

doi: 10.12029/gc20170510

巫建华, 劳玉军, 谢国发, 张婧妍, 吴仁贵, 聂逢君. 2017. 江西相山铀矿田火山岩系地层学、年代学特征及地质意义[J]. 中国地质, 44(5): 974–992.

Wu Jianhua, Lao Yujun, Xie Guofa, Zhang Jingyan, Wu Rengui, Nie Fengjun. 2017. Stratigraphy and geochronology of the volcanic rocks in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province and its geological implications[J]. Geology in China, 44(5): 974–992(in Chinese with English abstract).

江西相山铀矿田火山岩系地层学、 年代学特征及地质意义

巫建华^{1,2} 劳玉军² 谢国发³ 张婧妍² 吴仁贵² 聂逢君²

(1. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013; 2. 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330013; 3. 江西省核工业地质局261地质大队, 江西 鹰潭 335001)

摘要:江西相山铀矿田位于赣东北乐安县和崇仁县边境,处于扬子古板块与华夏古板块之间的钦(州)—杭(州)结合带南侧罗霄褶皱带的北缘,属赣杭铀成矿带西南段。根据不整合面和岩石组合特征可将相山铀矿田赋矿火山岩系归入武夷群,根据岩性岩相特征和火山活动产物的规律性,可将武夷群下部紫红色砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩夹熔结凝灰岩、凝灰岩构成的喷发—沉积相组合归入双峰岭组、上部碎斑熔岩夹熔结凝灰岩构成的喷溢—侵入相组合归入鹅湖岭组,分别代表火山活动初始期和喷发期的产物。SHRIMP 锆石 U—Pb 年龄表明,双峰岭组下部熔结凝灰岩年龄为(137.5±1.4) Ma(N=13, MSWD=0.73)、中部2个英安岩样品的年龄分别为(137.4±1.1) Ma(N=14, MSWD=1.3)和(137.4±1.4) Ma(N=12, MSWD=2.5)、上部晶屑凝灰岩的年龄为(136.4±1.1) Ma(N=14, MSWD=0.49),鹅湖岭组2个碎斑熔岩样品的年龄分别为(135.4±1.5) Ma(N=13, MSWD=1.3)和(135.2±1.2) Ma(N=12, MSWD=0.25),不仅说明相山铀矿田武夷群地质时代属早白垩世早期,而且年龄与地层的叠置关系吻合。划分的双峰岭组与鹅湖岭组界线不仅是岩性界面,而且是岩相界面,野外容易识别,解决了原打鼓顶组或原如意亭组划分存在的问题。结合相山铀矿田已有的高精度锆石 U—Pb 年龄数据,提出锆石 U—Pb 测年结果不能为相山铀矿田火山—侵入杂岩的时序厘定的提供依据。

关键词:火山岩系;地层学;地质意义;年代学;早白垩世早期;相山铀矿田

中图分类号:P588.14;P597*.3 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)05-0974-19

Stratigraphy and geochronology of the volcanic rocks in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province and its geological implications

WU Jianhua^{1,2}, LAO Yujun², XIE Guofa³, ZHANG Jingyan², WU Rengui², NIE Fengjun²

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 2. Collage of Earth Science, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3. No. 261 Geological Party, Nuclear Industry Geological Bureau of Jiangxi Province, Yingtan 335001, Jiangxi, China)

收稿日期:2016-10-10;改回日期:2017-03-22

基金项目:中国核工业集团公司项目“中国中—新生代铀成矿作用研究”(中核地计[2008]74号),中央地质勘查基金专题研究项目“江西相山铀矿田主要控矿因素研究与找矿靶区优选”(2013361009)和中国地质调查局地质调查项目“江西崇仁相山铀矿整装勘查区关键基础地质研究”(12120114034401)联合资助。

作者简介:巫建华,男,1960年生,博士,教授,长期从事火山地质与铀矿地质研究;E-mail:jhwu@ecit.cn。

Abstract: The Xiangshan uranium orefield is located in Le'an-Chongren border area, northeast Jiangxi Province. Its tectonic position lies on the northern margin of Luoxiao folding belt, southern side of the Qingzhou-Hangzhou suture zone between the Yangtze paleo-plate and Cathaysia paleo-plate, belonging to the southwest section of the Ganhang uranium ore belt. According to unconformity surface and features of rock association, the volcanic rocks in the Xiangshan uranium orefield should belong to the Wuyi Group. According to features of lithology and lithofacies and volcanic activity regularity, Wuyi Group can be subdivided into the Shuangfengling Formation which includes lower purple conglomerate, sandstone, siltstone, mudstone and tuff that constitute eruption-sedimentary facies and the Ehuling Formation which is composed of upper porphyroclastic lava intercalated with ignimbrite combination of outpouring-flushout facies. These two formations respectively represent the initial stage of volcanic activity and the eruption period. The SHRIMP zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age estimated for the welded tuff in the bottom part of the Shuangfeng Formation is $(137.5\pm 1.4)\text{Ma}$ ($N=13$, $\text{MSWD}=0.73$), the dacites in middle part of the Shuangfeng Formation have the ages of $(137.4\pm 1.1)\text{Ma}$ ($N=14$, $\text{MSWD}=1.3$) and $(137.4\pm 1.4)\text{Ma}$ ($N=12$, $\text{MSWD}=2.5$), the crystal tuff in the upper part of the Shuangfeng Formation has the age of $136.4\pm 1.1\text{Ma}$ ($N=14$, $\text{MSWD}=0.49$), the porphyroclastic lava of the Ehuling Formation has the ages of $(135.4\pm 1.5)\text{Ma}$ ($N=13$, $\text{MSWD}=1.3$) and $(135.2\pm 1.2)\text{Ma}$ ($N=12$, $\text{MSWD}=0.25$), which not only indicate an early Early Cretaceous age but also are in accord with stratigraphic sequence. The boundary between the Shuangfeng Formation and the Ehuling Formation is not only an interface of lithology but also an interface of lithofacies. The boundary can be recognized easily in the field, and the problem concerning the division of the original Daguding Formation or the original Ruyiting Formation is thus solved. In combination with existing zircon U-Pb age of the volcanic-intrusive complex in the Xiangshan uranium orefield, the authors hold that zircon U-Pb age of the volcanic-intrusive complex cannot provide the evidence for determination of the time sequence of the volcanic-intrusive complex in the Xiangshan uranium orefield.

Key words: volcanic rock series; stratigraphy; geochronology; geological implications; early Early Cretaceous; Xiangshan uranium orefield

About the first author: WU Jianhua, male, born in 1960, doctor, professor, engages in the study and teaching of volcanic and uranium geology; E-mail: jhwu@ecit.cn.

Fund support: Supported by Project of CNNC (No. 2008-74), Project of CGEF (No. 2013361009) and Project of CGS (No. 12120114034401).

1 引言

江西相山铀矿田是至今中国储量最大、与火山岩有关的热液型铀矿田,铀矿地质勘查和基础地质研究已有60多年的积累,在赋矿围岩岩石学(方锡珩等,1982;徐海江等,1984;吴仁贵,1999;吴仁贵等,2003;时国等,2015;周万蓬等,2015)、地球化学(王德滋等,1991;夏林忻等,1992;陈迪云等,1993;段芸等;范洪海等,2001;Jiang et al.,2005;杨水源等,2012;郭福生等,2016)、年代学(陈小明等,1999;范洪海等,2005;张万良等,2007;何观生等,2009;杨水源等,2010,2012,2013;Yang et al.,2011;陈正乐等,2013;张德志等,2014;郭福生等,2015)及成因(王传文等,1982;徐海江等,1984;刘家远,1985;沈谓洲等,1992;范洪海等,2001;郭福生等,2016)、控矿断裂特征(邱爱金等,2002)与火山构造特征(陈肇博等,1982)等基础地质方面和蚀变岩类

型(温志坚等,2000;姚宏鑫等,2013;胡宝群等,2016)、矿石地球化学特征(梁良等,1994)、成矿物质来源(范洪海等,2001;Jiang et al.,2006)与成矿机理(范洪海等,2003)、流体包裹体(黄锡强等,2008)、铀成矿条件(陈贵华等,1999;吴柏林等,2006)与成矿模式(邵飞等,2008)等矿床地质方面都做了大量的研究工作,取得了一系列成果。然而,火山岩系岩石地层划分和岩石地层单位归属一直沿用北京地质学院(1961)的方案,对其存在的问题缺乏深入的研究。另一方面,近年来相山火山-侵入杂岩虽然获得了一批高精度的锆石U-Pb年龄(何观生等,2009;杨水源等,2010,2013;Yang et al.,2011;陈正乐等,2013;郭福生等,2015),但多为次火山岩的年龄,而且部分火山岩的年龄因MSWD值 >2 ,有的甚至达到9.4,降低了年龄数据的可信度。为此,本文以火山岩系为研究对象,根据岩性岩相特征和火山活动产物的自身特点提出火山岩系岩

石地层划分和岩石地层单位归属的方案,采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年技术系统测试火山岩的年龄,并就相关问题进行讨论。

2 地质特征

相山铀矿田位于赣东北乐安和崇仁县边境,处于扬子古板块与华夏古板块之间的软(州)一杭

(州)结合带南侧的罗霄褶皱带北部(图 1-a),是赣杭铀成矿带内三个铀矿田之一(张金带等,2012;万天丰,2013;巫建华等,2014;葛肖虹等,2014;蔡煜琦等,2015)。火山岩系不整合于中元古代变质岩系之上、并被上白垩统龟峰群不整合覆盖,为一套中酸性、酸性火山岩系,自下而上可划分出 12 个火山岩相(图 2)。其中 1~9 个火山岩相以紫红色粉砂

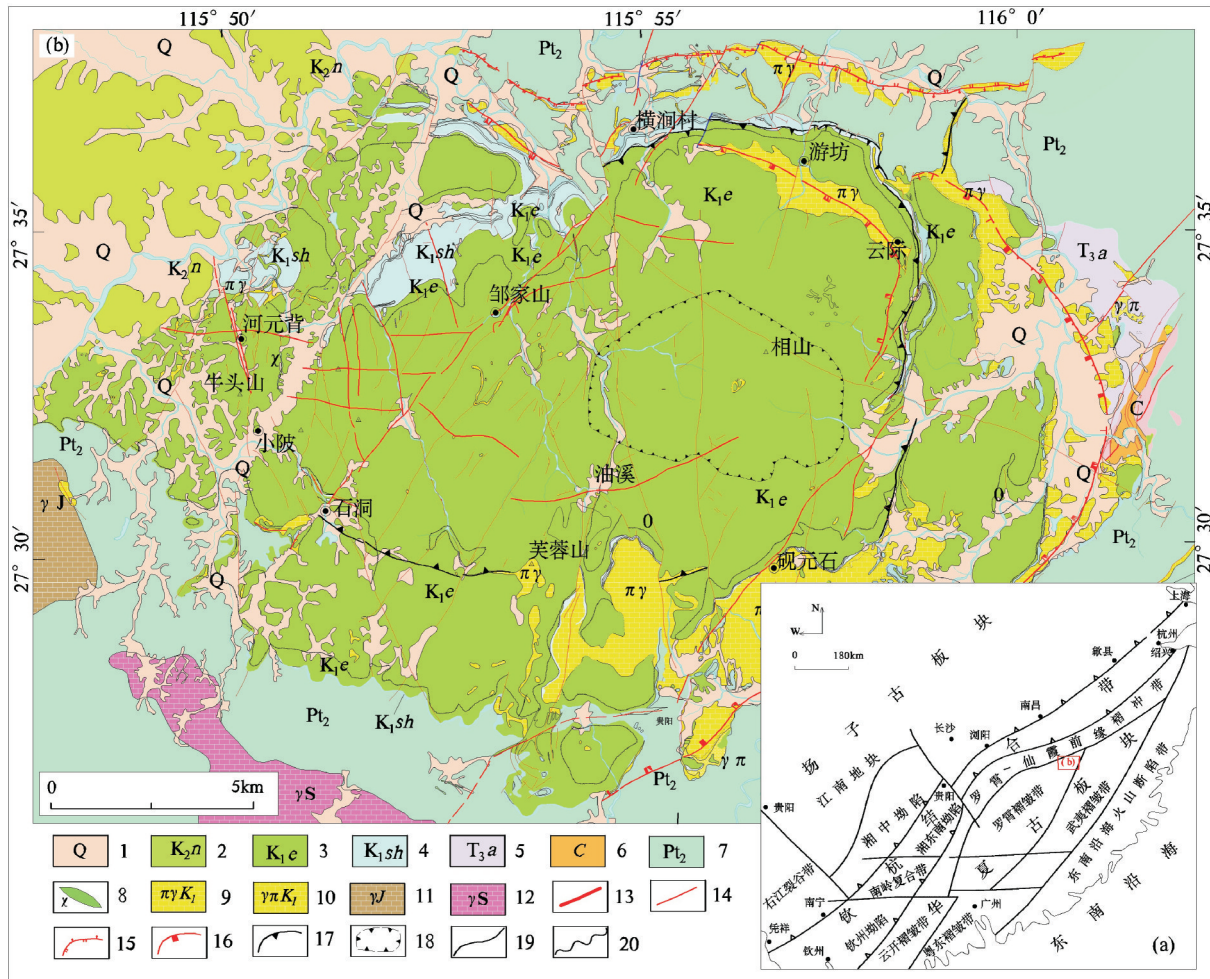


图 1 相山铀矿田大地构造位置和地质简图

- 1—第四系;2—晚白垩世南雄群紫红色砂砾岩;3—早白垩世早期鹅湖岭组碎斑流纹岩;4—早白垩世早期双峰岭组砂岩、粉砂岩、凝灰岩、英安岩;5—晚三叠世安源群砂岩、炭质页岩;6—石炭系细砂岩、粗砂岩;7—中元古代黑云母石英片岩;8—基性岩脉;9—早白垩世斑状花岗岩;10—早白垩世花岗岩斑岩;11—侏罗纪花岗岩;12—志留纪花岗岩;13—断裂;14—次级断裂;15—逆掩断层;16—张性断裂;17—断陷构造;18—推测火山活动中心;19—地质界线;20—不整合界线

