

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.
Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Zhang Ligu, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1980–1988(in Chinese with English abstract).

冀北新杖子地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测

张运强 陈海燕 张立国 陈 超 刘应龙 何娇月 康 璇 张金龙 彭芊芃

(河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 冀北新杖子地区位于阜新一集宁成矿带的张家口—承德成矿区东北部, 具有较好的找矿前景。在全区 1: 50000 水系沉积物测量基础上, 对区内地球化学特征进行了初步分析。本文综合研究元素地球化学特征参数、元素 R 聚类相关性、单元素异常特征及因子分析表明, Au、Ag、Cu、Zn、Pb 等元素具有一定的找矿潜力; 依据水系沉积物异常圈定、筛选、评序及主要异常解释推断的成果, 结合区内成矿地质构造背景, 进一步圈定出石湖金矿、潘家店金矿、路通沟多金属矿和荣家庄多金属矿 4 个远景区。

关键词: 水系沉积物测量; 地球化学特征; 找矿预测; 新杖子地区; 冀北

中图分类号: P595 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)06-1980-09

Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province

ZHANG Yun-qiang, CHEN Hai-yan, ZHANG Li-guo, CHEN Chao, LIU Ying-long, HE Jiao-yue, KANG Xuan, ZHANG Jin-long, PENG Qian-peng

(Hebei Institute of Regional Geological and Mineral Resource Survey, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Located in the northeast of Zhangjiakou-Chengde metallogenic ore district along the Fuxin-Jining metallogenic belt, the Xinzhangzi area shows a good ore-prospecting potential. Based on the 1: 50000 stream sediment survey, the authors primarily investigated the geochemical features of Xinzhangzi area. Element parameter study, R mode cluster analysis, factor analysis and element anomalies show that the study area might be a prospective area for Au, Ag, Cu, Pb and Zn. Combined with the metallogenic background in the aspects of strata and structure, the authors summed up the work of lineation, selection, ranking and interpretation of geochemical anomalies, and then delineated Shihu and Panjiadian gold metallogenic prospective areas as well as Lutonggou and Rongjiazhuang polymetallogenic prospective areas.

Key words: stream sediment survey; geochemical features; ore prognosis; Xinzhangzi area; northern Hebei

About the first author: ZHANG Yun-qiang, male, born in 1982, master, mainly engages in the study of genetic and prospecting mineralogy; E-mail: zhyqok@163.com.

收稿日期: 2014-08-26; 改回日期: 2014-11-27

基金项目: 中国地质调查局基础地质调查项目“河北 1: 5 万新杖子、承德幅区域地质矿产调查”(1212011220486)资助。

作者简介: 张运强, 男, 1982 年生, 硕士, 工程师, 从事区域地质矿产调查与研究工作; E-mail: zhyqok@163.com。

新杖子地区位于燕山山脉中段中、南麓,行政区划隶属河北省承德县。研究区成矿带区划属阜新一集宁(河北部分)成矿带的张家口—承德成矿区东北部,成矿地质条件良好,具有一定的找矿前景^[1-12]。前人对该地区已经进行了1:20万水系沉积物测量工作,但受当时条件限制,地球化学测量的分析元素种类相对较少,研究程度相对薄弱,制约了化探找矿的深入展开。笔者在新杖子地区开展1:5万水系沉积物测量的基础上,初步分析了研究区主成矿元素及指示元素的元素分布、相关性、R因子分析、异常元素组合等特征,划分了找矿远景区。

1 区域地质概况

研究区大地构造分区属于华北陆块区晋冀陆块燕辽裂谷带东部^[13],晚古生代—中生代期间经历了多次构造变形,形成目前复杂的构造格局。中生代期间,燕山地区不仅发生了强烈的构造变形,而且还发育广泛的岩浆活动,形成众多的火山—沉积盆地,历来受国内外地质学者广泛关注^[14-22](图1)。

研究区隶属于华北地层大区燕辽地层分区。自中元古界至新生界均有出露,是河北省地层出露较为齐全地区之一。其中中新元古界及中生界出露面积较大,古生界以狭长条带状小面积出露于测区中南部。出露地层由老到新依次为中元古界长城系、蓟县系、青白口系,古生界寒武系、奥陶系,中

生界三叠系、侏罗系、白垩系和少量新生界第四系。

区内褶皱和断裂构造发育,不同方向、不同性质、不同时代、多期活动的褶皱构造与断裂构造交错复合,从而构成了本区复杂的构造格局。其中褶皱构造早期轴向为北东东—近东西向,晚期叠加了轴向北东的褶皱;近东西向断裂带横贯测区,又被北东、北西向断层交切,显示出本区“立交桥”式构造骨架。

区内侵入岩不发育,仅见新太古代角闪二长片麻岩呈小岩株状产出;早白垩世石英二长岩侵入蓟县系雾迷山组地层。侵入岩与区域上砂卡岩型铜钼矿床成矿关系较密切。

2 地球化学特征

2.1 地球化学参数统计

区内1:50000水系沉积物测量面积为782 m²,采样点3766个,每个样品分析Au、Ag、Cu、Pb、Zn等16种主要成矿元素和指示元素,分析方法采用以电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)为主的分析配套方案,全部样品测试工作在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,各项指标均按中国地质调查局技术标准执行。原始数据处理应用乌鲁木齐金维图文信息科技有限公司开发的“跨平台金维地学信息处理研究应用系统”(GeoIPAS V3.0)软件,对全部数据采用“X±3S”迭代剔除法统计出全区背景值X、

