

文章编号: 1009-6248 (2003) 02-0050-10

西天山地区浅成低温热液型金矿地质特征及成矿模式

沙德铭^{1,3}, 董连慧², 毋瑞身³, 田昌烈³, 贾斌³

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110006; 2. 新疆地质勘查局, 新疆 乌鲁木齐 830000;
3. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033)

摘要: 新近发现于西天山吐拉苏地区的阿希大型金矿床及其外围的伊尔曼得、恰布坎卓它等金矿床(点)的矿化类型为浅成低温热液型, 并进一步划分为冰长石-绢云母型和硅化岩型。矿床赋存于伊犁晚古生代裂谷区的吐拉苏—也里莫墩火山岩带中, 矿床围岩为下石炭统大哈拉军山组中性—中酸性陆相火山岩系。冰长石-绢云母型以阿希金矿为代表, 矿床为沿火山口缘环状、放射状断裂充填的石英脉型; 硅化岩型以伊尔曼得金矿为代表, 矿化体呈层状、似层状, 受火山岩系底部沉火山碎屑岩控制。结合该地区成矿地球化学特征分析, 本文讨论了区内金矿成矿特征、成矿背景和成矿条件, 建立了西天山地区浅成低温热液型金矿的成矿模式。

关键词: 浅成低温热液型金矿; 冰长石-绢云母型; 硅化岩型; 成矿模式; 阿希金矿; 伊尔曼得金矿; 西天山地区

中图分类号: P611 **文献标识码:** A

与陆相火山作用有关的浅成低温热液系统金矿是近年来全球发现的大型、超大型金矿的主要类型, 引起世人的广泛关注。从全球角度来看, 该类型金矿的分布集中在环太平洋带内带的新生代岛弧区^[1~6] (日本—菲律宾—巴布亚新吉内亚和美洲西海岸) 和外带的地盾区之上的中生代断陷盆地^[7~12] (中国东部沿海地区)。该类型金矿的这种成矿区域性、时限性和构造属性被地质学家广泛接受, 并按照这一思路实施找矿工作。

二十世纪九十年代初, 我国西部找矿工作的重大突破之一是在西天山的吐拉苏地区发现了阿希大型金矿和其外围的伊尔曼得、恰布坎卓它、京希等金矿床(点)。研究成果显示, 阿希等金矿是产在晚古生代裂谷环境下的浅成低温热液矿床, 并进一步划分为冰长石-绢云母型(以阿希金矿为代表)和硅

化岩型(以伊尔曼得金矿为代表)^[13~21]。西天山阿希等金矿的发现和研究成果, 拓展了浅成低温热液系统金矿新的找矿思路和找矿领域。

1 成矿地质特征

西天山地区浅成低温热液金矿宏观上受伊犁晚古生代裂谷(亦称伊犁晚古生代火山岩区^[19])控制, 后者依据产出及活动特征可以划分为 3 个火山岩带, 自南而北依次为察布查尔山早—中石炭世火山岩带、阿吾拉勒山中石炭世—二叠纪火山岩带和吐拉苏-也里莫墩早石炭世火山岩带。阿希等浅成低温金矿集中产于吐拉苏-也里莫墩火山岩带内, 同时在察布查尔山火山岩带内也有线索发现。笔者等在研究过程中, 在本地区划分了 4 级火山构造, 与浅

收稿日期: 2003-01-16; 修回日期: 2003-04-15

基金项目: 国家科技攻关项目 (85-902-04-01)、(96-915-03-06) 和地质大调查项目 (199910200218)

作者简介: 沙德铭 (1962-), 男, 研究员, 从事矿产地质研究工作, 现为东北大学博士研究生。

成低温金矿有关各级火山构造及其控矿特征列入表 1。直接的控矿构造为火山口缘环状（弧形）、放射状断裂以及其他形式的次级断裂和裂隙^[16, 19]。

金矿的容矿围岩为下石炭统大哈拉军山组的一套中基性-中酸性火山岩，构成了一个完整火山旋回，可进一步划分为 3 个亚旋回和 5 岩性段（表 2）。阿希金矿为代表的冰长石-绢云母型金矿直接容矿围岩为大哈拉军山组第 5 岩性段（上安山岩段）的安山岩、英安岩和石英安山玢岩，矿体呈脉状充填于火山口缘断裂系统内。伊尔曼得金矿为代表的硅化岩型金矿受控于大哈拉军山组第二岩性段沉积砾

表 1 与西天山地区浅成低温金矿相关火山构造及其控矿特征

Tab. 1 Differentiation and ore-control features of volcano-structures of the epithermal gold deposits

级别	名称	控矿规模
I 级火山构造	伊犁晚古生代火山岩区	伊犁金矿集区
II 级火山构造	吐拉苏—也里莫墩火山岩带	吐拉苏—也里莫墩金矿带
III 级火山构造	吐拉苏火山盆地	阿希金矿田
IV 级火山构造	阿希破火山口	阿希金矿床

岩、沉火山角砾岩和酸性凝灰岩内，矿体呈层状、似层状产出，受层间裂隙带、剥离带控制。

表 2 西天山地区浅成低温金矿容矿火山岩活动特征一览表

Tab. 2 Features of the host volcanic rocks of the epithermal gold deposits in West Tianshan Mountains

