



辽东南河洼金矿地质特征及成矿模式

梁维天^{1,2}, 李帝铨², 刘超³, 滕寿仁⁴, 王东波¹, 王鹏¹, 冯家新¹

1. 辽宁省第五地质大队有限责任公司, 辽宁 营口 115100;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083; 3. 辽宁省自然资源厅, 辽宁 沈阳 110032;

4. 辽宁省地质勘探矿业集团有限责任公司, 辽宁 沈阳 110032

摘要: 河洼金矿位于华北克拉通东部的金成矿带中, 地表有多条金矿化蚀变带, 具有金矿床发育前提。由于没有有效的深部勘查手段, 虽然进行了大量的勘查研究工作, 但对该地区地质认识有限。本文在前人地质研究成果的基础上, 结合广域电磁法及深部钻探成果, 梳理永宁盆地地层地质特征, 对不同深度成矿物质进行综合分析, 对河洼地区金矿成矿特征及成矿模式形成新的认识, 认为深度1 000 m左右的永宁组地层与下伏片麻岩接触界面及界面附近发育的张裂隙, 甚至热液活动的所有部位均为有利成矿部位。根据已有的金矿化蚀变规模推断, 该地区具有很好的金成矿前景。

关键词: 金矿床; 广域电磁法; 永宁盆地; 成矿模式; 辽宁省

Geological characteristics and metallogenic model of Hewa gold deposit in southeastern Liaoning Province

LIANG Wei-tian^{1,2}, LI Di-quan², LIU Chao³, TENG Shou-ren⁴, WANG Dong-bo¹, WANG Peng¹, FENG Jia-xin¹

1. Liaoning No. 5 Geological Brigade Co., Ltd., Yingkou 115100, Liaoning Province, China; 2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China; 3. Department of Natural Resources of Liaoning Province, Shenyang 110032, China; 4. Liaoning Geological Exploration and Mining Group Co., Ltd., Shenyang 110032, China

Abstract: Hewa gold deposit is located in the gold metallogenic belt in the eastern North China Craton. There are several gold mineralized belts on the surface, with the precondition for the development of gold deposit. Although a lot of exploration research work has been done, the geological understanding of this area is still limited due to lack of effective deep exploration means. Based on previous geological research, combined with wide field electromagnetic method and deep drilling results, this paper summarizes the stratigraphic geological characteristics of Yongning basin, comprehensively analyzes the metallogenic materials at different depths, and forms a new understanding of metallogenic characteristics and model of Hewa gold deposit. It is considered that the tensile fractures developed in and near the contact interface between Yongning Formation and underlying gneiss at a depth about 1 000 m, and even all the locations of hydrothermal activity are favorable for mineralization. According to the existing scale of gold mineralization, it is inferred that there is a good gold metallogenic prospect in the study area.

Key words: gold deposit; wide field electromagnetic method; Yongning basin; metallogenic model; Liaoning Province

收稿日期:2023-06-25; 修回日期:2023-12-01. 编辑:李兰英.

基金项目:辽宁省2020年财政出资项目“辽宁省瓦房店市郑屯地区广域电磁成果验证”(JH20-210000-05760).

作者简介:梁维天(1984—),男,博士,正高级工程师,从事地质矿产勘查及研究工作,通信地址 辽宁省营口大石桥市哈大中路14号, E-mail//15009869686@163.com

引用格式:梁维天, 李帝铨, 刘超, 滕寿仁, 王东波, 王鹏, 冯家新. 辽东南河洼金矿地质特征及成矿模式[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 159-167, 147.

Liang W T, Li D Q, Liu C, Teng S R, Wang D B, Wang P, Feng J X. Geological characteristics and metallogenic model of Hewa gold deposit in southeastern Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 159-167, 147.

0 引言

华北克拉通是中国重要的黄金产地之一,金矿床可划分为东西两个北北东向的金成矿带,其中东成矿带以胶东、辽东和吉南金矿聚集区为代表,成矿带内各矿集区赋矿围岩具有相似之处,主要为太古宙—古元古代变质岩系、中新元古代火成岩和显生宙花岗岩类。河洼金矿即位于辽东南部的矿集区内,周边发现了以五龙、四道沟、猫岭金矿等为代表的多个大中型金矿床^[1-2]。前人对河洼金矿区进行了大量的勘查研究工作,包括区域地质调查、物化探勘查、地表工程及浅部钻探工程等,但是在金矿床勘查方面未有大的突破,分析其原因:1)勘查工作大都集中在浅部,对深部没有有效的勘查技术手段;2)对永宁盆地永宁组盖层厚度认识不足;3)成矿流体来源、盖层中热液沉淀模式等方面还存在诸多争议,有的学者认为成矿流体为岩浆热液,而有的则持大气降水与岩浆共同作用,且以大气降水为主等观点^[3-7]。

笔者在总结该区基础地质工作的基础上,采用勘探深度大、精度高的广域电磁法对该区 3 km 以浅的地层进行了重新厘定,并施工 2 km 钻孔进行验证,对钻孔岩心进行地层学分析,结合地质理论对金属矿床形成的规律及模式进行深入研究,对不同深度矿源物质进行分析,以期完善河洼地区金矿成矿模式及找矿思路,实现后续找矿突破。

1 区域地质背景

河洼金矿大地构造位于柴达木—华北板块,华北陆块北缘东段,辽东新元古代—古生代拗陷带西南部,大连新元古代—古生代凹陷中部,永宁青白口纪凹陷中西部,属古亚洲洋构造域(图 1)。本区北接辽吉古元古代古裂谷,西邻郿庐断裂带,东邻金州断裂带,中生代以来(约中三叠世)进入中国东部活动陆缘演化阶段^[8-11]。

区域上太古宙和古元古代克拉通是本区变质基底,由太古宙变质深成岩、变质表壳岩及古元古代层状变质岩系组成。地层区划属华北地层区,大连—复州小区。区域出露地层由老至新为新元古界青白口系永宁组、钓鱼台组、南芬组,南华系桥头组。青白口系及南华系角度不整合覆于新太古代变质深成岩之上。矿区位于永宁盆地东部,全区广泛分布永宁组地层,沿沟谷

