

福建将乐县新路口石英脉型钨矿床黑钨矿电子探针分析和LA-ICPMS U-Pb测年

王汉滨*, 黎敦朋, 程浩楠

福州大学紫金地质与矿业学院, 福建 福州

收稿日期: 2024年8月7日; 录用日期: 2024年9月4日; 发布日期: 2024年9月13日

摘要

福建将乐新路口钨矿是闽西北地区石英脉型钨矿的代表性矿床之一, 然而对其成矿时代尚未开展过研究。为了了解新路口石英脉型钨矿床的成矿时代和矿石成份, 对黑钨矿进行了电子探针成份分析和LA-ICPMS U-Pb测年, 结果显示: 黑钨矿 WO_3 为74.147%~75.491%, MnO的含量为9.601%~16.311%, FeO的含量为8.921%~14.903%; FeO/MnO平均值为0.784, 总体富锰, 属于钨锰铁矿; 黑钨矿LA-ICP-MS U-Pb的T-W下交点年龄为 147.0 ± 2.6 Ma (MSWD = 0.51), 校正后的 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 145.2 ± 2.6 Ma (n = 21, MSWD = 1.6), 成矿年龄为晚侏罗世。

关键词

黑钨矿, U-Pb测年, 电子探针, 新路口钨矿床, 石英脉型钨矿

Electron Microprobe Analysis and LA-ICPMS U-Pb Dating of Wolframite from Xinlukou Quartz Vein Type Tungsten Deposit in Jiangle County, Fujian Province

Hanbin Wang*, Dunpeng Li, Haonan Chen

Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou Fujian

Received: Aug. 7th, 2024; accepted: Sep. 4th, 2024; published: Sep. 13th, 2024

Abstract

The Xinlukou tungsten deposit in Jiangle, Fujian Province is one of the representative deposits of

*通讯作者。

文章引用: 王汉滨, 黎敦朋, 程浩楠. 福建将乐县新路口石英脉型钨矿床黑钨矿电子探针分析和 LA-ICPMS U-Pb 测年 [J]. 地球科学前沿, 2024, 14(9): 1183-1191. DOI: 10.12677/ag.2024.149109

quartz vein type tungsten deposits in northwestern Fujian, however, its metallogenic age has not been studied. In order to understand the metallogenic age and ore composition of the Xinlukou quartz vein type tungsten deposit, the electron microprobe composition analysis and LA-ICPMS U-Pb dating of wolframite were carried out. The results show that the content of WO_3 is 74.147%~75.491%, the content of MnO is 9.601%~16.311%, and the content of FeO is 8.921%~14.903%. The average value of FeO/MnO is 0.784, which is rich in manganese and belongs to tungsten manganese iron ore. The LA-ICP-MS U-Pb T-W lower intercept age of the wolframite is 147.0 ± 2.6 Ma (MSWD = 0.51), the corrected $^{206}Pb/^{238}U$ weighted average age is 145.2 ± 2.6 Ma ($n = 21$, MSWD = 1.6), and the metallogenic age is Late Jurassic.

Keywords

Wolframite, U-Pb Dating, Electron Microprobe, Xinlukou Tungsten Deposit, Quartz Vein Type Tungsten Deposit

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钨是熔点最高的金属元素，也是重要的关键金属矿产之一，其广泛用于电子、航空、石油、化工及军事工业等领域。中国钨矿资源丰富，南岭地区被誉为“世界钨都”[1][2]，广泛发育石英脉型黑钨矿床。为了深入了解石英脉型黑钨矿床的成因、精细成矿过程，开展成矿时代研究是矿床学研究的基础工作之一。黑钨矿[钨锰铁矿(Fe, Mn) WO_4]是石英脉型钨矿最重要的赋存矿物，也是提炼钨的最主要矿石。2018年中国地质大学(武汉)研究团队率先开发了可靠的黑钨矿 LA-ICPMS U-Pb 测年方法[3][4]，为直接获得黑钨矿的成矿时代提供了有效途径，并在矿床研究中起到了重要作用[5]-[9]。

福建将乐县新路口钨矿床是上世纪六十年代，福建省地质局三〇三地质队发现的小型石英脉型钨矿床[10]。谭运金对新路口钨矿的黑钨矿成份开展了研究[11][12]，李学燮对新路口钨矿的花岗岩开展了地球化学和锆石 U-Pb 测年分析[13]，在福建省钨矿资源潜力评价中，新路口钨矿作为石英脉型钨矿床的典型矿床[14]，然而对其成矿时代尚未开展过研究。为了了解新路口石英脉型钨矿的形成时代与矿石成份，对黑钨矿进行了电子探针成份分析和 LA-ICPMS U-Pb 测年，为闽西北地区钨矿成矿规律研究提供基础资料。

