

滇东南石炭系坝达组对比和南盘江 晚古生代大洋板块演化



Pre-pub. on line: [www.
geojournals.cn/georev](http://www.geojournals.cn/georev)

赵云江^{1,3)}, 包佳凤^{1,3)}, 李维科¹⁾, 何世军⁶⁾, 刘军平^{1,2,3)},
赵巧珍⁴⁾, 田应贵⁵⁾, 王晓林¹⁾

- 1) 云南省地质调查院, 昆明, 650216; 2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083;
3) 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明, 650061;
4) 贵州省有色地质三总队, 贵州遵义, 563000; 5) 云南省地质矿产勘查院, 昆明, 650051
6) 中国冶金地质总局第二地质勘查院, 福州, 350108

内容提要: 右江盆地上世纪末发现了桂西晚古生代海相(洋岛)玄武岩, 近期亦有报道。洋盆、洋脊玄武岩是判断洋岛存在的先行条件。滇东南坝达、里呼一带下石炭统的坝达组(C_1b)主要为灰黑、灰白色薄层硅质岩、放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩、玄武岩夹凝灰岩、泥晶灰岩、泥岩, 具有典型的硅质岩—玄武岩—灰岩—泥岩组合的洋盆沉积建造, 含牙形石、三叶虫等。该组喷发于他披组之上的基性—超基性熔岩, 具有显著的大洋拉斑玄武岩特征。因此, 坝达组的划分和对比为研究右江盆地晚古生代—中三叠世的多岛洋盆环境提供了重要的依据, 对研究华夏造山带与扬子陆块的拼贴过程具有十分重要的科学意义。

关键词: 放射虫—海绵骨针硅质岩; 洋盆建造; 坝达组; 早石炭世; 洋板块地层; 滇东南里呼

洋板块地层(OPS)概念是 Isozaki 等(1990)根据对日本造山带增生杂岩的识别和研究命名的, 是泛指发育在造山带中的, 于洋盆(包括边缘海盆)形成与闭合过程中形成的地层, 即指海洋板块从它最初在洋中脊形成, 一直到海沟发生俯冲作用形成的增生杂岩。Kusky 等(2013)把洋板块地层(OPS)定义为大洋岩石圈的火成岩基底序列, 以及沉淀在洋底基底序列之上的沉积岩和火山岩的盖层序列(张克信等, 2015, 2021; 刘军平等, 2022c)。日本古增生杂岩中发现的重建海平面序列, 从最老到最年轻依次为枕状玄武岩、灰岩、放射虫岩、硅质页岩、页岩和砂岩。菲律宾、印度尼西亚、泰国等地区的混杂岩也有类似的岩性。这一演替(洋板块地层学, OPS)代表了以下一系列过程: 洋脊处海洋板块的诞生、洋脊附近火山岛屿的形成、被钙质生物礁所覆盖、在同样沉积放射虫燧石的火山岛屿的侧翼沉积钙矾石、在远洋环境中沉积放射虫骨架、在半远洋环境中沉积混合放射虫残骸和碎屑颗粒形成硅质页岩、在汇聚

边缘沟槽处或附近沉积粗粒砂岩和页岩(Koji Wakita, Ian Metcalfe, 2004)。在国内, 李文昌等(2010)根据石炭纪放射虫和洋脊玄武岩组合, 系统论述了西南“三江”多岛弧盆; 李廷栋等(2019)认为洋板块具有两种构造环境, 即开阔大洋(洋盆地)与弧—沟系统, 存在两种不同的沉积组合; 潘桂棠等(2019)通过对洋板块地层(OPS)研究, 论述了全球主要的俯冲杂岩带的特征。因此, 洋板块地层(OPS)研究是地质学研究的热点。吴浩若等(1994a, b)、王忠诚等(1997)根据广西南部晚泥盆世到晚二叠世放射虫组合研究, 提出广西晚古生代存在连续深海沉积以及与之共生的大洋板内玄武岩, 可能代表扬子与印支地块之间有一个宽广的古特提斯洋, 也就是说, 广西晚古生代属远洋、深水沉积(图1)。岩石学及地球化学研究显示, 桂西南—滇东南分布的晚古生代火山岩多数属于大洋板内碱性玄武岩, 部分为拉斑玄武岩, 总体以洋岛玄武岩(OIB)为主(史晓颖等, 2006)。桂西下石炭统主要

注: 本文为云南省技术创新人才培养对象资助项目(编号: 202305AD160031)、云南省1:5万万寿山幅等四幅区域地质调查资助项目(编号: D201904)、云南1:5万大庄幅、法裱幅、底土幅、甸中幅4幅区域地质调查资助项目(编号: D202207)的成果。

收稿日期: 2022-09-01; 改回日期: 2023-01-03; 网络首发: 2023-02-20; 责任编辑: 李明。Doi: 10.16509/j.georeview.2023.02.012

作者简介: 赵云江, 男, 1972年生, 高级工程师, 主要从事区域地质调查研究; Email: ynddyqdszyj@163.com。通讯作者: 刘军平, 男, 1983年生, 在读博士生, 高级工程师, 主要从事区域地质与构造地质调查及相关研究工作; Email: 271090834@qq.com。

