

江西相山火山-侵入杂岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义

陈正乐¹ 王 永¹ 周永贵¹ 韩凤彬¹
王平安¹ 宫红良¹ 邵 飞² 唐湘生² 徐金山²

(1.中国地质科学院地质力学所,北京,100081;2.核工业 270 研究所,江西南昌,330200)

摘要:采用锆石 SHRIMP 微区 U-Pb 测年技术,测定了江西相山铀矿田火山-侵入杂岩的时代。采自于相山西北部的石马山和西部南陂的鹅湖岭组碎斑熔岩的 SHRIMP 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值分别为 $(134.6\pm 1.0)\text{Ma}$ (MSWD=1.5)和 $(134.1\pm 1.0)\text{Ma}$ (MSWD=0.65),可以限定相山第二火山喷发旋回的结束时代为 134 Ma;采自于相山北部巴泉和南部浯潭的似斑状花岗岩的 SHRIMP 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(133.3\pm 0.8)\text{Ma}$ (MSWD=0.82)和 $(134.7\pm 0.9)\text{Ma}$ (MSWD=1.08),与碎斑熔岩的年龄在误差范围内基本一致,结合野外地质事实和前人的地球化学测试分析结果,确认碎斑熔岩和似斑状花岗岩属于同期、同来源的火山喷发-侵入的产物,形成于 134~133 Ma。书堂钻孔 ZK111A-1 中打鼓顶组顶部流纹英安岩的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(141.6\pm 1.7)\text{Ma}$ (MSWD=0.9),表明第一旋回火山喷发的时代应结束于 142 Ma,大部分属于晚侏罗世火山活动。岗上英钻孔岩心中石英二长花岗岩斑岩的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(136.4\pm 1.0)\text{Ma}$ (MSWD=1.7),如意亭剖面第二采石场流纹质英安斑岩的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(137.4\pm 1.7)\text{Ma}$ (MSWD=1.11);推测这两者应属于早晚两期火山喷发旋回间隔期的次火山-侵入岩,进而限定 136~137 Ma 为相山两期火山喷发旋回的间隔时期。综合前人资料和本文测试分析结果,可将相山火山喷发第二旋回鹅湖岭组的时代限定为 136~133 Ma,应属于早白垩世的火山活动,进而认为将相山地区“鹅湖岭组”的地层时代划归为早白垩世较为合适。

关键词:江西相山铀矿田;火山-侵入杂岩;锆石 SHRIMP 测年;鹅湖岭组

中图分类号:P597;P588.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)01-0217-15

1 前 言

火山-侵入杂岩是指同时间、同空间、同物质来源的一套火山岩、次火山岩及浅成侵入岩的组合^[1-3],对这套岩石组合,在同空间、同物质来源方面研究得较多、较深入,而对它们形成的同时性或近时性研究相对较弱。

江西相山铀矿田是中国最大的、与火成岩有关的中、低温热液型矿床之一^[4-6]。矿床定位于相山火山-侵入杂岩体中多方向断裂构造复合部位,矿体的产出空间受低级别、低序次的断裂或裂隙密集带

控制,或产出于火山-侵入杂岩体不同岩性的接触带中^[4,6]。对于该矿床的岩石学、矿化蚀变特征及其成矿机理、成矿时代等方面,前人已有大量深入的分析和研究^[1,4-5,7-16],对相山火山杂岩的侵位时代,前人也曾进行过较为详细的研究^[17-20],但早期的研究大都采用 K-Ar 稀释法、 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 法及全岩-矿物的 Sm-Nd、Rb-Sr 等时线法,所测的年龄数据也因此新老不一、精度也各不相同;陈小明等^[18]和范洪海等^[19]和张万良^[20]等分别采用了单颗粒锆石 U-Pb 稀释法测定了火山-侵入杂岩及其后期煌斑岩脉的形成年龄,但是仍缺乏高精度的测年依据,同位素定年也缺乏系统性。

收稿日期:2012-09-25;改回日期:2013-01-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41072071)、全国危机矿山接替资源找矿项目(20089950)和地质调查项目(1212011220936)联合资助。

作者简介:陈正乐,男,1967 年出生,研究员,博士生导师,从事于构造地质与矿田构造研究;E-mail:chenzhengle@263.net。

为此, 本文进一步对该火山-侵入杂岩体系地采用了单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 法进行精确定年, 进而构建相山火山-侵入杂岩的时间演化序列, 为相山矿田铀成矿作用研究及其区域地层时代的划分提供依据。

2 相山铀矿田区域地质背景

相山铀矿田位于扬子准地台与华南褶皱系过渡部位, 处在 NE 向赣杭火山岩成矿带与 NNE 向大王山-于山花岗岩成矿带交汇部位的相山大型塌陷

式火山盆地(图 1)。该区地质发展历史复杂, 构造运动和岩浆活动频繁, 尤以中生代强烈的火山活动最为显著。晚侏罗世-早白垩世大规模的火山活动, 形成了赣杭火山岩带, 白垩纪火山活动减弱并向东迁移, 发生了高强度、大规模的铀成矿作用, 形成了以相山火山盆地铀矿床为代表的数十个铀矿床^[21-23]。

相山火山塌陷盆地为 2 层结构^[6,9,14](图 1), 基底震旦系为浅变质岩, 岩性以千枚岩、片岩为主, 其内有加里东期花岗岩侵位, 部分为下石炭统、上三叠统碎屑岩系, 仅在火山盆地的东侧出露, 盖层为一套上侏罗

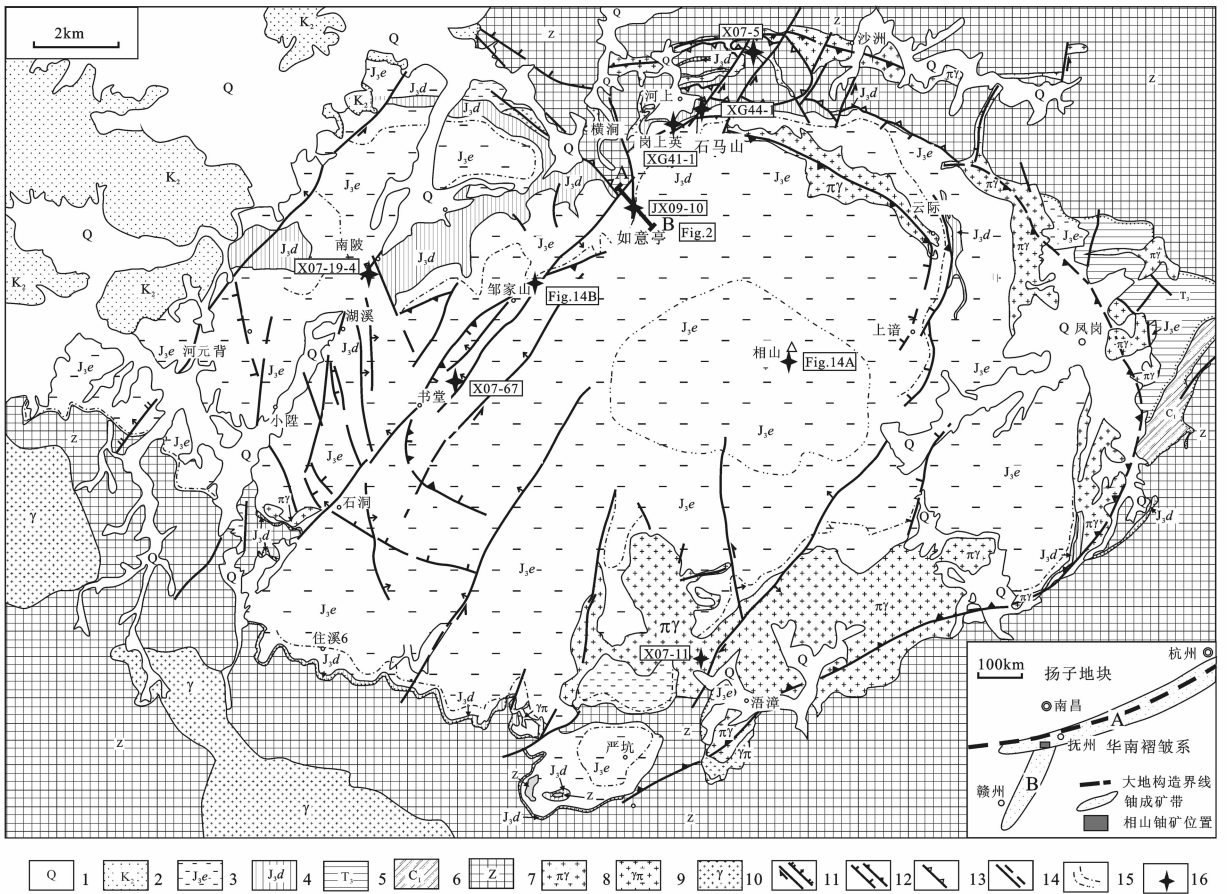


图 1 相山铀矿田地质构造简图及其大地构造位置图(据余达淦等^[6], 修改)

- 1—第四系; 2—上白垩统; 3—上侏罗统鹅湖岭组; 4—上侏罗统打鼓顶组; 5—三叠系; 6—石炭系; 7—震旦系; 8—似斑状花岗岩;
- 9—花岗斑岩; 10—加里东期花岗岩; 11—正断层和走滑断层; 12—火山塌陷构造; 13—逆断层; 14—火山岩性界线; 15—推测性质未明断层;
- 16—锆石 SHRIMP 测试样品采样位置, 其中 XG41-1 和 X07-67 采自于钻孔, 图中标出的是钻孔的位置, 主图中 A、B 代表了图 2 如意亭剖面的位置, 图中同时标出了图 14 的位置。右下角图中的 A 代表赣杭成矿带; B 代表大王山-于山成矿带

Fig.1 Simplified geological map of the Xiangshan uranium orefield and its tectonic location (modified after Yu et al., 2005)