2. 区域地质背景

矿区大地构造位置处于政和 - 大浦断裂以西的闽西北隆起带中部(图 1(a))，位于宁化 - 南平断裂带北部，邻区已发现了八里桥铅锌矿、石必宅银多金属矿床等矿床[15][16]。

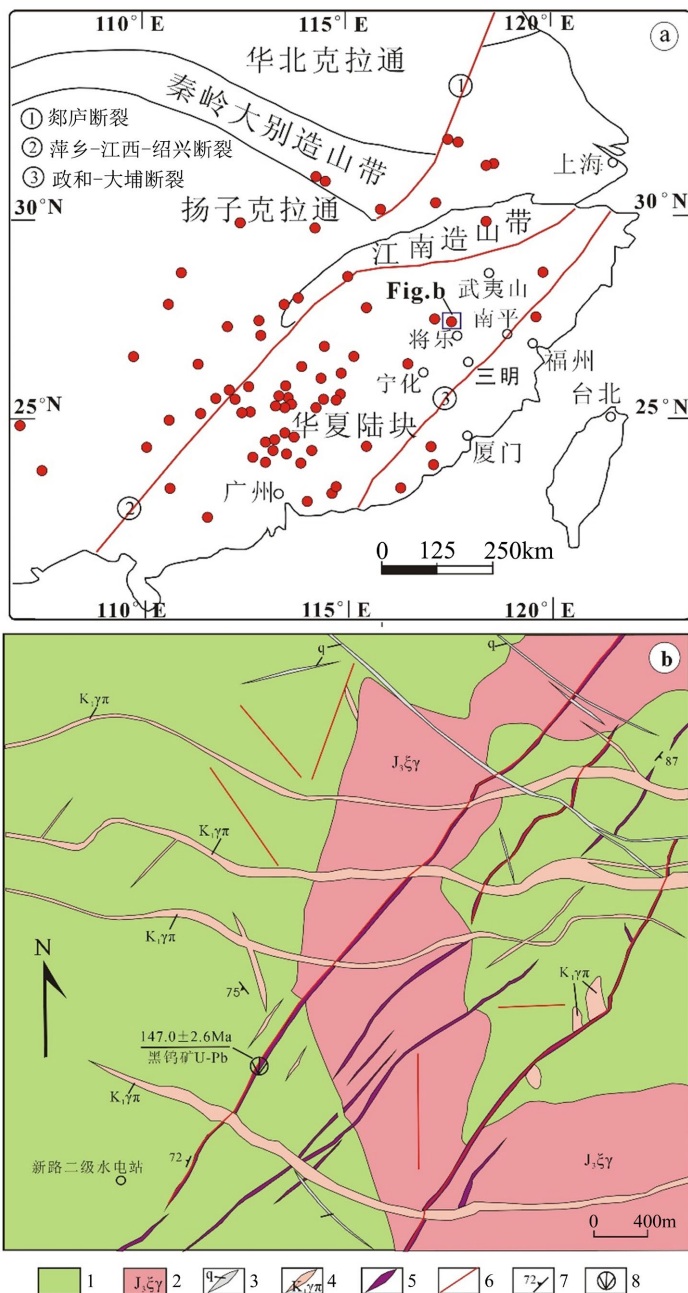
区域地层主要出露前寒武纪变质岩和寒武系浅变质岩、石炭 - 二叠系碳酸盐岩和少量中生代沉积岩。前寒武纪变质岩，包括万全群和西溪组地层单位，主要由一套低级 - 中级变质的变粒岩、片岩、千枚岩组成。寒武系浅变质岩出露下寒武统林田组，岩性以变质杂砂岩、千枚岩为主。石炭系 - 二叠系岩性以灰岩为主夹砂砾岩。中生代沉积岩系仅零星出露下三叠统溪口组海相细碎屑岩和下侏罗统梨山组陆相砂泥质岩夹煤线沉积[17]。

区域发育奥陶 - 志留纪和晚中生代花岗岩。奥陶 - 志留纪花岗岩分布于万安镇一带，以铝质钙碱性系列花岗岩为主。晚中生代花岗岩分布区域较广，以晚侏罗世花岗岩为主，规模较大的岩体有新路口钨矿区北部的九仙山正长花岗岩[17]。

