

doi: 10. 11720/wtyht. 2024. 2588

张青松,夏明哲,王春连,等. 河南省方城县莫沟萤石矿床地质特征及成因[J]. 物探与化探, 2024, 48(1): 15-23. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.2588>

Zhang Q S, Xia M Z, Wang C L, et al. Geological characteristics and origin of the Mogou fluorite deposit in Fangcheng County, Henan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2024, 48(1): 15-23. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.2588>

河南省方城县莫沟萤石矿床地质特征及成因

张青松^{1,2}, 夏明哲¹, 王春连³, 栗克坤², 刘增政², 蒋济勇², 江建浪²

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中化地质矿山总局 河南地质局, 河南 郑州 450000; 3. 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 方城县莫沟萤石矿床是河南省南部萤石成矿带的主要组成部分之一, 产于新元古界煤窑沟组内。本文在剖析莫沟萤石矿床地质特征的基础上, 开展了岩相学、岩石地球化学研究, 约束了成矿物质来源, 探讨了矿床成因机制。结果表明: 萤石矿体呈脉状、透镜状产出, 与成矿有关的蚀变有硅化、萤石化、绢云母化等, 矿石构造类型主要为块状, 次为条带状、条纹状、角砾状。萤石矿体与煤窑沟组大理岩、燕山期似斑状斜长花岗岩的球粒陨石标准化稀土元素配分模式基本一致, 显示成矿物质来源与煤窑沟组大理岩和燕山期似斑状斜长花岗岩有关, 应为富含 F 元素的含矿热液沿层间断层侵入并与围岩发生反应, 沉淀形成萤石矿(化)体, 矿床成因类型为低温热液沿层间构造充填型矿床。

关键词: 萤石矿床; 矿床特征; 稀土元素; 成矿物质; 成因; 成矿模式

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2024)01-0015-09

0 引言

萤石是一种战略性矿产资源, 在冶金和化工行业广泛应用, 尤其是航空、航天、医药、建材、陶瓷和玻璃等领域不可或缺的原材料。我国萤石矿床分布相对集中, 主要在湖南、浙江和内蒙古等地区^[1-6], 根据矿床空间分布特征和区域成矿作用可以划分为 15 个Ⅲ级成矿区带^[7], 其中, 豫南萤石矿成矿带(Ⅲ F-7)是较典型的成矿带之一。方城县莫沟萤石矿床是豫南萤石矿成矿带的主要组成部分, 其成矿地质条件较好, 已发现的矿床有土门(中型)、老费家(中型)、独树镇(大型)、大张庄、范营、刘营等^[8-11]。

近年来, 随着该区矿床勘查程度的不断深入, 矿床规模和资源储量迈上了新台阶, 然而, 由于以往矿床综合研究程度较低, 尤其在成矿物质来源和成因机制等方面存在不同认识, 例如成矿物质来源方面

主要有原始沉积物^[12]、岩浆热液和大理岩^[13]、岩浆热液^[14]观点; 矿床成因方面主要有构造充填型^[14]、沉积改造型^[12-13]等观点, 这对区域矿床勘查和预测形成了不利因素, 是亟待确定的关键科学问题。

本文在对方城县莫沟萤石矿床详细野外矿床地质特征剖析的基础上, 结合岩相学与岩石地球化学分析, 探讨了成矿物质来源, 梳理了成矿规律, 建立了矿床成矿模式, 为区域萤石矿床勘查找矿工作提供了科学依据。

1 区域地质背景

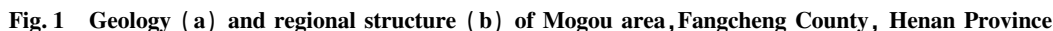
研究区大地构造单元属华北陆块(Ⅰ), Ⅱ级构造单元位于豫皖古陆块(Ⅰ-3), Ⅲ级构造单元位于太华—登封岩浆弧(Ⅰ-3-1)^[15-16]。研究区由于岩浆活动、变质作用、构造变形的多次叠加及断裂多期活动, 使得构造作用错综复杂(图 1)。

收稿日期: 2022-11-27; 修回日期: 2023-06-26

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(KK2005); 中国地质调查局地质矿产调查评价专项项目(DD20190816, DD20190606)

第一作者: 张青松(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查研究工作。Email: 153671157@qq.com

通讯作者: 夏明哲(1979-), 男, 副教授, 主要从事岩浆岩与岩浆矿床研究工作。Email: zymzxia@chd.edu.cn



矿石结构以半自形粒状结构为主,还可见少量为自形粒状结构、它形粒状结构、碎斑结构。矿石构造类型主要为块状构造(图 3a、b),次为条带状、条纹状构造(图 3c、d、e)、角砾状构造。矿石矿物主要

