

doi: 10.11720/wtyht.2019.1478

杨庆坤, 张小亮, 华琛, 等. 赣中大王山石英脉型钨钼多金属矿床成岩成矿年代学及其地质意义[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 558-567. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1478>

Yang Q K, Zhang X L, Hua C, et al. Petrogenic and metallogenic geochronology and its geological significance of the Dawangshan quartz vein type scheelite-molybdenite polymetallic deposit in central Jiangxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 558-567. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1478>

赣中大王山石英脉型钨钼多金属矿床 成岩成矿年代学及其地质意义

杨庆坤¹, 张小亮², 华琛¹, 于玉帅³, 周万蓬¹

(1. 东华理工大学 核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013; 2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 中国地质调查局 武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205)

摘要: 赣中大王山钨钼多金属矿床位于钦杭结合带西缘大王山—于山 W-U-Sn-Au 多金属成矿带, 为典型的石英脉型矿床, 其赋矿岩体具有多阶段特征。通过 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年技术, 得到晚阶段细粒花岗岩成岩年龄为 145.1 ± 0.89 Ma, 与早阶段形成的中粗粒花岗岩形成时间接近 (147.8 ± 1.9 Ma); 利用辉钼矿 Re-Os 同位素测年技术, 得到成矿年龄为 147.6 ± 1.8 Ma, 表明该矿床形成于晚侏罗世, 与南岭地区及其周边的燕山期石英脉型钨钼多金属矿床的成岩、成矿时代一致。辉钼矿中 Re 的含量具有指示成矿物质来源的重要参考价值, 大王山钨钼多金属矿床的辉钼矿中 Re 含量较低, 为 $2.215 \times 10^{-9} \sim 10.183 \times 10^{-9}$, 与以钨为主、共生或伴生钼的矿床特征相吻合, 指示其成矿物质主要来自于壳源或壳幔混合源, 即在 160~110 Ma 之间, 古太平洋板块与欧亚板块之间的主应力作用方向发生转变, 促使我国东部岩浆活动频繁, 岩浆期后热液与围岩交代明显, 大量成矿物质被萃取, 并在成矿有利部位富集。

关键词: 辉钼矿; 同位素测年; 成矿年龄; 微量元素; 大王山

中图分类号: P618.65; P611.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2019)03-0558-10

0 引言

赣中宜黄地区大王山钨矿床开采历史悠久, 但近年矿区多金属资源储量枯竭严重, “攻深找盲”工作迫在眉睫。通过在该地区进行区域地质调查工作, 笔者及其研究团队陆续发现了多个 W-Sn-Mo-Cu 等多金属矿点, 并呈现明显的带状展布特征, 由此构成了一条钨多金属矿带, 表明该地区具有很好的找矿前景。前人对该地区及其周边燕山期和加里东期花岗岩的岩石地球化学特征研究程度较高, 但尚缺少对研究区与成矿方面有关的研究工作。大王山钨矿床赋矿花岗岩为一套高分异的过铝质花岗岩, 形成过程中受到了少量幔源物质的混染作用^[1], 属于低中温、中高盐度的热液矿床, 成矿流体主要为岩浆

水, 后期经历了与大气水的混合作用和自然冷却过程^[2], 成矿流体中富集 CO_2 和 Cl^- 。方解石的碳氧同位素显示原始岩浆具有幔源特征, 硫化物的硫同位素指示了硫源与深部岩浆有关^[3]。虽然这些认识都指向大王山钨矿床与赋矿花岗岩有着一定的关系, 但是缺少最直接的成矿年代学方面的证据。研究区赋矿花岗岩多阶段侵位特征明显, 伟晶岩脉、细晶岩脉等发育, 通过对早期的中粗粒碱长花岗岩进行年代学研究, 得到其形成于 147.8 ± 1.9 Ma^[1], 但对研究区岩浆演化各阶段年代学特征等方面的工作并不系统。笔者通过对大王山矿床晚阶段细粒花岗岩开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年以及辉钼矿(脉状石英—黑钨矿—黄铜矿—辉钼矿型矿石) Re-Os 测年工作, 厘定了矿床的成岩、成矿时限, 在此基础上结合前人的研究资料, 讨论矿床成矿物质来源和区

收稿日期: 2018-12-27; 修回日期: 2019-03-14

基金项目: 江西省自然科学基金项目(20171BAB213026); 国家自然科学基金项目(41602069); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ150554); 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室开放基金项目(RGET1402)