Fig. 1 Geographic (a) and geological (b) sketch map of the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province

- 1—Quaternary;2—Late Cretaceous Nanxiong Group purple glutenite;3—Early Early Cretaceous Ehuling Formation porphyroclastic rhyolite;4—Early Early Cretaceous Shuangfengling Formation fine-grained sandstone and gritstone and tuff and dacite;5—Late Triassic Anyuan Group gritstone and carbonaceous shale;6—Carboniferous fine-grained sandstone and gritstone;7—Mesoproterozoic biotite quartz schist;8—Basic veins;9—Early Cretaceous porphyritic granite;10—Early Cretaceous granite porphyry;11—Jurassic granite;12—Silurian granite;13—fault;14—Sub-faults;15—Overthrust;16—Tensional fracture;17—Faulted structure;18—Inferred volcanic activity center;19—Geological boundary;20—Unconformable boundary

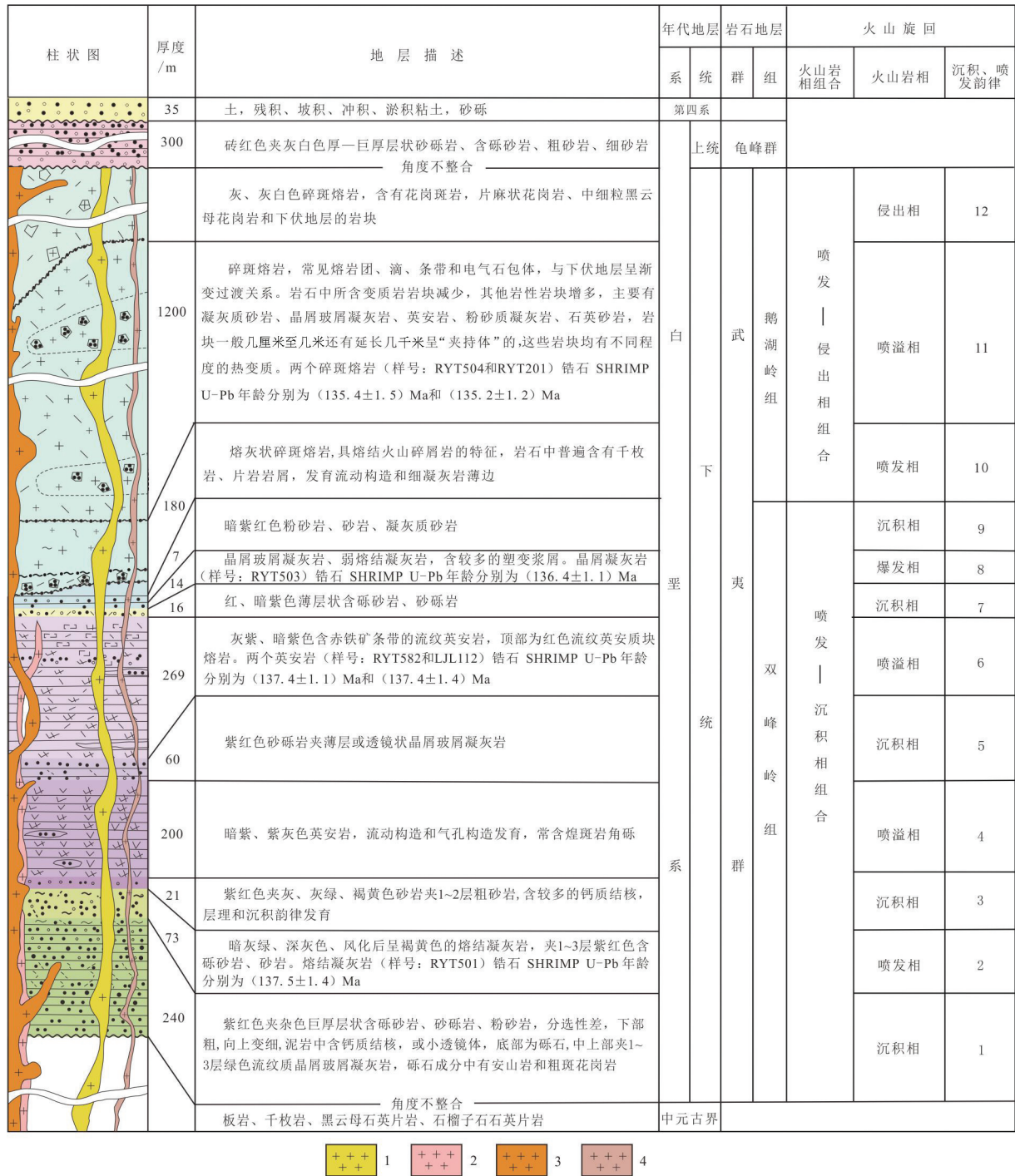


图2 相山铀矿田岩石地层与岩浆旋回划分对比图(据江西省核工业地质局261大队资料综合)
 1—早白垩世中细粒花岗岩;2—早白垩世小斑花岗岩斑岩;3—早白垩世中粗斑花岗岩斑岩;4—早白垩世英安斑岩
 Fig. 2 Correlation diagram of division of lithostratigraphy and volcanic cycle in the Xiangshan uranium orefield
 1—Early Cretaceous medium-fine grained granite;2—Early Cretaceous small phenocrystic granite porphyry;3—Early Cretaceous medium-coarse phenocrystic granite porphyry;4—Early Cretaceous dacite porphyrite

岩、含砾凝灰质砂岩为主,夹英安岩、流纹质熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩,底部为紫红色砾岩,属喷发-沉积相组合,代表火山活动初始期的产物;10~12个火山岩相以流纹质碎斑熔岩为主,夹流纹质熔结凝灰岩、角砾凝灰岩,属喷发-侵出相组合,代表火山活动强烈期的产物。火山岩系中有大量小斑花岗斑岩、中粗斑花岗斑岩、英安斑岩、小斑石英二长斑岩、中粗斑石英二长斑岩和中细粒斑状石英二长岩等岩体侵入(图1b)。矿田东部还出露少量石炭纪细砂岩、粗砂岩和晚三叠世安源群含煤沉积岩系,矿田南部中元古代变质岩系被志留纪花岗岩(中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (401.1 ± 3.8) Ma、 (405.1 ± 3.3) Ma,中细粒似斑状黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (403.9 ± 2.9) Ma,张芳荣,2011)侵入。

3 样品岩相学特征

相山铀矿田火山岩主要有流纹质碎斑熔岩、英安岩、流纹质熔结凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩和火山角砾岩等类型(郭福生等,2015)。

流纹质熔结凝灰岩呈浅灰、浅灰白、浅灰绿色,假流动构造,火山碎屑结构,由岩屑(5%~10%)、晶屑(15%~30%)、塑性玻屑(1%~5%)、浆屑(1%~15%)和火山灰组成。岩屑以花岗岩、变质岩为主;晶屑主要为钾长石和斜长石,并由少量黑云母;浆屑、玻屑由长石、石英颗粒组成,常被压扁拉长,绕过刚性晶屑和岩屑呈定向排列,构成假流动构造。基质为隐晶质,显微霏细结构,颗粒镶嵌结构。分布较为局限,主要分布矿田的北部和东部,是相山火山-侵入杂岩第一期火山活动的产物。

英安岩呈暗紫、紫灰、灰绿色,流动构造,斑状结构,发育赤铁矿条带,并常见膝折式褶皱和断裂,俗称流纹英安岩。斑晶含量35%~40%,粒径0.2~3 mm,主要由斜长石、钾长石以及少量的石英、黑云母组成。斜长石多为中长石,常发生绢云母化、碳酸盐化;黑云母遭受不同程度的绿泥石化,石英边界常呈熔蚀港湾状。基质主要由长英质矿物组成,霏细结构、显微镶嵌结构。副矿物可见锆石、磷灰石、磁铁矿等。主要分布于矿田的北部和西部,是相山火山-侵入杂岩第二期火山活动的产物。在如意亭一带,常见具有赤铁矿条带的英安岩块体被具

块状构造的英安斑岩包裹,并见晚期具块状构造的英安斑岩与早期具赤铁矿条带的英安岩呈侵入接触的现象(吴仁贵等,2003)。

流纹质晶屑凝灰岩呈灰白色,块状构造,凝灰结构,主要由晶屑、凝灰级玻屑和火山灰组成。晶屑呈炸碎棱角状,部分棱角已熔融圆化,粒径0.2~3 mm不等,成分主要由石英(25%)、长石(35%)和少量黑云母(2%)组成,玻屑肉眼可分别者常呈弧面状,属半塑性玻屑。分布较广泛,在矿田四周均可见及,但厚度不大。

流纹质碎斑熔岩呈浅灰、浅红色,块状构造,碎斑结构。碎斑含量40%~50%,粒度1~5 mm,具有碎裂但不分散的特点,主要由透长石(15%~20%)、斜长石(5%~10%)、石英(20%~30%)、黑云母(1%~2%)组成,斜长石主要是更-中长石(王传文等,1982)。碎斑有时见溶蚀港湾状,常见六方双锥的高温假象 β 石英。基质占50%~60%,由微晶石英、长石和少量微晶黑云母组成。副矿物主要是锆石、磷灰石等。碎斑熔岩分布广泛,出露面积占盆地内火山岩的80%左右,与下伏岩层接触面由盆地四周向中心倾斜,倾斜度南北对称,东陡西缓,并向深部逐渐变陡,以侵出相为主,局部为溢流相。根据岩石中所含的岩屑、碎斑晶的数量及基质结构的变化情况,可将碎斑熔岩划分为底板相(边缘相)、过渡相(中间相)和顶板相(中心相),它们之间呈渐变过渡关系。底板相含有20%~30%的大小不一的复成分岩屑或角砾,呈次棱角状-次圆状,并具有一定的定向性,以变质岩为主,并有少量晶屑凝灰岩、英安岩;斑晶含量40%~50%,大部分已震碎,呈碎斑状,主要由钾长石、石英、斜长石和少量黑云母组成;钾长石呈自形-半自形,石英裂纹发育,斜长石不同程度绢云母化,黑云母弯曲明显;基质为隐晶质,由长英质矿物组成。过渡相岩屑或角砾含量一般小于10%,主要为黑色砂岩、凝灰质砂岩、晶屑玻屑凝灰岩、弱熔结凝灰岩、英安岩,并有少量变质岩和石英砂岩;斑晶含量大于60%,由钾长石、斜长石、石英和黑云母组成;钾长石常见泥化,斜长石为更长石-中长石,可见环带结构,石英呈尖角状,并发育炸裂纹,黑云母常见绿泥石化;基质结晶程度较高,由长石、石英、黑云母等微晶构成显微细粒镶嵌结构;岩石中常见电气石囊包,大小一般为0.5~3 cm,大的可

达6 cm,由电气石和石英组成(郭福生等,2015);顶板相结晶程度较高,含花岗斑岩团块和变质岩角砾。花岗斑岩团块含量5%~15%,粒径一般5~30 cm,大的可达1 m以上,最大可达十余米,以椭球状、板状为主,少部分为撕裂状,常含较多长石粗斑,斑晶粒径一般0.5~1.5 cm,大的可达3 cm,常具定向排列;变质岩角砾大多数呈棱角状,也有一定的定向排列特征(郭福生等,2015)。碎斑熔岩是矿田最强烈的一次火山活动的产物,由于快速大体积的侵出而产生塌陷形成了破火山口。

4 分析方法

锆石挑选在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司完成,将样品各取10 kg,破碎至80~120目,洗去粉尘,经淘洗除去轻矿物,保留重矿物,再用永久磁铁除去磁铁矿等强磁性矿物,经重液分选除去比重小于锆石的矿物,最后在双目镜下人工精选出锆石晶体。将挑选好的待测锆石与标准锆石TEM(年龄为417 Ma)一起粘贴,制成环氧树脂样品靶。在制靶中将同一剖面或地区不同岩性的锆石样制在一个靶上,每个靶最多放置了5个样品。干燥后,打磨、抛光使锆石中心部分暴露,然后进行反射光、透射光和阴极发光显微照相,反射光、透射光和阴极发光显微照相在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成。锆石SHRIMP U-Th-Pb分析在北京离子探针中心SHRIMP-II上完成,年龄测试时,尽量选择晶体完整、无裂纹、无包裹体的晶体,晶形呈柱状具有明显环带结构的岩浆成因锆石。在仪器调试稳定后,先测试一个标样,接着依次测试一个样品的3颗锆石,然后又测试一个标样,接着依次测试另一个样品的3颗锆石,待1个靶的所有样品都测试了3颗锆石之后再依次按此方式进行测试。单个测试点的误差均为 1σ , $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为95%置信度。详细的分析流程和原理参见宋彪等(2002)。数据处理、年龄计算采用Ludwig博士编写的SQUID 1.0及ISOPLOT程序。相山铀矿田6个火山岩样品的SHRIMP锆石U-Th-Pb分析结果列于表1。