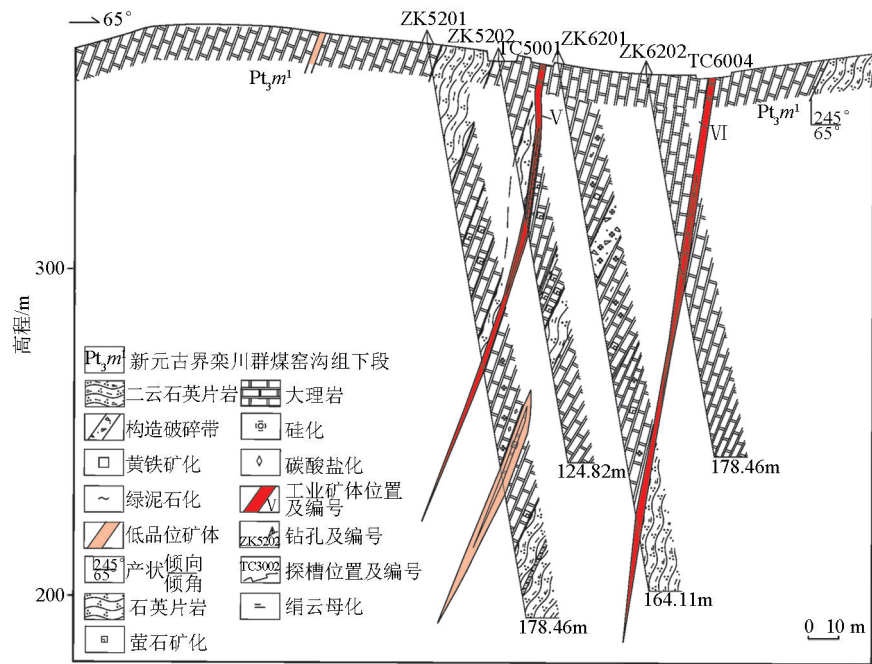
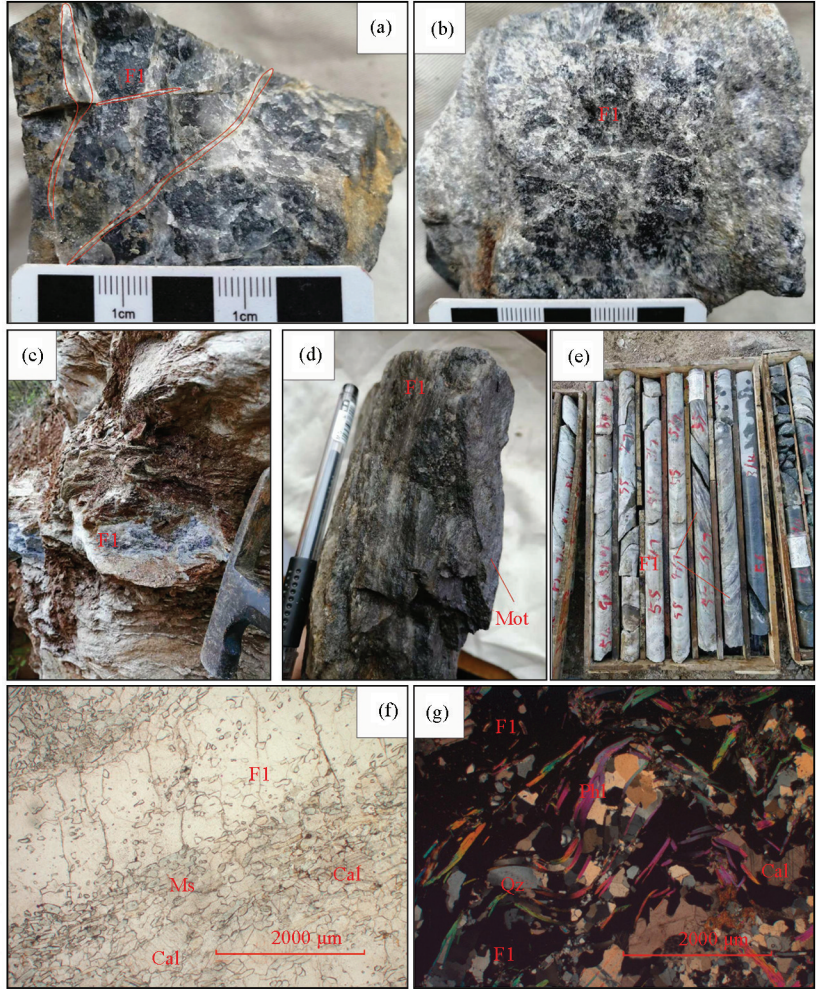


图 2 莫沟萤石矿区 2 勘探线地质剖面

Fig. 2 Geological profile of exploration line 2 in Mogou fluorite mining area



a—沿裂隙充填萤石矿;b—块状萤石矿;c—紫色萤石与围岩变形特征;d—白色条带状萤石及沿裂隙发育的辉钼矿;e—钻孔内的条带状萤石;f—条带状萤石,单偏光;g—条带状萤石变形,正交偏光;F1—萤石;Mot—辉钼矿;Ms—白云母;Cal—方解石;Phl—金云母;Qz—石英
a—filling fluorite ore along cracks; b—massive fluorite ore; c—purple fluorite and its deformation characteristics of surrounding rock; d—white banded fluorite and Molybdenite developed along fractures; e—striped fluorite in the borehole; f—banded fluorite, single polarized; g—banded fluorite deformation, orthogonal polarization; F1—fluorite; Mot—molybdenite; Ms—muscovite; Cal—calcite; Phl—phlogopite; Qz—quartz

图 3 方城县莫沟一带萤石矿及显微特征

Fig. 3 Fluorite ore and its microscopic characteristics in Mogou area, Fangcheng County

为萤石, 偶见辉钼矿; 萤石以紫色、灰色为主, 次为白色、浅绿色等, 脉石矿物主要有石英、方解石、白云母、金云母, 次为绢云母、阳起石等矿物。其中, 萤石可分为早、晚两期, 早期萤石矿物呈自形粒状和大量半自形粒状(图 3b、c、e), 多为紫色、灰色, 粒径一般 0.5~1.5 mm, 最大者 3 mm。晚期形成的萤石呈白色、浅灰色, 常交代其他矿物或它形充填于矿石裂隙中(图 3a)。

