

隰弯弯, 陈世忠, 朱筱婷. 福建政和“稻香组”岩石组合及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学探讨[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 421-434.
Xi Wanwan, Chen Shizhong, Zhu Xiaoting. A discussion on the rock association and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Daoxiang Formation in Zhenghe County, Fujian Province[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 421-434(in Chinese with English abstract).

福建政和“稻香组”岩石组合 及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学探讨

隰弯弯 陈世忠 朱筱婷

(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要: 出露于政和县星溪、稻香、铁山一带的稻香组岩石组合十分复杂, 火山岩、沉积岩及变质岩混杂。而其地层时代也一直未有定论。目前, 稻香组已经被重新划分为 3 套分属不同时代的岩性组合, 上部和中部分别划归为新元古代和早侏罗世; 根据岩石变形变质特征和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年数据, 下部火山-沉积组合的地层时代应为早白垩世晚期, 其地层时代和形成环境与石帽山群相似。

关键词: 稻香组; 岩石组合; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学; 政和一大埔深大断裂; 政和地区
中图分类号: P583; P 597.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2015)02-0421-14

A discussion on the rock association and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Daoxiang Formation in Zhenghe County, Fujian Province

XI Wan-wan, CHEN Shi-zhong, ZHU Xiao-ting

(Nanjing Geological Survey Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: The rock association of the Daoxiang Formation which occurs in Xingxi, Daoxiang and Tieshan area of Zhenghe County is very complex and comprises volcanic rocks, sedimentary rocks and metamorphic rocks. The geological age of the Daoxiang Formation remains unclear. The Daoxiang Formation is now divided into three suites of lithologic association which belongs to different geological ages. The upper and middle segment of Daoxiang Formation belongs to late Proterozoic and Early Jurassic respectively. The lower segment of the rock association which is regarded as the combination of silicite-mudstone-siltstone-volcanic rocks was formed at the late period of Early Cretaceous according to the zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of vesicular basalt and silicified mudstone, and its diagenetic environment is similar to that of the Shimaoshan Group.

Key words: rock association; Daoxiang Formation; zircon U-Pb dating; Zhenghe-Dabu fault; Zhenghe

About the first author: XI Wan-wan, male, born in 1986, assistant researcher, master, engages in survey and study of mineral resources; E-mail: xww230@163.com.

收稿日期: 2014-05-10; 改回日期: 2014-08-29

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120882)资助。

作者简介: 隰弯弯, 男, 1986 年生, 助理工程师, 从事矿产勘查工作; E-mail: xww230@163.com。

1 引 言

稻香组为闽北地质大队在进行1:5万政和、川石、后山幅区域地质矿产调查(1981—1986)时创建,其岩石组合、岩组名称、地层时代最早由陶忠耀^[1]撰文公开发表。其后的1:5万政和、川石、后山幅区域地质矿产调查报告(1987)^[2]正式引用了“稻香组”这一岩组名称并对其进行了详细介绍。但是,由于稻香组岩石岩性组合复杂,剖面覆盖较多,缺少顶底和可靠的年龄数据,自建组以来,对其岩石组合及时代问题均存在争议,未有定论。稻香组与熊山岩体的细晶角闪闪长岩在空间位置上密切相关,共同组成了1:20万浦城幅区调报告中划分的原政和附近“溪口组(?)”^[3]。在剖面上熊山岩体位于稻香组底部,二者都分布于政和一大埔断裂带内。稻香组地层和熊山岩体中都具有较好的铜金铅锌矿化,分布有多个中、小型矿床,如大药坑金矿、小药坑金矿、铁山铅锌矿等。稻香组岩石组合、地层时代的重新划分和熊山岩体地质时代、地球化学特征研究以及2个地质单元相互关系的讨论等,对政和一大埔断裂带的基本特征、演化模式、活动期次、成矿作用及区域成矿规律研究工作都能提供有利的参考。基于此,本文通过对前人资料的分析整理和气孔玄武岩、硅化泥岩的锆石U-Pb测年数据,对稻香组时代问题进行了讨论并提出了新的认识。

2 地质背景及岩石组合

稻香组建组之时系指出露于政和县城关、星溪、稻香、铁山一带的浅变质岩系,由1:20万区调政和附近“溪口组(?)”解体而来。原政和附近“溪口组(?)”主要出露于政和幅中部,面积约30 km²,分布于政和一大埔断裂北段构造带内,西以断层为界和下侏罗统梨山组呈断层或不整合接触,部分为燕山早期黑云母花岗岩、正长岩侵入。北为南园组不整合覆盖,南为花岗岩侵入。地层内部,有大量细粒花岗岩、石英闪长岩以及花岗斑岩、石英斑岩等的侵入破坏,使之支离破碎,再加上大片第四系(主要耕作区)的掩盖,因而缺乏严格的上下限和连续完整的剖面。岩层产状,总体朝SE倾,为一单斜构造。

其中,“溪口组(?)”下部已改划成细晶角闪闪长岩体(熊山岩体),其余的则划归为稻香组^[4]。

稻香组已有稻香—高堀、星溪、南洋3条剖面控制,建组剖面为稻香—高堀剖面,位于政和县城城东约4 km的稻香附近,其岩石组合(由顶至底)为^[2]:

- 1.土黄色薄层状泥质硅质岩(未见顶,稻香组上部)
- 2.斜长阳起片岩,上部绿帘阳起片岩
- 3.乳白—灰白色中厚层状大理岩(普遍压碎),含微古植物化石
- 4.下中部暗灰绿色斜长阳起片岩,上部阳起片岩
- 5.掩盖
- 6.浅灰色中厚层状凝灰质细砂岩(局部片理化)
- 7.浅灰色硅质岩、泥质硅质岩、顶部灰黄—浅灰色泥岩(稻香组下部)
- 8.掩盖
- 9.中上部硅质泥岩、泥质硅质岩、硅质岩交替,下部薄层状泥岩
- 10.绿帘阳起石化安山质晶屑凝灰岩与凝灰质泥岩(上部过渡为泥岩)互层
- 11.草绿—绿黄色绿帘阳起石化安山质凝灰岩夹凝灰质泥岩
- 12.下部凝灰质泥岩,上部凝灰质粉砂岩
- 13.阳起石化安山质凝灰岩
- 14.薄层状凝灰质泥岩(局部含角砾),上部凝灰质粉砂岩(局部破碎)
- 15.阳起石化安山质凝灰岩(大片第四系覆盖,未见底)

本文在政和县星溪地区测制了稻香组下部剖面(图2),剖面全长1.5 km,大致由南向北从政和后门厂至虾口,起点经纬度坐标为:118°49'57"E,27°20'56"N。剖面测得福建政和星溪地区稻香组下部岩石组合(按剖面测制顺序由顶至底)如下:

- 1.花岗岩(侵入的岩体,未见顶)
- 2.浮土掩盖
- 3.沉凝灰岩
- 4.浮土掩盖
- 5.安山质晶屑岩屑凝灰岩
- 6.安山质晶屑凝灰岩
- 7.角岩化泥岩
- 8.凝灰岩
- 9.浮土掩盖
- 10.凝灰岩
- 11.石英闪长玢岩

^①福建省闽北地质大队. 1:5万政和、川石、后山幅区域地质矿产调查报告[R]. 1987.

