

DOI: 10.13745/j.esf.yx.2017-5-13

八渡复式背斜中—新生代变形序列及其对南盘江盆地形成演化的意义

杨文心¹, 颜丹平^{1,2,*}, 邱亮^{1,2}, 陈峰¹, 木红旭¹, 汪新文¹

1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

YANG Wenxin¹, YAN Danping^{1,2,*}, QIU Liang^{1,2}, CHEN Feng¹, MU Hongxu¹, WANG Xinwen¹

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

YANG Wenxin, YAN Danping, QIU Liang, et al. The Mesozoic-Cenozoic deformation sequences of the Badu complex anticline and their significance for the evolution of the Nanpanjiang Basin. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(1): 033-046

Abstract: The Nanpanjiang Basin, located at the junction of the South China and Indochina blocks, is regarded as the foreland basin of Indosinian orogen. Due to the Mesozoic-Cenozoic tectonic superimposition, the structural style of the basin is complex as superposed folds are common. Accordingly, the Badu dome-like complex anticline in the middle of the Nanpanjiang Basin was chosen as the study object. Combining surface deformation analysis with deeper seismic profile interpretation and zircon geochronology of diabase, we reconstructed the structural styles and deformation sequences. The Badu complex anticline, which has a Devonian core and limbs of Permian and Triassic, is an arc-shaped fold with northward axis. At the deep level, the structure is dominated by a NE-directing duplex; at the middle and shallow level, there are N-directed imbricates with fault-related folds. The magmatic zircon from diabase yielded a youngest age population of 62 Ma, indicating a possible contemporaneous uplifting. Integrating structural styles at different levels, the deformation sequence of the region was divided into three deformations, D₁, D₂ and D₃. D₁, the duplex, was caused by Indosinian subduction; D₂, the imbricate, was a result of Indosinian compression; and D₃, represented by normal faults and diabase dykes, was a result of the Late Yanshanian extension. The formation and evolution of the Badu complex anticline is a typical example of the superimposition of the Nanpanjiang foreland Basin, which shows that the foreland basin of Indosinian underwent subduction, compression, tectonic transition from compression to extension during the Yanshanian, and finally uplifting in the Cenozoic era.

Key words: Nanpanjiang Basin; complex anticline; deformation sequence; seismic profile; diabase; zircon U-Pb age

摘要:南盘江盆地处于华南地块与印支地块的结合部位,前人认为其属于印支造山带的前陆盆地。但南盘江盆地在经历了中—新生代多期的叠加改造后,构造样式复杂,其中复式褶皱普遍发育。因此,文中选择南盘江盆地中部的八渡穹隆状复式背斜作为研究对象,将地表构造解析、深部地震剖面解释以及辉绿岩侵位年代限定结合,通过构造样式与构造组合分析,厘定构造变形序列。结果表明,八渡复式背斜是轴迹向北凸出的弧形复式背斜,以泥盆系为核,石炭—三叠系为翼。在深部发育指向 NE 的双重逆冲构造;中浅部发育指向 N 的逆冲叠瓦扇及断层—褶皱构造。对侵位其中的辉绿岩进行定年,得到样品中最年轻的锆石颗粒年龄约为 62 Ma,有可能与区域在这一阶段的缓慢加速隆升相关。综合分析八渡复式背斜不同层次构造样式,将研究区整体的变形序列大致划分为 3 期:第 1 期为印支运动早期板块俯冲背景下形成的双重逆冲构造,第 2 期是

收稿日期:2016-12-01;修回日期:2017-02-24

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2014CB440903);国家自然科学基金项目(41372212,41672216)

作者简介:杨文心(1993—),女,硕士研究生,构造地质学专业,主要从事区域构造解析等研究。E-mail: verseyang@cugb.edu.cn

* 通讯作者简介:颜丹平(1963—),男,博士,教授,主要从事构造地质教学与科研工作,研究方向为构造地质学、构造地球化学及盆地构造。E-mail: yandp@cugb.edu.cn

印支运动晚期板块碰撞形成的逆冲叠瓦扇等, 第 3 期为燕山晚期伸展背景下辉绿岩的侵位和一系列正断层。八渡复式背斜形成演化过程在南盘江盆地叠加构造中具有典型代表性, 体现了印支运动的前陆盆地先后经历了印支期俯冲碰撞、燕山期构造背景由压性向张性的转换, 和新生代伸展隆升的过程。

关键词: 南盘江盆地; 复式背斜; 变形序列; 地震剖面解释; 辉绿岩; 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P542.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2018)01-0033-14

0 引言

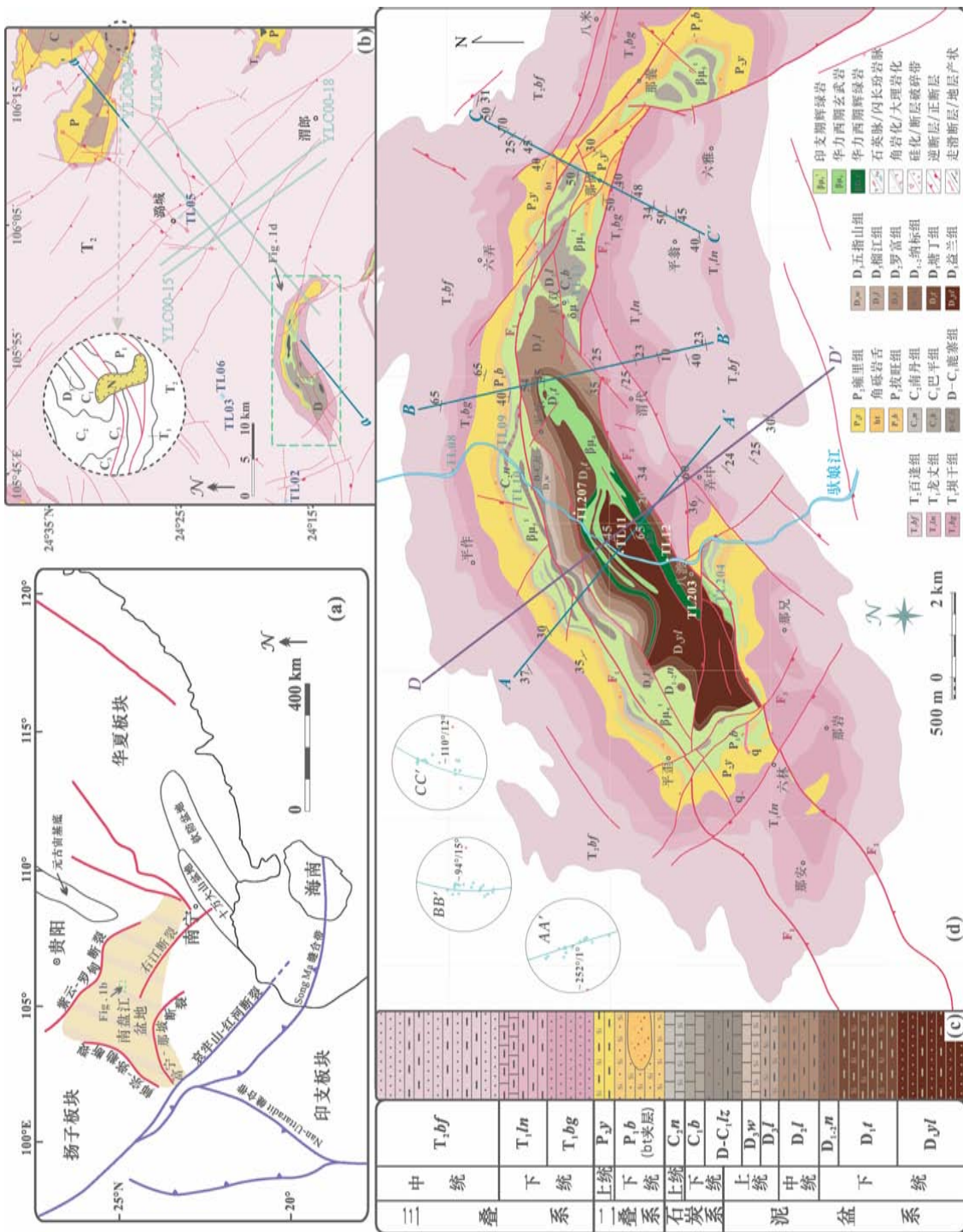
南盘江盆地位于滇黔桂三省交界的区域, 处于扬子地块的西南缘, 呈现被断裂带围限的向北突出的形态(图 1a)^[1-8], 被多期变形叠加且构造样式复杂, 因此盆地的构造演化序列一直是地质学家们关注的热点。综合前人研究成果, 大部分学者认为南盘江盆地属于印支造山带的前陆盆地, 并在经历了中—新生代多期构造叠加改造后, 形成复杂的构造样式, 穹隆状复式褶皱是其中构造变形普遍而典型的代表^[1,9-19]。八渡复式背斜位于南盘江盆地中心偏向东北, 被驮娘江贯穿, 其形态与盆地整体形态相似, 背斜轴迹向北凸出。同时, 穹隆构造复杂、出露地层相对较全, 经历了多期岩浆、热液活动, 可见玄武岩、辉绿岩和石英脉等。需要说明的是, 本文的研究对象复式背斜(complex anticline)易与复背斜(anticlinorium)混淆, 后者又被称为“阿尔卑斯式褶皱”, 由巨大背斜及其翼部的次级背斜组成, 而本文中重点描述的复式背斜是指经历过双重或多重构造作用改造而形成的背斜面貌。通过对复式褶皱翼部、轴面、枢纽、劈理等构造的细致研究, 可以详细地确定褶皱的构造样式, 进一步判断其成因及变形序列。因此, 对穹隆状复式背斜进行精细构造解析, 不但可以深入理解南盘江盆地区域构造演化, 而且可以为复式背斜提供典型构造样式范例。本文在解析八渡背斜地表构造的基础上, 结合深部地震剖面解释和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 将印支运动以来构造变形划分为 3 期: D₁ 指示了印支运动早期华南板块向印支板块的俯冲; D₂ 指示了印支运动两板块的碰撞; D₃ 为伸展构造, 指示了燕山晚期区域由挤压背景转换为伸展背景后的缓慢隆升。这样的变形序列指示了南盘江印支构造期板块俯冲的前陆盆地在燕山期构造背景下, 由压性向张性的转换, 并在新生代伸展隆升。

