

河南汤家坪钼矿床流体成矿作用研究

杨 艳^{1,2,3} 张 静² 刘家军² 孙亚莉¹ 李 晶^{1,3} 杨泽强⁴

(1. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队, 河南 信阳 464000)

摘要: 汤家坪大型斑岩型钼矿床位于大别造山带。对流体包裹体的岩相学、显微测温及激光拉曼显微探针分析表明, 汤家坪钼矿床的流体包裹体可划分为富(含)CO₂包裹体、水溶液包裹体和含子晶包裹体 3 类; 均一温度集中在 126.7~472.1℃, 盐度集中在(0.18~14.21)wt%和(33.10~54.37)wt%, 密度为 0.38~1.21g/cm³; 子矿物含石盐及金属硫化物等。从矿体中心向外围, 流体包裹体的温度、盐度有逐渐变小的趋势; 从成矿早阶段到晚阶段, 由高盐度低密度岩浆流体逐渐变为低盐度低密度流体, 压力逐渐变小, 深度变浅。辉钼矿的 Re-Os 模式年龄集中在 113~118 Ma, 表明成矿略晚于母岩岩体的成岩时代, 其成岩成矿的构造背景为华北与扬子板块碰撞造山晚期的伸展构造体制。

关键词: 流体包裹体; 成矿流体; 斑岩钼矿; 汤家坪

中图分类号: P618.65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)06-1240-10

河南省商城县汤家坪大型斑岩型钼矿床(2004 年探明的钼资源储量为 23.5 万 t) 的发现是大别山区找矿的重大突破, 前人对该矿床的研究主要集中在赋矿岩体年代学、矿床地质特征、蚀变分带等^[1-3], 而对该矿床的地球化学, 尤其是流体包裹体地球化学研究甚少, 这对于深入分析汤家坪钼矿床成矿物质与流体的来源、演化及成矿过程恰恰又是至关重要的。基于此, 笔者以汤家坪钼矿斑岩和矿化石英脉为主要研究对象, 通过流体包裹体岩相学、显微测温及成分研究, 分析了汤家坪钼矿床的成矿流体特征、演化及其与矿化的关系, 结合辉钼矿 Re-Os 测年, 确定了成矿时代及其构造背景。

1 区域地质背景

研究区位于大别造山带, 属于豫南桐柏—大别山变质核杂岩隆起带北东部。其南、北边界分别为襄樊—广济断裂和栾川—明港—固始断裂(图 1-A)。其

中, 龟梅(龟山—梅山)断裂相当于华北古板块与扬子古板块之间的最终缝合带(图 1-A), 与秦岭地区的商丹断裂相当^[4]。龟梅断裂以北发育秦岭群变质杂岩(主体为古元古代)和二郎坪群浅变质火山—沉积岩系(新元古代—早古生代), 二者由朱夏断裂分隔, 共同组成华北古板块南部的加里东期增生带^[5], 其上局部覆盖晚古生代地层, 如下石炭统花园墙组绢云石英片岩; 龟梅断裂以南依次发育海西—印支期增生杂岩信阳群、加里东期增生杂岩肖家庙组(Z-Ox)和大别/桐柏变质核杂岩(Ar₃—Pt₁), 其边界断裂分别为桐—商(桐柏—商城)断裂和晓天—磨子坛断裂。信阳群内蕴含晚古生代蛇绿混杂岩和前寒武纪碎块, 因此其形成时代长期争议。桐柏或大别变质核杂岩由变质深成岩系、表壳岩系和侵入其中不同时代的岩浆岩共同组成, 其变质深成岩系相当于过去所称的桐柏群或大别群^[2], 主要为二长花岗质片麻岩、云英闪长质片麻岩、黑云斜长片麻岩, 蕴含超高压变

收稿日期: 2008-10-17; 改回日期: 2008-10-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB403506, 2006CB403508)、国家自然科学基金项目(40502012)以及地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金项目(GPMR200641)资助。

