

doi: 10.12029/gc20200217

王磊, 胡兆国, 李向民, 闫海忠, 杨超. 2020. 甘肃省党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景预测[J]. 中国地质, 47(2): 516–527.

Wang Lei, Hu Zhaoguo, Li Xiangmin, Yan Haizhong, Yang Chao. 2020. Geochemical characteristics of stream sediments and prediction of mining prospects in the Wulandaban—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province [J]. *Geology in China*, 47(2): 516–527 (in Chinese with English abstract).

## 甘肃省党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景预测

王磊<sup>1,2</sup>, 胡兆国<sup>3</sup>, 李向民<sup>1,2</sup>, 闫海忠<sup>3</sup>, 杨超<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局造山带地质研究中心, 陕西 西安 710054; 3. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 山东 济南, 250014)

**摘要:** 党河南山位于南祁连地块北缘, 以党河断裂为界, 北邻中祁连, 属南祁连 Au、Pb、Zn、Cu、Ni、W、Cr 成矿带。金矿为该成矿带的主要矿种, 素有 72 道金沟之称, 目前已发现贾公台、黑刺沟等大中型金矿床 2 处, 小型金矿床及金矿点 10 余处。乌兰达坂沟—扎子沟地区位于党河南山中段, 小比例尺化探显示金异常强烈, 且区内可见大量的砂金采矿点及民采坑洞, 显示了该地区良好的找矿地质条件。本文是在对区内开展调查研究基础上, 利用 1:5 万水系沉积物测量, 对区内地球化学特征、元素分布特征、元素相关性及相关异常元素组合特征等进行相关分析研究, 并结合异常区内地层、构造、岩浆岩及矿化蚀变特征等成矿地质条件, 圈定成矿远景区。通过本次工作在该地区圈出 11 处金的成矿远景区, 并对其进行了分类排序。一类成矿远景区有扎子沟南、钓鱼沟脑、钓鱼沟、红庙沟、背架子—乌兰达坂沟成矿远景区, 对一类成矿远景区内地质成矿条件进行了概略论述, 并对其下一步工作提出了建议。成矿远景区的圈定为该地区下一步继续找矿工作提供了重要的参考。

**关键词:** 水系沉积物; 地球化学特征; 成矿远景区; 矿产勘查工程; 党河南山; 祁连山; 甘肃省  
中图分类号: P641.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2020)02-0516-12

## Geochemical characteristics of stream sediments and prediction of mining prospects in the Wulandaban—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

WANG Lei<sup>1,2</sup>, HU Zhaoguo<sup>3</sup>, LI Xiangmin<sup>1,2</sup>, YAN Haizhong<sup>3</sup>, YANG Chao<sup>3</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Center for Orogenic Belt Geology, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Shandong Zhengyuan Institute of Geological Exploration, China Central Bureau of Metallurgy and Geology, Jinan 250014, Shandong, China)

**Abstract:** Danghe South Mountain is located at the northern edge of South Qilian massif, bounded by the Danghe River, and neighbors the central Qilian massif in the north. It belongs to the South Qilian Au, Pb, Zn, Cu, Ni, W, and Cr metallogenic belt. The gold deposit is the main mineral species in the metallogenic belt. It is known as 72 gold ditches. At present, two large or medium-

收稿日期: 2018-01-15; 改回日期: 2019-05-13

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160012, DD20190521)资助。

作者简介: 王磊, 男, 1985 年生, 工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事成矿规律研究; E-mail: leiwang@163.com。

sized gold deposits have been discovered, and there are more than ten small gold ore spots. Wulandaban-Zhazigou area is located in the middle of the Danghe South Mountain. A large number of gulch-gold mining sites can be seen in the area, showing good geological conditions for prospecting in this area. Based on the investigation and study of the area, the authors analyzed the geochemical characteristics, elemental distribution characteristics, elemental correlation and abnormal elemental combination characteristics in the study area by using 1:50,000 stream sediment survey. Combined with the geological conditions such as strata, structures, magmatic rocks and mineralization alteration characteristics in the area, the authors delineated the metallogenic prospective areas. Through this work, 11 metallogenic prospective areas of gold were delineated which could be divided into three types. The first type includes the south of Zhazigou, Diaoyugou, Diaoyugou, Hongmiaogou and Beijiazhi-Wulandabangou metallogenic prospective areas. The authors also discussed the minerogenetic condition and put forward some suggestions concerning further work in the first type metallogenic prospective areas. Delineation of the metallogenic prospective areas provides important reference for further prospecting work.

**Key words:** stream sediments survey; geochemical characteristics; prospecting potential area; mineral exploration engineering; Danghe South Mountain; Qilian Orogenic Zone; Gansu Province

**About the first author:** WANG Lei, male, born in 1985, engineer, mainly engages in the study of geotectonics and metallogenic regularity; E-mail: tleiwang@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (DD20160012, DD20190521).

## 1 引言

地球化学找矿是获取成矿直接信息,寻找隐伏、半隐伏、难识别矿的最主要手段,是由传统宏观矿化露头找矿向微观找矿的延续(薛顺荣等,2008;张再天等,2013;刘邦定等,2015)。水系沉积物地球化学找矿是一种经济、有效、广泛应用的找矿方法,取得了良好的找矿效果(林才浩等,1996;李通国等,2003;董毅等,2009;刘乃忠等,2011;贾玉杰等,2013;张运强等,2015;赵娟等,2016;王磊等,2016;张国宾等,2017;杜保峰等,2018)。针对党河南山地区高海拔、切割深的恶劣环境,运用水系沉积物地球化学测量方法可以快速、有效缩小找矿靶区,起到事半功倍的效果。本次主要对党河南山中西段乌兰达坂沟至扎子沟一带进行了1:5万水系沉积物地球化学测量,面积约1300 km<sup>2</sup>。通过工作,查明了成矿及其伴生元素地球化学分布特征,圈定了地球化学异常,结合成矿地质背景优选了找矿靶区,同时查明了与成矿作用有关的地层、岩体、构造等地球化学特征,为下一步找矿工作部署及成矿规律研究提供了基础依据。

## 2 研究区概况

党河南山地区位于甘肃省南祁连构造带西段党河以南,西接阿尔金断裂,东到东经97°,呈NW向

展布,东西长约250 km,南北宽20~50 km(戴霜等,2016;夏林圻等,2016)。海拔在3600~5700 m,相对高差500~1200 m,山势陡峻,沟谷纵横,地形切割强烈。其大地构造位置位于柴达木板块北缘早古生代被动陆缘上发育的党河南山裂谷造山带(李汉光等,2007;潘桂棠等,2009)。区内构造活动强烈,断裂和褶皱构造发育。主要发育3组断裂。分别呈北西-南东向、近东西向和北东向,其中北西-南东向断裂和东西向断裂形成时间较早,为区内基底性断裂,北东向断裂为其派生构造。区内发育的北西向断裂主要有扎子沟—乌兰达坂沟口断裂、清水沟脑—古穆博里达岭断裂及清水沟南—玉勒昆且尔德断裂。这3条断裂及其次级断裂对区内矿床分布具有一定的控制作用。区内产出有众多的金及多金属矿床(点),其中以金矿资源为主,目前发现有黑刺沟金矿床、贾公台金矿床、哈熊掌金矿床、东三湾金矿床、鸡叫沟金铜矿床等,显示研究区具有较好的成矿地质条件(图1)。

区内岩浆岩活动主要受区域地质构造演化的影响,以加里东晚期中酸性侵入岩为主,岩性相对单一,其主要分布于党河南山的北坡,其中,清水沟—半截沟一带侵入岩最为发育,形成较大的花岗闪长岩岩体,其侵入至奥陶系和志留系之中。此外,在黑刺沟、野牛沟和贾公台一带见少量侵入岩小岩株和岩枝,岩性主要有花岗闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩等。

