

文章编号: 0258-7106(2014)02-0241-14

西天山阿希浅成低温热液金矿床剥蚀改造过程探讨*

魏佳林¹, 曹新志^{2* * *}, 徐伯骏², 张旺生³, 饶东平⁴, 黄良伟²

(1 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074;

3 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 4 紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200)

摘 要 阿希金矿床是新疆西天山成矿带上与晚古生代火山岩有关的典型浅成低温热液型金矿床。矿区包括热液成因和沉积成因 2 种类型的金矿体。其中, 热液成因金矿体明显受近南北向断裂控制, 并遭受一定的剥蚀改造, 矿体空间形态变化特征及黄铁矿热电性标型特征显示矿床南段比北段剥蚀程度高, 矿体金品位和厚度质量参数空间分布特征显示矿体具有向北侧伏特征, 沉积底砾岩型金矿体角度不整合于热液成因矿体之上, 其含矿砾石类型和稀土元素分布特征与热液型矿体基本一致, 为热液型矿体遭受剥蚀并在北东部阿恰勒河组中沉积的产物。基于以上认识, 并结合矿床的形成、产状变化特征、区域构造地质演化等资料的深入分析, 建立了阿希浅成低温热液型金矿床的剥蚀改造模式。

关键字 地质学, 剥蚀改造, 浅成低温热液金矿床, 阿希金矿, 西天山, 新疆

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Erosion and post-mineralization change of Axi epithermal gold deposit in Western Tianshan Mountains

WEI JiaLin¹, CAO XinZhi^{2* * *}, XU BoJun², ZHANG WangSheng³, RAO DongPing⁴ and HUANG LiangWei²

(1 Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China; 2 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3 Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 4 Zijin Mining Industry Corporation, Shanghang 364200, Fujian, China)

Abstract

Located in the Western Tianshan metallogenic belt, the Axi gold deposit is a large-size volcanics-related epithermal gold deposit formed in Late Paleozoic. Two genetic types of orebodies occur in the gold ore district, i.e., hydrothermal and sedimentary ones. The hydrothermal orebodies are controlled strictly by the NS-trending fault and have suffered some denudation, and the characteristics of morphology and spatial distribution of these orebodies as well as the typomorphic features of pyrites suggest that the southern part has experienced deeper denudation than the northern part; in addition, the spatial distribution of the grade and thickness shows that the deposit pitches northward. The sedimentary orebody, with highly similar types and REE characteristics of mineralized gravels, shows angular unconformity with the hydrothermal orebody, suggesting that it resulted from the erosion and later deposition in the Aqialehe Formation. Based on these recognitions as well as further

* 本文得到新疆有色集团公司地质勘查项目“新疆阿希金矿深部及外围成矿预测研究”(编号: 2009026281) 的资助

第一作者简介 魏佳林, 男, 1985 年生, 硕士, 助理工程师, 主要从事成矿规律与成矿预测方面的工作。Email: jlwei@126.com

* * 通讯作者 曹新志, 男, 1956 年生, 教授, 主要从事成矿规律、成矿预测、矿产勘查与评价方面的科研和教学工作。Email: cao-xinzhizhi2000@163.com

收稿日期 2013-03-26; 改回日期 2014-02-25。秦思婷编辑。

study of the deposit formation and structural evolution, the authors constructed a new dynamic model of subduction erosion and post-mineralization change for the Axi epithermal gold deposit.

Key words: geology, subduction erosion, epithermal gold deposit, Western Tianshan Mountains, Axi, Xinjiang

矿床的历史包括形成和成矿后变化改造 2 个阶段,不能只注重矿床的起源和形成过程,还要加强矿床形成后的变化和保存状况研究,强调系统与演化、整体与发展(翟裕生,1997;2002;翟裕生等,2000;2011)。浅成低温热液金矿床具有规模大、品位高、产出浅、易开采等特点,是全球金矿找矿热点之一(Corbett,2002;David et al.,2003;Castor,2003;Charchaflié et al.,2007;Anthony et al.,2007;Carrillo et al.,2008;Stephen et al.,2009),但由于产出较浅,此类金矿床易遭受剥蚀和改造,甚至导致矿体产状发生很大变化。因此,研究浅成低温热液金矿床形成后的剥蚀改造过程、变化和保存条件,对全面认识矿床的形成、演变过程以及正确指导矿床的勘查和开发工作具有十分重要的理论和实际意义。

随着近几年磷灰石裂变径迹等新技术应用于地质学,尤其是矿床学的研究(陈正乐等,2006;汪新伟等,2007;韩效忠等,2008;姚志刚等,2010;杨祖龙等,2008;刘红旭等,2009;田朋飞等,2012),对于矿床形成后的改变和保存,尤其是矿床剥蚀程度和改造的研究取得了较大进展(王功文,2006;王喜臣等,2007;王建平等,2008;柳振江等,2010;胡煜昭,2010;陈正乐等,2012;刘文浩等,2012;杨志明等,2012)。但目前磷灰石裂变径迹方法的应用,仍存在局限性,即要求矿床形成于中-新生代,且需与岩体关系密切,而对于中生代以前形成的浅成低温热液型金矿床则只可利用传统方法,如矿床原生晕垂直分带性、地球化学分带指标元素组合和元素比值、黄铁矿等矿物标型特征(热电系数、晶形等)及地貌学(古地理环境)等,进行定性-半定量分析(杨赞中等,2007;李成禄等,2009;姜启明,2011;吴兆宁等,2007)。

新疆伊宁县阿希金矿床是西天山成矿带上的一个大型浅成低温热液型金矿床,其后期剥蚀改造特征明显。该矿床形成于晚古生代(360~300 Ma,李华芹等,1998;翟伟等,2006;安芳等,2008),围岩为下石炭统大哈拉军山组火山岩和管道相英安质角砾熔岩。世界范围内的同类型矿床大部分形成于中-

新生代(145~10 Ma,王洪黎等,2009)且主要分布于大陆边缘及岛弧区,而中国的浅成低温热液矿床形成时代为 188~94 Ma(毛景文等,2003)和 340~240 Ma(杨富全等,2005),前者主要分布于东南沿海、胶东地区(环太平洋成矿域),后者主要分布于天山成矿带(中亚成矿域),以阿希金矿为代表的天山成矿带陆内裂谷成矿背景逐渐引起人们的重视(陈衍景,2000;何政伟等,2002;李明等,2007;朱永峰,2009;李碧乐等,2010)。阿希外围又相继发现有塔乌尔别克、阿庇因迪、伊尔曼得、恰布坎卓它等斑岩型和硅化岩型金矿床,上述矿床与阿希浅成低温热液型金矿床的成因联系也引起了人们的关注(贾斌等,2004;周圣华等,2008;赵晓波等,2012)。

前人对阿希金矿床的矿床成因、成矿时代、成矿流体等方面的研究较深入、全面(姜晓玮等,2002;贾斌等,2001;董连慧等,2005;冯娟萍等,2005;张作衡等,2007;安芳等,2009;翟伟等,2004;2007;2010),但对该矿床剥蚀程度及其形成后的剥蚀与改造过程研究非常少,仅翟伟等(2010)和魏佳林等(2011)分别通过石英流体包裹体和黄铁矿标型进行过初步研究。阿希矿区内热液型矿体与剥蚀沉积型矿体共存,是一个非常典型的用于研究矿床形成后剥蚀改造、变化和保存情况的浅成低温热液金矿床。基于以上认识,笔者重点从剥蚀沉积底砾岩型金矿体产状特征、矿体形态空间变化特征、金品位及厚度质量参数等方面对阿希金矿床的剥蚀改造进行了较为全面的研究,并结合矿床形成过程、矿区及周边地区地质构造演化等的深入分析,建立了阿希浅成低温热液金矿床的剥蚀改造模式,以期探讨阿希金矿床的形成、演化特征,并为矿区深部找矿提供理论依据。

1 区域地质背景

阿希金矿床位于西天山西段博罗科努古生代岛弧带的吐拉苏火山断陷盆地内(图 1A、B),地处哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块汇聚碰撞地区。区内广泛分布晚古生代火山岩,近几年又相继发现了阿庇因迪、塔乌尔别克、京希、伊尔曼德等十余个

