

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2024.02.016

地质-化探-遥感多元信息找矿在甘肃北山大口子山一带的应用

方成豪,陈杰,杨镇熙,雷自强,黄炜华,王振

(甘肃省地质矿产勘查开发局第四地质矿产勘查院,甘肃 酒泉 735000)

摘要: 大口子山位于甘肃省玉门市北侧,区内大面积被第四系覆盖,基岩出露差,传统找矿方法很难取得突破。笔者为获取更多的找矿信息,在研究区选用地质、化探、遥感相结合的方法,有效筛选矿致异常,以提高找矿效果。目前在研究区已发现金矿(化)体 5 条,砷矿体 2 条,硅灰石矿体 1 条,钨矿(化)体 4 条,综合找矿效果明显。显示出该方法对浅覆盖区及基岩出露差的区域均有较好的找矿效果。

关键词: 大口子山;浅覆盖区;多元信息找矿;矿致异常;北山南带;甘肃省

中图分类号: P627 **文献标识码:** A

0 引言

我国自 1952 年成立地矿部,到现在地质事业已经走过了光辉的 70 年,这段时间地质人用实际行动支持了国家建设。可随着时间的推移,仅仅依靠常规的地质方法和手段已很难在找矿中有所突破,所以必须引入新的技术和方法。

矿产信息是各种成矿相关信息(包括地质构造、地球化学、地球物理以及由它们伴生的地表信息)的综合体现^[1]。多元信息找矿,无疑成了地质人找矿的新选择。已有前人在不断进行探索:河南新县苏河钼矿地质-地球化学综合找矿效果及找矿方向^[2],基于遥感与分散流异常综合找矿预测研究^[3],甘肃金川南延铜镍硫化物矿床物化探综合找矿研究^[4],新疆达尔布特构造带多元信息综合找矿研究^[5],蒙-甘-新相邻(北山)地区综合找矿预测与评价^[6],构造

地球化学岩屑测量在甘肃党河南山地区找金中应用^[7],岩屑地球化学测量在甘肃北山干旱戈壁荒漠区的找矿效果—以三白墩地区金砷矿的发现为例^[8],祁连西段德勒诺尔-石板墩地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景^[9],北祁连西段吊达坂地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测^[10],岩屑测量在甘肃北山水系沉积物测量弱异常区的找矿效果—以盐池黑山南金矿的发现为例^[11]等。诸如此类,多元信息找矿,均取得了较好的成果。本文是笔者依托甘肃省省级基础地质调查项目“甘肃省玉门市大口子山一带 1:5 万矿产远景调查”项目,在甘肃北山大口子山一带进行地质-化探-遥感多元信息找矿研究的总结。

1 区域地质概况

大口子山地区地处甘肃北山南带^[12-13],属于塔

收稿日期: 2023-11-23; **责任编辑:** 沈名星

基金项目: 甘肃省重点人才项目(2023RCXM04)、甘肃省科技计划项目(22JR5RA819)、甘肃省省级基础地质调查项目“甘肃省玉门市大口子山一带 1:5 万矿产远景调查”(甘财经[2018]132 号、甘资财发[2019]10 号、甘资财发[2020]8 号)、甘肃省省级基础地质调查项目“甘肃省瓜州县花牛山一带 1:2.5 万矿产远景调查”、(甘资字[2023]37 号)、甘肃省省级基础调查项目“1:25000 矿产地质调查技术要求研究”资助。

作者简介: 方成豪(1987—),男,地矿工程师,资源勘查工程专业,从事矿产地质调查及矿产勘查工作。通信地址:甘肃省酒泉市肃州区解放路 52 号,甘肃省地矿局第四地质矿产勘查院。邮政编码:735000。E-mail:344825928@qq.com

通信作者: 陈杰(1986—),男,地矿高级工程师,地质学专业,从事区域地质调查及矿产勘查工作。通信地址:甘肃省酒泉市肃州区解放路 52 号,甘肃省地矿局第四地质矿产勘查院。邮政编码:735000。E-mail:491699357@qq.com

