doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2026.02.003
引用格式：孙旭鹏，张洋洋，李超楠，雷德正. 天目山周庄萤石矿床地质特征及分布规律[J]. 矿冶，2026，35(2)：185-189.
SUN Xupeng, ZHANG Yangyang, LI Chaonan, LEI Dezheng. Geological characteristics and distribution patterns of the fluorite deposit in Zhouzhuang, Tianmu mountain[J]. Mining and Metallurgy, 2026, 35(2): 185-189.

天目山周庄萤石矿床地质特征及分布规律

孙旭鹏[1] 张洋洋[2] 李超楠[3] 雷德正[1]
（1. 河南省第五地质勘查院有限公司，郑州 450000；
2. 河南省地质局地质灾害防治中心，郑州 450000；
3. 河南省地质局矿产资源勘查中心，郑州 450000）

摘 要：为系统揭示天目山周庄萤石矿床的成矿机制与分布规律，本研究基于已有勘查资料，采用网格法系统采集样品，通过X射线衍射及质谱分析技术，对矿石物质组成与同位素特征展开研究。结果表明：矿石中钙（52.18%）与氟（45.85%）为主要组分，其他元素含量均低于0.5%；Sm-Nd同位素体系呈现良好一致性，成矿年龄集中于120.3~124.7 Ma；垂向上钙、氟含量随深度递增，在39.2 m处达到峰值。研究表明，该矿床萤石含量高，成矿受碳酸盐岩影响明显，垂向具元素分带特征，成果可为区域萤石资源勘查与成矿规律研究提供依据。

关键词：天目山周庄；萤石矿床；地质特征；分布规律；成矿时代
中图分类号：P618.43 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-7854（2026）02-0185-05

Geological characteristics and distribution patterns of the fluorite deposit in Zhouzhuang, Tianmu mountain

SUN Xupeng[1] ZHANG Yangyang[2] LI Chaonan[3] LEI Dezheng[1]
(1. Henan No.5 Geological Exploration Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
2. The Prevention and Control Center for the Geological Disaster of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, China;
3. Mineral Resources Exploration Center of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to systematically reveal the metallogenic mechanism and distribution patterns of the fluorite deposit in Zhouzhuang, Tianmu Mountain, this study, based on existing exploration data, systematically collected samples using a grid method and conducted research on the material composition and isotopic characteristics of the ore through X-ray diffraction and mass spectrometry. The results show that calcium (52.18%) and fluorine (45.85%) are the main components of the ore, while the contents of other elements are all below 0.5%. The Sm-Nd isotopic system exhibits good consistency, with the metallogenic age concentrated between 120.3 Ma and 124.7 Ma. Vertically, the contents of calcium and fluorine increase with depth, peaking at 39.2 m. The study indicates that the deposit has a high fluorite content, its mineralization is significantly influenced by carbonate rocks, and it exhibits vertical elemental zoning. The findings can provide a basis for regional fluorite resource exploration and research on metallogenic patterns.

Key words: Zhouzhuang, Tianmu mountain; fluorite deposit; geological characteristics; distribution patterns; metallogenic age

收稿日期：2024-06-22 **修回日期：**2024-10-24 **录用日期：**2020-10-28
基金项目：河南省地质勘查投资基金资助项目（豫自然资储备字[2024]14号）
第一作者：孙旭鹏，学士，工程师，主要从事地质矿产开发研究。E-mail：826426495@qq.com
©Mining and Metallurgy Editorial Department 2026. This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License.