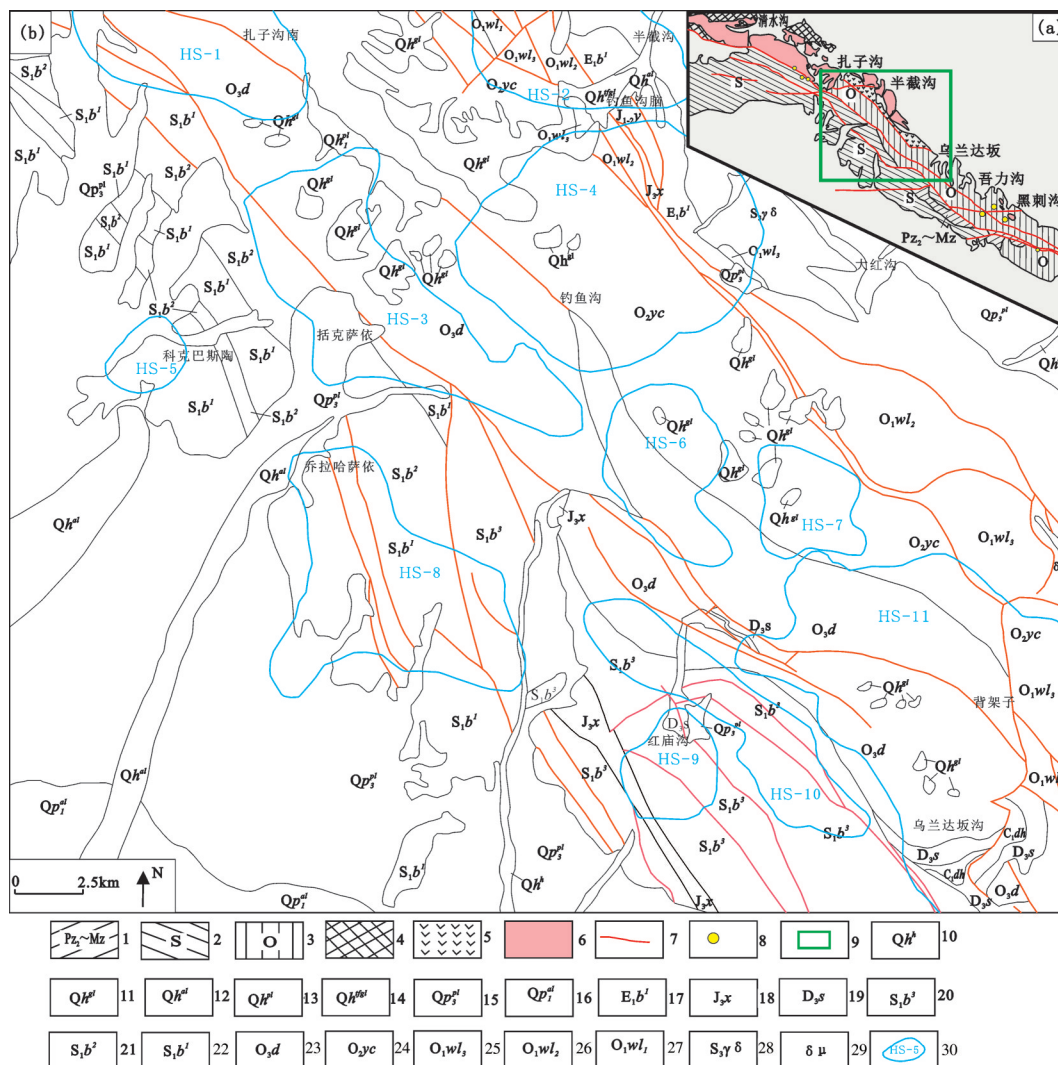


图1 甘肃省党河南山地质略图(a)及乌兰达坂沟—扎子沟地区地质简图(b)(附综合化探异常)(据1:20万月牙湖幅修编)  
 1—晚古生界—中生界沉积盆地;2—志留纪地层;3—奥陶纪地层;4—元古界地层;5—奥陶纪火山岩;6—加里东期岩浆侵入岩;7—断裂构造;  
 8—金矿床(点);9—水系沉积物测量范围;10—全新统沼泽盐碱滩沉积亚砂土、亚粘土、淤泥;11—全新统冰川雪粒与冰;12—全新统洪积砂砾  
 石层;13—全新统冲积砾石、碎石夹砂与亚粘土;14—全新统冰水堆积岩块、漂砾、泥砂;15—更新统洪积砾石与砂砾石;16—更新统冲积砾石  
 与砂岩;17—古新统白杨河组;18—侏罗系享堂组;19—泥盆系砂流水组;20—志留系巴龙贡嘎尔组砂板岩段;21—志留系巴龙贡嘎尔组变质  
 砂岩段;22—志留系巴龙贡嘎尔组片岩段;23—奥陶系多索曲组;24—奥陶系盐池湾组;25—奥陶系吾力沟群结晶灰岩组;26—奥陶系吾力沟  
 群中酸性火山岩组;27—奥陶系吾力沟群中基性火山岩组;28—中酸性侵入岩;29—闪长玢岩脉;30—化探综合异常及编号

Fig.1 Geology sketch of Wulandabangou—Zhazigou area in Danghe south mountains, Gansu Province(modified from 1:200000 Yueyahu geologic map)

1—The late palaeozoic—Mesozoic sedimentary basin; 2— Silurian strata; 3— Ordovician strata; 4— Proterozoic strata; 5— Ordovician volcanic rock; 6—Caledonian intrusive rocks; 7— Fault structures; 8—Gold ore deposits(occurrences); 9—Measurement range of the stream sediments; 10—Holocene moor, salt, sand loam, mild clay and sludge; 11—Holocene glacial snow and ice; 12—Holocene pluvial sandy gravel stratum; 13—Holocene alluvial gravel layer; 14—Holocene glacial debris; 15—Pleistocene sandy gravel stratum; 16—Pleistocene alluvial gravel layer; 17—Paleocene Baiyanghe formation; 18—Jurassic Xiangtang formation; 19—Devonian Shalishui formation; 20—Sandstone and slate member of Silurian Balonggonggaer formation; 21—Metasandstone member of Silurian Balonggonggaer formation; 22— Schist member of Silurian Balonggonggaer formation; 23— Ordovician Duosuoqu formation; 24— Ordovician Yanchiwan formation; 25—Crystalline limestone member of Ordovician Wuligou group; 26—Intermediate—acid volcanic rock member of Ordovician Wuligou group; 27—Meso—basic volcanic rock member of Ordovician Wuligou group; 28—Intermediate—acid intrusion; 29—Diorite—porphyrite veins; 30—Composite geochemical anomalies and serial number

已发现的金矿床(点)多数位于岩体与地层接触带附近,显示成矿过程中岩体的重要作用。

区内出露地层有奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、侏罗系、古近系和第四系,其中以奥陶系、志留系最为发育,构成党河南山主体。奥陶纪地层为一套海相浅变质、弱变形的火山—沉积岩系,由奥陶系下统吾力沟群、中统盐池湾组 and 上统多索曲组构成。

吾力沟群可划分为3个岩组,各组之间呈断层接触关系。一组以灰绿色中基性火山岩为主,岩性主要有灰绿色碎裂岩化变玄武岩、硅化变玄武岩、变安山岩。其主要分布于白石头沟西侧,呈断块形式产出,北西向展布;二组以灰绿色中基性火山岩、火山碎屑岩为主夹浅灰绿色陆源碎屑岩和灰白色粉晶灰岩为主,岩性组合为英安质熔角砾岩、安山质火山角砾岩、火山集块岩、安山质熔角砾岩、安山质晶屑凝灰岩、变安山质晶屑—岩屑凝灰岩、变安山岩、变玄武岩及杏仁状玄武岩、变岩屑长石杂砂岩、硅质岩、粉晶灰岩等。其主要出露于小红沟—白石头沟一带;三组以浅灰白色、浅灰黑色粉晶灰岩为主,局部夹灰绿色变长石岩屑杂砂岩。

盐池湾组以陆源碎屑沉积岩为主,底部夹少量火山岩。岩石组合主要有灰绿色变长石岩屑杂砂岩、变长石石英杂砂岩、变长石杂砂岩、变砂质粉砂岩、绢云千枚岩、绢云绿泥斜长千枚岩、浅灰绿色变安山岩、杏仁状玄武岩、变英安岩、流纹质含集块火山角砾岩等。出露于钓鱼沟至扎子沟一带,呈北西向带状展布,其与多索曲组和吾力沟群呈断层接触。

