

doi:10.3799/dqkx.2017.002

滇东南八布早二叠世含火山岩屑砂岩指示古特提斯洋俯冲

杨江海^{1,2}, 杜远生^{1,2}, 于鑫^{1,2}, 黄虎³, 柴嵘^{1,2}

1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川成都 610059

摘要: 滇东南八布基性/超基性岩体被认为代表洋壳残片, 与越北 Song Hien 构造带内的蛇绿岩体共同构成八布-Song Hien 古特提斯缝合带的重要岩石记录, 是认识华南西南缘古特提斯构造演化的重要窗口。环绕八布基性/超基性岩体分布大面积碎屑岩系, 内夹有硅质岩序列, 长期以来被认为是三叠纪浊流沉积, 但缺少确切的古生物化石和放射性年代学证据。为确定这套碎屑岩的沉积时代和物质来源, 对紧邻八布岩体的龙林西含火山岩屑砂砾岩进行 LA-ICPMS 碎屑锆石 U-Pb 同位素和微量元素分析。结果显示, 碎屑锆石年龄谱与华南西南缘的二叠系—三叠系年龄谱明显不同, 但与 Song Hien 构造带晚二叠世砂岩和哀牢山带绿春二叠纪砂岩年龄谱相似。最年轻锆石年龄组约为 285 Ma, 在微量元素组成上与弧/造山型岩浆结晶锆石一致, 对应于安山质一流纹质火山岩屑, 指示早二叠世火山岩浆活动。结合碎屑锆石年龄谱的对比分析和八布村东硅质岩序列的新发现, 结果表明八布碎屑岩的沉积时代应为早二叠世, 而非中三叠世, 其早二叠世火山岩源区与八布-Song Hien 古特提斯洋俯冲有关。

关键词: 滇东南八布; 早二叠世; 古特提斯洋俯冲; 碎屑锆石; 火山岩岩屑; 岩石学。

中图分类号: P547

文章编号: 1000-2383(2017)01-0024-11

收稿日期: 2016-08-10

Early Permian Volcanic Fragment-Bearing Sandstones in Babu of Southeast Yunnan: Indicative of Paleo-Tethyan Ocean Subduction

Yang Jianghai^{1,2}, Du Yuansheng^{1,2}, Yu Xin^{1,2}, Huang Hu³, Chai Rong^{1,2}

1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Babu mafic/ultramafic rocks in Southeast Yunnan Province are interpreted as remnant ocean crust, and together with the ophiolite in Song Hien tectonic zone of North Vietnam, constitute significant components of the Babu-Song Hien Paleo-Tethyan suture, a possible southern extension of the Ailaoshan suture. Around the Babu ophiolite is a widespread siliclastic rocks dominated sequence, with thin-bedded cherts observed in some locations. These clastic rocks have long been considered to be Triassic turbidity current deposits in spite of absence of reliable fossil and isotopic dating. West to Longlin village, there outcrop coarse sandstone and sandy conglomerate beds nearby the Babu mafic/ultramafic rocks. These sandstones contain andesite and rhyolite fragments and display detrital zircon age spectra similar to those of the Late Permian sandstones in Song Hien tectonic zone and Permian sandstones in western Ailaoshan belt, but distinguished from those of the Permian-Triassic clastic rocks of Youjiang and Shiwandashan basins in southwestern South China. The youngest zircon group with ages of 285 Ma, has geochemical affinities of magmatic zircons crystallized from arc/orogenic settings, corresponding to the occurrence of volcanic rock fragments, indicating a maximum depositional age, and showing an adjacent Early Permian volcanic source. The new findings of chert deposits within a clastic rock section to the east of Babu Village, and the comparison of detrital zircon U-Pb age spectra suggest that the analyzed clastic rocks should be Early Permian rather than Middle Triassic in age and their

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 41302083, 41572078); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (Nos. CUGL140402, CUG160604)。

作者简介: 杨江海 (1984—), 副教授, 主要从事沉积地质学的科研和教学工作。ORCID: 0000-0002-5238-8655, E-mail: yjhceg@126.com

引用格式: 杨江海, 杜远生, 于鑫, 等, 2017. 滇东南八布早二叠世含火山岩屑砂岩指示古特提斯洋俯冲. 地球科学, 42(1): 24-34.

Permian volcanic source might be related to the subduction of Babu-Song Hien Paleo-Tethyan ocean.

Key words: Babu clastic rock; Early Permian; Paleo-Tethyan ocean subduction; detrital zircon; volcanic rock fragment; petrology.

中国西南及邻区发育多条古特提斯蛇绿岩缝合带,由基性/超基性岩、深水远洋沉积、弧/弧后火山岩、高压变质岩等岩石组成,其记录了洋盆扩张、俯冲和闭合造山的复杂地质演化,是揭示华南及东亚地质拼贴过程的关键所在(从柏林等, 1993; Metcalfe, 1994; 殷鸿福等, 1999; Jian *et al.*, 2009b; Metcalfe, 2013; Faure *et al.*, 2014). 澜沧江和昌宁-孟连带代表古特提斯洋主洋盆缝合带,分隔了具晚古生代冈瓦纳型生物-沉积组合的滇缅马泰地块和具华南型生物-沉积组合的思茅地块(刘本培等, 1993; Metcalfe, 1994),而思茅地块与华南大陆间则为代表分支洋盆的金沙江-哀牢山缝合带(从柏林等, 1993; 殷鸿福等, 1999; Jian *et al.*, 2009b; 刘俊来等, 2011). 金沙江-哀牢山洋盆经历志留纪-泥盆纪初始裂谷、石炭纪洋盆扩张、石炭纪-二叠纪洋壳俯冲-弧岩浆作用和三叠纪闭合造

山的完整威尔逊旋回(从柏林等, 1993; 张旗等, 1996; 董云鹏等, 2000; Wang *et al.*, 2000; Jian *et al.*, 2009a, 2009b; 刘俊来等, 2011; Zi *et al.*, 2013; Lai *et al.*, 2014a, 2014b). 该分支洋盆通常被认为向南可延入越南境内,形成分隔印支地块和 华南大陆的 Song Ma 缝合带 (Metcalf, 1994, 2013; Thanh *et al.*, 1996; Lepvrier *et al.*, 2008; Nakano *et al.*, 2010; 刘俊来等, 2011; Faure *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014)(图 1a). 近年来,学者在滇东南-桂西地区陆续发现一些与晚古生代洋盆活动有关的二叠纪岛弧型枕状玄武质火山岩组合(董云鹏和朱炳泉, 1999; 吴根耀等, 2002)、晚古生代含放射虫硅质岩深海沉积序列(吴浩若等, 1994; 黄虎等, 2013)和八布石炭纪-二叠纪洋壳蛇绿岩残片(钟大赉等, 1998; Wu *et al.*, 1999; 徐伟等, 2008; 张斌辉等, 2013), Halpin *et al.* (2015)在越