时代	岩性段	旋回	亚旋回	厚度 (m)	岩石组合及岩相		火山环境	火山相系	火山作用机制	与火山构造关系及产出状态	
					岩性	岩相					
C ₁	C _{1d} ⁵	大哈拉军山火山旋回	第 III 亚旋回	710	石英角闪安山玢岩、杏仁状辉石安山岩、角闪安山岩、英安质角砾熔岩、含火山弹火山角砾岩夹凝灰质砂岩、砾岩	爆发-沉积相、喷溢相、次火山岩相、火山颈(管道)相	陆	喷发-沉积相系	喷溢作用为主，伴以爆发-沉积作用及期后(潜)次火山作用	集中分布在火山岩带西部的吐拉苏地区，主体呈近南北向分布，在阿希金矿区附近-破火山喷发中心、火山管道外部相，被陡立内倾之火山颈(管道)相切割，其上为下石炭统阿恰勒河组火山-沉积岩不整合覆盖	
					含火山弹火山集块角砾岩夹薄层安山岩、晶屑岩屑凝灰岩	爆发相、喷溢相					
	C _{1d} ⁴		第 II 亚旋回	2 254	英安质火山角砾岩、火山集块岩、英安质玻屑凝灰岩、火山灰凝灰岩及安山岩	爆发相为主	相	喷发相系	爆发、喷溢作用交互作用及期后次火山作用		广泛分布在吐拉苏-也里莫墩地区，呈北北西向即近东西向条带状分布，与下伏基底地层呈断层接触，构成吐-也火山岩带的主体
					中酸性火山角砾岩、岩屑玻屑凝灰岩、酸性熔结凝灰岩、英安岩及安山岩	爆发相为主，喷溢相次之					
	C _{1d} ³		第 I 亚旋回	178	霏细斑岩、杏仁状玄武岩、橄欖玄武岩、玄武安山岩、安山质火山角砾岩、火山集块岩及英安斑岩	喷溢相为主，爆发相次之	海陆交互相	沉积-喷发相系	喷溢作用为主，爆发作用次之		主要分布在吐拉苏地区火山岩带南北边缘内侧，或围绕基底岩块呈环状分布，构成火山构造的外部(边缘)相
C _{1d} ²	安山岩、流纹质火山灰球凝灰岩、火山灰凝灰岩、火山灰球熔结凝灰岩、沉凝灰岩、沉凝灰角砾岩夹灰岩、沉积砾岩、石英霏细斑岩、流纹质火山灰凝灰岩	沉积-爆发相为主，喷溢相次之			爆发作用为主，水下沉积作用为辅						
C _{1d} ¹		150	沉积砾岩	沉积相			沉积作用				

2 矿化类型及矿床地质特征

2.1 矿化类型

根据金矿成矿地质环境、容矿火山岩、成矿方式、矿物组合、蚀变特征及其成矿地球化学特征等，将区内浅成低温热液型金矿进一步划分为冰长石-

绢云母型和硅化岩型^[15]。

2.2 矿床地质特征

2.2.1 冰长石-绢云母型

以阿希金矿为代表，矿化明显受火山机构控制（图 1）。火山机构由火山管道相和次火山岩相的安山质角砾熔岩、石英角闪安山玢岩和喷发-喷溢相的

安山岩、安山质凝灰岩、集块角砾岩和含火山弹的集块岩、集块角砾岩等构成。火山岩系均以火山口为中心呈弧形展布，向内对倾，反映破火山口的形成过程。火山机构东北部为下石炭统阿恰勒河组碎屑岩覆盖。在高精度磁测图上，磁异常呈环形磁异常带，由大小不等的局部磁异常链接而成。异常带

与地表环状（弧形）构造吻合较好。对其进行化极和延拓处理表明，深部环状构造、放射状构造仍较发育^[16, 19]。阿希金矿产出于阿希破火山口的西缘，地表出露矿体7条，其中I号矿体长千余米，延深450m，最大厚度34.63m，品位中等，单矿体储量已达大型规模^[16-18]。

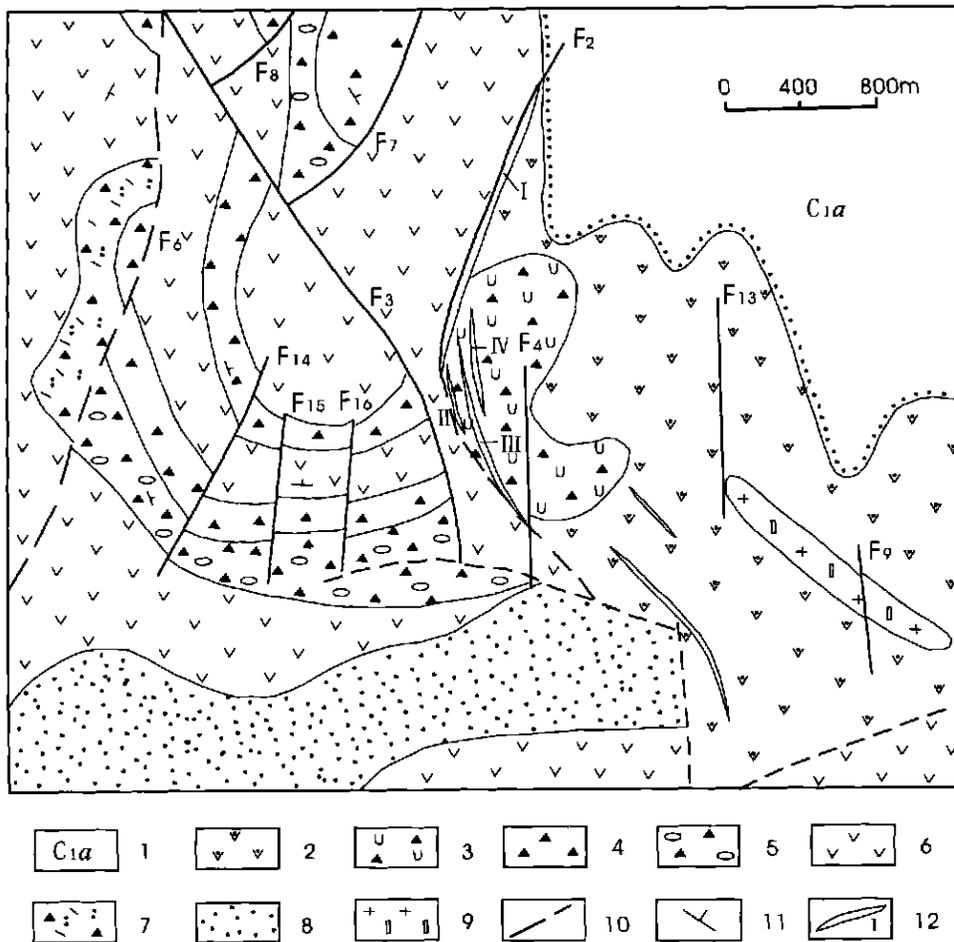


图1 阿希金矿地质图

Fig. 1 Geo map of Axi gold deposit

- 1. 下石炭统阿恰勒河组碎屑岩; 2~ 8. 下石炭统大哈拉军山组陆相火山岩 (2. 英安质角砾集块熔岩; 3. 石英角闪安山玢岩; 4. 安山质火山角砾岩; 5. 含火山弹火山角砾岩; 6. 安山岩; 7. 晶屑岩屑凝灰岩; 8. 安山质凝灰岩);
- 9. 长石斑岩; 10. 断裂及编号; 11. 火山岩产状; 12. 主要金矿脉及编号