金矿床(点), 构成了西天山晚古生代与火山岩有关的金矿成矿系列(董连慧等, 2005)。晚古生代是本区最重要的构造-岩浆演化以及成矿作用时期, 经历

了泥盆纪陆-陆碰撞造山阶段、早石炭世后碰撞阶段、二叠纪陆-陆叠覆造山阶段(于海峰等, 2011)。其中, 在早石炭世后碰撞时期由于陆内裂谷拉张作

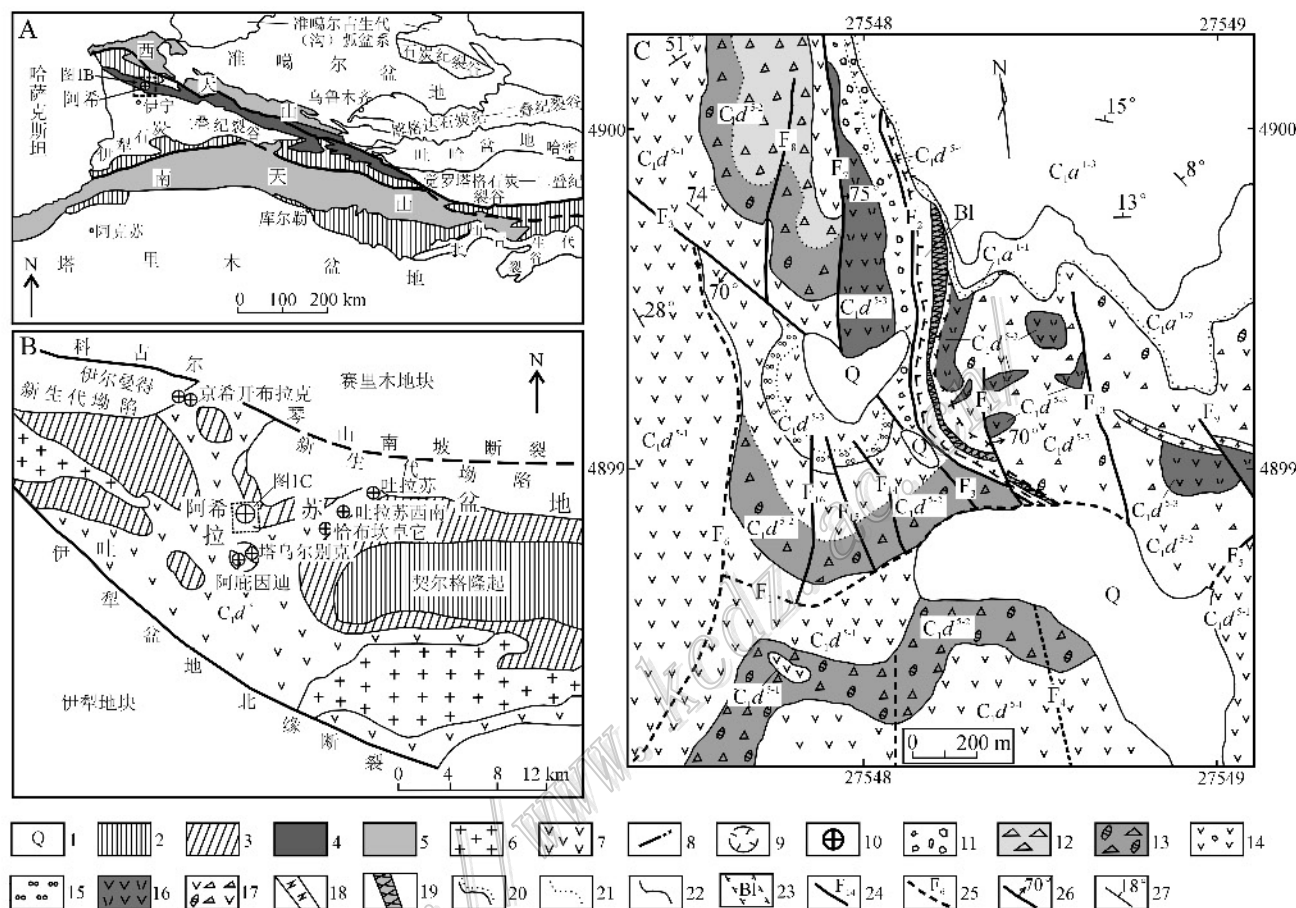


图1 西天山构造简图(A, 据夏林圻等, 2002 改绘)、吐拉苏盆地地质简图(B, 据董连慧等, 2005 改绘)和阿希矿区地质图(C, 据新疆地质矿产局第一地质大队, 1992 改绘)

1—第四系; 2—前寒武纪基底; 3—早古生代褶皱带; 4—早古生代构造岩浆岩带; 5—晚古生代构造岩浆岩带; 6—华力西期花岗岩; 7—早石炭世大哈拉军山组安山岩; 8—区域深大断裂; 9—火山机构; 10—金矿床; 11—火山集块岩; 12—火山角砾岩; 13—含火山弹火山角砾岩; 14—杏仁状安山岩; 15—火山质细砾岩; 16—英安岩; 17—安山质含火山弹角砾岩; 18—斜长斑岩脉; 19—金矿体; 20—不整合界线; 21—岩相界线; 22—地质界线; 23—火山管道相; 24—实测断裂及其编号; 25—推测断裂及其编号; 26—断裂产状; 27—地层产状
 C_{1d}^{51} 、 C_{1d}^{52} 、 C_{1d}^{53} 、 C_{1d}^{54} 依次为下石炭统大哈拉军山组第一层、第二层、第三层、第四层; C_{1a}^{11} 、 C_{1a}^{12} 、 C_{1a}^{13} 分别为下石炭统阿恰勒河组第一岩性段第一层、第二层、第三层

Fig. 1 Simplified regional tectonic map of Western Tianshan Mountains (A, modified after Xia et al., 2002), simplified geological map of Tulasu basin (B, modified after Dong et al., 2005) and geological sketch map of the Axi gold deposit (C, modified after No.1 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 1992)

1—Quaternary; 2—Precambrian basement; 3—Early Paleozoic fold belt; 4—Early Paleozoic structural magmatic belt; 5—Late Paleozoic structural magmatic belt; 6—Hercynian granite; 7—Andesite in Dahalajunshan Formation; 8—Regional deep faults; 9—Volcanic apparatus; 10—Gold deposit; 11—Volcanic agglomerate; 12—Volcanic breccia; 13—Volcanic breccias including bombs; 14—Amygdaloidal andesite; 15—Volcanic conglomerates; 16—Dacite; 17—Andesitic bomb breccia; 18—Plagioclase porphyry; 19—Gold orebody; 20—Unconformity; 21—Petrographic boundary; 22—Geological boundary; 23—Volcanic crater phase; 24—Measured fracture and its serial number; 25—Conjectural fracture and its serial number; 26—Attitude of fractures; 27—Attitude of strata

The fifth member of the lower Carboniferous (C_{1d}^{55}), and C_{1d}^{51} , C_{1d}^{52} , C_{1d}^{53} and C_{1d}^{54} are in order of 1st, 2nd, 3rd and 4th layers; C_{1a}^{11} , C_{1a}^{12} and C_{1a}^{13} are in order of 1st, 2nd and 3rd layer of the first member of the lower Carboniferous Aqialehe Formation

用火山喷发活动强烈,形成了大面积分布的大哈拉军山组(C_1d)中酸性火山岩及与其关系密切的阿希等热液金矿床,尔后大型断陷盆地形成,接受陆表海海侵,沉积形成以阿恰勒河组(C_1a)为代表的一套浅海相碎屑岩-碳酸盐岩建造。

阿希金矿床所在的吐拉苏盆地形成于古克拉通陆壳双层结构的基底之上(王永江等,2004;董连慧等,2005),其南、北两侧分别以北东向的科古尔琴山南坡断裂和伊犁盆地北缘断裂为界。这2条深大断裂主体均显示挤压性质,对区内断陷盆地和晚古生代盖层的构造演化以及成矿作用具有深远的影响。其中,科古尔琴山断裂表现为早期左行走滑和晚期逆冲推覆,伊犁盆地北缘断裂表现为以挤压为主、一系列构造岩片堆叠的逆断层性质,体现出北部抬升的特征(王永江等,2004)。区内发育近SN向、NW向和NE向3组深断裂构造,控制了区内的岩浆活动和古火山机构的分布,对金矿的形成最为重要。

研究区内侵入岩分布较少,火山岩广泛发育。侵入岩以华力西期花岗岩、石英斑岩、花岗斑岩、闪长玢岩等中酸性岩为主,火山岩包括喷溢相熔岩、爆发相火山碎屑岩以及次火山岩相英安斑岩等多种岩相,存在中心式和裂隙式2种火山喷发机制(董连慧等,2005),以早石炭世为本区火山活动高峰期,并以大哈拉军山旋回为主。区内火山构造与金矿关系十分密切,火山岩区及喷发带在区域上控制着金矿带的展布,近南北向火山构造隆起和拗陷控制了金矿田的分布,火山机构控制了金矿床(点)的具体产出位置。

2 矿床地质特征

阿希金矿床位于吐拉苏断陷盆地早石炭世火山岩带中,为一个大型的低硫型(冰长石-绢云母型)浅成低温热液金矿床(董连慧等,2005;翟伟等,2010)。金矿体主要产于阿希古火山机构管道相中(图1C),其形成受阿希古火山机构近南北向 F_2 断裂构造的直接控制。

矿区内出露地层主要为下石炭统大哈拉军山组第五岩性段(C_1d^5)和阿恰勒河组第一岩性段(C_1a^1),前者为主要含矿层位,可分为喷发-喷溢相火山集块岩、集块岩层、杏仁状安山岩、安山质英安岩、凝灰岩和管道相英安质角砾熔岩,且前4种岩相围绕管道相呈弧形带状分布,总体向北倾,倾角 $10\sim$

30° ,并为切割关系;后者是一套浅海相碎屑岩-碳酸盐岩建造,岩性为凝灰质砾岩、岩屑砂岩、细砂岩夹灰岩层,总体倾向北或北东,倾角 $10\sim 15^\circ$,角度不整合覆盖于大哈拉军山组之上。

矿区内断裂构造发育,已发现16条断裂,除 F_1 、 F_3 、 F_5 断裂外,其余13条断裂均为火山断裂(新疆地质矿产局第一地质大队,1992)。笔者对上述13条主要断裂进行野外观察,发现矿区内断裂构造由一组近南北向的断裂带组成,向南延至阿庇因迪一带,走向约NNE 10° 。其中, F_2 断裂为阿希金矿床的主控矿断裂,既是导矿构造又是容矿构造,总体呈近南北向反“S”形展布,向东倾,倾角在 70° 以上,局部近直立,显示出脉动性开合特征,成矿前和成矿期以走滑拉伸的张性断裂性质为主,成矿后以挤压性质为主。位于矿区南端的近东西向 F_1 断裂沿小阿希河谷发育,切断早期 F_2 等近南北向断裂,形成于火山断裂之后,系区域应力作用的结果。

矿区内未见侵入岩,仅见少量斜长斑岩、英安斑岩等中酸性岩脉。

矿带由2种成因的8个矿体组成,其中浅成低温热液成因矿体7个,走向近南北,长约1280 m,总体倾向东,倾角 $60\sim 80^\circ$,由下盘至上盘依次编号为①~⑦,各矿体呈 $5\sim 10$ m间距近平行排列(图2A),呈上宽下窄的楔状,沿走向和倾向均呈膨大狭缩、分支复合状,向深部逐渐变薄至尖灭,矿体浅部遭受了一定程度的风化剥蚀(图2D);沉积成因矿体1个(图2B),产于阿恰勒河组第一岩性段(C_1a^1)中,主要由含金石英脉砾石、硅化英安质角砾熔岩砾石构成(图2C),呈角度不整合于热液成因金矿体之上。上述矿体中,①、②号矿体为阿希矿区主要的工业矿体,①号矿体规模最大,为阿希金矿床的主矿体。