- 1—Quaternary; 2—Upper Cretaceous; 3— Upper Jurassic Ehuling Formation; 4—Upper Jurassic Daguding Formation; 5—Trassic; 6—Carboniferous;
- 7—Sinian; 8—Porphyritoid granite; 9—Granite-porphry; 10—Caledonian granite; 11—Normal and strike-slip fault; 12—Volcano-collapse-related extensional structure; 13—Thrust fault; 14—Boundary of volcanic rocks; 15—Inferred fault; 16—Sampling location for zircon SHRIMP U-Pb dating;
- locations of drill holes for sample XG41-1 and X07-67 along Ruyiting section (Fig. 2) marked by A and B, with Fig. 14 shown in this map. A in figure right-down represents Ganhang metallogenic belt and B represents Dawangshan-Yushan metallogenic belt, respectively

统火山岩系及出露于火山盆地西侧的白垩纪红层。

相山火山-侵入杂岩体由酸性、中酸性火山熔岩、火山碎屑岩及晚期的次火山-侵入岩组成,其内有少量正常沉积岩夹层(表 1)。研究显示^[8],火山活动具有两个明显的旋回:第一旋回相当于晚侏罗世的打鼓顶组,呈裂隙式喷发,形成中酸性流纹英安岩;第二旋回与鹅湖岭组相当,呈中心式喷发,形成一套酸性火山熔岩-碎斑熔岩。每个旋回的特点总体是由沉积到爆发再到喷溢式侵入,由此构成一个大的火山喷发旋回^[8]。在每个火山喷发晚期,都发育次火山-侵入岩。次火山-侵入岩主要分布在盆地的北、东和南部,以不规则的弧形和半环形围绕盆缘,侵入充填于区域断裂、基底断裂、火山环状断裂和火山塌陷作用产生的离张构造中。盆地西部有零星的次火山岩出露,但地表规模很小,岩性主要为花岗斑岩和似斑状花岗岩,多呈相变关系。此外,在相山西

部还可见到有煌斑岩脉的穿插^[9]。

3 样品采集、加工及测试方法

本次共测试 7 件样品,具体采样位置和岩性见图 1 和表 2,所采样品都为新鲜未见任何蚀变的样品。

3.1 样品概况

2 个碎斑熔岩分别采自于石马山 (XG44-1) 和南陂 (X07-19-4),具玻基斑状结构,斑晶含量约为 35%,斑晶中石英约占 15%,斜长石 5%,钾长石 15%,含少量的黑云母斑晶,斑晶多具碎裂结构,并遭受不同程度熔蚀,具熔蚀港湾结构及齿状边等。斜长石常见聚片双晶,偶见不其明显的环带状构造,石英斑晶多具裂纹,黑云母斑晶呈片状、挠曲状。

X07-5 和 X07-11 都为似斑状花岗岩,分别采自于巴泉和浯潭,岩石具斑状结构,斑晶含量约为 40%,其中长石约 25%,石英 10%,暗色矿物以黑云

表 1 相山盆地火山-侵入杂岩地层简表

Table 1 Strata of volcanic-intrusive complexes in the Xiangshan uranium orefield

地层单元				岩性	厚度/m	喷发旋回	岩相
系	统	组	段				
侏罗系	上	鹅湖岭组	J _{3e} ⁴	流纹质碎斑熔岩	>1380	II	侵入-溢流
			J _{3e} ³	紫红色砂岩	15		沉积
			J _{3e} ²	流纹质晶屑玻屑凝灰岩	30		爆发
			J _{3e} ¹	紫红色砂岩,底部为含砾砂岩	<10		沉积
	统	打鼓顶组	J _{3d} ⁴	流纹英安岩,夹薄层凝灰质砂岩	530	I	喷溢
			J _{3d} ³	紫红色、杂色砂岩,含有较多钙质结核	21		沉积
			J _{3d} ²	流纹质熔结凝灰岩夹薄层砂岩	73		喷发
			J _{3d} ¹	紫红色砂岩、砾岩为主,夹晶屑玻屑凝灰岩	240		沉积

表 2 江西相山矿区 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测试样品情况简表

Table 2 Samples for zircon SHRIMP U-Pb dating from the Xiangshan uranium orefield

样品号	岩性	采样地点	经纬度
XG44-1	碎斑熔岩	石马山	27°36'1.3" 115°56'25.9"
X07-19-4	碎斑熔岩	南陂	27°34'08.9" 115°51'45.2"
XG41-1	二长石英花岗岩斑岩	岗上英 Zk19-2 孔 399 m	
X07-05	似斑状花岗岩	巴泉	27°37'15.1" 115°58'54.2"
X07-11	似斑状花岗岩	浯潭	27°28'19.1" 115°55'05.5"
JX09-10	鹅湖岭组下段流纹英安斑岩	如意亭二采场	27°35'3.6" 115°54'32"
X07-67	打鼓顶组上段流纹英安岩	书堂 ZK111A-1 孔 525 m	

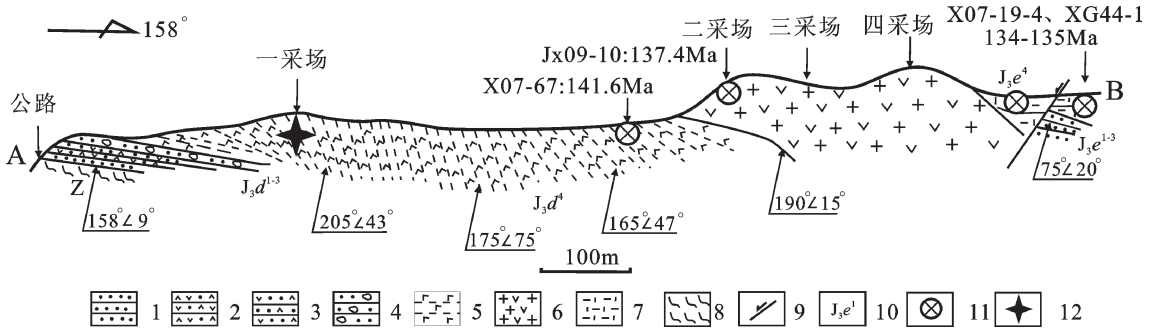


图2 相山如意亭地质剖面及其 SHRIMP 测年样品采样位置(图中标出了本文测年样品在该剖面上的大概投影位置)
(根据吴仁贵^[7](1999), 修改)

1—粉砂岩; 2—凝灰岩; 3—流纹岩; 4—砾岩; 5—流纹英安岩; 6—流纹英安斑岩; 7—碎斑熔岩; 8—片岩; 9—断层; 10—地层时代;
11—采样位置; 12—张万良等(2007)锆石测年取样位置

Fig.2 Measured cross-section of Ruyiting in western Xiangshan and sampling location for U-Pb dating (modified after Wu, 1999)
1-Siltstone; 2-Tuff; 3-Rhyolite; 4-Conglomerate; 5-Rhyodacite; 6-Rhyodacite porphyry; 7-Porphroclastic lavas; 8-Schist; 9-Fault;
10-Strata; 11-Sampling location; 12-Sampling location of zircon by Zhang Wanliang et al. 2007

母为主, 约占 5%。长石以斜长石为主, 碱性长石较少, 二者都呈大斑晶, 一般大小 1~3 cm, 普遍发育环带, 具不十分发育的熔蚀结构, 石英斑晶亦呈自形一半自形。黑云母呈褐色, 边缘多被熔蚀成港湾状, 沿解理常有基质矿物嵌入。

XG41-1 为二长石英花岗岩斑岩, 采自于岗上英 ZK19-2 钻孔的 399 m 处, 似斑状结构, 斑晶含量约为 60%, 其中石英 20%, 斜长石 20%, 钾长石 15%, 暗色矿物约为 5%, 以黑云母为主, 斜长石斑晶颗粒粗大, 一般大于 0.5 mm, 往往呈聚斑产出, 具环带结构。钾长石斑晶粒度也较大, 常包含有斜长石、黑云母等矿物包裹体。钾长石与石英接触时, 接触带中常发育有蠕石英。

JX09-10 采自于如意亭剖面的二采场(图 2), 岩性为流纹英安斑岩, 相当于吴仁贵(1999)如意亭剖面第 6 层。岩石呈暗紫红色, 斑状结构, 斑晶约占 30%, 其中斜长石约占 20%, 钾长石及石英斑晶含量为 8%~10%。斑晶斜长石普遍具有环带结构, 基质由长英质、绢云母、绿泥石等矿物组成, 呈霏细结构。

X07-67 采自于书堂钻孔 ZK111A-1 孔的 525 m 处, 属于打鼓顶组顶部的地层, 岩性为流纹英安岩, 呈灰紫红色, 斑状结构, 依稀可见流动构造。斑晶矿物含量约 35%, 其中斜长石约占 20%, 钾长石及石英斑晶含量约占 10%, 其余的如黑云母等一般为 5%。斑晶斜长石可见环带结构, 基质由长英质、绢云母、绿泥石等矿物组成, 呈微粒状结构。

3.2 样品分离与测试

锆石样品的分离和挑选由廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成: 将样品破碎至 80~120 目, 经过电磁方法分离出锆石, 最后在双目镜下挑纯。将待测锆石样品与标准锆石置于玻璃板上用环氧树脂浇铸制做成样品靶, 将靶上的锆石粗磨、细磨至约一半使锆石中心部位暴露并抛光, 样品经反射光和透射光照相后, 用阴极发光(CL)扫描电镜进行图像分析, 然后清洗镀金待测。

根据 CL 图像分析确定单颗粒锆石的成因类型, 选择待测点, 测定时选择颗粒较大、较自形、清晰的锆石进行分析, 尽量避开裂纹和包裹体。锆石 CL 图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成, 锆石 U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行, 采用标准流程进行测试, 详细的实验流程和原理参见相关文献[24-27]。应用澳大利亚地调局标准锆石 TEM(年龄: 417Ma) 和 91500(年龄: 1 065 Ma) 进行元素间的分馏校正。数据处理采用 Ludwig 的 SQUID 1.02 及 ISOPLOT 程序自动完成 [28-29]。采用年龄为 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。普通铅根据实测的 ²⁰⁴Pb 进行校正。

