

doi: 10. 11720/wtyht. 2022. 1438

张凯涛,白德胜,李俊生,等. 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,2022,46(4):787–797. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2022. 1438](http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1438)

Zhang K T, Bai D S, Li J S, et al. 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, 2022, 46(4): 787–797. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2022. 1438](http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1438)

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

张凯涛¹, 白德胜¹, 李俊生¹, 刘纪峰¹, 许栋², 苏阳艳¹, 樊康¹

(1. 河南省地质矿产勘查开发局 第二地质矿产调查院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省地质矿产勘查开发局 第三地质矿产调查院, 河南 郑州 450000)

摘 要: 通过对豫西合峪—车村地区 30 余个萤石矿床的地质矿产、勘查地球化学资料进行归纳分析, 总结区内萤石矿床类型、空间分布及地球化学特征, 探究矿床成因和物质来源。合峪—车村地区萤石矿类型主要为单一型, 矿床分布于燕山期花岗岩及其外接触带的断裂带上; 合峪岩体形成年龄为 124. 7~148. 2 Ma, 太山庙岩体形成年龄为 115~123. 1 Ma, 萤石成矿年龄为 120~126. 8 Ma, 说明成矿作用发生在合峪岩体侵入末期、太山庙岩体侵入早期。成矿流体属中低温、低盐度、低密度的 NaCl-H₂O 体系, 指示区内矿床为中低温浅成热液型萤石矿床。区内萤石稀土元素配分模式可分为略微左倾型、平坦型及右倾型 3 类, 以右倾型为主, 且右倾型萤石稀土元素配分模式与燕山期花岗岩相似, 二者均表现为强 Eu 负异常和弱 Ce 负异常, 说明燕山期花岗岩对萤石的形成提供了一定的物质来源。成矿元素 F 可能主要来源于合峪岩体和太山庙岩体, 成矿元素 Ca 部分来源于花岗岩围岩。

关键词: 地质特征; 物质来源; 萤石; 合峪—车村

中图分类号: P595; P597. 3

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)04-0787-11

0 引言

萤石是世界上重要的非金属矿产之一, 是现代氟化工的重要原料。豫西合峪—车村地区是河南省重要的萤石矿集区之一^[1], 位于滨太平洋成矿域华北陆块南缘成矿带、小秦岭—外方山 Au-Mo-W-Pb-Zn-Ag-萤石-重晶石成矿亚带上^[2-3]。近年来, 河南省地矿局在合峪—车村地区投入了较大资金开展萤石矿勘查工作, 取得了较好找矿成果, 相继发现了车村(CaF₂ 矿物量约 150 万 t)、木植街(CaF₂ 矿物量约 75 万 t)两个大中型萤石矿床。老的萤石矿山, 如陈楼、杨山、马丢、竹园沟等通过深部探矿, 萤石资源量大幅度增长, 区内总萤石矿物量超过 1 500 万 t, 远景萤石矿物量有望达到 3 000 万 t。目前, 区

内共有大中小型萤石矿 30 余处, 正在开展的河南省财政萤石矿地质勘查项目近 10 项, 韭菜沟、万沟、杨山外围等勘查项目成果也显示了较大的

隙充填脉状矿床;庞绪成等^[10-11]对车村一带的萤石矿床开展了专项研究,将萤石的成矿过程划分为4个成矿期次,测定了不同成矿期次的成矿温度和萤石成矿年龄,认为萤石形成于燕山期早白垩世,矿床类型为中低温热液型萤石矿床。

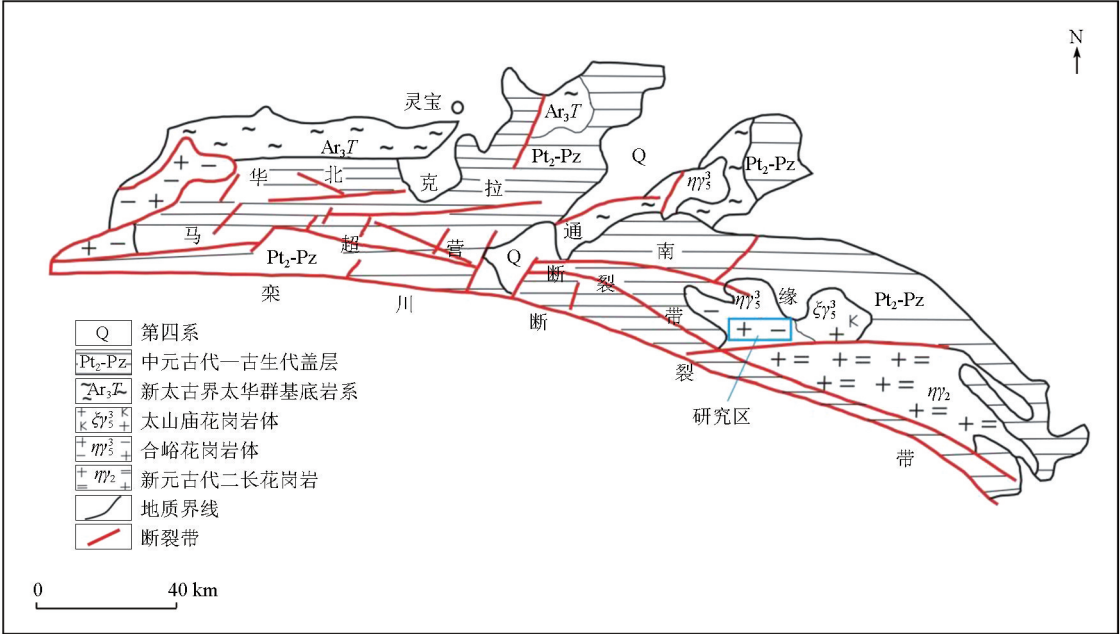
可以看出,研究区内勘查地质资料和矿床理论研究成果众多,但大多数均是针对独立或小范围内的萤石矿床,尤其是在矿床地质特征、地球化学特征、矿床成因及成矿物质来源等方面对整个合峪—车村地区萤石矿床没有形成系统、完善的统一认识。本文以“河南省洛阳市合峪地区萤石矿整装勘查”项目为依托,在充分收集研究区30余份不同萤石矿床地质资料和研究成果基础上,总结归纳矿床分布特征、成岩成矿年龄、稀土元素和成矿流体特征,进一步探讨矿床成因和成矿物质来源,对该区萤石找矿具有重要的指导意义。

