

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

南岭东段龙源坝复式岩体 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

张敏¹⁾, 陈培荣¹⁾, 黄国龙²⁾, 谭正中²⁾, 凌洪飞¹⁾, 陈卫锋¹⁾

1) 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 210093

2) 核工业 290 研究所, 广东韶关, 512026

内容提要: 龙源坝岩体是南岭花岗岩体群的一个重要组成部分, 位于南岭东段, 研究程度十分薄弱, 至今未见可靠的同位素年龄报道。本文在运用阴极发光技术对岩体中的锆石进行细致的内部结构分析的基础上, 利用 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年方法进行了同位素年龄测定。结果表明, 龙源坝岩体是一个印支期—燕山期多期次岩浆侵入形成的复式岩体, 其中主体形成于印支期, 尤其是印支早期。印支早期花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 241.0 ± 5.9 Ma 和 241.0 ± 1.3 Ma (两个样品), 印支晚期花岗岩为 210.9 ± 3.8 Ma, 燕山期正长岩为 149.4 ± 1.2 Ma。龙源坝岩体在时代和成因上不同于其东侧的陂头岩体, 但相同于北侧的诸广山岩体有亲缘关系, 因此在探讨该区的铀成矿前景时, 应把诸广山与龙源坝两岩体整合起来考虑, 并加强对龙源坝岩体的铀矿找矿工作。

关键词: La-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 印支期花岗岩; 南岭东段

中生代时期, 华南先后经历了两大构造运动—印支运动和燕山运动(陈培荣等, 2004)。尤其印支运动, 把印支、华南和华北地块连成一体, 形成了统一的东亚大陆(Carter et al., 2001), 是中国东部地壳构造发展史上一个重大的转折点(任纪舜等, 1997)。华南的这两大构造运动在南岭地区形成了大面积分布的花岗岩类和丰富的矿产资源(华仁民等, 2003), 引起了国内外地质学家的关注, 取得了许多重要研究成果。

龙源坝岩体(在铀矿地质界常称其为青嶂山岩体), 是南岭地区大范围的花岗岩体群的重要组成部分, 但一直以来对其研究比较薄弱。尤其在对该岩体的年代学研究上, 缺少令人信服的数据。江西省 608 地质队^①曾在龙源坝岩体的澄江圩附近取样测定其 K-Ar 年龄为 185Ma, 广东省区调队在龙源坝岩体中段做过 K-Ar 年龄测定, 年龄值为 177Ma(广东省地质矿产局, 1982)。笔者在前人研究工作基础上, 针对研究上的薄弱环节, 运用先进的同位素年代学测定技术, 对龙源坝岩体进行新的同位素年代学研究, 以期丰富对南岭地质和矿产的研究成果, 特别是对评价印支运动对华南的影响和印支期花岗岩与铀成矿关系提供更多证据。

1 地质概况

龙源坝岩体, 一直被作为燕山期陂头岩体的组成部分^②, 而实际上与所谓的陂头岩体并没有连成一体, 其间被新元古代和古生代地层隔开。龙源坝岩体是一个多期次侵入的复式岩体, 呈岩基状产出, 出露面积近 500km²(图 1)。在地理位置上, 龙源坝岩体位于江西省全南县的龙源坝一带, 坐标大致为 E114°13'~E114°31', N24°46'~N25°06', 属南岭花岗岩带的北带, 九嶷山—诸广山—仙游岩带东段的组成部分(广东省地质矿产局, 1982)。在大地构造位置上, 龙源坝岩体位于华夏古陆西南缘, 处于闽、赣后加里东隆起上, 毗邻湘、桂、粤北海西—印支拗陷带(图 1)。

该岩体与围岩呈侵入接触, 在东部侵入震旦纪地层, 围岩多属砂泥质岩石; 南侧大多数与泥盆纪至二叠纪的地层侵入接触, 围岩主要为碎屑岩类及碳酸盐岩; 西侧主要侵入于寒武纪至志留纪的砂泥质岩石, 包括少量泥盆纪至二叠纪地层的碎屑岩类和碳酸盐岩。被侵入的地层接触变质作用强烈, 热变质带宽达 100~2000m。岩体内部断裂构造发育, 其中岩体北部被一组 NE 方向的大断裂所穿过, 南部

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40372036)的成果。

收稿日期: 2005-12-19; 改回日期: 2006-03-14; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 张敏, 男, 1979 年生, 博士生。主要从事花岗岩岩石地球化学和铀矿床学研究。通讯作者: 陈培荣, 教授, Email: prchen@nju.edu.cn。

则发育众多的 NE 方向和 EW 向的小型断裂。

2 样品采集和分析方法

龙源坝复式岩体,除了中部有两个石英正长岩小岩体侵入外,基本上均由黑云母二长花岗岩体构成,而在粒度则呈现有规律的变化,据野外观察,各期次花岗岩体的中心相均为中粗粒似斑状黑云母花岗岩,过渡相为中粒黑云母花岗岩,边缘相为细粒黑云母花岗岩。本文所选的 4 个测年样品为 YQ-10、YQ-42、YQ-57 和 YQ-58,它们的采集地点如图 1 所示,均为原地花岗岩风化砂样(即花岗岩石的原地风化物,但外形上仍保留了原岩的结构特征),风化砂样的 YQ-10、YQ-42 和 YQ-58 的原岩均为中粒黑云母二长花岗岩,主要矿物组成为斜长石+石英+碱性长石+黑云母;YQ-58 的原岩为石英正长岩,主要矿物组成为正长石+石英+黑云母。它们的副矿物都主要为锆石、磷灰石等;次生矿物有绿泥石、绢云母等。

采样时,先小心除去风化体表面的堆积层,以避

免外来的锆石混染,再采集下面新露出的半固结风化样,经淘洗分离出锆石。然后,在双目镜下挑出不同晶形、不同颜色的锆石约 50 颗。锆石样品靶的制备与 SHRIMP 定年的锆石样品制备方法基本相同(宋彪等,2002)。在开始锆石 U-Pb 分析前,先进行阴极发光(CL)图像分析,以确定锆石颗粒的内部结构。锆石阴极发光图像在中国科学院地质与地球物理研究所的 Cameca 电子探针仪器上完成,分析电压为 50kV,电流为 15nA。

本文 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年是在西北大学大陆动力学教育部重点实验室进行。将 193 nm 的 ArF 准分子激光与 Elan 6100 DRC 型 ICP-MS 仪器相接。激光斑束直径可在 30 和 40 μ m 之间切换,单脉冲能量可达 210 mJ,最高重复频率 20 Hz,平均功率 4W。经光学系统匀光和聚焦,能量密度 > 28 J/cm²。当样品或矿物较容易剥蚀时可通过降低激光高压或者调节衰减器来降低能量密度。采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式(peak jumping)。有关仪器分析的空白情况、

