

文章编号: 0258-7106(2008)03-0329-07

福建龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义*

杨祖龙¹, 张德全², 丰成友², 余宏全², 李进文²

(1 长江大学机械工程学院, 湖北 荆州 434023; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要 通过对中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 测年, 获得了 $(98.5 \pm 1.7) \text{Ma}$ ($n = 29$, $\text{MSWD} = 1.8$) 的年龄值, 说明中甲矿区石英斑岩是早白垩世晚期(燕山晚期)区域构造-岩浆活动的产物。通过区域对比后认为, 中甲矿区的锡多金属成矿是华南钨、锡多金属成矿省边部燕山晚期成矿作用的组成部分。研究提出, 闽西南地区的燕山晚期花岗岩及其外接触带是今后寻找燕山晚期形成的锡多金属矿的找矿方向。

关键词 地球化学; SHRIMP 年龄; 锡多金属矿床; 中甲; 福建

中图分类号: P618.44

文献标志码: A

SHRIMP zircon U-Pb dating of quartz porphyry from Zhongjia tin-polymetallic deposit in Longyan area, Fujian Province, and its geological significance

YANG ZuLong¹, ZHANG DeQuan², FENG ChengYou², SHE HongQuan² and LI JinWen²

(1 School of Mechanical Engineering, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Mineralizations of the Zhongjia tin-polymetallic deposit in Longyan area of Fujian Province are composed of vein-type ore bodies in the external contact zone and veinlet-disseminated Sn-Wo-mineralization in the inner contact zone, belonging to post-magmatic hydrothermal type related to quartz porphyry of the area. SHRIMP U-Pb dating of twenty zircon grains from the quartz porphyry gave the weighted mean age of $(98.5 \pm 1.7) \text{Ma}$ ($n = 29$, $\text{MSWD} = 1.8$), suggesting that the quartz porphyry in the deposit was produced by regional tectono-magmatic activities during the late stage of Early Cretaceous. Tin-polymetallic mineralization of the Zhongjia deposit occurred in Late Cretaceous instead of in Early Jurassic and constituted a part of Late Yanshanian metallogenic activity on the margin of the South China tungsten, tin and polymetallic province, as evidenced by regional metallogenic correlation. The authors hold that the prospecting targets of tin-polymetallic deposits in southwestern Fujian Province should be Late Yanshanian granitic bodies and their external contact zones.

Key words: geochemistry; SHRIMP U-Pb dating; tin-polymetallic deposit; Zhongjia deposit in Fujian Province

* 本文得到国家自然科学基金面上项目(40772063)的资助

第一作者简介 杨祖龙,男,1965年生,讲师,主要从事矿产勘查和岩土工程专业的教学和研究。E-mail: yangor1005@163.com
收稿日期 2007-12-20; 改回日期 2008-03-13。李岩编辑。

闽西南坳陷东缘的漳平-龙岩-永定一带,有许多与燕山期构造-岩浆活动有关的矽卡岩-热液型铁多金属(包括 Pb、Zn、Cu、Sn、W、Bi 等)矿床,这些矿床主要分布于燕山期花岗岩体(如莒舟岩体和太华岩体等)的内外接触带中。中甲(又称“菜刀歧”)矿床就是这些矿床中的一个产于岩体与细碎屑岩接触带上的热液型锡多金属矿床(小型规模),它的地理坐标为北纬 25°02'06",东经 117°09'05"。锡的平均品位 0.24%~4.22%。该矿床附近还有几处产于岩体与碳酸盐岩接触带上的矽卡岩型铁多金属矿床(点)。确定上述矿床的成矿年龄,可进一步确定主成矿作用及其与区域构造演化的关系,指导区域找

矿方向。

1 矿区地质概况

中甲(又称“菜刀歧”)锡多金属矿床位于龙岩市东南 15 km 的中甲至杨梅坪一带,莒舟岩体西部。矿区南部和东部出露侵入岩包括燕山早期第二次侵入的花岗闪长岩,第三阶段侵入的黑云母花岗岩体及其后期的石英斑岩体,它们构成一个复式岩体。其中,花岗闪长岩和黑云母花岗岩是莒舟岩体西部的主体侵入体,矿区内有 5 个石英斑岩体,面积均小于 0.1 km²,为 NW 向串珠状分布的小岩株或岩墙,侵入于黑云母花岗岩和变质石英砂岩中(图 1),是莒