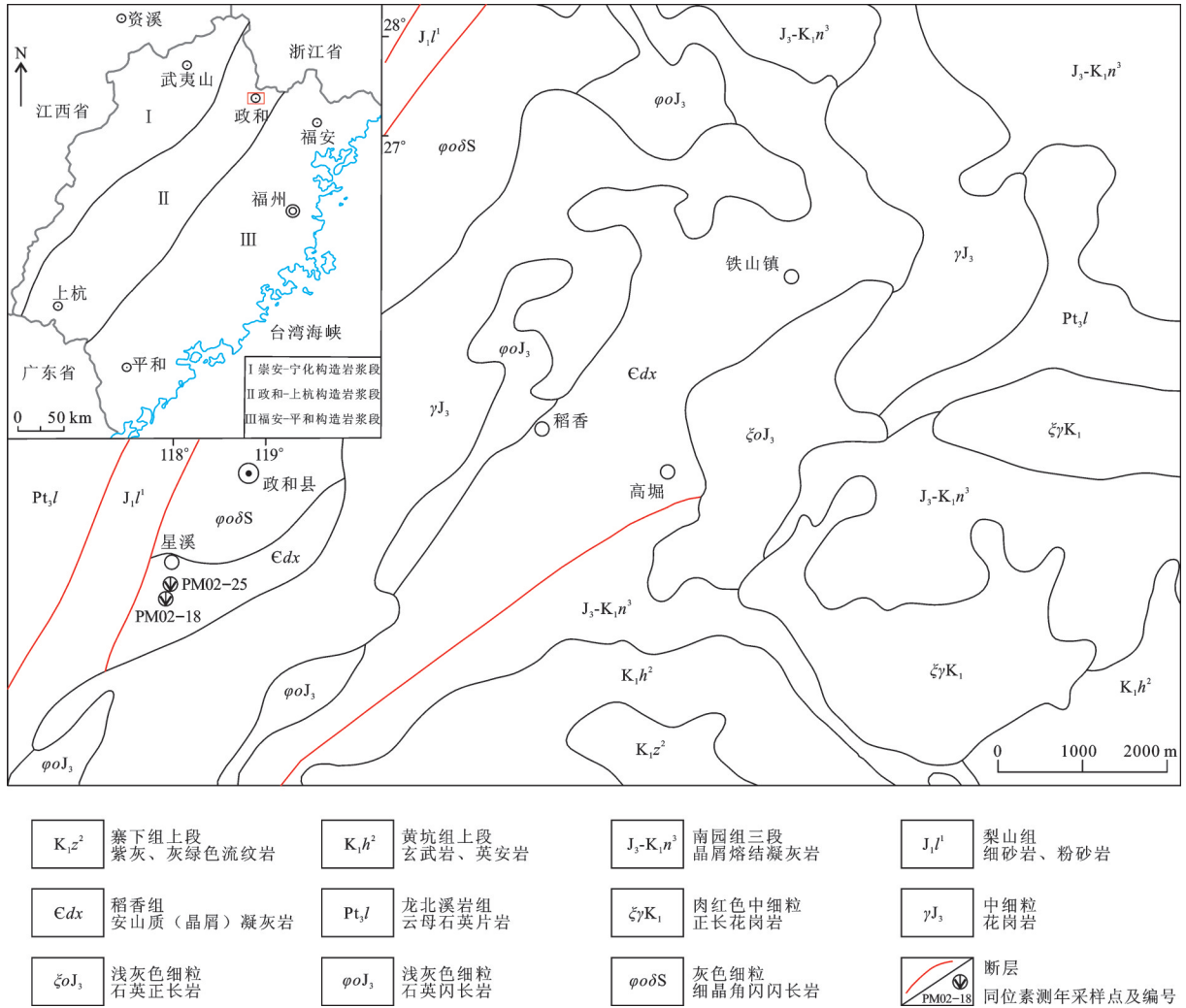


图1 政和地区稻香组地质简图

Fig.1 Geological sketch map of Daoxiang Formation in Zhenghe area

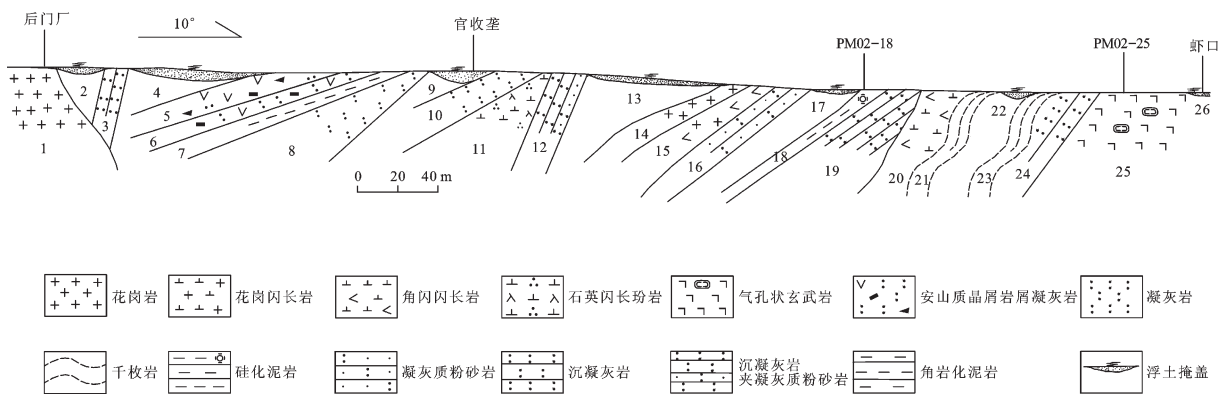


图2 福建政和星溪地区稻香组下部实测剖面图

Fig.2 Measured geological section of lower Daoxiang Formation in Xingxi of Zhenghe, Fujian Province

12. 沉凝灰岩夹凝灰质粉砂岩
13. 浮土掩盖
14. 细粒花岗岩
15. 花岗闪长岩
16. 凝灰质粉砂岩
17. 浮土掩盖
18. 硅化泥岩
19. 沉凝灰岩
20. 角闪闪长岩
21. 千枚岩
22. 浮土掩盖
23. 千枚岩
24. 沉凝灰岩
25. 气孔状玄武岩
26. 浮土掩盖(细晶角闪闪长岩侵入,未见底)

政和星溪地区稻香组下部岩石组合和稻香—高掘剖面的稻香组下部岩石组合基本一致,主要为以(沉)凝灰岩—凝灰质砂(泥)岩—硅质岩组合为主的火山—沉积岩建造。而整个稻香组的岩性组合则较为复杂,为一套沉积—火山—变质岩组合,由于浮土掩盖,各个岩性段间的接触关系并不十分明确。

3 地层时代分析

根据微古植物化石、变质程度、火山—沉积建造等特点,稻香组时代最初被定为晚震旦世—寒武纪,位于龙北溪岩组之上^[1]。徐一伟等^[2]根据岩石共生组合、岩石化学、微古生物和稳定同位素及其Sm—Nd同位素模式年龄(800±50) Ma,认为稻香组应属于早震旦世中基性火山—碎屑沉积建造的东岩组。而揭育金^[3]从岩石组合、岩石地球化学特征及构造组合特征等方面分析,认为原“稻香组”建组剖面(政和稻香—高掘剖面),可划分为3套分属不同时代的岩性组合:下部的细砂岩、粉砂岩、硅质岩、泥岩组合被修订为稻香组,时代暂置晚古生代,而安山岩、安山质凝灰岩等则被划归为侵入其中的蚀变片理化石英闪长岩、微晶闪长岩脉或岩瘤;中部的长石石英砂岩、粉砂岩夹煤线组合被划归为早侏罗世梨山组;上部大理岩组合被划归为于中新元古代马面山群龙北溪岩组;3套岩石组合间呈断片叠置,为构造拼接关系,其性质为逆冲推覆。运动方向由SE向NW,推测逆冲推覆事件发生在晚侏罗世。

据前人研究成果可知,稻香组内涵已经发生了改变,原“稻香组”已经被拆分,稻香组已经被重新

定义为一套未变质的细砂岩、粉砂岩、硅质岩、泥岩组合^[3]。而本文在测制政和星溪地区原“稻香组”下部剖面时发现其主体岩性为火山岩(图2),因此本文认为重新定义的稻香组依然是一套火山—沉积岩建造。但是,不管稻香组的内涵如何变化,所谓的“稻香组”其实分布范围极其狭小,仅仅分布于一小片有限的区域内,且具有非常独特的地质特征和岩石组合,很难进行区域上的对比研究,而由于缺乏可靠的测年数据,其地层时代至今也未确定。为了加深对稻香组的研究认识,充实稻香组研究资料,本文分别对采自原“稻香组”(为了行文方便及避免争议,此后文中出现的稻香组均指重新定义后的稻香组以便与原“稻香组”进行区分)下部的火山岩和硅化泥岩进行了锆石U—Pb测年的分析工作,样品采集位置如图1~2所示。

