

# 胶莱盆地东北缘牧牛山杂岩带金矿成矿机制研究

姜丽萍

(中化地质矿山总局山东地质勘查院)

**摘要:** 牧牛山杂岩带内岩浆岩以同心环状“反环带”增生方式侵入,燕山晚期伟德山序列岩体沿燕山早期玲珑序列岩体外围侵入,并带来了更多的热能和成矿物质,提供了额外的流体驱动力和上升通道,从而更有利于成矿流体的运移和沉淀。通过对林寺山一带构造行迹的野外详细观察和区域资料、地质勘查成果的综合分析研究,在早白垩世时期,西太平洋板块向华北板块以北北西向高速斜向俯冲的挤压构造应力场背景下,牧牛山杂岩带内构造活动以左行走滑挤压为主,并受多期次构造叠加,在浅部形成高角度铲式断裂,在深部主构造面形成较为平缓、规模较大的脆-韧性转换带。随着携带大量碳酸盐熔体的大气降水与含金流体在深部缓倾的脆-韧性转换带处汇合,该部位空间大且有大量的碳酸盐熔体参与作用,形成厚大的黄铁矿碳酸盐脉型金矿(“辽上式”金矿);部分含金流体继续向上运移,在浅部构造裂隙或破碎带等脆性断裂及层间滑动构造等容矿空间较小的构造薄弱部位形成规模较小的构造蚀变岩型金矿(郭城金矿)。牧牛山杂岩带内金矿为同一构造背景下同一来源的成矿流体在不同构造样式和不同成矿环境下形成的不同规模和不同类型的矿体。

**关键词:** 成矿机制;成矿模式;岩体“反环带”增生;构造应力作用;金矿;牧牛山杂岩带;胶莱盆地东北缘

中图分类号:TD11 P611

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)07-0052-07

doi:10.11792/hj20250708

## 引言

胶莱盆地东北缘作为胶东地区三大金成矿带之一牟平—乳山成矿带的组成部分,先后探明了辽上、西涝口特大型金矿床和土堆—沙旺、西井口、前垂柳、蓬家乔、宋家沟等中型—大型金矿床,还分布有多个金矿点。特别是在辽上、西涝口金矿区,受胶西北深部探矿取得突破性进展的启发,借鉴其找矿经验,在深部(-500 m以下)发现了特大型金矿,是胶东地区东部目前仅发现的2处金金属量超过50 t的特大型金矿,并且其矿化类型以黄铁矿碳酸盐脉型为主,属于胶东地区一种新类型金矿——“辽上式”金矿<sup>[1]</sup>,区别于蚀变岩型(焦家式金矿)和石英脉型(玲珑式金矿),因此受到越来越多的关注。

前人对胶莱盆地东北缘金矿的成矿地质特征、矿体特征、矿床成因、成矿模式、成矿规律、控矿构造特征、地球化学、年代学、流体包裹体等方面进行了大量研究工作<sup>[2-10]</sup>,但多局限于对单个矿床的研究。对于大型—特大型金矿的成因机制研究只局限于矿床尺度,难以阐明金矿与区域构造、岩浆活动等之间的耦

合关系。本文通过对区域地质资料、找矿勘查成果的综合分析,结合林寺山一带构造行迹的野外详细观察等,从区域尺度上研究了牧牛山杂岩带内岩浆侵位方式、构造应力作用,探讨了金矿成矿机制,概括了成矿模式,期望对金矿的勘查研究工作提供一定指导。

## 1 地质背景

研究区位于胶莱盆地东北缘,大地构造位置为华北克拉通东南部,是胶莱盆地、胶北隆起、苏鲁超高压变质带东北端威海隆起三者的接合部位,处于郭城断裂东侧(见图1-A)。研究区出露地层主要为古元古界荆山群和下白垩统莱阳群、青山群,以及上白垩统王氏群(见图1-B)。其中,荆山群为一套中级变质岩系,岩性主要为黑云片岩、变粒岩、大理岩、含石墨岩系等,是重要的赋矿围岩;莱阳群为一套河湖相沉积,总体呈北东向展布,其发育及展布状况主要受断裂控制,岩性以砾岩、砂岩、粉砂岩、页岩为主,组成多个沉积旋回,是蓬家乔—宋家沟一带金矿主要的赋矿围岩。

研究区岩浆岩以古元古代牧牛山岩体为主,呈

收稿日期:2025-01-07;修回日期:2025-04-15

基金项目:中央财政项目(DD20230138);山东省省级地质勘查项目(鲁自然资字函[2019]676号)

