

# 哀牢山古特提斯洋盆闭合和印支造山开启的时限: 来自中-上三叠统碎屑锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素约束

刘兵兵<sup>1,2,3</sup>, 彭头平<sup>1,2\*</sup>, 范蔚茗<sup>3,4,5</sup>, 董晓涵<sup>1,2,3</sup>,  
彭世利<sup>1,2,3</sup>, 武利民<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 同位素地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院深地科学卓越创新中心, 广东 广州 510640; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院 青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101; 5. 中国科学院 青藏高原研究所, 北京 100101)

**摘要:** 由于哀牢山古特提斯洋盆精确闭合时间一直存在争议, 从而制约了我们对该区古特提斯洋演化及印支造山运动过程的完整认识。碎屑岩作为造山作用在地壳浅表响应的产物, 保存了其物源区深部岩浆作用的重要信息, 可有效地约束洋盆演化和造山过程的精细时空格架。本文选择对哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑锆石年代学和 Hf 同位素开展了系统的研究, 结果显示: 构造带内部三叠统样品除了缺少 240~325 Ma 年龄群外, 与东侧地区同时代碎屑岩样品相似, 均具有 480~560 Ma 和 900~1200 Ma 两个主要年龄群, 对应的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -16.75~+17.00 和 -15.39~+19.20; 而两地区上三叠统样品具有基本相同的年龄频谱特征, 均显示 250~330 Ma、480~580 Ma 和 920~1240 Ma 三个主要年龄群, 对应的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -10.67~+12.15、-10.06~+9.57 和 -12.25~+15.62。综合本次研究结果与前人数据, 表明哀牢山构造带内中-上三叠统及其东侧地区三叠系碎屑物质主要来源于构造带内的岩浆岩, 有少量老地层再循环的贡献。进一步的源区分析指出, 哀牢山古特提斯洋在早三叠世已闭合。此外, 基于哀牢山构造带及两侧地区普遍缺失下三叠统地层和大量发育早-中三叠世碰撞有关的岩浆岩的特征, 显示我国哀牢山地区与越北地区印支造山运动在二叠纪末-早三叠世同时开启, 中-晚三叠世, 哀牢山构造带进入碰撞后伸展阶段。

**关键词:** 中-上三叠统; 碎屑锆石 U-Pb-Hf 分析; 哀牢山古特提斯洋; 闭合时限; 印支造山运动

**中图分类号:** P597; P542 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1552(2022)01-0132-022

三江特提斯构造带作为横贯欧亚大陆巨型特提斯构造域的重要组成部分, 经历了古生代-中生代冈瓦纳超大陆裂解、微地块北向漂移及其后依次拼贴等复杂的历程, 并发育了多条代表古特提斯洋盆演化的缝合带, 是全球古特提斯洋演化记录保存最完整的区域(钟大赟, 1998; 莫宣学等, 2001; Jian et

al., 2009a, 2009b; Fan et al., 2010; 李龚健等, 2013; Metcalfe, 2013), 因此, 这些缝合带是理解该区域古特提斯洋构造演变的关键地区。而金沙江-哀牢山缝合带作为藏东南三江地区一条重要的古特提斯缝合带, 它既是分隔思茅-印支陆块和扬子陆块的构造分界线(图 1), 也是藏东南各陆块新生代被挤出、旋

收稿日期: 2021-08-24; 改回日期: 2021-09-23

项目资助: 第二次青藏科考项目(2019QZKK0702)和国家自然科学基金项目(92055207、42072263、41490613、41272126)联合资助。

第一作者简介: 刘兵兵(1991-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业。E-mail: 1045674344@qq.com

通信作者: 彭头平(1974-), 男, 研究员, 从事岩石大地构造研究。E-mail: tppeng@gig.ac.cn

转和逃逸的关键通道, 对印度-欧亚大陆碰撞演化起着重要的调控作用, 故其一直是国内外地质学研究的热点区域之一(钟大赉, 1998; Metcalfe, 2013)。前人针对哀牢山构造带内蛇绿岩套及相关的岩浆岩和沉积岩等开展了大量的研究, 大致限定了哀牢山洋盆的位置及其打开、扩张、俯冲等各演化过程的时限(简平等, 1998; 钟大赉, 1998; Jian et al., 2009a, 2009b; Fan et al., 2010; Zi et al., 2012a, 2012b; 刘兵兵等, 2017)。然而, 由于新生代以来强烈的构造-变质-变形事件改造, 很多地质记录被改造或剥蚀殆尽; 同时由于地球化学方法的多解性, 目前对于哀牢山古特提斯洋盆闭合及其两侧的思茅-印支地块与扬子板块碰撞的精确时间依然没有得到准确的限定, 其闭合时限包括晚二叠世到晚三叠世等不同观点(钟大赉, 1998; 李朋武等, 2005; Jian et al., 2009a, 2009b; 刘翠等, 2011; Zi et al., 2012a, 2012b; Faure et al., 2014, 2016; Liu et al., 2015, 2017, 2018; Xu et

al., 2019a, 2019b)。由于哀牢山古特提斯洋盆南延的 Song Ma 古特提斯洋盆的研究成果表明, 其精确的闭合时限及其后的印支造山事件发生在二叠纪末-早三叠世(Nakano et al., 2008, 2010; Halpin et al., 2016)。因此, 整个金沙江-哀牢山-Song Ma 古特提斯洋盆的闭合从北到南是否存在穿时性, 我国哀牢山地区和越南境内 Song Ma 地区的印支运动是否同时启动? 目前还存在争议(Carter and Clift, 2008; Zhang et al., 2013)。

前人的调查研究显示, 哀牢山构造带及其邻区广泛分布二叠系-三叠系碎屑岩(钟大赉, 1998); 这些碎屑沉积岩作为盆地周缘山脉隆升、风化、剥蚀、搬运和沉积的产物, 记录了造山作用及其隆升和剥蚀历史的重要信息。与岩浆岩相比, 碎屑沉积岩可以记录一些现已被风化剥蚀殆尽岩浆岩的信息, 比如哀牢山洋盆闭合和印支造山作用等重要记录(Rainbird et al., 1992)。而且, 由于碎屑岩中的碎屑

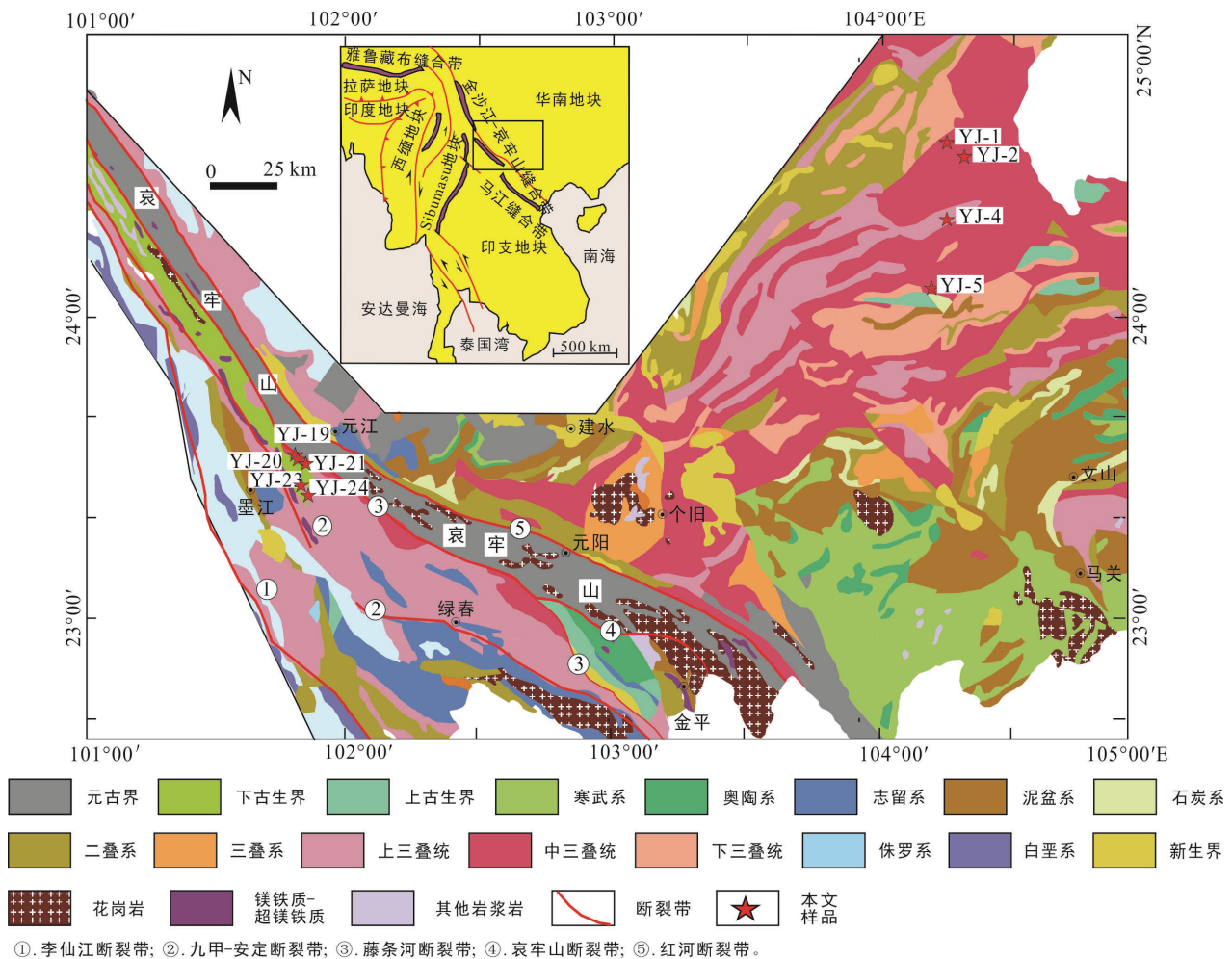


图 1 研究区地质图以及采样位置图(改自云南省地质矿产局, 1990)

Fig.1 Geological map of the study area with sampling locations

锆石具有极好的抗风化、抗磨蚀和抗热蚀变能力,使得它在沉积循环中不易被破坏,因此碎屑锆石 U-Pb 年代学以及 Hf 同位素组成已被广泛应用于沉积物源示踪研究,并在揭示造山作用起始时间、碎屑沉积源区性质(包括时代和组成)、地层不整合面中断时间等源区分析和古地理重建、地球历史演化等方面发挥了重要的作用(Cawood and Nemchin, 2000; DeCelles et al., 2000; Cawood and Buchan, 2007; Cawood et al., 2012; Liu et al., 2020)。本文选择哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑岩作为研究对象,进行碎屑锆石 U-Pb 年代学以及 Hf 同位素组成研究,并结合前人的研究成果,探讨其源区的时空演化过程,从而进一步厘清哀牢山古特提斯洋盆闭合以及印支造山作用开启的时限。

## 1 区域地质背景与样品采集

哀牢山构造带是东特提斯构造域古特提斯缝合带的重要组成部分,也是思茅-印支板块与华南板块的重要分界线。哀牢山构造带指夹持于红河断裂带和李仙江断裂带之间的区域,总体呈北西窄、南东宽的扇形,并沿 NW-SE 方向展布于云南省东南部,向东南经元阳和金平县延伸进入越南境内,向西北经点苍山与金沙江构造带相连(钟大赉, 1998)。该构造带内发育 3 条主要断裂带,自北东向南西依次为哀牢山断裂带、藤条河断裂带和九甲-安定断裂带(图 1; 云南省地质矿产局, 1990)。

### 1.1 哀牢山断裂带东部地区

该区出露的早古生代地层有寒武系、奥陶系和志留系,均属于被动大陆边缘的海相沉积。寒武系是一套滨海-浅海相碎屑岩和碳酸盐岩,其上覆的奥陶系以滨-浅海相碎屑岩为主,志留系则以台地边缘相灰岩为主。晚古生代地层也属于大陆边缘相沉积,其中泥盆系以象州型沉积为主,发育浅海碳酸盐岩台地沉积;石炭系延续泥盆系的浅海碳酸盐台地沉积特征;下二叠统为滨浅海相碳酸盐岩,上二叠统以龙潭期玄武岩为主,并夹杂部分碳酸盐岩和碎屑岩(钟大赉, 1998)。红河断裂带以北地区的三叠系以海相沉积岩为主,其下三叠统罗楼组为一套以灰岩、泥灰岩为主并夹少量泥岩及凝灰岩的沉积序列;下三叠统龙丈组整合覆盖于罗楼组之上,其以火山碎屑岩和泥岩为主,并夹有砾岩及灰岩;中三叠统板纳组整合于龙丈组之上,其岩性以泥岩为主并夹少量粉砂岩或细粒砂岩;中三叠统兰木组为

一套细粒砂岩、粉砂岩与泥岩互层的细碎屑岩;上三叠统平寨组底部为砂岩、含砾砂岩,上部主要由细砂岩、粉砂岩、泥岩和钙质泥岩组成(图 2; 张远志等, 1996),其上被新生代的陆相红色粗碎屑岩(砾岩、含砾砂岩夹砂岩)角度不整合覆盖(张远志等, 1996)。

该区出露岩浆岩主要有新元古代(700~860 Ma)花岗岩(Wang et al., 2012),加里东期(428~450 Ma; Roger et al., 2000; Peng et al., 2015)、印支期(210~240 Ma; Zhao et al., 2010; Chen et al., 2011; 郭春丽等, 2012)和燕山期(70~170 Ma)长英质岩浆岩(倪培等, 2020)。

### 1.2 哀牢山断裂带内部

该区出露最老的地层为前寒武系哀牢山群和少量瑶山群变质岩系,呈 NW-SE 向狭窄条带状展布于哀牢山构造带内,两侧分别被哀牢山-藤条河断裂带和红河断裂带所限(钟大赉, 1998)。哀牢山群为一套绿片岩相-角闪岩相(甚至部分变质程度达到高角闪岩相)的变质岩、片麻岩、角闪岩、大理岩和花岗岩组成,带内因受剪切带活动影响,岩石已强烈糜棱岩化。该区古生界主要分布于李仙江断裂带和九甲-安定断裂带之间,下部是志留纪-泥盆纪浊积岩,岩相主要为陆缘细碎屑岩夹硅质岩、灰岩;石炭系-下二叠统为火山碎屑岩,其中石炭系由玄武岩、陆缘碎屑砂岩、页岩夹硅质岩组成,而中-上二叠统由砂岩、砂质页岩、安山岩、玄武岩和流纹岩组成。哀牢山构造带内缺失下三叠统,而中三叠统分布于哀牢山断裂带西南侧的墨江-绿春一带,与哀牢山变质带呈断层接触,岩性以灰绿色板岩和长石砂岩为主夹少量灰岩和长石石英砂岩(云南省地质局, 1973; 钟大赉, 1998);上三叠统一碗水组紫红色磨拉石砾岩角度不整合覆盖于蛇绿岩杂岩带和泥盆系之上,且含超基性岩砾石;海陆过渡相的上三叠统路马组整合覆盖于一碗水组之上,岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩夹砂岩(图 2; 云南省地质局, 1973)。

区内的岩浆岩包括泥盆纪-石炭纪(387~328 Ma)蛇绿岩(Jian et al., 2009a, 2009b),大量中二叠世-晚三叠世长英质岩浆岩(Liu et al., 2015, 2017, 2018)以及部分新元古代(750~813 Ma; Qi et al., 2012; Cai et al., 2014, 2015)和新生代(20~40 Ma)长英质岩浆岩(戚学祥等, 2010; Lin et al., 2012)。

### 1.3 思茅-印支地块

思茅-印支地块太古宙-早元古代结晶基底出露于越南境内 Kontum 和 Carinh 等地区,其上被新元

代-早寒武世变质岩所覆盖(施美凤等, 2011)。上奥陶统-志留系不整合覆盖于新元古代-早寒武世变质岩之上, 主要由海相灰岩、砂岩和页岩组成(施美凤等, 2011)。下泥盆统为红层, 而中泥盆统-石炭系和二叠系主要为陆缘碎屑岩和碳酸盐岩(钱鑫, 2016)。区内普遍缺失上二叠统和下三叠统, 仅在邻近哀牢山构造带的部分地区出露上二叠统羊八寨组(云南省地质矿产局, 1990; 钟大赉, 1998)。羊八寨组是一套类复理石沉积, 主要由浅海相砂泥岩、中酸性凝灰岩和火山岩以及含煤砂泥岩组成, 下段夹多层中-酸性凝灰岩, 含华夏型植物化石(云南省地质矿产局, 1990; 钟大赉, 1998)。中-上三叠统主要为长英质火山岩、含煤线的滨浅海相碎屑岩和粗粒陆相红层沉

积(云南省地质矿产局, 1990; 钱鑫, 2016)。上覆的侏罗纪-白垩纪和新生代地层为陆相碎屑岩沉积序列(钱鑫, 2016)。

研究显示思茅-印支地块岩浆岩主要出露在该区西缘和东南部, 包括加里东期(420~450 Ma)岩浆岩(毛晓长等, 2012; Lehmann et al., 2013; Liu et al., 2019; Wang et al., 2020b)和晚二叠世-三叠纪(200~270 Ma)长英质岩浆岩(Wang et al., 2010; Shi et al., 2015)。

### 1.4 样品采集

本次研究共采集了 9 件碎屑岩样品, 其中 4 件采自哀牢山构造带东侧的丘北地区, 另 5 件采自哀牢山构造带内的墨江地区, 具体采样信息见表 1 和图 1、2。

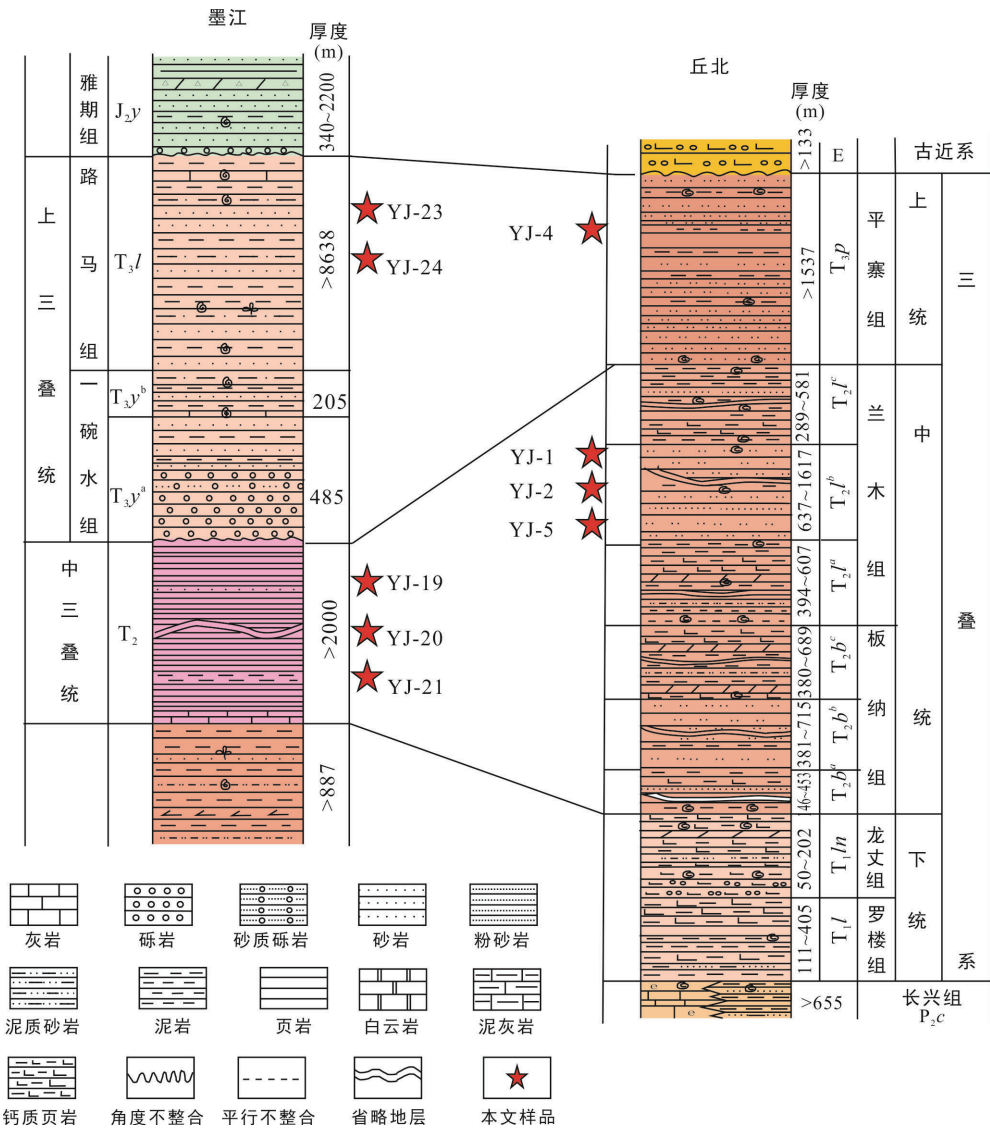


图 2 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统地层以及岩性柱状图(改自云南地质矿产局, 1990)

Fig.2 Stratigraphic and lithologic columns of the Middle-Upper Triassic strata of the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region



表 1 中-上三叠统采样位置  
Table 1 Sampling locations of the Middle-Upper Triassic sedimentary rocks

样号	地层	岩性	位置	地点	经纬度
YJ-1	T <sub>2</sub> l	土黄色砂岩	构造带东侧	丘北	24°37.142'N, 104°17.635'E
YJ-2	T <sub>2</sub> l	灰色砂岩		丘北	24°34.847'N, 104°19.035'E
YJ-5	T <sub>2</sub> l	紫红色粉砂岩		丘北	24°04.157'N, 104°15.043'E
YJ-4	T <sub>3</sub> p	灰色砂岩	构造带内部	丘北	24°20.601'N, 104°17.884'E
YJ-19	T <sub>2</sub>	泥质粉砂岩		墨江	23°30.004'N, 101°54.200'E
YJ-20	T <sub>2</sub>	变形粉砂岩		墨江	23°28.811'N, 101°53.632'E
YJ-21	T <sub>2</sub>	土黄色砂岩		墨江	23°27.735'N, 101°52.630'E
YJ-23	T <sub>3</sub> y <sup>d</sup>	紫红色砂岩		墨江	23°25.642'N, 101°51.950'E
YJ-24	T <sub>3</sub> l	紫红色砂岩		墨江	23°25.252'N, 101°46.765'E

#### 1.4.1 哀牢山构造带东侧地区样品特征

哀牢山构造带东侧 3 个中三叠统碎屑岩样品,分选性差,除样品 YJ-1 为颗粒支撑结构外,其余都为杂基支撑结构,碎屑颗粒呈棱角状-次棱角状,主要矿物为石英(60%~70%)、云母(5%~10%)、长石(5%~10%)和岩屑(5%~10%)(图 3);另一个上三叠统砂岩样品(YJ-4)分选性差,具杂基支撑结构,碎屑颗粒呈棱角状-次棱角状,主要由石英(60%~65%)、长石(5%~10%)、岩屑(15%~25%)和云母(3%~5%)组成(图 3)。

#### 1.4.2 哀牢山构造带内样品特征

哀牢山构造带内 2 个中三叠统粉砂岩样品(YJ-19、YJ-20)分选性差,具杂基支撑结构,碎屑颗粒呈次棱角状-次圆状,主要组分为石英(45%~50%)、云母(1%~5%)和杂基(~40%; 图 3);另一个中三叠统砂岩样品(YJ-21)分选性较好,具颗粒支撑结构,碎屑颗粒呈棱角状-次棱角状,主要由石英(70%~80%)、岩屑(~10%)和云母(~10%)组成(图 3)。而 2 个上三叠统砂岩样品(YJ-23、YJ-24),分选性较好,具颗粒支撑结构,碎屑颗粒呈棱角状,主要由石英(70%~80%)、长石(5%~10%)、岩屑(~10%)和云母(3%~5%)组成(图 3)。

## 2 分析方法

每个样品经过破碎、淘洗、磁选和重液分选出锆石,然后在双目镜下随机挑选出 200 颗晶形完好、无裂隙的锆石,再把这些锆石固结在环氧树脂上制成锆石靶,抛光致其内部结构显露,然后进行透/反射光照相,并在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室进行锆石阴极发光(CL)照相。

锆石 U-Pb 同位素定年在香港大学地球科学系利用配备有 193 nm 激光剥蚀系统(Resolution M-50,

Resonetics LLC, USA)的 Nu Plasma HR MC-ICPMS (Nu Instruments, UK)仪器完成。分析过程中,激光束斑直径为 40 μm。样品经剥蚀后,采用氦气作载气,氩气为补偿气并混合少量的氮气以调节仪器灵敏度。U-Pb 同位素定年过程中,采用标准锆石 91500 和 GJ 作为标样进行监控,以确保数据准确性和可靠性,详细分析方法见 Xia et al. (2016)。数据处理分析采用 ICP-MS DataCal 软件,具体流程见 Liu et al. (2010)。普通 Pb 校正采用 Andersen (2002)的方法完成。锆石 U-Pb 年龄谐和图采用 Isoplot 3.0 程序绘制(Ludwig, 2003),碎屑锆石 U-Pb 年龄频谱图采用 Density Plotter 程序绘制(Vermeesch, 2012)。

锆石 Hf 同位素原位分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成,分析仪器为配有 RESOLUTION M-50-LR 激光取样系统的 Neptune 激光剥蚀-多接收等离子体质谱(LA-MC-ICP-MS)。采用直径 44 μm 束斑、4~5 Hz 脉冲速率、80 mJ/cm<sup>2</sup> 脉冲能量对锆石激光剥蚀 30 s 左右。进行 <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 值测定时,通过监测 <sup>175</sup>Lu 和 <sup>173</sup>Yb 信号强度、采用 <sup>175</sup>Lu/<sup>176</sup>Lu=0.02655 和 <sup>176</sup>Yb/<sup>173</sup>Yb=0.7963 校正 <sup>176</sup>Lu 和 <sup>176</sup>Yb 这两个同质异位素对 <sup>176</sup>Hf 的干扰(Vervoort et al., 2004)。计算每一分析点的 Hf 和 Yb 的质量分馏系数( $\beta_{\text{Hf}}$  和  $\beta_{\text{Yb}}$ )用来校正 Hf 和 Yb 同位素比值,并采用 <sup>179</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf=0.7325 来校正测定的 <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 值,交叉分析标准锆石 Penglai 与锆石样品监控仪器状态(Li et al., 2010)。

## 3 分析结果

### 3.1 锆石特征

大部分锆石呈浅褐色,部分呈粉红色、红色或者无色,透明到半透明。部分锆石颗粒为长柱状,



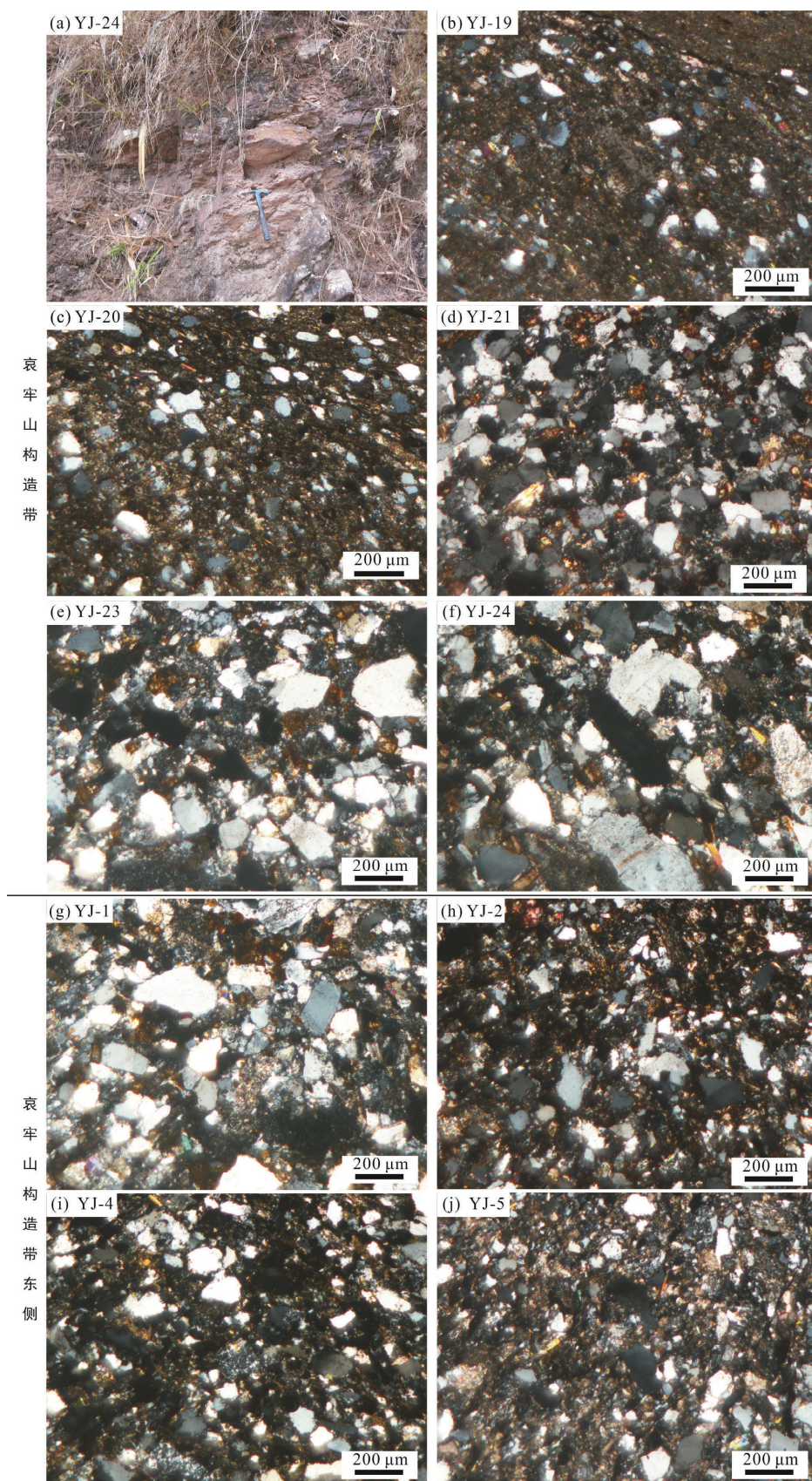


图 3 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑岩样品野外照片以及显微照片(正交偏光)  
Fig.3 Photographs of the Middle-Late Triassic samples from the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region