为灰岩、粉砂质泥岩、硅质岩、硅质灰岩、玄武岩,获 *Pseudopolygnathus triangularis*、*Gnathodus homopunctatus*、*G. bilineatus* 等早石炭世牙形石。滇东南紧邻桂西,在滇东南下石炭统坝达组(C_1b)层型剖面地区,榴江组含放射虫硅质岩(图 2a),坝达组含放射虫(图 2b)及海绵骨针硅质岩(图 2c),那梭组、者浪组含放射虫硅质岩(图 2d、e),这三个层位^[10]完全可以和桂西对比(吴浩若等,1994)。学者研究了广西钦防一带的放射虫组合,这三个层位含 4 个化石带组合为 *Entactinosphaera*—*Entactinosphaera*(中一晚泥盆世)、*Albaillellacaradoxa*(早石炭世)、*Pseudoalbaillellas carpratam rhombotaoracata*(早二叠世龙吟期)、*Pseudoalbaillellafus iformis*(刘本培等,1993;王忠诚等,1997)。泥盆系中统榴江组建于广西榴江市,主要为一套硅质岩、硅质泥岩,含竹节石、放射虫等,榴江组在滇东南的广南、富宁、丘北等地分布较为广泛。特别是坝达组层型地区的岩石组合、生物组合完全可与桂西地区下石炭统地层对比,桂西南—滇东南之间并未发现板块缝合线,表明桂西—滇东南晚古生代海洋环境是连通的。同时,滇东南同样发育晚泥盆世—二叠纪生物礁、鲕粒、豆粒滩相、台地浅水相沉积(云南省地质矿产局,1990,1996)。滇东南晚古生代就是由众多的生物礁、鲕粒、豆粒滩相、台地浅水相沉积与富含放射虫硅质岩、灰岩、玄武岩、凝灰岩、泥岩组成的深水盆地相间的多岛洋盆环境(殷鸿福等,1999)。笔者等根据 1:75 万云南省地质图,参考了石炭纪—二叠纪古地理图,同时结合 1:5 万白显等四幅、1:5 万那佐等四幅及者太幅、底圩幅资料,粗略编制了滇东南晚古生代—三叠纪安尼阶地质图(图 1)。最为显著的特征是,1:75 万云南省地质图基本上除了上二叠统与下三叠统是整合关系,其余古生界地层与三叠系地层接触,无疑就只有断层接触。当把古生代地层自然圈闭后,与三叠系地层接触界线呈现出优美的天然浑成的港湾、潟湖、岛屿等地质地貌。当然,这还需要以后工作中证实。

最近,李序贵等(2020)认为富宁地区的晚二叠世基性火山岩属于洋岛环境,进一步认为晚二叠世基性火山岩既显示出大陆板内环境特征,又显示出大洋板内构造背景,这种认识充满了矛盾,但是富宁地区晚二叠世基性火山岩属于洋岛环境是无可争议的。洋岛的存在,必然有洋盆的存在。赵云江等(2022)报道了右江—南盘江盆地里呼地区首次发

现枕状玻基辉石岩(图 2f、g)及共生组合的地质意义,认为滇东南里呼地区洋盆从早石炭世维宪阶打开,到三叠纪安尼期发展演化形成了多岛洋盆环境。本文结合滇东南晚古代的资料,认为滇东南富宁地区中一晚二叠世洋岛火山岩是多岛洋盆地的重要物质组成和地质地貌特征,与扬子陆块存在着极其复杂的拼贴过程。石炭系下统坝达组(C_1b)是滇东南多岛洋盆深水、远洋沉积最为关键的地层之一。因此,滇东南里呼石炭系下统坝达组(C_1b)地层层序的厘定对研究洋盆环境具有十分重要的地质意义。

1 区域地质背景

滇东南地区是区域上右江—南盘江盆地的一部分,同时也是华夏造山带的组成部分,南西以红河断裂为界,北西以弥勒—师宗断裂为界,面积约 6 万平方千米。东侧与贵州省黔西南地区相接,南东侧毗邻广西壮族自治区。弥勒—师宗断裂北西为扬子陆块,南东为华夏造山带(Liu Junping et al., 2020, 2021, 2023)。扬子地层区仅有峨眉山玄武岩(P_{2-3e})基性火山喷发(未发现枕状构造)夹陆相磨圆度很好的砾岩(滇东富源地区),下伏有梁山组(P_2l),上覆为宣威组(P_3x),两者皆为重要的赋煤、产煤层位(云南省地质矿产局,1990,1996)。滇东南地区从寒武系—奥陶系、缺失志留系,泥盆系—三叠系为连续沉积。滇东南地区自晚泥盆世—中三叠世均有火山喷发活动,经历了二叠纪“煤间断”(赵云江等,2020;刘军平等,2020a、b),与扬子地块地层差别显著。自 20 世纪 80 年代完成了 1:20 万区域地质调查工作之后,云南省地质矿产局(1990)作了系统总结,其中总结了滇东南“南丹型”沉积的特征,随即开展了大比例尺 1:5 万的地质调查工作。1990 年云南省地质矿产局第二地质大队区调分队完成了 1:5 万者太幅、底圩幅区域地质调查项目,新建了石炭系下统坝达组(C_1b),主要为硅质岩、含放射虫海绵骨针硅质岩、玄武岩,夹凝灰岩及生物灰岩、灰岩扁豆体,灰岩中含丰富的牙形石 *Pseudopolygnathus oxypageus*, *P. nudus*, *Gnathodus typicus*, *Spathognathodus crassidentatus*, *S. discrecus*, 中—上部以 *Gnathodus bilineatus*, *Symmutatus homopunctatus*, *G. commutatus*, *G. nodosus*, *G. bilineatus bilineatus*, *G. bilineatus bollandensis*(图 3)最常见,著者认为沉积环境属台沟(盆)相。限于当时的理论和技术方法,并未对放射虫、海绵骨针硅质岩进行研究,难能可贵的是者太—底圩幅区域地质

