

大比例尺综合物化探测量在浅覆盖区脉状金矿中的找矿实践——以胶东东部乳山于家圈金矿为例

李秀章¹,刘晨成^{2,3},邱成贵^{2,3},胡雷^{2,3},于露^{2,3},王宁^{2,3},王润生^{2,3},姚铮^{2,3}

(1.山东省地质调查院,山东济南 250104;2.山东省物化探勘查院,山东济南 250013;3.山东省地质勘查工程技术研究中心,山东济南 250013)

[摘要] 胶东是全球三大金矿集区之一和中国最重要的黄金资源基地,脉状金矿床在胶东广泛分布。胶东东部第四系覆盖层薄但分布广泛,且植被发育,导致地表找矿标志不明显,传统单一的找矿方法对脉状金矿识别难度较大,加之地质勘查程度不断提高,导致该区脉状金矿找矿难度较大。位于胶东东部浅覆盖区的乳山于家圈地区发育1处以金为主的水系沉积物综合异常,该异常强度高,规模较大,浓集中心明显,元素套合好,显示出良好的找矿潜力。本次利用1:1万地物(激电中梯)化(土壤)综合剖面对该异常进行了查证,发现6条金矿化蚀变带,快速查明了引起异常的原因,圈定了找矿靶区;利用槽探和钻探工程对该异常及矿化蚀变带进行了揭露和控制,发现了山东省乳山市于家圈金矿床,取得了良好的找矿效果,证明了大比例尺综合物化探测量在胶东东部浅覆盖区寻找脉状金矿的有效性。

[关键词] 大比例尺综合物化探测量 浅覆盖区 脉状金矿 于家圈 乳山 胶东东部

[中图分类号] P618.51 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2025)01-0054-10

Li Xiuzhang, Liu Chencheng, Qiu Chenggui, Hu Lei, Yu Lu, Wang Ning, Wang Runsheng, Yao Zheng. Prospecting practice of comprehensive large-scale geophysical and geochemical exploration in vein-type gold deposits with shallow overburden: Taking the Yujiaquan gold deposit in Rushan City of eastern Jiaodong as an example[J]. *Geology and Exploration*, 2025, 61(1): 0054-0063.

0 引言

脉状金矿床是指矿体主要受断裂构造控制的脉型和浸染型金矿床,是一种描述性的金矿床类型,以大型和中型矿床为主,许多矿床甚至可达超大型规模,在全球广泛分布,是最具经济价值的金矿床类型之一(王焰等,2021)。胶东为脉状金矿床主要分布区之一(刘连登,1987)。根据《1:50 000覆盖区区域地质调查规范》(DZ/T 0476-2024),覆盖区分为超浅覆盖区(小于3 m)、浅层覆盖区(3~200 m)、深覆盖区(200~500 m)以及超深覆盖区(大于500 m)。胶东东部覆盖层普遍

较薄,一般0~10 m,但分布广泛。胶东东部植被发育,加之覆盖层的遮蔽作用,使得地表找矿标志不明显,且脉状金矿呈线状分布,宽度较窄,传统单一的找矿方法对其识别难度较大。随着胶东地区地质勘查程度的不断提高,该区找脉状金矿越来越难。

于家圈地区位于山东省威海市乳山市诸往镇西南约8 km,距乳山市市区约23 km,行政区划属乳山市诸往镇管辖,区内交通较为便利。于家圈地区位于牟乳金成矿带西部,胶莱盆地东北缘(图1)。牟乳成矿带为胶东半岛东部重要的金成矿带,带内金成矿条件良好,发现了金牛山、金青顶、英格庄、

[收稿日期] 2023-04-01; **[改回日期]** 2024-12-21; **[责任编辑]** 陈伟军。

[基金项目] 山东省地质勘查项目“山东省胶莱盆地东部海阳垛崮顶-乳山南地区金铅锌调查评价”(编号:鲁勘字[2021]31号)、山东省重大科技创新工程项目(编号:2018CXGC1601)和山东省地矿局科技创新与科技攻关项目(编号:KY202112、KY202226)联合资助。

[第一作者] 李秀章(1969年-),男,1993年毕业于西安地质学院,矿物学、岩石学、矿床学专业,研究员,主要从事地质调查与矿产勘查工作。E-mail:lixuzhang4117@126.com。

[通讯作者] 刘晨成(1987年-),男,2012年毕业于长安大学,地质学专业,工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作。E-mail:wtylcc@163.com。

蓝家庄、金青岭等金矿床数十处,前人从成矿作用(杨忠芳等,1994;申萍等,2004;杨喜安,2011)、控矿构造(高太忠等,1999;贺振和张学仁,2006;杨喜安等,2011;李旭芬等,2013)、成矿规律(吴小雷和周守余,2014)、成矿预测(申萍等,2003)、地质特征(赵明川,2006;杨喜安等,2009;刘旭垒等,2019;徐友松等,2023)、地球物理特征(王润生等,2022)等方面做了大量研究。胶莱盆地东北缘金矿成矿条件良好,相继发现了蓬家乔、郭城、宋家沟、辽上、土堆-沙旺等金矿床,前人同样从找矿方向(刘玉强等,1999;张华全等,2008;李国华等,2016;王志新等,2017)、成矿类型(迟洪纪和郝万祥,1999;刘玉强等,2000;丁正江等,2010)、成矿规律(陈世祯和

张竹如,1997;刘晓煌等,2002;徐贵忠等,2004;赵宝聚等,2019)、成矿时代(沈远超等,2002)、成矿作用(张华全等,2008)、地质特征(杨金中等,2000;2001;门业凯等,2014;纪攀等,2016)、矿床成因(李志强等,2024)等方面做了大量研究,胶莱盆地东北缘已成为胶东半岛东部继牟乳成矿带又一重要的金成矿区,成为近年来国内外专家学者关注的焦点。

2013年~2015年,山东省物化探勘查院开展的“山东省胶东半岛西南部万第、朱吴、乳山寨、行村、海阳县、留格庄等六幅1:5万水系沉积物测量”项目在于家圈地区圈定一个以金为主的综合化探异常,编号为HS16,并通过路线调查认为该异常具有较好

