



胶东焦家金矿带南延地段土壤地球化学特征及潜力评价

岳 鹏¹, 乔亚凯¹, 邓俊马², 马朝阳¹

1. 中国地质调查局 自然资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201;

2. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006

摘 要: 以胶东焦家金矿带南延地段作为研究对象, 基于 1:5 万土壤地球化学测试数据, 分析各元素特征值并绘制直方图, 判断该区域 Au 等元素具有富集趋势。运用因子分析法进行数据处理, 选取 F4 因子组合(Hg、Au、Pb)作为构造蚀变带及矿化信息识别的重要指标, 绘制地质-化探综合剖面图、地质平剖面图进行重点区域验证。结合野外实际观测地质情况, 推断出两条构造蚀变带作为找矿有利方向, 并圈定 2 处成矿远景区, 为下一步该区域的地质研究及找矿工作提供依据。

关键词: 金矿床; 土壤地球化学; 资源潜力评价; 焦家金矿带; 山东省

SOIL GEOCHEMISTRY AND POTENTIAL EVALUATION IN THE SOUTH EXTENSION OF JIAOJIA GOLD BELT, EASTERN SHANDONG

YUE Peng¹, QIAO Ya-kai¹, DENG Jun-ma², MA Zhao-yang¹

1. Cores and Samples Center of Natural Resources, CGS, Sanhe 065201, Hebei Province, China;

2. No. 7 Institute of Geology & Mineral Exploration of Shandong Province, Linyi 276006, Shandong Province, China

Abstract: Taking the south extension part of Jiaojia gold belt in eastern Shandong Peninsula as the research object, on the basis of test data of 1:50 000 soil geochemical survey, the paper analyzes the element eigenvalues with diagrams, and infers that there is an enrichment tendency for Au in the area. Factor analysis is adopted for data processing, with F4 factor combination (Hg-Au-Pb) as a major indicator to identify structural alteration zone and mineralization clues. Comprehensive geological and geochemical profiles and plan maps are drawn for verification of key areas. Combined with the actual geological conditions by field observation, two structural alteration zones are recognized to be favorable prospecting direction, and two metallogenic prospects are delineated, which provides basis for the next geological study and prospecting in the area.

Key words: gold deposit; soil geochemistry; resource potential evaluation; Jiaojia gold belt; Shandong Province

0 引言

胶东金矿集中区是我国重要的产金基地, 金矿床

(点)密集分布, 资源潜力巨大。区域上构造-岩浆作用

呈现多期次特征, 为成矿物质的活化、迁移、沉淀提供

收稿日期: 2023-08-02; 修回日期: 2023-11-20。编辑: 李兰英。

基金项目: 中国地质调查局项目“全国实物地质资料汇聚整理与社会化服务”(DD20221786); 山东省地质矿产勘查开发局项目“鲁西金星头-夏蔚地区铜金多金属成矿系统与找矿预测”(KC202212)。

作者简介: 岳鹏(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事数据库建设及实物地质资料研究, 通信地址 河北省三河市燕郊开发区燕灵路 245 号, E-mail//yuepeng@mail.cgs.gov.cn

通信作者: 马朝阳(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地质信息、大数据应用研究, 通信地址 河北省三河市燕郊开发区燕灵路 245 号, E-mail//mzhaoyang@mail.cgs.gov.cn

了良好的地质条件,区域上金矿床(点)繁多,黄金储量占到了全国已探明金储量的 1/4,是现今中国已探明的最大金矿富集区。

随着开采深度的加大和浅部资源的逐步消耗,以矿集区或中大型矿床深部及外围为目标的接替资源找矿工作已成为国家地矿部门及矿山企业重要的议题。一直以来,焦家断裂带的南延问题都是众多地质研究者关注的焦点。由于区域内第四系覆盖严重,加上断裂带规模较大,勘探工程布置难度较高^[1]。本研究在野外地质调查基础上,通过对区内 1:5 万土壤地球化学测量资料开展数据处理与信息提取,并重点利用因子分析方法,以期提供断裂带延伸及走向的有力证据,从而实现对焦家断裂南延问题的细致研究工作,提出找矿方向。

1 地质概况

1.1 区域地质背景

焦家金矿田位于胶东半岛,沂沭断裂带东侧,大地构造位置处于华北板块(Ⅰ级)内胶辽隆起区(Ⅱ级)的胶北隆起(Ⅲ级)内。矿田主要受 NE—NNE 向焦家断裂破碎带(龙口—莱州断裂)及其上、下盘和派生的低级序和低次序断裂控制。区内中太古代—第四纪地层均有分布,出露地层主要为胶东群变质岩系。侏罗纪岩浆岩主要为玲珑—昆嵛山型似片麻状黑云母花岗岩,白垩纪为郭家岭型似斑状花岗闪长岩,其中郭家岭型花岗闪长岩主要呈岩柱状侵入到玲珑花岗岩体内,与热液成矿关系非常密切。焦家金矿田发育包括焦家、新城、河东、河西等一系列特大型、大型金矿床^[2]。

