

滇西高黎贡变质带热史演化与变形时限研究

王丹丹¹⁾, 李宝龙²⁾, 季建清³⁾, 宋述光³⁾, 魏春景³⁾, 龚俊峰³⁾

1) 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京, 100029;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;

3) 北京大学地球与空间科学学院, 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京, 100871;

内容提要:高黎贡变质带位于高黎贡走滑剪切带以西, 呈 NS 向或 NE—SW 向带状展布, 是滇西最显著的带状变质带之一, 其热演化史和变形时限不清晰。本文选取变质带内花岗质糜棱岩、花岗质片麻岩及其斜长角闪岩包体和云母片岩为研究对象, 利用⁴⁰Ar/³⁹Ar 和 K-Ar 法地质测年, 获得⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄结果为 33.7~10.18Ma, K-Ar 年龄结果主要集中在 10~13Ma 和 16.7~22.8Ma。据野外地质产状和显微结构特征, 研究认为高黎贡山变质岩的变形时限为 35Ma 之后。综合研究区内⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学和裂变径迹年龄结果, 变质带热演化史显示高黎贡变质带在 24Ma 伴随部分基性岩浆侵入并隆升, 古温度降低至 350~300℃, 12~10Ma 变质带继续隆升冷却至 300~220℃, 此后经历缓慢冷却过程, 约 5.5Ma 降至 120~60℃, 热年代学年龄数值结果显示从南向北隆升幅度差异。

关键词:变质和变形作用; 热史演化; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学; 高黎贡变质带; 滇西

位于滇西的高黎贡山构成西南三江断褶带的西边界, 是协调印度板块和欧亚板块碰撞相互作用的一个重要构造带。在大地构造上属于由雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江缝合带夹持的冈底斯地块, 其特殊的大地构造位置及其成矿专属性备受地质学家的重视。位于冈底斯地块东侧的高黎贡变质带呈北西—南北—北东向弧形展布, 与冈底斯地块在东喜马拉雅构造结相接, 东侧以怒江深断裂与扬子地块西缘的昌都-思茅地块相接; 西侧以恩梅开江深断裂与印度板块北缘的高喜马拉雅构造带相连(图 1)。高黎贡变质带是否是协调青藏高原板块逃逸模式的西边界和东喜马拉雅构造结的热演化史认识尚存在争议。因此, 查清高黎贡变质的热史演化和变质变形作用时限, 对探讨青藏高原隆升过程尤为重要。

高黎贡变质带内变质岩主要为高黎贡山群, 原指滇西怒江以西国境内的变质岩(云南省地质矿产局, 1990), 呈 NE—SW 向展布, 向南西延入缅甸境内称之为 Mogok 变质岩系, 该套变质岩混合岩化作用强烈, 被认为是腾冲-梁河地块的结晶基底, 形成时代为中—新元古界(云南省地质矿产局, 1990; 钟大赉等, 1998)。然而, 越来越多的研究表明(尹福光等, 2012), 高黎贡

山群是不同时代形成的杂岩体, 赵成峰(2000)报道了高黎贡山西坡和龙川江东岸的一套浅变质岩系中含有震旦纪—早寒武世微古化石, 丛峰等(2009)和李再会等(2012a)分别报道了高黎贡山群中片麻状花岗岩的深熔事件的时间为 66.2±4Ma 和花岗质糜棱岩的变质时间为 38Ma, 同时认为剪切带右行走滑起始时间为 38Ma 以前。近年来的研究多侧重于对滇西高黎贡山构造带的运动形式、运动时限、带内花岗岩体和变质岩的年代学和地球化学特征以及东喜马拉雅构造结热史等方面的相关研究(季建清等, 2000a, 2000b; 杨启军等, 2006; 雷永良等, 2006, 2008; 蓝江波等, 2007; 丛峰等, 2009; 李再会等, 2012a, 2012b; 尹福光等, 2012; 林仕良等, 2012), 对高黎贡变质带的热史则较少进行系统研究。本文主要依据高黎贡山脉野外地质特征、变形样式分析研究, 挑选变质岩中的单矿物进行⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学测试, 并结合研究区已获得的年代学资料来探讨高黎贡变质带的新生代热史演化, 并进一步揭示高黎贡变质带的变形时限。

1 地质背景和样品描述

1.1 地质背景

在大地构造上高黎贡山构造带属于新特提斯构

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40872149, 40930419)和中央级科研院所基本科研资助专项(编号 K1309)联合资助的成果。

收稿日期: 2013-01-15; 改回日期: 2013-04-28; 责任编辑: 郝梓国, 黄敏。

作者简介: 王丹丹, 女, 1982 年生。工程师, 矿产普查与勘探专业。Email: ddwangcn@163.com。通讯作者: 李宝龙, 男, 助理研究员。Email: xinzhongguolong@163.com。

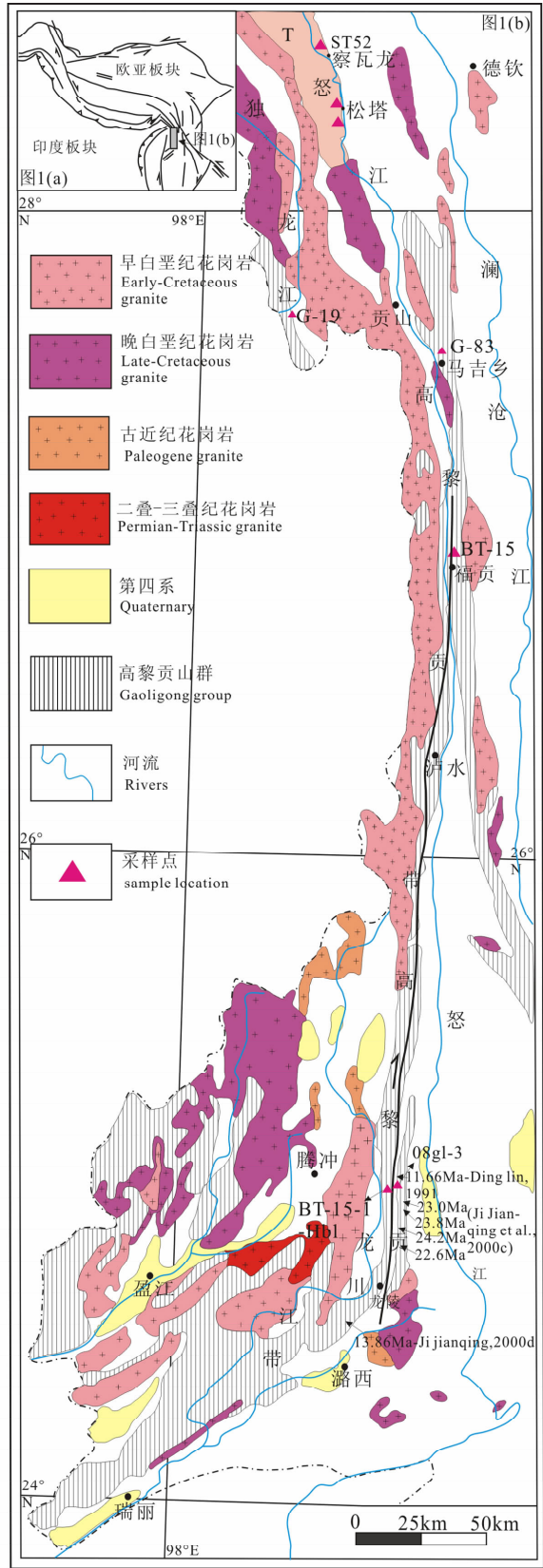


图 1 滇西高黎贡变质带区域地质简图
(修改自彭兴阶等, 2002)
Fig. 1 Simplified geological map of the Gaoligong Belt, western Yunnan (Modified after Peng X J et al., 2002)

造域,是班公湖-怒江缝合带的一支,位于腾冲地块和保山地块之间。三叠纪时期处于古特提斯主洋盆封闭时的前陆部分;新特提斯洋扩张时,转为班公湖-怒江洋盆东延的一个分支海槽;早侏罗世之后,腾冲地块和保山地块碰撞,海槽封闭;喜马拉雅期,高黎贡碰撞构造带叠加了陆内走滑断裂,即主高黎贡断裂(钟大赉等,1998)。

高黎贡变质带主体是一套遭受强烈变形的变质岩系,主要岩性为石榴矽线钾长石云母片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、矽线黑云石英变粒岩、眼球状一条带状混合岩、片麻状混合岩及石榴矽线白云母混合花岗岩等组成。山脉北段主要为高黎贡岩浆岩带和高黎贡山群高级变质岩系(翟明国等,1990),局部变质程度可达麻粒岩相(季建清等,1998,2000c)。变质带中南段的主体是一套中寒武统一前寒武系变质岩系和动力变质岩系,称之为高黎贡山群和公养河群(云南省地质矿产局,1990)。根据微古植物化石、“冰筏落石”等证据,将高黎贡山体西坡的一套变质程度达绿片岩相的含中酸性火山岩的碎屑岩夹碳酸盐岩沉积地层划定为震旦系一下寒武统(赵成峰,2000)。东侧为保山地块,震旦系一中寒武统变质细碎屑岩公养河群构成其基底。其上为上寒武统一中生界碎屑岩、碳酸盐和玄武岩构成的沉积盖层。西侧为腾冲地块,上部主要为弱变形的石炭系—三叠系碳酸盐岩与碎屑岩沉积、古近系—第四系陆相火山岩、河湖相碎屑岩沉积等构成的沉积盖层,元古宇变质沉积岩系高黎贡山群可能构成其基底,但由于强烈的构造改造层序难以恢复,并可能卷入了年轻地质体,因此对于腾冲地块是否存在结晶基底尚有争议(丁林,1991;季建清等,1998;钟大赉等,1998)。新生代之前两个地块经历了不同的演化历史,中生代新特提斯洋闭合,导致两个地块沿现今的班公湖-怒江一线发生拼接,高黎贡山-怒江带则是该缝合线的南延部分(李继亮,1998;杨启军等,2006)。24Ma以来印支地块被从青藏高原内部挤出,左行的红河-哀牢山断裂与右行的高黎贡断裂一起构成该逃逸块体的东西两个边界(Tapponnier et al., 1986; 季建清等,2000c, 2000d)。在东西向的挤压作用下右行的高黎贡断裂发生弯曲并最终被废弃,西边界继续向西迁移为实皆断裂(Wang Erchie et al., 1997)。中新世和上新世以来研究区则以一系列左行走滑运动(Wang Erchie et al., 1997; 樊春等,2004)和频繁的以玄武岩为主的火山喷发作用(穆治国等,1987)为特色,火山作用集中在高黎贡山西侧,而东侧的保