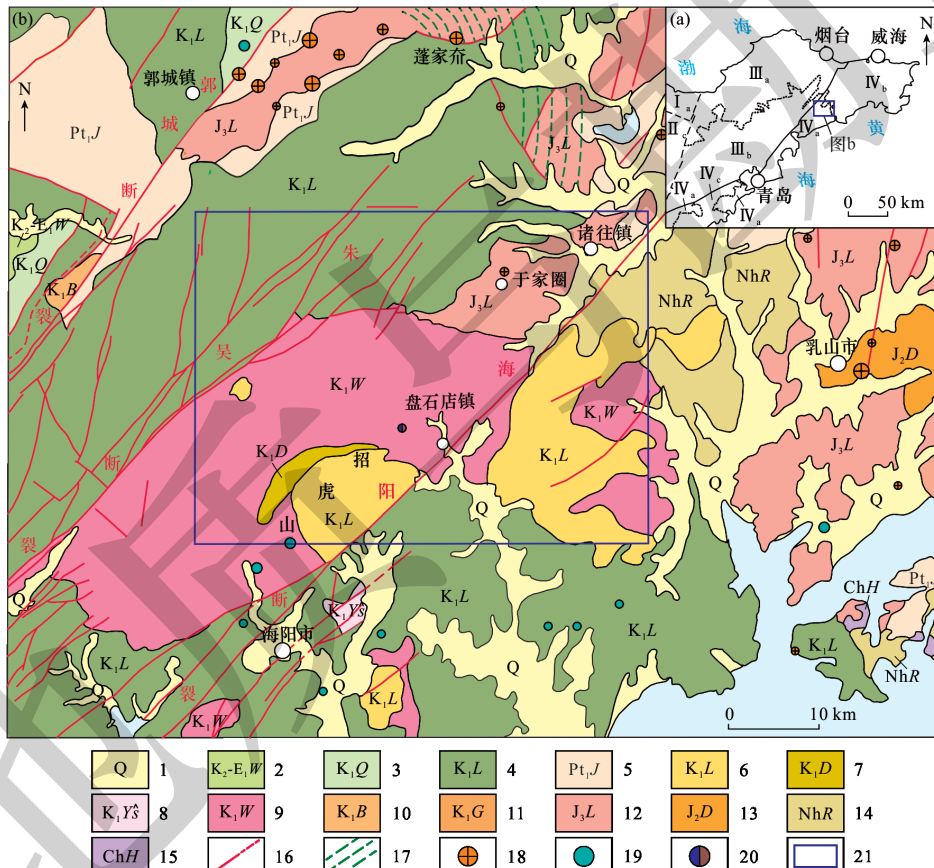


图1 胶莱盆地大地构造位置图(a)和胶莱盆地东部区域地质矿产简图(b)

Fig. 1 Geotectonic location map of the Jiaolai Basin (a) and geological and mineral map of the eastern region of the Jiaolai Basin (b)

1-第四系;2-王氏群;3-青山群;4-莱阳群;5-荆山群;6-崂山花岗岩;7-大店花岗岩;8-玉山花岗岩;9-伟德山花岗岩;10-埠柳花岗岩;11-郭家岭花岗岩;12-玲珑花岗岩;13-垛崮山花岗岩;14-荣城花岗岩;15-海阳所花岗岩;16-断层;17-韧性剪切带;18-金矿床(点);19-铜矿床(点);20-铅锌矿点;21-研究区; I_a-济阳拗陷; II_c-沂沭断裂带; III_a-胶北隆起; III_b-胶莱盆地西部; IV_a-胶莱盆地东部; IV_b-威海隆起; IV_c-胶南隆起
 1-Quaternary; 2-Wangshi Group; 3-Qingshan Group; 4-Laiyang Group; 5-Jingshan Group; 6-Laoshan granite; 7-Dadian granite; 8-Yushan granite; 9-Weideshan granite; 10-Buliu granite; 11-Guojialing granite; 12-Linglong granite; 13-Duogushan granite; 14-Rongcheng granite; 15-Haiyangsuo granite; 16-fault; 17-ductile shear zone; 18-gold deposit(point); 19-copper deposit(point); 20-lead zinc occurrences; 21-study area; I_a-Jiyang depression; II_c-Yishu fault zone; III_a-Jiaobei uplift; III_b-western Jiaolai Basin; IV_a-eastern part of Jiaolai Basin; IV_b-Weihai uplift; IV_c-Jiaonan uplift

的金矿找矿前景。2021年~2022年,山东省物化探勘查院开展的“山东省胶莱盆地东部海阳垛崮顶-乳山南地口地区金铅锌调查”项目,通过大比例尺综合物化探测量方法对该异常进行了查证,并利用工程进行了验证,发现了于家圈金矿床,取得了良好的找矿成果。

1 地质特征

该区位于秦岭-大别-苏鲁造山带,胶南-威海隆起区(IV),胶莱盆地东部(IV_a),海阳-青岛断陷(IV_{a1}),留格庄凹陷(IV_{a1}¹)(图1)。区域内地层主要为白垩纪莱阳群(K₁L)和古元古代荆山群(Pt₁J),其中莱阳群林寺山组砾岩为蓬家夼金矿床的主要围

岩,与金矿关系密切。区内岩浆岩发育,主要为燕山早期玲珑序列弱片麻状细中粒二长花岗岩和燕山晚期伟德山序列斑状中粒含角闪二长花岗岩,玲珑序列花岗岩为金矿的近矿围岩,另外区域上发育大量与金矿关系密切的煌斑岩脉(罗镇宽等,2001;申玉科等,2005;马晓东等,2016;祝德成等,2018)。区内与金矿成矿关系密切的盆地边缘的层间滑动构造及NE向断裂构造发育。综上所述,该区区域成矿地质条件良好。

于家圈地区地层出露较少,主要为古元古代荆山群野头岩组(Pt₁y^x),岩性为黑云变粒岩和斜长角闪岩,主要以残留体形式分布于岩体中(图2)。构造主要为NE-NNE向断裂构造,该组断裂长450~3100 m,

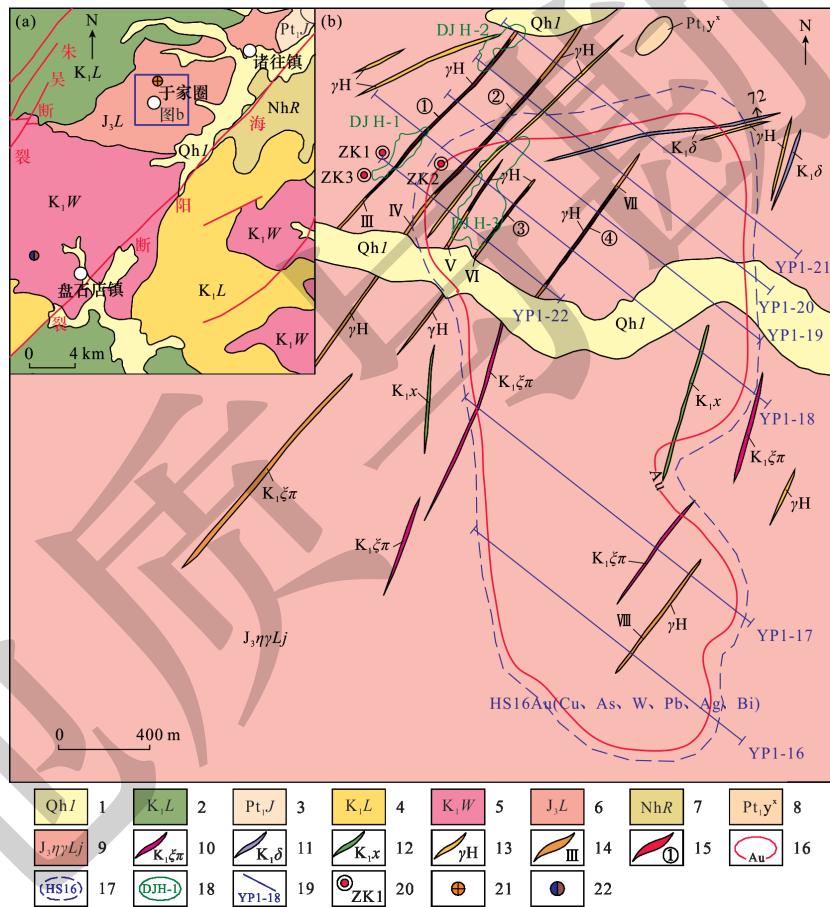


图2 于家圈地区区域地质图(a)和综合地质图(b)

