

金堆城与沙坪沟小岩体型斑岩钼矿床对比研究

徐刚¹, 汤中立¹, 焦建刚¹, 韩晓宝², 仲佳鑫³, 魏翔¹, 邱根雷¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 河北省地矿局国土资源勘查中心, 河北 石家庄 050081; 3. 宁夏回族自治区国土资源调查监测院, 宁夏 银川 750004)

摘 要: 金堆城和沙坪沟钼矿床为东秦岭—大别钼矿带最典型的 2 个大(超大)型小岩体型斑岩钼矿床。通过对其基本特征、成矿时代、物质来源等特征综述及对其成矿动力学背景、成矿机制的探讨, 结果表明: 二者的成矿类型、含矿斑岩体化学组成、矿体产状形态、围岩蚀变分带、成岩成矿时间等具有相似性, 矿化均受小斑岩体控制, 岩控特征明显。沙坪沟钼矿化的高品位、大储量与其发育的爆破角砾岩、更充分的“流体化作用”、较长时间的热液活动及矿化斑岩体的侵位空间等因素密切相关。二者具有相似的小岩体成大矿的成矿机制, 即与含矿小岩体同源同成因的深源浅成的花岗岩基在深部发生分异演化, 为浅部的含矿小斑岩体提供大量的热液和矿物质, 在小斑岩体头部(或浅部)、以上和以外更大范围的构造岩或围岩中成矿。

关键词: 金堆城; 沙坪沟; 斑岩钼矿床; 小岩体成矿

中图分类号: P611

文献标识码: A

位于华北板块南缘的东秦岭—大别钼矿带, 目前已成为超过美国克莱马克斯-亨德森(Climax and Hender-son)斑岩钼矿带的全球第一大钼矿带(魏庆国等, 2009)。钼矿带产出 30 余个(超大型)大型钼多金属矿床, 钼金属储量达 $802.4 \times 10^4 \text{ t}$, 占全国总储量 66% (Mao et al., 2011)。

近年来在东秦岭钼矿带东延部分大别造山带北缘, 陆续发现了众多具有较大规模的钼矿床, 以金寨县的沙坪沟、商城的汤家坪、新县的大银尖及光县的千鹅冲等为典型代表(图 1)(张怀东等, 2012; 杨泽强等, 2007; 罗正传等, 2010; 罗齐云等, 2009)。其中, 新探明的沙坪沟钼矿床钼金属量达 $214.06 \times 10^4 \text{ t}$, 是我国目前最大的世界级钼矿床(张怀东等, 2012)。

沙坪沟和金堆城钼矿床作为整个钼矿带中最大的 2 个钼矿床, 分别位于东秦岭—大别钼矿带的西

部边缘和东段。其形成机制和成矿特点具有很多相似之处, 成矿与燕山期小花岗斑岩体密切相关。小岩体矿床具备关键要素为: 成矿岩体规模小(岩体面积 $\leq 10 \text{ km}^2$, 体积 $\leq 10 \text{ km}^3$, 一般为 1 km^2 (体积 1 km^3) 左右或更小); 高含矿率(往往一半甚至全岩以上矿化); 岩体富矿率较高或很高等(汤中立等, 2006, 2011)。沙坪沟和金堆城矿床具有岩体小、成矿规模大的特征, 是区内众多小岩体型钼矿床的典型代表。笔者结合前人的研究进展, 就 2 个超大型钼矿床特征、成矿特点、成矿时代及物质来源等进行分析讨论, 探讨其成矿动力学背景及成矿机制, 以期对区内的找矿工作提供参考。

1 地质概况

东秦岭—大别钼矿带地处华北克拉通南缘与秦

收稿日期: 2012-08-10; 修回日期: 2012-09-08

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(CHD2011ZY004, CHD2011TD007), 深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-05-01)和中国地质调查局地质大调查项目(1212011085061)

作者简介: 徐刚(1984-), 男, 博士研究生, 地球化学专业。E-mail: xugang09@163.com

岭造山带相接地带(图 1-A),近东西向展布,是中生代秦岭构造带经历陆内碰撞(张国伟等,1996)和大规模中酸性岩浆活动、多金属成矿的作用结果(姚书振等,2006)。该钼矿带主要分布于华北板块南缘,商丹断裂以北,西起华县金堆城矿床,东至金寨县沙坪沟矿床,拥有沙坪

沟、金堆城、东沟、上房沟等众多超大型钼矿床(图 1-B)。区域以近东西向构造为主叠加北北东向构造,两组断裂交汇部位常控制燕山期中酸性小侵入体分布,燕山期强烈的岩浆活动形成了一系列大岩基和小斑岩体,钼矿床的形成与小斑岩体及花岗岩基密切相关(卢欣祥等,2002)。

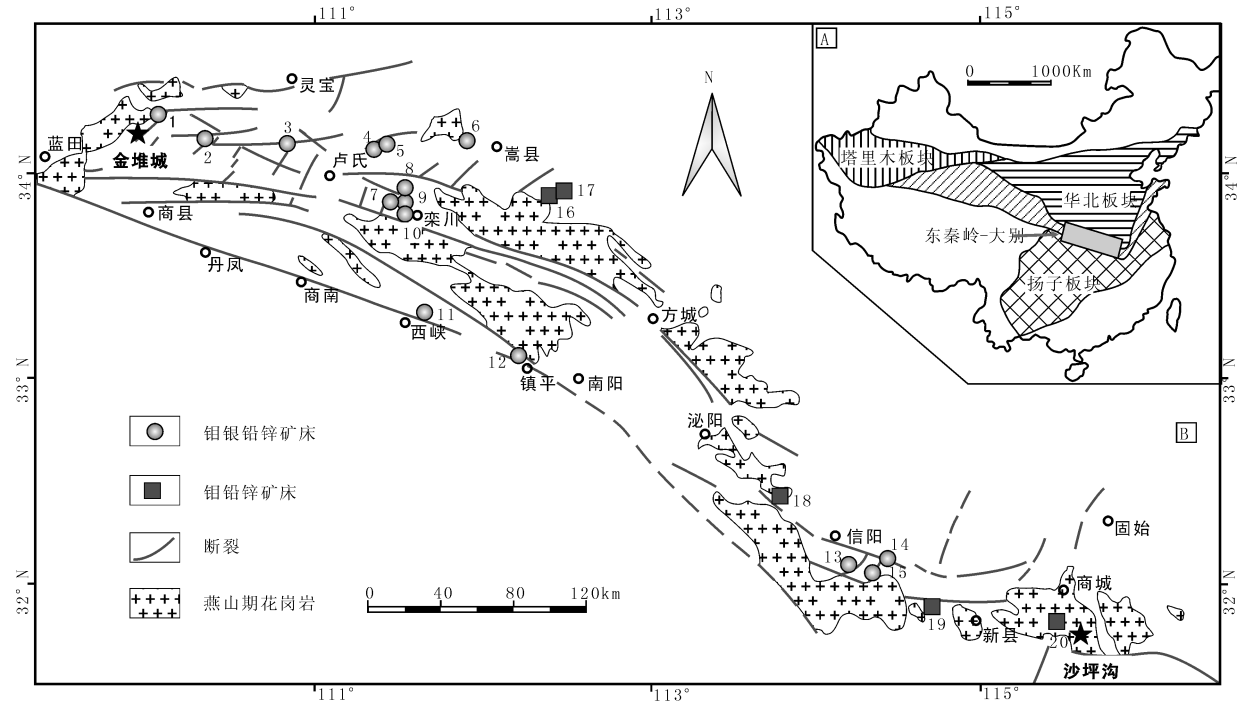


图 1 东秦岭—大别地区与中生代岩浆活动有关的重要钼多金属矿床空间分布略图(据卢欣祥等,2011 修改)

Fig. 1 Schematic map showing the tectonics and distribution of molybdenum deposits related to mesozoic granitic porphyry in East Qinling and Dabie (After Lu Xinxiang et al. , 2011)

