

西天山吐拉苏火山盆地金成矿系列成矿模式

贾斌^{1,2}, 毋瑞身², 田昌烈², 沙德铭^{1,2}

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110008; 2. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要: 西天山伊尔曼得金矿、恰布坎卓它金矿、阿希金矿和塔吾尔别克金矿形成于晚古生代吐拉苏火山盆地构造环境, 这些金矿在同一期火山作用下成矿, 成矿热液来源、成矿物质来源和陆缘岩浆带的构造背景都存在相似性和共性, 但由于流体受成矿区孔隙或断裂构造的影响, 如伊尔曼得金矿和恰布坎卓它金矿发育孔隙构造、阿希金矿发育断裂构造、塔吾尔别克金矿发育斑岩原生裂隙和微裂隙, 成矿流体在成矿过程中, 流体沿着不同构造流动, 其运动方式也不同。伊尔曼得金矿和恰布坎卓它金矿的成矿流体沿孔隙以渗透方式运动, 产生大量的交代作用, 矿体呈穹丘状和似层状, 为酸性硫酸盐型金矿; 阿希金矿沿断裂构造以两个大平板间的流动方式运动, 产生充填作用, 矿体呈脉状, 为冰长石-绢云母型金矿; 塔吾尔别克金矿成矿流体沿着斑岩体的原生裂隙和微裂隙以缓慢流动和渗透方式运动, 矿体呈细脉状和细脉浸染状, 为斑岩型金矿, 导致成矿物理化学环境、成矿机理和矿床类型上存在差异, 这些矿床类型构成了金矿成矿系列, 建立金矿成矿系列的成矿模式, 具有重要的找矿意义。

关键词: 西天山; 金矿; 成矿系列; 成矿模式

成矿系列是指在一定的地质单元, 在一定的地质发展时期, 与一定地质作用有关, 在不同或相同演化阶段形成的有相互成因联系的一组矿床。但后来有些人还包括了矿床、矿点、矿化岩石及蚀变岩石等地质异常, 同时包括了作为这些异常反映的物化探及遥感异常^[1,2]。

吐拉苏火山盆地中存在多种金矿类型, 如伊尔曼得金矿、恰布坎卓它金矿、阿希金矿和塔吾尔别克金矿, 它们同位于晚古生代陆缘岩浆活动带构造背景中^[3], 构成成矿系列, 但缺乏对这些矿床成矿系列整体成矿规律的研究和成矿系列模式的研究。笔者通过一些矿床的流体在不同构造中运动特点, 探讨流体运动方式对成矿作用的影响, 在同一期火山作用中可以形成多种矿床类型, 建立成矿系列模式, 可以进一步了解矿床类型之间的成因联系和矿床的形成与火山作用的关系, 推断不同类型的矿床在火山活动区的分布规律, 以便对火山岩地区进行成矿预测。

吐拉苏地区出露的早石炭世大哈拉军山组火山岩组合以安山岩和英安岩为主, 其次为玄武岩。火山岩呈层状产出, 火山锥较少, 仅在火山活动后期出现一些小火山锥。安山岩极发育, 以厚层连续产出, 面积及规模极大。火山活动与山脉之间的吐拉苏盆地延伸方向一致, 火山活动受吐拉苏盆地的控制(图1)。

1 流体运动方式对成矿作用的影响

流体运动方式主要有两种: ①流体在孔隙介质中运动; ②流体在断裂裂隙介质中运动。孔隙介质是指流体运动的环境可近似地假设为一种被溶液饱和的细小多孔介质^[4,5], 它们具有一定的孔隙度和渗透率, 流体通过岩石中的孔隙或微裂隙发生渗流^[6-8]。在孔隙介质中扩散作用是流体成矿组分的重要迁移形式, 扩散系数是研究和描述扩散作用的主要参数。流体中组分扩散系数与断裂渗透率的演化具有复杂的关系^[9-12], 当流体的流速较慢时, 流体的运动服从达西定律, 此时, 流体渗流速度与压力梯度成线性关系, 这种流动称为达西型流^[13-15]。

为便于讨论, 我们选择均质流体在孔隙介质中的运动, 当其为稳定的慢速流动时, 可用达西定律来描述^[13-15], 动力学方程如下:

$$\text{质量守恒方程: } \partial/\partial t(\Phi\rho) + \nabla \cdot \rho q = 0$$

$$\text{动量守恒方程: } q = -K/\mu \cdot (\nabla P - \rho g)$$

运动方程:

$$C_E \cdot \partial T/\partial t + \rho C_f (\partial \psi/\partial Z \cdot \partial T/\partial Y - \partial \psi/\partial Y \cdot \partial T/\partial Z) = K_E \nabla^2 T$$

式中: Φ ——孔隙度;

ρ ——流体密度;

K ——渗透率;

