

doi: 10.12029/gc20211007001

马红义, 张博, 张娅, 姚健, 张林兵, 张沐, 张林飞, 刘亚南. 2024. 河南栾川县马丢大型萤石矿矿床地质特征及其找矿潜力预测[J]. 中国地质, 51(4): 1161–1174.

Ma Hongyi, Zhang Bo, Zhang Ya, Yao Jian, Zhang Linbing, Zhang Mu, Zhang Linfei, Liu Ya'nan. 2024. Geological characteristics and prospecting potential of the Madiu large-scale fluorite deposit in Luanchuan County, Henan Province[J]. Geology in China, 51(4): 1161–1174(in Chinese with English abstract).

河南栾川县马丢大型萤石矿矿床地质特征及其找矿潜力预测

马红义^{1,2,3}, 张博^{1,2,3}, 张娅^{1,2,3}, 姚健^{1,2,3}, 张林兵^{1,2,3}, 张沐^{1,2,3}, 张林飞^{1,2,3},
刘亚南^{1,2,3}

(1. 河南省地质局生态环境地质服务中心, 河南 郑州 450053; 2. 河南省深部探矿工程技术研究中心, 河南 郑州 450053;
3. 河南省自然资源科技创新中心, 河南 郑州 450053)

摘要:【研究目的】萤石矿是现代工业必须的重要矿产资源, 河南省把萤石矿的找矿列为非金属矿产的重中之重。近年来, 河南省多个地勘单位均在栾川县合峪地区从事萤石矿找矿工作, 马丢萤石矿是第一个探明的大型矿床, 估算萤石矿矿石量 884 万 t、CaF₂ 矿物量 476 万 t, CaF₂ 平均品位 53.83%, 矿体沿走向东西两端均未封闭。总结马丢萤石矿矿床地质特征对指导该区找矿具有重要意义。【研究方法】通过近 5 年来对马丢萤石矿的普查—详查工作, 对矿床成矿地质条件、矿床地质特征、质量特征、找矿标志等进行系统总结。【研究结果】马丢萤石矿床目前是河南省及其周边省份资源量规模最大的萤石单矿体。矿脉数量多, 规模大小不一, 具有沿倾向等间距分布, 沿走向近平行展布的特征, 在其周边还分散着众多的萤石矿体。【结论】马丢萤石矿成矿与花岗岩体和北西向构造有关, 矿床类型为硅酸盐岩石中的裂隙充填中—低温脉状矿床。

关键词: 萤石矿; 矿床地质特征; 找矿潜力; 矿产勘查工程; 栾川县马丢; 河南省

创新点: (1)首次提出合峪花岗岩基是萤石矿的成矿母岩; (2)成矿与区域北西向、北东向构造关系密切, 花岗岩基的出露区及岩体的外接触带是找矿的有利部位。

中图分类号: P619.215 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2024)04-1161-14

Geological characteristics and prospecting potential of the Madiu large-scale fluorite deposit in Luanchuan County, Henan Province

MA Hongyi^{1,2,3}, ZHANG Bo^{1,2,3}, ZHANG Ya^{1,2,3}, YAO Jian^{1,2,3}, ZHANG Linbing^{1,2,3}, ZHANG Mu^{1,2,3},
ZHANG Linfei^{1,2,3}, LIU Ya'nan^{1,2,3}

(1. Ecological Environment Geo-Service Center of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450053, Henan, China; 2. Deep Prospecting Engineering Technology Research Center of Henan, Zhengzhou 450053, Henan, China; 3. Natural Resources Science and Technology Innovation Center of Henan, Zhengzhou 450053, Henan, China)

收稿日期: 2021-10-07; 改回日期: 2022-04-02

基金项目: 2019、2021 年度河南省财政地质勘查项目(2019-46 号、2021-12 号)资助。

作者简介: 马红义, 男, 1968 年生, 教授级高级工程师, 从事地质勘查及研究工作; E-mail: xcmahongyi@163.com。

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] Fluorite is an important mineral resource in modern industries, and it is listed as the top priority of nonmetallic mineral prospecting in Henan Province. In recent years, several geological prospecting units in Henan Province have been engaged in prospecting fluorite in the Heyu area of Luanchuan County, and the Madiu fluorite deposit is the first proven large deposit, with an estimated amount of 8.84 million tons of fluorite ore and 4.76 million tons of CaF_2 mineral. The average grade of CaF_2 is 53.83%. The east–west ends of the ore body are not closed along the strike. Therefore, summarizing the geological characteristics is of great significance for guiding the prospecting activities in this area. **[Methods]** Based on the general and detailed investigation of the Madiu fluorite deposit in the last five years, the metallogenic geological conditions, geological characteristics, quality characteristics, and prospecting indicators are systematically summarized. **[Results]** The Madiu fluorite deposit is the largest single fluorite ore body in Henan and its surrounding provinces. There are many ore veins of different sizes, which are equal spaced along the trend and are nearly parallel along the strike. There are also many fluorite ore bodies scattered around. **[Conclusions]** The Madiu fluorite mineralization is related to granites and NW–trending structures, and the deposit type is medium–low temperature vein deposit with fissure filling in silicate rock.

Key words: fluorite deposit; geological characteristics; prospecting potential; mineral exploration engineering; Madiu of Luanchuan County; Henan Province

Highlights: (1) This study is the first to point out that the Heyu granite batholith is the ore–forming parent rock of fluorite deposit. (2) Fluorite mineralization is closely related to the NW and NE regional structures. The exposure area of the granite base and the outer contact belt of the granite body are favorable places for prospecting.

About the first author: MA Hongyi, male, born in 1968, professor–level senior engineer, engaged in geological exploration and research; E–mail: xcmahongyi@163.com.

Fund support: Supported by the Geological Exploration Project of Henan Provincial Financial of 2019 and 2021 (No.2019–46, 2021–12).

1 引 言

马丢萤石矿是河南省及其周边省份资源量和延伸规模最大的萤石单矿体。矿区中心点地理坐标为 $33^{\circ}49'40''\text{N}$, $111^{\circ}49'28''\text{E}$, 矿床位于华熊台缘凹陷卢氏—栾川褶断束中部的合峪花岗岩基西段(燕建设和星玉才, 1999; 卢欣祥等, 2002; 姚书振等, 2002; 庞振山等, 2004; 赵玉等, 2015)。2013 年以前, 该矿由栾川县发采矿证进行开采, 2013 年洛阳丰瑞氟业有限公司对 6 个矿山进行整合并生产勘探, 发现矿体沿走向及倾向均未封闭, 矿业权人在采矿权平面范围内又向深部申请了 +711 m 标高以下的普查—详查工作^{①②}。2015—2019 年, 矿区完成生产勘探及查—详查工作, 共完成钻探进尺近 20000 m, 估算萤石矿矿石量 884 万 t, CaF_2 矿物量 476 万 t, CaF_2 平均品位 53.83%, 探明—大型萤石矿床, 因受探矿权平面范围的限制, 矿体沿走向东西两端均未封闭。目前, 河南省多个地勘单位在该区域进行地质找矿工作, 该区已成为河南省最大最有潜力的萤石矿基地之一(刘同义等, 2009; 张静娜和

马斌, 2009; 刘波等, 2010; 李俊锋等, 2013; 邓红玲等, 2017a, b; 张凯涛等, 2022; 马红义等, 2023; 张兴辽等, 2023)。本文在最新勘查及研究成果的基础上, 对萤石矿的地质成矿条件及成矿地质特征进行了深入分析, 探讨其成因类型、找矿标志及找矿前景, 总结成矿规律(王振亮等, 2013; 陈武等, 2014; 王吉平等, 2014, 2015; 王自国和朱培元, 2020; 游林聪, 2021; 王军有等, 2021; 高永宝等, 2023; 张彦生等, 2023), 建立成矿地质作用模式, 以期为区域萤石矿找矿工作提供依据和借鉴。

2 区域地质背景

马丢萤石矿位于华北地台南缘, 华熊台缘凹陷卢氏—栾川褶断束中部的合峪花岗岩基西段, 南部外围为栾川断裂带, 北部为马超营断裂带。区域上岩浆活动频繁, 次级断裂构造发育, 以金银钼和萤石为主的内生矿产资源丰富(图 1)。