热液成因金矿体因风化程度不同而呈不同的颜色,地表风化较强,呈黄褐色,松散状(图2D);在近地表(1530 m标高以上)呈灰褐色、红褐色(图3A);深部原生矿则呈烟灰色、灰绿色(图3B、C)。矿化蚀变显示垂直分带和水平分带现象,即在垂向上,金矿化在上部(1410 m标高以上)以硅化石英脉型为主,下部以黄铁绢英岩化蚀变岩型为主;水平方向上,自矿体下盘至上盘可分为黄铁绢英岩化带→强硅化带→脉状、网脉状硅化带→脉状、网脉状石英-碳酸盐化带→黄铁绢英岩化带,其中,强硅化带金矿化最强。

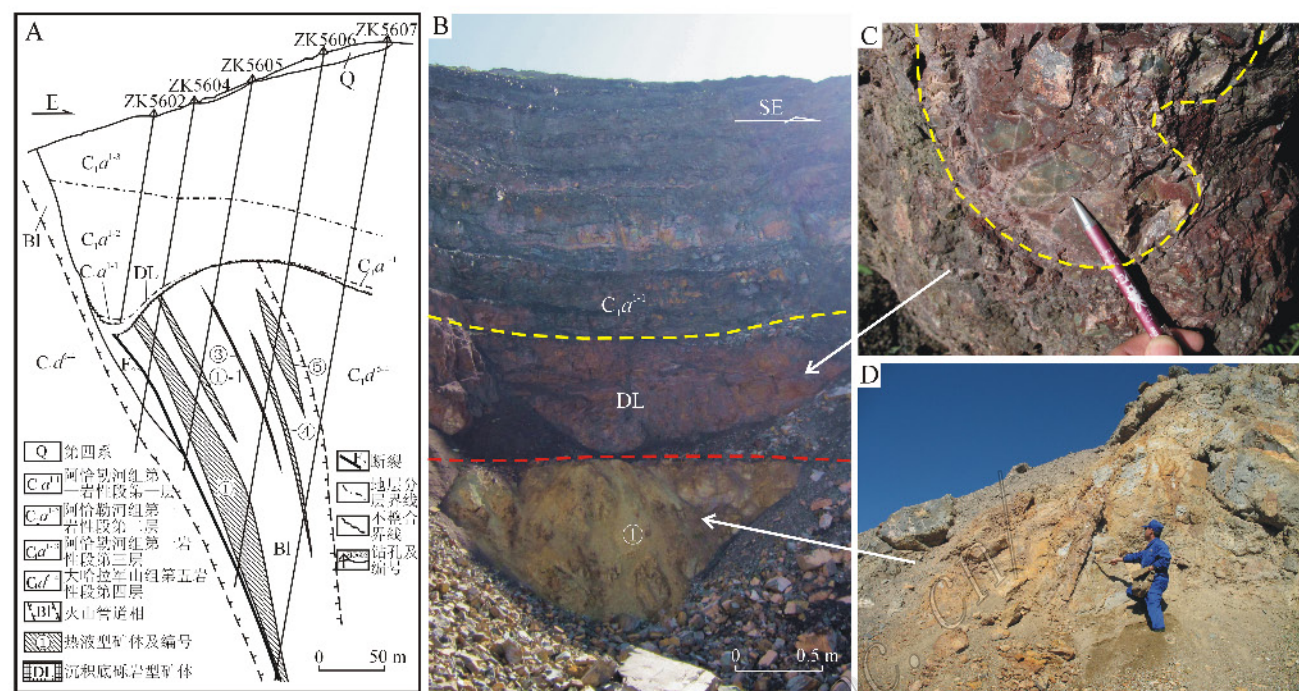


图2 阿希金矿床矿体产状特征

A. 56号勘探线剖面图; B. 沉积底砾岩型矿体(DL)与①号主矿体不整合接触关系; C. 底砾岩型矿石; D. 地表风化热液型矿体

Fig. 2 The modes of occurrence of the orebodies in the Axi gold deposit

A. Geological section along No. 56 exploration line; B. Field unconformable contact relationship of the sedimentary basal conglomerate orebody and hydrothermal orebody; C. Sedimentary basal conglomerate ore; D. Weathered hydrothermal orebody on the surface

矿石矿物主要为银金矿、自然金(图3D、E)、(富砷)黄铁矿、白铁矿(图3I)、毒砂、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿等,脉石矿物主要为玉髓状石英、石英、绢云母、绿泥石、方解石等。矿石结构主要有包含结构(图3E)、环带结构(图3F)、锯齿状结构(图3G)、加大边结构(图3H)、压碎结构等。矿石构造主要有星散浸染状构造、稠密浸染状构造、脉状构造、角砾状构造等。围岩蚀变包括硅化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、绢云母化、碳酸盐化等,其中,硅化和黄铁矿化与金矿化关系最为密切。

3 矿体的剥蚀分析

3.1 沉积底砾岩型矿体特征

沉积底砾岩型矿体是热液型矿体已遭受剥蚀的直接证据,其产出与阿恰勒河组与下伏大哈拉军山组的不整合面上,区域延伸稳定,主要分布于①号主矿体的北东侧,含金并具有残坡积性质,其分布受古地形变化的制约。

矿体呈似层状,厚度变化较大,一般为2~10 m,

主要分布于矿区北部的8~64号勘探线,长560 m,宽275 m,倾向30°,倾角15~30°,向东北变薄直至尖灭。底砾岩层中砾石呈棱角状、次棱角状,分选差,砾径5~20 cm,成分主要有安山质英安岩、碎裂状硅化英安质角砾熔岩、灰白色-烟灰色石英脉及黄铁绢英岩化英安质角砾熔岩等,后三者含金性较好。胶结物为砂质黏土,无明显热液蚀变特征,胶结程度较低,岩石较为松散。矿石矿物成分主要为氧化残留状态的黄铁矿、白铁矿、毒砂等,新疆地质矿产局第一地质大队(1992)通过重砂鉴定出自然金、银金矿、黄铁矿、白铁矿、赤铁矿、孔雀石及褐铁矿等,脉石矿物有石英、辉石、方解石、磷灰石、绿泥石等。此外,砾石及胶结物取样分析显示,矿体金品位与含金石英砾石的含量呈正比,其中,石英脉砾石的含金性最好($w(\text{Au})$ 为 $3.02 \times 10^{-6} \sim 17.43 \times 10^{-6}$),其次为硅化安山质英安岩及黄铁绢英岩化英安质角砾熔岩($1.11 \times 10^{-6} \sim 5.42 \times 10^{-6}$),胶结物含金量变化较大($0.12 \times 10^{-6} \sim 5.73 \times 10^{-6}$)。