作者简介: 杨庆坤(1984-), 男, 讲师, 博士, 毕业于中国地质大学(北京), 主要从事区域成矿学研究。Email: 197267245@qq.com

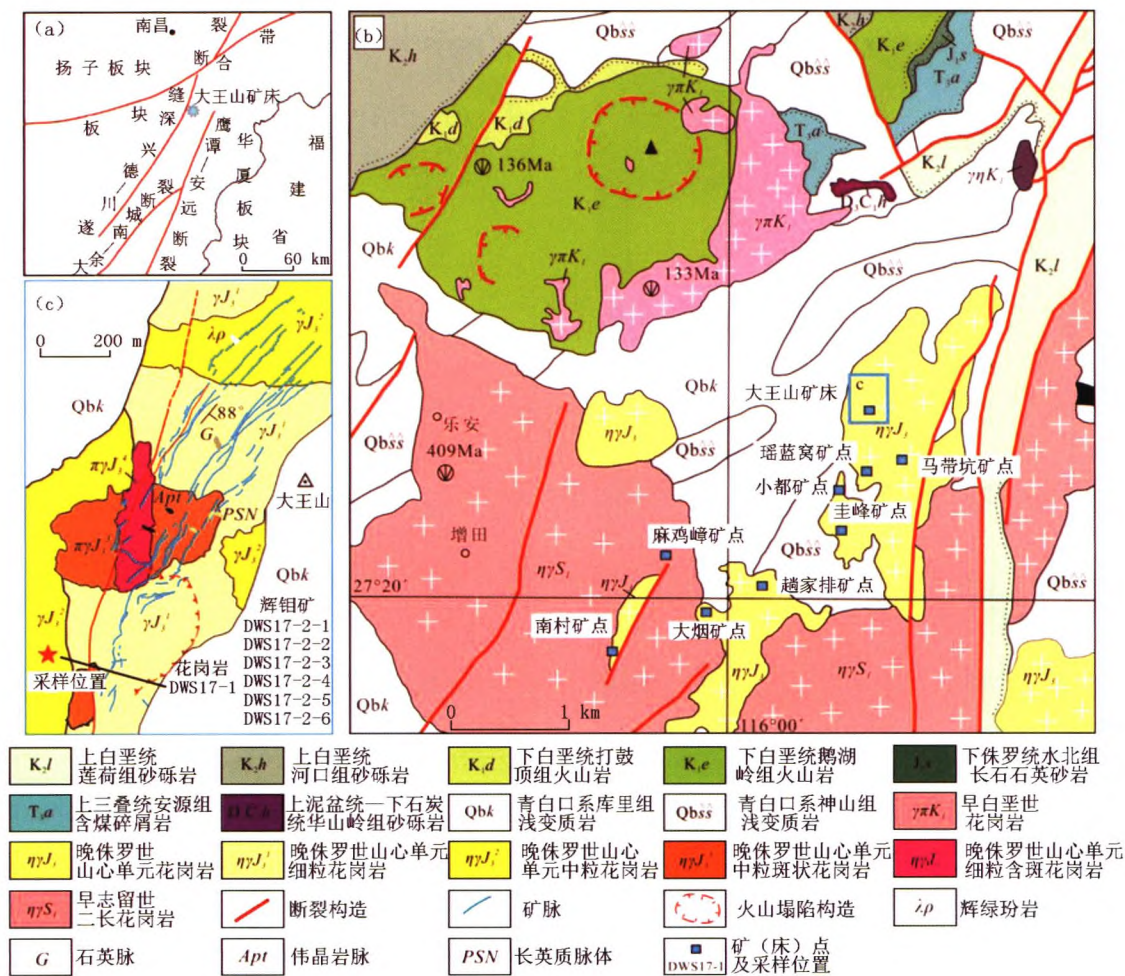
域动力学背景。

1 区域地质背景和矿床地质

赣中宜黄大王山钨多金属矿床位于江西省中东部,大王山—于山 W-U-Sn-Au 多金属成矿带的北端,构造上处于扬子板块与华夏板块拼合构造带(钦杭结合带)东南缘,遂川—德兴深断裂和鹰潭—安远深断裂分别从其北西侧和东南侧通过。

区域出露地层相对单一,以青白口纪浅变质岩系为主,该套变质岩为变余细砂岩、板岩、千枚岩等组成的富铁和炭的类复理石建造,部分岩石遭受了不同程度的接触变质。研究区燕山期岩浆侵入—喷发活动强烈,早期以酸性岩浆侵入为主,形成花岗质侵入体,局部可见与加里东期片麻状黑云母花岗岩呈侵入接触关系;中晚期则以火山喷发活动为主,尤以区内西北部的相山火山盆地最为典型(图 1)。

矿区内控矿构造以 NNE—NE 向断裂为主。各组裂隙沿走向均具膨大缩小现象,矿区内呈现出由西南侧向东北侧逐渐收敛→撒开的帚状现象。成矿后区内 NWW 向断裂构造发育,呈现延伸短、位错小,但较为密集等特点,对矿体开采未造成影响。大王山矿床赋矿岩体主要为燕山早期的中、细粒黑云花岗岩,两者呈现明显的侵入关系(图 2a,b)。该矿床为典型的石英脉型矿床,矿体多产于接触带附近的花岗岩内,地表浅变质岩系中略有出露(如大王山附近的圭峰矿点),大矿体多分布在海拔标高 650~900 m 范围内。矿体多以单(大)脉形式产出,部分呈囊状、网状等形态,在裂隙发育的囊状矿体周边分布着许多网脉状矿体。虽然矿脉形态多样,但彼此之间并无明显的穿插关系,并且整体走向一致(为 NNE35°)。矿带宽约 40~400 m,在地表呈现西南窄北东宽的帚状趋势(图 1b)^[1]。根据野外所观察到的矿体产出形态,可将研究区划分为三期成矿

