

新疆伊宁县塔吾尔别克金矿床流体包裹体 特征研究及矿床成因

于小亮¹, 蔡成龙², 顾雪祥³, 马延景¹, 魏小林¹, 张得鑫¹, 杨延乾¹, 李嘉泰¹

(1. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810001; 2. 青海省有色地质矿产勘查局七队, 青海 西宁 810007;

3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 塔吾尔别克金矿床是西天山吐拉苏断陷盆地中一个重要的金矿床。矿体主要赋存于早石炭世二长斑岩及大哈拉军组第五岩性段安山岩、蚀变凝灰岩中, 受断裂构造控制, 矿床围岩蚀变作用普遍而强烈。矿石金属矿物主要为黄铁矿、自然金、赤铁矿和黄铜矿等, 非金属矿物主要为石英、斜长石、方解石等。成矿过程大致划分为3个成矿阶段: ① 石英-黄铁矿阶段; ② 石英-硫化物脉阶段; ③ 石英-碳酸盐阶段。石英及方解石中流体包裹体类型简单, 主要为气液两相水包裹体和纯液相水包裹体。包裹体测试均一温度为100~196℃, 流体盐度为0.0%~7.3% (质量分数, NaCl_{eq}), 流体密度为0.9~1.0 g/cm³, 计算出成矿压力为5.2~81.9 MPa, 对应成矿深度为0.5~7.4 km。塔吾尔别克金矿床成矿流体包裹体显示低温度、低盐度和较低密度的流体特征, 表明成矿压力小和深度较浅。结合矿床地质特征、流体包裹体特征及前人研究成果, 初步认为该矿床为浅成低温热液型金矿床。

关键词: 流体包裹体; 矿床成因; 塔吾尔别克金矿床; 新疆

中图分类号: P611; P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)06-1055-13

A study of fluid inclusion characteristics and genetic type of the Tawuerbieke gold deposit in Yining County, Xinjiang

YU Xiao-liang¹, CAI Cheng-long², GU Xue-xiang³, MA Yan-jing¹, WEI Xiao-lin¹, ZHANG De-xin¹,
YANG Yan-qian¹ and LI Jia-tai¹

(1. Qinghai Geological Survey, Xining 810001, China; 2. No. 7 Geological Party, Qinghai Bureau of Nonferrous Metal and Geological Exploration, Xining 810007, China; 3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Tawuerbieke gold deposit is one of the important Au deposits in Tulasu fault basin of the West Tianshan Mountains. The rock types in the study area mainly consist of andesite, andesitic pyroclastic rocks of the Dahalajunshan Formation and monzonite porphyry rocks, by which the gold mineralization is hosted. The orebodies are controlled by faults, and alterations are strongly developed in the wall rocks. The metallic minerals mainly include pyrite, native gold, hematite and chalcopryrite, whereas non-metallic minerals comprise quartz, plagioclase and calcite. The mineralization can be divided into three stages, i.e., quartz and pyrite stage, quartz and sulfide vein stage, quartz and carbonate stage. The type of fluid inclusions in quartz and calcite is simple, mainly comprising vapor-liquid two-phase inclusions and pure liquid inclusions. The homogenization temperatures of inclusions vary from 100℃ to 196℃. The salinities are 0.0%~7.3% NaCl_{eq} . The densities range from

收稿日期: 2016-05-03; 接受日期: 2016-10-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAB06A02-02); 国家自然科学基金重点项目(U1303292)

作者简介: 于小亮(1988-), 女, 工程师, 主要从事地质找矿勘查、矿床学和地球化学研究, E-mail: xiaoliangyu1988@foxmail.com。

0.9 g/cm³ to 1.0 g/cm³. The estimated pressures of the ore-forming fluids range from 5.2 MPa to 81.9 MPa, corresponding to the depth of ore-forming range from 0.5 km to 7.4 km. The features of the inclusions demonstrate low temperatures, salinities and densities with small pressures and low depth. In combination with the characteristics of the ore geology, fluid inclusion and the previous results, the authors have reached the conclusion that the Tawuerbieke gold deposit is an epithermal gold deposit.

Key words: fluid inclusion; deposit genesis; Tawuerbieke gold deposit; Xinjiang

Fund support: Project of National Science and Technology Supporting Plan (2011BAB06A02-02); Key Projects of National Natural Science Foundation of China(U1303292)

自 20 世纪 80 年代以来,新疆地质矿产局、新疆有色地勘局和国家科技攻关 305 项目在吐拉苏断陷盆地地区开展了不同程度的地质工作,在找矿勘查方面取得了较大的突破,先后发现了 100 余处铜、金等金属矿床(点),其中代表性金矿床有阿希、伊尔曼德、京希布拉克、塔吾尔别克和阿庇因迪等金矿床(董连慧,2001;董连慧等,2001,2010;王志良等,2004;冯娟萍等,2005;安芳等,2008)。

塔吾尔别克金矿床位于吐拉苏断陷盆地西段,塔里木地块北缘,伊宁县城北约 30 km 处,接近哈萨克斯坦边界,其北部 2 km 是著名的阿希金矿床,因其特殊的地理位置,塔吾尔别克金矿床引起了广大学者的关注。

塔吾尔别克金矿床包括东塔、西塔、南塔、中塔和阿庇因迪等 5 个矿段。多数学者认为,除西塔矿段外,其余矿段为浅成低温热液成因,甚至东塔等矿段很可能是阿希金矿向南延伸的部分(唐功建等,2009;贾国章,2010;赵晓波等,2014),而普遍将西塔归入斑岩型金矿(贾斌等,2001a;徐伯骏等,2014)。前人研究了塔吾尔别克金矿床地质特征(贾斌等,2001a,2004;夏立献,2011;徐伯骏等,2014)、成矿物质来源(赵晓波等,2014)、东塔矿段安山岩成矿年龄(唐功建等,2009)、成矿时代及同位素特征(李华芹等,2004;赵晓波等,2014;彭义伟等,2016)、成矿构造背景(顾雪祥等,2016)等,但在以往的研究及公开发表的文献中均未对塔吾尔别克金矿床成矿流体进行系统研究。然而矿床地质和成矿流体特征是判别矿床成因类型的关键性依据(陈衍景等,2007;陈衍景,2010)。因此,本文希望通过研究塔吾尔别克金矿床地质特征,选取矿床主成矿阶段的脉石矿物石英和方解石进行系统的流体包裹体测温,揭示成矿流体的特征,探讨其成矿物质来源及流体来源,进而深化对其矿床成因的认识。

1 区域地质背景

塔吾尔别克金矿床位于科古琴山南坡断裂与伊犁盆地北缘断裂之间的吐拉苏盆地内,南为伊犁-中天山板块,北为夹于伊犁-中天山板块与准噶尔板块之间的博罗科努早古生代岛弧带西段。吐拉苏盆地基地具有双层结构,下部出露元古宇结晶灰岩、变质粉砂岩、砂岩和寒武系粉砂岩、砂岩、灰岩;上部出露中奥陶统奈楞格勒达坂组玄武岩、霏细斑岩夹大理岩,中奥陶统奈楞格勒达坂组玄武岩、霏细斑岩夹大理岩,下志留统泥勒克河组砂岩、灰岩、火山碎屑岩及上泥盆统托斯库尔塔吾组石英安山岩、砂质泥岩。盆地盖层出露下石炭统阿恰勒河组砂岩、杂砂岩、灰岩及下石炭统大哈拉军山组中酸性火山碎屑岩、安山岩。

盆地中基底褶皱和基底断裂构造十分发育,此外,盆地内还发育有晚古生代火山机构、断裂和裂隙等构造。盆地内石炭纪岩浆岩分布广泛,以火山岩为主。该区出露的石炭纪火山岩属于大哈拉军山组,岩性组成主要为玄武安山岩、安山岩、粗面安山岩、粗面岩、凝灰岩和英安岩(图 1,王强等,2006;龙灵利等,2008;朱志新等,2012)。区域内塔吾尔别克金矿床与阿希、京希-伊尔曼得、恰布坎卓它等金矿床一起构成了吐拉苏金矿带,其赋矿围岩均为大哈拉军山组火山岩。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区内广泛出露的地层主要为下石炭统大哈拉军山组第五岩性段(C_1d^5)(图 2),自上而下可分为 4 层:① 中性凝灰岩层;② 辉石安山岩层;③ 火山角

