

胶东地区招平断裂带南段构造地球化学特征及找矿方向

李衣鑫¹, 刘汉栋², 于晓卫², 李秀章², 王立功²

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西桂林 541006; 2. 山东省地质调查院, 山东济南 250013)

[摘要] 胶东是我国最大的金矿集区, 已探明金资源储量 5000 余吨。招平断裂带是胶东地区重要的控矿断裂, 通常将其分为北、中、南三段, 其中北段、中段目前都赋存大型-特大型金矿床, 而南段仅有几个小型矿床。为揭示该断裂带的关键控矿因素, 评估其南段成矿潜力, 本文以招平断裂带南段为研究对象, 通过元素相关性和聚类分析, 确定成矿元素共生组合, 进而圈定成矿有利地段。结果显示: Au、Bi、Pb、Ag 等元素在绢英岩化碎裂岩、绢英岩化花岗质碎裂岩、碎裂状花岗岩中明显富集; 糜棱岩中各元素含量与围岩大致相当, 富集不明显。相关性分析和聚类分析显示, Au 与 Bi、Ag、Hg 聚为一类, 相关性好, 是成矿的指示元素。与北段、中段相比, 南段糜棱岩和构造片岩发育, 南段由南向北韧性变形作用变弱, 而脆性破碎逐渐变强。金矿的形成与脆性碎裂关系密切, 韧性变形不利于金矿的形成。研究认为南段的北端、南端成矿条件好, 具有较好的找矿潜力, 而中段不利于成矿, 找矿前景不大。

[关键词] 构造地球化学 找矿方向 金矿 招平断裂带南段 胶东

[中图分类号] P632.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2020)06-11

Li Yixin, Liu Handong, Yu Xiaowei, Li Xiuzhang, Wang Ligong. Tectono-geochemical characteristics and prospecting direction of the southern section of the Zhaoping fault zone in the Jiaodong area, Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2020, 56(6): 1105-1115.

0 引言

胶东是我国最大的金矿集区, 已探明金资源储量 5000 余吨, 其中已评审备案的资源储量(4321 t) 占全国资源储量(1.21×10^4 t) 的 1/3, 是仅次于南非兰德和乌兹别克斯坦穆龙套成矿区的世界第三大金矿集中区(宋明春等, 2018; 王立功等, 2018)。自 2011 年找矿突破战略行动以来, 胶西北地区深部找矿取得重大突破, 在三山岛、焦家、招平三条主成矿带上深部均有重大发现, 其找矿深度已达 2000 m, 更有多个矿区勘查孔深达到 3000 m, 显示胶西北成矿区深部具有巨大的找矿潜力(田杰鹏等, 2016; Han et al., 2019)。但随着金矿埋深增大, 对金矿开采技术和成本的要求也大大提

高, 使得 2000 m 以深的金矿资源目前只能作为战略储备。所以今后胶东地区金矿找矿重点应适当调整, 需要在已知矿床外围或主控矿断裂带两端延伸部位, 寻找新的 2000 m 以浅的隐伏矿体(宋国政等, 2018; 刘日富等, 2019)。

招平断裂是山东省重要的金矿控矿断裂, 北起龙口颜家沟, 南至平度宋戈庄, 全长约 120 km, 总体呈 NNE 向“S”形展布(刘述敏等, 2016)。现已发现特大型矿床玲南、东风、水旺庄、大尹格庄、夏甸等, 合计探明资源储量 1000 余吨(宋明春, 2015)。前人对招平断裂带的活动性质及时代(林文蔚等, 2000)、形成机制(杜长学等, 1991; 韩淑琴等, 2006)、变形温度(谢徽等, 2016)、围岩蚀变(张志航等, 2015)、控矿特征(刘晓煌等, 2003; 张文钊和徐

[收稿日期] 2019-12-20; **[改回日期]** 2020-08-20; **[责任编辑]** 郝情情。

[基金项目] 国家重点研发计划深部资源预测系统技术与示范(编号: 2017YFC0601506)、山东省地质勘查项目山东省莱州-招远金矿整装勘查区综合研究(编号: 鲁勘字(2014)7号)和胶东地区中生代花岗岩调查及与金矿关系研究(编号: 鲁勘字(2018)19号)联合资助。

[第一作者] 李衣鑫(1997年-), 男, 2019年毕业于山东科技大学, 获学士学位, 资源勘查工程专业, 硕士研究生在读, 专业方向为岩石地球化学。E-mail: 892740094@qq.com。

[通讯作者] 李秀章(1969年-), 男, 2007年毕业于山东科技大学, 硕士学位, 正高级研究员, 长期从事地质矿产勘查工作。E-mail: lixiuzhang4117@126.com。

述平,2006;庄光军等,2009;姜琪和王荣超,2010;黄先春等,2016;林少一等,2017)、成矿规律(霍庆龙等,2013)等进行了研究。将断裂带分为三段:北段颜家沟-招远市区,走向 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$;中段招远市区-南墅,走向 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$,宽30~60 m;南段南墅-山旺段(徐述平,2009)。其中北段和中段已发现玲珑、东风、大尹格庄、夏甸等大型-特大型金矿床,而南段只发现南墅、上庄、山旺等小型金矿床,还没有大型金矿的发现。且前人对金矿的研究重点是成矿条件好、有大型-特大型金矿分布的北段和中段,而南段研究程度偏低(刘永昌和孙靖,2020;王青等,2020)。判断招平断裂带南段是否有利于金矿成矿,研究对金矿有指示意义的地球化学特征,对于寻找隐伏金矿体非常重要。本文利用招平断裂带南段近期的地质调查成果,在研究南段成矿地质条件的基础上,通过垂直断裂带的构造地球化学剖面研究、成矿元素富集、相关性分析、构造原生晕分带、叠加

特征,以及不同地质体金元素含量的变化等研究工作(杨立强,2001),指出南段金矿找矿有利地段,为下一步金矿勘查提供靶区依据。

1 招平断裂带南段地质特征

招平断裂带南段位于胶北隆起南部,叠加在玲珑型花岗岩与荆山群地层接触带上(霍庆龙等,2013),断裂带以东主要分布荆山群变质地层,呈NEE向展布,主要岩性为角闪岩相的片岩、大理岩、变粒岩及含石墨岩系等变质岩,原岩为含碳和富铝的泥质和粉砂质岩石。断裂带以西大面积出露侏罗纪玲珑型花岗岩(戴雪灵等,2011),呈NNE向岩基状展布,岩性为一套酸性二长花岗岩系列,以含石榴子石、具弱片麻状构造为特征,普遍含有基底岩系残留体。岩基内中基性脉岩发育。

