

文章编号 0258-7106 (2007) 04-0432-11

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*

郭春丽¹, 王登红¹, 陈毓川², 王彦斌³, 陈郑辉¹, 刘善宝¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院, 北京 100037; 3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘 要 江西省崇义县淘锡坑钨矿区位于南岭东西向构造带东段与武夷山北东—北北东向构造带南段的复合部位, 属于以石英脉型黑钨矿为主的钨多金属矿床。矿床形成与燕山期中酸性岩浆作用有密切关系, 石英矿脉受北西向断裂控制, 穿切新元古代地层。文章选取钻孔揭露的底部新鲜花岗岩样品 2 件, 用 SHRIMP 方法测定锆石的结晶年龄, 结果分别为 $(158.7 \pm 3.9) \text{ Ma}$ 和 $(157.6 \pm 3.5) \text{ Ma}$ 。对 3 件含黑钨矿石英脉样品中石英的流体包裹体进行了 Rb-Sr 等时线年龄测定, 结果分别为 $(154 \pm 4) \text{ Ma}$ 、 $(157 \pm 3) \text{ Ma}$ 和 $(161 \pm 4) \text{ Ma}$ 。与前人用 Re-Os 法测定的辉钼矿 (154 Ma) 比较, 发现花岗岩的成岩年龄与含矿石英脉、钨矿的形成年龄相同, 成岩、成矿作用几乎同时完成。综合前人研究资料, 认为南岭地区 $160 \sim 150 \text{ Ma}$ 成岩成矿作用主要分布于南岭中东段, 可能与岩石圈大规模伸展的构造动力学背景有关。

关键词 地球化学 淘锡坑钨矿 锆石 SHRIMP 年龄 石英脉 Rb-Sr 等时线年龄 南岭

中图分类号: P618.67

文献标识码: A

Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taoxikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi

GUO ChunLi¹, WANG DengHong¹, CHEN YuChuan², WANG YanBin³, CHEN ZhengHui¹ and
LIU ShanBao¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Taoxikeng tungsten deposit in central Nanling region of South China consists of vein-type ore bodies hosted in Cambrian to Jurassic strata and is closely related to Mesozoic granitic intrusions. Wolframite is the dominant ore mineral intergrown with such gangue minerals as quartz, feldspar, phlogopite and muscovite. The authors conducted zircon SHRIMP and quartz Rb-Sr dating for the purpose of better understanding the timing and genesis of the mineralization. Zircon SHRIMP dating of two granite samples yielded ages of $(158.7 \pm 3.9) \text{ Ma}$ and $(157.6 \pm 3.5) \text{ Ma}$. Rb-Sr analyses gave a well-defined $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ isochron with ages of $(154 \pm 4) \text{ Ma}$, $(157 \pm 3) \text{ Ma}$ and $(161 \pm 4) \text{ Ma}$. Compared with known molybdenite Re-Os dating (154 Ma), it is found that the granite and the mineralization were formed at the same time. These new data, combined with available

* 本文得到国家科技支撑计划‘南岭地区有色-贵重金属成矿潜力及综合探测技术示范研究’课题、中国地质调查局‘中国成矿体系综合研究’项目、‘我国重要矿产和区域成矿规律研究’项目和国家重点基础研究发展计划课题(2007CB411407)的联合资助

第一作者简介 郭春丽, 女, 1978 年生, 博士, 岩石、矿物、矿床学专业。E-mail: gchunli@126.com

收稿日期 2007-03-30; 改回日期 2007-06-06。李岩、许德焕编辑。

geochronological data from other major deposits in Nanling region, suggest that large-scale W, Sn, Mo, Bi, Nb, Ta, Pb, Zn mineralization took place throughout central and eastern Nanling region at 160~150 Ma, suggesting a geodynamic setting of crustal extension during the Middle-Late Jurassic transformation of tectonic regimes.

Key words: geochemistry, Taosikeng tungsten deposit, zircon SHRIMP dating, quartz vein Rb-Sr dating, Nanling region

赣南淘锡坑石英脉型钨多金属矿床矿石平均品位为 WO_3 2.5%, 已探明保有金属量 3.98 万吨^①, 是一个正在开采的大型钨矿床, 包括宝山、西山、烂埂子、枫林坑 4 个矿段。2004 年, 淘锡坑矿床由崇义章源钨制品有限公司收购并开采至今, 2006 年年产钨精矿 2 400 t。1949 年前, 淘锡坑钨矿即有民工开采; 1949 年后, 随着国民经济的不断发展, 先后有赣南地质大队和南京大学地质系等在矿区进行过找矿及科研工作, 但科研工作程度仍然很低, 相关文献(朱炎龄等, 1981; 陈邦辉等, 2006; 江西省地矿局赣南地质调查大队地勘院, 2004^②)也很少。本次研究中, 笔者测定了淘锡坑矿区钻孔揭露的花岗岩中的锆石 SHRIMP 年龄和含黑钨矿石英脉的包裹体 Rb-Sr 年龄, 结合南岭地区其他 W、Sn 多金属矿床的年代学资料, 发现淘锡坑矿区成岩和成矿作用同时进行, 且 160~150 Ma 是南岭地区此类矿床成矿活动的高峰期。

1 区域地质概况

按照最新成矿区(带)划分方案(陈毓川等, 2006), 赣南处于滨西太平洋成矿域(I)之华南成矿省(II)的南岭东段中生代锡银铅锌稀有稀土金属成矿区(III), 赣南钨锡金属成矿亚区(IV), 淘锡坑石英脉型钨多金属矿床属崇余-犹钨锡多金属成矿区(V)。

该矿床位于江西南部赣州市崇义县城西南 14.5 km 处, 位于北北东向九龙脑—营前岩浆岩带与东西向古亭—赤土区域构造-岩浆-成矿带的交汇部位, 是九龙脑—淘锡坑矿田的一部分。区内广泛出露震旦系-奥陶系, 分布面积占 80% 以上, 另有少量泥盆系、石炭系、二叠系、白垩系、第三系分布。本区构造变形强烈, 长期多阶段构造演化形成了以 NNE 向、EW 向构造为主, 叠加 NE 向、NW 向、近 NS 向构造的总体格局。岩浆活动以加里东期和燕山期为主, 海西-印支期岩浆活动较少。

对于淘锡坑石英脉型钨多金属矿床, 前人(朱炎

龄等, 1981)认为矿区成矿母岩为位于矿区南 8 km 处的燕山期九龙脑中酸性岩基, 并认为它是主体形成于燕山早期的 S 型花岗岩。环绕该岩基分布着一系列与该花岗岩有成因关系的矿床, 如以樟东坑为代表的钨矿床; 以洪水寨、淘锡坑、柯树岭为代表的钨锡矿床; 以赤坑、宝山为代表的银铅锌矿床等。

2 矿区地质特征

淘锡坑矿区大面积出露震旦系、寒武系和泥盆系(图 1), 它们也是矿区主要的赋矿围岩。区内断裂发育, 规模不大但形式复杂, 既有控矿、储矿断裂, 又有成矿期后破坏性断裂, 构成米字状空间展布形式, 相应的矿体也成米字状分布。