项目资助: 新疆国家 305 基金项目“新疆阿希金矿外围金矿成矿规律及找矿评价研究”(96915030602)资助

收稿日期: 2003-03-08; 修订日期: 2003-10-27; 作者 E-mail: dingdang_123@vip.163.com

第一作者简介: 贾斌(1957-)男, 安徽砀山人, 副研究员, 1982年毕业于长春地质学院地质勘探系, 现为东北大学博士生, 从事金铜矿床、火山岩研究

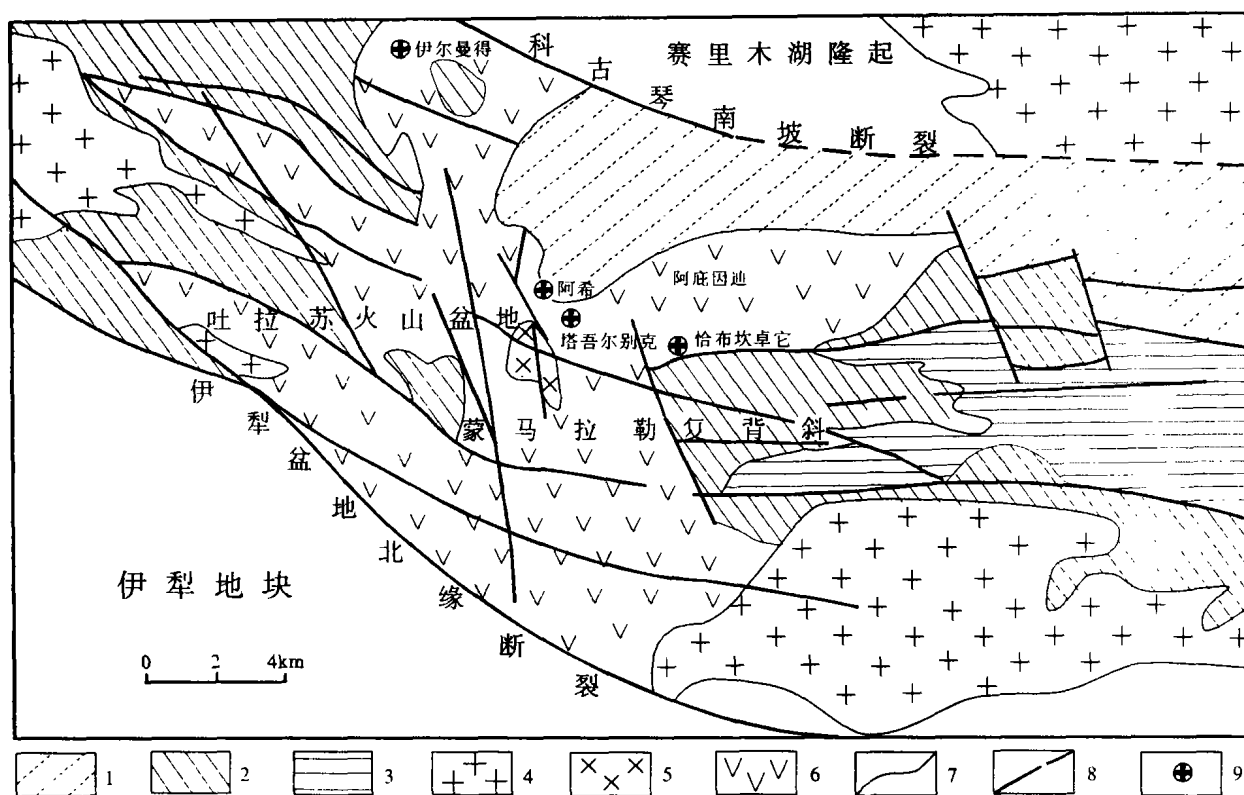


图1 西天山吐拉苏火山盆地金矿分布图

Fig.1 Distribution of gold deposits in Tulasu volcanic basin of West Tianshan

1.早石炭世阿恰勒河组;2.O₂-S₁地层;3.前震旦纪基底;4.华力西中期花岗岩;5.华力西中期次火山岩;
6.早石炭世大哈拉军山组;7.地质界线;8.区域性断裂;9.金矿床

μ ——流体粘度;

P ——流体压力;

g ——重力加速度;

C_E ——等效热容;

C_j ——流体的定压比热容;

K_E ——等效热传导系数;

T ——温度;

q ——流体速率;

ψ ——流函数;

$Y-Z$ ——流场在 X 方向定常不变时直立二维平面上的热液运动的矢量。

断裂裂隙介质中的流体动力学,主要应用双扩散对流理论进行研究。双扩散对流是指由于热扩散和物质扩散的双重扩散引起的流体对流运动。较浅部的流体可以下渗对流,其密度变化最大的区段大致在15~25 km,在相对开放的断裂疏导体系中,压力变化趋向于静水压力,这时对流可以达到较深部位。当流体中受热不均匀而存在温度梯度、成分不均匀而存在组分浓度梯度时,由于温度梯度引起的密度梯度和由于浓度梯度引起的密度梯度方向相反时就会产生双扩散对流。流体沿陡倾断裂裂隙流动可简化为两个直立无限大平板之间的运动。热液流体的温度梯度和

浓度梯度平行于此平板。热液流体运动的动力学方程如下^[13,16,17]。

运动方程(Navier-Stokes 方程):

$$\frac{\partial}{\partial t} \cdot (\Delta \varphi) - \frac{\partial \varphi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial (\Delta \varphi)}{\partial Z} + \frac{\partial \varphi}{\partial Z} \cdot \frac{\partial (\Delta \varphi)}{\partial Y} - \nu \Delta^2 \varphi + \alpha g \frac{\partial T}{\partial Y} - \alpha c g \frac{\partial C}{\partial Y} = 0$$

式中: ν ——粘度系数;

α ——溶质膨胀系数。

根据流体的质量方程、运动方程特点可看出,在成矿作用过程中的流体运动,受多种因素的影响,如介质的孔隙度、流体密度、渗透率、流体的粘度、流体内部压力等。流体在孔隙和断裂中以不同的方式运动,流体的内压力、流体的密度将发生不同的变化,同时引起流体的氧逸度、pH值、盐度发生改变。现以西天山吐拉苏火山盆地的金矿为例给予讨论。

