

果洛龙洼矿区综合地质特征与资源潜力研究

苏海龙 李积财 李福明 王亚州 李得凤
青海山金矿业有限公司, 青海 都兰 816101

[摘要] 本篇文章主要针对青海果洛州龙洼金矿进行研究,目的是为了对矿区所在的区域地质情况以及矿区地质状况有一个系统的了解,并在此基础上对矿区的矿床地质情况进行详细的描述,在此基础上分析构造—流体耦合控矿作用机制,最后结合三维建模与靶向找矿工作来探讨其深部资源潜力问题。通过对矿区的研究我们发现该矿位于东昆仑造山带东段之上,矿区内的金矿体分布主要是受近东西向韧性剪切带以及断裂构造的影响,形成石英脉型和破碎带蚀变岩型两大类矿体,成矿物质流体是以中低温热液为主,热液的迁移、汇集到最终沉积的过程完全受到控制地质构造的变化影响,具有明显的构造—流体耦合控矿规律。通过建立三维地质模型并开展靶向找矿工作发现矿区深部还蕴藏着大量的未被揭露出来的隐伏矿体资源,资源潜力巨大,为该矿的持续开发利用以及类似金矿床的寻找提供重要的基础理论依据以及参考经验。

[关键词] 果洛龙洼金矿; 区域地质; 矿床特征

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18730

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

Research on Comprehensive Geological Characteristics and Resource Potential of Guoluo Longwa Mining Area

SU Hailong, LI Jicai, LI Fuming, WANG Yazhou, LI Defeng
Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Dulan, Qinghai, 816101, China

Abstract: This article mainly focuses on the study of the Longwa gold mine in Guoluo Prefecture, Qinghai Province. The purpose is to have a systematic understanding of the geological conditions of the mining area and the geological conditions of the mining area. Based on this, a detailed description of the geological conditions of the deposit in the mining area is provided. On this basis, the mechanism of structure fluid coupling control is analyzed. Finally, the deep resource potential of the mine is explored by combining 3D modeling and targeted prospecting work. Through research on the mining area, we found that the mine is located on the eastern section of the East Kunlun orogenic belt. The distribution of gold ore bodies in the mining area is mainly influenced by nearly east-west ductile shear zones and fault structures, forming two types of ore bodies: quartz vein type and fractured zone altered rock type. The ore-forming material fluid is mainly composed of medium and low temperature hydrothermal fluids, and the migration and collection of hydrothermal fluids to the final sedimentation process are completely influenced by changes in geological structures, with obvious structural fluid coupling controlling the mining law. By establishing a three-dimensional geological model and conducting targeted prospecting work, it was discovered that there are still a large number of undiscovered hidden mineral resources in the deep part of the mining area, with enormous resource potential. This provides important theoretical basis and reference experience for the sustainable development and utilization of the mine and the search for similar gold deposits.

Keywords: Guoluo Longwa gold mine; regional geology; mineral deposit characteristics

东昆仑造山带是我国最重要的金矿成矿带之一,其资源保障程度关乎着我国整个黄金工业的发展前景,果洛龙洼金矿是东昆仑造山带东部典型的造山型金矿床,目前拥有已探明黄金资源量 50 余 t, 平均品位 3.2g/t, 具备很好的资源开发前景,但是随着浅部资源的不断开发,现有勘查深度范围内资源逐渐枯竭, 500m 以下深部仍未开展有

效的系统性勘查工作,矿体深部的地质状况及资源潜力仍不清楚。近年来我国黄金工业对优质的矿产资源需求不断增加,在已存在的矿区深部寻找后备矿产资源已经成为我国黄金工业发展的必然趋势。故此,对果洛龙洼金矿进行综合地质特征和深部的资源潜力的研究不仅是本矿区自身生产的迫切要求,同时也对丰富和完善整个东昆仑地区

金成矿学说以及指导该地区的金矿找矿工作有着十分重要的科学研究价值。

1 区域地质背景与矿区地质特征

1.1 区域地质背景

果洛龙洼金矿区地处东昆仑造山带东部边缘、昆中断裂之南侧。该区经历了陆缘活动型沉积盆地闭合-造山过程,再经历多次叠加造山事件,在这样的地质背景之下发育了一系列的大规模逆冲断层、走滑断层、韧性-脆性剪切带及与其相伴生的一系列小型构造组合。它们构成了对在造山过程中因持续抬升的热流作用而生成的各种成矿流体运移与聚集的有利通道与容矿空间。深大断裂延伸至深部地壳,引发岩浆活动,既带来了深部的成矿物质同时又沿途萃取、活化了围岩中的大量物质,从而形成含矿岩浆热液、变质热液等混合型成矿流体。