1.2 研究区地质

研究区位于山东省莱州市朱桥镇以南,北邻寺庄金矿,覆盖徐村院金矿勘查区,南至驿道镇,西至平里店镇,总体属著名的焦家断裂带南延段。区内新生界第四系广泛分布(图 1),由灰褐色亚黏土、砂质亚黏土和含砾砂构成的残坡积物组成。地层厚 0.5~20 m,一般 3~8 m,最厚可达 40 余米。零星出露太古宙中细粒含角闪黑云英云闪长质片麻岩。

岩浆岩以围绕在周边的新太古代栖霞超单元、中生代晚侏罗世玲珑超单元为主,区内派生脉岩不甚发育。其中栖霞超单元呈岩基状展布于研究区北部和东

部地区,与玲珑超单元呈断层接触,岩性为新庄组片麻状中细粒含角闪黑云英云闪长岩^[3]。通过长期的地质科研工作,认为该超单元与金矿成因演化的关系密切,成岩岩浆在侵位过程中,将地幔含金物质带至地壳,形成初始的金矿“矿源层”之一。玲珑超单元主要分布于研究区东部和南部,呈岩基状产出,与上盘栖霞超单元呈断层接触,包括崔召组中粒含黑云二长花岗岩和郭家店组中粗粒二长花岗岩。

焦家断裂带以脆性断裂构造为特征,按走向分为 NNE—NE 向断裂及 NW 向断裂两组。前者主要是控制矿体的主体构造及少数的成矿后期构造;后者则分布于焦家断裂带下盘的玲珑超单元内,规模较小,不甚发育,多数被后期脉岩充填,少数表现为矿化蚀变带者也属于成矿期后构造^[4]。焦家主干断裂,区域上属龙莱断裂的一部分,北起龙口市黄山馆,南至莱州市朱桥镇徐村院村南,长约 60 km,从寺庄村沿 NNE—NE 走向延伸至招远高家庄子,然后过辛庄拐向 NNE 向至水盘,辛庄—水盘段断裂走向 75°左右,从水盘沿 25°方向进入龙口市境内。寺庄以南以 170°走向延至徐村院村南,形态极不规则,平面上呈“S”型,分支复合和膨胀夹缩特征明显。该断裂发育于郭家岭超单元或玲珑超单元内部或是两者的接触带上,断裂构造发育的部位常形成较厚的灰黑色断层泥和规模不等的破碎蚀变岩带^[5]。灵山沟—北截断裂和苗家断裂属次级断裂,分别位于焦家断裂的东西两侧,倾向 SE,带内构造岩发育,可见糜棱岩、碎裂岩及碎裂状岩石^[6]。

焦家断裂带南段,北起朱桥镇,经徐村院金矿后第四系覆盖严重,给断裂走向推断的研究带来很大困难。经历多次勘查工作揭露焦家断裂徐村院段断裂带确实存在,但对紫罗姬家以南区域研究工作较少,仅通过地表野外调研工作及少量探矿工程大致推断出断裂带走向。本文将全面整合现有资料以及野外地质调查成果,对研究区焦家断裂带南延走向及成矿潜力做出推断与评价。

2 1:5 万土壤地球化学特征

结合研究区的实际地质和景观条件,采用 1:5 万土壤地球化学测量方法,点距 200 m × 500 m,共采集样品 1 200 件。本研究针对区内 1:5 万土壤地球化学数据开展信息提取,通过对各元素测量数据进行基本

