

胶东玲珑金矿田不同矿段构造变形岩相带特征与深部找矿预测

张宝林^{1,2,3}, 吕古贤⁴, 余建国^{1,2,3}, 王翠芝⁵, 贾文臣⁶

ZHANG Baolin^{1,2,3}, LÜ Guxian⁴, YU Jianguo^{1,2,3}, WANG Cuizhi⁵, JIA Wenchen⁶

1.中国科学院矿产资源研究重点实验室/中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029;

2.中国科学院地球科学研究院,北京 100029;

3.中国科学院大学,北京 100049;

4.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;

5.福州大学紫金矿业学院,福建 福州 350108;

6.中铁资源集团有限公司北京技术咨询分公司,北京 100070

1.Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics/Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2.Institute of Earth Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4.Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

5.Zijin Mining School of Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China;

6.Beijing Technology Consulting Branch, China Railway Resources Group Co., Ltd., Beijing 100070, China

摘要:大规模勘探结果表明,胶东主要金矿田深部存在第二富集带,显示深部找矿潜力巨大。“深部第二富集带”受什么因素控制,深部预测的目标是什么,成矿边界在哪里,这些关键问题值得深入研究。结合“岩浆核杂岩隆起-拆离凹陷”构造系统和“米字型”构造控矿模式,提出将“构造变形岩相带”作为深部找矿预测目标和成矿边界,建立新的深部找矿预测标志。以玲珑矿田为例,综合对比各矿段3个主要方向(NEE、NE、NNE)构造变形岩相带的空间分布、物质成分、结构构造、形成时间、成岩成矿深度等特征,总结矿化富集规律及其向深部的变化趋势,探讨不同方向构造变形岩相带的时空演化关系。从“深部第二富集带”发育程度看,这些已知构造变形岩相带的深部都有找矿潜力,其外围可能存在平行的、更大深度的构造变形岩相带。

关键词:胶东金矿;玲珑金矿田;构造变形岩相带;深部预测目标;成矿边界;找矿潜力

中图分类号:P618.51;P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)11-1681-11

Zhang B L, Lü G X, Yu J G, Wang C Z, Jia W C. A comparative study of the characteristics of tectonic deformation lithofacies belts in different ore blocks of the Linglong gold orefield in Jiaodong and the deep ore-prospecting prognosis. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(11):1681-1691

Abstract: Large-scale exploration results show that there are the second enrichment zones in the deep part of the main gold orefields in Jiaodong, indicating great potential for deep exploration. What factors control the "deep second enrichment zone"? What are the goals of deep prediction? Where is the metallogenic boundary? These key questions deserve further study. In this paper, combined with the tectonic system of "uplift and depression detachment of magmatic core complex" and the ore-controlling model of "米-type" structure, it is proposed to take "tectonic deformation lithofacies belt" as the prediction target and ore-forming boundary of deep ore-prospecting and establish a new prediction indicator of deep ore-prospecting. Taking the Linglong gold orefield as an example, the

收稿日期:2020-02-10;修订日期:2020-05-28

资助项目:山东黄金矿业(玲珑)有限公司委托科研项目《玲珑金矿田构造蚀变岩成矿规律和深部预测研究》(编号:LLYY-2019-001)

作者简介:张宝林(1963-),男,研究员,从事构造物理化学及隐伏矿床定位预测理论与技术研究。E-mail: blzhang@mail.iggcas.ac.cn

通讯作者:吕古贤(1949-),男,研究员,从事区域地质、地质力学、矿田地质研究。E-mail: lvguxian@126.com

authors conducted the comprehensive comparison of the spatial distribution, material composition, structure characteristics, formation time, diagenetic mineralization depth of tectonic deformation facies belts in three main directions (NEE, NE, NNE) in different blocks of the orefield, with the summary of deep mineralization enrichment regularity and its variation trend. The spatial-temporal evolution relations of tectonic deformation facies belts in different directions were discussed. From the development degree of the "deep second enrichment zone", it can be seen that these known tectonic deformation lithofacies belts have ore-prospecting potential in the deep part, and there may be parallel and deeper tectonic deformation lithofacies belts in the periphery.

Key words: Jiaodong gold deposit; Linglong gold orefield; tectonic deformation lithofacies belt; deep predicted target; metallogenic boundary; prospecting potential

玲珑金矿是著名的“玲珑型”石英脉金矿命名地,开采历史悠久。多年来,针对该矿床和矿田的地质特征、控矿构造、成矿物理化学条件、矿床成因等,前人开展了大量的研究和勘查工作^[1-5]。特别是“玲珑-焦家式金矿”概念的提出^[6],即陆内岩浆期后热液蚀变剪切带硫化物石英脉-黄铁绢英岩蚀变破碎岩型金矿,在玲珑金矿乃至胶东和中国东部构造控矿规律认识方面上了一个新台阶。

20 世纪 90 年代,当胶东金矿陷入资源危机严重困境时,吕古贤提出了考虑“构造附加静水压力”的成矿深度校正方法^[7],重新测算了玲珑、焦家等金矿的形成深度^[8-9],预测胶东金矿“空白区”下面存在“深部第二富集带”^[8-11]。经山东地质六队钻探验证,取得找矿突破,引领了胶东金矿深部勘探的方向。此后,大量勘探与科研工作的持续投入,证实胶东主要金矿田都存在“深部第二富集带”^[6, 11-13]。随着深部找矿禁区被接连突破,胶东地区资源/储量剧增,一跃成为世界第三大黄金主产区^[14-15]。在发现“深部第二富集带”的过程中,除成矿理论和找矿模式的指导外^[6, 10-14, 16-17],还总结了一些找矿的物化探标志^[14-15, 18]。然而,对于“深部第二富集带”的地质意义及其控制因素还缺少系统的研究,急需建立具有可操作性的深部找矿预测目标。

众所周知,原生金矿是受构造控制的热液型矿床,以往提出的控矿构造类型、构造岩相等概念,在指导找矿方面虽然发挥了较大作用,但多限于对构造形迹和结构面性质的描述,缺乏综合考虑“构造结合建造”的内容,难以从成生联系方面认识构造体系发育阶段与成矿作用的关系,在野外地质工作的可操作性方面也存在较大问题。

“构造变形岩相”,是“显示构造变形的那部分岩相”^[16],是岩石形变和相变密切共生的地质体,既能反映成岩地质环境,又包含成岩物理化学条件,

是一种适用于开展“构造结合建造”观测和分析的构造岩石单元,特别适合于矿田-矿床级别,对于隐伏、深部矿产勘查和基础地质研究均具有重要的意义。本文基于多年的研究与找矿实践,以著名的胶东玲珑金矿田为例,将“含矿构造变形岩相带”作为预测目标^[13, 16, 19-20],为有效开展深部找矿工作提供地质依据。在玲珑-焦家式金矿床成矿模式和玲珑矿田不同矿段成矿构造变形岩相特征的基础上,分析矿田内新华夏构造体系“米字型”结构面控矿规律,建立了中生代岩浆核杂岩隆起-拆离凹陷带控矿模式,结合成岩深度、成矿深度、剥蚀程度等研究成果,总结深部第二富集带的分布规律,指出矿田深部找矿方向。

