第 26 卷 第 1 期
2007 年 1 月

岩 石 矿 物 学 杂 志
ACTA PETROLOGICA ET MINERALOGICA

Vol. 26, No. 1
Jan., 2007

相山"流纹英安岩"单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义

张万良[1,2],李子颖[1]

(1. 核工业北京地质研究院,北京 100029;2. 核工业 270 研究所,江西 南昌 330200)

摘 要:相山火山-侵入杂岩主要由晚中生代打鼓顶组、鹅湖岭组火山岩和浅成-超浅成侵入岩所组成,主要岩石类型有酸性火山碎屑岩、碎斑熔岩、花岗斑岩和"流纹英安岩"等,"流纹英安岩"长期作溢流相火山岩处理。应用单颗粒锆石 U-Pb 法,对相山"流纹英安岩"进行了测年,获得其年龄为 129.54±7.93 Ma,该年龄小于相山火山-侵入杂岩的主体岩石——碎斑熔岩的年龄,结合其产状形态特征,认为"流纹英安岩"属火山期后浅成-超浅成侵入的流纹英安斑岩。结合前人测年资料,参照上侏罗统与下白垩统的 145.5 Ma 界线年龄,提出相山火山-侵入杂岩的形成时代为早白垩世的新认识。

关键词:"流纹英安岩";单颗粒锆石定年;流纹英安斑岩;早白垩世;相山地区

中图分类号:P588.13;P597^{+}.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-6524(2007)01-0021-06

Single-zircon U-Pb age of rhyodacite from Xiangshan area and its geological implications

ZHANG Wan-liang[1,2] and LI Zi-ying[1]

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology for Nuclear Industry, Beijing 100029, China; 2. No. 270 Research Institute of Nuclear Industry, Nanchang 330200, China)

Abstract: The Xiangshan volcanic-intrusive complex consists of Late Mesozoic acid pyroclastic rocks interbedded with sedimentary rocks, acidic lava, intermediate-acidic shallow-ultrashallow intrusive rocks, composed mainly of clastoporphritic lava, granitic porphyry and rhyodacite. The magmatic activity started with the eruption, experienced mainly volcanic effusion and ended at shallow-ultrashallow magmatic intrusion. The rhyodacite, once as the overfall facies, belongs to 2nd member of Upper Jurassic Daguding Formation. The single-zircon U-Pb dating of the rhyodacite shows that the age of the rhydacite is 129.54±7.93 Ma, younger than the age of clastoporphritic lava which is the principal part of Xiangshan volcanic-intrusive complex. Combined with the modes of occurrence and shape characteristics of the rhyodacite, this paper holds that rhyodacite is a post-volcanic shallow or ultrashallow intrusive body, i.e., rhyodacitic porphyry. According to the age data available and the borderline age of 145.5 Ma between Jurassic and Cretaceous, the authors consider that the formation age of the complex is Early Cretaceous.

Key words: rhyodacite; single-zircon U-Pb dating; rhyodacitic porphyry; Early Cretaceous; Xiangshan area

相山作为中国最大的火山岩型铀矿产地而倍受关注。相山火山-侵入杂岩产于 EW 向、NE 向等多组基底构造复合部位,平面形态呈椭圆形,东西长 20 km,南北宽 14 km,面积约 318 km^2。杂岩体由晚中

收稿日期:2006-07-05;修订日期:2006-09-04

基金项目:国防基础研究项目(A0120060596)

作者简介:张万良(1962-),男,研究员级高级工程师,博士研究生,地质学专业,主要从事遥感及 GIS 在铀资源评价中的应用研究。

www.yskw.ac.cn

生代打鼓顶组、鹅湖岭组酸性火山碎屑岩夹沉积岩、酸性熔岩及中酸性浅成-超浅成侵入岩组成，岩浆活动从喷发开始，以火山侵出为主，以浅成-超浅成岩浆侵入而结束，主要岩石类型有酸性火山碎屑岩、碎斑熔岩、花岗斑岩和“流纹英安岩”等。

