

南泥湖—三道庄钼(钨)矿的成岩成矿年龄新数据及其地质意义

向君峰^{1,2} 毛景文¹ 裴荣富¹ 叶会寿¹ 王春毅³ 田志恒⁴ 王浩琳¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 江苏南京 210093; 3. 洛阳栾川钼业集团矿山公司, 河南洛阳, 471542; 4. 栾川龙宇钼业有限公司, 河南洛阳 471500)

摘要:南泥湖—三道庄矿床是东秦岭地区最大的斑岩—矽卡岩型钼(钨)矿, 研究采用 LA-ICP-MS 方法对南泥湖—三道庄矿区内南泥湖花岗岩体和花岗斑岩脉开展锆石 U-Pb 法测年, 获得矿区内花岗岩成岩年龄为 $(145.2 \pm 1.5) \sim (146.7 \pm 1.2)$ Ma。采集南泥湖矿区网脉状辉钼矿化样品和三道庄矿区浸染状辉钼矿化样品开展 ICP-MS 法辉钼矿 Re-Os 同位素测年, 获得 10 个样品的模式年龄为 $(143.4 \pm 2.0) \sim (146.5 \pm 2.3)$ Ma (加权平均年龄为 145.03 ± 0.69 Ma), 等时线年龄为 (146.0 ± 1.1) Ma。表明矿区内花岗岩与矿脉的形成年龄一致, 具有密切的成因联系。另外, 此次测年工作确认了前人曾提出的 158 Ma 左右岩浆—热事件的存在, 还揭示出东秦岭地区在 175 Ma 左右曾经历过另外一次岩浆热事件。前人测得南泥湖岩体年龄与其真实的形成年龄相差较大, 这是因为岩浆岩中的锆石来源不均一, 而测试的锆石数量有限, 采用测量数据的加权平均值不能真实地代表岩浆岩中全体锆石的年龄特征。

关键词:东秦岭; 华北地台南缘; 南泥湖; 三道庄; 锆石 U-Pb 年龄; Re-Os 年龄

中图分类号: P618.65; P618.67 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)02-0458-16

南泥湖—三道庄特大型钼(钨)矿床位于河南省栾川县冷水镇, 是东秦岭钼多金属成矿带内的一个重要矿床, 地理坐标: 东经 $111^{\circ}28'25'' \sim 111^{\circ}30'37''$, 北纬 $33^{\circ}54'17'' \sim 33^{\circ}56'02''$ 。该矿床因规模巨大, 在勘探时被人为地划分为南泥湖和三道庄两个矿区。两个矿区的 Mo 金属量总计约 1.40×10^6 t, WO_3 总量约 64×10^4 t, 其中南泥湖矿区的 Mo 金属量约为 65×10^4 t, 平均品位约 0.060%; WO_3 总量约 8.7×10^4 t, 平均品位 0.081%。三道庄矿区钼金属量约为 75×10^4 t, 平均品位约 0.109%; WO_3 总量为 55.5×10^4 t, 平均品位约 0.112%。

自 20 世纪 80 年代以来, 研究者们已从矿床地质特征、成岩成矿时代、成矿物质来源以及成矿作用

过程方面对该矿床开展过研究, 取得了以下主要认识: (1) 与钼矿有关的花岗岩体为复式岩体, 地表出露花岗斑岩, 深部为黑云母花岗闪长岩, 晚期发育有岩脉^[1]。其中的花岗斑岩形成于晚侏罗世—早白垩世^[2-4], 物质来源以下地壳为主, 并有少量地幔物质的加入^[5]; (2) 南泥湖—三道庄钼(钨)矿床是与南泥湖岩体成因上有密切关系的斑岩—矽卡岩型矿床^[1-3]。

毛景文等^[6]在系统总结前人资料的基础上, 提出了东秦岭地区的钼铅锌银多金属矿床模型, 根据该模型, 南泥湖岩体与南泥湖矿区的斑岩型矿化和三道庄矿区的矽卡岩型矿化与南泥湖岩体有成因联系, 三者应该近于同时形成。虽然最近在大别地区安徽省金寨县境内取得了钼矿勘查的突破^[7], 证明

收稿日期: 2011-07-26; 改回日期: 2011-12-12

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K1018)、南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室基金项目(15-09-01)、全国危机矿山接替资源找矿项目(20089949 和 200841019)、国土资源部公益性行业科研专项课题(200911007-08)和国家科技支撑计划项目课题(2010BAB04B06)联合资助

作者简介: 向君峰, 男, 1982 年生, 博士生, 矿产普查与勘探专业; E-mail: xjf2929@163.com。

了该模型的适用性,但目前为止前人发表的成岩成矿年代学数据仍然存在不协调。

对于南泥湖岩体的形成年龄,前人于 20 世纪 80 年代曾采用 K-Ar 法获得斑状黑云母花岗闪长岩的形成年龄为 $(104.3 \pm 2.9) \text{ Ma} \sim 255 \text{ Ma}$ (转引自 [1]), 采用 Rb-Sr 法斑状花岗岩的形成于 $(130.9 \pm 4.5) \text{ Ma} \sim (272.3 \pm 22) \text{ Ma}$ (转引自 [1]), 胡受奚等^[1]通过对比分析后认为 $(142.5 \pm 15) \text{ Ma}$ 的全岩 Rb-Sr 等时线年龄更接近南泥湖岩体的形成时代。随着高精度测年技术的成熟,李永峰^[2]从地表花岗斑岩样品中获得的锆石 SHRIMP 年龄为 $(157.1 \pm 2.9) \text{ Ma}$ (MSWD=1.8)^[2], 而包志伟等^[3]采用 LA-ICP-MS 法对花岗斑岩样品中的锆石进行测定,获得年龄为 $(149.56 \pm 0.36) \text{ Ma}$ (MSWD=1.5)。

对于成矿年龄,黄典豪等^[8]最早采用辉钼矿 Re-Os 法获得两个区内含石英和辉钼矿的矿化脉样品 Re-Os 同位素模式年龄为 $(146 \pm 5) \text{ Ma} \sim (156 \pm 8) \text{ Ma}$, 两个矽卡岩中的辉钼矿样品 Re-Os 同位素模式年龄为 $(147 \pm 6) \text{ Ma} \sim (148 \pm 10) \text{ Ma}$ (计算过程采用 $\lambda = 1.64 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$)。李永峰等^[9]对采自南泥湖矿区和三道庄矿区的 4 个钼矿石样品进行测试,获得南泥湖矿区网脉状矿化的角岩型矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 $(141.8 \pm 2.1) \text{ Ma}$, 三道庄矿区矽卡岩型矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 $(144.5 \pm 2.2) \text{ Ma} \sim (145.0 \pm 2.2) \text{ Ma}$; 并在认为其与上房沟钼矿同时同源的前提下,与上房沟矿区的 2 件样品一起拟合获得等时线年龄为 $(141.5 \pm 7.8) \text{ Ma}$ 。这套数据经过重新处理后,南泥湖矿区的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $(139.3 \pm 2.3) \text{ Ma}$, 三道庄矿区的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $(143.5 \pm 2.9) \text{ Ma} \sim (144.2 \pm 1.5) \text{ Ma}$ ^[10]。

从以上成岩成矿年龄数据来看,首先,若只考虑高精度锆石 U-Pb 同位素年龄,同是对地表南泥湖主体岩性采样分析,却有近 10 Ma 的时差,如何评价这种时间差? 其次,以南泥湖矿区网脉状辉钼矿矿化为代表的斑岩型矿化与三道庄矽卡岩型矿化似乎存在系统的时间差,是否真实地反映了地质事实? 最后,南泥湖岩体的形成年龄与钼矿的形成年龄也不一致,不足以作为两者间成因联系的证据。鉴于此,本文在详细的野外地质调查基础上,对南泥湖岩体出露于地表的斑状花岗岩和三道庄矿区出露的细晶花岗岩脉开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法测年,并对南泥湖矿区网脉状辉钼矿化样品和三

道庄矿区浸染状矽卡岩型辉钼矿化样品分别采样开展了辉钼矿 Re-Os 同位素测年,以期能够从成岩成矿年龄方面揭示这些问题的答案。

1 区域地质背景

南泥湖—三道庄钼(钨)矿床位于东秦岭钼多金属成矿带中部,大地构造属于华北地台南缘(图 1)。区内地层有新太古代(2.6~2.9 Ga)片麻岩、麻粒岩和混合岩结晶基底^[12],中元古代(1780~1770 Ma)熊耳群火山岩不整合上覆于基底岩石之上,覆盖面积达 60 000 km²^[13],熊耳群又被中元古代变碎屑岩和新元古代滨海相碳酸盐岩所覆盖。寒武纪—早奥陶世碎屑岩和碳酸盐岩广泛发育,构成华北地台沉积盖层的一部分。晚奥陶世—早石炭世地层在该区缺失。晚石炭世夹海相碳酸盐岩和煤线的陆源碎屑岩不整合覆盖在太古宙和元古宙地层之上,二叠纪含煤线的陆源碎屑岩覆盖在上石炭统之上。随后依次出现三叠纪冲积相碎屑岩地层、侏罗纪陆相地层以及白垩纪陆相火山沉积岩^[4]。

