

广西大厂矿田长坡—铜坑锡多金属矿床锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义

王新宇^{1,2)}, 黄宏伟³⁾, 陈能松¹⁾, 黄锡强^{1,2)}, 吴祥珂²⁾, 郝爽⁴⁾, 李惠民⁴⁾

1) 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉, 430074; 2) 广西地质调查院, 南宁, 530023;
3) 广西地质矿产勘查开发局, 南宁, 530023; 4) 天津地质矿产研究所, 天津, 300170

内容提要:长坡—铜坑锡多金属矿位于广西大厂锡多金属矿田的西矿带, 层状矿体广泛发育, 但由于缺乏直接的成矿年龄数据, 其成因还存在较大争议。利用锡石原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 法对采自 92 号层状矿体的三个锡石样品进行年代学研究, 获得 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})-n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 等时线年龄为 $95.8 \pm 2.6 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 6.3$), 与通过石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法、透长石的激光原位 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法及石英 Rb - Sr 等时线法获得的年龄 ($91.4 \pm 2.9 \sim 94.52 \pm 0.33$) Ma 在误差范围内一致, 说明通过锡石原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 法定年在该类型矿床的年代学研究行之有效。同时, 通过年代学佐证了锡的成矿与龙箱盖岩体第二阶段侵位 ($96.6 \sim 93.86 \text{ Ma}$) 为同一时期, 认为成矿与岩浆作用关系密切。

关键词:锡石; LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄; 长坡—铜坑矿床

大厂锡多金属矿田位于桂北南丹县境内, 是国内外著名的超大型锡矿田, 同时伴生有铜、铅、锌、锑、钨、银等金属矿产及铟、镓、镉、硒等稀有元素。前人对矿床的研究已经取得了非常多的成果, 但对矿床成因的认识仍存在争议, 尤其是对矿田内层状矿体的成因认识存在三种分歧: ① 与燕山期花岗岩有关的岩浆热液矿床; ② 与泥盆纪海底火山作用有关的热液沉积矿床; ③ 早期是热水沉积, 晚期为燕山期热液改造。存在争议的一个重要原因就是缺少对直接成矿物质锡石的精确定年数据。随着 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 同位素定年手段的发展和进步, 使用锡石 U-Pb 同位素定年法对锡多金属矿床进行定年, 成为了最直接获得成矿年龄的方法。锡石作为主要的锡矿物之一, 属于四方晶系金红石族矿物, 结构性质比较稳定, 其晶格通常可容纳较高含量的 U 并且不易受到后期热液作用的影响, 因此, 锡石 U-Pb 定年是确定锡石矿床形成时间的理想手段, 其分析方法逐渐成熟, 且在其他地区得以成功运用(刘玉平等, 2007; 袁顺达, 2007; Yuan Shunda et al., 2008, 2011; 袁顺达等, 2010; 张东亮等, 2011; 李开文等, 2013; 马楠等, 2013; Zhang Dongliang et al.,

2014; Chen Xiaocui et al., 2014)。本文采用 LA-MC-ICP-MS 定年方法, 首次对大厂西矿带的铜坑锡多金属矿床 92 号层状矿体的锡石进行 U-Pb 定年, 在对区内层状矿体成矿时代进行精确厘定的基础上进一步探讨了矿床成因。

1 区域地质及矿床地质

矿床大地构造上位于江南古陆西南缘、右江盆地北东侧的次级盆地, 即(南)丹(河)池盆地内部。区内主要出露泥盆系一中三叠统海相碳酸盐岩—碎屑岩地层, 岩浆岩以燕山期中酸性侵入岩为主, 有少量中基性—基性岩。丹池成矿带严格受丹池盆地的控制, 锡多金属矿床分布于北西向盆地与北东向走滑断裂的交汇部位, 沿盆地中心呈北西—南东向的狭长带状展布, 自北西向南东依次分布芒场、大厂、北香、五圩等锡多金属矿田。矿床的空间分布具有明显的等距性, 与岩浆岩关系密切, 常围绕岩浆岩分布, 其侵位与成矿关系一直以来都是地质学者们关注的焦点(图 1)。其中矿田分西矿带、中矿带和东矿带。西矿带有长坡—铜坑、巴力、龙头山等锡多金属矿床, 中矿带有拉么铜锌矿床和茶山钨锑矿床, 东

注: 本文为广西自然科学基金科研专项“广西丹池盆地演化与成矿研究”(编号 2010GXNSFA013009)和 1: 5 万广西罗富地区矿产远景调查项目(编号 1212011085370)的成果。

收稿日期: 2014-06-16; 改回日期: 2015-05-04。责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2015.04.016

作者简介: 王新宇, 男, 1981 年生。博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: wangxy1981@sina.com。