区域上地层以栾川断裂为界, 以北属华北地层区豫西分区熊耳山小区, 以南属秦岭地层区北秦岭分区南召小区。华北地层区在矿区北部外围出露

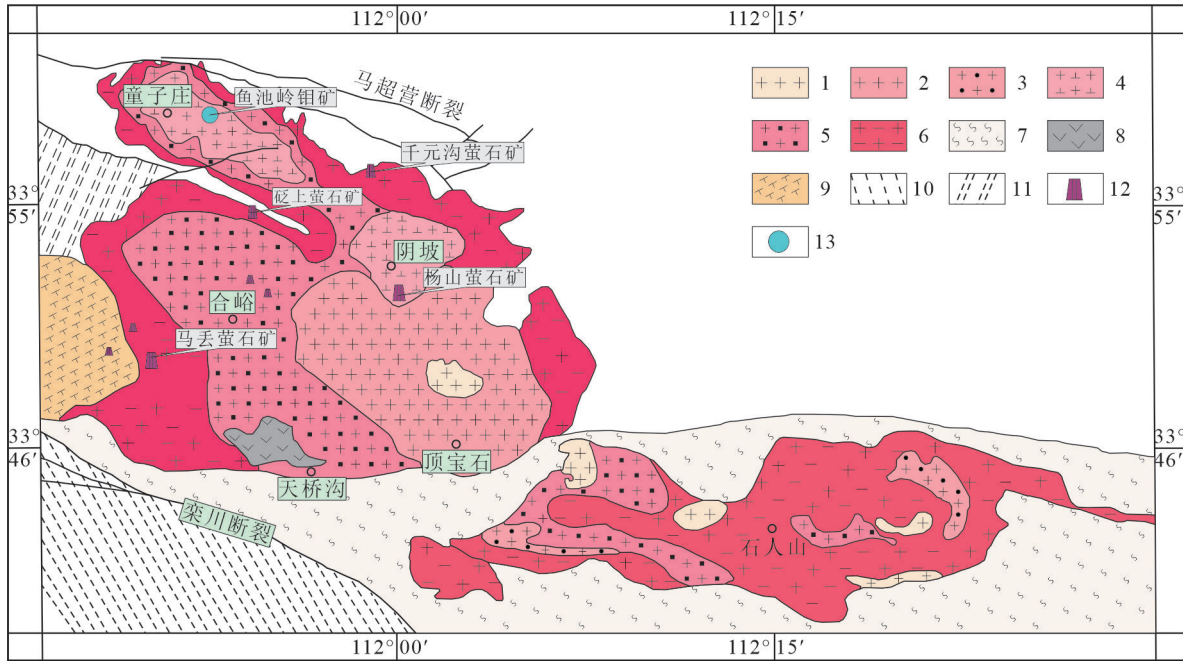


图 1 合峪花岗岩基及主要矿床分布图

1—细粒黑云母正长花岗岩; 2—细粒黑云母二长花岗岩; 3—含小斑细中粒黑云母二长花岗岩; 4—含中斑中粗粒黑云母二长花岗岩; 5—中斑中粗粒黑云母二长花岗岩; 6—大斑中粗粒黑云母二长花岗岩; 7—伏牛山序列片麻状花岗岩; 8—天桥沟细粒石英闪长质侵入体; 9—龙王庙正长花岗岩; 10—中—新元古界; 11—太华群; 12—萤石矿; 13—钼矿

Fig.1 Distribution map of the Heyu granite batholith and main deposits

1—Fine-grained biotite syenogranite; 2—Fine-grained biotite monzogranite; 3—Fine-medium grained biotite monzogranite with small macules; 4—Coarse-medium grained biotite monzogranite with medium macules; 5—Meso-porphyritic coarse-medium grained biotite monzogranite; 6—Large-porphyritic coarse-medium grained biotite monzogranite; 7—Funiushan sequence gneissic granite; 8—Fine-grained quartz dioritic intrusion in Tianqiaogou; 9—Longwangchuang syenogranite; 10—Mesoproterozoic-Neoproterozoic strata; 11—Taihua Group; 12—Fluorite deposit; 13—Molybdenum deposit

有新太古界太华群、中元古界长城系熊耳群, 在矿区南部外围出露有新元古界官道口群; 北秦岭地层区仅在栾川断裂南侧出露有新元古界宽坪岩群, 另在矿区北部外围出露有新生界古近系。

区域内构造以断裂构造为主, 受栾川断裂和马超营断裂带影响, 总体构造线呈 NW 向展布。栾川断裂为华北地台与秦岭褶皱带的边界断裂, 控制了东秦岭钼成矿带中的栾川钼、钨、铅、锌、银多金属及萤石矿床的分布(马红义等, 2006, 2007, 2008; 温森坡等, 2008; 马红义, 2012)。马超营断裂带为熊耳山南麓重要的导矿和控矿断裂带, 多期次构造活动明显(和志军等, 2003), 因其形成的次级(近 EW 向、NE 向、NW 向和近 SN 向)断裂为区域上以金、钼、萤石为主的内生矿产形成提供了有利赋存空间。次级近 EW 向断裂以压性—压扭性为主, NW 向和 NE 向断裂以压扭性—张性及张扭性为主, 近 SN 向断裂以张及张扭性为主。

区域上岩浆岩活动频繁而强烈, 在新太古代、中元古代、新元古代、早古生代和中生代均有侵位, 并以中生代燕山期为主。中生代燕山期岩浆活动形成的合峪花岗岩基, 总体呈 NW 向产出, 在区域上大面积分布, 侵位时间为 148.2~135.3 Ma(卢欣祥等, 2002; 姚书振等, 2002; 庞振山等, 2004), 具有多期侵位的特点; 主要岩性为黑云母二长花岗岩, 为鱼池岭特大斑岩型钼矿床(周珂, 2008)和区域萤石矿床的储矿围岩, 并与矿床形成具有密切的时空关系。

3 矿区地质特征

3.1 赋矿岩性特征

矿区位于合峪花岗岩基的西缘, 岩性为大斑中粗粒黑云母二长花岗岩。岩石呈灰白色或肉红色, 斑状结构, 基质为半自形粒状结构, 块状构造。斑晶多为钾长石, 基质以钾长石、斜长石、石英为主,

少量黑云母,微量磷灰石、锆石。钾长石多为条纹长石,含量约 40%,半自形—自形板柱状,粒径一般 1.0 mm×2.5 mm~5.0 mm×10.0 mm,与斜长石相间分布;斜长石含量约 35%,半自形—自形板柱状,大小 1.2 mm×2.0 mm~1.2 mm×2.8 mm;石英含量约 20%,他形粒状,粒径 1.4~4.0 mm,与长石相间分布;黑云母含量 0.5%~1%,片体长 0.8~2.0 mm,杂乱分布在长石、石英之间,晶体多脱铁向白云母转变;磷灰石为柱状,长轴 0.15~0.4 mm,多包裹在长石及石英晶体中;锆石为短柱状,长轴 0.05~0.2 mm,包裹在长石晶体中。

3.2 构造特征

矿区内仅有断裂构造,均为成矿前及成矿期断裂。规模较大的有北东向 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_5 断裂 4 条(表 1)。断裂性质与区域构造特征相似,以压扭性—张性及张扭性为主,以矿化蚀变破碎带的形式出现(图 2)。

F_1 、 F_2 、 F_5 断裂较集中分布于矿区的南部。由北西向南东在宽 240 m 范围内依次为 F_5 、 F_1 和 F_2 断裂,呈北东向近平行展布,其间及两侧发育有十余条走向与之平行或斜交的羽状裂隙,构成北东向的断裂密集带。

F_1 断裂出露于 311 国道至板倒沟一带,由 06 勘查线向南西和板倒沟向北东延伸。北西侧和南东侧分别为 F_5 和 F_2 断裂,与 F_5 断裂间隔 80~120 m,与 F_2 断裂间隔 84~120 m。总体走向 47°,局部 40°~50°,南西倾,一般倾角 48°,局部 37°~56°。走向长 1612 m,破碎带宽一般 1.2~2.5 m,在 00 勘查线的局部最宽约 4.5 m。破碎带沿走向、倾向均呈舒缓波状,略具膨大、狭窄之特征。破碎带内以碎裂黑云母二长花岗岩和碎裂岩为主,构造角砾岩以围岩角砾、萤石矿角砾和玉髓角砾为主,部分蚀变岩中的绢英岩角砾等多呈棱角状,其长轴平行或近平行主构造面分布。蚀变以硅化、绢英岩化为

主,次为绢云母化、高岭土化和碳酸盐化,局部见玉髓化。带内主要为萤石矿化,黄铁矿化普遍但不强,局部见重晶石化。该断裂为控矿构造,赋存有 I_1 萤石矿体。

4 样品采集与分析

样品采集主要采自钻孔、探槽和坑道中。钻孔岩心采样为 1/2 锯心法,本次采取基本分析样 919 个,样品加工由鄂式破碎机粗碎,对辊机中碎,再利用磨盘机细碎至所需粒度。其破碎、过筛、混匀和缩分都严格按照《岩石矿物分析试样制备》(DZ/T 0130.2-2006)进行,满足了粗碎、中碎、细碎每个阶段损耗率分别小于 3%、5%、7% 和每次缩分误差均小于 3% 的要求。基本分析项目为 CaF_2 ; 化学多项分析 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 MgO 、 $CaCO_3$ 、 $BaSO_3$ 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 CaF_2 共 12 项;组合分析 P、S、Ag、Pb、Zn、Cu、W、Mo 共 8 项。本次样品加工和测试由原河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院和原河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院实验室承担;光薄片样及选矿试验样由原河南省岩石矿物测试中心进行鉴定和实验室流程试验。

