DOI: 10.3969/j.issn.2097-583X.2026.04.021　　文章编号：2097-583X(2026)04-0669-05

信阳千鹅冲钼矿床矿物学特征及其对成因的指示意义

张辰光[1]，唐相伟[2*]，刘奎松[2]，袁潇洁[1]，刘兆丽[1]，黄　亚[3]

(1. 信阳师范大学 地理科学学院/豫南岩矿宝玉石鉴定及加工中心，河南 信阳 464000；
2. 河南省第三地质矿产调查院有限公司，河南 信阳 464000；3. 河南省地质研究院，河南 郑州 450016)

摘　要：为探讨信阳千鹅冲钼矿床成因，利用电子探针数据对金属硫化物进行矿物学分析，结合其区域地质背景和矿床特征，以期为千鹅冲钼矿床成因提供指示意义。结果显示：该矿床成矿过程可划分为6个阶段，黄铁矿电子探针数据表明石英-钾长石阶段的黄铁矿中S含量(质量分数)为53.51%，Fe含量为46.44%，w(Co)/w(Ni)比值分布于0.18～0.82之间，表现出沉积成因黄铁矿特征。辉钼矿-石英阶段的黄铁矿中S含量为53.21%，Fe含量为46.58%，w(Co)/w(Ni)比值分布于1.01～5.68之间，表现出岩浆热液成因黄铁矿特征。结合基础地质特征，认为千鹅冲钼矿为较典型的斑岩型钼矿床。

关键词：钼矿；成因矿物学；微量元素；千鹅冲

中图分类号：P618　　**文献标志码：**A　　**开放科学(资源服务)标识码(OSID)：**

Characteristics of mineralogy and its implications for ore-forming mechanism of Qian′echong Mo deposit, Xinyang

Zhang Chenguang[1], Tang Xiangwei[2*], Liu Kuisong[2], Yuan Xiaojie[1], Liu Zhaoli[1], Huang Ya[3]

(1. Southern Henan Center for Mineral Rock and Gem-Jade Identification and Processing/ School of Geographic Sciences, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China;
2. Henan Third Geological and Mineral Survey Institute Co., Ltd., Xinyang 464000, China;
3. Henan Academy of Geology, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: In order to explore the genesis of Qian′echong molybdenum deposit in Xinyang, the electron microprobe data was utilized to mineralogically analyze the metal sulfides, combining them with their regional geologic background and deposit characteristics to provide indications of the genesis of Qian′echong molybdenum deposit. The results showed that the mineralization process of the deposit could be divided into six stages. The electron microprobe data of pyrite showed that the pyrite in the quartz-potassium feldspar stage contained 53.51% S and 46.44% Fe(mass percentage), and w(Co)/w(Ni) was distributed between 0.18 and 0.82, which is indicative of sedimentary metallogenic pyrite. The pyrite in the molybdenite-quartz stage contained 53.21% S, 46.58% Fe and w(Co)/w(Ni) ranged from 1.01 to 5.68, which shows the characteristics of magmatic-hydrothermal pyrite. Combined with the underlying geological features, it is believed that the Qian′echong molybdenum deposit is a more typical porphyry molybdenum deposit.

Key words: molybdenum ore; genetic mineralogy; trace elements; Qian′echong

收稿日期：2024-05-30；**修回日期：**2024-08-03；*. **通信联系人，**E-mail: 48901860@qq.com; paladin@xynu.edu.cn

基金项目：国家重点研发计划项目(2022YFC2903605)；河南省科技攻关项目(192102310268)；有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室(中南大学)基金项目(2019YSJS08)；河南省高校重点科研项目(24A170029)

作者简介：张辰光(1982—)，男，河南驻马店人，副教授，博士，主要从事矿物学、岩石学、矿床学的研究。

引用格式：张辰光，唐相伟，刘奎松，等. 信阳千鹅冲钼矿床矿物学特征及其对成因的指示意义[J]. 信阳师范大学学报(自然科学版)，2026，39(4)：669-673.

Zhang Chenguang, Tang Xiangwei, Liu Kuisong, et al. Characteristics of mineralogy and its implications for ore-forming mechanism of Qian′echong Mo deposit, Xinyang[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2026, 39(4): 669-673.