多呈自形, 粒径约为 30~150  $\mu\text{m}$ , 其长宽比约为 1 : 1~3 : 1。大多数锆石 CL 图像都显示规则的振荡环带结构(图 4), 且具较高的 Th/U 值(>0.1), 说明它们都是岩浆成因(Hoskin and Schaltegger, 2003)。少数锆

石的 CL 图像整体较亮, 内部成分较为均一, Th/U 值较低(<0.1), 暗示它们可能是变质成因(吴元保和郑永飞, 2004)。另外, 还有少数颗粒具核边结构或核幔结构。

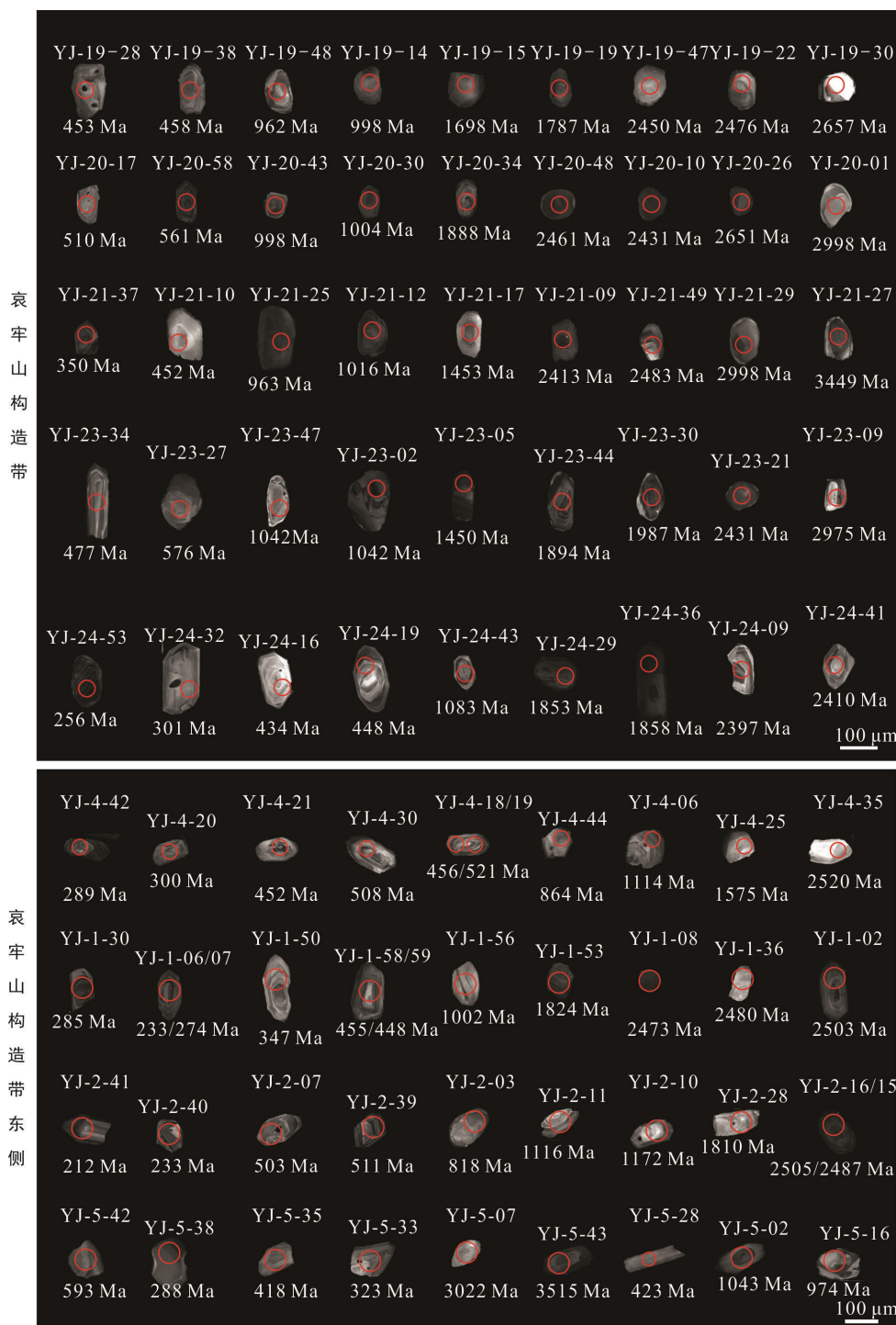


图 4 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统代表性碎屑锆石 CL 照片

Fig.4 CL images of the represented zircons from the Middle-Upper Triassic strata of the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region



### 3.2 锆石年龄组成特征

#### 3.2.1 哀牢山断裂带东侧地区

哀牢山断裂带东侧地区中三叠统样品共得到 140 个有效数据, 其 U-Pb 年龄在 240~3515 Ma 之间(附表 1, 数据略, 详见网络电子版), 年龄频谱图上显示出 240~300 Ma、323~571 Ma 和 900~1200 Ma 三个主要年龄群, 对应的峰值年龄分别为 284 Ma、404 Ma 和 955 Ma; 同时还有 600~800 Ma、1740~1920 Ma 和 2460~2580 Ma 三个次要年龄群(图 5g、h)。其中 43 颗锆石的年龄分布于 240~462 Ma 之间, 占总数的 31%。

上三叠统样品共获得 55 个有效数据, 其 U-Pb 年龄分布于 211~2585 Ma 之间(附表 1)。在年龄频谱上显示出: 211~325 Ma、413~563 Ma 和 921~1210 Ma 三个主要年龄群, 对应的峰值年龄分别为 306 Ma、506 Ma 和 966 Ma; 以及 700~850 Ma、1776~1861 Ma 和 2462~2544 Ma 三个次要年龄群(图 5e、f)。其中 211~535 Ma 之间的年龄占总数的 30%。

#### 3.2.2 哀牢山构造带

哀牢山构造带内中三叠统样品获得了 178 个有效数据, 其 U-Pb 年龄分布于 350~3449 Ma 之间(附表 1), 年龄频谱图上显示出 460~560 Ma 和 900~1200 Ma 两个主要年龄群, 对应的年龄峰值年龄分别为 503 Ma 和 973 Ma; 以及 600~800 Ma、1355~1600 Ma、1740~1920 Ma 和 2460~2580 Ma 四个次要年龄群(图 5c、d)。然而只有 4.5% 的锆石年龄小于 458 Ma。

上三叠统样品共获得 115 个有效数据, 其 U-Pb 年龄分布在 253~2975 Ma 之间(附表 1), 年龄频谱图上显示出 253~338 Ma、480~560 Ma 和 970~1160 Ma 三个主要年龄群, 对应年龄峰值年龄分别为 291 Ma、510 Ma 和 933 Ma; 另外还有 760~831 Ma、1430~1470 Ma、1760~1900 Ma 和 2410~2450 Ma 四个次要年龄群(图 5a、b)。

### 3.3 锆石 Hf 同位素

#### 3.3.1 哀牢山构造带东侧

哀牢山构造带东侧中三叠统样品共获 99 个锆石 Hf 同位素值(附表 2, 数据略, 详见网络电子版), 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值在 0.280561~0.283016 之间。其中 241~306 Ma 锆石(10 颗)  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -7.07~+13.88, 两阶段模式年龄为 0.39~1.69 Ga; 309~438 Ma 锆石(11 颗)  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -15.67~+16.17, 两阶段模式年龄为 0.39~2.38 Ga; 390~480 Ma 锆石(11 颗)  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -16.75~+16.17, 两阶段模式年龄为 0.39~2.38 Ga;

494~593 Ma 锆石(11 颗)  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -16.75~+17.03, 两阶段模式年龄为 0.67~2.57 Ga。930~1220 Ma 锆石(22 颗)  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值范围为 -8.67~+19.20, 两阶段模式年龄为 0.81~2.43 Ga; 三个次要年龄群 743~841 Ma(5 颗)、1739~1876 Ma(12 颗)和 2462~2576 Ma (8 颗)锆石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -15.85~+5.66、-5.55~+20.71 和 -0.04~+8.37, 对应的两阶段模式年龄分别为 1.29~2.71 Ga、2.15~2.78 Ga 和 2.53~2.83 Ga (图 6b)。

上三叠统样品共分析了 39 个锆石, 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值为 0.279773~0.282698。其中年龄为 211~323 Ma 锆石(5 颗)的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -10.67~+1.29, 两阶段模式年龄为 1.16~1.98 Ga; 年龄为 453~473 Ma(4 颗)的锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -5.39~+2.94, 两阶段模式年龄为 1.26~1.78 Ga; 年龄为 521~574 Ma(5 颗)锆石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -9.98~-2.85, 两阶段模式年龄为 1.66~2.11 Ga; 年龄为 922~1187 Ma(11 颗)锆石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -12.25~+13.52, 二阶段模式年龄为 1.08~3.91 Ga; 而 761~887 Ma(5 颗)、1811~1872 Ma(2 颗)和 2377~2585 Ma(5 颗)三个次要年龄群锆石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -14.37~+10.34、+3.90~+5.58 和 -9.52~+3.79, 两阶段模式年龄分别为 1.09~2.57 Ga、2.17~2.23 Ga 和 2.72~3.64 Ga(图 6b)。

#### 3.3.2 哀牢山构造带

哀牢山构造带中三叠统样品共分析了 158 个锆石 Hf 同位素值, 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值为 0.280610~0.283399。其中年龄为 350 Ma 和 376 Ma 两颗锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -11.56 和 +17.14, 对应的两阶段模式年龄分别为 0.28 Ga 和 2.08 Ga; 16 颗 405~563 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值在 -13.81~+12.86 之间, 两阶段模式年龄为 0.65~2.36 Ga; 58 颗 888~1222 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -18.86~+16.92, 两阶段模式年龄为 1.16~3.46 Ga。另外, 715~858 Ma、1443~1676 Ma、1698~1888 Ma 和 2320~2484 Ma 四个次要年龄群锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -21.77~+8.84、-11.49~+16.18、-9.19~+3.66 和 -21.98~+3.45, 对应的两阶段模式年龄分别为 1.13~2.72 Ga、1.57~2.91 Ga、2.15~3.09 Ga 和 2.75~3.54 Ga。

上三叠统样品分析了 114 个锆石, 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值为 0.280728~0.283190。其中 15 颗 253~338 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -7.08~+12.15, 对应两阶段模式年龄为 0.53~1.76 Ga; 15 颗 396~479 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -11.64~+14.71, 两阶段模式年龄为 1.12~2.17 Ga; 22 颗 489~587 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -10.06~+9.57, 两阶段模式年龄为 0.88~2.12 Ga; 24 颗 908~1240 Ma 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 -7.87~+15.62, 两阶段模式年龄为 1.12~2.28 Ga;



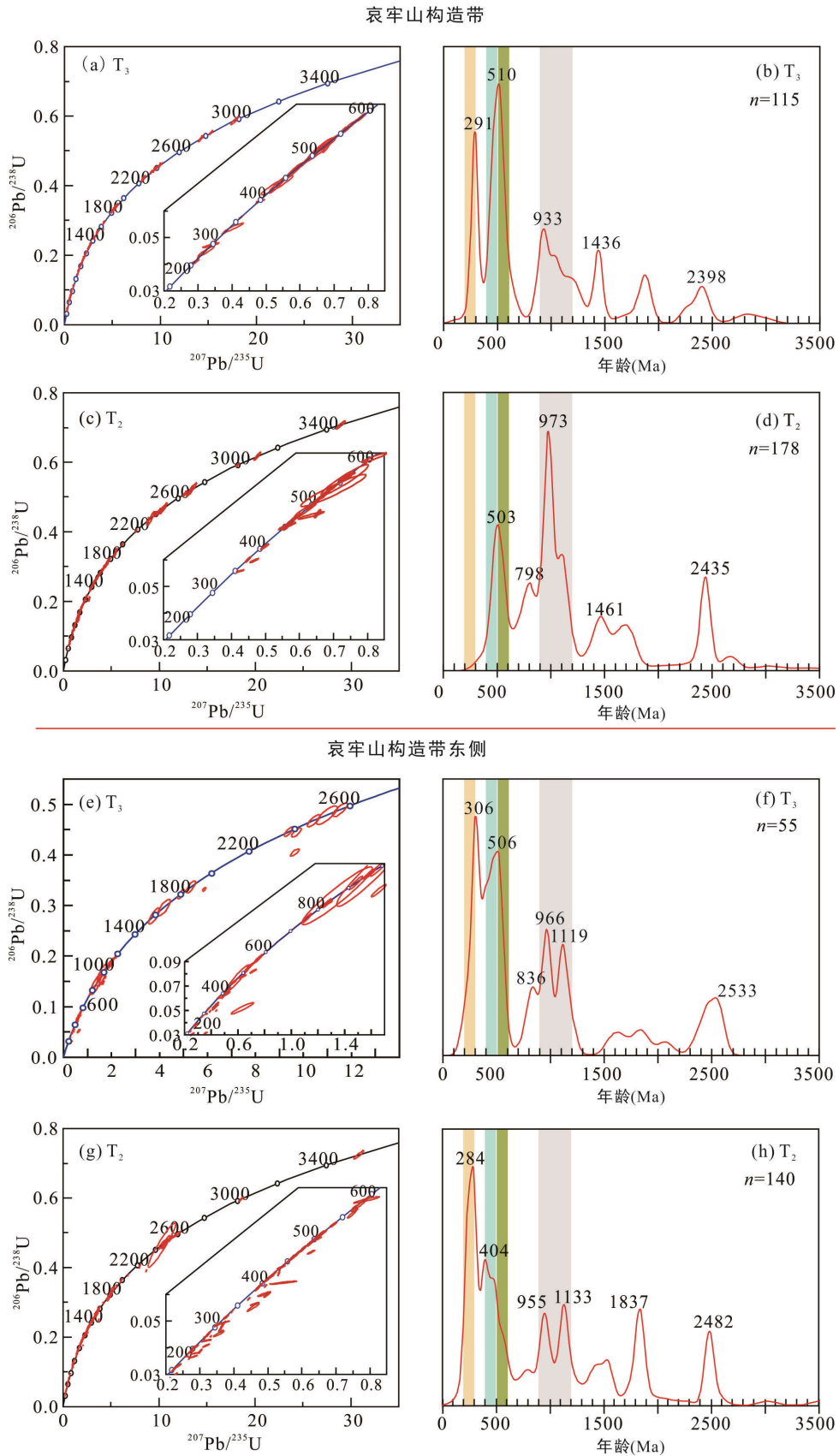


图 5 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和频谱图

Fig.5 U-Pb concordia and relative age-probability plots of detrital zircons of the Middle-Upper Triassic strata from the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region

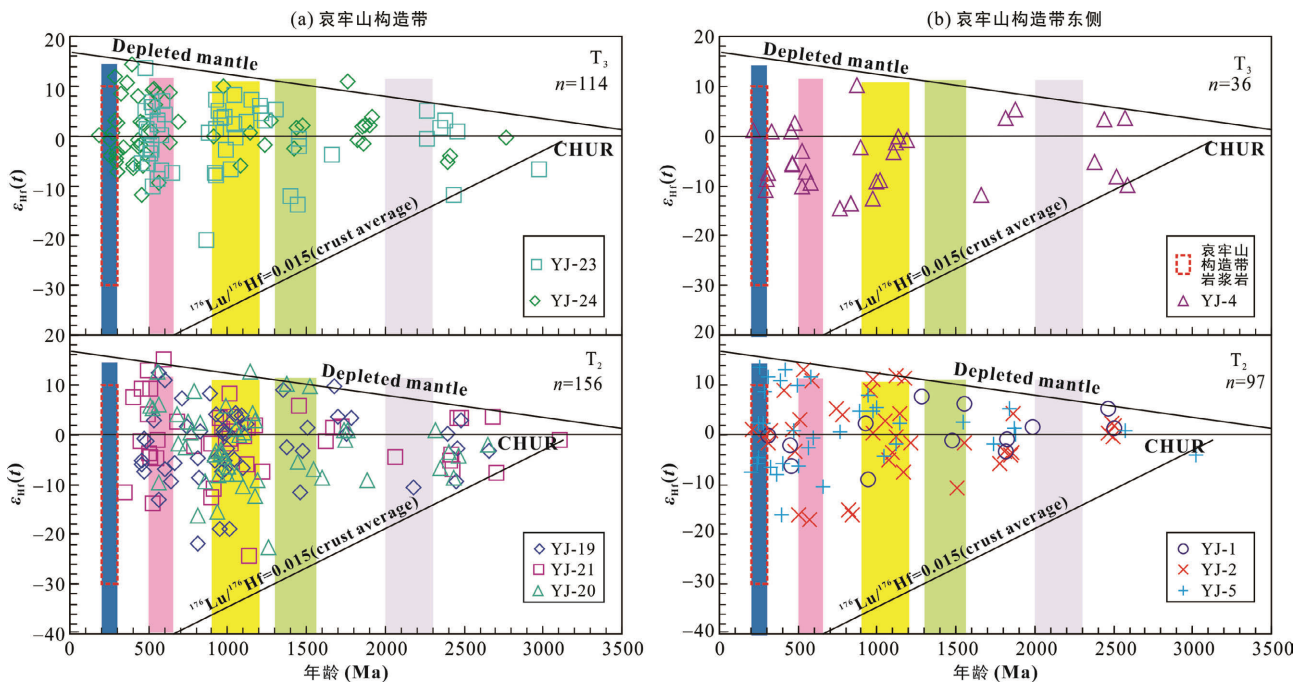


图 6 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统地层碎屑锆石 U-Pb 年龄- $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 图

Fig.6 Plots of  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  vs. U-Pb ages of the detrital zircon of the  $T_2$ - $T_3$  strata from the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region

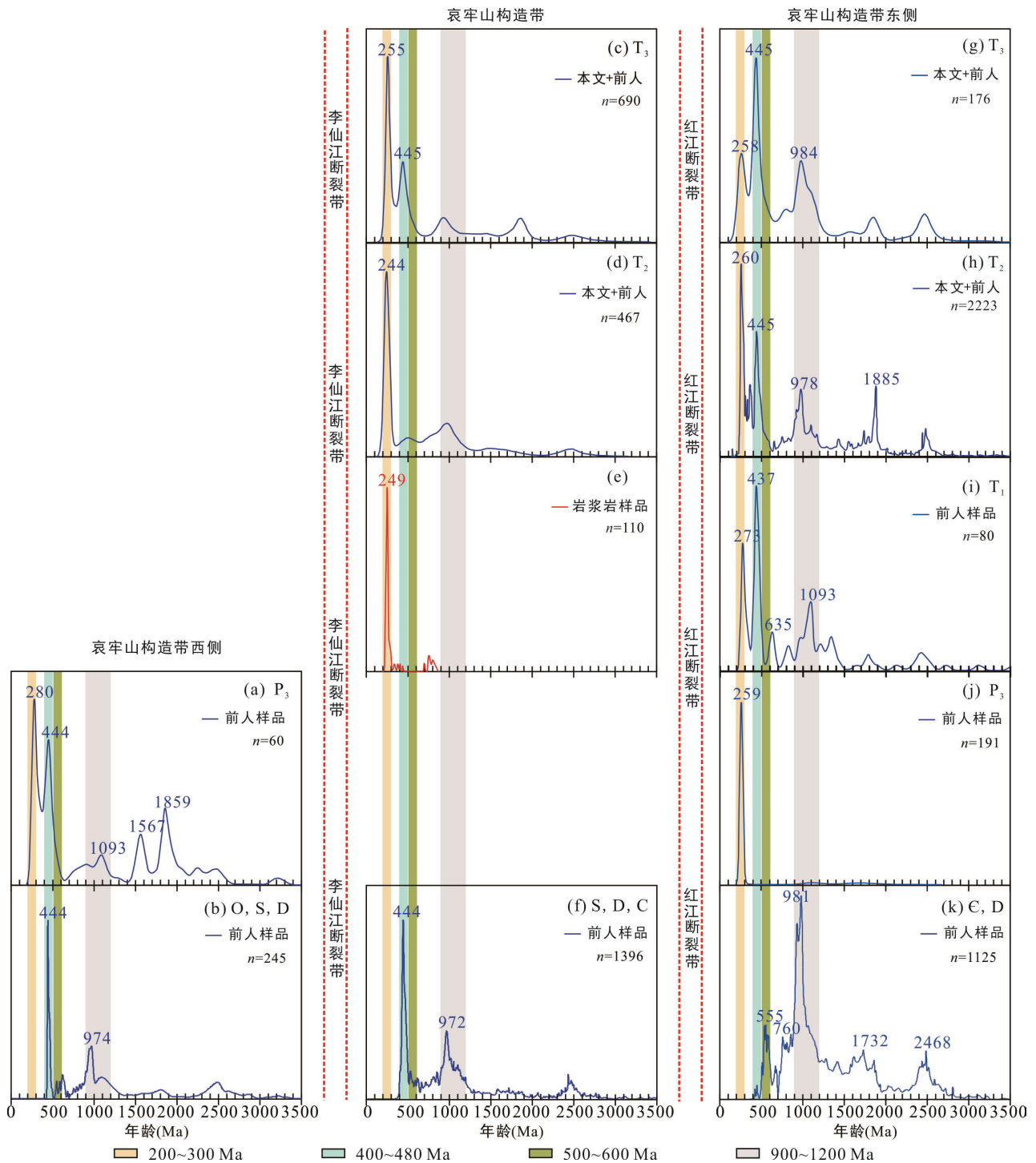
另外 602~686 Ma(5 颗)、1400~1473 Ma(16 颗)、1762~1917 Ma(8 颗)和 2350~2455 Ma(6 颗)四个次要年龄群碎屑锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值分别为 -7.39~+8.85、-13.65~+12.27、-1.37~+17.63 和 -11.74~+3.76(图 6), 两阶段模式年龄分别为 1.01~2.05 Ga、2.07~3.03 Ga、1.74~2.29 Ga 和 2.78~3.66 Ga。

#### 4 碎屑物源分析

近年来, 前人对哀牢山构造带及其周边地区古生代-中生代地层开展了一系列碎屑锆石研究(Xia et al., 2016; 刘兵兵等, 2017; Xu et al., 2019b), 结合本次研究, 结果显示哀牢山构造带及其东侧地区三叠系碎屑锆石 U-Pb 年龄都含有 230~280 Ma 和 400~460 Ma 两个主要年龄群, 以及 480~560 Ma、900~1200 Ma、700~860 Ma、1700~1900 Ma 和 2400~2600 Ma 五个次要年龄群(图 7)。

230~270 Ma 年龄群: 不仅是哀牢山构造带三叠系主要年龄群之一, 也是哀牢山构造带以东三叠系主要年龄群(图 7)。这些锆石均显示出典型岩浆锆石的振荡环带特征(图 4), 说明它们来源于盆地周缘造山带的岩浆岩。周缘地区该时间段岩浆岩主要有: 华南板块西缘与峨眉山幔柱有关的岩浆岩、云开造山带以及哀牢山构造带的岩浆岩。其中峨眉山幔柱喷发时间集中于晚二叠世(250~261 Ma), 主要岩石类型为溢流玄武岩及少量伴生的中酸性岩浆岩

(Xu et al., 2008)。由于玄武岩只产生少量的锆石, 且与地幔柱有关的中酸性岩浆岩都具有正  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(Xu et al., 2008), 而研究区三叠系中大量 230~270 Ma 碎屑锆石具有负  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(图 6), 因此与峨眉山幔柱有关的岩浆岩不可能是哀牢山构造带及其东侧地区三叠系碎屑岩的主要物源。云开造山带虽然也存在同期的长英质岩体, 但是其年龄主要集中于晚三叠世(200~240 Ma), 只有极少量为中二叠世-中三叠世(240~266 Ma; Li et al., 2016; 王磊等, 2016), 与三叠系中大量 240~280 Ma 碎屑锆石这一特征明显不符(图 7), 因此云开地区也不太可能是哀牢山构造及其东侧地区三叠系的主要物源。而在哀牢山-金沙江构造带内大量出露了 240~280 Ma 中酸性岩浆岩, 如哀牢山段风别山-仰宗流纹斑岩(260~266 Ma; 李友余, 2013; 赵德军等, 2013a, 2013b)、作播花岗闪长岩-石英闪长玢岩(263~265 Ma; 李友余, 2013)、新安寨、狗头坡和通天阁的花岗质岩石(244~252 Ma; 刘汇川等, 2013, 2014; Liu et al., 2015, 2017, 2018), 金沙江构造带内人支雪山组和攀天阁组流纹岩等(~247 Ma; Zi et al., 2012a, 2012b, 2012c)。且这些中酸性岩浆岩锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值与构造带内及其东侧地区三叠系同期碎屑锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值一致(图 6)。另外, 三叠系碎屑岩含有大量磨圆度较差的长石颗粒、岩屑颗粒和棱角状-次棱角状锆石(图 3、4), 这些也都显示出近源搬运特征。因此, 哀牢山构造带内同期中酸性岩浆岩是哀牢山构造带内及其东侧三叠系的主要物源。



数据来源于本文和简平, 1998, 2003; Wang et al., 2006; 李宝龙, 2008; 刘俊来, 2008; Jian et al., 2009a, 2009b; Fan et al., 2010; Nagy et al., 2001; 戚学祥, 2010; 郭洪洪, 2012; 刘翠, 2011; Lin et al., 2012; Qi et al., 2012; Roger et al., 2012; Zi et al., 2012a, 2012b, 2012c; Duan et al., 2012; Yang et al., 2012, 2014; Liu et al., 2013; Lehmann et al., 2013; Xu et al., 2013; 李龚健, 2013; 叶太平, 2013; 王舫, 2013; 赵德军, 2013a, 2013b; 刘汇川, 2013, 2014; Lai et al., 2014a, 2014b; 王疆丽, 2014; Wang et al., 2014; 邹和平, 2014; Cai et al., 2014, 2015; Liu et al., 2015, 2017, 2018; Halpin et al., 2016; Qian et al., 2016; Wang et al., 2016; Wu et al., 2017; Xia et al., 2016; 唐靓, 2016; 孙崇波, 2016, 2017, 2018, 2019; Königshof et al., 2017; 冀磊, 2017, 2018; 刘兵兵, 2017; Duan et al., 2018; Yang et al., 2018; Zhang et al., 2018; Zhou et al., 2018; Xu et al., 2019a, 2019b; 王保弟, 2021。

图 7 哀牢山构造带及其两侧 P-T 地层碎屑锆石和哀牢山构造带岩浆岩锆石年龄频谱对比图  
 Fig.7 Plots of the detrital zircon age spectra for the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region

400~450 Ma 年龄群: 该期岩浆岩在华南板块和思茅-印支板块均有出露。华南板块西部的云开地区 (Wang et al., 2007) 以及中越边界的 Song Chay-老君山地区大量出露该期中酸性岩浆岩 (Zhou et al., 2017); 思茅地块西缘也发育少量的该期长英质岩浆岩 (毛晓长等, 2012; Liu et al., 2019); 印支地块东南端的 Truong son 带和 Phuoc Son-Tam Ky 带也分布有大量该期的长英质岩浆岩 (Shi et al., 2015)。此外, 印支地块以及哀牢山构造带内的志留系-石炭系和华夏地块的泥盆系-石炭系中也含有大量 400~450 Ma 碎屑锆石 (Usuki et al., 2013; Burrett et al., 2014; Wang et al., 2016; Zhang et al., 2018)。然而研究区该年龄段 (400~450 Ma) 锆石均为棱角状-次棱角状, 并不具有再旋回特征 (图 4), 因此该期碎屑锆石的物源主要来自华南和思茅-印支板块的加里东期长英质岩浆岩。