多索曲组以陆源碎屑沉积岩为主,局部夹少量中基性火山岩,岩石组合有灰绿色变长石岩屑杂砂岩、变岩屑杂砂岩、变长石杂砂岩、变粉砂岩、绢云绿泥板岩、绿帘绿泥片岩、变质火山角砾岩、变安山质角砾凝灰岩、变玄武岩等。主要分布于党河南山主峰两侧,呈北西—南东向带状展布,北与盐池湾组呈断层接触,南与巴龙贡嘎尔组亦呈断层接触。

志留纪巴龙贡嘎尔组主要分布于党河南山南坡,呈北西向带状展布,为一套陆源碎屑岩及火山碎屑岩为主的地层序列,北与多索曲组呈断层接触,南被第四系覆盖。可划分为砂板岩段、变质砂岩段和片岩段,其中片岩段地层时代存在争议。

泥盆系和石炭系为一套具有海陆交互的沉积岩,呈条带状、楔状分布。侏罗系主要为含煤碎

屑岩夹泥岩组合,分布于互不连接的山间盆地或断陷盆地中。古近系为一套砾岩夹砂岩。

党河南山一带水系沉积物整个流域的金含量均为中高值( $> 1.25 \times 10^{-9}$ ),流域内水系沉积物的金平均值为 $2.5236 \times 10^{-9}$ ,是中国平均值的1.812倍(即富集系数)。1:20万地球化学扫面在该区主要圈定了两处较大的地球化学异常,一处位于扎子沟一带,一处位于黑刺沟一带。黑刺沟一带已经查明中型金矿2处,金矿点多处,而在扎子沟一带勘查程度相对较低,仅查明3处金矿化点,大比例尺地质找矿工作基本属空白区。鉴于研究区内存在相对较大的1:20万金的地球化学异常,异常浓集中心及分带明显,具有良好的找矿前景,在该地区开展了1:5万水系沉积物测量工作,通过本次工作,圈定了重要的成矿远景区,为本区进一步地质找矿工作提供了重要的参考资料。

### 3 数据处理及分析

#### 3.1 地球化学景观及样品采集分析

地球化学景观是制定化探工作方法及异常解释的重要依据。研究区年降雨量较少,多集中在夏季、秋季,水系呈树枝状。沟谷切割强烈,机械搬运形成的水系沉积物发育。该区以物理风化为主,化学风化次之,基岩破碎。4500 m以上发育现代冰川,4000~4500 m为高寒冻土层,4000 m以下植被发育。根据景观特征,将工作区分为半干旱草原荒漠区、半干旱丘陵—峡谷区、干旱半干旱高寒山区,不同景观区采用不同的采样方法。

样品的采样及加工粒级为-10~+80目。本次完成1250 km<sup>2</sup>水系沉积物测量工作,共采集样品5610件,每个采样点控制的汇水面积在0.125~0.25 km<sup>2</sup>,采样平均密度为4.49个/km<sup>2</sup>。每个样品由相隔5 m左右的3~5个采样点组成。采集样品一般以I、II级水系中的细砂—粗砂冲积物为主。样品过筛后重量不少于300 g。采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)、粉末发射光谱法(ES)、原子荧光光谱法(AFS)、石墨炉原子吸收光谱法(GF-AAS)等多元素配套分析方法,分析了Au、Hg、Ag、Sn、As、Sb、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、Mo、Ni、Pb、W、Zn 16种元素。样品加工、测试分析均由中国冶金地质总局山东局测试中心完成。16种元素的分析检出限均低

于或等于规范要求。各元素的检出率均大于90%。分析方法的准确度和精密度采用国家一级标准物质GBW12个水系沉积物标准样品多次分析进行检验,合格率为100%。样品分析完成后,对每个元素进行统计,化验样品报出率均大于99.9%,符合规范要求。

### 3.2 异常下限的确定

异常下限是根据背景值按一定置信度确定的异常起始值,是分辨地球化学背景和异常的一个量值界限。异常下限在矿产勘查和预测中占有十分重要的地位,随着人们对地球化学数据分布特征的认识,已发展了多种计算方法(孙忠军,2007)。确定异常下限的方法常用的有传统统计法、概率格纸图解法、多重分析法和累积频率法等,本次采用GeoIPAS软件,对研究区水系沉积物测量原始数据,利用迭代剔除法剔除大于特高值( $X+3S$ )和小于特低值( $X-3S$ )的数据,计算各元素的背景平均值( $X_0$ )、标准离差( $S_0$ )、变异系数,利用 $X_0+2S_0$ 计算出测区各元素异常下限(计算值),综合考虑计算值、累计频率值和地质背景等因素,确定了区内各元素的水系沉积物异常下限值,见表1。

## 4 地球化学特征

数据处理采用新疆金维软件公司的GeoIPAS软件完成。首先采用循环叠代法剔除平均值范围以外 $\pm 3$ 倍标准离差的离散数据,然后统计全区和各地质单元的水系沉积物地球化学指标特征参数统计结果见表2。

### 4.1 地质单元地球化学特征

由表2可以看出,在各个地质单元中各元素含量差异明显,某一特定元素高值区与特定地层或者岩浆岩套合较好,一些元素在特定地层或岩浆岩区呈相对富集,这与研究区内已知的矿产特征相吻合。通过表1,可以得出研究区内各个地层主要的相对富集元素组合特征(表3),富集元素较多的地层有奥陶系吾力沟群中基性火山岩组( $O_{1wl_1}$ )、结晶

灰岩组( $O_{1wl_3}$ )和奥陶系盐池湾组( $O_{2yc}$ )、多索曲组( $O_{3d}$ ),其次为泥盆系沙流水组和侏罗系窑街组。Au主要富集于奥陶系吾力沟群、奥陶系盐池湾组、始新世白杨河组,平均含量大于 $3 \times 10^{-9}$ ,为高背景区。志留系巴龙贡嘎尔组Au含量相对较低,低于全区背景值 $1.881 \times 10^{-9}$ ,为低背景区。Cu、Co、Cr、Ni元素与Au元素分布情况类似,在奥陶系吾力沟群、盐池湾组、始新世白杨河组含量相对较高。

### 4.2 变异系数

变异系数反映了地质体内元素的变异程度,变异系数的大小亦可从侧面显示元素成矿希望的大小,变异系数越大,成矿的可能性就越大(戴慧敏等,2012)。对全区14种成矿元素分别计算其原始数据集的变异系数( $C_{v1}$ )和剔除高值后的变化系数( $C_{v2}$ )。  $C_{v1}$ 反映元素地球化学场的相对变化幅度,  $C_{v2}$ 反映背景值计算时的削平程度,  $C_{v1}/C_{v2}$ 是衡量元素含量数据集离散程度的重要指标(周晓中等,2009)。利用上述两个参数绘制的元素变异系数图可以反映含量变化程度、高强数据的多少,从而进一步反映富集成矿的可能性。由图2可以看出,元素明显的可分为4组,第一组为分异最强的Au元素,其分异程度达到了4.75,显示了较强的成矿可能性,这也与本区存在多处金矿(点)相一致;第二组元素为As、Sb、Hg、Ag,这4种元素通常为金的伴生元素,但也不排除成矿的可能性;第三组元素为Cr、Mo、W;第四组为Ni、Pb、Cu、Co、Sn、Zn,变异系数相对较小,成矿可能性较小。因此,本区Au为主成矿元素,以找金为主。

### 4.3 元素组合特征

聚类分析以变量之间的相似程度为基础,直观地对变量进行分类处理,将变量分成不同级别的类或点群。R型聚类分析可以了解个别变量之间以及各个变量组合之间的亲疏程度(刘邦定等,2015)。研究区16种元素R型聚类分析结果见图3。由图3可见, $R > 0.6$ 的元素对有Cr-Ni、Co-Cr、Sn-Bi、Cu-Zn、Co-Cu共5个; $0.5 < R < 0.6$ 的元素对有As-

表1 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区各元素水系沉积物异常下限值

Table 1 The abnormal limits of different elements in stream sediments of Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

元素名称	Au	Hg	Ag	Sn	As	Sb	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	W	Zn
异常下限	4.8	15.28	0.07	3.01	24.61	1.13	0.14	20.40	123.07	41.17	1.14	55.20	24.86	1.894	84.28