在深部隐伏花岗岩体的热力作用下, 于外接触带的变质岩中形成了较为明显的热力蚀变晕圈, 自花岗岩体向外, 大致为 3 个蚀变带: 角岩带、强角岩化蚀变带、角岩化-弱角岩化蚀变带; 宝山、西山矿段底部揭露出的花岗岩内部与围岩接触处由于后期热液作用发生蚀变, 自外向内为伟晶岩化、云英岩化、钾长石化、钠长石化。含矿石英脉地表细小密集, 往下脉体变宽变少, 再向下至岩体内逐渐尖灭, 相应地, WO_3 品位也由浅部向深部有变富的趋势。近岩体的矿化类型以石英大脉型为主, 脉体倾角 75~80°, 局部见黑钨矿赋存于花岗岩基顶部的云英岩化岩石中。矿体产出标高为 690~56 m, 地表出露长度 340~682 m, 倾向延伸 250~660 m。

含矿石英脉中主要矿物组合为石英-黑钨矿-硫化物, 主要金属矿物有黑钨矿、锡石、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂及少量闪锌矿、辉钼矿、辉铋矿。非金属矿物有石英、黄玉、萤石、电气石、铁锂云母、方解石、叶蜡石、绿泥石、绢云母、白云母等。氧化矿物常见的有铜蓝、高岭土、褐铁矿。有用矿物黑钨矿结晶程度好, 大部分为自形至半自形板状、柱状晶体;

① 闽中-粤东地区铅锌铜矿勘查准则及新区预测. 项目报告(1212010561603-2). 内部资料。

② 江西省地质矿产局赣南地质调查大队地勘院. 2004. 江西省崇义县章源钨制品有限公司淘锡坑钨矿区北西段储量地质报告. 内部资料。

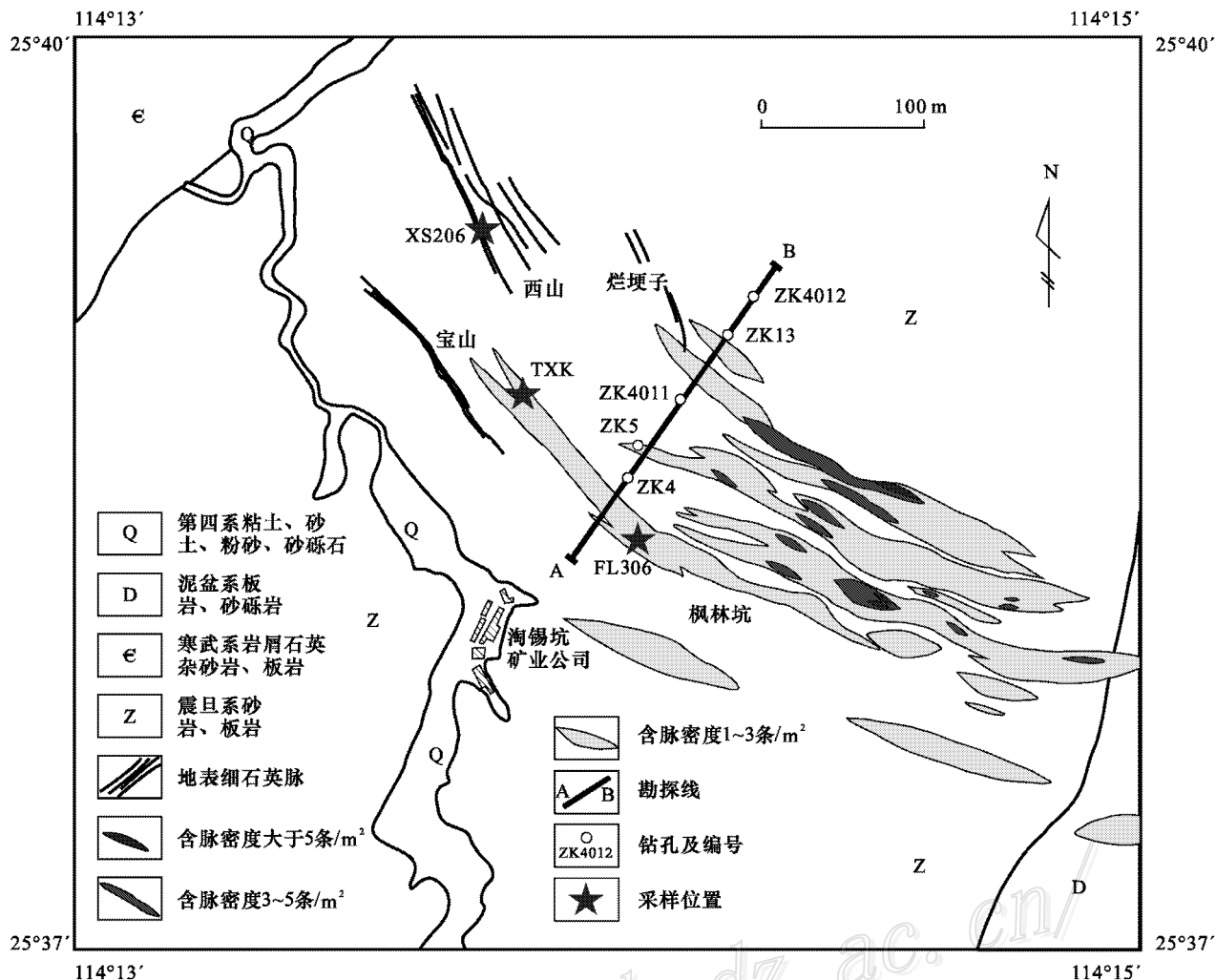


图1 淘锡坑矿区地质简图及石英脉采样点位置(据江西省赣南地质队 MapGis 图^①改编)

Fig. 1 Geological map of the Taosikeng tungsten deposit, showing sampling sites of quartz veins (modified after MapGis image by Gannan Geological Party)

脉石矿物主要为石英。矿石的结构构造主要有交代结构、交代残留结构、乳滴状交代结构,其次是半自形粒状-交代结构和嵌晶结构,致密块状构造,少量的线状-条带状构造,角砾状、扁豆状构造和晶洞构造。

根据矿区深部钻孔资料^①,推测区内隐伏花岗岩岩体总体呈 NNW 向延伸,以 NW 段(宝山、西山、烂埂子)部分凸起,西部枫林坑凹陷为特征。

3 样品描述和测试方法

3.1 样品采样位置和详细描述

花岗岩样品取自枫林坑矿段钻孔(ZK4011)距

地表以下 686 m 的位置(如图 2),样品新鲜,样品号分别为 FLK-ZK4011-1 和 FLK-ZK4011-2。其中 FLK-ZK4011-1 为中粒似斑状黑云母花岗岩,块状构造,标本灰白色,微泛肉红色,钾长石自形板状,聚片双晶,长 1~2 cm,基质为黑云母、石英等。显微镜下见主要造岩矿物为石英、钾长石、斜长石和黑云母,副矿物为磁铁矿、锆石、磷灰石、独居石和萤石。石英含量 40%~50%,钾长石 20%~25%,斜长石 15%~20%,黑云母 3%~8%。斜长石呈半自形-自形晶,具密集聚片双晶,一般透亮较新鲜;钾长石呈自形板状,表现为条纹结构和格子双晶结构,石英均呈粗晶他形填充于上述长石晶隙之间。黑云母呈自

① 江西省地质矿产局赣南地质调查大队地勘院. 2004. 江西省崇义县章源钨制品有限公司淘锡坑钨矿区北西段储量地质报告. 内部资料.

