

编号: 0258-7106 (2012) 01-0041-11

安徽沙坪沟斑岩型钼矿床地质特征及综合找矿信息*

张怀东, 王波华, 郝越进, 程松, 项斌

(安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 安徽 六安 237271)

摘 要 沙坪沟钼矿位于安徽省金寨县, 是在大别山发现的一个特大型隐伏斑岩型钼矿床。文章根据最新的矿床勘查成果, 详细分析了矿床成矿地质条件及矿床地质特征, 得出以下几点认识: 断裂构造不仅是控岩构造, 而且也是导矿构造; 隐伏花岗斑岩体不仅提供了矿质来源, 同时还控制了矿体空间分布、产状及规模。含矿岩体以富硅、富碱、过铝型以及 $\omega(K) > \omega(Na)$ 为特征。岩体与围岩接触带交代蚀变作用强烈, 常见的围岩蚀变有硅化、钾长石化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、方解石化等。同时提出了该地区综合找矿信息及找矿思路。

关键词 地质学 斑岩型钼矿 地质特征 综合找矿信息 沙坪沟 安徽

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Geological characteristics and comprehensive ore-prospecting information of Shapinggou porphyry-type molybdenum deposit in Anhui Province

ZHANG HuaiDong, WANG BoHua, HAO YueJin, CHENG Song and XIANG Bing

(No. 313 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Lu'an 237271, Anhui, China)

Abstract

Located geographically in Jinzhai of Anhui Province, the Shapinggou porphyry-type molybdenum deposit is a superlarge molybdenum deposit in eastern Dabie orogen. The authors studied the metallogenic conditions and geological characteristics of this ore deposit on the basis of the latest exploration results. The faulted structures played both ore-controlling and ore-hosting roles, and the metallogenic material originated from the concealed granite-porphyry bodies, which controlled the shapes, attitudes and sizes of the ore bodies. The ore-bearing intrusions are characterized by enrichment of SiO_2 and alkali, relatively high Al_2O_3 and higher K_2O than Na_2O . There are extensive metallogenic alterations in the contact zone between the intrusion and the wall rock, such as silicification, K-feldspathization, pyritization, sericitization, chloritization and calcitization. The comprehensive ore-prospecting information and idea for such ore deposits are put forward in the paper.

Key words: geology, porphyry-type molybdenum deposit, geological characteristics, comprehensive ore-prospecting information, Shapinggou, Anhui

安徽省金寨县沙坪沟钼矿床是安徽省地质矿产勘查局 313 地质队于近几年发现和探明的一个特大型钼矿床, 也是中国目前最大的世界级钼矿床, 属单

一金属钼的斑岩型钼矿床。

20 世纪 70 年代末到 90 年代末, 313 地质队曾 4 次进入银沙地区, 先后开展过区域地质调查、地球物

* 本文得到安徽省地质矿产勘查局 313 地质队“安徽省金寨县沙坪沟钼矿床勘查项目”资助

第一作者简介 张怀东, 男, 1972 年生, 工程师, 长期在大别山从事矿产勘查工作。Email: huaidong313@163.com

收稿日期 2011-10-10; 改回日期 2011-11-21。许德焕编辑。

理及地球化学探查、槽探及钻探等工作,取得了一批翔实的基础资料。其中,最有价值的一份报告(1981年313地质队提交的《安徽省金寨县银沙地区铅锌多金属普查报告》)认为:“本区辉钼矿化与爆发角砾岩体有明显的成因联系,特别是局部地区深部已有明显集富成矿现象。由此,可与斑岩型钼矿相类比,可见它的找矿价值^①。但因当时缺少经费,致使该区的勘查工作暂停。

20世纪90年代,在该区开展以寻找铅锌矿为主要工作的313地质队认为:铅锌矿成因属热液充填型脉状铅锌矿,规模小,工业价值不大,但在局部地段铜、钼有明显富集现象,其成因类型可与斑岩型钼铜矿相类比。

2001年以来,313地质队在该区开展了以寻找斑岩型铜、钼矿为主的综合研究工作,认为:沙坪沟地区与河南汤家坪钼矿毗邻,成矿地质条件相似,矿化蚀变特征相近,符合斑岩钼矿成矿模式,具备深部钻探验证条件。

2008年6月,钻探首孔即见矿体,自512.16 m至终孔(1 201.09 m)连续见厚度达688.93 m的钼矿,平均品位为0.10%,数字惊人,从而获得“岩体上部围岩全岩矿化”的新认识,突破了以前的脉状矿化的束缚。随后,采用十字剖面法对含矿岩体进行总体控制,初步圈出了钼主矿体的分布范围,控制矿体长900 m,宽800 m,最大厚度900 m。至此,一个特大型隐伏矿床终于浮出水面。

2011年7月21日《安徽省金寨县沙坪沟钼矿床详查地质报告》通过评审,提交出332+333矿石量17亿t(钼金属量237.96万t), $w(\text{Mo})$ 平均为0.14%。其中,工业矿石量11.95亿t(钼金属量214.06万t), $w(\text{Mo})$ 平均0.179%^②。

本文初步阐述了沙坪沟钼矿床的地质特征,并提出了该区钼矿综合找矿信息,以期有助于提高对成矿规律的认识,推动矿区外围找矿取得新进展。

1 区域地质背景及矿区地质

1.1 区域地质背景

沙坪沟钼矿床位于秦岭-大别造山带的东部,桐

(柏)桐(城)断裂带北侧的北淮阳成矿带(图1),属东秦岭-大别钼成矿带东段的南成矿亚带(杜建国,2000)。

该成矿亚带位于桐柏-桐城断裂带内,主要产出受中生代火山岩盆地或其边缘隆起区控制的与火山-次火山作用有关的矿床,矿化类型以金、银、钼矿化为主,典型矿床有肖畈、干鹅冲、汤家坪、沙坪沟钼矿床等。

区域构造格架大致表现为近EW向与NE向2组构造所形成的格子状构造体系。北淮阳构造带夹持于华北地块(I)与桐柏-大别造山带(II)之间(图1),桐柏-桐城断裂和六安断裂构成其南北边界,西至南阳盆地,东止于郟庐断裂。根据北淮阳地区内岩石、地层、构造环境演化特征,自下而上划分为4个构造岩石地层单元:中元古界庐镇关(岩)群(苏家河群、红安群);新元古界—下古生界佛子岭(岩)群(信阳群);石炭系杨山群;中生界—新生界未变质的陆相盆地堆积^③。

