



引文格式: 韦星, 计文化, 王建田, 等. 胶东地区招平断裂带中-南段断裂与金矿成矿关系研究[J]. 西北地质, 2025, 58(2): 225-239. DOI: 10.12401/j.nwg.2025002

Citation: WEI Xing, JI Wenhua, WANG Jiantian, et al. Research on the Relationship between Fault and Gold Mineralization in the Middle-south Section of Zhaoping Fault Zone in Jiaodong Peninsula[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(2): 225-239. DOI: 10.12401/j.nwg.2025002

## 胶东地区招平断裂带中-南段断裂与 金矿成矿关系研究

韦星<sup>1,2,3,\*</sup>, 计文化<sup>1,3,\*</sup>, 王建田<sup>2,4</sup>, 段留安<sup>2,5</sup>, 周发侨<sup>2</sup>, 孔国栋<sup>2</sup>, 张昌帅<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东 烟台 264000; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710119; 4. 山东科技大学, 山东 青岛 266590; 5. 自然资源部深部金矿勘查开采技术创新中心/山东省深部金矿探测大数据应用开发工程实验室, 山东 威海 264209)

**摘要:** 招平断裂是胶东金矿的重要控矿构造, 中-南段是近年来找矿热点地区, 笔者在对招平断裂中-南段内金矿成矿特征及断裂构造特征进行系统分析基础上, 初步探讨了断裂构造与金成矿之间的关系。蚀变岩型金矿主要赋存在主断裂下盘的绢英岩化蚀变带中, 断层缓倾处是成矿的有利部位; 石英脉型金矿多呈脉群产出于次级断裂中。蚀变岩型金矿金的赋存状态由浅部向深部, 裂隙金、晶隙金占比减少, 包体金占比增加。主断裂由中心向两侧发育绢英岩化、硅化、钾化等, 且下盘矿化蚀变明显强于上盘。地化剖面显示, Au 与 Ag、Pb、Bi 正相关, 且明显受断裂控制。

**关键词:** 胶东金矿; 招平断裂; 蚀变岩型金矿; 石英脉型金矿; 蚀变分带

中图分类号: P618.51; P613

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)02-0225-15

### Research on the Relationship between Fault and Gold Mineralization in the Middle-south Section of Zhaoping Fault Zone in Jiaodong Peninsula

WEI Xing<sup>1,2,3,\*</sup>, JI Wenhua<sup>1,3,\*</sup>, WANG Jiantian<sup>2,4</sup>, DUAN Liuan<sup>2,5</sup>, ZHOU Faqiao<sup>2</sup>, KONG Guodong<sup>2</sup>, ZHANG Changshuai<sup>2</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037; 2. Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai 264000, Shandong, China; 3. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 4. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 5. Ministry of Natural Resources Technology Innovation Center for Deep Gold Resources Exploration and Mining/Shandong Provincial Engineering Laboratory of Application and Development of Big Data for Deep Gold Exploration, Weihai 264209, Shandong, China)

**Abstract:** Zhaoping fault is an important ore-controlling structure of Jiaodong gold deposit. The middle-south section is a hot spot for prospecting in recent years. Based on the systematic analysis of the metallogenic characteristics and fault structure characteristics of gold deposits in the middle-south section of Zhaoping fault, this pa-

收稿日期: 2024-10-29; 修回日期: 2024-12-27; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 国家重点研发计划“脉状金系统的综合找矿技术与增储示范”课题(2022YFC2903605)和中国地质调查局项目“山东招平带南段及外围金多金属资源调查评价”(DD20242575)联合资助。

作者简介: 韦星(1992-), 男, 工程师, 主要从事控矿构造研究。E-mail: 525889876@qq.com。

\* 通讯作者: 计文化(1968-), 男, 研究员, 主要从事基础地质调查、大地构造与成矿研究。E-mail: jwenhua@mail.cgs.gov.cn。

per preliminarily discusses the relationship between fault structure and gold mineralization. Altered rock type gold deposits mainly occur in the quartz-sericite alteration zone of the footwall of the main fault, and the gentle dip of the fault is the favorable part of mineralization. Quartz vein type gold deposits mostly occur in secondary faults as vein groups. The occurrence state of gold in altered rock type gold deposits is from shallow to deep, the proportion of fissure gold and crystal fissure gold decreases, and the proportion of inclusion gold increases. The main fault develops quartz-sericite, silicification and potassic alteration from the center to both sides, and the mineralization alteration of the footwall is obviously stronger than that of the hanging wall. Geochemical profiles show that Au is positively correlated with Ag, Pb and Bi, and is obviously controlled by faults.

**Keywords:** Jiaodong gold deposit; Zhaoping fracture; altered rock type gold deposit; quartz vein type gold deposit; alteration zonation

胶东是中国最重要的黄金资源基地,已发现金矿床~250处,累计探明金资源量近5800t,是仅次于南非兰德和乌兹别克斯坦穆龙套的世界第三大金矿集中区(黄鑫,2021;高建伟等,2023;于晓卫等,2023;杨立强等,2024)。招平断裂是胶东地区重要的金矿控矿断裂,控制的金资源量超过1500t(刘振等,2023;杨立强等,2024)。前人曾对招平断裂活动性质、形成机制、构造特征和区域岩浆活动内容进行过深入研究并得出招平断裂经历多期演化阶段、玲珑花岗岩侵位于晚侏罗世等结论(徐述平,2009; Charles et al., 2013; Shan et al., 2014; 孟银生, 2016; 张瑞忠, 2017; Wu et al., 2020; 杨立强等, 2021; Xu et al., 2022; Wang et al., 2023),前人工作侧重于特大型-大型金矿集中产出的北段,中-南段因新生代沉积覆盖,研究比较薄弱,找矿方向不明(杨立强等,2021)。本次研究以招平断裂带中-南段为重点,在实测地质剖面的基础上,综合运用可控源音频大地电磁测量、岩石地化剖面、岩心钻探方法,结合前人相关研究成果,揭示断裂构造与金矿、蚀变以及元素异常的空间关系,总结金成矿规律,为进一步找矿预测提供借鉴。

## 1 成矿地质背景

胶东地区位于华北克拉通东南缘(冯李强等,2023;石启慧等,2023)、中央造山带东段(杨经绥等,2010)、环太平洋成矿带西侧(徐方,2019),是一个主要由前寒武纪基底岩石和超高压变质岩块组成、中生代构造-岩浆作用发育的内生热液金矿集区(杨立强等,2014)。区内只发育前寒武、中生代和新生代的地层,缺失古生代的沉积(赵睿,2016),中太古界唐家庄岩群为胶东地区最古老的地层(丁正江,2014)。中生代

花岗岩赋存了胶东地区90%以上的金资源量,按时代、岩浆活动和岩性可将其划分为晚侏罗世玲珑期、早白垩世早期郭家岭期、早白垩世晚期伟德山期和崂山期(于晓卫等,2023)。胶东地区位于大陆内部多重构造复合域(邓军等,2023),不同时代、级序、性质与构造样式的地质现象相互叠加,金矿床主要群聚产于EW向与NE-NNE构造交汇处(杨立强等,2014,2024;毛先成等,2023),自西向东可划分为招远-莱州-蓬莱-栖霞、牟平-乳山三大成矿带,招平断裂是招远-莱州成矿带内延伸展布规模最大的控矿断裂(图1)。

## 2 招平断裂中-南段地质特征

招平断裂带北至龙口市、南到平度市,大体沿玲珑岩基与前寒武纪变质地层接触带延伸,长逾120km,总体呈NNE向“S”形展布,为区域控岩、控矿断裂。空间上可分为3段:北段由招远城区向北经前花园、台上村至九曲村分支为九曲蒋家断裂和破头青断裂,发育有东风、台上、大磨曲家、玲珑等金矿床,其中九曲蒋家断裂走向为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,倾向SE,倾角为 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ;破头青断裂产状与前花园-九曲段相近,走向为 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ,倾向SE,倾角为 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。中段招远-夏甸段,走向为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ,倾向SEE,倾角为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,宽为30~60m,最宽为80m,发现有大尹格庄、夏甸、姜家窑、曹家洼等金矿床。南段为山后-山旺段,总体走向约为 $45^{\circ}$ ,倾向SE,倾角约为 $45^{\circ}$ ,发现有山后、北泊、南墅、山旺等金矿床。NW向碎石山断裂与招平主断裂南段次级涧里断裂交汇并发育有旧店金矿床(图2)(徐述平,2009;刘述敏等,2016;张瑞忠,2017;单伟等,2018;刘国栋等,2019)。

