

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.03.06

引用格式: 刘亮,张杰,李江涛,等. 新疆哈尔里克地区主要地层单元含矿性分析[J]. 中国地质调查,2020,7(3): 45-54.

新疆哈尔里克地区主要地层单元含矿性分析

刘亮^{1,2}, 张杰¹, 李江涛³, 马运超¹, 戴元¹, 许涛¹

(1. 四川省地质矿产勘查开发局川西北地质队, 绵阳 621010; 2. 攀枝花市自然资源和规划局, 攀枝花 617000; 3. 乐山市自然资源局, 乐山 614000)

摘要: 哈尔里克成矿带属铜、金、钨、锡、钼、铁、锰、镍、钴多金属成矿有利地段。为进一步研究成矿带内各地层的含矿性,以天山哈密地区 1:5 万水系沉积物测量为基础,分析了 17 种元素及氧化物的特征参数、分布规律及演化特征,对 7 个地层单元的含矿性进行了分析。结果显示:哈尔里克地区 Au、Sb、Bi 呈极不均匀分布(变异系数 $C_v \geq 1.5$),As、Hg、W 为不均匀分布($1.0 \leq C_v < 1.5$);区内元素有对称、正偏、负偏和双峰 4 种分布类型。各地层单元元素及氧化物浓集系数均表现为波浪形曲折变化。铁族元素主要富集于大柳沟组 and 头苏泉组;钨、钼族元素主要富集于头苏泉组;Au 主要富集在大柳沟组、大南湖组;综合分析认为 Au、Cu、W、Bi、Fe、Mn、Zn 为研究区优势矿种,主成矿元素为 Au、Cu、Fe,最佳富集地质时代为奥陶纪,泥盆纪次之,奥陶系大柳沟组为主要含矿地层。

关键词: 哈尔里克; 水系沉积物; 地层单元; 含矿性

中图分类号: P632; P536

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2020)03-0045-10

0 引言

南准噶尔成矿带哈尔里克(复合岛弧带)成矿亚带属铜、金、钨、锡、钼、铁、锰、镍、钴多金属成矿有利地段,各类矿产地共计 50 余处。前人在哈尔里克周边地区进行了较多的基础地质矿产工作^[1-4],研究区部分区域还开展过 1:20 万地质矿产调查和水系沉积物测量工作,圈定了水系沉积物异常,对区内地质、矿产特征进行了总结,尤其对金、铜及多金属矿床地质特征及成因进行了分析^[5-7]。但受限于调查精度、理论和分析元素种类等原因,对区内成矿地质条件、地层含矿性等方面的研究有待进一步提高。水系沉积物地球化学测量在圈定异常、寻找靶区和矿产方面发挥着重要的作用^[8-14],因此,2013—2015 年在哈尔里克山地区开展了 1:5 万水系沉积物地球化学测量,完成测量面积为 1 300 km²,采样 6 825 件,结合区内最新 1:5 万地质矿产调查成果,运用各类地球化学特征参数,分析各类元素在不同地质体中的含量及变化特征。结

合区域地质背景及成矿规律,探讨各地层单元的含矿性及找矿方向,为该区下一步找矿工作提供依据。

1 研究区地质概况

1.1 地质特征

研究区位于准噶尔—哈萨克斯坦板块之哈尔里克古生代复合岛弧带(图 1(a)),北与琼库尔石炭纪岛弧带相接,南邻吐哈地块^[15-17],属哈尔里克一大南湖地层小区。研究区出露前震旦系、奥陶系、泥盆系、古近系—新近系及第四系(图 1(b)):小铺岩群(AnZX)为一套片岩、片麻岩变质岩组合;乌列盖组(O_{2-3w})为一套变质长石石英细砂岩、大理岩化粉晶灰岩,夹安山岩、千枚岩、凝灰岩等;大柳沟组(O_{2-3d})由碎屑岩、火山岩及火山碎屑岩组成,具双峰式火山岩特征;大南湖组(D_{1d})岩性为长石石英砂岩、泥质粉砂岩、大理岩、千枚岩,夹英安岩、玄武岩等;头苏泉组(D_{2ts})由蚀变硅质岩、泥质粉砂岩、粉砂质板岩夹粉晶灰岩、英安岩等组成;桃树园组(E_{3N₁t})由河流相泥岩、砾岩及少量膏岩

收稿日期: 2019-05-29; 修订日期: 2020-03-04。

基金项目: 中国地质调查局“新疆天山哈密地区五幅 1:5 万区域地质矿产调查(编号: 12120113042400)”项目资助。

第一作者简况: 刘亮(1987—),男,硕士,工程师,主要从事区域地质、矿产地质、地球化学等方面的研究。Email: liuliang2006ziyang@163.com。