2.2 围岩蚀变

莫沟萤石矿体围岩为煤窑沟组大理岩, 少部分为片岩。通常富矿石与围岩界线较清晰, 低品位矿石与围岩界线不清。矿体内局部见大理岩、片岩夹石(图 3a)。主要围岩蚀变有硅化、萤石化、绢云母化、白云母化、碳酸盐化, 次为辉钼矿化、黄铁矿化、绿泥石化、透闪石化、阳起石化等。与成矿作用最密切的是硅化、萤石化、绢云母化等蚀变。其中, 硅化主要在大理岩中发育, 硅质呈细脉或网脉贯入围岩裂隙中, 也有呈细粒集合体交代围岩。萤石化表现为不同颜色的萤石沿着围岩节理、层面、小裂隙贯入呈脉状、细条纹状, 或呈浸染状交代围岩。绢云母化主要沿围岩层理、节理、裂隙分布, 或呈集合体交代围岩, 而保留被交代物的假象(图 3d)。此外, 可见方解石充填于围岩或矿石裂隙和孔洞中, 并交代萤石和早期形成的金属硫化物。

3 微量元素特征

3.1 样品采集

在莫沟萤石矿Ⅲ号、V号主要矿体内采集了新鲜萤石矿石, 在围岩内采集了基岩样品, 分别开展了稀土微量元素测试分析。其中 XT1、XT2 分别采自Ⅲ号萤石矿体 TC3001、TC3005-1 探槽工程, XT3、XT4 采自 V 号萤石矿体 TC5001 探槽工程, XT5 采自Ⅲ号萤石矿体 ZK3501 钻孔, XT6、XT7 分别采自 V 号萤石矿体 ZK5201、ZK5202 钻孔, XT8、XT9、XT10 分别采自 TC5001、ZK3501、ZK5201 工程。XT1~XT7 萤石样品首先加工至 40~60 目, 在双目镜下手工挑选出萤石样品, 纯度约 99%, 然后再加工至 200 目; XT8~XT9 基岩样品直接加工至 200 目。测试在长安大学成矿作用及其成矿动力学实验室完成, 首先取样品粉末约 0.04 g, 用酸溶解, 蒸干后加入 1 mL HNO₃ 和 1.5 mL HF 溶液, 随后在烘箱中消解, 48 h 后再加入 HNO₃ 和 HF 溶液, 并使用 ICP-MS 仪(安捷伦 7700E 型)分析稀释后的样品, 分析精度为 ±5%。

3.2 微量元素特征

除 XT2 外, 其余矿石样品总体富集高场强元素 U、La、Nd、Y 和大离子亲石元素 Rb 及过渡元素 Co、Ni、Cu 等, 亏损高场强元素 Nb、Zr、Hf 和大离子亲石元素 Ba、Sr(表 1), 在微量元素原始地幔标准化蛛网图中具有基本一致的变化特征(图 4)。XT2 样品微量元素丰度显著增高, 具有明显的 Sr 负异常。局部矿石微量元素含量显著变化可能是早期成矿过程中, 成矿流体运移经过围岩时, 在适宜的条件下围岩中的微量元素被热液萃取进入成矿流体, 造成早期形成的萤石微量元素丰度较高。成矿流体在萤石结晶沉淀后, 对其中的微量元素影响很小^[18], 因原始成矿流体内微量元素含量本身较低且围岩经历早期成矿热液的萃取, 无法再提供充足的微量元素, 导致晚期成矿时, 热液内微量元素含量整体偏低, 继而导致晚期萤石内微量元素含量较低。

3.3 稀土元素特征

莫沟萤石矿石和围岩的稀土元素分析结果见表 2。萤石矿石稀土元素总量 ΣREE 介于 $(30.02 \sim 319.81) \times 10^{-6}$, 轻重稀土元素比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 介于 2.58~9.02, $[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_{\text{N}}$ 比值为 2.44~12.82, δEu 值为 0.69~0.94, 呈 Eu 弱负异常。 δCe 值为 0.91~1.03, 以弱负异常为主。

各类围岩中稀土元素总量 ΣREE 介于 $(18.56 \sim 97.68) \times 10^{-6}$, 轻重稀土元素比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 介于 3.93~6.16, $[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_{\text{N}}$ 比值

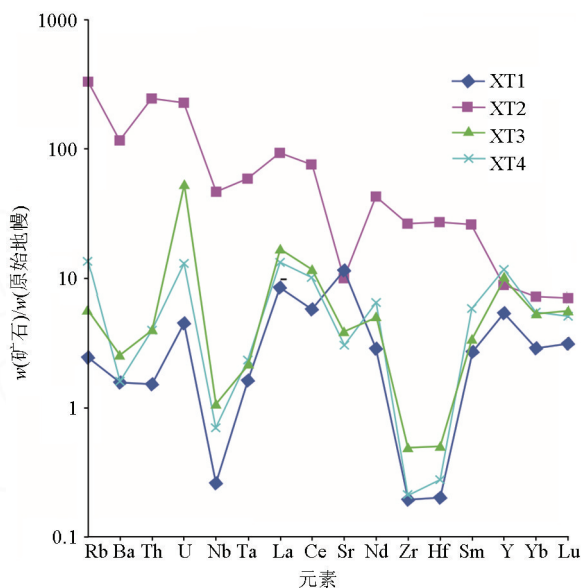


图 4 方城县莫沟萤石矿微量元素蛛网
(标准化数据据 Sun 等^[17])

Fig. 4 Spider map of trace elements of Mogou fluorite mine in Fangcheng County (standardized data by Sun et al.^[17])

表 1 方城县莫沟萤石矿微量元素分析结果

Table 1 Results of trace element analysis of Mogou fluorite deposit, Fangcheng County 10^{-6}