招平断裂带中-南段主断裂以东为胶东岩群、唐家

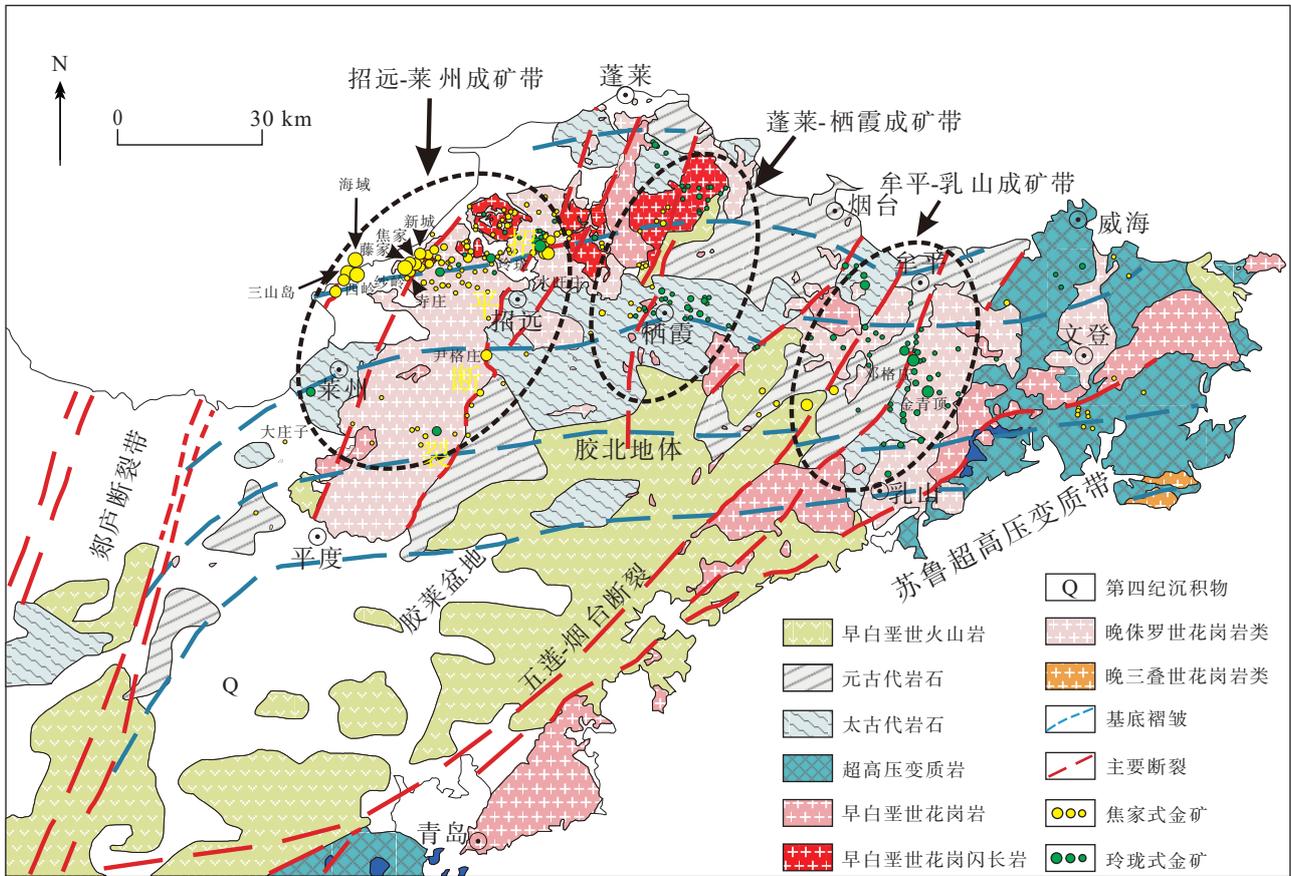


图1 胶东地区地质简图及金成矿带与金矿床分布图(据郭春影, 2009; 程南南, 2020; 范宏瑞等, 2021 修改)

Fig. 1 The geological map of the Jiaodong area and the distribution map of gold metallogenic belt and gold deposit

庄岩群、荆山群,以麻粒岩、变粒岩、大理岩、角闪岩为主。主断裂以西为中生代侏罗纪玲珑序列花岗岩。区内构造除招平断裂及大量分布的次级断裂外,还包括大尹格庄、黑虎山、猪脚山、碎石山等一系列断裂构造。本次研究共在6个矿区开展了以物探、化探和岩心编录为主的实地调查(包括山后、北泊、吴家洼、斜岭前、邛家、山里石家)(图2、图3),收集和整理了周边13个矿区资料(大尹格庄、曹家洼、留仙庄、道北庄子、姜家窑、夏甸、灵雀山、上庄、南墅、涧里、下庄、旧店、山旺)。在19个矿区中,16个为蚀变岩型金矿,是中-南段数量最多、规模最大、金资源量最丰富的金矿类型;其余3个为石英脉型金矿(灵雀山、邛家、旧店)。此外,在招平主断裂两侧还可见零星分布的石英脉型矿(化)体,多数已被开采,现场可见浅坑、竖井、平硐等痕迹。

### 3 金矿床类型及地质特征

#### 3.1 蚀变岩型金矿

相比石英脉型金矿,蚀变岩型金矿平均品位低、

变化稳定,成矿规模和储量较高。赋矿围岩主要为玲珑序列花岗岩,矿体多呈脉状、似层状,矿化蚀变以黄铁绢英岩化为主。矿化类型主要为黄铁绢英岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩和黄铁绢英岩化花岗岩。含矿岩石主要为浸染状、脉状、角砾状构造。黄铁矿是最主要的金属矿物,其次为黄铜矿、方铅矿等。对区内不同矿段典型蚀变岩型矿床统计(表1),金以微粒、细粒金为主,偶见极少量巨粒金,赋存状态主要有包体金、晶隙金、裂隙金(图4)。包体金完全包含于载金矿物中,与载金矿物边界圆滑平整,表明金粒先于载金矿物晶出。晶隙金赋存于载金矿物粒间,与载金矿物几乎同时晶出。裂隙金赋存于载金矿物的裂隙中,晚于载金矿物晶出。区内典型蚀变岩型矿床不同标高金赋存状态统计结果显示,由浅部至深部,裂隙金和晶隙金含量逐步降低,包体金含量逐步上升,浅部以晶隙金为主,向深部逐渐过渡为包体金为主(表2,图5),表明金与载金矿物的晶出顺序受到成矿深度的控制和影响,浅部金与载金矿物近乎同时晶出,随着深度增加,金可能逐渐早于载金矿物晶出,即区域构

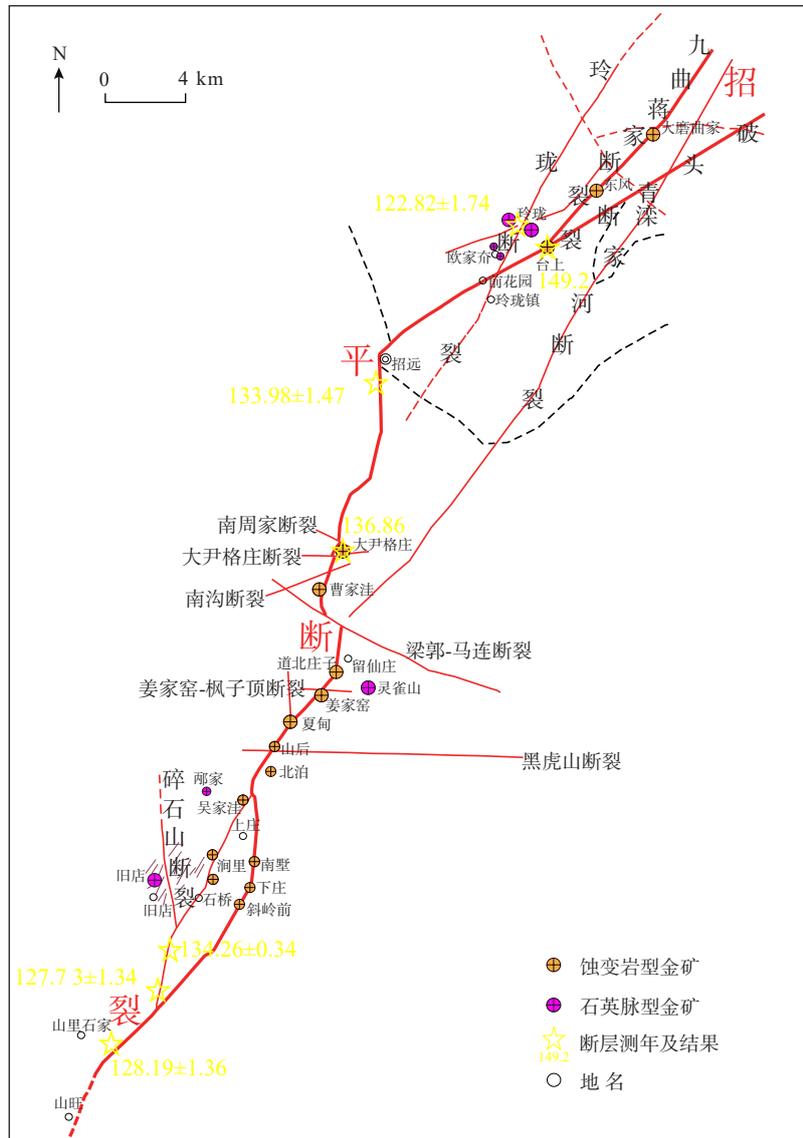


图2 招平断裂带金矿床与断层测年分布简图

Fig. 2 The distribution diagram of gold deposits and fault dating in the Zhaoping fault zone

造不仅控制了矿脉的产出形态,也影响了金的晶出顺序和赋存状态。

### 3.2 石英脉型金矿

研究区内石英脉型金矿距离主断裂相对较远,上、下盘均可赋矿,如灵雀山金矿主要产于上盘的前寒武纪变质地层中。含金石英脉走向和倾角多样,倾角一般大于 $50^{\circ}$ ,少数矿脉出现局部反倾现象。矿体多呈脉状、透镜状、豆荚状,赋矿围岩绢英岩化、硅化蚀变强烈。单矿脉一般规模较小,多以脉群的形式呈帚状或雁列式产出。矿石类型为含金石英脉,乳白色,油脂光泽,外表相对浑浊,矿石呈晶粒、交代残余、充填结构,块状、条带状、浸染状构造,硫化物含量相对较

高。Au品位在倾向和走向上变化较大,石英脉膨大部位含矿性较好。金主要以细粒金、次显微金的形式断续赋存在多金属硫化物石英脉的裂隙中,金属矿物种类和类型与蚀变岩型金矿类似。

## 4 断裂构造控矿规律

### 4.1 断裂构造与金矿的空间关系

胶东金矿总体表现出区域构造控制成矿区带、矿田构造控制矿床、矿区构造控制矿体以及强烈变形裂隙带控制矿脉的特征(牛树银等,2016)。金矿化的空间分布严格受断裂构造的控制,并明显表现出多级有