天目山周庄地区位于中国东部，区域内地质构造复杂，经历了长期的地质演变与频繁的岩浆活动，形成了独特且丰富的地质环境。这一特殊背景为该区萤石矿床的形成与富集提供了有利条件。因此，系统研究天目山周庄萤石矿床的地质特征与分布规律，不仅具有重要的理论意义，也对实际勘查与资源开发具有指导价值[1]。

目前，已有研究多聚焦于矿床的宏观特征与成因分析，对矿床内部微观结构、矿物组成及其演化过程的探讨尚不够深入[2]，制约了对成矿机制与富集规律的全面认识。为此，本文在前人工作基础上，对天目山周庄萤石矿床展开系统研究，旨在通过精细刻画其地质特征与空间分布，揭示其形成机制与富集过程，为萤石资源勘查、高效开发及可持续利用提供科学依据。本研究成果有望补充和完善萤石矿床成矿理论，为区域找矿预测与资源评价提供参考，同时也可为相关产业的技术提升与地方经济发展提供支撑。

1 研究区域概况

研究区域位于天目山北坡，隶属于河南省驻马店市确山县。区内最高点位于南部，海拔774.1 m；最低点位于北部周庄一带，海拔278.1 m。地形整体陡峻，切割深度达300~500 m，地貌复杂多样，涵盖低山丘陵、平原等多种类型（图1）。区内水系发达，分布有20余条大小河流，其中主干河流流域面积达1 413 km^2，占全区总流域面积的85%以上。该河于县境内全长100 km，河道比降约1/2 000，河床宽度介于50~200 m，吴寨河段最大流量为3 250 $m^3 \cdot s^{-1}$，属常年流水河流。



图1 研究区域具体位置

Fig. 1 Specific location of the research area

本区地处北亚热带与暖温带过渡带，为典型大陆性季风气候，四季分明，冬冷夏热，雨热同期。年平均降水量948.6 mm，空间上呈西多东少、山区多平原少的分布特征。受季风与地形影响，降水季节分配极不均匀，夏季（6~9月）降水量约占全年65%，冬季降水仅占约5%。

2 研究方法

2.1 萤石矿床采样点布置

基于天目山周庄地区的地质背景，初步圈定了矿床的大致位置与规模。为获取具有代表性和系统性的样品，本研究综合地表与地下方法进行采样点布置。

该区萤石矿为受构造控制、赋存于大理岩体附近蚀变带内的中低温热液脉型矿床，成矿与周庄变基性岩及天目山富氟花岗岩体密切相关[3]。采样设计兼顾了这一地质特点。地表采样采用浅钻与坑探方法，将研究区地表划分为100 m × 100 m的规则网格，优先在构造蚀变带附近、岩性接触带及已知矿化显示区布设采样点[4]。地下采样通过岩芯钻探与刻槽法实施：在坑道内，沿矿体走向每隔5~10 m设置采样点，在垂直矿体走向上，按10~20 m间距布置采样剖面。根据天目山周庄地区的地质等基本情况，初步确定矿床的大致位置和规模。在布置采样点时，需要选择具有代表性和系统性的采样点，参照《固体矿产地质勘查规范总则》（GB/T 13908）、《矿产地质勘查规范重晶石、毒重石、萤石、硼》（DZ/T 0211-2020）等规定执行。

2.2 萤石矿床地质样品采集

在各采样点，根据地层与矿体特征选用相应方法采集样品：矿石样品主要采用刻槽法；围岩及蚀变岩样品则通过岩芯钻探获取[5]。所有样品均进行现场编号，并详细记录采样位置、坐标等信息。样品采集后立即封装于专用容器，以确保在运输与储存过程中不受损坏或混淆[6]。

2.3 样品预处理

样品预处理，首先去除表面大块附着物，随后用2%盐酸溶液浸泡4~8 h以溶除碳酸盐等易溶组分[7]。酸浸后以清水彻底冲洗，必要时用4%氢氧化钠溶液中和残留酸液。

根据样品性质与实验要求选择干燥处理方式：对于热敏性样品或时间充裕的情况，选择自然风干，即将样品置于通风阴凉处平铺，避免阳光直射，干燥时间不少于5 h；对于非热敏性样品或需快速处理的情况采用热风干燥方式，即使用干燥箱，温度控制在