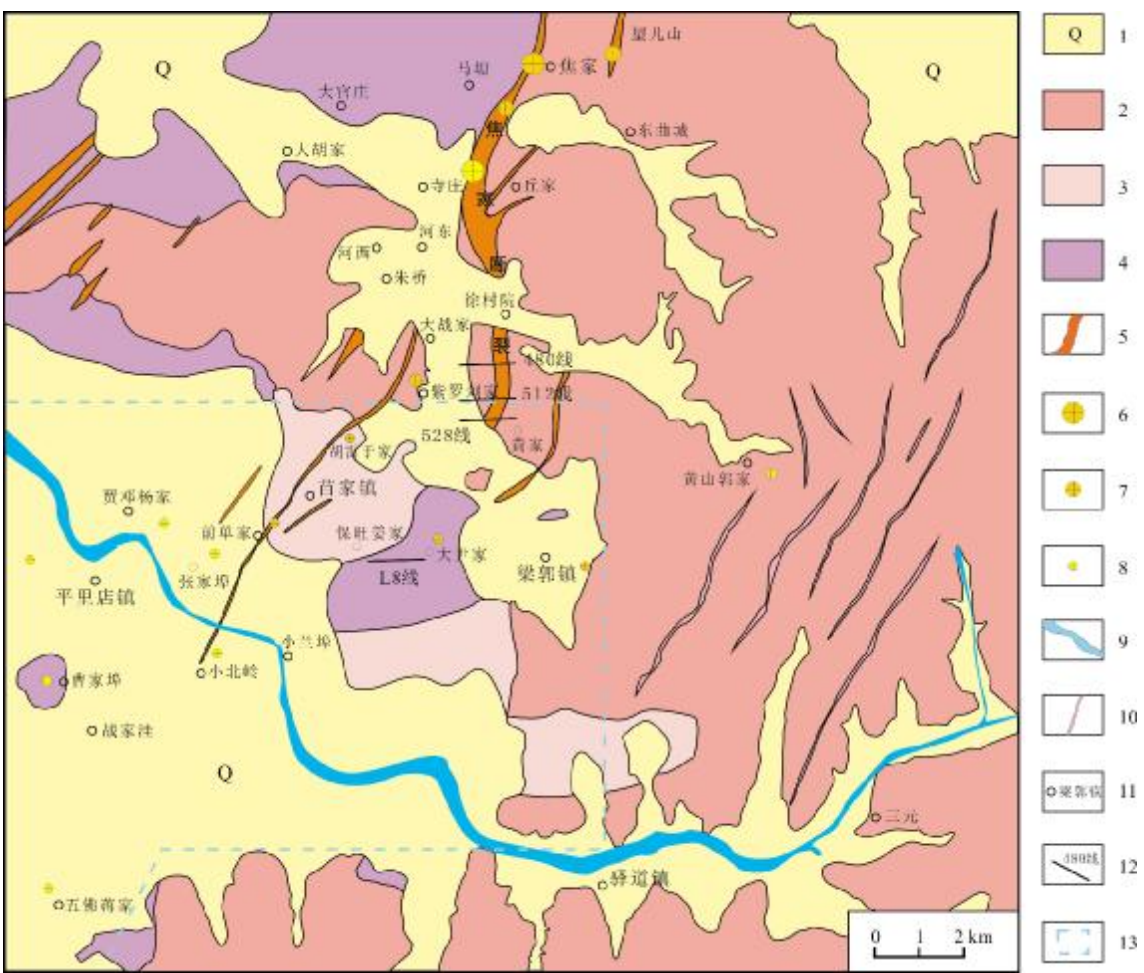


图 1 研究区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

1—第四系(Quaternary); 2—二长花岗岩(monzogranite); 3—新太古代含角闪黑云英云闪长岩(Neoarchean amphibolite-bearing biotite tonalite); 4—胶东岩群(Jiaodong rock gr.); 5—构造蚀变带(structural alteration zone); 6—特大及大型金矿床(large and super-large gold deposit); 7—中小型金矿床(small and medium gold deposit); 8—矿点(ore occurrence); 9—河流(river); 10—岩脉(dike); 11—村镇(village/town); 12—勘探线(exploration line); 13—化探采样区(geochemical sampling area)

统计、相关分析与因子分析等手段进一步识别与提取有效的地球化学指标,以期对焦家断裂带南延隐伏段空间位置的限定提供依据.

1:5 万土壤地球化学剖面的采样测试数据分析了 Au、Ag、Hg、Cu、Pb、Zn、Sn、W、Mo、As、Sb、Bi 共 12 种元素,各种元素的统计特征值如表 1. 为了更直观反映出数据的各项指标,使用 SPSS 绘制直方图,发现上述元素服从或近似服从正态分布(图 2). 通过上述指标发现,Au、Sb、Bi 元素变异系数均大于 1,且 Au 元素平均值高于全国平均值水平,表明区内 Au 等相关元素具有局部富集趋势,具有较大找矿潜力. 这符合目前区内存在较多已知金矿床(点)的实际情况.

3 因子分析与找矿潜力评价

因子分析是运用降维的思想,从分析原始变量的相关矩阵内部结构出发,将一些拥有错综复杂关系的变量归纳为少数几个综合因子的一类多元统计分析方法^[8]. 随着这门学科的不断发展和其用途已经广泛引入到其他学科领域中来.

地质因子分析方法是把许多具有错综复杂关系的地质观测因子(样品或变量)组合、归纳为极少数几个起主导作用的综合因子(即主因子),便于分解叠加的地质过程,进而开展成因及分类研究的一种多元统计分析方法. 采用元素地球化学原理和研究方法,从有序的相关因子分布特征中找出关联元素分散与聚集规律,从

表 1 研究区元素特征值统计表

Table 1 Statistics of element eigenvalues in the study area

元素	样品数量	极差	最小值	最大值	平均值	变异系数	全国平均值
Au	1200	81.9	0.6	82.5	2.745	1.237	2.0
Ag	1200	222	20	242	79.97	0.357	94
Hg	1200	1345.9	10.0	1355.9	46.414	1.348	69.1
Cu	1200	163.3	2.7	166.0	19.067	0.6	25.6
Pb	1200	44.8	3.3	48.1	20.396	0.197	29
Zn	1200	118.2	19.2	137.4	47.950	0.272	77
Sn	1200	10.2	0.6	10.8	3.022	0.342	4
W	1200	13.22	0.50	13.72	1.1907	0.618	2.7
Mo	1200	2.29	0.30	2.59	0.4954	0.362	1.1
As	1200	23.9	1.1	25.0	8.086	0.27	13
Sb	1200	1.97	0.12	2.09	0.5876	0.239	1.4
Bi	1200	9.61	0.04	9.64	0.2536	1.128	0.5

注:数据取自山东省地质调查院 1:5 万土壤地球化学测量. 全国平均值据文献[7]. 含量单位: Hg、Ag、Au 为 10^{-9} , 其他元素为 10^{-6} .