层组成；第四系包括全新统冲洪积松散堆积物（ Qh^{pal} ）和上更新统冰川堆积物（ Qp_3^{gl} ）。

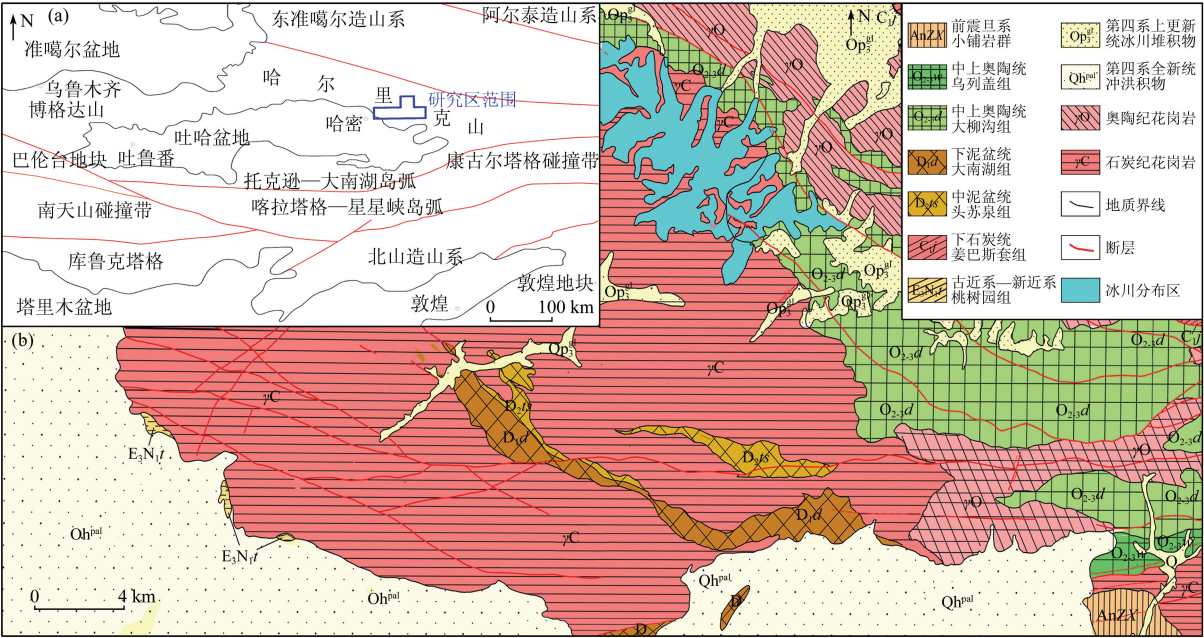


图 1 研究区地质简图
Fig.1 Geological sketch of the study area

区内岩浆活动强烈,主要为奥陶纪和石炭纪岩体(图 1),呈岩基或岩株产出。奥陶纪岩体出露面积约 80 km²,岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩^[16];石炭纪岩体广泛分布,面积约 1 000 km²,包括二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩等。

1.2 地貌及景观特征

研究区地处天山山脉东段哈尔里克山南坡及主脊两侧,海拔一般在 2 721 ~ 4 888 m,呈中—高山、窄深谷的地貌景观,气候极为干燥,属典型的温带大陆性气候。区内植被主要为少量草本植物,仅在沟谷及山坡背阴面见有少量树木分布,地表多为基岩的残坡积物。化学风化和生物化学风化作用微弱,物理风化和机械搬运作用强烈,水系较短,多为短暂阵雨洪流形成的 I 级水系。

2 样品采集及分析测试

本次研究共完成 1:5 万水系沉积物测量面积约 1 300 km²,采样 6 825 件,平均采样密度为 5.25 件/km²,90% 以上的水系点布设于 I 级水系上,水系较长(如 500 m 以上)还应增加采样点,使每一个采样点控制汇水盆地的面积大致在 0.25 ~ 0.125 km²。采样粒级为 -10 ~ +80 目。

样品用磨样机加工粒度达 0.074 mm (- 200 目)。根据研究区 1:20 万水系测量和区域地质矿产特征,确定本次分析元素及氧化物为 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Mo、Bi、Fe₂O₃、Mn、Cr、Co 和 Ni 共 17 种。具体分析方法、检出限指标、准确度及精密度见表 1。

表 1 分析方法及检出限质量指标
Tab.1 Analysis method and detection limit quality index

元素及氧化物	分析方法	分析方法检出限/10 ⁻⁶	规范要求检出限/10 ⁻⁶	准确度	方法精密度/%
As	原子荧光光谱法	0.5	1	0.008	7.26
Sb	原子荧光光谱法	0.05	0.2	0.005	7.85
Bi	原子荧光光谱法	0.05	0.1	0.008	5.33
W	极谱法	0.3	0.5	0.001	5.79
Mo	极谱法	0.3	0.5	0.001	9.72
Co	离子体光源光谱法	1	1	0.017	10.50
Cr	离子体光源光谱法	10	15	0.001	3.19
Cu	离子体光源光谱法	1	1.5	0.003	3.04
Zn	离子体光源光谱法	10	15	0.001	2.36
Ni	离子体光源光谱法	2	3	0.003	9.42

(续表)					
元素及氧化物	分析方法	分析方法检出限/ 10^{-6}	规范要求检出限/ 10^{-6}	准确度	方法精密度/%
Ag	光谱深孔电极法	0.03	0.03	0.009	10.04
Sn	光谱深孔电极法	0.5	1	0.023	9.40
Hg	原子荧光光谱法	0.002	0.003	0.021	10.78
Fe ₂ O ₃	离子体光源光谱法	50	1 000	0.032	11.26
Mn	离子体光源光谱法	10	30	0.012	7.65
Pb	光谱深孔电极法	5	5	0.011	10.78
Au	化学光谱	0.000 3	0.000 3	0.049	12.26

3 地球化学特征及分布规律

3.1 元素的总体分布特征

根据研究区 1:5 万水系沉积物样品分析成果,

将原始数据转换成对数值,逐步剔除大于和小于平均值加减 3 倍标准离差的异常数据,最终求得平均值作为元素背景值(表 2)。研究区背景值与 1:20 万伊吾幅^[18]和中国水系沉积物背景值^[19]进行比较,得出各元素的浓集系数 K 。根据 K 值的大小确定元素的富集程度: $K \geq 1.5$ 为强富集分布; $1.2 \leq K < 1.5$ 为富集分布; $1.0 \leq K < 1.2$ 为高背景分布; $0.8 \leq K < 1.0$ 为低背景分布; $K < 0.8$ 为贫乏^[20]。变异系数 C_v 反映元素在测区内的变异程度,一般认为变异系数越大成矿希望越大,反之则越小^[21]。变异系数 $C_v \geq 1.5$ 为极不均匀分布(强分异), $1.0 \leq C_v < 1.5$ 为很不均匀分布(分异), $0.8 \leq C_v < 1.0$ 为不均匀分布(弱分异), $0.5 \leq C_v < 0.8$ 为相对均匀分布, $C_v < 0.5$ 为均匀分布。研究区 As、Hg、W 为不均匀分布,Au、Sb、Bi 呈极不均匀分布(表 2),特别是 Au 达到 2.63,为强分异,具有良好的成矿潜力。

表 2 研究区各元素背景参数统计
Tab.2 Statistics of background parameters of each element in the study area