Fig. 2 Regional geological map (a) and comprehensive geological map of the Yujiakuan area (b)

1-第四系含砾粉砂质粘土;2-莱阳群;3-荆山群;4-崂山花岗岩;5-伟德山花岗岩;6-玲珑花岗岩;7-荣城花岗岩;8-黑云变粒岩;9-弱片麻状二长花岗岩;10-正长斑岩脉;11-闪长岩脉;12-煌斑岩脉;13-花岗质碎裂岩;14-金矿化蚀变带及编号;15-金矿体及编号;16-金异常;17-综合异常及编号;18-激电异常及编号;19-地物化综合剖面及编号;20-钻探位置及编号;21-金矿点;22-铅锌矿点

1-Quaternary silty clay with gravel;2-Laiyang Group;3-Jingshan Group;4-Laoshan granite;5-Weideshan granite;6-Linglong granite;7-Rongcheng granite;8-biotite granulate;9-weak gneissic monzogranite;10-syenite porphyry vein;11-diorite dyke;12-lamprophyre vein;13-granitic cataclasite;14-gold mineralization alteration zone;15-gold deposit and its number;16-gold anomaly;17-comprehensive anomaly and number;18-IP anomaly and number;19-comprehensive geophysical and geochemical section and number;20-drillhole location and number;21-gold occurrence;22-lead zinc occurrences

走向 $28^{\circ}\sim 45^{\circ}$,倾向NW,倾角 $70^{\circ}\sim 84^{\circ}$,带内主要发育花岗质碎裂岩,充填石英脉及煌斑岩脉,岩石发育褐铁矿化及钾化,局部发育黄铁矿化,金矿化主要发育于该组断裂内。区内岩浆岩大面积出露,主要为燕山早期玲珑序列弱片麻状二长花岗岩,另外区内发育大量正长斑岩脉($\xi\pi$)和煌斑岩脉(χ)(图2)。第四系厚度多小于5 m,一般0.2~0.5 m,主要为基岩原地风化-半风化产物。

表1 于家圈水系沉积物测量地球化学异常特征参数表

Table 1 Geochemical anomaly characteristic parameters for stream sediment measurement in the Yujiakuan water deposit

元素	异常面积 (km ²)	平均值	最高值	衬度	NAP	浓度分带
Au	3.80	41.92×10^{-9}	224.02×10^{-9}	16.77	63.73	内、外、中
W	1.13	58.26×10^{-6}	58.26×10^{-6}	23.3	26.33	内、外、中
As	0.70	129.60×10^{-6}	129.60×10^{-6}	8.64	6.02	内、外、中
Ag	0.31	256.00×10^{-9}	256.00×10^{-9}	3.24	1.00	外、中
Cu	0.50	76.50×10^{-6}	98.60×10^{-6}	1.91	0.96	外、中
Pb	0.33	112.60×10^{-6}	112.6×10^{-6}	2.25	0.74	外、中
Bi	0.26	2.01×10^{-6}	2.01×10^{-6}	2.54	0.66	外、中

该异常总体呈近SN向椭圆状,面积约7.0 km²,异常主元素为Au,其他特征组合元素为W、As,伴生Cu、Ag、Pb、Bi,元素相关性好,套合紧密,其中指示元素As与主元素Au套合紧密,指示元素Sb无异常显示。Au、As、W具三级浓度分带,Ag、Bi具二级浓度分带,Cu、Pb均只有外带,各元素峰值:Au: 224.02×10^{-9} 、W: 58.26×10^{-6} 、As: 129.60×10^{-6} 、Ag: 256×10^{-9} 、Bi: 2.01×10^{-6} 、Pb: 112.60×10^{-6} (图3)。

异常区地层仅为少量以残留体分布的古元古代荆山群和第四系临沂组。岩浆岩主要为侏罗纪燕山早期玲珑序列弱片麻状细中粒二长花岗岩,岩石风化破碎较强,发育片麻理,局部见荆山群包体,另外区内发育少量正长斑岩脉和煌斑岩脉。区内发育6条断层破碎带。

3 异常查证方法

于家圈地区为丘陵区,海拔高度+250~+549.7 m,属暖温带东亚季风型大陆气候区,四季分明,气候温和,雨量充沛,植被发育,岩石以物理风化为主,地表土壤比较发育。本次对1:5万水系沉积物测量异常进行分解,选择的方法为1:5,000地物(激电中梯)化(土壤)综合剖面测量,在此基础上,优选异常进行了槽探、钻探工程验证。

1:5,000土壤剖面测量剖面间距在北部异常区

2 1:5万水系沉积物测量地球化学异常特征

2013年~2015年,山东省物化探勘查院在该区开展的1:5万水系沉积物测量成果显示,胶东地区和全区(六图幅)金元素平均值(\bar{x})分别为: 1.92×10^{-9} 和 1.03×10^{-9} ,该异常区金元素平均值(\bar{x})为: 41.92×10^{-9} (表1),高于胶东地区和1:5万水系沉积物测量测区,表明该区金元素富集,是区内主要成矿元素。

为200 m,在南部异常区为500 m,点距20 m,异常区布设剖面7条,测线方位 128° ,大致垂直区内断层破碎带走向(图2)。野外采样以1:1万地形图为底图,使用GPS结合地形定点,沿测线设计样点采样,在采样点0~7 m范围内采用一点多坑法取样,由3~5点组合成一个样,采样粒级-40目;采样深度一般为0.2~1.5 m,局部采样深度可达3.0~4.0 m(洛阳铲取样);采样物质以C层中含褐铁矿薄膜的细粒级物质为主,样品原始重量大于500 g,过-40目筛后样品重量大于150 g;异常区内采集样品394件,重采样16件,重采率4.06%。

样品测试单位为国土资源部武汉矿产资源监督检测中心,分析了Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、W、Mo等9个元素。金元素测试方法为泡塑吸附分离质谱法(D-ICP-MS),Cu、Pb、Zn、W、Mo采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),Ag采用粉末发射光谱法(ES),As、Sb采用原子荧光法(AFS)。各元素分析方法检出限符合规范要求,元素报出率均为100%,重复分析总体合格率为98.32%,野外重复分析合格率90.89%。分析质量可靠。

1:5,000激电中梯剖面采用短导线工作方式,AB极距为1200 m,观测AB中间800 m,点距20 m,MN=20 m;激电测深采用不等比对称四极装置,最大AB/2为1000 m,激电中梯测量使用仪器为重庆