1 区域构造背景

华南板块可分为西北部的扬子地块和东南部的

华夏板块两部分^[20-22]。南盘江盆地(又称右江盆地、南盘江拗陷、滇黔桂盆地等)处于贵州省、云南省和广西壮族自治区的交界区域, 属于扬子地块的西南缘, 为古特提斯构造域和滨太平洋构造域的结合部位^[23-29](图 1a), 是印支运动的前陆盆地, 其主体是大陆地壳在新元古代地壳裂陷的基础上形成的构造活动带^[30]。区域上经历了一系列构造运动, 主要包括加里东运动(广西运动)、东吴运动、印支运动、燕山运动以及喜马拉雅运动等^[1,8,31]。其中加里东运动从早古生代奥陶纪开始, 持续至晚古生代泥盆纪, 形成了华南板块的基本面貌, 在南盘江盆地区域和邻区也形成了褶皱隆起区; 东吴运动处于早、晚二叠世之交, 是区域重要的地壳活动时期, 部分区域岩石圈破裂可达上地幔; 印支运动是对区域改造最为强烈的一个时期, 由于古特提斯洋东支的闭合, 东北部华南板块向西南部印支板块俯冲碰撞, 引起区域内强烈的挤压逆冲和褶皱变形, 形成了 NW—NWW 向的构造形迹^[1,8]; 此后, 区域还经历燕山运动和喜马拉雅运动, 这两期运动在区域内以断裂和抬升为主^[32]。由于地层出露不全, 在露头和区域尺度这两期运动的表现并不明显。

南盘江盆地整体呈现向北突出的三角形(图 1a), 大部分区域为三叠系所覆盖, 是一个被断层围限的区域; 其东北缘为 NW—SE 向紫云—罗甸—南丹断裂带, 经历了多期复杂的构造运动; 西北缘为近 SN 向师宗—弥勒断裂带, 沿线地层表现出强烈挤压变形的面貌, 内存古特提斯洋的信息, 如二叠纪枕状熔岩和八步蛇绿岩等^[20]; 向西南延伸被 NW—SE 向的华南板块与印支板块的分界带哀牢山—红河断裂带截切^[2,33]。除此之外, 区域性主要断裂还有 NW 向富宁—那坡断裂带, 其断层面倾向 SW, 带内发育有大量构造岩和透镜体、擦痕等, 两盘的岩层变形强烈, 断裂带自早泥盆世开始就长期控制区域沉积特征, 并伴有多期岩浆活动; 走向 NW 的右江断裂带, 具有逆断层和右行走滑双重性质^[2,6-7]。综上所述, 包括加里东运动、印支运动、燕山运动等在内的多期复杂构造变形叠加改造和岩浆活动形成了南盘江盆地现今的面貌。



(a) 南盘江盆地及邻区构造纲要图(据文献[1-3]); (b) 南盘江盆地游城地区地质图(据文献[4-5]), 其中 aa' 为从中石油所测 YLC00-24 地震剖面及其向 NE 和 SW 两侧的延伸(据文献[6-7]); (c) 八渡复式背斜地质图(据文献[8]), 其中 AA', BB', CC' 为背斜自西向东不同位置的 3 条垂直于褶皱轴迹的剖面, 3 条沿线相应的 π 图图解附于 c 图左上; (d) 八渡背斜区域地层柱状图(据文献[8])。

图 1 南盘江盆地地质图

Fig. 1 Geological map of the Nanpanjiang Basin

2 地层、构造样式、岩浆活动及构造分期

八渡复式背斜是一个以泥盆系为核部, 二叠—三叠纪不同地层为翼部, 轴迹向北凸出的弧形背斜^[34] (图 1b,c,d)。穹隆还经历了多期岩浆、热液活动, 可见玄武岩、辉绿岩、闪长玢岩脉和石英脉等^[8]。地表褶皱和断层构造极为发育, 露头尺度可见叠加构造 (图 2)。断层主要表现为多期活动和构造反转。

2.1 地层

复式背斜由老到新出现的地层依次为 (图 1d):

下泥盆统。宜兰组 (D_1y) 细粒石英杂砂岩、含砂质泥岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹泥岩, 塘丁组 (D_1t) 硅质泥岩、泥灰