底砾岩型矿体的矿石类型、矿物组成等与热液成因矿体矿石特征基本相似(表1),不同成分矿石与

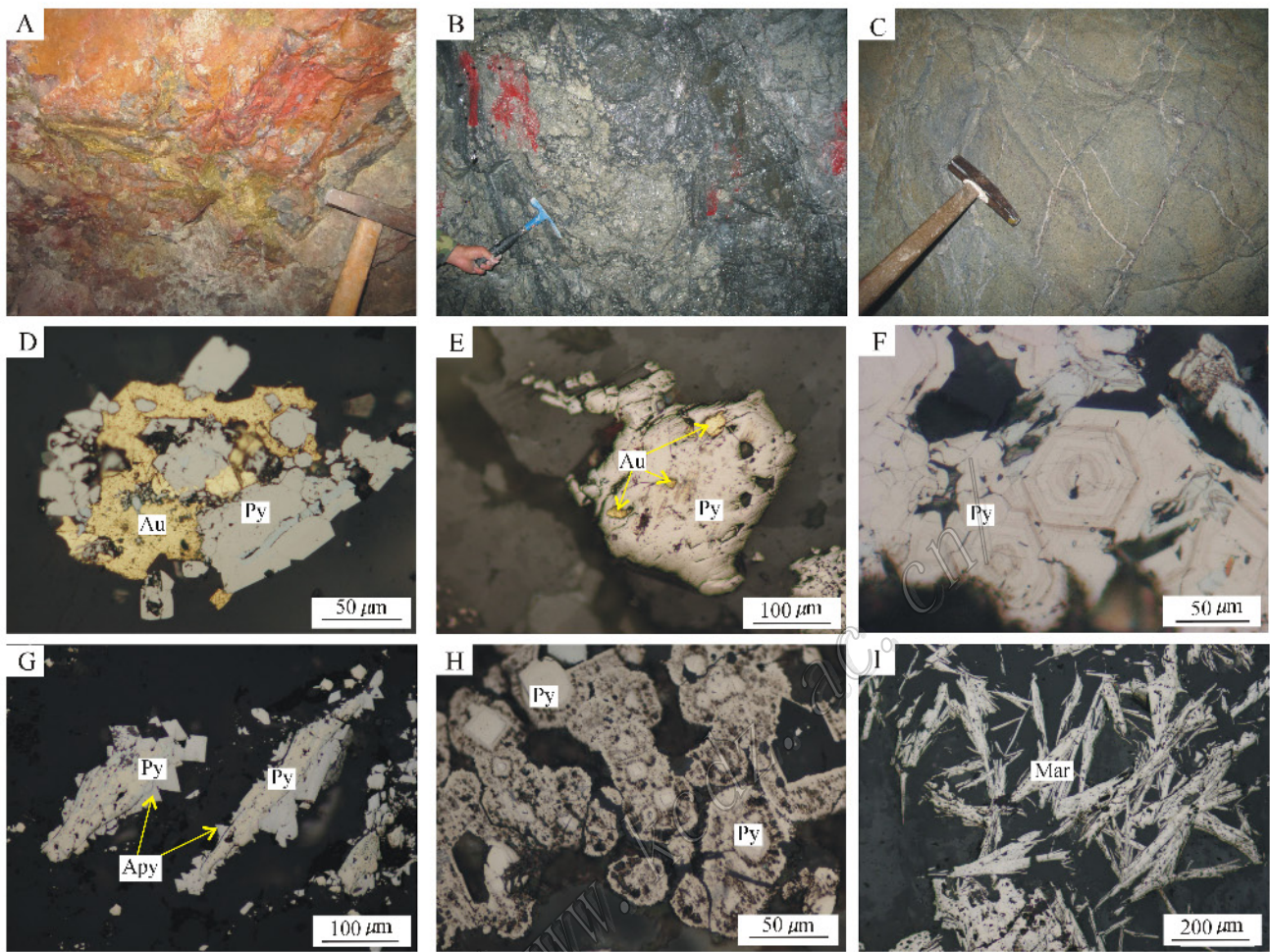


图 3 阿希金矿床矿体野外特征及镜下特征

A. 浅部氧化矿体; B. 深部原生石英脉型矿体; C. 深部原生黄铁绢英岩化蚀变岩矿体; D. 氧化矿石黄铁矿中的裂隙金; E. 原生矿石黄铁矿中的包体金; F. 环带结构黄铁矿; G. 自形毒砂呈锯齿状分布于黄铁矿边部; H. 加大边结构黄铁矿; I. 草束状白铁矿
Au—金; Py—黄铁矿; Apy—毒砂; Mar—白铁矿

Fig. 3 Field and microscope photographs of the Axi gold deposit

A. Oxidized shallow ores; B. Primary quartz vein ore in the depth; C. Primary pyritization and sericitization in the depths; D. Fissure gold in pyrite of oxidized ores; E. Inclusion gold in pyrite of primary ores; F. Zoned pyrites; G. Zigzag arsenopyrites distributed in the margin of the As-rich pyrites; H. Pyrites with enlarged fringes; I. Grass-like marcasites
Au—Gold; Py—Pyrite; Apy—Arsenopyrite; Mar—Marcasite

表 1 阿希金矿床热液成因与沉积成因金矿体特征对比

Table 1 Characteristic contrast between hydrothermal and sedimentary orebodies

对比项目	热液成因矿体	沉积成因矿体
产状	脉状,走向近南北,倾向东,倾角 60~80°	似层状,倾向 30°,倾角 15~30°,角度不整合覆盖于热液成因矿体之上
围岩	英安质角砾熔岩、安山质英安岩、安山岩等	凝灰质细砂岩、岩屑砂岩、底砾岩,其中砾石成分主要为安山质英安岩、英安质角砾熔岩、石英脉等
蚀变类型	硅化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化	无明显热液蚀变特征,其底砾岩矿石中硅化、黄铁绢英岩化蚀变形成于沉积前
矿石类型	硅化石英脉型、黄铁绢英岩化蚀变岩型	沉积底砾岩型
矿石矿物	银金矿、自然金、(富砷)黄铁矿、白铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等	银金矿、自然金、黄铁矿、白铁矿、赤铁矿、孔雀石、褐铁矿等
脉石矿物	玉髓状石英、石英、绢云母、绿泥石、方解石等	石英、辉石、方解石、磷灰石、绿泥石等

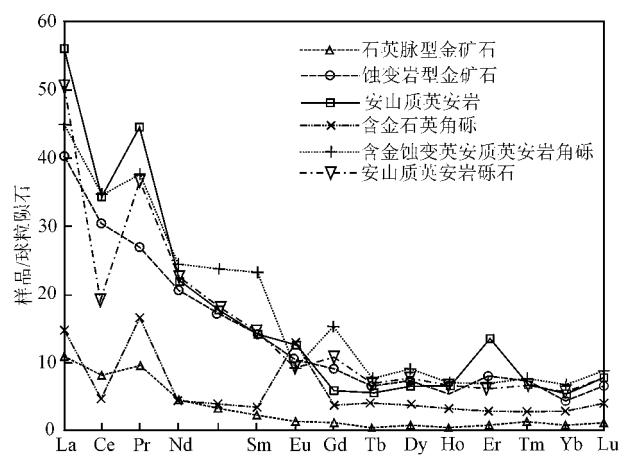


图 4 阿希金矿床沉积底砾岩型金矿体与①号主矿体及其围岩稀土元素配分模式图

Fig. 4 REE distribution patterns for the hydrothermal and sedimentary orebodies and their wall rocks of the Axi gold deposit

①号主矿体及其围岩的稀土元素配分特征也基本一致(图 4,数据来源于新疆地质矿产局第一地质大队,1992),以上均说明此沉积底砾岩型金矿体直接源于热液成因的矿体及蚀变大哈拉军山组火山岩,为①号及其他支脉矿体遭受风化剥蚀并在矿区东北部阿恰勒河组中沉积的产物。

3.2 热液型矿体南、北段剥蚀具一定差异性

矿体南、北两段剥蚀程度存在一定差异性(图

5),造成这种差异的原因主要与它们遭受不同的剥蚀经历有关。

3.2.1 矿体南段剥蚀程度较北段高

矿体南段(8号勘探线以南,75号~8号勘探线)已被剥蚀至原始矿体的下部或中下部,北段(8号勘探线以北,8号~72号勘探线)被剥蚀至原始矿体的上部或中上部。南、北两段剥蚀程度的差异可从阿恰勒河组底砾岩出露的情况、产状、地形标高的差异、矿化类型变化、南北段矿体形态变化等方面加以分析判断:

(1) 从矿体的矿化类型和矿体形态垂向变化特点分析

热液型矿床矿化类型具垂直分带性,即上部为硅化石英脉型金矿化,下部为黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿化。在同一标高,北段地表出露矿体以硅化石英脉型金矿化为主,且矿体厚度明显大于南段,原始矿体的主体和根系部分保留较为完整,尤其 32 号勘探线以北,说明现存矿体为原始矿体被剥蚀掉上部或中上部的剩余部分;而南段地表出露的矿体主要为黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿化,仅保留深部根系细脉状矿体,尤其 35 号勘探线以南,表明原始矿体在南段已被剥蚀至中下部或下部。

(2) 从矿体轴向质量参数空间分布特征及黄铁矿标型分析

从矿体轴向(即沿矿体走向方向)金品位和厚度

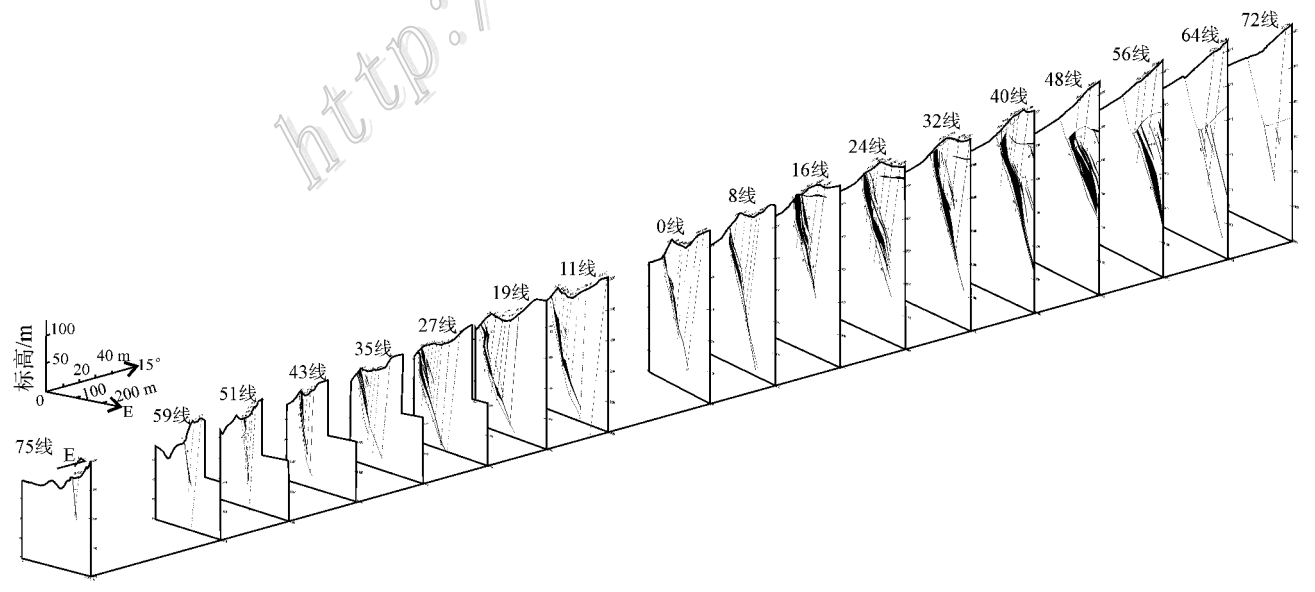


图 5 阿希金矿床联合勘探线剖面图

Fig. 5 Geological section along the combined exploration line of the Axi gold deposit