1. 黄龙铺; 2. 木龙沟; 3. 银家沟; 4. 沙沟; 5. 蒿坪沟; 6. 雷门沟; 7. 南泥湖; 8. 冷水北沟; 9. 三道庄; 10. 上房; 11. 板厂; 12. 秋树湾; 13. 肖畈; 14. 皇城山; 15. 母山; 16. 东沟; 17. 三元沟; 18. 天目沟; 19. 大银尖; 20. 汤家坪

2 矿床地质特征及岩石化学组成

2.1 矿床地质特征

金堆城钼矿床位于陕西省华县境内,构造位置处于华北板块南缘东秦岭钼矿带西段。矿区内燕山期老牛山花岗岩体和金堆城花岗斑岩体与成矿密切相关,是典型的斑岩型钼矿床。钾长花岗斑岩体呈岩筒状,地表出露长 450 m,宽 150 m,面积约 0.067 km²。深部长 2 000 m,宽 450 m,面积约 0.35 km²(图 2-A)。矿体主要产于花岗斑岩体内部,部分产于安山质火山岩中,呈连续扁豆体。矿

体地表长约 1 600 m,深度控制长约 2 200 m,厚约 600~700 m。金堆城矿床中钼金属储量为 97.8 ×10⁴t, Mo 品位 0.099% (表 1)。矿石 Mo 品位中部富,向两侧逐渐降低过渡为围岩。矿石主要为斑状结构,网脉状、浸染状构造,矿石类型以花岗斑岩型为主,还有变安山岩型和板岩-石英岩型。矿石中黄铁矿、辉钼矿呈网脉状、浸染状构造,脉石矿物主要有石英、长石,次为萤石、白云母、黑云母方解石等。主要金属矿物为辉钼矿、黄铁矿,次为磁铁矿、黄铜矿、辉铋矿、方铅矿和闪锌矿等。矿化与蚀变带发育于斑岩体及外接触带(图 2-B),由斑岩体向外依次发育钾长石化、绢英岩

化、硅化及青磐岩化。

沙坪沟钼矿床位于秦岭—大别造山带东部，桐（柏）—桐（城）断裂带北侧的北淮阳成矿带属东秦岭—大别钼成矿带东段的南成矿亚带（杜建国等，1999）。与其相邻典型矿床有肖畈、大银尖、汤家

坪钼矿床等，区域构造为近东西向与东北向两组构造形成的格子状构造体系。矿区内燕山期岩浆岩发育，分布广泛，以中-细粒二长花岗岩为主，其次为花岗闪长岩、石英正长岩、闪长岩等（图 3-A）。

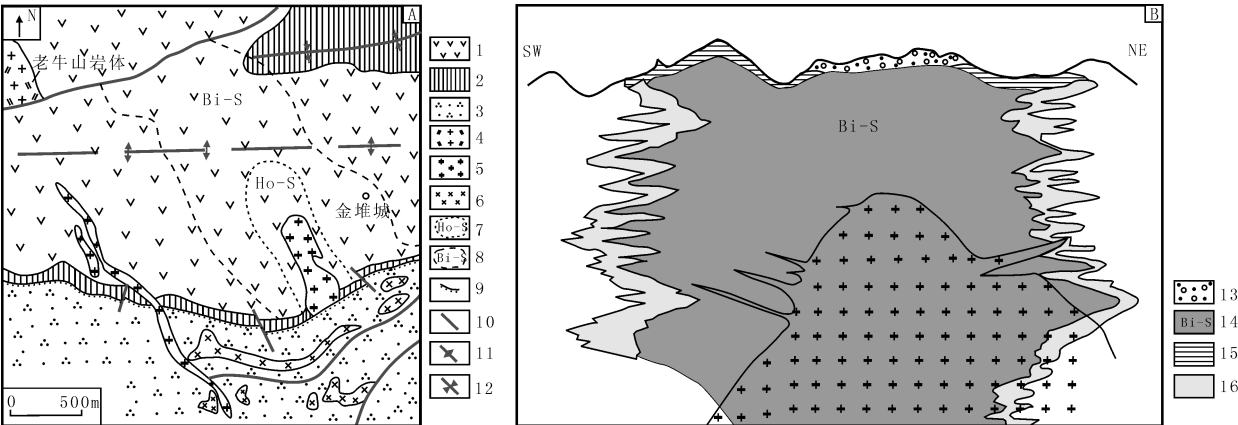


图 2 金堆城钼矿床地质图 (A) 及钼矿体横剖面示意图 (B) (据黄典豪等, 1987)

Fig. 2 Geological map (A) and diagrammatic cross section (B) of Jinduicheng porphyry molybdenum deposit (After Huang Dianhao et al, 1987)

1. 中元古界熊耳群火山岩; 2. 中元古界熊耳群板岩; 3. 中元古界高山河组石英砂岩; 4. 燕山期二长花岗岩; 5. 花岗斑岩; 6. 辉绿玢岩; 7. 黑云母化; 8. 角岩化; 9. 不整合接触界线; 10. 断层; 11. 背斜轴; 12. 向斜轴; 13. 第四系; 14. 表内矿体; 15. 氧化带; 16. 表外矿体

表 1 金堆城和沙坪沟钼矿床各项参数特征

Tab. 1 Parameters of Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

矿床名称	金 堆 城	沙 坪 沟
类型	斑岩型	斑岩型
成矿元素	Mo	Mo
赋矿围岩及时代	熊耳群安山岩 MPt ₁ ; 官道口群高山河组石英岩、板岩 MPt ₂	中元古界庐镇关（岩）群变火山-沉积岩
控矿构造	北东—北东东、北西—北北西向断裂	北西—北北西、北东向断裂
控矿岩体	金堆城花岗斑岩	沙坪沟隐伏花岗斑岩
矿体形态	扁豆状/岩体内部	椭球体
围岩蚀变	硅化、钾长石化、云英岩化、青磐岩化、方解石化	钾长石化、硅化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化
矿石矿物组合	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿	辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、白钨矿
脉石矿物组合	石英、钾长石、斜长石、黑云母、绢云母、角闪石、萤石、绿泥石	石英、钾长石、斜长石、绢（白、黑）云母、绿帘石、角闪石、方解石
矿体规模	长 2 000 m, 宽 600~800 m, 垂厚 600~700 m, 地表出露 0.068 km ²	900 m×800 m×900 m
成矿时代/Ma	138.4±0.5	(109.9±1.6)~(113.6±1.7)
储量/×10 ⁴ t	97.8	214.06
品位/%	0.099	0.179
资料来源	薛祖雷等, 1984; 黄典豪等, 1987; 徐兆文等, 1998; Stein et al., 1997	张怀东等, 2012; 孟祥金, 2012; 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 2011