断裂带总体走向NE,倾向SE,舒缓波状弯曲“S”形展布,宽20~200 m,局部近千米(图1)。根

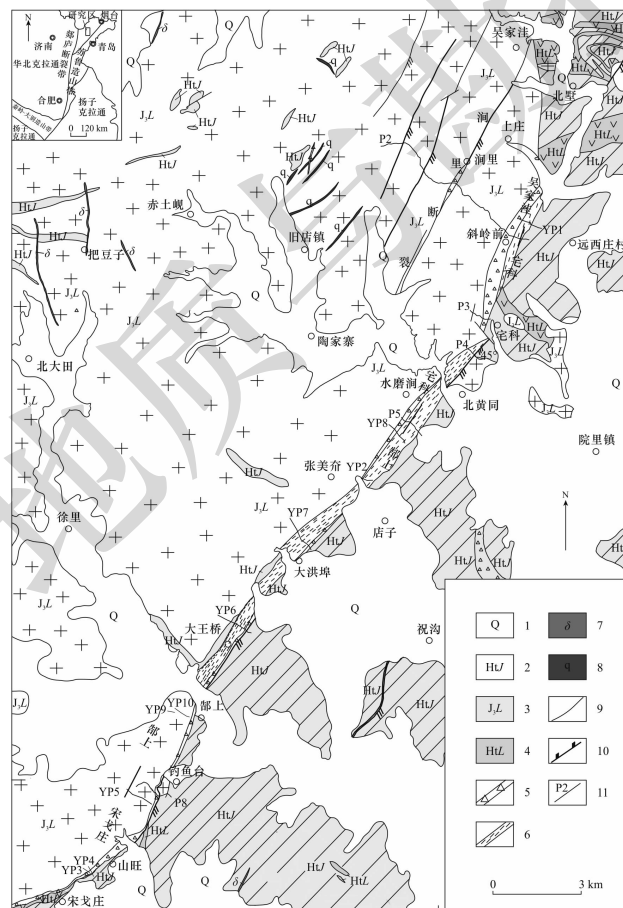


图1 招平断裂带南段地质图

Fig.1 Geological map of south section of Zhaoping fault zone

1 - 第四系;2 - 古元古界荆山群;3 - 玲珑型花岗岩;4 - 莱州序列变辉长岩;5 - 蚀变碎裂岩带;6 - 韧性变形带;7 - 闪长脉岩;8 - 石英脉;
9 - 地质界线;10 - 压扭性断裂;11 - 岩石化探剖面

1 - Quaternary;2 - Paleoproterozoic Jingshan Group;3 - Linglong type granite;4 - Laizhou series metagabbro;5 - altered cataclasite belt;6 - ductile deformation belt;7 - diorite vein;8 - quartz vein;9 - geological boundary;10 - compressive and shear fault;11 - geochemical survey profile

据走向变化和断裂带岩性组成为吴家洼-宅科地段、宅科-郃上地段、郃上-宋戈庄地段。吴家洼-宅科地段表现为招平主断裂带和其分支的涧里断裂,主断裂走向变化大,自北向南由 355°向 30°方向变化,倾角自北向南有变陡趋势,带宽 50~150 m,以碎裂岩和碎裂状岩石为主,仅局部地段可见糜棱岩,主裂面有厚约 20~50 cm 的断层泥,两侧构造岩普遍发育不同程度的钾化、绢英岩化、硅化、黄铁矿化等热液蚀变;涧里断裂呈弧形展布于主断裂的下盘,最远处距离主断裂面约 3 km,在吴家洼、张美乔附近分别与主断裂相交。带内岩性主要由黄铁绢英岩化碎裂岩、绢英岩化碎裂岩等组成,蚀变矿化强的部位形成金矿体。宅科-郃上地段断裂带走向变化不大,总体走向 30°,倾角 50°左右,宽 20~130 m,韧性变形较强,脆性断裂形成的碎裂岩不发育,主要表现为构造片岩和糜棱岩,糜棱面理产状 130°~140°∠40°~60°,没有矿化,其上盘荆山群地层 8~11 m 范围内岩石较破碎,具碳酸盐化蚀变,在靠近断层泥处下有厚度较小的碎裂岩和碎裂状岩石,蚀变不发育,断裂面平直。郃上-宋戈庄地段走向自北向南由 30°渐变为 50°,倾角 60°左右,构造带宽大,最宽达 500 余米,主裂面发育厚 10~50 cm 灰黑色断层泥,脆性断裂构造发育,主要表现为碎裂岩和碎裂状岩石,糜棱岩不发育,有煌斑岩脉穿插其中,煌斑岩脉倾向一般与招平带相反,脉岩两侧一般蚀变较强。在山旺一带,黄铁石英脉金品位高达 17.57×10^{-6} ,黄铁绢英岩金品位最高 6.94×10^{-6} 。

北部吴家洼-宅科地段在招平主断裂带上分布下庄、南墅等小型金矿,在下盘的次级断裂内有旧店

金矿田,南部郃上-宋戈庄地段有山旺小型金矿,中部宅科-郃上地段没有发现金矿。由此可见,该带韧-脆性构造强烈地段具有较好成矿前景,以韧性变形为主地段找矿前景较差。总体呈现南、北两端矿化较强,中间弱的特点。

2 样品采集及测试方法

2.1 样品采集

实测岩石化探剖面 18 条,采取样品 878 件。采样剖面的导线起点、终点采用高精度 GPS 定点,采样点距一般 20 m,在矿化蚀变带位置,根据蚀变矿化程度加密至 2~10 m,采样一般采用在采样点周围 1 m 范围内 3 点组合方式,部分基岩出露较差的采样点用单点采样代替。少数采样剖面缺少基岩露头时,在垂直于采样地质体内偏离剖面线 20 m 范围内基岩露头采样代替。样品测试由山东省物化探勘查院岩石矿测试中心完成,分析项目 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Bi、As、Hg、Sb、Ba、B、Mn、Co、Ni 等 17 种元素。

2.2 样品制备测试方法及检出限

样品进行室内统一编号,样品制备人员按《岩矿分析试样制备规程》DZ/T0130.2-2006 规范要求进行加工制备,样品加工前在 60℃以下烘干后再进行加工,以减少易挥发元素的损失。样品加工过程中先用配备高铝瓷的颚式破碎机粗碎,再采用高铝瓷的无污染化探样品自动粉碎机加工,样品经粗碎、中碎、细碎至-0.074 mm,符合粒度要求的试样质量不少于加工前试样质量的 90%,不缩分,不过筛,直接装入样品袋待检测。样品制备后,正样由业务室流转 to 分析室进行分析测试。样品测试分析方法及检出限见表 1。

表 1 各元素分析方法、检出限、报出率
Table 1 Analysis method, detection limit and report rate of each element

元素	方法	分析检出限	报出率(%)
Au	石墨炉原子吸收光谱法	0.20×10^{-9}	100
Ag	发射光谱法	20×10^{-9}	100
Sn	发射光谱法	0.5×10^{-6}	100
Cu	X 射线荧光光谱法	2×10^{-6}	100
Pb	X 射线荧光光谱法	2×10^{-6}	100
Zn	X 射线荧光光谱法	10×10^{-6}	100
Co	X 射线荧光光谱法	1×10^{-6}	100
W	电感耦合等离子体质谱法	0.2×10^{-6}	100
Mo	电感耦合等离子体质谱法	0.2×10^{-6}	100
Nb	电感耦合等离子体质谱法	2×10^{-6}	100
Ta	电感耦合等离子体质谱法	0.2×10^{-6}	100
As	氢化物发生-原子荧光光谱法	0.2×10^{-6}	100
Sb	氢化物发生-原子荧光光谱法	0.1×10^{-6}	100
Bi	氢化物发生-原子荧光光谱法	0.02×10^{-6}	100
Hg	蒸气发生-冷原子荧光光谱法	1×10^{-9}	100