区域构造以断裂为主，褶皱不发育。区域断裂中以 NE、NNE 向最发育，近 SN 向断裂其次，此外，还发育一组由西向东的逆冲断层系。

新路口钨矿位于近南北向的新路口 - 肖公亭 - 八里桥钨成矿带上。矿区北部分布有八里桥铅锌矿床 [15]，矿区南部分布有肖公亭石英脉型钨矿床 [16]。

3. 矿床地质特征



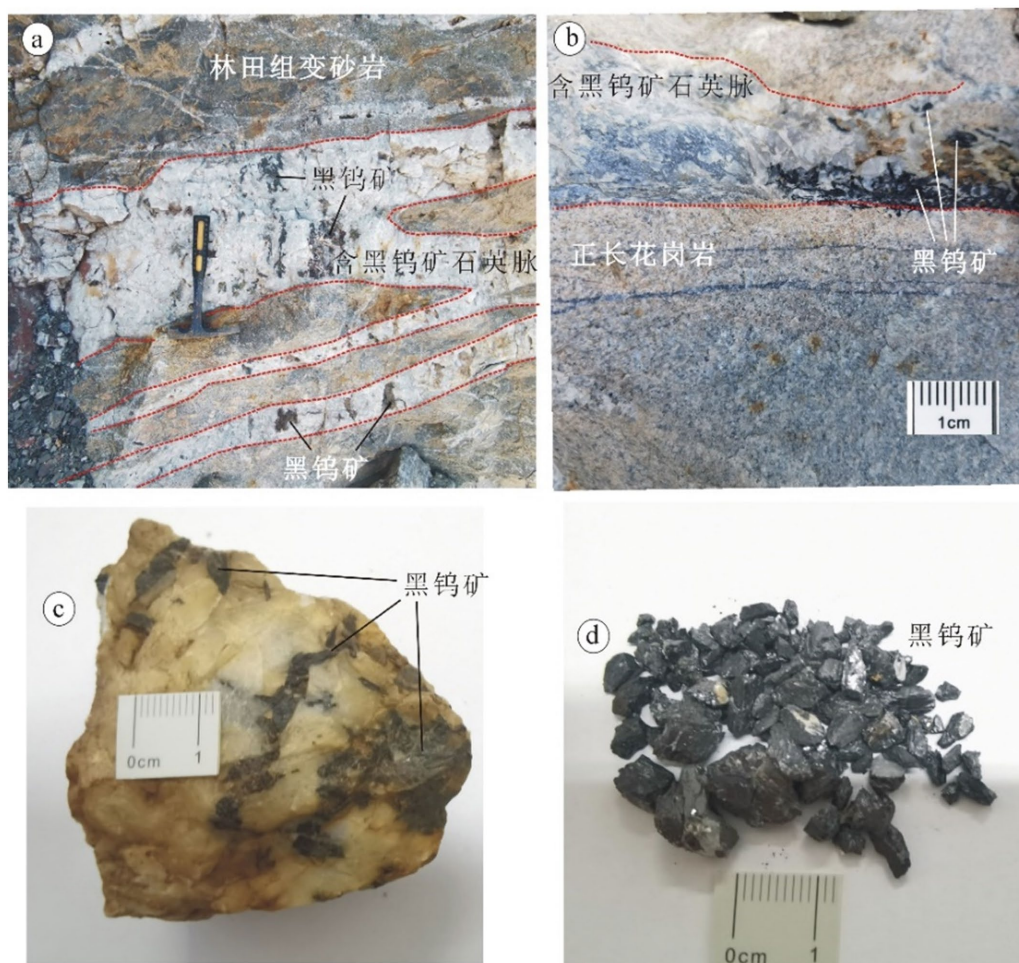
(1) 寒武系林田组; (2) 晚侏罗世正长花岗岩; (3) 成矿后无矿石英脉; (4) 早白垩世花岗斑岩脉; (5) 含黑钨矿石英脉; (6) 断层; (7) 地层产状; (8) 黑钨矿 U-Pb 测年样品位置与年龄值

Figure 1. Geological sketch map of Xinlukou tungsten deposit in Jiangle County, Fujian Province [10]
图 1. 福建将乐县新路口钨矿地质略图 [10]

将乐县新路口石英脉型钨矿床位于近南北向的新路口-肖公亭-解放桥钨成矿带上。矿区地层为寒武世林田组,岩性为变质细砂岩、千枚岩夹多层炭质层。侵入岩为燕山早期晚侏罗世花岗岩(图 1(b)),岩性为浅肉红色斑状细粒正长花岗岩、肉红色似斑状中粗粒正长花岗岩和肉红色含斑中细粒含黑云母正长花岗岩;分布少量早白垩世花岗斑岩脉,其穿插、切割了新路口钨矿床的含矿的石英脉。

