

文章编号: 1004—5589 (2026) 01—0033—16

杨双江, 赵靖雯, 安梦莹. 河北峪耳崖—肖营子一带金矿的地球化学异常特征及找矿方向 [J]. 世界地质, 2026, 45 (1): 33–48. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5589.2026.01.003.

Yang S J, Zhao J W, An M Y. Geochemical anomaly characteristics and prospecting direction of gold deposits in Yu'erya-Xiaoyingzi area, Hebei [J]. World Geology, 2026, 45 (1): 33–48. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5589.2026.01.003.

河北峪耳崖—肖营子一带金矿的地球化学异常特征 及找矿方向

杨双江, 赵靖雯*, 安梦莹

河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队 (河北省海洋地质环境调查中心), 河北 唐山 063000

摘要: 以河北省峪耳崖—肖营子矿集区为对象, 基于1:5万水系沉积物地球化学测量, 并结合区域内典型矿床勘查成果, 笔者系统剖析了金及多金属矿的成矿规律与找矿方向。研究区地处华北克拉通北缘, 受燕山期构造-岩浆活动控制, 地层以太古界迁西岩群及中元古界为主, 断裂构造发育, 为金矿形成提供热源与赋矿空间。通过化探异常圈定与分类, 识别甲、乙、丙、丁类异常34处。甲类异常 (如峪耳崖、铍尖金矿) 已证实具找矿价值; 乙类异常 (如崔杖子、七道河) 虽部分无矿化显示, 但与有利地质背景耦合, 具潜在成矿性。典型矿床 (峪耳崖、铍尖、长城金矿) 地球化学研究表明, Au、Ag为直接指示元素, As、Sb、Hg指示盲矿, Cu、Pb、Zn反映多金属叠加, Bi指示矿体尾部。金异常带呈北西向展布, 受控于北东、北西向断裂, 元素组合特征可反映矿床规模与品位。结合区域地质背景, 明确太古界变质岩为主要矿源层, 燕山期构造-岩浆活动驱动Au等元素富集。研究筛选出崔杖子、龙辛庄、大马坪3处找矿靶区, 基于其异常元素组合复杂 (含Au、Hg、Ag等), 浓度分带达3级以上, 与已知矿床地质环境相似, 且断裂构造发育等特征, 具良好找矿潜力。综上, 本研究揭示了矿集区成矿地质条件与地球化学异常的耦合机制, 建立了岩浆热液型金矿找矿标志。

关键词: 金矿; 地球化学特征; 典型矿床; 异常; 找矿靶区; 峪耳崖—肖营子矿集区; 河北

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2026.01.003

Geochemical anomaly characteristics and prospecting direction of gold deposits in Yu'erya-Xiaoyingzi area, Hebei

Yang Shuangjiang, Zhao Jingwen*, An Mengying

Hebei Province Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Fifth Geological Team
(Hebei Marine Geological Environment Survey Center), Tangshan 063000, Hebei, China

Abstract: Taking the Yu'erya-Xiaoyingzi ore concentration area in Hebei Province as research object, the

收稿日期/Received: 2024-05-30; 修订日期/Revised: 2025-12-30; 出版日期/Published: 2026-02-25

基金项目: 河北省自然资源厅2012年专项资金项目 (HBCT-120016-001); 河北省自然资源厅2023年专项资金项目 (13000023P00F2D410269A)

第一作者: 杨双江 (1978—), 男, 高级工程师, 主要从事矿产地质勘查研究。E-mail: 415867522@qq.com

*通信作者: 赵靖雯 (1981—), 女, 工程师, 主要从事矿产地质勘查研究。E-mail: dzwdkys@163.com

© Editorial Office of World Geology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

authors systematically analyze the mineralization regularity and prospecting direction of gold and polymetallic deposits combined with exploration results of typical deposits in the region based on 1 : 50 000 water series sediment geochemical survey. The study area is located at the northern margin of North China Craton and controlled by Yanshanian tectonic-magmatic activities. The strata are mainly Archean Qianxi Group and Mesoproterozoic with well-developed fault structures, which provide both thermal sources and ore-hosting spaces for gold mineralization. Through the delineation and classification of geochemical anomaly, 34 anomalies were identified and categorized into class A, B, C, and D. Class A anomalies (e. g., Yu'erya and Huajian gold deposits) have been confirmed as mineralized targets, while class B anomalies (e. g., Cuizhangzi and Qidaohe), though partially non-mineralized, show potential mineralization through their coupling with favorable geological settings. Geochemical studies of typical deposits (Yu'erya, Huajian, and Changcheng gold deposits) reveal that Au and Ag serve as direct indicator elements, As, Sb and Hg indicate blind ores, Cu, Pb and Zn reflect polymetallic superposition, and Bi marks orebody tails. Gold anomaly zones exhibit NW-trending distribution, and controlled by NE- and NW-trending faults, with elemental association characteristics reflecting deposit scale and grade. Combined with regional geological setting, it is confirmed Archean metamorphic rocks as the primary source beds, with Yanshanian tectono-magmatic activities driving Au enrichment. Three prospecting targets (Cuizhangzi, Longxinzhuang, and Damaping) were selected based on their complex elemental associations (Au, Hg, Ag, etc.), 3+ level concentration zonation, geological environments analogous to known deposits, and developed fault systems. This research reveals the coupling mechanism between metallogenic geological conditions and geochemical anomalies in the ore concentration area, and establishes geochemical prospecting criteria for magmatic-hydrothermal gold deposits.

Keywords: gold deposit; geochemical characteristics; typical deposits; anomaly; prospecting target area; Yu'erya-Xiaoyingzi ore concentration area; Hebei

0 引言

河北省峪耳崖—肖营子一带为冀东地区金及多金属矿主要矿集区,区内矿床受构造、岩浆活动所制约,多产于迁西岩群、中上元古界地层的构造裂隙中及中、酸性岩体内部或岩体与围岩接触带内侧,沿东西向、北东向分布,尤以构造交汇处集中成群出现。其中较为典型的大型金矿有峪耳崖金矿,中小型金矿有铍尖金矿、长城金矿等,通过勘查区内累计探明金属资源量超过 150 t,取得了较好的勘查成果,在地质背景及成矿规律上有了进一步的认识^[1-3]。但是以往工作主要是针对典型矿区进行了勘查和局部分析研究工作,缺乏矿集区系统性的基础分析研究,亦未进行整体的总结分析和靶区预测,导致该区找矿成果与实际成矿潜力不符。本文利用该区 1 : 5 万水系沉积物地球化学测量成果^①,研究了区内典型金矿床及其周边元素异常组合特征,系统性的分析该区成矿地质条件,对矿集区内其他异常进行了评价,圈定了找矿靶区,为今后在该区域内寻找新的金矿床提供了地质理论依据

和指导。

1 成矿地质背景

1.1 地层

研究区地层主要为太古界迁西岩群深变质岩系及中元古界变质碎屑岩系。太古界迁西岩群构成结晶基底,盖层依次为中元古界、古生界及中生界地层。前者大面积分布于宽城凹褶皱束以南,沿尖宝山—板城—毛家店一线呈北东向长桓状分布,为一套富 Fe、Mg 质的中深变质岩和花岗质混合岩(相当于陆相花岗岩—绿岩地体)构成,岩性主要为太古界迁西群黑云角闪斜长片麻岩。中元古界分布于迁西岩群两侧,为一套海相陆源碎屑岩和富 Si、Mg、Ca 质的碳酸盐岩、砂页岩组合,属陆内裂陷槽早期沉积物,岩性以页岩、石英砂岩、白云岩为主。古生界、中生界主要分布于区域北部断陷盆

^① 代永刚,陈军威,师淑娟.河北省宽城铍尖—青龙冷口 1 : 50 000 水系沉积物测量成果报告.廊坊:河北省地球物理勘查院,2014: 1-88.

