



## 吉林大车背沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景

张 龙<sup>1</sup>, 王珑凯<sup>1</sup>, 任传涛<sup>1</sup>, 王存柱<sup>1</sup>, 陈桂虎<sup>1</sup>, 任 龙<sup>1</sup>, 毛永新<sup>1</sup>, 由成成<sup>2</sup>

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021;

2. 吉林省第一地质调查所, 吉林 长春 130033

**摘 要:** 吉林大车背沟地区位于兴蒙造山带东段南缘, 地球化学景观属于长白山森林沼泽景观区. 该区及周边已发现桦甸市二道甸子金矿、幸福铋矿和蛟河市漂河川铜镍矿等矿产地 76 处, 具有良好的找矿前景. 以 1:5 万水系沉积物测量 17 种元素含量数据为基础, 查明了各种元素的相关性、富集贫化特征、元素组合特征和主要元素的找矿潜力. 结合区域地质背景及 1:20 万水系沉积物数据, 认为 Au、Cu、Ni、Sb 是区内主要成矿元素, 且元素异常套合较好. 根据研究区成矿地质条件, 圈定综合异常 25 处、找矿远景区 2 处, 为下一步找矿工作提供了依据.

**关键词:** 水系沉积物; 元素异常; 地球化学; 找矿远景区; 吉林省

## Stream sediment geochemistry and prospecting prospect in Dachebeigou area of Jilin Province

ZHANG Long<sup>1</sup>, WANG Long-kai<sup>1</sup>, REN Chuan-tao<sup>1</sup>, WANG Cun-zhu<sup>1</sup>, CHEN Gui-hu<sup>1</sup>,  
REN Long<sup>1</sup>, MAO Yong-xin<sup>1</sup>, YOU Cheng-cheng<sup>2</sup>

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China;

2. No. 1 Institute of Geological Survey of Jilin Province, Changchun 130033, China

**Abstract:** The Dachebeigou area of Jilin Province is located in the southern margin of eastern Xing'an-Mongolia orogenic belt, geochemically belonging to Changbai Mountain forest swamp landscape area. There are 76 mineral deposits such as Erdaodianzi Au deposit, Xingfu Sb deposit and Piaohechuan Cu-Ni deposit discovered in and around the study area, with good prospecting prospect. The correlations, enrichment-depletion characteristics and combination features of elements, as well as the prospecting potential of major elements, are ascertained based on the content data of 17 elements by the 1:50 000 stream sediment survey. Combined with regional geological background and 1:200 000

收稿日期: 2023-03-31; 修回日期: 2023-10-17. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“吉黑东部地区金矿资源潜力动态评”(DD20230373); “吉林大车背沟等 8 幅 1:5 万矿产地质调查”(编号: DD20208010).

作者简介: 张龙(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事成因矿物学与找矿矿物学研究, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//270418334@qq.com

通信作者: 王珑凯(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事固体矿产勘查及基础地质调查工作, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//wanglongkai@mail.cgs.gov.cn

引用格式: 张龙, 王珑凯, 任传涛, 王存柱, 陈桂虎, 任龙, 毛永新, 由成成. 吉林大车背沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 35-43, 127.

Zhang L, Wang L K, Ren C T, Wang C Z, Chen G H, Ren L, Mao Y X, You C C. Stream sediment geochemistry and prospecting prospect in Dachebeigou area of Jilin Province [J]. Geology and Resources, 2025, 34(1): 35-43, 127.

stream sediment survey data, it is considered that Au, Cu, Ni and Sb are the main metallogenic elements, and their geochemical anomalies are well-matched. According to the metallogenic conditions of the area, 25 comprehensive anomaly areas and 2 prospecting prospective areas are delineated, which provides basis for further prospecting work.

**Key words:** stream sediment; element anomaly; geochemistry; prospective area; Jilin Province

## 0 前言

研究区处于滨太平洋成矿域(I-4)吉黑成矿省(II-13)中吉中-延边(活动陆缘)Mo-Au-As-Cu-Zn-Fe-Ni成矿带(III-55)山河-榆木桥子 Au-Ag-Mo-Ni-Cu-Fe-Pb-Zn成矿带(III-55-③)、海沟-红太平 Au-Fe-Cu-Pb-Zn-Ag-Mo-Ni成矿带(III-55-⑤)以及红旗岭-漂河川 Ni-Au-Cu成矿带(III-55-④),红旗岭-漂河川 Ni-Au-Cu-S-Fe-Sb找矿远景区,是我国重要的岩浆型铜镍矿化集中区。区内已发现镍、铜、金、锑、铅锌、钼、硅藻土等矿产地76处,代表性的矿床有桦甸市二道甸子金矿、幸福锑矿和蛟河市漂河川铜镍矿等。以往工作主要以局部区域地质调查填图、小比例尺物化探及矿产勘查和科研为主,虽取得了相应成果<sup>[1-7]</sup>,但由于成果时间较早,数据分析项目不全且精度不高,同时样品采集缺乏系统性,可用性比较差。

水系沉积物调查能够有效地圈定找矿远景区,是地质找矿中卓有成效的地球化学勘查手段<sup>[8-21]</sup>。区域1:20万水系沉积物测量成果显示,该区金、铜镍及多金属元素成矿前景较好。为配合1:5万矿产地质调查工作,缩小找矿范围,本研究以1:20万测量成果为基础,开展1:5万水系沉积物测量工作,通过对各种元素的相关性、富集贫化特征、元素组合特征等进行分析,确定主要成矿元素,并圈定综合异常区和找矿远景区,为下一步找矿工作提供依据。

## 1 研究区地质概况

### 1.1 区域地质背景

研究区大地构造位于兴蒙造山带东段南缘,隶属于松嫩地块,处于佳-伊断裂与敦-密断裂之间(图1)。研究区位于古亚洲洋构造域与滨太平洋构造域叠合部位,保留了晚古生代-新生代的地质记录。经历古亚洲洋的闭合、古太平洋板块俯冲和中新生代断拗陷等构造演化作用,地质构造十分复杂。地层从元古宇至新生界第四系均有出露,具体为新元古界万宝岩组、杨

木岩组,古生界莺屯岩组、小三个顶子岩组、范家屯组,中生界屯田营组、安民组、大砬子组、长财组、小南沟组,新生界土门子组、船底山组、军舰山组、南坪组及第四系河流河漫滩堆积。侵入岩具多期次活动特点,岩性复杂,以新太古代奥长花岗质片麻岩、英云闪长质片麻岩、花岗闪长质片麻岩及变二长花岗闪长岩等为主。区域上火山作用较为强烈,发生了多期、多次不同程度的火山喷发活动,且尤以新生代火山活动最为剧烈,中生代次之。

