

滇西高黎贡山南段公养河群变质基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

杨学俊¹, 贾小川¹, 熊昌利^{1,2}, 白宪洲^{1,2}, 黄柏鑫^{1,2}, 罗 改¹, 杨朝碧³

YANG Xue-jun¹, JIA Xiao-chuan¹, XIONG Chang-li^{1,2}, BAI Xian-zhou^{1,2},

HUANG Bai-xin^{1,2}, LUO Gai¹, YANG Chao-bi³

1. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059;

3. 四川省地勘局区域地质调查队, 四川 双流 610213

1. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

3. Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geological Exploration and Development of Mineral Resources, Shuangliu 610213, Sichuan, China

摘要:滇西公养河群 1965 年创名,为一套浅变质砂岩与泥板岩,夹少量硅质岩(或硅质页岩)及灰岩,生物稀少,常具类复理石韵律,为一套浊流至半深海相沉积;其时代一般认为属震旦纪—中寒武世,但一直缺乏准确的化石或测年依据。本次 1:5 万区调在龙陵县邦迈村地层剖面中,确定了该套地层夹数层变质基性火山岩序列,根据地球化学研究恢复其原岩为玄武岩,形成于陆内拉张环境,可能与泛非造山期后的伸展有关。获得了变质基性火山岩的锆石 U-Pb 激光探针(LA-ICP-MS)499.2Ma±2.1Ma 的年龄。这是测区首次获得的有关公养河群的高精度测年数据,为该群的划分及其时代约束提供了可靠的年代学依据。这一新的发现和成果对于进一步深入研究高黎贡山变质变形带泛非期的构造属性与演化历史具有重要意义。

关键词:滇西龙陵地区;公养河群;变质基性火山岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号:P597+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2012)02/03-0264-13

Yang X J, Jia X C, Xiong C L, Bai X Z, Huang B X, Luo G, Yang C B. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of metamorphic basic volcanic rock in Gongyanghe Group of southern Gaoligong Mountain, western Yunnan Province, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2012,31(2/3):264-276

Abstract: Gongyanghe Group, which was named in 1965, is composed of epimetamorphic sandstone and shale interlayered with small amounts of siliceous rock (or siliceous shale) and limestone and represents a set of turbid flow and bathyal facies sediments with fly-schoid rhythm and rare organisms. Its age has been generally considered to be between Sinian and Middle Cambrian, which, however, is not based on the evidence of fossils or accurate dating. In this study, the authors identified the stratigraphic sequence composed of several layers of metamorphic basic volcanic rock in Bangmai Village of Longling County. It is held that its original rock was basalt formed in an intra-continental tension environment and probably related to extension after the Pan-African orogenic period. The authors got for the first time the U-Pb age (499.2Ma±2.1Ma) of zircon from metamorphic basic volcanic rock and thus provided a reliable chronological basis for the division of the Gongyanghe Group and the restriction of the age. This achievement is very important for the further study of the tectonic characteristics and history of the deformed metamorphic belt of the Gaoligong Mountain.

Key words: Longling area of western Yunnan; Gongyanghe Group; metamorphic basic volcanic rock; LA-ICP-MS zircon U-Pb age

收稿日期:2011-12-26;修订日期:2012-02-13

资助项目:中国地质调查局项目《1:5 万清江河幅(G47E020011)、镇安街幅(G47E020012)、龙陵县幅(G47E021011)、龙新幅(G47E021012)区域地质调查》(编号:1212010784006)

作者简介:杨学俊(1968-),男,高级工程师,从事区域地质调查。E-mail:reghy@vip.163.com

公养河群由云南区测队(1965)创名于龙陵县公养河。该群分布于柯街断裂以西之保山、潞西一带,为一套巨厚的细碎屑类复理石建造,分为上下 2 个亚群,已轻微变质。该群之上为上寒武统整合覆盖,其下未见底。

该群建立以来,虽然前人进行了多轮工作,但由于化石稀少,其时代至今没有准确的定论。

罗惠麟^[1]根据公养河群上亚群施甸起家厂-老寨子剖面的疑源类化石,建立了 *Protospongia* 带,特别是其中的 *Baltisphaeridium* 为前苏联和滇中早寒武世的标准分子,因此认为公养河群上亚群属早—中寒武世。

《云南省区域地质志》^[2]根据公养河群上亚群含较丰富的海绵骨针和三叶虫化石碎片,认为属于寒武系,并根据缅甸的资料,认为公养河群含藻类化石的下亚群可能相当于新元古代—寒武纪 Chaung Magyi 群(昌马支系)。在缅甸,Chaung Magyi 群不整合在与高黎贡山岩群层位相当的 Mogok (摩谷系)片麻岩系之上,被上寒武统不整合覆盖^[3-4],因此认为公养河群下亚群属于震旦系。

曹仁关等^[5]在龙陵县公养河东乌木寨一带,于公养河群下亚群靠近底部的细—中粒石英砂岩夹粉砂岩和板岩中发现了遗迹化石,即拟克鲁斯迹(新遗迹属) *Paracruziana* (ichnogen. nov.)、龙陵拟克鲁斯迹(新遗迹属和种) *Paracruziana longlingensis* Cao et Lu (ichnogen. Et ichnosp. nov.), 据此认为公养河群下亚群的时代应属早寒武世。

1:25 万区调潞西市幅^[6]对公养河群进行了重新划分,其公养河群的定义仅包括原公养河群的下部层位,以杂砂岩、页岩为主,普遍发育有鲍玛序列,岩石基本未变质,认为公养河群的时代大部分为早寒武世,最底部及其以下地层可能属震旦纪。1:25 万区调新建了一个跨系的岩石地层单位——蒲满哨群(未发表)^①,用以代表高黎贡山东坡的古生界,其中包括原公养河群上部的一套活动型类复理石沉积(砂岩夹层较少,普遍见砂泥质碳酸盐岩、泥质硅质岩夹层,偶见基性、酸性火山岩夹层,岩石多发生低绿片岩相的变质作用)和含三叶虫、腕足类(正形贝)、海林檎等化石的上寒武统或奥陶系,甚至包含部分上古生界。

王义昭^[4]在《三江地区南段大地构造与成矿》中论述:芒市次地块奥陶系底部发育有紫红色底砾岩,

湾腰树一带见其直接覆于公养河群之上,两者变质变形程度存在明显的差异,应为不整合接触关系。

综上所述,各家对公养河群的时代厘定,虽然依据不同、证据欠充分,但基本承认其上部被上寒武统整合覆盖或者被奥陶系不整合超覆,最底部及其以下地层可能属震旦系。

1:5 万区调镇安街幅^②,在位于龙陵县邦迈村原公养河群的上部(1:25 万区调划为蒲满哨群)地层剖面中,确定了数层变质基性火山岩,并获得了变质基性火山岩的锆石 U-Pb 激光探针(LA-ICP-MS)年龄 $499.2\text{Ma} \pm 2.1\text{Ma}$ 。这是测区首次获得的有关公养河群的高精度测年数据,为公养河群的划分和时代归属提供了可靠的年代学依据。这一新的发现和成果对于进一步深入研究高黎贡山变质变形带泛非期的构造属性与演化历史具有重要意义。

1 区域地质概况与采样位置

公养河群沿怒江断裂带,从潞西到泸水一带呈南北向分布。其东西两侧的构造单元具有多块体拼合的特点。按照潘桂棠等^[7]提出的中国大地构造分区方案,公养河群属于保山地块(VII-8)二级大地构造单元西部潞西被动陆缘(VII-8-1)三级构造单元。西侧与西藏—三江造山系内部的拉达克—冈底斯弧盆系(VII-5)二级大地构造单元东部之昂龙冈日—班戈—腾冲岩浆弧带(VII-5-2)三级构造单元交界,同为班公湖—怒江结合带的组成部分。作为潞西被动陆缘(VII-8-1)三级构造单元东、西边界的,正是怒江断裂带东支(F_3)和怒江断裂带西支(F_2)(图 1)。

