

新疆伊犁阿希金矿床成矿深度和剥蚀程度分析

徐伯骏^a, 费小丽^a, 曹新志^a, 魏佳林^a, 张旺生^b, 黄良伟^a

(中国地质大学 a. 资源学院; b. 地球科学学院, 武汉 430074)

摘要: 矿床的成矿深度和剥蚀程度是矿体定位预测研究的重要内容, 是矿区深部探矿的重要参数和依据, 如何准确地估测矿床成矿深度和剥蚀程度是矿体定位预测中的难点。在阿希金矿床空间定位规律研究中, 根据对控矿断裂构造性质、矿体的产出形态及空间分布特征、矿化类型变化以及黄铁矿热电性和石英流体包裹体实验参数等微观信息的综合分析, 确定了阿希金矿床的成矿深度和矿体的底部标高; 认为矿体形成后经历了平衡剥蚀和差异剥蚀两次改造过程, 并计算了矿体南北两段的剥蚀率, 建立了阿希金矿床剥蚀改造过程模式。这些认识和结果对阿希矿区深部探矿工作具有重要的指导意义。

关键词: 矿体定位预测; 成矿深度; 剥蚀程度; 热电参数; 阿希金矿床

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2014)03-0154-09

阿希金矿床位于新疆北部西天山西段博罗霍洛古生代岛弧带的吐拉苏断陷盆地内, 是西天山地区已发现的最大的浅成低温热液型金矿床^[1-2]。该矿床经过多年开采, 保有资源量逐渐减少, 为延长矿山服务年限, 开展矿山接替资源找矿工作显得尤为紧迫和重要; 为了减少深部探矿工作中的盲目性和风险性, 应用矿体空间定位预测的理论与方法指导深部探矿工作是一条行之有效的的重要途径^[3-4]。

矿体定位预测的关键是把握矿床的主控矿因素^[5-7], 并了解矿体的空间组合特征及其外部形态特征与主控矿因素的关系。尤其对于热液型金矿床, 应以构造控矿规律为切入点, 综合研究其控矿构造、矿体的空间形态结构和物质结构, 矿体的侧伏规律, 成矿深度和剥蚀程度等多种空间定位要素, 进而揭示金矿体的空间定位规律。

笔者将依据阿希金矿控矿构造特征、金矿体产出形态、上覆阿恰勒河组地层的产状变化特征、矿化类型的变化, 结合黄铁矿热电性、石英包裹体测温等参数的分析计算结果, 对阿希金矿床的成矿深度和矿体剥蚀程度进行探讨, 并建立该矿床的剥蚀改造模式。

1 矿床地质特征

阿希金矿床主要产于阿希古火山机构管道相内侧接触带上, 严格受区内 F_2 断裂、裂隙式喷发火山机构和岩性 3 种因素的耦合制约(图 1)。

1.1 矿区构造格架

阿希矿区构造格架主要由褶皱和断裂构造组成。褶皱构造相对简单, 主要是在吐拉苏上叠式断陷盆地发育的北西向和北东向两组基底断裂共同作用下, 形成向南突出的“山”字型弧形构造, 在盖层下石炭统大哈拉军山组向北倾斜的单斜地层中叠加了轴向呈近南北向宽缓的背、向斜构造(图 2)。

矿区断裂构造较发育, 除 F_3 断裂外, 其余断裂的形成均与火山机构密切相关, 并依据断裂形成的先后、空间分布及展布形式, 分为放射状断裂(F_{14} 、 F_{15} 、 F_{16} 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{12})、不规则状断裂(F_4 、 F_9 、 F_{13} 、 F_5)和环状断裂(F_1 、 F_2 、 F_6 、 F_7 、 F_8 、 F_{20}) 3 组。

1.2 赋矿地层

阿希矿区含矿层位主要是大哈拉军山组第五岩性段(C_1d^5), 其岩性组合由火山碎屑流相、爆发一堆积相、喷溢(爆)发一沉积相、火山管道相 4 个岩相组成。金矿体赋存在火山管道相英安角砾质熔岩中, 该岩石主要沿 F_2 断裂东侧分布, 独成一体, 产状与 F_2 断裂基本一致。岩石出露宽度 50~150 m, 现控制深度达 500 m 以上。地表至深部均以极发育的近直立流动构造为特征, 流面产状均向管道中心方向倾斜。岩石中角砾(或集块)分布普遍, 并具有边部、浅部多而大, 内部、深部少而小的特点。角砾或集块以同成分的安山质英安岩、英安岩为主。

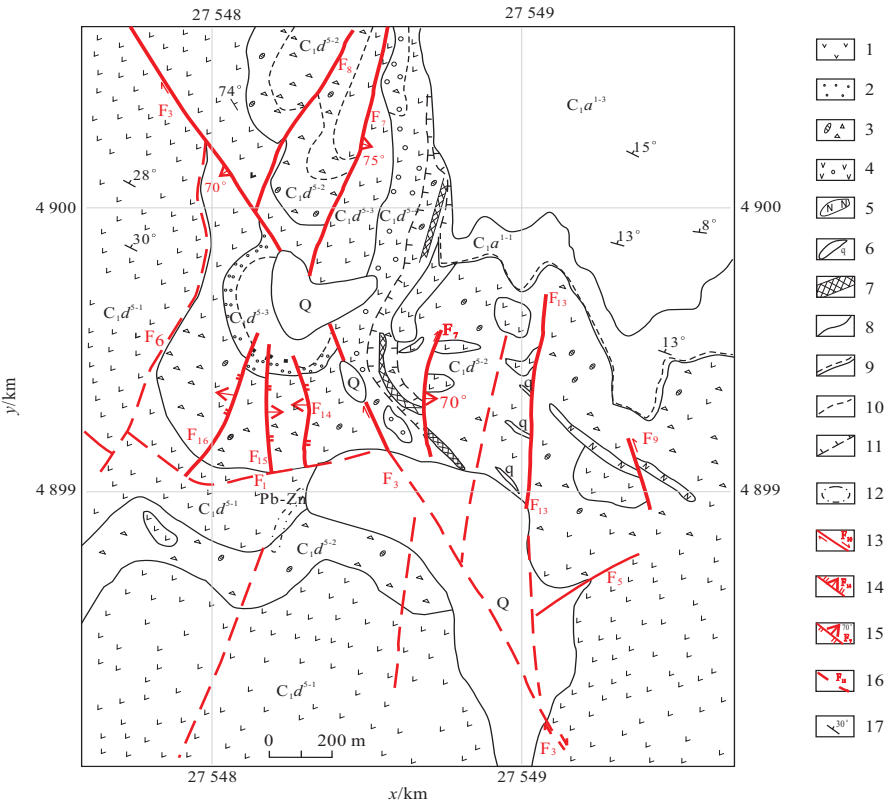
阿恰勒河组第一岩性段(C_1a^1)总体为一套浅海相碎屑岩—碳酸盐岩建造, 属火山活动结束后的正常沉积物, 以角度不整合覆盖于大哈拉军山组次火