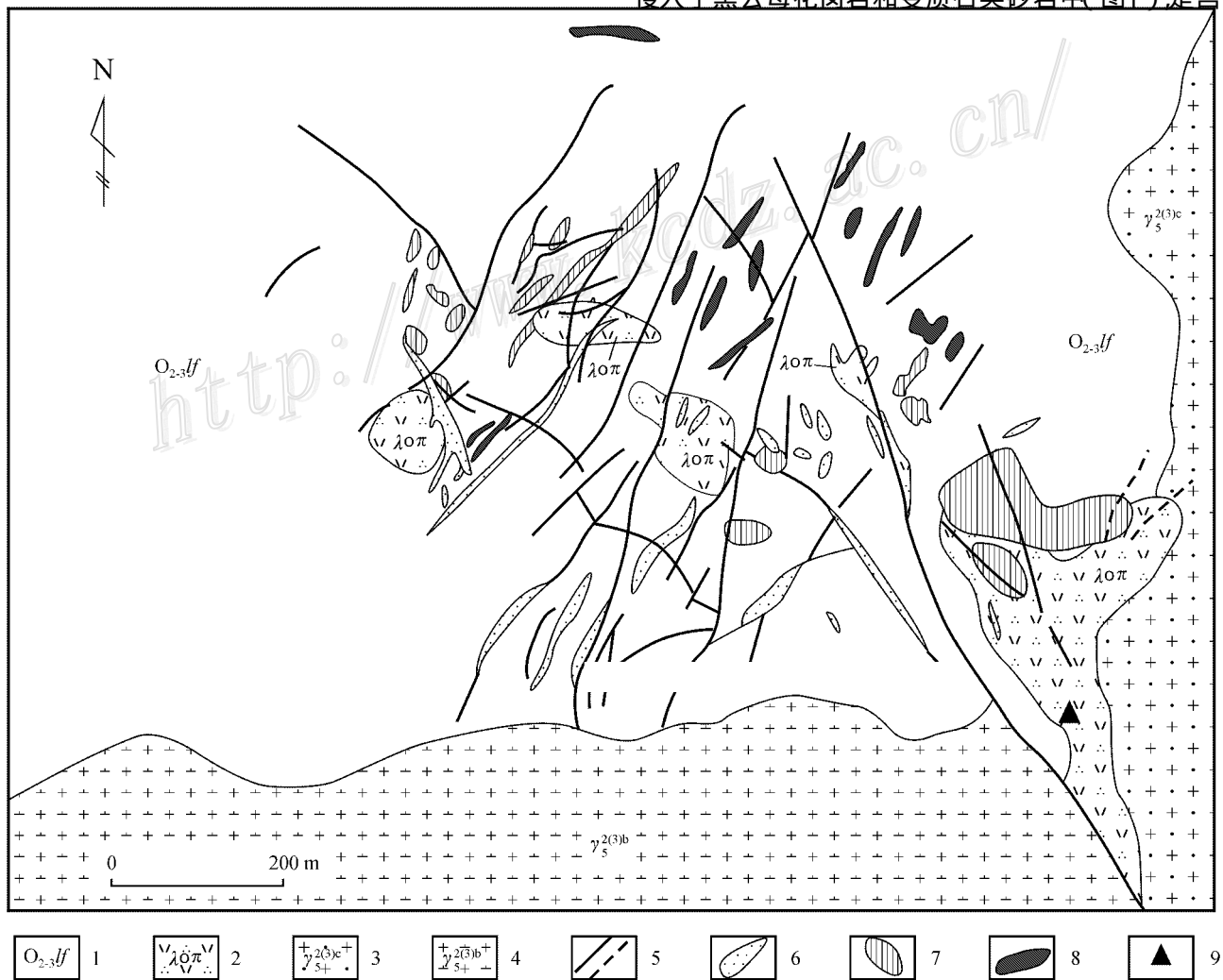


图 1 中甲锡多金属矿床矿区地质图(据张达等 2003 修编)

1—奥陶系罗峰溪组变质石英砂岩;2—石英斑岩;3—黑云母花岗岩;4—花岗闪长岩;5—实测及推断裂;6—锡矿(化)体;
7—钼矿(化)体 8—钨矿(化)体;9—采样位置

Fig. 1 Geological map of the Zhongjia tin polymetallic deposit(after Zhang et al. , 2003)

1—Quartz sandstone of Ordovician Luofengxi Formation ; 2—Quartz porphyry ; 3—Biotite granite ; 4—Granodiorite ; 5—Measured and inferred fault ; 6—Tin ore body/mineralization ; 7—Molybdenum ore body/mineralization ; 8—Tungsten ore body/mineralization ; 9—Sampling location