### 1.2 区域地球化学特征

根据1:20万水系沉积物测量成果(图1),研究区水系沉积物异常发育,异常的规模、分布及元素组合受地质背景控制,受地层、侵入岩、地质构造及异常元素高背场等多重因素的制约。区内具有代表性的异常包括蛟桦-79-HS-6 As-W-B-Sb-Au-Mn-Sn组合异常和蛟桦-79-HS-7 Sb-As-B-Mn-Au水系沉积物组合异常。

蛟桦-79-HS-6 As-W-B-Sb-Au-Mn-Sn组合异常,主要为As、Pb、Zn、Au、Ag、Cu、Sn、W等元素组合,以Au、Cu、Pb、Zn为主,主要成矿元素异常面积大、强度高、连续性好,浓度分带较清晰,各元素异常套合较好。Au异常平均值为 $3.72 \times 10^{-6}$ ,有几处浓集中心,一般内、中、外带均有发育。Pb异常平均值为 $30.89 \times 10^{-6}$ ,具有中、外带。Cu异常平均值为 $33.4 \times 10^{-6}$ ,有几处浓集中心,一般具有中、外带。另外,W、Sn也有较好的找矿前景。

蛟桦-79-HS-7 Sb-As-B-Mn-Au组合异常,主要为As、Au、Sb、U、Zn、Cu、B等元素组合,以As、Au、Sb、Ag为主。其中As元素异常面积最大、强度高,浓度分带较清晰,其次为Au和As,各元素异常套合较好。Au异常平均值为 $2.90 \times 10^{-9}$ ,有几处浓集中心,一般发育中、外带。As平均值为 $13.5 \times 10^{-6}$ ,有几个浓集中心,多具有中、外带。Sb异常平均值为 $1.13 \times 10^{-6}$ ,有几处浓集中心,一般具有中、外带。另外Zn、B、W等也有较好的

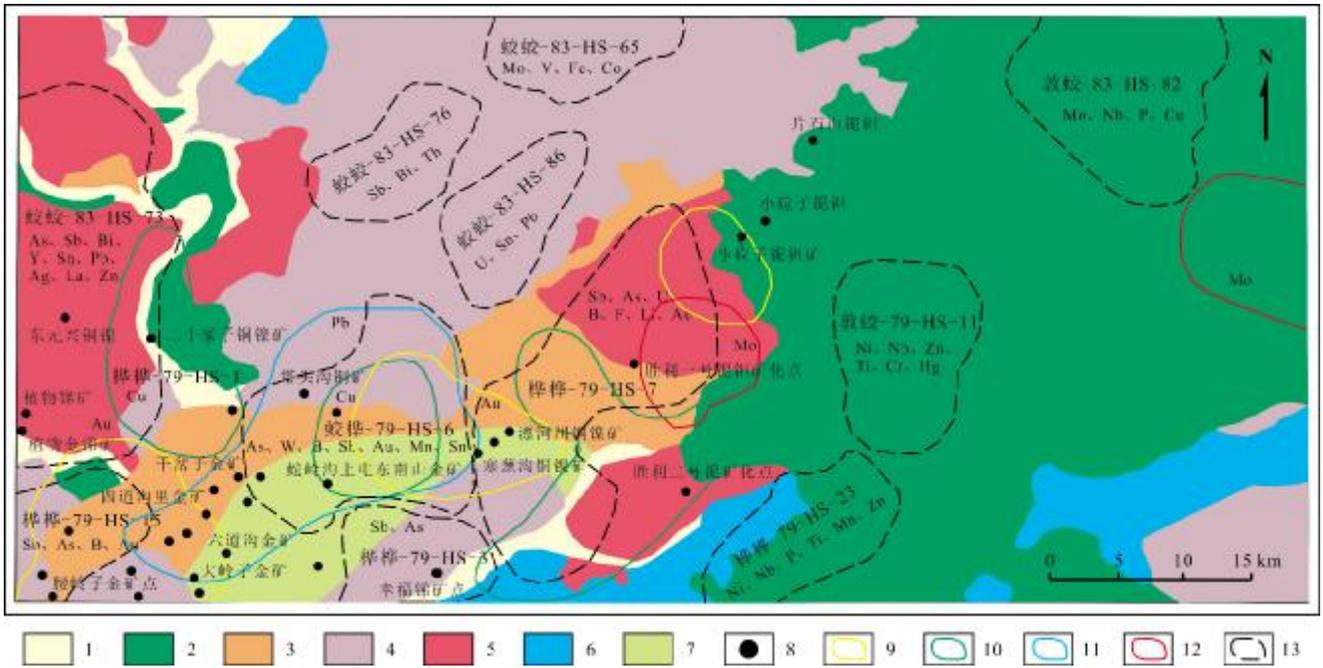


图 1 研究区地质简图及 1:20 万水系沉积物综合异常

Fig. 1 Geological map of the study area with 1:200 000 stream sediment comprehensive anomaly

1—第四系 (Quaternary); 2—古近系—新近系 (Paleogene-Neogene); 3—中生界 (Mesozoic); 4—闪长岩 (diorite); 5—花岗岩 (granite); 6—辉长岩 (gabbro); 7—片 (麻)岩 (schist/gneiss); 8—矿 (化)点 (ore/mineralization spot); 9—金异常 (Au anomaly); 10—铜异常 (Cu anomaly); 11—铅异常 (Pb anomaly); 12—钼异常 (Mo anomaly); 13—组合异常 (combination anomaly)

规模和强度.

## 2 样品采集与分析测试

### 2.1 样品采集

根据最新的地球化学普查规范(1:50 000)开展化探工作,共完成水系沉积物测量 3 007 km<sup>2</sup>,采集样品 14 481 件,平均采样密度 4.82 点/km<sup>2</sup>. 采样点以最大限度控制上游汇水域面积为原则,多采集于一级水系和二级水系中,三级水系布设少量控制点. 一级水系长度大于 500 m 时,在一级水系内加布一个或多个采样点. 样点布置避免重复控制或漏控现象,每个样点控制的上游汇水域面积不小于 0.125 km<sup>2</sup>,不大于 0.25 km<sup>2</sup>. 样品就地过水筛截取粒径-10~+80 目,有效排除了腐殖质及黏土质的干扰. 结合研究区成矿地质背景和项目目标任务,以金及多金属和稀有稀土元素为重点,选择 Au、Ag、Sn、As、Sb、Hg、Bi、Cd、Co、Cu、Mo、Pb、V、W、Ni、Mn、Zn 共 17 种元素进行分析测试.