地中。

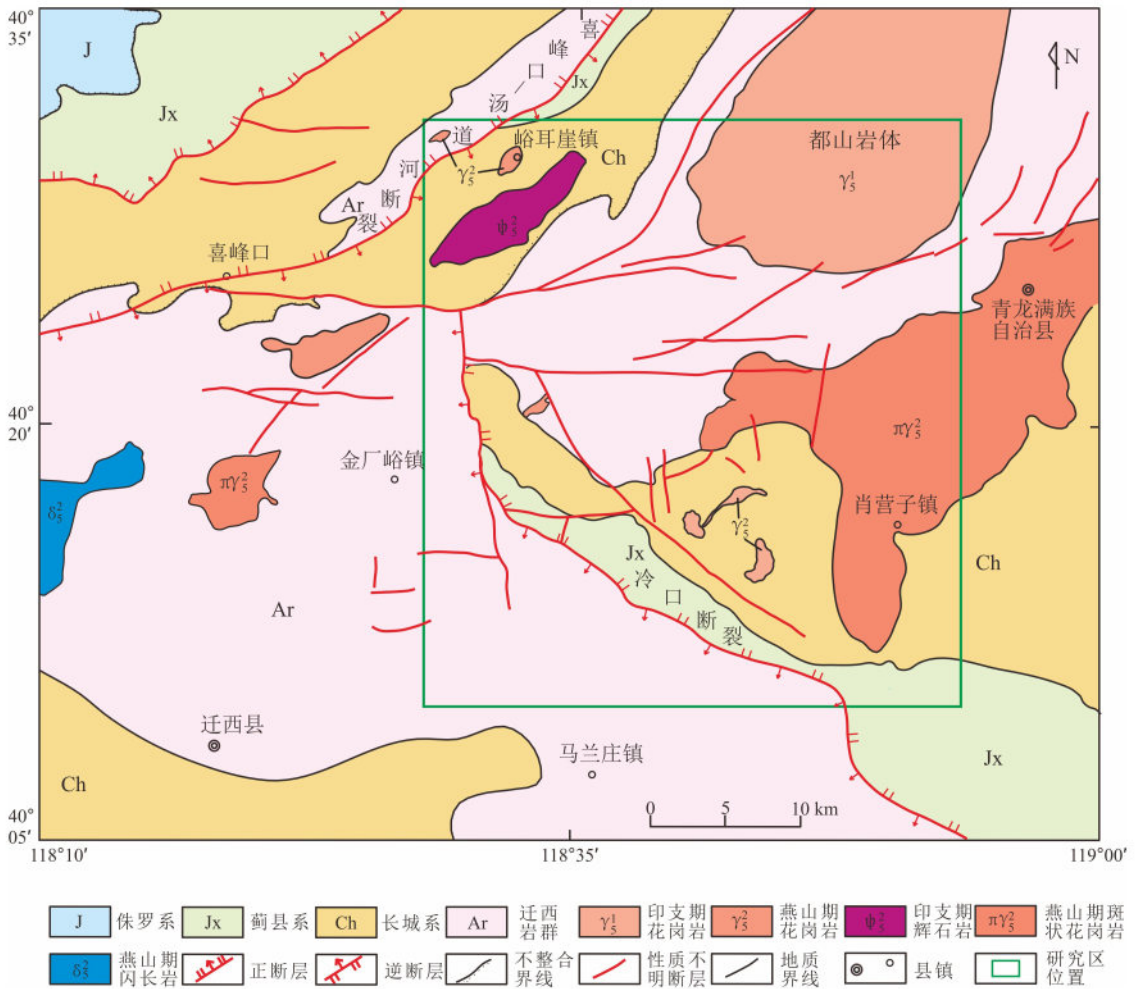
1.2 构造

研究区大地构造位于华北克拉通北缘, 地处华北板块与西伯利亚板块之间, 马兰峪复式背斜两侧, 是冀东地区金矿的主要产地, 地理位置上处于河北宽城—青龙境内 (40°00'~40°30'N, 118°30'~119°00'E)。受喜峰口—汤道河断裂与冷口断裂影响, 研究区断裂构造发育, 主要表现为近东西走向上压性断裂, 北西向、北东向断裂, 在大断裂和断裂构造的两侧发育有次级的断裂, 往往是成群成带出现, 特别是一些北西、北东向断裂, 控制着金矿

床的分布^{①[2]} (图 1)。

1.3 岩浆岩

区域内岩浆活动频繁, 岩石类型较复杂, 岩浆活动以中-酸性侵入岩为主, 基性次之。成岩时代为吕梁、印支、燕山期, 以印支晚期、燕山期为主, 区域出露较大的隶属不同时期的岩体, 如吕梁期的都山花岗斑岩体, 印支期孤山子基性-超基性岩体, 燕山期的肖营子花岗岩体、青山口花岗岩体、牛心山花岗斑岩体等中酸性岩体, 其中燕山期中-酸性侵入岩多呈岩株状产出, 单个岩体的长轴方向多为北东向, 多个岩体的空间展布呈东西向,



据文献①修改。

图 1 区域地质构造简图

Fig. 1 Schematic map of regional geological structure

① 苑永健, 许曼, 闫奕璞, 等. 河北省迁安市长城金矿外围普查报告. 唐山: 河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队, 2024: 1-76.

受东西和北东两组断裂带控制明显,与金矿成矿关系密切,多期次的岩浆活动为金矿的形成提供了充足的热源及流体^[3-5]。

2 样品采集与测试

本文利用水系沉积物地球化学测量工作^①的成果,采样工作按照勘查规范规定执行,采样点的布置覆盖整个测区,并且尽量均匀分布,在水系不发育覆盖较薄的丘陵区按每平方千米 8 个样,在第四系覆盖区按每平方千米 4 个样来布置,采样点基本布设在最小水系 (>300 m) 的一级水系末端和分支水系上,样品一般以淤泥和粉砂为主,粒度一般为 0.800 mm (20 目) 或 0.172 mm (80 目),采集后的样品去除杂质等,搅拌均匀后装入瓶或袋中,样品重量不少于 200 g。共采集样品 8 995 件,在不同矿区分析 Au、Bi、Cu、Mo 等 14 种元素,分析方法及检出限见表 1。

表 1 样品分析及检出限一览表

Table 1 Summary of sample analysis methods and detection limits

元素	分析方法	检出限	元素	分析方法	检出限
Au	ICE	0.30	As	AFS	0.05
Ag	AAS	0.05	Sb	AFS	0.05
Cd	AAS	0.05	Bi	AFS	0.05
Cu	ICE-AES	2.00	Hg	AFS	0.005
Pb	ICE-AES	5.00	W	POL	0.50
Zn	ICE-AES	10.00	Mo	POL	0.50
Mn	ICE-AES	30.00	Sn	GPS	1.00

注:元素质量分数单位 Au、Hg 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} 。ICE:石墨炉原子吸收光谱法;AAS:原子吸收分光光度法;ICE-AES:电感耦合等离子体发射光谱法;AFS:原子荧光分光光度法;POL:极谱法;GPS:光栅摄谱仪。

3 研究区化探异常特征

3.1 化探异常圈定

化探异常圈定关键是异常下限的确定,异常下限的确定依据数据分布特征及地质背景的复杂程度^[6]。

由研究区的地质背景分析可知,研究区位于中朝准地台燕山台褶马兰峪复式背斜的轴部,遵化穹褶束的东部^[7-8]。地层以太古界为主,次为中上元古界,局部零星分布侏罗系,中生代中酸性岩浆岩发育,构造复杂,受北东、北西向多组构造活动的共同影响,区域地层具多重性。

区内岩浆活动频繁而强烈,全区以吕梁、印支、燕山期侵入岩最为发育,主要为肖营子花岗岩体,圈定的异常主要沿断裂方向展布或分布在侵入岩周围,表明了元素的富集及成矿活动与岩浆侵入和构造活动密切相关。

研究区异常下限采用平均值 (\bar{X}) 加上 2 倍标准离差 (S) 计算,并进行适度调整,各元素异常下限值见表 2。异常浓度分级按异常下限值 (T) 乘以 $2n$ ($n=0、1、2$) 划分。在区域化探数据管理信息系统下 (GeoEXPL) 提取异常面积、异常平均值、最大值、衬度等参数。根据确定的异常下限圈定单元素异常,采用 50%~100% 的叠合度圈定综合异常^[9],依据上述原则,测区共圈定综合异常 34 处。

3.2 异常筛选

研究区异常筛选仍基于直观经验判断的筛选方法,基本程序为:找矿意义分类分级→矿化类型确定→异常区域地质背景及找矿标志分析→与典型矿床类比排序。

研究区异常筛选从以下几个方面进行:①找矿意义分类分级:通过该层次的直观判断,依据异常

表 2 异常下限表

Table 2 Anomaly lower limit

元素	Au	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	W	Zn	Sn
异常下限	2.00	0.15	10.00	0.30	0.25	50.00	40.00	1 000.00	1.20	40.00	0.60	2.00	100.00	10.00

注:元素质量分数单位 Au、Hg 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} 。

① 代永刚,陈军威,师淑娟.河北省宽城铀尖—青龙冷口 1:50 000 水系沉积物测量成果报告.廊坊:河北省地球物理勘查院,2014:1-88.

所处的区域地质环境及异常特征, 划分出哪些异常属岩性异常, 哪些异常属构造活动引起的异常, 哪些异常反映了已知矿化, 哪些异常虽地表无矿化显示但推测为矿致异常。除岩性或仅反映构造活动的异常和已知矿异常外, 推断的矿异常应是重点研究的异常, 并依据“规范”划分出甲、乙、丙和丁类。②矿化元素及成因的确定: 依据异常强度、元素组合特征确定主要成矿元素及伴生元素, 并依据异常所处的地质环境初步确定异常的勘查地球化学成因。③通过与典型矿床区域地球化学、区域地质及区域地球物理特征的对比, 使相似矿化成因联系的异常可以进行类比筛选。

3.2.1 异常找矿分类

此种分类是根据异常特征、异常区所处地质环境、异常区是否存在已知矿化等对异常进行的找矿意义的经验式判断。按异常找矿大小划分为4类, 划分原则如下(表3):

①甲类异常: 据此发现了矿床或有望扩大矿床规模的异常, 峪耳崖金矿(As-1)、铧尖(As-15)异常等属该类典型的代表。

②乙类异常: 乙₁类异常反映了已知矿化, 即区内有已知矿化点, 但从异常规模、强度等特征和成矿地质条件分析, 该区仍有找矿前景或可能有重大发现的异常, 研究区崔杖子(As-16)等异常属此类; 乙₂类异常异常区并无矿化显示, 异常与有利的地质背景相对应且异常强度规模较大, 推测可能成矿的异常, 研究区七道河(As-30)等异常属此类。

③丙类异常: 性质不明的异常, 根据目前掌握资料很难判断异常的找矿意义, 或异常强度不高难有重大发现的异常, 如太平寨(As-31)等异常。

④丁类异常: 异常多属岩性引起或仅仅反映构造活动, 找矿意义不大, 如太平寨(As-8)等异常。

表3 区域化探异常找矿意义分类汇总表

Table 3 Classification summary of regional geochemical anomaly prospecting significance