岩, 纳标组 (D_1n) 含粉砂质泥岩。

中泥盆统。罗富组 (D_2l) 泥岩、泥岩夹硅质泥岩、硅质岩。

上泥盆统。榴江组 (D_3l) 硅质岩夹凝灰岩, 五指山组 (D_3w) 条带灰岩、扁豆状灰岩夹硅质岩。

上泥盆统一下石炭统。鹿寨组 ($D-C_1lz$) 泥岩夹粉砂质泥岩、硅质岩、硅质泥岩、灰岩。

下石炭统。巴平组 (C_1b) 灰岩与硅质泥岩互层, 内部可见角砾岩夹层 (bt)。

上石炭统。南丹组 (C_2n) 灰岩夹硅质岩。

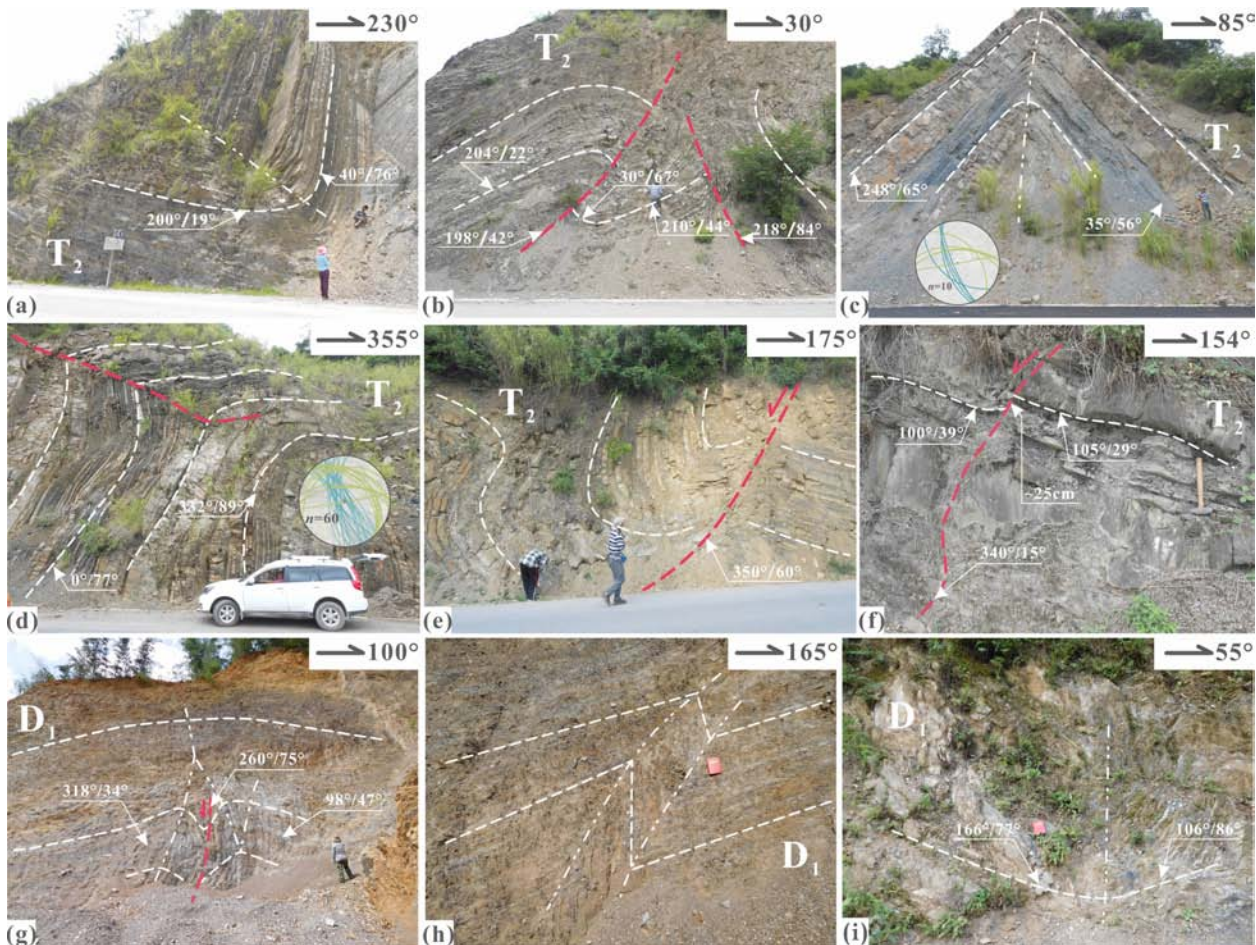
下二叠统。拔旺组 (P_1b) 灰岩夹硅质岩。

上二叠统。雍里组 (P_2y) 凝灰岩夹硅质泥岩、泥岩。

下三叠统。坝干组 (T_1bg) 凝灰质泥岩夹砂岩, 龙丈组 (T_1ln) 泥灰岩夹泥岩。

中三叠统。百逢组 (T_2bf) 泥岩、凝灰质砂岩、砂岩与泥岩互层、灰岩, 河口组 (T_2h) 砂岩夹泥岩^[8]。

除此之外, 在图 1b 剖面 aa' 北东端的东侧, 可



(a)隆林东部中三叠统内斜歪向斜(LX23);(b)隆林东部中三叠统内对冲构造(LX23);(c)中三叠统内直立倾伏背斜(TL03);(d)中三叠统内断层调节褶皱(TL06);(e)中三叠统内褶皱被正断层切割(TL02);(f)潯城附近中三叠统内正断层(TL05);(g)早泥盆世粉砂岩层内褶皱及断层(TL207);(h)早泥盆世粉砂岩层内尖棱褶皱(TL207);(i)早泥盆世地层内部倾竖褶皱(TL203)。

图 2 八渡区域野外露头尺度构造

Fig. 2 Outcrop structures in Badu region

见极少量新近纪地层(N)(图1b)^[4-5]。穹隆的核部存在与上、下地层呈整合接触的层间玄武岩,翼部可见一系列辉绿岩侵入二叠纪地层并随之发生褶皱(图1d)。广西壮族自治区区域地质调查研究院在1:5万地质调查报告中详细描述了至少3期岩浆岩,如早泥盆世晚期喷出相玄武岩、华力西期次火山侵入相辉绿岩以及印支期侵入相辉绿岩^[8]。

2.2 褶皱

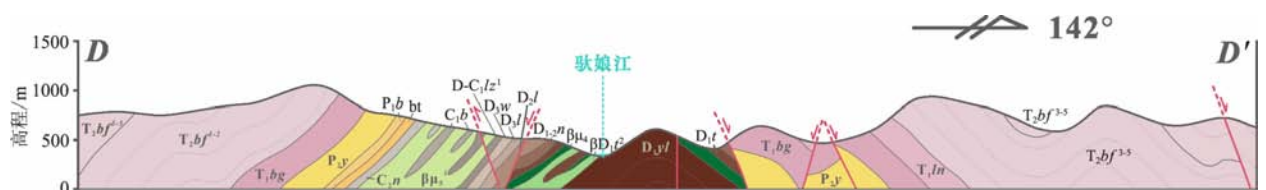
八渡复式背斜分布于田林县六林、八渡、平乐、八双一带,背斜轴迹长约20 km,宽约5 km。图1d中AA'、BB'和CC'分别为自西向东贯穿褶皱核部的NNW、NS和NNE向剖面。沿剖面对地层产状进行系统测量,通过stereo32软件^[35]制作 π 圆图解,以所得 π 圆极点代表枢纽产状。结果表明3条剖面上背斜枢纽产状分别为 $252^\circ \angle 1^\circ$ (倾伏向/倾伏角,下同), $94^\circ \angle 15^\circ$,和 $110^\circ \angle 13^\circ$,表明八渡背斜的枢纽走向由西向东呈现NEE—EW—NWW向变化,即向北凸出的形态。图3为横跨八渡复式背斜与褶皱轴迹垂直的NW向剖面DD',沿线高程变化介于300~1050 m,最低处为驮娘江。背斜核部为下泥盆统宜兰组(D_{1yl}),翼部为下泥盆统唐丁组(D_{1t})—中三叠统百逢组(T_{2bf})各地层,但由于经历了不同性质断层和多期岩浆活动的改造,导致在核部偏南区域地层不完整。在DD'剖面的东南部三叠纪地层内,可见一系列次级褶皱(图2a),在背斜西部亦可见一组对冲逆断层以及它们围限的断层三角带(图2b),背斜北部可见直立倾伏尖棱向斜(图2c),区域内的部分岩浆岩在地质图上可见受到应力作用而随地层发生褶皱的现象(图4a)。背斜不同部位发育有两组面理,通过stereo32软件进行下半球赤平投影,获得两期产状:S₁是产状大致为 $50^\circ \angle 65^\circ$ 的轴面劈理(图2d中绿色实线);S₂面理产状大致为 $260^\circ \angle 70^\circ$ (图2d中蓝色虚线)。S₂极为发育,明显截切了S₁。

2.3 断层

区域性平乐—高龙断裂带F₁(图1d)位于褶皱北翼,延伸长度>50 km,在地表切割泥盆系—中三叠统,在不同位置表现出的断层性质不一。断层在西部主要表现为逆断层,断层面倾向SE,倾角75°,在中部和东部主要表现为正断层性质,断层面倾向N—NE,倾角70°~80°,沿断层面在北盘发育有大理岩化带和角岩化带。八渡—那棉区域性断裂(F₂),是平行于F₁的一条区域性断裂,位于褶皱南翼,延伸长度>60 km,在地表切割泥盆系—中三叠统,在不同位置表现出的断层性质不一。在西部和中部表现为逆断层性质,断层面倾向SSE—SSW,倾角约60°,在东部表现为正断层性质,断层面倾向NE,倾角约55°,同时也伴有走滑性质。NW—SE向平歪断裂(F₃),南部为倾向SW的正断层,北部断层面倾向NE,切割泥盆系—中三叠统和辉绿岩,分别截切F₁和F₂并发生轻微的右行偏移。

在露头尺度,断裂构造较为常见,包括NW—SE向逆断层组(图2b),切割早期褶皱、地层或辉绿岩的EW向正断层(图2e、f,图4b)等。

在地质图尺度,F₁和F₂走向与褶皱轴迹基本平行,明显切割了EW向的八渡背斜,并随背斜一起发生了向北凸出的变形,致使近EW向展布的两条主要断裂在八渡区域西部走向NE,东部走向NW,而断层沿走向性质发生变化的原因很有可能就是这一变形过程及后期活化的影响。因此,向北凸出这一变形过程应晚于背斜和断层的形成。综上所述,可以把区域的压性活动划分为两个阶段:第1阶段形成了NW—NWW向构造迹线,以F₁、F₂断层、八渡背斜及其周围的次级褶皱、对冲断层等为代表(图2a—c);第2阶段形成了近EW向的构造迹线,同时对先前形成的一系列构造进行了改造,以地质图尺度F₁、F₂断层及八渡背斜的向北凸出最为明显。而八渡背斜向北凸出的原因,很有可能是早期形成的迹线NWW向褶皱晚期受到改造向北凸出。



图例同图1(据文献^[8])。

图3 八渡背斜DD'剖面图

Fig. 3 The DD' cross section from Badu anticline

2.4 岩浆活动

八渡区域内分布的岩浆岩主要以辉绿岩为代表的基性岩为主,此外还有少量闪长玢岩脉,在八渡北东侧的贵州省贞丰地区可见少量呈串珠状东西向和南北向分布的偏碱性超基性侵入岩体^[36]。根据辉绿岩在地表出露的情况、与围岩接触关系、岩石内部结构与构造的变化等,1:5万区域地质调查报告中将其划分为早泥盆世晚期(塘丁期)喷出相玄武岩、华力西期次火山侵入相辉绿岩和印支期侵入相辉绿岩3期^[8]。塘丁期玄武岩在地表出露较少,主要分布于背斜核部及偏南部下泥盆统益兰组和塘丁组内,并与地层同步遭受褶皱的后期改造,其成因是哀牢山洋盆重新开裂而形成的水平拉张,致使深

部基性岩浆溢流。1:5万八渡圩幅区域地质调查报告根据玄武岩中 SiO₂ 和 K₂O 的平均质量分数制作 D. Ninkovich 喷出深度关系图解,认为其熔岩形成深度可能达到 225 km^[8,37]。

华力西期辉绿岩于背斜核部大面积出露,似层状侵入于益兰组和塘丁组,并与早期玄武岩伴生,属于与其同源的次火山相侵入岩。这套辉绿岩中可见明显的气孔和杏仁构造,但气孔和杏仁较小,仅在 1 mm 左右,内部新鲜面上可见典型的辉绿结构(图 4c,d)。在 D. Ninkovich 喷出深度关系图解中,这一期辉绿岩与塘丁期玄武岩位置临近,说明其熔岩形成深度可能也在 225 km 左右^[8,37]。

区域上印支期(?)辉绿岩基本分布于八渡背斜



(a)辉绿岩(TL13)呈褶皱状产出;(b)辉绿岩(TL09)受断层改造残留擦痕;(c)接近地表的辉绿岩(TL204)表现出气孔构造和杏仁构造;(d)肉眼可见的辉绿岩(TL204)辉绿结构;(e)辉绿岩(TL204)后期被脉切割;(f)辉绿岩(TL09)呈块状产出。