注: Au、Hg元素单位为 $10^9$ ,其余为 $10^6$ 。

表2 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区各地质单元水系沉积物元素含量平均值  
Table 2 The average element content of different strata in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

地质单元	样品数	各元素在各地质单元中平均含量															平均含量之和	
		Au	Hg	Ag	Sn	As	Sb	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	W		Zn
全区	5264	1.88	9.34	0.05	2.04	10.46	0.51	0.23	0.10	13.56	65.63	25.64	0.65	30.93	18.37	1.22	63.71	244.31
Qh	329	2.68	9.38	0.04	1.51	9.81	0.47	0.17	0.09	11.39	60.06	22.86	0.70	24.40	15.65	1.08	51.09	211.38
Qp <sub>3</sub>	1078	1.63	8.16	0.05	1.75	8.76	0.42	0.26	0.10	10.69	51.77	21.27	0.60	22.85	18.50	2.23	50.18	199.22
Qp <sub>1</sub>	89	2.87	7.33	0.04	1.58	13.60	0.41	0.17	0.08	16.01	94.04	31.57	0.53	36.99	15.71	0.79	59.21	280.93
E <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	23	2.74	13.08	0.06	1.68	9.78	0.62	0.19	0.11	12.21	65.97	26.07	0.52	31.80	15.98	1.17	61.04	243.01
E <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	226	3.47	12.07	0.05	1.45	8.77	0.55	0.20	0.11	13.76	71.11	30.86	0.74	28.52	16.33	0.98	59.98	248.95
J <sub>3</sub> x	35	1.86	7.76	0.05	2.24	15.83	0.61	0.21	0.09	12.02	62.06	21.07	0.61	28.08	18.68	1.30	59.75	232.21
J <sub>1-2</sub> y	8	19.89	15.66	0.05	1.27	9.42	0.62	0.22	0.10	18.13	112.36	39.64	0.99	45.54	14.04	1.16	63.99	343.06
C <sub>1</sub> dh	33	2.00	9.91	0.06	2.83	13.21	0.78	0.32	0.10	13.00	67.60	21.06	0.67	31.80	19.54	1.67	60.22	244.76
D <sub>3</sub> s	63	2.24	12.57	0.05	2.81	27.07	0.97	0.31	0.11	15.42	83.24	24.50	0.54	35.71	18.45	1.84	66.88	292.70
S <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	530	1.54	9.63	0.05	2.44	13.58	0.57	0.25	0.11	13.91	61.81	23.87	0.77	29.75	21.15	1.46	69.50	250.38
S <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	268	1.19	8.19	0.05	2.05	6.87	0.38	0.19	0.12	10.40	37.18	17.41	0.59	18.24	19.25	1.22	64.54	187.86
S <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	783	2.00	8.51	0.06	1.72	9.28	0.42	0.20	0.12	13.34	57.52	21.75	0.85	28.64	19.08	0.95	57.93	222.36
O <sub>3</sub> d	1085	2.87	11.45	0.06	2.62	15.78	0.78	0.31	0.10	17.12	92.62	33.24	0.69	43.04	20.44	1.56	76.95	319.61
O <sub>2</sub> yc	287	3.61	9.54	0.06	2.30	24.48	0.92	0.32	0.12	20.86	120.01	44.22	0.95	54.23	21.72	1.32	84.27	388.92
O <sub>1</sub> w <sub>3</sub>	175	3.90	14.20	0.06	2.31	18.02	1.25	0.30	0.11	15.76	97.18	31.58	0.68	48.20	21.11	1.58	74.82	331.06
O <sub>1</sub> w <sub>2</sub>	228	3.30	16.42	0.05	1.56	11.26	0.69	0.21	0.11	13.76	74.60	32.40	0.75	32.55	16.21	1.08	67.10	272.03
O <sub>1</sub> w <sub>1</sub>	15	7.64	19.83	0.09	1.20	19.65	1.90	0.23	0.21	17.11	106.03	48.55	0.89	40.69	21.27	0.98	75.37	361.63
γδ	218	2.25	7.88	0.04	1.64	3.97	0.25	0.17	0.09	9.23	37.50	17.23	0.74	12.97	19.09	0.82	47.33	161.20

注: Au、Ag、Hg元素含量单位为10<sup>-9</sup>,其他元素为10<sup>-6</sup>。

Sb、Sn-Pb两个; 0.4 < R < 0.5 的元素对有6组, 分别为 Sn-W、Cd-Mo、Ag-Cd、Sn-As、As-Co、Ag-Sn; Au和Hg具有相对独立性。根据R值大小可将16种元素分为4类, 第一类为Cu、Ni、Cr、Co、Zn元素组合, 与区内发育的奥陶系基性火山岩、火山碎屑岩有关; 第二类为As、Sb、Hg元素, 为低温元素组合, 与区内热液活动有关, 是寻找热液型矿物的标志之一; 第三类为W、Sn、Mo、Cd元素组合, 其与区内酸性岩体有关; 第四类为Au元素, 是区内的直接成矿元素, 是寻找金矿的直接指标。

### 5 综合异常圈定及找矿远景区划分

利用计算出的异常下限圈定单元素异常, 依据单元素异常特征、元素组合特征和研究区成矿地质条件, 共圈定综合异常11处。研究区南东侧已发现有黑刺沟和贾公台中型金矿床及振兴梁、狼查沟、东洞沟等金矿点, 5处矿床(点)属于同一矿床成矿系列的不同矿化类型或矿化类型组合, Au、As、Sb、Sn、Cu、Zn是该系列矿床的指示元素, 其中Au、As、Sb是各矿床共有的指示元素(金治鹏等, 2004)。借鉴已有矿床(点)地球化学特征, 并结合各异常区成

矿背景及元素地球化学特征筛选、评序, 研究区内划分出3类成矿远景区, 划分标准如下: 第一类远景区: 有已知矿点存在, 成矿条件良好, 地球化学异常分带明显, 元素组合较好; 第二类远景区: 成矿条件良好, 地球化学异常分带明显, 元素组合较好, 但目前异常区内尚未发现矿点或矿化线索; 第三类远景区: 为地球化学异常较明显, 但元素组合较差。利用以上分类标准对11处成矿远景区进行了分类, 一类成矿远景区有: 扎子沟南成矿远景区(HS-1)、钓鱼沟脑成矿远景区(HS-2)、钓鱼沟成矿远景区(HS-4)、红庙沟成矿远景区(HS-10)、背架子—乌兰达坂沟成矿远景区(HS-11); 二类成矿远景区有: 括克萨依成矿远景区(HS-3)、乔拉哈萨伊成矿远景区(HS-8)、红庙沟南成矿远景区(HS-9); 三类成矿远景区有: 科克巴斯陶远景区(HS-5)、大红沟西南远景区(HS-6)、大红沟南远景区(HS-7)。根据成矿条件差异, 现仅将一类成矿远景区的成矿地质条件及元素组合特征进行概述, 并提出了下一步的工作建议。

#### 5.1 扎子沟南金成矿远景区(HS-1)

扎子沟南金成矿远景区位于研究区北部, 整体

位于北西向党河南山的北坡,地理坐标为:东经 $95^{\circ}16'42'' \sim 95^{\circ}23'31''$ ,北纬 $39^{\circ}07'43'' \sim 39^{\circ}09'58''$ 。区内出露地层以奥陶系多索曲组杂砂岩、黑色板岩不等厚互层及底部的砾岩夹变安山岩、变玄武岩为主,奥陶系盐池湾组砾岩、砂岩、板岩韵律式互层,中上部位长石质硬砂岩、石英长石砂岩夹板岩。南部为志留系巴龙贡嘎尔组砂板岩段。异常北部见扎子沟石英闪长岩岩体侵入。褶皱断裂构造发育,构造挤压变形强烈,整体呈北西向,与异常走向基本一致,显示构造对异常具有一定的控制作用。该化探综合异常特征见表4。成矿远景区面积约 $30.5 \text{ km}^2$ ,形态似椭圆形,北侧未封闭,走向呈北西向,与构造线方向一致。平均衬度2.24,平均异常规模22.80。异常元素组合复杂,主成矿元素为Au,伴有Ag、Hg、Sb、Sn、Mo、Ni、Cr、Pb、As、W等异常,其中Ag、Au、Hg、Mo四种元素具三级浓度分带。主成矿元素Au极大值达到 $79.8 \times 10^{-9}$ ,比背景值高出16