1 玲珑矿田地质概况与成矿模式

玲珑金矿田位于胶东半岛西北部,招平断裂带北段。矿田内多期次、多级别的 NEE—NE—NNE 向断裂构造控制着矿床、矿体的分布及成矿作用的发生和发展。自西向东,矿田可依次划分为欧家乔、108 号矿段、双顶、玲珑-大开头、九曲、破头青、东风 7 个矿段。以热液充填为主的石英脉-蚀变岩型金矿床,形成了近 100 km² 的矿脉群集中区^[8, 16]。矿田内已知大、小矿脉近 600 条,其中有工业价值者亦有几百条,多赋存于玲珑花岗岩中(图 1)。这些矿脉不仅走向变化大,倾向、倾角和延深变化也较大(图 2)。

玲珑金矿田地表出露的含金矿脉数量大、延伸方向多、产状变化大、空间交切关系复杂,矿石类型可分为“玲珑式”石英脉型、“焦家式”蚀变岩型及其过渡类型。从地质力学构造体系演化阶段和构造变形岩相成因的角度,将矿床类型归纳为“玲珑-焦家式金矿”(图 3),受挤压-引张构造系统的统一控制^[6, 16]。

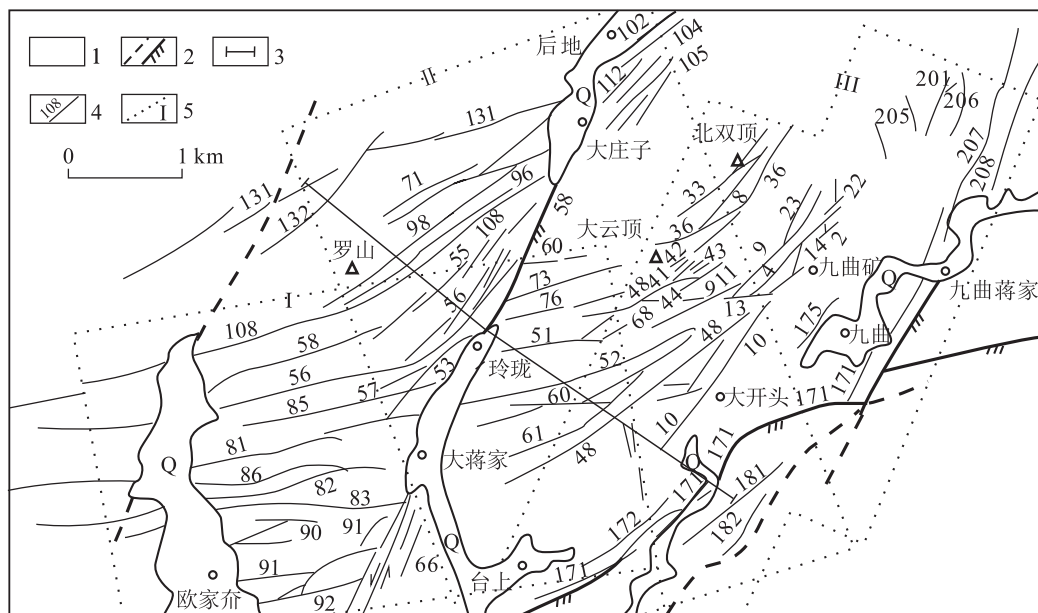


图 1 玲珑金矿田构造矿化富集带分布略图(据参考文献[8]修改)

Fig. 1 Distribution of mineralized and enriched zones in the Linglong gold orefield

1—玲珑似片麻状黑云母花岗岩;2—主干断裂及推测断裂;3—图 2 剖面位置;4—矿脉及编号;5—矿化富集带范围及编号;
I—欧家乔、西山 NEE 向构造蚀变金矿化带;II—破头青、大开头、大云顶 NE 向构造蚀变金矿化带;III—九曲、北双顶、
阜山 NNE 向构造蚀变金矿化带;Q—第四系

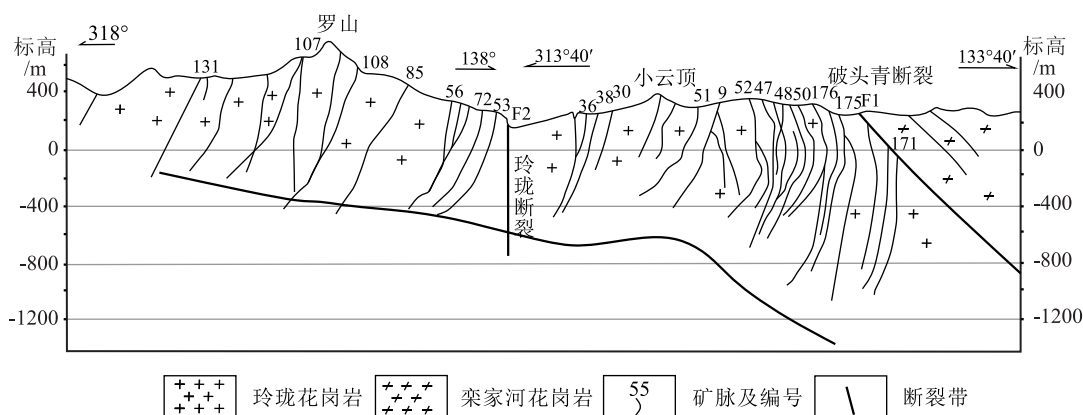


图 2 玲珑金矿田赋矿标高剖面示意图(据参考文献[21]修改)

Fig. 2 Elevation profile diagram of the Linglong gold orefield

2 玲珑矿田不同矿段构造变形岩相带分布特征

对玲珑矿田不同矿段构造变形岩相带开展了系统性的对比研究^[6, 12, 16, 22-24], 结果如下。

(1) 矿田内构造变形岩相带主要有 2 种: 石英脉型和蚀变岩型(图 3)。①石英脉型构造变形岩相带, 可进一步划分为绢英岩带、钾化花岗岩带(包括强钾化花岗岩带和弱钾化花岗岩带)和未蚀变花岗

岩带;②蚀变岩型构造变形岩相带, 亦可进一步划分为绢英岩带、钾化花岗岩带(包括强钾化花岗岩带和弱钾化花岗岩带)和未蚀变花岗岩带。两者的蚀变带组合近于一致, 差别仅在于所控制的矿体类型、蚀变规模和形成环境(图 4)。

(2) 2 种构造变形岩相带的规模、环境和成分差别显著(图 3、图 4): ①控制石英脉型矿体的构造变形岩相带, 规模较小, 成矿时处于稳定和温度较低的氧化环境, 化学组分以迁入为主, 富集轻稀土元