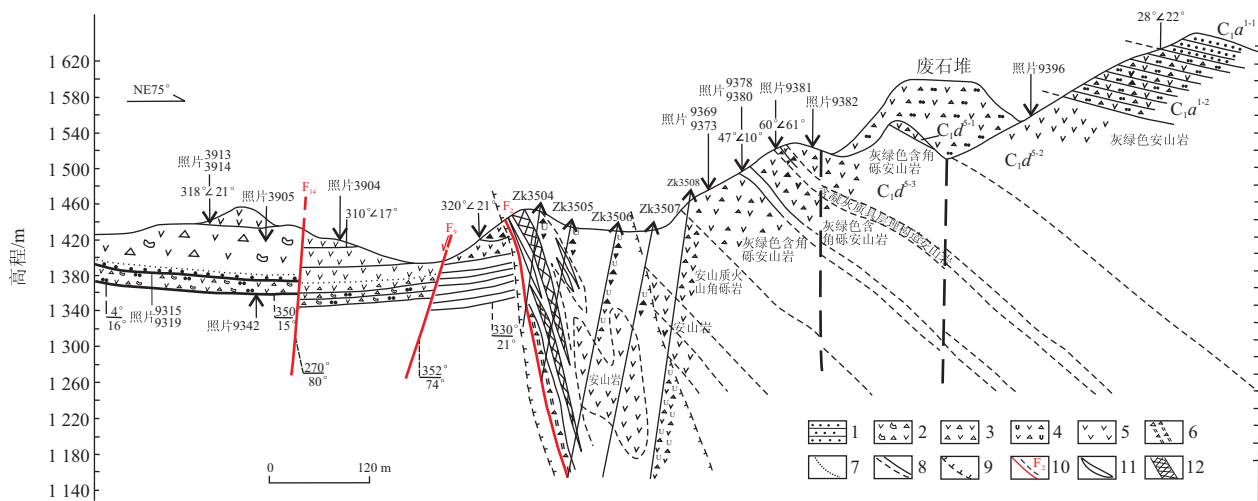
收稿日期: 2013-04-18

编辑: 禹华珍

基金项目: 新疆有色金属总公司阿希金矿地质勘查项目“新疆阿希金矿深部及外围成矿预测研究”

作者简介: 徐伯骏(1957—), 男, 高级工程师, 主要从事成矿规律、成矿预测和找矿矿物学研究工作。E-mail: bojunxu57@163.com





C_1a^{1-2} , 阿恰勒河组第二层; C_1a^{1-1} , 阿恰勒河组第一层; C_1a^{5-3} , 大哈拉军山组第五岩性段第三层; C_1a^{5-2} , 大哈拉军山组第五岩性段第二层; C_1a^{5-1} , 大哈拉军山组第五岩性段第一层; 1. 砂岩; 2. 火山弹安山质角砾岩; 3. 安山质火山角砾岩; 4. 英安质角砾岩; 5. 安山岩; 6. 断层破碎带; 7. 岩相界线; 8. 地质界线; 9. 火山管道相界线; 10. 断层; 11. 石英脉; 12. 矿体

图3 阿希西矿带 F_2 断裂及火山机构综合剖面图

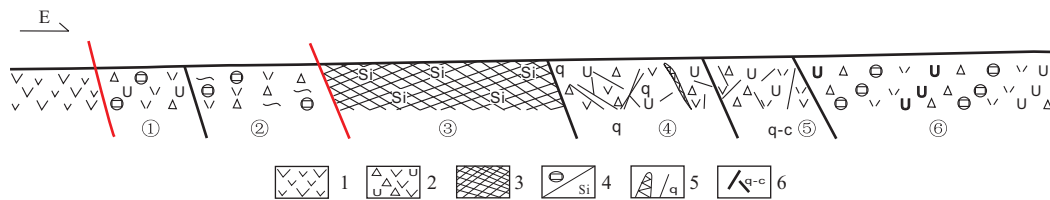
Fig.3 Volcanic and F_2 fault comprehensive profile of Axi west-ore belt

总长约 1 600 m, 以 8 线为界分为南、北两段。矿体形态在平面上呈反“S”形沿近南北向展布, 在剖面上呈上宽下窄的楔形。上部最宽处有 35 m, 下部最窄处仅 1~2 m; 矿体产状倾向东, 倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$; 整体向北侧伏, 侧伏角 10° 左右。矿化类型在垂向上呈现为上部以硅化石英脉型矿化为主, 向下逐渐过渡为以蚀变岩型矿化为主。平均品位为 5.58×10^{-6} 。围岩蚀变类型和强度与热液活动强度和构造性质、构造强度有关。

围岩蚀变具有一定的水平分带性, 自矿体下盘 $\rightarrow$ 上盘(即自西向东)方向(图 4), 依次可分为①绿

泥石化、弱黄铁绢英岩化带; ②弱硅化、强黄铁绢英岩化带; ③强硅化带(含金硅化石英脉); ④细脉—网脉状硅化带; ⑤细脉—网脉状石英—碳酸盐化带; ⑥黄铁绢英岩化带。

