

新疆塔什库尔干塔吉克自治县瓦恰一带1:5万 化探异常评价及成矿模式

吕宪河,刘俊涛*,宁 勇,王海勇,丁见广,苏小岩,傅晓强

(河南省地质研究院)

摘要:瓦恰一带地处中国西部重要成矿带,矿产资源丰富,具备良好的成矿地质条件。基于1:5万水系沉积物测量,系统分析了瓦恰一带Cu、Pb、Zn等9种元素的化探异常特征,圈定单元异常115处、综合异常9处。结合地质背景对化探异常进行综合评价,通过异常查证,发现欠孜拉夫铅锌铜矿床。通过系统的化探异常评价与找矿效果分析,建立适用的成矿模式。研究结果表明,欠孜拉夫铅锌铜矿床的发现不仅验证了1:5万化探异常评价方法的有效性,也为类似地质环境下的化探异常评价提供了新的思路和方法。通过对控矿地质因素及成矿地质特征研究,成功建立了瓦恰岛弧层控-热液叠加型铅锌铜成矿模式,对区域后续矿产勘查具有重要指导意义。

关键词:西昆仑构造带;化探;综合异常;异常评价;铅锌铜矿床;异常查证;成矿模式

中图分类号:TD15 P632

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)10-0111-07

doi:10.11792/hj20251016

引言

瓦恰一带行政区划隶属于新疆维吾尔自治区塔什库尔干塔吉克自治县,位于帕米尔高原东部,西昆仑构造带西缘,矿产资源丰富,具备良好的成矿地质条件。前人在该地区进行了大量地质工作,包括基础地质调查、地质矿产调查等^[1-2],但没有开展系统的地质找矿工作,工作程度相对较低,找矿工作一直未取得突破性进展。

由于瓦恰一带地处高寒地区,地形地貌条件恶劣,传统找矿方法效果不佳。地球化学勘查方法在高寒复杂地形区域找矿优势显著,通过采集地表化学样品,分析元素次生晕的分散信息,反映元素在地质体中的分布与富集特征,指示潜在矿化信息,其多解性少,在寻找贵金属、有色金属等矿产方面效果明显。因此,准确评价1:5万化探异常对于发现新矿产地至关重要^[3-5]。本文通过对瓦恰一带1:5万化探异常进行综合分析,认为该地区存在多处具有找矿潜力的化探异常。通过异常查证,发现欠孜拉夫铅锌铜矿床,这不仅证实了化探异常评价的有效性,也为后续矿产资源勘查提供了重要的科学依据和找矿方向。

1 地质背景

瓦恰一带位于西昆仑构造带西缘,康西瓦—苏巴

什结合带东侧,大地构造位置为古生代瓦恰岛弧,隶属于西昆仑—阿尔金多金属成矿带。作为中国重要的多金属成矿带之一,西昆仑—阿尔金多金属成矿带不仅地质结构复杂、岩浆活动频繁,而且拥有优越的成矿条件,是铜、铅、锌、金、银等多金属成矿的有利地区^[6]。瓦恰一带出露地层主要有古元古界布伦阔勒群、志留系温泉沟组、石炭系、二叠系、白垩系下拉夫底群及第四系(见图1)。其中,布伦阔勒群为一套富含石榴石的中深成变质岩系,是铁元素富集的主要层位^[7];温泉沟组为碎屑岩—碳酸盐岩系;石炭系为浅变质火山碎屑岩夹碳酸盐岩,是寻找铜铅锌矿的主要目标层位;二叠系主要为碎屑岩夹碳酸盐岩;下拉夫底群为一套红色碎屑岩。不同地层单元在岩石组合、沉积环境等方面存在明显差异,为成矿提供了丰富的物质基础。岩浆活动频繁,从晋宁期到喜马拉雅期均有岩浆侵入和喷发,形成了多种类型的岩浆岩,特别是燕山期—印支期岩浆活动与成矿作用关系密切,为热液矿床的形成提供了热源和部分成矿物质^[8]。同时,构造发育,以北西向断裂为主,构造活动不仅控制了地层和岩浆岩的分布,还为含矿热液的运移和富集提供了通道和空间。

2 化探工作方法

水系沉积物测量是一种高效的化探找矿方法^[9-10]。

收稿日期:2025-04-07; 修回日期:2025-07-30

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010531203)