本次调查结果证实怒江断裂带西支(F_2)是由多条近于平行的韧性剪切带组成的,其中龙潭—楠木桥断裂和最东边的泸水—龙陵—瑞丽断裂(F_2)是最主要的 2 条断裂。整个韧性剪切带构成了三台山构造混杂岩带,其宽 3~5km,由南而北总体呈近北向—北东向展布,以往的区域地质调查工作先后将其归属为有疑问的寒武系和奥陶系—志留系勐洪群(1:20 万潞西幅区域地质调查报告,1966)、高黎贡山群上段(1:20 万腾冲幅区域地质调查报告,1982)和中下三叠统伙马组、扎多组(1:25 万腾冲县幅、潞西市幅区域地质调查报告,2007)。本次工作将其厘定为构造混杂岩带。构造混杂岩带可填绘出的硅质岩、白云岩、火山岩(早白垩世)、花岗岩(中寒武世、晚白垩世)等规模数百米至数千米的岩片或岩块,多已被

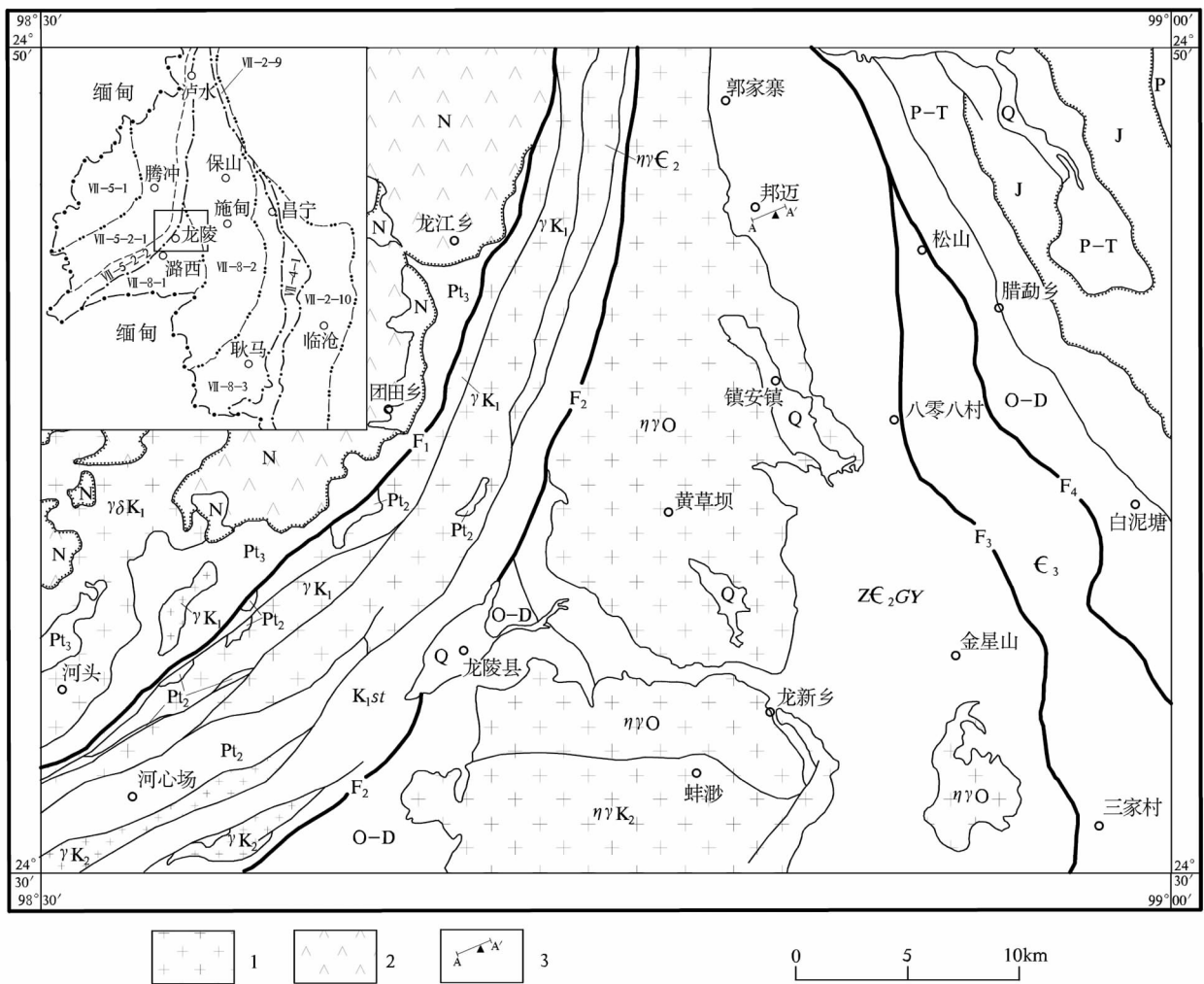


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

Q—第四系;N—新近系;K_{1st}—早白垩世三台山岩组;J—侏罗系;P-T—二叠系-三叠系;O-D—奥陶系-泥盆系;
ε₃—上寒武统;Zε₂GY—震旦系-中寒武统公养河群;Pt₃/Pt₂—新/中元古界;γK₂—晚白垩世花岗岩;γδK₂—晚白垩世花岗岩闪长岩;
γK₁—早白垩世花岗岩;ηγK₁—早白垩世二长花岗岩;ηγO—奥陶纪二长花岗岩;ηγε₂—中寒武世二长花岗岩;VII-5-1—各级构造
单元编号;F₁—断层;1—花岗岩类;2—安山岩类;3—镇安镇邦迈村公养河群(或蒲满哨群)实测剖面(见图 2)及铅石采样位置

改造成糜棱岩,构成宏观填图尺度、露头尺度、标本尺度和显微尺度不同级次、不同应变结果的糜棱“网眼构造”。至于混杂岩带中早白垩世火山岩的特征和对该混杂岩带形成机制的讨论,将另文论述。

怒江断裂带东支(F₃)在各个研究项目中的表述不尽相同。本文的认识与 1:25 万腾冲县幅、潞西市幅区域地质调查报告(2007)基本一致,认为怒江断裂东支是在泸水-怒江断裂带附近的一条分支断裂,断裂沿怒江西岸经六库、上江(西)延伸,接“敢顶断裂”,在镇安东接“八零八断裂”,经匡家寨、三

家寨西,向南延至天岭以南。怒江断裂带东支(F₃)最大的分划性作用是作为三级构造单元潞西被动陆缘(VII-8-1)与保山碳酸盐台地(VII-8-2)的界线。在镇安至天岭一带,从地层上表现为该断裂是公养河群(或者蒲满哨群)的东界;从岩浆岩方面,古生代花岗岩只在断裂以西出现;从变质方面,断裂以东的地层未变质,以西轻微变质。

作为本文研究对象的公养河群,就夹持在怒江断裂带西支(F₂)、东支(F₃)和测区以南万马河断裂围限构成的一个南宽北窄的三角形区域里面。本轮

1:5 万区调对位于龙陵县龙新以南至镇安街以北郭家寨等地的公养河群进行了填图和研究,分别于龙陵县龙新乡匡家寨-绕廊、镇安镇邦迈、镇安镇郭家寨实测和修测了地层剖面。

其中龙陵县龙新乡匡家寨-绕廊剖面将公养河群分为 4 段,一、二段为深海复理石沉积;三、四段为细碎屑岩夹原岩可能是凝灰质岩石(酸性—中基性、基性)的绿泥千枚岩、绢云千枚岩、斜长透闪绿帘片岩等,说明沉积过程中有过火山活动。镇安镇邦迈剖面和镇安镇郭家寨剖面,除复理石外,还出现了较多的火山岩和薄层钙硅质岩、碳酸盐岩,说明火山活动更为显著,沉积环境更趋向活动性。