形晶,解理发育。FLK-ZK4011-2 与 FLK-ZK4011-1 的区别在于少量矿物有蚀变,部分黑云母中的解理被蚀变成白云母或绿泥石,且析出微晶磁铁矿。

石英样品均采自淘锡坑石英大脉(见图 1),其中 2 个样品采自枫林坑矿段 306 中段(样号 FL306)和

西山矿段 206 中段(样号 XS206),由于石英脉是黑钨矿的载体,因此石英脉中流体包裹体的 Rb-Sr 年龄代表了成矿时代。

3.2 测试方法与结果分析

3.2.1 花岗岩中锆石 SHRIMP 定年方法

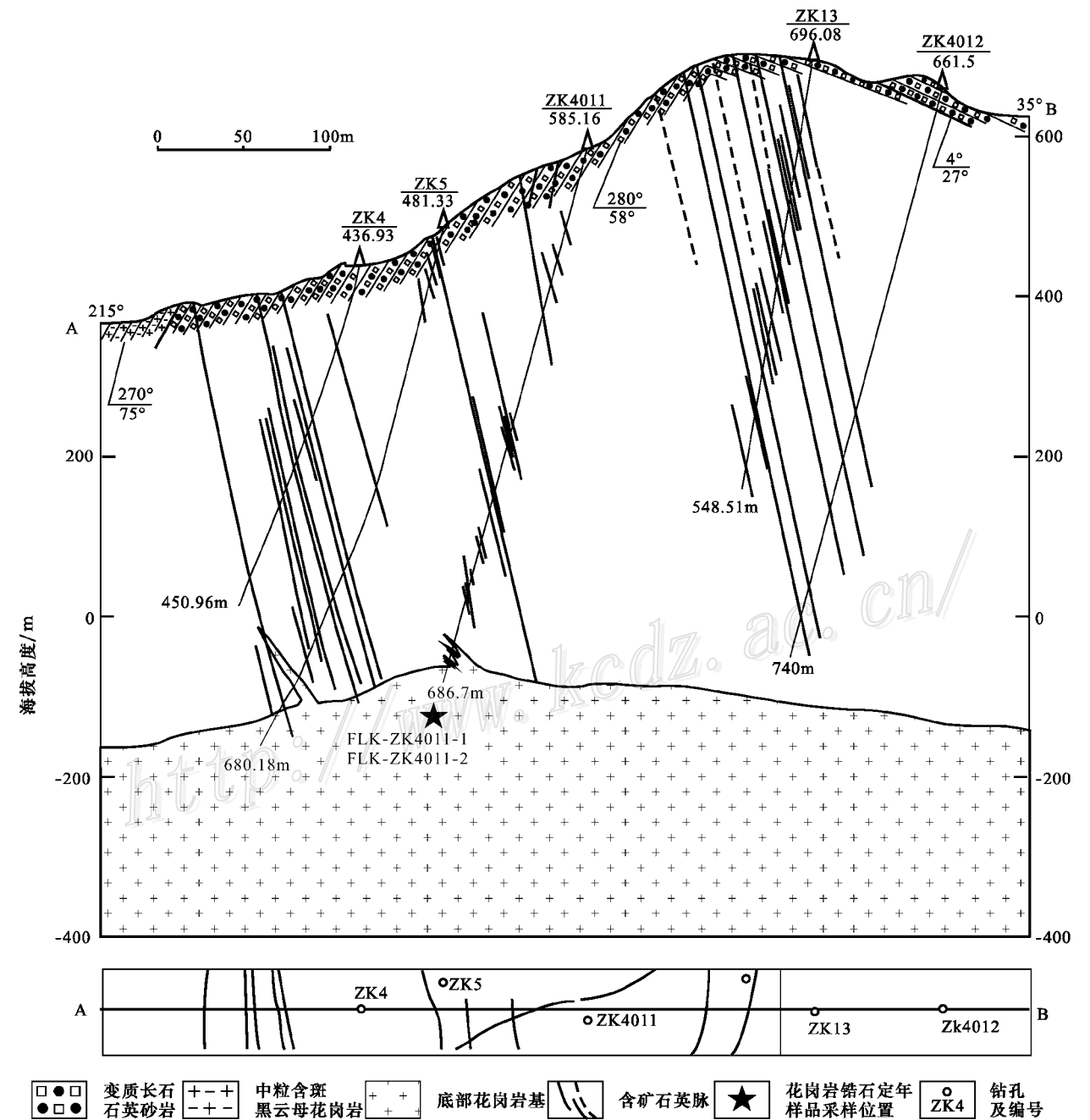


图 2 枫林坑区段 401 号勘探线剖面(据江西省赣南地质队 MapGis 图^①改编)

Fig. 2 No. 401 exploration line in the Fenglinkeng section (modified after MapGis image by Gannan Geological Party)

① 江西省地质矿产局赣南地质调查大队地勘院. 2004. 江西省崇义县章源钨制品有限公司淘锡坑钨矿区北西段储量地质报告. 内部资料.

新鲜花岗岩测试样品经人工破碎后,用常规重力和磁选方法分选出锆石,最后在双目镜下挑选出测年的锆石颗粒,并和标样一起置于环氧树脂做成的样品靶,将靶上锆石磨至一半,以使锆石内部暴露,接着进行锆石透射、反射光、阴极发光的照像和分析,抛光、清洗、镀金,然后进行 SHRIMP 定年分析。锆石阴极发光图像在中国地质科学院北京离子探针中心完成,所测定的锆石特征见图 3。

两个样品的 CL、透射图像中,FLK-ZK4011-1 的锆石大部分呈长柱状,晶形比较完整,裂纹不发育,且部分岩浆结晶环带发育,有的环带比较密集,有的环带较稀少。典型的韵律环带结构显示所测锆石为典型的岩浆成因锆石。与 FLK-ZK4011-1 相比,FLK-ZK4011-2 大部分锆石柱更长,环带结构清晰,也是岩浆成因锆石。

锆石离子探针同位素分析在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行,按照标准测定流程(Compston W et al., 1984; 1992; Williams, 1987; 1998)完成。数据处理及 U-Pb 谐和图绘制采