1.2 矿区地质特征

矿区出露的地层主要是由一套中低级别变质岩系,即奥陶-志留系纳赤台群浅变质火山沉积岩系组成,主要有凝灰岩、千枚岩等。其中碳质千枚岩是重要的含矿围岩。矿区断裂构造非常发育,主要为近东西向韧性的剪切带,后期又发育了北东或南北的脆性断裂,晚期构造常切割早期的韧性剪切带。金矿体主要分布在近东西向韧性剪切带

及两侧部位,通过地表填图和工程揭露,矿区可以圈定出几条近东西向的成矿构造带以及一些北东向和北西向的对矿体造成破坏的后期构造带。该区域的地质框架见图 1。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

矿区金矿化主要表现为两类,一种是含金石英脉型,另一种是破碎带蚀变岩型。由露采场揭露可见到几条近平行排列的矿化带。含金石英脉型矿体产状近乎东西向延伸,倾向南,倾角较陡,大约 70°左右,平均宽度约 0.4m,矿体与围岩界面大多比较明显。破碎带蚀变岩型金矿化带亦呈近东西向延伸,倾向南,倾角约为 65~70°左右,平均厚度达 1m 左右,延伸长度为 50m 左右,属典型的受断裂破碎带控制之蚀变岩型矿化。矿体的空间定位严格受控于破碎裂隙带空间形态变化所制约,形成不规则脉状分布,并伴有分叉复合、尖灭侧现、膨大缩窄等现象^[1]。矿体主要赋存于东西向构造带间,而北西、北东向断层则相当于东-西向构造的晚期产物,它们对矿化带、矿体以及地层都造成了一定程度的破坏,比如北东向 F5、F6、F7、F8 等断层就存在对已知矿体及石英脉有明显的右或左行平移错断现象。矿区构造和矿化带分布的基本地质特征如图 2 所示。