3.1 样品与分析方法

本次进行分析的锆石来源于星溪剖面第25层的气孔玄武岩和第18层的硅化泥岩(图1~2, PM02-25、PM02-18)。气孔状玄武岩在剖面上出露宽度约30 m,两侧浮土掩盖。岩石风化很强,多呈红褐色土状。少量残留基岩呈深灰绿色块状,具气孔构造,气孔以1~2 mm为主,多呈圆形,部分呈饼状,可达3 cm。玄武岩镜下具填间结构,斜长石长条状微晶杂乱分布,期间充填绿泥石化辉石及少量火山玻璃,部分气孔被方解石充填构成杏仁体(图3-c、d)。

硅化泥岩在剖面上出露宽度约4 m,手标本呈灰—灰白色,块状构造。主要成分为泥质、硅质。样品具黄铁矿化。黄铁矿呈浸染状和团块状,有2种结晶粒度的黄铁矿,结晶较粗者粒径在1 mm左右,结晶细者大面积分布在压扭性断裂面上,多褐铁矿化。硅化泥岩在镜下具泥状结构,主要矿物成分为泥质(70%)、石英(20%)、黄铁矿(10%)。泥质具绢云母化,石英呈脉状分布(图3-e、f)。

样品经粉碎、淘洗后,在双目镜下挑出其中的锆石颗粒制靶。锆石阴极发光(CL)照相在北京离子探针中心完成。锆石U—Pb同位素定年在合肥工业大学资源与环境工程学院利用LA—ICP—MS分析完成。激光剥蚀系统为GeoLasPra, ICP—MS为Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前

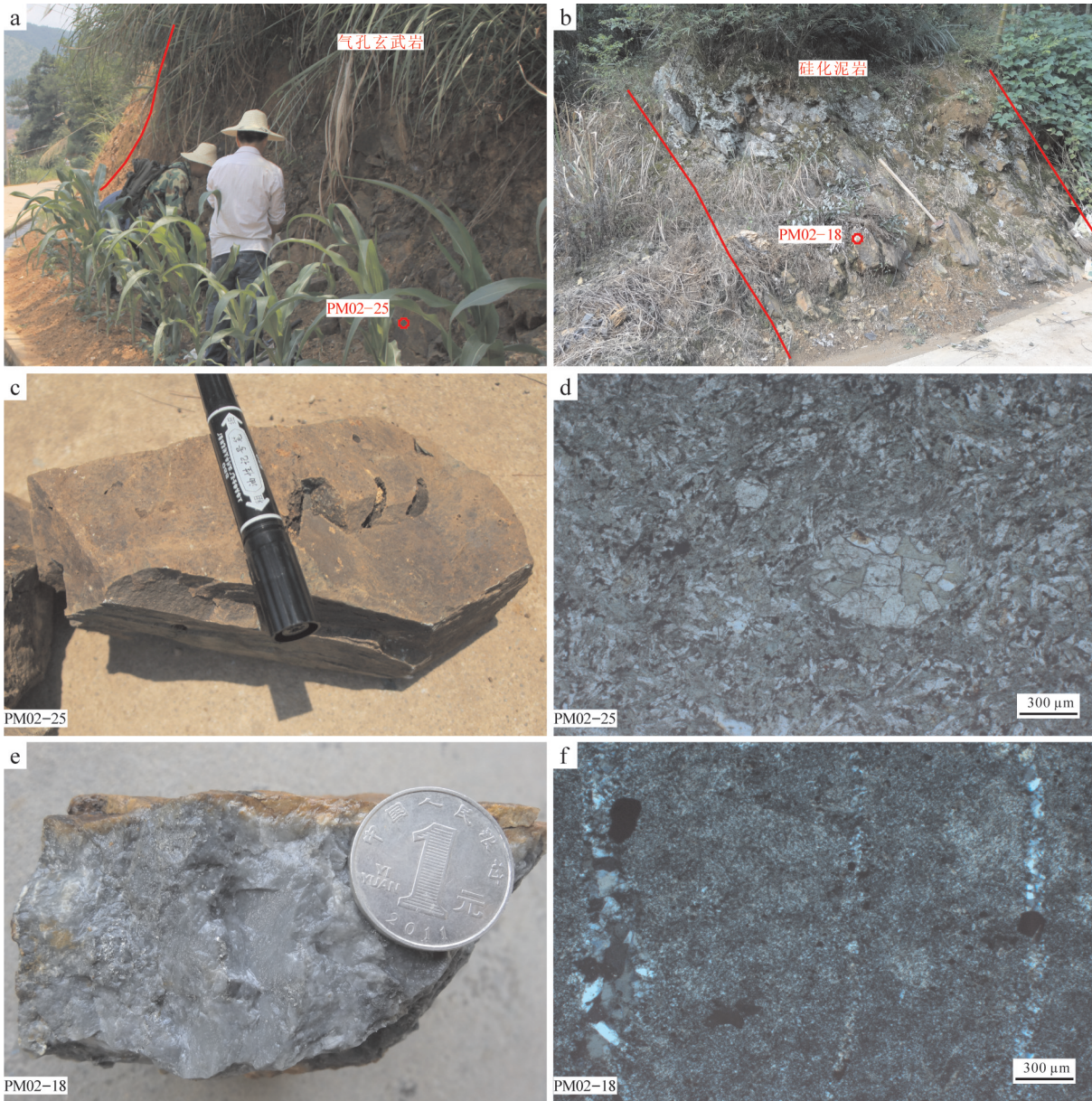


图3 气孔玄武岩和硅化泥岩宏观、镜下特征

a—气孔玄武岩野外露头;b—硅化泥岩野外露头;c—气孔玄武岩(手标本);d—玄武岩中气孔被方解石充填;e—硅化泥岩(手标本);f—硅化泥岩中石英呈脉状分布

Fig.3 Macroscopic and microscopic characteristics of vesicular basalt and silicified mudstone

a—Outcrop of vesicular basalt; b—Outcrop of silicified mudstone; c—Vesicular basalt (hand specimen); d—Vesicles of vesicular basalt filled with calcite; e—Silicified mudstone (hand specimen); f—Quartz veins in silicified mudstone

通过一个T型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度^[4]。每个时间分辨分析数据包括20~30 s的空白信号和50 s的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器

灵敏度漂移校正、元素含量及U-Th-Pb同位素比值和年龄计算)采用软件ICPMSDataCal^[5-6]完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同文献[5-7]。