3 岩石地球化学特征

3.1 成矿元素富集规律

表 2 列出了化探样品测试结果地球化学参数,其中背景值是各元素剔除奇异值的平均含量,变异系数是标准差与平均值的比值。可以看出,元素变异系数由大到小为 $Au > Ag > Bi >$

$Zn > As > Ni > B > Mo > Pb > Cu > W > Mn > Co > Sb > Hg > Ba > Sn$,除 Hg、Ba、Sn 小于 1 外,其余元素变异系数皆大于 1,其中 Au 最大,达 7.88,Ag 元素为 6.13,Bi 元素为 4.05,显示出 Au、Ag、Bi 等元素在围岩中分布是极不均匀的,Au、Ag、Bi 等在成矿过程中有较大幅度的活化、迁移,成矿机率大。

表 2 招平断裂带南段岩石地球化学参数特征表

Table 2 Characteristics of geochemical parameters of rocks in the southern section of Zhaoping fault zone

元素	均值	标准离差	偏度	峰度	变异系数	背景值	富集系数
Au	82.26	647.91	14.8	272.24	7.88	1.7	48.39
B	6.38	14.93	10.21	134.86	2.34	1.82	6.5
Sn	2.03	0.66	8.25	116.85	0.32	1.8	1.13
Mo	0.62	1.35	10.21	136.18	2.19	0.34	1.81
Ag	125.78	770.44	19.11	414.1	6.13	40.01	6.14
Ba	934.66	639.19	0.86	0.75	0.68	918.45	1.02
Co	6.45	8.9	6.2	12.94	1.38	2.75	2.35
Cu	16.25	30.6	9.85	154.26	1.88	7.92	2.05
Mn	421.28	622.29	6.06	51.36	1.48	247.42	1.7
Ni	14.9	41.12	16.74	270.37	2.76	4.93	6.02
Pb	39.69	81.52	10.69	156.81	2.05	25.01	1.59
W	1.58	2.43	8.25	96.39	1.54	1	1.58
Zn	50.56	147.88	22.4	586.15	2.92	27.21	1.86
Bi	0.23	0.95	10.31	126.67	4.05	0.05	4.68
Hg	16.38	12.44	8.24	86.84	0.93	11.31	1.18
As	2.89	8.01	7.49	70.71	2.78	1.04	2.77
Sb	0.24	0.27	8.66	102.44	1.11	0.21	1.15

元素含量单位: Au、Ag、Hg 为 $\times 10^{-9}$,其它 $\times 10^{-6}$ 。

富集系数是元素平均含量与背景值的比值。由大到小为: $Au > Bi > B > Ag > Ni > As > Co > Cu > Zn > Mo > Mn > Pb > W > Hg > Sb > Sn > Ba$ 。所有元素富集系数大于 1,表明在后期地质作用过程中,均有一定程度的富集,其中 Au 最大,为 48.39,金元素在成矿过程中发生了明显的富集作用。

3.2 相关性分析

地球化学数据的统计特征可以刻画元素的地球化学分布规律。利用多元统计方法,不仅可以划分

地球化学背景与异常,还可以描述元素的共生组合规律(Xie and Cheng,2001)。

对样品数据利用 SPSS 软件进行相关性分析(表 3)。从不同元素间的相关系数看,Au 与 Bi、Ag、Hg 相关性最好(相关系数分别是 0.80、0.79、0.73),Ag 与 Au、Bi、Hg 相关性最好,Pb 与 Zn、W、Mn 等相关,Zn 与 W、Pb 等相关,Cu 与 Co、Mo、Ni 相关,As 与 Sb、Hg、Bi 等相关。显然,Bi、Ag、Hg 等是与 Au 矿化密切相关的一组元素组合。

表 3 招平断裂带南段元素相关矩阵
Table 3 Element correlation matrix of southern segment of Zhaoping fault zone

	Au	B	Sn	Mo	Ag	Ba	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	W	Zn	Bi	Hg	As	Sb
Au	1.00																
B	0.00	1.00															
Sn	0.22	0.01	1.00														
Mo	0.06	0.10	0.10	1.00													
Ag	0.79	0.00	0.12	0.05	1.00												
Ba	0.05	-0.01	-0.10	-0.07	0.00	1.00											
Co	-0.01	0.25	0.05	0.11	-0.02	-0.12	1.00										
Cu	0.15	0.21	0.07	0.31	0.04	-0.05	0.44	1.00									
Mn	0.04	0.10	0.17	0.02	0.00	0.04	0.42	0.23	1.00								
Ni	-0.03	0.13	0.06	0.09	-0.02	-0.07	0.72	0.27	0.22	1.00							
Pb	0.18	0.01	0.22	0.07	0.12	0.11	-0.03	0.16	0.26	-0.02	1.00						
W	0.15	0.12	0.23	0.06	0.08	0.09	0.16	0.18	0.46	0.08	0.41	1.00					
Zn	0.03	0.06	0.10	0.05	0.01	0.06	0.19	0.13	0.34	0.16	0.44	0.60	1.00				
Bi	0.80	0.00	0.22	0.07	0.66	0.05	0.00	0.07	0.03	-0.03	0.17	0.16	0.01	1.00			
Hg	0.73	0.02	0.23	0.12	0.59	0.01	0.08	0.11	0.06	0.00	0.19	0.18	0.05	0.93	1.00		
As	0.22	0.20	0.133	0.26	0.07	-0.04	0.25	0.24	0.16	0.11	0.16	0.34	0.12	0.30	0.40	1.00	
Sb	0.03	0.11	0.01	0.31	0.04	-0.04	0.19	0.21	0.06	0.12	-0.04	0.14	0.12	0.03	0.10	0.55	1.00

注:黑体为显著相关。

在相关分析的基础上,开展了元素的聚类分析。图 2 是成矿元素 R 型聚类分析谱系图,可以看出在 20 的距离水平上,元素可以分为如下四组: Au - Ag - Hg - Bi、W - Zn - Pb - Mn、As - Sb - Mo 和 Co - Ni - Cu - B;在 7 的距离水平上,Au 元素 Ag、Bi、Hg 聚为一类,显示 Au 与 Ag、Hg、Bi 相关性好,表明元素 Ag、Hg、Bi 可作为重要的成矿指示元素,Pb、Zn、W 相关性好,显示有多金属硫化物成矿阶段的叠加,在矿物组合上表现为闪锌矿与方铅矿在多金属硫化物阶段紧密共生,可能反映了 Au 与 Ag、Pb、Zn 不是同一成矿阶段的产物。

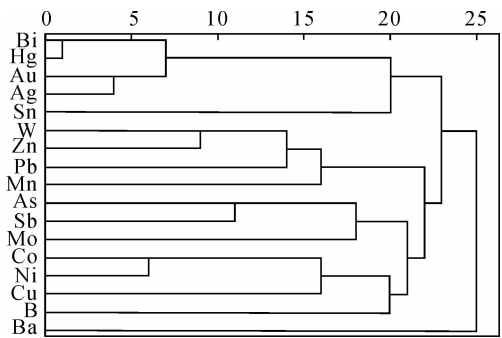


图 2 招平断裂带南段成矿元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 R - type cluster analysis pedigree of ore - forming elements in the south section of Zhaoping fault zone

