

# 内蒙古东伙房金矿床黄铁矿硫同位素特征

赵洋<sup>1)</sup>, 王晓阳<sup>1)</sup>, 李瑞红<sup>1)</sup>, 孙康<sup>2)</sup>, 张中跃<sup>1)</sup>, 陶西明<sup>1)</sup>

1) 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊, 065000;

2) 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北廊坊, 065000

**关键词:** 华北陆块北缘成矿带; 黄铁矿; 地质特征; S 同位素; 东伙房

东伙房金矿位于内蒙古武川县西纳令沟乡境内, 属于乌拉山—大青山找矿远景区, 是华北陆块北缘成矿带西段重要的金矿床之一, 其储量已达中型。但是其矿床成因尚未定论。在造山型金矿中, 黄铁矿是主要的载金矿物之一(刘文祥等, 2021; 李鸿睿等, 2023)。黄铁矿具有复杂而稳定的结构特征, 能够记录成矿流体的物理化学性质和成矿演化过程。近年来随着原位微区分析技术的飞速发展, 黄铁矿原位成分分析已经被越来越多地应用到各类矿床成因研究中。因此, 可以通过黄铁矿的精细研究, 反演金矿床的成矿流体变化过程(吴昊等, 2023)。笔者等在东伙房采集热液成矿期各成矿阶段的它形和自形黄铁矿样品, 采用原位硫同位素的分析手段, 对东伙房金矿床黄铁矿硫的来源和形成机制进行研究, 推断东伙房金矿床的矿床成因。

## 1 地质背景

东伙房金矿大地构造位于华北陆块北缘内蒙古隆起中部中太古界乌拉山群绿岩带(王梁等, 2015), 隶属华北陆块北缘成矿带中段(图 1a)。区内构造演化大致包括 4 个阶段: 早前寒武纪基底形成阶段、中元古代裂陷阶段、晚古生代—早中生代活动陆缘演化阶段和中新生代断陷隆升阶段。早前寒武纪岩石地层广泛发育, 包括太古界麻粒岩相变质的集宁岩群、麻粒岩相—角闪岩相变质的乌拉山岩群、古元古界高绿片岩相—低角闪岩相变质的二道凹群等(图 1b)。这些地层与早元古代侵入体等一起构成研究区早前寒武纪结晶基底。中元古代裂

陷环境形成低绿片岩相变质的渣尔泰山群, 同期还发育有中元古代闪长岩—石英闪长岩、黑云母花岗岩等。中生界为一套粗碎屑陆缘沉积和火山沉积建造, 晚中生代发育有大型推覆构造和变质核杂岩。显生宙花岗岩包括古生代黑云母花岗岩、花岗闪长岩和碱长花岗杂岩体, 中生代为钾长花岗岩和花岗斑岩。

## 2 矿床地质

东伙房金矿出露的地层较简单, 但构造岩浆活动较为强烈(内蒙古地质矿产勘查院, 2013)<sup>①</sup>。矿区内出露的地层为中太古界乌拉山岩群下部层位(Ar<sub>2</sub>pg), 主要由角闪斜长片麻岩、石榴角闪斜长片麻岩、石榴斜长片麻岩、矽线榴石片麻岩, 透辉斜长片麻岩、石榴石英岩组成, 属于高级变质层状岩系。侵入岩有中太古代东伙房片麻杂岩(Ar<sub>2</sub>Dgnl)、吕梁期片麻状二长花岗岩、片麻状花岗岩、加里东期石英闪长岩、海西期辉长闪长玢岩、印支期正长斑岩、燕山期花岗岩。矿化带产于东伙房片麻状杂岩(Ar<sub>2</sub>Dgnl)内, 赋矿岩石主要为紫苏长英质麻粒岩、紫苏斜长麻粒岩、榴石紫苏斜长麻粒岩, 顶板为长英质蚀变破碎带。矿区构造以断裂构造和韧性剪切带为主, 断裂构造主要为北东向北西向和近东西向, 规模大小不一, 大者 7~8 km, 小者 2~4 km, 近东西向断层以逆断层为主, 北西向断层以张性正断层为主, 北东向断层以压扭性为主, 韧性剪切带主要呈北东向展布, 宽 100~200 m, 长约 5 km, 受剪切的岩石主要为东伙房片麻杂岩和片麻状二长花岗岩、花岗岩, 北东向断裂构造对东伙房金矿的形成, 富集起了非常重要的作用。

注: 本文为中国地质调查局全国金矿资源潜力评价项目(编号: ZD20220318)和中国地质调查局华北陆块北缘成矿带金矿资源潜力动态评价项目(编号: DD20220976)的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-01-10; 责任编辑: 潘静。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.091