用 Ludwig 编写的 Squid 1.01 版本和 ISOPLOT 2.49h 版本。使用的标准锆石为 SL13(铀含量 238×10^{-6} , 年龄为 572 Ma)和 TEM(年龄为 417 Ma),前者用于标定 U、Th 和 Pb 的含量,后者用于校正年龄。TEM 和未知样品年龄分析按照 1:3 进行,年龄结果见表 1 和图 4。

FLK-ZK4011-1 共测定了 14 个单颗粒锆石,共 14 个点。测点位置见图 3A,分析数据见表 1。年龄数据 13 个点集中分布于 154.9~165.3 Ma,且均落在谐和线上,说明 154.9~165.3 Ma 代表岩浆结晶时间,13 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(158.7 \pm 3.9) \text{ Ma}$ (MSWD=0.33)(表 1,图 4A)。该样品中 3.1 点为 $(419.7 \pm 15.8) \text{ Ma}$,该粒锆石的存在,是表明该岩体源区存在老基底,还是其他原因,有待于进一步研究。但是,从 3.1 锆石的透反射和阴极发光图像来看,它的磨圆度似乎比其它颗粒的要好,可能为捕获锆石,或者是被后期的构造或热液作用改造所致。这个年龄数据没有参与最终的加权平均年龄计算。

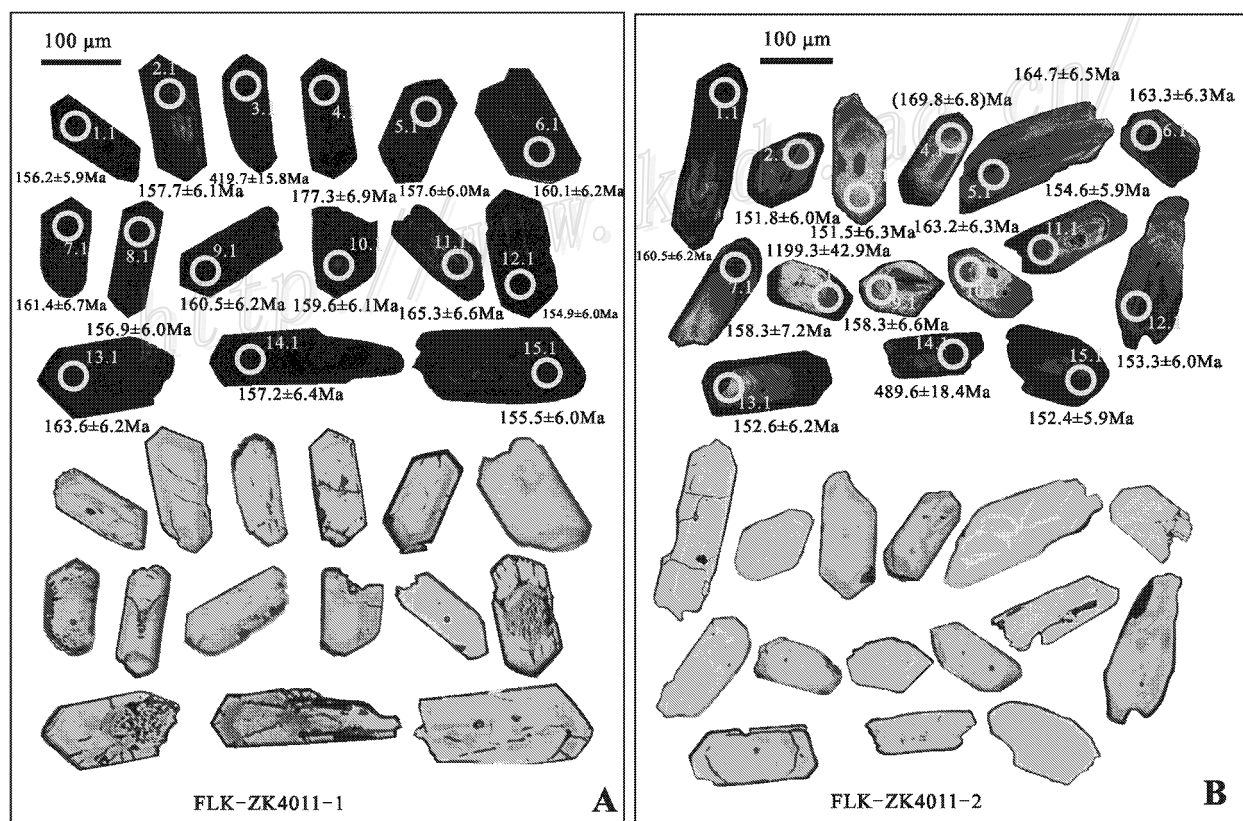


图 3 淘锡坑钨矿花岗岩锆石透射图像与阴极发光图像

Fig. 3 Zircon transmission and CL images of the granites in the Taoxikeng tungsten mine

表 1 淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年结果

Table 1 Results of SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in the Taoxikeng tungsten ore district