作者简介:姜丽萍(1987—),女,高级工程师,硕士,从事地质勘查及成矿研究工作;E-mail:380813580@qq.com

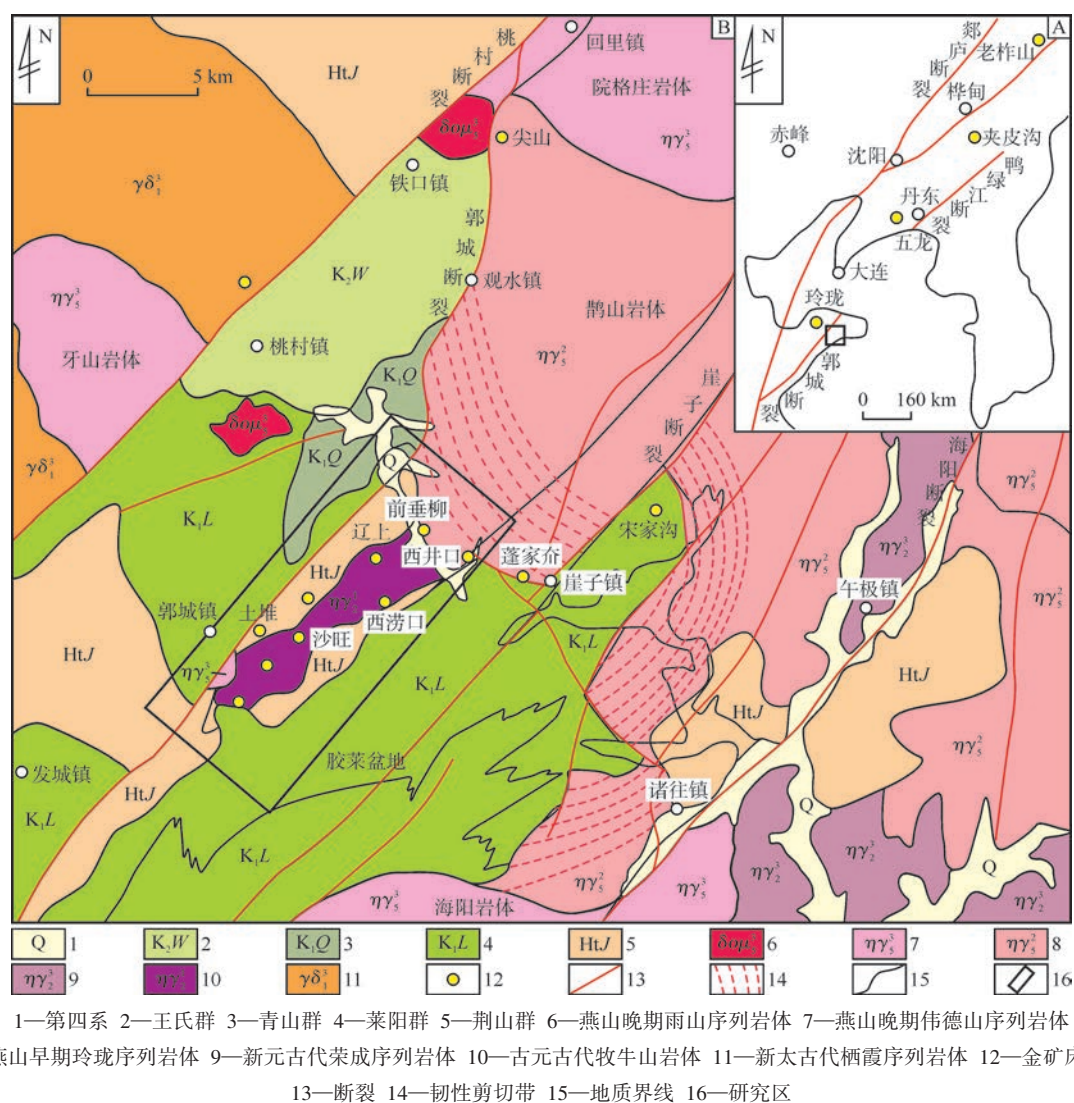


图1 胶莱盆地东北缘区域地质简图

Fig. 1 Regional geological sketch map of the northeastern margin of the Jiaolai Basin

“舌状”侵入于荆山群地层中,岩性为弱片麻状中细粒黑云二长花岗岩,是重要的赋矿围岩。以往区域资料将该岩体作为鹊山岩体的一部分,归属于燕山早期玲珑序列岩体,但随着测年技术提高,近年来,部分学者获得牧牛山岩体锆石U-Pb年龄为2 105~2 138 Ma<sup>[7,11-15]</sup>和1 844.1 Ma±4.4 Ma<sup>[16]</sup>,为古元古代岩体。本文采用测年精度更高的最新年龄,将其归为古元古代岩体。区域上大面积分布燕山早期玲珑序列岩体,其外围分布有院格庄、牙山、海阳等燕山晚期伟德山序列岩体。其中,院格庄岩体和牙山岩体应为同一岩体,只是被桃村断裂错开。根据野外详细观察,二者在矿物组成上十分相似,均含钾长石、石英巨斑及暗色包裹体,并且二者在岩相学、年代学、地球化学等方面也十分接近,成岩年龄在116~118 Ma<sup>[17-20]</sup>;区域地质资料显示,去除桃村断裂的左行走滑影响,二者的岩相分带线也能较好吻合。此外,研究区内普遍发育闪长玢岩、煌斑岩等中基性岩脉。