3.3 因子分析

因子分析方法是寻找与其他元素具有相关性的距离最近的公因子,以公因子取代其他元素,从而起到降维的目的。通过这种办法能够得出地质上的某种成因关系,据此指导找矿工作(赵鹏大等,1994;姚玉增等,2005;李申等,2018)。

对招平断裂带南段岩石地球化学数据进行因子分析,以求找出反映构造特征的因子组合,结果如下:根据各因子方差贡献率大小确定了 5 个因子(见表 4、图 3),F1 代表 Bi、Au、Hg、Ag 元素组合;F2 代表 W、Zn、Pb、Mn 元素组合;F3 代表 Co、Ni、Cu 元素组合;F4 代表 Sb、As、Mo 元素组合;F5 代表 Sn。结合不同地质体中元素的分布特征,分析 5 个因子分组:F1 因子(Bi、Au、Hg、Ag)代表了成矿元素组合;F2 因子(W、Pb、Zn、Mn)代表多金属成矿阶段,与 F1 因子叠加地段金品位较高;F3 因子(Co、Ni、Cu)中 Ni、Co 元素常在基性 - 超基性(铁镁质)岩浆岩中共生组合,其在高温条件下,以类质同象取代 Fe 进入黄铁矿晶体结构中,在早期硫化物阶段形成的黄铁矿中含量较高。F4 因子(Sb、As、Mo)中 Sb、As 代表了低温热液蚀变作用;F5 因子由 Sn 元素构成,地球化学行为较为独立,表现为与其他元素相关不大。

表 4 招平断裂带南段成矿元素旋转成分矩阵

Table 4 Rotation composition matrix of metallogenic elements in the southern section of Zhaoping fault zone

	F1	F2	F3	F4	F5
Bi	0.94	0.07	-0.02	0.08	0.03
Au	0.92	0.07	0.01	0.03	0.03
Hg	0.89	0.09	0.02	0.18	0.06
Ag	0.83	-0.01	0.01	-0.04	0.00
W	0.10	0.82	0.09	0.16	-0.02
Zn	-0.05	0.78	0.13	0.04	-0.05
Pb	0.14	0.72	-0.12	0.07	0.05
Mn	0.00	0.59	0.43	-0.05	0.05
Co	0.00	0.09	0.92	0.11	0.06
Ni	-0.02	0.02	0.83	-0.02	0.07
Cu	0.08	0.13	0.51	0.36	0.06
B	-0.01	0.03	0.35	0.27	-0.20
Sb	-0.01	0.04	0.08	0.80	-0.06
As	0.23	0.20	0.13	0.75	-0.02
Mo	0.02	-0.01	0.06	0.64	0.20
Ba	0.08	0.21	-0.12	-0.09	-0.76
Sn	0.21	0.32	-0.03	0.02	0.66

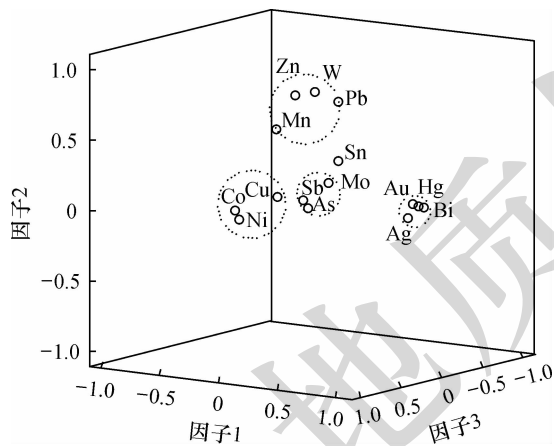


图 3 招平断裂带南段成矿元素旋转空间成分图

Fig. 3 Spatial component diagram of ore-forming element rotation in the south section of Zhaoping fault zone

3.4 成矿元素共生组合

从元素富集特征看,招平断裂带南段所有元素浓集系数均大于1,其中 Au 最大达 48.39,其次为 B 和 Ag,分别为 6.50 和 6.14;再依次分别为 Ni (6.02)、Bi (4.68)、As (2.77)、Co (2.35)、Cu (2.05) 等。表明在金成矿作用过程中,B、Ag、Ni、Bi 等元素发生了明显的富集,As、Co、Cu 等发生了较明显的富集,Pb、Zn、Mo、W、Mn 等元素跟随发生了一定的浓集作用。

从元素变异系数看,除 Hg、Ba、Sn 外,其余元素

变异系数皆 >1,其中以 Au 元素最大达 7.88,Ag 次之达 6.13,其他依次为 Bi 4.05、Zn 2.92、As 2.78、Ni 2.76、B 2.34、Mo 2.19、Pb 2.05、Cu 1.88;其余元素变异系数较小。表明 Au、Ag、Bi、Zn、As、Ni、B、Mo、Pb、Cu 等元素在金矿成矿期均有较大程度的活化、迁移,金、银、铋等变异性明显,成矿几率大。

根据元素相关性分析 Au 与 Bi、Ag、Hg、As 密切相关,与 Sn、Pb、Cu、W 等元素较好相关。根据聚类分析和因子分析,Au - Ag - Hg - Bi、W - Zn - Pb - Mn、As - Sb - Mo 和 Co - Ni - Cu - B 分别聚为一类,显示 Au 与 Ag、Hg、Bi 相关性好,可作为重要的成矿指示元素,Pb、Zn、W 相关性好,显示有多金属硫化物成矿阶段的叠加。

综上所述,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi、Mo、W 等元素,可作为招平断裂带金矿找矿的指示元素组合。Au、Ag、Bi 相关性好,富集强度大,可作为重要的成矿指示元素,Pb、Zn、Cu、Mo、W、As、Sb 等元素代表了不同成矿阶段相关元素的富集和叠加,与金矿成矿作用也紧密相关。

4 讨论

表 5 列出了招平断裂带南段不同地质体的微量元素平均含量,Au 元素含量范围为 $0.5 \times 10^{-9} \sim 14.02 \times 10^{-6}$,平均为 82.26×10^{-9} ,标准离差为 647.91×10^{-9} ,该背景值为金矿成矿提供有利条

件。不同地段异常元素组合有所差异。异常强度一般随断裂破碎带的碎裂和蚀变强度增强而增强,总体具有从黄铁绢英岩化碎裂岩→绢英岩化花岗质碎裂岩→绢英岩化花岗岩,元素异常显示由强到弱的趋势,说明岩石破碎和热液蚀变作用是引起异常的主要因素。而招平断裂带山后金矿处,黄铁绢英岩化碎裂岩-绢英岩化碎裂岩-花岗质碎裂岩,元素异常强度呈递减趋势(徐述平等,2008),与本文得出结论一致。和上下盘围岩相比,Au 在绢英岩化碎裂岩、绢英岩化花岗