点号	$w_B/10^{-6}$		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		t/Ma
	U	Th	^{238}U	10^{-6}	%	测量值	误差/%	测量值	误差/%	测量值	误差/%	
FLK-ZK4011-1-1.1	4019	910	0.23	85.7	1.22	0.0508	2.1	0.17	4.4	0.0245	3.8	156.2±5.9
FLK-ZK4011-1-2.1	285	215	0.78	6.1	0.62	0.0502	3.9	0.17	5.5	0.0248	3.9	157.7±6.1
FLK-ZK4011-1-3.1	223	152	0.71	13.0	0.55	0.0555	3.2	0.51	5.1	0.0673	3.9	419.7±15.8
FLK-ZK4011-1-4.1	1192	329	0.29	25.5	0.51	0.0480	2.5	0.16	4.6	0.0247	3.8	157.6±6.0
FLK-ZK4011-1-5.1	624	292	0.48	13.7	1.40	0.0487	6.3	0.17	7.4	0.0251	3.9	160.1±6.2
FLK-ZK4011-1-6.1	303	145	0.49	6.7	1.26	0.0532	8.7	0.19	9.7	0.0253	4.2	161.4±6.7
FLK-ZK4011-1-7.1	1297	358	0.28	29.2	5.91	0.0655	7.7	0.22	8.6	0.0246	3.9	156.9±6.0
FLK-ZK4011-1-8.1	355	204	0.59	7.8	1.03	0.0499	7.7	0.17	8.6	0.0252	3.9	160.5±6.2
FLK-ZK4011-1-9.1	1593	479	0.31	34.5	0.54	0.0497	3.7	0.17	5.4	0.0251	3.8	159.6±6.1
FLK-ZK4011-1-10.1	399	175	0.45	8.9	0.52	0.0538	3.6	0.19	5.4	0.0260	4.0	165.3±6.6
FLK-ZK4011-1-11.1	249	120	0.50	5.2	0.37	0.0620	4.5	0.21	6.0	0.0243	3.9	154.9±6.0
FLK-ZK4011-1-12.1	1089	509	0.48	24.1	0.44	0.0476	2.5	0.17	4.6	0.0257	3.8	163.6±6.2
FLK-ZK4011-1-13.1	329	172	0.54	7.1	1.93	0.0437	10.4	0.15	11.2	0.0247	4.1	157.2±6.4
FLK-ZK4011-1-14.1	454	98	0.22	9.6	0.65	0.0502	4.5	0.17	6.0	0.0244	3.9	155.5±6.0
FLK-ZK4011-2-1.1	436	258	0.61	9.5	0.78	0.0501	5.6	0.17	6.8	0.0252	3.9	160.5±6.2
FLK-ZK4011-2-2.1	171	117	0.71	3.5	1.32	0.0514	10.4	0.17	11.1	0.0238	4.0	151.8±6.0
FLK-ZK4011-2-3.1	98	69	0.73	2.0	0.04	0.0812	6.4	0.27	7.6	0.0238	4.2	151.5±6.3
FLK-ZK4011-2-4.1	161	111	0.71	3.7	1.33	0.0610	7.9	0.22	8.9	0.0267	4.1	169.8±6.8
FLK-ZK4011-2-5.1	176	132	0.78	4.0	1.15	0.0568	8.6	0.20	9.5	0.0259	4.0	164.7±6.5
FLK-ZK4011-2-6.1	426	197	0.48	9.4	0.49	0.0556	5.3	0.20	6.6	0.0257	3.9	163.3±6.3
FLK-ZK4011-2-7.1	575	241	0.43	12.4	0.56	0.0462	4.3	0.16	6.3	0.0249	4.6	158.3±7.2
FLK-ZK4011-2-8.1	252	115	0.47	44.3	0.20	0.0815	1.0	2.30	4.1	0.0245	3.9	1199.3±42.9
FLK-ZK4011-2-9.1	135	132	1.01	3.0	3.37	0.0477	22.2	0.16	22.6	0.0249	4.2	158.3±6.6
FLK-ZK4011-2-10.1	410	166	0.42	9.1	0.93	0.0512	5.7	0.18	6.9	0.0256	3.9	163.2±6.3
FLK-ZK4011-2-11.1	821	428	0.54	17.2	0.45	0.0497	3.5	0.17	5.2	0.0243	3.9	154.6±5.9
FLK-ZK4011-2-12.1	209	139	0.69	4.4	1.22	0.0499	8.2	0.17	9.1	0.0241	4.0	153.3±6.0
FLK-ZK4011-2-13.1	230	139	0.63	4.8	2.21	0.0411	11.2	0.14	12.0	0.0240	4.1	152.6±6.2
FLK-ZK4011-2-14.1	446	115	0.27	30.9	0.19	0.0673	1.5	0.75	4.1	0.0804	3.8	498.6±18.4
FLK-ZK4011-2-15.1	385	515	1.38	8.0	0.69	0.0548	4.6	0.18	6.0	0.0239	3.9	152.4±5.9

注：Pb_c 和 Pb^{*} 分别表示普通铅和放射性铅，应用实测²⁰⁴Pb 校正锆石中的普通铅，采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。

FLK-ZK4011-2 共测定了 15 个单颗粒锆石，共 15 个点。测点位置见图 3B，分析数据见表 1。年龄数据 13 个点集中分布于 151.5~169.8 Ma，基本均落在谐和线上，说明 151.5~169.8 Ma 代表岩浆结晶时间，13 个点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (157.6±3.5) Ma (MSWD=0.86) (表 1，图 4B)。该样品中 8.1 点为 (1 199.3±42.9) Ma，14.1 点为 (489.6±18.4) Ma，可能为继承锆石。这 2 个年龄数据没有参与最终的加权平均年龄计算。

2 个样品的定年结果，都显示出无论是在锆石的内部还是在边部，无论锆石是否具有环带结构，定年结果在误差范围内都基本一致，并且都具有比较高的 ²³²Th/²³⁸U 比值 (>0.23)。这表明参与计算的锆石中不含继承锆石，也没有发生 Pb 丢失，属于岩浆成因。因此可以解释为花岗岩的侵位年龄。

3.2.2 石英脉包裹体 Rb-Sr 定年方法

将石英脉中的纯石英挑出，置于氟塑料封闭容器样器中，加入 ⁸⁴Sr 和 ⁸⁵Rb 混合稀释剂和 HF-HClO₄，在中温电热板上加热溶解，待样品全部溶解后，打开容器样器蒸干，并升高温度赶尽 HClO₄，用 1 mol/L HCl 淋洗容器内壁并重新蒸干，用 1 mol/L HCl 溶解样品，倒入已准备好的 AG50×8 (200~400 目) 阳离子交换柱进行交换，用 14 ml 1mol/L HCl 淋洗 Li⁺、Na⁺、K⁺、Fe³⁺、Al³⁺ 等金属离子，继续用 6 ml 2.5 mol/L HCl 淋洗 Ca²⁺、Mg²⁺、Fe³⁺ 等金属离子，再用 6 ml 2.5 mol/L HCl 解吸 Sr。分别用聚四氟乙烯烧杯收集吸液，并蒸干后，再以相同流程对 Rb、Sr 进一步纯化，最后的收集液蒸干后供质谱分析用。Rb、Sr 含量采用同位素稀释质谱法测定；⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值是使用加稀释剂的一次测量，按常规公

