



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2402010

引用格式:王立功,智云宝,王英鹏,等.胶莱盆地东北缘郭城-崖子金矿集区拆离构造控矿特征及成矿前景分析[J].科学技术与工程,2025,25(4):1359-1369.

Wang Ligong, Zhi Yunbao, Wang Yingpeng, et al. Ore-controlling characteristics and metallogenic prospect analysis of detachment structure in Guocheng-Yazi gold ore concentration area, northeastern margin of Jiaolai Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(4): 1359-1369.

# 胶莱盆地东北缘郭城-崖子金矿集区拆离构造控矿特征及成矿前景分析

王立功<sup>1,2</sup>, 智云宝<sup>1\*</sup>, 王英鹏<sup>1</sup>, 董健<sup>1</sup>, 王巧云<sup>1</sup>

(1. 山东省地质调查院, 济南 250013; 2. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要** 胶莱盆地东北缘郭城-崖子地区位于牟平-乳山金成矿带南段,是胶东地区重要的金成矿区,近年来陆续探明蓬家乔、土堆-沙旺、西井口、辽上、西涝口、前垂柳等中型-大型金矿床,累计探获金资源量超过 180 t。在地质填图、含矿构造调查、可控源音频大地电磁测深(controlled source audio-frequency magnetotelluric sounding, CSAMT)、钻探工程等野外工作的基础上,对矿体分布、物探特征、控矿构造和成矿规律进行分析,初步明确蓬家乔拆离断裂的西延位置,从西井口-辽上,向西延伸到郭城断裂,为蓬家乔、西井口、西涝口、前垂柳、辽上等金矿的控矿构造。鹤山变质核杂岩及其拆离断裂为该区金成矿作用的主要控矿构造及有利赋矿空间,是今后的勘查找矿工作中重要找矿靶区。该地区金矿集区的成矿深度主要为 5.01~7.93 km,金矿床整体刚被剥蚀出来,深部及外围具有良好的找矿潜力。

**关键词** 胶莱盆地东北缘;郭城-崖子地区;蓬家乔拆离断裂;鹤山变质核杂岩;成矿潜力

中图法分类号 P545 P617; 文献标志码 A

## Ore-controlling Characteristics and Metallogenic Prospect Analysis of Detachment Structure in Guocheng-Yazi Gold Ore Concentration Area, Northeastern Margin of Jiaolai Basin

WANG Li-gong<sup>1,2</sup>, ZHI Yun-bao<sup>1\*</sup>, WANG Ying-peng<sup>1</sup>, DONG Jian<sup>1</sup>, WANG Qiao-yun<sup>1</sup>

(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China;

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**[Abstract]** The Guocheng-Yazi area in the northeastern margin of the Jiaolai Basin is located in the southern section of the Muping-Rushan gold metallogenic belt. It is an important gold metallogenic area in the Jiaodong region. In recent years, medium-sized and large-scale gold deposits such as Pengjiakuang, Tuidi-Shawang, Xijingkou, Liaoshang, Xilaokou, and Qianchuilu have been successively explored. The cumulative amount of gold resources explored exceeds 180 t. Based on the field work of geological mapping, ore-bearing structure investigation, controlled source audio-frequency magnetotelluric sounding (CSAMT) and drilling engineering, the distribution of ore bodies, geophysical characteristics, ore-controlling structure and metallogenic regularity were analyzed. The western extension position of the Pengjiakuang detachment fault was preliminarily clarified. Extending westward from the Xijingkou to the Liaoshang to the Guocheng fault, which is the ore-controlling structure of Pengjiakuang, Xijingkou, Xilaokou, Qianchuilu, Liaoshang and other gold deposits. The Queshan metamorphic core complex and its detachment faults are the main ore-controlling structures and favorable ore-forming spaces for gold mineralization in this area, and are important prospecting targets in future exploration and prospecting work. The mineralization depth of the gold deposit concentration area in this area is mainly 5.01~7.93 km, and the gold deposit has just been eroded as a whole. The deep and peripheral areas have good prospecting potential.

**[Keywords]** northeast margin of Jiaolai Basin; Guocheng-Yazi area; Pengjiakuang detachment fault; Queshan metamorphic core complex; metallogenic potential

收稿日期:2024-03-20; 修订日期:2024-11-22

基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2020MD033);山东省地质勘查项目(鲁勘字(2023)2号,鲁勘字(2023)3号,鲁勘字(2018)19号,鲁勘字(2019)1号)

第一作者:王立功(1986—),男,汉族,山东临沂人,博士,高级工程师。研究方向:地质勘查及矿床学。E-mail:346020775@qq.com。

\*通信作者:智云宝(1978—),男,汉族,内蒙古呼和浩特人,硕士,正高级工程师。研究方向:地质勘查及矿床学。E-mail:27516999@qq.com。

胶莱盆地东北缘位于牟平-乳山金成矿带南段,是胶东地区新发现的重要金成矿区<sup>[1-2]</sup>,是中生代古太平洋板块向欧亚板块俯冲集中大规模成矿事件的响应<sup>[3-5]</sup>。近年来,在胶莱盆地东北缘的郭城-崖子地区陆续探明了蓬家夼(大型)、土堆-沙旺(大型)、辽上(特大型)、西涝口(大型)、西井口(中型)、前垂柳(中型)等一系列金矿床<sup>[6-9]</sup>,累计探获金资源量超过 180 t。2015 年以来,辽上金矿深部西涝口金矿床查明金资源量约 50 t,而蓬家夼、西井口、土堆-沙旺等金矿床矿体深度均较浅,深部及外围探矿一直未有突破。

近年来,前人从成矿地质特征、控矿因素、成矿规律、成岩成矿年代学、成矿流体、矿床成因等方面对该区开展了大量工作<sup>[10-16]</sup>,为该区金矿床的进一步勘查和研究奠定了基础。李国华等<sup>[13]</sup>根据矿床显著的特点将该地区金矿分为蓬家夼式、土堆式、辽上式和宋家沟式,矿体主要赋存于荆山群变质岩内部层间拆离构造(裂隙)、变质岩与玲珑二长花岗岩接触带、盆地内受穿盆构造控制的砾岩密集裂隙带中,认为盆底接触带、盆地下花岗岩与变质岩结构面是未来找矿重点关注地段。赵宝聚等<sup>[14]</sup>研究表明,龙口-土堆金矿床主要矿体受控于 NE 走向、SE 倾的左行压扭性断裂构造,并在构造的引张和产状变化部位形成厚大矿体。孙功伟<sup>[8]</sup>研究发现,土堆-沙旺矿区内控矿构造由 NNE 向转为 NEE 向且与 NW 向构造交会处是成矿有利部位。段留安等<sup>[15]</sup>通过前垂柳地区勘查工作,提出了前垂柳金矿区受控于 NE 走向断裂破碎带或者受控于 EW 向大型断裂破碎带的两种找矿思路。然而该区金矿床的构造控矿特征却复杂得多,以往该地区的找矿勘查及研究工作中,主要集中在北东向含矿构造的研究<sup>[14-16]</sup>,但对晚中生代以来区域伸展构造体制下形成的鹊山变质核杂岩及拆离断裂体系研究较少<sup>[8,17-18]</sup>,尤其该区近东西向蓬家夼拆离断裂是否西延及其控矿特征研究尚鲜见报道。

在分析前人对胶莱盆地东北缘金矿床控矿构造研究工作基础上,结合近年来在该区开展的地质填图、含矿构造调查、可控源音频大地电磁测深(controlled source audio-frequency magnetotelluric sounding, CSAMT)、钻探等工作,试对该区控矿构造进行剖析,总结成矿规律,对该区成矿潜力进行分析,以期为今后找矿工作提供参考。