2 成矿系列的金矿特征

2.1 伊尔曼得金矿

早石炭世大哈拉军山组火山活动初期,伊尔曼得金矿形成了大量的火山碎屑岩,主要为凝灰岩、火山角砾凝灰岩、熔结凝灰岩,其底部为沉凝灰岩、沉火山角砾岩和沉积砾岩,这些岩石为含矿热液的运移提

供了大量的孔隙,大气降水渗入地下受到地热梯度的影响,流体向上移动,逐渐形成热循环水,同时,在热循环水不断运动当中萃取围岩中的 Au 元素,形成含矿热液,含矿热液沿着火山碎屑岩的孔隙渗透,在孔隙中运动的流体,流体粘度越大其运动速率越低,当流体运动到伊尔曼得金矿地表浅部时,含矿较高的流体粘度性较大,其运动速率迅速降低,提供了流体扩散和交代的时间,流体与火山碎屑岩中的物质产生大量的交代作用,由于火山物质喷出地表沉积下来后,火山物质捕获的大量空气中的游离氧,储藏在火山碎屑物的孔隙中,当流体遇到孔隙中的游离氧时,使含矿热液略显酸性,使长石产生强烈的重晶石化和高岭石化,但由于成矿热液的酸性不够,未形成更酸性条件下的明矾石,在火山碎屑岩产生大量重晶石和高岭石的同时,析出硅质,这些硅质形成了大面积的硅化岩,硅化岩呈面状分布,未形成石英脉,如本矿床交代作用形成了强硅化沉火山角砾岩、硅化凝灰岩、硅化凝灰质粉砂岩、硅化凝灰质细砂岩、硅化碎屑凝灰岩和灰色硅化岩,硅化越强的地段金矿化就越强,矿体与围岩没有截然的界限,呈渐变关系,在硅化火山角砾岩地段的金矿化高于硅化凝灰岩地段,由于流体大面积扩散和交代,温度、压力降低,孔隙游离氧增高,pH 环境改变,而形成大量的硅化岩和矿质沉淀,在这种条件成矿,其温差和 pH 变化都很大,成矿部位距地表很近,石英和金属硫化物结晶颗粒都非常细小,由于成矿作用常沿较大孔隙的火山角砾岩产生高速率的流动,所以产生有层位选择的强交代作用,导致矿体部分呈似层状,部分矿体呈穹丘状,属于酸性硫酸盐型金矿,恰布坎卓它金矿与伊尔曼得金矿成矿机理类似,在此略。

2.2 阿希金矿

阿希金矿的成矿热液是由大气降水组成的热循环水受到地热梯度不断增温后,从深部上移,运动中萃取大量的成矿物质,Au 直接从火山岩中带出,热循环水主要在早石炭世大哈拉军山组火山熔岩的下部运动,由大气降水组成的热循环水经过火山活动中心地带时温度增高(150~240℃),它的蒸汽压也很高,成矿热液混入少量的火山热液,这样的热液萃取能力超过伊尔曼得金矿和恰布坎卓它的热流体的萃取能力,这种含矿热液在熔岩几乎不能进行渗透运移,只有当区域断裂构造和火山口附近与火山机构有关的断裂构造产生时,突然减压并有空间形成时,金矿热液便沿着压力降低的方向迅速运移,沿着断裂和裂隙充填和贯入,流体沿着断裂流动,断裂两壁相当于两个直

立无限大平板,流体在它们之间流动,热液流体的温度梯度和浓度梯度平行于此平板,流体的内压力和流体的密度降低,使流体迅速移动,流体前锋很快使断裂形成闭合,流体形成巨大含金石英脉,由于搬运通道宽敞畅通,大量的金属矿物质被携带,形成多金属硫化物和其它金属矿物的矿脉,形成的蚀变带一般顺着断裂构造方向延伸,横向上由矿脉向外蚀变作用有强弱之分,在此种条件下,由于断裂闭合快,游离氧较少,成矿热液的 pH 值处于 5.6~8,所形成的蚀变矿物主要为绢云母、水白云母、绿泥石、冰长石等,一般形成冰长石-绢云母型金矿^[19]。

2.3 塔吾尔别克金矿

由大气降水形成的热循环水与岩浆残余热液混合形成混合型成矿热液,成矿物质来自于火山岩和次火山岩即二长斑岩体,这种含矿热液蒸汽压较大,金属硫化物较多,具有很强的渗透力,所以在斑岩体中可见自形晶黄铁矿和一些绢云母化,流体以温度处于中低温,成矿热液主要沿着斑岩体内的原生剪切裂隙带和微裂隙运动、渗透交代,充填成矿,由于裂隙的空间小,形成大量密集分布石英细脉,流体以沿着原生剪切裂隙流动和沿着不连续的微裂隙渗透两种运动方式,流体在运动过程中,可能经历过两种运动方式成矿,成矿环境变化较大,由于剪切裂隙带和微裂隙比火山碎屑岩的孔隙空间大,比大断裂空间小,流体流动的速率介于沿孔隙和断裂流动的速率间,流体的内压力和流体密度也降低比较缓慢,形成的矿体既有脉状也有细脉浸染状的,这种斑岩型矿化距火山口没有固定的位置,其特征为矿化围岩是侵入于火山岩中的二长斑岩体,由于成矿热液是混合型,所以热液的 pH 值范围变化比较大,形成了斑岩型金矿。