图 4 八渡地区辉绿岩

Fig. 4 Diabases in Badu region

的翼部, 主要侵位于益兰组一下三叠统中, 在个别部位与早期玄武岩和辉绿岩呈侵位接触关系。本文从中取样(TL13)进行了锆石年龄分析(图 4a)。

2.5 构造分期

D_1 期变形以一系列 NW—NWW 走向的逆冲断裂-褶皱带为代表。如图 2b 是一套褶皱-断层相关构造, 出露于八渡西侧的 LX23 点, 可见两条对冲断层, 产状分别为 $198^\circ \angle 42^\circ$ 和 $218^\circ \angle 84^\circ$, 与之相伴生的是随断层运动而形成的牵引褶皱及断层三角带, 这两条断层很可能是一条向 NE 逆冲的断层在地表的延伸及接近地表时形成的反冲断层。在地质图尺度上, D_1 期变形以 F_1 、 F_2 断裂及八渡穹隆代表。

D_2 是一期近 NS 向的挤压变形, 在露头尺度表现得最为明显, 多为轴迹近 EW 向的褶皱构造, 如图 2d 是一个中三叠统内轴面北倾的背斜, 南翼近直立, 产状为 $0^\circ \angle 77^\circ$, 北翼则近水平, 为协调两翼产状的变化, 沿轴面向上出现一小断层进行调节。图 2g 和 h 是下泥盆统砂岩层内轴迹近 EW—NEE 向分布的褶皱。图 2i 则展示了位于 F_2 北盘的 TL203 点, 此处地层近直立, 可见一倾竖褶皱, 向形核部向南凸出, 推测为 NEE 走向的 F_2 断层受到 NS 向挤压发生左行走滑运动时在断层两侧产生的牵引褶皱。在地质图尺度上, D_2 期 NS 向的挤压导致了 D_1 期形成的 F_1 、 F_2 断裂及八渡穹隆发生向北凸出的变形, 两条主要断裂在不同部位的断层性质不同很可能也是这一时期形成的。

D_3 是一期伸展构造, 在区域上主要表现为辉绿岩的侵位(图 4)和一系列正断层(图 2e、f), 这一期变形至少延续至新生代早期。虽然区域地质调查报告中将辉绿岩的最年轻年龄定为印支期^[8], 但笔者通过对辉绿岩中锆石进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定, 得到了更新的年龄(第 4 章详述)。这期

构造在露头尺度表现得并不明显, 仅局部可见正断层截切早期构造(图 2e、f), 部分露头可见印支期辉绿岩被正断层和石英脉切割改造(图 4b、e)。在地质图尺度上, 可见一系列平行分布的 NE—SW 向正断层(图 1b), 它们切割了区域内印支—燕山期活动较为强烈的右江断裂带, 在地表的延伸程度较差。

3 深部构造特征

中石化股份有限公司油田勘探开发事业部 2001 年曾针对南盘江地区进行构造特征及其与油气关系研究、地震资料解释和圈闭评价等工作^[6-7], 但针对地震剖面的解析未涉及深部构造。本文进一步解释了涉及八渡东部的部分地震剖面, 进而进行了区域构造分析。此外任立奎综合了黑水—台湾地学大断面、湖南凤凰—茶陵和松桃—永新、柳州爆破地震资料, 将南盘江区域地壳及上地幔建立如表 1 所示的综合速度模型^[2,38], 本文中地震剖面的时深转换以此模型为基础。

YLC00-24 剖面为中石化所做地震剖面(图 5, 位置见图 1b), 走向 NE, 全长 36.8 km, 深度约为 38 km(6 000 ms), 综合地表不同地层和构造的展布、潞 1 井资料和地震剖面处理后的反射层等, 可大致确定剖面沿线浅部的地层状态和深部的断层展布(图 5)^[6-7]。由潞城附近潞 1 井资料, 可以在八渡背斜北端大致限制出 T_T 、 T_C 和 T_D (三叠系、石炭系和泥盆系底界)。在地质图和地表构造剖面中, 褶皱轴迹、断层走向等构造迹线主要沿 NW—SE 向展布, 其中断层以逆断层为主, 倾向不一, 剖面 SW 段即为向北凸出的八渡背斜。除此之外, 可见一组 NE—SW 向正断层和近 NS 向的左行走滑断层, 尽管断层延伸较短, 在潞城附近出露于地表仅 5~10 km,

表 1 南盘江区域地壳及上地幔分层及综合速度模型^[2,38]

Table 1 Velocity structure of the crust and upper mantle in the Nanpanjiang Area^[2,38]

| 层位 | 岩性 | 时代 | 平均速度/(km·s ⁻¹) | 平均密度/(t·m ⁻³) | 厚度/km |
|-----|------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|-------|
| 上地壳 | 沉积岩 | 早古生代—中生代 | 5.8 | 2.65 | 10~15 |
| | 浅变质岩 | 古、中元古代—晚古生代 | 6.1 | 2.75 | |
| 中地壳 | 变质岩或花岗岩 | 太古宙—新元古代 | 6.3 | 2.8 | 约 10 |
| 下地壳 | 深变质的中基性、 中酸性麻粒岩、玄武岩层、闪长岩等 | | 6.9 | 2.9 | 10~15 |
| 上地幔 | 超基性岩 | | 7.8~8.15 | 3.2~3.35 | |

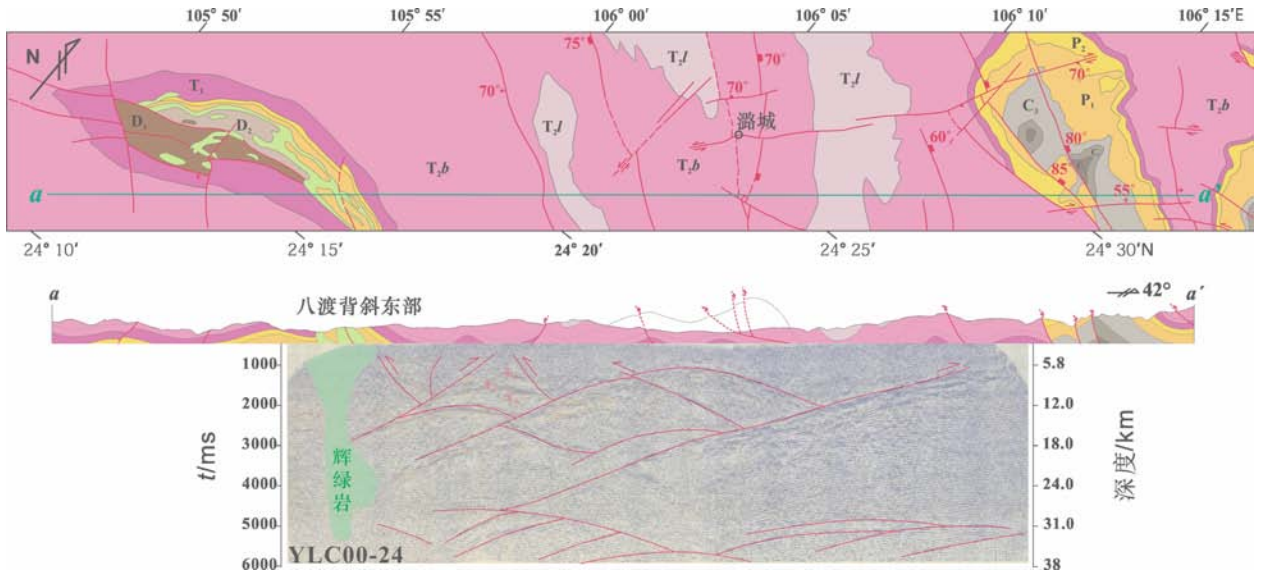
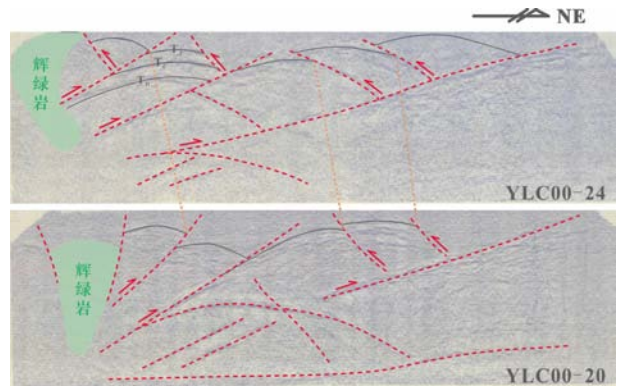


图5 南盘江盆地潞城地震剖面(YLC00-24)、地表剖面、对应地质图及解释
 Fig. 5 Geological map, cross section, seismic profile (YLC00-24) and explanation from Lucheng, Nanpanjiang Basin