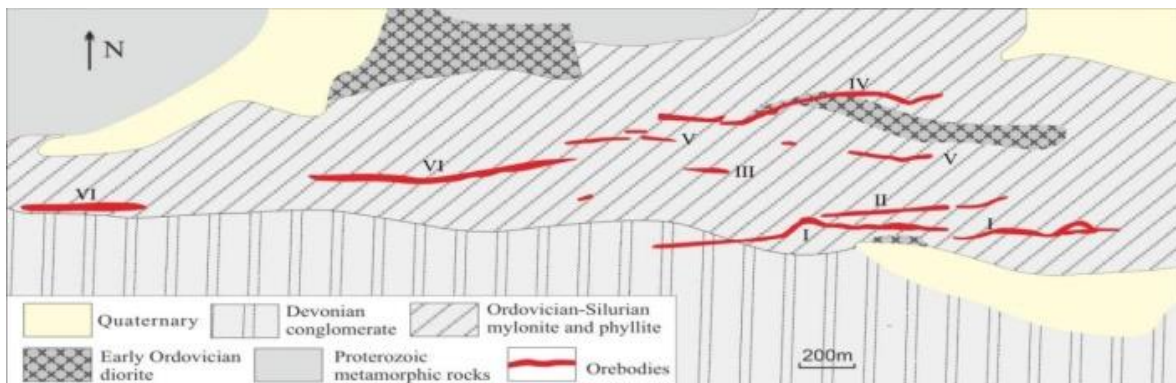


图 1 果洛龙洼区域地质图

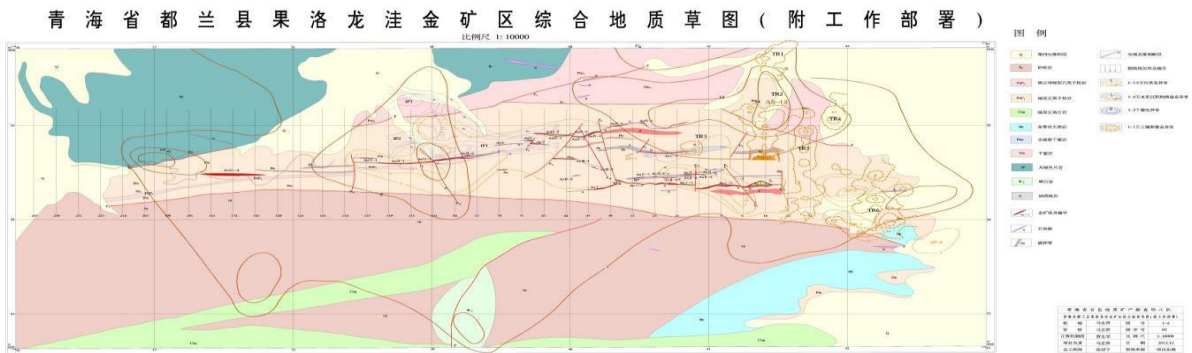


图 2 综合地质草图

2.2 矿石特征

矿石金属矿物相对较少, 约占 3% 左右, 金属矿物主要为自然金、银金矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等, 在地表可发现孔雀石等次生矿物。脉石矿物主要有石英、绢云母。矿石结构复杂, 有半自形-他形晶结构、充填结构、反应边结构和土状结构等, 矿石构造主要是裂缝浸染状构造、网脉状构造、晶洞状构造和块状或脉状构造。矿石中的金矿物赋存形式很特殊, 金粒含有大量的银, 自然金含银量约为 8.86%, 而银金矿含银量甚至高达 25.03%, 金主要集中于石英与褐铁矿间并主要以银金矿的形式产出, 脉石裂隙金占有比例最大, 为 41.24%, 脉石包裹金所占比重最小, 只有 9.27%。黄铁矿与石英是矿体中金银的最主要的载荷矿物之一, 特别是黄铁矿分布广泛而且含量很高, 不同时代黄铁矿的成矿能力也不相同。

2.3 围岩蚀变

矿体围岩主要为千糜岩和含碳绢云母石英千糜岩。围岩蚀变以硅化、绢云母化、碳酸盐化和黄铁矿化为主。硅化十分强烈并有多次反复, 在原岩破碎后发生硅化, 然后硅化的岩石又遭受破碎再次硅化的重复多次的过程, 最终形成强烈的构造岩或称交代脉石英岩, 基本确定了矿体规模和形状。含碳绢云母石英千糜岩为深灰色到灰黑色, 具有微粒鳞片状变晶结构以及千枚状、皱纹状构造, 星散状分布的黄铁矿多被蚀变成土状的黄褐色或赭石状物质。

3 构造-流体耦合控矿机制

3.1 构造控矿规律

矿区控矿构造明显。近东西向构造为主要成矿构造, 共有 6 个大型构造, 控制着异常展布及矿化带的分布。这些构造破碎岩、断层角砾岩、糜棱岩发育, 为成矿提供空间。从力学性质来看应该以张扭性为主, 断裂面为缓波状。而北东向、北西向构造主要起破坏作用, 为成矿后构造。北东向构造使矿体遭到晚期构造变动的影 响, 动力变质作用加强, 构造挤压扭动造成矿区褶皱构造比较发育, 且有剪切活动特点; 北西向构造对于地层、矿化带及矿体也有破坏, 巷道揭露错距多小于 20m。综合来说, 矿体严格受破碎裂隙构造带的控制, 产在其中。

3.2 成矿流体特征

对矿区石英脉样品所作的流体包裹体测温研究为认识成矿过程中的流体属性提供了第一手的资料。据分析结果表明, 成矿流体为中低温热液型, 预计所得到的成矿流体温度在 280~380°C 之间, 盐度为 5~12wt% NaCl eqv。其包裹体类型主要有富液相水溶液包裹体、富气相水溶液包裹体及纯 CO₂ 包裹体等(代表性的流体包裹体显微照片见图 3)。成矿流体来源较为复杂, 是由深部岩浆热水与地表大气降水混合作用的产物。成矿流体的演化过程和构造运动有着密切的关系, 在早期弱构造活动中形成初期混合流体, 中期剧烈构造活动造成断裂带扩大, 流体压力剧减导致大量流体中 CO₂ 的逃逸, 从而使得大量的金被沉淀下来, 在晚期较弱构造活动中只有少量的流体活动出现。