## 1 成矿地质背景

研究区位于胶东半岛的中东部,大地构造位于华北板块(I级)、胶辽隆起区(II级)、胶北隆起

(III级)和胶莱拗陷(盆地)交界处<sup>[19-20]</sup>,西北为胶北地体,西南为胶莱盆地,东南为苏鲁超高压变质带,位于牟平-乳山金成矿带南段。

区域上出露地层主要为古元古界荆山群、中生界莱阳群、青山群、王氏群及新生界第四系(图 1)。荆山群总体呈北东向展布,分布于郭城断裂带下盘,岩性主要为大理岩、变粒岩、含石墨斜长片麻岩和斜长角闪岩;莱阳群、王氏群主要分布于胶莱盆地内,为一套砾岩、砂岩、泥岩的陆相碎屑沉积岩;青山群为一套陆相中基性、中酸性火山岩-火山沉积岩。

区内断裂构造发育,受控于牟平-即墨断裂带,以 NE 向构造为主,主要为桃村断裂、郭城断裂、崖子断裂及次级的 NE 向断裂;其次发育有 NNE 向、EW 向和 NW 向断裂<sup>[14-16]</sup>。区内发育韧性剪切带,以牟平桃园-乳山蓬家夼韧性剪切带为代表,长约 13.5 km,宽 8 km,主要表现为糜棱岩化二长花岗岩。

区内侵入岩十分发育,主要为晚侏罗世鹊山岩体含石榴石二长花岗岩( $154.6 \pm 1.5$ ) Ma<sup>[9]</sup>,古元古代牧牛山岩体二长花岗岩( $2113 \pm 22$ ) Ma<sup>[21]</sup>,另见少量早白垩世伟德山期牙山岩体含斑中细粒二长花岗岩和沙子埠岩体中细粒角闪石英二长岩。此外,燕山期基性、中性、酸性脉岩较为发育,走向以 NE 为主,倾角较陡,为  $60^\circ \sim 80^\circ$ 。

## 2 典型矿床控矿构造特征

郭城-崖子地区金矿床主要赋存于荆山群变质岩与二长花岗岩接触带附近,区内主要有构造角砾岩型、黄铁矿碳酸岩型、蚀变岩型等金矿床类型,赋存的构造部位和围岩条件不同金矿床有所差别<sup>[1,13]</sup>。为查明该区与金成矿密切相关的控矿构造分布特征及深部展布规律,在辽上、土堆-沙旺、西井口等典型矿床深部外围布设 3 条 CSAMT 剖面(图 2),点距 50 m,共设计测深点 190 个。经过对采集数据的整理分析和反演,形成工作区不同矿区 CSAMT 断面图,并进行推断解释和查证。

### 2.1 西井口金矿床控矿构造特征

西井口金矿床位于蓬家夼金矿床西侧,受控于隐伏的近 EW 向蓬家夼拆离断裂控制,呈舒缓波状产出,倾向南,倾角  $5^\circ \sim 17^\circ$ 。主要矿体赋存于 III、IV 号矿化带,上盘围岩为弱片麻状中细粒二长花岗岩和荆山群地层,下盘围岩为伟德山期角闪长岩、二长闪长岩,矿石岩性主要为含石墨黄铁矿化构造角砾岩、黄铁矿化碎裂岩、黄铁矿化碎裂状二长花岗岩。CSAMT 5 线位于东风凰崖村东,布设测

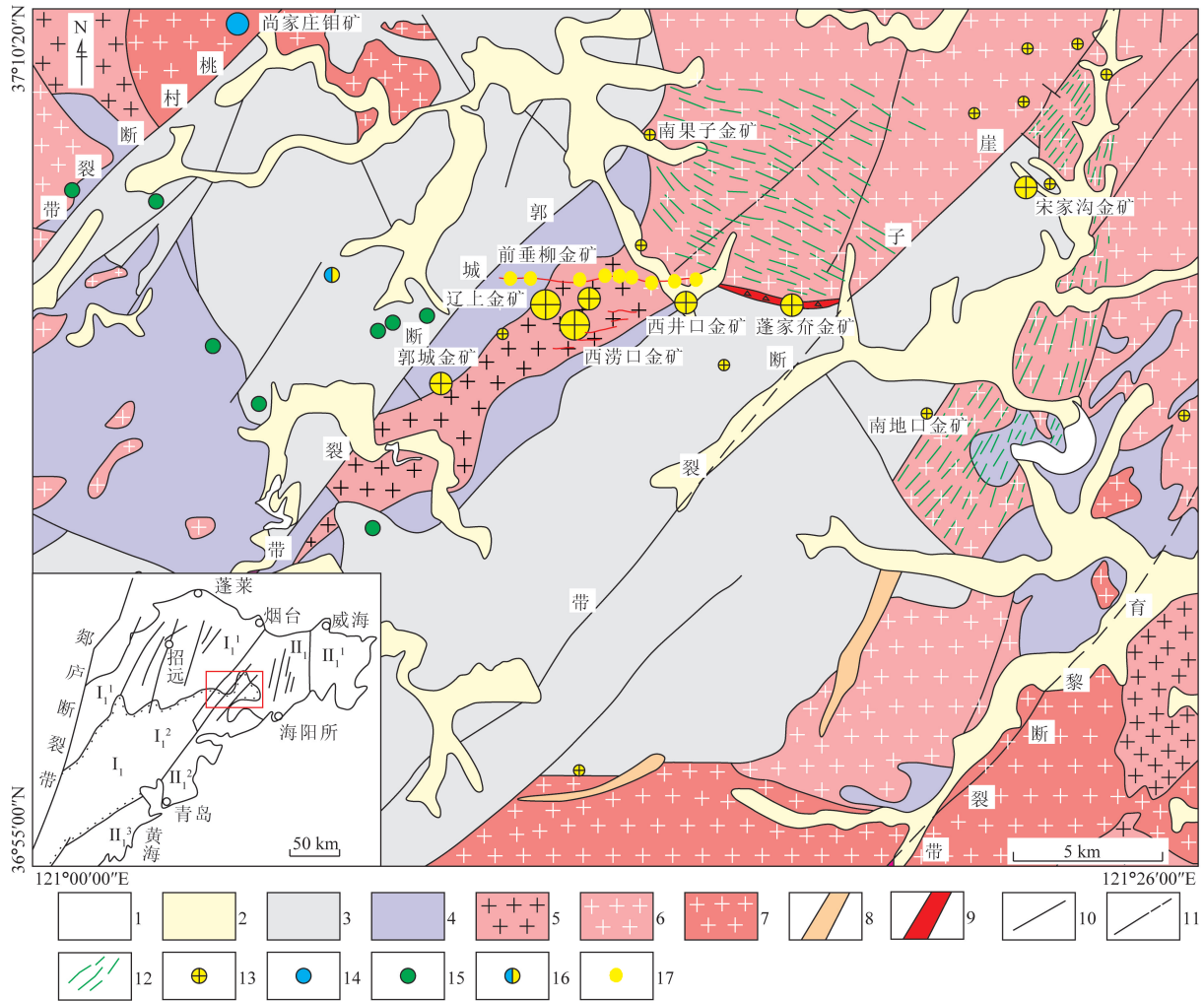


图1 胶莱盆地东北缘地区地质构造矿产简图(据文献[13]修改)

Fig. 1 Geological structure mineral map of the northeastern margin of Jiaolai Basin (revised according to ref. [13])

点64个,测线方向180°,测线长3150m,西井口金矿体位于测线北端。由图2可知,卡尼亚视电阻率断面上整体反映2层地电特征,上层表现为低阻区,由荆山群地层岩性引起,浅层(-300m以浅)局部出现高阻异常区,主要由莱阳群含砾砂岩引起;下层则为高阻区,由二长花岗岩体引起;在标高-400~-600m,存在南倾的视电阻率梯级带,推测为地层与岩体的过渡带,根据已知西涝口东侧浅部矿体、西井口金矿体赋存状态,推测该过渡带为成矿有利部位;低缓的视电阻率梯级带向深部继续延伸,矿体并未封闭,在标高-600~-800m的梯级带内仍见矿。

