

浙江大桥坞铀矿床火山岩锆石形态学与年代学研究

王洪作,陈培荣,吴俊奇,凌洪飞,赵友东,任海涛

内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,南京大学地球科学与工程学院,南京,210023

内容提要:大桥坞铀矿床位于赣杭构造带东段,其赋矿围岩为一套流纹质火山—侵入杂岩。目前对该套杂岩成岩时序的认识仍有争议,且缺少精确的年代学数据。因此,本文对大桥坞铀矿床火山岩及花岗质角砾开展锆石形态学和年代学的研究,以厘定本区的火山喷发旋回。扫描电镜形貌研究结果表明,黄尖组火山岩中锆石晶型主要为 S24、S25、P3、P4 和 P5 五种。晶型频率统计显示黄尖组上、下段火山岩岩浆性质不同,分别为碱性和亚碱性到碱性。锆石 U-Pb 定年结果显示两者成岩时代也不同,分别为 128 Ma 和 133~135 Ma。以上特征表明黄尖组上、下段火山碎屑岩是不同期次、不同来源岩浆喷发的产物。火山碎屑岩中花岗质角砾的成岩时代为 138 Ma,代表了大桥坞地区最早的岩浆作用,暗示该地区可能存在花岗质侵入岩基底。综合年代学、岩性特征以及钻孔资料,本区岩浆作用可分为如下阶段:①花岗质侵入岩基底形成(138 Ma);②早期火山作用(136 Ma),形成劳村组红色砾岩和火山沉积岩;③强烈火山喷发期,第一阶段(135~133 Ma)形成黄尖组下段巨厚层熔结凝灰岩。第二阶段(128 Ma)形成黄尖组上段灰白、灰绿色沉凝灰岩和含砾晶屑凝灰岩;④脉岩侵入阶段(128~125 Ma),形成花岗斑岩脉和辉绿岩脉;⑤晚期火山作用(123 Ma),形成寿昌组页岩、细砂岩、沉凝灰岩和晶屑凝灰岩。赣杭构造带长英质火山岩主要形成于早白垩世,且东段火山作用明显强于西段。赣杭构造带东段的火山岩型铀矿床赋矿层位较西段年轻,时代主要集中在 135~127 Ma。

关键词:锆石形态学;U-Pb 年代学;火山碎屑岩;早白垩世;大桥坞铀矿床;赣杭构造带

位于西太平洋沿岸的中国东南沿海,是世界上中生代岩浆活动最大的地区之一(Wang Dezi et al., 2012; Zhou Xinmin et al., 2006; Wang Zhengjiang et al., 2015; Yang Minggui et al., 2015; Deng Jinfu et al., 2016),该地区广泛出露流纹质火山—侵入杂岩及一系列与之有关的铀矿床。赣杭构造带是一个重要的构造—岩浆岩活动带,经历了强烈的岩浆作用,形成一系列火山—侵入杂岩,是“华东南盆岭省”的重要组成部分(Gilder et al., 1991; Wang Dezi et al., 2012)。赣杭构造带主要由一系列深断裂带(Goodell et al., 1991; Jiang Yaohui et al., 2011)、早白垩世火山—侵入杂岩以及晚白垩世北东向拉张盆地(Yu Xinqi et al., 2005)构成,大体是在华夏与扬子板块间新元古代缝合带的基础上逐渐发展形成(Li Xianhua et al., 2008, 2009)(图 1)。

赣杭构造带是我国重要的火山岩型铀成矿带(Cai Yuqi et al., 2015; Fang Xiheng et al., 2012)。

除世界级的相山铀矿田以外(Hu Ruizhong et al., 2008; Jiang Yaohui et al., 2005; Zhang Wanliang et al., 2016),还发育了大小不等的铀矿床约 53 处(Shao Fei et al., 2006)。目前已探明的铀矿床集中分布在相山、盛源、大洲和新路几个火山岩盆地内,绝大多数矿床的赋矿主岩与白垩纪火山岩有关。

前人对赣杭构造带出露的花岗岩体(脉)做了一些工作,发现这些岩石主要形成于燕山期,时代集中在 125~140 Ma,如赣杭构造带东段浙江省境内的杨梅湾、铜山、白菊花尖岩体,赣杭构造带西段江西省境内的大茅山、三清山岩体和相山火山—侵入杂岩(Jiang Yaohui et al., 2005, 2011; Wong et al., 2009; Yang Shuiyuan et al., 2011, 2012, 2013; Zhou Jie et al., 2013)。这些花岗质岩石多表现出 A 型花岗岩特征,普遍富碱、富集轻稀土,具有较高的 Zr + Nb + Ce + Y 含量和 Ga/Al 比值,同时显示出较高的锆石饱和温度(800~850℃)。岩相学上

注:本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2012CB416703)和中国核工业地矿事业部十二所高校基础科研项目联合资助的成果。

收稿日期:2015-02-13,改回日期:2015-08-09,责任编辑:郝梓国,黄敏。

作者简介:王洪作,男,1987 年生,江苏徐州人,博士生在读,主要从事火成岩石学和铀矿床学研究。通讯作者:王洪作,南京大学地球科学与工程学院,江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号,210023。Email: wanghz1004@163.com。

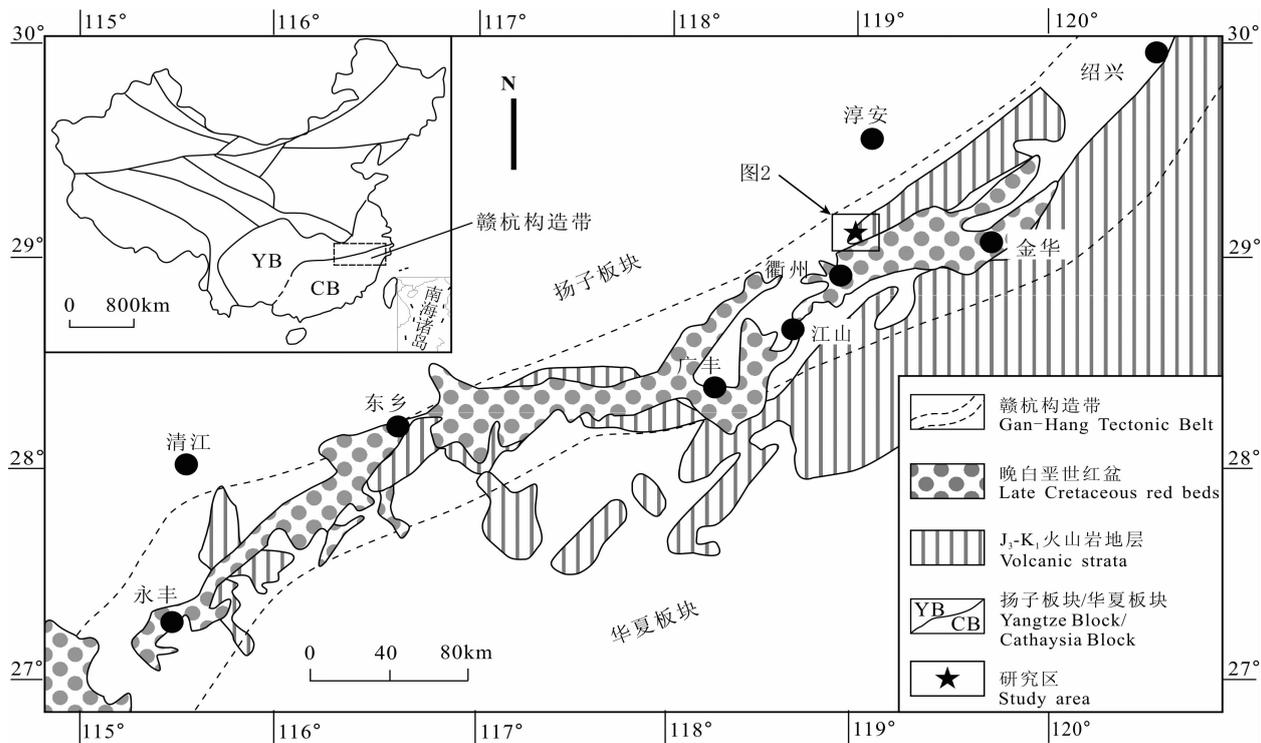


图1 赣杭构造带分布示意图(据 Yu Xinqi et al., 2006 修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the Gan-Hang Tectonic Belt (after Yu Xinqi et al., 2006)

无白云母,可见少量填隙状黑云母,碱性长石含量较高。根据 Nb-Y-Ce 含量,进一步可以把它们划分为 A₂ 亚型(Eby, 1992)(白菊花尖为 A₁型)。

尽管对赣杭构造带晚中生代侵入岩的研究工作取得了一些重要认识,但是同时期形成的巨量的长英质火山岩却研究不足(Charvet et al., 1994; Lapierre et al., 1997; Liu Lei et al., 2012; Xu Butai et al., 1997),而浙江省是东南沿海白垩纪时期火山作用最强、地层保存最完整的地区,是系统性研究火山作用的优势场所。因此,系统性地开展火山岩的研究,对探讨赣杭构造带火山喷发历史、火山岩型铀矿床赋矿层位的时代以及火山岩提供铀源的潜力具有重要意义。因此,本文对浙江大桥坞铀矿床火山碎屑岩及其花岗质角砾开展锆石形态学和年代学研究,获得大桥坞铀矿床赋矿围岩精确的成岩时代,试图厘定该地区火山喷发旋回并恢复火山作用历史。

1 地质背景

大桥坞铀矿床位于浙江省衢州市境内,新路火山岩盆地的西段。构造位置上处于赣杭构造带东段,北接古生代褶皱带,南临白垩纪红盆——金衢盆地(Qi Youqiang et al., 2011)。赣杭构造带主要是由一系列高角度的断层和拉张盆地构成(Deng

Jiarui et al., 1989; Gilder et al., 1991, 1996; Goodell et al., 1991; Yu Xinqi et al., 2005, 2006),同时也是一个重要的火山—侵入杂岩带(图1)。赣杭构造带上的断层由萍乡—广丰和江山—绍兴深断裂带组成,拉张盆地主要有抚州—崇仁盆地、信江盆地和金华—衢州盆地。盆地内沉积了大量红色碎屑沉积岩(红层)以及泥灰岩、石膏和蒸发岩,绝大多数沉积物属晚白垩世(Yu Xinqi et al., 2005, 2006),总厚度超过了 10000 m。在红盆的下部,有钙碱性和富钾碱性玄武岩夹层,其成岩时代大约 90~100 Ma(Xu Xisheng et al., 2005; Yu Xinqi et al., 2004)。赣杭构造带两侧的扬子和华夏板块基底显著不同,扬子板块的基底主要由晚太古代到元古代的低级变质火山岩、磨拉石型砂岩和碳酸盐岩构成,另外还含有部分太古代到古元古代高级变质的 TTG 变质岩(英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩)以及大约 1000 Ma 蛇绿岩。而华夏基底主要是由古元古代到中元古代的岩石组成。包括低级变质的绿片岩,中高级变质的片麻岩和角闪岩组合。其上覆盖了早古生代的海洋沉积物和晚古生代的陆源沉积物(Gao Shan et al., 1999; Qiu Yumin et al., 2000; Shen Weizhou et al., 1993)。