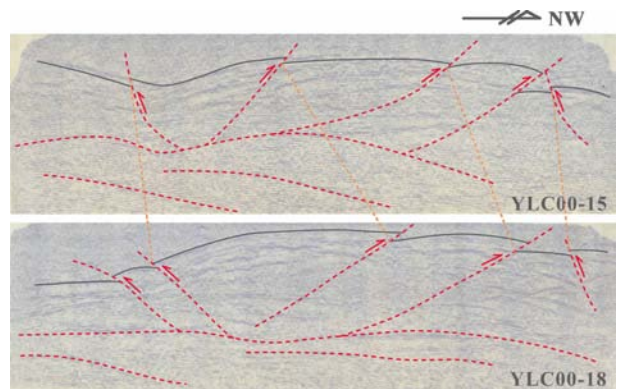
但它们均切割了以右江断裂带为代表的 NW-SE 向的断裂。在钻井数据和深部地震剖面的解释过程中,我们发现地表相对较为丰富的褶皱构造在深部的表现并不明显,取而代之的是以断层为主的构造样式,如 YLC00-24 深部可见较为清晰的双重逆冲构造和逆冲叠瓦扇。在地震剖面的深部(28~38 km)可见一指向 NE 的双重逆冲构造组合,其上为一指向 N—NNE 的逆冲叠瓦扇,且伴有一系列反冲断层,不同深度构造可能以韧性剪切带关系接触^[34]。此外,在剖面的 SW 段,可见一较为均匀的区域,很可能对应了在地表出露的辉绿岩。

YLC00-24、YLC00-20 两条地震剖面走向 NE (图 6,位置见图 1b)。在联合地震剖面中,可以看到一系列指向 NE 的逆冲断层组成逆冲叠瓦扇,它们向下汇聚于深部双重逆冲构造的顶板逆冲断层之上,即这一界限既是上部逆冲叠瓦扇向下汇聚的拆离断层,又是深部双重逆冲构造上方的顶板逆冲断层(图 6),剖面南端可见辉绿岩墙。

YLC00-15、YLC00-18 两条地震剖面走向 NW (图 7,位置见图 1b)。联合地震剖面中深部可见一系列指向与剖面走向近垂直的断层,可能与 NE 向剖面中深部指向 NE 的双重逆冲构造匹配。双重逆冲构造之上可见一系列浅部层次的逆冲断层,指向 N—NW、S—SE 不一,在接近地表层次形成冲起构造和逆冲三角带。这一系列逆冲断层构造组合发育于相对较深的 NE 向逆冲断层之上,与早期 NE 向逆冲断层相比,其逆冲方向转为近 NS 向。



剖面位置见图 1b。
 图 6 南盘江盆地潞城 NE 指向地震剖面
 Fig. 6 NE trending seismic profiles



剖面位置见图 1b。
 图 7 南盘江盆地潞城 NW 指向地震剖面
 Fig. 7 NW trending seismic profiles

在地震剖面深部以 D₁ 表现得最为明显,NE、NW 向的两组地震剖面中均清晰可见指向 NE 的一

系列双重逆冲构造, 而覆盖于其上的逆冲叠瓦扇与 D_2 期变形相匹配, 它们以双重逆冲构造的顶板逆冲断层为拆离面进一步向上发展并且指向不同方向, 潞城以北多指向 NE, 以南多指向 SW, 使潞城附近形成一个冲起构造。

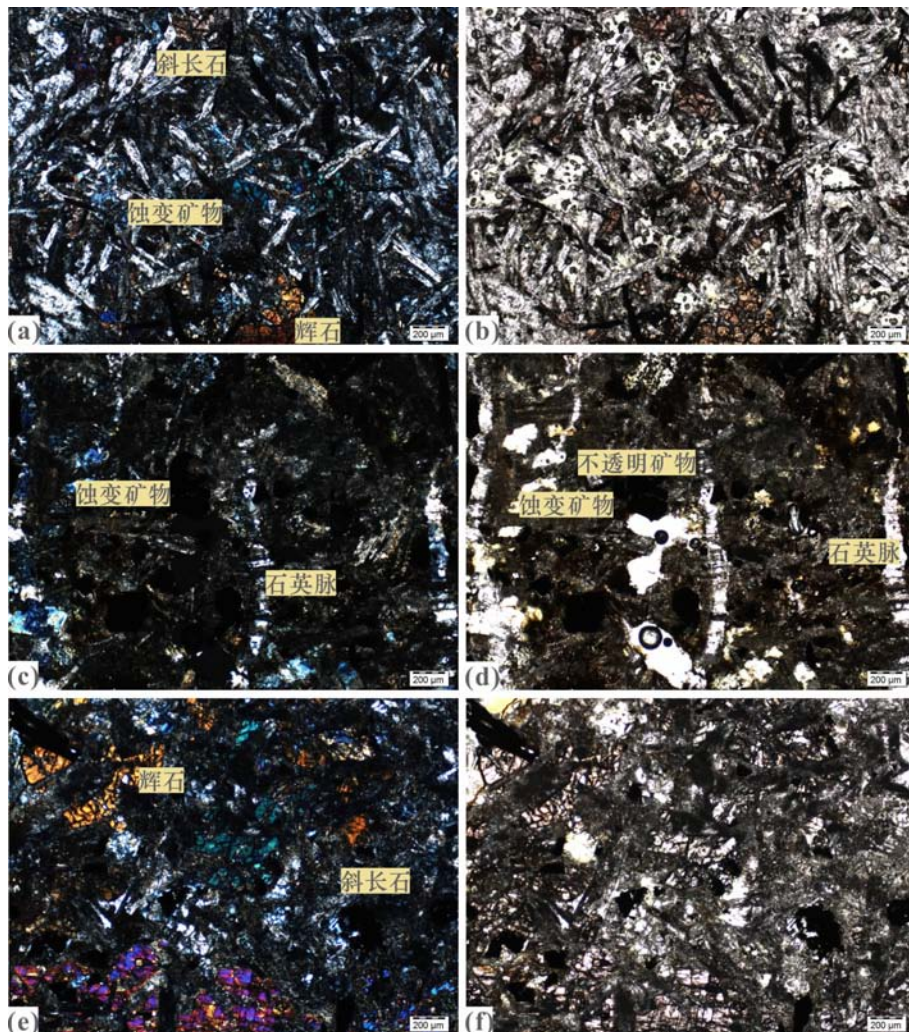
同时, 辉绿岩的侵位也对逆冲构造产生局部扰动, 在地震剖面 YLC00-24 和构造剖面 aa' 的西南端可见辉绿岩沿早期断层侵位的现象。值得注意的是, 八渡区域内不同位置辉绿岩的露头特点大相径庭, 有的保存完好, 甚至可以看见气孔、杏仁构造和辉绿结构(图 4c、d), 有的却已经被风化得很严重(图 4f)。而地震剖面上反映出的仅仅是印支期岩浆岩沿早期断层侵位, 并遭受后期剥蚀出露于地表,

露头尺度可见正断层(图 4b)、石英脉(图 4e)等对其改造。

4 辉绿岩锆石 U-Pb 年龄

4.1 样品及锆石特征

图 8 为八渡区域出露辉绿岩的显微照片。取样点分别对应图 1d 中背斜轴迹 EW 向展布区段的北翼驮娘江东岸 TL09 点和背斜轴迹 NWW 向展布区段八双南部 TL13 点。图 8 中 a—d 图对应 TL09 点的辉绿岩及围岩, 薄片内可见自形程度较好的斜长石和其间的辉石他形颗粒, 为辉绿-辉长结构, 还可以发现部分辉绿岩被细石英脉切割(图 8c、d), 此



a—TL09-2 辉绿岩(正交偏光), 斜长石自形程度高, 辉石颗粒呈他形状态充填其间, 为辉绿结构, 可见少量亮蓝色蚀变矿物; b—TL09-2 辉绿岩(a 图单偏光); c—TL09-1 辉绿岩(正交偏光), 可见一系列石英脉及蚀变矿物, 且蚀变晚于石英脉的形成; d—TL09-1 辉绿岩(c 图单偏光); e—TL13-1 辉绿岩(正交偏光), 可见斜长石、辉石和橄榄石颗粒, 其中长石和辉石均为它形, 属于辉长-辉绿结构; f—TL13-1 辉绿岩(e 图单偏光)。

图 8 八渡区域岩石显微照片

Fig. 8 Micro-photos from Badu region

外,在辉绿岩薄片中还看到一些正交偏光下的亮蓝色蚀变矿物,可能是辉石等镁铁矿物后期遭遇蚀变而形成的蛇纹石等矿物。样品 TL13 点的辉绿岩的显微照片(图 8e、f)中可见较为清晰的辉绿结构。

定年所用锆石选自 TL13 点,部分颗粒的阴极发光照片如图 9 所示。锆石自形程度较好,长宽比约为 2 : 1,震荡环带清晰,Th/U 介于 0.11~1.18,平均值为 0.43,属于典型的岩浆锆石^[39]。但其中有少量颗粒可能来自围岩或由深部捕虏而来,核部 CL 图像偏亮,弱分带,属于变质锆石。

4.2 实验方法

锆石颗粒的挑选在诚信地质服务有限公司(廊坊)进行,筛选过程包括岩样粉碎、淘洗、磁选、重液分选等。筛选出的锆石通过在显微镜下挑选出不同晶型、颜色的颗粒制成锆石靶。锆石 U-Pb 同位素测年试验在中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室激光烧蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)微区分实验室进行。其中激光烧蚀系统为美国 Coherent 公司的 Geolas 准分子进样系统,ICP-MS