作者简介: 杨艳, 女, 1983 年生, 博士生, 研究方向为矿床学; E-mail: yangyan520123@163.com。

通讯作者: 张静, E-mail: zhangjing@cugb.edu.cn。

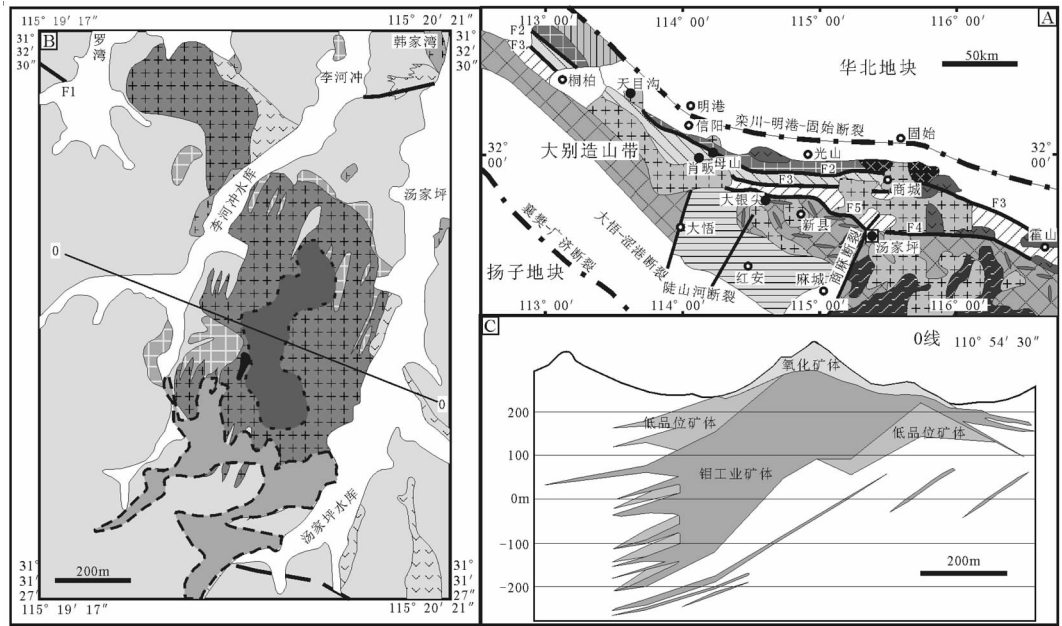


图 1 区域及矿区地质图

A—大别造山带地质略图(据参考文献[2]修改);B—汤家坪钼矿区地质及蚀变分带图(据河南地调三队资料修改);
C—汤家坪钼矿矿体 0 线剖面图(据河南地调三队资料简绘)

Fig.1 Maps showing the regional and ore geology of the Tangjiaping Mo deposit

A—Simplified geological map of the Dabie orogenic belt;B—Geological map showing alteration zones of the Tangjiaping Mo ore district;
C—Geological profile of prospecting line zero showing the occurrence of ore body

质成因的榴辉岩地体;变质表壳岩系以红安群含磷变质岩系为代表,一般认为红安群不整合在大别群之上;而侵入岩则主要表现为晋宁期和燕山期的花岗岩类(图 1-A)。大别造山带发育多期岩浆岩,但以燕山期岩浆岩最为广泛(图 1-A)。该区矿床(点)成因上均与中生代—古生代岩浆活动有关^[6]。规模较大的燕山期花岗岩基多沿桐柏—商城断裂分布,有灵山、新县和商城等岩体,规模较小的岩体主要形成于早白垩世;桐柏—大别早古生代—三叠纪,华北陆块和扬子陆块相向俯冲挤压碰撞造山,在三叠纪发生的陆—陆碰撞中,扬子陆块向北俯冲至华北陆块之下^[7],区内发育多期次的韧性变形以及脆性变形为主的推覆构造和断裂构造,表现为北北东—北东向断裂和沿断裂分布的中酸性构造—岩浆岩带,并与东西向断裂相互交织组成格子状构造。在上述两组断裂交汇的构造结点及其附近,常形成(含钼或钨、铁、铅锌、铜、硫等)中酸性小岩体与钼矿床^[8]。

汤家坪钼矿处于桐(柏)—商(城)韧性剪切带南侧的桐柏—大别山带核部(图 1-A),西距北北东向的商(城)—麻(城)断裂 2 km,岩体侵入就位明显受

其控制。矿区内出露地层简单,主要为元古界大别深成变质岩系和星散分布的太古宇—元古界变质表壳岩系。主要岩性为黑云斜长片麻岩,其次为斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩等。经区域变质作用,加之强烈构造活动的多期性,使岩石片理、片麻理发育,产状变化较大。

2 矿床地质特征

2.1 含矿岩体特征

矿区岩浆岩主要出露早白垩世的汤家坪花岗斑岩体,为细粒二长花岗斑岩,出露于李河冲单元两侧,两岩体单独呈略具北东向延伸的短轴不规则状,总体呈北西向连接趋势,出露面积 0.4 km²(图 1-B)。岩石风化呈灰褐色,斑状结构,块状构造。其中较大岩体呈孤立岩株侵入于矿区中偏北部,平面形态呈不规则椭圆状,长轴方向北东 20°左右,出露长 650 m,宽 400~500 m,出露面积约 0.27 km²;剖面上呈正“八”字型外倾,东部倾角 75°左右,西部较缓(图 1-C)。

2.2 矿床地质特征

钼矿体主要赋存于汤家坪花岗斑岩体内部及外

接触带中,90%以上的工业矿体赋存在斑岩体内,矿石为网脉浸染状,因此,该矿床属典型的斑岩型钼矿床。

目前工程控制一个主要钼矿体。矿体平面形态与斑岩体基本一致,呈似椭圆形;矿体剖面上与岩体产状相同,横向深度变大(图 1-C)。矿体内夹石少,内部构造简单。矿体厚度变化小,局部有膨胀、收缩及分枝现象。斑岩体内的矿体,钼品位从岩体中间向两侧逐渐变贫;片麻岩中局部节理裂隙密集处富集成矿,但矿化很不均匀;垂向上地表品位略低,向深部变富。矿体与围岩无明显的界线,呈渐变过渡关系。矿体未受构造作用的破坏,仅个别断层和岩脉穿插于矿体中,但没有破坏矿体的连续性。

2.3 围岩蚀变

汤家坪钼矿床发育一套典型斑岩型矿床的蚀变分带,自斑岩体中心向外大致呈现出钾化-绢英岩化-硅化-青磐岩化,大致呈同心环带状,各蚀变分带在空间上以面型或条带状分布(图 1-B)。斑岩体的钾化主要表现为钾长石、微斜长石形成聚合斑晶,斜长石被钾长石交代;绢英岩化位于斑岩体顶部,受裂隙控制,多呈不规则绢英岩块产出,伴有浸染状黄铁矿、辉钼矿等。硅化表现为纵横交错的石英细脉广泛发育,多分布在斑岩体外接触带围岩中,石英脉的发育程度与钼矿化富集有关。青磐岩化见于矿体边部,较窄且分带不明显。