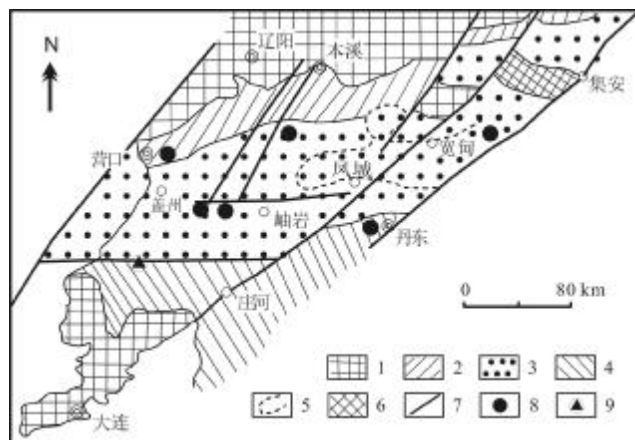


图 1 辽东地质构造简图

Fig. 1 Geological and structural map of eastern Liaoning

1—太古宇 (Archean); 2—北缘斜坡区 (slope area in the northern margin); 3—中央裂陷区 (central rift zone); 4—南缘浅台区 (shallow platform in the southern margin); 5—地幔隆起 (mantle uplift); 6—推断隆起 (inferred uplift); 7—构造断裂带 (fault zone); 8—周边金矿区 (surrounding gold field); 9—矿区位置 (orefield)

分布新生界第四系冲洪积、坡洪积物。

区域上盖层形成后构造主要表现在不同时期、不同动力学体制下形成的构造样式及组合形式,主要有伸缩交替的两种动力学体制:1)在地壳引张机制下形成的伸展构造体系,由于基底上隆地壳伸展减薄,在基底与盖层间发育拆离断层和韧性剪切带;2)在地壳挤压收缩机制下形成的浅层次不同规模、性质的脆性断裂、逆冲推覆构造、高角度逆断层以及岩层不同程度的弯曲褶皱等构造组合,岩石以脆性破裂为主,以形成区域醒目的北北东向、北东向断裂、褶皱构造系统为特征。本区附近构造表现形式主要有金州变质核杂岩、金州断裂系及不同程度的褶皱等^[12-16]。

该区侵入岩较发育,侵入时代有新太古代、中元古代、晚三叠世以及区域性各类浅成岩脉。

新太古代变质深成岩为该区最古老的变质深成岩及基底的组成部分,大范围分布于松树水库附近,其上被永宁组、钓鱼台组角度不整合覆盖;小面积分布于龙口山、老孤山一带,四周出露穹形构造窗。有早期角闪斜长片麻岩和晚期黑云二长片麻岩两个岩石单位,后者是本区基底的主体。

中元古代侵入岩分布于研究区东侧关子站一带,南北向展布,侵入新太古代变质深成岩中,其上被永宁组不整合覆盖。岩性为中细粒二长花岗岩。

晚三叠纪侵入岩主要分布于松树水库南侧,由两个呈北北西向展布的小岩株组成,侵入新太古代变质深成岩和新元古界青白口系钓鱼台组中。岩性主要为中细粒含角闪石黑云母花岗闪长岩。

晚侏罗世侵入岩分布于太平庄东、高屯南一带,由两个大小不等,呈东西向展布的小岩株组成,侵入新太古代变质深成岩和新元古界青白口系永宁组中。岩性主要为斑状花岗闪长岩^[17-19]。

2 矿区地质特征

2.1 地层特征

矿区位于永宁盆地中东部,出露永宁组地层(图2)。永宁组地层是四堡造山运动后,新元古代于山间凹陷基底之上沉积的、具基底与盖层过渡性质的陆相类磨拉石建造。根据以往区域资料,按岩石组合由下至上大致可分为3部分:底部为灰白色中厚层硅质胶结中细粒石英砂岩,为河流边滩沉积;中部为灰紫色中厚层中粗粒长石石英砂岩或长石砂岩夹中厚层铁质硅质胶结成分中粗砾岩,为冲积扇筛积物,并有多次小型扇体叠加沉积;上部以灰紫色中厚层含砾长石石英砂岩为主,为冲积扇前缘过渡到河流边滩至洪泛平原沉积。以往勘查研究工作通过地层产状及区域沉积构造推测永宁盆地中部永宁组参考厚度为5 400 m左右^[20-21]。

ZK1-1 钻孔为永宁组地层内施工第一深钻,钻孔终孔深度为2 001.10 m,地质编录共划分124个岩性层,经初步地层层序学研究归类为4个陆相层序,该位置永宁组穿层厚度1 345.1 m。盆地下部是内陆河流相-湖泊相沉积,为灰白-灰紫色中细粒石英砂岩及长石石英砂岩(局部轻微变质),接近盆地底部夹具微细水平层理或斜层理的粉砂岩和页岩。盆地上部则主要为冲积扇沉积,岩性为灰色-灰绿色-紫红色中粗粒石英砂岩和长石石英砂岩夹砾岩,砾石成分及结构成熟度较低,分选差,成分复杂。无论在地层厚度和韵律变化方面都和以往对永宁组地层的地质认识有较大偏差。施工地点位于永宁盆地东部接近盆地中心,证明前人对永宁盆地超过5 km深度的观点不准确。

2.2 构造

区内褶皱构造不发育,除了在该区东南角阴凉沟有一个小型背形褶皱外,其他地区地层为总体呈

10~30°方向展布,倾向280~300°,倾角20~40°单斜地层。阴凉沟背形褶皱组成地层均为青白口系永宁组,岩性为中粗粒长石砂岩。其东翼倾向30~75°,倾角16~30°;西翼倾向280~350°,倾角26~46°。矿区内断裂构造极其发育,按其方向有近东西向、北北东-北东向和北西向。根据区域构造演化、应力状态、运动学特征、切割地质体以及不同方向、不同性质断裂之间的交切关系等,将区内断裂构造分为早期近东西向、中期北北东-北东向、晚期北西向3期。