酸性火山碎屑岩包括流纹质晶屑凝灰岩和流纹质熔结凝灰岩，通常归属打鼓顶组第一段。碎斑熔岩和花岗斑岩已获得较准确的年龄数据：碎斑熔岩 140 Ma（陈迪云等，1994）或 140.3 Ma（陈小明等，1999），花岗斑岩 135.4 Ma（陈小明等，1999），它们的产状和相也取得较为一致的认识（谢家莹等，1996；王德滋等，2002），即碎斑熔岩是侵出相岩石，花岗斑岩属浅成或超浅成侵入相。“流纹英安岩”长期归属上侏罗统打鼓顶组第二段（核工业 261 大队，1985①；核工业270研究所，1988②；夏林圻等，1992），被作为溢流相火山岩处理。实际上，“流纹英安岩”形态复杂，产状变化大，且呈斑状结构，它是不是溢流相火山岩是值得进一步探索的问题。吴仁贵等（2003）根据同位素年龄数据提出，在相山地区既有溢流相的“流纹英安岩”，也有侵入相的流纹英安斑岩，前者形成于碎斑熔岩之前，属打鼓顶组第二段，后者形成于碎斑熔岩之后，为火山期后浅成或超浅成侵入岩。

相山火山-侵入杂岩赋存有大量铀矿资源，“流纹英安岩”是铀矿化的主要赋矿围岩之一，铀成矿年龄 88～135 Ma（Zhang Wanliang *et al*.，2005）。如果“流纹英安岩”是溢流相火山岩，则仅仅是赋矿围岩而已；如果“流纹英安岩”是侵入相流纹英安斑岩，则除了起着赋矿围岩的作用外，还可能与铀成矿具有密切的成因机理联系（张树民等，2005），而且对相山火山-侵入杂岩总体的时代归属也将产生重要影响。

确定“流纹英安岩”是溢流相火山岩还是浅成或超浅成侵入岩，除了深入野外调查产状之外，利用准确的同位素测年数据也是重要手段之一。虽然前人已积累了一些测年资料，如方锡衍等（1982）获得“流纹英安岩”Rb-Sr 等时线年龄为 130±9Ma，吴仁贵等（2003）发表的 Rb-Sr 等时线年龄 169.29±22.59 Ma、锆石 U-Pb 年龄（4 个样，采用不一致曲线下交点年龄）158.1±0.2 Ma，但取样位置未曾提供，年龄值相差较大，野外工作又难以对“流纹英安岩”进行有效的解体，加之同位素定年方法及测试技术、测试手段的不一致，目前还无法准确厘定“流纹英安岩”的形成时代。单颗粒锆石 U-Pb 同位素定年方法的建立，使准确获得单个岩石单元的结晶年龄变为可能。锆石 U-Pb 同位素体系的封闭温度（700±50℃）（Zheng Yongfei *et al*.，1996）非常接近于花岗岩的固相线温度，目前对中酸性岩类的年龄测试，单颗粒锆石 U-Pb 法是最为有效和可靠（李献华等，1990）。因此，本文采用此定年方法对相山“流纹英安岩”进行定年，以期探索相山“流纹英安岩”形成时序，为厘定“流纹英安岩”的产状和相以及相山火山-侵入杂岩的时代归属提供科学依据。

1 样品采集

城上-如意亭剖面“流纹英安岩”曾被吴仁贵等（2003）解体为“流纹英安岩”和流纹英安斑岩两部分（图 1），南东段为流纹英安斑岩，北西段为“流纹英安岩”。据笔者观察，该剖面上“流纹英安岩”与流纹英安斑岩的界线并不明显，“流纹英安岩”中赤铁矿条带的产状变化较大，与 J_3d^1 地层产状不协调，流纹英安斑岩中局部也含赤铁矿条带。笔者在该剖面的北西段即第一采石场位置采取了“流纹英安岩”样品（XS-05-2），呈紫红色，斑状结构，斑晶含量约 22%，大小 0.2～3 mm，主要成分有斜长石（15%）、钾长石（2%）、黑云母（4%）、角闪石（1%），副矿物见锆石、磷灰石、磁铁矿等，基质具微晶或霏细结构，样重约 5 kg。之后，送江西地矿局赣西地质大队实验室预处理，经破碎、磁选、电磁选，剩下非电磁部分，再淘洗获得锆石精矿，最后在双目镜下挑选出锆石 100 粒。