阿希金矿主矿体受火山口缘弧形 F₂ 断裂控制，呈脉状充填。矿石主要为石英脉型，少量蚀变岩型；脉石矿物为石英（玉髓）、绢云母、方解石、冰长石、明矾石和粘土矿物等；矿石矿物：银金矿、硒银矿、黄铁矿、毒砂、白铁矿、方铅矿、深红银矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、黄铁钾矾和角银矿等；矿石多呈角砾状（石英、碧玉、安山玢岩）、蜂窝状、网

脉状（石英）、梳状构造，显示出低压特点；矿物组分中以冰长石、银金矿、深红银矿、硒化物、黄铁钾矾及层纹状、胶状玉髓等的组合为主，显示低温特点等^[16-18]。

根据矿物共生组合、相互穿插的关系，阿希金矿可以划分为4个成矿阶段：灰白色-石英-玉髓阶段、烟灰色石英-玉髓阶段、石英-碳酸盐阶段和石英

-硫化物阶段。角砾状构造是各成矿阶段最为普遍的矿石结构, 角砾多具有隐爆角砾岩特点, 为晚期热液充填胶结。

围岩蚀变强烈, 包括面型展布的火山自蚀变的绿泥石化和线性分布的硅化、绢云母化、碳酸盐化和粘土化。热液蚀变分带清楚, 沿含金石英脉两侧向外逐次为硅化带、绢英岩化带和碳酸盐化、粘土化带^[15, 20]。

包裹体测试结果, 成矿温度集中在 120~ 180 °C, 由此计算获得成矿压力 $72 \times 10^5 \sim 218 \times 10^5$ Pa, 成矿深度 400~ 500 m, 显示浅成低温矿床特点^[16]。

总之, 阿希金矿在成矿条件、成矿特征等方面与世界同类型金矿 (如日本菱刈) 相近和可比。

2.2.2 硅化岩型

以伊尔曼得金矿为代表, 比较有规模的还有京希、恰布坎卓它、吐拉苏西南等矿床。该类型金矿为本区比较特殊的一类金矿, 具有一定的找矿前景。

与阿希金矿 (冰长石-绢云母型) 相比, 其成矿特点明显不同。在宏观成矿特征上与日本著名的南萨型 (亦曾以硅化岩型相称) 相近, 但迄今为止, 在该类型金矿中尚未发现深成明矾石、硫盐等酸性硫酸盐型金矿的标型矿物, 故暂以“硅化岩型”命名^[15]。

伊尔曼得金矿产于下石炭统大哈拉军山组第二岩性段的沉积砾岩、沉凝灰角砾岩和酸性凝灰岩中, 明显受容矿岩厚度和产状等条件控制。矿化体与围岩渐变过渡, 顺层产出, 形态上呈似层状、层状、透镜状。金矿化远离火山活动中心, 以热液浸染交代为主, 面型分布。矿体出露东西长 250 m, 南北宽 15~ 100 m, 平均宽度 50 m。试金样品最高品位 5.37×10^{-6} , 平均 1.3×10^{-6} , 并由此圈出 9 个矿体 (图 2)。其中工业矿体 2 个, 规模分别为 $57 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 和 $38 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。

含金矿石主要有含金强硅化沉火山角砾岩、含金强硅化沉凝灰角砾岩、含金强硅化凝灰砾岩及含金强硅化凝灰砂岩等。金矿床矿物组成简单, 矿石矿物包括硫化物黄铁矿、毒砂、白铁矿和氧化物褐铁矿、赤铁矿、金红石和黄铁矿砷等, 脉石矿物主要为石英, 其次尚见方解石、黑云母、绿泥石、绢云母等。

矿床成矿温度低 (以 88~ 98 °C 为主, 个别达 300 °C 左右), 成矿压力低 ($56.5 \times 10^5 \sim 176 \times 10^5$ Pa), 成矿深度浅 (226~ 705 m), 成矿流体低盐度

(0.03% ~ 5.55%, $w_{\text{NaCl}}\%$)。成矿流体以大气降水为主, 成矿介质 pH 值 5.5, 显示中性特点 (200 °C 时中性 pH = 5.56), 成矿环境为还原环境。

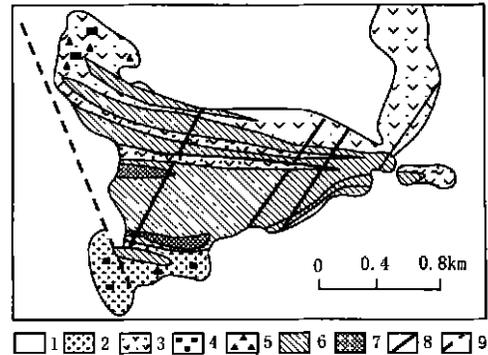


图 2 伊金曼得金矿地质略图

(据漆树基等修改, 1995)

Fig. 2 Geo-sketch of Yiemande gold deposit

1. 第四系; 2. 凝灰砾岩; 3. 凝灰岩; 4. 黄铁矿化; 5. 高岭土化; 6. (1~ 3) $\times 10^{-6}$ 矿体; 7. $> 3 \times 10^{-6}$ 矿体; 8. 断裂; 9. 推测断裂

总之, 该类型金矿具备了某些浅成低温热液金矿的特征, 但与冰长石-绢云母型金矿不同, 也与酸性硫酸盐型金矿有异。其发现拓宽了靶区金矿找矿思路, 也为浅成低温热液金矿的研究提供了新的内容。