秦岭造山带及邻区自三叠纪进入陆内造山演化阶段以来^[12],最引人瞩目的是在华北地台南缘及北秦岭一带发育大量晚中生代岩浆岩。已有的精确年龄数据显示,区内花岗岩的侵位从 160 Ma 持续到 110 Ma,岩石类型具有从 S 型到 I 型、再到 A 型的演化趋势^[10,14,16];在 128 Ma 左右,华北地台南缘发育大量基性岩墙^[1,18];火山岩则主要沿三门峡—宝丰断裂带发育,并向东一直延伸到北淮阳构造带,其中宝丰盆地内大营组钾玄质火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(117 \pm 2) \text{ Ma}$ ^[19]。

区域性断裂构造以北西西—北西向组最为发育,控制了东秦岭地区钼钨矿带的展布;北东向组次之,其与北西西—北西向断裂的交汇部位控制了多数岩体的侵位^[1]。矿区南部的栾川断裂带分隔了华北地台南缘和北秦岭,北部的马超营断裂带则是华北地台南缘内重要的断裂带,两断裂带之间控制着中元古界官道口群滨海—浅海相碎屑岩—碳酸盐岩和新元古界栾川群陆源—浅海相碎屑岩—碳酸盐岩地层的分布(图 1)。

2 矿床地质特征

矿区内出露地层主要有中元古界官道口群、新元古界栾川群(图 2)。官道口群分布于矿田北部,为

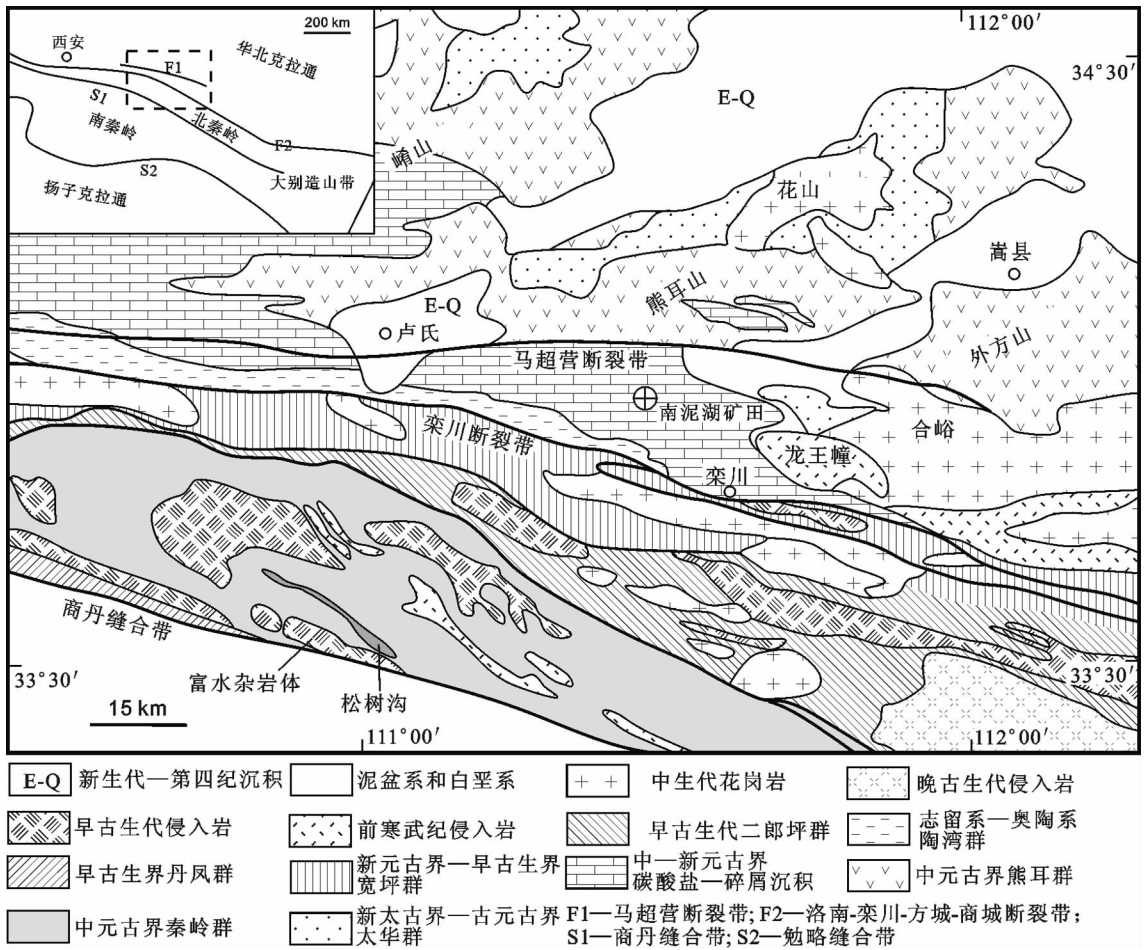


图1 华北地台南缘豫西地区地质简图^[1]

Fig.1 Simplified geological map of western Henan area along the southern margin of the North China Craton

一套浅海相含燧石条带碳酸盐岩沉积, 岩性主要为含燧石条带白云质大理岩。栾川群分布于矿田中部, 为一套碎屑岩—碳酸盐岩—粗面质火山岩夹基性火山岩, 自下而上分别为白术沟组、三川组、南泥湖组和煤窑沟组。白术沟组为黑色板状炭质千枚岩夹含炭大理岩透镜体。三川组下段以含石英细砾变质砂岩为主夹千枚岩, 经热接触变质作用形成长英角岩、黑云母长英角岩夹石英岩; 三川组上段以大理岩为主夹薄层钙质片岩, 经热接触变质作用形成各种钙硅酸盐角岩。南泥湖组原岩由一套砂泥质、火山质和碳酸盐的浅海相沉积岩组成, 其中下段以石英岩为主夹绢云母黑云母片岩, 中段以角岩为主夹石英岩, 上段为不纯的大理岩和钙硅酸盐角岩。煤窑沟组原岩为一套浅海陆源碎屑沉积到富含生物礁及有机质的钙镁碳酸盐沉积。陶湾群分布于矿田以南, 为一套陆源碎屑—碳酸盐沉积, 岩性以含砾灰岩、大

理岩、千枚岩、变砂岩和石英岩为主。其中南泥湖—三道庄钼(钨)矿床主要赋矿层位为栾川群三川组上段以及南泥湖组中段和下段。最近, 在三道庄矿区深部发现了赋存于白术沟组上段的下层矿^[20]。

矿区内构造线方向主要呈北西—北西向展布, 以褶皱和断裂为主, 叠加有北东—北北东向构造形迹。南泥湖—三道庄钼(钨)矿受北西向庄科—青和堂背斜西北倾伏端的次级构造南庄口—三道庄岭箱状背斜和包头砦—南泥湖向斜以及北北东向黄背岭—南泥湖—马圈断裂带的联合控制^[1](图3), 其中南泥湖矿区矿体主要赋存于南庄口—三道庄岭箱状背斜南翼及其向西的倾伏端和包头砦—南泥湖向斜的东端翘起部分, 三道庄矿区矿体主要赋存于该箱状背斜轴部及其两翼(图4)。

