

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

# 雁荡山世界地质公园火山岩年代学研究

余明刚<sup>1)</sup>, 邢光福<sup>1)</sup>, 沈加林<sup>1)</sup>, 陈荣<sup>1)</sup>, 周宇章<sup>1)</sup>, 隗合明<sup>2)</sup>, 陶奎元<sup>1)</sup>

1) 南京地质矿产研究所, 210016; 2) 长安大学地球科学系, 西安, 710054

**内容提要:**雁荡山是中国第一个以中生代火山为主题的世界地质公园。长期以来,关于雁荡山火山岩时代及其层位归属存在争议。为了配合世界地质公园的申报、建设并提高其科学研究程度,笔者等对雁荡山火山岩开展了系统的同位素年代学研究。自下而上3个火山地层单元的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定表明,雁荡山火山岩的形成时代为 97.2~105.6Ma,属于早白垩世晚期;经区域地层对比,确定其层位应归属永康群小平田组,这为整个浙东、乃至与闽东之间的晚中生代火山-沉积地层系统划分与对比,提供了重要地质依据。

**关键词:** 锆石; SHRIMP 测年; 火山岩; 世界地质公园; 雁荡山; 浙东南

雁荡山世界地质公园位于浙东南乐清市、永嘉县、温岭市境内,是全球具典型性的中生代晚期复活破火山。浙东地区在大地构造上,处于环太平洋亚洲大陆边缘构造岩浆带中的中国东南沿海中生代火山岩带。中生代时期古太平洋板块向亚洲大陆板块斜向俯冲,导致中国东部由 EW 向构造体制转变为 NE、NNE 向构造体制,雁荡山白垩纪破火山即在这一具有全球意义的构造背景下形成。

雁荡山地区地质调查研究程度较高,于 1979 年、1995 年和 1998 年,先后完成 1:20 万(温州幅)、1:5 万(大荆幅)和 1:25 万(温州幅)区域地质调查。前人也曾测定过雁荡山火山-侵入岩类的全岩 Rb-Sr 等时线年龄,其中火山岩年龄为 117~128Ma(表 1),但因对岩石类型与组合及年龄可靠性等看法不一,关于雁荡山火山岩的时代及地层归

属仍存在争议,主要有以下几种观点:① 相当于晚侏罗世磨石山群西山头组上部和九里坪组<sup>①②</sup>(冯长根等,1997;俞云文等,2001);② 相当于早白垩世永康群朝川组、小平田组<sup>③④</sup>。③ 陶奎元等(2004)据雁荡山巨厚的流纹岩及下伏的熔结凝灰岩而倾向于将其归入九里坪组。

雁荡山于 2004 年被国土资源部批准为国家地质公园,2005 年被联合国教科文组织批准为世界地质公园;笔者等参与了雁荡山上述两次地质公园的申报工作。此间,为了配合世界地质公园的申报、建设和提高其科学研究程度,专题开展了雁荡山火山岩年代学研究,以正确厘定其时代与地层归属。

## 1 雁荡山火山地质概况

雁荡山破火山先后经历了四期喷发和一期侵入

表 1 雁荡山火山侵入杂岩年龄

Table 1 The ages of Mt. Yandangshan volcano-intrusive complex

序号	单元	岩性	测年方法	年龄(Ma)	采样位置	资料来源
1	K <sub>y</sub>	石英正长岩	全岩 Rb-Sr 等时线	100	雁荡山	冯长明, 2001
2	K <sub>y</sub>	石英正长岩	全岩 Rb-Sr 等时线	113.2±4.2	北雁荡山	冯长明, 2001
3	K <sub>1y</sub> <sup>4</sup>	流纹质熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	117	平阳珊溪	
4	K <sub>1y</sub> <sup>3</sup>	凝灰岩夹流纹岩	全岩 Rb-Sr 等时线	117		
5	K <sub>1y</sub> <sup>2</sup>	流纹岩与碎斑熔岩	全岩 Rb-Sr 等时线	121.0±2.5	北雁荡山上灵岩	
6	K <sub>1y</sub> <sup>1</sup>	流纹质熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	128.0±3.4	乐清大荆五峰山	杜杨松等, 1989
		熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	122	乐清白溪街	

注:本文为国土资源部国土资源大调查项目(编号 1212010610611)和国土资源部“百人计划”第三批资助项目资助的成果。

收稿日期:2006-05-08; 改回日期:2006-08-11; 责任编辑:郝祥国。

作者简介:余明刚,男,1978年生。助工。主要从事中国东南沿海中、新生代火山岩岩浆活动研究。通讯地址:210016,南京市中山东路 534 号,南京地质矿产研究所;电话:025-84485517;Email: ymg1003@126.com。通讯作者:邢光福, njxguangfu@cgs.gov.cn。

活动,环形和放射状火山构造典型,火山岩相类型较齐全,岩石以流纹质火山碎屑岩和熔岩为主,可据岩性自下而上划分为4个岩性段( $K_{1y}^1$ 、 $K_{1y}^2$ 、 $K_{1y}^3$ 、 $K_{1y}^4$ ),其中第一岩性段( $K_{1y}^1$ )为低硅流纹质熔结凝灰岩,厚度688m,总体上呈环状分布于雁荡山破火山外缘带;第二岩性段( $K_{1y}^2$ )为岩浆平静溢流形成

的巨厚层流纹岩,构成了雁荡山的主要景点,厚度>600m,分布于火山外环,局部有侵出相流纹岩穹;第三岩性段( $K_{1y}^3$ )为凝灰岩、熔结凝灰岩并夹有流纹岩,厚度380m,分布局限于火山内环;第四岩性段( $K_{1y}^4$ )主要为流纹质熔结凝灰岩,局部见凝灰熔岩,厚度297m,主要分布于火山内环。