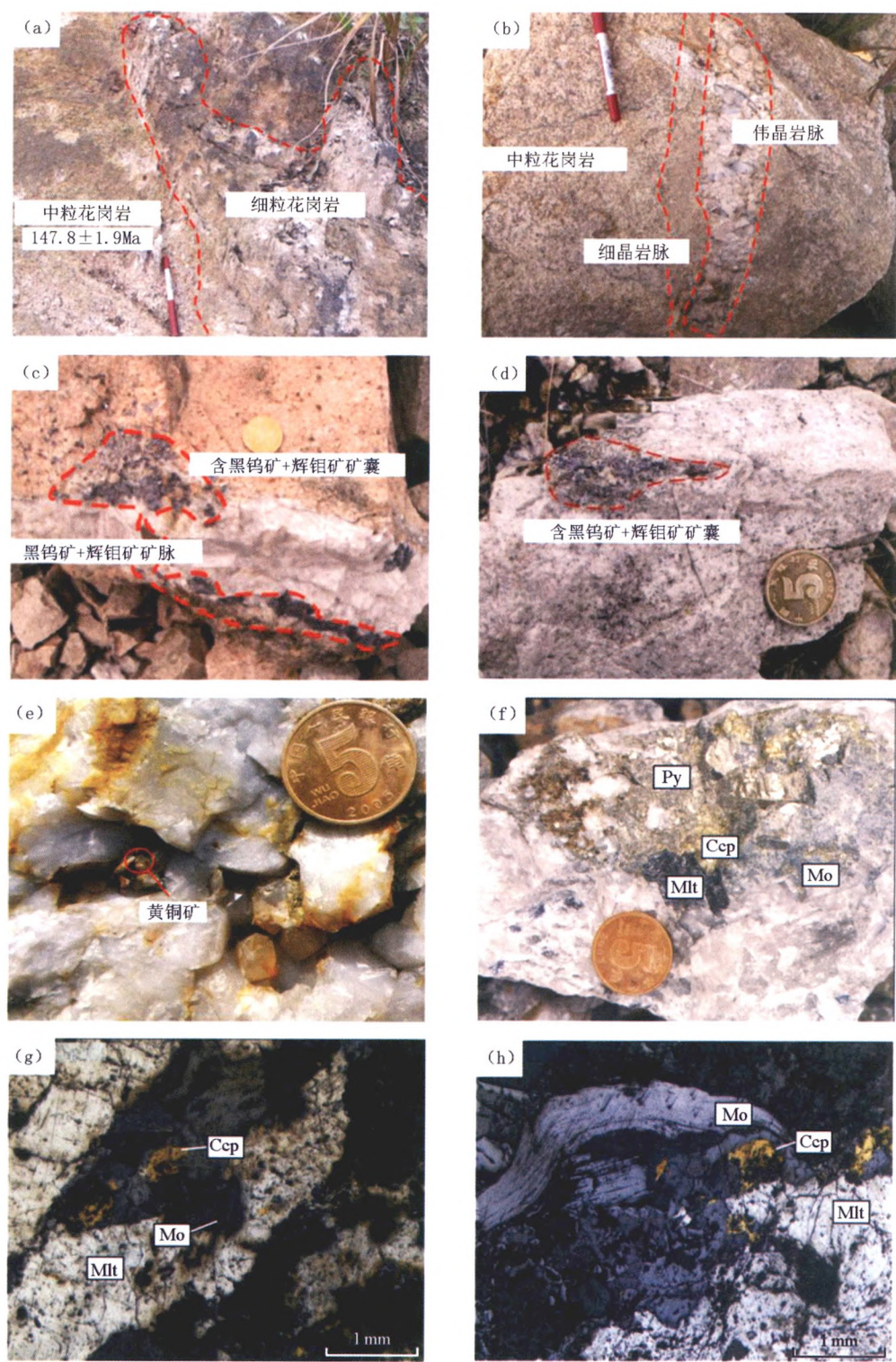


a—矿床大地构造位置图;b—矿床区域地质图;c—矿区地质图

a—tectonic position of Dawangshan deposit;b—regional geological map of Dawangshan deposit;c—geological sketch map of Dawangshan deposit

图 1 大王山矿床区域构造及矿区地质图

Fig.1 Geotectonic location map and regional geological map of Dawangshan deposit



a—赋矿细粒花岗岩侵入到中粒花岗岩中;b—伟晶岩脉;c—早期钨钼多金属矿囊被后期含矿石英切割;d—矿囊;e—后期石英晶洞中的硫化矿;f—黄铁矿-黄铜矿-黑钨矿-辉钼矿共生;g,h—黑钨矿-黄铜矿-辉钼矿(反射单偏光);Mlt—黑钨矿;Ccp—黄铜矿;Py—黄铁矿;Mo—辉钼矿

a—ore-bearing fine-grained granite intrudes into medium-grained granite; b—pegmatitic dikes; c—early tungsten molybdenum polymetallic ore capsule was cut by late quartz veins containing ore; d—pocket; e—sulfide ore in late quartz crystal cave; f—pyrite-chalcopyrite-wolframite-molybdenite symbiosis; g, h—wolframite-chalcopyrite-brightness molybdenum ore (reflection of single polarized light); Mlt—wolframite; Ccp—chalcopyrite; Py—pyrite; Mo—molybdenum

图 2 大王山钨钼多金属矿集区赋矿花岗岩及矿石照片

Fig.2 Photos of the granite and W-Mo polymetallic ore samples in Dawangshan tungsten molybdenum polymetallic ore concentration area

作用,早期以矿囊状为特征,主要以黑钨矿、辉钼矿及石英为主,与围岩无明显的蚀变现象(图 2c、d);主成矿期以大脉状赋石英英脉为主,围岩可见明显的蚀变现在,但是蚀变范围较窄,主要有云英岩化、钾化、硅化以及绿泥石化等(图 2f、g、h);成矿晚期可见少部分硫化矿赋存于石英晶洞中(图 2e)。

2 样品采集及测试方法

本次进行 Re-Os 同位素测试的 6 件辉钼矿样品主要采集在大王山矿床探矿坑道中,为大脉状石英脉型黑钨矿+辉钼矿矿石,辉钼矿主要呈鳞片状及团块状。矿脉中可见与辉钼矿共生的白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、黄铁矿和黄铜矿等金属矿物。进行锆石 LA-ICPMS U-Pb 测年所需的 1 件细粒花岗岩样品采集在地表采石场,样品新鲜,未见蚀变。辉钼矿 Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心完成,详细的分析原理和测试方法参见文献[4]。花岗岩锆石制靶和阴极发光(CL)图像拍摄(型号 Mono CL3+)工作在廊坊市宇恒矿岩技术服务有限公司完成。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年测试工作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,具体的测试分析方法及流程见参考文献[5]、[6]。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

锆石颗粒多呈自形短柱状,以无色或淡黄色居多,岩浆结晶环带明显(图 3),少量锆石边部呈现暗黑色。锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素测年数据见表 1,年龄谐和图见图 4。锆石长约 89~133 μm,长宽比为 2:1~4:1。本次共对 24 颗锆石颗粒进行测试,其中 U 含量主要集中在 $187\times10^{-6}\sim3\,534\times10^{-6}$ 之间, Th 含量在 $94\times10^{-6}\sim900\times10^{-6}$ 之间。通常,岩浆锆石 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 比值在 0.1~1.0 之间,变质锆石 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 比值 $<0.1^{[7]}$ 。通过表 1 可知,本次所测锆石颗粒 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 比值主要集中在 0.25~0.75 之间, U-Pb 同位素组成均在误差范围内谐和, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄较集中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为 $145.1\pm0.89\text{ Ma}$ (MSWD = 0.20, 95% 置信度)。

3.2 辉钼矿 Re-Os 年龄

表 2 为大王山矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果,其中 ^{187}Re 含量为 $1\,392\times10^{-9}\sim6\,400\times10^{-9}$, 平均为 $3\,682\times10^{-9}$; ^{187}Os 含量为 $3.45\times10^{-9}\sim15.92\times10^{-9}$, 平均为 9.08×10^{-9} 。 ^{187}Re 和 ^{187}Os 的含量变化较为协调,模式年龄为 145.3~148.5 Ma 之间,加权平均值