浙江早白垩世火山岩地层以江山—绍兴断裂为

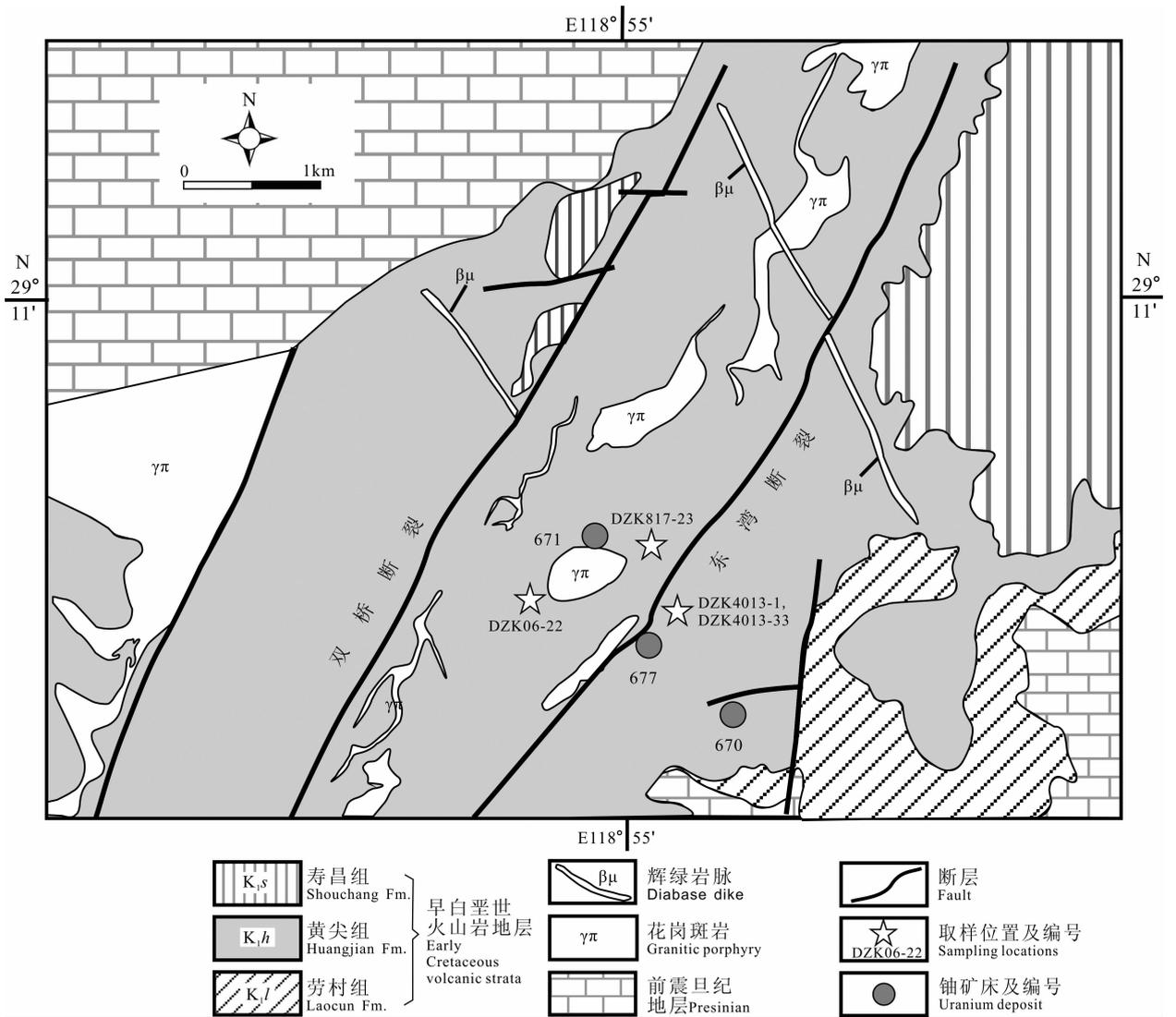


图 2 浙江大桥坞铀矿床地质简图(据 Tang Jiangwei, 2009 修改)

Fig. 2 Geological sketch map of the Daqiaowu uranium deposit in Zhejiang Province (after Tang Jiangwei, 2009)

界,北部称为建德群,南部称为磨石山群。这两个群的火山岩在时代和岩石组成上基本一致(Liu Lei et al., 2012, 2014; Xu Butai et al., 1997),它们的形成一般认为是古太平洋板块俯冲的结果(Zhou Xinmin et al., 2006)。在大桥坞地区出露的火山岩地层主要为建德群,自下而上分为劳村组、黄尖组和寿昌组。劳村组主要是紫红色砂砾岩和火山沉积岩;黄尖组是该区厚度最大的火山岩地层,由流纹质含砾晶屑凝灰岩和熔结凝灰岩构成;寿昌组岩性主要为粉砂岩、页岩以及沉凝灰岩(Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province, 1989)(图 2)。

大桥坞地区同时发育了一系列岩脉侵入体,既有花岗斑岩脉也有辉绿岩脉(图 2)。花岗斑岩脉形态极其复杂,钻孔和物探资料显示呈树根状分布

(Han Xiaozhong et al., 2010; Tang Jiangwei, 2009)。辉绿岩脉宽约 2~5 m,呈 NW 向侵入。这些岩脉侵入的最新地层为黄尖组上段,同火山岩地层具明显侵入接触关系(图 2)。

2 岩相学特征

黄尖组(K_{1h})上段为沉凝灰岩和含砾晶屑凝灰岩,以后者为主。本文选择钻孔 ZK40-13 中两个含砾晶屑凝灰岩样品 DZK4013-1 和 DZK4013-33 进行分析测试。岩石手标本呈灰白、灰绿或灰黑色,部分蚀变样品呈黄绿色。含砾晶屑凝灰岩中砾石含量 3%~10%,粒径一般 0.5~1.5 cm,个别>3 cm,其来源较复杂,既有来自基底地层岩屑也有花岗斑岩碎屑,熔结特征不明显(图 3b, c)。岩石主要由石英晶屑(40%)、长石晶屑(20%)、岩屑(10%)、玻屑

(10%)以及火山灰基质(20%)构成,晶屑粒径一般0.5~2 mm。石英晶屑呈碎屑状,常见碎裂、熔蚀。假流纹构造不明显,未见气孔及杏仁体。玻屑多已脱玻化,呈弧面多角形或撕裂状,并具微弱光性。基

质中 Fe-Ti 氧化物不明显(图 3d)。

黄尖组下段两个样品 DZK06-22 和 DZK817-23 分别取自钻孔 ZK0-6 和 ZK8-17,岩性为流纹质含砾熔结凝灰岩(图 3e)。标本本显浅棕色、暗红色,向深

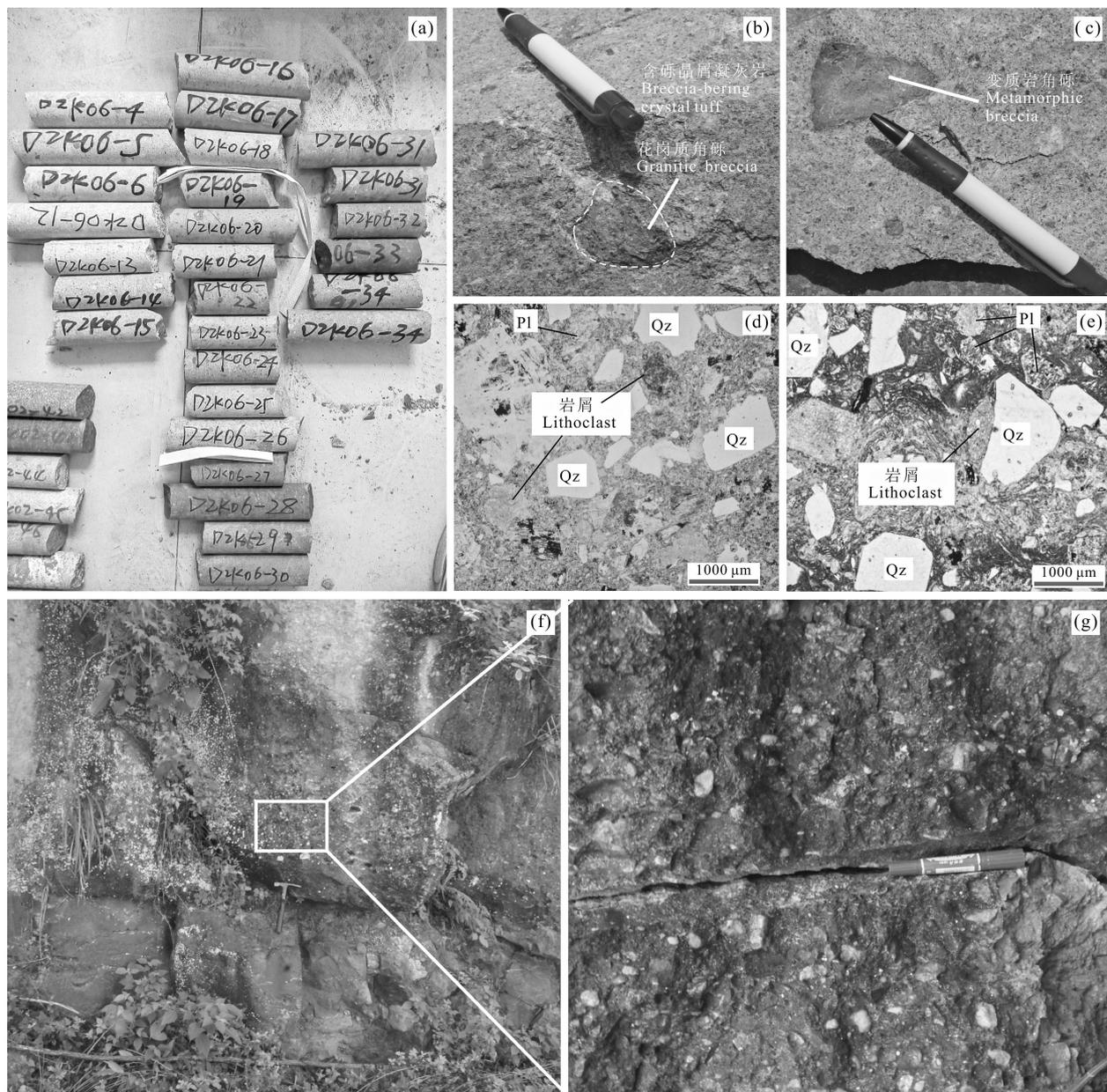


图 3 浙江大桥坞火山碎屑岩及花岗质角砾野外和镜下特征

Fig. 3 Field and petrographical features of volcanic clastic rock and granitic breccia in the Daqiaowu area, Zhejiang Province

(a)一钻孔 ZK0-6,黄尖组上、下段分界线海拔约 100 m,大体相当于 DZK06-17(火山灰)样品位置;(b, c)一含砾晶屑凝灰岩中花岗质角砾与变质岩角砾;(d)一黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩,单偏光;(e)一黄尖组下段熔结凝灰岩,假流纹构造,单偏光;(f, g)一劳村组砾岩;Pl—斜长石;Qz—石英

(a)—drill bore ZK0-6, the boundary of upper and lower Huangjian Formation is about 100 m above the sea level, which is close to the location of sample DZK06-17 (tuff); (b, c)—granitic and metamorphic breccias in breccia-bearing crystal tuff; (d)—breccia-bearing crystal tuff in the upper Huangjian Formation, plane-polarized light; (e)—ignimbrite in the lower Huangjian Formation, similar rhyotaxitic structure, plane-polarized light; (f, g)—conglomerate in the Laocun Formation; Pl—plagioclase; Qz—quartz