5 矿床地质特征

5.1 矿体总体特征

矿体主要出露在矿区的南部,均赋存在矿脉中,有 I、II、V3 条矿脉。因矿脉较集中分布且特征基本相同(表 2),故综述如下:

(1)矿脉分布:矿脉较集中分布于 311 国道至板倒沟一带北西宽约 240 m 的范围内,由北西向南东依次为 V、I 和 II 号矿脉,其间隔 84~120 m。矿脉具有沿倾向等间距分布,沿走向近平行展布的特征。

(2)矿脉产状:矿脉沿走向、倾向均呈舒缓波

表 1 断裂及矿脉特征一览表

Table 1 Characteristics of fractures and veins

断裂编号	矿脉编号	产状	总长/m	矿区内长/m	宽/m	矿化情况	备注
F_1	I	北西倾,一般倾角 48°,局部 37°~56°	1612	1147	1.2~2.5	有 I_1 矿体赋存	位于 F_2 和 F_3 断裂之间
F_2	II	北西倾,倾角 50°,局部 40°~55°	1637	1147	1.5~3.5	有 II_1 矿体赋存	北西距 F_1 断裂 84~120 m
F_5	V	北西倾,倾角 46°,局部 40°~62°	1641	1130	1.0~2.0	有 V_1 矿体赋存	南东距 F_1 断裂 80~120 m
F_3	III	南东倾,倾角 60°,局部 43°~69°	1255	991	1.5~3.0	有 III_1 矿体赋存	在马丢河河床部位被第四系覆盖

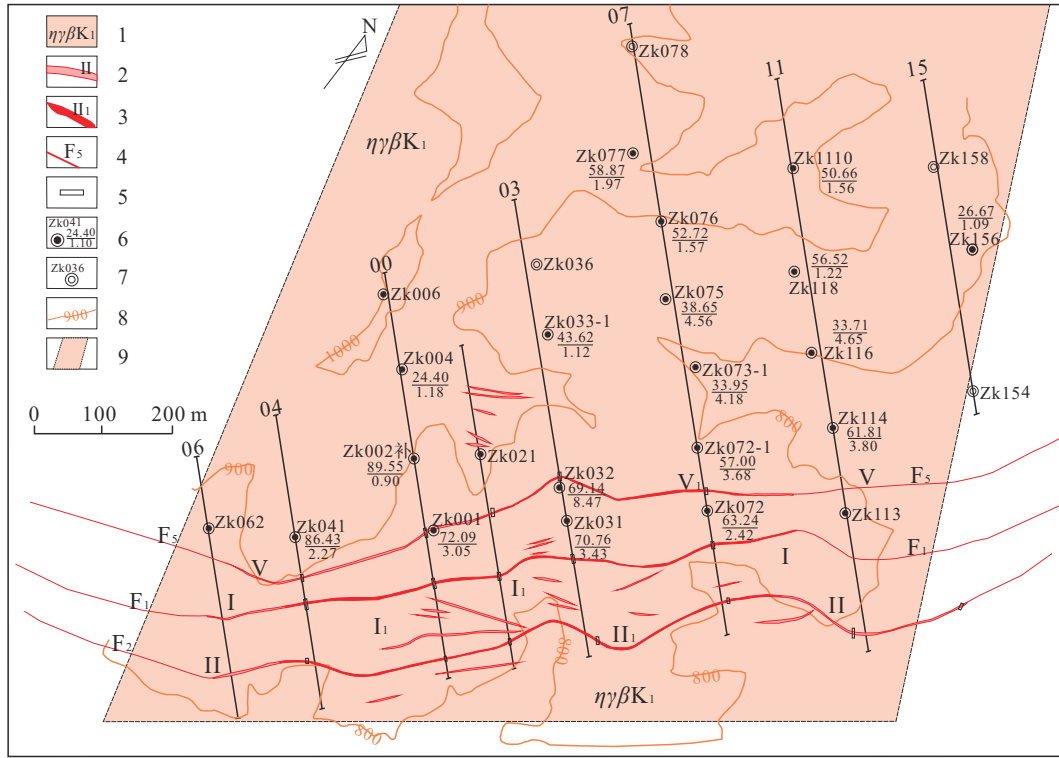


图 2 马丢萤石矿区 II₁ 矿体见矿分布及地形地质简图(据马红义和吴林涛, 2000^①修改)

1—早白垩世黑云母二长花岗岩; 2—含萤石矿脉及编号; 3—萤石矿体及编号; 4—断层及编号; 5—施工探槽; 6—见矿钻孔, CaF₂(%)/真厚度 (m); 7—无矿钻孔; 8—等高线; 9—矿区范围

Fig.2 Distribution and topographical and geological sketch of II₁ ore body in Madiu fluorite mining area (modified from Ma Hongyi and Wu Lintao, 2000^①)

1—Early Cretaceous biotite monzogranite; 2—Fluorite-bearing veins and number; 3—Fluorite ore bodies and number; 4—Faults and number; 5—Construction trench; 6—Drill-holes with ore: CaF₂(%)/thickness(m); 7—Drill-holes without ore; 8—Contour lines; 9—Mining area

表 2 矿体特征一览表

Table 2 Characteristics of ore body

矿体编号	矿体形态	倾向/°	倾角/°	矿体长/m	区内长/m	矿体最大斜深/m	矿体埋深/m	矿体赋存标高/m	厚度平均/m	厚度变化系数/%	品位平均/%	品位变化系数/%	矿石量/10 ⁴ t	矿物量/10 ⁴ t
I ₁	脉状	317	48	1228	1082	475	0~468	870~462	2.03	43	50.92	34	159.9	81.4
II ₁	似层状	316	50	1305	1128	1185	0~1053	853~-171	2.55	75	55.39	36	513.1	282.1
V ₁	脉状	315	46	635	635	378	0~270	886~540	1.20	15	47.66	27	41.2	19.6
III ₁	脉状	127	60	1208	991	486	0~418	860~405	2.12	48	54.34	35	116.0	63.0

状。走向 45°~47°, 均倾向南西, 一般倾角 46°~50°, 局部 37°~40°或 55°~63°。其 II 矿脉产状较稳定。

(3) 矿脉规模: 矿脉长 1612~1641 m, 均在两侧延出矿区外, 区内长 1130~1147 m, 宽一般 1.0~3.5 m, 膨大部位宽 4.5~20 m。其 II 号矿脉膨大、狭窄特征明显。

(4) 构造岩特征: 矿脉内以碎裂岩、碎斑岩、碎粒岩为主, 部分碎裂黑云母二长花岗岩及构造角砾岩。总体由矿脉底板向顶板或在膨大部位由中间向两侧具有碎裂黑云母二长花岗岩—碎裂岩—碎

斑岩+碎粒岩+构造角砾岩的分带特征。构造角砾岩成分复杂, 有围岩角砾、绢英岩角砾、萤石矿矿石角砾、玉髓角砾及碳酸盐化蚀变岩角砾等。其 II 号和 I 号矿脉中构造岩较发育。

(5) 蚀变特征: 沿矿脉呈线性分布, 以硅化、绢英岩化和玉髓化为主, 次为绢云母化、高岭土化及碳酸盐化。一般在矿脉的近顶板部位、构造岩发育部位蚀变强, 硅化、绢英岩化和玉髓化与矿化关系密切。其 II 号和 I 号矿脉中蚀变较强, 尤其是 II 号矿脉中玉髓化明显强。

(6) 矿化特征: 矿脉内均以萤石矿化为主, 黄铁矿化普遍但不强, 局部见重晶石化。萤石矿化中以杂色萤石为主, 次为暗紫色萤石, 少量粉红色萤石。总体在矿脉的近顶板和膨大部位、倾角由陡变缓部位、构造岩发育及蚀变强的部位矿化有利。在 V、I 和 II 号矿脉中分别赋存有 V_1 、 I_1 和 II_1 萤石矿体, 其 II_1 为区内的主要矿体、 I_1 为重要矿体、 V_1 为次要矿体。

5.2 II_1 矿体特征

5.2.1 矿体规模、产状

矿体赋存于 II 号矿脉的 Zk041 至 Zk156 工程部位(图 3a、b), 在北东侧 11~15 勘探线部位呈隐伏分布。矿体长大于 2000 m, 勘查区内矿体长 1128 m, 最大斜深 1185 m。单工程见矿厚度 0.90~8.47 m, 矿体平均 2.55 m(图 3c), 厚度变化系数为 75%, 形态复杂程度为中等。矿体厚度变化与赋存标高、