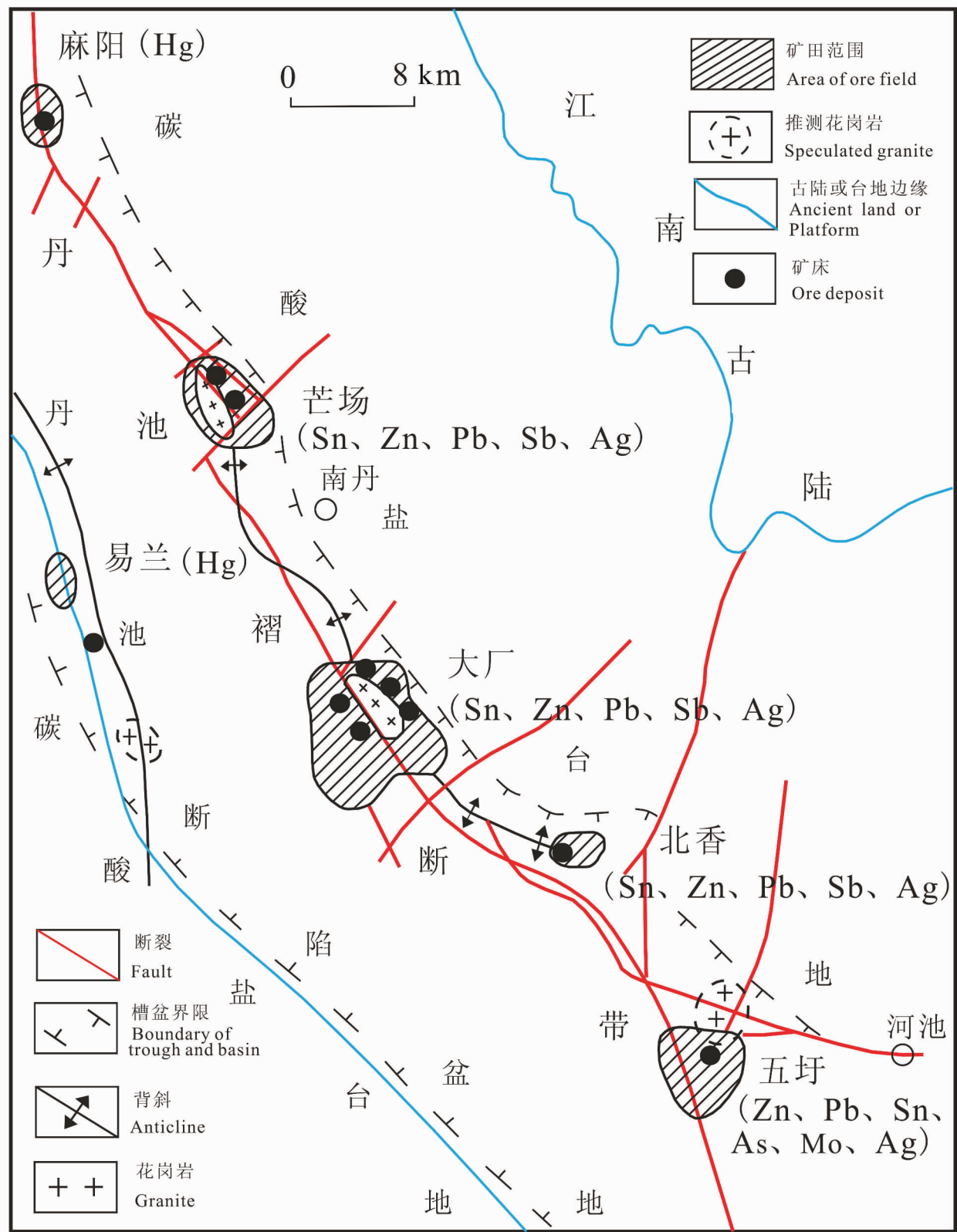


图 1 南丹—河池成矿带矿床分布图(引自梁婷,2008)

Fig. 1 A sketch showing mineral deposit in Nandan—Hechi metallogenic belt, Guangxi (after Liang Ting,2008)

矿带有大福楼、灰乐和亢马锡多金属矿床(图 2)。

矿田出露地层多为泥盆系和石炭系。中泥盆统罗富组为盆地相黑色泥岩夹泥灰岩,东部盆地边缘发育生物屑微晶灰岩。上泥盆统榴江组为盆地相深灰至灰黑色薄层状硅质岩,上泥盆统五指山组为盆地一台棚相条带状泥晶灰岩、扁豆状微晶灰岩;下石炭统鹿寨组为灰黑色页岩、泥岩夹碳质泥岩、砂岩。其中赋矿地层基本为泥盆系,赋矿层位为盆地相沉积。

构造线方向为北北西向,北北西向较紧密的斜歪褶皱与逆冲断层组成构造格架。北西向断裂主要有大厂断裂、丹池断裂和沿江断裂,三条断裂平行排列。矿田内部的主要褶皱有车河背斜、大厂背斜、鱼泉洞一八面山向斜和老菜园一宽洞向斜。

大厂矿田出露的岩浆岩既有侵入岩,也有喷出

岩。侵入岩主要分布在中矿带和西矿带,以岩脉、岩床和岩株产出,为浅成—超浅成岩体。岩石种类有黑云母花岗岩,黑云母花岗斑岩、闪长斑岩、石英斑岩、黑云斜长煌斑岩、辉绿玢岩等。龙箱盖岩体地表为南北走向的陡倾黑云母花岗斑岩脉,深部为呈三角形展布的岩株,主体岩石为细粒黑云母花岗岩和斑状黑云母花岗岩,接触带有不同程度的矽卡岩化、角岩化等蚀变。西矿带发育两条近南北向的岩脉,分别称“东岩墙”和“西岩墙”,“东岩墙”为花岗岩和花岗斑岩,“西岩墙”为石英闪长玢岩和辉绿玢岩(图 3)。喷出岩主要见于丹池盆地内部,多以凝灰岩的形式成层产出,产出层位有中泥盆统塘丁组、罗富组,上泥盆统榴江组,下石炭统鹿寨组,上二叠统领好组和中三叠统百蓬组等。火山作用规模较小,强度不大,表现为间歇性的喷发和少量溢出。