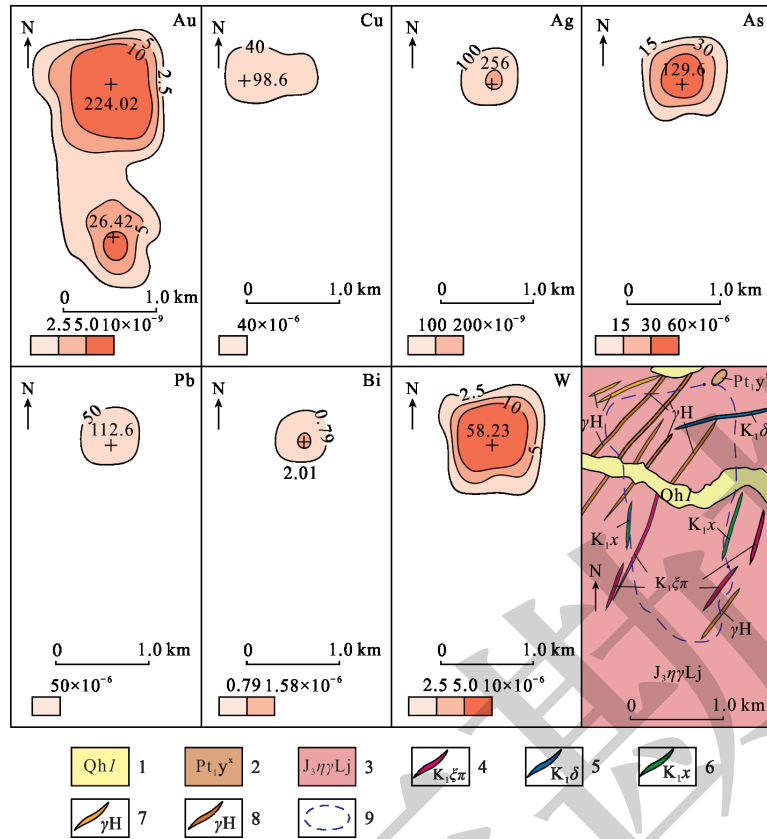


图3 HS16综合异常剖析图

Fig. 3 Analysis of the comprehensive anomaly HS16

- 1-第四系含砾粉砂质粘土;2-黑云变粒岩;3-弱片麻状二长花岗岩;4-正长斑岩脉;5-闪长岩脉;6-煌斑岩脉;7-花岗质碎裂岩;8-金矿化蚀变带;9-综合异常及编号
- 1-Quaternary silty clay with gravel; 2-biotite granulite; 3-weak gneissic monzogranite; 4-syenite porphyry vein; 5-diorite dyke; 6-lamprophyre vein; 7-granitic cataclasite; 8-gold mineralization alteration zone; 9-comprehensive anomaly and number

地质仪器厂生产的WDJS-2激电接收机, DJF-10型激电发送机, 供电电源由10千瓦发电机及其配套的整流电源提供; 测量电极采用固体不极化电极, 选择极化电位差不大于±2 mV 电极配对使用; 供电采用双向脉冲, 供电周期为16 s, 接收机采用延时100 ms, 采样宽度80 ms, 重复观测次数为3次。

4 1:5,000物化探异常特征

4.1 1:5,000土壤测量地球化学异常特征

4.1.1 背景值及异常下限确定

采用计算方法确定异常下限。首先对区内各单元元素分析数据进行地球化学参数统计, 对于 $\geq X+3S$ 的数据迭代剔除, 统计项目包括算术全区、对数全区、算术剔除高值全区、对数剔除高值四项, 异常下限(T)计算方法为: $T=X+2S_0$, 同时结合数理统计法背景值分析结果最终调整至合适的异常下限值。并视该元素异常下限值的1、2、4倍范围确定异常外、中、内三级浓度分带。异常下限见表2。

表2 于家圈地区土壤测量地球化学异常下限统计表

Table 2 Statistical table of lower limit of geochemical anomalies in soil survey of the Yujiakuan area

元素	异常下限		
	单位	计算值	采用值
Au	10^{-9}	7.1	7.0
Cu	10^{-6}	40.24	40
Zn	10^{-6}	144.8	145
As	10^{-6}	10.75	10
W	10^{-6}	3.63	3.6
Mo	10^{-6}	1.82	1.8
Sb	10^{-6}	0.69	0.70

4.1.2 综合异常特征

在异常区内圈定土壤综合异常4处(图4), 分别为AP1 Mo(Cu、As、Sb)异常、AP2 As(Cu、W)异常、AP3 Au(As、Cu、Mo、W)异常和AP4 Au(Cu、W、As、Sb)异常。其中AP3异常和AP4异常规模较大, 异常强度较高, 浓度分带明显。

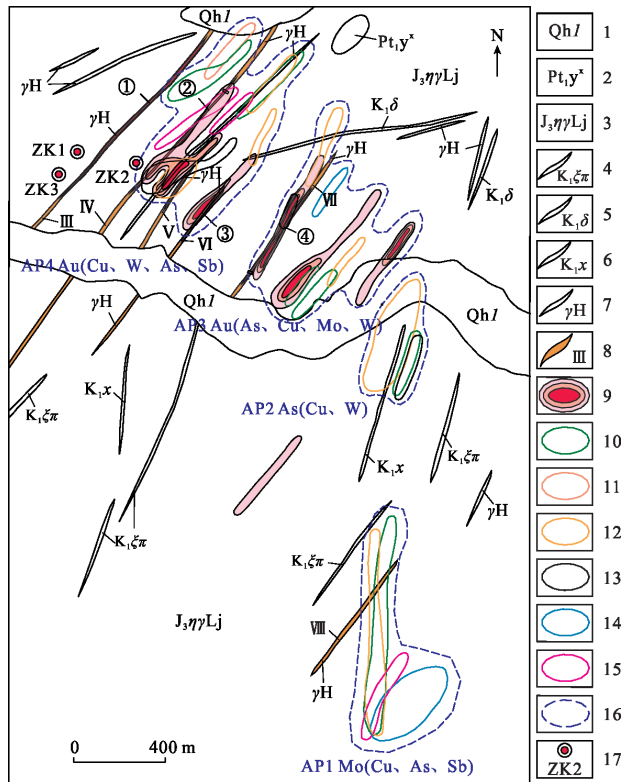


图 4 于家圈地区土壤测量地球化学综合异常图

Fig. 4 Comprehensive geochemical anomaly map of soil survey in the Yujiakuan area

1-第四系含砾粉砂质粘土;2-黑云变粒岩;3-弱片麻状二长花岗岩;4-正长斑岩脉;5-闪长岩脉;6-煌斑岩脉;7-花岗质碎裂岩;8-金矿化蚀变带;9-金异常内、中、外带;10-铜异常;11-锌异常;12-砷异常;13-钨异常;14-钼异常;15-锑异常;16-土壤综合异常及编号;17-钻探位置及编号
1-Quaternary silty clay with gravel; 2-biotite granulite; 3-weak gneissic monzogranite; 4-syenite porphyry vein; 5-diorite dyke; 6-lamprophyre vein; 7-granitic cataclasite; 8-gold mineralization alteration zone; 9-inner, middle and outer zone of gold anomaly; 10-copper anomaly; 11-zinc anomaly; 12-arsenic anomaly; 13-wolfram anomaly; 14-molybdenum anomaly; 15-stibium anomaly; 16-comprehensive soil anomaly and number; 17-drilling location and number

AP3 Au(As, Cu, Mo, W)异常发育于西北部,大致呈椭圆状,面积 0.35 km²,异常长轴方向呈 NE 向展布,与区内构造方向一致,说明异常受构造控制明显。异常主元素为 Au,其他特征组合元素为 W、As,伴生 Cu、Mo,元素相关性较好。Au 异常强度较高,呈 NE 向条带状展布,具三级浓度分带;As、Cu、Mo、W 异常较弱,均只有外带,各元素峰值: Au: 80.50×10⁻⁹、As: 15.50×10⁻⁶、Cu: 44.5×10⁻⁶、Mo: 2.81×10⁻⁶、W: 3.89×10⁻⁶(图 4)。