### 2.2 质量评述

测试单位为中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心分析测试实验室,采用以 ICP-MS 为主体,辅

以发射光谱法、原子荧光法共 3 种分析测试方法. 样品分析严格按照规范要求,分为内部和外部质量控制. 其中内部质量参数为:各元素报出率均大于 95.00%,重复性检验总体合格率均大于 98.00%,异常点复查总合格率 99.10%. 实验室外部质量控制:每一个分析批(50 个号码)插入 2 件标准监控样,与样品同时分析. 标准监控样共计 600 件,原始合格率大于等于 85%,相关系数  $r \geq 0.85$ ,  $F$  检验值小于等于临界值. 样品分析质量满足规范要求.

### 2.3 分析数据处理

利用 SPSS、GeoExpl、化探数据一体化等软件对研究区分析元素进行因子分析、相关分析、簇群分析,进行不同层次多元数理统计分析,揭示元素间的内在联系和元素组合特征,为地球化学分区、区域地球化学特征研究、异常解释推断和区域成矿潜力评价及基础地质研究提供地球化学信息.

## 3 地球化学特征

### 3.1 元素地球化学参数统计

研究区 17 种元素水系沉积物测量分析结果(表 1)

表 1 研究区各地质单元 1:5 万水系沉积物测量元素地球化学统计参数

Table 1 Geochemical parameters of elements in geological units by 1:50 000 stream sediment survey

地质体	参数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Sn	Bi	Cd	Co	Cu	Mo	Pb	V	W	Ni	Mn	Zn
全区	背景值	0.60	0.06	7.45	0.38	0.09	1.75	0.17	0.08	9.06	6.44	1.35	24.07	44.77	1.11	8.02	741.3	41.50
	X	0.41	0.07	9.27	0.54	0.03	3.86	0.20	0.13	14.51	17.17	1.69	21.37	78.01	1.37	21.41	873.2	81.06
	S	0.17	0.03	5.09	0.27	0.02	2.81	0.12	0.06	8.84	9.85	1.03	5.34	45.24	0.69	16.84	543	38.29
	K	0.68	1.24	1.24	1.41	0.31	2.20	1.19	1.64	1.60	2.67	1.25	0.89	1.74	1.24	2.67	1.18	1.95
	CV	0.43	0.50	0.55	0.50	0.78	0.73	0.60	0.47	0.61	0.57	0.61	0.25	0.58	0.51	0.79	0.62	0.47
新近系上更新 统军舰山组	X	0.55	0.09	20.50	0.93	0.03	3.70	0.22	0.16	32.30	22.70	1.65	28.70	122.10	1.48	23.80	1699	81.70
	S	0.33	0.05	12.10	0.48	0.01	2.30	0.10	0.08	28.10	11.20	0.95	11.20	71.70	0.70	12.20	1284	29.30
	K	1.36	1.25	2.21	1.74	0.97	0.95	1.07	1.21	2.23	1.32	0.98	1.34	1.57	1.08	1.11	1.95	1.01
	CV	0.59	0.55	0.59	0.52	0.53	0.62	0.47	0.51	0.87	0.49	0.57	0.39	0.59	0.47	0.51	0.76	0.36
新近系中更新 统老谷岭组	X	0.38	0.06	8.90	0.59	0.05	5.90	0.26	0.18	23.70	28.10	1.79	22.80	113.80	1.64	44.10	1339	116.9
	S	0.14	0.04	2.70	0.19	0.02	2.90	0.13	0.07	9.20	10.90	0.62	5.50	34.90	0.46	21.70	573	28.50
	K	0.93	0.90	0.96	1.09	1.67	1.53	1.31	1.40	1.63	1.64	1.06	1.07	1.46	1.19	2.06	1.53	1.44
	CV	0.38	0.57	0.31	0.33	0.44	0.50	0.48	0.39	0.39	0.39	0.35	0.24	0.31	0.28	0.49	0.43	0.24
白垩系下统 大砬子组	X	0.34	0.06	7.70	0.47	0.04	4.60	0.21	0.16	26.60	25.90	1.55	19.50	107.80	1.40	56.90	131	96.00
	S	0.13	0.04	3.20	0.18	0.02	3.40	0.12	0.08	14.90	14.70	0.65	5.80	47.90	0.52	43.70	249	38.30
	K	0.84	0.92	0.83	0.88	1.45	1.18	1.06	1.21	1.84	1.51	0.92	0.91	1.38	1.02	2.66	0.15	1.18
	CV	0.37	0.65	0.42	0.38	0.58	0.74	0.54	0.50	0.56	0.57	0.42	0.30	0.44	0.37	0.77	1.90	0.40
白垩系下统 长财组	X	0.41	0.08	6.70	0.52	0.02	1.70	0.15	0.08	9.90	9.50	1.96	22.00	38.60	1.09	8.10	645	42.00
	S	0.24	0.03	3.40	0.23	0.01	1.00	0.07	0.03	4.00	4.90	1.46	4.60	20.80	0.61	4.50	263	22.00
	K	1.01	1.12	0.72	0.97	0.59	0.43	0.75	0.64	0.68	0.55	1.16	1.03	0.49	0.79	0.38	0.74	0.52
	CV	0.59	0.41	0.50	0.45	0.57	0.61	0.49	0.30	0.40	0.52	0.74	0.21	0.54	0.56	0.56	0.41	0.52
侏罗系 帽儿山组	X	0.42	0.06	9.20	0.57	0.03	4.30	0.18	0.15	22.40	22.30	1.44	21.80	105.70	1.72	36.50	702	87.50
	S	0.17	0.03	4.60	0.30	0.02	3.00	0.11	0.06	11.00	10.90	0.73	5.30	44.20	0.75	19.00	703	28.50
	K	1.04	0.90	0.99	1.06	1.10	1.13	0.89	1.16	1.55	1.30	0.85	1.02	1.35	1.26	1.71	0.80	1.08
	CV	0.40	0.56	0.50	0.54	0.65	0.69	0.59	0.40	0.49	0.49	0.51	0.24	0.42	0.43	0.52	1.00	0.33
二叠系 范家屯组	X	0.72	0.07	21.60	1.12	0.02	3.60	0.21	0.13	15.30	19.50	2.82	21.30	83.80	2.21	20.30	74	74.90
	S	0.63	0.04	16.10	0.77	0.01	2.20	0.15	0.05	8.20	8.70	1.32	5.30	35.70	0.82	11.70	640	29.30
	K	1.77	1.07	2.33	2.09	0.75	0.95	1.03	1.00	1.05	1.14	1.67	1.00	1.07	1.61	0.95	0.85	0.92
	CV	0.88	0.53	0.74	0.68	0.53	0.62	0.71	0.37	0.53	0.44	0.47	0.25	0.43	0.37	0.58	0.87	0.39
寒武-奥陶系 黄英屯组	X	0.61	0.09	24.60	0.99	0.02	3.40	0.21	0.14	15.20	20.20	1.74	21.70	83.00	1.77	24.80	1027	73.30
	S	0.33	0.05	15.80	0.59	0.01	1.90	0.09	0.06	6.90	7.70	1.05	5.40	36.40	0.75	13.90	353	26.60
	K	1.51	1.26	2.66	1.86	0.84	0.88	1.04	1.09	1.05	1.17	1.03	1.02	1.06	1.29	1.16	1.18	0.90
	CV	0.53	0.54	0.64	0.59	0.61	0.57	0.43	0.39	0.45	0.38	0.60	0.25	0.44	0.42	0.56	0.34	0.36
早侏罗世 花岗岩	X	0.43	0.06	8.80	0.49	0.01	3.00	0.17	0.11	10.00	11.50	1.61	21.50	57.40	1.30	10.70	766	65.90
	S	0.21	0.03	4.60	0.24	0.01	2.00	0.10	0.04	5.10	6.00	1.06	4.70	36.20	0.67	7.50	383	29.90
	K	1.07	0.93	0.95	0.92	0.55	0.78	0.84	0.80	0.69	0.67	0.95	1.01	0.74	0.95	0.50	0.88	0.81
	CV	0.48	0.49	0.53	0.48	0.71	0.68	0.57	0.38	0.51	0.52	0.66	0.22	0.63	0.52	0.70	0.50	0.45
早侏罗世 花岗闪长岩	X	0.38	0.06	7.70	0.41	0.01	2.10	0.13	0.09	8.20	9.40	1.84	36.80	57.10	0.91	7.90	553	62.70
	S	0.19	0.03	5.00	0.27	0.00	1.30	0.08	0.03	3.70	4.60	1.30	36.20	31.30	0.62	4.90	359	26.70
	K	0.93	0.86	0.83	0.77	0.35	0.54	0.65	0.68	0.56	0.55	1.09	1.72	0.73	0.66	0.37	0.63	0.77
	CV	0.51	0.48	0.65	0.65	0.48	0.62	0.62	0.32	0.45	0.48	0.70	0.98	0.55	0.68	0.62	0.65	0.42
早侏罗世 闪长岩	X	1.29	0.10	19.10	0.92	0.02	3.40	0.20	0.14	14.90	17.20	1.73	19.40	81.20	1.86	19.90	937	71.60
	S	1.66	0.06	12.00	0.58	0.01	2.80	0.13	0.06	6.50	7.50	1.15	6.40	40.10	1.04	15.60	299	26.50
	K	3.17	1.42	2.06	1.72	0.67	0.89	0.99	1.08	1.03	1.00	1.02	0.91	1.04	1.36	0.93	1.07	0.88
	CV	1.29	0.59	0.63	0.63	0.79	0.83	0.65	0.44	0.44	0.44	0.67	0.33	0.49	0.56	0.78	0.32	0.37
晚三叠世 二长花岗岩	X	0.31	0.05	4.70	0.36	0.01	2.00	0.11	0.07	4.40	6.30	1.71	18.80	14.90	0.68	4.40	402	30.60
	S	0.10	0.02	2.80	0.25	0.01	1.50	0.11	0.03	3.00	4.50	1.36	3.50	11.40	0.43	2.70	177	14.70
	K	0.77	0.69	0.51	0.66	0.39	0.52	0.57	0.54	0.30	0.37	1.01	0.88	0.19	0.50	0.21	0.46	0.38
	CV	0.31	0.39	0.59	0.69	0.55	0.76	0.96	0.38	0.70	0.71	0.80	0.19	0.77	0.64	0.61	0.44	0.48