2.3 岩浆岩

区内内脉岩较发育,多期次侵入并与构造带平行成群成带产出,构成区内北北东向、北东向复合岩脉群,反映出构造岩浆浅成脉动性侵入的特点。岩石类型主要有闪斜煌斑岩、杏仁状玄武安山玢岩、硅化绿帘石化安山玢岩、安山玢岩、闪长玢岩、蚀变黑云母花岗闪长斑岩、花岗斑岩和黑云母花岗闪长岩,其中以闪长玢岩和花岗斑岩最为常见。这些伴随断裂而成的浅成岩浆侵入的热作用与河洼地区金矿化至成矿以及永宁组发育的面型绢云母化蚀变有重要的成因联系。

2.4 金矿体地质特征

区内共发现25条规模不等的含金矿化蚀变带。通过对含金矿化蚀变带与构造-岩浆作用关系调查,认为本区金矿(化)体与北北东向、北东向断裂及同方向中性、酸性岩脉关系密切,并受其控制。断裂和岩浆浅成侵入活动同步的脉动性,暗示本区金成矿作用可能也是多期次的。同时通过对矿区水系沉积物土壤地球化学测量成果的收集分析,以Au含量 2.77×10^{-9} 为异常下限圈定金异常区域,在朵子山北东及西沟永宁组中粗粒长石砂岩、闪长玢岩脉、花岗斑岩脉内北东向构造破碎带中发现了多条含金蚀变岩带。矿区矿化蚀变主要有金矿化、褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、铅锌矿化、硅化、绿泥石化等。经取样分析,Au品位 $0.03 \times 10^{-6} \sim 33.44 \times 10^{-6}$,具较好的Au矿化显示。

3 成矿模式及找矿前景

3.1 矿床成矿模式

在该矿区以往的勘查研究工作中,对于深部一直没有有效的勘查技术手段。本研究采用了勘探深度大、精度高的广域电磁法进行深部测量,对3 km以浅地层电性层位进行划分,同时对钻孔ZK1-1岩心进行