AP4 Au(Cu, W, As, Sb)异常发育于北部,大致呈“手掌”状,面积 0.38 km²,异常长轴方向呈 NE 向展布,同样与区内构造方向一致,说明异常受构造

控制明显。异常主元素为 Au,其他特征组合元素为 W、As,伴生 Cu、Sb,元素相关性较好。Au 异常强度较高,呈 NE 向条带状展布,具三级浓度分带;Cu、W 具二级浓度分带,As、Sb 均只有外带,各元素峰值: Au: 67.0×10⁻⁹、Cu: 81.2×10⁻⁶、W: 7.24×10⁻⁶、As: 12.90×10⁻⁶、Sb: 0.80×10⁻⁶(图 4)。

本次通过 1:5,000 地质剖面 and 1:5,000 激电中梯剖面对 AP3 异常和 AP4 异常进行了检查。在异常区发育 6 条金矿化蚀变带,与 Au 土壤异常对应较好(图 5),蚀变带长 450~3100 m,宽 0.8~7.6 m,带上发育花岗质碎裂岩、褐铁矿化花岗质碎裂岩,局部充填少量石英脉,发育褐铁矿化和钾化;捡块取样分析,Au 最高品位 11.36×10⁻⁹。两处异常主要由金矿化蚀变带上的矿化蚀变引起。

4.2 1:5,000 激电异常特征

4.2.1 激电异常圈定

异常下限的确定:根据异常下限计算公式: $\eta_s^{\text{下限}} = \eta_s^{\text{背景}} \times [1 + (2 \sim 3) \times M\eta_s]$,式中 $M\eta_s$ 为该视极化率均方相对误差。经计算该区异常下限为 4.60%。

激电异常的圈定原则:异常具有一定的规模且连续性较好,视极化率在相邻 1~3 条测线上均有异常显示,且每条测线上有连续 2~3 个点大于异常下限;与已知矿(化)体对应较好。

4.2.2 激电异常圈定

根据以上原则,在区内圈定 3 处激电异常,编号 DJH-1~DJH-3(图 2),为钻探布设提供了依据。

DJH-1 异常位于扫帚涧村东部,呈 NE 向“蜗牛状”展布,长约 330 m,最宽处约 110 m。极化率数值 4.60%~5.04%,峰值 5.04%;对应的视电阻率表现为相对中高阻特征,数值 1800~2620 Ω·m。异常区发育弱片麻状二长花岗岩,与 III 号金矿化蚀变带对应较好,带内圈定 ① 号金矿体。ZK1 和 ZK3 两个钻孔对异常进行了验证,均见到金矿体。该异常主要由 III 号蚀变带内的金属硫化物引起,为矿致异常。

DJH-2 异常位于绕涧村西南部,异常呈 NE 向“毛豆状”展布,长约 280 m,最宽处约 90 m。极化率数值 4.60%~4.93%,峰值 4.93%;视电阻率表现为相对中高阻特征,数值 1600~2440 Ω·m。异常区发育弱片麻状二长花岗岩,与 III 号金矿化蚀变带对应较好,带内圈定 ① 号金矿体。该异常主要由 III 号蚀变带内的金属硫化物引起,为矿致异常。

DJH-3 异常位于扫帚涧东部,呈 NE 向团块状展布,长约 1160 m,宽 90~210 m,表现为明显的高极化特征,

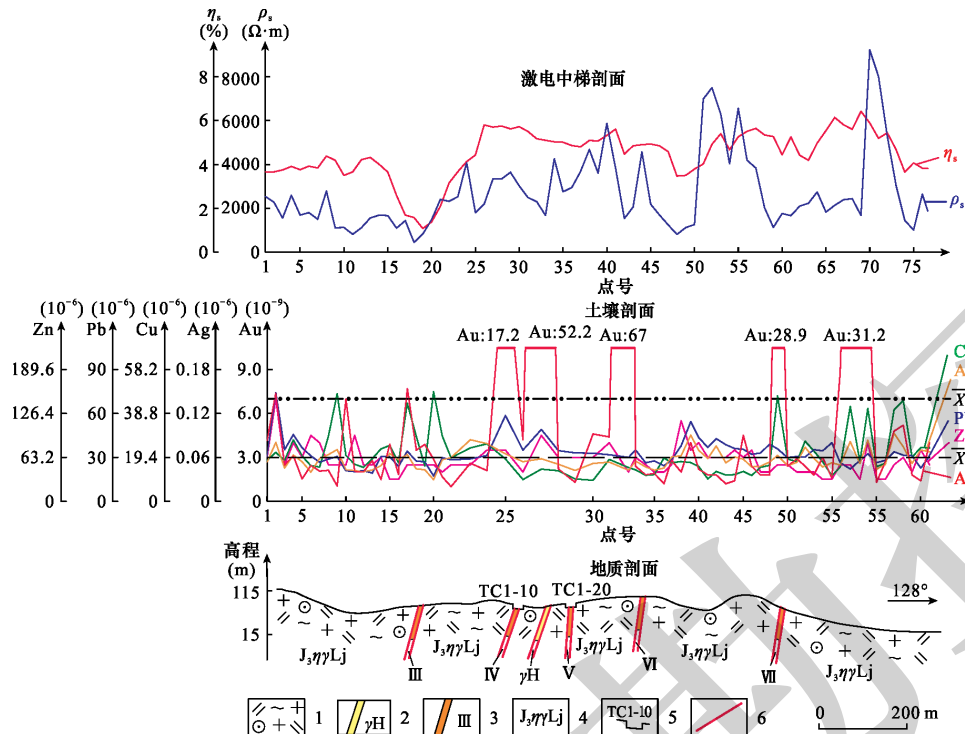


图5 YP1-18地物化综合剖面图

Fig. 5 Comprehensive geophysical and geochemical profile YP1-18

1-弱片麻状二长花岗岩;2-花岗质碎裂岩;3-金矿化蚀变带;4-岩性代号;5-探槽及编号;6-断层

1-weak gneissic monzogranite;2-granitic cataclasite;3-gold mineralization alteration zone;4-lithology code;5-trench and number;6-fault

极化率数值4.60%~6.12%，峰值6.12%；视电阻率表现为相对高阻特征，数值1900~2640 Ω·m。异常区发育弱片麻状二长花岗岩中，与V号和VI号金矿化蚀变带对应较好，在VI号金矿化蚀变带内圈定②号金矿体。该异常位主要由V号和VI号矿化蚀变带内的金属硫化物引起，为矿致异常。

5 工程验证

根据化探异常特征，施工了槽探和钻探工程进行验证。探槽布置在矿区内发现的6条矿化蚀变带上，工程间距100~500 m，基本垂直蚀变带走向布置；槽底宽度0.6~1.2 m，深度掘进基岩下0.3~2.5 m；共完成探槽15条，工作量356 m³。钻探主要对探槽中圈定的金矿体进行中深部控制，共施工3个钻孔，总工作量为1200 m，均为75°斜孔。