2 “流纹英安岩”中锆石特征

在核工业北京地质研究院黄志章、李秀珍老师的帮助下，获得锆石形貌特征如下：锆石呈柱状或短柱状，有两种类型，一为透明锆石或结晶锆石，一为不透明锆石。透明锆石主要结晶聚形为 a[100]p[111]x[311]m[110]、m[110]p[111]a[100]x[311]，

① 华东地质局 261 大队. 1985. 江西省乐安、崇仁县相山矿田岩性岩相填图总结报告（1∶2.5 万）.

② 核工业 270 研究所. 1988. 赣杭构造火山岩成矿带铀成矿规律及成矿预测.

www.yskw.ac.cn

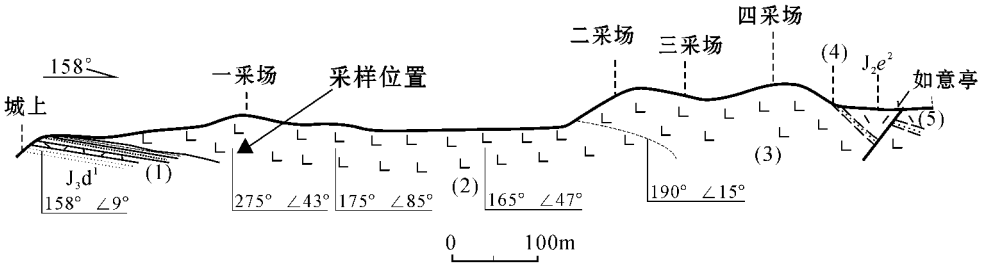

图 1　城上-如意亭实测地质剖面图[据吴仁贵(1999)略作修改]

Fig. 1　Schematic geological section of Chengshang-Ruyiting (after Wu Rengui,1999)

(1)—暗紫红色粉砂岩、含砾砂岩夹流纹质熔结凝灰岩,归属上侏罗统打鼓顶组第一段;(2)—暗紫红色含赤铁矿条带“流纹英安岩”,局部含紫红色砂岩透镜体,归属打鼓顶组第二段;(3)—暗紫红色流纹英安斑岩、集块岩;(4)—暗紫红色碎屑岩,归属上侏罗统鹅湖岭组第一段;(5)—碎斑熔岩,归属鹅湖岭组第二段

(1)—dull purplish red siltstone, gravel-bearing sandstone with rhyolitic ignimbrite, belonged to the first member of Daguding Formation of Upper Jurassic; (2)—dull purplish red rhyodacite with hematite banding, locally with purplish red sandstone lens, belonged to the second member of Daguding Formation; (3)—dull purplish red rhyodacite-porphyry, agglomerate; (4)—dull purplish red detrital rock, belonged to the first member of Ehuling Formation of Upper Jurassic; (5)—porphyroclastic lava, belonged to the second member of Ehuling Formation