1 成矿地质背景

合峪—车村地区萤石矿床位于华北克拉通南缘与北秦岭造山带交汇处,区域地层具典型的基底—盖层二元结构,基底主要为新太古界太华群变质岩系,盖层主要由中元古界熊耳群火山岩系、官道口群陆源碎屑岩系及新元古界栾川群、下古生界陶湾群沉积岩系组成,在山前地带、沟谷洼地还分布有少量第四系冲积物、残坡积物(图1)。区域断裂构造发育,按构造走向可划分为近EW向、NW向、NE向和

近SN向4组,其中近EW向的栾川断裂带和马超营断裂带为区域性深大断裂,NW向、NE向和近SN向次级断裂叠加在近EW向断裂上,构成了典型的网格状构造体系,对区域上构造—岩浆活动有着重要的控制作用。区域内岩浆活动频繁且强烈,在古元古代、中元古代、新元古代、古生代及中生代均有发生,具多期次、多旋回特征,以中酸性岩浆活动为主^[5]。其中,燕山晚期岩浆活动规模较大,太山庙岩体、金山庙岩体、五丈山岩体及合峪岩体等均形成于这一时期,控制着区内斑岩型、岩浆热液型矿床的分布。

合峪—车村地区出露地层简单,中元古界熊耳群火山岩在研究区北部大面积出露,主要岩性为安山岩、流纹岩;官道口群龙家园组分布在研究区西部,岩性主要为含燧石条带白云岩、白云岩;新元古界宽坪群四岔口岩组变质沉积碎屑岩系分布在栾川断裂带南侧,岩性以石英片岩、斜长角闪片岩及大理岩为主;栾川群南泥湖组在研究区西南部有小面积分布,岩性主要为石英片岩、大理岩、石英岩;在车村一带及沟谷洼地出露有少量第四系。合峪—车村地区断裂构造发育,按空间展布特征可划分为NW向、NE向、近EW向和近SN向4组,其中NW向、NE向断裂较为发育。区内岩浆活动具有规模大、类型多、活动周期长的特点,岩浆岩以侵入岩为主,呈NW向条带状展布,主要分布有太山庙岩体、老君山岩体、伏牛山岩体、合峪岩体及石人山岩体等。



2 矿床类型及空间分布特征

2.1 矿床类型

豫西合峪—车村地区萤石矿床与燕山期花岗岩侵入活动密切相关,矿体的产出受断裂构造控制,属于受断裂构造控制的、与燕山期花岗岩有关的中低温热液充填型脉状萤石矿。萤石矿主要为单一萤石矿,极少伴生型萤石矿。

合峪—车村地区萤石矿体按走向分为 NW 向、NE 向、EW 向和 SN 向 4 组,以 NW 向、NE 向及 EW 向为主,矿体主要产于花岗岩、安山岩中发育的断裂构造内,规模较大的矿体多赋存于花岗岩体内的断裂带内。区内分布有大、中、小型萤石矿床 30 余个(图 2、表 1),其中马丢、杨山、车村、中兴及阳桃沟等萤石矿为大型矿床,马丢萤石矿 CaF_2 矿物量近 500 万 t。

矿体形态简单,呈脉状和透镜状产出,矿体沿走向延伸一般 200~700 m,延伸较大的矿床有陈楼萤石矿 I 号矿体(延伸 1 550 m)、车村 M35 支-I 矿体

(延伸 900 m)及杨山萤石矿 III₂ 号矿体(延伸 812 m)。矿体沿倾向延伸一般 100~300 m,延伸较大的矿床有马丢萤石矿柳扒店矿段 II₁ 号矿体(延伸 560 m)和中兴萤石矿 I 号矿体(延伸 534 m)。矿体产状基本上与含矿断裂构造带一致,沿走向和倾向具膨大收缩、分支复合现象。矿体倾角一般 50°~80°,为陡倾矿体,矿体厚度一般为 1.00~3.00 m,矿体收缩位置厚度最小 0.59 m,膨大位置厚度可达 16.81 m(竹园沟萤石矿 K₁ 矿体),整体上全区各矿体厚度变化较小,矿体形态复杂程度为简单—中等(西部合峪矿段矿体较稳定,厚度变化小,矿体形态简单;相比合峪矿段,东部车村矿段矿体厚度变化稍大,形态复杂程度为简单—中等)。矿体品位一般 20.46%~72.36%,局部位大于 90%,平均品位大于 35%,各矿体组分分布均匀—较均匀,东部车村矿段矿体品位变化大于西部合峪矿段。规模较大的矿床中矿石类型主要为块状萤石,该类矿石品位高,往往形成富矿体($w(\text{CaF}_2) > 65\%$)。矿石的主要矿物组合有萤石、萤石+石英(玉髓)两种,围岩蚀变主要为硅化、高岭土化、绢云母化等。