部颜色逐渐变深呈棕褐色。熔结特征明显,细小晶屑和玻屑排列成假流纹构造,但断续分布延伸不长。在显微镜下,熔结凝灰岩中基底地层来源的角砾较多,呈黑色、灰黑色。岩石由砾石($\sim 5\%$),石英晶屑(30%)、长石晶屑(15%)、玻屑(10%)以及火山灰基质构成。晶屑粒径总体较小,一般 0.5~1 mm,变化较稳定(图 3e)。石英晶屑呈碎屑状,常见碎裂、熔蚀,部分石英晶屑正交偏光镜下出现波状消光,并具有不同程度塑性变形,可见燕尾状分叉。刚性晶屑或玻屑常见弧面棱角状外形,未见气孔及杏仁体。黄尖组下段显著特征是 Fe-Ti 氧化物明显较上段多。在钻孔 ZK0-6 中,上下段分界线大体位于样品 DZK06-17 处(火山灰夹层),海拔高度约 100 m。

花岗质角砾在火山碎屑岩中较常见,本文花岗质角砾样品取自钻孔 ZK40-6 和 ZK40-13 开孔位置。此外在白鹤岩铀矿床附近也有所发现(Han Xiaozhong et al., 2010)。花岗质角砾呈浅红色,大小一般 3~10 cm 不等,个别 >10 cm。斑状结构,斑晶主要为石英和斜长石。基质为隐晶质或显微粒状结构,主要由他形石英及长石组成(图 3b)。

3 分析方法

本文对黄尖组上段(DZK4013-33 和 DZK4013-1)含砾晶屑凝灰岩和下段(DZK06-22 和 DZK817-23)的熔结凝灰岩及花岗质角砾(JL)进行锆石形态学、内部结构和 U-Pb 年代学研究。

首先对测年的锆石样品进行破碎和淘洗,筛选出重砂矿物,再运用浮选和电磁选的方法,挑选出单颗粒锆石。在显微镜下挑选出晶型较好,无色透明的锆石,并把它们粘在双面胶上,在做成树脂靶之前,表面先喷一层金,以增加导电性,然后用扫描电子显微镜对锆石进行表明形貌拍照。扫描电子显微镜工作是在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,使用 Oxford Inca PentaFetx3 型扫描电子显微镜,加速电压 20 kV,放大倍数 100~130。然后在扫面电镜图像上对锆石晶型进行观察,统计晶型相对完整、晶面清晰的锆石,每个样品随机选择约 150 颗。I. A. 和 I. T. 两个参数代表某个样品锆石所有晶型出现频率的平均值,详细计算过程和统计原理见 Pupin(1980)。

已拍摄扫描电镜照片的锆石,用环氧树脂固定在锆石靶的表层,并研磨靶样表面至锆石最大切面,最后对锆石表面进行抛光,直至光亮无研磨痕。在显微镜下对锆石靶进行透射光、反射光照相,并鉴定

锆石的裂缝、蚀变以及晶型等特征,对那些相对完整的锆石进行 CL(Cathodoluminescence)阴极发光照相。锆石阴极发光照相实验是在北京锆年领航科技有限公司完成。最终根据 CL 图像结果选择锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年工作在北京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成。ICP-MS 仪器型号为 Agilent 7500a,激光剥蚀系统采用 New Wave 公司生产的 UP213 固体激光剥蚀系统。激光剥蚀后得到的剥蚀物质与 He 气一起,通过直径 3 mm 的 PVC 管,并与 Ar 气混合,形成混合气后传送到 ICP-MS,进行同位素分析。质量分馏校正采用标样 GEMOC/GJ-1 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 $608.5 \pm 0.4 \text{ Ma}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $599.8 \pm 4.5 \text{ Ma}$ (Jackson et al., 2004))。每组测试(RUN)分析 15 个分析点,开始和结束前分别测试 GJ-1 标样 2 次,期间分析未知样品 11 个测点,包括 1 次已知年龄样品 Mud Tank(735 Ma)(Black et al., 1978)。仪器工作参数为:波长 213 nm,剥蚀孔径 30~50 μm ,剥蚀时间约为 60 s,背景测量时间约为 40 s。激光脉冲重复频率 5 Hz,脉冲能量为 10~20 J/cm^2 ,采集 ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U 和 ^{232}Th 的计数来测定年龄。锆石原位 U-Pb 定年的激光剥蚀原理和具体实验方法见 Jackson et al. (2004)。质谱仪分析得到的数据通过分析软件 GLITTER(Van Achtenbergh et al., 2001)计算获得同位素比值、年龄和误差。普通铅校正采用 Andersen(2002)的方法,校正后的结果用 Isoplot 程序(V. 3. 23)(Lugdwig, 2003)计算年龄和绘制谐和图。

4 分析结果

4.1 锆石晶型统计

火山碎屑岩锆石晶型统计结果见图 4。大桥坞地区黄尖组火山碎屑岩锆石晶型共统计 4 个样品,黄尖组上段 DZK4013-1 和 DZK4013-33,下段 DZK06-22 和 DZK817-23。统计结果显示频率最高的晶型为 S24、S25、P3、P4、P5 五种,总计出现频率约为 80%,其他类型锆石出现频率约 20%(图 4b~f)。在锆石类型演化图上(图 4a),火山碎屑岩中锆石晶型表现出亚碱性向碱性系列演化趋势。

4.2 锆石 U-Pb 定年结果

大桥坞火山碎屑岩及其花岗质角砾中锆石 U-Pb 分析结果见表 1,阴极发光图像和 U-Pb 年龄谐和图分别见图 5 和图 6。在显微镜透射光和反射光

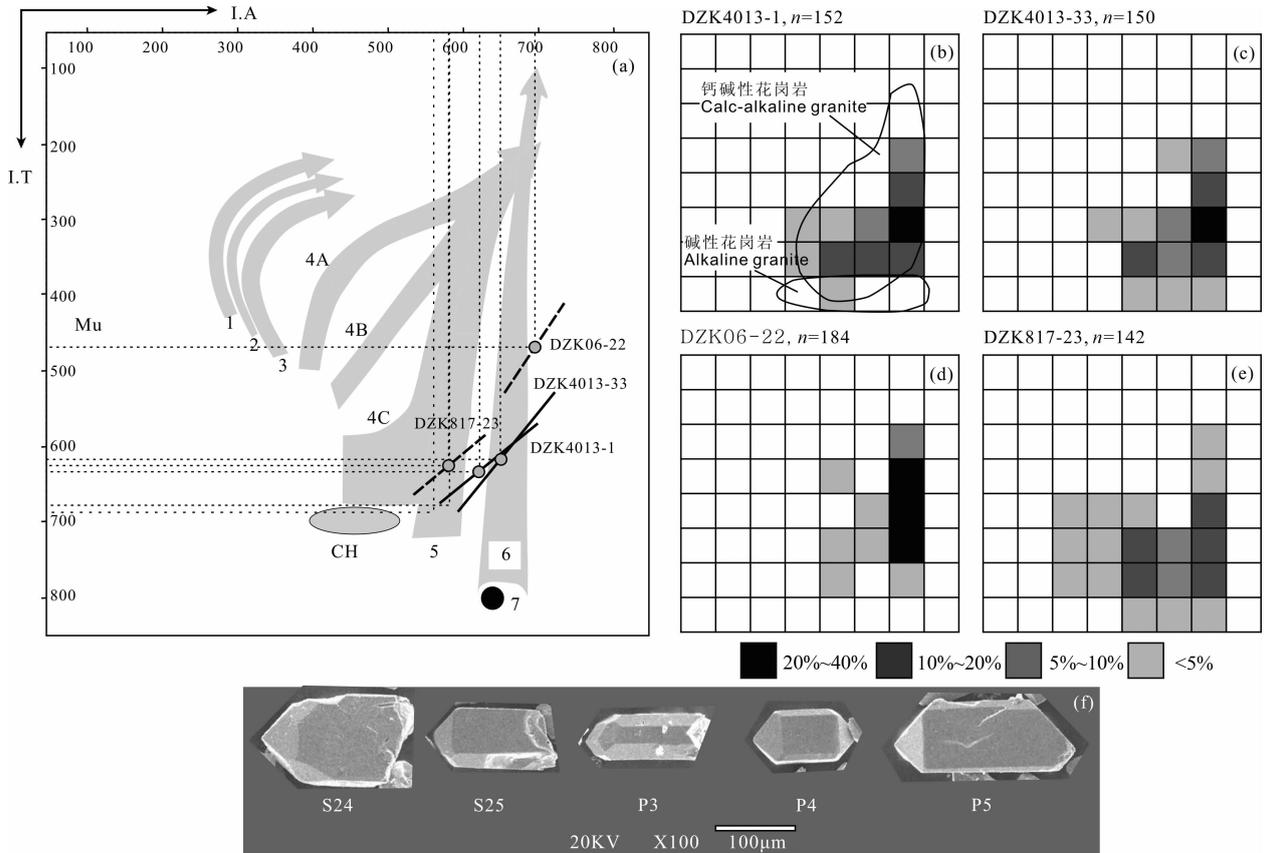


图4 大桥坞火山碎屑岩锆石形态学统计结果(据 Pupin, 1980)

Fig. 4 Typological statistics of zircon populations of volcanic clastic rocks in the Daqiaowu area(after Pupin, 1980)

(a)一锆石晶型演化趋势;(b, c)一黄尖组上段中锆石晶型分布和(d, e)一黄尖组下段中锆石晶型分布,钙碱性和碱性花岗岩锆石分布区域分别以欧洲海西期褶皱带中钙碱性 Cima d'Asta 花岗岩和碱性 Monte Cinto 环形杂岩为代表(Vavra, 1994);(f)一火山碎屑岩锆石中出现频率最高的几种晶型。图(a)中不同类型花岗岩锆石演化趋势:1—铝质浅色花岗岩;2—(亚型)原地重熔二长花岗岩和花岗闪长岩;3—侵入铝质二长花岗岩和花岗闪长岩;4(a, b, c)—钙碱性系列花岗岩;5—亚碱性系列花岗岩;6—碱性花岗岩;7—拉斑系列花岗岩。Mu=白云母花岗岩界限(I. T<450);Ch—紫苏花岗岩区域

(a)—distribution of mean points (black rectangle) and typological evolutionary trend (T. E. T., arrow); (b, c) —frequency distribution of zircon morphology in the upper Huangjian Formation and (d, e) —in the lower Huangjian Formation, the fields of high-K calc-alkaline granodiorites and alkaline granitoids are originated from Cima d'Asta and Monte Cinto ring complex within the European Variscides, respectively (Vavra, 1994); (f)—SEM images of typical zircon types. In (a), shadow areas represent typological evolutionary trend for various granitoid types: 1—aluminous leucogranites; 2—(sub) autochthonous monzogranites and granodiorites; 3—intrusive aluminous monzogranites and granodiorites; 4 (a, b, c)—calc-alkaline series granites; 5—sub-alkaline series granites; 6—alkaline series granites; 7—tholeiitic series granites. Mu=limit of the muscovite granites (I. T<450); Ch—magmatic charnockites area

下,大桥坞火山碎屑岩和花岗质角砾中锆石多为无色透明,少部分显浅黄色,锆石结晶较好,呈长柱状,少数为等粒状。锆石大小一般 100~250 μm,长宽比一般 2:1~4:1。在阴极发光图像上,锆石内部结构显示典型的岩浆振荡环带特征(图 5)。由于岩浆锆石的 Th/U 比值一般大于 0.1,而变质锆石 Th/U 比值一般小于 0.1,因此锆石中的 Th/U 比值可以区分岩浆锆石和变质锆石(Belousova et al., 2002)。大桥坞火山碎屑岩中锆石 Th/U 比值变化范围在 0.29~2.51,碎屑岩中的继承锆石 Th/U 比值为 0.44~3.27,均大于 0.1,表明这些锆石均为岩