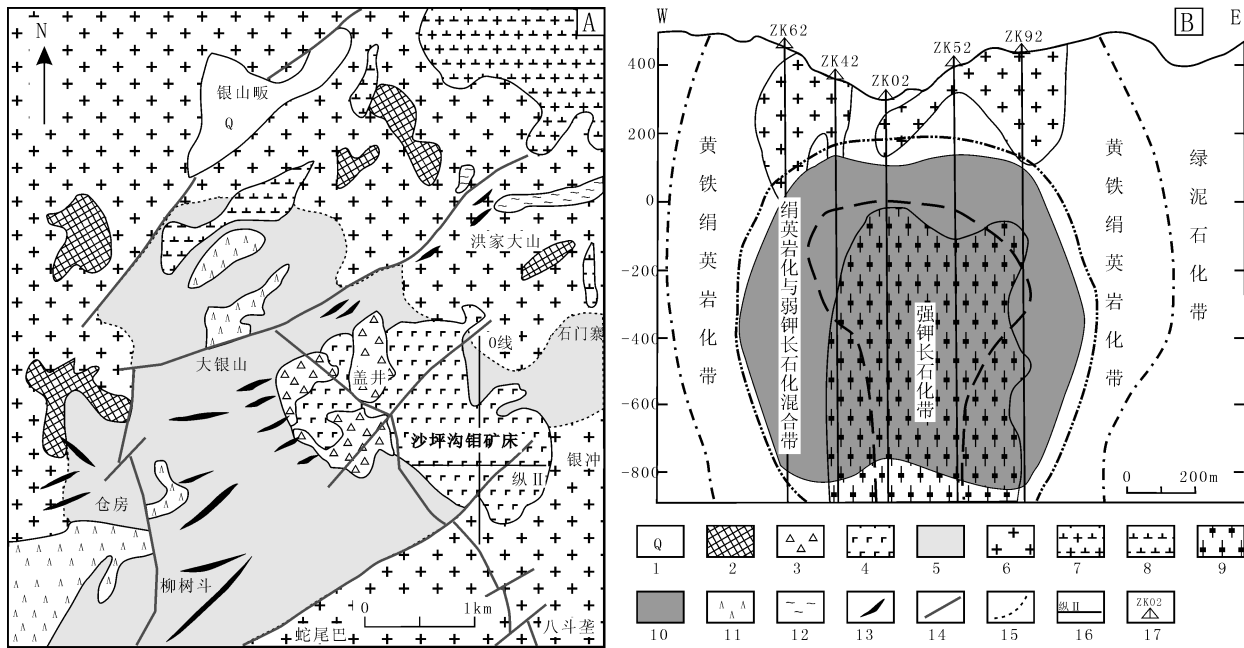


图 3 沙坪沟钼矿地质略图 (A) 及纵 II 剖面蚀变分带图 (B) (据张怀东等, 2012)

Fig. 3 Geological sketch map (A) and No. II geological vertical section showing distribution of alteration zones (B) in the Shapinggou porphyry molybdenum deposit (After Zhang Huaidong et al, 2012)

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. 花岗斑岩; 10. 钼矿体; 11. 辉石角闪岩; 12. 花岗斑岩脉; 13. 铅锌矿脉; 14. 断层; 15. 岩相界线; 16. 剖面线及编号; 17. 钻孔及编号

钼矿体主要赋存于银山复式岩体中隐伏花岗岩体与正长岩(围岩)的接触带中,富矿体主要分布在花岗斑岩体中,低品位矿产于正长岩及远离接触带围岩中(张怀东等,2010)(图 3-B)。主矿体呈椭球体状,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 m。主矿体顶板平均埋深为 456.29 m,空间上表现为穹状形态,对应于花岗斑岩穹窿。主矿体金属量占全矿床的 99.93%,数量众多的零星小矿体多围绕主矿体边部分布。沙坪沟钼矿周围呈环形发育有一系列铅锌矿点(图 3-A),铅锌矿体均受断裂裂隙控制。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿等。脉石矿物主要为石英、钾长石,次为斜长石、绢云母、黑云母、方解石等。矿石主要为斑状结构、粒状变晶结构,星散(细脉)浸染状构造。矿区内围岩蚀变十分发育,与隐伏花岗斑岩密切相关。依据蚀变类型及矿物组合,自斑岩体向外依次为钾(钠)长石-硅化带、黄铁绢英岩化带、绿泥石-碳酸盐化带(图 3-B)(张怀东等,2012)。

沙坪沟钼矿与金堆城钼矿作为东秦岭一大别钼矿带中的 2 个超大型矿床,均是典型的斑岩型钼矿。二者各项特征参数见表 1,相似特征明显:矿体均主要产于花岗斑岩内部及与围岩接触带;矿化、围岩蚀变及原生晕均以斑岩体为中心向外呈规律分带;主矿体形态、产状受构造及岩体形态、产状制约;主矿体规模均很小,占储量比例很高;成岩成矿时间具一致性。

沙坪沟钼矿床主矿体完全隐伏,保存完整,厚度大,矿化连续,并发育有爆破角砾岩,矿石平均品位较金堆城高近一倍。而爆破角砾岩的发育被认为与成矿有密切的关系(Zhou et al., 1999; Yan, 2000; Zhang et al., 2003),爆破角砾岩规模越大,“流体化作用”更充分,矿床的储量越大。含矿小斑岩体的“潜伏作用”,密封性良好,使得流体供给更充足。另外,沙坪沟钼矿床较长时间的热液活动成为其高品位、大储量的重要因素之一(孟祥金等,2012)。

2.2 岩石化学组成

金堆城花岗斑岩与沙坪沟花岗斑岩 SiO₂ 含量

分别为 73.38%~75.73%，78.36%~78.92%，后者更具高 Si 特征（表 2、图 4）。全碱（K₂O+Na₂O）含量分别为 8.08%~9.3%和 7.24%~7.37%，金堆城斑岩体较沙坪沟隐伏斑岩体富碱，且二者均表现为贫 Na 富 K（K₂O/Na₂O 为 1.3~

4.36 和 1.44~2.64）特征。金堆城斑岩体中 Al₂O₃ 含量（12.6%~13.39%）较沙坪沟斑岩体（9.74%~10.04%）高，CaO 含量（0.49%~1.04%）相对沙坪沟（0.31%~0.84%）略高，而两斑岩体的 TiO₂ 普遍较低，变化范围为 0.09%~

表 2 金堆城-沙坪沟钼矿床花岗斑岩及花岗岩主量元素组成

Tab. 2 Composition of the porphyries and granite in Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

项 目	金 堆 城								沙 坪 沟				
SiO ₂	74.61	74.23	75.73	75.08	73.6	73.384	72.62	73.41	78.36	78.92	65.48	65.25	74.01
Al ₂ O ₃	12.98	13.39	12.6	12.63	12.8	12.652	14.575	14.93	9.74	10.038	13.52	16.69	11.3225
TFe ₂ O ₃	—	—	—	1.17	1.99	—	1.92	1.09	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	0.93	1.24	0.93	—	—	1.28	—	—	1.37	0.49	4.76	3.40	1.89
FeO	0.73	0.96	0.81	—	—	—	—	—	—	1.35	1.06	—	0.86
MgO	0.04	0.30	0.03	0.18	0.34	0.17	0.29	0.18	0.07	0.13	0.59	0.58	0.45
CaO	0.49	0.72	0.50	0.90	1.04	0.71	1.18	1.05	0.31	0.84	1.23	1.07	1.13
K ₂ O	6.60	5.37	5.94	6.79	6.31	8.08	4.53	4.95	5.80	5.06	5.26	5.71	5.65
Na ₂ O	2.05	2.71	2.17	2.06	1.92	1.22	3.88	3.94	1.44	2.31	3.46	4.79	1.91
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.04	0.21	0.19	0.11
MnO	0.04	0.03	0.03	0.04	0.10	0.02	0.09	0.05	0.02	0.02	0.04	0.09	0.03
TiO ₂	0.11	0.21	0.11	0.09	0.18	0.13	0.14	0.10	0.15	0.12	0.42	0.35	0.30
Na ₂ O+K ₂ O	8.65	8.08	8.11	8.85	8.22	9.30	8.41	8.89	7.24	7.37	8.73	10.50	7.57
K ₂ O/Na ₂ O	2.12	1.30	1.80	2.17	2.17	4.36	0.77	0.83	2.64	1.44	1.00	0.79	1.94
A/CNK	1.14	1.16	1.16	1.02	1.08	1.05	1.09	1.09	1.06	0.93	0.99	1.04	1.00
A/NK	1.23	1.30	1.26	1.18	1.28	1.18	1.29	1.26	1.13	1.08	1.19	1.19	1.22
σ	2.37	2.09	2.01	2.44	2.21	2.85	2.39	2.60	1.48	1.51	3.39	4.96	1.85
样品数	10	4	4	3	2	5	2	4	9	5	3	11	4
岩 体	含矿小斑岩体				老牛山花岗岩				含矿小斑岩体		石英正长岩		花岗岩
数据来源	乔怀栋等,1986	聂凤军等,1989	张正伟等,2001	王新等,2001	焦建刚等,2010	李洪英等,2011	焦建刚等,2010	朱赖民等,2008	张红等,2011	张怀东等,2012	张怀东等,2012	张红等,2011	张怀东等,2012