480~560 Ma 年龄群: 该期岩浆岩与 Gondwana 超大陆聚合过程的泛非造山作用有关, 主要分布于印度与澳大利亚板块碰撞形成的 Kuunga 造山带中 (Liu et al., 2020), 而思茅-印支地块和华南地块中无该期造山事件的岩浆记录。但在华夏陆块寒武系-奥陶系中含大量该期碎屑锆石 (Hu et al., 2015), 且与研究区碎屑锆石具相同的锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值, 结合研究区内碎屑锆石具有相对远距离搬运或多旋回的次圆-浑圆状结构特征 (图 4), 表明该期碎屑锆石为华夏地块早古生代地层的再旋回产物。

710~870 Ma 年龄群: 该年龄段的长英质岩浆岩不仅大量出露于华南板块西缘的四堡和梵净山地区 (725~876 Ma; Wang et al., 2012; Yao et al., 2019) 和西北缘的攀西-汉南弧 (735~864 Ma; Zhao et al., 2018), 也出露于哀牢山构造带内 (750~814 Ma; Cai et al., 2014, 2015)。结合这些碎屑锆石具有明显近源搬运及锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值特征 (图 4), 认为它们主要来自哀牢山构造带内的晚元古代岩浆岩。

888~1240 Ma 年龄群: 该年龄段的岩浆岩与 Rodinia 超大陆聚合过程的格林威尔期 (900~1300 Ma) 造山作用有关 (Hoffman, 1991)。其中 900~990 Ma 岩浆岩主要分布于印度大陆东缘 Eastern Ghats 造山带、Northern Prince Charles 造山带和南极洲 Rayner 造山带; 而 1100~1300 Ma 岩浆事件主要分布于澳大利亚 Albany-Fraser-Musgrave 造山带和东南极 Wilkes 造山带 (Zhu et al., 2011a, 2011b)。然而, 该期岩浆岩在华南板块内部只是零星出露 (Yu et al., 2008)。结合

该年龄段碎屑锆石显示出长距离搬运或再循环的次圆状-圆状特征, 以及华南板块 (尤其是华夏地块) 新元古代-早古生代地层中同期碎屑锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值特征 (Zhang et al., 2018), 揭示这些碎屑锆石主要来源于华夏地块新元古代-古生代地层再循环。

1740~1910 Ma 年龄群: 哀牢山构造带内并没有该期岩浆岩或者变质岩, 该期岩浆岩主要出露于华夏地块内部 (Lin et al., 2018), 另外扬子地块西缘昆阳群中也含有大量 1730~1860 Ma 碎屑锆石 (Wang et al., 2012)。这些岩石中锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值和两阶段模式年龄都与本研究同时段碎屑锆石一致, 而且该期碎屑锆石既有近源搬运的棱角-次棱角状特征, 又有远源搬运或再循环的次圆状-圆状特征 (图 4), 因此这些碎屑锆石既有近源搬运沉积, 也有老地层再循环的贡献。

2400~2600 Ma 年龄群: 该期岩浆岩仅出露于华南板块北缘崆岭地区 (3.5~2.5 Ga) 和越北地块 Phan Si Pan 地区 (2.1~2.6 Ga; Zhao et al., 2019)。基于区内该期碎屑锆石普遍具有再循环成因的次圆-圆状的特征, 以及扬子和华夏陆块的新元古-早古生代地层中也含有部分该时期的碎屑锆石 (Wang et al., 2010; Duan et al., 2018), 认为这些太古代碎屑锆石主要来自于老地层的再循环 (图 4)。

综上所述, 哀牢山构造及其东侧地区三叠系物源主要为哀牢山构造带的印支期和华南板块以及思茅-印支板块内部的加里东期长英质岩浆岩, 还有少量来自华南板块西缘古生代地层的再旋回物质。

## 5 大地构造意义: 金沙江-哀牢山洋闭合时限及印支造山的开启时间

针对哀牢山古特提斯洋闭合过程, 不同学者从岩石学、岩石地球化学、古地磁学、地层学等角度做了大量研究, 但关于其精确闭合时限仍然存在争议, 目前主要有四种不同观点: 晚二叠世末期、早三叠世、中三叠世和晚三叠世 (云南地质矿产局, 1990; 钟大赉, 1998; Wang et al., 2000a; 刘翠等, 2011; 刘汇川等, 2013, 2020; Metcalfe, 2013; Liu et al., 2015, 2017; Faure et al., 2016; Xu et al., 2019a, 2019b)。这也制约了对我国境内印支造山作用开启时间及其运动过程的认识。

本次研究并结合前人数据显示, 哀牢山构造带东西两侧地区晚二叠世地层碎屑锆石 U-Pb 年龄频

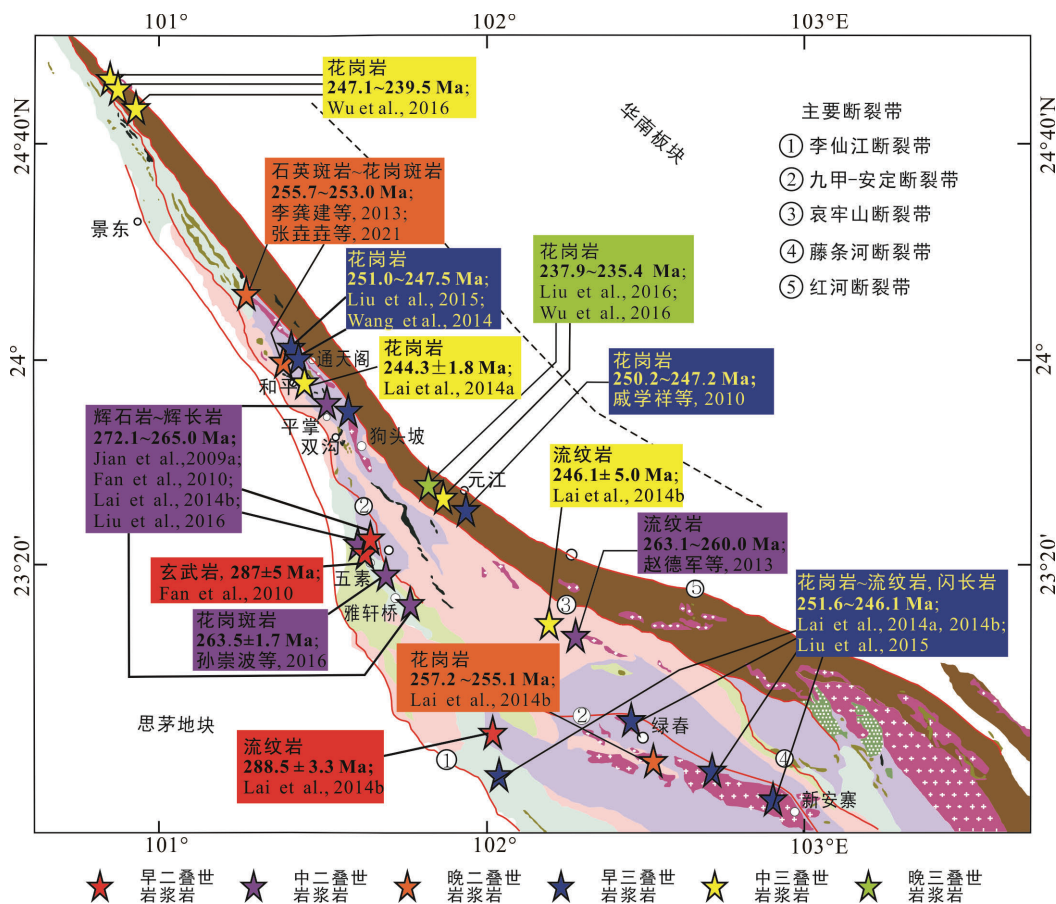


谱明显不同, 东侧地区年龄谱只显示了晚二叠世 (~260 Ma) 的单一峰值, 而西侧地区年龄频谱具有多峰特征, 显示了~277 Ma 和~445 Ma 两个峰值年龄 (图 7), 表明当时两者具有不同物源。Yang et al. (2012, 2014) 认为东侧物源主要来自与峨眉山地幔柱有关的岩浆岩, 而西侧地区物源主要来自思茅-印支地块东侧二叠纪太忠-李仙江弧岩浆岩和加里东期岩浆岩 (Xia et al., 2016; 唐靛等, 2016)。东西两侧的物源差异说明哀牢山洋盆在晚二叠世并没有闭合。而区域上, 哀牢山-金沙江构造带内的共卡地区与蛇绿岩伴生的晚二叠世红色含放射虫远洋硅质岩的识别也表明哀牢山-金沙江构造带晚二叠世仍然存在洋盆, 进一步支持上述结论 (孙晓猛等, 1995)。再结合哀牢山构造带内五素-雅轩桥地区二叠纪 (267~287 Ma) 岩浆弧 (Fan et al., 2010; Jian et al., 2010a, 2010b; Lai et al., 2014b), 本文认为哀牢山洋在中-晚二叠世仍然未完全闭合, 依然处于俯冲

阶段。

哀牢山构造带内及其周缘地区并没发现中三叠世远洋沉积序列, 却以陆源碎屑沉积为主 (图 2), 表明中三叠世哀牢山构造带已进入陆相演化阶段, 即哀牢山洋盆在中三叠世以前已经闭合了, 故思茅-印支板块与华南板块碰撞和拼贴过程在中三叠世以前就已开始。此外, 哀牢山构造带东侧地区下三叠统含有大量来自哀牢山构造带 (尤其是李仙江断裂带和九甲-安定断裂带之间的区域) 晚二叠世 (250~280 Ma) 锆石 (图 7、8)。因此, 哀牢山洋盆至少在早三叠世就已经闭合了。

哀牢山构造带二叠纪-三叠纪岩浆分布特征 (图 8) 显示, 晚二叠世及之前岩浆作用主要发育于九甲-安定断裂带以西地区; 早三叠世开始, 碰撞-后碰撞有关的长英质岩浆岩 (尤其是高硅高钾过铝质的岩浆岩) 开始出现在九甲-安定断裂带东侧地区, 并弥散于整个构造带内 (包括哀牢山群变质带内) (图 8;



数据来源于 Jian et al. 2009a, 2009b; Fan et al. 2010; 戚学祥等, 2010; 刘翠等, 2011; Lin et al. 2012; 李龚健等, 2013; Liu et al. 2013; 赵德军等, 2013a, 2013b; 刘汇川等, 2013, 2014; Lai et al. 2014a, 2014b; Liu et al. 2015, 2017, 2018; 孙崇波等, 2016; Wu et al. 2017。

图 8 哀牢山构造带 P-T 岩浆事件时空分布简图

Fig.8 The spatial and temporal distributions of the Permo-Trassic magmatic rocks from the Ailaoshan tectonic zone

Faure et al., 2016; Wu et al., 2017)。如九甲-安定断裂以西绿春等地区出露了 246~256 Ma 同碰撞和后碰撞构造背景的长英质岩浆岩(刘翠等, 2011; 刘汇川等, 2013; Lai et al., 2014b); 夹持于九甲-安定断裂带和哀牢山断裂带之间的帽盒、老王寨和狗头坡等地区发育早-中三叠世(244~255 Ma)同碰撞和后碰撞有关的长英质岩浆岩(李龚健等, 2013; Lai et al., 2014a; Liu et al., 2015, 2018); 哀牢山断裂带东侧滑石板、清水河、元江等地区也出露了早-中三叠世(238~251 Ma)与碰撞-后碰撞有关花岗岩和花岗质片麻岩(戚学祥等, 2010; Lin et al., 2012; Wu et al., 2017; Liu et al., 2018)等。区域沉积地层研究表明, 金沙江-哀牢山构造带以及两侧地区普遍缺失下三叠统(图 9), 说明早三叠世哀牢山洋盆已经闭合, 哀牢山构造带已处于造山抬升剥蚀阶段。因此, 哀牢山洋盆闭合应该发生在晚二叠世末-早三叠世早期; 而且该时期金沙江-哀牢山构造带的印支造山运动也已启动, 该时间与越北地区基于高压-超高压变质岩定义的典型印支造山开始时间一致(240~257 Ma; Nagy et al., 2001; Nam et al., 2003; Lepvrier et al., 2008; Nakano et al., 2008, 2010; Liu et al., 2013; Zhang et al., 2013; Faure et al., 2014, 2016; Owada et al.,

2016)。因此, 整个印支造山带并不具有从南(越南)到北(中国)穿时性演化特征(Carter and Clift, 2008)。

随着印支造山运动的持续进行, 由于造山带垮塌或俯冲板片断离作用, 哀牢山构造带在中-晚三叠世进入后碰撞伸展阶段, 造成了哀牢山构造带下部软流圈物质的上涌和岩石圈的伸展作用, 区内发育大量晚三叠世(229 Ma)高  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值高钾钙碱性花岗岩(Lin et al., 2012; 刘汇川等, 2014)。该伸展作用同时也导致哀牢山构造带发生差异性沉降, 并再次接受来自构造带内及其周缘的陆源碎屑沉积。因而, 构造带及其东侧地区中-上三叠统都具有大量年轻(240~280 Ma)碎屑锆石。

综上所述, 哀牢山古特提斯洋演化过程如下: 二叠纪, 哀牢山古特提斯洋西向俯冲到思茅-印支板块之下(图 10), 在思茅地块东缘形成了同时期的岩浆弧(Fan et al., 2010; Faure et al., 2016); 二叠世末-早三叠世早期, 哀牢山古特提斯洋盆闭合, 随后陆-陆碰撞作用和印支造山运动也开始启动, 使得哀牢山构造带持续隆升并遭受剥蚀, 造成区域缺失下三叠统(图 10); 中-晚三叠世, 哀牢山构造带进入碰撞后伸展阶段, 构造带及其周缘地区发生差异性沉降

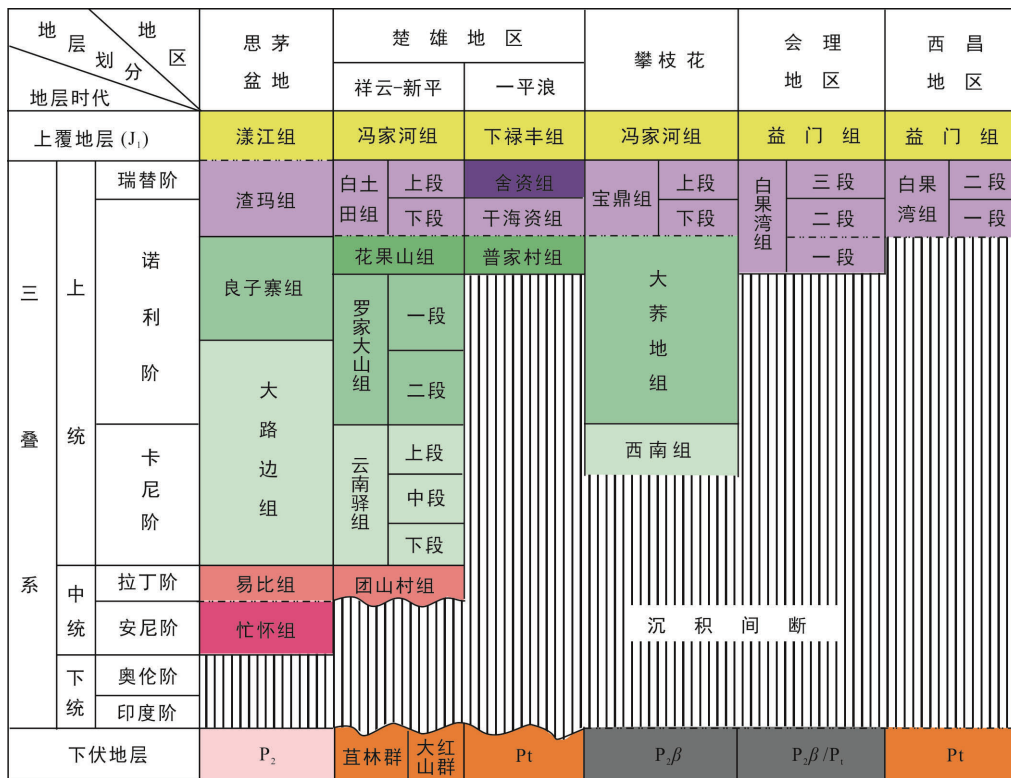


图 9 金沙江-哀牢山构造带两侧地层划分与对比图(据张远志, 1996)

Fig.9 Stratigraphic columns on both sides of the Jinshajiang-Ailaoshan tectonic zone

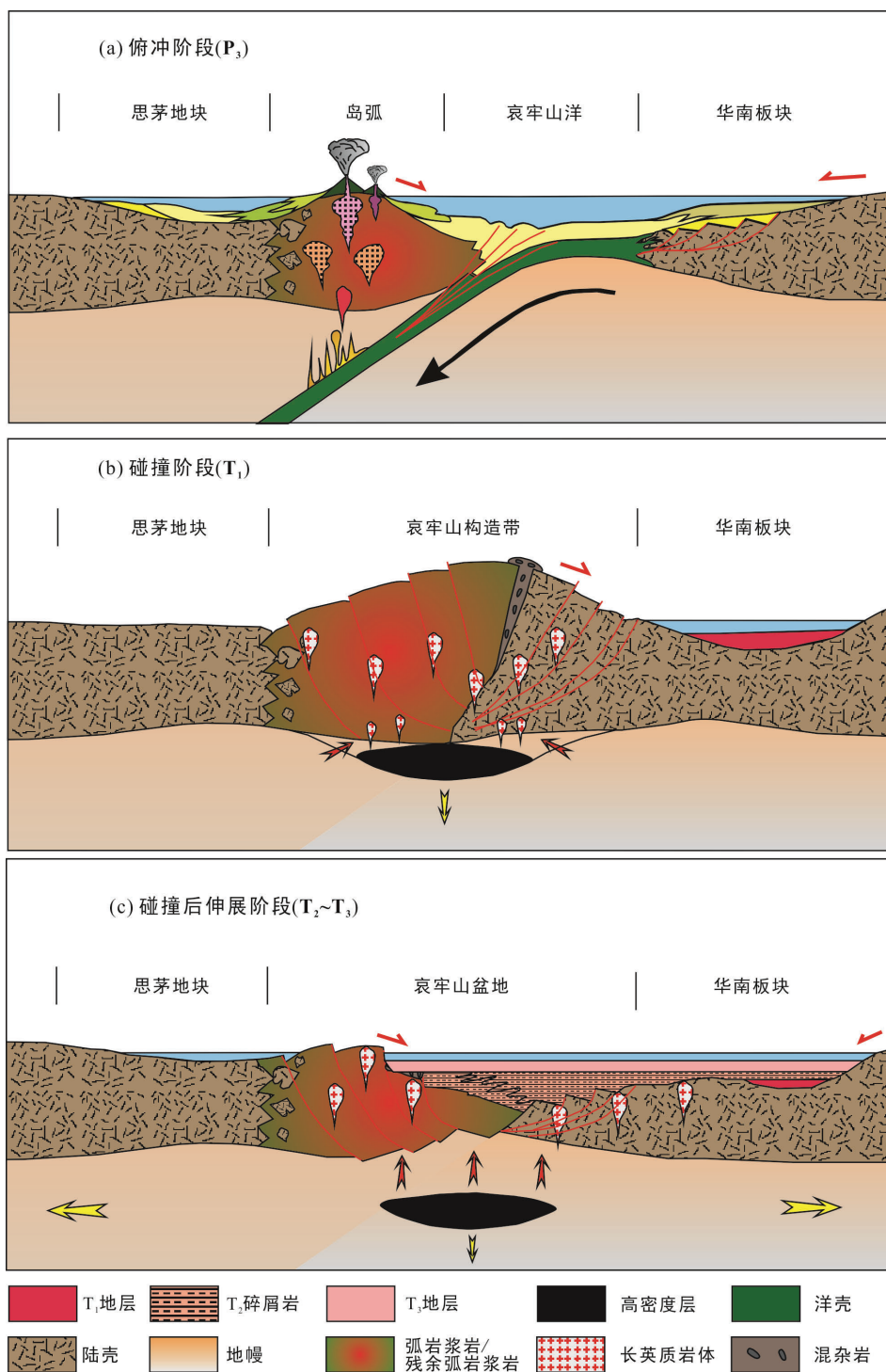


图 10 哀牢山洋盆闭合以及印支造山开启模型图

Fig.10 Models illustrating the tectonic evolution of the Ailaoshan Ocean Basin and the commencement of the Indosinian Orogeny

并接受陆缘碎屑物质沉积(图 10), 而在地壳深处由于岩石圈伸展减薄使得其下覆的软流圈物质上涌并底侵于下地壳, 使得区内发生大规模地壳深熔作用, 并发育大量面状分布的中-晚三叠世壳源花岗岩 (Liu et al., 2017)。

## 6 结 论

综合哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素分析, 及前人研

究成果,对哀牢山洋闭合过程以及该区印支造山运动起始时间进行了有效的约束。

(1) 哀牢山构造带内中-上三叠统和东侧地区三叠系碎屑物质主要来自哀牢山构造带的岩浆岩,并伴随少量老地层再循环。

(2) 哀牢山古特提斯洋盆在晚二叠世末-早三叠世早期闭合,并与越北地区同时开启印支造山运动,故印支造山并不具有从南(越南)到北(中国)穿时性演化特征。

(3) 中-晚三叠世,哀牢山构造带处于碰撞后伸展演化阶段,带内发育中-晚三叠世陆缘碎屑岩和面状展布的碰撞后有关的壳源花岗岩。

**致谢:** 感谢毛永生在野外考察和样品收集中的帮助!感谢中国地质大学(武汉)的杨江海副教授和另一位匿名审稿人认真细致的审稿,感谢编辑部老师的热心帮助。你们的诸多建设性意见使本文质量得以提高!

#### 参考文献(References):

- 郭春丽,郑佳浩,楼法生,曾载淋. 2012. 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景探讨. 大地构造与成矿学, 36(3): 457-472.
- 郭洪决,郭安林,胡晓佳. 2012. 双沟印支期花岗岩地球化学和地质年代学研究. 云南地质, 31(1): 134-138.
- 冀磊,刘福来,王舫,蔡佳,王伟,田忠华,刘利双. 2017. 点苍山-哀牢山杂岩带多期变质作用: 嘎洒地区变沉积岩锆石微量元素与U-Pb年代学制约. 岩石学报, 33(2): 605-621.
- 冀磊,刘福来,王舫,孙载波. 2018. 滇西哀牢山岩群变沉积岩碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄及其地质意义. 岩石学报, 34(5): 1503-1516.
- 简平,刘敦一,孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩SHRIMP测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约. 地质学报, 77(2): 217-228, 291-292.
- 简平,汪啸风,何龙清,王传尚. 1998. 云南新平县双沟蛇绿岩U-Pb年代学初步研究. 岩石学报, 14(2): 207-211.
- 李宝龙,季建清,付孝悦,龚俊峰,宋彪,庆建春,张臣. 2008. 滇西点苍山-哀牢山变质岩系锆石SHRIMP定年及其地质意义. 岩石学报, 24(10): 2322-2330.
- 李龚健,王庆飞,禹丽,胡兆初,马楠,黄钰涵. 2013. 哀牢山古特提斯洋缝合时限: 晚二叠世花岗岩类锆石U-Pb年代学与地球化学制约. 岩石学报, 29(11): 3883-3900.
- 李朋武,高锐,崔军文,管焯. 2005. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析. 地球学报, 26(5): 387-404.
- 李友余. 2013. 金沙江-哀牢山俯冲-碰撞造山带南段绿春岛弧带的确认及特征. 成都: 成都理工大学硕士学位论文: 1-89.
- 刘兵兵,彭头平,范蔚茗,高剑峰,方小玉,张靖祎. 2017. 哀牢山构造带两侧上志留统-下泥盆统碎屑锆石年代学: 物源及其构造意义. 大地构造与成矿学, 41(4): 734-752.
- 刘翠,邓晋福,刘俊来,石耀霖. 2011. 哀牢山构造岩浆带晚二叠世-早三叠世火山岩特征及其构造环境. 岩石学报, 27(12): 3590-3602.
- 刘汇川,刘小平,张永旺,于志琪,王凯. 2020. 印支运动启动的时间: 来自云南点苍山晚二叠世辉长岩和闪长岩的证据. 大地构造与成矿学, 44(3): 527-542.
- 刘汇川,王岳军,蔡永丰,马莉燕,邢晓婉,范蔚茗. 2013. 哀牢山构造带新安寨晚二叠世末期过铝质花岗岩锆石U-Pb年代学及Hf同位素组成研究. 大地构造与成矿学, 37(1): 87-98.
- 刘汇川,王岳军,范蔚茗,曾建威,蔡永丰,杨光林. 2014. 滇西哀牢山地区晚三叠世高 $\epsilon_{Nd}(t)$ - $\epsilon_{Hf}(t)$ 花岗岩的构造指示. 中国科学: 地球科学, 44(11): 2373-2388.
- 刘俊来,王安建,曹淑云,邹运鑫,唐渊,陈越. 2008. 滇西点苍山杂岩中混合岩的地质年代学分析及其区域构造内涵. 岩石学报, 24(3): 413-420.
- 毛晓长,王立全,李冰,王保弟,王冬兵,尹福光,孙志明. 2012. 云县-景谷火山弧带大中河晚志留世火山岩的发现及其地质意义. 岩石学报, 28(5): 1517-1528.
- 莫宣学,邓晋福,董方浏,喻学惠,王勇,周肃,杨伟光. 2001. 西南三江造山带火山岩-构造组合及其意义. 高校地质学报, 7(2): 121-138.
- 倪培,潘君屹,迟哲. 2020. 华南燕山期大规模铜成矿作用的成矿模式及找矿方向. 矿床地质, 39(5): 754-784.
- 戚学祥,朱路华,李化启,胡兆初,李志群. 2010. 青藏高原东缘哀牢山-金沙江构造带糜棱状花岗岩的LA-ICP-MS U-Pb定年及其构造意义. 地质学报, 84(3): 357-369.
- 钱鑫. 2016. 老挝琅勃拉邦及黎府构造带古特提斯构造演化. 武汉: 中国地质大学博士学位论文: 1-160.
- 施美凤,林方成,李兴振,凌小明,石洪召. 2011. 东南亚中南半岛与中国西南邻区地层分区及沉积演化历史. 中国地质, 38(5): 1244-1256.
- 孙崇波,李忠权,陈晓东,谢万洪,王道永. 2018. 哀牢山构造带南段风别山霏细斑岩地球化学特征及其锆石U-Pb年代学研究. 地质论评, 64(5): 1251-1262.