山地块内部不发育。

已有的研究表明,印度板块沿实皆断裂相对于欧亚板块向北运动,在实皆断裂的右行走滑牵引下,腾冲地块南部和高黎贡山脉南段发生顺时针的旋转(钟大赉等,1991;Wang Erchie et al,1997;季建清等,2000d;樊春等,2004)^①。与之相协调,腾冲及高黎贡山脉南段晚中新世以来发育一系列走向为NE—SW向的左行走滑断裂(Wang Erchie et al.,1997;季建清,2000d;樊春等,2004)。地质工作者们对高黎贡走滑断裂的运动学特征和年代学等方面进行了较详细的研究工作,如据露头尺度的非共轴变形的旋转构造及不同剖面石英光轴组构的不对称性确定其为右旋走滑剪切,并认为高黎贡糜棱岩是在达15~20km的深度发生剪切应变的产物(李康等,1991;钟大赉等,1991)。高黎贡变质带南段发现大量的南北向左行剪切构造形迹,而右行剪切构造形迹不明显,表明断裂带发生过大规模的顺时针旋转运动,形成时间要比右旋走滑运动晚,可能发生在晚新生代(<11Ma)(樊春等,2004),该研究缺乏精确的年代学数据控制。高黎贡走滑构造带的同构造岩浆岩 K-Ar 法内部等时线年龄结果是 11.66Ma,在高黎贡南段龙陵以西糜棱岩 Rb-Sr 内部等时线获得 13.7Ma 的变形年龄(丁林,1991)。季建清等(2000d)依据高黎贡走滑带镇安北同构造二云母花岗岩和其侵入体石榴石电气石伟晶岩的 K-Ar 年龄 24.2Ma、23.8Ma 和 22.6Ma 及斜长角闪岩中角闪石的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄 23.268Ma,推定高黎贡走滑带右旋运动存在 22~24Ma 和 11~14Ma 两个活动高峰期。大量岩浆岩出露于高黎贡山脉的变质岩系之中,其花岗岩为高钾钙碱性、过铝—强过铝花岗岩,其岩浆来源于中、下地壳前寒武纪变质岩的深熔作用,锆石 U-Pb SHRIMP 年龄指示形成于早白垩世晚期(126~118Ma)(杨启军等,2006)。高黎贡花岗岩中基性岩脉侵入体的地球化学和年代学表明存在~40Ma 的岩浆活动,是碰撞后消减特提斯洋片与印度板块断离过程中软流圈上涌熔融的产物(蓝江波等,2007)。

1.2 样品岩石学特征

在福贡县马吉乡怒江西岸的高黎贡山群变质岩中选取黑云母花岗质糜棱岩(G-83)、独龙江东侧糜棱状花岗质片麻岩(G-19)及其片麻岩中斜长角闪岩包体,高黎贡变质带南端保(山)—腾(冲)公路附近高角闪岩相斜长角闪片麻岩(BT-15-1-Hbl),福贡县城附近采集浅层次与韧性变形相关斜长角闪岩

(BT-15)和含黑云母花岗岩(BT-15)等作为⁴⁰Ar/³⁹Ar测试的研究对象;此外,在怒江上游察隅县察瓦龙乡北低角闪岩相石榴石十字石云母片岩(ST52)、松塔附近铁索桥旁糜棱状绢云母片岩(ST31)、曲珠村东石榴石二云母花岗岩(ST42)、松塔磨老新岩体中花岗质糜棱岩(ST64、ST79、ST82、ST87 和 ST97)、贡山县丙中洛乡毕比里糜棱岩(ST03)、嘎拉博的石榴十字石云母片岩(NJ49)和贡山-诺拉剪切带附近花岗质糜棱岩(ST108)等作为 K-Ar 测试研究对象。

马吉附近的黑云母花岗质糜棱岩(G-83)为富铝质的泥质沉积岩,在高黎贡山群中分布较广,与含石榴石矽线混合片麻岩、混合花岗岩共生。岩石经历较强烈的糜棱岩化改造,形成眼球状、斑状花岗质糜棱岩和条带状糜棱岩。糜棱岩的眼球和残斑一般为原始花岗质岩石的长石斑晶,指示右旋走滑剪切。岩石薄片显示石英的拔丝和缎带状构造(图 2),新生矿物黑云母和白云母沿变形面理定向,长石发育动态重结晶,反映变形发生在低角闪岩相条件(图 2)。福贡县城附近的较浅层次与韧性变形相关的斜长角闪岩岩体(BT-15)中岩石呈细粒粒状嵌晶结构,粒度 0.4~1.2mm,块状一片麻状构造,部分岩石矿物定向排列显示受到应力作用的改造,主要矿物为斜长石、角闪石、黑云母和透辉石,少量磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石等副矿物。野外工作可见角闪岩体与围岩花岗质糜棱岩共同发生糜棱岩化作用,二者变形样式协调一致,揭示二者共同经历了同期的变质变形事件(图 2)。

高黎贡变质带南端的斜长角闪片麻岩之中的角闪石(BT-15-1-Hbl)呈蓝绿色,定向排列清楚,与变质带内区域片麻理走向一致,角闪石颗粒具有次生加大现象,显示为变质变形作用过程中形成。独龙江东侧的糜棱状花岗质片麻岩(G-19)(图 3)镜下显示为灰白色,中粗粒结构,片麻状构造,局部见有斑状和似斑状构造,暗色包体为斜长角闪岩。片麻岩的显微薄片显示为不等粒斑状结构,弱片麻状构造。由于韧性剪切变形的改造,长石和石英发生动态重结晶,细粒重结晶颗粒分布于原始矿物颗粒的周围,石英发育波状消光和亚颗粒化;斑晶主要为钾长石,蠕英结构和长石穿孔等交代结构比较发育,斜长石大部分呈半自形—自形的板状,主要矿物成分主要为:石英(25%~30%)、斜长石(30%~40%)、钾长石(25%~30%)、黑云母(5%~8%)、白云母(2%~3%),局部有石榴石和独居石等矿物出现。