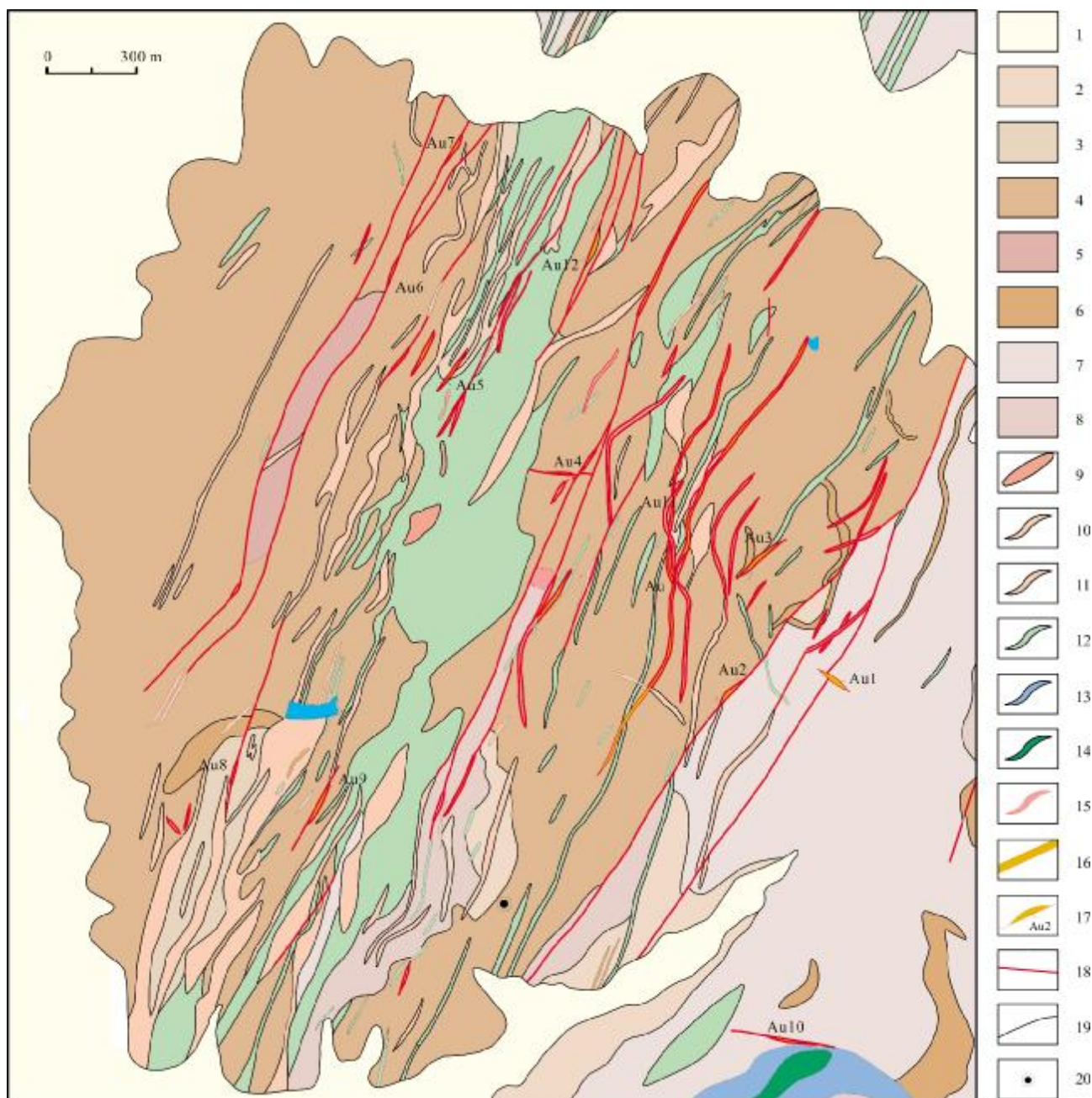


图 2 河洼金矿地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Hewa gold deposit

1—冲洪积层(alluvium-diluvium); 2—泥铁质硅质胶结中粗粒长石石英砂岩(argillo ferruginous-siliceous cemented medium coarse-grained feldspar quartz sandstone); 3—泥铁质硅质胶结中粗粒绢云母化长石石英砂岩 (argillo ferruginous-siliceous cemented medium coarse sericitized feldspar quartz sandstone); 4—中粗粒绢云母化长石石英砂岩夹硅质胶结中粗砾岩(medium coarse sericitized feldspar quartz sandstone with siliceous cemented medium coarse conglomerate); 5—泥铁质硅质胶结中粗砾岩 (argillo ferruginous-siliceous cemented medium coarse conglomerate); 6—砂质胶结中粗砾岩(sandy cemented medium coarse conglomerate); 7—中粗粒长石石英砂岩夹铁质胶结中细、中粗砾岩 (medium coarse-grained feldspar quartz sandstone with ferruginous cemented fine medium and medium coarse conglomerate); 8—铁质硅质胶结中粗砾岩夹泥质硅质胶结中细、中粗粒长石石英砂岩 (ferruginous-siliceous cemented medium coarse conglomerate with argillaceous-siliceous cemented fine medium and medium coarse feldspar quartz sandstone); 9—中细粒角闪黑云母花岗闪长岩 (fine medium-grained hornblende biotite granodiorite); 10—灰白色花岗斑岩脉 (offwhite granite porphyry vein); 11—蚀变黑云母花岗闪长斑岩脉(altered biotite granodiorite porphyry dike); 12—灰色闪长玢岩脉(gray diorite porphyrite dike); 13—安山玢岩脉(andesite porphyrite dike); 14—深灰色玄武安山玢岩脉(dark grey basaltic andesite porphyrite dike); 15—硅化构造角砾蚀变岩带、碎裂蚀变岩带 (silicified tectonic breccia altered zone and cataclastic altered zone); 16—含金构造蚀变岩带及编号 (gold-bearing tectonic altered zone and number); 17—新发现含金构造蚀变岩带及编号(newly discovered gold-bearing tectonic altered zone and number); 18—断层(fault); 19—地质界线 (geological boundary); 20—ZK1-1 深孔位置(ZK1-1 deep borehole)

系统采集,使用面团法对物性参数进行测量^[22-27],对比结果显示(图3),广域电磁剖面纵向以视电阻率(ρ)大小分为中高-低-高-中低-高5层,与按岩心物性参数绘制的视电阻率曲线形态基本吻合,分层明显。广域电磁法对岩性变化响应明显,对地层、构造、岩浆通道等的划分准确。

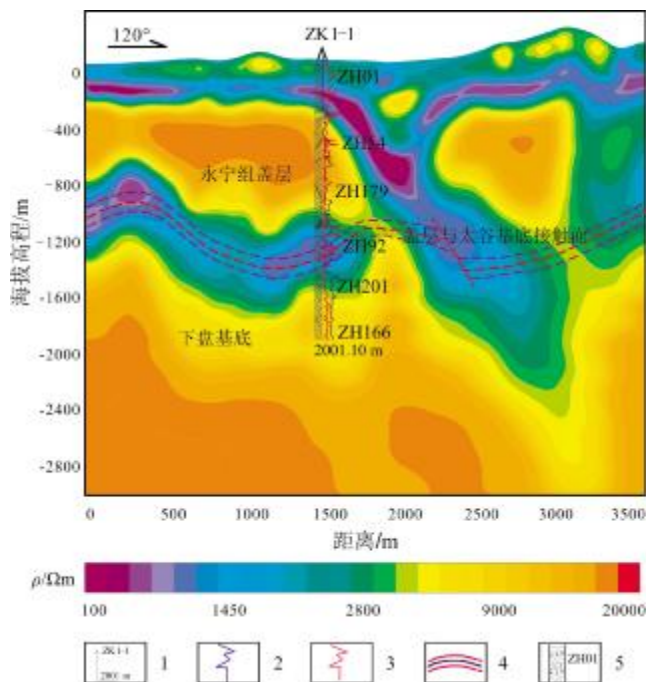


图3 广域电磁法有效性验证图

Fig. 3 Effectiveness validation of wide field electromagnetic method

1—钻孔编号及深度 (borehole number and depth); 2—视电阻率曲线 (apparent resistivity curve); 3—视幅频率曲线 (apparent amplitude frequency curve); 4—盖层与基底接触面 (contact between cap rock and basement); 5—钻孔岩性层变化 (lithological change in borehole)

矿区矿石主要为原生硫化物矿石,浅表氧化淋滤为褐铁矿,围岩主要有永宁组砂岩(局部夹砾岩)、花岗斑岩和闪长玢岩3种。浅部发现数十条规模不等的含金矿化蚀变带(表1)。在ZK1-1钻孔内也发现多条含金矿化蚀变带(表2),可见矿化蚀变有硅化、钾化、绢云母化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、黄铜矿化等,部分见有铅锌矿化。

通过对比矿区内不同深度岩性及金矿化蚀变特征,含金矿化蚀变岩带岩石组成主要为破碎长石砂岩、破碎花岗斑岩、破碎闪长玢岩,矿化蚀变主要有硅化、绿泥石化等。一般构造带内岩石较破碎,挤压片理发

育,局部呈断层泥或糜棱岩,赋矿岩石完整性、稳定性较差。

含金矿化蚀变岩围岩岩性主要为长石石英砂岩、长石砂岩夹砾岩,具有硅化、绢云母化及褐铁矿化,总体较为致密。依据钻探揭露,岩石节理、裂隙发育中等,围岩中等完整—完整,稳定性较好。矿区不同深度矿化蚀变成分类似,具有相同的物质来源。

地表及钻孔内见多条含金矿化蚀变岩,主要金属矿物为黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、铜蓝等。矿石结构包括裂隙充填结构、他形粒状结构、自形—半自形结构、固溶体分离结构、胶状结构等^[28-29]。矿石构造有脉状、浸染状、网脉状、块状构造等。矿石类型多为原生硫化物矿石,浅部多被氧化淋滤为褐铁矿。矿化围岩主要有永宁组砂岩(局部夹砾岩)、花岗斑岩和闪长玢岩3种。通过对不同深度岩矿石成分及结构分析,发现其成分及构造发育高度相似,为河洼地区成矿物质来源研究提供了有力依据。