- 孙崇波, 李忠权, 王道永, 陈晓东. 2019. 哀牢山构造带南段马玉花岗闪长岩地球化学特征及其锆石 U-Pb 年龄. *地质通报*, 38(S1): 223–230.
- 孙崇波, 李忠权, 王道永, 许远平, 李滔, 赵云川. 2017. 云南哀牢山构造带仰宗流纹斑岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义. *地质通报*, 36(S1): 190–198.
- 孙崇波, 李忠权, 王道永, 许远平, 李友余. 2016. 哀牢山构造带南段扭只二长花岗斑岩地球化学特征及其锆石 U-Pb 年代学研究. *中国地质*, 43(1): 111–119.
- 孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1995. 滇西北金沙江带硅质岩沉积环境的确定及大地构造意义. *地质评论*, 41(2): 175–178.
- 唐靓, 薛传东, 杨天南, 梁明娟, 向坤, 廖程, 姜丽莉, 信迪. 2016. 滇西马登地区晚二叠世-早三叠世地层组合及年代学: 火山岩锆石 U-Pb 定年证据. *岩石学报*, 32(8): 2535–2554.
- 王保弟, 王立全, 王冬兵, 李奋其, 唐渊, 王启宇, 闫国川, 吴喆. 2021. 西南三江金沙江弧盆系时空结构及构造演化. *沉积与特提斯地质*, 41(2): 246–264.
- 王舫, 刘福来, 刘平华. 2013. 云南“三江”变质杂岩带多期花岗质岩浆事件及其构造意义. *岩石学报*, 29(6): 2141–2160.
- 王疆丽, 林方成, 彭正, 施美凤, 王宏. 2014. 老挝-越南长山褶皱带似斑状角闪黑云二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地质科技情报*, 33(5): 66–74.
- 王磊, 龙文国, 周岱, 徐旺春, 金鑫鏢. 2016. 桂东南大容山晚二叠世花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素特征及其地质意义. *地质通报*, 35(8): 1291–1303.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589–1604.
- 叶太平, 刘玉平, 王大鹏, 李亮. 2013. 右江盆地中三叠统砂岩 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年代学. *矿物学报*, 33(2): 194–202.
- 云南省地质局. 1973. 中华人民共和国墨江幅(F-47-6) 1: 20万区域地质调查报告. 北京: 地质出版社: 1–658.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社: 1–658.
- 张远志. 1996. 云南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社: 1–367.
- 赵德军, 陈洪德, 邓江红, 王道永. 2013a. 哀牢山造山带南段仰宗岩体地球化学特征及其构造环境. *矿物岩石*, 33(1): 60–68.
- 赵德军, 陈洪德, 王道永, 王国芝, 李娜. 2013b. 哀牢山造山带南段中二叠世晚期娘宗岩体厘定. *地质科技情报*, 32(3): 19–25.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社: 1–231.
- 邹和平, 杜晓东, 劳妙姬, 丁汝鑫. 2014. 广西大明山地块寒武系碎屑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. *地质学报*, 88(10): 1800–1819.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chemical Geology*, 192(1–2): 59–79.
- Burrett C, Zaw K, Meffre S, Lai C K, Khositanont S, Chaodumrong P, Chaodumrong P, Udchachon M, Ekins S, Halpin J. 2014. The configuration of Greater Gondwana-evidence from LA-ICP-MS, U-Pb geochronology of detrital zircons from the Palaeozoic and Mesozoic of Southeast Asia and China. *Gondwana Research*, 26(1): 31–51.
- Cai Y F, Wang Y J, Cawood P A, Fan W M, Liu H C, Xing X W, Zhang Y Z. 2014. Neoproterozoic subduction along the Ailaoshan zone, South China: Geochronological and geochemical evidence from amphibolite. *Precambrian Research*, 245: 13–28.
- Cai Y F, Wang Y J, Cawood P A, Zhang Y Z, Zhang A M. 2015. Neoproterozoic crustal growth of the Southern Yangtze Block: Geochemical and zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic evidence of Neoproterozoic diorite from the Ailaoshan zone. *Precambrian Research*, 266: 137–149.
- Carter A, Clift P D. 2008. Was the Indosinian orogeny a Triassic mountain building or a thermotectonic reactivation event? *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2–3), 83–93.
- Cawood P A, Buchan C. 2007. Linking accretionary orogenesis with supercontinent assembly. *Earth-Science Reviews*, 82: 217–256.
- Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. 2012. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology*, 40(10): 875–878.
- Cawood P A, Nemchin A A. 2000. Provenance record of a rift basin: U/Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia. *Sedimentary Geology*, 134(3): 209–234.
- Chen C H, Hsieh P S, Lee C Y, Zhou H W. 2011. Two episodes of the Indosinian thermal event on the South China Block: Constraints from LA-ICPMS U-Pb zircon and electron microprobe monazite ages of the Darongshan S-type granitic suite. *Gondwana Research*, 19(4): 1008–1023.

- DeCelles P G, Gehrels G E, Quade J, LaReau B, Spurlin M. 2000. Tectonic implications of U-Pb zircon ages of the Himalayan orogenic belt in Nepal. *Science*, 288(5465): 497–499.
- Duan L, Meng Q R, Christie-Blick N, Wu G L. 2018. New insights on the Triassic tectonic development of South China from the detrital zircon provenance of Nanpanjiang turbidites. *GSA Bulletin*, 130(1–2): 24–34.
- Duan L, Meng Q R, Wu G L, Ma S X, Li L. 2012. Detrital zircon evidence for the linkage of the South China block with Gondwanaland in early Palaeozoic time. *Geological Magazine*, 149(6): 1124–1131.
- Fan W M, Wang Y J, Zhang A M, Zhang F F, Zhang Y Z. 2010. Permian arc-back-arc basin development along the Ailaoshan tectonic zone: Geochemical, isotopic and geo-chronological evidence from the Mojiang volcanic rocks, Southwest China. *Lithos*, 119(3–4): 553–568.
- Faure M, Lepvrier C, Van Nguyen V, Van Vu T, Lin W, Chen Z. 2014. The South China block-Indochina collision: Where, when, and how? *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 260–274.
- Faure M, Lin W, Chu Y, Lepvrier C. 2016. Triassic tectonics of the Ailaoshan belt (SW China): Early Triassic collision between the South China and Indochina blocks, and Middle Triassic intracontinental shearing. *Tectonophysics*, 683: 27–42.
- Halpin J A, Tran H T, Lai C K, Meffre S, Crawford A J, Zaw K. 2016. U-Pb zircon geochronology and geochemistry from NE Vietnam: A ‘tectonically disputed’ territory between the Indochina and South China blocks. *Gondwana Research*, 34: 254–273.
- Hoffman P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? *Science*, 252(5011): 1409–1412.
- Hoskin P W, Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 27–62.
- Hu L S, Cawood P A, Du Y S, Xu Y J, Xu W C, Huang H W. 2015. Detrital records for Upper Permian-Lower Triassic succession in the Shiwandashan Basin, South China and implication for Permo-Triassic (Indosinian) orogeny. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98: 152–166.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, Zhang Q, Wang Y Z, Sun X M, Zhang W. 2009a. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China ( I ): Geochemistry of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks. *Lithos*, 113: 748–766.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, Zhang Q, Wang Y Z, Sun X M, Zhang W. 2009b. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China ( II ): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province. *Lithos*, 113: 767–784.
- Königshof P, Linnemann U, Phuong T H. 2017. U-Pb detrital zircon geochronology of sedimentary rocks in NE Vietnam: Implication for Early and Middle Devonian Palaeogeography. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 39(4): 303–323.
- Lai C K, Meffre S, Crawford A J, Zaw K, Halpin J A, Xue C D, Salam A. 2014a. The Central Ailaoshan ophiolite and modern analogs. *Gondwana Research*, 26(1): 75–88.
- Lai C K, Meffre S, Crawford A J, Zaw K, Xue C D, Halpin J A. 2014b. The Western Ailaoshan Volcanic Belts and their SE Asia connection: A new tectonic model for the Eastern Indochina Block. *Gondwana Research*, 26(1): 52–74.
- Lehmann B, Zhao X F, Zhou M F, Du A D, Mao J W, Zeng P S, Henjes-Kunst F, Heppel K. 2013. Mid-Silurian back-arc spreading at the northeastern margin of Gondwana: The Dapingzhang dacite-hosted massive sulfide deposit, Lancangjiang zone, southwestern Yunnan, China. *Gondwana Research*, 24(2): 648–663.
- Lepvrier C, Van Vuong N, Maluski H, Thi P T, Van Vu T. 2008. Indosinian tectonics in Vietnam. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2–3): 94–111.
- Li X H, Long W G, Li Q L, Liu Y, Zheng Y F, Yang Y H, Chamberlain K R, Wan D F, Guo C H, Wang X C, Tao H. 2010. Penglai zircon megacrysts: A potential new working reference material for microbeam determination of Hf-O isotopes and U-Pb age. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34(2): 117–134.
- Li Y J, Wei J H, Santosh M, Tan J, Fu L B, Zhao S Q. 2016. Geochronology and petrogenesis of Middle Permian S-type granitoid in southeastern Guangxi Province, South China: Implications for closure of the eastern Paleo-Tethys. *Tectonophysics*, 682: 1–16.
- Lin S F, Xing G F, Davis D W, Yin C Q, Wu M L, Li L M, Jiang Y, Chen Z H. 2018. Appalachian-style multi-terrane Wilson cycle model for the assembly of South China. *Geology*, 46(4): 319–322.
- Lin T H, Chung S L, Chiu H Y, Wu F Y, Yeh M W, Searle

- M P, Iizuka Y. 2012. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints from the Ailao Shan-Red River shear zone on the tectonic and crustal evolution of southwestern China. *Chemical Geology*, 291: 23–37.
- Liu B B, Peng T P, Fan W M, Zhao G C, Gao J F, Dong X H, Peng B X. 2020. Tectonic evolution and paleoposition of the Baoshan and Lincang Blocks of West Yunnan during the Paleozoic. *Tectonics*, 39(10), e2019TC006028.
- Liu F L, Wang F, Liu P H, Liu C H. 2013. Multiple metamorphic events revealed by zircons from the Diancang Shan-Ailao Shan metamorphic complex, southeastern Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 24(1): 429–450.
- Liu H C, Bi M W, Guo X F, Zhou Y Z, Wang Y K. 2019. Petrogenesis of Late Silurian volcanism in SW Yunnan (China) and implications for the tectonic reconstruction of northern Gondwana. *International Geology Review*, 61(11): 1297–1312.
- Liu H C, Wang Y J, Cawood P A, Fan W M, Cai Y F, Xing X W. 2015. Record of Tethyan ocean closure and Indosinian collision along the Ailaoshan suture zone (SW China). *Gondwana Research*, 27(3): 1292–1306.
- Liu H C, Wang Y J, Guo X F, Fan W M, Song J J. 2017. Late Triassic post-collisional slab break-off along the Ailaoshan suture: Insights from OIB-like amphibolites and associated felsic rocks. *International Journal of Earth Sciences*, 106(4): 1359–1373.
- Liu H C, Wang Y J, Li Z H, Zi J W, Huangfu P P. 2018. Geodynamics of the Indosinian orogeny between the South China and Indochina blocks: Insights from latest Permian-Triassic granitoids and numerical modeling. *Geological Society of America Bulletin*, 130(7–8): 1289–1306.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, Gao C G, Gao S, Xu J, Chen H H. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Calif: Berkeley Geochronology Center.
- Metcalf I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1–33.
- Nagy E A, Maluski H, Lepvrier C, Schärer U, Thi P T, Leyreloup A, Thich V V. 2001. Geodynamic significance of the Kontum massif in central Vietnam: Composite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and U-Pb ages from Paleozoic to Triassic. *The Journal of Geology*, 109(6): 755–770.
- Nakano N, Osanai Y, Minh N T, Miyamoto T, Hayasaka Y, Owada M. 2008. Discovery of high-pressure granulite-facies metamorphism in northern Vietnam: Constraints on the Permo-Triassic Indochinese continental collision tectonics. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2–3): 127–138.
- Nakano N, Osanai Y, Sajeev K, Hayasaka Y, Miyamoto T, Minh N T, Owada M, Windley B. 2010. Triassic eclogite from northern Vietnam: Inferences and geological significance. *Journal of Metamorphic Geology*, 28(1): 59–76.
- Nam T N, Toriumi M, Sano Y, Terada K, Thang T T. 2003. 2.9, 2.36, and 1.96 Ga zircons in orthogneiss south of the Red River shear zone in Viet Nam: Evidence from SHRIMP U-Pb dating and tectonothermal implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(7): 743–753.
- Owada M, Osanai Y, Hokada T, Nakano N. 2016. Timing of metamorphism and formation of garnet granite in the Kontum Massif, central Vietnam: Evidence from monazite EMP dating. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 101(6): 324–328.
- Peng T P, Fan W M, Zhao G C, Peng B X, Xia X P, Mao Y S. 2015. Petrogenesis of the early Paleozoic strongly peraluminous granites in the Western South China Block and its tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98: 399–420.
- Qi X X, Zeng L S, Zhu L H, Hu Z C, Hou K J. 2012. Zircon U-Pb and Lu-Hf isotopic systematics of the Daping plutonic rocks: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the northeastern margin of the Indochina block, Southwest China. *Gondwana Research*, 21(1): 180–193.
- Qian X, Feng Q L, Wang Y J, Zhang Z B. 2016. Geochemical and geochronological constraints on the origin of the meta-basic volcanic rocks in the Tengtiaohu zone, Southeast Yunnan. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 90(2): 669–683.
- Rainbird R H, Heaman L M, Young G. 1992. Sampling Laurentia: Detrital zircon geochronology offers evidence for an extensive Neoproterozoic river system originating from the Grenville orogen. *Geology*, 20: 351–354.
- Roger F, Leloup P H, Jolivet M, Lacassin R, Trinh P T, Brunel M, Seward D. 2000. Long and complex thermal history of the Song Chay metamorphic dome (Northern Vietnam) by multi-system geochronology. *Tectonophysics*, 321(4): 449–466.
- Roger F, Maluski H, Lepvrier C, Van T V, Paquette J L.

2012. LA-ICP-MS zircons U/Pb dating of Permo-Triassic and Cretaceous magmatism in Northern Vietnam-Geodynamical implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 48: 72–82.
- Shi M F, Lin F C, Fan W Y, Deng Q, Cong F, Tran M D, Zhu H P, Wang H. 2015. Zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 101: 101–120.
- Usuki T, Lan C Y, Wang K L, Chiu H Y. 2013. Linking the Indochina block and Gondwana during the Early Paleozoic: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons. *Tectonophysics*, 586: 145–159.
- Vermeesch P. 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chemical Geology*, 312–313: 190–194.
- Vervoort J D, Patchett P J, Söderlund U, Baker M. 2004. Isotopic composition of Yb and the determination of Lu concentrations and Lu/Hf ratios by isotope dilution using MC-ICP-MS. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5, Q11002.
- Wang C, Liang X, Foster D A, Fu J, Jiang Y, Dong C G, Zhou Y, Wen S N, Van Quynh P. 2016. Detrital zircon U-Pb geochronology, Lu-Hf isotopes and REE geochemistry constrains on the provenance and tectonic setting of Indochina Block in the Paleozoic. *Tectonophysics*, 677: 125–134.
- Wang C Y, Zhou M F, Keays R R. 2006. Geochemical constraints on the origin of the Permian Baimazhai mafic-ultramafic intrusion, SW China. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152(3): 309–321.
- Wang L J, Yu J H, Griffin W L, O'Reilly S Y. 2012. Early crustal evolution in the western Yangtze Block: Evidence from U-Pb and Lu-Hf isotopes on detrital zircons from sedimentary rocks. *Precambrian Research*, 222: 368–385.
- Wang Q F, Deng J, Li C S, Li G J, Yu L, Qiao L. 2014. The boundary between the Simao and Yangtze blocks and their locations in Gondwana and Rodinia: Constraints from detrital and inherited zircons. *Gondwana Research*, 26(2): 438–448.
- Wang X F, Metcalfe I, Jian P, He L Q, Wang C S. 2000a. The Jinshajiang-Ailaoshan suture zone, China: Tectono-stratigraphy, age and evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6): 675–690.
- Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, Ji S C, Peng T P. 2007. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the SCB. *Gondwana Research*, 12(4): 404–416.
- Wang Y J, Wang Y K, Qian X, Zhang Y Z, Gan C S, Senéboultalath V, Wang Y. 2020b. Early Paleozoic subduction in the Indochina interior: Revealed by Ordo-Silurian mafic-intermediate igneous rocks in South Laos. *Lithos*, 362, 105488.
- Wang Y J, Zhang F F, Fan W M, Zhang G W, Chen S Y, Cawood P A, Zhang A M. 2010. Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: Resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. *Tectonics*, 29(6): 1–16.
- Wu W B, Liu J L, Chen X Y, Zhang L S. 2017. Zircon U-Pb ages, Hf isotope data, and tectonic implications of Early-Middle Triassic granitoids in the Ailaoshan high-grade metamorphic belt of Southeast Tibet. *International Journal of Earth Sciences*, 106(3): 875–897.
- Xia X P, Nie X S, Lai C K, Wang Y J, Long X P, Meffre S. 2016. Where was the Ailaoshan Ocean and when did it open: A perspective based on detrital zircon U-Pb age and Hf isotope evidence. *Gondwana Research*, 36: 488–502.
- Xu J, Xia X P, Huang C, Cai K, Yin C Q, Lai C K. 2019a. Changes of provenance of Permian and Triassic sedimentary rocks from the Ailaoshan suture zone (SW China) with implications for the closure of the eastern Paleotethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 170: 234–248.
- Xu J, Xia X P, Lai C, Long X P, Huang C. 2019b. When did the Paleotethys Ailaoshan Ocean close: New insights from detrital zircon U-Pb age and Hf isotopes. *Tectonics*, 38(5): 1798–1823.
- Xu Y G, Luo Z Y, Huang X L, He B, Xiao L, Xie L W, Shi Y R. 2008. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on crustal melting associated with the Emeishan mantle plume. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(13): 3084–3104.
- Xu Y J, Cawood P A, Du Y S, Hu L S, Yu W C, Zhu Y H, Li W C. 2013. Linking South China to northern Australia and India on the margin of Gondwana: Constraints from detrital zircon U-Pb and Hf isotopes in Cambrian strata. *Tectonics*, 32(6): 1547–1558.
- Yang J H, Cawood P A, Du Y S, Huang H, Hu L S. 2012. Detrital record of Indosinian mountain building in SW China: Provenance of the Middle Triassic turbidites in the Youjiang Basin. *Tectonophysics*, 574: 105–117.
- Yang J H, Cawood P A, Du Y S, Huang H, Hu L S. 2014. A



- sedimentary archive of tectonic switching from Emeishan Plume to Indosinian orogenic sources in SW China. *Journal of the Geological Society*, 171(2): 269–280.
- Yang L, Wang Q F, Wang Y N, Li G J. 2018. Proto- to Paleo-Tethyan evolution of the eastern margin of Simao block. *Gondwana Research*, 62: 61–74.
- Yao J L, Cawood P A, Shu L S, Zhao G C. 2019. Jiangnan Orogen, South China: A 970–820 Ma Rodinia margin accretionary belt. *Earth-Science Reviews*, 196, 102872.
- Yu J H, O'Reilly S Y, Wang L J, Griffin W L, Zhang M, Wang R C, Jiang S Y, Shu L S. 2008. Where was South China in the Rodinia supercontinent? Evidence from U-Pb geochronology and Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Research*, 164(1–2): 1–15.
- Zhang R Y, Lo C H, Chung S L, Grove M, Omori S, Iizuka Y, Liou J G, Tri T V. 2013. Origin and tectonic implication of ophiolite and eclogite in the Song Ma suture zone between the South China and Indochina blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 31(1): 49–62.
- Zhang X C, Wang Y J, Clift P D, Yan Y, Zhang Y Z, Zhang L. 2018. Paleozoic Tectonic Setting and Paleogeographic Evolution of the Qin-Fang Region, Southern South China Block: Detrital Zircon U-Pb Geochronological and Hf Isotopic Constraints. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(10): 3962–3979.
- Zhao J H, Li Q W, Liu H, Wang W. 2018. Neoproterozoic magmatism in the western and northern margins of the Yangtze Block (South China) controlled by slab subduction and subduction-transform-edge-propagator. *Earth-Science Reviews*, 187: 1–18.
- Zhao L, Guo F, Fan W M, Li C W, Qin X F, Li H X. 2010. Crustal evolution of the Shiwandashan area in South China: Zircon U-Pb-Hf isotopic records from granulite enclaves in Indo-Sinian granites. *Chinese Science Bulletin*, 55(19): 2028–2038.
- Zhao T Y, Cawood P A, Zi J W, Wang K, Feng Q L, Nguyen Q M, Tran D M. 2019. Early Paleoproterozoic magmatism in the Yangtze Block: Evidence from zircon U-Pb ages, Sr-Nd-Hf isotopes and geochemistry of ca. 2.3 Ga and 2.1 Ga granitic rocks in the Phan Si Pan Complex, North Vietnam. *Precambrian Research*, 324: 253–268.
- Zhou X Y, Yu J H, O'Reilly S Y, Griffin W L, Sun T, Wang X L, Tran M D, Nguyen D. 2018. Component variation in the late Neoproterozoic to Cambrian sedimentary rocks of SW China-NE Vietnam, and its tectonic significance. *Precambrian Research*, 308: 92–110.
- Zhou X Y, Yu J H, O'Reilly S Y, Griffin W L, Wang X L, Sun T. 2017. Sources of the Nanwenhe-Song Chay granitic complex (SW China-NE Vietnam) and its tectonic significance. *Lithos*, 290: 76–93.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Dilek Y, Mo X X. 2011a. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia. *Geology*, 39(8): 727–730.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Mo X X, Chung S L, Hou Z Q, Wang L J, Wu F Y. 2011b. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth. *Earth and Planetary Science Letters*, 301(1–2): 241–255.
- Zi J W, Cawood P A, Fan W M, Wang Y J, Eric T, Mc Cuaig T C. 2012a. Generation of Early Indosinian enriched mantle-derived granitoid pluton in the Sanjiang Orogen (SW China) in response to closure of the Paleo-Tethys. *Lithos*, 140: 166–182.
- Zi J W, Cawood P A, Fan W M, Wang Y J, Tohver E. 2012c. Contrasting rift and subduction-related plagiogranites in the Jinshajiang ophiolitic mélangé, southwest China, and implications for the Paleo-Tethys. *Tectonics*, 31(2): 1–18.
- Zi J W, Cawood P A, Fan W M, Wang Y J, Tohver E, McCuaig T C, Peng T P. 2012b. Triassic collision in the Paleo-Tethys Ocean constrained by volcanic activity in SW China. *Lithos*, 144: 145–160.

# Timing of the Ailaoshan Paleo-Tethys Ocean Closure and the Indosinian Orogeny Initiation: Constraints from the Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopes of the Middle-Upper Triassic Strata

LIU Bingbing<sup>1,2,3</sup>, PENG Touping<sup>1,2\*</sup>, FAN Weiming<sup>3,4,5</sup>, DONG Xiaohan<sup>1,2,3</sup>,  
PENG Shili<sup>1,2,3</sup>, WU Limin<sup>1,2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. CAS Center for Excellence in Deep Earth Science, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Beijing 100101, China; 5. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Constraining the accurate closure timing of the Paleo-Tethys Ocean along the Ailaoshan tectonic zone (ATZ) is crucial to understand the tectonic evolution of the Paleo-Tethys Ocean and the geodynamic process of the Indosinian Orogeny within this region. Detrital zircons from the terrigenous detritus, one of the products of the orogeny on the earth's surface, can record important information of the eroded igneous rocks on the orogeny and provide an independent insight into the spatial-temporal evolution of the orogenesis. In this paper, we present zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotope results of the Middle-Upper Triassic detrital sedimentary rocks in the ATZ and its eastern region. Our data show that the Middle Triassic samples from the ATZ and its eastern region share similar detrital zircon U-Pb age pattern with the exception of the absence of 240–325 Ma population in the ATZ samples. They possess two common age populations at *ca.* 480–560 Ma and *ca.* 900–1200 Ma, with corresponding  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  values of  $-16.75$  to  $+17.00$  and  $-15.39$  to  $+19.20$ , respectively. The Upper Triassic samples from these regions share three similar major age populations at 250–330 Ma, 480–580 Ma and 920–1240 Ma with corresponding  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  values of  $-10.67$  to  $+12.15$ ,  $-10.06$  to  $+9.57$  and  $-12.25$  to  $+15.62$ , respectively. In addition, an integration of our data with previously published detrital zircon geochronology data of the Ailaoshan region suggests that the Triassic sediments of the ATZ and its eastern region were mainly sourced from the igneous rocks of the ATZ, with minor contributions from the recycling of the Paleozoic strata. Provenance analysis indicates that the Ailaoshan Paleo-Tethys ocean basin had been closed during the Early Triassic. Considering the absence of Lower Triassic strata on both sides of the ATZ and the distribution patterns of Early-Middle Triassic collision-related igneous rocks across the whole ATZ, we proposed that the Indosinian Orogeny in the ATZ and NE Vietnam region commenced concurrently in the latest Permian-Early Triassic. Consequently, voluminous Middle-Late Triassic sedimentation and magmatism within the ATZ and its ambient regions developed in a post-collision extension regime during the Indosinian Orogeny.

**Keywords:** Middle-Upper Triassic; detrital zircon U-Pb-Hf isotopes analysis; Ailaoshan Paleo-Tethys ocean basin; closure timing; Indosinian orogeny

附表 1 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑岩中碎屑锆石 U-Pb 同位素比值和年龄  
 Table S1 U-Pb isotopic ratios and ages of detrital zircons from Middle-Upper Triassic sedimentary rocks of the Ailaoshan tectonic zone and its eastern region

测点	Th/U	同位素比值			年龄 (Ma)			谐和度						
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$							
1	0.53	0.0589	0.0003	0.7414	0.0064	0.0913	0.0005	561	13	563	4	563	3	99%
2	0.85	0.0663	0.0002	1.2330	0.0195	0.1349	0.0021	817	12	816	9	816	12	99%
3	0.80	0.1545	0.0005	9.6131	0.1119	0.4507	0.0048	2398	6	2398	11	2398	21	99%
4	0.48	0.0662	0.0002	1.2260	0.0159	0.1343	0.0017	813	7	813	7	813	10	99%
5	0.42	0.0726	0.0002	1.7252	0.0397	0.1710	0.0036	1011	7	1018	15	1018	20	99%
6	0.04	0.0618	0.0002	0.9218	0.0168	0.1084	0.0020	733	6	663	9	663	12	99%
7	0.30	0.0633	0.0002	1.0191	0.0096	0.1170	0.0012	720	2	713	5	714	7	99%
8	0.20	0.0713	0.0002	1.5854	0.0192	0.1613	0.0020	969	5	964	8	964	11	99%
9	0.79	0.0716	0.0002	1.6045	0.0153	0.1627	0.0016	974	10	972	6	972	9	99%
10	0.84	0.0711	0.0001	1.5719	0.0153	0.1605	0.0016	961	1	959	6	959	9	99%
11	0.18	0.0941	0.0002	3.4409	0.0458	0.2647	0.0033	1510	3	1514	10	1514	17	99%
12	0.68	0.0701	0.0002	1.4956	0.0113	0.1549	0.0012	931	7	929	5	929	7	99%
13	0.68	0.0760	0.0003	1.9422	0.0204	0.1853	0.0018	1095	8	1096	7	1096	10	99%
14	0.39	0.0724	0.0002	1.6743	0.0140	0.1676	0.0013	998	8	999	5	999	7	99%
15	0.45	0.1040	0.0002	4.3243	0.0437	0.3013	0.0029	1698	4	1698	8	1698	14	99%
16	1.07	0.0567	0.0002	0.6014	0.0038	0.0770	0.0004	480	6	478	2	478	2	99%
17	0.48	0.0712	0.0002	1.5789	0.0193	0.1609	0.0019	961	1	962	8	962	10	99%
18	0.38	0.0565	0.0002	0.5886	0.0042	0.0756	0.0005	472	6	470	3	470	3	99%
19	0.59	0.1092	0.0003	4.8162	0.0496	0.3196	0.0030	1787	4	1788	9	1788	15	99%
20	0.81	0.0589	0.0048	0.6997	0.0639	0.0860	0.0040	565	171	539	38	532	24	98%
21	1.42	0.0652	0.0007	1.1019	0.0095	0.1225	0.0006	781	22	754	5	745	4	98%
22	0.70	0.1620	0.0003	10.4372	0.1220	0.4678	0.0056	2477	3	2474	11	2474	25	99%
23	0.40	0.0571	0.0018	0.6168	0.0216	0.0786	0.0019	498	66	488	14	488	11	99%

衰牢山构造带  
 YJ-19(T<sub>2</sub>)

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谱和度			
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
24	0.67	0.0924	0.0004	0.0605	0.2617	0.0040	1476	9	1499	14	1499	20	99%
25	0.12	0.1591	0.0007	0.0804	0.4595	0.0051	2447	7	2437	7	2438	22	99%
26	0.60	0.0756	0.0001	0.0158	0.1831	0.0016	1087	8	1084	6	1084	9	99%
27	0.29	0.0682	0.0002	0.0233	0.1476	0.0022	876	6	888	10	888	13	99%
28	0.87	0.0560	0.0001	0.0077	0.0728	0.0010	454	1	453	5	453	6	99%
29	0.52	0.0661	0.0002	0.0262	0.1337	0.0029	809	6	809	12	809	16	99%
30	0.20	0.1804	0.0004	0.1234	0.5106	0.0046	2657	3	2659	9	2659	20	99%
31	0.40	0.0868	0.0002	0.0360	0.2330	0.0032	1355	6	1350	10	1350	17	99%
32	0.75	0.0875	0.0002	0.0384	0.2370	0.0033	1372	4	1371	10	1371	17	99%
33	0.38	0.0677	0.0006	0.0154	0.0975	0.0013	857	18	657	8	600	8	90%
34	0.12	0.0708	0.0002	0.0158	0.1590	0.0017	952	10	951	6	951	9	99%
35	0.67	0.0604	0.0012	0.0256	0.0983	0.0012	620	43	608	14	604	7	99%
36	0.44	0.0719	0.0002	0.0161	0.1647	0.0016	983	5	983	6	983	9	99%
37	0.24	0.0696	0.0002	0.0168	0.1529	0.0017	917	0	917	7	917	10	99%
38	0.58	0.0562	0.0002	0.0121	0.0736	0.0016	457	14	458	8	458	9	99%
39	0.74	0.0715	0.0002	0.0179	0.1628	0.0018	972	6	972	7	972	10	99%
40	0.80	0.0767	0.0004	0.0178	0.1886	0.0014	1122	11	1114	6	1114	8	99%
41	0.60	0.0720	0.0003	0.0278	0.1656	0.0028	987	3	988	11	988	15	99%
42	0.48	0.0565	0.0003	0.0049	0.0765	0.0006	472	9	475	3	475	3	99%
43	0.39	0.0743	0.0004	0.0136	0.1772	0.0010	1050	12	1051	5	1052	6	99%
44	0.36	0.0720	0.0003	0.0177	0.1650	0.0018	987	8	985	7	985	10	99%
45	0.41	0.0915	0.0004	0.0277	0.2550	0.0053	1458	42	1465	17	1464	27	99%
46	1.80	0.0666	0.0003	0.0169	0.1366	0.0018	828	8	826	8	826	10	99%
47	2.70	0.1595	0.0008	0.2701	0.4682	0.0104	2451	10	2475	24	2476	46	99%