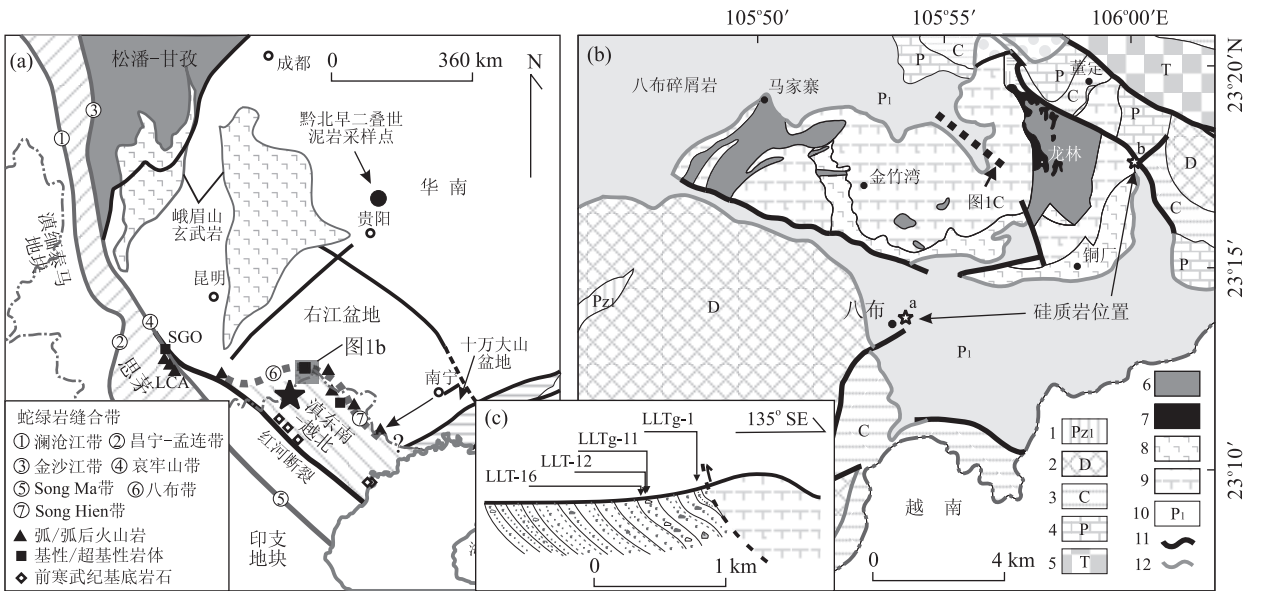


图 1 研究区的大地构造位置

Fig. 1 Tectonic position of the studied area

图 a 修改自 Jian *et al.* (2009a, 2009b) 和 Yang *et al.* (2013); SGO. 哀牢山缝合带的双沟蛇绿岩, 据 Jian *et al.* (2009a, 2009b) 和 Lai *et al.* (2014a); LCA. 绿春火山弧, 据 Jian *et al.* (2009a, 2009b)、Fan *et al.* (2010)、刘翠等(2011)和李友余(2013); 八布-Song Hien 带的弧/弧后火山岩和基性/超基性岩体据钟大赉等(1998)、董云鹏和朱炳泉(1999)、吴根耀等(2002)和 Halpin *et al.* (2015); 充填五角星为滇东南-越北地的前寒武纪基底及都龙-Song Chay 变质岩. b. 采样区地质图, 据(广西壮族自治区地质局, 1977, 马关 1:20 万地质图; 1976, 德隆 1:20 万地质图); 黑虚线为采样剖面位置; 1. 早古生代; 2. 泥盆系; 3. 石炭系; 4. 二叠系; 5. 三叠系; 6. 辉长-辉绿岩; 7. 变质超基性岩; 8. 老厂坡玄武岩; 9. 铜厂玄武岩; 10. 八布碎屑岩; 11. 断层; 12. 不整合界线. c. 龙林西采样剖面, 据钟大赉等(1998)修改

北 Song Hien 构造带报道了二叠纪弧/弧后岩浆活动和洋脊型枕状玄武岩及超基性岩为代表的蛇绿岩. 这些岩石记录被认为指示了哀牢山古特提斯分支洋盆在滇桂—越北交界区的延伸(八布-Song Hien 缝合带, 图 1a), 并构成华南与印支地块间古特提斯缝合带(滇琼缝合带)的一部分(Wu *et al.*, 1999; Cai and Zhang, 2009). Cai and Zhang(2009)曾认为该缝合带与 Song Ma 缝合带代表同一个洋盆系统, 后因新生代红河断裂活动而错断. 然而, 国内外对于是否将滇东南—越北视为华南大陆的一部分、其间是否被二叠纪洋盆分隔及其与 Song Ma 缝合带的关系仍存在很大争议(Yang *et al.*, 2012a; Metcalfe, 2013; Faure *et al.*, 2014; Halpin *et al.*, 2015; 张克信等, 2015).

在滇东南八布蛇绿岩周围出露大面积碎屑岩(云南省地质矿产局, 1990; 黄跃祥, 1998; 钟大赟等, 1998), 其中龙林西碎屑岩剖面发育一套富含火山岩屑的砂砾岩(图 1c). 本文对该砂砾岩进行碎屑锆石 U-Pb 年代学和化学成分分析, 结合笔者在蛇绿岩体南部新发现的薄层硅质岩沉积序列以及与邻区二叠纪—三叠纪碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和化学组成的对比研究, 确定其沉积时代应为早二叠世而非普遍认为的中三叠世, 并据此探讨滇东南—越北地体属性和华南西南缘古特提斯洋演化.

1 区域地质

研究区位于滇桂越交界的文山—富宁地区, 西为文山—麻栗坡断裂, 向东以逆冲褶皱断裂带与右江盆地相邻(吴根耀, 2001; Yang *et al.*, 2012a, 2013), 北部与个旧碳酸盐台地呈断层接触, 向南延入越北的 Song Hien 构造带(Wu *et al.*, 1999; Halpin *et al.*, 2015; 图 1a). 八布蛇绿岩由洋中脊型枕状玄武岩、辉长—辉绿岩和蛇纹石化地幔橄辉岩等基性/超基性岩体组成(图 1b), 其玄武岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 328 Ma(吴根耀等, 2002), 玄武岩(LA-ICPMS)锆石 U-Pb 年龄为 359±6 Ma(黄虎, 2013), 辉长岩(SHRIMP)锆石 U-Pb 年龄为 272±8 Ma(张斌辉等, 2013), 变质玄武岩 Ar-Ar 坪年龄约为 232 Ma(Wu *et al.*, 1999), 毗邻的硅质岩含早二叠世放射虫化石(冯庆来和刘本培, 2002). 上述石炭纪—二叠纪的年龄通常被认为反映了洋盆形成和扩张的时代, 而三叠纪年龄反映了洋盆闭合和汇聚造山的时代. 紧邻该基性/超基性岩体

出露的地层包括晚古生代碳酸盐岩和砂泥质碎屑岩沉积(图 1b). 区域上, 碎屑岩主要由板岩—千枚岩化的泥岩、粉砂岩和细砂岩组成, 局部含粗粒砂砾岩, 整体为一套碎屑浊流沉积(黄跃祥, 1998). 云南省地质矿产局(1990)的研究表明八布地区的碎屑岩不整合于泥盆纪或石炭纪—二叠纪灰岩之上, 并被组成蛇绿岩套的玄武岩不整合覆盖, 而吴根耀(2001)认为三者均为构造接触, 八布碎屑岩层位最低, 后两者皆呈构造推覆体覆于其上. 长期以来, 基于岩石地层组成上与东部右江盆地中三叠统的相似性及地理展布的相邻特征, 八布地区的碎屑岩被归为中晚三叠世沉积(云南省地质矿产局, 1990), 但一直缺少确切的古生物化石和同位素年代学依据. 黄跃祥(1998)报道称获得了中三叠世的牙形石、菊石等化石, 认为其可与右江盆地中三叠统板纳组和兰木组对比, 然而并没有给出具体的采样层位和详实的化石形态描述.