在公养河群中发现火山活动的痕迹,这是 1:25 万区调和本轮 1:5 万区调对公养河群研究的一大进展。1:25 万区调根据区域资料和镇安镇郭家寨剖面发现有上古生界的化石,考虑到这套地层的沉积建造明显不同于施甸地层小区的上寒武统或奥陶系,且其中还夹有基性和酸性的火山岩,但当时的研究程度又难以将它们进一步划分,因而将其命名为蒲满哨群,用以代表高黎贡山东坡的古生界。

通过 1:5 万区调研究,已将郭家寨剖面有上古生界化石的层位作为构造夹块或飞来峰从蒲满哨群中剔除。现在笔者认为,公养河群可以定义为大的 2 套层序:下部为深海复理石沉积,向上过渡为活动性深水、半深水的陆棚—斜坡环境的细碎屑岩夹碳酸盐岩和少量基性、酸性火山岩。如果研究程度许可,要细致划分、建立新的岩石地层单位,可以将蒲满哨群限定为上述公养河群的上部层位,与公养河群为过渡关系,整合接触。

至于公养河群或蒲满哨群的时代,暂时没有充足的化石依据。根据镇安镇邦迈剖面出露数层变质基性火山岩的情况,本次 1:5 万区调尝试用火山岩锆石测年方法来限定该套地层的时代。采集其中一层块状基性火山岩(已变质为斜长角闪岩),采样位置坐标 E98°49'46.2"、N24°45'54.4",位于镇安镇邦迈村线那北东约 270m 的公路边。成功挑选出锆石 100 多粒,在西北大学大陆动力学国家重点实验室通过锆石 U-Pb 激光探针(LA-ICP-MS)方法,获得了 $499.2\text{Ma} \pm 2.1\text{Ma}$ 的年龄。另外,镇安附近的勐冒二长花岗岩侵入公养河群,围岩发育热接触变质。岩体中锆石 U-Pb LA-ICP-MS 方法作出的年龄为 $454.1\text{Ma} \pm 1.5\text{Ma}$ (将另文刊出),成岩年代为奥陶纪,

也从年代学上证明了与公养河群的侵入接触关系。因此,可以确定公养河群上部层位的时代为中寒武世晚期。

2 火山岩地层和变质基性火山岩的特征

2.1 镇安镇邦迈剖面列述

1:25 万区调实测了云南省龙陵县镇安街邦迈村蒲满哨群剖面,本次 1:5 万区调作了修测。剖面位于云南省龙陵县镇安镇邦迈村附近,剖面起于 E98°50'03"、N24°46'05",终于 E98°48'06"、N24°46'00"(见图 1 所示位置)。剖面下部被花岗岩侵入而未见底,上部未见顶(图 2)。

蒲满哨群(公养河群上部)厚大于 1802.9m。岩性组合特征为灰色条纹状(泥质)钙质板岩、大理岩、微晶灰岩与变质长石石英砂岩、粉砂质板岩、雏晶黑云(绢云)板岩、泥质板岩不等厚互层;砂岩中见低角度的斜层理、平行层理,毫米级的钙质—泥质组成的复理石韵律、硅泥质条带状灰岩形成的水下塌构造较为常见,板岩中见水平纹层。在邦迈等地,变质细碎屑岩中还夹有多层斜长角闪岩、绿片岩(变质基性火山岩),向上过渡为薄板状大理岩。

蒲满哨群二段($\epsilon_2 PM^2$)(未见顶)

- | | |
|--------------------------------------|--------|
| 10.灰色钙质粉砂质板岩 | 11.50m |
| 9.灰色细砂岩(a)与粉砂岩(b)、泥质粉砂质板岩(c)组成 abc 式 | |
| 由粗变细的基本层序,a:b:c 厚为 5:2:1 | 18.07m |

—— 整合接触 ——

蒲满哨群一段($\epsilon_2 PM^1$)

- | | |
|--------------------------------------|---------|
| 8.灰色、浅绿灰色泥质粉砂质板岩夹灰色、浅灰黄色粉砂质泥质板岩 | 210.96m |
| 7.灰色、浅绿灰色泥质粉砂质板岩夹青灰色薄板状大理岩化灰岩 | 51.96m |
| 6.灰色、浅灰黄色粉砂质绢云板岩夹 1 层(厚 30cm)灰色斜长角闪岩 | 95.25m |

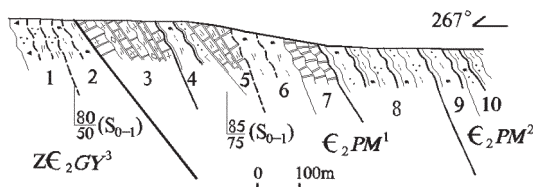


图 2 云南省龙陵县镇安街邦迈村蒲满哨群实测剖面
Fig. 2 Measured profile of Pumanshao Group
at Bangmai Village, Zhen'an Township,
Longling County, Yunnan Province

- 5.青灰色薄板状大理岩化灰岩夹灰黄色钙质粉砂质板岩
80.71m
 - 4.灰色、灰黄色粉砂质板岩夹灰色、浅灰黄色粉砂质泥质板岩
55.04m
 - 3.青灰色薄板状大理岩化灰岩夹浅灰色薄层状钙质细砂岩
184.46m
- ==== 断层接触 =====
- 公养河群三段($Z \in_2 GY^3$)
- 2.灰色、灰黄色绢云粉砂质千枚状板岩
57.31m
 - 1.灰色、灰黄色石英绢云千枚岩夹 1 层(厚 10~25cm)透镜状角闪斜长岩
104.82m

2.2 岩石学特征

在与镇安镇邦迈剖面大致平行的沿镇安街至怒江坝的老公路边,走向上与上述剖面第 6 层位置相对应的 D0015 地质点观察到块状斜长角闪岩过渡为黑云斜长角闪片岩、微晶黑云石英片岩(图 3、图

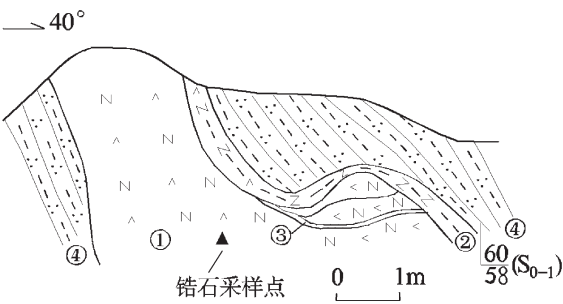


图 3 采样点露头素描

Fig. 3 Sketch of the outcrop at the sampling point

- ①块状斜长角闪岩;②黑云斜长角闪片岩;
- ③黑云斜长片岩;④微晶黑云石英片岩

4),再向上变为灰色、浅绿灰色泥质粉砂质板岩夹青灰色薄板状大理岩化灰岩,显示了一个完整的喷

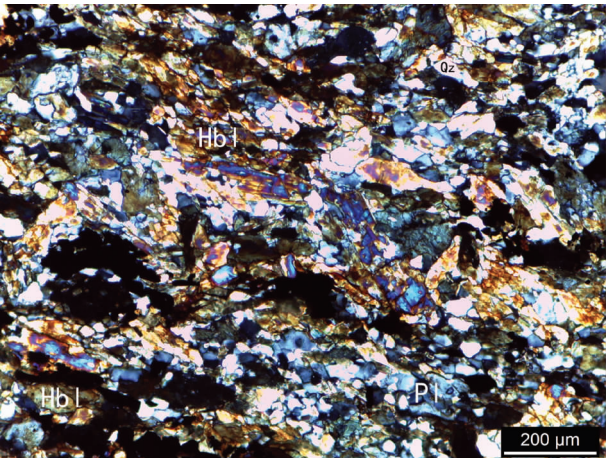


图 4 采样点露头照片(黑云斜长角闪片岩向上过渡为微晶黑云石英片岩,右边为黑云斜长角闪片岩显微照片)