衰变山构造带

YJ-19(T<sub>2</sub>)



续表附1

测点	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度						
	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$							
		$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$							
衰变山构造带															
YJ-19(T <sub>2</sub> )															
48	0.38	0.0712	0.0002	1.5816	0.0154	0.0016	0.1611	0.0016	965	3	963	6	963	9	99%
49	0.42	0.1028	0.0004	4.1727	0.0408	0.0032	0.2954	0.0032	1676	2	1669	8	1668	16	99%
50	0.51	0.0944	0.0004	2.6969	0.0519	0.0045	0.2070	0.0045	1517	7	1328	14	1213	24	90%
51	0.44	0.0915	0.0003	3.2038	0.0401	0.0032	0.2537	0.0032	1458	6	1458	10	1458	16	99%
52	0.13	0.0681	0.0007	0.9836	0.0142	0.0010	0.1047	0.0010	872	23	695	7	642	6	91%
53	0.90	0.0745	0.0002	1.8207	0.0163	0.0017	0.1774	0.0017	1057	6	1053	6	1053	9	99%
54	0.29	0.0726	0.0004	1.6888	0.0182	0.0016	0.1685	0.0016	1006	12	1004	7	1004	9	99%
55	0.39	0.0748	0.0001	1.8532	0.0219	0.0021	0.1796	0.0021	1063	37	1065	8	1065	11	99%
56	0.41	0.1073	0.0002	4.6272	0.0644	0.0044	0.3127	0.0044	1755	3	1754	12	1754	22	99%
57	0.70	0.1590	0.0003	10.1198	0.1312	0.0058	0.4612	0.0058	2456	3	2446	12	2445	26	99%
58	0.64	0.0588	0.0009	0.7405	0.0159	0.0010	0.0913	0.0010	567	33	563	9	563	6	99%
59	0.39	0.1363	0.0003	7.5786	0.0681	0.0031	0.4029	0.0031	2181	4	2182	8	2182	14	99%
60	0.28	0.0740	0.0003	1.8046	0.0225	0.0019	0.1763	0.0019	1043	7	1047	8	1047	10	99%
YJ-20(T <sub>2</sub> )															
1	0.25	0.0908	0.0003	2.5232	0.0129	0.0010	0.2015	0.0010	1443	6	1279	4	1183	5	92%
2	1.13	0.0945	0.0002	3.4704	0.0391	0.0028	0.2660	0.0028	1518	5	1521	9	1521	14	99%
3	0.20	0.0789	0.0002	2.1772	0.0298	0.0025	0.1997	0.0025	1172	5	1174	10	1174	14	99%
4	0.09	0.0677	0.0001	1.3272	0.0142	0.0015	0.1423	0.0015	857	3	858	6	858	9	99%
5	0.31	0.1506	0.0008	9.1067	0.2773	0.0138	0.4385	0.0138	2353	10	2349	28	2344	62	99%
6	0.44	0.0611	0.0005	0.9538	0.0321	0.0032	0.1113	0.0032	643	18	680	17	680	19	99%
7	0.30	0.0723	0.0001	1.6625	0.0194	0.0020	0.1668	0.0020	994	4	994	7	994	11	99%
8	0.22	0.0699	0.0001	1.4901	0.0193	0.0019	0.1546	0.0019	924	4	926	8	926	11	99%
9	1.12	0.1576	0.0003	9.9555	0.0713	0.0031	0.4579	0.0031	2431	3	2431	7	2430	14	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值			年龄 (Ma)			谱和度						
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$							
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$						
衰牢山构造带														
YJ-20(T <sub>2</sub> )														
10	0.57	0.0743	0.0003	1.8127	0.0251	0.1769	0.0024	1050	7	1050	9	1050	13	99%
11	0.51	0.0908	0.0002	3.1402	0.0483	0.2507	0.0039	1444	4	1443	12	1442	20	99%
12	0.08	0.0706	0.0001	1.5339	0.0320	0.1577	0.0033	946	5	944	13	944	18	99%
13	0.47	0.0608	0.0004	0.9748	0.0429	0.1131	0.0044	632	14	691	22	691	25	99%
14	1.34	0.0692	0.0006	1.4653	0.0302	0.1527	0.0025	906	17	916	12	916	14	99%
15	0.52	0.0715	0.0003	1.6470	0.0731	0.1657	0.0071	972	12	988	28	988	39	99%
16	0.33	0.0574	0.0003	0.6520	0.0062	0.0823	0.0006	509	9	510	4	510	4	99%
17	0.23	0.0942	0.0005	3.3905	0.0402	0.2624	0.0035	1522	10	1502	9	1502	18	99%
18	0.46	0.1065	0.0002	4.5447	0.0639	0.3101	0.0044	1743	3	1741	12	1741	22	99%
19	0.44	0.0753	0.0001	1.8790	0.0195	0.1812	0.0020	1076	4	1074	7	1074	11	99%
20	1.52	0.0589	0.0001	0.7393	0.0093	0.0910	0.0010	565	1	562	5	561	6	99%
21	0.57	0.0712	0.0001	1.5755	0.0187	0.1607	0.0020	965	4	961	7	961	11	99%
22	0.37	0.0650	0.0005	1.1689	0.0293	0.1297	0.0030	776	12	786	14	786	17	99%
23	0.61	0.1015	0.0002	4.0980	0.0360	0.2924	0.0025	1654	3	1654	7	1654	12	99%
24	0.55	0.0582	0.0003	0.7008	0.0063	0.0873	0.0007	600	9	539	4	540	4	99%
25	0.37	0.1795	0.0005	12.6149	0.1376	0.5087	0.0051	2648	5	2651	10	2651	22	99%
26	0.16	0.0795	0.0002	2.2202	0.0235	0.2023	0.0021	1187	5	1187	7	1188	11	99%
27	0.19	0.0741	0.0002	1.8345	0.0542	0.1783	0.0050	1056	5	1058	19	1058	27	99%
28	0.72	0.0662	0.0001	1.2251	0.0143	0.1342	0.0016	813	4	812	7	812	9	99%
29	0.22	0.0725	0.0002	1.6885	0.0272	0.1685	0.0025	998	4	1004	10	1004	14	99%
30	0.29	0.0718	0.0001	1.6283	0.0163	0.1645	0.0017	981	-3	981	6	981	10	99%
31	1.06	0.0639	0.0002	1.0668	0.0105	0.1212	0.0012	739	7	737	5	737	7	99%
32	0.81	0.1547	0.0003	9.6560	0.0893	0.4517	0.0036	2399	4	2403	9	2403	16	99%
33	0.40	0.1154	0.0011	5.4169	0.1319	0.3401	0.0088	1887	16	1888	21	1887	42	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度			
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$			
衰变山构造带													
YJ-20(T <sub>2</sub> )													
34	0.92	0.0758	0.0003	1.9443	0.0198	0.0014	1100	8	1096	7	1096	8	99%
35	0.28	0.0710	0.0001	1.5603	0.0143	0.0016	967	4	955	6	955	9	99%
36	0.75	0.0790	0.0005	2.1777	0.0681	0.0061	1172	13	1174	22	1174	33	99%
37	0.62	0.0666	0.0001	1.2522	0.0201	0.0023	828	-1	824	9	824	13	99%
38	0.56	0.0763	0.0001	1.9677	0.0158	0.0015	1103	4	1105	5	1105	8	99%
39	0.14	0.0647	0.0004	1.1276	0.0499	0.0054	765	11	767	24	765	31	99%
40	0.26	0.0822	0.0004	2.4490	0.0347	0.0027	1251	9	1257	10	1257	14	99%
41	0.33	0.0877	0.0003	2.8713	0.0226	0.0019	1376	6	1374	6	1374	10	99%
42	0.46	0.0723	0.0002	1.6728	0.0170	0.0015	994	5	998	6	998	8	99%
43	0.23	0.0699	0.0003	1.5071	0.0223	0.0022	928	41	933	9	933	12	99%
44	0.36	0.0631	0.0005	1.0856	0.0377	0.0038	709	17	746	18	746	22	99%
45	0.72	0.0579	0.0002	0.6804	0.0081	0.0010	524	7	527	5	527	6	99%
46	0.23	0.0885	0.0022	2.9077	0.0882	0.0062	1394	47	1384	23	1385	32	99%
47	0.94	0.1605	0.0002	10.2897	0.1523	0.0071	2461	3	2461	14	2462	31	99%
48	0.11	0.0997	0.0004	3.8277	0.0332	0.0022	1618	7	1599	7	1583	11	99%
49	0.64	0.0786	0.0002	2.1349	0.0297	0.0027	1161	0	1160	10	1160	15	99%
50	0.86	0.0592	0.0010	0.7353	0.0123	0.0007	572	5	560	7	556	4	99%
51	0.59	0.0984	0.0001	3.8010	0.0617	0.0046	1594	3	1593	13	1592	23	99%
53	0.58	0.0770	0.0004	1.6423	0.0257	0.0019	1122	11	987	10	926	11	93%
54	0.60	0.1066	0.0002	4.5705	0.0526	0.0035	1743	4	1744	10	1744	17	99%
55	0.61	0.0964	0.0003	3.5946	0.0686	0.0044	1567	6	1548	15	1541	22	99%
56	0.28	0.0780	0.0003	2.0790	0.0142	0.0017	1146	8	1142	5	1142	9	99%
57	0.42	0.0589	0.0003	0.7375	0.0056	0.0007	561	13	561	3	561	4	99%
58	0.31	0.1080	0.0003	4.6553	0.0873	0.0062	1765	4	1759	16	1759	31	99%
59	0.50	0.1477	0.0003	8.8252	0.1070	0.0052	2320	4	2320	11	2320	24	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$					
衰牢山构造带														
YJ-21(T <sub>2</sub> )														
1	0.51	0.0740	0.0001	1.5772	0.0097	0.1544	0.0011	1043	8	961	4	926	6	96%
2	0.12	0.1055	0.0003	4.5141	0.1242	0.3086	0.0080	1724	5	1734	23	1734	39	99%
3	0.58	0.1000	0.0002	3.9592	0.0359	0.2869	0.0026	1625	3	1626	7	1626	13	99%
4	0.17	0.0710	0.0007	1.4391	0.0133	0.1469	0.0007	967	19	905	6	883	4	97%
5	0.54	0.0556	0.0003	0.4975	0.0083	0.0649	0.0007	435	15	410	6	405	4	98%
6	1.04	0.1589	0.0002	10.1192	0.1246	0.4614	0.0056	2444	2	2446	11	2446	25	99%
7	0.70	0.0689	0.0002	1.4100	0.0127	0.1486	0.0014	894	-1	893	5	893	8	99%
8	0.61	0.0764	0.0001	1.9741	0.0234	0.1873	0.0022	1107	2	1107	8	1107	12	99%
9	0.44	0.1560	0.0002	9.7650	0.1028	0.4539	0.0049	2413	3	2413	10	2412	22	99%
10	0.78	0.0562	0.0010	0.5642	0.0169	0.0727	0.0009	461	41	454	11	452	5	99%
11	0.16	0.1599	0.0014	10.1881	0.2191	0.4617	0.0060	2455	15	2452	20	2447	26	99%
12	0.25	0.0730	0.0001	1.7163	0.0097	0.1704	0.0010	1017	5	1015	4	1015	6	99%
13	0.52	0.0771	0.0003	2.0276	0.0150	0.1907	0.0014	1124	7	1125	5	1125	7	99%
14	0.59	0.0729	0.0002	1.7156	0.0184	0.1704	0.0018	1013	4	1014	7	1014	10	99%
15	0.16	0.0723	0.0002	1.6564	0.0132	0.1664	0.0015	996	10	992	5	992	8	99%
16	0.33	0.1856	0.0002	13.3366	0.1730	0.5211	0.0068	2703	2	2704	12	2704	29	99%
17	0.29	0.0913	0.0003	3.1958	0.0357	0.2533	0.0025	1454	6	1456	9	1456	13	99%
18	0.59	0.0692	0.0003	1.2167	0.0117	0.1275	0.0009	906	14	808	5	774	5	95%
19	0.74	0.0617	0.0002	0.9476	0.0323	0.1107	0.0035	663	38	677	17	677	20	99%
20	0.65	0.0560	0.0001	0.5595	0.0051	0.0725	0.0007	454	4	451	3	451	4	99%
21	0.54	0.0791	0.0001	2.1756	0.0371	0.1995	0.0034	1176	2	1173	12	1173	18	99%
22	0.51	0.0599	0.0001	0.7946	0.0034	0.0962	0.0004	598	8	594	2	592	2	99%
23	0.05	0.0695	0.0001	1.4587	0.0085	0.1522	0.0009	922	4	913	4	913	5	99%
24	0.68	0.0572	0.0001	0.6312	0.0072	0.0801	0.0009	498	6	497	4	497	6	99%



续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谱和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$				
25	0.28	0.0712	0.0001	1.5829	0.0245	0.1612	0.0025	965	3	964	10	963	14	99%
26	0.88	0.0575	0.0005	0.6408	0.0077	0.0808	0.0007	509	16	503	5	501	4	99%
27	0.14	0.2959	0.0004	28.9206	0.3318	0.7082	0.0079	3449	2	3451	11	3452	30	99%
28	0.31	0.0586	0.0004	0.7220	0.0074	0.0894	0.0007	550	13	552	4	552	4	99%
29	0.35	0.2224	0.0003	18.1690	0.1282	0.5923	0.0040	2998	8	2999	7	2999	16	99%
30	1.51	0.1007	0.0002	4.0014	0.0448	0.2886	0.0035	1639	4	1634	9	1634	17	99%
31	1.54	0.0599	0.0018	0.6337	0.0257	0.0766	0.0009	611	32	498	16	476	5	95%
32	0.54	0.0574	0.0001	0.6496	0.0089	0.0820	0.0011	509	10	508	5	508	7	99%
33	0.79	0.0573	0.0007	0.6322	0.0093	0.0800	0.0005	502	26	497	6	496	3	99%
34	1.08	0.1574	0.0003	10.0192	0.1557	0.4593	0.0065	2427	4	2437	14	2437	29	99%
35	0.18	0.0728	0.0001	1.6963	0.0168	0.1691	0.0018	1009	4	1007	6	1007	10	99%
36	0.53	0.0772	0.0001	2.0303	0.0253	0.1908	0.0024	1128	2	1126	8	1125	13	99%
37	0.44	0.0552	0.0012	0.4253	0.0081	0.0558	0.0003	420	53	360	6	350	2	97%
38	0.62	0.1230	0.0002	6.1759	0.0571	0.3639	0.0034	2067	2	2001	8	2001	16	99%
39	0.64	0.0769	0.0020	1.5364	0.0669	0.1446	0.0034	1120	18	945	27	871	19	91%
40	0.29	0.1026	0.0002	4.2072	0.0815	0.2966	0.0055	1672	4	1675	16	1674	27	99%
41	0.35	0.1567	0.0002	9.8677	0.1185	0.4561	0.0054	2421	8	2422	11	2422	24	99%
42	0.85	0.0590	0.0024	0.7336	0.0459	0.0900	0.0038	565	89	559	27	556	23	99%
43	0.65	0.0678	0.0008	1.1141	0.0090	0.1192	0.0023	861	26	760	4	726	13	95%
44	0.37	0.0810	0.0001	2.3325	0.0327	0.2087	0.0029	1222	3	1222	10	1222	16	99%
45	0.49	0.0678	0.0002	1.3387	0.0105	0.1432	0.0011	863	10	863	5	863	6	99%
46	0.91	0.0567	0.0007	0.4665	0.0092	0.0597	0.0005	480	28	389	6	374	3	96%
47	0.46	0.0575	0.0001	0.6562	0.0071	0.0827	0.0009	509	6	512	4	512	5	99%
48	0.54	0.0653	0.0001	1.1664	0.0067	0.1295	0.0008	783	-1	785	3	785	4	99%

衰变山构造带

YJ-21(T<sub>2</sub>)

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$					
衰变山构造带														
YJ-21(T <sub>2</sub> )														
49	0.30	0.1627	0.0002	10.5530	0.0904	0.4701	0.0040	2484	2	2485	8	2484	17	99%
50	0.61	0.1831	0.0006	13.3521	0.3562	0.5215	0.0133	2681	5	2705	25	2706	56	99%
51	0.59	0.0613	0.0003	0.6532	0.0066	0.0773	0.0011	650	9	510	4	480	7	93%
52	0.33	0.1584	0.0002	10.0375	0.1327	0.4597	0.0062	2438	2	2438	12	2438	27	99%
53	0.16	0.0690	0.0001	1.4221	0.0286	0.1494	0.0030	898	4	898	12	898	17	99%
54	0.60	0.0541	0.0001	0.4484	0.0053	0.0601	0.0007	376	8	376	4	376	4	99%
55	0.25	0.0750	0.0002	1.8722	0.0300	0.1808	0.0027	1133	7	1071	11	1071	15	99%
56	0.22	0.0732	0.0003	1.7496	0.0247	0.1727	0.0020	1020	8	1027	9	1027	11	99%
57	0.71	0.0663	0.0004	1.2340	0.0131	0.1348	0.0010	817	12	816	6	815	5	99%
58	0.35	0.0707	0.0001	1.5544	0.0284	0.1592	0.0028	950	4	952	11	952	16	99%
59	0.79	0.0579	0.0001	0.6781	0.0101	0.0850	0.0013	528	6	526	6	526	8	99%
60	0.36	0.2377	0.0005	20.2132	0.2409	0.6179	0.0079	3105	4	3102	12	3101	32	99%
YJ-23(T <sub>3</sub> )														
1	0.43	0.0805	0.0001	2.2866	0.0212	0.2061	0.0019	1209	3	1208	7	1208	10	99%
2	0.43	0.0740	0.0002	1.7879	0.0146	0.1752	0.0014	1043	6	1041	5	1041	7	99%
3	0.27	0.0723	0.0001	1.6580	0.0178	0.1665	0.0018	994	3	993	7	993	10	99%
4	0.52	0.0600	0.0002	0.8099	0.0059	0.0979	0.0006	611	9	602	3	602	4	99%
5	0.73	0.0911	0.0001	3.1673	0.0270	0.2521	0.0022	1450	2	1449	7	1449	11	99%
6	0.04	0.0910	0.0003	3.1362	0.0330	0.2506	0.0029	1447	6	1442	8	1441	15	99%
7	0.29	0.0573	0.0001	0.6398	0.0041	0.0810	0.0006	506	6	502	3	502	3	99%
8	0.39	0.0569	0.0001	0.6180	0.0045	0.0787	0.0006	500	6	489	3	489	3	99%
9	0.23	0.2193	0.0005	17.8034	0.2744	0.5872	0.0079	2975	4	2979	15	2978	32	99%
10	0.41	0.0579	0.0005	0.6763	0.0089	0.0847	0.0009	524	17	525	5	524	5	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$				
衰牢山构造带														
YJ-23(T <sub>3</sub> )														
11	0.58	0.0780	0.0002	2.0931	0.0155	0.1947	0.0015	1148	5	1147	5	1147	8	99%
12	0.13	0.0744	0.0001	1.8164	0.0189	0.1771	0.0019	1054	2	1051	7	1051	10	99%
13	0.12	0.0683	0.0001	1.3730	0.0118	0.1458	0.0013	880	3	877	5	877	7	99%
14	0.58	0.1503	0.0003	9.1302	0.0974	0.4400	0.0043	2350	4	2351	10	2351	19	99%
15	0.52	0.0588	0.0001	0.7313	0.0060	0.0903	0.0008	567	6	557	4	557	5	99%
16	0.34	0.1018	0.0002	4.1386	0.0571	0.2941	0.0037	1657	4	1662	11	1662	18	99%
17	0.84	0.0593	0.0002	0.7681	0.0061	0.0939	0.0007	589	7	579	3	578	4	99%
18	0.46	0.1532	0.0013	9.4126	0.0769	0.4455	0.0054	2383	15	2379	8	2375	24	99%
19	0.74	0.0695	0.0013	1.3739	0.0408	0.1432	0.0016	915	39	878	17	863	9	98%
20	0.63	0.1427	0.0002	8.2638	0.1436	0.4198	0.0073	2261	3	2260	16	2259	33	99%
21	0.85	0.1578	0.0002	9.9680	0.1039	0.4582	0.0048	2432	2	2432	10	2432	21	99%
22	0.54	0.0846	0.0003	2.6209	0.0200	0.2247	0.0016	1306	8	1307	6	1307	8	99%
23	1.04	0.0589	0.0002	0.7278	0.0082	0.0899	0.0012	565	9	555	5	555	7	99%
24	0.37	0.0683	0.0002	1.3749	0.0080	0.1459	0.0007	877	6	878	3	878	4	99%
25	0.62	0.0771	0.0008	2.0298	0.0727	0.1905	0.0051	1124	22	1126	24	1124	28	99%
26	0.23	0.0700	0.0001	1.4886	0.0137	0.1544	0.0016	929	4	926	6	926	9	99%
27	2.12	0.0592	0.0003	0.7633	0.0065	0.0935	0.0006	576	13	576	4	576	4	99%
28	0.22	0.0710	0.0001	1.5655	0.0152	0.1600	0.0016	967	3	957	6	957	9	99%
29	0.62	0.0587	0.0001	0.7286	0.0082	0.0900	0.0010	567	4	556	5	556	6	99%
31	1.58	0.0733	0.0001	1.7246	0.0224	0.1710	0.0023	1020	8	1018	8	1018	13	99%
32	0.69	0.0595	0.0002	0.7826	0.0091	0.0953	0.0010	587	3	587	5	587	6	99%
33	1.04	0.0740	0.0002	1.7865	0.0139	0.1752	0.0014	1043	6	1041	5	1040	8	99%
34	0.95	0.0566	0.0002	0.6006	0.0036	0.0769	0.0004	476	3	478	2	478	2	99%
35	0.72	0.0569	0.0002	0.6192	0.0054	0.0789	0.0006	500	9	489	3	489	4	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$					
衰变山构造带														
YJ-23(T <sub>3</sub> )														
36	0.51	0.0570	0.0001	0.6244	0.0045	0.0794	0.0005	500	6	493	3	493	3	99%
37	0.80	0.0634	0.0002	0.9317	0.0086	0.1065	0.0008	722	6	669	5	653	5	97%
38	0.36	0.0586	0.0003	0.6811	0.0085	0.0842	0.0015	554	11	527	5	521	9	98%
39	0.28	0.0712	0.0006	1.5035	0.0125	0.1530	0.0006	965	17	932	5	918	4	98%
40	0.55	0.1427	0.0003	8.2130	0.0817	0.4188	0.0047	2261	4	2255	9	2255	22	99%
41	0.39	0.0815	0.0002	2.3470	0.0211	0.2096	0.0021	1232	6	1227	6	1226	11	99%
42	0.25	0.0700	0.0001	1.4958	0.0267	0.1549	0.0027	928	4	929	11	928	15	99%
43	0.56	0.0574	0.0002	0.6523	0.0092	0.0823	0.0011	509	10	510	6	510	6	99%
44	0.83	0.1158	0.0012	5.3844	0.0592	0.3389	0.0045	1894	24	1882	9	1881	22	99%
45	0.92	0.0803	0.0010	2.2460	0.0618	0.2038	0.0056	1206	24	1196	19	1196	30	99%
46	0.27	0.0576	0.0003	0.6610	0.0072	0.0832	0.0009	517	11	515	4	515	5	99%
47	0.77	0.0740	0.0001	1.7917	0.0326	0.1757	0.0032	1043	3	1042	12	1043	18	99%
48	0.50	0.2012	0.0002	15.3403	0.1245	0.5528	0.0045	2836	1	2837	8	2837	18	99%
49	0.57	0.0858	0.0001	2.7240	0.0563	0.2302	0.0047	1400	2	1335	15	1335	25	99%
50	0.37	0.0578	0.0003	0.6720	0.0050	0.0843	0.0005	524	39	522	3	521	3	99%
51	0.26	0.0718	0.0001	1.6242	0.0139	0.1641	0.0014	989	4	980	5	980	8	99%
52	0.15	0.0698	0.0001	1.4880	0.0250	0.1544	0.0024	920	4	926	10	925	14	99%
53	0.33	0.0705	0.0002	1.5367	0.0240	0.1579	0.0024	943	6	945	10	945	13	99%
54	0.14	0.0770	0.0001	2.0140	0.0249	0.1898	0.0024	1120	3	1120	8	1120	13	99%
55	0.39	0.0561	0.0001	0.5637	0.0052	0.0730	0.0007	454	4	454	3	454	4	99%
56	0.48	0.1599	0.0002	10.2146	0.0521	0.4633	0.0024	2455	1	2454	5	2454	11	99%
57	0.15	0.0911	0.0005	3.1659	0.0239	0.2520	0.0013	1450	9	1449	6	1449	7	99%
58	0.73	0.0905	0.0001	3.1113	0.0314	0.2495	0.0025	1435	3	1435	8	1436	13	99%
59	0.30	0.0578	0.0001	0.6741	0.0038	0.0845	0.0005	524	4	523	2	523	3	99%
60	0.83	0.0565	0.0004	0.6027	0.0130	0.0771	0.0012	472	15	479	8	479	7	99%