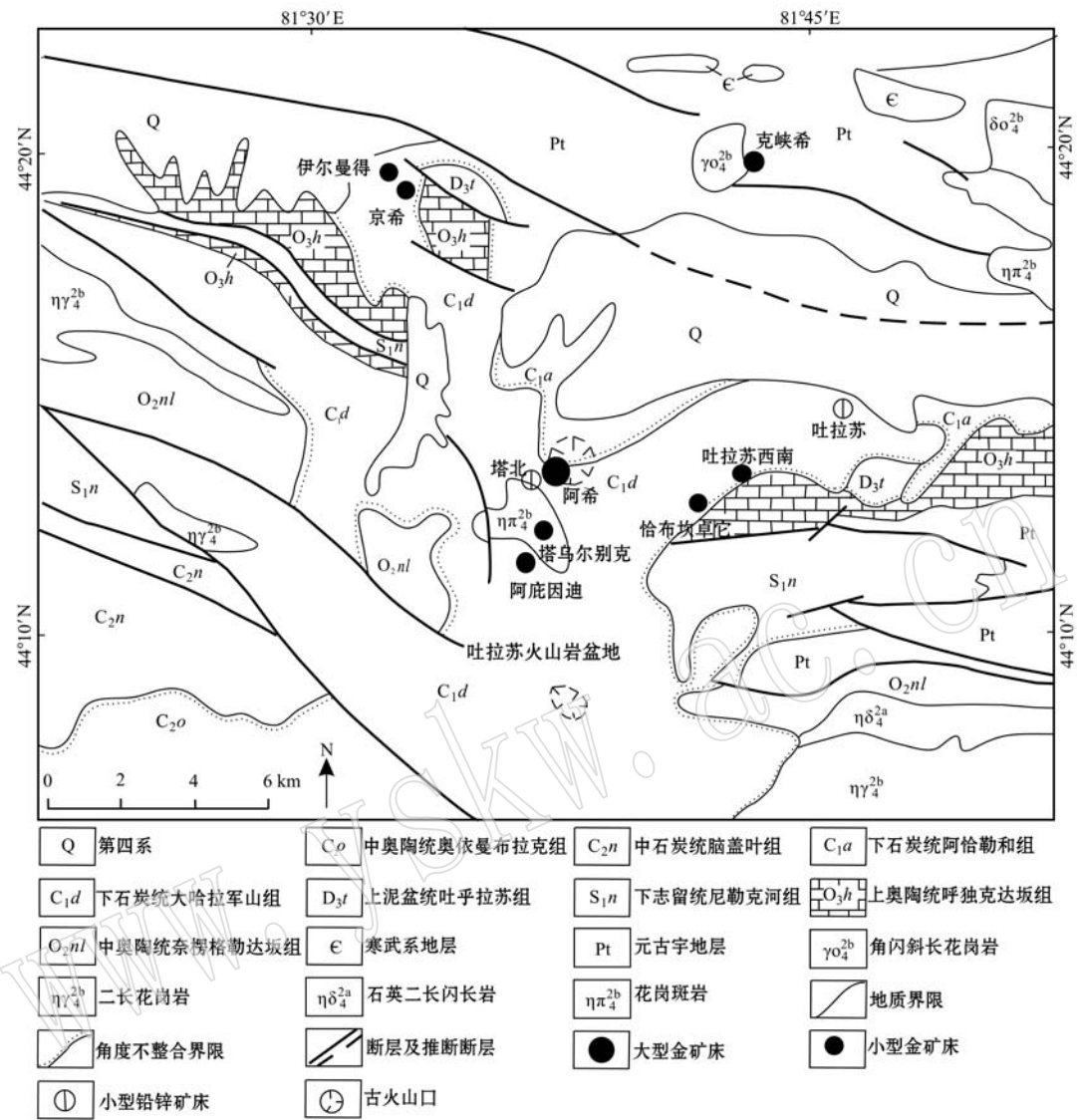


图 1 塔吾尔别克金矿区域地质图(据翟伟等,2010 修改)
Fig. 1 Regional geological map of the Tawuer gold deposit (modified after Zhai Wei *et al.*, 2010)

砾岩类安山岩层；④ 火山集块岩、英安质集块角砾熔岩夹中性凝灰岩层(翟伟等, 2010；夏立献等, 2011)。塔吾尔别克金矿床大部分富矿体赋存于安山岩、凝灰岩及二长斑岩内, 且岩体外接触带矿化强度明显增强。其中仅西塔矿段有二长斑岩呈岩墙、岩脉状侵入于大哈拉军山组第五岩性段中, 近 NNW、NS 向, 出露面积约 0.7 km²。二长斑岩野外手标本为浅肉红色, 大部分硅化和绿泥石化呈灰绿色, 斑状结构, 块状构造。斑晶由斜长石和钾长石组成。基质为斜长石和钾长石的细粒结晶体, 黑云母含量较少, 均蚀变。在硅化二长斑岩和石英脉中, 发育有金矿化, 其中西塔矿段的局部含金量为 3 g/t。

塔吾尔别克金矿床矿区内断裂构造较发育, 有

近 SN 向、NW 向、NNE 向、NE 向及近 EW 向 5 组断裂。近 SN 向断裂(如 F5)、NW 向断裂(如 F2、F8)和 NE 向(如 F3、F4)为本矿区重要的控矿、导矿和容矿构造。与金矿化有关的断裂主要为 NNW 向、近 SN 向、NW 向及 NNE 向 4 组断裂。西塔矿段主要受近 SN 向与 NNW 向断裂控制, 阿底因迪矿段主要受 NW、NNW 向断裂控制, 中塔矿段主要受 NW 向、近 SW 向与 NNE 向断裂控制, 东塔矿段主要受 NNW 向和 NNE 向断裂控制, 南塔矿段主要受 NW 向与 NNE 向断裂交汇部位控制。总体上看, 各矿段主要矿体多数呈脉状、网脉状和透镜状产于断裂交汇部位(夏立献等, 2011；涂其军等, 2012；徐伯骏等, 2013；何英等, 2015)。