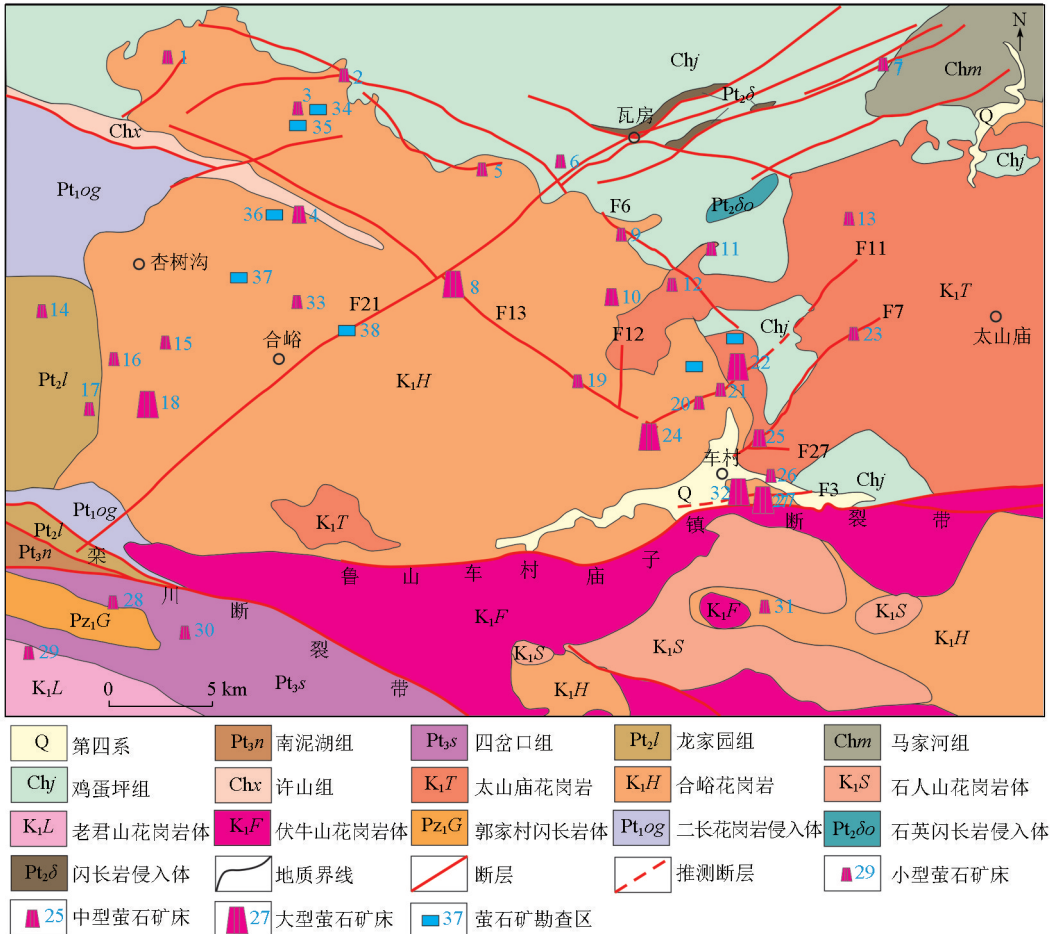


图 2 合峪—车村地区萤石矿床分布
Fig. 2 Distribution map of fluorite deposits in Heyu-Chechun area

表 1 合峪—车村地区萤石矿规模^[12]

Table 1 Thelist of fluorite deposits in Heyu-Checun area

序号	矿区名称	规模	序号	矿区名称	规模
1	吕布沟萤石矿	小型	18	马丢萤石矿	大型
2	顺达萤石矿	小型	19	古满沟萤石矿	小型
3	桑树沟萤石矿	小型	20	奋进萤石矿	小型
4	砭上萤石矿	中型	21	康达萤石矿	小型
5	水葫芦沟萤石矿	小型	22	阳桃沟萤石矿	大型
6	杨寺萤石矿	小型	23	两叉安通威萤石矿	小型
7	鸡爪沟萤石矿	小型	24	车村萤石矿	大型
8	杨山萤石矿	大型	25	竹园沟萤石矿	中型
9	小涩沟萤石矿	小型	26	龙脖凹萤石矿	小型
10	木植街萤石矿	中型	27	中兴萤石矿	大型
11	隆博萤石矿	小型	28	张元河南村萤石矿	小型
12	乱石沟萤石矿	小型	29	灰菜沟萤石矿	小型
13	玉新萤石矿	小型	30	栗扎坪萤石矿	小型
14	范进寺萤石矿	小型	31	六合萤石矿	小型
15	东草沟萤石矿	小型	32	陈楼萤石矿	大型
16	下马丢萤石矿	小型	33	段家庄萤石矿	小型
17	枣树凹萤石矿	小型			

2.2 矿床空间分布特征

豫西合峪—车村地区萤石矿床的分布与燕山期花岗岩、断裂构造关系密切。

2.2.1 矿床与花岗岩体的关系

合峪—车村地区萤石矿主要分布在鲁山—车村—庙子断裂带北侧,燕山期合峪、太山庙花岗岩体及其内外接触带(图 1)。根据区域萤石矿床与燕山期花岗岩的位置关系,可划分为 3 类:燕山期花岗岩体内部(杨山,编号 8;阳桃沟,编号 22)、燕山期花岗岩体与中元古界熊耳群火山岩接触带(小涩沟,编号 9)、中元古界熊耳群火山岩内部,其中大部分萤石矿产于燕山期花岗岩体内部。

