

浙江西部建德群锆石 LA-ICP-MS 之 U-Pb 同位素年龄及其地层学意义

李祥辉¹⁾, 陈斯盾²⁾, 罗家洪³⁾, 王尹¹⁾, 曹珂⁴⁾, 刘玲¹⁾

1) 南京大学地球科学与工程中学院, 南京, 210093; 2) 福建省地质调查研究院, 福州, 350003;
3) 四川省地质矿产勘查开发局四零二地质队, 成都, 611730; 4) 青岛海洋地质研究所, 山东青岛, 200092

内容提要: 利用 LA-ICP-MS 测试技术对浙西地区中生代晚期寿昌盆地典型剖面建德群 9 件凝灰岩和安山岩样品的锆石进行了同位素测年分析。结果显示: 建德群锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值范围在 134 ~ 115 Ma 之间, 属于早白垩世中—晚期; 其所属的劳村组、黄尖组、寿昌组和横山组的锆石年龄分别是 134 ~ 125 Ma, 125 ~ 118 Ma, 125 ~ 121 Ma 和 121 ~ 115 Ma, 各自对应于欧特里夫期—巴雷姆期、阿普特期早—中期、阿普特期早期、阿普特期中期。由此认为, 黄尖组的时代与寿昌组 + 横山组大致相当, 前者与后两者横向可能为同时异相, 并非上下关系; 在寿昌和丽水两个盆地的寿昌组近乎同时, 其上为时代大致相当的横山组与馆头组。

关键词: 地层约束; U-Pb 年代学; 锆石; 建德群; 浙江

自上个世纪 30 年代建立以来, 建德群已经成为东南地区中生代晚期陆相地层划分和对比的重要参考。这不仅是因为其地质研究基础较好(如顾知微等, 1963; 丁保良等, 1987, 2010; 李坤英等, 1988; 蒋维三等, 1993; 陈丕基, 2000; 俞云文等, 2008), 还在于它系火山与沉积建造, 为弥补古生物方面的不足而进行火山岩同位素定年提供了有利的物质条件。

通过以往二、三十年的研究, 过去对建德群的地层划分基本上没有争议。早先建德群主体被置于晚侏罗世(如顾知微等, 1963; 顾知微, 1980; 陈其爽, 1983; 丁保良等, 1987, 1989; 浙江省地质矿产局, 1989, 1996), 后来基本认为属于早白垩世(李坤英等, 1988, 1989; 蒋维三等, 1993; 丁保良等, 1999; 陈丕基, 2000; 俞云文和徐步台, 1999; 汪庆华等, 2001; 罗以达和俞云文, 2004; 俞云文等, 2008)。然而, 最大的分歧是建德群下划各组的时代不统一(表 1), 这一问题并未因为前期大量同位素年代分析(李坤英等, 1988, 1989; 汪庆华等, 2001; 罗以达和俞云文, 2004; 俞云文等, 2008) 得到很好解决。原因是全岩样品的蚀变、技术手段局限, 同位素年龄结果可信度不高。样品缺乏准确的经纬度数据和采样位置描述、资料点分散且很少在一条连续剖面上系统采集

样品并完成相应的同位素分析, 也给后人对比及进一步研究带来较大的困难。此外, 以往所划分的劳村组、黄尖组、寿昌组和横山组被认为是依次向上的, 较少有学者怀疑这种地层层序。

本文通过对浙江省建德市寿昌镇周村一岩下经典剖面凝灰岩和安山岩重新采样, 分选锆石进行 U-Pb 同位素定年分析, 对建德群的四个岩石地层单元的时代进行厘定, 并试图解释其空间关系, 从而为该区白垩纪陆相地层、火山活动演化提供年代学依据。

1 地质背景

建德群分布于浙江西部地区, 属于寿昌—诸暨地层分区。该区由若干小型盆地组成, 在西南部一般称为金衢(金华—衢州)盆地, 在中部为寿昌盆地。前者多含上白垩统, 后者主要由下白垩统构成。寿昌盆地的建德群下部主要为火山岩—沉积建造, 上部基本上为陆相沉积组成。

这套地层以建德市西南寿昌镇一带出露较好, 研究资料最为丰富翔实。典型剖面位于寿昌镇北西方向, 沿县级公路寿李(寿昌—李家)线出露, 一般称为周村一岩下或胡路岭一岩下剖面(图 1 和图 2)。该剖面自浙江省区测队(1965)①进行 1: 20

注: 本文是国家重大基础研究发展规划项目(973)之课题“晚中生代温室地球气候—环境演变”(编号 2012CB822000)的成果。

收稿日期: 2010-12-12; 改回日期: 2011-07-18; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 李祥辉, 男, 1964 年生。教授, 1995 年获沉积学(含古地理学)理学博士学位。现于南京大学从事沉积学及相关学科科研与教学工作。Email: seanlee@nju.edu.cn。

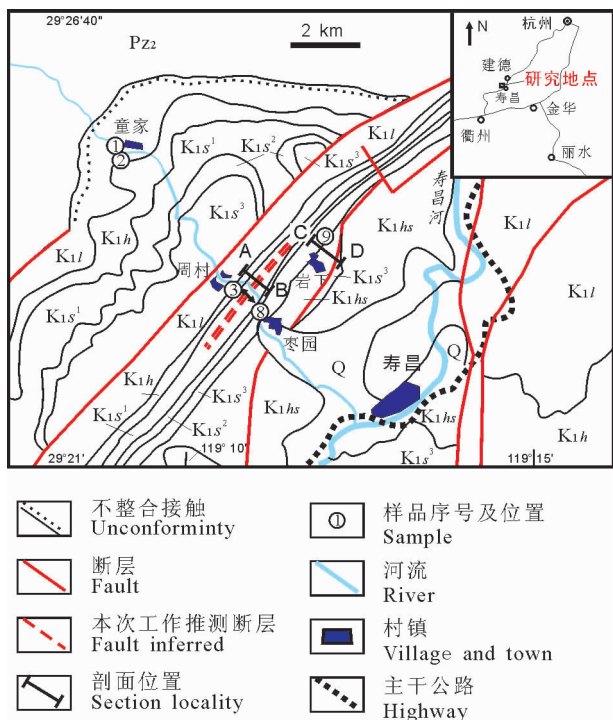


图1 浙江省建德市寿昌镇地区建德群露头分布图及剖面
和采样位置[据浙江省区测队(1965)、蒋维三等(1993)
综合]

Fig. 1 Geological sketch of the Shouchang area, Jiande, Zhejiang (Composed after Zhejiang Regional Geology Survey, 1965, and Jiang Weisan et al., 1993) and the section and sample localities

Q—第四系; K_{1hs} —下白垩统横山组; 下白垩统寿昌组: K_{1s^3} —上段, K_{1s^2} —中段, K_{1s^1} —下段; K_{1h} —下白垩统黄尖组; K_{1l} —下白垩统劳村组; Pz_2 —上古生界

Q—Quaternary; K_{1hs} —Lower Cretaceous Hengshan Fm.; Lower Cretaceous Shouchang Fm.; K_{1s^3} —Upper Member, K_{1s^2} —Middle Member, K_{1s^1} —Lower Member; K_{1h} —Lower Cretaceous Huangjian Fm.; K_{1l} —Lower Cretaceous Laocun Fm.; Pz_2 —Upper Paleozoic

万地质填图以来有较多的地质工作者进行了研究,先后有顾知微等(1963)、李坤英等(1988,1989)、丁保良等(1989)、蒋维三等(1993)等对化石组合、火山岩同位素进行了分析探讨。剖面上的地层划分总体一致,仅在上部关于横山组与寿昌组的界线有较小差别,如李坤英等(1988)、蒋维三等(1993)将14~19层归为横山组,而丁保良等(1989)仅将17~19层视为横山组,本文采用前者方案。对于火山碎屑岩和火山岩的同位素年代学研究以李坤英等(1988)最详细、最具代表性,其他则主要是在此基础上进行的总结或综述工作。李坤英等(1988)通过火山岩全岩、斜长石、黑云母的 K-Ar、Ar-Ar、Rb-Sr

法同位素分析结果提出,劳村组、黄尖组、寿昌组和横山组的年龄分别为 130 Ma、128 Ma、122 Ma 和 117 Ma(表 2),进一步确认了陈丕基(1982)关于建德群早白垩世的归属。

2 材料与方法

本次工作在寿昌镇周村一岩下剖面建德群中共采集了 9 件凝灰岩及安山岩样品(表 2)进行分析,其中,劳村组 3 件、黄尖组 4 件、寿昌组和横山组各 1 件(图 2 和表 2)。对于劳村组中的 3 件样品,上部 1 件样品位于剖面周村东,而下部的 2 件样品则因为周村露头欠佳而采自北西童家村并放置在该剖面相当层位。