续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$				
衰变山构造带														
YJ-24(T <sub>3</sub> )														
1	0.08	0.0563	0.0001	0.5838	0.0155	0.0751	0.0019	465	7	467	10	467	11	99%
2	0.45	0.1145	0.0001	5.3110	0.0751	0.3365	0.0048	1872	3	1871	12	1870	23	99%
3	0.18	0.0608	0.0002	0.8644	0.0054	0.1031	0.0005	632	3	633	3	633	3	99%
4	0.23	0.0537	0.0003	0.4269	0.0037	0.0576	0.0004	361	11	361	3	361	2	99%
5	0.22	0.0520	0.0002	0.3260	0.0028	0.0454	0.0004	287	7	287	2	287	2	99%
6	0.50	0.0563	0.0001	0.5845	0.0056	0.0752	0.0007	465	8	467	4	467	4	99%
7	0.61	0.0923	0.0007	3.4845	0.0819	0.2666	0.0049	1473	15	1524	19	1523	25	99%
8	0.36	0.0532	0.0010	0.3483	0.0027	0.0475	0.0006	345	44	303	2	299	4	98%
9	0.63	0.1546	0.0002	9.5839	0.0819	0.4500	0.0041	2398	203	2396	8	2395	18	99%
10	0.34	0.0514	0.0002	0.2827	0.0030	0.0400	0.0005	261	40	253	2	253	3	99%
11	0.38	0.0567	0.0002	0.6002	0.0042	0.0768	0.0005	480	6	477	3	477	3	99%
12	0.22	0.0561	0.0001	0.5694	0.0042	0.0736	0.0006	457	4	458	3	458	3	99%
14	0.43	0.0629	0.0022	0.9742	0.0172	0.1124	0.0021	706	75	691	9	686	12	99%
15	0.66	0.0524	0.0002	0.3493	0.0044	0.0483	0.0006	306	14	304	3	304	4	99%
16	0.73	0.0554	0.0013	0.5339	0.0309	0.0697	0.0024	428	52	434	20	434	14	99%
17	0.40	0.0555	0.0004	0.5344	0.0161	0.0697	0.0020	435	15	435	11	435	12	99%
18	0.25	0.0522	0.0031	0.3392	0.0161	0.0471	0.0006	295	137	297	12	297	4	99%
19	0.11	0.0559	0.0001	0.5554	0.0057	0.0721	0.0007	456	4	449	4	449	4	99%
20	0.65	0.0526	0.0011	0.3261	0.0162	0.0449	0.0013	322	51	287	12	283	8	98%
21	0.40	0.0581	0.0001	0.6877	0.0094	0.0859	0.0012	600	4	531	6	531	7	99%
22	0.22	0.0519	0.0002	0.3219	0.0041	0.0449	0.0005	280	14	283	3	283	3	99%
23	0.68	0.0546	0.0003	0.4776	0.0037	0.0634	0.0004	394	11	396	3	396	2	99%
24	0.29	0.0522	0.0003	0.3350	0.0029	0.0465	0.0003	295	13	293	2	293	2	99%
25	0.27	0.0522	0.0001	0.3391	0.0023	0.0471	0.0003	295	1	296	2	296	2	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度			
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$				
26	0.16	0.1173	0.0002	5.5972	0.0267	0.3460	0.0016	1917	1916	4	1915	8	99%
27	0.49	0.0900	0.0001	3.0681	0.0194	0.2473	0.0016	1425	1425	5	1425	8	99%
28	0.36	0.0818	0.0004	2.3617	0.0165	0.2104	0.0018	1240	1231	5	1231	10	99%
29	0.22	0.1133	0.0001	5.2071	0.0704	0.3332	0.0046	1853	1854	12	1854	22	99%
30	0.56	0.0548	0.0014	0.4071	0.0185	0.0538	0.0011	406	347	13	338	7	97%
31	1.08	0.0553	0.0010	0.4871	0.0081	0.0639	0.0003	433	403	6	399	2	99%
32	0.23	0.0524	0.0007	0.3467	0.0064	0.0479	0.0003	306	302	5	302	2	99%
33	0.39	0.0523	0.0002	0.3438	0.0021	0.0476	0.0003	298	300	2	300	2	99%
34	0.16	0.0778	0.0005	1.8960	0.0086	0.1767	0.0011	1143	1080	3	1049	6	97%
35	1.19	0.0693	0.0001	1.4463	0.0118	0.1513	0.0012	909	908	5	908	7	99%
36	0.12	0.1136	0.0001	5.2284	0.0937	0.3339	0.0061	1858	1857	15	1857	30	99%
37	0.48	0.0575	0.0004	0.6604	0.0261	0.0832	0.0029	509	515	16	515	17	99%
38	0.35	0.0516	0.0001	0.3042	0.0033	0.0427	0.0005	333	270	3	270	3	99%
39	0.23	0.1078	0.0003	4.0680	0.0380	0.2736	0.0021	1762	1648	8	1559	11	94%
40	1.06	0.1156	0.0004	5.4639	0.0729	0.3416	0.0040	1900	1895	11	1895	19	99%
41	1.30	0.1558	0.0002	9.7435	0.0613	0.4534	0.0029	2411	2411	6	2410	13	99%
43	0.58	0.0755	0.0002	1.9125	0.0238	0.1834	0.0022	1083	1085	8	1085	12	99%
44	0.39	0.0583	0.0003	0.7050	0.0061	0.0877	0.0006	539	542	4	542	4	99%
46	0.55	0.0905	0.0001	3.1148	0.0300	0.2496	0.0024	1436	1436	7	1436	12	99%
47	0.27	0.0614	0.0009	0.8775	0.0224	0.1036	0.0011	654	640	12	635	7	99%
49	0.66	0.0530	0.0005	0.3803	0.0055	0.0520	0.0005	328	327	4	327	3	99%
50	0.39	0.0832	0.0001	2.5161	0.0238	0.2190	0.0019	1276	1277	7	1276	10	99%
51	0.75	0.1113	0.0001	5.0072	0.0609	0.3262	0.0039	1820	1821	10	1820	19	99%
52	0.72	0.0587	0.0002	0.7332	0.0054	0.0905	0.0005	567	558	3	558	3	99%

衰变山构造带

YJ-24(T<sub>3</sub>)

续表附1

测点	Th/U	同位素比值			年龄 (Ma)			谱和度						
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$							
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$						
衰牢山构造带														
YJ-24(T <sub>3</sub> )														
53	0.18	0.0517	0.0007	0.2892	0.0104	0.0405	0.0009	272	31	258	8	256	6	99%
54	0.71	0.0559	0.0001	0.5561	0.0071	0.0721	0.0009	450	-1	449	5	449	6	99%
55	0.47	0.0518	0.0002	0.3163	0.0028	0.0443	0.0003	276	11	279	2	279	2	99%
56	0.29	0.0714	0.0002	1.5999	0.0210	0.1624	0.0021	969	4	970	8	970	11	99%
57	1.44	0.0589	0.0002	0.7439	0.0117	0.0915	0.0014	565	1	565	7	564	8	99%
58	0.44	0.1929	0.0002	14.2389	0.1689	0.5356	0.0065	2769	2	2766	11	2765	27	99%
59	0.49	0.0556	0.0001	0.5359	0.0048	0.0699	0.0006	435	4	436	3	436	4	99%
60	0.64	0.0579	0.0005	0.6781	0.0183	0.0848	0.0016	528	20	526	11	525	9	99%
衰牢山构造带东侧														
YJ-1(T <sub>2</sub> )														
2	0.77	0.1646	0.0004	10.7509	0.2926	0.4738	0.0131	2503	4	2502	25	2500	57	99%
5	0.86	0.0968	0.0014	3.6551	0.1547	0.2737	0.0104	1563	23	1562	34	1560	53	99%
7	0.63	0.0523	0.0006	0.3140	0.0020	0.0435	0.0003	302	26	277	2	274	2	98%
8	0.42	0.1616	0.0004	8.7112	0.0553	0.3907	0.0022	2473	5	2308	6	2126	10	91%
9	0.41	0.0690	0.0023	1.0733	0.0472	0.1128	0.0012	898	69	740	23	689	7	92%
10	0.70	0.0960	0.0052	3.6157	0.1059	0.2735	0.0068	1547	106	1553	23	1559	35	99%
12	0.79	0.1606	0.0020	10.3284	0.9562	0.4651	0.0426	2463	21	2465	86	2462	188	99%
13	0.45	0.0879	0.0008	2.8892	0.0752	0.2385	0.0059	1389	16	1379	20	1379	31	99%
15	0.82	0.0648	0.0000	0.9504	0.0059	0.1064	0.0007	769	2	678	3	652	4	95%
16	0.26	0.0700	0.0008	1.5240	0.0673	0.1569	0.0064	928	24	940	27	939	36	99%
18	0.28	0.0543	0.0003	0.3704	0.0041	0.0494	0.0005	387	13	320	3	311	3	97%
19	0.59	0.0613	0.0027	0.5462	0.0262	0.0646	0.0004	650	94	442	17	403	2	90%
23	0.42	0.0718	0.0006	1.5371	0.0380	0.1553	0.0026	989	17	945	15	930	15	98%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谱和度		
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		
26	0.16	0.0835	0.0004	0.1391	0.0114	1281	10	1281	40	1280	60	99%
27	0.45	0.0693	0.0004	0.0086	0.1366	906	13	848	4	825	3	97%
28	1.02	0.0532	0.0001	0.0023	0.0538	339	-1	338	2	338	2	99%
31	0.50	0.0566	0.0004	0.0028	0.0634	476	21	408	2	396	2	97%
33	0.32	0.0591	0.0008	0.0089	0.0566	572	34	386	6	355	2	91%
34	0.32	0.0783	0.0004	0.0713	0.1938	1154	9	1142	24	1142	39	99%
35	0.36	0.0798	0.0004	0.0651	0.2031	1192	42	1192	20	1192	31	99%
36	0.12	0.1624	0.0004	0.0772	0.4691	2481	5	2481	7	2480	15	99%
37	0.46	0.0564	0.0010	0.0071	0.0409	465	37	281	5	259	2	91%
38	0.77	0.0589	0.0010	0.0130	0.0603	561	37	405	9	377	4	93%
39	0.70	0.0564	0.0007	0.0024	0.0686	478	28	435	2	428	6	98%
40	0.36	0.1090	0.0005	0.0383	0.2495	1783	8	1582	8	1436	15	90%
41	1.20	0.0923	0.0012	0.0993	0.2573	1476	24	1476	24	1476	38	99%
42	0.20	0.1112	0.0002	0.0320	0.3258	1820	3	1818	5	1818	11	99%
43	0.40	0.0550	0.0003	0.0018	0.0484	409	11	318	1	305	2	95%
44	0.22	0.0750	0.0003	0.0546	0.1828	1133	7	1082	19	1082	26	99%
46	0.73	0.0564	0.0002	0.0038	0.0388	478	7	268	3	245	4	91%
47	0.70	0.0889	0.0005	0.0806	0.2438	1411	11	1405	21	1407	31	99%
48	0.42	0.1215	0.0004	0.0820	0.3615	1989	7	1989	12	1989	18	99%
49	0.14	0.0900	0.0013	0.0704	0.2485	1425	27	1431	17	1431	20	99%
50	0.63	0.0600	0.0007	0.0116	0.0554	611	26	383	8	347	6	90%
52	0.33	0.0712	0.0002	0.0078	0.1580	962	1	951	3	946	5	99%
53	0.41	0.1115	0.0002	0.0685	0.3271	1833	2	1824	12	1824	22	99%
54	0.52	0.0575	0.0003	0.0092	0.0831	509	13	515	6	515	5	99%

哀牢山构造带东侧

YJ-1(T<sub>2</sub>)



续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谱和度			
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$			
哀牢山构造带东测													
YJ-1(T <sub>2</sub> )													
56	0.74	0.0726	0.0001	0.0285	0.1682	0.0029	1011	3	1002	11	1002	16	99%
57	0.53	0.0924	0.0013	0.0347	0.2536	0.0016	1476	27	1464	8	1457	8	99%
58	0.64	0.0561	0.0003	0.0053	0.0731	0.0006	454	11	455	3	455	4	99%
59	0.45	0.0559	0.0004	0.0043	0.0720	0.0004	456	17	448	3	448	3	99%
60	0.25	0.1305	0.0004	0.0419	0.3782	0.0020	2106	5	2087	5	2068	10	99%
YJ-2(T <sub>2</sub> )													
1	0.58	0.0907	0.0006	0.0197	0.2125	0.0010	1439	12	1317	5	1242	5	94%
2	0.88	0.0744	0.0002	0.0308	0.1773	0.0030	1054	5	1052	11	1052	16	99%
3	0.57	0.0664	0.0002	0.0131	0.1353	0.0014	817	10	818	6	818	8	99%
4	0.13	0.0941	0.0007	0.0372	0.2632	0.0027	1510	15	1507	9	1506	14	99%
5	0.31	0.1138	0.0002	0.0516	0.3347	0.0033	1861	3	1862	8	1861	16	99%
6	0.49	0.0592	0.0002	0.0060	0.0926	0.0008	572	10	571	3	571	5	99%
7	0.89	0.0579	0.0005	0.0074	0.0812	0.0004	528	17	508	5	503	2	99%
8	0.62	0.1085	0.0010	0.0555	0.3166	0.0033	1776	13	1774	10	1773	16	99%
9	0.22	0.0636	0.0003	0.0702	0.1222	0.0076	728	11	743	34	743	44	99%
10	0.52	0.0790	0.0005	0.0150	0.1992	0.0015	1172	13	1172	5	1171	8	99%
11	0.38	0.0768	0.0002	0.0185	0.1891	0.0017	1117	5	1117	6	1117	9	99%
12	0.54	0.1687	0.0003	0.1305	0.4840	0.0055	2544	3	2545	11	2545	24	99%
13	0.47	0.0599	0.0015	0.0255	0.0958	0.0008	611	54	592	14	590	5	99%
15	0.64	0.1629	0.0003	0.1996	0.4705	0.0088	2487	8	2486	18	2486	38	99%
16	0.75	0.1647	0.0002	0.1048	0.4748	0.0046	2506	2	2505	9	2504	20	99%
18	0.44	0.0529	0.0003	0.0053	0.0517	0.0006	324	8	326	4	325	4	99%
19	0.35	0.1641	0.0003	0.1758	0.4727	0.0079	2498	3	2497	15	2495	35	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$					
20	0.60	0.0567	0.0001	0.6051	0.0064	0.0774	0.0008	480	7	480	4	480	5	99%
21	0.31	0.0962	0.0005	3.5634	0.1009	0.2700	0.0081	1551	9	1541	22	1541	41	99%
23	0.04	0.0698	0.0001	1.4765	0.0151	0.1536	0.0016	920	4	921	6	921	9	99%
24	1.01	0.0771	0.0002	2.0267	0.0141	0.1906	0.0012	1124	7	1125	5	1125	6	99%
25	0.61	0.1131	0.0003	5.1795	0.0638	0.3322	0.0041	1850	0	1849	10	1849	20	99%
27	0.54	0.0716	0.0002	1.6150	0.0112	0.1635	0.0010	976	7	976	4	976	6	99%
28	0.80	0.1107	0.0004	4.9474	0.0463	0.3242	0.0027	1810	6	1810	8	1810	13	99%
29	0.46	0.0787	0.0003	2.1317	0.0229	0.1970	0.0022	1165	3	1159	7	1159	12	99%
30	0.95	0.0710	0.0003	1.5649	0.0423	0.1599	0.0044	967	8	956	17	956	24	99%
32	1.69	0.0760	0.0003	1.9390	0.0180	0.1851	0.0016	1094	7	1095	6	1095	8	99%
33	0.14	0.0647	0.0002	1.1511	0.0198	0.1282	0.0020	765	3	778	9	778	11	99%
34	0.35	0.1442	0.0007	8.0397	0.0553	0.4043	0.0042	2277	9	2235	6	2189	19	97%
38	0.32	0.0804	0.0002	2.3017	0.0493	0.2069	0.0042	1209	5	1213	15	1212	23	99%
39	1.97	0.0575	0.0001	0.6546	0.0080	0.0826	0.0010	509	6	511	5	511	6	99%
43	0.57	0.0778	0.0006	2.1480	0.0502	0.1980	0.0035	1143	19	1164	16	1164	19	99%
44	0.55	0.0720	0.0007	1.6193	0.0189	0.1632	0.0007	987	20	978	7	974	4	99%
45	0.62	0.0527	0.0004	0.3570	0.0030	0.0491	0.0002	317	15	310	2	309	1	99%
46	0.84	0.0562	0.0003	0.5763	0.0085	0.0743	0.0009	461	8	462	5	462	6	99%
47	0.35	0.0753	0.0004	1.8821	0.0224	0.1814	0.0018	1076	11	1075	8	1075	10	99%
49	0.37	0.0522	0.0010	0.3246	0.0040	0.0452	0.0006	300	44	285	3	285	4	99%
50	0.92	0.0551	0.0004	0.5013	0.0071	0.0661	0.0008	417	19	413	5	413	5	99%
51	0.64	0.1606	0.0010	10.3259	0.2218	0.4659	0.0091	2462	11	2464	20	2466	40	99%
52	0.62	0.0582	0.0004	0.6940	0.0076	0.0865	0.0007	539	15	535	5	535	4	99%
53	0.51	0.0550	0.0013	0.3770	0.0081	0.0498	0.0003	413	49	325	6	313	2	96%

哀牢山构造带东测

YJ-Z(T<sub>2</sub>)

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度			
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
哀牢山构造带东测													
YJ-2(T <sub>2</sub> )													
54	0.43	0.1116	0.0007	0.2120	0.3253	0.0144	1826	11	1815	36	1816	70	99%
55	0.71	0.1033	0.0006	0.0539	0.2988	0.0027	1685	10	1685	10	1685	13	99%
56	1.56	0.0572	0.0004	0.0027	0.0464	0.0003	502	17	316	2	292	2	92%
57	0.95	0.0672	0.0003	0.0109	0.1394	0.0009	843	8	841	5	841	5	99%
58	0.30	0.0570	0.0008	0.0102	0.0454	0.0007	494	30	310	8	287	4	92%
59	0.81	0.0545	0.0014	0.0085	0.0380	0.0002	391	56	255	7	240	2	94%
60	0.39	0.1133	0.0004	0.0643	0.3327	0.0037	1854	7	1851	11	1851	18	99%
YJ-5(T <sub>2</sub> )													
1	0.35	0.0809	0.0012	0.0459	0.2056	0.0014	1220	30	1211	14	1205	8	99%
2	0.34	0.0740	0.0001	0.0185	0.1754	0.0018	1043	2	1042	7	1042	10	99%
3	0.06	0.0602	0.0003	0.0068	0.0601	0.0007	609	11	411	5	376	4	91%
4	0.38	0.0647	0.0001	0.0066	0.1258	0.0007	765	1	764	3	764	4	99%
5	0.59	0.0570	0.0007	0.0063	0.0796	0.0004	500	28	494	4	494	3	99%
6	0.19	0.0547	0.0004	0.0028	0.0641	0.0004	398	17	400	2	400	2	99%
7	0.51	0.2257	0.0014	0.1893	0.5976	0.0045	3022	10	3022	10	3020	18	99%
8	1.73	0.0620	0.0007	0.0133	0.1075	0.0008	676	26	662	7	658	5	99%
9	0.18	0.1717	0.0022	0.2988	0.4954	0.0066	2576	21	2594	24	2594	29	99%
10	0.31	0.0511	0.0005	0.0029	0.0382	0.0003	256	56	242	2	241	2	99%
11	0.26	0.1064	0.0004	0.0345	0.3100	0.0018	1739	8	1741	6	1741	9	99%
12	0.55	0.0599	0.0004	0.0077	0.0761	0.0005	598	15	495	5	473	3	95%
15	0.53	0.0520	0.0007	0.0038	0.0443	0.0002	283	34	280	3	279	2	99%
16	0.31	0.0716	0.0002	0.0109	0.1630	0.0011	973	10	974	4	974	6	99%
17	1.25	0.0541	0.0015	0.0101	0.0428	0.0003	376	56	282	8	270	2	95%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谱和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$		
哀牢山构造带东侧														
YJ-5(T <sub>2</sub> )														
18	0.30	0.0960	0.0002	3.5833	0.0553	0.2708	0.0044	1548	3	1546	12	1545	22	99%
19	0.35	0.0525	0.0006	0.3521	0.0071	0.0487	0.0005	306	26	306	5	306	3	99%
20	0.43	0.0710	0.0001	1.4440	0.0171	0.1474	0.0019	967	3	907	7	886	11	97%
21	0.47	0.0514	0.0010	0.2865	0.0071	0.0404	0.0006	261	43	256	6	255	4	99%
22	0.40	0.0554	0.0006	0.3621	0.0041	0.0474	0.0010	428	-8	314	3	299	6	95%
23	0.85	0.0596	0.0006	0.7726	0.0100	0.0940	0.0010	591	20	581	6	579	6	99%
27	0.12	0.0548	0.0007	0.3697	0.0020	0.0489	0.0005	467	28	319	1	308	3	96%
28	0.35	0.0553	0.0002	0.5173	0.0065	0.0678	0.0008	433	7	423	4	423	5	99%
29	0.31	0.1145	0.0006	5.0271	0.0655	0.3184	0.0031	1872	9	1824	11	1782	15	97%
31	0.89	0.0599	0.0003	0.7588	0.0051	0.0918	0.0005	611	9	573	3	566	3	98%
32	0.60	0.0723	0.0003	1.6707	0.0215	0.1674	0.0020	996	7	997	8	998	11	99%
33	0.67	0.0525	0.0002	0.3723	0.0016	0.0514	0.0002	309	9	321	1	323	2	99%
34	0.21	0.1147	0.0002	5.3324	0.0611	0.3374	0.0040	1876	3	1874	10	1874	19	99%
35	1.19	0.0551	0.0002	0.5103	0.0045	0.0671	0.0006	417	12	419	3	419	3	99%
36	0.44	0.1125	0.0002	5.1274	0.0510	0.3303	0.0031	1840	4	1841	8	1840	15	99%
37	0.23	0.0840	0.0008	2.7253	0.0728	0.2301	0.0052	1294	24	1335	20	1335	27	99%
38	0.60	0.0521	0.0002	0.3276	0.0036	0.0456	0.0005	300	7	288	3	288	3	99%
39	0.78	0.0547	0.0006	0.4696	0.0047	0.0623	0.0006	398	31	391	3	390	4	99%
40	0.82	0.0870	0.0004	2.1207	0.0129	0.1766	0.0011	1361	9	1156	4	1049	6	90%
41	0.18	0.0551	0.0005	0.4444	0.0028	0.0585	0.0004	413	20	373	2	367	2	98%
42	0.63	0.0597	0.0001	0.7940	0.0048	0.0964	0.0006	594	6	593	3	593	3	99%
43	0.43	0.3088	0.0006	30.8246	0.3427	0.7244	0.0082	3515	3	3513	11	3513	31	99%
44	0.43	0.0556	0.0006	0.5401	0.0082	0.0704	0.0005	435	24	439	5	438	3	99%
45	0.54	0.0512	0.0002	0.2758	0.0040	0.0391	0.0006	256	7	247	3	247	3	99%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$					
哀牢山构造带东测														
YJ-5(T <sub>2</sub> )														
46	0.90	0.0704	0.0002	1.5222	0.0180	0.1569	0.0018	939	7	939	10	99%		
47	0.27	0.0565	0.0002	0.5897	0.0046	0.0758	0.0006	472	1	471	3	471	4	99%
49	0.86	0.0546	0.0002	0.4762	0.0056	0.0633	0.0007	394	40	395	4	396	4	99%
50	0.40	0.0771	0.0002	2.0101	0.0180	0.1895	0.0018	1124	6	1119	6	1119	10	99%
51	0.48	0.0602	0.0003	0.7483	0.0086	0.0904	0.0010	609	11	567	5	558	6	98%
52	0.47	0.0524	0.0003	0.2805	0.0019	0.0388	0.0002	302	11	251	2	245	1	97%
53	0.17	0.1175	0.0003	5.6117	0.0467	0.3464	0.0031	1920	4	1918	7	1917	15	99%
54	0.31	0.0777	0.0002	2.0745	0.0219	0.1935	0.0018	1140	7	1140	7	1140	10	99%
55	0.48	0.0545	0.0002	0.3335	0.0016	0.0444	0.0002	391	6	292	1	280	1	95%
57	0.50	0.0572	0.0002	0.6426	0.0084	0.0813	0.0009	498	3	504	5	504	5	99%
60	0.45	0.0571	0.0001	0.6260	0.0059	0.0795	0.0008	494	-1	494	4	493	4	99%
YJ-4(T <sub>3</sub> )														
1	0.87	0.0730	0.0002	1.7132	0.0263	0.1702	0.0026	1015	6	1013	10	1013	15	99%
2	0.78	0.0722	0.0002	1.6550	0.0222	0.1663	0.0023	992	6	991	8	992	13	99%
3	0.87	0.1618	0.0003	10.4262	0.1056	0.4675	0.0049	2476	4	2473	9	2473	22	99%
4	0.55	0.0712	0.0002	1.5783	0.0137	0.1609	0.0014	962	1	962	5	962	8	99%
5	0.35	0.0646	0.0001	1.1166	0.0105	0.1254	0.0012	761	0	761	5	761	7	99%
6	0.54	0.0768	0.0004	1.9975	0.0290	0.1886	0.0023	1115	9	1115	10	1114	13	99%
8	0.71	0.0795	0.0001	2.2118	0.0283	0.2017	0.0026	1187	3	1185	9	1184	14	99%
9	0.59	0.0713	0.0001	1.5924	0.0126	0.1619	0.0012	966	4	967	5	967	7	99%
10	0.58	0.0668	0.0001	1.2654	0.0113	0.1375	0.0013	831	4	830	5	830	7	99%
11	0.89	0.0720	0.0006	1.5929	0.0846	0.1620	0.0089	985	21	967	33	968	50	99%
12	0.45	0.0537	0.0005	0.3485	0.0022	0.0471	0.0003	367	22	304	2	297	2	97%

续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$				
13	0.19	0.0798	0.0004	1.7415	0.0101	0.1582	0.0011	1192	10	1024	4	947	6	92%
14	0.32	0.0581	0.0001	0.6911	0.0065	0.0863	0.0008	532	36	533	4	533	5	99%
15	0.55	0.0588	0.0002	0.7416	0.0087	0.0913	0.0010	561	7	563	5	563	6	99%
16	0.78	0.0579	0.0001	0.6707	0.0095	0.0842	0.0013	524	4	521	6	521	7	99%
17	0.70	0.0561	0.0002	0.5704	0.0039	0.0737	0.0005	457	7	458	3	458	3	99%
18	0.25	0.0562	0.0003	0.5680	0.0066	0.0733	0.0006	457	8	457	4	456	4	99%
19	0.44	0.0578	0.0002	0.6704	0.0050	0.0842	0.0006	520	3	521	3	521	4	99%
20	0.34	0.0526	0.0002	0.3463	0.0020	0.0477	0.0003	322	7	302	1	300	2	99%
21	0.47	0.0560	0.0005	0.5618	0.0054	0.0728	0.0005	450	23	453	4	453	3	99%
23	0.37	0.0698	0.0001	1.4800	0.0170	0.1538	0.0018	924	4	922	7	922	10	99%
24	0.10	0.0569	0.0002	0.5330	0.0043	0.0679	0.0004	500	9	434	3	423	2	97%
25	0.39	0.0974	0.0002	3.7759	0.0924	0.2792	0.0064	1576	8	1588	20	1587	32	99%
26	0.43	0.1585	0.0002	9.7106	0.0836	0.4442	0.0036	2440	2	2408	8	2369	16	98%
27	0.63	0.0580	0.0008	0.4282	0.0080	0.0535	0.0006	532	30	362	6	336	3	92%
28	0.50	0.0568	0.0014	0.4920	0.0048	0.0628	0.0010	483	84	406	3	393	6	96%
29	0.46	0.0570	0.0003	0.3892	0.0020	0.0495	0.0003	500	9	334	1	311	2	93%
30	0.43	0.0628	0.0005	0.7119	0.0086	0.0821	0.0005	702	19	546	5	509	3	92%
31	0.16	0.0530	0.0002	0.2429	0.0017	0.0333	0.0003	328	6	221	1	211	2	95%
32	0.12	0.0567	0.0005	0.5931	0.0296	0.0761	0.0037	480	19	473	19	473	22	99%
33	0.44	0.0579	0.0005	0.4291	0.0086	0.0537	0.0011	528	17	363	6	337	7	92%
34	0.35	0.0764	0.0028	1.9387	0.0529	0.1841	0.0034	1106	73	1095	18	1090	19	99%
35	0.11	0.1662	0.0006	10.9711	0.1789	0.4785	0.0074	2520	7	2521	15	2521	32	99%
36	0.33	0.0535	0.0010	0.2874	0.0074	0.0389	0.0003	350	41	257	6	246	2	95%
37	0.24	0.1145	0.0001	5.3183	0.0776	0.3369	0.0049	1872	2	1872	12	1872	24	99%

哀牢山构造带东侧

YJ-4(T<sub>3</sub>)



续表附1

测点	Th/U	同位素比值				年龄 (Ma)				谐和度				
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$				
38	0.41	0.1018	0.0003	4.1857	0.1098	0.2957	0.0068	1658	6	1671	21	1670	34	99%
39	0.57	0.0568	0.0010	0.4907	0.0152	0.0626	0.0009	487	34	405	10	391	5	96%
40	0.58	0.0592	0.0001	0.7596	0.0078	0.0931	0.0010	572	4	574	4	574	6	99%
41	0.22	0.0552	0.0002	0.2759	0.0025	0.0362	0.0003	420	7	247	2	229	2	92%
42	0.30	0.0526	0.0002	0.3325	0.0026	0.0459	0.0005	309	9	291	2	289	3	99%
43	0.61	0.1711	0.0002	11.5309	0.1236	0.4891	0.0055	2568	2	2567	10	2567	24	99%
44	0.60	0.0674	0.0020	1.3405	0.0871	0.1435	0.0078	850	68	863	38	864	44	99%
45	0.28	0.0570	0.0007	0.4941	0.0039	0.0629	0.0004	500	26	408	3	393	3	96%
46	0.55	0.1282	0.0002	5.8657	0.0272	0.3317	0.0017	2073	3	1956	4	1847	8	94%
48	2.73	0.0588	0.0007	0.6295	0.0105	0.0777	0.0005	567	26	496	7	482	3	97%
49	0.53	0.1527	0.0002	9.3882	0.0782	0.4459	0.0039	2377	2	2377	8	2377	17	99%
50	0.58	0.0773	0.0002	2.0394	0.0232	0.1913	0.0021	1129	10	1129	8	1128	11	99%
51	0.42	0.0560	0.0002	0.3652	0.0020	0.0473	0.0002	450	9	316	1	298	1	94%
54	0.43	0.0568	0.0001	0.4950	0.0031	0.0632	0.0005	483	6	408	2	395	3	96%
55	0.63	0.0583	0.0002	0.7050	0.0049	0.0877	0.0005	543	-27	542	3	542	3	99%
56	0.46	0.0666	0.0007	1.2554	0.0159	0.1366	0.0008	826	25	826	7	826	5	99%
57	0.21	0.0763	0.0001	1.9617	0.0116	0.1864	0.0010	1103	3	1102	4	1102	6	99%
58	0.60	0.0529	0.0003	0.3752	0.0034	0.0515	0.0003	324	18	323	3	323	2	99%
59	0.40	0.1101	0.0002	4.8961	0.0571	0.3226	0.0038	1811	3	1802	10	1802	19	99%
60	0.21	0.1728	0.0004	9.6516	0.0732	0.4050	0.0029	2585	4	2402	7	2192	13	90%