5 分析结果

如意亭剖面上的武夷群双峰岭组下部熔结凝

灰岩、中部英安岩、上部晶屑玻屑凝灰岩、鹅湖岭组碎斑熔岩和李家岭矿区钻孔中的武夷群双峰岭组中部英安岩、云际矿区坑道中的鹅湖岭组碎斑熔岩的锆石阴极发光图像(图3~图8)显示,锆石多具有清晰的韵律环带结构,为典型岩浆结晶锆石的内部结构。从表1可以看出,各分析点的Th/U比值均 >0.1 ,具有典型的岩浆锆石成分特征(吴元保等,2004)。

如意亭熔结凝灰岩(样号为RYT501)23个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据可分为4组:第一组包括2个分析点(点号为4.1和5.1),年龄分别为 (813.4 ± 13.1) Ma和 (829.3 ± 12.1) Ma,地质时代属新元古代;第二组包括7个分析点(点号为1.1、2.1、3.1、6.1、7.1、9.1和21.1),年龄分别为 (421.4 ± 5.7) Ma、 (414.4 ± 6.1) Ma、 (445.8 ± 6.5) Ma、 (402.4 ± 5.4) Ma、 (457.6 ± 6.4) Ma、 (435.5 ± 5.9) Ma和 (443.9 ± 6.6) Ma,地质时代属早古生代晚期;第三组包括1个分析点(点号为10.1),年龄为 (228.1 ± 5.0) Ma,地质时代属晚三叠世;第四组包括13个分析点,年龄为135~141 Ma,在U-Pb一致曲线上成群分布, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值为 (137.5 ± 1.4) Ma,MSWD=0.73(图3)。前3组年龄可能是捕获锆石的年龄,特别是第二组年龄与相山铀矿田南部乐安岩体中心相中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄 (401.1 ± 3.8) Ma、 (405.1 ± 3.3) Ma和边缘相中细粒似斑状黑云母二长花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄 (403.9 ± 2.9) Ma(张芳荣,2011)相近,指示相山铀矿田北部可能存在隐伏的加里东期岩体。第四组年龄代表了熔结凝灰岩的形成年龄。

如意亭英安岩(样号为RYT582)15个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据为131~142 Ma在U-Pb一致曲线上有1个分析点(点号为3.1,虚线表示)的年龄偏离数据组,若扣除这1个年龄,其余14个年龄数据的加权平均值为 (137.4 ± 1.1) Ma,MSWD=1.3(图4),代表了英安岩的形成年龄。李家岭英安岩(样号:LJL112)13个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据中有1个分析点(点号为11.1)为 (710 ± 12) Ma,其余12个分析点为135~142 Ma,在U-Pb一致曲线上成群分布,加权平均值为 (137.4 ± 1.4) Ma,MSWD=1.5(图5)。这两个英安岩样品SHRIMP锆石U-Pb年龄一致,代表了英安岩的形成年龄。

如意亭晶屑玻屑凝灰岩(样号:RYT503)13个

表1 相山铀矿田火山岩 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1 Analytical result of SHRIMP zircons U-Th-Pb of the volcanic rock from the Xiangshan uranium orefield

测点 编号	$^{206}\text{Pb}/^{10^{-6}}\text{U}$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	误差 相关系数
如意亭熔结凝灰岩,样号:RYT501, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(137.5 \pm 1.4) Ma, N=13,MSWD=0.73											
1.1	0.04	1009	93	0.10	58.6	0.5090	1.7	0.06755	1.4	421.4 \pm 5.7	0.826
2.1	—	233	226	1.00	13.3	0.529	3.1	0.0664	1.5	414.4 \pm 6.1	0.492
3.1	0.26	252	76	0.31	15.6	0.531	3.4	0.0716	1.5	445.8 \pm 6.5	0.446
4.1	—	75	36	0.50	8.64	1.270	2.7	0.1345	1.7	813.4 \pm 13.1	0.629
5.1	0.06	226	48	0.22	26.7	1.612	2.2	0.1373	1.6	829.3 \pm 12.1	0.693
6.1	0.16	1129	498	0.46	62.6	0.502	2.3	0.06440	1.4	402.4 \pm 5.4	0.608
7.1	0.11	352	22	0.06	22.3	0.569	2.8	0.0736	1.5	457.6 \pm 6.4	0.516
8.1	0.99	110	72	0.67	2.04	0.137	8.8	0.02141	1.8	136.6 \pm 2.5	0.210
9.1	—	658	7	0.01	39.5	0.532	1.9	0.06990	1.4	435.5 \pm 5.9	0.737
10.1	0.30	199	116	0.60	6.18	0.257	7.7	0.03601	2.2	228.1 \pm 5.0	0.292
11.1	0.77	143	118	0.85	2.64	0.144	8.4	0.02127	1.9	135.7 \pm 2.5	0.224
12.1	1.46	85	52	0.63	1.59	0.136	8.8	0.02133	2.0	136.1 \pm 2.6	0.222
13.1	2.34	79	127	1.65	1.54	0.156	24	0.02212	2.3	141.1 \pm 3.2	0.096
14.1	0.27	316	239	0.78	5.79	0.1474	6.0	0.02130	1.6	135.8 \pm 2.1	0.263
15.1	5.01	85	57	0.69	1.70	0.165	25	0.02211	2.4	141.0 \pm 3.4	0.099
16.1	6.40	153	153	1.03	3.02	0.162	25	0.02151	2.3	137.2 \pm 3.1	0.091
17.1	0.56	435	338	0.80	7.95	0.1432	4.5	0.02118	1.5	135.1 \pm 2.0	0.328
18.1	1.41	77	43	0.58	1.43	0.151	18	0.02141	2.2	136.6 \pm 3.0	0.126
19.1	1.55	76	42	0.58	1.45	0.155	14	0.02197	2.1	140.1 \pm 2.9	0.155
20.1	2.39	228	174	0.79	4.44	0.137	16	0.02208	1.8	140.8 \pm 2.5	0.112
21.1	0.10	174	64	0.38	10.7	0.535	2.9	0.0713	1.5	443.9 \pm 6.6	0.524
22.1	5.06	175	99	0.59	3.39	0.168	18	0.02147	2.0	136.9 \pm 2.8	0.114
23.1	3.04	406	240	0.61	7.88	0.163	9.4	0.02190	1.6	139.7 \pm 2.2	0.169
如意亭英安岩,样号:RYT582, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(137.4 \pm 1.1) Ma, N=14,MSWD=1.3											
1.1	—	274	202	0.76	5.24	0.1499	4.1	0.02227	1.7	142.0 \pm 2.4	0.416
2.1	0.06	708	149	0.22	13.1	0.1417	2.9	0.02150	1.4	137.1 \pm 2.0	0.498
3.1	0.10	528	104	0.20	9.62	0.1412	4.8	0.02120	1.5	135.3 \pm 2.0	0.310
4.1	0.18	901	207	0.24	17.1	0.1476	2.5	0.02203	1.4	140.5 \pm 2.0	0.574
5.1	0.08	985	174	0.18	18.5	0.1435	2.5	0.02183	1.4	139.2 \pm 2.0	0.564
6.1	—	1065	198	0.19	20.1	0.1499	2.2	0.02196	1.4	140.1 \pm 2.0	0.651
7.1	0.09	1020	230	0.23	18.9	0.1479	2.9	0.02151	1.4	137.2 \pm 1.9	0.482
8.1	—	520	113	0.22	9.46	0.1470	2.8	0.02119	1.5	135.1 \pm 2.0	0.525
9.1	—	601	168	0.29	10.9	0.1455	3.1	0.02119	1.5	135.2 \pm 2.0	0.479
10.1	0.36	1556	171	0.11	28.3	0.1437	3.1	0.02113	1.4	134.8 \pm 1.9	0.456
11.1	0.10	1680	500	0.31	31.6	0.1487	2.1	0.02186	1.4	139.4 \pm 1.9	0.673
12.1	0.69	439	115	0.27	8.08	0.1423	5.6	0.02126	1.5	135.6 \pm 2.0	0.268
13.1	0.17	819	157	0.20	15.1	0.1443	2.5	0.02137	1.4	136.3 \pm 1.9	0.578
14.1	—	928	157	0.18	17.1	0.1479	2.3	0.02150	1.4	137.1 \pm 1.9	0.611
如意亭晶屑凝灰岩,样号:RYT503, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(136.4 \pm 1.1) Ma, N=13, MSWD=0.49											
1.1	0.28	315	103	0.34	5.85	0.1447	3.9	0.02158	1.5	137.6 \pm 2.1	0.387
2.1	0.43	449	164	0.38	8.29	0.1388	4.6	0.02138	1.5	136.4 \pm 2.0	0.321
3.1	0.26	443	144	0.34	8.05	0.1438	4.6	0.02109	1.5	134.5 \pm 2.0	0.327
4.1	0.29	526	173	0.34	9.67	0.1391	3.5	0.02135	1.5	136.2 \pm 2.0	0.416
5.1	0.67	263	104	0.41	4.80	0.1371	4.0	0.02107	1.6	134.4 \pm 2.1	0.385
6.1	0.14	242	97	0.41	4.41	0.1398	4.7	0.02120	1.6	135.2 \pm 2.1	0.329
7.1	0.35	389	143	0.38	7.07	0.1378	4.0	0.02108	1.5	134.5 \pm 2.0	0.377
8.1	0.44	320	123	0.40	5.82	0.1439	4.9	0.02106	1.6	134.3 \pm 2.1	0.315
9.1	0.13	361	140	0.40	6.65	0.1502	4.6	0.02142	1.5	136.6 \pm 2.0	0.327
10.1	0.00	150	64	0.44	2.79	0.1492	4.8	0.02165	1.7	138.1 \pm 2.4	0.363
11.1	0.40	268	101	0.39	5.02	0.1427	4.1	0.02172	1.6	138.5 \pm 2.1	0.377
12.1	—	526	163	0.32	9.71	0.1502	3.2	0.02153	1.5	137.3 \pm 2.0	0.453
13.1	—	232	99	0.44	4.24	0.1488	4.6	0.02128	1.7	135.8 \pm 2.3	0.367
如意亭碎屑熔岩,样号:RYT504, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(135.4 \pm 1.5) Ma, N=13,MSWD=1.3											
1.1	—	315	192	0.63	5.59	0.1548	3.3	0.02080	1.7	132.7 \pm 2.2	0.516
2.1	0.28	94	47	0.52	1.71	0.155	6.7	0.02115	2.2	134.9 \pm 3.0	0.329
3.1	—	332	179	0.56	6.20	0.1576	4.1	0.02179	3.1	139.0 \pm 4.3	0.756
4.1	—	335	166	0.51	6.08	0.1436	5.9	0.02113	1.7	134.8 \pm 2.3	0.294
5.1	—	699	176	0.26	12.6	0.1513	3.7	0.02096	1.6	133.7 \pm 2.2	0.444
6.1	—	501	175	0.36	9.05	0.1477	3.2	0.02105	2.0	134.3 \pm 2.7	0.647
7.1	—	671	844	1.30	12.2	0.1466	3.7	0.02114	1.6	134.9 \pm 2.1	0.439
8.1	0.18	382	126	0.34	6.98	0.1516	4.3	0.02121	1.7	135.3 \pm 2.3	0.394
9.1	—	846	212	0.26	15.6	0.1502	4.0	0.02153	1.6	137.3 \pm 2.2	0.399
10.1	0.03	1370	426	0.32	25.8	0.1490	2.2	0.02192	1.6	139.8 \pm 2.2	0.719
11.1	0.64	180	76	0.44	3.31	0.141	7.5	0.02130	1.8	135.9 \pm 2.5	0.248
12.1	—	234	106	0.47	4.20	0.1524	5.1	0.02093	1.8	133.5 \pm 2.3	0.347
13.1	—	238	92	0.40	4.30	0.1517	3.6	0.02109	1.7	134.6 \pm 2.3	0.476