3 流体包裹体特征

3.1 样品及实验条件

本次研究样品主要采自钾硅化和石英绢云母化斑岩、矿化斑岩、弱蚀变斑岩及硅化石英脉等(表 1)。

单个包裹体气相成分的激光拉曼探针分析在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室流体包裹体实验室完成。使用仪器为英国

Renishaw 公司生产的 RM-2000 型激光拉曼探针仪,使用 Ar⁺激光器,波长 514 nm,所测光谱的计数时间为 10 s,每 1 cm⁻¹(波数)计数一次,100~4000 cm⁻¹ 全波段一次取峰,激光束斑大小约为 1 μm,光谱分辨率 2 cm⁻¹。流体包裹体显微观察及测温在中国地质大学(北京)流体包裹体实验室完成,所使用的仪器为英国 Linkam 公司生产的 THMSG600 型冷热台(温控范围-196~+600℃),冰点温度误差小于 0.2℃,均一温度误差小于 2℃,升/降温速率一般为 10℃/min,在相变点温度附近为 <1℃/min。

3.2 流体包裹体岩相学特征

石英脉及斑岩中石英斑晶内均发育大量原生流体包裹体,多成群分布,少数呈孤立分布;包裹体大小多在 2×4 μm~15×30 μm;一般为椭圆形、条形、不规则状。这些流体包裹体可以分为 3 种类型:

I 型:富(含)CO₂ 包裹体(图 2a-d),据气相充填度的大小,可分为两个亚类:Ia 型:气相充填度 < 40%,气相成分除 CO₂ 外,还有 SO₂ 等(图 3-a),充填度较稳定,均一温度较低,一般均一到液相;Ib 型:气相充填度在 60%~95%(图 2c-d),气相成分主要为 CO₂(图 3-b),充填度变化较大,具有较高的均一温度,均一到气相。

II 型:含子晶高盐度水溶液包裹体(图 2e-f),由一个或多个子矿物相、一个液相和一个气相组成。子矿物有透明和不透明两类,透明子矿物以立方体状石盐和浑圆状的钾石盐;不透明子矿物常呈四面体、立方体自形晶或不规则状,拉曼测试表明其主要是黄铜矿、赤铁矿、脆硫锑铅矿。石盐子晶以及硫化物子晶的同时出现,说明了成矿流体属于高盐度且富含成矿金属元素的流体;在样品 TJP-14 及 TJP-19 中观察到了该类型包裹体,其均一温度较高,为 232.2~458.9℃,个别均一温度高于 550℃。

III 型:水溶液包裹体(图 2-g),由气相和水溶液

表 1 汤家坪钼矿样品特征

Table 1 Sample location and description of the Tangjiaping Mo deposit

样品编号	所属蚀变带	特征
TJP-10	中期硅化	含浸染状辉钼矿的石英脉(矿化石英脉)
TJP-14	矿化斑岩, 早期硅化	含有钼华的钾化花岗岩, 含有大量石英细脉
TJP-19	钾长石化	含黄铁矿的钾长石化花岗岩
TJP-20	绢英岩化	肉红色花岗岩中的石英网脉, 边缘发育浸染状辉钼矿
TJP-22	晚期硅化	白色花岗岩中的后期无矿石英网脉