元素及氧化物	伊吾幅水系沉积物背景值 ^[1]	中国水系沉积物背景值 ^[18]	研究区地球化学参数		K_1	K_2
			背景值	变异系数(C_v)		
Ag	0.049	0.073	0.070	0.64	0.96	1.43
Sn	1.450	2.800	2.320	0.27	0.83	1.60
As	6.340	9.000	7.247	1.23	0.81	1.14
Sb	0.560	0.700	0.580	1.64	0.83	1.04
Bi	0.190	0.300	0.231	1.89	0.77	1.22
Hg	0.048	0.034	0.019	1.41	0.56	0.40
Mo	0.590	0.800	0.668	0.71	0.84	1.13
W	1.140	1.700	1.159	1.18	0.68	1.02
Au	1.030	1.200	0.754	2.63	0.63	0.73
Co	11.700	12.000	12.301	0.45	1.03	1.05
Cr	34.300	54.000	42.807	0.59	0.79	1.25
Cu	22.800	20.000	21.233	0.61	1.06	0.93
Mn	662.000	653.000	795.708	0.26	1.22	1.20
Ni	18.100	23.000	19.688	0.73	0.86	1.09
Pb	13.000	23.000	15.724	0.58	0.68	1.21
Fe ₂ O ₃	4.820	4.300	4.931	0.35	1.15	1.02
Zn	60.100	67.000	73.598	0.40	1.10	1.22

注: Au 含量单位为 10^{-9} , Fe₂O₃ 含量单位为%, 其他元素含量单位为 10^{-6} ; C_v 、 K_1 、 K_2 为无量纲量; 浓集系数 K_1 = 研究区背景值/中国水系沉积物背景值, K_2 = 研究区背景值/伊吾幅背景值。

3.1.1 元素总体背景特征

(1) 与中国水系沉积物测量背景值^[19]相比。Mn 含量偏高,呈富集分布; Cu、Co、Fe₂O₃、Zn 含量略高,呈高背景分布; Ag、Sn、As、Sb、Mo、Ni 含量接近,呈低背景分布; Bi、Hg、W、Au、Cr、Pb 含量较低,为贫乏分布。区内与基性—超基性火山岩关系密切的元素较为富集,反映出研究区具有区域变质岩

分布广泛和岩浆热液活动较为频繁的总体格局。
(2) 与 1:20 万伊吾幅水系沉积物背景值^[18]相比。Sn 为强富集分布; Ag、Bi、Cr、Mn、Pb、Zn 呈富集分布; As、Sb、Mo、W、Co、Ni、Fe₂O₃ 呈高背景分布; Au、Hg 呈明显贫乏。与中酸性岩浆岩有关元素呈富集—强富集分布; 与构造热液有关元素呈高背景—富集分布; 与基性—超基性火山岩相关

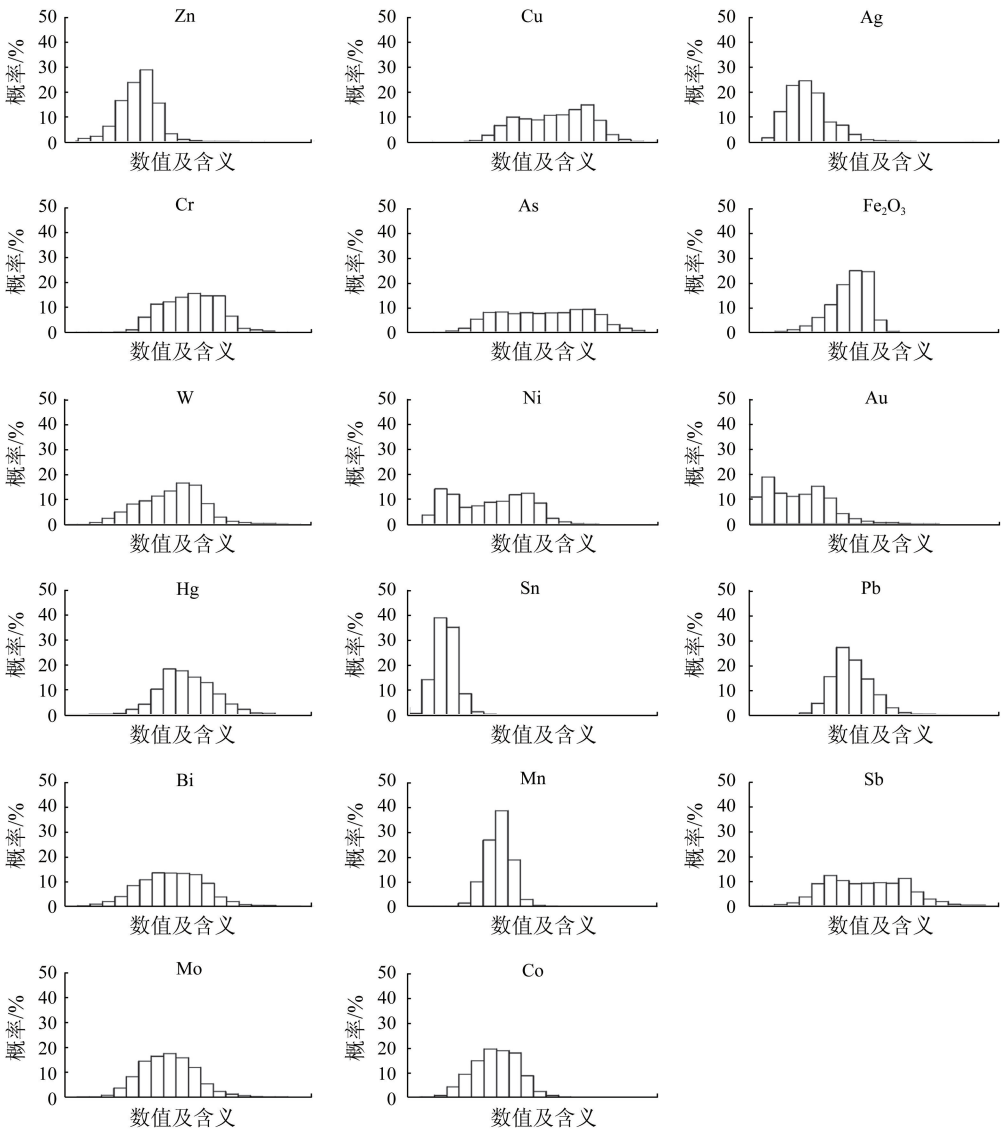
元素呈高背景分布。研究区具有以中酸性岩浆岩活动为主、构造热液及火山作用多期次叠加成矿的基本格架。