对上述岩石样品碎样后经重选、磁选方法挑出锆石矿物,并在双目立体显微镜下挑纯。然后将挑出的锆石随机选取一定数量在玻璃板上排列粘牢,使用环氧树脂固定凝结,经打磨抛光处理制成靶样,再进行阴极发光照射照相以观察锆石内部结构。锆石的阴极发光和 U-Pb 同位素定年测试分析在南京大学生金属成矿机制国家重点实验室完成。U-Pb 同位素定年测试分析使用 LA-ICP-MS 仪器,采用 ICP-MS 的型号为 Agilent 7500 型四级杆质谱仪,He 气作为载气冷却。剥蚀在 New Wave 公司产的 UP-213 固体激光剥蚀系统上完成,剥蚀孔径 30 μm 。质量分馏校正按照锆石标样 GJ-1 进行。分析数据利用软件 GLITTER 计算获得同位素比值、年龄和误差,并按 Andersen(2002)方法进行普通铅校正。分析结果在 ISOPLOT 软件(版本 3.7)完成加权平均年龄计算和 U-Pb 谐和图的绘制。共测得 116 颗锆石的 U—Th—Pb 同位素数据(图 3,表 3)。

3 分析结果与对比

从表 2 和图 3 可以看出,本次工作测试的寿昌镇周村一岩下剖面凝灰岩和凝灰熔岩(含 1 件安山岩。见表 2)中的锆石普遍为自形、半自形晶体,生长环发育(图 4);Th/U 比值大部分样品的锆石介于 1.00~6.00 之间,只有样品 ZC-11 的锆石介于 0.50~1.00 之间(表 3),但也都远远大于岩浆成因 0.01 临界值;绝大多数样品锆石的 MSWD 介于 0.15~1.00 之间,只有样品 128-04 为 4.3(表 2、图 3),年龄具有很高的谐和度。这些特点表明,本次工作测试的锆石 Pb-U 同位素年龄可以代表凝灰岩和凝灰熔岩的成岩时代。

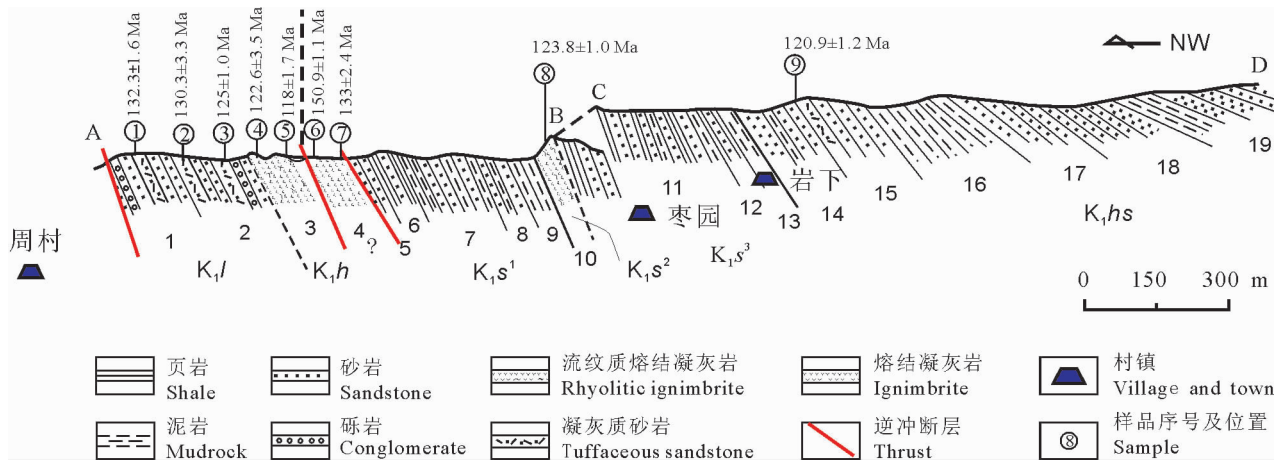


图 2 建德市寿昌镇周村一岩下下白垩统横剖面图及样品位置(横剖面据丁保良等,1989)

Fig. 2 Sampling localities in the Zhoucun—Yanxia cross section, Shouchang town, Jiande
(Cross section after Ding et al., 1989)

K_1hs —下白垩统横山组;下白垩统寿昌组; K_1s^3 —上段, K_1s^2 —中段, K_1s^1 —下段; K_1h —下白垩统黄尖组; K_1l —下白垩统劳村组

K_1hs —Lower Cretaceous Hengshan Fm.; Lower Cretaceous Shouchang Fm.; K_1s^3 —Upper Member, K_1s^2 —Middle Member, K_1s^1 —Lower Member; K_1h —Lower Cretaceous Huangjian Fm.; K_1l —Lower Cretaceous Laocun Fm.

表 1 浙江西部建德群地层划分沿革概略表

Table 1 Historical changes of the Jiande Group divisions in western Zhejiang province

岩石地层	厚度	岩性柱	顾知微, 1980	丁保良等, 1987, 1989; 浙江地质局, 1989, 1996	李坤英等, 1988, 1989	蒋维三等, 1993	丁保良等, 1999	陈五基, 2000	罗以达和俞云文, 2004	俞云文等, 1999, 2008; 汪庆华等, 2001	本文, 2011			
											统	阶	岩石地层	
馆头组	km		统	统	Ma	统	统	统	阶	统	Ma	统	阶	岩石地层
横山组	2.0 1.5		下白垩统	下白垩统	117	下白	下白	下白	上白垩统	上白垩统	115	上白垩统	上白垩统	
寿昌组	1.0		上侏罗统	上侏罗统	122	垩统	垩统	下白垩统	下白垩统	下白垩统	125-115	下白垩统	下白垩统	Alb
黄尖组	0.5				128						125			Apt
劳村组	0				130						135-125			Bar Hau

注: 其他作者参照的岩石地层系统遵从第一列。因时代发生了较大变化, 故本文岩石地层单元自成系统。

实验分析结果显示,凝灰岩和凝灰熔岩中的锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄多在 133 ~ 118 Ma 之间,属于早白垩世中—晚期,即建德群的主体时代在欧特里夫期—阿普特期(Hauterivian—Aptian)之间(本文所有地质年龄与地质年代的对应关系均参照 Gradstein et al., 2008. 下同),但不排除稍早和稍晚的可能。以下对各组有关年龄特征进行说明。

3.1 劳村组

测得序号为①、②、③的三件凝灰岩样品锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值分别为 132.3 ± 1.6 Ma、130.3 ± 3.3 Ma 和 125.0 ± 1.0 Ma,其 MSWD 分别为 1.5、4.3、0.0(图 3,表 2)。考虑第①件样品采样位置距底不整合面还有 200 ~ 300 m(真厚度),因此,劳村组的底界可能下延到 134.0 Ma。第③件样

品离顶界约 20 ~ 30 m, 125.0 Ma 大致可以代表劳村组的顶界。由此认为劳村组的火山喷发与沉积年龄主要为 134 ~ 125 Ma, 时代属于欧特里夫期—巴雷姆期 (Barremian)。

这一结果与李坤英等 (1988) 的 130 Ma 基本一致, 但后者将一套岩石地层限制在一个瞬间的年龄显然不合情理。陈丕基等 (1982)、陈丕基 (2000) 依据叶肢介、介形虫、轮藻、孢粉等将之归属在欧特里夫期早期, 与本次的同位素结果也相似, 但鉴于陆相化石受环境和气候影响甚大, 一般在时代对比上较为谨慎。在福建, 同位素年龄数据较少, 大多地层以陆相化石为依据, 地层划分和对比争议相对较大。就目前而言, 建德群在福建大致可以对比的层位有禾口组 (福建省地质矿产局, 1996)、板头组 (132 ~ 134 Ma, 李祥辉未发表)、南园组的局部 (第 4 段, 130.0 ± 4.0 Ma。黄家龙等, 2008)。在华北特别是冀北辽西, 可对比的地层是含大北沟组的张家口组 (柳永清等, 2003; 牛宝贵等, 2003; 韦忠良等, 2008) 和/或义县组 (Liu 等, 2010) 或义县组的下部 (张宏等, 2006)。

3.2 黄尖组

在剖面上原先所谓的黄尖组中共采集了 4 件样

品, 第 3 和 4 层各 2 件 (图 2), 岩性除第 ⑥ 号样品为安山岩外, 其它均为凝灰岩。测得第 3 层序号为 ④、⑤ 的两件样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值分别为 122.6 ± 3.5 Ma、118.0 ± 1.7 Ma, MSWD 分别为 1.5、0.89 (图 3, 表 2)。这一结果是该剖面上最年轻的年龄之一。根据第 3 层分析年龄结果并考虑劳村组的年龄, 本文建议黄尖组年龄范围介于 125 ~ 118 Ma 之间, 对应时代为阿普特期早—中期, 但其内可能存在长期间断。