主要矿石矿物为黄铁矿、银金矿、白铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿等。矿石结构相对较为复杂, 主要有交代残余结构、填隙结构、压碎结构、包含结构、环带结构、加大边结构和锯齿状结构。矿石构造较为简单, 主要有脉状构造、网脉状构造、浸染状构造和角砾状构造等。



1. 安山玢岩; 2. 英安质角砾岩; 3. 强硅化石英脉; 4. 黄铁绢英岩化/硅化; 5. 石英脉; 6. 石英-碳酸盐脉; ①~⑥为围岩蚀变带编号

图4 阿希金矿体围岩蚀变分带示意图

Fig.4 Wall-rock alteration zones map of Axi gold body

2 矿床成矿深度分析

此次主要根据控矿断裂构造的性质和特点分析阿希金矿成矿深度, 并利用黄铁矿热电性、石英流体包裹体等实验分析测试手段对金矿床成矿深度和成矿下限进行估算。

2.1 断裂构造性质对成矿深度的控制

早石炭世西天山地区发生拉张作用, 形成了一

些裂隙槽以及伊宁裂谷。阿希金矿床即形成于该陆内裂谷拉张初期阶段的吐拉苏断陷盆地内, 具有伸展引张的构造背景^[9]。结合对阿希矿区实地野外地质调研分析, F_2 控矿断裂构造在成矿期应力性质以拉张为主, 断裂形态呈上大下小的撕裂状。根据 Goves 等^[10]提出的伸展环境和挤压或走滑挤压环境下热液金矿的形成深度模式(图 5), 认为在挤压或走滑挤压应力环境下形成的断裂构造规模大、切

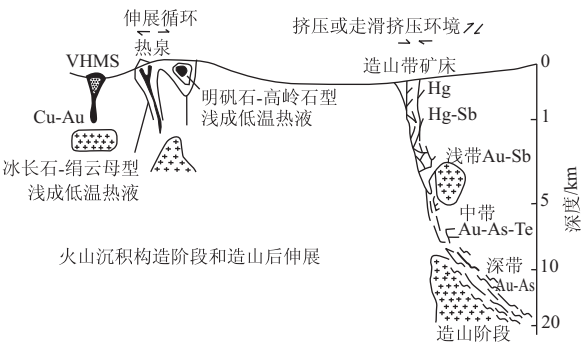


图 5 热液金矿床形成深度和构造位置的地壳环境图示^[10]

Fig. 5 Sketch showing the formation depth and the crustal environment of tectonic position for hydrothermal gold deposit

割深,成矿深度相对较大,可达数公里至数十公里;而在伸展环境下形成的张性断裂构造规模小、切割浅,成矿深度相对较小;伸展环境下形成的断裂构造向深部延伸一般在 1 000 m 左右。由于阿希矿区 F₂ 断裂是伸展环境下形成的张性断裂构造,且成矿热液具有浅成低温热液的特点;与 Goves 等^[10]所提出的断裂构造环境与热液金矿的形成深度关系模式中伸展环境下的断裂构造特征和成矿地质特征有相似之处。因此,根据该模式图中伸展环境下张性断裂构造控矿深度(即矿床形成深度)认识,推断阿希金矿成矿深度也应在 1 000 m 左右。

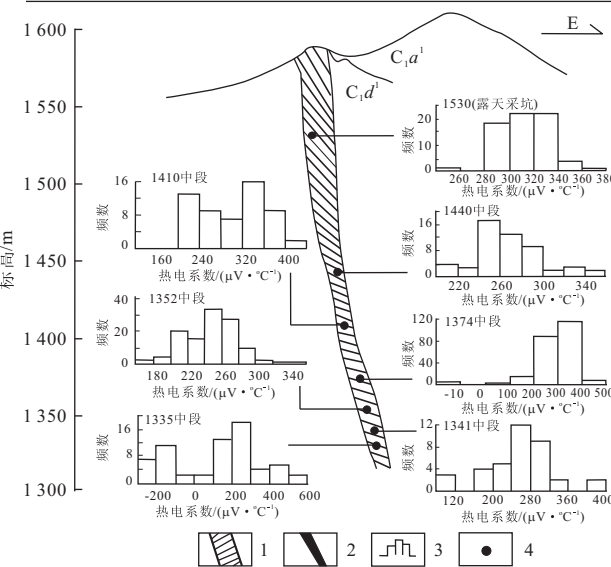
2.2 基于黄铁矿热电性分析对成矿深度的估算

2.2.1 黄铁矿热电性垂向分带特征

热电性是黄铁矿最重要的特征之一,在金矿床找矿勘探中具有重要的研究意义。黄铁矿热电性受成矿物理化学环境影响形成不同的导型,在矿体下部由于热液温度较高,黄铁矿晶出时 Co、Ni 等杂质

易进入黄铁矿晶格中形成 N 导型;而在矿体上部随热液温度逐渐降低,As、Sb 等杂质元素易进入黄铁矿晶格中形成 P 导型黄铁矿。由于热液物理化学条件在空间上的变化将导致黄铁矿热电性相应变化,并在垂向上形成分带性。前人^[11-12]研究表明,金矿床中自深部向浅部黄铁矿导型变化依次为 N 型→N-P 型→P-N 型→P 型。

通过对阿希金矿区不同标高和不同勘探线黄铁矿热电性系数的统计分析(表 1),绘制了统计分布直方图(图 6)。



C₁a¹. 下石炭统阿恰勒河组; C₁d². 下石炭统大哈拉军山组; 1. 主矿体; 2. 沉积底砾岩型矿体; 3. 黄铁矿热电系数直方图; 4. 采样点

图 6 阿希金矿床不同标高黄铁矿热电系数分布图^[13]

Fig. 6 Diagrammatic profile of vertical zoning of thermoelectric coefficients of pyrites in Axi gold deposit

表 1 阿希金矿床不同标高黄铁矿的热电性特征值^[13]

Table 1 Thermoelectric properties of pyrites from various levels in Axi gold deposit