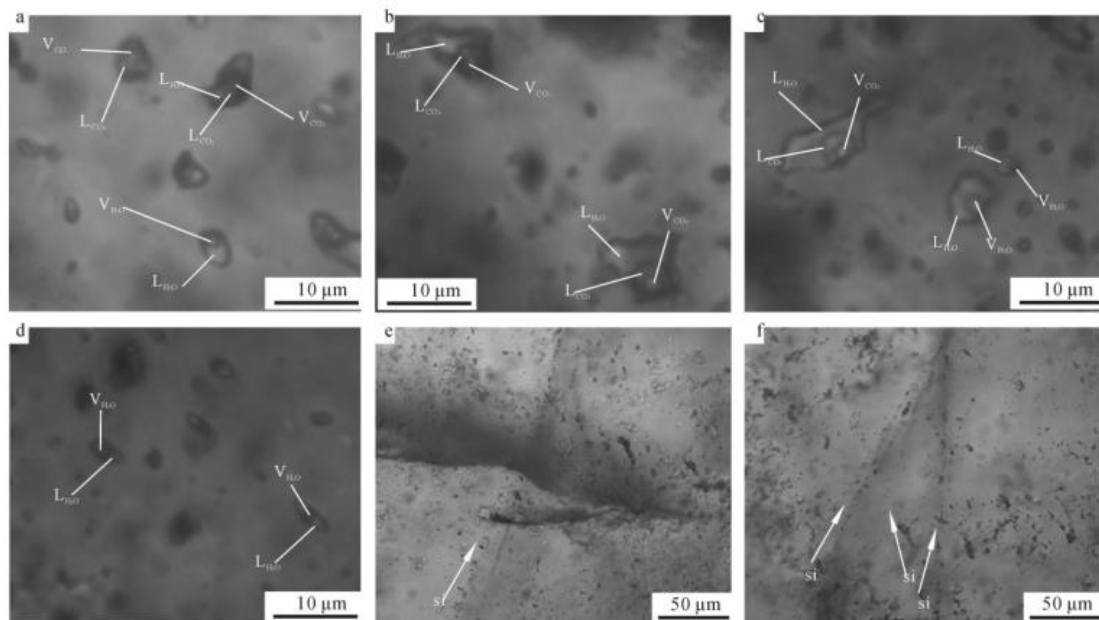


图3 果洛龙洼金矿矿化石英脉中流体包裹体类型

3.3 构造-流体耦合过程

构造与热液相互作用贯穿了整个矿床成矿的全部过程。先是区域内的深大断裂、韧性剪切带是热液流动的最初通道,当成矿热液形成之后,它的迁移方向完全受到构造骨架制约,只沿着近东西向的构造带运动。先是在成岩期,构造运动造成的裂隙,经过几次硅质热液的交代充填,形成了强硅化的脉石英岩。接下来就是成矿期,在先前形成的石英脉或者蚀变岩石体中,在不断增大的构造应力的作用下,产生了大量与矿脉走向一致的微破碎裂隙,这便成为了后期含矿热液迁移沉淀的新通道及场所,而早期形成的硫化物黄铁矿结晶以后,在再一次构造力的动力之下,产生了张性、张扭性的裂隙,成为富含金银的多金属热液充填的空间。接着热液依次充填交代早先形成的矿物,最后完成了金的富集沉积成矿过程^[2]。

3.4 成矿模式

结合上述观点,可得出果洛龙洼金矿的控矿模型。矿床形成以东昆仑造山运动为背景,大规模断裂联通深部与上部,深源流体与地表降水混合形成中低温成矿热液,在构造应力作用下沿近东西向韧性剪切带及其断裂体系向上、外迁移,在迁移过程中不断从岩石圈中抽取成矿物质,当其运移到构造拐弯段,构造交汇处、张性裂隙发育的减压部位,因物理化学条件急剧变化,尤其是压力下降、CO₂释放,使 Au 等成矿物质快速沉积,在张性裂隙中形成石英脉型金矿体,在脆-韧剪切部位形成构造蚀变岩型金矿体。而后成矿后 NE、NW 向构造活动又对先期形成的矿体进行破坏与改造,在矿体内出现矿体尖灭再现、分枝复合等现象。因此,该矿床是由构造严格控制下的,中低温热液充填交代型矿床,具有形成中大型金矿床的较好的地质条件。