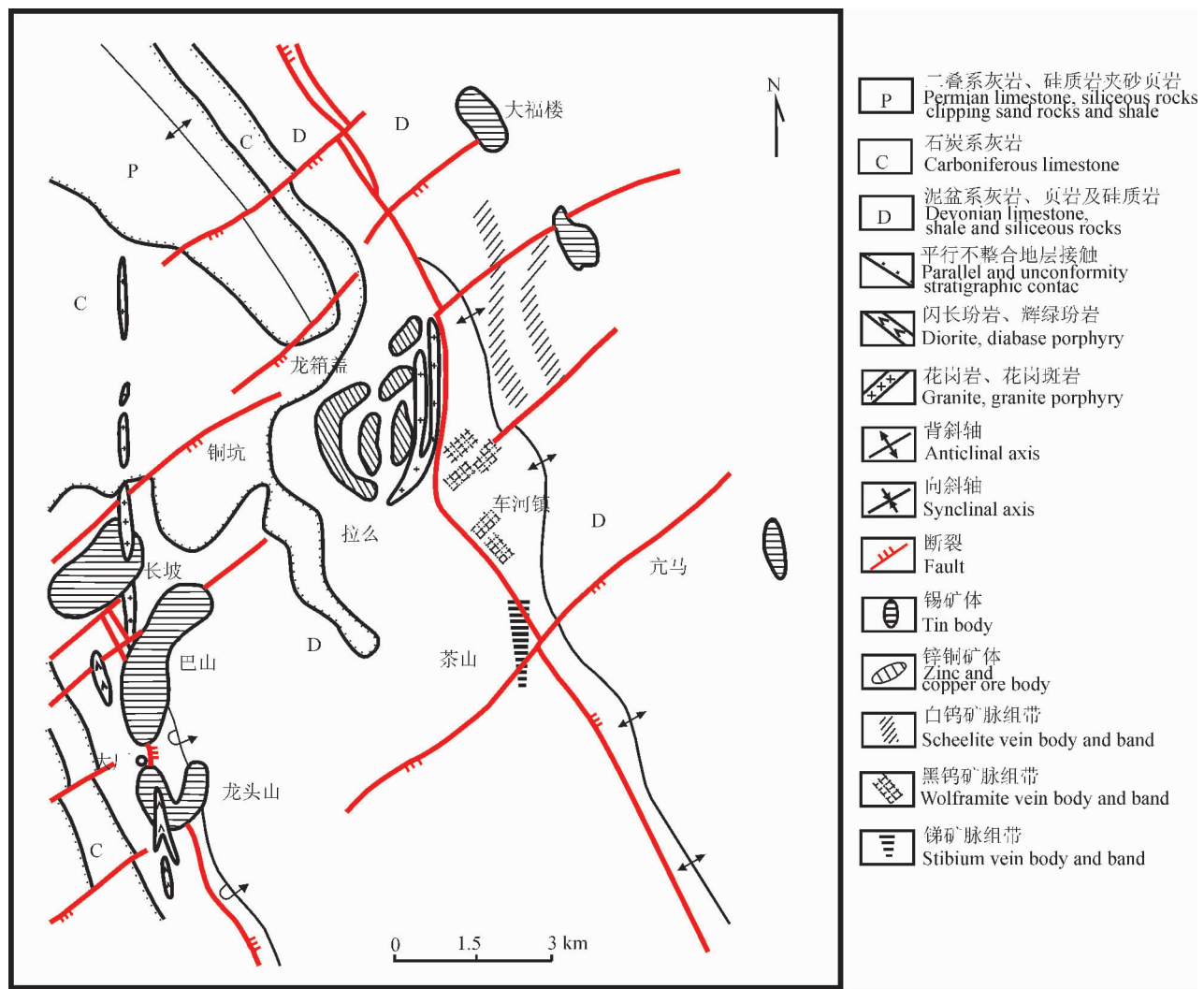


图 2 大厂矿田矿床分布简图(引自梁婷,2008)

Fig. 2 A sketch showing mineral deposit in Dachang orefield (after Liang Ting,2008)

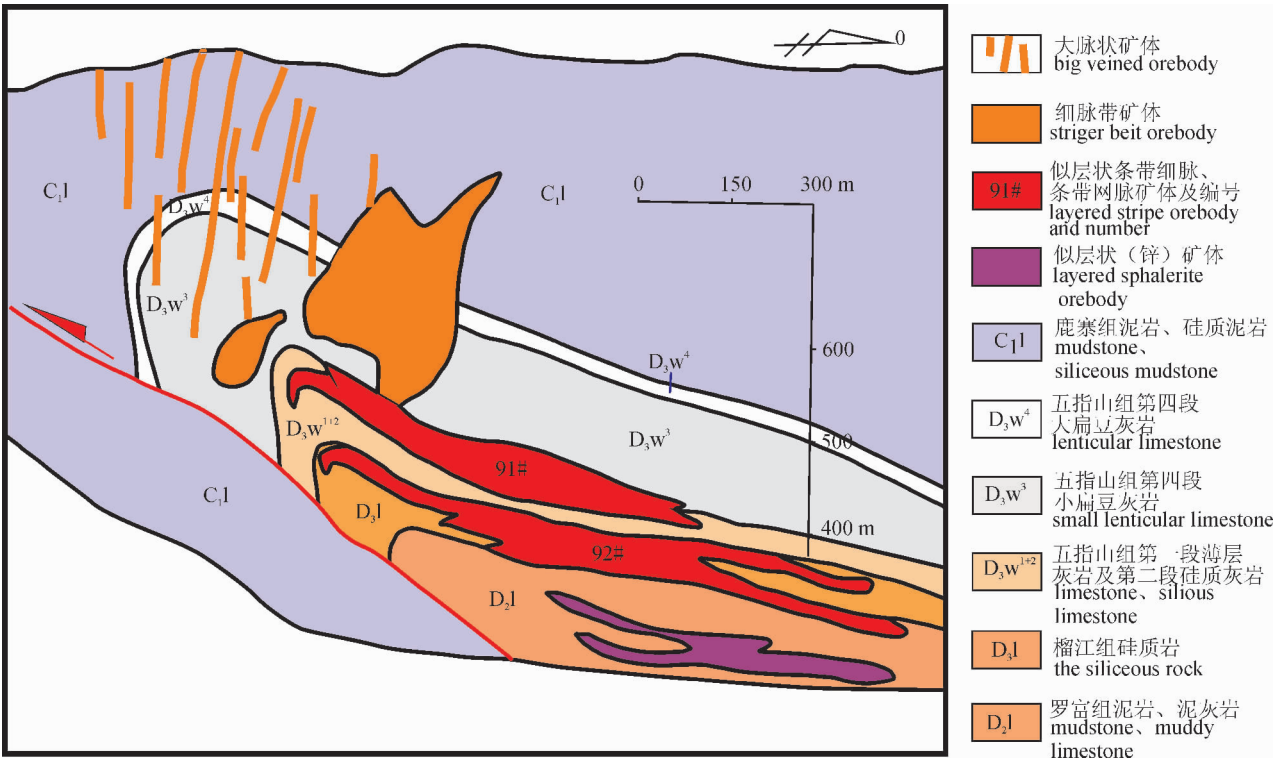


图 3 长坡—铜坑矿床矿体分布示意图(据矿山资料)
Fig. 3 A section showing orebodies in Changpo—Tongkeng mineral deposit (data from mine)