	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U	Li	Be
XT1	0.06	0.07	0.14	1.65	0.01	0.13	0.1	3.11	0.22
XT2	8.5	2.45	2.07	16.98	0.08	21.04	4.81	85.12	6.06
XT3	0.16	0.09	0.3	2.04	0.03	0.34	1.15	7.83	0.5
XT4	0.09	0.1	32.59	91.33	1.45	0.34	0.28	37.88	1.04
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr
XT1	2.09	2.1	2.93	10.29	2.65	2.46	0.89	1.55	242.78
XT2	148.98	138.61	20.5	41.09	25.43	127.36	27.09	212.67	213.94
XT3	2.29	3.34	3.19	10.4	3.12	3.76	1.31	3.67	82.8
XT4	5.43	2.91	2.97	10.17	8.47	51.4	1.63	8.68	63.68
	Zr	Nb	Mo	Cd	In	Sn	Sb	Cs	Ba
XT1	2.16	0.19	0.08	0.01	0	0.12	6.87	0.13	11.03
XT2	297.37	33.65	7.89	0.37	0.13	4.73	3.68	19.35	820.13
XT3	5.57	0.79	0.19	0.02	0.01	0.17	6.86	0.42	18.05
XT4	2.31	0.5	5.23	0.66	0.01	0.23	6.7	1.69	11.3

表 2 方城县莫沟萤石矿稀土元素分析结果及特征值

Table 2 Trace element analysis results and characteristic values of Mogou fluorite deposit, Fangcheng County 10^{-6}

岩石名称	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石	萤石	大理岩	片岩	片岩
编号	XT1	XT2	XT3	XT4	XT5	XT6	XT7	XT8	XT9	XT10
La	5.87	64.08	11.85	9.24	8.45	7.4	6.52	3.85	10.8	18.41
Ce	10.20	135.69	21.48	18.03	16.6	14.9	13.7	7.31	17.9	37.91
Pr	1.12	15.34	2.15	2.24	2.11	1.78	1.7	0.79	3.33	4.57
Nd	3.87	58.51	6.91	8.93	7.89	6.86	6.62	2.96	15.4	18.07
Sm	1.20	11.61	1.53	2.61	1.9	1.57	1.57	0.66	4.15	3.90
Eu	0.42	2.65	0.41	0.96	0.54	0.4	0.42	0.23	1.58	1.17
Gd	1.58	11.51	2.05	3.71	2.2	1.86	1.88	0.81	4.37	4.56
Tb	0.29	1.53	0.38	0.68	0.4	0.31	0.34	0.13	0.68	0.61
Dy	1.92	8.31	2.72	4.62	2.09	1.8	1.77	0.72	3.7	3.51
Ho	0.41	1.53	0.64	0.98	0.46	0.36	0.37	0.15	0.7	0.67
Er	1.30	4.39	2.28	2.84	1.3	1.03	0.97	0.45	1.99	1.96
Tm	0.18	0.55	0.36	0.37	0.22	0.13	0.15	0.065	0.26	0.27
Yb	1.43	3.59	2.70	2.72	1.11	0.69	0.69	0.38	1.58	1.80
Lu	0.23	0.52	0.42	0.38	0.2	0.1	0.13	0.058	0.24	0.26
Y	24.67	40.40	46.65	53.54	17.1	16	15.1	5.23	17	18.95
ΣREE	30.02	319.81	55.90	58.29	45.47	39.19	36.83	18.56	66.68	97.68
LREE	22.68	287.89	44.33	42.01	37.49	32.91	30.53	15.80	53.16	84.03
HREE	7.35	31.92	11.57	16.28	7.98	6.28	6.30	2.76	13.52	13.65
$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	3.09	9.02	3.83	2.58	4.70	5.24	4.85	5.72	3.93	6.16
$[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_{\text{N}}$	2.94	12.82	3.15	2.44	5.46	7.69	6.78	7.27	4.90	7.32
δEu	0.93	0.69	0.70	0.94	0.81	0.71	0.75	0.96	1.13	0.84
δCe	0.91	1.03	0.97	0.94	0.94	0.97	0.99	0.97	0.73	0.98

为 4.90~7.32,δEu 值在大理岩(XT8)中为 0.96,在片岩(XT9、XT10)中为 0.84、1.12。

4 讨论

4.1 成矿物质来源及矿床成因类型

研究区位于秦岭褶皱系与华北准地台的过渡部位,北部华北准地台由下古生界陶湾群、新元古界栾川群、中元古界管道口群及熊耳群组成,为印支末期—燕山早期大规模推覆作用的外来岩系,区域内燕山期岩浆活动十分强烈。区域内发现的土门、老

费家、独树镇等萤石矿均位于新元古界栾川群煤窑沟组大理岩内,且周围均发育大规模燕山期花岗岩(图 1),表明该区萤石矿床与燕山期花岗岩关系密切,主要成矿流体是与花岗岩侵入有密切关系的岩浆热液。与研究区处于同一萤石成矿带的杨山萤石矿氢氧同位素特征表明该萤石矿床的成矿热液主要为与燕山期花岗岩相关的岩浆热液,且成矿后期成矿流体中明显混入了大气降水^[9],众多学者分析中国萤石矿床成矿流体的氢氧同位素特征表明,中国萤石矿成矿溶液均有大气降水参与^[19-20],莫沟萤石矿床成矿流体也应该以岩浆热液为主,可能后期存

在大气降水混入。萤石为含钙矿物, Ca^{2+} 与稀土元素离子半径相似, 常以类质同象方式替代, 是稀土元素的重要载体。因此, 开展萤石矿物的稀土元素地球化学研究, 对于分析成矿物质来源和矿床成因均具有重要的科学意义。