4 深部资源潜力评价与靶向探矿

4.1 三维地质建模

针对深部资源潜力评估量化问题,在本次工作中基于三维地质建模技术进行矿区精细化建模,其在已有 50 个钻孔共计钻孔进尺 12000m、100 平方公里重磁物探测数据及 200 公里化探剖面 Au、As、Sb 等元素异常数据的基础上,开展地层层序模型的建立采取“剖面控制加三维插值”法,直观展示了奥陶—志留系纳赤台群各岩性段比如凝灰岩段和千枚岩段等在空间上的展布情况(建模过程示意图以及结果如图 4)其中千枚岩段的孔隙率可高达 15%~20%作为成矿流体优选运移带^[3]。构造-矿化空间相关模型及流体地球化学异常模型的构建,达到了地质体空

间相互关系可视化的展示的目的,模型的准确率可达 85%以上,圈定异常范围精确度达 90%。

4.2 深部成矿预测

结合三维建模及控矿规律的研究成果,对矿区 500m~1500m 深处的隐伏矿体作出预测。通过研究得出矿区深处拥有巨大的隐伏矿体资源。主要有三个主要的成矿、运移通道,分别代表着不同的矿体,其中 I 号矿体东区 15 线~39 线为富集通道,矿体向西南侧伏,IV 号矿体中区 47 线~63 线为富集通道,矿体倾向东南,VI 号矿体西区 93 线~125 线为富集通道,矿体倾向东南。推测深部隐伏矿体厚度有可能达到 1~5m 之间,平均品位预测值在 2.8~3.5g/t 之间。这三个通道的分析给深部探矿提供指引。

4.3 靶向探矿实践

为了检验深部成藏模型以及提升找矿效果,本项目创造性地提出了“靶向找矿”的技术路线。这一理念以构造-流体耦合控藏规律为主线,以深部潜力模型为基础来进行验证工程的施工。具体实施时先在模型的基础上选定中心、重点及次重点三个级别的靶区,再基于此合理设计出 10 个验证钻孔,总钻探进尺达 3000m,用定向钻孔的方法保证钻孔穿过矿体的核心段。在此基础上进行统筹管理使成本节约了约 20%。现场作业时,采用三级质量管理体系保障孔斜、岩芯采取率等技术标准。最后的结果是 10 个钻孔的见矿率为 68%,远远高于常规探测法 35%的见矿率水平。平均揭露矿层厚度也由原来的 1.8m 提升到了 3.1m,品位合格率也提高了,即大于等于 2.8 克每吨的比例从 52%提升到 85%,打破了传统均匀布孔、盲目探测的被动局面。靶向找矿技术路径与结果对比如图 5 所示。

4.4 资源潜力量化

通过对地面普查,分析研究和靶向探矿检验,对矿区新增资源潜力进行了量化评估。在对果洛龙洼 I 号脉,IV 号脉,V 号脉的深部找矿以及地面划定的矿体带进行评估,得到新增的矿石量 23 万 t,金金属量 1022 公斤。以现在的黄金价格进行经济评价,大约为 5 个亿左右。而这个新增储量能够使矿场的服务期限延长 3 年左右,公式为增加矿山服务年限=增加矿石资源量×(1-矿石损失率)/年生产规模×(1-矿石贫化率),代入有关数据得出的结果约为 3 年。另外,采用靶向探矿技术也获得了较大的经济效益,比原先方案节省探矿资金约 552 万元。这些定量指标都表明矿区深部有较好的找矿远景和开发价值。

