

doi: 10. 20008/j. kckc. 202201009

新疆乌尔沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景

杨建锋^{1,3}, 马贵林², 石天池¹, 赵彦沛³

(1. 宁夏回族自治区地球物理地球化学勘查院, 宁夏银川 750004; 2. 宁夏回族自治区国土资源调查监测院, 宁夏银川 750002; 3. 银川科元地质矿产勘查有限公司, 宁夏银川 750200)

摘要 为查明新疆乌尔沟地区主要成矿及伴生指示元素、地球化学分布特征及其集散分异规律, 完成了 1: 50000 水系沉积物地球化学测量工作。对 Au、W、Cu、Cr 等 16 种元素进行的地球化学特征分析, 圈定综合异常 32 处, 并对部分异常进行了查证。综合研究认为区内多金属成矿作用受断裂、地层及岩体控制明显, 尤其是冰达板断裂对本区成矿作用的控制。圈定 2 处 I 级找矿远景区: 夏尔嘎-喀尔干吐金、铜找矿远景区, 主要元素组合为 Au、As、Sb、Ag、Sn、Cu、Pb、Zn、Cr、Co、Ni; 包尔特金、铬、铜、钨找矿远景区, 主要元素组合为 Au、W、Cu、Cr、Ni、As、Sb、Ag、Mo、Bi、Pb、Zn。研究区主要的成矿种类为: 金、钨、铬、铜等。研究工作为今后工作提供了地球化学依据, 指明了找矿方向。

关键词 找矿远景; 地球化学; 水系沉积物; 新疆; 乌尔沟地区

中图分类号: P5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7801(2022)01-0074-14

0 引言

水系沉积物地球化学测量, 是区域化探的主要方法, 也是一种效率较高的地球化学普查找矿方法(王磊等, 2016)。1979 年至今, 我国西北地区共完成 1: 200000 水系沉积物测量 140.69 × 10⁴ km², 已基本覆盖西北地区具备开展区域地球化学调查条件的基岩出露区, 其工作结果为我国西北地区地质找矿工作提供了重要依据(张晶等, 2018)。近年来开展了大量 1: 50000 水系沉积物测量工作, 找矿效果较为显著(刘志坚等, 2013; 杜保峰等, 2017; 赵娟等, 2017; 祝大伟等, 2017; 胡兆国等, 2018; 高永伟等, 2018; 邵继等, 2018; 杜保峰等, 2018; 王斌等, 2018; 王奎等, 2019; 柳坤峰等, 2019; 马元林等,

2020; 班宜红等, 2020; 郭海明等, 2020)。

新疆乌尔沟地区化探工作主要为 1: 200000 区域化探, 采样密度较低, 圈定的异常面积较大。区内断裂构造、褶皱构造发育, 冰达板断裂和红五月桥断裂两条区域性断裂从区内通过, 是寻找构造蚀变岩型金矿的有利部位。研究区内晚泥盆世及晚石炭世地层中的混源序列侵入岩大面积分布, 具备 Cu-Au-W-Mo-稀土矿产的成矿地质条件。因此在研究区开展 1: 50000 化探工作, 圈定异常, 然后对异常进行综合研究、评价, 进一步缩小找矿靶区及找矿范围。

1 区域地质概况

研究区位于天山中部, 平均海拔在 3000 m 以

[收稿日期] 2020-08-06

[基金项目] 本文受新疆地勘基金项目(T15-1-LQ33)、宁夏回族自治区地勘基金项目(HZ20170040-III)、宁夏自然科学基金项目(2020AAC03451)联合资助。

[第一作者简介] 杨建锋, 男, 1989 年生, 硕士, 工程师, 从事地球化学勘查及找矿工作; E-mail: 623552149@qq.com。

[通信作者简介] 马贵林, 男, 1990 年生, 本科, 工程师, 主要从事固体矿产勘查及地球化学勘查研究; E-mail: 1016168260@qq.com。

[引文格式] 杨建锋, 马贵林, 石天池, 赵彦沛. 2022. 新疆乌尔沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 矿产勘查, 13(1): 74-87.

上,山势陡峻,属深切的中高山区。区内河流走向多呈东西-近东西向,受区域构造线控制明显。研究区可划分为剥蚀高山区、干旱中山区和第四系覆盖区三个地球化学景观区。区内水系发育,一级水系能够代表所在汇水盆地基岩总体情况,采样粒度 -10 ~ +80 目,介质以水系沉积物中的细砂为主,研究区面积 1464.5 km²。

1.1 地层

研究区地层属天山兴蒙地层大区之北疆地层区,以冰达坂-夏热嘎断裂为界,自北向南分属两个地层分区。北部属南准噶尔-北天山地层分区之伊连哈比尔尕地层小区、博格达地层小区;南部属中天山地层分区之博罗科努地层小区(表 1,图 1)。其中,博罗科努地层小区出露地层有长城系星星峡岩群第一岩组(ChX¹),岩性组合以斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪片岩、黑云变粒岩夹

角闪变粒岩为主;蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK²),主要岩性为大理岩夹叠层石白云岩、大理岩化白云岩、大理岩夹钙质片岩;第三岩组(JxK³),主要岩性为千枚岩、炭质千枚岩、绢云钠长片岩、大理岩。伊连哈比尔尕地层小区出露地层有上泥盆统天格尔组(D₃t),主要岩性以糜棱岩化变长石石英砂岩、糜棱岩化变质粉砂质泥岩、糜棱岩化变质粉砂岩为主。下石炭统小热泉子组(C₁x),岩性组合为火山凝灰岩、火山角砾岩、霏细斑岩、钠长斑岩、石英斑岩、石英角斑岩、安山玢岩、正长斑岩等。博格达地层小区出露上石炭统奇尔古斯套组(C₂q)岩性组合以硅质粉砂岩与硅泥质板岩互层、硅质粉砂岩与泥岩互层、硅质粉砂岩夹长石砂岩条带为主;柳树沟组(C₂l),岩性组合以火山喷发岩为主,夹有凝灰岩和火山角砾岩、砂岩、灰岩等。下二叠统阿尔巴萨依组(P₁a),主要岩性为熔结角砾岩、火山集块岩;中二叠统芦苇沟组(P₂l),主要岩性为泥岩、

表 1 研究区地层划分表

年代 地层	地层区划		天山兴蒙地层大区		
			北疆地层区		
	岩石地层单位	南准噶尔-北天山地层分区		中天山地层分区	
博格达地层小区		伊连哈比尔尕地层小区	博罗科努地层小区		
新生界	新近系	全新统	冲积(Qh ^{al})、洪积(Qh ^{pl})、冲洪积(Qh ^{al+pl})、冰积(Qh ^{fl})		
		更新统	冲积(Qp ^{al})、洪积(Qp ^{pl})		
		上新统	葡萄沟组(N ₂ p)		
		中新统	桃树园组(E ₃ -N ₁)t		
中生界	侏罗系	中统	头屯河组(J ₂ t)		
			西山窑组(J ₂ x)		
		下统	三工河组(J ₁ s)		
			八道湾组(J ₁ b)		
三叠系	中-上统	小泉沟群(T ₂₋₃ x)			
古生界	二叠系	中统	芦苇沟组(P ₂ l)		
		下统	阿尔巴萨依组(P ₁ a)		
		柳树沟组(C ₂ l)			
	石炭系	上统	奇尔古斯套组(C ₂ q)		
		下统	小热泉子组(C ₁ x)		
泥盆系	上统	天格尔组第二段(D ₃ t ²)			
		天格尔组第一段(D ₃ t ¹)			
中元古界	蓟县系	卡瓦布拉克岩群第三岩组(JxK ³)			
	长城系	卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK ²) 星星峡岩群第一岩组(ChX ¹)			