此结果与李坤英等 (1988) 的 128 Ma 有较大出入, 相对年轻; 与陈丕基等 (1982)、陈丕基 (2000) 的黄尖组欧特里夫期晚期的归位也难以对比; 与福建大致可以对比的层位除禾口组, 还有均口组和白牙山组 (福建省地质矿产局, 1996), 但福建的这些地层目前没有准确的年龄和具有年代意义的生物地层控制, 因此只是暂时对比。与冀北辽西可对比的地层可能是义县组的大王杖子层 (张宏等, 2006) 或中、上部的部分层位 (陈文等, 2005; 韦忠良等, 2008; Liu 等, 2010)。

第 4 层序号为 ⑥、⑦ 的两件样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值分别为 150.9 ± 1.1 Ma、133.0 ± 2.4 Ma (图 3, 表 2), MSWD 分别为 0.17、1.30, 是

表 2 建德寿昌剖面实测凝灰岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄参数及与其它同位素方法结果对比

Table 2 Sample information and U-Pb isotope dating data of the zircons from the Jiande Group in the Zhoucun—Yanxi cross section and comparing with the former works

序号*	样品号	岩性	经纬度	年龄 (Ma)	误差 (±)	MSWD	锆石数量	同层位样品李坤英等 (1988) 测定结果			
								样品编号	年龄及误差 (Ma)	方法	样品类型
①	128-02ZK	晶屑凝灰岩	N29°24'39.4", E119°09'19.6"	132.3	1.6	1.50	13	1-4	129.3 ± 2.9	Rb-Sr 等时线	黑云母和凝灰岩
②	128-04ZK	晶屑凝灰岩	N29°24'29.2", E119°09'37.2"	130.3	3.3	4.30	10				
③	ZC-06ZK	凝灰岩	N29°23'13.1", E119°10'49.9"	125.0	1.0	0.00	15	Z11	128.8 ± 3.0	K-Ar 稀释法	黑云母
④	ZC-10ZK	凝灰熔岩	N29°23'10.2", E119°10'52.6"	122.6	3.5	1.50	6				
⑤	ZC-11ZK	晶屑凝灰岩	N29°23'08.6", E119°10'54.1"	118.0	1.7	0.89	14	Zh0	127.4 ± 3.0	Ar-Ar 稀释法	斜长石
⑥	ZC-13ZK	安山岩	N29°23'02.5", E119°10'59.3"	150.9	1.1	0.17	17				
⑦	ZC-15ZK	碳酸盐化凝灰岩	N29°23'01.9", E119°11'00.4"	133.0	2.4	1.30	12				
⑧	ZC-23ZK	熔结凝灰岩	N29°22'46.8", E119°11'05.8"	123.8	1.0	0.15	15	7-32	121.7 ± 2.7	Rb-Sr 等时线	流纹质凝灰岩
⑨	ZC-43ZK	凝灰岩	N29°23'15.7", E119°12'15.5"	120.9	1.2	0.44	14	HN1	117.4 ± 1.2	Ar-Ar 稀释法	斜长石

注: * 一与图 1 和 2 中的编号一致。

表 3 寿昌镇周村一岩下剖面单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年数据表
 Table 3 LA-ICP-MS U-Pb isotope dating data of volcanic single zircon from the Zhoucun—Yanxia cross-section, Shouchang town, Jiande, Zhejiang

样品及 测点号	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		
	(μg/g)			测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄及误差 (Ma)
ZC-10-3	200	222	0.9	0.04607	0.00192	0.12375	0.00522	0.01974	0.00048	0.00336	0.00019	126 ± 3		
ZC-10-4	221	238	0.93	0.04548	0.00157	0.12279	0.00434	0.01980	0.00044	0.00469	0.00023	126 ± 3		
ZC-10-5	423	205	2.06	0.04287	0.00237	0.11449	0.00624	0.01967	0.00053	0.00347	0.00024	126 ± 3		
ZC-10-6	343	331	1.03	0.04553	0.00123	0.11915	0.00334	0.01918	0.00040	0.00487	0.00022	122 ± 3		
ZC-10-7	863	594	1.45	0.04699	0.00128	0.11989	0.00333	0.01864	0.00037	0.00526	0.00029	119 ± 2		
ZC-10-8	323	283	1.14	0.04186	0.00158	0.10809	0.00409	0.01901	0.00043	0.00384	0.00023	121 ± 3		
ZC-10-9	333	627	0.53	0.03728	0.00147	0.09719	0.00379	0.01915	0.00047	0.00288	0.00025	122		
ZC-10-10	323	313	1.03	0.04599	0.00160	0.10772	0.00372	0.01716	0.00036	0.00477	0.00029	110		
ZC-10-11	489	257	1.9	0.04130	0.00153	0.09852	0.00361	0.01748	0.00038	0.00400	0.00023	112		
ZC-10-12	119	151	0.79	0.04089	0.00208	0.09619	0.00477	0.01721	0.00040	0.00435	0.00031	110		
ZC-10-13	293	135	2.17	0.04700	0.00329	0.11411	0.00769	0.01760	0.00046	0.00507	0.00047	112		
ZC-10-14	314	188	1.67	0.04517	0.00209	0.10503	0.00468	0.01687	0.00035	0.00543	0.00039	108		
ZC-10-15	424	209	2.03	0.08331	0.01653	0.21585	0.03810	0.01841	0.00179	0.00333	0.00250	118		
ZC-11-1	98	145	0.67	0.04572	0.00324	0.11424	0.00790	0.01813	0.00048	0.00524	0.00026	116 ± 3		
ZC-11-2	247	337	0.73	0.04478	0.00240	0.10805	0.00570	0.01752	0.00042	0.00527	0.00023	112 ± 3		
ZC-11-3	96	134	0.71	0.04688	0.00251	0.11492	0.00608	0.01782	0.00041	0.00520	0.00019	114 ± 3		
ZC-11-4	131	255	0.51	0.05043	0.00185	0.13053	0.00482	0.01883	0.00040	0.00545	0.00018	120 ± 3		
ZC-11-5	41	83	0.5	0.04985	0.00626	0.12054	0.01475	0.01771	0.00070	0.00569	0.00052	113 ± 4		
ZC-11-6	72	125	0.57	0.04561	0.00273	0.11673	0.00695	0.01862	0.00044	0.00512	0.00023	119 ± 3		
ZC-11-7	185	270	0.69	0.04801	0.00203	0.12363	0.00530	0.01872	0.00041	0.00512	0.00020	120 ± 3		
ZC-11-8	223	309	0.72	0.04783	0.00222	0.12161	0.00573	0.01850	0.00042	0.00551	0.00025	118 ± 3		
ZC-11-9	88	191	0.46	0.04936	0.00235	0.12856	0.00623	0.01893	0.00043	0.00586	0.00027	121 ± 3		
ZC-11-10	40	101	0.4	0.05003	0.00434	0.13011	0.01122	0.01888	0.00057	0.00640	0.00046	121 ± 4		
ZC-11-11	173	243	0.71	0.04858	0.00375	0.12535	0.00979	0.01881	0.00057	0.00532	0.00044	120 ± 4		
ZC-11-12	67	114	0.58	0.05071	0.00368	0.13227	0.00974	0.01900	0.00056	0.00377	0.00022	121 ± 4		
ZC-11-13	219	327	0.67	0.04867	0.00289	0.12597	0.00786	0.01878	0.00052	0.00534	0.00036	120 ± 3		
ZC-11-14	57	132	0.43	0.05808	0.00877	0.15455	0.02393	0.01957	0.00106	0.00590	0.00086	125		
ZC-11-15	125	254	0.49	0.05004	0.00471	0.12727	0.01267	0.01843	0.00070	0.00498	0.00055	118 ± 4		
ZC-15-1	881	393	2.24	0.04836	0.00138	0.15021	0.00477	0.02253	0.00055	0.00403	0.00020	144		
ZC-15-2	1074	555	1.94	0.04571	0.00139	0.13225	0.00448	0.02099	0.00054	0.00403	0.00025	134 ± 3		
ZC-15-3	1332	523	2.54	0.08320	0.00292	0.24644	0.00896	0.02149	0.00054	0.00731	0.00076	137		
ZC-15-4	1422	478	2.98	0.05273	0.00222	0.14467	0.00612	0.01991	0.00048	0.00592	0.00064	127 ± 3		
ZC-15-5	1615	687	2.35	0.04907	0.00127	0.14636	0.00419	0.02163	0.00048	0.00490	0.00034	138 ± 3		
ZC-15-6	1016	427	2.38	0.04835	0.00183	0.13918	0.00555	0.02088	0.00053	0.00419	0.00037	133 ± 3		
ZC-15-7	360	201	1.79	0.05246	0.00441	0.16555	0.01350	0.02290	0.00073	0.00801	0.00133	146		
ZC-15-8	841	413	2.04	0.04813	0.00215	0.14504	0.00667	0.02186	0.00058	0.00483	0.00055	139 ± 4		
ZC-15-9	427	250	1.71	0.04937	0.00182	0.13944	0.00534	0.02049	0.00048	0.00522	0.00042	131 ± 3		
ZC-15-10	784	315	2.49	0.05442	0.00213	0.15344	0.00616	0.02045	0.00050	0.00596	0.00056	130 ± 3		
ZC-15-11	1573	479	3.28	0.05339	0.00204	0.15377	0.00615	0.02090	0.00053	0.00502	0.00055	133 ± 3		
ZC-15-12	658	376	1.75	0.04764	0.00187	0.14369	0.00592	0.02188	0.00057	0.00415	0.00040	140 ± 4		
ZC-15-13	747	267	2.8	0.04979	0.00337	0.14313	0.00959	0.02085	0.00065	0.00492	0.00078	133 ± 4		
ZC-15-14	882	489	1.8	0.04955	0.00198	0.14377	0.00607	0.02104	0.00057	0.00309	0.00026	134 ± 4		
ZC-15-15	760	297	2.56	0.04850	0.00204	0.13660	0.00583	0.02043	0.00049	0.00526	0.00060	130 ± 3		
ZC-06-01	396	84	4.69	0.04935	0.00230	0.13287	0.00605	0.01953	0.00033	0.00545	0.00027	125 ± 2		
ZC-06-02	721	189	3.81	0.04893	0.00167	0.13179	0.00442	0.01954	0.00030	0.00537	0.00026	125 ± 2		
ZC-06-03	521	141	3.69	0.08026	0.00701	0.21060	0.01783	0.01903	0.00041	0.00569	0.00012	125 ± 2		
ZC-06-04	519	104	5	0.05067	0.00253	0.13664	0.00665	0.01956	0.00035	0.00509	0.00027	125 ± 2		
ZC-06-05	944	158	5.97	0.04642	0.00178	0.12559	0.00473	0.01962	0.00031	0.00543	0.00028	125 ± 2		