舟花岗岩体的补充侵入体。矿区出露地层为奥陶系罗峰溪组浅变质石英砂岩,是一套陆源复理石建造构成的巨厚碎屑岩地层,其 Sn、Mo、W 等元素平均含量较高,蚀变强烈,是 Sn、Mo、W 成矿的初始矿源层(张达等,1999)。矿区内 NNE 和 NW 向断裂隙隙构造发育,其与岩体接触带一起,控制了矿区蚀变和矿化的空间分布。

中甲锡多金属矿床的矿体包括产于岩体与罗峰溪组浅变质石英砂岩内、外接触带的 Sn、Mo、W 矿体,以及矿区外围产于岩体与碳酸盐岩接触带的 Fe、Pb、Zn 矿体,它们共同组成一个完整的成矿系列。

矿区内 90% 以上的 Sn、Mo、W 矿体呈脉状赋存于外接触带的罗峰溪组变质石英砂岩内,有少量锡石和辉钼矿呈(网)脉浸染状产于强烈的云英岩化石英斑岩或花岗岩内,构成斑岩型 Sn、Mo 矿化体。已圈定的 Sn、Mo、W 矿脉或矿化带呈 NW 和 NNE 向带状分布(图 1),单个矿体长 15~300 m,厚度大部分小于 10 m,产状与控矿断裂一致。中甲锡矿床 Sn 平均品位 0.24%~4.22%,高者达到 8.25%,单样品最高品位达到 15.25%。

主要矿石矿物有锡石、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、辉钼矿、黑钨矿、黝锡矿、磁铁矿、磁黄铁矿等;主要脉石矿物有石英、黄玉、萤石、绿泥石、白云母、萤石等。与成矿关系密切的蚀变主要有绿泥石化、硅化、云英岩化,其中产于罗峰溪组变质石英砂岩内的 Sn、Mo、W 矿脉主要为绿泥石化、硅化,产于石英斑岩或花岗岩内的 Sn、Mo 矿化主要表现为云英岩化。

2 样品采集及分析方法

本次研究的石英斑岩样品采自中甲锡多金属矿区东南部,距锡钼矿化体约 700 m 处,采样点坐标: E117°09′37.3″, N25°01′56.3″, 高程 932 m。石英斑岩呈 NNW 向岩墙状产出,其东侧侵入于黑云母花岗岩中,西侧与花岗闪长岩呈断层接触。岩石灰白色,斑状结构,块状构造,斑晶含量($\varphi(B)$)变化在 4%~10% 之间,由石英和少量碱性长石组成。

将野外采集的石英斑岩样品破碎后用水淘洗去粉尘,先用磁选方法除去磁性矿物,再用重液粗选出锆石,最后在双目显微镜下精选出锆石。将锆石和标样一起粘在玻璃板上,用环氧树脂浇铸,制成薄片并抛光露出锆石颗粒,然后进行透射光、反射光和阴极发光显微照相。阴极发光照相在中国地质科学院

矿产资源研究所电子探针实验室完成,锆石 U-Th-Pb 分析及定年在北京离子探针中心的 SHRIMP II 型离子探针仪上完成,其标准测定程序参见文献(宋彪等,2002)的描述。数据处理采用 Ludwig SQUID1 及 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2000, 2001)。

3 SHRIMP 测年结果

所分析的锆石颗粒为透明的自形晶体,阴极发光图像均显示出典型的岩浆结晶韵律环带结构(图 2)。31 粒锆石的 31 次分析结果列于表 1 中。对于显生宙锆石,一般认为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄较为可靠,因此,表 1 中仅列出了 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。测试数据的误差范围为 ± 1 。

锆石分析点的 U、Th 含量较高, w_{U} 为 $(1\ 998 \sim 5\ 248) \times 10^{-6}$, w_{Th} 为 $(1\ 177 \sim 7\ 312) \times 10^{-6}$ (表 1)。31 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 88.8~114.6 Ma,变化范围较小,在误差范围内一致。在一致曲线图中有 29 个点成群分布(图 3),位于一致曲线上或紧靠一致曲线,说明锆石的封闭性较好,锆石的 U-Pb 同位素实际演化趋势符合理论值,测试数据是可靠的,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (98.5 ± 1.7) Ma ($n = 29$, MSWD = 1.8),该年龄值可以代表石英斑岩的结晶年龄。另两个锆石分析点 Zh2-13 和 Zh2-25(t 为 (108.3 ± 4.7) Ma 及 (113.2 ± 3.1) Ma) 因偏离一致曲线较远,数据质量相对较差,未参与加权平均。