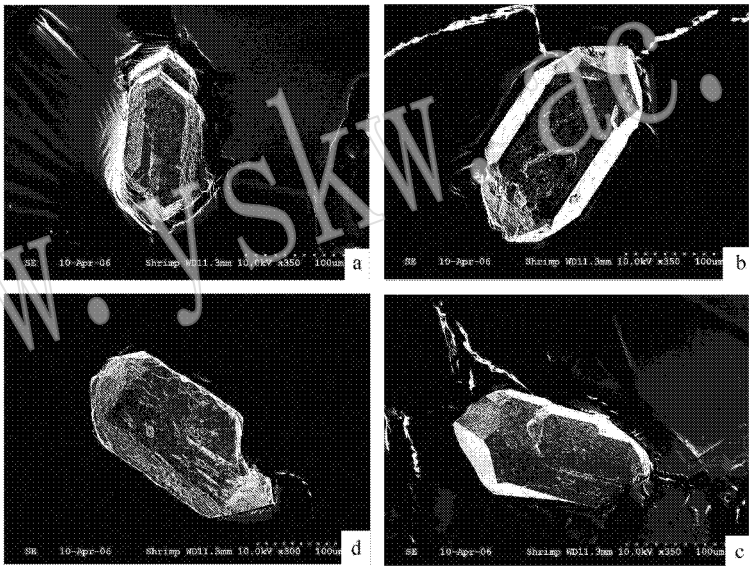

图 2　“流纹英安岩”中的锆石形态(ICP 激光萤光照片)

Fig. 2　Shape of zircon in rhyodacite (ICP laser fluorescence photo)

a—透明锆石,amxp;b—透明锆石,mpax;c—不透明锆石,amp 或 map;d—不透明锆石,apxm

a—transopaque zircon, amxp; b—transopaque zircon, mpax; c—opaque zircon, amp or map; d—opaque zircon, apxm

次为[110][100][111];不透明锆石呈浅棕色,主要晶形是 m[110]a[100]p[111]、a[100]p[111]x[311]m[110]及椭圆形,晶形表面具溶蚀现象,发育裂隙(图 2)。将透明锆石 1 mg 送北京大学造山带与地球演化实验室做红外光谱分析,计算出变生系数(H/M)=26.77,透明锆石均为全晶质锆石。

3　单颗粒锆石 U-Pb 年龄测试结果

在镜下选取全晶质锆石 7 粒,用 30% 高纯硝酸超声清洗 1h,再用 30% 高纯硝酸在 80℃ 的电热板上清洗 1h,之后,用高纯酮和高纯水分别超声漂洗锆石。将清洗好的锆石转到 200 μL 的 PFA 溶样小管中,并滴加 100 μL 29 mol/L 的氢氟酸,装入高压溶样管中,在 200℃ 溶解 48h。将样品蒸至近干时取下,准确加入 ^{235}U-^{205}Pb 混合稀释剂,加入 0.1 mol/L 的磷酸溶液,在电热板上蒸干。U、Pb 同位素比值在 ISOPROBE-T 多接受热电离质谱仪上测定,测试数据见表 1。

从表1可以看出,XS-05-2-6号锆石测定的表面

www.yskw.ac.cn

表 1 相山地区‘流纹英安岩’单颗粒锆石 U-Pb 同位素测试数据

Table 1 Single-zircon U-Pb isotopic composition of rhyodacite in Xiangshan area

样号	U	Th	Pb	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
	$w_B/10^{-6}$						年龄/Ma		
XS-05-2-1	560.77	7.027	14.369	0.022 544 9 (0.587%)	0.152 357 (0.647%)	0.049 013 1 (0.266%)	143.72	143.99	148.46
XS-05-2-2	748.61	10.42	19.995	0.020 585 9 (1.96%)	0.138 322 (3.48%)	0.048 732 7 (2.75%)	131.36	131.55	134.99
XS-05-2-3	831.92	13.45	26.758	0.020 057 5 (0.589%)	0.135 719 (1.31%)	0.049 075 3 (1.14%)	128.02	129.22	151.43
XS-05-2-4	697.42	10	37.34	0.019 711 4 (1.78%)	0.132 107 (4.14%)	0.048 607 8 (3.6%)	125.83	125.99	128.96
XS-05-2-5	397.8	10.12	31.904	0.018 774 (5.19%)	0.126 004 (14.6%)	0.048 677 3 (12.8%)	119.9	120.5	132.32
XS-05-2-6	421.32	12.77	22	0.031 552 5 (0.582%)	0.218 619 (1.19%)	0.050 252 1 (1.02%)	200.26	200.76	206.67
XS-05-2-7	160.16	12.77	6.228 2	0.020 118 6 (0.573%)	0.134 934 (1.29%)	0.048 643 1 (1.13%)	128.41	128.52	130.67