长坡—铜坑锡多金属矿床位于大厂矿田的西矿带北部,产于大厂背斜 NE 翼、大厂断裂(F1)的上盘,曾经被人为地分为长坡和铜坑两个矿床。韩发等(1997)将锡矿化分为两组四种类型:第一组为层状矿化(I类),主要由含锡石的各种不同成分的硫化物薄层组成;第二组为脉状矿化,其中又可分为三个类型:富含锡石角砾岩筒及其附近不规则的网脉状矿化(Ⅱ类);产于主矿体中不穿层的细脉状矿化(Ⅲ类);切穿不同地层单元的大脉型矿化(Ⅳ类)。矿化类型 I 及Ⅲ构成了长坡—铜坑矿床主要工业矿体,且前者品位略高于后者,说明层状矿化在长坡—铜坑矿床中占有重要地位。I 类型矿体主要由 91 号和 92 号两个矿体构成(图 3)。

92 号层状矿体:大厂矿田四大锡矿体之一,锡储量占本矿床的 53.6%,严格产于上泥盆统底部榴江组硅质岩中,由大量 NE 向微细脉、网脉和顺层矿化条带组成,矿体长 1130 m,向下延深 700 m,平均厚 26 m,Sn 平均品位 0.5% ±。这个矿体主要由含锡石的硫化物薄层,偶尔由锡石—石英薄层组成。这种含矿薄层与硅质岩互层产出,形成非常好的条带状构造(图 4)。本矿体中与锡石共生的硫化物以

黄铁矿为主,闪锌矿次之,磁黄铁矿较少,脉石矿物主要是石英,其次有电气石、绢云母及少量方解石。

91 号层状矿体:大厂矿田四大锡矿体之一,锡储量占本矿床的 27.1%。位于 92 号矿体之上的上泥盆统五指山组细条带状灰岩—硅质岩中,由大量 NE 向小裂隙脉和顺层矿化条带组成,矿体长 1030



图 4 长坡—铜坑矿床 92 号 405 中段矿体的条带状矿石
Fig. 4 Banded ore of the No. 92 orebody, 405 level in Changpo—Tongkeng deposit

m, 向下延深 250 m, 平均厚 16 m, 平均含 Sn 0.8% 左右。在五指山组不同岩性界面附近的顺层滑脱破碎带中分别产出有多条细脉带矿体, 产状及形态特征与 92 号矿体相似。

本文主要采集 92 号层状矿体的条带状构造中锡石进行成矿年代学研究。

2 样品及测试结果

2.1 样品特征及测试方法

长坡—铜坑锡多金属矿床中锡石含量均较高, 为了使得样品具有普遍性和可统计性, 本次研究的锡石矿物, 均选自长坡—铜坑 92 号矿体 405 中段不同位置的层状矿体的条带状矿石中, 我们采集了 3 个样品 Z-2、Z-3、Z-6, 采用常规重选法分选出重砂矿物, 然后在双目镜下挑选锡石单矿物, 选取粒度较大、裂隙和包裹体少见的颗粒制靶。在大量矿石光片显微镜下观察中发现 203 粒锡石晶体。锡石在单偏光下颜色具有不均一性, 可见呈灰白色、棕红色、褐黄色和褐黑色, 多为半自形的似四方长柱状、少量呈他形的椭圆—无规则状, 其原因是样品在选矿磨矿过程中锡石发生了机械破碎。粒度较为均一, 从 0.2 ~ 0.8 mm, 可见部分棕红色—黄褐色锡石具有明显的环带, 而灰白色和褐黑色锡石样品中不具备这个特征, 部分锡石具有少许裂开和表面溶蚀现象, 断口不平坦至次贝壳状 (图 5)。

锡石 U-Pb 同位素年代学分析在中国地质调查局天津地质矿产研究所完成, 所用仪器由 Thermo fisher Neptune 型多接收电感耦合等离子体质谱仪与 ESI UP193-FX ArF 准分子激光器激光剥蚀取样系统组成 (LA-MC-ICP-MS)。实验流程具体如下: 首先将锡石单矿物颗粒用双面胶粘在载玻片上, 放上 PVC 环, 然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中, 待树脂充分固化后将样品从载玻

片上剥离, 并对其进行抛光, 然后对靶上样品照反射光和透射光照片。根据锡石反射光和透射光照片选择裂隙少的锡石区域, 利用 193 nm FX 激光器对锡石进行剥蚀, 激光剥蚀的斑束为 75 μm , 能量密度为 11 J/cm², 频率为 20 Hz, 激光剥蚀物质以 He 为载体送入 Neptune (MC-ICP-MS), 利用动态变焦扩大色散使质量数相差很大的 U-Pb 同位素可以同时接收从而进行 U-Pb 同位素测定。我们采用实验室已经获得准确年龄的锡石作为测试外标 [$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ TIMS 年龄 158.2 $\pm$ 0.4 Ma] (Yuan Shunda, et al., 2011)。

另外, 根据不同时间和不同的仪器状态下用 LA-MC-ICP-MS 所测得的该锡石标样的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄加权平均值与用 TIMS 所测得的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄值的差距来计算 U-Pb 同位素分馏系数 K ; 其计算公式为:

$$K = t_1/t_2$$

式中: K 为用 LA-MC-ICP-MS 测定时的 U-Pb 同位素分馏系数; t_1 为用 LA-MC-ICP-MS 所测得的该锡石标样的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄加权平均值; t_2 为用 TIMS 所测得的该锡石标样的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄值。

未知样品的 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 数据校正计算公式为:

$$T = T_1/K$$

式中: T 为未知样品的 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 校正的值; T_1 为用 LA-MC-ICP-MS 测得的该未知样品的 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 数据值; K 为用 LA-MC-ICP-MS 测定时的 U-Pb 同位素分馏系数。

最终 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 校正数值 (T) 及测试 (转置) 得到的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 数值用于等时线年龄计算, 锡石 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ — $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 等时线年龄计算中的数据处理和作图采用 Isoplot 程