表3 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区不同地质单元中相对富集元素组合

Table 3 The enriched elements in different geological units in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

地质单元	样品数	富集元素组合
Qh	329	
Qp <sub>3</sub>	1078	Bi、Mo、W
Qp <sub>1</sub>	89	As、Co、Cr、Cu、Ni
E <sub>1</sub> b <sup>2</sup>	23	Hg、Ag
E <sub>1</sub> b <sup>1</sup>	226	Au、Cd
J <sub>3</sub> x	35	Sn、As
J <sub>1-2</sub> y	8	Au、Hg、Co、Cr、Cu、Mo、Ni
C <sub>1</sub> dh	33	Ag、Sn、Sb、Bi、Pb、W
D <sub>3</sub> s	63	Hg、Sn、As、Sb、Bi、Co、Cr、Ni、W、Zn
S <sub>1</sub> b <sup>3</sup>	530	Sn、Bi、Mo、Pb、W、Zn
S <sub>1</sub> b <sup>2</sup>	268	Cd、Pb
S <sub>1</sub> b <sup>1</sup>	783	Ag、Cd、Mo
O <sub>2</sub> yc	287	Au、Ag、Sn、As、Sb、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、Mo、Ni、Pb、W、Zn
O <sub>3</sub> d	2085	Au、Hg、Sn、As、Sb、Bi、Co、Cr、Cu、Ni、Pb、W、Zn
O <sub>1</sub> w <sub>3</sub>	175	Au、Hg、Ag、Sn、As、Sb、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、Ni、Pb、W、Zn
O <sub>1</sub> w <sub>2</sub>	228	Au、Hg、Sb、Cu、Zn
O <sub>1</sub> w <sub>1</sub>	15	Au、Hg、Ag、As、Sb、Cd、Co、Cr、Cu、Mo、Ni、Pb、Zn
γδ	218	

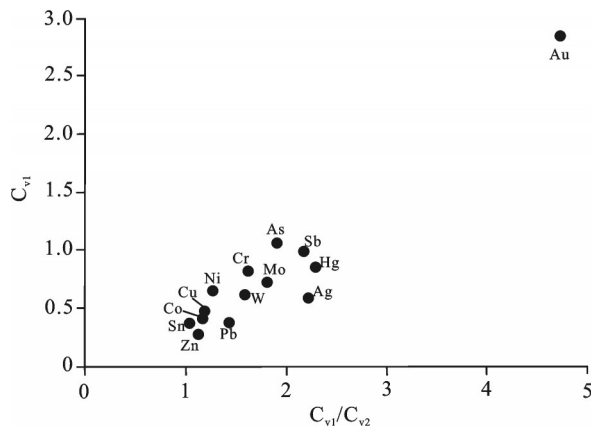


图2 甘肃省党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区元素变异系数解释分异程度图

Fig. 2 Differentiation degree explanation from variation coefficients in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

Cr—Ni 0.916 Co—Cr 0.809 Sn—Bi 0.685 Cu—Zn 0.677  
 Co—Cu 0.644 As—Sb 0.575 Sn—Pb 0.566 Sn—W 0.477  
 Cd—Mo 0.455 Ag—Cd 0.441 Sn—As 0.441 As—Co 0.432  
 Ag—Sn 0.418 Hg—Ag 0.274 Au—Hg 0.178

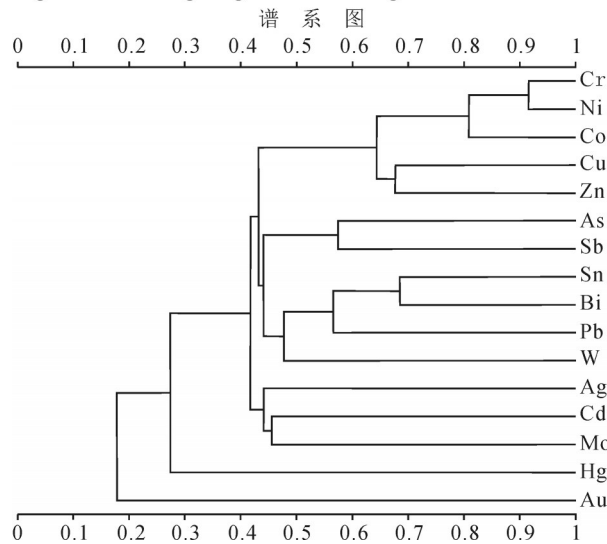


图3 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区水系沉积物元素R型聚类分析谱系图

Fig. 3 Cluster analysis diagram of elements from stream sediments in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

倍, Au异常平均值为 $21.11 \times 10^{-9}$ ,显示了该异常区内较好的金成矿潜力。

建议进行大比例尺填图工作,查明异常区内地层、岩浆岩及构造蚀变情况,寻找矿化线索,缩小找矿靶区,为进一步工程验证提供依据,寻求找矿突破。

表4 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区HS-1化探综合异常特征

Table 4 The characteristics of synthetic geochemical anomaly of HS-1 in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

异常编号	异常点数	异常面积/km <sup>2</sup>	极大值	平均值	标准离差	衬度值	异常规模	浓度分带
Au5	4	1.74	24.70	14.55	7.67	3.03	16.93	3
Au8	3	1.07	22.10	14.97	6.52	3.12	10.84	3
Au10	3	2.68	79.80	33.43	40.16	6.97	76.86	3
Au3	1	0.44	21.50	21.50	0.00	4.48	7.29	3
Ag4	4	1.41	1.23	0.38	0.57	5.41	0.43	3
Ag1	2	0.62	0.23	0.15	0.11	2.18	0.05	2
Ag3	2	0.58	0.16	0.15	0.01	2.14	0.05	2
As1	2	0.79	52.10	44.00	11.46	1.79	15.37	2
As3	2	0.31	51.80	39.25	17.75	1.60	4.51	2
Sb1	5	1.78	4.02	1.91	1.20	1.69	1.38	2
Sb3	1	0.32	2.46	2.46	0.00	2.18	0.42	2
Sb4	2	1.25	2.84	2.79	0.07	2.47	2.07	2
Hg2	1	0.41	104.00	104.00	0.00	6.81	36.34	3
Mo1	24	5.80	7.86	2.29	1.30	2.01	6.65	3
Mo5	10	2.11	3.51	1.99	0.66	1.74	1.78	2
Ni3	19	8.58	111.00	76.23	15.13	1.38	180.34	2
Bi3	9	2.33	1.12	0.61	0.26	1.66	0.57	2
Pb3	26	4.99	60.20	30.27	6.79	1.22	26.97	2
Cr1	12	2.11	361.00	196.67	67.41	1.60	155.11	2
W4	13	1.90	4.53	2.41	0.67	1.27	0.99	2

注:异常规模为算术平均值与异常下限之差乘以异常面积;Au、Hg元素单位为10<sup>-9</sup>,其余为10<sup>-6</sup>。

5.2 钓鱼沟脑金成矿远景区(HS-2)

钓鱼沟脑金成矿远景区位于半截沟口附近,地理坐标为:东经95°28'04"~95°34'26",北纬39°07'55"~39°09'57"。区内发育两组断裂构造,一组呈北东向,一组呈北西向,北东向切断北西向断裂,断裂两侧围岩蚀变破碎强烈。区内出露地层以奥陶系盐池组及吾力沟群为主。北部与第四系接触部位出露有始新统白杨河组,南部为奥陶系盐池湾

组。该异常东部为一志留纪花岗闪长岩岩体。半截沟内可见大量的民采砂金矿硐,充分显示了区内金的良好成矿潜力。该化探综合异常特征见表5。远景区面积约30.72 km<sup>2</sup>,走向呈近东西向。平均衬度为2.33,平均异常规模为15.23。主成矿元素为Au,伴有Ag、Hg、Mo、Pb、Cd等异常,其中Au、Mo、Bi三种元素具三级浓度分带。主成矿元素Au极大值达到77.6×10<sup>-9</sup>。建议对区内高值金异常进行追

表5 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区HS-2化探综合异常特征

Table 5 The characteristics of synthetic geochemical anomaly of HS-2 in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