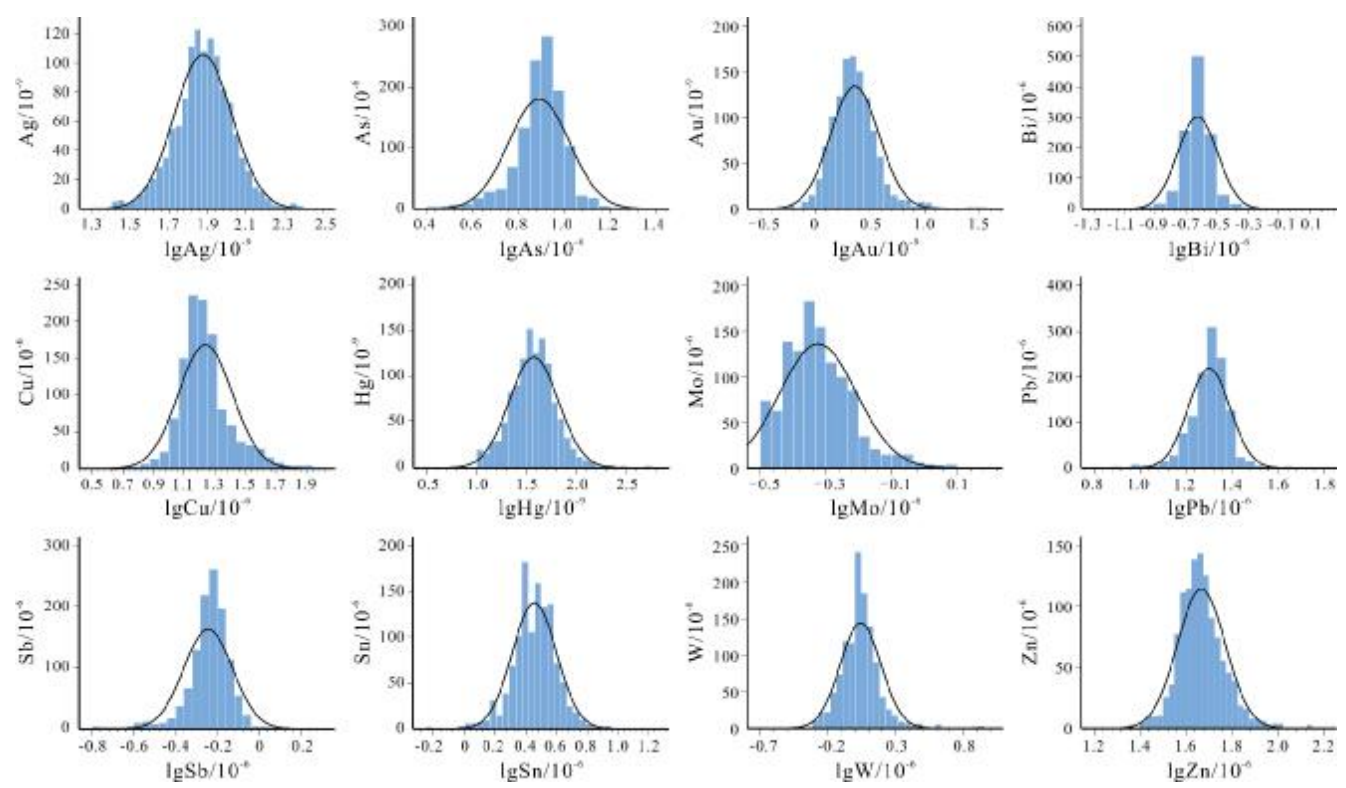


图 2 研究区土壤地球化学 12 种元素分布直方图

Fig. 2 Distribution histograms of 12 elements from soil geochemical section in the study area

而为构造推断、成矿预测、找矿勘探提供科学依据^[9]。

在地质领域主要有两种因子分析模型:Q 型和 R 型,其中 R 型因子分析主要用来研究变量之间的相互关系,本文采用 R 型因子分析模型^[10]。需要对初始的因子载荷矩阵进行方差最大法正交旋转,目的是为了提取的公共因子更具可解释性和代表性,并结合研究区实际地质特征有效地划分出元素组合^[11]。

研究地球化学信息时地质统计学主要有以下 3 个方面的应用:1)研究地球化学信息的空间变化规律性,建立起元素空间变化的数学模型;2)研究地球化学信息空间分布特征及富集趋势;3)研究元素异常的空间分布特征^[12-13]。