作者简介: 赵洋, 男, 1992年生, 硕士, 工程师, 主要从事战略性矿产资源调查评价工作; Email: zhaoyang02@mail.cgs.gov.cn。通讯作者: 王晓阳, 男, 1989年生, 硕士, 工程师, 主要从事战略性矿产资源调查评价工作; Email: wxiaoyang@mail.cgs.gov.cn。

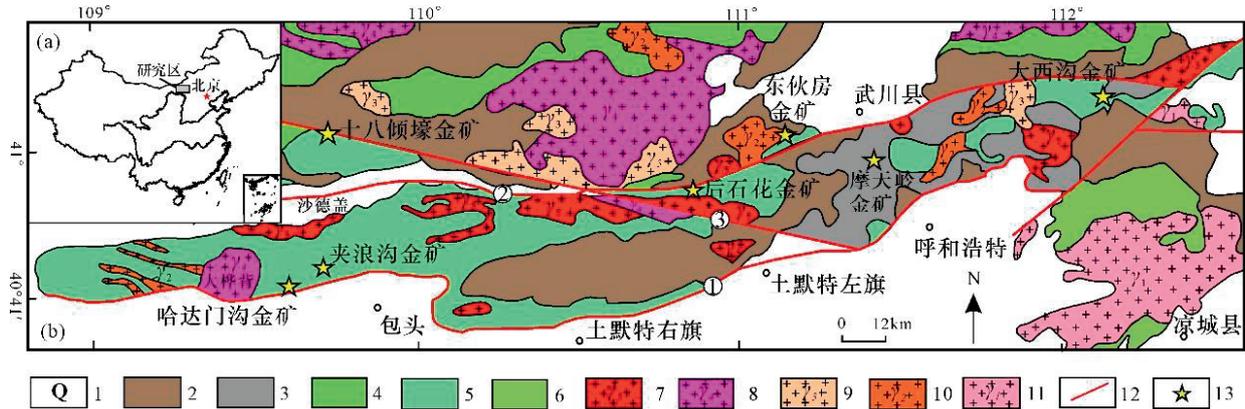


图 1 内蒙古乌拉山—大青山地区地质简图 (据王梁等, 2015)

1—第四系；2—中生界；3—早中元古界二道洼群—马家店群；4—中元古界；5—太古界乌拉山群；6—太古界集宁群；7—中生代岩浆岩；8—晚古生代岩浆岩；9—早古生代岩浆岩；10—元古宙岩浆岩；11—太古宙岩浆岩；12—断裂；13—金矿；主要断裂：①包头—呼和浩特断裂带；②临河—集宁断裂带；③固阳—土默特左旗断裂带；主要金矿：①哈达门沟金矿；②夹浪沟金矿；③十八顷壕金矿；④后石花金矿；⑤东伙房金矿；⑥摩天岭金矿；⑦大西沟金矿

东伙房金矿床围岩蚀变强烈，主要为黄铁绢英岩化、钾长石化、硅化、绿泥石化和碳酸盐化。具有明显的蚀变分带，矿体由内向外依次划分为 3 个蚀变带：内带为黄铁矿化—硅化带，中过渡带为黄铁矿化—碳酸盐化—钾化带，外带为钾化—黄铁矿化带。

### 3 矿物学特征

黄铁矿在东伙房金矿床广泛分布，是金的主要载体矿物，并且贯穿所有成矿阶段。矿相学研究发现，东伙房金矿床成矿期可划分为 4 个成矿阶段，各阶段的矿物组合有明显不同，金主要赋存于 II 阶段。

无石英阶段黄铁矿 (Py-I) 含量较少，一般小于 10%，以浸染状分布在烟灰色石英粒中。黄铁矿粒度较小，粒径约 0.05~0.5 mm，大多为半自形—他形结构，少见自形晶，晶体表面有大量溶蚀孔隙，指示后期高温成矿流体对该阶段黄铁矿的溶蚀改造作用。

石英黄铁矿阶段黄铁矿 (Py-II) 含量较高，含量在 10%~20%，黄铁矿集合体呈脉状或团块状分布在乳白色石英细脉中，常被后期黄铜矿交代溶蚀。此阶段黄铁矿粒度较粗，粒径约 0.2~2 mm，多数具半自形—自形结构，自形立方体状黄铁矿往往是高温流体作用结晶的产物。在他形黄铁矿粒间边部见包裹金。