U-Pb同位素定年中采用锆石标准91500作外标进行同位素分馏校正,每分析5个样品点,分析2

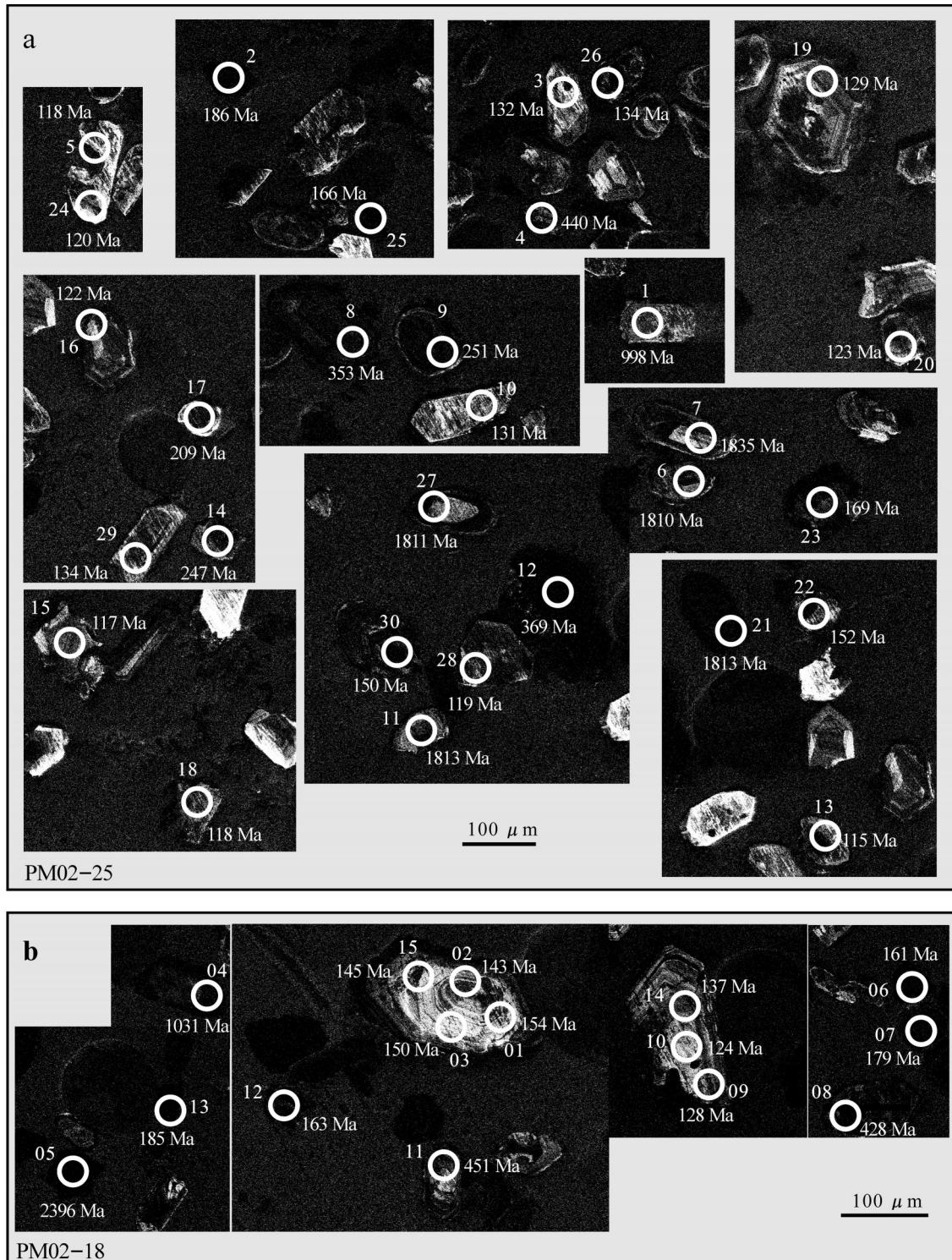


图4 气孔玄武岩和硅化泥岩锆石CL图像

a—气孔玄武岩中锆石CL图像;b—硅化泥岩中锆石CL图像

Fig.4 CL images of zircons from vesicular basalt and silicified mudstone

a—CL images of zircons from vesicular basalt; b—CL images of zircons from silicified mudstone

次 91500; 每测 10 个样品点测一次 NIST610 和年龄监控样 plesovice。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移, 利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正^[6]。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck et al^[8]。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3^[9]完成。

3.2 锆石 U-Pb 同位素年代学

3.2.1 气孔玄武岩

对气孔玄武岩样品 (PM02-25) 中的锆石进行了 30 个测点分析 (图 4-a), 结合该样品前期 34 个测年数据 (2011 年, 测点 31~64), 气孔玄武岩共计得到 64 个测年数据 (表 1)。由于玄武质岩石中锆石来源复杂, 因而其形态也复杂多样, 往往给出复杂的锆石年龄谱^[10-21], 本文亦是如此。由锆石 CL 图像可以看出, 气孔玄武岩中锆石多呈碎片状、短柱状或浑圆状, 只有个别锆石形态稍好, 可见模糊的岩浆震荡环带 (图 4-a)。锆石的 Th/U 值变化范围较大, 分布于 0.03~3.00 (表 1), 表明气孔玄武岩中多为捕获或带入的岩浆锆石或变质锆石。由于气孔玄武岩第 1 个测点未给出 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 年龄谐和度过低, 严重偏离 U-Pb 谐和曲线落于图外, 因而予以剔除。此外, 还有 12 个测年数据 (3、12、17、18、19、22、34、35、39、41、46、64) 由于谐和度低于 70% 也偏离 U-Pb 谐和曲线较远。剩余的测年数据分布在谐和曲线上的 100~450 Ma 和 1800 Ma 附近。其中, 以分布于 1800 Ma、240 Ma 和 115 Ma 附近的测年数据最为集中 (图 5)。

对于锆石年龄大于 1000 Ma 的样品, 由于大量放射性成因 Pb 的存在因而采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 而对于小于 1000 Ma 的样品, 由于可用于测量的放射性成因 Pb 含量较低和普通 Pb 校正的不确定性, 因而采用更为可靠的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄^[10]。据此, 对气孔玄武岩 63 个测年数据 (剔除了测点 1) 进行了统计分析, 得出了其年龄频谱图 (图 6-a)。据频谱图可以看出, 气孔玄武岩测年数据明显分为新老两组。在 1800~1950 Ma 测点 11 个, 在 100~450 Ma 测点 52 个。而分布在最年轻的 100~150 Ma 测点超过半数达 35 个, 其锆石的 Th/U 值均大于 0.7, 平均 1.47。锆石形态相对稍好, 表面较为清楚, 应全部为岩浆锆石, 与区域上这一时间段大规模的火山活动相吻合^[22-23]。而这些锆石测点中, 尤以 115 Ma

左右的年龄值最为集中 (图 5)。如果火山岩中锆石测定的足够多, 那么其中最年轻的锆石颗粒年龄就最接近火山喷发的年龄^[17]。因此, 就本文而言, 用最年轻的锆石测年数据 103 Ma (测点 47) 代表玄武岩的年龄是较为合理的, 即稻香组中气孔玄武岩的年龄为 103 Ma。

3.2.2 硅化泥岩

对硅化泥岩样品 (PM02-18) 中的锆石进行了 15 个测点分析, 结合该样品前期 22 个测年数据 (2011 年, 测点 16~37), 硅化泥岩共计得到 37 个测年数据 (表 2)。其中第 5 个测点由于其异常的 U-Pb 含量 ($\text{Pb}=619817 \times 10^{-6}$; $\text{U}=207172 \times 10^{-6}$) 导致 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 过高且未给出 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄而被剔除, 因而实际上对硅化泥岩的 36 个测年数据进行了统计分析 (图 6-b)。硅化泥岩中锆石颗粒呈柱状、碎片状、磨圆状, 个别锆石形态稍好, 可见模糊的岩浆震荡环带。锆石的 Th/U 值在 0.06~1.28, 平均 0.39, 为经历了搬运、侵蚀的碎屑锆石 (图 4-b)。

稻香组硅化泥岩的碎屑锆石测年数据给出了 124~1031 Ma (测年数据大于 1000 Ma 的锆石采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄) 的年龄范围。最年轻的一颗碎屑锆石年龄为 124 Ma (10 号测点), 该锆石表面清晰, 较为自形, 可见较为清楚的岩浆振荡环带, 3 个测点 (9、10、14) 年龄均小于 150 Ma, Th/U 值平均为 0.41, 应为岩浆锆石 (图 4-b, 表 2), 因而使用其测年数据来限定稻香组沉积成岩的上限年龄是较为合理的。因此稻香组的地层年代应晚于 124 Ma, 结合稻香组中气孔玄武岩测年数据, 稻香组最可能的地层时代为早白垩世晚期。