3 金矿成矿系列模式

通过对伊尔曼得、恰布坎卓它、阿希和塔吾尔别克金矿特征和成矿机理的讨论,这些金矿是在一定的地质时期即早中石炭世时,与大哈拉军山组火山作用和岩浆作用有关的成矿作用形成具有成分和结构变化的地质-矿产联合体,构成有内在成因联系的由不同矿化地段组成的成矿系列,我们总结了其成矿系列模式(图 2)。

3.1 金矿类型

伊尔曼得金矿、阿希金矿和塔吾尔别克金矿属于 3 种不同类型的金矿,伊尔曼得、恰布坎卓它金矿为酸性硫酸盐型金矿;阿希金矿属冰长石-绢云母型

金矿^[18,19];塔吾尔别克金矿为斑岩型金矿^[20]。这些金矿都与同一期的晚古生代吐拉苏火山盆地火山作用,以及本火山岩区的浅成低温热液的成矿密切相关。二长斑岩岩体中的成矿作用也与斑岩体周围火山岩区的浅成低温热液相关。因此,这些金矿类型是该区火山作用的整体产物,它们构成本火山岩区成矿系列。

3.2 成矿系列的成矿模式

3.2.1 伊尔曼得金矿成矿模式

成矿环境 成矿围岩为下石炭统大哈拉军山组第一岩性段和第二岩性段岩石,主要有凝灰岩、熔结凝灰岩、火山角砾岩等火山碎屑岩和少量沉凝灰岩等。这些岩石经过成矿热液的作用,产生了不同程度的硅化,如强硅化沉火山角砾岩、强硅化火山角砾岩、硅化含角砾凝灰岩、强硅化凝灰质粉砂岩、强硅化凝灰质细砂岩、强硅化凝灰质砾岩、硅化碎屑凝灰岩和灰色硅化岩。金矿化主要分布于强硅化蚀变岩和硅化岩中,下石炭统大哈拉军山组是矿源层。

矿区构造 矿区褶皱构造不发育,地层产状趋平缓。矿区内有一平阔的背斜构造,褶皱地层主要为早石炭世大哈拉军山组酸性凝灰岩。矿区断裂构造不发育,控矿构造为顺层断裂、层面构造、火山碎屑岩的孔隙带^[21]。

矿体形态、分布 矿体呈层状、似透镜状、穹丘状,沿火山碎屑岩岩层呈面状和似层状分布。矿体产状与本区地层产状近于一致,都是顺层延伸和分布,局部略有变化。矿体与围岩界线不清,呈渐变过渡关系,具明显顺层交代作用的特点。由于矿体的边界不清,只能采用试金样分析结果圈定矿体。矿体规模变化较大,平均品位达 1.2×10^{-6} 以上的矿体,一般长 3.0~350 m,宽 2~42 m。

矿石类型及金属矿物组合 矿石类型为硅化岩型和黄铁矿石英脉型。硅化岩型矿石呈灰黑色,致密块状,主要成分为石英,含少量的黄铁矿和毒砂;黄铁矿石英脉型,该矿石细小裂隙比较多,这些裂隙大部分被石英渗透交代,石英细脉沿裂隙分布、穿插,将火山碎屑岩分割成角砾状,这种矿石较少。石英细脉中含有大量的黄铁矿和少量白铁矿。金属矿物组合为:黄铁矿、毒砂、白铁矿、自然金、磁黄铁矿。

矿石结构、构造 矿石结构为他形晶-半自形晶结构、微晶-雏晶结构,熔蚀结构、交代结构、重结晶结构、脱玻化结构,包含结构;矿石构造为星散状构造、浸染状构造、脉状构造、网脉状构造、块状构造、角砾状构造、条带状构造。