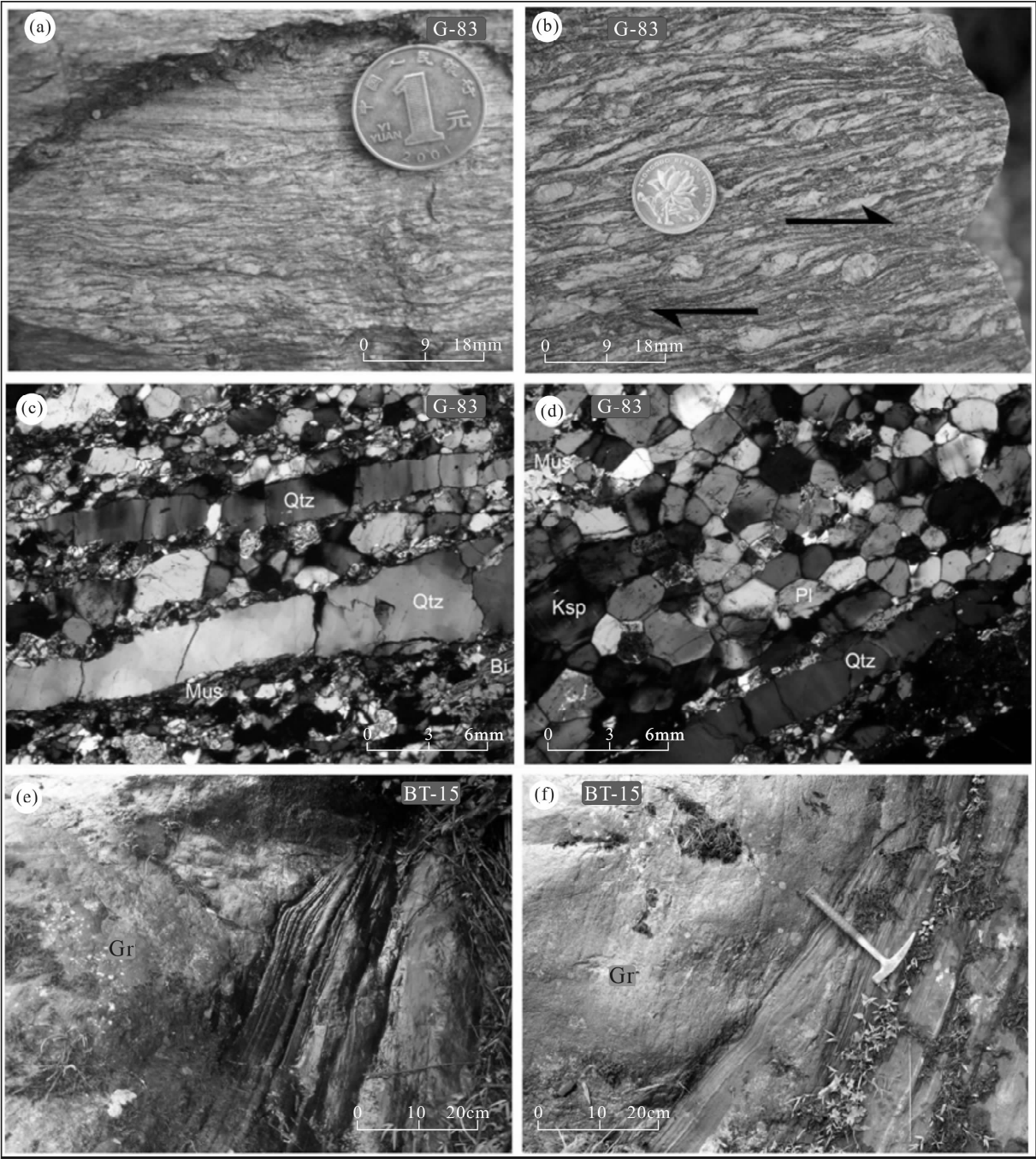


图 2 滇西高黎贡变质带样品野外照片和显微照片

Fig. 2 The photograph and micro-photo of the samples in Gaoligong Metamorphic Belt, western Yunnan
(a~d)—马吉附近怒江西岸高黎贡山群花岗岩质糜棱岩(G-83); (e~f)—福贡县花岗岩质糜棱岩及其斜长角闪岩体(BT-15)
(a~d)—The granitic mylonite(G-83) in the Maji section of Nujiang River; (e~f)—the granitic mylonite and its diorite intrusion
(BT-15) near the Fugong County

2 实验方法和测试结果

2.1 实验方法

常规⁴⁰Ar/³⁹Ar 和 K-Ar 年代学测试分析均在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室进行,激光⁴⁰Ar/³⁹Ar 测试在台湾大学地质系同位素实

验室完成。常规⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年系统主要由高频加热熔样系统、全金属超高真空纯化系统、RGA10 质谱计及数据采集系统等 4 部分组成,实验流程和仪器参数参见桑海清等(1996)、桑海清(2002)。激光 K-Ar 年代学由测氩和测钾两部分完成,测氩系统与⁴⁰Ar/³⁹Ar 测试系统相同。从黑云母花岗岩质糜棱

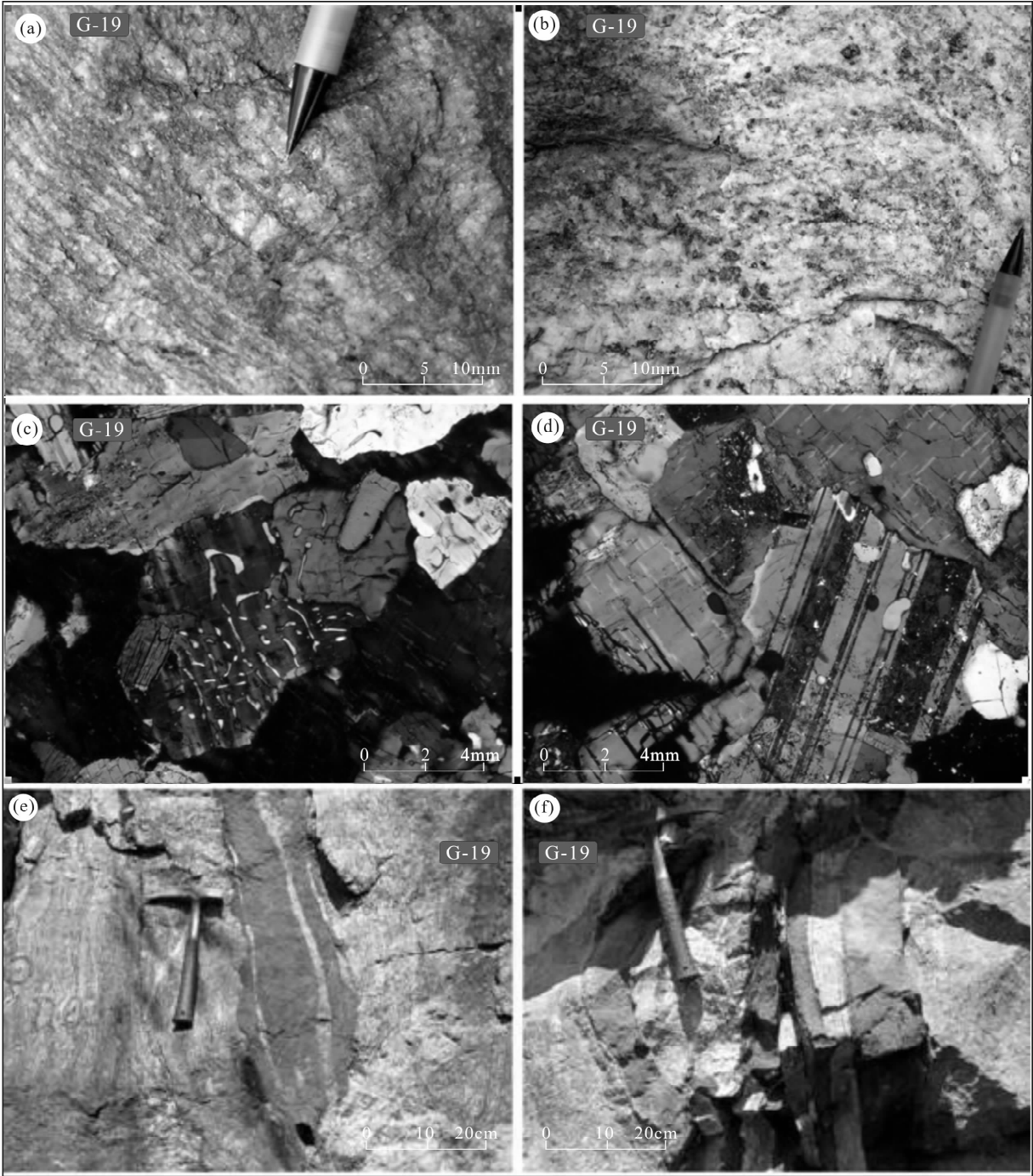


图 3 滇西独龙江东糜棱状花岗质片麻岩(a~d)及其斜长角闪岩包体(e,f)
Fig. 3 The photograph and micro-photo of samples in the Dulong River, western Yunnan
(a~d)—The mylonitic granitic gneiss; (e,f)—the diorite intrusion of Dulong River

岩(G-83)和糜棱状花岗质片麻岩(G-19)中分选出黑云母(G-83-Bi, G-19-Bi)和钾长石(G-83-Kfs, G-19-Kfs)单矿物。福贡县附近斜长角闪岩和含黑云母花岗岩中分别挑选出角闪石(BT-15-Hbl)和黑云母(BT-15-Bi)单矿物,以上单矿物进行常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测试。对高黎贡变质带南端最高变质级的斜长角闪片麻岩中的角闪石进行激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

年代学测试。其余样品中分别挑选出绢云母(ST03, ST31, ST52)、白云母(ST42, ST64, NJ49)、黑云母(ST79, ST82, ST87, ST97, ST108)和钾长石(ST79, ST82)等单矿物进行 K-Ar 年代学测试。
常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的样品前处理为:将实验样品置于稀硝酸(0.01N)中浸泡 2 h 并用去离子水清洗后,低温($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$)烘干。参考矿物电子探针分

析钾含量用电子天平称取 0.07~0.12g 样品,用纯净铝箔包裹。将其和标样送往中国原子能科学研究院 49-2 核反应堆 H8 通道快中子照射,照射时间为 48 h 6 min,快中子通量为 $1.03896 \times 10^{18} \text{ n} (\text{cm}^2 \text{ s})^{-1}$ 。用作中子通量监测的标准样品是中国标样 ZGC 粗面岩和国际标样 Bern4 白云母,标样年龄分别是 50.1Ma 和 18.6Ma。待样品放射性降低至 10R/S 的安全值以下,将其装入熔样系统的样品架上,之后对整个系统进行彻底的烘烤去气。样品在 250~300 °C 时去气 72 h 以上。待系统静态真空达到 $5 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 以下,全系统静态热本底达到 $^{36} \text{Ar} < 3 \times 10^{-6} \text{ mol}$ 、 $^{40} \text{Ar} < 2 \times 10^{-13} \text{ mol}$ 时进行样品测定。用高频感应加热设备进行熔样,温度范围从 600 °C 到 1300 °C,分 10~13 温阶,每个加温点在恒温状态下保持 20 min。释放出的气体经海绵钛炉、活性炭冷阱以及氧化铜炉纯化活性气体后,将氩气导入 RGA-10 质谱计做静态 Ar 同位素 ($^{36} \sim ^{40}$) 质谱分析。然后由数据采集软件和相关实验数据处理软件完成。激光 $^{40} \text{Ar}/^{39} \text{Ar}$ 利用 Nd-YAG 激光系统熔样和 VG 3600 质谱仪完成。测试单位为台湾大学地质学系 $^{40} \text{Ar}/^{39} \text{Ar}$ 同位素实验室。样品为了去除可见的杂质,经过手选、振纸、磁选等程序进行分离。依据矿物原始颗粒大小分别挑选粒度 250~425 μm 或者 425~800 μm 进行 $^{40} \text{Ar}/^{39} \text{Ar}$ 定年。样品送台湾清华大学的 Open-Pool 反应器快中子照射 8h,快中子通量为 $1.566 \times 10^{13} \text{ n} (\text{cm}^2 \text{ s})^{-1}$ 。所用的标准矿物为 LP-6 黑云母 ($127.8 \pm 0.7 \text{ Ma}$)。J 值为 $0.003194448 \pm 0.000004469$ 。详细实验流程见 Lo Ching-Hua 等(1994)。Ar 同位素浓度经过背景值和半衰期的校正。