中段 标高/m	N 型 $\alpha/(\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$			P 型 $\alpha/(\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$			常见值 $\alpha/(\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	P 型 频率/%	导型	$w(\text{Au})^*/10^{-6}$
	$\alpha_{\max}$	$\alpha_{\min}$	平均	$\alpha_{\max}$	$\alpha_{\min}$	平均				
1 335	-85.2	-277.0	-172.0	528.0	94.2	254.7	-277.0~-101.2 122.0~333.7	69	N-P	0.73
1 341	—	—	—	424.7	82.8	256.1	176.5~333.0	100	P	0.11
1 352	—	—	—	343.3	167.5	249.6	201.6~308.0	100	P	0.94
1 374	-117.9	-186.6	-153.5	482.9	81.8	293.3	141.9~437.0	98	P	2.10
1 410	—	—	—	407.8	155.3	298.7	204.4~373.7	100	P	4.06
1 440	—	—	—	348.3	212.2	268.2	212.2~309.3	100	P	1.11
1 530	—	—	—	373.7	259.5	313.8	280.4~344.3	100	P	—

注: * Au 品位为对应地球化学采样分析结果

由图 6 和表 1 可知,矿区范围内的热电性系数主要集中于+200~+400 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 范围内,呈单峰正态分布。矿体中不同标高黄铁矿热电性呈有规律的变化,自矿区深部向浅部,热电性系数逐渐增大,导型在深部(标高 1 335 m 以下)以 P-N 混合型为主,

浅部(标高 1 335 m 以上)以 P 型为主。显示阿希金矿床黄铁矿热电性系数在矿体垂向分布上具有分带性,该规律为应用黄铁矿热电性参数估算本矿区成矿深度和剥蚀程度提供了依据。

2.2.2 基于黄铁矿热电性参数估算成矿深度

根据金矿床黄铁矿导型垂向分带的变化规律,利用黄铁矿热电系数的相关参数可以估算金矿化的延伸深度^[14]。为减少因不同成矿阶段形成的黄铁矿热电性性质不同而造成的影响,选择了同一成矿阶段、同一晶形的黄铁矿样品进行测试分析,共测试数据 152 个。

(1) 计算出不同中段标高黄铁矿热电性参数 X_{np} 值(表 2)。

$$\text{计算公式为: } X_{np} = (2f_I + f_{II}) - (f_{IV} + 2f_V) \quad (1)$$

式中: X_{np} 为热电性参数; f_I, f_{II}, f_{IV}, f_V 为相应补偿热电系数的黄铁矿所占的百分比,且 $f_I - \alpha > +400 \mu V/^\circ C$, $f_{II} - \alpha = +200 \sim 400 \mu V/^\circ C$, $f_{IV} - \alpha = 0 \sim -200 \mu V/^\circ C$, $f_V - \alpha < -200 \mu V/^\circ C$ 。

表 2 阿希金矿床不同标高中段热电性参数

Table 2 The thermoelectric parameters of different middle section of the Axi gold mining deposit

标高/m	勘探线	岩性	样本数	相应热电系数的黄铁矿百分含量					X_{np}
				f_I	f_{II}	f_{III}	f_{IV}	f_V	
1 341	18	强硅化、黄铁矿化矿石	37	5	76	19	0	0	86
1 352	18.5	强硅化、黄铁矿化矿石	115	0	95	5	0	0	95

(2) 根据矿体不同深度样品的热电性参数,计算出阿希金矿床黄铁矿热电性参数垂向变化梯度 (V_H):

$$V_H = \frac{X_{npA} - X_{npB}}{H_A - H_B} \quad (2)$$

式中: X_{npA} 为上剖面样品的热电性参数; X_{npB} 为下剖面样品的热电性参数; H_A 为上剖面高程; H_B 为下剖面高程。

根据式(2)计算出阿希金矿床黄铁矿热电性参数的变化梯度:

$$V_H = \frac{95 - 86}{1\ 352 - 1\ 341} = 0.82$$

(3) 求矿体总延伸深度 $L(m)$:

$$L = \frac{X_{npmax} - X_{npmin}}{V_H} \quad (3)$$

因 $X_{npmax} = +200$, $X_{npmin} = -200$, 根据式(3)求得阿希金矿体总延伸深度(L):

$$L = \frac{400}{V_H} = \frac{400}{0.82} = 488(m)$$

即阿希金矿床北段矿体总垂向延深长度为 488 m 左右。

(4) 利用 18 线剖面 1 352 m 标高中段采集的样品,计算矿体的尖灭深度(L_0):

$$L_0 = \frac{X_{np} - X_{npmin}}{V_H} = \frac{X_{np} + 200}{V_H} \quad (4)$$

根据式(4),利用 1 352 m 标高中段采集样品,热电性参数 95,计算出相对于 1 352 m 中段矿体的尖灭深度为:

$$L_0 = \frac{X_{np} + 200}{V_H} = \frac{95 + 200}{0.82} = 360(m)$$

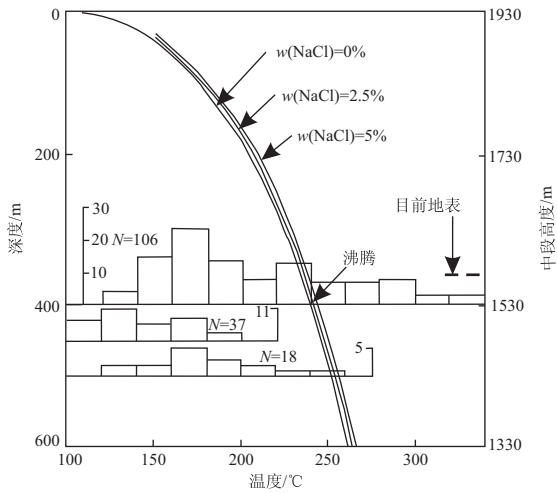
黄铁矿热电参数计算结果显示,相对 1 352 m 中段标高矿体尖灭深度为 360 m,即阿希金矿床北段 18 线矿体底部尖灭标高约在 992 m 处。与 18 线剖面实际施工钻孔揭露的矿化情况基本吻合。