Fig. 4 Photograph of the outcrop at the sampling point

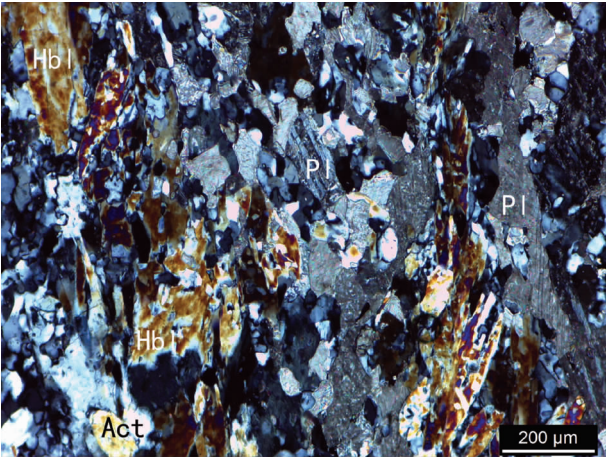
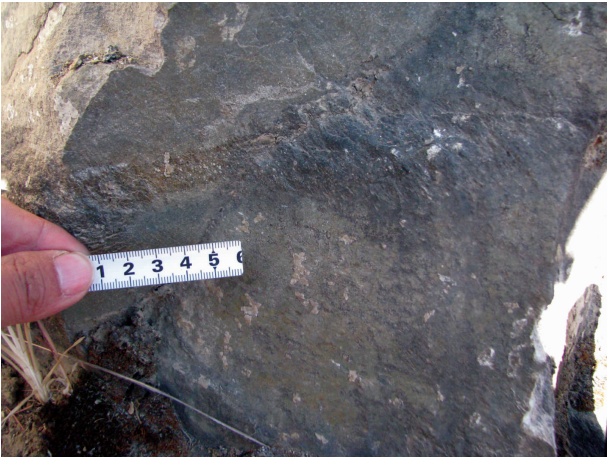


图 5 采样点露头照片(块状斜长角闪岩内部隐约显示变余枕状构造? 右边为其显微照片)

Fig. 5 Photograph of the outcrop at the sampling point

发-沉积旋回。块状斜长角闪岩内部隐约显示变余枕状构造(?),见图 5。

斜长角闪岩原岩应为中基性火山熔岩,经变质改造而成。呈深灰、灰绿、灰黑色,具粒状变晶结构,块状构造。主要由普通角闪石(约 40%)、斜长石(约 34%)、石英(约 20%)组成。普通角闪石呈粒状变晶颗粒,斜长石、石英呈等轴粒状变晶颗粒,分布较均匀,彼此较紧密地镶嵌排列成为镶嵌结构。少量黑云母(约 4%)零星分布在岩石中,少量楣石(约 2%)呈微晶颗粒不均匀地分布,偶见极少量的金属矿物(<1%)。

2.3 岩石地球化学特征

2.3.1 主量元素特征

1:25 万潞西幅区调工作对本区火山岩的研究程度较高,本次工作采集了 1 件岩石全分析样品,其余均引用 1:25 万潞西幅区调报告的数据,其主量元素含量和 CIPW 标准矿物成分计算结果见表 1。 SiO_2 含量 48.16%~56.83%, Al_2O_3 含量 12.44%~17.31%, TiO_2 含量 0.67%~3.20%, Na_2O 含量 0.63%~2.14%, K_2O 含量为 0.42%~2.89%, TFeO 含量高达 7.84%~17.19%, MgO 含量变化大,在 3.83%~6.89%之间。

全碱含量($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)为 1.21%~4.21%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在 0.2~2.19 之间;里特曼指数 σ 在 0.11~2.11 之间,显示出钙碱性的特征。在 TAS 岩石分类命名图解(图 6)中样品数据点主要投影在玄武岩(B)和玄武安山岩(O1)区域中,显示出亚碱性的特征;在 AFM 图解(图 7)中,样品点主要投影于拉斑玄武岩系列(TH)区域内。此外,分异指数 DI 较低,在 21.78~37.62 之间,表明岩浆分异程度低。

2.3.2 稀土和微量元素特征

火山岩微量、稀土元素分析结果及相关参数见表 2。火山岩 Rb/Sr 较小,在 0.03~0.26 之间,平均值为 0.16,多小于大陆壳的 Rb/Sr 比值(0.24); K/Rb 在 65.08~338.36 之间,平均值为 180.85; Sr/Ba 比值在 1.24~4.46 之间,平均值为 2.64; Nb/Ta 值主要在 8.81~24.00 之间,平均值为 23.47; Th/U 值在 1.33~4.88 之间,平均值为 3.18。

在微量元素蛛网图(图 8)中,表现了不一致的特征,表明了火山岩成因的复杂性。但能够清晰地看出其中几组数据所显示的一致性特点:强不相容性元素 Rb 、 Th 、 U 等强烈富集,大离子亲石元素 Ba 、 K 、 Sr 均表现出比较明显的负异常,高场强元素 U 、

P 、 Ti 表现不同程度的负异常,而 Ta 、 Nb 、 La 、 Nd 、 Sm 等表现出比较混乱的模式。

稀土元素总量 $\sum \text{REE}$ 为 87.36×10^{-6} ~ 255.1×10^{-6} ,平均为 186.96×10^{-6} ; $\sum \text{Ce}/\sum \text{Y}$ 主要在 0.95~4.29 之间, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 在 1.51~9.1 之间; δEu 变化大,为 0.72~1.8,平均为 1.11; δCe 在 0.67~1.11 之间,平均为 0.95。稀土元素分布模式曲线(图 9)大致表现出 2 组不同的特点,一组为略向右倾的较平滑的 LREE 富集模式,具较弱的 Eu 负异常;另一组表现为略向右倾的 W 形的稀土元素配分模式,具有较明显的 Eu 正异常。两者 HREE 分配系数变化不大,在模式曲线上 Ho — Lu 均较平坦, Y/Yb 比值大多在 10 左右(9.3~11.87),平均为 10.2。这一特征说明这些岩石可能起源于富集地幔,经历了复杂的成岩历史,其中包括部分熔融、分离结晶、水-岩交代作用等。

2.3.3 构造环境判别

在 $\text{TFeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解(图 10-a)中,玄武岩(实心黑圆点)样品点投影于洋岛玄武岩(Ⅱ)和大陆玄武岩(Ⅲ)界线附近,而玄武安山岩(黑十字)样品点投影在造山带玄武岩(V)区域内。在 $\text{TiO}_2-10\text{MnO}-10\text{P}_2\text{O}_5$ 构造判别图解(图 10-b)中,玄武岩样品点主要投影于洋岛拉斑玄武岩(IAT)区域内,而玄武安山岩样品点投影于岛弧钙碱性玄武岩(CAB)区域内。

在 $\text{TiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ 构造判别图解(图 10-c)中,玄武岩样品点投影于大洋拉斑玄武岩(OT)中,玄武安山岩样品点投影于大陆拉斑玄武岩(CT)中。在 $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$ 构造判别图解(图 10-d)中,样品点主要投影在板内环境中(WPB)。在 $\text{Ti}/100-\text{Zr}-3\text{Y}$ 判别图解(图 10-e)中,玄武岩样品点主要投影于板内玄武岩样品点区域(D),安山玄武岩样品点投影于钙碱性玄武岩区域内(C)。在 $2\text{Nb}-\text{Zr}/4-\text{Y}$ 构造判别图解(图 10-f)中,玄武岩样品点投影于板内拉斑玄武岩区域内(A2+C),安山玄武岩样品点投影于 E 型 MORB 区域内(B)。

从主量和微量元素判别可以看出,邦迈火山岩带中的玄武岩和安山玄武岩主要产于板内环境。玄武岩与侵入其中的奥陶纪花岗岩都形成于相同的陆内拉张环境,可能与泛非造山期后的伸展有关。