为 Thermo Fisher 公司的 X Series 2 型四极杆等离子体质谱。激光斑束直径 32 μm,频率 8 Hz,氦气作为载气,氩气作为补偿气。以美国国家标准参考物质 NIST610 对仪器进行最佳化,并作为微量元素含量测定的外标。标准锆石 91500 作为定年外标,标准锆石 MUD 作为监控样品。测试过程中每 5~6 个样品点测试两次标准锆石 91500,每个样品的信号采集时间为 100 s,其中背景信号采集时间为前 20 s,样品信号采集时间为 50 s。测试完成后,用软件 ICPMSDataCal 对样品的测试数据进行处理,年龄计算与谐和图等的绘制使用软件 Isoplot3,最终使用谐和度大于 90%的数据^[40-41]。锆石颗粒年龄大于 1 000 Ma 采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄,小于 1 000 Ma 则用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。

4.3 分析结果

通过 Isoplot 软件绘制的一系列 TL13 点锆石年龄图解(图 10),得到的最年轻的相对集中的锆石颗粒年龄为 62 Ma,这一古新世塞兰特期年龄很有可能代表了这一期辉绿岩的侵位年龄。此外更为显

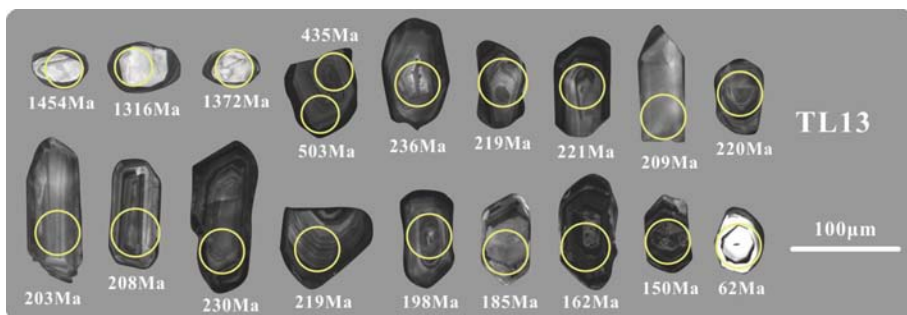
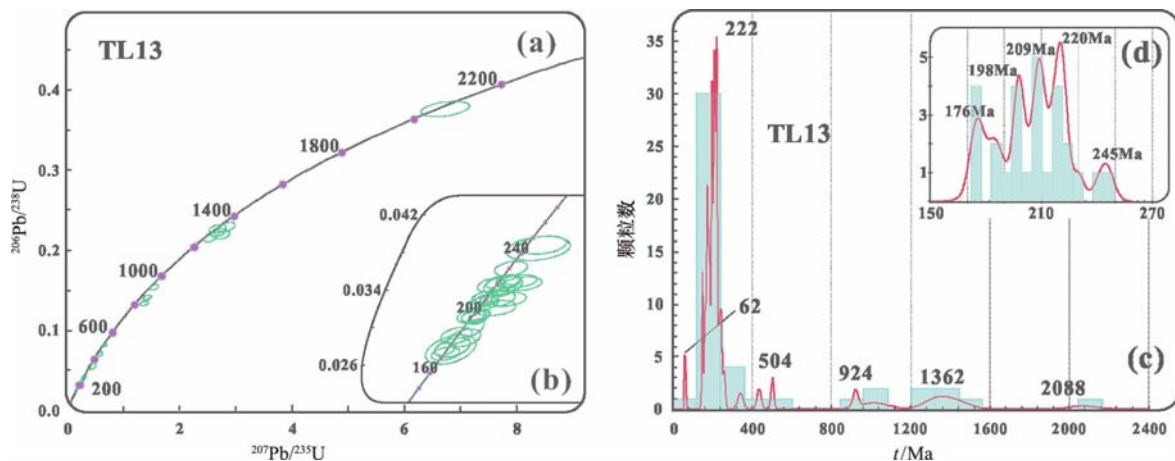


图 9 辉绿岩样品 TL13 锆石阴极发光照片、测年激光剥蚀位置及相应年龄

Fig. 9 Zircon cathodoluminescence images from sample TL13, and the location and ages of LA-ICP-MS dating



a—TL13 锆石年龄谐和曲线;b—TL13 锆石年龄谐和曲线(160~260 Ma);c—TL13 锆石年龄分布图;d—TL13 锆石年龄分布图(150~270 Ma)。

图 10 TL13 锆石年龄谐和曲线及分布图

Fig. 10 Concordia and probability density diagrams of LA-ICP-MS zircon U-Pb ages from sample TL13

著的是该样品中大多数锆石颗粒年龄主要分布于 245~176 Ma, 属于早三叠世—早侏罗世(T₁—J₁), 其中峰值年龄为 222 Ma, 处于晚三叠世诺利期。值得注意的是, 区域中几乎未见 T₃—J 地层出露^[36], 仅存少数出露于兴仁水银洞金矿背斜区域南北两侧与之相连向斜的核部区域, 且高程大于 1 600 m, 而 TL13 点高程仅 360 m 且处于背斜核部, 加之 CL 照片中这一年龄的锆石颗粒表现出的仍是岩浆锆石的

环带和晶形特点, 因此这一时期大量锆石颗粒出现很有可能记录了这一时期的岩浆活动, 而这一期岩浆岩所形成的岩浆锆石在古新世(62 Ma)岩浆活动时被重熔并以俘虏锆石的形式保留。另外, 图 10d 中亦可见 504、924、1 362 和 2 088 Ma 4 个小峰值年龄, 颗粒少且零散, 可能来源于围岩或为深部俘虏变质锆石等, 因此不作为辉绿岩侵位年龄的参考(数据见表 2)。

表 2 南盘江盆地八渡复式背斜 TL13-01 点 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 数据

Table 2 U-Pb data of zircon from Nanpanjiang Basin Badu complex anticline by LA-ICP-MS

| 分析点 | ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb | 1σ | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U | 1σ | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U | 1σ | 年龄/Ma | | | | Th/U | 谐和度 |
|------------|---|-------|--|-------|--|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------|-----|
| | | | | | | | ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U | ²⁰⁸ Pb/ ²³² Th | | |
| TL13-01-1 | 0.050 | 0.003 | 0.217 | 0.011 | 0.031 | 0.001 | 195 | 199 | 198 | 214 | 0.35 | 99% |
| TL13-01-2 | 0.054 | 0.003 | 0.289 | 0.017 | 0.039 | 0.001 | 372 | 258 | 245 | 314 | 0.31 | 95% |
| TL13-01-3 | 0.052 | 0.002 | 0.253 | 0.008 | 0.035 | 0.000 | 283 | 229 | 222 | 226 | 0.45 | 96% |
| TL13-01-4 | 0.055 | 0.003 | 0.264 | 0.012 | 0.035 | 0.000 | 391 | 238 | 222 | 223 | 0.50 | 92% |
| TL13-01-5 | 0.053 | 0.002 | 0.247 | 0.009 | 0.034 | 0.000 | 322 | 224 | 215 | 244 | 0.31 | 96% |
| TL13-01-6 | 0.051 | 0.002 | 0.256 | 0.011 | 0.036 | 0.001 | 250 | 232 | 230 | 247 | 0.27 | 99% |
| TL13-01-7 | 0.049 | 0.002 | 0.235 | 0.010 | 0.035 | 0.000 | 150 | 215 | 219 | 229 | 0.24 | 98% |
| TL13-01-8 | 0.052 | 0.002 | 0.216 | 0.008 | 0.030 | 0.001 | 287 | 198 | 190 | 192 | 0.44 | 95% |
| TL13-01-9 | 0.048 | 0.002 | 0.187 | 0.008 | 0.028 | 0.000 | 124 | 174 | 176 | 180 | 0.32 | 98% |
| TL13-01-10 | 0.050 | 0.002 | 0.216 | 0.008 | 0.031 | 0.000 | 191 | 199 | 198 | 197 | 0.17 | 99% |
| TL13-01-11 | 0.050 | 0.002 | 0.226 | 0.010 | 0.033 | 0.000 | 206 | 207 | 206 | 219 | 0.30 | 99% |
| TL13-01-12 | 0.132 | 0.005 | 3.885 | 0.169 | 0.212 | 0.004 | 2 120 | 1 611 | 1 240 | 1 438 | 0.62 | 74% |
| TL13-01-13 | 0.055 | 0.003 | 0.253 | 0.012 | 0.033 | 0.000 | 413 | 229 | 209 | 236 | 0.64 | 91% |
| TL13-01-14 | 0.054 | 0.002 | 0.283 | 0.012 | 0.037 | 0.000 | 391 | 253 | 237 | 277 | 0.30 | 93% |
| TL13-01-15 | 0.052 | 0.003 | 0.248 | 0.012 | 0.035 | 0.001 | 276 | 225 | 221 | 249 | 0.28 | 98% |
| TL13-01-16 | 0.049 | 0.009 | 0.067 | 0.012 | 0.010 | 0.000 | 169 | 66 | 62 | 63 | 0.51 | 94% |
| TL13-01-17 | 0.053 | 0.004 | 0.285 | 0.022 | 0.038 | 0.001 | 322 | 254 | 243 | 222 | 0.45 | 95% |
| TL13-01-18 | 0.051 | 0.002 | 0.169 | 0.007 | 0.024 | 0.000 | 254 | 159 | 151 | 156 | 1.18 | 94% |
| TL13-01-19 | 0.051 | 0.002 | 0.169 | 0.009 | 0.024 | 0.001 | 250 | 159 | 151 | 165 | 0.77 | 94% |
| TL13-01-20 | 0.128 | 0.005 | 6.733 | 0.282 | 0.376 | 0.006 | 2 072 | 2 077 | 2 059 | 2 087 | 0.64 | 99% |
| TL13-01-21 | 0.053 | 0.003 | 0.240 | 0.014 | 0.032 | 0.001 | 339 | 218 | 204 | 200 | 0.39 | 93% |
| TL13-01-22 | 0.051 | 0.003 | 0.207 | 0.011 | 0.029 | 0.001 | 250 | 191 | 184 | 196 | 0.41 | 96% |
| TL13-01-23 | 0.049 | 0.003 | 0.199 | 0.011 | 0.029 | 0.001 | 128 | 184 | 185 | 188 | 0.44 | 99% |
| TL13-01-24 | 0.050 | 0.003 | 0.195 | 0.012 | 0.028 | 0.001 | 189 | 181 | 177 | 196 | 0.63 | 98% |
| TL13-01-25 | 0.050 | 0.004 | 0.193 | 0.017 | 0.028 | 0.001 | 172 | 179 | 176 | 260 | 0.11 | 98% |
| TL13-01-26 | 0.049 | 0.003 | 0.187 | 0.010 | 0.027 | 0.000 | 143 | 174 | 173 | 172 | 0.27 | 99% |
| TL13-01-27 | 0.052 | 0.003 | 0.242 | 0.012 | 0.033 | 0.001 | 283 | 220 | 210 | 234 | 0.26 | 95% |
| TL13-01-28 | 0.055 | 0.003 | 0.209 | 0.008 | 0.027 | 0.001 | 417 | 193 | 173 | 250 | 0.22 | 89% |
| TL13-01-29 | 0.051 | 0.002 | 0.248 | 0.013 | 0.035 | 0.001 | 220 | 225 | 219 | 232 | 0.70 | 97% |
| TL13-01-30 | 0.056 | 0.003 | 0.268 | 0.014 | 0.035 | 0.000 | 432 | 241 | 220 | 225 | 0.31 | 90% |
| TL13-01-31 | 0.051 | 0.002 | 0.183 | 0.006 | 0.025 | 0.000 | 261 | 171 | 162 | 193 | 0.45 | 94% |
| TL13-01-32 | 0.051 | 0.001 | 0.189 | 0.006 | 0.027 | 0.000 | 233 | 176 | 170 | 208 | 0.56 | 96% |
| TL13-01-33 | 0.050 | 0.002 | 0.217 | 0.009 | 0.031 | 0.000 | 187 | 199 | 198 | 213 | 0.26 | 99% |
| TL13-01-34 | 0.051 | 0.002 | 0.222 | 0.007 | 0.031 | 0.000 | 243 | 203 | 197 | 207 | 0.52 | 96% |
| TL13-01-35 | 0.050 | 0.002 | 0.230 | 0.008 | 0.033 | 0.000 | 211 | 210 | 209 | 234 | 0.41 | 99% |
| TL13-01-36 | 0.050 | 0.002 | 0.229 | 0.010 | 0.033 | 0.000 | 172 | 209 | 210 | 221 | 0.55 | 99% |