3 成矿地球化学特征

3.1 容矿火山岩地球化学

3.1.1 容矿火山岩岩石化学成分

本区金矿容矿围岩为一套中基性-中酸性火山岩和次火山岩。化学成分 SiO_2 (52.16% ~ 78.32%, 平均 64.63%), Al_2O_3 (9.63% ~ 17.54%), Na_2O (0.08% ~ 6.67%, 平均 3.39%), K_2O (0.12% ~ 5.73%, 平均 2.79%), 属于玄武安山岩 (粗面玄武岩)-安山岩 (粗安岩)-英安岩 (粗面英安岩)-流纹岩组合。与中国安山岩平均化学成分相比, 具有相对富 SiO_2 、 Na_2O 、贫 K_2O 、 TiO_2 、 CaO 和 MgO , 全碱含量 (2.05% ~ 8.76%) 较高, Na_2O 含量明显高于 K_2O 和里特曼指数相对偏高之特征。岩石化学成分以钙碱性系列火山岩为主, 少部分碱性系列火山岩。火山作用具有从钙性火山岩经过钙碱性火山岩向碱性火山岩演化的特点, 反映在火山作用过程是一个碱质增加的过程。

正如资料所示: 本区容矿火山岩的活动比较复杂, 虽然出现中基性和酸性火山岩的共生, 但未构成双峰式组合。在里特曼-戈蒂里图解(图3)中, 成分点主要落在B区内的岛弧型火山岩右侧, 部分成分点落入偏碱性—碱性岩区。我们的理解是: 大哈

拉军山组火山岩不是单纯的钙碱性系列(岛弧型)火山岩, 而是钙碱性-碱性系列组合, 岩石化学成分具有造山带钙碱性岩向大陆内部稳定区碱性岩过渡的特征。

3.1.2 容矿火山岩稀土元素地球化学特征

大哈拉军山组火山岩稀土元素含量较高, ΣREE 从 $41.59 \times 10^{-6} \sim 135.83 \times 10^{-6}$, 明显高于 W.V.Boynton 推荐之球粒陨石稀土元素总量 (5.2533×10^{-6})。而与世界安山岩 $\text{REE} = (25 \sim 341) \times 10^{-6}$ 相比, 在其范围内并总量中等。其中轻稀土含量 $29.05 \times 10^{-6} \sim 95.37 \times 10^{-6}$, 重稀土含量 $12.54 \times 10^{-6} \sim 38.75 \times 10^{-6}$, 轻、重稀土 L/H 皆大于 1, 属于轻稀土富集型。Sm/Nd 明显低于球粒陨石 ($\text{Sm}/\text{Nd} = 0.333$), 接近大陆壳平均稀土元素组成。微量元素总体上以 K、Rb、Ba、Th 等大离子元素的明显富集, Ti、Y、Yb、Sc 等的明显亏损为特征。接近于板内过渡玄武岩系列岩石的组成。

3.1.3 容矿火山岩成矿元素组成特征

为了探讨金矿成矿作用过程中成矿元素及其变化特征, 笔者有针对性地采集了容矿火山岩、各类近矿蚀变岩以及矿石样品, 进行了定量分析。表3是与阿希金矿相关的分析数据。

从表3可以看出: 在阿希金矿的容矿火山岩中

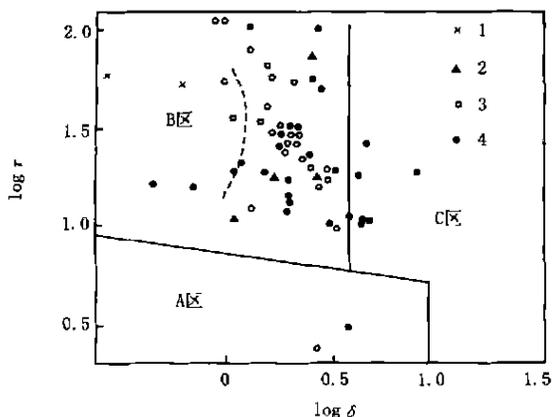


图3 大哈拉军山组火山岩 log T-log φ 图解 (据里特曼, 1973)

Fig.3 Rittmann diagram of volcanic rocks of Dahalajunshan formation (after Rittmann, 1973)

A区: 非造山带火山岩; B区: 造山带火山岩; C区: A、B区派生之碱性火山岩。1. 第2岩性段; 2. 第3岩性段; 3. 第4岩性段; 4. 第5岩性段

表3 阿希金矿成矿元素组成特征表 ($\times 10^{-6}$)

Tab.3 The ore-forming elements composition of Axi gold deposit ($\times 10^{-6}$)

元素	样品数			地壳丰度	微量元素平均值			浓集克拉克值			区域背景浓集率	
	围岩	蚀变岩	矿石		围岩	蚀变岩	矿石	围岩	蚀变岩	矿石	蚀变岩	矿石
Au	20	15	16	0.004	0.208	0.57	5.68	59.43	162.6	1621	2.74	27.29
Ag	20	15	16	0.075	1.68	3.25	10.20	22.40	43.33	135.9	1.95	6.07
Cu	20	15	16	63	41.88	37.8	27.69	0.66	0.6	0.44	0.9	0.66
Pb	20	15	16	12	21.34	28.77	35.60	1.79	2.40	2.97	1.35	1.67
Zn	20	15	16	94	65.06	62.36	27.05	0.69	0.66	0.29	0.96	0.42
As	20	15	16	1.8	35.30	1488	4273	19.61	827	2374	42.16	67.25
Sb	20	15	16	0.62	7.18	41.07	140.8	11.58	66.24	227.2	5.72	19.61
Bi	20	15	16	0.004	0.08	0.14	0.20	18.33	31.86	46.51	1.74	2.58
Hg	20	15	16	0.089	0.04	0.16	0.23	0.49	1.77	2.60	3.63	5.33
Se	20	15	16	0.075	0.03	0.23	1.28	0.38	3.12	17.11	8.17	44.83
Mo	20	15	16	1.3	0.47	3.04	24.75	0.36	2.34	19.05	6.46	52.66
Sn	20	15	16	1.7	1.96	3.83	2.28	1.15	2.25	1.34	1.95	1.16
Be	9	3	4	1.3	1.38	1.25	1.34	1.06	0.96	1.03	0.91	0.97
Ba	9	3	4	390	107	98	298.9	0.27	0.25	0.77	0.92	2.79
Co	11	12	12	25	24.32	22.4	25.02	0.97	0.90	1.00	0.92	1.03
Ni	11	12	12	89	74.7	57.25	66.72	0.84	0.64	0.75	0.77	0.89