### 2.2 辽上-西涝口金矿床控矿构造特征

辽上金矿浅部矿体赋存于荆山群变质岩与二长花岗岩接触带附近,受NE走向构造,倾向SE,倾角38°~47°,Ⅲ号矿化带内主要由含金黄铁矿化碎

裂状二长花岗岩和硅化黄铁矿化大理岩类组成。西涝口矿区Ⅲ号蚀变带金矿体,为辽上金矿床深部矿体,产状向深部发生变化,总体走向为近EW向<sup>[22]</sup>,倾向S,倾角主要为15°~40°;Ⅲ号矿体群矿体受拆离构造控制,矿体主要赋存于二长花岗岩中,赋矿岩性主要为黄铁绢英岩化花岗岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩及少量大理质碎裂岩、构造蚀变角砾岩等。

CSAMT 1线穿过辽上-西涝口金矿东侧,共布设测点44个,测线方向131°,测线长2200m。地表大部出露薄片麻状中细粒黑云二长花岗岩,测线西段局部可见大理岩地层出露,辽上金矿体位于测线西北端,西涝口金矿体位于测线中部-东南端。由图3可知,在1~20号点两侧卡尼亚视电阻率所反映的地电断面完全不同,其西北侧电阻率值较低,为一封闭的低值异常区,反映了荆山群地层分布范围;

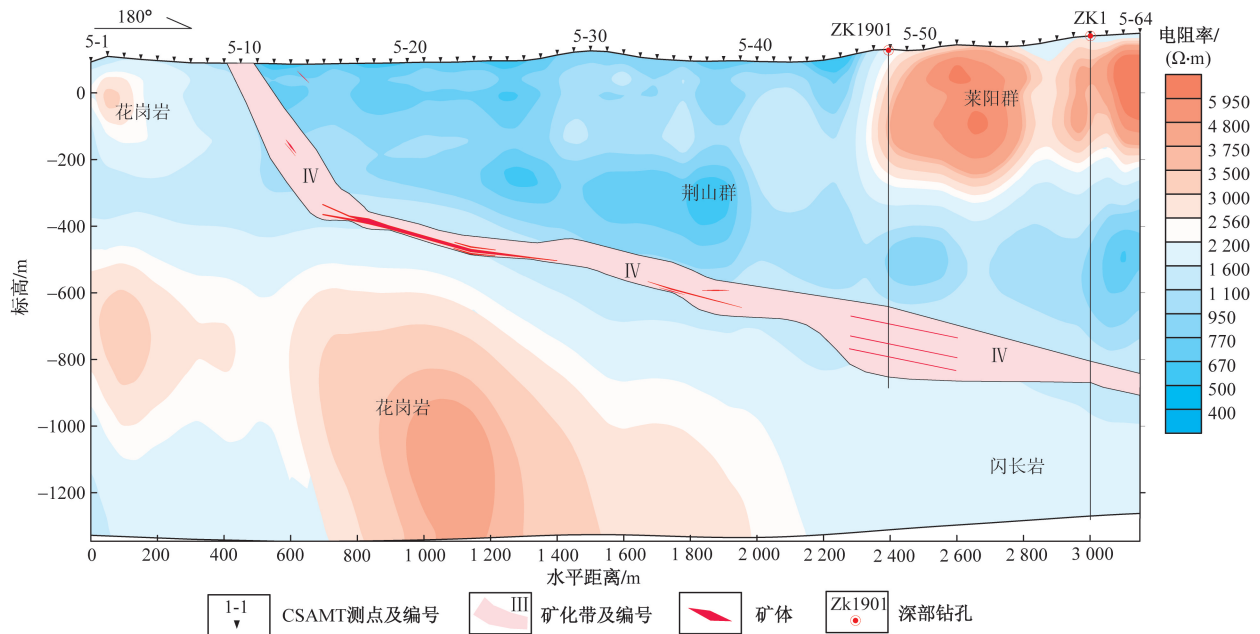


图2 西井口金矿床 CSAMT 反演电阻率断面图

Fig. 2 CSAMT inversion resistivity section of Xijingkou gold deposit

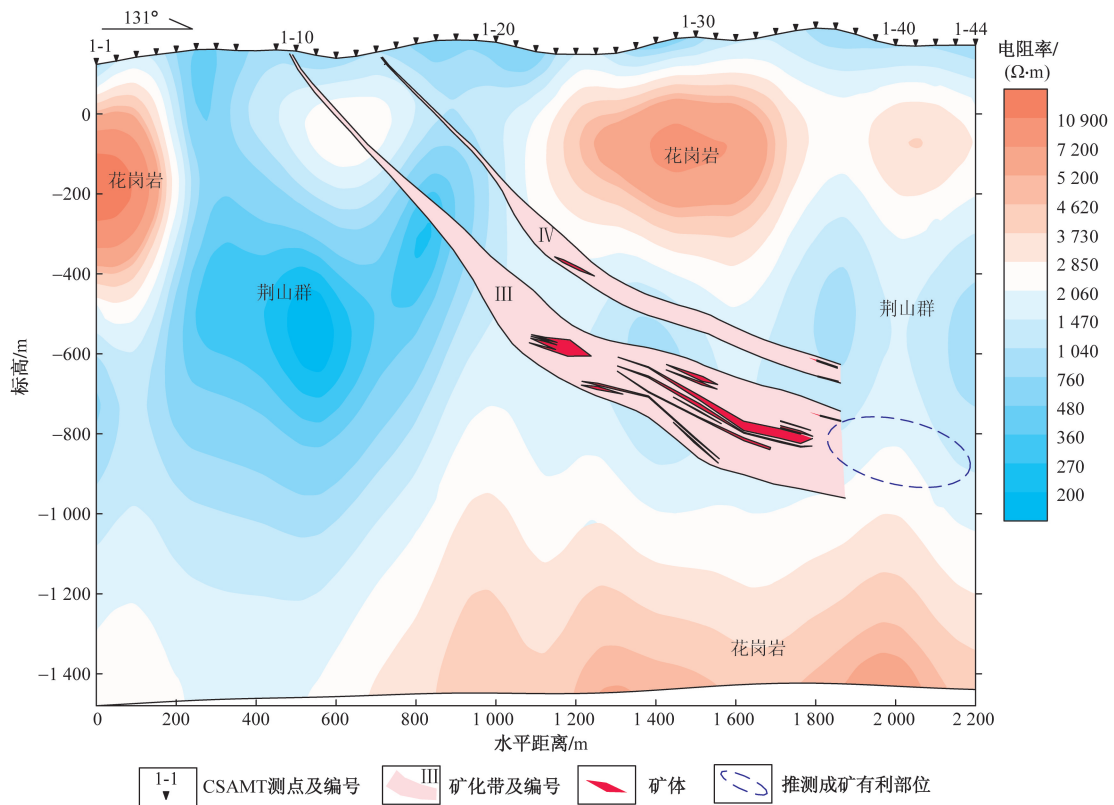


图3 辽上-西涝口金矿床 CSAMT 反演电阻率断面图

Fig. 3 CSAMT inversion resistivity section of Liaoshang-Xilaokou gold deposit

南东侧视电阻率值整体偏高,二者之间存在一视电阻率等值线梯级带,推测为断裂带的反映,其倾向北西;1-20号点南东侧在标高0 m以下,地电断面为“H”形结构,上下两层高阻区为二长花岗岩的反映,中间层的低阻区则为荆山群残留体的反映,根

据已知辽上、西涝口金矿体赋存状态,推测地层与岩体的接触面是金矿体成矿有利部位;在1-35 ~ 1-44号点,标高约-800 m视电阻率接触面异常依然存在,表明此处有地层残留体,其与岩体的接触部位具有成矿潜力。