3.1.2 元素总体分布类型

原始数据的分布特征对确定地球化学背景值、异常下限等有重要的作用^[22]。一般情况下,在次生晕地球化学中主量元素的含量呈正态分布,微量元素含量呈对数正态分布^[23-24]。经分布模型检验^[25],研究区元素基本属正态分布或对数正态分布,从全区统计直方图(图 2)可看出有对称、正偏、负偏和双峰 4 种分布类型,各分布类型的元素及所反映的地质含义见表 3。

表 3 各元素分布类型及地球化学含义简述
Tab.3 Distribution types and geochemical implications of each element

类型	元素及氧化物	地球化学含义
对称	Bi、Mo、Co	不同地质体内背景含量变化不大,构成单一背景母体。异常部分受不同地质体单元背景母体干扰小
正偏	Fe ₂ O ₃ 、W、Mn、Cr	受中—酸性侵入岩及碳酸盐建造影响
负偏	Zn、Ag、Sn、Pb、Hg	主体处于高含量母体段。在构造活动强烈区呈高背景分布
双峰	Cu、As、Au、Sb、Ni	明显地分为高背景母体(主体部分)和低背景母体 2 部分。元素在奥陶系、泥盆系中呈高背景分布,在中—酸性岩体中呈低背景分布



注:直方图横坐标为元素含量值的常用对数,Fe₂O₃含量单位为%,Au含量单位为 ng/g,其他元素含量单位为 μg/g。
因本图为示意图,故省去组距大小。

图 2 研究区各元素含量对数值段频数统计直方图
Fig.2 Histogram of numerical frequency statistics of each element content in the study area

3.2 地层单元中元素分布特征

用未剔除特高值的原始分析数据进行统计,计算研究区及各地层单元元素含量的平均值(X)、变异系数(C_v)、浓集系数(K),并以此讨论各地层单元的地球化学特征。相对浓集系数(K)为各元素含量的算术平均值与研究区各元素平均值的比值;变异系数(C_v)为各元素的标准离差与其算术平均值的比值,变异系数越大成矿希望越大,反之则越小^[21]。特征参数(X 、 C_v 、 K)能够反映元素在不同地质时代、不同地质体中分布、分配

的专属性和差异性^[20]。

将地层划分到组对其元素富集分布特征及其分异特征进行讨论(表4),统计各地层单元中的元素富集程度(表5)及其分异程度(表6),结合统计数据总结各地层单元中的元素含量分布规律及特征,以及各成矿元素富集的重点地层单元。由于第四系全新统冲洪积物未布置水系沉积样品且石炭系分布局限,故未对全新统冲洪积物(Qh^{pal})和石炭系姜巴斯套组(C_{lj})进行统计,同时限于篇幅未添加侵入岩单元含矿性相关内容。

表4 地层单元各元素参数统计
Tab.4 Statistics of each element parameters in each stratigraphic unit

地层	样品数	Ag			Sn			As			Sb			Bi		
		X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K
Q	1 001	0.08	0.58	0.98	2.24	0.23	0.94	7.60	0.96	0.86	0.61	0.64	0.82	0.23	0.64	0.79
E ₃ N ₁ t	11	0.09	0.80	1.20	2.13	0.21	0.90	4.02	0.44	0.46	0.34	0.28	0.46	0.19	0.25	0.65
D ₂ ts	129	0.08	0.51	1.08	2.47	0.23	1.04	13.94	0.72	1.58	0.82	0.51	1.11	0.42	1.05	1.47
D ₁ d	255	0.08	0.57	1.06	2.39	0.19	1.01	12.42	0.90	1.41	0.64	0.50	0.86	0.33	1.18	1.15
O ₂₋₃ d	1 033	0.08	0.73	1.08	2.54	2.23	1.07	18.78	1.05	2.13	1.83	1.47	2.47	0.32	0.79	1.09
O ₂₋₃ w	49	0.09	0.35	1.13	2.53	0.15	1.07	13.48	0.48	1.53	1.07	0.36	1.44	0.30	0.66	1.05
AnZX	61	0.07	0.42	0.92	2.67	0.32	1.12	8.14	0.51	0.92	0.51	0.75	0.69	0.41	0.88	1.40

地层	样品数	Hg			Mo			W			Au		
		X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K
Q	1 001	0.02	0.58	0.95	0.68	0.48	0.91	1.20	0.66	0.88	0.97	0.93	1.04
E ₃ N ₁ t	11	0.02	0.35	0.76	0.74	0.72	0.99	1.24	0.70	0.90	0.68	0.46	0.73
D ₂ ts	129	0.02	0.52	1.12	1.16	1.07	1.55	1.87	1.42	1.37	1.05	0.46	1.13
D ₁ d	255	0.02	0.59	0.96	0.79	0.55	1.06	1.50	0.67	1.09	1.43	4.16	1.53
O ₂₋₃ d	1 033	0.03	2.55	1.26	1.06	0.67	1.42	1.70	0.66	1.24	1.46	2.64	1.56
O ₂₋₃ w	49	0.02	0.38	0.83	0.73	0.24	0.98	1.68	0.41	1.23	1.05	0.62	1.13
AnZX	61	0.02	0.90	0.79	0.71	0.45	0.96	1.29	0.55	0.94	0.78	0.45	0.84

地层	样品数	Co			Cr			Cu			Mn		
		X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K
Q	1 001	12.96	0.40	1.02	48.62	0.52	1.07	22.37	0.57	1.02	751.74	0.24	0.93
E ₃ N ₁ t	11	9.58	0.56	0.75	30.78	0.40	0.68	12.35	0.35	0.56	635.36	0.22	0.78
D ₂ ts	129	13.80	0.38	1.08	56.34	0.36	1.25	29.33	0.43	1.34	857.11	0.21	1.06
D ₁ d	255	12.85	0.34	1.01	50.26	0.39	1.11	25.97	0.50	1.19	792.15	0.21	0.98
O ₂₋₃ d	1 033	15.96	0.39	1.25	56.09	0.43	1.24	31.10	0.38	1.42	939.41	0.25	1.16
O ₂₋₃ w	49	13.75	0.20	1.08	51.29	0.20	1.13	28.21	0.27	1.29	887.76	0.15	1.09
AnZX	61	12.29	0.47	0.96	50.92	0.38	1.13	22.05	0.44	1.01	775.67	0.37	0.96