含量单位: Au 为  $10^{-9}$ , 其余元素为  $10^{-6}$ . X 为平均值, S 为标准离差, K 为克拉克值, CV 为变异系数.

与东北地区区域背景<sup>[22]</sup>对比发现, Ni、Cu、Sn、Zn、V、Cd、Co 元素显著富集, 而 Au、Hg 显示贫化(表 1)。从分异程度看, Ag、As、Bi、Co、Cu、Hg、Mn、Mo、Ni、Sb、Sn、V、W 为强变异型, Au、Cd、Zn 为弱变异型, Pb 为均匀分布型。综合区域内已存在的成矿事实, 将金、铜镍及多金属元素作为主要的找矿元素。

### 3.2 元素分布特征

地球化学元素在时间、空间上的分布与分配都是在一定的地质历史演化时期形成的, 并赋存于一定的时空域中, 这种时空演化规律受一定地质作用控制。因此, 地球化学元素在不同地质单元中的分布特征能够反映出元素在时间、空间的分布规律<sup>[23]</sup>。研究区内主要存在 11 个地层单元, 对各个地层中采集的样品进行分类统计研究, 发现地质子区元素的分布明显受岩石类型的控制。总体来看, 地层子区主要成矿元素及其伴生元素含量普遍较高, 而侵入岩子区元素含量较

低, 只有早侏罗世闪长岩中 Au、As、Sb 含量较高。地层子区中, 二叠系范家屯组及寒武-奥陶系黄英屯组中 Au、As、Sb 含量较高且呈强变异状态, 是主要成矿元素及其伴生元素极易富集的子区。由此可以看出, 上述主要地质单元的含矿性相对较好, 可为成矿元素的富集提供丰富的物质来源, 对成矿物质的活化、迁移、富集成矿具有重要作用。

### 3.3 元素组合特征

水系沉积物元素组合特征综合反映了区域地质背景、成矿作用、地球化学作用等因素<sup>[24]</sup>。本次对研究区 14 481 个分析数据进行综合研究, 并且开展相关性分析、聚类分析和因子分析。

#### 3.3.1 相关性分析

运用中国地质调查局 MeMapGIS 6 软件对区内水系沉积物样品原始数据进行相关性分析(表 2), 结果显示: Co、Cu、V、W、Ni、Mn 之间具有很好的相关性,

表 2 研究区 1:5 万水系沉积物测量元素相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of elements by 1:50 000 stream sediment survey in the study area