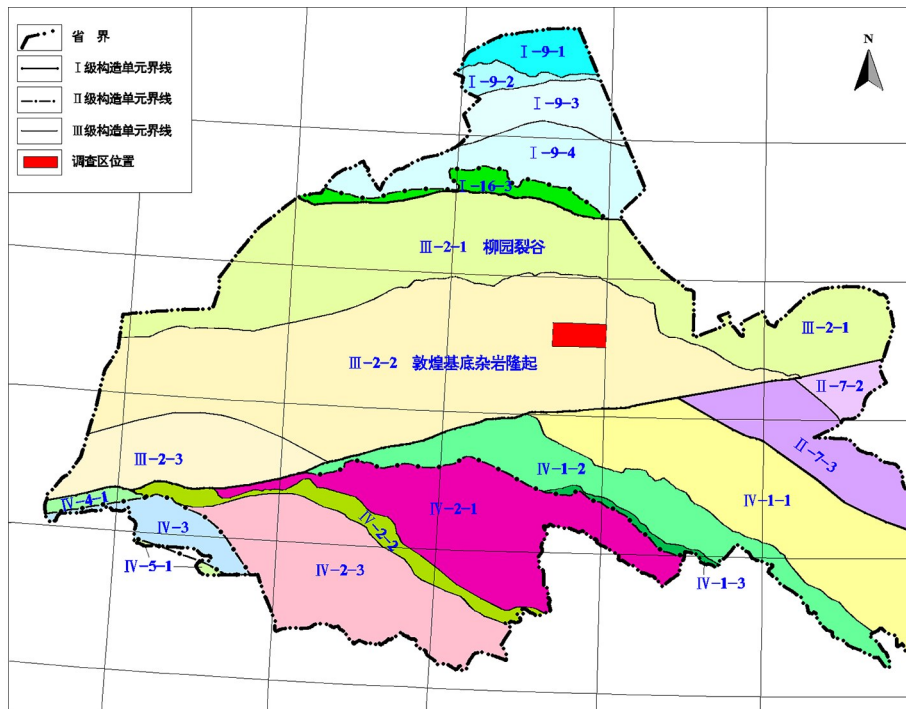


图1 研究区大地构造位置图

Fig.1 Geotectonic location map of the study area

- I-9-1. 柳园包山岩浆弧; I-9-2. 红石山裂谷; I-9-3. 明水岩浆弧; I-9-4. 公婆泉岛弧;
 I-16-3. 红柳河-洗肠井蛇绿混杂岩带; II-7-2. 迭布斯格-阿拉善右旗陆缘岩浆弧;
 II-7-3. 龙首山基底杂岩带; III-2-1. 柳园裂谷; III-2-2. 敦煌基底杂岩隆起; III-2-3. 阿尔金北陆核;
 IV-1-1. 走廊弧后盆地; IV-1-2. 走廊南山岛弧; IV-1-3. 北祁连蛇绿混杂岩带;
 IV-2-1. 中祁连岩浆弧; IV-2-2. 党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带; IV-2-3. 南祁连岩浆弧;
 IV-3. 全吉地块; IV-4-1. 红柳沟-拉配泉蛇绿混杂岩带; IV-5-1. 柴北缘蛇绿混杂岩带

里木陆块区的敦煌基底杂岩隆起^[11](图1)。其成矿区划上属于小西弓-账房山华力西期-印支期金钨成矿带^[14]。地层区划分塔里木地层大区、敦煌地层分区。区内出露地层较少,主要为太古宇-古元古界敦煌岩群B、C岩组及第四系。区域侵入岩发育,古生代岩浆活动强烈,岩性以中酸性花岗岩类为主。由于该区地处碰撞伸展的构造环境^[15]中,区域构造发育,有多期次构造叠加,主构造作用分为两期:第一期为NW-SE向展布,第二期构造呈NNW向展布并截断第一期断裂。

2 工作思路

大口子山位于甘肃省玉门市北东方向40 km处,其属于甘肃北山地区,是典型的干旱荒漠石质戈壁区。由于区内昼夜温差大,物理风化较强,露头差。用传统地质找矿方法,很难在此区域进行找矿突破。引用地质、化探、遥感等多元信息综合找矿,

以期取得找矿突破。

通过对研究区前人资料研究,该区位于重要金、钨成矿带。区域上典型矿床主要为小西弓金矿床、黄尖丘金矿床、前红泉金矿床和华窑山钨矿床。对研究区及附近典型矿床遥感图像进行有针对性地处理及地质解译,选择与典型矿床蚀变异常类似区域,作为重点工作区;同时利用1:5万水系沉积物测量特征,根据地球化学特征划分异常下限,圈定异常。最终结合化探数据处理结果、遥感异常及地质认识圈定找矿远景区,并在有利地段进行槽探工程验证,圈定矿体。

3 化探数据处理及异常特征

3.1 地球化学景观特征及样品采集分析

工作区地处甘肃省北山,面积784 km²,横跨北山冲积平原区和北山剥蚀戈壁区2个二级地球化学景观。区内地貌总体北高南低,海拔高程1375~1637 m,相对高差较小,植被不发育。区内水系较

发育,一级水系和部分二级水系形态多呈密集的平行状或网状,长度较短^[16],水系密度大,上游水系汇水面积小,沉积物迁移距离短;区内表生地球化学异常的元素组合特征,基本反映了原生矿化或原生异常的元素组合特征^[17-18]。

水系沉积物采样粒度选取了-4目+20目^[19-23],过筛后样品重量均在300g以上,采样密度为7.64点/km²。样品分析由拥有岩矿测试甲级资质的甘肃省地矿局四勘院实验室完成,加工及实验测试引用和执行DZ/T 0011-2015《地球化学普查规范(1:50000)》、DZ/T 0167-2006、《地球化学普查(比例尺1:50000)规范样品分析技术要求补充规定》、DZ0130.1-0130.13-2006《地质矿产实验室测试质量管理规范》。分析元素为Au、Ag、Cu、

Pb、Zn、W、Sn、Mo、As、Sb、Bi、Cr、Ni、Co、Cd、Hg、Th、La、Ce等19种,分析方法见表1所述。样品分析测试后各元素报出率98.83%~100%,重复性检验样品合格率98.74%~100%,样品异常抽查合格率93.75%~100%,符合相关规范要求。

3.2 元素的地球化学特征

(1)研究区元素数据处理采用金维软件(GeoIPAS)完成。从元素特征参数(表2)可知,各元素中Cu、Zn、Pb、Cr元素含量高于北山干旱荒漠区背景值,Ag、Au、Cd、La、Ce、Bi、Hg接近北山干旱荒漠区背景值,其余元素贫化,说明陆壳中不同地区元素平均值存在一定差异性。据元素变异程度分析,Au、W变异系数较大,在局部显示了较高含量值,说明存在局部叠加富集成矿的可能性。

表 1 水系沉积物样品元素分析方法

Table 1 Method for element analysis of stream sediment samples

元素	单位	测定方法	检出限	元素	单位	测定方法	检出限
Cr	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	6.0	Ce	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	1.0
Co	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	1.0	Th	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.05
Ni	10 ⁻⁹	电感耦合等离子体质谱法	2.0	Cd	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.02
Cu	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.6	Mo	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.6
Bi	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.015	Sn	10 ⁻⁶	交流电弧-发射光谱法	20
Zn	10 ⁻⁶	粉末压片-X射线荧光光谱法	4	Ag	10 ⁻⁹	交流电弧-发射光谱法	0.2
Pb	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.5	As	10 ⁻⁶	氢化物发生-原子荧光光谱法	0.05
W	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	0.9	Sb	10 ⁻⁶	氢化物发生-原子荧光光谱法	2.0
Hg	10 ⁻⁹	氢化物发生-原子荧光光谱法	10	Au	10 ⁻⁹	泡沫塑料富集-电感耦合等离子体质谱法	0.1
La	10 ⁻⁶	电感耦合等离子体质谱法	2.0				