哀牢山构造带东侧

YJ-4(T<sub>3</sub>)

附表 2 哀牢山构造带及其东侧地区中-上三叠统碎屑岩中碎屑锆石 Hf 同位素  
**Table S2 Hf isotope analyses for detrital zircons in Middle–Upper Triassic sedimentary rocks from the Alaoshan tectonic zone and its eastern region**

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
哀牢山构造带													
YJ-19													
01	563	0.000359	0.014948	0.282059	0.000013	0.46	0.282055	-12.96	0.46	1.65	0.02	2.33	-0.01
02	816	0.001419	0.056481	0.282042	0.000010	0.35	0.282020	-8.62	0.35	1.72	0.01	2.25	-0.01
03	2398	0.000478	0.017064	0.281277	0.000010	0.36	0.281256	0.08	0.36	2.72	0.01	2.91	0.01
04	813	0.001137	0.046325	0.282145	0.000009	0.32	0.282128	-4.86	0.32	1.57	0.01	2.01	-0.01
05	1011	0.000709	0.027851	0.281619	0.000011	0.39	0.281605	-18.96	0.39	2.27	0.02	3.04	-0.02
06	663	0.000178	0.007012	0.282203	0.000008	0.29	0.282201	-5.60	0.29	1.45	0.01	1.94	-0.01
07	714	0.000625	0.025194	0.282539	0.000011	0.40	0.282530	7.19	0.40	1.00	0.02	1.17	0.01
08	964	0.000851	0.032177	0.281974	0.000010	0.36	0.281958	-7.48	0.36	1.79	0.01	2.29	-0.01
09	972	0.001171	0.046064	0.282213	0.000012	0.43	0.282191	0.93	0.43	1.47	0.02	1.77	0.01
10	959	0.001035	0.040503	0.282081	0.000010	0.36	0.282063	-3.90	0.36	1.65	0.01	2.06	0.00
11	1510	0.001885	0.070929	0.281918	0.000012	0.41	0.281864	1.45	0.41	1.92	0.02	2.15	0.01
12	929	0.000955	0.038450	0.282322	0.000011	0.39	0.282306	4.02	0.39	1.31	0.02	1.54	0.01
13	1095	0.000927	0.034634	0.281919	0.000013	0.47	0.281900	-6.63	0.47	1.87	0.02	2.33	0.00
14	999	0.000665	0.026264	0.282083	0.000010	0.36	0.282071	-2.73	0.36	1.63	0.01	2.02	0.00
15	1698	0.000513	0.018503	0.281823	0.000010	0.36	0.281807	3.66	0.36	1.98	0.01	2.15	0.01
16	478	0.005682	0.170721	0.283399	0.000034	1.20	0.283348	30.93	1.20	-0.24	0.06	-0.53	0.08
17	962	0.000796	0.029956	0.281977	0.000013	0.46	0.281963	-7.38	0.46	1.78	0.02	2.28	0.00
18	470	0.001501	0.054143	0.282283	0.000011	0.40	0.282270	-7.41	0.40	1.39	0.02	1.91	-0.01
19	1787	0.002150	0.075560	0.281813	0.000024	0.84	0.281740	3.32	0.84	2.08	0.03	2.24	0.03
20	532	0.001100	0.040007	0.282531	0.000010	0.34	0.282520	2.80	0.34	1.02	0.01	1.31	0.00
21	745	0.001121	0.046187	0.282366	0.000010	0.35	0.282351	1.53	0.35	1.26	0.01	1.56	0.00
22	2477	0.000954	0.036006	0.281327	0.000010	0.34	0.281282	2.83	0.34	2.69	0.01	2.81	0.01
23	488	0.001352	0.052261	0.282445	0.000010	0.34	0.282433	-1.26	0.34	1.15	0.01	1.54	0.00

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
YJ-19												
哀牢山构造带												
24	1476	0.001482	0.058312	0.281797	0.000010	0.281756	-3.18	0.34	2.07	0.01	2.41	0.00
25	2447	0.000128	0.006308	0.280610	0.000011	0.280604	-21.98	0.38	3.58	0.01	4.29	-0.02
26	1087	0.001577	0.059635	0.282236	0.000010	0.282204	3.96	0.35	1.46	0.01	1.67	0.01
27	888	0.001405	0.054508	0.282477	0.000011	0.282453	8.34	0.37	1.11	0.02	1.24	0.01
28	453	0.000974	0.038008	0.282329	0.000012	0.282321	-6.00	0.42	1.30	0.02	1.81	0.00
29	809	0.000627	0.025655	0.281662	0.000010	0.281653	-21.77	0.36	2.21	0.01	3.06	-0.02
30	2657	0.000517	0.018823	0.281022	0.000009	0.280995	-3.20	0.30	3.06	0.01	3.31	0.00
31	1355	0.001103	0.035955	0.282205	0.000009	0.282176	9.02	0.32	1.48	0.01	1.55	0.01
32	1372	0.000616	0.024632	0.281856	0.000011	0.281840	-2.54	0.39	1.94	0.02	2.29	0.00
33	600	0.000734	0.031613	0.282209	0.000009	0.282201	-7.00	0.33	1.46	0.01	1.98	-0.01
34	951	0.000089	0.004081	0.281647	0.000009	0.281645	-18.86	0.32	2.20	0.01	2.99	-0.02
35	604	0.000570	0.020059	0.282708	0.000009	0.282701	10.82	0.33	0.76	0.01	0.86	0.01
36	983	0.000688	0.028154	0.282020	0.000009	0.282008	-5.33	0.31	1.72	0.01	2.17	-0.01
37	917	0.000264	0.010998	0.282056	0.000009	0.282052	-5.22	0.33	1.65	0.01	2.11	-0.01
38	458	0.001460	0.050975	0.282350	0.000009	0.282338	-5.28	0.33	1.29	0.01	1.77	-0.01
39	972	0.000676	0.028484	0.282185	0.000008	0.282172	0.28	0.29	1.49	0.01	1.81	0.00
40	1122	0.000626	0.024984	0.282144	0.000011	0.282131	2.15	0.39	1.55	0.02	1.81	0.01
41	988	0.000686	0.029408	0.282174	0.000010	0.282161	0.24	0.35	1.51	0.01	1.82	0.00
42	475	0.000667	0.025648	0.282458	0.000009	0.282452	-0.88	0.30	1.11	0.01	1.50	0.00
43	1050	0.001050	0.038948	0.282257	0.000012	0.282236	4.27	0.41	1.41	0.02	1.62	0.01
44	985	0.000619	0.024787	0.281973	0.000010	0.281961	-6.93	0.34	1.78	0.01	2.27	-0.01
45	1458	0.000721	0.025006	0.281553	0.000010	0.281533	-11.49	0.36	2.36	0.01	2.91	-0.01
46	826	0.002729	0.102067	0.282316	0.000013	0.282273	0.59	0.44	1.39	0.02	1.68	0.01
47	2451	0.000345	0.014207	0.280969	0.000009	0.280953	-9.47	0.31	3.12	0.01	3.54	0.00

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}$ (Ga)	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ (Ga)	$1\sigma$
衰变山构造带												
YJ-19												
48	963	0.001436	0.054220	0.282295	0.000011	0.282269	3.50	0.37	1.37	0.01	1.60	0.01
49	1676	0.001022	0.040545	0.282022	0.000010	0.281990	9.66	0.34	1.73	0.01	1.76	0.02
51	1458	0.001488	0.057010	0.282253	0.000010	0.282212	12.60	0.35	1.43	0.01	1.41	0.02
53	1057	0.000972	0.038847	0.282234	0.000011	0.282215	3.68	0.37	1.44	0.01	1.66	0.01
52	642	0.001557	0.057620	0.282129	0.000014	0.282110	-9.29	0.51	1.61	0.02	2.16	0.00
54	1006	0.000928	0.036665	0.282638	0.000010	0.282621	16.92	0.34	0.87	0.01	0.78	0.02
55	1063	0.000882	0.033064	0.282155	0.000010	0.282137	1.06	0.35	1.54	0.01	1.83	0.00
56	1755	0.001047	0.041749	0.281709	0.000009	0.281674	0.22	0.32	2.17	0.01	2.41	0.00
57	2456	0.000367	0.015162	0.281155	0.000009	0.281138	-2.80	0.32	2.88	0.01	3.13	0.00
58	563	0.000519	0.020025	0.282778	0.000009	0.282773	12.44	0.32	0.66	0.01	0.72	0.01
59	2181	0.000247	0.008954	0.281104	0.000008	0.281094	-10.66	0.29	2.93	0.01	3.40	-0.01
60	1043	0.000911	0.033692	0.281997	0.000011	0.281979	-4.99	0.37	1.76	0.01	2.19	0.00
YJ-20												
03	1521	0.002564	0.081160	0.282164	0.000016	0.282090	9.70	0.55	1.60	0.02	1.64	0.03
04	1174	0.001453	0.053029	0.282147	0.000014	0.282114	2.74	0.48	1.58	0.02	1.81	0.01
05	858	0.000073	0.003649	0.281974	0.000010	0.281973	-9.35	0.35	1.76	0.01	2.33	-0.01
06	2349	0.000796	0.027471	0.281136	0.000019	0.281100	-6.58	0.68	2.93	0.03	3.28	0.02
07	680	0.003002	0.095193	0.282503	0.000014	0.282465	4.13	0.50	1.12	0.02	1.34	0.01
09	926	0.000805	0.030361	0.282115	0.000011	0.282101	-3.28	0.40	1.59	0.02	2.00	0.00
10	2431	0.000797	0.029731	0.281029	0.000011	0.280992	-8.53	0.39	3.08	0.02	3.46	0.00
11	1050	0.001333	0.050598	0.282177	0.000013	0.282150	1.23	0.47	1.53	0.02	1.81	0.01
12	1443	0.000740	0.029243	0.281736	0.000025	0.281715	-5.36	0.87	2.11	0.03	2.52	0.02
13	944	0.000391	0.016094	0.281961	0.000009	0.281954	-8.10	0.31	1.79	0.01	2.31	-0.01
14	691	0.001809	0.058197	0.282315	0.000017	0.282291	-1.77	0.60	1.35	0.02	1.72	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}$ (Ga)	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ (Ga)	$1\sigma$
YJ-20												
哀牢山构造带												
15	916	0.001489	0.054341	0.282110	0.000013	0.282084	-4.11	0.44	1.63	0.02	2.04	0.00
16	988	0.000663	0.020889	0.282329	0.000017	0.282316	5.73	0.61	1.29	0.02	1.48	0.02
17	510	0.003539	0.124077	0.282655	0.000016	0.282621	5.89	0.55	0.91	0.02	1.10	0.02
18	1502	0.004851	0.152455	0.282420	0.000016	0.282282	16.09	0.57	1.31	0.03	1.23	0.03
19	1741	0.000980	0.038689	0.281733	0.000011	0.281701	0.86	0.37	2.13	0.01	2.36	0.01
20	1074	0.000707	0.031878	0.282109	0.000009	0.282095	-0.20	0.32	1.60	0.01	1.92	0.00
21	561	0.000765	0.029762	0.282161	0.000011	0.282153	-9.56	0.39	1.53	0.02	2.12	-0.01
22	961	0.000789	0.031284	0.282103	0.000010	0.282089	-2.93	0.34	1.61	0.01	2.00	0.00
23	786	0.001252	0.046387	0.282550	0.000009	0.282531	8.84	0.31	1.00	0.01	1.13	0.01
26	2651	0.000686	0.025598	0.281066	0.000016	0.281031	-2.07	0.56	3.02	0.02	3.24	0.02
27	1187	0.000150	0.006450	0.281773	0.000007	0.281770	-9.18	0.26	2.03	0.01	2.56	-0.01
28	1058	0.000964	0.035395	0.281907	0.000015	0.281888	-7.87	0.52	1.89	0.02	2.38	0.00
29	812	0.001258	0.045854	0.281826	0.000010	0.281807	-16.25	0.35	2.02	0.01	2.72	-0.02
30	1004	0.000155	0.007409	0.281967	0.000010	0.281964	-6.40	0.34	1.77	0.01	2.25	-0.01
31	981	0.000727	0.026736	0.282049	0.000010	0.282035	-4.38	0.34	1.68	0.01	2.11	0.00
32	737	0.000617	0.024126	0.282251	0.000010	0.282243	-2.47	0.35	1.40	0.01	1.80	0.00
33	2403	0.000638	0.022133	0.281184	0.000008	0.281155	-3.40	0.28	2.86	0.01	3.13	0.00
34	1888	0.001524	0.047587	0.281378	0.000015	0.281324	-9.19	0.51	2.65	0.02	3.09	0.00
35	1096	0.000532	0.021421	0.281808	0.000010	0.281797	-10.26	0.34	2.00	0.01	2.56	-0.01
36	955	0.001309	0.050904	0.282095	0.000011	0.282072	-3.67	0.40	1.64	0.02	2.04	0.00
37	1174	0.001305	0.049701	0.281722	0.000022	0.281693	-12.21	0.77	2.17	0.03	2.74	0.01
38	824	0.001130	0.035607	0.282345	0.000012	0.282328	2.48	0.41	1.29	0.02	1.56	0.01
39	1105	0.001105	0.040445	0.282112	0.000010	0.282089	0.30	0.37	1.61	0.01	1.91	0.00
40	765	0.000538	0.015641	0.282314	0.000016	0.282306	0.40	0.56	1.31	0.02	1.64	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
衰变山构造带												
YJ-20												
41	1257	0.000454	0.016996	0.281358	0.000012	0.281347	-22.60	0.42	2.61	0.02	3.44	-0.02
42	1374	0.002552	0.083913	0.282263	0.000011	0.282197	10.17	0.39	1.46	0.02	1.50	0.02
43	998	0.000858	0.032133	0.281944	0.000008	0.281928	-7.82	0.30	1.83	0.01	2.34	-0.01
44	933	0.001404	0.052726	0.281780	0.000023	0.281755	-15.39	0.81	2.09	0.03	2.76	0.01
45	746	0.001947	0.066243	0.282409	0.000019	0.282382	2.66	0.66	1.22	0.03	1.49	0.02
46	527	0.003281	0.114303	0.282624	0.000019	0.282591	5.21	0.66	0.95	0.03	1.16	0.02
47	1384	0.003788	0.132255	0.282642	0.000026	0.282543	22.68	0.90	0.93	0.04	0.72	0.06
48	2461	0.001135	0.039917	0.281148	0.000011	0.281095	-4.19	0.39	2.94	0.02	3.22	0.01
49	1599	0.000254	0.009786	0.281532	0.000012	0.281524	-8.62	0.42	2.36	0.02	2.84	0.00
50	1160	0.001311	0.043095	0.282199	0.000013	0.282171	4.43	0.46	1.50	0.02	1.69	0.01
51	556	0.003263	0.115117	0.282817	0.000020	0.282783	12.63	0.69	0.66	0.03	0.71	0.03
52	1593	0.002335	0.085336	0.282297	0.000014	0.282227	16.18	0.51	1.40	0.02	1.29	0.03
55	1744	0.000466	0.019235	0.281661	0.000011	0.281646	-1.01	0.39	2.20	0.01	2.48	0.01
56	1548	0.001461	0.048709	0.281646	0.000013	0.281603	-6.97	0.47	2.28	0.02	2.70	0.00
57	1142	0.000898	0.032931	0.282436	0.000011	0.282416	12.73	0.40	1.15	0.02	1.16	0.02
58	561	0.002072	0.068394	0.282615	0.000011	0.282593	6.02	0.38	0.93	0.02	1.13	0.01
59	1759	0.001347	0.050165	0.281735	0.000016	0.281690	0.90	0.54	2.15	0.02	2.37	0.02
60	2320	0.001139	0.047874	0.281382	0.000011	0.281332	0.99	0.39	2.62	0.02	2.80	0.01
YJ-21												
02	1724	0.002173	0.082228	0.281803	0.000011	0.281732	1.59	0.37	2.10	0.02	2.30	0.01
03	1625	0.001283	0.050688	0.281751	0.000012	0.281711	-1.40	0.42	2.12	0.02	2.41	0.01
05	405	0.001840	0.071245	0.282750	0.000013	0.282736	7.63	0.46	0.73	0.02	0.91	0.01
07	893	0.000906	0.030806	0.281872	0.000010	0.281856	-12.68	0.37	1.94	0.01	2.56	-0.01
08	1107	0.000918	0.040376	0.282092	0.000011	0.282073	-0.22	0.37	1.63	0.01	1.94	0.00



续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
YJ-21												
哀牢山构造带												
09	2413	0.000599	0.023586	0.281125	0.000009	0.281097	-5.21	0.33	2.93	0.01	3.25	0.00
10	452	0.000945	0.034153	0.282762	0.000010	0.282754	9.30	0.35	0.69	0.01	0.84	0.01
11	2455	0.001549	0.061193	0.281386	0.000013	0.281314	3.45	0.45	2.65	0.02	2.75	0.02
12	1017	0.001309	0.052753	0.282260	0.000009	0.282235	3.50	0.31	1.41	0.01	1.64	0.00
13	1124	0.000477	0.019848	0.281912	0.000009	0.281902	-5.91	0.32	1.86	0.01	2.31	-0.01
14	1013	0.001054	0.040984	0.282390	0.000011	0.282370	8.18	0.39	1.22	0.02	1.34	0.01
16	2703	0.000539	0.020269	0.280868	0.000010	0.280840	-7.64	0.34	3.27	0.01	3.62	0.00
17	1454	0.001149	0.044642	0.282056	0.000010	0.282024	5.85	0.36	1.69	0.01	1.83	0.01
19	677	0.000775	0.032411	0.282431	0.000010	0.282422	2.52	0.34	1.15	0.01	1.44	0.00
20	451	0.001503	0.054480	0.282465	0.000012	0.282452	-1.38	0.43	1.13	0.02	1.52	0.00
21	1176	0.000559	0.022507	0.282103	0.000010	0.282091	1.94	0.34	1.60	0.01	1.86	0.00
22	592	0.000877	0.032270	0.282840	0.000011	0.282830	15.10	0.38	0.58	0.02	0.58	0.02
23	913	0.000888	0.035082	0.281912	0.000011	0.281897	-10.79	0.37	1.88	0.01	2.46	-0.01
24	497	0.001558	0.064156	0.282593	0.000011	0.282578	4.08	0.38	0.95	0.02	1.21	0.01
25	963	0.000992	0.041362	0.282220	0.000009	0.282202	1.13	0.31	1.46	0.01	1.75	0.00
26	501	0.000783	0.027360	0.282358	0.000010	0.282351	-3.87	0.36	1.26	0.01	1.71	0.00
28	552	0.000568	0.019238	0.282299	0.000009	0.282293	-4.81	0.33	1.33	0.01	1.81	-0.01
29	2998	0.000581	0.023944	0.280639	0.000008	0.280606	-9.14	0.29	3.58	0.01	3.93	0.00
30	1639	0.001865	0.070742	0.282147	0.000011	0.282089	12.34	0.37	1.59	0.02	1.57	0.02
32	508	0.000860	0.029183	0.282727	0.000009	0.282719	9.33	0.32	0.74	0.01	0.88	0.01
33	496	0.001190	0.054170	0.282838	0.000010	0.282826	12.86	0.36	0.59	0.01	0.65	0.02
34	2427	0.000628	0.026274	0.281067	0.000011	0.281038	-7.00	0.37	3.01	0.01	3.37	0.00
35	1009	0.000653	0.023753	0.282127	0.000012	0.282115	-0.94	0.41	1.57	0.02	1.91	0.00
36	1128	0.000958	0.036811	0.282123	0.000010	0.282102	1.27	0.34	1.59	0.01	1.87	0.00

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
衰变山构造带												
YJ-21												
37	350	0.001105	0.040313	0.282235	0.000010	0.282228	-11.56	0.35	1.44	0.01	2.08	-0.01
38	2067	0.000243	0.010620	0.281348	0.000011	0.281339	-4.57	0.39	2.61	0.01	2.94	0.00
40	1672	0.001813	0.065624	0.281818	0.000010	0.281760	1.42	0.36	2.06	0.01	2.27	0.01
41	2421	0.000861	0.034711	0.281164	0.000011	0.281124	-4.08	0.37	2.90	0.01	3.18	0.00
42	556	0.000920	0.032494	0.282404	0.000010	0.282395	-1.11	0.35	1.20	0.01	1.58	0.00
44	1222	0.000587	0.022949	0.281809	0.000009	0.281796	-7.49	0.33	2.01	0.01	2.48	-0.01
47	512	0.000967	0.034904	0.282335	0.000008	0.282326	-4.52	0.29	1.30	0.01	1.76	-0.01
48	785	0.001366	0.058688	0.282239	0.000010	0.282218	-2.27	0.37	1.44	0.01	1.83	0.00
49	2484	0.000326	0.010582	0.281309	0.000008	0.281293	3.39	0.27	2.67	0.01	2.78	0.01
50	2681	0.001593	0.062013	0.281254	0.000010	0.281172	3.64	0.37	2.83	0.01	2.91	0.01
53	898	0.001164	0.046409	0.282183	0.000010	0.282163	-1.71	0.35	1.52	0.01	1.88	0.00
54	376	0.001971	0.078267	0.283036	0.000010	0.283022	17.14	0.36	0.31	0.01	0.28	0.02
55	1133	0.000386	0.013905	0.281385	0.000010	0.281377	-24.32	0.35	2.57	0.01	3.46	-0.03
56	1020	0.000629	0.025475	0.282094	0.000009	0.282082	-1.84	0.30	1.62	0.01	1.98	0.00
58	952	0.001335	0.053312	0.282297	0.000010	0.282274	3.41	0.34	1.36	0.01	1.60	0.01
59	526	0.000527	0.020066	0.282060	0.000011	0.282055	-13.81	0.37	1.66	0.01	2.36	-0.01
60	3105	0.000380	0.013483	0.280784	0.000010	0.280762	-1.11	0.36	3.37	0.01	3.53	0.01
YJ-23												
01	1209	0.002024	0.079558	0.282196	0.000010	0.282150	4.79	0.35	1.53	0.01	1.71	0.01
02	1043	0.000660	0.022442	0.282208	0.000011	0.282195	2.66	0.40	1.46	0.02	1.71	0.01
03	993	0.000494	0.016691	0.282089	0.000009	0.282080	-2.55	0.32	1.62	0.01	2.00	0.00
04	602	0.001029	0.037300	0.282537	0.000012	0.282525	4.54	0.40	1.01	0.02	1.26	0.01
05	1450	0.000661	0.026660	0.281829	0.000010	0.281811	-1.81	0.34	1.98	0.01	2.30	0.00
06	1447	0.000977	0.026527	0.281506	0.000013	0.281479	-13.65	0.45	2.44	0.02	3.03	-0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
衰变山构造带												
YJ-23												
07	502	0.001404	0.049999	0.282505	0.000009	0.282492	1.15	0.31	1.07	0.01	1.40	0.00
08	489	0.000955	0.028601	0.282519	0.000010	0.282511	1.50	0.36	1.04	0.01	1.36	0.00
09	2975	0.000591	0.020771	0.280728	0.000009	0.280694	-6.55	0.33	3.46	0.01	3.76	0.00
10	524	0.001854	0.067555	0.282634	0.000010	0.282616	6.02	0.34	0.90	0.01	1.10	0.01
11	1148	0.001439	0.056559	0.282292	0.000011	0.282261	7.36	0.39	1.37	0.02	1.50	0.01
12	1054	0.000137	0.006206	0.282115	0.000008	0.282112	-0.04	0.27	1.57	0.01	1.89	0.00
13	877	0.000374	0.018510	0.282255	0.000009	0.282249	0.89	0.32	1.38	0.01	1.70	0.00
14	2350	0.000702	0.025663	0.281364	0.000012	0.281332	1.69	0.41	2.62	0.02	2.78	0.01
15	557	0.000975	0.035818	0.282528	0.000010	0.282518	3.29	0.36	1.02	0.01	1.30	0.00
16	1657	0.000850	0.034652	0.281657	0.000016	0.281630	-3.53	0.54	2.23	0.02	2.57	0.01
17	578	0.001320	0.047445	0.282433	0.000011	0.282418	0.23	0.37	1.17	0.01	1.51	0.00
18	2383	0.000429	0.014639	0.281376	0.000011	0.281356	3.32	0.40	2.58	0.02	2.70	0.01
19	863	0.001142	0.038880	0.281665	0.000014	0.281646	-20.80	0.48	2.23	0.02	3.04	-0.02
20	2261	0.001121	0.037499	0.281536	0.000011	0.281487	5.16	0.39	2.41	0.02	2.50	0.02
21	2432	0.000477	0.020725	0.280924	0.000009	0.280901	-11.74	0.33	3.19	0.01	3.66	-0.01
22	1306	0.000678	0.029154	0.282124	0.000009	0.282108	5.48	0.33	1.58	0.01	1.74	0.01
23	555	0.000807	0.027139	0.282503	0.000009	0.282495	2.43	0.31	1.05	0.01	1.36	0.00
25	1124	0.000684	0.026519	0.282451	0.000009	0.282437	13.05	0.31	1.12	0.01	1.12	0.02
26	926	0.000079	0.006138	0.281973	0.000009	0.281972	-7.87	0.31	1.76	0.01	2.28	-0.01
27	576	0.000698	0.030765	0.282227	0.000009	0.282219	-6.88	0.31	1.44	0.01	1.96	-0.01
28	957	0.000165	0.007246	0.282282	0.000009	0.282279	3.70	0.30	1.34	0.01	1.58	0.00
29	556	0.000393	0.015910	0.282188	0.000009	0.282184	-8.56	0.33	1.48	0.01	2.05	-0.01
31	1020	0.000776	0.032196	0.281962	0.000010	0.281947	-6.65	0.35	1.81	0.01	2.28	-0.01
32	587	0.002512	0.093362	0.282641	0.000010	0.282613	7.31	0.35	0.90	0.01	1.07	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
YJ-23												
哀牢山构造带												
33	1043	0.001356	0.051314	0.282388	0.000012	0.282362	8.56	0.41	1.23	0.02	1.34	0.02
34	478	0.002349	0.096793	0.282641	0.000009	0.282620	5.13	0.32	0.90	0.01	1.12	0.00
35	489	0.001099	0.047399	0.282414	0.000010	0.282404	-2.26	0.36	1.19	0.01	1.60	0.00
36	493	0.000883	0.033908	0.282327	0.000009	0.282318	-5.21	0.32	1.30	0.01	1.79	-0.01
37	653	0.000386	0.018680	0.282162	0.000010	0.282157	-7.39	0.35	1.51	0.01	2.05	-0.01
38	521	0.001547	0.062468	0.282391	0.000009	0.282376	-2.55	0.33	1.24	0.01	1.64	0.00
39	918	0.000459	0.017826	0.282002	0.000010	0.281994	-7.27	0.36	1.74	0.01	2.24	-0.01
40	2261	0.000946	0.037576	0.281371	0.000013	0.281330	-0.43	0.45	2.62	0.02	2.84	0.01
41	1232	0.001107	0.043535	0.282117	0.000008	0.282091	3.23	0.29	1.60	0.01	1.82	0.00
42	928	0.000706	0.027741	0.282247	0.000009	0.282234	1.49	0.31	1.41	0.01	1.70	0.00
43	510	0.001248	0.051503	0.282371	0.000014	0.282359	-3.38	0.51	1.25	0.02	1.69	0.00
44	1894	0.001483	0.055669	0.282128	0.000007	0.282074	17.63	0.26	1.61	0.01	1.44	0.02
45	1206	0.001113	0.050405	0.282215	0.000009	0.282190	6.13	0.32	1.47	0.01	1.62	0.01
46	515	0.002930	0.119224	0.282676	0.000010	0.282648	6.95	0.35	0.86	0.01	1.04	0.01
47	1043	0.000859	0.034577	0.282578	0.000009	0.282561	15.62	0.33	0.95	0.01	0.90	0.02
48	2836	0.001388	0.054039	0.281457	0.000010	0.281381	14.68	0.36	2.54	0.01	2.36	0.03
49	1400	0.000852	0.030560	0.281576	0.000012	0.281553	-12.09	0.40	2.34	0.02	2.90	-0.01
50	521	0.001821	0.072012	0.282421	0.000009	0.282403	-1.59	0.31	1.20	0.01	1.58	0.00
51	980	0.001152	0.046230	0.282293	0.000010	0.282271	3.95	0.34	1.36	0.01	1.58	0.01
52	925	0.000580	0.020024	0.282418	0.000008	0.282407	7.56	0.27	1.17	0.01	1.31	0.01
3	945	0.000427	0.017639	0.282339	0.000009	0.282331	5.30	0.32	1.27	0.01	1.47	0.01
54	1120	0.001071	0.049709	0.282179	0.000009	0.282156	3.01	0.33	1.52	0.01	1.75	0.00
55	454	0.001688	0.056305	0.282356	0.000013	0.282342	-5.23	0.47	1.29	0.02	1.76	0.00
56	2455	0.000556	0.021413	0.281271	0.000009	0.281245	1.00	0.32	2.73	0.01	2.90	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1 $\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	1 $\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	1 $\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	1 $\sigma$
衰变山构造带												
YJ-23												
57	1450	0.001308	0.051964	0.281884	0.000010	0.281848	-0.51	0.34	1.94	0.01	2.22	0.00
58	1435	0.000629	0.024279	0.282234	0.000010	0.282217	12.27	0.33	1.42	0.01	1.41	0.02
59	523	0.000728	0.028735	0.282169	0.000007	0.282162	-10.06	0.26	1.52	0.01	2.12	-0.02
60	479	0.000878	0.033550	0.282873	0.000010	0.282865	13.82	0.33	0.54	0.01	0.57	0.02
YJ-24												
01	467	0.001251	0.038912	0.282331	0.000010	0.282320	-5.71	0.36	1.31	0.01	1.80	-0.01
02	1872	0.000820	0.034362	0.281684	0.000010	0.281655	2.22	0.35	2.19	0.01	2.38	0.01
03	633	0.001062	0.042679	0.282640	0.000009	0.282628	8.85	0.31	0.87	0.01	1.01	0.01
04	361	0.000973	0.030224	0.282866	0.000010	0.282859	11.02	0.34	0.55	0.01	0.66	0.01
06	467	0.001451	0.054064	0.282576	0.000010	0.282563	2.90	0.35	0.97	0.01	1.26	0.00
07	1473	0.001181	0.047167	0.281944	0.000014	0.281911	2.26	0.51	1.85	0.02	2.07	0.01
08	299	0.001054	0.044119	0.282396	0.000010	0.282390	-6.94	0.36	1.21	0.01	1.75	-0.01
09	2398	0.000715	0.027724	0.281145	0.000011	0.281112	-5.03	0.39	2.91	0.01	3.23	0.00
10	253	0.001294	0.047077	0.282516	0.000008	0.282509	-3.74	0.28	1.05	0.01	1.52	-0.01
11	477	0.001389	0.057329	0.282396	0.000010	0.282383	-3.25	0.35	1.22	0.01	1.66	0.00
12	458	0.000345	0.014159	0.282162	0.000009	0.282159	-11.64	0.30	1.51	0.01	2.17	-0.02
13	405	0.000480	0.018756	0.282369	0.000009	0.282365	-5.49	0.31	1.23	0.01	1.74	-0.01
14	686	0.001540	0.059836	0.282449	0.000010	0.282430	3.02	0.34	1.15	0.01	1.42	0.00
15	304	0.001752	0.069960	0.282671	0.000011	0.282661	2.77	0.38	0.84	0.02	1.14	0.00
16	434	0.000824	0.026262	0.282743	0.000011	0.282736	8.28	0.38	0.72	0.02	0.89	0.01
17	435	0.001156	0.045697	0.282460	0.000008	0.282451	-1.81	0.29	1.13	0.01	1.53	-0.01
18	297	0.001009	0.042722	0.282449	0.000009	0.282444	-5.10	0.32	1.14	0.01	1.64	-0.01
19	449	0.001257	0.051247	0.282460	0.000010	0.282450	-1.54	0.34	1.13	0.01	1.53	0.00
20	283	0.000935	0.035114	0.282944	0.000012	0.282939	12.15	0.40	0.44	0.02	0.53	0.02