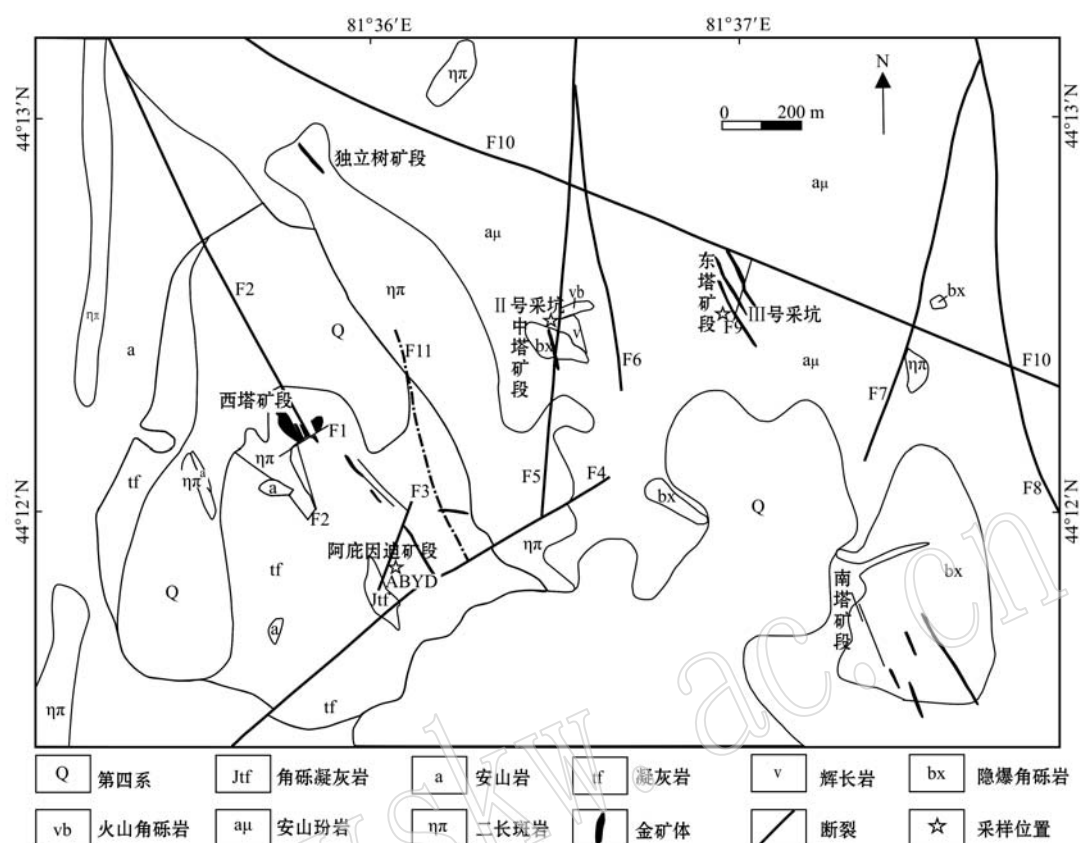


图 2 塔吾尔别克金矿区地质图(据赵晓波等, 2014 修改)

Fig. 2 Geological map of the Tawuer gold deposit (modified after Zhao Xiaobo *et al.*, 2014)

2.2 矿体特征

塔吾尔别克矿区内包括了东塔矿段、西塔矿段、南塔矿段、中塔矿段、阿底因迪矿段等 5 个矿段, 矿体的形态主要为脉状、网脉状和透镜状, 矿体的规模变化较大, 其中以阿底因迪、西塔和东塔矿体最为发育: ① 西塔矿段: 矿体大体走向为 320° , 沿 NW 向断裂产出, 北端被 NE 向断裂错断形成 I、II、III 号矿体, 南端被 NWW 向断裂错断形成 IV、V 号矿体。② 阿底因迪、中塔、南塔矿段: 矿体走向为 320° , 均沿 NW 向断裂产出, 未发现后期构造改造的现象。阿底因迪矿化体厚度一般在 $1.00 \sim 3.00$ m, 最大单工程厚度 6.80 m, 单工程金品位在 2.80 g/t。对中塔矿段的物探异常进行查证, 经过钻探施工, 分别在 $395.20 \sim 396.10$ m 处见到视厚度为 0.90 m、金品位为 1.62 g/t 的金矿体; 在 $412.00 \sim 413.90$ m 处见到视厚度 1.90 m、金品位为 1.60 g/t 的金矿体。南塔矿段金品位为金平均品位 1.20 g/t 左右。③ 东塔矿段: 矿体走向 320° , 沿 NW 向断裂产出, 后期被近 SN 向断裂错断。主要岩性由碳酸盐化、褐铁矿化、

硅化碎裂状安山玢岩组成; 在 ZK24-4 钻孔的 $320.90 \sim 321.90$ m 处见到视厚度为 1.00 m、金品位为 2.51 g/t 的金矿体。

2.3 矿石特征

根据氧化程度将矿区内矿石分为原生矿石和氧化矿石, 矿体地表为氧化矿石, 氧化深度约为 $30 \sim 50$ m, 以下为原生矿石(图 3)。根据含金矿体的矿物组合、矿石结构和围岩特征等, 该矿床的矿石类型为含金破碎蚀变安山岩型(图 3a、3d)、含金蚀变凝灰岩型(图 3b、3e)、含金蚀变斑岩型(图 3c)及含金石英-方解石脉型 4 类(图 3f)。

矿石物质组分比较简单, 金属矿物主要为黄铁矿、赤铁矿和白铁矿, 次为黄铜矿、闪锌矿和自然金等; 非金属矿物主要为石英、长石、角闪石、黑云母, 其次为绢云母、绿泥石、方解石等。自然金主要赋存于石英脉和黄铁矿中, 但本次研究在镜下未见到自然金。

通过镜下鉴定, 黄铁矿为主要的硫化物, 呈半自形-自形(图 4a)、他形结构(图 4b); 大部分黄铁矿被

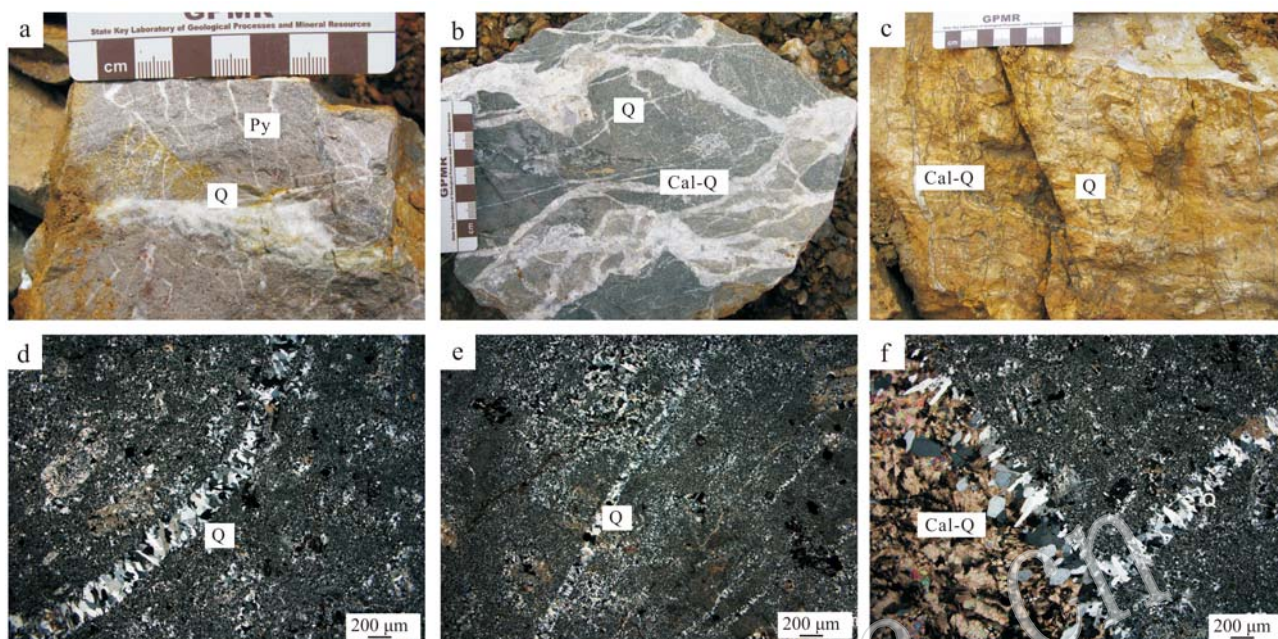


图3 塔吾尔别克金矿床主要矿石类型

Fig. 3 Typical ore sample images of the Tawuer gold deposit

a—安山岩矿石, 黄铁矿呈浸染状、细脉浸染状发育; b—凝灰岩矿石, 沿裂隙发育石英-硫化物细脉(Ⅱ阶段), 后期又被方解石-石英脉(Ⅲ阶段)穿插; c—氧化二长斑岩矿石, 硅化, 黄铁矿呈细脉状发育在石英细脉中, 石英-硫化物细脉(Ⅱ阶段)被后期方解石-石英脉(Ⅲ阶段)穿插; d—安山岩矿石; e—硅化凝灰岩; f—蚀变二长斑岩; Q—石英; Cal—方解石; Py—黄铁矿

a—andesite ore, pyrite exhibiting disseminated and veinlet texture; b—tuff ore, silicification, quartz sulfide veinlets (stage II) growing along the fractures and penetrated by the late calcite quartz vein (stage III); c—oxidized monzonite porphyry ore, silicification, pyrites growing in the quartz veins as quartz sulfide veinlets (stage II) penetrated by the late calcite quartz vein (stage III); d—andesite ore; e—silicified tuff; f—altered monzonite porphyry; Q—quartz; Cal—calcite; Py—pyrite