具体的测试样点分布及测试结果见图 4~9 及表 3 所示。

4 测试结果

锆石的封闭温度高, 因此岩浆成因锆石 U-Pb

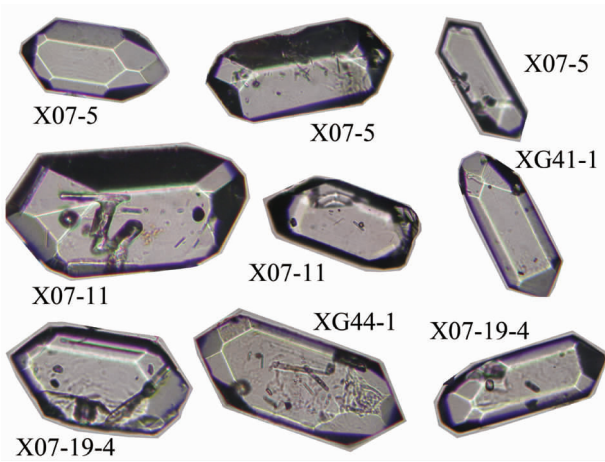


图 3 相山火山-侵入杂岩中部分测试样品的锆石形态
Fig.3 Shapes of some of measured zircons from volcanic-intrusive complexes in Xiangshan area

年龄往往代表了岩体的侵入年龄。从锆石的透射光和显微镜下鉴定分析,测试样品中锆石的晶形都比较完好(图 3、4、6、8、10),呈等粒或短柱状,自形程度高,半透明,淡黄色,锆石晶体柱面平直发育。在阴极发光图像中(图 4),绝大多数锆石晶体柱面平直发育,多数具有亮色的阴极荧光,一些锆石发育有完整的生长环带,具有明显的韵律环带结构,显示为岩浆成因锆石。

所测 7 个样品中锆石 Th/U 值变化范围较小,位于 0.17~0.99,其中仅少数分析点值小于 0.4(仅占 15%),其他点 Th/U 值均高于 0.4,这表明其具有一

般岩浆成因锆石的特点^[30]。

4.1 碎斑熔岩

采自巴泉(XG44-1)和南陂(X07-19-4)的碎斑熔岩中锆石的 Th/U 值变化范围很小,介于 0.3~0.6,显示为岩浆来源;所有测点的年龄数据点均投影在谐和线上或十分接近谐和线(图 5),指示被测锆石未遭受明显的后期热事件的影响,亦说明没有或较少的 Pb 丢失^[31-32]。XG44-1 样品中的锆石 9 个测点中有 8 个 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为 131.2~136.4 Ma,与其加权平均年龄值基本一致。其中 1 个测点(9.1)的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为(1219.7±4.3)Ma,位于锆石的核部,其 CL 图像较黑,放射性成因 Pb 含量(152×10⁻⁶)明显高于其他测点,显示为不同的成因(图 4)。结合区域地质分析,该锆石应为继承性锆石,推测来源于相山前寒武系基底,代表了结晶基底的年龄。剔除该点后,其他 8 个测点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权值为 (134.6±1.0)Ma (MSWD=1.5)(图 5)。X07-19-4 样品中 10 个锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄有 9 个位于 132.7~137.4 Ma,与其加权平均年龄基本一致;其中只有 1 个测点(5.1)其 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄值为 146.2 Ma,远远大于其他测点的年龄值,分析其原始数据可知(表 3),该测点放射性成因铅的值(47.8×10⁻⁶)、U(242×10⁻⁶)和 Th(887×10⁻⁶)的含量也明显比其他颗粒大一个数量级,表明该颗粒锆石为不同成因锆石,或者可能受后期改造影响较大,剔除该点后,其他锆石的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为(134.1±

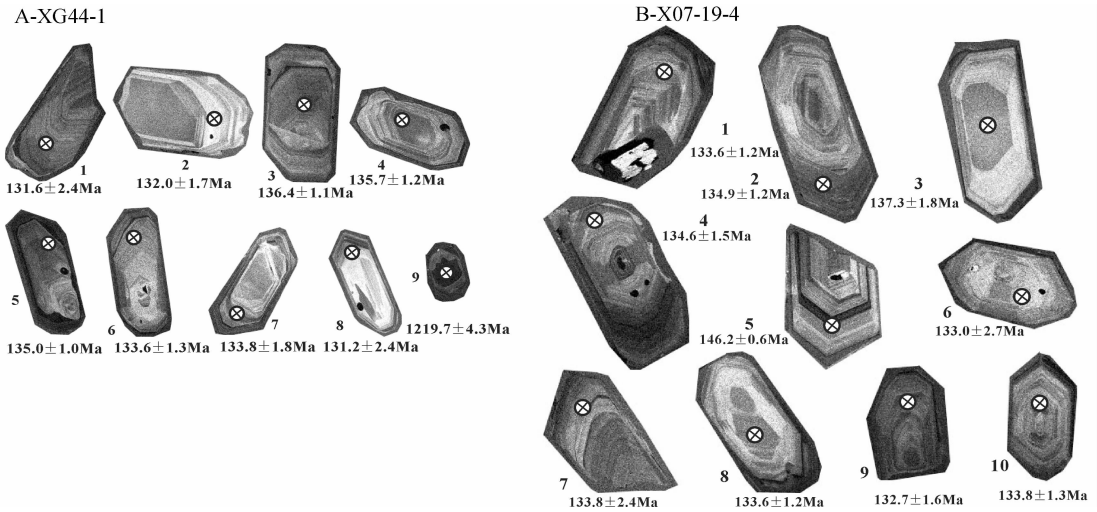


图 4 碎斑熔岩中锆石阴极发光和测试点分布图

Fig.4 Cathodoluminescence photomicrographs of zircon from porphyroclastic lavas and measured points and ages (²⁰⁶Pb/²³⁸U)

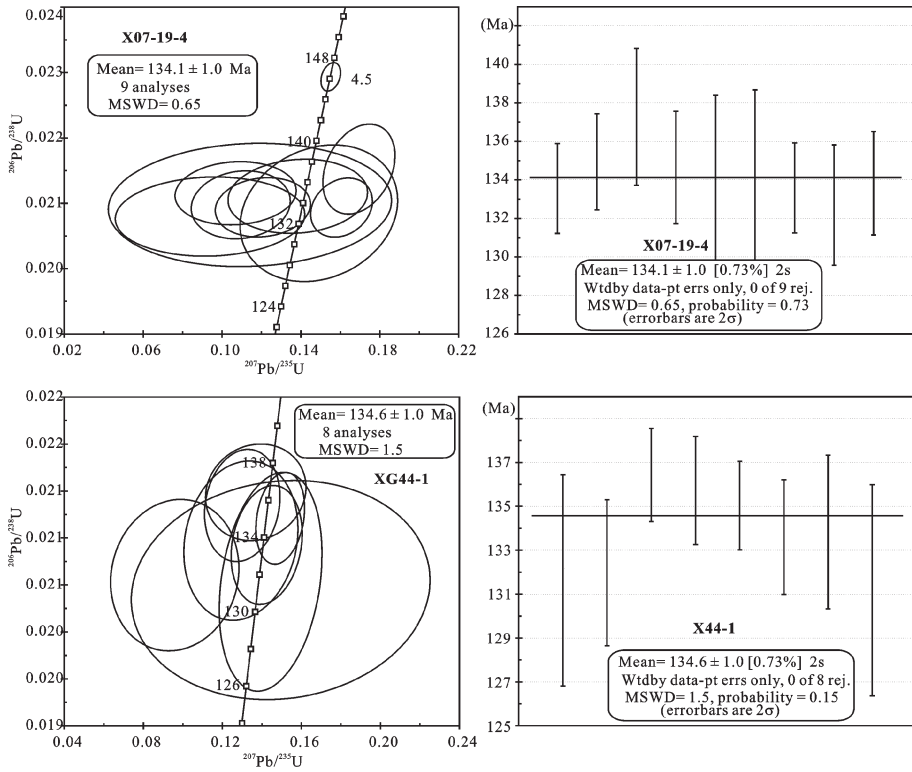


图5 相山碎斑熔岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图解和平均值
 Fig.5 SHRIMP U-Pb concordia diagrams of zircons from porphyroclastic lavas

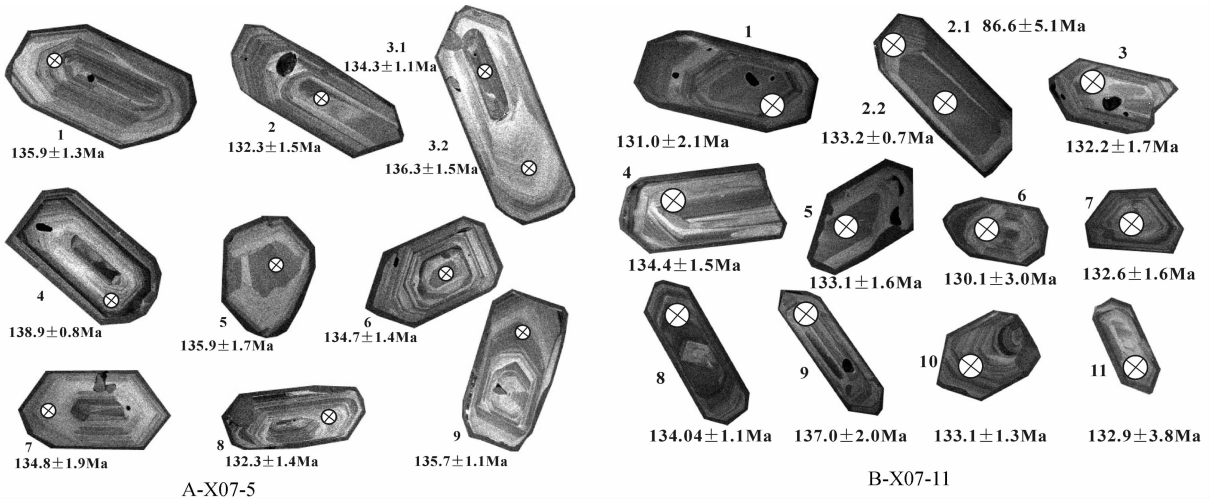


图6 似斑状花岗岩中锆石阴极发光和测试点分布图

Fig.6 Cathodoluminescence photomicrographs of zircon from sub-porphyrific granite and measured points and ages ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)

1.0)Ma(MSWD=0.65)(图5)。综合上述两者测年结果,可得到相山碎斑熔岩的时代为134~135 Ma。

4.2 似斑状花岗岩

采自北部巴泉(X07-05)和南部浯漳(X07-11)