稻香组硅化泥岩的锆石 U-Pb 年龄可以划分出 2 个主要的峰值。主峰值年龄为 124~185 Ma, 共 23 个测年数据, 次峰值年龄为 388~451 Ma, 共 9 个测年数据。其余 4 个测年数据则分别散落于 576~1031 Ma (576 Ma, 738 Ma, 952 Ma, 1031 Ma) (图 6-b)。表明硅化泥岩沉积碎屑主要来源于中生代中晚期和古生代中期的地壳或者再循环地壳组分, 与燕山期和加里东期构造-岩浆事件分别相对应。

4 地层时代讨论

稻香组中玄武岩年龄为 103 Ma, 硅化泥岩年龄上限为 124 Ma。而越是年轻的火山岩, 其中所包含

表1 气孔玄武岩锆石U-Pb同位素测年数据
Table 1 Result of zircon U-Pb isotope analyses of vesicular basalt

点号 (PM02-25)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
1	2.5267	0.7636±0.0252	17.2207±0.5694	0.1674±0.0047	—	2947±31.7	998±26
2	0.2518	0.0517±0.001	0.2103±0.004	0.0293±0.0002	272±41.7	194±3.4	186±1.3
3	1.3944	0.0799±0.0062	0.2103±0.0143	0.0206±0.0005	1194±154.5	194±12	132±2.9
4	0.3271	0.0573±0.0019	0.5591±0.0183	0.0706±0.0007	502±72.2	451±11.9	440±4.5
5	0.7128	0.0581±0.0036	0.144±0.0086	0.0184±0.0003	532±135.2	137±7.6	118±1.9
6	0.0949	0.1106±0.0019	4.8105±0.0969	0.3138±0.0036	1810±31.5	1787±16.9	1759±17.8
7	0.2083	0.1122±0.0018	4.7711±0.084	0.3068±0.0028	1835±29.5	1780±14.8	1725±13.8
8	0.5902	0.055±0.002	0.4262±0.0149	0.0563±0.0005	413±83.3	360±10.6	353±3
9	0.0336	0.0505±0.0012	0.2777±0.0065	0.0397±0.0003	217±52.8	249±5.2	251±1.8
10	1.3888	0.0615±0.0054	0.172±0.0151	0.0206±0.0005	657±188.9	161±13.1	131±3.3
11	0.0799	0.1108±0.0017	3.4415±0.0536	0.2242±0.0015	1813±28.5	1514±12.3	1304±7.9
12	0.6303	0.1026±0.0029	0.8315±0.023	0.0589±0.0007	1672±51.8	614±12.7	369±4.2
13	1.7970	0.064±0.0025	0.1584±0.0059	0.018±0.0002	743±81.5	149±5.2	115±1.2
14	0.0638	0.0506±0.0013	0.2727±0.0066	0.0391±0.0003	233±57.4	245±5.3	247±1.9
15	1.3225	0.0485±0.0025	0.1222±0.0061	0.0184±0.0002	124±114.8	117±5.5	117±1.4
16	1.0189	0.0615±0.0033	0.161±0.0089	0.0191±0.0002	655±84.2	152±7.8	122±1.5
17	2.7744	0.3361±0.0177	1.7483±0.1466	0.033±0.0013	3645±80.6	1027±54.2	209±7.9
18	1.0838	0.0719±0.0046	0.1839±0.012	0.0185±0.0003	983±126.9	171±10.3	118±1.6
19	1.0114	0.097±0.0077	0.2852±0.0253	0.0202±0.0003	1569±148.2	255±20	129±2.1
20	1.6686	0.0609±0.0026	0.1618±0.007	0.0192±0.0002	635±90.7	152±6.1	123±1.5
21	0.1718	0.1108±0.0017	4.4355±0.0677	0.2892±0.0019	1813±27.5	1719±12.6	1638±9.4
22	0.7553	0.1055±0.0066	0.3502±0.0238	0.0238±0.0005	1724±114.8	305±17.9	152±3.5
23	0.5106	0.0526±0.0019	0.1923±0.007	0.0265±0.0003	322±80.5	179±5.9	169±1.6
24	1.5319	0.0537±0.0026	0.1386±0.0067	0.0187±0.0003	367±102.8	132±6	120±1.7
25	0.2248	0.0547±0.0014	0.1971±0.005	0.026±0.0002	467±57.4	183±4.2	166±1.3
26	0.8883	0.0492±0.0016	0.1429±0.0046	0.021±0.0002	154±74.1	136±4.1	134±1.3
27	0.1108	0.1107±0.0019	4.801±0.0834	0.3128±0.0024	1811±26.9	1785±14.6	1755±11.9
28	0.9085	0.0511±0.0027	0.13±0.0066	0.0187±0.0003	256±122.2	124±6	119±1.7
29	0.8168	0.0536±0.0025	0.1556±0.0075	0.0209±0.0003	354±100.9	147±6.6	134±1.7
30	0.7974	0.0472±0.0014	0.1522±0.0045	0.0235±0.0002	61±70.4	144±4	150±1.4
31	2.2447	0.0495±0.0013	0.1195±0.0036	0.0175±0.0001	172±63	115±3.2	112±0.9
32	2.7498	0.0486±0.0013	0.1185±0.0034	0.0177±0.0001	128±61.1	114±3.1	113±0.9
33	1.0648	0.0463±0.0022	0.1159±0.0053	0.0183±0.0002	13±107.4	111±4.9	117±1.4
34	1.4120	0.0882±0.0046	0.2305±0.0127	0.0189±0.0002	1388±101.9	211±10.5	121±1.4
35	0.8420	0.1522±0.0051	0.7684±0.0367	0.0345±0.0006	2372±52.8	579±21.1	219±3.8
36	2.7838	0.0535±0.0018	0.124±0.0045	0.0169±0.0002	346±50	119±4.1	108±1
37	1.3762	0.0561±0.0027	0.1482±0.0072	0.0192±0.0002	457±107.4	140±6.4	123±1.3
38	2.5154	0.0547±0.0023	0.1317±0.006	0.0177±0.0002	398±100.9	126±5.4	113±1.6
39	1.7382	0.0763±0.0033	0.1859±0.0081	0.0178±0.0002	1106±85.2	173±6.9	114±1.5
40	0.9060	0.0524±0.0019	0.145±0.0058	0.0201±0.0002	302±86.1	138±5.2	128±1.3
41	1.1828	0.083±0.005	0.2142±0.0159	0.0182±0.0003	1278±117.4	197±13.3	116±1.6
42	1.7595	0.0485±0.002	0.1156±0.005	0.0173±0.0002	124±91.7	111±4.5	110±1

续表1

点号 (PM02-25)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
43	1.3169	0.0535±0.002	0.1227±0.0051	0.0167±0.0002	346±83.3	118±4.6	107±1.2
44	0.9137	0.0524±0.0028	0.126±0.007	0.0175±0.0003	302±115.7	121±6.3	112±2.1
45	0.3800	0.1172±0.0011	5.3291±0.1239	0.3287±0.0032	1915±16.5	1874±19.9	1832±15.4
46	1.0649	0.2878±0.0209	1.1266±0.0934	0.0267±0.0009	3406±113.3	766±44.6	170±5.6
47	1.0804	0.0524±0.0027	0.1161±0.0064	0.0162±0.0002	302±115.7	111±5.8	103±1.5
48	0.1240	0.1145±0.0006	3.947±0.083	0.2497±0.0013	1872±9.6	1623±17	1437±6.7
49	1.8584	0.0639±0.0024	0.1529±0.0066	0.0175±0.0002	739±81.5	144±5.8	112±1.4
50	0.0754	0.1121±0.0006	3.787±0.0944	0.2451±0.0011	1835±9	1590±20	1413±5.9
51	0.0570	0.0508±0.0008	0.2635±0.0075	0.0376±0.0003	232±71.3	237±6.1	238±1.9
52	0.5400	0.0586±0.0023	0.4025±0.0194	0.0497±0.0005	554±87	343±14	312±3.3
53	0.0345	0.052±0.001	0.2667±0.0072	0.0373±0.0003	283±44.4	240±5.8	236±1.9
54	1.6921	0.0502±0.0017	0.1211±0.0051	0.0174±0.0002	211±81.5	116±4.6	111±1.2
55	0.2225	0.1169±0.0007	4.7253±0.1051	0.2926±0.0016	1910±11.1	1772±18.6	1654±8
56	0.1846	0.1143±0.0006	4.262±0.0972	0.2696±0.0011	1869±10.3	1686±18.8	1539±5.7
57	1.3785	0.0559±0.0024	0.1419±0.0065	0.0185±0.0003	450±96.3	135±5.8	118±1.8
58	1.2104	0.0527±0.0023	0.1355±0.0062	0.019±0.0003	322±98.1	129±5.5	121±1.9
59	0.1867	0.1118±0.0006	4.3398±0.0782	0.2809±0.0023	1829±10.3	1701±14.9	1596±11.4
60	0.5736	0.0551±0.0019	0.2017±0.0077	0.0268±0.0003	417±77.8	187±6.5	170±1.9
61	0.4678	0.0545±0.0018	0.4694±0.0171	0.0628±0.0007	394±72.2	391±11.8	393±4
62	2.8722	0.0476±0.0021	0.1169±0.0052	0.018±0.0002	80±109.3	112±4.7	115±1.4
63	1.0285	0.0483±0.0019	0.1175±0.0052	0.0177±0.0002	122±92.6	113±4.7	113±1.3
64	1.9486	0.0788±0.0072	0.1836±0.0147	0.0185±0.0006	1166±180.4	171±12.6	118±4.1