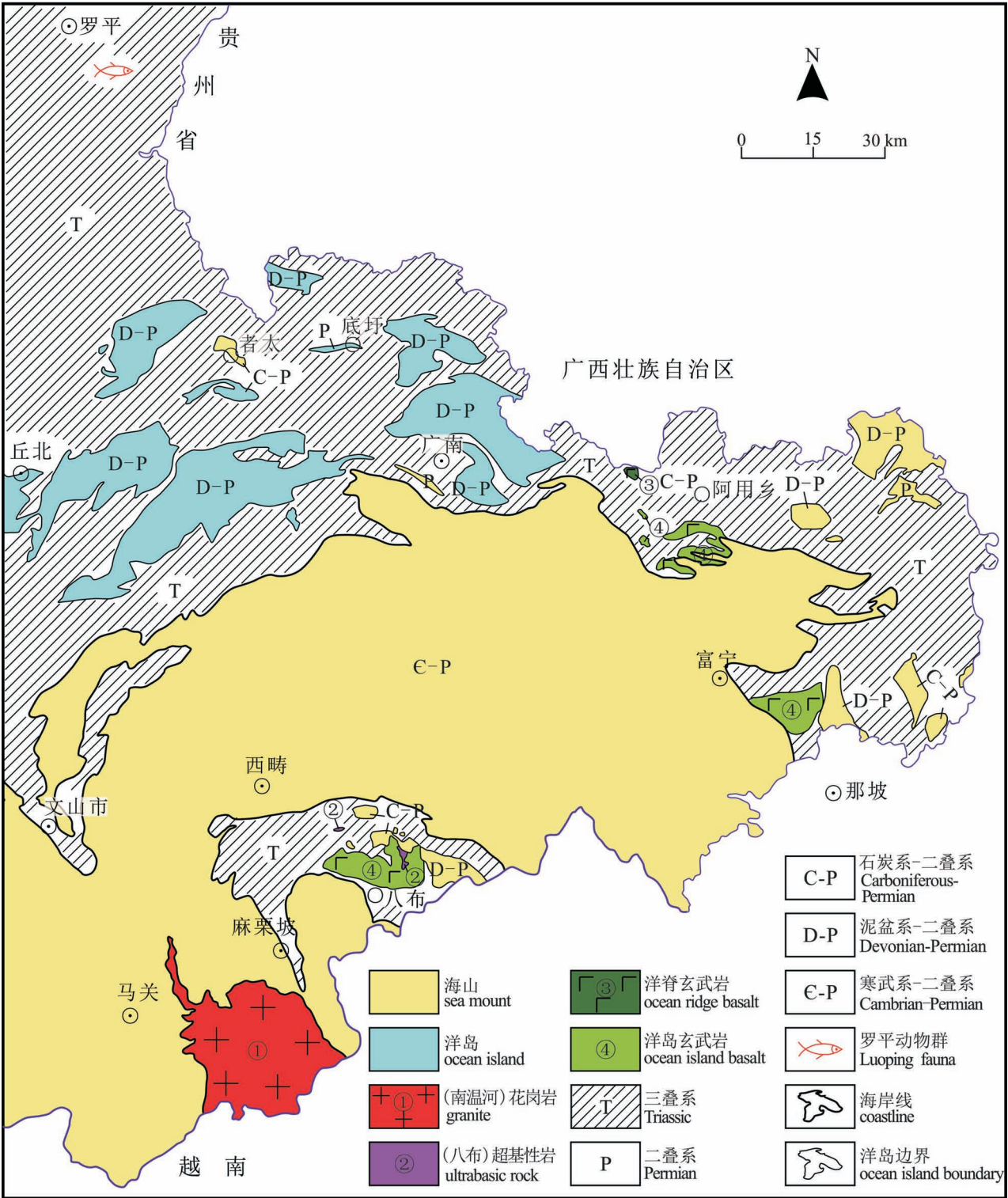


图 1 滇东南古生代—中生代地质简图

Fig. 1 Late Paleozoic—Triassic paleogeographic map of southeastern Yunnan

调查项目工作者们敢于突破和创新,新建石炭系下统坝达组,为滇东南多岛洋盆的论证提供了扎实的基础资料。之后,云南省地质矿产局(1990,1995)引用,在滇东南地区陆续开展了1:5万的区域地质调查,但始终没有发现石炭系下统坝达组(C₁b)这个地层单位。因此,里呼一带坝达组(C₁b)的资料