后期岩浆沿原主要喷发通道侵入,构成中央侵入体( $K_y$ )石英正长斑岩。雁荡山破火山的外围地层有磨石山群高坞组( $K_{1g}$ )、西山头组( $K_{1x}$ )的火山岩,以及永康群馆头组( $K_{1gt}$ )和朝川组( $K_{1cc}$ )火山-沉积岩系(图1)。

本次研究选择雁荡山破火山第一、二、四岩性段的火山岩开展了系统的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素测年。

## 2 年龄的测定

### 2.1 样品处理与试验条件

测年样品分别采自雁荡山第一岩性段(样号04YD-01)、第二岩性段(样号04YD-02)、第四岩性段(样号04YD-04),可较好地控制本区火山地层时代。其中样品04YD-01采自响岭头芙蓉宾馆桥头旁,岩性为流纹质熔结凝灰岩;样品04YD-02、04YD-04采自上灵岩一百岗尖剖面(图2),岩性分别为流纹岩和熔结凝灰岩。

样品用人工重砂方法分选出锆石,然后在双目镜下挑纯,分离出来的锆石自形晶,主要形态有柱状、短柱状、块状等,锆石颗粒多数无色透明,少数为浅粉红色、黄色,晶体长度30~350 $\mu$ m,长宽比为2.5~1.1;具有明显的生长环带,少数见细小的次生锆石、包裹体及裂纹。选出晶形良好的锆石制靶(制靶程序参见宋彪等,2002;Williams,1998),然后进行反/透射光照相,确定单颗粒锆石晶体的形态、结构特征以及标定测年点,最后在北京离子探针实验室

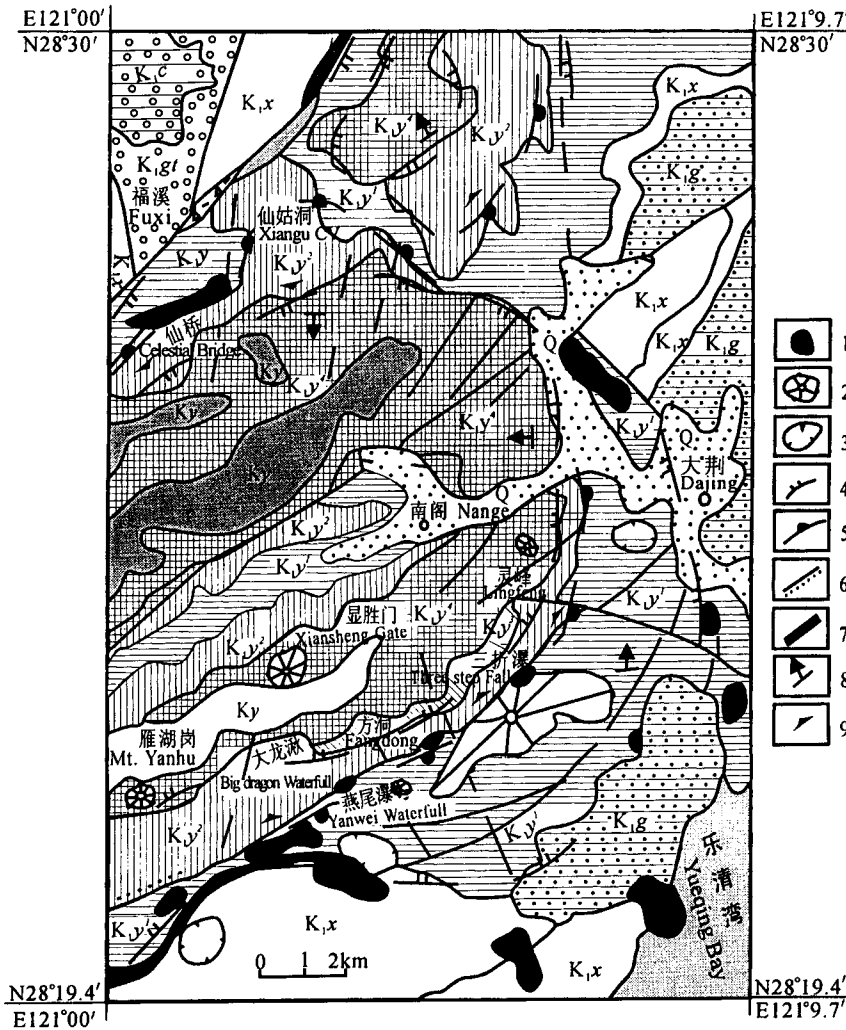


图1 雁荡山地质略图(据国土资源部<sup>®</sup>简化)

Fig. 1 Geological sketch of the Mt. Yandangshan(modified after Ministry of Land and Resources<sup>®</sup>)

Q--第四纪; $K_{1y}^1$ —第一岩性段; $K_{1y}^2$ —第二岩性段; $K_{1y}^3$ —第三岩性段; $K_{1y}^4$ —第四岩性段; $K_y$ —中央侵入体; $K_{1cc}$ —朝川组; $K_{1gt}$ —馆头组; $K_{1x}$ —西山头组; $K_{1g}$ —高坞组;1—次火山岩、岩脉;2—侵出岩穹;3—火山通道;4—破火山边界环状断裂;5—岩流、岩穹组合边界;6—断裂;7—破碎带;8—假流纹产状;9—流面产状

Q—Quaternary;  $K_{1y}^1$ —the first member;  $K_{1y}^2$ —the second member;  $K_{1y}^3$ —the third member;  $K_{1y}^4$ —the fourth member;  $K_y$ —central intrusive body;  $K_{1cc}$ —Chaochuan Formation;  $K_{1gt}$ —Guantou Formation;  $K_{1x}$ —Xishantou Formation;  $K_{1g}$ —Gaowu Formation; 1—subvolcanic rocks and veins; 2—extrusive dome; 3—volcanic conduit; 4—caldera boundary and ring fault; 5—lava flow and dome boundary; 6—fault; 7—fracture zone; 8—occurrence of pyroclastic flow; 9—occurrence of lava flow