通过探槽揭露，在地表圈定4条金矿体，编号①号~④号，利用钻孔ZK1和ZK3对①号金矿体进行控制，利用钻孔ZK2对②号金矿体进行控制。

①号金矿体沿走向控制长度880 m，控制斜深约230 m (ZK1在233.4~234.4 m见矿，ZK3在239.70~240.70 m见矿)，厚0.50~1.47 m，金品位 3.71×10^{-9} ~ 23.10×10^{-9} ，赋矿岩石为褐铁矿化碎裂岩和黄铁矿化

石英脉。

②号金矿体沿走向控制长度约620 m，厚0.78~0.95 m，金品位 0.94×10^{-9} ~ 3.81×10^{-9} ，赋矿岩石为褐铁矿化碎裂岩。

③号金矿体沿走向控制长度约380 m，厚0.67~1.26 m，金品位 2.17×10^{-9} ~ 8.60×10^{-9} ，赋矿岩石为褐铁矿化碎裂岩。

④号金矿体沿走向控制长度约500 m，厚0.38~0.92 m，金品位 1.63×10^{-9} ~ 2.35×10^{-9} ，赋矿岩石为褐铁矿化碎裂岩。

6 结论

(1) 于家圈以金为主的水系沉积物地球化学异常面积7.0 km²，Au峰值 224.02×10^{-9} ，异常强度高，面积较大，发育三级浓度分带，与W、As、Cu、Ag、Pb、Bi等元素套合好。通过大比例尺综合物化探测量，查明了异常主要由金体引起，发现了于家圈金矿床，取得了良好的找矿效果。这证明大比例尺综合物化探测量是胶东东部浅覆盖区寻找脉状金矿床的有效方法。

(2) 于家圈地区位于牟乳成矿带西侧，胶莱盆地东北缘金成矿区南部，区域成矿良好；区内发育1

处以Au为主的水系沉积物地球化学综合异常、3处激电异常,与金矿关系密切的荆山群、玲珑序列花岗岩及北东向断裂构造发育,已发现的金矿化蚀变带、金矿体进一步找金矿潜力较大。

(3)该区前期工作已经圈定4条金矿体,取得较好的找矿成果,但投入的工作量尚不足以对金矿进行系统的评价,下一步应加大投入,以扩大该区找矿成果,实现金矿找矿突破。

[References]

- Chi Hongji, He Wangxiang.1999. Discovery of new type gold deposits in Jiaolai Basin, Shandong Province[J].Journal of Precious Metallic Geology, 8(2):919-920(in Chinese).
- Chen Shizhen, Zhang Zhuru.1997. Preliminary study on relationship between the ore-bearing system and gold deposit in Jiao-Lai Basin[J]. Scientia Geological Science, 32(2):193-198 (in Chinese with English abstract).
- Ding Zhengjiang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, Liu Dianhao, Zhang Peijian, Wang Xueqian.2010.Metallogenic series of gold deposits in the northeast margin of Jiaolai Basin, Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 29(S):919-920(in Chinese).
- Gao Taizhong, Yang, Minzhi, Jin Chengzhu, Wu Xueyi.1999. Study on fluid and tectonodynamics of quartz vein-type gold deposits in the Mouping-Rushan gold belt, Shandong Province, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 23(2):130-135(in Chinese with English abstract).
- He Zhen, Zhang Xueren.2006.Ore-controlling characteristics of structure and synthetic metallogenic prediction in the Muping-Rushan gold belt, Shandong[J]. Geology and Prospecting, 42(4):41-45(in Chinese with English abstract).
- He Zhen, Zhang Xueren.2006. Ore-controlling features and deep-seated metallogenic prognosis of Yinggezhuang gold belt Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 25(2):175-181 (in Chinese with English abstract).
- Ji Pan, Ding Zhengjiang, Li Guohua, Song Mingchun, Qian Ye. 2016. Geological characteristics of Liaoshang oversize gold deposit in Jiaodong Peninsula[J].Shandong Land and Resource, 32(6):9-12(in Chinese with English abstract).
- Li Xufen, Liu Jianchao, Zhang Xueren, Yu Hu. 2013. Structural features and metallogenic prognosis of Muping-Rushan gold ore belt[J].Gold Science and Technology, 21(3):10-14 (in Chinese with English abstract).
- Li Guohua, Ding Zhengjiang, Ji Pan, Li Yong, Tang Junzhi, Liu Lisha.2016.Features and prospecting direction of the gold deposits in the northeastern margin of the Jiaolai Basin [J]. Geology and Exploration, 52(6):1029-1035(in Chinese with English abstract).
- Li Zhiqiang, Ding Zhengjiang, Bo Junwei, Wang Zhixin, Li Yong, Ji Pan, Li Tingting.2024.Characteristics of ore-forming fluids and genesis of Guocheng gold deposit in the northeast margin of Jiaolai Basin[J]. Gold.45(5):57-63(in Chinese with English abstract).
- Liu Liandeng.1987.Genesis of the most important gold lodes in China[J]. Journal of Changchun College Geology, 17(4):373-382(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Zhu Dequan. 2002. Elementary analysis of the mineralizing mechanism of the gold deposits in the northeast fringe of Jiaolai Basin[J].Gold, 23(1):10-13 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xulei, Xiong Yuxin, Chang Hanwen, Xuan Jilai.2019.Geological characteristics and origin of Lanjiashuang gold deposit in Rushan of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 35(9):8-14 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuqiang, Liu Dianhao, Yu Zhichen, Yu Dongbin.2000.Major types and projecting future of gold deposits in northeast Jiaolai Basin [J]. Shandong Geology, 16(1):29-38(in Chinese with English abstract).
- Liu Yuqiang, Yang Donglai, Huang Tailing, Li Jun, Shi Hui. 1999. Geological characteristics and ore-prospecting targets in gold deposits of Jiaolai Basin, Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 18(3):195-206(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhenkuan, Guan Kang, Miao Laicheng. 2001. Discussion on relationship between lamprophyre veins and mineralization in the Linglong gold field eastern Shandong[J].Gold Geology, 7(4):15-20(in Chinese with English abstract).
- Ma Xiaodong, Sun Bin, Song Yingxin, Sun Yuqin, Cheng Wei, Wang Qiang, Niu Zhili, Yin Jiguang.2016.Research on the relationship between the lamprophyre and gold mineralization in Bushang gold deposit, eastern Shandong Province[J].Geology and Resources, 25(4):327-335 (in Chinese with English abstract).
- Men Yekai, Wang Ende, Fu Jianfei, Jia Sanshi. 2014. Geological characteristics and genesis of guocheng gold deposit in Jiaodong area [J]. Mineral Deposits, 33(S):431-432 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ping, Shen Yuanchao, Li Guangming, Liu Tiebing, Zeng Qingdong, Li Houmin.2003.A study on structure-fluid-mineralization system in the Jinniushan gold deposit, east Shandong[J].Chinese Journal of Geology, 39(2):272-282 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ping, Shen Yuanchao, Li Guangming, Li Houmin, Liu Tiebing, Zeng Qingdong.2003.Study on deep geochemistry and prediction of Jinniushan gold deposit in Jiaodong[J].Geology and Prospecting, 39(4):21-25 (in Chinese with English abstract).
- Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, Liu Tiebing, Li Guangming, Zhang Lianchang, Zou Weilei, Yang Jinzhong.2002.Ore-forming isotope chronology studies on interlayer sliding breccia gold deposits along north margin of Jiaolai Basin[J].Mineral Deposits, 21(S):658-661(in Chinese).
- Shen Yuke, Deng Jun, Xu Yebing. 2005. Geological significance of lamprophyre during gold mineralization in the Linglong ore field[J]. Geology and Prospecting, 41(3):45-48 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yan, Wei Bo, Tan Wei, Wang Zaichong, Zeng Qingdong.2021. The distribution, characteristics and fluid sources of lode gold deposits: An overview[J].Science China Earth Sciences, 64(9):1463-1480(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhixin, Jiao Xiumei, Ding Zhengjiang, Liu Xiaomin, Li