表 2 大口子山一带地球化学参数统计结果

Table 2 Statistical results of geochemical parameters in Dakouzishan area

元素	样品数	平均值	标准差	变异系数	最大值	最小值	所取标准离差倍数	异常下限	北山干旱荒漠区背景值
Ag	3946	49.60	5.51	0.11	238	36.1	X+2.0S	53.8	50.00
As	3946	3.80	3.70	0.47	76.1	0.61	X+2.0S	5.1	7.90
Au	3946	1.38	2.80	1.94	155.2	0.6	X+2.0S	1.6	1.44
Cu	3946	15.39	11.44	0.90	157.6	2.45	X+2.0S	18.8	12.74
Mo	3946	0.70	0.60	0.71	33.57	0.24	X+2.0S	0.9	0.84
Pb	3946	20.70	8.73	0.54	97.6	6.07	X+2.0S	24.6	16.20
Sb	3946	0.19	0.08	0.11	1.99	0.05	X+2.0S	0.2	0.74
Sn	3946	0.90	0.14	0.07	5.19	0.64	X+2.0S	0.9	2.12
W	3946	0.60	1.85	1.73	96.76	0.1	X+2.0S	0.8	1.07
Zn	3946	63.08	20.51	0.58	307.4	22.53	X+2.0S	77.3	35.45
Cr	3946	55.40	12.98	0.36	177.8	23.93	X+2.0S	72.1	35.96
Co	3946	4.70	3.10	0.54	36.83	0.69	X+2.0S	6.4	5.74
Ni	3946	7.80	4.70	0.39	54.63	0.76	X+2.0S	9.5	12.01
Cd	3946	0.12	0.06	0.67	0.81	0.04	X+2.0S	0.13	0.09
La	3946	23.78	9.09	0.38	96.71	6.89	X+2.0S	28.8	24.11
Ce	3946	46.60	18.00	0.39	187.02	11.75	X+2.0S	53.2	46.00
Bi	3946	0.20	0.20	0.95	6.11	0.02	X+2.0S	0.3	0.21
Th	3946	7.90	3.30	0.35	29.16	1.39	X+2.0S	10.4	9.54
Hg	3946	13.21	2.06	0.15	148.30	6.7	X+2.0S	14.6	13.32

表3 元素相关系数

Table 3 element correlation coefficient

序号	元素	相关系数	序号	元素	相关系数
1	La-Ce	0.990	9	Mo-As	0.295
2	Cu-Co	0.817	10	Mo-Cr	0.269
3	Co-Ni	0.729	11	Cr-La	0.207
4	La-Th	0.582	12	Bi-Pb	0.192
5	Co-Cr	0.532	13	Hg-Cr	0.147
6	Zn-Cr	0.482	14	Sn-Pb	0.139
7	As-Sb	0.443	15	Ag-Cr	0.058
8	Cr-Cd	0.302	16	Au-Pb	0.030

(2) 元素的相关性分析

对工作区所分析的数据作了标准化变换, 所得部分相关元素系数(表3), La-Ce元素相关系数最高, 其次为Cu-Co元素。

从R型聚类分析谱系图(图2)可见, 谱系图清晰地反映出研究区指示元素组合的基本规律。结果表明, La、Ce、Th相关性好, 相似水平大于0.5; Cu、Co、Ni、Cr、Zn、Cd相关性较好; As、Sb、Mo相关性较好; Au与其它元素相关性差, 相似水平小于0.1。据此, 将研究区划分为4类, 一类反映了与区内碱性岩关系密切的La、Ce、Th等元素组合, 该组元素相关系数高, 为区内最相似的元素组合; 二类Cu、Co、Ni、Cr、Zn、Cd等元素关联性一般, 形成的综合异常可能反映了一定的地质构造与控矿因素, 形成的异常具有较重要的找矿意义, 如区内以铜为主的成矿元素的综合异常, 与钾化的石英二长闪长岩关系密切; 三类主要为沿构造分布的Au、As、Mo元素组合, 可能与区内存在的高-低温热液活动有关; 四类Au与其它元素相关系数差, 表面Au元素的迁移、富集规律可能不同于其它元素, 不排除局部独立富集成矿的可能性。

(3) 综合异常特征

综合异常评序以地球化学异常特征为主, 结合地质成矿背景对各综合异常评序。异常地球化学特征采用衬值、规模、套合程度、面积、异常元素特征种数等5项。对各项特征值均采用定性赋值法, 对各综合异常赋值排序, 并根据化探生产管理规定的原则, 对异常进行分类。本次划分出乙₁类异常1个, 乙₂类异常3个, 乙₃类异常3个, 丙₃类异常3个(表4)。