以近似等间距分布的北东向桃村断裂、郭城断裂、崖子断裂和海阳断裂构成区域基本构造格架,其形成受中生代古太平洋板块俯冲制约,均显示为左行走滑和多期次构造活动叠加。其中,郭城断裂与研究区金矿关系最为密切。根据野外观察,郭城断裂内破碎较强烈,发育断层泥和断层角砾岩,还可见构造透镜体、牵引构造、阶步和擦痕,且断裂面较为平直,表明郭城断裂具有压性特征。陈昌昕<sup>[7]</sup>研究认为,郭城断裂先后经历了压性和张性2期活动,并且得出其形成时代为燕山晚期。因此,在燕山晚期古太平洋板块向华北板块斜向高速俯冲的背景下,郭城断裂表现为压性。该时期也是区域上金矿成矿的主要时期<sup>[21-23]</sup>。

## 2 岩浆活动与金矿的关系

中生代花岗岩作为中国东部地区金矿的主要赋矿围岩,在时间和空间上与金矿关系密切<sup>[24-25]</sup>。前人研究表明,与花岗岩有关的金矿是岩浆在结晶、分异、



演化过程中的产物,或者是岩浆与围岩之间发生物理化学反应的产物<sup>[26]</sup>。金矿的成矿作用、成矿模式等与岩体的侵位机制和岩体侵位方式有很大关系。

岩体不同侵位方式也影响金矿的成矿作用和成矿模式<sup>[26]</sup>,并且岩体在侵位过程中的脉动次数、岩浆量和侵位位置等存在差异,也可能会形成不同的增生结构形式,成矿作用也会明显不同<sup>[27]</sup>。区域内岩浆活动十分活跃,主要分两期侵入岩:第一期为燕山早期晚侏罗世玲珑序列鹊山岩体(见图2-a);第二期为其外围分布的燕山晚期伟德山序列岩体,分别为院格庄岩体、牙山岩体和海阳岩体。可以看出,去除构造对岩体的错动影响,岩体呈同心环状分布,并且以“反环带”增生方式侵入(见图2-b)。反环带表现为岩体中心单元早于边部单元侵位,其增生方式是由内向外,形成的关键因素是岩浆供应量和供应速度、前后增生单元侵位时间间隔、区域构造变形强度等<sup>[28]</sup>。因此推测,研究区内形成岩体的岩浆供应量和供应速度较小、多期侵入的增生单元侵位时间间隔较长,并且区域构造变形强度较小。冯佐海等<sup>[26]</sup>认为,绝大多数花岗岩体不是一次侵位形成的,而是经历了以脉动方式为主的多次侵位生长过程,从而成矿作用也应是多期次的。芮宗瑶等<sup>[29]</sup>将岩浆的多期侵位和矿化重叠称为“岩浆多重侵位与多重成矿”。

综上,可以总结出研究区内岩浆活动与金矿成矿的关系:第一期燕山早期形成鹊山岩体的岩浆热液在上升侵位过程中,对含金丰度值高的荆山群地层(围岩)产生机械破坏,并与之发生化学反应,萃取围岩中的金元素,其本身可能也含有金成矿物质,该期岩浆活动对金富集具有一定促进作用;第二期燕山晚期形成伟德山序列岩体岩浆侵入带来了更多的热能和成矿物质,叠加前期作用,增强了岩浆熔体的物理化学作用、机械破坏作用,以及流体的化学活动性,对围岩的作用会更加强烈、充分,增加了侵入接触部位的裂隙度和渗透性,从而有利于成矿流体的运移和沉淀。王来明等<sup>[30]</sup>对胶东地区金矿与中生代区域性花岗岩的空间展布、形成时代和形成环境等关系进行了分析研究,表明玲珑序列岩体、伟德山序列岩体等与金矿成矿作用显著相关。

3 构造应力作用

胶东地区金矿成矿构造背景与燕山期太平洋板块向华北板块俯冲作用下引起的构造体制转变和岩石圈减薄有关。在此背景下,胶东地区在燕山期经历了3次挤压和2次伸展活动<sup>[31]</sup>。其中,早白垩世时期,