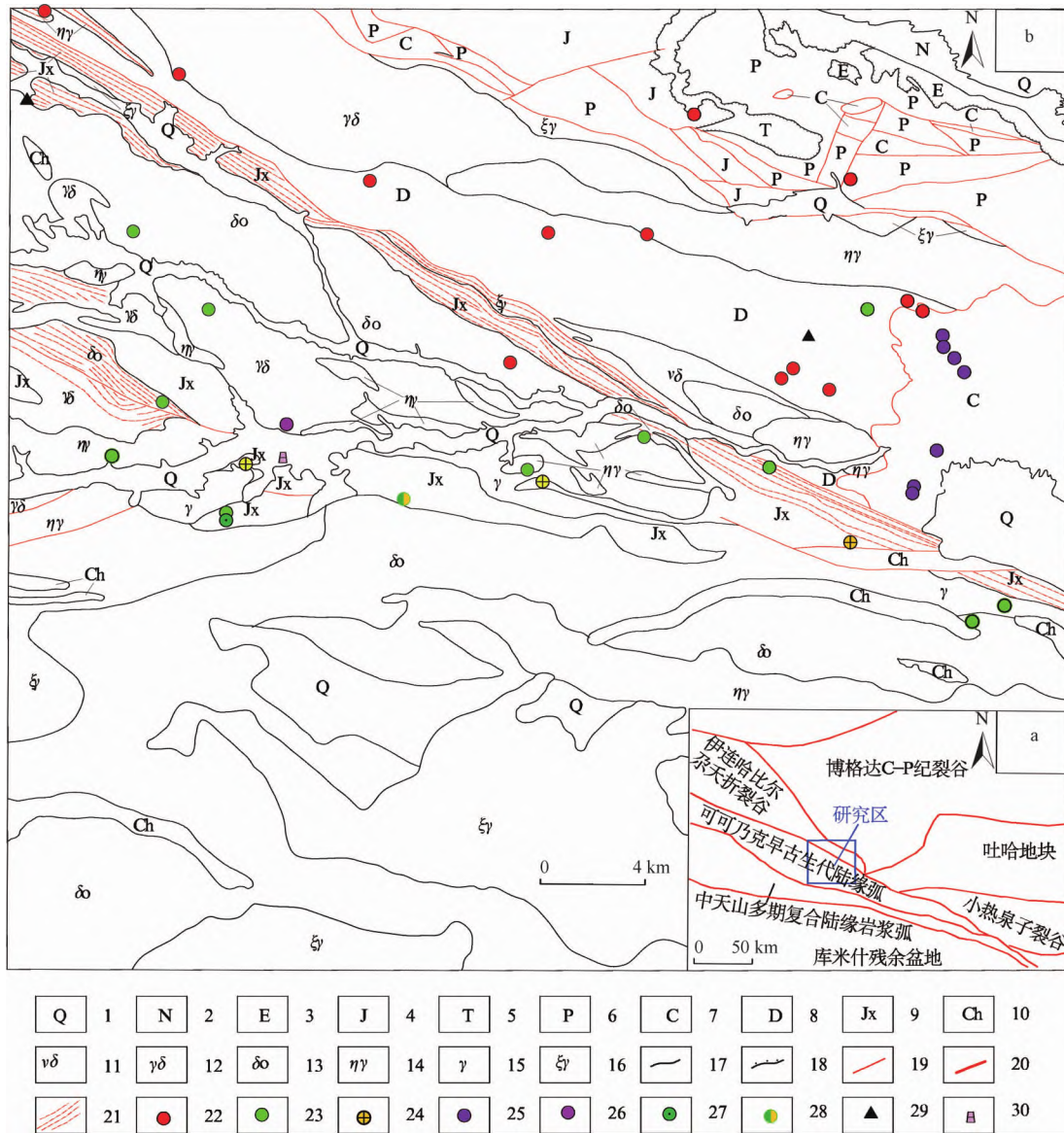


图1 研究区大地构造位置(a)及地质简图(b) (据杨建锋等,2019¹)

1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—侏罗系;5—三叠系;6—二叠系;7—石炭系;8—泥盆系;9—蓟县系;10—长城系;11—辉长闪长岩;12—花岗闪长岩;13—石英闪长岩;14—二长花岗岩;15—花岗岩;16—钾长花岗岩;17—整合接触地质界线;18—角度不整合地质界线;19—断层;20—区域断裂;21—糜棱岩及韧性剪切带;22—铁矿(化)点;23—铜矿(化)点;24—金矿(化)点;25—锰矿(化)点;26—钨矿(化)点;27—铬铁矿(化)点;28—铜金矿(化)点;29—黄铁矿(化)点;30—菱镁矿(化)点

炭质页岩。中-上三叠统小泉沟群(T_{2-3x}),主要岩性为泥质砂岩、砾岩。下侏罗统八道湾组(J_1b),岩性主要由砾岩、砂砾岩、砂岩及泥岩、粉砂岩、煤层组成。三工河组(J_1s),岩性为砂质泥岩与粉砂岩互层。中侏罗统西山窑组(J_2x),岩性为砂岩、粉砂岩、砂质泥岩。中侏罗统头屯河组(J_2t),主要岩性为砾岩、砂质泥岩、粉砂岩和细砂岩。古近系-新近系渐新统-中新统桃树园组(E_3-N) t ,岩性组合主

要为砂岩、砾岩夹石膏层和黏土。新近系上新统葡萄沟组(N_2p),岩性主要为砂岩、砂砾岩、砾岩、泥岩。

1.2 侵入岩

研究区内侵入岩广泛分布,根据构造岩浆旋回理论、侵入序次以及岩浆演化规律等,研究区侵入岩属北天山构造岩浆带和中天山构造岩浆带(表2),

表 2 研究区侵入岩序列划分表

构造岩浆带	时代	岩浆序列	岩石类型
中天山 构造岩 浆带	晚石炭世	壳源序列	二长花岗岩
			花岗闪长岩
			石英闪长岩
	晚泥盆世	混源序列	花岗闪长岩
			黑云二长花岗岩
			花岗岩
	晚志留世	壳源序列	糜棱岩化花岗岩、钾长花岗岩
早志留世	壳源序列	钾长花岗岩	
青白口纪	混源序列	片麻状石英闪长岩	
		片麻状花岗闪长岩	
北天山 构造岩 浆带	二叠纪	壳源序列	钾长花岗岩
			黑云二长花岗岩
	晚石炭世	壳源序列	辉长闪长岩
			石英闪长岩、闪长玢岩
			黑云二长花岗岩
			花岗闪长岩
			花岗闪长岩

岩性主要有辉长闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩、钾长花岗岩。

1.3 火山岩

研究区火山岩较为发育,岩石类型以凝灰岩、安山玢岩、火山角砾岩为主。按火山喷发时代、产出构造环境及与地层的的关系将其划分为阿尔巴萨依旋回,主要岩石类型为火山角砾岩、集块岩、安山岩、英安岩;奇尔古斯套旋回,主要岩石类型为凝灰质粉砂岩、硅质岩夹硅质凝灰岩、凝灰硅质岩、凝灰质安山玢岩;小热泉子旋回,主要岩石类型为凝灰岩、火山角砾岩、霏细斑岩、安山玢岩;天格尔旋回,主要岩石类型为凝灰岩、安山岩、英安岩、流纹岩,夹凝灰质砂岩、晶屑玻屑凝灰岩、凝灰岩。

1.4 变质岩

研究区区域变质岩主要发育在长城系星星峡岩群、蓟县系卡瓦布拉克岩群、下石炭统小热泉子地层中及不同时代的已变质的侵入岩体中。以冰达坂-夏热嘎断裂为界,断裂以南总体上为中深区域变质岩分布地带,靠近冰达坂-夏热嘎断裂附近叠加有动力变质岩,局部靠近泥盆纪岩浆岩体附近见有少量热接触变质岩;冰达坂-夏热嘎断裂以北

到红五月桥-苏木特达坂断裂以南的区域为中浅变质岩分布区;红五月桥-苏木特达坂断裂以北的区域为浅变质岩或未变质的岩石分布区。

1.5 矿产特征

研究区内已发现的金属矿床(点)共计 27 处,以铁、锰、铜、金为主。典型矿床为苏木特铜矿点,含矿层位为上泥盆统天格尔组第一岩段,矿点位于冰达坂韧性剪切带北侧。区内一般性断裂较为发育,主要为北东-南东向断裂。赋矿岩性主要为紫红色熔结火山角砾岩,局部地段在围岩硅化中细粒砂岩中见有孔雀石化。矿化主要与熔结火山角砾岩透镜体有关。矿体 Cu 品位 0.10%~0.67%,矿化蚀变主要为硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、孔雀石化。矿石结构为浸染状、角砾状结构,致密块状构造、浸染状构造。矿石矿物主要为孔雀石、铜蓝、黄铜矿、辉铜矿,金属矿物另见黄铁矿、褐铁矿。脉石矿物主要为石英、绿泥石、绿帘石及细小火山灰物质。矿体矿石自然类型为含黄铁矿石英脉型。矿床成因类型为中低温热液型,成矿物质来源于岩体和上泥盆世地层。