- Guohua, Ji Xubo, Tang Junzhi. 2017. Feature of ore-controlling structure and prospecting direction for the Liaoshang-type gold deposit in the northeast margin of Jiaolai Basin, Shandong Province [J]. Gold Science and Technology, 25 (3) : 61-67 (in Chinese with English abstract).
- Wang Runsheng, Zhang Baotao, Liu Sen, Wang Hongjun, Chen Fangbo, Luo Huaidong, Chen Dalei, Hu Chuangye, Zhao Lei. 2022. Application effects of the wide field electromagnetic method in the Jinqingding gold deposit in Muping-Rushan metallogenic belt, Jiaodong Peninsula [J]. Geology and Exploration, 58(2) : 381-390 (in Chinese with English abstract).
- Wu Xiaolei, Zhou Shouyu. 2014. Study on structural ore control law of Jinniushan gold deposit in eastern Shandong [J]. Mineral Deposits, 33(Sup.) : 1093-1094 (in Chinese).
- Xu Guizhong, Cai Yanjie, Zhou Rui, She Hongquan, Wang Yifen, Song Mingchun, Li Bing. 2004. Discussion on the dynamic conditions of formation of Jiaolai Basin and its relation to gold mineralization [J]. Geoscience, 18(1) : 8-15 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yousong, Fan Haibin, Li Qiang, Liu Qian, Zhang Jinping, Dong Meichuan, Zhang Long, Hao Zhiwen. 2023. Metallogenic geological conditions and prospecting prediction analysis of gold deposit in Qixia area of Jiaodong uplift [J]. China Manganese Industry, 41(2) : 54-60 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xi'an, Zhao Guochun, Liu Jiajun, Song Yubo, Dong Hanwen, Gao Jianwei. 2011. Metallogenesis of plate collision and prospecting direction of the Muping-Rushan metallogenic belt, Jiaodong Peninsula [J]. Gold, 32(2) : 11-17 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xi'an, Zhao Guochun, Song Yubo, Tian Fei, Dong Hanwen, Gao Jianwei. 2011. Characteristics of ore-controlling detachment fault and future prospecting in the Muping-Rushan metallogenic belt, eastern Shandong Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 35(3) : 339-346 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xi'an, Zhao Guochun, Yu Hu, Liu Yuming, Song Yubo, Zhao Xiangdong, Li Haisong. 2009. Metallogenic geological characteristics and prospecting forecast of Jinqingding Sanjia and Yinggezhuang gold deposit in Rushan [J]. Gold Science and Technology, 17(4) : 16-23 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinzhong, Zeng Qingdong, Zhao Yuling, Zou Weilei, Zhang Lianchang. 2000. Geological characteristics and genesis of the Songjiagou gold deposit in Mouping County, Shandong Province [J]. Geotectonics et Metallogeny, 24 (3) : 250-257 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinzhong, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, Zhang Lianchang, Zou Weilei, Li Guangming, Zeng Qingdong. 2001. Geological and geochemical characteristics of Pengjiakuang gold deposit, east Shandong [J]. Chinese Journal of Geology, 36(1) : 51-63 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongfang, Zhao Lunshan, Zhou Qiming. 1994. Physico-chemical constraints on mineralization of epithermal gold deposits in Muping-Rushan mineralization zone, eastern Shandong Province, China [J]. Acta Mineralogica Sinica, 14(3) : 270-278 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Huaquan, Zhang Weixin, Li Hongji. 2008. Ore-formation geological condition and analysis of resource potentiality for Shanhou gold deposit in Laixi [J]. Gold Science and Technology, 16(2) : 12-23 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Baoju, Gao Mingbo, Li Yadong, Fu Houqi, Li Dadou, Feng Qiwei, Zhang Ding, Zheng Dechao, Ma Ming, Wang Ligang. 2019. Study on metallogenic regularity of gold deposits in Longkou-Tudui mining area on the northeastern margin of Jiaolai Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 93(S) : 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Mingchuan. 2006. The metallogenic characteristics and metallogenesis of Jinqingding gold deposit [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 21 (S) : 48-50 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Decheng, Xu Qinglin, Lu Dawei, Yang Shipeng, Yang Zhenyi, Yang Qing, Shen Xiaoli. 2018. The relationship between lamprophyre and gold mineralization in the Denggezhuang gold deposit along the northern section of the Mouping-Rushan metallogenic belt [J]. Acta Geoscientia Sinica, 39 (3) : 319-328 (in Chinese with English abstract).

[附中文参考文献]

- 迟洪纪, 郝万祥. 1999. 山东胶莱盆地发现新类型金矿 [J]. 贵金属地质, 8(2) : 119-120.
- 陈世祯, 张竹如. 1997. 胶莱盆地含矿系与金矿关系初探 [J]. 地质科学, 32(2) : 193-198.
- 丁正江, 孙丰月, 赵财胜, 刘殿浩, 张丕建, 王学乾. 2010. 山东胶莱盆地东北缘地区金矿成矿系列 [J]. 矿床地质, 29(增刊) : 919-920.
- 高太忠, 杨敏之, 金成洙, 吴学益. 1999. 山东牟乳石英脉型金矿流体成矿构造动力学研究 [J]. 大地构造与成矿学, 23(2) : 130-135.
- 贺振, 张学仁. 2006. 山东牟乳金矿带构造控矿特征及综合预测 [J]. 地质与勘探, 42(4) : 41-45.
- 贺振, 张学仁. 2006. 山东英格庄金矿床构造控矿特征及深部预测 [J]. 矿床地质, 25(2) : 175-181.
- 纪攀, 丁正江, 李国华, 宋明春, 钱焯. 2016. 胶东辽上特大型金矿床地质特征 [J]. 山东国土资源, 32(6) : 9-12.
- 李旭芬, 刘建朝, 张学仁, 于虎. 2013. 牟平-乳山金矿带构造特征及成矿预测 [J]. 黄金科学技术, 21(3) : 10-14.
- 李国华, 丁正江, 纪攀, 李勇, 唐俊智, 刘莉莎. 2016. 胶莱盆地东北缘地区金矿特征及找矿方向 [J]. 地质与勘探, 52(6) : 1029-1035.
- 李志强, 丁正江, 薄军委, 王志新, 李勇, 纪攀, 李婷婷. 2024. 胶莱盆地东北缘郭城金矿床成矿流体特征及矿床成因 [J]. 黄金, 45(5) : 57-63.
- 刘连登. 1987. 论证最主要脉状金矿床的成因 [J]. 长春地质学院学报, 17(4) : 373-382.
- 刘晓煌, 孙兴丽, 朱德全. 2002. 胶莱盆地东北缘金矿床的成矿机理浅析 [J]. 黄金, 23(1) : 10-13.
- 刘旭垒, 熊玉新, 常瀚文, 玄继来. 2019. 山东乳山蓝家庄金矿地质特征及矿床成因研究 [J]. 山东国土资源, 35(9) : 8-14.
- 刘玉强, 刘殿浩, 于志臣, 于东斌. 2000. 胶莱盆地东北缘金矿床主要类型与找矿远景评价 [J]. 山东地质, 16(1) : 29-38.
- 刘玉强, 杨东来, 黄太岭, 李军, 史辉. 1999. 山东胶莱盆地金矿床地质特征及找矿方向 [J]. 矿床地质, 18(3) : 195-206.