注: 微量元素地壳丰度值据黎彤 (1970)。

Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素含量明显高于地壳克拉克值, 浓集系数分别为 59.43、22.40、19.61、11.58 和 18.33, Pb、Sn、Be 等元素亦显示一定程度的富集, 其他元素则不同程度亏损。说明容矿火山岩具有高的 Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素背景场; 近矿蚀变岩中, Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素浓集系数分别达 162.57、43.33、826.99、66.24 和 31.86, 显示出蚀变作用过程中上述元素发生了进一步富集之特点。同时, Hg、Se、Mo、Sn 等元素的含量也显示了富集之特征, 属于带入元素; 而 Cu、Zn、Be、Ba、Co、Ni 等则出现一定程度亏损, 属于带出元素; 矿石中元素的富集达到顶峰, 其中 Au、As、Ag、Sb、Bi、Se 浓集克拉克值达到十数乃至数千倍, Hg、Pb 等进一步富集, 在蚀变岩中亏损的元素, 除了 Cu、Zn 进一步亏损外, 其他元素则有不同程度富集特点。

同时, 我们也对以伊尔曼得为代表的硅化岩型金矿矿石及其围岩进行了同样的工作, 发现, 容矿火山岩 Au、Ag、As、Sb、Hg、Pb 丰度都高于地壳克拉克值数倍、数十倍, 具富集场特点; 含金矿石中上述元素进一步同步富集。

从富集程度和过程上看, 与浅成低温 Au 矿化相关的伴生成矿元素为 Ag、As、Sb、Bi、Se、Hg 等成矿元素组合与围岩具备的成矿元素背景组合基本一致。我们对比理解是: 矿化与围岩之间存在某种继承性关系。

3.2 矿床同位素地球化学

3.2.1 铅同位素

为了便于对比, 笔者测定了矿石中黄铁矿、方铅矿、白铁矿等含金硫化物的铅同位素组成, 同时也对基底岩石、火山岩和次火山岩进行了全岩测试。结果显示, 基底岩系、容矿火山岩和含金矿石的铅同位素组成具有比较好的一致性, 其中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.920 6~18.582 4, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.435 5~15.6079, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.750 9~38.428 0, 变化范围较小, 显示某种可能存在的继承性联系。在对比了多伊和扎特曼 (1979) 所建立的全球不同地质环境铅构造模式 (图 4) 后发现, 本区铅同位素样品数据点几乎全部落在地幔曲线零年龄端的右外侧和单阶段演化模式零等时线的左侧。大部分样品点聚

集在造山带曲线和地幔线之间, 部分样品位于造山带与上地壳曲线之间, 另有少数样品则位于下地壳曲线之上; 说明大哈拉军山组火山岩的铅同位素基本上是由不同来源铅不同比例混合而成, 反映在火山岩的来源上具多源混合之成因特点。同时, 考虑到铅同位素组成的一致性, 认为金矿化铅可能来源于基底岩系和火山岩。

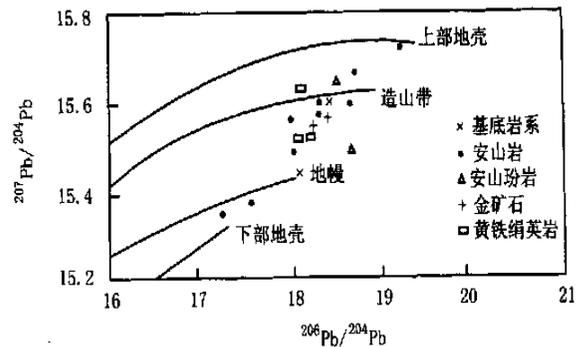


图 4 阿希金矿区铅同位素组成图解

(据 Doe 和 Zartman, 1979)

Fig. 4 Pb-isotopic composition of Axi gold deposit (after Doe and Zartman, 1979)

3.2.2 硫同位素

阿希金矿含金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化为 0.95‰~10.51‰, 平均 4.93‰, 峰值域为 4‰~5‰ (表 4)。说明其所代表矿石硫同位素组成特征属于“低重硫型”。反映黄铁矿形成时处于较为封闭的还原环境, $\delta^{34}\text{S}$ 主体集中在低的正值, 没有负值出现, 说明成矿作用过程中硫的来源可能比较单一, 以深源火山成因硫为主。与中生代东部沿海地区陆相火山岩区金矿相比较 (紫金山金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值 -9.01‰~2.35‰^[10], 平均 -2.80‰; 团结沟金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值 -0.7‰~-12.5‰, 平均 -5.06‰^[11]), 阿希金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值域的变化范围不大, 但前二者主要集中在负值区, 反映出在硫来源等方面是存在一定差别的。

伊尔曼得金矿硫同位素为 -5.2‰, 显然富轻硫, 与阿希金矿存在明显差异, 反映成矿作用不是在单一的封闭系统内进行, 而是在较为开放的系统内完成。这一点与矿石内广泛出现的石英晶簇、晶洞构造等反映一致。从组成上与中国东部火山岩区金矿相似。

表4 阿希金矿硫同位素组成

Tab.4 The sulfur isotopic composition of Axi gold deposit

阿希	01	02	03	04	05	06	07
测定矿物	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿
$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	5.41	6.38	2.89	6.08	5.10	8.10	4.01
阿希	08	09	10	11	12	13	伊尔曼得
测定矿物	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿
$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	10.51	4.3	4.03	2.68	3.72	0.95	-5.2

