

贵州梵净山群沉积时代 ——来自原位锆石 U-Pb 测年证据

王 敏, 戴传固, 王雪华, 陈建书, 马会珍, 彭成龙, 杨凯迪

(贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550005)

摘 要: 贵州梵净山地区地层出露完整, 构造关系清楚, 是研究江南造山带西南段构造演化的理想地区。该区区域角度不整合面之下地层称为梵净山群, 分为7个岩性组, 中部出现大量火山岩, 形成一个完整的盆地沉积记录。对该区梵净山群地层中的火山碎屑岩夹层及细碎屑岩中的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 测年工作, 结果显示, 两件火山碎屑岩锆石平均 U-Pb 年龄分别为 832 Ma(铜厂组)和 851 Ma(余家沟组); 另外两件余家沟组细碎屑岩中锆石原位 U-Pb 测年结果比较接近, 平均年龄分别为 845 Ma 和 849 Ma。结合前人数据可以比较精确限定梵净山群的沉积时限在 855~815 Ma 之间。该时段的上限精确限定了武陵/四堡运动界面的时限, 为江南造山带不同部位地质事件的合理对比、了解江南造山带地质事件的时空迁移规律提供了基础资料。

关键词: 梵净山群; 火山碎屑岩; 锆石 U-Pb; 江南造山带; 武陵/四堡运动

中图分类号: P588.21; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)06-0843-15

Sedimentation age of the Fanjingshan Group in East Guizhou Province: Evidence from in-situ zircon LA-ICP-MS U-Pb dating

WANG Min, DAI Chuan-gu, WANG Xue-hua, CHEN Jian-shu, MA Hui-zhen, PENG Cheng-long
and YANG Kai-di

(Guizhou Geological Survey, Guiyang 550005, China)

Abstract: Located between the Yangtze massif and the Cathaysian block, the Jiangnan orogenic belt is composed of a series of Pre-Sinian low-grade meta-volcaniclastic rocks. Between the Sinian and the Pre-Sinian strata, there is a regional angular unconformity. Within the Pre-Sinian strata, there are several local unconformities, whose precise ages and tectonic affinities play a significant role in understanding the tectonic evolution of the Jiangnan orogen. Unfortunately, the tectonic models of the Jiangnan orogen based on data available fail to consider these unconformities and regard the Neoproterozoic period as a continuous tectonic evolution episode. In the Guizhou-Guangxi-Hunan border area, the unconformity within the Neo-Proterozoic Qingbaikou System defines the Wuling or Sibao Movement. A growing body of high-quality in situ zircon geochronologic data has demonstrated that the Jiangnan orogen is mainly composed of Neoproterozoic geological bodies rather than Middle Proterozoic ones, and this rules out the possibility that the Wuling/Sibao Movement is of Grenville episode. Thus, precise dating of the strata below this unconformity plays a fundamental role in tectonic reconstruction of the Jiangnan orogenic belt. The Fanjingshan area in eastern Guizhou Province lies in the southwest segment of the Jiangnan orogen, where strata with variable ages are well exposed with clear structural relationships, and hence this area

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2012-10-08

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011120108, 1212011121106); 国家自然科学基金重点基金资助项目(41030315)

作者简介: 王 敏(1967-), 博士, 研究员, 从事区域地质及岩矿鉴定工作, E-mail: wangm108@126.com

is an ideal area for studying tectonic evolution of the Jiangnan orogen. The Pre-Nanhua strata in the Fanjingshan area are assigned to the Fanjingshan Group consisting of seven formations. From the bottom upwards, the grain size of the sediments decreases, suggesting a complete basin sedimentary sequence. The middle segment of the Fanjingshan Group consists of numerous volcanic rocks comprising basalt, tuff, and volcanoclastic rocks. This paper reports four in-situ zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results to precisely constrain the sedimentation time of the Fanjingshan Group. CL images reveal that the fine-grained zircons from these samples have similar internal structures. Most zircons have well-preserved sector zoning, like those derived from a mafic rock, while the zoning of some zircons has been partially destroyed probably due to late stage fluid activity. In some zircon grains, zoning is totally absent. LA-ICP-MS U-Pb analyses indicate that all the zircons without zoning have $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages older than 1.0 Ga; on the other hand, the zircons whose zoning has been destroyed yielded unusually low $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age value down to 50 Ma. Analyses of other grains yielded accordant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages, showing slightly different weighted mean ages of various samples. Two volcanic samples yielded weighted mean zircon U-Pb ages of 832 Ma (MSWD=6.5, the Tongchang Formation) and 851 Ma (MSWD=1.5, the Yujiagou Formation) respectively, whereas analyses of two fine volcanoclastic samples from the Yujiagou Formation yielded weighted mean detrital zircon U-Pb ages of 849 Ma (MSWD=8.9) and 845 Ma (MSWD=1.18), respectively. These new data, along with previously published data, demonstrate that the Fanjingshan Group was deposited during the period of 850~815 Ma, which precisely constrains the timing of the Wuling/Sibao Movement, provides critical data for geological correlation, and helps understand the possible tectonic evolution of the Jiangnan orogenic belt.

Key words: Fanjingshan Group; volcanoclastic rock; zircon U-Pb dating; Jiangnan orogenic belt; Wuling/Sibao Movement

南中国板块内部的前震旦系岩石呈两条带状分布:一条沿板块北西缘展布,其南端被称为康滇地轴;另一条沿杭州—南昌—长沙—贵阳—一线分布,形成一条长达1 500 km、最宽超过 500 km 的前震旦系岩石剥露带。带内浅变质岩石以不同规模的孤立块状出现,其四周被震旦系—古生界围绕,内部常见震旦系—古生界残留。这些前震旦系岩石出露区目前被统称为“江南造山带”。

在江南造山带内发育若干角度不整合面,并据此定义了若干构造运动。南华系与青白口系之间的角度不整合代表雪峰运动,而青白口系内部板溪、下江、丹洲群与下伏地层之间的角度不整合在湘赣地区被称为武陵运动,在广西地区被称为四堡运动,而在贵州地区则称为梵净运动(赵化琛等,1962^①;王砚耕,2001)。这些构造运动的构造属性在江南造山带形成、演化过程中所起的作用还存在诸多争议。显然,理解这些构造运动的属性是认识江南造山带的关键,而精确确定构造运动的时限则是了解其构造属性的基础。

目前江南造山带内地质体的高质量年代学数据已有相当程度的积累(王敏,2012),通过分析已经发表的数据可以发现:

(1)原认为的中元古代地质体(水涛,1987)不复存在,所有年龄数据集中在新元古代。这些高质量年代学资料基本否定了江南造山带中的“武陵运动”(或“四堡运动”)属于格林威尔期造山运动的可能(王砚耕,2001)。

(2)组成前南华系主体的双溪坞群(浙皖地区,吴新荣等,2007)、双桥山群(赣西北地区,董树文等,2010)、冷家溪群(湘西北地区,柏道远等,2010)、四堡群(桂北地区,高林志等,2010)具有一样的年代学特点:火山岩夹层的锆石年龄集中在 870~800 Ma 之间。

(3)分布于双溪坞群(827~848 Ma,丁炳华等,2008)、双桥山群、冷家溪群(825 Ma, Wang *et al.*, 2007)、四堡群(828 Ma, Wang *et al.*, 2006)、梵净山群(748 Ma,王敏,2012)中的基性岩、超基性岩具有比围岩更宽泛的锆石年龄(860~750 Ma)。

① 赵化琛,等. 1962. 黔东地区板溪群的划分和对比并对梵净运动的初步认识. 贵州省地质学会第一届会员代表大会专刊(内部出版物).

(4) 侵入于上述 5 个岩群中的花岗岩、花岗闪长岩的时代跨度(李献华, 1999; 李献华等, 2001; Li X H *et al.*, 2003; Li Z X *et al.*, 2003; 王孝磊等, 2003, 2004) 与基性岩、超基性岩类似。

如果将武陵/四堡运动不整合面之上板溪群(758~809 Ma, 尹崇玉等, 2003; 814 Ma, 高林志等, 2010; 804 Ma, 高林志等, 2011) 丹洲群(765 Ma, Zhou *et al.*, 2007) 中火山岩年代学数据考虑在内, 则江南造山带不同区段的新元古界地层与侵入岩具有基本相同的年代学格架(860~750 Ma)。详细野外考察基础上的锆石测年新数据(王敏, 2012) 表明, 江南造山带西南段(梵净山地区) 的侵入岩可以分为两个阶段: 早期在 820 Ma 之前, 晚期在 810~750 Ma 之间, 其间的分界正好是武陵(四堡) 运动造成的角度不整合面。这种划分方式似乎适用于整个江南造山带。

基于现有(相同的) 年代学、地球化学资料, 形成了两个完全不同的江南造山带构造演化模型: ① Zhou 等(2002) 认为华南新元古代火山活动主要为弧火山岩(又见周金城等, 2005; Zhou *et al.*, 2009), 与华南板块周缘大洋板块的俯冲相关; ② 而 Li Z X 等(1999, 2003) 和 Li X H 等(2003) 认为, 包括梵净山区在内的华南新元古代构造演化以大火山岩省及相关裂谷型岩浆活动为主要特征(又见 Wang *et al.*, 2003; 王剑等, 2005; 夏林圻, 2009), 该大火山岩省与超级地幔柱活动有关, 范围波及澳洲大陆(Wang *et al.*, 2010)。一个显而易见的事实是: 上述两种构造演化模型均把新元古代的所有火成岩纳入到了单一构造演化阶段之中, 基本没有考虑江南造山带内的诸多角度不整合界面。

如果不考虑不同地质体之间的构造关系, 上述火成岩年代学格架显示江南造山带内部的地区性角度不整合完全有可能形成于同一次构造事件。换言之, 在构建构造模型过程中不考虑江南造山带内部的不整合面似乎有其合理性。鉴于这种研究现状, 精确限定各地不整合面之时代具有重要意义, 这是开展区域性构造演化对比的基础。

梵净山地区是贵州省内两个主要前震旦系出露区之一(另一个为从江地区), 位于江南造山带西南端。该区地层出露齐全, 野外关系清晰, 并完成了高质量的 1:500 00 地质填图(贵州省革命委员会地质

局, 1974)^①, 是研究武陵/四堡运动不整合界面构造属性的理想地区。本文报道 4 件取自梵净山群地层中的火山碎屑岩夹层及细碎屑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果, 试图精确限定其沉积时代。

1 梵净山群地层组成

黔东南梵净山区位于江南造山带西南段东北缘。核心地区为一长轴南北走向的椭圆形梵净山群地层出露区, 四周被板溪群地层围限, 内部常见小片板溪群地层残留, 两者之间为角度不整合接触(图 1)。由于前南华系出露不完整, 研究程度不均衡, 江南造山带西南段的大地构造格架并没有建立起来。因而, 从严格意义上讲, 梵净山地区在新元古代期间的大地构造位置目前还并不清晰。