石英多金属阶段黄铁矿 (Py-III) 大量发育，含量一般在 25% 以上，黄铁矿与黄铜矿、方铅矿、闪

锌矿等金属硫化物共生，矿物集合体呈网脉状或团块状分布在烟灰色石英脉中。黄铁矿粒径从 0.5~2 mm 均有分布，以半自形—他形结构为主，黄铁矿边缘常被交代溶蚀，显微镜下黄铁矿内部裂隙发育，裂隙被方铅矿、黄铜矿等充填。此阶段他形黄铁矿边部见少量包裹金。

碳酸盐阶段黄铁矿 (Py-IV) 几乎不含自然金，粒度较粗，多数大于 2 mm，发育较少裂隙，多数具半自形结构，常与石英、方解石等集合体交代穿插早阶段矿物，分布不均匀，连续性较差。

### 4 硫同位素特征

东伙房金矿 6 件黄铁矿样品硫同位素分析结果见表 1。

东伙房金矿床不同成矿阶段的黄铁矿硫同位素表现为绝对值较小的正值，一般在 +4.30‰~+5.63‰ 之间，平均值为 +4.94‰，各成矿阶段值较为接近，说明硫的来源一致，比岩浆硫 (0~+3‰) 略高。Гриненко (1980) 研究认为，硫化物中  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +4‰~+10‰ 时，其来源可能混染了部分地壳中各种成因的硫，也可能是岩浆硫与硫酸盐硫混合的结果。由于本矿区没有硫酸盐矿物出现，综合分析认为，东伙房金矿床中的硫源与流体萃取矿区中太古界乌拉山群与东伙房片麻杂岩组的成矿物质有关。

## 5 矿床成因

综合分析认为,东伙房金矿与典型的造山型金矿具有如下共性(史鹏亮等,2023):①矿床发育于华北陆块北缘大陆岩浆弧内,形成于古亚洲洋关闭后的陆陆碰撞造山阶段;②金矿体以石英脉形式呈复脉带状分布,受到近东西向断构造与后石花—酒馆—武川韧性剪切带控制;③矿物组合为黄铁

矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿等,这些硫化物为主要的载金矿物;④具有硅化、绢云母化和弱碳酸盐化得蚀变特征;⑤成矿流体以中温、低盐、富 CO<sub>2</sub> 为特征;⑥硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值在 +4.30‰~+5.63‰ 之间,符合典型造山型金矿的特征。因此,东伙房金矿应为华北陆块北缘西段成矿带内较典型的造山型金矿。

表 1 东伙房金矿床黄铁矿硫同位素测试结果

样品点号	矿物	成矿阶段	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ (‰)
DHF1	黄铁矿	I	5.42
DHF2	黄铁矿	I	5.63
DHF5	黄铁矿	II	4.30
DHF3	黄铁矿	III	4.45
DHF11	黄铁矿	III	4.95
DHF7	黄铁矿	IV	4.89

### 注 释 / Note

① 内蒙古地质矿产勘查院. 2013. 内蒙古呼和浩特市双玉成等四幅 1/5 万区域矿产地质调查报告.

### 参 考 文 献 / References

Гриненко В. А. 1980. 硫同位素地球化学. 赵瑞 译. 北京: 科学出版社: 1~235.

李鸿睿, 李康宁, 张江苏, 贾儒雅, 程志中, 刘晓箫, 朱锐. 2023. 微量元素、同位素特征与成矿物质来源. 地质论评, 69(5): 1817~1833.

刘文祥, 邓小华, 吴艳爽, 韩申, 陈西, 李巽, 王永, 陈衍景. 2021. 新疆东准噶尔顿巴斯套金矿地质特征及矿床成因. 地质论评, 67(3): 695~721.

史鹏亮, 屈海浪, 鄂建新, 刘春发, 缪广, 马麒镒, 戴毅. 2023. 吉尔吉斯斯坦布丘克造山型金矿床: 来自流体包裹体、H-O-S 同位素证据. 地质学报, 97(3): 738~752.

王梁, 王根厚, 雷时斌, 常春郊, 侯万荣, 贾丽琼, 赵广明, 陈海舰. 2015. 内蒙武川后石花金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质与勘探, 51(3): 422~431.

吴昊, 祝向平, 贾强, 张彬, 李勇, 杨礼创. 2023. 西藏巴达铜金矿床黄铁矿原位主微量元素特征及其环境效应. 地质学报, 97(7): 2261~2280.

**ZHAO Yang, WANG Xiaoyang, LI Ruihong, SUN Kang, ZHANG Zhongyue, TAO Ximing ; Sulfur isotope characteristics of pyrite in Donghuofang gold deposit, Inner Mongolia**

**Keywords : metallogenic belt of north margin of North China continent ; pyrite ; geological characteristics ; S isotope ; Donghuofang**