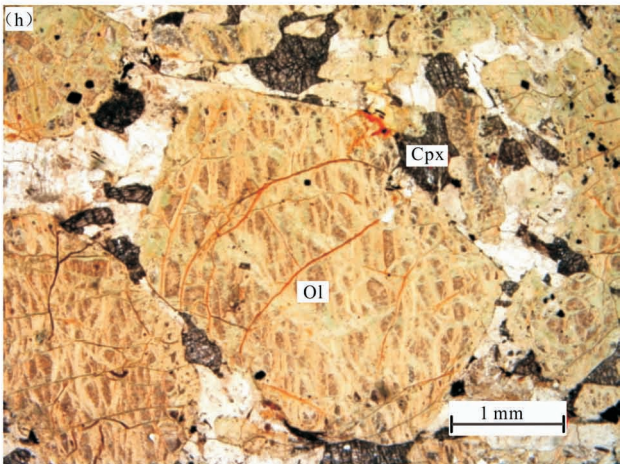
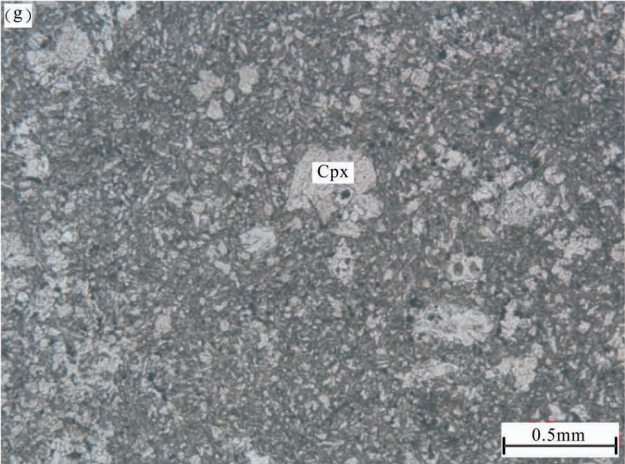
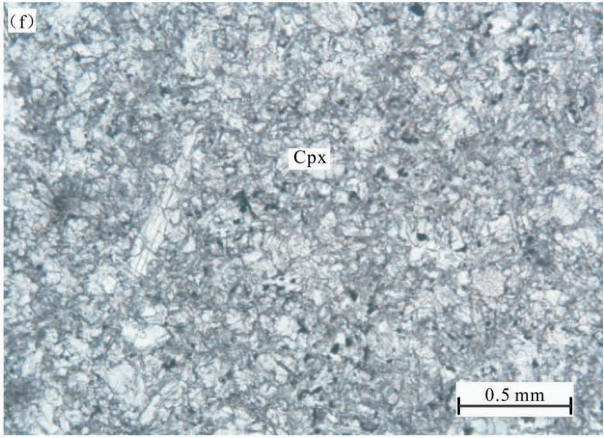
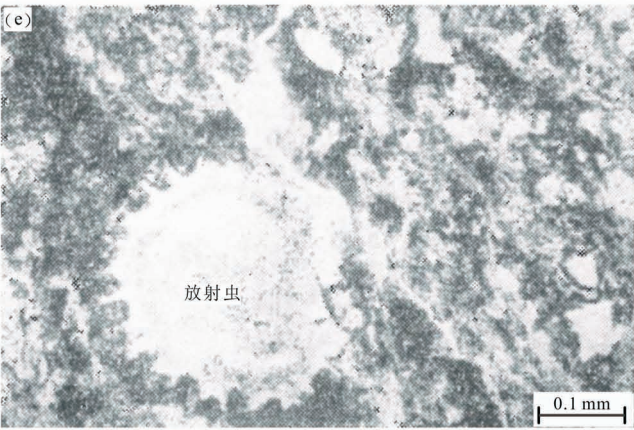
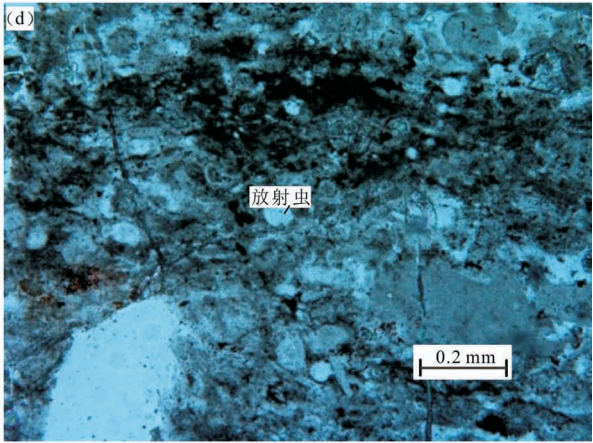
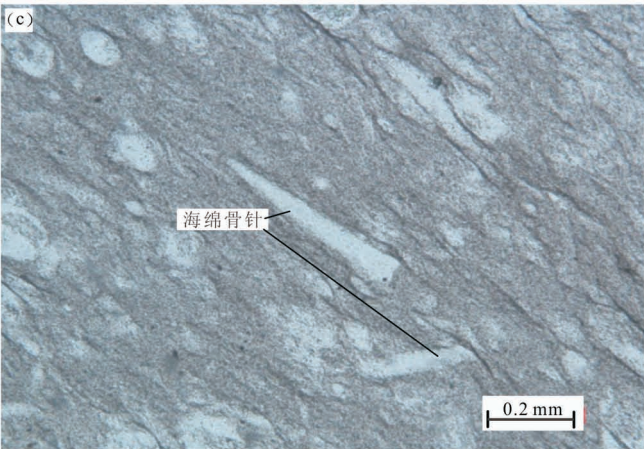
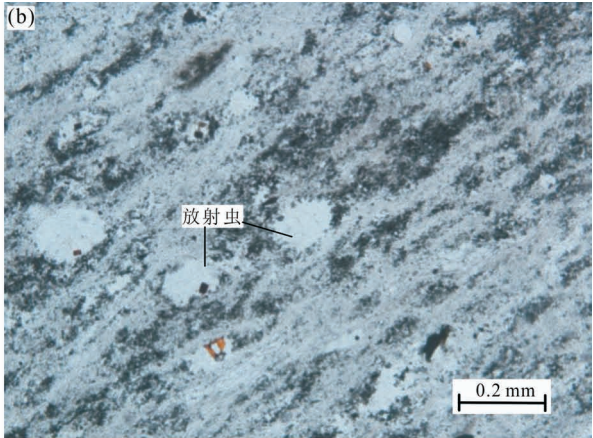
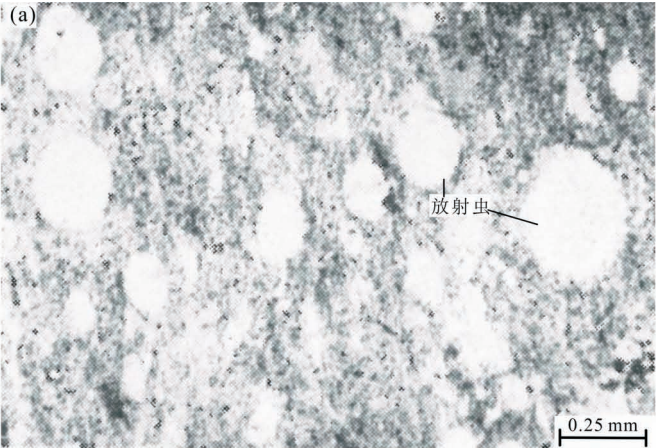


图2 滇东南地区榴江组放射虫硅质岩,坝达组放射虫、海绵骨针硅质岩,那梭组、者浪组放射虫硅质岩镜下照片

Fig. 2 The photos of radiolarian siliceous rocks in the Liujiang Formation, the Bada Formation radiolarian and spongy spicule siliceous rocks, and the Nasuo Formation and Zhelang Formation radiolarian siliceous rocks in southeastern Yunnan

(a) 榴江组中放射虫(引自1:5万者太—底圩幅报告^①);(b) 坝达组中放射虫;(c) 坝达组中海绵骨针;(d) 岩头组中放射虫;

(e) 者浪组中放射虫(引自1:5万者太—底圩幅报告^①);(f)—(g) 玻基辉石岩;(h) 辉石橄榄岩(引自包佳凤等,2020)

(a) Radiolaria in the Liujiang Formation (after 1:50000 regional geological survey report of Zhetai and Diwei areas^①); (b) Radiolaria in Bada Formation; (c) sponge bone needle in Bada Formation; (d) Radiolaria in Yantou Formation; (e) Radiolaria in Zhelang Formation (after 1:50000 regional geological survey report of Zhetai and Diwei areas^①); (f)—(g) glassy pyroxenite; (h) pyroxene peridotite (after Bao Jiafeng et al., 2020)