找矿意义分类	异常编号	数量
甲类	甲 ₁ As-1、As-12、As-15	3
乙类	乙 ₁ As-2、As-5、As-16、As-17、As-18、As-19、As-22、As-23、As-24、As-26、As-27	18
	乙 ₂ As-3、As-7、As-13、As-25、As-30、As-37、As-38	
丙类	As-6、As-10、As-11、As-28、As-31、As-32、As-33、As-34、As-35、As-36	10
丁类	As-4、As-8、As-9	3

3.2.2 矿化元素确定及综合异常的勘查地球化学成因分类

矿化元素及综合异常勘查地球化学成因分类确定: 单元异常的值及衬度在综合异常中的排序、热液矿床的元素分带序列、异常所处的成矿地质、地球化学环境等几个方面进行确定。如与中酸性侵入岩和与火山岩有关的矿化形成的异常, 其元素组合、元素异常的空间分布及成矿环境元素的分布是有差别的, 根据典型矿床区域地球化学找矿模型进行矿化元素的分析确定及综合异常勘查地球化学分类^[10]。综合异常成因分类见表4。

3.3 金异常区域分布特征

研究区构造及岩浆活动主要为北西方向, 区内矿床是以金、银、铜、铅、锌为主的多金属矿化, 圈出金异常带, 该异常带呈北西向展布, 各异常规

模较大, 以Au、Ag、Cu、Bi为主, 可形成多种元素异常浓集中心重合的情况, 岩性以长城系及蓟县系含锰白云岩、页岩为主, 有多条北西向或北东向次级断裂分布, 沿断裂带有中生代地层与侵入岩侵入。铧尖金矿就分布在这一异常带中, 且区域内分布有多处金矿, 是较好的金矿成矿地段。

3.4 研究区地球化学异常特征

河北省峪耳崖—肖营子一带断裂构造发育, 岩浆活动频繁, 典型金矿床分布于马兰峪复式背斜两侧, 分布范围均与断裂构造、韧性剪切带、火山盆地构造以及侵入岩有关, 沿构造呈带状分布, 说明岩浆、构造运动及后期热液活动把深部及围岩中的成矿元素携带出来, 发生了富集和沉淀作用^[10], 通过研究区1:5万水系沉积物地球化学测量可以发现, 典型金矿床周边地球化学异常明显, 各异常

表4 综合异常表
Table 4 Comprehensive anomaly

异常编号	异常表达式	推断矿化元素	主要伴生元素	备注
As-1	Au _{96.48} 、Bi _{37.76} 、Cu _{27.29} 、Mo _{123.38} 、Ag _{18.16} 、Hg _{17.83} 、Mn _{13.45} 、W _{9.22} 、As _{6.19} 、Sb _{2.26} 、Pb _{1.95}	Au	Bi、Cu、Mo、Ag、Hg、As	峪耳崖金矿
As-2	Hg _{123.67} 、Au _{74.19} 、Cu _{3.24} 、Bi _{2.22} 、Cd _{1.76} 、Ag _{1.24}	Au	Hg、Cu、Bi、Ag	山湾子金矿
As-3	Au _{12.44} 、Hg _{3.13}	Au	Hg	
As-4	Cu _{0.68}	Cu		
As-5	Au _{3.27} 、Cu _{2.21} 、Cd _{1.15} 、Zn _{0.59}	Au	Cu	
As-6	Hg _{7.17} 、Cu _{3.56}			
As-7	Bi _{9.3} 、W _{8.32} 、Cd _{2.73} 、Ag _{2.2} 、Au _{1.68} 、Mo _{0.8} 、Hg _{0.17}	Au	Bi、Ag、Hg	
As-8	W _{5.62}			
As-9	Au _{3.2}			
As-10	Au _{2.62} 、Ag _{0.66} 、W _{0.48}			
As-11	Au _{4.79} 、Pb _{2.9} 、Ag _{0.46} 、Mo _{0.17}			
As-12	Bi _{40.68} 、Au _{28.55} 、W _{7.2} 、Ag _{6.21} 、Cu _{0.22}	Au		响水沟金矿
As-13	Ag _{23.34} 、Bi _{20.04} 、Hg _{11.49} 、Au _{10.52} 、W _{0.94} 、Mo _{0.49} 、Pb _{0.47}	Au		
As-15	Au ₄₅₄ 、Hg ₃₃₅ 、Bi ₁₉₆ 、W ₁₄₉ 、Cd ₁₁₈ 、Ag _{117.32} 、Pb _{98.58} 、Zn _{79.71} 、Mn _{53.28} 、Mo _{45.56} 、Cu _{33.12} 、Sb _{17.08} 、As _{1.16}	Au	Hg、Bi、Ag、Cu、Sb	铍尖金矿
As-16	Au _{111.27} 、Hg _{25.14} 、Ag _{15.87} 、Bi _{9.23} 、Pb _{2.73} 、Cu _{1.64} 、Mo _{1.39} 、Sb _{0.92}	Au	Hg、Ag、Bi	
As-17	Au _{134.43} 、Hg _{38.06} 、Bi _{28.61} 、Ag _{16.43} 、Cd _{3.07} 、W _{0.21} 、Pb _{0.73} 、Cu _{0.47} 、Zn _{0.3}	Au	Hg、Bi、Ag	大岔沟金矿
As-18	Hg _{49.8} 、Au _{39.52} 、Ag _{24.46} 、Bi _{2.99} 、Cd _{2.67} 、Pb _{1.43} 、Cu _{0.56}	Au	Hg、Ag、Bi	西台子金铁矿
As-19	Au _{7.04} 、Hg _{4.63} 、Bi _{1.66} 、Ag _{0.48}	Au	Hg、Bi、Ag	
As-22	Au _{84.26} 、Ag _{42.42} 、Bi _{38.27} 、Hg _{20.35} 、Mo _{11.83} 、Cd _{10.67} 、Cu _{8.94} 、Pb _{6.1} 、Sb _{5.12} 、Zn _{3.96} 、As _{3.73} 、W _{3.15}	Au	Ag、Bi、Hg、Cu	
As-23	Au _{139.81} 、Hg _{49.31} 、Bi _{38.83} 、Sb _{37.39} 、Ag _{33.03} 、Cd _{16.51} 、Mn _{14.07} 、W _{10.44} 、Cu _{5.38} 、Mo _{2.86} 、Pb ₂ 、As _{0.83}	Au	Hg、Bi、Sb、Ag	清河沿金矿
As-24	Au _{14.63} 、Bi _{11.14} 、Hg _{8.28} 、Mn _{8.21} 、Ag _{5.41} 、Sb _{0.42}	Au	Bi、Hg、Ag	
As-25	Mn _{13.23} 、Ag _{8.95} 、As _{7.38} 、Bi _{5.93} 、Sb _{4.29} 、Hg _{1.88} 、Au _{1.3} 、W _{0.42}	Ag、Mn	As、Bi、Sb、Hg	
As-26	Ag _{349.81} 、Pb _{186.24} 、Sb _{117.7} 、Mn _{103.9} 、Zn _{102.49} 、As _{79.55} 、Cd _{71.99} 、Au _{57.24} 、Bi _{25.07} 、Hg _{9.98} 、Cu _{4.9} 、Mo _{4.72} 、Sn _{0.76}	Ag、Pb、Zn	Sb、As、Bi、Hg	七拨子金(锰银)矿
As-27	Bi _{492.56} 、Au _{282.51} 、Ag _{112.14} 、Mn _{78.52} 、W _{73.67} 、Mo _{35.52} 、Cu _{22.66} 、Hg _{14.63} 、Sb _{9.95} 、As _{5.99} 、Pb _{5.66} 、Zn _{4.35} 、Cd _{17.03}	Cu、Au	Ag、Hg、Sb、As	三拨子—七拨子铜多金属矿
As-28	Hg _{22.25} 、Au _{8.72} 、W _{5.16} 、Bi _{1.18} 、Ag _{0.12} 、Mo _{0.11}	Au	Hg、Bi	
As-30	As _{42.06} 、Au _{33.9} 、Mn _{31.33} 、Bi _{30.5} 、Mo _{16.58} 、W _{5.56} 、Pb _{1.7}	Au	As、Bi	磨盘山金矿
As-31	Ag _{44.29} 、Au _{28.42} 、Cu _{4.77} 、Mo _{0.71}	Au	Ag、Cu	
As-32	Cu _{14.35}	Au		
As-33	Cu _{5.08}	Au		
As-34	Hg _{4.78} 、Au _{2.59} 、Cu _{1.73} 、Bi _{1.16} 、Ag _{0.72} 、Cd _{0.53}	Au	Hg、Cu	
As-35	Cu _{5.03}			
As-36	Cu _{3.24}			
As-37	Bi _{148.78} 、Au _{51.41} 、As _{38.8} 、Mn _{38.63} 、Mo _{25.99} 、W _{22.17} 、Sb _{21.28} 、Ag _{17.79} 、Zn _{13.89} 、Pb _{12.97} 、Hg _{11.25} 、Sn _{10.88} 、Cd _{10.39}	Au	Bi、As、Sb、Ag	二拨子东沟金矿
As-38	Au _{60.22} 、Bi _{31.81} 、Sb _{30.9} 、Ag _{27.98} 、Hg _{22.27} 、As _{21.76} 、Mo _{6.95} 、Sn _{3.38} 、W _{1.58} 、Pb _{1.56} 、Cd _{0.54}	Au	Bi、Sb、Ag、Hg、As	长城金矿
As-39	Mn _{54.3} 、As _{9.94} 、Hg _{2.32} 、Ag _{0.45} 、Cd _{0.35}			