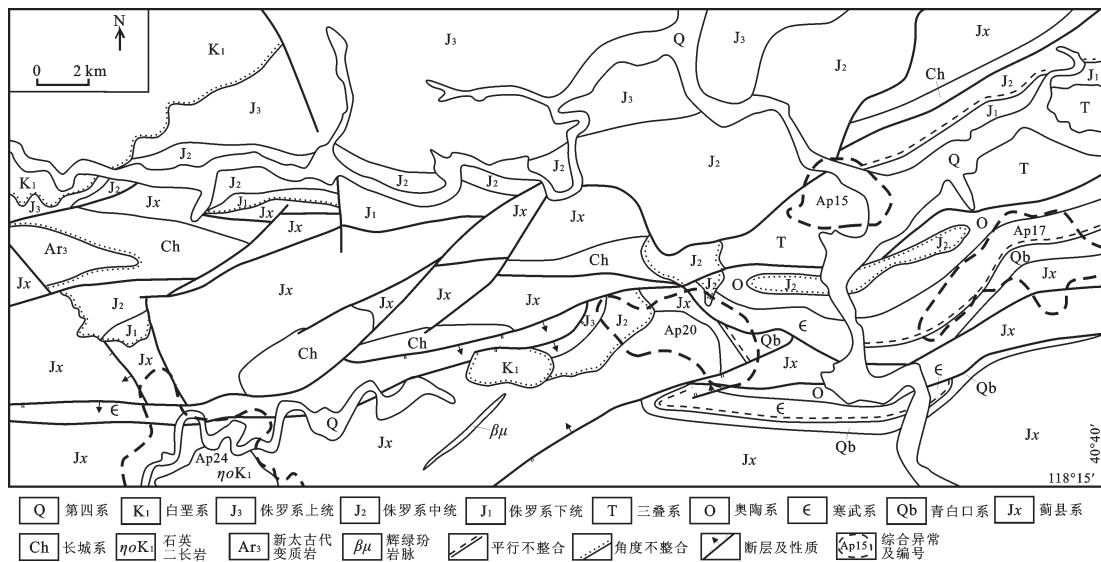


图1 新杖子地区地质简图
Fig.1 Geological map of Xinzhangzi area in Hebei Province

离差S和变化系数C_v(表1)。

与华北地台总陆壳对比^[23](表1),研究区W、Sn、Mo、Cd、As、Sb元素平均值略高,其他元素近似或偏低。就平均值对比结果而言,只能反映本区与华北地台总陆壳元素平均值的相对高低,并非代表该区所有元素的总体分布态势,即平均值较低的元素在局部区段仍有相对富集的可能。变化系数反映元素在测区内的变异程度,一般认为变化系数越大成矿希望越大,反之则越小,剔除特高特低值后,各元素变化系数多为不均匀或极不均匀分异,变化系数(C_{v2})较大的有Cr、Co、Bi、Ni、W、Cu、Zn等元素(表2),说明这些元素在区内的背景起伏变化较大。

元素离散度可以采用剔除和未剔除特高特低值变化系数的比值来表示,离散度越大的元素越容易存在局部活化富集。Au、Ag、Hg、Sb、As、W、Zn、Pb、Cu等元素原始变化系数相对较大,对应离散度也较大,说明这些元素可形成局部富集。结合本区成矿地质背景,认为本区主要成矿元素为Au、Ag、Cu、Zn、Pb。

2.2 元素相关性分析

应用R型聚类方法,分析区内元素之间的相关程度(图2)并探索元素组合与区内地质构造背景的内在联系。结果表明, Cr、Co、Ni、Cu、Zn相关性较强,大于0.70; Ag、Cd、Sn、Pb、As、Sb、Mo相关性中等; Au与其他元素的相关性最差,小于0.1; 据此将区内16中元素划分为4个簇群: ①Cr、Co、Ni、Cu、Zn元素组合反映与区内基性岩的分布相关; ②Ag、Cd、Sn、Pb、As、Sb、Mo反映了区内存在多金属硫化物矿化的成矿潜力; ③W、Bi反映区内存在高温亲酸岩浆热液的活动。④Au、Hg与其他元素相关性较差,表明Au元素的迁移、富集规律明显异于其它元素,具有独立富集成矿的潜力。

2.3 因子分析

由于测试元素种类较多,为更清晰地揭示复杂研究变量(元素)之间的相关信息,笔者采用初始因子荷载矩阵法对16种元素进行R型因子分析,累计方差贡献值取大于70%,选取5个主因子(表3),每个因子代表1个元素组合,分述如下。