异常编号	异常点数	异常面积/km <sup>2</sup>	极大值	平均值	标准离差	衬度值	异常规模	浓度分带
Au1	1	0.90	63.8	63.8	0	1.67	53.1	3
Au4	1	0.75	77.60	77.60	0	16.17	54.28	3
Au7	2	0.78	17.50	16.30	1.70	3.40	8.98	2
Ag5	4	1.16	0.14	0.13	0.02	1.82	0.07	2
Hg1	1	0.41	35.70	35.70	0	2.34	8.32	2
Mo3	21	7.98	5.97	3.41	1.54	2.99	18.11	3
Cd1	26	5.36	0.22	0.16	0.02	1.15	0.11	1
Bi4	7	1.77	1.78	0.91	0.46	2.46	0.96	3
Cr2	2	1.03	286.00	277.00	12.73	2.25	158.94	2
Mo2	2	0.72	2.71	2.71	0.01	2.37	1.13	2
Pb2	3	0.91	55.20	37.47	15.36	1.51	11.41	2

注: Au、Hg元素单位为10<sup>-9</sup>,其余为10<sup>-6</sup>。



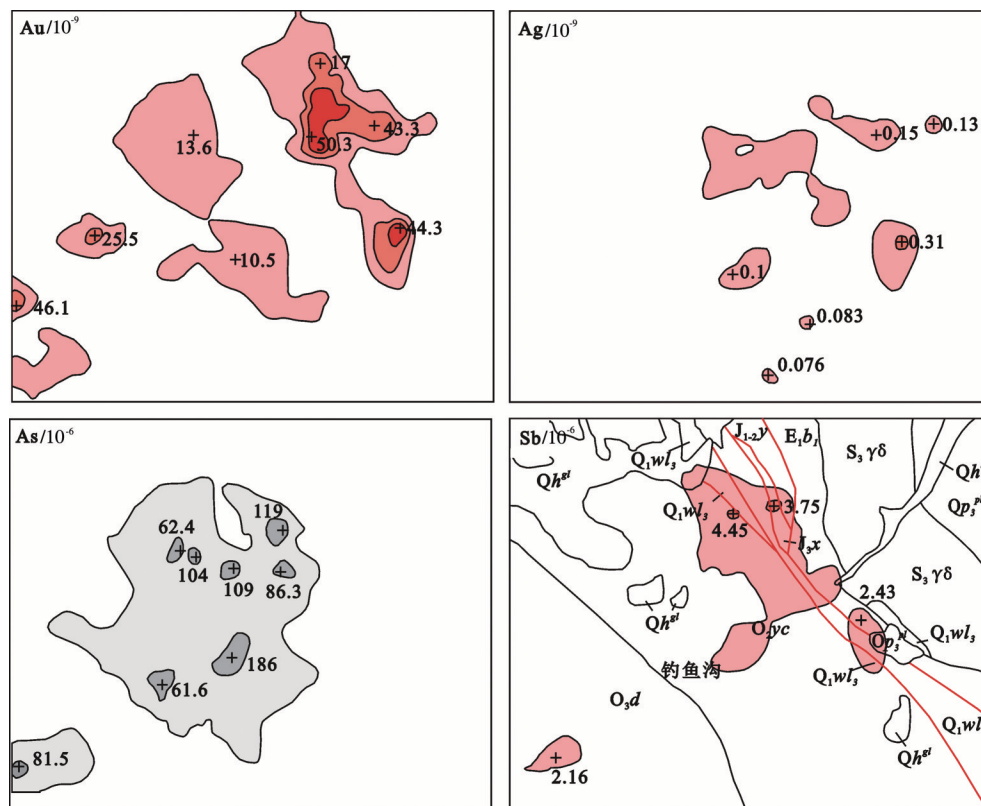


图4 HS-4综合异常剖析图(图例同图1)

Fig.4 Anomaly resolution map of the synthetic geochemical anomaly of HS-11(Legends are same as Fig.1)

踪,寻找原生金的矿化线索,查明引起异常的原因。

### 5.3 钓鱼沟金成矿远景区(HS-4)

钓鱼沟金成矿远景区位于钓鱼沟顶部附近,海拔较高,部分地区常年积雪,条件恶劣。大地坐标位于:东经 $95^{\circ}27'34'' \sim 95^{\circ}36'31''$ ,北纬 $39^{\circ}02'07'' \sim 39^{\circ}07'31''$ 。综合异常面积较大,达到 $90.42 \text{ km}^2$ ,呈似圆状,平均异常规模 $62.35$ ,平均衬度 $1.77$ 。Au异常具有三级浓度分带,极大值达 $50.3 \times 10^{-9}$ ,并伴有Ag、As、Sb等元素异常,异常套和较好(图4)。区内断裂构造发育,以北西向断裂及次级断裂为主,地层以奥陶系盐池湾组为主,东北部出露少量奥陶系吾力沟组,两组地层以断层接触。异常区内东北方向出露有花岗闪长岩体。异常区内包含Au的单元异常5处,其中Au11异常点数29点,显示了极好的成矿潜力。建议对断裂及岩体与地层接触带附近进行异常查证。

### 5.4 红庙沟成矿远景区(HS-10)

红庙沟金成矿远景区位于党河南山南坡,坐标范围:东经 $95^{\circ}31'07'' \sim 95^{\circ}39'33''$ ,北纬 $38^{\circ}51'53'' \sim$

$38^{\circ}56'50''$ 。异常面积 $32.92 \text{ km}^2$ ,平均规模 $52.36$ ,平均衬度 $1.62$ 。主成矿元素为Au,伴有Ag、Hg、As、Sb等异常,其中Au、As、Sb元素具三级浓度分带。主成矿元素Au极大值达到 $62.20 \times 10^{-9}$ (表6)。

异常形态呈北西-南东向,与北西向断裂一致。区内断裂构造发育,有北东向、北西向及南北向3组,异常位于3组断裂构造交汇部位。断裂区内出露地层以奥陶系多索曲组为主。地表踏勘发现异常区北部有一北西向构造蚀变带,宽 $300 \sim 500 \text{ m}$ ,长约 $2 \text{ km}$ ,地表呈黄褐色,具有强烈的遥感蚀变异常信息,地表可见石英脉及大量褐铁矿化,地表捡块样分析金 $2 \text{ g/t}$ 。该异常区下游有民采砂金的坑洞。各种信息显示该区具有较好的找矿前景。

### 5.5 背架子—乌兰达坂沟成矿远景区(HS-11)

该成矿远景区位于党河南山南坡,坐标范围为:东经 $95^{\circ}35'22'' \sim 95^{\circ}45'19''$ ;北纬 $38^{\circ}50'07'' \sim 38^{\circ}57'53''$ 。异常面积 $127.9 \text{ km}^2$ ,平均异常规模 $23.8$ ,平均衬度 $1.59$ 。异常形态呈不规则状,东侧及南侧异常未封闭。该异常由多个Au异常中心组成,Au异