研究区矿石、煤窑沟组大理岩和燕山期似斑状斜长花岗岩的球粒陨石标准化稀土元素配分模式形态相近, 均表现为右倾、负 Eu 异常的“海鸥式”模型 (图 5), 表明成矿物质的来源与煤窑沟组大理岩和燕山期似斑状斜长花岗岩有密切关系。其中, 各种岩石中稀土含量总体遵从斜长花岗岩 > 片岩 > 萤石矿 > 大理岩的规律, 大理岩中稀土总量明显低于萤石矿及其他岩石, 暗示大理岩为稀土迁出岩石, 煤窑沟组大理岩中 Ca 含量高, 应是萤石矿床中 Ca 的主要来源, 同时稀土元素随 Ca 迁移向萤石矿。岩石中 δEu 平均值遵从片岩 > 大理岩 > 萤石矿 > 斜长花岗岩的规律, 萤石矿 δEu 亏损程度较高, 应为萤石矿形成过程中交代外来物质和多期次分离结晶的结果。

La 和 Y 地球化学性质与轻、重稀土元素的相关性具有相似性。Barbieri 等^[22]应用 $[w(\text{La})+w(\text{Y})]-w(\text{Y})/w(\text{La})$ 图解分析萤石矿床成矿物质来源与花岗岩、沉积石灰岩和页岩的关系。其中, $w(\text{Y})/w(\text{La})$ 值可用于指示稀土元素的分馏程度, $w(\text{La})+w(\text{Y})$ 值可大致反映稀土元素含量^[23]。在 $[w(\text{La})+w(\text{Y})]-w(\text{Y})/w(\text{La})$ 图解中, 研究区萤石矿石样品位于钙碱性花岗岩区域 (图 6), 表明成矿物质主要来自钙碱性岩石。由此可见, 莫沟萤石矿成矿物质与岩浆作用密切相关。区域内燕山期花岗岩与其他期次岩浆岩相比, 含氟较高^[13,24], 燕山期高氟花岗岩体应为成矿作用提供了主要 F 源。

此外, 稀土元素 (REE) 中 Ce 和 Eu 呈多价态存在, 其中 Ce^{4+} 和 Eu^{2+} 具有重要的地球化学意义, 在氧化条件下, Ce^{3+} 变成 Ce^{4+} , 粒子半径减小, Ce^{4+} 易于进入矿物晶格中。在还原条件下, Eu^{3+} 变成 Eu^{2+} , 粒子半径增大, Eu^{2+} 不易进入矿物晶格中。因此, Eu 和 Ce 的价态变化能较好地反映成矿流体的氧化还原条件^[25-27]。研究区萤石矿均表现为 Eu 和 Ce 的负异常, 说明成矿作用发生在较还原环境。

Bau 等^[28]在研究数个萤石矿床中的稀土元素特征后提出了 $w(\text{La})/w(\text{Ho})-w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 关系图, 获得同期同源形成的萤石 $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 和 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 值具有相似性, 两者趋于一条直线, 大体呈水平分布; 同源非同期结晶的萤石 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 与 $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 值呈负相关; 而重结晶的萤石中 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 变化较小, $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 变化范围较宽^[29-32]。莫沟萤石矿中 $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 和 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 值具有相似性, 两者趋于一条直线, 大体呈水平分布; 同源非同期结晶的萤石中 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 变化较小, $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 变化范围较宽^[29-32]。莫沟萤石矿中 $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 和 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 值具有相似性, 两者趋于一条直线, 大体呈水平分布; 同源非同期结晶的萤石中 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})$ 变化较小, $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 变化范围较宽^[29-32]。

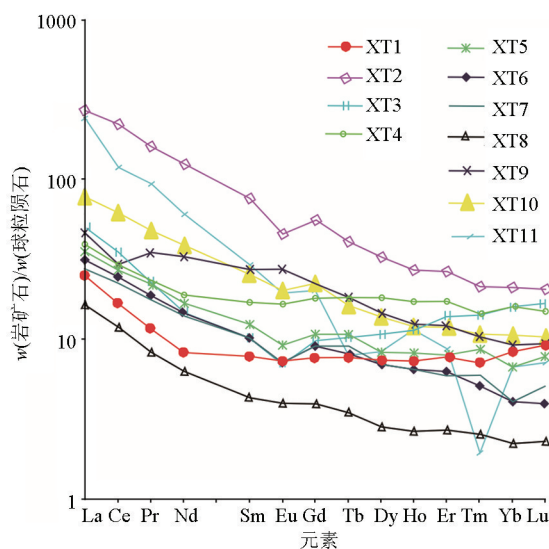


图 5 方城县莫沟萤石矿稀土元素蛛网
(标准化数据据 Sun 等^[17], XT11 为燕山期似斑状斜长花岗岩, 数据自河南地质矿产厅^[21])

Fig. 5 Spider web of rare earth elements in fluorite deposits in Mogou area, Fangcheng County (standardized data by Sun et al^[17], XT11 is Yanshan period porphyry plagiogranite, data quoted from Henan Department of Geology and Mineral Resources^[21])

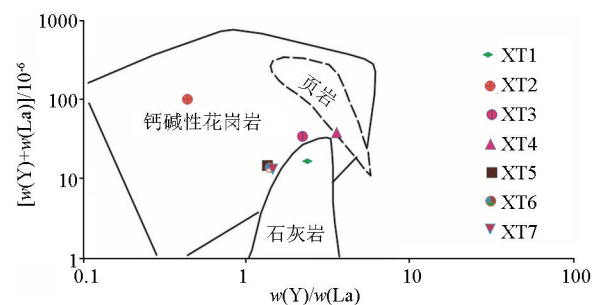


图 6 方城县莫沟萤石矿 $[w(\text{La})+w(\text{Y})]-w(\text{Y})/w(\text{La})$ 关系
Fig. 6 $[w(\text{La})+w(\text{Y})]-w(\text{Y})/w(\text{La})$ relation of fluorite mine in mogou area, Fangcheng County