区域内岩浆岩较发育,其形成时代为元古代、古生代和中生代,与成矿关系密切的岩浆岩主要为燕山期。燕山期岩浆岩可分为钙碱性和碱性2个岩石系列,在秦岭-大别造山带东段,与之对应出现2个火山旋回,即晚侏罗世毛坦厂第一火山旋回和早白垩世晓天第二火山旋回,前者为钙碱性岩石系列,形成于燕山期陆内挤压构造环境,后者则形成于陆壳拉张环境。

1.2 矿区地质

沙坪沟矿区内出露的地层为中元古界庐镇关(岩)群变火山-沉积岩,出露于矿区的西部和北部,强烈的岩浆侵入作用使该套地层被肢解呈残留体产出(图2)。

矿区内断裂构造发育。区域性桐(柏)-桐(城)断裂带呈NWW向从矿区南部穿过,总体倾角50~80°,出露宽度150~300 m,沿断裂带形成有糜棱岩化及片理化带,其中的岩石破碎、劈理发育,波及范围达数百米至千余米。此外,还发育次级张性、张扭性断裂构造,长300~2 000 m,以NE向(60°左右)断裂最为发育(图2),其次为NW向断裂。脆性断裂是该矿区浅部铅锌、银、萤石等脉状矿体的主要控矿构造。

① 安徽省地质矿产局313地质队. 1981. 安徽省金寨县银沙多金属矿区初步普查地质报告. 内部资料.

② 安徽省地质矿产勘查局313地质队. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿详查地质报告. 内部资料.

③ 王波华,等. 2008. 安徽省北淮阳地区内生金、多金属找矿研究报告. 内部资料.

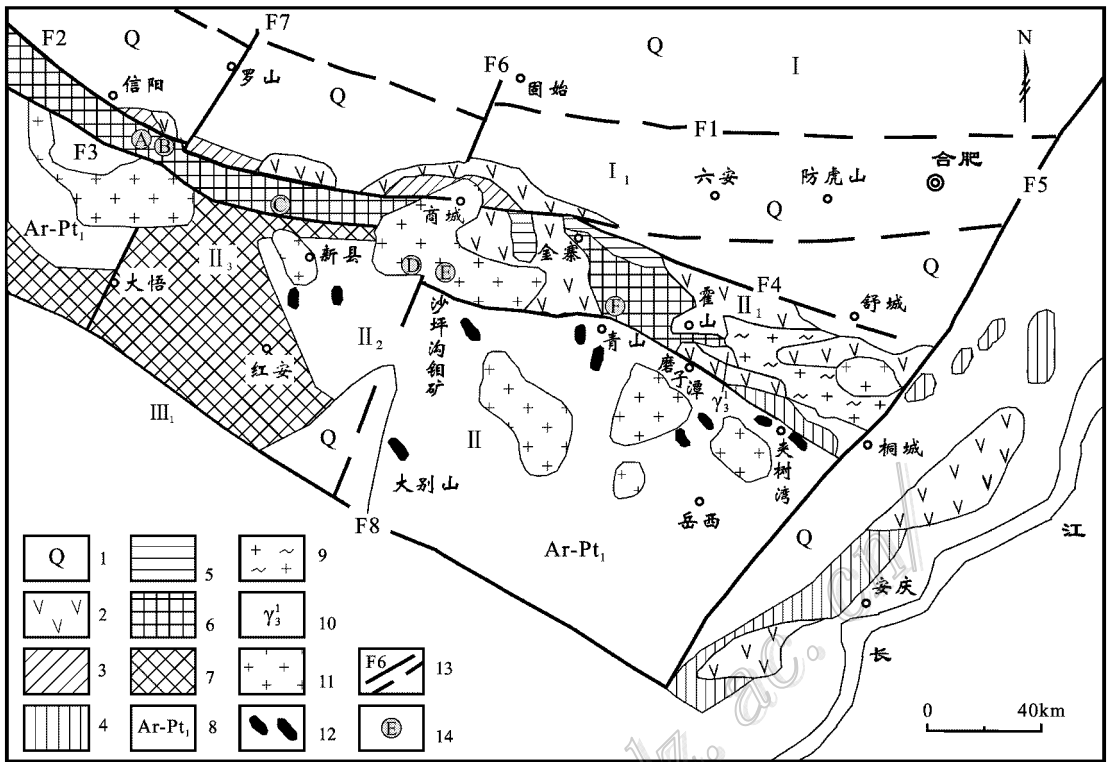


图 1 秦岭-大别造山带东段区域地质图(据 313 地质队 2011^①)

1—第四系；2—中生界火山沉积岩；3—石炭系；4—扬子地台盖层；5—下古生界佛子岭(岩)群浅变质岩；6—新元古界信阳群(云母石英片岩、斜长角闪岩)；7—中元古界庐镇关群、苏家河群(变粒岩、大理岩、石墨片岩)；8—古元古界-新太古界大别变质杂岩；9—晋宁花岗岩；10—加里东花岗岩；11—中生代花岗岩；12—基性岩块；13—实测/推测断裂及编号：F1—固始-合肥断裂；F2—信阳-防虎山断裂；F3—桐(柏)桐(城)断裂；F4—龟(山)梅(山)断裂；F5—颍(城)庐(江)断裂；F6—商(城)麻(城)断裂；F7—罗山-大悟断裂；F8—随县-浠水断裂；14—钼矿床及编号：①. 肖畈钼矿；②. 母山钼矿；③. 千鹤冲钼矿；④. 汤家坪钼矿；⑤. 沙坪沟钼矿；⑥. 青山钼矿点；I—华北地块；I₁—华北地块南缘逆冲构造带；II—桐柏-大别构造带；II₁—北淮阳陷复合褶皱带；II₂—桐柏-大别裂解岛基底；II₃—桐柏-大别中元古代岛弧海盖层；III₁—扬子地块北缘逆冲构造带