主成矿元素规模大、衬度高, 浓集系数相对其他元素也较高, 代表矿床平均品位高; 次生元素异常具有面积大、规模大的特点, 说明异常来源广, 矿床(矿化体)规模较大。Au、Ag、As、Sb、Hg、Mo等元素浓度分带都在2级以上, 说明矿床应由多期次热液形成。根据典型矿床的地球化学特征研究, 本区热液矿床的形成, 水系沉积物地球化学测量表现出了明显的指示元素特征。前缘指示元素主要有As、Sb、Hg; 近矿指示元素为Au、Ag; 尾缘指示元素为Mo、Mn, 因此, 综合异常特征可以作为本区找矿的有利指示。

4 研究区典型矿床地球化学特征

4.1 峪耳崖金矿

峪耳崖金矿床位于华北地台北缘燕山褶皱带东部马兰峪复式背斜北缘, 地处喜峰口—下板城构造岩浆活动带中, 区内地层主要为迁西岩群变质岩和

中元古界长城系沉积岩, 区内岩浆活动强烈, 区内岩浆岩主要为燕山期峪耳崖花岗岩体和闪长岩脉等, 峪耳崖花岗岩体为复式岩体, 呈岩珠状, 北东向展布, 与区域构造线方向一致, 岩体侵入高于庄组灰岩中, 为主要的赋矿岩体; 矿体形态为脉状、扁豆状、长透镜状。现已查明矿体165条, 累计查明Au金属量69 526.93 kg, 平均品位7.03 g/t^[10-12]。矿床包含在1:5万水系沉积物测量As-1-甲₁异常中, 各元素地球化学参数特征见表5。该异常面积47.77 km², 其中金元素异常最高值为60.6, 均值为10.83, 富集系数达到3.73, 金元素质量分数千高, 异常规模大, 呈明显的北东向展布, 且伴生Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Mn异常与金异常吻合较好, 具有较强的方向性与断裂构造的展布方向一致, 反映其受断裂构造控制的特征(图2)。

表5 峪耳崖金矿区1:5万水系沉积物地球化学参数特征表

Table 5 Geochemical characteristic parameters of 1:50 000 water series sediments in Yu'erya gold mine area

元素	Au	Bi	Cu	Mo	Ag	Hg	Mn	W	As	Sb
面积/km ²	36.25	12.18	17.27	11.87	10.09	11.43	8.15	4.41	4.27	1.81
最高值	60.60	4.98	224.70	6.43	0.68	127.00	3 782.00	8.41	25.00	0.82
平均值	10.83	0.93	78.82	2.36	0.27	62.48	1 653.00	4.17	14.45	0.75
衬度	5.42	3.10	1.58	1.97	1.80	1.56	1.65	2.09	1.45	1.25
规模/km ²	96.48	37.76	27.29	23.38	18.16	17.83	13.45	9.22	6.19	2.26
异常下限	2.00	0.30	50.00	1.20	0.15	40.00	1 000.00	2.00	10.00	0.60
浓度分带	3	3	3	3	3	3	2	3	2	1

注: 元素质量分数单位 Au、Hg 为 10⁻⁹, 其他元素为 10⁻⁶。

4.2 铍尖金矿

铍尖金矿位于华北地台北部所属的Ⅱ级构造单元—燕山台陷带内的马兰峪—山海关隆起(Ⅲ级)的中部, 正处于纬向构造带与新华夏系及北西向构造带交汇复合部位, 属冀东构造—岩浆岩金成矿带的南带^[13-14], 铍尖金矿是冀东地区典型的石英脉型金矿床之一, 区内地层主要为长城系石英砂岩与中迁西群变质岩, 金主要产在多金属硫化物石英脉中。区内矿带由矿化的构造压碎带及含金多金属硫化物石英脉组成, 以石英脉为主, 矿带一般呈脉状分布, 其形态严格受裂隙构造的控制^[15], 矿体呈

层状、扁豆状和平行细脉状产出, 矿体主要赋存于变质岩中, 矿区内共圈定金矿体52条, 累计查明Au金属量21.185 kg, 平均品位6.54 g/t^[16-19]。矿床包含在1:5万水系沉积物测量编号As-15-甲₁异常中, 各元素地球化学参数特征见表6。该异常面积67.11 km², 其中金元素异常最高值为196.80 × 10⁻⁹, 均值为16.04 × 10⁻⁹, 富集系数达到7.58。区域异常以金异常为主, 伴生Ag、Bi、Hg、W等元素异常且这些异常均具三级以上浓度分带和统一浓集中心, Mn异常与长城系出露区对应, As、Sb异常规模较小(图3)。

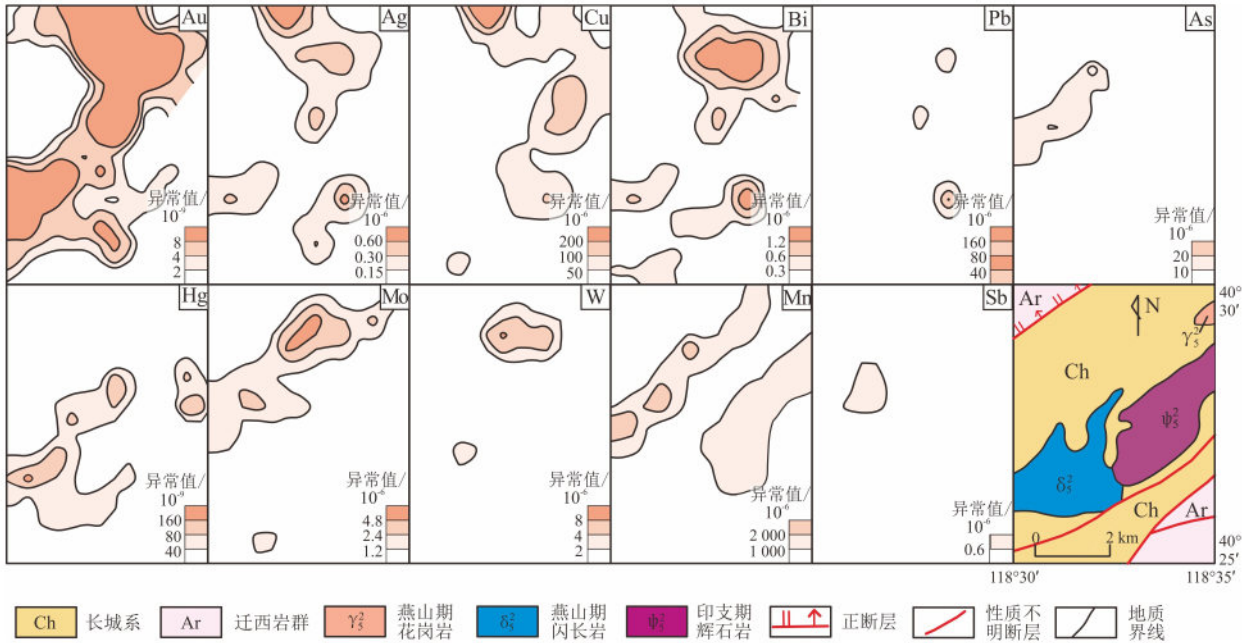


图 2 峪耳崖金矿地球化学异常剖析图

Fig. 2 Analysis of geochemical anomalies in Yu'erya gold mine

表 6 桦尖金矿区 1:5 万水系沉积物地球化学特征参数表

Table 6 Geochemical characteristic parameters of 1:50 000 water series sediments in Huajian gold mine area

元素	Au	Hg	Bi	W	Cd	Ag	Pb	Zn	Mn	Mo	Cu
面积/km ²	56.70	39.95	38.57	30.79	30.41	41.90	23.14	29.09	18.96	18.37	23.83
最高值	196.80	4 848.00	10.12	98.27	6.88	2.87	1817.40	1 593.90	9 974.00	12.46	147.20
平均值	16.04	335.00	1.53	9.37	0.97	0.42	170.49	274.00	2 810.00	2.97	69.51
衬度	8.02	8.39	5.10	4.87	3.88	2.80	4.26	2.74	2.81	2.48	1.39
规模/km ²	454.00	335.00	196.00	149.00	118.00	117.32	98.58	79.71	53.28	45.56	33.12
异常下限	2.00	40.00	0.30	2.00	0.25	0.15	40.00	100.00	1 000.00	1.20	50.00
浓度分带	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2

注：元素质量分数单位 Au、Hg 为 10^{-9} ，其他元素为 10^{-6} 。

4.3 长城金矿

长城金矿位于华北地台燕山台褶带马兰峪复背斜南翼东缘断块区，冷口断裂带北侧，区内出露中生界侏罗系后城组地层，下伏元古界蓟县系雾迷山组和杨庄组地层^[20]。矿体主要赋存于杨庄组蚀变白云岩及部分蚀变闪长玢岩岩脉中，主要受断裂或构造破碎蚀变岩带控制，共圈定 7 个矿带，呈北西向彼此大致平行排列，呈似层状、透镜状、脉状，共发现 54 条金矿体，累计查明 Au 金属量 12 202.51 kg，平均品位 5.64 g/t^[21-23]，矿床包含

在 1:5 万水系沉积物测量编号 As-38-乙₂ 异常中，各元素地球化学参数特征见表 7。该异常面积 36.19 km²，其中金元素异常最高值为 39.00，均值为 6.55，富集系数达到 5.49。区域异常以金异常为主，伴生 Ag、As、Hg、Bi 等元素异常且具有 3 级浓度分级，元素组合复杂，浓集中心较明显。长城金矿位于该异常范围内，异常中心部位褐铁矿化明显，且发现金矿体。建昌营幅虽被第四系覆盖，但重力零值线的穿过预示着该区域可能存在隐伏构造，亦存在成矿元素迁移和富集的构造条件（图 4）。