蚀变岩 围岩蚀变主要为高岭石化、地开石化、

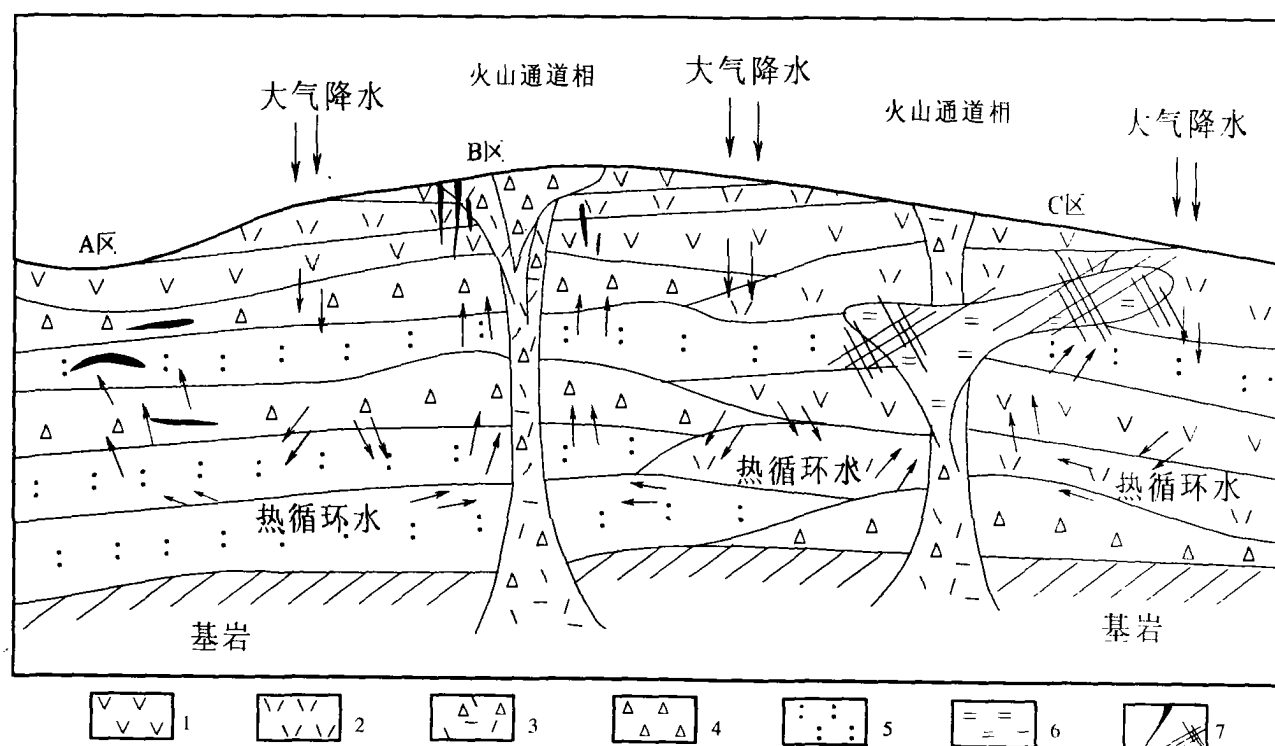


图2 西天山吐拉苏火山盆地金成矿系列模式图

Fig.2 Mode chart of metallogenic series of gold deposits in Tulasu volcanic basin of West Tianshan

1.安山岩;2.英安岩;3.火山碎屑熔岩;4.火山角砾岩;5.凝灰岩;6.二长斑岩;7.金矿体

A区——伊尔曼得金矿(包括恰布坎卓它金矿);B区——阿希金矿;C区——塔吾尔别克金矿

硅化、重晶石化、碳酸盐化。

成矿期和矿化阶段 伊尔曼得金矿经历了 2 个成矿期和 4 个成矿阶段:①内生成矿期。第一成矿阶段为大量蚀变岩形成阶段。含矿热液沿火山碎屑岩的孔隙和层面产生面型的扩散交代作用,大量岩石产生高岭石化、绿泥石化、绢云母化、地开石化、硅化,形成少量的星散状和浸染状黄铁矿、金矿化弱;第二成矿阶段为硅化岩形成阶段。含矿热液沿着裂隙运移时对围岩产生强烈的硅化作用,以渗透交代作用为主,形成极细小的黄铁矿、白铁矿、自然金等,构成矿体的主体。同时硅化岩中有许多共生的重晶石形成,为自形晶,团块状;第三成矿阶段为黄铁石英细脉阶段。石英呈脉状沿微裂隙分布,石英沿裂隙的两壁生长,为疏状构造。石英自形晶,粒度粗大。石英脉中含少量金属矿物黄铁矿、毒砂等;第四成矿阶段为碳酸盐石英脉和重晶石脉阶段。有大量的宽大重晶石脉形成,碳酸盐石英脉规模较小,金矿化较弱;②表生成矿期。原生矿体及蚀变岩受地表氧化淋滤作用,一些矿物产生氧化状态下的矿物,如褐铁矿、黄钾铁矾等。这些矿物一般限于地表 30 m 深左右。

火山机构中矿化的位置 矿化距火山口较远,产于沉火山碎屑岩和火山碎屑岩中。

热液和矿质来源 成矿热液来自于地下热循环水,由大气降水构成。矿质来自于大哈拉军山组火山岩。

成矿物理化学条件 成矿温度为 93~151.4℃;成矿压力为 1 880~9 520 Pa; $w(\text{NaCl})$ 为 1.5%~0.39%;矿化度为 9.95×10^{-6} ;pH=2.8~4.6;成矿流体的还原系数为 0.01~1.17;成矿流体的离子强度为 0.146~0.18;氧逸度为 $f_{\text{O}_2} = -35.2 \sim -38.9$ 。

成矿时代 为古生代早石炭世韦一谢尔普霍夫世火山作用早期形成的金矿床。

矿床类型 属于浅成低温热液酸性硫酸盐型金矿(图 2 A 区)^[21]。

3.2.2 阿希金矿成矿模式

成矿环境 成矿围岩以早石炭世大哈拉军山组火山熔岩为主,夹有少量的火山碎屑岩。主要由英安岩、安山岩、石英安山岩、流纹英安岩组成,其次有少量的晶屑岩屑凝灰岩、熔结凝灰岩、火山角砾岩和集块岩。火山活动后期有闪长玢岩侵入。在成矿区内大哈拉军山组火山岩部分被阿恰拉河组覆盖,阿恰拉河组是一套陆相-海相沉积,最初为陆相的砂砾岩沉积,后来海进以后形成一些岩屑长石砂岩、灰岩等。

控矿构造为区域性的 NS 向、NW 向断裂构造和

受火山机构控制的弧形裂隙。近 NS 向断裂构造对阿希金矿控矿起主导作用。4 条 NS 向断裂规模不一致,长 200~500 m,宽 20~70 m,倾向东,倾角 80°左右,断裂性质为张性和压扭性,个别断裂二种性质兼而有之,并且具有多期次活动特点。断裂两侧常常伴随一定蚀变岩化和岩石破碎带。断裂充填有石英脉和碳酸盐石英脉。这些脉体含金,因此控制 NS 向矿体的分布。该区 NS 向构造与环状构造带之间局部重叠,重叠部位矿化作用最强。矿区内发育多个小火山活动中心;火山口成群分布,火山口大多数为破火山口。