本研究结合中生代华北克拉通的大地构造演化背景,根据成矿地质条件,绘制了本区金矿成矿理想成矿模式图(图4)。早白垩世,由于古太平洋板块的俯冲、回撤作用,地幔隆起,从而导致软流圈上涌,华北克拉通东部地区发生了强烈的岩石圈减薄作用以及大规模的岩浆活动^[30-31],金州断裂的多期活动在本区形成一系列北东向密集分布的断裂裂隙带,岩浆岩沿着断裂穿过永宁组盖层直达地表。在中生代地壳伸展背景下,板片发生拆沉,岩浆流体萃取壳源板片内成矿物质形成成矿流体。在岩浆活动的晚期,成矿流体沿着断裂运移,由于物理化学条件的改变,于有利成矿部位(盖层与基底接触面以及断裂裂隙带)卸载从而形成金矿体。在地表的裂隙带内则充填形成以黄铁矿为主的含金多金属硫化物细脉,由于地表水的风化淋滤作用形成现今地表密集分布的含金褐铁矿化蚀变裂隙带。

3.2 找矿前景

矿区侵入岩主要有闪斜煌斑岩、杏仁状玄武安山玢岩、硅化绿帘石化安山玢岩、安山玢岩、闪长玢岩、蚀变黑云母花岗闪长斑岩和花岗斑岩。这些伴随断裂而成的浅成岩侵入的热作用与本区金矿化—成矿以及永宁组发育的面积性绢云母化蚀变有重要的成因联系。

矿区地层为新元古界青白口系永宁组,含金矿化蚀变带均赋存于地层内砂砾岩的北东向裂隙中。断裂

表 1 浅部含金矿化蚀变岩带特征一览表

Table 1 Characteristics of shallow gold-bearing altered zone

编号	长度/m	宽度/m	矿化及蚀变	Au 品位/10 ⁻⁶	产状	控制工程
Au1	300	0.10~1.00	褐铁矿化、硅化	1.78	293~300°/66~86°	探槽
Au2	310	0.05~0.10	黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿化, 硅化	0.04~2.70	100°/73°, 275°/88°	浅部钻孔
Au3	480	0.15~0.30	黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿、铜蓝矿化, 硅化	0.14~38.03	76~125°/69~85°	探槽、浅部钻孔
Au4	1120	0.15~0.70	褐铁矿化、硅化、黄铁矿化	0.03~19.60	102~147°/71~86°	探槽、浅部钻孔
Au5	1510	0.10~3.90	褐铁矿化、硅化	0.02~16.87	106~135°/77~86°	探槽、浅部钻孔
Au6	470	0.10~0.20	褐铁矿化、弱硅化	0.06~0.19	120°/82°	
Au7	260	0.15~1.30	褐铁矿、磁铁矿、黄铁矿化, 硅化	0.44~4.64	102~125°/83~87°	探槽
Au8	300	0.5~1.3	褐铁矿化、硅化	0.23~0.24	270°/85°, 93°/78°	探槽
Au9	300	0.5~1.1	褐铁矿化、硅化	0.12~0.30	278°/80°	探槽
Au10	40	0.62	褐铁矿化	0.13~7.44	284°/85°	探槽
Au11	40	0.50	褐铁矿化	0.12~6.14	285°/76°	探槽
Au12	250	0.10~1.0	褐铁矿化	0.24~0.50	315°/68°	探槽
Au13	约 200		黄铁矿化、硅化、钼矿化	0.11~0.27		浅部钻孔
Au14	150	3	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.25	30°/75°	
Au15	20	3~5	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.40	130°/85°	
Au16	230	1~2	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.48	145°/75°	
Au17	20	3~5	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.22	5°/75°	
Au18	30	8~15	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.18~0.29	300°/75°	
Au19	50	5~10	硅化、绢云母化、褐铁、磁铁矿化	1.01	120°/75°	
Au20	80	8~15	硅化、绢云母化、褐铁、磁铁矿化	1.42	310°/80°	
Au21	100	2~3	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.76	115°/80°	
Au22	150	3~5	硅化、云英岩化、褐铁矿化	0.18		
Au23	130	1~2	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.16	10°/70°	
Au24	200	5~8	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.18	150°/80°	
Au25	130	3~5	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.26~0.99	305°/75°	

构造较发育,主要有北北东、北东、北西向。北东向较发育,性质以压性-压扭性为主,个别为张性-张扭性,总体呈舒缓波状,含金矿化蚀变带严格受北东向断裂构造控制。北东向脉岩极为发育,主要为闪长玢岩、花岗斑岩。其内部和与围岩接触部位的北东向裂隙较发育,且被褐铁矿化细脉充填。本区脉岩为矿脉的形成

提供了热源和物质。

通过区域地质背景及各类矿产分布特征等资料分析认为:在地壳结构方面,本区不但有隆起与凹陷相间分布的古老变质基底,而且有新元古界沉积盖层,具有较好的封闭隔挡作用;在构造方面,有地壳挤压收缩期形成的浅层具多期活动特征的断裂构造;在岩浆活动