续表 1

测点 编号	$^{206}\text{Pb}/10^{-6}$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	误差 相关系数
李家岭英安岩,样号:LJL112, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(137.4 ± 1.4) Ma, N=12, MSWD=2.5											
1.1	0.00	728	182	0.26	13.4	0.1411	2.6	0.02149	1.1	137.1 ± 1.5	0.425
2.1	0.04	797	204	0.26	15.1	0.1474	3.2	0.02200	1.1	140.3 ± 1.5	0.335
3.1	—	772	346	0.46	14.4	0.1491	2.4	0.02182	1.1	139.1 ± 1.5	0.443
4.1	0.22	642	134	0.22	11.8	0.1449	3.2	0.02132	1.1	136.0 ± 1.5	0.347
5.1	0.19	729	306	0.43	14.0	0.1451	3.9	0.02224	1.1	141.8 ± 1.5	0.277
6.1	—	612	134	0.23	11.4	0.1464	2.8	0.02174	1.1	138.6 ± 1.5	0.388
7.1	0.30	627	125	0.21	11.6	0.1402	3.0	0.02142	1.1	136.6 ± 1.5	0.367
8.1	—	404	100	0.26	7.36	0.1419	3.2	0.02123	1.2	135.4 ± 1.6	0.367
9.1	0.01	418	122	0.30	7.91	0.1492	4.1	0.02205	1.2	140.6 ± 1.6	0.282
10.1	0.07	1530	281	0.19	28.3	0.1461	1.9	0.02148	0.99	137.0 ± 1.3	0.517
11.1	0.84	417	162	0.40	42.1	1.085	4.7	0.1165	1.8	710.5 ± 12.2	0.387
12.1	0.14	398	172	0.45	7.40	0.1483	3.4	0.02162	1.2	137.9 ± 1.6	0.342
13.1	0.10	1572	402	0.26	29.7	0.1471	1.8	0.02196	1.0	140.0 ± 1.4	0.547
云际碎斑熔岩,样号:YJ201, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(135.2 ± 1.2) Ma, N=12, MSWD=0.25											
1.1	0.27	401	315	0.81	7.22	0.1440	3.9	0.02090	2.0	133.3 ± 2.6	0.501
2.1	0.04	464	305	0.68	8.44	0.1444	3.5	0.02116	1.6	135.0 ± 2.1	0.454
3.1	0.22	707	715	1.04	13.0	0.1377	2.7	0.02144	1.4	136.8 ± 2.0	0.527
4.1	1.04	518	384	0.77	9.53	0.1449	6.2	0.02121	1.5	135.3 ± 2.0	0.244
5.1	—	612	333	0.56	11.1	0.1444	2.9	0.02110	1.5	134.6 ± 1.9	0.506
6.1	4.98	178	108	0.63	3.42	0.177	18	0.02124	2.1	135.5 ± 2.9	0.118
7.1	0.62	1320	1020	0.80	24.3	0.1401	3.3	0.02127	1.4	135.7 ± 1.9	0.423
8.1	—	941	730	0.80	17.3	0.1421	2.3	0.02139	1.4	136.4 ± 1.9	0.620
9.1	1.85	176	144	0.84	3.18	0.117	19	0.02069	1.9	132.0 ± 2.5	0.099
10.1	1.90	627	449	0.74	11.5	0.139	8.8	0.02100	1.5	134.0 ± 2.0	0.169
11.1	0.00	771	532	0.71	14.0	0.1432	2.4	0.02116	1.4	135.0 ± 1.9	0.587
12.1	0.29	951	768	0.83	17.5	0.1423	3.3	0.02137	1.4	136.3 ± 1.9	0.426
13.1	1.01	268	129	0.50	4.92	0.145	8.5	0.02117	1.6	135.1 ± 2.2	0.189
14.1	0.82	234	192	0.85	4.25	0.141	11	0.02102	1.7	134.1 ± 2.3	0.149

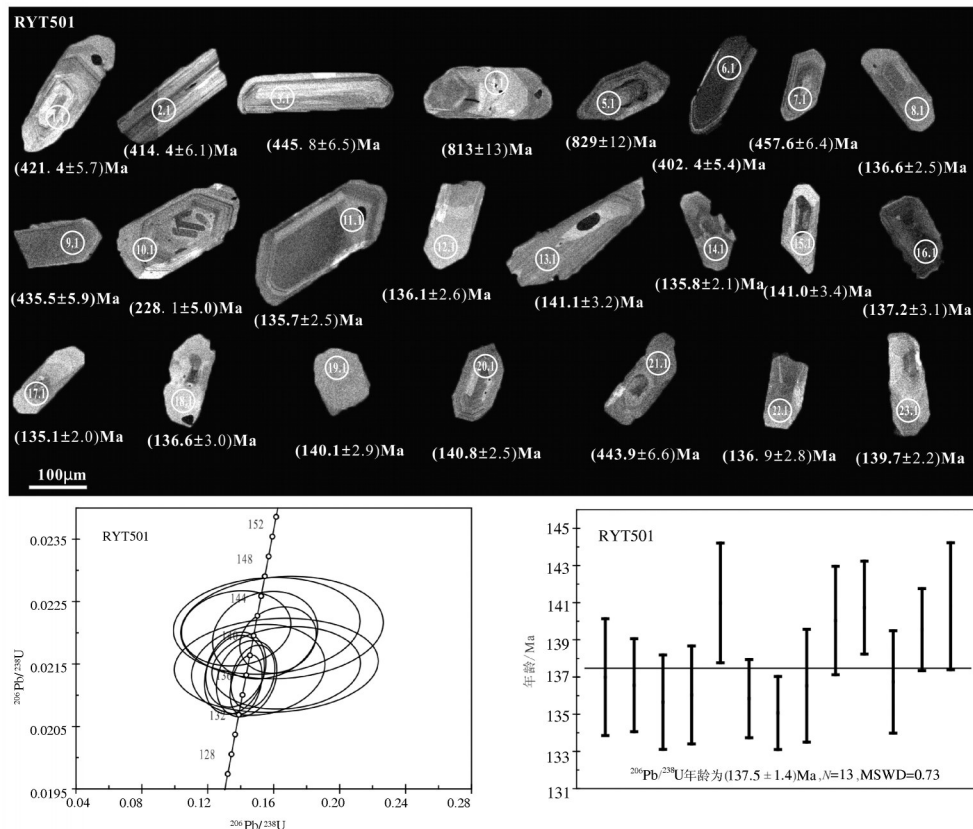


图3 相山铀矿田如意亭熔结凝灰岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石 U-Pb 谐和图
 Fig.3 Cathodoluminescence photos (a) and U-Pb Concordia diagram (b) of the welded tuff in Ruyiting, the Xiangshan uranium orefield

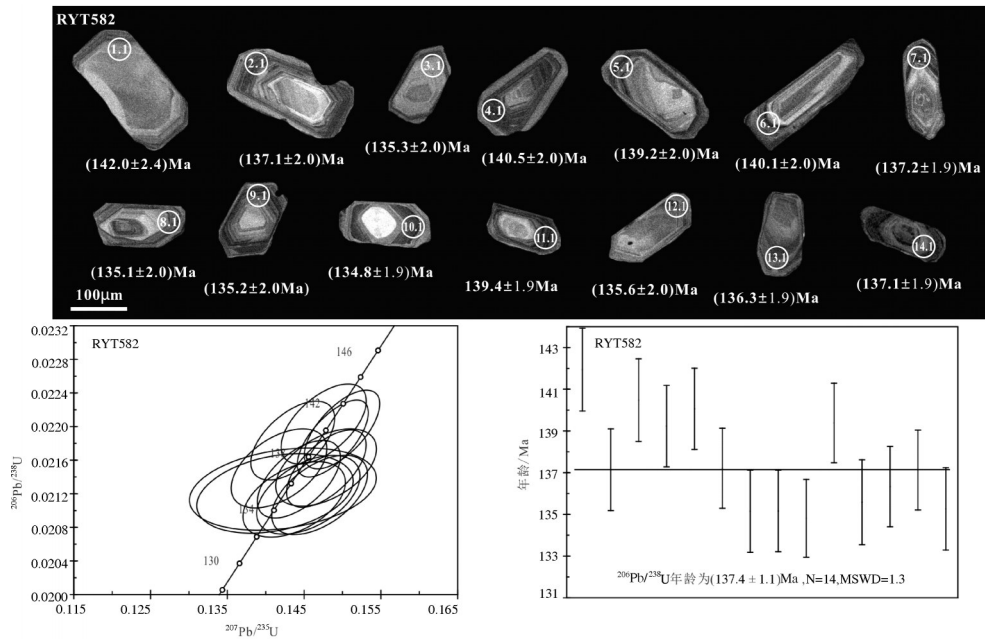


图4 相山铀矿田如意亭英安岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石U-Pb谐和图
Fig.4 Cathodoluminescence photos and U-Pb concordia diagram of the dacite in Ruyiting, the Xiangshan uranium orefield

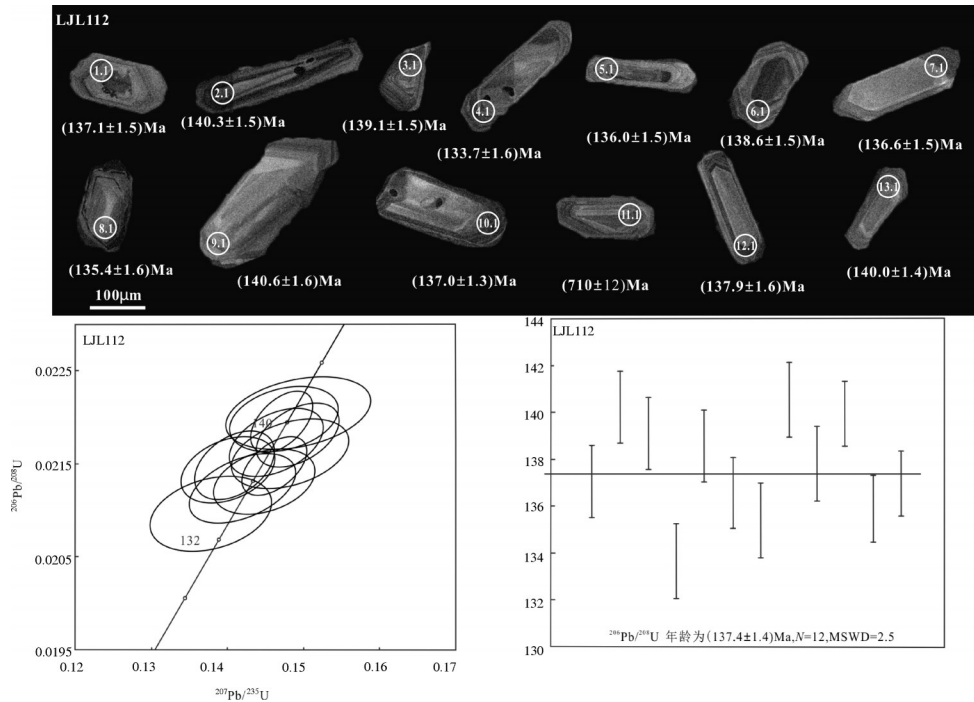


图5 相山铀矿田李家岭英安岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石U-Pb谐和图
Fig.5 Cathodoluminescence photos and U-Pb concordia diagram of the dacite in Lijialing, the Xiangshan uranium orefield

分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据为 135~ 140 Ma, 在 U-Pb 一致曲线上成群分布, 加权平均值为 (136.4 ± 1.1) Ma, $\text{MSWD} = 0.49$ (图 6), 代表晶屑玻屑凝灰岩的形成年龄。

如意亭碎斑熔岩 (样号: RYT504) 13 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据为 132~140 Ma, 在 U-Pb 一致曲线上成群分布, 加权平均值为 (135.4 ± 1.5) Ma, $\text{MSWD} = 1.3$ (图 7)。云际碎斑熔岩 (样号: YJ201) 14

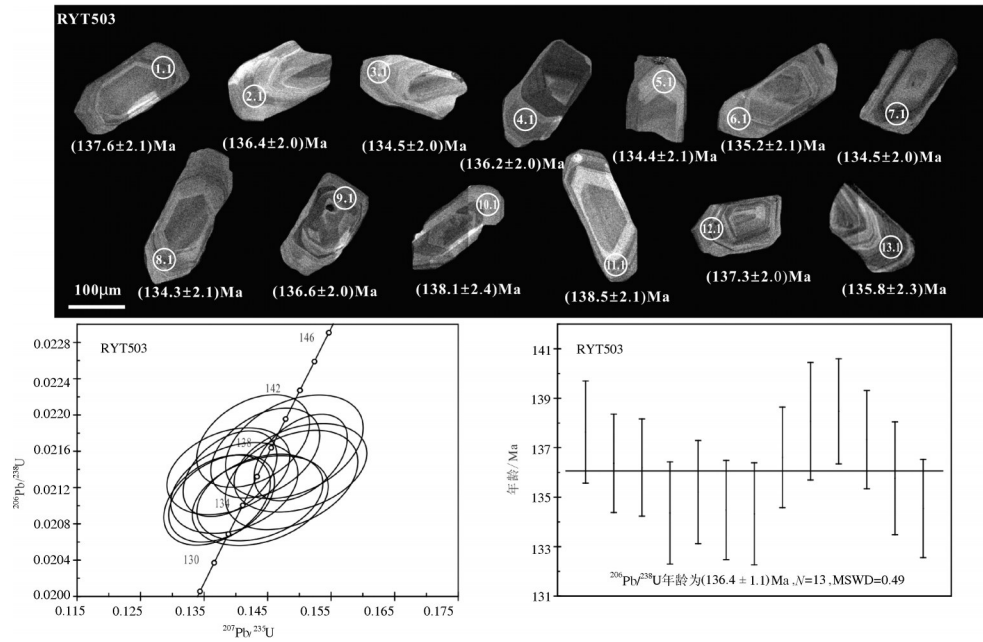


图6 相山铀矿田如意亭晶屑凝灰岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石U-Pb谐和图
Fig.6 Cathodoluminescence photos and U-Pb concordia diagram of the crystal tuff in Ruyiting, the Xiangshan uranium orefield