Fig. 1 Regional geological map of the eastern block of the Qinling-Dabie orogenic belt (after No. 313 Geological Party, 2011)
1—Quaternary; 2—Mesozoic volcanic sedimentary rock; 3—Carboniferous; 4—Cover of Yangtze platform; 5—Low-grade metamorphic rock of Lower Paleozoic Foziling Group; 6—Neoproterozoic Xinyang Group (mica quartz schist, plagioclase amphibolite); 7—Mesoproterozoic Luzhuguan Group, Sujiahe Group (leptynite, marble, graphitization schist); 8—Paleoproterozoic-Neoproterozoic Dabie metamorphic complex; 9—Jinning granite; 10—Caledonian granite; 11—Mesozoic granite; 12—Basic massif; 13—Fault and its serial number: F1—Gushi-Hefei fault; F2—Xinyang-Fanghushan fault; F3—Tongbo-Tongcheng fault; F4—Guishan-Meishan fault; F5—Tancheng-Lujiang fault; F6—Shangcheng-Macheng fault; F7—Luoshan-Dawu fault; F8—Suixian-Xishui fault; 14—Mo deposits and its serial number: ①. Xiaofan Mo deposit; ②. Mushan Mo deposit; ③. Qian 'echong Mo deposit; ④. Tangjiaping Mo deposit; ⑤. Shapinggou Mo deposit; ⑥. Qingshan Mo ore spot; I—North China block; I₁—Thrusting belt on the southern margin of North China block; II—Tongbo-Dabie structural belt; II₁—North Huaiyang faulted depression compounding folded belt; II₂—Basement of Tongbo-Dabie splitting island; II₃—Tongbo-Dabie Mesoproterozoic island arc marine cover bed; III₁—Thrusting belt on the northern margin of Yangtze block

矿区内中生代岩浆岩发育,分布广泛,岩性以中、细粒二长花岗岩为主,次为花岗闪长岩、石英(黑云)正长岩、闪长岩等,它们与多金属矿化无关。经钻探验证,在石英正长岩体下部存在隐伏斑岩体,由含黑云母花岗斑岩、花岗斑岩、含黑云母二长花岗岩

等组成,与钼矿关系密切。

沙坪沟隐伏花岗斑岩体赋存于矿区中部,仅在部分钻孔内有揭露。已知其顶部标高为 0~ -100 m,与围岩呈侵入接触,界面清楚,岩体与围岩的接触带蚀变强烈,蚀变类型有钾化、硅化和绢云母化,并伴

① 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿详查地质报告. 内部资料.

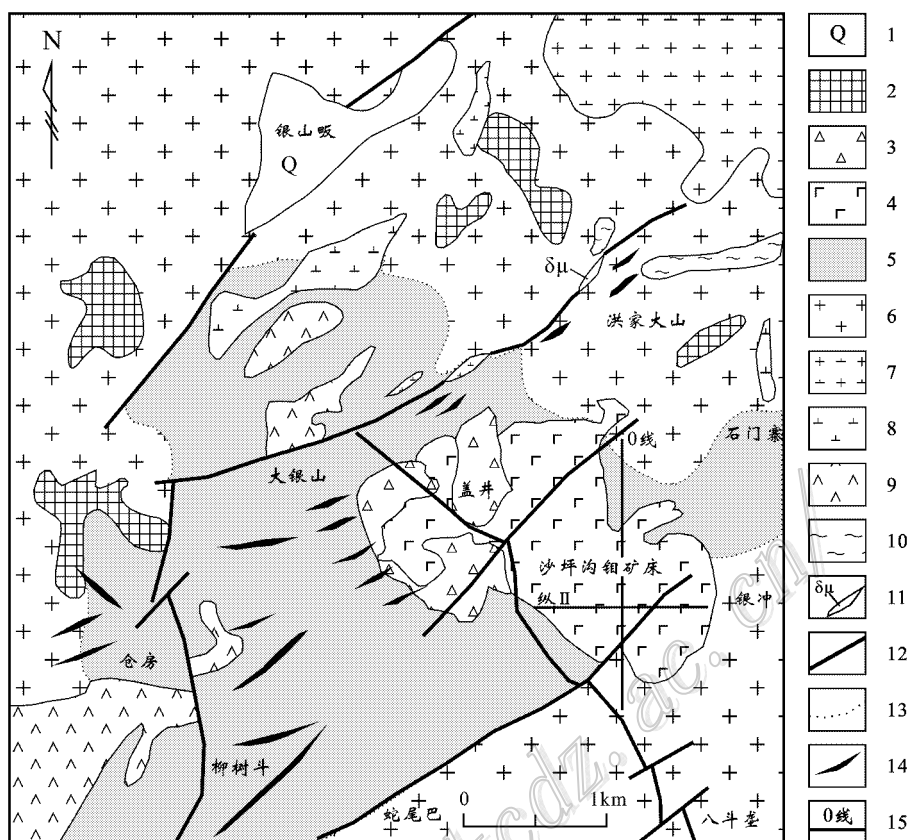


图2 沙坪沟钼矿区地质略图(据313地质队,2011^①)

1—第四系;2—中元古界庐镇关群斜长角闪片麻岩;3—爆破角砾岩;4—石英正长岩;5—细粒二长花岗岩;6—中粒二长花岗岩;7—花岗闪长岩;8—闪长岩;9—辉石角闪岩;10—花岗斑岩脉;11—闪长玢岩脉;12—断层;13—岩相界线;14—铅锌矿脉;15—剖面线及编号

Fig. 2 Geological sketch map of the Shapinggou Mo ore district (after No.313 Geological Party, 2011)

1—Quaternary; 2—Amphibolite gneiss of Mesoproterozoic Luzhenguan Group; 3—Explosive breccia; 4—Quartz syenite; 5—Fine-grained adamellite; 6—Medium-grained adamellite; 7—Granodiorite; 8—Diorite; 9—Pyroxene amphibolite; 10—Granite porphyry vein; 11—Diorite porphyry dyke; 12—Fault; 13—Lithofacies boundary; 14—Pb-Zn ore vein; 15—Geological section and its serial number

生有钼矿化。

岩石化学特征(表1)表明,与中国花岗岩平均化学成分相比,沙坪沟隐伏花岗斑岩的 SiO_2 、 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 含量较高,而其他氧化物的含量稍低;与该区相邻的汤家坪、千鹤冲等控矿岩体的化学成分相比,其主要特征基本一致。

2 矿床特征

2.1 矿体的空间分布

沙坪沟钼矿床的钼主矿体只有一个,占总金属

资源量的99.93%,数量众多的零星小矿体多围绕主矿体分布,以分布在主矿体两侧的居多。

以沙坪沟钼矿床为中心,铅锌矿点围绕其呈环形分布,其西侧为仓房铅锌矿,西北侧为银山铅锌矿,北侧为洪家大山铅锌矿,东北侧为石门寨铅锌矿,东侧为银冲铅锌矿,南侧为上、下八斗垄铅锌矿点,西南侧为蛇尾巴铅锌矿(图2)。

区内的铅锌矿体对各类围岩并无选择性,矿体严格受断裂和裂隙的控制,主要以沿裂隙充填为主,部分矿体呈浸染状分布于构造蚀变岩中。赋矿围岩主要为中、细粒二长花岗岩和花岗闪长岩。

① 安徽省地质矿产勘查局313地质队. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿详查地质报告. 内部资料.