F₁因子代表元素组合为Ag、Cu、Zn、Co、Ni、Cd,从元素地球化学的亲疏性可知,Cu、Zn、Co、Ni属亲

表1 新杖子地区水系沉积物地球化学参数统计

Table 1 Geochemical parameters of stream sediments of Xinzhangzi area

地球化学参数	Au	Ag	Sn	Cu	Pb	Zn	Cr	Co	Ni	Mo	W	Cd	Bi	As	Sb	Hg
样品数	3556	3631	3668	3445	3715	3709	3557	3587	3467	3373	3617	3575	3507	3222	3476	3397
平均值	0.72	0.05	1.51	15.58	14.49	56.36	33.37	9.68	15.94	0.71	0.75	0.13	0.13	4.27	0.35	15.38
中位数	0.68	0.05	1.40	13.60	14.60	55.80	25.10	7.80	12.40	0.66	0.60	0.12	0.10	3.60	0.30	14.00
标准离差	0.25	0.03	0.84	10.62	8.04	37.02	27.56	7.75	11.47	0.41	0.53	0.08	0.10	2.38	0.21	6.92
变化系数	0.35	0.52	0.56	0.68	0.55	0.66	0.83	0.80	0.72	0.58	0.71	0.57	0.74	0.56	0.59	0.45
异常下限	1.25	0.10	2.50	40.00	25.00	100.00	90.00	20.00	40.00	2.50	2.00	0.30	0.35	3.00	0.30	40.00
最大值	1.48	0.13	4.00	47.40	38.40	167.20	115.70	32.90	50.20	1.93	2.35	0.35	0.41	11.40	0.98	36.00
最小值	0.07	0.01	0.10	0.20	0.50	0.10	1.10	0.40	0.90	0.01	0.02	0.01	0.01	0.60	0.05	4.00
浓集系数	0.72	0.93	1.26	0.52	1.12	0.76	0.40	0.44	0.40	1.41	1.26	1.64	0.92	2.85	2.36	1.92

注: Au、Hg含量单位为10⁻⁹,其他元素含量均为10⁻⁶。

表2 新杖子地区元素变化系数

Table 2 The elements variation factor in Xinzhangzi area

变化系数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	W	Sn	Mo	Bi	Cr	Ni	Cd	Hg	Co
C _{v1}	11.25	0.90	1.09	0.70	0.75	1.59	1.66	4.84	0.63	1.84	3.50	1.03	1.01	2.22	4.68	0.94
C _{v2}	0.35	0.52	0.68	0.55	0.66	0.56	0.59	0.71	0.56	0.58	0.74	0.83	0.72	0.57	0.45	0.80
离散度	31.86	1.73	1.60	1.25	1.14	2.85	2.82	6.87	1.13	3.17	4.75	1.24	1.40	3.89	10.40	1.18

注: C_{v1}—未剔除异常值前的原始变化系数, C_{v2}—剔除异常值后的变化系数。

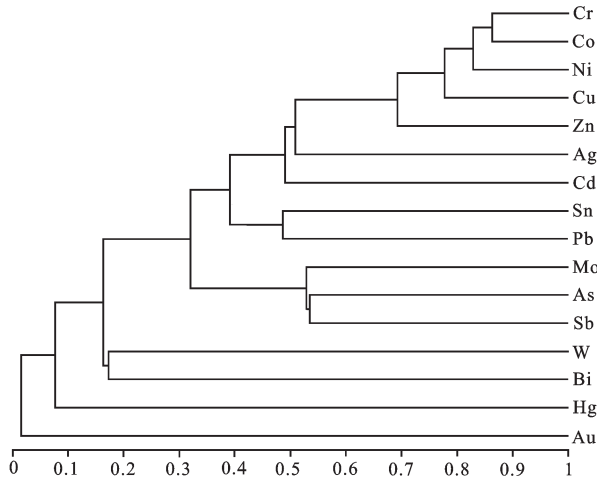


图2 新杖子地区水系沉积物元素聚类分析普系图
Fig.2 Dendrogram of geochemical data of stream sediments in Xinzhangzi area

表3 初始因子载荷矩阵

Table 3 The initial factor loading matrix

元素	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Au	0.022	0.001	0.036	-0.007	0.817
Ag	0.645	-0.371	0.17	-0.165	0.123
Sn	0.422	0.031	0.656	-0.097	-0.195
Cu	0.853	0.164	-0.246	0.075	0.03
Pb	0.449	-0.194	0.645	-0.163	-0.16
Zn	0.859	0.079	0.151	-0.187	0.02
Cr	0.698	0.553	-0.111	0.174	-0.085
Co	0.773	0.511	-0.145	0.125	-0.061
Ni	0.866	0.31	-0.235	0.044	0.015
Mo	0.526	-0.621	-0.16	-0.057	0.065
W	0.121	-0.106	0.307	0.593	0.213
Cd	0.579	-0.33	-0.095	-0.335	0.209
Bi	0.148	-0.067	0.339	0.592	0.14
As	0.222	-0.605	-0.325	0.287	-0.145
Sb	0.409	-0.634	-0.188	0.123	-0.114
Hg	0.049	-0.219	-0.062	0.242	-0.314
δ	4.963	2.199	1.436	1.125	1.003
Δ	31.019	44.761	53.738	60.769	67.037

注: δ-特征值; Δ-累计方差贡献率。

硫元素, Ag易与Cu、Zn在中低温热液硫化物矿床中共生, Cd在风化过程中跟随Zn^[24]。据此指示区内存在多金属硫化物矿化的潜力; F₂因子代表元素组合

为Cr、Co、Ni三者属于亲铁元素, 在超基性岩和基性岩中共生, 因此该组合指示区内超基性岩和基性岩的存在; F₃和F₄因子代表的组合分别为Sn、Pb和W、Bi, 其中W属于高温元素, 易于在酸性花岗岩中富集, Sn、Pb、Bi在中酸性花岗岩中含量较高, 因此F₃和F₄因子代表本区中酸性、酸性侵入岩的存在; F₅因子代表元素组合为Au, 其特征值和方差贡献率不高, 但不能排除局部独立富集成矿的可能。

2.4 单元素异常特征

对全区16种元素共3766个样品采用平均值(X)加2倍标准差(S)计算异常下限, 并根据计算值进行适度调整, 最终确定异常下限值(表4)。在此基础上筛选出单元素异常719个, 其中优选出有成矿潜力的Au异常5个、Ag异常8个、Cu异常5个、Pb异常3个、Zn异常1个, 共圈定出有找矿远景的综合异常4处。