元素	Au	Ag	As	Sb	Hg	Sn	Bi	Cd	Co	Cu	Mo	Pb	V	W	Ni	Mn	Zn
Au	1.00																
Ag	0.05	1.00															
As	0.12	0.04	1.00														
Sb	0.09	0.18	0.30	1.00													
Hg	0.02	0.04	0.01	0.07	1.00												
Sn	0.01	0.07	0.02	0.02	0.36	1.00											
Bi	0.02	0.01	0.07	0.06	0.21	0.13	1.00										
Cd	0.01	0.02	0.13	0.11	0.33	0.33	0.17	1.00									
Co	-0.01	-0.01	0.10	0.00	0.16	0.36	0.00	0.58	1.00								
Cu	0.01	0.00	0.08	0.02	0.28	0.42	0.10	0.60	0.82	1.00							
Mo	0.01	0.03	0.08	0.03	0.01	0.07	0.03	0.28	0.26	0.28	1.00						
Pb	0.01	0.00	0.13	0.07	0.18	0.10	0.19	0.34	0.18	0.17	0.13	1.00					
V	0.00	-0.02	0.09	0.01	0.22	0.40	0.08	0.56	0.90	0.86	0.20	0.18	1.00				
W	0.03	0.00	0.15	0.04	0.06	0.04	0.07	0.04	0.00	0.05	0.22	0.03	0.01	1.00			
Ni	-0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.18	0.34	0.00	0.48	0.86	0.84	0.24	0.05	0.82	0.03	1.00		
Mn	-0.01	0	0.15	0.03	0.18	0.35	0.05	0.70	0.87	0.71	0.31	0.30	0.78	0.02	0.66	1.00	
Zn	0	-0.02	0.01	0	0.18	0.22	0.08	0.36	0.34	0.38	0.12	0.14	0.38	0.01	0.32	0.35	1.00

相关系数大于等于 0.500,其中 Cu、Co、V、Ni 之间相关性较强,相关系数均大于 0.8; As、Sb 之间具有较好的相关性,相关系数大于等于 0.30; Au 与其他元素相关性较弱,且与 Ni、Mn 呈负相关。

3.3.2 聚类分析

对研究区水系沉积物元素进行聚类分析(图 2)。在 0.30 相似性水平下,元素分为 5 个群。第一大群为 Ni、Co、V、Cu、Mn、Cd、Hg、Sn、Zn、Mo、Pb、Bi 组合。在 0.40 相似性水平下进一步划分为 2 个亚群:第一亚群为 Ni、Co、V、Cu、Mn、Cd 组合,第二亚群为 Hg、Sn、Zn、Mo、Pb、Bi 组合。第二大群为独立 W。第三大群为 As、Sb 组合。第四大群为独立 Ag。第五大群为独立 Au。

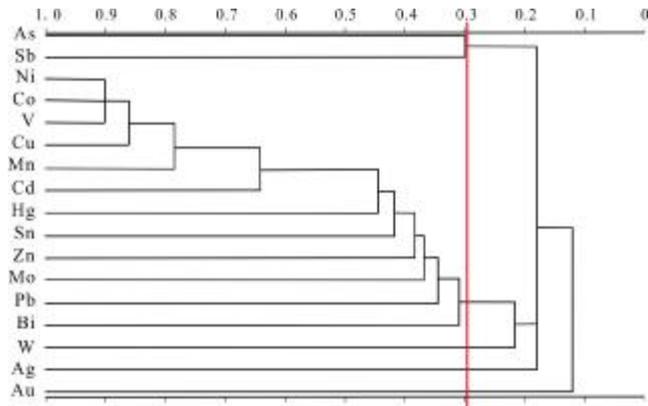


图 2 研究区 1:5 万水系沉积物测量元素聚类分析谱系图  
Fig. 2 Cluster analysis of elements by 1:50 000 stream sediment survey in the study area

3.3.3 因子分析

抽取典型岩石类型水系沉积物样品进行因子分析(表 3),结果表明,元素组合与聚类分析结果基本相似,基本反映了本区主要地球化学信息。F1 因子为 Cd、Co、Cu、V、Ni、Mn、Sn 组合,反映了研究区基性岩石元素组合; F2 因子为 Au、Ag、As、Sb,为本区主要成矿成晕元素组合。

4 找矿远景区

依据研究区地质背景及成矿特征,便于提取矿化异常信息和减弱岩性异常的干扰,将全区划分为新近系上更新统军舰山组玄武岩和中生代花岗岩 2 个地球化学区,采用分区衬值方法圈定单元素异常共 802 个。结合区内各元素组合特征和异常的空间套合关系,将

表 3 研究区 1:5 万水系沉积物测量元素因子分析特征参数  
Table 3 Characteristic parameters for factor analysis of elements by 1:50 000 stream sediment survey

因子	F1	F2
Au	-0.0043	0.3048
Ag	-0.0045	0.3218
As	0.0256	0.7508
Sb	0.0256	0.7508
Hg	0.359	0.0059
Sn	0.5268	0.0098
Bi	0.0674	0.0042
Cd	0.6443	0.0885
Co	0.9152	-0.0169
Cu	0.8819	-0.0162
Mo	0.2609	0.0895
Pb	0.2367	0.2279
V	0.9507	-0.0168
W	-0.038	0.16
Ni	0.8812	-0.0189
Mn	0.7565	0.0861
Zn	0.4447	-0.0067
特征值	7.253	1.4399
累计方差贡献	30.0612	54.3453

元素分为金 (Au、Ag、As、Sb)、铜镍矿化元素(Cu、Ni、Co、V、Cd、Mn、Sn、Zn) 和多金属矿化元素(Bi、Mo、Pb、W、Hg) 组合,圈定综合异常 25 处。综合多种查证信息,划分了大土山-二道河子金及多金属找矿远景区和腰垫子-下八道河子金银找矿远景区(表 4)。

表 4 研究区找矿远景区特征表

Table 4 Characteristics of metallogenic prospective areas

远景区名称	矿化异常	预测矿种
大土山-二道河子金及多金属找矿远景区	HS-8、HS-9、HS-10、HS-12、HS-14、HS-15、HS-18、HS-19、HS-20、HS-23	Au、Cu、Ni
腰垫子-下八道河子金银找矿远景区	HS-16、HS-21、HS-22、HS-24、HS-25	Au、Ag

4.1 大土山-二道河子金及多金属找矿远景区

该远景区位于研究区的西南部,偏岭子-二道沟-二道河子一带,呈北东向分布.区内圈定 HS-8 等 9 处金矿化类型异常和 HS-14 镍矿化类型异常. HS-8 异常规模较大,近椭圆状展布,元素组合为 Au、Sb、W、Pb、Bi、Cu、Mo、As,其中 Au、Sb 具 3 级浓度分带, W、Mo 为 2 级,其他元素为 1 级. Au、Sb 存在一定套合,有 2 处浓集中心(图 3、表 5). 远景区内与成矿密切的寒武系黄莺屯岩组大面积出露,另有早侏罗世细粒闪长岩与中细粒花岗闪长岩侵入,成矿地质条件十分有利. 区内有大秃顶子金锑矿、东南岔金矿、漂河川镍矿、四道沟镍矿等多处矿床及矿点分布,找矿潜力巨大.