作者简介:吕宪河(1973—),男,高级工程师,从事地质矿产勘查、成矿预测工作;E-mail:251436547@qq.com

*通信作者:刘俊涛(1968—),男,高级工程师,从事矿产勘查工作;E-mail:13937139608@139.com

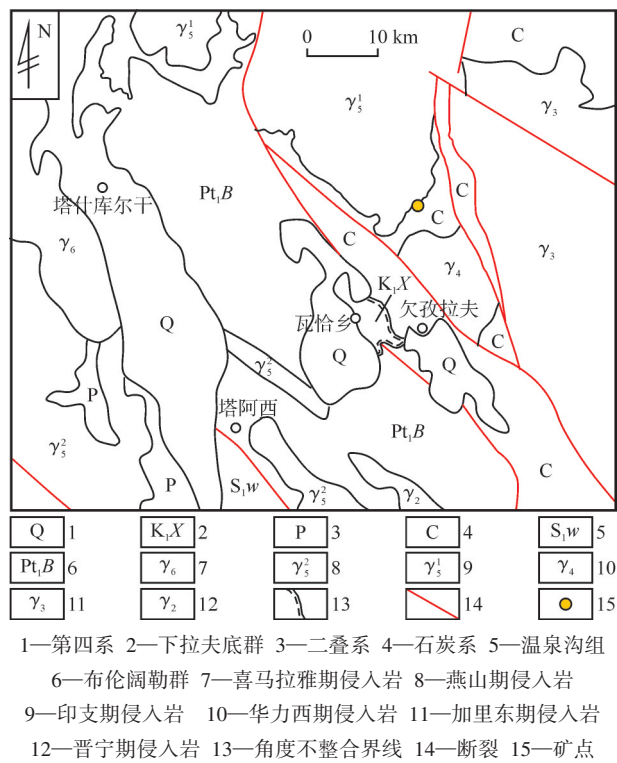


图1 瓦恰一带地质简图
Fig. 1 Geological sketch map of the Waqia area

瓦恰一带位于帕米尔高原东麓,昆仑山北缘,地势呈现西高东低、南高北低态势,地形切割强烈,冰川和积雪融水形成的沟谷水系较为发育,水系沉积物主要为高山基岩在寒冻风化、冰川刨蚀等作用下的产物。一级水系及分支水系因地势落差大,水流搬运能力强,

其沉积物能够较好代表所在汇水区域的基岩特征,为开展水系沉积物测量提供了有利条件。本研究采用的水系沉积物测量方法,从样品采集到分析测试,再到数据处理和异常圈定,每个环节都严格遵循相关规范,确保了研究结果的可靠性和有效性。

2.1 样品采集

为保证样品的代表性,采样采用一点多坑法,在1:5万地形图上以1 km²为采样大格,每大格分为4个0.25 km²小格,每小格采集1~2件样品,95 %以上采样点分布在1~2级水系中,其余布于3~4级水系,4级以上水系不采样,每个采样点控制汇水面积0.125~0.25 km²,采样密度为3.01点/km²,样品主要采自河床底部、河道转弯处、大转石后等有利于细粒物质富集部位。采样介质以淤泥、细(粉)砂为主,样品原始质量不小于300 g,以保证过筛后的样品质量不少于80 g。

2.2 分析方法

测试元素为Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、W、Mo,样品测试的质量管理按照DZ 0130·1~0130·13—94《地质矿产实验室 测试质量管理规范》及DZ/T 0011—2015《地球化学普查规范(1:50 000)》中的有关要求执行,测试元素分析方法及检出限见表1。由表1可知:主要成矿元素Cu、Pb、Zn分析选用原子吸收分光光度法,该方法的优势在于灵敏度高、选择性好、分析速度快等,适用于多种金属元素的定量分析。

表1 测试元素分析及检出限

Table 1 Analytical methods and detection limits of test elements

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Mo	W
检出限/×10 ⁻⁶	0.000 3	0.04	2	2	5	0.5	0.1	0.5	0.5
测试方法	化学光谱法	垂直电极原子发射光谱法	原子吸收分光光度法			原子荧光光谱分析法		极谱法	

2.3 数据处理和异常圈定

运用专业地球化学数据处理软件,对分析测试获得的原始数据进行统计分析,包括最小值、平均值($\bar{X}$)、最大值、标准离差和变异系数(C_v)等,以了解元素的总体分布特征^[11-12]。结合地质背景和地球化学特征,确定异常下限,圈定化探异常。Cu异常下限采用平均值加2.5倍标准离差,Au、Ag、Pb、Zn、W、Mo、As、Sb异常下限采用平均值加3倍标准离差。

按上述异常下限确定原则,瓦恰一带共圈出单元元素异常115处。其中,Au异常23处,Ag异常10处,Cu异常15处,Pb异常8处,Zn异常6处,W异常12处,Mo异常18处,As异常10处,Sb异常13处。

3 化探异常评价

化探异常评价是识别潜在矿产资源的核心环节。

通过对地球化学特征、元素组合特征、异常分布特征及典型异常解释,能够精准判断找矿潜力,为后续的异常查证和找矿工作指明方向。

3.1 地球化学特征

依据瓦恰一带水系沉积物的成矿元素分析结果,统计了富集系数(K =研究区元素平均含量/区域背景值),以反映元素的富集能力;同时计算了变异系数(C_v =(标准离差/平均值)×100 %),以揭示元素的变化特征^[13-16]。通过这2个指标,评价了主要成矿元素的迁移富集规律,元素分布、富集划分准则见表2。

瓦恰一带水系沉积物地球化学元素参数特征见表3。由表3可知:Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、As、Sb元素的富集系数均大于1,Ag、Pb、Zn、W、Mo、As、Sb浓集克拉克值均大于1。其中,Pb、As、Sb平均值均明显高于区域元素背景值。Pb元素是背景值的3.25倍,表明可能存在与瓦恰岛弧相关的铅锌矿化事件;Mo、

表2 元素分布、富集划分准则

Table 2 Criteria for classification of element distribution
and enrichment

K	<0.5	0.5 ~ 0.8	0.8 ~ 0.12	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	>2.0
分布等级	贫乏	低背景	背景	高背景	富集	强富集
Cv	<0.25	0.25 ~ 0.45	0.45 ~ 0.75	0.75 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	>1.5
均匀性	均匀	基本均匀	不均匀	分异	强分异	极强分异