质碎裂岩、碎裂状花岗岩中明显富集,Bi、Pb、Ag 也有一定的富集,而 Ba、W、Sn 等变化不大,As、Sb、B 等低温元素在断层泥中富集,岩石破碎蚀变对 Au 成矿起主要作用。断层泥中,As、B、Zn、Mo、Sb、Cu、Co、Ni 含量高,Au 的含量也稍高于围岩,这些元素既有低温前缘晕元素,又有高温尾晕元素和近矿晕元素,显示了成矿热液自下盘向上运移过程中,断层泥对成矿元素富集起到阻挡作用。韧性变形形成的糜棱岩中各元素含量与围岩大致相当,富集不明显(见图 4、图 5)。

表 5 招平断裂带南段不同地质体元素含量
Table 5 Element contents of different geological bodies in the southern section of Zhaoping fault zone

元素	中基性脉岩	伟晶岩	花岗岩	断层泥	花岗质糜棱岩	碎裂状花岗岩	花岗质碎裂岩	绢英岩化碎裂岩	荆山群
Bi	0.1	0.05	0.08	0.31	0.13	0.45	0.58	0.46	0.09
Pb	91.69	36.9	30.52	74.37	18.9	45.59	93.47	44.1	13.16
Ba	888.43	319.35	980.54	536.61	696	1165.36	1010.2	1259.37	645.9
Au	4.97	2.65	4.39	8.05	4.4	136.84	247.87	266.86	2.82
Ag	53.08	39.81	46.61	251.08	47.8	299.7	239.23	370.65	51.69
W	5.34	0.62	1	2.92	1.18	1.79	2.83	2.15	1.49
As	8.56	0.92	1.09	22.99	1.35	2.45	5.09	5.62	4.44
B	7.09	1.85	2.29	19.99	12.21	3.67	4.53	15.34	15.9
Sn	2.2	1.73	2.02	1.86	1.92	2.11	2.24	1.91	1.95
Zn	475.49	15.32	30.72	136.08	35.3	39.3	70.42	61.69	79.26
Mo	0.57	0.28	0.43	8.46	0.41	0.75	0.72	0.83	0.44
Sb	0.34	0.22	0.21	1.53	0.2	0.24	0.24	0.24	0.29
Mn	958.18	202.76	283.95	594.9	278	219.05	738.67	581.55	874.73
Cu	49.01	6.71	8.67	64.49	19.8	14.23	18.93	27.33	31.52
Co	32.02	2.45	3.38	15.49	6.8	3.91	5.33	9.59	19.53
Ni	125.67	4.55	5.55	46.04	16.2	7.72	9.38	21.7	55.75
Hg	15.61	12.8	11.72	19.52	10.26	15.47	17.09	15.85	12.83

注:元素含量单位:Au、Ag、Hg 为 $\times 10^{-9}$,其它 $\times 10^{-6}$ 。

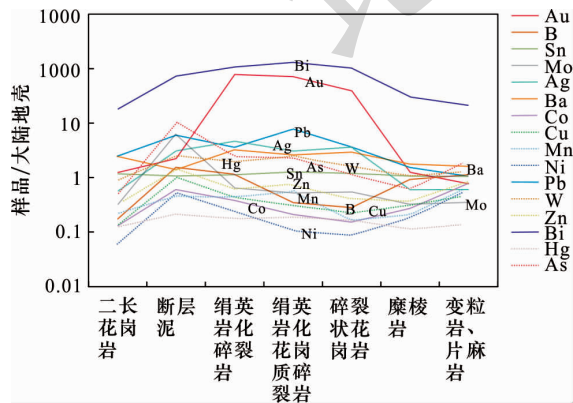


图 4 上下盘围岩、构造岩标准化图解(大陆地壳据黎彤 1984)
Fig. 4 Standardization diagram of surrounding rock and structural rock of upper and lower walls (data of continental crust after Li,1984)

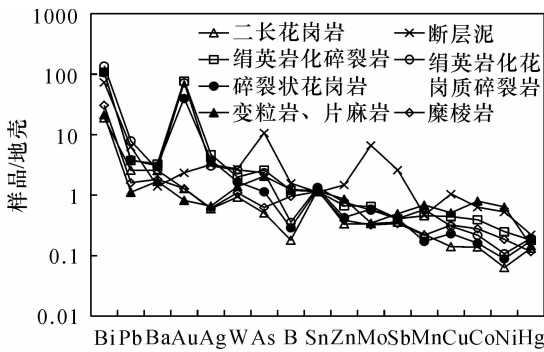


图 5 成矿元素在地质体的含量变化图(大陆地壳数据据黎彤,1984)
Fig. 5 Content change of ore – forming elements in geological body (data of continental crust after Li,1984)

5 找矿方向分析

招平带中段上盘为太古宙变质基底岩系与太古宙变质基性-超基性岩,其金含量 5.89×10^{-9} (未发表数据),南段岩性为古元古代变质地层,金含量仅是为 1.70×10^{-9} ,两者之间的差别,可能是南段金矿床数量少、规模小的原因之一。吴家洼-宅科段靠近招平成矿带中段,离太古宙变质基底岩系近,太古宙变质基底提供了部分金质来源,可能是导致矿床数量相对较多的原因。

岩石破碎程度强弱也可能是影响金矿富集成矿的一个重要因素。前已述及,招平成矿带中段以脆性断裂为主,主要为碎裂岩和碎裂状岩石,形成大尹格庄、夏甸、姜家窑等大型-特大型金矿;南段的吴家洼-宅科地段以碎裂岩和碎裂状岩石为主,有韧性活动的糜棱岩出现,形成下庄、南墅等小型金矿;宅科-郃上地段以韧性变形的构造片岩、糜棱岩为主,岩石破碎程度相对弱,至今没有发现金矿;郃上-宋戈庄地段以脆性碎裂岩为主,发育少量糜棱岩,有山旺小型金矿。一般而言,一条大的断层,从地表

到深部存在不同构造层次,其形态、性质、结构及变形机制都有所变化。在浅表层次,断层以脆性破坏为主导,产生无定向组构的碎裂岩系列;深部层次断层则以韧性剪切为主导,构造岩以塑性变形为主,形成糜棱岩系列;两者之间则为脆-韧性过渡带(Sibson et al., 1977; 张志臣等, 2010)。招平成矿带中段应以浅表层次的脆性断裂活动为主,岩石破碎蚀变强烈,热液流体易扩散、减压降温、成矿物质沉淀,形成大中型金矿床。南段的吴家洼-宅科地段、郃上-宋戈庄地段属于脆-韧性过渡带,以脆性的碎裂岩和碎裂状岩石为主,少量糜棱岩,应属于靠近脆性断裂的过渡带上部,岩石有一定破碎,易于成矿流体上升扩散,形成金矿床。在吴家洼-宅科地段布置的地质化探剖面,化探样品异常值与蚀变破碎带对应较好,而韧性变形的糜棱岩并未出现明显异常,破碎带内异常明显,具有较好的成矿条件(图6)。宅科-郃上地段主要发育韧性变形的糜棱岩、构造片岩,碎裂岩和碎裂状岩石不发育,属于深部层次的糜棱岩系列,形成温度较高,含矿热液不易沉淀成矿,难以形成规模性矿床。