3 锆石特征与测年结果

本次 1:5 万调查在帮迈村线那北东公路边采集

表 1 潞西火山岩带寒武纪火山岩主量元素含量、相关参数和 CIPW 标准矿物计算结果
Table 1 Calculations of major elements, some parameters and CIPW standard minerals
of Cambrian volcanic rocks in Luxi volcanics belt

样品编号	D0014H1	D1560-5-2	D1560-13-2	D1560-17-2	D1560-21-1	D1761-1-1	D1765-2-2
填图单位	公养河群	公养河群	公养河群	公养河群	公养河群	公养河群	公养河群
岩石名称	斜长 角闪岩	斜长 角闪片岩	角闪绿帘 斜长片岩	黑云角闪 斜长片岩	黑云角闪 斜长变粒岩	变玄武岩	斜长 角闪岩
SiO ₂	49.27	49.99	53.87	56.83	56.17	50.78	48.16
TiO ₂	1.31	3.20	0.67	0.73	0.72	3.11	2.53
Al ₂ O ₃	14.97	12.78	16.29	17.31	16.14	12.44	13.34
Fe ₂ O ₃	2.14	5.65	1.95	1.91	2.12	2.79	3.68
FeO	8.00	11.76	6.62	6.15	5.93	14.68	12.53
MnO	0.22	0.41	0.28	0.33	0.37	0.54	0.36
MgO	6.89	4.32	4.41	3.83	5.37	4.33	5.74
CaO	11.48	8.89	11.58	11.14	11.86	8.87	10.52
Na ₂ O	1.66	2.14	1.32	0.70	0.63	1.25	1.94
K ₂ O	0.75	0.42	2.89	0.91	0.58	0.76	0.97
P ₂ O ₅	0.17	0.44	0.13	0.17	0.11	0.43	0.24
灼失	1.66	0.20	2.19	1.31	0.92	0.61	0.50
Σ	98.52	100.20	102.20	101.32	100.92	100.59	100.51
H ₂ O ⁺	1.99	0.93	1.63	0.19	0.11	0.52	1.64
CO ₂	0.06	2.56	4.20	1.61	1.21	2.02	2.91
标 准 矿 物 计 算 结 果							
A/CNK	0.61	0.63	0.62	0.77	0.69	0.65	0.57
A/NK	4.22	3.21	3.07	8.09	9.69	4.32	3.14
Q	2.72	12.86	10.53	20.56	18.62	12.72	4.62
An	32.16	23.41	28.76	40.72	39.01	25.57	24.12
Ab	14.49	17.65	10.71	5.82	5.26	10.37	15.95
Or	4.57	2.42	16.38	5.29	3.38	4.40	5.57
Di	20.55	0.94	0.26	2.28	8.98	2.01	6.04
Hy	19.18	22.10	19.95	17.22	17.35	29.66	26.86
Il	2.57	5.92	1.22	1.36	1.35	5.79	4.67
Mt	3.20	7.98	2.71	2.72	3.04	3.96	5.18
Ap	0.41	0.99	0.29	0.39	0.25	0.98	0.54
Zr	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03
Cm	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Cc	0.14	5.67	9.16	3.60	2.72	4.50	6.43
DI	21.78	32.93	37.62	31.67	27.26	27.49	26.14
SI	35.44	17.79	25.65	28.37	36.71	18.19	23.09
AR	1.20	1.27	1.36	1.12	1.09	1.21	1.28
σ	0.79	1.09	1.88	0.19	0.11	0.57	2.11
R1	2276	1873	2103	3034	3105	2160	1736
R2	1922	1380	1704	1693	1829	1380	1624
F1	0.45	0.48	0.47	0.54	0.51	0.50	0.44
F2	-1.50	-1.45	-1.21	-1.37	-1.43	-1.40	-1.43
F3	-2.40	-2.19	-2.30	-2.34	-2.35	-2.16	-2.22
A/MF	0.47	0.37	0.71	0.83	0.65	0.35	0.36
C/MF	0.66	0.46	0.91	0.97	0.87	0.46	0.52

注: D0014H1 样品由本次采样送至武汉综合岩矿测试中心分析测试, 其余均引自 1:25 万潞西幅区域地质调查报告

表 2 澜西火山岩带寒武纪火山岩微量、稀土元素含量和相关参数

Table 2 Trace elements and REE analyses and some parameters of Cambrian volcanic rocks in Luxi volcanics belt

样品编号	岩石名称	10 ⁻⁶													
		Ca	K	P	Ti	Cu	Cr	Ni	Co	Rb	Sr	Ba	V	Sc	Nb
D0014H1	斜长角闪岩	82000	6223	742	7851	69.03	178.1	72.88	36.39	95.6	365.8	96.9	310.4	53.17	5.9
D1560-5-2	斜长角闪片岩	63500	3485	1921	19179	137.60	130.8	35.72	67.84	10.3	382.6	85.7	449.0	21.29	22.3
D1560-13-2	角闪绿帘斜长片岩	82714	23981	568	4016	51.58	110.2	48.78	23.17	127.8	557.5	448.1	99.7	14.52	14.0
D1560-17-2	黑云角闪斜长片岩	79571	7551	742	4375	58.99	109.7	41.29	20.77	43.5	556.2	237.7	127.7	15.57	14.1
D1560-21-1	黑云角闪斜长变粒岩	84714	4813	480	4315	50.98	104.2	49.44	21.26	24.3	444.1	193.9	132.8	14.83	15.0
D1761-1-1	变玄武岩	63357	6306	1877	18640	194.70	115.0	29.28	59.47	40.2	204.8	98.0	419.3	20.40	23.5
D1765-2-2	斜长角闪岩	75143	8049	1048	15164	103.40	119.3	31.42	45.36	55.0	208.4	91.9	479.9	20.25	14.4
样品编号	岩石名称	Ta	Zr	Hf	Sn	U	Th	Zn	Cs	B	Pb	Ag	Bi	Sb	Au
		0.5	91	2.9	188	0.52	2.03	204.8	18.56		9.37	0.16	1.92	1.9	1.2
D0014H1	斜长角闪岩	0.5	91	2.9	188	0.52	2.03	204.8	18.56		9.37	0.16	1.92	1.9	1.2
D1560-5-2	斜长角闪片岩	1.3	225	3.6		3.43	7.0								
D1560-13-2	角闪绿帘斜长片岩	1.0	101	2.8		5.49	21.1								
D1560-17-2	黑云角闪斜长片岩	1.6	117	3.2		4.51	20.2								
D1560-21-1	黑云角闪斜长变粒岩	1.4	139	3.6		3.79	18.5								
D1761-1-1	变玄武岩	0.3	220	2.7		3.28	5.9								
D1765-2-2	斜长角闪岩	0.6	162	2.3		2.94	3.9								
样品编号	岩石名称	Rb/Sr	K/Rb	Sr/Ba	Nb/Ta	Th/U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
		0.26	65.08	3.78	11.29	3.88	7.42	16.25	2.46	11.51	3.77	1.22	4.34	0.73	4.93
D0014H1	斜长角闪岩	0.26	65.08	3.78	11.29	3.88	7.42	16.25	2.46	11.51	3.77	1.22	4.34	0.73	4.93
D1560-5-2	斜长角闪片岩	0.03	338.36	4.46	17.15	2.04	25.28	45.34	10.35	29.67	8.50	3.09	9.62	1.37	9.33
D1560-13-2	角闪绿帘斜长片岩	0.23	187.64	1.24	14.00	3.84	39.42	82.70	9.94	37.25	5.87	1.39	5.88	1.26	4.82
D1560-17-2	黑云角闪斜长片岩	0.08	173.59	2.34	8.81	4.48	40.03	93.00	11.29	43.88	7.44	2.13	7.19	1.46	6.00
D1560-21-1	黑云角闪斜长变粒岩	0.05	198.06	2.29	10.71	4.88	38.48	78.44	10.37	37.63	5.74	1.77	6.07	1.25	5.40
D1761-1-1	变玄武岩	0.2	156.88	2.09	78.33	1.80	18.58	51.13	9.02	30.53	4.35	3.07	9.14	0.93	9.07
D1765-2-2	斜长角闪岩	0.26	146.34	2.27	24.00	1.33	9.62	34.93	5.98	21.22	2.19	2.30	6.99	0.43	6.53
样品编号	岩石名称	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	L/R	Eu/Sm	δEu	δCe	(Ce/Yb) _N	(La/Yb) _N	Y/Yb
		1.00	2.78	0.43	2.78	0.40	27.33	87.36	0.95	0.32	0.92	0.92	1.51	1.80	9.84
D0014H1	斜长角闪岩	1.00	2.78	0.43	2.78	0.40	27.33	87.36	0.95	0.32	0.92	0.92	1.51	1.80	9.84
D1560-5-2	斜长角闪片岩	1.97	5.28	0.79	4.99	0.65	46.40	202.63	1.52	0.36	1.04	0.67	2.35	3.42	9.30
D1560-13-2	角闪绿帘斜长片岩	0.98	2.48	0.39	2.35	0.37	22.59	217.69	4.29	0.24	0.72	1.01	9.10	11.31	9.61
D1560-17-2	黑云角闪斜长片岩	1.23	3.10	0.46	2.91	0.43	34.55	255.10	3.45	0.29	0.89	1.05	8.27	9.27	11.87
D1560-21-1	黑云角闪斜长变粒岩	1.15	2.82	0.48	2.73	0.42	27.17	219.92	3.63	0.31	0.92	0.95	7.43	9.50	9.95
D1761-1-1	变玄武岩	2.07	4.99	0.79	4.54	0.63	44.18	193.02	1.53	0.71	1.49	0.95	2.91	2.76	9.73
D1765-2-2	斜长角闪岩	1.43	3.57	0.40	3.06	0.43	33.91	132.99	1.34	1.05	1.80	1.11	2.95	2.12	11.08