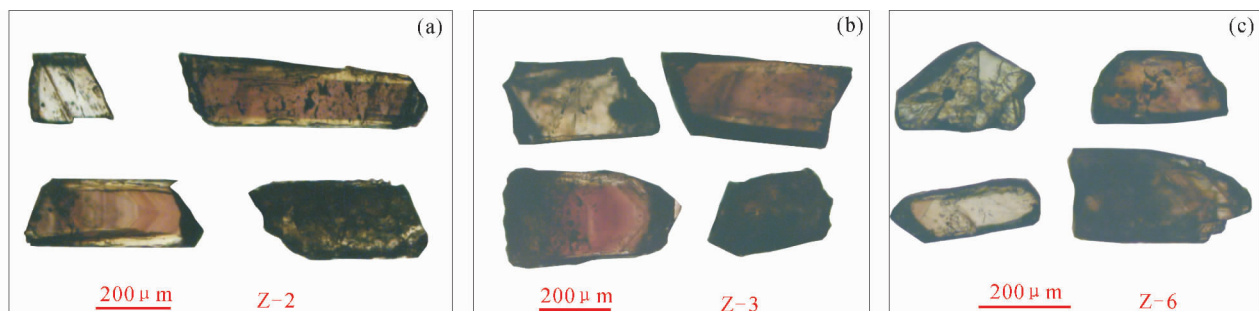


图 5 长坡—铜坑矿床 92 号矿体部分锡石样品透射光图像

Fig. 5 Transmission images of cassiterite from No. 92 body ore block of the Changpo—Tongkeng deposit

序 (Ludwig K R,1998) 进行分析。

2.2 测试结果及分析

Yuan Shunda et al. (2011) 的标样 AY-4 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄数据为 $158.2 \pm 0.4 \text{ Ma}$,本次测试时三组数据的标样 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄数据分别为 $128.1 \pm 2.2 \text{ Ma} (n = 12)$, $131.2 \pm 7.3 \text{ Ma} (n = 12)$, $127.8 \pm 7.9 \text{ Ma} (n = 12)$,与 TIMS 法测得的 $206\text{Pb}/238\text{U}$ 年龄数据结果偏差分别为 19.0% , 17.1% 和 19.2% ,均小于 20% ,在误差范围内一致。因此,本实验室建立的锡石微区原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素测年方法是可行的。标样的测定值与标准值的校正系数 K 为 $1.206 \sim 1.238$,平均校正系数为 1.216 。

对样品 Z-2 中 30 个点、Z-3 中 30 个点和 Z-6 中 30 个点进行 LA-MC-ICP-MS 原位 U-Pb 年龄测定,测试结果显示有 8 个点的 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})$ 和 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 数据误差均 $> 15\%$,可能是由于锡石中 U、Pb 含量较低,且放射性铅含量相对较少,在校正过程中可能会由于大量普通铅的扣除增加铅同位素数据误差值,为使得锡石测年数据可靠性,本文将其剔除,剩余 72 个样品见数据见表 1。经过 K 值校正,获得 $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb}) - n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$,结果可以拟合成一条较好的等时线(图 6),对应的等时线年龄为 $95.8 \pm 2.6 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 6.3$),代表了锡成矿年龄。

表 1 长坡—铜坑锡多金属矿锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄测试结果
Table 1 LA-MC-ICP-MS U-Pb ages of cassiterite from the Changpo – Tongkeng Tin – Polymetallic Orefield

测点	同位素比值							
	原始数据				校正或转置后数据			
	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb}) (T_1 \text{ 值})$		$n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb}) (T \text{ 值})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$	
	测值	± %	测值	± %	校正值	± %	转置值	± %
Z-2.1	0.833	0.228	2.890	1.870	2.377	1.870	1.200	0.228
Z-2.2	0.671	1.830	24.700	3.550	20.313	3.550	1.490	1.830
Z-2.3	0.787	0.494	8.560	1.920	7.040	1.920	1.270	0.494
Z-2.4	0.741	1.110	16.000	2.620	13.158	2.620	1.350	1.110
Z-2.5	0.444	11.600	86.400	11.700	71.053	11.700	2.250	11.600
Z-2.6	0.769	0.894	9.210	2.270	7.574	2.270	1.300	0.894
Z-2.7	0.775	0.484	10.300	2.970	8.470	2.970	1.290	0.484
Z-2.8	0.599	2.390	35.000	3.460	28.783	3.460	1.670	2.390
Z-2.9	0.82	2.160	5.440	7.340	4.474	7.340	1.220	2.160
Z-2.10	0.719	0.384	18.400	0.505	15.132	0.505	1.390	0.384
Z-2.11	0.725	0.705	17.900	1.920	14.721	1.920	1.380	0.705
Z-2.12	0.676	4.060	24.900	11.400	20.477	11.400	1.480	4.060
Z-2.13	0.337	14.400	153.000	17.700	125.824	17.700	2.970	14.400
Z-2.14	0.82	0.317	4.620	3.380	3.799	3.380	1.220	0.317
Z-2.15	0.714	1.170	18.400	2.540	15.132	2.540	1.400	1.170
Z-2.16	0.483	7.890	68.500	16.100	56.333	16.100	2.070	7.890
Z-2.17	0.8	0.396	7.230	5.310	5.946	5.310	1.250	0.396
Z-2.18	0.719	0.907	21.400	4.410	17.599	4.410	1.390	0.907
Z-2.19	0.8	0.432	7.070	6.200	5.814	6.200	1.250	0.432
Z-2.21	0.474	2.580	72.900	3.440	59.951	3.440	2.110	2.580
Z-2.23	0.625	2.140	31.500	4.560	25.905	4.560	1.600	2.140
Z-2.25	0.769	0.445	11.200	0.777	9.211	0.777	1.300	0.445
Z-2.26	0.806	0.334	5.990	1.730	4.926	1.730	1.240	0.334
Z-2.27	0.826	0.216	3.420	1.650	2.813	1.650	1.210	0.216
Z-2.28	0.8	0.401	7.000	3.650	5.757	3.650	1.250	0.401
Z-2.29	0.769	0.838	10.700	2.730	8.799	2.730	1.300	0.838
Z-2.30	0.725	1.080	15.800	3.760	12.994	3.760	1.380	1.080
Z-3.1	0.758	0.609	12.400	2.830	10.197	2.830	1.320	0.609
Z-3.2	0.847	0.232	1.870	2.400	1.538	2.400	1.180	0.232
Z-3.3	0.621	1.480	34.700	2.920	28.536	2.920	1.610	1.480
Z-3.4	0.806	0.829	5.300	3.100	4.359	3.100	1.240	0.829
Z-3.5	0.709	0.986	22.700	2.400	18.668	2.400	1.410	0.986