侧伏特征和产状变化相关性明显, 总体在 700~300 m 标高的 00、03、07 和 11 勘查线的 Zk001、Zk032、Zk073-1 和 Zk116 工程一带厚度大, 该部位既是矿体沿侧伏方向的中部, 也是倾角的缓倾部位。单工程 CaF_2 品位 24.40%~89.55%, 矿体平均 55.39%, 品位变化系数为 36%, 属较均匀型。矿体品位变化与赋存标高有明显关系, 与厚度变化呈正相关性, 总体在 700~400 m 标高的矿体厚大部位品位高。 CaF_2 品位不低于 65% 的矿石较集中分布于 700~400 m 标高的 04~03 勘查线和 Zk041、Zk001、Zk002 补、Zk031、Zk032 工程部位, 另在其他工程近矿体顶板及局部底板部位有分布。

矿体呈似层状, 沿走向、倾向均呈舒缓波状(图 4)。倾向 316° , 一般倾角 50° , 局部 $45^\circ\sim 54^\circ$, 为陡倾斜。矿体向北东方向侧伏, 侧伏角约 50° 。沿侧伏方向在中部的 Zk001、Zk032、Zk075 和 Zk116



图 3 萤石矿地表露头(a, b)及岩心照片(c)

Fig.3 Surface outcrop (a, b) and core photographs (c) of fluorite ore

一带倾角相对缓, 另在 00 勘查线具有上缓、下陡的特征。矿体边界规则, 其内无后期构造破坏、岩脉穿插和天窗。赋存标高为 853~ -171 m; 埋深为 0~ 1053 m。该矿体共有 14 条探槽、4 个坑道和 18 个钻孔控制。沿矿体走向钻孔间距 200 m, 沿倾向 150~

200 m。目前矿体在矿权范围内已基本封闭, 向东西两侧因矿权范围限制沿走向尚未封闭。目前该矿体共估算工业萤石矿富矿和贫矿矿石量 513.1 万 t、CaF₂ 量 282.1 万 t, CaF₂ 品位 55.39%。是河南省目前已知的资源量规模最大的萤石单矿体。

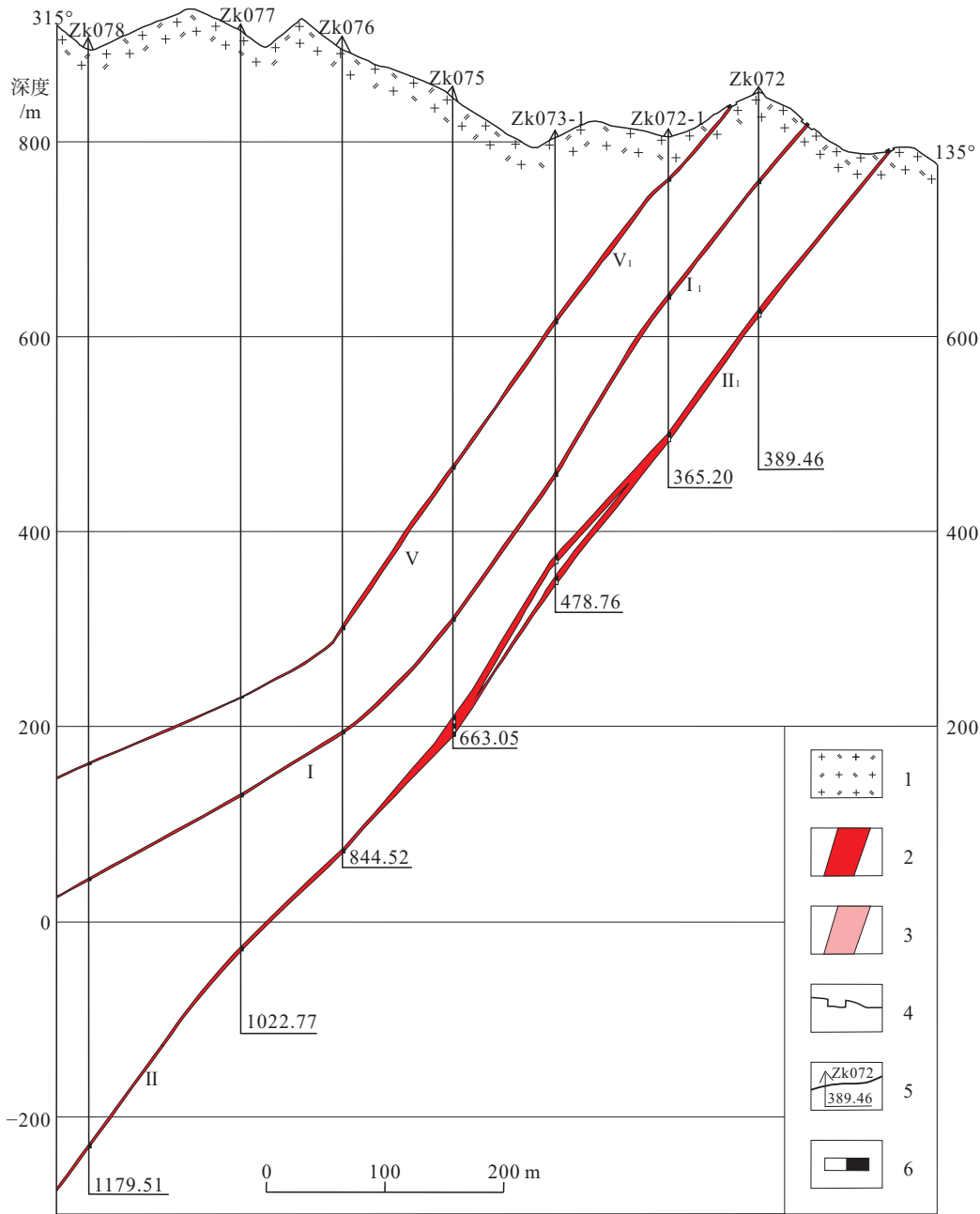


图 4 马丢萤石矿区 07 勘查线剖面图(据马红义和吴林涛, 2000^①修改)

1—二长花岗岩; 2—萤石矿体及编号; 3—含萤石矿脉及编号; 4—探槽位置; 5—钻孔位置及终孔孔深/m; 6—采样位置

Fig.4 Profile of No.07 exploration line in Madiu fluorite mining area (modified from Ma Hongyi and Wu Lintao, 2000^①)

1—Monzogranite; 2—Fluorite ore body and number; 3—Fluorite-bearing vein and number; 4—Prospecting trench location; 5—Location and depth/m of drilling; 6—Sampling location

5.2.2 矿石特征

(1) 矿物成分: 矿石中 useful 矿物主要为萤石。另在 III₁ 矿体中见有以辉钼矿为主的钼矿物。脉石矿物主要为石英、玉髓、长石(钾长石和斜长石)和云母(绢云母和黑云母); 少量高岭石、绿泥石、重晶石、黄铁矿, 微量磁铁矿、锆石、磷灰石及褐铁矿等(图 5a)。

萤石以暗紫色为主, 次为杂色(白色及烟灰、紫红、淡绿色), 少量粉红色。不同颜色的萤石其结晶先后不一, 由早到晚依次为暗紫色萤石—杂色(白色、烟灰色及紫红色、淡绿色)萤石—粉红色萤石, 分别约占萤石含量的 55%、40% 和 5%。萤石晶体主要呈立方体或八面体(薄片中方为方形或菱形), 粒径 0.2~6.4 mm 的约占 93%, 平均粒径 0.37 mm。其中暗紫色萤石多为他形—半自形粒状, 粒径一般为 0.2~2 mm; 多呈网脉状、稠密浸染状分布, 部分呈单独的脉状及角砾状分布, 少量呈团块状斑点状分布; 杂色萤石中, 其灰白色、烟灰色和紫红色萤石多为半自形—自形粒状(图 5b、c), 粒径一般 0.3~

5 mm, 多呈条带状分布, 部分呈脉状及角砾状分布; 淡绿色萤石为自形粒状, 粒径一般 >5 mm, 多呈透镜状、团块状分布。

粉红色萤石为他形—半自形粒状, 粒径一般 0.15~2 mm, 多呈细脉状分布, 部分与重晶石及脉石矿物呈胶结物分布。萤石的能谱分析结果表明, 其 Ca 平均质量百分含量为 55.91%, F 平均质量百分含量为 44.09%, 表明萤石中没有类质同象混入。

钼矿物仅见于 III₁ 矿体中。矿体中单样 Mo 品位 0.03%~0.14%, 平均品位为 0.06%。物相分析结果表明: 钼矿物中以辉钼矿为主, 约为 61.76%; 次为钨钼钙矿、钼华和少量钼铅矿, 分别为 19.62%、14.85% 和 3.77%。辉钼矿多呈弯曲鳞片状、叶片状, 粒径 0.005~0.061 mm; 在黄铁矿—石英脉中呈稀疏浸染状及团块状分布(图 5d)。能谱分析结果表明(图 6, 图 7), 辉钼矿中含有 Ti、Fe、Ca、Si 等类质同象元素。