2.2.2 矿床与含矿断裂构造关系

合峪—车村地区萤石矿的产出严格受含矿断裂构造控制,按含矿断裂构造产状可分为 NE、NW、近 EW 向及近 SN 向 4 组。NE 向含矿断裂主要有 F11 和 F7;NW 向含矿断裂主要有 F13 和 F6;NEE—近 EW 向含矿断裂主要有 F3 和 F27;近 SN 向含矿断裂主要有 F12 等。其中,近 EW 向、NW 向、NE 向为主要含矿构造,近 SN 向构造规模较小。就单个含矿断裂来说,近 EW 向 F3、NW 向 F13(古满沟)、NE 向 F11 含矿断裂构造中萤石矿数量多,规模较大,其次为 NW 向 F6、NE 向 F7 等,如分布于 EW 向 F3 断裂带的中兴萤石矿(编号 27,大型)、NW 向 F13 断裂带的杨山萤石矿(编号 8,大型)及古满沟萤石矿(编号

表 2 合峪岩体年龄测定统计

Table 2 Age determination statistics of Heyu pluton

岩体	序号	岩性	测试方法	年龄/Ma	误差/Ma	数据来源
合 峪 岩 体	1	黑云母	黑云母 Ar-Ar	131.8	0.65	张宗清等 ^{〔13〕}
	2	巨斑状黑云二长花岗岩	锆石 U-Pb	127.2	1.4	李永峰 ^{〔14〕}
	3	黑云母	黑云母 Ar-Ar	131.8	0.7	Han,et al ^{〔15〕}
	4	黑云母	黑云母 Ar-Ar	132.5	1.1	
	5	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	134.5	1.5	郭波等 ^{〔16〕}
	6	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	135.4	5.4	高昕宇等 ^{〔17〕}
	7	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	148.2	2.5	
	8	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	141.4	5.4	
	9	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	135.3	4.9	
	10	多斑花岗岩斑岩	锆石 U-Pb	136.1	1.4	
	11	大斑多斑中粗粒黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	139.8	1.3	李春艳等 ^{〔18〕}
	12	大斑多斑中粗粒黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	143.5	1.3	
	13	含中斑中粒黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	133.0	1.0	
	14	正长花岗岩	锆石 U-Pb	143.1	2.1	庞绪成等 ^{〔11〕}
	15	正长花岗岩	锆石 U-Pb	144.4	4.0	
	16	细晶岩脉	锆石 U-Pb	128.1	2.9	
	17	细晶岩脉	锆石 U-Pb	130.2	2.7	
	18	花岗斑岩脉	锆石 U-Pb	124.7	2.9	
	19	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	134.0	3.0	Bao,et al ^{〔19〕}
	20	黑云母二长花岗岩	锆石 U-Pb	144.0	3.0	
太 山 庙 岩 体	21	碱长花岗岩	锆石 U-Pb	115.0	2.0	叶会寿等 ^{〔20〕}
	22	中粗粒正长花岗岩	锆石 U-Pb	123.1	3.0	高昕宇 ^{〔21〕}
	23	细中粒正长花岗岩	锆石 U-Pb	121.3	3.0	

峰值主要介于 140~160 ℃,冰点温度范围为-3.4~-0.1 ℃,峰值主要介于-0.8~-0.1 ℃,计算获得成矿流体盐度范围为 0.18%~3.39% NaCl_{eqv},峰值主要介于 0.35%~1.56% NaCl_{eqv},密度范围为 0.77~0.959 g/cm³,平均密度值为 0.909 g/cm³;730 m 中段萤石包裹体均一温度范围为 135.7~339.5 ℃,峰值主要介于 140~160 ℃,冰点温度范围为-1.7~-0.1 ℃,峰值主要介于-1.2~-0.1 ℃,计算获得成矿流体盐度范围为 0.18%~2.90% NaCl_{eqv},峰值主要介于 0.18%~2.07% NaCl_{eqv},密度范围为 0.62~0.949 g/cm³,平均密度值为 0.879 g/cm³;715 m 中段萤石包裹体均一温度范围为 134.2~213.8 ℃,峰值主要介于 160~180 ℃,冰点温度范围为-1.7~-0.1 ℃,峰值主要介于-0.6~-0.1 ℃,计算获得成矿流体盐度范围为 0.18%~2.90% NaCl_{eqv},峰值主要介于 0.18%~1.05% NaCl_{eqv},密度范围为 0.85~0.959 g/cm³,平均密度值为 0.919 g/cm³。对 3 个中段所有包裹体测温结果进行统计分析,包裹体均一温度主要集中于 150~180 ℃,平均均一温度为 176.3 ℃,计算获得成矿流体盐度介于 0.53%~1.35% NaCl_{eqv},平均盐度为 1.14% NaCl_{eqv},流体密度主要集中于 0.81~0.94 g/cm³,平均密度值 0.90 g/cm³。

不同成矿阶段和不同中段萤石包裹体温度、盐度、流体密度结果显示,合峪—车村地区萤石的均一

温度范围为 176.3~235.6 ℃,指示区内萤石矿床属于中低温热液矿床;成矿流体盐度介于 0.67%~1.14% NaCl_{eqv},盐度值变化范围较小,暗示矿床成矿流体在物质成分和物理化学状态上具有一致性;流体密度介于 0.81~0.90 g/cm³,显示低密度流体特征,指示成矿流体可能来自上涌的热热水溶液。因此,合峪—车村地区萤石矿成矿流体属于中低温、低盐度、低密度的 NaCl-H₂O 体系。

3.2.3 成矿深度

根据合峪—车村地区萤石包裹体的温度、盐度,计算得到车村矿段陈楼萤石矿第Ⅱ、Ⅲ成矿阶段的成矿压力为 6.9~24.2 MPa、7.3~20.0 MPa,相应成矿深度范围依次为 0.69~2.42 km、0.73~2.00 km,平均值分别为 1.47 km、1.17 km;合峪矿段马丢萤石矿 773、730、715 m 三个中段的成矿压力为 22.4~30.4 MPa、22.4~29.5 MPa、22.4~29.5 MPa,相应成矿深度范围依次为 0.75~1.03 km、0.75~0.99 km、0.75~0.99 km,平均值分别为 0.84 km、0.82 km、0.81 km(表 3)。