表 1 沙坪沟矿区花岗质岩石分析结果表

Table 1 Analytical results of granitic rocks from the Shapinggou ore district

样号	岩性	采样位置/m	$w(B)\%$										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂
ZH21	正长岩	184.39~199.19	65.98	14.23	4.28	0.77	1.00	1.07	4.87	3.44	0.25	0.06	0.57
ZH22	花岗岩	213.39~228.39	64.29	12.79	4.85	0.51	0.89	2.79	4.92	2.42	0.19	0.04	0.52
ZH23	花岗岩	316.19~331.09	77.12	11.08	0.88	1.19	0.18	0.45	5.43	2.04	0.05	0.02	0.12
ZH24	花岗岩	376.37~391.01	73.42	12.22	0.95	0.87	0.60	0.85	7.26	1.55	0.17	0.02	0.46
ZH25	花岗岩	391.01~405.51	81.21	9.20	0.88	0.87	0.11	0.41	5.00	1.64	0.03	0.02	0.10
ZH26	花岗斑岩	536.12~549.32	78.42	10.15	0.69	1.03	0.11	0.47	5.81	1.68	0.04	0.02	0.14
ZH27	花岗斑岩	621.94~636.51	81.84	8.16	0.54	0.77	0.10	0.56	5.10	1.20	0.03	0.02	0.17
ZH28	花岗斑岩	843.15~858.00	78.90	10.20	0.31	1.65	0.14	1.21	4.81	2.58	0.04	0.02	0.09
ZH29	花岗斑岩	988.20~1001.5	78.50	10.36	0.50	1.85	0.14	1.06	4.40	3.01	0.03	0.03	0.09
ZH30	花岗斑岩	1046.2~1060.7	76.94	11.32	0.42	1.44	0.14	0.89	5.16	3.09	0.04	0.03	0.11
ZH31	正长岩	388.17~407.49	68.62	11.96	5.18	0.62	0.26	0.49	5.00	2.61	0.10	0.02	0.32
ZH32	正长岩	457.78~467.83	61.84	14.38	4.82	1.78	0.52	2.12	5.92	4.34	0.27	0.04	0.36
平均			73.92	11.32	2.025	1.112	0.349	1.030	5.307	2.465	0.103	0.028	0.254

注：ZH21 号样品至 ZH30 号样品采自 ZK02 孔，ZH31 号样和 ZH32 号样品采自 ZK01 孔。测试单位：安徽省地质矿产勘查局 313 地质队实验室。SiO₂ 采用重量法+硅钼蓝比色法；CaO、MnO、MgO、K₂O、Na₂O 采用原子吸收分光光度法；Al₂O₃ 采用氟盐取代 EDTA 容量法；Fe₂O₃ 采用邻菲罗啉比色法；FeO 采用重铬酸钾容量法；P₂O₅ 采用钼蓝分光光度法；TiO₂ 采用二吡啶甲烷光度法。

2.2 矿体特征

沙坪沟钼矿床为隐伏矿，矿体保存完整，呈筒状，矿体厚度大，矿化连续。钼矿体赋存在隐伏花岗斑岩体与正长岩（围岩）的接触带中（张怀东等，2010a），富矿体主要分布在花岗斑岩体的顶部，低品位矿主要产在远离接触带的围岩（正长岩）中。

矿体规模

矿体的水平投影为不规则的椭圆形，长轴为 NWW 向。矿体东西长 1 350 m，南北宽 1 000 m，最大见矿厚度 945.15 m，平均厚度 661.32 m。主矿体顶板海拔标高为 140.72 m，底板海拔标高为 -942.35 m。主矿体顶板埋深最小为 184.25 m（ZK02），最大为 768 m（ZK63），平均埋深为 456.29 m，矿体底板埋深最小为 795.46 m（ZK06），最大为 1 345.43 m（ZK54），平均埋深为 1 147.87 m^①。

矿体形态及产状

矿体形态总体呈一巨大的椭球体，在剖面上可见低品位矿石呈环状分布在工业矿石的四周。由于受花岗斑岩穹窿的控制，矿体的中心部位也是厚度最大的主体部位，处于岩体穹状隆起的中心部位（图 3），总体近于水平，向四周逐渐变薄直至尖灭，其产状也不同程度地有向中心内倾的趋势。矿体与围岩

呈渐变关系，无明显界线。

2.3 矿石特征

矿石矿物成分

经大量光/薄片鉴定、人工重砂分析、电子探针分析、物相分析等，现已查明矿体内含有矿物种类共 40 种，其中矿石矿物 17 种，脉石矿物 23 种（详见表 2）。

物相分析结果表明，矿石中辉钼矿的 $w(Mo)$ 占总钼含量的 96.97%~97.93%，钼酸钙的 $w(Mo)$ 占 0.6%~0.48%，钼华的 $w(Mo)$ 占 1.53%~1.27%，钼酸铅的 $w(Mo)$ 占 0.06%~0.91%。

电子探针分析结果表明：辉钼矿的 $w(Mo)$ 为 59.70%~60.75%，平均为 60.23%，略高于理论值 59.94%； $w(S)$ 为 38.56%~40.25%，平均为 39.67%，略低于理论值 40.06%； $w(Re)$ 含量为 0~0.16%，平均为 0.043%，远高于一般辉钼矿的 0.002%^②。

综上所述，沙坪沟钼矿床中的有用含钼矿物仅为辉钼矿，其粒径变化为 -0.16~+0.02 mm；在辉钼矿中，类质同象替代甚微。

辉钼矿主要沿各种脉体分布，在钾长石-石英细脉、黄铁矿-绢云母-石英细脉中，辉钼矿集合体呈稀疏浸染状充填于石英等脉石矿物中，说明它与相对较早形成的钾长石、黄铁矿、绢云母关系密切。

① 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿详查地质报告. 内部资料.
② 安徽省地质实验研究所. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿物质组分及其赋存状态研究. 内部资料.