矿区褶皱不发育,发育 NE 向断裂和近 EW 向断裂,其次发育少量 NW 向断裂。NE 向断裂呈张扭性,充填含黑钨矿的石英脉;近 E-W 向断裂充填早白垩世花岗斑岩脉,其切割 NE 向的含黑钨矿的石英脉;NW 向断裂充填成矿后的无矿石英脉,其切割 NE 向的含矿石英脉和早白垩世花岗斑岩脉,显示 NE 向断裂活动时代早于近 E-W 向断裂,NW 向断裂活动时代最晚(图 1(b))。

含黑钨矿的石英脉产于正长花岗岩与林田组地层内、外接触带中(图 2(a)~(b)),内接触带云英岩化发育,外接触带硅化强,受一组 NE 约 45°的张剪性断裂控制,多呈单脉产出,各脉体呈疏密不均的分组平行排列形式出现,呈带状分布特征。矿化带规模为 NE-SW 长度 2400 m, NW-SE 宽度为 1200 m。累计发现含钨矿石英脉 27 条,矿脉走向多数为 40°~45°,其次为 15°~25°和 60°~70°,倾向北西,倾角 80°左右,矿石平均品位 WO_3 为 0.46%, Sn 为 0.129%, Bi 为 0.071%, Cu 为 0.485%, Zn 为 0.67% [16]。



(a) 充填于林田组地层中的含黑钨矿石英脉; (b) 充填于晚侏罗世正长花岗岩中的含黑钨矿石英脉; (c) 含黑钨矿的石英脉手标本; (d) 黑钨矿单矿物

Figure 2. Photos of field outcrops and hand specimens of quartz veins with wolframite, and wolframite single minerals
图 2. 含黑钨矿石英脉野外露头、手标本与黑钨矿单矿物照片

4. 测试方法与结果

4.1. 样品与测试方法

新路口钨矿床的黑钨矿电子探针成份分析和 LA-ICPMS 原位 U-Pb 测年的样品, 均采自 I 号钨矿体南部, 采样位置见图 1(b)。

黑钨矿电子探针分析在福州大学紫金地质与矿业学院电子探针实验室进行。实验仪器为日本 JEOL 公司生产的 JXA-8230 电子探针显微分析仪。测试参数为: 加速电压 15 kv, 工作电流 20 nA, 束斑直径 5 μm 。

黑钨矿的 LA-ICPMS 原位 U-Pb 测年在武汉上谱分析科技有限责任公司进行。首先破碎黑钨矿矿石至 40~60 目, 手工挑选黑钨矿纯度大于 99% 的单矿物; 然后将样品送至武汉上谱分析科技有限责任公司制靶、抛光、镀金, 在显微镜下利用透射光、反射光进行照像, 然后选择合适的测试位置进行标定待测。实验仪器为安捷伦电感耦合等离子体质谱仪 Agilent 7900 和相干 193 nm 准分子激光剥蚀系统(GeoLas HD)。测试参数为: 激光能量为 80 mJ, 频率 5 Hz, 激光束斑直径 32 μm , 具体分析条件及流程详见文献[17]。黑钨矿的同位素比值分析采用国际标样 91500 进行校正, 国际标样 GJ-1 进行监控; 微量元素分析采用国际标样 NIST 610 进行校正。数据处理使用软件 ICP-MS-DATACAL 10.8 [18] [19], 年龄计算和作图使用 Isoplot/Ex_Ver3 软件, 测试数据的标准误差为 1 σ 。

4.2. 测试结果

4.2.1. 电子探针测试结果

对黑钨矿进行了 10 个测点的测试, 测试结果见表 1。黑钨矿主要成分为 WO_3 、 MnO 、 FeO 。 WO_3 含量变化不大, 介于 74.147%~75.491%, 平均值为 74.913%; MnO 的含量为 9.601%~16.311%, 平均值为 14.116%; FeO 的含量为 8.921%~14.903%, 平均值为 10.762%。以 4 个氧原子为基础, 计算的黑钨矿化学式为 $(\text{Mn}_{0.410-0.699}, \text{Fe}_{0.378-0.628})_{1.039-1.077} \text{W}_{0.974-0.986} \text{O}_4$, 总体富锰, 矿物属于钨锰铁矿[20][21]。由晶体化学式可以看出, 样品中的 W^{6+} 略微亏损, Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 略有剩余, 且 Mn^{2+} 的含量大于 Fe^{2+} , W^{6+} 亏损表明钨矿的晶格中的部分 W 被其它元素类质同相代替。

Table 1. Electron microprobe test results of wolframite in Xinlukou tungsten deposit (wt%)

表 1. 新路口钨矿床黑钨矿电子探针主要成份测试结果(wt%)