地层	样品数	Ni			Pb			Fe ₂ O ₃			Zn		
		X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K	X	C_v	K
Q	1 001	20.23	0.61	0.97	15.05	0.41	0.88	4.87	0.33	0.98	69.20	0.32	0.91
E ₃ N ₁ t	11	11.28	0.51	0.54	12.84	0.16	0.75	3.85	0.49	0.77	52.90	0.28	0.69
D ₂ ts	129	30.09	0.48	1.44	23.49	0.69	1.37	5.12	0.31	1.03	90.69	0.48	1.19
D ₁ d	255	25.54	0.51	1.22	18.41	0.38	1.07	5.19	0.27	1.04	79.82	0.26	1.05
O ₂₋₃ d	1 033	30.19	0.47	1.45	21.74	0.62	1.27	5.99	0.25	1.20	96.66	0.32	1.27
O ₂₋₃ w	49	25.33	0.31	1.21	28.27	0.63	1.65	5.58	0.16	1.12	99.39	0.39	1.31
AnZX	61	23.05	0.62	1.11	20.86	0.25	1.22	4.98	0.36	1.00	76.39	0.29	1.00

注: Au 含量单位为 10⁻⁹, Fe₂O₃ 含量单位为%, 其他元素含量单位为 10⁻⁶; C_v 、 K 为无量纲量; 浓集系数(K) = 各元素含量在各地质单元中的算术平均值/研究区各元素含量平均值的比值; 变异系数(C_v) = 各元素的标准离差/算术平均值; 研究区石炭系(C_{lj}) 出露面积小, 水系样品较少, 不具有统计意义。

表 5 各地层单元元素富集程度统计					
Tab.5 Statistics of each element enrichment degree in each stratigraphic unit					
地层	强富集	富集	高背景	低背景	贫乏
Qp ₃ ^{gl}			Au、Co、Cr、Cu	Ag、Sn、As、Sb、Hg、Mo、W、Mn、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn、Ni	Bi
E ₃ N ₁ t			Ag	Sn、Mo、W	As、Sb、Bi、Hg、Au、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn
D ₂ ts	As、Mo	Bi、W、Cr、Cu、Ni、Pb	Ag、Sn、Sb、Hg、Au、Co、Mn、Fe ₂ O ₃ 、Zn	Mn	
D ₁ d	Au	Ni、As	Ag、Sn、Bi、Mo、W、Co、Cr、Cu、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn	Hg、Mn	Sb
O ₂₋₃ d	As、Sb、Au	Hg、Mo、W、Co、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn	Ag、Sn、Bi、Mn、Fe ₂ O ₃		
O ₂₋₃ w	As、Pb	Sb、W、Cu、Ni、Zn	Ag、Sn、Bi、Au、Co、Cr、Mn、Fe ₂ O ₃	Hg、Mo	
AnZX		Bi、Pb	Sn、Cr、Cu、Ni	Ag、As、Mo、W、Au、Co、Mn、Fe ₂ O ₃ 、Zn	Sb、Hg

表 6 各地层单元元素分异程度统计					
Tab.6 Statistics of each element differentiation in each stratigraphic unit					
地层	强分异	分异	弱分异	相对均匀	均匀
Qp ₃ ^{gl}			Au、As	Ag、Bi、Sb、Hg、W、Cr、Cu、Ni	Sn、Mo、Co、Mn、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn
E ₃ N ₁ t				Ag、Mo、W、Co、Ni	Sn、As、Bi、Sb、Hg、Au、Cr、Cu、Mn、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn
D ₂ ts		W	Bi、Mo	Ag、As、Sb、Hg、Pb	Sn、Au、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Fe ₂ O ₃ 、Zn
D ₁ d	Au	Bi	As	Ag、Bi、Hg、Mo、W、Cu、Ni	Sn、Co、Cr、Mn、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn
O ₂₋₃ d	Hg、Au	As、Sb		Ag、Bi、Mo、W、Pb	Sn、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn
O ₂₋₃ w				Bi、Au、Pb	Ag、Sn、As、Sb、Hg、Mo、W、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Fe ₂ O ₃ 、Zn
AnZX			Bi、Hg	As、Sb、W、Ni	Ag、Sn、Mo、Au、Co、Cr、Cu、Mn、Pb、Fe ₂ O ₃ 、Zn

3.2.2.1 小铺岩群(AnZX)

该地层 Bi、Pb 呈富集分布,Sn、Cr、Cu、Ni 呈高背景分布,Sb、Hg 呈贫乏分布,其余元素呈低背景分布;从变异系数来看,Bi、Hg 为弱分异,其余元素呈相对均匀—均匀分布。钨、钼族元素的富集分布与地层中酸性脉岩发育有关;少量铁族元素富集反映该区基性—超基性成分较少,但成岩温度较高。Bi、Hg 弱分异反映该区中酸性脉岩较为发育。

3.2.2.2 乌列盖组(O₂₋₃w)

以强富集 As、Pb,富集 Sb、W、Cu、Ni、Zn 为特征;具高 Ag、Sn、Bi、Au、Co、Cr、Mn、Fe₂O₃,低 Hg、Mo 的背景分布特征;其富集序列由高到低为 Pb(1.65)→As(1.53)→Sb(1.44)→Zn(1.31)→Cu(1.29)→W(1.23)→Ni(1.21)。从变异系数来看,Bi、Au、Pb 呈相对均匀分布,C_v 值分别为 0.66、0.62、0.63,其余元素均呈均匀分布。Cu 元素 K 值为 1.29,因成矿元素密度较大等原因,未反映出强富集的分布特征。地层目标矿种为铜,已有土木多铜矿(化)点。

3.2.2.3 大柳沟组(O₂₋₃d)

各元素在该地层中呈高背景—强富集分布,其中 As、Sb、Au 强富集,Hg、Mo、W、Co、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 富集,Ag、Sn、Bi、Mn、Fe₂O₃呈高背景分布。铁族元素富集反映基性—超基性岩浆活动强烈;铜族元素高背景—富集反映中—低温热液活动叠加;钨、钼族元素高背景—富集反映中酸性侵入成分带入。就其变异系数而言,Hg、Au 强分异且 C_v 值分别为 2.55、2.64,As、Sb 分异,Ag、Bi、Mo、W、Pb 呈相对均匀分布,其他元素均呈均匀分布。这反映该区元素富集成矿与构造热液活动有关,具多期次叠加的特点。