60 ℃以下，以缩短干燥时间[8]。干燥程度的判断标准为样品表面完全无水分残留、质量不再减轻且手感干燥，必要时可采用湿度计或干燥失重法进行验证。

经上述处理后，样品呈现出以下具体形态：表面干净，无大块泥土、碎屑等杂质附着，经盐酸溶液浸泡和清水冲洗后，表面呈现出较为光滑的质感，部分样品因碳酸盐等易溶物质的去除而出现微小孔隙或裂缝；萤石本身具有多种颜色，预处理后的样品颜色基本保持不变，但光泽度因表面杂质去除而有所提升；样品的质地和硬度未因预处理而显著变化，仍保持萤石原有的物理特性，不过含有较多碳酸盐等易溶物质的样品，其结构可能变得更加疏松；经过自然干燥和热风干燥处理后，样品表面完全干燥，无水分残留，质量减轻，体积可能因水分蒸发而略有缩小，但整体形态保持不变[9]；此外，预处理还提升了样品的化学稳定性，去除了易溶物质和残留的化学试剂，使样品在后续分析和实验过程中更不易发生化学反应，从而保证了实验结果的准确性。

2.4 样品分析

为深入揭示矿床地质特征，对预处理后的样品开展以下分析：

利用X射线衍射仪对样品进行物相鉴定与半定量分析，重点测定萤石（CaF_2）及方解石（$CaCO_3$）等主要矿物的含量[10]。其中，碳酸钙的具体计算公式见式（1），氟化钙的质量分数按式（2）进行计算，采用质谱仪进行Sm-Nd同位素测定，通过同位素比值计算成岩成矿年龄（式（3）），反演矿床演化过程[11]。

$$w_{CaCO_3}=\frac{C_0\times V_0\times M_c}{10m_0}\times 100\% \quad (1)$$

$$w_{CaF_2}=\frac{I_F}{I_0}\times K_i\times 100\% \quad (2)$$

$$t_s=\frac{1}{k_s}\ln\left(1+\frac{f^y_{SN}-f^c_{SN}}{f^y_{NN}-f^c_{NN}}\right) \quad (3)$$

式（1）中，w_{CaCO_3}表示碳酸钙的质量分数，%，C_0表示应用的标准溶液的浓度，mol·L^{-1}，V_0表示应用的标准溶液体积，L，M_c表示碳酸钙的摩尔质量，g·mol^{-1}，m_0表示实验中使用的萤石矿体样品的质量，g。

式（2）中，w_{CaF_2}表示氟化钙的质量分数，%，I_F表示样品衍射图谱中氟化钙特征峰的强度，I_0表示标准样品中氟化钙特征峰的强度，K_i表示基于实验样品和标准样品的换算系数。

式（3）中，t_s表示计算出的同位素年龄，Ma，k_s表示同位素的衰变系数，Ma^{-1}，f^y_{SN}、f^y_{NN}分别表示样品中钐和钕两种同位素的丰度比值，f^y_{SN}、f^c_{NN}分别表示钐和钕两种同位素的初始丰度比值。

基于上述实验数据，系统分析矿床的物质组成与成矿时代，总结其地质特征与分布规律，以期为矿床成因研究与勘查实践提供科学依据。

3 天目山周庄萤石矿床地质特征

3.1 矿石元素组成分析

采用X射线衍射仪对萤石样品进行分析，获得其衍射图谱，如图2所示。从图2可以看出，样品中钙和氟元素的衍射峰强度显著较高，而碳、氧、镁等元素的衍射峰强度较低，表明钙与氟是样品中的主要组成元素。