0.21%。铝饱和指数 A/CNK 变化范围为 1.02~1.16 和 0.93~1.06,在 A/NK-A/CNK 图解(图 5)中,二者均属于过铝质系列。里特曼指数范围为 2.01~2.85 和 1.48~1.51,均属于钙碱性岩石系列。总体而言,两个矿床含矿小斑岩体均具有明显的偏酸性,具低 Na 富 K,Ca、Fe、Mg 等含量较低的特点,过铝质系列和高钾钙碱性、钾玄岩岩石系列,这与东秦岭钼矿带燕山期含矿小斑岩体具有一致的特点。安三元等(1984)提出该类斑岩的岩浆源应为下地壳。陈衍景等(2000)认为浅成斑岩与深成花岗岩均属碰撞型或陆壳重熔型花岗岩类。

在沙坪沟钼矿床中,与含矿斑岩体接触的石英正长岩也是重要的含矿岩相,主要分布在矿体的上部和边部,较斑岩体具有相当含量的 K₂O (5.26%~5.71%),较高的 Na₂O (3.46%~4.79%) 和 CaO (1.07%~1.23%) (图 6),具有

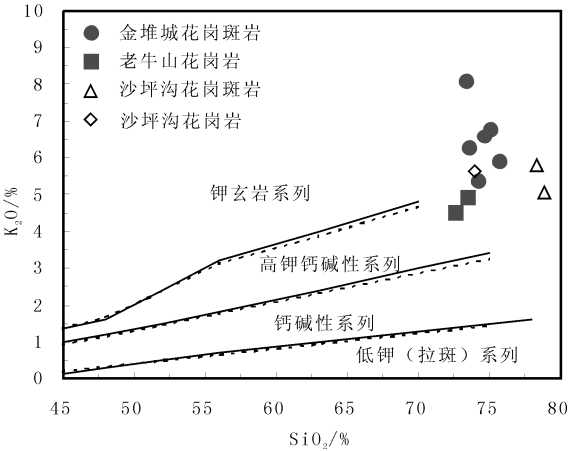


图 4 金堆城-沙坪沟钼矿 K₂O-SiO₂ 图

(底图据 Rickwood, 1989; Morrison, 1980)

Fig. 4 Discriminant diagram of K₂O-SiO₂ for Jinduicheng and Shapinggou deposits

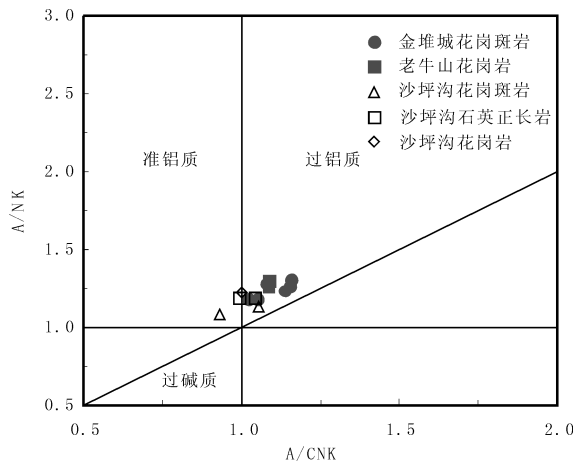


图 5 A/NK-A/CNK 图解
(底图据 Maniar et al., 1989)

Fig. 5 Discriminant diagram of A/NK-A/CNK

略偏酸性、碱性、富 Na 的特点 (表 2)。

从 SiO_2 对各主量元素分布图 (图 6) 中, 金堆城斑岩体与老牛山花岗岩基以及沙坪沟斑岩体与石英正长岩及围岩花岗岩间, SiO_2 与主要氧化物间具有良好的线性关系, 表明了同源岩浆的演化特征 (焦建刚等, 2010; 刘小舟等, 2008), 这与人研究认为的含矿浅成斑岩与深成花岗岩的物质来源和成岩机制具有相似性 (陈衍景等, 2000) 的观点相一致。

在 K_2O - Na_2O 图中, 含矿小斑岩体 Na_2O 、 K_2O 值落于 S 型花岗岩区, 而老牛山花岗岩基值落于 I 型花岗岩区 (图 7), 并呈现负的相关性, 从花岗岩基到含矿小斑岩体 K_2O 含量逐渐增加, Na_2O 逐渐减少, 表明斑岩体岩浆来自花岗岩基斜长石结晶分异后的残余岩浆。

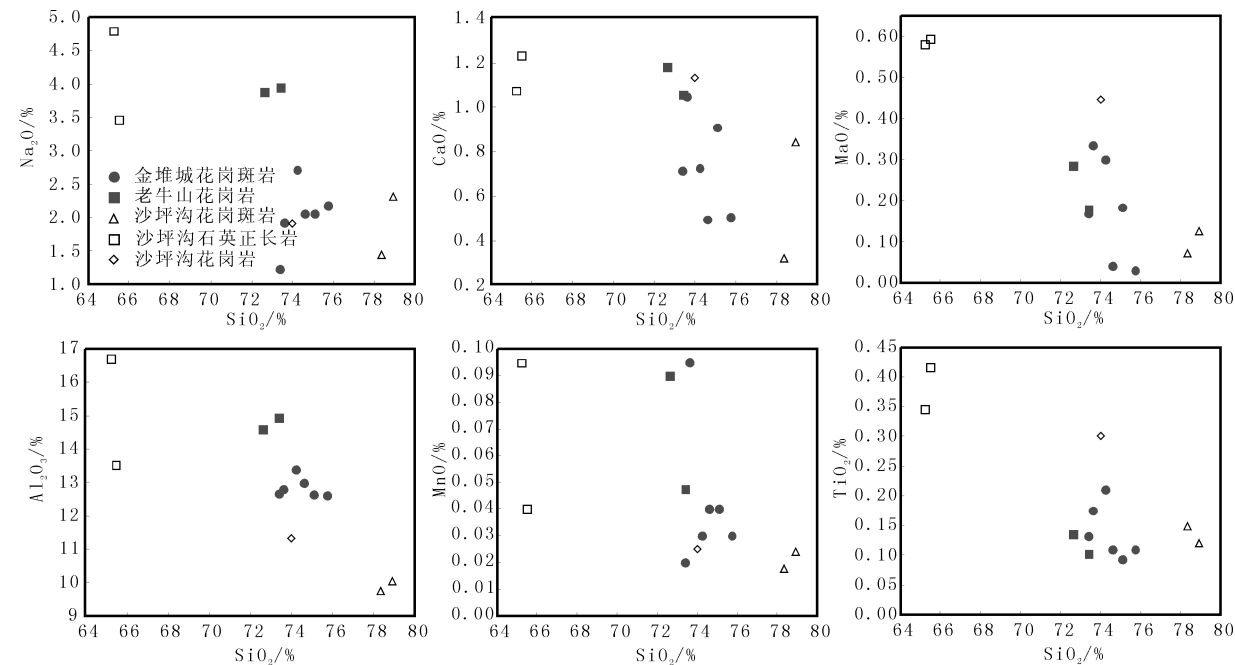


图 6 金堆城-沙坪沟钼矿 Harker 图

Fig. 6 Harker discrimination plot for Jinduicheng and Shapinggou deposits

3 成矿时代及物质来源

3.1 成矿时代

东秦岭—大别带钼矿床主要类型可分为斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型及脉状碳酸盐型, 卢欣祥等 (2011) 对秦岭—大别地区钼矿床进一步

划分为 5 个类型 7 个亚型 10 个矿床式。前人对本地区进行的大量的同位素年龄测试数据, 近年的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄给出了更精确的成岩成矿时间。总体上, 大多数矿床均与燕山期岩浆作用关系密切 (黄典豪等, 1994; 罗铭玖等, 1991)。根据东秦岭—大别钼矿带地质特征及年龄资料, Mao et al. (2011) 进一步划分