2.3 基于石英流体包裹体参数分析对成矿深度的估算

Haas^[15]通过研究静水压力热液系统中流体包裹体最大温度梯度对盐度的影响,从而建立了 NaCl-H₂O 溶液的深度—温度沸腾曲线关系图。该关系图将流体包裹体研究中的温度、盐度与成矿深度联系在一起,为成矿深度的估算提供了一种有效的方法和途径。但这一关系图的应用需要满足一个基本条件,即成矿热液应处在一个热液发生沸腾的静水压力系统中。

由于阿希金矿床的形成是处在一个伸展拉张的构造背景下,受 F_2 张性断裂的控制,产出在裂隙式喷发火山管道相内;矿床的形成以热液充填交代张性裂隙为主,且矿体产状较陡,局部近于直立,为一个相对较开放的成矿环境。因而阿希金矿成矿时的热液以静水压力为主,符合应用 Haas^[15] NaCl-H₂O 溶液的深度—温度沸腾曲线关系图的条件。据此,翟伟等^[16]通过对阿希金矿石英流体包裹体分析研究,认为其金矿成矿过程中热液发生沸腾导致矿质沉淀,并针对 1 530 m 中段采集的样品进行了温度和盐度测试,测得均一温度为 120~240℃;他们采用该中段流体包裹体均一温度峰值的上限 240℃,结合成矿流体盐度 $\omega(\text{NaCl}_{eqv})$ 平均为 2.2%,在 Haas NaCl-H₂O 溶液的深度—温度沸腾曲线关系图中进行投点,得到相对于该中段标高最大平均成矿深度约 400 m(图 7)。由于此成矿深度是由 1 530 m 中段的流体包裹体均一温度获得,因而推断阿希金矿体延深可达 1 130 m 标高。此成矿温度和深度与环太平洋带日本、新西兰,以及美国西部地区典型的低硫型浅成低温热液金矿床^[17-23]相似。

综上所述,阿希金矿床成矿深度在 1 000 m 左右,矿体底部尖灭标高应在 1 130~990 m 之间。因矿体最大出露标高为 1 600 m(北段矿体),推测深部矿体产出下限距地表在 470~610 m 之间。



图中阿希金矿不同中段均一温度直方图共用同一横轴
图 7 NaCl-H₂O 溶液沸腾温度—深度曲线图^[16]
Fig. 7 Boiling-depth curve for NaCl-H₂O solutions

3 矿体的剥蚀程度分析

3.1 矿体剥蚀证据

阿希金矿床形成以后矿体遭受了 2 次剥蚀,南段剥蚀较强,北段剥蚀相对较弱,其剥蚀证据如下。

(1)矿体 16 线以南出露地表,以北则被上覆阿恰勒河组地层覆盖,但矿体顶部都呈平头状,与热液矿床自然完整的顶部形态不相符,表明矿体上部均遭受过剥蚀。

(2)阿希金矿体剖面形态呈上大下小的楔形。

南段矿体延深短、厚度小,为矿体下部收缩变窄的根部形态(图 8-A),表明其矿体剥蚀程度较大,上部已被剥蚀,仅保留矿体中下部。北段矿体延深长、厚度较大,形态相对较完整(图 8-B,C);显示其剥蚀程度较低,仅矿体顶部被剥蚀,矿体的主体和根系都保存较完好。

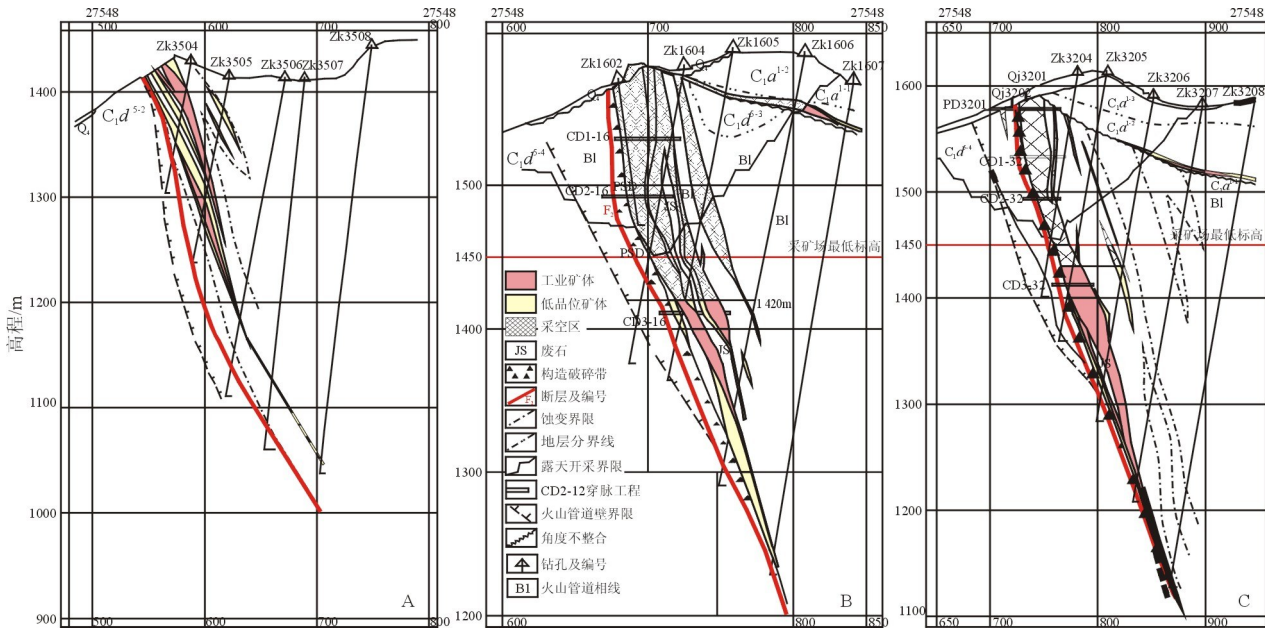
(3)阿希金矿床矿化类型具有垂向分带性,上部为硅化石英脉型金矿化,下部为黄铁绢英岩化蚀变岩型金矿化。北段地表出露矿体以硅化石英脉型为主,南段地表出露矿体则主要为蚀变岩型金矿化,表明南段剥蚀程度大,已达矿体下部,北段剥蚀程度相对较小,仍处在矿体中上部。