该地层火山作用强烈,断裂构造发育,多期次岩浆活动叠加,Hg、Au 均呈强富集—强分异的分布分配特点,As、Sb、Hg、Pb 具全区最高含量值,Au 含量为 92.3×10⁻⁹。中低温热液元素在该地层较其他地层活动性强,该地层有普托哈达金矿(化)点、托库孜阿腊勒铜矿(化)点、大天生圈沟金矿(化)点、大老虎沟铜矿(化)点、亚喀萨拉铜金矿(化)点和纳依塔克铜矿(化)点,为 Au、Cu 主要含矿地层。

3.2.4 大南湖组(D₁d)

与全区相比,Au 呈强富集分布且浓集系数为 1.53,As、Ni 呈富集分布,Ag、Sn、Bi、Mo、W、Co、Cr、Cu、Pb、Fe₂O₃、Zn 呈高背景分布,Hg、Mn 呈低背景分布,Sb 显示地球化学亏损。铁族元素的高背景—富集分布显示该组中亲基性等组分相对较丰富的特征,钨、钼族元素的高背景分布显示地层成岩温度较高,铜族元素的高背景富集显示该地层中低温热液作用较为显著。

从变异系数来看,Au 强分异且 C_v 值为 4.16,Bi 分异,As 为弱分异,其他元素均呈相对均匀—均匀分布。这反映 Au、Bi 的后期叠加富集显著。Au 具有与中酸性侵入岩组分同富集(成矿)趋势,Au 富集主要与中酸性岩浆岩活动有关,最高含量为 95.2×10⁻⁹,1:20 万伊吾幅 33-乙(Ag、Pb、Zn、Cd、As、Sb、Bi)及 31-丙(Ag、Pb、Bi)综合异常均产于该地层。Cu 也显示局部富集高背景,如八大石南铜金矿(化)点。该地层对寻找 Au、Cu 矿有一定的优势。

3.2.5 头苏泉组(D₂ts)

该地层中 As、Mo 呈强富集分布,Bi、W、Cr、Cu、Ni、Pb 呈富集分布,其余元素 K 值范围为 0.8~1.2,属于低背景—高背景分布。W、Mo、Bi、As 的富集显示成岩温度高;Cr、Ni 的富集说明该地层中基性成分较高;Cu、Pb 的富集可能与构造热液有关。就变异系数而言,W 呈很不均匀分布,Bi、Mo 呈极不均匀分布,其他元素均呈相对均匀—均匀分布。W、Bi、Mo 元素组合反映了该区强烈的中酸性岩浆活动,易形成矽卡岩型富集区。头苏泉组为部分铁族元素(Fe₂O₃、Cr、Ni)及铜族元素(Cu、Pb、Zn)的富集地层,有乌拉斯铁矿(化)点、拜力其尔铁矿(化)点和安拉沟铁锌矿(化)点。

3.2.6 桃树园组(E₃N₁t)

该地层中 Ag 平均含量略高于全区平均值,显

示高背景分布,其余元素平均含量均低于全区平均值。各元素在该地层呈相对均匀—均匀分布,成矿的可能性小。

3.2.7 第四系

本次研究控制区域为上更新统冰川堆积物(Qp₃^{gl})。Au、Co、Cr、Cu 平均含量略高于全区平均值,呈高背景分布;Bi 显示地球化学亏损;其余元素均呈低背景分布。Au、As 元素的变异系数分别为 0.93、0.96,属弱分异。

3.3 元素在地层单元中的演化特征

统计各元素在不同地质时代中浓集系数(表 7)和变化趋势(图 3),总结元素在地层单元中的演化规律。

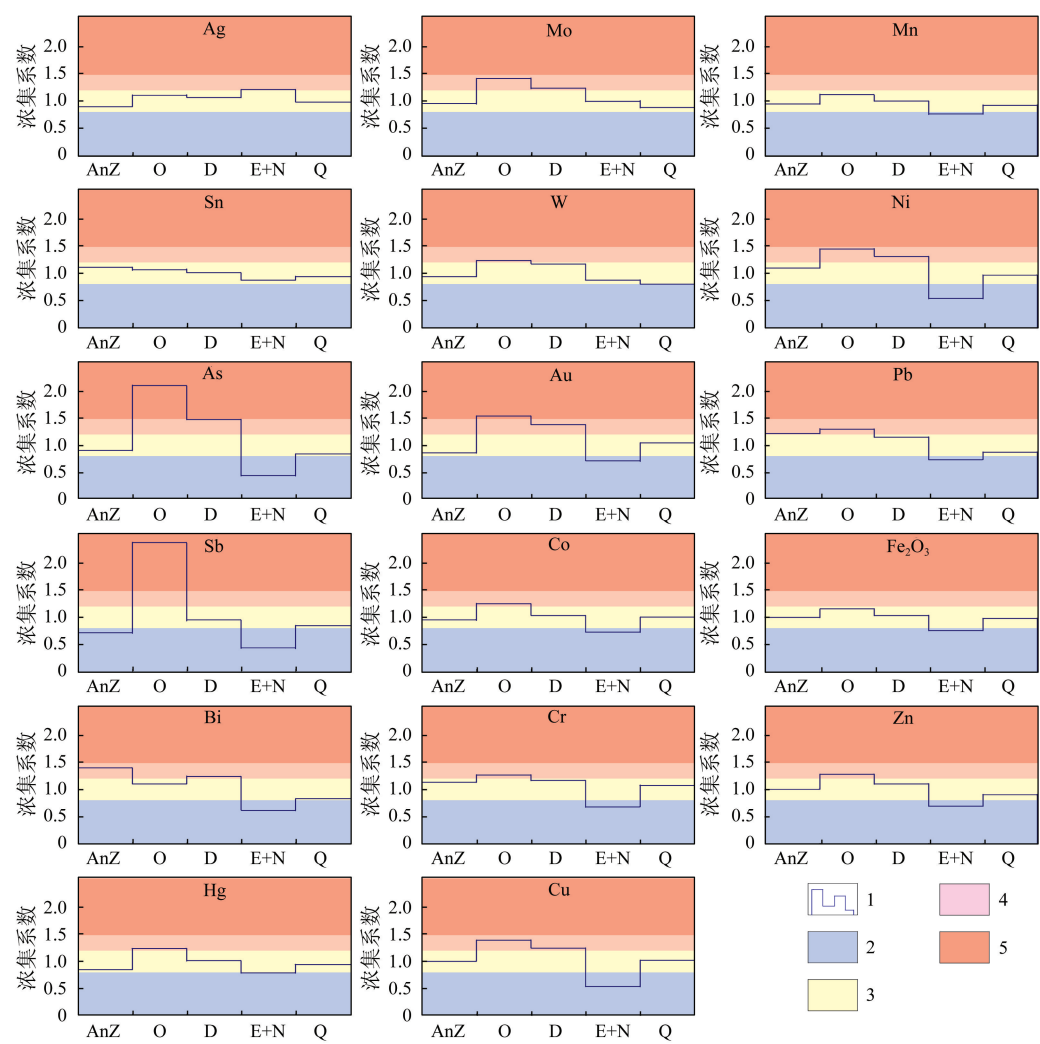
(1)各元素在研究区内浓集系数均表现为波浪形曲折变化的特征,其浓集系数曲线形态规律为:Bi 出现 3 个高峰,分别为前震旦纪、泥盆纪和第四纪,2 个峰谷分别为奥陶纪、古近纪—新近纪;Ag、Mn、Sn、Ni、As、Au、Pb、Sb、Co、Fe₂O₃、Cr、Zn、Hg 和 Cu 浓集系数曲线以双峰形态出现,Ag 表现为双峰三谷形态,Sn 表现为双峰单谷形态,其他元素均具双峰双谷形态,且曲线上表现为相同的 2 个峰值,分别为奥陶纪和第四纪;Mo、W 浓集曲线表现为单峰形态,峰值均为奥陶纪。