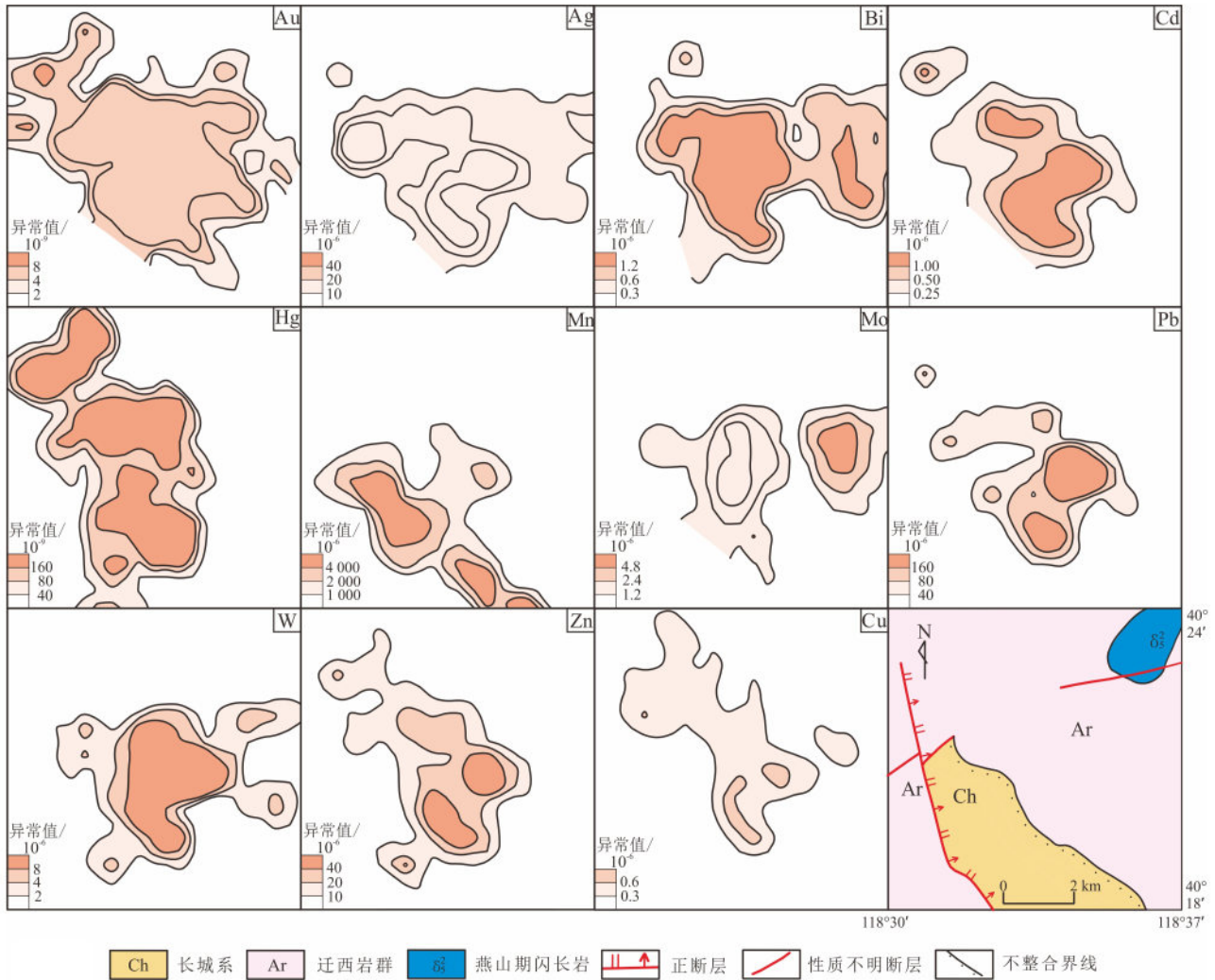


图 3 铼尖金矿地球化学异常剖析图

Fig. 3 Analysis of geochemical anomalies in Huajian gold mine

表 7 长城金矿区 1 : 5 万水系沉积物地球化学特征参数表

Table 7 Geochemical characteristic parameters of 1 : 50 000 water series sediments in Changcheng gold mine area

元素	Au	Bi	Sb	Ag	Hg	As	Mo	Sn	W	Pb	Cd
面积/km ²	18.36	20.26	22.07	11.66	5.71	8.15	6.32	3.10	0.83	1.15	0.50
最高值	39.00	1.95	1.62	3.15	1 133.00	99.70	1.52	3.00	5.64	77.70	0.28
平均值	6.55	0.47	0.84	0.36	155.88	26.67	1.32	2.72	3.80	54.24	0.27
衬度	3.28	1.57	1.40	2.40	3.90	2.67	1.10	1.09	1.90	1.36	1.08
规模/km ²	60.22	31.81	30.90	27.98	22.27	21.76	6.95	3.38	1.58	1.56	0.54
异常下限	2.00	0.30	0.60	0.15	40.00	10.00	1.20	2.50	2.00	40.00	0.25
浓度分带	3	3	2	3	3	3	1	1	2	1	1

注: 元素质量分数单位 Au、Hg 为 10⁻⁹, 其他元素为 10⁻⁶。

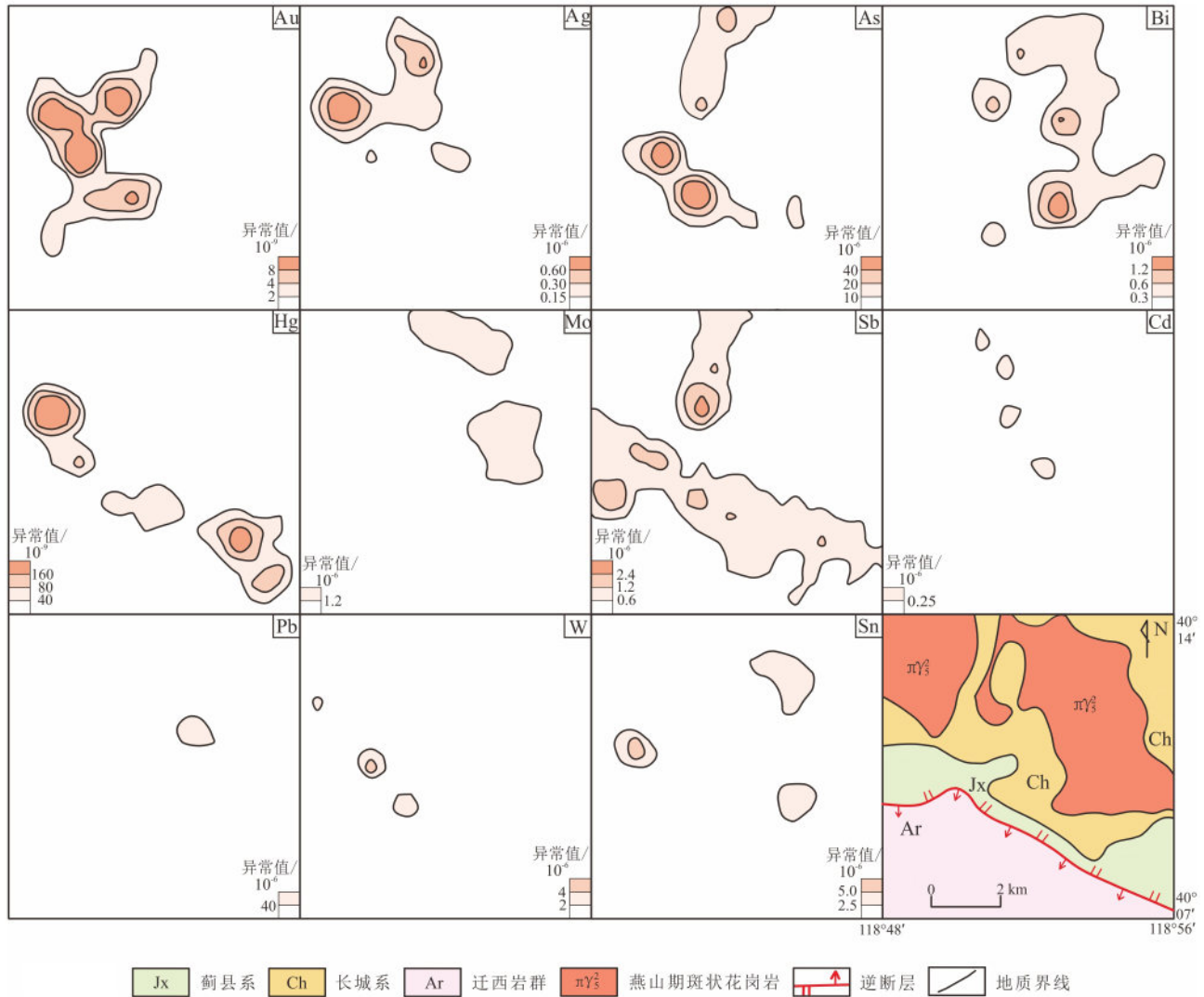


图4 长城金矿地球化学异常剖析图

Fig. 4 Analysis of geochemical anomalies in Changcheng gold mine

4.4 典型矿床化探找矿分析

综合分析以往工作成果将峪耳崖金矿、铍尖金矿、长城金矿成矿元素组合及其反映的找矿信息总结如下:

Au 是寻找金矿的最直接最有效的指示元素, Ag 是 Au 最重要的伴生元素。测区内如有 Au、Ag 异常表示浅部有矿体存在, 在矿区北部和西部, 尤其 Au 元素浓集区浅部存在矿体的可能性极大。