### 2.3 土堆-沙旺金矿床控矿构造特征

土堆-沙旺金矿床受 NE 向郭城断裂的次级断裂构造控制,主要矿体大多赋存于荆山群和二长花岗岩体接触带附近的构造蚀变带中。矿体多为脉状、透镜状、似层状<sup>[23]</sup>,多产在缓倾的断裂构造中。倾角一般 15°~35°,矿石主要为黄铁矿化二长花岗岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩、黄铁矿化变粒岩、黄铁矿化大理岩型等。

CSAMT 2 线穿过土堆-沙旺金矿龙口矿区,共布设测点 82 个,测线方向 133°,测线长 4150 m。测线中部地表出露二长花岗岩,两端为荆山群岩系。由图 4 可知,剖面两侧的卡尼亚视电阻率与中部完全不同,在 2-8 号点北西和 2-66 号点南东为低阻异常区,反映了荆山群地层分布范围;2-8~2-66 号点之间电阻率值整体较高,与两侧存在视电阻率等值线梯级带,推测为断裂带的反映,等值线同形扭曲带为断裂带位置,倾角近乎直立;在高阻体内部,2-42~2-55 号点,标高 0~ -600 m 部位有一电阻率低值异常区,由荆山群残留体引起,其与岩体的接触部位为金矿体成矿有利部位。

## 3 蓬家乔拆离断裂西延特征

### 3.1 金矿体分布特征

研究区内主要矿体平面分布如图 5 所示,除土堆-沙旺金矿外大部分矿体均沿层间拆离构造带分布,主要金矿体有蓬家乔 I-1、西井口 IV-1、西涝口 III-26、III-27、18-1 和辽上 III-8 号等矿体。蓬家乔 I-1 金矿体主要赋存标高为 +95~ -107 m,西井口 IV-1 金矿体赋存标高为 -356~ -590 m,西涝口 III-27

金矿体赋存标高为 -280~ -665 m,西涝口 III-26 金矿体赋存标高为 -280~ -702 m,辽上 III-8 金矿体赋存标高为 -537~ -919 m。从各矿区主矿体特征可看出,蓬家乔、西井口、西涝口、辽上等金矿主矿体均受控于近东西向蓬家乔拆离断裂带。

### 3.2 含矿构造特征

以往地质工作认为,蓬家乔拆离断裂东起山西村,西到东井口,总体走向近 EW,构造带长约 5.5 km,倾角多集中在 20°~30°,局部地段甚至可达 50°,由浅至深呈铲状产出<sup>[6,24]</sup>。本次通过地质填图、含矿构造调查、槽探、物探等工作研究,初步明确了蓬家乔断裂的西延位置(图 5),蓬家乔断裂向西进入牧牛山二长花岗岩,野外观测到地表构造蚀变带断续出露,规模相对变小,产状地表较陡,呈上陡下缓的特征,带内岩石破碎强烈,主要由蚀变碎裂岩组成(图 6),硅化、褐铁矿化和碳酸盐化蚀变较强,充填较多铁碳酸盐脉,并平行分布多条近东西向的构造蚀变带(图 1)。1:50 000 水系沉积物化探异常中,在构造带中及其附近出现 Au、Ag、Cu、Pb、As、Mo 元素异常,呈现出近东西向分布,与构造带延伸方向基本一致。而赋存于白垩纪地层中的 Au、Ag、Pb、Mo 元素异常,与第四系河道相吻合,很可能构造蚀变异常冲积导致。

蓬家乔矿化蚀变带以东西向为主,蚀变带沿走向和倾向呈舒缓波状弯曲和弧形弯曲,具有膨大缩小,分支复合、尖灭再现的特征。矿化蚀变呈现“地表弱,深部强”的特点。地表向深部绢英岩化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化等蚀变明显加强,这种现象