测试单位 核工业北京地质研究院分析测试中心,括号内数字为误差值。

年龄数据过大,与地质事实明显不符,可能有异常 Pb 影响或外来 Pb 的加入,其表面年龄不可利用。此外,^{206}Pb 约为 ^{207}Pb 的 20 倍,^{207}Pb 测试误差可能较大。对显生宙岩石进行 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 定年发现,锆石投点都在一致曲线附近,不能构成很好的不一致直线(陈骏等,2004),本次由 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 计算的表面年龄误差达 6.2~300 Ma,因此,$^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄也难以直接利用。各锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄和 $^{207}Pb/^{235}U$ 年龄非常接近,如把其他 6 个锆石样的 U-Pb 同位素组成投影在 U-Pb 一致曲线图解(图 3)上,发现这些投影点均落在 U-Pb 一致曲线上,反映样品中放射成因 Pb 基本上没有扩散丢失,说明岩石形成后基本上没有受到后期热事件的影响,获得的年龄值基本代表了岩石的结晶年龄。6 颗锆石的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围为 119.9~143.72 Ma,平均 129.54 Ma,标准差 7.93,$^{207}Pb/^{235}U$ 年龄 143.99~120.5 Ma,平均 129.96 Ma。由于年轻锆石中 ^{206}Pb、^{238}U 这两个同位素丰度较大,其比值容易测准,而且受扣除实验空白及样品中初始普通 Pb 的影响较小,在理论上,由 $^{206}Pb/^{238}U$ 计算的表面年龄精确度较高些,因此,本文采用 129.54±7.93 Ma 作为流纹英安岩或流纹英安斑岩的结晶年龄。该年龄值与范洪海等(2005)获得的邹家山矿区流纹英安斑岩的 136±2.6 Ma 单颗粒锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄数据相差不大。

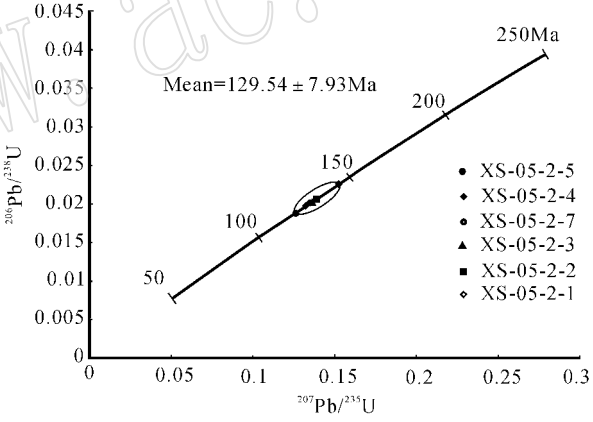

图 3 “流纹英安岩”锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram of rhyodacite

4 地质意义

岩浆岩的产状形态和相,与岩浆岩的分类命名、结构构造、矿物特征有直接的关系,也与岩浆岩体所在的不同深度、构造环境以及岩浆性质、活动方式有关,对探讨岩浆成因机理、分析成矿部位具有重要的理论和实践意义。随着相山地区铀矿勘探工作的深入开展,“流纹英安岩”的产状问题已成为生产单位关注的热点,核工业 270 研究所(2004)①通过相山西部书塘地区钻孔数据的数字化处理,对‘流纹英安

① 核工业 270 研究所. 2004. 江西省乐安县相山西部书塘地区铀资源潜力评价报告.