可以看出,区内萤石矿成矿深度介于 0.81~1.47 km,符合中低温浅成热液型萤石矿床的特征。同时,萤石成矿作用过程中从早期萤石形成阶段到后期萤石主成矿阶段,成矿压力值具减小趋势,成矿深度亦相应减小,说明成矿热液随着成矿过程的进行,由深部逐渐向浅部运移。

表 3 合峪—车村地区萤石矿成矿压力及成矿深度估算^[8,11]

Table 3 Estimation table of metallogenic pressure and metallogenic depth of fluorite deposits in Heyu-Checun area					
矿区	成矿阶段及位置	压力范围/MPa	平均压力/MPa	成矿深度范围/km	平均成矿深度/km
陈楼萤石矿	第Ⅱ成矿阶段	6.9~24.2	14.7	0.69~2.42	

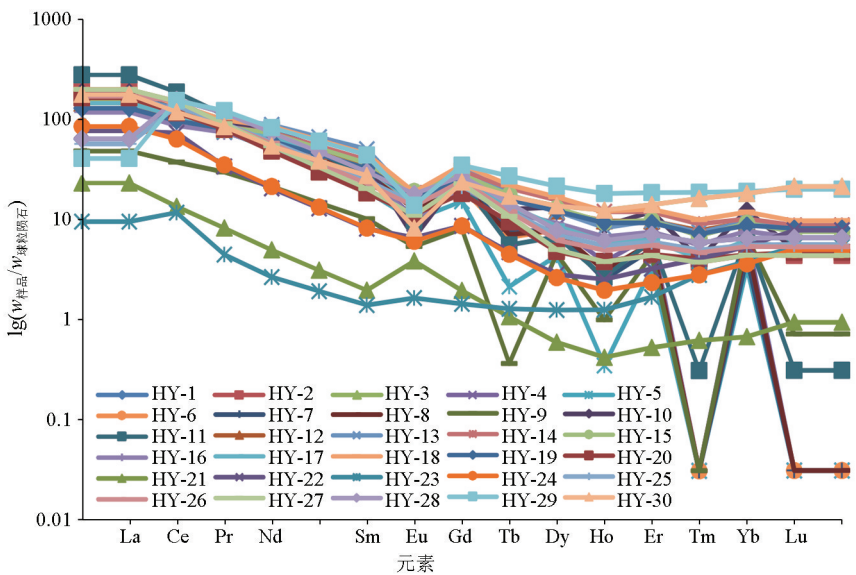


图 3 合峪花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分图^[18,24,26-27]

Fig. 3 Normalized REE distribution pattern of Heyu granite

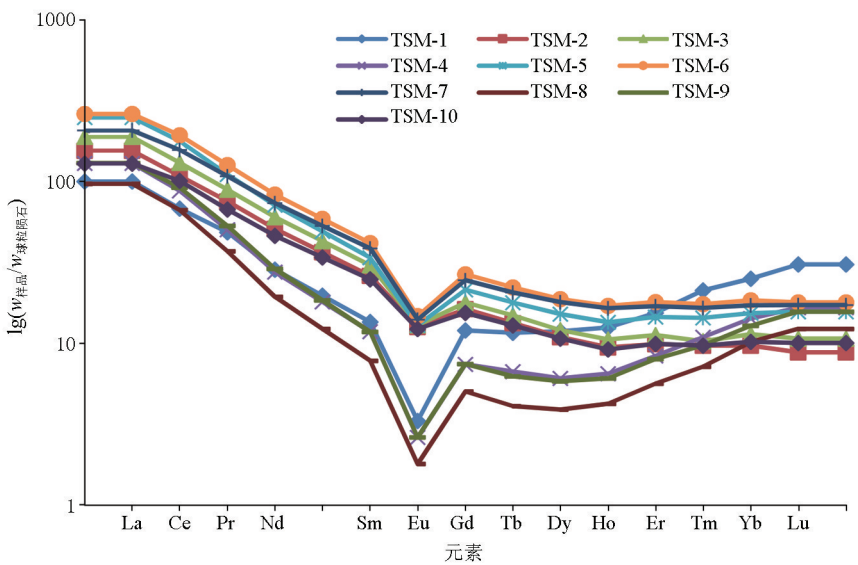


图 4 太山庙花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分图^[20]

Fig. 4 Normalized REE distribution pattern of Taishanmiao granite

对合峪—车村地区陈楼、杨山、马丢、车村、竹园沟、奋进萤石矿 50 件萤石样品的稀土元素数据进行统计分析^[7,8,23,27],绘制了萤石球粒陨石标准化稀土元素配分图(图 5),根据稀土元素配分曲线变化趋势可将样品分为 3 类。第一类 13 件样品的稀土元素配分曲线表现为略微左倾趋势,萤石稀土总量 ΣREE (不包括 Y) 范围为 $35.03 \times 10^{-6} \sim 168.85 \times 10^{-6}$,轻重稀土比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 范围为 0.57~0.90,平均值 0.73; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.25~0.52,平均值 0.33,轻重稀土发生了一定程度的分馏作用; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.53~1.62,平均值 1.21, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.19~0.52,平均