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
YJ-24												
21	531	0.001601	0.056144	0.282728	0.000009	0.282712	9.57	0.31	0.76	0.01	0.88	0.01
22	283	0.002250	0.085276	0.282700	0.000012	0.282688	3.26	0.41	0.81	0.02	1.09	0.01
23	396	0.001364	0.051272	0.282951	0.000012	0.282941	14.71	0.42	0.43	0.02	0.45	0.02
24	293	0.000601	0.024567	0.282495	0.000009	0.282492	-3.48	0.31	1.06	0.01	1.53	-0.01
25	296	0.001185	0.046067	0.282472	0.000014	0.282465	-4.35	0.50	1.11	0.02	1.59	0.00
26	1917	0.001215	0.051483	0.281724	0.000012	0.281680	4.12	0.41	2.16	0.02	2.29	0.01
27	1425	0.000821	0.031919	0.281832	0.000010	0.281810	-2.40	0.34	1.99	0.01	2.32	0.00
28	1240	0.001054	0.040498	0.281974	0.000010	0.281950	-1.62	0.36	1.80	0.01	2.13	0.00
29	1853	0.001280	0.051537	0.281706	0.000010	0.281661	2.03	0.36	2.18	0.01	2.37	0.01
30	338	0.001452	0.057980	0.282513	0.000011	0.282504	-2.07	0.40	1.06	0.02	1.48	0.00
31	399	0.001202	0.046904	0.282353	0.000011	0.282344	-6.36	0.40	1.28	0.02	1.79	-0.01
32	302	0.001135	0.047134	0.282505	0.000011	0.282498	-3.06	0.38	1.06	0.02	1.51	0.00
33	300	0.000834	0.029095	0.282390	0.000010	0.282386	-7.08	0.34	1.21	0.01	1.76	-0.01
34	1143	0.000706	0.025475	0.282095	0.000009	0.282080	0.81	0.32	1.62	0.01	1.91	0.00
35	908	0.001169	0.049917	0.282228	0.000009	0.282208	0.12	0.33	1.45	0.01	1.77	0.00
36	1858	0.000265	0.010835	0.281572	0.000009	0.281563	-1.37	0.32	2.31	0.01	2.59	0.00
37	515	0.002268	0.070099	0.282507	0.000014	0.282485	1.19	0.50	1.09	0.02	1.40	0.01
38	270	0.001666	0.060936	0.282635	0.000009	0.282626	0.77	0.31	0.89	0.01	1.24	0.00
39	1762	0.000595	0.024987	0.281994	0.000012	0.281974	11.06	0.40	1.75	0.02	1.74	0.02
40	1900	0.000886	0.032037	0.281672	0.000016	0.281641	2.35	0.57	2.21	0.02	2.39	0.02
41	2411	0.000536	0.019942	0.281164	0.000010	0.281139	-3.76	0.36	2.88	0.01	3.16	0.00
43	1083	0.000765	0.027047	0.281944	0.000011	0.281928	-5.89	0.40	1.83	0.02	2.28	0.00
44	542	0.000356	0.012877	0.282619	0.000010	0.282615	6.38	0.35	0.88	0.01	1.09	0.01
45	1436	0.000663	0.028956	0.281938	0.000009	0.281920	1.73	0.32	1.83	0.01	2.07	0.00



续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1 $\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	1 $\sigma$	$t_{\text{DM}}$ (Ga)	1 $\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ (Ga)	1 $\sigma$
衰牢山构造带												
YJ-24												
46	635	0.000816	0.031192	0.282356	0.000010	0.282346	-1.06	0.35	1.26	0.01	1.64	0.00
47	327	0.000837	0.028074	0.282823	0.000010	0.282818	8.80	0.33	0.61	0.01	0.77	0.01
48	1276	0.001096	0.045569	0.282090	0.000010	0.282064	3.24	0.34	1.64	0.01	1.86	0.01
49	1820	0.000662	0.028362	0.281631	0.000009	0.281608	-0.62	0.31	2.25	0.01	2.51	0.00
50	558	0.000997	0.035463	0.282678	0.000012	0.282668	8.61	0.42	0.81	0.02	0.97	0.01
51	256	0.001842	0.067797	0.282604	0.000009	0.282595	-0.65	0.32	0.94	0.01	1.32	0.00
52	449	0.000625	0.025825	0.282581	0.000008	0.282576	2.94	0.30	0.94	0.01	1.24	0.00
53	279	0.003886	0.153706	0.283190	0.000015	0.283169	20.20	0.51	0.09	0.02	0.01	0.03
54	970	0.000940	0.029473	0.282467	0.000009	0.282450	10.06	0.32	1.11	0.01	1.19	0.01
55	564	0.000266	0.011141	0.282160	0.000010	0.282158	-9.31	0.34	1.51	0.01	2.10	-0.01
56	2769	0.000801	0.029768	0.281053	0.000010	0.281010	-0.09	0.36	3.05	0.01	3.21	0.01
57	436	0.001126	0.045377	0.282493	0.000009	0.282484	-0.60	0.32	1.08	0.01	1.46	0.00
58	525	0.002552	0.101039	0.282734	0.000012	0.282709	9.32	0.41	0.77	0.02	0.89	0.01
衰牢山构造带东侧												
YJ-1												
02	2502	0.001166	0.033359	0.281290	0.000016	0.281234	1.70	0.55	2.75	0.02	2.89	0.02
05	1562	0.001898	0.068700	0.282515	0.000017	0.282459	23.71	0.60	1.07	0.02	0.79	0.05
10	1553	0.000683	0.018657	0.282003	0.000021	0.281983	6.63	0.73	1.74	0.03	1.86	0.03
12	2465	0.000988	0.028575	0.281414	0.000021	0.281367	5.57	0.74	2.57	0.03	2.63	0.04
18	311	0.000975	0.034070	0.282589	0.000008	0.282583	0.14	0.28	0.94	0.01	1.31	0.00
23	930	0.000644	0.021316	0.282276	0.000010	0.282264	2.60	0.36	1.37	0.01	1.63	0.01
26	1281	0.001524	0.055363	0.282234	0.000016	0.282197	8.09	0.56	1.46	0.02	1.56	0.02
35	1192	0.002185	0.068322	0.282572	0.000014	0.282523	17.63	0.49	0.99	0.02	0.88	0.03
41	1476	0.000717	0.024368	0.281841	0.000016	0.281821	-0.86	0.57	1.97	0.02	2.26	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
Y1-1 袁牢山构造带东侧												
2	1818	0.000883	0.029445	0.281576	0.000009	0.281545	-2.91	0.32	2.34	0.01	2.65	0.00
48	1989	0.000716	0.024193	0.281597	0.000010	0.281570	1.87	0.34	2.30	0.01	2.49	0.01
49	1431	0.002637	0.103325	0.282784	0.000010	0.282713	29.76	0.36	0.69	0.02	0.30	0.04
52	946	0.000762	0.024463	0.281950	0.000012	0.281937	-8.67	0.41	1.82	0.02	2.35	-0.01
53	1824	0.000536	0.019712	0.281623	0.000009	0.281605	-0.65	0.33	2.26	0.01	2.52	0.00
58	455	0.001171	0.041181	0.282330	0.000008	0.282320	-6.00	0.27	1.31	0.01	1.81	-0.01
59	448	0.001479	0.053527	0.282458	0.000010	0.282446	-1.69	0.37	1.14	0.01	1.53	0.00
Y1-2												
02	1054	0.001197	0.035577	0.282224	0.000008	0.282201	3.11	0.29	1.46	0.01	1.69	0.00
03	818	0.001133	0.035943	0.281861	0.000011	0.281844	-14.80	0.39	1.96	0.02	2.64	-0.01
04	1510	0.000280	0.010487	0.281539	0.000009	0.281531	-10.41	0.33	2.35	0.01	2.88	-0.01
05	1861	0.001327	0.049601	0.281776	0.000008	0.281729	4.60	0.30	2.09	0.01	2.22	0.01
06	571	0.000544	0.020921	0.281950	0.000008	0.281944	-16.75	0.27	1.81	0.01	2.57	-0.02
07	503	0.000566	0.021484	0.282022	0.000008	0.282017	-15.66	0.28	1.71	0.01	2.46	-0.02
08	1776	0.000533	0.020520	0.281515	0.000008	0.281498	-5.55	0.29	2.40	0.01	2.78	0.00
09	743	0.001538	0.058743	0.282490	0.000008	0.282468	5.66	0.27	1.09	0.01	1.29	0.00
10	1172	0.001478	0.057199	0.282403	0.000009	0.282371	11.79	0.31	1.22	0.01	1.24	0.01
11	1117	0.001429	0.042478	0.282444	0.000008	0.282413	12.06	0.30	1.16	0.01	1.18	0.01
12	2544	0.001404	0.046327	0.281462	0.000009	0.281394	8.37	0.32	2.53	0.01	2.52	0.02
13	590	0.000634	0.020336	0.282731	0.000007	0.282724	11.30	0.26	0.73	0.01	0.82	0.01
15	2487	0.000469	0.017457	0.281288	0.000009	0.281266	2.50	0.32	2.70	0.01	2.83	0.01
16	2506	0.000389	0.013908	0.281260	0.000009	0.281242	2.06	0.31	2.74	0.01	2.87	0.01
18	325	0.001106	0.036608	0.282612	0.000013	0.282605	1.25	0.44	0.91	0.02	1.25	0.01
19	2498	0.000972	0.032018	0.281234	0.000013	0.281187	-0.04	0.45	2.81	0.02	3.00	0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
Y1-2 袁牢山构造带东侧												
20	480	0.001309	0.046764	0.282397	0.000009	0.282385	-3.12	0.32	1.22	0.01	1.65	-0.01
21	1551	0.001371	0.042577	0.281804	0.000036	0.281764	-1.20	1.26	2.05	0.05	2.34	0.05
24	1124	0.000765	0.019189	0.282084	0.000008	0.282068	-0.04	0.27	1.64	0.01	1.94	0.00
25	1850	0.000133	0.006357	0.281504	0.000009	0.281499	-3.81	0.33	2.39	0.01	2.73	0.00
27	976	0.001956	0.069417	0.282523	0.000010	0.282487	11.51	0.34	1.06	0.01	1.10	0.02
28	1810	0.000571	0.018803	0.281564	0.000011	0.281544	-3.12	0.38	2.34	0.01	2.66	0.00
29	1165	0.001190	0.045191	0.281864	0.000009	0.281838	-7.25	0.30	1.96	0.01	2.43	-0.01
30	956	0.001355	0.041941	0.282462	0.000013	0.282438	9.33	0.44	1.13	0.02	1.23	0.02
32	1094	0.001161	0.040144	0.282018	0.000013	0.281994	-3.30	0.47	1.74	0.02	2.13	0.00
33	778	0.001329	0.043739	0.282427	0.000007	0.282408	4.28	0.23	1.18	0.01	1.41	0.00
38	1209	0.000591	0.021638	0.281993	0.000007	0.281980	-1.24	0.26	1.75	0.01	2.09	0.00
39	511	0.001840	0.066841	0.282567	0.000011	0.282549	3.36	0.37	0.99	0.02	1.26	0.00
41	212	0.001627	0.055938	0.282686	0.000011	0.282680	1.38	0.38	0.82	0.02	1.16	0.00
43	1143	0.000940	0.032835	0.282203	0.000008	0.282182	4.45	0.29	1.48	0.01	1.68	0.00
44	974	0.001262	0.046385	0.282205	0.000010	0.282182	0.68	0.36	1.49	0.01	1.79	0.00
45	309	0.001285	0.040890	0.282554	0.000012	0.282546	-1.20	0.41	1.00	0.02	1.40	0.00
46	462	0.000506	0.015321	0.282530	0.000010	0.282526	1.46	0.35	1.01	0.01	1.35	0.00
47	1076	0.001160	0.041759	0.281988	0.000008	0.281965	-4.76	0.28	1.79	0.01	2.20	-0.01
49	285	0.000856	0.031195	0.282603	0.000008	0.282599	0.13	0.28	0.92	0.01	1.30	0.00
50	413	0.001819	0.059240	0.282793	0.000010	0.282779	9.31	0.35	0.67	0.01	0.81	0.01
51	2462	0.000191	0.007558	0.281242	0.000009	0.281233	0.75	0.31	2.75	0.01	2.92	0.01
52	535	0.001327	0.040381	0.282830	0.000008	0.282816	13.36	0.30	0.60	0.01	0.64	0.01
54	1826	0.001567	0.051562	0.282260	0.000011	0.282205	20.71	0.38	1.42	0.02	1.19	0.03
55	1685	0.001989	0.067773	0.282169	0.000012	0.282105	13.95	0.41	1.57	0.02	1.50	0.03

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
Y1-2 衰牢山构造带东侧												
57	841	0.000784	0.026227	0.281812	0.000009	0.281800	-15.85	0.33	2.01	0.01	2.72	-0.02
60	1854	0.000858	0.029953	0.281545	0.000009	0.281515	-3.16	0.31	2.38	0.01	2.70	0.00
Y1-4												
01	1015	0.000201	0.007462	0.281896	0.000009	0.281892	-8.72	0.31	1.87	0.01	2.40	-0.01
02	992	0.000350	0.012219	0.281908	0.000011	0.281902	-8.89	0.38	1.86	0.01	2.40	-0.01
03	962	0.000580	0.020307	0.281232	0.000011	0.281221	-33.67	0.39	2.79	0.01	3.91	-0.03
04	761	0.000525	0.017394	0.281899	0.000012	0.281891	-14.37	0.42	1.88	0.02	2.57	-0.01
05	1115	0.000085	0.004524	0.282044	0.000010	0.282043	-1.14	0.36	1.66	0.01	2.01	0.00
06	887	0.000562	0.018486	0.282168	0.000011	0.282158	-2.12	0.38	1.51	0.02	1.90	0.00
08	1187	0.000517	0.017442	0.282022	0.000012	0.282010	-0.65	0.43	1.71	0.02	2.03	0.01
09	967	0.000504	0.016025	0.281831	0.000012	0.281822	-12.25	0.43	1.97	0.02	2.59	-0.01
10	830	0.001528	0.056160	0.281902	0.000012	0.281878	-13.31	0.41	1.93	0.02	2.55	-0.01
11	968	0.001082	0.081453	0.279773	0.000500	0.279753	-85.56	17.51	4.78	0.65	7.03	0.73
14	297	0.001085	0.032878	0.282357	0.000013	0.282351	-8.40	0.46	1.27	0.02	1.84	0.00
12	563	0.001021	0.087529	0.280721	0.001782	0.280710	-60.59	62.36	3.51	2.34	5.26	3.03
15	521	0.000618	0.022809	0.282172	0.000010	0.282166	-9.98	0.36	1.51	0.01	2.11	-0.01
16	458	0.001512	0.047696	0.282348	0.000010	0.282335	-5.39	0.36	1.30	0.01	1.78	-0.01
17	456	0.000626	0.021632	0.282346	0.000010	0.282341	-5.22	0.36	1.27	0.01	1.76	-0.01
18	521	0.001930	0.062919	0.282386	0.000014	0.282367	-2.85	0.51	1.26	0.02	1.66	0.00
19	300	0.001215	0.043380	0.282389	0.000010	0.282382	-7.21	0.34	1.23	0.01	1.77	-0.01
20	453	0.001523	0.048180	0.282533	0.000011	0.282520	1.06	0.39	1.03	0.02	1.36	0.00
21	922	0.001145	0.033766	0.282698	0.000011	0.282678	17.08	0.38	0.79	0.02	0.71	0.02
23	1576	0.000874	0.035860	0.282446	0.000011	0.282420	22.67	0.37	1.14	0.01	0.87	0.03
26	2440	0.001443	0.045406	0.281397	0.000016	0.281330	3.69	0.55	2.62	0.02	2.72	0.02

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}$ (Ga)	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ (Ga)	$1\sigma$
Y1-4 衰牢山构造带东侧												
31	211	0.002868	0.088794	0.282689	0.000021	0.282678	1.29	0.73	0.84	0.03	1.16	0.02
32	473	0.002165	0.069786	0.282580	0.000014	0.282561	2.94	0.50	0.98	0.02	1.26	0.01
34	1106	0.001257	0.039200	0.282488	0.000013	0.282462	13.52	0.47	1.09	0.02	1.08	0.02
35	2520	0.000320	0.010719	0.280968	0.000010	0.280953	-7.88	0.36	3.12	0.01	3.49	0.00
37	1872	0.002303	0.079684	0.281831	0.000009	0.281749	5.58	0.32	2.07	0.01	2.17	0.01
38	1658	0.000364	0.014139	0.281413	0.000015	0.281401	-11.65	0.54	2.53	0.02	3.07	0.00
40	574	0.000948	0.032711	0.282164	0.000011	0.282153	-9.26	0.40	1.53	0.02	2.11	-0.01
42	289	0.001013	0.034070	0.282296	0.000010	0.282291	-10.67	0.36	1.35	0.01	1.98	-0.01
43	2568	0.001417	0.048694	0.281319	0.000012	0.281250	3.79	0.42	2.73	0.02	2.82	0.02
44	864	0.001375	0.055862	0.282547	0.000010	0.282524	10.34	0.36	1.01	0.01	1.09	0.01
49	2377	0.000303	0.012290	0.281144	0.000012	0.281130	-4.88	0.41	2.89	0.02	3.20	0.01
50	1129	0.001587	0.054062	0.282105	0.000012	0.282071	0.20	0.43	1.64	0.02	1.93	0.01
55	542	0.001417	0.043788	0.282251	0.000011	0.282237	-7.02	0.38	1.43	0.02	1.94	-0.01
56	826	0.000637	0.020034	0.281893	0.000012	0.281884	-13.23	0.43	1.89	0.02	2.54	-0.01
57	1103	0.001170	0.036655	0.282023	0.000013	0.281999	-2.96	0.47	1.74	0.02	2.11	0.00
58	323	0.001074	0.036291	0.282611	0.000009	0.282605	1.20	0.33	0.91	0.01	1.26	0.00
9	1811	0.001113	0.034395	0.281780	0.000012	0.281741	3.90	0.41	2.07	0.02	2.23	0.01
60	2585	0.000337	0.011238	0.280881	0.000011	0.280865	-9.52	0.38	3.24	0.01	3.64	0.00
Y1-5												
01	1220	0.001539	0.058658	0.282584	0.000011	0.282549	19.20	0.37	0.96	0.02	0.81	0.03
02	1043	0.000422	0.015175	0.282019	0.000010	0.282010	-3.90	0.34	1.71	0.01	2.12	0.00
04	764	0.001210	0.044422	0.282338	0.000012	0.282321	0.89	0.42	1.30	0.02	1.61	0.01
05	494	0.001344	0.037449	0.282763	0.000010	0.282750	10.10	0.36	0.70	0.01	0.82	0.01
06	400	0.000621	0.020968	0.282376	0.000010	0.282372	-5.36	0.36	1.23	0.01	1.73	-0.01

续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/\text{Hf})_i$	$\delta_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
Y1-5												
衰牢山构造带东侧												
07	3022	0.000365	0.013818	0.280761	0.000011	0.280740	-3.82	0.40	3.40	0.01	3.63	0.01
08	658	0.000462	0.019086	0.282085	0.000009	0.282079	-10.02	0.31	1.62	0.01	2.22	-0.01
09	2576	0.001104	0.036175	0.281226	0.000013	0.281172	1.21	0.45	2.83	0.02	2.98	0.02
10	241	0.001198	0.040481	0.282470	0.000011	0.282464	-5.58	0.37	1.11	0.02	1.62	-0.01
11	1739	0.001579	0.052559	0.281686	0.000013	0.281633	-1.56	0.44	2.23	0.02	2.51	0.01
15	279	0.002343	0.077859	0.282683	0.000013	0.282670	2.54	0.44	0.84	0.02	1.14	0.01
16	974	0.000622	0.022448	0.282320	0.000010	0.282308	5.12	0.35	1.30	0.01	1.51	0.01
18	1548	0.001391	0.045776	0.281919	0.000014	0.281878	2.79	0.49	1.89	0.02	2.09	0.01
9	306	0.002395	0.072305	0.282935	0.000015	0.282921	12.00	0.51	0.47	0.02	0.55	0.02
21	255	0.002203	0.075103	0.283016	0.000010	0.283006	13.88	0.36	0.34	0.02	0.39	0.02
20	886	0.001253	0.043226	0.282385	0.000010	0.282365	5.17	0.35	1.23	0.01	1.44	0.01
23	579	0.001027	0.036141	0.282761	0.000009	0.282749	11.97	0.31	0.70	0.01	0.77	0.01
29	1872	0.001432	0.051060	0.281691	0.000011	0.281640	1.70	0.38	2.21	0.02	2.41	0.01
31	566	0.001099	0.037380	0.282365	0.000010	0.282354	-2.33	0.35	1.26	0.01	1.66	0.00
32	998	0.001928	0.055462	0.282349	0.000016	0.282313	5.82	0.56	1.31	0.02	1.48	0.02
33	323	0.001834	0.052246	0.282407	0.000013	0.282396	-6.20	0.45	1.22	0.02	1.73	0.00
34	1876	0.001299	0.048615	0.281650	0.000011	0.281604	0.50	0.37	2.26	0.01	2.49	0.01
35	419	0.001738	0.057673	0.282906	0.000010	0.282893	13.48	0.36	0.50	0.02	0.55	0.02
36	1840	0.001125	0.038776	0.281807	0.000014	0.281768	5.49	0.49	2.04	0.02	2.15	0.02
37	1294	0.000179	0.006327	0.282320	0.000012	0.282316	12.58	0.42	1.29	0.02	1.28	0.02
38	288	0.000611	0.020715	0.282847	0.000009	0.282844	8.86	0.31	0.57	0.01	0.74	0.01
39	390	0.002311	0.060194	0.282864	0.000013	0.282847	11.23	0.47	0.57	0.02	0.67	0.02
41	367	0.002179	0.070498	0.282343	0.000013	0.282328	-7.64	0.44	1.33	0.02	1.85	0.00
42	593	0.000441	0.017411	0.282399	0.000011	0.282394	-0.29	0.38	1.19	0.01	1.56	0.00



续附表2

测点	Used Age(Ma)	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$1\sigma$	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$	$1\sigma$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}(\text{Ga})$	$1\sigma$
Y1-5												
衰牢山构造带东侧												
43	3515	0.000950	0.033360	0.280561	0.000012	0.280497	-0.94	0.42	3.72	0.02	3.83	0.02
44	438	0.001314	0.037928	0.282967	0.000009	0.282956	16.17	0.31	0.41	0.01	0.39	0.02
45	247	0.000833	0.028715	0.282697	0.000009	0.282693	2.64	0.33	0.78	0.01	1.11	0.00
46	939	0.001184	0.043261	0.282438	0.000011	0.282417	8.21	0.39	1.16	0.02	1.28	0.01
47	471	0.000574	0.019666	0.282516	0.000009	0.282511	1.11	0.32	1.03	0.01	1.37	0.00
48	203	0.001173	0.036375	0.282451	0.000010	0.282446	-7.07	0.36	1.14	0.01	1.69	-0.01
49	396	0.001762	0.058133	0.282096	0.000010	0.282083	-15.67	0.37	1.66	0.01	2.38	-0.02
50	1124	0.000769	0.027867	0.282044	0.000009	0.282028	-1.44	0.31	1.69	0.01	2.03	0.00
51	558	0.001490	0.053024	0.282921	0.000011	0.282906	17.03	0.38	0.48	0.02	0.43	0.02
52	245	0.001840	0.062244	0.282507	0.000021	0.282499	-4.27	0.73	1.08	0.03	1.54	0.01
54	1140	0.001887	0.063875	0.282172	0.000017	0.282132	2.60	0.58	1.56	0.02	1.79	0.02
57	504	0.001486	0.050479	0.282306	0.000011	0.282292	-5.88	0.37	1.35	0.02	1.84	-0.01

$\epsilon_{\text{Hf}}(t) = ((^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} / (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - 1) \times 10000$ ;  $\epsilon_{\text{Hf}}(0) = ((^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}}) / ((^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}) \times 10000$ ;  $T_{\text{DM}}^{\text{C}} = 1/\lambda \times \ln(1 + ((^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}) / ((^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}))$ ;  $T_{\text{DM}} = 1/\lambda \times \ln(1 + ((^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}}) / ((^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}))$ ; 此处,  $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}}$  和  $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{S}}$  是样品的实测值,  $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}$  和  $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}$  是衰变常数, 采用  $\lambda = 1.865 \times 10^{-11} \text{ year}^{-1}$  来计算 (Scherer et al., 2001); 采用球粒陨石标准值  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0336$  和  $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR}} = 0.0332$  和  $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR}} = 0.0336$  计算  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值 (Bouvier et al., 2008); 一阶段模式年龄 ( $T_{\text{DM}}^{\text{C}}$ ) 计算时, 现今亏损地幔的  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  和  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  参数分别采用  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.28325$  和  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0384$  (Griffin et al., 2000); 两阶段模式年龄 ( $T_{\text{DM}}$ ) 计算使用  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  参数采用平均大陆地壳的  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  值,  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.015$  (Griffin et al., 2000)。