赤铁矿完全交代呈假像结构, 赤铁矿中包含有黄铜矿(图4c、4d); 部分黄铁矿完全白铁矿化(图4e); 半自形-他形黄铁矿边缘白铁矿化, 闪锌矿沿边缘交代(图4f); 他形黄铜矿与闪锌矿共生(图4g); 黄铜矿填充粗粒黄铁矿, 并同时被铜蓝交代(图4h); 黄铁矿被闪锌矿交代残余(图4i)。矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、他形结构、交代结构、交代残余结构及假像结构等。矿石构造主要包括脉状构造、细脉浸染状构造、星散状构造、浸染状构造和角砾状构造等(图4)。

2.4 围岩蚀变和矿化阶段

热液活动受断裂破碎带控制, 矿床围岩蚀变作用普遍而强烈, 其中, 远矿围岩蚀变主要为碳酸盐化、绿泥石化和绿帘石化; 近矿围岩蚀变主要为钾长石化、黄铁矿化、弱硅化、绢云母化和碳酸盐化等; 含矿岩石蚀变类型主要为强硅化、黄铁矿化, 次为碳酸盐化和绿泥石化等。

综合矿床产出的地质特征、矿石类型、矿石结构构造、围岩蚀变以及矿物的共生和脉体穿插关系等特点, 可将塔吾尔别克金矿床的成矿过程大致划分

为3个成矿阶段: ① 面状石英-黄铁矿阶段(Ⅰ), 面状硅化发育隐晶质石英, 发育少量立方体黄铁矿, 呈稀疏浸染状分布; ② 石英-硫化物阶段(Ⅱ)(图3d、3e), 石英为中粒度, 呈细脉状产出; 黄铁矿为自形-半自形晶及他形晶的集合体, 常与石英脉组成石英-黄铁矿细脉; 大部分黄铁矿被赤铁矿交代溶蚀, 形成假像结构; 黄铜矿较为少见, 与闪锌矿共生, 部分黄铜矿充填粗粒黄铁矿裂隙; 黄铁矿边缘发送白铁矿化, 被闪锌矿沿边缘交代; ③ 石英-碳酸盐阶段(Ⅲ), 发育梳状对生石英脉和石英-方解石脉, 其中石英结晶较好, 粒度较粗, 伴有少量硫化物产出(图3f)。

3 流体包裹体研究

3.1 样品的采集和测试方法

用于流体包裹体分析的地质样品采自塔吾尔别克金矿矿区Ⅱ、Ⅲ号采坑和阿庇因迪采坑, 采样时考虑空间上的纵向变化而选择代表各个成矿阶段的样品进行磨制包裹体片, 其中7件包裹体现象较好, 进



图 4 塔吾尔别克金矿床主要矿石镜下特征(反射光)

Fig. 4 Typical ore microscopic images of the Tawuer gold deposit

Py—黄铁矿; Hem—赤铁矿; Ccp—黄铜矿; Sp—闪锌矿; Mrc—白铁矿; Cv—铜蓝

Py—pyrite; Hem—hematite; Ccp—chalcopyrite; Sp—sphalerite; Mrc—marcasite; Cv—covellite

行了均一温度和冷冻温度测试。在各个阶段的石英结晶程度是不同的,石英中便发育有不同程度的流体包裹体。因早期隐晶质石英中包裹体极不发育,而未对其进行研究工作;故本文选择石英-硫化物阶段结晶较好的石英包裹体(TWE II-1、TWE III-7、ABYD-5)及晚期石英-方解石脉阶段方解石中的流体包裹体(ABYD-16、ABYD-11、ABYD-7、TWE III-12)进行了显微测温工作。

在中国地质大学(北京)地球科学与资源学院流体包裹体实验室,对流体包裹体进行了岩相学观察及显微测温工作。测试仪器为 Linkam MDSG600 型冷热台,技术参数为:铂电阻传感器,光孔直径 1.3 mm,样品轴向移动范围 16 mm;可控温度及稳定性 0.01℃,测温范围 -196~600℃;可控加热/冷冻速率 0.1~130℃/min;在显微测温过程中,升温设置

的速率为 10℃/min,在相变点附近速率降低为 0.1~1℃/min;而降温速率为 5℃/min,在相变点附近速率降低为 0.1~1℃/min。

3.2 包裹体岩相学特征

根据室温下流体包裹体的化学组成及物理相态,将塔吾尔别克金矿床的流体包裹体划分为气液两相水包裹体和纯液相水包裹体两大类型。

气液两相水包裹体:由液相水和气相两部分组成(图 5)。包裹体形态以椭圆状、浑圆状、长条状为主,其次为多边形状和不规则状等。包裹体个体总体较小,大小介于 2~8 μm,大多数为 2~5 μm,气液比介于 3%~15%,多集中在 5%~9%之间,气泡一般为无色,部分气泡颜色较黑。

纯液相水包裹体:由单一的液相水组成(图 5),包裹体形态为椭圆状、长条状和浑圆状,大小 4~7

μm , 此类包裹体数量较多, 呈白色且孤立状分布, 该类包裹体在各个成矿阶段中普遍发育。

各阶段流体包裹体均以原生包裹体为主, 形态多样, 有椭圆状、长条状、近三角形及不规则状等, 通常呈群状、星散状或孤立状分布; 局部亦可见沿裂隙呈线形分布的次生包裹体, 其形态多为椭圆形或长条形。本次测试分析及讨论的对象均为原生包裹体。

石英-硫化物阶段结晶较好的石英中流体包裹体个体总体较小, 最小者约 $1\ \mu\text{m}$, 最大者约 $9\ \mu\text{m}$, 多数为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 。包裹体形态有椭圆状、浑圆状、长条状、不规则状等(图 5a、5b、5c、5d), 呈群状、星散状或孤立状分布。常见有气液两相水包裹体和纯液相水包裹体, 前者发育较少, 而后者普遍发育。

方解石中流体包裹体有呈零散分布或孤立分布的原生包裹体, 又有沿裂隙或解理呈线状排列的次生包裹体群(图 5e)。包裹体个体稍大, 最小者约 $3\ \mu\text{m}$, 最大者 $12\ \mu\text{m}$, 多数 $4\sim 6\ \mu\text{m}$ 。常见气液两相水包裹体和纯液相水包裹体, 形态为椭圆状、浑圆状、长条状、不规则状等(图 5f、5g、5h)。

3.3 流体包裹体显微测微

本文主要对样品中原生包裹体且体积相对较大的气液两相水包裹体进行了均一法和冷冻法测温研

究。

石英-硫化物脉阶段(Ⅱ)石英中包裹体的均一温度介于 $131\sim 196^\circ\text{C}$, 主要集中在 $150\sim 170^\circ\text{C}$, 平均 162°C (图 6)。石英-碳酸盐阶段(Ⅲ)方解石中气液两相水包裹体的均一温度变化于 $100\sim 169^\circ\text{C}$ 之间, 主要集中在 $110\sim 130^\circ\text{C}$, 平均 125°C (图 6)。由表 1 和图 6, 可以明显的看出从成矿期石英-硫化物脉阶段到晚期石英-碳酸盐阶段均一温度在逐渐降低(图 6)。

由于该矿床中未发现含子晶矿物的包裹体, 包裹体的盐度均通过冷冻法测温确定。石英-硫化物脉阶段(Ⅱ)石英中气液包裹体的冰点温度变化区间为 $-4.6\sim -0.4^\circ\text{C}$ (表 1); 石英-碳酸盐阶段(Ⅲ)方解石中包裹体的冰点温度变化区间为 $-3.3\sim 0.0^\circ\text{C}$ (表 1)。