笔者的野外观察结果显示, 碎屑岩粒度总体向东变粗, 在紧邻基性/超基性岩体的龙林西剖面可见有中—厚层状中粗粒砂岩—含砾粗砂岩夹粉砂岩、泥岩(图 2b), 鲍马序列 A—B 段发育, 其岩层倾向 SE 且靠近岩体褶皱变形增强. 此外, 笔者在八布村东碎屑岩地层中新发现一套薄层硅质岩为主的沉积序列(图 1b, 图 2a). 该硅质岩序列厚约 20 m, 向上和向下皆与泥岩、粉砂岩呈渐变接触关系. 龙林东靠近蛇绿岩处出露的早二叠世放射虫硅质岩(图 1b)也与砂泥岩地层相邻产出(冯庆来和刘本培, 2002), 但地层褶皱变形较强(图 2d). 八布地区的碎屑岩中夹有硅质岩序列, 这与东部右江盆地中三叠统明显不同, 后者没有关于硅质岩沉积的报道(Yang *et al.*, 2012a). 如果八布村东与龙林东两套硅质岩层位一致, 同为早二叠世, 那么与之相邻的碎屑岩地层则属同期异相沉积. 因此, 八布周缘碎屑岩的沉积时代及其碎屑物源需要重新思考.

2 样品特征和分析方法

研究样品采自龙林西碎屑岩剖面(图 1c), 均为粗砂岩—含砾粗砂岩. 砂岩碎屑组分以次圆—次棱角状单晶石英和火山岩屑为主, 平均粒径 >0.5 mm(图 2e, 2f). 火山岩屑主要包括微晶状长石组成的安山质火山岩屑和等粒—不等粒状霏细晶状石英和长石构成的流纹质火山岩屑(Lvm 和 Lvf, 图 2e, 2f), 其火山岩结构保存较好, 未见明显变质和风化蚀变.

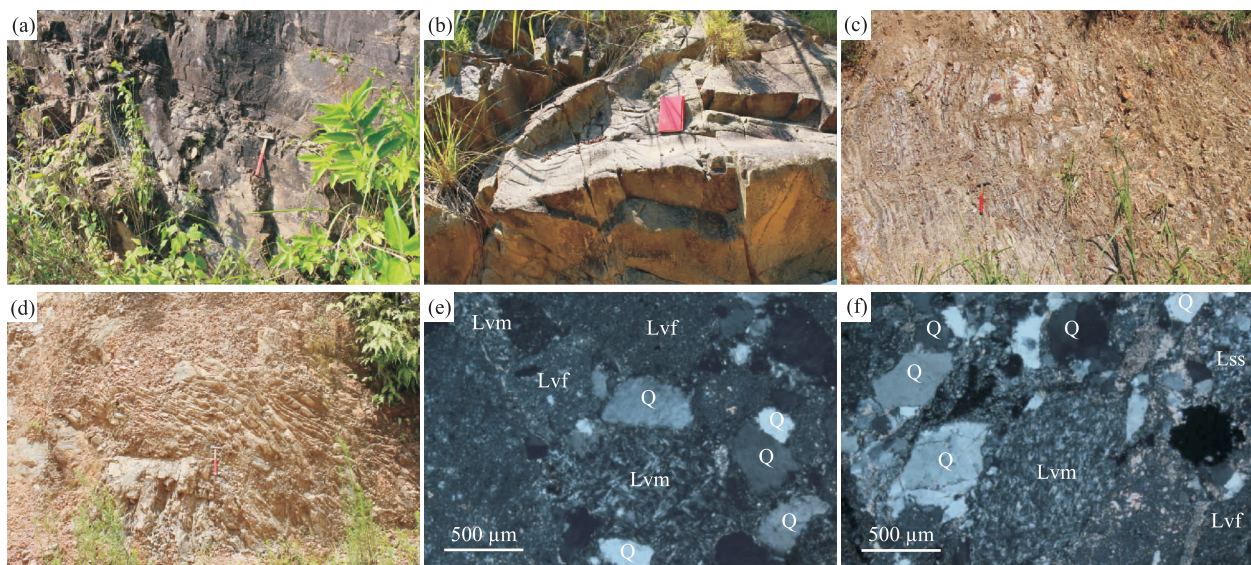


图 2 八布碎屑岩和硅质岩野外照片和岩屑砂岩显微照片

Fig. 2 Field photos for the sandstones in western Longlin section and chert-bearing sequences, and micrographs for the volcanic rock fragments-bearing sandstones from western Linglin

a. 龙林西剖面中一薄层细砂岩和粉砂岩; b. 龙林西剖面含砾粗砂岩; c. 龙林东薄层硅质岩(图 1b 硅质岩位置 a, 含早二叠世放射虫化石, 据冯庆来和刘本培(2002)); d. 八布村东公路旁新发现的薄层红褐色硅质岩地层(图 1b 硅质岩位置 b), 向上变为薄层泥岩和粉砂岩夹中薄层砂岩; e. 粗砂岩样品 LLT-12; f. 样品 LLT-16 正交镜下显微照片, Q. 单晶石英; Lvm-Lvfv. 微晶状-霏细晶状火山岩岩屑; Lss. 粉砂岩岩屑

此外, 还可见少量粉砂质沉积岩岩屑, 由棱角一次棱角状的粉砂级石英组成(Lss, 图 2f)。

笔者通过重磁分选获得两件砂岩样品(LLTg-1 和 LLTg-11)的碎屑锆石颗粒, 制靶抛光后在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行阴极发光(CL)图像和 LA-ICPMS U-Pb 同位素分析。锆石 CL 图像分析所用仪器为 JEOL JXA-8100 型电子探针。锆石 U-Pb 同位素和微量元素 LA-ICPMS 分析的激光剥蚀系统为 Geolas 2005, 利用 Agilent 7500a ICP-MS 获取离子信号强度。样品分析均采用 $32\ \mu\text{m}$ 的激光斑束, 单点分析包括 20~30 s 的背景检测和 50 s 的样品分析。关于激光剥蚀和 ICPMS 系统的操作性能和参数设置详见 Liu *et al.* (2010)。同位素分析信号积分区间选择和定量校正等数据处理所用软件为 ICPMSDataCal (Liu *et al.*, 2010)。锆石微量元素含量利用多个 USGS 参考玻璃作为多外标、以 Si 为内标的方法进行定量计算(Liu *et al.*, 2010)。所用锆石 U-Pb 年龄标样为 91500, 检测标样为 GJ-1, 后者 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $600.2 \pm 3.6\ \text{Ma}$ ($n=9$, $\text{MSWD}=0.95$), 与 LA-ICPMS 分析的推荐值 ($599.8 \pm 1.7\ \text{Ma}$ (2σ); Jackson *et al.* (2004) 在误差范围内一致。

3 分析和讨论

3.1 数据结果

龙林西砂岩样品所含碎屑锆石多为尖棱状, 粒径为 $50\sim 200\ \mu\text{m}$, 阴极发光图像多显示振荡环带、均一状或核一边结构。锆石 LA-ICPMS 同位素分析结果见附表 1 (www.earth-science.net/index.aspx), U-Pb 年龄协和曲线见图 3a, 3c。笔者选择 U-Pb 年龄协和度较高 ($\geq 90\%$) 的分析点做碎屑锆石年龄谱(图 3b, 3d), 其中老于 1 000 Ma 的颗粒取其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 年轻颗粒取其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。两个样品的年龄谱一致, 均包括 2 000~1 600 Ma、1 100~750 Ma、540~420 Ma 和 400~350 Ma 的年龄组。此外, 最老锆石颗粒均为古元古代早期, 最年轻颗粒均为早二叠世(287~280 Ma)。两个样品中共有 9 颗早二叠世碎屑锆石, 它们呈长柱或短柱状, 且具典型的岩浆振荡环带 CL 图像, Th/U 比值为 0.33~1.01(表 1), 表明其为岩浆结晶成因(Corfu, 2003; 吴元保和郑永飞, 2004)。这 9 颗早二叠世锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $284 \pm 2\ \text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.76$, 图 4a), Nb 含量低 ($0.51 \times 10^{-6} \sim 2.34 \times 10^{-6}$), Ti、Hf 含量变化大(分别为 $21.59 \times 10^{-6} \sim 13.14 \times 10^{-6}$ 和 $6.518 \times 10^{-6} \sim 11.336 \times 10^{-6}$) (表 2), 在 C1 球粒陨石标准配分图上除 2 个颗粒富