(2) 矿石化学成分: 各类分析结果表明(表 3), 矿石中主要化学成分为 CaF₂ 和 SiO₂, 少量 Al₂O₃、

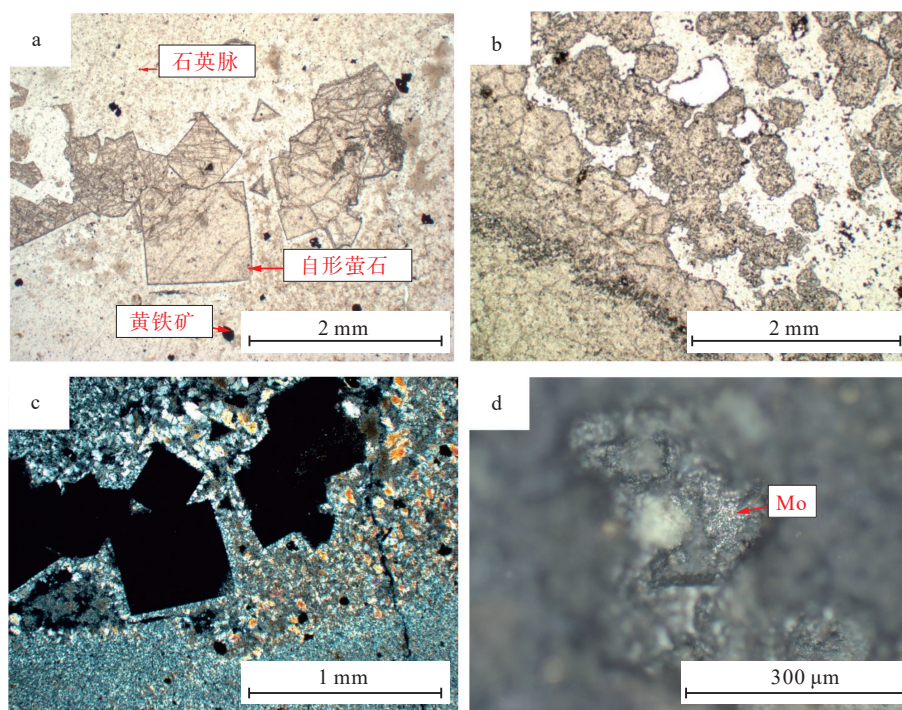


图 5 萤石矿微观照片

a—萤石—石英脉及稀疏分布的黄铁矿; b—呈脉状分布的半自形—他形萤石; c—自形萤石, 均质性; d—呈集合体分布的辉钼矿(Mo)

Fig.5 Micro-photographs of fluorite ore

a-Fluorite-quartz vein and sparsely distributed pyrite; b-Semi-automorphic-heteromorphic fluorite distributed in veins; c-Autogenous fluorite, homogeneous; d-Molybdenite (Mo) with aggregate distribution

K₂O、Na₂O、CaCO₃、Fe₂O₃ 等。CaF₂ 含量 40.24%~86.13%，平均品位 64.72%；SiO₂ 含量 12.43%~46.00%，平均 28.76%；Al₂O₃ 含量 0.63%~5.47%，平均 2.12%；K₂O 含量 0.17%~1.97%，平均 1.03%；Na₂O 含量 0.02%~1.05%，平均 0.28%；CaCO₃ 含量 0.26%~1.14%，平均 0.57%；Fe₂O₃ 含量 0.12%~0.67%，平均 0.38%。矿石中有害杂质 S、P 含量低(表 4)，分别为 0.14% 和 0.012%。

(3) 矿石结构、构造: 矿石结构以他形—半自形粒状和半自形—自形粒状结构为主，另有自形粒状集合体结构。矿石构造主要有条带状、细脉—网脉状、稠密浸染状、块状及角砾状构造等，局部可见晶洞和皮壳状构造。

(4) 矿石类型主要为萤石—石英型，部分为萤石型和石英—萤石型。

5.2.3 矿物组合及阶段划分

依据矿石的结构构造和矿脉穿插关系等特征，将矿区内划分为 5 种基本矿物组合，代表该区热液活动的 5 个主要阶段。各阶段特征如下：

(1) 辉钼矿—黄铁矿化阶段: 以黄铁矿为主，次为辉钼矿，少量钼钙矿、钼华、钼铅矿及磁铁矿。多呈稀疏浸染状、团块状分布于由围岩形成的碎裂岩、碎斑岩中，亦见有含辉钼矿的黄铁矿细脉、黄铁矿—石英细脉。蚀变类型主要有硅化和绢云母化、高岭土化。硅化多为石英细脉及黄铁矿—石英细脉沿破碎裂隙充填。

(2) 暗紫色萤石矿化阶段: 为重要成矿阶段，约

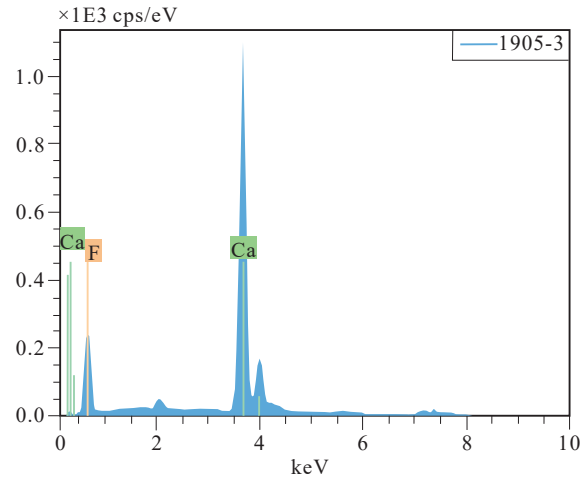


图 6 萤石矿能谱图
Fig.6 Energy spectrum of fluorite

占萤石总量的 35%。萤石多为他形—半自形粒状，粒度一般 0.2~2 mm，以网脉状、稠密浸染状分布为主，部分呈厚 2~10 cm 的脉状断续分布，少量呈团块状及斑点状分布，亦可见胶结围岩角砾。蚀变类型主要有硅化、绢英岩化和高岭土化。硅化多为石英细脉、萤石—石英细脉和石英—萤石细脉沿破碎裂隙充填交代。

(3) 杂色(白色、烟灰色及紫红色、淡绿色)萤石矿化阶段: 为主要成矿阶段，约占萤石总量的 60%。萤石多为半自形—自形粒状及自形粒状集合体，粒度一般 0.3~5 mm，部分 >5 mm；多呈单独的脉状和条带状及透镜状分布，少量呈团块、角砾状分布(图 8a)。蚀变类型主要为玉髓化(图 8b)，玉髓多

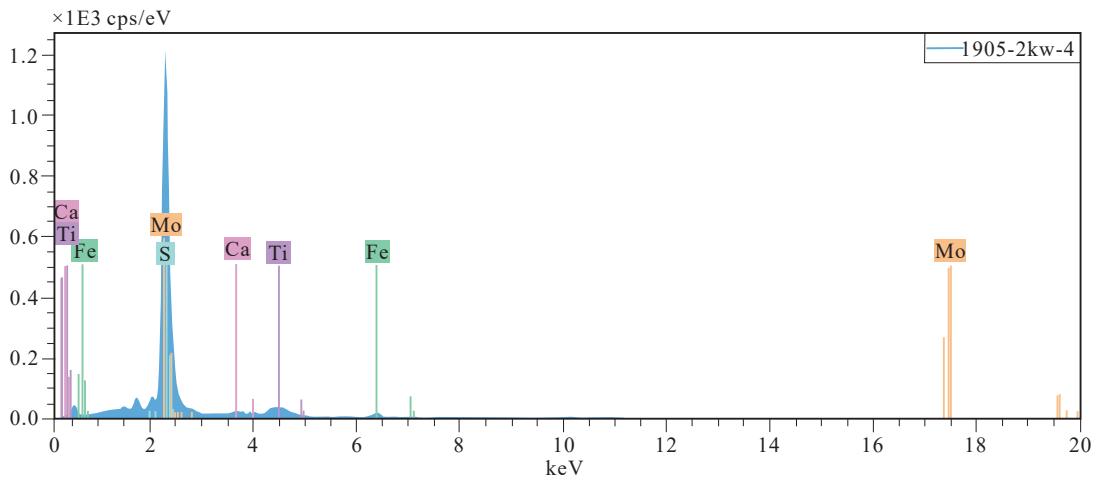


图 7 辉钼矿能谱图
Fig.7 Energy spectrum of molybdenite

表 3 马丢萤石矿矿石化学分析结果

Table 3 Petrochemical analytical results of the ores in Madiu fluorite deposit

矿体号	样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	TiO ₂	CaF ₂	MnO	MgO	P ₂ O ₅	BaSO ₄	K ₂ O	Na ₂ O
I ₁	H5	16.16	1.08	0.38	0.68	0.015	80.50	0.014	0.08	0.004	0.005	0.49	0.14
	H6	37.55	2.78	0.62	0.46	0.047	51.03	0.014	0.08	0.014	0.015	1.97	1.05
	H1	31.97	3.07	0.32	1.14	0.033	58.72	0.009	0.27	0.59	0.087	1.37	0.30
II ₁	H7	20.43	1.20	0.49	0.59	0.018	74.80	0.011	0.09	0.006	0.005	0.78	0.20
	H8	28.60	1.00	0.29	0.54	0.006	68.21	0.010	0.11	0.000	0.002	0.48	0.05
	H2	46.00	5.47	0.55	0.48	0.07	40.24	0.008	0.45	0.067	0.026	1.98	0.24
III ₁	H3	12.43	0.63	0.12	0.64	0.001	86.13	0.006	0.21	0.053	0.043	0.17	0.02
	H4	26.22	1.49	0.13	0.48	0.006	70.09	0.002	0.23	0.047	0.026	0.66	0.14
V ₁	H5	37.75	2.94	0.24	0.26	0.021	54.93	0.005	0.24	0.054	0.023	1.25	0.19
	H9	30.44	1.54	0.67	0.46	0.023	62.54	0.014	0.11	0.007	0.007	1.15	0.48
合计平均		28.76	2.12	0.38	0.57	0.02	64.72	0.01	0.19	0.08	0.02	1.03	0.28