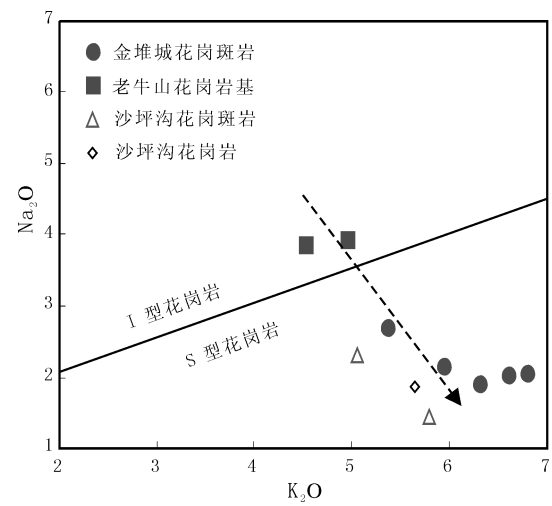


图 7 金堆城-沙坪沟含矿小班岩体和花岗岩基
K₂O-Na₂O 图解
(底图据 Chappell et al. , 1974)

Fig. 7 K₂O vs Na₂O diagram of porphyry and granite
rocks in the Jinduicheng and Shapinggou

出 3 期主要的钼矿化时期：晚三叠世（233~221 Ma）石英脉型、碳酸盐脉型钼矿；晚侏罗世—早白垩世（148~138 Ma）和早—中白垩世（131~112 Ma）斑岩型、斑岩—矽卡岩型钼矿床。矿床总体上由西至东、由北至南成矿年龄具有逐渐变新的趋势（魏庆国等，2009），与花岗岩体年龄由西至东变小分布规律类似（毛景文等，2005；Mao et al. , 2008b）。

金堆城与沙坪沟小岩体型斑岩钼矿床成岩成矿年龄已有大量的积累（表 3、图 8），金堆城钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄集中于 138 Ma，成矿时间与南泥湖、三道庄、上房沟钼矿等相一致。含矿斑岩年龄为 140~143 Ma，二者基本一致，均属于东秦岭—大别钼矿带第二期钼矿化时期，含矿岩体和钼矿为同一成岩成矿系统的产物（包志伟等，2009；朱赖民等，2008）。其成矿背景为碰撞造山后伸展环境（魏庆国等，2009；李诺等，2007；袁海潮等，

表 3 金堆城-沙坪沟钼矿床成岩成矿测年结果汇总

Tab. 3 Lithogenetic and metallogenic ages of Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

矿 床	测试矿物	测试方法	年龄/Ma	资料来源
金堆城	辉钼矿	Re-Os	138.4±0.8	Stein et al. , 1997
	辉钼矿	Re-Os	138.3±0.8	
	辉钼矿	Re-Os	139±3	杜安道等，1994
	辉钼矿	Re-Os	129±7	
沙坪沟	辉钼矿	Re-Os	139±3	黄典豪等，1994
	辉钼矿	Re-Os	131±4	
	辉钼矿	Ar-Ar	135±6.5	李先梓等，1993
	含矿斑岩中锆石	LA-ICP-MS	140.95±0.45	朱赖民等，2008
沙坪沟	含矿斑岩中锆石	LA-ICP-MS	143.7±3	焦建刚等，2010
	辉钼矿	Re-Os	113.21±0.53	
	辉钼矿	Re-Os	111.1±1.2	张红等，2011
	含矿斑岩中锆石	LA-ICP-MS	111.5±1.5	
沙坪沟	石英正长岩中锆石		111.7±1.9	孟祥金等，2012
	辉钼矿	Re-Os	113.6±1.7	
	正长斑岩中锆石		120.7±1.1	孟祥金等，2012
	细粒石英正长岩中锆石	LA-ICP-MS	122.51±0.81	
沙坪沟	中粒石英正长岩中锆石		121.5±1.3	黄丹峰等，2010
	商城岩体花岗岩中锆石	SHRIMP	131~130Ma	

2007)。沙坪沟辉钼矿 Re-Os 年龄介于 111~113 Ma，而含矿正长岩及斑岩年龄为 111 Ma（张红等，2011）或 120Ma（孟祥金等，2012），成矿时间与岩体年龄基本一致，可能有较长时间的热液活动，如花岗斑岩中锆石具有明显的热液活动

痕迹。沙坪沟钼矿床成矿时间与汤家坪钼矿、东沟钼矿一致，均属东秦岭—大别地区中生代最晚期成矿阶段，其成矿背景对应于中国东部大规模岩石圈拆沉减薄（Mao et al. , 2008b；翟明国等，2004）。

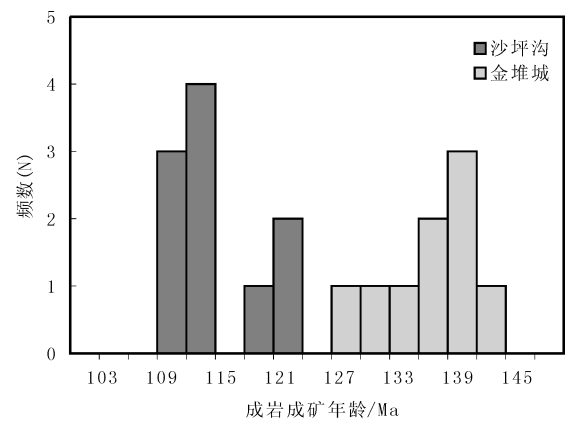


图8 金堆城-沙坪沟钼矿床成岩成矿年龄分布直方图

Fig.8 Lithogenetic and metallogenic age histograms of Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

3.2 成矿物质来源

Re 是倾向富集于地幔或基性-超基性岩中的基性场元素，Stein et al.（1997）以及 Mao et al.（1999）认为在花岗岩和矿床中 Re 含量能够作为其成岩成矿物质的示踪剂。而 Berzina et al.（2005）研究认为，含矿岩体形成时的物化条件对斑岩矿床中辉钼矿 Re 含量有一定的影响，其含量的变化一定程度反映了成岩甚至成矿时物理化学条件的差异。毛景文等（2003）通过对比中国中生代各类型钼矿中辉钼矿的 Re 含量后，总结认为从幔源（M 型）、壳幔混源（I 型）、壳源（S 型）花岗岩作为成矿母岩的钼矿床，矿石中辉钼矿的 Re 含量依次为 $n \times 10^{-4}$ 、 $n \times 10^{-5}$ 、 $n \times 10^{-6}$ ，Re 含量呈 10 倍地下降。因此，辉钼矿中 Re 含量在一定程度上可以指示成矿物质的来源。据此，根据前大量的研究结果，本次整理统计金堆城矿石辉钼矿中 Re 含量为 $1.29 \times 10^{-5} \sim 1.97 \times 10^{-5}$ ，而沙坪沟矿床矿石中辉钼矿中 Re 含量为 $2.41 \times 10^{-6} \sim 10.36 \times 10^{-6}$ （表 4），沙坪沟明显低一个数量级（图 9）。暗示金堆城钼矿成矿物质主要来源于下地壳，部分地幔物质参与了成矿作用，与前人 Sr、Nd、Pb 同位素研究结果相一致（焦建刚等，2010）。

而沙坪沟辉钼矿中 Re 含量一定程度上反映其成矿岩浆似应主要属于壳源，与前人在本区邻近其他钼矿床中同位素、元素地球化学研究所得结论有些出入。结合其与大别带钼矿化时间一致性，与东秦岭晚期成矿环境的相似性（张红等，2011；孟祥金等，2012）以及秦岭一大别造山带北侧弧后位置

等特征，反映岩石圈拆沉减薄，软流圈物质上涌壳幔物质相互作用，对其成岩成矿具有重要影响。

表 4 金堆城-沙坪沟钼矿床辉钼矿 Re 含量

Tab.4 Re content of molybdenite from Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