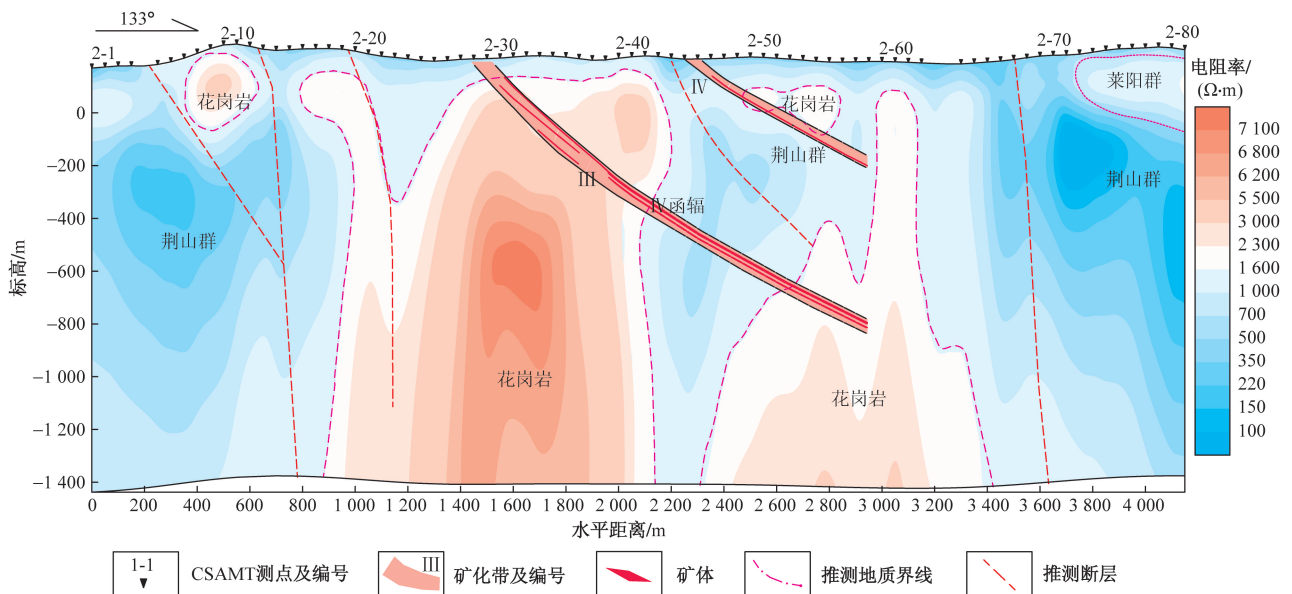


图 4 土堆-沙旺金矿床 CSAMT 反演电阻率断面图

Fig. 4 CSAMT inversion resistivity section of Tudui-Shawang gold deposit

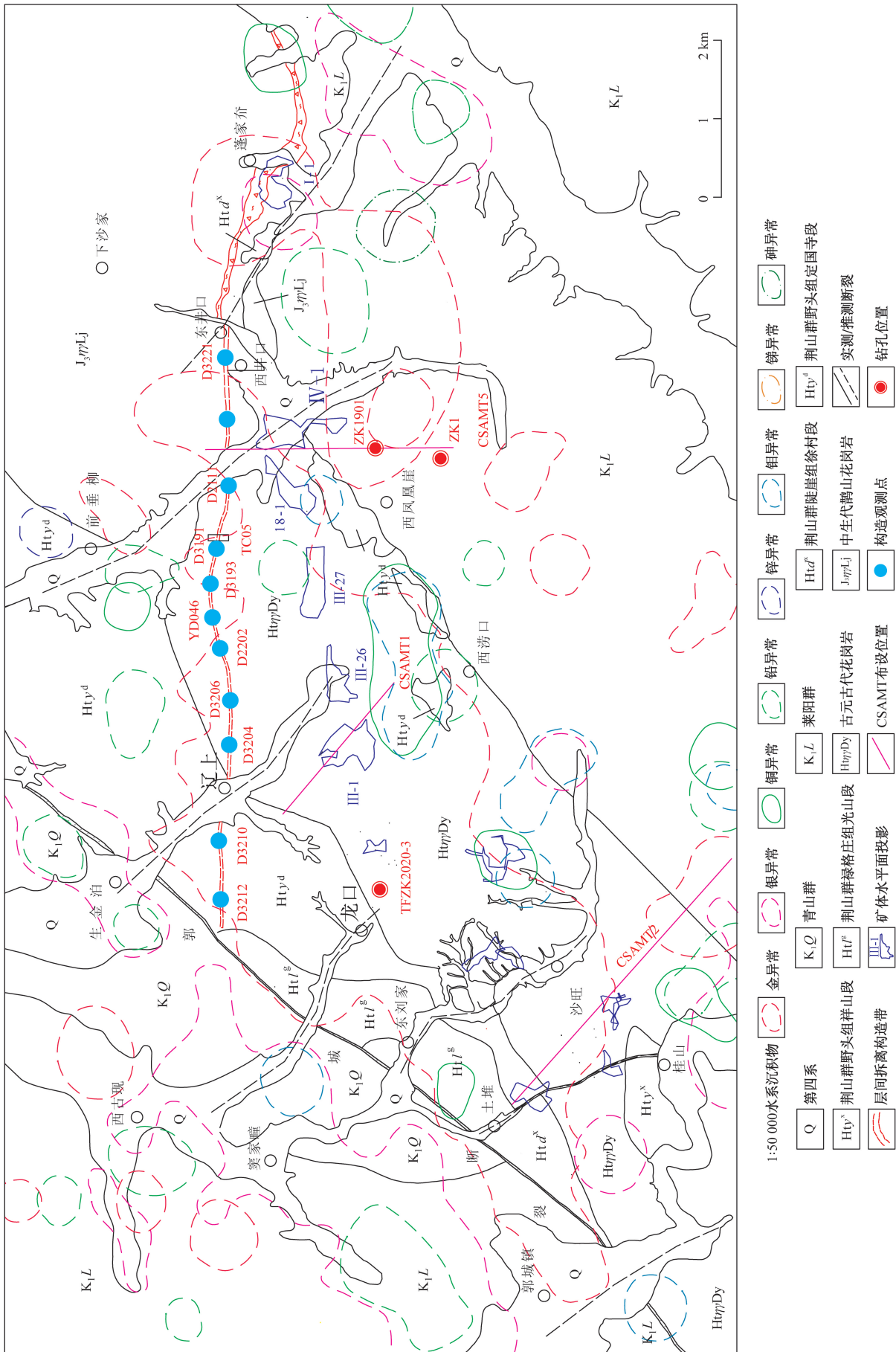


Fig.5 Ore-controlling structure and main ore body distribution map of Guocheng-Yazi gold ore concentration area ( revised according to ref.[8] )

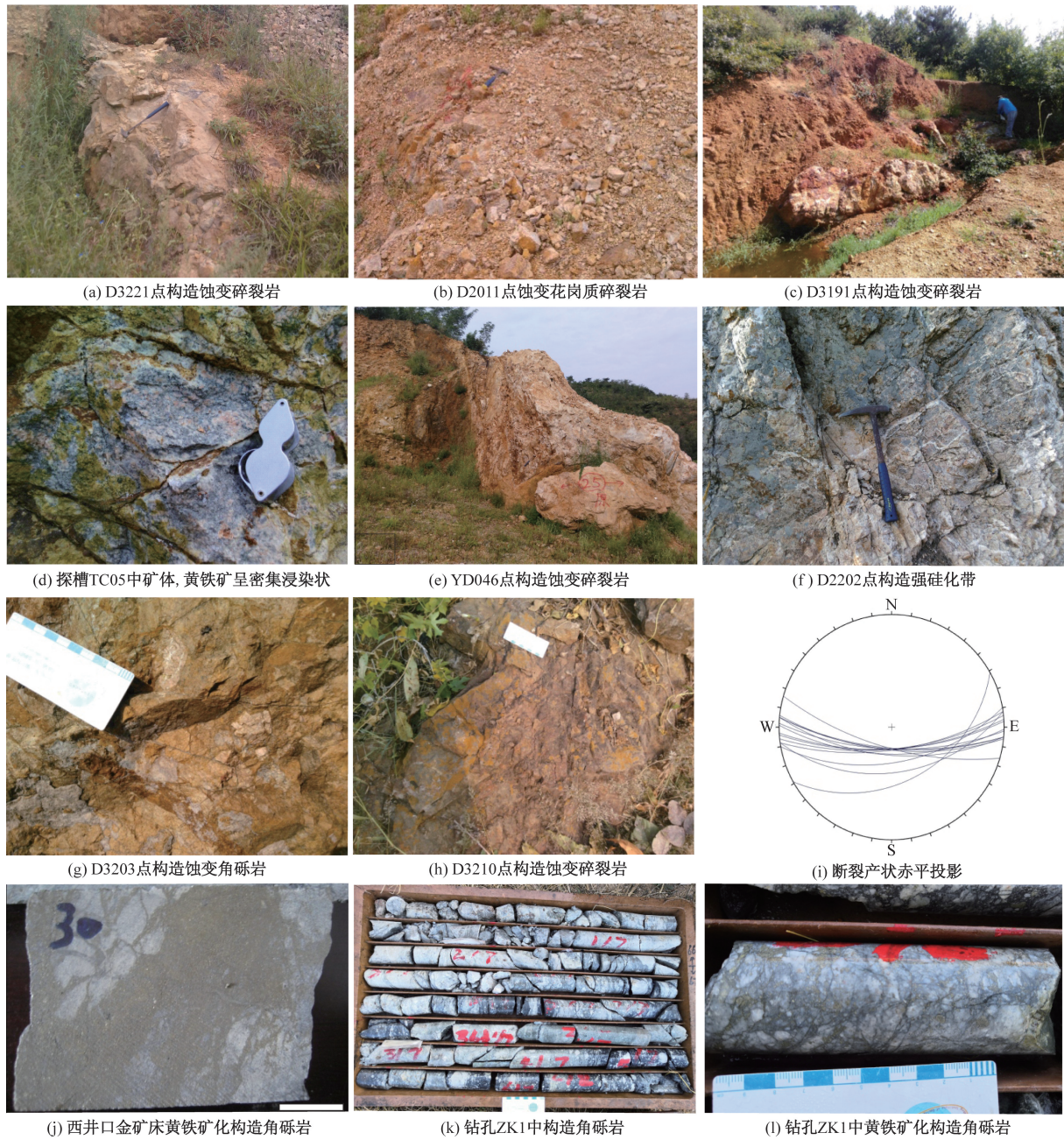


图6 蓬家夼断裂西延构造观测点和钻孔岩心

Fig. 6 Observation points and drilling cores of the western extension structure of Pengjiakuang fault

在矿体附近表现的更突出。蚀变特征是(断裂下盘从矿体向外):黄铁绢英岩化蚀变碎裂岩/构造角砾岩、绢英岩化花岗质碎裂岩、弱绢英岩化碎裂状二长花岗岩,碳酸盐化蚀变往往叠加在早期蚀变矿化之上,发育在节理和裂隙中。矿化强度与构造规模有密切的关系,矿体多分布在蚀变带转弯、膨胀、分支复合明显地段。

### 3.3 深部构造特征

在土堆-沙旺金矿床龙口矿区深部钻孔TFZK2020-3中,在1930~1991m发现硅化带和花岗质糜棱岩,下盘糜棱岩化二长花岗岩锆石U-Pb

年龄为(155.6 ± 1.5) Ma,属于玲珑期鹊山岩体,为蓬家夼拆离断裂带西侧深部位置。在蓬家夼拆离断裂带西延深部,山东省第三地质矿产勘查院施工钻孔ZK1901在920.30~972.90m控制构造蚀变带,山东省地质调查院施工钻孔ZK1在975.05~1031.12m控制构造蚀变带,厚度50~60m,带内岩石由黄铁矿化花岗质碎裂岩、黄铁矿化构造角砾岩、黄铁矿化碎裂岩组成(图6),两侧岩石为碎裂状二长花岗岩,并在矿化蚀变带下20m内均见到细粒伟德山期闪长岩。