K-Ar 法测年的样品前处理按照刘玉琳等(2003)所述要求进行。K-Ar 分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室进行。测钾用火焰光度计测量,测 Ar 用同位素稀释法。结合镜下鉴定和肉眼观测,挑选新鲜的岩石样品,碎至 60~80 目,清洗并低温烘干,存放于干燥器内,样品装入去气的坩埚,置入萃取 Ar 系统,抽真空并在 200 °C 条件下恒温过夜烘干至 450 °C,扩散泵抽真空。用高频感应加热系统熔样,并用 Pertersen 公司生产的钛海绵炉、Cu-CuO 炉和沸石纯化。氩同位素组成用 VSS 公司生产的 RGA10 型质谱计测量,配有分子泵抽真空。系统真空条件为 $6 \times 10^{-7} \sim 7 \times 10^{-7} \text{ Pa}$,质谱计真空 $4 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 。系统本底为 $^{40} \text{Ar} = 1.7 \times 10^{-13} \sim 3.5 \times 10^{-13} \text{ mols}$, $^{38} \text{Ar} = 2.7$

$\times 10^{-14} \sim 5.4 \times 10^{-14} \text{ mols}$, $^{36} \text{Ar} = 5.4 \times 10^{-14} \sim 10.710 \times 10^{-14} \text{ mols}$ 。

2.2 测试结果

常规 $^{40} \text{Ar}/^{39} \text{Ar}$ 测试实验结果数见表 1,相应的坪年龄和等时线年龄见图 4 和图 5 所示。

样品 G-83-Kf 的坪年龄 $11.45 \pm 0.3 \text{ Ma}$,对坪年龄段数据做 $^{39} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$ - $^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$ 等时线年龄,年龄是 $11.57 \pm 0.3 \text{ Ma}$,初始比值 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 310 ± 38 ,略高于尼尔值,显示有过剩氩的存在。G-83-Bi 的坪年龄为 $12.69 \pm 0.3 \text{ Ma}$,等时线年龄 $12.67 \pm 0.3 \text{ Ma}$,初始比值 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 295.3 ± 5.3 (图 4),与尼尔值相当,显示没有过剩氩的存在。样品显微结构显示钾长石和黑云母定向方向与糜棱面理和线理平行,揭示为变形变质过程中形成,其年龄结果代表样品所经受的变质变形事件的记录。

高黎贡变质带南端最高变质级的斜长角闪片麻岩中角闪石 (BT-15-1-Hbl) 的激光 $^{40} \text{Ar}/^{39} \text{Ar}$ 等时线年龄 $33.7 \pm 7.2 \text{ Ma}$,初始比值 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 274 ± 66 (图 5),显示有部分氩丢失现象,北段的深熔岩体也获得了 34.6Ma 的年龄(季建清,另文发表); BT-15-Hbl 的坪年龄是 $22.3 \pm 2.0 \text{ Ma}$,相应的等时线年龄 $22.1 \pm 1.5 \text{ Ma}$,初始比值 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 290.4 ± 6.9 (图 4),基本无过剩氩的存在。含黑云母浅色花岗岩的 BT-15-Bi 坪年龄为 $23.8 \pm 0.69 \text{ Ma}$,相应的等时线年龄为 $24.29 \pm 0.99 \text{ Ma}$,初始比值 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 301 ± 15 (图 4),有轻微过剩氩存在。野外露头 and 镜下结构均显示角闪岩体侵入到花岗岩之中,花岗岩与片麻岩呈整合接触关系,花岗岩遭受轻微变形作用,花岗岩和片麻岩的变形特征显示二者共同经历了同期构造事件的影响。其斜长角闪岩侵入体和花岗岩的年龄结果一致,说明二者几乎同时形成,并经历同期冷却抬升事件作用,也记录其变形变质事件的时间。

独龙江以东样品 G-19-Kf 的等时线年龄为 $10.18 \pm 0.24 \text{ Ma}$,初始 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 290.2 ± 0.24 (图 5),无明显过剩氩的存在; G-19-Bi 的坪年龄为 $59.63 \pm 0.77 \text{ Ma}$,相应的等时线年龄为 $61.3 \pm 1.7 \text{ Ma}$, ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 282 ± 24 (图 5),显示有轻微氩丢失现象。G-19-Hbl 坪年龄为 $109.1 \pm 1.6 \text{ Ma}$,相应得反等时线年龄为 $121.9 \pm 6.6 \text{ Ma}$,初始 ($^{40} \text{Ar}/^{36} \text{Ar}$)_i 为 307 ± 46 (图 5),显示有轻微过剩氩的存在。其钾长石的年龄结果与马吉样品定年结果相一致,而黑云母的坪年龄结果和等时线年龄分别是 59.63Ma 和 61.30Ma,明显高于马吉附近测试样

表 1 滇西高黎贡变质带样品常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学数据
Table 1 Isotopic data of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar step heating analysis of the samples in Gaoligong Metamorphic Belt, western Yunnan

样品	T(°C)	% $^{40}\text{Ar}^*$	年龄(Ma)	±年龄	$^{39}\text{Ar}(\text{Moles})$	^{40}Ar	± ^{40}Ar	^{39}Ar	± ^{39}Ar	^{38}Ar	± ^{38}Ar	^{37}Ar	^{36}Ar	± ^{36}Ar
G-19-Bi	800	21.22	57.98	1.78	8.22E-12	19339.61	22.78	528.49	3.74	17.88	0.62	33.22	51.56	1.44
G-19-Bi	870	89.82	61.07	0.44	7.43E-10	349391.62	870.83	47785	95.46	608.02	11.31	34.52	120.37	1.33
G-19-Bi	970	83.5	60.53	1.02	2.34E-10	117311.44	243.2	15052.69	19.48	246.18	2.66	34.62	65.49	1.09
G-19-Bi	1000	54.35	58.14	1.96	1.48E-10	109723.99	614.95	9546.25	11.08	172.24	1.69	26.89	169.52	1.18
G-19-Bi	1050	64.77	57.36	1.36	1.07E-10	65415.81	412.52	6876.42	13.43	130.66	3.07	18.7	77.98	3.01
G-19-Bi	1100	68.1	57.45	1.52	1.97E-10	114830.25	279.09	12669.7	17.47	197.27	1.05	9.36	123.97	1.51
G-19-Bi	1150	22.95	58.33	1.41	3.37E-10	591695.53	1331.65	21666.06	33.95	575.72	1.4	8.59	1542.81	4.8
G-19-Bi	1180	80.54	61.84	0.97	4.00E-10	212158.31	474.46	25692.42	18.28	346.61	2.01	8.08	139.7	1.54
G-19-Bi	1230	59.17	59.65	1.46	6.51E-11	45377.37	69.7	4187.25	11.16	68.05	0.84	2.42	62.7	1.03
G-19-Bi	1260	21.22	71.99	1.45	8.22E-12	19339.61	22.78	528.49	3.74	17.88	0.62	2.83	51.56	1.44
G-19-Bi	1320	22.53	145.18	1.98	5.36E-12	24430.42	23.96	344.33	3.49	27.55	0.33	3.88	64.05	1.37
G-19-Bi	1370	17.1	106.15	2.12	5.10E-12	22159.59	24.36	327.81	3.23	22.16	0.42	2.3	62.17	1.46
G-19-Hbl	800	3.36	14.41	0.3	1.07E-11	36113.6	37.19	689.19	2.46	26.64	0.98	0.98	118.11	0.92
G-19-Hbl	850	14.81	33.87	0.58	1.14E-11	20572.47	29.28	732.55	2.16	22.91	0.98	6.73	59.31	1.5
G-19-Hbl	950	21.43	61.93	1.27	6.43E-12	14791.55	27.16	413.52	3.37	10.95	0.71	4.05	39.33	1.48
G-19-Hbl	1000	21.17	62.05	1.56	6.67E-12	15544.46	31.16	428.6	1.84	8.26	0.79	1.26	41.47	1.22
G-19-Hbl	1050	22.78	61.85	1.34	6.56E-12	14151.62	15.84	421.5	3.18	8.9	0.89	5.45	36.98	0.83
G-19-Hbl	1100	37.27	55.89	1.18	9.23E-12	10998.97	809.37	593.64	1.79	10.29	0.95	0.31	23.35	1.28
G-19-Hbl	1150	71.85	116.56	2.2	6.49E-11	85097.55	364.7	4174.87	6.22	105.06	1.62	168.96	81.07	1.5
G-19-Hbl	1180	84.37	107.25	2.38	1.53E-10	156356.64	257.11	9815.86	9.24	247.97	1.11	444.73	82.71	1.17
G-19-Hbl	1200	64.28	106.61	2.6	2.44E-11	32631.46	18.39	1570.19	5.45	45.78	0.91	64.29	39.45	1.47
G-19-Hbl	1230	61.73	112.16	2.19	2.92E-11	42773.05	35.48	1876.08	3.5	54.8	0.58	85.03	55.39	1.27
G-19-Hbl	1260	52.23	109.6	2.49	2.92E-11	49482.41	28.86	1880.25	2.61	55.55	1.07	79.36	80	0.73
G-19-Hbl	1320	51.61	139.62	1.59	8.18E-12	17994.94	40.42	525.97	3.64	14.11	0.64	22.61	29.47	1.11
G-19-Hbl	1370	17.74	146.32	1.64	5.49E-12	36912.02	33.31	353.3	3.07	25.86	1.57	11.3	102.75	0.87
G-19-Kf	750	22.75	9.75	0.31	5.12E-10	149530.06	297.69	32896.78	43.29	469.7	1	2.36	390.92	1.87
G-19-Kf	800	73.43	10.14	0.42	4.76E-10	44768.31	40.28	30590.09	45.95	373.89	1.36	5.34	40.25	2.06
G-19-Kf	850	35.91	9.75	0.22	2.33E-10	43176.73	21.19	14994.81	27.17	192.92	1.6	1.25	93.64	1.81
G-19-Kf	950	68.86	12.1	0.3	3.54E-10	42393.73	44.88	22735.97	39.25	279.34	2.25	0.25	44.67	1.07
G-19-Kf	1000	49.53	13.6	0.42	1.58E-10	29633.89	37.14	10166.89	26.99	129.89	1.87	1.72	50.61	1.53
G-19-Kf	1100	74.99	16.85	0.35	3.88E-10	59512.53	98.01	24935.09	35.14	308.87	2.31	3.2	50.36	1.04