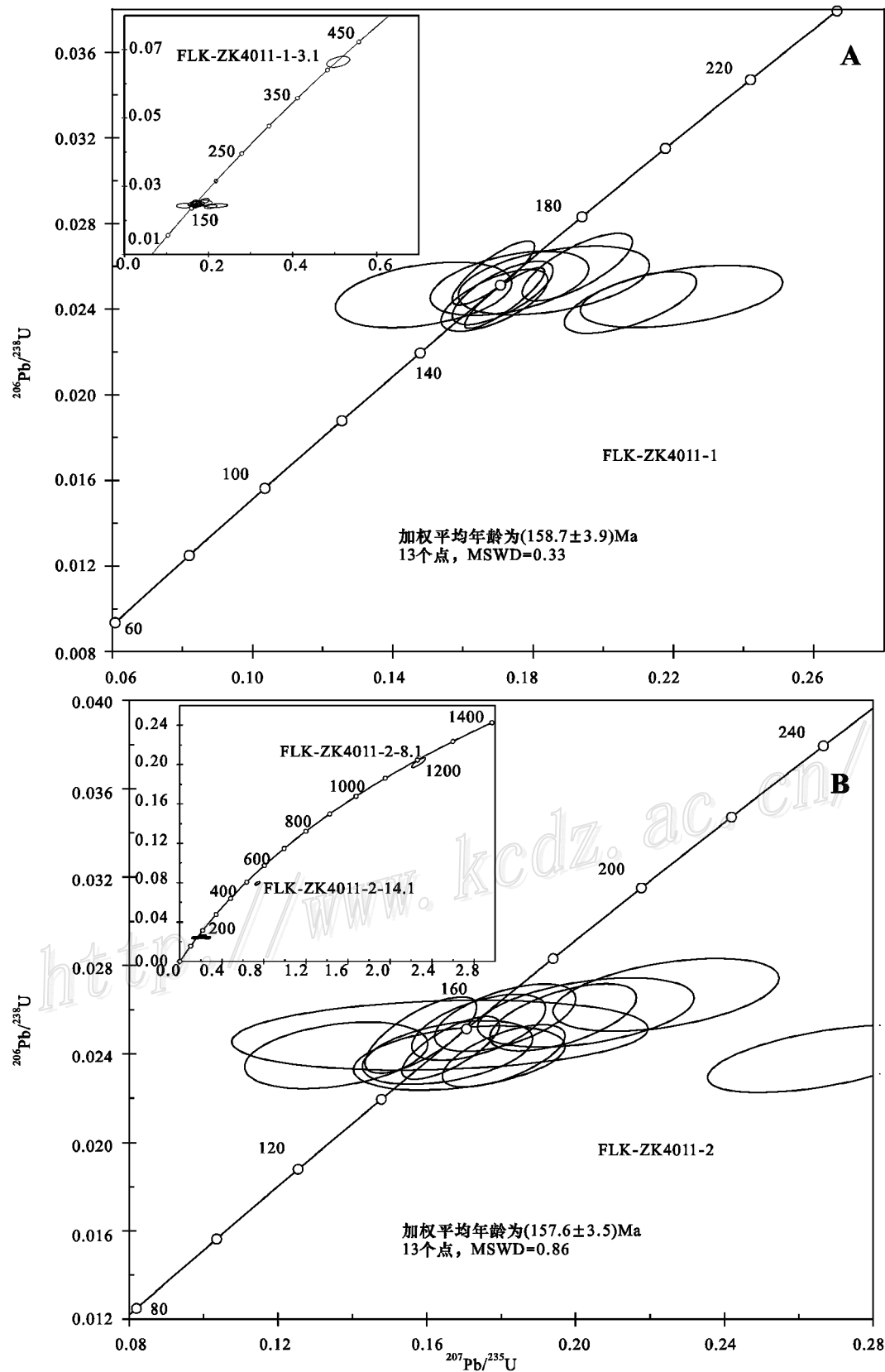


图 4 淘锡坑钨矿花岗岩锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图

Fig. 4 Zircon $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia diagram of the granites in the Taoxikeng tungsten mine

式计算而获得。Rb、Sr 同位素分析在 Finnigam MAT-261 可调多接收固体质谱计上进行,试样以氯化物形式涂在预先灼烧处理过的干净铱带上,Rb、Sr 采用双带热表面电离。离子流强度由多道可调多接收器同时接收,计算机自动处理数据,分析结果见表 2。

用国际标准物质 NBS987 监控仪器工作状态,用 NBS607 和 Rb-Sr 国家一级标准物质(GBW0411)监控分析流程。上述标准物质测定值分别为 NBS987 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.71026 \pm 0.00006 (2\sigma)$, NBS607 $\text{Rb}/10^{-6}$ 为 523.22, $\text{Sr}/10^{-6}$ 为 65.56, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 $1.20035 \pm 0.00010 (2\sigma)$; GBW04411 $\text{Rb}/10^{-6}$ 为 249.08, $\text{Sr}/10^{-6}$ 为 158.39; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 $0.76006 \pm 0.00015 (2\sigma)$ 。 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的测定精度分别优于 1%~2% 和 0.008%~0.02%。上述全部化学操作均在净化实验室内进行,使用的器皿由氟塑料、石英或铂金制成。所用试剂为高纯试剂经亚沸蒸馏器蒸馏,其 Rb、Sr 空白为 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{g/g}$ 。高纯水由 Milli-Q 水纯化系统纯化,其 Rb、Sr 空白为 10^{-12}g/g ; 与样品同时测定的 Rb-Sr 全流程空白都在 0.3 ng 左右。当样品中 Rb、Sr 含量低于 10^{-6} 量级水平,均做了空白校正。

数据处理采用 Isoplot 程序(Ludwig, 2001),设定参数: $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=3\%$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.02\%$ 。石英脉 Rb、Sr 同位素分离和质谱测试在宜昌地质矿产研究所完成。含矿石英脉 Rb-Sr 等时线见图 5。

样品 TXK 采自淘锡坑矿区,但具体位置不详,其石英包裹体中 Rb 含量 $(0.530 \sim 7.752) \times 10^{-6}$, Sr 含量 $(0.0328 \sim 0.1891) \times 10^{-6}$ 。 FL306 采自枫林坑矿段,其石英包裹体中的 Rb 含量 $(0.319 \sim 3.803) \times 10^{-6}$ 。 Sr 含量 $(0.0387 \sim 0.0987) \times 10^{-6}$ 。样品 XS206 采自西山矿段,其石英包裹体中 Rb 含量 $(1.500 \sim 7.734) \times 10^{-6}$, Sr 含量 $(0.0700 \sim 0.1713) \times 10^{-6}$ 。可见不同矿段石英脉流体包裹体中的 Rb、Sr 含量稍有不同,可能反映出成矿流体在不同位置稍有差异。由图 5 可见, TXK 测得的 7 个数据中的 5 个在等时线上,而 FL306、XS206 测得的全部点都分布在等时线上,说明测试结果的可信度较高,代表成矿年龄。

5 讨论

5.1 淘锡坑矿区成岩成矿作用时代
本次研究获得花岗岩的成岩年龄为 $(158.7 \pm$

表 2 淘锡坑钨矿含矿石英脉 Rb-Sr 同位素年龄测试结果
Table 2 Rb-Sr data of ore-bearing quartz veins from the Taoxikeng tungsten mine

样号及点号	$\text{w}_{\text{Rb}}/10^{-6}$	$\text{w}_{\text{Sr}}/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2\sigma)$
TXK				
TXK007	1.184	0.1181	29.20	0.80735 ± 0.00007
TXK008	0.639	0.1095	16.94	0.77946 ± 0.00004
TXK009	7.752	0.1891	121.7	1.00805 ± 0.00008
* TXK010	0.928	0.3606	7.446	0.74401 ± 0.00006
TXK011	0.530	0.0328	47.20	0.84455 ± 0.00003
TXK012	3.735	0.1326	82.96	0.92439 ± 0.00003
* TXK013	1.080	0.1438	21.82	0.78384 ± 0.00010
FL306				
FL306-1	1.691	0.0542	92.07	0.94245 ± 0.00006
FL306-4	0.319	0.0987	9.370	0.75326 ± 0.00011
FL306-6	1.910	0.0387	147.2	1.05699 ± 0.00025
FL306-8	0.319	0.0670	13.78	0.76380 ± 0.00002
FL306-9	3.803	0.0584	1960	1.16505 ± 0.00007
XS206				
XS206-1	4.438	0.1435	91.16	0.93654 ± 0.00006
XS206-2	1.500	0.1378	31.67	0.80011 ± 0.00008
XS206-3	7.287	0.1713	126.3	1.01369 ± 0.00007
XS206-4	7.734	0.1430	161.8	1.09557 ± 0.00003
XS206-5	2.580	0.0758	100.5	0.96009 ± 0.00004
XS206-6	1.465	0.0700	61.28	0.87210 ± 0.00005