似斑状花岗岩中锆石的Th/U值均位于0.4~0.9,所有测点的年龄数据点均投影在谐和线上或十分接近谐和线(图7),指示岩石受后期热事件干扰少、没有或较少的Pb丢失^[31-32]。X07-5锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面

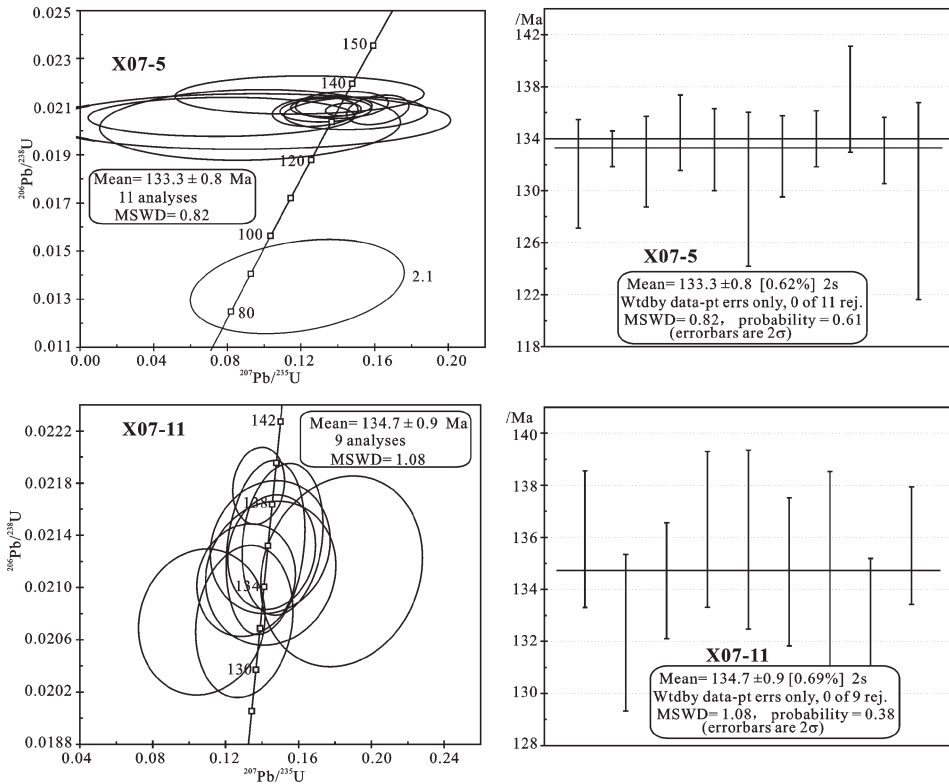


图 7 相山似斑状花岗岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图解和平均值
 Fig.7 SHRIMP U-Pb concordia diagrams of zircons from sub-porphyrific granite

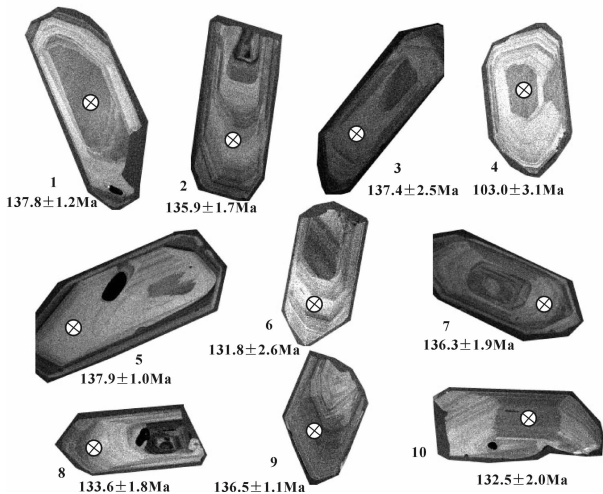


图 8 XG41-1 锆石阴极发光和测试点分布图
 Fig.8 Cathodoluminescence photomicrographs of zircon from sample XG41-1 and measured points and ages ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)

年龄加权平均年龄为 $(133.3 \pm 0.8)\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.82$), X07-11 为 $(134.7 \pm 0.9)\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.08$)。X07-5 号样品中的锆石 10 个测点有 9 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄位于 $129.2 \sim 137.0 \text{Ma}$,

仅有 1 个测点(2.1)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 86.6Ma , 远远小于其他测点的年龄值。在阴极发光图像中, 该测点位于锆石的一个外部生长环带上, 放射性成因 ^{206}Pb 与 ^{238}U 的比值(5.9)明显高于其他测点, 该锆石的内部核的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 133.2Ma , 与其他测点年龄一致, 因该锆石外部的年龄(86.6Ma)可能代表了锆石后期的生长时代。X07-11 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄都介于 $132.3 \sim 138.9 \text{Ma}$, 与加权平均年龄基本一致; 综合上述两者测年结果, 可得到相山似斑状花岗岩的时代为 $133 \sim 134 \text{Ma}$ 。

4.3 二长石英花岗岩斑岩

采自岗上英钻孔的二长石英花岗斑岩(XG41-1), 锆石的 Th/U 值变化范围很小, 介于 $0.4 \sim 0.8$, 显示为岩浆成因; 所获年龄数据点均投影在谐和线上或十分接近谐和线(图 9), 10 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄中有 9 个位于 $132.5 \sim 137.8 \text{Ma}$, 与加权平均年龄基本一致; 其中只有 1 个测点(5.1) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 103.0Ma , 远远小于其他测点的年龄值, 该测点在阴极发光图像中, 颜色偏白, 放射性成因 ^{206}Pb 含量与 ^{238}U 比值(3.0)明显高于其他测点($0.8 \sim$

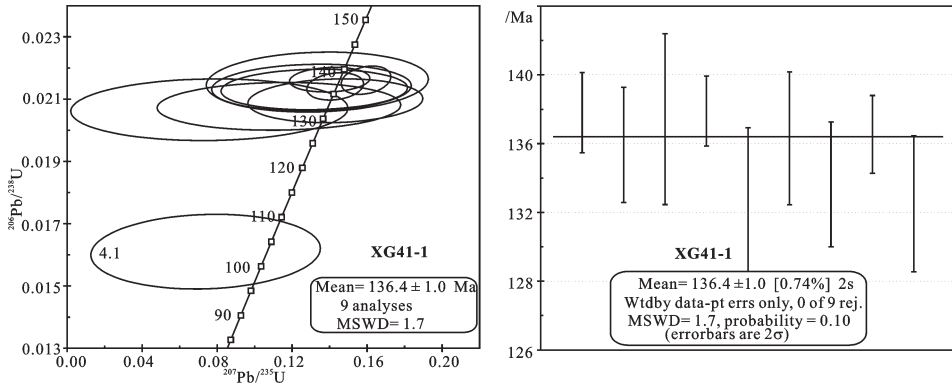


图9 相山二长石英花岗岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图解和平均值

Fig.9 SHRIMP U-Pb concordia diagrams of zircons from monzonite-quartz granite-porphry

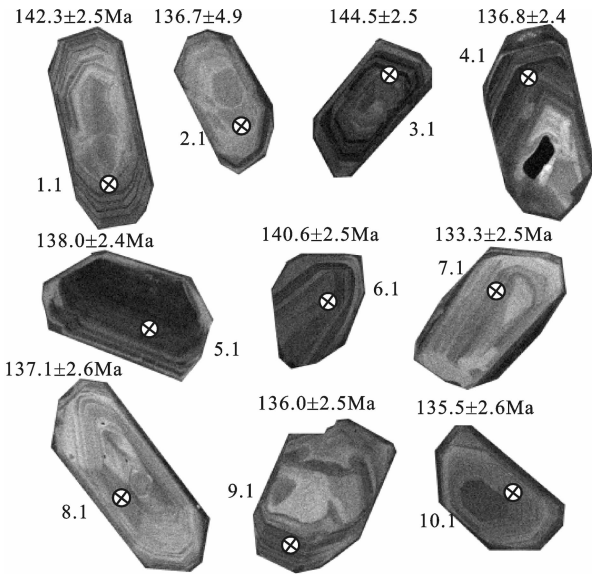


图10 JX09-10 石阴极发光和测试点分布图

Fig.10 Cathodoluminescence photomicrographs of zircon from sample JX09-10 and measured points and ages ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)

1.4), 表明该锆石可能经受了后期较强的放射性干扰, 剩余 9 个测点的加权年龄为 $(136.4 \pm 1.0)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.7$) (图 9)。因此, 岗上英的二长石英花岗岩的侵位时代应为 136.4Ma 。

4.4 如意亭流纹英安斑岩

采自于如意亭二采场的流纹英安斑岩 (JX09-10) 中锆石的 Th/U 值变化范围不大, 位于 0.17~0.82, 所有测点的年龄数据点均投影在谐和线或谐和线附近 (图 11), 同样指示被测锆石受后期热事件干扰小, Pb 丢失较少。加权平均年龄为 $(137.4 \pm 1.7)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.11$), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄位于

133.3~142.3 Ma, 与加权平均年龄基本一致, 因此, 确定该流纹英安斑岩的侵位时代为 137Ma 。

4.5 打鼓顶组顶部流纹英安岩

采自于书堂 ZK111A-1 孔 525 m 处的流纹英安岩 (X07-67) 中锆石的 Th/U 值变化范围稍大, 位于 0.17~0.92, 所有测点的年龄数据点均投影在谐和线上或十分接近谐和线 (图 13)。11 个测点中 10 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄位于 139.6~147.5 Ma, 与加权平均年龄基本一致; 仅 1 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 159.1 Ma, 该测点的 U 值 (4382×10^{-6}) 和 Th 值 (3881×10^{-6})、放射性成因 Pb 值 (94.2×10^{-6}) 都比其他测点明显偏大, 可能该测点的锆石为不同成因或不同时代。除该点外, 剩余 10 个点的加权平均年龄为 $(141.6 \pm 1.7)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.9$), 因此, 可以限定打鼓顶组顶部流纹英安岩的形成时代为 142Ma 。