就显得弥足珍贵。

区域上,吴浩若等(1994,1997)、王忠诚等(1997)根据广西晚泥盆世到晚石炭世放射虫组合研究,提出桂西晚古生代存在连续深海沉积以及与之共生的大洋板内玄武岩,可能代表扬子与印支地块之间有一个宽广的古特提斯洋。在坝达组层型地区,从泥盆系中—上统榴江组、石炭系下统坝达组、二叠系上统(那梭组、者浪组)三个层位含放射虫硅质岩,含海绵骨针硅质岩的仅有坝达组。滇东南紧邻桂西,坝达组层型地区完全可以和桂西地区晚古生界地层对比。包佳凤等(2020)研究了滇东南红河地区基性—超基性岩墙群的辉石橄榄岩(图2h)的地球化学特征,认为滇东南红河一个旧地区三叠纪出现了裂谷环境或类似洋盆中心地带环境。2016年,1:5万那佐等4幅区域地质调查中在富宁县阿用乡里呼一带发现了一套晚古生代地层,主要为灰岩、泥岩、放射虫硅质岩、凝灰岩及基性—超基性枕状熔岩(MORB)。由于对洋板块地层缺乏了解,或者没有将(MORB)与夹放射虫、海绵骨针硅质岩(图2)代表的深水沉积、远洋沉积有机联系起来,简单地将灰岩、砾屑灰岩、硅质岩、凝灰岩及细碎屑岩划分为石炭系—二叠系(C—P,未建组)、将发育枕状的基性—超基性熔岩划分为二叠系上统龙康组(P₃l)两个岩石地层(图4)^{①③}。本文进一步研究岩石组合,结合地层中赋含的牙形石、放射虫等生物组合特征将其划分为泥盆系上统五指山组(D₃w)、石炭系下统坝达组(C₁b)、石炭系—二叠系他披组(CPt)、石炭系—二叠系洋脊玄武岩(CP—MORB)4个岩石地层单位(表1,图5),较1:5万那佐等4幅区域地质报告的划分方案更加合理(洋脊玄武岩特征另文发表)。需要指出:龙康组具有洋岛火山岩特征,下覆地层的碳酸盐岩不能简单归为扬子陆块的阳新组,本次暂以P₂表示。坝达组主要为灰色薄—中层状泥晶灰岩、(含)生物碎屑灰岩、砾屑灰

岩夹灰黑色薄层状放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩、深灰色粉砂质泥岩及少量凝灰岩。灰岩中含蜓,泥岩中含三叶虫、苔藓虫 *Fenestella* sp.、腕足类 *Chonetes* (*Megachonetes*) *papilionacea*(C₁)、海百合茎等化石,整合覆于泥盆系上统五指山组(D₃w)之上,以特有的放射虫、特别是海绵骨针可以和坝达组层型对比;他披组(CPt)为灰色大理岩化(含生物碎屑)微粉晶灰岩,整合覆于坝达组(C₁b)之上,顶发育不全,被发育枕状构造的石炭纪—二叠纪基性—超基性火山熔岩(MORB)(图6)喷发不整合覆盖。里呼一带从晚泥盆世—二叠纪末期为连续沉积,垂向序列保存完整,特别是坝达组,顶底完整,是研究洋板块地层理想地区。区域上,滇东南同样发育晚古生代台地或者浅水、稳定型沉积,如古木组(Dg)、东岗岭组(D₂d)、大铺组(Cd)、黄龙组(Ch)、马平组(C₂m)、未定组(P₂)^②,泥盆纪生物主要有珊瑚、层孔虫、腕足类、介形类,石炭纪—二叠纪含丰富的蜓类,伴生有珊瑚、腕足类等,显示为生物礁、鲕粒、豆粒滩相、开阔台地相沉积,大者数百km²,小者不足1km²,呈圆形、椭圆形分布,其周围被大面积分布的下一中三叠统地层环绕,接触面不见断层角砾岩,接触面界线很多呈港湾状。本文认为,滇东南晚古生代的浅水、稳定型沉积属于洋岛、海山、岛屿沉积。纵览滇东南晚古生代晚泥盆世—二叠纪沉积环境,就是由众多的洋岛、海山、岛屿沉积与富含放射虫硅质岩、泥岩、灰岩、玄武岩、凝灰岩组成的深水盆地相间的多岛洋盆环境。更进一步讲,里呼一带从晚泥盆世—二叠纪为连续沉积,各地层间接触关系清楚,岩石轻微变质—不变质,将会成为研究洋板块地层的预设前缘阵地。地层是地质学的基础,石炭系下统坝达组(C₁b)是滇东南多岛洋盆深水、远洋沉积最为关键的地层之一,本文将1:5万者太幅、底圩幅和1:5万那佐幅建立的坝达组(C₁b)层型剖面相关信息进行对比。