3.1 构造信息地球化学指标识别与提取

对土壤地球化学测试数据进行因子分析,以求找出反映构造特征的因子组合。根据贡献率大小确定了 F1—F4 等 4 个因子(表 2):F1 因子代表 As-Sb 元素组合,F2 代表 Cu-W-Zn 元素组合,F3 因子代表 Ag-Sn 元素组合,F4 因子代表 Hg-Au-Pb 元素组合。F1 因子代表了低温热液蚀变作用,如绢英岩化、硅化等蚀变。F2 因子代表多金属成矿阶段,与 F3 因子作为区域上与金相伴生的元素组合可以合并为一个因子。F4 因子代表了成矿元素组合,与构造关系密切的 Hg 元素,以及与热液有关的中低温元素 Pb,一定程度上反映了特定的构造活动^[14]。前人曾对焦家金矿矿化元素做过因子分析,发现 Au 元素与 Hg、Pb 元素的相关性较大^[15]。

表 2 1:5 万土壤地球化学元素旋转因子得分矩阵
Table 2 Rotation factor score matrix of 1:50 000 soil geochemical survey

	F1	F2	F3	F4
As	0.883	0.083	0.046	-0.027
Sb	0.873	0.011	0.053	0.19
Cu	0.115	0.873	-0.059	-0.126
Zn	0.067	0.868	0.096	0.137
W	-0.156	0.275	-0.059	0.231
Ag	0.019	0.062	0.86	0.106
Sn	0.067	-0.066	0.835	-0.048
Hg	0.046	0.043	0.028	0.727
Au	-0.051	0.048	0.105	0.659
Pb	0.261	-0.013	-0.07	0.542

选取徐村院勘查区 512 线勘探线地质剖面图印证 F4 因子对矿化构造蚀变带的识别或指示的可靠性,绘制了该线的地质-化探综合剖面图(图 3),并对 F4 因子异常信息与实际地质情况进行综合对比分析,发现 F4 因子正异常的峰值与已知焦家主构造蚀变带及苗家次级构造蚀变带位置吻合度较高。已有工程资料显示,徐村院矿区深部焦家蚀变带仍旧存在工业矿体,而且含矿构造蚀变带规模较大^[16]。

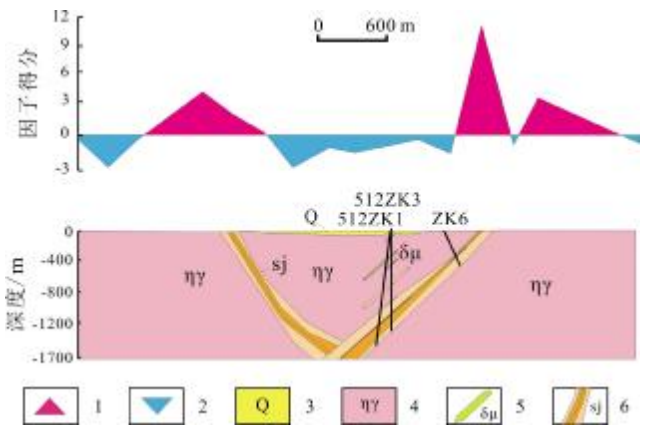


图 3 512 号勘探线地质-化探综合剖面图
Fig. 3 Comprehensive geological-geochemical profiles along No.512 exploration line
1— F4 因子正异常 (positive anomaly of F4 factor); 2— F4 因子负异常 (negative anomaly of F4 factor); 3—第四系(Quaternary); 4—二长花岗岩(monzogranite); 5—闪长玢岩(diorite porphyrite); 6—构造蚀变带 (structural alteration zone)

此外选取南延段大尹家金矿 8 线勘探线地质剖面图(图 4),将 F4 因子折线图与实际勘探线地质剖面图揭露的地质体相对比,同样发现 F4 因子正异常峰值的位置与已知多条含矿构造蚀变带位置对应较好。以往勘查资料显示,大尹家已发现矿化构造蚀变带 14 条,其中有金矿化的 5 条,规模较大的是 I 号蚀变带地表控制长 600 m,中间最大宽度 40 m,平均宽度 3 m。蚀变带中部发育有 I-1 号金矿体,矿体控制长 150 m,平均宽 2.43 m,平均品位 3.67×10⁻⁶。

通过上述分析,认为 F4 因子可以作为判别构造位置及含矿性的重要地球化学指标,为焦家断裂带南延部分空间位置的推断以及找矿靶区圈定提供了可靠依据。

3.2 构造推断

基于 F4 因子及研究区地质概况绘制平剖图,进而对焦家断裂带南延段进行推断(见图 5)。

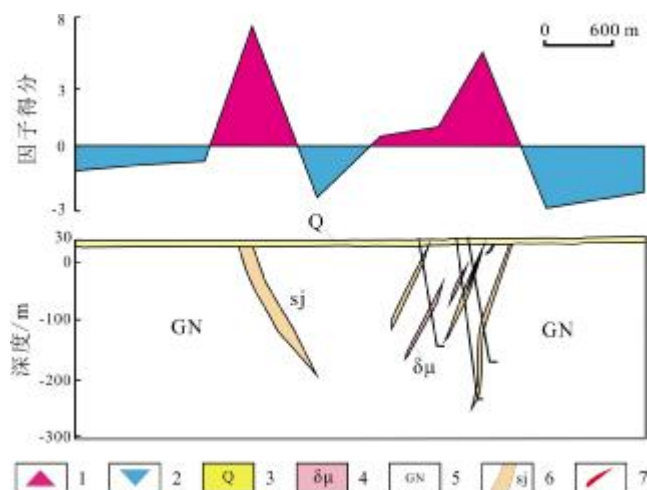


图4 大尹家8号勘探线地质-化探综合剖面图

Fig. 4 Comprehensive geological-geochemical profiles along Dayinjia No.8 exploration line