5 讨论与结论

上述测年结果显示相山铀矿田中碎斑熔岩的喷发年龄为 134~135 Ma, 似斑状花岗岩的结晶年龄为 133~135 Ma。实测数据显示出上述两者的年龄在误差范围内是基本一致的, 表明它们应为近似同时期形成。这种关系在野外同样可以找到证据: 在相山西部的石洞、河元背矿区、以及其北部的湖田等矿区, 都可见似斑状花岗岩侵位于碎斑熔岩之中; 与此同时, 在相山山顶的碎斑熔岩 (相当于中间相的碎斑熔岩) 中, 可以见到似斑状花岗岩的团块 (图 14-A)。野外所见的碎斑熔岩原岩结构构造与花岗岩十分类似, 只不过在其边缘相中含有较多的基底 (震旦系片岩) 团块或岩屑 (图 14-B), 特别是位于中心位置的

表 3 相山火山-侵入杂岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

Table 3 SHRIMP U-Pb data of zircon from volcanic-intrusive complexes in Xiangshan area

样品号	测试点	²⁰⁶ Pb/%	U/10 ⁶	Th/10 ⁶	²³⁵ Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb*/10 ⁶	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U/Ma	误差	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb/%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U/%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U/%			
XG44-1	1	0.83	199	84	0.43	3.56	131.6	2.4	0.0574	4.2	0.144	7.4	0.02063	1.8
	2	2.85	180	88	0.50	3.29	132.0	1.7	0.0567	4.0	0.096	14	0.02068	1.3
	3	0.65	557	167	0.31	10.3	136.4	1.1	0.0516	3.9	0.137	7.6	0.02139	0.79
	4	1.05	330	221	0.69	6.10	135.7	1.2	0.0528	3.2	0.130	6.0	0.02128	0.92
	5	0.18	487	133	0.28	8.87	135.0	1.0	0.0526	2.6	0.149	3.4	0.02117	0.75
	6	0.45	264	108	0.42	4.77	133.6	1.3	0.0529	3.9	0.142	5.2	0.02094	0.99
	7	0.68	443	158	0.37	8.04	133.8	1.8	0.0502	2.7	0.129	9.1	0.02098	1.3
	8	1.95	125	68	0.56	2.25	131.2	2.4	0.0681	7.1	0.150	21	0.02056	1.9
	9	0.11	848	276	0.34	152	1219.7	4.3	0.0828	0.45	2.352	0.69	0.20829	0.39
X07-19-4	1	0.89	403	125	0.32	7.31	133.6	1.2	0.0626	3.1	0.161	4.0	0.02093	0.88
	2	1.62	421	168	0.41	7.77	134.9	1.2	0.0497	2.8	0.107	12	0.02115	0.93
	3	0.00	145	117	0.83	2.69	137.3	1.8	0.0571	4.2	0.169	4.4	0.02152	1.3
	4	0.88	301	124	0.43	5.50	134.6	1.5	0.0546	3.2	0.138	1.0	0.02111	1.1
	5	0.14	2424	887	0.38	47.8	146.2	0.6	0.0502	1.1	0.155	1.3	0.02293	0.39
	6	0.83	157	99	0.65	2.83	133.0	2.7	0.0584	4.5	0.149	11	0.02085	2.0
	7	3.58	110	66	0.62	2.05	133.8	2.4	0.0683	8.6	0.114	26	0.02097	1.8
	8	1.36	440	155	0.36	8.03	133.6	1.2	0.0527	3.0	0.121	8.2	0.02094	0.89
	9	2.25	385	171	0.46	7.03	132.7	1.6	0.0510	2.9	0.094	21	0.02080	1.2
	10	2.23	316	180	0.59	5.83	133.8	1.3	0.0559	3.2	0.109	9.4	0.02098	1.0
XG41-1	1.1	0.52	318	229	0.75	5.93	137.8	1.2	0.0576	2.8	0.159	3.4	0.02161	0.86
	2.1	1.78	262	113	0.45	4.89	135.9	1.7	0.0591	3.1	0.132	15	0.02131	1.2
	3.1	3.03	77	43	0.58	1.46	137.4	2.5	0.0692	7.5	0.134	18	0.02155	1.8
	4.1	2.85	248	190	0.79	3.53	103.0	3.1	0.0563	6.3	0.074	34	0.01610	3.0
	5.1	0.76	515	199	0.40	9.63	137.9	1.0	0.0531	2.3	0.140	6.3	0.02162	0.75
	6.1	4.28	75	40	0.55	1.40	131.8	2.6	0.0616	10	0.076	40	0.02066	2.0
	7.1	1.96	149	67	0.47	2.79	136.3	1.9	0.0599	5.5	0.130	17	0.02137	1.4
	8.1	1.50	157	75	0.49	2.88	133.6	1.8	0.0614	3.8	0.143	13	0.02095	1.4
	9.1	0.67	315	135	0.44	5.84	136.5	1.1	0.0538	2.8	0.143	4.3	0.02141	0.84
	10.1	2.81	179	148	0.85	3.28	132.5	2.0	0.0621	6.4	0.113	23	0.02077	1.5
X07-5	1	3.98	383	149	0.40	7.05	131.3	2.1	0.0595	5.3	0.077	39	0.02058	1.6
	2.1	0.00	461	191	0.43	5.35	86.6	5.1	0.0630	19	0.118	20	0.01353	5.9
	2.2	0.11	1591	489	0.32	28.6	133.2	0.7	0.0506	2.3	0.143	2.8	0.02088	0.52
	3	0.70	170	87	0.53	3.05	132.2	1.7	0.0580	6.3	0.150	11	0.02072	1.3
	4	0.49	245	146	0.62	4.46	134.4	1.5	0.0528	3.8	0.142	7.3	0.02107	1.1
	5	0.00	229	163	0.73	4.11	133.1	1.6	0.0562	4.1	0.162	4.3	0.02087	1.2
	6	3.12	157	70	0.46	2.83	130.1	3.0	0.0579	5.9	0.091	49	0.02038	2.3
	7	1.36	189	100	0.55	3.43	132.6	1.6	0.0555	4.0	0.128	7.5	0.02079	1.2
	8	0.48	487	210	0.45	8.84	134.0	1.1	0.0509	2.6	0.137	6.6	0.02100	0.81
	9	1.48	239	110	0.47	4.47	137.0	2.0	0.0521	5.5	0.119	23	0.02148	1.5
	10	0.62	313	126	0.42	5.64	133.1	1.3	0.0513	5.0	0.134	7.6	0.02086	0.96
11	3.53	151	67	0.46	2.71	129.2	3.8	0.0617	5.9	0.092	36	0.02025	3.0	
X07-11	1.1	0.69	315	147	0.48	5.80	135.9	1.3	0.0547	3.1	0.144	9.3	0.02131	0.98
	2.1	1.38	352	170	0.50	6.35	132.3	1.5	0.0565	2.7	0.130	8.4	0.02074	1.1
	3.1	1.17	428	408	0.99	7.84	134.3	1.1	0.0546	3.3	0.131	8.4	0.02106	0.84
	3.2	0.78	181	90	0.52	3.35	136.3	1.5	0.0576	4.9	0.151	6.0	0.02137	1.1
	4.1	0.45	907	513	0.58	17.0	138.9	0.8	0.0496	2.6	0.138	4.2	0.02178	0.55
	5.1	1.32	136	112	0.85	2.53	135.9	1.7	0.0588	4.2	0.142	6.2	0.02131	1.3
	6.1	0.87	282	123	0.45	5.16	134.7	1.4	0.0566	3.0	0.145	10	0.02111	1.1
	7.1	0.00	119	61	0.53	2.17	134.8	1.9	0.0631	9.8	0.184	9.9	0.02112	1.4
	8.1	2.32	257	145	0.58	4.68	132.3	1.4	0.0561	3.5	0.107	13	0.02074	1.1
9.1	0.82	439	190	0.45	8.09	135.7	1.1	0.0560	2.5	0.145	6.8	0.02127	0.84	
JX09-10	1.1	--	528	143	0.28	10.1	142.3	2.5	0.0501	1.8	0.155	2.6	0.02231	1.8
	2.1	1.16	41	33	0.82	0.766	136.7	4.9	0.0547	6.5	0.134	16	0.02143	3.6
	3.1	0.14	1407	453	0.33	27.4	144.5	2.5	0.0494	1.1	0.151	2.2	0.02268	1.7
	4.1	0.11	916	156	0.18	16.9	136.8	2.4	0.0492	1.8	0.143	2.7	0.02145	1.8
	5.1	0.05	1777	335	0.19	33.1	138.0	2.4	0.0487	1.0	0.144	2.4	0.02164	1.7
	6.1	0.66	553	89	0.17	10.5	140.6	2.5	0.0501	1.9	0.136	5.1	0.02204	1.8
	7.1	0.84	253	185	0.75	4.59	133.3	2.5	0.0483	2.7	0.120	8.2	0.02089	1.9
	8.1	1.09	200	142	0.73	3.74	137.1	2.6	0.0479	3.8	0.116	5.5	0.02150	1.9
	9.1	0.40	229	108	0.49	4.20	135.5	2.6	0.0495	2.9	0.136	6.3	0.02124	1.9
	10.1	0.25	335	60	0.18	6.15	136.0	2.5	0.0515	2.4	0.146	4.1	0.02132	1.9
X07-67	2	0.51	1315	221	0.17	24.9	139.6	2.5	0.0498	1.6	0.138	4.0	0.02189	1.8
	3	2.48	222	118	0.55	4.29	139.7	3.2	0.0590	3.6	0.118	21	0.02191	2.3
	4	--	435	167	0.40	8.22	140.3	2.8	0.0514	2.9	0.159	3.5	0.02200	2.0
	5	0.54	992	442	0.46	18.9	140.8	2.6	0.0504	1.9	0.140	5.2	0.02209	1.9
	6	0.09	2348	712	0.31	46.7	147.5	2.6	0.0503	1.3	0.158	2.5	0.02315	1.8
	7	0.75	983	314	0.33	18.9	141.5	2.6	0.0514	1.8	0.139	6.4	0.02219	1.9
	8	0.07	4382	3881	0.92	94.2	159.1	2.8	0.0495	0.94	0.169	2.1	0.02499	1.8
	9	0.31	819	304	0.38	15.6	140.7	2.6	0.0527	2.0	0.153	5.3	0.02207	1.9
	10	0.62	1208	498	0.43	23.7	144.8	2.6	0.0497	2.0	0.140	4.6	0.02271	1.8
	11	0.55	1085	295	0.28	20.7	141.1	2.6	0.0523	2.3	0.146	4.5	0.02212	1.8
	13	0.32	898	768	0.88	16.9	139.6	2.6	0.0525	1.9	0.151	3.6	0.02189	1.9