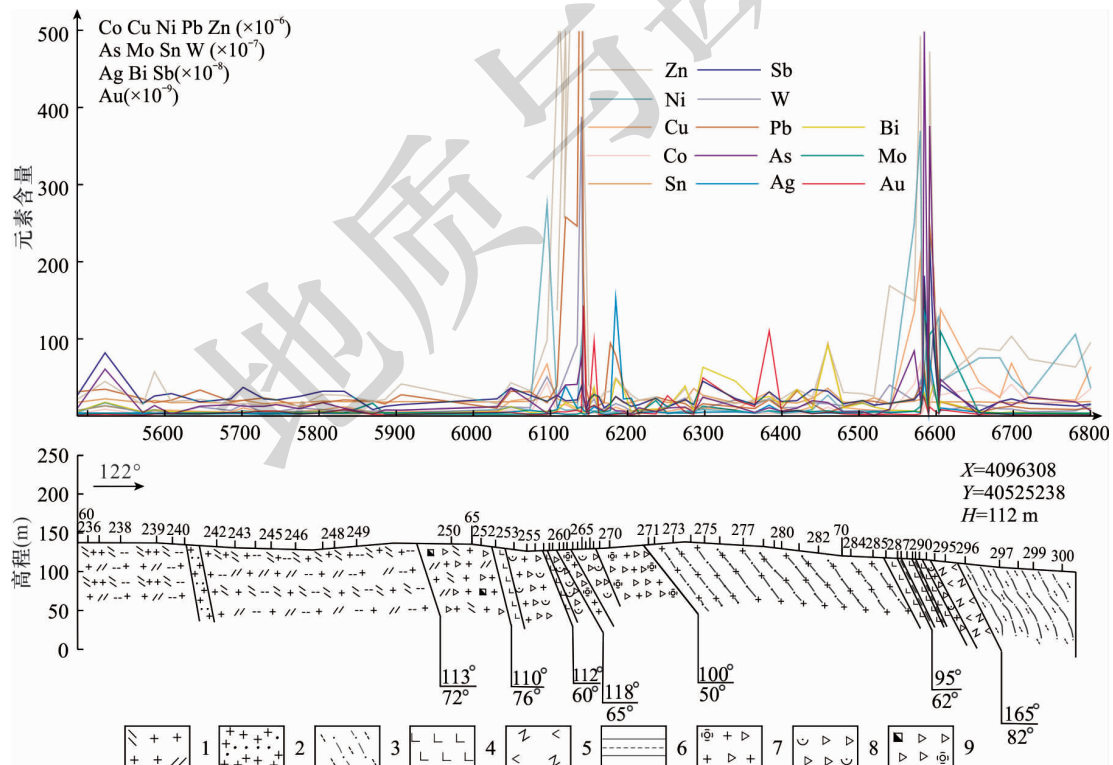


图6 P2地质-地球化学综合剖面图

Fig. 6 Comprehensive geological and geochemical profile of P2

1-二长花岗岩;2-花岗质糜棱岩;3-黑云变粒岩石;4-煌斑岩;5-斜长角闪岩;6-断层泥;7-硅化花岗质碎裂岩;8-绢英岩化碎裂岩;
9-褐铁矿化硅化碎裂岩

1 - adamellite; 2 - granitic mylonite; 3 - biotite granulite; 4 - lamprophyre; 5 - plagiogranite; 6 - fault gouge; 7 - silicified granitic cataclase;
8 - sericite cataclase; 9 - ferritized silicified cataclase

岩石化探分析结果验证了以上分析,糜棱岩和构造片岩中 Au 含量仅 4.4×10^{-9} ,略高于地壳平均值(3.5×10^{-9} ,黎彤,1984),而碎裂岩、花岗质碎裂岩、碎裂状花岗岩 Au 含量分别是 266.86×10^{-9} 、 247.87×10^{-9} 、 136.84×10^{-9} ,是黎彤地壳平均值的 76.25、70.82、39.1 倍,富集显著。其它成矿元素如 Ag、Pb、Bi、As 等也是如此。

据此,认为吴家洼-宅科地段、郜上-宋戈庄地段有较好找矿前景,宅科-郜上地段找矿前景相对较差。

6 结论

(1)通过本次的地球化学原生晕分析,认为 Ag、Bi、Hg 等元素与 Au 关系密切,是南段金矿找矿的重要指示元素,代表主成矿阶段元素组合。Pb、Zn、W 等相关性较好,代表多金属硫化物阶段,与 Au、Ag 等元素叠加,矿化变强。

(2)通过招平带中段及南段不同位置地质、地球化学异常特征对比,认为招平成矿带中段是浅表层次的碎裂岩系列,南段的吴家洼-宅科地段、郜上-宋戈庄地段属于脆-韧性过渡带,而宅科-郜上段属于深部层次的韧性变形的糜棱岩系列。

(3)研究认为招平断裂带南段有较好的金矿找矿前景,吴家洼-宅科地段、郜上-宋戈庄地段脆-韧性构造叠加,是成矿有利区段,找矿潜力大;而宅科-郜上地段韧性变形强烈,岩石破碎程度相对较差,含矿热液不易运移及沉淀成矿,难以形成规模性矿床。

致谢:感谢山东省地质调查院项目组相关人员野外采样工作的帮助。感谢审稿专家及期刊编辑人员提出的宝贵意见。

[References]