注: 锆石 U-Pb 同位素测年试验在中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室激光烧蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)微区分实验室进行。删除线表示因谐和度低于 90% 而排除的分析点(锆石颗粒 TL13-01-12 和 TL13-01-28), 不计入年龄统计。

5 讨论

5.1 构造期次、变形序列及其时间限定

通过对八渡附近的劈理分期、地表构造切割限制关系、深部地震剖面以及辉绿岩侵位和年代学等的综合分析, 将八渡复式背斜区域内印支运动以来的构造运动划分出 D_1 、 D_2 和 D_3 期。它们构造依次主导了八渡复式背斜区域的不同深度层次: D_1 期 NE-SW 向挤压主要表现在地震剖面的深部层次, D_2 期 NS 向挤压则主导了地震剖面的中浅部层次, 且出露于地表。在此之后, D_3 期辉绿岩侵位和正断层的改造则在地表层次表现得最为明显。

D_1 期变形以一系列涉及 T_1 地层的逆冲断层-褶皱构造为代表, 本期构造形成的 S_1 劈理被近 NS 向的后期挤压叠加, 并为 S_2 面理和后期断层切割; 地震剖面上反映出了岩浆岩沿这一期断层侵位, 并遭受后期剥蚀出露于地表, 露头尺度可见受到晚期正断层、石英脉等改造的辉绿岩, 加之在地质图尺度可见岩浆岩随地层发生褶皱的现象, 因此很可能存在一期辉绿岩与 D_1 匹配。 D_2 期变形形成了地震剖面中部层次的逆冲叠瓦扇, 上升至地表则以褶皱构造为代表, 这一期活动使得八渡背斜及其核部的辉绿岩共同发生向北凸出的变形, 由此推测 D_2 的形成时间可能晚于这一期岩浆岩的侵位。在辉绿岩年代学数据中得到一属于印支期的约 222 Ma 峰值年龄, 很可能是这一期岩浆活动的年龄。

前人在南盘江盆地内部曾得到过一些与此相近的年龄, 如 Chen 等通过毒砂 Re-Os 同位素测年得到烂泥沟金矿和银仔金矿的成矿年龄分别为 (204 ± 19) Ma 和 (206 ± 22) Ma^[42], 皮桥辉等测得云南富宁者桑金矿热液蚀变成因白云母 Ar-Ar 坪年龄为 (215.3 ± 1.9) Ma, 晚期基性岩锆石 U-Pb 年龄为 (215 ± 5) Ma, 并认为这是在印支期碰撞后的伸展背景下形成的^[43]。除了年龄数据, D_1 和 D_2 期构造变形在区域上也是普遍存在的, 如 Qiu 等描述了南盘江盆地向北部逐渐减弱的逆冲断层系统和断层相关褶皱, 普遍被认同的观点也认为晚三叠世不整合面是区域古特提斯洋俯冲向华南板块-印支板块碰撞转换的标志^[1, 3, 44-45]。

D_3 期构造以背斜区域出露的辉绿岩和正断层为代表, 在地质图尺度上可见一系列正断层(图 1b) 切割了区域内印支期活动较为强烈的右江断裂带。

前人曾在南盘江盆地的不同区域得到过燕山晚期的岩浆岩年龄, 包括白层 $(84 \pm 1) \sim (88.1 \pm 1.1)$ Ma 的偏碱性超基性岩(辉云岩)年龄和大新 $(86.7 \pm 1.8) \sim (91.6 \pm 8.3)$ Ma 的辉绿岩年龄等^[46-48], 这一系列燕山晚期基性-超基性岩浆岩在地表的出现表现了区域性的伸展扩张。同时, LA-ICP-MS 得到的最年轻岩浆锆石年龄为 62 Ma。前人曾选取南盘江盆地北部两份 T_2 样品进行了磷灰石裂变径迹分析, 得到 56.7 和 56.6 Ma 两个年龄, 认为区域的隆升在这一阶段进行了缓慢加速^[1]。由于区域曾经历了碰撞后的伸展, 由此推断这一期构造很有可能是晚期伸展背景下的产物。

5.2 对南盘江盆地演化的意义

八渡复式背斜可以视为南盘江盆地构造样式的典型代表, 因此, 其构造变形序列对于深入认识南盘江盆地整体构造演化具有指示意义。上述构造期反映八渡区域的构造背景由印支期挤压转变为新生代伸展的过程。而在南盘江盆地尺度上, D_1 期以逆断层-褶皱构造组合是印支运动早期华南板块俯冲于印支板块之下的产物; D_2 期大量逆冲断层构造系统则代表印支运动晚期华南板块与印支板块的碰撞; D_3 期构造的主要表现是盆地内零星但均匀散布的辉绿岩等基性-超基性岩以及不同走向的正断层, 区域在燕山晚期经历了由挤压到伸展背景的转换, 开始持续隆升, 并在新生代早期缓慢加快隆升速率。然而目前针对 222 Ma 左右的岩浆锆石颗粒年龄在区域内的研究并不充分, 它代表碰撞期间地壳部分熔融而形成的酸性岩浆岩, 还是造山后伸展作用下的基性岩浆岩, 或其他成因, 关系到晚三叠世区域的构造演化进程。

综上, 南盘江盆地区域在印支期属于俯冲碰撞的前陆盆地, 在这一阶段, 受到古特提斯洋俯冲消减的影响^[15, 49-50], 南盘江地区形成了一系列由 SW 指向 NE 的逆冲推覆构造; 随后华南板块与印支板块开始碰撞, 形成了近 EW 向褶皱^[21, 44-45, 49, 51]; 但在燕山晚期, 区域构造背景由压性向张性转换, 伸展隆升一直持续到新生代早期并开始缓慢加速。

6 结论

(1) 通过对八渡 TL13 点进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 得到最年轻的锆石颗粒年龄为 62 Ma, 代表早新生代基性岩浆活动; 此外, 样品中大多数锆石