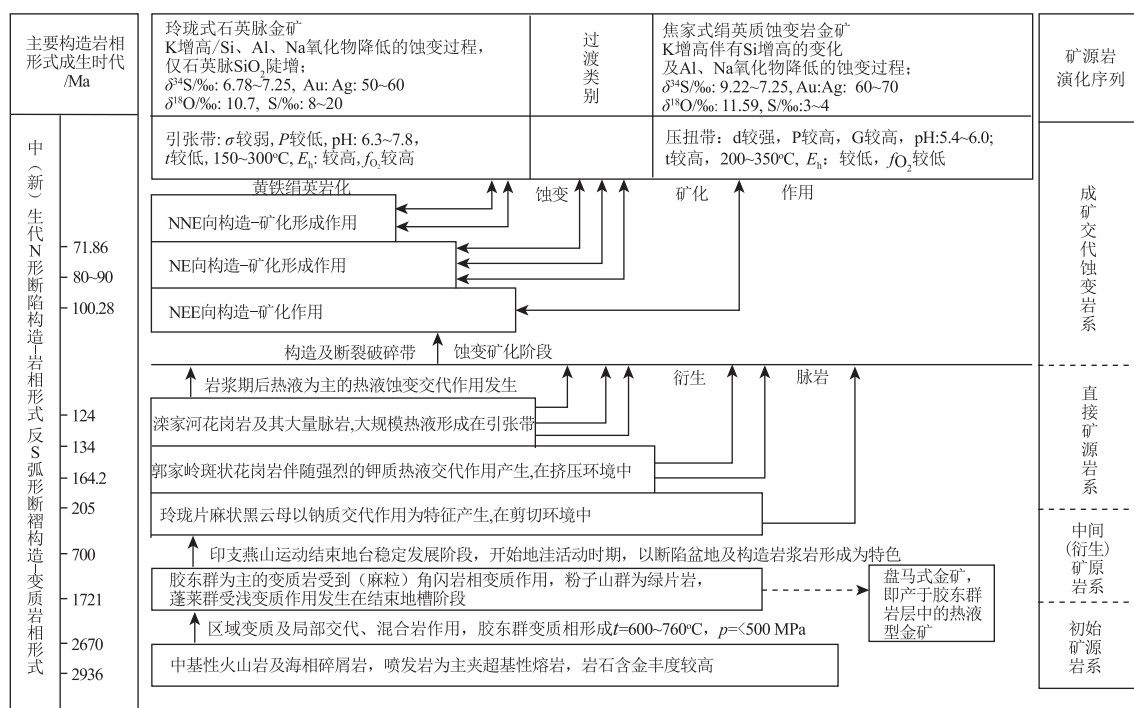
图3 玲珑-焦家式金矿床成矿模式^[6]

Fig. 3 Metallogenic model of the Linglong-Jiaojia type gold deposit

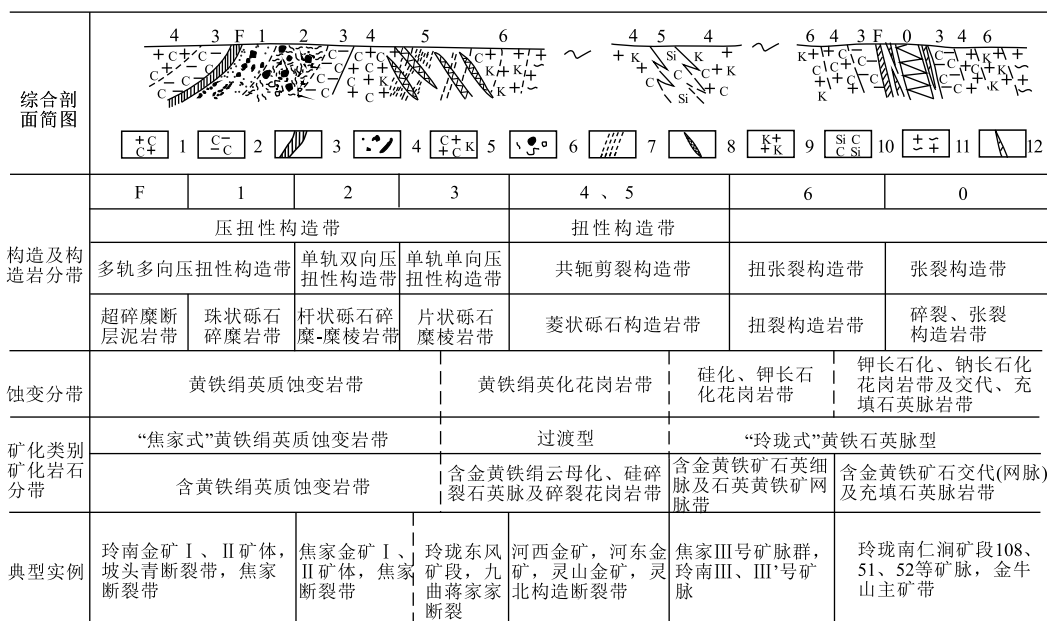
图4 玲珑-焦家式金矿构造变形岩相矿化分带综合剖面简图^[6]

Fig. 4 Comprehensive profile of tectonic deformation lithofacies mineralization zoning in the Linglong-Jiaojia type gold deposit

1—黄铁矿绢英岩化花岗岩; 2—绢英岩; 3—断裂带; 4—珠状砾石碎糜岩带; 5—钾化绢英岩化花岗岩; 6—杆状砾石碎糜-糜棱岩带; 7—绢英岩构造叶理带; 8—含金硫化物石英脉; 9—钾化花岗岩; 10—硅化、钾化花岗岩; 11—似片麻状黑云母花岗岩; 12—蚀变岩矿体

素;②控制蚀变岩型矿体的构造变形岩相带,规模较大,形成时处于动荡和温度较高的还原环境,微量元素以迁入为主,富集重稀土元素。

(3)玲珑矿田 NEE、NE、NNE 三个方向的构造变形岩相带形成时代有差别(图 3)。初步研究结果表明,玲珑断裂带中钾长石的同位素年龄分布范围是 $69.47 \pm 0.9 \sim 110.3 \pm 1.0$ Ma,在成矿期间和成矿后都发生过强烈的运动。其中,成矿期间的运动使后期热液再次叠加于早期品位较低的矿体上,形成工业矿体(如 52 号脉);成矿后的活动,则破坏早期形成的矿体,具体表现在,西山和东山矿段的连续性在断裂带处被破坏。在九曲-大开头矿段,NNE 向构造变形岩相带的蚀变矿物同位素年龄分布范围是 $90.35 \pm 0.88 \sim 99.49 \pm 1.01$ Ma,集中于 90~100 Ma,形成于玲珑金矿田大规模成矿的中晚期。