注:“-”表示未得出该项数据;测点 31~64 为 2011 年该样品测试数据,在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 分析完成。

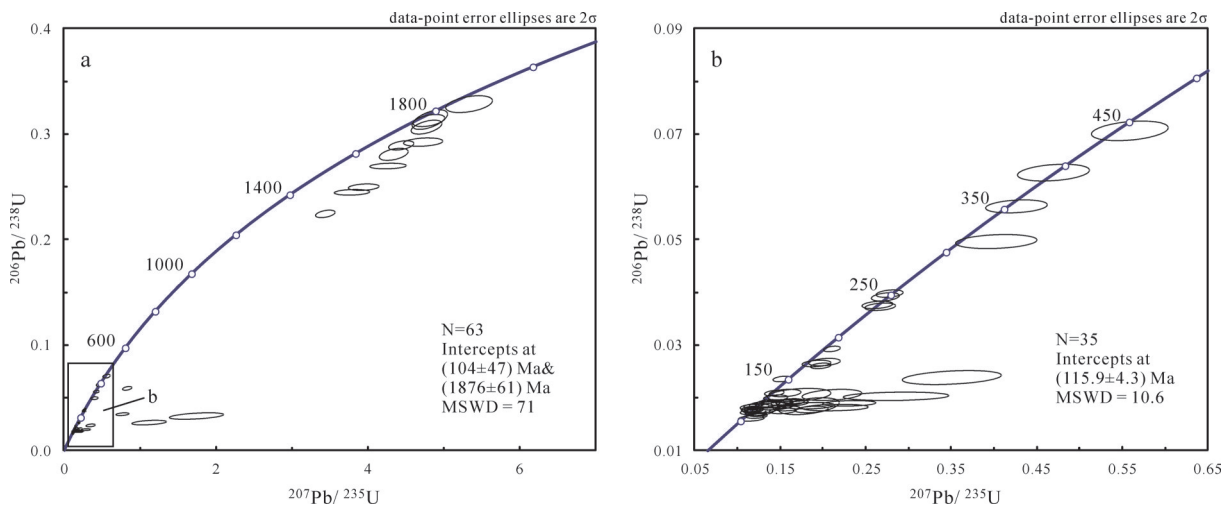


图5 气孔玄武岩锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图

Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagram of vesicular basalt from Daoxiang Formation

表2 硅化泥岩锆石U-Pb同位素测年数据
Table 2 Result of zircon U-Pb isotope analyses of silicified mudstone

点号 (PM02-18)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
1	0.4648	0.0982±0.0052	0.3228±0.0163	0.0241±0.0004	1591±99.5	284±12.5	154±2.3
2	0.4796	0.0522±0.0028	0.1612±0.0085	0.0225±0.0003	295±122.2	152±7.4	143±1.9
3	0.4907	0.0528±0.0025	0.1724±0.0081	0.0236±0.0003	320±112	162±7	150±1.6
4	0.2375	0.0736±0.0013	1.7845±0.0324	0.1753±0.0017	1031±69.4	1040±11.8	1041±9.2
5	0.0003	0.8105±0.0194	50.006±1.3364	0.4503±0.0104	-	3992±26.6	2396±46.4
6	0.0628	0.0531±0.001	0.1852±0.0036	0.0252±0.0002	332±44.4	173±3	161±1.4
7	0.1202	0.0505±0.001	0.1964±0.0038	0.0281±0.0003	220±44.4	182±3.2	179±1.7
8	0.1143	0.0554±0.0012	0.5252±0.0113	0.0686±0.0005	428±43.5	429±7.6	428±3.1
9	0.4473	0.0647±0.0032	0.1766±0.0088	0.02±0.0003	765±103.7	165±7.6	128±1.7
10	0.3712	0.0539±0.0026	0.1427±0.0066	0.0195±0.0003	369±109.2	135±5.8	124±1.7
11	0.1765	0.063±0.0013	0.6311±0.014	0.0725±0.0008	709±46.3	497±8.7	451±4.8
12	0.5221	0.0573±0.0012	0.2027±0.0044	0.0256±0.0003	502±48.1	187±3.7	163±1.6
13	0.0988	0.113±0.0092	0.6047±0.0985	0.0291±0.0018	1847±146.5	480±62.4	185±11.1
14	0.4005	0.1159±0.0339	0.3901±0.1071	0.0215±0.0005	1894±544.3	334±78.4	137±3.3
15	0.3093	0.0521±0.0017	0.1631±0.0053	0.0227±0.0003	300±74.1	153±4.6	145±1.7
16	0.7504	0.048±0.0023	0.1309±0.0065	0.02±0.0005	98±111.1	125±5.8	128±3.4
17	0.9636	0.0542±0.0037	0.1554±0.011	0.0209±0.0006	376±155.5	147±9.7	133±4
18	0.2406	0.0549±0.0015	0.4879±0.0157	0.0643±0.0017	409±63	403±10.7	402±10.1
19	0.2651	0.0504±0.0017	0.1786±0.0068	0.0256±0.0007	213±50	167±5.9	163±4.2
20	0.3098	0.0587±0.0017	0.5031±0.0174	0.0621±0.0016	567±60.2	414±11.8	388±9.7
21	0.4485	0.0644±0.0021	0.6158±0.0239	0.0693±0.0018	754±75	487±15	432±10.9
22	0.7639	0.079±0.0024	1.7268±0.0582	0.1592±0.0042	1172±54.6	1019±21.7	952±23.4
23	0.1453	0.0569±0.0024	0.2022±0.0104	0.0257±0.0008	500±97.2	187±8.8	164±5.2
24	0.2292	0.0589±0.002	0.2051±0.0077	0.0253±0.0007	561±72.2	189±6.5	161±4.3
25	0.4013	0.0578±0.0021	0.4949±0.0199	0.0621±0.0017	524±84.2	408±13.5	388±10.3
26	0.2706	0.0583±0.0017	0.5762±0.0194	0.0717±0.002	543±64.8	462±12.5	446±11.9
27	0.1684	0.0502±0.0013	0.1787±0.0057	0.0257±0.0007	211±63	167±4.9	164±4.2
28	0.6944	0.0479±0.0021	0.1473±0.0072	0.0222±0.0006	95±103.7	140±6.3	142±3.8
29	0.2149	0.0512±0.0016	0.188±0.0068	0.0265±0.0007	250±72.2	175±5.8	169±4.4
30	0.4432	0.0787±0.0045	0.2449±0.0147	0.0224±0.0006	1166±114.4	222±12	143±3.8
31	0.1644	0.0508±0.0014	0.1751±0.006	0.0249±0.0006	232±64.8	164±5.2	158±4.1
32	0.2629	0.0612±0.0029	0.855±0.1254	0.0934±0.0093	656±101.8	627±68.7	576±55.1
33	0.2773	0.0589±0.0018	0.5388±0.0186	0.066±0.0017	565±64.8	438±12.2	412±10.5
34	0.9139	0.0895±0.003	1.4853±0.0486	0.1213±0.0033	1417±64.8	924±19.9	738±19.2
35	0.2824	0.0696±0.0035	0.6854±0.0452	0.0679±0.002	917±103.7	530±27.3	424±12
36	0.2871	0.0525±0.0017	0.2084±0.0076	0.0287±0.0007	306±72.2	192±6.4	182±4.7
37	1.2751	0.0796±0.0042	0.2289±0.0126	0.021±0.0006	1187±104.5	209±10.4	134±3.8