注: D0014H1 样品由本次工作采样送至武汉综合岩矿测试中心分析测试,其余均引自 1:25 万澜西幅区域地质调查报告

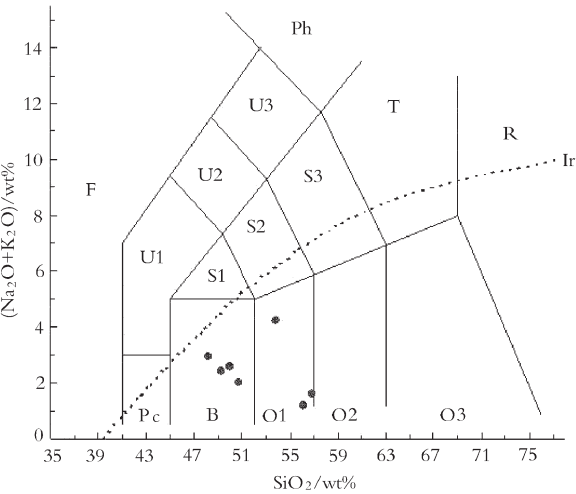


图 6 TAS 分类命名图解

Fig. 6 TAS diagram for classification and nomenclature
Pc—苦橄玄武岩;B—玄武岩;O1—玄武安山岩;
O2—安山岩;O3—英安岩;R—流纹岩;S1—粗面玄武岩;
S2—玄武质粗面安山岩;S3—粗面安山岩;T—粗面岩、
粗面英安岩;F—副长石岩;U1—碱玄岩、碧玄岩;
U2—响岩质碱玄岩;U3—碱玄质响岩;Ph—响岩;
Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

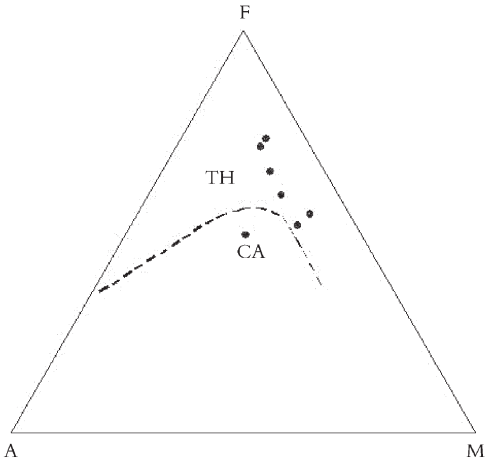


图 7 火山岩 FAM 图解

Fig. 7 FAM diagram of volcanic rocks
TH—拉斑玄武系列,CA—钙碱性系列

了 1 件斜长角闪岩样品,分选出 100 多粒锆石。大部分锆石晶体形态和大小基本一致,呈长柱状自形晶,长度大于 100 μm ,宽度大于 40 μm ,环带结构发育(图 11),为岩浆成因的锆石;个别呈浑圆状,环带不发育,为继承锆石。选取了典型的原生岩浆结晶锆石进行激光探针(LA-ICP-MS)U-Pb 同位素分析。共

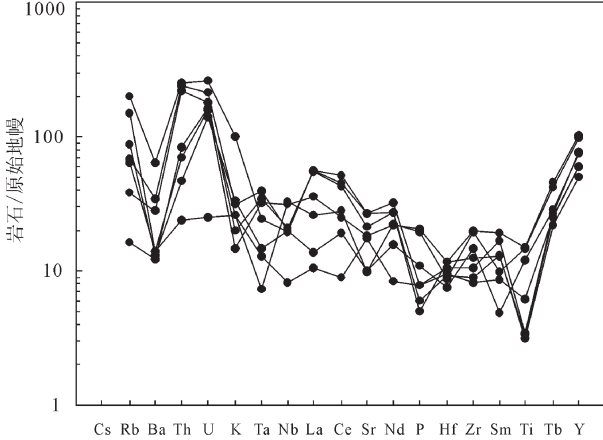


图 8 微量元素原始地幔标准化蛛网图解
(原始地幔标准化数据引自 McDonough,1992)

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace elements spider diagram

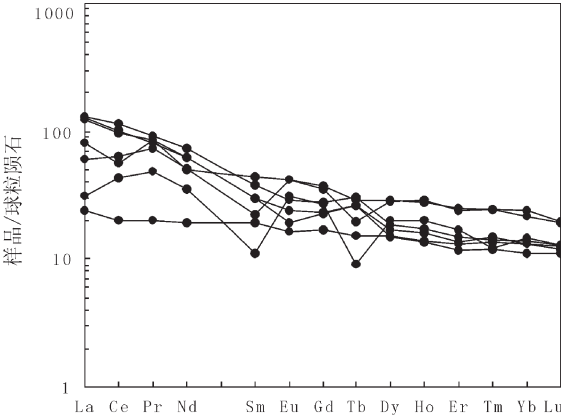


图 9 稀土元素球粒陨石标准化图解
(球粒陨石标准化数据引自 Boynton,1984)

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns

测定了 20 颗锆石,其中 17 颗锆石 U、Th 含量为 $55\times 10^{-6}\sim 3938\times 10^{-6}$ 、 $118\times 10^{-6}\sim 966\times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.17~1.1(表 3)。在锆石 U-Pb 同位素谐和图中,去除最大值和最小值(12 号和 14 号锆石),另外 15 颗锆石数据位于谐和线或其附近(图 12、图 13),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $499.2\text{Ma}\pm 2.1\text{Ma}$ ($N=15$, $\text{MSWD}=0.29$),代表了岩浆结晶的年龄,可以确定岩浆结晶的时代为中寒武世晚期。分析结果见表 3。