注：氧化物含量单位为%。

表 4 马丢萤石矿矿石微量元素分析结果

Table 4 Analytical results of trace element of the ores in Madiu fluorite deposit

矿体编号	样品数	Mo	P	S	Cu	Pb	Zn	W	Ag
I ₁	6	0.0075	0.015	0.131	0.0004	0.0011	0.0017	0.0003	
II ₁	18	0.0001	0.0056	0.008	0.0002	0.0006	0.001	0.0001	0.065
V ₁	4	0.0128	0.007	0.136	0.0007	0.0014	0.0011	0.0001	
III ₁	8	0.05	0.019	0.27	0.0006	0.0027	0.0025	0.0007	

注：Ag含量单位为10⁻⁶，其他元素含量单位为%。

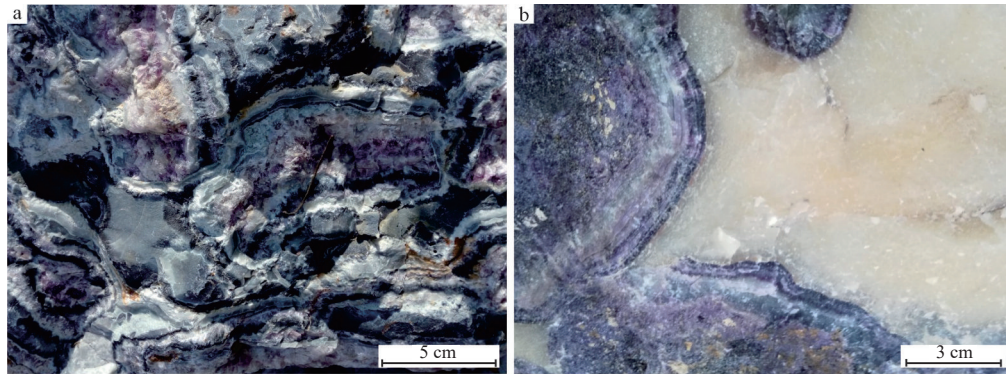


图 8 萤石矿宏观照片

a—以矿石角砾为主的萤石矿矿石；b—被玉髓胶结的萤石矿矿石

Fig.8 Macro-photographs of fluorite ore

a-Fluorite ore dominated by ore breccia; b-Fluorite ore cemented by chalcedony

呈单独的脉状或与萤石相间呈条带分布等。

(4) 粉红色萤石及重晶石矿化阶段：为次要成矿阶段，约占萤石总量的 5%。萤石为他形—半自形粒状，粒度一般 0.15~2 mm，多与石英呈细脉状分布，部分与重晶石胶结成玉髓和矿石角砾。该阶段内有花岗岩细脉沿破碎裂隙充填。蚀变以硅化、绢云母化为主，硅化主要呈石英细脉分布。

(5) 碳酸盐化阶段：为萤石矿化阶段后期形成，多为方解石细脉沿破碎裂隙充填或胶结围岩、矿石

和玉髓角砾，局部为厚 20~40 cm 的脉状或透镜状，亦可见破碎状角砾被泥化的围岩成分胶结。

6 成因类型及找矿潜力分析

6.1 成因类型

区内矿床和矿体的空间分布受断裂构造控制，矿体呈似层状、脉体均赋存于断裂破碎带内，在破碎带的近顶板部位、倾角由陡变缓部位、膨大部位、构造岩发育部位矿化有利。

据周珂(2008)研究,鱼池岭铅矿床中主要成矿阶段普遍萤石矿化、后期阶段伴随萤石矿脉的形成有较强的玉髓化,与区内萤石矿床早期阶段为黄铁矿化和辉钼矿化,中期阶段为萤石矿化,后期阶段为碳酸盐化,近矿围岩蚀变类型以硅化、玉髓化和绢英岩化的特征一致。在萤石矿体中,北东走向和北西走向的矿体分别向北东方向和北西方向侧伏,矿体侧伏方向与成矿热液来源方向一致,区内规模较大的 II_1 矿体向北东方向侧伏明显,推测萤石矿的成矿热液应来自于北部近马超营断裂带的鱼池岭铅矿床一带,运移方向应为自北而南、自下而上,这与萤石矿床呈半环状分布于鱼池岭铅矿床南部外围和有利赋存标高(600~1100 m)高于铅矿床赋存标高(200~700 m)的特征相吻合。

合峪花岗岩基高氟、高钙的特征为矿床形成提供物质来源,萤石矿的微量元素和稀土元素地球化学特征表明成矿流体来源与合峪花岗岩基有关(郑大中和郑若锋, 2005; 赵玉, 2016; 席晓凤等, 2018, 2019; 冯绍平等, 2020),为岩浆水和大气水的混合;铅矿床中主要成矿阶段已普遍萤石矿化和萤石矿主要成矿阶段玉髓化为主的蚀变特征表明,萤石矿床为中低温热液成因,成矿温度为 113~240℃;等时线年龄与鱼池岭铅矿床相当,为(131.2±1.4)Ma(赵玉, 2016)。其矿床成因类型为硅酸盐岩石中的裂隙充填中—低温脉状矿床。

6.2 找矿标志

结合区域资料和矿床特征,其主要找矿标志:

(1)矿区位于华北陆块南缘小秦岭—外方山 Au—Mo—W—Pb—Zn—Ag—As—Ba 萤石—重晶石成矿亚带、外方山 Au—Mo—W—Pb—Zn—萤石矿田内的栾川合峪—车村—鲁山赵村萤石成矿带的西段。1:20 万《鲁山幅、栾川幅》区域地球化学调查报告显示该区域存在多处 CaO、F 高含量区,且异常强度高,这些化学异常区是良好的找矿靶区。

(2)马超营断裂带南侧的合峪花岗岩基的出露区及岩体的外接触带和铅矿床外 6~20 km 的范围是找矿的空间标志,主要以地表较为凸出的正地形的硅化石英脉及其周边见有细脉充填的萤石线的地段是找寻隐伏—半隐伏萤石矿的直接标志。

(3)NE 向断裂构造(马丢矿区)及区域 NW 向构造带的次级断裂构造(杨山矿区),还有区域

SN 向构造(碾盘沟矿区)、近 EW 向构造(砭上矿区)控制着萤石矿体或矿脉的产出部位及形态。上述四组构造的发育部位及其破碎带膨大部位、转折部位或是构造交汇部位,是矿化富集的良好地段,也是良好的找矿标志。

(4)地表硅化蚀变砾石、转石、地表萤石脉或石英萤石脉天然露头及岩体破碎带呈线性分布的硅化、绢英岩化和玉髓化等蚀变特征,采矿遗址是找矿的直接标志。

(5)围岩蚀变主要有硅化、绿泥石化,高岭土化、绢云母化和方解石化。硅化与绢英岩化、玉髓化主要沿断裂构造带及矿脉两侧发育,与成矿关系较密切,是良好的找矿标志。

6.3 找矿潜力分析

依据区内矿体特征和区域萤石矿特征分析如下:

(1)马丢矿区因受矿权范围的限制,矿区南部的 I_1 、 II_1 、 V_1 矿体向两侧均未封闭,特别是矿体在 04、06 线因受地形条件的限制和矿权范围限制沿倾向控制不够,依据区内矿体的延展特征有待进一步施工钻探验证,查明矿体在倾向上的变化规律; III_1 矿体因受矿权范围的限制向两侧也均未封闭,尚有待进一步工作中查明。

(2)马丢等大型萤石矿床与其附近鱼池岭铅矿床的形成具有同期、同源性,成矿与合峪花岗岩基晚期的岩浆活动关系密切。次级断裂构造控制了矿床(点)的分布。因此,就该区域范围而言找矿潜力巨大,其马超营断裂带南侧 20 km 的合峪花岗岩分布区是找矿的最佳远景区,围绕鱼池岭铅矿床呈半环状分布的栾川下马丢—马丢、段家庄—马蜂沟、砭上—杨山和嵩县千元沟萤石矿床一带是最佳的找矿靶区,近 EW 向、NW 向、NE 向及近 SN 向断裂构造破碎带是找矿的最佳空间。辉钼矿化+黄铁矿化+萤石矿化和硅化+绢英岩化+玉髓化是找矿的最佳矿物组合和主要围岩蚀变类型。