- Dai Xueling, Deng Xiangwei, Peng Shenglin, Yang Bin. 2011. Significance of the Linglong granite in the metallogenic system of the Dayingezhuang gold deposit in eastern Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 47 (3): 370-379 (in Chinese with English abstract).
- Du Changxue, Han Yunsong, Fan Dongxuan, Li Guangfu. 1991. Discussion on geological features and formation mechanism of the Zhaoping fault[J]. *Shandong Geology*, 7(2): 51-59 (in Chinese).
- Han Shuqin, Deng Jun, Yang Liqiang, Wang Jianping. 2006. Application of the 3D structural stress field analysis in the deep gold exploration of the central segment of the Zhaoyuan-Pingdu fault zone, Jiaodong area[J]. *Journal of Geomechanics*, 12(3): 338-344 (in Chinese with English abstract).
- Han Zhenyu, Yu Xiaowei, Li Shoujun. 2019. He-Ar isotopic tracing of pyrite from ore-forming fluids of the Sanshandao Au deposit, Jiaodong area[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 93(6): 1755-1764.
- Huang Xianchun, Li Shan, Bao Zhongyi. 2016. Geological characteristics and significance of non-mirror symmetry in the altered rocks of Zhaoyuan-Pingdu fracture zone[J]. *Land and Resources in Shandong Province*, 32(5): 25-30 (in Chinese with English abstract).
- Huo Qinglong, Liu Guxian, Zhu Suizhou, Fan Xiao, Yuan Yuelei, Xu Yaqing, Yang Renyi. 2013. Geological characteristics and metallogenic regularity of research in Zhaoping fault zone[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (Supplement): 915-916 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Qi, Wang Rongchao. 2010. Metallogenesis of gold and prospecting direction in Zhaoping fault shear Zone[J]. *China Mine Engineering*, 39(3): 36-39 (in Chinese with English abstract).
- Liu Rifu, Zhou Xin, Lv Yulu, Xu Yanbo. 2019. Ore controlling law and prospecting practice of Sanshandao Cangshang fault zone in Jiaodong[J]. *Geology and Exploration*, 55(2): 528-541 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shumin, Zhang Jianwei, Wang Shuai, Cheng Dongjiang. 2016. Gold exploration model and prospecting direction for the southern section of the Zhaoping fault zone in northwestern Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 52(3): 399-406 (in Chinese with English abstract).
- Li Shen, Zhao Rundong, Song Yueting, Yu Xiaobo. 2018. Reliability comparison of correlation, clustering and factor analyses for lithogeochemistry: Examples of two profiles in Galale and Gongqiongzuo, Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 54(3): 574-583 (in Chinese with English abstract).
- Li Tong. 1984. Abundance of chemical elements in oceanic and continental crust[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 8(1): 19-27 (in Chinese).
- Lin Shaoyi, Sun Liangliang, Wei Xufeng, Guo Hongjun, Jiang Lei, Sui Lailun. 2017. Geological features and metallogenic prospects of gold ores in Shanwang area in the southern part of Zhaoping fault zone[J]. *Land and Resources in Shandong Province*, 33(2): 8-15 (in Chinese with English abstract).
- Lin Wenwei, Zhao Yiming, Xu Jue. 2000. Active properties and age of Zhaoyuan-Pingdu fracture zone[J]. *Regional Geology of China*, 19(1): 43-50 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaohuang, Zhang Zhixiao, Ha Benhai, Song Quanwu, Dai Lixin, Gao Chixing. 2003. The geological characteristics of Zhaoping fault zone and its mineralization prognosis[J]. *Gold*, 24(12): 10-13 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yongchang, Sun Jing. 2020. Application of comprehensive geophysical and geochemical exploration in deep prospecting of gold deposits in the middle section of Zhaoping fault zone[J]. *Mineral Exploration*, 11(3): 530-539 (in Chinese with English abstract).
- Song Guozheng, Li Shan, Yan Chunming, Bao Zhongyi, Fan Jiameng, Liu Guodong, Guo Zhifeng. 2018. Geological characteristics and prospecting direction of I main orebody in Jiaojia gold field[J]. *Geology and*

- Exploration, 54(2):219–229 (in Chinese with English abstract).
- Sibson R H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms[J]. *Journal of the Geological Society*, 133(1):191–213.
- Song Mingchun, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Li Shiyong. 2018. Jiaodong gold deposits: Essential characteristics and major controversy [J]. *Gold Science and Technology*, 26(4):406–422 (in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun. 2015. The main achievements and key theory and methods of deep-seated prospecting in the Jiaodong gold concentration area, Shandong Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 34(9):1758–1771 (in Chinese with English abstract).
- Tian Jiepeng, Tian Jingxiang, Guo Ruipeng, Wei Changshan, Wang Ligong, Yu Xiaowei, Li Xiuzhang, Huang Yongbo, Zhang Chunchi, Liu Handong, Zhu Peigang. 2016. Jiaodong-type gold deposit related to crust source remelting layered granite and crust-mantle mixed granodiorite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(5):987–996 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qing, Qin Shengqiang, Han Dong, Wang Chun, Dong Jie, He Peng. 2020. Characteristics and metallogenic regularity of gold deposits in Shangzhuang area, Pingdu City, northwest Jiaodong Province [J]. *Mineral Exploration*, 11(9):1837–1844 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ligong, Zhu Decheng, Guo Ruipeng, Yu Xiaowei, Tian Jingxiang, Ke Changhui, Liu Handong, Tian Ruicong, Gao Huali. 2018. Geochemistry, zircon U–Pb age and Lu–Hf isotopes of the Cangshang and Sanshandao monzogranites in the northwestern Jiaodong Peninsula, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(10):2081–2095 (in Chinese with English abstract).
- Wu Rigen, Zhuang Qian, Li Xinpeng. 2018. Geochemical characteristics and metallogenic prospect of Xinlin–Tayuan area in Heilongjiang Province [J]. *Geological Survey of China*, 5(3):27–35 (in Chinese with English abstract).
- Xie Hui, Gao Bangfei, Yang Liqiang. 2016. Microstructural analysis on the deformation and alteration temperatures of Zhaoping fault zone in Jiaodong Peninsular [J]. *Gold*, 37(8):19–24 (in Chinese with English abstract).
- Xie X J, Cheng H X. 2001. Global geochemical mapping and its implementation in the Asia–Pacific region [J]. *Applied Geochemistry*, 16(11):1309–1321.
- Xu Shuping, Gao Bangfei, Yang Liqiang. 2008. Tectonic geochemistry characteristics and their significance in mineral prospecting of Shanhou gold deposit, Jiaodong Peninsula [J]. *Gold*, (10):7–11 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shuping. 2009. Gold exploration model and mineralization prediction in Zhaoping fault zone [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing):1–186 (in Chinese with English abstract).
- Yang Liqiang, Deng Jun, Zhai Yusheng, Wang Jianping. 2001. Geochemical field structure of Xiadian gold deposit, Jiaodong [J]. *Modern Geology*, (4):409–413 (in Chinese with English abstract).
- Yao Yuzeng, Gong Enpu, Liang Junhong, Yang Hongying, Cui Xiande. 2005. Application of R-factor analysis in Handing mixed samples of primary halo – A case study of Fengning silver deposit [J]. *Geology and Exploration*, 41(2):51–55 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenzhao, Xu Shuping. 2006. Gold metallogenic features and prospecting targets of the Zhaoping fault zone [J]. *Gold Science and Technology*, 14(2):1–10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhichen, Diao Shoujun, Song Genghai, Zhang Yunshan. 2010. Rock deformation characteristics and the relationship with gold mineralization of Shanhou–Beipo gold mining area in Laixi, Shandong Province [J]. *Gold Science and Technology*, 18(1):60–64 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhihang, Hu Baoqun, Wang Xi, Shen Yuke, Guo Tao, Lü Guxian. 2015. The wall rock alteration and its geochemical characteristics of Zhaoping fault zone in Jiaodong [J]. *Journal of Geomechanics*, 21(1):13–20 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Pengda, Hu Guangdao, Li Xinzong. 1994. Expert system design based on the language network knowledge presentation [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 19(4):391–401 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Guangjun, Liu Jinyou, Gao Mengjiang, Liu Shuliang. 2009. Analysis on structural ore – controlling of Shanhou gold deposit in Shandong Province [J]. *Gold Science and Technology*, 17(5):30–35 (in Chinese with English abstract).