0　引言

秦岭-大别造山带,不仅是中国中东部地质构造的重要边界,也是中国气候、水文、生态的天然地理南北过渡带[1]。复杂的构造格局和时空演化过程使该地区发生了多期重要成矿地质事件,成为我国重要战略矿产资源储备基地[2]。信阳光山县千鹅冲钼矿床作为大别山成矿带的典型矿床,已有科研工作者对其进行了地质研究[3-4],但对研究区广泛出露的中酸性岩体侵位如何影响该矿床富集成矿的研究不够深入[5]。黄铁矿作为重要的成矿指示矿物,其形态与微量元素特征制约了矿床成因类型[6-8]。因此,本文通过对千鹅冲钼矿不同成矿阶段的黄铁矿进行成因矿物学研究,结合野外及岩相学工作,反演成矿过程,厘定矿床成因类型,为进一步指导大别地区找矿提供重要支撑。

1　研究区概况

1.1　区域地质背景

千鹅冲钼矿床位于大别山北麓,为秦岭桐柏-大别山造山带东延的一部分,属秦岭-大别山金银铜铅锌钼矿成矿带[9]。该矿区岩浆岩广泛发育,大地构造演化复杂[10]。研究区地层出露也较完整,主要发育中元古界龟山岩组、震旦系-下奥陶统肖家庙岩组和泥盆系南湾组地层[11]。区内断裂构造发育,主要包括脆性断裂构造和韧性断裂构造,表现为经历了较强的变形作用的强烈挤压带。其中规模较大的断裂有龟山-梅山断裂、桐柏-商城断裂、八里畈断裂以及白洼断裂。研究区岩浆活动频繁,早白垩世中酸性侵入岩最为发育,产生大规模的中酸性斑岩体;新元古代主要形成岩浆岩,岩体的大小不一,和成矿有关的岩浆岩主要包括花岗岩、片麻状花岗岩和各种酸性脉岩等[12]。

1.2　矿区地质特征

矿区位于东秦岭-大别山钼矿带的大别山北麓地区,矿区出露的地层主要为泥盆系南湾组绿帘黑云片岩、绿帘黑云石英片岩、绿帘二云石英片岩的区域变质岩岩性组合(图1)。

该区分布的北北东向韧性断裂剪切带被东西向构造切割为网格状(见图1),南部距离桐柏-商城断裂带仅0.5 km,在此断裂带附近还分布有汤家坪、大银尖、宝安寨等一系列大中型钼矿床。网格状的构造还控制了该地区花岗岩体的分布,对

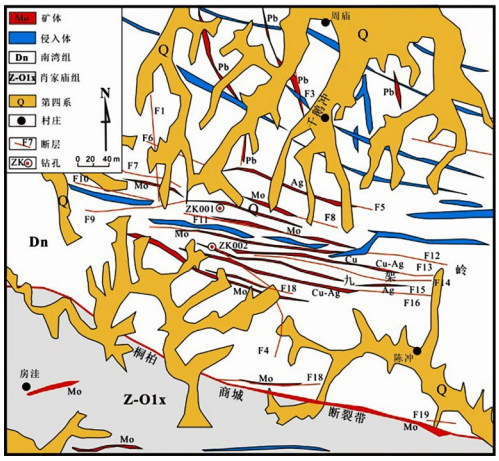


图1　千鹅冲矿区地质简图(据文献[13]修改)

Fig. 1　Geological sketch map of the Qian'echong mining district (Modified from Ref. [13])

钼矿的形成及分布起着决定性作用。

矿区地表无大规模岩体出露,经钻探验证,在九架岭下部有隐伏岩体存在[13]。区内早白垩世中酸性小型脉岩发育,按岩石类型可分为闪长玢岩脉、石英斑岩脉、花岗斑岩脉,另有煌斑岩脉出露。岩体中的主要矿物为石英、钾长石、斜长石、白云母、黑云母、绢云母、方解石等,其结构及构造主要为细粒花岗结构、细粒粒状结构、斑状结构、粒状结构。岩体蚀变类型包括绢云母化、碳酸盐化、泥化、绿泥石化、白云母化、绿帘石化等。