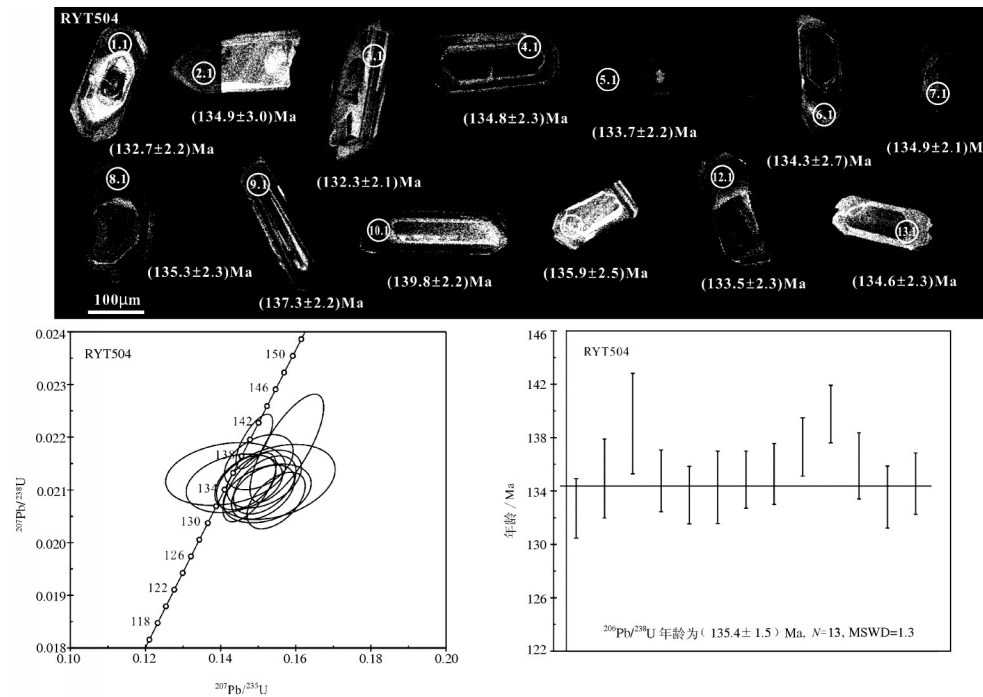


图7 相山铀矿田如意亭碎斑熔岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石U-Pb谐和图
Fig.7 Cathodoluminescence photos and U-Pb concordia diagram of the porphyroclastic lava in Ruyiting, the Xiangshan uranium orefield

个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据为 132~137 Ma, 在 U-Pb 一致曲线上有 2 个分析点(分析点号分别为 6.1 和 9.1, 虚线表示)的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 值误差分别高达 18% 和 19%, 若扣除这 2 个年龄, 其余 12 个年龄数据

的加权平均值为 (135.2 ± 1.2) Ma, $\text{MSWD} = 0.25$ (图 8)。这两个碎斑熔岩样品的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄一致, 代表了碎斑熔岩的形成年龄。

上述 6 个不同层位火山岩的 SHRIMP 锆石 U-

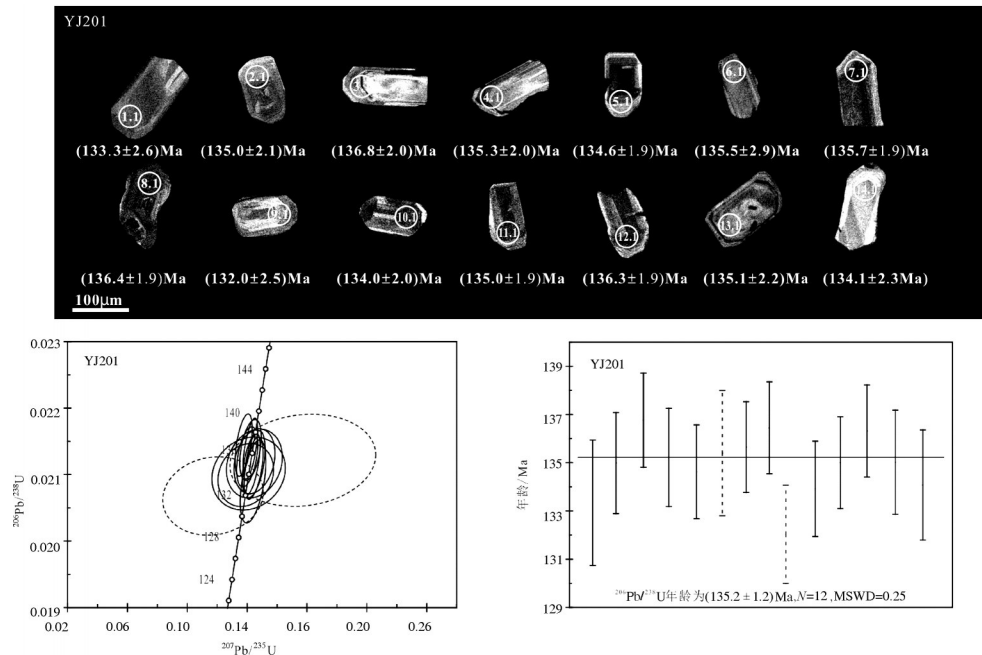


图8 相山铀矿田云际碎斑熔岩锆石阴极发光图像、测定点编号、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值及其误差及锆石U-Pb谐和图
Fig.8 Cathodoluminescence photos and U-Pb concordia diagram of the porphyroclastic lava in Yunji, the Xiangshan uranium orefield

Pb年龄变化于138~135 Ma,根据国际地层表,晚侏罗世与早白垩世之间的界线划在 (145.5 ± 0.4) Ma (Gradstein et al. 2004; 张森桂等, 2009), 指示火山岩系是早白垩世早期火山活动的产物, 与何观生等(2009)、杨水源等(2010, 2013)、Yang et al. (2011)、陈正乐等(2013)和郭福生等(2015)的认识一致。

6 问题讨论

6.1 火山岩系岩石地层划分应突出火山产物的自身特点

长期以来,火山岩区的岩石地层划分虽然取得了显著成果,但也存在一些问题,主要体现在:①岩石地层单位与岩相、旋回及火山构造的关系不明确,不仅造成岩石地层划分与火山活动历史的研究脱节,而且导致区域上地层归属产生多解性。如相山铀矿田如意亭剖面上的原打鼓顶组和原鹅湖岭组底部均为沉积岩夹火山岩,导致该矿田南部火山岩系底部的沉积岩夹火山岩归属产生分歧。②已建立的岩石地层单位,有的划分标准不具区域性,造成区域对比的困难。如北京地质学院(1961)以贵溪上清宫蔡家桥剖面为建组剖面创建的打鼓顶组上界是以安山岩的顶界为标志的,而包括相山铀矿田在内的赣东北多数火山盆地都不发育安山岩,

致使这些盆地划分的打鼓顶组实际上采用了其他划分标准。为了解决这些问题,许多火山地质工作者进行了有益的探索。王中杰等(1989)指出:火山岩区工作必须将火山产物与火山构造作为一个整体同时进行研究,不能采用沉积岩区那种先地层后构造的研究顺序和方法;火山岩区不能像沉积岩区那样根据标志层采用逐层对比的方法来划分对比地层;火山岩区地层划分中,只有扩大地层单位的跨度,以“旋回”为基本单位,才能最大限度地消除不均衡因素,建立合理的地层层序。谢家莹(1996)分析了火山岩区岩石地层单位“群-组-段-层”划分中存在的问题,提出以“岩系-旋回-韵律-期次”作为火山地层单位。巫建华(1996a, 1996b, 1999)认为:火山岩区岩石地层划分存在的问题,不是岩石地层单位系统“群-组-段-层”造成的,而是各级地层单位没有与火山活动的规律性或火山活动产物的自身特点结合起来;岩石地层划分以地层的岩性岩相特征为依据,火山岩区根据地层的岩性岩相特征划分的地层单位就应该采用岩石地层单位系统“群-组-段-层”;并结合火山产物的自身特点,提出将岩石地层单位“群”与火山旋回、“组”与火山岩相组合、“段”与火山岩相或沉积岩相、层与火山岩相的基本类型相对应,直接建立“群”与火山构造、

“组”与火山构造演化阶段、“段”与火山活动期或间隙期、层与火山作用类型的联系。

岩石地层单位是由岩性、岩相或变质程度均一的岩石构成的三度空间岩层体,建立在岩石特征在纵、横两个方向具体延伸的基础之上。火山岩区以火山作用的发生区别于沉积岩区,又以沉积作用的存在而与沉积岩区有诸多共同之处。因此,沉积岩区最基本、最直观和最实用的岩石地层划分方法运用于火山岩区时,若与火山产物的自身特点结合起来,不仅能合理有效地确定火山岩系的地层层序和划分不同的岩石地层单位,而且能将火山岩区岩石地层划分与火山活动历史的研究有机结合起来。那么,火山岩区岩石地层划分如何结合火山活动产物的自身特点呢?笔者认为:将岩石地层单位的群与火山旋回、组与火山岩相组合、段与火山岩相或沉积岩相、层与火山岩相的基本类型对应起来,就能实现这个目的。

岩石地层单位包括群、组、段、层四级,其中组是最基本的单位。众所周知,组的含义在于具有岩性、岩相和变质程度的一致性,它或者由单一岩石构成,或者以一种主要岩石为主,夹有重复出现的夹层,或者由两三种岩石交替出现所构成,还可能以很复杂的岩石组合为一个组的特征,而与其他比较单纯的组相区别。即:一个组应须具备具体的岩性岩相内容,并有别于相邻的岩石地层单位。但组的划分在具体应用时比较灵活,只要界面清楚、易于识别、在一定的区域范围内相对稳定,就能满足要求。因此,对相山铀矿田进行岩石地层划分时,将一个火山旋回、一个火山岩相组合、一个火山岩相划归一个“组”,似乎都满足岩石地层单位划分的要求。但是,将一个火山旋回划分为一个“组”,这个“组”的跨度太大,失去了最基本的岩石地层单位的意义;将一个火山岩相划分为一个“组”,这个“组”的跨度又太小,使最基本的岩石地层单位与火山构造演化阶段脱节,不利于恢复火山活动的历史。而将一个火山岩相组合划分为一个“组”,这个“组”不仅突出了最基本岩石地层单位的岩石组合、接触关系、厚度、空间展布特点,而且突出了火山岩系的自身特点,促成了最基本岩石地层单位与火山构造一个演化阶段的有机地结合(巫建华,1999)。如果是这样,相山铀矿田火山岩系的喷发-沉积相组合和

喷发-侵出相组合可分别划分为两个不同的“组”。

群是比组高一级的岩石地层单位,是由两个或两个以上经常伴随在一起而又具有某些统一的岩石学特点的组联合构成,其顶、底界为区域性展布的不整合面。相山铀矿田火山岩系下部的喷发-沉积相组合和上部的喷发-侵出相组合是一个火山旋回的产物,将它们归入一个群不仅符合群的含义,而且代表了一个火山活动阶段的产物。

6.2 相山铀矿田火山岩系下部的沉积岩-火山岩组合应归入双峰岭组,并将其上界划在碎斑熔岩的底界处

相山铀矿田火山岩系的岩石地层划分一直采用北京地质学院(1961)在赣东北创建的打鼓顶组和鹅湖岭组。但是,江西省地质矿产厅(1997)在清理岩石地层单位时,根据打鼓顶组建组剖面存在的问题废除了打鼓顶组一名,并将原打鼓顶组建组剖面上的火山岩夹沉积岩并入了鹅湖岭组,将赣东北其他地区原打鼓顶组沉积岩夹火山岩部分改称如意亭组,将相山铀矿田原打鼓顶组第一至第三段归入如意亭组,第四段英安岩层归入鹅湖岭组。武珺等(2013)根据岩石地层单位命名的优先律原则和如意亭组建组剖面存在的问题建议废除如意亭组一名,将赣东北原打鼓顶组沉积岩夹火山岩部分恢复使用双峰岭组,并将相山铀矿田碎斑熔岩层的底界作为双峰岭组与鹅湖岭组之间的界限。可见,相山铀矿田火山岩系的岩石地层划分和岩石地层单位归属至今还没有形成统一的认识。

20世纪90年代以前,相山铀矿田火山岩系一般自下而上划分为打鼓顶组和鹅湖岭组两个组,每个组进一步划分为四段,即将图2中的1~6韵律层划分打鼓顶组,7~12韵律层划分为鹅湖岭组,将1韵律层、2韵律层、3韵律层和4~6韵律层分别归入打鼓顶组第一、二、三、四段,将7韵律层、8韵律层、9韵律层和10~12韵律层分别归入鹅湖岭组第一、二、三、四段。2000年以来,为了方便铀矿勘查,一般将打鼓顶组和鹅湖岭组分为两段,即将原打鼓顶组第一至第三段归入打鼓顶组第一段,原打鼓顶组第四段归入打鼓顶组第二段,原鹅湖岭组第一至第三段归入鹅湖岭组第一段,原鹅湖岭组第四段归入鹅湖岭组第二段。

研究表明,江西省地质矿产厅(1997)厘定的武

夷群及鹅湖岭组、武珺等(2013)厘定的双峰岭组不仅符合岩石地层单位“群”与火山旋回、“组”与火山岩相组合相对应的原则,而且符合相山铀矿田火山岩系的特征,故将相山铀矿田火山岩系归入武夷群,并将该火山岩系下部喷发-沉积相组合的沉积岩夹火山岩归入双峰岭组、上部喷发-侵出相组合的流纹质碎斑熔岩夹流纹质熔结凝灰岩、角砾凝灰岩归入鹅湖岭组(图2)。

武夷群系指分布于江西中北部峡江—广丰一带不整合于前中侏罗世地层之上、平行不整合于早白垩世石溪组之下的不同火山喷发演化序列所构成的一套中酸性、酸性火山岩系(江西省地质矿产厅,1997)。相山铀矿田火山岩系的地层层位、地层剖面结构和火山岩岩石组合特征与武夷群的含义一致,应将其归入武夷群。