2.4.1 金异常

金异常52个, 有成矿远景的5处(表4), 均由多点异常构成, 异常衬值较大, 且普遍具有异常规模显著, 异常3级分带明显的特征。其中Au-14、Au-23、Au-51异常三者呈北东向展布, 明显受到燕山期北东向断裂构造控制, 前两个异常分布于三叠系, 可能与侵入地层的酸性石英二长岩相关(图3), 且异常均与Ag和As等元素套合较好, 局部具明显矿化富集现象。Au-48异常则分布于燕山期中酸性侵入岩寿王坟岩体的边部(图4), 且与其它亲硫元素Bi、Sn、Pb、Ag等套合较好, 在该异常内已发现有多金属矿化点, 找矿潜力较大。

2.4.2 银异常

银异常56个, 有成矿远景的4处。其中Ag-30异常则分布于中元古代下马岭组黑色岩系中, 可能为黑色岩系本身易富集Ag、Cu、Pb、Zn等亲硫元素有关, Ag-20、Ag-34大体呈北西向展布, 受燕山晚期北西向断裂控制, 可能与中酸性脉岩有关(图3, 图6), 且异常均与Au、Cu、Pb、Zn等元素套合较好, 局部具较明显矿化富集现象; Ag-52异常则分布于燕山期中酸性侵入岩寿王坟岩体的边部, 与其他亲硫的Bi、Sn、Pb、Au等元素套合较好, 具有进一步找矿潜力。

2.4.3 铜、锌异常

铜异常28个, 有成矿远景的5处。锌异常44个, 有成矿远景的5处(表4)。Cu、Zn异常套合程度高, 二者大部分分布于中元古界下马岭组周围, 其

表4 单元素异常特征

Table 4 Characteristics of geochemical anomalies of single elements

异常编号	异常点个数	异常面积	平均值	极大值	衬值	异常规模	浓度分带
Au-14	4	2.93	7.16	23.60	5.72	17.32	3
Au-23	5	7.17	141.88	700.00	113.51	1008.46	3
Au-41	2	1.36	10.62	19.31	8.49	12.78	3
Au-48	22	7.34	4.92	15.50	3.94	26.96	3
Au-51	2	1.49	13.68	25.80	10.94	18.56	3
Ag-20	9	1.79	0.12	0.16	1.22	0.04	1
Ag-21	1	0.34	0.13	0.13	1.30	0.01	1
Ag-28	3	0.66	0.19	0.25	1.93	0.06	2
Ag-30	9	2.59	0.23	0.69	2.31	0.34	3
Ag-34	25	6.72	0.27	1.24	2.68	1.13	3
Ag-45	3	0.85	0.26	0.39	2.60	0.14	2
Ag-46	4	0.94	0.25	0.42	2.48	0.14	3
Ag-52	13	3.40	0.24	0.49	2.39	0.47	3
Cu-9	1	0.48	115.20	115.20	2.88	36.28	2
Cu-16	32	7.55	85.11	167.90	2.13	340.48	3
Cu-17	184	43.28	85.23	209.70	2.13	1957.84	3
Cu-19	3	0.28	60.10	63.70	1.50	5.64	1
Cu-20	2	0.82	108.25	136.30	2.71	55.98	2
Pb-30	3	0.87	68.60	127.50	2.74	37.83	3
Pb-34	2	0.35	39.00	45.20	1.56	4.86	1
Pb-39	3	1.18	49.50	88.10	1.98	28.86	2
Zn-29	22	4.99	204.01	845.50	2.04	519.40	3

浓集中心和空间展布特征与侵入该地层的基性岩床较吻合,因此引起二者异常的原因可能是基性岩床(辉绿岩)本身富集Cu、Zn。另外,Cu-16和Zn-29二者套合好,分布于青白口系和寒武系昌平组周围(图6),可能与北西向中酸性正长斑岩脉有关,在附近已经发现多金属矿化点和铜矿化点各1处,成矿潜力较大。

2.4.4 铅异常

铅异常40个,有成矿远景的3处。异常分布几乎均与中酸性火山岩和侵入岩紧密相关,只是区内西北部白垩系下统张家口组内出现的大面积异常,找矿意义很小;其他部位零星分布的小范围异常,如Pb-30和Pb-34异常,则可能与中酸性脉岩有关(图6),且与Cu、Zn异常套合较好,具有形成热液型多金属硫化物矿的潜力。

3 找矿远景区划分

在对全区水系沉积物异常圈定、筛选、评序及主要异常解释推断的基础上,结合区内成矿地质构造条件、矿产地质调查成果,圈定出具有一定找矿潜力的远景区4处,其中以金为主的远景区2处,以铜、银为主的多金属远景区2处。

3.1 石湖金矿远景区

远景区位于研究区东部,面积约7.42 km²,分布于三叠系中统二马营组,由综合异常AP-15组成

(图1),该异常包含4处单元素异常,元素组合为Au、Ag、As、Sb。远景区Au异常规模较大,是主成矿元素,Au-23异常面积为7.17 km²,异常点5个,平均值141×10⁻⁹,极大值700×10⁻⁹,衬度高达113.51,具较明显的三级浓度分带现象(图3,表4),作为Au、Ag矿化的前缘晕元素As、Sb与其套合性亦较好。远景区内近东西向褶皱和北东向断裂构造发育,并发现多条NE向燕山期正长斑岩脉和石英二长斑岩脉,可能为引起金银矿化的重要因素,因此远景区的金具有一定找矿潜力。