蓬家夼拆离断裂带出露长度总约12km,宽

20~280 m, 总体呈近东西向展布, 倾向南, 倾角 $15^{\circ} \sim 70^{\circ}$ , 呈上陡下缓的铲式特征, 整体岩石由碎裂岩、构造角砾岩组成, 岩石具硅化、绢云母化、黄铁矿化和碳酸盐化蚀变, 并有角闪闪长岩脉、闪长玢岩脉充填。

#### 4 鹊山变质核杂岩与拆离构造

前人研究胶东地区时提出了“区域变质核杂岩”构造等观点<sup>[2,25]</sup>, 并提出了胶东陆内岩浆核杂岩隆起-拆离构造的成矿模式<sup>[26]</sup>。胶东主要发育三山岛岩浆核杂岩、玲珑岩浆核杂岩和昆嵛山岩浆核杂岩<sup>[25-27]</sup>, 比如玲珑岩浆核杂岩两侧发育招平断裂带和焦家断裂带的拆离构造。夏增明等<sup>[18]</sup>对鹊山变质核杂岩进行了研究, 认为鹊山岩体具有典型科迪勒拉变质核杂岩构造的三层结构, 并被 NNE 走向的后期脆性断裂所肢解和改造。

在该区 1:50 000 水系沉积物化探异常中 (图 7), Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、As、Sb 异常与现有金

矿位置相符合, 并都围绕鹊山变质核杂岩及拆离断裂周围分布, 表明拆离构造是有利的赋矿部位。通过对蓬家夼、辽上、龙口-土堆等典型矿床地质特征及控矿因素的对比分析认为, 蓬家夼、西井口、前垂柳、西涝口金矿受控于鹊山变质核杂岩形成的近东西向拆离断裂构造; 土堆-沙旺等金矿受控于郭城主断裂下盘的 NE 向次级斜列式或共轭式断裂构造; 辽上金矿床赋存于近 EW 向拆离断裂与 NNE 向断裂构造交汇处, 并主要受控于近东西向拆离构造控制, 这可能是其储量巨大的原因。EW 向拆离构造上部为牧牛山岩体二长花岗岩、荆山群变质岩和莱阳群地层, 下部为鹊山岩体糜棱岩化二长花岗岩或伟德山期闪长岩, 中间为厚度较大的由蚀变碎裂岩、构造角砾岩组成的构造蚀变带。

前人对该区金矿进行了较多研究工作, 胶莱盆地东北缘地区金矿床的成矿时间集中于 116~120 Ma<sup>[20,28]</sup>, 与胶东地区大规模金矿化峰期 (120±5) Ma<sup>[29-31]</sup> 相同。早白垩世, 随着太平洋板块回撤,

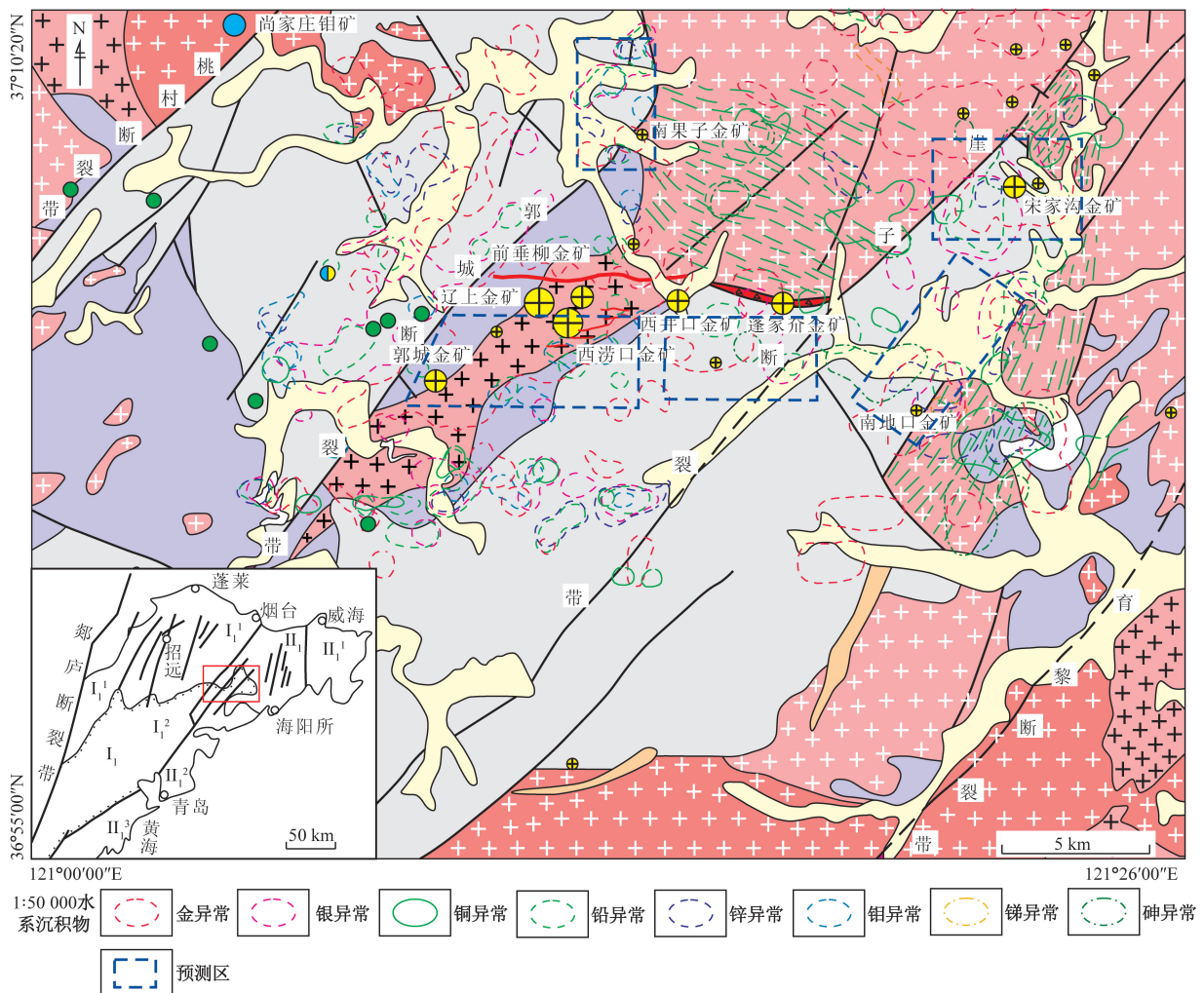


图 7 胶莱盆地东北缘地区成矿预测图 (据文献[13]修改)

Fig. 7 Metallogenetic prediction map of the northeastern margin of Jiaolai Basin (revised according to ref. [13])

构造环境由挤压构造体制转为伸展构造体制<sup>[32-33]</sup>,在不断伸展作用过程中,扩大和发展了拆离断裂的规模及相应的次级拆离断裂系,沿拆离断裂形成了高渗透性的构造角砾岩和碎裂岩带。含矿流体于变质核杂岩周边拆离断裂的有利构造位置沉淀成矿,在不同构造部位、不同围岩条件的形成不同类型的金矿床。幔源含矿热液沿着拆离断裂上盘 NE 向等脆性断层系向上迁移,同时因存在化学活动性高的荆山群大理岩,使含矿热液进入后有利于交代作用的进行,在构造有利部位沉淀、富集形成规模较小的金矿体。