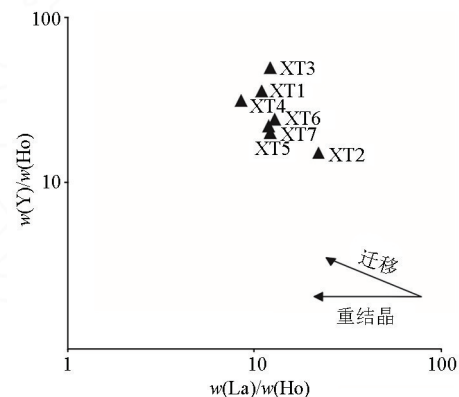


图 7 方城县莫沟萤石矿 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})-w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 关系
Fig. 7 $w(\text{Y})/w(\text{Ho})-w(\text{La})/w(\text{Ho})$ relation of fluorite mine in mogou area, Fangcheng County

(Y)/w(Ho) 值具有呈负相关的特征, $w(\text{La})/w(\text{Ho})$ 变化较小, 指示萤石矿床成矿物质是同源多期结晶成矿的特征(图 7)。

4.2 成矿过程与成矿模式

印支期末—燕山早期研究区经历了大规模的逆冲推覆作用, 使华北地台南缘地层逆冲到秦岭褶皱系地层之上, 形成了叠瓦状的逆冲推覆构造^[21], 推覆作用致使外来岩系内褶皱构造强烈发育, 由于不同岩性变形的差异性, 在褶皱构造间虚脱部位形成了层间断裂, 为萤石矿的充填提供了良好的通道及

空间。由于强烈的逆冲推覆作用, 地热流增高, 导致地壳重熔而产生岩浆^[21], 为萤石矿成矿提供了主要物质及流体来源。富含 F 元素的含矿热液沿大理岩附近的层间断层充分流动, 在大气降水的参与下, 含矿热液与大理岩局部发生较强的水岩反应, 形成富含 CaF_2 的流体, 在适宜的空间, CaF_2 流体结晶沉淀形成萤石矿体(图 8)。由中南冶金地质研究所用爆裂法测定温度, 测温结果为萤石最低结晶温度是 $86\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高 $132\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[14]。综上所述, 研究区萤石矿床应属低温热液沿层间构造充填型矿床类型。

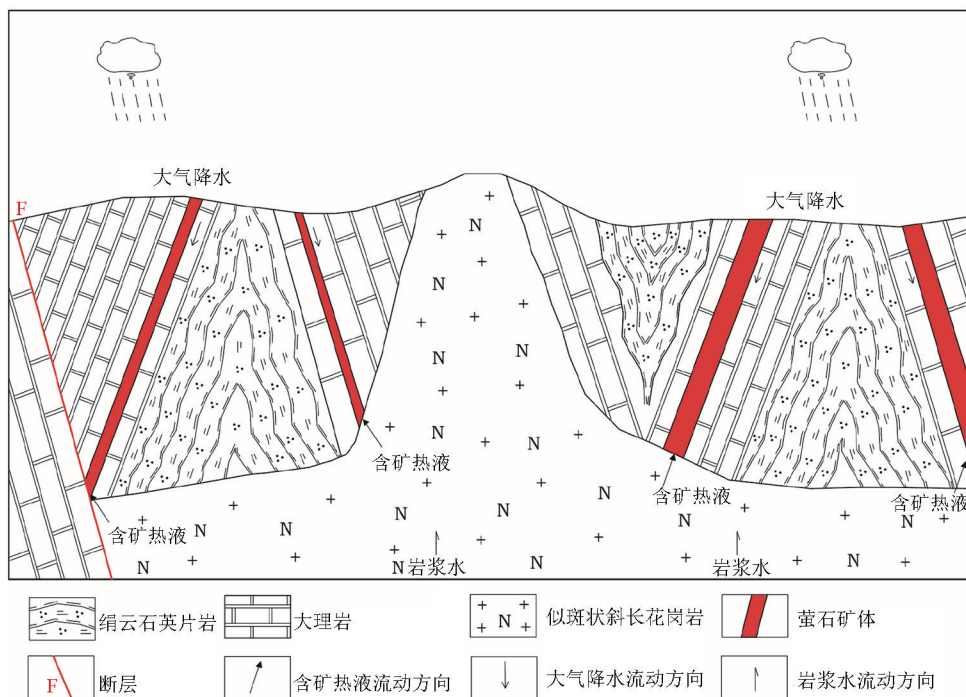


图 8 方城县莫沟一带萤石矿床成矿模式

Fig. 8 Metallogenic model of fluorite deposit in Mogou area, Fangcheng County

5 结论

1) 方城县莫沟萤石矿矿体呈脉状、透镜状顺层间构造产出, 与成矿有关的蚀变是硅化、萤石化、绢云母化, 矿石构造类型主要为块状构造, 次为条带状、条纹状构造、角砾状构造。

2) 方城县莫沟萤石矿床的形成与煤窑沟组大理岩、燕山期似斑状斜长花岗岩关系密切。其中煤窑沟组大理岩为成矿作用提供了主要的 Ca 源, 而燕山期岩浆活动则提供了富含 F 的热液流体。