注：“-”表示未得出该项数据；测点5中 $^{206}\text{Pb}=619817\times 10^{-6}$ ， $^{232}\text{Th}=65.4\times 10^{-6}$ ， $^{238}\text{U}=207172\times 10^{-6}$ ；测点16~37为2011年该样品测试数据，在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用LA-ICP-MS分析完成。

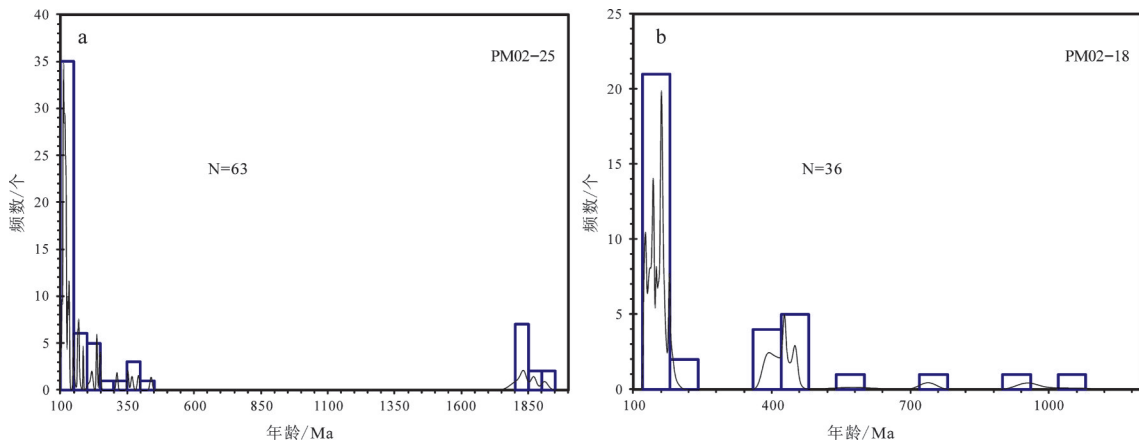


图6 气孔玄武岩和硅化泥岩中锆石 U-Pb 年龄频率直方图

a—气孔玄武岩; b—硅化泥岩

Fig. 6 Zircon U-Pb age frequency diagram of vesicular basalt and silicified mudstone

a—Vesicular basalt; b—Silicified mudstone

的信息就越复杂,对于锆石,更是如此^[17]。而本文中涉及的稻香组气孔玄武岩和硅化泥岩,由于其锆石测年数据新老时代跨度很大,因而包含了丰富的区域岩浆-构造活动信息。气孔玄武岩的测年数据分为明显的新老两组,较老的一组年龄数据集中分布在 1.85 Ga 附近,多为继承锆石核部年龄。较新一组测年数据分布于 100~450 Ma,表明气孔玄武岩岩浆上升通道中主要为 450 Ma 以来的岩石组分,450 Ma 之前的岩石组分缺失或被重置。而 100~150 Ma 测年数据的集中分布与目前区域上大规模分布的火山岩时代是一致的^[22-23]。硅化泥岩的测年数据也较为集中的分布于 451 Ma 之后,进一步暗示了区域上 450 Ma 之前岩石地层单元的普遍缺失或重置。硅化泥岩 124~185 Ma 的峰值年龄与区域上普遍出露的早侏罗世—早白垩世沉积-火山地层单元是一致的,388~451 Ma 的峰值年龄则与熊山岩体及其周边岩体的时代是一致的(370~470 Ma,未发表数据)。但是硅化泥岩与气孔玄武岩不同之处在于其并未记录 240 Ma 左右即印支期的岩石信息,这与目前区域上缺失这一时期地层单元的地质事实是一致的,而区域上这一时期的侵入岩^[24]在早白垩世很可能还未出露地表或遭受大规模剥蚀,因而硅化泥岩中缺乏这一时期的年龄纪录。

根据稻香组中气孔玄武岩和硅化泥岩 U-Pb 测年数据及其未遭受变形变质的特征,其地层年代应归属于早白垩世晚期。综合锆石 U-Pb 测年数据及

前人研究成果^[3],将原“稻香组”重新划分为 3 套归属于不同时代的岩组:其下部未变质的凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩、硅质岩、泥岩及玄武岩等定义为稻香组,为一套火山-沉积建造,其时代归属于早白垩世晚期;而原“稻香组”中部和上部岩石依旧分别划归为早侏罗世梨山组和晚元古代马面山群龙北溪岩组;3 套岩组呈断片或不整合叠置。据张岳桥等^[25]对华南中生代大地构造研究的最新进展,华南在中生代燕山运动阶段经历了 2 期构造挤压活动,分别发生于中晚侏罗世和早白垩世晚期。中晚侏罗世的构造挤压活动与前人^[3]所推测的原“稻香组”地层经历了晚侏罗世的逆冲推覆活动较为吻合。而华南在早白垩世晚期短暂的挤压作用后转变为走滑拉张构造背景^[25],使得东南沿海进入强烈的地壳伸展期,形成多个断陷盆地并堆积了一套夹双峰式火山岩的火山-沉积岩系,如福建境内的石帽山群^[22],重新定义后的稻香组测年数据则和这一构造环境转换时限较为一致^[26],因此,其地层时代和形成环境应和石帽山群较为相似。值得一提的是,2 次构造挤压活动对华南中生代区域上的岩浆活动、成矿作用期次具有深远的影响^[27-35]。

5 结 论

根据稻香组中气孔玄武岩和硅化泥岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年数据(分别为 103 Ma 和 124 Ma),结合区域地质背景及前人研究成果。本

文认为稻香组地层时代应划归为早白垩世晚期,其地层时代和形成环境与石帽山群比较一致。而原“稻香组”中的变质岩类和粗碎屑沉积岩类暂时分别划归龙北溪岩组和梨山组。

本文仅对原“稻香组”岩石组合及地层时代划分进行了粗浅的讨论,而原“稻香组”岩石组合十分复杂,地层时代的准确划分比较困难,所得结论可能并不客观、确切,区域上的构造、成矿作用研究工作依然任重道远。