4 遥感数字图像处理 and 多元信息融合分析

4.1 数据源

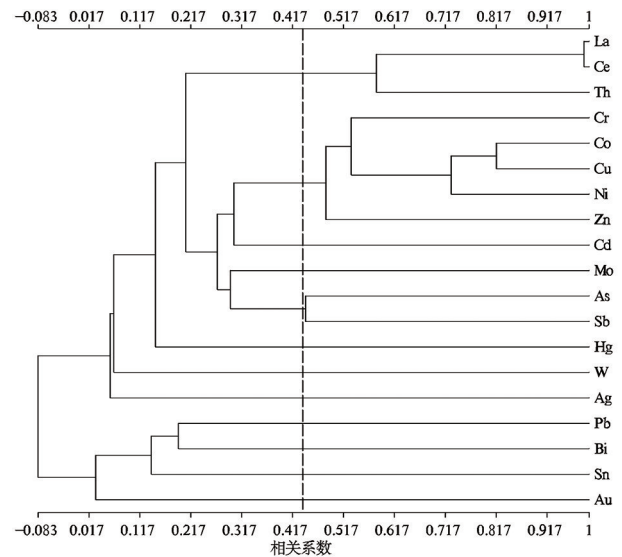


图2 R型聚类分析谱系图

Fig. 2 Pedigree of R-type cluster analysis

本次研究遥感数据选用landsat8OLI数据, 结合国产ZY-3数据全色影像增加最终影像分辨率。Landsat8OLI数据及ZY-3数据相关参数见表5和表6。

4.2 羟基异常提取流程

(1) 辐射定标处理

对landsat8OLI原始数据进行辐射定标处理, 以达到将无量纲数字化值(DN)转化为常用的辐射亮度值、反射率值及温度值等物理量, 之后再根据地物反射波普特征, 采用多光谱不同波段对比的方法, 不但可以消除部分影像阴影, 还能够增强有些矿物蚀变信息的差异程度。

(2) 掩膜去干扰

工作区为荒漠区, 目前遥感探测还处于地表探测, 尤其被动遥感的电磁波对水等穿透能力较差所以干扰信息较多, 数据信息抗干扰能力较差。主要干扰信息为水体、阴影及植被。

表 4 综合异常特征及价值分类评序

Table 4 Comprehensive anomaly characteristics and order value classification evaluation

异常编号	衬值	规模	套合程度	面积/km ²	总分	评序	异常特征组合		异常分类
							主元素	其它元素	
AS-1	1.7	9.67	高	5.78	14	8	Cu	Co、Ni	乙 ₂
AS-2	1.51	6.83	中	9.3	16	5	Au、Cu	Pb、Zn、La、Cr	乙 ₂
AS-3	1.78	6.47	高	10.97	21	2	As、Au	Zn、W、Cu、Mo	乙 ₁
AS-4	1.8	14.1	高	14.63	24	1	Au	As、Ni、W、Sb	乙 ₂
AS-5	1.44	12.08	低	20.35	12	10	Au	Ag、As、Sb	丙 ₃
AS-6	1.47	7.69	低	11.16	15	7	Co	La、Ce、Au、As	丙 ₃
AS-7	1.54	12.02	中	17.11	20	3	La、Ce	Th、Co、Cr	乙 ₃
AS-8	4.58	7.74	高	7.81	20	4	Au	Ag、W	乙 ₃
AS-9	2.65	4.21	中	4.36	16	6	Au、W	Mo、Bi、Sn、	乙 ₃
AS-10	1.51	3.19	中	5.18	14	9	W	Mo、Bi、As、Sb	丙 ₃

表 5 Landsat8 遥感数据参数

Table 5 parameters Landsat8 remote sensing data

传感器	波段	波长范围/μm	信噪比	空间分辨率/m	用途说明
OLI	1-COASTAL/AEROSOL	0.43~0.45	130	30	海岸带环境监测
	2-Blue	0.45~0.51	130	30	可见光三波段 真彩色用于地物识别等
	3-Green	0.53~0.59	100	30	可见光三波段
	4-Red	0.64~0.67	90	30	真彩色用于地物识别等
	5-NIR	0.85~0.88	90	30	植被信息提取
TIRS	6-SWIR1	1.57~1.65	100	30	植被旱情和强火监测,部分矿物信息提取
	7-SWIR2	2.11~2.29	100	30	植被旱情监测、强火监测,
	8-PAN	0.50~0.68	80	15	部分矿物信息提取、地物识别,数据融合
	9-Cirrus	1.36~1.38	50	30	卷云检测,数据质量评价
	10-TIR	10.60~11.19	0.4K	100	地表温度反演,火灾检测,
	11-TIR	11.50~12.51	0.4K	100	土壤湿度评价,夜间成像

表 6 ZY3 遥感数据特征及相关参数

Table 6 characteristics and correlation parameters of zy3

有效载荷	谱段号	光谱范围/μm	空间分辨率/m	幅宽/km	侧摆能力	重访天数
前视相机		0.50~0.80	3.5	52	±32°	5
后视相机		0.50~0.80	3.5	52	±32°	5
正视相机		0.50~0.80	2.1	51	±32°	5
多光谱相机	1	0.45~0.52	6	51	±32°	5
	2	0.52~0.59				
	3	0.63~0.69				
	4	0.77~0.89				

(3) 植被提取

植被提取的算法在遥感技术应用中比较成功,常用的有归一化植被指数法、差值植被指数、比值植被指数等。

本次植被提取方法选择归一化植被指数(NDVI)法。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,NDVI)计算可以将多光谱数据变换成一个单独的图像波段,用于显示植被分布。较高的 DnVI 值预示着包含较多的绿色植被。对

landsat8OLI 数据进行 NDVI 计算,可以相对准确地提取出影像中的植被因素,后通过 ENVI 将提取出的植被区域生成独立的矢量文件,以方便在后续掩膜处理中使用。

遥感影像中,近红外波段的反射值与红光波段的反射值之差比上两者之和,即(NIR - Red)/(NIR + Red);NIR 为近红外波段的反射值,Red 为红光波段的反射值。NDVI 值的范围在 -1 和 +1 之间,且其处理软件 ENVI 已经为 Landsat TM、Landsat

MSS、Landsat OLI、AVHRR、SPOT 及 AVIRIS 数据提前设置了相应的波段,因此在处理过程中,对植被的提取有了较大程度的准确率保障。

(4)掩膜生成

将干扰信息提取值二值化处理;干扰信息赋予 0 值,其它赋予 1,然后与主成分分量相乘即干扰光谱覆盖区域则被计算机自动剔除。

(5)波谱特征拟合(SFF)