续表 3

样品及 测点号	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$
	(μg/g)			测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	年龄及误差 (Ma)
ZC-06-06	3671	401	9.16	0.05029	0.00164	0.13603	0.00437	0.01962	0.00030	0.00296	0.00016	125 ± 2
ZC-06-07	336	84	3.99	0.04773	0.00263	0.12929	0.00695	0.01965	0.00038	0.00493	0.00031	125 ± 2
ZC-06-08	755	272	2.78	0.04873	0.00134	0.13140	0.00361	0.01956	0.00028	0.00502	0.00029	125 ± 2
ZC-06-09	453	128	3.53	0.05079	0.00274	0.13684	0.00715	0.01954	0.00038	0.00494	0.00033	125 ± 2
ZC-06-10	441	131	3.36	0.04996	0.00241	0.13503	0.00635	0.01961	0.00036	0.00510	0.00035	125 ± 2
ZC-06-11	695	212	3.28	0.05223	0.00171	0.14100	0.00454	0.01958	0.00030	0.00522	0.00026	125 ± 2
ZC-06-12	883	364	2.42	0.04822	0.00112	0.13013	0.00307	0.01958	0.00027	0.00533	0.00026	125 ± 2
ZC-06-13	615	117	5.26	0.05554	0.00229	0.14991	0.00604	0.01958	0.00033	0.00521	0.00028	125 ± 2
ZC-06-14	379	129	2.95	0.04975	0.00230	0.13435	0.00606	0.01959	0.00034	0.00519	0.00031	125 ± 2
ZC-06-15	836	270	3.1	0.05019	0.00148	0.13541	0.00397	0.01957	0.00029	0.00540	0.00030	125 ± 2
ZC-06-16	796	128	6.22	0.05099	0.00225	0.13760	0.00594	0.01957	0.00034	0.00539	0.00032	125 ± 2
ZC-13-01	313	81	3.87	0.05102	0.00264	0.16729	0.00844	0.02378	0.00045	0.00613	0.00041	152 ± 3
ZC-13-02	864	451	1.91	0.04885	0.00204	0.16194	0.00660	0.02405	0.00041	0.00681	0.00048	153 ± 3
ZC-13-03	923	513	1.8	0.05118	0.00222	0.16712	0.00704	0.02369	0.00042	0.00674	0.00050	151 ± 3
ZC-13-05	386	88	4.38	0.04908	0.00318	0.16031	0.01008	0.02370	0.00051	0.00650	0.00052	151 ± 3
ZC-13-06	1121	211	5.32	0.05110	0.00183	0.16788	0.00590	0.02383	0.00038	0.00663	0.00039	152 ± 2
ZC-13-07	200	49	4.07	0.05919	0.00209	0.52298	0.01805	0.06409	0.00103	0.01785	0.00109	400
ZC-13-08	680	188	3.61	0.05035	0.00142	0.16513	0.00463	0.02379	0.00034	0.00632	0.00039	152 ± 2
ZC-13-09	433	114	3.79	0.05533	0.00203	0.17998	0.00645	0.02359	0.00038	0.00647	0.00042	150 ± 2
ZC-13-10	1375	283	4.85	0.05059	0.00120	0.16535	0.00395	0.02371	0.00032	0.00688	0.00045	151 ± 2
ZC-13-11	498	82	6.1	0.04908	0.00297	0.16027	0.00942	0.02369	0.00048	0.00746	0.00054	151 ± 3
ZC-13-12	609	169	3.6	0.05322	0.00178	0.17355	0.00570	0.02365	0.00036	0.00741	0.00054	151 ± 2
ZC-13-13	661	184	3.58	0.05373	0.00158	0.17545	0.00511	0.02369	0.00035	0.00736	0.00056	151 ± 2
ZC-13-14	921	200	4.61	0.04781	0.00146	0.15619	0.00470	0.02370	0.00035	0.00709	0.00056	151 ± 2
ZC-13-15	447	135	3.3	0.05567	0.00207	0.17963	0.00652	0.02341	0.00038	0.00783	0.00066	149 ± 2
ZC-13-16	363	92	3.93	0.04994	0.00222	0.16303	0.00707	0.02368	0.00040	0.00675	0.00061	151 ± 3
ZC-13-17	1045	241	4.33	0.04788	0.00134	0.15578	0.00434	0.02360	0.00034	0.00725	0.00066	150 ± 2
ZC-13-18	169	153	1.1	0.04938	0.00202	0.16145	0.00644	0.02372	0.00039	0.00775	0.00081	151 ± 2
ZC-13-19	1009	238	4.24	0.04885	0.00130	0.15833	0.00420	0.02351	0.00033	0.00807	0.00081	150 ± 2
ZC-23-01	410	220	1.87	0.04765	0.00147	0.12688	0.00388	0.01931	0.00028	0.00563	0.00035	123 ± 2
ZC-23-02	356	209	1.71	0.04814	0.00193	0.12789	0.00502	0.01927	0.00032	0.00561	0.00038	123 ± 2
ZC-23-03	249	135	1.85	0.04707	0.00199	0.12566	0.00522	0.01936	0.00032	0.00569	0.00039	124 ± 2
ZC-23-04	259	132	1.96	0.04732	0.00196	0.12650	0.00515	0.01939	0.00032	0.00560	0.00039	124 ± 2
ZC-23-05	261	140	1.86	0.05034	0.00198	0.13405	0.00518	0.01932	0.00032	0.00570	0.00041	123 ± 2
ZC-23-06	301	177	1.7	0.05010	0.00210	0.13458	0.00550	0.01948	0.00033	0.00546	0.00041	124 ± 2
ZC-23-07	227	132	1.72	0.04901	0.00207	0.13172	0.00543	0.01949	0.00033	0.00546	0.00042	124 ± 2
ZC-23-08	371	203	1.83	0.04932	0.00167	0.13251	0.00443	0.01949	0.00030	0.00537	0.00041	124 ± 2
ZC-23-09	476	263	1.81	0.04840	0.00146	0.12964	0.00388	0.01943	0.00029	0.00506	0.00039	124 ± 2
ZC-23-10	404	226	1.79	0.04622	0.00156	0.12353	0.00413	0.01939	0.00030	0.00490	0.00040	124 ± 2
ZC-23-11	243	132	1.84	0.05038	0.00220	0.13464	0.00572	0.01938	0.00033	0.00575	0.00036	124 ± 2
ZC-23-12	383	206	1.86	0.05086	0.00161	0.13602	0.00424	0.01940	0.00029	0.00526	0.00030	124 ± 2
ZC-23-13	472	283	1.67	0.05050	0.00147	0.13461	0.00388	0.01933	0.00028	0.00534	0.00030	123 ± 2
ZC-23-14	264	103	2.56	0.04985	0.00436	0.13223	0.01126	0.01924	0.00039	0.00608	0.00022	123 ± 2
ZC-23-15	363	178	2.04	0.04818	0.00170	0.13158	0.00458	0.01981	0.00031	0.00559	0.00033	126 ± 2
ZC-43-01	174	61	2.83	0.08904	0.01343	0.22239	0.03266	0.01811	0.00063	0.00535	0.00021	116
ZC-43-02	170	65	2.62	0.12254	0.01757	0.28793	0.03915	0.01704	0.00077	0.00487	0.00024	109
ZC-43-03	224	85	2.65	0.06610	0.00390	0.17089	0.00966	0.01875	0.00042	0.00560	0.00041	120 ± 3
ZC-43-04	109	53	2.05	0.09042	0.01529	0.21868	0.03576	0.01754	0.00076	0.00518	0.00026	112
ZC-43-05	62	32	1.96	0.06620	0.00715	0.17345	0.01802	0.01900	0.00063	0.00534	0.00065	121 ± 4
ZC-43-06	328	98	3.34	0.13734	0.01835	0.30743	0.03950	0.01623	0.00059	0.00459	0.00019	104
ZC-43-07	346	189	1.83	0.06178	0.00214	0.16105	0.00544	0.01891	0.00031	0.00543	0.00038	121 ± 2