续表 1

G-19-Kf	1150	98.46	23.23	0.86	3.84E-10	60123.67	290.13	24700.53	67.84	296.31	1.09	0.8	0.97	3.14	1.65
G-19-Kf	1180	87.78	31.23	0.58	5.73E-10	139830.89	519.12	36853.31	35.95	456.03	1.77	1.59	0.67	57.81	1.91
G-19-Kf	1230	93.98	39.01	0.81	9.91E-10	282719.96	583.96	63733.75	81.49	799.83	3.27	0.53	0.83	57.56	1.59
G-19-Kf	1260	80.76	54.72	0.98	1.01E-10	47024.61	7862.84	6466.28	19.67	78.95	1.55	2.72	0.89	30.61	1.16
G-19-Kf	1320	1.98	4.24	0.32	1.91E-11	27636.99	73.87	1225.19	5.87	26.13	1.16	1.12	0.61	91.67	2.31
G-83-Bi	700	34.14	12.45	0.61	2.50E-10	62138.06	386.62	16055.36	380.84	181.08	1.69	7.2	0.37	138.5	0.73
G-83-Bi	850	21.31	12.76	0.28	5.17E-10	211335.01	1182.56	33257.31	86	488.42	1.76	26.67	0.82	562.78	1.74
G-83-Bi	900	69.85	12.78	0.29	4.25E-10	53003.89	43.95	27303.98	32.43	330.22	0.85	17.89	0.83	54.08	1.05
G-83-Bi	1000	94.21	12.58	0.25	2.83E-10	25817.5	45.77	18228.14	20.06	234.33	0.84	10.14	0.94	5.06	0.86
G-83-Bi	1050	83.68	12.74	0.29	4.38E-10	45508.34	81.29	28175.36	31.38	345.97	2.57	18.03	1.21	25.13	1.08
G-83-Bi	1100	97.63	14.79	0.39	3.90E-10	38455.56	59.66	25081.75	36.66	313.7	1.17	16.39	0.88	3.09	0.93
G-83-Bi	1150	87.07	29.93	0.89	6.01E-10	141582.78	290.19	38632.86	354.34	467.7	1.11	22.58	1.19	61.97	1.24
G-83-Bi	1200	88.6	48.77	0.87	4.28E-10	162439.73	780.63	27537.59	184.48	358.11	2.06	27.89	1.3	62.66	1.36
G-83-Bi	1250	93.38	62.71	1.31	3.84E-10	178183.06	311.89	24660.36	47.26	320	1.69	22.95	1.38	39.94	1.36
G-83-Bi	1300	86.15	62.13	1.5	6.39E-10	318658.17	604.66	41075.64	102.8	529.11	2.22	39.61	1.34	149.36	1.49
G-83-Kf	750	21.63	11.27	0.33	6.29E-10	223332.12	165.24	40424.97	25.79	680.08	3.97	20.3	1.13	592.3	1.89
G-83-Kf	800	95.62	11.59	0.25	2.05E-10	16984.7	34.64	13212.61	16.73	199.33	2.67	7.72	1.24	2.52	1.48
G-83-Kf	850	31.82	10.54	0.23	1.25E-10	28267.02	74.92	8049.25	16.11	144.78	1.58	8.58	0.94	65.22	2.03
G-83-Kf	950	37.76	9.77	0.31	9.52E-11	16810.55	28.46	6123.83	25.23	98.75	1.77	8.86	0.61	35.41	1.13
G-83-Kf	1000	32.72	11.22	0.29	1.16E-10	27184.41	88.37	7480.03	20.76	128.3	1.69	7.3	0.84	61.89	0.92
G-83-Kf	1100	67.13	13.82	0.34	6.21E-10	87289.5	216.53	39956.08	40.26	563.39	2.53	11.92	1.12	97.11	1.28
G-83-Kf	1150	48.85	12.15	0.38	2.62E-10	44465.94	338.31	16856	20.61	248.25	1.24	5	0.57	76.97	1.44
G-83-Kf	1180	55.34	14.05	0.55	1.10E-10	19097.64	121.18	7087.72	29.38	111.97	1.06	1.61	0.83	28.86	1.88
G-83-Kf	1230	4.8	12.15	0.47	2.25E-11	38817.14	29.56	1446.03	9.14	69.31	1.54	26.39	0.64	125.06	1.33
G-83-Kf	1260	2.46	15.36	0.21	1.03E-11	43894.83	49.6	662.47	2.85	58.92	1.02	28.39	0.92	144.89	1.4
G-83-Kf	1320	7.58	69.94	1.41	6.55E-12	41919.5	23.62	421.28	2.12	54.03	1.18	27.69	0.81	131.11	1.2

注: J 值为 0.0052407±0.0000485。

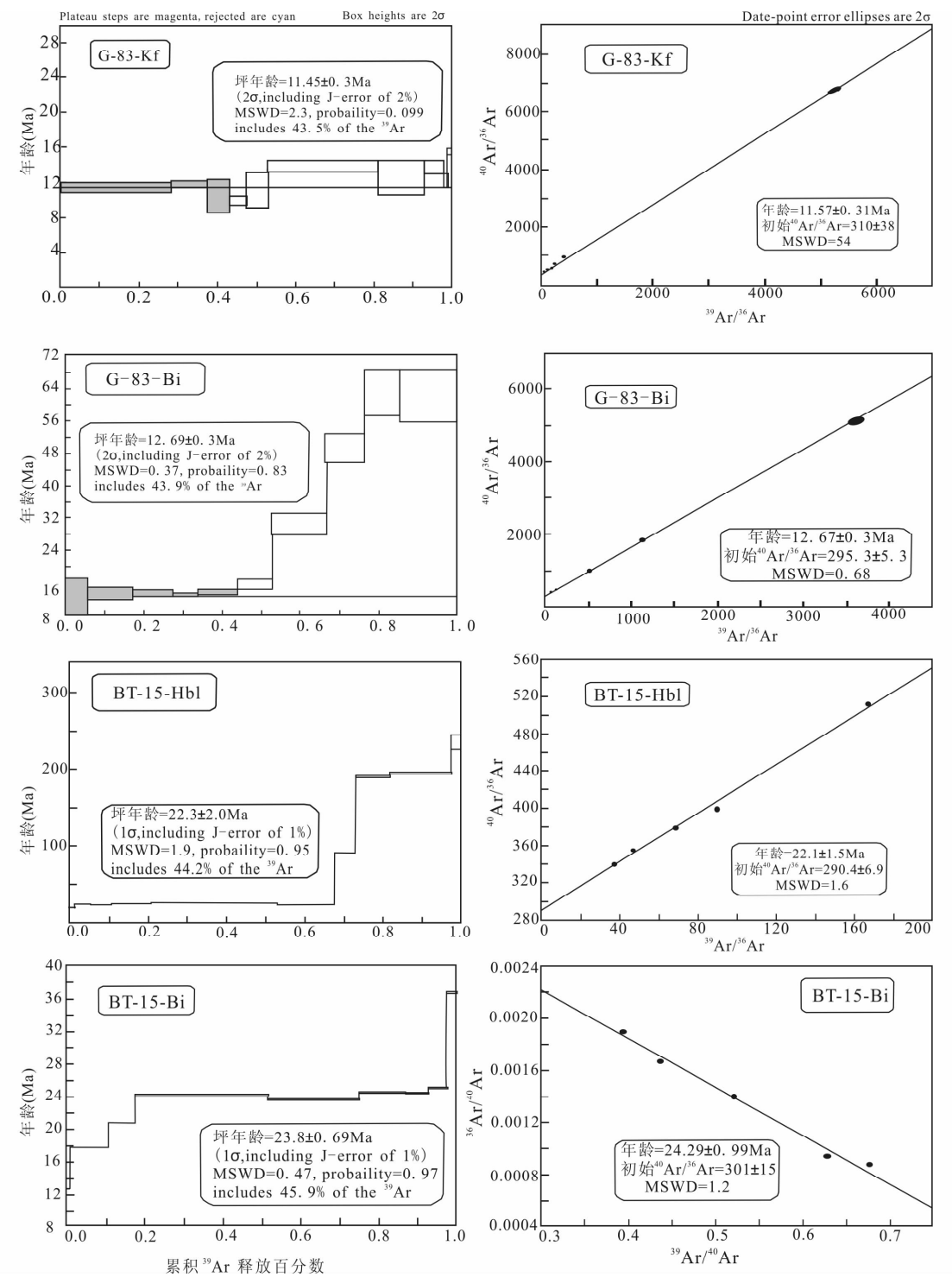


图 4 滇西高黎贡变质带变质岩系常规 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄和等时线年龄结果