致谢:南京地质调查中心黄正清教授级高工和湛龙工程师指导稻香组剖面的实测,合肥工业大学李亚楠研究生完成了本文的锆石测验及数据处理,审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 陶忠耀. 福建政和附近“溪口组(?)”浅变质岩系时代的探讨[J]. 福建地质, 1983, 2(3): 57-63.
Tao Zhongyao. Discussion on stratigraphic age of “Xikou Formation(?)” in Zhenghe County, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 1983, 2(3): 57-63 (in Chinese).
- [2] 徐一伟, 林雪萍. 政和“稻香组”地质时代的确定及其变质火山岩岩石成因探讨[J]. 福建地质, 1990, 9(4): 266-280.
Xu Yiwei, Lin Xueping. The determination of geological time of “Daoxiang Formation” and the petrogenetic discussion on its metamorphic rocks near Zhenghe County[J]. Geology of Fujian, 1990, 9(4): 266-280 (in Chinese with English abstract).
- [3] 揭育金. 福建政和地区“稻香组”问题的探讨[J]. 福建地质, 2004, 23(3): 124-130.
Jie Yujin. Discussion on Daoxiang Formation in Zhenghe, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 2004, 23(3): 124-130 (in Chinese with English abstract).
- [4] Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2008, 23: 1093-1101.
- [5] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [6] Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537-571.
- [7] Liu Y, Hu Z, Zong K, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [8] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19: 1-23.
- [9] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California, 2003: 1-74.
- [10] 梁涛, 罗照华, 潘颖, 等. 玄武质岩石的单颗粒锆石 U-Pb 年龄谱[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 24-48.
Liang Tao, Luo Zhaohua, Pan Ying, et al. U-Pb age spectrums of single zircon from basaltic rocks[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 24-48 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张招崇, 周美夫, Robinson P T, 等. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP 分析结果及其地质意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 222-226.
Zhang Zhaochong, Zhou Meifu, Robinson P T, et al. SHRIMP dating of the Aoyougou ophiolite in the west sector of the north Qilian Mountains and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(2): 222-226 (in Chinese with English abstract).
- [12] 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 805-813.
Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon chronology of basalts from the Yanbian Group in the western Yangtze Block[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 805-813 (in Chinese with English abstract).
- [13] 任光明, 庞维华, 孙志明, 等. 扬子西缘黄水河群玄武岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1007-1015.
Ren Guangming, Pang Weihua, Sun Zhiming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of basalt from Huangshuihe Group on the western margin of the Yangtze block and its geological significance[J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1007-1015 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵越, 宋彪, 张拴宏, 等. 北京西山侏罗纪南大岭组玄武岩的继承锆石年代学及其含义[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 184-190.
Zhao Yue, Song Biao, Zhang Shuanhong, et al. Geochronology of the inherited zircons from Jurassic Nandaling basalt of the Western Hills of Beijing, North China: Its implications[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(2): 184-190 (in Chinese with English abstract).

- [15] 何世平, 王洪亮, 徐学义, 等. 北祁连东段红土堡基性火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 地球科学进展, 2007, 22(2): 143-151.
He Shiping, Wang Hongliang, Xu Xueyi, et al. A LA-ICP-MS U-Pb chronological study of zircons from Hongtubu basic volcanic rocks and its geological significance in the east segment of North Qilian Orogenic belt[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(2): 143-151 (in Chinese with English abstract).
- [16] 梁涛, 罗照华, 柯珊, 等. 新疆托云火山群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其动力学意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1381-1391.
Liang Tao, Luo Zhaohua, Ke Shan, et al. SHRIMP zircon dating of the Tuyon volcanoes group, Xinjiang, and its geodynamic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(6): 1381-1391 (in Chinese with English abstract).
- [17] 宋彪, 乔秀夫. 辽北辉绿岩墙(床)群及二道沟组玄武岩锆石年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 250-262.
Song Biao, Qiao Xiufu. Ages of the zircons from basalt of the Erdaogou Formation and diabase dyke warms in Northern Liaoning, and their significances[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(3): 250-262 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王团华, 毛景文, 谢桂青. 河南商城地区岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 369-377.
Wang Tuanhua, Mao Jingwen, Xie Guiqing. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of dikes in Shangcheng area, Henan Province, Central China[J]. Bulletin of Mineralogy and Geochemistry, 2008, 27(4): 369-377 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李德东, 罗照华, 黄金香, 等. 皮盆盆地新生代基性岩浆活动的年代学及其地质意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 270-281.
Li Dedong, Luo Zhaohua, Huang Jinxiang, et al. The chronological and geological implications of the Cenozoic basic magmatic activities in Piqiang Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(3): 270-281 (in Chinese with English abstract).
- [20] 朱永峰, 周晶, 宋彪, 等. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 487-497.
Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Song Biao, et al. Age of the “Dahalajunshan” Formation in Xinjiang and its disintegration[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 487-497 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张达玉, 周涛发, 袁峰, 等. 塔里木柯坪地区库普兹曼组玄武岩锆石 LA-ICPMS 年代学、Hf 同位素特征及其意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 963-974.
Zhang Dayu, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. LA-ICPMS U-Pb ages, Hf isotope characteristics of zircons from basalts in the Kupukuziman Formation, Keping area, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 963-974 (in Chinese with English abstract).
- [22] 段政, 邢光福, 余明刚, 等. 浙闽边界区晚中生代火山作用时序与过程分析[J]. 地质论评, 2013, 59(3): 454-469.
Duan Zheng, Xing Guangfu, Yu Minggang, et al. Time sequence and geological process of late Mesozoic volcanic activities in the area of Zhejiang-Fujian boundary[J]. Geological Review, 2013, 59(3): 454-469 (in Chinese with English abstract).
- [23] 徐夕生, 谢昕. 中国东南部晚中生代—新生代玄武岩与壳幔作用[J]. 高校地质学报, 2005, 3(11): 318-334.
Xu Xisheng, Xie Xin. Late Mesozoic—Cenozoic basaltic rocks and crust-mantle interaction, SE China[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 3(11): 318-334 (in Chinese with English abstract).
- [24] 贺振宇. 中国东南部中生代正长岩及相关岩石的成因和地质意义[D]. 南京: 南京大学, 2010.
He Zhenyu. Petrogenesis and Geologic Significance of the Mesozoic Syenites and Related Rocks from SE China[D]. Nanjing: Nanjing University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. 地球学报, 2012, 33(3): 257-279.
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Li Jianhua, et al. The new progress in the study of Mesozoic tectonics of South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(3): 257-279 (in Chinese with English abstract).
- [26] 崔玉荣, 谢智, 陈江峰, 等. 浙东晚中生代玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2010, 16(2): 198-212.
Cui Yurong, Xie Zhi, Chen Jiangfeng, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons from the late Mesozoic basalts in eastern Zhejiang Province and its geological significance[J]. Geological Journal of China Universities, 2010, 16(2): 198-212 (in Chinese with English abstract).
- [27] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
Shu Liangshu. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(7): 1035-1053 (in Chinese with English abstract).
- [28] 邢光福, 卢清地, 陈荣, 等. 华南晚中生代构造体制转折结束时限研究——兼与华北燕山地区对比[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 451-463.

- Xing Guangfu, Lu Qingdi, Chen Rong, et al. Study on the ending time of late Mesozoic tectonic regime transition in South China—Comparing to the Yanshan area in North China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(4): 451–463 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. *地学前缘*, 2009, 16(1): 234–247.
- Zhang Yueqiao, Xu Xianbing, Jia Dong, et al. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(1): 234–247 (in Chinese with English abstract).
- [30] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程[J]. *中国地质*, 2009, 36(3): 573–593.
- Xu Xianbing, Zhang Yueqiao, Jia Dong, et al. Early Mesozoic geotectonic processes in South China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3): 573–593 (in Chinese with English abstract).
- [31] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 2004, 11(1): 45–56.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 45–56 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题[J]. *中国科学(D辑)*, 2013, 43: 1553–1582.
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun, et al. Tectonics of South China continent and its implications[J]. *Science in China (Series D)*, 2013, 56: 1804–1828(in Chinese).
- [33] 赵希林, 刘凯, 毛建仁, 等. 华南燕山早期晚阶段两类花岗质岩体与成矿作用: 以赣南—闽西南地区为例[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 871–886.
- Zhao Xilin, Liu Kai, Mao Jianren, et al. Metallogensis of two types of late Early Yanshanian granitoids in South China: Case studies of south Jiangxi and southwest Fujian[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 871–886 (in Chinese with English abstract).
- [34] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(4): 335–343.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Ore forming system in in Mesozoic and Cenozoic in South China[J]. *Science in China(Series D)*, 2003, 33(4): 335–343 (in Chinese).
- [35] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据[J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 642–650.
- Feng Chengyou, Feng Yaodong, Xu Jianxiang, et al. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 642–650 (in Chinese with English abstract).