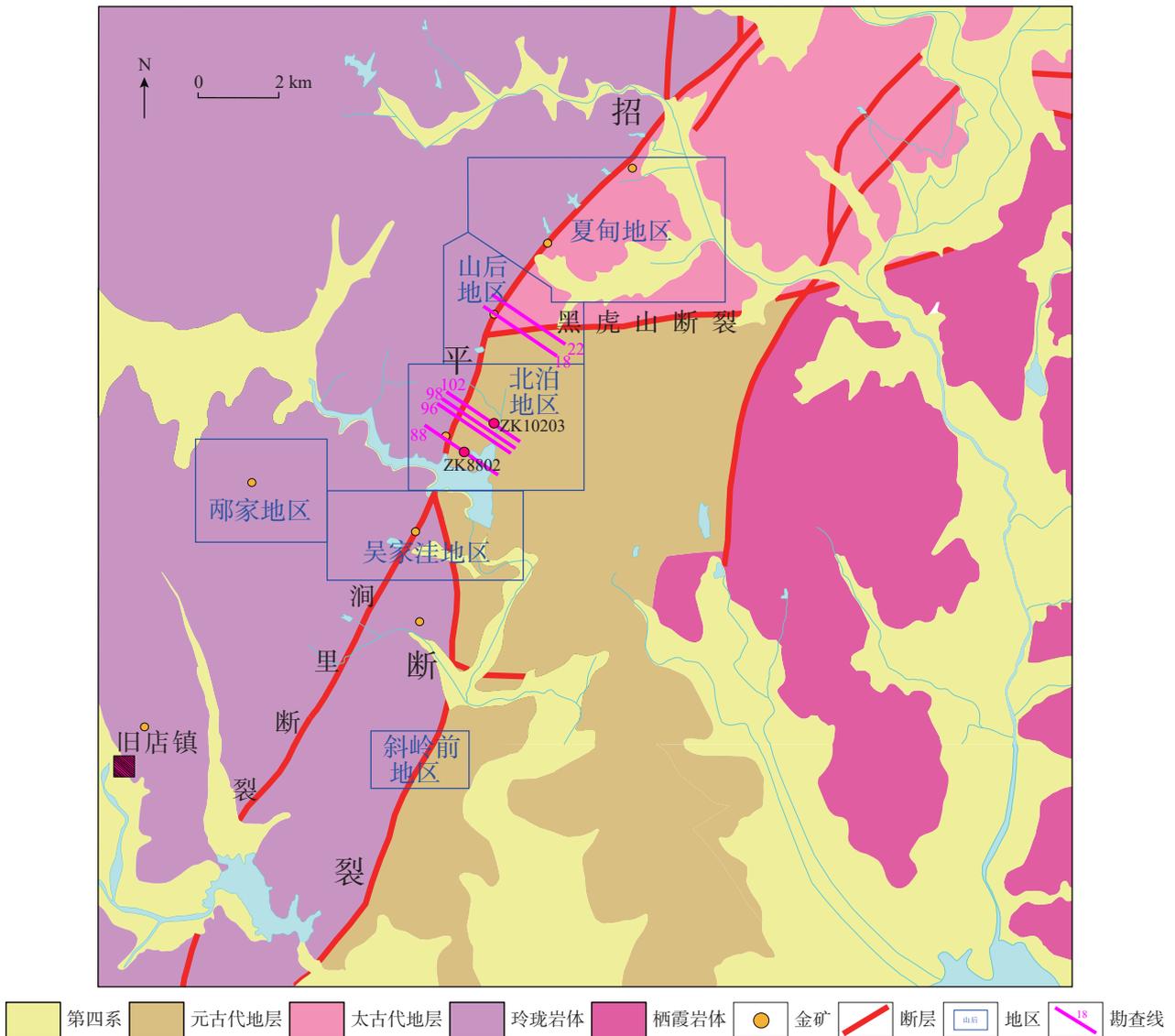


图3 招平断裂带夏甸-斜岭前矿段地质简图

Fig. 3 The geological map of Xiadian-Xielingqian mining area in Zhaoping fault zone

表 1 招平断裂带中-南段金矿物粒度特征

Tab. 1 The grain size characteristics of gold minerals in the middle-south section of the Zhaoping fault zone

粒度 (mm)/百分比 (%)	微粒 ( $\leq 0.01$ )	细粒 (0.01~0.037)	中粒 (0.037~0.074)	粗粒 (0.074~0.295)	巨粒 ( $> 0.295$ )
大尹格庄	41.24	32.65	18.9	6.87	0.34
姜家窑	19.28	55.42	22.89	2.41	0
山后	20.17	39.5	25.21	15.13	0
北泊	47.6	40	5.5	6.9	0
上庄	54.5	41.2	3.4	0.9	0

序的特点。断裂构造交汇处是金成矿的有利位置。在招平断裂带中段,近 EW 向大尹格庄断裂错断招平主断裂并成为大尹格庄金矿容矿构造的主体;在招平断裂带南段,近 EW 向黑虎山断裂与招平主断裂交汇,

控制了山后、北泊金矿;在北墅水库以南至大王头村地区,招平主断裂与 NNE 向、延长十余千米的涧里断裂分支复合,控制了涧里、上庄等中小型金矿(图 2)。蚀变岩型金矿在招平主断裂和次级断裂中广泛分布,

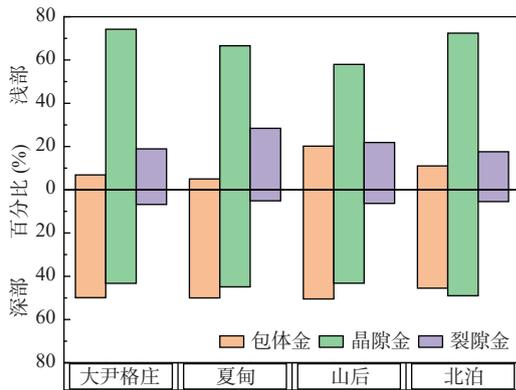


图4 招平断裂带中-南段金矿床不同标高金矿物赋存状态对比

Fig. 4 The comparison of occurrence states of gold minerals at different elevations in the gold deposits in the central and southern sections of the Zhaoping fault zone

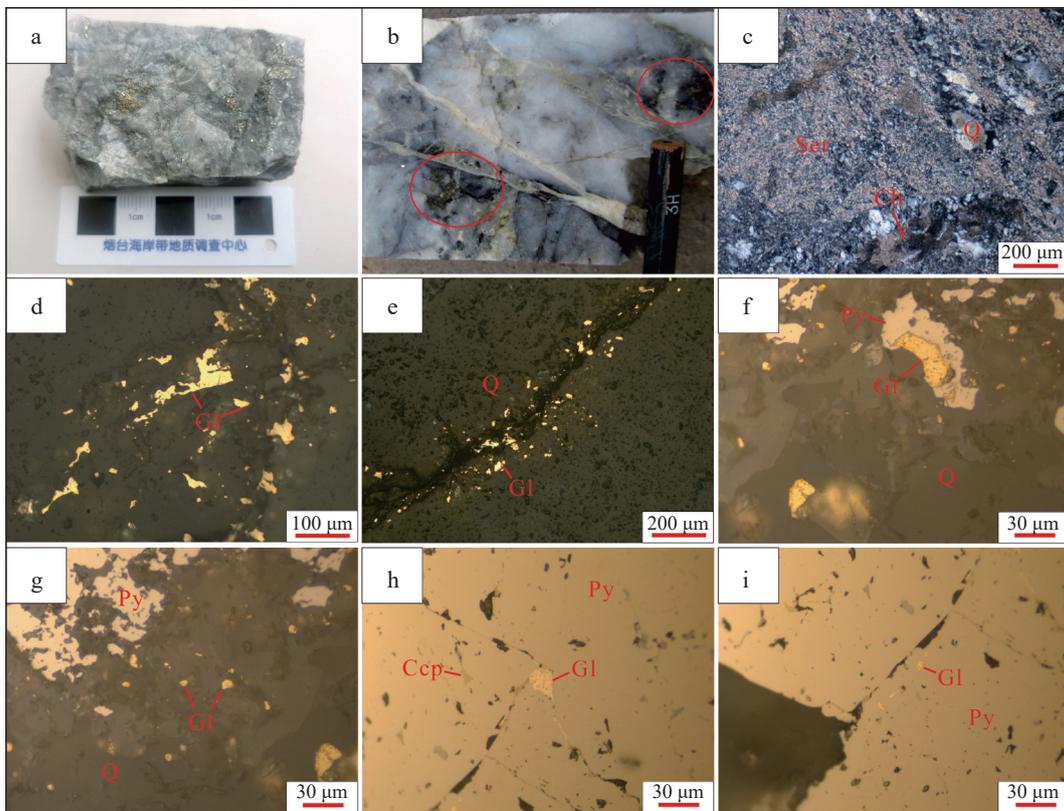
主断裂规模大、延伸长, 经历多期构造叠加形成具有较大扩容空间和连通性的构造破碎带, 是矿液运移和聚集的主要通道和场所, 即构造破碎带既导矿又容矿,

表2 招平断裂带中-南段金矿床不同标高金矿物赋存状态对比表

Tab. 2 The comparison table of gold mineral occurrence state in different elevations of gold deposits in the middle-south section of the Zhaoping fault zone

金矿床/金赋存状态 (%)	大尹格庄	夏甸	山后	北泊	标高(m)
包体	6.87	5	20.17	11.03	浅部 (+120~-120)
晶隙	74.23	66.6	57.98	72.41	
裂隙	18.9	28.4	21.85	17.56	
包体	49.9	51	50.5	45.5	深部 (-400~-826)
晶隙	43.3	44.9	43.2	49	
裂隙	6.8	5.1	6.3	5.5	