根据 1:5 万区调资料(贵州省革命委员会地质局, 1974)^②, 梵净山群由 7 个组级地层单位组成, 从下到上依次为淘金河组、余家沟组、肖家河组、回香坪组、铜厂组、洼溪组及独岩塘组, 总厚度 >9 400 m。

1.1 淘金河组

淘金河组是梵净山群中最古老的一个组, 出露在梵净山区西北部印江县淘金河及松桃县大罗等地。岩性为沉积变质岩与层状变质超基性-基性岩呈旋回式组合, 以沉积变质岩为主。沉积变质岩多为浅灰、灰色中厚层变质砂岩、变质粉砂岩及变质凝灰岩, 尚有粉砂质绢云板岩、绢云板岩及凝灰质板岩, 它们无定式互层, 顶部具向上变细的复理式韵律。变质基性-超基性岩主要有 3 层, 厚度变化较大, 最大出露厚度 >100 m。全组出露最大厚度 1 330 m(未露底)。

1.2 余家沟组

余家沟组分布于梵净山区西北部棉絮岭、三岔路、余家沟等地, 岩性组合以细碎屑岩为主, 上部夹层状变质超基性-基性岩。

在桃树林附近, 本组下部夹几层(各厚 0.5~0.6 m, 沿走向延长超过 200 m) 变质砾岩。砾石大小悬殊, 大者 27 cm×30 cm, 小者 1 cm×0.5 cm, 一般 6 cm×(2~4) cm。磨圆度差异大, 浑圆及棱角状兼有, 排列杂乱。砾石成分有变质砂岩、板岩、脉石英及白云母花岗岩等, 由砂泥质杂基填隙胶结, 似为海底沟道碎屑流沉积。

① 贵州省革命委员会地质局, 1974. 中华人民共和国贵州省梵净山区 1/5 万区域地质调查报告及地质图。

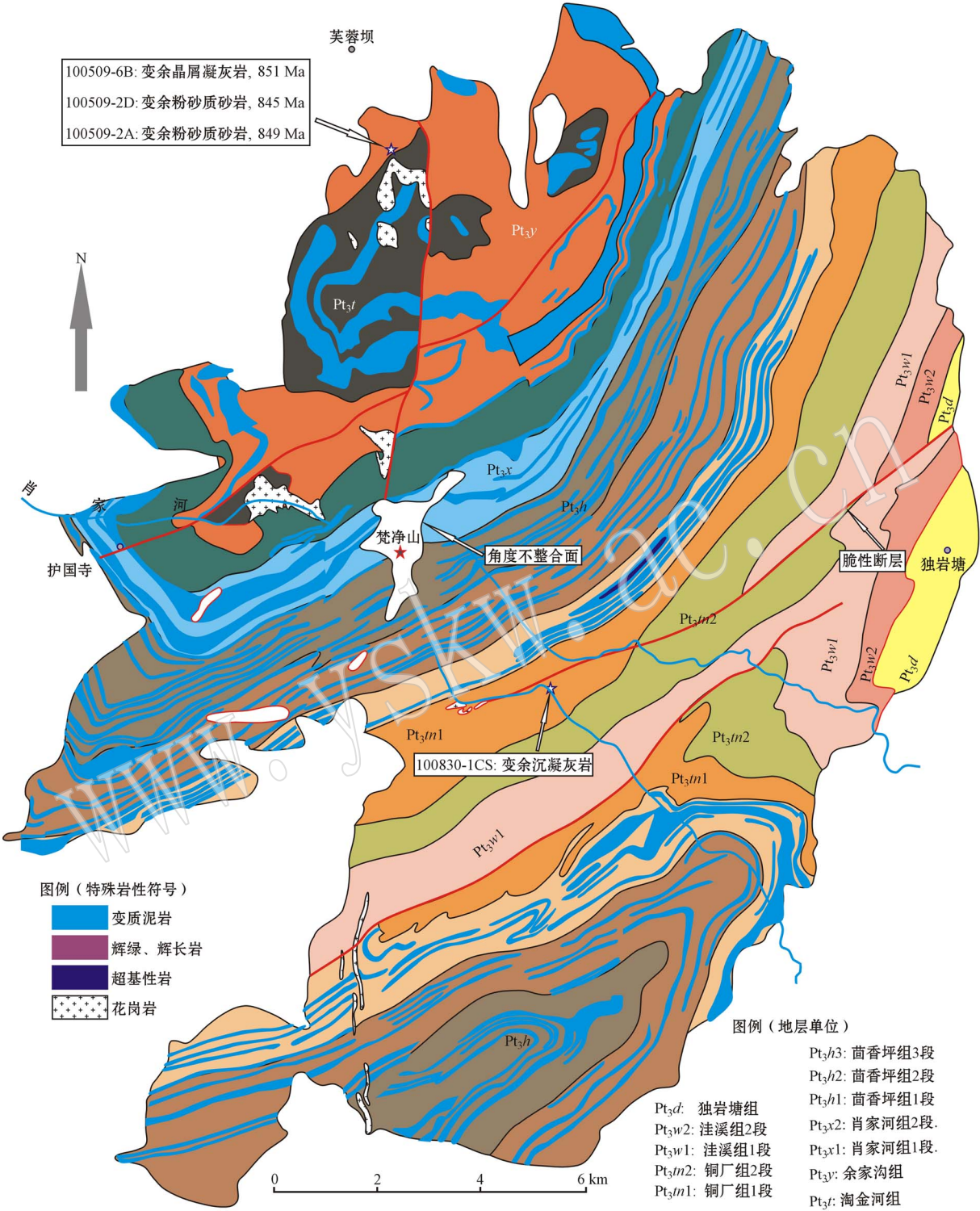


图 1 贵州梵净山地质简图, 示主要岩石组成、分布和取样位置

Fig. 1 Simplified geological map of Fanjingshan area in East Guizhou Province, showing main rock types and their spatial distribution as well as sampling locations

1.3 肖家河组

肖家河组分布在梵净山区西北部肖家河、牛风

包、大尖峰等地, 岩性组合以沉积变质岩为主, 夹 3~6 层变质层状超基性-基性岩。沉积变质岩有变质砂

岩、变质粉砂岩、砂质绢云板岩、粉砂质绢云板岩、绢云板岩及少量变质凝灰岩。变质砂岩、变质粉砂岩与板岩无定比互层,以板岩为主。颜色以灰、深灰色为主,以中薄层为主。变质超基性-基性岩层有辉绿岩、分异的辉绿岩-超基性岩、分异的辉绿岩-细碧岩等,个别的伴有变质角斑岩。

1.4 回香坪组

回香坪组是梵净山群中厚度最大、分布最广的一个组,其分布纵贯梵净山区中部的白云寺、回香坪、牛尾河一带及南部黑湾河、两岔河、大转弯、密麻树等地,面积约占梵净山群出露区的50%。岩性组合以变质火山岩为主,夹沉积变质岩。变质火山岩主要为细碧岩和辉绿岩,尚有细碧玢岩、辉长-辉绿岩、超基性岩(辉石橄榄岩、橄榄石岩及辉石岩),偶见火山角砾岩、集块岩及角斑岩。变质超基性岩仅见于层体内部,与基性岩呈分异过渡。分异完全的火山岩层自中心向上、下有辉石橄榄岩→橄榄辉石岩→辉石岩→辉长-辉绿岩→辉绿岩→细碧岩(细碧岩仅见于上部),单个熔岩层的厚度常达30~50 m,不乏>100 m者,最小的仅0.8 m。沉积变质岩主要为变质粉砂岩和板岩(粉砂质绢云板岩、绿泥绢云板岩、石英绢云板岩、绢云板岩、石英绿泥板岩、纳长英板岩等),其次为变质凝灰岩(包含变质石英角斑晶屑凝灰岩,变质火山灰凝灰岩),有少量变质砂岩及变质凝灰质砂岩,偶见变质硅质岩。

1.5 铜厂组

铜厂组分布于梵净山区中部原江口县铜厂至松桃县冷家坝一带,由变质砂岩、变质粉砂岩、变质凝灰质砂岩、粉砂质绢云板岩及绢云千枚岩等组成,变质砂、泥质岩不等比互层。

1.6 洼溪组

洼溪组分布在梵净山区中东部冷家坝、洼溪、大转弯一带,仅洼溪附近保存完整,按岩性组合分为两段:

第1段 浅灰色中厚层变质砂岩、变质粉砂岩、变质凝灰质细砂岩及石英角斑晶屑凝灰岩与浅灰、灰色薄至中厚层粉砂质绢云板岩、绢云板岩及千枚状绢云板岩无定比互层,以变质砂及粉砂级碎屑岩为主,类复理石式韵律发育。下部多变质凝灰质砂岩,顶为变质石英角斑凝灰岩。以颜色浅与下伏铜厂组划界,整合接触。本段变质砂岩及变质粉砂岩常含钙质团块,波痕及斜层理常见,下部岩层常含细砾。

第2段 浅灰、灰绿色薄层绢云板岩、粉砂质绢云板岩及千枚状绢云板岩夹同色中厚层变质粉砂岩。板岩具清晰的条纹-条带状水平层理,以其板岩为主体,颜色常绿及清晰的层理区分于上下地层。

1.7 独岩塘组

独岩塘组仅见于梵净山区东部江口县独岩塘附近,岩性组合为浅灰、灰色中厚层变质砂岩、变质粉砂岩与同色薄至中厚层粉砂质绢云板岩及绢云板岩互层。变质砂岩的成分较复杂,由岩屑、长石、石英、火山晶屑等构成,或可称为“硬砂岩”。变质砂岩、变质粉砂岩及板岩,常组成向上变细的韵律层或旋回,显示出复理石特征。偶见波痕。本组与下伏洼溪组整合,上被板溪群芙蓉坝组角度不整合覆盖。

淘金河组、余家沟组、肖家河组、回香坪组构成白云寺下亚群,总体显示正粒序,铜厂组、洼溪组、独岩塘组构成核桃坪上亚群,总体显示逆粒序。它们与相伴出现的大量火山岩,共同反映了一个火山沉积盆地完整演化过程。

2 取样层位

笔者取了4件样品开展锆石测年工作,具体位置、层位及岩性描述如下(图1):

样品100509-2A:变余粉砂质砂岩,采自梵净山区西北部桃树林北余家沟组,地理坐标 N 27° 59.104' E 108° 41.440' ;

样品100509-2D:变余粉砂质砂岩,采自梵净山区西北部桃树林北余家沟组,地理坐标 N 27° 59.481' E 108° 41.320' ;