3.2 潘家店金矿远景区

远景区位于研究区西南部,面积约17.46 km²,所包含的综合异常为AP-24(图1),其主体分布于早白垩世石英二长岩岩体及周围与蓟县系接触带部位,该异常包含27处单元素异常,元素组合为Au、Ag、Cu、Pb、W、Mo、Bi、Sn、Cd、Co,主成矿元素为Au和Ag,远景区Au-48异常规模最大,是主成矿元素,面积7.34 km²,平均值4.92×10⁻⁹,极大值15.5×10⁻⁹,具较明显的三级浓度分带;另外Ag-52面积为3.40 km²,平均值0.24×10⁻⁶,极大值0.49×10⁻⁶。Cu、W、Pb异常也较明显(图4,表4)。远景区发育早白垩世石英二长岩,与中元古界蓟县系碳酸盐岩地层接触地段易发生矽卡岩化,可能为引起金银矿化的重要因素,异常区内已发现Au-Ag矿化点1处,因此金银找矿潜力较好。

3.3 路通沟铜多金属矿远景区

远景区位于研究区东部,面积约15.86 km²,分布的地层有青白口系和寒武系,由综合异常AP-17组成(图5),该异常包含多处Cu、Au、Ag、W、Mo、Cr、Sn、Zn等单元素异常。主成矿元素为Cu和Au。其中Cu-17异常规模最大,异常面积43.3 km²,平均值85.2×10⁻⁹,极大值190.1×10⁻⁹,具较明显的三级浓度分带;其次为Au和Ag、Co、Mo异常与之套合较好(图5,表4)。远景区青白口系发育基性岩床(辉绿玢岩),且寒武系昌平组中有热液活动,北东向断裂与近东西向褶皱发育,对成矿较有利,该异常可能与基性岩床叠加晚期热液有关,造成了后期的Cu-Au-Ag矿化,异常区内现已发现Cu-Au矿化点1处,远景区铜金银具有较好的找矿潜力。

3.4 荣家庄铜银多金属矿远景区

远景区位于研究区东南部,面积约14.08 km²,

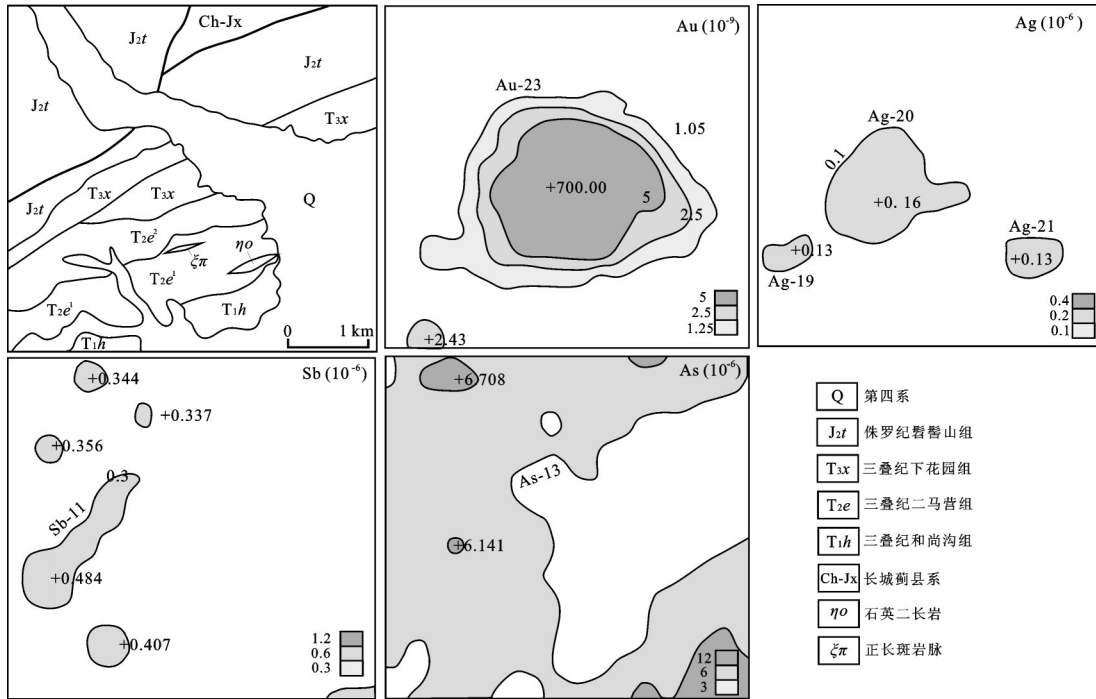


图3 石湖金成矿远景区AP-15综合异常剖析图
Fig. 3 Composite geochemical anomaly map of AP-15 in Shihu