颗粒年龄分布于 245~176 Ma, 峰值年龄为 222 Ma, 由于区域 T_3 —J 地层少数出露于高程约 1 600 m 区域, 而采样点高程仅 360 m, 加之阴极发光图像中颗粒表现为典型的岩浆锆石特点, 因此这一时期锆石颗粒大量出现很有可能代表了印支运动中一期岩浆活动。

(2) 八渡区域构造运动依据地表形态可划分为早期 NE-SW 向 (D_1)、中期近 NS 向 (D_2) 挤压和晚期张性构造 (D_3)。其中约 222 Ma 的岩浆岩侵位改造了 D_1 , 并随 D_2 发生褶皱变形。在 seismic 剖面上, NE-SW 向挤压位于深部层次, 近 NS 向挤压覆盖于其上, 主导了中浅部层次。 D_3 期以伸展构造为主, 表现为正断层和晚期辉绿岩侵位, 并切割前两期构造。

(3) 在南盘江盆地内, D_1 和 D_2 期构造变形分别对应印支期华南板块向印支板块俯冲及两板块的碰撞; D_3 期伸展变形对应燕山晚期构造背景由压性向张性的转换, 以及新生代早期缓慢加速的伸展隆升。

中国地质大学(北京)相鹏老师在实验过程中给予了细致而耐心的指导, 王继斌、唐香丽、董俭萌、高天和李旭拓在野外和室内工作中提供了很大帮助, 两位匿名审稿人为文章的修改完善提供了宝贵意见, 在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

- [1] QIU L, YAN D P, TANG S L, et al. Mesozoic geology of southwestern China: Indosinian foreland overthrusting and subsequent deformation[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 122: 91-105.
- [2] 任立奎. 南盘江一十万山地区构造演化与成矿[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [3] QIU L, Yan D P, Yang, et al. Early to Middle Triassic sedimentary records in the Youjiang Basin, South China: implications for Indosinian orogenesis[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 141: 125-139.
- [4] 广西壮族自治区区域地质调查研究院. 区域地质调查报告 1:20 万田林幅[R]. 桂林: 广西壮族自治区地质局, 1972.
- [5] 广西壮族自治区区域地质调查研究院. 区域地质调查报告 1:20 万西林幅[R]. 桂林: 广西壮族自治区地质局, 1972.
- [6] 中石化股份有限公司油田勘探开发事业部, 南方海相油气勘探项目经理部, 南盘江地区构造特征及其与油气关系研究[R]. 北京: 中国石油天然气集团公司地球物理勘探局研究院地质研究中心, 2001.
- [7] 中石化股份有限公司油田勘探开发事业部, 南方海相油气勘探项目经理部, 南盘江坳陷坝区区块花冗、双江、潞城构造地震资料解释和圈闭评价[R]. 北京: 中国石油天然气集团公司地球物理勘探局研究院地质研究中心, 2001.
- [8] 广西壮族自治区区域地质调查研究院. 定安幅, 八渡圩幅 1:5 万区域地质调查报告[D]. 桂林: 广西壮族自治区地质矿产局, 1992.
- [9] CAI J X, TAN X D, WU Y. Magnetic fabric and paleomagnetism of the Middle Triassic siliciclastic rocks from the Nanpanjiang Basin, South China: implications for sediment provenance and tectonic process[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 80: 134-147.
- [10] HALPIN J A, TRAN H T, LAI C K, et al. U-Pb zircon geochronology and geochemistry from NE Vietnam: a 'tectonically disputed' territory between the Indochina and South China blocks[J]. *Gondwana Research*, 2016, 34: 254-273.
- [11] HU L S, DU Y S, CAWOOD P A, et al. Drivers for late Paleozoic to early Mesozoic orogenesis in South China: constraints from the sedimentary record[J]. *Tectonophysics*, 2014, 618: 107-120.
- [12] LEHRMANN D J, ENOS P, PAYNE J L, et al. Permian and Triassic depositional history of the Yangtze platform and Great Bank of Guizhou in the Nanpanjiang Basin of Guizhou and Guangxi, South China[J]. *Albertiana*, 2005, 33(1): 149-168.
- [13] STAMPFLI G M, BOREL G D. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196(1/2): 17-33.
- [14] 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 等. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. *地质科技情报*, 2009(6): 10-15.
- [15] 杜远生, 黄虎, 杨江海, 等. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. *地质评论*, 2013, 59(1): 1-11.
- [16] 任立奎. 南盘江盆地构造样式及运动学特征分析[J]. *昆明理工大学学报(自然科学版)*, 2012, 37(1): 1-4.
- [17] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. *地质通报*, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [18] 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题[J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(10): 1553-1582.
- [19] 张锦泉, 蒋廷操. 右江三叠纪弧后盆地沉积特征及盆地演化[J]. *广西地质*, 1994, 7(2): 1-14.
- [20] MA W P. A new breakthrough in the tectonic studies of South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(1): 23-25.
- [21] YAN D P, ZHOU M F, SONG H L, et al. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust system within the Yangtze Block (South China)[J]. *Tectonophysics*, 2003, 361(3/4): 239-254.
- [22] YAN D P, ZHOU M F, WANG C Y, et al. Structural and geochronological constraints on the tectonic evolution of the

- Dulong-Song Chay tectonic dome in Yunnan Province, SW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 28(4/5/6): 332-353.
- [23] CAI J X. An early Jurassic dextral strike-slip system in southern South China and its tectonic significance[J]. *Journal of Geodynamics*, 2013, 63: 27-44.
- [24] 曾允孚, 刘文均, 陈洪德, 等. 华南右江复合盆地的沉积构造演化[J]. *地质学报*, 1995, 69(2): 113-124.
- [25] 葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 中国区域大地构造学的研究展望[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 61-73.
- [26] 郭福祥. 华南“印支运动”的性质[J]. *云南地质*, 1992, 11(2): 169-180.
- [27] 郭福祥. 华南大地构造演化的几点认识[J]. *广西地质*, 1994, 7(1): 1-14.
- [28] 毛健全, 顾尚义, 张启厚. 右江—南盘江裂谷构造格局[J]. *贵州地质*, 1999, 16(3): 188-194.
- [29] 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 等. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化[J]. *地质学报*, 1996, 70(2): 99-107.
- [30] WANG Y J, FAN W M, ZHANG G W, et al. Phanerozoic tectonics of the South China Block: key observations and controversies[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1273-1305.
- [31] QIU L, YAN D P, ZHOU M F, et al. Geochemistry and U-Pb zircon age of Late Triassic volcanogenic sediments in the central Yangtze Block: origin and tectonic implications [J]. *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 2015, 192(2): 211-227.
- [32] DONG S W, ZHANG Y Q, ZHANG F Q, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous continental convergence and intracontinental orogenesis in East Asia: a synthesis of the Yanshan revolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 750-770.
- [33] 杨超, 陈清华, 吕洪波, 等. 南盘江盆地中三叠统复理石的物源和沉积构造背景分析[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2008, 32(6): 22-27.
- [34] 丁道桂, 邓模, 朱文利. 大南盘江地区晚古生代拗拉槽盆地的改造变形[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(4): 393-402.
- [35] RÖLLER K, TREPMMANN C A. Stereo32 Version 1.01[M]. Germany, Bochum: Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie & Geophysik, 2008.
- [36] 贵州省区域地质调查研究院. 区域地质调查报告 1: 20 万兴仁幅[R]. 贵阳: 贵州省地质局, 1981.
- [37] NINKOVICH D, HAYS J D. Mediterranean island arcs and origin of high potash volcanoes[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1972, 16: 331-345.
- [38] 袁学诚, 宋宝春, 寿嘉华, 等. 台湾—黑水地学断面[C]// 1990年中国地球物理学会第六届学术年会. 北京: 地震出版社, 1990.
- [39] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [40] LIU Y S, GAO S, HU Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [41] LUDWIG K R. User's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003.
- [42] CHEN M H, MAO J W, LI C, et al. Re-Os isochron ages for arsenopyrite from Carlin-like gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi “golden triangle”, southwestern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 64: 316-327.
- [43] 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强, 等. 云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定: 兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景[J]. *岩石学报*, 2016, 32(11): 3331-3342.
- [44] FAURE M, LEPVRIER C, VAN NGUYEN V, et al. The South China Block-Indochina collision: where, when, and how? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79: 260-274.
- [45] FAURE M, LIN W, CHU Y, et al. Triassic tectonics of the southern margin of the South China Block[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2016, 348(1): 5-14.
- [46] 陈懋弘, 章伟, 杨宗喜, 等. 黔西南白层超基性岩墙锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成研究[J]. *矿床地质*, 2009, 28(3): 240-250.
- [47] LIU S, SU W C, HU R Z, et al. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of alkaline ultramafic dykes from southwest Guizhou Province, SW China [J]. *Lithos*, 2010, 114(1): 253-264.
- [48] 徐争启, 程发贵, 唐纯勇, 等. 广西大新地区辉绿岩地质地球化学、年代学特征及其意义[J]. *地球科学进展*, 2012, 27(10): 1080-1086.
- [49] 窦新钊, 姜波, 秦勇, 等. 黔西地区构造演化及其对晚二叠世煤层的控制[J]. *煤炭科学技术*, 2012(3): 109-114.
- [50] 任立奎. 南盘江坳陷东部及邻区构造特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2003.
- [51] 葛肖虹, 马文璞. 中国区域大地构造学教程[M]. 北京: 地质出版社, 2014.