表3 瓦恰一带水系沉积物地球化学元素参数特征

Table 3 Characteristics of geochemical element parameters of stream sediments in the Wagia area

地质单元	特征参数	Au ⁽¹⁾	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Mo	As	Sb
瓦恰一带	平均值×10 ⁻⁶	1.25	0.12	25.7	65.1	110.9	2.28	2.31	15.53	1.86
	标准离差×10 ⁻⁶	2.24	0.43	110.4	761.48	847.28	2.98	1.66	24.30	11.24
	变异系数%	178.88	354.77	429.59	1 169.8	770.25	130.57	71.66	156.46	604.43
	异常下限×10 ⁻⁶	3.00	0.25	40.00	80.00	120.00	6.00	6.00	50.00	4.00
	浓集克拉克值	0.07	1.50	0.40	5.42	1.18	2.07	1.77	7.05	3.72
	富集系数	1.04	2.00	1.13	3.25	1.70	1.62	2.56	1.25	1.86
新疆西昆仑	背景值×10 ⁻⁶	1.20	0.06	22.60	20.00	65.00	1.40	0.90	12.40	1.00

注:1) $w(\text{Au})/\times 10^{-9}$ 。

3.2 元素组合特征

为了解元素间的相关程度,分析元素组合与地质构造背景的依存关系,对分析结果进行R型聚类分析^[17-19],结果见图2。

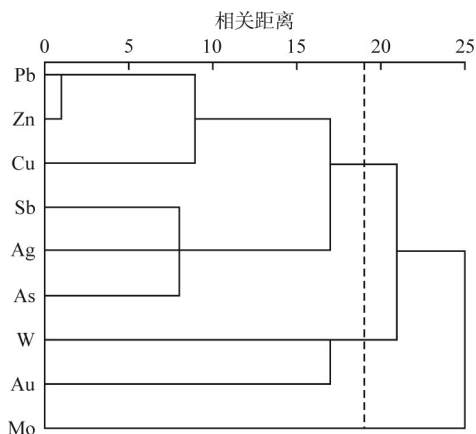


图2 R型聚类分析谱系图

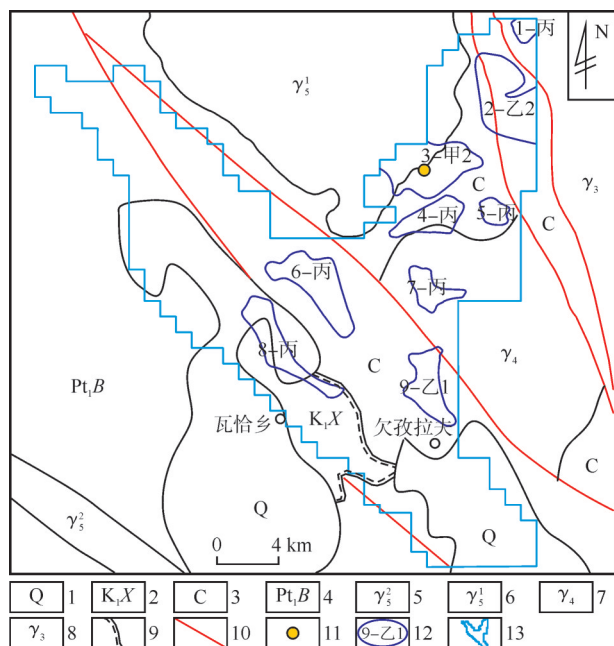
Fig. 2 Dendrogram of R-type cluster analysis

由图2可知:当相关距离为18时,结合地质特征,可将元素分为4种组合类型。第一类为Pb、Zn、Cu,为一套中温成矿元素组合,为亲铜元素,是铜多金属矿化的重要反映,该类元素异常具有重要的找矿意义,在瓦恰一带发现了多处铜矿(化)点,成矿潜力大。第二类为As、Sb、Ag,是前缘晕元素,为典型的中低温元素组合,与断裂活动和次生富集有关。第三类为Au,与其他元素相关性不强,是近矿晕元素。第四类为Mo、W,为高温成矿元素组合,关联性较好,与断裂、火山活动有关。

Ag元素分别是背景值的2.56倍、2.00倍,Sb、Zn、W元素分别是背景值的1.86倍、1.70倍、1.62倍,表明瓦恰一带为Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、As、Sb等成矿元素的高背景区。从各元素变异系数来看,Pb、Zn、Sb、Cu、Ag、Au、As呈极强的分异型分布,反映其受后期热液活动强烈改造;W呈强分异型分布,Mo呈不均匀型分布,说明Pb、Zn、Sb、Cu、Ag、Au、As元素在区内具有明显的地球化学富集特征。

3.3 综合异常分布特征

在单元素异常基础上,根据元素共生组合关系,结合异常所处的空间位置及各元素异常的吻合程度,圈出综合异常9处(见图3)。由图3可知:综合异常集中于东北部和中部,呈沿北东向和北西向延伸的“X”形展布,与区域断裂走向基本一致,多分布于花岗岩边缘的石炭系地层中。



1—第四系 2—下拉夫底群 3—石炭系 4—布伦阔勒群 5—燕山期侵入岩
6—印支期侵入岩 7—华力西期侵入岩 8—加里东期侵入岩
9—角度不整合界线 10—断裂 11—铜铅锌多金属矿点
12—化探综合异常及编号 13—研究区