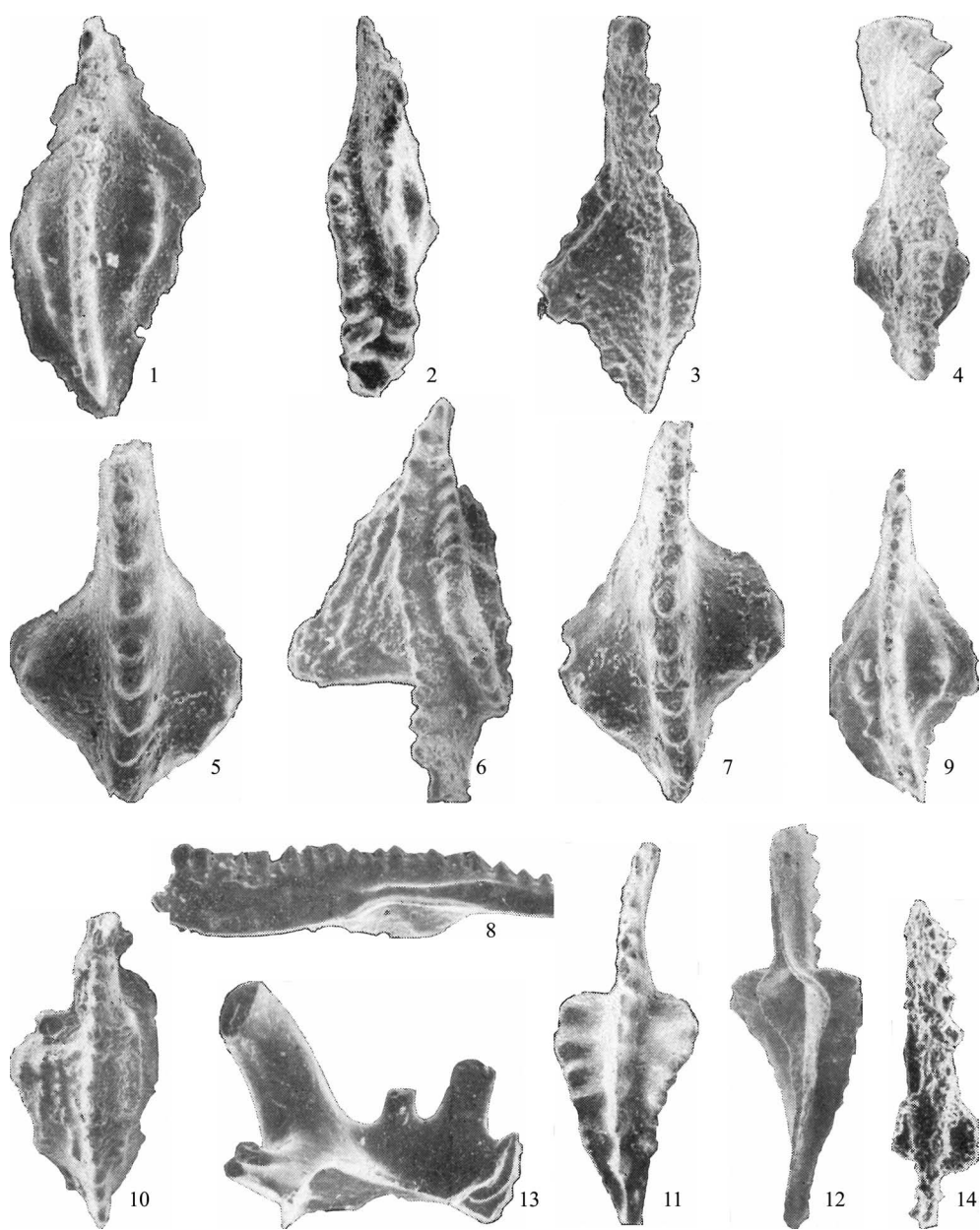


图 3 滇东南地区石炭系坝达组灰岩牙形石 (据 1 : 5 万者太幅、底圩幅区域地质调查报告)

Fig. 3 Conodont specimens from the limestone of the Bada Formation of the Carboniferous System in southeast Yunnan (after 1 : 50000 Regional Geological Survey Report of Zhetai and Diwei)

1—*Gnathodus homopunctatus* Ziegler, ×58; 2—*Declinognathodus noduliferus* Ellisonet Gyaves, ×185; 3—*Gnathodus bilineatus bollandensis* Higgins et Bouckaert, ×106; 4—*Gnathodus commutatus commutatus* Bransonet Mehl, ×92; 5—*Gnathodus commutatus commutatus* Branson et Mehl, ×129; 6—*Gnathodus bitinetus bilinedus* (Roundy), ×127; 7—*Gnathodus nodosus* Bischoff, ×116; 8—*Spathognathodus crassidentatus* Branson et Mehl, ×53; 9—*Gnathodus* cf. *Typicus* Cooper, ×111; 10—*Gnathodus cuneiformis* Mehlethomas, ×92; 11 ~ 12—*Pseudopolygnathus oxypageus* Morphotype Lane, Sandberg et Ziegler, ×92; 13—*Metalonchodina* sp. A., ×75; 14—*Gnathodus texanus* Roundy, ×139

2 剖面对比

下石炭统坝达组 (C₁b) 为云南省地质矿产局文山第二地质大队在 1990 年完成 1 : 5 万者太幅、底圩幅区域地质调查中新建的一个岩石地层单位, 岩性

主要为硅质岩、含放射虫海绵骨针硅质岩, 夹玄武岩、凝灰岩、凝灰砂岩及生物灰岩、灰岩扁豆体, 厚 168 m, 含丰富的牙形石, 报告认为沉积环境为台沟相。里呼一带坝达组岩性主要为灰、灰黑色薄层状硅质岩、硅质泥岩含放射虫海绵骨针硅质岩、砾屑灰

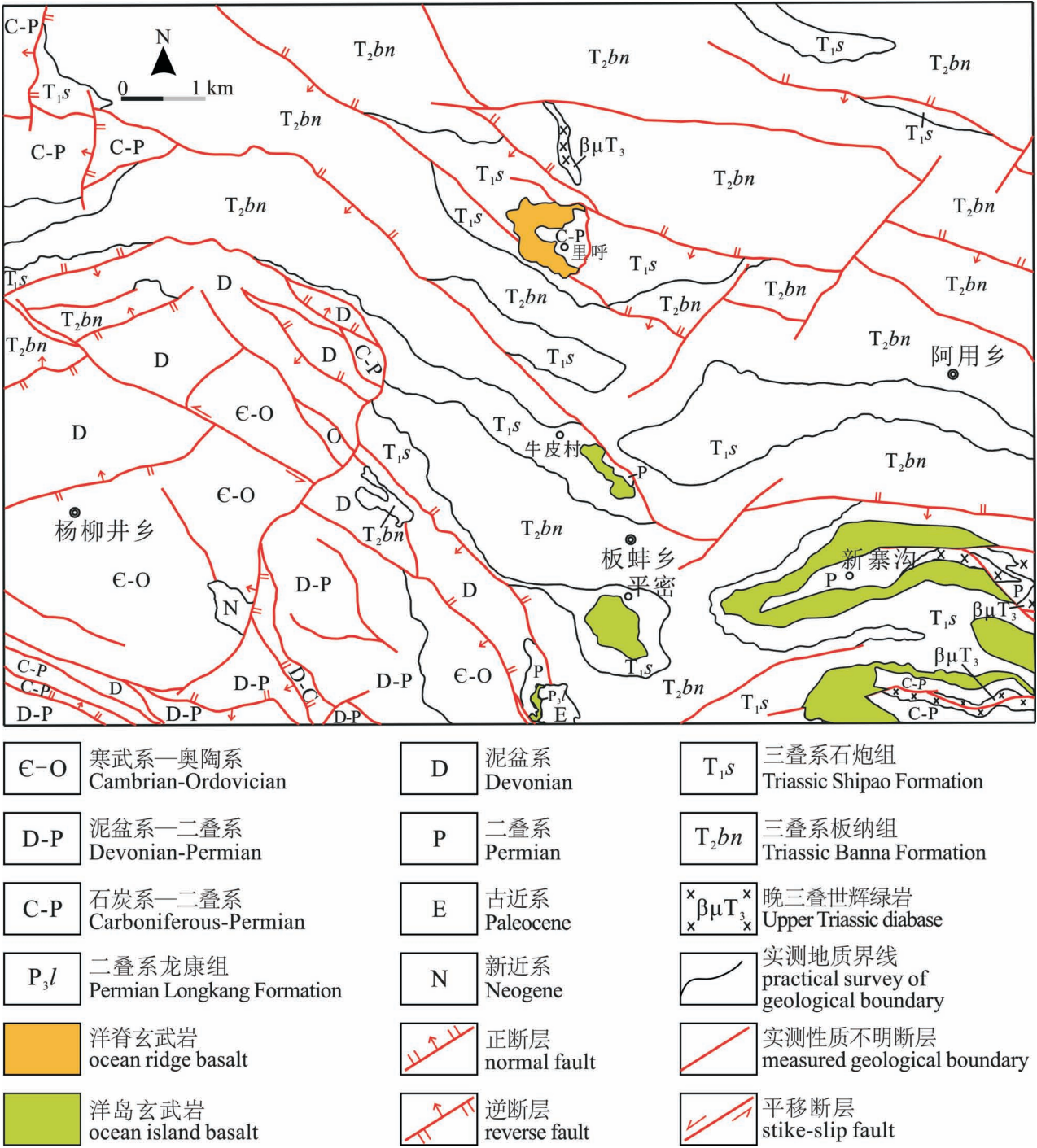


图4 滇东南富宁县阿用乡地区地质草图(据1:5万那佐幅地质图修改)