综上所述,西山、东山、九曲-大开头 3 个矿段的构造变形岩相带,均形成于同一期成矿热液,且形成构造变形岩相带时的成矿热液均处于较低温阶段。

3 玲珑矿田成矿构造体系“米字型”特征及其控矿规律

在继承和发展地质力学构造体系学说的基础上,总结提出了“长江式”横张构造概念和构造体系“米字型”构造展布特征^[13,25],分析了构造体系的发展阶段,为全面认识玲珑矿田控岩控矿规律提供了理论依据。

3.1 新华夏构造体系“米字型”构造特征

野外地质调查表明,新华夏构造体系的“米字型”结构(图 5)的地质特征表现如下。

(1)新华夏主干构造:NE25°~30°方向大型褶皱、隆起带和沉降带及伴生的压扭构造岩相带;以整体挤压变形为特征,生成时期跨度在印支—燕山运动以来,其中强烈活动时代集中于 120~140 Ma。

(2)泰山式构造:早期表现为 NEE75°左右扭性褶皱和断裂构造岩相带;压剪变形;活动时代为 140~203 Ma;晚期表现为 NEE75°左右的断裂构造岩相带,体现为花岗岩带、断陷盆地的线性展布;压剪变形;活动时代为 100~120 Ma。

(3)大义山式构造:NNW345°左右的扭性断裂构造岩相带;张剪变形;活动时代与泰山式和长江式构造活动相近,较晚期构造以岩浆活动为主,控制雁列构造和岩脉的分布。

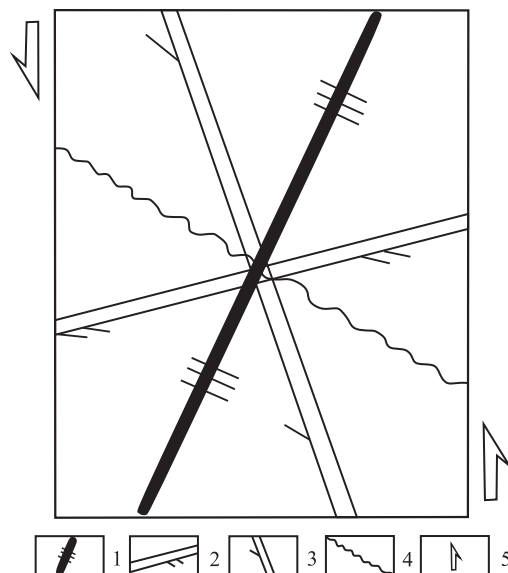


图 5 新华夏构造体系结构面组成的“米字型”示意图^[25]

Fig. 5 Schematic diagram of “米”-type formed by structural plane of Neo-Cathaysian Tectonic System

- 1—新华夏系主干压扭性构造岩带;2—“泰山式”压扭性构造岩带;
3—“大义山式”张扭性构造岩带;4—“长江式”张性构造岩带;
5—新华夏系区域反冲向应力场示意

(4)长江式构造:早期显示为 NWW290°~300°左右的张性断裂构造—岩相带,张裂变形,具有规模性的岩浆侵入,活动时代为 130~144 Ma。晚期长江式构造:NWW295°~300°向张性断裂带,活动时期为 100~120 Ma。

3.2 新华夏系“米字型”构造的形成阶段及其控矿作用

大量野外地质调查和观察结果表明,新华夏系“米字型”构造的形成包括如下阶段:①第一期,共轭构造发育阶段,NNW 向(大义山式)张扭断裂和 NEE 向(泰山式)压扭构造;②第二期,主压扭构造发育阶段,由 NNE 向断裂带构成新华夏构造体系的主压扭带,形成“三隆三拗格局”;③第三期,横张构造发育阶段,发育 NWW 向(长江式)的张裂构造。

以构造体系“米字型”构造分布特征为指导,在综合考虑玲珑矿田构造变形岩相带的分布特征、构造活动的阶段性,以及叠加成矿等因素的基础上,将含矿构造岩相带的形成划分为 3 期:早期 NEE 向、中期 NE 向、晚期 NNE 向,分别对应新华夏构造体系演化的第一、第二阶段及两者之间的过渡阶

段,其中,NEE 向构造对应“泰山式”构造;NNE 向构造对应新华夏主干构造,该期构造切割了 NEE 向构造;而 NE 向构造则是 NNE 向构造对 NEE 向构造的改造。新华夏构造体系的第三阶段,在本区发育不强。

4 “岩浆核杂岩隆起-拆离凹陷构造”模式对玲珑矿田的控制作用

前人研究表明,玲珑金矿成矿时代集中在晚白垩世^[26]。该期成矿构造环境恰为新华夏构造体系控制,也是岩浆核杂岩隆起-拆离构造发育时期^[27]。

玲珑矿田矿脉及控矿构造的发育特征符合“岩浆核杂岩隆起-拆离带”成矿模型^[20]。而拆离-滑脱带作为矿化的主要分布位置,其主要的容矿构造为晚期的脆性构造,也分布在拆离-滑脱带中(图6)。

随着岩浆核杂岩的逐步隆起,构造应力场自西向东推进、演化,发生多次叠加,成矿深度也逐步加大,这也是“深部第二富集带”得以发育的主要控制因素。

因此,矿田东部破头青断裂带应作为下一步的首要找矿目标。拆离断层在剖面上呈“铲式”形态(图6),金矿体受断裂带控制,并呈现出“阶梯式”成矿规律,深部存在“第二富集带”,靠近拆离-滑脱带的原有矿体的深部延伸方向亦为找矿重点区段。

5 玲珑矿田深部找矿预测

玲珑金矿田各个矿段的矿体分布、矿物组合、

矿石结构构造、成矿时代、成矿物质来源、流体特征、成矿物理化学条件等,已有大量的研究成果,在此不予赘述。但是,关于其成矿深度、剥蚀深度、保留深度等与找矿预测有直接关系的关键问题,还缺少系统的研究。

5.1 玲珑矿田的成岩成矿深度

(1) 成岩深度

对胶西北部地区不同岩体成岩深度的研究,有利于分析岩浆核杂岩系统的隆起与剥蚀问题。用黑云母全铝压力计方法的计算结果表明^[28],玲珑花岗质杂岩成岩压力为 41.8~240.7 MPa,平均为 140.9 MPa,相应的成岩深度范围为 1.58~9.09 km,平均成岩深度为 5.32 km。其中,玲珑岩体的成岩深度为 3.85~8.13 km,平均为 5.86 km;栾家河岩体的成岩深度为 2.34~9.09 km,平均为 6.83 km;郭家岭岩体的成岩深度为 2.35~8.21 km,平均为 4.52 km。

从计算结果看,玲珑岩体与栾家河岩体的成岩深度和成岩时代非常接近,显示其密切的隆起相关性;而郭家岭岩体的成岩深度较浅,显示前 2 期花岗岩形成后一直处于隆升剥蚀状态。