图3 瓦恰一带综合异常分布图

Fig. 3 Integrated anomaly distribution map of the Wagia area

瓦恰一带东北部综合异常以Pb、Zn、Au异常为主,反映中温热液成矿环境。2-乙2综合异常的Au异常面积大,强度高,是找金的重要线索;Pb、Zn异常套合较好,强度高,为寻找铅锌矿提供了依据。3-甲2综合异常元素组合复杂,主要异常元素Pb、Zn、Cu套合较好,强度高,与已知的库克西里克铜铅锌多金属矿点吻合,为矿致异常;进一步实施探矿工程,有望扩大已知矿点规模。

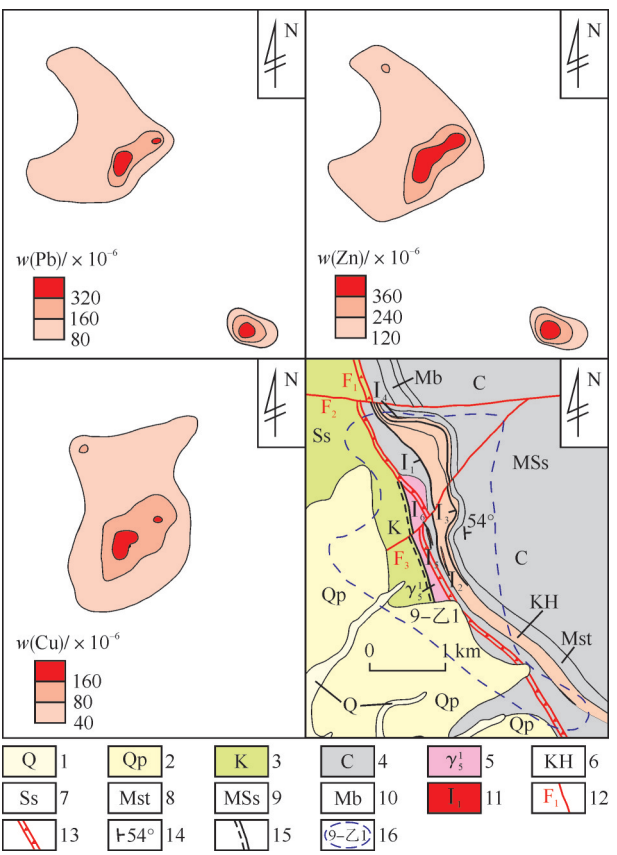
瓦恰一带中部综合异常以Pb、Zn、Cu、W、Sb异常为主。6-丙综合异常、8-丙综合异常内W、Sb元素趋向活跃,北西向带状展布特征明显,为寻找钨、锑矿提供了线索。9-乙1综合异常内Pb、Zn、Cu异常强度高,规模大,套合较好,异常元素组合好,与3-甲2综合异常对比,其元素组合及地质背景极其相似,找矿潜力较大,为寻找铅锌铜矿的有利地区,亦是本次研究的重要综合异常。

3.4 典型综合异常解释与评价

化探异常准确评价在矿产勘查中具有至关重要的作用,通过精确的化探异常评价,可以更准确地确定潜在矿产资源的位置,提高找矿成功率^[20]。通过对瓦恰一带化探异常综合分析,结合地质构造背景,认为9-乙1综合异常与3-甲2综合异常无论是元素组合,还是地质背景都极为相似,找矿潜力较大,推测为矿致异常。

9-乙1综合异常位于欠孜拉夫一带,出露地层主要为石炭系,岩性为灰色变质砂岩、变凝灰质砂岩,夹灰白色大理岩,呈单斜层状产出,总体产状与主构造线基本一致,走向北西,倾向北东。区域上石炭系火山岩中已发现层控型铜铅锌矿化点多处,如库克西里克铜铅锌多金属矿点、卡拉塔什铜铅锌矿点、塔合曼铜铅锌矿点、马尔洋铜铅锌矿点等,矿化受控于变凝灰质砂岩,受岩浆活动热力影响,变质砂岩发生了较普遍的角岩化,局部形成砂卡岩,欠孜拉夫一带断裂发育,有3条较大的断裂,为成矿物质的运移提供了通道和储矿空间,岩浆作用为铜铅锌矿化的富集提供了充足的热源和一定的成矿物质。

9-乙1综合异常总体呈不规则状分布,由1处Cu异常、2处Pb异常、2处Zn异常组成(见图4)。异常区面积约6 km²。综合异常中Cu元素平均值为85.00×10⁻⁶,最大值为385.00×10⁻⁶;Pb元素平均值为240.00×10⁻⁶,最大值为546.00×10⁻⁶;Zn元素平均值为360.00×10⁻⁶,最大值为1 216.00×10⁻⁶。综合分析认为,欠孜拉夫一带成矿地质背景优越,异常规模大,元素组合好,异常强度高,元素套合较好,浓集中心明显,分带特征清晰,并且与3-甲2综合异常特征相似,是寻找铅、锌、铜等多金属矿的有利地区。



1—第四系 2—下更新统 3—白垩系 4—石炭系 5—印支期花岗岩
6—矿化带 7—含长石石英砂岩 8—变粉砂岩 9—变砂岩
10—大理岩 11—矿体及编号 12—断裂及编号 13—破碎带
14—倾向 15—角度不整合界线 16—综合异常及编号