浆锆石。同样的,花岗质角砾中的锆石 Th/U 比值变化于 0.2~2.38,也属于岩浆锆石。

黄尖组上段样品 DZK4013-1 和 DZK4013-33 (含砾晶屑凝灰岩)中锆石 U 和 Th 含量变化范围均较大,U 含量分别为 $45 \times 10^{-6} \sim 905 \times 10^{-6}$ 和 $28 \times 10^{-6} \sim 1478 \times 10^{-6}$, Th 含量分别为 $62 \times 10^{-6} \sim 1296 \times 10^{-6}$ 和 $32 \times 10^{-6} \sim 1150 \times 10^{-6}$,但是 Th/U 比值相对一致,平均值为 1.25 和 0.97。部分 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 误差较大的年龄值和继承锆石核的分析点未参与计算,绝大多数分析点的年龄值分布比较集中,有效 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均

表1 浙江大桥坞火山碎屑岩及花岗质角砾 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the volcanic clastic rocks and granitic breccias
in the Daqiaowu area, Zhejiang Province

分析 点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
				$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U		$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	
					1σ		1σ		1σ		1σ		1σ		1σ
DZK4013-1, 黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩; breccia-bearing crystal tuff of Upper Huangjian Fm.															
1	191	201	0.95	0.05282	0.001	0.15627	0.004	0.02146	0	321	32	147	4	137	2
2	315	301	1.05	0.06359	0.001	0.57193	0.011	0.06524	0	728	19	459	7	407	6
3	96	78	1.24	0.13387	0.006	0.40188	0.0161	0.02177	0	1934	128	303	17	136	3
4	158	168	0.94	0.05834	0.002	0.17383	0.007	0.02161	0	543	56	163	6	138	3
5	186	132	1.41	0.06079	0.002	0.17331	0.0059	0.02068	0	632	43	162	5	132	2
6	783	477	1.64	0.05857	1E-03	0.16598	0.0031	0.02056	0	551	19	156	3	131	2
7	261	405	0.64	0.05573	7E-04	0.52059	0.0083	0.06776	0	442	16	426	6	423	6
8	89	80	1.11	0.15188	0.008	0.42018	0.0198	0.02007	0	2206	133	324	19	126	4
9	62	45	1.37	0.05627	0.003	0.16052	0.0088	0.02069	0	463	87	151	8	132	3
10	243	181	1.34	0.05138	0.003	0.14337	0.0094	0.02024	0	258	112	136	8	129	3
11	76	82	0.93	0.06656	0.003	0.19109	0.0084	0.02082	0	824	61	178	7	133	2
12	525	422	1.24	0.0576	0.002	0.15876	0.0046	0.01999	0	515	36	150	4	128	2
13	1296	905	1.43	0.07408	0.001	0.20287	0.0039	0.01986	0	1044	18	188	3	127	2
14	293	322	0.91	0.06062	0.002	0.16624	0.0044	0.01989	0	626	31	156	4	127	2
15	135	135	1.01	0.27729	0.006	0.97917	0.0206	0.02561	0	2843	81	495	17	144	3
16	87	96	0.9	0.07775	0.006	0.21612	0.0157	0.02016	0	1140	98	199	13	129	4
17	355	276	1.29	0.08145	0.002	0.22334	0.0063	0.01989	0	1232	30	205	5	127	2
18	304	267	1.14	0.04893	0.002	0.13282	0.005	0.01969	0	144	56	127	4	126	2
19	322	254	1.27	0.05097	0.001	0.13469	0.0039	0.01917	0	239	39	128	4	122	2
20	250	219	1.14	0.05179	0.002	0.1389	0.0046	0.01945	0	276	46	132	4	124	2
21	109	80	1.36	0.07182	0.004	0.19871	0.0112	0.02007	0	981	78	184	9	128	3
22	819	326	2.51	0.08952	0.003	0.243	0.0069	0.01969	0	1415	29	221	6	126	2
DZK4013-33, 黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩; breccia-bearing crystal tuff of Upper Huangjian Fm.															
1	113	104	1.08	0.1097	0.004	0.32016	0.011	0.02117	0	819	229	171	16	128	3
2	147	118	1.25	0.09838	0.004	0.26125	0.0093	0.01926	0	1254	161	197	14	120	2
3	60	52	1.16	0.05734	0.005	0.15884	0.0132	0.02009	0	505	143	150	12	128	3
4	151	135	1.12	0.06188	0.002	0.1729	0.0066	0.02027	0	670	52	162	6	129	2
5	198	288	0.69	0.05514	0.002	0.14239	0.004	0.01873	0	418	36	135	4	120	2
6	43	39	1.1	0.10781	0.009	0.27236	0.0224	0.01832	0	1066	379	169	27	112	4
7	1548	473	3.27	0.07028	1E-03	1.1651	0.0192	0.12025	0	937	15	784	9	732	10
8	287	335	0.85	0.05736	0.001	0.15884	0.0039	0.02009	0	505	29	150	3	128	2
9	303	494	0.61	0.05078	0.001	0.14115	0.0032	0.02016	0	231	27	134	3	129	2
10	32	28	1.12	0.05322	0.007	0.15384	0.0197	0.02097	0	338	241	145	17	134	3
11	775	543	1.43	0.05087	0.001	0.14646	0.0033	0.02087	0	235	26	139	3	133	2
12	97	81	1.2	0.14296	0.005	0.47706	0.0165	0.02419	0	2263	32	396	11	154	3
13	802	1212	0.66	0.05075	9E-04	0.15156	0.003	0.02165	0	229	22	143	3	138	2
14	1150	1478	0.78	0.05149	9E-04	0.14304	0.0028	0.02014	0	263	21	136	2	129	2
15	197	275	0.72	0.06381	0.002	0.19421	0.0058	0.02207	0	735	35	180	5	141	2
16	368	403	0.91	0.05206	0.002	0.14953	0.0049	0.02083	0	288	44	141	4	133	2
17	276	279	0.99	0.05113	0.004	0.15097	0.0108	0.02143	0	247	117	143	10	137	4
18	44	51	0.87	0.06301	0.005	0.17461	0.013	0.0201	0	709	119	163	11	128	3
DZK06-22, 黄尖组下段熔结凝灰岩; ignimbrite of Lower Huangjian Fm.															
1	180	146	1.23	0.05479	0.003	0.15941	0.0086	0.02125	0	404	90	150	8	136	2
2	123	121	1.02	0.05084	0.002	0.1453	0.0061	0.02119	0	234	70	138	5	135	2
3	532	703	0.76	0.05228	0.001	0.15427	0.0035	0.02143	0	298	36	146	3	137	1
4	154	211	0.73	0.05415	0.002	0.15841	0.0051	0.02129	0	377	56	149	4	136	1
5	148	189	0.78	0.06722	0.001	1.1468	0.0183	0.12329	0	845	23	776	9	749	4
6	868	1069	0.81	0.05091	0.002	0.14707	0.0061	0.02095	0	237	100	139	5	134	1
7	146	288	0.51	0.05259	0.003	0.15473	0.0072	0.02134	0	311	111	146	6	136	1

续表 1

分析 点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
				$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U		$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	
				1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ		
8	353	240	1.47	0.05523	0.002	0.16272	0.0053	0.02152	0	422	53	153	5	137	1
9	366	232	1.58	0.04916	0.002	0.1417	0.0054	0.02114	0	155	68	135	5	135	2
10	419	262	1.60	0.08288	0.003	1.38422	0.0471	0.1191	0	1266	55	882	20	725	5
11	165	193	0.85	0.05132	0.005	0.15212	0.0149	0.0215	0	255	225	144	13	137	2
12	116	112	1.03	0.05663	0.014	0.17731	0.0443	0.02271	0	477	485	166	38	145	3
13	126	131	0.96	0.04605	0.003	0.13934	0.0087	0.02195	0		141	132	8	140	2
14	930	413	2.25	0.05348	0.003	0.16382	0.0098	0.02222	0	349	142	154	9	142	2
15	64	68	0.94	0.05885	0.003	0.17136	0.0087	0.02269	0	561	77	161	8	145	3
16	13	30	0.44	0.16253	0.003	10.28151	0.1827	0.45806	0	2482	16	2460	16	2431	22
17	360	533	0.68	0.05145	0.002	0.15286	0.0045	0.02165	0	261	49	144	4	138	1
18	1265	3650	0.35	0.04822	0.002	0.1417	0.0044	0.02131	0	110	76	135	4	136	1
19	1463	3985	0.37	0.04975	0.001	0.14514	0.0035	0.02116	0	183	60	138	3	135	1
20	348	183	1.91	0.07607	0.002	1.30749	0.0266	0.12576	0	1097	23	849	12	764	8
21	626	677	0.92	0.05509	0.001	0.16275	0.0035	0.0215	0	416	32	153	3	137	1
22	1549	5397	0.29	0.04966	0.002	0.14106	0.0042	0.0206	0	179	72	134	4	131.5	1
DZK817-23, 黄尖组下段熔结凝灰岩; ignimbrite of Lower Huangjian Fm.															
1	447	414	1.08	0.05076	0.001	0.14989	0.004	0.02143	0	230	34	142	3	137	2
2	222	250	0.89	0.04976	0.002	0.16382	0.0079	0.02388	0	184	74	154	7	152	3
3	201	258	0.78	0.04987	0.002	0.14074	0.0053	0.02047	0	189	57	134	5	131	2
4	170	107	1.59	0.04801	0.003	0.13742	0.0086	0.02077	0	100	106	131	8	133	2
5	105	92	1.14	0.06477	0.001	1.11686	0.0263	0.12508	0	767	26	761	13	760	10
6	259	365	0.71	0.04923	0.001	0.14065	0.0039	0.02072	0	159	38	134	4	132	2
7	542	302	1.79	0.05235	0.001	0.15664	0.0043	0.02171	0	301	36	148	4	138	2
8	168	98	1.71	0.07372	0.017	0.19504	0.0453	0.01919	0	1034	513	181	38	123	4
9	335	183	1.84	0.0506	0.002	0.14924	0.0054	0.0214	0	223	55	141	5	136	2
10	379	333	1.14	0.04844	0.001	0.14028	0.0041	0.02101	0	121	41	133	4	134	2
11	342	333	1.03	0.05307	0.001	0.14991	0.004	0.02049	0	332	33	142	3	131	2
12	495	403	1.23	0.0529	0.001	0.15249	0.0036	0.02091	0	325	28	144	3	133	2
13	517	398	1.30	0.048	0.001	0.13751	0.0037	0.02079	0	99	36	131	3	133	2
14	278	164	1.69	0.06577	0.001	1.24827	0.0218	0.1377	0	799	17	823	10	832	11
15	325	321	1.01	0.05026	0.002	0.14331	0.0055	0.02069	0	207	58	136	5	132	2
16	293	238	1.23	0.05062	0.002	0.14272	0.0062	0.02045	0	224	66	135	5	130	2
17	443	283	1.56	0.04934	0.001	0.14298	0.0043	0.02103	0	164	42	136	4	134	2
18	326	176	1.85	0.05018	0.002	0.14436	0.0058	0.02087	0	203	63	137	5	133	2
19	360	315	1.14	0.04869	0.001	0.13993	0.0039	0.02085	0	133	38	133	4	133	2
20	416	330	1.26	0.0524	0.001	0.15304	0.004	0.02119	0	303	33	145	4	135	2
21	120	102	1.17	0.06763	0.002	1.31636	0.0304	0.1412	0	857	25	853	13	851	12
JL, 花岗岩角砾; granitic breccia															
1	1942	6927	0.28	0.05457	7E-04	0.09073	0.001	0.01206	0	395	12	88.2	0.9	77.3	1
2	2708	12988	0.21	0.04926	6E-04	0.08095	0.0008	0.01192	0	160	12	79	0.8	76.4	1
3	116	97	1.21	0.05196	0.005	0.15217	0.013	0.02124	0	284	144	144	11	135	4
4	362	854	0.42	0.06194	0.001	0.18512	0.0028	0.02168	0	672	18	172	2	138	1
5	921	3350	0.27	0.06455	0.001	0.08428	0.0012	0.00947	0	79	103	60	3	59.5	1
6	4765	12804	0.37	0.054	8E-04	0.06971	0.0008	0.00936	0	371	13	68.4	0.8	60.1	0
7	577	1002	0.58	0.04947	0.001	0.1315	0.0024	0.01928	0	170	27	125	2	123	1
8	3751	4831	0.78	0.14874	0.003	0.25031	0.0035	0.01221	0	382	369	78	13	69	1
9	1092	4499	0.24	0.04872	8E-04	0.09438	0.0013	0.01405	0	134	18	92	1	89.9	1
10	1923	9725	0.20	0.04987	7E-04	0.07806	0.0009	0.01135	0	189	14	76.3	0.8	72.8	1
11	1946	9580	0.20	0.04933	7E-04	0.07916	0.0008	0.01164	0	63	55	74	2	74.4	1
12	1618	3418	0.47	0.08393	0.002	0.15449	0.0031	0.01335	0	453	161	96	6	82.4	1
13	2386	10926	0.22	0.04844	8E-04	0.07236	0.0011	0.01083	0	121	20	71	1	69.4	1
14	1253	1434	0.87	0.05092	8E-04	0.15551	0.002	0.02216	0	237	16	147	2	141	1
15	202	384	0.53	0.05118	0.001	0.17352	0.0045	0.02459	0	249	40	162	4	157	2