岩”的顶界面进行了三维模拟显示，以期通过起伏变化大的“流纹英安岩”顶界面的变陡部位来进行成矿远景预测。“流纹英安岩”在平面上的分布形态不规则，产状变化大，有分支、复合、尖灭现象，在邹家山矿床综合剖面上则见到“流纹英安岩”与碎斑熔岩呈明显的陡产状侵入接触关系（图 4）。“流纹英安岩”形成年龄 129.54 ± 7.93 Ma，小于侵出相碎斑熔岩年龄，也小于花岗斑岩年龄，加之其斑状结构和产状形态特征，共同表明了该“流纹英安岩”不是溢流相火山岩，而是火山期后的浅成或超浅成侵入相流纹英安斑岩，并与相山矿田的铀成矿具有成因机理的联系。“流纹英安岩”归属流纹英安斑岩，使相山火山-侵入杂岩从火山喷发—侵出—侵入，显示酸度逐渐降低的反方向岩浆演化系列。作者认为，这些岩石具有不同的源区性质，是不同岩浆房岩浆分异演化的产物（张万良，2005）。

相山火山-侵入杂岩由酸性火山碎屑岩夹沉积岩、酸性-中酸性熔岩及中酸性浅成-超浅成侵入岩组成，岩浆活动曾划分为 3 个喷发（及侵入）旋回及相应的 6 个阶段（张万良，2001），第一旋回和第二旋回火山岩系分别称为鹅湖岭组和打鼓顶组，时代长期归属晚侏罗世，“流纹英安岩”属打鼓顶组第二阶段溢流相岩石。近年来，随着同位素测年精度的迅速提高和相山火山-侵入杂岩测年数据的增多，老的年龄数据（如黑云母及斜长石 K-Ar 稀释法、透长石 ^{39}Ar-^{40}Ar 法等年龄数据）逐步有被新的年龄数据（如单颗粒锆石 U-Pb 年龄数据）代替的趋势。鹅湖岭组侵出相碎斑熔岩的最新年龄数据约为 140 Ma，鹅湖岭组第一段和打鼓岭组第一段目前尚未获得年龄数据。

翁世劼等（1987）提出，时代可靠的晚侏罗世地层在浙闽赣粤尚未发现，并将白垩系分为下岩系、上岩系下旋回和上岩系上旋回 3 个阶段，鹅湖岭组和打鼓顶组均属下岩系。相山北东侧的盛源火山盆地火山岩系地层鹅湖岭组和打鼓顶组可归属早白垩世（张万良，2000）。《中国地层典》编委会（2000）指出，热河群、建德群及其相当岩群包括赣东北地区的打鼓顶组和鹅湖岭组当属白垩系而非侏罗系。随着侏罗—白垩纪界线年龄的上移（2004 年国际地层学会发布的地层年表，上侏罗统与下白垩统的界线年龄是 145.5 Ma），相山火山-侵入杂岩归属下白垩统不仅可能，而且是一种趋势，这种归属是完全必要的。

白垩纪是中生代延续最长的一个纪，是西太平洋区洋壳增生最为强烈的时期，也是中国东部燕山运动的主要活动期，火山活动主要发生在早白垩世，局部可延续至中晚白垩世（翁世劼等，1987）。相山火山-侵入杂岩是华东南火山岩带的组成部分，分布在西侧的火山岩线（王德滋等，2002）附近，相山火山-侵入杂岩时代归属早白垩世，进一步表明整个华东南火山岩都是早白垩世火山活动的产物，这对深入研究华东南地区晚中生代构造岩浆演化具有重要的意义。