注: $\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$, 数据结果的可信度为 95%。带 * 号的数据因误差较大, Rb-Sr 等时线图中未采用。

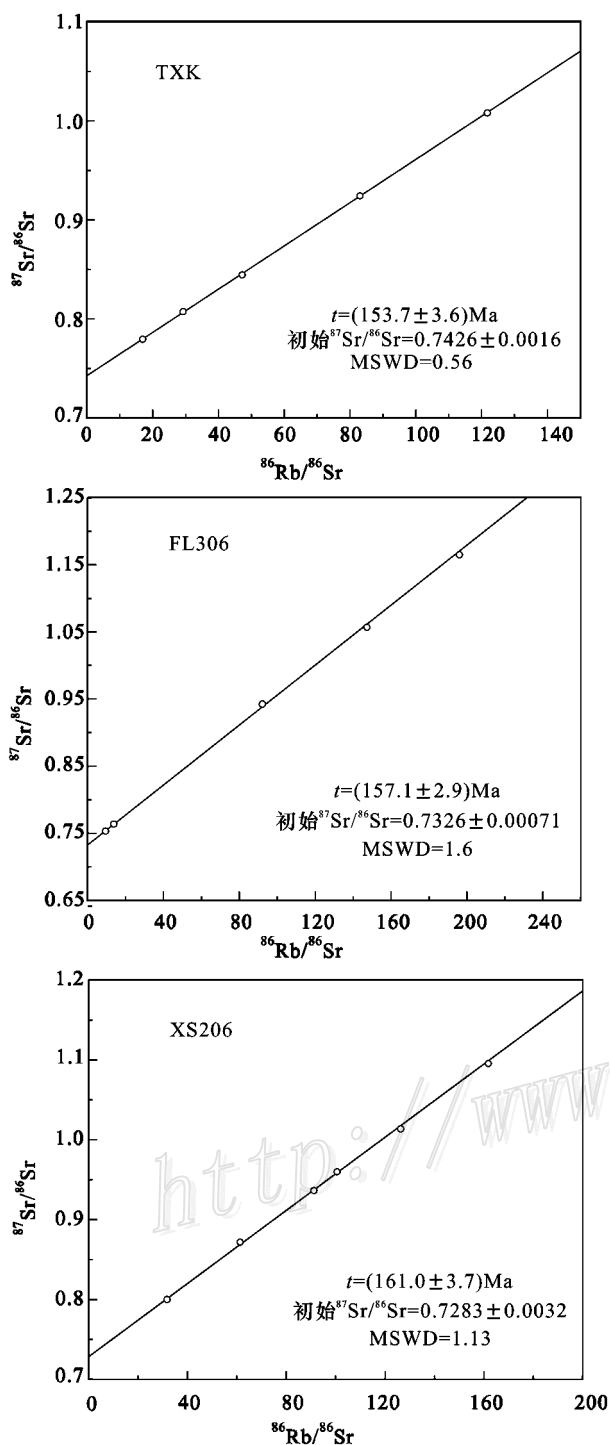


图 5 淘锡坑钨矿含矿石英脉 Rb-Sr 等时线图

Fig. 5 Rb-Sr isochron line of ore-bearing quartz veins from the Taoxikeng tungsten mine

3.9) Ma 和 (157.6 ± 3.5) Ma, 后期石英脉的年龄为 161~153 Ma。陈郑辉等(2006)用 Re-Os 法测得含矿石英脉中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 154 Ma, 可以看到该矿区花岗岩体的形成年龄、含矿石英脉以及矿体的年龄在误差范围内是一致的, 均形成于

中晚侏罗世。推测该花岗质岩浆在 160 Ma 以前开始侵位、分异演化, 同时在富含矿化剂和成矿元素流体的作用下在岩体顶部发生钠长石化和云英岩化, 并形成含钨等多金属矿化石英脉, 到大约 150 Ma 的时候成岩成矿作用结束。推测在这段时间内构造条件相对稳定, 没有发生显著的构造环境的差异, 并且在这一时段内花岗岩岩浆的结晶分异作用是持续进行的, 成矿物质不断补给, 从而保证了淘锡坑石英脉型钨多金属矿床的形成尤其是富矿脉的形成。

5.2 南岭地区同类型矿床的成岩成矿时代

近年来, 对华南地区各类型矿床成矿时代规律的研究取得了长足进展, 如毛景文等(2004b)认为华南金属矿床成矿作用主要集中在 170~150 Ma, 140~126 Ma 和 110~80 Ma。华仁民等(2005)提出华南地区中生代发生了 3 次大规模成矿作用, 分别是燕山早期 180~170 Ma, 燕山中期 170~139 Ma (包括第一阶段 170~150 Ma, 第二阶段 150~139 Ma), 第三次是燕山晚期 125~98 Ma。他们都指出 170~150 Ma 是南岭及相邻地区 W、Sn、Nb-Ta、Pb-Zn 等有色-稀有金属矿化为主成矿作用的高峰期。华南地区中生代成矿作用的最大特点是绝大多数矿床 W、Sn 多金属矿化的形成与花岗质岩浆活动关系密切, 且多形成于 160~150 Ma 之间, 即华仁民等(2005)划定的华南燕山期中期的第一阶段(约 170~150 Ma), 前人对这一时段成岩成矿的大批年龄数据列于表 3。

就目前的年代学资料而言, 该时期成矿作用大多集中在南岭中段(湘东)和南岭东段(赣南), 包括宝山铅锌矿、黄沙坪铅锌矿、香花岭锡矿、新田岭钨矿、芙蓉锡矿、柿竹园钨矿、瑶岗仙钨矿、大吉山钨锡铋钼矿、淘锡坑钨矿等。

5.3 南岭地区燕山期成岩成矿的时差问题

针对成岩作用与成矿作用时间上的差异, 有 2 种不同的观点: ①华仁民等(2005)认为南岭地区中生代花岗岩类成岩作用与成矿作用时间相去甚远, 南岭地区几乎所有中生代的成矿作用均远远晚于成岩作用。花岗岩类虽然是在陆壳挤压-加厚的动力学背景下由地壳物质的部分熔融形成的, 但是大规模的成矿作用却发育于后期一次拉张的动力学背景下, 由于幔源物质和深部流体的参与使分散在岩石中的金属元素再一次迁移、集中; ②但是近年来新的年代学资料支持另一种观点, 即成岩和成矿作用同时进行, 其间几乎没有时间差。也许成矿作用稍晚