4 讨论与结论

(1)关于滇西的震旦系

公养河群底部是否存在震旦系?从公养河群

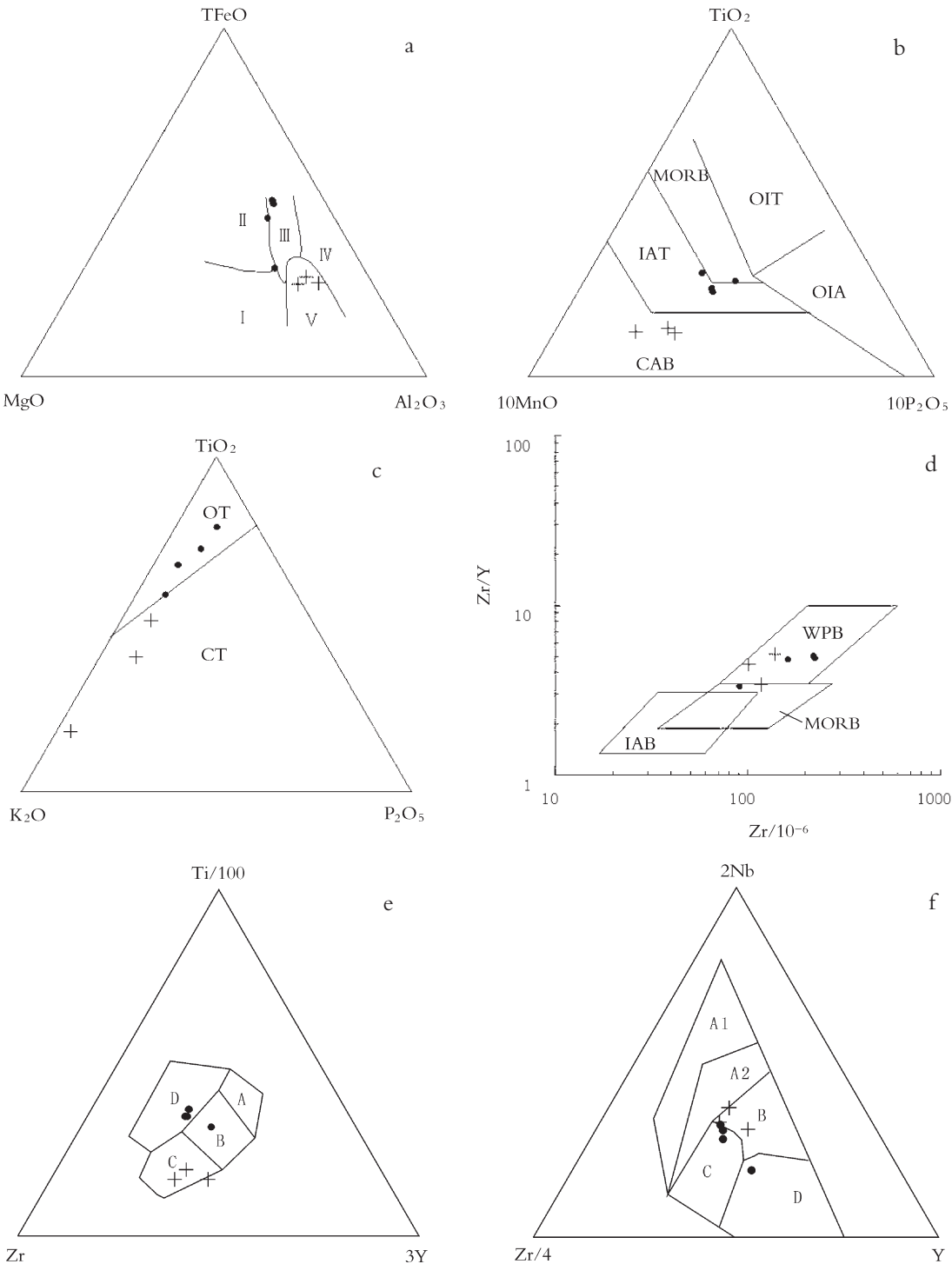


图 10 玄武岩和玄武安山岩构造环境判别图解

Fig. 10 Discrimination diagrams of tectonic environment for basalt and basaltic andesite
实心黑圆点为玄武岩样品,黑十字为玄武安山岩样品

自身的物质组成和化石来看，还没有直接的证据证明震旦系的存在。平河岩体(Rb-Sr 等时线年龄为 525Ma)^[8]侵入公养河群的事件说明公养河群底部的时代至少大于 525Ma,即至少是早寒武世。

(2)公养河群的异物同名问题

现在看来，怒江断裂东支两侧所谓的公养河群

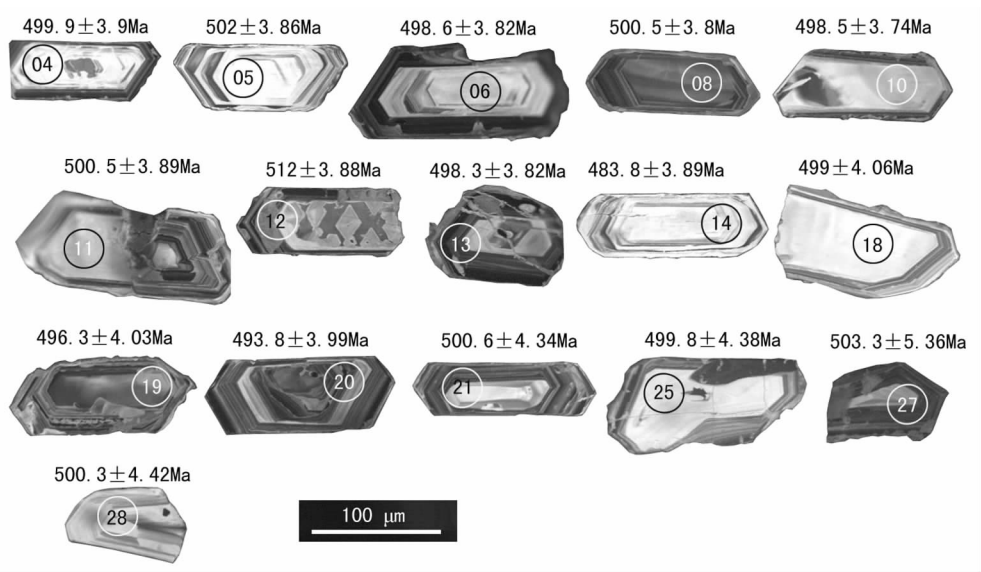


图 11 潞西地区中寒武世晚期变质火山岩锆石阴极发光图像(打点位置、编号和年龄值)

Fig. 11 CL images of zircons from late Middle Cambrian metamorphic volcanic rocks in Luxi area

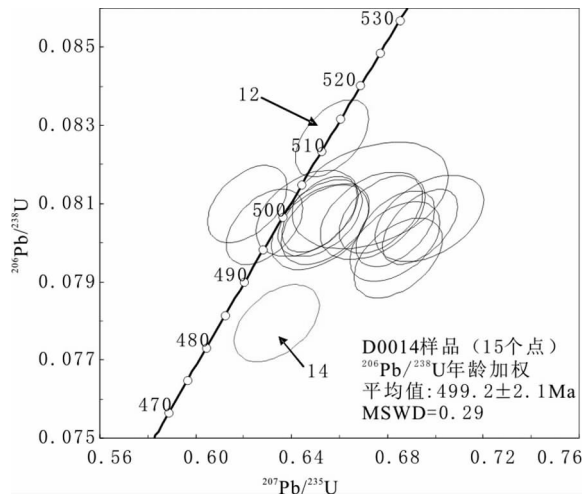


图 12 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 12 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of zircons