依据冰点-盐度换算公式(Hall *et al.*, 1988), 计算出不同阶段包裹体的盐度(表 1), 石英-硫化物脉阶段(Ⅱ)石英中包裹体的盐度变化区间为 $0.7\%\sim 7.3\%$ (NaCl_{eq} , 质量分数, 下同), 主要集中在 $1\%\sim 3\%$, 平均值 3.0% (图 6); 石英-碳酸盐阶段(Ⅲ)方解石中包裹体的盐度变化区间为 $0.0\%\sim 5.4\%$, 主要集中在 $0\sim 2\%$, 平均值 1.1% (图 6)。

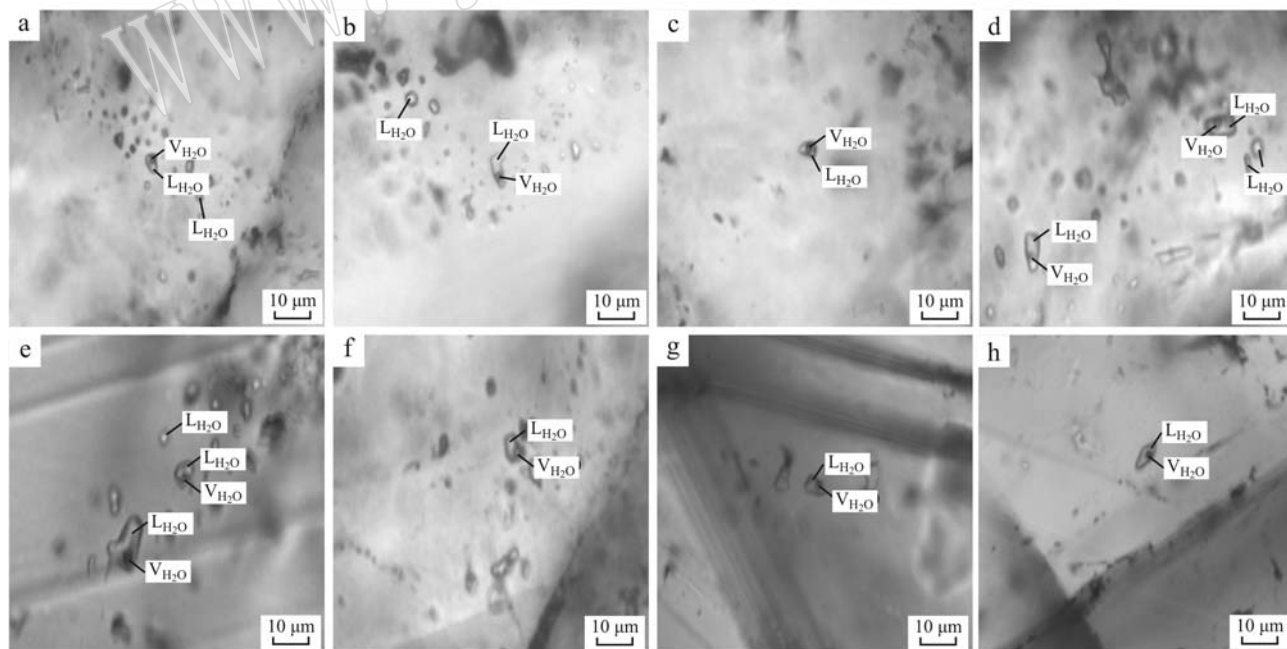


图 5 塔吾尔别克金矿床常见的包裹体类型及其特征

Fig. 5 Common types of inclusions and their characteristics in the Tawuer gold deposit

a, b, c, d—石英中包裹体; e, f, g, h—方解石中包裹体; $\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ —气相 H_2O ; $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ —液相 H_2O

a, b, c, d—inclusions in quartz; e, f, g, h—inclusions in calcite; $\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ — H_2O vapor; $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ — H_2O liquid

表 1 塔吾尔别克金矿各个阶段包裹体特征及参数统计表
Table 1 Statistical table of fluid inclusion parameters and characteristics at various stages of mineralization in the Tawuer gold deposit

成矿阶段	样品号	寄主矿物	类型	大小/ μm	气液比/%	冰点温度/ $^{\circ}\text{C}$		均一温度/ $^{\circ}\text{C}$		盐度/%		密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$		成矿压力/MPa	成矿深度/km
						范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值		
脉状石英-硫化物阶段(Ⅱ)	TWEⅡ-1	石英	L-V	2~7	5~10	-1.3~-0.8	-1.0(5)	144~187	163(9)	1.4~2.2	1.7	0.9~0.9	0.9	27.7~33.4	2.8~3.3
	TWEⅢ-7	石英	L-V	3~9	15~20	-4.6~-0.4	-2.2(10)	131~196	159(20)	0.7~7.3	3.5	0.9~1.0	0.9	5.2~53.8	0.5~5.9
	ABYD-5	石英	L-V	1~5	5~10	-4.5~-0.8	-2.0(4)	168~190	178(4)	1.4~7.2	3.3	0.9~0.9	0.9	8.3~37.4	0.8~3.7
石英-碳酸盐阶段(Ⅲ)	ABYD-16	方解石	L-V	3~7	5~15	-0.6~-0.1	-0.3(10)	107~155	124(14)	0.2~1.1	0.6	0.9~1.0	1.0	13.0~73.8	1.2~7.0
	ABYD-11	方解石	L-V	5~9	5~25	-0.9~-0.1	-0.3(9)	113~154	130(20)	0.2~1.6	0.5	0.9~1.0	0.9	6.4~66.6	0.6~6.6
	ABYD-7	方解石	L-V	4~10	15~40	-2.3~-0.1	-0.8(15)	106~169	124(23)	0.2~3.9	1.4	0.9~1.0	1.0	13.7~81.9	1.4~7.4
	TWEⅢ-12	方解石	L-V	3~12	10~20	-3.3~0.0	-0.9(17)	100~151	124(20)	0.0~5.4	1.5	0.9~1.0	1.0	13.4~78.6	1.3~7.2

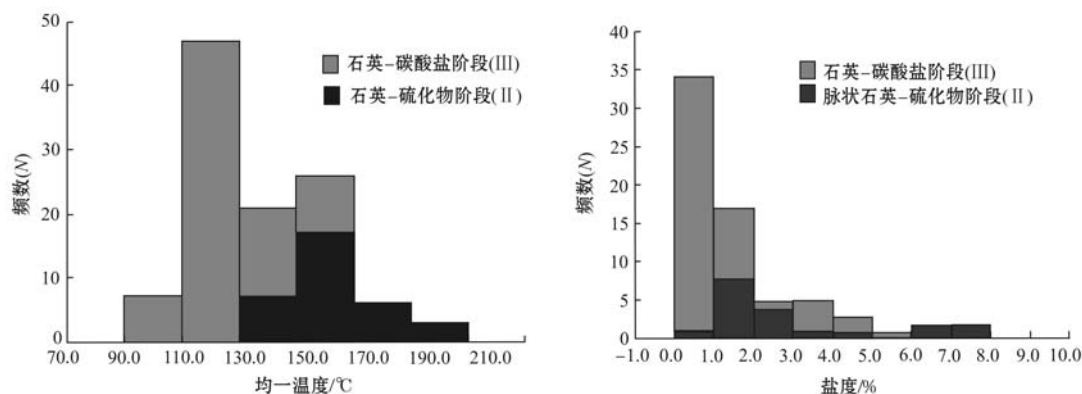


图6 塔吾尔别克金矿床各阶段流体包裹体均一温度、盐度频数直方图

Fig. 6 Homogenization temperature and salinity histograms of fluid inclusions at various stages of mineralization in the Tawuer gold deposit

由表1和图6可以看出,该矿床成矿流体盐度总体较低,成矿阶段盐度具有逐渐降低的趋势。

3.4 流体密度、压力及成矿深度

根据实验测温结果及计算获得的盐度数据,通过刘斌等(1999)提出的密度公式对各阶段的包裹体计算流体密度(表1)。计算出石英中流体密度变化区间为0.9~1.0 g/cm³,平均值为0.9 g/cm³;方解石中流体密度温度变化区间为0.9~1.0 g/cm³,平均值为1.0 g/cm³。总体显示出成矿流体密度低且各阶段流体密度变化不大。