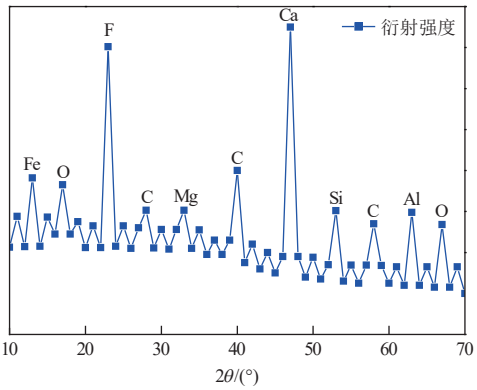


图2 萤石矿床样品的衍射图谱

Fig. 2 Diffraction pattern of fluorite deposit samples

基于衍射图谱数据，对样品中各元素含量进行半定量统计，结果列于表1。由表1可知，钙和氟含量分别为52.18%与45.85%，二者合计占比超过98%，表明样品中萤石矿物含量极高，符合典型萤石矿床的化学特征。碳和氧元素含量合计约1.97%，主要源于少量碳酸钙杂质。硅、镁、铝、铁等元素含量均较低，此外存在总量低于0.5%的微量元素，可能与矿床的成因及后期演化有关[12]。

表1 萤石矿体样品中主要元素含量

Table 1 Main element contents in fluorite orebody samples /%

元素	质量分数
钙	52.18
氟	45.85
碳	0.65
氧	1.32
硅	0.87
镁	0.21
铝	<0.05
铁	<0.05
其他	<0.50

综上，该矿床具有高钙高氟的特征，萤石纯度较高。碳酸钙的存在反映成矿过程受到碳酸盐岩的影响或后期碳酸盐流体的叠加。微量元素含量普遍较低，说明矿床形成于相对封闭、化学均一的地质环境，受外界干扰较小[13]。

3.2 基于 Sm-Nd 同位素体系的成矿时代与成因探讨

对多个萤石样品进行Sm-Nd同位素质谱分析，结果如表2所示。数据显示，各样品的Sm、Nd同位素含量及同位素比值具有良好的一致性，反映了该矿床在Sm-Nd同位素体系中的地球化学均一性[14]。计算获得的同位素年龄集中在120.3~124.7 Ma，表明成矿作用主要发生于早白垩世晚期。该时期区域上活跃的岩浆-热液活动可能为萤石成矿提供了关键的物质与能量来源[15]。

表2 萤石矿床样品的同位素分析结果

Table 2 Isotope analysis results of fluorite deposit samples

样品编号	Sm含量/ppm	Nd含量/ppm	f_{NN}^{c}	t_s/Ma
Y01	2.15	0.43	0.512 010	120.5
Y02	2.23	0.42	0.511 985	120.8
Y03	2.45	0.41	0.512 035	121.2
Y04	2.21	0.44	0.511 998	120.1
Y05	2.12	0.43	0.512 011	122.3
Y06	2.36	0.45	0.511 088	121.4
Y07	2.41	0.42	0.512 046	120.5
Y08	2.25	0.41	0.512 033	120.3
Y09	2.15	0.43	0.511 233	121.8
Y10	2.36	0.41	0.512 044	122.2
Y11	2.24	0.42	0.512 788	121.4
Y12	2.58	0.43	0.512 069	122.4
Y13	2.12	0.41	0.511 245	123.5
Y14	2.33	0.42	0.512 369	124.7
Y15	2.19	0.45	0.511 412	122.6

备注：1 ppm=10^{-6}。

结合以上数据与区域地质背景，推测矿床演化过程为：约125 Ma前，伴随地壳深部岩浆活动，富氟热液运移至浅部，与围岩（尤其是硅酸盐类矿物）发生水岩反应，促使萤石沉淀。在有利的构造部位，萤石持续富集，最终形成具经济价值的矿体。矿床地质特征与同位素证据共同支持其为中低温热液成因类型[16]。

4 天目山周庄萤石矿床分布规律

基于前述地质特征分析，进一步总结了矿床中钙、氟元素的垂向分布规律，如图3所示。从图3可以看出，随着深度增加，钙、氟元素含量总体呈现先增后减的趋势，在约39.2 m处达到峰值，该深度对应