- 罗镇宽,关康,苗来成.2001.胶东玲珑金矿田煌斑岩脉与成矿关系的讨论[J].黄金地质,7(4):15-20.
- 马晓东,孙斌,宋英昕,孙雨沁,程伟,王强,牛志力,殷继广.2016.胶东埠上金矿区煌斑岩与金矿的关系[J].地质与资源,25(4):327-335.
- 门业凯,王恩德,付建飞,贾三石.2014.胶东地区郭城金矿地质特征及成因探讨[J].矿床地质,33(增刊):431-432.
- 申萍,沈远超,李光明,刘铁兵,曾庆栋,李厚民.2004.胶东金牛山金矿床构造-流体-成矿作用体系研究[J].地质科学,39(2):272-282.
- 申萍,沈远超,李光明,李厚民,刘铁兵,曾庆栋.2003.胶东金牛山金矿区深部地球化学特征及成矿预测[J].地质与勘探,39(4):21-25.
- 沈远超,曾庆栋,刘铁兵,李光明,张连昌,邹为雷,杨金中.2002.胶莱盆地北缘金矿床的成矿年代学研究[J].矿床地质,21(增刊):658-661.
- 申玉科,邓军,徐叶兵.2005.煌斑岩在玲珑金矿田形成过程中的地质意义[J].地质与勘探,41(3):45-48.
- 王焰,魏博,谭伟,汪在聪,曾庆栋.脉状金矿床的时空分布、地质特征和成矿流体来源[J].中国科学,64(9):1463-1480.
- 王志新,焦秀美,丁正江,刘晓敏,李国华,纪旭波,唐俊智.2017.胶莱盆地东北缘辽上式金矿构造控矿特征及找矿方向[J].黄金科学技术,25(3):61-67.
- 王润生,张保涛,柳森,王洪军,陈方博,罗怀东,陈大磊,胡创业,赵磊.2022.胶东牟平-乳山成矿带金青顶金矿广域电磁法探测效果分析[J].地质与勘探,58(2):381-390.
- 吴小雷,周守余.2014.胶东金牛山金矿床构造控矿规律研究[J].矿床地质,33(增刊):1093-1094.
- 徐贵忠,蔡燕杰,周瑞,余安全,王艺芬,宋明春,李兵.2004.山东胶莱盆地形成的动力学条件及其与金成矿作用的相关性讨论[J].现代地质,18(1):8-15.
- 徐友松,范海滨,李强,刘倩,张进平,董美川,张龙,郝志文.2023.胶东隆起栖霞地区金矿床成矿地质条件及找矿预测分析[J].中国锰业,41(2):54-60.
- 杨喜安,赵国春,刘家军,宋玉波,董汉文,高建伟.2011.胶东牟平成矿带板块碰撞成矿作用及找矿方向[J].黄金,32(2):11-17.
- 杨喜安,赵国春,宋玉波,田飞,董汉文,高建伟.2011.胶东牟平-乳山成矿带拆离断层控矿特征及找矿方向[J].大地构造与成矿学,35(3):339-346.
- 杨喜安,赵国春,于虎,柳玉明,宋玉波,赵宪东,李海松.2009.乳山金青顶、三甲、英格庄金矿成矿地质特征与找矿预测[J].黄金科学技术,17(4):16-23.
- 杨金中,曾庆栋,赵玉灵,邹为雷,张连昌.2000.山东牟平宋家沟金矿床地质特征及矿床成因初探[J].大地构造与成矿学,24(3):250-257.
- 杨金中,沈远超,刘铁兵,张连昌,邹为雷,李光明,曾庆栋.2001.胶东蓬家乔金矿床地质与地球化学特征[J].地质科学,36(1):51-63.
- 杨忠芳,赵伦山,周奇明.1994.胶东牟平金矿带浅成热液金矿成矿作用的物理化学条件制约[J].矿物学报,14(3):270-278.
- 张华全,张维昕,李洪杰.2008.山东胶莱盆地金矿成矿条件及找矿方向[J].黄金科学技术,16(2):12-23.
- 赵宝聚,高明波,李亚东,付厚起,李太兜,冯启伟,张鼎,郑德超,马明,王立刚.2019.胶莱盆地东北缘龙口-土堆矿区金矿床成矿规律研究[J].地质学报,93(增刊):1-10.
- 赵明川.2006.金青顶金矿床地质特征及成矿作用[J].地质找矿论丛,21(增刊):48-50.
- 祝德成,许庆林,吕大炜,杨仕鹏,杨振毅,杨庆,沈晓丽.2018.牟平成矿带北段邓格庄金矿煌斑岩与金矿成矿关系[J].地球学报,39(3):319-328.

Prospecting Practice of Comprehensive Large-Scale Geophysical and Geochemical Exploration in Vein-Type Gold Deposits with Shallow Overburden: Taking the Yujiaquan Gold Deposit in Rushan City of Eastern Jiaodong As an Example

LI Xiuzhang¹, LIU Chencheng^{2,3}, QIU Chenggui^{2,3}, HU Lei^{2,3}, YU Lu^{2,3}, WANG Ning^{2,3}, WANG Runsheng^{2,3}, YAO Zheng^{2,3}
(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250104; 2. Shandong Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Jinan, Shandong 250013; 3. Shandong Geologic Exploration Engineering Technology Research Center, Jinan, Shandong 250013)

Abstract: Jiaodong is one of the three major gold mining areas in the world and the most important gold resource base in China where vein-type gold deposits are widely distributed. The Quaternary cover in the eastern part of Jiaodong is thin but widely distributed, and the vegetation is developed, resulting in unclear surface prospecting indicators. Traditional single prospecting methods are difficult to identify vein-type gold deposits, and with the continuous improvement of geological exploration, it is more difficult to find vein-type gold deposits in this area. The Yujiaquan area of Rushan City, located in the shallow coverage area of eastern Jiaodong, has developed a comprehensive anomaly of stream sediments dominated by gold. This anomaly has high intensity, large scale, obvious concentration center, good element combination, and shows good prospecting potential. The anomaly was verified using a 1:10000 comprehensive profile of mineralized soil (induced polarization gradient), and six gold mineralization alteration zones were discovered. The causes of the anomaly were quickly identified, and the prospecting target area was delineated. The anomaly and mineralized alteration zone were exposed and controlled through trenching and drilling engineering, and the Yujiaquan gold deposit in Rushan City, Shandong Province was discovered, achieving good prospecting results. This study proves the effectiveness of large-scale comprehensive geophysical and geochemical exploration surveys in searching for vein-type gold deposits in shallow coverage areas in eastern Jiaodong.

Key words: large scale comprehensive geophysical and geochemical exploration survey, shallow overburden area, vein-type gold deposit, Yujiaquan, Rushan City, eastern Jiaodong