矿体形态、分布 矿体呈脉状。矿体沿穿切火山杂岩体的断裂和裂隙分布,石英脉矿体外壁呈舒缓波状,在深部有隐伏矿脉存在。

矿石类型及金属矿物组合 矿石类型为多金属硫化物石英脉型、白铁矿碳酸盐石英脉型、黄铁绢英岩型和黄铁矿化蚀变岩型。多金属硫化物石英脉型矿石主要矿物为烟灰色石英、黄铁矿、白铁矿、毒砂、银金矿,含少量的黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、深红银矿、硒银矿、自然锌、白铁矿碳酸盐石英脉型矿石含有大量的草束状的白铁矿、针状毒砂,其次是少量的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黝铜矿、砷黝铜矿、磁黄铁矿、银金矿等。黄铁绢英岩型矿石矿物为石英、绢云母、黄铁矿、白铁矿、银金矿。黄铁矿化蚀变岩型矿石为火山熔岩如英安岩、石英安山岩等遭受硅化和绢云母化所形成的矿石,含少量的自然金。

金属矿物组合 黄铁矿、白铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、深红银矿、硫锑铜银矿、硒银矿、硒铜矿、锌铜矿、辉砷镍矿、银金矿、自然金、自然锌、黝铜矿、砷黝铜矿、斑铜矿、铜蓝、赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿、蓝辉铜矿、孔雀石、菱铁矿、角银矿。

矿石的结构、构造 矿石结构为半自形晶-他形晶微粒、半自形晶-他形晶粒状、自形-半自形晶、交代残余、固溶体分解、包含、胶状、环带等结构。矿石构造为星散状、浸染状、团块状、脉状、细脉浸染状、角砾状、草束状、菊花状构造等。

蚀变岩 围岩蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、冰长石化、钠长石化等。蚀变岩有一定的分带性,由内向外依次为硅化带、绢云母、碳酸盐化、冰长石化。

成矿期 根据成矿作用划分为两个成矿期:即热液成矿期和表生成矿期。热液成矿期在热液作用条件下成矿,而表生成矿期是在表生条件下成矿。

成矿阶段 共分为5个成矿阶段。第Ⅰ成矿阶段:矿区火山岩产生了大面积强烈自蚀变作用,普遍发生面型硅化和绢云母化,矿物组合以黄铁矿、石英、绢云母和钠长石为主,其次有白铁矿、冰长石、毒砂和富镁蒙脱石、伊利石;第Ⅱ成矿阶段:为金属硫化物石英脉阶段,形成了规模巨大的烟灰色、灰白色石英脉,并含有大量多金属硫化物,其次有金属互化物、硒化物、自然矿物和含硫盐矿物等。金属矿物大多粒度较细 0.03~0.008 mm,呈散状、浸染状分布,自然金、银金矿粒度比其它金属矿物的粒度要细。石英脉基本沿裂隙分布,构成金矿成矿的主要阶段;第Ⅲ成矿阶段:为白铁矿碳酸盐石英脉阶段。本阶段脉体穿切第Ⅱ阶段的石英大脉,形成大量的碳酸盐石英脉。碳酸盐石英脉宽度 0.01~6 mm,长 10~30 m,延深 400 m。矿物组合主要为石英、铁白云石、锰白云石、方解石、白铁矿、毒砂,其次为少量的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等。成矿作用仅次于第Ⅱ阶段;第Ⅳ成矿阶段:含金属硫化物碳酸盐脉阶段。脉体宽度 1~3 cm,长 2~30 m,延深 70 m,一般呈网脉状。碳酸盐为白云石和方解石,自形晶-半自形晶中粗粒结构,含量 50%。金属矿物较少,主要是黄铁矿、白铁矿、毒砂,总含量 5%。成矿作用较弱;第Ⅴ成矿阶段:为碳酸盐脉阶段,脉宽 0.5~15 cm,长 1~12 m。碳酸盐主要为方解石。

火山机构中矿化的位置 矿化距火山口较近,产于火山口附近的火山熔岩和少量火山碎屑岩中的断裂构造内。

热液和矿质来源 成矿热液来自于地下热循环水,由大气降水构成。成矿物质来自于大哈拉军山组火山岩。

成矿物理化学条件 成矿温度为 81.2~260℃;成矿压力为 43 753.5~5 365.5 Pa; $w(\text{NaCl})$ 0.35%~9.6%;矿化度为 2.5×10^{-6} ~ 26.7×10^{-6} ;pH=5.7~8.8;成矿流体的还原系数平均为 2.24~12.25。成矿流体的离子强度为 0.1~1;氧逸度为 f_{O_2} =-37~-39。

成矿时代 成矿时代为古生代早石炭世韦宪一谢尔普霍夫世火山作用晚期形成的金矿床。

矿床类型 属浅成低温热液冰长石-绢云母型金矿(图 2B 区)。

3.2.3 塔吾尔别克金矿成矿模式

成矿环境 成矿围岩为中石炭世二长斑岩岩株。二长斑岩侵入于大哈拉军山组第五岩性段安山岩中。矿区出露的地层主要是大哈拉军山组第五岩性段,其次是大哈拉军山组第一岩性段、第二岩性段和第四岩性段。第一岩性段为砾岩、沉火山凝灰岩、流纹质

晶屑玻屑凝灰岩;第二岩性段为流纹质火山灰球熔结凝灰岩和玻屑火山灰凝灰岩;第四岩性段为英安质火山角砾岩、晶屑玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩;第五岩性段为辉石安山岩、英安岩、火山角砾岩、凝灰岩、晶屑凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩。