## 5 成矿潜力分析

根据流体包裹体压力计可以定量估算出矿床的成矿深度<sup>[34]</sup>,利用等容线相交法<sup>[35]</sup>进行估算,宋家沟金矿成矿压力为 40 ~ 62 MPa,成矿深度约为 5.01 ~ 6.34 km<sup>[36]</sup>;蓬家沟金矿床的成矿压力为 63 ~ 93 MPa,成矿深度为 6.39 ~ 7.93 km<sup>[37]</sup>;龙口-土堆金矿流体包裹体的捕获压力为 81 ~ 94 MPa,成矿深度为 7.39 ~ 7.98 km<sup>[38]</sup>。该地区金矿集区的成矿深度主要为 5.01 ~ 7.93 km,属于中成深度。陈原林等<sup>[38]</sup>根据对磷灰石裂变径迹热历史的演化分析,计算得出白垩纪至今研究区总剥蚀深度约为 5.33 km,说明该区金矿在成矿以后经历的剥蚀程度较低,金矿床整体刚被剥露出来,深部及外围均具有良好的找矿潜力。

以往该地区的找矿勘查及研究工作中,主要集中在分析北东走向南东倾向含矿构造蚀变带的空间展布范围、地质特征及含矿性等方面<sup>[14-16]</sup>,尤其是区内郭城断裂及其下盘次级 NEE 及 NNE 向断裂构造对浅部矿体的控制、深部发育的北东走向南东倾向含矿构造蚀变带的金元素富集规律等,但对晚中生代以来区域伸展构造体制下形成的鹊山变质核杂岩及拆离断裂体系对该区的金成矿作用的控制作用研究仍有待加强和深入。

胶莱盆地东北缘地区,鹊山变质核杂岩及其拆离断裂控制该区金矿床及宋家沟、南地口等金矿床,在鹊山变质核杂岩形成的拆离断裂为有利赋矿空间,而浅部的北东向含矿构造可能为底部拆离断裂的次级配套构造,鹊山变质核杂岩的拆离断裂为金成矿作用的控矿构造及有利赋矿空间。2015 年以来,在辽上金矿床深部西涝口金矿床取得了找矿突破,共查明金资源储量近 50 t,矿体最大赋存标高为 -702 m,蓬家沟金矿床矿体主要赋存标高为 +95 ~ 107 m,西井口金矿床矿体最大赋存标高为 -590 m。该区金矿整体勘查深度较浅,对胶莱盆地东北缘地

区鹊山变质核杂岩及其拆离断裂深部研究也较薄弱,该地区深部及外围具有良好的金及多金属找矿潜力。根据本区控矿构造特征、赋矿规律及 1:5 化探异常,结合鹊山变质核杂岩及其拆离断裂特征,推断该区存在 5 处成矿有利靶区(图 7),具有巨大的找矿潜力。

## 6 结论

(1)通过地质填图、含矿构造调查、槽探、钻探工程、物探、矿体分布等综合研究,初步明确了蓬家沟断裂的西延位置,蓬家沟拆离断裂带从西井口-辽上,向西延伸到郭城断裂,出露长度约 12 km,呈上陡下缓的铲式特征,为鹊山变质核杂岩控制的拆离断裂。

(2)可控源音频大地电磁测深指示低阻向高阻过渡区为成矿有利部位,与已有浅部矿体吻合度较高,为良好的找矿标志,且拆离断裂内构造蚀变带深部稳定延深,具有较好找矿前景。

(3)鹊山变质核杂岩形成的拆离断裂带为该区金成矿作用的主要控矿构造及有利赋矿空间。该地区金矿集区的成矿深度主要为 5.01 ~ 7.93 km,金矿床整体刚被剥露出来,并且金矿床整体勘查深度较浅,深部及外围均具有良好的找矿潜力。

## 参 考 文 献

- [1] 丁正江,孙丰月,赵财胜,等. 山东胶莱盆地东北缘地区金矿成矿系列[J]. 矿床地质, 2010, 29(S1): 919-920.  
Ding Zhengjiang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, et al. Gold mineralization series in the northeastern margin of the Jiaolai Basin, Shandong Province [J]. Mineral Geology, 2010, 29(S1): 919-920.
- [2] 宋明春. 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, 2015, 34(9): 1758-1771.  
Song Mingchun. 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, 2015, 34(9): 1758-1771.
- [3] 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.
- [4] Deng J, Qiu K F, Wang Q F, et al. *In-situ* dating of hydrothermal monazite and implications on the geodynamic controls of ore formation in the Jiaodong gold province, eastern China [J]. Economic Geology, 2020, 115(3): 671-685.
- [5] Qiu K F, Deng J, Sai S X, et al. Low-temperature thermochronology for defining the tectonic controls on heterogeneous gold endowment across the Jiaodong Peninsula, eastern China [J]. Tectonics, 2023, 42(1): 140-153.
- [6] 张连昌,沈远超,刘铁兵,等. 胶东蓬家沟金矿控矿构造地质