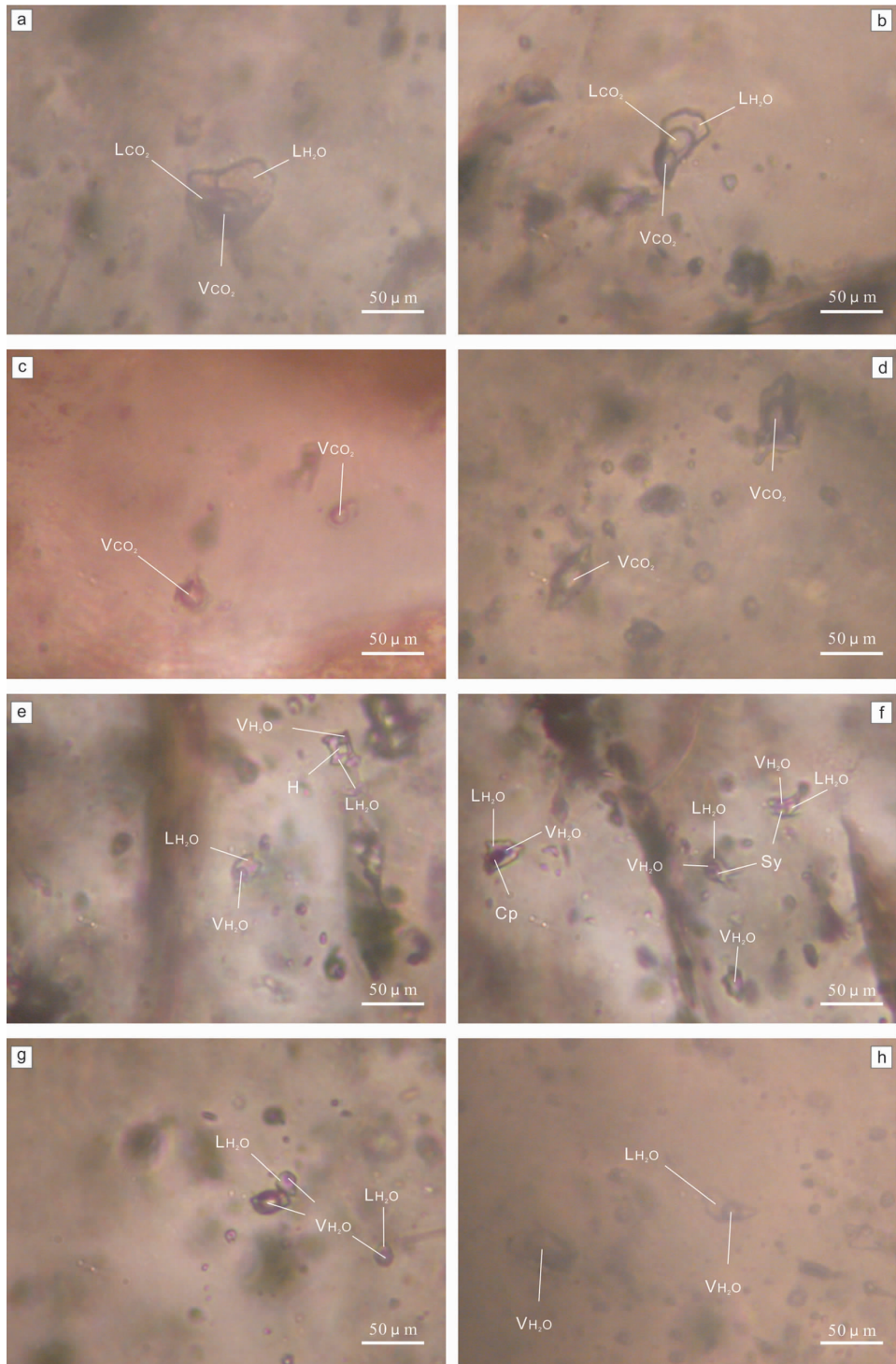


图 2 石英斑晶及脉中的流体包裹体

a、b—富(含)CO₂包裹体, Ia型包裹体(样号 TJP-10); c—富(含)CO₂包裹体, Ib型包裹体(样号 TJP-14); d—富(含)CO₂包裹体, Ib型包裹体(样号 TJP-19); e、f—含子晶高盐度水溶液包裹体(样号 TJP-14); g—水溶液包裹体(样号 TJP-20); h—水溶液包裹体, 气相充填度>60%, 个别达 80%~99%(样号 TJP-22); 子晶: H—石盐; Sy—钾盐; Cp—黄铜矿

Fig.2 Microphotographs of the fluid inclusions in quartz phenocrysts and veins

a, b- CO₂-rich (-bearing) fluid inclusions, type Ia (No. TJP-10); c- CO₂-rich (-bearing) fluid inclusions, type Ib (No. TJP-14); d- CO₂-rich (-bearing) fluid inclusions, type Ib (No. TJP-19); e, f- High-salinity daughter-crystal-bearing fluid inclusions (No. TJP-14); g- Aqueous solution fluid inclusions (No. TJP-20); h- Aqueous solution fluid inclusions, V/(V+L) > 60% (No. TJP-22); daughter-crystal: H- Halite; Sy - Sylvite; Cp-Chalcopyrite

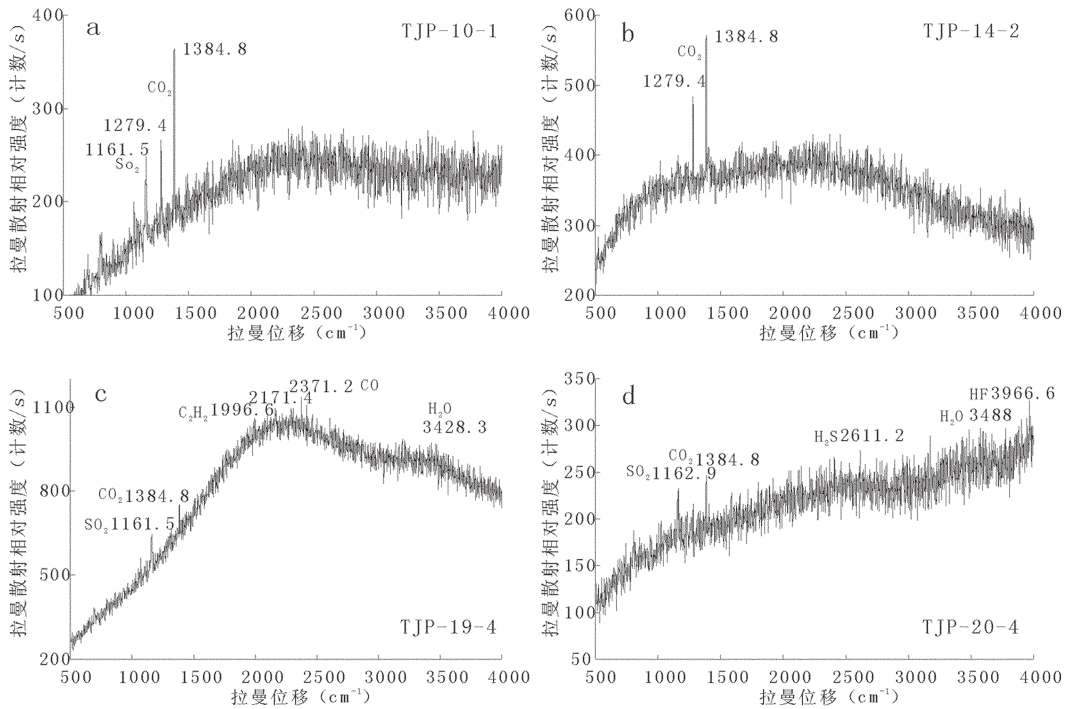


图3 汤家坪钼矿床流体包裹体原位气相成分拉曼光谱分析

Fig.3 Laser Raman spectra of the fluid inclusions in the Tangjiaping Mo deposit

相组成,气相成分常含 H_2S 、 CO 、 SO_2 、 H_2O 及少量 CO_2 (图 3-c),极个别(TJP-20)中含有 HF (图 3-d);据气相充填度的大小,可分为两个亚类:Ⅲa型:气相充填度<40%,大多数水溶液包裹体属此类,均一温度较低,一般均一到液相;Ⅲb型:气相充填度>60%,有的可达 80%~99%,均一到气相(图 2-h)。