(4)矿体北段 46 线处底砾岩出露标高约在 1 510 m 处,矿体和含矿底砾岩(C₁a¹⁻¹)被较厚的阿恰勒河组地层 C₁a¹⁻²覆盖(图 9-A),未遭受第二次剥蚀。在 24 线 1 560 m 标高处底砾岩和矿体出露地表,该点以南覆盖在矿体之上的底砾岩和阿恰勒河组地层消失(图 9-B),表明 24 线以南的矿体都遭受了第二次剥蚀。

(5)从北段的 24 线到南段的 35 线,地形标高从 1 575 m 逐渐降低到 1 420 m,落差 140 m,说明南段矿体的剥蚀程度远大于北段。

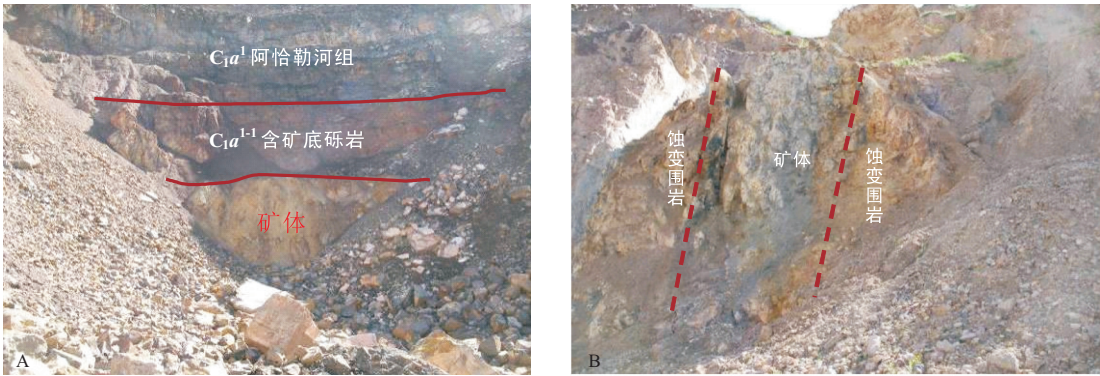
3.2 造成南北两段矿体剥蚀差异的原因

(1)覆盖在矿体之上的阿恰勒河组地层形成后本区地壳发生不均衡抬升,使南部抬升幅度大于北部,因而也导致矿体南段抬升较高、剥蚀程度大,北段抬升较小、剥蚀程度较小。这种不均衡抬升是造成矿体南、北两段剥蚀差异的原因之一。



A. 被剥蚀至中下部(35 线);B. 被剥蚀至中上部(16 线);C. 顶部被剥蚀(32 线)。图中地层代号说明见图 1
图 8 阿希金矿床不同地段矿体剥蚀特征

Fig. 8 Denudation characteristics of different sections of the orebodies in Axi gold deposit



A. 北采坑北端 46 线处矿体,被阿恰勒河组覆盖未出露地表;B. 北采坑南段 8 线处矿体,出露地表

图 9 矿体野外剖面照片

Fig.9 Orebody photos of the field profiles

(2)发育于矿体南端的近东西向小阿希河断裂(F_1)造成南段矿体和岩石破碎程度增高,有利于矿体和围岩的风化剥蚀。同时流水沿该断裂破碎带侵蚀下切形成的小阿希河,对矿体和围岩的侧蚀作用加剧了南段矿体的剥蚀。因此,小阿希河断裂是造成矿体南、北两端剥蚀程度差异的重要因素。

3.3 基于黄铁矿热电性参数推算矿体剥蚀程度

前已述及,阿希金矿床黄铁矿热电性具有垂向分带性,这一特征为利用黄铁矿热电性参数估算矿体剥蚀程度提供了依据。根据阿希矿区地表出露矿

体中黄铁矿样品测试结果(表 3),在北段地表 12 线金矿体中黄铁矿导型均为 P 型,热电系数最大值为 $373.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,最小值为 $259.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,平均值为 $313.8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,而南段地表 35 线金矿体中黄铁矿导型为 P-N 混合型,热电系数最大值为 $383.0 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,最小值为 $-90.0 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,平均值为 $178.9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,这说明阿希金矿床矿体在北段已被剥蚀至矿体中上部,在南段已被剥蚀至中部或者中下部,南段比北段剥蚀程度高。

表 3 地表样品黄铁矿热电系数及热电性参数

Table 3 The thermoelectric coefficients and thermoelectric parameters of the surface pyrites samples

样品编号	采样位置	岩性	样本数	热电系数 $\alpha/(\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$		
				最大值	最小值	平均值
AX-10	北采坑地表 12 线附近	硅化、黄铁矿化矿石	68	373.3	259.5	313.8
AX-57	南采坑地表 35 线附近	硅化、黄铁矿化矿石	82	383.0	-90.0	178.9
样品编号	相应热电系数的黄铁矿百分含量					X_{np}
	f_I	f_{II}	f_{III}	f_{IV}	f_V	
AX-10	0	100	0	0	0	100
AX-57	0	43	51	6	0	37

根据黄铁矿热电参数计算公式(1),计算出地表北段 12 线附近矿体中黄铁矿热电性参数 $X_{np} = 100$,南段 35 线附近矿体中黄铁矿热电性参数 $X_{np} = 37$,利用黄铁矿热电性参数的剥蚀率 γ (矿体剥蚀部分相对于总延伸的百分比)^[24-26]计算公式:

$$\gamma(\%) = 50 - X_{np}/4 \tag{4}$$

得出:

北段 12 线附近矿体剥蚀率 $\gamma_{12 \text{ 线}} = 25\%$

南段 35 线附近矿体剥蚀率 $\gamma_{35 \text{ 线}} = 40.75\%$

上述分析表明,北矿段 12 线矿体已被剥蚀至中上部,矿体剥蚀率为 25%,而南段 35 线附近矿体已剥蚀至中下部,矿体剥蚀率为 40.75%,显示矿体南段比北段剥蚀程度高,北段矿体有近 3/4 被保存下来,南段矿体仅剩中下部。

3.4 矿体的剥蚀过程分析

阿希金矿床形成以后经历了 2 次剥蚀,其剥蚀作用过程如下:

第一次剥蚀发生在早石炭世火山岩系及阿希金矿体形成之后不久,本区发生近水平的整体抬升,南北两段矿体均遭受剥蚀。此时是矿体的主要剥蚀期,其剥蚀时间较长,原始矿体上部被剥蚀破坏。由于此次矿体南北两段剥蚀程度相同,故称为整体均衡剥蚀。从 24 线以北被阿恰勒河组地层覆盖的矿体部位剥蚀状况基本反映了矿体的第一次剥蚀程度。根据矿体形态分析和黄铁矿标型分析得出的剥蚀率结果表明,其矿体上部剥蚀量大约为原矿体垂深长度的 20%~30%,显示矿体的上部或中上部遭到剥蚀。此次矿体的剥蚀为阿恰勒河组含矿底砾岩

型金矿化提供了成矿物质。随后本区地壳下降变成滨浅海沉积环境,由剥蚀区转化为沉积区,形成了下石炭统阿恰勒河组地层。阿恰勒河组最下层的含矿底砾岩直接覆盖在矿体之上,使矿体得以保存。

第二次剥蚀发生在阿恰勒河组形成以后,本区再次发生地壳隆起,并产生不平衡抬升,使矿区地层南部升高北部降低,致使矿体南段抬升,北段下降,由此也造成了矿体整体呈现向北侧伏之势(侧伏角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$)。同时在矿体南端有小阿希河断裂(F_1)活动,使南段地层岩石和矿体破碎程度增强,加之水系发育,为该地段的风化剥蚀创造了条件,导致南段地层切割深度大,矿体剥蚀程度高,造成南段矿体中上部厚大的主体部分已基本被剥蚀,仅保存矿体厚度较小的下部和细长的脉状根部,使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。参照黄铁矿热电性参数计算结果,结合地质特征和矿体形态综合分析,其剥蚀率估计在 $35\%\sim 65\%$ 之间。而北段矿体埋深较大,后期构造破坏较小,其剥蚀较弱或未受到第二次剥蚀。这次剥蚀造成阿希金矿体南北两段的剥蚀程度呈现出明显的差异,故称差异剥蚀。

根据上述阿希金矿床不同区段矿体的剥蚀程度及剥蚀差异性的研究分析,结合矿区地质特征(地层、矿体及断裂产状特征等)及地形地貌等综合研究,建立了阿希金矿床剥蚀改造过程模式(图10)。

综上所述,阿希金矿床形成以后伴随本区构造升降运动,遭受过2次剥蚀作用过程:第一次均衡剥蚀造成整个矿体中上部被剥蚀,第二次差异剥蚀造成南北两段的剥蚀程度出现差异,矿体的北段剥蚀程度较低,剥蚀到矿体中上部,南段剥蚀程度相对较高,剥蚀至矿体中下部。

4 结 论

(1)阿希金矿床总体成矿深度在1 000 m左右,矿体底部尖灭标高在1 130~990 m之间。由于矿体向北侧伏,其侧伏角为 10° 左右,矿体南段垂深较小,北段垂深较大。

(2)阿希金矿体形成以后伴随本区地壳升降运动,遭受过2次剥蚀过程:第1次为均衡剥蚀,造成整个矿体中上部被剥蚀;第2次为差异剥蚀,造成南北两段的剥蚀程度出现差异,矿体的北段剥蚀程度相对较低,已剥蚀到矿体中上部,南段剥蚀程度较高,已剥蚀到矿体中下部,据此建立了本矿区矿体剥蚀过程模式。