表 3 南岭地区金属矿床及其有关岩石的同位素年龄数据

Table 3 Isotopic dating of the ore deposits and related rocks in Nanling region

矿床名称及测试矿物或岩石	测试方法	测定结果	参考文献
骑田岭花岗岩体			
花岗岩中锆石	SHRIMP U-Pb	(155±6)Ma	李华芹等,2006
蚀变矿化花岗岩中锆石	SHRIMP U-Pb	(156±5)Ma	
花岗岩中黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(157.5±0.3)Ma	毛景文等,2004b
千里山第二期花岗岩			
花岗岩中黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(162.5±3.3)Ma, (158.1±3.2)Ma	刘义茂等,1997
黄沙坪花岗岩			
锆石	LA-ICPMS U-Pb	(161.6±1.1)Ma	姚军明等,2005
宝山铅锌矿花岗岩体			
全岩	Rb-Sr 等时线	(161±8.7)Ma	毛景文等,2004b
芙蓉锡矿			
白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(156.1±0.4)Ma, (160.1±0.9)Ma	毛景文等,2004a
白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(159.9±0.5)Ma, (154.8±0.6)Ma	Peng et al. ,2006
金云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(150.8±0.8)Ma, (154.7±1.1)Ma, (157.3±0.6)Ma	
柿竹园钨矿			
砂卡岩矿物	Sm-Nd 等时线	(160.8±2.4)Ma	刘义茂等,1997
辉钼矿	Re-Os 等时线	(151±3.5)Ma	李红艳等,1996
黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(153.4±0.2)Ma	毛景文等,2004b
瑶岗仙钨矿			
辉钼矿	Re-Os 等时线	(154.9±2.6)Ma	Peng et al. ,2006
辉钼矿	Re-Os 模式年龄	156 Ma	
花岗岩中金云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(153±1.1)Ma	
花岗岩中白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(155.1±1.1)Ma	
大吉山钨锡铋钽矿床			
二云母花岗岩	K-Ar 年龄	(160.6±2.8)Ma	蒋国豪等, 2004
含钨石英脉	K-Ar 年龄	(158.1±2.8)Ma, (152.6±2.35)Ma	
大吉山补体花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb	(151.7±1.6)Ma	张文兰等, 2006
钨矿主矿脉中的云母	快中子活化法 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	144 Ma, 147 Ma	
新田岭白钨矿			
砂卡岩矿物	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(157.1±0.3)Ma	毛景文等,2004b
香花岭钨锡矿			
白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	(154.4±1.1)Ma, (161.3±1.1)Ma, (158.7±1.2)Ma	Yuan et al. , 2007
白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 等时线	(151.9±3.0)Ma, (160.0±3.2)Ma, (160.3±3.2)Ma	

于成岩作用,这是由于花岗岩成矿需经历岩浆冷凝、挥发份聚集、热液运移、金属矿物沉淀的过程,但是由上述原因导致的花岗岩类的侵位与相关的成矿作用在时间上的差异并不会很大,即在目前的技术条件下,成岩、成矿年龄在误差范围内是一致的。

不同认识的提出都是建立在目前所能获得的年龄数据基础上的,因此,期待更多更可靠的成岩和成矿年龄数据为解决该问题提供进一步的佐证。

致 谢 野外工作期间得到江西赣南地质调查大队许建祥、曾载林等工程师和江西崇义县章源钨制品有限公司黄泽兰董事长等人的大力支持和帮助,宜昌地质矿产研究所的李华芹研究员帮助分析测试了石英流体包裹体的 Rb-Sr 年龄,在此一并表

示感谢。

References

Chen Y C, Zhu Y S, Xiao K Y, Zhan X H, Mei Y X, Yan S H, Liu Y L, Song G Y, Li C J, Wang Y Y, Dong J H, Li H M and Ding J H. 2006. Division of mineralization province and belts in China [J]. Mineral Deposits, 25(Supp.) : 1~6 (in Chinese).

Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang P A, Xu J X, Zhang J J and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(4) : 496~501 (in Chinese with English abstract).

Compston W, Williams I S and Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe [J]. J. Geophysical Research, 89 (Supp.) : 325~534.

- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L and Zhang Z G. 1992. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time scale[J]. *J. Geological Society, London*, 149: 171~184.
- Hua R M. 2005. Differences between rock-forming and related ore-forming times for the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling range, South China, and its geological significance[J]. *Geological Review*, 51(6): 633~639 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 99~107 (in Chinese with English abstract).
- Jiang G H, Hu R Z, Xie G Q, Zhao J H and Tang Q L. 2004. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(3): 253~256 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Lu Y F, Wang D H, Chen Y C, Yang H M, Guo J, Xie C F, Mei Y P and Ma L Y. 2006. Dating of the rock-forming and ore-forming ages and their geological significances in the Furong orefield, Qitian Mountain, Hunan[J]. *Geological Review*, 52(1): 113~121 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit[J]. *Geological Review*, 42(3): 261~267 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Dai T M, Lu H Z, Xu Y Z, Wang C L and Kang W Q. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar and Sm-Nd ages for the magmatism and mineralization of Qianlishan granite intrusion[J]. *Science in China (Series D)*, 27(5): 425~430 (in Chinese).
- Ludwig K R. 2001. Users Manual for Isoplot/Ex rev. 2. 49: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [Z]. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. La. 1~55.
- Mao J W, Li X F, Bernd Lehmann, Chen W, Lan X M and Wei S L. 2004a. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 164~175 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004b. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45~55 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D and Qu W J. 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China[J]. *Mineralium Deposita*, 41: 661~669.
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97: 205~217.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[J]. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1~35.
- Yao J M, Hua R M and Lin J F. 2005. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in south-east Hunan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688~696 (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z and Dai T M. 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan, China and its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 278~286.
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Chen P R and Li H M. 2006. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in South Jiangxi[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 80(7): 956~962 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y L, Li C Y and Lin Y H. 1981. Tungsten mine geology of southern Jiangxi province[M]. Nanchang: Jiangxi People's Publishing House (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 张晓华, 梅燕雄, 闫升好, 刘亚玲, 宋国耀, 李纯杰, 王勇毅, 董建华, 李厚民, 丁建华. 2006. 中国成矿区(带)的划分[J]. *矿床地质(增刊)*, 25: 1~6.
- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 陈毓川, 王平安, 许建祥, 张家菁, 许敏林. 2006. 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*, 25(4): 496~501.
- 华仁民. 2005. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义[J]. *地质论评*, 51(6): 633~639.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. *矿床地质*, 24(2): 99~107.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵红军, 唐群力. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. *矿物学报*, 24(3): 253~256.
- 李华芹, 路远发, 王登红, 陈毓川, 杨红梅, 郭敬, 谢才富, 梅玉萍, 马丽艳. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义[J]. *地质论评*, 52(1): 113~121.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 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*, 42(3): 261~267.
- 刘义茂, 戴槿樨, 卢煥章, 胥友志, 王昌烈, 康卫清. 1997. 千里山花岗岩体成岩成矿的 Ar/Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄[J]. *中国科学(D辑)*, 27(5): 425~430.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004a. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地球动力学意义[J]. *矿床地质*, 23(2): 164~175.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 11(1): 45~55.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. *岩石学报*, 21(3): 688~696.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 陈培荣, 李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. *岩石学报*, 80(7): 956~962.
- 朱炎龄, 李崇佑, 林运淮. 1981. 赣南钨矿地质[M]. 南昌: 江西人民出版社.