矿区分布有铜、钼、铅、锌、银等矿体,赋存于泥盆系南湾组中、上段地层中。区内矿体主要为隐伏矿体,矿区圈出钼矿体6个,其中M-II矿体规模最大,M-I次之。赋矿围岩主要为绿帘黑云石英片岩、绿帘黑云片岩、含绿帘二云石英片岩、黑云斜长石英片岩、黑云石英片岩等,矿体与围岩均呈渐变过渡关系,无明显界线。M-I矿体东西长1360 m,南北宽160～520 m,平面投影面积0.40 km^2,矿体平均厚度15.21 m。M-II矿体东西长1600 m,南北宽320～1030 m,平面投影面积1.15 km^2,矿体平均厚度194.68 m。

矿体中金属硫化物主要包括黄铜矿、闪锌矿、辉钼矿、黄铁矿、方铅矿等,脉石矿物主要包括石英、斜长石、钾长石、绿帘石、黑云母等。矿石的构造类型丰富,常见的有浸染状构造、脉状构造、块状构造等。

1.3　成矿阶段划分

根据矿体与围岩的接触关系,以及室内岩相学观察,将信阳千鹅冲钼矿成矿过程分为6个

阶段。

石英-钾长石阶段:该阶段黄铁矿以稀疏浸染状分布于矿石之中,辉钼矿则呈星散状分布,上围岩裂隙中含有脉状构造(图2a)。辉钼矿-磁铁矿-钾长石-石英阶段:该阶段主要呈浸染状构造,部分呈断续细脉状构造(图2b)。辉钼矿-石英阶段:该阶段是主成矿阶段,黄铁矿在矿石中呈浸染状分布,部分自形黄铁矿颗粒沿脉石裂隙呈断续脉状分布,辉钼矿多为半自形板条状、片状,分布于黄铁矿边缘及脉石矿物粒间(图2c)。钾长石(绿帘石)-石英阶段:该阶段黄铁矿在矿石中呈零星浸染状分布,或沿岩石裂隙分布;辉钼矿主要为半自形板条状、片状,集合体呈簇状、放射状分布于黄铁矿边缘及脉石矿物粒间(图2d)。硫化物-方解石-石英阶段:该阶段形成了一系列含硫化物的方解石-石英细脉,以填充裂隙并切断早期细脉,为钼成矿尾声。方解石阶段:该阶段形成方解石脉、石英-方解石脉,无金属矿化。

2 黄铁矿标型特征研究

2.1 样品采集和测试方法

矿物学研究为成矿环境、元素赋存状态和矿床成因等研究提供了可靠依据[14]。对采集的信阳千鹅冲钼矿床中石英-钾长石阶段和辉钼矿-石英阶段的多件黄铁矿样品进行成分标型分析(表1),测试工作在中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室完成。表1中采样位置"ZK202, 263.3 m"表示钻孔编号ZK202、样品采集孔深263.3 m,其他位置标注类似。实验室使用岛津EPMA-1720/1720H型电子探针,加速电压(AccV)为15 kV,靶束电流(BC)为20 nA,电子束直径(Beam Size)为5 μm,检出限(SC)为0.01%。

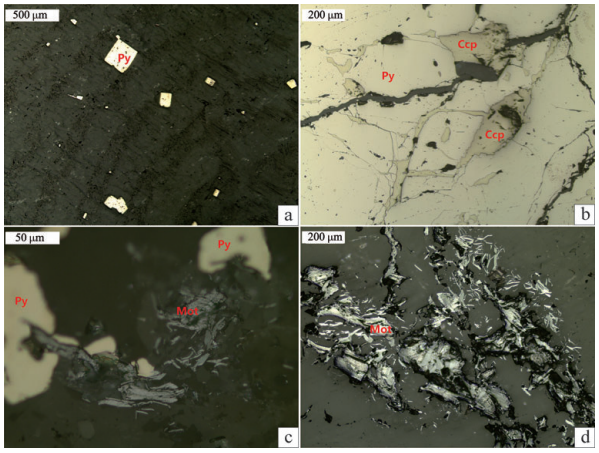


图2 矿石岩相学特征

Fig. 2 Petrographic characteristics of ore

注 a.围岩中的黄铁矿自形粒状浸染分布;b.黄铁矿颗粒中黄铜矿;c.半自形板条状辉钼矿分布于黄铁矿边缘;d.自形板片状辉钼矿集合体Py(黄铁矿)、Ccp(黄铜矿)、Mot(辉钼矿)。