Fig. 4 Conventional $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age and isochron age of metamorphic rocks in Gaoligong Metamorphic Belt, western Yunnan

品,显微结构中黑云母的变形和定向不明显,反映黑云母没有遭受到糜棱岩化作用的改造,可能指示了花岗岩原岩的冷却年龄。片麻岩包体斜长角闪岩中角闪石单矿物坪年龄和相应等时线年龄结果是110~120Ma,同时 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学封闭理论认

为角闪石的封闭温度高于黑云母的封闭温度,其年龄可能指示了原岩形成的年龄。

高黎贡变质带贡山到察瓦龙段共采集13块野外样品用于K-Ar年代学测试,其年龄数据如表2所示。测试获得的年龄结果主要集中在10~

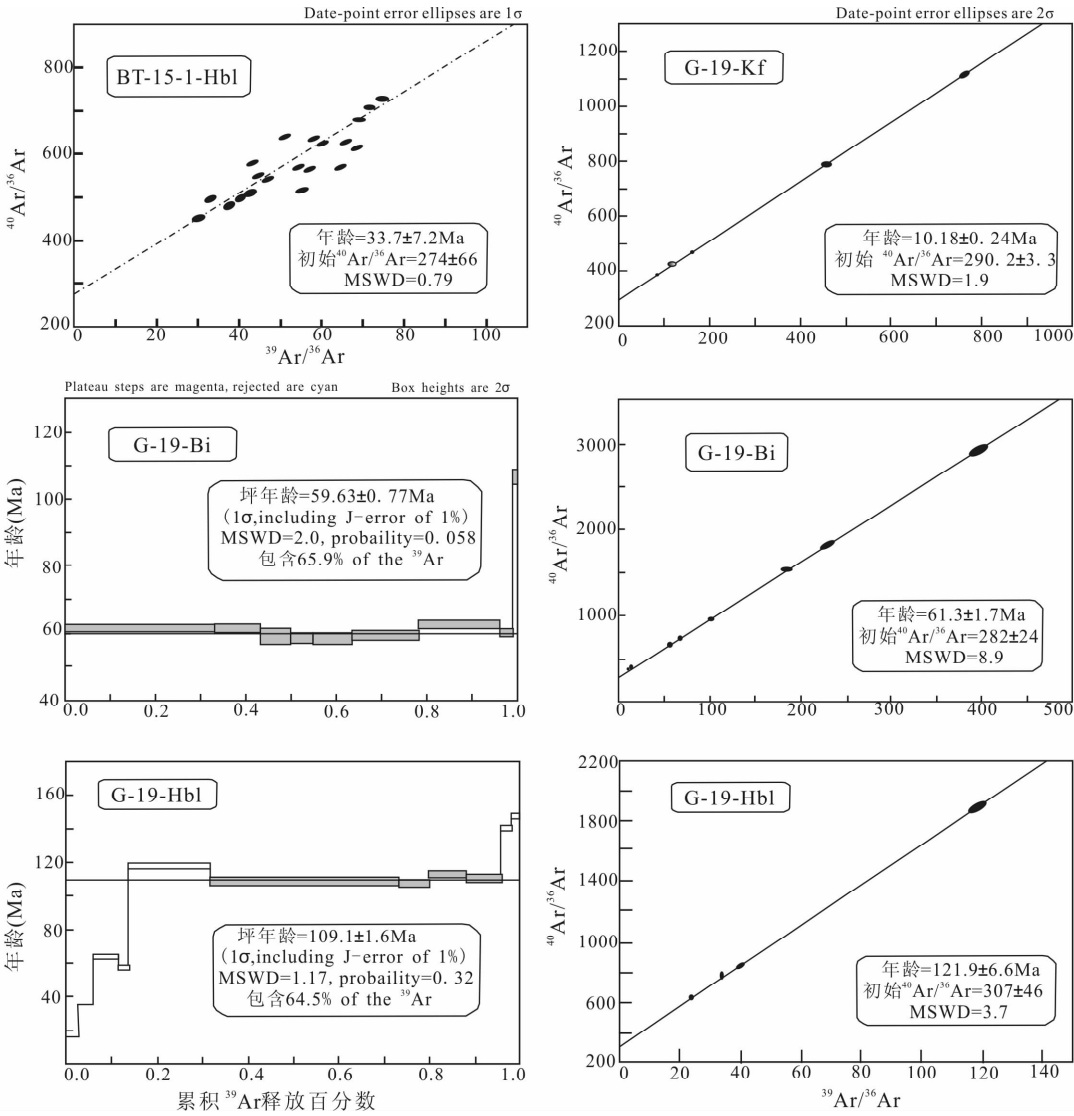


图 5 滇西高黎贡变质带变质岩系样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄和等时线年龄结果

Fig. 5 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age and isochron age of metamorphic rocks in Gaoligong Metamorphic Belt, western Yunnan

13Ma、16.7~22.8Ma 之间。需要指出的是花岗岩 (ST97) 中黑云母年龄 $3.9 \pm 0.2\text{Ma}$ 。磨老新岩体的花岗质糜棱岩的单矿物通过野外和镜下分析研究揭示矿物定向排列与糜棱线理平行展布, 为变形变质阶段的生长产物, 其年龄记录变形变质事件的时间。

3 讨论

高黎贡山群变质和变形时代归属问题一直存在争议。20 世纪 80 年代初, 云南地质矿产局第三地质大队区调队 (1982) 依据高黎贡山变质岩石组合厘定被认为是成因未明的高黎贡山群。此后随着盈江县昔马附近的混合岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 806Ma (云南省地质矿产局, 1990), 腾冲火山岩区下地壳的 Nd 同位素模式年龄为 970~980Ma (朱炳泉等, 1983), 高

黎贡山的斜长角闪岩 Nd 同位素模式年龄 855~1099Ma, 翟明国等 (1990) 认定腾冲地块存在元古宙结晶基底, 其忽略 Sm-Nd 和 Rb-Sr 等时线年龄结果之间 200Ma 的差别。陈福坤等 (2006) 认为高黎贡山群类似于喜马拉雅结晶杂岩, 然而季建清等 (2000b) 根据同位素年代学研究认为是一套年轻的由构造引起的变质岩系。高黎贡山西坡的一套变质程度达绿片岩相的含中酸性火山岩的碎屑岩夹碳酸盐岩沉积地层, 据 1:5 万区测资料, 将其归属为震旦纪一早寒武世 (赵成峰, 2000) ^②。近年来, 腾冲地块东南缘高黎贡山群中片麻岩的 U-Pb 年代学测年结果为 454.4~546.7Ma, 揭示高黎贡变质带南端高黎贡山群岩石在早古生代遭受强烈的区域变质作用 (林仕良等, 2012)。李再会等 (2012b) 对潞西市轩岗乡芒市河附

表 2 滇西高黎贡变质带 K-Ar 年代学测试结果

Table 2 The data of the K-Ar dating test in the study area in Gaoligong Metamorphic Belt, western Yunnan

样品号	岩石名称	产地	矿物	K 含量 (%)	样品重量 (g)	放射成因 ⁴⁰ Ar		³⁸ Ar10 ⁻¹¹ moles	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁸ Ar/ ³⁶ Ar	表观年龄 (Ma)
						×10 ⁻¹⁰ mol/g	%				
ST03	糜棱岩	毕比里	绢云母	7.24	0.0252	1.644	45.87	2.0999	0.4302±0.0005	1262±4	13.0±0.2
ST31	绢云母糜棱岩	铁桥	绢云母	5.25	0.0251	2.091	53.41	2.1001	0.4680±0.0008	1347±5	22.8±0.4
ST42	石榴子二云母花岗岩	曲珠东	白云母	8.63	0.0248	2.802	53.58	2.1003	0.6176±0.0008	1026±5	18.6±0.3
ST52	石榴十字石云母片岩	察瓦龙北	绢云母	5.94	0.0263	1.899	46.84	2.1005	0.5078±0.0009	1090±6	18.3±0.3
ST64	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	白云母	8.79	0.0243	2.768	40.64	2.1007	0.7878±0.0010	630.3±2.0	18.1±0.3
ST79	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	黑云母	6.98	0.0246	2.035	44.55	2.1009	0.5349±0.0007	992.3±5.2	16.7±0.3
ST79	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	钾长石	12.67	0.0260	6.631	75.01	2.1011	1.094±0.001	1076±4	29.9±0.4
ST82	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	黑云母	7.25	0.0248	1.501	31.28	2.1013	0.5664±0.0007	756.8±5.5	11.9±0.4
ST82	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	钾长石	12.03	0.0253	2.607	61.11	2.1015	0.5137±0.0006	1470±8	12.5±0.2
ST87	花岗质糜棱岩	磨老新岩体	黑云母	7.48	0.0240	2.741	46.82	2.1017	0.6686±0.0011	828.0±2.9	21.0±0.3
ST97	花岗岩	磨老新岩体	黑云母	7.88	0.0245	0.5282	20.44	2.1019	0.3013±0.0008	1227±8	3.9±0.2
ST108	花岗质糜棱岩	贡山西	黑云母	7.87	0.0246	1.657	33.03	2.1021	0.5872±0.0009	749.1±3.6	12.1±0.3
NJ49	石榴十字石云母片岩	贡山嘎拉博	白云母	7.26	0.0096	1.275	19.29	2.1135	0.3005±0.0015	1213±9	10.1±0.8