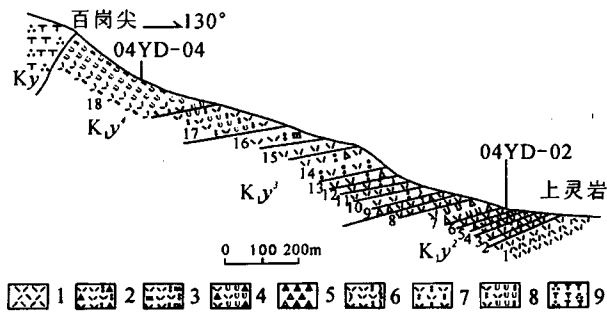


图 2 上灵岩—百岗尖剖面采样点  
(据 1 : 5 万大荆幅(1995)修改)

Fig. 2 Sampling positions on the Shanglingyan-Baigangjian geological section(modified after the 1 : 50000 Dajing sheet, 1995)

- 1—流纹岩; 2—流纹质角砾凝灰岩; 3—流纹质熔结凝灰岩; 4—流纹质角砾熔岩; 5—火山角砾岩; 6—流纹质玻屑凝灰岩; 7—凝灰岩; 8—流纹质凝灰熔岩; 9—石英正长斑岩
- 1—rhyolite; 2—rhyolitic breccia tuff; 3—rhyolitic welded tuff; 4—rhyolitic breccia lava; 5—volcanic breccia; 6—rhyolitic vitroclastic tuff; 7—tuff; 8—rhyolitic tuff lava; 9—quartz syenitic porphyrite

SHRIMP- I 上采用标准程序条件进行测试。采用跳峰扫描记录  $Zr_2O^+$ 、 $^{204}Pb^+$ 、背景值、 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 、 $^{208}Pb^+$ 、 $U^+$ 、 $ThO^+$  和  $UO^+$  等 9 个离子束峰值, 每 5 次扫描记录一次平均值。一次离子为 4.5nA, 10kV 的  $O^+$ , 离子束直径约 25~30 $\mu m$ 。质量分辨率约 5400(1%峰高)。引用 SL13(572Ma,  $U=238 \times 10^{-6}$ ) 标定样品的年龄。数据处理采用 PRAWN 软件(Williams et al., 1996)。普通 Pb 一般根据实测  $^{204}Pb$  及 Cumming 等(1975)模式铅成分校正。 $^{206}Pb/^{238}U$  加权平均年龄置信度为 95%, 每个分析点误差用  $\sigma\%$  表示。3 个样品的锆石  $^{232}Th/^{238}U > 0.1$ , 其中样品 04YD-01 锆石的  $^{232}Th/^{238}U = 1.07 \sim 1.89$ , 样品 04YD-02 锆石的  $^{232}Th/^{238}U = 0.96 \sim 2.27$ , 样品 04YD-04 锆石的  $^{232}Th/^{238}U = 1.19 \sim 1.84$ , 均为岩浆成因锆石。

## 2.2 测年结果

样品 04YD-01、04YD-02 和 04YD-04 分别进行了 13、14、11 颗锆石的测点分析, 所有的分析点在误差范围内有一致的 U/Pb 比值, 它们的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄加权平均值: 04YD-01 为  $97.2 \pm 2.3Ma$ , 04YD-02 为  $105.6 \pm 4.3Ma$ , 04YD-04 为  $99.3 \pm 3.9Ma$ (由于 04YD-04-2.1 点数值过于离散, 所以没有参与样品 04YD-04 年龄计算)(见图 3、表 2), 时间为早白垩世

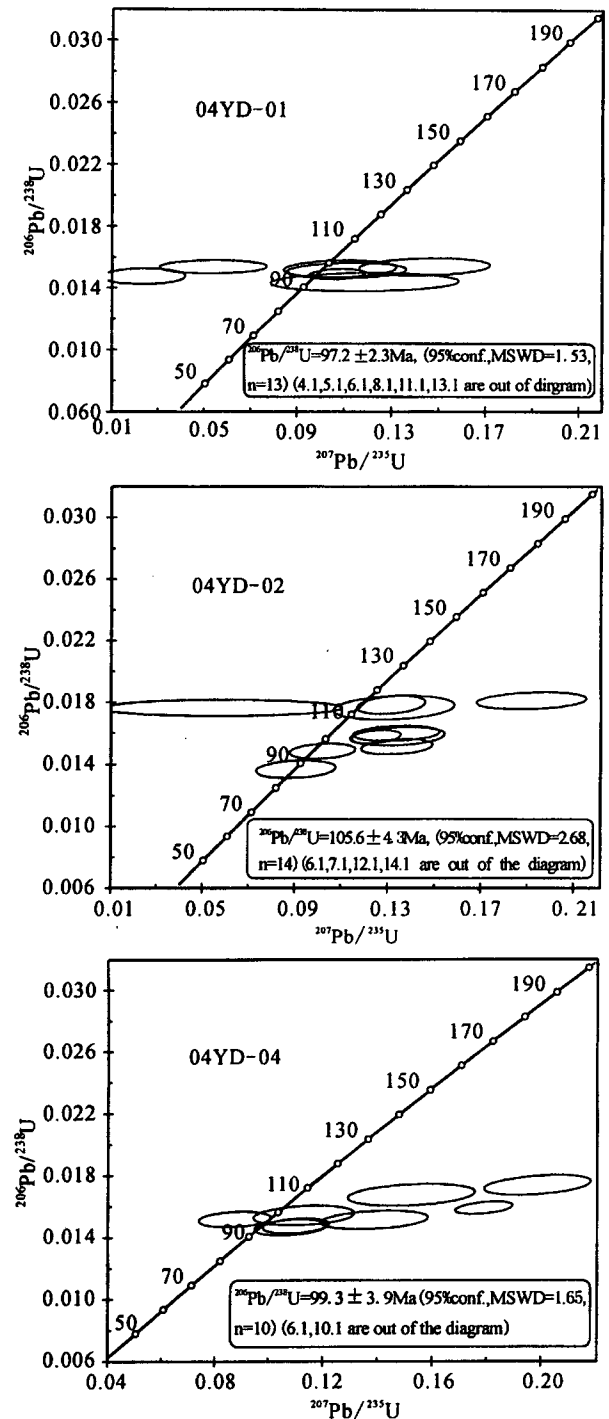


图 3 雁荡山火山岩样品锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagrams of volcanic rock samples from the Mt. Yandangshan