样品100509-6B:变余晶屑凝灰岩,采自于梵净山区西北部桃树林北余家沟组,地理坐标 N 27° 59.585' E 108° 41.266' ;

样品100830-1C:变余沉凝灰岩,采自于梵净山区中部鱼坳铜厂组,地理坐标 N 27° 53.648' E 108° 43.274' 。

3 测试方法

样品锆石采用常规的重、磁选方法分选,在双目镜下手工挑纯,每件样品选择约300粒锆石制靶。随后将粘贴有锆石的样靶抛光至绝大部分锆石颗粒核部裸露。在测试前首先对待测锆石进行透射光、反射光以及阴极发光显微照相,以利于选定分析点

位。锆石的阴极发光图在北京离子探针中心、运用与 HITACH S-3000N 扫描电镜相连接的 Gatan Chroma 阴极发光仪完成。

锆石 U、Pb 含量及 U-Pb 比值的测定在中国地质科学院矿产资源研究所成矿过程国土资源部重点实验室完成。仪器型号 Finnigan Neptune multiple collector-inductively coupled plasma-mass spectrometer (MC-ICP-MS), 用 New Wave UP 213 激光熔样器熔样。激光束直径 $25\text{ }\mu\text{m}$, 激发频率 10 Hz , 平均激光能量 2.5 J/cm^2 。控制标样为 GJ-1 和 M127。具体分析流程参照侯可军等(2009)文章。分析信号的本底收集、信号积分、年龄时间偏移校正和标量校准使用 ICPMSDataCal 软件(Liu *et al.*, 2008)完成, 报告的 U-Pb 同位素分析误差为 1σ 。谐和图用 Isoplot/Ex-ver3 软件(Ludwig, 2003)完成, 用于年龄计算的 U 衰变常数为: $^{238}\text{U} = 1.55125 \times 10^{-10}/\text{a}$, $^{235}\text{U} =$

$$9.8454 \times 10^{-10}/\text{a}.$$

4 测试结果

4.1 锆石结构

这 4 件样品的锆石颗粒(图 2、图 3、图 4、图 5)普遍比较小($<200\text{ }\mu\text{m}$), 以短柱状为主, 长宽比小于 2, 少量长柱状(长宽比 >3), 自形程度较高。4 件样品锆石的阴极发光特点很相似, 根据其内部结构可将锆石划分成 3 类: ① 发育清晰震荡环带的锆石。这类锆石晶形较好, 往往呈短柱状, 环带平直, 转弯处尖棱, 相邻环带间过渡柔和, 典型者如图 2 中的点 4、8、10、13、20, 图 3 中的点 1、4、5、7、11、15、23、27, 图 4 中的点 2、7、8, 图 5 中的点 20、21、31、33 等。这类锆石为缓慢结晶而成, 属于基性岩中常见类型, 表明岩石中锆含量较低; ② 不发育环带的锆石。在 CL 图

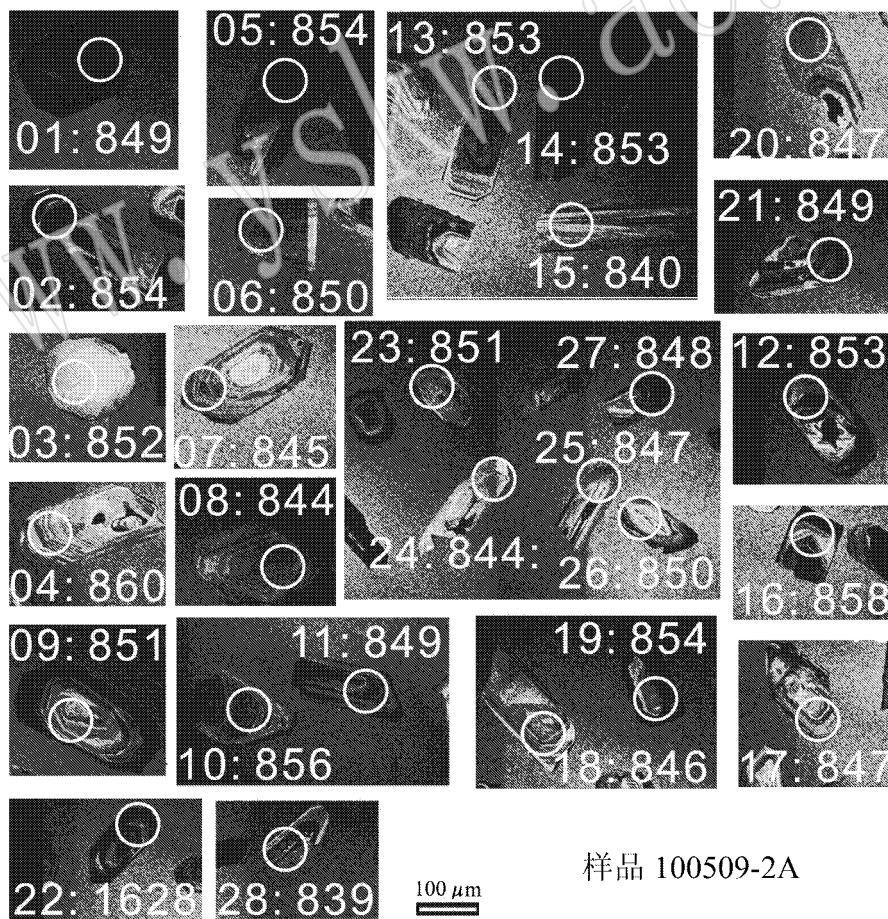


图 2 样品 100509-2A(变余粉砂质砂岩) 锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of analyzed zircons from the fine sandstone sample(100509-2A), where numbers , locations , and resultant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of data points are labeled

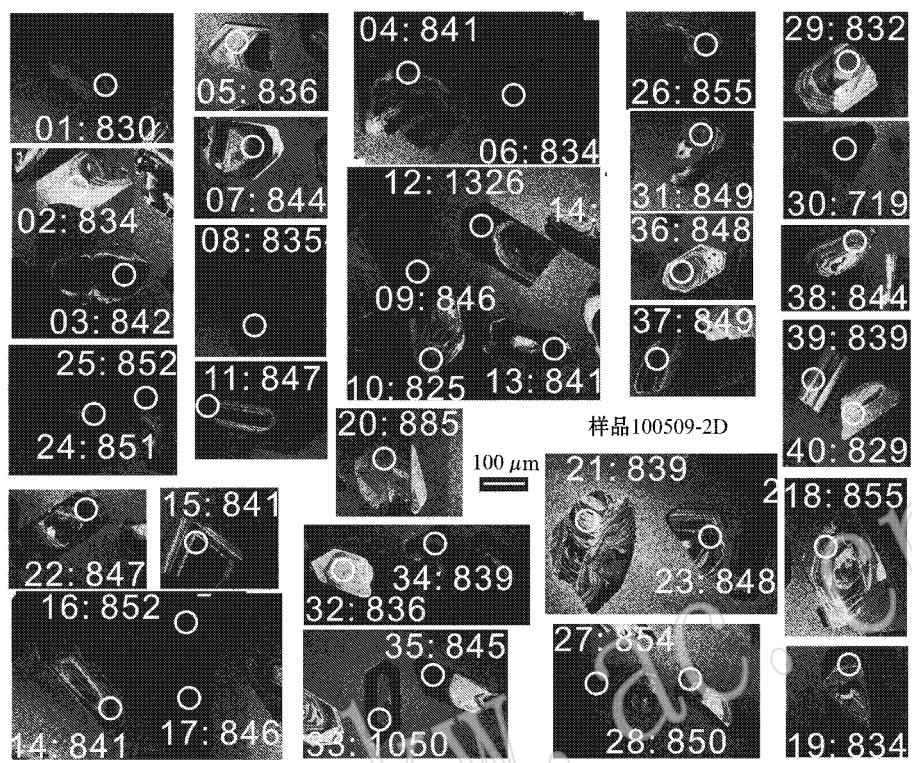


图 3 样品 100509-2D 变余粉砂质砂岩 锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence images of analyzed zircons from the sandstone sample(100509-2D), where numbers , locations , and resultant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of data points are labeled

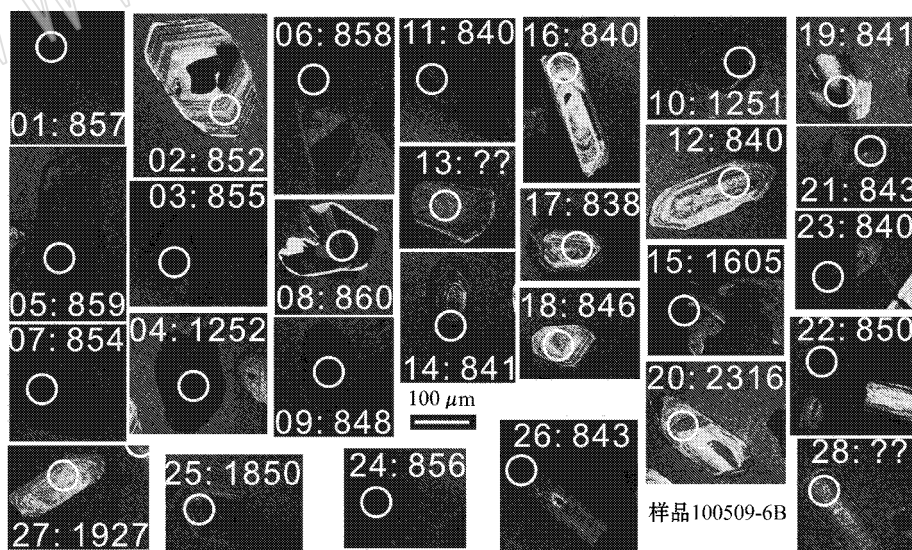


图 4 样品 100509-6B 变余晶屑凝灰岩 锆石阴极发光图像

Fig. 4 Cathodoluminescence images of analyzed zircons from the tuff sample(100509-6B), where numbers , locations , and resultant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of data points are labeled