(3)马丢萤石矿等矿业权勘查成果提交以来,在合峪花岗岩体内及周边近五年来共有矿山(床)40 余处,共提交各类萤石矿量 3000 多万 t, CaF_2 矿物量 1500 多万 t(张兴辽等, 2023)。其中马丢萤石矿规模达到超大型,栾川杨山萤石矿、嵩县中兴萤石矿、嵩县阳桃沟萤石矿、嵩县上河南中兴萤石矿

等 6 处为大型萤石矿床; 栾川砭上萤石矿、杨山外围萤石矿、嵩县竹园沟萤石矿等 3 处为中型萤石矿床, 该区域正在实施的省财政萤石勘查项目 15 个, 萤石矿资源潜力较大, 韭菜沟、桑树沟外围、柳扒店、官庄、万沟、吕布沟—杨山外围勘查区有希望发现中型萤石矿床, 显示出良好的找矿潜力。该区也成为河南省最大最重要的萤石矿资源基地。

7 结 论

(1) 马丢萤石矿是河南省及其周边省份资源量和延伸规模最大的萤石单矿体。是河南省第一个探明的资源量规模相当大的矿床, 估算萤石矿矿石量 884 万 t、 CaF_2 矿物量 476 万 t, CaF_2 平均品位 53.83%, 矿体沿走向东西两端均未封闭。矿区周边具有很好的找矿潜力。

(2) 马丢萤石矿床赋存于合峪花岗岩体内的断裂构造中, 矿体的展布严格受断裂构造控制, 断裂的产状和规模控制了萤石矿体的形态及规模大小。马丢萤石矿 II_1 矿体沿倾向延伸较大, 与走向长之比基本为 1:1, 是周边目前已知延伸规模最大的矿体。

(3) 矿石矿物主要为萤石, 仅在 III_1 矿体中见有以辉钼矿为主的钼矿物。矿石中有害杂质 S、P 含量低, 矿石类型主要为萤石—石英型。马丢萤石矿推断成矿物质氟来源于花岗岩体, 钙来源于岩体围岩。成矿温度为 113~240℃; 属于中低温热液—断裂带充填交代型矿床。

(4) 主要找矿标志为: ①地表较为凸出的正地形的硅化石英脉; ②NE 向断裂构造发育部位及其破碎带膨大部位、转折部位或是构造交汇部位; ③地表硅化蚀变砾石、转石、地表萤石脉或石英萤石脉天然露头区; ④硅化、玉髓化、绿泥石化、高岭土化、绢云母化和方解石化等围岩蚀变发育地段。

致谢: 感谢洛阳丰瑞氟业有限公司的领导和参加普查、详查工作的项目组相关人员以及河南地质界李军、张宗恒、李福昌等专家的指导。

注释

①马红义, 吴林涛等. 2020. 河南省洛阳丰瑞氟业有限公司栾川合峪镇马丢萤石矿深部(+711 m 以下) 详查报告 [R].

②马红义, 申俊涛等. 2020. 河南省洛阳丰瑞氟业有限公司栾川

合峪镇马丢萤石矿资源储量(整合)核实报告 [R].

References

- Chen Wu, Zhang Shouting, Zhang Hongliang. 2014. Views on China's fluorite development and utilization issues[J]. Resources and Industry, 16(2): 51–55 (in Chinese with English abstract).
- Deng Hongling, Feng Shaoping, Liu Yaowen, Wang Jianghe, Zhang Sukun, Wang Junde, Yan Zhengxin, Zhang Hao. 2017a. Analysis of fluorite mineral resources distribution and exploitation and utilization present situation in the Western of Henan[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, (1): 42–46 (in Chinese with English abstract).
- Deng Hongling, Zhang Sukun, Wang Jianghe, Liu Yaowen, Feng Shaoping, Zhang Hao, Wang Xiaosa, Huang Lan. 2017b. Geological characteristics and genesis of Yangshan fluorite deposit in Luanchuan County, Henan Province[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, (3): 38–39 (in Chinese with English abstract).
- Feng Shaoping, Wang Jianghe, Liu Yaowen, Liang Xinhui, Huang Lan, Zhang Zhenghui, Xiao Hezhong. 2020. Geochemical characteristics and indicative significance of rare earth elements in Yangshan fluorite deposit in Western Henan Province[J]. Chinese Rare Earths, 41(5): 50–58 (in Chinese with English abstract).
- Gao Yongbao, Zhao Xinmin, Wang Bo, Zhang Jiangwei, Jin Moushun, Yang Shengfei, Yan Zhouquan, Teng Jiabin, Zhao Huibo, Chao Yinyin. 2023. Geological characteristics, associated granites and the prospecting potential of the super-large Kaerqiaer–Kumutashi fluorite mineralization belt in the West Altyn–Tagh Orogen, NW China[J]. Geology in China, 50(3): 704–729 (in Chinese with English abstract).
- He Zhijun, Zhang Erfā, Zheng Di, Xu Guoduan, Cui Bin. 2003. Geochemistry characteristics of ore-forming elements and prospecting orientation in the middle section of Machaoying fault belt, Western Henan[J]. Geology and Prospecting, 39(6): 29–32 (in Chinese with English abstract).
- Li Junfeng, Zhang Yanna, Jiang Xiaojiang. 2013. On geological features and genesis of Dazhuang fluorite deposit in Songxian County of Henan[J]. Journal of Geology, 37(2): 316–320 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bo, Zhang Xu, He Yongshao, Zhang Shengqi, Zhu Xuehan. 2010. Brief analysis on the Mo ore-forming geological features and prospecting direction in Badaogou fluorite mining area[J]. China Molybdenum Industry, 34(2): 24–27 (in Chinese with English abstract).
- Liu Tongyi, Liu Yuqing, Wu Shuangdi, Pan Wei, Zhang Yan. 2009. Geological characteristics and distribution of fluorite mine in Songxian County of Henan Province[J]. Huabei Land and Resources, (2): 21–23 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xinxiang, Yu Zaiping, Feng Youli, Wang Tianyi, Ma Weifeng, Cui Haifeng. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain[J]. Mineral