3.3 流体包裹体热力学

流体包裹体均一温度、冰点、石盐熔化温度、笼合物融化温度等由冷热台显微测温直接获得(表 2);盐度和密度依据刘斌等^[9]、卢焕章等^[10]所给的公式计算;成矿压力根据 Hass(1976 转引自文献[9])及 Bischoff(1991 转引自文献[9])推导的计算 NaCl 水溶液包裹体均一压力 $P_h(\text{bar})$ 公式计算;如果成矿时系统处于封闭状态,由静岩压力 $P = \rho gh$ 换算(围岩有榴辉岩、片麻岩,设其密度为 $2.8\text{g}/\text{cm}^3$),得出成矿深度;如果成矿时处于全开放系统,则按流体静水压力换算(流体密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$),得出成矿深度,该值为最大成矿深度(表 3)。

从表 2~3 可以看出Ⅲa型与Ⅲb型流体包裹体均一温度相近,分别为 $126.7\sim 472.1^\circ\text{C}$ 和 $186.9\sim 460.2^\circ\text{C}$,中低温到高温并存;盐度(0.18~7.59)wt%

NaCl.eqv 属低盐度;密度较低,为 $0.38\sim 0.97\text{g}/\text{cm}^3$ 。在不同阶段的矿化中,早阶段矿物(TJP-14 和 TJP-19)中获得的包裹体均一温度最高值明显高于其他阶段。同时,TJP-19 样品中Ⅱ型包裹体的石盐熔化温度($232.2\sim 458.9^\circ\text{C}$)也较高,总体高于气液相均一温度($126.7\sim 472.1^\circ\text{C}$);计算得到Ⅱ型包裹体的盐度为 33.10%~54.37%,平均值为 47.52%,个别石盐子晶的熔化温度高于 500°C 及 550°C ,其盐度分别高于 59.76%和 66.75%。Ⅱ型包裹体密度为 $1.09\sim 1.21\text{g}/\text{cm}^3$;平均 $1.11\text{g}/\text{cm}^3$,属高盐度、低密度流体。Ⅰ型包裹体盐度(3.38~14.21)wt% NaCl.eqv 高于Ⅲ型,但明显低于Ⅱ型;其密度($0.75\sim 0.91\text{g}/\text{cm}^3$)与Ⅲ型相当。依据不同类型包裹体计算的的压力平均值变化于 $2.6\sim 21.8\text{MPa}$,相当于静岩压力深度 $0.1\sim 0.8\text{km}$,静水压力深度 $0.3\sim 2.2\text{km}$,变化范围较大,一方面显示了静水与静岩压力之间的交替,预示流体沸腾-岩石破裂与成矿物质卸载沉淀-裂隙系统愈合现象的交替,一方面表明一些数据的可靠性或方法本身存在缺陷。考虑到流体沸腾时 CO_2 等气体快速逃逸^[11-14],所沉淀矿物无法捕获富 CO_2 的Ⅰ型包裹体,因此确定以Ⅰ型包裹体计算的静岩压力深度可以大致代

表 2 汤家坪钼矿包裹体测温分析
Table 2 Microthermometric data measured on fluid inclusions of the Tangjiaping Mo deposit

样号	测试数	大小/ μm	气液比/%	均一温度 $T_h/^\circ\text{C}$			石盐熔化温度/ $^\circ\text{C}$	冰点/ $^\circ\text{C}$	笼合物融化温度/ $^\circ\text{C}$
				类型	范围	平均值/个数			
TJP-10	40	3~20	3~80	IIIa	157.2~375.2	212.3/36		-3.7~-0.2	
				IIIb	293.6~423.3	367.8/4			
				I					
TJP-14	41	2~25	1~80	IIIa	126.7~472.1	251.4/32	232.2~458.9	-6.7~-0.1	
				IIIb	186.9~460.2	332.5/5			
				II					
TJP-19	40	3~30	5~35	IIIa	171.6~444.7	273.5/35		-3.2~-0.2	
				IIIb	284.2~412.6	325.3/5			
				I					
TJP-20	40	4~20	5~90	IIIa	256.7~335.3	296.0/10		-4.2~-0.1	
				IIIb	187.2~410.6	330.5/27			
				I					
TJP-22	41	2~20	5~40	IIIa	132.8~348.2	206.6/40		-2.9~-0.1	

注:I:富(含) CO_2 流体包裹体;II:含子晶高盐度水溶液流体包裹体;III:低盐度水溶液流体包裹体;IIIa:气相充填度<40%,IIIb:气相充填度>60%,有的可达80%~99%。

表 3 汤家坪钼矿流体等参数
Table 3 Salinity, density and pressure estimated for the Tangjiaping ore-forming fluid-system