图4 9-乙1综合异常剖析图

Fig. 4 Analysis of 9-B1 integrated anomaly

4 异常查证及找矿效果

异常查证是将化探异常转化为实际找矿成果的关键步骤。通过系统的查证工作,能够验证化探异常的可靠性,确定矿体的具体位置和规模,为矿产资源开发提供直接依据。

4.1 异常查证

异常查证主要以分布在欠孜拉夫一带的9-乙1综合异常为工作对象。对异常浓集中心进行踏勘检查,初步判断异常与地质体的关系,检查是否存在与异常相关的矿化露头、蚀变现象等直接找矿标志,随后进行1:1万地质草测,初步查明成矿地质背景;在此基础上进行1:2 000地质岩石地球化学综合剖面测量,进一步缩小找矿靶区(见图5)。对在地质路线调查过程中发现矿(化)层、矿化带、蚀变带的位置,采用稀疏槽探工程进行揭露,在矿化有利地段进行1:1万高密度激电剖面测量,推断矿体向深部的延伸情况及大致形态等信息(见图6),最后施工平硐对矿体倾向进行控制。

由图5可知:异常元素以Pb、Zn、Cu为主,并伴生

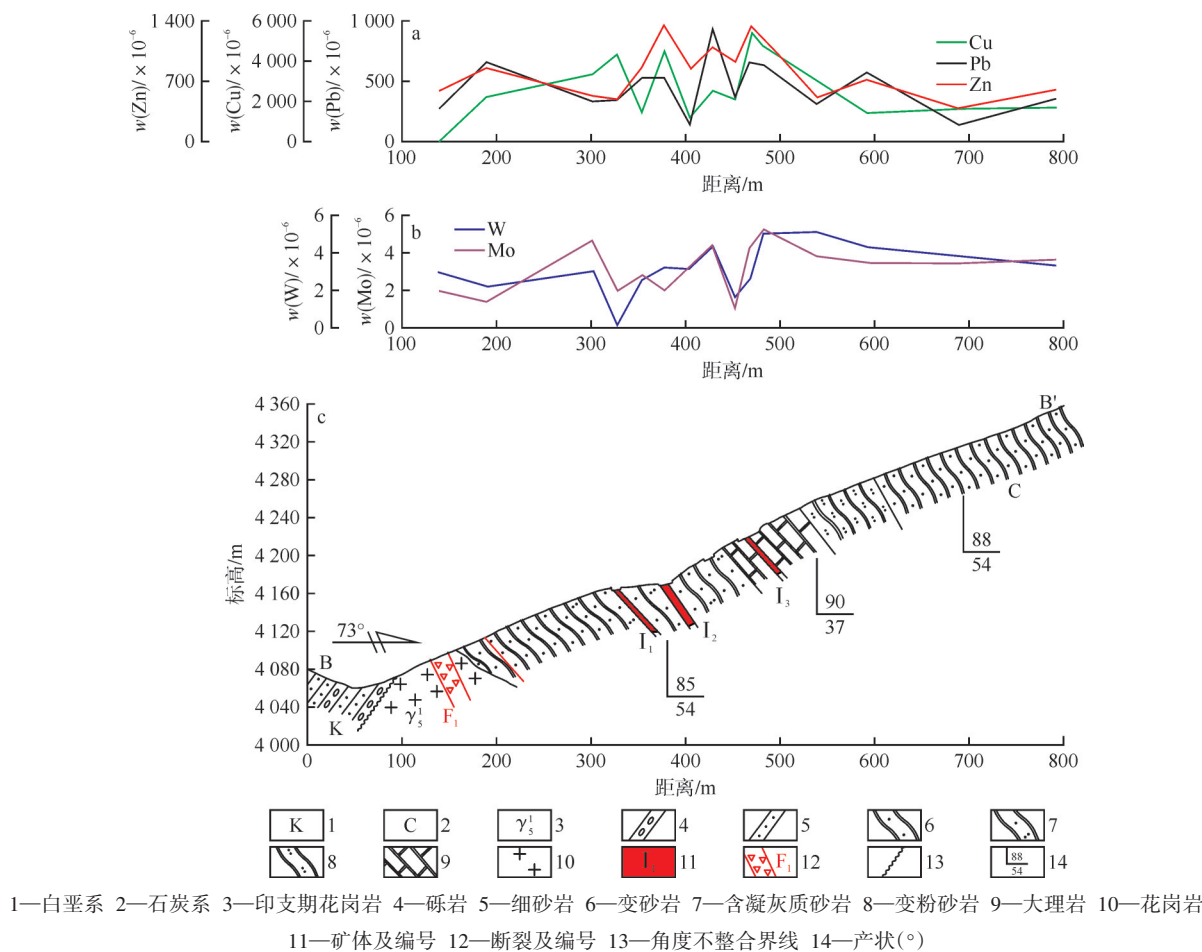
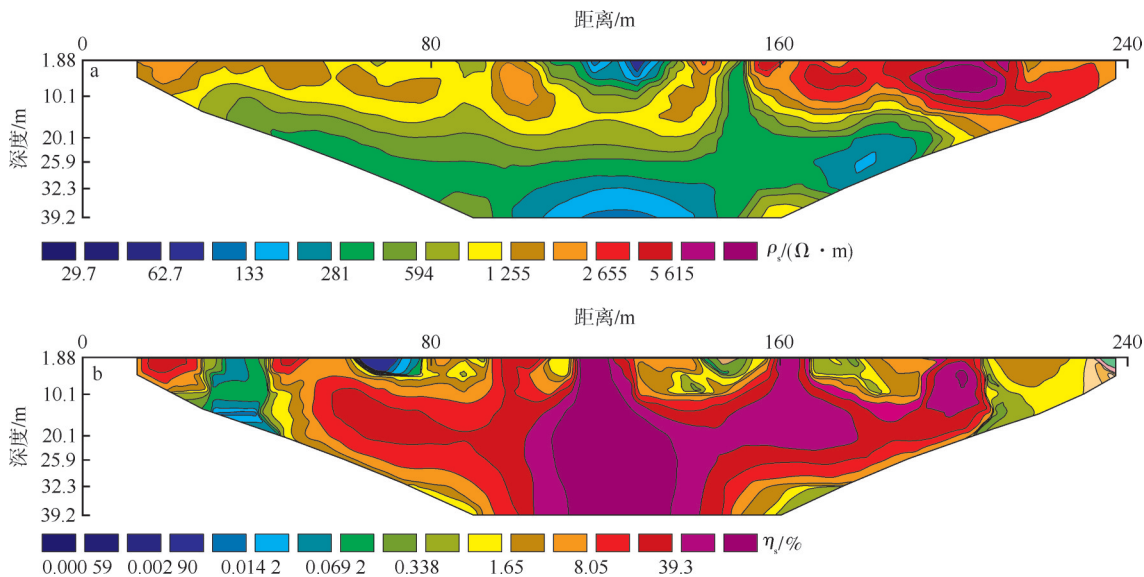