1—F4因子正异常 (positive anomaly of F4 factor); 2—F4因子负异常 (negative anomaly of F4 factor); 3—第四系(Quaternary); 4—闪长玢岩 (diorite porphyrite); 5—黑云变粒岩(biotite granulite); 6—构造蚀变带 (tectonic alteration zone); 7—矿体(orebody)

在研究区范围内共划分两条构造蚀变带,一条分布于研究区西侧,北起紫罗刘家西侧,向南延伸分别穿过胡雷于家、苗家镇、贾邓杨家、平里店镇,在苗家镇附近走向产生变化,有向西的趋势,推测为苗家断裂。另外一条北起黄家以北徐村院附近,向南延伸分别穿过大尹家、保旺姜家、小兰埠、小北岭、战家洼,自大尹家处起走向同样慢慢变化,有向西的趋势,推测为焦家主断裂的南延段(图5)。

通过图5推测的两条主要断裂构造,发现在推断的焦家主断裂南延段大致走向上具有强弱分带的特征。对比地质图发现,所有的强带上均有矿床(点)分布。其中I号带靠近徐村院勘查区,目前工程已揭露到矿体;II号带拥有大尹家矿床,普查工作已发现5条含金蚀变带;强III带地处东北障村附近,周围有小矿点分布,未见成型的矿床。两条弱带上未发现任何矿床(点),从而说明了分带的合理性。

据前人研究,分布在焦家断裂带北段的矿床同样具有分带性^[17-18],两个矿床的主矿体赋存位置相距约1400 m,结合上述分析结果发现北段与南段的构造控矿特征有相似性,进一步丰富了构造推断的理论依据。

3.3 找矿潜力评价

任何地区都有着元素的分散与聚集,这种特征与该区的地质背景有着密切的关系^[19-20]。综上所述,研究区处于焦家矿田南延区域,具有与矿田相似的成矿地质条件。该区发育有焦家(①号蚀变带)和苗家(②号蚀变带)含矿断裂,沿断裂发育有串珠状具找矿意义的异常。目前区内已发现金矿床点10余处,约80%处于F4因子高值异常内,表明上述所圈定F4因子异常多为矿致异常,其余未做过勘查工作的异常地段仍值得进一步开展找矿潜力评价。

考虑②号蚀变带上主要分布石英脉型金矿(点),但矿化蚀变较弱且矿石中金品味较低,推断成矿潜力较差,不作为本次找矿潜力评价重点区带;仅在①号蚀变带上圈定两处找矿潜力较大的潜力区,编号分别为II、III号异常区。其中II号靶区位于I号靶区(徐村院矿区)西南延伸段,东临大尹家金矿,距离1.2 km。目前徐村院矿区金矿(化)体,与西南延伸段成矿地质条件类似,且F4因子在II号靶区内异常特征极为相似,指示II号远景区具有与徐村院相似的找矿潜力。

III号靶区,空间上位于II号靶区西南延伸段,北邻小北岭金矿(点),根据①号蚀变带强弱分带特征以及F4因子在该靶区内的异常特征,推断该远景区同样具有较好的找矿潜力。

4 结论

运用因子分析方法对研究区1:5万土壤地球化学测量成果进行了信息提取,并优选F4(Hg、Au、Pb)因子作为判别构造位置及含矿性的重要地球化学指标。根据F4异常分布,结合野外实际观测地质情况划出两条含矿构造蚀变带,其中焦家断裂南延段可以作为蚀变岩型金矿床(点)成矿的有利地段,并圈定II号、III号两个重要靶区作为未来找矿工作的重点区域。

参考文献(References):

- [1] 史高飞, 曲万隆, 于洋, 等. 胶东地区金矿地质特征及焦家断裂带南延与深部找矿前景[J]. 中国资源综合利用, 2022, 40(4): 79-82.
Shi G F, Qu W L, Yu Y, et al. Geological characteristics of gold deposits in Jiaodong area and prospect of south extension and deep prospecting of Jiaojia fault zone[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2022, 40(4): 79-82.