双峰岭组一名系江西省地质局石油普查大队(1961)在开展赣东北石油地质调查时创建,创名地在江西盛源铀矿田东部双岭邓家—崖岭潘家一带,因建组剖面通过两个山峰而称为双峰岭组。在建组剖面上以砂岩、粉砂岩为主夹凝灰岩、流纹岩,下部为砂岩、砾岩,厚217.8 m;中部以晶屑、玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩为主夹球粒流纹岩、凝灰质砂岩,厚92.8 m;上部为砂岩、含钙质结核粉砂岩,厚41.4 m(武珺等,2013)。相山铀矿田火山岩系下部的地层层位、地层剖面结构和火山岩岩石组合特征与双峰岭组的含义一致,应将其归入双峰岭组。

鹅湖岭组一名系北京地质学院赣东北区测队(1961)在开展上饶幅1:20万地质调查时创建,创名地在铅山县鹅湖岭(山峰名),系指整合于如意亭组之上、平行不整合于火把山群之下一套以酸性为主的中酸性火山岩组合(江西省地质矿产厅,1997)。相山铀矿田火山岩系上部的地层层位、地层剖面结构和火山岩岩石组合特征与鹅湖岭组的含义基本一致,应将其归入鹅湖岭组。

需要说明的是,这里划分的双峰岭组与鹅湖岭组之间的界线是碎斑熔岩层的底界,而不是英安岩层的顶界,即相当于原鹅湖岭组第三段与第四段的界线(图2)。

6.2.1 不宜继续使用打鼓顶组

打鼓顶组的建组剖面是贵溪上清宫蔡家桥剖面,打鼓顶组与上覆鹅湖岭组的界线划在第3层安

山岩的顶界处。这一方案存在以下问题(巫建华,1996a,1996b):①安山岩层不具备区域性,导致打鼓顶组的划分出现分歧。如:相山铀矿田北部火山岩系下部的沉积岩夹火山岩层不含安山岩层,铀矿地质工作者将如意亭剖面英安岩层及以下的沉积岩夹火山岩层归于打鼓顶组,南部火山岩系下部的沉积岩夹火山岩层不仅缺少安山岩层也不含英安岩层,铀矿地质工作者又将它们全部归入鹅湖岭组。②安山岩层呈透镜状夹层存在,导致安山岩层分布区之外的地层归属产生分歧。如:盛源铀矿田西部安山岩层之下为灰绿色粉砂岩层、之上为紫红色粉砂岩层,而东部相对应的紫红色粉砂岩层和灰绿色粉砂岩层呈过渡关系,根本无法分开,但无论将它们都归入打鼓顶组还是鹅湖岭组都与西部界线矛盾。③以安山岩层为划分标志,本身就不符合火山岩系的特征。同期不同火山机构喷发的火山岩其岩性未必是一致的,甚至同一火山机构形成的火山岩层在火山口附近可能是熔岩,而远离火山口可能相变为火山碎屑岩甚至火山沉积岩。④建组剖面的打鼓顶组和上覆鹅湖岭组均以火山岩为主,区域上也无法识别。贵溪上清宫蔡家桥剖面上划分的打鼓顶组虽夹有沉积岩,但厚度较小,且呈透镜状产出,与以火山岩为主的鹅湖岭组没有明显的区别,巫建华(1996a,1996b)和江西省地质矿产厅(1997)均将该剖面打鼓顶组所代表的地层并入鹅湖岭组。正是由于打鼓顶组建组剖面 and 划分标准存在这些问题,江西省地质矿产厅(1997)在清理岩石地层单位时废除了打鼓顶组一名。因此,将相山铀矿田火山岩系下部的沉积岩-火山岩组合继续使用打鼓顶组是不合适的。

6.2.2 不能改称如意亭组

针对打鼓顶组建组剖面 and 划分存在的问题,江西省地质矿产厅(1997)以相山铀矿田如意亭剖面为层型剖面创建如意亭组,代表赣东北其它地区原打鼓顶组沉积岩夹火山岩层组合。但是如意亭剖面不符合建组剖面的条件,主要表现在(武珺等,2013):①剖面下部西北端被第四系覆盖,未见底,致使火山岩系与下伏地层的接触关系不明;②如意亭剖面火山岩系下部的沉积岩夹火山岩层的总厚度仅36.6 m,而剖面附近的钻孔查实的火山岩系下部沉积岩夹火山岩层总厚度超过600 m,剖面上的

岩石组合特征不能反映火山岩系下部岩石组合的整体面貌;③如意亭剖面被后期英安斑岩侵入破坏,致使斑岩体南、北侧出露的沉积岩夹火山岩层关系不明。将斑岩体北西侧出露的沉积岩夹火山岩层划分为如意亭组,而将南东侧出露的沉积岩夹火山岩层归入鹅湖岭组下部,导致区域上难以使用。如相山铀矿田南部火山岩系下部的沉积岩夹火山岩一直被归入鹅湖岭组下部,但为何不将其归入打鼓顶组或如意亭组却缺乏有力的证据。

6.2.3 归入双峰岭组的合理性

江西省地质局石油普查大队(1961)以盛源铀矿田东部双岭邓家一崖岭潘家剖面为建组剖面创建双峰岭组一名,代表赣东北中生代火山岩系下部沉积岩夹火山岩组合。该组创名后,因与打鼓顶组属同物异名而很少被沿用。但是,当打鼓顶组建组剖面存在的问题被认知后,特别是在清理岩石地层单位时认为打鼓顶组应该废除之后,理应恢复使用双峰岭组一名(武珺等,2013)。

①双峰岭组和打鼓顶组几乎同时创建,两者所代表的地层也大体相当,江西省地质矿产厅(1997)在废除打鼓顶组时新建如意亭组,不符合岩石地层单位命名的优先律原则。

②盛源铀矿田东部双岭邓家一崖岭潘家剖面的双峰岭组顶、底出露完全,下与林山组呈平行不整合接触、上与鹅湖岭组呈整合接触,剖面上没有明显的构造破坏,符合层型剖面的要求(武珺等,2013)。

③双峰岭组与鹅湖岭组的界线即是紫红色砂岩层与流纹质凝灰岩的界线,也是沉积—喷发相组合与喷发—喷溢相组合的界线,在区域上易于识别,符合岩石地层单位划分的要求。

④双峰岭组建组剖面上流纹岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (134.3 ± 1.6) Ma(武珺等,2013),不仅指示其地质时代属早白垩世早期,而且与相山铀矿田火山岩系属同期火山活动的产物。

6.3 高精度的锆石 U-Pb 年龄还不能为相山铀矿田火山-侵入杂岩的时序厘定提供依据

相山铀矿田火山-侵入杂岩已获得一批高精度的锆石 U-Pb 年龄数据(表2),为探讨锆石 U-Pb 年龄能否为火山-侵入岩的时序厘定提供依据创造了条件。

为了更好地说明这个问题,笔者首先对相山铀矿田火山-侵入杂岩 35 个锆石 U-Pb 年龄数据(表

2)进行优选。

①书堂钻孔中英安岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (141.6 ± 1.7) Ma ($N=10$, $MSWD=0.9$),这个年龄数据是目前在相山铀矿田火山-侵入杂岩中获得的最老的年龄。分析这个年龄的原始分析数据发现,锆石的 U 含量明显更高。笔者近期在下庄铀矿田的研究发现,同一岩体靠近铀矿体的样品和远离铀矿体的样品,虽然都能获得较好的谐和图和 $MSWD < 2$ 的年龄值,但前者锆石的 U 含量和年龄都明显高于后者。因此这个年龄可能偏大,不能代表英安岩真实的形成年龄。

②如意亭剖面上 2 个英安岩样品和 1 个英安斑岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (136.4 ± 1.5) Ma ($N=20$, $MSWD=4.6$)、 (136.8 ± 2.5) Ma ($N=14$, $MSWD=9.4$) 和 (135.0 ± 2.0) Ma ($N=15$, $MSWD=5.9$),这 3 个年龄的 $MSWD$ 都远 > 2 ,可信度不高。

③如意亭剖面上 1 个熔结凝灰岩样品和相山山顶 1 个熔结凝灰岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (140.7 ± 2.7) Ma ($N=14$, $MSWD=3.3$) 和 (140.1 ± 1.8) Ma ($N=15$, $MSWD=3.1$),这 2 个年龄的 $MSWD > 2$,可信度也不高。若剔除这 6 个年龄数据,其余 29 个年龄数据显示,根据地层叠置关系和斑岩侵入关系确定的时序在锆石 U-Pb 年龄上没有明显的体现。

(1)本文同批次、同方法并在测试时采用不同样品交叉测试尽力降低了仪器波动的影响,如此获得的四套火山岩 6 个年龄虽然与地层叠置关系确定的时序一致,但相互之间相差不大,甚至在误差范围内是一致的,说明锆石 U-Pb 年龄的精度还不足以区分活动时间较短的火山-侵入岩的时序。

(2)不同学者、不同方法获得锆石 U-Pb 年龄,更难以确定火山-侵入杂岩的时序。相山铀矿田碎斑熔岩形成之前发育溢流相含赤铁矿条带的英安岩、之后发育浅成侵入相英安斑岩的地质事实已经被铀矿地质工作者认知(徐海江等,1984;吴仁贵等,2003;范洪海等,2005),但序号 17 和序号 18 两个形成于碎斑熔岩之前的双峰岭组中部英安岩样品的年龄与序号 7 形成于碎斑熔岩之后的英安斑岩的年龄几乎完全一致(表2),无法从年龄数据上判断它们的时序。

(3)火山岩的年龄并不一定大于侵入火山岩的斑岩的年龄,如意亭剖面双峰岭组晶屑凝灰岩的年龄与岗上鹰二长石英花岗岩斑岩的年龄几乎完全一

表2 相山铀矿田火山-侵入杂岩锆石 U-Pb 年龄一览

Table 2 Zircon U-Pb ages of the volcanic-intrusive complex in the Xiangshan uranium orefield

序号	样号	地点	岩石地层	岩性	分析方法	年龄(Ma)	N	MSWD	资料来源
1	X07-05	巴泉		似斑状花岗岩	SHRIMP	133.3±0.8	11	0.82	陈正乐等, 2013
2	X07-11	浯漳		似斑状花岗岩	SHRIMP	134.7±0.9	9	1.08	陈正乐等, 2013
3	YJ12-21	云际		似斑状花岗岩	SIMS	133.9±1.1	25	0.54	郭福生等, 2015
4	SZ12-24	沙洲		粗斑花岗岩	SIMS	133.4±1.2	21	1.12	郭福生等, 2015
5	XS-12	沙洲		花岗斑岩	LA-ICP-MS	137±1	11	0.81	Yang et al, 2011
6	XS-30-2	居隆庵		花岗斑岩	LA-ICP-MS	137±1	10	1.8	Yang et al, 2011
7	XS-63	游坊		石英二长斑岩	LA-ICP-MS	136±1	12	1.3	Yang et al, 2011
8	XG41-1	岗上鹰		二长石英花岗斑岩	SHRIMP	136.4±1.0	9	1.7	陈正乐等, 2013
9	XS-30-3	居隆庵		英安斑岩	SHRIMP	134.8±1.1	7	1.5	杨水源等, 2010
10	JLA-13	居隆庵		英安斑岩	SHRIMP	136.6±2.7	14	1.8	何观生等, 2009
11	RYT-06	如意亭		英安斑岩	LA-ICP-MS	135.0±2.0	15	5.9	杨水源等, 2013
12	JX09-10	如意亭		英安斑岩	SHRIMP	137.4±1.7	10	1.11	陈正乐等, 2013
13	XS-05	云际	鹅湖岭组	碎斑熔岩	LA-ICP-MS	136±1	18	1.3	Yang et al, 2011
14	XS-29-1	居隆庵	鹅湖岭组	碎斑熔岩	LA-ICP-MS	132±1	10	0.58	Yang et al, 2011
15	XS-59	游坊	鹅湖岭组	碎斑熔岩	LA-ICP-MS	135±1	20	1.5	Yang et al, 2011
16	X07-19-4	石马山南坡	鹅湖岭组	碎斑熔岩	SHRIMP	134.1±1.0	9	0.65	陈正乐等, 2013
17	XG44-1	巴泉	鹅湖岭组	碎斑熔岩	SHRIMP	134.6±1.0	8	1.5	陈正乐等, 2013
18	YJ201	云际	鹅湖岭组	碎斑熔岩	SHRIMP	135.2±1.2	12	0.25	本文
19	RYT-07	如意亭	鹅湖岭组	碎斑熔岩	LA-ICP-MS	134.1±1.6	23	7.6	杨水源等, 2013
20	RYT504	如意亭	鹅湖岭组	碎斑熔岩	SHRIMP	135.4±1.5	13	1.3	本文
21	ZK26-101	牛头山	鹅湖岭组	碎斑熔岩	SIMS	133.6±1.3	25	1.3	郭福生等, 2015
22	RYT503	如意亭	双峰岭组	晶屑凝灰岩	SHRIMP	136.4±1.1	14	0.49	本文
23	XS-30-1	居隆庵	双峰岭组	英安岩	LA-ICP-MS	135.6±1.7	19	2.7	杨水源等, 2010
24	RYT-05	如意亭	双峰岭组	英安岩	LA-ICP-MS	136.4±1.5	20	4.6	杨水源等, 2013
25	RYT-04	如意亭	双峰岭组	英安岩	LA-ICP-MS	136.8±2.5	14	9.4	杨水源等, 2013
26	RYT582	如意亭	双峰岭组	英安岩	SHRIMP	137.4±1.1	14	1.3	本文
27	LJL112	李家岭	双峰岭组	英安岩	SHRIMP	137.4±1.4	12	1.5	本文
28	X07-67	书堂	双峰岭组	英安岩	SHRIMP	141.6±1.7	10	0.9	陈正乐等, 2013
29	ZK26-101	牛头山	双峰岭组	英安岩	SIMS	135.0±1.8	14	1.2	郭福生等, 2015
30	RYT501	如意亭	双峰岭组	熔结凝灰岩	SHRIMP	137.5±1.4	13	0.73	本文
31	RYT-03	如意亭	双峰岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS	137.3±0.9	15	1.7	杨水源等, 2013
32	D0001-1	如意亭	双峰岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS	140.7±2.7	14	3.3	郭福生等, 2015
33	D0004-1	如意亭	双峰岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS	135.6±1.2	22	1.6	郭福生等, 2015
34	D0026-3	游坊	双峰岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS	138.2±1.6	24	1.8	郭福生等, 2015
35	D839-13	相山山顶	双峰岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS	140.1±1.8	17	3.1	郭福生等, 2015