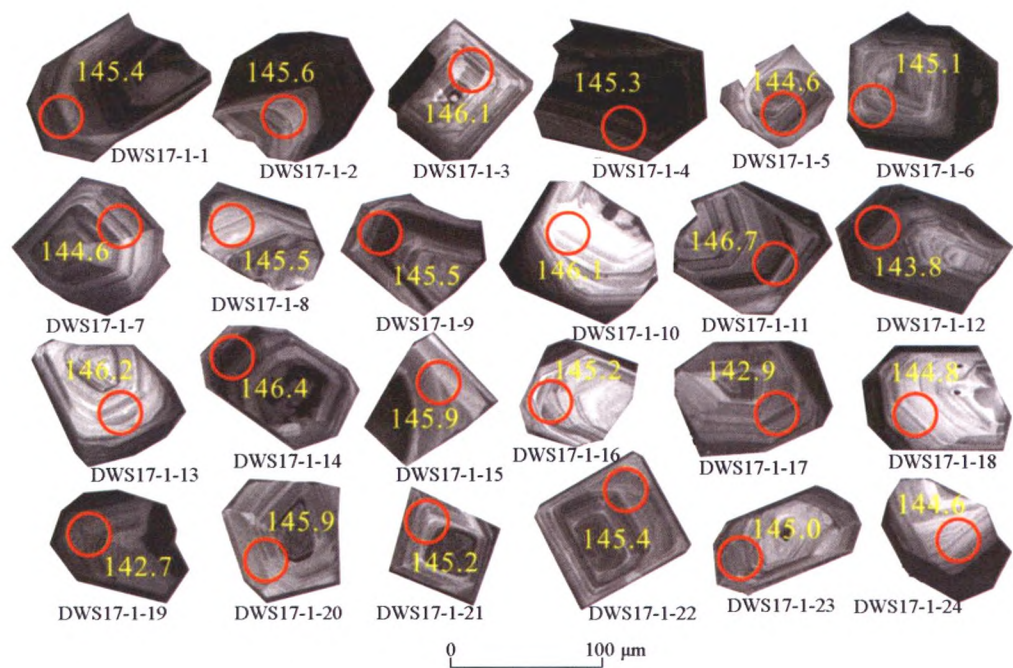


图 3 大王山矿床赋矿花岗岩锆石阴极发光 (CL) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(单位:Ma)

Fig.3 Zircon cathodoluminescence (CL) images for the ore-bearing granites from the Dawangshan deposit

表 1 大王山矿床细粒花岗岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 Results of zircon LA-ICP-MS U-Pb ages for ore-bearing granites from the Dawangshan deposit

样号	w(U) /10 ⁻⁶	w(Th) /10 ⁻⁶	w(Th) /w(U)	同位素比值								年龄/Ma							
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ
DWS17-1-1	863	364	0.42	0.0502	0.00106	0.1575	0.00345	0.0228	0.00030	0.0074	0.00018	204.2	49	148.5	3	145.4	2	149.9	4
DWS17-1-2	1463	506	0.35	0.0485	0.00096	0.1528	0.00314	0.0228	0.00027	0.0080	0.00016	124.2	47	144.4	3	145.6	2	160.3	3
DWS17-1-3	331	192	0.58	0.0487	0.00200	0.1530	0.00637	0.0229	0.00039	0.0077	0.00022	135.2	97	144.6	6	146.1	2	154.6	4
DWS17-1-4	3534	900	0.25	0.0510	0.00128	0.1596	0.00572	0.0228	0.00064	0.0080	0.00025	241.3	58	150.3	5	145.3	4	160.4	5
DWS17-1-5	416	225	0.54	0.0495	0.00163	0.1542	0.00507	0.0227	0.00037	0.0087	0.00028	169.5	77	145.6	4	144.6	2	174.1	6
DWS17-1-6	235	108	0.46	0.0487	0.00163	0.1525	0.00514	0.0228	0.00032	0.0078	0.00022	132.0	79	144.1	5	145.1	2	157.9	4
DWS17-1-7	309	212	0.68	0.0485	0.00145	0.1512	0.00452	0.0227	0.00031	0.0084	0.00023	124.0	70	143.0	4	144.6	2	168.9	5
DWS17-1-8	197	100	0.51	0.0506	0.00155	0.1592	0.00508	0.0228	0.00031	0.0074	0.00027	221.6	71	150.0	4	145.5	2	149.4	5
DWS17-1-9	595	277	0.47	0.0507	0.00189	0.1587	0.00734	0.0228	0.00056	0.0072	0.00042	225.6	86	149.6	6	145.5	4	145.1	8
DWS17-1-10	543	168	0.31	0.0489	0.00148	0.1540	0.00482	0.0229	0.00036	0.0082	0.00026	144.2	71	145.5	4	146.1	2	166.0	5
DWS17-1-11	332	176	0.53	0.0490	0.00225	0.1539	0.00634	0.0230	0.00057	0.0086	0.00027	150.2	108	145.4	6	146.7	4	173.2	5
DWS17-1-12	514	235	0.46	0.0485	0.00091	0.1512	0.00308	0.0226	0.00029	0.0077	0.00015	126.1	44	143.0	3	143.8	2	155.1	3
DWS17-1-13	328	168	0.51	0.0490	0.00137	0.1558	0.00482	0.0229	0.00032	0.0084	0.00020	146.7	66	147.0	4	146.2	2	168.6	4
DWS17-1-14	687	304	0.44	0.0497	0.00129	0.1568	0.00397	0.0230	0.00034	0.0076	0.00018	182.9	61	147.9	3	146.4	2	153.6	4
DWS17-1-15	209	156	0.75	0.0486	0.00198	0.1522	0.00633	0.0229	0.00039	0.0080	0.00027	128.5	96	143.9	6	145.9	2	161.9	5
DWS17-1-16	266	140	0.53	0.0500	0.00165	0.1557	0.00493	0.0228	0.00031	0.0077	0.00020	195.9	77	146.9	4	145.2	2	154.8	4
DWS17-1-17	360	164	0.46	0.0493	0.00154	0.1518	0.00480	0.0224	0.00038	0.0082	0.00026	161.1	73	143.5	4	142.9	2	164.4	5
DWS17-1-18	187	94	0.50	0.0511	0.00231	0.1565	0.00615	0.0227	0.00064	0.0084	0.00037	246.9	104	147.6	5	144.8	4	169.0	7
DWS17-1-19	405	205	0.51	0.0506	0.00177	0.1559	0.00551	0.0224	0.00031	0.0074	0.00024	222.0	81	147.1	5	142.7	2	148.1	5
DWS17-1-20	291	183	0.63	0.0498	0.00182	0.1559	0.00550	0.0229	0.00032	0.0079	0.00022	184.2	85	147.2	5	145.9	2	159.1	4
DWS17-1-21	493	221	0.45	0.0494	0.00141	0.1537	0.00386	0.0228	0.00038	0.0079	0.00022	168.8	67	145.1	3	145.2	2	158.5	4
DWS17-1-22	379	169	0.45	0.0505	0.00156	0.1569	0.00442	0.0228	0.00036	0.0079	0.00025	218.8	72	148.0	4	145.4	2	158.4	5
DWS17-1-23	378	184	0.49	0.0486	0.00152	0.1519	0.00466	0.0228	0.00036	0.0075	0.00025	130.0	74	143.6	4	145.0	2	151.2	5
DWS17-1-24	210	107	0.51	0.0493	0.00202	0.1535	0.00635	0.0227	0.00035	0.0075	0.00027	160.7	96	145.0	6	144.6	2	151.1	5