续表 1

分析 点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
					1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ		1 σ
16	748	1051	0.71	0.06457	1E-03	0.18925	0.0025	0.02126	0	760	15	176	2	136	1
17	329	543	0.61	0.05254	0.001	0.16069	0.0029	0.02218	0	309	26	151	3	141	1
18	791	1147	0.69	0.22509	0.003	1.60882	0.0195	0.05184	0	2244	123	646	32	287	4
19	120	190	0.63	0.05005	0.002	0.14876	0.0046	0.02156	0	197	51	141	4	138	2
20	218	202	1.08	0.06781	0.002	0.20606	0.0061	0.02204	0	863	41	190	5	141	2
21	480	713	0.67	0.0483	9E-04	0.14431	0.0022	0.02167	0	114	22	137	2	138	1
22	147	124	1.18	0.07864	0.005	0.2244	0.0119	0.0207	0	1163	70	206	10	132	3
23	697	534	1.30	0.05003	0.002	0.13068	0.0038	0.01895	0	196	47	125	3	121	1
24	3003	4599	0.65	0.06743	0.001	0.10851	0.0017	0.01167	0	851	18	105	2	74.8	1
25	210	206	1.02	0.04895	0.002	0.14484	0.0066	0.02146	0	145	77	137	6	137	2
26	201	394	0.51	0.04945	0.001	0.14519	0.0031	0.0213	0	169	33	138	3	136	1
27	98	100	0.98	0.05737	0.003	0.17259	0.008	0.02182	0	506	72	162	7	139	2
28	396	167	2.38	0.06163	0.001	0.88039	0.0149	0.10361	0	661	22	641	8	636	5
29	293	211	1.39	0.05519	0.003	0.16625	0.0099	0.02185	0	420	96	156	9	139	3
30	215	208	1.04	0.05191	0.001	0.2434	0.006	0.03401	0	281	38	221	5	216	2

值分别为 128.3 ± 1.6 Ma (MSWD=1.6, $n=14$) 和 128.3 ± 2.8 Ma (MSWD=4.2, $n=13$) (图 6a, b), 表明黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩成岩时代为 128 Ma。两个样品中既有 732 Ma 的继承锆石(1 个测点), 也有 407~423 Ma 的继承锆石(2 个测点)。

黄尖组下段熔结凝灰岩样品(DZK06-22 和 DZK817-23)中 U 和 Th 含量变化范围同样较大, U 含量分别为 $68 \times 10^{-6} \sim 3985 \times 10^{-6}$ 和 $98 \times 10^{-6} \sim 414 \times 10^{-6}$, Th 含量分别为 $64 \times 10^{-6} \sim 1549 \times 10^{-6}$ 和 $168 \times 10^{-6} \sim 542 \times 10^{-6}$, Th/U 比值平均为 0.93 和 1.29。绝大多数测点的谐和性较好, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值分别为 135.4 ± 1.2 Ma (MSWD=3.8, $n=14$) 和 133.4 ± 1.2 Ma (MSWD=1.2, $n=16$) (图 6c, d)。表明黄尖组下段的成岩时代为 133~135 Ma。该段的继承锆石所测得年龄较古老, 未见黄尖组上段加里东期继承锆石, 其中 4 个测点显示年龄为 725~764 Ma, 2 个测点为 832~851 Ma, 甚至出现太古代继承锆石。该太古代锆石 Th/U 比为 0.44, 表明其为岩浆锆石。所测得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 2431 Ma, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄为 2460 Ma, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2482 Ma, 显示出很好的一致性。

花岗质角砾中部分锆石显示高铀含量的黑边结构(图 5e), 这种结构的锆石可能是从岩浆作用晚期演化出的富 U、 H_2O 岩浆中结晶出来的 (Zhao Kuidong et al., 2014)。运用 LA-ICP-MS 方法分析这部分锆石得到的年龄, 明显偏小, 仪器分析精度以及测试的校正方法会对分析结果产生很大影响 (Zhao Kuidong et al., 2014)。有学者研究发现, 高

铀锆石分析过程中产生的基体效应可能会使得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄产生最大 5.1% 偏差 (Black et al., 2004; Allen and Campbell, 2012)。花岗质角砾中高铀锆石中 U 含量变化于 $3350 \times 10^{-6} \sim 12988 \times 10^{-6}$, 所测得的年龄明显不同于低铀含量的锆石, 因此高铀锆石不能代表真实的花岗质角砾成岩年龄。除去继承锆石和不谐和的年龄值, 花岗质角砾中低铀锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 138.3 ± 1.3 Ma (MSWD=2.7, $n=13$) (图 6e)。

此外, 侵入于黄尖组火山碎屑岩中的花岗斑岩和辉绿岩脉定年结果为 125~128 Ma (Wang Hongzuo et al., 2017), 表明这些脉岩形成时代晚于火山碎屑岩结晶年龄, 同侵入接触地质事实一致。

5 讨论

5.1 锆石形态学

熔体的化学组成会对锆石锥面和柱面的生长能力产生影响, 因此, 一定程度下, 锆石形态学特征可以反应寄主岩浆的地球化学特征。经过统计锆石的 100、110 柱面和 101、211 锥面的相对生长情况, 可以确定锆石晶型分布规律以及晶型的演化趋势 (Pupin, 1980)。浙江大桥坞火山碎屑岩中锆石频率分布类似于欧洲海西期 Cimad'Asta 高钾钙碱性花岗闪长岩, 但是明显不同与该地区的 Monte Cinto 碱性环状杂岩 (Vavra, 1994) (图 4b)。火山碎屑岩中锆石晶型比较集中, 出现频率最高的锆石晶型为 S24、S25、P3、P4 和 P5 五种, 晶型分布图上显示 A 和 T 指数均较高, 晶型的平均频率位于亚碱性(阴影 5)和碱性岩(阴影 6)锆石区域(图 4a)。黄

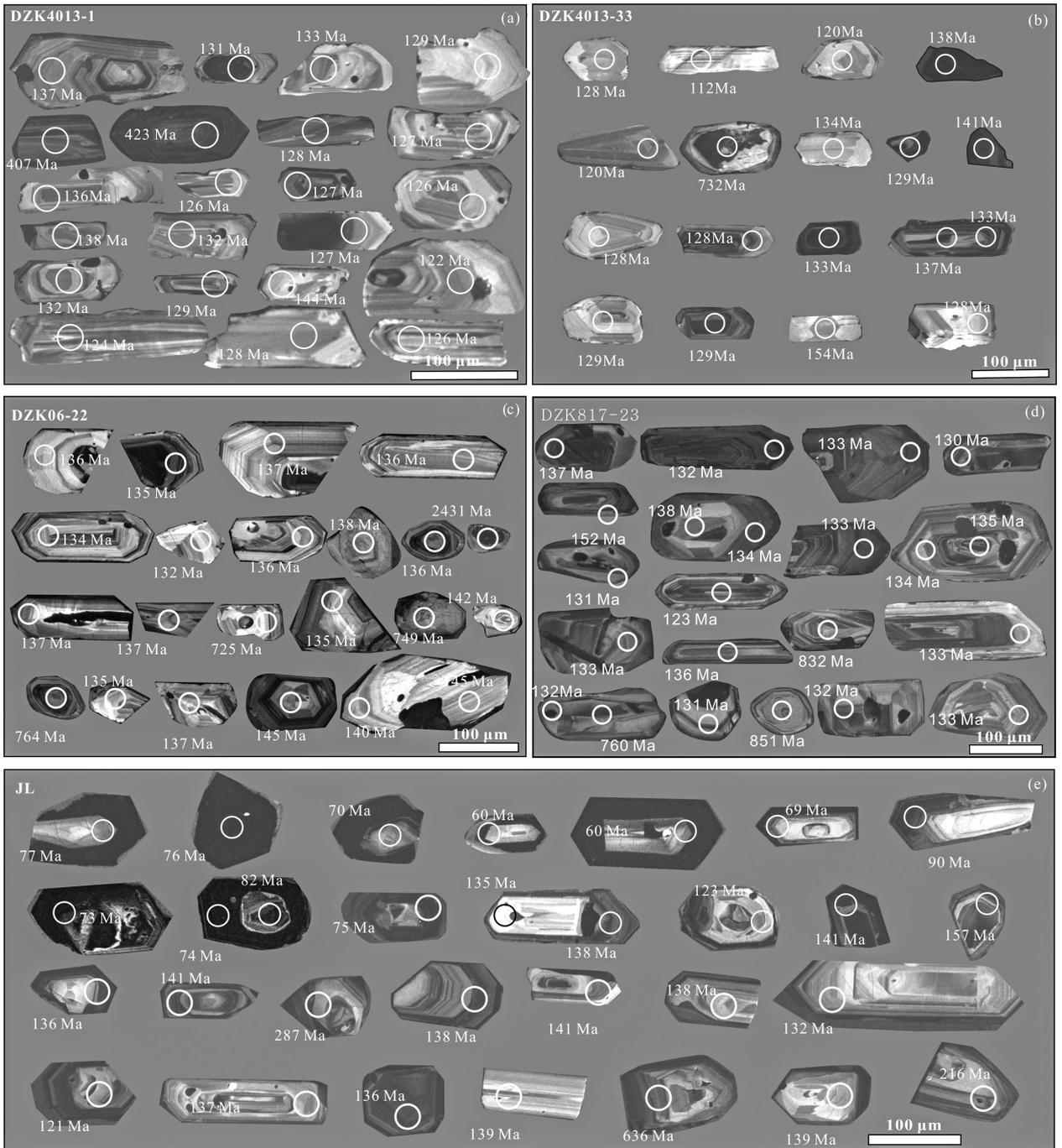


图5 大桥坞火山碎屑岩及花岗质角砾中锆石阴极发光(CL)图像与²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄

Fig. 5 Cathodoluminescence (CL) images and ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages of zircons from the volcanic clastic rocks and granitic breccias in the Daqiaowu area

(a, b) —黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩; (c, d) —黄尖组下段熔结凝灰岩; (e) —花岗质角砾

(a, b) —breccia-bearing crystal tuff in the upper Huangjian Formation;

(c, d) —ignimbrite in the lower Huangjian Formation; (e) —granitic breccia

尖组上段(DZK4013-1和DZK4013-33)和下段(DZK06-22和DZK817-23)火山碎屑岩中锆石晶型分布稍有不同,下段中锆石晶型反应岩浆为亚碱性到碱性,而上段中锆石晶型比较集中,反映岩浆具碱性特征。这种差异表明黄尖组上、下段火山碎屑岩

是不同期次不同岩浆火山喷发的产物。

5.2 锆石 U-Pb 年代学

浙江北部火山岩地层统称建德群,该群火山岩分布范围变化较大,自西向东火山岩厚度有增大趋势,其中以寿昌和浦江盆地出露的火山岩地层为典

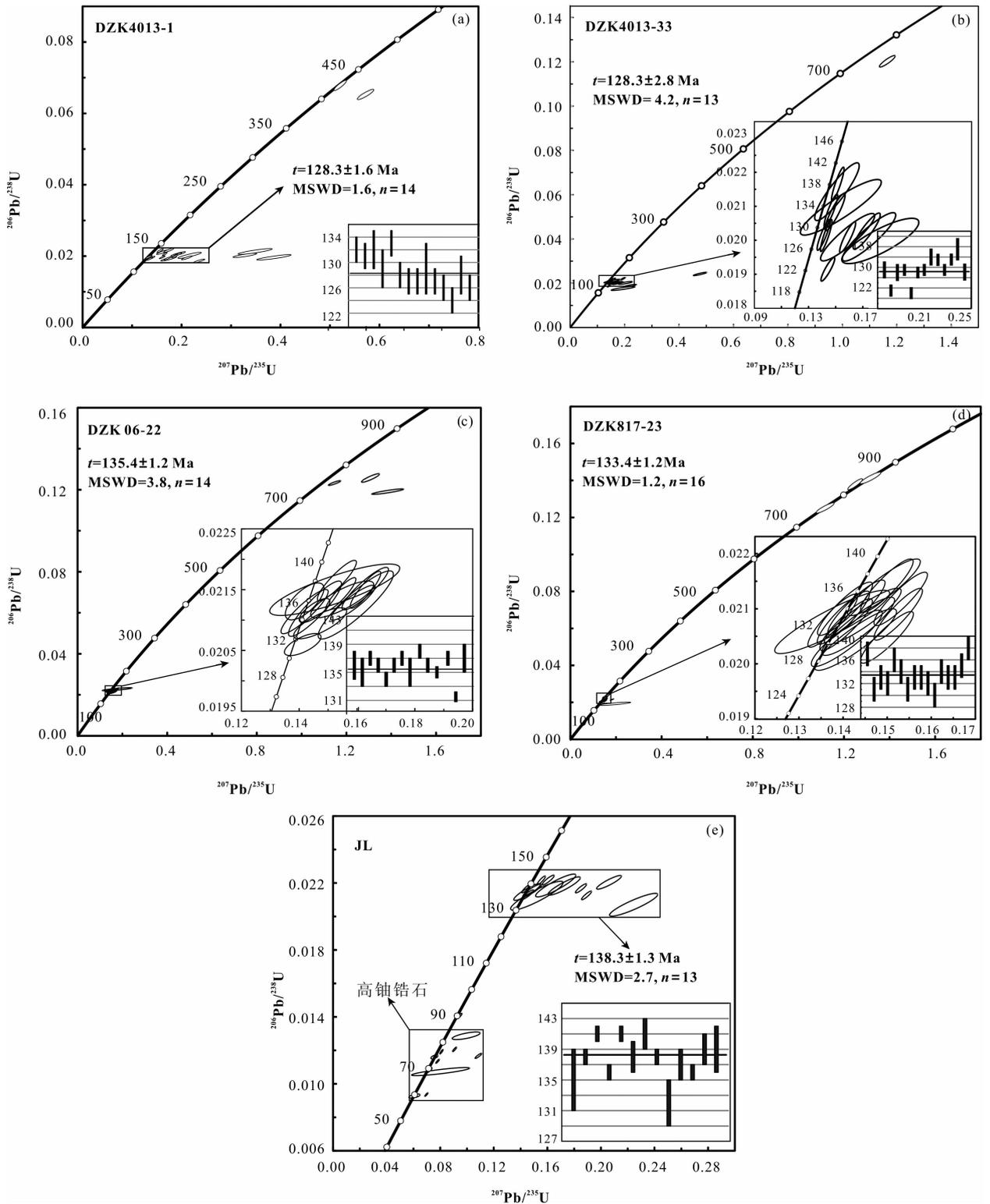


图 6 浙江大桥坞火山碎屑岩及花岗质角砾锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 6 LA-ICP-MS Zircon U-Pb concordia diagrams and weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of the volcanic clastic rocks and granitic breccias in the Daqiaowu area, Zhejiang

(a, b)—黄尖组上段含砾晶屑凝灰岩;(c, d)—黄尖组下段熔结凝灰岩;e—花岗质角砾

(a, b)—breccia-bearing crystal tuff in the upper Huangjian Formation; (c, d)—ignimbrite in the lower Huangjian Formation; e—granitic breccia

型(Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province, 1989)。建德群一般划分为三个

组:劳村组、黄尖组和寿昌组,这在大桥坞铀矿床均有出露(图 2 和图 7)。

前人对建德群火山岩时代做过一些年代学工作。早期 Rb-Sr 法测得建德群为 135~120 Ma(Xu Butai et al., 1997), Ar-Ar 或 K-Ar 法测得的时代为 135~117 Ma(Yan Tiezeng et al., 2005), 但是这些方法获得数据往往误差较大, 各层位时代相互叠加, 无法区分。近来 Liu 等(2014)对寿昌盆地劳村组火山岩进行锆石 U-Pb 定年, 结果为 136 Ma (Liu Lei et al., 2014)。而衢州大桥坞铀矿床火山岩时代研究程度较低, 鲜有数据报道。从其他地区同层位定年结果看, 大桥坞地区劳村组时代约为 136 Ma, 属早白垩世。主体赋矿层位的黄尖组火山岩, 前人定年结果为 137~140 Ma(Han Xiaozhong et al., 2010), 但由于既无锆石阴极发光图像也无谐和图, 这一年龄值的可靠性值得商榷。本文对该组火山岩定年结果显示, 根据取样深度年龄可以分成两组, 下部两个样品结果为 133~135 Ma, 上部两个样品结果为 128 Ma(图 6a~d), 表明黄尖组火山岩是不同期次火山喷发的结果。此外, 黄尖组上、下段火山岩中捕获锆石也存在差异, 下段火山岩中只有新元古代捕获锆石, 未见加里东期捕获锆石, 而上段火山岩中明显出现加里东期捕获锆石, 说明黄尖组上、下段岩浆来源不同, 是不同期次火山喷发的结果。浙江浦江盆地寿昌组火山岩锆石 U-Pb 定年结果为 123 Ma(Liu Lei et al., 2014), 晚于本地区黄尖组成岩时代, 定年结果比较可信。

此外, 黄尖组火山碎屑岩中花岗质角砾比较常见, 大小一般 3~10 cm, 个别 >10 cm, 对其定年结果显示为 138 Ma(图 6e), 早于黄尖组火山岩成岩时代, 同花岗质角砾被包裹于火山碎屑岩中的地质事实吻合, 同时这一年龄也大于劳村组成岩时代(136 Ma)。表明在火山喷发之前, 该区可能存在一次岩浆作用, 形成具斑状结构的花岗质侵入岩基底。由于后期火山喷发作用, 花岗质侵入岩被破碎成角砾状并被带到地表, 堆积在黄尖组火山碎屑岩中。

大桥坞地区花岗斑岩脉和辉绿岩脉定年结果为 125~128 Ma(Wang Hongzuo et al., 2017), 这些岩脉侵入黄尖组上段火山碎屑岩中(128 Ma), 两者时代顺序与侵入接触关系相一致, 可能属于同一期火山作用的产物。

5.3 大桥坞地区火山喷发旋回的厘定

根据大桥坞铀矿区火山碎屑岩、花岗质角砾和次火山岩的成岩时代和岩性特征, 并综合钻孔剖面资料, 可以把该地区的岩浆作用分为如下几个阶段

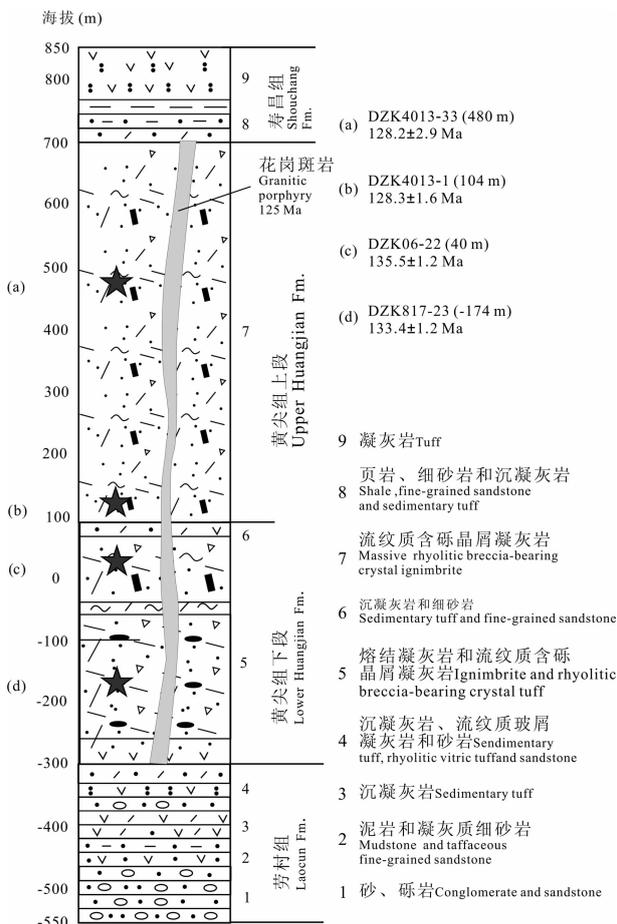


图 7 浙江大桥坞铀矿区火山碎屑岩地层综合柱状图 (据 Qiu Zhili, 1988)

Fig. 7 Volcanic-sedimentary columnar sections and sample localities of zircon U-Pb dating in the Daqiaowu uranium deposit (after Qiu Zhili, 1988)

(图 7):

5.3.1 花岗质侵入岩基底形成阶段

大桥坞火山碎屑岩中出现的花岗质角砾代表了该地区最早的岩浆作用(138 Ma), 其成岩时代早于该区建德群火山碎屑岩, 暗示在火山喷发之前, 大桥坞铀矿区可能存在一个花岗质侵入岩基底。

5.3.2 早期火山作用

该阶段形成劳村组的红色、红褐色砾岩和火山沉积岩(图 7), 其中砾石多具不同程度的磨圆(图 3f, g)。该组火山岩成岩时代不晚于 136 Ma。大桥坞地区劳村组厚度 >250 m, 未见底。出露在大桥坞以东的寿昌盆地和浦江盆地的劳村组, 其岩性同样为砾岩和火山沉积岩, 并可见熔结凝灰岩夹层, 总体为一套浅水相沉积的火山灰质砂砾岩。