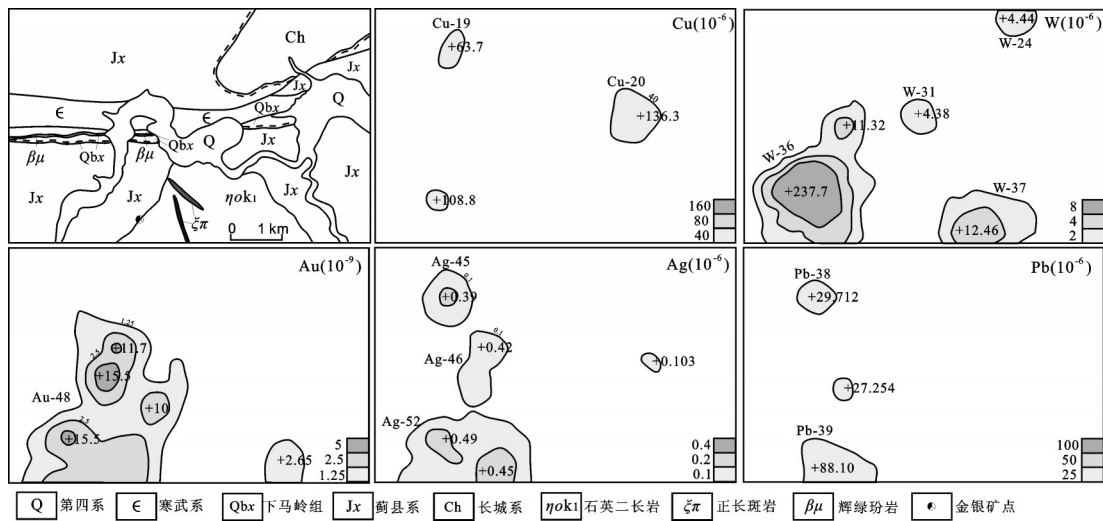


图4 潘家店金成矿远景区AP-24综合异常剖析图
Fig. 4 Composite geochemical anomaly map of AP-24 in Panjiadian

分布于青白口系和寒武系区,由综合异常AP-20组成(图6),该异常包含多处Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Hg等单元素异常。主成矿元素为Cu、Ag、Zn,远景区Cu-16异常规模最大,面积7.6 km²,平均值85.1×10⁻⁶,极大值167.9×10⁻⁶,具明显的三级浓度分

带;其次为Ag、Zn、Pb、Cd等异常与主成矿元素套合性较好(图6,表4)。远景区近东西向褶皱及北东、北西向断裂发育,对成矿较有利,特别是侵入寒武系昌平组的北西向正长斑岩可能引起多金属矿化,异常区内现已发现Cu-Ag矿化点2处,该区铜金银具

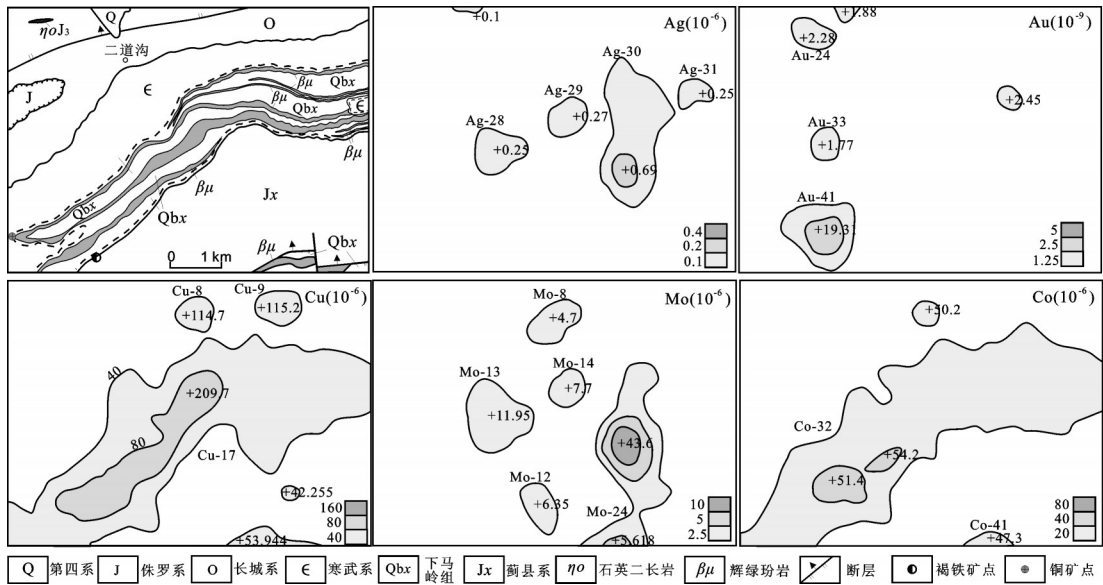


图5 路通沟铜多金属成矿远景区AP-17综合异常剖析图
Fig. 5 Composite geochemical anomaly map of AP-17 in Lutonggou