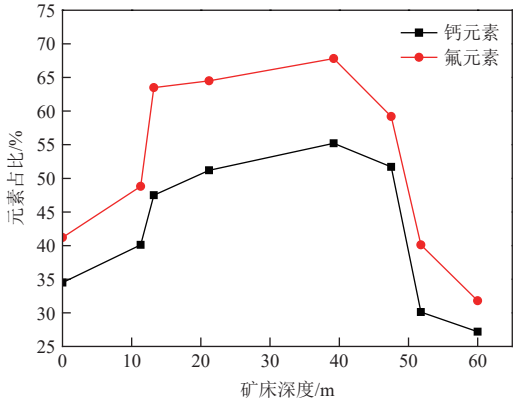


图3 天目山周庄萤石矿床分布规律

Fig. 3 Distribution pattern of Zhouzhuang fluorite deposit in Tianmu Mountain

萤石矿化最为富集的部位。该分布特征受区域构造与岩性联合控制。天目山周庄萤石矿床整体为一单斜构造，地层总体倾向稳定，局部受花岗岩体影响，倾角变化可达10°。区内发育大理岩、白云石英片岩等多种岩石类型，为矿质沉淀提供了多样化的地球化学障。此外，多期断裂活动不仅为含矿热液提供了运移通道，也创造了有利的容矿空间，促使萤石在近地表及浅部裂隙带中富集，形成了具有垂向分带性的矿化样式。

5 结论

1）天目山周庄萤石矿床样品以钙（52.18%）和氟（45.85%）为主要组成元素，碳、氧含量较低，其他元素如硅、镁、铝、铁等含量均低于0.5%，萤石矿纯度较高。

2）Sm-Nd同位素体系显示良好的一致性，同位素年龄集中于120.3~124.7 Ma，该萤石矿床形成于早白垩世，成矿作用与区域岩浆—热液活动密切相关。

3）垂向分布上，钙、氟元素含量随深度增加而递增，在39.2 m处达到最大值，矿化富集具一定层控或深度关联特征，对深部找矿具有指示意义。

参考文献

[1] 晁艳博，吴远洋. 山东典型BIF型铁矿矿床地质特征及其分布规律[J]. 中国金属通报，2021, 36(11): 39-40.
CHAO Y B, WU Y Y. Geological characteristics and distribution patterns of typical BIF type iron ore deposits in Shandong[J]. China Metal Bulletin, 2021, 36(11): 39-40.

[2] 彭松，金中国，刘开坤，等. 黔东铅锌矿床地质特征与分布规律及成因分析[J]. 矿产与地质，2021, 35(4): 617-623.
PENG S, JIN Z G, LIU K K, et al. Geological characteristics,

distribution regularity and genesis analysis of lead-zinc deposits in East Guizhou[J]. Mineral Resources and Geology, 2021, 35(4): 617-623.

[3] 周小深, 刘文元, 单思齐, 等. 塞尔维亚蒂莫克铜金矿集区典型矿床地质特征[J]. 地质通报, 2024, 43(增刊1): 270-288.
ZHOU X S, LIU W Y, SHAN S Q, et al. Ore geology of typical deposits in the Timok Cu-Au ore field, Serbia[J]. Geological Bulletin of China, 2024, 43(Sup.1): 270-288.

[4] 张雪琴, 徐登峰, 赵云, 等. 新疆东天山照壁山金铅锌多金属矿床地质特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 2023, 42(6): 1121-1138.
ZHANG X Q, XU D F, ZHAO Y, et al. Geological characteristics and ore genesis of Zhaobishan Au-Pb-Zn polymetallic deposit in eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2023, 42(6): 1121-1138.

[5] 李海军, 张善明, 梁新强, 等. 内蒙古复兴屯超大型银铅锌矿床地质特征及找矿标志[J]. 矿床地质, 2023, 42(6): 1175-1194.
LI H J, ZHANG S M, LIANG X Q, et al. Geological characteristics and prospecting indicators of Fuxingtun giant Ag-Pb-Zn deposit in Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2023, 42(6): 1175-1194.

[6] 彭桥梁, 苏特, 李天虎, 等. 湖南沅陵沃溪金锑钨矿床地质特征与成矿地质条件探讨[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 262-273.
PENG Q L, SU T, LI T H, et al. Geological characteristics and metallogenic geological conditions of the Woxi gold-antimony-tungsten deposit in Yuanling, Hunan Province[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 262-273.