矿体主要呈似层状产于南泥湖岩体内接触带上, 其中南泥湖矿区内矿石主要赋存于花岗岩体和

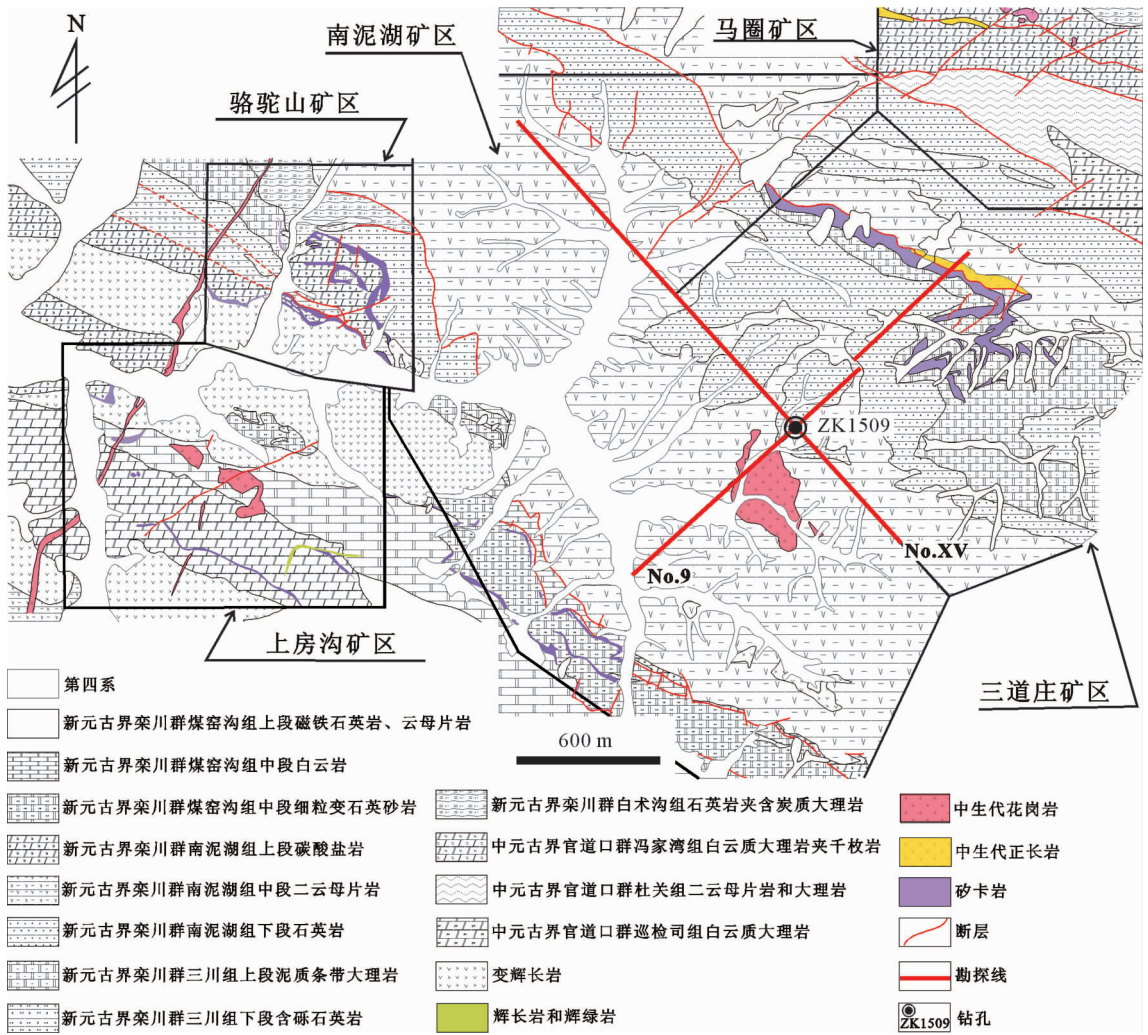


图 2 南泥湖矿田地质图^①

Fig.2 Geological map of the Nannihu ore district

角岩化的南泥湖组地层中,三道庄矿区内矿石则主要赋存于砂卡岩化和角岩化的三川组中。矿石构造在南泥湖矿区以网脉状为主(图 5-a),在三道庄矿区则以浸染状为主(图 5-b,c),矿石结构包括片状、束状、放射状结构,自形-半自形粒状结构,镶嵌结构,包含结构,交代残余结构,充填结构,他形粒状结构,充填胶结结构等。成矿阶段可以划分为(1)砂卡岩化阶段和角岩化阶段,(2)退化蚀变作用阶段和(3)热液期,包括辉钼矿-钾长石-石英阶段(I),辉钼矿-黄铁矿-石英阶段(II)和沸石-辉钼矿-石英阶段(III)^[6]。

3 样品描述和测试方法

在野外地质调查的过程中,笔者在三道庄矿区 1438 水平至 1496 水平内发现有两种花岗斑岩脉:红色细晶花岗斑岩脉和白色花岗斑岩脉(野外未见两者的穿插关系),其中红色细晶花岗斑岩脉切割了网脉状的无矿石英脉和石英辉钼矿脉,被石英黄铁矿脉切割(图 5-d),白色花岗斑岩脉切割了网脉状的无矿石英脉(图 5-e),也切割了透辉石斜长石角岩(砂卡岩化)(图 5-f),又被石英-黄铁矿脉、石英辉钼矿切割。同时,针对目前已经获得的南泥湖岩体

^①河南省地矿局地调一队.河南省栾川县南泥湖钼(铈)矿区详细普查地质报告,1985.

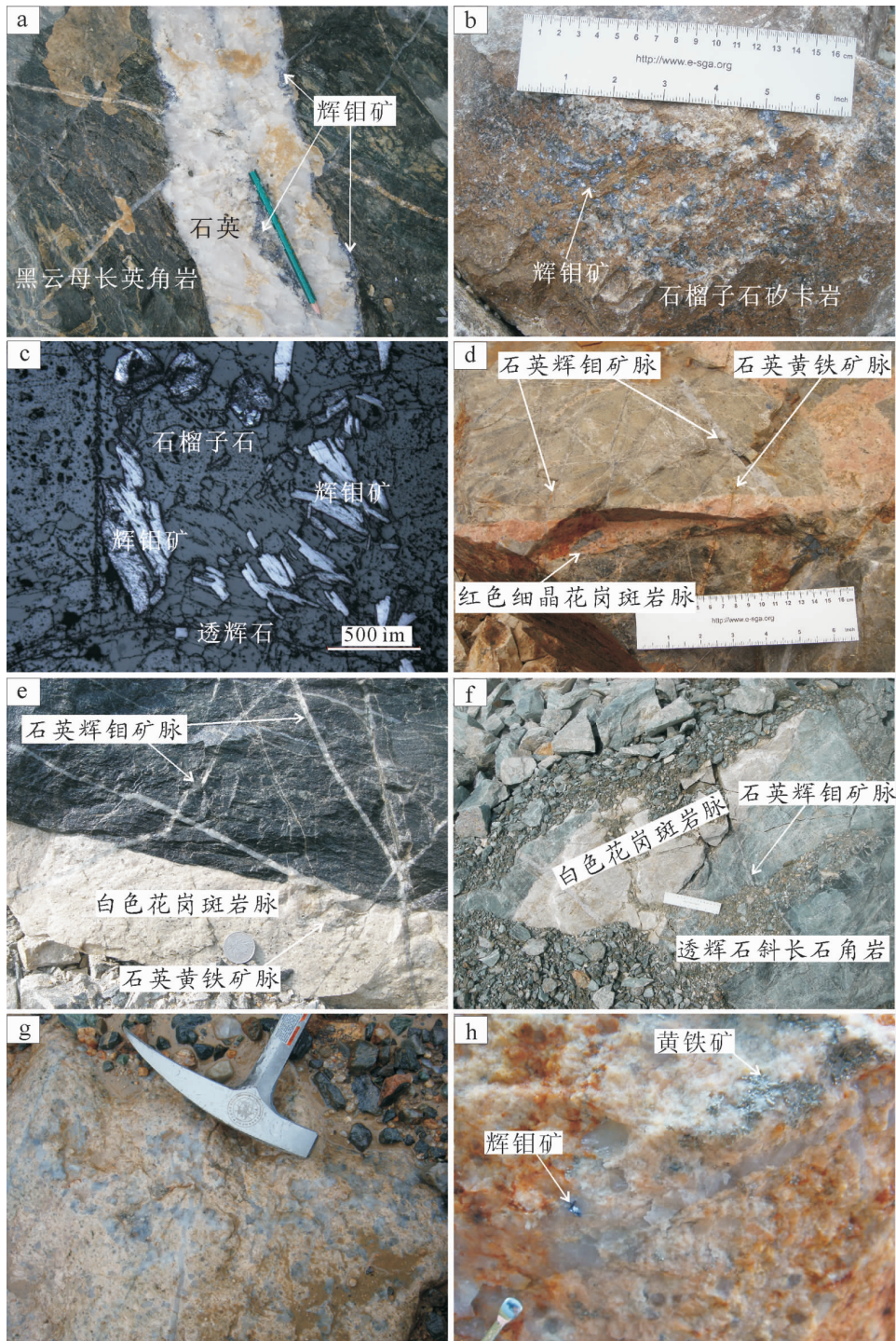


图 5 南泥湖—三道庄矿区野外和镜下照片

a—产于黑云母长英角岩中的石英辉钼矿脉;b—发育浸染状辉钼矿化的石榴子砂卡岩;c—反射光下浸染状辉钼矿化砂卡岩显微照片;d—红色细晶花岗斑岩脉切割石英辉钼矿脉,又被石英黄铁矿脉切割;e—白色花岗斑岩脉切割无矿石英脉,又被石英辉钼矿脉和石英黄铁矿脉切割;f—白色花岗斑岩脉切割透辉石斜长角岩,又被石英辉钼矿脉切割;g—南泥湖含矿似斑状花岗岩体;h—南泥湖岩体主体岩性似斑状花岗岩中的辉钼矿化

Fig.5 Photograph of characteristic mineralization in the Nannihu-Sandaozhuang mining area

a— Molybdenite-bearing quartz vein cutting biotite and plagioclase hornfels;b— Garnet skarn with disseminated molybdenite;c— Intergrowth of molybdenite with garnet and diopside (reflected light);d— Red fine-grained granite porphyry vein cutting molybdenite-bearing quartz vein and cut by quartz-pyrite vein;e— White granite porphyry vein cutting barren quartz vein and cut by quartz-molybdenite vein and quartz pyrite vein;f— White granite porphyry vein cutting diopside and plagioclase hornfels and cut by quartz-molybdenite vein;g— Nannihu ore-bearing porphyry granite;h— Molybdenite mineralization in porphyry granite of Nannihu rock body

的两个精测年龄数据相差太大的问题,笔者又重新在地表几乎相同的位置采得了测年样品,该样品本身发生了矿化(图 5-g,h)。

用常规方法将岩石样品破碎,经磁法和密度分选后,经过淘洗,最后在双目镜下挑纯,置于环氧树脂制靶,然后研磨抛光直至有足够的新鲜锆石截面使锆石内部结构暴露。对靶上锆石进行显微镜下透射光、反射光照相后,进行阴极发光成像,阴极发光成像(CL)(图 6)在中国地质科学院地质研究所实验室完成。锆石 U-Pb 测年在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,采用的仪器、相关参数、测试流程及数据处理方法等详见 Jackson et al. 的文献^[21]。

针对成矿年龄,笔者分别在南泥湖矿区 1 360

水平至 1 405 水平采集了 5 件产于黑云母长英角岩中以石英-辉钼矿网脉产出的矿石,在三道庄矿区 1 366 水平至 1 390 水平采集了 5 件浸染状矽卡岩型矿石。辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,实验流程和分析方法以及数据处理方法详见文献^[22]。