表1 样品采集表

Tab. 1 Sample sheet

样号	描述	成矿阶段	采样位置
19QEC01	多条石英-硫化物脉,脉宽1~2 mm,为主成矿期,矿石矿物Py、Mo、Ccp等,团块状分布	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 263.3 m
19QEC08	早期辉钼矿-石英阶段,脉宽1~2 mm。中期石英-硫化物阶段,脉宽3 mm左右,穿插Q-Mo脉。晚期石英-方解石阶段,穿插石英-硫化物脉,可见紫色萤石	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 288.0 m
19QEC09	浸染状Py,原岩似为砂岩,变质为石英片岩	石英-钾长石阶段	ZK202, 290.0 m
19QEC19	多条石英-硫化物脉,宽1~2 mm,为主成矿期,矿石矿物Py、Ccp等	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 743.0 m
19QEC23	含矿侵入岩体,见多条1 mm宽Q-硫化物细脉,中轴夹角近90°,硫化物亦见浸染状分布,Py为主,亦可见Ccp、Mo发育	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 819.0 m
19QEC25	辉钼矿-Q脉,脉宽5~10 mm,中轴夹角25°,Mo发育于石英脉两壁,对称分布,未见其他硫化物	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 567.0 m
19QEC34	Q-Sp脉,脉宽1.0~1.5 cm,发育条带状闪锌矿,矿脉与ZK202钻孔中轴夹角45°	辉钼矿-石英阶段	ZK202, 732.0 m

2.2 测试结果

通过电子探针数据分析得到黄铁矿元素含量特征,由表2可知,信阳千鹅冲钼矿床黄铁矿各元素含量特征如下:

1) As:石英-钾长石阶段的黄铁矿中As的含量范围(质量分数)为0.001%~0.007%,平均值为

0.004%。辉钼矿-石英阶段的黄铁矿中As的含量范围为0.15%～0.53%,平均值为0.23%。

2) S、Fe:石英-钾长石阶段的黄铁矿中S的含量范围为53.47%～53.57%,平均值为53.51%,Fe的含量范围为46.16%～46.63%,平均值为46.44%。辉钼矿-石英阶段的黄铁矿中S的含量范围为53.00%～53.39%,平均值为53.21%,Fe的含量范围为46.05%～46.92%,平均值为46.58%。与黄铁矿的理论S、Fe含量(Fe质量分数的理论值为46.55%,S为53.45%)相比,石英-钾长石阶段的S、Fe含量接近黄铁矿的理论值,辉钼矿-石英阶段则表现为富铁亏硫。

3) Co、Ni:石英-钾长石阶段Co含量平均值为0.02%,Ni含量平均值为0.04%,w(Co)/w(Ni)比值为0.18～0.82,平均值为0.42;辉钼矿-石英阶段Co含量平均值为0.07%,Ni含量平均值为0.03%,w(Co)/w(Ni)比值为1.01～5.68,平均值为2.71。