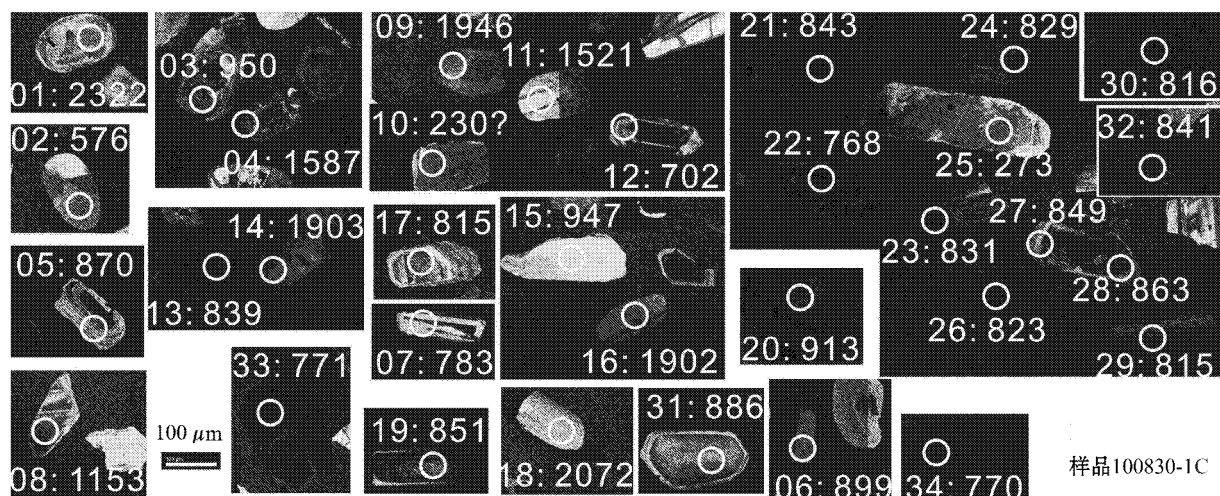


图 5 样品 100830-1C 锆石(变余沉凝灰岩)阴极发光图像

Fig. 5 Cathodoluminescence images of analyzed zircons from the volcaniclastic sample(100830-1C), where numbers, locations, and resultant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of data points are labeled

像中比较明亮、均匀,典型者如图 4 中的点 27,图 5 中的 15、18 号等;③具有不均匀阴极发光特点的锆石,仅见于凝灰岩样品 100830-1C 中,其阴极发光图像色调较浅,如图 5 中的点 2、10、23 等,这类锆石显然是后期热液活动改造的结果。

4.2 U-Pb 同位素测年分析结果

锆石样品分析点位置见图 2、3、4、5, U-Pb 同位素分析数据见表 1。

样品 100509-2A(图 2)共分析了 28 粒锆石,除了 22 号点谐和度 < 95% 之外,获得 27 个有效分析点数据(表 1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄集中在 839~860 Ma 之间(图 6a),这 27 个点的加权平均年龄为 849 ± 3.4 Ma(MSWD=8.9)。

样品 100509-2D 共分析了 40 个锆石颗粒,获得 40 个分析数据。除了点 12、33 外,其它点的谐和度均大于 95%,其中 35 个岩浆锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在比较小的范围内,其加权平均年龄为 845.4 ± 2.4 Ma(MSWD=1.18)(图 6b)。

样品 100509-6B 共分析了 28 颗锆石颗粒,获得 28 个有效数据。其中 6 个点位于环带不发育的浑圆锆石内部,获得大于 1.2 Ga 的年龄值;还有 2 个点位于受后期流体改造的锆石中,获得比较小的年龄值;其余 20 个点的年龄值在一个比较小的范围内(图 6c),加权平均年龄为 851.3 ± 4.0 Ma(MSWD=

1.5)。该值代表火山活动时间。

样品 100830-1C 共分析了 34 颗锆石颗粒,获得 34 个有效数据。其中 5 个点谐和度小于 95%,7 个分析点位于环带不发育的浑圆锆石内部,获得大于 1.1 Ga 的年龄值;还有 8 个分析点位于受后期流体改造的锆石中,获得比较小的年龄值;其余 11 个分析点的年龄值在一个比较小的范围内,加权平均年龄为 832.0 ± 8.5 Ma(MSWD=6.5)(图 6d)。该平均年龄的 MSWD 值大于 1.0,误差较大,难以精确限定火山活动时间。

5 讨论 梵净山群沉积时限及区域意义

梵净山区的前南华系中几乎没有发现过古生物化石,以往基本上是根据不同地层间的构造关系将梵净山群地层归于中元古界(贵州省革命委员会地质局,1974)^①。目前虽然已有较多高质量数据,但其形成时代仍存在争议,如周金城等(Zhou *et al.*, 2009)认为梵净山群地层形成于 870~800 Ma 之间,与弧火山活动同时;而王丽娟等(Wang *et al.*, 2010)提出梵净山群沉积时代为 800 Ma。

Zhou 等(2009)完成了 4 件沉积岩碎屑锆石的 U-Pb 同位素分析,发现样品中最年轻的一群岩浆锆石具有大致相同的平均年龄:874~869 Ma。显然,该

① 贵州省革命委员会地质局. 1974. 中华人民共和国贵州省梵净山区 1/5 万区域地质调查报告及地质图.

表 1 梵净山群砂岩、凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of Fanjingshan Group volcaniclastic rocks and tuff

序 号	Total Pb	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		同位素比值				同位素年龄/Ma				谐和度								
		^{232}Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ							
样品 100509-2A 变余粉砂质砂岩																				
01	49.383 43	201.192 73	341.591 86	0.003 64	1.386 42	0.166 23	0.140 83	0.014 76	0.019 80	0.001 63	1.00	962.65	105.56	883.18	83.40	396.31	32.25	96%		
02	39.909 63	116.382 71	363.313 95	0.008 08	1.328 97	0.024 32	0.141 61	0.002 45	0.023 34	0.001 24	0.50	872.22	23.15	858.43	10.60	853.74	13.82	466.43	24.49	99%
03	32.311 69	127.134 01	232.741 61	0.067 59	1.316 25	0.045 20	0.141 37	0.004 94	0.022 63	0.001 19	0.85	857.40	39.82	852.87	19.82	852.39	27.90	453.42	23.56	99%
04	32.323 96	119.783 89	261.027 70	0.067 50	1.335 33	0.023 97	0.142 66	0.001 74	0.022 90	0.001 04	0.72	853.70	11.112	861.20	10.42	859.70	9.79	457.57	20.60	99%
05	49.327 03	185.896 80	362.747 31	0.068 37	1.335 27	0.056 94	0.141 58	0.005 71	0.023 03	0.001 08	0.80	879.63	22.22	861.18	24.76	853.57	32.25	460.14	21.43	99%
06	25.546 44	24.607 44	349.034 10	0.067 67	1.315 40	0.021 77	0.140 90	0.001 91	0.022 36	0.002 14	0.11	857.40	14.812	852.50	9.55	849.77	10.81	446.88	42.25	99%
07	37.492 38	106.973 75	361.838 01	0.067 99	1.313 43	0.013 15	0.140 10	0.001 32	0.022 32	0.001 09	0.46	877.77	11.11	851.63	5.77	845.21	7.47	446.08	21.46	99%
08	20.461 15	49.647 91	220.721 72	0.068 50	1.322 54	0.030 10	0.139 96	0.001 36	0.021 00	0.001 13	0.35	883.33	26.70	855.62	13.16	844.41	7.72	419.99	22.36	98%
09	23.120 99	97.497 91	157.901 94	0.066 48	1.291 93	0.015 60	0.141 09	0.001 25	0.023 72	0.001 44	0.94	820.37	-179.78	842.15	6.91	850.81	7.08	473.89	28.46	98%
10	43.515 64	150.505 50	384.391 98	0.068 47	1.339 90	0.035 50	0.141 94	0.003 39	0.023 17	0.001 63	0.60	883.33	11.11	863.18	15.41	855.64	19.12	462.89	33.23	99%
11	40.229 59	137.156 29	353.051 16	0.067 86	1.314 11	0.018 45	0.140 78	0.002 05	0.023 75	0.001 19	0.60	864.81	14.81	851.93	8.10	849.04	11.56	474.44	23.44	99%
12	35.475 61	161.306 88	226.757 95	0.089 12	1.317 23	0.048 16	0.141 39	0.004 38	0.030 40	0.005 91	1.14	1406.48	292.58	853.30	21.11	852.51	24.74	605.37	115.91	99%
13	35.383 59	121.533 54	319.742 74	0.067 99	1.318 80	0.018 16	0.141 43	0.002 56	0.023 19	0.001 65	0.56	877.77	16.51	853.99	7.95	852.74	14.43	463.28	32.52	99%
14	32.993 47	41.613 81	447.165 79	0.070 37	1.366 79	0.031 59	0.141 40	0.004 34	0.020 84	0.001 73	0.14	938.88	29.62	874.79	13.55	852.56	24.54	416.85	34.29	97%
15	49.018 07	219.361 31	330.026 09	0.067 19	1.288 77	0.005 97	0.139 20	0.000 56	0.021 30	0.000 92	1.01	842.59	9.26	840.75	2.65	840.14	3.16	425.93	18.23	99%
16	45.035 09	147.696 52	423.964 25	0.069 58	1.365 15	0.022 46	0.142 32	0.002 44	0.019 87	0.001 21	0.54	916.66	13.73	874.08	9.64	857.74	13.76	397.67	23.90	98%
17	14.678 61	53.275 29	114.161 52	0.068 29	1.315 51	0.029 28	0.140 44	0.004 89	0.023 19	0.001 20	0.71	877.47	111.88	852.54	12.84	847.15	27.65	463.32	23.67	99%
18	26.090 20	74.434 90	273.991 43	0.066 64	1.289 00	0.038 58	0.140 22	0.003 86	0.020 65	0.001 91	0.41	827.77	13.73	840.85	17.12	845.88	21.82	413.10	37.77	99%
19	49.584 87	238.936 69	296.782 79	0.067 79	1.322 29	0.009 09	0.141 60	0.001 99	0.021 56	0.001 08	1.22	861.10	9.25	855.51	3.97	853.69	6.17	431.19	21.46	99%
20	53.654 73	197.818 97	454.497 17	0.068 49	1.326 97	0.019 98	0.140 44	0.001 67	0.021 55	0.001 04	0.67	883.33	10.18	857.56	8.72	847.14	9.45	430.89	20.62	98%
21	70.159 52	348.572 79	416.563 99	0.068 99	1.339 08	0.018 83	0.140 77	0.001 84	0.021 19	0.000 90	1.28	898.15	18.52	862.83	8.18	849.01	10.42	423.85	17.89	98%
22	139.865 84	538.013 97	1283.426 13	0.100 15	1.353 13	0.009 99	0.098 63	0.001 14	0.022 43	0.000 90	0.65	1627.77	28.08	868.91	4.31	606.38	6.70	448.38	17.80	64%
23	11.998 25	33.477 77	122.056 27	0.069 79	1.313 86	0.053 99	0.141 15	0.003 11	0.033 31	0.006 67	0.44	924.07	86.11	851.82	23.70	851.17	17.56	662.23	130.42	99%
24	16.298 08	55.618 45	143.783 83	0.066 55	1.280 36	0.035 27	0.139 86	0.004 54	0.023 47	0.001 98	0.60	833.33	49.22	837.01	15.71	843.88	25.65	468.99	39.13	99%
25	29.373 58	115.130 94	227.421 91	0.067 14	1.298 34	0.025 79	0.140 38	0.002 26	0.023 34	0.001 08	0.79	842.59	37.03	844.99	11.40	846.80	12.78	466.34	21.27	99%
26	46.345 44	206.857 25	296.339 91	0.067 30	1.307 27	0.063 68	0.140 95	0.006 99	0.023 75	0.001 00	1.09	855.55	51.85	848.93	28.03	850.05	39.50	474.34	19.66	99%
27	57.263 70	198.850 54	481.533 12	0.069 80	1.353 32	0.012 01	0.140 60	0.000 99	0.024 26	0.001 08	0.65	924.07	4.63	868.99	5.18	848.08	5.59	484.46	21.26	97%
28	91.868 45	382.419 39	518.848 36	0.070 79	1.357 23	0.046 76	0.139 00	0.001 65	0.027 58	0.001 27	1.16	951.54	46.29	870.68	20.15	839.01	9.34	550.00	24.96	96%
样品 100509-2D 变余粉砂质砂岩																				
01	25.430 69	45.901 55	299.992 62	0.067 01	1.268 13	0.059 67	0.137 45	0.005 95	0.029 41	0.002 77	4.4	838.89	21.14	831.55	26.72	830.23	33.70	585.77	54.44	99%
02	27.359 90	94.017 72	237.238 97	0.067 03	1.267 36	0.032 96	0.137 61	0.004 08	0.028 11	0.001 73	1.7	838.89	31.48	831.21	14.76	831.16	23.12	560.42	33.92	99%
03	30.786 16	100.544 70	291.278 80	0.069 19	1.327 72	0.105 91	0.139 53	0.010 87	0.025 93	0.001 73	1.9	905.56	49.23	857.89	46.23	842.02	61.47	517.34	34.01	98%
04	32.411 34	94.835 65	355.565 71	0.067 88	1.294 64	0.066 99	0.139 37	0.007 221	0.027 15	0.001 43	2.5	864.81	34.11	843.35	29.65	841.11	40.81	541.43	28.22	99%
05	28.167 77	104.279 31	255.669 29	0.067 34	1.282 07	0.027 01	0.138 40	0.002 61	0.028 14	0.001 20	1.6	850.00	12.19	835.78	12.02	835.59	14.81	560.90	29.46	99%
06	42.641 36	169.461 12	360.802 74	0.067 15	0.000 59	1.275 89	0.138 12	0.001 97	0.026 21	0.001 50	1.4	842.59	13.89	835.02	10.08	834.03	11.15	522.85	23.58	99%
07	54.706 65	238.900 99	417.614 94	0.067 95	0.000 51	1.308 03	0.139 81	0.003 13	0.025 87	0.001 25	1.2	877.78	15.90	849.26	15.67	843.57	17.70	516.15	24.68	99%
08	51.483 32	231.788 30	412.108 72	0.068 18	0.001 59	1.290 20	0.138 28	0.007 12	0.023 43	0.001 29	1.2	873.76	44.29	841.39	25.91	834.95	40.30	468.19	25.47	99%