4 测试结果

LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄有效测试数据见表 1, 谐和图见图 7。从南泥湖岩体地表出露的花岗斑岩(样品号:100716-1)中的锆石获得了两组年龄,分别为(176.3±1.7)Ma(n=8;MSWD=0.98)和(146.7±1.2)Ma(n=12;MSWD=0.76)。三道庄矿区出露的白色花岗斑岩脉(样品号:100719-7)中的锆石获得了

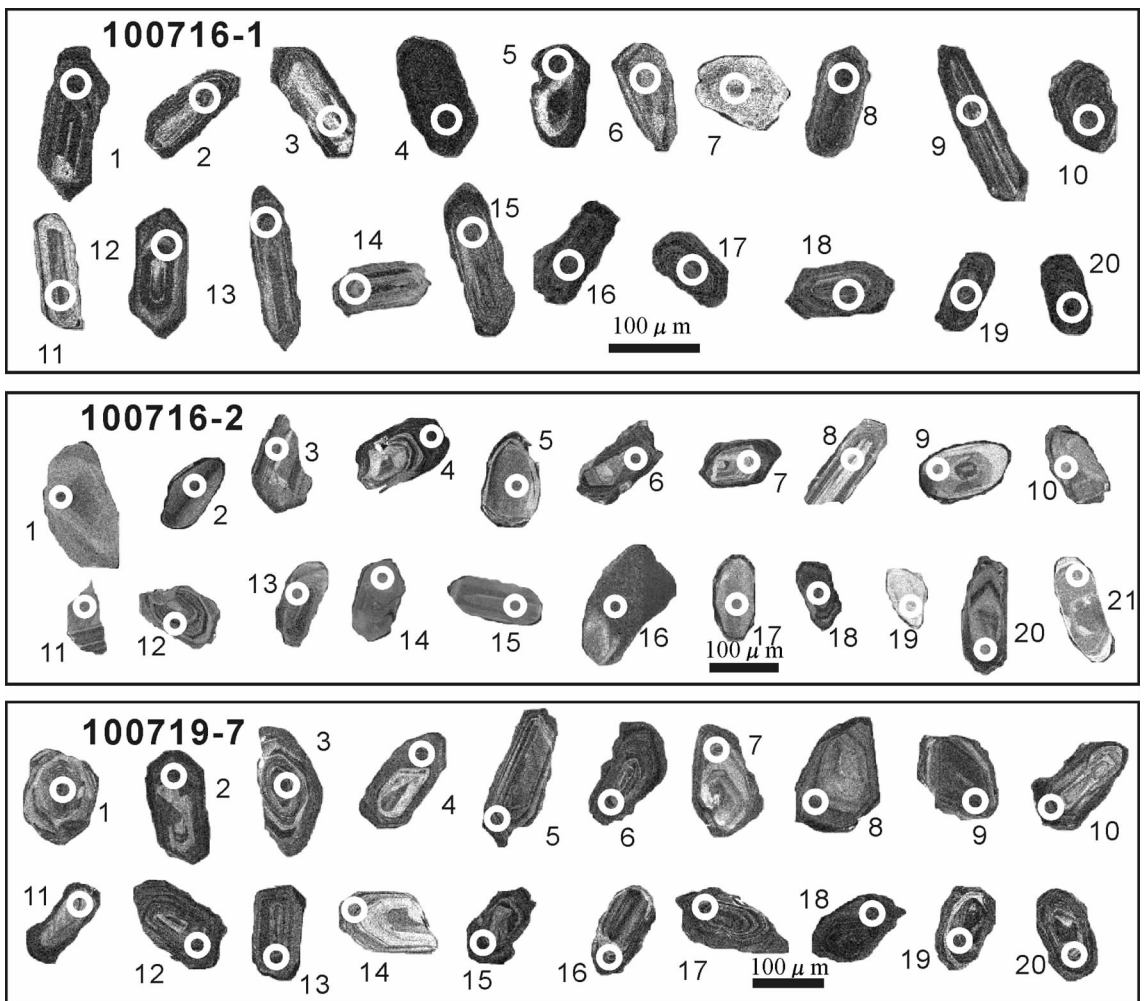


图 6 南泥湖—三道庄矿区岩浆岩样品锆石阴极发光照片及分析点位置

Fig.6 Cathodoluminescence images of zircons from samples of granites in the Nannihu-Sandaozhuang mining area

表 1 南泥湖—三道庄矿区岩浆岩锆石 U-Pb 测年有效数据
Table 1 Valid zircon U-Pb analytical data for magmatic rocks in the Nannihu-Sandaozhuang mining area

Spots	Th/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma				
				²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		
南泥湖岩体似斑状花岗岩(样品号:100716-1)												
1	956	1462	0.65	0.05028	0.00074	0.19481	0.00324	0.0281	0.00038	208±18	181±3	179±2
2	1406	1227	1.15	0.04983	0.00096	0.19014	0.00399	0.02768	0.00042	187±24	177±3	176±3
3	805	675	1.19	0.04932	0.00105	0.15894	0.00351	0.02338	0.00033	163±27	150±3	149±2
4	1201	1775	0.68	0.04912	0.00078	0.18814	0.00338	0.02778	0.0004	154±19	175±3	177±3
5	1199	1196	1	0.05047	0.00093	0.19497	0.00392	0.02803	0.00042	217±22	181±3	178±3
6	150	176	0.85	0.05104	0.00367	0.16116	0.0112	0.0229	0.00055	243±115	152±10	146±3
7	332	185	1.8	0.05043	0.00463	0.15851	0.01406	0.0228	0.00066	215±147	149±12	145±4
8	1016	839	1.21	0.04988	0.00131	0.15913	0.00425	0.02314	0.00035	189±35	150±4	147±2
9	1268	851	1.49	0.05011	0.00197	0.15646	0.00606	0.02268	0.00045	200±54	148±5	145±3
10	941	1289	0.73	0.04914	0.00094	0.18488	0.00383	0.0273	0.00042	155±23	172±3	174±3
11	551	246	2.24	0.0497	0.00166	0.15556	0.00515	0.0227	0.00035	181±49	147±5	145±2
12	1056	774	1.36	0.04948	0.00127	0.15458	0.00403	0.02267	0.00034	171±34	146±4	145±2
13	617	470	1.31	0.04991	0.00132	0.15515	0.00414	0.02255	0.00033	191±36	146±4	144±2
14	615	375	1.64	0.04875	0.00126	0.15487	0.00407	0.02305	0.00035	136±34	146±4	147±2
15	1302	1318	0.99	0.04956	0.00069	0.18702	0.00297	0.02737	0.00037	174±17	174±3	174±2
16	1691	1013	1.67	0.04856	0.00103	0.15744	0.00343	0.02352	0.00033	127±27	148±3	150±2
17	1724	1054	1.64	0.05038	0.00124	0.16043	0.004	0.0231	0.00034	213±32	151±4	147±2
18	992	826	1.2	0.0504	0.00125	0.16168	0.00404	0.02327	0.00034	213±32	152±4	148±2
19	1548	1194	1.3	0.05022	0.00152	0.1867	0.00567	0.02698	0.00047	205±39	174±5	172±3
20	1300	1434	0.91	0.04908	0.00081	0.18899	0.0034	0.02793	0.00039	152±20	176±3	178±2
红色细晶花岗岩斑岩脉(样品号:100716-2)												
1	129	177	0.73	0.13906	0.00192	7.24336	0.10918	0.37779	0.0048	2216±12	2142±13	2066±22
2	951	738	1.29	0.04993	0.00146	0.15884	0.00472	0.02307	0.00039	192±39	150±4	147±2
3	339	226	1.5	0.04953	0.00116	0.15509	0.00372	0.02271	0.00032	173±31	146±3	145±2
4	532	715	0.74	0.04871	0.00093	0.15539	0.00307	0.02314	0.00031	134±23	147±3	147±2
5	140	133	1.05	0.14921	0.00228	8.40686	0.13789	0.40869	0.00537	2337±13	2276±15	2209±25
6	363	192	1.89	0.04978	0.00138	0.15402	0.00427	0.02244	0.00032	185±38	145±4	143±2
7	71	57	1.23	0.04983	0.00391	0.15552	0.0119	0.02264	0.00051	187±131	147±10	144±3
8	259	175	1.48	0.04929	0.00141	0.15742	0.00451	0.02317	0.00033	162±41	148±4	148±2
9	92	131	0.7	0.14155	0.00211	7.43787	0.12271	0.38113	0.00517	2246±13	2166±15	2082±24
10	100	150	0.67	0.14599	0.00232	8.00716	0.13979	0.39782	0.0055	2299±14	2232±16	2159±25
11	387	398	0.97	0.049	0.00166	0.15466	0.0052	0.02289	0.00038	148±48	146±5	146±3
12	1235	779	1.59	0.04908	0.00121	0.15514	0.00389	0.02292	0.00033	152±33	146±3	146±2