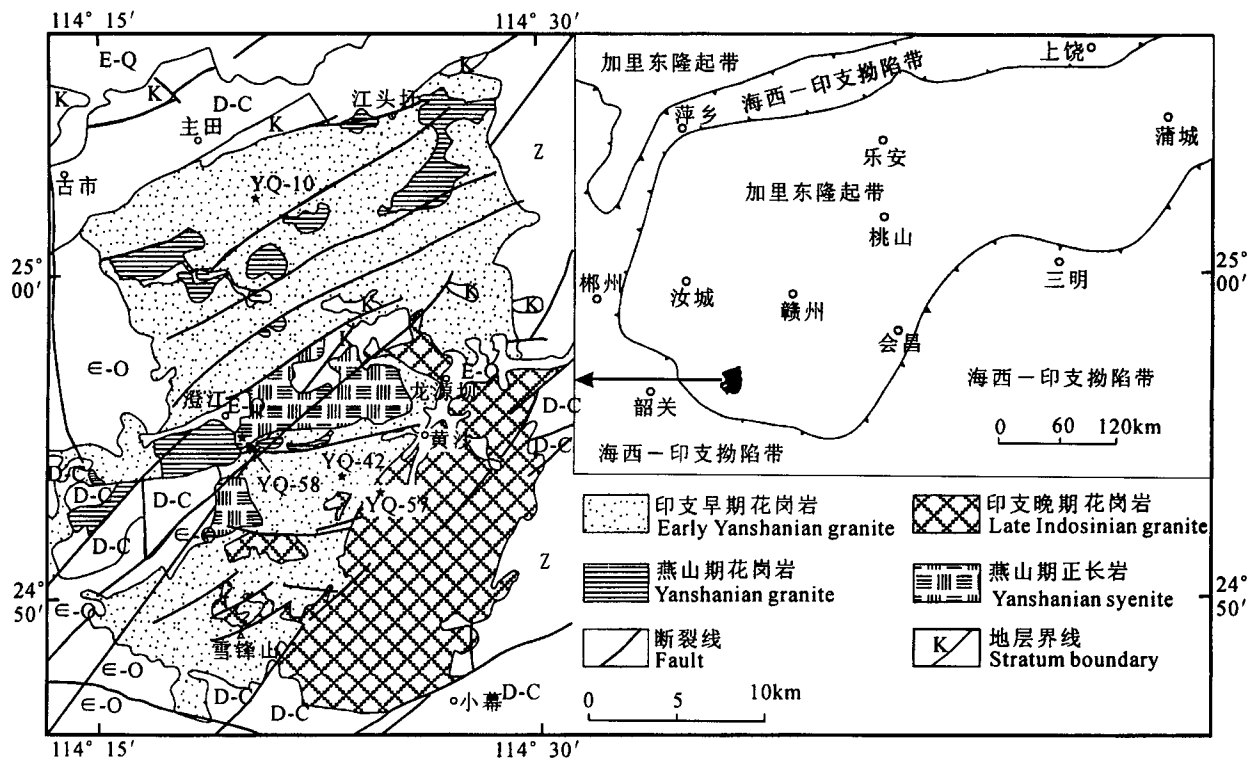


图 1 龙源坝复式岩体地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of Longyuanba pluton

岩体边界据江西省 608 地质队^①修改,岩体期次划分据本文定年结果

The boundaries between plutons are modified from No. 608 geological term of Jiangxi province^①, and the periods of plutons are based on the dating results of the paper

检出限的定量分析结果见文献(Gao et al., 2002)。

锆石 U-Pb 年龄的测定采用国际标准锆石 91500 作为外标校正,每隔 5 个样品分析点测一次标准,保证标准和样品的仪器条件完全一致。应用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参与物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化,在 20 次锆石的分析前后各测 2 次 NIST SRM610,以 Si 做内标,测定锆石中 U、Th 和 Pb 的含量,使仪器达到最高的灵敏度、最小的氧化物产率、最低的背景值和稳定的信号。应用 RSES 参考锆石 TEM (417Ma) 进行元素分馏校正,并采用 91500 (1064Ma) 标准锆石外部校正法进行锆石原位 U-Pb

分析。样品测试过程中, ^{204}Pb 信号较低,基本与背景值相当,而 ^{206}Pb 和 ^{207}Pb 的信号比扣除背景后的 ^{204}Pb 信号要高出几个数量级,因而未作普通 Pb 的校正,详细的测试方法及仪器参数可参考文献(袁洪林等,2003)。每个锆石微区原位测试点的同位素比值和 U-Pb 年龄由专用的 GLITTER (ver4.0, Macquarie University) 软件计算,加权平均年龄及谐和图的绘制采用 Isoplot 2.49a 完成(Ludwig, 1991)。