样品号	WO_3	FeO	MnO	FeO/MnO	化学式
X01-1-1	74.147	10.806	14.263	0.748	$(\text{Mn}_{0.613}, \text{Fe}_{0.458})_{1.072} \text{W}_{0.975} \text{O}_4$
X01-1-2	75.409	9.425	15.376	0.605	$(\text{Mn}_{0.655}, \text{Fe}_{0.396})_{1.051} \text{W}_{0.982} \text{O}_4$
X01-1-3	74.458	9.472	15.189	0.615	$(\text{Mn}_{0.654}, \text{Fe}_{0.402})_{1.056} \text{W}_{0.981} \text{O}_4$
X01-1-4	75.284	11.046	13.992	0.779	$(\text{Mn}_{0.595}, \text{Fe}_{0.464})_{1.059} \text{W}_{0.980} \text{O}_4$
X01-1-5	75.065	11.646	13.341	0.861	$(\text{Mn}_{0.569}, \text{Fe}_{0.490})_{1.059} \text{W}_{0.980} \text{O}_4$
X08-1-1	75.154	10.62	14.481	0.724	$(\text{Mn}_{0.616}, \text{Fe}_{0.446})_{1.062} \text{W}_{0.979} \text{O}_4$
X08-1-2	74.799	10.526	14.345	0.724	$(\text{Mn}_{0.614}, \text{Fe}_{0.445})_{1.059} \text{W}_{0.980} \text{O}_4$
X08-1-3	74.183	8.921	16.311	0.540	$(\text{Mn}_{0.699}, \text{Fe}_{0.378})_{1.077} \text{W}_{0.974} \text{O}_4$
X08-1-4	75.491	14.903	9.609	0.710	$(\text{Mn}_{0.410}, \text{Fe}_{0.628})_{1.039} \text{W}_{0.986} \text{O}_4$
X08-1-5	75.148	10.263	14.254	0.784	$(\text{Mn}_{0.610}, \text{Fe}_{0.434})_{1.044} \text{W}_{0.985} \text{O}_4$

黑钨矿作为钨铁矿和钨锰矿完全类质同像系列中的中间成员, 其锰铁比值受温度、压力、成矿介质的 pH 值和氧化还原条件等因素影响, 黑钨矿锰铁比值可指示成矿流体特征[22], 高温条件有利于类质同

像的发生,随着形成温度的升高,类质同像的成分将趋向均匀,矿物成分将更接近理想的中间端元;在低温下,矿物成分更接近钨铁矿或钨锰矿两个端元。新路口黑钨矿床的 FeO/MnO 值介于 0.540~0.861,平均值为 0.784,属于高-中温成矿环境。谭运金等认为弱碱性环境中形成的黑钨矿较富铁,而富锰的黑钨矿则形成于弱酸性环境[21][23][24]。在氧化环境中,部分 Fe²⁺被氧化为 Fe³⁺,供给成矿热液形成 FeWO₄的 Fe²⁺含量下降,导致 FeO/MnO 值较低;但在还原环境中,Fe²⁺供给较为充分,FeO/MnO 值更接近 1。综上,新路口黑钨矿床可能形成于高-中温、偏还原的弱酸性环境。