续表 1

Spots	Th/ 10^{-6}	U/ 10^{-6}	Th/U	同位素比值				年龄/Ma				
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
13	432	406	1.06	0.05008	0.00165	0.15745	0.00515	0.0228	0.00036	199±47	148±5	145±2
14	154	209	0.74	0.04985	0.00266	0.15806	0.00824	0.023	0.00047	188±83	149±7	147±3
15	99	62	1.61	0.14631	0.00208	8.63762	0.13728	0.42819	0.00583	2303±12	2301±14	2298±26
16	157	163	0.97	0.13733	0.00174	6.83255	0.10335	0.36086	0.00501	2194±12	2090±13	1986±24
17	108	64	1.71	0.14635	0.0023	8.36582	0.14066	0.41458	0.00561	2304±13	2271±15	2236±26
18	567	358	1.58	0.04952	0.00183	0.15729	0.00568	0.02304	0.00037	173±54	148±5	147±2
19	110	99	1.1	0.04969	0.00273	0.15608	0.0084	0.02278	0.00043	181±90	147±7	145±3
20	1592	881	1.81	0.04978	0.00187	0.15521	0.00564	0.02262	0.00038	185±53	147±5	144±2
21	108	215	0.5	0.13806	0.00178	6.17555	0.09129	0.32445	0.00424	2203±11	2001±13	1811±21
白花岗斑岩脉(样品号:100719-7)												
1	462	470	0.98	0.04994	0.00191	0.15484	0.00581	0.02249	0.00038	192±56	146±5	143±2
2	615	879	0.7	0.0496	0.00078	0.17339	0.003	0.02535	0.00034	176±19	162±3	161±2
3	1464	830	1.76	0.05065	0.0009	0.17362	0.00327	0.02486	0.00034	225±21	163±3	158±2
4	1240	781	1.59	0.04965	0.0012	0.17068	0.00424	0.02494	0.00039	179±30	160±4	159±2
5	1344	840	1.6	0.04975	0.00097	0.17085	0.00347	0.0249	0.00034	183±24	160±3	159±2
6	1805	846	2.13	0.0501	0.00098	0.1721	0.00353	0.02491	0.00034	200±24	161±3	159±2
7	517	266	1.95	0.04852	0.00168	0.15232	0.00521	0.02276	0.00036	125±51	144±5	145±2
8	892	761	1.17	0.05112	0.0009	0.17412	0.00329	0.0247	0.00034	246±21	163±3	157±2
9	624	798	0.78	0.04834	0.00094	0.15293	0.00314	0.02294	0.00032	116±24	144±3	146±2
10	362	420	0.86	0.04915	0.00134	0.15359	0.00422	0.02266	0.00035	155±36	145±4	144±2
11	379	307	1.24	0.04905	0.00211	0.16649	0.00699	0.02461	0.00043	150±66	156±6	157±3
12	1065	1002	1.06	0.05017	0.00106	0.17	0.00375	0.02458	0.00037	203±26	159±3	157±2
13	469	380	1.23	0.04889	0.00137	0.15487	0.00431	0.02297	0.00033	143±39	146±4	146±2
14	760	433	1.76	0.05027	0.00246	0.15769	0.00747	0.02276	0.00044	207±74	149±7	145±3
15	842	883	0.95	0.04915	0.00118	0.16757	0.00402	0.02472	0.00035	155±31	157±3	157±2
16	1556	789	1.97	0.04926	0.00086	0.15611	0.00292	0.02299	0.00032	160±21	147±3	147±2
17	1378	902	1.53	0.0492	0.00132	0.18517	0.00494	0.0273	0.0004	157±36	172±4	174±3
18	605	1005	0.6	0.04925	0.0009	0.18457	0.00355	0.02718	0.00037	160±22	172±3	173±2
19	1148	962	1.19	0.04985	0.00105	0.1691	0.00367	0.02461	0.00034	188±26	159±3	157±2
20	1007	666	1.51	0.04976	0.00191	0.17005	0.00633	0.02479	0.00042	184±55	159±5	158±3

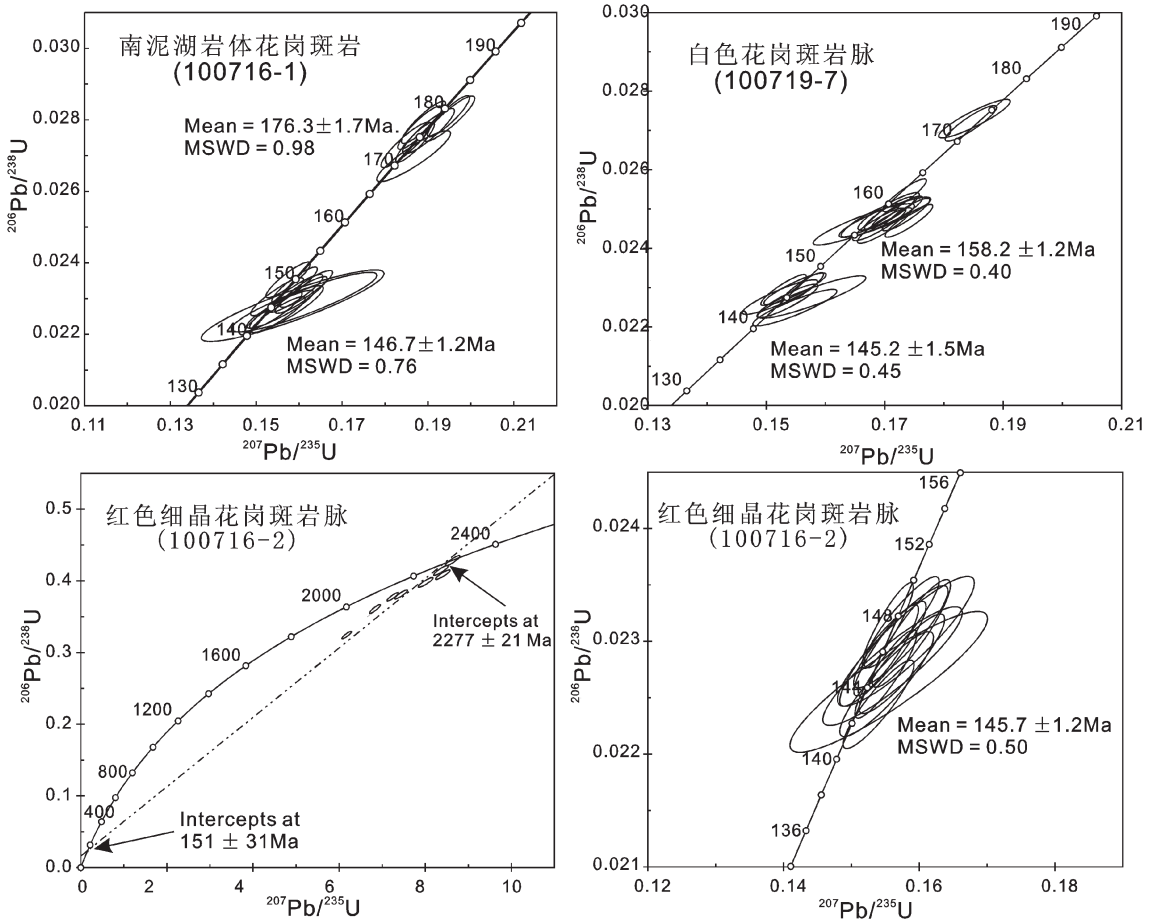


图 7 南泥湖—三道庄矿区花岗岩样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.7 Concordia diagram of zircon U-Pb dating results from granites in the Nannihu-Sandaozhuang mining area

(158.2±1.2)Ma (n=11;MSWD=0.40) 和 (145.2±1.5)Ma (n=7;MSWD=0.45), 也出现了约 174 Ma 年龄数据 (n=2)。红色细晶花岗斑岩脉(样品号:100716-2)的锆石全部有效分析点获得的不一致线上下交点年龄分别为(2 277±21)Ma 和 (151±31)Ma (MSWD=17), 分布于不一致线下交点附近的 13 个谐和分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均结果为 (145.7±1.2)Ma (MSWD=0.50), 与不一致线下交点年龄在误差范围内一致, 该年龄应代表红色细晶花岗斑岩脉的侵位年龄。

在辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试过程中, 两次分析了实验标准物质 JDC 的 Re 和 ^{187}Os , 测试结果和 JDC 样品的标准值见表 2。由表 2 可见, 本次测试结果相当可靠, 因而, 所获得的辉钼矿 Re-Os 数据亦相当精确。南泥湖矿区网脉状黑云母长英角岩型矿石和三道庄矿区浸染状矽卡岩型矿石的 Re-Os 同位素测试结果见表 3 和图 8。南泥湖矿区 5 件网脉状角岩型矿石的模式年龄为 (143.4±2.0)~(145.8±2.2)Ma, 三道庄矿区 5 件浸染状矽卡岩型矿

表 2 实验标准物质 JDC 测定结果和标准值对比

Table 2 Analytical data and certificated values of Re-Os isotopes for standard sample JDC

编号	原样名	样重/g	Re/g/g		Os^{187} (ng/g)		模式年龄/Ma	
			测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
110313-19	JDC	0.10045	16.96	0.13	24.81	0.21	139.6	2.0
GBW04435	JDC		17.39	0.32	25.46	0.60	139.6	3.8

表 3 南泥湖—三道庄钼(钨)矿床 Re-Os 同位素测试结果
Table 3 Re-Os isotope data for molybdenite from the Nannihu-Sandaozhuang Mo(W) deposit