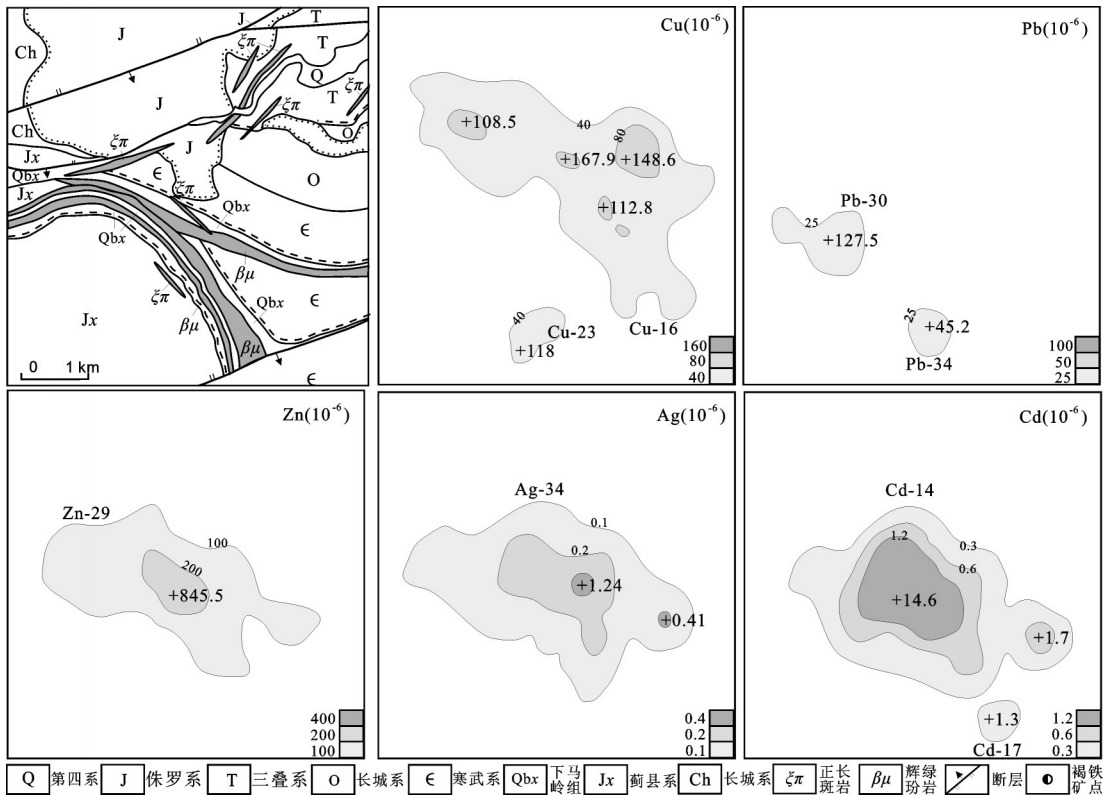


图6 荣家庄铜银多金属成矿远景区AP-20综合异常剖析图
Fig. 6 Composite geochemical anomaly map of AP-20 in Rongjiazhuang

较好的找矿潜力。

4 结 论

(1)单元素地球化学参数统计结果表明,大多数元素变化系数为不均匀分异或极不均匀分异,其中Au、Ag、Cu、Sb、As、W、Mo、Bi、Cd、Hg元素离散度较大,容易形成局部富集。综合分析认为本区主要成矿元素为Au、Ag、Cu、Zn、Pb。

(2)R聚类相关性分析和因子分析结果认为,Cr、Co、Ni、Cu、Zn的相关性强,元素组合反映与区内基性岩的分布密切相关;Ag、Cd、Sn、Pb、As、Sb、Mo相关性中等,大体反映了区内存在多金属硫化物矿化的成矿潜力;Au与其他元素的相关性最差,但仍具备局部独立富集成矿的可能。

(3)应用平均值(X)加2倍标准差(S)计算异常下限,并进行适度调整,共筛选出单元素异常719个,优选出有成矿潜力的Au异常5个、Ag异常4个、Cu异常5个、Pb异常3个、Zn异常5个,共圈定出有找矿远景的综合异常4处。

(4)依据水系沉积物异常圈定、筛选、评序及主要异常解释推断的成果,并结合区内成矿地质构造背景,圈定出了石湖金矿、潘家店金矿、路通沟铜多金属矿和荣家庄铜银多金属矿4个找矿远景区。

致谢:天津地质调查研究中心张文秦所长、安树清主任、辛后田处长对本文的部分观点及数据处理提出了宝贵修改意见,河北省区域地质矿产研究所赵永平所长、张晔卿总工程师及郭继海工程师对化探数据处理方面给出了指导性建议;廊坊实验室在数据测试方面给予了很大帮助,审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 毕伏科,肖文暹.河北省成矿区带和找矿远景区[J].地质调查与研究,2006,29(1):1-7.
Bi Fuke, Xiao Wenxian. The Ore-forming and Prospective Zones in Hebei Province[J]. Geological Survey and Research, 2006, 29(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- [2] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Hebei Province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989 (in

- Chinese).
- [3] 邓晋福,苏尚国,刘翠,等.华北太行—燕山—辽西地区燕山期(J-K)造山过程与成矿作用[J].现代地质,2007,21(3):232-240.
Deng Jinfu, Su Shangguo, Liu Cui, et al. Yanshanian (Jura-Cretaceous) orogenic processes and metallogenesis of the Taihangshan-Yanshan-West Liaoning orogenic belt, North China[J]. Geoscience, 2007, 21(3): 232-240(in Chinese with English abstract).
- [4] 杨举,吕作刚.河北省丰宁—承德地区金成矿条件及成矿标志[J].黄金科学技术,2006,14(2):52-56.
Yang Ju, Lu Zuogang. The gold mineralization condition and ore-prospecting in Fengning-Chengde Area, Hebei[J]. Gold Science and Technology, 2006, 14(2): 52-56(in Chinese with English abstract).
- [5] 张运强,陈海燕,魏文通,等.承德市五道河一带金矿地质特征及控矿因素[J].河北地质,2013,(2):12-15.
Zhang Yuqiang, Chen Haiyan, Wei Wentong, et al. The gold mineralization condition and ore-prospecting in Chengde-Wudaohe Area, Hebei[J]. Hebei Geology, 2013, (2): 12-15(in Chinese with English abstract).
- [6] 邓晋福,冯艳芳,刘翠,等.太行—燕辽地区燕山期造山过程、岩浆源区与成矿作用[J].中国地质,2009,36(3):623-633.
Deng Jinfu, Feng Yanfang, Liu Cui, et al. Yanshanian (Jurassic-Cretaceous) orogenic processes, magma sources and metallogenesis as well as coal formation in the Taihangshan-Yanshan-West Liaoning region[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 623-633(in Chinese with English abstract).
- [7] 毛景文,张作衡,余金杰,等.华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].中国科学(D辑),2003,33(4):289-299.
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, et al. The geodynamic setting for Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent region: from the isotopic ages of ore deposits [J]. Science in China(Series D), 2003, 33(4): 289-299(in Chinese with English abstract).
- [8] 权恒,韩庆云,艾永富,等.燕辽地区多金属、金、银成矿与远景[M].北京:地质出版社,1992.
Quan Heng, Han Qingyun, Ai Yongfu, et al. The Multi-Metal-Gold, Silver Metallogenesis and Prospecting in Yanshan-West Liaoning Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992 (in Chinese).
- [9] 毛景文,胡瑞忠,陈毓川,等.大规模成矿作用与大型矿集区[M].北京:地质出版社,2006.
Mao Jingwen, Hu Ruizhong, Chen Yuchuan, et al. The Large-Scale Mineralization and Prediction for the Large Mineralized Clusters [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006 (in Chinese).
- [10] 张运强,陈海燕,刘应龙,等.冀北寿王坟铜矿石英二长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄和地球化学特征[J].黄金科学技术,