(2) 成矿深度

玲珑矿田的成矿深度问题一直是研究热点,采用的方法也不相同,包括流体包裹体法、地温梯度法和构造校正法。同一矿区,不同方法获得的深度数据差别很大(表1)。

从表1可以看出,对九曲矿区、大开头矿区和台上矿区进行的成矿深度估算结果^[24,29,31],与吕古贤

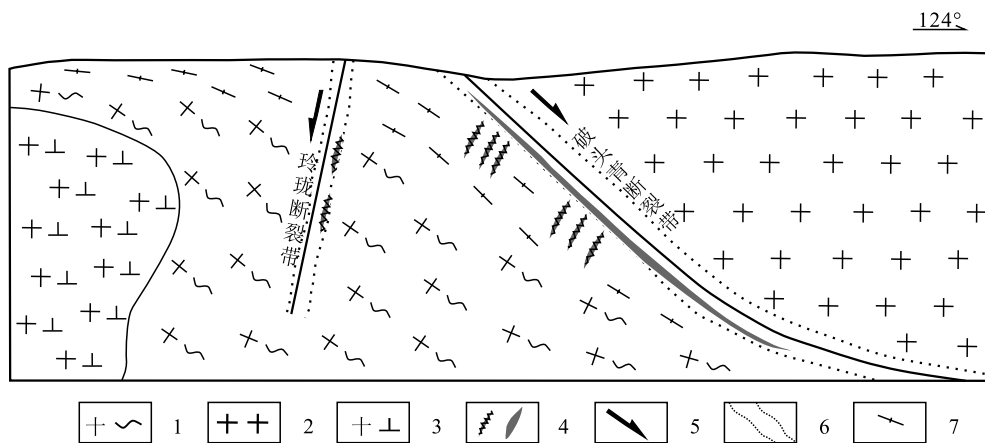


图6 玲珑矿田拆离-滑脱构造模式图(据参考文献[27]修改)

Fig. 6 Diagram of detachment-slip tectonic pattern of the Linglong orefield

1—剪切相-玲珑型似片麻状花岗岩;2—引张相-栾家河型中粗粒二长花岗岩;3—挤压相-郭家岭型花岗岩;
4—矿体(玲珑式-石英脉型金矿、焦家式-蚀变岩型金矿);5—拆离断层滑动方向;6—断裂带;7—片麻理

对玲珑金矿田成矿深度估算结果 3.5~1.0 km 相符^[7-10]。按现代成矿理论分析,金矿最大成矿空间约 10~12 km,推测该区深部尚有 6 km 左右热液成矿空间。由此推测,破头青构造带深部成矿前景良好。

目前,玲珑矿田东部几个矿段的开采深度皆在 -1000 m 以内。本次统计结果表明,在 -1000 m 以下仍然具有很大的找矿前景,为矿田东部矿区的深

表 1 玲珑矿田成矿深度汇总
Table 1 Summary of metallogenic depth data
of the Linglong orefield

矿段或 采样位置	成矿深度估算	文献	发表 时间	所用方法
大开头	1.624 km	[29]	1993	未找到对应 文献
玲珑金矿; 玲珑西山	572~1418 m; 0.906 km	[30]	1994	流体包裹体
玲珑西山 108 脉; 九曲 47 号脉	3.415 km; 3.072 km	[31]	1999	成矿温度 (爆裂法和 均一法)
胶西北金矿	10.9~14.7 km	[32]	2007	流体包裹体
玲珑金矿 52 号 脉群	5~12.7 km,集中 在 6.8~9.5 km	[33]	2009	CO ₂ 三相流 体包裹体压 力估算
胶西北金矿	0.548~4.532 km, 平均深度 1.939 km,成矿峰值为 2.5 km	[34]	2009	综述总结 性质
胶东西北部金矿床	上限 2~3 km; 下限 5~8 km	[35]	2011	综述总结 性质
胶西北金矿	胶西北地区金矿 最大成矿深度为 7.6 km	[36]	2016	地温梯度法
破头青 NE 向带 较早成矿阶段; 破头青 NE 向带 较晚成矿阶段; 西山 NEE 向带 108 号脉; 九曲蒋家 NNE 向带	3654.97 m; 1090.97 m; 1914.42 m; 720.55 m	[8]	1995	构造校正法
大开头	2494.7 m; 2711.8 m; 2831.3 m; 3042.2 m	[24]	2018	构造校正法

部找矿预测提供了数据支持。近年来,深部勘探成果也证实了这一认识^[37-41]。

5.2 玲珑矿田的剥蚀深度

目前,裂变径迹法已成为研究区域隆升与剥蚀的有效手段之一,可以获得剥蚀量、剥蚀速率等定量数据。采用磷灰石裂变径迹法,对胶东西北部地区的剥蚀深度进行较系统的研究^[28, 34, 42],获得的玲珑矿田东部地区岩体剥蚀速率为 0.032~0.035 mm/a,结合该地区样品获得的裂变径迹年龄,得出研究区剥蚀深度为 2.6~3.1 km。按照剥蚀 2.5 km 左右的结论计算,预测深部矿化空间可能大于 4 km。

统计分析表明,研究区大部分金矿形成于约 2.5 km 的深度,与本区金成矿后的整体剥蚀量相当。这也是本区蕴藏巨大黄金储量的重要原因,即不仅有优良的成矿条件,同时具备良好的保存条件。

5.3 玲珑矿田深部第二富集带的分布规律

5.3.1 深部第二富集带的总体分布特征

用构造校正法获得的测算结果表明,玲珑金矿田早期 NE 向构造变形岩相带相对形成深度约为 3454.9 m,NEE 向构造变形岩相带形成深度约为 1914.4 m;其后,NE 向构造变形岩相带形成深度由 1090.9 m,NNE 向构造变形岩相带形成深度 720.5 m 左右,依次变小。这种用“构造校正”方法实际测估的深度变化趋势,与区域大地构造研究的认识一致,即与“岩浆核杂岩隆起-拆离带构造控矿模式”吻合,说明本区金的成矿作用与燕山晚期基底逐渐上隆相关。即使考虑到地形、后期构造、地质作用对捕获压力的影响等因素,玲珑矿田仍然表现出主要在约 3000 m 以浅的上部地壳形成的特征。

总体可见,石英脉-蚀变岩型金矿的主要成矿深度在 1500~2500 m 范围,集中于 2500 m 左右,属中浅成矿床。矿田东部遭剥蚀的矿量少,深部资源保有量很大。这些隐伏矿床,在不同构造变形岩相带中的分布深度并不相同。通过构造校正测算和其他地物化资料分析,破头青—大开头一带 213 Ma 时的构造变形岩相带蚀变矿化作用的形成深度约为 3454.97 m;100.28 Ma,西山矿区 NEE 向构造变形岩相带在深度 1912 m 形成;80.67 Ma,NE 向构造变形岩相带在 1091 m 深处成矿;而 71.89 Ma,形成了当时距地表 720 m 处的现今地表矿化构造变形岩相带,阜山矿段目前主要矿量发育在现今地表以下 600 m 左右。