4) Cr、Pb、Mn、Sb:石英-钾长石阶段和辉钼矿-石英阶段的黄铁矿中Cr、Pb、Mn、Sb的含量大多都在检测限以下。

表2　千鹅冲矿区内黄铁矿电子探针分析结果

Tab. 2　Electron probe analysis results of pyrite of Qian'echong deposit

样号	质量分数/%											w(Co)/w(Ni)
	As	S	Cr	Pb	Mn	Ag	Fe	Sb	Co	Ni	Total	
19QEC01-1	0.154	53.394	0.001	—	—	0.007	46.922	0.022	0.129	0.071	100.700	1.82
19QEC01-2	0.191	53.352	—	—	—	0.005	46.859	—	0.125	0.022	100.554	5.68
19QEC08-1	0.206	53.086	2.000	—	—	—	46.596	0.006	0.042	0.033	99.971	1.27
19QEC08-2	0.189	53.000	—	0.082	0.007	0.011	46.483	—	0.066	0.065	99.903	1.01
19QEC09-1	0.001	53.509	0.022	0.027	—	—	46.372	0.008	0.034	0.077	100.249	0.31
19QEC09-2	0.001	53.491	0.027	—	—	0.008	46.159	0.027	0.018	0.022	99.754	0.82
19QEC09-3	0.007	53.496	0.008	0.011	0.006	—	46.629	—	0.008	0.043	100.208	0.19
19QEC09-4	0.007	53.573	—	—	0.003	0.008	46.490	—	0.022	0.051	100.154	0.43
19QEC09-5	0.005	53.469	0.024	0.038	—	0.007	46.444	0.007	0.010	0.018	100.022	0.56
19QEC09-6	0.002	53.524	0.015	—	—	0.003	46.556	—	0.009	0.051	100.241	0.18
19QEC19-1	0.196	53.294	0.006	0.039	—	—	46.616	—	0.061	0.047	100.259	1.30
19QEC19-2	0.191	53.196	0.003	0.046	—	—	46.315	—	0.025	0.019	99.896	1.32
19QEC19-3	0.205	53.222	—	—	—	0.032	46.709	—	0.075	0.014	100.257	5.36
19QEC23-1	0.206	53.210	0.008	—	—	—	46.529	0.011	0.088	0.018	100.071	4.89
19QEC23-2	0.197	53.366	—	0.072	—	—	46.569	0.006	0.055	0.022	100.287	2.50
19QEC25-1	0.213	53.147	—	—	—	—	46.577	—	0.033	0.032	100.002	1.03
19QEC25-2	0.225	53.230	0.016	—	—	0.006	46.604	—	0.009	0.006	100.096	1.50
19QEC34-1	0.533	53.041	0.007	0.027	—	—	46.481	0.001	0.071	0.040	100.201	1.78
19QEC34-2	0.292	53.273	0.005	0.122	0.006	0.036	46.749	—	0.092	0.032	99.606	2.88
19QEC34-3	0.282	53.147	0.036	0.022	—	—	46.052	—	0.062	0.051	100.117	5.64

注　'—'代表低于仪器检测限。

3　讨论

沉积型黄铁矿中Fe、S含量与黄铁矿理论值相近或者S含量较高,岩浆热液型黄铁矿中Fe、S含量变化范围较大,并且呈现亏硫的特征[15]。信阳千鹅冲钼矿床石英-钾长石阶段与沉积型黄铁矿的Fe、S含量相近,辉钼矿-石英阶段与岩浆热液型黄铁矿的Fe、S含量接近。

黄铁矿中的Co、Ni含量可以有效指示其成因类型[16]。岩浆热液型黄铁矿中,Co含量较高,并且Co含量大于Ni含量。本矿区辉钼矿-石英阶段Co含量明显高于Ni含量。Bralia等[7]认为在不同成因类型的黄铁矿中,w(Co)/w(Ni)比值是不同的。在沉积型黄铁矿中Co和Ni的含量都比较低,且w(Co)/w(Ni)比值低于1,平均值为0.63;在岩浆热液型黄铁矿中Co和Ni的含量较高,w(Co)/

w(Ni)比值的变化也较大,在1.12~5.00之间。信阳千鹅冲矿区内的黄铁矿电子探针数据表明,石英-钾长石阶段w(Co)/w(Ni)比值平均值为0.42,分布在0.18~0.82之间;辉钼矿-石英阶段的w(Co)/w(Ni)比值平均值为2.71,分布在1.01~5.68之间,分别集中在沉积成因和岩浆热液成因黄铁矿区域(图3)。综上,该区石英-钾长石阶段的黄铁矿属于沉积成因,而辉钼矿-石英阶段的黄铁矿具有明显的岩浆热液成因特征。

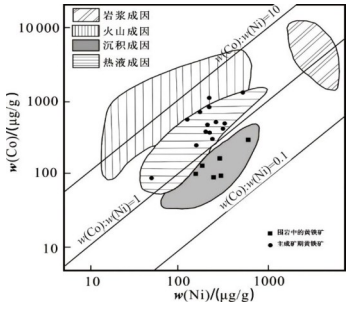


图3　黄铁矿Co、Ni成因图解(据文献[14]修改)

Fig. 3　Diagram of the origin of Co and Ni in Pyrite (Modified from Ref. [14])