注:误差为 1σ, Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射性成因铅;标准校正值的误差为 0.90%(不包括在上述误差内,但包括不同样品靶的数据比较)。应用实测 ²⁰⁶Pb 校正普通铅。²⁰⁶Pb_c(%)是指普通铅中的 ²⁰⁶Pb 占总铅中的 ²⁰⁶Pb 的百分数。

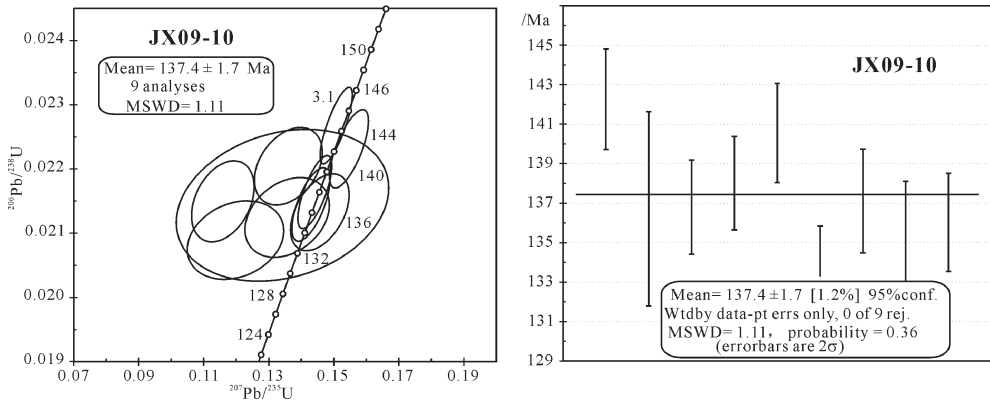


图 11 相山如意亭剖面鹅湖岭组流纹英安斑岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图解和平均值

Fig.11 SHRIMP U-Pb concordia diagrams of zircons from rhyodacitic porphyry along Ruyiting section in western Xiangshan uranium orefield

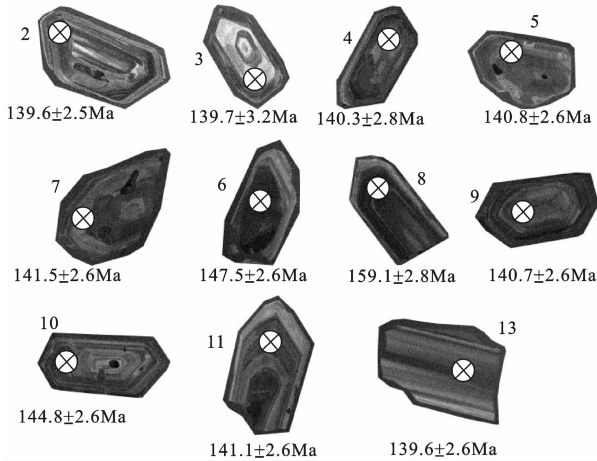


图 12 X07-67 锆石阴极发光和测试点分布图

Fig.12 Cathodoluminescence photomicrographs of zircon from sample X07-67 and measured points and ages ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)

碎斑熔岩岩石为全晶质,不含基底变质岩岩屑,普遍认为其深部可能过渡为火山颈相的似斑状花岗岩或花岗斑岩。

本文的碎斑熔岩测年结果与陈小明等^[18]利用单颗粒锆石 U-Pb(稀释法)测定碎斑熔岩边缘相的喷发年龄(140.3 Ma)、陈迪云等^[17]碎斑熔岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄(140 Ma)有一定的差别,但与陈小明等^[18]单颗粒锆石 U-Pb(稀释法)测定的相山第二火山旋回晚期侵位的花岗斑岩(X10)年龄(135.4 Ma)^[18]、范洪海等^[19]利用单颗粒锆石 U-Pb(稀释法)确定的火山-侵入杂岩中心相碎斑熔岩中花岗质“团块”的形成年龄(134.2±1.9 Ma)基本相同。前人

大量的岩石地球化学测试,包括全岩的岩石化学成分、微量、稀土和 Sr-Nd 同位素特征等^[17,33-36],表明相山火山盆地内喷发相、喷溢相和侵入相的岩石均来源于同一岩浆房。因此,野外地质事实及其前人的岩石地球化学、同位素测试分析和本文的测年结果,进一步表明了碎斑熔岩和似斑状花岗岩属于同时间、同空间、同物质来源的一套火山-侵入岩的组合,形成于 135~133 Ma。

吴仁贵等^[37-38]认为如意亭剖面上的流纹英安斑岩(JX09-10)属于浅成侵入成因的次火山岩,为火山晚期侵入的产物,U-Pb 稀释法测年结果为 134 Ma,Rb-Sr 等时线年龄为 125 Ma。本文测年结果为(137.4±1.7)Ma(MSWD=0.9)。同样,采自于岗上英钻孔 Zk19-2 的 399 m 处的 XG41-1,其锆石年龄为(136.4±1.0)Ma(MSWD=0.9)。范洪海等^[19]曾在相山西部的邹家山矿区,在两期火山旋回的界面之间也发现了潜火山岩,岩性同样为流纹英安斑岩,利用单颗粒锆石的 U-Pb 稀释法测年,确定其形成年龄为(136.0±2.6)Ma,这三者的年龄十分一致。根据范洪海等^[19]分析,这类次火山-侵入岩仅发育于相山西,往往介于打鼓顶组与鹅湖岭组之间,与铀矿成矿关系密切。因此,这一类次火山-侵入岩可能属于早期火山喷发旋回晚期的次火山-侵入岩。根据测年结果,推断 136~137 Ma 为相山早晚两期火山喷发旋回的间隔期。

根据钻孔岩心剖面分析,书堂钻孔岩心的流纹英安岩(X07-67)相当于打鼓顶组顶部的层位,因此其年龄代表了打鼓顶组顶部的时代,接近于第一旋

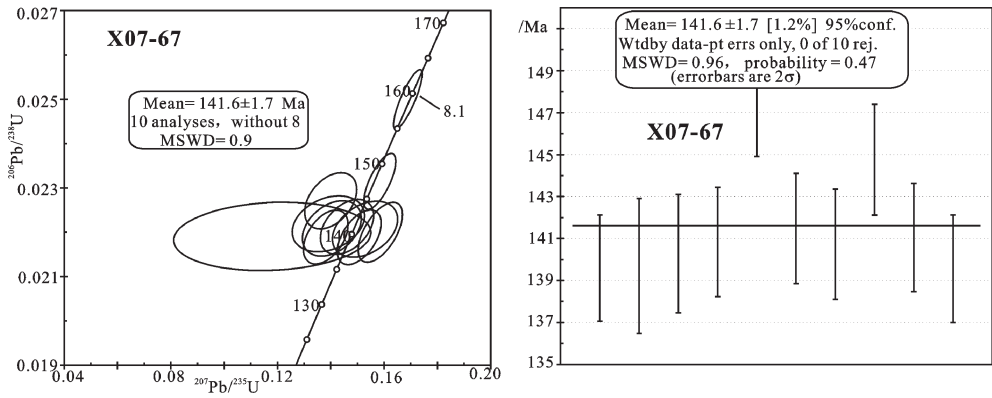


图 13 相山打鼓顶组流纹英安岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图解和平均值
 Fig.13 SHRIMP U-Pb concordia diagrams of zircons in rhyodacite from the Xiangshan uranium ore field

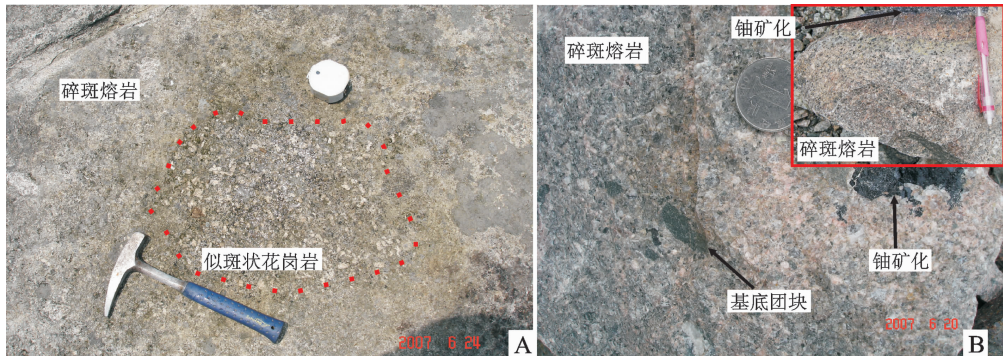


图 14 相山碎斑熔岩中似斑状花岗岩与基底团块(A—相山山顶;B—邹家山)
 Fig.14 Sub-porphyrphyritic granites and Pre-Cambrian gneiss mass in porphyroclastic lava from the peak of the Xiangshan Mountain and Zoujiashan area

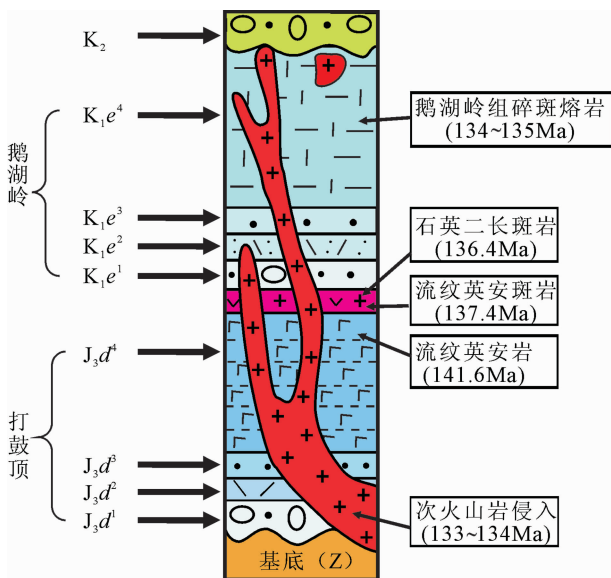


图 15 相山火山喷发-沉积地层柱简化图
 Fig.15 Simplified stratigraphic column of volcanic-intrusive and sedimentary rocks in Xiangshan area