2 地球化学特征

本次研究采样密度为 5.26 个点/km²,分析元素 16 种,样品分析由新疆地矿局第一地质大队实验室完成,样品分析严格按(中华人民共和国国土资源部和全国国土资源标准化技术委员会,2015)中分析方法技术要求执行,样品加工、方法检出限、报出率、方法准确度、方法精密度及重复样合格率均满足“规范”要求。

2.1 元素含量特征

收集乌尔沟地区 1:50000 水系沉积物地球化学测量资料,与新疆地区背景值及中国大陆岩石圈背景值进行比较,分别将研究区背景值除以新疆地区背景值,研究区背景值除以中国大陆岩石圈背景值(黎彤和倪守斌,1997),得出各元素的富集系数(K),根据比值的大小确定元素的富集程度,由表 3 可以看出:与新疆地区背景值相比,研究区 Bi、Pb、W、Ni、Sn、Cr 等元素相对富集,Mo、As、Sb、Au、Cu 相对贫化;与中国大陆岩石圈背景值相比,研究区 As、Bi、Pb、Sb、Ag 等元素相对富集,且 As、Bi 元素富集在 3 倍以上,其余元素则相对贫化。

表3 研究区元素丰度值特征表

元素	研究区背景值	新疆地区背景值	中国大陆岩石圈背景值	K_1	K_2
Au	0.668	0.91	1.76	0.73	0.38
Ag	0.051	0.059	0.04	0.86	1.28
Sn	1.88	1.7	2.77	1.11	0.68
Cu	16.48	22.42	38.8	0.74	0.42
Zn	54.56	61.74	72.4	0.88	0.75
Co	9.21	9.63	51.3	0.96	0.18
Ni	18.93	16.88	75	1.12	0.25
Cr	37.12	33.88	100	1.10	0.37
Pb	18.4	12.26	6.15	1.50	2.99
W	0.987	0.84	1.18	1.18	0.84
Mo	0.564	1.05	0.87	0.54	0.65
Bi	0.248	0.16	0.08	1.55	3.10
As	3.894	6.65	1.2	0.59	3.25
Sb	0.256	0.39	0.11	0.66	2.33
U	1.836	1.86	2.43	0.99	0.76
Nb	9.093	9.56	15.4	0.95	0.59

注: Au 元素含量为 $\times 10^{-9}$, 其它元素为 $\times 10^{-6}$, 富集系数 $K_1 =$ 研究区背景值/新疆地区背景值, $K_2 =$ 研究区背景值/中国大陆岩石圈背景值

2.2 元素地球化学特征

研究区各元素地球化学特征值见表4, 利用 Geoexpl 软件统计平均值、离差, 利用离差除以平均值获得各元素的变异系数, 通过统计发现研究区各元素的变异系数较大, 表明这些元素在区内离散程度高, 其中 Au、W、Zn 局部富集; 从最大值看, Au 含量 2520×10^{-9} , Cu 含量 3036×10^{-6} , Zn 含量 30684×10^{-6} , Pb 含量 4166×10^{-6} , W 含量 1699×10^{-6} , Cr 含量 3210×10^{-6} 。

2.3 主要地质单元地球化学特征

通过统计各元素在不同地层内的变异系数和二级浓集系数(表5), 可看出石炭系下统地层、泥盆系上统地层、蓟县系地层和中天山构造岩浆带晚石炭世(花岗岩闪长岩、二长花岗岩)、中天山构造岩浆带晚泥盆世花岗岩是研究区元素的主要富集地层。高背景、高含量或低含量、低背景的元素在其变异系数达到显著变化程度时, 其成矿可能性都是较大的(潘彤, 2015; 邱炜等, 2018)。

表4 研究区水系沉积物地球化学参数统计表

元素	最大值	最小值	中位数	平均值	离差	变异系数
Au	2520	0.26	0.665	1.60	29.08	18.20
Ag	15.5	0.036	0.049	0.06	0.18	3.05
Sn	12.5	0.65	1.90	1.95	0.77	0.39
Cu	3036	1.20	15.4	22.81	42.00	1.84
Zn	30684	7.80	52.9	60.23	349.95	5.81
Co	94.4	0.90	8.90	10.69	7.02	0.66
Ni	708	1.50	17.7	25.59	31.32	1.22
Cr	3210	7.50	35.3	51.88	78.25	1.51
Pb	4166	3.20	18.1	20.52	50.34	2.45
W	1699	0.19	0.92	1.91	21.71	11.34
Mo	55.9	0.19	0.50	0.77	1.22	1.58
Bi	16.6	0.026	0.23	0.34	0.58	1.69
As	966	0.36	3.62	7.00	18.81	2.69
Sb	107	0.069	0.243	0.40	1.34	3.34
U	33.2	0.25	1.72	1.90	0.99	0.52
Nb	33.9	1.50	8.80	9.30	2.93	0.32

注: Au 元素含量为 $\times 10^{-9}$, 其它元素为 $\times 10^{-6}$ 。

(1) 蓟县系卡瓦布拉克岩群(JxK): 研究区内主要出露第二、三岩组, 岩性以大理岩、千枚岩、片岩为主。主要富集元素有 As、Sb、W、Au、Ni、Mo、Bi、Cr, 二级浓集系数大于 1.5, 均为强富集, 尤其是 As、Sb、W、Au 的二级浓集系数大于 2, 显示为极强富集; W、Au、Mo、As、Bi、Pb 变异系数大于 1.5, 为强分异, 尤其是 W、Au、As、Mo 的变异系数大于 2, 表现为极强分异。Au、As、Sb 组合, 具有中低温元素组合特征, W、Mo、Bi 组合, 具有高温元素组合特征, 富集元素为与中高-中低温热液活动有关。该地层内已发现的矿产有金、铜、铬等。根据该岩群主要成矿元素富集规律及共生组合关系得出, 研究区内该套地层以 Au、W、Cu 等矿产为主要找矿目标。

(2) 上泥盆统天格尔组(D₃t): 岩性以糜棱岩化变长石石英砂岩、糜棱岩化变质粉砂质泥岩、糜棱岩化变质粉砂岩为主。主要富集元素为 Cu、As、Co、Ni、Cr、Au、Zn、Sb。Cu、As、Co、Ni、Cr、Au 二级浓集系数大于 1.5, 均为强富集, 尤其是 Cu、As 的二级浓集系数大于 2, 显示为极强富集; Au 变异系数大于 1.5, 为强分异。富集元素为中低温热液和与基性岩有关铜镍硫化物矿床元素组合。该地层内已发现的矿产有铁、铜、金等。根据元素富集分异特征、共

表5 研究区元素主要富集地层变异系数和二级浓集系数统计表

元素	下石炭统小热泉子组		上泥盆统天格尔组		蓟县系卡瓦布拉克群		中天山构造岩浆带			
							晚石炭世花岗闪长岩、二长花岗岩		晚泥盆世花岗岩	
	C_v	K_3	C_v	K_3	C_v	K_3	C_v	K_3	C_v	K_3
Au	5.61	1.4	1.78	1.45	2.14	1.76	1.4	0.62	2.36	1.22
Ag	0.31	0.82	0.43	0.9	0.9	1.13	0.56	0.89	0.44	0.9
Sn	0.22	1.06	0.38	0.88	0.42	1.16	0.55	1.41	0.31	1.15
Cu	0.41	2.29	0.61	2.73	0.64	1.17	0.59	0.87	1.24	1.06
Zn	0.17	1.25	0.22	1.28	0.42	1.16	0.42	0.93	0.51	0.91
Co	0.43	1.25	0.55	1.96	0.45	1.28	0.57	0.91	0.64	1.2
Ni	0.61	1.21	0.62	1.89	1.27	1.72	1.17	1.19	1.26	1.68
Cr	0.58	0.9	0.81	1.87	1.28	1.52	1.18	1.1	1.63	1.8
Pb	0.25	0.96	0.51	0.72	1.81	1.42	0.53	1.09	0.48	0.82
W	0.3	0.91	0.68	0.59	11.81	3.32	2.47	2.8	1.19	0.97
Mo	0.73	1.41	0.69	1.13	2.06	1.69	1.09	1.48	1.34	1.24
Bi	0.3	1.18	0.6	0.79	1.82	1.57	1	2.06	1.31	1.33
As	0.6	1.25	1.26	2.17	2.25	2.96	0.99	0.57	3.02	1.43
Sb	0.85	1.51	0.81	1.22	3.71	3.13	0.73	0.51	1.78	1.32
U	0.24	1.38	0.45	0.94	0.36	1.22	0.45	1.41	0.45	1.17
Nb	0.22	1.26	0.35	0.97	0.3	0.97	0.24	0.94	0.21	1.04