4.2.2. 黑钨矿 U-Pb 测年结果

Table 2. U-Pb dating results of wolframite in Xinlukou tungsten deposit

表 2. 新路口钨矿床黑钨矿 U-Pb 测年结果

样品 编号	ppm			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)		校正 ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)	
	Th	U	Th/U	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ		Age	1σ	Age	1σ
X01-01	0.021	1.360	0.015	0.0379	0.0130	0.3585	0.1028	0.0260	0.0023	0.3118	165.25	14.59	167.60	14.59
X01-02	0.019	4.320	0.004	0.0775	0.0108	0.2256	0.0233	0.0244	0.0012	0.4562	155.39	7.24	149.90	7.24
X01-03	0.032	5.160	0.006	0.0958	0.0141	0.2360	0.0212	0.0238	0.0014	0.6516	151.75	8.79	142.90	8.79
X01-04	0.048	12.900	0.004	0.1378	0.0113	0.4034	0.0247	0.0244	0.0008	0.5655	155.38	5.32	138.19	5.32
X01-05	0.150	16.400	0.009	0.4372	0.0167	2.4044	0.0984	0.0410	0.0013	0.7606	259.14	7.90	134.00	7.90
X01-06	0.290	4.830	0.060	0.3406	0.0338	1.0158	0.0552	0.0292	0.0013	0.8431	185.74	8.39	118.23	8.39
X01-07	0.039	0.980	0.040	0.0626	0.0173	0.7607	0.1103	0.0265	0.0026	0.6638	168.81	16.04	166.05	16.04
X01-08	0.100	9.390	0.011	0.1023	0.0134	0.2610	0.0180	0.0240	0.0010	0.6138	152.87	6.39	142.72	6.39
X01-09	0.042	1.250	0.034	0.0412	0.0144	0.3773	0.0782	0.0248	0.0026	0.5005	157.94	16.19	159.51	16.19
X01-10	0.500	12.400	0.040	0.1511	0.0119	0.4629	0.0273	0.0256	0.0010	0.6413	163.16	6.09	142.43	6.09
X01-11	0.420	47.600	0.009	0.0596	0.0027	0.1901	0.0086	0.0235	0.0004	0.3931	149.61	2.64	147.64	2.64
X01-13	0.130	7.460	0.017	0.1038	0.0152	0.2420	0.0215	0.0241	0.0011	0.4938	153.63	6.65	143.16	6.65
X01-14	0.160	9.060	0.018	0.2934	0.0192	1.3778	0.1237	0.0337	0.0016	0.5252	213.70	9.91	148.85	9.91
X01-16	0.097	4.480	0.022	0.1509	0.0248	0.3670	0.0256	0.0238	0.0014	0.8415	151.92	8.83	132.62	8.83
X01-17	0.071	1.720	0.041	0.0828	0.0155	0.4543	0.0447	0.0316	0.0024	0.7701	200.39	14.95	192.22	14.95
X01-18	0.300	17.200	0.017	0.0821	0.0069	0.2392	0.0158	0.0241	0.0007	0.4427	153.79	4.44	147.46	4.44
X01-19	0.150	0.740	0.203	0.0454	0.0141	0.7941	0.1554	0.0286	0.0029	0.5090	182.09	17.88	183.06	17.88
X01-20	0.140	1.890	0.074	0.1039	0.0173	0.5213	0.0459	0.0270	0.0022	0.9395	171.64	14.01	160.00	14.01
X01-21	0.850	27.100	0.031	0.0735	0.0047	0.2257	0.0116	0.0238	0.0006	0.4980	151.37	3.84	146.76	3.84
X01-22	0.300	11.900	0.025	0.1134	0.0082	0.3627	0.0246	0.0249	0.0008	0.4989	158.26	5.28	145.58	5.28
X01-23	0.180	3.960	0.045	0.2302	0.0301	0.6521	0.0442	0.0277	0.0016	0.8416	176.15	9.91	136.43	9.91
X01-24	0.100	3.180	0.031	0.0912	0.0147	0.2680	0.0372	0.0260	0.0015	0.4134	165.50	9.39	156.86	9.39

本次对 22 颗黑钨矿单矿物进行了分析,测试结果见表 2。通过 LA-ICPMS 黑钨矿单矿物的原位 U-Pb 测试, Th 含量 $0.019 \times 10^{-6} \sim 0.850 \times 10^{-6}$, 平均 0.188×10^{-6} ; U 含量 $0.740 \times 10^{-6} \sim 47.600 \times 10^{-6}$, 平均 9.33×10^{-6} ; Th/U = 0.004~0.199, 平均值为 0.034。²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 比值介于 0.0379~0.4372, 而 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比值

则介于 0.0235~0.0410, 对所有 22 个分析数据通过 T-W 反谐和图法校正[25] [26], 并使用 Isotope 软件计算和作图, 获得黑钨矿 T-W 下交点的年龄为 147.0 ± 2.6 Ma (MSWD = 0.51) (图 3(a)); 通过普通铅校正后, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 132.62 ± 8.83 Ma~ 192.22 ± 14.95 Ma, 剔除偏离最大的年龄值 192.22 ± 14.95 Ma 后, 获得校正后 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 145.2 ± 2.6 Ma (MSWD = 1.6) (图 3(b)), 其在误差范围内与黑钨矿 T-W 下交点年龄 147.0 ± 2.6 Ma 一致, 表明新路口钨矿床形成于晚侏罗世。

新路口黑钨矿床产于寒武纪林田组地层和晚侏罗世正长花岗岩的内、外接触带中, 表明新路口石英脉型钨矿成矿时代晚于赋矿的正长花岗岩。李学燮对新路口正长花岗岩进行锆石 LA-ICPMS U-Pb 测年获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 145 ± 4 Ma、 146 ± 2 Ma、 147 ± 3 Ma [13], 表明新路口钨矿床成矿时代与赋矿的花岗岩时代一致, 暗示新路口石英脉型钨矿可能与岩浆期后热液活动有关或与同时代的隐伏花岗岩岩浆热液活动有关。