注:(1)衰变常数 λ=5.543×10⁻¹⁰/a,⁴⁰K/ΣK=1.167×10⁻⁴;(2)表中所列样品重量为氩同位素分析的称样量。

近高黎贡山群变质岩进行锆石 U-Pb 测试,获得497.8±7.2~500±14Ma,83.5±0.9Ma 的岩浆结晶年龄和495±5Ma、55.2±1.1Ma 的变质年龄;此外,高黎贡变质带南段潞西市轩岗乡花岗质糜棱岩的变质时间为38Ma,同时认为剪切带右行走滑起始时间为38Ma 以前(李再会等,2012a)。

样品 G-83-Kf 的常规⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄 11.57±0.3Ma,G-83-Bi 年龄 12.67±0.3Ma;G-19-Kf 年龄是 10.18±0.24Ma,而 G-19-Bi 年龄为 61.3±1.7Ma,G-19-Hbl 年龄是 121.9±6.6Ma。依据⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代学封闭温度理论;钾长石封闭温度为 220~300℃,黑云母为 350℃,角闪石为 500~600℃。当地质体遭受剥蚀隆升至地表过程中,达到封闭温度开始计时的先后顺序为角闪石、黑云母和钾长石。G-19 样品显微镜下分析黑云母和角闪石无明显定向排列,暗示该样品遭受糜棱岩化作用较轻微,黑云母 59.63Ma 的坪年龄和 61.30Ma 的等时线年龄,可能指示了花岗岩原岩的冷却年龄。作为片麻岩包体斜长角闪岩中角闪石的 110~120Ma 年龄结果,可能记录了其原岩形成的年龄。协调侵入到片麻岩之中的同构造花岗岩之中黑云母 BT-15-Bi 年龄是 24.29±0.99Ma,花岗岩之中的斜长角闪岩包体的 BT-15-Hbl 年龄为 22.1±1.5Ma,二者在误差范围内一致。据花岗岩与片麻岩的接触关系和变形特征可知花岗岩的冷却年龄亦可代表片麻岩的变形时间,其斜长角闪岩包体与花岗岩几乎同时遭受变形事件影响,二者共同经历了抬升剥蚀冷却事件作用。此外,在高黎贡山动力变质带中(怒

江断裂带)测得 19Ma 的变质年龄值(何科昭等,1996)。研究区 K-Ar 年龄揭示岩体主要经历 10~13Ma、16.7~22.8Ma 两期变形作用事件的时间。以上常规⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学和 K-Ar 年代学测试结果无论在野外还是显微镜下结构特征方面均无显著证据表明其矿物形成与高黎贡走滑断裂带左行或右行剪切运动有关,故无法确定究竟是哪一期运动的结果,但可以肯定的是其年龄代表高黎贡山变质岩系经受变形事件的记录。

怒江福贡—察瓦龙段花岗质糜棱岩(片麻岩)和花岗岩及其斜长角闪岩包体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测试其为岩浆结晶锆石,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄主要集中在 34.6Ma、23.5Ma、16.6Ma 几个峰值^⑨。据研究区磷灰石裂变径迹数据(王刚等,2006)和本文年代学数值结果都具有从南向北逐渐变小的趋势,并结合角闪石的封闭温度约 600℃,在高黎贡变质带南端高角闪岩相的斜长角闪片麻岩之中的角闪石颗粒具有次生加大现象(Dulap, 1997; Reddy et al., 1999; 王勇生等, 2005),同地区的白云母年龄为 24Ma,其该地区的冷却速率至少为 10℃/Ma (Dulap, 1997; 王勇生等, 2005),可以推定该角闪石的 33.7±7.2Ma(BT-15-1-Hbl)为所经历的变质事件年龄,即代表记录高黎贡山遭受变形变质的上限年龄,这与变质带北部糜棱岩中获得的 34.6Ma 相吻合(季建清,另文发表)。同时,有研究揭示高黎贡变质带南段的糜棱岩的变质时间为 38Ma(李再会等,2012a),在一定程度上与本文研究结果相一致。高黎贡山山脉南部裂变径迹年龄集中于 8.1~14.5Ma,北部裂变径迹年龄集中于 5.5~

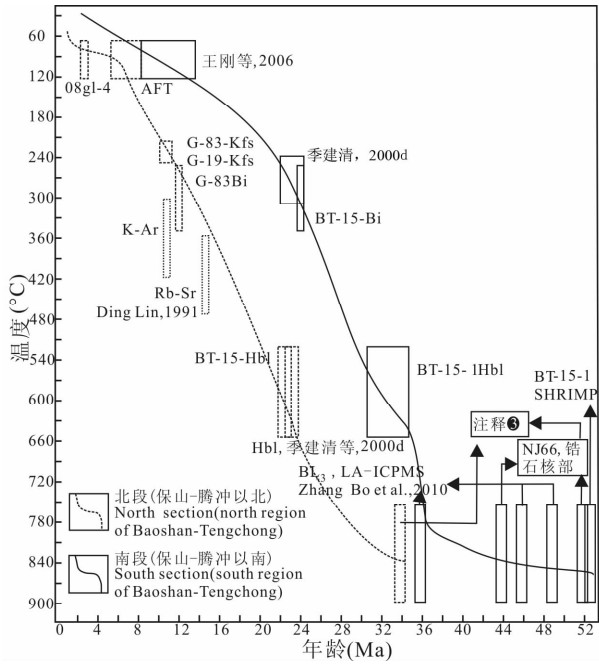


图 6 滇西高黎贡山变质变形带新生代热史演化图
Fig. 6 The Cenozoic thermal evolution history of the Gaoligong Shan metamorphic-deformational zone, western Yunnan

8.4Ma(王刚等,2006)。高黎贡山腾冲—保山剖面高黎贡山群中糜棱岩的磷灰石裂变径迹年龄结果为 $2.8 \pm 0.3\text{Ma}$ (李宝龙,2010)。本文获取的年龄数据并结合其他学者获得的年代学资料,揭示高黎贡变质带在54~35Ma经历变形事件,在24Ma温度降低至300~350℃。自24Ma之后南北段热史演化产生分异,南段逐渐隆升冷却,9Ma左右古地温降至120~60℃;北段缓慢抬升冷却,10~12Ma山脉继续隆升冷却至300~210℃,之后经历快速抬升作用过程,在5~6Ma降至120~60℃,并一直持续到3Ma左右(图6)。从获得的年代学数据来看,高黎贡山年代学数值结果具有从南向北逐渐变小趋势,其隆升冷却表面上显示具有从南向北逐渐发展之趋势,这与磷灰石裂变径迹年龄结果由南向北逐渐变新趋势相吻合(王刚等,2006)。这可能只是热史演化的一种表象而已,很可能是山脉的南北段差异隆升作用的结果。高黎贡山脉很可能不是协调快速冷却过程,也不是由南向北逐渐迁移打开的冷却过程,而是南北段隆升幅度存在差异的逐渐抬升冷却的不协调作用过程。高黎贡山南段隆升幅度小,岩石圈较浅层次岩石物质被抬升至地表,岩石记录的热史信息较老;而山脉北段抬升幅度比南段要大,致使岩石圈较深层次物质抬升地表,岩石记录的热史信息要年轻;这就显示出南段热史年

龄数值老北段年龄新的假象。

综合高黎贡变质带的热年代学年龄结果和本次研究获得的热年代学数据依据封闭温度和年龄之间的关系,分高黎贡山南段和高黎贡山北段分别绘制热演化史曲线,得到的热史曲线图如图6所示。从图6可知高黎贡山带岩体进入650~550℃区间的先后顺序是高黎贡山南段(34Ma)和高黎贡山北段(22Ma),之后缓慢冷却岩体进入360~240℃区间也是高黎贡山南段(24Ma)早于高黎贡山北段(12Ma),此后较快速冷却岩体进入120~60℃区间高黎贡山南段和高黎贡山北段基本相当(8~4Ma)。高黎贡山带热演化史也具有南段老北段新的变化现象。高黎贡山变质带深变质岩系的锆石SHRIMP数据揭示该带变质岩系的变质时限为54~30Ma,变质作用和变形作用基本是同一期构造事件的结果。高黎贡山剪切构造带是一个南北连续的构造带,其剪切带的右行走滑运动必然是统一的,中间没有明显的错断分开界线,分段走滑的过渡转换过程依据不足,不可能存在分段走滑运动现象。

4 结论

综合本文研究获得年代学数据和野外变形特征,本文研究得到以下认识:

- (1) 高黎贡变质带中变质岩系在54~35Ma之后经历一期变形和变质事件,之后在24Ma温度降低至300~350℃。
- (2) 高黎贡变质带南段和北段的热演化史存在差异。自24Ma之后构造带南段和北段热史演化产生分异:南段逐渐隆升冷却,约在9Ma古地温降至120~60℃;北段经历缓慢隆升作用,在10~12Ma冷却至210~300℃,之后遭受快速隆升过程并逐渐冷却,5~6Ma降至120~60℃,并一直持续到3Ma左右。
- (3) 热年代学测试结果显示年龄值从南向北逐渐变小的表象是隆升幅度差异的表现,不能指示剪切带由南向北逐渐扩展。

注 释/Notes

- ① 云南地质矿产局. 1985. 1:20万碧江幅、泸水幅区域地质调查报告.
- ② 云南地勘局第四地质大队,1995,1:5万福东营街幅地质图说明书;1997,1:5万地盘关幅地质图说明书.
- ③ 宋述光,魏春景,李建清等,云南怒江马吉水电站工程区地质构造发育和岩石变质作用研究报告,2005年11月;云南怒江松塔水电站工程区地质构造发育和岩石变质作用研究报告,2006年8月.