注: C_v —变异系数; K_3 (二级浓集) = 元素地层平均含量/研究区平均含量。

生组合及岩性变质变形情况显示,在该地层中重点寻找 Cu、Fe、Au 等矿产。

(3) 下石炭统小热泉子组(C_1x): 为一套中酸性火山喷发岩、火山碎屑岩、次火山岩组合,变质程度达低绿片岩相,变余结构明显,变形具脆韧性剪切特征,总体构成强脆韧性剪切变形带。主要富集元素为 Cu、Au、Sb、Mo、U、Zn、Nb、Co、As、Ni。Cu、Au、Sb 二级浓集系数大于 1.5,均为强富集,尤其是 Cu 的二级浓集系数大于 2,显示为极强富集,但 Cu 变异系数较小表现为大面积高背景。其中 Au 变异系数 5.61,显示 Au 的强分异。该地层内已发现的矿产有 Fe、Mn 等。受后期构造成矿作用的影响,该地层中除了形成一些 Fe、Mn 矿产外,还可能形成一些 Cu、Au 矿化。

(4) 中天山构造岩浆带晚石炭世花岗闪长岩、二长花岗岩主要富集元素为 W、Bi、Mo、Sn、U。W、Bi 的二级浓集系数大于 2,显示为极强富集;其中 W 的变异系数 2.47,显示 W 的极强分异。富集元素为高温岩浆成矿元素组合。工作中在该岩体发现有

钨矿化点,在该地层单元中重点寻找 W、Mo 矿产。

(5) 中天山构造岩浆带晚泥盆世花岗岩主要富集元素为 Cr、Ni、As、Sb、Bi、Mo、Au 和 Co。仅 Cr、Ni 二级浓集系数大于 1.5,为强富集,其它均为弱富集;变化系数 As、Au、Cr、Sb 大于 1.5,为强分异,As、Au 的变化系数大于 2,表现为极强分异。表明这些元素在该岩性中富集、分散程度高,在地质作用过程中元素发生分异,有利于局部成矿。

2.4 元素组合特征

对研究区所有水系沉积物样品进行 R 型聚类分析,元素聚类分析结果(图 2)结合元素地球化学性质,将研究区元素分为五大类:第一类为 Au、Ag、Pb,主要为多金属矿化中的中温成矿元素组合;第二类为 Cu、Co、Ni、Cr、Zn,高含量主要分布于泥盆系上统天格尔组地层中;第三类为 As、Sb,为多金属矿化元素中的低温成矿元素组合,是热液成矿作用的前缘指示元素,其高值区分布与断裂构造一致;第四类为 Bi、W、Mo,为一组高温成矿元素组合,主要

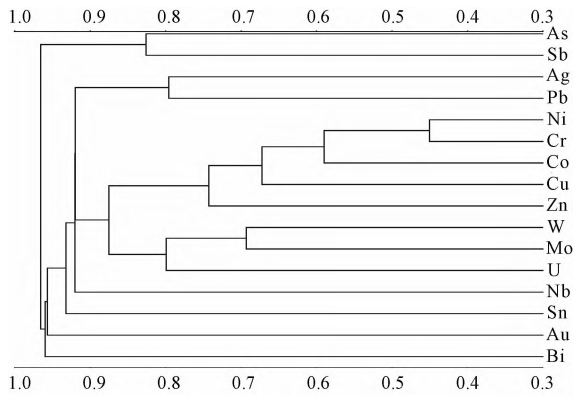


图2 研究区 R 型聚类分析谱系图

沿糜棱岩及韧性剪切带分布;第五类为 U、Nb、Sn, Sn 高值区主要沿糜棱岩及韧性剪切带分布。

2.5 异常分布特征

根据元素地球化学特征,参考上述 R 型聚类结果,将区内元素分为 4 组(异常), Au-Ag-As-Sb 组,

主成矿元素为 Au; Cu-Cr-Co-Ni 组,主成矿元素为 Cu; W-Sn-Mo-Bi 组,主成矿元素为 W; Pb-Zn 组,主成矿元素为 Zn; U-Nb 组,成矿潜力较小。具体分布见图 3。

(1) Au、Ag、As、Sb 异常分布特征: 该组异常呈明显的北西向及东西向展布。高值区沿阿门萨拉北-夏热噶-莫德图-达万萨拉一带、乃仁克克-包尔特一带、铁克达坂-乌兰萨拉一带呈北西向带状分布;喀拉盖萨拉-三岔河隧道南一带呈东西向展布;托逊吐南部呈面状分布。异常多分布于糜棱岩及韧性剪切带附近,受构造的控制明显。

(2) Cu、Co、Ni、Cr 异常分布特征: 该组元素具有明显的区域分布特点。高值区主要表现为,由阿门萨拉-莫德图-铁克达坂一带呈带状分布,该带西北部较为收敛,东南部较为发散;在包尔特-木久克-黑热沟隧道南-查尔干吐呈高值分布,其中 Cr、Co、Ni 分布面积较大,Cu 分布面积较小。高含