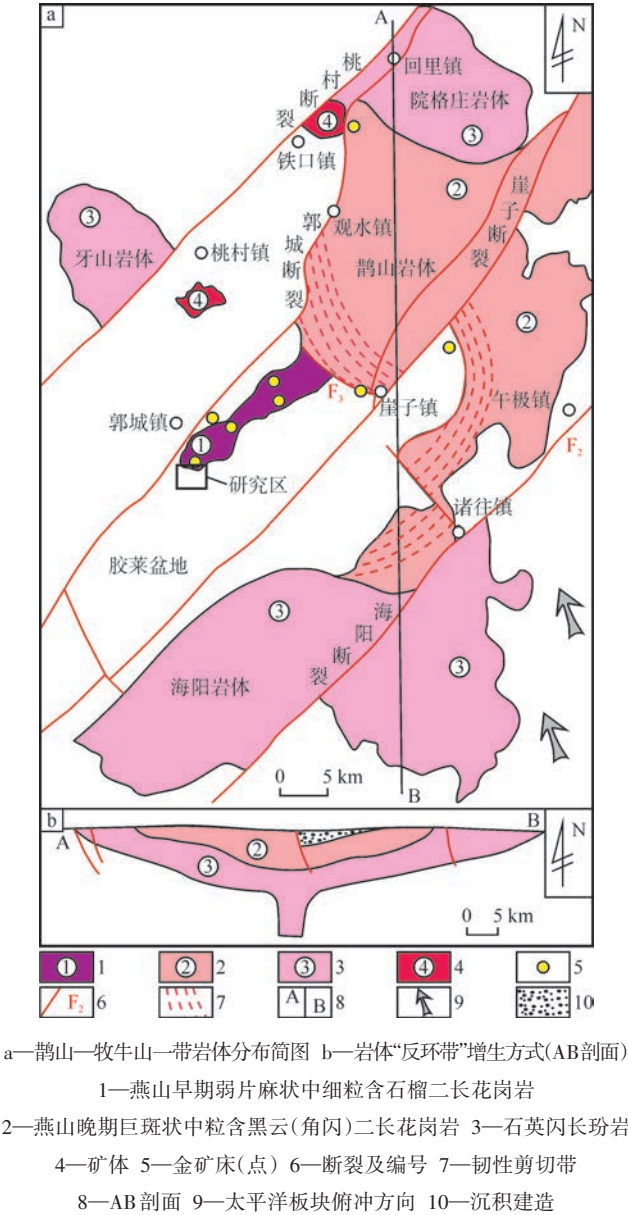


图2 区域岩体分布简图

Fig. 2 Sketch map of regional rock mass distribution

受古太平洋板块向北北西向俯冲挤压影响,该区北北西向应力可分为北东向剪应力和北西西向压应力(见图2-a),并形成了北东向相互平行且距离相近的桃村、郭城、崖子、海阳等断裂。北东向剪应力导致该时期内这几条断裂的性质为左行走滑,在图2-a中桃村断裂左行走滑将燕山晚期入侵的岩体分割成院格庄岩体和牙山岩体,郭城断裂左行走滑切割院格庄岩体,崖子断裂左行走滑切割鹊山岩体,海阳断裂左行走滑切割海阳岩体。同时,受北西西向压应力挤压作用,桃村、郭城等断裂在燕山晚期表现为压性断裂,并在鹊山岩体的西南边界形成了北西向“S”形构造(除去崖子断裂左行走滑的影响),并在该构造附近的岩体中形成呈“S”形分布的韧性剪切带。

林寺山的形成也可以佐证北西西向分应力的挤

压作用,因为在形成“S”形断裂的同时,在其转弯处形成的南西向应力,将牧牛山岩体(平面上呈“舌状”)向南西向推移,在该岩体前缘与莱阳群地层接触部位形成逆冲断裂,使得莱阳群地层向上抬升,从而形成林寺山(见图3-d),其形成模式见图3-c。接触部位岩石变形强烈,以压扁和剪切作用为主,发育板劈理或褶劈理,发育沿倾向的拉伸线理,形成构造透镜体,具强烈的糜棱岩化(见图3-b),可见断层泥(见图3-g)、膝折(见图3-f)和受水平挤压剪切作用形成的构造透镜体(见图3-e)等现象,岩性以构造碎裂岩、构造角砾岩为主(见图3-g)。莱阳群地层逐渐抬升,经挤压形成近似垂直的节理,并受重力作用影响,形成较宽的张裂隙(见图3-a)并垮塌,导致受挤压的一侧山体陡峭。以上地质现象显示出该区以挤压推覆构造活动为主,形成构造破碎带,为后期含矿热液的运移提供了通道,并在一定的物理化学条件下富集成矿。在地表可见孔雀石(见图3-h)、铅锌矿脉(见图3-i)及含金蚀变花岗岩(见图3-j)等,并伴有煌斑岩侵入(见图3-g)。在林寺山东部山脚下观察到北东向的闪长玢岩被与金矿成矿有关的近北西向煌斑岩脉左行错位,也间接说明在早白垩世晚期,牧牛山岩体向西南方向移动。