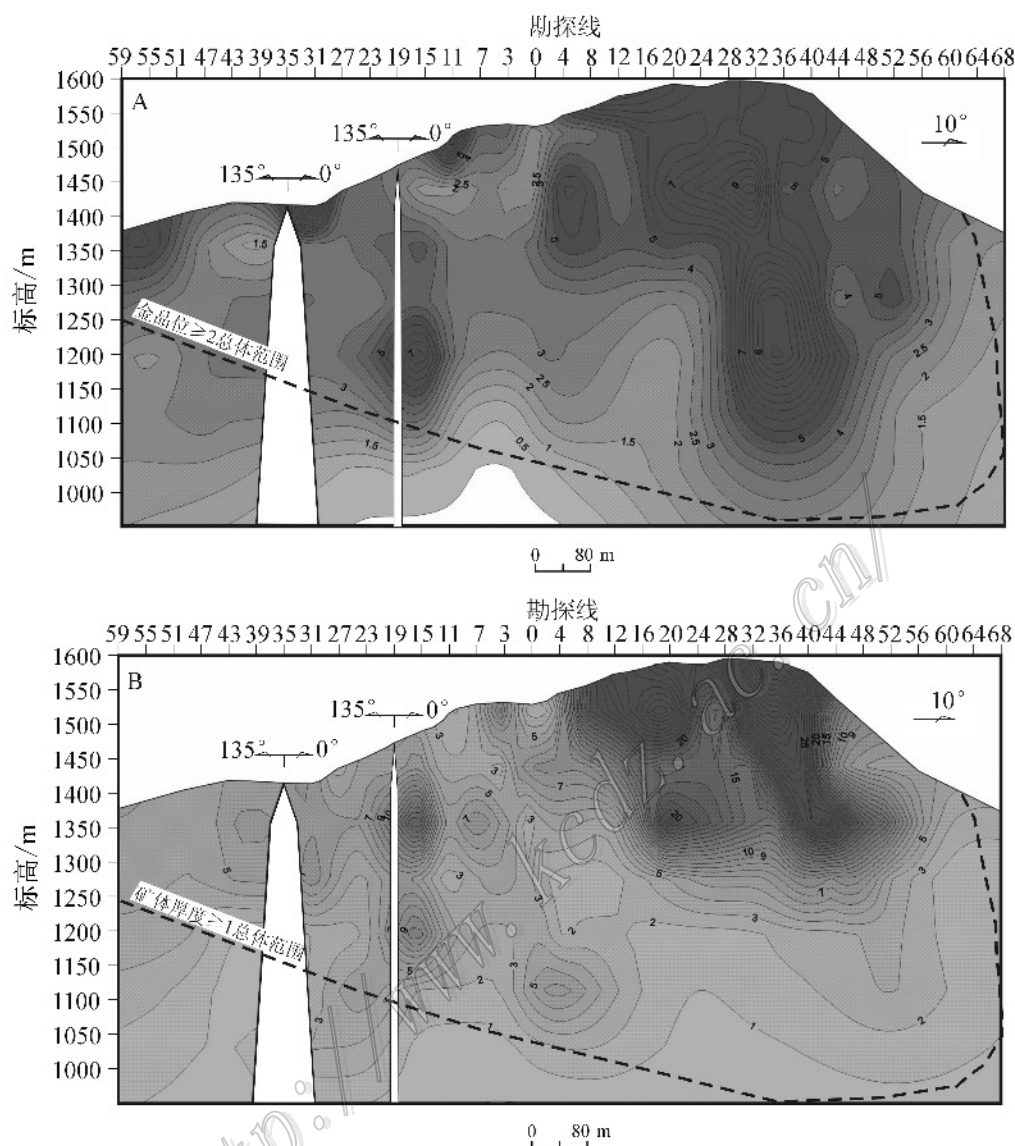


图6 阿希金矿床①号主矿体轴向质量参数等值线图

A. 金品位等值线图(单位: 10^{-6}); B. 厚度等值线图(单位: m)

Fig. 6 Contour map of grade and thickness of the main orebody ① in the Axi gold deposit

A. Contour map of Au grade(unit: 10^{-6}); B. Contour map of thickness (unit: m)

分布特征(图6)来看,近地表金品位和厚度高值中心区等值线均未圈闭,等值线向地表呈开放状。高值区中心在南段多在靠近地表处,而在北段则埋深较大,说明南段矿体比北段剥蚀程度大,南、北两段矿体的剥蚀程度有一定的差异。根据笔者对阿希金矿床黄铁矿热电性标型特征分析计算的结果,原始矿体在北段被剥蚀约 $1/4$,在南段被剥蚀约 $2/5$,同样显示南段比北段矿体剥蚀程度高(魏佳林等,2011)。

(3) 从沉积底砾岩型矿体产状特征分析

阿恰勒河组褐红色含矿底砾岩(C_1a^{1-1})及滨浅海相沉积砂岩(C_1a^{1-2})角度不整合覆盖于热液型矿体之上,是热液矿体形成后沉积的地层,说明在早石炭世伴随西天山地区的碰撞造山运动(陈正乐等,2006;汪新伟等,2007;于海峰等,2011),本区有过一次构造变动,阿希矿区被整体抬升并遭受剥蚀,使得热液型矿体剥蚀出露地表,并在矿区东北部形成沉积底砾岩型矿体。现存矿体北段46号勘探线处底砾岩出露标高约在1510 m处,热液型矿体和含矿底

砾岩(C_1a^{1-1})被上部较厚的阿恰勒河组地层(C_1a^{1-2})覆盖,而在南部12号勘探线1560 m标高底砾岩和热液型矿体均已出露地表,以南覆盖于热液型矿体之上的底砾岩消失,表明矿体南段剥蚀程度要高于北段。

(4)从矿区南部塔乌尔别克-阿庇因迪斑岩型金矿床与阿希浅成低温热液型金矿床的产出特征及成因联系分析

在阿希矿区南部紧邻的塔乌尔别克-阿庇因迪矿区,有二长斑岩体出露(标高约1800 m)。White等(1990)指出,浅成低温热液矿床一般形成于地壳的浅部,火山岩的保存程度和侵入体的出露规模可以用来估计矿床的剥蚀程度,即侵入体规模越大,剥蚀程度也越大,而阿希矿区未见岩体,说明塔乌尔别克-阿庇因迪金矿区剥蚀程度比阿希矿区高。

塔乌尔别克-阿庇因迪斑岩型金矿区内的斑岩体岩石地球化学特征与大哈拉军山组火山岩十分相似(范新丽等,2002;唐功建等,2009),且斑岩体成岩时间(347~320 Ma,李华芹等,1998;唐功建等,2009)稍晚于大哈拉军山组火山岩的形成时间(363~325 Ma,李华芹等,1998;朱永峰等,2005;翟伟等,2006),而稍早于阿希金矿床的成矿时间(340~301 Ma,李华芹等,1998),这些表明塔乌尔别克-阿庇因迪矿区内的斑岩体很可能是大哈拉军山组火山岩残留岩浆形成的次火山岩体,其与阿希矿区浅成低温热液金矿床的形成具有紧密的成因联系,应属于同一斑岩型-浅成低温热液型矿床成矿系统。在火山活动早期阶段,区域NE向和NW向断裂活动,两者交汇部位形成了中心式火山喷发,晚期阶段,次火山岩体沿断裂上侵,在塔乌尔别克-阿庇因迪矿区成矿热液以火山岩浆热液为主,其斑岩体内形成斑岩型金矿床,随着火山活动逐渐减弱,岩浆热液在阿希矿区南北向断裂中的成矿流体中影响程度降低,大气降水参与程度逐渐加强,流体物理化学条件的改变最终造成金的沉淀富集,形成阿希浅成低温热液型金矿床。

在同一成矿系统中,斑岩型矿床通常产于浅成低温热液型金矿床的下部,结合阿希金矿床垂向矿化特征,可总结出阿希-塔乌尔别克-阿庇因迪金矿区金矿化垂向分布规律,即由浅部到深部依次出现硅化石英脉型金矿化→黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿化→斑岩型金矿化。从而推断塔乌尔别克-阿庇因迪斑岩型金矿区剥蚀程度要高于阿希南部黄铁绢英岩

化蚀变岩剥蚀区,也高于北部硅化石英脉剥蚀区。此外,该斑岩型矿床产出标高(1800 m)高于阿希矿床产出标高(1600 m),显示出塔乌尔别克-阿庇因迪矿区即阿希矿区南部具有相对抬升的特征。

3.2.2 矿体南、北段剥蚀经历不同

矿体南、北段剥蚀经历有所不同,北段矿体大部分只遭受过一次剥蚀(即第一次平衡剥蚀),剥蚀程度较低,南段矿体经历过2次剥蚀(即第一平衡剥蚀和第二次差异性剥蚀),剥蚀程度较高。

(1)第一次平衡剥蚀

第一次剥蚀证据多被第二次剥蚀破坏,故矿体南段第一次剥蚀、沉积的原始信息保留较少,但仍可从沉积底砾岩型矿体特征、阿恰勒河组产状特征以及本地区区域地质构造演化特征等方面分析,在第一次被剥蚀中,矿体南、北两段剥蚀程度未出现第二次剥蚀中出现的明显差异,南、北两段剥蚀基本一致,属近平衡剥蚀,具体依据如下:

沉积底砾岩型金矿体产状特征分析 现存的沉积底砾岩型金矿体在12~24号勘探线范围内厚度较大,向北至56号勘探线厚度逐渐减小直至消失,且产出标高逐渐降低,由12号勘探线的1560 m标高降至56号勘探线的1450 m,高差100余米(图5)。机械沉积矿床的形成主要受古地形的控制,一般在低洼处矿体厚度较大,因此,推断第一次剥蚀沉积时,即沉积底砾岩型金矿体形成时,矿区24号勘探线以南地势可能低于北部,然后区域构造不平衡抬升运动造成现存底砾岩型矿体厚大部位(12~24号勘探线)产出标高远高于北部厚度较小部位。由此揭示,阿恰勒河组底砾岩层原始沉积形成时,产状可能向南缓倾斜或近水平沉积,矿区的南、北基本处于同一水平高度,反映矿体第一次被剥蚀时,南、北近于均衡剥蚀的地势特征。