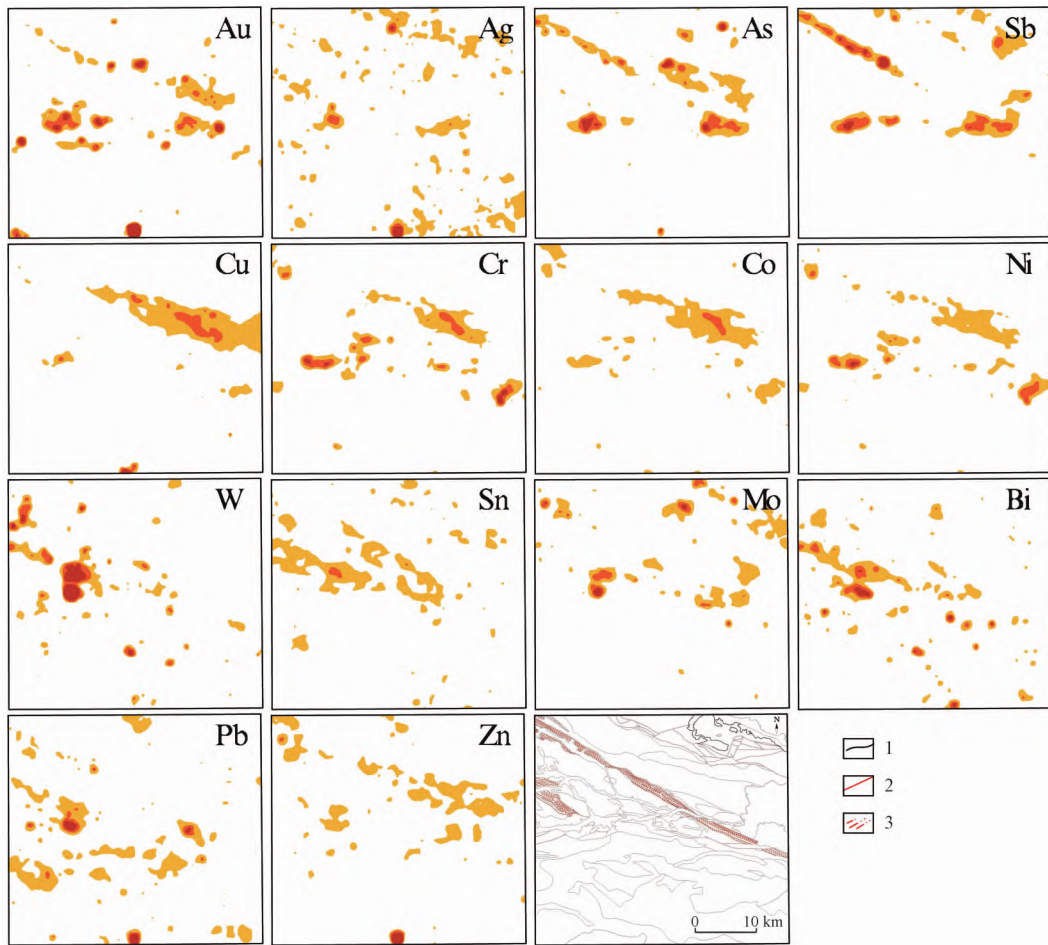


图3 研究区单元素异常分布图

1—地质界线;2—断层;3—糜棱岩及韧性剪切带

量多分布于泥盆系上统天格尔组地层中,石炭系下统小热泉子组含量也较高,但明显低于泥盆系上统天格尔组地层元素含量分布。

(3) W、Mo、Bi、Sn 异常分布特征: 为一组高温成矿元素。该组元素主要异常区位于研究区中部及北部,呈明显的北西向展布。高值区沿阿门萨拉北-达万萨拉-拜其开-喀拉盖萨拉一带、乃仁克克-国光-布鲁克图-喀拉盖萨拉一带呈北西向带状分布,两条区带在喀拉盖萨拉相交,高值区带与糜棱岩及韧性剪切带完全吻合。绝对高值区主要分布在国光地区。

(4) Pb、Zn 异常分布特征: 该组异常分布较为零散,主要的异常区分布包尔特、黑热沟及托逊吐等区,从异常背景分布看,Pb 在中天山构造岩浆岩

带晚泥盆世花岗闪长岩、二长花岗岩中呈现高背景,Zn 在泥盆系上统天格尔组地层中呈现高背景。

3 综合异常特征

根据研究区地质矿产特征及地质体显示的元素组合特征,结合元素最大值及变异系数,综合研究分析认为:研究区主成矿元素为 Au、W、Cu、Zn,伴生元素为 Ag、Pb、As、Sb、Bi、Mo、Cr 等。将研究区的主要成矿元素、成矿伴生及指示元素异常绘制在同一地质底图上,以主成矿元素异常为基础,各元素异常的叠加部分结合其所处的地质环境,圈定综合异常 32 处,初步分析认为 Hs21、Hs23 成矿潜

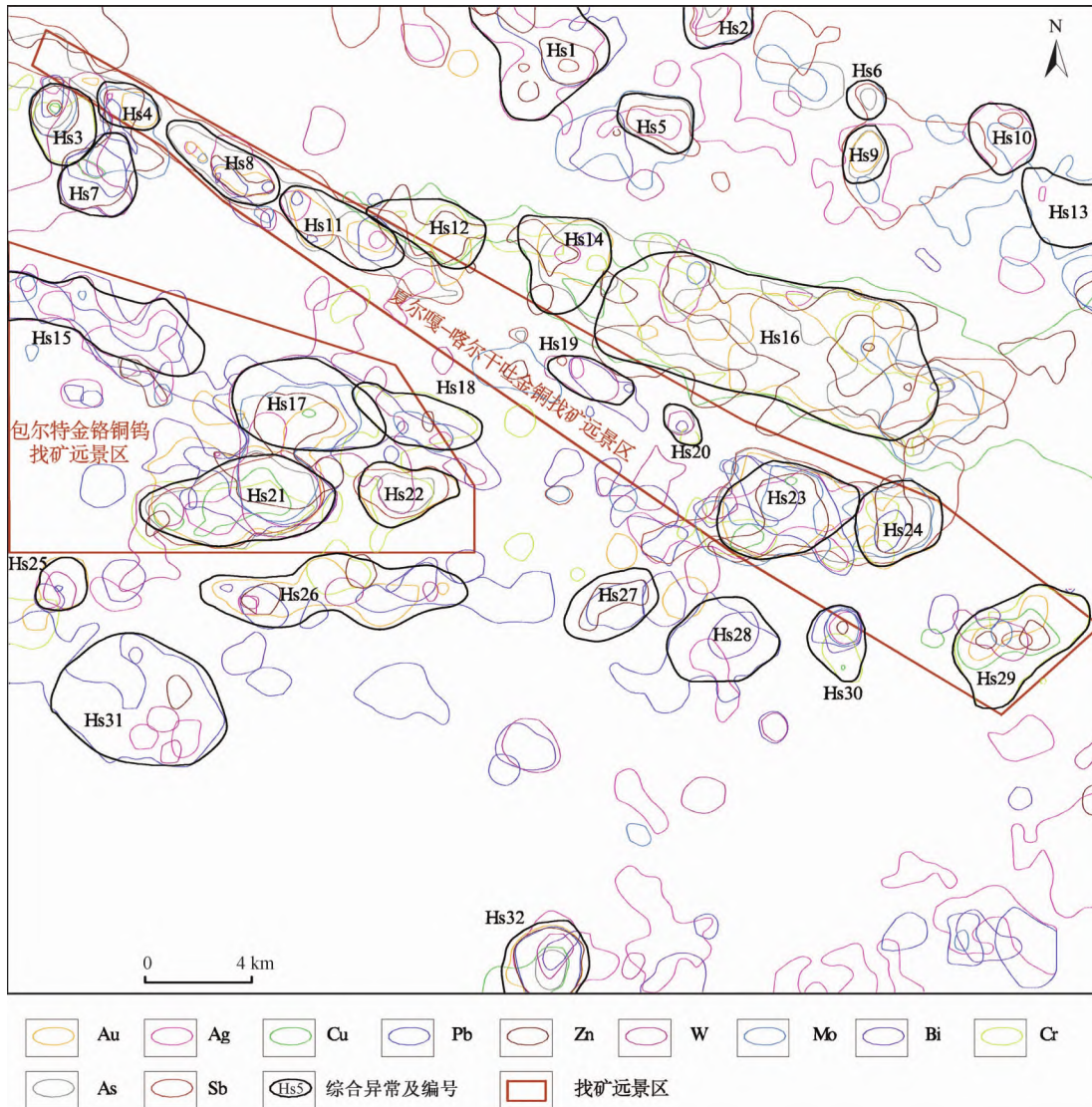


图 4 研究区综合异常及找矿远景区划图

力较大。

3.1 Hs21 号综合异常

综合异常为椭圆形,长轴方向近东西向,面积约 18 km²,异常元素组合有 W、As、Au、Cr、Bi、Pb、Sb、Ni、Mo、Cu、Ag、Zn、Co、Sn、U、Nb(表 6),各元素空间展布上除 Cr、Co、Ni 外其它元素相互套合较好(图 5),Au、W、Pb、As、Sb、Cr、Ni、Bi 出现异常中带,W 极大值 1699 × 10⁻⁶达到矿体工业品位。

异常区发育蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK²)、第三岩组(JxK³)地层和晚泥盆世花岗岩、辉长辉绿岩脉。蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK²)主要岩性为灰白色厚层状细粒大理岩夹叠层状白云岩、灰白色中层状细粒大理岩化白云岩、灰白色薄层细粒大理岩夹灰绿色-紫红色钙质片岩,局部为灰-深灰色中-薄层状大理岩。蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩组(JxK³)主要岩性为灰色绢云千枚岩、炭质千枚岩、绢云钠长片岩、绢云绿泥钠长片岩夹钙质片岩与薄层灰色大理岩组合。根据综合异常强度、规模(异常强度=平均值/下限,异常规模=异常强度×面积),判断综合异常主成

矿元素为 W、Au、As。水系沉积物样品 W 极大值已达到工业品位,异常区内发现大理岩,指示具有寻找岩浆热液型钨钼矿床的潜力; Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn 元素组合异常,异常区内韧性剪切带发育,指示具有寻找韧性剪切带型-构造蚀变岩型金矿的潜力。