续表 3

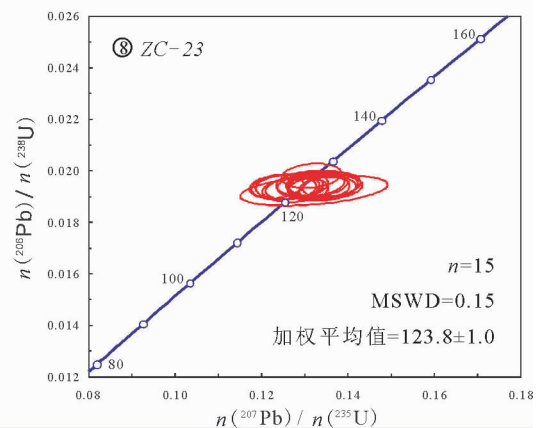
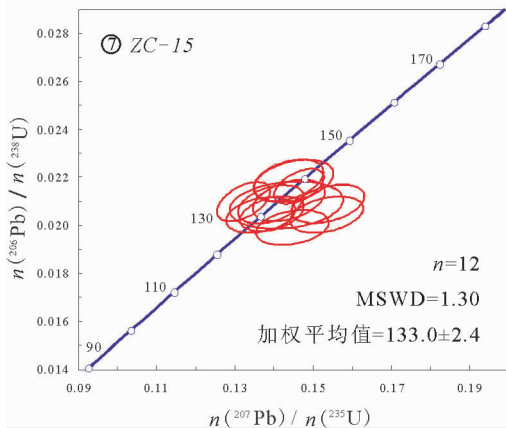
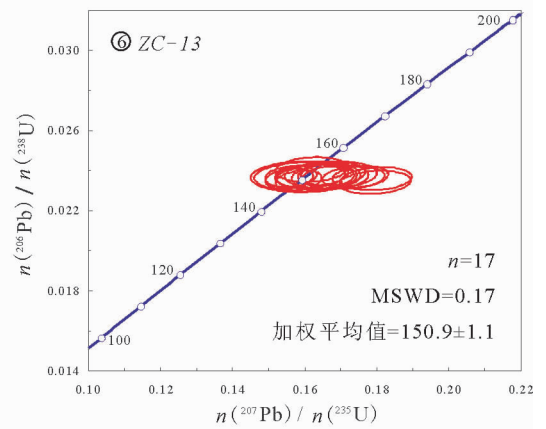
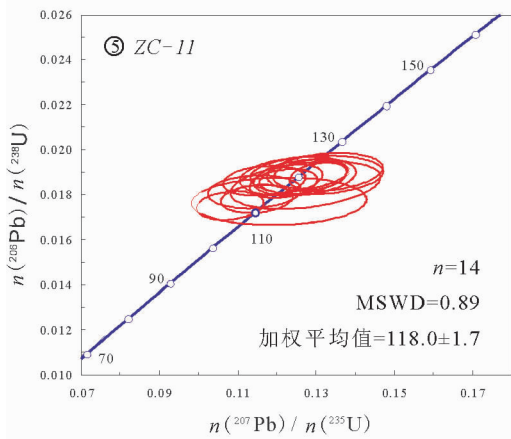
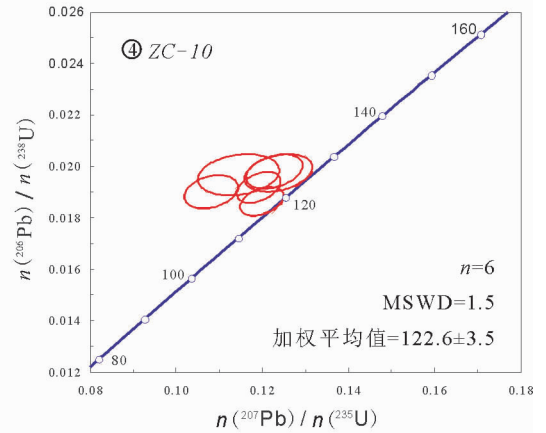
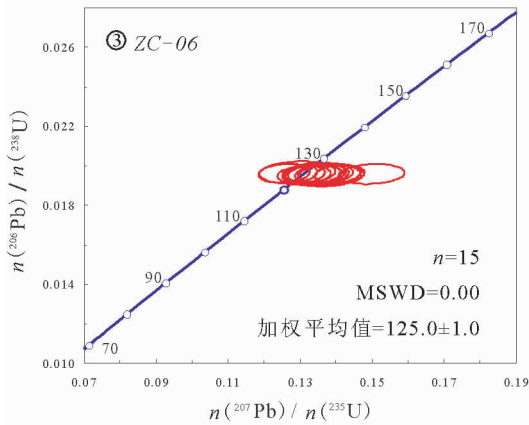
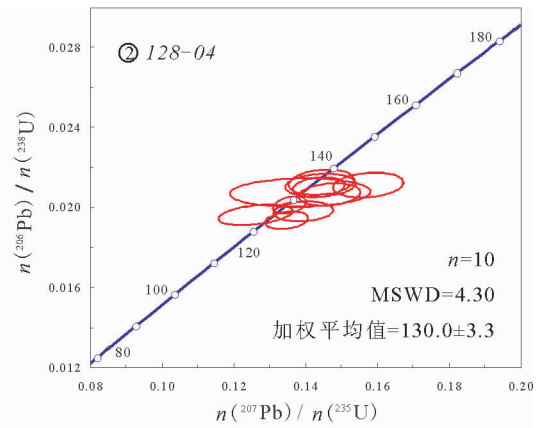
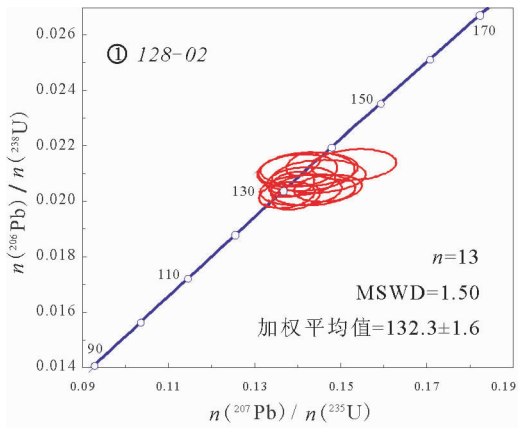
样品及测点号	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$ 年龄及误差 (Ma)
	($\mu\text{g/g}$)			测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	
ZC-43-08	35	17	2.13	0.07624	0.01399	0.19701	0.03480	0.01874	0.00098	0.00617	0.00107	120
ZC-43-09	118	58	2.03	0.05276	0.00337	0.13769	0.00856	0.01893	0.00038	0.00536	0.00044	121 ± 2
ZC-43-10	301	130	2.31	0.04813	0.00196	0.12767	0.00509	0.01924	0.00031	0.00485	0.00036	123 ± 2
ZC-43-11	172	93	1.84	0.04951	0.00247	0.12789	0.00622	0.01874	0.00033	0.00449	0.00037	120 ± 2
ZC-43-12	72	31	2.32	0.05756	0.00513	0.14873	0.01293	0.01874	0.00046	0.00557	0.00054	120 ± 3
ZC-43-13	279	140	2	0.06122	0.00264	0.16303	0.00678	0.01931	0.00034	0.00590	0.00048	123 ± 2
ZC-43-14	65	33	1.96	0.06169	0.00501	0.16094	0.01268	0.01892	0.00046	0.00639	0.00065	121 ± 3
ZC-43-15	530	211	2.51	0.08003	0.00736	0.20179	0.01818	0.01829	0.00033	0.00547	0.00010	117
ZC-43-16	53	24	2.19	0.06120	0.00687	0.16492	0.01796	0.01954	0.00060	0.00504	0.00067	125 ± 4
ZC-43-17	354	131	2.7	0.05088	0.00261	0.13218	0.00657	0.01884	0.00035	0.00539	0.00052	120 ± 2
ZC-43-18	203	76	2.67	0.04987	0.00468	0.12558	0.01136	0.01826	0.00052	0.00485	0.00057	117 ± 3
ZC-43-19	617	381	1.62	0.04887	0.00145	0.12703	0.00372	0.01885	0.00028	0.00513	0.00052	120 ± 2
ZC-43-20	357	165	2.16	0.04732	0.00241	0.12361	0.00610	0.01894	0.00035	0.00557	0.00062	121 ± 2
128-02-1	320	73	4.38	0.03999	0.00266	0.11500	0.00756	0.02086	0.00038	0.00558	0.00031	133
128-02-2	509	135	3.76	0.04887	0.00263	0.14192	0.00744	0.02107	0.00046	0.00151	0.00007	134 ± 3
128-02-3	1639	533	3.07	0.05025	0.00128	0.13967	0.00364	0.02016	0.00031	0.00329	0.00014	129 ± 2
128-02-4	1463	446	3.28	0.04799	0.00085	0.14130	0.00263	0.02135	0.00028	0.00520	0.00021	136 ± 2
128-02-5	483	93	5.17	0.05006	0.00228	0.14078	0.00626	0.02040	0.00036	0.00613	0.00041	130 ± 2
128-02-6	223	66	3.36	0.04889	0.00261	0.14265	0.00746	0.02116	0.00040	0.00422	0.00022	135 ± 3
128-02-7	339	66	5.1	0.05030	0.00253	0.14495	0.00714	0.02090	0.00039	0.00417	0.00019	133 ± 2
128-02-8	1153	186	6.19	0.04878	0.00120	0.13862	0.00349	0.02061	0.00030	0.00328	0.00011	132 ± 2
128-02-9	341	104	3.27	0.04927	0.00184	0.14081	0.00522	0.02072	0.00034	0.00351	0.00014	132 ± 2
128-02-10	297	77	3.84	0.05206	0.00227	0.15303	0.00653	0.02132	0.00037	0.00616	0.00038	136 ± 2
128-02-11	407	69	5.92	0.05102	0.00234	0.14356	0.00649	0.02041	0.00037	0.00295	0.00012	130 ± 2
128-02-12	445	133	3.36	0.04322	0.00302	0.11799	0.00801	0.01981	0.00048	0.00158	0.00011	126
128-02-13	349	89	3.94	0.05208	0.00186	0.14702	0.00518	0.02047	0.00032	0.00523	0.00028	131 ± 2
128-02-14	634	174	3.64	0.04810	0.00213	0.14003	0.00609	0.02111	0.00039	0.00344	0.00023	135 ± 2
128-02-15	544	142	3.84	0.04929	0.00154	0.13749	0.00430	0.02023	0.00031	0.00408	0.00021	129 ± 2
128-04-1	140	80	1.74	0.04658	0.00265	0.12608	0.00682	0.01963	0.00034	0.00625	0.00032	125 ± 2
128-04-2	238	134	1.78	0.05109	0.00206	0.13942	0.00549	0.01980	0.00033	0.00672	0.00041	126 ± 2
128-04-3	546	293	1.86	0.04888	0.00108	0.13561	0.00309	0.02012	0.00029	0.00487	0.00017	128 ± 2
128-04-4	346	259	1.34	0.05004	0.00204	0.19900	0.00791	0.02885	0.00059	0.00176	0.00009	183
128-04-5	866	501	1.73	0.04860	0.00107	0.14654	0.00339	0.02187	0.00034	0.00257	0.00008	139
128-04-6	424	161	2.63	0.05153	0.00201	0.14672	0.00566	0.02065	0.00037	0.00398	0.00018	132 ± 2
128-04-7	180	114	1.58	0.05047	0.00146	0.13473	0.00393	0.01936	0.00029	0.00337	0.00011	124 ± 2
128-04-8	136	71	1.91	0.04956	0.00226	0.14420	0.00647	0.02111	0.00038	0.00463	0.00023	135 ± 2
128-04-9	177	76	2.32	0.04843	0.00458	0.13852	0.01296	0.02074	0.00047	0.00357	0.00017	132 ± 3
128-04-10	580	202	2.87	0.04911	0.00190	0.15465	0.00593	0.02284	0.00043	0.00207	0.00009	146
128-04-11	192	121	1.59	0.05408	0.00227	0.15750	0.00649	0.02112	0.00041	0.00239	0.00012	135 ± 3
128-04-12	606	188	3.23	0.04929	0.00208	0.14445	0.00601	0.02126	0.00042	0.00166	0.00008	136 ± 3
128-04-13	300	189	1.59	0.05100	0.00349	0.12999	0.00852	0.01850	0.00051	0.00097	0.00009	118
128-04-14	365	154	2.37	0.04961	0.00164	0.14369	0.00471	0.02101	0.00033	0.00567	0.00035	134 ± 2