晚期, 表明雁荡山厚近 2000m 的火山岩层并非如以往认为的形成于 128~117Ma 的较长时期内, 而是在相当短的时期内(97.2~105.6Ma)集中喷出的,

表2 雁荡山火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测年结果

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb datings of the Mt. Yandangshan volcanic rocks

点号	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ %	U ( $\times 10^{-6}$ )	Th ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄(Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ( $\pm 6\%$ )	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ( $\pm 6\%$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ( $\pm 6\%$ )
04YD-01-1.1	3.02	96.17	107.71	1.16	1.23	96.3 $\pm$ 3.2	1507 $\pm$ 315	0.094(16.7)	0.19(17)	0.0150(3.4)
04YD-01-2.1	1.22	182.68	229.95	1.30	2.37	97.3 $\pm$ 1.8	839 $\pm$ 139	0.067(6.7)	0.14(6.9)	0.0152(1.9)
04YD-01-3.1	3.31	78.34	143.19	1.89	1.07	99.0 $\pm$ 3.2	1001 $\pm$ 395	0.073(19.5)	0.15(19.7)	0.0155(3.2)
04YD-01-4.1	9.24	75.18	88.32	1.21	1.11	101.1 $\pm$ 5.1	---	---	---	0.0158(5.1)
04YD-01-5.1	3.47	69.27	71.71	1.07	0.96	97.0 $\pm$ 4.1	---	---	---	0.0152(4.2)
04YD-01-6.1	19.20	68.70	84.96	1.28	1.22	97.2 $\pm$ 13.9	---	---	---	0.0152(14.5)
04YD-01-7.1	3.82	90.66	116.95	1.33	1.23	102.2 $\pm$ 2.7	1525 $\pm$ 186	0.095(9.8)	0.21(10.2)	0.0160(2.7)
04YD-01-8.1	7.18	78.75	81.63	1.07	1.09	95.3 $\pm$ 3.8	---	---	---	0.0149(4.0)
04YD-01-9.1	4.85	118.47	139.41	1.22	1.65	102.1 $\pm$ 2.4	457 $\pm$ 376	0.056(16.9)	0.12(17.1)	0.0160(2.3)
04YD-01-10.1	6.55	82.43	97.06	1.22	1.12	100.0 $\pm$ 2.9	579 $\pm$ 321	0.059(14.8)	0.13(15.1)	0.0156(2.9)
04YD-01-11.1	5.62	71.43	91.37	1.32	1.06	99.8 $\pm$ 5.1	---	---	---	0.0156(5.1)
04YD-01-12.1	5.02	70.74	89.61	1.31	0.98	101.7 $\pm$ 3.0	1285 $\pm$ 247	0.084(12.7)	0.18(13.1)	0.0159(3.0)
04YD-01-13.1	6.08	94.02	112.66	1.24	1.33	99.9 $\pm$ 3.8	---	---	---	0.0156(3.8)
04YD-02-1.1	2.65	168.67	285.59	1.75	2.21	95.9 $\pm$ 2.6	492 $\pm$ 225	0.0570(10.2)	0.12(10.5)	0.0150(2.7)
04YD-02-2.1	3.18	81.81	75.89	0.96	1.28	116.5 $\pm$ 4.2	1200 $\pm$ 202	0.0801(10.2)	0.20(10.8)	0.0182(3.6)
04YD-02-3.1	3.06	131.27	186.83	1.47	1.59	87.8 $\pm$ 3.5	193 $\pm$ 850	0.0499(36.6)	0.09(36.8)	0.0137(4.0)
04YD-02-4.1	---	192.49	287.02	1.54	2.92	111.0 $\pm$ 2.8	-170 $\pm$ 564	0.0430(22.6)	0.10(22.8)	0.0174(2.6)
04YD-02-5.1	---	152.67	159.45	1.08	2.33	112.7 $\pm$ 3.1	-114 $\pm$ 282	0.0439(11.5)	0.11(11.8)	0.0176(2.7)
04YD-02-6.1	---	107.92	169.87	1.63	1.54	103.7 $\pm$ 3.8	---	---	---	0.0162(3.7)
04YD-02-7.1	3.31	132.31	171.92	1.34	1.91	101 $\pm$ 3.2	---	---	---	0.0158(3.2)
04YD-02-8.1	0.71	132.31	171.92	1.34	1.91	101.7 $\pm$ 2.6	447 $\pm$ 335	0.0059(15.1)	0.12(15.3)	0.0159(2.6)
04YD-02-9.1	1.15	159.87	271.56	1.76	2.10	95.8 $\pm$ 2.7	441 $\pm$ 415	0.0557(18.6)	0.12(18.9)	0.0150(2.9)
04YD-02-10.1	0.18	236.34	519.08	2.27	3.21	98.6 $\pm$ 2.3	482 $\pm$ 565	0.0380(21.3)	0.08(21.4)	0.0154(2.4)
04YD-02-11.1	3.18	121.09	167.67	1.43	1.70	104.4 $\pm$ 3.2	1354 $\pm$ 155	0.0867(8.0)	0.20(8.6)	0.0163(3.1)
04YD-02-12.1	1.83	137.86	217.90	1.63	2.06	105.2 $\pm$ 3.0	---	---	---	0.0164(2.8)
04YD-02-13.1	12.53	182.00	352.64	2.00	3.15	101.0 $\pm$ 6.7	---	0.0681(87.8)	0.15(88.1)	0.0158(6.7)
04YD-02-14.1	---	161	217	1.4	2.15	97.6 $\pm$ 2.9	---	---	---	0.0153(3.02)
04YD-04-1.1	2.34	103.44	119.20	1.19	1.38	101.1 $\pm$ 3.2	1606 $\pm$ 134	0.0990(7.2)	0.22(7.9)	0.0158(3.2)
04YD-04-2.1	78.33	148.43	214.43	1.49	9.93	148.4 $\pm$ 26.2	3143 $\pm$ 750	0.2435(47.2)	0.78(50.5)	0.0233(17.9)
04YD-04-3.1	3.23	92.36	140.32	1.57	1.27	101.9 $\pm$ 3.4	1162 $\pm$ 169	0.0786(8.5)	0.17(9.2)	0.0159(3.4)
04YD-04-4.1	2.78	82.98	113.12	1.41	1.23	106.0 $\pm$ 3.9	541 $\pm$ 511	0.0583(23.4)	0.13(23.7)	0.0166(3.7)
04YD-04-5.1	0.47	132.85	166.66	1.30	1.68	95.7 $\pm$ 2.7	888 $\pm$ 154	0.0686(7.5)	0.14(8.0)	0.0150(2.9)
04YD-04-6.1	4.99	75.18	117.14	1.61	0.94	87.9 $\pm$ 3.5	---	---	---	0.0137(4.0)
04YD-04-7.1	2.46	164.52	242.09	1.52	2.20	96.8 $\pm$ 3.2	-424 $\pm$ 1108	0.0389(42.3)	0.08(42.4)	0.0151(3.3)
04YD-04-8.1	1.74	199.69	286.52	1.48	2.58	95.3 $\pm$ 2.6	643 $\pm$ 192	0.0611(8.9)	0.13(9.3)	0.0149(2.7)
04YD-04-9.1	---	278.49	437.39	1.62	3.71	97.6 $\pm$ 2.0	74 $\pm$ 247	0.0475(10.4)	0.10(10.6)	0.0153(2.1)
04YD-04-10.1	4.54	73.43	99.38	1.40	0.99	93.9 $\pm$ 4.6	---	---	---	0.0147(5.0)
04YD-04-11.1	---	120.00	213.95	1.84	1.77	109.5 $\pm$ 3.3	950 $\pm$ 185	0.0707(9.0)	0.17(9.5)	0.0171(3.1)