图5 欠孜拉夫铅锌铜矿区B-B'地质岩石化探综合剖面图
Fig. 5 B-B' integrated geological lithogeochemical prospecting profile of the Qianzilafu Pb-Zn-Cu District



W、Mo异常,反映中高温元素组合的特点,元素明显呈正相关性,剖面上有6处异常,190 m处为Pb、Zn、Cu异常,W、Mo未见异常,Pb最大值 267.00×10^{-6} ,Zn最大值 170.00×10^{-6} ,Cu最大值 127.00×10^{-6} ,该异常可能由断裂引起;300~480 m见4处异常,以Pb、Zn、

Cu为主,W、Mo异常较弱,Pb最大值 925.00×10^{-6} ,Zn最大值 655.00×10^{-6} ,Cu最大值 $5\,400.00\times 10^{-6}$,最大值点与地表矿体较吻合。
由图6可知:100~140 m有1处低阻异常,190~200 m有1处高阻异常;110~175 m有1处高极化带,

195~205 m有1处高极化中心。通过对1号极化率剖面110~175 m的高极化带进行坑探验证,发现了铅锌矿体,且地表极化率异常与矿体地表矿化露头位置基本吻合。

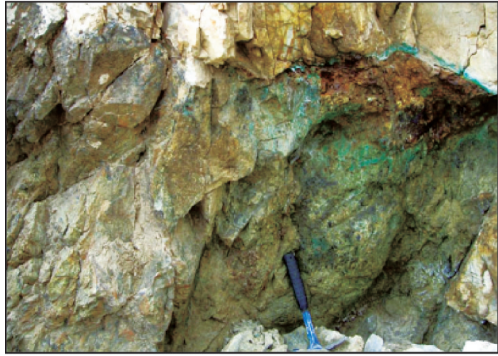
4.2 找矿效果

经异常查证,发现欠孜拉夫铅锌铜矿床,共圈定铅锌铜矿体6条,编号分别为I₁、I₂、I₃、I₄、I₅、I₆。其中,I₁和I₃矿体为主要矿体,矿体受层位和断裂联合控制,矿体走向与F₁断裂基本一致,控矿层位主要为石炭系变凝灰质砂岩。

I₁矿体:呈似层状,产于灰色变凝灰质砂岩中,顶板岩石以灰色变质砂岩为主,局部为灰白色大理岩;底板为灰色变质砂岩。矿体断续出露总长度1 850 m,被F₂、F₃断裂分割成3段,以铜矿化为主,共/伴生铅锌银矿化,地表铜蓝(见图7-a)及孔雀石化(见图7-b)发育。矿石类型有2种,即黄铜矿矿石、方铅矿闪锌矿矿石。矿体平均厚度3.58 m,平均品位Cu 2.05 %,Pb 1.64 %,Zn 0.81 %,Ag 42.49 g/t。



a) 地表铜蓝及孔雀石化



b) 外貌特征

图7 I₁号矿体地表铜蓝及孔雀石化(a)、外貌特征(b)

Fig. 7 Covellite and malachitization(a) surface characteristics (b) in Orebody I₁

I₃矿体:产于灰色变凝灰质砂岩之中,顶板为灰白色大理岩或灰色变质砂岩,底板为灰色变质砂岩或灰白色大理岩,以铜铅锌矿化为主,伴生银矿化,呈似层状,断续出露长度2 520 m,被F₂、F₃断裂分割成3段:北段长390 m,厚2.29~6.02 m,产状50°∠42°,平均品位Cu 0.43%~0.69%;中段长880 m,厚1.08~14.86 m,产状22°∠51°,平均品位Cu 0.85%~2.23 %,Pb 8.79%~29.49 %,Zn 3.19%~8.16%;南段长