沉积底砾岩形成环境分析 沉积底砾岩直接角度不整合于热液型矿体之上(图2),为原地热液型矿体遭受侵蚀改造形成的砾石,遭受剥蚀的时间较短(3~4 Ma,翟伟等,2010),快速被阿恰勒河组沉积盖层覆盖,说明海侵剥蚀作用较强,足以影响至整个矿区范围。早石炭世末期,阿希矿区遭受了自北东向西南方向的陆表海海侵剥蚀作用,由于陆表海面积大,海底坡度十分平缓,潮汐作用较强。该矿区位于潮上带环境,大潮水位超过平均高潮线而进入潮上带,在下伏大哈拉军山组地层表面形成冲蚀面。该冲蚀面之上,热液型金矿体反复接受地表的风化剥

蚀和海侵潮汐剥蚀而变得破碎,退潮时位于潮上带的海水回流,粒径较大的破碎砾石在潮道低洼处滞留下来沉积形成底砾岩型金矿体。总体来说,在沉积底砾岩形成时期,具有足够的动力破坏条件使得剥蚀发生在整个矿区或者更广的区域内。

区域地质构造演化分析 第一次剥蚀发生在阿恰勒河组沉积形成时期,即早石炭世末期,8号勘探线以北基本保留了第一次剥蚀后热液型矿体的形态特征。阿恰勒河组在吐拉苏盆地内分布广泛,其与大哈拉军山组的角度不整合关系具有区域地质意义。两者之间的不整合事件应是早石炭世哈萨克斯坦-准噶尔板块与南天山微板块陆-陆碰撞的后继效应,在陆-陆碰撞拼合部位,伊犁-伊赛克湖微板块与南侧塔里木板块之间具有相向的会聚作用,由早石炭世后期至晚石炭世西天山总体处于板块碰撞后的均衡调整过程中(于海峰等,2011),并发生了大规模的裂陷作用,构造运动比较活跃,使得该地区具备了整体隆升或相对抬升的区域构造地质条件。

(2) 第二次差异性剥蚀

现存矿体南、北段明显的剥蚀差异是第二次剥蚀的结果,如前所述,南段剥蚀程度明显高于北段,且南段相对北段具有抬升特征。

第二次剥蚀发生在吐拉苏火山断陷盆地的剥蚀阶段,即早石炭世晚期之后,在该剥蚀阶段的构造运动以差异升降的构造运动为主(漆树基,1999)。在二叠纪陆-陆叠覆造山阶段以及中-新生代盆山耦合阶段,再造山作用使天山地区强烈隆升,发生以南北向挤压为主的快速逆冲和抬升作用(翟伟等,2010),伴随着天山整体隆升还有不同程度的差异升降运动(于海峰等,2011)。这种差异性隆升导致矿床的部分盖层被风化剥蚀掉,使矿床(阿希浅成低温热液型金矿床和塔乌尔别克-阿庇因迪斑岩型金矿床)重新出露地表,致使矿区南部地区抬升较北部高,使得成矿深度较大的斑岩型金矿床也出露地表遭受剥蚀,此时地形差异造成了自塔乌尔别克-阿庇因迪→阿希南部→阿希北部剥蚀程度逐渐降低,即地势降低,剥蚀程度减小。在阿恰勒河组沉积之后,阿希金矿床赋矿 F_2 主控矿断裂再次活动,下盘(南西盘)相对上升,使得西南侧的阿恰勒河组地层风化剥蚀殆尽,而上盘(北东盘)相对下降,相对风化剥蚀程度较低(翟伟等,2010),不仅使得北东侧的阿希底砾岩型金矿体和热液金矿体得以保存,同时也加剧了塔乌尔别克-阿庇因迪-阿希金矿区南高北低的地形地势差

异和剥蚀差异。

此外,在阿希矿区南部沿小阿希河发育的近东西向 F_1 断裂构造活动,造成南段地层岩石和矿体破碎程度增加,加之水系发育,为此地段的进一步风化剥蚀创造了条件,最终导致阿希矿区南段切割深度加大,南部矿体剥蚀程度进一步增加,上部硅化石英脉型金矿化蚀变剥蚀殆尽,深部黄铁绢英岩化型金矿化蚀变带出露地表。

4 热液型矿体侧伏特征分析

矿体形成后经受的变化和改造不仅包括剥蚀对矿体形态的改变,还应包括构造作用对于矿体产状的改变(翟裕生,1997)。阿希热液型金矿体现今的产状是,走向近南北,总体倾向东,倾角较陡,局部近垂直,但前人对矿体的侧伏规律未进行深入研究。侧伏规律是金矿体空间产状的一个重要方面(曹新志等,2001),矿体的侧伏主要受成矿前和成矿期构造的控制,但成矿后构造运动也可能对矿体的侧伏规律造成一定的影响。

笔者收集了阿希矿区144个钻孔探矿工程分析数据,进行矿体轴向(即沿矿体走向方向)质量参数(品位和厚度)的空间分布特征(图6)研究,金品位和厚度等值线图均显示出矿体具有向北侧伏延伸的特征。北段金品位和厚度高值区垂向延深较大,南段较小,南、北矿段品位和厚度高值区的底部界线连接,均反映出热液型矿体南端翘起、向北侧伏的特点,侧伏角约为 $10\sim 15^\circ$,此外,品位、厚度高值浓集中心在北段分布较为密集,显示北段矿体矿化强度较高。

对于受近南北向断裂控制的阿希浅成低温热液型金矿床,成矿流体以大气降水为主,其通过不断淋滤围岩中的金等成矿元素并在 F_2 断裂中沉淀富集成矿,矿体产状特征受断裂控制作用明显。造成矿体向北侧伏的原因有2种:一是受矿体形成后南、北两端不平衡抬升作用的影响,南部抬升高度大于北部,为成矿后变化;二是受 F_2 控矿断裂内部容矿空间结构控制,为成矿时的产状特征。综合分析 F_2 控矿断裂特征、矿体矿化蚀变空间分布等特征,认为向北侧伏特征是南、北不平衡抬升结果的可能性更大,具体分析如下:

(1) F_2 控矿断裂在平面上呈近南北向的反“S”形,在南、北两端均出现有马尾丝状容矿构造空间,

显示出南北对称的构造形迹特征,其内部空间结构也应具有南北对称性,在阿希矿区南北段的断裂形成深度应基本一致,不可能造成矿体向北侧伏的特征。

(2)自阿希矿区北段、南段至南部的塔乌尔别克-阿庇因迪矿区,出露地表的矿化类型依次为硅化石英脉型、黄铁绢英岩化蚀变岩型、斑岩型,且出露标高逐渐升高,依据该地区矿化类型的垂向分带规律判断南部相对北部抬升高。

(3)如前所述,塔乌尔别克-阿庇因迪矿区内的斑岩体很可能是由大哈拉军山组火山岩残留岩浆形成的次火山岩体,斑岩体形成深度较之火山岩要深,而塔乌尔别克-阿庇因迪金矿区斑岩体和金矿体已出露地表,且出露标高较阿希金矿体高。

(4)机械沉积型矿床的形成受古地形控制明显,一般在低洼处矿体较为厚大,而阿希矿区内的沉积底砾岩型金矿体厚大部位已出露地表,且产出标高要高于北部被覆盖的厚度变小的底砾岩矿体。

阿希金矿床形成后由于西天山地区的陆-陆叠覆造山或山体隆升作用造成该地区发生不均衡抬升且南部抬升高度大于北部,使得南部塔乌尔别克-阿庇因迪矿区斑岩体抬升并接受剥蚀出露地表,同时造成先期形成的阿希热液型金矿体向北侧伏。

5 金矿床剥蚀改造模式

根据上述对金矿体产出形态、上覆阿恰勒河组地层的产状特征、矿化类型变化以及矿体质量参数垂向分布特征、矿体侧伏规律等多元信息综合分析,探讨了阿希金矿床形成后的剥蚀程度及剥蚀差异性,进而结合金矿床的形成及后期的剥蚀、产状变化特征等,建立了该矿床的剥蚀改造模式(图7)。

阿希浅成低温热液金矿床形成之后经历了2次剥蚀过程,即第一次平衡剥蚀和第二次差异性剥蚀,形成剥蚀改造过程简述如下:

(1)晚泥盆世,本区处于松弛拉张环境,早期断裂复活,晚古生代大陆裂谷开始发育,沉积了上泥盆统陆相碎屑岩,与前泥盆系镁质碳酸盐岩构成了吐拉苏盆地的基底。早石炭世早期,裂谷进一步扩张,火山活动增强,断陷盆地内广泛接受了大哈拉军山组富金火山岩沉积。同时,花岗岩、花岗闪长岩及中酸性次火山岩侵入定位,吐拉苏火山盆地初步形成(图7A)。

(2)早石炭世晚期,哈萨克斯坦-准噶尔板块与南天山微板块发生陆-陆碰撞,受陆-陆碰撞的构造岩浆影响,由大哈拉军山组火山岩残留岩浆形成的次火山岩岩体(二长斑岩等)侵位于塔乌尔别克-阿庇因迪地区,并形成斑岩型金矿床。而火山管道相沿阿希矿区的 F_2 断裂侵位充填,在深部岩体的热驱动作用下,以大气降水为主的成矿流体不断淋滤围岩大哈拉军山组火山岩中的金元素,最终在 F_2 断裂空间内富集沉淀,形成阿希浅成低温热液型金矿床(图7B)。

(3)在早石炭世末期矿体形成后不久,吐拉苏盆地总体处于板块碰撞后的均衡调整过程,在陆-陆碰撞结合部位的伊犁-伊赛克湖微板块与南侧塔里木板块之间具有相向的会聚作用,该地区整体隆升或相对抬升,使得阿希热液金矿体出露地表并遭受风化剥蚀(图7C)。随后,吐拉苏盆地进一步扩张沉降变成滨浅海相沉积环境,从剥蚀区转化为沉积区,自北东向南西方向的陆表海侵蚀于该地区,热液金矿体在地表风化剥蚀和潮汐海侵剥蚀的共同作用下,于矿区东北部退潮、潮道低洼部位沉积形成砾石层及底砾岩型金矿体(图7D)。