值 0.29,轻稀土和重稀土内部发生了微弱的分异作用; δEu 值介于 0.34~0.67,平均值 0.60,表现为 Eu 负异常, δCe 值介于 0.87~0.99,平均值 0.92,整体表现为弱 Ce 负异常。第二类 12 件样品的稀土元素配分曲线较为平坦,萤石稀土总量相对较低, ΣREE (不包括 Y) 范围为 $16.23 \times 10^{-6} \sim 100.85 \times 10^{-6}$,轻重稀土比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 范围为 1.07~1.56,平均值 1.26; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.51~0.88,平均值 0.71,轻重稀土发生了微弱分馏作用; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.84~2.84,平均值 1.72, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.23~0.68,平均值 0.47,轻稀土和重稀土内部发生了一定程度的分异作用; δEu 值

介于 0.54~0.82, 平均值 0.64, 表现为 Eu 负异常, δCe 值介于 0.84~1.19, 平均值 0.95, 整体表现为弱 Ce 负异常。第三类 25 件样品的稀土元素配分曲线表现为右倾趋势, 萤石稀土总量 ΣREE (不包括 Y) 范围为 $10.46 \times 10^{-6} \sim 175.02 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 范围为 1.79~13.30, 平均值 5.21; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 1.00~13.11, 平均值

4.52, 轻重稀土发生了较强的分馏作用; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值范围为 1.61~11.14, 平均值 4.97, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值范围为 0.23~1.69, 平均值 0.64, 轻稀土和重稀土内部发生了一定程度的分异作用; δEu 值介于 0.44~0.97, 平均值 0.77, 表现为 Eu 负异常, δCe 值介于 0.79~1.37, 平均值 0.95, 整体表现为弱 Ce 负异常。

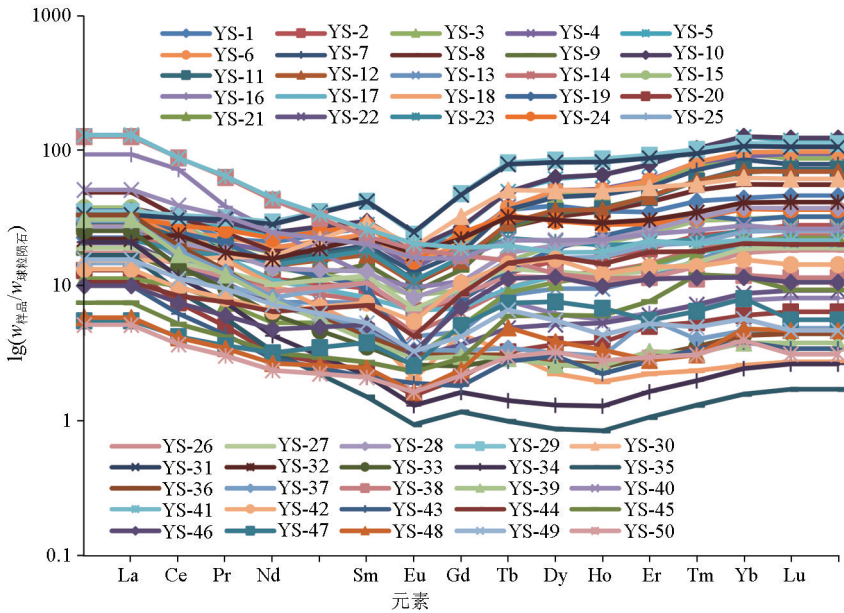


图 5 合峪—车村地区萤石球粒陨石标准化稀土元素配分图^[7,8,23,27]

Fig. 5 Normalized REE distribution pattern of fluorite in Heyu-Checun area

稀土元素的吸/解附、络合两个过程是轻重稀土发生分馏作用的主要原因^[27], 当流体中的稀土元素以吸附作用为主存在时, 会导致轻稀土富集, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} > 1$; 当流体中稀土元素主要以络合物的形式存在时, 会导致重稀土富集, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} < 1$ 。合峪—车村地区萤石的轻重稀土元素均发生了一定程度的分馏作用, 其中第一、第二类萤石样品表现为重稀土富集, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} < 1$, 暗示这两类萤石中的稀土元素主要是以络合作用为主, 指示成矿流体经历了较长时间的演化, 稀土元素在流体中形成络离子并得到了充分的分异, 代表流体演化后期的萤石成矿活动; 第三类萤石样品表现为轻稀土富集, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} > 1$, 说明这类萤石中的稀土元素主要是以吸/解附作用为主, 代表区域上萤石矿化的早期热液及成矿活动。

4 成矿物质来源探讨

合峪—车村地区的萤石稀土元素配分模式比较复杂, 这与本区萤石多期次成矿有关, 也指示萤石成矿物质来源具有多源性。第一、二类萤石稀土元素

配分曲线显示为略微左倾型或平坦型, 与幔源花岗岩稀土元素配分模式相似, 认为可能是成矿热液对深源流体稀土元素特征的继承; 第三类萤石稀土元素配分曲线表现为右倾型, 与燕山期合峪、太山庙花岗岩的稀土元素配分模式相一致, 且均显示出强 Eu 负异常和弱 Ce 负异常, 说明成矿物质来源与燕山期花岗岩有关, 即燕山期花岗岩对区域上萤石的形成提供了一定的物质来源。

同时, 康达萤石矿床¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 测定值为 $0.511\,666 \pm 0.000\,01$

岩体一致或相近,这与研究区岩(矿)石稀土元素分析结果相吻合。

萤石成矿作用过程中,一般具有就地取材的特点,成矿物质来源往往位于矿体附近^[29]。有专家学者研究发现,与花岗岩有关的萤石矿床的 F 元素主要来自花岗岩中的黑云母^[30],合峪—车村地区萤石矿主要赋存于合峪岩体和太山庙岩体,赋矿围岩主要为黑云二长花岗岩和钾长花岗岩,是典型的与花岗岩有关的萤石矿床。周珂^[31]对合峪岩体中的 CaO 和 F 含量进行了测定,合峪岩体的 F 平均含量较高(1.024×10^{-6}),超过中国花岗岩中 F 平均含量(450×10^{-6})^[32]的两倍,成矿流体可以通过淋滤花岗岩为萤石成矿作用提供 F 元素。合峪岩体中 CaO 平均含量 1.68%,略高于中国花岗岩 CaO 平均含量(1.35%)^[32],也可作为成矿元素 Ca 的来源之一。太山庙钾长花岗岩中黑云母和 F 含量相对较少,但也是区内萤石矿床成矿物质的重要来源。