以上主要认识和预测意见,是在 20 世纪 80 年代中期初步完成的,在 1992 年的预测报告里,吕古贤指出了各带深部第二富集带的赋存深度范围,预测远景储量在 250 t 以上。并向当时的招远金矿提出了“抓东山(NE 向构造矿化富集带)、探九曲(NNE 向构造矿化富集带)、保西山(NEE 向构造矿化富集带)的总体战略布局”的建议。矿山领导和技术人员非常重视,将其应用于玲珑矿田地质勘查规划,起到了科技引领的作用。历年布置探矿工程进行预测靶区验证,在深部富集带取得了显著的地质找矿效果。特别是东风矿段 100 多吨隐伏矿床的揭露,充分证明预测工作的前瞻意义。

玲珑矿田近年的深部见矿状况是,NE 带见矿较深且深部延伸大,与地质构造多期活动和性质有关;西山深部见矿不好,早期开采的富矿脉多在浅部,且多局限于近玲珑断裂附近,也与上述的推测总体上吻合。

5.3.2 各矿段深部第二富集带的分布特征

胶西北地区主要矿床在-300~-500 m 区段较普遍发育无矿段或弱矿化带,以此深度作为划分矿体浅部第一矿化富集带与深部第二矿化富集带的分界。浅部第一矿化富集带、弱矿化带与深部第二矿化富集带之间,没有明显统一的划分界线。前人所指的浅部矿床(体)与深部矿床(体),主要考虑的是只有部分矿区完成了深部系统勘查工作^[43]。胶西北矿床开发深度多为-300~-500 m 标高,部分矿床浅部矿体尖灭后,下部矿体再现的深度多为-300~-500 m 标高。但是,目前见矿深度已经超过 1000 m,因此,是否存在第三、第四矿化富集带的问题,尚待深部详查勘探结果。

玲珑矿田各构造变形岩相带的矿化富集地质特征明显不同,其深部第二富集带发育和赋存深度也不一样。根据前期研究成果,估测不同方向构造变形岩相带的第二富集带赋存深度:NEE 带在-200 m 以下,NE 带在-400 m 以下,NNE 带在-600 m 以下。在玲珑矿田的西侧,望儿山、新城、焦家、夏甸等矿山已经在-300 m 左右无矿段或弱矿化段之下的深部揭露了第二富集带。目前,三山岛等千吨级金矿的深孔也已经在 1000~3500 m 深处揭露到矿体^[14-15]。

(1) 西山矿段深部第二富集带

西山矿段主要发育 NEE 向的构造变形岩相带,大部分矿段叠加矿化富集的特点不明显,仅在靠近

玲珑断裂发育叠加富集作用,其他区段基本为一期成矿。如果发育深部第二富集带,其出现的部位可能接近玲珑断裂带,且赋存深度至少在-200 m 以下或更深。由此看,本带的形成深度较大(1914.42 m),成矿时代较早(100.28 Ma),且成矿期次单一,剥蚀量大,资源前景不乐观。但是,矿田西部玉皇顶断裂带尚未进行过勘查和调查,其资源潜力不宜过早定论。

(2) 东山矿段深部第二富集带

主要为 NE 向的构造变形岩相带,位于东山-大开头-九曲区段,特别是九曲蒋家断裂以东地区,发育深部第二富集带,具有良好的找矿远景。矿区在 0 m 以上为浅部矿化富集带,之下到-400 m 范围内矿化相对贫乏,大部分低于边界品位。但深部采矿和钻探资料表明,在-400 m 之下矿化厚度趋于稳定且品位变高,已经揭露到第二富集带的存在^[44]。NE 带的形成时代有多期(213 Ma、121 Ma 和 81 Ma),且受多个方向的构造成矿作用叠加,在不同深度空间(3454 m 和 1000 m)发生了多期成矿作用,深部蕴藏着巨大的金矿资源潜力。

该矿段主矿体受招平滑脱-拆离带控制,在-200m 标高以上,矿体沿走向延长超过 1000 m。除 13 号勘探线外,均出现弱矿化带,向深部尖灭。-200~-300 m 标高,矿体沿走向延伸小于 200 m。-300 m 标高以下,沿走向延伸超过 500 m,但向深部延伸至-800 m 未尖灭,推测其深度超过 2.5 km。

(3) 九曲-大开头矿段深部第二富集带

主要发育 NNE 向构造变形岩相带,相当于九曲蒋家断裂的下盘区带。测算结果表明,成矿时期(71 Ma)上覆岩石厚度仅 700 m 左右,说明 NNE 向构造变形岩相带为浅成矿床,深部矿体具有良好的保存条件。根据深达 200 m 左右的勘探资料和浅部矿化富集规律分析,推测第二富集带出现在-600 m 以下的深处。前些年,地勘单位在深 600 m 以下已探明多层“焦家式”黄铁绢英岩矿层。由于成矿期较晚,保存条件好,综合考虑“入”字形构造控矿规律,其深部找矿远景极为可观。

5.4 玲珑矿田找矿方向

5.4.1 玲珑矿田的深部成矿边界

结合前文对玲珑金矿田“岩浆核杂岩隆起-拆离带构造”控矿规律的研究结果,建立了从区域上矿田-矿脉-矿体等一系列预测指标,限定了成矿边界。

(1) 区域预测方向: 胶东地区金矿均发育于岩浆核杂岩隆起的边部拆离带下盘, 为热液蚀变发育区段, 具有较大的成矿潜力。

(2) 胶东金矿深部第二富集带的预测: 在对研究区成矿深度、成矿深度和剥蚀深度综合分析的基础上, 可依据成矿空间深度范围推算深部第二富集带的发育情况, 推算下部成矿空间深度范围, 对于勘探性钻孔的安排具有重要意义。

(3) 矿田预测: 以矿田内一级构造为基础, 调查热液蚀变成矿期次和叠加的成矿作用, 评价成矿期构造变形岩相带; 玲珑矿田东部大开头与九曲矿段, 为破头青断裂构造蚀变带与九曲蒋家断裂构造蚀变带的复合部位, 构造破碎严重, 成矿构造相对发育。

(4) 矿区预测: 选择构造交汇、复合及叠加区段, 重点勘查宽大的构造变形岩相带。

(5) 矿化边界预测: 依据弱钾长石化带与未蚀变花岗岩的边界, 确定构造变形岩相带的分布宽度范围, 进而依据蚀变空间边界圈定隐伏矿体的平面及剖面边界。

(6) 矿脉和矿脉群预测: 预测指标是黄铁绢英岩带与强钾长石化带, 进一步依据断裂发育情况圈定矿脉和矿脉群。

(7) 矿体延伸三维分布评价: 根据构造变形岩相带的倾角推断矿体深部延伸方向, 按照中段矿化蚀变的走向变化推断矿体走向延伸, 结合构造变形岩相带上的矿体侧伏规律, 圈定深部预测靶区。