此次剥蚀过程中,矿区整体遭受剥蚀,南、北段矿体剥蚀无明显差异,属第一次平衡剥蚀过程。剥蚀时间约为3~4 Ma(翟伟等,2010),原始矿体顶部遭受剥蚀,24号勘探线以北被阿恰勒组地层覆盖的矿体部位剥蚀状况基本反映了第一次矿体的剥蚀程度。根据矿体形态和黄铁矿标型特征分析得出的剥蚀率结果,其矿体上部剥蚀量约为原矿体的1:4,显示矿体的上部或中上部遭受剥蚀。此次矿体的剥蚀同时为阿恰勒河组含矿底砾岩提供了沉积的物源,并在附近形成沉积底砾岩型金矿体,直接角度不整合覆盖于热液型矿体之上。

(4)在早石炭世晚期阿恰勒河组沉积形成之后,受二叠纪陆-陆叠覆造山以及中-新生代盆山耦合再造山作用,吐拉苏断陷盆地区域强烈隆升,发生以南北向挤压为主的快速逆冲和抬升作用,伴随整体隆升还有不同程度的差异升降运动。这种差异性隆升导致塔乌尔别克-阿庇因迪矿区抬升高度大于阿希矿区,并造成阿希矿区南段较之北段抬升高(图7E)。

这种差异性隆升最终导致了矿区内的差异性剥蚀及矿体向北侧伏的特征,南部部分盖层被风化剥蚀掉,使矿床(阿希金矿床、塔乌尔别克-阿庇因迪斑岩型金矿床)出露地表,进一步接受风化剥蚀。此

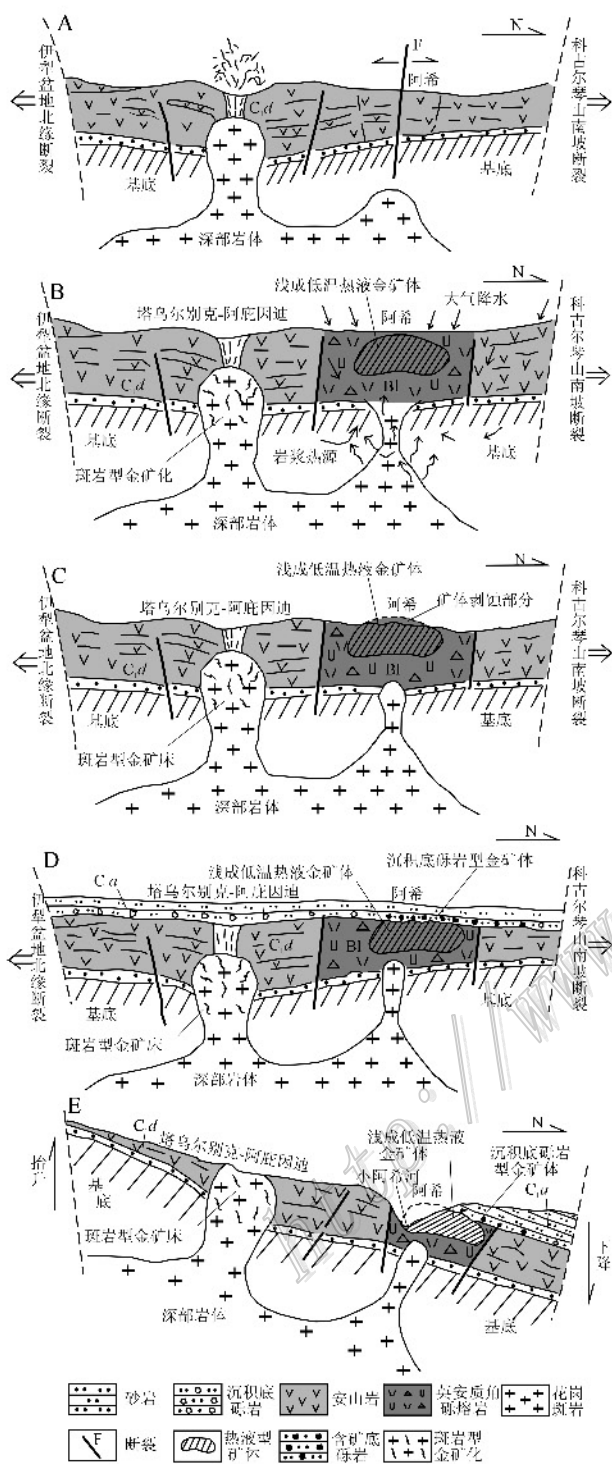


图7 阿希浅成低温热液金矿床剥蚀改造模式图

A. 吐拉苏陷盆地形成阶段; B. 阿希浅成低温热液金矿床形成阶段; C. 第一次平衡剥蚀阶段; D. 阿恰勒河组沉积阶段; E. 第二次差异性剥蚀阶段

C_{1a}—阿恰勒河组; C_{1d}—大哈拉军山组; F₁—火山管道相

Fig.7 Dynamic model of subduction erosion and post-mineralization change of the Axi epithermal gold deposit

A. Formation stage of Tulasu basin; B. Formation stage of the Axi

epithermal gold deposit; C. First balanced denudation; D. Deposition of

Aqialehe Formation; E. Second diverse denudation

C_{1a}—Aqialehe Formation; C_{1d}—Dahajunshan Formation;

F₁—Volcanic conduit phase

后,阿希金矿赋矿 F₂ 主控矿断裂再次活动,下盘(南西盘)相对上升,使得西南侧的阿恰勒河组地层风化剥蚀殆尽,而上盘(北东盘)相对下降,风化剥蚀程度相对较低,使得北东侧的阿希底砾岩型金矿体和热液金矿体得以保存,也加剧了矿区南、北部地形的地势差异和剥蚀差异。此外,在矿体南端 F₁ 小阿希河断裂活动,使南段地层岩石和矿体破碎程度增加,为该地段进一步的风化剥蚀创造了条件。在以上诸多作用下,南段原矿体厚大主体基本被剥蚀,仅存矿体厚大主体的下部和细长的脉状根部,上部的硅化石英脉型矿体被剥蚀殆尽,下部的黄铁绢英岩化蚀变岩型矿体出露地表,其剥蚀率在 1:3~2:3 之间,显示矿体只保留了下部或中下部。而北段矿体由于受到上覆阿恰勒河组沉积盖层的保护作用,剥蚀较弱或未受到第二次剥蚀。这次剥蚀造成阿希金矿矿体南、北两段剥蚀程度呈现明显的差异性。

总之,阿希金矿床形成以后伴随本地区构造升降运动,遭受过 2 次剥蚀过程:第一次剥蚀造成整个矿体上部或中上部分被剥蚀,第二次剥蚀造成南、北两段的剥蚀程度出现明显的差异性,同时也造成了矿体向北侧伏的产状特征,从而指示矿区北侧深部仍有一定的找矿空间。

6 结 论

(1) 阿希矿区沉积底砾岩型金矿体为热液成因主矿体经历后期剥蚀并在矿区北东部阿恰勒河组地层沉积形成的产物,其含金石英脉角砾和蚀变英安质角砾熔岩砾石为热液成因矿体的剥蚀产物。

(2) 阿希金矿床南、北两段剥蚀程度存在一定差异性,即南段剥蚀程度高,已剥蚀至原始矿体的下部或中下部;北段剥蚀程度低,已剥蚀至原始矿体的上部或中上部。南北段的剥蚀差异还表现为矿体北段只遭受了一次剥蚀,而南段遭受了 2 次剥蚀。

(3) 阿希金矿体具有向北侧伏的特征,推断其为矿床形成后南高北低造成区域不平衡构造抬升引

起产状变化的结果。向北侧伏特征也指示矿区北侧深部仍具有一定的找矿空间。

(4)阿希金矿床形成以后随着本区域的构造升降运动遭受了第一次平衡剥蚀和第二次差异性剥蚀两次剥蚀过程,其中第一次剥蚀造成整个矿体上部或中上部以上被剥蚀,第二次剥蚀造成南、北两段的剥蚀程度出现明显的差异性,即南段被剥蚀至矿体下部或中下部,北段由于上覆阿恰勒河组的保护作用未被剥蚀或剥蚀较弱,同时也造成了矿体向北侧伏的产状特征。

志谢 野外工作得到了新疆阿希金矿矿山领导和地质技术工作人员的大力支持,在此致以衷心的感谢!感谢审稿老师在审稿过程中提出的意见!

参考文献/References

- 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.
- 安芳,朱永峰. 2009. 新疆阿希金矿床地质和地球化学研究[J]. 矿床地质, 28(2): 143-156.
- 曹新志,高秋斌,徐伯骏. 2001. 矿区深部矿体定位预测的有效途径研究——以山东招远界河金矿为例[J]. 地质找矿论丛, 16(4): 243-246.
- 陈衍景. 2000. 中国西北地区中亚型造山-成矿作用的研究意义和进展[J]. 高校地质学报, 6(1): 17-22.
- 陈正乐,万景林,刘健,李胜祥,郑恩玖,韩效忠,李细根,宫红良. 2006. 西天山山脉多期次隆升-剥露的裂变径迹证据[J]. 地球学报, 27(2): 97-106.
- 陈正乐,韩凤彬,杨农,王平安,宫红良,邵飞,唐湘生,徐金山,周永贵,王永. 2012. 江西相山铀矿田地貌剥蚀特征及其控矿意义——磷灰石裂变径迹证据[J]. 地球物理学报, 55(7): 2371-2384.
- 董连慧,沙德铭. 2005. 西天山地区晚古生代浅成低温热液金矿床[M]. 北京:地质出版社, 50-92.
- 范新丽,黄薇,袁尔乾. 2002. 西天山阿希地区金矿的金元素富集过程探讨[J]. 新疆地质, 20(3): 224-228.
- 冯娟萍,王居里. 2005. 西天山阿希、京希-伊尔曼得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): 31-36.
- 韩效忠,李胜祥,蔡煜琦,郑恩玖,陈正乐,张宇龙,刘权. 2008. 伊犁盆地南缘隆升剥蚀及其盆地南部的沉积响应——利用磷灰石裂变径迹分析[J]. 岩石学报, 24(10): 2447-2455.
- 何政伟,孙传敏,陶专,吴华,刘显凡,吴山,丁益民,刘兴德,彭方红,王晓地. 2002. 新疆西天山西段金铜成矿带-中亚成矿域东延[J]. 成都理工学院学报, 29(1): 78-84.