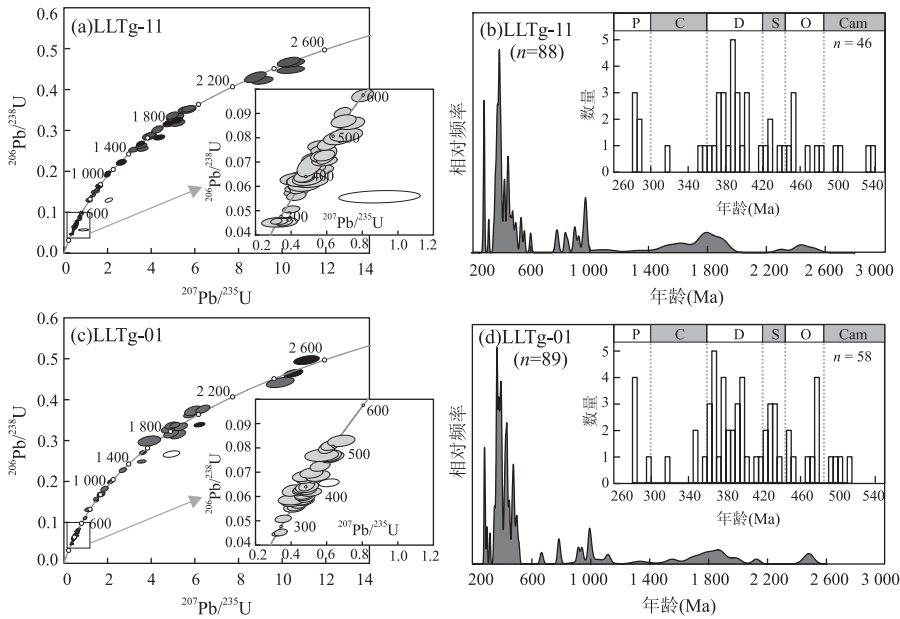


图 3 样品 LLTg-1 和 LLTg-11 碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图(a和c)和频谱图(b和d)

Fig. 3 Concordia (a and c) and probability density (b and d) diagrams for the detrital zircons in the samples LLTg-1 and LLTg-11
古生代年龄的碎屑锆石年龄谱显示在图 b 和图 d 的右上角;谐和图中未充填符号者为协和度 $<90\%$ 的分析点,没有被包括在年龄谱图中

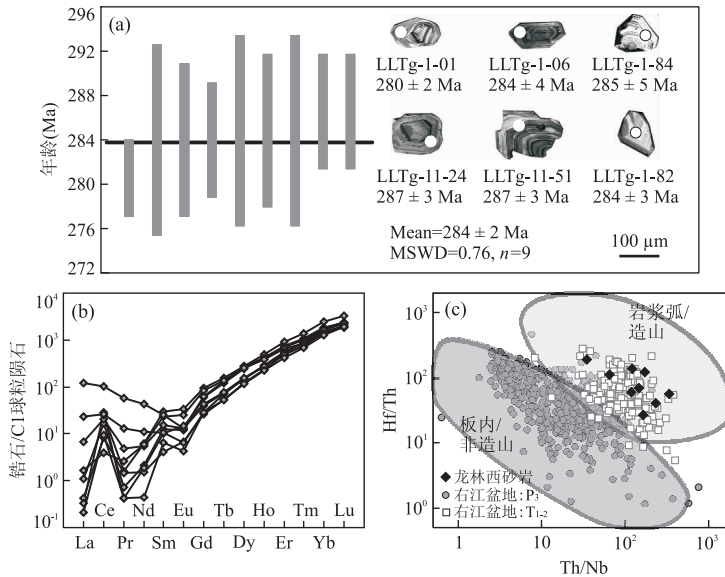


图 4 最年轻锆石颗粒的加权平均年龄及典型阴极发光照片(a)、稀土元素 C1 球粒陨石归一化配分模式(b)和微量元素 Th/Nb-Hf/Th 判别图解(c)

Fig. 4 The weighted average age and representative cathodoluminescence images (a), C1 chondrite normalized rare earth element diagram (b) and Th/Nb-Hf/Th discriminating diagram (c) for the Early Permian detrital zircons of the Longlin sandstones

C1 球粒陨石稀土元素含量参照 McDonough and Sun(1995);右江盆地晚二叠世和早一中三叠世碎屑岩的 300~240 Ma 的碎屑锆石颗粒也投在图 c 中,以便与龙林西砂岩 285 Ma 左右的碎屑锆石进行对比;图 c 据 Yang *et al.* (2012b)

集轻稀土外均具有轻稀土亏损、重稀土富集和显著正 Ce 异常及负 Eu 异常的典型岩浆锆石稀土化学特征(图 4b),其 Th/Nb 和 Hf/Th 比值均与岩浆弧/造山带岩浆结晶锆石一致而明显区别于板内/非

造山环境的岩浆锆石(Yang *et al.*, 2012b;图 4c)。结合砂岩薄片观察到的安山质火山岩屑,碎屑锆石 U-Pb 年龄和化学组成分析表明源区存在早二叠世的岩浆弧/造山型火山活动,同时也指示所研究样

表 2 滇东南龙林西砂岩中早二叠世年龄的碎屑锆石微量元素组成 (10^{-6})Table 2 Trace elements (10^{-6}) concentrations for detrital zircons with Early Permian ages of the western Longlin sandstone samples, southeastern Yunnan Province

分析点	年龄(Ma)		Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Th	U
	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$																					
LLTg-1-01	284	4	9.53	1 002	1.61	1.60	12.81	0.47	2.61	2.40	0.77	13.05	4.87	69.2	27.7	148.2	34.5	417.2	81.9	11 336	0.72	191.6	417.7
LLTg-1-06	280	2	3.18	842	2.34	0.26	10.41	0.07	0.99	1.92	0.69	12.12	4.59	61.7	23.9	123.7	27.2	309.7	58.8	10 335	0.98	383.7	525.8
LLTg-1-82	284	3	3.10	582	0.66	0.05	5.76	0.04	0.21	0.98	0.25	5.77	2.66	37.1	15.9	88.9	21.9	273.7	58.1	10 916	0.61	79.1	171.5
LLTg-1-84	285	5	4.60	558	1.34	0.08	17.69	0.04	0.87	1.53	0.84	8.70	2.87	38.9	15.3	80.3	19.6	234.1	48.7	9 728	0.41	86.5	120.4
LLTg-11-09	285	4	13.14	798	0.64	0.40	2.40	0.25	2.82	3.54	1.46	17.50	5.09	65.3	21.6	108.2	21.6	255.7	46.0	6518	0.23	94.0	281.1
LLTg-11-16	284	5	8.74	894	0.52	0.00	15.31	0.15	2.95	4.52	1.93	19.45	5.73	69.3	23.7	119.9	25.3	302.8	54.2	10 964	0.31	89.1	88.3
LLTg-11-24	287	3	2.25	631	1.10	28.68	63.32	5.40	20.23	3.89	0.76	8.26	2.71	38.0	16.0	93.3	22.0	304.8	59.1	10 263	0.80	252.3	423.4
LLTg-11-51	287	3	4.23	525	0.51	0.10	5.06	0.14	0.71	0.62	0.39	5.46	2.02	31.3	13.2	80.5	18.6	252.5	50.0	9 686	0.30	171.7	370.9
LLTg-11-90	285	5	1.59	447	1.53	5.49	15.86	1.26	5.25	1.66	0.38	5.94	2.01	29.6	12.8	69.8	17.3	219.9	49.6	10 273	0.65	53.1	127.2