1 250 m,厚0.88~7.30 m,产状88°∠56°,品位Cu 0.41%~5.94 %,Pb 0.36%~4.22 %,Zn 0.73%~3.02 %。矿体平均厚度4.30 m,平均品位Cu 1.18 %,Pb 7.91 %,Zn 3.11 %,Ag 116.45 g/t。

对I₁、I₃矿体进行资源量估算,推断金属量铅3.04万t,锌1.12万t,铜0.13万t,银16.41 t。

5 成矿模式

构建成矿模式有助于深入理解矿产形成的地质过程和规律。通过对控矿地质因素及成矿地质特征研究,并借鉴国内学者研究成果^[21-24],构建瓦恰岛弧层控-热液叠加型铅锌铜成矿模式(见图8),为该区域及类似地质环境的矿产勘查提供了理论指导,提高了找矿的科学性和准确性。

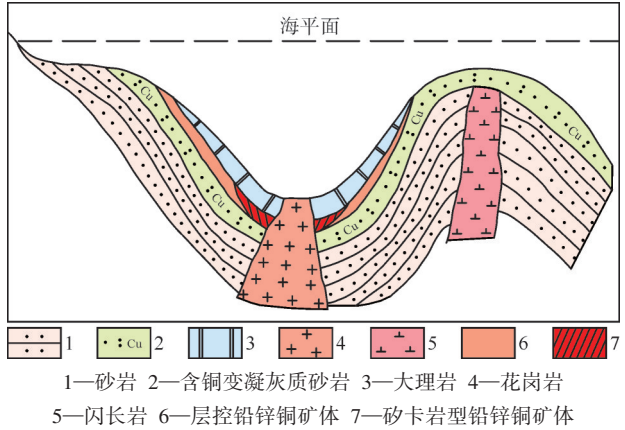


图8 瓦恰岛弧层控-热液叠加型铅锌铜成矿模式

Fig. 8 Patterns of stratabound-hydrothermal superimposed Pb-Zn-Cu mineralization in the Waqiaodao island arc

1)大地构造位置:1:25万区调成果显示,有找矿前景的铅锌铜多金属矿化主要位于瓦恰岛弧。

2)含矿地层:铅锌铜多金属矿产于石炭系火山沉积建造中。

3)岩浆岩与矿化的关系:石炭系地层中的凝灰质砂岩是铜矿的主要含矿岩石;在印支期花岗岩接触带上,铜矿层内叠加砂卡岩型铅锌矿化。

4)矿化体空间展布特点:在含矿层内部,铜矿体呈层状,自下而上含矿层岩石为砂岩、含铜变凝灰质砂岩、大理岩,铅锌矿化叠加于铜矿层中。

5)围岩蚀变特征:铜矿体内岩石主要蚀变为绿帘石化、绢云母化、黄铁矿化;铅锌铜矿体内岩石主要蚀变为绿帘石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、砂卡岩化等。

石炭系变凝灰质砂岩为初始矿源层,印支期花岗岩侵入时,因其较高的温度,使周围岩石中的水分受热而形成热液。热液在岩石孔隙和断裂中流动,溶解了岩石中的成矿物质。随着热液的运移,在适宜的物理化学条件下,成矿物质沉淀富集,形成矿化,沿断裂形成砂卡岩型铅锌矿化叠加。

6 结 论

围绕瓦恰一带1:5万化探异常展开研究,通过系统分析化探异常特征、综合评价、异常查证等工作,取得了较好的找矿成果,为该区域及类似地质环境下化探异常评价提供了参考。

1)瓦恰一带处于西昆仑构造带西缘,成矿条件优越,通过1:5万化探工作,系统分析了地球化学异常特征,并结合地质背景对异常进行了综合评价,共圈定单元异常115处、综合异常9处。通过对化探异常进行查证,成功发现了欠孜拉夫铅锌铜矿床,证实了化探异常评价方法在该地区的有效性。

2)以9-乙1综合异常为例开展异常查证,圈定6条铅锌铜矿体。其中,Ⅰ₁、Ⅰ₃矿体为主要矿体,产于石炭系变凝灰质砂岩。经估算,Ⅰ₁、Ⅰ₃矿体推断金属量铅3.04万t,锌1.12万t,铜0.13万t,银16.41t,找矿效果显著。

3)通过对控矿地质因素及成矿地质特征研究,建立了瓦恰岛弧层控-热液叠加型铅锌铜成矿模式,铅锌铜多金属矿的形成与瓦恰岛弧的地质背景密切相关,成矿物质主要来源于石炭系火山沉积建造,印支期花岗岩的侵入为矿化提供了热源和部分成矿物质,矿体呈层状分布,在印支期花岗岩接触带上铜矿层内叠加矽卡岩型铅锌矿化,围岩蚀变特征(矽卡岩化、绿帘石化等)进一步指示了热液成矿作用。