表 2 ZK1-1 钻孔含金矿化蚀变岩带特征一览表

Table 2 Characteristics of gold-bearing altered zone in ZK1-1borehole

编号	深度/m	垂厚/m	矿化及蚀变	Au 品位/ 10^{-6}	Au 平均品位/ 10^{-6}
Au1	124.45~140.57	16.12	黄铁矿化、方铅矿化	0.17~0.78	0.36
Au2	214.38~217.36	2.98	硅化、绢云母化、褐铁矿化	0.25~0.38	0.32
Au3	250.50~252.78	2.28	黄铁矿化、碳酸盐化	0.22~0.30	0.26
Au4	291.09~294.29	3.20	绢云母化、黄铁矿化、方铅矿化	0.19~0.45	0.29
Au5	365.81~369.81	4.00	绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化	0.18~0.27	0.17
Au6	408.51~417.51	9.00	方铅矿化、黄铁矿化	0.05~0.31	0.21
Au7	483.75~487.75	4.00	黄铁矿化、绿泥石化	0.10~0.37	0.21
Au8	518.89~520.89	2.00	黄铁矿化、绿泥石化	0.30~0.57	0.44
Au9	554.51~556.81	2.30	黄铁矿化	0.19~0.35	0.27
Au10	567.61~573.49	5.88	黄铁矿化、绿泥石化	0.18~0.36	0.26
Au11	676.88~683.88	7.00	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化	0.08~0.35	0.20
Au12	698.88~704.88	6.00	黄铁矿化、硅化	0.22~3.34	0.76
Au13	841.08~846.08	5.00	黄铁矿化、硅化、绿泥石化	0.10~0.44	0.25
Au14	938.76~953.10	14.34	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿化,碳酸盐化	0.24~1.00	0.45
Au15	1367.31~1371.65	4.34	黄铁矿化、硅化、钾化	0.09~0.32	0.19
Au16	1396.40~1405.78	9.38	黄铁矿化、磁黄铁矿化、硅化、钾化、方铅矿化	0.04~1.71	0.31
Au17	1465.24~1468.24	3.00	黄铁矿化、黄铜矿化	0.97~1.31	1.17
Au18	1475.55~1480.75	5.20	黄铁矿化、硅化	0.09~0.89	0.33
Au19	1500.94~1503.44	2.50	硅化、钾化、黄铁矿化	0.09~0.23	0.14
Au20	1826.33~1833.16	6.83	黄铁矿化、磁铁矿化	0.10~0.27	0.20
Au21	1888.01~1889.01	1.00	黄铁矿化	1.06	1.06

方面,伴随构造活动有多期次中基性、中性、酸性岩浆深成一浅成侵入活动,形成广泛分布的深成岩体和一系列平行断裂带密集分布的浅成岩脉群. 岩浆侵入活动为成矿提供热源或从深部携带含矿热液, 断裂构造为成矿提供通道和容矿空间. 在这样的大地构造背景条件下有利于金及多金属的富集成矿, 因此从区域地质上分析具有较好的金多金属成矿地质条件, 永宁组盖层与基底之间的接触界面、界面上下发育的主断裂派生的张裂带、隐伏岩体周围接触带,甚至一期或多期热液活动涉及区域均为成矿有利部位.

4 结语

- (1)在河洼金矿的勘查和研究中,广域电磁法结合基础地质及钻探工程是一套有效的深部勘查手段,在地层分层和构造研究方面都起到很好的效果,对研究河洼金矿成矿规律具有很好的指示作用.
- (2)矿区地表和深部均见有含金矿化蚀变岩,虽规模小,但数量多,矿化蚀变主要有金矿化、褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、铅锌矿化、硅化、绿泥石化等. 通过对矿区地表岩矿石标本和钻孔岩心进行详细地地球化学分析和物性分析,可以确定本区存在一期或多期强

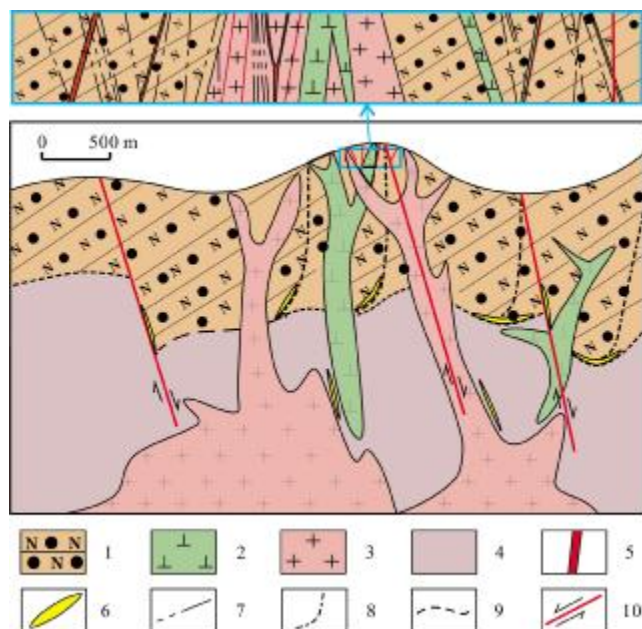


图4 成矿理论模型

Fig. 4 Metallogenic theoretical model

- 1—永宁组 (Yongning fm.); 2—闪长玢岩脉 (diorite porphyrite dike); 3—花岗斑岩 (granite porphyry); 4—太古宙变质深成岩 (Archean metamorphic plutonic rock); 5—地表含矿裂隙带 (surface ore-bearing fracture zone); 6—金矿体 (gold orebody); 7—构造裂隙 (structural fissure); 8—盖层内构造破碎带 (structural fracture zone in caprock); 9—接触面 (contact interface); 10—断层 (fault)

烈的岩浆和流体活动,成矿流体在温压驱动下于不同的位置就位,与不同性质的围岩发生交代蚀变作用,成矿物质在地表与深部矿化蚀变物质性质类同,为河洼金矿成矿物质来源研究提供了有力依据。

(3)根据地质地层分析及深部钻探,对该金矿区成矿模式有了更准确的认识:永宁组盖层厚度 1 000 m 左右,其与基底之间的接触界面、界面上下发育的主断裂派生的张裂带、隐伏岩体周围接触带,甚至一期或多期热液活动涉及区域,均为成矿有利部位,具有较大成矿空间。

参考文献 (References):

- [1]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 R X, Fan H R, Li J W, et al. Decratonic gold deposits [J]. Science China Earth Sciences, 2015, 58(9): 1523-1537.
[2]陈荣度,李显东,杨雅君,等.辽东半岛南部印支造山旋回早期的顺层滑脱构造[J].辽宁地质,1999,16(3):161-169.
Chen R D, Li X D, Yang Y J, et al. Bedding decollement structure of

the early Indosinian orogenic cycle in the south of Liaodong Peninsula [J]. Liaoning Geology, 1999, 16(3): 161-169.

- [3]陈荣度,李显东,张福生.对辽东古元古代地质若干问题的讨论[J].中国地质,2003,30(2):207-213.