因此主断裂带金矿规模和赋存资源量往往高于次级断裂。石英脉型金矿则主要受 NE-NNE 向次级断裂控制, 控矿断裂较窄, 构造破碎程度较低, 容矿与控矿构造并不完全一致。例如, 近 EW 向断裂是灵雀山金矿的容矿构造主体(郑培玺, 2006)。



a.黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩; b.黄铁矿化石英脉; c.黄铁绢英岩; d.粗颗粒金赋存于石英晶隙或裂隙; e.粗颗粒金赋存于石英晶隙或裂隙; f.自然金赋存于黄铁矿与石英晶隙; g.自然金赋存于石英晶隙; h.自然金赋存于黄铁矿晶隙; i.自然金赋存于黄铁矿中; Py.黄铁矿; Gl.自然金; Q.石英; Ccp.黄铜矿; Ser.绢云母; Cb.碳酸盐矿物

图5 矿石及镜下照片

Fig. 5 The ore and microscopic photos

招平断裂带中-南段地球物理、岩心钻探和勘查线剖面的证据表明, 招平断裂带在深部延伸稳定。以招平断裂带中段与南段接触带的山后金矿为例, 两条平行的 3 000 m 可控源音频大地电磁测量(CSAMMT)剖面(图 3、图 6)二维反演结果显示, 招平断裂带具有稳定清晰的断裂面, 延伸超过 1 500 m, 上、下盘电阻率差异明显, 下盘深红色为电阻率较高的花岗岩体, 局部存在地层残留体, 上盘浅红色和蓝色为电阻率相对较低的荆山群, 局部推测存在陡倾断裂。

以紧邻山后的北泊矿区为例, 勘查结果显示主断裂呈 NNE 向贯穿矿区, 发育有 1 号脉(主矿脉)和数条小矿脉, 金矿类型以赋存于破碎蚀变带中的蚀变岩型为主并伴有少量产出于上盘变质岩中的富金石英脉。以北泊矿区内 96、98、102 勘查线(图 3)及 ZK9 601 等 9 个钻孔数据, 绘制联合剖面图(图 7), 以中-南段山后矿区 39 个钻孔(工程)中的金元素基本分析和岩

心编录数据, 绘制断裂倾角变化与品位×厚度关系图(图 8)。可以看出, 金矿(化)体主要分布在断层泥以下的破碎蚀变带中, 多与招平主断裂近平行产出, 规模与破碎蚀变带厚度不完全一致。矿(化)体沿倾向和走向均呈舒缓波状延伸, 膨缩现象明显, 具尖灭再现规律, 破碎蚀变带内在垂向上可存在多条矿(化)体。断层倾角曲线与品位×厚度曲线总体上呈负相关, 表明缓倾断层或断层倾角变缓部位更有利于 Au 元素的富集。

#### 4.2 断裂构造与蚀变的空间关系

通过对招平断裂带南段的山后、北泊、吴家洼、斜岭前矿区(图 3)和北段大磨曲家、滕家矿区近百个钻孔的岩心编录资料进行分析和整理, 进一步总结了招平主断裂构造-蚀变-矿化分带特征(表 3)。表中可见, 招平断裂带中心主体由断层泥、碎裂岩组成, 蚀变以硅化、碳酸盐化、绢英岩化为主, 见弱的黄铁矿化。

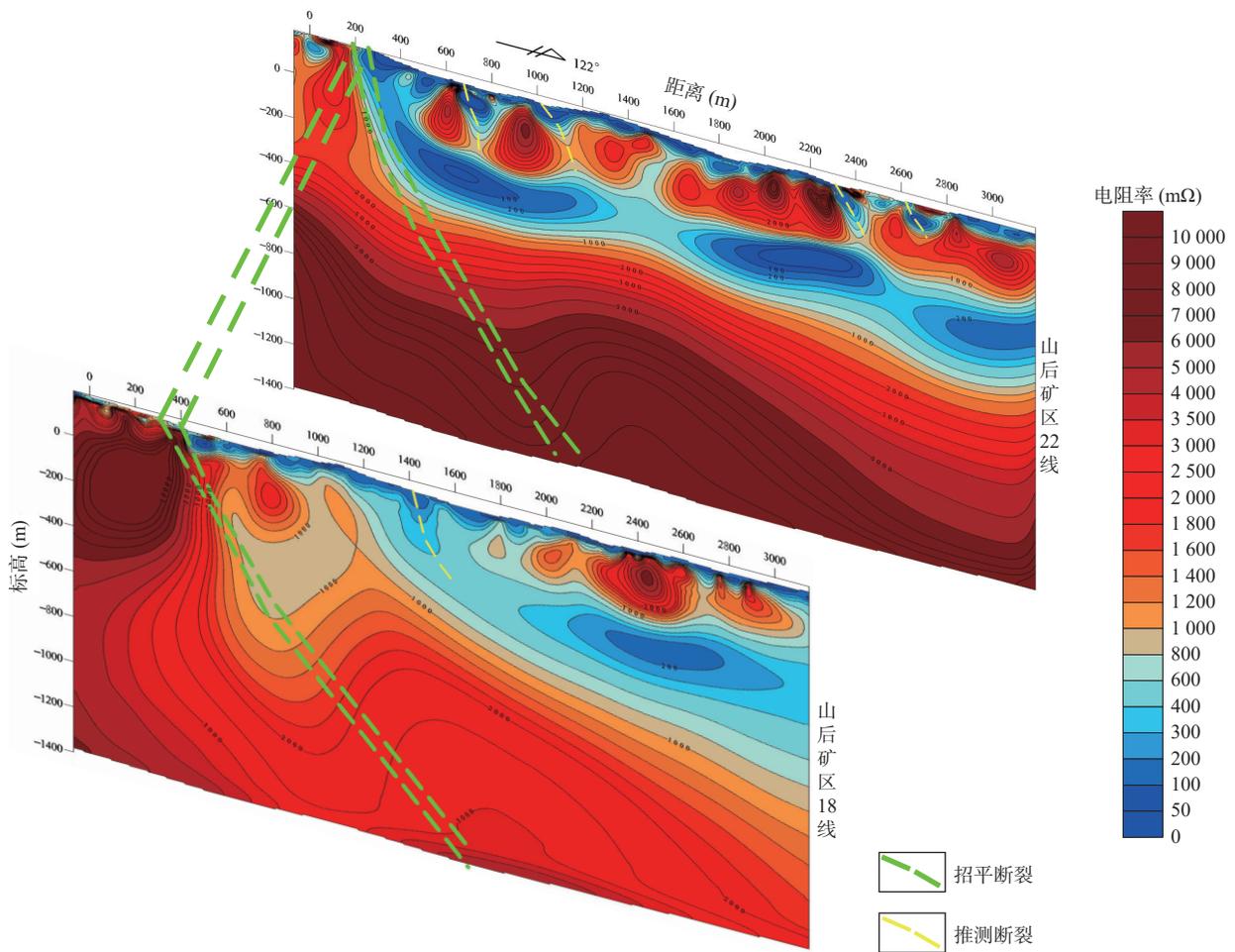


图 6 山后矿区电阻率二维反演结果

Fig. 6 Two-dimensional inversion results of resistivity in the Shanhou mining area