(2)浓集系数随时间由老到新的变化规律表现为 5 种趋势,分别为:①先升高后下降再升高又下降的元素有 Ag;②先下降后升高再下降又升高的元素有 Bi;③先升高后下降的元素有 Mo 和 W;④先下降后升高的元素有 Sn;⑤先升高后下降再升高的元素和氧化物有 Mn、Sn、Ni、As、Au、Pb、Sb、Co、Fe₂O₃、Cr、Zn 和 Hg。

(3)铁族元素的变化曲线反映了本区岩浆活动呈现强弱交替的规律,与岩浆岩发展历史相吻合。岩浆活动在奥陶纪表现最为强烈,泥盆纪次之,为本区成矿带来了丰富的物质来源。

表 7 研究区各地质时代元素浓集系数统计

Tab.7 Statistics of each element concentration coefficient in different geological ages in the study area																	
地质时代	Ag	Sn	As	Sb	Bi	Hg	Mo	W	Au	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Fe ₂ O ₃	Zn
第四纪	0.98	0.94	0.86	0.82	0.79	0.95	0.91	0.88	1.04	1.02	1.07	1.02	0.93	0.97	0.88	0.98	0.91
古近纪— 新近纪	1.20	0.90	0.46	0.46	0.65	0.76	0.99	0.90	0.73	0.75	0.68	0.56	0.78	0.54	0.75	0.77	0.69
泥盆纪	1.07	1.02	1.47	0.95	1.26	1.02	1.24	1.19	1.38	1.03	1.16	1.24	1.01	1.30	1.18	1.04	1.10
奥陶纪	1.09	1.07	2.10	2.42	1.09	1.24	1.40	1.24	1.54	1.24	1.23	1.41	1.16	1.44	1.28	1.20	1.27
前震旦纪	1.09	1.07	2.10	2.42	1.09	1.24	1.40	1.24	1.54	1.24	1.23	1.41	1.16	1.44	1.28	1.20	1.27
石炭纪	0.92	0.92	0.92	0.69	1.40	0.79	0.96	0.94	0.84	0.96	1.13	1.01	0.96	1.11	1.22	1.00	1.00



1. 浓集系数曲线; 2. 贫乏分布; 3. 背景分布; 4. 富集分布; 5. 强富集分布;
AnZ. 前震旦纪; O. 奥陶纪; D. 泥盆纪; E+N. 古近纪—新近纪; Q. 第四纪

图 3 研究区各地质时代元素变化趋势

Fig. 3 Trend of each element change in different geological ages in the study area

(4)主成矿元素 Au 及伴生元素的曲线也与铁族元素的变化曲线一致,Au 及 As、Sb 在奥陶纪中均显示出全区最高平均含量,且呈强富集分布,在泥盆纪中富集程度减弱,反映了 Au 的富集与构造活动关系密切。Au 的最佳富集时代是奥陶纪,泥盆纪次之。

(5)中低温热液成矿元素曲线也与铁族元素的变化曲线一致,Cu、Pb、Zn 在奥陶纪中均显示出全区最高平均含量且呈富集分布,在泥盆纪中富集程度减弱,反映 Cu 的富集与火山活动关系密切。Cu 的最佳富集时代是奥陶纪,泥盆纪次之。

4 结论

(1)研究区 Au、Sb、Bi 呈极不均匀分布,

As、Hg、W 为不均匀分布;与中国水系沉积物背景值相比,Mn 呈富集分布,Cu、Co、Fe₂O₃、Zn 呈高背景分布;与 1:20 万伊吾幅水系沉积物背景值相比,Sn 为强富集分布,Ag、Bi、Cr、Mn、Pb、Zn 呈富集分布,As、Sb、Mo、W、Co、Ni、Fe₂O₃呈高背景分布。区内元素属正态分布或对数正态分布,包括对称、正偏、负偏和双峰 4 种分布类型。

(2)各地层单元元素浓集系数均表现为波浪形曲折变化的特征。铁族元素主要富集于大柳沟组、头苏泉组,具寻找矽卡岩型铁矿潜力;钨、钼族元素主要富集于头苏泉组,具寻找气成—热液型钨钼矿潜力;Au 主要富集在大柳沟组、大南湖组,奥陶纪中—基性火山岩为 Au 的主要矿源层,具寻找构造蚀变型及火山岩型金矿的优势。

(3)依据上述各地质单元元素地球化学富集特征以及成矿地质背景,Au、Cu、W、Bi、Fe、Mn、Zn 为研究区优势矿种。主成矿元素 Au、Cu、Fe 的最佳富集时代是奥陶纪,泥盆纪次之,主要含矿地层为奥陶系大柳沟组。

参考文献:

[1] 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 新疆伊吾县伊吾河上游一带1:5 万区域地质矿产调查[R]. 乌鲁木齐:新疆地矿局第一区域地质调查大队,2015:1-207.