回火山活动的结束时代, 测年结果为 (141.6 ± 1.7) Ma (MSWD=0.9)。张万良等^[20]在如意亭剖面一采场、相当于打鼓顶组上段的流纹英安岩中选取锆石, 采用了稀释法进行单颗粒定年测年, 6 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄为 129.54 Ma, 但是年龄范围为 119.9~143.72 Ma, 标准差达 7.93, 显然其误差较大。因此, 结合碎斑熔岩的时代 (标准剖面鹅湖岭组底部含有一套底砾岩沉积, 无法测年), 可以限定鹅湖岭组的时代应该不会老于 136 Ma, 相山第二旋回火山喷发的时代较短, 局限于 136~133 Ma, 而第一旋回火山喷发的时代结束于大约 142 Ma。

在区域上, 赣东北地区中生代火山盆地普遍发育火山-侵入杂岩体, 由于其重要的含矿性 (特别是铀), 其时代一直是地质学家关注的焦点问题之一^[39-40]。“鹅湖岭组”一名系北京地质学院 (1959—1961 年) 在上饶进行 1:20 万地质填图时创建的, 代表了赣东北中生代火山岩系中部的一个岩石地层单位, 划归为晚

侏罗世。但该组地层所含的岩石单元^[39,41]、与下伏的打鼓顶组的界面划分^[40,42]及其时代^[20,43]一直存在争论,张利民^[38]通过相关的同位素测年对鹅湖岭组的时代提出异议,张万良等根据盛源盆地火山岩系的测年数据^[43]及其如意亭剖面的测年结果^[20],认为应该将鹅湖岭组时代划归为早白垩世。本文的测试结果基本支持这一观点,在相山火山盆地中,以流纹凝灰岩及碎斑熔岩为主体的鹅湖岭组的时代应该划归为早白垩世较为合适,第二旋回的火山喷发活动也属于早白垩世的火山活动。考虑到国际地层学会发布的地层年表(侏罗统与下白垩统的界线年龄为 145.5 Ma),相山火山盆地打鼓顶的火山喷发-沉积时代可能正好跨越于晚侏罗世至早白垩世之间,不能将打鼓顶组和第一火山活动旋回都划归为晚白垩世^[20]。

总之,本文的测年结果及其区域资料分析表明,相山第二旋回火山喷发的活动时代可以限定于 136~133 Ma,都属于早白垩世的火山活动;而第一旋回火山活动的结束时代应该在 142 Ma 左右,可能大都属于晚侏罗世的火山活动(图 15)。

在石马山的碎斑熔岩(XG44-1)中,有一个锆石测点的年龄为(1219.7±4.3)Ma,可能暗示了碎斑熔岩的原始岩浆与相山前寒武纪基底之间的联系,即相山火山-侵入杂岩的原始岩浆来自于前寒武纪基底的重熔。此外,在巴泉的似斑状花岗岩(X07-5)和岗上英钻孔的二长石英花岗斑岩(XG41-1)中,都有 1 个测点的年龄值偏低,分别为 86.6 Ma 和 103 Ma,其中 86.6 Ma 测点位于一个锆石环带的边部,这两个年龄正好与相山铀矿晚期成矿的时代范围(90~110 Ma)一致^[14],纯属巧合,还是体现出晚期铀成矿作用对早期形成的锆石 U-Pb 体系的影响,还需深入分析。

致谢: 两名匿名专家经精心评审提出了建设性的意见和建议,并对原文不当之处直接进行了修改,使作者受益匪浅;中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的诸多同仁在锆石 SHRIMP 测年和数据处理时给予了大力帮助,在此一并表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 方锡珩,侯文尧,万国良. 相山破火山口火山杂岩体的岩石学研究[J]. 岩矿测试, 1982, 1(1):1-7.
Fang Xiheng, Hou Wenrao, Wan Guoliang. Petrographic studies of the volcanic complex in the Xiangshan caldera[J]. Rock and Mineral Analysis, 1982, 1(1):1-7(in Chinese with English abstract).

[2] 王德滋,刘昌实,沈渭洲,等. 江西东乡-相山中生代 S 型火山岩带的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 1991, 36(19):1491-1493.
Wang Dezi, Liu Changshi, Shen Weizhou, et al. Finding of the Mesozoic S-type volcanicrock zone in Dongxiang-Xiangshan of Jiangxi and its geological significance [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(19):1491-1493(in Chinese).

[3] 杜杨松,王德滋,陈克荣. 浙东南沿海地区中生代火山-侵入杂岩的特征、演化和成因[J]. 地质学报, 1990, 64(3):215-225.
Du Yangsong, Wang Dezi, Chen Kerong. Features, genesis and distribution of the Mesozoic volcanic-intrusive complexes in the coastal area of southeastern Zhejiang Province [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64(3):215-225(in Chinese with English abstract).

[4] 陈肇博,谢佑新,万国良,等. 华东南中生代火山岩中的铀矿床[J]. 地质学报, 1982, (3):235-243.
Chen Zhaobo, Xie Youxin, Wan Guoliang, et al. Uranium deposits in Mesozoic volcanics in south-east China[J]. Acta Geologica Sinica, 1982, (3):235-243 (in Chinese with English abstract).

[5] 陈肇博,谢佑新,王灿林,等. 1220 破火山口铀矿田的构造特征及其成矿构造条件分析[J]. 放射性地质, 1982, (1):1-10.
Chen Zhaobo, Xie Youxin, Wang Chanlin, et al. Structural features and ore-forming conditions of the uranium ore-field in 1220 volcanic caldera [J]. Radioactive Geology, 1982, (1):1-10. (in Chinese with English abstract).

[6] 余达淦,吴仁贵,陈培荣. 铀资源地质学[M]. 黑龙江:哈尔滨工程大学出版社, 2005:117-189.
Yu Dagan, Wu Rengui, Chen Peirong. Geology of Uranium Resource [M]. Heilongjiang: Harbin Engineering University Press, 2005:117-189(in Chinese).

[7] 杜乐天. 碱交代作用地球化学原理[J]. 矿床地质, 1983, 1(2):33-41.
Du Letian. Geomechanism of alkaline metasomatism [J]. Mineral Deposits, 1983, 1(2):33-41 (in Chinese with English abstract).

[8] 夏林忻,夏祖春,张诚,等. 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, 1992:1-56.
Xia Linxi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, et al. Petrogeochemistry of Mesozoic Uraniferous Volcanic Complex from Xiangshan, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992:1-56(in Chinese).

[9] 陈贵华,陈名佐. 相山铀矿田成矿条件分析 [J]. 铀矿地质, 1999, 15(6):329-338.
Chen Guihua, Chen Mingzhuo. Analysis on metallogenic conditions of the Xiangshan uranium ore-field[J]. Uranium Geology, 1999, 15(6):329-338(in Chinese with English abstract).

[10] 温志坚,杜乐天,刘正义. 相山矿田热液水云母化及其与铀矿化关系研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(3):257-263.
Wen Zhijian, Du Letian, Liu Zhengyi. Relationship between hydromicatization and uranium mineralization in the Xiangshan orefield[J]. Mineral Deposits, 2000, (3):257-263(in Chinese with English abstract).

[11] 范洪海,凌洪飞,王德滋,等. 江西相山铀矿田成矿物质来源的 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2):139-145.

- Fan Honghai, Ling Hongfei, Wang Dezi, et al. Ore-forming material sources for Xiangshan Uranium Ore-field in Jiangxi Province: Evidence from Nd-Sr-Pb isotopes[J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7 (2):139-145 (in Chinese with English abstract).
- [12] 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 等. 相山铀矿田成矿机理研究[J]. 铀矿地质, 2003, 19(4):208-213.
Fan Honghai, Ling Hongfei, Wang Dezi, et al. Study on metallogenetic mechanism of Xiangshan uranium ore-field[J]. Uranium Geology, 2003, 19(4):208-213 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张鸿. 横涧-岗上英矿床多期次热液活动与铀成矿关系的探讨[J]. 世界核地质科学, 2008, 25(2):68-72.
Zhang Hong. Discussion on relationship between uranium metallogenesis and multiperiodic hydrothermal activities in Hengjian-Gangshangying Deposit [J]. World Nuclear Geoscience, 2008, 25(2):68-72 (in Chinese with English abstract).
- [14] 邵飞, 陈晓明, 徐恒力, 等. 江西省相山铀矿田成矿模式探讨[J]. 地质力学学报, 2008, 14(1):65-73.
Shao Fei, Chen Xiaoming, Xu Henli, et al. Metallogenic model of the Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1):65-73 (in Chinese with English abstract).
- [15] 黄锡强, 陈正乐, 王平安, 等. 江西相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究[J]. 地质力学学报, 2008, 14(4):176-185.
Huang Xiqiang, Chen Zhengle, Wang Ping'an, et al. Fluid inclusion study of the Shazhou uranium ore-field in the Xiangshan deposit, Jiangxi [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (4):176-185 (in Chinese with English abstract).
- [16] 林祥铨. 赣杭构造带若干铀矿床同位素年龄研究及铀源初探[J]. 铀矿地质, 1990, 6(5):257-274.
Lin Xiangken. The study of U-Pb isotopic system and approach to the uranium source for several uranium deposits from Gan-Hang tectonic belt [J]. Uranium Geology, 1990, 6 (5):257-274 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈迪云, 周文斌, 吴伯林. 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(地球科学版), 1994, 6:45-50.
Chen Diyun, Zhou Wenbing, Wu Bailin. Study on Rb, Sr, O and Pb isotopic geochemistry of the Xiangshan clastoporphyritic lava[J]. Journal of Nanjing University (Earth Sciences Edition), 1994, 6:45-50 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈小明, 陆建军, 刘昌实, 等. 桐庐、相山火山-侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):272-278.
Chen Xiaoming, Lu Jianjun, Liu Chanshi, et al. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic-intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15 (2):272-278 (in Chinese with English abstract).
- [19] 范洪海, 王德滋, 沈渭洲, 等. 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, 2005, 51(1):86-92.
Fan Honghai, Wang Dezi, Shen Weizhou, et al. Formation age of the intermediate-basic dikes and Volcanic-intrusive Complex in Xiangshan, Jiangxi Province[J]. Geology Review, 2005, 51(1):86-92 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张万良, 李子颖. 相山流纹英安岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1):21-26.
Zhang Wanliang, Li Ziyin. Single-zircon U-Pb age of rhyodacite from Xiangshan area and its geological implications [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2007, 26(1):21-26 (in Chinese with English abstract).
- [21] 邱爱金, 郭令智, 郑大瑜, 等. 大陆构造作用对相山富大铀矿形成的制约[M]. 北京:地质出版社, 2002:58-95.
Qiu Aijin, Guo Lingzhi, Zheng Dayu, et al. Continental Tectonic Constraint on Formation of Xiangshan Large Scale Uranium Deposits with High Grade [M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 2002:58-95 (in Chinese with English abstract).
- [22] 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 等. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):153-161.
Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Su Wenchao, et al. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous-Tertiary in south China [J]. Earth Sciences Frontiers, 2004, 11(1):153-161 (in Chinese with English abstract).
- [23] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):45-55.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China [J]. Earth Sciences Frontiers, 2004, 11 (1):45-55 (in Chinese with English abstract).
- [24] Compston W, Williams I S, Mcyer C. U-Pb geochronology of zircons from lunarbreccia 73217 using a sensitive high mass resolution microprobe[J]. Journal of Geophysical Research, 1984, 89 (Supl.):325-534.
- [25] Compston W, Williams I S, Kir schvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of Early Cambrian time-scale[J]. Journal of Geological Society, 1992, 149:171-184.
- [26] 宋彪, 张玉海, 王渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测成年龄及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Discussion on how to make sample target for SHRIMP and dating problems [J]. Geology Review, 2002, 48(Supl.):26-30 (in Chinese with English abstract).
- [27] 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约 [J]. 地质学报, 2003, 77(2):217-228.
Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. SHRIMP Dating of Carboniferous Jinshajiang Ophiolite in Western Yunnan and Sichuan: Geochronological Constraints on the Evolution of the Paleo-Tethys Oceanic Crust [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (2):217-228 (in Chinese with English abstract).
- [28] Ludwig K R. Users manual for isoplot/ Ex: A geochronological toolkit for microsoft excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology

- Center Special Publication, 2000:53.
- [29] Ludwig K R. Squid 1.02: A user manual [M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001. 219.
- [30] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16):1589-1604.
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Sciences Bulletin, 2004, 49(15):1554-1569.
- [31] 陈富文, 李华芹, 梅玉萍. 广西龙头山斑岩型金矿成岩成矿锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2008, 82 (7):921-926.
Chen Fuwen, Li Huaqin, Mei Yuping. Zircon SHRIMP U-Pb chronology of diagenetic mineralization of the Longtoushan Porphyry Gold Orefield, Gui County, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(7):921-926(in Chinese with English abstract).
- [32] 杨祖龙, 张德全, 丰成友, 等. 福建龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2008, 27(3):329-335.
Yang Zulong, Zhang Dequan, Feng Chengyou, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of quartz porphyry from Zhongjia tin-polymetallic deposit in Longyan area, Fujian Province, and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(3):329-335 (in Chinese with English abstract).
- [33] 段芸, 赵连泽, 范洪海, 等. 江西相山火山-侵入杂岩及其包体稀土元素地球化学[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1):92-107.
Duan Yun, Zhao Lianze, Fang Honghai, et al. REE-geochemistry of Mesozoic volcanic-intrusive complex and dark inclusions in Xiangshan District, Jiangxi Province [J]. Journal of China Universities, 2001, 7(1):92-107(in Chinese with English abstract).
- [34] 沈渭洲, 陈繁荣, 刘昌实, 等. 江西两类火山侵入杂岩的同位素地球化学特征和物质来源[J]. 岩石学报, 1992, 8(2):177-184.
Shen Weizhou, Chen Fangrong, Liu Changshi, et al. Characteristics of isotopic geochemistry and material sources of two types of volcanic-intrusive complexes in Jiangxi[J]. Acta Perologica Sinica, 1992, 8(2):177-184(in Chinese with English abstract).
- [35] 梁良, 刘成东, 李建红. 622 铀矿床岩矿石的 REE 地球化学特征 [J]. 矿物学报, 1994, (2):181-195.
Liang Liang, Liu Chengdong, Li Jianhong. REE geochemistry of rocks and ores in uranium deposit 622 [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1994, (2):181-195(in Chinese with English abstract).
- [36] 廖宇华. 相山铀矿田稀土元素地球化学特征及示踪研究[J]. 华东地质学院学报, 2000, (2):150-153.
Liao Yuhua. Study of character and trace of REE in Xiangshan uranium ore field [J]. Journal of East China Geological Institute, 2000, (2):150-153(in Chinese with English abstract).
- [37] 吴仁贵. 相山地区如意亭剖面火山建造特征[J]. 华东地质学院学报, 1999, 22(3):201-208.
Wu Rengui. Characteristics of volcanic formation in Ruyiting section in Xiangshan area[J]. Journal of Huadong Geological Institute, 1999, 22(3):201-208(in Chinese with English abstract).
- [38] 吴仁贵, 余达淦, 张树明. 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, 2003, 19(2):81-87.
Wu Rengui, Yu Dagan, Zhang Shuming. Identification of rhyolite-dacite porphyry and its relation to uranium mineralization at Xiangshan uranium ore-field [J]. Uranium Geology, 2003, 19 (2):81-87(in Chinese with English abstract).
- [39] 巫建华. 赣东北中生代晚期盆地特征及地层划分[J]. 华东地质学院学报, 1995, 16(2):144-151.
Wu Jianhua. A discussion on the Late Cretaceous basin features and strata division in northeast Jiangxi Province [J]. Journal of East China Geological Institute, 1995, 16(2):144-151(in Chinese with English abstract).
- [40] 张利民. 试论我国东部火山岩型铀矿床赋存层位的地质时代[J]. 铀矿地质, 1996, 12(3):139-143.
Zhang Limin. Discussion on geological ages of ore-hosting strata of volcano-type uranium deposits in east China[J]. Uranium Geology, 1996, 12(3):139-143(in Chinese with English abstract).
- [41] 巫建华. 赣东北上侏罗统鹅湖岭组下界的探讨 [J]. 江西地质, 1996, 10(1):19-26.
Wu Jianhua. Probe on the lower group of the Ehuling Formation of upper Jurassic system in northeast Jiangxi [J]. Geology of Jiangxi, 1996, 10(1):19-26(in Chinese with English abstract).
- [42] 巫建华. 赣东北鹅湖岭组的再认识 [J]. 地层学杂志, 1996, 20(2):153-160.
Wu Jianhua. A new knowledge of the Ehuling formation in northeast Jiangxi[J]. Journal of Stratigraphy, 1996, 20(2):153-160 (in Chinese with English abstract).
- [43] 张万良. 盛源盆地火山岩系地层的时代归属 [J]. 铀矿地质, 2000, 16(2):99-101 .
Zhang Wanliang. Stratigraphic attribution of volcanic series in Shengyuan basin [J]. Uranium Geology, 2000, 16 (2):99-101(in Chinese with English abstract).

SHRIMP U-Pb dating of zircons from volcanic-intrusive complexes in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province, and its geological implications

CHEN Zheng-le¹, WANG Yong¹, ZHOU Yong-gui¹, HAN Feng-bin¹, WANG Ping-an¹,
GONG Hong-liang¹, SHAO Fei², TANG Xiang-sheng², XU Jin-shan²

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Research Institute No.270, CNNC, Nanchang 330200, Jiangxi, China)

Abstract: The volcanic-intrusive complexes were dated by the SHRIMP U-Pb dating method of zircons from the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province. SHRIMP U-Pb dating of zircons from 7 volcanic rocks yielded $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordant ages from 133Ma to 142Ma. The weighted mean ages of two porphyroclastic lava samples are $134.6 \pm 1.0\text{Ma}$ (MSWD=1.5) and $134.1 \pm 1.0\text{Ma}$ (MSWD=0.65), respectively, which constrain the latest volcanic eruption in Xiangshan area at 134Ma. Two sub-porphyrific granites from Baquan in northern and Wuzhang in southern Xiangshan uranium orefield have ages of $133.3 \pm 0.8\text{Ma}$ (MSWD=0.82) and $134.7 \pm 0.9\text{Ma}$ (MSWD=1.08). The consistent ages of granite porphyry with porphyroclastic lava within the error range indicate that these two types of rocks were approximately simultaneously erupted or/and then intruded, probably with similar origins, as also supported by field evidence and previous geochemical analyses. A rhyodacite sample obtained from drill hole No.ZK111A-1 in the upper part of the Daguding Formation at Shutang in western Xiangshan has age of $141.6 \pm 1.7\text{Ma}$ (MSWD=0.9), suggesting that the first-cycle of the volcanic eruption should have ended at about 142Ma, most probably during the Late Jurassic. The intrusive age of a quartz-monzonite granite-porphyry sample from drill hole No. ZK19-2 in Gangshangying area is $136.4 \pm 1.0\text{Ma}$ (MSWD=1.7), and the age of rhyodacite-porphyry from the Ruyiting section is $137.4 \pm 1.7\text{Ma}$ (MSWD=1.11), indicating an interval age of 136-137Ma between the first and the second cycle of volcanic eruption, and both the granite-porphyry and the rhyodacite-porphyry intruded during the interval time of two volcanic movement cycles. The dating results obtained by the authors and the previous researchers show that the second-cycle of the volcanic-intrusive movement in Xiangshan area ranged from 136Ma to 133Ma in time, belonging to early Cretaceous volcanic event. It is also proposed that the Ehuling Formation in Xiangshan area should be Early Cretaceous in age.

Key words: Xiangshan uranium orefield; shrimp U-Pb dating of zircon; volcanic-intrusive complexes, Ehuling Formation

About the first author: CHEN Zheng-le, male, born in 1967, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of structure geology and orefield structures; E-mail: chenzhengle@263.net.