样品号	样重/g	Re(μ g/g)		普 Os/(ng/g)		Re ¹⁸⁷ (μ g/g)		Os ¹⁸⁷ (ng/g)		模式年龄/Ma
		测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	
南泥湖矿区网脉状角岩型矿石										
100722-1	0.05013	24.74	0.21	0.0426	0.04	15.55	0.13	37.32	0.31	143.9 \pm 2.1
100722-2	0.05107	16.46	0.16	0.1104	0.01	10.34	0.10	24.92	0.21	144.4 \pm 2.2
100722-3	0.05088	53.97	0.56	0.1377	0.02	33.92	0.35	82.52	0.72	145.8 \pm 2.3
100722-4	0.05078	34.55	0.30	0.0344	0.04	21.72	0.19	52.80	0.47	145.8 \pm 2.2
100722-5	0.05042	7.873	0.068	0.0766	0.01	4.949	0.043	11.83	0.09	143.4 \pm 2.0
三道庄矿区浸染状砂卡岩型矿石										
100719-1	0.05016	42.00	0.52	0.2255	0.03	26.40	0.32	63.68	0.56	144.6 \pm 2.5
100718-7	0.05133	23.13	0.18	0.4720	0.03	14.54	0.12	35.51	0.39	146.5 \pm 2.3
100718-8	0.05004	24.07	0.22	0.0054	0.02	15.13	0.14	36.85	0.37	146.0 \pm 2.3
100721-6	0.05041	26.29	0.26	0.1987	0.03	16.52	0.16	39.82	0.36	144.5 \pm 2.3
100721-10	0.05041	19.47	0.19	0.1418	0.02	12.23	0.12	29.80	0.25	146.0 \pm 2.2

石的模式年龄为(144.5 \pm 2.3)~(146.5 \pm 2.3)Ma。

5 讨论

5.1 成岩成矿时差与南泥湖岩体形成时代

此次测年获得南泥湖含矿岩体的形成年龄为(146.7 \pm 1.2)Ma,与李永峰^[9]和包志伟等^[9]测得的南泥湖含矿岩体的年龄均有差别,尤其与前者数据相差近 10 Ma。南泥湖—三道庄矿区辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为(143.4 \pm 2.0)~(146.5 \pm 2.3)Ma,考虑到两个矿区不同矿化类型在误差范围内完全一致,将 10 个样品合并获得平均模式年龄为(145.03 \pm 0.69)Ma (MSWD=0.95),等时线年龄为(146.0 \pm 1.1)Ma (MSWD=0.98)。从野外地质关系看,该 Re-Os 同位素年龄印证了此次获得的南泥湖岩体年龄的可靠性。根据已经发表的成岩成矿年龄数据^[9,23],有学者认为南泥湖—三道庄钼矿的成岩、成矿时差达 12.1~13.5 Ma^[24]。但 Petford et al.^[25]和 Turner and Costa^[24]研究认为花岗岩岩浆作用从部分熔融,到侵位并最终固结冷却的时间尺度小于 0.1 Ma,从这一点出发,成岩、成矿作用在地质时间尺度上应该是同时的,此次笔者测得的成岩成矿年龄新数据也支持这种认识。

问题是,为什么同一岩体样品,在采样位置几乎相同的情况下,均采用高精度锆石 U-Pb 法测得的年龄数据却没有重现性? 作者认为可能主要有以下原因:1) 从岩石样品中挑选出来用以获得测试数据

的锆石不能代表岩体中所有的锆石,即测得的年龄数据分布不能真实反映岩体中锆石年龄的分布状态;2) 由于前一原因的存在,采用测年数据的加权平均数值作为所测样品的年龄值显然就有失偏颇了。理论分析表明,在对沉积物源区采用单颗粒矿物年龄研究时,如果要使样品完全能够代表沉积物样品中的所有相应矿物颗粒的特点,至少需要测试 117 粒矿物^[27]。对于岩浆岩,其在部分熔融、上升侵位的过程中捕获不同时代形成的锆石;对于沉积物,其通过搬运作用在沿途携带不同物源区的锆石颗粒并最终沉淀;仅从岩浆岩和沉积物获取锆石的过程来看,两者是可以类比的。对于岩浆岩锆石年龄的获得,我们多是假设其中的锆石形成时代一致,然后只测试少量的锆石颗粒,用年龄数据的加权平均值代表样品中所有锆石颗粒的形成年龄。但实际上同一岩浆岩体中,由于常含有一定数量不同时代的锆石颗粒,当我们只分析少量的锆石颗粒时,这些锆石年龄数据的加权平均值并不能真实反映岩体的侵位时间,而可能只是反映出了岩浆捕获的某一期锆石的年龄。这种现象在起源于深部的基性岩中反映的可能更明显^[18,28,30]。

5.2 锆石 U-Pb 年龄谱及其意义

5.2.1 约 2.2 Ga

通过此次测年工作,笔者从矿区岩浆岩样品中识别出了约 2.2 Ga、约 175 Ma、约 158 Ma 和约 145

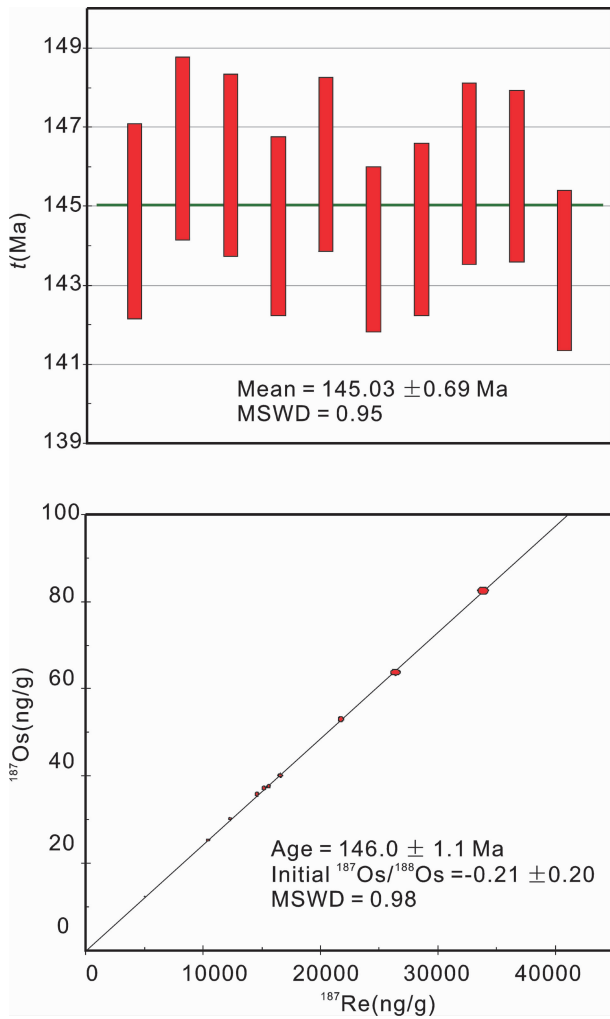


图 8 南泥湖—三道庄矿区辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄加权平均图和等时线年龄图

Fig.8 Model age weighted diagram (a) and isochron diagram of Re-Os isotope for molybdenite from the Nannihu-Sandaozhuang mining area

Ma 4 组年龄。从锆石的内部结构(图 6)和 Th/U 比值(表 1)来看,所测锆石均为岩浆成因锆石。约 2.2 Ga 的岩浆锆石为继承锆石,可能指示了南泥湖岩体的源岩主要为这一时期新生的地壳物质。事实上,前人已经研究表明华北地台南缘在 2.2~1.8 Ga 期间存在一期大规模地壳增生事件^[31-33]。

5.2.2 约 145 Ma

约 145 Ma 是获得的最年轻的一组锆石 U-Pb 谐和年龄,代表了南泥湖岩体和矿区内岩脉的最终侵位时间。最近,包志伟等^[34]采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法针对距南泥湖—三道庄钼矿东南约 4 km 的石宝沟岩体开展测年工作,获得了粗粒黑云母花岗岩

和细粒石英正长斑岩的年龄分别为 (147.2 ± 1.7) Ma (MSWD=1.5) 和 (145.3 ± 1.7) Ma (MSWD=1.6), 同时获得石宝沟岩体东侧的辉长岩年龄为 (147.5 ± 1.7) Ma (MSWD=1.5)。Mao et al.^[10] 曾从石宝沟岩体东南侧与围岩接触部位获得过 4 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄为 147 Ma 左右。这些数据表明,南泥湖钼矿田内存在一期约 145 Ma 的成岩成矿作用。

从整个华北地台南缘来看,在成岩时代方面,陕西省洛南县莲花沟岩体年龄为 (147.7 ± 2.0) Ma^[35],老牛山岩体中的黑云母二长花岗岩年龄为 (146 ± 1) Ma^[6],黄炉鼎花岗岩体的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 145.0 Ma^[1],娘娘山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (142 ± 3) Ma^[4],华山岩体二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (146 ± 2) Ma (转引自 Mao et al.^[6])。北大别道士冲辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 (144.5 ± 4.2) Ma^[36],北淮阳境内苏仙石岩体黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (146.2 ± 0.9) Ma^[37]。

成矿时代方面,豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿区的近矿蚀变岩中绢云母和铬云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄分别为 (145.2 ± 2.5) Ma 和 (147.6 ± 2.3) Ma^[38]。秋树湾铜钼矿床和板厂银铜多金属矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄分别为 (147 ± 4) Ma 和 (145.6 ± 1.3) Ma^[10]。以上数据表明约 145 Ma 的岩浆作用(包括花岗质岩浆作用和少量基性岩浆作用)在整个华北地台南缘都比较发育,并伴随有相当强烈的成矿作用。