续表 1-1
Continued Table 1-1 and tuff

序 号	W _{Pb} /10 ⁻⁶						同位素比值										同位素年龄/Ma				谐 和 度
	Total Pb	232Th	207Pb/206Pb	σ	207Pb/235U	1σ	206Pb/238U	1σ	206Pb/232Th	1σ	232Th/238U	1σ	207Pb/206Pb	1σ	207Pb/235U	1σ	206Pb/238U	1σ	208Pb/232Th	1σ	
09	39.112 58	144.581 34	393.888 23	0.068 46	0.000 74	1.317 99	0.042 53	0.140 32	0.004 79	0.028 39	0.002 02	1.9	883.33	22.23	853.63	18.63	846.45	27.07	565.87	39.77	99%
10	31.280 28	141.754 20	265.628 47	0.066 82	0.000 64	1.258 16	0.054 90	0.136 57	0.005 64	0.023 83	0.001 44	1.2	831.48	20.37	827.08	24.69	825.25	32.01	476.08	28.50	99%
11	36.733 25	115.585 80	407.107 51	0.068 28	0.001 30	1.318 44	0.055 19	0.140 40	0.005 81	0.025 32	0.001 61	2.1	875.93	38.89	853.83	24.17	846.91	32.87	505.35	31.72	99%
12	77.112 21	214.223 14	1162.481 66	0.085 45	0.000 52	1.167 77	0.007 14	0.099 15	0.001 15	0.023 84	0.001 19	3.2	1325.61	12.50	785.60	3.34	609.42	6.74	476.23	23.58	74%
13	47.089 58	204.553 16	400.559 34	0.069 66	0.000 96	1.338 87	0.016 79	0.139 44	0.000 46	0.024 11	0.001 28	1.1	918.21	23.15	862.74	7.29	841.51	2.59	481.60	25.30	97%
14	31.418 10	110.817 30	320.337 45	0.068 01	0.000 40	1.305 78	0.015 63	0.139 33	0.001 51	0.025 13	0.001 20	1.5	877.78	11.89	848.27	6.88	840.88	8.53	501.67	23.73	99%
15	39.329 61	174.494 75	325.239 99	0.067 43	0.000 45	1.294 28	0.021 94	0.139 28	0.002 20	0.024 60	0.001 19	0.9	850.00	14.05	843.19	9.71	840.61	12.46	491.29	23.51	99%
16	17.134 12	81.638 43	162.560 97	0.067 46	0.000 61	1.314 27	0.036 33	0.141 29	0.003 08	0.019 72	0.001 19	0.9	853.70	19.60	852.00	15.94	851.96	17.39	394.72	23.62	99%
17	38.772 62	153.124 64	370.348 89	0.068 03	0.000 30	1.315 08	0.011 43	0.140 29	0.001 17	0.023 71	0.001 19	1.1	877.78	9.26	852.36	5.01	846.31	6.62	473.64	23.51	99%
18	5.406 65	13.063 27	70.188 48	0.067 38	0.000 99	1.319 52	0.029 24	0.141 91	0.001 84	0.030 81	0.005 66	2.6	850.00	29.63	854.30	12.80	855.43	10.40	613.29	110.97	99%
19	36.395 51	156.131 24	320.389 80	0.066 93	0.000 27	1.274 07	0.006 95	0.138 04	0.000 56	0.024 01	0.001 39	0.8	835.18	7.41	834.21	3.10	833.59	3.16	479.61	27.53	99%
20	19.673 60	90.505 72	128.624 02	0.068 89	0.000 57	1.397 45	0.012 37	0.147 13	0.000 66	0.025 27	0.001 62	0.5	894.45	21.30	887.86	5.24	884.88	3.71	504.46	32.00	99%
21	23.677 03	60.512 10	318.668 01	0.067 04	0.000 31	1.283 64	0.013 64	0.138 96	0.001 52	0.023 35	0.001 52	2.1	838.89	10.34	838.47	6.06	838.79	8.62	466.48	30.03	99%
22	31.169 57	353.971 44	344.924 19	0.067 62	0.001 28	1.307 21	0.041 26	0.140 49	0.005 60	0.007 40	0.001 10	0.4	857.40	39.66	848.90	18.16	847.42	31.63	149.08	22.13	99%
23	64.448 05	346.105 94	392.706 12	0.067 75	0.000 27	1.312 54	0.005 32	0.140 57	0.000 60	0.023 04	0.001 17	0.5	861.11	12.04	851.24	2.34	847.87	3.37	460.50	23.07	99%
24	36.997 86	129.335 19	392.368 65	0.067 62	0.000 24	1.316 10	0.006 36	0.141 15	0.000 55	0.022 60	0.001 09	1.3	857.40	7.41	852.80	2.79	851.17	3.12	451.73	21.56	99%
25	31.951 39	78.678 30	409.294 35	0.068 24	0.000 20	1.328 61	0.005 38	0.141 24	0.000 56	0.022 81	0.001 07	2.4	875.93	6.64	858.28	2.34	851.64	3.15	455.84	21.09	99%
26	53.543 91	238.544 54	427.390 61	0.068 53	0.000 39	1.340 35	0.008 55	0.141 86	0.000 86	0.022 85	0.001 02	0.9	884.87	11.89	863.38	3.71	855.18	4.86	456.65	20.24	99%
27	53.828 34	247.773 33	427.564 61	0.068 38	0.000 30	1.336 10	0.008 30	0.141 70	0.000 78	0.022 09	0.000 99	0.9	879.63	13.89	861.54	3.61	854.25	4.40	441.55	19.59	99%
28	24.682 58	99.167 45	254.777 48	0.067 02	0.001 35	1.302 85	0.043 82	0.140 94	0.003 63	0.019 92	0.001 25	1.3	838.89	41.82	846.98	19.32	849.95	20.53	398.66	24.73	99%
29	36.244 59	215.866 31	191.874 66	0.064 92	0.000 24	1.233 92	0.004 57	0.137 82	0.000 37	0.020 24	0.001 13	0.5	772.23	12.04	816.12	2.08	832.33	2.10	404.93	22.39	98%
30	24.344 31	52.256 62	439.212 63	0.063 34	0.001 06	1.028 35	0.096 21	0.117 96	0.011 50	0.018 92	0.002 02	4.7	720.38	35.18	718.10	48.20	718.82	66.31	378.81	40.12	99%
31	45.189 48	247.602 20	300.568 97	0.066 78	0.001 24	1.296 56	0.031 96	0.140 72	0.001 76	0.020 42	0.001 12	0.7	831.48	43.52	844.20	14.13	848.76	9.94	408.62	22.18	99%
32	8.966 81	37.966 71	76.002 99	0.067 38	0.001 69	1.281 44	0.045 72	0.138 52	0.007 51	0.022 54	0.004 00	1.2	850.00	51.85	837.50	20.35	836.27	42.51	450.46	79.11	99%
33	60.327 64	233.938 90	645.990 02	0.074 31	0.000 61	1.295 38	0.014 73	0.126 40	0.001 22	0.020 80	0.000 98	1.7	1050.01	16.67	843.68	6.52	767.32	6.97	416.09	19.48	90%
34	40.505 45	188.351 57	339.701 71	0.067 38	0.000 57	1.292 82	0.027 31	0.139 07	0.002 38	0.021 03	0.001 00	1.1	850.00	23.15	842.55	12.10	839.42	13.45	420.63	19.88	99%
35	35.817 06	128.552 16	377.682 10	0.069 49	0.000 91	1.334 29	0.070 21	0.139 97	0.008 58	0.022 85	0.001 27	1.8	922.22	25.93	860.75	30.55	844.49	48.50	456.72	25.02	98%
36	37.182 22	164.753 12	272.752 76	0.068 03	0.000 80	1.317 47	0.037 40	0.140 57	0.004 81	0.023 24	0.001 14	1.0	877.78	19.45	853.41	16.39	847.90	27.21	464.39	22.57	99%
37	52.881 57	228.217 17	431.890 43	0.069 68	0.000 34	1.352 58	0.017 99	0.140 75	0.002 08	0.022 84	0.001 09	1.2	920.37	9.72	868.67	7.76	848.90	11.76	456.54	21.61	97%
38	40.102 45	173.429 61	349.797 59	0.067 47	0.000 24	1.300 87	0.006 18	0.139 85	0.000 62	0.022 10	0.001 04	1.3	853.70	2.78	846.11	2.73	843.81	3.49	441.82	20.49	99%
39	16.082 17	83.959 64	124.865 76	0.066 28	0.000 96	1.270 89	0.041 25	0.138 96	0.003 34	0.020 12	0.002 34	1.0	816.67	36.11	832.79	18.45	838.80	18.88	402.73	46.34	99%
40	15.728 82	69.853 12	119.990 51	0.068 04	0.000 22	1.287 53	0.014 22	0.137 17	0.001 88	0.021 85	0.001 89	1.1	870.05	5.56	840.20	6.31	828.66	10.63	436.84	37.38	98%