品的地层时代不早于 285 Ma 左右。

3.2 龙林西砂岩沉积时代

为进一步约束龙林西砂岩的沉积时代,笔者将其碎屑锆石年龄谱与邻区二叠纪—三叠纪碎屑岩(右江盆地晚二叠世—中三叠世砂岩及粉砂岩、十万大山盆地晚二叠世—早三叠世砂砾岩、黔北早二叠世泥岩和 Song Hien 晚二叠世砂岩(图 1a))的年龄谱进行对比,发现在最年轻锆石年龄组上二者有明显差异(图 5)。右江盆地早—中三叠世砂岩含有安山质和流纹质火山岩屑,对应于 300~240 Ma 的最年轻锆石年龄组,其全岩地球化学和锆石微量元素组成指示岩浆弧/造山型火山岩源区(Yang *et al.*, 2012a, 2013)。右江盆地晚二叠世碎屑岩含有大量玄武质和流纹质火山岩屑,锆石年龄谱以 260 Ma 左右的单年龄组为特征,全岩地球化学、锆石化学成分和沉积古地理均指示其源岩为峨眉山高钛玄武岩和酸性火山岩(Yang *et al.*, 2012b, 2013, 2015; 朱民等, 2016)。十万大山盆地早三叠世和晚二叠世砂砾岩最年轻锆石年龄组分别为 265~245 Ma 和 470~420 Ma,且晚二叠世砂岩中几乎没有 <400 Ma 的碎屑锆石(Hu *et al.*, 2015)。黔北早二叠世泥岩含有大量新元古代和少量早古生代的碎屑锆石,但没有 <440 Ma 的碎屑锆石颗粒(余文超等, 2014)。与上述华南西南缘二叠纪沉积物不同, Song Hien 构造带晚二叠世砂岩含有 290~255 Ma 的最年轻锆石年龄组(Halpin *et al.*, 2015),龙林西砂岩也含有 290~280 Ma 的碎屑锆石,与八布-Song Hien 带出露 290~250 Ma 的橄榄岩、辉长岩、花岗质侵入岩和流纹质火山岩一致(Hoa *et al.*, 2008; 张斌辉等, 2013; Chen *et al.*, 2014; Halpin *et al.*, 2015),表明滇东南—越北地块存在二叠纪与洋壳俯冲有关的弧岩浆活动(吴根耀等, 2002; Yang *et al.*, 2012a; Halpin *et al.*, 2015),构成了 Song

Hien 晚二叠世砂岩、龙林西砂岩和华南西南缘三叠纪碎屑岩的重要火山岩源区。Song Hien 构造带晚二叠世和右江盆地三叠纪砂岩都含有较连续的二叠纪碎屑锆石年龄组,表明二叠纪的弧火山岩浆活动具有持续性;而龙林西砂岩仅含有 290~280 Ma 的碎屑锆石,意味着其源区不包括中晚二叠世弧火山岩或其沉积时代应早于中晚二叠世的弧火山活动,否则也应含有中晚二叠世的火山岩屑和相应的碎屑锆石颗粒。在八布村东剖面有硅质岩层与上下碎屑岩呈渐变过渡关系,与砂泥岩同为深水环境的沉积产物,下一步可对其进行放射虫地层学工作以检验上述关于碎屑岩系为早二叠世沉积的推论。若该硅质岩与龙林东硅质岩一样含有早二叠世放射虫化石,则龙林西砂岩的沉积时代很可能为早二叠世。

3.3 构造意义

八布早二叠世(?)砂岩的碎屑锆石年龄特征与滇西(哀牢山带)绿春二叠纪羊八寨组砂岩的锆石年龄谱一致,后者也含有 300~280 Ma 和 440~340 Ma 的重要年龄组(李友余, 2013)。在哀牢山缝合带西侧的墨江—绿春一带出露 290~250 Ma 的玄武岩、安山岩和流纹质火山岩(Jian *et al.*, 2009b; Fan *et al.*, 2010; 李友余, 2013; Lai *et al.*, 2014b),代表哀牢山洋盆向西俯冲的火山弧(Jian *et al.*, 2009a, 2009b),是羊八寨组的重要物源区。八布早二叠世、Song Hien 晚二叠世和绿春羊八寨组砂岩均含有二叠纪的火山碎屑物质,表明其沿八布-Song Hien 和哀牢山带西侧均发育二叠纪火山弧;而华南西南缘在二叠纪则并未接收来自该火山弧的沉积碎屑,表明两者间应为深水洋盆所分隔,也即滇东南—越北地块与华南大陆间存在八布-Song Hien 古特提斯分支洋盆。上述演化历程与近年来学者对金沙江—哀牢山和 Song Ma 蛇绿岩带的研究认识一致,后者于早三叠世特提斯洋闭合,随

