 4 萨恨托亥及大山口金矿石英流体包裹体成分

Table 4 Fluid inclusion composition in Sahentuohai and Dashankou gold deposit

矿区	样号	岩性	液相成分 $w_B/10^{-6}$									
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ O
萨恨托亥	Q3	金-石英脉	0.22	5.30	0.02	0.31	0.00	0.22	6.8	0.50	0.00	496.20
	Q6	金糜棱岩	10.65	4.45	0.03	0.33	0.15	0.36	7.2	2.00	0.00	481.50
	Q7	金糜棱岩石英细脉	5.23	1.75	0.12	0.27	0.00	0.30	4.20	0.50	0.00	220.00
大山口	Q8	金-石英脉	1.55	2.11	1.6	0.25	0.00	0.25	5.10	0.50	4.10	388.60
	Ds-32-1	金-石英脉	3.03	15.8		0.08		0.06	25.37	3.73		231.00
气相成分 $w_B/10^6$			参 数 值									
CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	Σ 阴离子	Σ 阳离子	CO ₂ /CH ₄	R	K ⁺ /Na ⁺	Na ⁺ /(Ca ²⁺ +2 ⁺)	F ⁻ /Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ /F ⁻	
10.50	0.20	0.05	0.08	0.208	0.2494	85.90	0.209	0.02	17.38	0.06	0.44	
9.20	0.30	0.05	0.07	0.203	0.523	75.27	0.23	1.41	13.5	0.09	1.1	
11.00	0.20	0.04	0.05	0.139	0.224	112.5	0.139	1.76	5.39	0.133	0.33	
16.00	0.50	0.10	0.10	0.227	0.182	65.45	0.20	0.43	1.82	0.06	0.39	
6.49	0.21	0.17	0.17	0.757	0.767	15.6	0.296	0.133		0.003	11.12	

Ds-32-1 据叶庆同等^① 其余为本文资料, 样品由中国地质科学院宜昌地质矿产研究所地质矿产研究室分析
R: 还原系数, $R = n(\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4) / n(\text{CO}_2)$

4.5 成矿物化环境

通过成矿流体成分等求出成矿流体的酸碱度、氧逸度、硫逸度及氧化还原电位(表 5)。2 矿区金矿成矿过程中氧逸度和流逸度都不高且变化趋势相同, 从成矿早期到晚期氧逸度和硫逸度相对降低, 酸性减弱。成矿流体呈酸性至弱酸性, 成矿作用发生于弱酸性向中性过渡的弱还原环境。

表 5 萨恨托亥及大山口金矿成矿流体物化参数

Table 5 Physical chemistry parameters of ore forming fluid in sahentuohai and Dashankon gold deposit

成矿阶段 参 数	大 山 口 金 矿		萨 恨 托 亥 金 矿	
	金-石英阶段	金糜棱岩阶段	金-石英阶段	金糜棱岩阶段
lgf _{O₂}	-29.67~-41.10	-27.71~-36.11	-32.45~-41.07	-27.81~-35.45
lgf _{S₂}	-8.4~-20.48	-6.8~-14.67	-9.966~-18.7	-5.80~-14.66
pH	4.712~5.33	4.19~5.106	4.15	3.83~4.31
E _H /V	-0.295~-0.588	-0.35		-0.216~-0.592

① 叶庆同等, 西南天山金和有色金属成矿条件和找矿靶区研究, 1997

5 成矿物质来源

5.1 C、H、O、S 及 Pb 同位素特征

矿石石英流体包裹体 O 同位素组成 $\delta^8\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-1.14\text{‰} \sim +4.58\text{‰}$ H 同位素 D_{SMOW} 值 $-35.3\text{‰} \sim -49.7\text{‰}$, 介于岩浆水和大气水 H、O 同位素组成特征值之间, 表明成矿介质水为两者混合, 流体原始水为深部岩浆水, 在成矿过程中上升并与大气水混合, 发生同位素交换, 使得氧向大气水方向漂移。矿石流体包裹体和蚀变矿物菱铁矿的 C 同位素组成为 $\delta^3\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值 $-3.94\text{‰} \sim -5.59\text{‰}$, 流体中碳可能来自深部(岩浆)。

金矿石黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.4\text{‰} \sim +1.3\text{‰}$ (表 6), 变化较小, 接近于 0, 组成特点与地幔深源 S 近一致。矿石全岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+3.64\text{‰} \sim +5.54\text{‰}$, 含矿围岩(糜棱岩类) $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+6.28\text{‰} \sim +8.07\text{‰}$ 。从矿石硫化物、矿石全岩和含矿围岩 S 同位素组成特点可以看出, 成矿流体的 S 与深部岩浆物质有关。在成矿过程中深源 S 与围岩 S 发生同位素不完全交换, 使得从矿石到含矿围岩其 $\delta^{34}\text{S}$ 值逐渐增高。