测点	同位素比值							
	原始数据				校正或转置后数据			
	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})(T_1\text{ 值})$		$n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb})(T\text{ 值})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$	
	测值	± %	测值	± %	校正值	± %	转置值	± %
Z-3. 6	0. 685	1. 220	24. 800	3. 620	20. 395	3. 620	1. 460	1. 220
Z-3. 7	0. 826	0. 203	3. 220	0. 896	2. 648	0. 896	1. 210	0. 203
Z-3. 8	0. 685	2. 100	24. 100	2. 350	19. 819	2. 350	1. 460	2. 100
Z-3. 9	0. 84	0. 304	2. 270	3. 130	1. 867	3. 130	1. 190	0. 304
Z-3. 10	0. 735	3. 670	11. 600	18. 600	9. 540	18. 600	1. 360	3. 670
Z-3. 11	0. 348	10. 600	156. 000	16. 200	128. 291	16. 200	2. 870	10. 600
Z-3. 12	0. 694	1. 880	21. 400	3. 290	17. 599	3. 290	1. 440	1. 880
Z-3. 13	0. 833	1. 340	4. 500	4. 840	3. 701	4. 840	1. 200	1. 340
Z-3. 14	0. 781	1. 870	4. 700	3. 420	3. 865	3. 420	1. 280	1. 870
Z-3. 15	0. 613	2. 230	42. 400	7. 180	34. 869	7. 180	1. 630	2. 230
Z-3. 16	0. 654	2. 600	29. 300	4. 200	24. 096	4. 200	1. 530	2. 600
Z-3. 17	0. 667	2. 380	25. 200	7. 140	20. 724	7. 140	1. 500	2. 380
Z-3. 18	0. 8	5. 140	10. 400	15. 100	8. 553	15. 100	1. 250	5. 140
Z-3. 20	0. 775	0. 987	10. 600	4. 090	8. 717	4. 090	1. 290	0. 987
Z-3. 21	0. 719	2. 110	14. 800	5. 770	12. 171	5. 770	1. 390	2. 110
Z-3. 22	0. 833	0. 336	2. 630	2. 230	2. 163	2. 230	1. 200	0. 336
Z-3. 23	0. 735	0. 653	16. 100	1. 340	13. 240	1. 340	1. 360	0. 653
Z-3. 24	0. 714	3. 120	11. 800	13. 900	9. 704	13. 900	1. 400	3. 120
Z-3. 25	0. 813	0. 465	4. 020	1. 350	3. 306	1. 350	1. 230	0. 465
Z-3. 26	0. 82	0. 255	4. 560	2. 290	3. 750	2. 290	1. 220	0. 255
Z-3. 27	0. 704	0. 923	19. 500	1. 200	16. 036	1. 200	1. 420	0. 923
Z-3. 29	0. 746	3. 110	9. 930	6. 650	8. 166	6. 650	1. 340	3. 110
Z-3. 30	0. 521	9. 300	55. 000	13. 400	45. 231	13. 400	1. 920	9. 300
Z-6. 1	0. 701	1. 127	22. 906	2. 971	18. 837	2. 971	1. 426	1. 127
Z-6. 3	0. 524	2. 400	61. 400	6. 020	50. 494	6. 020	1. 910	2. 400
Z-6. 4	0. 465	1. 920	81. 700	3. 620	67. 188	3. 620	2. 150	1. 920
Z-6. 5	0. 694	0. 482	23. 600	1. 040	19. 408	1. 040	1. 440	0. 482
Z-6. 6	0. 8	0. 226	7. 100	3. 040	5. 839	3. 040	1. 250	0. 226
Z-6. 7	0. 735	2. 020	12. 500	3. 240	10. 280	3. 240	1. 360	2. 020
Z-6. 9	0. 662	1. 370	28. 800	3. 040	23. 684	3. 040	1. 510	1. 370
Z-6. 10	0. 855	0. 035	0. 483	2. 420	0. 397	2. 420	1. 170	0. 035
Z-6. 11	0. 794	0. 413	8. 280	3. 510	6. 809	3. 510	1. 260	0. 413
Z-6. 12	0. 821	0. 331	4. 274	1. 145	3. 515	1. 145	1. 218	0. 331
Z-6. 13	0. 448	6. 340	83. 600	9. 640	68. 751	9. 640	2. 230	6. 340
Z-6. 14	0. 746	1. 340	15. 100	2. 620	12. 418	2. 620	1. 340	1. 340
Z-6. 15	0. 259	11. 700	230. 000	16. 200	189. 147	16. 200	3. 860	11. 700
Z-6. 16	0. 833	0. 116	2. 140	2. 820	1. 760	2. 820	1. 200	0. 116
Z-6. 17	0. 8	0. 460	5. 730	3. 160	4. 712	3. 160	1. 250	0. 460
Z-6. 18	0. 8	0. 434	6. 870	1. 670	5. 650	1. 670	1. 250	0. 434
Z-6. 19	0. 775	1. 240	11. 300	2. 410	9. 293	2. 410	1. 290	1. 240
Z-6. 20	0. 714	1. 780	15. 700	2. 240	12. 911	2. 240	1. 400	1. 780
Z-6. 21	0. 855	0. 146	0. 510	3. 390	0. 419	3. 390	1. 170	0. 146
Z-6. 22	0. 565	1. 310	49. 300	2. 480	40. 543	2. 480	1. 770	1. 310
Z-6. 23	0. 855	0. 025	0. 506	3. 480	0. 416	3. 480	1. 170	0. 025
Z-6. 25	0. 515	1. 580	63. 800	2. 790	52. 468	2. 790	1. 940	1. 580
Z-6. 26	0. 847	0. 152	1. 190	9. 350	0. 979	9. 350	1. 180	0. 152
Z-6. 27	0. 662	0. 857	28. 700	2. 380	23. 602	2. 380	1. 510	0. 857
Z-6. 28	0. 538	2. 570	52. 700	3. 240	43. 339	3. 240	1. 860	2. 570
Z-6. 29	0. 735	1. 910	17. 700	4. 960	14. 556	4. 960	1. 360	1. 910
Z-6. 30	0. 722	0. 947	18. 148	2. 395	14. 924	2. 395	1. 385	0. 947