这与雁荡山火山地层中缺乏代表喷发间断的沉积岩夹层等地质事实相一致。

值得注意的是:本次测得的雁荡山火山岩锆石 SHRIMP 年龄与以往测得的年龄数据(表 1)年轻许多,反映以往对本地区地层的归属可能需要修正。此外,测得的岩石年龄与其层序有部分“倒置”现象,这可能与岩浆锆石结晶过程十分复杂有关,也可能与样品测试时仪器稳定性等有关,但上述三组年龄在误差范围内是基本一致的,对于揭示火山活动时间影响不大。

### 3 雁荡山火山地层层位厘定

#### 3.1 浙东晚中生代火山地层与旋回划分简述

浙东晚中生代发生大规模火山活动,可分为早、晚两期共 4 个旋回。早期火山活动时代主要为早白垩世早期,包括 I、II 两个火山活动旋回,火山产物称下火山岩系,火山地层为磨石山群,主要为一套高钾钙碱性酸性系列的安山岩-英安岩-流纹岩组合(局部地区出现少量的玄武岩),代表区域上由挤压转拉张松弛应力环境下的产物。其中第 I 旋回包括大爽组和高坞组,主要为厚层酸性火山岩;第 II 旋回包括西山头组、茶湾组和九里坪组,其中西山头组为厚层火山岩夹沉积岩,茶湾组以沉积岩为主,九里坪组则主要为流纹岩。晚期火山活动时代主要为早白垩世晚期一晚白垩世,包括 III、IV 两个火山活动旋回,形成于区域较强拉张背景下,火山产物称上火山岩系,与下火山岩系呈区域性不整合接触。第 III 旋回为永康群,自下而上划分为馆头组、朝川组/小平田组和方岩组,其中馆头组以出现双峰式火山岩组合为其特色,朝川组以紫红色沉积岩为特征,但临海—景宁一线以东的平阳、文成、苍南、永嘉、临海、三门等浙东南沿海地区,朝川组则为厚达数百米至千余米的酸性、中酸性火山岩,以往称为“火山岩型朝川组”,以后又据岩石地层的概念,将以往划为朝川组的一套巨厚层火山地层重新命名为“小平田组”,以区别于主要为红层的“沉积岩型朝川组”(浙江省地质矿产局,1996)。第 IV 旋回为小雄组,主要岩性为厚层酸性富晶屑火山碎屑岩<sup>⑥</sup>。

#### 3.2 火山活动时代的比较

磨石山群第 I 旋回火山岩年龄主要为 135~125Ma,第 II 旋回主要为 123~117Ma,第 III 旋回永康群火山岩年龄在 111~90Ma,其中馆头组年龄集中于 103~110Ma,朝川组为 96.3~110Ma,小平田

组为 91~108Ma(陆志刚等,1997;俞云文等,1999,2001;王孔忠等,2001),第 IV 旋回属晚白垩世(<92Ma,翁祖山等,1999)。本文新测得的雁荡山火山岩年龄为 97.2~105.6Ma,明显小于磨石山群年龄,而与永康群火山岩年龄相当,特别是与小平田组和朝川组年龄非常一致(表 3)。