4.2 腰垫子-下八道河子金银找矿远景区

该远景区位于研究区的中南部,荒庙沟村-暖木林场-下八道桥一带,呈北东向分布,区内矿产主要有幸福锑矿、腰甸子金锑矿. 区内有 HS-25 等 5 处综合异常,主成矿元素多为 Au、Ag、Sb. HS-25 异常规模中等,呈不规则状,南端未封闭,元素组合由 Ag、Au、Sb、W、As、Pb 组成,其中 Au、Ag、Sb 具 3 级浓度分带, W 为 2 级,其他元素均为 1 级,低温元素异常强度较高,

表 5 HS-8 综合异常参数特征

Table 5 Characteristics of HS-8 comprehensive anomaly parameters

元素	面积/km <sup>2</sup>	均值	峰值	衬度	规模
Sb	8.08	4.04	24.41	2.24	18.13
Au	6.03	4.04	11.16	2.89	17.41
W	3.45	6.25	15.39	1.84	6.34
Pb	2.24	42	74	1.31	2.94
Bi	0.39	2.11	2.11	5.02	1.94
Cu	1.55	33.7	45	1.2	1.87
Mo	0.52	9.19	27.23	2.3	1.19
As	0.84	42.6	61	1.09	0.91

含量单位: Au 为 10<sup>-9</sup>,其他元素为 10<sup>-6</sup>.

Ag 峰值达 4.00×10<sup>-6</sup>, Ag、As、Sb 套合, W、Pb 套合(图 4、表 6). 远景区内分布有利地层寒武纪黄莺屯岩组,岩浆岩出露,构造发育,成矿地质条件十分有利. 且位于 Ag 元素高背景带上,异常以金矿化类型为主叠加银矿化类型,反映该区成矿作用的多期性及复杂性,找矿潜力巨大.

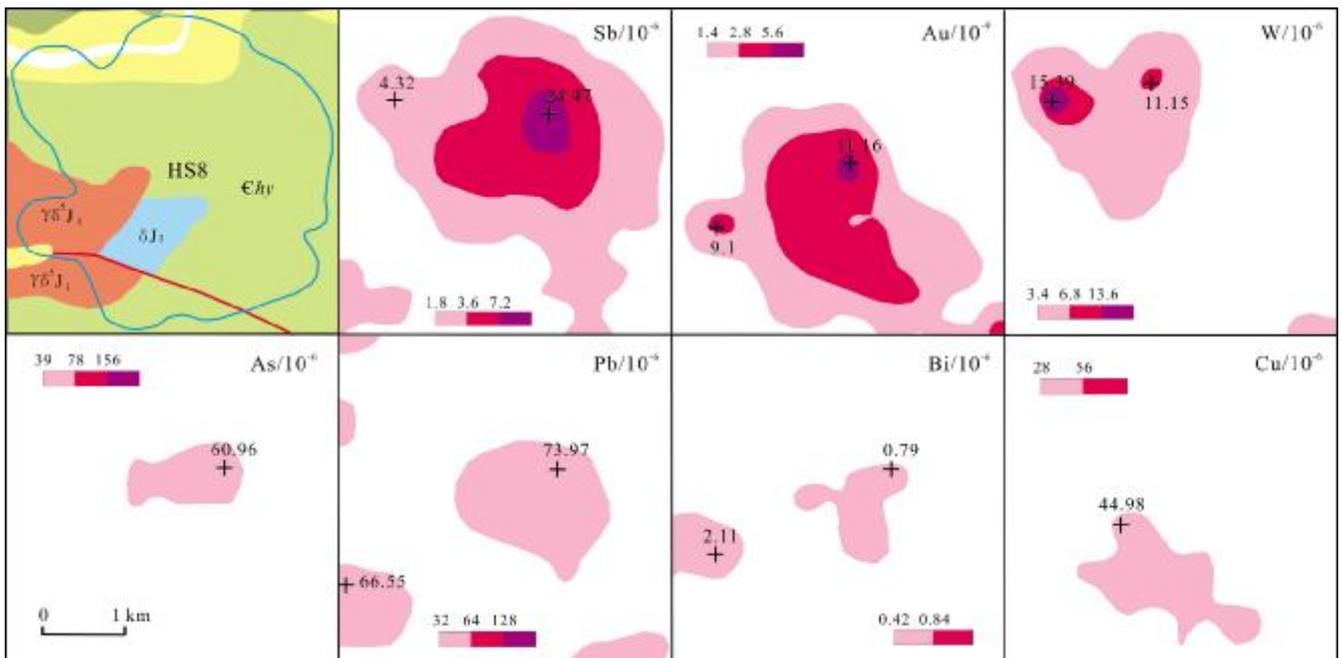


图 3 HS-8 综合异常剖析图

Fig. 3 Analysis maps of HS-8 comprehensive anomaly

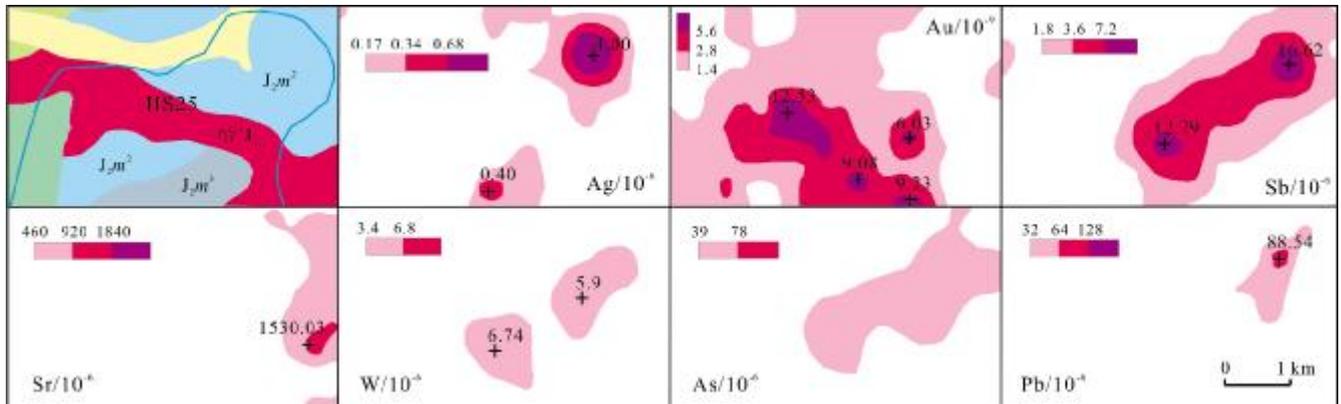


图4 HS-25综合异常剖析图

Fig. 4 Analysis maps of HS-25 comprehensive anomaly

表6 HS-25综合异常参数特征

Table 6 Characteristics of HS-25 comprehensive anomaly parameters

元素	面积/km <sup>2</sup>	均值	峰值	衬度	规模
Ag	1.88	4	4	23.53	44.28
Au	8.27	2.36	12.53	1.68	13.92
Sb	5.95	3.47	16.62	1.93	11.47
W	2.09	4.71	8.61	1.38	2.89
As	3.38	27.5	54.6	0.71	2.38
Pb	0.76	51.1	88.5	1.6	1.21
Sr	0.75	509	616	1.11	0.83

含量单位: Au 为  $10^{-9}$ , 其他元素为  $10^{-6}$ .