3 测试结果

3.1 锆石阴极发光(CL)图像特征

在经历了复杂地质演化历史地区,花岗岩中锆

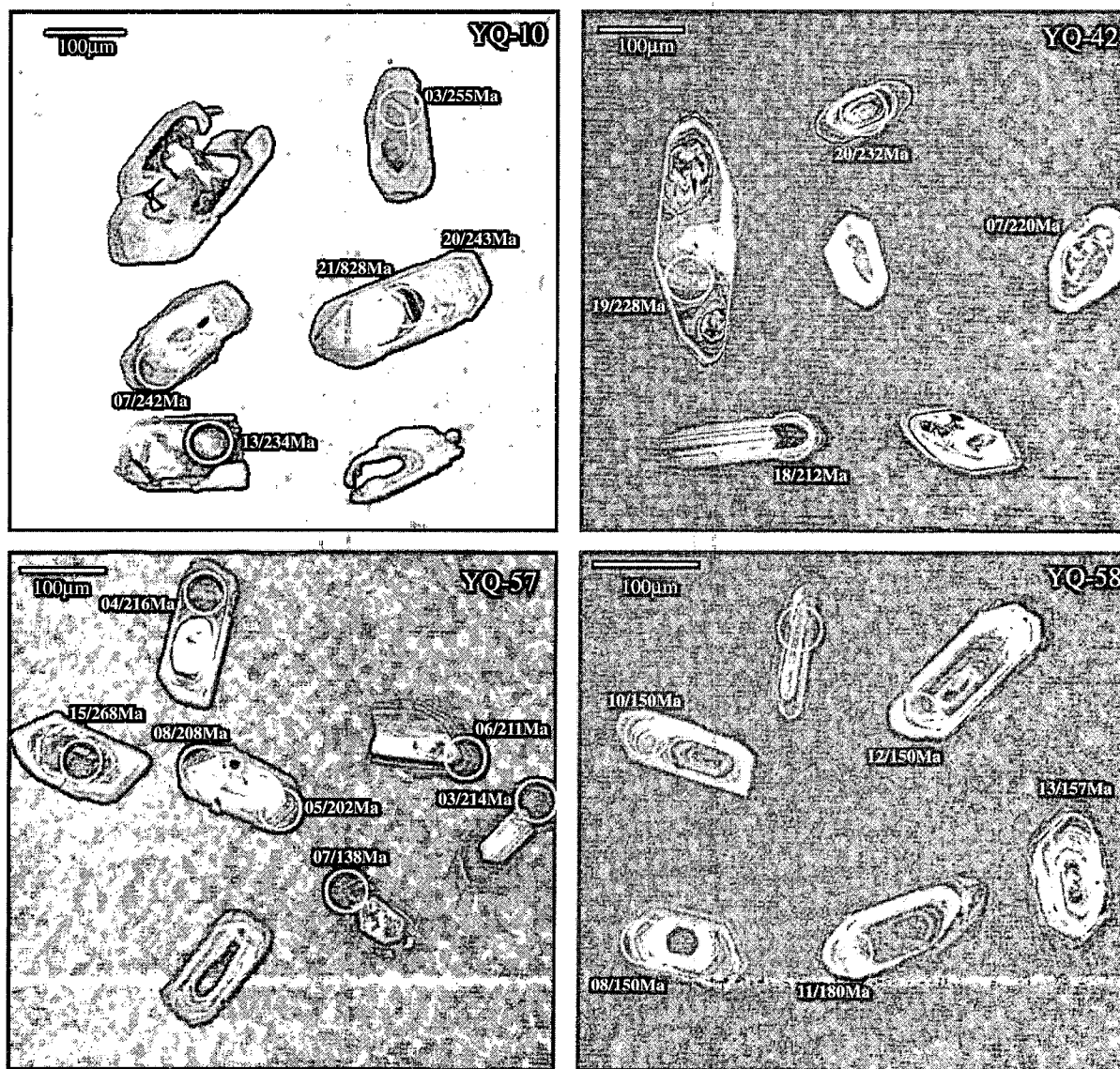


图 2 龙源坝岩体代表性样品锆石的阴极发光图像

Fig. 2 The zircon CL images of representative sample of Longyuanba pluton

石往往具有复杂的内部结构特征(Vavra, 1999)。在绝大多数情况下,阴极发光(CL)图像是研究锆石内部结构的最常用和最有效方法(吴元保等,2004)。龙源坝岩体四个代表性样品锆石颗粒的 CL 图像(图 2)表明,这四个样品的绝大多数锆石都以短柱状为主,晶形完好,在内部结构上多数锆石具有明显的韵律环带结构和核一边结构。

在具有核一边结构的锆石中,应该着重判别核部锆石的成因,由图 2 可见,YQ-10 样品中 03 号、21 号等数据点锆石,YQ-42 样品中 19 号等数据点锆石,YQ-57 样品中 04 号、06 号等数据点锆石,以及 YQ-58 样品中的 11 号、12 号等数据点锆石的核部通常呈圆滑状、港湾状或斑杂状结构,这反映了它们的核部可能是残留锆石。许多锆石的边部具有明显的韵律环带结构,表明为岩浆成因。鉴此,在进行测定和数据解释时,笔者充分考虑了测点的位置。

3.2 锆石年代学特征

在对锆石 CL 图像分析和理解的基础上,选择成因意义明确的岩浆锆石,在未受后期地质作用影响的区域和/或颗粒进行微区定年,这样可以使年龄结果更加准确合理(Tomaschek, 2003),比如选择韵律环带结构明显的地方作为测点。龙源坝岩体代表性样品的 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测定数据列于表 1。

在锆石 La-ICP-MS 定年中,由于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 以及 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值精度较差,因此一般采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄进行加权平均值计算(袁洪林等,2003)。因

此本文在各样品的数十个数据点中进行一定范围的选择,用来进行 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均计算。

YQ-10 共测了 21 个数据点,该样品的数据点谐和性较好,大部分数据点都落在谐和线或在谐和线附近。表明这些锆石形成后 U-Pb 体系是封闭的,基本没有 U 或 Pb 同位素的丢失或加入,少数数据点偏离谐和线较远,表现为 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值较大,这主要与 ^{207}Pb 难以测准有关(袁洪林等,2003)。有几个数据点的测点位置在锆石的核部,例如 21 号数据点,在图 2 中,YQ-10 的 21 号数据点的锆石核部为强 CL 强度,异常于其他锆石核部的弱 CL 强度,这反映了其核部为残留锆石的可能性,并为 828Ma 的上机测试结果所证实。根据 CL 图像分析和测试结果,我们选择测点位置在岩浆韵律环带上的 17 个数据点进行加权平均计算,年龄分布为 225.4~258.3Ma,例如图 2 中 YQ-10 的 03、07、13 和 20 号数据点,计算结果为 $241.0 \pm 5.9\text{Ma}$ (图 3)。

YQ-42 共测了 21 个数据点,该样品的数据点谐和性较好,选择测点位置在岩浆韵律环带上的 18 个数据点进行加权平均计算,年龄分布为 211.7~259.8Ma,例如图 2 中 YQ-42 的 07、18、19 和 20 号数据点,计算结果为 $235.4 \pm 6.7\text{Ma}$ (图 4)。

YQ-57 共测 21 个数据点,该样品数据点的谐和性较差,选择测点位置在岩浆韵律环带上的 10 个数据点进行加权平均计算,年龄分布为 202.3~217.2Ma,例如图 2 中 YQ-57 的 03、04、05、06 和 08 号数据点,加权平均结果为 $210.9 \pm 3.8\text{Ma}$ (图 5)。

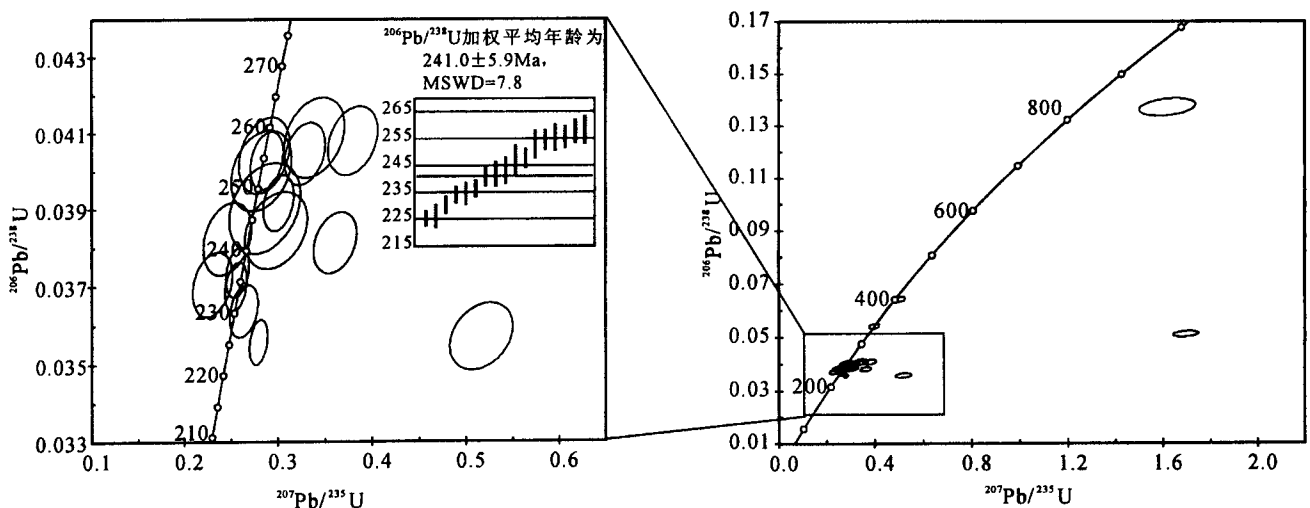


图 3 龙源坝岩体 YQ-10 样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 The zircon U-Pb concordia diagram of sample YQ-10 of Longyuanba pluton