- 地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(4): 377-384.
- Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, et al. Geological and geochemical characteristics of ore-controlling structures in the Pengjiakuang gold deposit in eastern Shandong, China[J]. *Geotechnica et Metallogenia*, 2000, 24(4): 377-384.
- [7] 李国华, 丁正江, 宋明春, 等. 胶东新类型金矿——辽上黄铁矿碳酸盐脉型金矿[J]. 地球学报, 2017, 38(3): 423-429.
- Li Guohua, Ding Zhengjiang, Song Mingchun, et al. The Liaoshang pyrite-carbonate veined deposit: a new type of gold deposit in Jiaodong Peninsula[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(3): 423-429.
- [8] 孙功伟. 胶东郭城-崖子地区金矿成矿规律及找矿潜力探讨[J]. 山东国土资源, 2020, 36(12): 19-25.
- Sun Gongwei. Study on metallogenic regularity and prospecting potential of gold deposits in Guocheng-Yazi area in Jiaodong[J]. *Shandong Land and Resources*, 2020, 36(12): 19-25.
- [9] 郭云成, 段留安, 韩小梦, 等. 胶东前垂柳金矿区花岗岩锆石 U-Pb 年代学和地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2022, 36(3): 876-897.
- Guo Yuncheng, Duan Liu'an, Han Xiaomeng, et al. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of granites from the Qianchuilu Gold Mine in the Jiaodong Peninsula and its geological significance[J]. *Geoscience*, 2022, 36(3): 876-897.
- [10] Tan J, Wei J H, Li Y J, et al. Origin and geodynamic significance of fault-hosted massive sulfide gold deposits from the Guocheng-Liaoshang metallogenic belt, eastern Jiaodong Peninsula: Rb-Sr dating, and H-O-S-Pb isotopic constraints[J]. *Ore Geology Reviews*, 2014, 65: 687-700.
- [11] Song M C, Li S Z, Santosh M, et al. Types, characteristics and metallogenesis of gold deposits in the Jiaodong Peninsula, eastern north China Craton [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 65: 612-625.
- [12] Song M C, Zhou J B, Song Y X, et al. Mesozoic Weideshan granitoid suite and its relationship to large-scale gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China [J]. *Geological Journal*, 2020, 55: 5703-5724.
- [13] 李国华, 丁正江, 纪攀, 等. 胶莱盆地东北缘地区金矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2016, 52(6): 1029-1036.
- Li Guohua, Ding Zhengjiang, Ji Pan, et al. Features and prospecting direction of the gold deposits in the northeastern margin of the Jiaolai Basin[J]. *Geology and Exploration*, 2016, 52(6): 1029-1036.
- [14] 赵宝聚, 高明波, 李亚东, 等. 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, 2019, 93(S1): 1-11.
- Zhao Baoju, Gao Mingbo, Li Yadong, et al. Study on metallogenic regularity of gold deposits in Longkou-Tudui mining area on the northeastern margin of Jiaolai Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(S1): 1-11.
- [15] 段留安, 魏有峰, 陈雄军, 等. 山东胶莱盆地东北缘前垂柳矿区金矿资源潜力分析[J]. 黄金科学技术, 2020, 28(5): 701-711.
- Duan Liuan, Wei Youfeng, Chen Xiongjun, et al. Potential evaluation of Qianchuilu gold mineral resources in northeast margin of Jiaolai Basin, Shandong Province[J]. *Gold Science and Technology*, 2020, 28(5): 701-711.
- [16] 孙玉龙, 殷国鹏, 邱介玲, 等. 胶东辽上金矿床成因与找矿方向研究[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 209-215.
- Sun Yulong, Yin Guopeng, Qiu Jieling, et al. Study on mineralization genesis and ore searching direction of the Liaoshang gold deposit in eastern Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(2): 209-215.
- [17] 梁辉, 韩作振, 王立功, 等. 胶东辽上金矿床的流体包裹体、氢-氧-碳-硫-铅同位素特征及矿床成因[J]. 地质通报, 2022, 41(6): 1053-1067.
- Liang Hui, Han Zuozhen, Wang Ligong, et al. The fluid inclusions, H-O-C-S-Pb isotopic characteristics and genesis of the Liaoshang gold deposit in Jiaodong Peninsula[J]. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(6): 1053-1067.
- [18] 夏增明, 刘俊来, 倪金龙, 等. 胶东东部鹊山变质核杂岩结构、演化及区域构造意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(3): 356-373.
- Xia Zengming, Liu Junlai, Ni Jinlong, et al. Structure, evolution and regional tectonic implications of the Queshan metamorphic core complex in eastern Jiaodong Peninsula of China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 46(3): 356-373.
- [19] 李勇, 丁正江, 薄军委, 等. 胶莱盆地东北缘地区成矿元素地球化学特征及成矿潜力分析[J]. 黄金, 2018, 39(8): 15-21.
- Li Yong, Ding Zhengjiang, Bo Junwei, et al. Geochemical characteristics of ore-forming elements and metallogenic potentiality in the gold mineralization area of northeast margin of Jiaolai Basin [J]. *Gold*, 2018, 39(8): 15-21.
- [20] 李杰, 张丽鹏, 李聪颖, 等. 胶东郭城金矿床黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄[J]. 中国地质, 2020, 47(3): 894-896.
- Li Jie, Zhang Lipeng, Li Congying, et al. Rb-Sr isochron age of the Guocheng gold deposit in the Jiaodong Peninsula, Shandong [J]. *Geology in China*, 2020, 47(3): 894-895.
- [21] 周晓萍, 吕军阳, 胡秉谦, 等. 胶北地体西涝口地区牧牛山二长花岗岩锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素研究——指示华北克拉通古元古代岩浆作用及地壳演化[J]. 地质论评, 2022, 68(3): 891-906.
- Zhou Xiaoping, Lü Junyang, Hu Bingqian, et al. Zircon U-Pb and Lu-Hf isotopes of Muniushan monzogranite in Xilaokou area, Jiaobei Terrane: indicating paleoproterozoic magmatism and crustal evolution of the North China Craton [J]. *Geological Review*, 2022, 68(3): 891-906.
- [22] 张维昕, 李太兵, 刘金友, 等. 山东西涝口金矿床控矿构造特征及动力学浅析[J]. 山东国土资源, 2017, 33(10): 19-24.
- Zhang Weixin, Li Taibing, Liu Jinyou, et al. Primary study on ore-controlling structures characteristics and dynamics of Xilaokou gold deposit in Shandong Province [J]. *Shandong Land and Resources*, 2017, 33(10): 19-24.
- [23] 杨春福. 山东海阳郭城地区金矿床成矿特征[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3): 462-469.
- Yang Chunfu. Mineralization characteristics of gold deposits in the Guocheng region, Haiyang, Shandong Province [J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 462-469.
- [24] 邹为雷, 杨金中, 曾庆栋, 等. 山东胶莱盆地边缘层间滑动角砾岩型金矿地质特征及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 2010, 84(4): 508-517.
- Zou Weilei, Yang Jinzhong, Zeng Qingdong, et al. Geological characteristics and metallogenic geodynamic setting of interlayer-

- sliding tectonic breccia-type gold deposit in the margin of the Jiaolai Basin, Shandong Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(4): 508-517.
- [25] 吕古贤, 焦建刚, 张宝林, 等. 陆内岩浆核杂岩隆起-拆离构造——胶东地区研究实例[J]. *现代地质*, 2023, 42(4): 489-509.  
Lü Guxian, Jiao Jiangan, Zhang Baolin, et al. Uplift-detachment structure of intracontinental magmatic core complex: a case study of Jiaodong area[J]. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(4): 489-509.
- [26] 吕古贤, 李洪奎, 丁正江, 等. 胶东地区岩浆核杂岩隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿[J]. *现代地质*, 2016, 30(2): 247-262.  
Lü Guxian, Li Hongkui, Ding Zhengjiang, et al. Hydrothermal alteration metallogenesis in the determination zone of a “magmatic core complex” upheaval-detachment structure, Jiaodong [J]. *Modern Geology*, 2016, 30(2): 247-262.
- [27] 张进江, 郑亚东. 变质核杂岩与岩浆作用成因关系综述[J]. *地质科技情报*, 1998, 17(1): 20-26.  
Zhang Jinjiang, Zheng Yadong. Review on the Relationship between the formation of metamorphic core complex and the magmatism [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(1): 20-26.
- [28] 孙兴丽. 山东胶莱盆地西涝口金矿床的特征和成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.  
Sun Xingli. Geological characteristics and genesis of the Xilaokou gold deposit in the margin of the Jiaolai Basin, Jiaodong Gold Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [29] 朱日祥, 范宏瑞, 李建威, 等. 克拉通破坏型金矿床[J]. *中国科学: 地球科学*, 2015, 45(8): 1153-1168.  
Zhu Rixiang, Fan Hongrui, Li Jianwei, et al. Decratonic gold deposits[J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 2015, 45(8): 1153-1168.
- [30] 祝培刚, 张文佳, 王英鹏, 等. 山东焦家金矿田铀、铅同位素特征及其地质意义[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(2): 487-493.  
Zhu Peigang, Zhang Wenjia, Wang Yingpeng, et al. Sr and Pb isotopic characteristics and geological significance of Jiaojia gold field, Shandong Province[J]. *Science Technology and Engineering*, 2023, 23(2): 487-493.
- [31] 祝培刚, 李秀章, 张文佳, 等. 山东纱岭金矿流体包裹体及氢氧硫同位素特征[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(24): 10165-10173.  
Zhu Peigang, Li Xiuzhang, Zhang Wenjia, et al. Characteristics of fluid inclusion and stable isotopes of Shaling gold deposit in Shandong Province [J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(24): 10165-10173.
- [32] Zhang S H, Zhao Y, Davis G A, et al. Temporal and spatial variations of mesozoic magmatism and deformation in the North China Craton: implications for lithospheric thinning and decratonization [J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 131: 49-87.
- [33] Deng J, Wang Q F. Gold mineralization in China: metallogenic provinces, deposit types and tectonic framework [J]. *Gondwana Research*, 2016, 36: 219-274.
- [34] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid inclusions [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [35] Roedder E, Bodnar R J. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1980, 8: 263-301.
- [36] 王铎融, 王力, 陈扬. 山东牟平宋家沟金矿床流体包裹体研究[J]. *黄金*, 2015, 36(5): 21-26.  
Wang Duorong, Wang Li, Chen Yang. Study on fluid inclusions of Songjiagou gold deposit in Muping, Shandong Province[J]. *Gold*, 2015, 36(5): 21-26.
- [37] 孙丽伟. 胶东乳山蓬家夼金矿床地质特征及矿化富集规律研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.  
Sun Liwei. The study of the geological characteristics and enrichment regularities of mineralization of the Pengjiakuang deposit in Rushan County, Shandong Province [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [38] 陈原林, 李欢, 郑朝阳, 等. 胶莱盆地郭城-崖子断裂带金矿集区剥蚀程度及深部找矿潜力[J]. *中国有色金属学报*, 2022, 32(9): 2819-2834.  
Chen Yuanlin, Li Huan, Zheng Chaoyang, et al. Denudation degree and deep prospecting potential of gold deposits in Guocheng-Yazi fault zone, Jiaolai Basin [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2022, 32(9): 2819-2834.