波谱特征拟合(SFF)为基于光谱库信息或实测光谱数据与遥感数据进行对比识别矿物的常见方法,以最小二乘法逐像元拟合图像光谱曲线与参考光谱曲线,根据 RMS 误差(Root Mean Square error)大小确定拟合优度或图像光谱曲线与参考光谱曲线的相似程度,从而分解出遥感蚀变异常。本次工作采用从 JPL 光谱库选择出的蚀变矿物曲线提取蚀变信息。

波谱特征拟合(SFF)需要对蚀变矿物波谱曲线去包络线;大量实践表明,去包络线可使蚀变矿物的一些特征性谱带放大,从而有利于被提取出来,但易于因此导致一些伪异常。本次工作隶属于 1:5 万地质矿产调查,以寻找合适的矿产远景区为主要目的,发现新找矿线索十分重要,故采用较为灵敏的波谱特征拟合法。

(6)光谱匹配滤波(MF)

光谱匹配滤波(MF)即依据所确定的参考光谱矢量构造滤波检测器,与图像逐像元进行匹配,使输出的信噪比最大,对输出的匹配结果进行合理的阈值分割,从而获得遥感蚀变异常。本次的参考光谱同样采用从 JPL 光谱库选择出的蚀变矿物组合。

遥感图像各波段间存有一定的相关性,为了减少相关性对分类的影响,常使用主分量分析法去相关。

目前使用较多的方法 crosta 法就是利用主成分分析法,该方法通过 OLI2、OLI5、OLI6、OLI7 等 4

个波段进行主成分变换(PCA),对代表羟基化物主分量的判断准则是:构成该主分量的特征向量,其 OLI6 系数应与 OLI7 及 OLI5 的系数符号相反,OLI2 一般与 OLI6 系数符号相同。依有关地物的波谱特征,羟基信息包含于符合这一判断准则的主分量内,故此主分量可称为羟基异常主分量。删去 OLI3、OLI4 波段,是为了避免可见光波段同时参加运算,主要是为了排除铁氧化物的干扰。

(7)门限分割确定异常下限值

主分量门限化技术是采用标准误差分级的办法提取蚀变信息^[24]。这种方法不仅可以提取出蚀变信息,而且对于蚀变信息的强弱还可以起到分级的效果。

门限化技术对蚀变异常进行分级实际上就是以标准离差值(σ)作为尺度,用数倍 σ 值作为阈值,限定异常水平。结合具体情况,异常分级见表 7。

4.3 已知矿床与研究区矿化蚀变信息对比

本次研究通过运用相同参数对同成矿带分布的已成型矿山提取羟基、铁染异常与研究区提取的羟基、铁染异常进行对比研究。

华窑山钨矿床位于研究区西北侧,与研究区同属华力西期-印支期金钨成矿带^[12];对华窑山钨矿区的遥感羟基异常提取可见,华窑山钨矿区为羟基一级、二级、三级异常富集区,其与研究区内的红旗山井北部地区均匀分布羟基一级、二级、三级异常相似(图 3)。

5 综合异常查证

本次研究结合工作区地质、化探、遥感特征,划定 3 个成矿远景区:三白墩北-红旗山井金、砷、钨成矿远景区,大口子-三白墩金、稀土、硅石成矿远景区,饮马场北山金、稀有金属成矿远景区(图 4)。

表 7 羟基异常分级

Table 7 classification of hydroxyl abnormality

序号	蚀变异常等级	阈值
1	无异常	最小值 $\sim 2.0\sigma$
2	三级异常	$2.0\sigma\sim 2.5\sigma$
3	二级异常	$2.5\sigma\sim 3.0\sigma$
4	一级异常	$3.0\sigma\sim$ 最大值