5.4.2 矿田东区深部找矿预测

矿田东部是多期、多方向和多种成矿构造的复合部位, 深部成矿规律复杂, NE 向构造变形岩相带的深部成矿潜力巨大, 该区是今后主要的金矿资源接替和开采区段。

在大开头—九曲矿段 -700 m 标高以下, 对隐伏成矿空间进行预测: 通过地表构造变形岩相填图可知, 矿田内蚀变范围最宽可达 2.5 km, 因此将破头青断裂带及九曲蒋家断裂带下盘 2.5 km 距离作为构造变形岩相带范围。如图 7 所示, 以大开头矿段典型勘探线剖面为例, 深部中段构造变形岩相带填图显示, 大开头深部 175 号支脉矿化蚀变带倾向 NW, 倾角近 75° , 向 NE 侧伏成矿。依据石英脉的倾向延伸与蚀变边界的几何关系确定其成矿下界, 可知 175 支脉成矿最深可至 -1600 m。

如上所述, 大开头矿区成矿深度校正结果在 2.4~3 km 范围内, 结合前人对成矿期磷灰石裂变径迹研究结果, 在玲珑矿田的剥蚀深度为 2.6~3.1 km。因此, 推测浅部已开采部分仅为成矿时的 2.4~3.1 km

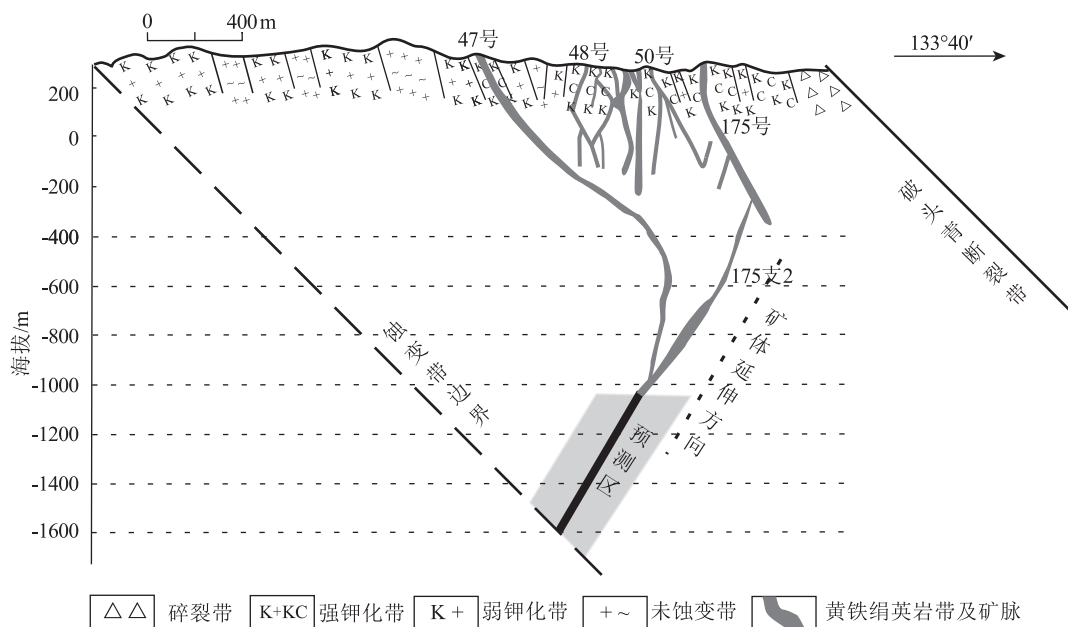


图 7 大开头矿段典型勘探线剖面深部矿化蚀变带空间预测图(据参考文献[24]修改)

Fig.7 Spatial prediction map of deep mineralization alteration zone along the geological section of typical exploration line in the Dakatou ore block

深度。最新研究结果表明,前苏联科拉半岛超深钻孔 SG-3 的太古宙含金岩石赋存深度为 9500~11000 m,其中 9052~10744 m 之间是金矿化带,在石英流体包裹体中发现了极高浓度(平均 750×10^{-6} ,最高 6000×10^{-6})的纳米金颗粒^[45]。由此推测,玲珑矿田矿体被剥蚀的仅为地表浅部部分,深部还有约 6 km 的可成矿空间。

5.4.3 矿田外围的找矿方向

(1)玲珑矿田破头青断裂和九曲蒋家断裂向北东和南西向继续延伸,但两侧地质工作相对薄弱。结合区域成矿学和玲珑矿田矿化特征综合分析,认为上述 2 条断裂延伸的北东和南西区域还存在很大的找矿远景。

(2)九曲蒋家断裂下盘向次级断裂、裂隙在地表陆续出露,组合形式与九曲北双顶矿段似网格状构造系统相似^[46],结合玲珑矿田矿体呈 NE 向侧伏的趋势,推测该地段深部形成较大规模的含金石英脉型矿体和过渡型矿体的可能性很大。近期研究认为,玲珑矿田九曲蒋家断裂带和破头青断裂带属同期构造、同一性质成矿流体、壳幔混合的中低温热液矿床,均为招平断裂带北段的分支控矿断裂带;通过对比含矿碎裂岩带宽度和探获金资源量,证实九曲蒋家断裂带规模及含矿性均强于破头青断裂带,九曲蒋家断裂带为招平断裂带北段最主要的控矿断裂,九曲蒋家断裂带深部是今后的重点找矿方向^[40-41]。

(3)玲珑矿田西部数十平方千米范围开发程度较低,仅有小规模的开发,有望在该区域找到一定规模的含金石英脉型矿体。

6 结 论

(1)“构造变形岩相带”填图方法,把几米至十几米宽度的“就矿找矿”标志尺度,发展到几百米~几千米宽度的矿田级中尺度大范围 and 远矿的找矿标志。该方法的创立和应用,显著扩大了找矿标志,在老矿区深部及外围的找矿预测中具有较强的实用性。

(2)玲珑矿田各矿段具有相似的构造变形岩相分带规律,未来的找矿工作要关注晚期 NNE 向构造变形岩相带,以及被改造的 NEE—NE 向复合变形岩相带。将矿田东部和东南部作为找矿远景区,在深部构造变形岩相带控制的范围内寻找隐伏