- 2014, 22(3): 23–29.
Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Liu Yinglong, et al. LA-ICP-MS Zircon, U–Pb age and geochemical characteristics of quartz monzonite of Shouwangfen copper mine in North Hebei Province[J]. Gold Science and Technology, 2014, 22(3): 23–29(in Chinese with English abstract).
- [11] 张瑞斌, 刘建明, 叶杰, 等. 河北寿王坟铜矿黄铜矿铷锶同位素年龄测定及其成矿意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1353–1358.
Zhang Ruibin, Liu Jianming, Ye Jie, et al. Chalcopyrite Rb–Sr isochron age dating and its ore-forming significance in Shouwangfen copper deposit, Hebei province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(6): 1353–1358(in Chinese with English abstract).
- [12] 王宝德, 牛树银, 孙爱群, 等. 冀北地区中生代金银多金属矿床成矿物质来源于深部过程约束[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 379–385.
Wang Baode, Niu Shuyin, Sun Aiqun, et al. Sources of ore-forming material of Mesozoic Au–Ag polymetallic deposits in North Hebei Province and restriction of deep processes[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 379–386(in Chinese with English abstract).
- [13] 潘桂棠, 肖庆辉, 卢松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1–27.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1–27 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵越, 陈斌, 张拴宏, 等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 900–915.
Zhao Yue, Chen Bin, Zhang Shuanhong, et al. Pre-Yanshanian geological events in the northern margin of the North China Craton and its adjacent areas[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 900–915(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈海燕, 张运强, 张计东, 等. 冀北承德盆地侏罗系九龙山组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U–Pb 年龄与地球化学特征[J]. 地质通报, 2014, 33(7): 966–973.
Chen Haiyan, Zhang Yunqiang, Zhang Jidong, et al. LA-ICP-MS zircon U–Pb age and geochemical characteristics of tuff of Jiulongshan Formation from Chengde basin, northern Hebei[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(7): 966–973(in Chinese with English abstract).
- [16] 卢松年, 李怀坤, 相振群. 中国中元古代同位素地质年代学研究进展述评[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1002–1013.
Lu Songnian, Li Huaikun, Xiang Zhenqun. Advances in the study of Mesoproterozoic geochronology in China: a review [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1002–1013(in Chinese with English abstract).
- [17] 张运强, 陈海燕, 李先, 等. 华北陆块北部燕山地区中元古代辉绿岩地球化学特征及成因意义[J]. 中国地质, 2014, 41(2), 351–360.
Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Li Xian, et al. Geochemistry of the Mesoproterozoic diabase sills from Yanshan Mountain area in the northern part of North China Plate[J]. Geology in China, 2014, 41(2), 351–360(in Chinese with English abstract).
- [18] Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. Mesoproterozoic age for Xiamaling Formation in North China Plate indicated by zircon SHRIMP dating [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(17): 2665–2671.
- [19] 李怀坤, 陆松年, 李惠民, 等. 侵入下马岭组的基性岩床的锆石和斜锆石 U–Pb 精确定年——对华北中元古界地层划分方案的制约[J]. 地质通报, 2009, 28(10): 1396–1404.
Li Huaikun, Lu Songnian, Li Huimin, et al. Zircon and hededeyite U–Pb precision dating of basic rock sills intruding Xiamaling Formation, North China[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(10): 1396–1404(In Chinese with English abstract).
- [20] 苏文博, 李怀坤, Warren D. Huff, 等. 铁岭组钾质斑脱岩锆石 SHRIMP U–Pb 年代学研究及其地质意义[J]. 科学通报, 2010, 55(22): 2197–2206.
Su Wenbo, Li Huaikun, Warren D. Huff, et al. Zircon SHRIMP U–Pb ages of tuff in the Tieling Formation and their geological significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(22): 2197–2206(in Chinese).
- [21] 马收先, 吕同艳, 武国利, 等. 平泉地区本溪组和刘家沟组厘定[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 728–740.
Ma Shouxian, Lv Tongyan, Wu Guoli, et al. The revision of the Benxi and Liujiagou Formations in Pingquan area[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 728–740(in Chinese with English abstract).
- [22] 邓晋福, 肖庆辉, 邱瑞照, 等. 华北地区新生代岩石圈伸展减薄的机制与过程[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 751–761.
Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, et al. Cenozoic lithospheric extension and thinning of North China: Mechanism and process[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 751–761(in Chinese with English abstract).
- [23] 鄯明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Yan Mingcai, Chi Qinghua. The Chemical Composition of the Continental Crust and Rocks in the Eastern Part of China[M]. Beijing: Science Press, 1997 (in Chinese).
- [24] 谢学锦. 区域地质调查野外工作方法(第四分册)区域化探[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
Xie Xuejing. Regional Geochemical Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979 (in Chinese).