注:校正系数 K 值采用平均校正系数 1. 216 计算,校正值为通过公式 $T = T_1/K$ 计算。

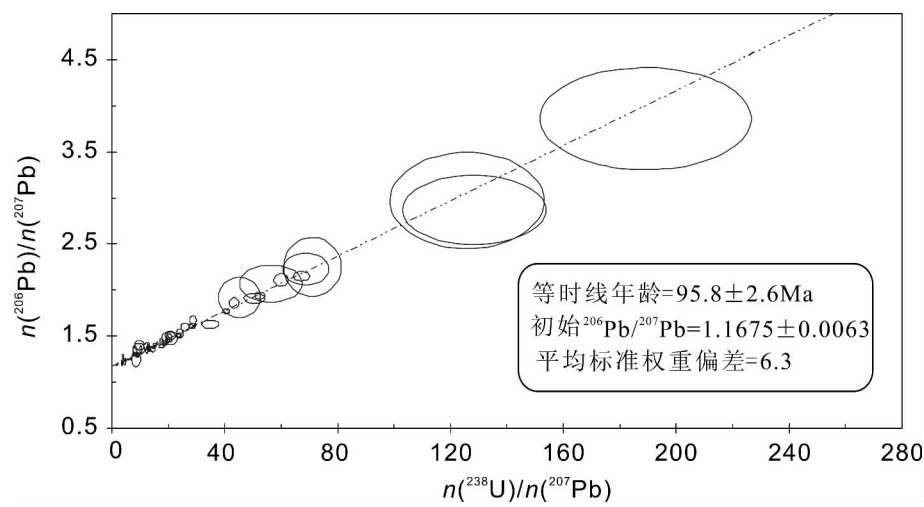


图 6 广西大厂长坡—铜坑锡多金属矿
锡石 U-Pb 年龄等时线图

Fig. 6 U-Pb Concordia diagram for cassiterite from the Changpo—Tongkeng Tin—Polymetallic deposit, Dachang Orefield

同时,在非超高温热液条件下,锡石 U-Pb 法是一种准确厘定锡矿床成矿年龄的有效方法(刘玉平等,2007;袁顺达,2007;Yuan Shunda et al.,2008,2011;袁顺达等,2010;张东亮等,2011)。流体包裹体研究显示,长坡—铜坑矿床成矿期矿物包裹体均一温度为 140 ~ 540℃,主要锡石沉淀期为 270 ~ 365℃(李荫清等,1989;蔡明海等,2005)。该矿床锡石样品粒度较小多为 0.2 ~ 0.8 mm 级别,根据张东亮等(2011)的研究,0.1 ~ 1 mm 级别锡石封闭温度为 600 ~ 800℃,说明该矿床锡石在形成过程中,热液活动温度未超过其封闭温度。因此,综合分析认为,本次数据可靠。

3 讨论

铜坑锡多金属矿床 92 号层状矿体的锡石 U-Pb 定年结果表明,其形成年龄为 95.8 Ma,是燕山晚期成矿作用的产物。

前人对西矿带长坡—铜坑矿床已经进行了一系列的研究,王登红等(2004)等获得 91 号层状矿体石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 94.52 ± 0.33 Ma,透长石的激光原位 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄 91.4 ± 2.9 Ma;蔡明海等(2006)获得 92 号层状矿体石英 Rb - Sr 等时线年龄 93.4 ± 7.9 Ma;上述成矿年龄与本次通过锡石原位测年等时线年龄 95.8 ± 2.6 Ma 在误差范围内基本一致,说明长坡—铜坑矿床层状矿体成矿时代为燕山晚期。

近年来很多学者对大厂矿田内其它矿床也行了年代学研究。王登红等(2004)得到了龙头山 100 号块状矿体石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 94.56 ± 0.45 Ma。蔡明海等(2005)获得东矿带亢马脉状矿体石英 Rb - Sr 等时线年龄 94.1 ± 2.7 Ma;李华芹等(2008)获得拉么锌铜矿 530 m 中段水平坑道内 Zn—Cu 矿石中石英 Rb - Sr 等时线年龄为 98.6 ± 5.8 Ma。表明大厂锡矿田内不同矿床及不同产状矿体的成矿年龄介于 94 ~ 98 Ma 之间,均属燕山晚期成矿。

前人对本区出露的花岗岩开展过大量年代学研究工作,证明本区侵入岩具有多期次特征,侵入年龄在 138.60 ~ 72 Ma 之间(陈毓川,1964;陈毓川等,1985;张平,1983;叶绪孙,1985;梁珍庭等,1985;韩发等,1997;蔡明海等,2006;梁婷等,2011);梁婷等(2011)认为与本矿床有关的笼箱盖复式岩体分为三个阶段,与成矿相关为第二阶段(96.6 ~ 93.86 Ma)。这与本次研究结果及区域上不同矿床的成矿年龄基本同时,表明大厂锡矿田成矿作用可能与 96.6 ~ 93.86 Ma 侵入的花岗岩有关。

4 结论

- (1) 长坡—铜坑锡多金属矿床成矿年龄为 95.8 ± 2.6 Ma,是燕山晚期的产物。
- (2) 本区第二阶段的花岗岩侵位时代与锡多金属矿床的形成具有同时性,锡矿床的形成应该与这一阶段的岩浆活动有关。

致谢:中国地质大学(武汉)杜远生教授对本文提供了宝贵修改意见,特此致谢。

参 考 文 献 / References

蔡明海,毛景文,梁婷,黄惠兰. 2005. 大厂锡多金属矿田铜坑—长坡矿床流体包裹体研究. 矿床地质, 24 (3): 228 ~ 241.
蔡明海,何龙清,刘国庆,吴德成,黄惠明. 2006. 广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义. 地质论评, 52 (3): 309 ~ 413.
陈毓川,黄民智,徐钰,艾永德,李祥明,唐绍华,孟令库. 1985. 大厂锡石—硫化物多金属矿带地质特征及成矿系列. 地质学报, 59

(3):228~240.