5 结论

1) 豫西合峪—车村地区萤石矿床主要以单一萤石矿为主,矿床主要分布于燕山期花岗岩体内及其内外接触带的断裂构造中,与燕山期岩浆活动及断裂构造关系密切。

2) 合峪岩体经历了多期次岩浆活动的叠加,最老年龄(148.2 ± 2.5) Ma,中期侵入年龄为 131.8~144.4 Ma,末期侵入时间介于 124.7~130.2 Ma;太山庙岩体形成年龄为 115~123.1 Ma,晚于合峪岩体的侵位年龄。研究区萤石成矿年龄介于 120~126.8 Ma,说明成矿作用发生在合峪岩体侵入末期、太山庙岩体侵入早期。

3) 流体包裹体特征显示,合峪—车村地区萤石包裹体均一温度 176.3~235.6℃,成矿流体盐度 0.67%~1.14% NaCl_{eq},流体密度 0.81~0.90 g/cm³;成矿流体属于中低温、低盐度、低密度的 NaCl-H₂O 体系,指示区内矿床为中低温浅成热液型萤石矿床。

4) 合峪、太山庙岩体的稀土元素均具轻稀土富集、轻重稀土发生不同程度分馏的特点,其球粒陨石标准化配分曲线均表现为右倾型。研究区萤石具有多期次成矿的特点,其稀土元素球粒陨石标准化配分曲线可分为略微左倾型、平坦型及右倾型三类,以右倾型为主,略微左倾型、平坦型萤石成矿时间较晚,右倾型萤石代表早期成矿阶段。右倾型萤石的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线与燕山期合峪、太山庙花岗岩相似,且均表现为强 Eu 负异常和弱

Ce 负异常,说明萤石的部分成矿物质来源于燕山期花岗岩。萤石与合峪、太山庙岩体的成岩成矿年龄、¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值及 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值相近,也说明成矿物质来源与燕山期花岗岩有关。

5) 综合分析认为,成矿元素 F 可能主要来源于合峪、太山庙岩体,成矿元素 Ca 部分来源于花岗岩围岩。

参考文献 (References):

[1] 赵鹏,郑厚义,张新,等. 中国萤石产业资源现状及发展建议[J]. 化工矿产地质,2020,42(2):178-183.
Zhao P,Zheng H Y,Zhang X,et al. Resource actualities and demand countermeasures of fluorite in China[J]. Geology of Chemical Minerals,2020,42(2):178-183.

[2] 王吉平,商朋强,熊先孝,等. 中国萤石矿床分类[J]. 中国地质,2014,41(2):315-325.
Wang J P,Shang P Q,Xiong X X,et al. The classification of fluorite deposits in China[J]. Geology in China,2014,41(2):315-325.

[3] 王吉平,商朋强,熊先孝,等. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质,2015

- [9] 赵玉,张寿庭,裴秋明,等.河南栾川马丢萤石矿床流体包裹体研究[J].矿物学报,2015,35(S1):649.
Zhao Y,Zhang S T,Pei Q M,et al. Study on fluid inclusions of Madiu fluorite deposit in Luanchuan,Henan province[J]. Acta Mineralogica Sinica,2015,35(S1):649.
- [10] 庞绪成,司媛媛,刘纪峰,等.河南嵩县康达萤石矿 Sm-Nd 同位素年龄及地质意义[J].矿物岩石地球化学通报,2019,38(3):534-538.
Pang X C,Si Y Y,Liu J F,et al. Sm-Nd isotopic dating and geological significance of Kangda fluorite deposit in Songxian County of Henan Province[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry,2019,38(3):534-538.
- [11] 庞绪成,董文超,李文明,等.河南省嵩县萤石矿控矿因素及成矿机理研究报告[R].焦作:河南理工大学,2018.
Pang X C,Dong W C,Li W M,et al. Research report on ore controlling factors and metallogenic mechanism of fluorite deposit in Songxian,Henan province[R]. Jiaozuo:Henan Polytechnic University,2018.
- [12] 杨东潮,孟芳,白德胜,等.河南省洛阳市合峪地区萤石矿整装勘查报告[R].郑州:河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查队,2021.
Yang D C,Meng F,Bai D S,et al. Report on the whole loading exploration of fluorite ore in Heyu area,Luoyang City,Henan Province[R]. Zhengzhou:No. 2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan,2021.
- [13] 张宗清,张国伟,唐索寒.南秦岭变质地层同位素年代学[M].北京:地质出版社,2002.
Zhang Z Q,Zhang G W,Tang S H. Isotopic geochronology of metamorphic strata in South Qinling[M]. Beijing:Geological Publishing House,2002.
- [14] 李永峰.豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[D].北京:中国地质大学,2005.
Li Y F. The temporal-spital evolution of Mesozoic granitoids in the Xiong'ershan area and their relationships to molybdenum-gold mineralization[D]. Beijing:China University of Geosciences,2005.
- [15] Han Y G,Zhang S H,Franco P,et al. Evolution of the Mesozoic granites in the Xiong'ershan-Waifangshan Region,Western Henan Province,China,and its tectonic implications[J]. Acta Geologica Sinica,2007,81(2):253-265.
- [16] 郭波,朱赖民,李犇,等.华北陆块南缘华山和合峪花岗岩岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成与成岩动力学背景[J].岩石学报,2009,25(2):265-281.
Guo B,Zhu L M,Li B,et al. Zircon U-Pb age and Hf isotope composition of the Huashan and Heyu granite plutons at the southern margin of North China Craton:Implications for geodynamic setting[J]. Acta Petrologica Sinica,2009,25(2):265-281.
- [17] 高昕宇,赵太平,原振雷,等.华北陆块南缘中生代合峪花岗岩的地球化学特征与成因[J].岩石学报,2010,26(12):3485-3506.
Gao X Y,Zhao T P,Yuan Z L,et al. Geochemistry and petrogenesis of the Heyu batholith in the southern margin of the North China block[J]. Acta Petrologica Sinica,2010,26(12):3485-3506.
- [18] 李春艳,吕宪河,李瑞强,等.河南 1:5 万合峪(I49E013016)、木植街(I49E013017)、栗树街(I49E014016)、车村(I49E014017)、二郎庙幅(I49E014018)区域地质矿产调查报告[R].郑州:河南省地质调查院,2016.
Li C Y,Lyu X H,Li R Q,et al. 1:50 000 regional geological and mineral survey report of Heyu(I49E013016),Muzhijie(I49E013017),Lishujie(I49E014016),Checun(I49E014017) and Erlaongmiao(I49E014018) in Henan Province[R]. Zhengzhou:Henan Geological Survey Institute,2016.
- [19] Bao Z W,Xiong M F,Li Q. Mo-rich source and protracted crystallization of Late Mesozoic granites in the East Qinling porphyry Mo belt (central China):Constraints from zircon U/Pb ages and Hf-O isotopes[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2018,160:322-333.
- [20] 叶会寿