4 结果讨论和结论

中甲矿区内侵入岩包括花岗闪长岩、黑云母花岗岩及其后期的石英斑岩,其中,花岗闪长岩和黑云母花岗岩是营舟岩体西部的主体侵入体,石英斑岩则是补充侵入体。根据矿区及外围观测,它们之间呈侵入接触关系:黑云母花岗岩侵入于花岗闪长岩中,又被石英斑岩侵入。因此三者之间的先后顺序是:花岗闪长岩→黑云母花岗岩→石英斑岩。

前人已经获得营舟岩体中黑云母花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄 136.0 Ma、133.9 Ma,黑云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄 132.3 Ma(毛建仁等,2006),说明其属于早白垩世早期岩浆活动产物。此外,毛建仁等还获得该区域中的汤泉花岗闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 平均年龄为 (182.9 ± 3.60) Ma,并认为此类花岗闪

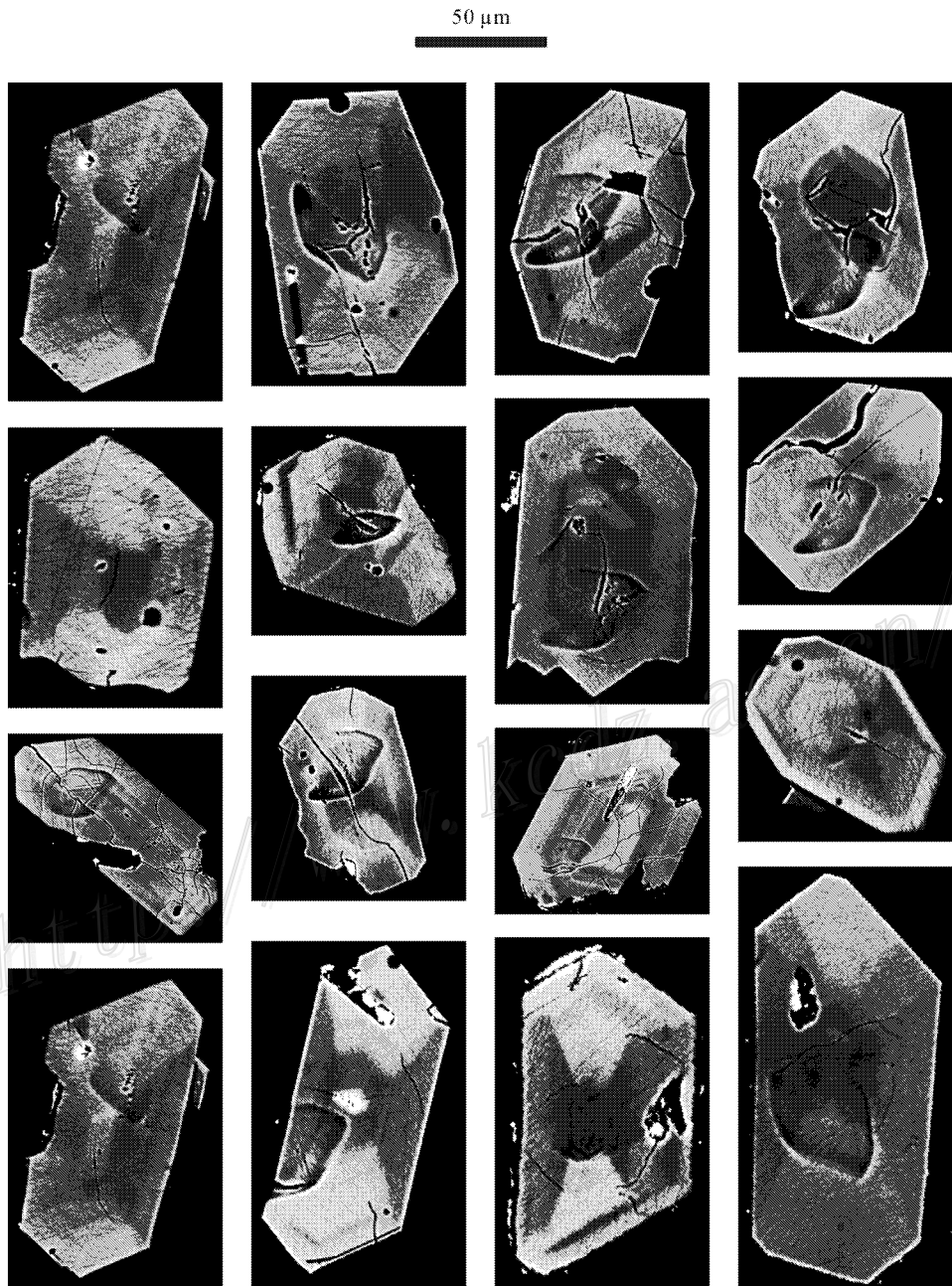


图2 石英斑岩锆石的阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of zircon from quartz porphyry