矿区的构造为原生裂隙和微裂隙。裂隙主要形成于岩体内。裂隙宽 0.5~1.5 cm,长 20~300 m。多个裂隙组合在一起,形成裂隙带,平行等距分布。裂隙被石英细脉和碳酸盐细脉充填。在该成矿区共发现裂隙带 4 组,走向分别为 320°、60°、20°、230°,它们是主要控矿构造,裂隙带之间互相穿切,交汇部位为富矿地段。

矿体形态、分布 矿体呈细脉状,沿二长斑岩体内的裂隙带分布。

矿石类型及金属矿物组合 矿石类型为黄铁矿石英脉型、黄铁矿碳酸盐石英脉型、破碎黄铁矿蚀变岩型、细脉浸染型。黄铁矿石英脉型:矿石灰白色,致密块状,主要矿物成分石英和黄铁矿;黄铁矿碳酸盐石英脉型:矿石白色,白褐色,致密块状,主要矿物成分石英、碳酸盐、黄铁矿和少量重晶石;破碎黄铁矿蚀变岩型:二长斑岩受热液作用产生蚀变岩,蚀变作用为绢云母化、绿泥石化,蚀变岩中含有星散状和浸染状黄铁矿;细脉浸染型:一些微裂隙发育于裂隙带的外侧,密集分布,脉体不长,2~6 cm,有石英细脉贯入,脉体不连续,宽 0.3~0.5 cm,黄铁矿很少。

金属矿物组合 为黄铁矿、白铁矿、自然金、银金矿、褐铁矿。

矿石的结构、构造 矿石结构为他形晶-半自形晶结构、自形晶结构、熔蚀结构、包含结构、交代结构等;矿石构造为星散状构造、浸染状构造、脉状构造、网脉状构造、碎裂状构造等。

成矿期、成矿阶段和矿物组合 ①内生成矿期。第一成矿阶段:在二长斑岩岩体热液作用初期形成大量的绢云母化、绿泥石化、硅化、白云母化、黄铁矿化。热液沿微裂隙渗透交代,产生大面积的热液蚀变。其中,绢云母化和硅化蚀变最强,硅化和绢云母化呈面型分布,黄铁矿自形晶呈星散状分布,金矿化较弱;第二成矿阶段:由于岩体内形成大量的方向不同的多组裂隙带,裂隙带互相穿切,含矿热液沿着裂隙贯入,形成大量黄铁矿石英脉和黄铁矿碳酸盐石英脉。单个脉体延伸并不大,几十米左右,但组合成石英脉带,则整体延伸达 1 km 以上。黄铁矿在石英中呈浸染状分布,金矿化较强,尤其在裂隙带交汇部位矿化更好;第三成矿阶段:少量的碳酸盐石英脉和重晶石脉

沿后期裂隙贯入,含少量的黄铁矿,为浸染状,无金矿化;②表生期:原生矿体及蚀变岩,在地表氧化状态条件下,产生氧化淋滤作用,黄铁矿在新的氧化条件下,转化成褐铁矿。

蚀变岩 围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、方解石化、重晶石化。

火山机构中矿化的位置 矿化距火山口较远,产于侵入于安山岩中的二长斑岩体内。

热源来源和矿质来源 成矿热液是由大气降水组成的地下热循环水和岩浆热液混合而成的热液,成矿物质来自于二长斑岩体和大哈拉军山组火山岩。

成矿物理化学条件 成矿温度为 130℃ 左右;成矿压力为 23 100 Pa; $w(\text{NaCl})$ 为 0.6%~2.1%;矿化度平均为 0.078×10^{-6} , pH=4.6~6.2;成矿流体的还原系数为 0.21~0.67;成矿流体的离子强度为 0.04~0.08;氧逸度为 $f_{\text{O}_2} = -36.7 \sim -38.8$ 。

成矿时代 为古生代早石炭世成矿。

矿床类型 为斑岩型金矿。(图 2C 区)^[21]。

4 结论

根据流体的质量方程、能量方程、运动方程特点可看出,在成矿作用过程中的流体运动,受多种因素的影响,如介质的孔隙度、流体密度、渗透率、流体的粘度、流体内压力等。流体在孔隙和断裂中以不同方式运动时,流体的内压力、密度将发生不同的变化,同时引起流体的氧逸度、pH 值、盐度发生改变。通过西天山吐拉苏火山盆地的金矿的讨论,在同期火山作用下,由于流体在不同的构造条件下移动和扩散,导致形成了三种不同的金矿类型。

每个成矿区的金矿在矿床成矿特点、矿床类型和成矿模式上都有一定的差别,在成矿作用上却有内在的联系。由于均为同一期火山作用下成矿,在成矿热液来源、成矿物质来源和构造背景上都存在共性和相似性,即使是斑岩金矿类型,其成矿物质一部分也