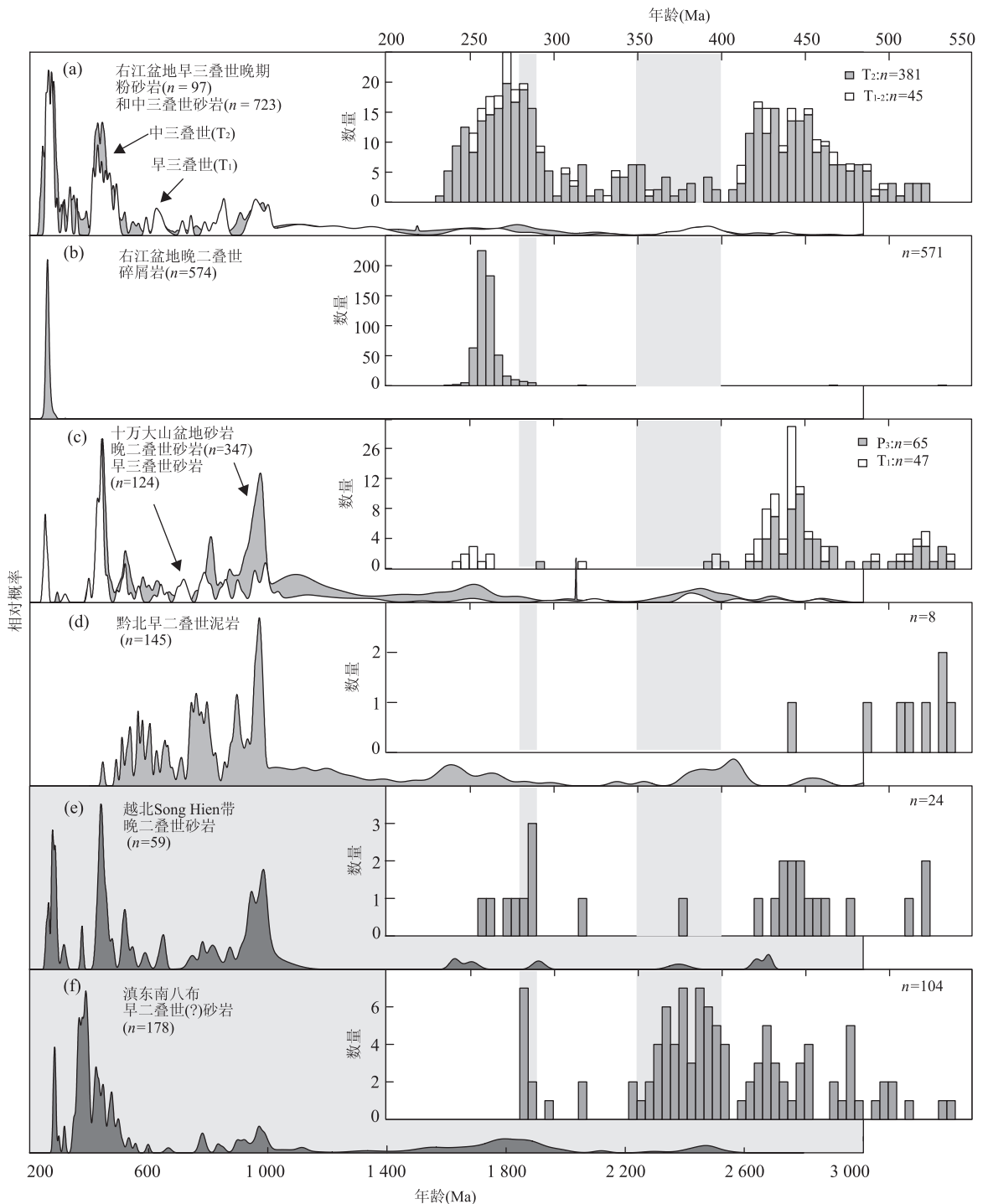


图 5 滇黔桂及越北地区二叠纪—三叠纪砂泥岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱对比

Fig. 5 Detrital zircon U-Pb age probability density diagrams for the Permian-Triassic clastic sedimentary rocks in Dian-Qian-Gui and North Vietnam regions

a. 右江盆地早—中三叠世碎屑岩, 据 Yang *et al.* (2012a, 2013); b. 右江盆地晚二叠世火山碎屑岩, 据 Yang *et al.*, 2012b, 2013); c. 十万大山盆地晚二叠世和早三叠世砂岩, 据 Hu *et al.* (2015); d. 黔北早二叠世泥岩, 据余文超等(2014); e. 越北 Song Hien 构造带晚二叠世砂岩, 据 Halpin *et al.* (2015); f. 滇东南龙林西粗砂岩

后发生陆—陆碰撞造山 (Lepvrier *et al.*, 2008; Zi *et al.*, 2012). 右江盆地在晚二叠世以大量峨眉山大火成岩省的火山碎屑沉积为主, 而三叠纪砂岩中出

现大量的火山岩屑和二叠纪—三叠纪岩浆弧/造山大型碎屑锆石, 表明该盆地于早三叠世发生由被动陆缘向周缘前陆盆地的转换, 是华南西南缘印支期俯

冲—碰撞造山的结果(Yang *et al.*, 2012a). 在滇东南—桂西地区, 上泥盆统以深水放射虫硅质岩为特征(任光明等, 2011; 黄虎等, 2013; 黄志强等, 2013), 发育晚泥盆世—早石炭世裂谷型(亚)碱性玄武岩(王忠诚等, 1997; Guo *et al.*, 2004), 出露与哀牢山带双沟蛇绿岩地球化学性质一致的早二叠世蛇绿岩(钟大赉等, 1998; 张斌辉等, 2013; Halpin *et al.*, 2015), 且二叠纪砂岩含有指示洋壳俯冲的火山弧碎屑物质, 表明八布—Song Hien 缝合带经历哀牢山缝合带相似的构造演化, 代表晚泥盆世裂谷—石炭纪—二叠纪洋盆扩张、俯冲—三叠纪闭合的古特提斯分支洋盆。由此, 滇东南—越北地体在前寒武纪—早古生代具有华南大陆属性, 后为八布—Song Hien 古特提斯洋所分隔。

4 结论

在滇东南八布出露有 3 种岩石建造, 即砂泥质碎屑岩、晚古生代碳酸盐岩和基性/超基性岩体。其中, 八布基性/超基性岩被认为代表古特提斯分支洋盆的洋壳残片, 是八布—Song Hien 缝合带的重要组成部分, 而广布的碎屑岩系则长期被认为是三叠纪浊流沉积。在八布村东碎屑岩序列中出露出一套夹有 20~30 m 硅质岩的粉砂岩、泥岩序列, 笔者推测可与龙林东毗邻八布基性/超基性岩体的早二叠世硅质岩系对比, 下一步可对其进行放射虫生物地层学工作检验这一推论是否合理。在紧邻八布基性/超基性岩体的龙林西剖面发育有砂砾岩夹粉砂岩的碎屑岩序列, 含保存较好的安山质和流纹质火山岩屑, 最年轻碎屑锆石年龄约为 285 Ma, 其化学组成指示源区存在早二叠世的火山弧或造山型岩浆活动。在碎屑锆石年龄谱上, 龙林西砂岩与华南西南缘二叠纪—三叠纪碎屑岩有很大区别, 但与哀牢山绿春火山弧带的二叠纪砂岩和 Song Hien 构造带的晚二叠世砂岩较为相似。结合前人关于八布—Song Hien 构造带与古特提斯洋俯冲有关的二叠纪弧火山活动的研究, 本文研究表明这一火山源区为(龙林西)八布和 Song Hien 二叠纪砂岩提供重要碎屑物质, 但直到三叠纪才开始作为华南西南缘碎屑沉积的主要源区。上述对比分析表明, 龙林西砂岩为早二叠世而非三叠纪沉积, 其沉积时代和物源分析对认识华南西南缘古特提斯构造演化具有重要意义。

致谢: 丁典识同学参加野外样品采集, 邓涛等人帮助完成锆石 LA-ICPMS 测试分析, 两位匿名审稿

人对完善论文内容提供有益的修改建议, 在此一并表示感谢!

References

- Cai, J. X., Zhang, K. J., 2009. A New Model for the Indochina and South China Collision during the Late Permian to the Middle Triassic. *Tectonophysics*, 467 (1–4): 35–43. doi:10.1016/j.tecto.2008.12.003
- Chen, Z. C., Lin, W., Faure, M., et al., 2014. Geochronology and Isotope Analysis of the Late Paleozoic to Mesozoic Granitoids from Northeastern Vietnam and Implications for the Evolution of the South China Block. *Journal of Asian Earth Sciences*, 86: 131–150. doi: 10.1016/j.jseaes.2013.07.039
- Cong, B. L., Wu, G. Y., Zhang, Q., et al., 1993. Geotectonic Evolution of Rocks from the Pleo-Tethys Belt, Western Yunnan, China. *Science in China (Series B)*, 23 (11): 1201–1207 (in Chinese).
- Corfu, F., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53 (1): 469–500. doi: 10.2113/0530469
- Dong, Y. P., Zhu, B. Q., 1999. Characteristics of the Island-Arc Pillow Lavas from Southeast Yunnan Province, and Its Tectonic Implications for Paleo-Tethys in South China. *Chinese Science Bulletin*, 44(21): 2323–2328 (in Chinese).
- Dong, Y. P., Zhu, B. Q., Chang, X. Y., et al., 2000. Geochemistry of the Two-Type Volcanic Rocks from Ailaoshan Suture Zone and Their Tectonic Implication. *Geochimica*, 29(1): 6–13 (in Chinese with English abstract).
- Fan, W. M., Wang, Y. J., Zhang, A. M., et al., 2010. Permian Arc-Back-Arc Basin Development along the Ailaoshan Tectonic Zone: Geochemical, Isotopic and Geochronological Evidence from the Mojiang Volcanic Rocks, Southwest China. *Lithos*, 119(3–4): 553–568. doi:10.1016/j.lithos.2010.08.010
- Faure, M., Lepvrier, C., van Nguyen, V. V., et al., 2014. The South China Block-Indochina Collision: Where, When, and How? *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 260–274. doi:10.1016/j.jseaes.2013.09.022
- Feng, Q. L., Liu, B. P., 2002. Early Permian Radiolarians from Babu Ophiolitic Mélange in Southeastern Yunnan. *Earth Science*, 27 (1): 1–3 (in Chinese with English abstract).
- Guo, F., Fan, W. M., Wang, Y. J., et al., 2004. Upper Paleozoic Basalts in the Southern Yangtze Block: Geochemical and Sr-Nd Isotopic Evidence for Asthenosphere-Lithosphere Interaction and Opening of the Paleo-