矿床名称	$w(Re) / \times 10^{-6}$	范围及均值 / $\times 10^{-6}$	资料来源
金堆城	12.9 ± 0.4	12.9~19.7	黄典豪等，1994
	19.7 ± 0.5		
	15.8 ± 0.5		
	15.9 ± 0.3	16.5	杜安道等，1994
	17.33 ± 0.05		
沙坪沟	17.40 ± 0.05		Stein et al.，1997
	2.41 ± 0.02	2.41~10.36	孟祥金等，2012
	10.36 ± 0.14		
	4.94 ± 0.04		
	6.42 ± 0.06		
	5.00 ± 0.05		
	3.93 ± 0.03	4.71	黄凡等，2011
	4.55 ± 0.035		
	4.39 ± 0.034		
	5.12 ± 0.038		
	4.06 ± 0.032		
	2.77 ± 0.022		
	2.54 ± 0.022		

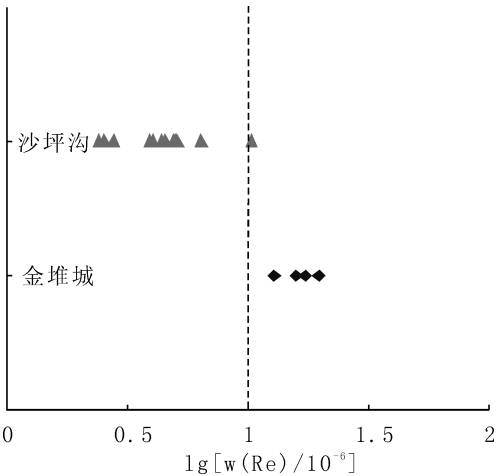


图9 金堆城-沙坪沟钼矿床辉钼矿 Re 含量分布图

Fig.9 Distribution of Re content of molybdenite from Jinduicheng and Shapinggou Mo deposits

4 成矿动力学背景及成矿机制

东秦岭一大别钼矿带作为华北克拉通及邻区中生代大规模成矿作用的组成部分，其成矿时限和成

矿背景具有相似性。毛景文等(2003)通过对中生代地球动力学演化的分析研究认为,220 Ma、140 Ma、110 Ma 三大成矿期对应的地球动力学背景分别为华北板块与扬子板块碰撞造山后陆内造山和伸展过程、南北主应力场向东西向主应力场构造体制转换、东西向岩石圈大规模减薄作用,而后两个成矿期是对应壳幔作用最为强烈的阶段(张国伟等,2001)。金堆城、沙坪沟钼矿以及整个钼矿带的时空分布及形成机制与该阶段(160~110 Ma)由挤压向伸展为主的大陆动力学背景密切相关。

东秦岭—大别钼矿带绝大多数矿床均与中生代燕山期的深源浅成型的小花岗岩体密切相关(卢欣祥等,2002)。金堆城和沙坪沟钼矿作为酸性岩体中“小岩体成大矿”的最典型实例,通过对两矿床的对比,结合小岩体型中酸性岩浆成矿特点(汤中立等,2006),笔者提出以下成矿模式。

在包括东秦岭—大别的中国东部地区,中生代燕山运动时期出现岩石圈不同程度拆沉减薄和底侵作用,岩石圈减薄,使软流圈上涌,地壳和岩石圈地幔被大幅加热(或是扬子克拉通北缘地壳物质向华北克拉通A型俯冲),导致沙坪沟(金堆城)等为代表的地区下地壳物质发成部分熔融、壳幔交换,生成岩浆。携带大量Mo等成矿物质的中酸性岩浆由于浮力作用或构造底辟作用,沿垂向或斜向上升并强烈演化。当携带大量成矿物质的含矿地幔临界-超临界流体上升侵位至浅部构造薄弱位置时,由于深部和浅部显著的温压差,成矿流体发生沸腾,并与浅部流体交换。岩浆中气体挥发分、流体等携带矿物质优先聚集到小岩体的头部或浅部(成矿的中心部位),或是上侵到小岩体以上、以外更大范围的构造岩或围岩中成矿。经过强烈演化的矿化小岩体(富Si富K),经历高温岩浆热液和混合热液流体作用后钼矿物质进一步的聚集,从而形成金堆城、沙坪沟等大型矿床,而大部分岩浆形成不含矿的岩基——老牛山、银山复式岩体等。

对于成矿带上的其他钼矿床,由于每个矿床含矿小岩体侵位的围岩和构造位置、侵位的时限、岩浆中气、液、矿质等的富集程度及其与小岩体上侵的耦合作用等因素的差异,各个矿床具有独特性,但主要的成矿模式和上述模式具有相似性。每个小岩体类似不同的烟囱,对具有足够物质供应的深源

岩浆中矿物质抽吸聚集,从而形成了大型矿床(卢欣祥等,2002)。

5 沙坪沟与金堆城钼矿床对比

通过对两个钼矿床的对比认识发现,其有4方面的相同、相似点:①两钼矿所处东秦岭—大别钼矿带位于克拉通边缘,钼矿床形成于造山带碰撞造山后伸展环境,含矿斑岩体与该构造背景下大规模的深源浅成花岗岩基密切相关。②二者均是典型的小斑岩体钼矿床,具有明显的岩体小、成矿规模大、矿化率高的特点。③两矿床含矿斑岩体的岩石化学组成、围岩蚀变分带、成岩成矿时间一致性等相似,矿化受小斑岩体岩控特征明显。④两钼矿床具有相似的小岩体成矿机制。而两个典型钼矿床之间的差别主要表现在以下几方面:①沙坪沟钼矿床平均品位达0.179%,明显高于金堆城。高品位与其大量发育爆破角砾岩密切相关。②金堆城钼矿床辉钼矿Re-Os年龄集中于138 Ma,而沙坪沟钼矿床辉钼矿Re-Os年龄介于111~113 Ma。前者成矿时间属东秦岭—大别钼矿带第二期钼矿化时期,后者属该钼矿带中生代最晚期成矿阶段。③两矿床Re含量的明显差别,结合前人的同位素、元素地球化学研究结果,一定程度上反映其成矿物质来源深浅程度有所差别。

6 结论

通过对金堆城、沙坪沟钼矿床的对比分析研究,得出以下几点结论。

(1) 金堆城、沙坪沟钼矿作为目前国内最大钼矿床之列,其含矿斑岩体岩石化学组成、矿体产状、形态、围岩蚀变分带、成岩成矿时间一致性等均具有明显的相似性,矿化均受小斑岩体控制,岩控特征明显。

(2) 相比金堆城钼矿,沙坪沟隐伏斑岩体矿化的高品位、大储量与其发育大量爆破角砾岩,更充分的“流体化作用”,较长时间的热液活动以及矿化斑岩体的侵位空间、“潜伏作用”等因素密切相关。小岩体型潜伏矿是今后寻找大矿、富矿的重要方向。

(3) 金堆城和沙坪沟钼矿是东秦岭一大别钼矿带小岩体成大矿的典型代表,二者具有相似的小岩体成矿机制,即深源浅成的花岗岩基在深部发生分异演化,为浅部的含矿小斑岩体提供大量的热液和矿物质,从而出现小岩体成大矿。由于钼矿带中其他小岩体型斑岩钼多金属矿床成矿模式的相似性,东秦岭一大别钼矿带具有以钼为主成矿专属性。

(4) 依据深源浅成花岗岩基与含矿小斑岩体间不同的时空分布关系,今后的工作过程中应注重小岩体成矿的典型特征。例如,头部和浅部是成矿的最有利场所,主矿体均主要产于小岩体本身;在小岩体以上和以外更大范围的构造岩或围岩中成矿;含矿小岩体的侧向和垂向金属分带;岩体头部以上空间蚀变带,爆破角砾岩多期岩(矿)等成矿标志等。而对于矿化小斑岩体同源同成因的岩基附近的其他的小侵入体,应是今后重要的找矿方向。