长岩形成于早侏罗世(毛建仁等,2004)。由于汤泉岩体与中甲矿区相距不远,通过类比,可以推断中甲矿区内的花岗闪长岩也是早侏罗世岩浆活动的产物,其年龄也应该在182 Ma左右。根据以上前人对本区晚中生代花岗岩类的测年结果,并结合在矿区内及外围所观测到的花岗闪长岩、黑云母花岗岩及石英斑岩之间的先后关系,可以确认,本次测得的石英斑岩中锆石的SHRIMP年龄值(98.5 ± 1.7) Ma可以作为该岩体的侵入年龄,中甲矿区石英斑岩属

于早白垩世晚期的岩浆活动产物。矿区内石英斑岩中产有细(网)脉浸染状(斑岩型)锡矿化,说明中甲矿区在早白垩世晚期有一次成矿作用(98.5 Ma)。

令人注意的是,张达等对中甲矿区产于外接触带石英砂岩中的脉状矿体中的辉钼矿进行了Re-Os法测年,获得了3个模式年龄分别为(193 ± 10) Ma、(196 ± 18) Ma和(195 ± 16) Ma(张达等,2003)。对这些辉钼矿的Re-Os模式年龄可以有2种解释:第一,其与矿区花岗闪长岩的推断年龄

表 1 中甲矿区石英斑岩锆石 SHRIMP 定年分析结果

Table 1 Zircon SHRIMP dating results of quartz porphyry from the Zhongjia tin-polymetallic deposit