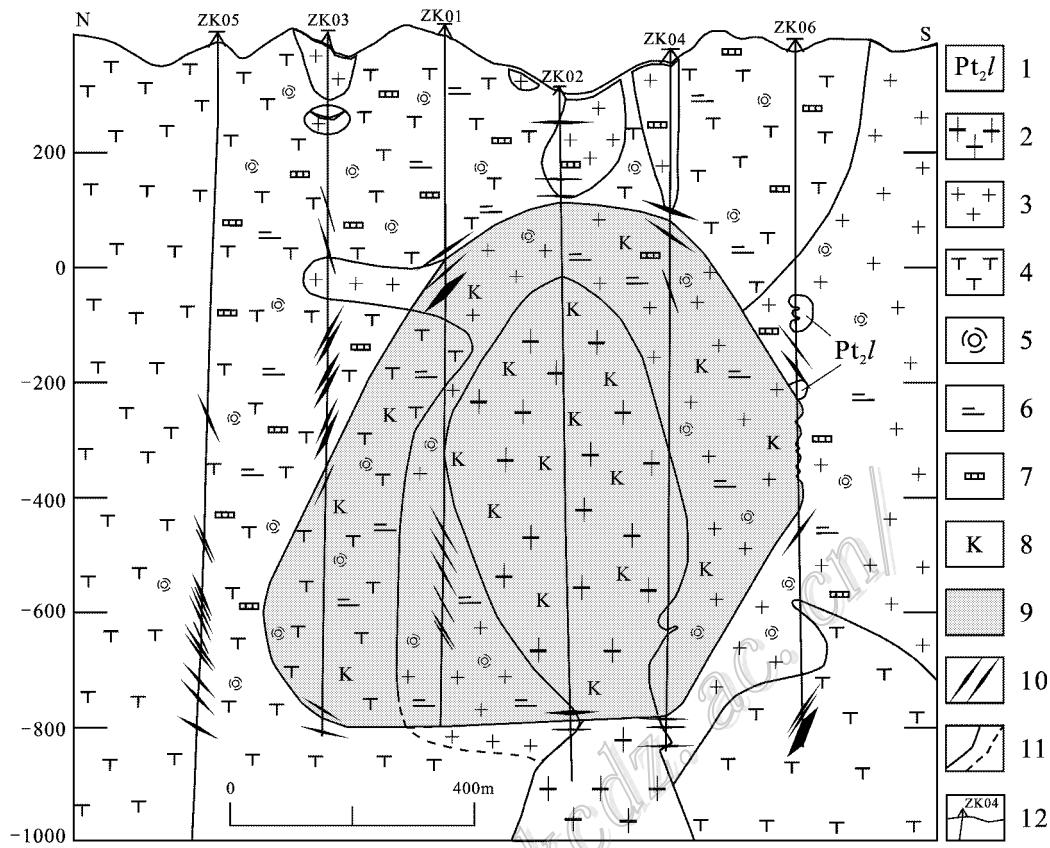


图 3 沙坪沟钼矿床 0 线示意剖面图

1—中元古界庐镇关群斜长角闪片麻岩；2—花岗斑岩；3—花岗岩；4—正长岩；5—硅化；6—绢云母化；7—黄铁矿化；8—钾长石化；
9—钼矿体；10—花岗斑岩脉；11—地质界线；12—钻孔

Fig. 3 Geological section along No. 0 exploration line of the Shapinggou Mo deposit

1—Amphibolite gneiss of Mesoproterozoic Luzhenguang Group ;2—Granite porphyry ;3—Granite ;4—Syenite ;5—Silicification ;
6—Sericitization ;7—Pyritization ;8—K-feldsparization ;9—Mo ore body ;10—Granite porphyry vein ;11—Geological boundary ;
12—Drill hole

表 2 沙坪沟钼矿床矿物种类一览表

Table 2 Mineral species of the Shapinggou Mo deposit

矿物种类	矿石矿物			脉石矿物		
	主要	次要	微量或偶见	主要	次要	少量至微量
硫化物	辉钼矿	黄铁矿	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、铜蓝、磁黄铁矿、辉铋矿			
氧化物			磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿、褐铁矿、铌铁矿	石英		金红石
硅酸盐、钨酸盐和碳酸盐			白钨矿、黑钨矿	钾长石	斜长石 钠长石 绢云母 白云母 黑云母	锆石、绿泥石、绿帘石、角闪石、阳起石、电气石、方解石
磷酸盐						磷灰石、磷钼矿、独居石石膏、
硫酸盐					硬石膏	重晶石、黄钾铁矾萤石
氟化物						
自然元素			自然铋			
结构构造	自形-半自形鳞片结构,他形-半自形晶粒状结构,星散浸染状构造,细脉浸染状构造			斑状结构,他形-半自形粒状结构,他形粒状变晶结构,显微粒状变晶结构,显微鳞片变晶结构,块状构造		