(3)通过对阿希金矿床剥蚀过程和剥蚀程度分析,得出阿希金矿床矿体剥蚀程度为:北段以第1次

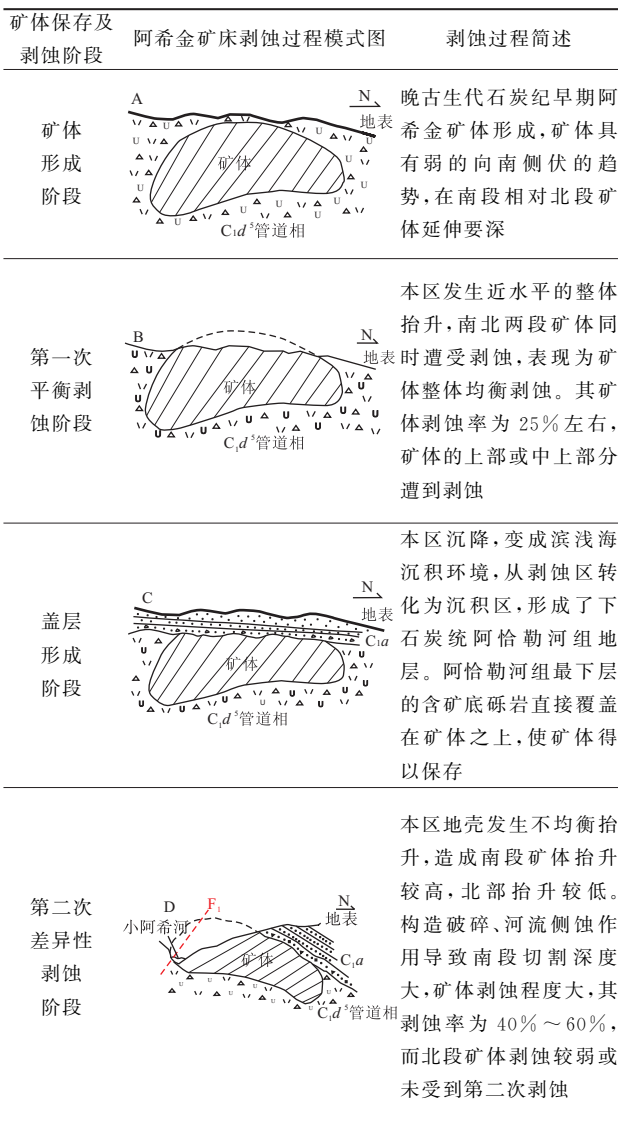


图10 阿希金矿床剥蚀改造过程模式图解

Fig. 10 The denudation and modification model of Axi gold deposit

剥蚀为主,矿体已剥蚀至矿体上部至中上部,剥蚀率为 $20\%\sim 30\%$;南段矿体普遍遭受了第2次剥蚀,并随着向南地表切割的加深,其剥蚀程度也逐渐增大,已剥蚀至矿体中部或中下部,剥蚀率为 $35\%\sim 65\%$ 。

参考文献:

- [1] 沙德铭,金成沅,董连慧,等.西天山阿希金矿成矿地球化学特征研究[J].地质与资源,2005,14(2):118-125.
- [2] 杨金中,赵玉灵,王永江,等.新疆西天山大哈拉军山组的沉积环境及其与成矿的关系[J].地质与勘探,2003,39(2):1-4.
- [3] 曹新志,孙华山,徐伯骏.关于成矿预测研究的若干进展[J].黄金,2003,24(4):11-14.
- [4] 曹新志,高秋斌,徐伯骏,等.矿区深部矿体定位预测的有效途径研究和方法研究:以山东招远界河金矿为例[M].武汉:中国地质大学出版社,2005.
- [5] 曹新志,孙华山,徐伯骏,等.隐伏矿床(体)找矿前景快速评价的有效方法与途径研究[M].武汉:中国地质大学出版社,

- 2008.
- [6] 杨言辰,李绪俊,马志红.生产矿山隐伏矿体定位预测[J].大地构造与成矿学,2003,27(1):83-90.
- [7] 李绪俊,郗爱华,陈静.脉状金矿定位预测的关键:主控矿因素分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2008,38(5):731-737.
- [8] 新疆地质矿产局第一地质大队.新疆伊宁县阿希金矿床北段勘探地质报告[R].昌吉:新疆地质矿产局第一地质大队,1995.
- [9] 肖序常.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [10] Groves D I, Gddfarb R J, Gebre-Marian M, et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 7-27.
- [11] 苏文超.黔西南烂泥沟金矿黄铁矿热电性研究及其找矿意义[J].黄金地质,1997,3(2):7-12.
- [12] 杨赞中,石学法,于洪军,等.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,2007,27(1):11-17.
- [13] 魏佳林,曹新志,王庆峰,等.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,2011,30(5):89-96.
- [14] 权志高,李占游.黄铁矿热电性研究在庞家河金矿评价中的应用[J].陕西地质,1995,13(1):54-60.
- [15] Haas J L Jr. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure[J]. Economic Geology, 1971, 66: 940-946.
- [16] 翟伟,孙晓明,苏丽薇,等.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,2010,17(2):265-285.
- [17] 董连慧,沙德铭.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,2005.
- [18] Heald P, Floey N K, Hayba D O. Comparative anatomy of volcanichosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types[J]. Economic Geology, 1987, 82: 1-26.
- [19] Izawa E, Urashima Y, Ibaraki K, et al. The Hishikari gold deposit: High-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1990, 36: 1-56.
- [20] Simmons S F, Arehart G, Simpson M P, et al. Origin of massive calcite veins in the Golden Cross low-sulfidation, epithermal Au-Ag deposit, New Zealand [J]. Economic Geology, 2000, 95: 99-112.
- [21] van Leeuwen T M, Leach T, Hawke A A, et al. The Kelian disseminated gold deposit, east Kalimantan, Indonesia [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1990, 35: 1-61.
- [22] Simon G, Kesler S E, Russell N, et al. Epithermal gold mineralization in an old volcanic arc: The Jacinto deposit, Camaguey district, Cuba [J]. Economic Geology, 1999, 94: 487-506.
- [23] Faure K, Matsuhisa Y, Matsugi H, et al. The Hishikari Au-Ag epithermal deposit, Japan: Oxygen and hydrogen isotope evidence in determining the source of paleohydrothermal fluids [J]. Economic Geology, 2002, 97: 481-498.
- [24] 赵享达.黄铁矿热电性研究在金矿找矿中的应用[J].矿物学报,1990,10(3):278-284.
- [25] 谢玉玲,徐九华,钱大益,等.太白金矿黄铁矿热电性及其在找矿中的应用[J].北京科技大学学报,1999,21(1):1-5.
- [26] 翟裕生.论矿床形成后的改变与保存[J].地学研究,1997,29/30:267-273.

Metallogenic Depth and Denudation Extent of the Axi Gold Deposit in Yili, Xinjiang

Xu Bojun^a, Fei Xiaoli^a, Cao Xinzhi^a, Wei Jialin^a, Zhang Wangsheng^b, Huang Liangwei^a

(a. Faculty of Earth Resources; b. Faculty of Earth Sciences,
China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The metallogenic depth and denudation extent are important for location prediction of orebodies, which are also important parameters and reference for deep exploration of the mining area. It's very difficult to estimate accurately the metallogenic depth and denudation extent in the location prediction of orebodies. Gold mineralization depth and bottom elevation of the Axi gold ore body was determined based on comprehensive analysis of structural features of the ore-controlling fractures, the morphology and spacial distribution of the ore body, variation of mineralization types and pyrite thermoelectricity and the experimental parameters of quartz fluid inclusions. It's considered that the ore body has experienced two erosion modification process including the balance denudation and different denudation. The denudation rate of the southern ore body and northern ore body is calculated, and a denudation and modification model of Axi gold deposit is also established.

Key words: location prediction of orebody; metallogenic depth; denudation extent; thermoelectric parameter; Axi gold deposit