#### 3.3 岩性与岩石组合比较

以往认为雁荡山火山地层可能属于磨石山群第 II 旋回西山头组和九里坪组,主要是依据当时测定的 Rb-Sr 同位素年龄或雁荡山出露的厚层流纹岩,但本次测得的年龄明显低于磨石山群时代,且雁荡山火山岩总厚度达 2000m,除流纹岩外,还有厚层熔结凝灰岩,与九里坪组岩性常为单一流纹岩,且厚度一般不大(200~400m;浙江省地质矿产局,1996)的特征也不相符;区内更不存在茶湾组沉积岩类。因此雁荡山火山地层不可能属下火山岩系磨石山群。此外,第 IV 旋回小雄组火山地层分布极有限,厚度不大,主要零星见于镇海—温州断裂一线,时代属晚白垩世,也与雁荡山火山岩不符。

在第 III 旋回永康群中,馆头组为火山岩+湖相沉积岩系,其中火山岩厚薄不一,岩石组合以双峰式特点,有的盆地中馆头组主要以湖相沉积岩为主;朝川组主要为一套紫红色红层,间夹薄层火山岩,且分布局限于白垩纪红盆中;方岩组为巨厚的砾岩层。据此可知,雁荡山火山岩岩性与岩石组合与馆头组、朝川组和方岩组也不符。

与雁荡山火山岩岩石组合特征和形成时代最为接近的,应是上火山岩系永康群小平田组。小平田组命名地点在浙江省仙居县东南白岩—小平田一线,为巨厚层英安-流纹质熔结凝灰岩和流纹岩组合,厚度 370~1112m,同位素年龄主要集中于 100Ma 左右(参见表 3)。因此,雁荡山火山地层可归入小平田组。

### 4 地层意义

浙东南因地势复杂、以往工作程度相对较低,区域地层划分对比、特别是是否存在可与浙东其他地方对比的完整的晚中生代火山地层系统(下部磨石山群+上部永康群),一直有争议。例如,在雁荡山破火山外围的永嘉枫林、澄田、茗岙以及桥下等地,分布有相当数量的晚中生代沉积地层,其层位归属长期不统一,以往曾统一划归永康群馆头组。永嘉枫林的沉积地层上部夹有玄武岩—酸性火山岩构成的双

表3 浙东晚中生代第Ⅲ、Ⅳ旋回火山岩同位素年龄

Table 3 Isotope ages of late Mesozoic (Ⅲ、Ⅳ cycles) volcanic rocks in eastern Zhejiang

序号	群	地层组	岩性	测年方法	年龄(Ma)	采样位置	资料来源	
1			沉凝灰岩	长石 <sup>40</sup> K- <sup>39</sup> Ar 等时线	81.5	临海上盘		
2		小雄组	碱长流纹岩	全岩 Rb-Sr 等时线	91.0±1.0	三门壳塘山	穆治国等,1992	
3	粗面岩		全岩 Rb-Sr 等时线	91.4±0.4	三门壳塘山	翁祖山等,1999		
4	熔结凝灰岩		全岩 Rb-Sr 等时线	91.4±1.9	永嘉牛角门	③ ④ 浙江省地质矿产局,1996		
5	熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	115.0±3.0	永嘉徐岙				
6	凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	100.0±4.1	永嘉桥下				
7	凝灰熔岩	全岩 Rb-Sr 等时线	100.0±4.0	乐清雁荡山				
8	熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	108.6±2.1	仙居小平田				
9	流纹质熔结凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	101.5±9.4	文成山门	邢光福等,1993			
10	玄武岩	全岩 Rb-Sr 等时线	105.2±9.9					
11	永康群	馆头组	流纹岩	全岩 Rb-Sr 等时线	96.3±1.8		新昌胡卜	周金城等,1994
12			玄武岩	全岩 Rb-Sr 等时线	110.3±10		鄞县玄坛地	李坤英等,1989
13			玄武(安山)岩	<sup>40</sup> K/ <sup>36</sup> Ar- <sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar 等时线	110.0±3.3		奉化亭下	
14		英安-流纹质凝灰岩	全岩 Rb-Sr 等时线	110.3±10	新昌拔茅 武义茭塘 丽水老竹	韩文彬,1992		
15		熔结凝灰岩	黑云母 K-Ar 法	110		胡华光等,1982		
16		玄武岩	K-Ar 法	111				
17		玄武岩	全岩 Rb-Sr 等时线	103				

峰式火山岩,这是当时将该套地层划入以双峰式火山岩为特征的馆头组的重要原因,但其中的玄武岩全岩 K-Ar 稀释法年龄为 129Ma(李坤英等,1989)和单颗粒锆石 U-Pb 法年龄为 133Ma(陈荣等,1999),上部厚层英安质-流纹质熔结凝灰岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 132 Ma,与典型馆头组之时代明显不符,而与大爽组年龄(137~130Ma<sup>⑥</sup>)却相当一致,其上还可分出高坞组、西山头组等火山地层。

王孔忠等(2001)、俞云文等(2001)经剖面对比研究后,确认永嘉桥下一带的沉积地层属馆头组,其上流纹质凝灰岩和熔结凝灰岩夹沉积岩层可归入朝川组;而永嘉澄田、茗岙地区的沉积地层则属茶湾组,其上可划出以流纹岩为主的九里坪组;永嘉枫林地区的沉积地层则属大爽组。

因此,永嘉枫林地区的大爽组,与霞山、雄济(鸡)坳一带的高坞组英安质熔结凝灰岩、西山头组流纹质熔结凝灰岩和九里坪组流纹岩,以及永嘉澄田、茗岙地区的茶湾组沉积岩等,共同构成了浙东南完整的下火山岩系磨石山群地层;而雁荡山小平田组火山地层,则与永嘉桥下的馆头组和朝川组火山-沉积地层,共同构成了较完整的上火山岩系永康群地层(仅缺方岩组砾岩层)。

上述磨石山群和永康群地层系统的建立,标志着浙东南地区与浙东其他地区一样,存在自第 I 至第 III 旋回的长期火山活动,共同反映了浙东全区晚中生代较全面的火山活动面貌,这为浙东全区、乃至浙东与闽东之间大区域中生代火山地层划分与对