#### 4 成矿机制

研究区具有代表性的辽上、土堆—沙旺金矿(郭城金矿)矿体主要赋矿围岩为牧牛山岩体和荆山群变质岩,而蓬家乔和宋家沟金矿主要赋矿围岩为早白垩世莱阳群砾岩,表明该区金矿对围岩没有成矿专属性,而是受主断裂及一系列次级断裂控制。在古太平洋板块俯冲的分应力作用下,在研究区形成间距大致相等的几组北东向平行断裂,组成基本构造格架,均显示为上陡下缓高角度的铲式构造,具左行压扭性特征,局部显示为张性破碎带,并产生一系列次级断裂。根据普遍认识,研究区金矿为与早白垩世岩浆活动有关的中低温岩浆热液金矿,成矿年龄在116~128 Ma<sup>[9,21-22]</sup>,与胶东金矿爆发期(120 Ma左右)基本一致,而研究区岩体为牧牛山岩体。因此认为,在牧牛山岩体下应该存在隐伏的燕山晚期岩体。彭雪峰等<sup>[32]</sup>也有一致的认识。

李大兜等<sup>[33-34]</sup>认为,郭城金矿成矿流体主要为幔源岩浆流体,并混合有大气降水;成矿物质主要来源于幔源岩浆,荆山群变质岩系也有一定的贡献。梁辉等<sup>[35]</sup>认为,辽上金矿成矿流体主要为岩浆水,混合有

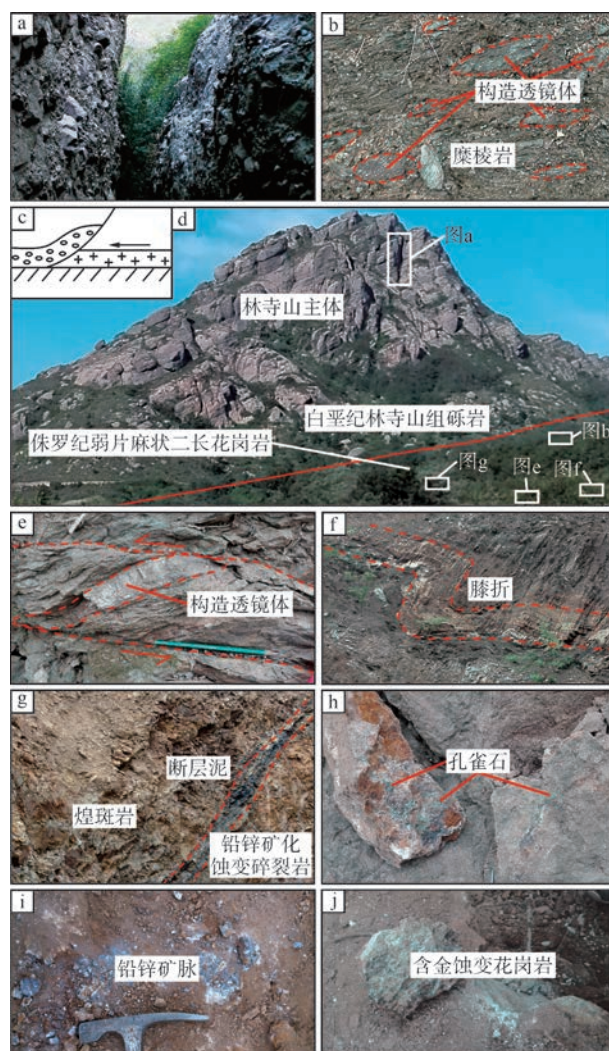


图3 构造活动形成的林寺山及产生的矿化蚀变

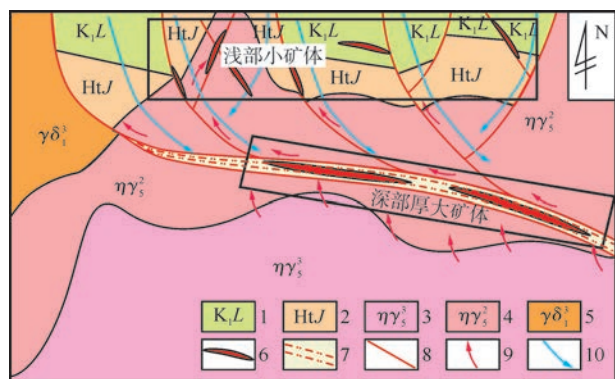
Fig. 3 Tectonic activity-induced Linsi Mountain and associated mineralization alteration

幔源流体和大气降水;成矿物质主要来自前寒武纪变质岩和侏罗纪花岗岩。税棚<sup>[36]</sup>也认为,郭城、辽上金矿成矿流体为原生岩浆水、变质水和大气降水的混合作用,并且大气降水对其有较大的影响;成矿流体主要为深部的幔源流体,并混合了赋矿围岩荆山群中的物质。孙兴丽<sup>[14]</sup>认为,西涝口金矿成矿流体为岩浆热液与大气降水或热卤水混合流体;成矿物质主要来源于下地壳。孙丽伟<sup>[37]</sup>认为,蓬家乔金矿成矿流体以幔源流体为主,加入少量大气降水;成矿物质来自上地幔,部分来自荆山群变质岩地层。总之,研究区金矿成矿流体与岩浆热液最相关,从南向北受大气降水的影响逐渐变大,深部幔源成矿流体在向上运移过程中萃取了围岩中的成矿物质。