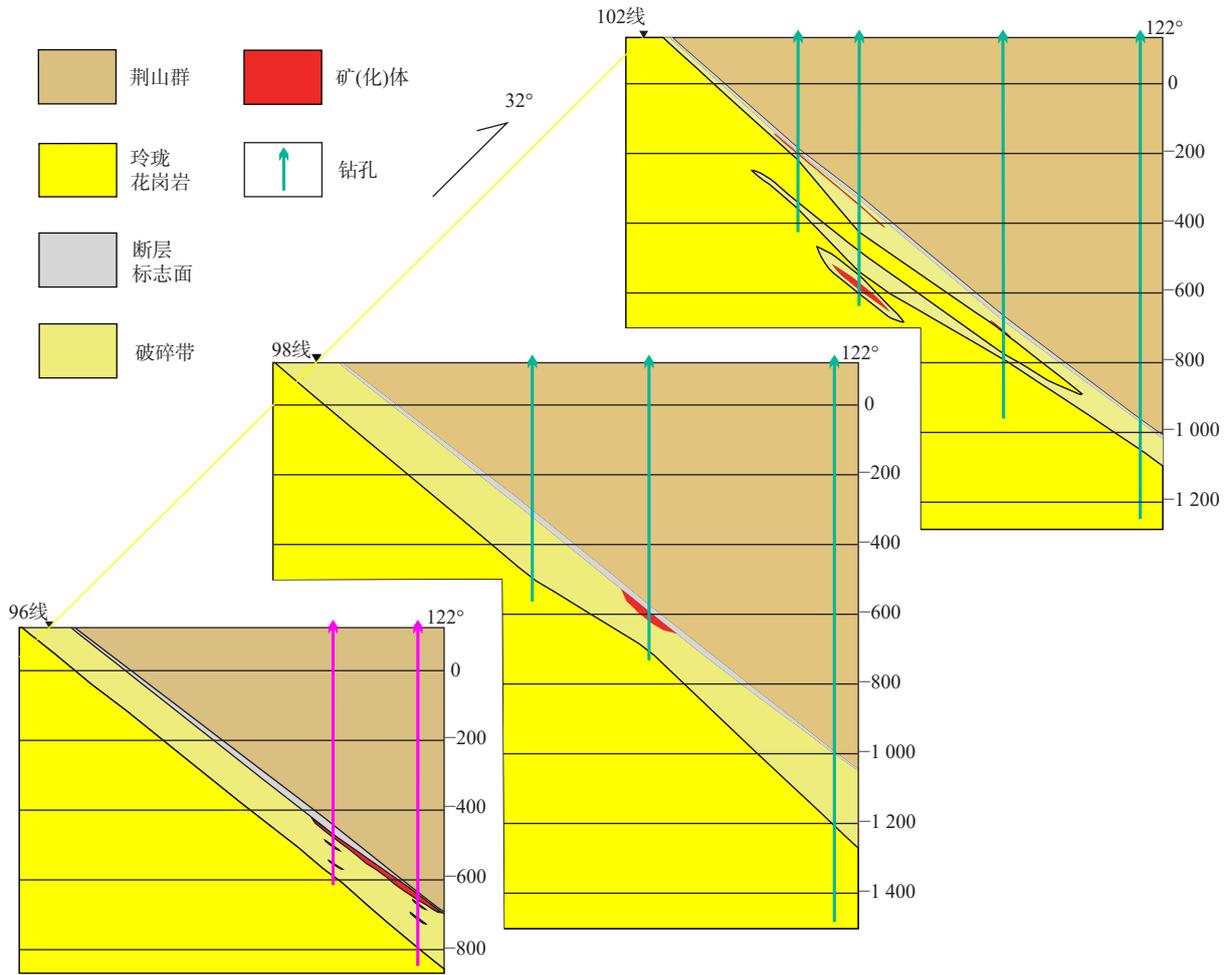


图7 北泊矿区 96-98-102 线联合剖面图

Fig. 7 The combination profile of 96-98-102 line in the Beibo mining area

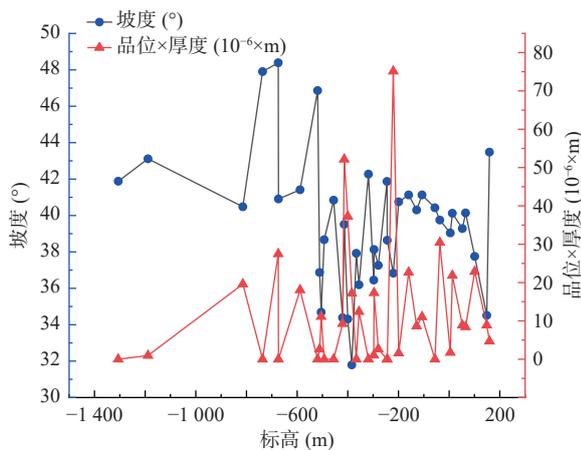


图8 山后金矿床断裂倾角变化与品位×厚度关系图

Fig. 8 The relationship between fracture dip angle change and grade×thickness of Shanhou gold deposit

断层带上盘,从断层中心向上依次为长英质角砾岩、碎裂岩、碎裂岩化岩石,蚀变从绢英岩化依次过渡到

硅化、钾化,见星点状黄铁矿,随着远离断裂,矿化蚀变逐渐减弱。断层带下盘,从中心向下依次为粗糜棱岩、花岗质角砾岩、碎裂花岗岩、花岗岩;蚀变以绢英岩化为主,远离断层逐渐过渡为硅化、钾化;矿化最强,以浸染状、团块状、短脉状、细脉状矿化为主,远离断层矿化蚀变逐渐减弱。总之,断层带由中心向两侧变形强度和蚀变程度逐渐降低,上、下盘构造和蚀变呈不完全对称带状分布,下盘绢英岩化岩石为金矿化最有利的部位,上盘前寒武纪变质地层中也可见少量含金石英脉。

### 4.3 断裂构造与元素异常分布

同一类型或同一矿化带上的金矿床,金及伴生组分在空间分布上有一定的规律性(郭光裕等, 2002)。在研究区内开展 1 : 10 000 岩石地球化学剖面测量,选取北泊矿区见矿(最高 Au 品位  $\geq 0.8 \times 10^{-6}$ )的 ZK8 802 钻孔和未见矿的 ZK10 203 钻孔进行对比分析

表 3 招平主断裂构造-蚀变-矿化分带特征表(据徐述平, 2009 修改)

Tab. 3 The Zhaoping main fault structure-alteration-mineralization zoning characteristics table

位置	带号	构造分带	蚀变分带	组构特征	矿化分带	金矿化强度	岩石名称	备注
断裂上盘	4	前寒武纪变质岩石	钾化、弱硅化	不同种类岩石组构特征不同	弱黄铁矿化	极弱	角闪岩、麻粒岩、大理岩、花岗岩、TTG 片麻岩等	局部产出小规模含金石英脉群
	3	碎裂状(片麻状)花岗岩	钾化、弱硅化	浅肉红色, 变余碎裂结构、块状构造	星散状黄铁矿化	弱	碎裂状(片麻状)花岗岩	
	2	长英质碎裂岩	硅化、绢云母化	灰-浅灰绿色, 变余碎裂结构、斑杂构造、块状构造	星散状黄铁矿化	弱	绢英岩化长英质碎裂岩	局部矿区缺失该构造-蚀变分带, 断层泥以上为大理岩、斜长角闪岩等
	1	长英质角砾岩	绢英岩化	灰-浅灰绿色, 变余角砾结构、斑杂构造	星散状黄铁矿化	弱	绢英岩化长英质角砾岩	
主裂面		断层泥	黏土化	灰黑色(已固结), 青灰色、灰白色(未固结)	局部含少量石墨		断层泥、高岭土、黏土	
	0	断层角砾	硅化、碳酸盐化、绢英岩化等	棱角状、次棱角状、磨圆状, 角砾状结构, 块状构造	弱黄铁矿化	弱	角闪岩角砾、大理岩质角砾、长英质角砾等	相互混杂、胶结, 与上下围岩多呈渐变接触, 部分接触面角度不规则, 局部有煌斑岩等脉岩侵入
		碎裂状变质岩、少量碎裂状花岗岩		灰白色、灰黑色, 碎裂结构、(弱)糜棱结构, 块状构造	弱黄铁矿化		碎裂岩类、各类碎斑	
断裂下盘	1	糜棱岩化构造透视镜体(构造片岩)	黄铁绢英岩化	灰-浅灰绿色, 变余糜棱结构、条带状构造	浸染状矿化	中等	黄铁绢英岩化糜棱岩	局部糜棱岩(化)不明显
	2	花岗质角砾岩	黄铁绢英岩化	灰-浅灰绿色, 变余角砾结构、斑杂状构造	浸染状、团块状、短脉状矿化	强	黄铁绢英岩化角砾岩	
	3	花岗质碎裂岩	黄铁绢英岩化	灰-灰白色, 变余碎裂结构、斑杂状构造、脉状、网脉状构造	细脉浸染状、网脉状矿化	强	黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩、黄铁绢英岩化碎裂岩	金矿化主要部位
	4	碎裂状花岗岩	钾化、硅化、弱绢英岩化	浅肉红色, 变余碎裂结构、块状构造、细脉状构造	细脉状矿化	弱	碎裂状花岗岩、钾化花岗岩	局部出现中等矿化
	5	玲珑序列花岗岩	钾化等	花岗结构, 块状构造	不明显	极弱	花岗岩	煌斑岩等脉岩侵入

注: 带号0代表主断裂, 带号数值越高表示距离主断裂越远。

(图 3、图 9、图 10), 同时对山后-北泊矿段多个钻孔揭露的断层泥和构造蚀变带中的样品开展元素相关系数计算(图 11)。图中可见, 招平断裂对成矿元素的控制作用显著, 由围岩到破碎蚀变带再到围岩, Au 元素

总体呈现低-高-低的变化趋势。断层泥以下的绢英岩化蚀变带是 Au 元素出现异常的主要部位, Ag、Pb、Bi 在 Au 元素富集时也会呈现异常高值, 破碎蚀变带厚度与 Au 元素异常规模无明显的线性关系。元素相