表 1 龙源坝岩体中锆石 La-ICP-MS U-Th-Pb isotopic dating results of Longyuanba pluton

样品编号	分析点号	年龄 (Ma)															
		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{205}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
		测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差
YQ-42	1	0.05117	0.00403	0.04042	0.00082	0.28583	0.02207	0.01265	0.0003	248.7	171.78	255.5	5.10	255.3	17.43	254.0	5.91
	2	0.06739	0.00392	0.0408	0.00074	0.37972	0.02153	0.01056	0.00025	849.8	116.47	257.8	4.58	326.8	15.85	212.3	4.90
	3	0.05888	0.00321	0.04046	0.00067	0.32888	0.01758	0.01019	0.00019	562.7	114.63	255.7	4.17	288.7	13.44	205.0	3.86
	4	0.05259	0.00251	0.03638	0.00055	0.26406	0.01239	0.0105	0.00032	311.0	104.94	230.4	3.41	237.9	9.95	211.1	6.46
	5	0.04507	0.00348	0.03706	0.00068	0.23043	0.01754	0.00991	0.00027	0.1	126.37	234.6	4.25	210.6	14.48	199.3	5.38
	6	0.05322	0.00585	0.03904	0.00097	0.28644	0.03091	0.01147	0.00056	338.2	231.45	246.9	6.00	255.8	24.4	230.6	11.19
	7	0.04674	0.00405	0.03824	0.00077	0.24629	0.021	0.01072	0.00031	35.7	195.53	241.9	4.81	223.6	17.11	215.6	6.26
	8	0.05735	0.00173	0.06416	0.00086	0.50688	0.01512	0.01861	0.00036	504.4	65.40	400.9	5.19	416.3	10.19	372.7	7.06
	9	0.06872	0.00364	0.03813	0.00065	0.36094	0.01866	0.01115	0.00025	890.3	105.62	241.3	4.06	312.9	13.92	224.1	5.07
	10	0.05203	0.00261	0.04028	0.00062	0.28855	0.01426	0.01143	0.0002	286.5	110.80	254.6	3.85	257.4	11.24	229.7	3.96
	11	0.05584	0.0025	0.03917	0.0006	0.30102	0.01325	0.01234	0.00023	445.7	96.12	247.7	3.70	267.2	10.34	248.0	4.50
	12	0.24123	0.00691	0.05109	0.00086	1.69572	0.04526	0.051	0.00087	3128.1	44.85	321.2	5.27	1006.9	17.05	1005.3	16.81
	13	0.05022	0.00191	0.03699	0.00052	0.25555	0.00959	0.01077	0.00026	205.4	85.75	234.1	3.24	231.1	7.76	216.5	5.11
	14	0.05713	0.0016	0.03558	0.00047	0.27956	0.00778	0.01335	0.00027	496.2	60.97	225.4	2.92	250.3	6.17	268.0	5.29
	15	0.05005	0.00198	0.03737	0.00053	0.25716	0.01008	0.01099	0.00029	197.4	89.58	236.5	3.32	232.4	8.14	221.0	5.89
	16	0.06031	0.00476	0.04089	0.00086	0.33895	0.02821	0.01482	0.00042	614.7	161.92	258.3	5.30	296.4	19.88	297.3	8.35
	17	0.05139	0.00484	0.04002	0.00087	0.28264	0.02821	0.0126	0.00033	258.2	202.46	253.0	5.41	252.7	20.75	253.1	6.62
	18	0.10521	0.00583	0.03571	0.0007	0.5163	0.02764	0.02475	0.00081	1718.0	98.43	226.2	4.36	422.7	18.51	494.1	16.04
	19	0.05338	0.00223	0.05418	0.0008	0.39738	0.0164	0.01428	0.00067	344.9	91.55	340.1	4.92	339.7	11.92	286.6	13.43
	20	0.05645	0.00524	0.03846	0.00082	0.29827	0.02725	0.01235	0.00043	469.4	193.97	243.3	5.12	265.0	21.31	248.0	8.50
	21	0.08593	0.00528	0.13714	0.00277	1.61901	0.09712	0.05613	0.00167	1336.6	114.32	828.5	15.69	977.6	37.65	1103.9	31.9
YQ-42	1	0.08673	0.00392	0.03025	0.00051	0.36157	0.01585	0.02643	0.00098	1354.5	84.63	192.1	3.16	313.4	11.82	527.3	19.31
	2	0.05184	0.00125	0.03791	0.00047	0.27083	0.00652	0.01047	0.00021	278.3	54.11	239.9	2.91	243.4	5.21	210.4	4.14
	3	0.05135	0.00146	0.03954	0.00051	0.27985	0.00789	0.01175	0.0002	256.5	63.85	250	3.14	250.5	6.26	236.2	4.00
	4	0.05219	0.00127	0.0465	0.00058	0.33445	0.00812	0.01091	0.00034	293.8	54.39	293.0	3.56	293.0	6.18	219.4	6.83
	5	0.05139	0.00185	0.04063	0.00056	0.28776	0.01021	0.00996	0.00016	258.4	80.45	256.7	3.46	256.8	8.05	200.3	3.26
	6	0.05171	0.00114	0.03952	0.00048	0.28164	0.00625	0.0115	0.00022	272.5	49.77	249.8	2.99	252.0	4.95	231.1	4.42
	7	0.07207	0.00186	0.03473	0.00045	0.34506	0.0088	0.0099	0.00014	987.8	51.63	220.1	2.81	301.0	6.64	199.1	2.86
	8	0.05277	0.00098	0.03646	0.00043	0.26521	0.005	0.00932	0.00018	318.8	41.50	230.9	2.70	238.9	4.02	187.6	3.54
	9	0.0991	0.00151	0.0313	0.00037	0.42764	0.00667	0.03603	0.00045	1607.3	28.07	198.7	2.34	361.5	4.74	715.5	8.78
	10	0.06014	0.00145	0.04041	0.00051	0.33504	0.00806	0.01997	0.00046	608.7	51.30	255.4	3.15	293.4	6.13	399.7	9.02
	11	0.05379	0.00307	0.0378	0.00064	0.28031	0.0157	0.01008	0.00021	362.2	123.34	239.2	3.97	250.9	12.45	202.7	4.22