大别造山带是历经多次碰撞造山后拼贴的复杂构造带,多期次岩浆活动及复杂多样的构造型式为成矿物质的迁移、聚集创造了有利的空间。研究区内大型断裂的长期活动性和继承性,不仅控制着中酸性岩体的就位,还有利于成矿物质的反复叠加。研究区高硅、高钾、分异指数高的偏酸性岩体具有成矿专属性,钼矿化强,而铜矿化较弱。当围岩裂隙发育时,深部高温高压的富含钼元素的岩浆热液沿围岩裂隙上升,在外接触带附近富集沉淀。

早白垩世后期,本区处于碰撞造山后期的构造伸展环境,深部岩浆热液沿构造软弱带上侵,成矿流体上升至地层破碎带及其裂隙发育部位时,受物理化学条件突变影响,成矿热液在破碎带等构造有利部位发生沉淀成矿。结合基础地质及岩相学特征,认为信阳千鹅冲钼矿为较典型的斑岩型钼矿床。

4　结论

通过野外勘查、室内岩相学及矿物学工作,对信阳千鹅冲钼矿床的研究发现:

1)信阳千鹅冲钼矿属于大别山金银铜铅锌钼矿成矿带,区内构造演化复杂,成矿条件优越。

2)不同成矿阶段黄铁矿标型特征表明,该矿床黄铁矿具有多种成矿物质来源特征,早期石英-钾长石阶段黄铁矿属于沉积成因,而主成矿期辉钼矿-石英阶段黄铁矿属于岩浆热液成因。

3)结合大地构造演化及基础地质特征,千鹅冲钼矿床为较典型的斑岩型钼矿床。

参考文献:

[1] Dong Yunpeng, Shi Xiaohui, Sun Shengsi, et al. Co-evolution of the Cenozoic tectonics, geomorphology, environment and ecosystem in the Qinling Mountains and adjacent areas, Central China [J]. Geosystems and Geoenvironment, 2022, 1(2): 100032.
[2] 陈伟, 毛景文, 徐兆文, 等. 西大别白垩纪两阶段花岗岩成岩及钼成矿作用的讨论[J]. 地球科学, 2018, 43(12): 4638-4650.
[3] 高阳. 大别山千鹅冲和汤家坪斑岩钼矿地质地球化学及成因研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2014: 8-10.
[4] 李法岭. 河南大别山北麓千鹅冲特大隐伏斑岩型钼矿床地质特征及成矿时代[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 457-468.
[5] 李吉林. 河南省光山县千鹅冲矿区钼矿床成因研究[J]. 现代矿业, 2010, 26(7): 79-83.
[6] 张辰光, 刘翼泽, 姚远, 等. 新疆阿帕列克铜多金属矿床矿物学特征对成因的指示意义[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(1): 76-81.
[7] Bralia A, Sabatini G, Troja F. A revaluation of the Co/Ni ratio in pyrite as geochemical tool in ore genesis problems [J]. Mineralium Deposita, 1979, 14(3): 353-374.
[8] 唐相伟, 杨文涛, 严育通, 等. 河南银洞坡金矿黄铁矿微量元素特征及对矿床成因的指示意义[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(3): 445-450.
[9] 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 等. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991: 221-230.
[10] 闫诚, 高锐, 郭晓玉. 深地震反射剖面所揭示的大陆碰撞后期的构造演化:以大别山造山带研究为例[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(5): 1702-1709.
[11] 任爱琴, 张宏伟, 吴宏伟. 河南千鹅冲钼矿地球化学异常特征及找矿模型[J]. 物探与化探, 2014, 38(5): 865-871.
[12] 高阳, 叶会寿, 李永峰, 等. 大别山千鹅冲钼矿区花岗岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄、Hf同位素组成及微量元素特征[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 49-63.
[13] 徐友灵,万守全,李法岭,等. 河南省光山县千鹅冲钼矿勘探报告[R]. 河南省:河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队, 2011: 7-12.
[14] 张辰光. 青海东南部与中生代中酸性火山岩有关的铜金矿成矿学研究[D]. 长沙: 中南大学, 2017: 89-98.
[15] 严育通, 李胜荣, 贾宝剑, 等. 中国不同成因类型金矿床的黄铁矿成分标型特征及统计分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 214-226.
[16] 严育通, 李胜荣, 周红升, 等. 黄铁矿元素蛛网图成分标型方法及其在金矿床中的应用[J]. 黄金, 2016, 37(6): 13-16.

责任编辑:郭红建　张伟博