综上,研究区位于华北克拉通的东南部,成矿背景与胶东地区金矿具有统一的构造应力场背景,是胶东地区燕山期金矿爆发式形成的组成部分。早侏罗世晚期,西太平洋板块向华北板块低速正向俯冲,晚



侏罗世时高速正北斜向俯冲,早白垩世时高速北北西向斜向俯冲<sup>[38]</sup>。多次俯冲作用导致几组区域性断裂具左行走滑和多期次构造活动特征,在浅部表现为高角度的铲式构造或层间滑动构造,在俯冲挤压、回撤伸展多期次叠加的构造活动历程中,在深部主构造面形成较为平缓、规模较大的脆-韧性转换带。特别是早白垩世太平洋板块向华北板块高速俯冲,导致了该时期胶东地区壳幔混合型(A型)花岗岩体广泛侵位<sup>[39]</sup>,比如郭家岭、崂山岩体,以及研究区内的院格庄、牙山、海阳等岩体。早白垩世晚期为华北克拉通东部构造体制转换的强烈期,大量壳幔重熔岩浆与幔源物质迅速上升,形成伟德山序列岩体<sup>[30]</sup>。随着幔源岩浆不断底侵注入,与中下地壳发生强烈的壳幔岩浆混合作用<sup>[40]</sup>,形成富金成矿流体<sup>[41]</sup>,这些富金的成矿流体在沿着区域性断裂向上运移过程中不断萃取围岩中的成矿物质,发生一系列水岩反应、流体沸腾<sup>[42]</sup>。当迁移至深部主构造面较为平缓、规模较大的脆-韧性转换带时,与携带大量碳酸盐熔体的大气降水汇合,形成深部厚大的“辽上式”黄铁矿碳酸盐脉型金矿。部分含矿流体继续沿着断裂等构造空间向上运移,随着物理化学条件的变化,主要在破碎较强、裂隙发育的北东向脆性断裂及层间滑动构造等容矿空间较小部位沉淀形成浅部蚀变岩型小矿体,比如郭城金矿深部厚大矿体、辽上金矿浅部小矿体等(见图4)。



1—晚白垩世莱阳群 2—古元古代荆山群  
3—燕山晚期伟德山序列岩体 4—燕山早期玲珑序列岩体  
5—新太古代栖霞序列闪长质片麻岩 6—矿体 7—脆-韧性转换带  
8—断裂 9—含矿流体运移方向 10—大气降水

图4 牧牛山杂岩带金矿成矿模式图

Fig. 4 Metallogenic patterns of gold mineralization on the Muniushan complex zone

简言之,研究区内金矿为同一构造背景下同一来源的成矿流体在不同构造样式和不同成矿环境下形成的不同规模和不同类型的矿体。深部脆-韧性剪切带规模大,为金矿成矿提供了广阔的空间,并且含有大量碳酸盐熔体的大气降水参与成矿作用,从而形成

规模较大的黄铁矿碳酸盐脉型金矿;浅部的脆性断裂及层间滑动构造等容矿空间较小,以充填交代方式为主,从而形成浅部的蚀变岩型小矿体。

在平面分布上,研究区北部辽上一西涝口一带深部发现了厚大的“辽上式”黄铁矿碳酸盐脉型金矿,中部的土堆—沙旺金矿以发育多个密集的小矿体为主,南部林寺山一带发现金矿(化)体和铅锌矿。这可能与矿体向西南侧伏和剥蚀程度加剧有关。陈原林等<sup>[43]</sup>通过磷灰石裂变径迹热年代学研究认为,研究区内东北部地层剥蚀程度高,南西部地层剥蚀程度相对较低。这也可以推测,土堆—沙旺金矿至林寺山一带的东南侧深部具有“辽上式”金矿的找矿潜力,值得重视。

## 5 结 论

1)通过对牧牛山杂岩带内岩体的空间分布形态及相互关系的研究,指出岩浆岩以同心环状“反环带”增生方式侵入,燕山晚期伟德山序列岩体沿着燕山早期玲珑序列岩体的外围侵入,并带来了更多的热能和成矿物质,增强了机械破坏作用和流体化学活动性,对围岩的作用更加强烈、充分,增加了侵入接触部位的裂隙度和渗透性,从而有利于成矿流体的运移和沉淀。

2)在西太平洋板块向华北板块斜向俯冲的应力场背景下,通过解释林寺山的形成,显示构造应力以左行走滑挤压为主,并受多期次构造叠加,在浅部形成高角度的铲式断裂,在深部形成规模较大、平缓的脆-韧性转换带。