Fig. 4 Geological sketch of Ayong Township, Funing County, southeastern Yunnan (modified from 1 : 50000 Nazuo Geological Map)

岩、泥岩、粉砂质泥岩、泥晶灰岩,夹凝灰岩,含三叶虫、腕足、海百合茎、海林檎等化石,厚283.4 m,底部以砾屑生物碎屑内碎屑灰岩与五指山组分界。其中2层放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩为滇东南石炭系下统坝达组的特征,沉积特征可以和广南坝达、

广南那苏的坝达组层型对比(图7),两地的坝达组夹有含海百合茎灰岩,也是共性之处,总体表现出硅质—泥质—火山质组成的复理石建造特征(刘军平等,2020a,b;刘军平等,2022a,b)。坝达组硅质岩变形强烈,发育比手标本尺度略大,露头尺度的尖棱、

表 1 滇东南富宁县阿用乡里呼晚古生界地层划分沿革表

Table 1 Evolution of Late Paleozoic strata of Lihu, Ayong Township, Funing County, southeastern Yunnan

1 : 5 万那佐幅		本文					
上二叠统	龙康组	二叠系	龙康组	洋岛环境	远洋碳酸盐岩		洋脊玄武岩 (MORB)
		石炭系—二叠系			他披组	洋盆环境	
石炭系— 二叠系	C-P	上石炭统			坝达组	洋盆环境	
		下泥盆统			五指山组(D _{3w})南丹型		

紧闭、顶厚及不规则褶皱,轴面、枢纽产状变化大。除此之外,里呼坝达组与层型坝达组也有明显的差别,表现在:(1)坝达组层型硅质岩层多,且较薄,是主要的岩石类型之一;(2)坝达组层型玄武岩夹层多,单层厚度不大,表明坝达一带火山活动以及伸展作用强烈得多。但在里呼一带以细碎屑岩为主,仅有少量凝灰岩夹层,代表较为宁静的深水远洋盆地

沉积;(3)里呼一带坝达组夹较多的砾屑灰岩,砾屑成分灰岩、炭质泥岩、硅质岩等,灰岩中含鲕,表明砾屑灰岩不是盆地内的初始物质,而是来源于台地—斜坡的产物,只是在盆地再次堆积的结果。坝达、里呼两地坝达组上覆地层皆为石炭系—二叠系他披组(CPt)。

通过对比可以看出,里呼、坝达两地的坝达组

(C₁b)具有共性特征,差别也十分明显,足以显示多岛洋盆深水、远洋深水环境的差别。

里呼一带下石炭统坝达组(C₁b)组底界明显,与下伏含牙形石地层(上泥盆统五指山组)呈整合接触。而在坝达组(C₁b)层型剖面认为下伏地层上泥盆统榴江组(D₃l),即坝达组(C₁b)整合于榴江组之上,但在滇东南的广大地区,上泥盆统五指山组(D₃w)广泛分布,1 : 5 万马街等 4 幅区域地质调查曾在建水官厅地区获牙形石 *Palmatolepis rhomboids* 带,里呼一带多地也获牙形石^②。也就是说,坝达组的层型剖面可能是没有底的剖面,或者是坝达组与榴江组呈断层接触。

3 滇东南多岛洋盆典型特征

如前所述,长期以来,滇东南地史时期晚泥盆世—二叠纪存在连续的深水、远洋沉积成为一种共识,但对右江—南盘江盆地的构造属性存在很大的争议,造成这种分歧的主要原因在于:(1)以洋脊型蛇绿岩为依据;(2)以连续的深水、远洋沉积进行识别;(3)忽略了滇东南地史时期晚泥盆世—二叠纪存在连续的浅水沉积,诸如各类礁灰岩、鲕粒、豆粒灰岩、潮坪沉积等;(4)没有将洋环境与右