续表 1-2
Continued Table 1-2

序 号	W _B /10 ⁻⁶				同位素比值										同位素年龄/Ma				谐 和 度					
	Total Pb	232Th	238U	207Pb/206Pb	σ	207Pb/235U		1σ	206Pb/238U		1σ	208Pb/232Th		1σ	207Pb/235U		1σ	206Pb/238U		1σ	208Pb/232Th		1σ	
样品 100509-6B 变余晶屑凝灰岩																								
01	31.094 32	84.873 82	322.66253	0.068 16	0.000 50	1.333 70	0.026 10	0.142 16	0.002 99	0.018 53	0.001 13	1.87	873.76	15.59	860.49	11.36	856.88	16.85	371.02	22.34	99%			
02	46.540 24	216.735 08	276.460 04	0.067 41	0.000 34	1.312 84	0.008 19	0.141 29	0.000 66	0.018 99	0.000 81	0.63	850.00	11.11	851.37	3.60	851.94	3.73	380.20	16.12	99%			
03	55.861 70	196.721 54	424.385 14	0.067 68	0.000 54	1.323 56	0.023 17	0.141 83	0.001 91	0.021 15	0.000 91	1.07	858.94	16.67	856.07	10.12	855.00	10.79	422.94	18.11	99%			
04	53.315 80	122.810 15	326.013 70	0.082 24	0.001 17	2.300 32	0.070 08	0.204 82	0.006 82	0.031 72	0.002 40	1.37	1251.54	23.15	1212.39	21.57	1201.14	36.47	631.18	47.06	99%			
05	51.145 89	186.193 80	399.012 99	0.069 70	0.001 30	1.368 12	0.032 40	0.142 54	0.003 30	0.020 60	0.001 08	1.12	920.37	42.75	875.36	13.89	859.00	18.62	412.20	21.42	98%			
06	43.075 00	145.548 27	358.598 41	0.067 80	0.000 39	1.329 67	0.010 28	0.142 30	0.000 89	0.021 28	0.000 99	1.30	862.65	12.97	858.73	4.48	857.63	5.01	425.62	19.68	99%			
07	46.594 65	128.557 93	426.959 05	0.069 24	0.000 31	1.352 26	0.008 74	0.141 68	0.000 74	0.023 34	0.001 11	1.79	905.56	9.26	868.53	3.77	854.18	4.20	466.39	21.94	98%			
08	38.575 55	167.472 06	248.204 96	0.067 74	0.000 43	1.334 18	0.017 33	0.142 67	0.001 24	0.025 63	0.002 31	1.39	861.11	9.11	860.70	7.54	859.76	6.98	511.55	45.56	99%			
09	23.925 07	22.814 27	344.435 86	0.067 27	0.000 63	1.305 60	0.047 25	0.140 60	0.004 62	0.028 98	0.004 27	8.45	855.55	18.52	848.19	20.81	848.05	26.11	577.52	83.83	99%			
10	20.205 34	23.383 08	161.760 32	0.082 23	0.001 27	2.360 85	0.466 89	0.208 45	0.042 18	0.028 74	0.008 70	4.01	1250.92	30.40	1230.84	141.98	1220.53	225.08	572.69	171.00	99%			
11	26.815 83	89.263 58	232.780 13	0.066 93	0.000 78	1.282 87	0.009 09	0.139 09	0.002 47	0.022 42	0.001 99	1.39	835.18	25.15	838.13	4.04	839.52	13.96	448.11	39.34	99%			
12	15.967 80	46.139 09	132.282 90	0.067 94	0.002 79	1.305 83	0.107 54	0.139 13	0.005 78	0.026 90	0.002 83	1.50	877.78	80.55	848.29	47.39	839.77	32.71	536.48	55.80	98%			
13	2.542 23	39.345 12	76.691 35	0.051 35	0.000 75	0.256 53	0.003 58	0.036 46	0.000 31	0.008 35	0.000 65	1.01	257.47	33.33	231.87	2.89	230.84	1.91	168.15	12.96	99%			
14	44.545 97	161.501 96	400.418 79	0.067 05	0.000 60	1.289 01	0.020 04	0.139 42	0.003 39	0.019 30	0.002 29	1.24	838.89	18.52	840.86	8.89	841.38	19.15	386.47	45.37	99%			
15	51.247 60	87.921 23	200.027 09	0.099 04	0.000 71	3.669 20	0.036 31	0.268 73	0.002 48	0.038 67	0.002 48	1.12	1605.87	12.96	1564.69	7.90	1534.35	12.62	766.79	48.21	98%			
16	5.905 20	18.485 72	53.243 47	0.066 91	0.001 72	1.283 52	0.038 83	0.139 22	0.003 16	0.021 01	0.003 98	1.43	835.18	49.07	838.42	17.27	840.27	17.88	420.18	78.72	99%			
17	29.593 17	91.575 20	294.905 13	0.067 82	0.000 67	1.287 02	0.018 64	0.138 87	0.001 76	0.021 71	0.002 53	1.46	864.81	20.37	839.98	8.27	838.29	9.94	434.05	46.03	99%			
18	5.579 83	21.194 50	48.409 60	0.068 34	0.001 07	1.317 24	0.024 55	0.140 26	0.002 30	0.022 08	0.002 75	1.06	879.63	27.63	853.31	10.76	846.13	13.02	441.39	54.29	99%			
19	62.761 47	350.903 04	297.699 18	0.067 27	0.000 81	1.292 36	0.017 35	0.139 34	0.001 57	0.019 15	0.001 53	0.40	855.55	25.92	842.35	7.68	840.95	8.89	383.33	30.35	99%			
20	60.737 49	76.682 93	114.036 42	0.147 43	0.000 88	8.520 04	0.148 09	0.418 88	0.006 40	0.052 36	0.003 83	0.71	2316.36	10.96	2288.06	15.80	2255.38	29.07	1031.54	73.63	98%			
21	36.231 65	141.021 67	290.408 27	0.067 14	0.000 65	1.293 90	0.026 72	0.139 66	0.002 34	0.019 61	0.001 34	1.02	842.59	20.37	843.03	11.83	842.72	13.25	392.44	26.64	99%			
22	54.484 25	203.443 52	438.007 82	0.069 29	0.001 06	1.348 46	0.066 09	0.140 97	0.005 21	0.018 87	0.001 46	1.08	909.26	31.48	866.90	28.58	850.14	29.44	397.71	28.97	98%			
23	45.749 00	196.898 55	345.663 02	0.067 45	0.001 01	1.293 72	0.031 33	0.139 13	0.003 10	0.018 81	0.001 25	0.89	851.54	31.48	842.94	13.87	839.75	17.55	376.69	24.71	99%			
24	62.527 21	230.134 15	492.345 47	0.070 37	0.000 95	1.378 56	0.039 28	0.142 00	0.003 11	0.020 15	0.001 06	1.11	938.59	22.06	879.83	16.77	855.95	17.58	403.23	20.92	97%			
25	69.570 95	101.984 66	220.629 58	0.113 12	0.002 95	4.98 824	0.237 85	0.322 19	0.019 17	0.041 17	0.002 60	1.14	1 850.31	48.00	1 817.33	40.35	1 800.43	93.46	815.48	50.48	99%			
26	46.703 96	175.503 65	354.141 84	0.066 78	0.000 56	1.285 94	0.019 90	0.139 68	0.001 97	0.021 28	0.001 07	1.09	831.48	17.43	839.50	8.84	842.83	11.16	425.53	21.26	99%			
27	55.704 41	100.352 67	109.055 79	0.118 11	0.000 98	5.591 80	0.118 76	0.343 52	0.007 40	0.048 76	0.002 40	0.59	1 927.48	14.82	1 914.84	18.30	1 903.56	35.51	962.24	46.25	99%			
28	1.984 04	25.875 87	45.581 87	0.053 02	0.001 01	0.310 95	0.006 02	0.042 85	0.000 52	0.011 25	0.000 94	1.03	331.54	42.59	274.92	4.66	270.44	3.24	26.21	18.74	98%			
样品 100830-1C 变余凝灰岩																								
01	75.049 66	97.829 21	122.128 57	0.147 02	0.000 74	8.733 30	0.090 05	0.430 81	0.004 07	0.072 38	0.003 35	1.25	2 322.23	8.65	2 310.56	9.39	2 309.38	18.34	1 412.36	63.17	99%			
02	6.887 25	61.335 90	49.605 73	0.148 88	0.047 33	0.768 24	0.036 06	0.093 39	0.003 42	0.044 28	0.011 80	1.64	2 333.03	570.53	578.75	20.71	575.56	20.17	875.74	228.45	99%			
03	63.515 58	249.810 81	247.678 18	0.070 71	0.000 41	1.834 96	0.017 40	0.188 27	0.001 66	0.033 05	0.001 35	1.56	950.00	11.11	1 058.06	6.23	1 112.02	9.01	657.17	26.33	95%			
04	80.852 12	194.802 63	226.912 79	0.098 00	0.001 88	3.638 12	0.126 06	0.272 60	0.011 61	0.046 59	0.001 91	1.31	1 587.04	35.80	1 557.91	27.60	1 553.98	58.80	920.33	36.90	99%			
05	36.727 61	98.932 04	155.666 06	0.061 54	0.005 03	1.227 97	0.119 43	0.144 51	0.002 29	0.024 75	0.001 29	0.98	657.42	180.53	813.41	54.48	870.11	12.88	494.14	25.50	93%			
06	41.273 83	183.009 91	237.244 24	0.065 08	0.001 55	1.343 54	0.011 61	0.149 74	0.002 36	0.027 87	0.002 12	1.90	775.93	50.00	864.76	5.03	899.50	13.24	555.63	41.73	96%			
07	32.762 69	186.014 69	212.398 95	0.059 18	0.000 72	1.053 42	0.020 15	0.129 13	0.002 54	0.023 91	0.000 96	1.34	572.26	32.40	730.58	9.97	782.90	14.49	477.55	18.95	93%			