3)早白垩世,随着幔源岩浆不断底侵注入,与中下地壳发生强烈的壳幔岩浆混合作用,形成富金成矿流体,这些富金成矿流体与携带大量碳酸盐熔体的大气降水在深部平缓的脆-韧性转换带处汇合,形成厚大的黄铁矿碳酸盐脉型金矿(“辽上式”金矿),在浅部容矿空间较小的构造薄弱部位形成较小的蚀变岩型金矿(郭城金矿)。

## [参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 李志强,丁正江,薄军委,等.胶莱盆地东北缘郭城金矿床成矿流体特征及矿床成因[J].黄金,2024,45(5):57-63.
- [3] 赵立翔,丁正江,张琪彬,等.胶东地区中生代花岗岩年代学、地球化学特征及与金银多金属成矿的关系[J].黄金,2024,45(4):57-64.
- [4] 刘玉强,史辉,李军,等.胶莱盆地周边金矿床地质-地球物理-地球化学特征及找矿意义[J].地球学报,2004,25(6):593-600.

- [5] 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(增刊1):919-920.
- [6] 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.
- [7] 陈昌昕.山东郭城土堆—沙旺金矿床地质特征及矿床成因研究[D].长春:吉林大学,2015.
- [8] 刘晓敏,于森,李金涛,等.胶东石家金矿床成矿流体特征及矿床成因[J].黄金,2024,45(9):74-80.
- [9] 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):894-895.
- [10] 王志新,焦秀美,丁正江,等.胶莱盆地东北缘辽上式金矿构造控矿特征及找矿方向[J].黄金科学技术,2017,25(3):61-69.
- [11] 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.
- [12] 冯波,李红梅,魏兴亮,等.胶东郭城地区牧牛山岩体年代学研究及其地质意义[J].黄金,2013,34(4):24-28.
- [13] 徐鹤,王力,陈昌昕,等.山东郭城牧牛山二长花岗岩的岩石成因:地球化学和锆石 U-Pb 年代学制约[J].世界地质,2015,34(4):927-937.
- [14] 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.
- [15] 王立功,李秀章,于晓卫,等.胶东大泽山、天柱山花岗岩岩石成因和构造背景:地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Lu-Hf 同位素约束[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(3):879-898.
- [16] 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.
- [17] 田杰鹏.胶东栖霞福矿集区中生代金多金属矿区域成矿作用[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
- [18] 王飞飞,韩宗珠,张勇,等.栖霞牙山花岗岩及其暗色包体地球化学特征及成因研究[J].地质找矿论丛,2019,34(3):393-405.
- [19] 邹键,唐文龙,丁正江,等.山东牟平院格庄岩体锆石 U-Pb 年龄及其对周缘铜钼多金属成矿的制约[J].中国地质,2021,48(3):883-899.
- [20] 朱保霖,柳振江,成少博,等.胶东院格庄岩体中辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义[J].中国地质,2016,43(4):1353-1366.
- [21] 韩小梦,段留安,赵鹏飞,等.山东省胶莱盆地东北缘前垂柳金矿床黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄[J].中国地质,2024,51(1):366-367.
- [22] 周晓萍,胡秉谦,周明岭,等.胶莱盆地东北缘西涝口金矿煌斑岩脉岩石地球化学、锆石 U-Pb 年龄及其对构造岩浆事件的记录[J].地质通报,2022,41(9):1634-1647.
- [23] 张连昌,沈远超,刘铁兵,等.山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 法和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J].中国科学(地球科学),2002,32(9):727-734.
- [24] 孙景贵,刘阳,徐智恺,等.试论中国东北部陆缘晚中生代浅成热液大规模成矿与深部地质过程对成矿制约[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):651-692.
- [25] 韩吉龙,孙景贵,张勇,等.中国东北部夹皮沟矿集区金矿成矿过程——来自冰湖沟金矿床锆石 U-Pb 定年和微量元素示踪[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):728-747.
- [26] 冯佐海,王春增,王葆华.花岗岩侵位机制与成矿作用[J].桂林工学院学报,2009,29(2):183-194.
- [27] 王涛,张国伟,王晓霞,等.花岗岩体生长方式及构造运动学、动力学意义——以东秦岭造山带核部花岗岩体为例[J].地质科学,1999,34(3):326-335.
- [28] HECHT L, VIGNERESSE J L. A multidisciplinary approach combining geochemical, gravity and structural data: implications for pluton emplacement and zonation[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1999, 168(1):95-110.
- [29] 芮宗瑶,张洪涛,李宁,等.论花岗质岩浆多重侵位及其多重成矿模型[J].岩石矿物学杂志,1991,10(2):97-104.
- [30] 王来明,王金辉,任天龙,等.胶东金矿与中生代区域性花岗岩关系及成矿预测和找矿方向[J].山东国土资源,2024,40(3):6-22.
- [31] 于学峰,李洪奎,单伟.山东胶东矿集区燕山期构造热事件与金矿成矿耦合探讨[J].地质学报,2012,86(12):1946-1956.
- [32] 彭雪峰,姜丽萍,郝兴春,等.胶东郭城断裂带金矿找矿潜力分析[J].黄金,2015,36(11):13-17.
- [33] 李大兜.胶莱盆地东北缘龙口—土堆金矿区矿床成因及成矿模式研究[J].现代矿业,2020,36(9):6-11.
- [34] 陈原林,李欢,郑朝阳,等.胶莱盆地龙口—土堆金矿床成因:微量元素特征与 C-H-O-S 同位素约束[J].矿床地质,2021,40(5):977-996.
- [35] 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.
- [36] 税棚.胶莱盆地东北缘郭城—辽上金矿地质特征及成因机制[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
- [37] 孙丽伟.胶东乳山蓬家乔金矿床地质特征及矿化富集规律研究[D].长春:吉林大学,2015.
- [38] MARUYAMA S, ISOZAKI Y, KIMURA G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. Island Arc, 1997, 6(1):121-142.
- [39] 朱日祥,徐义刚.西太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏[J].中国科学(地球科学),2019,49(9):1346-1356.
- [40] 刘晓阳.华北克拉通东部金成矿系统深部岩浆过程:来自地幔包体和中基性脉岩矿物学及包裹体微区证据[D].武汉:中国地质大学(武汉),2022.
- [41] 汪在聪,汪翔,宗克清,等.华北克拉通壳幔演化与胶东巨量金成矿作用[J].矿物岩石地球化学通报,2023,42(6):1231-1247.
- [42] 朱日祥,朱光,李建威,等.华北克拉通破坏[M].北京:科学出版社,2020.
- [43] 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.