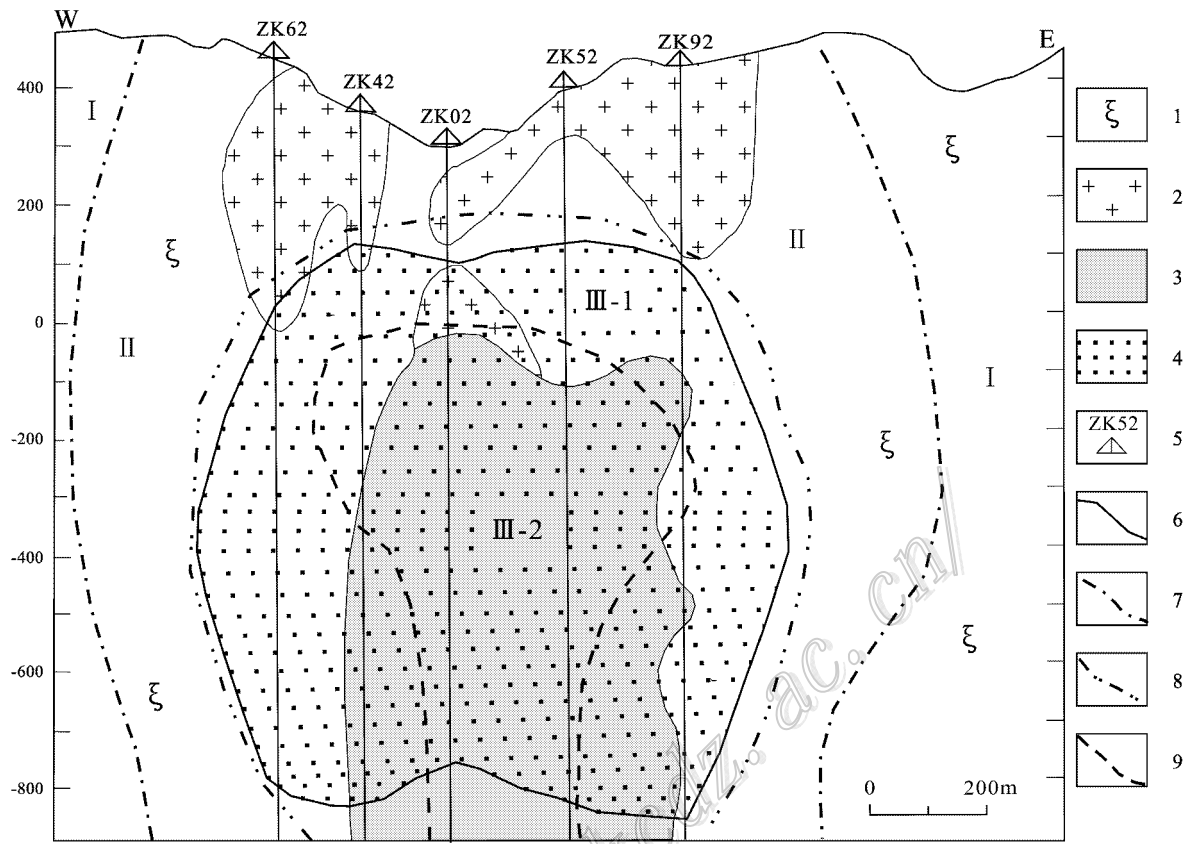


图 4 沙坪沟钼矿纵Ⅱ剖面蚀变分带图

1—正长岩；2—花岗岩；3—花岗斑岩；4—钼矿体；5—钻孔及编号；6—矿体界线；7—绿泥石化带与黄铁绢英岩化带界线；8—黄铁绢英岩化带与弱钾长石化带界线；9—强钾长石化带与弱钾长石化带界线；Ⅰ—绿泥石化带；Ⅱ—黄铁绢英岩化带；Ⅲ-1—绢英岩化与弱钾长石化混合带；Ⅲ-2—强钾长石化带

Fig. 4 No. II geological vertical section showing distribution of alteration zones in the Shapinggou Mo deposit

1—Syenite；2—Granite；3—Granite porphyry；4—Mo ore body；5—Drill hole and its serial number；6—Ore body boundary；7—Chlorite and pyrite phyllic alteration zone boundary；8—Pyrite phyllic and weak K-feldspar alteration zone boundary；9—Strong K-feldspar and weak K-feldspar alteration zone boundary；Ⅰ—Chlorite alteration zone；Ⅱ—Pyrite phyllic alteration zone；Ⅲ-1—Phyllic alteration and weak K-feldspar alteration mixed zone；Ⅲ-2—Strong K-feldspar alteration zone

结构构造

矿石常见的结构为鳞片(粒)状结晶结构、熔蚀交代结构、压碎结构、固溶体出溶结构、填隙结构、他形-半自形粒状结构等(张怀东等 2010a)。

矿石构造主要为网脉状构造,次为浸染状构造。

2.4 蚀变类型与分带性

沙坪沟矿区内围岩蚀变十分发育,主要与隐伏花岗斑岩有关。据其蚀变类型及矿物组合,自斑岩体向外,可划分出 3 个蚀变带:钾(钠)长石-硅化带,黄铁绢英岩化带,绿泥石-碳酸盐化带(图 4)(张怀东等 2010b)。

绿泥石-碳酸盐化带(Ⅰ)

发育在斑岩体的边部,位于黄铁绢英岩化带的

外侧,与成矿关系不密切。特征蚀变矿物为绿泥石、方解石、高岭石,含少量绢云母。较早形成的绿泥石呈鳞片状、叶片状交代黑云母,片径为 0.05~0.5 mm 不等,集合体呈黑云母假象,有的集合体中见少量黑云母残余。较晚形成的绿泥石大多为蠕绿泥石,呈蠕虫状,集合体与方解石、萤石等共生,多呈显微脉状分布于矿石中。矿石中的绿泥石主要为前一种绿泥石,后一种绿泥石含量甚微。绿帘石属偶见矿物,呈他形粒状。

黄铁绢英岩化带(Ⅱ)

位于主矿体的顶部或边部,厚度为 200~600 m。主要蚀变矿物为绢(白)云母、石英、黄铁矿,含少量绿泥石,有微量萤石、方解石等。蚀变矿物既可呈分

散浸染状分布,也可能呈细脉、网脉状分布。其中的绢云母呈显微鳞片变晶交织分布,或分布于石英晶隙间,或包裹于石英晶粒内,部分绢云母已重结晶为白云母。石英呈显微粒状变晶镶嵌,或分布于绢云母之间,粒径多小于 0.1 mm。黄铁矿呈半自形-自形粒状分布于石英、绢云母集合体中,粒径小于 0.5 mm,有的黄铁矿晶粒内包裹有石英、绢云母,近地表的黄铁矿有部分已蚀变为褐铁矿、黄铁钾矾。

钾(钠)长石化-硅化带(Ⅲ)

按蚀变矿物组合可进一步划分为 2 个蚀变亚带:

(1)绢(云)英岩化和弱钾长石化混合蚀变亚带(Ⅲ-1),主要分布于低品位钼矿体中及其顶板以上 100~200 m 左右的部位。蚀变矿物主要为石英、白云母、绢云母,次为钾长石、钠长石,含少量黑云母、绿泥石、萤石、磷灰石,局部有黄铁矿。蚀变矿物集合体呈浸染状、细脉状、网脉状分布。