根据刘斌等(1987)提出的NaCl-H₂O溶液包裹体的等容式计算成矿压力(表1), $p = a + bt + ct^2$;在公式中, p 为压力值(bar); t 为成矿温度(℃); a 、 b 、 c 为无量纲参数。成矿深度一般可根据压力估算,而流体压力可以是静水压力、静岩压力、介于静岩与静水压力之间或超静岩压力,根据不同压力状态所计算出来的深度相差极大。依据Sibson(1994)建立的断裂带内流体压力和深度之间的非线性关系,孙丰月等(2000)用计算机分段拟合深度-压力之间的关系式,进而计算脉状热液矿床的成矿深度,塔吾尔别克金矿床为脉状金矿,利用该关系式可计算成矿深度。

计算出塔吾尔别克金矿床脉状石英-硫化物脉阶段(Ⅱ)压力为5.2~53.8 MPa,采用孙丰月等(2000)提出的关系式估算成矿深度为0.5~5.9 km(实际上相当与利用静水压力梯度计算);同理计算石英-碳酸盐阶段(Ⅲ)压力为6.4~81.9 MPa,成矿深度为0.6~7.4 km。整体上,塔吾尔别克金矿床的成矿深度较浅。

4 讨论

4.1 成矿流体特征

塔吾尔别克金矿床流体包裹体研究显示:该矿床主要发育气液两相水包裹体和纯液相水包裹体,未发现含子晶矿物的包裹体。测得气液两相水包裹体均一温度在100~196℃,冰点温度在-4.6~0.0℃;通过计算获得包裹体盐度为0.0%~7.3%,主要集中在1%~3%,流体密度为0.9~1.0 g/cm³,成矿压力为5.2~81.9 MPa,成矿深度为0.5~7.4 km;总体上,塔吾尔别克金矿床具有成矿温度低、成矿流体盐度低、成矿深度浅的特征。

4.2 成矿物质来源及流体来源

赵晓波等(2014)对塔吾尔别克金矿床安山岩矿石和花岗斑岩矿石硫、铅同位素进行了系统研究。硫同位素变化范围较小, $\delta^{34}\text{S}$ 集中于2.0‰~4.2‰,平均值为2.8‰,显示成矿过程中硫来源于赋矿围岩下石炭统大哈拉军山组火山岩;铅同位素组成稳定, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.931\sim18.229$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.599\sim15.670$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.980\sim38.980$,显示成矿金属物质具有壳幔混合来源且以大哈拉军山组火山岩为主。塔吾尔别克金矿床的氢氧同位素研究,表明成矿流体是岩浆水和大气降水的混合体(贾斌等,2001b;齐程元等,2014;彭义伟等,2016)。

前人研究阿希金矿床、京西-伊尔曼得金矿床流体包裹体(沙德铭,1998;贾斌等,2001b,2003;冯娟萍等,2005;翟伟等,2007),均显示包裹体不甚发育,且包裹体粒径极细小,多数在2~5 μm,少数可

达 10 μm 以上,形态为浑圆状、不规则状;测得均一温度为 87~260 $^{\circ}\text{C}$,多集中在 120~180 $^{\circ}\text{C}$,冰点温度为 -2.2~0 $^{\circ}\text{C}$,成矿盐度为 0.0%~3.7%,成矿密度为 0.90~0.97 g/cm^3 ,均与塔吾尔别克金矿床金矿床流体包裹体特征相似,说明区域内成矿流体特征相近。

4.3 矿床成因类型

收集前人资料,塔吾尔别克金矿东塔矿段的赋矿围岩安山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $347.2 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (唐功建等,2009),属早石炭世;Zhao 等(2014)测试西塔矿段的大哈拉军山组安山岩与二长斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别是 $361 \pm 4 \text{ Ma}$ 和 $355.4 \pm 2.3 \text{ Ma}$;翟伟等(2006)测试与其紧邻的阿希金矿赋矿围岩大哈拉军山组第五岩性段英安岩高精度锆石 SHRIMP 年龄为 $363.2 \pm 5.7 \text{ Ma}$ 。从以上赋矿围岩时代推断塔吾尔别克金矿床可能是与阿希金矿在同一时期形成的浅成低温热液金矿床。

同时,总结区域内阿希金矿成矿年龄为 342~363 Ma(张桂林等,2002;沙德铭等,2003,2005;朱永峰等,2005;翟伟等,2006;安芳等,2008);而李华芹等(1998)测试阿希金矿成矿阶段包裹体的 Rb-Sr 年龄为 300~340 Ma;赵晓波等(2014)测试塔吾尔别克金矿成矿时期主要矿石物质黄铁矿的 Re-Os 年龄为 $323 \pm 11 \text{ Ma}$ (MAWA=4.2)。综合分析塔吾尔别克金矿床与阿希金矿内赋矿围岩时代、成矿年龄,认为两个矿床是在同一时期形成的,且成矿作用比赋矿围岩晚 40 Ma。

本次野外地质工作发现,塔吾尔别克金矿床仅在西塔和独立树矿段出露有二长斑岩,并发生金矿化;其他矿段暂未发现斑岩体,矿体均赋存于大哈拉军山组第五岩性段火山岩中。矿床主要受区内近南北向与北北西向断裂控制,矿体多数呈脉状、细脉浸染状和网脉状产于断裂交汇部位。蚀变类型主要包括硅化、黄铁矿化、绢云母化、青磐岩化、碳酸盐化等低温热液蚀变。矿石物质组分比较简单,主要为黄铁矿、自然金、赤铁矿、白铁矿及少量黄铜矿等。矿石构造主要包括脉状构造、细脉浸染状构造、星散状构造和角砾状构造等。对比附近阿希金矿,推断显示两个矿床具有相同的大地构造背景,统一且稳定的流体场和矿质来源、相似的矿床地质特征,这与赵晓波等(2014)提出塔吾尔别克金矿床与阿希金矿是在同一时期形成的观点一致。但因塔吾尔别克金矿床赋矿围岩除了大哈拉军山组火山岩,还包括与火

山岩同时同源的二长斑岩,故综述以上地质特征、流体包裹体特征及成矿年龄,认为塔吾尔别克金矿床是与火山岩-次火山岩有关的浅成低温热液型金矿床。

4.4 成矿过程简要分析

综合分析塔吾尔别克金矿床地质特征、控矿因素以及成矿物质来源、成矿流体特征等资料,说明二长斑岩体与塔吾尔别克金矿床的成矿关系密切。笔者初步分析,塔吾尔别克金矿床的形成大致经历了 3 个阶段:① 岩体就位;② 成矿流体的形成;③ 矿体就位。

① 岩体就位:晚古生代中期(C_1 早石炭世),是区内一次重要的岩浆活动时期,表现在科古琴山南坡等地广发分布的东图津河组火山岩堆积,同时形成了区域广泛分布的岩浆岩侵入体,由于区域应力作用的结果,吐拉苏盆地基底隐伏断裂不断活动引发岩浆上涌,就位于吐拉苏火山盆地大哈拉军山组地层中,二长斑岩体形成。

② 成矿流体的形成:二长斑岩体就位后,随着结晶作用的发生,分异作用形成的残余岩浆热液不断析出。岩体侵位同时释放大热,而使火山岩内流体(岩浆水、大气水)升温并循环,下渗的大气降水在下行过程中逐渐受热、加压,活动性增强,不断浸(萃)取二长斑岩和围岩火山岩等地质体中的成矿物质,流体下行到较深部位,与岩浆水相混合,当基底断裂复活时应力释放,压力降低,驱动含矿热液沿断裂上升,由于压力差和化学势差作用,形成深部热液循环,涌升的含矿热液与浅部的流体相混。成矿流体继续上升过程中,大量萃取二长斑岩及火山岩内的成矿物质,流体内成矿物质浓度提高,形成成矿溶液。