致谢:在野外考察工作期间,安徽省地质矿产勘查局313地质队张怀东工程师及其他工作人员给予了很多帮助。长安大学资源学院杨志华老师在野外工作中也给予了很多帮助,并提出建议和意见,在此表示深深谢意。

参考文献 (References):

- 魏庆国,原振雷,姚军明,等.东秦岭钼矿带成矿特征及其与美国卡莱马克斯-亨德森钼矿带的对比[J].大地构造与成矿学,2009,33(2):259-269.
- Wer Qingguo, Yuan Zhenlei, Yao Junming, et al. Characteristics of Mo deposits in the Eastern Qinling and comparison with those in Climax-Henderson [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33 (2): 259-269.
- 张怀东,王波华,郝越进,等.安徽沙坪沟斑岩型钼矿床地质特征及综合找矿信息[J].矿床地质,2012,31(1):41-51.
- Zhang Huaidong, Wang Bohua, Hao Yuejin, et al. Geological characteristics and comprehensive ore-prospecting information of Shapinggou porphyry-type molybdenum deposit in Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 2012, 31 (1): 41-51.
- 杨泽强.河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J].矿床地质,2007,26(3):289-295.
- Yang Zeqiang. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance [J]. Mineral Deposits, 2007, 26 (3): 289-295.
- 罗齐云,李吉林.河南光山县千鹅冲铜钼多金属矿床地质特征及成因浅析[J].地质与矿产,2009,23(6):495-499.
- Luo Qiyun, Li Jilin. The geological features and metallogenesis of Qian echong copper-molybdenum polymetallic deposit in Guangshan County, Henan Province [J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23 (6): 495-499.
- 罗正传,李永峰,王义天,等.大别山北麓河南新县地区大银尖钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].地质通报,2010,9(9):1349-1354.
- Luo Zhengchuan, Li Yongfeng, Wang Yitian, et al. The molybdenite Re-Os age of Dayinjian molybdenum deposit in the northern margin of the Dabie Mountain, Xinxian area, Henan, China and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 9 (9): 1349-1354.
- 张国伟,孟庆仁,于在平,等.秦岭造山带的造山过程及动力学分析[J].中国科学(D辑),1996,26(3):193-200.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, et al. The orogenic process and dynamic analysis of the Qinling Orogen [J]. Sciences in China (D), 1996, 26 (3): 193-200.
- 姚书振,周宗桂,吕新彪,等.秦岭成矿带成矿特征和找矿方向[J].西北地质,2006,39(2):156-178.
- Yao Shuzhen, Zhou Zonggui, Lv Xinbiao, et al. Mineralization characteristics and prospecting potential in the Qinling metallogenic belt [J]. Northwestern Geology, 2006, 39 (2): 156-178.
- 卢欣祥,于在平,冯有利,等.东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J].矿床地质,2002,21(2):168-178.
- Lu Xinxiang, Yu Zaiping, Feng Youli, et al. Mineralization and tectonic setting of deep hypabyssal granites in East Qinling Mountain [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (2): 168-178.
- 卢欣祥,罗照华,黄凡,等.秦岭一大别山地区钼矿类型与矿化组合特征[J].中国地质,2011,38(6):1518-1535.
- Lu Xinxiang, Luo Zhaohua, Huang Fan, et al. Mo deposit types and mineralization assemblage characteristics in Qinling-Dabie Mountain area [J]. Geology in China, 2011, 38 (6): 1518-1535.
- 黄典豪,吴澄宇,聂凤军.陕西金堆城斑岩钼矿床地质特征及成因探讨[J].矿床地质,1987,6(3):22-34.
- Huang Dianhao, Wu Chenyu, Nie Fengjun. Geological features and origin of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi province [J]. Mineral Deposits, 1987, 6 (3): 22-34.
- 杜建国,张鹏.大别造山带北部的中生代火山岩[J].现代地质,1999,13(1):57-65.
- Du Jianguo, Zhang Peng. Mesozoic volcanic rocks in northern part of Dabie orogenic belt [J]. Geoscience, 1999,

- 13 (1): 57-65.
- 张怀东, 史东方, 郝越进, 等. 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, 2010, 20 (2): 104-108.
- Zhang Huaidong, Shi Dongfang, Hao Yuejin, et al. Geological features of the Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Jinzhai country, Anhui Province [J]. *Geology of Anhui*, 2010, 20 (2): 104-108.
- 汤中立, 李小虎. 两类岩浆的小岩体成大矿 [A]. 第八届全国矿床会议论文集 [C]. 2006: 35-38.
- Tang Zhongli, Li Xiaohu. Small intrusions forming large deposits into two types of magma [A]. *Mineral Deposits* [C]. 2006: 35-38.
- 汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 岩浆硫化物矿床勘查研究的趋势与小岩体成矿系统[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33 (1): 1-9.
- Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Jiang Changyi, et al. Trends of Research in Exploration of Magmatic Sulfide Deposits and Small Intrusions Metallogenic System [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33 (1): 1-9.
- 孟祥金, 徐文艺, 吕庆田, 等. 安徽沙坪沟斑岩钼矿锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄[J]. 地质学报, 2012, 86 (3): 486-494.
- Meng Xiangjin, Xu Wenyi, Lv Qingtian, et al. Zircon U-Pb dating of ore-bearing rocks and molybdenite Re-Os age in Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Anhui Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86 (3): 486-494.
- 安三元, 卢欣祥. 秦岭斑岩组合的地质特征及成矿关系 [M]. 南京: 江苏科学出版社, 1984.
- An Sanyuan, Lu Xinxiang. Geological characteristics of porphyry complex and of Mt. Qinling and its association with mineralization [M]. *Jiangsu Science Press*, Nanjing, 1984.
- 李诺, 陈衍景, 张辉, 等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 2007, 14 (5): 186-198.
- Li Nuo, Chen Yanjing, Zhang Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling [J]. *Earth Science Frontier*, 2007, 14 (5): 186-198.
- 焦建刚, 汤中立, 钱壮志, 等. 东秦岭金堆城花岗斑岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来源及成矿机制[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2010, 35 (6): 1011-1022.
- Jiao Jiangang, Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, et al. Metallogenic mechanism, magma source and zircon U-Pb age of Jinduicheng granitic porphyry, East Qinling [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35 (6): 1011-1022.
- 陈衍景, 李超, 张静, 等. 秦岭钼矿带斑岩体锶氧同位素特征与岩石成因机制和类型[J]. 中国科学: D 辑, 2000, 30 (增刊): 64-72.
- Chen Yanjing, Li Chao, Zhang Jing, et al. Sr and O characteristics of porphyries in Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type [J]. *Science in China: Series D*, 2000, 30 (Suppl.): 64-72.
- 刘小舟, 王轩, 张江, 等. 陕西金堆城斑岩型钼矿床地质地球化学特征[J]. 西北地质, 2008, 41 (3): 71-78.
- Liu Xiaozhou, Wang Xuan, Zhang Jiang, et al. The geological and geochemical characteristics of the Jinduicheng Mo deposit, Shaanxi [J]. *Northwestern Geology*, 2008, 41 (3): 71-78.
- 乔怀栋. 从秦岭某些花岗岩稳定同位素特征看其成因[J]. 河南地质, 1986, 4 (4): 46-49.
- Qiao Huaidong. Stable isotopic characteristics and genesis of the some granites in Qinling orogenic belt [J]. *Henan Geology*, 1986, 4 (4): 46-49.
- 聂凤军, 樊建廷. 陕西金堆城-黄龙铺地区含钼花岗岩类稀土元素地球化学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1989, 8 (1): 22-33.
- Nie FJ, Fan J T. A study on REE geochemistry of the molybdenum-bearing granites in the Jinduicheng-Huanglongpu area, Shanxi [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1989, 8 (1): 22-33.
- 张正伟, 邓军. 东秦岭钼矿带成矿背景与含矿岩体特征 [M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- Zhang Zhengwei, Deng Jun. Geological setting of the eastern Qinling molybdenum belt and the features of the Mo-associated intrusions [M]. *Seismological Press*, Beijing, 2001.
- 王新. 金堆城钼矿区两类斑岩的识别 [D]. 西安: 西北大学, 2001.
- Wang, Xin. Identification of two porphyries in Jinduicheng molybdenum deposit [D]. Xi'an: North-west University, 2001.
- 李洪英, 毛景文, 王晓霞, 等. 陕西金堆城钼矿区花岗岩 SrNdPb 同位素特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2011, 38 (6): 1536-1550.
- Li Hongying, Mao Jingwen, Wang Xiaoxia, et al. Sr, Nd, Pb isotopic characteristics of granite in Jinduicheng area and their geological significance [J]. *Geology in China*, 2011, 38 (6): 1536-1550.
- 朱赖民, 张国伟, 郭波, 等. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 2008, 82 (2): 204-220.
- Zhu Laimin, Zhang Guowei, Guo Bo, et al. U-Pb (LA-ICP-MS) zircon dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling, China, and its metallogenic geodynamical setting [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82 (2): 204-220.
- 张红, 孙卫东, 杨晓勇, 等. 大别造山带沙坪沟特大型斑岩钼矿床年代学及成矿机理研究[J]. 地质学报, 2011, 85 (12): 2039-2059.