经查证,在该异常内发现金矿化点、铬铁矿点及铜矿化点各一处。(1)金矿化点(图 6),位于异常北部,Au 异常浓集中心,W、Pb、Ag、As、Sb、Cu、Zn、Bi 异常区内。地层为蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩性段,岩性主要为灰色绢云千枚岩、炭质千枚岩、绢云钠长片岩、绢云绿泥钠长片岩夹钙质片岩与薄层灰色大理岩。侵入岩主要为石英闪长岩、石英斑岩,少量辉绿岩脉、花岗岩脉穿插其中。区内分布一条韧性剪切带,受韧性剪切作用,石英闪长岩已不同程度的发生了破碎蚀变。发现矿化蚀变带长约 870 m,宽 58~172 m,蚀变主要为褐铁矿化、黄铁矿化、硅化、黄钾铁矾化、钾化。拣块样的金品位为 0.53 × 10⁻⁶~7.54 × 10⁻⁶。蚀变带内圈定金矿化带 3 条,矿体 2 条,刻槽样金最高品位 1.54 × 10⁻⁶。金矿点成矿模式与新疆东疆地区野马泉中型

表 6 Hs21 综合异常特征表

元素	下限	面积/km ²	样品数/件	最大值	最小值	平均值	离差	分带	异常强度	异常规模
W	3	10.7	51	1699	0.36	65.2	282.7	3	21.73	232.3
As	16	14.3	81	353	2.48	46.02	59.56	3	2.88	41.0
Au	3.3	14.2	79	77.1	0.41	7.88	12.1	3	2.39	33.91
Cr	100	13.1	78	1102.2	11.19	256.8	259.3	3	2.57	33.67
Bi	0.65	10.8	54	13.4	0.13	1.96	2.94	3	3.02	32.50
Pb	27	8.05	38	698	13.1	99.71	160.5	3	3.69	29.74
Sb	0.9	13	75	8.6	0.24	1.98	1.66	3	2.20	28.56
Ni	55	12.1	75	696	9	125.2	131.3	3	2.28	27.50
Mo	1.6	5.76	28	55.9	0.37	6.08	12.0	3	3.80	21.91
Ag	0.07	8.68	48	1.1	0.038	0.133	0.17	2	1.84	15.99
Co	19	7.18	47	49.9	6.8	25.35	9.79	1	1.33	9.58
Zn	83	5.28	23	270	53.3	114.6	63	1	1.38	7.29
Cu	50	3.87	21	361	12.9	79.92	82.8	2	1.60	6.19
Sn	2.6	4.26	19	7.8	1	3.19	1.6	1	1.23	5.23
Nb	12.7	2.75	19	28.2	7.4	16.93	8.25	1	1.33	3.67
U	3	1.67	9	12	1.6	5.09	4.08	1	1.70	2.83
Zn	83	0.45	3	247	125	166.7	69.6	1	2.01	0.90

注: Au 元素含量为 × 10⁻⁹,其它元素为 × 10⁻⁶,异常强度 = 平均值/下限,异常规模 = 异常强度 × 面积。

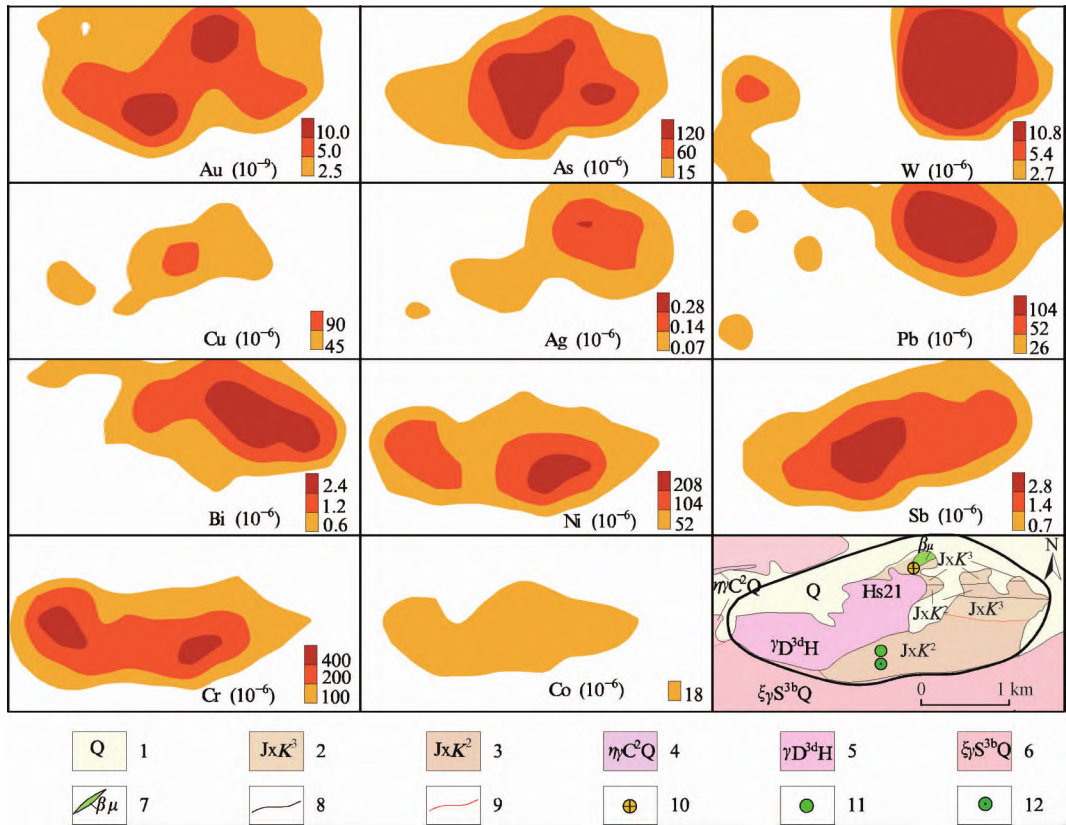


图 5 Hs21 综合异常剖析图

1—第四系; 2—蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩组; 3—蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组; 4—晚石炭世浅肉红色粗粒二长花岗岩; 5—晚泥盆世花岗岩; 6—晚志留世钾长花岗岩; 7—辉长辉绿岩脉; 8—地质界线; 9—断层; 10—金矿点; 11—铜矿点; 12—铬铁矿点

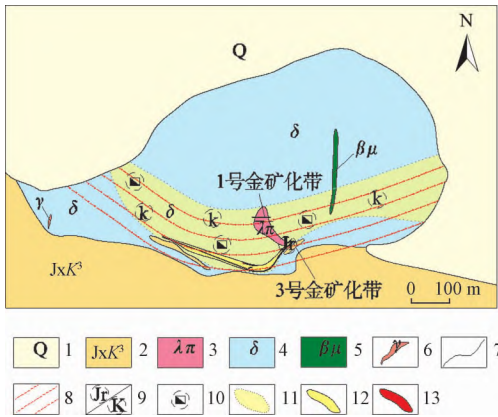


图 6 金矿点平面地质图

1—第四系; 2—蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩组; 3—石英斑岩; 4—石英闪长岩; 5—辉绿岩脉; 6—花岗岩脉; 7—地质界线; 8—韧性剪切带; 9—黄钾铁矾化/钾化; 10—褐铁矿化; 11—矿化蚀变带; 12—金矿化带 ($>0.1 \times 10^{-6}$); 13—金矿体 ($\geq 1.0 \times 10^{-6}$)

金矿较为相似, 均为“四位一体”(变质地质体 + 侵入岩体 + 韧性剪切带 + 成矿热液) 的成矿模式, 初步认定其成因为构造破碎蚀变岩型。(2) 铬铁矿

点, 位于异常南部, Cr、Ni 异常浓集中心, Au、As、Sb、Ag、Co 异常区内, 处于 Cu 异常外围。出露于基性 - 超基性岩体内, 为一条长约 1000 m, 宽 8 ~ 150 m 的矿化带, 矿化带内共发现大小矿(化)体 14 个(品位 5% ~ 11%), 地表出露矿(化)体一般长 0.3 ~ 15 m, 宽 0.05 ~ 3 m, 最大矿(化)体长 12 m 宽 0.5 m。矿体呈脉状、透镜状、豆夹状。铬铁矿呈稀疏浸染 - 团块状分布, 局部可见孔雀石化。含矿岩体均为镁铁 - 超镁铁岩体, 岩石蛇纹石化均较强, 地表矿体规模均较小, 地表覆盖较严重, 深部发现更多矿体的可能性较大。(3) 铜矿化, 位于异常南部, Cu 异常外围, Au、As、Sb、Cr、Ni、Co 异常区内, 为含铜石英脉, 规模较小长约 25 m, 宽约 0.3 m, 铜矿化主要为孔雀石化、黄铜矿化。拣块样铜品位为 0.97%。