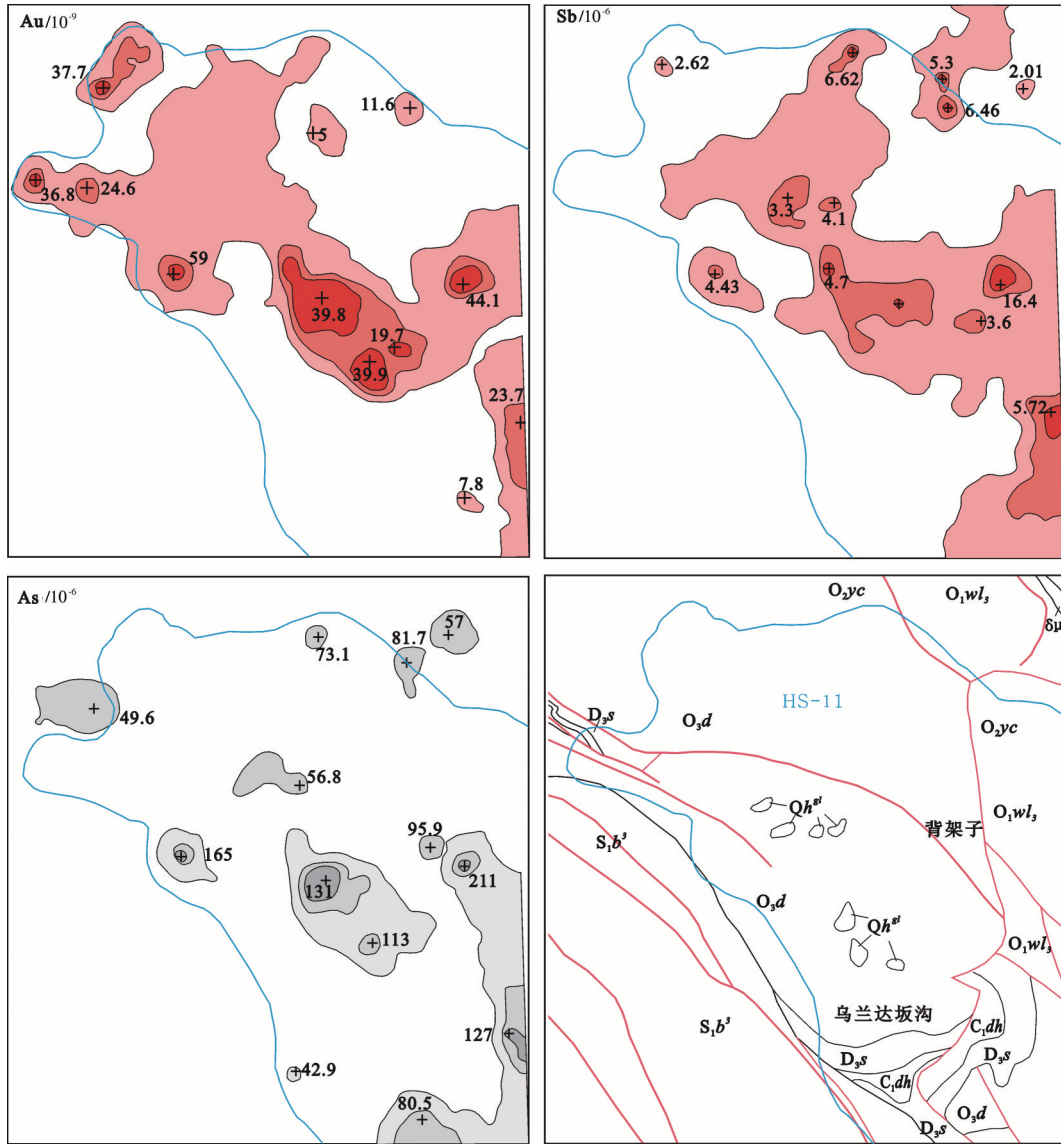


图5 HS-11化探综合异常剖析图(图例同图1)

Fig. 5 Anomaly resolution map of the synthetic geochemical anomaly of HS-11 (Legends are same as Fig. 1)

常规模大, 衬度高, 浓度分带明显。Au极大值为  $59 \times 10^{-9}$ , 伴生有 Ag、As、Sb、Hg、Cd 等异常, 且 As、Sb、Hg 均具三级浓度分带, 异常套合较好。区内出露地层主要有奥陶系多索曲组、盐池湾组砾岩砂岩及吾力沟群三岩段等。断裂构造发育, 主要有 3 组断裂, 分别呈北西向、北东向和近南北向, 其中北西向断裂被后期近南北向断裂错断(图 5)。异常区东侧地表蚀变强烈, 可见黄钾铁矾化和褐铁矿化, 局部可见孔雀石化。异常区内未见岩体出露, 应注意寻找与构造及变质热液有关的蚀变岩型金矿。

## 6 结论

(1) 区内各地质单元水系沉积物地球化学参数统计显示, 奥陶系吾力沟群中基性火山岩组 ( $O_1wl_1$ )、结晶灰岩组 ( $O_1wl_3$ ) 和奥陶系盐池湾组 ( $O_2yc$ )、多索曲组 ( $O_3d$ ) 富集元素最多。Au 主要富集于奥陶系中, 其中在奥陶系中基性火山岩组富集程度最高, 为本区金的成矿提供了物质来源。

(2) 元素变异系数及聚类分析显示 Cu、Ni、Cr、Co、Zn 相关性强; As、Sb、Hg 相关性中等; W、Sn、Mo、

表6 甘肃党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区HS-10化探综合异常特征

Table 6 The characteristics of synthetic geochemical anomaly of HS-10 in Wulandabangou—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province

异常编号	异常点数	异常面积/km <sup>2</sup>	极大值	平均值	标准离差	衬度值	规模	浓度分带
Au36	8	1.61	62.20	13.49	19.76	2.81	13.98	3
Au41	1	1.04	35.80	35.80	0.00	7.46	32.27	3
Ag36	2	0.43	0.16	0.12	0.05	1.74	0.02	2
Sb14	6	1.71	2.61	2.02	0.47	1.78	1.52	2
Sb17	5	1.94	11.00	3.81	4.10	3.37	5.19	3
Sb19	11	2.59	2.19	1.56	0.30	1.38	1.11	1
As20	3	1.07	127.0	59.77	58.24	2.43	37.51	3
As26	14	3.00	48.60	35.25	9.03	1.43	31.92	1
As29	5	1.26	43.90	35.00	6.73	1.42	13.05	1
Hg21	10	2.84	27.50	19.98	3.60	1.31	13.35	1
Hg27	7	1.48	22.60	17.89	2.63	1.17	3.85	1
W14	9	3.07	5.44	2.94	1.05	1.55	3.22	2
W23	13	3.07	2.45	2.24	0.13	1.18	1.05	1
Sn15	28	6.76	4.37	3.47	0.36	1.15	3.11	1
Mo29	19	5.27	2.41	1.73	0.38	1.52	3.11	2

注: Au、Hg元素单位为10<sup>-9</sup>,其余为10<sup>-6</sup>。

Cd相关性一般; Au与其他元素间相关性最差, 具备独立富集成矿的可能, 为区内的直接找矿指标。

(3) 依据水系沉积物异常特征及其筛选、评序结果, 并结合异常区内地层、构造、岩浆岩等成矿地质条件, 划分出11处成矿远景区, 并对其中的扎子沟南、钓鱼沟脑、钓鱼沟、红庙沟、背架子—乌兰达坂沟等5处成矿远景区进行了地质剖析及建议。成矿远景区的划定为该地区进一步地质找矿工作提供了重要的参考信息。

**致谢:** 野外地质工作得到了中国冶金地质总局山东正元地质勘察院吕玉飞、赵晓博、王胜琛、张伟伟等人的极大帮助; 在样品测试中得到了山东正元地质勘察院测试中心的鼎力支持; 在论文编写过程中得到了编辑部及匿名审稿人的热情指导及帮助, 在此一并表示衷心感谢。

## References

Dai Huimin, Dai Yajian, Ma Zhendong, Yang Zhongfang, Gong Chuandong, Sun Zhongren. 2012. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in Chabaqi area of Da Hinggan Mts[J]. *Geoscience*, 26(5): 1043–1050 (in Chinese with English abstract).

Dai Shuang, Liu Bo, Yan Ningyun, Zhang Xiang, Jin Zhipeng, Meng Zhen, Yang Huaiyu, Wu Zhijiang, Bai Bin, Zhang Lili, Peng

Dongxiang. 2016. Geochemical characteristics of intermediate-acid hypabyssal intrusions and dykes in Danghenanshan area of South Qilian and its implications on the gold mineralization[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 38(6):753–765(in Chinese with English abstract).

Dong Yi, Fan Likun, Duan Huanchun, Wang Baoxun. 2009. Zonation of association of elements from geochemical survey for stream Sediments in Dabanshan Region, Qinghai Province[J]. *Geology and Exploration*, 45(1): 70–74(in Chinese with English abstract).

Du Baofeng, Yang Changqing, Chai Jianyu, Bai Guodian, Li Wenwen, Ning Fuzheng. 2018. The effect of stream sediment survey for prospecting in Chunzhe area, Tibet[J]. *Geology in China*, 45(3): 604–616(in Chinese with English abstract).

Jia Yujie, Gong Qingjie, Han Dongyu, Liu Ningqiang, Xia Xuli, Li Xiaolei. 2013. Sample granularity of soils and stream sediments in geochemical surveys: A case study of the Niutongshan Gold Deposit, Xiong'ershan Gold Mine in Hennan Province[J]. *Geology and Exploration*, 49(5): 928–938(in Chinese with English abstract).