参 考 文 献

陈福坤,李秋立,王秀丽,李向辉. 2006. 滇西地区腾冲地块东侧混合

岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成. 岩石学报, 22(2):439~448.

丛峰,林仕良,李再会,邹光富,耿全如. 2009. 滇西腾冲地块片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 83(5):651~658.

丁林. 1991. 滇西高黎贡山南段构造变形特征及演化历史讨论. 北京:中国科学院地质研究所硕士学位论文.

樊春,王二七. 2004. 滇西高黎贡山南段左行剪切构造形迹的发展及其大地构造意义. 自然科学进展, 14:1189~1193.

何科昭,何浩生,蔡红飘. 1996. 滇西造山带的形成与演化. 地质论评, 42(2):97~106.

李建清,钟大赉,陈昌勇. 2000a. 滇西南那邦变质基性岩地球化学与俯冲板片裂离. 岩石学报, 16(3):433~442.

李建清,钟大赉,桑海清,裴冀,胡世玲. 2000b. 滇西南那邦变质基性岩两期变质作用的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究. 岩石学报, 16(2):227~232.

李建清,钟大赉,张连生. 2000c. 青藏高原东南部新生代挤出块体西边界. 科学通报, 45(2):128~134.

李建清,钟大赉,张连生. 2000d. 滇西南新生代走滑断裂运动学、年代学及其对青藏高原东南部块体运动的意义. 地质科学, 35(3):336~349.

李建清,钟大赉,丁林,韩秀伶. 1998. 中缅边界那邦变质基性岩的两期变质作用及其构造意义. 岩石学报, 14(2):136~178.

蓝江波,徐义刚,杨启军,黄小龙. 2007. 滇西高黎贡带~40Ma OIB 型基性岩浆活动:消减特提斯洋片与印度板块断离的产物? 岩石学报, 23(6):1334~1346.

雷永良,李建清,龚道好,钟大赉,王雪松,张进,王先美. 2006. 滇西北独龙江岩体晚中新世以来的热史和剥蚀历史的磷灰石裂变径迹记录. 岩石学报, 22(4):938~948.

雷永良,钟大赉,李建清,贾承造,张进. 2008. 东喜马拉雅构造结更新世两期抬升-剥露事件的裂变径迹证据. 第四纪研究, 28(4):584~590.

李宝龙. 2010. 滇西变质变形带年代学与热史演化研究. 北京:北京大学博士研究生学位论文, 1~157.

李继亮. 1998. 滇西三江带的大地构造演化. 地质科学, 4:377~346.

李康,钟大赉. 1991. 滇西高黎贡断裂带糜棱岩的显微变形特征及其意义. 岩石学报, 7:65~72.

李再会,林仕良,丛峰,谢韬,邹光富. 2012b. 滇西高黎贡山群变质岩的锆石年龄及其构造意义. 岩石学报, 28(5):1529~1541.

李再会,王立全,林仕良,丛峰,谢韬,邹光富. 2012a. 滇西高黎贡剪切带内花岗质糜棱岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地质通报, 31(8):1287~1295.

林仕良,丛峰,高永娟,邹光富. 2012. 滇西腾冲地块东南缘高黎贡山群片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 31(2~3):258~263.

刘玉琳,苗国均,黄宝玲. 2003. 钾-氩和氩-氩定年样品的送样要求及预处理. 岩矿测试, 22(4):297~299.

穆治国,佟伟. 1987. 腾冲火山活动的时代和岩浆来源问题. 地球物理学报, 30:261~270.

彭兴阶,刘嘉惠,吴精汇. 2002. 怒江-澜沧江-金沙江地区地质. 马丽芳主编, 中国地质图集. 北京:地质出版社.

桑海清,王松山,裴冀. 1996. 冀东太平寨麻粒岩中的辉石、角闪石、斜长石的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其意义. 岩石学报, 12(3):390~400.

桑海清. 2002. RGA10 质谱计的改进及在 K-Ar、Ar-Ar 同位素定年中的应用. 质谱学报, 23(4):241~247.

王刚,万景林,王二七. 2006. 高黎贡山脉南部的晚新生代构造-重力垮塌及其成因. 地质学报, 80(9):1262~1273.

王勇生,朱光. 2005. ⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年中的冷却年龄和变形年龄. 地质通报, 24(3):285~290.

杨启军,徐义刚,黄小龙,罗震宇. 2006. 高黎贡构造带花岗岩的年代学和地球化学及其构造意义. 岩石学报, 22(4):817~834.

尹福光,张虎,黄勇,叶培盛,杨学俊,吕勇,林仕良. 2012. 泛亚铁路滇西大理至瑞丽段基础地质综合调查进展. 地质通报, 31(2-3):218~226.

云南省地质矿产局. 1990. 云南区域地质志. 北京:地质出版社

翟明国,从柏林,乔广生,张儒瑗. 1990. 中国滇西南造山带变质岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年代学. 岩石学报, 6:1~11.

赵成峰. 2000. 高黎贡山西坡浅变质岩系时代归属探讨. 云南地质, 19:244~253.

钟大赉,王毅,丁林. 1991. 滇西高黎贡陆内第三纪走滑断裂及其伴生的拉张构造. 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究实验室年报. 北京:中国科学技术出版社. 18~24.

钟大赉等, 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京:科学出版社.

朱炳泉,毛存孝. 1983. 印度与欧亚板块东部碰撞边界—腾冲火山岩的 Nd-Sr 同位素与微量元素研究. 地球化学, 01:1~14.

Dunlap W J. 1997. Neocrystallization or cooling? ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of white micas from low-grade mylonite. Chemical Geology, 143:181~203.

Lo Ching-Hua, Lee C Y . 1994. ⁴⁰Ar-³⁹Ar method of K-Ar age determination of geological samples using the Tsing-Hua Open-Pool Reactor(THOR). Journal of the Geological Society of China, 37:143~164.

Reddy S M, Potts G J. 1999. Constraining absolute deformation ages: the relationship between deformation mechanisms and isotope systematics. Journal of Structural Geology, 21:1255~1265

Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. In: Coward M P and Ries A C (eds). Collision Tectonics. Geological Society of London Special Publication, 19:115~157.

Wang Erchie, Burchfiel B. 1997. Interpretation of Cenozoic tectonics in the right-lateral accommodation zone between the Ailao Shan shear zone and the eastern Himalayan syntaxis. International Geology Review, 39:191~219.

Zhang Bo, Zhang Jinjiang, Zhong Dalai. 2010. Structure, kinematics and ages of transpression during strain-partitioning in the Chongshan shear zone, western Yunnan, China. Journal of Structural Geology, 32(4):445~463.

The Thermal Evolution and Deformational Time Limit of the Gaoligong
Metamorphic Belt in Western Yunnan

WANG Dandan¹⁾, LI Baolong²⁾, JI Jianqing³⁾, SONG Shuguang³⁾, WEI Chunjing³⁾, GONG Junfeng³⁾

1) *Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing, 100029;* 2) *MLR Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;* 3) *Key*

Laboratory of Orogenic and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing, 100871

Abstract

The NS or NE-SW trending Gaoligong metamorphic belt lying in western Yunnan Province is distributed along west Gaoligong strike-slip shear zone. Its thermal evolutionary history and deformed ages has been an issue of little consensus. This study conducted ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating by using Laser ⁴⁰Ar/³⁹VG5400 and conventional ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating system for granitic mylonite, granitic gneiss, amphibolite xenolith and mica schist from the Gaoligong metamorphic and deformational zone. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating results range from 33.7~10.18Ma, and K-Ar ages concentrate about 10~13Ma and 16.7~22.8Ma. Based on field geologic features and the characteristics of the microstructure, the metamorphic rocks deformation of Gaoligong metamorphic belts began after ~35Ma. Combined with ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronologic result and fission track data in the study area, the thermal evolution history of the metamorphic belt shows that the paleogeothermal temperature of the Gaoligong belt was down to 300~350℃ at 24Ma accompanied by partial mafic magma emplacement and uplifting, and continued to cool down 220~300℃ at 10~12Ma, and had a slow cooling process before down to 60~120℃ at 5.5Ma. The thermochronology ages may indicate the uplift amplitude difference from south to north.

Key words: metamorphism and deformation; thermal history evolution; ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronology; Gaoligong metamorphic belt; West Yunnan