注: 序号01~08系笔者等资料, 其余为新疆地勘局试验测试中心资料。

3.2.3 氢氧同位素

阿希金矿氢氧同位素测试结果列入表5, 可见其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值变化为 $-10\text{‰} \sim 6.73\text{‰}$, $\delta_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $-59\text{‰} \sim -115.6\text{‰}$ 。其氢氧同位素组成特点与中国东部沿海陆相火山岩区乃至全球陆相火山岩区浅成低温金矿相似, 基本处于同一值域范围, 显示成矿流体以大气降水为主。

表5 阿希金矿矿石氢氧同位素组成

Tab.5 The H-O isotopic composition of Axi gold deposit

矿床	样品号	测定矿	$\delta_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$
阿希金矿	SA I5-9	石英	- 59.504	5.938	- 10
	SA II0-1	石英	- 62.653	8.984	3.5
	SA I6-3	石英	- 106.26	12.158	3.7
	SA I8-3	石英	- 79.488	8.561	- 3.66
	SA II-2	石英	- 113.56	13.196	6.73
	SA I6-7	石英	- 103.88	11.611	4.57
	SA I26-9	石英	- 81.001	8.062	- 3.03
	901T6-S04	石英	- 101.4	13.08	1.97
	901T6-S06	石英	- 115.2	12.24	- 2.65
	901T6-S03	石英	- 109.8	12.43	- 2.62
紫金山金矿 ^[19]			- 98~		- 6.3~ 3.6
团结沟金矿 ^[20]			- 115~		- 4.4~ 0.4

注: 紫金山、团结沟金矿有关数据据陆志刚等(1997)和胡受奚等(1998)。

3.2.4 铷锶同位素

阿希金矿区铷锶同位素测定结果显示: 阿希金矿不同阶段含金石英脉锶同位素平均含量略有差别, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 相差不大, ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 初始比值十分接

近, 平均为 0.706, 反映出不同成矿阶段的内在联系^[21]。含金石英脉锶同位素初始值与区内容矿火山岩、矿化有关蚀变矿物十分接近, 均小于 0.709, 大于 0.705, 结合矿石中黄铁矿硫同位素显示的深源特点, 可以推断: 阿希金矿成矿的矿质主要来源于区内火山岩和次火山岩, 成矿作用无疑与区内火山岩系具有密切的成因联系。

3.3 成矿流体地球化学

包裹体是在矿物生长过程中捕获成矿(岩)介质而形成, 因此, 研究包裹体的成分可以有效破译成矿流体的基本物质组成及其成矿物理化学条件。

阿希金矿包裹体细小, 多数在 2~5 μm , 多呈纯液相, 气液两相少见。包裹体成分富水, 达到 71.52%~97.57%, 流体浓度很低, 与矿床低盐度特征是一致的。流体属于 $\text{K}^+ [\text{Na}^+] - \text{SO}_4^{2-} [\text{Cl}^-]$ 型, 总体以 $\text{K}^+ > \text{Na}^+$ ($\text{K}^+ / \text{Na}^+ > 2$), $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ 为 3~20), 贫 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ($\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 为 10~60), 以富含 CO_2 以及还原性气体 (CO 、 CH_4 、 H_2) 为特征。碱金属离子的大量存在, 有利于 SiO_2 的大量溶解、迁移, SO_4^{2-} 含量高, 对形成黄铁矿等主要载金矿物有利; CO_2 含量高, 反映了成矿流体受大气降水的影响程度加大; O_2 、 N_2 等气体的普遍存在也说明大气降水的参与^[26]。

伊尔曼得金矿包裹体非常细小, 一般 1~3 μm , 以富水为特征 (占 87.97%~97.72%)。液相成分中, 碱金属离子含量远大于碱土金属离子, 特别是 K^+ 明显高于其他离子达 1~2 个数量级; 阴离子以 SO_4^{2-} 居多, 占总量的一半以上; 气相成分中 CO_2 、 CH_4 、 CO 含量较高, 分别为 93.71×10^{-6} 、 195.22×10^{-6} 和 100.92×10^{-6} 。两件样品包裹体均一温度分别为 300 $^\circ\text{C}$ 和 93 $^\circ\text{C}$, 获得成矿压力 $56.6 \times 10^5 \sim 176.2 \times 10^5 \text{ Pa}$, 成矿深度 250~700 m。成矿流体盐度较低, 为 0.21% ($w_{\text{NaCl}}\%$), pH 值 5.5, 属于中性流体 (200 $^\circ\text{C}$ 时中性 pH 值为 5.56)。

4 成矿模式

通过以上对西天山地区浅成低温热液金矿的介绍, 结合国内外同类金矿的研究成果, 建立本区该类矿床成矿模式如下 (图 5)。

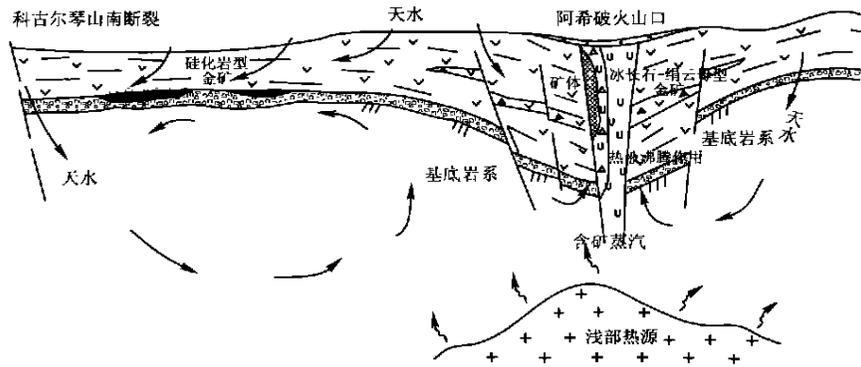


图 5 西天山地区浅成低温热液金矿成矿模式

Fig. 5 Metallogenic model of the epithermal gold deposit in West Tianshan Mountains