## Study on the metallogenic mechanism of gold deposits in the Muniushan complex zone, northeastern Jiaolai Basin

Jiang Liping

(Shandong Geological Exploration Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau)

**Abstract:** The magmatic rocks in the Muniushan complex zone intruded via a concentric “reverse zonation” accretion pattern. During the Late Yanshanian period, the Weideshan magmatic sequence intruded around the outer margins of the earlier Linglong sequence, introducing additional heat and ore-forming materials. This provided both an enhanced fluid-driving force and vertical migration pathways, thereby facilitating the transport and precipitation of ore-forming fluids. Based on detailed field observations of structural features in the Linshisi Mountain area and a comprehensive analysis of regional data and geological exploration results, it is inferred that during the Early Cretaceous, under a compressive stress regime caused by the high-angle oblique subduction of the West Pacific Plate beneath the North China Plate in a NNW direction, left-lateral strike-slip compression dominated the tectonic activity in the Muniushan complex zone. Multiple episodes of tectonic superposition led to the formation of high-angle shovel-shaped faults in the shallow subsurface and broad, gently dipping brittle-ductile transition zones along major deep structures. Atmospheric precipitation carrying abundant carbonate melts and gold-bearing fluids converged in these deep, gently dipping brittle-ductile transition zones. These zones, with ample space and significant carbonate melt involvement, facilitated the formation of thick pyrite-carbonate vein-type gold deposits (similar to the “Liaoshang-style” gold deposits). Portions of the gold-bearing fluids continued to migrate upward, and in shallow brittle faults, structural fractures, and interlayer slip zones with smaller ore-hosting space, smaller-scale structurally altered-rock type gold deposits (such as the Guocheng deposit) were formed. Thus, the gold deposits in the Muniushan complex zone are the result of ore-forming fluids from a common source and structural regime, forming mineral bodies of different scales and types under varied structural styles and metallogenic environments.

**Keywords:** metallogenic mechanism; metallogenic pattern; reverse zonation accretion of rock mass; tectonic stress regime; gold deposit; Muniushan complex zone; northeastern Jiaolai Basin

.....  
(上接第45页)

## Design of the state sensing and monitoring system for intelligent mines

Yue Guang<sup>1</sup>, Pang Boya<sup>1</sup>, Shi Guoqin<sup>1</sup>, Yue Shiyu<sup>3</sup>, Ren Lin<sup>1</sup>, Liu Mu<sup>2</sup>, Wu Yuxuan<sup>1</sup>

(1. Taiyuan Institute of Technology; 2. Zhangjiakou University;

3. School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology)

**Abstract:** To prevent sudden accidents such as collapses and landslides during mining operations, a mine safety monitoring system based on ZigBee and MCGS was proposed. The system collects real-time data on humidity and pressure in the mine, enabling anomaly detection and early warning to ensure the safety of personnel. Through the ZigBee network, sensor data are collected at terminal nodes and transmitted to a coordinator, which then relays the data via serial communication to a computer. The upper computer software MCGS is used for data visualization and analysis. When abnormal readings are detected, monitoring personnel can activate alarms and emergency lighting via PLC linkage through the MCGS interface, thereby issuing timely warnings and assisting mine workers in evacuating safely. The system significantly enhances the safety level of mining operations.

**Keywords:** intelligent mine; sensor network; monitoring system; MCGS; mine safety; humidity; pressure