矿体。

(3)基于成矿深度的构造校正方法测算结果,玲珑金矿田属于中浅成矿床,因此,在深部矿化薄弱带(区域上-300~400 m)之下可能发育第二或第三个金矿富集带。

致谢:审稿专家对论文的修改提出了重要的建议,何昌成提供了 2 张底图,玲珑金矿部分技术人员参加了西山、九曲、大开头矿区野外考察,在此深表感谢。

参考文献

- [1] 刘志刚.玲珑金矿田控矿构造研究[J].长春地质学院学报, 1983, 3(1): 1-28.
- [2] 裴有守,王孔海,杨文华,等.山东招远—掖县地区金矿区域成矿条件[M].沈阳:辽宁科技出版社, 1988: 1-291.
- [3] 杨敏之,吕古贤.胶东绿岩带金矿地质地球化学[M].北京:科学出版社, 1996: 1-228.
- [4] 邓军,杨立强,刘伟,等.胶东招掖矿集区巨量金质来源和流体成矿效应[J].地质科学, 2001, 36(3): 257-268.
- [5] 范宏瑞,胡芳芳,杨进辉,等.胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿[J].岩石学报, 2005, 21(5): 1317-1328.
- [6] 吕古贤,孔庆存.胶东玲珑—焦家式金矿地质[M].北京:科学出版社, 1993: 1-253.
- [7] 吕古贤.关于“构造作用力影响静水压力”问题[J].科学通报, 1995, 40(3): 286.
- [8] 吕古贤.山东省玲珑金矿田成矿深度的研究与测算[J].科学通报, 1995, 40(15): 1399-1402.
- [9] 吕古贤,孔庆存,邓军,等.山东玲珑和焦家金矿成矿深度研究与测算[J].地质论评, 1996, 42(6): 550-559.
- [10] 吕古贤,林文蔚,罗元华,等.构造物理化学与金矿成矿预测[M].北京:地质出版社, 1999: 1-400.
- [11] 吕古贤,武际春,郑小礼,等.山东省玲珑金矿田深部资源第二富集带的研究和预测[J].矿床地质, 2006, 25(增刊): 435-438.
- [12] 吕古贤,武际春,崔书学,等.胶东玲珑金矿田地质[M].北京:科学出版社, 2013: 1-685.
- [13] 吕古贤.构造动力成岩成矿和构造物理化学研究[J].地质力学学报, 2019, 25(5): 962-980.
- [14] 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.
- [15] 宋英昕,宋明春,丁正江,等.胶东金矿集区深部找矿重要进展及成矿特征[J].黄金科学技术, 2017, 25(3): 4-18.
- [16] 吕古贤.胶东半岛构造-岩相形式及玲珑—焦家式金矿的构造动力成岩地质特征研究[D].中国地质科学院博士学位论文, 1989: 1-164.
- [17] 宋明春,伊丕厚,崔书学,等.胶东金矿“热隆—伸展”成矿理论及其找矿意义[J].山东国土资源, 2013, 29(7): 1-12.
- [18] 李惠,禹斌,李德亮,等.胶东石英脉—蚀变岩型金矿床深部盲矿预测的构造叠加晕模型[J].黄金科学技术, 2012, 20(4): 1-6.

- [19] 张宝林, 苏艳平, 张国梁, 等. 胶东典型含矿构造岩相带的地质-地球物理信息预测方法与找矿实践[J]. 地学前缘, 2017, 24(2): 85-94.
- [20] 张宝林, 吕古贤, 梁光河, 等. 胶东金矿田的深部地球物理勘查模式初步研究[J]. 地质力学学报, 2019, 25(S1): 150-156.
- [21] 刘艳. 胶东玲珑金矿成矿流体特征研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2011: 1-107.
- [22] 吕古贤, 邓军, 郭涛, 等. 玲珑-焦家式金矿构造变形岩相形迹大比例尺填图与构造成矿研究[J]. 地球学报, 1998, 19(2): 177-186.
- [23] 吕古贤, 郭涛, 舒斌, 等. 构造变形岩相形迹的大比例尺填图及其对隐伏矿床地质预测——以胶东玲珑-焦家式金矿为例[J]. 中国区域地质, 2001, 20(3): 313-321.
- [24] 何昌成. 玲珑金矿田岩浆核杂岩隆起-拆离成矿构造解析与预测[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2018: 1-92.
- [25] 吕古贤, 曹钟清, 郭涛, 等. 长江中下游中生代构造岩相体系分布与成矿规律——新华夏构造体系的“长江式”构造研究[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(4): 495-501.
- [26] 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, 45(14): 1547-1553.
- [27] 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.
- [28] 王建平, 刘俊, 刘家军, 等. 胶东西北部金矿床成岩成矿深度对比研究[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 997-998.
- [29] 李兆龙, 杨敏之, 李治平, 等. 胶东金矿床地质地球化学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993: 1-300.
- [30] 王炳成. 胶东西北部金矿床成矿物理化学条件初探[J]. 山东地质, 1994, 10(1): 1-10.
- [31] 陈国华, 刘连登, 王晓东, 等. 胶东脉型金矿成矿深度与矿体延深的模型研究[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(2): 127-130.
- [32] 张祖清, 赖勇, 陈衍景. 山东玲珑金矿流体包裹体地球化学特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2207-2216.
- [33] 李碧乐, 王力, 霍亮, 等. 胶东玲珑金矿 52#脉群成矿流体特征及成因[J]. 自然科学进展, 2009, 19(1): 51-60.
- [34] 刘俊. 胶东西北部金矿床成岩成矿深度及变化保存研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2009: 1-71.
- [35] 郭春影, 张文钊, 葛良胜, 等. 胶东西北部金矿形成深度与剥蚀程度概略评价[J]. 金属矿山, 2011, (8): 112-115.
- [36] 路庆海, 卢晓光, 潘发旺. 对山东胶西北金矿最大成矿深度的计算[J]. 山东煤炭科技, 2016, (11): 25-26.
- [37] 姜维明, 吕古贤, 张迅与, 等. 玲珑矿田东风矿区矿化富集带特征与深部第二富集带的预测[J]. 矿物学报, 2011, 31(增刊): 36-37.
- [38] 鲍中义, 王永庆, 刘彩杰. 玲珑金矿田东风矿床深部成矿规律及成矿预测[J]. 山东国土资源, 2016, 32(4): 12-16.
- [39] 刘彩杰, 鲍中义, 王永庆, 等. 玲珑金矿田东风矿区深部构造叠加晕研究[J]. 山东国土资源, 2016, 32(3): 17-21.
- [40] 霍光, 刘彩杰, 范家盟, 等. 胶东玲珑金矿田深部钻孔揭露招平断裂带及其意义[J]. 矿产勘查, 2019, 10(7): 1609-1617.
- [41] 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.
- [42] 柳振江, 王建平, 郑德文, 等. 胶东西北部金矿剥蚀程度及找矿潜力和方向——来自磷灰石裂变径迹热年代学的证据[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3597-3611.
- [43] 宋明春, 孟庆宝, 杨承海, 等. 胶东寺庄矿区深部特大型金矿的发现及其找矿意义[J]. 中国地质, 2007, 34(增刊): 220-224.
- [44] 崔书学. 山东招远台金矿构造控矿特征分析[J]. 世界地质, 2008, 27(2): 146-149.
- [45] Prokofiev V Y, Banks D A, Lobanov K V, et al. Exceptional concentrations of gold nanoparticles in 1.7 Ga fluid inclusions from the Kola Superdeep Borehole, Northwest Russia[J]. Nature, Scientific Report, 2020, 10(1108): 1-13.
- [46] 哈本海, 武际春, 戴立新, 等. 玲珑金矿田控矿断裂矿化特征及成矿远景展望[J]. 黄金, 2006, 27(增刊): 54-57.