5.2.3 约 158 Ma

此次测年工作确认了矿区范围内约 158 Ma 锆石 U-Pb 年龄的存在,指示了一期岩浆热事件。在东秦岭地区,这个年龄阶段的岩浆作用较少见。目前已知的包括,陕西蓝田和牧护关花岗岩体主体岩性的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (154 ± 1) Ma 和 (151 ± 2) Ma^[39];陕西华县八里坡钼矿区的含矿斑岩的形成年龄为 (155.9 ± 2.3) Ma,辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 (156.3 ± 2.2) Ma^[40];豫西地区五丈山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (157 ± 1) Ma^[4],其角闪石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (156.0 ± 1.1) Ma^[41],五丈山花岗岩体中(大章乡李村附近)的花岗伟晶岩脉中产出辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 (155.0 ± 2.2) Ma^[42]。八里坡和五丈山的成岩成矿年龄是否暗示了南泥湖—三道庄钼矿区也存在约 158 Ma 的成矿作

用呢?虽然黄典豪等^[8]曾在南泥湖—三道庄钼矿区获得过一个(156±8)Ma的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄,但由于该年龄的误差范围太大不足以说明问题。同时,豫西地区五丈山岩体同一岩体的锆石 U-Pb 年龄和富钾矿物 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄几乎一致,被认为是指示了该地区此时经历了快速的隆升剥蚀^[41],可能是由岩石圈物质的拆沉作用引起的^[43]。

5.2.4 约 175 Ma

约 175 Ma 的岩浆作用在东秦岭—大别地区罕见,区域范围内也未见此阶段的成矿年龄报道,其地质意义尚不明朗。来自大别山的同位素年代学研究或许能给我们一些启示,从(219±7)Ma 至(174±7.8)Ma 为大别山超高压变质岩的近等温阶段,然后在 175 Ma 左右快速冷却到 300℃^[44]。这一等温时限和快速冷却时间被认为是分别对应于扬子陆块的陆壳持续俯冲导致的地壳缩短加厚及其后的伸展坍塌作用^[45]。该阶段锆石 U-Pb 年龄可能代表了秦岭造山带发生坍塌之前深部地壳物质部分熔融作用的起始时间^[46,47]。

6 结 论

(1)采用 LA-ICP-MS 方法对南泥湖—三道庄矿区内南泥湖岩体和花岗岩斑岩脉开展锆石 U-Pb 法测年,获得矿区内花岗岩成岩年龄为(145.2±1.5)~(146.7±1.2)Ma。花岗斑岩脉与矿脉的穿切关系指示岩浆与钼矿形成年龄一致。针对南泥湖矿区网脉状辉钼矿化样品和三道庄矿区浸染状辉钼矿化样品开展 ICP-MS 法辉钼矿 Re-Os 同位素测年,两者年龄一致,将所有 10 个样品合并后获得加权平均年龄为(145.03±0.69)Ma,等时线年龄为(146.3±1.1)Ma。本次新数据确定了成岩与成矿作用时间一致,斑岩型矿化与矽卡岩型矿化都与南泥湖岩体所代表的花岗质岩浆作用有密切时空和成因关系。

(2)由于岩浆岩中的锆石来源并不均一,而测试的锆石数量有限不能真实地反映岩浆岩中全体锆石的年龄特征,导致前人测得南泥湖岩体形成时代与其真实的形成年龄相差较大。本次测年结果从野外地质关系和辉钼矿 Re-Os 同位素年龄方面得到印证,表明此次测年结果更接近真实年龄。

(3)通过锆石 U-Pb 法测年确认了李永峰^[2]获得的约 158 Ma 岩浆热事件年龄的存在,并新揭示出了约 175 Ma 岩浆热事件的存在,其地质意义有

待进一步研究。

致谢:野外工作期间得到洛钼集团矿山公司和龙宇钼业公司领导和技术人员的大力支持与协助,锆石 U-Pb 测年工作得到南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室武斌老师的指导,辉钼矿 Re-Os 测年实验由国家地质实验测试中心李超完成,数据处理得到周立敏博士的帮助,在此一并表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 胡受奚,林潜龙,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,1988:1-489.
Hu Shouxi, Lin Qianlong, et al. The Geology and Metallogeny of the Amalgamation Zone between Ancient North China and South China Plate (Tanking Qinling-Tongbai as an example) [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1988:1-489 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李永峰. 豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文,2005:1-135.
Li Yongfeng. The Temporal-spatial Evolution of Mesozoic Granitoids in Xiong'ershan Area and Their Relationships to Molybdenite-gold Mineralization [D]. Ph. D Thesis, China University of Geosciences (Beijing), 2005:1-135 (in Chinese with English abstract)(unpubl.).
- [3] 包志伟,曾乔松,赵太平,等. 东秦岭钼矿带南泥湖—上房沟花岗岩斑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 Shangganggou granite porphyries from east Qinling belt and their constraints on the molybdenum mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (10): 2523-2536(in Chinese with English abstract).
- [4] Mao J W, Xie G Q, Pirajno F, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous granitoid magmatism in East Qinling, central-eastern China: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2010, 57:51-78.
- [5] 王长明,张寿庭,邓军,等. 河南冷水北沟铅锌矿地质地球化学特征及成因探讨[J]. 矿床地质,2007,26(2):175-163.
Wang Changming, Zhang Shouting, Deng Jun, et al. Geological-geochemical features and genesis of Lengshuibeiou Pb-Zn deposit in Henan [J]. Mineral Deposits, 2007, 26 (2):175-163 (in Chinese with English abstract).
- [6] 毛景文,叶会寿,王瑞廷,等. 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,2009,28(1):72-79.
Mao Jingwen, Ye Huishou, Wang Ruiting, et al. Mineral deposit model of Mesozoic porphyry Mo and vein-type Pb-Zn-Ag ore deposit in the eastern Qingling, Central China and Its implication for prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1):72-79

- (in Chinese with English abstract).
- [7] 徐晓春, 楼金伟, 陆三明, 等. 安徽金寨银山钼-铅-锌多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄测定[J]. 矿床地质, 2009, 28(5):621-632.
- Xu Xiaochun, Lou Jinwei, Lu Sanming, et al. Re-Os ages of molybdenum-lead-zinc polymetallic deposits and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ ages of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 2009, 28 (5):621-632 (in Chinese with English abstract).
- [8] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨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(in Chinese with English abstract).
- [9] 李永峰, 毛景文, 白凤军, 等. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿田 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2003, 49(6):652-661.
- Li Yongfeng, Mao Jingwen, Bai Fengjun, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum (tungsten) orefield in the Eastern Qinling and its geological significance [J]. Geological Review, 2003, 49(6):652-661(in Chinese with English abstract).
- [10] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2008, 72:4607-4626.
- [11] Han Yigui, Zhang Shihong, Pirajno F., et al. New $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ age constraints on the deformation along the Machaoying fault zone: Implications for Early Cambrian tectonism in the North China Craton[J]. Gondwana Research, 2009, 16:255-263.
- [12] 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, 2001:1-855.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001:1-855(in Chinese with English abstract).
- [13] Peng Peng, Zhai Mingguo, Ernst R E, et al. A 1.78Ga large igneous province in the North China Craton: the Xiong'er Volcanic Province and the North China Dyke Swarm [J]. Lithos, 2008, 101:260-280.
- [14] 毛景文, 李晓峰, 张荣华, 等. 深部流体成矿系统[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005:1-365.
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Zhang Ronghua, et al. Mantle-derived Fluid-related Ore-forming System[M]. Beijing: China Land Press, 2005:1-365(in Chinese with English abstract).
- [15] 叶会寿. 华北陆块南缘中生代构造演化与铅锌银成矿作用[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2006:1-217.
- Ye Huishou. The Mesozoic Tectonic Evolution and Pb-Zn-Ag Metallogeny in the South Margin of North China Craton [D]. Ph.D. Thesis of Chinese Academy of Geological Sciences, 2006:1-217(in Chinese with English abstract).
- [16] 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 Geological Sinica, 2008, 82 (2):204-218 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王团华, 毛景文, 王彦斌, 等. 小秦岭—熊耳山地区岩墙锆石 SHRIMP 年代学研究——秦岭造山带岩石圈拆沉的证据[J]. 岩石学报, 2008, 24(6):1273-1287.
- Wang Tuanhua, Mao Jingwen, Wang Yanbin, et al. Research on SHRIMP U-Pb chronology in Xiaoqinling-Xionger'shan area: the evidence of delamination of lithosphere in Qinling orogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(6):1273-1287(in Chinese with English abstract).
- [18] 王团华, 毛景文, 谢桂青. 河南商城地区岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4):369-377.
- Wang Tuanhua, Mao Jingwen, Xie Guiqing. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of dikes in Shangcheng area, Henan Province, Central China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27 (4):369-377 (in Chinese with English abstract).
- [19] 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 等. 东秦岭宝丰盆地大营组火山岩 SHRIMP 定年及其意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(10):2387-2396.
- Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li Ruiling, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating for volcanic rocks of the Daying Formation from Baofeng basin in eastern Qinling, China and its implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10):2387-2396(in Chinese with English abstract).
- [20] 汪江河. 河南三道庄钼钨矿区深部下层矿的找矿意义[J]. 地质调查与研究, 2009, 32(4):291-296.
- Wang Jianghe. Significance of the deep ore prospecting in Henan Sandaozhuang W-Mo deposit[J]. Geological Survey and Research, 2009, 32(4):291-296(in Chinese with English abstract).
- [21] Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology, 2004, 211(1/2): 47-69.
- [22] Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference Materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 2004, 28 (1): 41-52.
- [23] 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 中国北方中生代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(in Chinese with English abstract).