- Deposits, 21(2): 168–178 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongyi. 2012. The geological characteristic and prospecting mark of Zhuyuangou Mo–deposit of Ruyang area, Henan[J]. *Geology and Prospecting*, 48(6): 1172–1179 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongyi, Huang Chaoyong, Ba Anmin, Li Fa'an. 2006. Metallogenic regularities and prospecting direction of Pb–Zn–Mo deposits in the south Ruyang[J]. *Geology and Prospecting*, 42(5): 17–22 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongyi, Li Hongli, Zhang Linbing, Zhu Chuangkai, Ma Li, Yao Jian, Zhang Mu, Shen Juntao, Wang Lixia. 2023. Deposit characteristics and prospecting potential of the Heyu fluorite ore concentration area in Western Henan Province[J]. *Geology and Exploration*, 59(3): 557–569 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongyi, Liu Yongchun, Luo Mingwei. 2008. Rock characteristics and polymetallic minerals relations in the Taishanmiao granitoids, Western Henan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 93(1): 12–16 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongyi, Lü Weiqing, Zhang Yunzheng, Li Hongli, Tian Xiuqi, Ma Yanfei. 2007. The geological characteristic and prospecting mark of Donggou Mo–deposit of Ruyang area, Henan[J]. *Geology and Prospecting*, 43(4): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Pang Zhenshan, Xu Wenchao, Zhou Qiming, Yan Jianshe, Zhao Chunhe. 2004. Characteristics of geochemical anomaly in Huashan–Heyu region in Henan and prospecting orientation[J]. *Mineral Resources and Geology*, 18(6): 583–586 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiping, Shang Pengqiang, Xiong Xianxiao, Yang Huiyan, Tang Yao. 2014. The classification of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 41(2): 315–325 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiping, Shang Pengqiang, Xiong Xianxiao, Yang Huiyan, Tang Yao. 2015. Metallogenic regularities of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 42(1): 18–32 (in Chinese with English abstract).
- Wang Junyou, Guo Bin, Ma Feimin, Li Zhen. 2021. Metallogenic prediction of fluorite deposits in Ulanhot area, Inner Mongolia[J]. *Mineral Resources and Geology*, 35(1): 63–69 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhenliang, Lu Ruijun, Lin Tianming, Wu Xingang. 2013. Analysis of the distribution characteristics and the metallogenic regularity of fluorite mine in China[J]. *China Non–Metallic Minerals Industry*, (5): 56–59 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ziguang, Zhu Peiyuan. 2020. Strategic layout of fluorite mine in state–owned enterprises[J]. *China Mining Magazine*, 29(6): 8–11,20 (in Chinese with English abstract).
- Wen Senpo, Liu Guoying, Qiao Baolong. 2008. Geological characteristics and prospecting direction of the Zhifang Mo deposit in Song County[J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(2): 121–124 (in Chinese with English abstract).
- Xi Xiaofeng, Wu Lintao, Ma Minyi. 2018. Geological characteristics of Yangshan fluorite deposit and geochemistry characteristics of rare earth elements in wall rocks[J]. *China Mining Magazine*, 27(S1): 147 (in Chinese with English abstract).
- Xi Xiaofeng, Wu Lintao, Zhang Linfei. 2019. Geological characteristics and REE geochemistry of Madiu fluorite deposit[J]. *China Mining Magazine*, 28(S2): 273–274 (in Chinese with English abstract).
- Yan Jianshe, Xing Yucai. 1999. Regional geochemistry features of the Machaoying fault zone[J]. *Henan Geology*, 17(1): 16–23 (in Chinese with English abstract).
- Yao Shuzhen, Ding Zhenju, Zhou Zonggui, Chen Shouyu. 2002. Metallogenic systems of Qinling orogen[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 599–604 (in Chinese with English abstract).
- You Lincong. 2021. Geological features and prospecting criteria of fluorite ore in Jiangkou, Chenzhou, Hunan[J]. *Resource Information and Engineering*, 36(3): 49–53, 59 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jingina, Ma Bin. 2009. Geological features and its ore–search prospect of Sangshugou fluorite deposit in Songxian County of Henan Province[J]. *Huabei Land and Resources*, (1): 9–10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kaitao, Bai Desheng, Li Junsheng, Liu Jifeng, Xu Dong, Su Yangyan, Fan Kang. 2022. Research progress in the geological characteristics and material sources of fluorite deposits in the Heyu–Checun area, western Henan Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 46(4): 787–797 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingliao, Song Feng, Qin Zheng, Zhao Rongjun, Zhang Hongwei. 2023. Achievements–National Mineral Exploration Breakthrough Strategy Henan Action[M]. Beijing: Geological Publishing House, 456 (in Chinese).
- Zhang Yansheng, Wang Liang, Gao Yongzhang. 2023. Geological characteristics, types and development and utilization value of Shuitou fluorite deposit in Linxi, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 50(3): 795–805 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yu. 2016. Geological Geochemistry Characteristics and Genesis of the Madiu Fluorite Deposit in Luanchuan County, Henan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 53–54 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yu, Zhang Shouting, Pei Qiuming, Cao Huawen, Wu Zhonglin. 2015. Fluid inclusions from the Madiu fluorite deposit, Luanchuan County, Henan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1): 649 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Dazhong, Zheng Ruofeng. 2005. An approach to the ore–forming mechanism for fluorite deposits[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 25(3): 152–155 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Ke. 2008. Study on Geological Geochemistry Characteristics and Genesis of Yuchiling Porphyry Molybdenum Deposit in Western Henan[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing),

45-47 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈武, 张寿庭, 张红亮. 2014. 对中国萤石矿开发利用问题的思考[J]. 资源与产业, 16(2): 51-55.
- 邓红玲, 冯绍平, 刘耀文, 汪江河, 张苏坤, 王俊德, 颜正信, 张豪. 2017a. 豫西萤石矿产资源分布及开发利用现状分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (1): 42-46.
- 邓红玲, 张苏坤, 汪江河, 刘耀文, 冯绍平, 张豪, 王潇洒, 黄岚. 2017b. 河南省栾川县杨山萤石矿床地质特征及成因研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, (3): 38-39.
- 冯绍平, 汪江河, 刘耀文, 梁新辉, 黄岚, 张争辉, 肖贺忠. 2020. 豫西杨山萤石矿稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. 稀土, 41(5): 50-58.
- 高永宝, 赵辛敏, 王博, 张江伟, 金谋顺, 杨生飞, 燕洲泉, 滕家欣, 赵慧博, 朝银银. 2023. 阿尔金西段卡尔恰尔—库木塔什超大型萤石矿带矿床地质、控矿花岗岩特征及找矿远景[J]. 中国地质, 50(3): 704-729.
- 和志军, 张二法, 郑镛, 徐国端, 崔彬. 2003. 豫西马超营断裂带中段成矿元素地球化学特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 39(6): 29-32.
- 李俊锋, 张艳娜, 姜晓疆. 2013. 河南嵩县大庄萤石矿地质特征及成因[J]. 地质学刊, 37(2): 316-320.
- 刘波, 张旭, 贺永绍, 张生奇, 朱雪菡. 2010. 嵩县八道沟萤石矿区铅矿成矿地质特征及找矿方向浅析[J]. 中国铝业, 34(2): 24-27.
- 刘同义, 刘玉清, 武双弟, 潘伟, 张焱. 2009. 河南省嵩县萤石矿地质特征及分布[J]. 华北国土资源, (2): 21-23.
- 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 王义天, 马维峰, 崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质, 21(2): 168-178.
- 马红义. 2012. 河南省汝阳竹园沟铅矿床地质特征及找矿标志[J]. 地质与勘探, 48(6): 1172-1179.
- 马红义, 黄超勇, 巴安民, 李发安. 2006. 汝阳南部铅锌钼多金属矿床成矿规律及找矿标志[J]. 地质与勘探, 42(5): 17-22.
- 马红义, 黎红莉, 张林兵, 朱传凯, 马莉, 姚健, 张沐, 申俊涛, 王利霞. 2023. 豫西合峪地区萤石矿集区矿床特征及找矿前景[J]. 地质与勘探, 59(3): 557-569.
- 马红义, 刘永春, 罗明伟. 2008. 豫西太山庙花岗岩体特征与多金属矿产的关系[J]. 华南地质与矿产, 93(1): 12-16.
- 马红义, 吕伟庆, 张云政, 黎红莉, 田修启, 马燕飞. 2007. 河南汝阳东沟超大型铅矿床地质特征及找矿标志[J]. 地质与勘探, 43(4): 1-7.
- 庞振山, 徐文超, 周奇明, 燕建设, 赵春和. 2004. 河南省嵩县花山—合峪地区化探异常特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 18(6): 583-586.
- 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2014. 中国萤石矿床分类[J]. 中国地质, 41(2): 315-325.
- 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2015. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质, 42(1): 18-32.
- 王军有, 郭斌, 马飞敏, 李榛. 2021. 内蒙古乌兰浩特地区萤石矿床成矿预测[J]. 矿产与地质, 35(1): 63-69.
- 王振亮, 鲁瑞君, 林天亮, 吴新刚. 2013. 浅析中国萤石矿分布特征及其成矿规律[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 56-59.
- 王自国, 朱培元. 2020. 中央企业萤石矿战略布局思考[J]. 中国矿业, 29(6): 8-11, 20.
- 温森坡, 刘国印, 乔保龙. 2008. 嵩县纸房铅矿地质特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 22(2): 121-124.
- 席晓凤, 吴林涛, 马珉艺. 2018. 杨山萤石矿床地质特征及围岩稀土元素地球化学特征[J]. 中国矿业, 27(S1): 147.
- 席晓凤, 吴林涛, 张林飞. 2019. 马丢萤石矿床地质特征及围岩稀土元素地球化学特征[J]. 中国矿业, 28(S2): 273-274.
- 燕建设, 星玉才. 1999. 马超营断裂带区域地球化学特征[J]. 河南地质, 17(1): 16-23.
- 姚书振, 丁振举, 周宗桂, 陈守余. 2002. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. 地球科学, 27(5): 599-604.
- 游林聪. 2021. 湖南郴州江口萤石矿地质特征及找矿标志[J]. 资源信息与工程, 36(3): 49-53, 59.
- 张静娜, 马斌. 2009. 河南省嵩县桑树沟萤石矿床地质特征及找矿远景[J]. 华北国土资源, (1): 9-10.
- 张凯涛, 白德胜, 李俊生, 刘纪峰, 许栋, 苏阳艳, 樊康. 2022. 豫西合峪—车村地区萤石矿床地质特征及物质来源研究进展[J]. 物探与化探, 46(4): 787-797.
- 张兴辽, 宋峰, 秦正, 赵荣军, 张宏伟. 2023. 硕果: 国家找矿突破战略河南行动[M]. 北京: 地质出版社, 456.
- 张彦生, 王亮, 高永璋. 2023. 内蒙古林西县水头萤石矿床地质特征、类型及其开发利用价值[J]. 中国地质, 50(3): 795-805.
- 赵玉. 2016. 河南栾川马丢萤石矿地质地球化学特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 53-54.
- 赵玉, 张寿庭, 裴秋明, 曹华文, 武宗林. 2015. 河南栾川马丢萤石矿床流体包裹体研究[J]. 矿物学报, 35(S1): 649.
- 郑大中, 郑若锋. 2005. 萤石成矿机制的探讨[J]. 四川地质学报, 25(3): 152-155.
- 周珂. 2008. 豫西鱼池岭斑岩型铅矿床的地质地球化学特征与成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 45-47.