Chen R D, Li X D, Zhang F S. Several problems about the Paleoproterozoic geology of eastern Liaodong [J]. Geology in China, 2003, 30(2): 207-213.

- [4]张秋生.辽东半岛早期地壳与矿床[M].北京:地质出版社,1988:1-570.

Zhang Q S. Early crust and mineral deposits of Liaodong Peninsula, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-570.

- [5]杨中柱,孟庆成,江江,等.辽南变质核杂岩构造[J].辽宁地质,1996(4):241-250.

Yang Z S, Meng Q C, Gang J, et al. The metamorphic core-complex structure in south Liaoning [J]. Liaoning Geology, 1996(4): 241-250.

- [6]王文清,曲亚军.辽东古元古宙金矿地质特征及成矿模式[J].辽宁地质,2000,17(3):161-172.

Wang W Q, Qu Y J. Geological characteristics and metallogenic models of gold deposits of Paleoproterozoic in east Liaoning Province [J]. Liaoning Geology, 2000, 17(3): 161-172.

- [7]陈慧,刘建辉,丁正江,等.辽南晚中生代以来的剥露冷却历史[J].地质学报,2022,96(4):1163-1181.

Chen H, Liu J H, Ding Z J, et al. The exhumation and cooling history in the southern Liaodong Peninsula since Late Mesozoic [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(4): 1163-1181.

- [8]Yang L Q, Deng J, Guo L N, et al. Origin and evolution of ore fluid, and gold-deposition processes at the giant Taishang gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China [J]. Ore Geology Reviews, 2016, 72: 585-602.

- [9]朱志澄.变质核杂岩和伸展构造研究述评[J].地质科技情报,1994,13(3):1-9.

Zhu Z C. Review on metamorphic core complex and extensional tectonics [J]. Geological Science and Technology Information, 1994, 13(3): 1-9.

- [10]纪沫,胡玲,刘俊来,等.辽南变质核杂岩主拆离断层的波瓦状构造 (corrugation) 及其成因 [J]. 地质科学, 2008, 43(1): 12-22, 49.
Ji M, Hu L, Liu J L, et al. Features and mechanism of corrugation structure in the Liaonan (southern Liaoning) metamorphic core complex [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(1): 12-22, 49.

- [11]文飞,田忠华.辽东半岛辽河群变泥质岩变质变形研究:对古元古代造山作用及折返过程的启示 [J]. 岩石学报, 2021, 37(2): 619-635.

Wen F, Tian Z H. A metamorphic and deformational study of metapelites in the Liaohe Group located at Liaodong Peninsula: Significance to process of Paleoproterozoic orogenesis and exhumation [J]. Acta Petrologica Sinica, 2021, 37(2): 619-635.

- [12]姚晓峰,颜廷杰,林成贵,等.辽东半岛五龙金矿成矿系统新认

- 识:来自外围热液角砾岩型铅锌矿化的指示[J]. 岩石学报, 2021, 37(6): 1883–1900.
- Yao X F, Yan T J, Lin C G, et al. New sight for gold forming system in Wulong deposit: Indicated by the distal Pb-Zn mineralization in hydrothermal breccia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2021, 37(6): 1883–1900.
- [13] 张拴宏, 张琪琪, 胡国辉, 等. 辽东五龙与青城子矿集区成矿和保存条件对比及其深部找矿意义[J]. 地质学报, 2022, 96(1): 232–248.
- Zhang S H, Zhang Q Q, Hu G H, et al. Comparison of mineralization and preservation conditions in the Wulong and Qingchengzi ore concentration areas, eastern Liaoning Province: Implications for deep metallogenic prediction [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(1): 232–248.
- [14] 李强, 张捷, 廖勇, 等. 辽东裂谷的基本特征及含矿建造划分[J]. 有色矿冶, 2007, 23(4): 9–11.
- Li Q, Zhang J, Liao Y, et al. Basic features of Liaodong rift and categorization of its ore-bearing formation [J]. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 2007, 23(4): 9–11.
- [15] 刘俊来, 纪沫, 申亮, 等. 辽东半岛早白垩世伸展构造组合、形成时代及区域构造内涵[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(5): 618–637.
- Liu J L, Ji M, Shen L, et al. Early Cretaceous extensional structures in the Liaodong Peninsula: Structural associations, geochronological constraints and regional tectonic implications [J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(6): 823–842.
- [16] 仲米山, 王海鹏, 鲁红峰, 等. 辽河(岩)群变形期次再讨论[J]. 地质与资源, 2018, 27(3): 218–223.
- Zhong M S, Wang H P, Lu H F, et al. Rediscussion on the deformation phases of Liaohe (rock) Group [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(3): 218–223.
- [17] 刘俊来, 崔迎春, 关会梅. 辽吉朝褶皱带古元古宙岩浆核杂岩及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5): 202–206.
- Liu J L, Cui Y C, Guan H M. Magmatic core complex in the Liaoning-Jilin-Korea Paleoproterozoic fold belt and its tectonic significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5): 202–206.
- [18] 骆念岗, 王彬娜, 尹志刚, 等. 辽东岫岩地区古元古代盘道岭岩体地球化学特征及构造背景探讨[J]. 中国地质, 2023, 50(4): 1217–1232.
- Luo N G, Wang B N, Yin Z G, et al. Geochemistry of the Paleoproterozoic Pandaoling pluton in Xiuyan area of eastern part of Liaoning Province and its implications for tectonic setting [J]. *Geology in China*, 2023, 50(4): 1217–1232.
- [19] 林伟, 王清晨, 王军, 等. 辽东半岛晚中生代伸展构造——华北克拉通破坏的地壳响应[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(5): 638–653.
- Lin W, Wang C C, Wang J, et al. Late Mesozoic extensional tectonics of the Liaodong Peninsula massif: Response of crust to continental lithosphere destruction of the North China Craton [J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(6): 843–857.
- [20] 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 2695–2726.
- Chen Y J, Zhai M G, Jiang S Y. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(11): 2695–2726.
- [21] 林伟, 王军, 刘飞, 等. 华北克拉通及邻区晚中生代伸展构造及其动力学背景的讨论[J]. 岩石学报, 2013, 29(5): 1791–1810.
- Lin W, Wang J, Liu F, et al. Late Mesozoic extension structures on the North China Craton and adjacent regions and its geodynamics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(5): 1791–1810.
- [22] 何继善. 广域电磁测深法研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, 41(3): 1065–1072.
- He J S. Wide field electromagnetic sounding methods [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2010, 41(3): 1065–1072.
- [23] 何继善. 深部矿产资源探测中电磁方法的若干进展[J]. 贵州地质, 2013, 30(1): 1–8.
- He J S. Some advances of electromagnetic method in the deeper prospecting of mineral resources [J]. *Guizhou Geology*, 2013, 30(1): 1–8.
- [24] 梁维天, 李勇, 王东波, 等. 辽东南金属矿勘查中广域电磁法应用效果[J]. 物探与化探, 2020, 44(5): 1078–1084.
- Liang W T, Li Y, Wang D B, et al. The application effect of WFEM in the exploration of metal deposits in the southeast of Liaoning Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(5): 1078–1084.
- [25] 刘洋, 王健, 尹志超. 广域电磁法在新疆哈密卡拉塔格矿集区勘查中的应用[J]. 矿产勘查, 2022, 13(7): 999–1006.
- Liu Y, Wang J, Yin Z C. Application of wide-field electromagnetic method in the exploration of Kalatge ore concentration area in Hami, Xinjiang [J]. *Mineral Exploration*, 2022, 13(7): 999–1006.
- [26] Li D Q, Zhang Q X. Application of the wide field electromagnetic method for oil and gas exploration in a red-bed basin of South China [J]. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 2021, 26(1): 25–34.
- [27] Yu Z H, Yan L Q, Cai Z J, et al. Application of wide-field electromagnetic method in shale gas survey in Eastern Kunlun, Qinghai Province, China [J]. *Journal of Central South University*, 2020, 27(11): 3388–3397.