- [24] 杜保峰, 魏俊浩, 王启, 等. 中国东部钼矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论[J]. 矿床地质, 2010, 29(6):935-955.
Du Baofeng, Wei Junhao, Wang Qi, et al. Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism and mineralization of molybdenum deposits in East China [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(6): 935-955(in Chinese with English abstract).
- [25] Petford N, Cruden A R, McCaffrey K J W, et al. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust [J]. Nature, 2000, 408:669-673.
- [26] Turner S, Costa F. Measuring timescales of magmatic evolution[J]. Elements, 2007, 3:267-272.
- [27] Vermeesch P. How many grains needed for a provenance study?[J] Earth and Planetary Science Letters, 2004, 224:441-451.
- [28] 何世平, 王洪亮, 徐学义, 等. 北祁连东段红土堡基性火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 地球科学进展, 2007, 22(2):143-151.
He Shiping, Wang Hongliang, Xu Xueyi, et al. A LA-ICP-MS U-Pb chronological study of zircons from Hongtubu basic volcanic rocks and its geological significance in the East Segment of North Qilian orogenic belt[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(2):143-151(in Chinese with English abstract).
- [29] 宋彪, 乔秀夫. 辽北辉绿岩墙(床)群及二道沟组玄武岩锆石年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2008, 15(3):250-262.
Song Biao, Qiao Xiufu. Ages of the zircons from basalt of the Erdaogou Formation and diabase dyke warms in Northern Liaoning, and their significances [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(3):250-262(in Chinese with English abstract).
- [30] 梁涛, 罗照华, 潘颖, 等. 玄武质岩石的单颗粒锆石 U-Pb 年龄谱[J]. 地学前缘, 2010, 17(1):24-48.
Liang Tao, Luo Zhaohua, Pan Ying, et al. U-Pb age spectrums of single zircon from basaltic rocks [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 24-48(in Chinese with English abstract).
- [31] 高山, Rudnick RL, Carlson RW, 等. 华北克拉通岩石圈地幔置换作用和壳幔生长耦合的 Re-Os 同位素证据 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3):61-67.
Gao Shan, Rudnick R L, Carlson R W, et al. Removal of lithospheric mantle in the North China Craton: Re-Os isotopic evidence for coupled crust-mantle growth [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3):61-67(in Chinese with English abstract).
- [32] 张宗清, 张国伟, 唐索寒. 南秦岭变质地层同位素年代学[M]. 北京:地质出版社, 2002, 1-348.
Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan. Isotope Geochronology of the Metamorphic Stratum in South Qinling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 1-348(in Chinese).
- [33] 张本仁, 高山, 张宏飞. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2002:1-187.
Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei. Geochemistry of the Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 2002:1-187(in Chinese).
- [34] 包志伟, 李创举, 祁进平. 东秦岭栾川铅锌银矿田辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及成矿时代 [J]. 岩石学报, 2009, 25(11):2951-2956.
Bao Zhiwei, Li Chuangju, Qi Jinping. SHRIMP zircon U-Pb age of the gabbro dyke in the Luanchuan Pb-Zn-Ag orefield, east Qinling orogen and its constraint on mineralization time [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (11):2951-2956 (in Chinese with English abstract).
- [35] 张照伟, 李文渊, 赵东宏, 等. 陕西省洛南县莲花沟岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球学报, 2008, 29(6):811-816.
Zhang Zhaowei, Li Wenyuan, Zhao Donghong, et al. U-Pb age of the Lianhuagou intrusive rocks in Luonan County, Shaanxi Province and its geological implications[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2008, 29(6):811-816(in Chinese with English abstract).
- [36] 陈道公, 汪相, Deloule E, 等. 北大别辉石岩成因: 锆石微区年龄和化学组成[J]. 科学通报, 2001, 46(7):586-590.
Chen Daogong, Wang Xiang, Deloule E, et al. Zircon SIMS ages and chemical compositions from Northern Dabie Terrain: Its implication for pyroxenite genesis [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(12):1047-1050.
- [37] 杨坤光, 马昌前, 徐长海, 等. 北淮阳构造带与大别造山带的差异性隆升[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(2):97-103.
Yang Kunguang, Ma Changqian, Xu Changhai, et al. Differential uplift between Beihuaiyang and Dabie orogenic belt [J]. Science in China(Series D), 2000, 43 (2):193-199.
- [38] 毛景文, 郑榕芬, 叶会寿, 等. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2006, 25(4):359-368.
Mao Jingwen, Zheng Rongfen, Ye Huishou, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of fuchsite and sericite from altered rocks close to ore veins in Shagou large-size Ag-Pb-Zn deposit of Xiong'ershan area, western Henan Province, and its significance [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(4): 359-368(in Chinese with English abstract).
- [39] 丁丽雪, 马昌前, 李建威, 等. 华北克拉通南缘蓝田和牧护关花岗岩体: LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球化学, 2010, 39(5). 401-413.
Ding Lixue, Ma Changqian, Li Jianwei, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb ages of the Lantian and Muhuguan granitoid plutons, southern margin of the North China craton: Implications for tectonic setting[J]. Geochimica, 2010, 39(5).401-413 (in Chinese with English abstract).
- [40] 焦建刚, 袁海潮, 何克, 等. 陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 2009, 83(8):1159-1166.
Jiao Jiangan, Yuan Haichao, He Ke, et al. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Balipo Porphyry Mo deposit in East Qinling, China, and its geological implication [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8):1159-1166(in Chinese with English abstract).
- [41] Han Yigui, Zhang Shihong, Pirajno F, et al. Evolution of the

- Mesozoic granites in the Xiong'ershan -Waifangshan region, Western Henan Province, China, and its tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2007, 81(2):253-265.
- [42] 高亚龙. 河南嵩县崔香洼金矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2010:1-67.
- Gao Yalong. Geology, Geochemistry and genesis of Huanxiangwa Gold Deposit in Dongqinling, Henan Province [D]. M.D. Thesis, China University of Geosciences (Beijing), 2010:1-67 (in Chinese with English abstract).
- [43] Kay R W, Kay M S. Delamination and delamination magmatism[J]. *Tectonophysics*, 1993, 219:177-189.
- [44] Li Shuguang, Jagoutz E, Chen Yizhi, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountain, central China [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2000, 64(6):1077-1093.
- [45] 江来利, 吴维平, 储东如, 等. 大别山北部碰撞后伸展-逆冲推覆构造[J]. *科学通报*, 2003, 48(14):1557-1563.
- Jiang Laili, Wu Weiping, Chu Dongru, et al. Post-collision extensional-overthrust structure in the North Dabie orogen [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14):1557-1563(in Chinese).
- [46] Foster D A, Schafer C, Fanning C M, et al. Relationships between crustal partial melting, plutonism, orogeny, and exhumation: Idaho-Bitterroot batholith[J]. *Tectonophysics*, 2001, 342:313-350.
- [47] Whitney D L, Teysier C, Fayon A K, et al. Tectonic controls on metamorphism, partial melting, and intrusion: Timing and duration of regional metamorphism and magmatism in the Nigde Massif, Turkey[J]. *Tectonophysics*, 2003, 376:37-60.

New geochronological data of granites and ores from the Nannihu-Sandaozhuang Mo(W) deposit

XIANG Jun-feng^{1,2}, MAO Jing-wen¹, PEI Rong-fu¹,
YE Hui-shou¹, WANG Chun-yi³, TIAN Zhi-heng⁴, WANG Hao-lin¹

(1. MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3. China Molybdenum Co., Ltd., Luoyang, 471542, Henan, China; 4. Luanchuan Longyu Molybdenum Co., Ltd., Luoyang, 471500, Henan, China)

Abstract: The Nannihu-Sandaozhuang molybdenum deposit is the largest porphyry-skarn type deposit in eastern Qinling region. This paper reports new LA-ICP-MS zircon U-Pb age data of granitoids (including granitic veins) and ICP-MS molybdenite Re-Os isotopic age data of the samples from the mining area. The obtained formation ages of granitoids are $145.2 \pm 1.5 \sim 146.7 \pm 1.2$ Ma, and the model ages of 5 molybdenite samples from stockwork in the Nannihu mining area and 5 molybdenite samples from disseminated skarn in the Sandaozhuang mining area are $143.4 \pm 2.0 \sim 146.5 \pm 2.3$ Ma with isochron age of 146.0 ± 1.1 Ma. These new geochronological data show explicitly that the granitoids and ores were formed simultaneously, suggesting their genetic relationship. Furthermore, these new data have confirmed the existence of magma-thermal event at about 158 Ma revealed by previous dating work, and also for the first time revealed that the eastern Qinling area once underwent another magma-thermal event at about 175 Ma. The published weighted average age data are of distinct deviation from the real intrusive age of the Nannihu magmatic body, which results from 1) nonhomogeneous origin of zircons in magmatic rock and 2) unrepresentative dating of zircon group.

Key words: eastern Qinling; southern margin of the North China Craton; Nannihu; Sandaozhuang; zircon U-Pb age; Re-Os age

About the first author: XIANG Jun-feng, male, born in 1982, doctor candidate, majors in mineral resource prospecting and exploration; E-mail: xjf2929@163.com.