As、Sb、Hg 是预测金矿盲矿的最重要指示元素。矿区内 Au、Ag 异常区内均有 As、Sb、Hg 异常存在, 说明矿体具有一定程度的延伸。矿区中部

虽然没有 Au、Ag 异常, 但存在 As、Sb、Hg 异常, 指示深部可能有盲矿体。

Cu、Pb、Zn 指示多金属硫化物成矿阶段叠加, 主要分布于 Au、Ag 异常区, 说明矿体较富, 资源潜力很大。由于工区范围所限, 矿致异常未封闭, Zn 作为尾晕元素在区内主要显示为负异常, 正异常主体向北延展至区外。

Bi 强异常指示矿体尾部, 北部和西部异常区与 Au、Ag 异常区吻合, 表明 Ag 异常区的矿体上部剥蚀严重; 南部异常区内没有 Au、Ag 等成矿元素异常, 可能是矿体已经被剥蚀掉, 只残留尾晕。

5 找矿方向及找矿靶区

5.1 找矿方向

研究区位于中朝准地台燕山台褶马兰峪复式背斜的轴部, 遵化穹褶束的东部^[9], 地层以太古界为主, 次为中上元古界。中酸性岩浆岩发育, 构造复杂, 成矿条件好, 找矿前景广阔, 是金及多金属矿产的重要找矿区段。区域地球化学特征分析认为, 太古界老变质岩是金矿床富集的主要矿源层, 加之测区海西—燕山期强烈的构造岩浆活动, 使测区 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等有色金属元素强烈富集成矿, 形成了以 Au 为主, Cu、Ag、Pb、Zn 为辅的众多的区域化探异常的出现, 反映该区矿化以 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 多金属矿化为主的特点。

通过 1:5 万水系沉积物测量成果研究发现, 峪耳崖—青龙—冷口、肖营子花岗岩体南缘存在多条区域性异常带, 异常带分别受北东、北西向断裂控制, 且在铍尖一带形成与北东向及北西向断裂交汇带, 构成了研究区 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 多金属异常的区域分布, 亦反映出该区 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 具较大资源潜力, 因此本区的找矿方向以

寻找金矿床为主, 同时应关注 Ag、Pb、Zn、Cu 等多金属异常。

5.2 找矿靶区

经综合分析区内 Au、As、Hg 等综合异常分布范围与已发现的矿产地拟合情况良好, 初步在研究区内以往地质工作程度较低地段筛选出 3 处成矿靶区 (图 5):

①崔杖子 (As-16-乙₁) 异常: 该异常属乙₁ 类异常, 各元素地球化学参数特征见表 8, 该异常元素为 Au、Hg、Ag、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb 共 8 种元素, 异常面积 30.79 km², Au 元素最高质量分数为 43.6×10^{-9} , 平均值为 8.5×10^{-9} , 富集系数达到 2.88, 浓度分带 3 级; 已知矿山铍尖金矿异常 Au 元素最高质量分数为 196.8×10^{-9} , 平均值为 16.04×10^{-9} , 富集系数达到 5.42, 浓度分带 3 级; 崔杖子异常主要出露变质岩地层; 铍尖金矿床赋存于王厂片麻岩中以及中元古界长城系中沿断裂充填的含金石英脉或含金蚀变带中; 区内构造断裂发育, 异常元素含量较好, Au、Hg 浓度分带都在 3 级以上, 通过进一步工作有望找到有价值的金矿 (图 6)。

表 8 崔杖子金矿区地球化学异常 1:5 万水系沉积物地球化学参数特征表

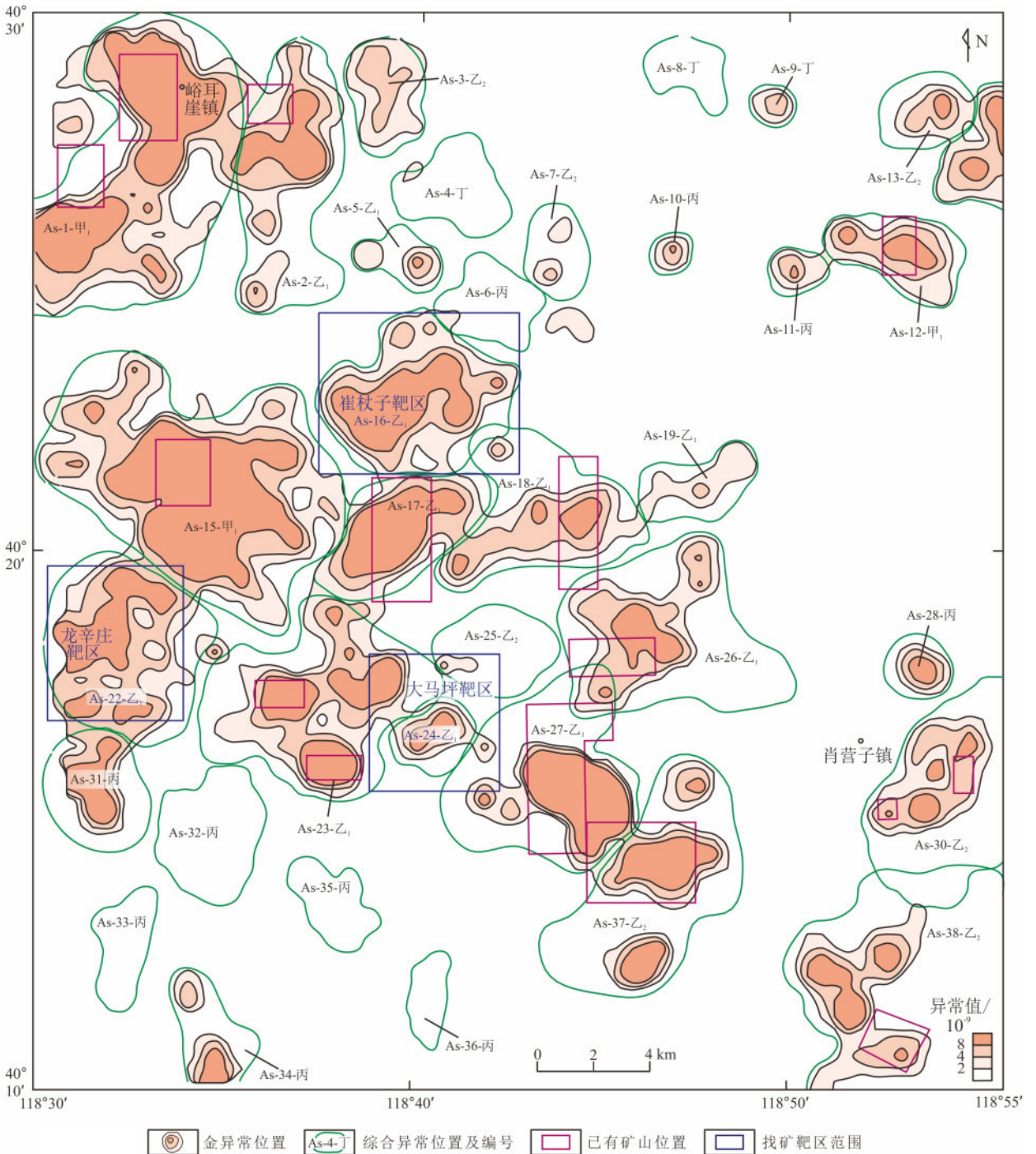
Table 8 Geochemical characteristic parameters of 1:50 000 water series sediments in Cuizhangzi gold mine area

元素	Au	Hg	Ag	Bi	Pb	Cu	Mo	Sb
面积/km ²	26.18	8.64	11.93	5.88	1.57	1.29	1.01	0.61
最高值	43.60	534.00	0.49	0.99	163.00	101.40	2.33	0.91
平均值	8.50	116.42	0.20	0.47	69.63	63.48	1.65	0.90
衬度	4.25	2.91	1.33	1.57	1.74	1.27	1.38	1.50
规模/km ²	111.27	25.14	15.87	9.23	2.73	1.64	1.39	0.92
异常下限	2.00	40.00	0.15	0.30	40.00	50.00	1.20	0.60
浓度分带	3	3	2	2	2	1	1	1

注: 元素质量分数单位 Au、Hg 为 10^{-9} , 其他元素为 10^{-6} 。

②龙辛庄 (As-22-乙₁) 异常: 该异常属乙₁ 类异常, 各元素地球化学参数特征见表 9, 异常元素组合复杂, 为 Au、Ag、As、Sb、Bi、Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、W 共 12 种元素, 异常面积 28.50 km², Au 元素最高质量分数为 16.90×10^{-9} , 平均值为 7.18×10^{-9} , 富集系数达到 2.56, 浓度分带 3 级; 已知矿区铍尖金矿异常 Au 元素最高质量分数为 196.80×10^{-9} , 平均值为 16.04×10^{-9} , 富集系数达到

5.42, 浓度分带 3 级; 龙辛庄异常主要出露变质岩、白云岩地层; 铍尖金矿床赋存于王厂片麻岩中以及中元古界长城系中沿断裂充填的含金石英脉或含金蚀变带中; 区内构造断裂发育, 异常元素含量较好, Au、Ag、Bi、Hg、Cd、Zn 浓度分带都在 3 级以上, 通过进一步工作有望找到有价值的金矿 (图 7)。



据文献①修改。

图5 成矿靶区异常图

Fig. 5 Anomaly of metallogenic target area

① 代永刚, 陈军威, 师淑娟. 河北省宽城铍尖—青龙冷口 1 : 50 000 水系沉积物测量成果报告. 廊坊: 河北省地球物理勘查院, 2014: 1-88.