续表 1

样品编号	分析点号	年龄(Ma)																
		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{205}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		
		测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	
YQ-42	12	0.05105	0.00268	0.04112	0.00067	0.28941	0.01489	0.00969	0.00018	243.3	116.39	259.8	4.13	258.1	11.73	194.9	3.54	
	13	0.05187	0.00192	0.03537	0.00049	0.25294	0.00922	0.01075	0.00019	279.5	82.32	224.1	3.08	229.0	7.47	216.2	3.89	
	14	0.04893	0.00125	0.0382	0.00048	0.25771	0.00656	0.0099	0.00022	144.7	58.70	241.7	2.98	232.8	5.3	199.1	4.35	
	15	0.07153	0.0015	0.03848	0.00048	0.37947	0.00798	0.01828	0.00029	972.6	42.23	243.4	2.97	326.6	5.87	366.1	5.67	
	16	0.04985	0.00098	0.03799	0.00046	0.26111	0.00519	0.01257	0.00037	188.2	44.98	240.3	2.84	235.6	4.18	252.5	7.31	
	17	0.05048	0.00104	0.03673	0.00045	0.2556	0.00533	0.01138	0.00025	216.9	47.09	232.5	2.77	231.1	4.31	228.7	5.08	
	18	0.05182	0.00093	0.03339	0.0004	0.23859	0.00439	0.01053	0.00021	277.5	40.73	211.7	2.49	217.3	3.60	211.8	4.27	
	19	0.05073	0.00125	0.03601	0.00045	0.25189	0.00622	0.00969	0.00038	228.7	56.11	228.0	2.81	228.1	5.05	195.0	7.59	
	20	0.0484	0.00132	0.03663	0.00047	0.2445	0.00664	0.01043	0.00014	119.1	63.04	231.9	2.90	222.1	5.42	209.8	2.86	
	21	0.05081	0.00122	0.03476	0.00043	0.24349	0.00586	0.00903	0.00011	232.0	54.61	220.3	2.70	221.3	4.79	181.7	2.19	
	YQ-57	1	0.04977	0.00173	0.02223	0.0003	0.1525	0.00523	0.00568	0.00015	184.1	79.04	141.8	1.86	144.1	4.61	114.4	3.07
		2	0.05	0.00188	0.03406	0.00047	0.23471	0.00869	0.01049	0.00031	194.9	85.09	215.9	2.91	214.1	7.15	210.9	6.16
		3	0.06341	0.00125	0.03377	0.00041	0.29508	0.00581	0.01097	0.0002	721.9	41.25	214.1	2.53	262.6	4.56	220.5	4.00
		4	0.04789	0.00267	0.0341	0.00054	0.22506	0.01233	0.00963	0.00032	92.7	127.99	216.1	3.40	206.1	10.22	193.7	6.48
		5	0.05914	0.00233	0.03188	0.00047	0.25986	0.01004	0.00998	0.00023	572.1	83.62	202.3	2.91	234.6	8.09	200.6	4.7
		6	0.06873	0.0021	0.03332	0.00045	0.31569	0.00946	0.0099	0.00021	890.6	61.96	211.3	2.82	278.6	7.30	199.2	4.17
		7	0.05274	0.00135	0.0217	0.00027	0.15778	0.00399	0.00537	0.00007	317.6	56.84	138.4	1.70	148.8	3.50	108.3	1.51
		8	0.04628	0.00297	0.03286	0.00055	0.20961	0.01322	0.00808	0.00029	12.1	147.42	208.4	3.44	193.2	11.10	162.6	5.76
		9	0.17618	0.00311	0.01696	0.00022	0.41179	0.00704	0.00763	0.00009	2617.2	29.09	108.4	1.37	350.2	5.07	153.6	1.79
		10	0.25541	0.00426	0.0144	0.00019	0.50703	0.00806	0.00761	0.00008	3218.6	26.09	92.2	1.19	416.4	5.43	153.2	1.60
	11	0.08014	0.00145	0.02442	0.00029	0.26971	0.00485	0.01883	0.00028	1200.4	35.21	155.5	1.86	242.5	3.88	377.1	5.61	
12	0.06811	0.00265	0.03193	0.00047	0.29971	0.01135	0.01025	0.00026	871.8	78.46	202.6	2.96	266.2	8.87	206.1	5.11		
13	0.06164	0.00289	0.03375	0.00054	0.28669	0.01314	0.00944	0.00029	661.6	97.56	214.0	3.35	256.0	10.37	189.9	5.86		
14	0.08104	0.00435	0.03427	0.00063	0.38274	0.01985	0.00923	0.0003	1222.5	101.82	217.2	3.93	329.1	14.58	185.7	5.92		
15	0.18644	0.00401	0.04245	0.00059	1.09086	0.02219	0.01784	0.0002	2711.0	35.00	268.0	3.65	748.9	10.77	357.4	4.04		
16	0.19704	0.00558	0.00598	0.0001	0.16249	0.00425	0.00436	0.00008	2801.8	45.60	38.50	0.62	152.9	3.72	87.9	1.56		
17	0.06894	0.00323	0.03021	0.00051	0.28704	0.01303	0.00949	0.00034	896.9	93.72	191.9	3.17	256.2	10.28	190.9	6.86		
18	0.13296	0.0027	0.02217	0.00029	0.40616	0.00795	0.00798	0.00011	2137.5	35.04	141.3	1.82	346.1	5.74	160.7	2.23		
19	0.09592	0.00386	0.01568	0.00026	0.20728	0.00801	0.0029	0.00007	1546.2	73.77	100.3	1.63	191.3	6.74	58.6	1.46		
20	0.04881	0.002	0.0331	0.00048	0.22258	0.00895	0.00954	0.00038	138.6	93.55	209.9	2.98	204.1	7.43	192.0	7.63		
21	0.07734	0.00243	0.02637	0.00037	0.28102	0.00859	0.00949	0.00019	1130.1	61.45	167.8	2.34	251.5	6.81	190.8	3.74		

续表 1

样品编号	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		年龄 (Ma)							
	测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
									测值	误差	测值	误差	测值	误差	测值	误差
1	0.04912	0.00202	0.02307	0.00033	0.15622	0.00634	0.0063	0.00012	153.4	93.68	147.0	2.10	147.4	5.57	126.9	2.51
2	0.08478	0.00228	0.02324	0.00031	0.27156	0.0072	0.0095	0.00015	1310.4	51.48	148.1	1.98	243.9	5.75	191.2	3.01
3	0.05927	0.00205	0.01701	0.00024	0.13896	0.00474	0.00536	0.0001	577.1	73.41	108.7	1.51	132.1	4.22	108.1	1.95
4	0.04807	0.0018	0.02219	0.00031	0.14705	0.00545	0.00644	0.00014	102.8	86.28	141.5	1.94	139.3	4.83	129.8	2.81
5	0.05876	0.00151	0.02127	0.00027	0.17227	0.00441	0.00612	0.00009	558.3	55.04	135.7	1.73	161.4	3.82	123.3	1.86
6	0.05536	0.00121	0.01919	0.00024	0.14641	0.00324	0.00474	0.00006	426.4	47.64	122.6	1.51	138.7	2.87	95.6	1.21
7	0.07712	0.00281	0.02566	0.00039	0.27263	0.00972	0.00847	0.00017	1124.2	71.05	163.3	2.43	244.8	7.75	170.5	3.41
8	0.05274	0.00153	0.02352	0.00031	0.17093	0.00493	0.00741	0.00012	317.7	64.55	149.9	1.95	160.2	4.28	149.2	2.37
9	0.05049	0.0013	0.02361	0.0003	0.1642	0.00424	0.00763	0.00014	217.6	58.61	150.4	1.89	154.4	3.70	153.7	2.87
10	0.04918	0.00243	0.02349	0.00037	0.15912	0.00773	0.00703	0.00017	156.2	111.68	149.7	2.33	149.9	6.77	141.5	3.38
11	0.11292	0.00605	0.0284	0.00059	0.44168	0.02262	0.00694	0.0002	1847.0	93.93	180.5	3.69	371.4	15.93	139.9	4.00
12	0.05182	0.00197	0.02355	0.00034	0.16805	0.00632	0.00717	0.00016	277.5	84.87	150.0	2.12	157.7	5.50	144.5	3.13
13	0.04929	0.00194	0.02466	0.00035	0.1674	0.00653	0.00687	0.00012	161.5	89.73	157.1	2.22	157.2	5.68	138.4	2.31
14	0.06749	0.00189	0.024	0.00032	0.22308	0.00618	0.00119	0.00001	853.1	57.00	152.9	2.03	204.5	5.13	24.1	0.24
15	0.04944	0.0016	0.02638	0.00036	0.17961	0.00577	0.01081	0.00029	169.0	73.79	167.9	2.24	167.7	4.97	217.3	5.73
16	0.04958	0.00133	0.02357	0.0003	0.16093	0.00431	0.00731	0.00013	175.4	61.22	150.2	1.92	151.5	3.77	147.2	2.63
17	0.06141	0.00232	0.02616	0.00038	0.22118	0.00824	0.00828	0.00017	653.8	79.19	166.5	2.41	202.9	6.85	166.7	3.46
18	0.07925	0.00255	0.01459	0.00021	0.15912	0.00502	0.00466	0.0001	1178.3	62.28	93.3	1.34	149.9	4.40	94.0	1.93
19	0.13474	0.01026	0.02452	0.00068	0.45487	0.03293	0.01109	0.00038	2160.7	127.16	156.2	4.25	380.7	22.98	222.9	7.51
20	0.05539	0.00201	0.04246	0.0006	0.32372	0.01164	0.01335	0.00026	427.5	78.92	268.1	3.74	284.8	8.93	268	5.27