样号	包裹体类型	盐度 (NaCl)/%		密度(g/cm^3)		压力/MPa		成矿深度/km	
		范围	平均	范围	平均	范围	平均	静岩压力 深度/平均	静水压力 深度/平均
TJP-10	III	0.35~6.01	2.93	0.43~0.94	0.85	0.6~18.5	2.6	0.02~0.67/0.1	0.6~1.89/0.3
	I	3.38~14.21	9.67	0.81~0.91	0.88				
TJP-14	III	0.18~7.59	2.33	0.40~0.97	0.81	0.2~18.0	5.0	0.01~0.66/0.2	0.02~1.84/0.5
	II	33.10~54.37	47.52	1.09~1.21	1.11	1.8~37.9	21.8	0.66~1.38/0.8	0.18~3.87/2.2
TJP-19	III	0.35~5.26	2.90	0.38~0.92	0.76	0.8~16.7	6.4	0.03~0.61/0.2	0.08~1.71/0.7
	I	4.69~12.11	8.08	0.75~0.88	0.81				
TJP-20	III	0.18~6.74	2.04	0.44~0.99	0.69	1.2~21.7	11.3	0.04~0.79/0.4	0.12~2.21/1.2
	I	4.69~11.43	7.97	0.75~0.85	0.80				
TJP-22	III	0.18~4.80	2.77	0.61~0.96	0.87	0.3~16.1	2.6	0.01~0.58/0.1	0.03~1.64/0.3

注:I:富(含) CO_2 流体包裹体;II:含子晶高盐度水溶液流体包裹体;III:低盐度水溶液流体包裹体,IIIa:气相充填度<40%,IIIb:气相充填度>60%,有的可达80%~99%。

表成矿深度,而此深度恰与国内外斑岩矿床形成的深度 1~5 km 相当。

总之,汤家坪钼矿的流体属中低温与高温并存、高低盐度并存、低密度的流体,成矿深度较浅。

4 成矿作用

4.1 成矿流体性质及演化

结合流体包裹体所在样品的地质特征(表 1)可

以发现:样品 TJP-14 为矿化斑岩,其中可见 II 型和 IIIb 型流体包裹体共存(图 2-c、e、f),它们的均一温度相近(300~480 $^\circ\text{C}$)(表 2,图 4),而 II 型盐度(33.10~54.37)wt% NaCl.eqv 与 IIIb 型盐度(0.18~7.59)wt% NaCl.eqv 差异明显(表 2,图 5)。造成这种现象的原因有 3 种,一种为流体演化过程中不均匀捕获的结果,指示成矿流体包裹体在被捕获的时刻含有两个相,即液相和气相,它们可能是原来液相

的流体发生沸腾所致;另一种可能是原来气相的流体发生冷凝所致;再一种就是两种不同性质流体的混合。但在汤家坪钼矿床,大多数情况下,Ⅲb型包裹体多于Ⅱ型包裹体,说明沸腾的可能性大于冷凝,且NaCl-KCl-H₂O体系的气相流体由冷凝作用不可能产生盐度高于50%的流体^[10],因此可以确定Ⅱ型和Ⅲb型的包裹体被捕获时流体确实处于沸腾状态;同时,其均一温度则应该代表成矿流体的真实温度,Ⅱ型与Ⅲa、Ⅲb型共存且Ⅱ型均一温度与Ⅲb型相近,二者都高于Ⅲa型均一温度,显示为两个较明显的峰值(图4),表明或者发生了两种性质的流体混合,或者发生了两期流体沸腾作用,也有可能两种作用并存。而其中高盐度低密度的流体即代表了含水的“岩浆”,其形成深度较大(静岩压力下达3.87 km),由于高盐度流体具有很强的携带成矿元素的能力,因此可以认为其代表初始的成矿流体。

样品TJP-19及TJP-20分别是采自钾化及绢英岩化带的蚀变岩,其流体属中低盐度(0.35wt%~12.11 wt%),由于在斑岩型矿床成矿体系中,岩浆流体与地下水的混合是不可避免的^[10],而高盐度富含金属成矿元素的流体与地下水混合,流体的盐度和密度相应的就会降低,这与实际测得的结果相符。在斑岩型矿床的成矿过程中,温度降低、压力减小、水岩反应和流体混合4个因素都起了作用^[15],而钾化蚀变与绢英岩化都是属于水岩反应,这也是有利于矿质沉淀的。

样品TJP-10和TJP-22是中期和晚期石英脉,均一温度低于其他3个样品(表2),盐度也有相同的变化趋势(表3),应当是属于整个成矿体系应力趋于减弱,因此石英网脉发育,同时,体系的开放是压力减小、温度降低的过程,矿质随着进一步沉淀,成矿压力及估算的深度也证明了这一点(表3);但

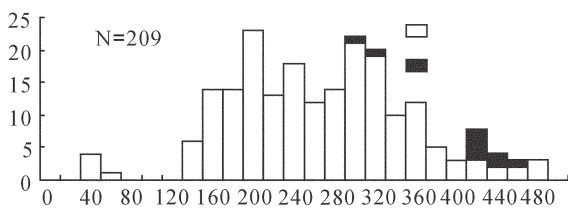


图4 汤家坪钼矿高盐度和低盐度流体包裹体均一温度直方图

Fig.4 Frequency histograms of homogenization temperature of type II and type III fluid inclusions

到了晚期,由于体系的开放继续,应当会有大气降水等较低盐度流体的加入、环境趋于氧化,盐度进一步降低,矿质的沉淀趋于停止,剖面上则形成中心为高品位矿体,周边低品位,而靠近地表则分布氧化矿体(图1-C)。

综上,从斑岩体的中心向外围,流体包裹体的温度、盐度有逐渐变小的趋势;从成矿早阶段到晚阶段,流体由高盐度低密度岩浆流体逐渐变为低盐度低密度流体,压力逐渐变小,深度变浅。为岩浆流体与其他低密度流体的沸腾、混合作用形成。