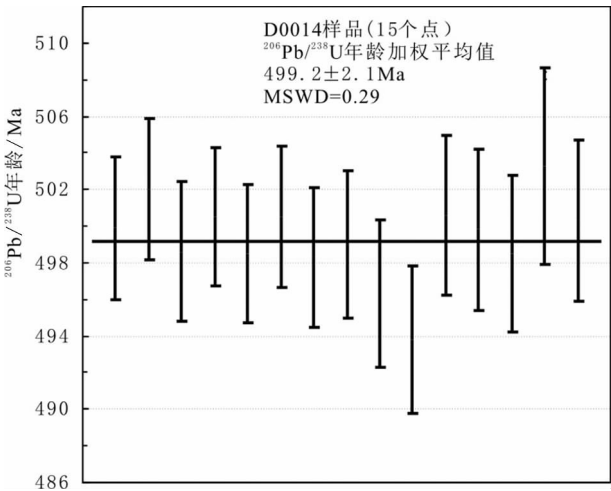


图 13 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄加权平均值

Fig. 13 LA-ICP-MS zircon U-Pb average weighted age

是有差别的。东侧的公养河群更具有台地的性质,西侧则更具有活动性陆缘的特征,是 2 套各自独立的地层,而且时代可能不同。1:5 万酒房幅区域地质调查在施甸县酒房—旧城一带的公养河群硅质岩、泥质条带灰岩中采获产于奥陶纪的凝源岩类化石及有疑问的镰形牙形石(时代为早奥陶世—泥盆纪),其地质时代可能属奥陶系^③。1:25 区调工作中在中山一带还发现了大量难以准确鉴定的植物碎片,推测属泥盆纪^①。这些难以解释的化石说明怒江断裂东侧所

谓的公养河群可能为另一套更新的地层(可能属奥陶系—泥盆系)。怒江断裂西侧的公养河群时代跨度很大,待条件成熟时可分解出不同的不跨纪的地层单位。

(3)关于公养河群与蒲满哨群

1:5 万区调工作已经将原蒲满哨群中含有上古生界化石的地层当作断层夹块分离开来^②。因此,现在的蒲满哨群仅相当于公养河群上部含火山岩的地层,与下部层位很可能是整合关系。

表 3 变质火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析数据
Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analytical results of metamorphic volcanic rock

锆石 编号	元 素 含 量 /10 ⁻⁶			Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		
	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²³² Th		比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	
04	1.69	446.58	333.25	1556.84	0.21	0.0586	0.0012	0.6519	0.0116	0.0806	0.0007	553.4	41.65	509.7	7.1	499.9	3.90
05	0.94	196.76	275.04	549.42	0.50	0.0557	0.0011	0.6216	0.0109	0.0810	0.0007	438.2	42.23	490.8	6.84	502	3.86
06	<0.56	243.1	467.36	644.09	0.73	0.0567	0.0011	0.6287	0.0105	0.0804	0.0006	479	40.96	495.3	6.53	498.6	3.82
08	0.82	334.03	194.86	849.67	0.23	0.0585	0.0010	0.6517	0.0103	0.0807	0.0006	549.9	38.34	509.5	6.34	500.5	3.8
10	<0.59	592.83	486.74	1852.62	0.26	0.0626	0.0011	0.6936	0.0103	0.0804	0.0006	692.9	35.56	534.9	6.18	498.5	3.74
11	1.3	1122.49	756.71	3938.28	0.19	0.0608	0.0011	0.6772	0.0115	0.0807	0.0007	633.1	39.89	525.1	6.93	500.5	3.89
12	0.94	344.1	254.78	855.32	0.30	0.0576	0.0010	0.6569	0.0101	0.0827	0.0007	514.8	37.99	512.7	6.21	512	3.88
13	10.86	275.63	118.09	615.91	0.19	0.0617	0.0011	0.6832	0.0108	0.0804	0.0006	661.8	37.62	528.7	6.54	498.3	3.82
14	0.9	161.8	370.24	496.88	0.75	0.0590	0.0012	0.6338	0.0117	0.0779	0.0007	566	43.4	498.5	7.27	483.8	3.89
18	<0.71	408.39	641.22	1310.62	0.49	0.0589	0.0012	0.6540	0.0121	0.0805	0.0007	564.4	43.46	511	7.44	499	4.06
19	0.78	950.65	943.05	3109.84	0.30	0.0619	0.0012	0.6832	0.0124	0.0800	0.0007	670.6	41.9	528.7	7.47	496.3	4.03
20	1.6	966.09	537	3205.51	0.17	0.0623	0.0012	0.6845	0.0122	0.0796	0.0007	685.9	41.01	529.5	7.32	493.8	3.99
21	1.92	368.04	276.36	1271.56	0.22	0.0581	0.0014	0.6465	0.0141	0.0808	0.0007	531	50.72	506.3	8.67	500.6	4.34
25	2.11	119.64	258.14	354.7	0.73	0.0627	0.0014	0.6976	0.0149	0.0806	0.0007	699.5	48.08	537.3	8.93	499.8	4.38
26	0.93	499.68	583.65	1587.38	0.37	0.0588	0.0013	0.6518	0.0134	0.0804	0.0007	559.2	47.27	509.6	8.21	498.5	4.3
27	1.26	163.14	379.51	469.2	0.81	0.0601	0.0020	0.6728	0.0215	0.0812	0.0009	606.4	70.66	522.4	13.06	503.3	5.36
28	0.8	328.33	966.1	876.01	1.10	0.0606	0.0014	0.6738	0.0144	0.0807	0.0007	623.2	48.52	523	8.74	500.3	4.42

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室测试,2010

(4) 公养河群与高黎贡山群的关系

在云南境内,还没有发现二者的接触关系。在缅甸摩谷地区,相当高黎贡山群的摩谷片麻岩被与公养河群相当的庄马峪群浅变质岩系不整合覆盖^[3-4]。近来,从高黎贡山群中越来越多地解体出新的变质深成岩和表壳岩,而真正元古宙地质体的证据不足。如果高黎贡山群的前寒武纪时代属性被动摇,那么其上不整合的公养河群的时代也将变得年轻。

(5) 结论

①滇西龙陵县邦迈村公养河群上部层位夹数层基性火山岩,已变质为斜长角闪岩、黑云斜长角闪片岩、微晶黑云石英片岩等,但其原岩层序基本保留,反映了原始基性火山熔岩-凝灰岩-沉凝灰岩-碳酸盐岩的喷发-沉积韵律。这套含火山岩的地层与其下部层位很可能是整合关系,条件成熟时可以从公养河群中解体出来,建立新的岩石地层单位。②获得了上述变质基性火山岩的锆石 U-Pb 激光探针 (LA-ICP-MS) 499.2Ma±2.1Ma 的年龄,即公养河群上部的这套基性火山喷发沉积岩系的时代属中寒武世晚期。形成于陆内拉张环境,可能与泛非造山期后的伸展作用有关。

致谢:侯立玮教授级高级工程师、四川省地质调查院王全伟教授级高级工程师亲临野外调查现场指导,刘卫新高级工程师对相关问题的商榷意见很有探讨的价值,四川省地勘局区调队实验室在

少量的样品中挑选出足够测试的锆石,西北大学大陆动力学国家重点实验室为锆石测年提供了支持,中国地质科学院地质研究所杜利林博士在对测年数据整理和解释方面给予帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 罗惠麟. 云南西部寒武系的划分及生物群特征[J]. 地层学杂志, 1985, (1): 72-75.
- [2] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [3] Bender F. Geology of burma[M]. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1983.
- [4] 王义昭. 三江地区南段大地构造与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 45-48.
- [5] 曹仁关, 陆瑞芳. 云南西部公养河群遗迹化石的发现[J]. 地层学杂志, 1991, (1): 65.
- [6] 云南省地调院区域地质调查所. 1:25 万福贡县幅、丽江市幅、腾冲县幅、大理市幅、潞西市幅、凤庆县幅地质调查成果与进展[J]. 沉积与特提斯, 2005, 25(1/2): 145-147.
- [7] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [8] 陈炳蔚. 横断山式造山带的某些特点[C]//青藏高原地质文集 21 集. 北京: 地质出版社, 1991: 203.
- ① 云南省地调院区域地质调查所. 1:25 万潞西幅区域地质报告. 2008.
- ② 四川省地质调查院. 1:5 万清河街、镇安街、龙陵县、龙新幅区域地质调查报告. 2011.
- ③ 云南省地勘局第四地质大队. 1:5 万酒房幅区域地质调查报告. 2001.