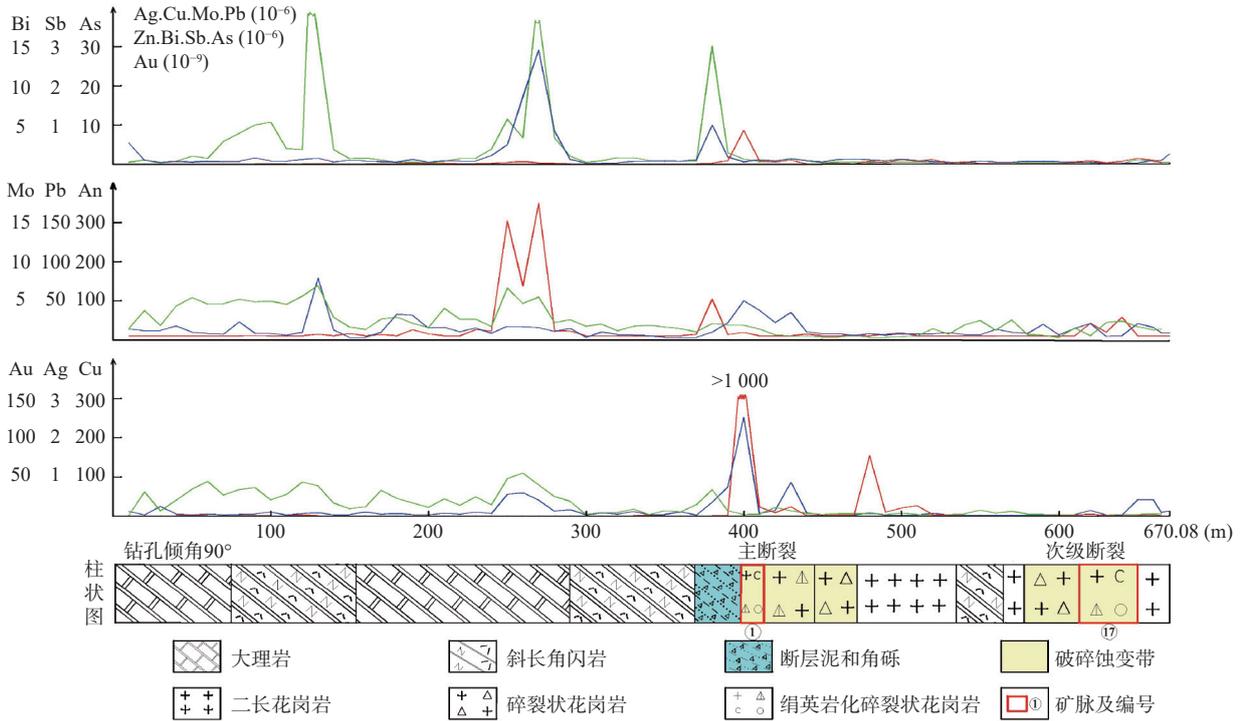


图9 北泊矿区 ZK8 802 钻孔地化剖面图

Fig. 9 The geochemical profile of ZK8 802 borehole in the Beibo mining area

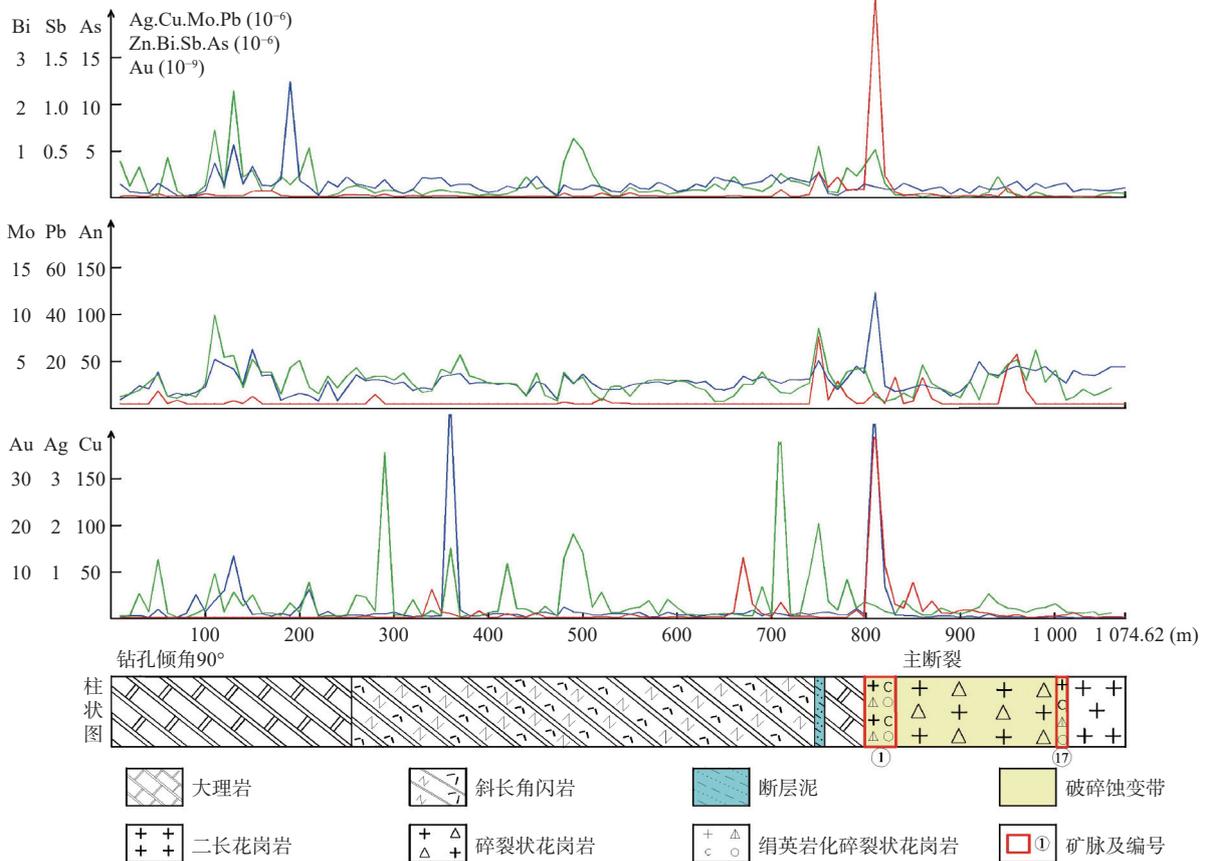


图10 北泊矿区 ZK10 203 钻孔地化剖面图

Fig. 10 The geochemical profile of ZK10 203 borehole in the Beibo mining area

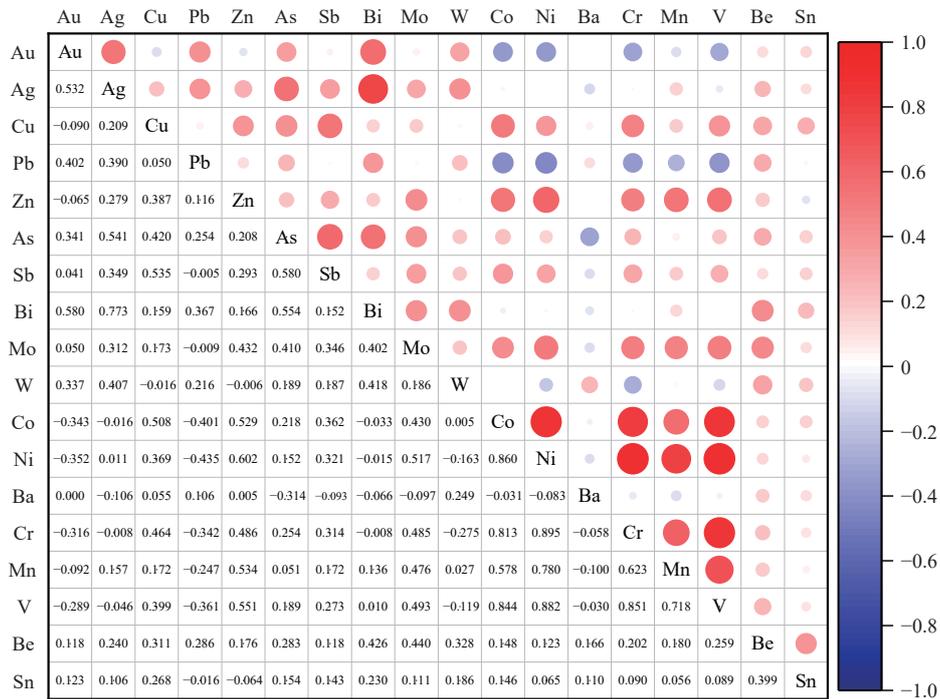


图11 山后-北泊矿区地球化学分析元素的相关系数矩阵

Fig. 11 The correlation coefficient matrix of geochemical analysis elements in Shanhou-Beibo mining area

关系数计算也表明, 断层泥和破碎蚀变带中的 Au 与 Ag、As、Pb、Bi 元素相关性紧密, 同时 As、Ag 与 Sb 的相关系数较高。在主断裂上盘, Au 呈现较低值, Ag、Cu、Mo、As、Sb 等元素局部富集, 变化幅度较大, 与 Au 元素异常分布未呈现直接联系。

4.4 断裂构造与成矿时代

确定断裂与金矿形成年龄是成矿规律研究的核

心内容之一。系统收集、整理了招平断裂带断层活动及金成矿年代数据(表 4)。招平断裂 5 个断层泥/构造岩中白云母 Ar-Ar 分析显示, 断裂活动时间段为 122.82~134.26 Ma, 两个断层泥中绿泥石 K-Ar 分析结果为 136.86~149.2 Ma。玲珑等 7 个金矿床的 18 个矿石和侵入岩中的云母 Ar-Ar 分析结果介于 115.6~133.37 Ma, 13 个矿石和蚀变带中的黄铁矿/石英/云母

表 4 招平断裂带金成矿与断层活动性测年统计

Tab. 4 The statistics of Zhaoping fault zone gold mineralization and fault dating

矿区/地点	测年结果(Ma)	矿物	岩石	方法	来源	备注
玲珑	117.98±1.20	白云母	黄铁绢英岩	Ar-Ar	王来明等, 2020	
玲珑	119.40±1.24	白云母	石英脉	Ar-Ar	王来明等, 2020	
玲珑	121.79±2.64	白云母	石英脉	Ar-Ar	王来明等, 2020	
玲珑	101±4	绢云母	黄铁绢英岩	Rb-Sr	张振海等, 1994	
玲珑	111.4±2.8	绿泥石等蚀变矿物和绢英岩		Rb-Sr	张振海等, 1994	
玲珑	126.6±7.5	石英包裹体		Rb-Sr	李华芹等, 1993	金成矿时代
玲珑	123.7±1.5	黑云母	黑云母二长岩	Ar-Ar	申玉科 2016	
玲珑	121.6±2.4	石英晶粒	石英脉	Rb-Sr	Li et al., 2008	
玲珑	120±6.7	黄铁矿	绢云母蚀变带	Rb-Sr	Li et al., 2008	
玲珑	119.9±1.3	绢云母	绢云母化裂隙带	Rb-Sr	Li et al., 2008	
玲珑	121.4±2.4	绢云母	绢云母蚀变带	Rb-Sr	Li et al., 2008	
玲珑	120.0±4.6	独居石	硫化物石英脉	U-Pb	Deng et al., 2020	