该剖面上最老的两组年龄,各自对应于与晚侏罗世提塘期 (Tithonian) 和早白垩世凡兰吟期 (Vanlanginian)。

由于测试分析之前进行了锆石阴极发光结构观察,激光剥蚀过程中尽量回避了包体、核心部位(图4),加之锆石大多具有自形一半自形晶形特征,同心生长纹清楚,Th/U 比值大多介于 1.50 ~ 3.00 之间,

年龄结果谐和度高,表明这些年龄结果反映了凝灰岩和凝灰熔岩的成岩时间。由此,我们推测第4层与第3层之间存在长期间断、第4层与寿昌组之间存在断层,但该断层是盆地级范围还是仅仅是剖面附近存在有待进一步工作证实。

由此看来,第4层不能归入黄尖组,第3层才是真正的黄尖组。这样,建德群局部层位(第4层)可



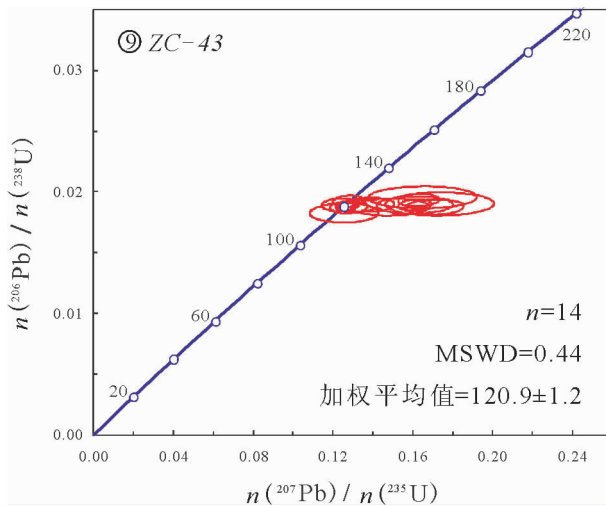


图 3 浙江西部建德群锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 LA-ICP-MS U-Pb dating concordia diagram of the zircon from the Jiande Group, western Zhejiang

能下延到上侏罗统底部,但这套火山岩可能已经不属于黄尖组甚至建德群。问题是,由于属于火山岩系,至今为止没有化石报导,在区域上也没有类似的同位素年龄发表,因此,其分布的广泛性和真实性仍有待进一步考察。

3.3 寿昌组

由于该地层中火山岩不发育,仅在第 10 层(地貌上突出,在公路边易于识别;图 2)采集了一件凝灰岩样品进行 U-Pb 同位素测试分析。测得第 10 层序号为⑧的样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 123.8 ± 1.0 Ma, MSWD 为 0.15(图 3,表 2)。由于该点位于寿昌组中部,因此,我们认为,将寿昌组的形成年龄限制在 125 ~ 121 Ma 较为合适,即归位在阿普特期早期比较合理。

本次测试获得的寿昌组这个年龄与李坤英等(1988)的 122 Ma 较为一致,与近期对区域上的其它同位素年龄总结结果(俞云文和徐步台,1999;汪庆华等,2001;俞云文等,2008)接近(表 1),但远不同于陈丕基等(1982)、陈丕基(2000)的巴雷姆期早期的定位,在福建和华北的地层对比则基本与黄尖组情况相似。

3.4 横山组

因主要为沉积岩层,仅在第 15 层下部采集到一件凝灰岩样品(图 2)。测得第 15 层序号为⑨的样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 120.9 ± 1.2 Ma, MSWD 为 0.44(图 3,表 2)。样品采于横山组下部,考虑之上尚有厚 500 m 以上的地层,将横山组的形成年龄放置在 121 ~ 115 Ma 范围值得推荐,其相

应的地质时代大致为阿普特期中期。

这一年龄与李坤英等(1988)的 117 Ma 大致可以比较,也与区域同位素年龄总结结果(俞云文和徐步台,1999;汪庆华等,2001;俞云文等,2008)可以对比(表 1)。不过,与陈丕基等(1982)、陈丕基(2000)的巴雷姆期晚期层位难以相当,与福建和华北的地层对比情况大致与黄尖组对比情况相似。