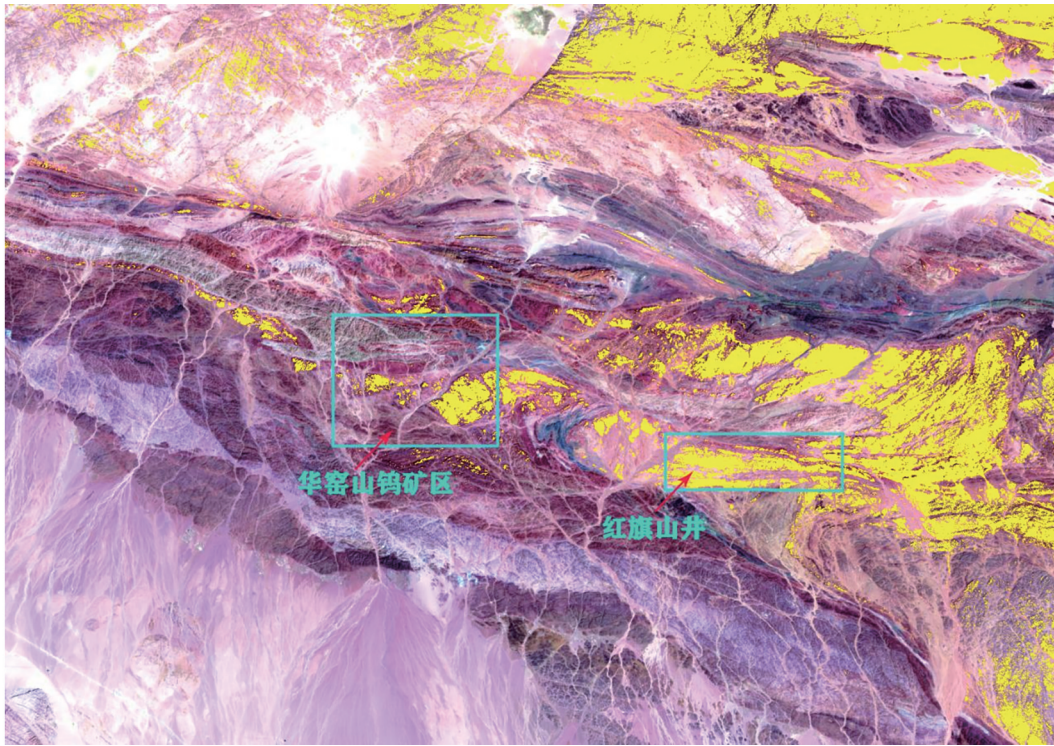


图 3 研究区内红旗山井与华窑山钨矿羟基异常对比图

Fig. 3 Comparison Diagram of Hydroxyl Anomaly between Hongqishanjing Tungsten deposit and Huayaoshan Tungsten deposit in the Study Area

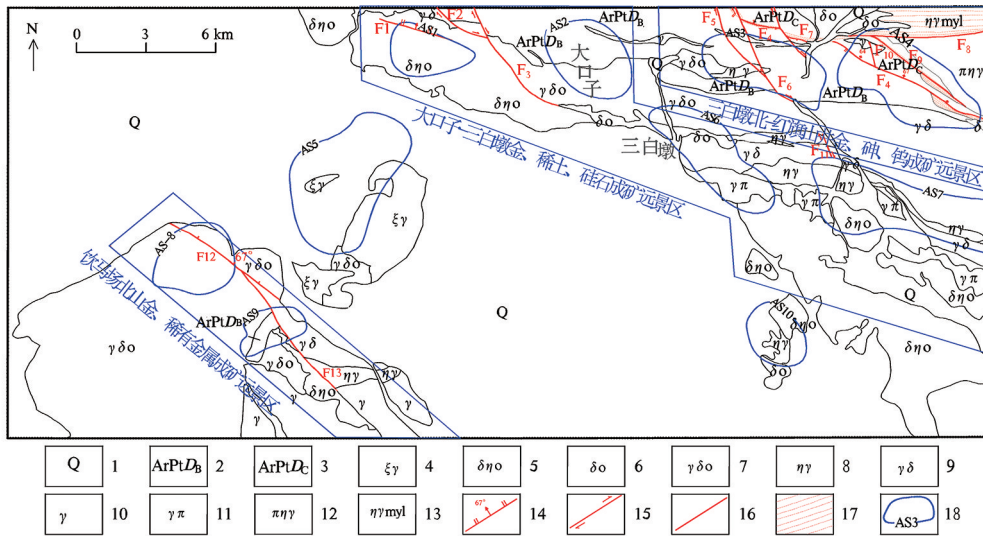


图 4 研究区找矿远景区

Fig. 4 Potential of the study area

1. 第四系冲积物; 2. 敦煌岩群 B 岩组; 3. 敦煌岩群 C 岩组; 4. 正长花岗岩; 5. 石英二长闪长岩; 6. 石英闪长岩;
7. 英云闪长岩; 8. 二长花岗岩; 9. 花岗闪长岩; 10. 花岗岩; 11. 花岗斑岩; 12. 斑状二长花岗岩;
13. 糜棱岩化二长花岗岩; 14. 实测正断层及编号; 15. 右行平移断层及编号; 16. 性质不明断层及编号;
17. 糜棱岩化带; 18. 1 : 5 万水系沉积物测量综合异常位置及编号

(1) 三白墩北-红旗山井金、钨、钼远景区

主要有 B 岩组 (ArPtD_B)、C 岩组 (ArPtD_C)。

该远景区内出露的地层为敦煌岩群 (ArPtD)，

ArPtD_B 岩性为片麻岩、片岩、混合岩、混合岩化片

麻岩、变粒岩、大理岩透镜体等;ArPtD_c岩性为二云石英片岩、黑云石英片岩、绢云石英片岩、角闪斜长片麻岩夹石英岩、变粒岩,局部混合岩化作用较强、形成混合岩。NNW向断裂贯穿整个远景区,该断层在工作区内延伸约10 km,南东方向延伸出图幅,在临幅前红泉一带仍然可见。在断层通过处常有强烈的碎裂岩化,断层走向在110°~290°方向和140°~320°方向之间,并以120°~300°方向最为常见。

该找矿远景区位于红旗山井一带,其中包含1:5万航磁异常点M1341异常,1:5万水系沉积物异常AS-3、AS-4两个综合异常。通过异常查

证发现金矿点1处、砷矿点1处(图5)。另外,在红旗山井北通过遥感解译对比,发现钨矿化1处,圈定钨矿体4条,矿体主要赋存于花岗岩内,矿体特征见表8所述。

金矿点主要位于三白墩北侧,敦煌岩群B岩组(ArPtD_B)内,共圈定金矿体4条、金矿化体1条;砷矿点主要赋存于岩体与地层接触带中,共圈定砷矿体2条、砷矿化体1条,矿体呈透镜状产出,总体呈NNW向展布,出露宽1.10~2.93 m,ω(As)=3.02%~12.6%。三白墩矿(化)点金、砷矿体特征见表9所述。