续表 4

矿区/地点	测年结果 (Ma)	矿物	岩石	方法	来源	备注
玲珑	112±2	水白云母	金矿石	Rb-Sr	骆万成等, 1987	
玲珑	111±2	水白云母	金矿石	K-Ar	骆万成等, 1987	
玲珑	121.8±3.5	黄铁矿	(石英脉)矿石	Rb-Sr	杨进辉等, 2000	
玲珑	121.6±8.1	黄铁矿	(石英脉)矿石	Rb-Sr	杨进辉等, 2000	
玲珑	122.5±3.1	黄铁矿	(石英脉)矿石	Rb-Sr	杨进辉等, 2000	
阜山	121.1±0.3	白云母	硫化物石英脉	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
阜山	120.0±0.2	白云母	硫化物石英脉	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
阜山	119.8±0.2	白云母	硫化物石英脉	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
大尹格庄	119.1±1.2	绢云母	黄铁绢英岩	Ar-Ar	Yuan et al., 2019	
大尹格庄	115.60±1.16	白云母	黄铁绢英岩	Ar-Ar	王来明等, 2020	
大尹格庄	118.54±1.20	白云母	黄铁绢英岩	Ar-Ar	王来明等, 2020	
大尹格庄	130.52±0.52	绢云母	金矿石	Ar-Ar	Yang et al., 2014	金成矿时代
大尹格庄	128.67±0.50	白云母	金矿石	Ar-Ar	Yang et al., 2014	
大尹格庄	133.37±0.56	绢云母	金矿石	Ar-Ar	Yang et al., 2014	
大尹格庄	126.80±0.59	绢云母	多金属矿石	Ar-Ar	Yang et al., 2014	
大尹格庄	144.8±1.8	黄铁矿	矿石等	Re-Os	李洪奎等, 2016	
夏甸	120.0±1.4	独居石	硫化物石英脉	U-Pb	Ma et al., 2017	
夏甸	116.1±0.3	白云母	浸染状矿石	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
夏甸	117.4±0.3	白云母	浸染状矿石	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
夏甸	119.3±8.4	金红石	黄铁绢英岩	U-Pb	叶广利等, 2023	
灵雀山	116±12	石英	硫化物石英脉	Rb-Sr	郑培玺等, 2007	
芝山	119±5	石英	含金石英脉	Rb-Sr	郑培玺等, 2006	
罗山	117.0±0.2	白云母	浸染状矿石	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
罗山	119.2±0.3	白云母	浸染状矿石	Ar-Ar	Zhang et al., 2020	
玲珑	122.82±1.74	白云母	断层泥	Ar-Ar	程南南等, 2021	
招远市南	133.98±1.47	白云母	糜棱岩	Ar-Ar	Charles et al., 2013	
张美乔北	127.73±1.34	白云母	脆性正断层面	Ar-Ar	Charles et al., 2013	
云山观西	128.19±1.36	白云母	脆性正断层面	Ar-Ar	Charles et al., 2013	断层测年
水磨涧南	134.26±0.34	白云母	构造片岩	Ar-Ar	林文蔚等, 2000	
大尹格庄	136.86	绿泥石	断层泥	K-Ar	邓军等, 1996	
台上	149.2	绿泥石	断层泥	K-Ar	邓军等, 1996	

Rb-Sr 测试结果为 101~126.6 Ma, 3 个矿石和脉岩中的金红石/独居石 U-Pb 分析数据集中于 119.3~120 Ma, 1 个矿石中水白云母 K-Ar 结果为 111 Ma, 1 个矿石中黄铁矿 Re-Os 结果为 144.8 Ma。36 组测年结果中, 最大值和最小值分别为 144.8 Ma 和 101 Ma, 其余 34 组数据分布于 111.4~133.37 Ma, 集中于 120 Ma 前后(图 2、图 12), 显示招平断裂带金成矿事件主要发

生在 120 Ma 前后。

招平断裂活动时代略早于金矿形成时代, 金矿空间上受断裂带控制, 这种时空一致性表明招平断裂是金矿的主要控制因素。蚀变岩型和石英脉型金矿形成年龄几乎一致, 暗示招平断裂带蚀变岩型和石英脉型金矿是在同一构造条件下形成的不同金矿类型。

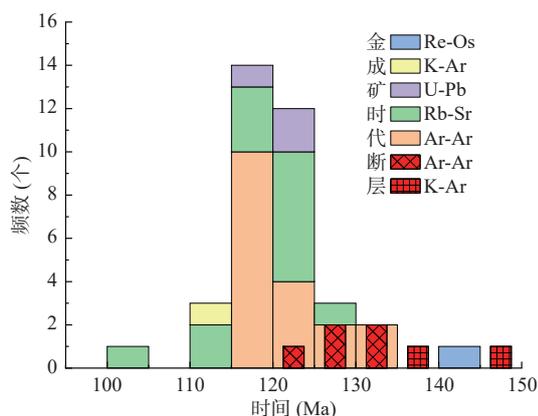


图12 招平断裂带金成矿与断层测年数据统计

Fig. 12 The statistics of Zhaoping fault zone gold mineralization and fault dating

## 5 结论

(1) 招平断裂带中-南段蚀变岩型金矿主要赋存在断裂下盘的绢英岩化蚀变带中, 石英脉型金矿多以脉群的形式赋存在次级断裂中。蚀变岩型金矿赋存状态受构造深度影响, 由浅部向深部, 裂隙金、晶隙金占比减少, 包体金占比增加。

(2) 断层倾角对蚀变岩型金矿有显著的控制作用, 缓倾角断层相对于陡倾角断层更有利于 Au 元素的富集。

(3) 断裂带上、下盘蚀变类型与强度不完全对称。主断裂带 Au、Ag、Pb、Bi 异常强度明显高于围岩, Au 与 Ag、As、Pb、Bi、Sb 元素相关性紧密。

(4) 招平断裂与金矿及其伴生的蚀变、矿化空间上高度一致, 形成时代近乎一致, 揭示招平断裂是金矿形成的主要和决定因素。

## 参考文献(References):

程南南, 石梦岩, 侯泉林, 等. 胶东地区控矿剪切带脆性变形时代的 Ar-Ar 年代学及其对成矿的制约[J]. *岩石学报*, 2021, 37(12): 3656-3672.

CHENG Nannan, SHI Mengyan, HOU Quanlin, et al. Ar-Ar Chronology of the Brittle Deformation Age for the Ore-controlling Shear Zones in the Jiaodong Peninsula and its Constrains on Gold Mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2021, 37(12): 3656-3672.

程南南. 剪切带型金矿的成矿特征及其应力化学过程探讨[D]. 北京: 中国科学院大学, 2020.

CHENG Nannan. The Metallogenic Characteristics of Shear Zone Type Gold Deposits and Discussion on its Stress Chemical Process[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2020.

邓军, 王庆飞, 张良, 等. 胶东型金矿成因模型[J]. *中国科学: 地球科学*, 2023, 53(10): 2287-2310.

DENG Jun, WANG Qingfei, ZHANG Liang, et al. Metallogenic Model of Jiaodong-type Gold Deposits, Eastern China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2023, 53(10): 2287-2310.

邓军, 徐守礼, 方云, 等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

丁正江. 胶东中生代贵金属及有色金属矿床成矿规律研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2014.

DING Zhengjiang. Study on Metallogenic Regularity of Mesozoic Precious and Non-ferrous Deposits in Jiaodong Peninsula[D]. Jilin: Jilin University, 2014.

冯李强, 顾雪祥, 章永梅, 等. 山东蓬莱石家金矿床含金黄铁矿微量元素地球化学特征及其对成矿流体的约束[J]. *西北地质*, 2023, 56(5): 262-277.

FENG Liqiang, GU Xuexiang, ZHANG Yongmei, et al. Trace Element Geochemical Characteristics of Gold-Bearing Pyrite from the Shijia Gold Deposit in Penglai, Shandong Province and Its Constraints on Ore-Forming Fluids[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(5): 262-277.

范宏瑞, 蓝廷广, 李兴辉, 等. 胶东金成矿系统的末端效应[J]. *中国科学: 地球科学*, 2021, 64(9): 1504-1523.

FAN Hongrui, LAN Tingguang, LI Xinghui, et al. Conditions and Processes Leading to Large-scale Gold Deposition in the Jiaodong Province, Eastern China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64(9): 1504-1523.

高建伟, 刘文卿, 邓会娟, 等. 胶东三山岛北部海域金矿蚀变特征与微量元素迁移规律[J]. *西北地质*, 2023, 56(1): 245-253.

GAO Jianwei, LIU Wenqing, DENG Huijuan, et al. Hydrothermal Alteration Characteristics and Migration Rules of Trace Elements in the North Sanshandao Sea Gold Deposit, Shandong, China[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(1): 245-253.

郭春影. 胶东三山岛-仓上金矿带构造-岩浆-流体金成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.

GUO Chunying. Tectonic Setting, Magmatic Sequence and Fluid of Gold Metallogenic System of the Sanshandao-Cangshang Fault in Jiaodong, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.

郭光裕, 林卓虹. 脉状金矿床深部大比例尺统计预测理论与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

黄鑫. 胶东大柳行金矿矿床特征及成因探讨[J]. *西北地质*, 2021, 54(4): 129-141.