致,浯漳似斑状花岗岩的年龄包含在碎斑熔岩的年龄范围内,序号7居隆庵英安斑岩样品的年龄大于序号17居隆庵英安岩的年龄,序号5沙洲花岗斑岩和序号6居隆庵花岗斑岩的年龄大于碎斑熔岩的年龄,出现火山岩的年龄小于侵入其中的斑岩的年龄的情况。

因此,锆石U-Pb年龄测定虽然能为火山-侵入杂岩提供高精度的年龄值,但对于时间较短的火山-侵入杂岩来说,锆石U-Pb年龄还不能为火山-侵入杂岩的时序厘定提供依据。

7 结论

综上所述,可以得出以下结论:

(1)根据不整合面和岩石组合特征,结合武夷群的含义,相山铀矿田赋矿火山岩系应归入武夷群。根据岩性岩相特征、岩石地层单位“组”与火山

岩相组合相对应的原则、岩石地层单位命名的优先律原则,结合双峰岭组、鹅湖岭组的含义和火山活动产物的演化规律,可将武夷群进一步划分为双峰岭组、鹅湖岭组两个组。

(2)SHRIMP 锆石U-Pb测年结果表明,相山铀矿田武夷群双峰岭组下部熔结凝灰岩年龄为(137.5±1.4)Ma(N=13,MSWD=0.73)、中部英安岩2个样品的年龄分别为(137.4±1.1)Ma(N=14,MSWD=1.3)和(137.4±1.4)Ma(N=12,MSWD=2.5)、上部晶屑凝灰岩的年龄为(136.4±1.1)Ma(N=14,MSWD=0.49),鹅湖岭组碎斑熔岩2个样品的年龄分别为(135.4±1.5)Ma(N=13,MSWD=1.3)和(135.2±1.2)Ma(N=12,MSWD=0.25),这些年龄不仅指示火山岩系形成于早白垩世早期,而且年龄顺序与火山岩系叠置关系确定的时序一致,但若考虑误差范围,四套火山岩的6个年龄是重叠的。

(3)已有的高精度锆石U-Pb年龄数据显示,相山铀矿田火山-侵入杂岩是在较短的时间范围形成的,时间跨度甚至小于锆石U-Pb年龄的误差,致使锆石U-Pb年龄还不能为根据地层叠置关系和斑岩侵入关系确定的时序提供依据。

致谢:感谢匿名审稿人提出的建设性修改意见,江西省核工业地质局261大队在野外工作和钻孔取样工作中给予了帮助,参加室内外工作的还有余达淦教授、饶明辉教授以及硕士研究生解开瑞、丁辉等,在此,一并表示感谢。

注释

① 北京地质学院赣东北区域地质测量大队.1961.江西省上饶地区综合地质测量总结报告.南昌:江西省地质局

② 黎中仁,何海泉,蒋万.1961.江西省“旧红岩系”地层划分对比及其含油性的初步研究.南昌:江西省地质局石油普查大队.

References

- Cai Yuqi, Zhang Jindai, Li Ziyang, Guo Qingyin, Song Jiye, Fan Honghai, Liu Wushang, Qi Fucheng, Zhang Mingming. 2015. Outline of uranium resources characteristics and metallogenetic regularity in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(6): 1051-1069(in Chinese with English abstract).
- Chen Diyun, Zhou Wenbin, Zhou Lumin, Wu Bolin, Tan Jinghua, Sun Zhanxue. 1993. Isotope geology of the Xiangshan uranium ore-field[J]. *Mineral Deposits*, 12(4):370-377(in Chinese with English abstract).
- Chen Guihua, Chen Mingzhuo. 1999. Analysis on metallogenetic conditions of the Xiangshan uranium ore-field[J]. *Uranium Geology*, 15(6): 329-338(in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaomin, Lu Jianjun, Liu Changshi, Zhao Lianze, Wang Dezi, Li Huimin. 1999. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic-intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 272-278(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhaobo, Xie Youxin, Wang Chanlin, Liu Xuebin, Kong Xiangli. 1982. Structural features and ore-forming conditions of the uranium ore-field in 1220 volcanic caldera[J]. *Radioactive Geology*, (1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhengle, Wang Yong, Zhou Yonggui, Han Fengbin, Wang Pingan, Gong Hongliang, Shao Fei, Tang Xiangsheng, Xu Jianshan. 2013. SHRIMP U-Pb dating of zircons from volcanic-intrusive complexes in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 40(1): 217-231(in Chinese with English abstract).
- Department of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. 1997. *Stratigraphy (Lithostratic) of Jiangxi Province*[J]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Duan Yun, Zhao Lianze, Fang Honghai, Wang Dezi. 2001. REE-geochemistry of Mesozoic volcanic-intrusive complex and dark inclusions in Xiangshan District, Jiangxi Province[J]. *Journal of China Universities*, 7(1): 92-107(in Chinese with English abstract).
- Fan Honghai, Ling Hongfei, Wang Dezi, Shen Weizhou, Liu Changshi, Jiang Yaohui. 2001. Ore-forming material sources for Xiangshan Uranium Ore-Field in Jiangxi Province: Evidence from Nd-Sr-Pb isotopes[J]. *Geological Journal of China Universities*, 7(2): 139-145(in Chinese with English abstract).
- Fan Honghai, Wang Dezi, Liu Changshi, Zhao Lianze, Shen Weizhou, Ling Hongfei, Duan Yun. 2001. Discovery of quenched enclaves in subvolcanic rocks in Xiangshan, Jiangxi Province and its genetic mechanism[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 64-69(in Chinese with English abstract).
- Fan Honghai, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Wang Dezi, Liu Changshi, Jiang Yaohui. 2001. Nd-Sr-Pb isotope geochemistry of the volcanic-intrusive complex at Xiangshan, Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 395-402(in Chinese with English abstract).
- Fan Honghai, Ling Hongfei, Wang Dezi, Liu Changshi, Shen Weizhou, Jiang Yaohui. 2003. Study on metallogenetic mechanism of Xiangshan uranium ore-field[J]. *Uranium Geology*, 19(4): 208-213(in Chinese with English abstract).
- Fan Honghai, Wang Dezi, Shen Weizhou, Liu Changshi, Wang Xiang, Ling Hongfei. 2005. Formation age of the intermediate-basic dikes and Volcanic-intrusive Complex in Xiangshan, Jiangxi Province[J]. *Geology Review*, 51(1): 86-92(in Chinese with English abstract).
- Fang Xiheng, Hou Wenrao, Wan Guoliang. 1982. Petrographic studies of the volcanic complex in the Xiangshan caldera[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 1(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, Yuan Sihua. 2014. The formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic continental tectonics in eastern China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 41(1): 19-38(in Chinese with English abstract).
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene[J]. *Episodes*, 2004, 27(2): 83-100.
- Guo Fusheng, Yang Qingkun, Xie Caifu, Meng Xiangjin, Zhou Wanpeng, Jiang Yongbiao, Zhang Shuming, Wu Zhichun. 2015. Zircon geochronology and evolution sequence of the acidic volcano-intrusive complex from Xiangshan, Jiangxi Province[J]. *Chinese Journal of Geology*, 50 (3): 684-707(in Chinese with English abstract).
- Guo Fusheng, Yang Qingkun, Meng Xiangjin, Xie Caifu, Shi Guo, Chen Liuqin, Jiang Zhenpin, Zeng Tao, Luo Nenghui. 2016. Geochemical Characteristics and Petrogenesis of the Acidic Volcano-intrusive Complexes, Xiangshan, Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(4): 769-784 (in Chinese with English abstract).
- He Guansheng, Dai Minzhu, Li Jianfeng, Cao Shousun, Xia Bin, Xu Deru, Li Wenqian, Yang Zhiqing. 2009. SHRIMP zircon U-Pb dating and its geological implication for the Xiangshan porphyric

- dacite-rhyolitic[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(2): 299–303 (in Chinese with English abstract).
- Hu Baoqun, Wang Qian, Qiu Linfei, Sun Zhanxue, Wang Yun, Lv Guxian, Hu Rongquan. 2016. Geochemistry of alkali metasomatized rocks of Zoujiashan Uranium Ore- deposit in Xiangshan Ore-field[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(2): 377–385(in Chinese with English abstract).
- Huang Xiqiang, Chen Zhengle, Wang Ping'an, Yang Nong, Zhi Jian. 2008. Fluid inclusion study of the Shazhou uranium ore- field in the Xiangshan deposit, Jiangxi[J]. *Journal of Geomechanics*, 14(4): 176–185(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Jiang Shaoyong, Fan Honghai, Shen Weizhou, Ni Pei. 2005. Petrogenesis of a Late Jurassic Peraluminous volcanic complex and its high- Mg, potassic, quenched enclaves at Xiangshan, Southeast China[J]. *Journal of Petrology*, 46(6): 1121–1154.
- Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Jiang Shaoyong, Fan Honghai, Shen Weizhou, Ni Pei. 2006. Trace element and Sr- Nd isotope geochemistry of fluorite from the Xiangshan uranium deposit, South China[J]. *Economic Geology*, 101: 1613–1622.
- Liang Liang, Liu Chengdong. 1994. Li Jianhong.REE geochemistry of rocks and ores in uranium deposit 622[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (2): 181–195(in Chinese with English abstract).
- Liu Jiayuan. 1985. Xiangshan igneous pluton: A granitic hypabyssal intrusive volcanic complex[J]. *Geochimica*, 14(2):42– 149 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Aijin, Guo Lingzhi, Zheng Dayu, Shu Liangshu. 2002. Continental Tectonic Constraint on Formation of Xiangshan Large Scale Uranium Deposits with High Grade [M].Beijing: Geological Publishing Housing: 58–95(in Chinese with English abstract).
- Shen Weizhou, Chen Fangrong, Liu Changshi, Wang Dezi. 1992. Characteristics of isotopic geochemistry and material sources of two types of volcanic- intrusive complexes in Jiangxi[J]. *Acta Perologica Sinica*, 8(2): 177– 184(in Chinese with English abstract).
- Shao Fei, Chen Xiaoming, Xu Henli, Huang Huiming, Tang Xiangsheng, Zou Maoqing, He Xiaomei, Li Mei. 2008. Metallogenic model of the Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province [J].*Journal of Geomechanics*, 14(1): 65 – 73(in Chinese with English abstract).
- Shi Guo, Guo Fusheng, Xie Caifu, Yu Guanmei. 2015. Protoliths reconstruction and formation conditions of basement metamorphic rocks in the Xiangshan uranium orefield, Central Jiangxi[J]. *Geology in China*, 42(2): 457– 468(in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jian Ping. 2002. Discussion on how to make sample target for SHRIMP and dating problems[J]. *Geology Review*, 48(Supp.): 26– 30(in Chinese with English abstract).
- Wan Tianfeng. 2013. A new Asian tectonic unit map[J]. *Geology in China*, 40(5): 1351–1365(in Chinese with English abstract).
- Wang Chuanwen, Hou Wenyao, Wan Guoliang, Fang Xiheng. 1982. The characteristics and genesis of porphyroclastic rhyolite from Xiangshan and adjacent areas[J]. *Uranium Geology*, (3): 193–198 (in Chinese).
- Wang Dezi, Liu Changshi, Shen Weizhou, Chen Fanrong. 1991. Finding of the Mesozoic S-type volcanicrock zone in Dongxiang-Xiangshan of Jiangxi and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 36(19): 1491– 1493(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhongjie, Xie Jiayin, YinJiaheng, Huang Guangzhao, Xie Fanggui, Wang Zhanyu, Yang Qinfang, Wang Meixing, Chen Ruinian, Ruan Honghong, Qiu Yongquan. 1989. Volcanic cycle, tectonic and rocks series and evolution of Mesozoic volcanic region in the Zhejiang-Fujian-Jiangxi[J]. *Bulletin of the Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences*, Supplement No. 6: 1–15(in Chinese).
- Wen Zhijian, Du Letian, Liu Zhengyi. 2000. Relationship between hydromitacitization and uranium mineralization in the Xiangshan ore field[J]. *Mineral Deposits*, 19(3): 257– 263(in Chinese with English abstract).
- Wu Bolin, Zhou Lumin. 2006. Metallogenic physica- chemical conditions analysis of Julong an uranium deoposit in Xiangshan orefield[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 36(1): 119–125(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua. 1996a. Probe on the lower group of the Ehuling Formation of upper Jurassic system in northeast Jiangxi[J]. *Geology of Jiangxi*, 10(1):19–26(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua. 1996b. A new knowledge of the Ehuling formation in northeast Jiangxi[J]. *Journal of Stratigraphy*, 20(2): 153– 160(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua. 1999. A discussion on the lithostratigraphical division of continental volcanic terrain[J]. *Geological Review*, 45(Supp.): 93– 100(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua, Xie Kairui, Wu Rengui, Guo Guolin, Liu Shuai. 2014. The new progress in the study of mesozoic rhyolite- trachyte assemblage and hydrothermal- type uranium mineralization in eastern China[J]. *Advances in Earth Science*, 29(12): 1372– 1382 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jun, Wu Jianhua. 2013. Shuangfengling formation in Jiangxi and its geological Age[J]. *Journal of East China Institute of Technology (Natural Science)*, 36(1): 17–24(in Chinese with English abstract).
- Wu Rengui. 1999. Characteristics of volcanic formation in Ruyiting section in Xiangshan area[J]. *Journal of Huadong Geological Institute*, 22(3): 201–208(in Chinese with English abstract).
- Wu Rengui, Yu Dagan, 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).
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U- Pb age[J]. *Chinese Sciences Bulletin*, 49(15): 1554–1569(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, Clocchiatti R, Dardel J, Joron L. 1992. Petrogeochemistry of Mesozoic uraniumiferous volcanic complex from Xiangshan, China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–56(in Chinese).