[27] 董文超, 庞绪成, 司媛媛, 等. 河南嵩县车村萤石矿床稀土元素特征及地质意义[J]. 中国稀土学报, 2020, 38(5): 706–714.
Dong W C, Pang X C, Si Y Y, et al. REE geological characteristics of Checun fluorite deposit in Song county, Henan province [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2020, 38(5): 706–714.

[28] 王建其, 朱赖民, 郭波, 等. 华北陆块南缘华山、老牛山及合峪花岗岩体 Sr-Nd, Pb 同位素组成特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2015, 35(1): 63–72.
Wang J Q, Zhu L M, Guo B, et al. Characteristics of Sr-Nd and Pb isotopic composition and its geological significance of granitic plutons in the Huashan, Laoniushan and Heyu area at the southern margin of north China Craton [J]. Mineralogy and Petrology, 2015, 35(1): 63–72.

[29] 曹俊臣. 华南低温热液脉状萤石矿床稀土元素地球化学特征[J]. 地球化学, 1995, 24(3): 225–234.
Cao J C. REE geochemical characteristics of epithermal vein fluorite deposits in south China [J]. Geochimica, 1995, 24(3): 225–234.

[30] 曹俊臣. 热液脉型萤石矿床萤石气液包裹体氢、氧同位素特征[J]. 地质与勘探, 1994, 30(4): 28–29.
Cao J C. Hydrogen and oxygen isotopic characteristics of fluorite gas liquid inclusions in hydrothermal vein fluorite deposits [J]. Geology and Exploration, 1994, 30(4): 28–29.

[31] 周珂. 豫西鱼池岭斑岩型钼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), 2008.
Zhou K. Geology, geochemistry and metallogenesis of the Yuchiling porphyry Molybdenum deposit, western Henan province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2008.

[32] 史长义, 鄢明才, 刘崇民, 等. 中国不同岩石类型花岗岩类元素丰度及特征[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(3): 256–262.
Shi C Y, Yan M C, Liu C M, et al. Abundances of chemical elements in different rock types of the granitoids of China and its characteristics [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 27(3): 256–262.

Research progress in the geological characteristics and material sources of fluorite deposits in the Heyu-Checun area, western Henan Province

ZHANG Kai-Tao¹, BAI De-Sheng¹, Li Jun-Sheng¹, LIU Ji-Feng¹, XU Dong², SU Yang-Yan¹, FAN Kang¹
(1. No. 2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou 450001, China; 2. No. 3 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Based on the data on the geology, minerals, exploration, and geochemistry of more than 30 fluorite deposits in the Heyu-Checun area, western Henan Province, this study summarized the types, spatial distribution, and geochemical characteristics of fluorite deposits in the area and explored the genesis and material sources of the deposits. The fluorite deposits in this area have simple types and are distributed in Yanshanian granites and along the fault zone of the external contact zone of the granites. The formation ages of the Heyu and Taishanmiao plutons are 124.7~148.2 Ma and 115~123.1 Ma, respectively. The mineralized age of fluorites is 120~126.8 Ma, indicating that the mineralization occurred in the late stage of the intrusion of the Heyu pluton and the early stage of the intrusion of the Taishanmiao pluton. The ore-forming fluids belong to the NaCl-H₂O system with a medium-low temperature, a low salinity, and a low density, indicating that the deposits in the area are medium-low-temperature supergene hydrothermal fluorite deposits. The chondrite-normalized REE patterns of fluorites in the area can be divided into slightly leftward, flat, and rightward types dominated by the rightward type. Moreover, the rightward chondrite-normalized REE patterns of fluorites are similar to those of the Yanshanian granites, both showing strongly negative Eu anomalies and weakly negative Ce anomalies. This finding indicates that the Yanshanian granites provide materials for the formation of fluorites. The metallogenic element F may mainly originate from the Heyu and Taishanmiao plutons, while the metallogenic element Ca partly comes from granites as surrounding rocks.

Key words: geological characteristics; material sources; fluorite; Heyu-Checun

(本文编辑: 蒋实)