③ 矿体就位:当含矿流体在动力驱使下,上升到合适的构造部位,随着大气降水的不断加入,流体温度也不断降低,在近地表处特别是构造破碎带处,压力突然释放而改变了流体条件,流体成分发生重新组合,使 Au 等成矿物质得以游离出来,最终富集沉淀而成矿。

5 结论

(1) 塔吾尔别克金矿床位于科古琴山南坡断裂与伊犁盆地北缘断裂之间的吐拉苏盆地内。矿区仅西塔矿段中发育与成矿有关的二长斑岩且呈岩墙、

岩脉状产出,其他矿段大部分富矿体赋存于下石炭统大哈拉军山组第五岩性段的安山岩、凝灰岩内,矿区内断裂构造发育。金属矿物主要为黄铁矿、赤铁矿和白铁矿。蚀变类型主要包括钾化、硅化、绢云母化、青磐岩化等。成矿阶段分为面状石英-黄铁矿阶段、石英-硫化物脉阶段、石英-碳酸盐阶段。

(2) 塔吾尔别克金矿床发育有气液两相包裹体及纯液相水包裹体,测得均一温度为 $100\sim 196^{\circ}\text{C}$, 计算流体盐度为 $0.0\%\sim 7.3\%$, 主要集中在 $1\%\sim 3\%$, 流体密度为 $0.9\sim 1.0\text{ g/cm}^3$, 成矿压力为 $5.2\sim 81.9\text{ MPa}$, 成矿深度为 $0.5\sim 7.4\text{ km}$; 总体上,塔吾尔别克金矿床具有成矿温度低、成矿流体盐度低、成矿深度浅的特征。

(3) 通过对塔吾尔别克金矿床地质特征和成矿流体的研究,初步认为塔吾尔别克金矿床为与火山岩-次火山岩有关的浅成低温热液型金矿床。

References

- An Fang and Zhu Yongfeng. 2008. Study on trace elements geochemical and SHRIMP chronology of volcanic rocks in Tulasu Basin, Northwest Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2 741~2 748 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 2010. On epizonogenism and genetic classification of hydrothermal deposit[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 27~34(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, *et al.* 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2 085~2 108(in Chinese with English abstract).
- Dong Lianhui. 2001. The main alteration type of Axi gold deposit and its relationship to gold mineralization[J]. *Geology and Resources*, 10(3): 129~132(in Chinese with English abstract).
- Dong Lianhui, Qu Xun, Zhu Zhixin, *et al.* 2010. Tectonic evolution and metallogenesis of Xinjiang, China[J]. *Xinjiang Geology*, 28(4): 351~357(in Chinese with English abstract).
- Dong Lianhui and Tian Changlie. 2001. Geology of Tulasu-Yelimodun gold mineralization belt, Western Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology and Resources*, 10(2): 85~90(in Chinese with English abstract).
- Feng Juanping and Wang Juli. 2005. Study on fluid inclusions and discussion on gold mineralization styles of Axi, Jingxi-Yelmend gold deposits in Western Tianshan, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 38(1): 31~35(in Chinese with English abstract).
- Gu Xuexiang, Dong Lianhui, Peng Yiwei, *et al.* 2016. Formation and evolution of the epithermal-porphyry Au polymetallic mineralization system in the Tulasu volcanic basin of the West Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 1 283~1 300(in Chinese with English abstract).
- Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. *Economic Geology*, 83: 197~202.
- He Ying, Zou Cunhai and Zhang Jiang. 2015. Geological characteristics and genetic analysis of Tawuerbieke gold deposit in Yining County, Xinjiang[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 30(2): 221~227(in Chinese with English abstract).
- Jia Bin, Wu Ruishen, Tian Changlie, *et al.* 2001a. The characteristics of Tawuerbieke-Abiyindi porphyry type of gold deposit[J]. *Geology and Resources*, 10(3): 139~145(in Chinese with English abstract).
- Jia Bin, Wu Ruishen, Tian Changlie, *et al.* 2001b. The characters of the mineralization fluid of Axi gold deposit in Xinjiang[J]. *Gold Geology*, 7(1): 39~46(in Chinese with English abstract).
- Jia Bin, Wu Ruishen, Tian Changlie, *et al.* 2003. Mineralizing environment and Ore-forming fluid characters of Yiermande type of gold deposits in Western Tianshan[J]. *Geology and Resources*, 12(3): 146~153(in Chinese with English abstract).
- Jia Bin, Wu Ruishen, Tian Changlie, *et al.* 2004. Metallogenic model of metallogenic series of gold deposit in Tulasu volcanic basin of West Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 22(2): 170~177(in Chinese with English abstract).
- Jia Guozhang. 2010. Gold mineralization geological characteristics and genetic analysis of Tawuerbieke, Yining County, Xinjiang[J]. *Xinjiang Nonferrous Metal*, 33(Suppl. 1): 8~9, 13(in Chinese with English abstract).
- Li Huaqin and Chen Fuwen. 2004. Isotopic Geochronology of Regional Mineralization in Xinjiang[M]. China. Beijing: Geological Publishing House, 1~391(in Chinese).
- Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, *et al.* 1998. Study on Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposit in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~264(in Chinese).
- Liu Bin and Duan Guangxian. 1987. Density formula and isochoric formula of NaCl-H₂O fluid inclusion and their application[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 7(4): 345~352(in Chinese with English abstract).
- Liu Bin and Shen Kun. 1999. Fluid Inclusion Thermodynamics[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1~290 (in Chinese with English abstract).
- Long Lingli, Gao Jun, Qian Qing, *et al.* 2008. Magma mixing in the

- Xilekuduke Cu-Mo ore district in Xinjiang: Evidence from zircon U-Pb chronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 699~710(in Chinese with English abstract).
- Peng Yiwei, Gu Xuexiang, Cheng Wenbin, *et al.* 2016. Genesis of the Tawuerbieke gold deposit in the Tulasu basin, western Tianshan: Evidence from geochronology and stable isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 1361~1378(in Chinese with English abstract).
- Qi Chengyuan and Chen Tao. 2014. A analysis on the geological characteristics of Tawuerbieke gold deposit, Xinjiang[J]. *Science and Technology Information*, 21: 53~55(in Chinese with English abstract).
- Sha Deiming. 1998. The fluid inclusion of Axi gold deposit in west Tianshan mountains[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 7(3): 180~188(in Chinese with English abstract).
- Sha Deming, Dong Lianhui, Wu Ruishen, *et al.* 2003. A preliminary analysis on the epithermal gold deposits in West Tianshan Mountains, Xinjiang: Geochemical characteristics of host rocks and Ore-forming environments[J]. *Geology and Resources*, 12(4): 206~214(in Chinese with English abstract).
- Sha Deming, Jin Chengzhu, Dong Lianhui, *et al.* 2005. Study on the metallogenic geochemistry of Axi gold deposit in Western Tianshan Mountains[J]. *Geology and Resources*, 14(2): 118~125, 145(in Chinese with English abstract).
- Sibson R H. 1994. Crustal stress, faulting and fluid flow[J]. *Geological Society London Special Publications*, 78(1): 69~84.
- Sun Fengyue, Jin Wei, Li Biyue, *et al.* 2000. A think about hydrothermal vein gold deposit on the depth of mineralization[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(Suppl): 27~30(in Chinese with English abstract).
- Tang Gongjian, Wang Qiang, Zhao Zhenhua, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology, element geochemistry and petrogenesis of the andesites in the eastern Taerbieke gold deposit of the western Tianshan region[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1341~1352(in Chinese with English abstract).
- Tu Qijun, Feng Jing and Tian Jiangtao. 2012. Characteristics and analysis of metallogenic conditions of related typical copper(molybdenum) and gold deposit in Boluokenu area of Xijiang[J]. *Xijiang Geology*, 30(2): 176~181(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xu Jifeng, *et al.* 2006. Carboniferous adakite-high-Mg andesite-Nb-enriched basaltic rock suites in the northern Tianshan area: Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia Orogenic Belt and Cu-Au mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 11~30(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, *et al.* 2004. Types, characteristics and metallogenic geodynamic evolution of the Paleozoic Polymetallic copper-gold deposits in the Western Tianshan Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 836~847.
- Xia Lixian, Liu Chengshuai and Liu Chuanpeng. 2011. Geological characteristics and prospecting signs of Tawu'erbieke deposit in Yining County of Xijiang Uygur Autonomous Region[J]. *Shandong Land and Resource*, 27(6): 6~9(in Chinese with English abstract).
- Xu Bojun, Cao Xinzhi, Wei Jialin, *et al.* 2014. Study on metallogenic series and metallogenic model in Axi-Tawuerbieke-Abiyindi area in Yili prefecture, Xinjiang[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(4): 495~505(in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, *et al.* 2006. SHRIMP dating of zircons from volcanic host rocks of Dahalajunshan Formation in Axi gold deposit, Xijiang, China, and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1339~1404(in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, He Xiaoping, *et al.* 2007. Geochemistry of ore forming fluid and metallogenic mechanism of Axi Low-sulfidation gold deposit in Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 659~670(in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Su Liwei, *et al.* 2010. Axi gold deposit: A Paleozoic low-sulfidation type of epithermal gold deposit in Xinjiang, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 266~285(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guilin, Liang Jincheng, Nick H, *et al.* 2002. Patterns of structural controls on gold deposits in Tulasu volcanic basin, West Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology and Prospecting*, 38(5): 24~29(in Chinese with English abstract).
- Zhao X B, Xue C J, Chi G X, *et al.* 2014. Epithermal Au and polymetallic mineralization in the Tulasu Basin, western Tianshan, NW China: potential for the discovery of porphyry Cu-Au deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 60: 76~96.
- Zhao Xiaobo, Xue Chunji, Men Qihao, *et al.* 2014. Origin and metallogenesis of the Tawuerbieke gold deposit, west Tianshan: Insight from Re-Os geochronology and S-Pb isotopic compositions[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(5): 176~186(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, *et al.* 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemical of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains[J]. *Chinese Science Bulletin*, 50(18): 2004~2014(in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhixin, Dong Lianhui, Liu Shucong, *et al.* 2012. Volcanic rock geological characteristics and Tectonic significance of the Late Paleozoic Yili Block in the Western Tianshan, Xinjiang[J]. *Xinjiang Ge-*