- 胡煜昭. 2010. 基于埋藏史-剥蚀史的晴隆锑矿成矿深度、成矿时间分析[J]. 矿床地质, 29(增刊): 403-404.
- 贾斌,毋瑞身,田昌烈,沙德铭. 2001. 新疆阿希金矿浅成低温热液流体特征[J]. 黄金地质, 7(1): 39-46.
- 贾斌,毋瑞身,田昌烈,沙德铭. 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.
- 姜启明,鲁挑建. 2011. 甘肃金山金矿床伴生元素特征及矿床剥蚀程度研究[J]. 黄金, 32(10): 10-16.
- 姜晓玮,王永江. 2002. 西天山阿希型金成矿系列及其成因[J]. 中国地质, 29(2): 203-207.
- 李碧乐,张晗. 2010. 浅成低温热液型金矿床研究的某些进展[J]. 矿物学报, 30(1): 90-97.
- 李成禄,李胜荣,罗军燕,宋继叶,张聚全. 2009. 山西繁峙兴寨金矿黄铁矿热电系数与导型特征及其地质意义[J]. 现代地质, 23(6): 1056-1063.
- 李华芹,谢才富,常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 107-127.
- 李明,周圣华,胡庆雯,田培仁. 2007. 中亚成矿域斑岩(铜、钼)矿带的认识与建立[J]. 中国地质, 34(5): 870-877.
- 刘红旭,董文明,刘章月,陈晓林. 2009. 塔北中新代构造演化与砂岩型铀成矿作用关系——来自磷灰石裂变径迹的证据[J]. 世界核地质科学, 26(3): 125-133.
- 刘文浩,张均,李婉婷,孙腾,江满容,王健,吴建阳,陈曹军. 2012. 宁芜、庐枞盆地玢岩铁矿成矿深度及成矿后抬升、剥蚀情况——来自磷灰石裂变径迹的证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 37(5): 960-980.
- 柳振江,王建平,郑德文,刘家军,刘俊,付超. 2010. 胶东西北部金矿剥蚀程度及找矿潜力和方向——来自磷灰石裂变径迹热年代学的证据[J]. 岩石学报, 26(12): 3596-3611.
- 毛景文,李晓峰,张作衡,王义天,李厚民,胡华斌. 2003. 中国东部中生代浅成低温热液型金矿的类型、特征及其动力学背景[J]. 高校地质学报, 9(4): 620-637.
- 漆树基. 1999. 伊宁吐拉苏火山盆地构造与金矿成矿关系[J]. 新疆地质, 17(2): 121-128.
- 唐功建,王强,赵振华. 2009. 西天山东塔尔别克金矿区安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 25(6): 1341-1352.
- 田朋飞,杨晓勇,袁万明,刘海涛,薛斌. 2012. 长江中下游成矿带抛刀岭金矿裂变径迹研究及大地构造意义[J]. 地质学报, 86(3): 400-409.
- 汪新伟,汪新文,马永生. 2007. 新疆博格达山晚中生代以来的差异剥露史[J]. 地质学报, 81(11): 1507-1517.
- 王功文. 2006. 基于遥感与 GIS 的区域矿床保存条件研究[博士论文]. 导师:陈建平. 北京:中国地质大学, 94-172.
- 王洪黎,李艳军,徐遂勤,蒋永建,彭丽娜,肖广玲,周京仁. 2009. 浅成低温热液型金矿床若干问题的最新研究进展[J]. 黄金, 30

(7)9-13.

王建平, 翟裕生, 刘家军, 柳振江, 刘俊. 2008. 矿床变化与保存研究的裂变径迹新途径[J]. 地球科学进展, 23(4):421-427.

王喜臣, 王训练, 王琳, 刘金英, 夏斌, 邓军, 徐秀梅. 2007. 黑龙江多宝山超大型斑岩铜矿的成矿作用和后期改造[J]. 地质科学, 42(1):124-133.

王永江, 王润生, 姜晓玮. 2004. 西天山吐拉苏盆地与火山岩有关的金矿遥感找矿研究[M]. 北京: 地质出版社, 2-11.

魏佳林, 曹新志, 王庆峰, 韩建民. 2011. 新疆阿希金矿床黄铁矿标型特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 30(5):89-96.

吴兆宁, 黄建华, 玉素甫艾力, 木合塔尔扎日, 杨向荣, 迪力夏提, 韩文清. 2007. 新疆东天山土屋铜矿床形成和保存的古地理环境[J]. 干旱区地理, 30(2):189-195.

夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 徐学义, 董云鹏, 李向民. 2002. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J]. 地质通报, 21(2):55-62.

新疆地质矿产局第一地质大队. 1992. 新疆伊宁县阿希金矿床北段勘探地质报告[R]. 新疆地质矿产局第一地质大队, 76-80.

杨富全, 毛景文, 夏浩东, 赵财胜, 李蒙文, 叶会寿. 2005. 新疆北部古生代浅成低温热液型金矿特征及其动力学背景[J]. 矿床地质, 24(3):242-262.

杨赞中, 石学法, 于洪军, 田贵山, 唐竹兴. 2007. 矿物热电性标型及其在大洋地质找矿中的应用[J]. 矿物岩石, 27(1):11-17.

杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 曲煥春, 李振清, 刘云飞. 2012. 短波红外光谱技术在浅剥蚀扮演铜矿区勘查中的应用[J]. 矿床地质, 31(4):699-717.

杨祖龙, 张德全, 余宏全, 丰成友. 2008. 青海省风火山地区砂岩铜矿成矿时代的裂变径迹年代学证据[J]. 中国地质, 35(2):293-297.

姚志刚, 周立发, 高璞, 高珊, 余刚. 2010. 北天山中、新生代隆升和剥蚀史研究[J]. 中国矿业大学学报, 39(1):121-126.

于海峰, 王福君, 潘明臣, 梁有为, 郭洪方. 2011. 西天山造山带区域构造演化及其大陆动力学解析[J]. 西北地质, 44(2):25-40.

翟伟, 贺小平. 2004. 新疆阿希陆相火山岩盆地浅成低温热液金矿床成矿特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(增刊):95.

翟伟, 孙晓明, 高俊, 贺小平, 梁金龙, 苗来成, 吴有良. 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, 苏丽薇, 吴有良, 董艺辛. 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):659-669.

翟伟, 孙晓明, 苏丽薇, 贺小平, 吴有良. 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):265-285.

翟裕生. 1997. 论矿床形成后的改变与保存[J]. 地学研究, 29(30):267-273.

翟裕生, 邓军, 彭润民. 2000. 矿床变化与保存的研究内容和方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 25(4):340-345.

翟裕生. 2002. 论矿床学的社会功能与思维方法[J]. 地学前缘, 9(3):5-9.

翟裕生, 王建平. 2011. 矿床学研究的历史观[J]. 地质学报, 85(5):603-611.

张作衡, 毛景文, 王志良, 左国朝, 陈伟十, 朱和平, 王龙生, 吕林素. 2007. 新疆西天山阿希金矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 岩石学报, 23(10):2403-2414.

赵晓波, 薛春纪, 张招崇, 王洪刚, 李晓钟, 米登江. 2012. 西天山吐拉苏盆地安山岩中发现岩石包体及地质找矿意义[J]. 地质学报, 86(11):1781-1791.

周圣华, 胡庆雯, 田培仁. 2008. 论新疆伊犁浅成低温热液型金矿与斑岩型铜(钼)矿的相伴随规律[J]. 矿产与地质, 22(5):400-404.

朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 郭璇, 周晶. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究[J]. 科学通报, 50(18):2004-2014.

朱永峰. 2009. 中亚成矿域地质矿产研究的若干重要问题[J]. 岩石学报, 25(6):1297-1302.

Anthony B C, Mark P S, Robert L B, Jeffrey L M and Stuart F S. 2007. Epithermal Au-Ag and related deposits of Hauraki Goldfield, Coromandel Volcanic Zone, New Zealand[J]. Econ. Geol., 102:785-816.

Carrillo R J, Morales S, Morata D, Boyce A J, Belmar M, Fallick A E and Fenoll P. 2008. Mineralogy and geochemistry of El Dorado epithermal gold deposit, El Sauce district, central-northern Chile[J]. Mineralogy and Petrology, 92(3-4):341-360.

Castor B S. 2003. The Tuscarora Au-Ag district: Eocene volcanic-hosted epithermal deposits in the carlin gold region, Nevada[J]. Econ. Geol., 98(2):339-366.

Charchafflié D, Richard M T and James K M. 2007. Geologic framework of the Veladero high-sulfidation epithermal deposit area, Cordillera Frontal, Argentina[J]. Econ. Geol., 102:171-192.

Corbett G. 2002. Epithermal gold for explorationists[J]. AIG Journal Applied Geoscientific Practice and Research in Australia, 4:1-26.

David A J, Albert H H, Robert J F, Jon E B and Eric C S. 2003. Geologic setting and genesis of the Mule Canyon low-sulfidation epithermal gold-silver deposit, North-Central Nevada[J]. Econ. Geol., 98:425-463.

Stephen E K and Bruce H W. 2009. Resources of gold in Phanerozoic epithermal deposits[J]. Econ. Geol., 104:623-633.

White N C and Hedenquist J W. 1990. Epithermal environment and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration[J]. Journal of Geochemical Exploration, 36:445-474.