早石炭世早期, 大约相当于杜内期早期, 由于地壳伸展作用, 使大陆克拉通开裂形成伊犁裂谷, 随着裂谷的拉开作用加剧, 引发大规模火山喷发作用, 形成了厚度较大的富含 Au、Ag、As、Sb、Bi 等成矿元素高背景场的大哈拉军山组火山岩建造。阿希等金矿所在位置处于北西西向和北北西向区域性基底断裂交汇部位, 形成了中心式喷发的火山活动中心。

早石炭世大哈拉军山火山作用晚期阶段, 深部岩浆房的塌陷作用导致阿希破火山口形成。其结果是来自较深部的次火山岩浆沿火山颈相(安山质角砾熔岩)边界贯入, 切割前期形成的火山岩地层, 并围绕破火山口形成一系列环状及放射状分布的火山断裂。其中作为火山口缘环状断裂一部分的弧形 F_2 断裂是阿希金矿的重要的控矿断裂。

在长期活动的火山口附近, 沿火山岩层裂隙或断裂下渗的天水在深部热源(浅成岩体?)驱动下形成循环的热流体。这种成矿流体的运移和现代地热水体系流体的运移相似, 以自然对流为主, 流体运移的动力是深部热源。近源流体受热而密度减小, 在热动力作用下向上运动, 而地表天水在重力作用下向下运移, 形成以热源为中心的对流圈。循环流体通过火山岩等含金载体, 不断萃取围岩中的成矿物质, 逐渐成为具有一定温压条件的含矿流体。

近火山中心部位, 含矿流体沿破火山口构造断裂系统上行, 在近地表位置发生隐爆, 压力快速释放而产生热液沸腾作用, 使原本单一的液相流体变为多相流体, H_2O 、 H_2S 、 CO_2 等挥发分的快速逸离,

改变了流体的 pH、Eh 等物理化学条件, 使得载金络合物不稳定而分离, 发生 SiO_2 等沉淀充填而形成含金石英脉; 同时, 成矿流体运移过程中与围岩发生水-岩反应, 导致了以硅化-绢云母化-冰长石化为代表的近矿蚀变作用的发生。这种流体循环—上行隐爆—热液沸腾—含矿质淀积作用的反复作用, 最终形成以多期热液沸腾作用为特色的角砾状、层纹状等组构为特征的充填为主的石英脉型金矿化。

远火山中心部位, 含矿流体循环并沿有利构造部位(层间裂隙带)上行, 在天水稀释作用机制下, 流体性质发生改变, 载金络合物不稳定而分解, 沿富原生孔隙和次生孔隙的大哈拉军山组底部沉火山碎屑岩选择性充填交代, 形成顺层展布的似层状矿化体。岩石遭受硅化作用后脆性增大, 更易于遭受热液的裂隙化^[2], 这就是硅化岩型金矿多次热液同位叠加富集成矿的原因。以上成矿作用过程如图 6。

5 结论

综上所述, 西天山吐拉苏地区金矿形成于晚古生代陆相环境下, 宏观上受伊犁晚古生代裂谷活动控制。金矿成矿具有明显的低温、浅成特点, 并可进一步划分为冰长石-绢云母型和硅化岩型。其中以阿希金矿为代表的冰长石-绢云母型金矿为热液充填石英脉型, 成矿特点可以与世界同类金矿对比; 以伊尔曼得等金矿为代表的硅化岩型金矿为热液交代作用为主的蚀变岩型, 成矿特征既不同于阿希等金矿, 又不具备酸性硫酸岩型金矿的某些标型特征, 有

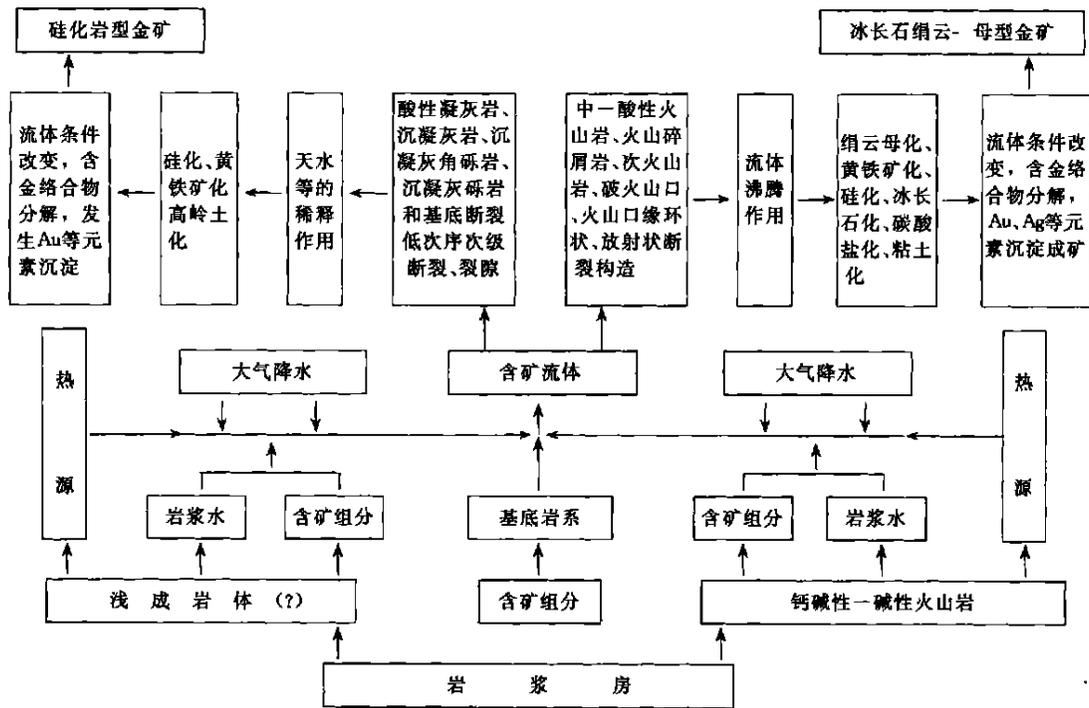


图6 西天山地区浅成低温热液型金矿成矿过程示意图

Fig. 6 Schematic map of ore-forming process of the epithermal gold deposits in West Tianshan Mountains