续表 1-3
Continued Table 1-3

序 号	W _P /10 ⁻⁶						同位素比值						同位素年龄/Ma						谐 和 度		
	Total Pb	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	1σ	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	
08	44.572 25	95.544 07	256.336 19	0.078 22	0.001 90	2.119 05	0.026 23	0.196 63	0.003 48	0.035 13	0.002 48	0.57	1 153.71	48.15	1 155.03	8.54	1 157.20	18.72	717.32	48.29	99%
09	112.296 91	211.928 66	197.325 41	0.119 25	0.001 18	5.447 91	0.074 52	0.331 37	0.006 98	0.062 60	0.002 42	1.64	1 946.30	17.44	1 892.43	11.74	1 845.00	33.82	1 227.27	46.07	97%
10	3.149 84	43.296 05	112.056 61	0.048 65	0.002 18	0.263 95	0.029 48	0.036 33	0.000 65	0.010 71	0.000 80	0.59	131.57	105.54	237.84	23.69	230.05	4.02	215.26	15.95	96%
11	9.995 04	1.086 81	27.645 19	0.094 52	0.002 28	4.148 48	0.142 06	0.318 53	0.010 10	0.019 99	0.010 81	0.05	1 520.37	46.30	1 663.91	28.03	1 782.55	49.38	13 184.80	6 661.30	93%
12	75.713 09	458.277 58	480.689 84	0.063 56	0.000 78	1.011 10	0.031 85	0.115 12	0.002 79	0.022 25	0.000 98	1.44	727.79	25.93	709.43	16.08	702.41	16.10	444.71	19.40	99%
13	48.691 92	153.914 20	452.246 73	0.070 01	0.000 54	1.343 58	0.025 94	0.139 08	0.002 24	0.025 08	0.001 15	0.54	927.78	10.96	864.78	11.24	839.45	12.67	500.68	22.62	97%
14	58.048 07	112.620 78	132.333 72	0.116 46	0.000 37	5.485 20	0.040 70	0.341 71	0.002 45	0.052 54	0.002 17	1.38	1 902.78	5.55	1 898.28	6.37	1 894.88	11.76	1 035.04	41.60	99%
15	5.556 06	33.111 86	24.012 64	0.069 07	0.003 21	1.544 55	0.121 62	0.158 32	0.004 12	0.047 04	0.016 74	2.09	901.85	-102.78	948.32	48.57	947.43	22.91	929.03	323.21	99%
16	49.532 41	90.898 87	115.138 14	0.116 45	0.000 70	5.493 99	0.056 95	0.342 47	0.003 21	0.049 43	0.002 02	2.09	1 902.16	10.80	1 899.66	8.91	1 898.52	15.41	975.26	38.82	99%
17	34.821 99	84.163 47	147.910 32	0.065 78	0.001 42	1.221 13	0.017 62	0.134 78	0.001 08	0.021 08	0.002 75	1	799.69	45.21	810.29	8.05	815.06	6.13	421.69	54.53	99%
18	48.606 62	68.641 60	108.638 44	0.128 01	0.000 43	6.561 83	0.034 26	0.372 28	0.001 97	0.051 66	0.002 07	1.13	2 072.22	5.86	2054.24	4.60	2040.13	9.26	1 018.07	39.75	99%
19	18.836 03	21.677 84	60.909 95	0.067 69	0.002 98	1.317 06	0.082 35	0.141 10	0.002 63	0.026 33	0.006 89	0.65	858.94	91.51	853.22	36.10	850.90	14.87	525.34	135.66	99%
20	3.342 66	11.471 82	27.414 12	0.068 60	0.003 08	1.438 46	0.070 76	0.152 17	0.003 52	0.018 59	0.005 45	0.77	887.04	92.60	905.08	29.47	913.10	19.72	372.26	108.19	99%
21	28.892 90	108.871 35	235.608 65	0.067 34	0.000 31	1.297 26	0.006 40	0.139 82	0.000 60	0.017 11	0.000 86	0.90	850.00	9.26	844.51	2.83	843.67	3.41	342.83	17.15	99%
22	38.189 92	87.687 56	478.130 35	0.072 76	0.000 70	1.269 43	0.010 05	0.126 61	0.001 35	0.013 45	0.000 90	0.57	1 007.10	20.37	832.13	4.50	768.49	7.72	269.96	18.01	92%
23	26.471 75	70.632 16	253.896 39	0.068 26	0.001 10	1.295 38	0.032 96	0.137 55	0.001 30	0.014 77	0.001 30	0.58	875.93	33.34	843.68	14.58	830.81	7.36	296.35	25.93	98%
24	47.281 46	280.290 06	185.778 86	0.066 40	0.000 53	1.257 04	0.010 39	0.137 32	0.000 87	0.013 15	0.000 85	3.18	820.37	-182.41	826.58	4.67	829.49	4.95	264.14	17.04	99%
25	1.361 72	12.905 06	27.718 27	0.052 68	0.001 33	0.310 16	0.008 10	0.043 25	0.000 53	0.012 55	0.001 42	0.94	322.28	57.40	274.31	6.28	272.92	3.25	252.11	28.27	99%
26	46.703 96	175.503 65	354.141 84	0.066 78	0.000 56	1.285 94	0.019 90	0.139 68	0.001 97	0.021 28	0.001 07	1.09	831.48	17.43	839.50	8.84	842.83	11.16	425.53	21.26	99%
27	55.704 41	100.352 67	109.055 79	0.118 11	0.000 98	5.591 80	0.118 76	0.343 52	0.007 40	0.048 76	0.002 40	0.59	1 927.48	14.82	1 914.84	18.30	1 903.56	35.51	962.24	46.25	99%
28	1.984 04	25.875 87	45.581 87	0.053 02	0.001 01	0.310 95	0.006 02	0.042 85	0.000 52	0.011 25	0.000 94	1.03	331.54	42.59	274.92	4.66	270.44	3.24	226.21	18.74	98%
29	23.792 53	58.361 25	266.056 07	0.067 51	0.000 35	1.254 34	0.007 43	0.134 81	0.000 75	0.013 85	0.000 88	0.44	853.70	11.11	825.36	3.35	815.27	4.24	278.09	17.63	98%
30	44.678 08	108.853 27	401.086 83	0.071 36	0.001 50	1.327 55	0.032 71	0.134 98	0.004 18	0.013 69	0.000 98	0.54	968.52	42.60	857.81	14.27	816.21	23.71	274.85	19.63	95%
31	10.480 01	28.535 44	32.223 24	0.078 22	0.006 73	1.411 70	0.092 80	0.147 37	0.005 91	0.024 38	0.006 03	1.62	1 153.71	171.14	893.87	39.09	886.22	33.23	486.83	119.01	99%
32	34.667 88	145.617 49	251.370 04	0.068 24	0.000 28	1.310 45	0.008 49	0.139 30	0.000 86	0.013 95	0.001 03	1.14	875.93	2.78	850.32	3.73	840.72	4.85	280.10	20.50	98%
33	43.951 44	144.962 00	372.415 31	0.069 11	0.001 22	1.211 44	0.012 90	0.127 08	0.001 27	0.011 48	0.001 02	0.76	901.85	37.04	805.85	5.92	771.17	7.24	230.64	20.32	95%
34	49.058 66	175.248 22	448.261 55	0.073 82	0.000 72	1.291 95	0.014 77	0.126 89	0.001 38	0.013 63	0.001 18	0.76	1 036.73	20.37	842.16	6.54	770.08	7.89	273.58	23.50	91%

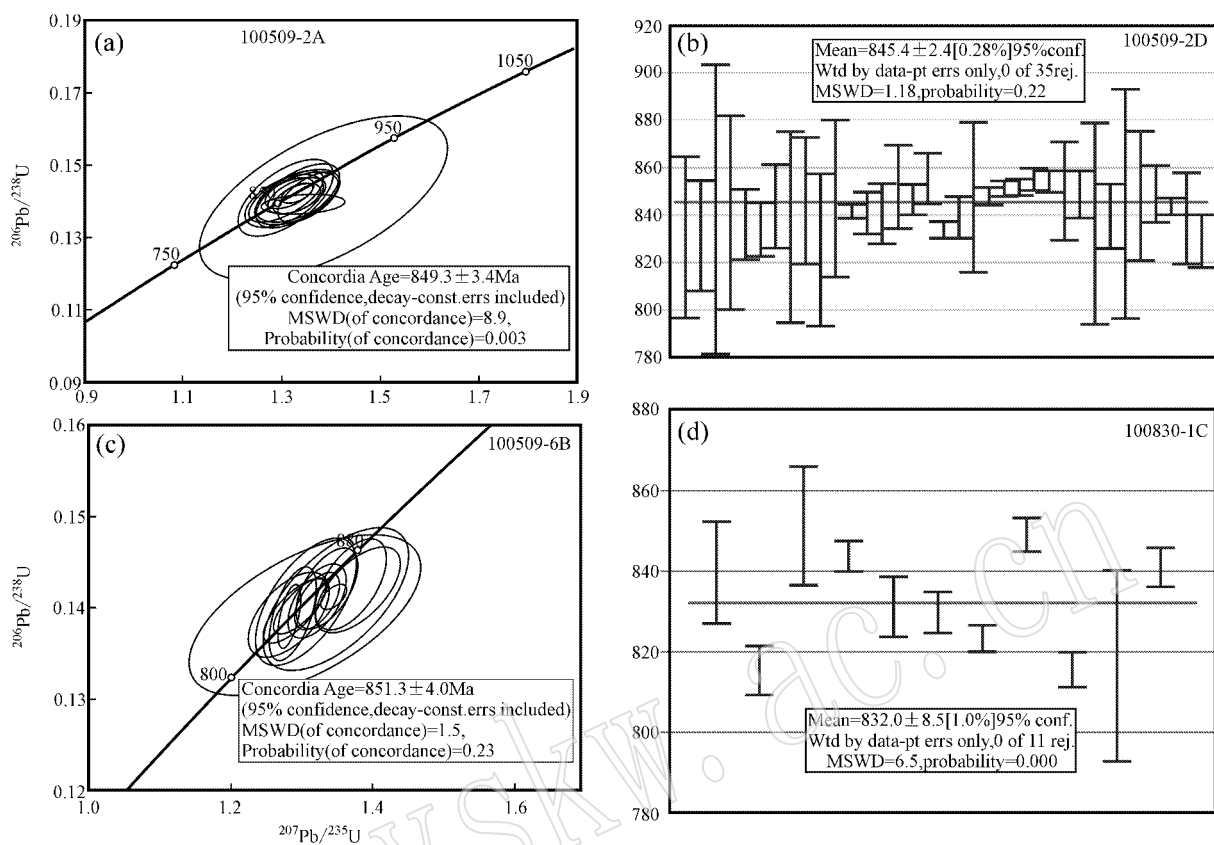


图6 梵净山群火山-沉积岩锆石 U-Pb 年龄结果

Fig. 6 LA-ICP-MS U-Pb dating results of Fanjingshan Group volcaniclastic rocks

a—样品 100509-2A(变余粉砂质砂岩) 锆石 U-Pb 谐和图; b—样品 100509-2D(变余粉砂质砂岩) 锆石平均年龄; c—样品 100509-6B(变余晶屑凝灰岩) 锆石 U-Pb 谐和图; d—样品 100830-1C(变余沉凝灰岩) 锆石平均年龄

a and c are concordia diagrams of LA-ICP-MS U-Pb data for samples from the fine sandstone(100509-2A) and the tuff(100509-6B), respectively;

b and d are weighted mean ages of the sandstone sample(100509-2D) and the volcanoclastic sample(100830-1C), respectively