## 5 结论

(1)通过 1:5 万水系沉积物地球化学测量工作, 查明了研究区 26 种元素的相关性、富集贫化特征、元素组合特征和主要元素的找矿潜力。结合区域地质背景及 1:20 万水系沉积物数据, 显示了 Au、Cu、Ni、Sb 等元素具有较好的成矿潜力。

(2)通过本次水系沉积物测量成果, 综合研究区内成矿地质条件, 圈定了大土山-二道河子金及多金属找矿远景区和腰垫子-下八道河子金银找矿远景区, 指出了下一步找矿工作方向。

(3)通过对研究区水系沉积物测量研究表明, 在森林沼泽区利用大比例尺地球化学方法能够有效地缩小找矿范围, 圈定找矿远景区, 为下一步的找矿提供直接依据。

## 参考文献 (References):

- [1] 鲍继文, 孟继伟, 綦远江, 等. 关于二道甸子金矿找矿的探讨[J]. 吉林地质, 2007, 26(3): 6-9.  
Bao J W, Meng J W, Qi Y J, et al. Discussion on the Erdaodianzi prospecting gold deposit[J]. Jilin Geology, 2007, 26(3): 6-9.
- [2] 张广良, 吴福元. 吉林红旗岭地区造山后镁铁-超镁铁岩体的年代测定及其意义[J]. 地震地质, 2005, 27(4): 600-608.  
Zhang G L, Wu F Y. Geochronology significances of the post-orogenic mafic-ultramafic rocks in Hongqiling area of Jilin Province, NE China [J]. Seismology and Geology, 2005, 27(4): 600-608.
- [3] 颜炳强, 张福勤, 苗来成, 等. 吉林中部漂河川镁铁-超镁铁质杂岩带的特征: 对华北东北缘构造带性质和演化的约束[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 810-822.  
Xie H Q, Zhang F Q, Miao L C, et al. Characteristics of the Piaohechuan mafic-ultramafic complex, central Jilin, Northeast China: Constrains on the nature and evolution of the northeastern North China marginal tectonic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(7): 810-822.
- [4] 周树亮, 孙英华, 郭玉军, 等. 吉林二道甸子金矿南部火山-次火山岩带金矿找矿前景分析[J]. 黄金, 2008, 29(8): 20-25.  
Zhou S L, Sun Y H, Guo Y J, et al. Gold deposit prospecting foreground of the southern volcanic-subvolcanic rock zone in Erdaodianzi gold deposit, Jilin Province [J]. Gold, 2008, 29(8): 20-25.
- [5] 贾丽, 刘建华, 张璐, 等. 吉林省红旗岭和漂河川镍矿区耕地土壤重金属污染特征[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(3): 338-345, 374.  
Jia L, Liu J H, Zhang L, et al. Characteristics of heavy metal pollution in farmland soil of the two nickel mines of Hongqiling and Piaohechuan, Jilin Province [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2015, 37(3): 338-345, 374.
- [6] 孙英华, 辛永辉, 荆振刚, 等. 吉林省二道甸子金矿区主矿带地质特征、成因探讨及研究意义[J]. 价值工程, 2016, 35(6): 101-104.