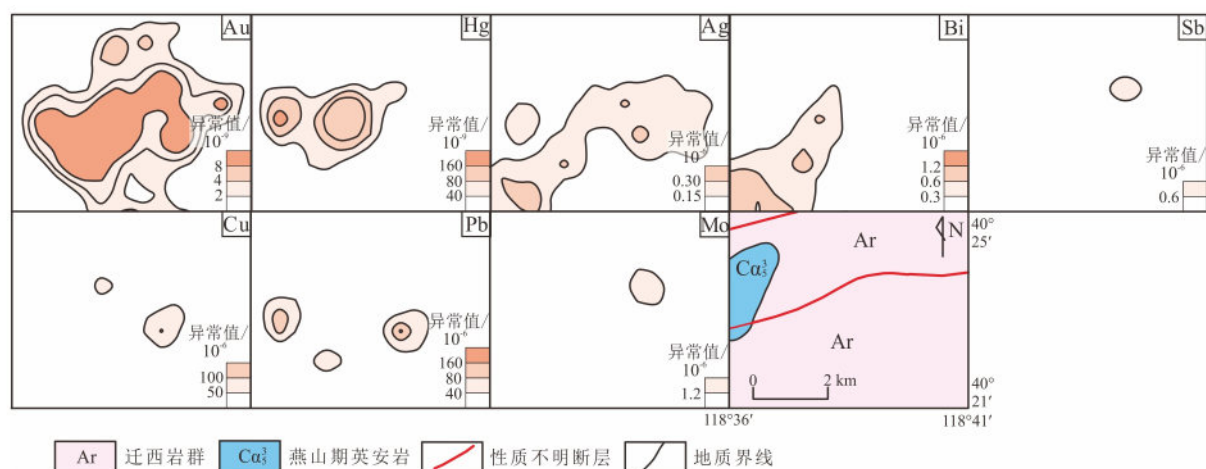


图 6 龙辛庄靶区地球化学异常剖析图

Fig. 6 Analysis of geochemical anomalies in Longxin Zhuang target area

表 9 龙辛庄金矿区 1:5 万水系沉积物地球化学参数特征表

Table 9 Geochemical characteristic parameters of 1:50 000 water series sediments in Longxin Zhuang gold mine area

元素	Au	Ag	Bi	Hg	Mo	Cd	Cu	Pb	Sb	Zn	As	W
面积/km ²	23.47	21.21	12.63	9.51	8.16	5.23	7.27	4.18	3.01	2.15	2.76	1.82
最高值	16.90	1.87	2.75	240.00	3.51	1.88	81.20	118.50	1.98	414.20	21.10	5.61
平均值	7.18	0.30	0.91	85.44	1.74	0.51	61.44	58.40	1.02	183.84	13.50	3.45
衬度	3.59	2.00	3.03	2.14	1.45	2.04	1.23	1.46	1.70	1.84	1.35	1.73
规模/km ²	84.26	42.42	38.27	20.35	11.83	10.67	8.94	6.10	5.12	3.96	3.73	3.15
异常下限	2.00	0.15	0.30	40.00	1.20	0.25	50.00	40.00	0.60	100.00	10.00	2.00
浓度分带	3	3	3	3	2	3	1	2	2	3	2	2

注: 元素质量分数单位 Au、Hg 为 10⁻⁹, 其他元素为 10⁻⁶。

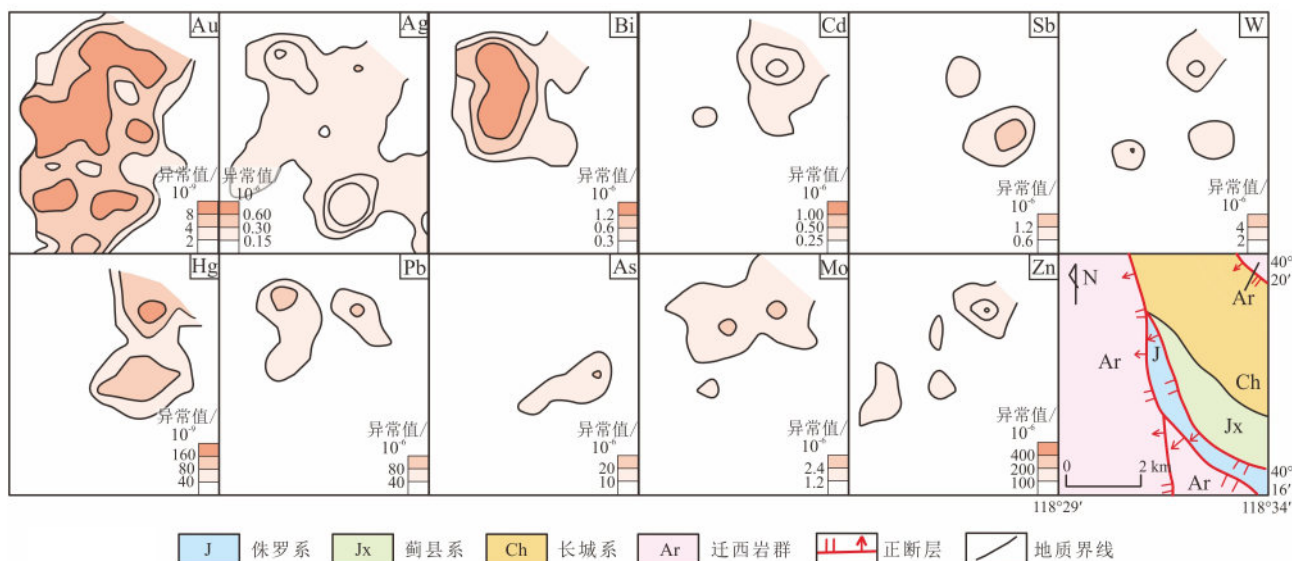


图 7 大马坪靶区地球化学异常剖析图

Fig. 7 Analysis of geochemical anomalies in Damaping target area

③大马坪 (As-24-乙₁) 异常: 该异常属乙₁ 类异常, 各元素地球化学参数特征见表 10, 该异常为 Au、Ag、Bi、Hg、Mn、Sb 共 6 种元素, 异常面积 5.57 km², Au 元素最高质量分数为 20.3 × 10⁻⁹, 平均值为 6.74 × 10⁻⁹, 富集系数达到 2.38, 浓度分带 3 级; 已知矿山长城金矿异常 Au 元素最高质量分数为 32.80 × 10⁻⁹, 平均值为 10.17 ×

10⁻⁹, 富集系数达到 4.33, 浓度分带 3 级; 大马坪异常主要出露蓟县系、长城系沉积盖层; 长城金矿矿体主要赋存于蓟县系杨庄组蚀变白云岩及部分蚀变闪长玢岩岩脉中; 区内构造断裂发育, 异常元素含量较好, Au、Bi、Hg、Mn 浓度分带都在 3 级以上, 通过进一步工作有望找到有价值的金矿 (图 8)。

表 10 大马坪金矿区地球化学异常 1:5 万水系沉积物地球化学参数特征表

Table 10 Geochemical characteristic parameters of 1:50 000 water series sediments in Damaping gold mine area

元素	Au	Bi	Hg	Mn	Ag	Sb
面积/km ²	4.34	4.08	3.45	3.42	4.51	0.39
最高值	20.30	1.97	291.00	4 854.00	0.20	0.66
平均值	6.74	0.82	95.93	2 401.00	0.18	0.64
衬度	3.37	2.73	2.40	2.40	1.20	1.07
规模/km ²	14.63	11.14	8.28	8.21	5.41	0.42
异常下限	2.00	0.30	40.00	1 000.00	0.15	0.60
浓度分带	3	3	3	3	1	1

注: 元素质量分数单位 Au、Hg 为 10⁻⁹, 其他元素为 10⁻⁶。

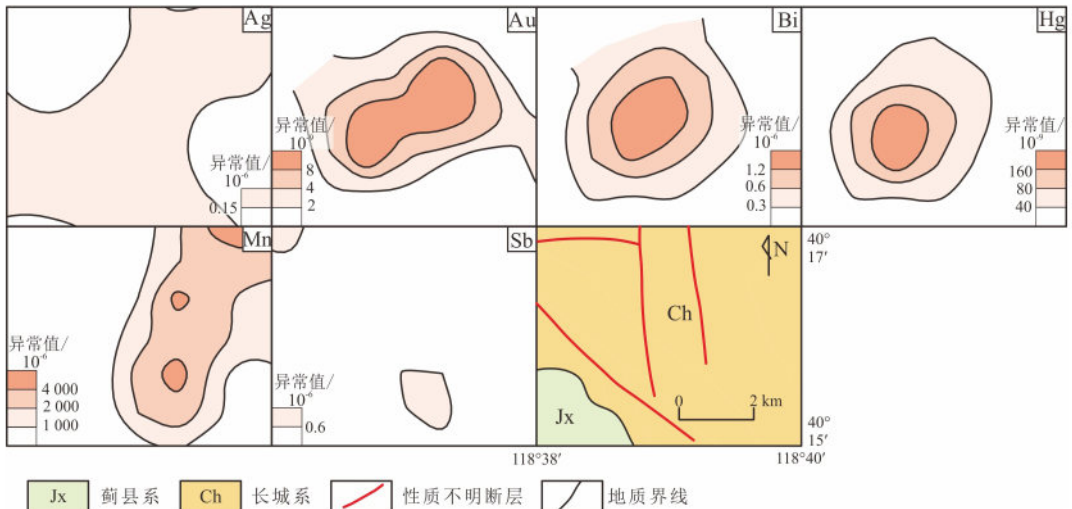


图 8 崔杖子靶区地球化学异常剖析图

Fig. 8 Analysis of geochemical anomalies in Cuizhangzi target area

6 结论

(1) 峪耳崖—肖营子一带典型金矿床主要分布在马兰峪复式背斜两侧, 燕山期的多期次岩浆活动与复杂的断裂构造为矿床的形成提供了良好的热源及赋矿空间。

(2) 研究区与金相关性较为密切的主要是 Au、Bi、Pb、Ag、Cu、As、Hg、Sb 等元素, 这些组合异常在在区域上受构造带控制分布, 形成由北西到南东分布的较好的金矿异常带, 同时, 该元素组合异常特征较好地反映了矿床的规模及品位情况。