4 地层时空格架

由上述建德群时代分析表明,劳村组、黄尖组、寿昌组和横山组的地层层序并非过去通常认为的那样,是连续向上变化的,而是既存在上下关系,也存在同时异相的空间关系(图 5)。

劳村组在大部分地区不整合在上古生界之上,根据周村一岩下剖面第 4 层的年龄,其间在寿昌地区可能存在火山碎屑岩(图 5),即第 4 层可能是本区最老的火山碎屑岩岩层,但这一推测尚待在西部与上古生界之间发现证据。此外,如果第 4 层凝灰岩,仍然归属建德群,则建德群的时代可以下延到上侏罗统底部。

劳村组之上为黄尖组,二者间是否存在较长时间的间断尚难判断。黄尖组(第 3 层)为一套火山碎屑岩夹少量陆源碎屑岩,它的顶部年龄在测区最年轻。考虑与寿昌组和横山组的年龄方案,我们推测它与寿昌组和横山组为同时异相的空间关系(图 5):在周村东 500 m 以西为火山建造,以东为沉积岩夹火山的组合。正是由于东侧寿昌组和横山组中夹火山碎屑岩层从而可获得同位素年龄以确认二者呈

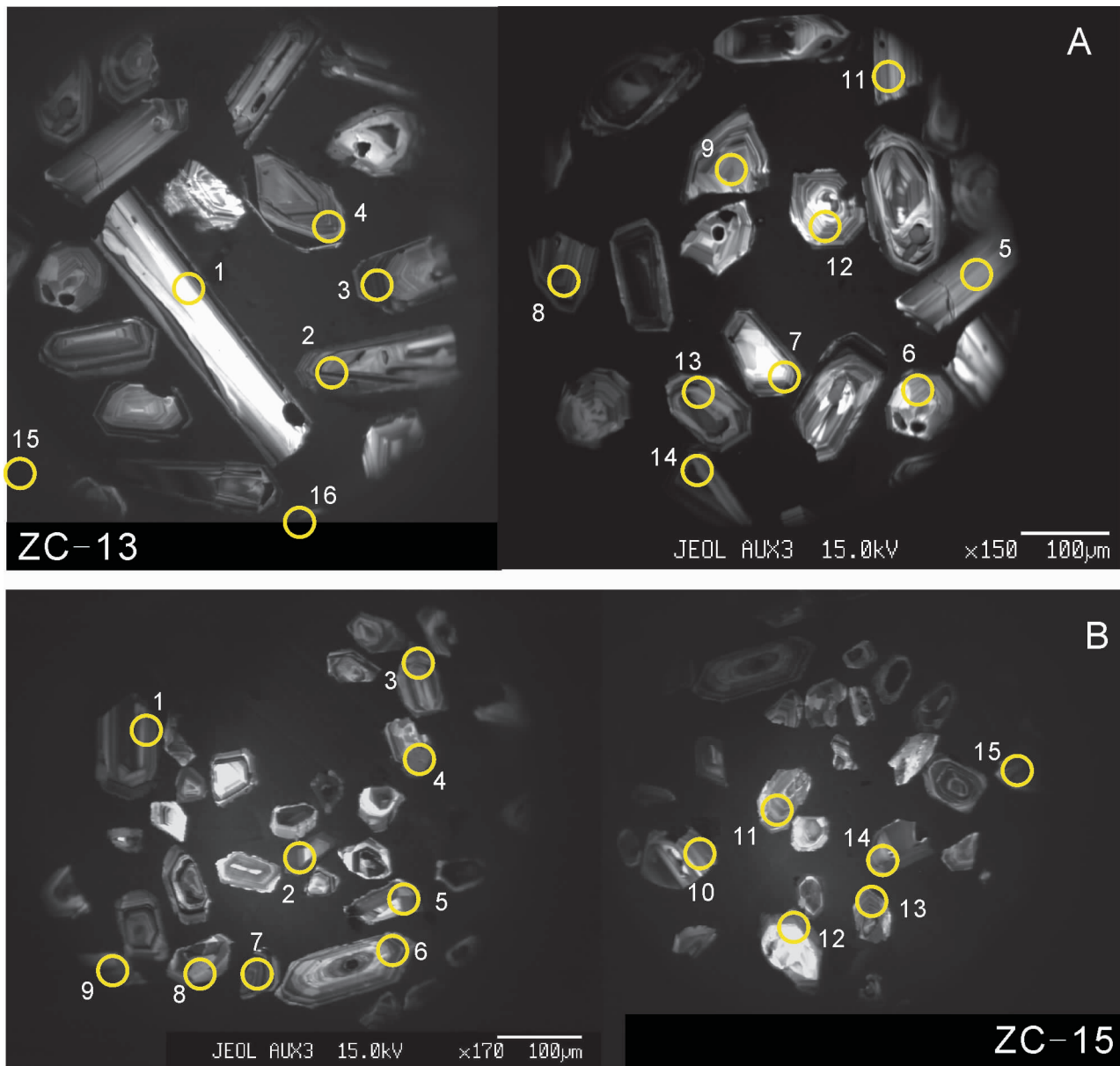


图4 寿昌周村一岩下剖面第5层中两件样品(ZC-10、ZC-15)的锆石 CL 图像及测试点位与编号
 Fig. 4 Zircon CL images and laser-ablation points of the samples ZC-10 and ZC-15 from the
 Bed 5 of the Zhoucun—Yanxia cross-section, Shouchang town, Jiande

上下关系。

对于黄尖组与寿昌组和横山组的同时异相空间配置关系,是呈指状交叉还是直接快速相变较难确认,本文暂从后者。另一方面,寿昌组在丽水盆地和寿昌盆地的生物群上可以对比,存在相同的介形虫组合 *Darwinula—Damonella—Cypridea* 及 *Cypridea—Darwinula—Djungarica*(蒋维三等,1993),加之馆头组的顶部年龄(115 ± 1.5 Ma,李祥辉等,未发表)限

制,本文认为这两个盆地之间的寿昌组近乎同时沉积,并且横山组与馆头组可进行对比(图5)。

5 主要认识

根据上述对浙江省西部建德地区寿昌盆地的火山岩锆石年代学研究发现,建德群与前人研究成果相比总体上相似,可定位于早白垩世,但集中于中期,且其地层层序、相关关系也有较大差异。由于这

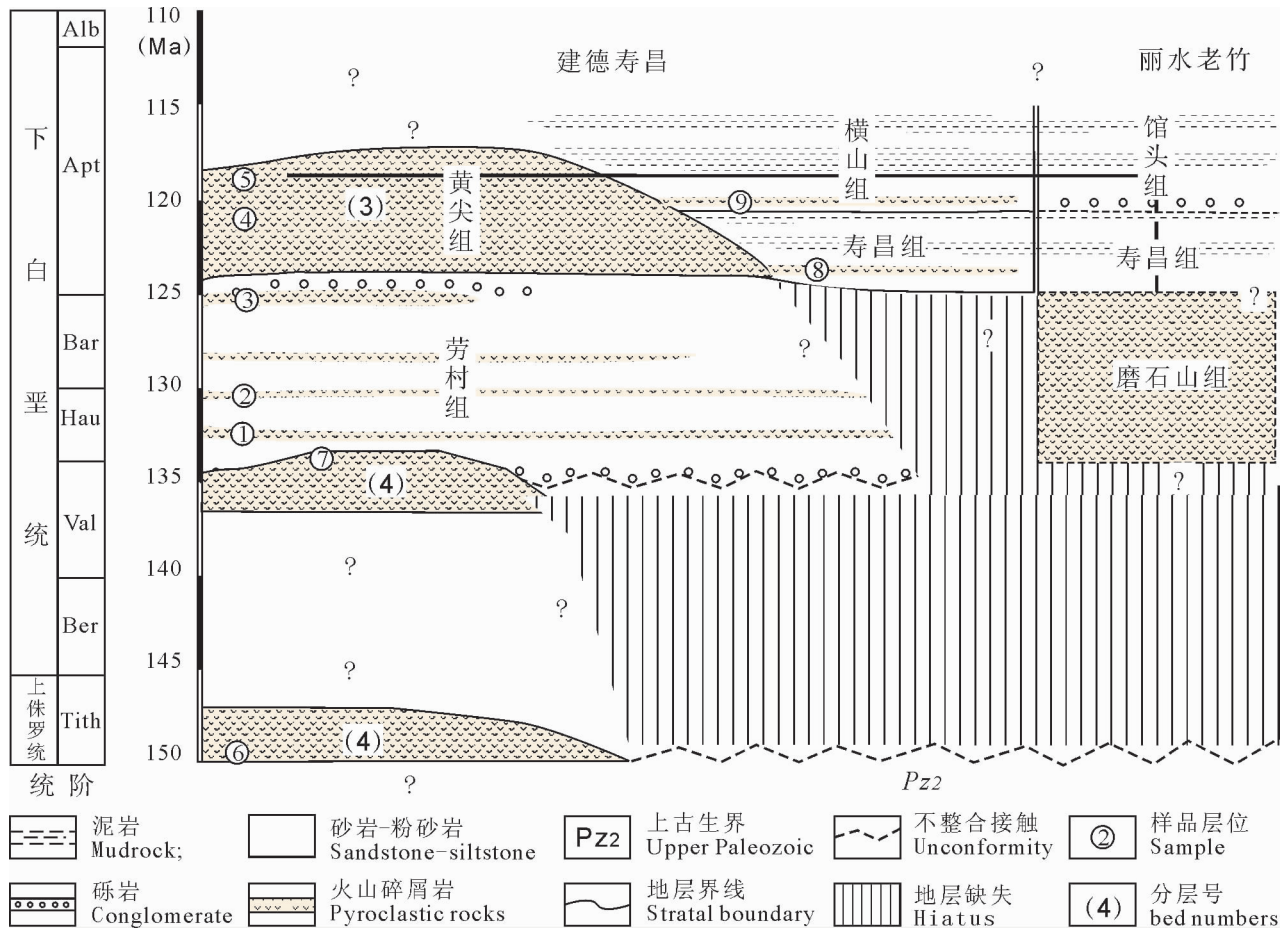


图 5 寿昌镇盆地建德群各组时空关系配置示意图(无横向比例尺)