年龄值限定了梵净山群地层时代的下限,即梵净山群地层沉积时代不会老于 870 Ma。

夹持于碎屑岩层中的火山碎屑岩时代可以很好限定地层的沉积时代。如上文所述,笔者完成了两件凝灰岩样品的锆石 U-Pb 测年工作,取自梵净山群白云寺下亚群余家沟组中的变余晶屑凝灰岩中岩浆锆石的加权平均年龄为 851 Ma,两件变余粉砂质砂岩样品的碎屑锆石加权平均年龄分别为 845、849 Ma,略小于变余晶屑凝灰岩夹层的锆石平均年龄。而梵净山群核桃坪上亚群铜厂组变余沉凝灰岩中岩浆锆石的加权平均年龄为 832 Ma,与野外关系吻合,很好地限定了余家沟组与铜厂组地层的时代。梵净山群地层被板溪群地层不整合覆盖,高林志等(2010)报道,板溪群甲路组(应为红子溪组)下部蒙脱石化凝灰岩(斑脱岩)中岩浆锆石年龄在 814 Ma

左右。该年龄值限定了梵净山群地层时代的上限,即梵净山群地层沉积时代不会晚于 814 Ma。上述年龄数据表明,梵净山群地层沉积于 855~815 Ma 之间。

目前普遍将江南造山带中的双溪坞群(浙皖地区)、双桥山群(赣西北地区)、冷家溪群(湘西北地区)、四堡群(桂北地区)与贵州梵净山群进行对比,并认为它们是同时异相产物。如果该解释正确,则本文报道的年龄数据将有助于限定其它相关岩群的沉积时限,进而为了解江南造山带构造演化提供有效制约。

但从全球显生宙造山带演化过程看,地质事件沿造山带纵向、横向发生时代迁移是一种极普遍的现象。因而,从地质对比角度而言,江南造山带不同部位具有不同演化时限的可能性更大,而了解地质

事件时空变化规律是构建合理构造演化模型的基础。本文报道的数据为了解江南造山带构造事件可能的纵向、横向迁移提供了坚实的基础资料。

6 结论

(1) 梵净山群中火山碎屑岩夹层及细碎屑岩的高精度原位锆石测年结果, 比较精确限定了梵净山群的沉积时代为 855~815 Ma。

(2) 梵净山群测年结果表明江南造山带不可能形成于格林威尔期(中元古代), 为了解江南造山带地质事件的时空迁移规律提供了基础。

(3) 梵净山群沉积时代的上限(815 Ma)限定了武陵/四堡运动的时限。

References

- Bai Daoyuan, Jia Baohua, Liu Wei, *et al.* 2010. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the igneous rocks from Chengbu, Hunan: Constraints on the Neoproterozoic tectonic evolution of the Jiangnan orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84: 1715~1726 (in Chinese with English abstract).
- Ding Binghao, Shi Rendeng, Zhi Xiachen, *et al.* 2008. Neoproterozoic (~850 Ma) subduction in the Jiangnan orogen: evidence from the SHRIMP U-Pb dating of the SSZ-type ophiolite in southern Anhui Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(5): 375~388 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shuwen, Xue Huaimin, Xiang Xinkui, *et al.*, 2010. The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceratophyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance [J]. *Geology in China*, 37: 1021~1033 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Chen Jun, Ding Xiaozhong, *et al.* 2011. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi groups, northeastern Hunan: constraints on the Wuling Movement [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(7): 1001~1008 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, *et al.* 2010. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of the Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication [J]. *Geology in China*, 37(4): 1070~1080 (in Chinese with English abstract).
- Hou Kejun, Li Yanhe and Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS [J]. *Mineral Deposits*, 28: 481~492 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua. 1999. Zircon U-Pb ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance [J]. *Geochemica*, 28(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, *et al.* 2001. U-Pb zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and the tectonic implication [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology, and Geochemistry*, 20(4): 271~273 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Li Z X, Ge W C, *et al.* 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. *Precambrian Research*, 122: 45~83.
- Li Z X, Li X H and Kinny P D. 1999. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 173: 171~181.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, *et al.* 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia [J]. *Precambrian Research*, 123(1~4): 85~109.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 257: 34~43.
- Ludwig K R. 2003. Isoplot/EX (revision 3.00), A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 71.
- Shui Tao. 1987. Tectonic framework of the continental basement, southeastern China [J]. *Sciences in China, Series B*, 4: 414~421 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jian. 2005. New advances in the study of the "Nanhua System" with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhua System [J]. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 491~495 (in Chinese with English abstract).
- Wang J and Li Z X. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up [J]. *Precambrian Research*, 122: 141~158.
- Wang L J, Griffin W L, Yu J H, *et al.* 2010. Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary [J]. *Precambrian Research*, 177: 131~144.
- Wang X C, Li X H, Li W X, *et al.* 2007. Ca. 825 Ma komatiitic basalts in south China: First evidence for >1500°C mantle melts by a Rodinian mantle plume [J]. *Geology*, 35(2): 1103~1106.
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, *et al.* 2003. Geochemistry of the Meso-Neoproterozoic volcanic-intrusive rocks from Hunan Province and its petrologic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 49~60 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, *et al.* 2004. Petrogenesis of Neoproterozoic peraluminous granites from northeastern Hunan Province: chronological and geochemical constraint [J]. *Geological Review*, 50(1): 65~76 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, *et al.* 2006. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution [J]. *Precambrian Research*, 145: 111~130.
- Wang Yangeng. 2001. The Grenville-age orogenic belt in the Fanjing Mountain area and the Rodinia supercontinent [J]. *Guizhou Geology*, 18(4): 211~216 (in Chinese).

- Wu Rongxin, Zheng Yongfei and Wu Yuanbao. 2007. Zircon U-Pb age and isotope geochemistry of Neoproterozoic Jingtan volcanics in South Anhui [J]. Geological Journal of China Universities, 13(2): 282~296 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Li Xiangmin, *et al.* 2009. Mid-Neoproterozoic rift-related volcanic rocks in South China: Geological records of rifting and break-up of the super-continent Rodinia [J]. Northwest Geology, 42(1): 1~33 (in Chinese with English abstract).
- Yin Chongyu, Liu Dunyi, Gao Linzhi, *et al.* 2003. Lower boundary age of the Nanhua system and the Gucheng Glacial stage: evidence from SHRIMP II dating [J]. Chinese Sciences Bulletin, 48(16): 1657~1662 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jibin, Li Xianhua, Ge Wenchun, *et al.* 2007. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia [J]. Gondwana Research, 12: 184~197.
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei and Qiu Jiansheng. 2003. The characters of magmatism in the western section of the Jiangnan orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 11(4): 527~533 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei and Qiu Jiansheng. 2009. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. Precambrian Research, 170: 27~42.
- Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, *et al.* 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic, arc-magmatism along the western margin of the Yangtze block, south China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 196: 51~67.

附中文参考文献

- 柏道远, 贾保华, 刘 伟. 等. 2010. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束 [J]. 地质学报, 84: 1715~1726.
- 丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 等. 2008. 江南造山带存在新元古代 (~850 Ma) 俯冲作用: 来自皖南 SSZ 型蛇绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄证据 [J]. 岩石矿物学杂志, 27(5): 375~388.
- 董树文, 薛怀民, 项新葵, 等. 2010. 赣北庐山地区新元古代细碧岩-

- 角斑岩系枕状熔岩的发现及地质意义 [J]. 中国地质, 37: 1021~1033.
- 高林志, 陈 峻, 丁孝忠, 等. 2011. 湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄: 对武陵运动的制约 [J]. 地质通报, 30(7): 1001~1008.
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 2010. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地层意义 [J]. 中国地质, 37: 1070~1080.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术 [J]. 矿床地质, 28: 481~492.
- 李献华, 李正祥, 葛文春, 等. 2001. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 271~273.
- 李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义 [J]. 地球化学, 28(1): 1~9.
- 水 涛. 1987. 中国东南大陆基底构造格局 [J]. 中国科学(D), 4: 414~421.
- 王 剑. 2005. 华南山华系研究新进展——兼论南华系地层划分与对比 [J]. 地质通报, 24: 491~495.
- 王 敏. 2012. 黔东北梵净山地区晚元古代岩浆活动及其大地构造意义 (博士论文) [D]. 北京: 中国地质大学.
- 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 2003. 湖南中-新元古代火山-侵入岩地球化学及成因意义 [J]. 岩石学报, 19: 49~60.
- 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 2004. 湘东北新元古代强过铝花岗岩的成因: 年代学和地球化学证据 [J]. 地质论评, 50(1): 65~76.
- 王砚耕. 2001. 梵净山区格林威尔造山带与 Rodinia 超大陆 [J]. 贵州地质, 18(4): 211~216.
- 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 2007. 皖南新元古代井潭组火山岩锆石 U-Pb 定年和同位素地球化学研究 [J]. 高校地质学报, 13(2): 282~296.
- 夏林圻, 夏祖春, 李向民, 等. 2009. 华南新元古代中期裂谷火山岩系: Rodinia 超大陆裂谷化-裂解的地质纪录 [J]. 西北地质, 42(1): 1~33.
- 尹崇玉, 刘敦一, 高林志, 等. 2003. 南华系底界与古城冰期的年龄: SHRIMP U-Pb 定年证据 [J]. 科学通报, 48(16): 1721~1725.
- 周金城, 王孝磊, 邱检生. 2005. 江南造山带西段岩浆作用特性 [J]. 高校地质学报, 11(4): 527~533.