5.3.3 强烈火山喷发期

该期火山作用可分为两个阶段, 第一阶段形成

黄尖组下段,厚度约为400 m,成岩时代为135~133 Ma,为一套巨厚层的含砾晶屑凝灰岩和熔结凝灰岩组合,其中以熔结凝灰岩为主体。呈灰色、浅棕色或浅肉红色,向底部逐渐过渡为棕褐色。岩石中基底地层来源的角砾较多,呈黑色、灰黑色。熔结特征明显,并具假流纹构造,显著特征是Fe-Ti氧化物较多。

第二阶段形成黄尖组上段,厚度约600 m,时代为128 Ma,为一套灰白、灰绿或灰黑色沉凝灰岩和含砾晶屑凝灰岩组合,其砾石来源较复杂,既有基底变质沉积岩来源的砾石也有花岗质角砾。假流纹构造不明显,未见气孔及杏仁体。基质中Fe-Ti氧化物不明显(图3d)。黄尖组上、下段分界部位可见火山灰夹层,如钻孔ZK0-6和ZK0-2中均出现火山灰夹层。分界线大体位于样品DZK06-17处(火山灰),海拔~100 m(图3a)。黄尖组是大桥坞地区主要赋矿层位,绝大多数矿体均位于该组火山碎屑岩中。

5.3.4 脉岩侵入阶段

强烈火山喷发期结束后,一系列脉岩呈岩脉或岩株状侵入火山碎屑岩中,既有花岗岩脉也有辉绿岩脉,成岩时代为125~128 Ma(Wang Hongzuo et al., 2017)。根据物探和钻孔资料,在大桥坞矿区存在一个较大的次火山岩侵入体,该侵入体为花岗斑岩,似树根状,向周围伸出大量支岩脉(Han Xiaozhong et al., 2010)。侵入体同火山碎屑岩的接触部位是大桥坞铀矿床重要的控矿构造(Tang Jiangwei, 2009)。

5.3.5 晚期火山作用

该阶段寿昌组底部出现一层厚度不大的页岩和火山沉积岩夹层,平行不整合在黄尖组之上。说明火山强烈喷发结束,该区进入相对宁静期。大约123 Ma,又出现一次火山喷发作用,以寿昌盆地和浦江盆地为典型,顶、底均为沉积岩,中部为流纹岩和凝灰岩。大桥坞地区寿昌组厚度不大,约150 m。岩性为页岩、细砂岩、沉凝灰岩和流纹质晶屑凝灰岩。目前未在该层位发现矿床。

5.4 对赣—杭火山岩带成岩时序的指示意义

赣杭构造带是我国重要火山岩型铀成矿带。赣杭构造带西段的相山铀矿田,其赋矿围岩主要为鹅湖岭组的流纹英安岩、打鼓顶组的碎斑熔岩和次火山岩,其成岩时代为140~135 Ma(Chen Xiaoming et al., 1999; Yang Shuiyuan et al., 2011; Zhang Wanliang, 2012)。相山以东的盛源盆地,其火山岩

型铀矿床赋矿层位为鹅湖岭组,该层位火山岩以及该区的橄榄玄粗岩定年结果为140~135 Ma(Wu Junqi et al., 2011; Zhang Wanliang, 2000),与相山地区一致。然而,赣杭构造带东段大桥坞铀矿床的赋矿层位为黄尖组火山碎屑岩(135~128 Ma),矿区的火山—侵入杂岩成岩时代跨度较大,为138~123 Ma。邻区大洲铀矿床赋矿围岩为流纹岩,成岩时代为127 Ma(Yang Shuiyuan et al., 2013)。大桥坞以东寿昌和浦江盆地的长英质火山岩成岩时代同样跨度较大,为137~118 Ma(Liu Lei et al., 2014)。由此可见,赣杭构造带西段明显缺失年轻火山岩,其成岩时代的跨度也小于东段。综上所述,赣杭构造带长英质火山岩主要形成于早白垩世,且东段火山作用较西段更强烈,持续时间更长。赣杭构造带东段的火山岩型铀矿床赋矿层位较西段年轻,主要集中在135~127 Ma。

6 结论

(1)扫描电镜形貌研究表明,大桥坞地区黄尖组火山岩中锆石晶型主要为S24、S25、P3、P4和P5五种,晶型频率统计显示黄尖组上段火山岩岩浆为碱性,而下段火山岩岩浆为亚碱性到碱性。锆石U-Pb定年结果表明,黄尖组上、下段火山碎屑岩时代分别为128 Ma和133~135 Ma,且捕获锆石也存在差异。以上特征表明两者为不同期次火山作用的产物。

(2)大桥坞地区火山碎屑岩中花岗质角砾时代为138 Ma,表明该区可能存在花岗质侵入岩基底。大桥坞地区火山作用可分为如下阶段:①花岗质侵入岩基底形成(138 Ma);②早期火山作用(136 Ma),形成劳村组,厚度大于250 m;③强烈喷发期,第一阶段(135~133 Ma)形成黄尖组下段,厚度约400 m。第二阶段(128 Ma)形成黄尖组上段,厚度约600 m;④脉岩侵入阶段(125~128 Ma),花岗斑岩脉和辉绿岩脉侵入黄尖组火山碎屑岩;⑤晚期火山作用(123 Ma),形成寿昌组,厚度约150 m。

(3)赣杭构造带长英质火山岩主要形成于早白垩世,且东段火山作用明显强于西段。赣杭构造带东段的火山岩型铀矿床赋矿层位较西段年轻。

致谢:野外工作得到浙江省核工业269大队领导和相关人员的大力帮助和支持,锆石U-Pb年代学测试工作得到武斌老师指导和帮助,扫描电镜工作得到李娟老师的帮助,在此一并表示真诚的感谢。

注 释

- ① 汤江伟, 何胜忠, 杜江浩, 金森张. 2011. 浙江省衢州市大桥坞地区铀矿普查项目设计书.

References

- Allen C M, Campbell I H. 2012. Identification and elimination of a matrix-induced systematic error in LA-ICP-MS Pb-206/U-238 dating of zircon. *Chemical Geology*, 332: 157~165.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report Pb-204. *Chemical Geology*, 192(1): 59~79.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, Fisher N I. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5): 602~622.
- Black L P, Gulson B L. 1978. The age of the Mud Tank carbonatite, Strangways Range, Northern Territory, Bureau of Mineral Resources, Australia. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 3: 227~232.
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, Davis D W, Aleinikoff J N, Valley J W, Mundil R, Campbell I H, Korsch R J, Williams I S, Foudoulis C. 2004. Improved (206)Pb/(238)U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205(1-2): 115~140.
- Cai Yuqi, Zhang Jindai, Li Ziyang, Guo Qingyin, Song Jiye, Fan Honghai, Liu Wusheng, Qi Fucheng, Zhang Minglin. 2015. Outline of Uranium Resources Characteristics and Metallogenetic Regularity in China. *Acta Geologica Sinica*, 89(6): 1051~1069.
- Charvet J, Lapierre H, Yu Y. 1994. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(4): 387~396.
- Chen Xiaoming, 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. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 272~278 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jiarui, Zhang Zhiping. 1989. Gan-Hang tectonic belt and its geological significance. *Uranium Geology*, 5(1): 15~21 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Xiong Long. 2016. The Intrusive Spatial Temporal Evolutional Framework in the Southeast China. *Geological Review*, 62(1): 3~16.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20(7): 641~644.
- Fang Xiheng, Fang Maolong, Luo Yi, Liu Rongrong, Liu Quan, Zhang Minglin, Wang Shuhong, Liu Hu, Fu Jin, Wang Yuanzhi, Zhang Junwei, Xie Yingchun. 2012. The Potential Evaluation of Volcanic Type Uranium Resources in China. *Uranium Geology*, 28(6): 342~348 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Ling Wenli, Qiu Yumin, Lian Zhou, Hartmann G, Simon K. 1999. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(13): 2071~2088.
- Gilder S A, Gill J, Coe R S, Zhao Xixi, Liu Zhongwei, Wang Genxian, Yuan Kuirong, Liu Wenlong, Kuang Guodun, Wu Haoru. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *Journal of Geophysical Research*, 101(B7): 16137~16154.
- Gilder S A, Keller G R, Luo Ming, Goodell P C. 1991. Eastern Asia and the western Pacific timing and spatial distribution of rifting in China. *Tectonophysics*, 197(2): 225~243.
- Goodell P C, Gilder S, Fang Xiheng. 1991. A preliminary description of the gan-hang failed rift, southeastern china. *Tectonophysics*, 197(2-4): 245~255.
- Han Xiaozhong, Liu Rongrong, Liu Quan, Wang Mingtai, Yao Shancong, Hui Xiaochao. 2010. Uranium metallogenetic model for west segment of Xinlu volcanic basin in Quzhou area, Zhejiang Province. *Mineral Deposits*, 29(4): 332~342 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Zhou Meifu, Peng Jiantang, Su Wenchao, Liu Shen, Qi Huawen. 2008. Uranium Metallogenesis in South China and Its Relationship to Crustal Extension during the Cretaceous to Tertiary. *Economic Geology*, 103(3): 583~598.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, Belousova E A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211(1-2): 47~69.
- Jiang Yaohui, Zhao Peng, Zhou Qing, Liao Shiyong, Jin Guodong. 2011. Petrogenesis and tectonic implications of Early Cretaceous S- and A-type granites in the northwest of the Gan-Hang rift, SE China. *Lithos*, 121(1): 55~73.
- 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. *Journal of Petrology*, 46(6): 1121~1154.
- Lapierre H, Jahn B M, Charvet J, Yu Y W. 1997. Mesozoic felsic

- arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China. *Tectonophysics*, 274(4): 321~338.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang, Liu Ying. 2008. 850~790 Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in northern Zhejiang, South China: A major episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia. *Lithos*, 102(1-2): 341~357.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang, Lo C, Wang Jian, Ye Meifang, Yang Yueheng. 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks. *Precambrian Research*, 174(1-2): 117~128.
- Liu Lei, Xu Xisheng, Xia Yan. 2014. Cretaceous Pacific plate movement beneath SE China: Evidence from episodic volcanism and related intrusions. *Tectonophysics*, 614: 170~184.
- Liu Lei, Xu Xisheng, Zou Haibo. 2012. Episodic eruptions of the Late Mesozoic volcanic sequences in southeastern Zhejiang, SE China: Petrogenesis and implications for the geodynamics of paleo-Pacific subduction. *Lithos*, 154, 166~180.
- Lugdwig K R. 2003. Isoplot 3. 0: A geochronology toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication, Berkeley.
- Pupin J P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73(3): 207~220.
- Qi Youqiang, Hu Ruizhong, Liu Shen, Feng Caixia, Tian Jianji, Feng Guangying, Wang Tao. 2011. Geochemical Characteristics of the Yanshanian Mafic Dykes in the Jinqiu Basin, Gan-Hang Tectonic Belt and Its Petrogenesis. *Acta Geologica Sinica*, 85(3): 354~365.
- Qiu Yuming, Gao Shan, Menaughton N J, Groves D I, Ling Wenli. 2000. First evidence of > 3.2 Ga continental crust in the Yangtze craton of south China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. *Geology*, 28(1): 11~14.
- Qiu Zhili. Geological, geochemical characteristics and ore-controlling factors of volcanic type uranium deposit in Western Zhejiang. Nanjing: Nanjing University, 1988 (in Chinese without English abstract).
- Shao Fei, Zhu Yonggang, Li Jia, He Xiaomei. 2006. Uranium Metallogenic Regularity and Further Exploration in Gan-Hang Tectono-Volcanic Belt. *Shanghai geology*. 31 (Supplement): 133~136 (in Chinese with English abstract).
- ShenWeizhou, Zhu Jinchu, Liu Changshi, Xu Shijin, Ling Hongfei. 1993. Sm-Nd isotopic study of basement metamorphic rocks in South China and its constrain on material sources of granitoids. *Acta Petrolgica Sinica*. 9(8): 115~124 (in Chinese with English abstract).
- Tang Jiangwei. 2009. Review on geological character and exploration methods of Daqiaowu volcanic-type uranium deposit. *World Nuclear Geoscience*. 26(4): 212~218 (in Chinese with English abstract).
- Van Achterbergh E, Ryan C G, Jackson S E, Griffin W L. 2001. Data reduction software for LA-ICP-MS, in: P. J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation-ICP-Mass Spectrometry in the Earth Sciences: Principles and Applications*. Mineralog. Assoc. Canada (MAC) Short Course Series, Ottawa, Ontario, Canada, 29 (2001): 239~243.
- Vavra G. 1994. Systematics of internal zircon morphology in major variscan granitoid types. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117(4): 331~344.
- Wang Dezi, Shu Liangshu. 2012. Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeast China. *Geoscience Frontiers*, 3(2): 109~124.
- Wang Hongzuo, Chen Peirong, Ling Hongfei, Wu Junqi, Tang Jiangwei, Ren Haitao, Zhao Youdong. 2017. Cretaceous A-type volcanic-intrusive rocks and mafic rocks along the Gan-Hang Tectonic Belt, Southeast China: petrogenesis and implications for geodynamic evolution (submitted to *International Geology Review*).
- Wong Jean, Sun Min, Xing Guangfu, Li Xianhua, Zhao Guochun, Wong K, Yuan Chao, Xia Xiaoping, Li Longming, Wu Fuyuan. 2009. Geochemical and zircon U-Pb and Hf isotopic study of the Baijhuajian metaluminous A-type granite: Extension at 125~100 Ma and its tectonic significance for South China. *Lithos*, 112(3): 289~305.
- Wu Junqi, Tan Guili, Zhang Bangtong, Ling Hongfei, Chen Peirong. 2011. Identification and Genesis of the Early Cretaceous Shoshonitic Volcanic Rock Series in Central Jiangxi Province. *Geological Journal of China Universities*. 28(6): 479~491 (in Chinese with English abstract).
- Yang Minggui, Wu Fujiang, Song Zhirui, Lv Shaojun. 2015. North Jiangxi: A Geological Window of South China. *Acta Geologica Sinica*, 89(2): 222~233.
- 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. *Mineralogy And Petrology*, 101(1-2): 21~48.
- 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. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74(74): 303~315.
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Luo Li. 2012. Geochronology, geochemistry and

- tectonic significance of two Early Cretaceous A-type granites in the Gan-Hang Belt, Southeast China. *Lithos*, 150: 155~170.
- Yu Xinqi, Shu Liangshu, Yan Tiezeng, Yu Yunwen, Zu Fuping, Wang Bin. 2004. Geochemistry of basalts of late period of the Early Cretaceous from Jiangshan-Guangfeng, South China and its tectonic significance. *Geochemica*. 33(5): 465~476 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xinqi, Shu Liangshu, Yan Tiezeng, Zu Fuping. 2005. Prototype and Sedimentation of Red Basins along the Ganhang Tectonic Belt. *Acta Sedimentologica Sinica*. 13(1): 12~20 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xinqi, Wu Ganguo, Shu Liangshu, Yan Tiezeng, Zhang Da, Di Yongjun. 2006. The Cretaceous tectonism of the Gan-Hang Tectonic Belt, southeastern China. *Earth Science Frontiers*. 13(3): 31~43 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanliang. 2000. Stratigraphic attribution of volcanic series in Shengyuan Basin. *Uranium Geology*. 16(2): 99~101 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanliang. 2012. Progress and trend in the research on uranium geology in Xiangshan ore field. *Resources Survey And Environment*. 33(1): 22~27 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanlian, Li Ziyang. 2015. On the Xiangshan "Porphyroclastic Lava" in Xiangshan Orefield, Central Jiangxi. *Geological Review*, 61(2): 367~375 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Ling Hongfei, Palmer M R. 2014. Reliability of LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons with high U concentrations: A case study from the U-bearing Douzhashan Granite in South China. *Chemical Geology*, 389: 110~121.
- Zhou Jie, Jiang Yaohui, Xing Guangfu, Zeng Yong, Ge Weiya. 2013. Geochronology and petrogenesis of Cretaceous A-type granites from the NE Jiangnan Orogen, SE China. *International Geology Review*, 55(11): 1359~1383.
- Zhou Xinmin, Sun Tao, Shen Weizhou, Shu Liangshu, Niu Yaoling. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1): 26~33.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1989. *Regional Geology of Zhejiang Province*, Beijing: Geological Publishing House (in Chinese without English abstract).
- 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. *地质学报*, 89(06): 1051~1069.
- 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. *岩石学报*, 15(2): 272~278.
- 邓家瑞, 张志平. 1989. 赣杭构造带及其地质意义. *铀矿地质*, 5(1): 15~21.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 熊龙. 2016. 华南地区侵入岩时空演化框架. *地质论评*, 62(1): 3~16.
- 方锡珩, 方茂龙, 罗毅, 刘蓉蓉, 刘权, 张明林, 王树红, 刘祜, 付锦, 汪远志, 张俊伟, 谢迎春. 2012. 全国火山岩型铀矿资源潜力评价. *铀矿地质*, 28(6): 342~348.
- 韩效忠, 刘蓉蓉, 刘权, 王明太, 腰善丛, 惠小朝. 2010. 浙江省衢州地区新路火山岩盆地西段铀成矿模式. *矿床地质*, 29(2): 332~342.
- 齐有强, 胡瑞忠, 刘燊, 冯彩霞, 田建吉, 冯光英, 王涛. 2011. 赣杭构造带金衢盆地燕山期基性脉岩地球化学特征及成因探讨. *地质学报*, 85(3): 354~365.
- 丘志力. 1988. 浙西火山岩型铀矿床地质地球化学特征及控矿因素研究(硕士学位论文). 南京: 南京大学.
- 邵业, 朱永刚, 李嘉, 何晓梅. 2006. 赣杭构造火山岩带铀成矿规律及深入找矿. *上海地质*, 31(增刊): 133~136.
- 沈渭洲, 朱金初, 刘昌实, 徐士进, 凌洪飞. 1993. 华南基底变质岩的 Sm-Nd 同位素及其对花岗岩类物质来源的制约. *岩石学报*, 9(8): 115~124.
- 汤江伟. 2009. 大桥坞火山岩型铀矿床地质特征及勘查方法评述. *世界核地质科学*, 26(4): 212~218.
- 汪正江, 王剑, 江新胜, 孙海清, 高天山, 陈建书, 邱艳生, 杜秋定, 邓奇, 杨菲. 2015. 华南扬子地区新元古代地层划分对比研究新进展. *地质论评*, 61(1): 1~22.
- 吴俊奇, 谭桂丽, 章邦桐, 凌洪飞, 陈培荣. 2011. 赣中早白垩世橄榄玄粗岩(Shoshonite)系列火山岩的厘定及成因研究. *高校地质学报*, 17(4): 479~491.
- 徐步台, 俞云文. 1997. 浙江中生代火山岩同位素年龄及地层时代归属. *地球学报*; *中国地质科学院院报*, 18(A00): 117~119.
- 徐夕生, 谢昕. 2005. 中国东南部晚中生代—新生代玄武岩与壳幔作用. *高校地质学报*, 11(3): 318~334.
- 颜铁增, 陆祖达, 俞云文, 汪建国, 王孔忠, 许兴苗. 1: 250000 金华市幅区域地质调查成果报告, 2005.
- 杨明桂, 吴富江, 宋志瑞, 吕少俊. 2015. 赣北: 华南地质之窗. *地质学报*, 89(2): 222~233.
- 余心起, 舒良树, 颜铁增, 俞云文, 祖辅平, 王彬. 2004. 江山—广丰地区早白垩世晚期玄武岩的岩石地球化学及其构造意义. *地球化学*, 33(5): 465~476.
- 余心起, 舒良树, 颜铁增, 祖辅平. 2005. 赣杭构造带红层盆地原型及其沉积作用. *沉积学报*, 13(1): 12~20.
- 余心起, 吴淦国, 舒良树, 颜铁增, 张达, 狄永军. 2006. 白垩纪时期赣杭构造带的伸展作用. *地学前缘*, 13(3): 31~43.
- 张万良. 2000. 盛源盆地火山岩系地层的时代归属. *铀矿地质*, 16(2): 99~101.
- 张万良. 2012. 相山矿田铀矿地质研究进展与趋势. *资源调查与环*

参 考 文 献

境, 33(1): 22~27.

评, 61(2): 367~375.

张万良, 李子颖. 2015. 关于赣中相山矿田相山"碎斑熔岩". 地质论

浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.

Zircon Morphology and Geochronology for Volcanic Rocks in the Daqiaowu Uranium Deposit, Zhejiang Province

WANG Hongzuo, CHEN Peirong, WU Junqi, LING Hongfei, ZHAO Youdong, REN Haitao

*State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences
and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210023*

Abstract

The Daqiaowu uranium deposit, located in the eastern Gan-Hang Tectonic Belt (GHTB) is hosted in volcanic-intrusive complex. But timing of episodic volcanic eruptions in this area is still controversial, and the volcanic rocks have been lack of accurate geochronological data. Thus, this study focuses on zircon morphology and geochronology of volcanic rocks and their granitic breccias to elucidate the volcanism in the Daqiaowu area. Morphological results obtained by scanning electronic microscopy indicate that zircon crystal types of volcanic rocks in the Huangjian Formation are mainly S24, S25, P3, P4 and P5. Typological statistics suggest that the magma of volcanoclastic rocks from the upper Huangjian Formation is alkaline, while that from the upper Huangjian Formation is calc-alkaline to alkaline. Zircon U-Pb dating suggests that the upper and lower Huangjian Formations were formed at 128 Ma and 133~135 Ma, respectively. These characteristics imply that they could be ascribed to different volcanic eruptions. The crystallization age of granitic breccias is 138 Ma, which represents the earliest magmatism in the Daqiaowu area, suggesting a possible basement of granitic intrusive body under volcanoclastic rocks. Based on the geochronology, petrography and drill cores, the volcanic eruption cycles in the Daqiaowu area can be divided into following stages: ①the formation of a basement of granitic intrusive body (138 Ma); ②Early stage of volcanic eruption (136 Ma), the Laocun Formation was formed with red conglomerate and volcanic sedimentary rocks; ③intense volcanic eruption stage, this stage can be divided into two subcycles. The early subcycle, named the lower Huangjian Formation, was formed at 135~133 Ma and mainly composed of massive ignimbrite. The late subcycle, named the upper Huangjian Formation, was formed at 128 Ma and composed of greyish-white to greyish-green tuff and breccia-bearing crystal tuff; ④dike intrusion stage, granite and diabase dikes were formed during 128~125 Ma; ⑤late eruption stage, shale, fine-grained sandstone, tuff and crystal tuff of the Shouchang Formation were formed at 123 Ma. Volcanic rocks along the GHTB were formed during the Early Cretaceous, and volcanic activities were more intense in the eastern part of GHTB than in the western part. In addition, Uranium-bearing volcanic sequences in the eastern part are younger than those in the western part, and mainly have ages of 135~127 Ma.

Key words: zircon morphology; U-Pb geochronology; volcanoclastic rocks; Early Cretaceous; Daqiaowu uranium deposit; Gan-Hang Tectonic Belt