3.2 Hs23 综合异常

该异常为椭圆形, 长轴方向近东西向, 面积 14.18 km²。异常元素组合有 Au、Ag、Pb、Zn、As、Sb、

Cr、Ni、Cu、Mo、Bi、U、Sn、W、Co,通过异常强度、规模(异常强度 = 平均值/下限,异常规模 = 异常强度 × 面积),判别主成矿元素为 Au、Pb(表7),元素异常套合较好(图7),Au、As、Sb、Pb 出现异常中带。

表7 Hs23 综合异常特征表

元素	下限	面积/km ²	样品数/件	最大值	最小值	平均值	离差	分带	异常强度	异常规模
As	15	15.72	91	966	2.65	41.17	349.6	3	2.74	43.14
Au	2.5	20.46	85	24	0.9	4.81	5.96	3	1.92	39.37
Sb	0.7	13.95	92	9.65	0.195	1.60	3.82	3	2.28	31.81
Pb	26	14.16	49	448	13.1	55.43	169.6	3	2.13	30.19
Mo	1.5	10.7	65	14.15	0.23	2.39	2.06	2	1.59	17.05
Ag	0.07	10.28	68	0.35	0.038	0.09	0.039	2	1.34	13.80
Zn	80	7.70	57	278	48.6	104.3	48.5	1	1.30	10.04
Bi	0.6	5.34	36	2.3	0.34	0.85	0.47	1	1.42	7.57
Cr	100	3.68	8	927	11.5	195.3	324.2	2	1.95	7.19
U	2.8	5.65	36	14.1	1	3.46	3.22	1	1.24	6.98
Ni	52	2.21	16	271	23.8	84.58	72.5	2	1.63	3.59
Sn	2.5	2.8	19	3.6	1.7	2.77	0.57	1	1.11	3.10
Cu	45	0.93	8	110	28.8	64.87	27.6	1	1.44	1.34
Co	18	0.65	10	41.5	10.8	22.06	11.13	1	1.23	0.80

注: Au 元素含量为 $\times 10^{-9}$, 其它元素为 $\times 10^{-6}$, 异常强度 = 平均值/下限, 异常规模 = 异常强度 \times 面积。

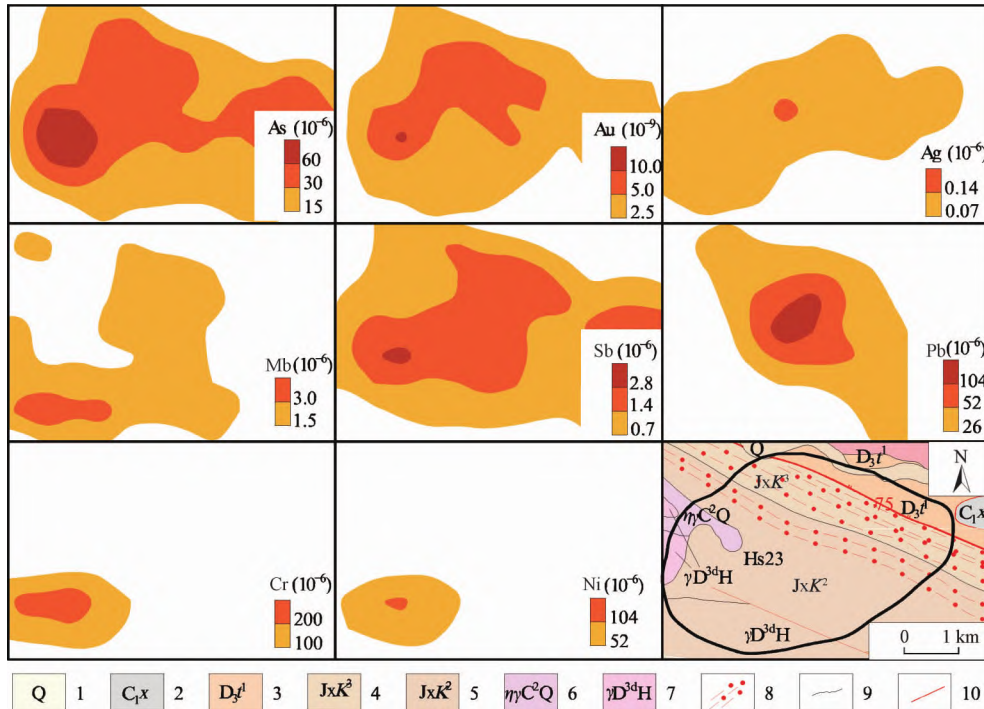


图7 Hs23 综合异常剖析图

1—第四系;2—石炭系下统小热泉子组;3—泥盆系上统天格尔组第一段;4—蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩组;5—蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组;6—晚石炭世浅肉红色粗粒二长花岗岩;7—晚泥盆世花岗岩;8—糜棱岩及韧性剪切带;9—地质界线;10—一般性质不明断层

异常区发育地层及岩体有: 蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK^2)、第三岩组(JxK^3)。蓟县系卡瓦布拉克岩群第二岩组(JxK^2)主要岩性为灰白色厚层状细粒大理岩夹叠层石白云岩、灰白色中层状细粒大理岩化白云岩、灰白色薄层细粒大理岩夹灰绿色-紫红色钙质片岩,局部为灰-深灰色中-薄层状大理岩。蓟县系卡瓦布拉克岩群第三岩组(JxK^3)主要岩性为灰色绢云千枚岩、炭质千枚岩、绢云钠长片岩、绢云绿泥钠长片岩夹钙质片岩与薄层灰色大理岩组合。北部可见一套火山岩,以安山岩、角砾凝灰岩、凝灰岩为主。异常区南部为晚泥盆世花岗岩。该异常规模大,异常强度高(表6)。冰达坂断裂从异常区北部通过,韧性剪切作用明显,Au、As、Sb异常位于韧性剪切带内,说明异常与韧性剪切带关系密切,是寻找韧性剪切带型-构造蚀变岩型金矿的有利部位。

经查证,在该异常内发现铜矿点一处,位于异常北部,Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn元素异常内。铜矿体断续长约170 m,宽0.4~0.5 m,含矿岩性为酸性岩,围岩为深褐色凝灰岩。呈岩脉状分布,铜矿化主要为孔雀石化,拣块样铜品位为2.23%,全岩均可见矿化,铜品位较高,具进一步工作价值。

4 找矿远景分析

地球化学异常在空间上的展布受其所处地质背景条件的影响、控制,决定了它具有一定的空间展布趋势和元素之间的组合规律,从而显示出特有的地球化学信息,为地质找矿指明了方向。根据研究区元素背景场展布特征、异常分布、异常解释推断结果以及研究区已知成矿地质条件,在研究区内圈定具有一定找矿潜力的远景区2处(图4)。

4.1 夏尔嘎-喀尔干吐金铜找矿远景区

该远景区为I级找矿远景区,沿冰达坂断裂分布,面积约160 km²,主要出露地层为蓟县系卡瓦布拉克岩群、长城系星星峡岩群,侵入岩有花岗岩及石英闪长岩,整体与糜棱岩及韧性剪切带重合(图1、图4)。

远景区内有Hs4、Hs8、Hs11、Hs19、Hs20、Hs23、Hs24、Hs29等8处综合异常,异常元素组合为Au、As、Sb、Ag、Sn、Cu、Pb、Zn、Cr、Co、Ni。区内先后共发现石英脉型金矿化点1处,基性-超基性岩及火山

岩型铜矿化点共4处,均位于冰达坂断裂南侧糜棱岩及韧性剪切带附近。远景区受冰达坂断裂控制,冰达坂韧性剪切带是一个金的成矿带,剪切带内强烈变形的强应变地带是成矿元素活化迁出的主要地带,次级韧性剪切带控制着矿体的分布。主要找矿靶区位于Hs23、Hs24异常处。该成矿远景区主攻矿床类型为蚀变岩、构造破碎带、韧性剪切带型金铜矿,火山岩型铜矿,与基性-超基性岩有关的铜矿。主攻矿种为金矿和铜矿。