[附中文参考文献]

- 戴雪灵, 邓湘伟, 彭省临, 杨斌. 2011. 玲珑花岗岩在大尹格庄金矿成矿系统中的作用 [J]. *地质与勘探*, 47(3):370–379.
- 杜长学, 韩云松, 范东宣, 李广福. 1991. 招平断裂地质特征及形成机制探讨 [J]. *山东地质*, 7(2):51–59.
- 韩淑琴, 邓军, 杨立强, 王建平. 2006. 三维构造应力场分析在胶东招远–平度断裂带中段深部金矿探查中的应用 [J]. *地质力学学报*, 12(3):338–344.
- 黄先春, 李山, 鲍中义. 2016. 招平断裂带蚀变岩非镜像对称特征及地质意义 [J]. *山东国土资源*, 32(5):25–30.
- 霍庆龙, 吕古贤, 朱随州, 范潇, 袁月蕾, 许亚青, 杨人毅. 2013. 招平断裂带地质特征及其成矿规律研究 [J]. *矿物学报*, (增刊):915–916.
- 姜琪, 王荣超. 2010. 招平断裂剪切带金成矿作用特征及找矿方向 [J]. *中国矿山工程*, 39(3):36–39.
- 刘日富, 周鑫, 吕雨璐, 许延波. 2019. 胶东三山岛–仓上断裂带控矿规律与找矿勘查实践 [J]. *地质与勘探*, 55(2):528–541.
- 刘述敏, 张建伟, 王帅, 程东江. 2016. 胶西北招平断裂带南段金矿勘查模型及找矿方向 [J]. *地质与勘探*, 52(3):399–406.
- 李申, 赵润东, 宋岳庭, 余晓波. 2018. 相关性分析、聚类分析、因子分析的可靠性对比—以嘎拉勒和躬琮左波两条剖面为例 [J]. *地质与勘探*, 54(3):574–583.
- 黎彤. 1984. 大洋地壳和大陆地壳的元素丰度 [J]. *大地构造与成矿学*, 8(1):19–27.
- 林少一, 孙亮亮, 魏绪峰, 郭洪军, 蒋雷, 隋来伦. 2017. 招平断裂带南段山旺矿区金矿地质特征及成矿远景 [J]. *山东国土资源*, 33(2):8–15.
- 林文蔚, 赵一鸣, 徐珏. 2000. 胶东招远–平度断裂活动性质及活动时代 [J]. *中国区域地质*, 19(1):43–50.
- 刘晓煌, 张效智, 哈本海, 宋泉吾, 戴立新, 高池兴. 2003. 招平断裂带

- 地质特征及成矿预测浅析[J]. 黄金, 24(12): 10-13.
- 刘永昌, 孙靖. 2020. 综合物化探在招平断裂带中段金矿深部找矿的应用[J]. 矿产勘查, 11(3): 530-539.
- 宋国政, 李山, 闫春明, 鲍中义, 范家盟, 刘彩杰, 刘国栋, 郭志峰. 2018. 焦家金矿田 I 号主矿体地质特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 54(2): 219-229.
- 宋明春. 2015. 胶东金矿深部找矿主要成果和关键理论技术进展[J]. 地质通报, 34(9): 1758-1771.
- 宋明春, 宋英昕, 丁正江, 李世勇. 2018. 胶东金矿床: 基本特征和主要争议[J]. 黄金科学技术, 26(4): 406-422.
- 田杰鹏, 田京祥, 郭瑞朋, 韦昌山, 王立功, 于晓卫, 李秀章, 黄永波, 张春池, 刘汉栋, 祝培刚. 2016. 胶东型金矿: 与壳源重熔层状花岗岩和壳幔混合花岗岩闪长岩有关的金矿[J]. 地质学报, 90(5): 987-996.
- 王青, 秦升强, 韩东, 王春, 董杰, 何鹏. 2020. 胶西北平度市上庄地区金矿床特征及成矿规律[J]. 矿产勘查, 11(9): 1837-1844.
- 王立功, 祝德成, 郭瑞朋, 于晓卫, 田京祥, 柯昌辉, 刘汉栋, 田瑞聪, 高华丽. 2018. 胶西北仓上、三山岛岩体二长花岗岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 92(10): 2081-2095.
- 乌日根, 庄倩, 李新鹏. 2018. 黑龙江省新林-塔源地区地球化学特征及成矿远景预测[J]. 中国地质调查, 5(3): 27-35.
- 谢徽, 高帮飞, 杨立强. 2016. 胶东招平断裂带变形变质温度的显微构造分析[J]. 黄金, 37(8): 19-24.
- 徐述平, 高帮飞, 杨立强. 2008. 胶东山后金矿床构造地球化学特征及找矿意义[J]. 黄金, 29(10): 7-11.
- 徐述平. 2009. 招平断裂带南段勘查模型与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 1-186.
- 杨立强, 邓军, 翟裕生, 王建平. 2001. 胶东夏甸金矿地球化学场结构[J]. 现代地质, (4): 409-413.
- 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红, 杨洪英, 崔显德. 2005. R 型因子分析在处理混杂原生晕样品中的应用——以河北丰宁银矿为例[J]. 地质与勘探, 41(2): 51-55.
- 赵鹏大, 胡光道, 李新中. 1994. 基于语义网络知识表示的专家系统的设计[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 19(4): 391-401.
- 张文钊, 徐述平. 2006. 招平断裂带成矿特征与找矿靶区[J]. 黄金科学技术, 14(2): 1-10.
- 张志臣, 刁守军, 宋耕海, 张云山. 2010. 山东莱西山后一北泊金矿区岩石变形特征及其与金矿化关系[J]. 黄金科学技术, 18(1): 60-64.
- 张志航, 胡宝群, 王玺, 申玉科, 郭涛, 吕古贤. 2015. 胶东招平断裂带围岩蚀变地球化学特征[J]. 地质力学学报, 21(1): 13-20.
- 庄光军, 刘金友, 高梦江, 刘淑亮. 2009. 山东省山后金矿区构造控矿分析[J]. 黄金科学技术, 17(5): 30-35.

Tectono - Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of the Southern Section of the Zhaoping Fault Zone in the Jiaodong Area, Shandong Province

LI Yixin¹, LIU Handong², YU Xiaowei², LI Xiuzhang², WANG Ligong²

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541006; 2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013)

Abstract: The Jiaodong area of Shandong Province is the largest gold concentration area in China, with proven gold reserves of more than 5000 tons. The Zhaoping fault zone is a major ore controlling structure in this area, which is usually divided into three sections: north, middle and south. At present, large-scale and super large-scale gold deposits have been found in the north and middle sections, while only a few small deposits in the south section. In order to reveal the key ore controlling factors and evaluate the metallogenic potential of the southern segment of the Zhaoping fault zone, the paragenetic association of ore-forming elements is determined by element correlation and cluster analysis, and then the favorable metallogenic areas are delineated. The results show that Au, Bi, Pb, Ag and other elements are obviously enriched in sericitized cataclastic rocks, sericitized granitic cataclastic rocks and cataclastic granites. The contents of elements in mylonite are similar to those in surrounding rocks, but the enrichment is not obvious. Au, Bi, Ag and Hg are clustered into one group with good correlation, which is an indicator element of mineralization. Compared with the north and the middle sections, more mylonite and tectonic schist developed in the south section, the ductile deformation is weakened from south to north, and the brittle fracture is gradually strengthened. The formation of gold deposits is closely related to brittle fracture, and ductile deformation is not favorable to the formation of gold deposits. The study suggests that the northern and southern ends of the southern section of the fault zone have good metallogenic conditions and good prospecting potential, while the central part is not favorable to mineralization, so its ore-search prospect is relatively poor.

Key words: tectono-geochemistry, prospecting direction, gold deposit, southern section of Zhaoping fault zone, Jiaodong