Jin Zhipeng, He Jinzhong, Lu Qingshan. 2004. The characteristics of Heicigou gold ore field in Subei county, Gansu Province[J]. *Acta Geologica Gansu*, 13(1):74–80.

Li Hanguang, Xiao Li, Zhang Xuejun, Fan Junjie, Zhang Huiyu, Cong Runxiang. 2007. EW structure belt and function of controlling diagenesis and mineralization in Danghenanshan district[J]. *Gold Geology*, 28(12):13–16.

Li Tongguo, Li Wensheng, Liu Jianhong, Zhao Yanqing, Bai Yunlai. 2003. Geochemical prognosis method of mineral deposits: A case study of the geochemical block in Gansu[J]. *Geology in China*, 30(2): 192–198(in Chinese with English abstract).

Lin Caihao, You Aizhen. 1996. Micro element content characteristics and minerogenetic prospect prediction of stream sediment in Fujian Province[J]. *Geology and Exploration*, 32(5): 33–41 (in Chinese with English abstract).

Liu Bangding, Chen Xinyue, Luo Xiaoya, Tan Shimin, Ma Xiaoshuang. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting target prediction in the Pingbao area, southern Hunan Province[J]. *Geology and Exploration*, 51(4): 722–730 (in Chinese with English abstract).

Liu Naizhong, Chen Zhenghui. 2011. Application of geochemical exploration to the survey of regional mineral resources at scale 1: 50000 in northern Fujian Province and its exploration potential [J]. *Geological and Exploration*, 47(3): 414–422(in Chinese with English abstract).

Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Deng Jinfu, Feng Yimin, Zhang Kexin, Zhang Zhiyong, Wang Fangguo, Xing Guangfu, Hao Guojie, Feng Yanfang. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 36(1): 1–28 (in Chinese with English abstract).

Sun Zhongjun. 2007. Multifractal method of geochemical threshold in

- mineral exploration[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 29(1): 54-57(in Chinese with English abstract).
- Wang Lei, Yang Jianguo, Wang Xiaohong, Qi qi, Li Wenmin, Jiang Anding, Zhang Zhouyuan. 2016. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Shijinpo-Nanjintan area of Beishan, Gansu Province [J]. Geology in China, 43(2): 219-227(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, LiXiangmin, Yu Jiyuan, Wang Guoqiang. 2016. Mid-Late Neoproterozoic to Early Paleozoic volcanism and tectonic evolution of the Qilian Mountain[J]. Geology in China, 43(4): 1087-1138(in Chinese with English abstract).
- Xue Shunrong, Xiao Keyan, Ding Jianhua. 2008. Multisource Information metallogenic prognosis with weighting of evidence based on MRAS in Shangri-La[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 38(5): 738-744(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guobin, Yang Yanchen, Liang Bing, Han Shijiong, Zhuo Xizhun, Yuan Xuexu. 2017. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prediction in the Wandashan area, eastern Heilongjiang Province[J]. Geology in China, 44(3): 588-603(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Zhang Ligu, Chen Chao, Liu Yinglong, He Jiaoyue, Kang Xuan, Zhang Jinlong, Peng Qianpeng. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province[J]. Geology in China, 42(6): 1980-1988(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zaitian, Pan Jiayong, Xie Fei, Zhang Yong, Liu Guoqi. 2013. Geochemical data processing of stream sediment and target areas prediction for metallogenic of Jiangxi Yuhuashan[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 35(1): 86-92(in Chinese with English abstract).
- Zhao Juan, Sun Zekun, Jia Yanhui, Ma Nan, Xu Bo, Ma Zhengting. 2016. Delineation of contrast value anomalies of 1:50000 drainage sediment survey data: An example of the Qimantage area, Qinghai Province [J]. Geology and Exploration, 52(3): 518-523(in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiaozhong, Fan Likun, Shen Yongsheng. 2009. Geological and geochemical characteristics of Gouli area and its prospecting orientation[J]. Gold Science and Technology, 17(3): 17-19 (in Chinese with English abstract).
- 脉岩石地球化学特征及其与金矿成矿关系[J]. 地球科学与环境学报, 38(6):753-765.
- 董毅, 范丽琨, 段焕春, 王宝勋. 2009. 青海大坂山地区水系沉积物测量元素组合分区[J]. 地质与勘探, 45(1):70-74.
- 杜保峰, 杨长青, 柴建玉, 白国典, 李雯雯, 宁福正. 2018. 水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果[J]. 中国地质, 45(3): 604-616.
- 贾玉杰, 龚庆杰, 韩东昱, 刘宁强, 夏旭丽, 李晓蕾. 2013. 化探技术之取样粒度研究——以豫西牛头沟金矿 1:5 万化探普查为例[J]. 地质与勘探, 49(5):928-938.
- 金治鹏, 何进中, 芦青山. 2004. 甘肃省肃北县黑刺沟金矿田地球化学特征[J]. 甘肃地质, 13(1):74-80.
- 李汉光, 肖力, 张学军, 范俊杰, 张惠玉, 丛润祥. 2007. 党河南山地区东西向构造带及其控岩控矿作用[J]. 黄金, 28(12):13-16.
- 李通国, 李文胜, 刘建宏, 赵彦庆, 白云来. 2003. 矿床地球化学预测方法——以甘肃省地球化学块体为例[J]. 中国地质, 30(2): 192-198.
- 林才浩, 尤爱珍. 1996. 福建省水系沉积物微量元素含量特征及成矿远景预测[J]. 地质与勘探, 32(5):33-41.
- 刘邦定, 陈新跃, 罗小亚, 谭仕敏, 马小双. 2015. 湖南坪宝地区水系沉积物地球化学特征及找矿靶区预测[J]. 地质与勘探, 51(4): 722-730.
- 刘乃忠, 陈郑辉. 2011. 化探在福建北部 1:5 万区域矿产远景调查中的找矿效果及应用前景[J]. 地质与勘探, 47(3):414-422.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 孙忠军. 2007. 矿产勘查中化探异常下限的多重分形计算方法[J]. 物探化探计算技术, 29(1):54-57.
- 王磊, 杨建国, 王小红, 齐琦, 李文明, 姜安定, 张洲远. 2016. 甘肃北山拾金坡—南金滩地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 中国地质, 43(2):219-227.
- 夏林圻, 李向民, 余吉远, 王国强. 2016. 祁连山新元古代中—晚期至早古生代火山作用与构造演化[J]. 中国地质, 43(4): 1087-1138.
- 薛顺荣, 肖克炎, 丁建华. 2008. 基于 MRAS 的证据权重法在香格里拉地区的综合信息成矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 38(5):738-744.
- 张国宾, 杨言辰, 梁冰, 韩世炯, 褚喜准, 袁学旭. 2017. 黑龙江东部完达山地区水系沉积物地球化学特征及成矿预测[J]. 中国地质, 44(3): 588-603.
- 张运强, 陈海燕, 张立国, 陈超, 刘应龙, 何娇月, 康璇, 张金龙, 彭芊芑. 2015. 冀北新杖子地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 42(6): 1980-1988.
- 张再天, 潘家永, 夏菲, 张勇, 刘国奇. 2013. 江西玉华山地区水系沉积物化探数据处理及找矿靶区划分[J]. 物探化探计算技术, 35(1):86-92.
- 赵娟, 孙泽坤, 贾研慧, 马楠, 徐博, 马正婷. 2016. 青海省祁漫塔格地区 1:5 万水系沉积物测量衬值异常圈定为例[J]. 地质与勘探, 52(3):518-523.
- 周晓南, 范丽琨, 申勇胜. 2009. 沟里地区地质地球化学特征及找矿方向[J]. 黄金科学技术, 17(3):17-19.

## 附中文参考文献

- 戴慧敏, 代雅健, 马振东, 杨忠芳, 官传东, 孙中任. 2012. 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, 26(5):1043-1050.
- 戴霜, 刘博, 闫宁云, 张翔, 金治鹏, 蒙珍, 杨怀玉, 武志江, 白斌, 张莉莉, 彭栋祥. 2016. 南祁连党河南山地区中酸性浅成侵入体和岩