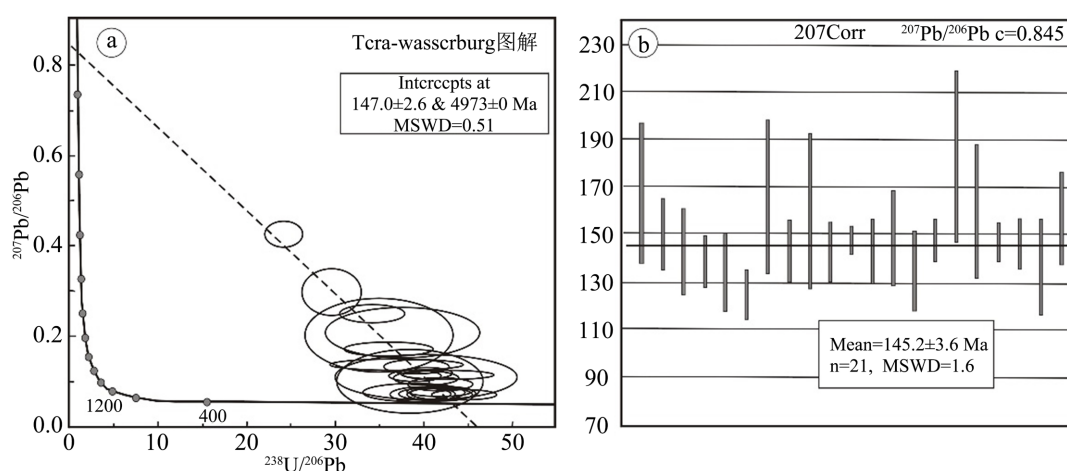


Figure 3. T-W diagram (a) and weighted average age grid diagram (b) of wolframite U-Pb dating in Xinlukou tungsten deposit
图 3. 新路口钨矿床黑钨矿 U-Pb 测年 T-W 图(a)与加权平均年龄栅格图(b)

5. 结论

通过对新路口石英脉型钨矿床的黑钨矿电子探针成份分析和 LA-ICPMS U-Pb 测年, 取得如下认识:

1) 黑钨矿电子探针成份分析得出: 黑钨矿的主要成份为 WO_3 、 MnO 、 FeO , WO_3 含量介于 74.147%~75.491%, MnO 的含量为 9.601%~16.311%, FeO 的含量为 8.921%~14.903%, 矿物属于钨锰铁矿; 黑钨矿的 FeO/MnO 值介于 0.540~0.861, 平均值为 0.784, 其形成于高-中温成矿环境。

2) 通过黑钨矿 LA-ICPMS U-Pb 测年, 获得黑钨矿 T-W 下交点的年龄为 147.0 ± 2.6 Ma (MSWD = 0.51), 并获得校正后 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 145.2 ± 2.6 Ma (MSWD = 1.6), 表明新路口钨矿床形成于晚侏罗世。