[2] 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 新疆哈密市沁城一带1:5 万区域地质矿产调查报告[R]. 乌鲁木齐:新疆地矿局第一区域地质调查大队,2005:1-281.

[3] 新疆维吾尔自治区地质矿产开发局第一区域地质调查大队. 新疆哈密市口门子南一带 1:5 万区域地质矿产调查报告[R]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区地质矿产开发局第一区域地质调查大队,2006:1-185.

[4] 中国建筑材料工业地质勘查中心新疆总队. 新疆伊吾县阿尔通盖一带 1:5 万区域地质矿产调查[R]. 乌鲁木齐:中国建筑材料工业地质勘查中心新疆总队,2012:1-295.

[5] 陈世平. 新疆哈密地区矿产资源成矿规律及评价研究[D]. 北京:中国地质科学院,2006:1-159.

[6] 王莉娟,王京彬,王玉往,等. 新疆准噶尔—东天山地区产于韧性剪切带中的金矿床成矿流体与碳、硫、铅同位素[J]. 地质论评,2006,52(4):486-493.

[7] 王莉娟,王京彬,王玉往,等. 新疆北部准噶尔—东天山地区金矿床成矿流体主要特征[J]. 岩石学报,2008,24(4):753-761.

[8] 陈国光,张华,叶家瑜,等. DZ/T 0011—2015 地球化学普查规范(1:50 000)[S]. 北京:中华人民共和国国土资源部,2015:1-41.

[9] 乌日根,庄倩,李新鹏. 黑龙江省新林—塔源地区地球化学特征及成矿远景预测[J]. 中国地质调查,2018,5(3):27-35.

[10] 赵武强,崔森,邹先武,等. 湖南禾库地区水系沉积物地球化

学特征及找矿预测[J]. 中国地质,2014,41(2):638-647.

[11] 樊玉朋,刘树兴,卢会婷,等. 河北省张家口崇礼区北部地球化学特征及其找矿指示[J]. 中国地质调查,2018,5(5):35-40.

[12] 杨晨,王辉,张少鹏,等. 西昆仑黑恰—三十里营房地区矿产资源潜力评价[J]. 中国地质调查,2018,5(6):33-40.

[13] 罗小平. 青海省浪琴地区成矿条件与找矿前景分析[J]. 中国地质调查,2018,5(3):17-26.

[14] 杜保峰,杨长青,柴建玉,等. 水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果[J]. 中国地质,2018,45(3):604-616.

[15] 马瑞士,王赐银,叶尚夫. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京:南京大学出版社,1993:1-225.

[16] 刘亮,何雪锋,李江涛,等. 新疆东部哈尔里克造山带沁城天生圈岩体岩石成因及其构造意义[J]. 地质科技情报,2017,36(2):86-96.

[17] 李江涛,何雪锋,刘亮,等. 新疆东天山哈尔里克奥陶纪的构造属性:来自火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学与地球化学的制约[J]. 现代地质,2017,31(3):460-473.

[18] 新疆维吾尔自治区地质局区域地质测量大队. 新疆维吾尔自治区 1:20 万伊吾幅(K-46-11)地质报告[R]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区地质局区域地质测量大队,1966:1-51.

[19] 史长义,梁萌,冯斌. 中国水系沉积物 39 种元素系列背景值[J]. 地球科学,2016,41(2):234-251.

[20] 藏金生,李诗言,蔡新明. 化探中五个常用参数的应用[J]. 科技视界,2013(28):8-10,31.

[21] 张运强,陈海燕,张立国,等. 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,2015,42(6):1980-1988.

[22] 蒋敬业. 应用地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2006:27-32.

[23] 张炳熹. 浅谈矿床研究与勘查实践[J]. 地学前缘,1999,6(1):1-11.

[24] 张均,周乔伟. 分形方法在金矿化时空结构分析中的应用[J]. 现代地质,2000,14(1):56-60.

[25] 刘家橘,刘家橙,王晓燕,等. 浅谈 GeoIPAS 系统在地球化学探矿中的应用[J]. 资源导刊·地球科技版,2014(11):52-55.

Analysis of ore-bearing properties of major stratigraphic units in Harlik area of Xinjiang Province

LIU Liang^{1,2}, ZHANG Jie¹, LI Jiangtao³, MA Yunchao¹, DAI Yuan¹, XU Tao¹

(1. Northwest Sichuan Geological and Mineral Exploration Team, Sichuan Investigation and Development Bureau, Mianyang 621010, China; 2. Panzhihua Natural Resources and Planning Bureau, Panzhihua 617000, China; 3. Leshan Natural Resources Bureau, Leshan 614000, China)

Abstract: The Harlik metallogenic belt is a favorable area for polymetallic mineralization of Cu, Au, W, Sn, Mo, Fe, Mn, Ni and Co. In order to further study the ore-bearing properties of each stratum in the metallogenic belt, based on the 1:50 000 stream sediment measurements in Hami area of Tianshan Mountains, the authors analyzed the characteristic parameters, distribution and evolution of 17 elements, and the ore-bearing properties of 7 strati-

graphic units. The results show that Au, Sb and Bi are of extremely uneven distribution ($C_v \geq 1.5$), and As, Hg and W are of uneven distribution ($1.5 > C_v \geq 1.0$). There are four distribution types of elements in the region: symmetry, positive bias, negative bias and bimodal. The concentration coefficients of these elements and oxides show a wavy and tortuous change in each stratigraphic unit. Iron group elements are mainly enriched in Daliugou Formation and Tousuquan Formation. Tungsten and molybdenum group elements are mainly enriched in Tousuquan Formation. Au is mainly enriched in Daliugou Formation and Dananhu Formation. Au, Cu, W, Bi, Fe, Mn and Zn are the dominant mineral resources in the study area after comprehensive analysis. And the main mineralizing elements are Au, Cu and Fe, and their optimum enrichment age is Ordovician, followed by Devonian. The Daliugou Formation of Ordovician is the main ore-bearing stratum.

Keywords: Harrick; stream sediments; stratigraphic unit; ore-bearing

(责任编辑: 刘永权)