- Xie Jiaying. 1996. Approach to volcanic stratigraphic unite and its division in continental volcanic terrain[J]. *Volcanology and Mineral Resources*, 17(3- 4): 85- 94(in Chinese with English abstract).
- Xu Haijiang and Shan Lin. 1984. The lithologic features and genesis of volcanic rocks from Xiangshan and adjacent areas[J]. *Journal of East China Geological Institute*, (1):1-27(in Chinese with English abstract).
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, Zhao Kuidong, Fan Honghai. 2010. Zircon U- Pb geochronology, Hf isotopic composition and geological implications of the rhyodacite and rhyodacitic porphyry in the Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, China[J]. *Scichina China Earth Scichina*, 40(8): 953-969 (in Chinese).
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, Zhao Kuidong, Fan Honghai. 2011. Geochemical, zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and petrogenesis of an Early Cretaceous volcanic- intrusive complex at Xiangshan, Southeast China[J]. *Mineralogy and Petrology*, 101: 21-48.
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, JiangYaohui, Fan Honghai.2012. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd- Hf isotopic compositions of the rhyolite porphyry from the dong et al. deposit in Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, SE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3915- 3928 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Chen Peirong. 2013. Timing and geological implications of volcanic rocks from the Ruyiting section, Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, SE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29 (12): 4362-4372(in Chinese with English abstract).
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui. 2013. Petrogenesis and tectonic significance of Early Cretaceous high-Zr rhyolite in the Dazhou uranium district, Gan- Hang Belt, Southeast China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74(1): 303-315.
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong. 2013. Occurrence and significance of a quartzamphibole schist xenolith within a mafic microgranular enclave in the Xiangshan volcanic- intrusive complex, SE China[J]. *International Geology Review*, 55(7): 894-903.
- Yao Hongxin, Lv Guxian, Nie Jiangtao, Zheng Guanggao, Cao Xiaobing, Xu Pulin, Zhang Feng, Zhu Suizhou. 2013. Characteristics of mineralizing alteration and hydrothermal sources in Zoujiashan uranium deposits in Xiangshan uranium ore- field in Jiangxi Province[J]. *Geoscience*, 27(2): 332- 338(in Chinese with English abstract).
- Zhang Dezhi, Guo Fusheng, Zhou Wanpeng, Xie Caifeu, Liu Linqing, Zhou Zuomin. 2014. LA- ICP- MS zircon U- Pb dating and geochemical characteristics of Tangang rhyodacite in Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 784- 796(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fangrong. 2011. The geological and geochemical characteristics and its petrogenesis for caledonian granites in the Central- Southern JiangXi Province[D]. Nanjing: Nanjing University(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jindai, Li Ziyin, Cai Yuqi, Guo Qingyin, Li Youliang, Han Changqing. 2012. The main advance and achievements in the potential evaluation of uranium resource in China[J]. *Uranium Geology*, 28(6): 321-326 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Sengui, Zhang Yunbai, Yan Huijun. 2009. A brief introduction to the “international stratigraphic chart” 2008[J]. *Journal of Stratigraphy*, 33(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanliang, Li Ziyin. 2007. Single- zircon U- Pb age of rhyodacite from Xiangshan area and its geological significance[J]. 21-26(in Chinese with English abstract).
- Zhou Wanpeng, Fan Honghai, Liu Linqing, Jiang Yongbiao. 2015. Petrology and major- trace elements characteristics of the Indosinian uranium- rich pluton in southern Xiangshan volcanic basin[J]. *Geology in China*, 42(6): 1897- 1909(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡煜琦, 张金带, 李子颖, 郭庆银, 宋继叶, 范洪海, 刘武生, 漆富成, 张明林. 2015. 中国铀矿资源特征及成矿规律概要[J]. *地质学报*, 89 (6): 1051-1069.
- 陈迪云, 周文斌, 周鲁民, 吴柏林, 谭敬华, 孙占学. 1993. 相山铀矿田同位素地质学特征[J]. *矿床地质*, 12(4): 370-377.
- 陈贵华, 陈名佐. 1999. 相山铀矿田成矿条件分析[J]. *铀矿地质*, 15 (6): 329-338.
- 陈小明, 陆建军, 刘昌实, 赵连泽, 王德滋, 李惠民. 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.
- 陈肇博, 谢佑新, 王灿林, 刘学斌, 孔祥礼. 1982. 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*, (1): 1-10.
- 陈正乐, 王永, 周永贵, 韩凤彬, 王平安, 宫红良, 邵飞, 唐湘生, 徐金山. 2013. 江西相山火山-侵入杂岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 40(1): 217-231.
- 段芸, 赵连泽, 范洪海, 王德滋. 2001. 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*, 7(1): 92-107.
- 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 沈谓洲, 刘昌实, 姜耀辉. 2001. 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*, 7 (2): 139-145.
- 范洪海, 王德滋, 刘昌实, 赵连泽, 沈谓洲, 凌洪飞, 段芸. 2001. 江西相山潜火山岩中淬冷包体的发现及其成因机制探讨[J]. *地质学报*, 75(1): 64-69.
- 范洪海, 凌洪飞, 沈谓洲, 王德滋, 刘昌实, 姜耀辉. 2001. 相山火山-侵入杂岩 Nd- Sr- Pb 同位素地球化学特征[J]. *岩石学报*, 17(3): 395-402.
- 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 刘昌实, 沈谓洲, 姜耀辉. 2003. 相山铀矿田成矿机理研究[J]. *铀矿地质*, 19(4): 208-213.
- 范洪海, 王德滋, 沈谓洲, 刘昌实, 汪相, 凌洪飞. 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): 86-92.
- 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研究[J]. *岩矿测试*, 1(1): 1-7.
- 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 袁四化. 2014. 中国东部中-新生代大陆构造的形成与演化[J]. *中国地质*, 41(1): 19-38.

- 郭福生, 杨庆坤, 谢财富, 孟祥金, 周万蓬, 姜勇彪, 张树明, 吴志春. 2015. 江西相山酸性火山—侵入杂岩精确年代学与演化序列研究[J]. 地质科学, 50(3): 684–707.
- 郭福生, 杨庆坤, 孟祥金, 谢财富, 时国, 陈留勤, 蒋振频, 曾涛, 罗能辉. 2016. 江西相山酸性火山—侵入杂岩体地球化学特征与岩石成因[J]. 地质学报, 90(4): 769–784.
- 何观生, 戴民主, 李建峰, 曹寿孙, 夏斌, 许德如, 李文铅, 杨之青. 2009. 相山流纹英安斑岩锆石 SHRIMP U–Pb 年龄及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 33(2): 299–303.
- 胡宝群, 王倩, 邱林飞, 孙占学, 王运, 吕古贤, 胡荣泉. 2016. 相山矿田邹家山铀矿床碱交代矿化蚀变岩地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 40(2): 377–385.
- 黄锡强, 陈正乐, 王平安, 杨农, 郅剑. 2008. 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.
- 江西省地质矿产厅. 1997. 江西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 梁良, 刘成东, 李建红. 1994. 622 铀矿床岩矿石的 REE 地球化学特征[J]. 矿物学报, (2): 181–195.
- 刘家远. 1985. 相山岩体: 一个壳源花岗岩质浅成侵入火山杂岩体[J]. 地球化学, 14(2): 142–149.
- 邱爱金, 郭令智, 郑大瑜, 舒良树. 2002. 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: 58–95.
- 姚宏鑫, 吕古贤, 聂江涛, 郑光高, 曹小兵, 徐普林, 张锋, 朱随洲. 2013. 江西相山铀矿田邹家山铀矿床蚀变特征及热液来源[J]. 现代地质, 27(2): 332–338.
- 沈渭洲, 陈繁荣, 刘昌实, 王德滋. 1992. 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, 8(2): 177–184.
- 邵飞, 陈晓明, 徐恒力, 黄辉明, 唐相生, 邹茂卿, 何晓梅, 李梅. 2008. 江西省相山铀矿田成矿模式探讨[J]. 地质力学学报, 14(1): 65–73.
- 时国, 郭福生, 谢财富, 余关美. 2015. 赣中相山铀矿田基底变质岩原岩恢复及其形成环境[J]. 中国地质, 42(2): 457–468.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简评. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定年龄及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26–30.
- 万天丰. 2013. 新编亚洲大地构造区划图[J]. 中国地质, 40(5): 1351–1365.
- 王传文, 侯文尧, 万国良, 方锡珩. 1982. 相山及邻区碎斑流纹岩的特征和成因[J]. 放射性地质, (3): 193–198.
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 陈繁荣. 1991. 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, 36(19): 1491–1493.
- 王中杰, 谢家莹, 尹家衡, 黄光昭, 谢芳贵, 王占宇, 杨琴芳, 王美星, 陈瑞年, 阮宏宏, 邱永泉. 1989. 浙闽赣中生代火山岩区火山旋回火山构造岩石系列及演化[J]. 南京地质矿产研究所刊, 增刊第六号: 1–15.
- 温志坚, 杜乐天, 刘正义. 2000. 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, 19(3): 257–263.
- 吴柏林, 周鲁民. 2006. 相山矿田居隆庵铀矿床成矿物理化学条件分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 36(1): 119–125.
- 巫建华. 1996. 赣东北鹅湖岭组的再认识[J]. 地层学杂志, 20(2): 153–160.
- 巫建华. 1996. 赣东北上侏罗统鹅湖岭组下界的探讨[J]. 江西地质, 10(1): 19–26.
- 巫建华. 1999. 陆相火山岩区岩石地层划分的探讨[J]. 地质论评, 45(增刊): 93–100.
- 巫建华, 解开瑞, 吴仁贵, 郭国林, 刘帅. 2014. 中国东部中生代流纹岩—粗面岩组合与热液型铀矿研究新进展[J]. 地球科学进展, 29(12): 1372–1382.
- 武珺, 巫建华. 2013. 江西双峰岭组及其地质时代[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 36(1): 17–24.
- 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, 22(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.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U–Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589–1604.
- 夏林忻, 夏祖春, 张诚, Clocchiatti R., Dardel J, Joron J L. 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: 1–56.
- 谢家莹. 1996. 试论陆相火山岩区火山地层单位与划分: 关于火山岩区填图单位划分的讨论[J]. 火山地质与矿产, 17(3–4): 85–94.
- 徐海江, 单林. 1984. 相山及其邻区火山岩岩性特征及成因探讨[J]. 华东地质学院学报, 7(1): 1–27.
- 杨水源, 蒋少涌, 姜耀辉, 赵葵东, 范洪海. 2010. 江西相山流纹英安岩和流纹英安斑岩锆石 U–Pb 年代学和 Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 中国科学: 地球科学, 40(8): 953–969.
- 杨水源, 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 范洪海. 2012. 江西相山铀矿田邹家山矿床中流纹斑岩的锆石 U–Pb 年代学、岩石地球化学与 Sr–Nd–Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 28(12): 3915–3928.
- 杨水源, 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 凌洪飞, 陈培荣. 2013. 江西相山铀矿田如意亭剖面火山岩的年代学格架及其地质意义[J]. 岩石学报, 29(12): 4362–4372.
- 张德志, 郭福生, 周万蓬, 谢财富, 刘林清, 周佐民. 2014. 江西潭港流纹英安岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年及地球化学特征[J]. 中国地质, 41(3): 784–796.
- 张芳荣. 2011. 江西中—南部加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[D]. 南京: 南京大学.
- 张金带, 李子颖, 蔡煜琦, 郭庆银, 李友良, 韩长青. 2012. 全国铀矿资源潜力评价工作进展与主要成果[J]. 铀矿地质, 28(6): 321–326.
- 章森桂, 张允白, 严惠君. 2009. “国际地层表”(2008)简介[J]. 地层学杂志, 33(1): 1–10.
- 张万良, 李子颖. 2007. 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.
- 周万蓬, 范洪海, 刘林清, 姜勇彪. 2015. 相山火山盆地南部印支期富铀岩体岩石学及微量元素特征[J]. 中国地质, 42(6): 1897–1909.