比,提供了重要的地质依据。

## 5 结论

(1)雁荡山世界地质公园第一、第二、第四段火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 97.2±2.3 Ma、105.6±4.3Ma、99.3±3.9Ma,3 组年龄在误差范围内基本一致,属早白垩世晚期,表明厚达 2000m 的雁荡山火山岩是在相对短的时期内集中喷发形成的,同时说明前人所测年龄(117~128Ma)偏老。

(2)经时代、岩性与岩石组合等综合对比,确定雁荡山火山地层应属上火山岩系永康群小平田组。

(3)雁荡山破火山小平田组火山地层的厘定,表明其与破火山外围的馆头组和朝川组共同构成上火山岩系永康群;结合周边地区分布由大爽组、高坞组、茶湾组和九里坪组构成的下火山岩系磨石山群,说明浙东南存在自第 I 至第 III 旋回的完整火山地层系统,这为浙东全区、乃至浙东与闽东之间的区域性晚中生代火山-沉积地层划分与对比,提供了重要地质依据。

致谢:本文是第一作者硕士研究生论文的一部分,由邢光福研究员、魏合明教授指导完成。论文编写过程中得到了陶奎元、陈荣、沈加林等老师的帮助,野外工作得到了浙江省雁荡山风景旅游管理局的大力协助,锆石 SHRIMP U-Pb 定年在北京离子探针实验室宋彪研究员指导下完成,在此一并表示感谢!

## 注 释

- ① 浙江省区调队. 1979. 1:20 温州幅、黄岩幅、洞头幅区域地质调查报告.
- ② 浙江省区调队. 1995. 1:5 万大荆幅、温岭县幅、虹桥镇幅、楚门镇幅区域地质调查报告.
- ③ 浙江省十一地质大队. 1995. 1:5 万碧莲副、枫林幅等 4 幅区域地质调查报告.
- ④ 浙江省水文地质工程地质大队. 1998. 1:25 万温州幅区域地质调查报告.
- ⑤ 国土资源部. 2004. 拟建中国雁荡山世界地质公园综合考察报告.
- ⑥ 南京地质矿产研究所. 2004. 1:25 万嵊县幅区域地质调查报告.