注:激光剥蚀束斑直径 40 μm 。误差均为 1 σ 。

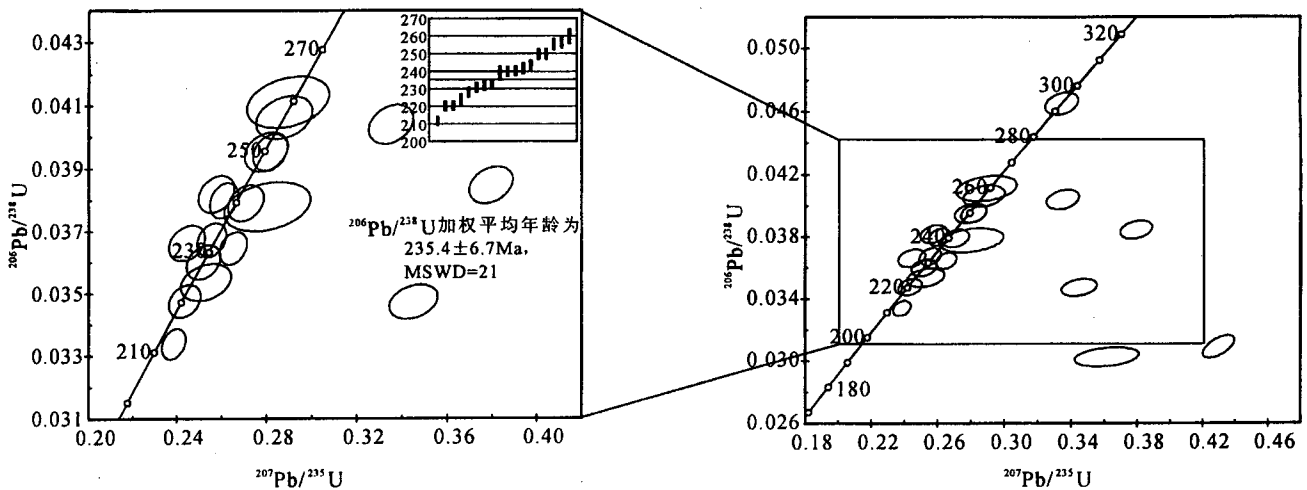


图 4 龙源坝岩体中 YQ-42 样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 The zircon U-Pb concordia diagram of sample YQ-42 of Longyuanba pluton

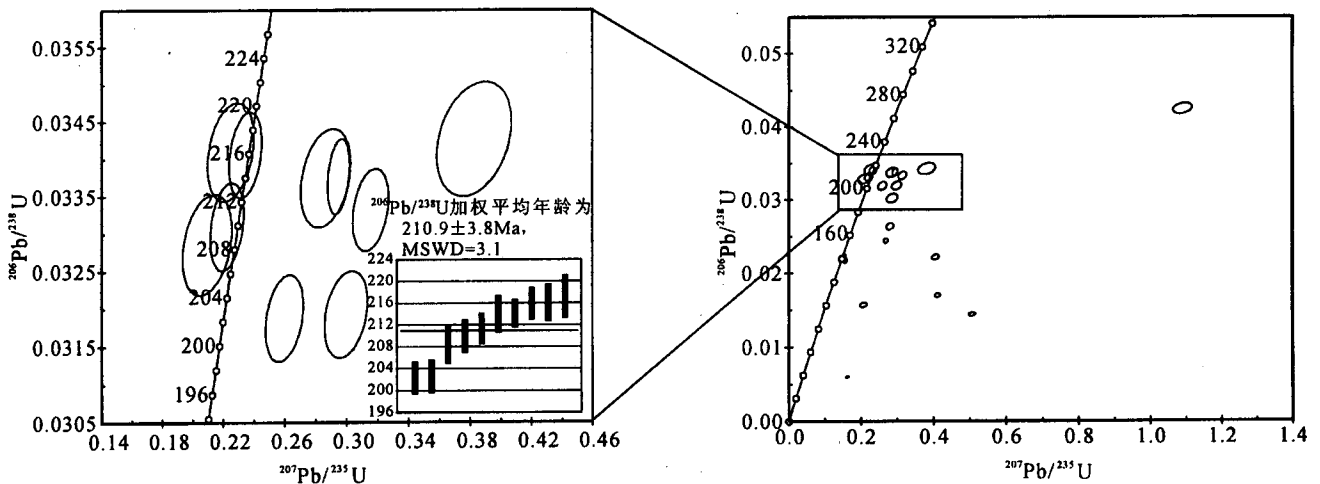


图 5 龙源坝岩体中 YQ-57 样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 The zircon U-Pb concordia diagram of sample YQ-57 of Longyuanba pluton

YQ-58 共测了 20 个数据点,该样品的数据点谐和性较差,选择测点位置在岩浆韵律环带上的 10 个数据点进行加权平均计算,年龄分布为 135.7~167.9Ma,例如图 2 中 YQ-58 的 08、10、12 和 13 号数据点,计算结果为 150.9±4.9Ma(图 6)。

YQ-42、YQ-57 和 YQ-58 中均有少量数据点年龄低于进行加权平均计算的数据点的年龄下限,这是因为其测点位置的锆石微区受到了后期重结晶作用的影响,因此测试的锆石结晶年龄受到了后期重结晶年龄的干扰,而低于正常的锆石结晶年龄,例如在图 2 的 YQ-42 的 19 号数据点所在的锆石的核部的 CL 图像为海绵状分带的特征,这就可能是发生

后期重结晶现象的结果,海绵状分带是发生后期重结晶的区域的典型内部结构之一(吴元保等,2004)。

4 讨论与结论

4.1 单颗粒锆石年龄的精确厘定

龙源坝岩体各样品参加加权平均计算的数据点的年龄分布区间长度值都较大(图 7)。YQ-10 的锆石年龄分布区间长度值为 32.9Ma, YQ-42 为 48.1Ma, YQ-58 为 32.2Ma, YQ-57 为 14.9Ma。锆石年龄分布区间长度值较大,可能暗示其经历了较长的冷凝结晶时间。为了精确厘定更具有代表性的岩体形成年龄,有必要进一步分析变化区间内的年