Fig. 5 Individual formation relationships of the Jiande Group in time and space in the Shouchang basin, Jiande, western Zhejiang (no scale in horizon)

种关系仅得益于寿昌剖面,在盆地其它位置是否如此有待于进一步工作证实。具体认识现总结如下:

(1)建德群的主体年龄在 134 ~ 115 Ma 之间,属于早白垩世中晚期。具体地,其下属劳村组、黄尖组、寿昌组和横山组的地质年龄分别是:134 ~ 125 Ma、125 ~ 118 Ma、125 ~ 121 Ma 和 121 ~ 115 Ma,对应的时代为属于欧特里夫期—巴雷姆期、阿普特期早中期、阿普特期早期、阿普特期中期。

(2)构成建德群的四个组地层层序并非过去通常认为的那样连续向上变化,而是既存在上下关系,也存在同时异相的空间穿插关系,即劳村组之上为黄尖组,寿昌组之上为横山组,但黄尖组的时代与寿昌组、横山组相当,前者与后两者可能为横向相变关系。

(3)寿昌组在丽水盆地和寿昌盆地的生物群上可以对比,结合丽水盆地馆头组的顶部年龄限制,它可能是近乎同时的沉积,而横山组与馆头组可进行

年代对比。

参 考 文 献 / References

陈丕基,黎文本,陈金华,叶春辉,王振,沈炎彬,孙东立. 1982. 中国侏罗、白垩纪的地层划分. 中国科学(B辑),7: 651 ~ 664.
 陈丕基. 2000. 中国陆相侏罗、白垩系划分对比述评. 地层学杂志,24(2): 114 ~ 119.
 陈其爽. 1983. 对浙江寿昌组、横山组、馆头组关系的探讨. 石油与天然气地质,4(1): 8 ~ 27.
 陈文,张彦,季强,刘敦一,宋彪,姚培毅,刘新宇. 2005. 四合屯珍稀化石层的时代——Ar/Ar 和 SHRIMP U/Pb 年龄新证据. 地层学杂志,29(增刊): 582 ~ 588.
 丁保良,蓝善先,汪迎平. 1987. 试论浙闽赣地区非海相侏罗、白垩纪界线. 见:中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,3. 北京:地质出版社,43 ~ 54.
 丁保良,蓝善先,汪迎平. 1989. 浙闽赣地区非海相侏罗—白垩纪火山、沉积地层及生物群. 南京:江苏省科学技术出版社,1 ~ 139.
 丁保良,李耀西,汪迎平,冯宁生,张瑛,蓝善先. 2010. 浙江白垩系综合地层学研究及进展. 北京:地质出版社,1 ~ 188.
 福建省地质矿产局. 1996. 福建省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社,1 ~ 216.

- 顾知微,黄为龙,陈德琼. 1963. 浙江西部“白垩系”及第三纪地层. 全国地层会议学术报告汇编——浙西地层现场会议. 北京:科学出版社.
- 顾知微. 1980. 浙江侏罗系和白垩系的研究. 见:中国科学院南京地质古生物研究所编. 浙皖中生代火山沉积岩地层的划分及对比. 北京:科学出版社,2~68.
- 黄家龙,卢清地,张正义,聂童春,周国武,林敏,郑平. 2008. 福建仙游园庄地区南园组新层型剖面的建立及时代的重新厘定. 地质通报,27(6):785~792.
- 蒋维三,甄金生,李龙通,徐克定. 1993. 浙江白垩系研究. 南京:南京大学出版社,1~188.
- 李坤英,王小平,沈加林. 1988. 浙江建德群的时代归属问题. 地质论评,34(6):485~495.
- 李坤英,沈加林,王小平. 1989. 中国浙闽赣地区中生代陆相火山岩同位素年代学. 地层学杂志,13(1):1~13.
- 柳永清,李佩贤,田树刚. 2003. 冀北滦平晚中生代火山碎屑(熔)岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志,22(3):237~244.
- 罗以达,俞云文. 2004. 试论永康群时代及区域地层对比. 中国地质,31(4):395~399.
- 牛宝贵,和政军,宋彪,任纪舜. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. 地质通报,22(2):140~141.
- 汪庆华. 2001. 试论浙江建德群和磨石山群时代. 火山地质与矿产,22(3):163~169.
- 韦忠良,张宏,郭文敏,柳小明. 2008. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年对辽西—冀北地区晚中生代区域性角度不整合时代的约束. 自然科学进展,18(10):1119~1127.
- 俞云文,姜禹,卢成忠. 2008. 浙江白垩纪火山岩的地层划分及钨同位素特征. 地层学杂志,32(1):70~77.
- 俞云文,徐步台. 1999. 浙江中生代晚期火山—沉积岩系层序和时代. 地层学杂志,23(2):136~145.
- 张宏,柳小明,袁洪林,胡兆初,第五春荣. 2006. 辽西凌源地区义县组下部层位的 U-Pb 测年及意义. 地质论评,52(1):63~71.
- 浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志. 北京:地质出版社,1~688.
- 浙江省地质矿产局. 1996. 浙江省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社,1~236.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that don't report ^{204}Pb . Chemical Geology, 192: 59~79.
- Gradstein F M, Ogg J G, van Kranendonk M. 2008. On the geologic time scale 2008. Newsletters on Stratigraphy, 43(1): 5~13. doi: 10.1128/0078-0421/2008/0043-0005.
- Liu Yongqing, Ji Qiang, Ji Shu'an, You Hailu, Lü Junchang, Kuang Hongwei, Jiang Xiaojun, Peng Nan, Xu Huan, Yuan Chongxi, Wang Xuri. 2010. Late Mesozoic Terrestrial Stratigraphy, Biotas and Geochronology in North-east China. Acta Geoscientia Sinica, 31 (Supp. 1): 42~45.

LA-ICP-MS U-Pb Isotope Chronology of the Single Zircons from Early Cretaceous Jiande Group in Western Zhejiang, SE China: Significances to Stratigraphy

LI Xianghui¹⁾, CHEN Sidun²⁾, LUO Jiahong³⁾, WANG Yin¹⁾, CAO Ke⁴⁾, LIU Ling¹⁾

1) State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210093;

2) Geological Survey of Fujian, Fuzhou, 350003;

3) The 402nd Geological Survey, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Pixian, Sichuan, 611730;

4) Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong, 200092

Abstract: LA-ICP-MS U-Pb isotope dating of volcanic single zircons from the Early Cretaceous Jiande Group in the Zhoucun—Yanxia cross section, Shouchang basin, western Zhejiang, SE China, at State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University shows that the Jiande Group was formed during 134~115 Ma, the middle—late time of the Early Cretaceous. Subdividedly, the Laocun Formation (Fm.), Huangjian Fm., Shouchang Fm. and Hengshan Fm. were dated as 134~125 Ma, 125~118 Ma, 125~121 Ma and 121~115 Ma, corresponding to the Hauterivian—Barremian, early—middle Aptian, early Aptian and middle Aptian in age, respectively. However, the Jiande Group could range down to the lowest Upper Jurassic if the 4th bed (150~133 Ma) of the cross section is considered as a part of the group. It is proposed that the Huangjian Fm. is the coeval volcanic sediment to the Shouchang Fm. and the Hengshan Fm. in space, but does not succeed beneath or above in sequence as former worker's thought. It is suggested that the Shouchang Fm. deposited in both the Shouchang basin and the Lishui basin was almost simultaneous, and the Hengshan Fm. is roughly correlative with the Guantou Fm. in temporal.

Key words: age constrain; LA-ICP-MS U-Pb isotope chronology; single zircon; Jiande Group; western Zhejiang