陈毓川. 1964. 一个锡石多金属矿带中闪锌矿的成矿期与成矿特征. 地质论评, 22 (2): 111~128.

韩发等. 1997. 大厂锡多金属矿床地质及成因. 北京: 地质出版社, 65~157.

李华芹, 王登红, 梅玉萍, 梁婷, 陈振宇, 郭春丽, 应立娟. 2008. 广西大厂拉么锌铜多金属矿床成岩成矿作用年代学研究. 地质学报, 82 (7): 912~920.

李开文, 张乾, 王大鹏, 蔡伊, 刘玉平. 2013. 云南蒙自白牛厂多金属矿床锡石原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年代学. 矿物学报, 33 (2): 523~529.

李荫清, 陈伟十. 1989. 大厂锡矿的成矿流体. 岩石学报, 1989 (3): 12~24.

梁婷, 王登红, 侯可军, 李华芹, 黄惠明, 蔡明海, 王东明. 2011. 广西大厂笼箱盖复式岩体的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报, 27 (6): 1624~1636.

梁婷. 2008. 广西大厂长坡—铜坑锡多金属矿床成矿机制. 导师: 陈毓川. 长安大学博士学位论文.

梁珍庭, 苏登华. 1985. 广西大厂锡矿田成矿模式. 广西地质, 2 (1): 1~11.

刘玉平, 李正祥, 李惠民, 郭利果, 徐伟, 叶霖, 李朝阳, 皮道会. 2007. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学: 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩—成矿事件. 岩石学报, 23 (5): 967~976.

马楠, 邓军, 王庆飞, 王长明, 张静, 李龚健. 2013. 云南腾冲大松坡锡矿成矿年代学研究: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄和锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄证据. 岩石学报, 29 (4): 1223~1235.

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. 地质学报, 78 (1): 132~138.

叶绪孙. 1985. 大厂锡多金属矿田成矿规律与成矿预测. 地质与勘探, (5): 1~7.

袁顺达, 李惠民, 郝爽, 耿建珍, 张东亮. 2010. 湘南芙蓉超大型锡矿锡石原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 测年及其意义. 矿床地质, 29 (Z): 543~544.

袁顺达. 2007. 香花岭锡多金属矿床同位素年代学及地球化学. 导师: 胡瑞忠, 彭建堂. 中国科学院研究生院博士学位论文.

张东亮, 彭建堂, 胡瑞忠, 袁顺达, 郑德顺. 2011. 锡石 U-Pb 同位素体系的封闭性及其测年的可靠性分析. 地质论评, 57 (4): 549~554.

张平. 1983. 长坡锡矿成矿规律与隐伏矿体的找矿与勘探. 地质与勘探, (3): 30~34.

Chen Xiaocui, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Li Huimin, Lan Jianbo, Zhao Chenghai and Zhu Jingjing. 2014. Cassiterite LA-MC-ICP-MS U/Pb and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of tin deposits in the Tengchong—Lianghe tin district, NW Yunnan, China. Miner Deposita, 49 (7): 843~860.

Ludwig K R. 1998. On the treatment of concordant uranium—lead ages. Geochimica et Cosmochimica Acta, 62 (4): 665~676.

Yuan Shunda, Peng Jiantang, Hao Shuang, Li Huimin, Geng Jianzhen and Zhang Dongliang. 2011. Insitu LA-MC-ICP-MS and ID-TIMS U-Pb geochronology of cassiterite in the giant Furong tin deposit, Hunan Province, South China: New constraints on the timing of tin—polymetallic mineralization. Ore Geology Reviews, 43 (1): 235~242.

Yuan Shunda, Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Li Huimin, Shen Nengping and Zhang Dongliang. 2008. A precise U-Pb age on cassiterite from the Xianghualing tin—polymetallic deposit (Hunan, South China). Mineralium Deposita, 43 (4): 375~382.

Zhang Dongliang, Peng Jiantan, Coulson L M, Hou Linhui and Li Shijie. 2014. Cassiterite U-Pb and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints on the timing of mineralization in the Xuebaoding Sn—W—Be deposit, western China. Ore Geology Reviews, 62: 315~322.

In-situ LA-MC-ICPMS U-Pb Geochronology of Cassiterite from Changpo—Tongkeng Tin—Polymetallic Deposits , Dachang Orefield, Guangxi

WANG Xinyu^{1,2)}, HUANG Hongwei³⁾, CHEN Nengsong¹⁾, HUANG Xiqiang^{1,2)},
WU Xiangke²⁾, HAO Shuang⁴⁾, LI Huimin⁴⁾

- 1) School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;
2) Guangxi Geological Survey, Nanning, 530023;
3) Guangxi Bureau of Geology, Mineral Prospecting and Exploitation, Nanning, 530023;
4) Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin, 300170

Abstract: The Changpo—Tongkeng Tin—Polymetallic Deposits is located on the west deposits belt of Dachang Tin—Polymetallic Orefield in Guangxi Province. The layered orebodies have a wide spread. However, there are some major debates on their origin due to the lack of direct studies on their metalogenic ages. Data from U-Pb LA-MC-ICP-MS analysis of three cassiterites from layered Orebody #92 show that the $n(^{238}\text{U})/n(^{207}\text{Pb}) - n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ isochronage of $95.8 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (MSWD = 6.3), is consistent with the dating results of quartz $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, sanidine in-situ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, and quartz Rb-Sr ($91.4 \pm 2.9 \sim 94.52 \pm 0.33 \text{ Ma}$). This indicates that the in-situ U-Pb LA-MC-ICP-MS analysis of cassiterites is plausible and effective. We chronological approach, it is suggested that the ore-forming of this ore body is coeval with second intrusion of Longxianggai Terrace ($96.6 \sim 93.86 \text{ Ma}$), and that the genesis of the deposit is closely associated with magmatism.

Keywords: Cassiterite; LA-MC-ICPMS; U-Pb Geochronology; Changpo—Tongkeng deposit