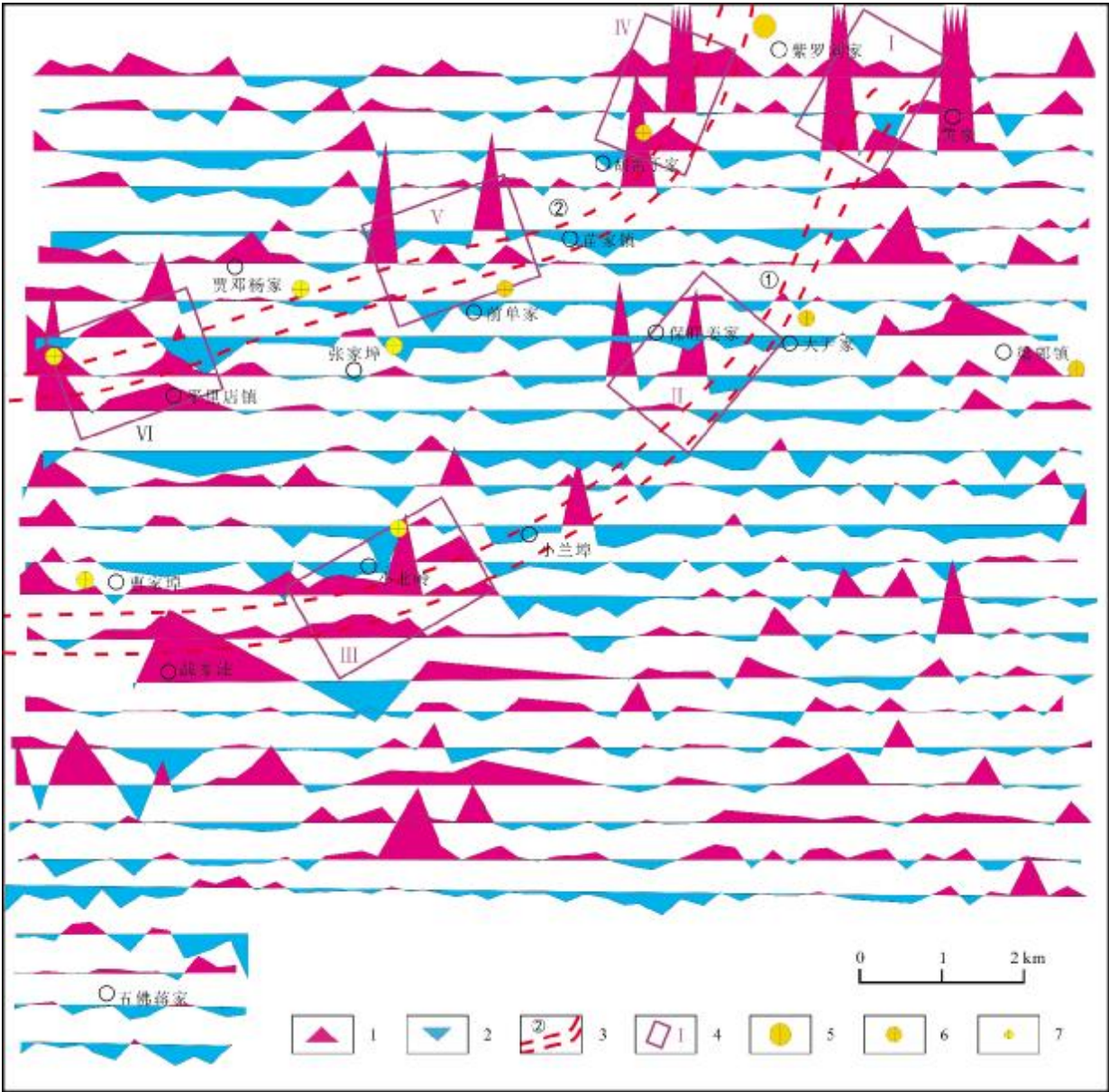


图 5 1:5 万土壤地球化学 F4 因子地质平剖图

Fig. 5 Geological profile in plan of F4 factor by 1:50 000 soil geochemical survey

1— F4 因子正异常(positive anomaly of F4 factor); 2—F4 因子负异常(negative anomaly of F4 factor); 3—推断断裂带(蚀变带)(inferred fault/altered zone); 4—异常区(anomaly area); 5—特大及大型金矿床(large and super-large gold deposit); 6—中小型金矿床(small and medium gold deposit); 7—矿点(ore occurrence)

[2]许谱林, 吕古贤, 张迎春, 等. 胶东焦家断裂蚀变岩带韧-脆性变形
量化研究[J]. 地学前缘, 2015, 22(4): 97-103, doi: 10.13745/j.
esf.2015.04.011.
Xu P L, Lü G X, Zhang Y C, et al. The quantitative research of brittle-
ductile deformation of Jiaojia fault-altered belt in Jiaodong Area[J].
Earth Science Frontiers, 2015, 22(4): 97-103, doi: 10.13745/j.esf.
2015.04.011.

[3]赵莉源, 孔令号, 赵志刚, 等. 胶东半岛某金矿周边土壤重金属的污
染特征、来源分析及风险评价[J]. 中国地质, 2024, 51(5): 1485-
1500.
Zhao L Y, Kong L H, Zhao Z G, et al. Pollution characteristics,
source analysis and risk assessment of heavy metals in soil around a
gold mine in Jiaodong Peninsula[J]. Geology in China, 2024, 51(5):
1485-1500.