[7] 黄长帅, 吴小雷, 卢见昆, 等. 桂东北珊瑚钨锡矿床地质特征及流体包裹体研究[J]. 有色金属工程, 2021, 11(3): 123-134.
HUANG C S, WU X L, LU J K, et al. Geology and fluid inclusion of Shanhu tungsten-tin deposit in northeast Guangxi[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2021, 11(3): 123-134.

[8] 张鑫刚, 曾国平, 贾儒雅. 北非重要矿产资源时空分布与典型矿床地质特征[J]. 地质科学, 2023, 58(4): 1554-1570.
ZHANG X G, ZENG G P, JIA R Y. Spatial-temporal distribution and typical geological features of important mineral resources in North Africa[J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2023, 58(4): 1554-1570.

[9] 龙波, 吴得强, 冯永光, 等. 四川省同德石墨矿床地质特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 2023, 59(5): 1000-1016.
LONG B, WU D Q, FENG Y G, et al. Geological characteristics and genesis of the Tongde graphite deposit in Sichuan Province[J]. Geology and Exploration, 2023, 59(5): 1000-1016.

[10] 李随民, 焦雪红, 韩玉丑, 等. 冀北两种类型钼矿床地质特征与控矿因素差异性分析[J]. 地球学报, 2023, 44(6): 967-982.
LI S M, JIAO X H, HAN Y C, et al. Difference analysis of the geological characteristics and ore-controlling factors of two types of molybdenum deposits in northern Hebei Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2023, 44(6): 967-982.

[11] 李鹏, 李建康, 张立平, 等. 幕阜山矿集区黄柏山锂铌钽矿床地质特征及找矿方向[J]. 岩石学报, 2023, 39(7): 2009-2024.
LI P, LI J K, ZHANG L P, et al. Geological characteristics and prospecting direction of Huangbaishan Li-Nb-Ta deposit in Mufushan ore concentration area[J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 39(7): 2009-2024.

[12] 贾祥祥, 贾儒雅, 王树明, 等. 西秦岭甘肃徽县大石湾钴锰矿床地质特征及成因[J]. 地质通报, 2023, 42(6): 987-1000.
JIA X X, JIA R Y, WANG S M, et al. Geological characteristics and genesis of the Dashiwan-cobalt manganese deposit in Huixian County, Western Qinling mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(6): 987-1000.

[13] 邓小华, 吴昌志, 吴艳爽, 等. 东天山印支期矿床地质特征、成因类型及成矿规律[J]. 地球科学与环境学报, 2023, 45(3): 590-621.
DENG X H, WU C Z, WU Y S, et al. Geological characteristics, genetic types and metallogenic regularity of Indosinian deposits in East Tianshan, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(3): 590-621.

[14] 许道刚, 陈占发, 吕清纯, 等. 湖南某萤石矿抑钙提质优化试验[J]. 矿冶, 2021, 30(6): 48-53.
XU D G, CHEN Z F, LÜ Q C, et al. Optimization test of calcium inhibition of a fluorite ore in Hunan Province[J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(6): 48-53.

[15] 曹阳, 刘殿文. 白云鄂博西矿工艺矿物学及稀土、萤石浮选研究[J]. 矿冶, 2023, 32(4): 55-63.
CAO Y, LIU D W. Study on process mineralogy and rare earth, fluorite flotation test of west mine in Bayan Obo[J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(4): 55-63.

[16] 陈云明, 刘志臣, 郭宇, 等. 贵州务川地区热液型重晶石矿床地质特征与控矿因素研究[J]. 矿物学报, 2023, 43(6): 813-823.
CHEN Y M, LIU Z C, GUO Y, et al. A study on geological characteristics and ore-controlling factors of hydrothermal barite deposits in the Wuchuan area, Guizhou Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2023, 43(6): 813-823.