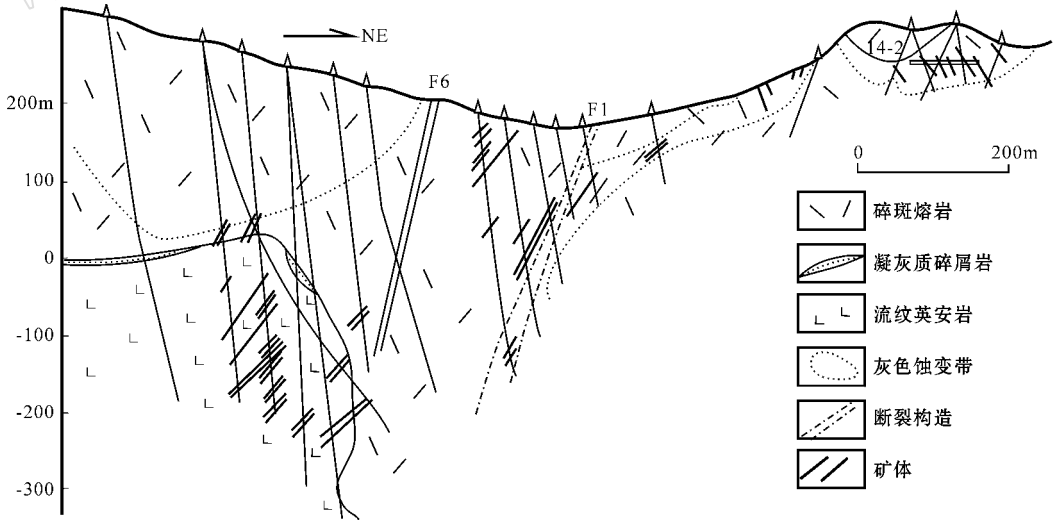

图 4　邹家山矿床综合剖面图

Fig. 4　Composite section of the Zoujiashan deposit

References

Chen Diyun, Zhou Wenbin and Wu Bolin. 1994. Rb-Sr, oxygen, lead isotopic-geochemistry study of the porphyroclastic lava in Xiangshan Orefied[J]. Joural of Nanjing University(Geoscience), 6(1): 45~49(in Chinese with English abstract).

Chen Jun and Wang Henian. 2004. Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 156~158 (in Chinese)

Chen Xiaoming, Lu Jianjun, Liu Changshi, *et al*. 1999. U-Pb age of the single zircon from the volcanic-intrusive complexes in Lujiang-Zongyang and Xiangshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 272~278(in Chinese with English abstract).

Compile Committee of "standard of China stratum". 2000. Standard of China Stratum: Cretaceous [M]. Beijing: Geological Puglishing House, 1~13, 119~120.

Fan Honghai, Wang Dezi, Shen Weizhou, *et al*. 2005. Formation Age of the intermediate-basic dikes and volcanic- intrusive complex in Xiangshan, Jiangxi Province [J]. Geological Review, 51(1): 86~91 (in Chinese with English abstract).

Fang Xiheng, Hou Wenyao and Wan Guiliang. 1982. Petrographic studies of the volcanic complex in the Xiangshan caldera [J]. Acta Petrologica Mineralogica et Analytica, (1): 1~10 (in Chinese with English abstract).

Li Xianhua amd Gui Xuntang. 1990. Dating of granitoid rocks? A brief methodological discussion [J]. Geochimica, (4): 303~311 (in Chinese with English abstract)

Wang Dezi, Zhou Xinmin, *et al*. 2002. Crust Evolution and Origin of Late Mesozoic Granite Volcano-intrusive Complexes in SE China [M]. Beijing: Science Press, 1~32 (in Chinese).

Weng Shijie, Kong Qingshou and Huang Hai. 1987. Late Mesozoic Volcanism of Zhejiang, Fujian, Jiangxi and Guangdong (Geological Memoirs of People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources No. 12) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 7~43 (in Chinese with English abstract).

Wu Rengui. 1999. Chatacteristics of volcanic formation in Ruyiting section in Xiangshan area [J]. Journal of Huadong Geological Insititute, (3): 201~208(in Chinese with English abstract).

Wu Rengui, Yu Dagan and Zhang Shuming. 2003. Identification of rhyolite-dacite porphyry and its relation to uranium mineralization at Xiangshan uranium ore-field[J]. Uranium Geology, 19(2): 81~87 (in Chinese with English abstract).

Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, *et al*. 1992. Petrogeochemistry of Mesozoic Uraniferous Volcanic Complex From Xiangshan, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~43 (in Chinese with English abstract).