(2)强钾(钠)长石化蚀变亚带(Ⅲ-2),工业富矿体主要分布于此带,与绢英岩化和弱钾长石化混合蚀变亚带呈渐变关系。该蚀变带中的钾长石化、钠长石化普遍较强。蚀变矿物主要为钠长石、钾长石、石英、白云母,含少量硬石膏、黄铁矿、绢云母,有微量萤石、绿泥石、黑云母、磷灰石等。石英、钾长石、钠长石多呈显微粒状变晶镶嵌,集合体多呈细脉、网脉状分布,粒径多小于 0.03 mm,脉中普遍含辉钼矿。部分石英分布于浸染状白云母、绢云母集合体中。硬石膏呈他形粒状,粒径为 0.03~1 mm,集合体既可呈分散浸染状分布,亦可分布于含钼石英脉中。白云母、绢云母呈显微鳞片变晶,两者大多紧密共生,但白云母远多于绢云母,部分白云母仍具有绢云母的特征,集合体多呈分散浸染状分布,少量呈显微脉状分布,白云母脉中富含辉钼矿,偶见后生成的绢云母脉切割其他含矿脉体。

2.5 矿物共生组合及生成顺序

矿物共生组合

根据钻孔编录、岩矿鉴定及选矿试验资料,确定出矿石内的主要矿物组合有:

- ① 石英-钾长石-辉钼矿-磁铁矿-黄铁矿;
- ② 石英-辉钼矿-黄铁矿;
- ③ 石英-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿-黄铁矿-辉钼矿;
- ④ 石英-辉钼矿-萤石;
- ⑤ 石英-高岭石-褐铁矿-黄铁钾矾。

前 4 种矿物组合常见于浸染状矿石、细脉-网脉状矿石及角砾状矿石,后者为表生矿物组合,沙坪沟矿区内不发育。

矿物生成顺序与成矿阶段

根据矿石中矿物的晶形、矿物间的交代、穿插、溶蚀等结构特征,以及表生作用下的产出特点,将成矿过程分为 6 个阶段。各成矿阶段主要金属矿物的生成顺序大致为:磁铁矿、钛铁矿、铌铁矿→黄铁矿 I→辉钼矿、赤铁矿、白钨矿、黑钨矿→黄铁矿 II→黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿(见表 3)。

(1)岩浆期后气液交代阶段 在岩体顶部主要形成弱钾长石化、浸染状黄铁矿化及星散状分布的辉钼矿,岩体上部围岩的裂隙中可见含辉钼矿的石英-钾长石(或花岗质)小脉体。该阶段内辉钼矿化很弱。蚀变斑岩的矿物组成为石英、钾长石、斜长石、黑云母(绿泥石)、黄铁矿及少量磁铁矿、赤铁矿、辉钼矿、绢云母。

(2)石英-钾长石-辉钼矿阶段 是辉钼矿的主成矿阶段。在岩体的上部仅出现少量石英-黄铁矿-辉钼矿细脉,辉钼矿呈小片状分布于脉体边部,在岩体与围岩的接触部位,主要形成石英(黄铁矿)-辉钼矿细脉、网脉,辉钼矿在其中呈线状或集合体状沿脉壁分布,在部分微裂隙中呈薄脉状。脉体中的金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,含少量白钨矿、黑钨矿、赤铁矿、磁铁矿,脉石矿物以石英为主,次为钾长石、钠长石、绢云母等。

(3)石英-绢云母-辉钼矿阶段 此阶段内辉钼矿化减弱,具大量的硅化、绢云母化,少部分绢云母重结晶为白云母,伴有少量黄铁矿化。

(4)黄铁绢英岩化阶段 以大量黄铁矿化、绢云母化、硅化而无辉钼矿化为主要特征,在该矿床内出现极少量铜矿化等,在区域上(该矿田范围内),主要为铅锌矿等金属硫化物矿化,可能出现少量的萤石、硬石膏。

(5)石英-萤石-石膏化阶段 在该矿田内,以出现大量石英-萤石矿化为主要特征,在区域上,普遍分布有大小不等的石英-萤石脉体,甚至在该矿区的北东侧形成了小型萤石矿床。在热液期的晚阶段,由于水较富集,致使本来很少的硬石膏普遍水化为石膏。

(6)表生风化阶段 表现为金属硫化物氧化,出现褐铁矿(铁帽)、黄钾铁矾和一些硅化。相对而言,沙坪沟矿区内氧化带不发育,故该阶段对钼矿体

表 3 沙坪沟钼矿金属矿物生成顺序表
Table 3 Formation sequence of metallic minerals in the Shapinggou Mo deposit

矿物成分	成矿阶段					
	岩浆期后气液交代阶段	石英-钾长石-辉钼矿阶段	石英-绢云母-辉钼矿阶段	黄铁绢英岩化阶段	石英-萤石-石膏化阶段	表生风化阶段
磁铁矿						
钛铁矿						
铌铁矿		—				
赤铁矿		—				
白钨矿		—				
黑钨矿		—				
自然铋			—			
辉铋矿	—					
黄铁矿	—			—		
磁黄铁矿				—		
辉钼矿	—	—	—			
黄铜矿				—		
辉铜矿				—		
铜蓝				—		
斑铜矿				—		
闪锌矿					—	
方铅矿					—	
褐铁矿						—
钼华						—

注：据●略有修改。

的影响甚微。

有经济意义的辉钼矿化主要形成于内生成矿期的(2)(3)阶段。

3 矿床控矿因素分析

3.1 断裂构造

沙坪沟钼矿床南距桐柏-桐城深大断裂约 5 km。在北淮阳构造带的东段(安徽省境内),沿该断裂带两侧,或与之交汇的 NE 向断裂附近,自西向东还分布有多处钼或金、多金属矿床(点),说明桐柏-桐城

断裂对这些矿床(点)的形成、分布起着决定性作用。

在沙坪沟矿区,次级的 NW 向、NNW 向断裂发育,次为 NE 向断裂,都具有多期活动的特点。断裂之间的围岩内,派生有杂乱且密集的节理、裂隙,这些断裂和裂隙内绝大多数沉淀有辉钼矿,最终形成了巨大的钼矿体(图 5)。而较晚形成的铜、铅锌矿体则主要赋存于脆性断裂带中。说明这些断裂控制了成矿物质的分布,起着导矿和储矿的作用。

3.2 隐伏岩体

岩体对矿床的控制首先表现在成矿专属性方面。沙坪沟隐伏斑岩体为中-酸性花岗岩,与之有成

① 张 鹏,等. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿床物质组分研究. 内部资料.