4.2 成矿时间和构造背景

表4列出了有关汤家坪斑岩钼矿成矿系统的各类年龄,已有同位素年龄数据分布在97.7~153 Ma之间。其中锆石铀铅年龄为116~123 Ma,可能代表成矿斑岩的形成年龄;矿石辉钼矿铼钨模式年龄为113.5~126 Ma,集中在113.1~118.5 Ma,略晚于母岩岩体的成岩时代,成岩年龄与成矿年龄的时间差在10 Ma之内,符合一般斑岩矿床的成矿作用稍晚于斑岩体的侵入冷凝作用的特点^[16]。总之,汤家坪斑岩成矿系统发育在早白垩世。

陆陆碰撞导致造山带内发育一系列拆离和薄皮或厚皮推覆堆叠构造,使造山带地壳缩短、隆升,造山带深部物质部分熔融形成花岗岩浆,导致花岗岩类的大规模发育;在碰撞造山过程中,挤压向伸展转变期的减压增温体制是花岗质岩浆形成和侵位的高峰期^[4,17]。就秦岭—大别造山带而言,扬子板块与华北板块于晚三叠纪逐步实现全面对接^[11-12,18-19],陆陆碰撞全面开始,挤压造山的高峰发生在侏罗纪,侏罗

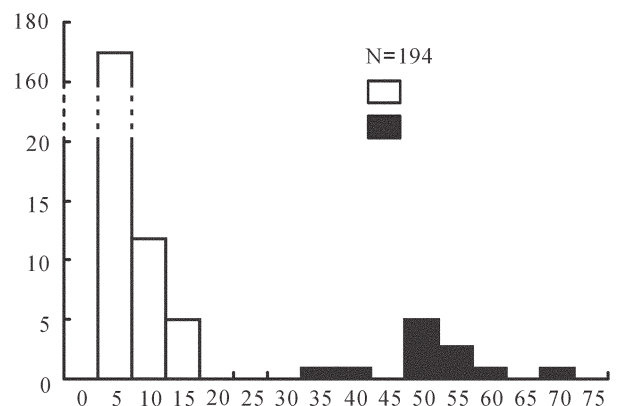


图5 汤家坪钼矿流体包裹体盐度直方图

Fig.5 Frequency histograms of salinity of fluid inclusions of the Tangjiaping molybdenum deposit

表 4 汤家坪钼矿床岩体及矿体同位素年龄

Table 4 Isotope ages of the Tangjiaping Mo-containing porphyry system

样品地质特征	测试对象	同位素方法	年龄/Ma	资料来源
东秦岭大别钼矿带斑岩体	——	K-Ar 年龄	97.7~141.8	文献[6]
汤家坪斑岩体	——	——	153	文献[8]
汤家坪斑岩体	锆石	U-Pb 年龄	116~123	文献[2]
辉钼矿矿石	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	113.5~118.5(5 个)	文献[2]
辉钼矿矿石	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	113.1±7.9	文献[2]
辉钼矿矿石	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	117	本文
辉钼矿矿石	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	126	本文

注:“——”表示“不详”。

纪—白垩纪之交发生挤压向伸展转变,大规模发生花岗岩浆作用和成矿作用,因此东秦岭—大别钼矿带的斑岩矿床主要形成于晚侏罗世和早白垩世,即 160~100 Ma^[20-21]。那么,形成于早白垩世的汤家坪钼矿床的成岩成矿构造背景应该是碰撞造山作用的伸展构造体制。

5 结 论

(1)汤家坪钼矿床的流体包裹体可划分为富(含)CO₂ 流体包裹体、水溶液流体包裹体和含子晶流体包裹体 3 类,均一温度集中在 126.7~472.1℃,有低盐度(0.18wt%~14.21wt%)及高温高盐度(33.10wt%~54.37 wt%)两种流体;成矿深度较浅。

(2)从斑岩体的中心向外围,流体包裹体的温度、盐度有逐渐变小的趋势;从成矿早阶段到晚阶段,由高盐度低密度岩浆流体逐渐变为低盐度低密度流体,压力逐渐变小,深度变浅。成矿过程中的流体沸腾现象显著。

(3)汤家坪钼矿的成矿年龄集中在 113~118 Ma,成岩成矿系统发育在扬子板块与华北板块碰撞造山晚期的伸展构造体制,或后碰撞伸展阶段。

致谢:研究工作得到了陈衍景教授的悉心指导,实验工作得到了诸惠燕老师的帮助,野外工作得到了河南地调三队徐友灵、万守全、马宏卫高级工程师的帮助,在此深表谢意!通讯作者张静曾多次当面请教著名矿床学家胡受奚教授,受益匪浅,谨以此文表示对胡受奚先生的感谢和对他 80 寿辰的祝贺!

参考文献(References):

[1] 马宏卫. 河南商城汤家坪钼矿地球化学异常特征及找矿标志[J]. 矿产与地质, 2007, 21(5):520-526.
Ma Hongwei. Characteristics of geochemical anomaly of the

Tangjiaping molybdenum deposit and its prospecting indicators in Shangcheng, Henan [J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21 (5):520-526(in Chinese with English abstract).

[2] 杨泽强. 河南省商城县汤家坪钼矿成矿模式研究[D]. 硕士学位论文. 北京:中国地质大学(北京), 2007:7-56.
Yang Zeqiang. Study on the metallogenic modle of the Tangjiaping molybdenum deposit from Shangcheng county, Hennan Province [D]. Beijing:China University of Geosciences (Beijing), 2007:7-56 (in Chinese with English abstract).

[3] 徐友灵. 汤家坪钼矿床地质特征[J]. 矿业快报, 2005, 433(7):27-29.
Xu Youling. The geological characteristics of the Tangjiaping Molybdenun Deposit [J]. Express Information of Mining Industry, 2005, 433(7):27-29(in Chinese).