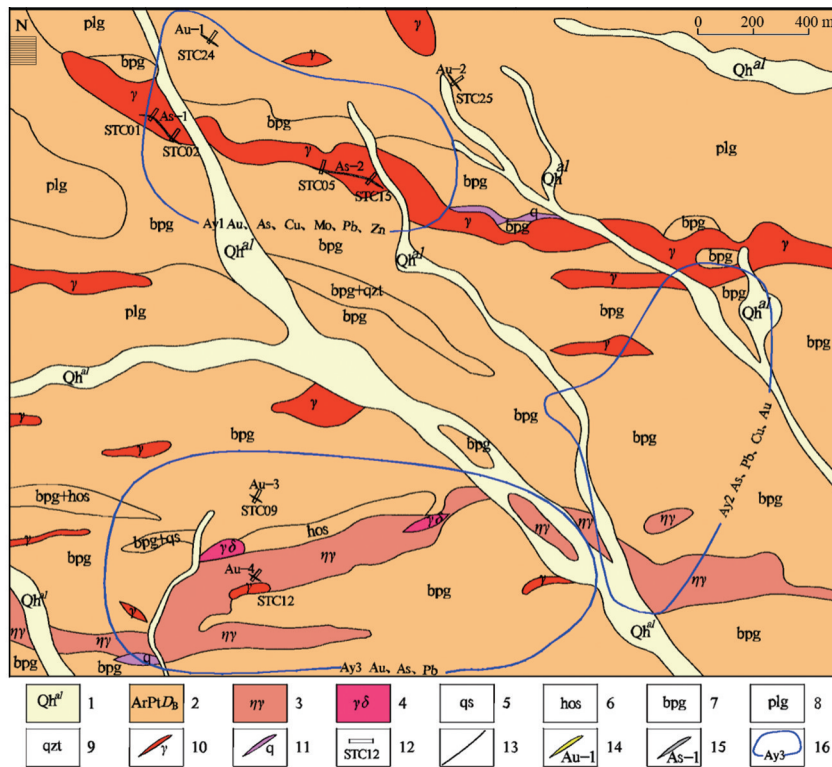


图5 三白墩金、砷矿地质图

Fig. 5 Geological map of Sanbaidun Au-As deposit

- 1. 第四系冲积物;2. 敦煌岩群B岩组;3. 二长花岗岩;4. 花岗闪长岩;5. 石英片岩;6. 角闪片岩;
- 7. 黑云斜长片麻岩;8. 角闪斜长片麻岩;9. 石英岩;10. 花岗岩脉;11. 石英脉;12. 探槽位置及编号;
- 13. 地质界线;14. Au矿体及编号;15. As矿体及编号;16. 综合异常及编号

表8 红旗山井北钨矿(化)点矿体特征

Table 8 characteristics of tungsten ore (mineralization) bodies in the Hongqishanjing north tungsten deposit

矿体编号	矿体规模/m		矿体平均品位	矿体特征		备注
	矿体平均厚度	矿体长度		形态	产状	
W1	0.84	120	1.87	透镜状	35°/75°	单工程控制
W2	0.98	120	0.453	透镜状	25°/82°	单工程控制
W3	0.81	120	2.78	透镜状	28°/79°	单工程控制
W4	0.99	120	2.15	透镜状	15°/80°	单工程控制

表 9 三白墩金砷矿(化)点矿体特征

Table 9 characteristics of Sanbaidun Au-As ore (mineralization) in the deposit

矿体编号	矿体规模/m		矿体平均品位	矿体特征		备注
	矿体平均厚度	矿体长度		形态	产状	
As1	1.24	205	10.01	透镜状	40°∠84°	2 个工程控制
As2	2.92	520	4.55	透镜状	218°∠60°	4 个工程控制
Au1	1.10	160	4.17	脉状	50°∠18°	单工程控制
Au2	0.97	160	1.53	脉状	120°∠48°	单工程控制
Au3	0.90	160	4.01	脉状	204°∠66°	单工程控制
Au4	1.76	160	11.61	脉状	14°∠84°	单工程控制

(2) 大口子—三白墩金、稀土、硅石找矿远景区

该远景区内出露的地层为敦煌岩群 C 岩组 (ArPtD_c), 岩性为二云石英片岩、黑云石英片岩、绢云石英片岩、角闪斜长片麻岩夹石英岩、变粒岩, 局部混合岩化作用较强, 形成混合岩; 地层整体走向与区域构造线基本一致, 为 NWW 向, 与南侧志留纪花岗闪长岩体呈侵入接触关系。区内主断裂主要为 NW 向断裂, 规模较大, 位于西白园头山一带, 延伸长度 3.5~11 km。区内出露的侵入岩主要为志留系的石英闪长岩及花岗闪长岩体, 沿区域构造线 NW 向呈岩脉状产出, 出露面积较大。地层与岩体接触部位多见褐铁矿化、硅化、绿帘石化等。

该远景区内包含 1:5 万水系沉积物综合异常 AS-1、AS-2、AS-6、AS-7。通过化探和遥感异常查证, 已发现铜矿点 4 处, 磁铁矿化点 1 处, 稀土矿化点 1 处, 硅石矿化点 1 处, 硅石矿 1 处。

(3) 饮马场北山金、钨稀有金属成矿远景区

该远景区出露地层主要为敦煌岩群 C 岩组 (ArPtD_c), 岩性组合为二云石英片岩、黑云石英片岩、绢云石英片岩、角闪斜长片麻岩夹石英岩、变粒岩, 局部混合岩化作用较强, 形成混合岩; 地层整体走向为 NW 向, 南侧与二叠纪英云闪长岩呈侵入接触关系, 北侧与二叠纪花岗闪长岩体呈断层接触关系。区内发育二叠纪英云闪长岩岩基及二叠纪石英二长闪长岩岩枝, 石英二长闪长岩呈岩枝侵入于英云闪长岩。敦煌岩群被后期英云闪长岩体吞噬而呈残留体分布, 其接触带普遍具绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等。区内发育 NW 向断裂, 该断裂位于饮马场北山一带, 延伸长度大于 5 km, 断层产状 300°∠65°, 为正断层。断层所处位置为交叉的线性负地貌, 微具弧形弯曲, 有 100 m 宽的断层破碎带; 局部具断层三角面, 裂隙发育, 并伴有花岗岩脉侵入, 多呈陡坎状。