表 6 萨恨托亥及大山口金矿 S 同位素组成

Table 6 Sulfur isotopic composition of some minerals and rocks in Sahentuoharai and Dashantou gold deposit

矿区 样号	萨 恨 托 亥						大 山 口	
	W-23	STCO-K1	STC16-K1	STC16-K2	SB2-1	SDB1	W ₂	Dsk3-1-4
样品	方铅矿	矿石	矿石	矿石	糜棱岩	初糜岩	黄铁矿	黄铁矿
$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	+2.05	+3.64	+5.54	+3.70	+6.28	+8.07	-0.4	1.3

W-23 据郑明华等; 其余为本文资料, 样品由中国地质科学院宜昌地质研究所同位素与测试研究中心分析^①

矿石 Pb 同位素组成变化不大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $17.994 \sim 18.097$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.550 \sim 15.643$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.032 \sim 38.243$, 属正常 Pb。但不是严格意义上的单阶段演化 Pb^[9]。在 Zartam 等的 Pb 同位素演化图上^[10], 矿石铅投点处于上地壳与造山带平均演化曲线之间, 以壳源 Pb 为主。Pb 来自于比赋矿围岩更老的地层或深部。

上述 C、H、O、S、Pb 同位素组成特点表明, 成矿流体是以深源液体(包括部分岩浆热液)为主的多源混合热液。成矿物质具多源性。

5.2 矿质来源

金矿矿源层(岩)多被认为是区域内成矿元素 Au 背景值较高、与矿床在空间上具有密切关系的岩层(石)。然而实际情况并不尽然, 仅用岩层(石)含金值的高低来判定矿源层(岩)是不够的。应当注意到, 只有岩石中的 Au 以易活化态存在时, Au 才能在一定的地质环境中被具有某种性质的热液(流体)萃取出来, 形成含 Au 流体, 随后在适当的条件下以某种成矿方式成矿。这种含易活化 Au 的岩层(石)才具有真正意义上的矿源层(岩)含义。因此, Au 在岩石中赋存状态的研究是判别矿源层(岩)的首要条件。

萨恨托亥-大山口一带金矿赋存于大山口组浅变质碎屑岩中, 区域上大山口组地层含 Au 背景值不高($1 \times 10^{-9} \sim 4 \times 10^{-9}$)。但已有研究表明, 浅变质细碎屑岩(浊积岩)中的 Au

① 郑明华等, 新疆南天山穆龙套型金矿床成矿地质条件及找矿靶区研究报告, 1996
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

初始赋存于沉积阶段形成的含炭、黄铁矿的岩石中, Au 主要被炭质(腐质酸)吸附捕获、呈胶粒 Au 被粘土矿物吸附、与硫化物共沉淀等形式存在。区域变质过程使细碎屑岩(浊积岩)中的 Au 的活化性大大增强, 经受区域变质后的岩石更利于后期溶液从中活化萃取 Au, 形成含矿流体。同时在区域变质过程中岩石中 Au 发生重新组合配位, 使 Au 主要集中于绿片岩及准绿片岩带中, 使得浅变质的浊积岩有利于后期成矿^[11]。

大山口组地层内岩石含硫质、炭质, 为 Au 提供了活化剂。其含 Au 的本底虽不高, 但 Au 呈活化态形式存在, 有利于 Au 的溶出与迁出, 加入到活动流体中运移、沉淀。岩石经区域变质后达到易于富集成矿的低绿片岩相或绿片岩相, 为以后韧性剪切构造迭加成矿作好了充分的准备。本次研究中发现, 经过韧性剪切变形的大山口组地层内的岩石, 普遍富集 Cu、As、Sb、Au、Bi、Ag 等成矿元素, 显然韧性剪切变形作用使浅变质浊积岩中的 Au 得到富集而成矿^[6]。因此, 大山口组地层为萨恨托亥-大山口成矿带内金矿的主要矿源层。大山口组地层决定了矿化产出的区域性部位。另外, 成矿区内的岩浆岩(包括可能存在的深成岩体)也可能在提供成矿流体的同时提供部分矿质。

6 结 论

萨恨托亥-大山口成矿带内的金矿赋存于浊积系内, 区域上具层控性。成矿过程与韧性剪切带的发展演化密切相关。成矿流体为多源混合热液, 与深部岩浆活动有关。成矿作用为构造成岩成矿(韧性剪切带成矿)。