3) 印支期末—燕山早期大规模的逆冲推覆作用, 形成了大规模褶皱构造并在构造间形成了层间断裂, 这为矿体的充填提供了良好的通道及空间。富含 F 的含矿热液沿层间断层充分流动, 局部与大

理岩发生反应沉淀形成萤石矿。

致谢: 在文章成稿过程中, 长安大学杨高学、汪帮耀等老师提出了许多建设性意见, 在此表示感谢! 感谢审稿老师的宝贵意见。

参考文献 (References):

- [1] 陈军元, 刘艳飞, 颜玲亚, 等. 石墨、萤石等战略非金属矿产发展趋势研究[J]. 地球学报, 2021, 42(2): 287-296
Chen J Y, Liu Y F, Yan L Y, et al. News sciencemagorgsciencenow Study on the development trend of graphite, fluorite and other strategic nonmetallic minerals [J]. Journal of the Earth, 2021, 42(2): 287-296.
- [2] 王宏海. 将乐萤石矿床地质特征及成因[J]. 地质与勘探, 1991(3): 21-43.
Wang H H. Geological feature and genesis of Jiangle fluorite deposit[J]. Geology and Prospecting, 1991(3): 21-43.
- [3] 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. Classification of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 2014, 41(2):315-325.
- [4] 吴自强,谢从智. 中国萤石矿床地质与勘探[M]. 北京:地质出版社,1989:28-40.
- Wu Z Q, Xie C Z. China Fluorspar Deposit Geology and Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:28-40.
- [5] 陈新立,刘增政,栗克坤. 闽北地区萤石矿赋矿硅化带地质及地球化学特征[J]. *化工矿产地质*, 2018, 40(3):155-161.
- Chen X L, Liu Z Z, Li K K. Geological and geochemical characteristics of Ore-bearing silicification zone for fluorite deposits in northern Fujian [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2018, 40(3):155-161.
- [6] 李士勤. 火山作用形成的特大型沉积萤石矿床[J]. *地质与勘探*, 1985, 21(1):30-31.
- Li S Q. Gigascope sedimentary fluorite deposit formed by volcanism [J]. *Geology and Prospecting*, 1985, 21(1):30-31.
- [7] 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, 42(1):18-32.
- Wang J P, Shang P Q, Xiong X X, et al. Metallogenic regularities of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 2015, 42(1):18-32.
- [8] 温同想. 方城萤石矿带地质特征[J]. *河南地质*, 1997, 15(2):103-107.
- Wen T X. The geological characteristics of fluorite ore belt in FangCheng [J]. *Henan Geology*, 1997, 15(2):103-107.
- [9] 张苏坤,王辉,冯绍平,等. 河南省栾川县杨山萤石矿成矿作用:来自氢氧同位素和元素地球化学的约束[J]. *西北地质*, 2022, 55(2):209-216.
- Zhang S K, Wang H, Feng S P, et al. Mineralization of Yangshan fluorite deposit in Luanchuan County, Henan Province: Constraints from H-O isotopes and element geochemistry [J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(2):209-216.
- [10] 刘纪峰,白德胜,张凯涛,等. 河南方城刘营萤石矿稀土元素特征及成矿年龄[J]. *物探与化探*, 2021, 45(3):639-644.
- Liu J F, Bai D S, Zhang K T, et al. REE characteristics and metallogenic age of the Liuying fluorite deposit in Fangcheng, Henan Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(3):639-644.
- [11] 刘振超,李蒙,聂艳敏,等. 河南方城大张庄萤石矿地质特征及找矿标志[J]. *长春工程学院学报:自然科学版*, 2019, 20(1):65-68, 97.
- Liu Z C, Li M, Nie Y M, et al. The geological characteristics and prospecting indicators of the Dazhangzhuang fluorite deposit in Fangcheng, Henan Province[J]. *Journal of Changchun Institute of Technology: Natural Sciences Edition*, 2019, 20(1):65-68, 97.
- [12] 田培学. 南召—方城沉积变质型萤石矿床的若干特征[J]. *河南地质*, 1984(1):9-15.
- Tian P X. Some characteristics of Nanzhao-Fangcheng sedimentary metamorphic fluorite deposit [J]. *Henan Geology*, 1984(1):9-15.
- [13] 段世轻,刘志如,谢朝永. 嵩县杨山—车村—方城县一带萤石矿成矿地质特征研究[J]. *现代矿业*, 2021, 3(3):19-22.
- Duan S Q, Liu Z R, Xie C Y. Study on the metallogenic geological characteristics of fluorite mine in Yangshan-Checun of Songxian County-Fangcheng County area[J]. *Modern Mining*, 2021, 3(3):19-22.
- [14] 杨永印,罗志阳,郜松杰. 河南省方城县土门萤石矿控矿因素分析[J]. *西部探矿工程*, 2012, 24(3):151-154.
- Yang Y Y, Luo Z Y, Gao S J. Analysis of ore control factors of Tumen fluorite mine in Fangcheng County, Henan Province [J]. *Western Exploration Project*, 2012, 24(3):151-154.
- [15] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 2009, 36(1):5-28.
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, et al. Division of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):5-28.
- [16] 徐志刚,陈毓川,王登红,等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社,2008.
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, et al. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- [17] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society London Special Publications*, 1989, 42(1):313-345.
- [18] 赵彦彦,郑永飞. 碳酸盐沉积物的成岩作用[J]. *岩石学报*, 2011, 27(2):501-519.
- Zhao Y Y, Zheng Y F. Diagenesis of carbonate sediments[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(2):501-519.
- [19] 曹俊臣. 中国矿床[M]. 北京:地质出版社,1994:314-340.
- Cao J C. Mineral deposits of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:314-340.
- [20] 朱敬宾,王吉平,商朋强,等. 中国萤石矿床锶同位素、氢氧同位素地球化学特征[J]. *化工矿产地质*, 2021, 43(1):7-16.
- Zhu J B, Wang J P, Shang P Q, et al. Geochemical characteristics of strontium and hydrogen and oxygen isotopes in fluorite deposits in China [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2021, 43(1):7-16.
- [21] 河南地质矿产厅. 云阳幅、四里店幅 1:50 万区域地质调查报告[R]. 河南地质矿产厅, 1989.
- Henan Department of Geology and Mineral Resources. Yunyang sheet and Silidian sheet 1:50,000 regional geological survey report [R]. Henan Department of Geology and Mineral Resources, 1989.
- [22] Barbieri M, Tolomeo L, Votibbigio M. Yttrium, lanthanum and manganese geochemistry in fluorite deposits from Sardinia (Italy) [J]. *Chemical Geology*, 1983, 40:43-50.
- [23] 吴益平,张连昌,袁波,等. 新疆阿尔金山地区卡尔恰尔超大型萤石矿床地质特征及成因[J]. *地球科学与环境学报*, 2021, 43(6):962-977.
- Wu Y P, Zhang L C, Yuan B, et al. Geological characteristics and genesis of the super-large Kalqiar fluorite deposit in Altyn Tagh Area of Xinjiang, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2021, 43(6):962-977.
- [24] 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.