- Tethyan Ocean. *International Geology Review*, 46(4): 332–346. doi:10.2747/0020–6814.46.4.332
- Halpin, J. A., Tran, H. T., Lai, C. K., et al., 2015. 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. doi:10.1016/j.gr.2015.04.005
- Hoang, T. T., Izokh, A. E., Polyakov, G. V. et al., 2008. Permo-Triassic Magmatism and Metallogeny of Northern Vietnam in Relation to the Emeishan Plume. *Russian Geology and Geophysics*, 49(7): 480–491. doi:10.1016/j.rgg.2008.06.005
- Hu, L. S., Cawood, P. A., Du, Y. S., et al., 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. doi:10.1016/j.jseaes.2014.11.007
- Huang, H., 2013. The Basin Translation from Late Paleozoic to Middle Triassic of the Youjiang Basin—Evidence from Geochemistry of Sedimentary and Volcanic Rocks (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Huang, H., Du, Y. S., Huang, Z. Q., et al., 2013. Depositional Chemistry of Chert during Late Paleozoic from Western Guangxi and Its Implication for the Tectonic Evolution of the Youjiang Basin. *Science in China (Series D)*, 43(2): 304–316 (in Chinese).
- Huang, Y. X., 1998. Sedimentary Facies and Stratigraphic Framework of the Triassic Clastic Rocks in Malipo Region. *Yunnan Geology*, 17(2): 191–198 (in Chinese).
- Huang, Z. Q., Huang, H., Du, Y. S., et al., 2013. Depositional Chemistry of Cherts of the Late Paleozoic in Napo Rift Basin, Guangxi and Its Implication for the Tectonic Evolution. *Earth Science*, 38(2): 253–265 (in Chinese with English abstract).
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L., et al., 2004. The Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to In Situ U-Pb Zircon Geochronology. *Chemical Geology*, 211(1–2): 47–69. doi:10.1016/j.chemgeo.2004.06.017
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 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(3–4): 748–766. doi:10.1016/j.lithos.2009.04.004
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 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(3–4): 767–784. doi:10.1016/j.lithos.2009.04.006
- Lai, C. K., Meffre, S., Crawford, A. J., et al., 2014a. The Central Ailaoshan Ophiolite and Modern Analogs. *Gondwana Research*, 26(1): 75–88. doi:10.1016/j.gr.2013.03.004
- Lai, C. K., Meffre, S., Crawford, A. J., et al., 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. doi:10.1016/j.gr.2013.03.003
- Lepvrier, C., van Vuong, N. V., Maluski, H., et al., 2008. Indosinian Tectonics in Vietnam. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2–3): 94–111. doi:10.1016/j.crte.2007.10.005
- Li, Y. Y., 2013. Recognition and Characteristics of the Lüchun Island Arc Belt in the South of Jinsha River-Ailao Mountain Subduction-Collision Orogenic Belt (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. P., Feng, Q. L., Fang, N. Q., et al., 1993. Tectonic Evolution of Palaeo-Tethys Poly-Island-Ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang Belts, Southwestern Yunnan, China. *Earth Science*, 18(5): 529–539 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C., Deng, J. F., Liu, J. L., et al., 2011. Characteristics of Volcanic Rocks from Late Permian to Early Triassic in Ailaoshan Tectono-Magmatic Belt and Implications for Tectonic Settings. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3590–3602 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. L., Tang, Y., Song, Z. J., et al., 2011. The Ailaoshan Belt in Western Yunnan: Tectonic Framework and Tectonic Evolution. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(5): 1285–1303 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. 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. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571. doi:10.1093/petrology/egp082
- McDonough, W. F., Sun, S. S., 1995. The Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3–4): 223–253. doi:10.1016/0009–2541(94)00140–4
- Metcalf, I., 1994. Gondwanaland Origin, Dispersion, and