图6 西天山地区浅成低温热液型金矿成矿过程示意图

Fig. 6 Schematic map of ore-forming process of the epithermal gold deposits in West Tianshan Mountains

待于进一步研究。

矿床成矿元素富集特点、稳定同位素示踪和成矿流体地球化学特征等的研究结果显示，容矿围岩大哈拉军山组火山岩与金矿成矿具有明显的成生联系，是金矿成矿的物质来源——“矿源层”；同时，火山活动过程又是一个巨大的释热过程，“热泵作用”的结果，形成了以火山口为中心的，以大气降水为主体组成的流体循环系统，流体循环过程中，与围岩（火山岩等）发生水-岩反应，萃取成矿物质进入流体，形成含矿热液。

流体运移至近地表环境，于不同的构造部位，分别发生了流体沸腾和天水稀释作用而各自形成热液充填型的冰长石-绢云母型金矿和热液交代型的硅化岩型金矿。

参考文献:

[1] Heald P, et al. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits acid-sulfate and adularia-sericite

types [J]. Economic Geology, 1987, 82 (1): 1-22.

[2] White N C, Hedenquist J W. Epithermal environments and styles of mineralization-variation and their cause, and guidelines for exploration [J]. Jour. Geochem. Exploration, 1990, 36: 445-474.

[3] 毋瑞身. 低温浅成热液金矿若干问题探讨 [J]. 贵金属地质, 1993, 2 (1): 47-53.

[4] Hedenquist J W, Antonio Arribas and James Reynolds. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines [J]. Economic Geology, 1998, 93 (4): 373-404.

[5] Henley R W. Epithermal gold deposits in volcanic terranes [A]. In: Foster R P, Blackie, ed. Gold Metallurgy & Exploration [C]. 1991, 133-164.

[6] Berger B. R, Henry R. W. Advances in the understanding of epithermal gold-silver deposits, with special reference to the Western United States [J]. Economic Geology, Monograph, 1989, 6: 405-423.

[7] 应汉龙. 浅成低温热液金矿床的全球背景 [J]. 贵金属地质, 1999, 8 (4): 241-250.

- [8] 李之彤. 我国东部中(新) 生代火山热液型金矿地质特征[A]. 金矿地质论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [9] 林宝钦. 中国东部冰长石-绢云母型低温浅成热液金矿[J]. 贵金属地质, 1992, 1 (4): 199-206.
- [10] 陈仁义, 芮宗瑶. 五风浅成热液金矿床地质特征及成矿机理 [J]. 矿床地质, 1993, 12 (1): 20-28.
- [11] 胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 等. 中国东部金矿地质学及地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 300-334.
- [12] 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山岩地质与矿产 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 248-256.
- [13] 刘洪林, 董连慧. 阿希金矿地质特征及成因初探 [J]. 新疆地质, 1994, 10 (2): 110-119.
- [14] 李本海, 薛秀娣. 新疆阿希金矿 I 号脉矿床矿石特征及其成因意义 [J]. 新疆地质, 1994, 12 (2): 146-156.
- [15] 毋瑞身, 田昌烈, 杨芳林, 等. 新疆阿希地区金矿概论 [J]. 贵金属地质, 1996, 5 (1): 5-21.
- [16] 沙德铭. 西天山阿希金矿流体包裹体研究 [J]. 贵金属地质, 1998, 7 (3): 180-188.
- [17] 沙德铭, 等. 西天山阿希古破火山口构造及其控矿意义 [J]. 地质论评, 1999, 45 (增刊): 1088-1094.
- [18] 翟伟, 杨荣勇, 漆树基, 等. 新疆伊宁县伊尔曼得热泉型金矿地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (1): 47-54.
- [19] 沙德铭, 毋瑞身, 等. 西天山吐拉苏—也里莫墩矿带金矿成矿条件与成矿规律 [A]. “九五”全国地质科技重要成果论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2000, 247-250.
- [20] 董连慧, 田昌烈. 西天山吐拉苏—也里莫墩金成矿带简述 [J]. 地质与资源, 2001, 10 (2): 85-90.
- [21] 董连慧. 阿希金矿主要蚀变类型及其与金矿化关系 [J]. 地质与资源, 2001, 10 (3): 129-132.
- [22] 李华芹, 谢才富, 常永亮, 等. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律 [M]. 北京, 科学出版社, 1998. 107-127.

The geochemical characteristics and ore-forming model of the epithermal gold deposit in West Tianshan Mountains

SHA De-ming^{1,3}, DONG Lian-hui², WU Rui-shen³,
TIAN Chang-lie³, JIA Bin^{1,3}

(1. Northeast University, Shenyang 110006, China; 2. Xinjiang Geo-survey Bureau, Ürümqi 830000, China; 3. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract: Axi gold deposit and its peripheral ore deposits Yiemande, Qiabukanzuota, which formed in Late Paleozoic volcanic rocks in West Tianshan Mountains, are considered as epithermal mineralizing type, and divided furtherly into adular-sericite type and silicated rock type. The gold deposits are formed in Tulasu-Yelimodun volcanic belt of Yili Late Paleozoic rift. And the country rocks of the gold deposit are continental intermediate-acid volcanic eruptive rock series of Dahalajunshan formation (C_{1d}) and corresponding sub-volcanic bodies which belong to lime-alkali-alkali series association. Axi gold deposit considered as the representative of the adular-sericite type was controlled by volcano-structures and the main ore bodies were quartz vein type filling in ring-like fault near crater. And it is low-temperature and low-pressure feature by its ore texture and mineral assemblage. Yiemande gold deposit considered as the representative of the silicated rock type was controlled by the sedimentary volcanic rocks of the lower part of Dahalajunshan formation and its ore bodies are layer and layer-like. So by analyzing the metallogeno-geochemical characteristics of the ore deposits, the authors discuss the settings, conditions and the characteristics of the gold deposit and set up its ore-forming model with epithermal characteristics.

Key words: epithermal gold deposit; adular-sericite type; silicated rock type; ore-forming model; Axi gold deposit; Yiemande gold deposit; West Tianshan Mountains