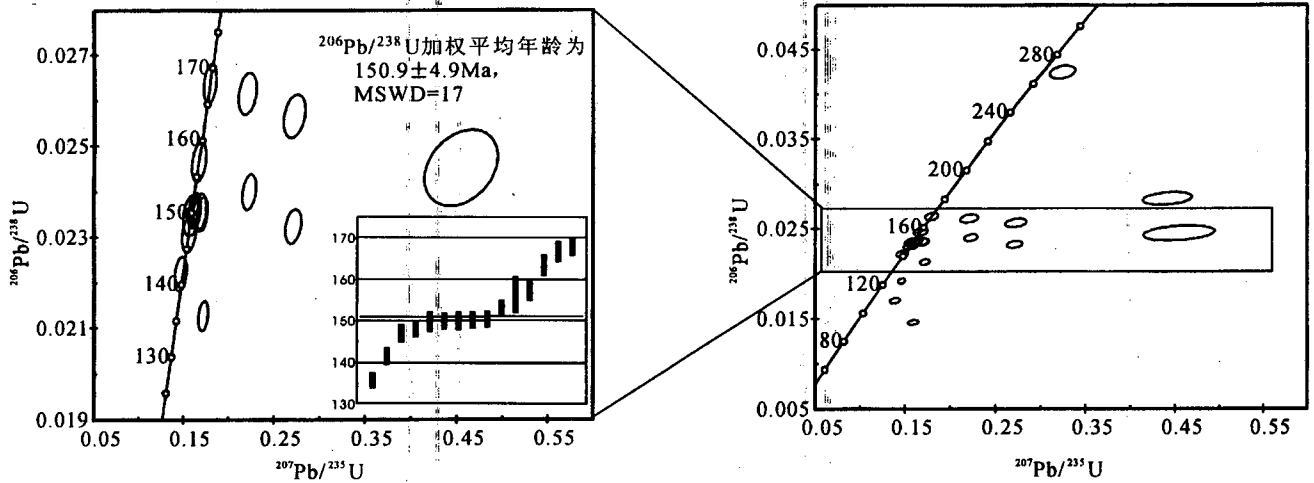


图6 龙源坝岩体中YQ-58样品的锆石U-Pb谐和图

Fig. 6 The zircon U-Pb concordia diagram of sample YQ-58 of Longyuanba pluton

龄分布特征。

YQ-57 进行加权平均计算的数据点只有 10 个,计算得到的 MSWD 也比 YQ-10、YQ-42 和 YQ-58 要低得多,为 3.1,因此把这 10 个点作加权平均得到的 $210.9 \pm 3.8\text{Ma}$ 作为 YQ-57 样品的形成年龄,是比较可靠的。YQ-10、YQ-42 和 YQ-58 的 MSWD 值偏大,变化在 7.8~21 之间,因此有必要分析其年龄的可靠程度。在图 7 中,YQ-10 相对于 YQ-42 和 YQ-58 而言,其 17 个数据点在 32.9Ma 的变化范围中,其年龄的成群现象不明显,呈连续变化特征。另外其 MSWD 值为 7.8,也比 YQ-42 和 YQ-58 要小很多,因此笔者认为采用这 17 个点的加权平均年龄 $241.0 \pm 5.9\text{Ma}$ 作为样品的形成年龄

是比较可靠的。YQ-42 的 18 个数据点和 YQ-58 的 15 个数据点分别在其 48.1Ma 和 32.2Ma 的变化范围中有明显的年龄成群现象。YQ-42 的 18 个数据点可以分为三组,依次对这三组年龄群重新进行加权平均计算,分别为 $253.6 \pm 5.2\text{Ma}$ (MSWD=6.3, $n=5$)、 $241.0 \pm 1.3\text{Ma}$ (MSWD=1.12, $n=5$) 和 $227.0 \pm 2.2\text{Ma}$ (MSWD=15, $n=7$)。在这三组年龄中,第二组的 5 个样品在这三组中的成群效应最为明显,而且其加权平均年龄 $241.0 \pm 1.3\text{Ma}$ 也同总体 18 个数据点的 $235.4 \pm 6.7\text{Ma}$ 最为接近,因此可以取这组成群效应最为明显的 5 个样品的加权平均年龄 $241.0 \pm 1.3\text{Ma}$ 作为对 18 个数据点的加权平均年龄的修正,而 σ 值仍保留原 18 个样品加权平均

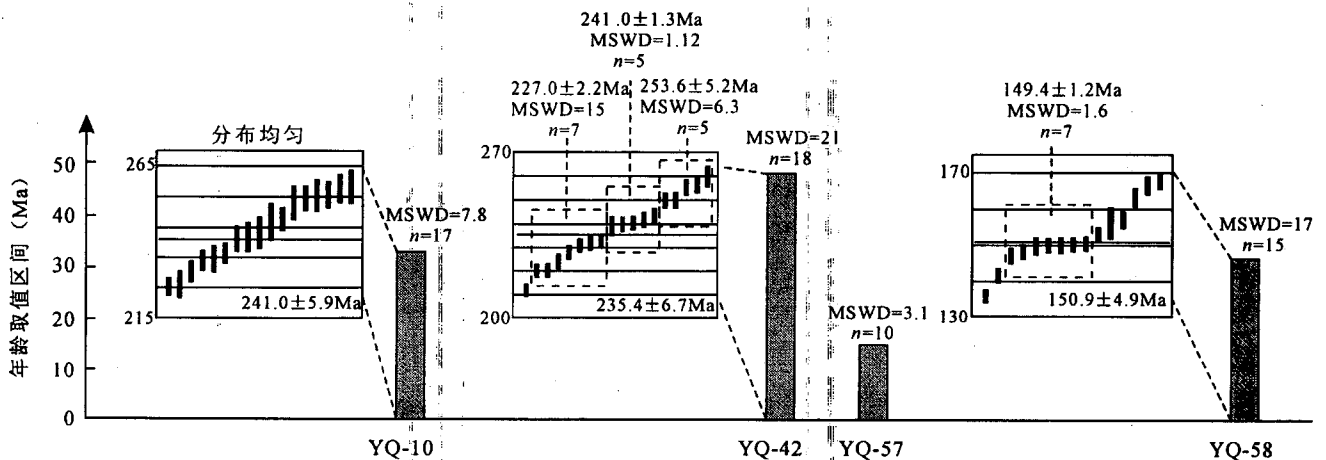


图7 加权平均计算数据点的年龄分布区间

Fig. 7 The ages distribution extents on data points for the weighted mean ages

计算结果,这样可以继续持有对 18 个数据点的代表性。因此,在这里把 $241.0 \pm 1.3\text{Ma}$ 作为样品的形成年龄。YQ-58 的 15 个数据点虽然年龄成群现象也很明显,但只有一组 7 个数据点成群,而另外 8 个数据点年龄的分布就显得不够集中,这 7 个数据点重新进行加权平均计算,结果为 $149.4 \pm 1.2\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.6, n=7$),与原 15 个数据点的 $150.9 \pm 4.9\text{Ma}$ 很接近,因此,可以取这组成群效应最为明显的 7 个样品的加权平均年龄 $149.4 \pm 1.2\text{Ma}$ 作为对 15 个数据点的加权平均年龄的修正,而 σ 值仍保留原 15 个样品加权平均计算结果,这样 YQ-58 样品的形成年龄应取为 $149.4 \pm 1.2\text{Ma}$ 。

综上所述表明,除 YQ-58 样品的加权平均年龄为 149.4Ma 外,其他 3 件样品的同位素年龄集中在 $210.9\text{Ma} \sim 241.0\text{Ma}$ 之间,前者为燕山期,后三个样品为印支期。在印支期的样品中,YQ-10 和 YQ-42 的年龄均为 241.0Ma ,它们属于同次侵入体,为印支早期;YQ-57 的年龄为 210.9Ma ,形成于印支晚期。从样品点的分布情况来看,龙源坝岩体的主体应形成于印支期,而非燕山期。

4.2 龙源坝岩体与相邻岩体的关系及其地质意义

位于南岭东段的龙源坝岩体的研究程度较低,尤其是缺少同位素年代学方面的研究,而龙源坝岩体东侧的陂头—塔背杂岩体已有高质量的同位素年龄报道,其中陂头岩体单颗粒锆石年龄为 186.3Ma ,塔背岩体单颗粒锆石年龄为 188.6Ma (陈培荣等,2004)。从本文得到的龙源坝岩体的单颗粒锆石年龄来看,龙源坝岩体的主体年龄集中在 $210.9 \sim 241.0\text{Ma}$,属于印支期,比陂头—塔背杂岩体主体的陂头岩体的年龄早 $24 \sim 55\text{Ma}$,这就充分证明了龙源坝岩体是独立于陂头岩体的岩体,并不是以前认为的属于陂头岩体的西南端的一部分。此外,龙源坝岩体北部边界和诸广山岩体南东部边界的可镶嵌特征,很容易使人们联想到在白垩纪之前(即在断陷盆地形成之前),两岩体可能连在一起。诸广山岩体东部出露的花岗岩形成于印支期($204 \sim 235\text{Ma}$,待发表)的年代学特征,也与龙源坝岩体的形成时代相同,因此龙源坝岩体和诸广山岩体原来可能是同一个岩体,由于后期的白垩纪断陷盆地—南雄盆地的形成,才造成两个岩体在地貌上分割开来。