- (4): 481–492.
- [33] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [M]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984: 63–114.
- [34] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42 (1): 313–345.
- [35] 杨进辉, 吴福元, 谢烈文, 等. 辽东矿洞沟正长岩成因及其构造意义: 锆石原位微区 U–Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 263–276.
- Yang J H, Wu F Y, Xie L W, et al. Petrogenesis and tectonic implications of Kuangdonggou syenites in the Liaodong Peninsula, East North China Craton: Constraints from in-situ zircon U–Pb ages and Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (2): 263–276.
- [36] King P L, White A J R, Chappell B W, et al. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia[J]. Journal of Petrology, 1997, 38(3): 371–391.
- [37] 宋运红, 杨凤超, 闫国磊, 等. 辽东地区古元古代花岗岩 SHRIMP U–Pb 年龄、Hf 同位素组成及构造意义[J]. 地质学报, 2016, 90 (10): 2620–2636.
- Song Y H, Yang F C, Yan G L, et al. SHRIMP U–Pb ages and Hf isotopic compositions of Paleoproterozoic granites from the eastern part of Liaoning Province and their tectonic significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(10): 2620–2636.
- [38] 顾玉超, 鞠楠, 陈仁义, 等. 辽东兰花岭地区古元古代 I 型花岗岩类与辽吉 A 型花岗岩对比研究[J]. 地质通报, 2024, 43(2/3): 317–339.
- Gu Y C, Ju N, Chen R Y, et al. Comparative study of the Lanhualing Paleoproterozoic I-type granitoids and the Liaoji A-type granitoids in eastern Liaoning[J]. Geological Bulletin of China, 2024, 43(2/3): 317–339.
- [39] 杨明春, 陈斌, 闫聪. 华北克拉通胶–辽–吉带古元古代条痕状花岗岩成因及其构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 2015, 37(5): 31–51.
- Yang M C, Chen B, Yan C. Petrogenesis of Paleoproterozoic gneissic granites from Jiao-Liao-Ji Belt of North China Craton and their tectonic implications [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37(5): 31–51.
- [40] 毕君辉, 邢德和, 葛文春, 等. 辽东地区北辽河群变酸性火山岩形成的时代及构造背景: 古元古代陆内裂谷, 还是活动大陆边缘? [J]. 地学前缘, 2018, 25(3): 295–308.
- Bi J H, Xing D H, Ge W C, et al. Age and tectonic setting of meta-acid volcanic rocks from the North Liaohe Group in the Liaodong area: Paleoproterozoic intracontinental rift or active continental margin? [J]. Earth Science Frontiers, 2018, 25(3): 295–308.
- [41] Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting[J]. Geology, 2012, 40(10): 875–878.

(上接第 167 页/Continued from Page 167)

- [28] 田茂军, 李帝铨, 李斌, 等. 辽宁南芬变质核杂岩核部花岗岩地球化学特征及构造意义[J]. 地球科学, 2019, 44(10): 3551–3564.
- Tian M J, Li D Q, Li B, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of granite from Nanfen metamorphic core complexes in Liaoning[J]. Earth Science, 2019, 44(10): 3551–3564.
- [29] 单学东, 李显东, 战丽华, 等. 辽东永宁组(群)沉积特征[J]. 辽宁地质, 1999, 16(1): 29–34.
- Shan X D, Li X D, Zhan L H, et al. Sedimentary characteristics of Yongning Formation (Group)[J]. Liaoning Geology, 1999, 16(1): 29–34.
- [30] 杨玉伟, 余超, 苏特, 等. 辽东黑沟地区辽河群成因及其对辽吉造山带构造演化的制约[J]. 地质学报, 2020, 94(5): 1397–1412.
- Yang Y W, Yu C, Su T, et al. Petrogenesis of the Liaohe Group from the Heigou area in the eastern Liaoning Province: Constraints on tectonic evolution of the Liao Ji orogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(5): 1397–1412.
- [31] 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(1): 35–40.
- Chen Y J, Guo G J, Li X. Metallogenic geodynamic background of Mesozoic gold deposits in granite-greenstone terrains of North China Craton[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 1998, 41 (2): 113–120.