(3) Au 矿主要为岩浆热液型矿床, 含矿热液沿断裂带运移至近地表后与围岩接触冷凝, 在侵入岩内部及接触带附近富集成矿。因此断裂带及侵入岩的分布是寻找金矿床的重要地质前提。Au 是寻找金矿的最直接最有效的指示元素。

(4) 圈定综合异常 34 处, 依托区内典型矿床的综合地球化学找矿标志, 采用找矿意义分类→矿化类型分类→异常所属地质环境及找矿标志分析→与典型矿床类比的异常筛选程序进行了异常筛选, 并对各重点异常进行了系统解释评价。

(5) 通过对研究区地球化学组合异常、浓集特征及地质环境推测, 圈出崔杖子、龙辛庄、大马坪 3 个找矿远景区, 为今后在该区域内寻找新的金矿床提供了地质理论依据和方向。

参考文献:

[1] 王久良, 武峰, 赵靖雯, 等. 冀东冷口断裂带北侧金矿地质特征及远景预测 [J]. 东华理工大学学报 (自然科学版), 2021, 44 (5): 462–471.
Wang J L, Wu F, Zhao J W, et al. Geological characteristics and prospect prediction of gold deposits in the northern side of Lengkou Fault zone, eastern Hebei [J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 44 (5): 462–471.

[2] 杨爱雪, 许曼, 孙仲坤, 等. 冀东冷口金成矿带“长城式”金矿成矿作用研究 [J]. 河北地质大学学报, 2024, 47 (2): 21–29.
Yang A X, Xu M, Sun Z K, et al. Study on the mineralization of “Great Wall-style” gold deposits in the Lengkou gold metallogenic belt, eastern Hebei Province [J]. Journal of Hebei GEO University, 2024, 47 (2): 21–29.

[3] 张岱岳, 王树志, 曹冲, 等. 冀东金矿带中生代岩浆作用及其成矿意义: 来自锆石矿物学证据 [J]. 地质论评, 2022, 68 (4): 1361–1374.
Zhang D Y, Wang S Z, Cao C, et al. Mesozoic magmatism and its metallogenic significance in Jidong gold belt: evidence from zircon mineralogy [J]. Geological Review, 2022, 68 (4): 1361–1374.

[4] 于润涛. 河北省冀东中晚元古界碳酸盐岩分布区金-多金属成矿作用研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2022.
Yu R T. Study on gold-polymetallic mineralization in the Mesoproterozoic to Neoproterozoic carbonate rock distribution area of eastern Hebei Province, China [D]. Chang-

chun: Jilin University, 2022.

[5] 王树树. 冀东北燕山期花岗质侵入体及多金属成矿作用 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
Wang S S. Study on Yanshanian granitic intrusions and polymetallic mineralization in northeastern Jidong, Hebei Province, China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.

[6] 赵萌生, 杨海林, 陆芳芳. 河北上黄旗地区水系沉积物地球化学特征与找矿方向 [J]. 价值工程, 2015, 34 (7): 273–275.
Zhao M S, Yang H L, Lu F F. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in Shang-huangqi area, Hebei Province [J]. Value Engineering, 2015, 34 (7): 273–275.

[7] 刘佩欣. 河北省北马道金矿地质特征及找矿标志 [J]. 世界有色金属, 2022 (6): 129–131.
Liu P X. Geological characteristics and prospecting indicators of the Beimadao gold deposit in Hebei Province [J]. World Nonferrous Metals, 2022 (6): 129–131.

[8] 王殿良, 宫贯乾, 刘小滨, 等. 冀东湾杖子铁矿床地质特征、成矿规律及成因探讨 [J]. 矿产勘查, 2023, 14 (7): 1074–1085.
Wang D L, Gong G Q, Liu X B, et al. Geological characteristics, metallogenic regularity, and genetic analysis of the Wanzhangzi iron deposit in eastern Hebei Province [J]. Mineral Exploration, 2023, 14 (7): 1074–1085.

[9] 邢博钊. 河北省郭杖子地区金多金属矿床地质-地球化学特征及成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学, 2018.
Xing B Z. Geological and geochemical characteristics of the gold polymetallic deposit in Guozhanzi area, Hebei Province, and ore formation prediction [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.

[10] 姜文婷, 李欢, 李小罗. 甘肃狼娃山铁矿床火山岩地球化学特征及其对铁成矿的制约 [J]. 矿产勘查, 2024, 15 (4): 550–566.
Jiang W T, Li H, Li X L. Geochemical characteristics of volcanic rocks and their constraints on iron mineralization in the Langwashan iron deposit, Gansu Province [J]. Mineral Exploration, 2024, 15 (4): 550–566.

[11] 王卓. 冀东峪耳崖金矿床矿物标型特征、成矿流体特征及矿床成因探讨 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
Wang Z. Minerals standard characteristics, metallogenic fluid characteristics and genesis of Yu'erya gold deposit in eastern Hebei Province [D]. Beijing: China Univer-

- sity of Geosciences, 2020.
- [12] 王俊德, 任彧仲, 杜晓阳, 等. 豫西上官金矿床成矿流体特征 [J]. 黄金, 2022, 43 (12): 19-25.
Wang J D, Ren Y Z, Du X Y, et al. Characteristics of ore-forming fluids in the Shangong gold deposit, western Henan Province [J]. Gold, 2022, 43 (12): 19-25.
- [13] 王荣柱. 山东鞠格庄金矿成矿特征及控矿因素分析 [J]. 世界有色金属, 2019 (24): 251-253.
Wang R Z. Metallogenic characteristics and ore-controlling factors of Jugezhuang gold deposit in Shandong [J]. World Nonferrous Metals, 2019 (24): 251-253.
- [14] 张海敞, 张宏丽, 马亚梦, 等. 伟晶岩型高纯石英资源全链条调查评价体系的建立与实践: 以北秦岭地区调查评价为例 [J]. 矿产保护与利用, 2022, 24 (5): 15-21.
Zhang H Q, Zhang H L, Ma Y M, et al. Establishment and practice of a whole chain survey and evaluation system for pegmatite-type high purity quartz resources: a case study in North Qinling region, China [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 24 (5): 15-21.
- [15] 党永岐. 冀东铍尖金矿床成矿流体特征研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
Dang Y Q. Characteristics of ore-forming fluids in the Huajian gold deposit, eastern Hebei Province [D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2021.
- [16] 王晨光, 王丰翔, 郭海全, 等. 冀东幔枝构造与金成矿作用 [J]. 河北地质大学学报, 2023, 46 (4): 16-28.
Wang C G, Wang F X, Guo H Q, et al. Mantle branch structure and gold mineralization in eastern Hebei Province [J]. Journal of Hebei University of Geosciences, 2023, 46 (4): 16-28.
- [17] 李士超, 张敬伟, 张运昕, 等. 华北陆块晋冀成矿带十八盘金矿地质特征与找矿标志研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44 (11): 67-75.
Li S C, Zhang J W, Zhang Y X, et al. Geological characteristics and prospecting indicators of the Shibapan gold deposit in the Jinji metallogenic belt, North China Craton [J]. China Energy and Environmental Protection, 2022, 44 (11): 67-75.
- [18] 兰青尧. 金厂峪燕山期岩浆活动及其与金成矿作用关系 [D]. 北京: 中国地质大学, 2022.
Lan Q Y. Yanshanian magmatic activities and their relationship with gold mineralization in the Jinchangyu area [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2022.
- [19] 李丁丁. 冀东牛心山花岗岩地质和地球化学特征及构造意义 [D]. 北京: 中国地质大学, 2022.
Li D D. Geological and geochemical characteristics and tectonic significance of the Niuxinshan granite in eastern Hebei Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2022.
- [20] 李良辞, 吕和建, 张才森, 等. 河北金厂峪金矿床成矿规律研究及深部找矿预测 [J]. 科技创新导报, 2013 (7): 82-86, 88.
Li L C, Lü H J, Zhang C S, et al. Study on metallogenic regularity and deep prospecting prediction of Jinchangyu gold deposit in Hebei Province [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013 (7): 82-86, 88.
- [21] 刘晓波. 迁安市长城金矿地质特征及找矿标志 [J]. 中国资源综合利用, 2023, 41 (11): 82-84.
Liu X B. Geological characteristics and prospecting signs of the Changcheng gold mine in Qian'an City [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2023, 41 (11): 82-84.
- [22] 王郁. 长城式金矿稳定同位素地质特征 [J]. 地质找矿论丛, 2000, 15 (3): 254-260.
Wang Y. Stable isotope geological characteristics of the Great Wall-type gold deposit [J]. Contributions to Geology and Mineral Exploration, 2000, 15 (3): 254-260.
- [23] 王久良, 杨超, 许曼, 等. 长城金矿电阻率异常特征及其找矿意义 [J]. 矿产勘查, 2022, 13 (6): 777-784.
Wang J L, Yang C, Xu M, et al. Characteristics of resistivity anomalies and prospecting significance of the Great Wall gold mine [J]. Mineral Exploration, 2022, 13 (6): 777-784.