萨恨托亥-大山口成矿带内的金矿与穆龙套金矿在成矿特征方面具有许多的相似性, 同时也有自己的独特性。主要共同点是: 它们都赋存在浊流沉积岩系浅变质细碎屑岩层中, 具层控特点, 同时又受断裂构造(韧性剪切带)控制; 矿石呈细脉状、网脉状、品位低且稳定; 成矿具多期次, 为多源复合热液成矿, 与花岗岩类侵入活动有关。不同的是成矿背景不同, 萨恨托亥-大山口一带金矿产于南天山中段晚古生代陆缘盆地, 岩浆活动不强烈, 成矿为中低温环境, 萨恨托亥-大山口成矿带内金矿赋矿地层时代为晚志留世-早泥盆世; 穆龙套金矿产于南天山西段科齐尔库姆陆块, 岩浆活动强烈, 成矿为中高温环境, 穆龙套金矿赋矿地层时代为奥陶-志留纪。萨恨托亥-大山口成矿带内金矿可归为穆龙套型金矿。

作者在野外期间得到新疆第三地质大队陈明勇总工程师、罗新荣工程师及其同事们的大力支持和帮助, 在此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 叶锦华, 孟祥金. 穆龙套金矿成矿条件与成因模式. 见: 陈毓川主编, 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京: 地震出版社, 1999, 472~478.
- 2 中国科学院资源环境局穆龙套金矿考察团. 穆龙套超大型金矿地质简况. 矿物岩石地球化学通讯, 1991, 39(3): 210~214.
- 3 Drew L J, Benger B R, Kurbanov N K. Geology and Structural evolution of Mununtau gold deposit Kyzylkum Desert, Uzbekistan Ore. Geology Reviews, 1996, 11: 175~196.
- 4 Kotov N Y, Poristkaya L G. The Muruntau gold deposit, its geological structure, metasomatic mineral associations and origin. Int. Geol. Rev., 1990, 34(1): 77~87.

- 5 Zairi N M, Kurbanov N K. Isotopic-geochemical model of ore genesis in Muruntau ore field. *Int. Geol. Rev.* 1992, 34(1): 88 ~ 96.
- 6 孟祥金, 叶锦华, 王立本. 中国南天山萨恨托亥-大山口成矿带韧性剪切带与金的成矿作用. *贵金属地质*, 2000, 9(1): 20 ~ 26.
- 7 卢焕章, 李秉伦等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990.
- 8 Roedder E. Fluid inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic rocks. In: Wolf K H. ed, *Handbook of stratabound and stratiform ore deposits*. Elsevier Amsterdam, 1976, 67 ~ 110.
- 9 White. Environments of generation of some basemental ore deposits. *Econ. Geol.*, 1968, 63: 301 ~ 335.
- 10 Zartam R E, Doe B R. Plumb tectonics the mode. *Tectonophysics*. 1981, 75: 135 ~ 162.
- 11 王秀敏, 程景平等. 变质细碎屑岩型金矿床的三阶段成矿模式. *矿床地质*, 1995, 13(4): 322 ~ 327.

Geology and Geochemistry of the Muruntau Type Gold Deposits in the Sahentuohai-Dashankou Metallogenic Province, South Tianshan Mountains, China

Meng Xiangjin

(*Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang, Hubei*)

Ye Jinhua

Wang Liben

(*Bureau of Geological Survey, MLR, Beijing*); (*Institute of Mineral Deposits, CAGS, Beijing*)

Abstract Geological and geochemical characteristics of two typical gold deposits, Dashankou and Sahentuohai, were studied, and the result shows that the deposits are controlled by the brittle-ductile shear zones in northwestern zonal distribution in Dashankou Group. Gold orebodies in steady orientation consists of auriferous quartz veins and auriferous mylonite. Two types of gold ores can be distinguished; one is mylonite type with merely small amounts of sulfides, whereas the other is quartz vein type. The main alterations in the host rock include silicification, sericitization and ferrodolomitization. Two forms of mineralization can be defined, namely hydrothermal infiltration-metasomatism and hydrothermal infilling. The formation of gold ores can be divided into two stages, i. e., Au-mylonite stage and Au quartz vein stage. The ore vein ores contain abundant fluid inclusions which consist mainly of gas-liquid NaCl-H₂O. Ore-forming fluids are rich in Cl⁻, SO₄²⁻, CO₂, Na⁺ and K⁺, with $w(\text{NaCl}_{\text{aq}})$ of 0.85 % to 9.9 %. In the mineralizing stage, the density is 0.5611 ~ 0.9718 g/cm³, f_{O_2} 10⁻⁴¹ ~ 10⁻²⁷, f_{S_2} 10⁻⁵ ~ 10⁻²⁰. The ores were formed at the temperature of 170 ~ 460 °C and under the pressure of 0.94 MPa to 32.2 MPa. According to characteristics of the stable isotopes C, H, O in ore-forming solution and the comparison of Pb, S isotopes between gold ores and host rocks, the ore-forming fluids consisted of deep-seated source ore solution, magmatic solution and underground water. The gold deposits created and controlled by brittle-ductile shear zones in the metallogenic province have a close spatial, temporal and genetic relation to brittle-ductile shear zones. They are Muruntau type deposits.

Key words Muruntau type gold deposit turbidite geology geochemistry Sahentuohai-Dashankou metallogenic province South Tianshan Mountains