[4]陈阳阳. 山东焦家金矿床地球化学特征及矿床成因探讨[D]. 西安:
长安大学, 2017.
Chen Y Y. Geochemical characteristics and deposit genesis of Jiaojia
gold deposit in Shandong Province, China [D]. Xi'an: Chang'an

- University, 2017.
- [5]曹春国, 于义文, 郭国强, 等. 综合物探技术在三山岛断裂带与焦家断裂带深部成矿模式中的应用[J]. 山东国土资源, 2012, 28(4): 19-24.
- Cao C G, Yu Y W, Guo G Q, et al. Analysis on ore-forming model in deep part of Jijia gold deposit in Sanshandao by using integrated geophysical exploration method[J]. Shandong Land and Resources, 2012, 28(4): 19-24.
- [6]崔书学, 袁文花, 杨之利. 莱州寺庄金矿床深部地质特征[J]. 西北地质, 2008, 41(4): 82-92.
- Cui S X, Yuan W H, Yang Z L. Geological characteristics in the deep of Sizhuang gold deposit in Laizhou City[J]. Northwestern Geology, 2008, 41(4): 82-92.
- [7]任天祥. 区域化探异常筛选与查证的方法技术[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 16-17.
- Ren T X. Methods and techniques for screening and verifying regional geochemical anomalies[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 16-17. (in Chinese)
- [8]向东进. 实用多元统计分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2005: 157-171.
- Xiang D J. Applied multivariate statistical analysis[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2005: 157-171.
- [9]张玉恒, 刘应平, 张海. 因子分析在化探上的应用——以四川九龙县李伍预测区为例[J]. 四川地质学报, 2012, 32(1): 112-115.
- Zhang Y H, Liu Y P, Zhang H. The application of factor analysis to geochemical prospecting: By the example of the Liwu ore district[J]. Acta Geologica Sichuan, 2012, 32(1): 112-115.
- [10]吕古贤, 郭涛, 刘杜鹃. 玲珑-焦家式金矿构造地质特征及成矿构造物理化学参量因子分析——以阜山金矿区为例[J]. 地球学报, 2002, 23(5): 409-416.
- Lü G X, Guo T, Liu D J. Geological and structural characteristics of the Linglong-Jiaojia type gold deposits and factor analysis of their metallogenic tectonic physicochemical parameters: Exemplified by the Fushan gold deposit[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(5): 409-416.
- [11]刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 等. 因子分析在藏北尕斯库勒金矿床地球化学勘查中的应用[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1126-1136.
- Liu H, Huang H X, Li G M, et al. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 1126-1136.
- [12]黄静宁. 应用地质统计学方法圈定和评价地球化学异常[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- Huang J N. Delineation and estimation of geochemical anomaly using geostatistical methods[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007.
- [13]Rice J. Mathematical statistics and data analysis[M]. 3rd ed. Boston: Cengage Learning, 2006: 182-185.
- [14]韩泊宁. 胶东地区金矿地质特征及焦家断裂带南延与深部找矿前景[J]. 世界有色金属, 2019(19): 84, 86.
- Han B N. Characteristics of Jiaodong gold deposits and mineralization prospecting of southern and deep part of Jiaojia fault[J]. World Nonferrous Metals, 2019(19): 84, 86.
- [15]郭涛, 邓军, 吕古贤, 等. 焦家金矿矿化元素因子分析[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(2): 106-112.
- Guo T, Deng J, Lv G X, et al. Factor analysis of elements related to mineralization in Jiaojia gold deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(2): 106-112.
- [16]崔书学. 焦家断裂带南延问题及南延段找矿前景分析[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 7-10.
- Cui S X. Analysis on south widening and ore prospecting future of Jiaojia fault belt[J]. Shandong Land and Resources, 2007, 23(10): 7-10.
- [17]李金祥, 郭涛, 吕古贤. 试论胶东西北部金矿化类型及其与构造关系[J]. 贵金属地质, 1999, 8(2): 24-28.
- Li J X, Guo T, Lv G X. Discussion on gold mineralization type and its relation with tectonic in northwestern Jiaodong[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1999, 8(2): 24-28.
- [18]吕古贤, 武际春, 郑小礼, 等. 山东省玲珑金矿田深部资源第二富集带的研究和预测[J]. 矿床地质, 2006, 25(S1): 435-438.
- Lv G X, Wu J C, Zheng X L, et al. A study and prognosis of deep resources along the second enrichment belt of the Linglong gold orefield, Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(S1): 435-438. (in Chinese)
- [19]赵少卿, 魏俊浩, 高翔, 等. 因子分析在地球化学分区中的应用: 以内蒙古石板井地区 1:5 万岩屑地球化学测量数据为例[J]. 地质科技情报, 2012, 31(2): 27-34.
- Zhao S Q, Wei J H, Gao X, et al. Factor analysis in the geochemical subdivisions: Taking 1:50 000 debris geochemical survey in the Shibanjing area of Inner Mongolia as an example[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(2): 27-34.
- [20]李鹏宇, 石文杰, 魏俊浩, 等. 青海省兴海县某地区铜多金属找矿潜力评价——基于 1:5 万土壤化探数据处理与异常信息提取[J]. 物探与化探, 2017, 41(2): 194-202.
- Li P Y, Shi W J, Wei J H, et al. An evaluation of ore-prospecting potential for copper polymetallic deposits in a certain area of Xinghai County, Qinghai Province, based on processing and anomaly extraction for 1:50 000 soil geochemical survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(2): 194-202.