Xie Jiaying and Tao Kuiyuan. 1996. Mesozoic volcanic Geology and Volcano-Intrusive Complexes of Southeast China Continent [M]. Beijing: Geological Publishing House, 40~69 (in Chinese with English abstract).

Zhang Shuming, Yu Dagan, Wu Rengui, *et al*. 2005. Shoshonitic rock and uranium mineralization in Xiangshan uranium ore-field in Jiangxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 29(4): 527~536 (in Chinese with English abstract).

Zhang Wanliang. 2000. Time attribution of volcanic rock series in Shengyuan basin[J]. Uranium Geology, 16(2): 99~101.

Zhang Wanliang. 2001. Genesis attribution of the Hengjian uranium deposit in the Xiangshan ore field, Jiangxi[J]. Geological Review, 47(4): 377~382(in Chinese with English abstract).

Zhang Wanliang. 2005. Reverse magmatic evolution series of the Xiangshan volcanic intrusive complex[J]. Geology in China, 32(4): 548~556(in Chinese with English abstract).

Zhang Wanliang and Li Ziying. 2005. Metallogenic Time-Space Evolution of Xiangshan Uranium Ore Field in China [A]. Mao Jingwen and Bierlein F P. Mineral Deposit: Meeting the Global Challenge[C]. Berlin: Springer, Volume 1: 339~341.

Zheng Yongfei, Fu Bin and Gong Bing. 1996. the thermal history of the Huangmeijian granite intrusion in Znhui nd its relation to mineralization: isotopic evidence[J]. Acta Geologica Sinica, 9(2): 168~180.

附中文参考文献

陈迪云,周文斌,吴伯林. 1994. 相山碎斑熔岩铷-锶、氧、铅同位素地球化学研究[J]. 南京大学学报(地球科学), 6(1): 45~49.

陈 骏,王鹤年. 2004. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 156~158.

陈小明,陆建军,刘昌实,等. 1999. 桐庐、相山火山-侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 15(2): 272~278.

《中国地层典》编委会. 2000. 中国地层典: 白垩系[M]. 北京: 地质出版社, 1~13, 119~120.

范洪海,王德滋,沈渭洲,等. 2005. 江西相山火山-侵入杂岩及中基性脉岩形成时代研究[J]. 地质论评, 51(1): 86~91.

方锡珩,侯文尧,万国良. 1982. 相山破火山口火山杂岩体的岩石学特征[J]. 岩石矿物及测试, (1): 1~10.

李献华,桂训唐. 1990. 花岗岩的定年方法学初论[J]. 地球化学, (4): 303~311.

王德滋,周新民,等. 2002. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 1~32.

翁世劼,孔庆寿,黄 海. 1987. 浙闽赣粤中生代晚期火山地质(中华人民共和国地质矿产部地质专报第 12 号)[M]. 北京: 地质出版社, 7~43.

吴仁贵. 1999. 相山地区如意亭剖面火山建造特征[J]. 华东地质学院学报, (3): 201~208.

吴仁贵,余达淦,张树明. 2003. 相山铀矿田流纹英安斑岩的厘定及与铀矿化的关系[J]. 铀矿地质, 19(2): 81~87.

谢家莹,陶奎元. 1996. 中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩[M]. 北京: 地质出版社, 40~69.

夏林圻,夏祖春,张 诚. 1992. 相山中生代含铀火山杂岩岩石地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1~43.

张树民,余达淦,吴仁贵,等. 2005. 相山铀矿田钾玄质岩石与铀成矿[J]. 大地构造与成矿学, 29(4): 527~536.

张万良. 2000. 盛源盆地火山岩系地层的时代归属[J]. 铀矿地质, 16(2): 99~101.

张万良. 2001. 相山铀矿田横涧矿床的成因归属[J]. 地质论评, 47(4): 377~382.

张万良. 2005. 相山火山-侵入杂岩的反方向岩浆演化系列研究[J]. 中国地质, 32(4): 548~556.