来自于火山岩。由于流体在不同的构造条件下输运和扩散,使成矿作用时间存在先后次序,这些成矿区的金矿在整个空间上构成了该区域的金矿成矿系列,每个金矿成矿区的成矿模式构成了该区域金矿成矿系列模式。对火山活动地区寻找多种类型金矿床和对金矿体的空间定位预测具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 翟裕生.成矿系列研究问题[J].现代地质,1992,6(3):301-307.
- [2] 王世称,侯惠群,王於天,等.内生矿产成矿系列中比例尺预测方法研究[M].北京:地质出版社,1993.
- [3] 肖序常,汤耀庆.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.1-80.
- [4] BERRYMAN J G. Effective medium approximation for elastic constants of porous solids with microscopic heterogeneity[J]. *J Appl Phys*, 1986, 59: 1136-1140.
- [5] BATHE K J. Finite Element Procedures[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [6] HOLNESS M B. Deformation-enhanced Fluid Transport in the Earth's Crust and Mantle[M]. London: Chapman & Hall, 1997.
- [7] SIBSON R H. Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes[J]. *J Struct Geol*, 1996, 18: 1031-1042.
- [8] CUREWITZ D, KARSON J A. Structural settings of hydrothermal outflow: fracture permeability maintained by fault propagation and interaction[J]. *J Volcanol Geotherm Res*, 1977, 79: 149-168.
- [9] 谭凯旋, 谢森石, 赵志忠, 等. 构造-流体-成矿体系的反应-输运-力学耦合模型动力学模拟[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 311-321.
- [10] 岑况. 矿物在超临界溶解度理论计算[J]. 地质科技情报, 1992, 11(3): 85-90.
- [11] 岑况, 於崇文. 渗滤脉状夕卡岩成岩过程的计算机模拟[J]. 地球科学, 1994, 19(19): 65-73.
- [12] 孙雄, 洪汉净, 马宗晋. 构造应力作用下流体运动的动力学分析——构造流体动力学[J]. 地球学报, 1998, 19(3): 150-157.
- [13] STEEFEL C I, LASAGA A C. A coupled model for transport of multiple chemical species and kinetic precipitation/dissolution reactions with application to reactive flow in single phase hydrothermal systems[J]. *Amer J Sci*, 1994, 294: 529-592.
- [14] LICHTNER P C. The quasi-stationary state approximation to coupled mass transport and fluid-rock interaction in a porous medium[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, 52: 143-165.
- [15] RIMSTID J D, BARNES H L. The kinetics of silica-water reactions[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44: 1683-1699.
- [16] DESAI C S, SIRIWARDANE H J. Constitutive Laws for Engineering Materials[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1984.
- [17] 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 成矿作用动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 1-222.
- [18] 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 新疆阿希金矿浅成低温流体特征[J]. 黄金地质, 2001, 7(1): 39-46.
- [19] Heald p, Foley N K, Hayba DO. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types[J]. *Economic Geology*, 1987, 82: 1-26.
- [20] 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 塔吾尔别克—阿庇因迪斑岩型金矿特征[J]. 地质与资源, 2001, 10(3): 139-144.
- [21] 陈毓川, 朱裕生. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 8-29.

METALLOGENIC MODEL OF METALLOGENIC SERIES OF GOLD DEPOSIT IN TULASU VOLCANIC BASIN OF WEST TIANSHAN

JIA Bin^{1,2}, WU Rui-shen², TIAN Chang-lie², SHA De-ming^{1,2}

(1.Northeast University, Shenyang 110008, China; 2.Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract: Yiermande gold deposit, Qiabukanzhuota gold deposit, Axi gold deposit and Tawuerbieke gold deposit occurred in late Paleozoic Tulasu volcanic basin. Those gold deposits formed in the same volcanic activity. They have the same general characters in hydrothermal ore-forming solution source, ore-forming elements source and tectonic setting. But, fluid was affected by pores and faults in the ore district, for example Yiermande gold deposit and Qiabukanzhuota gold deposit have well-developed pore structure, Axi gold deposit has well-developed fault structure, Tawuerbieke gold deposit has well-developed primary fissures and microfissures. When ore-forming fluid in mineralizing process flowed through different structures, its movement ways were different. Wall rock of Yiermande gold deposit and Qiabukanzhuota gold deposit are composed of first and second lithologic member of Lower Carboniferous Dahalajunshan formation. Their lithology are mainly pyroclastic rock — tuff, ignimbrite, volcanic breccia, and less sedimentary pyroclastic rock—sedimentary tuff. These rocks were altered by hydrothermal ore-forming fluid and produced different strength silicification. Gold mineralization distributed mainly in strong silicified altered rocks and silicified rocks. Wall rock alteration included kaolinization, silicification, baritization, carbonation. While the ore-forming fluid moved through pores in osmosis way, strong metasomatism occurred and formed dome and layer-like orebody. The acidic sulfate type gold deposit was formed. Wall rock of Axi gold deposit are composed of volcanic lava and less pyroclastic rock of Dahalajunshan formation in lower Carboniferous. They are mainly dacite, andesite and rhyodacite. In addition there are a small amount of crystal-lithic tuff, volcanic breccia and volcanic agglomerate occurring. Wall rock alteration included silicification, sericitization, chloritization, carbonation, adularization and albitization. Ore-forming fluid moved through faults in flow way between two large flats. Infilling mineralization occurred and formed vein orebody. The deposit is adularia-sericite type gold deposit. Wall rock of Tawuerbieke gold deposit are monzonite porphyry stock of Early Carboniferous that intruded into andesite of fifth lithologic member of Dahalajunshan formation. Outcrop rocks are mainly fifth lithologic member of Dahalajunshan formation, secondly is first member, second member and fourth member of Dahalajunshan formation. Their lithology are pyroxene andesite, dacite, volcanic breccia, tuff, sedimentary tuff, vitric tuff. Wall rock alteration included silicification, sericitization, carbonation and baritization. Ore-forming fluid flowed slowly through primary fissures and microfissures in porphyry in permeation way and formed veinlet and veinlet-disseminated orebody. The porphyry gold deposit was formed. These gold deposits have different characters in mineralizing physical-chemical condition, metallogenetic mechanism and types of ore deposit and made up of metallogenetic series. We can set up the metallogenetic model for this gold deposit metallogenetic series based on integrated mineralizing condition. It is important to ore-prospecting.

Key words: west Tianshan; gold deposit; metallogenetic model; metallogenetic series