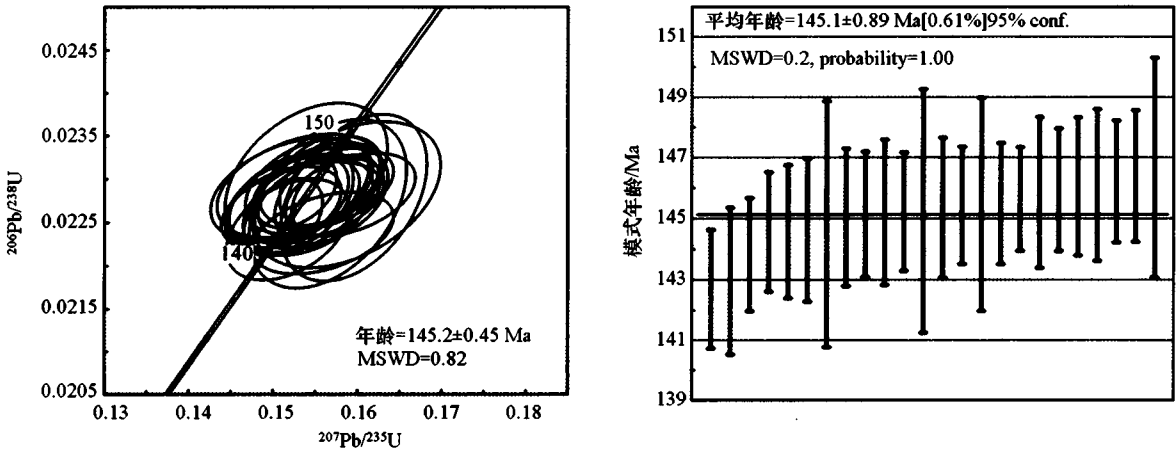


图 4 大王山钨钼多金属矿床赋矿花岗岩锆石 U-Pb 谐和曲线

Fig.4 U-Pb concordia diagram of zircons for porphyry from the Dawangshan deposit

表 2 大王山钨钼多金属矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Dawangshan deposit

样品号	w(Re)/10 ⁻⁹		w(Os)/10 ⁻⁹		w(¹⁸⁷ Re)/10 ⁻⁹		w(¹⁸⁷ Os)/10 ⁻⁹		模式年龄/Ma	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
DWS17-2-1	2215	18	0.0286	0.0122	1392	11	3.45	0.02	148.5	2.1
DWS17-2-2	7003	54	0.0003	0.0159	4401	34	10.82	0.08	147.4	2.1
DWS17-2-3	6534	65	0.0003	0.0283	4107	41	10.11	0.07	147.6	2.3
DWS17-2-4	6290	55	0.0003	0.0220	3953	35	9.72	0.07	147.4	2.2
DWS17-2-5	10183	86	0.0003	0.0442	6400	54	15.92	0.11	149.1	2.2
DWS17-2-6	2927	27	0.0001	0.0251	1840	17	4.46	0.03	145.3	2.3

注:模式年龄 $t = (1/\lambda) \times \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$, 其中衰变常数 $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$; 测试仪器为 TJAX 系列电感耦合等离子体质谱仪, 测试单位为国家地质实验测试中心

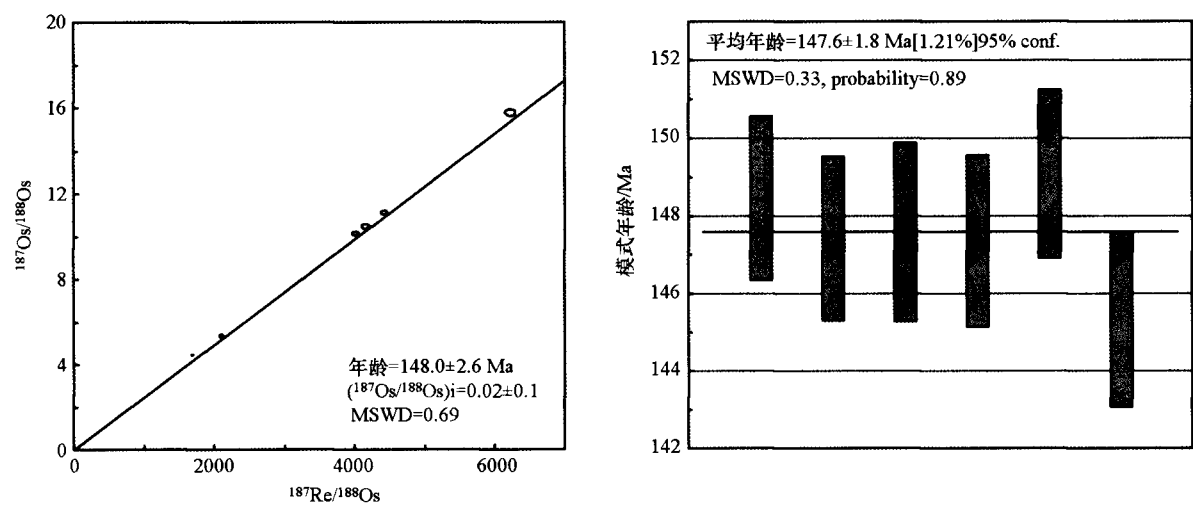


图5 大王山钨多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线和模式年龄加权平均值

Fig.5 Isochron diagram and model age weighted diagram of Re-Os isotope for molybdenite form the Dawangshan deposit

为 $147.6\pm1.8\text{ Ma}$ (MSWD=0.33)。通过 ISOPLOT 软件获得其等时线年龄为 $148.0\pm2.6\text{ Ma}$ (图 5),二者在误差范围内一致。研究区主成矿阶段石英大脉中的辉钼矿与黑钨矿、白钨矿等多金属共生,属同一成矿阶段。因此,辉钼矿 Re-Os 同位素年龄应该属于大王山钨多金属矿床的成矿年龄。