诸广山岩体是著名的产铀岩体,岩体中大型铀矿床均分布在岩体东部的印支期花岗岩分布范围内,表明印支期花岗岩与铀成矿关系密切。龙源坝岩

体的主体形成于印支期以及该岩体在白垩纪之前可能连成一体的认识,对扩大在该区的铀矿找矿勘探有重要指导作用。

华南大陆夹持在秦岭—大别和松马(Song Ma, 位于越南北部)两条印支期缝合带之间,早中生代时无疑会受到印支造山运动的深刻影响。近年来我们在南岭地区地质研究中发现,原归属为加里东期的赣南白面石花岗岩体,其 Rb-Sr 等时线年龄为 $249.9 \pm 1.3\text{Ma}$ (陈培荣等,2000);原归属为燕山早期约 $180 \sim 140\text{Ma}$ 的粤北贵东复式岩体中的下庄岩体和赣南大吉山复式岩体中的五里亭岩体,其岩浆成因单颗粒锆石 U-Pb 年龄分别为 $228.0 \pm 0.5\text{Ma}$ (孙涛等,2003)和 $238.9 \pm 1.5\text{Ma}$ (张文兰等,2004)。本文又表明龙源坝岩体的主体形成于印支期,以及诸广山岩体也以印支期花岗岩为主(年龄数据有待发表)。这些基本事实表明华南可能有更多的印支期花岗岩还没被认识。印支期花岗岩无疑是印支造山运动在华南板内留下的烙印,在大陆板块内部同构造期的岩浆作用相对于板缘表现得如此明显(在秦岭—大别造山带,印支期花岗岩十分罕见),对理解同一造山运动体制下板内的大陆动力学性质(不同于板缘)有重要意义。

4.3 结论

在对实验结果进行加权平均年龄计算出现 MSWD 值偏大的情况下,对年龄分布区间进行结构分析,根据年龄的成群特点重新厘定加权平均年龄,该年龄可能更具有可靠性和代表性,这是对如何处理在 MSWD 值偏大情况下对年龄计算值进行校正的一种新的探索。在此基础上计算得到,龙源坝岩体的主体形成于印支期,尤其是印支早期,印支早期岩体单颗粒锆石定年为 241.0Ma (两个样品),印支晚期岩体单颗粒锆石定年为 210.9Ma ,燕山期正长岩体单颗粒锆石定年为 149.4Ma 。

龙源坝岩体的主体形成于印支期,是不同于陂头岩体的一个独立的岩体,在时代和成因上都有很大差别,应把它们区别开来。但是,龙源坝岩体与诸广山岩体有亲缘关系,在白垩纪之前(即在断陷盆地形成之前)它们可能连成一体。在探讨该区的铀成矿前景时,应把该两岩体整合起来考虑,鉴此应加强对龙源坝岩体的铀矿找矿工作。此外,龙源坝岩体形成于印支期的地质事实暗示南岭地区原定为燕山期的花岗岩基,有些可能是印支期岩体。深入研究印支期花岗岩在华南的分布对探讨印支造山运动在板内的动力学性质和指导铀矿找矿有重要意义。

注释

- ① 江西省 608 地质队. 1970. 龙南幅 1:200000 区域地质矿产调查报告书.

参考文献

- 陈培荣, 周新民, 张文兰, 李惠民, 范春方, 孙涛, 陈卫锋, 张敏. 2004. 南岭东段燕山早期正长岩—花岗岩杂岩的成因和意义. 中国科学(D辑), 34(6): 493~503.
- 陈培荣, 范春方, 孔兴功, 章邦桐, 钟启龙, 易作凡. 2000. 6710 铀矿区火成岩的地球化学特征及其构造和成矿意义. 铀矿地质, 16(6): 334~343.
- 广东省地质矿产局. 1982. 广东省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. 中国科学(D辑), 33(4): 335~343.
- 任纪舜, 牛宝贵, 和政军. 1997. 中国东部的构造格局和动力演化. 地学研究, (29~30): 43~55.
- 孙涛, 周新民, 陈培荣, 李惠民, 周红英, 王志成, 沈渭洲. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. 中国科学(D辑), 33(12): 1211~1218.
- 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. 地质论评, 5(增刊): 26~30.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
- 吴元保, 陈道公, 程昊, Etienne Delouie, 夏群科. 2001. 碧溪岭岩体中石榴橄榄岩的锆石显微结构及离子探针定年. 高校地质学报, 7(3): 356~362.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 陈培荣. 2004. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义探讨. 地质学报, 78(3): 352~358.
- Carter A, Rogues D, Bristow C. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29: 211~214.
- Gao S, Liu X M, Yuan H L, et al. 2002. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICPMS. *Geostand. Newsl.*, 22: 181~195.
- Tomaschek F, Kennedy A K, Villa I M, et al. 2003. Zircons from Syros, Cyclades, Greece—recrystallization and mobilization of zircon during high-pressure metamorphism. *Jour. of Petrology*, 44(11): 1977~2002.
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircon. *Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps)*. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 380~404.
- Ludwig K R. 1991. ISOPLOT: A plotting and regression program for radiogenic isotope data. US Geological Survey Open-File Report, 39.

Single-zircon La-ICP-MS Ages of the Longyuanba Pluton in the Eastern Nanling Region and Geological Implication

ZHANG Min¹⁾, CHEN Peirong¹⁾, HUANG Guolong²⁾, TAN Zhengzhong²⁾,
LING Hongfei¹⁾, CHEN Weifeng¹⁾

1) State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, 210093

2) Research Institute No. 290, CNNC, Shaoguan, Guangdong, 512026

Abstract

The Longyuanba pluton in the eastern Nanling Range is an important part of the Nanling granites. However, so far no reliable isotopic dating result is available for this pluton. Based on the interior structures of zircons from the Longyuanba pluton analyzed by the CL technology, in-situ zircon U-Pb dating was performed with La-ICP-MS and reliable age data were obtained. The results show that the Longyuanba pluton was formed in multi-stage magmatism spanning the Indosinian and Yanshanian periods. The main body of the pluton was formed in the Indosinian, especially in the early Indosinian. Single-grain zircon dating for the early Indosinian granites yields ages of 241.0 ± 5.9 Ma and 241.0 ± 1.3 Ma (two samples), for the late Indosinian granite yields 210.9 ± 3.8 Ma, and for the Yanshanian syenite yields 149.4 ± 4.9 Ma. The ages and geneses of the Longyuanba pluton are different from those of the Pitou—Tabei complex pluton located to its east, but are very similar to those of the Zhuguangshan pluton located to its north. When considering the prospect of uranium mineralization in the region, we should consider it with the integration of Zhuguangshan pluton and Longyuanba pluton, and should enhance the exploration on the Longyuanba pluton.

Key words: La-ICP-MS zircon U-Pb dating; Indosinian granite; Nanling range