致 谢

感谢审稿人提出的宝贵意见, 在 LA-ICPMS U-Pb 测年中得到了武汉上谱分析科技有限责任公司同位素实验室的大力支持, 在此表示衷心感谢。

基金项目

本研究受福建省自然资源科技创新项目“闽西北地区钨矿成矿规律研究”(项目编号: KY-060000-04-2023-003)资助。

参考文献

- [1] 陈骏, 王汝成, 朱金初, 等. 南岭多时代花岗岩的钨锡成矿作用[J]. 中国科学(D 辑), 2014, 44(1): 459-473.
- [2] 秦拯纬, 付建明, 邢光福, 等. 南岭成矿带中-晚侏罗世成钨、成锡、成铅锌(铜)花岗岩的差异性研究[J]. 中国地质, 2022, 49(2): 518-539.
- [3] Luo, T., Hu, Z., Zhang, W., Liu, Y., Zong, K., Zhou, L., *et al.* (2018) Water Vapor-Assisted “Universal” Nonmatrix-Matched Analytical Method for the *in Situ* U-Pb Dating of Zircon, Monazite, Titanite, and Xenotime by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, **90**, 9016-9024. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b01231>
- [4] Luo, T., Deng, X., Li, J., Hu, Z., Zhang, W., Liu, Y., *et al.* (2019) U-Pb Geochronology of Wolframite by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, **34**, 1439-1446. <https://doi.org/10.1039/c9ja00139e>
- [5] 祝亚男, 彭建堂, 邢朗彰, 等. 湘西沃溪金锑钨矿床白钨矿、黑钨矿与磷灰石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2023, 39(6): 1829-1846.
- [6] Liu, X., Zhang, J., Huang, F., Cheng, J., Lu, K., Yang, J., *et al.* (2022) Tungsten Deposits in Southern Jiangxi Province: Constraints on the Origin of Wolframite from *in-Situ* U-Pb Isotope Dating. *Ore Geology Reviews*, **143**, Article ID: 104774. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104774>
- [7] Bobos, I., Stein, H., Deng, X., Sudo, M. and Noronha, F. (2024) U-Pb LA-ICP-MS and Re-Os Dating of Wolframite and Molybdenite: Constraints on Multiple Mineralization and Cooling History (40ar/39ar) for the Magmatic-Hydrothermal System at Borralha, Northern Portugal. *Ore Geology Reviews*, **168**, Article ID: 106013. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2024.106013>
- [8] Yang, S., Lou, F., Xu, C., Feng, C., Cao, S., Xu, D., *et al.* (2022) Two Significant Quartz-Wolframite-Veining Mineralization Events in the Jiangnan Orogen, South China: Constraints from *in-Situ* U-Pb Dating of Wolframite in the Dongping and Dahutang W-(Cu-Mo) Deposits. *Ore Geology Reviews*, **141**, Article ID: 104598. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104598>
- [9] Xie, W., Zeng, Q., Huang, L., Zhou, L., Fan, H., Wu, J., *et al.* (2022) Ore Genesis of the Narenwula Quartz-Vein Type W Polymetallic Deposit in the Southern Great Xing'an Range W Belt, NE China: Constraints from Wolframite Geochronology and Individual Fluid Inclusion Analysis. *Ore Geology Reviews*, **149**, Article ID: 105100. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105100>
- [10] 福建省地质局三〇三地质队. 福建将乐新路口钨锡矿详查地质报告[R]. 内部出版, 1969.
- [11] 谭运金. 南岭地区脉状黑钨矿床的地球化学类型[J]. 地球化学, 1982(2): 155-161.
- [12] 谭运金. 华南地区内生钨矿床的钨矿物成份特征及其控制因素[J]. 中国钨业, 1999, 14(5-6): 84-89.
- [13] 李学燮. 福建将乐新路口花岗岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及成矿意义[J]. 华东地质, 2019, 40(3): 179-187.
- [14] 周珍琦, 陈润生, 夏春金, 等. 福建省主要矿产资源潜力评价[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2019.
- [15] 刘成俊. 福建将乐八里桥矿区北矿段铅锌银矿地质特征及成因初探[J]. 福建地质, 2011, 30(1): 12-16.
- [16] 滕传耀. 福建将乐新路口-南排山地区钨锡多金属矿找矿远景分析[J]. 福建地质, 2021, 40(4): 276-285.
- [17] 福建省地质调查研究院. 中国区域地质志福建志[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [18] Liu, Y., Hu, Z., Gao, S., Günther, D., Xu, J., Gao, C., *et al.* (2008) *In Situ* Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, **257**, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.004>
- [19] Liu, Y., Gao, S., Hu, Z., Gao, C., Zong, K. and Wang, D. (2009) Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, **51**, 537-571. <https://doi.org/10.1093/petrology/egp082>
- [20] 于萍. 江西盘古山钨矿矿物学特征研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2013.
- [21] 袁琼, 马志举, 韦龙明, 等. 粤北梅子窝钨矿床中黑钨矿的矿物学特征及意义[J]. 中国钨业, 2018, 33(1): 32-40.
- [22] 罗贤昌. 黑钨矿的 H/F 值变化规律及其标型特征——以江西画眉坳钨矿主矿带为例[J]. 地质与勘探, 1983(8): 16-20.
- [23] 孙孔乾, 韦龙明, 王莉. 广东石人嶂钨矿床黑钨矿铁锰成分的变化规律初步研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(15): 47-53.
- [24] 欧阳永棚, 曾闰灵, 舒立旻, 等. 朱溪钨铜矿床深部石英脉型黑钨矿成因及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2023, 43(2): 184-192.

-
- [25] Yuan, S., Peng, J., Hu, R., Li, H., Shen, N. and Zhang, D. (2007) A Precise U-Pb Age on Cassiterite from the Xianghualing Tin-Polymetallic Deposit (Hunan, South China). *Mineralium Deposita*, **43**, 375-382. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0166-y>
- [26] Tang, Y., Gao, J., Lan, T., Cui, K., Han, J., Zhang, X., *et al.* (2021) *In Situ* Low-U Garnet U-Pb Dating by LA-SF-ICP-MS and Its Application in Constraining the Origin of Anji Skarn System Combined with Ar-Ar Dating and Pb Isotopes. *Ore Geology Reviews*, **130**, Article ID: 103970. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103970>