4 讨论

4.1 矿床成岩成矿时代

研究区赋矿花岗岩具有明显的多阶段特征,早阶段以中粗粒为主,形成于 $147.8\pm1.9\text{ Ma}^{[1]}$,晚阶段

以细粒花岗岩为主,形成于 $145.1\pm0.89\text{ Ma}$ 。大王山钨钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄为 $147.6\pm1.8\text{ Ma}$,略早于细粒花岗岩的锆石 LA-ICMMS 锆石 U-Pb 年龄,这种现象在诸多岩浆后期热液型金属矿床中均有发现^[9]。本次测试的成矿年龄在成岩年龄的形成时间范围内,说明两者年龄在误差范围内一致,时间接近。早期成矿作用中可见含钨钼多金属的矿囊,与围岩无明显的蚀变现象,亦指示了成岩、成矿年龄在形成时间上的接近。

通过表 3 可以看出,大王山钨钼多金属矿的成岩成矿时代与南岭地区及其周边的燕山期石英脉型钨钼多金属矿床时代一致,说明研究区成岩成矿的

表 3 南岭东段及赣中地区部分石英脉型钨多金属矿床辉钼矿及其相关花岗岩体成矿—成岩时限
Table 3 The metallogenic and diagenetic ages of molybdenites and the granite from several quartz vein tungsten deposits in eastern Nanling and central Jiangxi

产地	矿床名称	成因类型(岩体名称)	成矿(成岩)年龄值/Ma	测年方法	数据来源
赣南	淘锡坑	石英脉型	154.4±3.8	Re-Os	陈郑辉等 ^[10]
		中粒似斑状黑云母花岗岩	158.7±3.9、157.6±3.5	SHRIMP	郭春丽等 ^[11]
赣南	摇篮寨	石英脉型	155.8±2.8	Re-Os	丰成友等 ^[12]
赣南	樟斗	石英脉型	149.1±7.1	Re-Os	丰成友等 ^[12]
赣南	茅坪	石英脉型	158.2~141.4	Re-Os	曾载淋等 ^[13]
赣南	牛岭	石英脉型	154.9±4.1	Re-Os	丰成友等 ^[12]
赣南	木梓园	石英脉型	151.1±8.5	Re-Os	张文兰等 ^[14]
		中细粒含黑云母花岗岩	153.3±1.9	单颗粒锆石 U-Pb	张文兰等 ^[14]
粤北	师姑山	石英脉型	154.2±2.7	Re-Os	付建明等 ^[15]
粤北	石人嶂	石英脉型	159.1±2.2	Re-Os	付建明等 ^[15]
粤北	红岭	石英脉型	159.1±1.5	Re-Os	王小飞等 ^[16]
闽西	行洛坑	石英脉型	156.3±4.8	Re-Os	张家菁等 ^[17]
赣中	浒坑	石英脉型	149.1±2.0~150.7±3.7	Re-Os	Liu et al ^[18]
赣中	下桐岭	石英脉型	152±3.3	Re-Os	李光来等 ^[19]
赣中	麻鸡嶂	石英脉型	161.3~157.1	Re-Os	宋凯林等 ^[20]
		碱长花岗岩	152.5±1.3	LA-ICPMS	石连成等 ^[21]
赣中	大王山	细粒碱长花岗岩	145.1±0.89	LA-ICPMS	本文
		石英脉型	147.6±1.8	Re-Os	本文

大地构造背景可能与南岭地区及其周边地区类似。

4.2 辉钼矿中 Re 含量及其地质意义

目前, Re-Os 同位素测年技术是直接测定金属矿床矿化年龄最为成熟的技术手段^[22], 而且通过辉钼矿中微量元素 Re 的含量亦可以示踪成矿物质来源, 进而指示金属元素富集成矿作用过程中不同来源物质的混入情况^[23]。

胡受奚等^[24]通过对我国含钼热液型多金属矿床研究发现, 钼矿床中辉钼矿 Re 含量多低于铜矿床, 在 $10 \times 10^{-6} \sim 29 \times 10^{-6}$ 之间。而钨矿中辉钼矿 Re 含量普遍偏低, 可能是 Re 和 Mo 跟与其共生的黑钨矿中 W 的物理化学性质具有显著差异有关^[25], 钨矿中辉钼矿 Re 的含量主要集中在 $4 \times 10^{-9} \sim 103\,965 \times 10^{-9}$ 之间^[26]。部分学者在对与花岗岩有关的钼多金属矿床中的辉钼矿开展 Re-Os 同位素测试时发现: Re 含量主要在 $10 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$ 之间的辉钼矿, 其成矿物质多来源于地幔^[27]; 约为 $(n \times 10) \times 10^{-6}$ 的辉钼矿, 其成矿物质具有壳幔混合特征^[28]; 在 $1 \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-6}$ 之间, 甚至更低的辉钼矿, 其成矿物质多以壳源为主^[29]。Mao 等^[30]通过对比我国各类型钼矿床中辉钼矿 Re 含量的变化特征, 发现成矿物质的来源从幔源→壳幔混合源→壳源, 对应着辉钼矿中 Re 含量具有 $(n \times 10^{-4}) \rightarrow (n \times 10^{-5}) \rightarrow (n \times 10^{-6})$ 的变化规律, 即呈 10 倍的数量级下降, 并认为辉钼矿中 Re 的含量具有指示成矿物质来源的重要参考价值。

大王山钨钼多金属矿床中辉钼矿 Re 的含量为 $2\,215 \times 10^{-9} \sim 10\,183 \times 10^{-9}$, 与以钨为主、共生或伴生钼的矿床特征相吻合。结合上述说明可以推测, 研究区成矿物质应以壳源为主, 同时又有一定的幔源物质加入。

4.3 成矿大地构造背景

任纪舜等^[31]和耿树方等^[32]认为我国东部地球动力背景在燕山期发生了转换。在 170~155 Ma 之间, 我国东部 SN 向主应力场结束。之后, 可能由于古太平洋板块向欧亚板块的俯冲作用, 导致我国东部地球动力背景发生了调整, 直到 135 Ma 左右主应力场转变为近 EW 向^[33]。而我国东部大规模的成矿作用时间主要发生在 160~110 Ma 之间^[34], 恰好位于我国东部主应力场转向的过渡阶段。大王山钨钼多金属矿床成矿时限恰好处于两大动力学体系转换的调整期^[35]——燕山期, 我国华南地区发生了大规模的岩石圈伸展—减薄事件^[36], 形成了大量的陆壳重熔型花岗质岩浆, 并有一定的幔源物质参与^[37]。大规模的岩浆活动促使地壳深部有用元素的重新聚