目前在该远景区异常查证发现金矿化点 1 处。

6 结语

随着时间的迁移, 常规找矿已不能达到找矿需求, 多元信息找矿正在逐渐成为找矿主流。本次通过对甘肃北山大口子一带地质条件、地球化学信息、遥感异常及矿化蚀变信息提取进行综合分析、对比、研究, 并通过稀疏工程验证, 达到了较好的找矿效果。这次综合找矿的成功运用, 可以推广到浅覆盖区及基岩出露较差区域进行找矿工作。

参考文献:

- [1] 刘磊, 张兵, 周军, 等. 云南思姑锡矿区地质、化探、遥感多元信息综合找矿研究[J]. 地质与勘探, 2008, 44(5): 70-75.
- [2] 李玉芹, 王学贞, 梁启军, 等. 河南新县苏河钨矿地质-地球化学综合找矿效果及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(4): 608-613.
- [3] 于建华, 彭中勤. 基于遥感与分散流异常综合找矿预测研究[J]. 华南地质与矿产, 2015, 31(1): 67-76.
- [4] 米文满, 罗先熔, 张琳琳, 等. 甘肃金川南延铜镍硫化物矿床物化探综合找矿研究[J]. 广西科学, 2011, 18(3): 249-252.
- [5] 张兵, 周军, 王军年, 等. 新疆达尔布特构造带多元信息综合找矿研究[J]. 地质找矿论丛, 2009, 24(2): 166-171.
- [6] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 蒙-甘-新相邻(北山)地区综合找矿预测与评价[C]//中国地质学会、国土资源部地质勘查司. “十五”重要地质科技成果暨重大找矿成果交流会材料二: “十五”地质行业获奖成果资料汇编. 中国地质学会、国土资源部地质勘查司, 2006: 176-177.
- [7] 赵吉昌, 范应, 雷一兰, 等. 构造地球化学岩屑测量在甘肃党河南山地区找金中的应用[J]. 物探与化探, 2021, 45(4): 923-932.
- [8] 雷自强, 陈杰, 陈世明, 等. 岩屑地球化学测量在甘肃北山干旱戈壁荒漠区的找矿效果—以三白墩地区金砷矿的发现为例[J]. 物探与化探, 2022, 46(3): 585-596.
- [9] 陈杰, 余君鹏, 李向民, 等. 祁连西段德勒诺尔-石板墩地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 地质与勘探, 2021, 57(1): 94-109.
- [10] 陈世强, 李省晔, 柴永全, 等. 北祁连西段吊达坂地区水系沉积

- 物地球化学特征及找矿预测[J]. 地质找矿论丛, 2020, 35(3): 322-331.
- [11] 刘永彪, 李省晔, 赵吉昌, 等. 岩屑测量在甘肃北山水系沉积物测量弱异常区的找矿效果: 以盐池黑山南金矿的发现为例[J]. 现代地质, 2022, 36(6): 1525-1537.
- [12] 刘建宏, 张新虎, 牛洪斌, 等. 甘肃省区域地球化学场特征[J]. 甘肃地质, 2015, 24(4): 1-15.
- [13] 于海峰, 梅华林, 李铨, 等. 甘肃北山南带巨型韧性剪切带一条大型金矿成矿带[J]. 中国地质, 1998(3): 23-25.
- [14] 杨镇熙, 赵吉昌, 荆德龙, 等. 甘肃北山前红泉地区斑状花岗闪长岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2021, 40(1): 228-241.
- [15] 潘桂堂, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [16] 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等. 中国成矿区(带)的划分[J]. 矿床地质, 2006(25): 1-6.
- [17] 顾娇杨, 腾家欣, 冯治汉, 等. 甘肃地球化学景观特征及区域地球化学方法技术评价[J]. 西北地质, 2003, 36(3): 111-114.
- [18] 戴慧敏, 代雅键, 马振东, 等. 大兴安岭查巴奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 1043-1050.
- [19] 朱有光, 蒋敬业, 李泽九, 等. 试论我国重要景观区中景观表生因素对金·铜区域地球化学异常标志的影响[J]. 物探与化探, 2001(6): 418-424.
- [20] 徐仁廷. 甘肃北山干旱荒漠景观化探方法技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [21] 陈世明, 杨镇熙, 雷自强, 等. 甘肃北山前红泉地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 现代地质, 2022, 36(6): 1513-1524.
- [22] 何进中. 试论甘肃省特殊景观区区域化探[J]. 物探与化探, 2002(2): 102-105.
- [23] 杨帆, 孔牧, 刘华忠, 等. 北山干旱荒漠戈壁残山景观 1:5 万地球化学勘查方法技术的选择[J]. 物探与化探, 2011, 35(3): 308-312+332.
- [24] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. ETM~+(TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用—方法选择和技术流程[J]. 国土资源遥感, 2003(2): 44-49+78.

Application of integrated Geological, Geochemical and Remote Sensing data to Prospecting in Dakouzishan area, Beishan district, Gansu province

FANG Chenghao, CHEN Jie, YANG Zhenxi, LEI Ziqiang,
HUANG WeiHua, WANG Zhen

(The Fourth Institute of Geological and Mineral Exploration of Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract: Dakouzishan area is located in the north of Yumen City, Gansu Province. Most of the area is covered by the Quaternary system with rare bedrock outcrops. Traditional prospecting has made little breakthroughs in the area. The authors collect and integrate geological, geochemical and remote sensing data to screen ore-causing anomalies. As a result 5 gold (mineralized) bodies, 2 arsenic ore bodies, 1 wolastonite ore body and 4 tungsten ore (mineralized) bodies have been located. The integration method is effective for prospecting in such areas with shallow cover and rare bed rock outcrops.

Key Words: Dakouzishan area; area with shallow cover; multi-data integration for prospecting; ore-causing anomaly; the south Beishan belt; Gansu province