[4] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京:地震出版社, 1992:1-234.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan[M]. Beijing:Seismological Press, 1992:1-234 (in Chinese with English abstract).

[5] 胡受奚(主编). 华北与华南古板块拼合带地质与成矿[M]. 南京:南京大学出版社, 1988:1-558.
Hu Shouxi (Editor in chief). Geology and Mineralization in the Margin of the North China Plateform and South China Palaeoplate [M]. Nanjing:Nanging University Press, 1988:1-558(in Chinese).

[6] 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京:地质出版社, 2000:229-243.
Luo Mingjiu, Li Shimei, Lu Xinxiang, et al. The Mineralization and Minerogenetic Series of Major Resource in Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:229-243(in Chinese).

[7] 王清晨, 从柏林. 大别山超高压变质带的大地构造框架 [J]. 岩石学报, 1998, 14(4):481-492.
Wang Qingchen, Cong Bolin. Tectonic Framework of the Ultrahigh-Pressure Metamorphic Zone from the Dabie Mountains [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(4):481-492 (in Chinese with English abstract).

[8] 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.
Luo Mingjiu, Zhang Fumin, Dong Qunying, et al. Molybdenum Deposits in China [M]. Zhengzhou:Sci. & Techn. Press of Henan,

- 1991:221-230 (in Chinese).
- [9] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999:44-215.
Liu Bin, Shen Kun. Thermodynamics of Fluid Inclusions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:44-215 (in Chinese with English abstract).
- [10] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社, 2004:201-303.
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid Inclusion[M]. Beijing: Science Press, 2004:201-303(in Chinese).
- [11] Chen Yanjing, Pirajno F, Sui Yinghui. Geology and D-O-C isotope systematics of the Tieluping silver deposit, Henan, China: Implications for ore genesis [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79: 106-119.
- [12] Chen Yanjing, Pirajno F, Qi Jinping, et al. Ore geology, fluid geochemistry and genesis of the Shanggong gold deposit, eastern Qinling Orogen, China [J]. Resource Geology, 2006, 56:99-116.
- [13] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿床的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2085-2108.
Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (9):2085-2108 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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, 4:186-198.
Li Nuo, Chen Yanjing, Zhang Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14:186-198 (in Chinese with English abstract).
- [15] Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. New York:John Wiley&Sons, 1997:798.
- [16] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社, 1984:1-350.
Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, et al. Pophyry Copper (Molybdenum)Deposits of China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1984:1-350(in Chinese).
- [17] Pirajno F. Hydrothermal processes and mineral systems[M]. Berlin: Springer, 2008:1080-1080.
- [18] 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. CMF模式的排他性依据和造山型银矿实例: 东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学 [J]. 岩石学报, 2003, 19(3):551-568.
Chen Yanjing, Sui Yinghui, Pirajno F. Exclusive evidences for CMF model and a case of orogenic silver deposits: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, East Qinling Orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(3):551-568(in Chinese with English abstract).
- [19] Zhang Jing, Chen Yanjing, Shu Guiming, et al. Compositional study of minerals within the Qinlingliang granite, southwestern Shaanxi Province and discussions on the related problems [J]. Science in China (Series D), 2002, 45 (7):662-672.
- [20] Chen Yanjing, Li Chao, Zhang Jing, et al. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type [J]. Science in China Series D, 2000, 43(Supp.):82-94.
- [21] 李诺, 陈衍景, 赖勇, 等. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2177-2188.
Li Nuo, Chen Yanjing, Lai Yong, et al. Fluid inclusion study of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (9):2177-2188 (in Chinese with English abstract).

Hydrothermal metallogeny of the Tangjiaping molybdenum deposit, Henan Province

YANG Yan^{1,2,3} ZHANG Jing^{2*} LIU Jia-jun² SUN Ya-li¹ LI Jing^{1,3} YANG Ze-qiang⁴

1. KLMD, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong China;
2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
4. No.3 Geological Surveying Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: The Tangjiaping Mo deposit in Henan Province is located in the Dabie orogenic belt. In quartz three types of fluid inclusions can be observed, namely CO₂-rich (bearing) fluid inclusions, aqueous solution fluid inclusions and daughter-crystal-bearing fluid inclusions, based on the petrography, microthermometric measurement and Laser Raman microprobe analysis. The homogenization temperatures vary from 126.7°C to 472.1°C, the calculated fluid salinities cluster in two ranges, i.e., (0.18–14.21) wt% NaCl.eqv and (33.10–54.37) wt% NaCl.eqv, with densities changing from 0.38 to 1.21 g/cm³. Daughter minerals, mainly halite and metallic sulfide, can be recognized in fluid inclusions. The homogenization temperature and salinity of fluid inclusions reduce gradually outward from the center of ore-forming porphyry system. From early to late the fluid system evolved from and high temperature and high salinity to low temperature, and low salinity; and the trapped pressure reduced, indicating the mineralization depth became shallower gently. The Re–Os isotopic model ages of molybdenite are between 113 Ma and 118 Ma, about 10 Ma later than the crystalline age of the Tangjiaping granite porphyry. The ore-system was formed in waning stage extension setting of the inter-continental collision between Yangtze Block and North China Block.

Key Words: fluid inclusion; ore-forming fluid; porphyry molybdenum deposit; Tangjiaping

About the first author: YANG Yan, female, born in 1983, Ph.D candidate, engages in ore geology research; E-mail: yangyan520123@163.com.

Corresponding author: ZHANG Jing, E-mail: zhangjing@cugb.edu.cn.