集, 在岩浆期后形成了大量的气液和挥发份, 并与赋矿围岩发生大面积碱质交代作用。碱交代现象(研究区赋矿围岩云英岩化和钾长石化明显)在华南地区中生代钨、钼、铜、锂、铍等金属矿床中多有出现, 碱交代作用可以促进成矿流体与围岩中元素置换, 是萃取成矿物质的重要机制^[38], 并随着成矿流体在有利部位富集成矿。

5 结论

通过对大王山钨钼多金属矿床赋矿晚阶段细粒花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄、辉钼矿中 Re 含量的研究, 得出以下结论:

1) 大王山矿床赋矿花岗岩多阶段特征明显, 早阶段形成于 147.8 ± 1.9 Ma, 晚阶段形成于 145.1 ± 0.89 Ma, 成矿时代分别为 147.6 ± 1.8 Ma, 成岩与成矿形成时间在误差范围内一致, 均为晚侏罗世。

2) 大王山矿区中辉钼矿的 Re 含量为 $2\,215 \times 10^{-9} \sim 10\,183 \times 10^{-9}$, 与以钨为主、共生或伴生钼的矿床特征相吻合, 其成矿物质主要来源于地壳, 并有少量幔源物质加入。

3) 大王山钨钼多金属矿床形成于中生代我国东部 SN 向与 EW 向主应力场转向的过渡阶段。碱交代现象在矿化围岩中明显, 是萃取成矿物质的重要机制。

参考文献 (References):

- [1] 杨庆坤, 郭福生, 于玉帅, 等. 赣中大王山钨多金属矿床中碱长花岗岩成因: 来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学的制约[J]. 高校地质学报, 2018, 24(12): 856-871.
Yang Q K, Guo F S, Yu Y S, et al. Genesis of alkali-feldspar granite at Dawangshan tungsten polymetallic ore concentration area in central Jiangxi Province: Constraints from LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and geochemistry[J]. Geological Journal of China Universities, 2018, 24(12): 856-871.
- [2] 杨庆坤, 宣璞琰, 张小亮. 赣中大王山钨多金属矿床流体包裹体及 H-O-S 同位素特征[J]. 地质科学, 2017, 52(4): 1282-1296.
Yang Q K, Xuan P Y, Zhang X L. Immiscibility and mineralization of Dawangshan tungsten polymetallic deposit, central Jiangxi province[J]. Chinese Journal of Geology, 2017, 52(4): 1282-1296.
- [3] 杨庆坤, 张小亮, 华琛, 等. 赣中大王山钨钼多金属矿集区辉钼矿微量元素地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2018(2): 59-69.
Yang Q K, Zhang X L, Hua C, et al. Geochemical characteristics of trace element of the molybdenite in the Dawangshan tungsten molybdenum polymetallic ore concentration area, central Jiangxi

- province[J]. *J Mineral Petrol*, 2018(2): 59–69.
- [4] Shirey S B, Walker R J. Carius Tube digestion for low-blank Rhenium-Osmium analysis[J]. *Analytical Chemistry*, 1995, 67(13): 2136–2141.
- [5] 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.
- [6] Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, et al. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 2004, 131(3-4): 231–282.
- [7] Vavra G, Gebauer D, Schmid R, et al. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 122(4): 337–358.
- [8] Smoliar M L, Walker R J, Morgan J W. Re-Os ages of group IA, IIA, IVA and IVB iron meteorites[J]. *Science*, 1996, 271: 1099–1102.
- [9] 陈文, 万渝生, 李华芹, 等. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. *地质学报*, 2011, 85(11): 1917–1947.
- Chen W, Wan Y S, Li H Q, et al. Isotope geochronology: technique and application[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(11): 1917–1947.
- [10] 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. *地质通报*, 2006, 25(4): 496–501.
- Chen Z H, Wang D H, Qu W J, et al. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi county, southern Jiangxi Province, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(4): 496–501.
- [11] 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定[J]. *矿床地质*, 2007, 26(4): 432–442.
- Guo C L, Wang D H, Chen Y C, et al. Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taoxikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(4): 432–442.
- [12] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据[J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 642–650.
- Feng C Y, Feng Y D, Xu J X, et al. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 642–650.
- [13] 曾载淋, 张永忠, 朱祥培, 等. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铍-钨同位素定年及其地质意义[J]. *岩矿测试*, 2009, 28(3): 209–214.
- Zeng Z L, Zhang Y Z, Zhu X P, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Maoping Tungsten-Tin deposit in Chongyi county of southern Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(3): 209–214.
- [14] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. *地质学报*, 2009, 83(5): 659–670.
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, et al. New Dating of the Piaotang Granite and Related Tungsten Mineralization in Southern Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(5): 659–670.
- [15] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(1): 57–62.
- Fu J M, Li H Q, Qu W J, et al. Determination of mineralization epoch of quartz-vein type tungsten deposits in Shixing region, northern Guangdong and its geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogeni*, 2008, 32(1): 57–62.
- [16] 王小飞, 戚华文, 胡瑞忠, 等. 粤北红岭钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2010, 29(3): 415–426.
- Wang X F, Qi W H, Hu R Z, et al. Re-Os isotopic chronology of molybdenites from Hongling tungsten deposit of Guangdong Province and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(3): 415–426.
- [17] 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 等. 福建省洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(1): 92–97.
- Zhang J J, Chen Z H, Wang D H, et al. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluoleng tungsten deposit, Fujian province[J]. *Geotectonica et Metallogeni*, 2008, 32(1): 92–97.
- [18] Liu J, Mao J W, Ye H S, et al. Geology, geochemistry and age of the Hukeng tungsten deposit, Southern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 43(1): 50–61.
- [19] 李光来, 华仁民, 黄小娥, 等. 赣中下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2011, 30(6): 1075–1084.
- Li G L, Hua R M, Huang X E, et al. Re-Os isotopic age of molybdenite from Xiatongling tungsten deposit, central Jiangxi Province, and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30(6): 1075–1084.
- [20] 宋凯林, 张树明, 魏正宇, 等. 赣中麻鸡埠钨钼多金属矿化带辉钼矿 Re-Os 年龄[J]. *东华理工大学学报: 自然科学版*, 2014, 37(1): 21–25.
- Song K L, Zhang S M, Wei Z Y, et al. Molybdenite Re-Os age and its geological significance of Majizhang molybdenum tungsten polymetallic mineralization belt in the central of Jiangxi[J]. *Journal of East China Institute of Technology: Natural Science*, 2014, 37(1): 21–25.
- [21] 石连成, 谢财富, 郭福生, 等. 赣中乐安与钨锡多金属矿化有关的山心岩体地质地球化学特征、锆石 A-ICP-MS 年龄及其成矿意义[J]. *地质学报*, 2015, 89(6): 1070–1084.
- Shi L C, Xie C F, Guo F S, et al. Geological, geochemical characteristics and LA-ICP-MS dating of the Shanxin plutons related to tungsten-tin-polymetallic mineralization, Le'an central Jiangxi and its mineralization significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(6): 1070–1084.
- [22] 鲁海峰, 杨延乾, 何皎, 等. 东昆仑哈脱休玛钨(钨)矿床花岗岩闪长斑岩锆石 U-Pb 及辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义