测点号	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/(\text{g}\cdot\mu\text{g}^{-1})$	$\text{Th}/(\text{g}\cdot\mu\text{g}^{-1})$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/(\text{g}\cdot\mu\text{g}^{-1})$	$t/\text{Ma}\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}\pm\%$
Zh2-1	1.26	2342	1177	0.52	32.7	102.8±4.5	0.04850±3.7	0.1075±5.7	0.01607±4.4
Zh2-2	2.32	2701	1428	0.55	36.9	99.4±4.4	0.05210±8.5	0.1120±9.6	0.01554±4.5
Zh2-3	0.28	5248	3098	0.61	71.5	101.1±4.4	0.04853±1.8	0.1058±4.8	0.01581±4.4
Zh2-4	0.28	3620	1771	.51	52.3	107.2±4.7	0.04695±1.6	0.1086±4.7	0.01678±4.4
Zh2-5	0.19	4763	2724	0.59	65.8	102.6±4.5	0.04768±1.3	0.1055±4.6	0.01605±4.4
Zh2-6	0.23	3529	1729	0.51	50.4	106.0±4.6	0.05035±1.9	0.1151±4.8	0.01658±4.4
Zh2-7	0.14	6338	7312	1.19	97.8	114.6±5.0	0.04888±1.0	0.1208±4.5	0.01793±4.4
Zh2-8	0.03	3898	2533	0.67	53.8	102.8±4.5	0.04862±1.1	0.1077±4.5	0.01607±4.4
Zh2-9	0.88	2839	1543	0.56	38.5	100.0±4.4	0.05010±2.8	0.1079±5.2	0.01563±4.4
Zh2-10	0.12	5200	3467	0.69	67.4	96.4±4.2	0.04879±1.1	0.1013±4.5	0.01506±4.4
Zh2-11	-	3882	2086	0.56	51.0	97.9±4.3	0.04930±2.1	0.1040±4.9	0.01531±4.4
Zh2-12	-	4030	2679	0.69	50.0	92.5±4.0	0.05014±1.2	0.0999±4.6	0.01445±4.4
Zh2-13	0.44	3176	2029	0.66	46.4	108.3±4.7	0.05090±2.4	0.1186±5.0	0.01694±4.4
Zh2-14	-	3791	2170	0.59	48.1	94.6±4.1	0.04988±1.7	0.1017±4.7	0.01478±4.4
Zh2-15	0.10	1998	1441	0.75	25.8	95.9±4.2	0.04839±1.7	0.1000±4.7	0.01499±4.4
Zh2-16	0.20	2361	1398	0.61	30.5	96.0±4.2	0.05313±1.8	0.1099±4.8	0.01500±4.4
Zh2-17	0.64	3670	2105	0.59	44.0	88.8±3.9	0.04980±2.4	0.0953±5.0	0.01387±4.4
Zh2-18	0.31	3962	2354	0.61	49.1	92.0±4.0	0.04862±1.8	0.0964±4.8	0.01438±4.4
Zh2-19	0.05	4269	2399	0.58	59.2	103.2±2.8	0.04832±1.4	0.1075±3.1	0.01613±2.8
Zh2-20	0.23	3123	1564	0.52	42.5	101.0±2.9	0.06000±5.1	0.1306±5.9	0.01580±2.9
Zh2-21	1.38	2711	1583	0.60	37.8	102.4±3.0	0.10380±9.4	0.2290±9.8	0.01602±2.9
Zh2-22	0.02	4073	2352	0.60	56.8	103.7±3.1	0.04779±1.3	0.1068±3.3	0.01621±3.0
Zh2-23	0.21	3072	1861	0.63	40.5	97.9±2.7	0.05153±1.5	0.1088±3.2	0.01531±2.8
Zh2-24	0.05	4207	2696	0.66	58.5	103.4±2.9	0.04833±1.3	0.1078±3.1	0.01617±2.9
Zh2-25	0.10	3771	2370	0.65	57.4	113.2±3.1	0.05181±1.8	0.1266±3.3	0.01771±2.8
Zh2-26	0.19	4049	2398	0.61	52.9	97.1±2.7	0.05003±1.5	0.1047±3.2	0.01518±2.8
Zh2-27	0.28	3621	2082	0.59	48.6	99.7±2.8	0.04818±1.8	0.1036±3.3	0.01559±2.8
Zh2-28	0.32	3905	2207	0.58	51.6	98.1±2.8	0.05156±1.9	0.1090±3.4	0.01533±2.8
Zh2-29	0.20	3824	2257	0.61	48.6	94.4±2.6	0.04765±1.8	0.0969±3.3	0.01476±2.8
Zh2-30	0.27	2836	1632	0.59	35.1	92.0±2.6	0.05030±2.2	0.0997±3.5	0.01437±2.8
Zh2-31	0.14	3196	1862	0.60	40.2	93.7±2.6	0.04769±1.6	0.0962±3.2	0.01464±2.8

注: 表内误差为 1σ , Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅。

(182.9 ± 3.60) Ma 在误差范围内一致, 说明这些辉钼矿与花岗闪长岩有关, 形成于早侏罗世, 因而中甲矿区的锡多金属成矿可能是多期的(早侏罗世和晚白垩世); 第二, 这 3 个辉钼矿的 ^{187}Os 含量太低(参见张达等, 2003), Re-Os 模式年龄误差明显偏大, 可信度较低。比较之下, 笔者认为后一种解释更好, 毛景文等根据区域成矿作用分析, 也得出了这一结论(毛景文等, 2004)。

华南是中国最主要的钨、锡多金属成矿省, 大量的同位素测年数据显示, 华南地区的钨锡矿床的成矿时代主要集中在 2 个时段($160 \sim 140$) Ma 和 ($126 \sim 90$) Ma(毛景文等, 2004; 华仁民等, 2005), 这与陈毓川等早年提出的南岭地区钨锡矿床可以分为燕山早期和燕山晚期 2 个主要的成矿期完全吻合(陈毓川等, 1989), ($160 \sim 135$) Ma 相当于中-晚侏

罗世, 是华南地区一个钨锡成矿的高峰期, 这一时期形成的矿床以钨为主, 锡是伴生或共生矿种, 主要集中于南岭地区中部的赣南、湘南、粤北等地。如湘南地区芙蓉锡矿 156.1 Ma(白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法), 柿竹园钨锡钼铋矿 151.1 Ma(辉钼矿 Re-Os 法) 和 134.0 Ma(云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法), 新田岭钨矿 157 Ma(云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法), 锡田钨锡矿 157 Ma(白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法), 香花岭 158.9 Ma(黄铁矿 Re-Os 法), 赣南地区的漂塘钨锡矿 150.2 Ma(石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线), 大吉山钨矿 150.4 Ma(石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线), 西华山钨矿 139.8 Ma(石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线), 浒坑钨矿 151 Ma(石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线), 淘锡坑钨矿 154.4 Ma(辉钼矿 Re-Os), 牛角窝钨矿 151 Ma(花岗岩中锆石 U-Pb), 天门山钨矿 147 Ma(石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线) 等