HUANG Xin. Discussion on the Characteristics and Genesis of the

- Daliuhang Gold Deposit in Jiaodong[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(4): 129-141.
- 李洪奎, 耿科, 嵯传源, 等. 黄铁矿 Re-Os 法测年在胶东金矿中的应用初探[J]. *山东国土资源*, 2016, 32(4): 1-6.
- LI Hongkui, GENG Ke, ZHUO Chuanyuan, et al. Preliminary Application of Pyrite Re-Os Isotopic Dating in Jiaodong Gold Deposit[J]. *Shandong Land and Resources*, 2016, 32(4): 1-6.
- 李华芹, 刘家齐, 魏琳. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- 林文蔚, 赵一鸣, 徐珏. 胶东招远-平度断裂活动性质及活动时代[J]. *中国区域地质*, 2000(1): 44-51.
- LIN Wenwei, ZHAO Yiming, XU Jue. Active Properties and Age of Zhaoyuan-Pingdu Fracture Zone[J]. *Regional Geology of China*, 2000(1): 44-51.
- 刘国栋, 宋国政, 鲍中义, 等. 胶东招平断裂北段深部找矿新突破及对断裂空间展布的新认识[J]. *大地构造与成矿学*, 2019, 43(2): 226-234.
- LIU Guodong, SONG Guozheng, BAO Zhongyi, et al. New Breakthrough of Deep Prospecting in the Northern Section of the Zhaoping Fault Zone and the New Understanding of Fault Distribution in the Jiaodong District[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2019, 43(2): 226-234.
- 刘述敏, 张建伟, 王帅, 等. 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*, 2016, 52(3): 399-406.
- LIU Shumin, ZHANG Jianwei, WANG Shuai, et al. Gold Exploration Model and Prospecting Direction for the Southern Section of the Zhaoping Fault Zone in Northwestern Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2016, 52(3): 399-406.
- 刘振, 杜利明, 梅贞华, 等. 招平断裂侧伏规律的地球物理证据及其意义[J]. *桂林理工大学学报*, 2023, 43(3): 397-405.
- LIU Zhen, DU Liming, MEI Zhenhua, et al. Geophysical Evidence and Significance on Lateral Subduction Law of Zhaoping Fault[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2023, 43(3): 397-405.
- 骆万成, 伍勤生. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄[J]. *科学通报*, 1987(16): 1245-1248.
- 毛先成, 王春燧, 刘占坤, 等. 顾及构造改造的胶西北大尹格庄金矿床三维成矿预测[J]. *西北地质*, 2023, 56(5): 72-84.
- MAO Xiancheng, WANG Chuntan, LIU Zhankun, et al. Three-Dimensional Metallogenic Prediction with Integration of Structural Reconstruction at the Dayingezhuang Gold Deposit, Northwestern Jiaodong Peninsula[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(5): 72-84.
- 孟银生. 胶东招平金矿带厚覆盖区深部矿床综合地球物理勘查模型与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- MENG Yinsheng. Multiple Geophysical Prospecting Model and Metallogenic Prediction for Deep Deposit under the Thick Overburden Area of Zhaoping Gold Ore Belt, Jiaodong Peninsula[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2016.
- 牛树银, 孙爱群, 刘晓煌, 等. 胶东地区北泊金矿构造特征及其控矿作用[J]. *黄金科学技术*, 2016, 24(6): 1-7.
- NIU Shuyin, SUN Aiqun, LIU Xiaohuang, et al. Structural Characteristics and Its Ore-controlling Role of the Beibo Gold Deposit in Jiaodong Area[J]. *Gold Science and Technology*, 2016, 24(6): 1-7.
- 石启慧, 章永梅, 顾雪祥, 等. 山东蓬莱石家金矿床早白垩世镁铁质-长英质脉岩地球化学特征及其成因[J]. *西北地质*, 2023, 56(1): 99-116.
- SHI Qihui, ZHANG Yongmei, GU Xuexiang, et al. Geochemical Characteristics and Petrogenesis of the Early Cretaceous Mafic-Felsic Dykes in the Shijia Gold Deposit, Penglai, Shandong Province[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(1): 99-116.
- 单伟, 于学峰, 李洪奎, 等. 招平断裂带中段深部结构构造-来自地震剖面的证据[J]. *山东国土资源*, 2018, 34(5): 49-58.
- SHAN Wei, YU Xuefeng, LI Hongkui, et al. The Deep Structural Characteristics under the Middle of Zhaoping Fault Zone-Evidences Coming from Seismic Section Survey[J]. *Shandong Land and Resources*, 2018, 34(5): 49-58.
- 申玉科, 郭涛, 杨玉泉, 等. 玲珑金矿田黑云母二长岩的发现及其 Ar-Ar 热年代学意义[J]. *地质力学学报*, 2016, 22(3): 778-793.
- SHEN Yuke, GUO Tao, YANG Yuquan, et al. Discovery of Biotite Monzolit and Ar-Ar Thermochronology Significance in Linglong Gold Field[J]. *Journal of Geomechanics*, 2016, 22(3): 778-793.
- 王来明. 胶东地区中生代花岗岩调查及与金矿关系研究[R]. 济南: 山东省地质调查院, 2020.
- 徐方. 胶东地区中生代金矿床成矿规律与成矿模式[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2019.
- XU Fang. Metallogenic Regularity and Model of Gold Deposits During Mesozoic Precious in Jiaodong Peninsula[D]. Beijing: China University of Mining and Technology(Beijing), 2019.
- 徐述平. 招平断裂带金矿勘查模型与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- XU Shuping. Gold Exploration Model and Mineralization Prediction in Zhao-Ping Fault Zone[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2009.
- 杨进辉, 周新华. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J]. *科学通报*, 2000(14): 1547-1553.
- 杨经绥, 许志琴, 马昌前, 等. 复合造山作用和中国中央造山带的科学问题[J]. *中国地质*, 2010, 37(1): 1-11.
- YANG Jingsui, XU Zhiqin, MA Changqian, et al. Compound Orogeny and Scientific Problems Concerning the Central Orogenic Belt of China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1): 1-11.

- 杨立强, 邓军, 王偲瑞, 等. 含矿断裂蚀变带结构: 胶东招平金矿带例析 [A]. 首届全国矿产勘查大会论文集 [C]. 2021, 955-956.
- 杨立强, 邓军, 王中亮, 等. 胶东中生代金成矿系统 [J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2447-2467.
- YANG Liqiang, DENG Jun, WANG Zhongliang et al. Mesozoic Gold Metallogenic System of the Jiaodong Gold Province, Eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(9): 2447-2467.
- 杨立强, 邓军, 张良, 等. 胶东型金矿 [J]. *岩石学报*, 2024, 40(6): 1691-1711.
- YANG Liqiang, DENG Jun, ZHANG Liang, et al. Jiaodong-type Gold Deposit [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2024, 40(6): 1691-1711.
- 叶广利, 杨立强, 张良, 等. 胶东夏甸金矿床金红石成因判别与 U-Pb 定年 [J]. 岩石学报, 2023, 39(2): 340-356.
- YE Guangli, YANG Liqiang, ZHANG Liang, et al. Characteristics and in Situ U-Pb Dating of Rutile in Xiadian, Jiaodong Gold Province, Eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, 39(2): 340-356.
- 于晓卫, 王来明, 刘汉栋, 等. 胶东中生代花岗岩与金矿关系及成矿期划分 [J]. 地质学报, 2023, 97(6): 1848-1873.
- YU Xiaowei, WANG Laiming, LIU Handong, et al. The Relationship between Mesozoic Granite, Gold Deposits and the Division of Metallogenic Period in Eastern Shandong [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2023, 97(6): 1848-1873.
- 张瑞忠. 招平金矿带构造控矿机理及深部成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017.
- ZHANG Ruizhong. Structural Control on Gold Mineralization and Deep Metallogenic Forecast in Zhaoping Gold Belt, Jiaodong Peninsula, Eastern China [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东金矿同位素年龄的厘定 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- 赵睿. 招平断裂带金矿勘查模型与成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2016.
- ZHAO Rui. Tectonic Evolution and Gold Mineralization in the Jiaodong Peninsula [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.
- 郑培玺, 周燕, 王铁夫, 等. 山东招远灵雀山金矿床富金石英脉铷-锶等时线年龄讨论 [J]. *岩矿测试*, 2007, 26(5): 356-358.
- ZHENG Peixi, ZHOU Yan, WANG Tiefu, et al. Rb-Sr Isochron Age of Sulfide-rich Quartz Veins in Lingqueshan Gold Deposit from Zhaoyuan of Shandong Province [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2007, 26(5): 356-358.
- 郑培玺. 山东招远灵雀山金矿床地质特征及成因模式研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2006.
- ZHENG Peixi. A Study on the Geology and Metallogenic Model of Lingqueshan Gold Deposit in Zhaoyuan, Shandong Province. [D]. Jilin: Jilin University, 2006.
- Deng Jun, Qiu Kunfeng, Wang Qingfei, et al. In Situ Dating of Hydrothermal Monazite and Implications for the Geodynamic Controls on Ore Formation in the Jiaodong Gold Province, Eastern China [J]. *Economic Geology*, 2020, 115(3): 671-685.
- Li Qiuli, Chen Fukun, Yang Jinhui, et al. Single Grain Pyrite Rb-Sr Dating of the Linglong Gold Deposit, Eastern China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2008, 34(3): 263-270.
- Ma Weidong, Fan Hongrui, Liu Xuan, et al. Geochronological Framework of the Xiadian Gold Deposit in the Jiaodong Province, China: Implications for the Timing of Gold Mineralization [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017(86): 196-211.
- Charles Nicolas, Augier Romain, Gumiaux Charles, et al. Timing, Duration and Role of Magmatism in Wide Rift Systems: Insights from the Jiaodong Peninsula (China, East Asia) [J]. *Gondwana Research*, 2013, 24(1): 412-428.
- Shan Wei, Yu Xuefeng, Li Hongkui, et al. Interaction between Structures' Formation and Plutons Intrusion: An Seismic Profile Evident Coming from the Depth of Zhaoping Faults, Jiaodong Area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(2): 112-114.
- Wu Xiaodong, Zhu Guang, Yin Hao, et al. Origin of Low - Angle Ductile/Brittle Detachments: Examples From the Cretaceous Linglong Metamorphic Core Complex in Eastern China [J]. *Tectonics*, 2020, 39(9).
- Wang Jinli, Mao Xiancheng, Peng Cheng, et al. Three-Dimensional Refined Modelling of Deep Structures by Using the Level Set Method: Application to the Zhaoping Detachment Fault, Jiaodong Peninsula, China [J]. *Mathematical Geosciences*, 2023, 55(2): 229-262.
- Xu Zhihe, Ding Zhengjiang, Gu Guanwen, et al. Deep Exploration of Jiaodong Type Gold Deposit, taking Shanhou Gold Deposit, Southern part of Zhaoping Fault as an Example [J]. *Frontiers in Earth Science*, 2022, 10: 1-11.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Richard J. Goldfarb, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronological Constraints on the Formation of the Dayingezhuang Gold Deposit: New Implications for Timing and Duration of Hydrothermal Activity in the Jiaodong Gold Province, China [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25(4): 1469-1483.
- Yuan Zhongzheng, Li Zhanke, Zhao Xinfu, et al. New Constraints on the Genesis of the Giant Dayingezhuang Gold (Silver) Deposit in the Jiaodong District, North China Craton [J]. *Ore Geology Reviews*, 2019, 112: 103038.
- Zhang Liang, Roberto F. Weinberg, Yang Liqiang, et al. Mesozoic Orogenic Gold Mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: A Focused Event at  $120 \pm 2$  Ma During Cooling of Pregold Granite Intrusions [J]. *Economic Geology*, 2020, 115(2): 415-441.