4.2 包尔特金铬铜钨找矿远景区

该远景区为I级找矿远景区,位于研究区西部,面积约150 km²,主要出露地层为蓟县系卡瓦布拉克岩群,侵入岩有花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩及辉绿岩脉,区内糜棱岩及韧性剪切带较发育(图1、图4)。

远景区内有Hs15、Hs17、Hs18、Hs21、Hs22等5处综合异常,异常元素组合为Au、W、Cu、Cr、Ni、As、Sb、Ag、Mo、Bi、Pb、Zn。区内先后共发现构造破碎蚀变岩型金矿点1处,石英脉型铜矿化点4处,构造蚀变岩型金铜矿化点1处,基性-超基性岩有关的铬铁矿点1处,高温热液型钨矿化点1处。主要找矿靶区位于Hs21、Hs22异常处。远景区主攻矿床类型与铬铁矿、构造破碎蚀变岩型金矿、高温热液有关的钨钼矿,石英脉型铜矿。主攻矿种为铬、金、钨、铜。

5 结论

(1)开展的1:5万水系沉积物测量工作方法可靠,找矿效果明显,查明了乌尔沟地区16种元素的地球化学分布规律和成矿潜力。研究区主成矿元素为Au、W、Cu、Zn,伴生元素为Ag、Pb、As、Sb、Bi、Mo、Cr等。经过进一步工作查明,研究区主要的成矿种类为:金、钨、铬、铜等。

(2)区内元素地球化学分布特征受断裂、地层及岩体控制明显,Au、As、Sb等元素异常基本沿区内韧性剪切带分布,尤其是冰达坂断裂成矿作用的控制最为明显。Cu、Cr、Co、Ni高背景主要分布于上泥盆统天格尔组地层及基性-超基性岩脉发育的地区。

(3)圈定的2处I级找矿远景区,即夏尔嘎-喀尔干吐金铜找矿远景区和包尔特金铬铜钨找矿远景区,具有相当大的找矿潜力,为今后工作指明

了找矿方向。

(4) 研究区成矿种类丰富,尤其是包尔腾金铬铜钨找矿远景区内的 Hs21 综合异常,异常内发现有构造破碎蚀变岩型金矿、与基性-超基性岩有关的铬铁矿及石英脉型铜矿化点,可以进一步开展评价工作,进而实现该地区的找矿突破。

致谢:对宁夏回族自治区地球物理地球化学勘查院地球化学所工作人员在项目野外生产过程中的辛勤付出,表示诚挚的感谢!

注 释

- ① 杨建锋,王志强,石天池,曹园园,李九发,张永宏,马贵林,吕苗,胡长征,杨保国. 2019. 新疆托克逊县乌尔沟地区 1:5 万地球化学普查报告[R]. 宁夏回族自治区地球物理地球化学勘查院.

参考文献

- 班宜红,涂良权,芦西战,李福斌,安金亮. 2020. 新疆托盖勒克地区 1:5 万水系沉积物测量地球化学特征及找矿前景[J]. 矿产勘查,11(4):764-774.
- 杜保峰,杨长青,柴建玉,何凯,贺承广,白国典. 2017. 西藏给我铁钨多金属矿床物化探异常特征及找矿效果[J]. 地质找矿论丛,32(4):619-625.
- 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.
- 高永伟,郭周平,赵辛敏,王育习,李向民,薛宝林. 2018. 青海北祁连冷龙岭地区水系沉积物元素地球化学特征及异常圈定[J]. 现代地质,32(3):468-480.
- 郭海明,李云平,李国龙,姚旭东. 2020. 1:5 万地球化学测量在青海沱沱河郭仓乐玛地区找矿中的应用[J]. 矿产勘查,11(7):1407-1413.
- 胡兆国,张少鹏,连国建,王磊,李绪蛟,李仕远,张之武,杨生飞,胡加斌,王小玉,赵晓博,张扬. 2018. 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,32(3):481-492.
- 黎彤,倪守斌. 1997. 中国大陆岩石圈的化学元素丰度[J]. 地质与勘探,33(1):31-37.

- 柳坤峰,冯昌荣,翟黎明,徐磊,张嘉升,王少华,寇昕. 2019. 新疆乌恰县吾合沙鲁地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 现代地质,33(4):759-771.
- 刘志坚,侯明才,张琇,王泽晶,向连格,王红. 2013. 宁夏中卫卫宁北山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探,37(4):608-614.
- 马元林,莫延强,于小亮,张俊海,袁克全,韩清德,韩杰. 2020. 青海祁连山孔沟金矿 1:5 万水系沉积物测量异常评价及找矿方向[J]. 矿产勘查,11(9):1993-1999.
- 潘彤. 2015. 青海省柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿-以夏日哈木镍矿为例[J]. 中国地质,42(3):713-723.
- 邱炜,李杰,杨鸿鹏. 2018. 衬值法在大数据地球化学图件处理中的应用——以青海锡铁山地区为例[J]. 矿产勘查,9(6):1271-1275.
- 邵继,刘会文,刘江峰,辛军强,刘奔,朱满怀. 2018. 阿尔金牛鼻子梁地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质科技情报,37(5):176-183.
- 王斌,牛建忠,艾海平,陈士海. 2018. 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,33(3):375-381.
- 王奎,何立新,黄庆,谷高中,吴晓贵,袁立新,夏华林,吴建新. 2019. 新疆碱泉子一带水系沉积物测量地球化学特征及找矿远景[J]. 新疆地质,37(2):213-218.
- 王磊,杨建国,王小红,齐琦,张洲远,张乐,谢燮,杨涛,杨生飞,胡兆国. 2016. 甘肃北山炭山子-黄草泉一带水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 现代地质,30(6):1276-1284.
- 张晶,杨博,李宝强,李慧英. 2018. 中国西北地区成矿元素区域地球化学特征[J]. 现代地质,32(5):1042-1052.
- 赵娟,王泰山,李德彪,马正婷,魏丽琼. 2017. 青海祁漫塔格地区 1:5 万水系沉积物测量方法技术及应用成果[J]. 地质与勘探,53(4):739-745.
- 祝大伟,何玉燕,郝延海,王海军. 2017. 新疆塔什库尔干县赞坎铁矿外围水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质通报,36(10):1867-1873.
- 中华人民共和国国土资源部,全国国土资源标准化技术委员会. 2015. 地球化学普查规范(1:50000):DZ/T0011-2015[S]. 北京:地质出版社.

Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Wuergou area, Xinjiang

YANG Jianfeng^{1,3}, MA Guiling², SHI Tianchi¹, ZHAO Yanpei³

- (1. Geophysical and Geochemical Exploration Institute of the Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750004, Ningxia, China;
2. Ningxia Survey and Monitoring Institute of Land and Resource, Yinchuan 750002, Ningxia, China;
3. Yinchuan Keyuan Geology and Mineral Exploration Co., Ltd., Yinchuan 750200, Ningxia, China)

Abstract: In order to find out the main ore-forming and associated indicator elements in Wuergou area, the

geochemical distribution characteristics and the law of collection, distribution and differentiation, the 1:50,000 stream sediment geochemical survey was completed. The geochemical characteristics of 16 elements, such as Au, W, Cu and Cr, were analyzed, and 32 comprehensive anomalies were delineated, and some anomalies were verified. Comprehensive study shows that the polymetallic mineralization in the area is obviously controlled by faults, strata and rock masses, especially Bingdaban fault. Two prospecting prospects of I grade were delineated. The main element assemblage is Au, As, Sb, Ag, Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Co and Ni in the Xiaerga-Kaergantu gold-copper prospecting prospective area. The main element combination is Au, W, Cu, Cr, Ni, As, Sb, Ag, Mo, Bi, Pb, Zn in the Boerte gold, chromium, copper, tungsten prospecting prospect area. The main metallogenic types in the study area are gold, tungsten, chromium, copper, etc. It provides the geochemical basis for the future work and points out the prospecting direction.

Keywords: metallogenic prospects area; geochemistry; stream sediment; Xinjiang; Wuerkou area