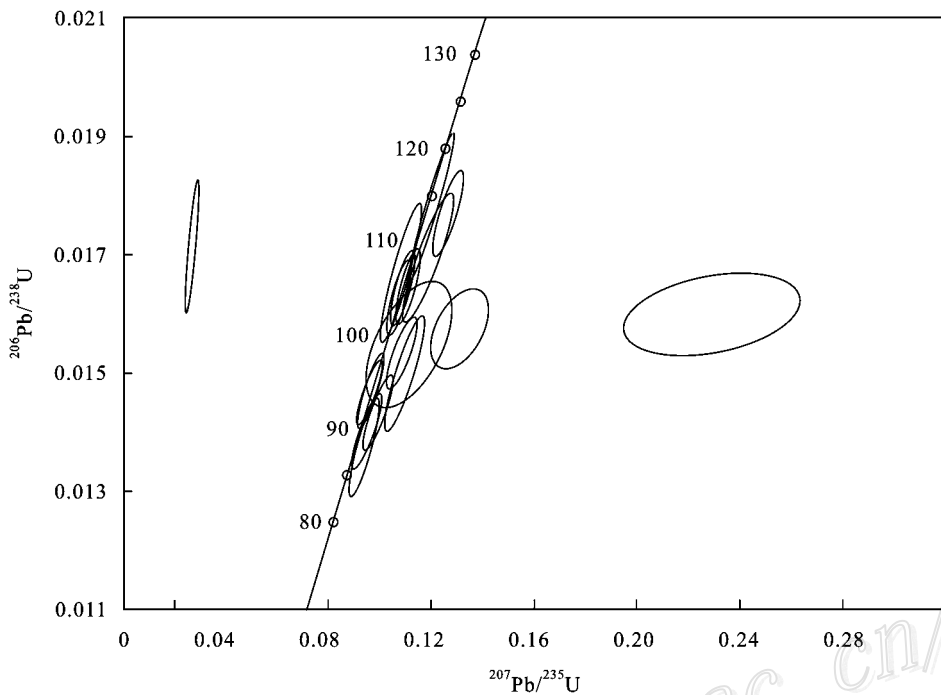


图3 石英斑岩中锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图

Fig. 3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircon from quartz porphyry

(王登红等, 2004; 毛景文等, 2004; 华仁民等, 2005; 陈郑辉等, 2006; 刘善宝等, 2007)。(126~90) Ma 相当于早白垩世, 是华南地区钨锡成矿的另一个高峰期, 这一时期形成的矿床以锡为主, 钨和铅锌是伴生或共生矿种, 在地域上, 该时段形成的矿床主要分布于华南成矿省的周边, 主要在西部、其次是东部、南部和北部, 陈毓川等将这一现象称为华南地区钨锡成矿作用的“时空迁移”(陈毓川等, 1989; 2006), 即从燕山早期到燕山晚期, 华南地区的钨锡成矿作用从该区中部向边部迁移。如赣北的岩背锡矿(128 Ma)、广西的珊瑚钨锡矿(113.2 Ma)、大明山钨(锡)矿(94.5 Ma)、大厂锡多金属矿(91~95 Ma)、广东的银岩锡矿(86.9 Ma)、华南成矿省最西部的个旧锡多金属矿(90 Ma)等(陈毓川等, 1989; 王登红等, 2004; 毛景文等, 2004; 华仁民等, 2005; 本文)。中甲地处闽西南的龙岩地区, 位于华南钨、锡多金属成矿省的东边部, 其成矿时代(98.5 Ma)为早白垩世晚期是比较合理的, 与区域成矿演化和分布规律吻合。

闽西南地区位于华南钨、锡多金属成矿省的东边部, 并发育较多早白垩世花岗质岩体, 其岩石化学成分与华南地区的钨锡花岗岩十分相似(华仁民等, 2005; 毛建仁等, 2006), 也存在不少 Sn 的化探异常。因而, 在闽西南地区的燕山晚期花岗岩及其外接触

带寻找燕山晚期形成的锡多金属矿, 应该作为今后的找矿方向。因为华南地区(126~90) Ma(燕山晚期)的钨锡成矿作用(以锡为主、伴生和共生钨、铅锌)主要分布于该成矿省周边, 闽西南地区的中甲锡多金属矿就是其中一例。