## 参 考 文 献

- 陈荣, 周金城. 1999. 浙东早白垩世复合岩流和岩墙中蕴含的壳幔作用信息. 地质论评, 45(增刊): 785~795.
- 杜杨松, 王德滋, 陈克荣. 1989. 浙东南沿海中生代火山-侵入杂岩. 北京: 地质出版社, 141~147.
- 冯长根, 俞云文, 董尧鸿. 1997. 雁荡山破火山口构造特征及成岩物质来源. 浙江地质, 13(1): 18~25.
- 冯长明. 2001. 浙东沿海燕山期花岗岩类岩石谱系单位特征及成因特征. 中国区域地质, 20(2): 170~177.
- 韩文彬, 张文育, 黄文明, 马承安, 王玉荣. 1992. 浙江武义地区磨石山群、永康群火山岩的同位素年龄及地质意义. 见陆志刚和陶奎元主编: 中国东南沿海火山地质与矿产论文集(第 1 辑). 北京: 地质出版社, 72~81.
- 胡华光, 胡世玲, 王松山, 朱铭. 1982. 根据同位素年龄讨论侏罗白垩纪火山岩系地层的时代. 地质学报, 4: 315~323.
- 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.
- 穆治国, 蔡正全. 1992. 浙江翼龙化石层的 K-Ar 年龄及地质意义. 北京大学学报(自然科学), 28(2): 250~256.
- 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, 48(增刊): 26~30.
- 陶奎元, 余明刚, 邢光福, 沈加林, 戚建中, 谢家莹. 2004. 雁荡山白垩纪破火山地质遗迹价值与全球对比. 资源调查与环境, 25(4): 297~303.
- 王孔忠, 朱朝晖, 俞云文. 2001. 浙江雁荡山地区晚中生代火山-沉积岩系地层归属讨论. 浙江地质, 17(1): 6~18.
- 翁祖山, 俞方明. 1999. 浙东沿海白垩统小雄组的建立. 火山地质与矿产, 20(3): 197~204.
- 谢家莹, 陶奎元, 尹家衡, 毛建仁, 谢芳贵, 阮宏宏, 黄光昭, 薛怀民, 郑济林, 沈加林. 1996. 中国东南大陆中生代火山地质及火山侵入-杂岩. 北京: 地质出版社, 1~277.
- 邢光福, 陶奎元, 杨祝良. 1993. 浙江温州山门双峰式火山岩成因探讨. 岩石学报, 9(增刊): 1~13.
- 俞云文, 徐步台, 陈江峰, 董传万. 2001. 浙东南中生代晚期火山岩 Nd 同位素组成及其地层学意义. 高校地质学报, 7(1): 62~69.
- 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.
- 浙江省地质矿产局. 1996. 浙江省岩石地层. 中国地质大学出版社, 1~236.
- 浙江省区域地质调查大队. 1995. 浙江省白垩系和第四系中新建立的岩石地层单位. 中国区域地质, 2: 125~130.
- 周金城, 张海进, 俞云文. 1994. 浙江新昌早白垩世复合岩流中的岩浆混合作用. 岩石学报, 10(3): 236~247.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1996. Lithostratigraphy of Zhejiang Province. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1~236 (in Chinese).
- Chen Rong, Zhou Jincheng. 1999. Information of crust-mantle interaction implied in Early Cretaceous composite lavas and dikes from Eastern Zhejiang. Geological Review, 45(Sup.): 785~795 (in Chinese with English abstract).
- Cumming G L, Richards J R. 1975. Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth. Earth and Planetary Science letters, 28: 71~155.
- Du Yangsong, Wang Dezi, Chen Kerong. 1989. On characteristics, evolution and origin of acidic-intermediate acidic volcano-intrusive complexes-examined by those in the coastal area of southeastern Zhejiang Province. Beijing: Geological Publishing House, 141~147 (in Chinese with English abstract).
- Feng Changgen, Yu Yunwen, Dong Yaohong. 1997. Petrogenetic sources and characteristics of Yandangshan caldera, Zhejiang Province. Geology of Zhejiang, 13(1): 18~25 (in Chinese with English abstract).
- Feng Changming. 2001. Features and genetic mechanism of hierarchical units of Yandangshan along the coast of eastern Zhejiang. Regional Geology of China, 20(2): 170~177 (in Chinese with English abstract).
- Han Wenbin, Zhang Wenyu, Huang Wenming, Ma Chengan, Wang Yurong. 1992. The isotopic ages of volcanic rocks of Moshishan and Yongkang Groups in Wuyi County, Zhejiang Province. In: Lu Zhigang, Tao Kuiyuan (Eds.). Selected papers Volcanic Geology and Mineral Resources of Chinese Southeast coast (Volume 1). Beijing: Geological Publishing House, 72~81 (in Chinese with English abstract).
- Li Kunying, Shen Jialin, Wang Xiaoping. 1989. Isotopic chronologic study of Mesozoic volcanic rocks in Zhejiang, Fujian and Jiangxi. Journal of Stratigraphy, 13(1): 1~13 (in Chinese).
- Mu Zhiguo, Cai Zhengquan. 1992. The K-Ar age of the Zhejiangopterus fossil layer and its geological significance. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 28(2): 250~256 (in Chinese).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jian Ping. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. Geological Review, 48(Sup.): 26-30 (in Chinese with English abstract).
- Tao kuiyuan, Yu Minggang, Xing Guangfu, Shen Jialin, Qi Jianzhong, Xie Jiaying. 2004. The value and global comparison of Cretaceous Mt. Yandangshan caldera geologic heritage. Resources Survey & Environment, 25(4): 297~303 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- Wang Kongzhong, Zhu Chaohui, Yu Yunwen. 2001. Discussion on the stratigraphic of Late Mesozoic volcanic-sedimentary rocks in Yandangshan areas, Zhejiang Province. *Geology of Zhejiang*, 17 (1): 6~18 (in Chinese with English abstract).
- Weng Zushan, Yu Fangming. 1999. The establishment of Xiaoxiong formation of upper Cretaceous near the coast of eastern Zhejiang Province. *Volcanology & Resources*, 20 (3): 197~204 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S, Buick I S, Cartwright I. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia. *J. Metamorphic Geol.*, 14: 29~47.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mckibben M A, Shanks W C, Ridley W I. eds. *Application of microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Review of Economic Geology*, 7: 1~35.
- Xie Jiaying, Tao Kuiyuan, Yin Jiaheng, Mao Jianren, Xie Fanggui, Ruan Honghong, Huang Guangzhao, Xue Huaimin, Zheng Jilin, Shen Jialin. 1996. Mesozoic volcanic geology and volcano-intrusive complexes of Southeast China continent. Beijing: Geological Publishing House, 1~277 (in Chinese with English abstract).
- Xing Guangfu, Tao Kuiyuan and Yang Zhuliang. 1993. Study on petrogeneses of Shanmen bimodal volcanic rocks from Wenzhou, Zhejiang. *Acta Petrologica Sinica*, 9(Sup.): 1~13 (in Chinese with English abstract).
- Yu Yunwen, Xu Butai, Chen Jiangfeng, Dong Chuanwan. 2001. Nd isotopic systematics of the Late Mesozoic volcanic rocks from Southeastern Zhejiang Province, China: implications for stratigraphic study. *Geological Journal of China Universities*, 7 (1): 62~69 (in Chinese with English abstract).
- Yu Yunwen, Xu Butai. 1999. Stratigraphical sequence and geochronology of the upper Mesozoic volcano-sedimentary rock series in Zhejiang. *Journal of Stratigraphy*, 23(2): 136~145 (in Chinese with English abstract).
- Zhejiang Regional Geological Survey Party. 1995. New lithostratigraphic units established for the Cretaceous and Quaternary in Zhejiang Province. *Regional Geology of China*, 2: 125~130 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Zhang Haijin, Yu Yunwen. 1994. Magma mixing in Early Cretaceous composite lava flows in Xinchang, Zhejiang. *Acta Petrologica Sinica*, 10 (3): 236~247 (in Chinese with English abstract).

## Chronologic Study on Volcanic Rocks in the Mt. Yandangshan World Geopark

YU Minggang<sup>1)</sup>, XING Guangfu<sup>1)</sup>, SHEN Jialin<sup>1)</sup>, CHEN Rong<sup>1)</sup>, ZHOU Yuzhang<sup>1)</sup>,  
WEI Heming<sup>2)</sup>, TAO Kuiyuan<sup>1)</sup>

1) *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016*

2) *Faculty of Earth Science, Chang'an University, Xi'an, 710054*

### Abstract

The Mt. Yandangshan is the first World Geopark which is characteristic of Mesozoic volcano in China. There have had long-term disputes about ages and stratigraphic division of the Mt. Yandangshan volcanic rocks. To cooperate the application and construction of this World Geopark, and enhance its scientific study degree, we put up chronological datings for the Mt. Yandangshan volcanic rocks. Zircon SHRIMP U-Pb datings of three volcanic units from lower to upper indicate that the Mt. Yandangshan volcanic rocks are 97.2~105.6 Ma in age, i. e., late stage of Early Cretaceous. Combined with stratigraphic comparison, their strata are inferred to be the Xiaopintian Formation of the Yongkang Group in southeastern Zhejiang. It offers key information for regional subdivision and comparison of Late Mesozoic volcano-sedimentary strata in eastern Zhejiang as well as eastern Fujian.

**Key words:** zircon SHRIMP dating; volcanic rocks; the Mt. Yandangshan World Geopark; southeastern Zhejiang