- Accretion of East and Southeast Asian Continental Terranes. *Journal of South American Earth Sciences*, 7 (3-4): 333 - 347. doi: 10. 1016/0895 - 9811 (94) 90019-1
- Metcalf, I., 2013. Gondwana Dispersion and Asian Accretion; Tectonic and Palaeogeographic Evolution of Eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1 - 33. doi: 10. 1016/j. jseaes. 2012. 12. 020
- Nakano, N., Osanai, Y., Sajeev, K., et al., 2010. Triassic Eclogite from Northern Vietnam; Inferences and Geological Significance. *Journal of Metamorphic Geology*, 28 (1): 59 - 76. doi: 10. 1111/j. 1525 - 1314. 2009. 00853. x
- Ren, G. M., Wang, P., Zhang, L. K., et al., 2011. Discussion on Geochemical Characteristics and Sedimentary Environment of the Frasnian Radiolarian Chert in South-eastern Yunnan. *Geological Review*, 57 (4): 505 - 514 (in Chinese with English abstract).
- Thanh, T. D., Janvier, P., Phuog, T. H., 1996. Fish Suggests Continental Connections between the Indochina and South China Blocks in Middle Devonian Time. *Geology*, 24(6): 571 - 574. doi: 10. 1130/0091 - 7613(1996) 024<0571:fscbt>2. 3. co;2
- Wang, X. F., Metcalf, I., Jian, P., et al., 2000. The Jinshajiang-Ailaoshan Suture Zone, China: Tectonostratigraphy, Age and Evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6): 675 - 690. doi: 10. 1016/s1367 - 9120(00)00039 - 0
- Wang, Z. C., Wu, H. R., Kuang, G. D., 1997. Characteristics of the Late Paleozoic Oceanic Basalts and Their Eruptive Environments in West Guangxi. *Acta Petrologica Sinica*, 13(2): 260 - 265 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. Y., 2001. Indosinian Foreland Fold-and-Thrust Belt Bordering Yunnan and Guangxi, China. *Chinese Journal of Geology*, 36 (1): 64 - 71 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. Y., Ji, J. Q., He, S. Q., et al., 2002. Early Permian Magmatic Arc in Pinxiang, Guangxi and Its Tectonic Implications. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 22 (3): 61 - 65 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. Y., Zhong, D. L., Zhang, Q., et al., 1999. Babu-Phy Ngu Ophiolites: A Geological Record of Paleotethyan Ocean Bordering China and Vietnam. *Gondwana Research*, 2(4): 554 - 557. doi: 10. 1016/s1342 - 937x(05) 70193 - 3
- Wu, H. R., Kuang, G. D., Xian, X. Y., et al., 1994. The Late Paleozoic Radiolarian Cherts in Southern Guangxi and Preliminary Exploration on Paleo-Tethys in Guangxi. *Chinese Science Bulletin*, 39(9): 809 - 812 (in Chinese).
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589 - 1604 (in Chinese).
- Xu, W., Liu, Y. P., Guo, L. G., et al., 2008. Geochemistry and Tectonic Setting of the Babu Ophiolite, Southeast Yunnan. *Acta Mineralogica Sinica*, 28(1): 6 - 14 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., 2015. Voluminous Silicic Eruptions during Late Permian Emeishan Igneous Province and Link to Climate Cooling. *Earth and Planetary Science Letters*, 432: 166 - 175. doi: 10. 1016/j. epsl. 2015. 09. 050
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., et al., 2012a. Detrital Record of Indosinian Mountain Building in SW China: Provenance of the Middle Triassic Turbidites in the Youjiang Basin. *Tectonophysics*, 574 - 575: 105 - 117. doi: 10. 1016/j. tecto. 2012. 08. 027
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., et al., 2012b. Large Igneous Province and Magmatic Arc Sourced Permian-Triassic Volcanogenic Sediments in China. *Sedimentary Geology*, 261 - 262: 120 - 131. doi: 10. 1016/j. sedgeo. 2012. 03. 018
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., et al., 2013. A Sedimentary Archive of Tectonic Switching from Emeishan Plume to Indosinian Orogenic Sources in SW China. *Journal of the Geological Society, London*, 171 (2): 269 - 280. doi: 10. 1144/jgs2012 - 143
- Yin, H. F., Wu, S. B., Du, Y. S., et al., 1999. South China Defined as Part of Tethyan Archipelagic Ocean System. *Earth Science*, 24(1): 1 - 12 (in Chinese with English abstract).
- Yu, W. C., Du, Y. S., Zhou, Q., et al., 2014. Provenance of Bauxite Beds of the Lower Permian in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen Area, Northern Guizhou Province: Evidence from Detrital Zircon Chronology. *Journal of Palaeogeography*, 16 (1): 19 - 29 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Bureau Geological Mineral Resource, 1990. Regional Geology of Yunnan Province. Geological Publication House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, B. H., Ding, J., Zhang, L. K., et al., 2013. SHRIMP Zircon U-Pb Chronology of the Babu Ophiolite in Southeastern Yunnan Province. *Acta Geologica Sinica*, 87 (10): 1498 - 1509 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Pang, G. T., He, W. H., et al., 2015. New Division of Tectonic-Strata Superregion in China. *Earth Science*, 40(2): 206 - 233 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, Q., Zhou, D. J., Zhao, D. S., et al., 1996. Wilson Cycle of the Paleo-Tethyan Orogenic Belt in Western Yunnan; Record of Magmatism and Discussion on Mantle Processes. *Acta Petrologica Sinica*, 12(1): 17–28 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, R. Y., Lo, C. H., Li, X. H., et al., 2014. U-Pb Dating and Tectonic Implication of Ophiolite and Metabasite from the Song Ma Suture Zone, Northern Vietnam. *American Journal of Science*, 314(2): 649–678. doi: 10.1111/jmg.12012
- Zhong, D. L., Wu, G. Y., Ji, J. Q., et al., 1998. Discovery of Ophiolite in Southeast Yunnan, China. *Chinese Science Bulletin*, 43(13): 1365–1370 (in Chinese).
- Zhu, M., Chen, H. L., Zhou, J., et al., 2016. Provenance of Early Triassic in Yanyuan Basin, Upper Yangtze and Its Implication for the Tectonic Evolution. *Earth Science*, 41(8): 1309–1321 (in Chinese with English abstract).
- Zi, J. W., Cawood, P. A., Fan, W. M., et al. 2012. Triassic Collision in the Paleo-Tethys Ocean Constrained by Volcanic Activity in SW China. *Lithos*, 144–145: 145–160. doi:10.1016/j.lithos.2012.04.020
- Zi, J. W., Cawood, P. A., Fan, W. M., et al., 2013. Late Permian-Triassic Magmatic Evolution in the Jinshajiang Orogenic Belt, SW China and Implications for Orogenic Processes Following Closure of the Paleo-Tethys. *American Journal of Science*, 313(2): 81–112. doi: 10.2475/02.2013.02
- ### 附中文参考文献
- 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等, 1993. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化. *中国科学 (B 辑)*, 23(11): 1201–1207.
- 董云鹏, 朱炳泉, 1999. 滇东南建水岛弧型枕状熔岩及其对华南古特提斯的制约. *科学通报*, 44(21): 2323–2328.
- 董云鹏, 朱炳泉, 常向阳, 等, 2000. 哀牢山缝合带中两类火山岩地球化学特征及其构造意义. *地球化学*, 29(1): 6–13.
- 冯庆来, 刘本培, 2002. 滇东南八布蛇绿混杂岩中的早二叠世放射虫化石. *地球科学*, 27(1): 1–3.
- 黄虎, 2013. 右江盆地晚古生代—中三叠世演化(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学.
- 黄虎, 杜远生, 黄志强, 等, 2013. 桂西晚古生代硅质岩地球化学特征及其对右江盆地构造演化的启示. *中国科学 (D 辑)*, 43(2): 304–316.
- 黄跃祥, 1998. 麻栗坡八布三叠系碎屑岩沉积相特征及层位归属. *云南地质*, 17(2): 191–198.
- 黄志强, 黄虎, 杜远生, 等., 2013. 广西那坡裂陷盆地晚古生代硅质岩地球化学特征及其地质意义. *地球科学*, 38(2): 253–265.
- 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(硕士学位论文), 成都: 成都理工大学.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 等, 1993. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化. *地球科学*, 18(5): 529–539.
- 刘翠, 邓晋福, 刘俊来, 等, 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.
- 刘俊来, 唐渊, 宋志杰, 等, 2011. 滇西哀牢山构造带: 结构与演化. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 41(5): 1285–1303.
- 任光明, 王鹏, 张林奎, 等, 2011. 滇东南弗拉斯期放射虫硅质岩地球化学特征及沉积环境探讨. *地质论评*, 57(4): 505–514.
- 王忠诚, 吴浩若, 邝国敦, 1997. 桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境. *岩石学报*, 13(2): 260–265.
- 吴根耀, 2001. 滇桂交界区印支期前陆褶皱冲断带. *地质科学*, 36(1): 64–71.
- 吴根耀, 季建清, 何顺东, 等, 2002. 广西凭祥地区早二叠世的岩浆弧及其构造意义. *矿物岩石*, 22(3): 61–65.
- 吴浩若, 邝国敦, 咸向阳, 等, 1994. 桂南晚古生代放射虫硅质岩及广西古特提斯的初步探讨. *科学通报*, 39(9): 809–812.
- 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.
- 徐伟, 刘玉平, 郭利果, 等, 2008. 滇东南八布蛇绿岩地球化学特征及构造背景. *矿物学报*, 28(1): 6–14.
- 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等, 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. *地球科学*, 24(1): 1–12.
- 余文超, 杜远生, 周琦, 等, 2014. 黔北务正道地区下二叠统铝土矿层物源研究: 来自碎屑锆石年代学的证据. *古地理学报*, 16(1): 19–29.
- 云南省地质矿产局, 1990. 云南区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 张斌辉, 丁俊, 张林奎, 等, 2013. 滇东南八布蛇绿岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究. *地质学报*, 87(10): 1498–1509.
- 张克信, 潘桂堂, 何卫红, 等, 2015. 中国构造——地层大区划分新方案. *地球科学*, 40(2): 206–233.
- 张旗, 周德进, 赵大升, 等, 1996. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论. *岩石学报*, 12(1): 17–28.
- 钟大赉, 吴根耀, 季建清, 等, 1998. 滇东南发现蛇绿岩. *科学通报*, 43(13): 1365–1370.
- 朱民, 陈汉林, 周静, 等, 2016. 上扬子西南盐源盆地早三叠世物源体系及构造意义. *地球科学*, 41(8): 1309–1321.