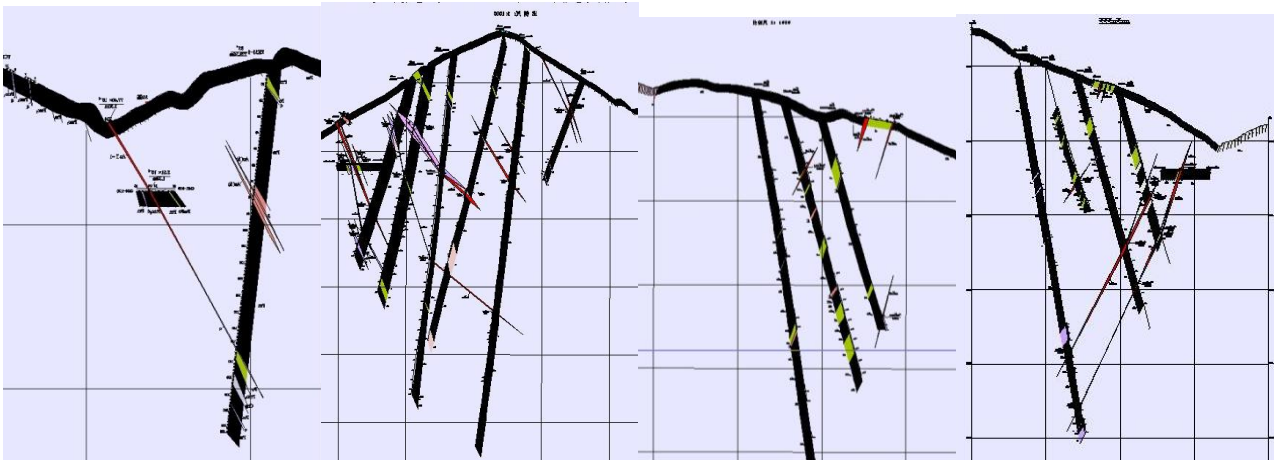


图4 三维地质建模过程示意图

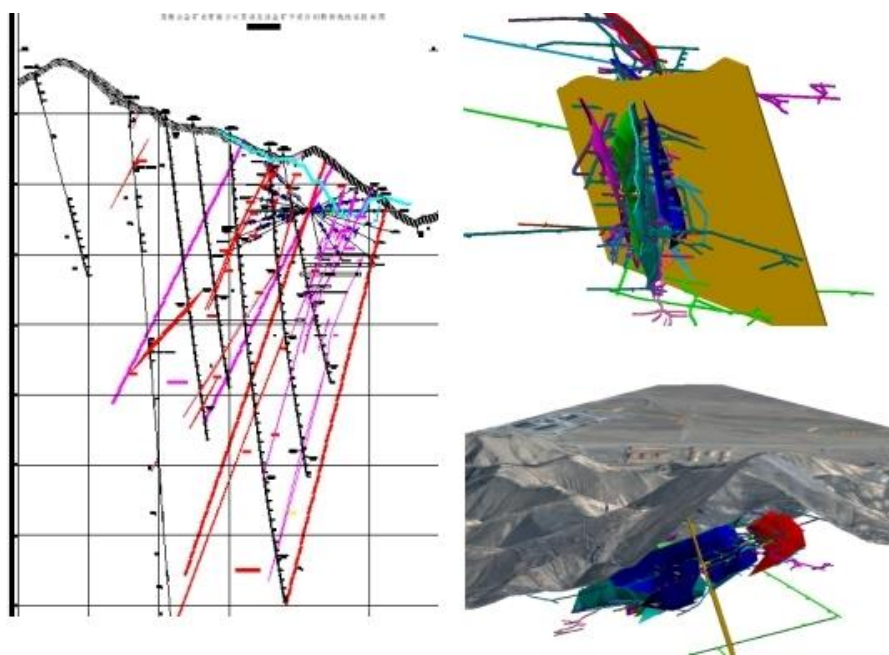


图5 靶向钻探流程与效果对比

5 结束语

本论文在果洛龙洼金矿矿区地质背景、矿床特征、成矿控制因素以及深部找矿前景等方面进行了综合性的分析研究,并得出了一些初步的认识,矿区内金矿体受近东西构造严格控制,在成矿流体上属于中、低温热液,其成矿过程具有明显的构造-流体相互作用的特点;三维建模加靶区找矿的实际验证表明该矿区深部具有较大的资源量规模,技术创新能有效提升勘探效率及精度,可为矿山后续可持续开发提供资源接续补充。但受限于矿区复杂的地质情况与研究程度的限制,本论文对于部分成矿规律的认识也可能还不够深刻,比如多期流体活动的过程的具体演化细节、矿区更深处 1500m 之下资源预估情况等,都有待未来工作中进一步加大地质调查及相关研究力度来

进行更为深入的理解。

[参考文献]

- [1]孙亚明.青海东昆仑成矿带沟里金矿集区金矿成矿作用研究[D].吉林:吉林大学,2025.
 - [2]何福保,张阳,段彬,等.新疆西昆仑成矿带阔克吉勒嘎超大型金矿床的发现及其意义[J].地球学报,2025,46(6):1033-1038.
 - [3]祁尧刚,孟勇,周霖,等.东昆仑成矿带构造蚀变岩型金矿床特征及资源潜力[J].黄金科学技术,2025,33(3):497-510.
- 作者简介:苏海龙(2000.11—),男,毕业院校:中国石油大学胜利学院,学历:本科,专业:资源勘查工程,单位:青海山金矿业有限公司,职务:地质技术员,职务年限:2年,职称:助理工程师(2025年)。