ology, 30(3): 258~263(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安芳, 朱永峰. 2008. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代学和微量元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 24(12): 2741~2748.
- 陈衍景. 2010. 初论浅成作用和热液矿床成因分类[J]. 地学前缘, 17(2): 27~34.
- 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 23(9): 2085~2108.
- 董连慧. 2001. 阿希金矿主要蚀变类型及其与金矿化关系[J]. 地质与资源, 10(3): 129~132.
- 董连慧, 田昌烈. 2001. 西天山吐拉苏-也里莫墩金成矿带简述[J]. 地质与资源, 10(2): 85~90.
- 董连慧, 屈迅, 朱志新, 等. 2010. 新疆大地构造演化与成矿[J]. 新疆地质, 28(4): 351~357.
- 冯娟萍, 王居里. 2005. 西天山阿希-京西-伊尔曼德金矿床成矿流体包裹体研究及矿化类型探讨[J]. 西北地质, 38(1): 31~35.
- 顾雪祥, 董连慧, 彭义伟, 等. 2016. 新疆西天山吐拉苏火山岩盆地浅成低温热液-斑岩型金多金属成矿系统的形成与演化[J]. 岩石学报, 32(5): 1283~1300.
- 何英, 邹存海, 张江. 2015. 新疆伊宁县塔吾尔别克金矿地质特征及成因分析[J]. 地质找矿论丛, 2: 221~227.
- 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 2001a. 塔吾尔别克-阿底因迪斑岩型金矿特征[J]. 地质与资源, 10(3): 139~145.
- 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 2001b. 新疆阿希金矿浅成低温流体特征[J]. 黄金地质, 7(1): 39~46.
- 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 2003. 西天山伊尔曼得型金矿流体特征及成矿环境[J]. 地质与资源, 12(3): 146~153.
- 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 2004. 西天山吐拉苏火山盆地金成矿系列成矿模式[J]. 新疆地质, 22(2): 170~177.
- 贾国章. 2010. 新疆伊宁县塔吾尔别克金矿成矿地质特征及成因分析[J]. 新疆有色金属, 33(S1): 8~9, 13.
- 李华芹, 陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 1~391.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 1~264.
- 刘斌, 段光贤. 1987. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 7(4): 345~352.
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1~290.
- 龙灵利, 高俊, 钱青, 等. 2008. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 699~710.
- 彭义伟, 顾雪祥, 程文斌, 等. 2016. 西天山吐拉苏盆地塔吾尔别克金矿床成因探讨: 来自同位素年代学和稳定同位素的证据[J]. 岩石学报, 32(5): 1361~1378.
- 齐程元, 陈涛. 2014. 新疆塔吾尔别克金矿地质特征浅析[J]. 科技资讯, 21: 53~55.
- 沙德铭. 1998. 西天山阿希金矿流体包裹体研究[J]. 贵金属地质, 7(3): 180~188.
- 沙德铭, 董连慧, 毋瑞身, 等. 2003. 西天山浅成低温金矿容矿火山岩地球化学及成矿环境初探[J]. 地质与资源, 4: 206~214.
- 沙德铭, 金成洙, 董连慧, 等. 2005. 西天山阿希金矿成矿地球化学特征研究[J]. 地质与资源, 14(2): 118~125, 145.
- 孙丰月, 金巍, 李碧乐, 等. 2000. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报, 30(增刊): 27~30.
- 唐功建, 王强, 赵振华, 等. 2009. 西天山东塔尔别克金矿区安山岩 LAICPMS 锆石 UPb 年代学、元素地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 25(6): 1342~1352.
- 涂其军, 冯京, 田江涛. 2012. 新疆博罗科努地区典型铜(钼)金矿床特征及成矿条件分析[J]. 新疆地质, 30(2): 176~181.
- 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 岛弧玄武质岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义[J]. 岩石学报, 22(1): 11~30.
- 王志良, 毛景文, 张作衡, 等. 2004. 西天山古生代铜金多金属矿床类型-特征及其成矿地球动力学演化[J]. 地质学报, 78(6): 836~847.
- 夏立献, 刘成帅, 刘传朋. 2011. 新疆伊宁县塔吾尔别克金矿地质特征及找矿标志[J]. 山东国土资源, 27(6): 6~9.
- 徐伯骏, 曹新志, 魏佳林, 等. 2014. 新疆伊犁阿希-塔吾尔别克-阿底因迪成矿区金-铅锌成矿系列和成矿模型研究[J]. 地质找矿论丛, 29(4): 495~505.
- 翟伟, 孙晓明, 高俊, 等. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿围岩-大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1399~1404.
- 翟伟, 孙晓明, 贺小平, 等. 2007. 新疆阿希低硫型金矿床流体地球化学特征与成矿机制[J]. 地质学报, 81(5): 659~670.
- 翟伟, 孙晓明, 苏丽微, 等. 2010. 新疆阿希金矿: 古生代的低硫型浅成低温热液金矿床[J]. 地学前缘, 17(2): 266~285.
- 张桂林, 梁金城, Nick Hayward, 等. 2002. 新疆西天山吐拉苏火山盆地金矿的构造控矿规律[J]. 地质与勘探, 38(5): 24~29.
- 赵晓波, 薛春纪, 门启浩, 等. 2014. 西天山塔吾尔别克金矿成矿作用: Re-Os 年龄和 S-Pb 同位素示踪[J]. 地学前缘, 21(5): 176~186.
- 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 等. 2005. 西天山石炭纪火山岩年代学及其微量元素地球化学研究[J]. 科学通报, 50(18): 2004~2014.
- 朱志新, 董连慧, 刘淑聪, 等. 2012. 新疆西天山伊犁地块晚古生代火山岩地质特征及构造意义[J]. 新疆地质, 30(3): 258~263.