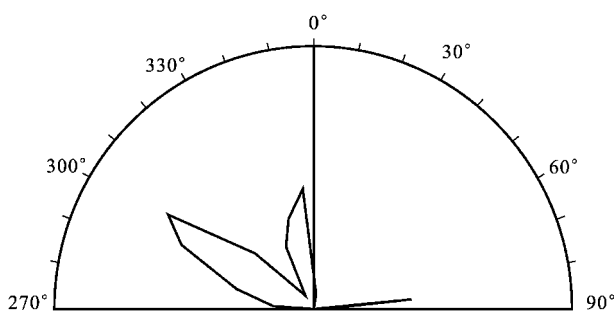


图 5 沙坪沟钼矿区节理走向玫瑰花图

Fig. 5 Rose diagram of joints in the Shapinggou Mo deposit

因联系的是钼铅锌(铜)等有色金属矿产,这与东秦岭地区的栾川和东沟矿集区类同(毛景文等,2009)。

在空间分布上,相关矿化与岩浆岩的关系十分密切,围绕岩体形成矿化分带。钼矿体主要产于岩体上部的内、外接触带,工业矿体主要产在内接触带,在矿区外围则形成(银)铅锌铜等中-低温热液矿床。

3.3 岩性

矿区内的赋矿岩石为石英正长岩、黑云母正长岩、中-细粒二长花岗岩、花岗斑岩,这些岩石脆性强,受岩浆底劈作用和断裂构造活动及热流体穿插的影响,使岩石中产生大量的节理、裂隙,大大提高了岩石的渗透性,对含矿热流体的迁移和聚积起了积极作用,最终使成矿物质以硫化物-石英(钾长石)-绢云母脉的形式得以赋存。

4 成矿时代

沙坪沟钼矿床内辉钼矿的 Re-Os 年龄测定结果表明,其模式年龄为 (111.1 ± 1.2) Ma; 区内花岗斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 (111.5 ± 1.7) Ma, 正长岩的年龄为 (111.6 ± 1.9) Ma。这说明其成矿时间与岩体年龄是一致的(黄凡等,2011; 张红等,2012)。

沙坪沟钼矿床内辉钼矿的 Re-Os 年龄与矿区外围银山钼矿床内辉钼矿的 Re-Os 年龄 $[(112.6 \pm 1.3)$ Ma 和 (113.5 ± 1.3) Ma] 以及邻区河南商城汤家坪大型钼矿床内辉钼矿的 Re-Os 年龄[等时线年龄为 (113 ± 7.9) Ma] 相一致(徐晓春等,2009)。

5 综合找矿信息

根据大量的野外观察及综合研究成果,初步总

结出该区内有以下综合找矿信息。

(1) 区域上,沿桐柏-桐城深大断裂带两侧与 NE 向断裂交汇处,是钼、金成矿最有利的部位。

(2) 寻找年龄在 95~130 Ma 之间的小岩体,即晚侏罗世—早白垩世侵入的酸性小岩体,在北淮阳构造带的东段,此类小岩体在空间上往往与碱性正长岩体相伴。

(3) 钼矿体与小岩体具空间分布的一致性,紧密相伴,充分体现了岩浆岩的成矿专属性以及斑岩型钼矿床的典型特征。矿体赋存于内带、外带或两者兼而有之。

(4) 围岩蚀变,各种围岩蚀变一般围绕成矿岩体呈带状对称分布,总体以硅化、钾化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化为特征;其中,钾化及硅化与成矿关系密切,是最佳的找矿标志。

(5) 化探异常,以水系沉积物异常效果最好,其次为土壤异常,两者的 Mo 元素地球化学异常形态规整,套合好,向外侧叠加有 Cu、Pb、Zn、Ag 元素的异常。

(6) 物探异常,蚀变带上的极化率具有中—强异常,一般而言,在 η_s 大于 10% 的地段,有可能找到铅锌硫化物含量较高的地质体。

6 结 论

(1) 沙坪沟钼矿床是目前中国国内最大的斑岩型钼矿床,其矿化主要受隐伏斑岩体和断裂构造的控制。含矿岩体以富硅、富碱、过铝型及钾含量高于钠含量为特征,矿区内的断裂构造系统起着导矿、储矿的作用。

(2) 该矿床形成于早白垩世,为陆-陆碰撞过程的挤压向伸展转变的构造环境,是北淮阳成矿带的主要发育期。

(3) 北淮阳成矿带的东段,成矿条件优越,找矿标志明显,目前在成矿带内已发现多处钼、铅、锌、金矿(床)点,随着地质工作的进一步深入,该成矿带可望成为中国新的重要的钼、铅、锌、金矿产基地。

志 谢 本文资料主要来源于安徽省地质矿产勘查局 313 地质队“安徽省金寨县沙坪沟钼矿地质详查”项目的最新勘查成果;在成文过程中得到了 313 地质队方明、陈军的大力支持。中国地质科学院矿产资源研究所毛景文教授对本文初稿进行了认真

审核,皖西学院环境资源系雷震中教授对本文的摘要部分进行了英文翻译。在此,对他们的辛勤劳动表示衷心感谢!

参考文献/References

杜建国. 2000. 大别造山带中生代岩浆作用与成矿地球化学研究[博士论文][D]. 合肥:合肥工业大学.
黄凡,王登红,陆三明,陈毓川,王波华,李超. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄——兼论东秦岭-大别山中生代钼成矿作用其次划分[J]. 矿床地质, 30(6):.
毛景文,叶会寿,王瑞廷,代军治,简伟,向君峰,周珂,孟芳.

2009. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 28(1): 72-79.
徐晓春,楼金伟,陆三明,谢巧琴,褚平利,尹滔. 2009. 安徽金寨银山钼-铅-锌多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定[J]. 矿床地质, 28(5): 621-632.
张红,孙卫东,杨晓勇,梁华英,王波华,王瑞龙,王玉贤. 2012. 安徽省金寨县沙坪沟斑岩钼矿床地球化学特征及成矿机理[J]. 地质学报(待刊).
张怀东,史东方,郝越进,王波华. 2010a. 安徽省金寨县沙坪沟斑岩型钼矿成矿地质特征[J]. 安徽地质, 20(2): 104-108.
张怀东,王根节,王波华,郝越进,项斌,彭海辉. 2010b. 沙坪沟斑岩型钼矿含矿岩体及其蚀变特征[J]. 安徽地质, 20(4): 260-266.

<http://www.kcdz.ac.cn/>