- Zhang Hong, Sun Weidong, Yang Xiaoyong, et al. Geochronology and metallogenesis of the Shapinggou giant porphyry molybdenum deposit in the Dabie orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85 (12): 2039-2059.
- 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钼同位素年龄及其意义[J]. *矿床地质*, 1994, 13 (3): 221-230.
- Huang Dianhao, Wu Chengyu, Du Andao, et al. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in East Qinling and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 1994, 13 (3): 221-230.
- 罗铭钦, 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.
- Luo Mingjiu, Zhang Fumin, Dong Qunying, et al. Molybdenum deposits in China [M]. Henan Press of Science and Technology, Zhengzhou, 1991.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. *岩石学报*, 2005, 21 (1): 169-188.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Zuoheng, et al. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21 (1): 169-188.
- 包志伟, 曾乔松, 赵太平, 等. 东秦岭钼矿带南泥湖—上房沟花岗岩成因及其对钼成矿作用的制约[J]. *岩石学报*, 2009, 25 (10): 2523-2536.
- Bao Zhiwei, Zeng Qiaosong, Zhao Taiping, et al. Geochemistry and petrogenesis of the ore-related Nannihu and Shangfanggou granite porphyries from East Qinling belt and their constraints on the molybdenum mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25 (10): 2523-2536.
- 袁海潮, 张铎, 何忙忙, 等. 陕西南马河钼矿地质特征及找矿远景分析[J]. *西北地质*, 2007, 40 (增刊): 79-87.
- Yuan Haichao, Zhang Duo, He Mangmang, et al. Geological characteristics and metallogenic prospect of the Mahe molybdenum deposit in Luonan County, Shaanxi Province [J]. *Northwestern Geology*, 2007, 40 (suppl): 79-87.
- 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. *地学前缘*, 2004, 11 (3): 285-297.
- Zhai Mingguo, Meng Qingren, Liu Jianming, et al. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (3): 285-297.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钼矿的铼-钼同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 1994, 68 (4): 339-347.
- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al. A study on the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68 (4): 339-347.
- 李先梓, 严阵, 卢欣祥. 秦岭-大别山花岗岩[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Li Xianzi, Yan Zhen, Lu Xinxiang. Granitoids of Mt. Qinling-Dabieshan [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993.
- 黄凡, 王登红, 陆三明, 等. 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期次划分[J]. *矿床地质*, 2011, 30 (6): 1039-1057.
- Huang Fan, Wang Denghong, Lu Sanming, et al. Molybdenite Re-O isotopic age of Shapinggou Mo deposit in Anhui Province and Mesozoic Mo ore-forming stages in East Qinling-Dabie Mountain region [J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30 (6): 1039-1057.
- 黄丹峰. 大别造山带晚中生代构造体制转换的火成岩记录[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- Huang Danfeng. Late Mesozoic Magmatic records for transition of tectonic regimes of Dabie orogenic belt [D]. China University of Geosciences, Beijing, 2010.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. *中国科学 (D辑)*, 2003, 33 (4): 289-299.
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, et al. The geodynamics setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China: The revelation from accurate timing of metal deposits [J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 33 (4): 289-299.
- 胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭, 等. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988.
- Hu Shouxi, Lin Qianlong, Chen Zeming, et al. The geology and metallogeny of the amalgamation zone between ancient North China plate and South China plate [M]. Press of Nanjing University, Nanjing, 1988.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Science Press, Beijing, 2001.
- Mao J W, Pirajno F., Xiang J F, et al. Mesozoic molybdenum depositss in the east Qinling-Dabie orogenic belt: Characteristics and tectonic settings [J]. *Ore Geology Review*, 2011, 43 (1): 264-293.
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling orogenic belt [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008b, 72 (18): 4607-4626.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H. et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,

- 1999, 63 (11-12): 1815-1818.
- Zhou J Y, Cui B F, Chen S Z. Geology, geochemistry and origin of the Hongshan porphyry cryptoexplosive breccia type copper deposit in Huichang County, Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 1999, 73 (1): 19-29.
- Yan F Z. Puziwan gold deposit in Shannxi, China; a special linear cryptoexplosive breccia type gold deposit [J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2000, 74 (3): 554-558.
- Zhang Z H, Mao J W, Kang Z. Geology and geochemistry of Shuangwang breccia type orogenic gold deposit in the western Qinling belt, central China [J]. Mineral Exploration and Sustainable Development, 2003, 18(2): 839-842.
- Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. Lithos, 1989, 22: 247-263.
- Morrison G W. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association [J]. Lithos, 1980, 13: 97-108.
- Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of American Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. Pacific Geology, 1974, 8: 173-174.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum ore belt, shaanxi province, China [J]. Economic Geology, 1997, 92: 827-835.
- Berzina A N, Sotnikov V I, Economou-Eliopoulos M, et al. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia [J]. Ore Geology Reviews, 2005, 26: 91-113.

The Comparative Study on Small Intrusion Type Molybdenum Deposits of Shapinggou and Jinduicheng

XU Gang¹, TANG Zhong-li¹, JIAO Jian-gang¹, HAN Xiao-bao²,
ZHONG Jia-xin³, WEI Xiang¹, QIU Gen-lei¹

(1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Hebei Center of Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Shijiazhuang
050081, China; 3. Ningxia Hui Autonomous Region Institute of Land and Resources Survey
and Monitoring, Yinchuan 750004, China)

Abstract: Shapinggou and Jinduicheng are superlarge small intrusion type deposits which located on the East Qinling-Dabie molybdenum metallogenic belt. Comparative study which on the geological features, mineralogenetic epoch, material source, Mineralization dynamics background and small intrusion metallogenetic mechanism etc. show some results as following: Two deposits have similarity in many respects such as metallogenetic type, Chemical composition of ore-bearing porphyry body, alteration distribution, time consistency of diagenetic and mineralization etc. The mineralization of two deposits is controlled by the small porphyry. The high grade and large reserves molybdenum mineralization in Shapinggou molybdenum deposit are attributed to the blasting breccia, a longer period of time of the hydrothermal activity and the emplacement space of porphyry. The two deposits have a similar metallogenetic mechanism of small intrusion mineralization. The Yanshanian deep-hypabyssal granitoids which are homologous with the small ore-bearing intrusion occurred differentiation and evolution in deep. A large amount of hydrotherm and mineral substance that from the granitoids emplaced to the head (or the shallow) of the porphyry or the outside contact zone.

Key words: Shapinggou; Jinduicheng; porphyry molybdenum deposit; small intrusion mineralization