- Sun Y H, Xin Y H, Jing Z G, et al. The geological characteristics, causes exploration and research significance of the major ore belt in Jilin Erdaodianzi gold deposit[J]. Value Engineering, 2016, 35(6): 101-104.
- [7]贾楠,周树亮,周阳,等.吉林省桦甸市大秃顶子金矿矿石成分特征及成因探讨[J].吉林地质,2020,39(2):44-50.
- Jia N, Zhou S L, Zhou Y, et al. Composition characteristics and genesis of ore of Datudingzi gold deposit in Huadian, Jilin Province [J]. Jilin Geology, 2020, 39(2): 44-50.
- [8]宋贺民,张辉,顾松松,等.新疆哈拉奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J].地质通报,2014,33(1):71-78.
- Song H M, Zhang H, Gu S S, et al. Stream sediment geochemical characteristics and prospecting direction in Karaqi area of Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(1): 71-78.
- [9]张国宾,杨言辰,梁冰,等.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,2017,44(3):588-603.
- Zhang G B, Yang Y C, Liang B, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prediction in the Wandashan area, eastern Heilongjiang Province[J]. Geology in China, 2017, 44(3): 588-603.
- [10]孙社良,冯增会,黄孝波,等.新疆汉水泉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,2018,42(6):1116-1124.
- Sun S L, Feng Z H, Huang X B, et al. Geochemical characteristics and ore-search prospects of Hanshuiquan area in Xinjiang based on stream sediment survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1116-1124.
- [11]张永三,胡兆国,赵磊,等.云南洛里地区水系沉积物地球化学特征及金锑矿找矿远景[J].地质与勘探,2019,55(S1):436-446.
- Zhang Y S, Hu Z G, Zhao L, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and gold-antimony ore-search prospect in the Luoli area, Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(S1): 436-446.
- [12]胡兆国,张永三,王战华,等.云南省者太地区金锑矿找矿预测—来自水系沉积物测量的证据[J].地质与勘探,2019,55(3):753-764.
- Hu Z G, Zhang Y S, Wang Z H, et al. Prospecting of gold-antimony deposit in the Zhetai area of Yunnan Province: Evidence from stream sediment survey[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(3): 753-764.
- [13]丁吉顺,陈伟,周恒,等.西藏雄梅地区1:5万水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J].地质与勘探,2019,55(1):48-63.
- Ding J S, Chen W, Zhou H, et al. Geochemical characteristics from 1:50 000 survey data of stream sediments and ore-search prospects in the Xiongmei area, Tibet[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(1): 48-63.
- [14]李瑞红,王学求,迟清华,等.胶东水系沉积物金地球化学异常分布规律及其意义[J].地学前缘,2019,26(4):221-230.
- Li R H, Wang X Q, Chi Q H, et al. Distribution of geochemical anomaly of gold in drainage sediment in the Jiaodong Peninsula, China and its significance [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(4): 221-230.
- [15]王奎,何立新,黄庆,等.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,2019,37(2):213-218.
- Wang K, He L X, Huanng Q, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting in Jianquanzi, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2019, 37(2): 213-218.
- [16]周念峰,刘晓曦.香花岭地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿预测[J].现代矿业,2020,36(10):22-26.
- Liu N F, Liu X X. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xianghualing area, Hunan Province[J]. Modern Mining, 2020, 36(10): 22-26.
- [17]马元林,袁全全,莫延强,等.1:2.5万水系沉积物测量在青海达热尔地区的应用效果[J].黄金,2020,41(4):14-19.
- Ma Y L, Yuan K Q, Mo Y Q, et al. Application effect of 1:25 000 stream sediment survey in Dareer area, Qinghai Province[J]. Gold, 2020, 41(4): 14-19.
- [18]赵东杰,王学求.滇黔桂卡林型金矿区水系沉积物和岩石金含量与时空分布[J].地球学报,2020,41(3):407-419.
- Zhao D J, Wang X Q. The concentrations and temporal-spatial distribution of gold in stream sediments and rocks in the Carlin type gold ore districts of Yunnan-Guizhou-Guangxi region [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2020, 41(3): 407-419.
- [19]薛琮一,王嘉伟,杨征,等.新疆和田布雅煤矿一带水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J].西北地质,2020,53(4):66-72.
- Xue C Y, Wang J W, Yang Z, et al. A review of geochemical characteristics and prospecting direction of stream sediment of Buya coal mine in Hetian, Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(4): 66-72.
- [20]汪子杰,张德明,郑文龙,等.山东东里幅、韩旺幅1:50 000水系沉积物测量数据集[J].中国地质,2021,48(S2):112-123.
- Wang Z J, Zhang D M, Zheng W L, et al. Data set of 1:50 000 stream sediment survey of Dongli and Hanwang sheets in Shandong Province [J]. Geology in China, 2021, 48(S2): 112-123. (in Chinese)
- [21]曾凯,刘海,黄德将,等.云南勐翁地区1:5万水系沉积物测量异常特征及找矿效果分析[J].现代地质,2021,35(1):270-280.
- Zeng K, Liu H, Huang D J, et al. Anomaly characteristics of 1:50 000 stream sediments survey and analysis on prospecting effect in Mengweng area, Yunnan[J]. Geoscience, 2021, 35(1): 270-280.

- prediction considering spatio-temporal division principle of training/testing datasets in machine learning models[J]. *Earth Science*, 2024, 49(5): 1607–1618.
- [20] 王本栋, 李四全, 许万忠, 等. 基于 3 种不同机器学习算法的滑坡易发性评价对比研究[J]. *西北地质*, 2024, 57(1): 34–43.  
Wang B D, Li S Q, Xu W Z, et al. A comparative study of landslide susceptibility evaluation based on three different machine learning algorithms[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(1): 34–43.
- [21] 周剑, 汤明高, 裴芳歌, 等. 基于机器学习的库岸滑坡变形短期预测[J]. *山地学报*, 2023, 41(6): 891–903.  
Zhou J, Tang M G, Pei F G, et al. Short-term deformation of reservoir slope based on machine learning[J]. *Mountain Research*, 2023, 41(6): 891–903.
- [22] 翟文华, 王小东, 吴明堂, 等. 基于频率比模型和随机森林模型耦合的地质灾害易发性评价[J]. *自然灾害学报*, 2023, 32(6): 74–82.  
Zhai W H, Wang X D, Wu M T, et al. Geological disaster susceptibility evaluation based on coupling of frequency ratio model and random forest model[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2023, 32(6): 74–82.
- [23] Merghadi A, Yunus A P, Dou J, et al. Machine learning methods for landslide susceptibility studies: a comparative overview of algorithm performance[J]. *Earth-Science Reviews*, 2020, 207: 103225.
- [24] Pawluszek K, Borkowski A. Impact of DEM-derived factors and analytical hierarchy process on landslide susceptibility mapping in the region of Rożnów Lake, Poland[J]. *Natural Hazards*, 2017, 86(2): 919–952.
- [25] Yang H, Shi, P J, Quincey D, et al. A heterogeneous sampling strategy to model earthquake-triggered landslides [J]. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2023, 14(4): 636–648.
- [26] Tabatabaei M, Salehpour Jam A, Ahmad Hosseini S. Suspended sediment load prediction using non-dominated sorting genetic algorithm II [J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, 7(2): 119–129.
- [27] 吴辰文, 梁靖涵, 王伟, 等. 基于递归特征消除方法的随机森林算法[J]. *统计与决策*, 2017(21): 60–63.  
Wu C W, Liang J H, Wang W, et al. Random forest algorithm based on recursive feature elimination[J]. *Statistics & Decision*, 2017(21): 60–63.
- [28] 孙德亮, 陈丹璐, 密长林, 等. 基于随机森林-特征递归消除模型的可解释性缓丘岭谷地貌滑坡易发性评价[J]. *地质力学学报*, 2023, 29(2): 202–219.  
Sun D L, Chen D L, Mi C L, et al. Evaluation of landslide susceptibility in the gentle hill-valley areas based on the interpretable random forest-recursive feature elimination model[J]. *Journal of Geomechanics*, 2023, 29(2): 202–219.
- [29] Cantarino I, Carrion M A, Goerlich F, et al. A ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps[J]. *Landslides*, 2019, 16(2): 265–282.

---

(上接第 43 页/Continued from Page 43)

- [22] 刘驰, 张华, 汤正江, 等. 我国森林沼泽景观区地球化学系列参数统计[J]. *物探与化探*, 2013, 37(4): 585–590.  
Liu C, Zhang H, Tang Z J, et al. Statistics of series of geochemical parameters for the forest swamp landscape in China[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2013, 37(4): 585–590.
- [23] 柳坤峰, 冯昌荣, 翟黎明, 等. 新疆乌恰县吾合沙鲁地区水系沉积物地球化学特征与找矿远景[J]. *现代地质*, 2019, 33(4): 759–771.  
Liu K F, Feng C R, Zhai L M, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Wuheshalu area, Wujia County, Xinjiang[J]. *Geoscience*, 2019, 33(4): 759–771.
- [24] 胡以铿. 地球化学中的多元分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 1–229.  
Hu Y K. *Multivariate analysis in geochemistry* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 1–229. (in Chinese)