- 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.
- [25] 冯绍平, 汪江河, 刘耀文, 等. 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*, 2020, 41(5): 50-58.
- Feng S P, Wang J H, Liu Y W, et al. Geochemistry characteristics of rare earth elements in Yangshan fluorite deposit, western Henan and their indicative significance [J]. *Rare Earth*, 2020, 41(5): 50-58.
- [26] 孙海瑞, 黄智龙, 周家喜, 等. 热液矿床中萤石的稀土元素地球化学及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2014, 33(1): 185-193.
- Sun H R, Huang Z L, Zhou J X, et al. Rare earth elements geochemistry of fluorite in hydrothermal deposits and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2014, 33(1): 185-193.
- [27] 朱江, 彭三国, 刘锦明. 西大别地区白垩纪灵山花岗岩基外围发现萤石矿点[J]. *中国地质*, 2020, 47(2): 550-551.
- Zhu J, Peng S G, Liu J M. The discovery of fluorite ore spots in the contact zone of Cretaceous Lingshan granitic batholith in the western Dabie orogenic belt[J]. *Geology in China*, 2020, 47(2): 550-551.
- [28] Bau M, Dulski P. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluo-ine-rich hydrothermal fluids[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1995, 119(2): 213-223.
- [29] Ismail I, Baioumy H, Ouyang H, et al. Origin of fluorite mineralizations in the Nuba Mountain, Sudan and their rare earth element geochemistry[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, 112: 276-286.
- [30] 许东青, 聂凤军, 钱明平, 等. 苏莫查干敖包超大型萤石矿床的稀土元素地球化学特征及其成因意义[J]. *矿床地质*, 2009, 28(1): 29-41.
- Xu D Q, Nie F J, Qian M P, et al. REE geochemistry and genesis of Sumochagan Obo superlarge fluorite deposit[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(1): 29-41.
- [31] 邹灏, 方乙, 陈合毛, 等. 浙江天台盆地陈萤石矿稀土元素地球化学特征及成因[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1375-1386.
- Zou H, Fang Y, Chen H M, et al. REE geochemistry and genesis of the Xiachen fluorite deposit in Tiantai basin, Zhejiang Province [J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1375-1386.
- [32] 张青松, 王春连, 栗克坤, 等. 闽北大坪萤石矿构造蚀变、岩石地球化学特征与矿床成因探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 2021, 40(6): 1131-1140.
- Zhang Q S, Wang C L, Li K K, et al. Discussion on structural alteration rock geochemistry characteristics and genesis of Daping fluorite deposit in northern Fujian[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2021, 40(6): 1131-1140.

Geological characteristics and origin of the Mogou fluorite deposit in Fangcheng County, Henan Province

ZHANG Qing-Song^{1,2}, XIA Ming-Zhe¹, WANG Chun-Lian³, LI Ke-Kun²,
LIU Zeng-Zheng², JIANG Ji-Yong², JIANG Jian-Lang²

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Henan Geological Bureau of CCGMB, Zhengzhou 450000, China; 3. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Mogou fluorite deposit of Fangcheng County, residing in the Neoproterozoic Meiyaogou Formation, is a crucial part of the fluorite metallogenic belt in southern Henan Province. Based on the analysis of the geological characteristics of the Mogou fluorite deposit, this study conducted petrographic and petrogeochemical studies to define the source of ore-forming materials and probe into the genetic mechanism of the fluorite deposit. The results show that the fluorite ore body is veined or lenticular, with mineralization-related alterations composed of silicification, fluorite and sericite alterations. Its ore structures are primarily massive, followed by banded, striped, and brecciated types. The chondrite-normalized rare earth element distribution pattern of the fluorite ore body is similar to that of the Meiyaogou Formation marbles and the Yanshanian porphyritic plagiogranites, suggesting a genetic relationship. The possible genetic mechanism is that the F-enriched ore-bearing hydrothermal liquids intruded along the interbedded fault and reacted with the surrounding rocks to form the fluorite ore/mineralized body. The deposit belongs to the epithermal filling type along the interbedded structure.

Key words: fluorite deposit; deposit characteristics; rare earth element; ore-forming materials; origin; metallogenic mode

(本文编辑:蒋实)