- 义[J]. 矿物岩石, 2017, 37(2): 33-39.
- Zircon U-Pb age dating for granodiorite porphyry and molybdenite Re-Os isotope dating of Halongxiuma molybdenum (tungsten) deposit in the east Kunlun area and its geological significance[J]. J Mineral Petrol, 2017, 37(2): 33-39.
- [23] Foseter J G, Lambert D D, Frick R R, et al. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archean nickel ores from uncontaminated komatiites[J]. Nature, 1996, 382: 703-706.
- [24] 胡受奚. 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, 588.
- Hu S X. Geology and mineralization of the convergence zone of the north and south China paleoplates[M]. Nanjing: Nanjing university press, 1988, 588.
- [25] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. Terra Nova, 2001, 13(6): 479-486.
- [26] 杜安道, 屈文俊, 李超, 等. 铼-钼同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 288-304.
- Du A D, Qu W J, Li C, et al. A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and Techniques[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(3): 288-304.
- [27] 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 D H, Wu C Y, Du A D, et al. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(3): 221-230.
- [28] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床成矿学研究——辉钼矿的铼-钼年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 289-297.
- Huang D H, Du A D, Wu C Y, et al. Metallochronology of molybdenum(-copper) deposits in the north China platform: Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 1996, 15(4): 289-297.
- [29] 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 等. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 1996, 42(3): 261-267.
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, et al. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan[J]. Geological Review, 1996, 42(3): 261-267.
- [30] Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H. 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.
- [31] 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 等. 中国东部的构造格局和动力演化[G]//任纪舜, 杨巍然. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆氧化. 北京: 地震出版社, 1998: 1-12.
- Ren J S, Niu B G, He Z J, et al. Tectonic structure and dynamic evolution in eastern China [G]// Ren J S, Yang E R. Lithospheric structure and tectonic magmatic oxidation in eastern China. Beijing: Earthquake Press, 1998: 1-12.
- [32] 耿树方, 刘平, 郑洪伟, 等. 对中国东部中生代动力学机制的新认识[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1061-1068.
- Geng S F, Liu P, Zheng H W, et al. A tentative discussion and new recognition of Mesozoic geodynamic mechanism in eastern China[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(7): 1061-1068.
- [33] 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. 地质通报, 2000, 19(4): 140-141.
- Niu B G, He Z J, Song B, et al. SHRIMP age of Zhangjiakou formation and its significance[J]. Geological Bulletin of China, 2000, 19(4): 140-141.
- [34] 毛景文, 王志良. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质, 2003, 22(2): 289-296.
- Mao J W, Wang Z L. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(2): 289-296.
- [35] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北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): 289-300.
- Mao J W, Zhang Z H, Yu J J, et al. Geodynamic background of Mesozoic large-scale mineralization in north China: implications from precise dating of metal deposits[J]. Science in China: Series D, 2003, 33(4): 289-300.
- [36] 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学与地球化学[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 14-31.
- Li X H, Hu R Z, Rao B. Geochronology and geochemistry of cretaceous mafic dikes from northern Guangdong[J]. Geochimica, 1997, 26(2): 14-31.
- [37] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L, et al. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2): 99-107.
- [38] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理——重论岩浆热液及成矿作用[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- Du L T. Hydrocarbon-alkali fluid geochemistry-on magmatic hydrothermal and mineralization[M]. Beijing: Science press, 1996.

Petrogenic and metallogenic geochronology and its geological significance of the Dawangshan quartz vein type scheelite-molybdenite polymetallic deposit in central Jiangxi Province

YANG Qing-Kun¹, ZHANG Xiao-Liang², HUA Chen¹, YU Yu-Shuai³, ZHOU Wan-Peng¹

(1. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. China Geological Survey, Wuhan Center, Wuhan 430205, China)

Abstract: The Dawangshan tungsten-molybdenum polymetallic deposit in Jiangxi province is a typical quartz vein type deposit, lies in the Dawangshan-Yudu Cu-Mo-Au-Ag-Pb-Zn ore belt. The ore-bearing rock mass is characterized by multiple stages. According to the LA-ICPMS zircon U-Pb dating technique, the diagenetic age of fine-grained granite in the late stage is 145.1 ± 0.89 Ma, which is close to the formation time of medium-grained granite formed in the early stage (147.8 ± 1.9 Ma). Using the Re-Os isotope dating technique of molybdenite, the metallogenic age was 147.6 ± 1.8 Ma. Indicating that the deposit was formed in the late Jurassic, It is consistent with the diagenesis and mineralization age of Yanshanian quartz vein type tungsten molybdenum polymetallic deposit in Nanling area. Re content of molybdenite has important reference value to indicate the source of mineralization materials. The Dawangshan tungsten-molybdenum polymetallic deposit is related with Yanshanian granites, the Re contents of molybdenite samples is $2.215 \times 10^{-9} \sim 10.183 \times 10^{-9}$, It is consistent with the characteristics of tungsten deposit associated molybdenum, which indicates that the ore-forming materials are likely to come from the crust or crust-mantle-derived ones. In combination with metallogenic geological background, the author infers that the Dawangshan deposit is associated with the subduction of the Paleo-Pacific oceanic plate beneath the Eurasian continent. It is proposed that the ore-forming materials were extracted by alkali metasomatism between the magma and the wall rock and then concentrated in the favourable areas.

Key words: molybdenite; isotope dating; mineralization age; trace elements; Dawangshan

(本文编辑:蒋实)