【参 考 文 献】

- [1] 韩春明,肖文交,方爱民,等.西昆仑及邻区成矿规律和成矿系列[J].岩石学报,2021,37(12):3 615-3 644.
- [2] 冯宝山,李博秦,郭鸿军,等.西昆仑地区矿集区划分及成矿演化[J].西北地质,2016,49(4):129-135.
- [3] 梁东,华北,赵德怀,等.喀喇昆仑麦拉山地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J].现代地质,2023,37(3):708-721.
- [4] 王肖杰,邓秋平,陈勇.新疆塔什库尔干县瓦恰-拉依布拉克一带铁铅锌区域成矿模型[J].新疆有色金属,2019,42(2):41-42,44.
- [5] 冯昌荣,何立东,郝延海,等.新疆塔什库尔干县一带铁多金属矿床成矿地质特征及找矿潜力分析[J].大地构造与成矿学,2012,36(1):102-110.
- [6] 张传林,马华东,朱炳玉,等.西昆仑-喀喇昆仑造山带构造演化及其成矿效应[J].地质论评,2019,65(5):1 077-1 102.
- [7] 陈港,陈懋弘,杨成栋,等.西昆仑塔什库尔干新迭铁矿床赋矿地层形成时代及其地质意义[J].矿床地质,2024,43(5):977-992.
- [8] 李兴俭,杨在峰,刘少帅,等.新疆塔什库尔干县铜金多金属矿成矿地质条件及找矿启示[J].矿产勘查,2018,9(8):1 516-1 522.
- [9] 胡兆国,张少鹏,连国建,等.青海省纳日宗地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J].现代地质,2018,32(3):481-492.
- [10] 王斌,牛建忠,艾海平,等.新疆西天山二牧场一带水系沉积物地球化学特征及找矿方向探讨[J].地质找矿论丛,2018,33(3):375-381.
- [11] 王永德,冶晓平,秦泗伟.东昆仑造山带向阳沟金矿床地质-化探综合找矿模型及找矿效果[J].黄金,2023,44(11):69-75.
- [12] 赵志成,韦乐乐.甘肃塔哇地区水系沉积物地球化学特征及找矿效果[J].黄金,2017,38(8):21-25.
- [13] 罗恒,李欢,戴进玲,等.鄂东南张海金矿床地质地球化学特征及找矿模型[J].地质与勘探,2021,57(5):994-1 007.
- [14] 武葆源,聂世嘉.内蒙古鄂尔格地区矿化蚀变、地球化学异常特征及找矿前景[J].黄金,2023,44(5):73-77.
- [15] 涂飞飞.新形势背景下化探勘查及找矿技术研究[J].冶金与材料,2024,44(5):37-39.
- [16] 赵伟,李山坡,黄锦锦,等.河南栾川罗村钼矿水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J].中国钼业,2024,48(5):7-13.
- [17] 岳跃威.新疆东昆仑三岔顶地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向研究[J].山东国土资源,2020,36(6):23-33.
- [18] 王玉平,吴文彬,张妍.内蒙古敖汉地区水系沉积物测量异常评价及找矿方向[J].黄金,2019,40(7):12-19.
- [19] 张代听,杨言辰,刘宇轩,等.巴林左旗碧流台铅锌矿床物化探特征及找矿方向[J].黄金,2025,46(3):72-79.
- [20] 胡剑辉,方同辉,吉蕴生.新疆卡拉塔格地区化探异常评价及找矿效果[J].矿产勘查,2014,5(4):593-603.
- [21] 裴中朝,崔来运,任建德,等.东谷水-歪脑地区铜铅锌矿床成矿地质条件及综合找矿模型[J].金属矿山,2016(9):144-150.
- [22] 王小刚,刘松柏,杜武刚.青海兴海县某银铅矿床地质特征、成矿模式及找矿意义[J].矿产与地质,2025,39(1):56-64.
- [23] 谭杰,徐文杰,赵毅,等.广西五圩矿田多金属矿成矿模式及找矿预测[J].中国矿业,2024,33(增刊1):508-514.
- [24] 王志强,杨建锋,石天池,等.新疆托克逊县乌尔沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿模型[J].黄金,2022,43(7):9-16,21.

Evaluation of 1:50 000 geochemical prospecting anomalies and metallogenic patterns in the Waqia area of Tashkurgan Tajik Autonomous County, Xinjiang

Lü Xianhe, Liu Juntao, Ning Yong, Wang Haiyong, Ding Jianguang, Su Xiaoyan, Fu Xiaoqiang
(Henan Academy of Geology)

Abstract: The Waqia area is situated within an important metallogenic belt in western China, characterized by abundant mineral resources and favorable geological conditions for mineralization. Based on 1:50 000 stream sediment survey data, the geochemical prospecting anomaly characteristics of 9 elements, including Cu, Pb, and Zn, were systematically analyzed, leading to the delineation of 115 single-element anomalies and 9 comprehensive anomalies. Integrated evaluation of these geochemical prospecting anomalies within the geological context was conducted, and the Qianzilafu Pb-Zn-Cu Deposit was discovered through anomaly verification. By systematically evaluating geochemical prospecting anomalies and analyzing the prospecting effect, an applicable metallogenic model was established. Results indicate that the discovery of the Qianzilafu Deposit validates the effectiveness of the 1:50 000 geochemical prospecting anomaly evaluation method and provides new insights and methodologies for evaluating geochemical prospecting anomalies in similar geological environments. By studying ore-controlling geological factors and metallogenic characteristics, a strat- abound and hydrothermal superimposed Pb-Zn-Cu metallogenic model for the Waqia island arc was successfully established, offering significant guidance for subsequent regional mineral exploration.

Keywords: West Kunlun Tectonic Belt; geochemical prospecting; comprehensive anomaly; anomaly evaluation; Pb-Zn-Cu deposit; anomaly verification; metallogenic pattern