根据上述讨论, 可以归纳出本文的如下结论。

中甲矿区石英斑岩是早白垩世晚期(燕山晚期)区域构造岩浆活动的产物, 本文获得的中甲矿区石英斑岩锆石 SHRIMP 年龄(98.5 ± 1.7) Ma 代表了该岩体的侵位结晶年龄。

在中甲矿区, 锡多金属成矿可能主要是早白垩世晚期形成的, 该地区的锡多金属成矿是华南钨、锡多金属成矿省边部燕山晚期成矿作用的组成部分。进一步推论, 在闽西南地区的燕山晚期花岗岩及其外接触带中寻找燕山晚期形成的锡多金属矿, 应该作为今后的找矿方向。

References

- Chen Y C, Pei R F and Zhang H L. 1989. The geology of non-ferrous and rare metal deposits related to Mesozoic granitoids in Nanling Region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 506p (in Chinese).
Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. On minerogenetic (metallo-genetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80

- (10): 1501-1508 (in Chinese with English abstract).
- 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]. *Geol. Bull. China*, 25(4): 496-501 (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).
- Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Xu J X, Zeng Z L, Ying L J and Wang C H. 2007. SHRIMP dating of Tianmenshan granite pluton and granite porphyry dyke in southern Jiangxi Province, eastern Nanling region, and its significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 972-978 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2000. Users manual for isoplot/Ex: A geochronological toolkit for microsoft excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication. Berkeley, CA, USA. 53.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1. 02: A user manual [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication. 219.
- Mao J R, Xu N Z, Hu Q, Li J Y and Xie F G. 2004. Geochronology and geochemical characteristics in Mesozoic granodioritic rocks in southwestern Fujian, and their tectonic evolution [J]. *J. Jilin Univ. (Earth Science Edition)*, 34(1): 12-20 (in Chinese with English abstract).
- Mao J R, Chen R, Li J Y, Ye H M and Zhao X L. 2006. Geochronology and geochemical characteristics of late Mesozoic granitic rocks from southwestern Fujian and their tectonic evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1723-1734 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45-55 (in Chinese with English abstract).
- Song B, Zhang Y H, Wang Y S and Jian P. 2002. Mount making and procedure of SHRIMP dating [J]. *Geol. Rev.*, 48(Supp.): 26-30 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Chen W, Sang H Q, Li H Q, Lu Y F, Chen K L and Lin Z M. 2004. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 132-138 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D, Wu G G, Chen B L, Peng R M, Jiang W, Chen J S and Fang L M. 1999. Geology and metallogenic mechanism of the Zhongjia tin polymetallic deposit in Longyan Fujian [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 8(3): 129-135 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D, Wu G G, Wu J S and Chen X Y. 2003. Re-Os ages of the Zhongjia tin-polymetallic deposit, southwestern Fujian, and their geological significance [J]. *J. Geomechanics*, 9(3): 261-267 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社. 506 页.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题 [J]. *地质学报*, 80(10): 1501-1508.
- 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, 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.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 许建祥, 曾载林, 应立娟, 王成辉. 2007. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩体及花岗斑岩脉的 SHRIMP 定年及其意义 [J]. *地质学报*, 81(7): 972-978.
- 毛建仁, 许乃政, 胡青, 李寄峪, 谢芳贵. 2004. 闽西南地区中生代花岗岩闪长质岩石的同位素年代学、地球化学及其构造演化 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 34(1): 12-20.
- 毛建仁, 陈荣, 李寄峪, 叶海敏, 赵希林. 2006. 闽西南地区晚中生代花岗岩质岩石的同位素年代学、地球化学及其构造演化 [J]. *岩石学报*, 22(6): 1723-1734.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 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.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. *地质论评*, 48(增刊): 26-30.
- 王登红, 陈毓川, 陈文, 桑海清, 李华芹, 路远发, 陈开礼, 林枝茂. 2004. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代 [J]. *地质学报*, 78(1): 132-138.
- 张达, 吴淦国, 陈柏林, 彭润民, 江万, 陈金水, 方黎闽. 1999. 福建龙岩中甲锡多金属矿床地质特征及成因机理 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 8(3): 129-135.
- 张达, 吴淦国, 吴建设, 陈祥云. 2003. 闽西南中甲锡多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J]. *地质力学学报*, 9(3): 261-267.