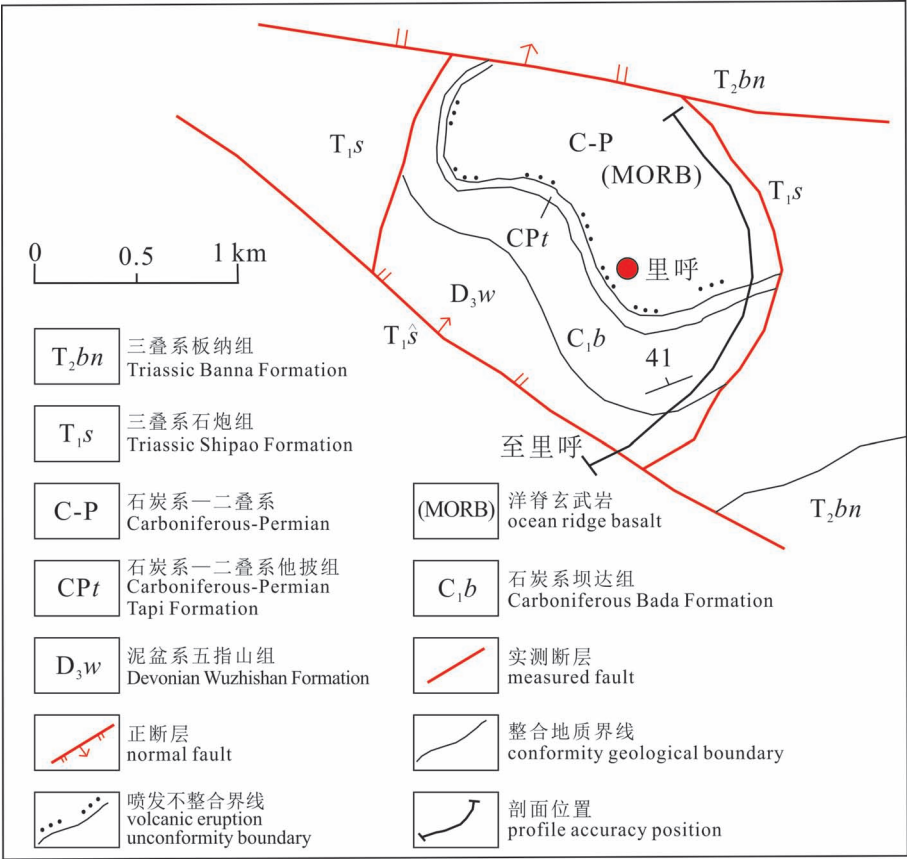


图 5 滇东南富宁县阿用乡里呼地质图

Fig. 5 Late Paleozoic geological map of Lihu, Ayong Township, Funing County, Southeast Yunnan Province

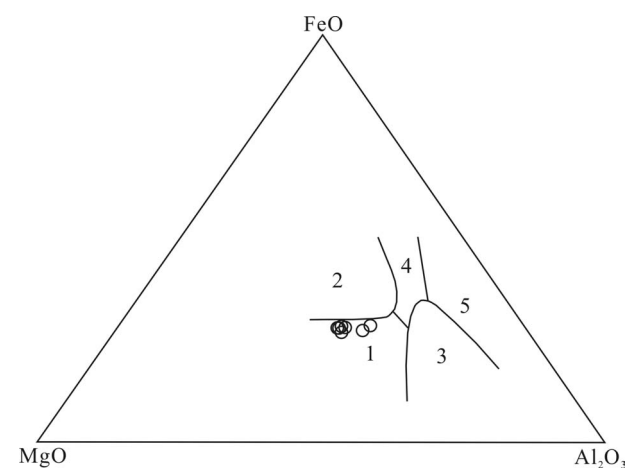


图6 里呼(C—P)玄武岩 $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解(引自赵云江等,待刊)

Fig. 6 $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$ Diagram of the Lihu (C—P) basalts (from Zhao Yunjiang et al., in press)

1—洋脊及洋底;2—洋岛;3—造山带;
4—大陆板内;5—扩张中心岛屿
1—Ridge and bottom;2—ocean island;3—orogenic belt;
4—continental intraplate;5—expand the central island

江—南盘江盆地三叠纪的生态系有机的联系起来。

3.1 深水、远洋沉积

滇东南目前发现的深水、远洋盆地沉积有:(1)滇东南地区1:5万马街幅在红河北岸年少剖面条带状硅质灰岩获放射虫,将其对比为中二叠统岩头组(P_{2yt});(2)钟大赉等(1998)在滇东南发现蛇绿岩;(3)红河沿岸发现洋脊型基性—超基性岩墙群(包佳凤等,2020);(4)里呼一带发现晚泥盆世—二叠纪存在连续的深水、远洋沉积。区域上,吴浩若等(1994a,b,1997)、王忠诚等(1997)根据广西晚泥盆世到晚石炭世放射虫组合研究,提出桂西晚古生代存在连续深海沉积以及与之共生的大洋板内玄武岩,可能代表扬子与印支地块之间有一个宽广的古特提斯洋。在坝达组层型地区,从中—上泥盆统榴江组、下石炭统坝达组、上二叠统(者浪组、那梭组)三个层位含放射虫硅质岩,而深水盆地硅质岩沉积对多岛洋盆的构造背景具有重要的指示意义(杜远生等,2006)。

3.2 浅水(洋岛、岛屿、海山等)沉积

滇东南同样发育晚古生代台地或者浅水沉积,如泥盆系古木组(Dg)、东岗岭组(D_2d)、石炭系大铺组(Cd)、黄龙组(Ch)、石炭系—二叠系马平组(CPm)、中二叠统未定组(P_2)六个地层单位(云南

省地质矿产局,1996),泥盆纪生物主要为珊瑚、层孔虫、腕足、介形类,石炭纪—二叠纪含丰富的蠕类,伴生有珊瑚、腕足等,显示为生物礁、鲕粒、豆粒滩相、开阔台地相沉积(云南省地质矿产局,1996),大者数百~数千 km^2 ,小者不足 1 km^2 ,多呈圆形状、透镜状分布,其周围被下三叠统石炮组(T_{1s})、中三叠统板纳组(T_{2bn})地层环绕(图1)。认为滇东南晚古生代的浅水、稳定型沉积属于洋岛、海山、岛屿等沉积,其中以文山—富宁洋岛规模最大,其特征与海南岛、台湾岛相似。

4 讨论

4.1 滇东南(南盘江)晚古生代的洋盆建造

滇东南(南盘江)晚生代地层存在较大争议,一种观点认为属台地—台盆相[《云南省区域地质志》(1990)、(2022,待版)];另外一种观点认为属洋环境,但也有较大的分歧,如弧后盆地及特提斯洋等。弧后盆地中的“弧”在什么位置?扬子与印支地块之间有一个宽广的古特提斯洋之间宽广的特提斯洋,且广泛发育洋岛,洋岛只能依托洋盆而存在。滇东南紧邻桂西、桂西北,晚古生代地层与桂西、桂西北极为相似,三个层位硅质岩中产放射虫,分别是榴江组如榴江组含放射虫、竹节石等生物特征、岩石组合特基本一致。在坝达组层型地区,主要为灰黑、灰白色薄层硅质岩、放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩、玄武岩夹凝灰岩、泥晶灰岩、泥岩,具有典型的硅质岩—玄武岩(凝灰岩)夹泥岩、灰岩组合特征,显示出洋盆地层的内在特征(图8)。由于坝达组中玄武岩的测试方法、手段及数据处理的不同,当时认为属裂谷环境,有必要用新的测试方法、手段。石炭系地层在桂西、桂西北没有划分(待建)组,但右江—南盘江盆地晚古生代地层中含海绵骨针只在坝达组硅质岩中见及,这是唯一特征。在里呼一带,同时发现了枕状基性—超基性熔岩(图8d),地球化学数据显示具有洋脊玄武岩(MORB)的特征。桂西、桂西北晚古生代地层发育洋岛地质地貌,洋岛的广泛存在,暗示着必然有洋盆的存在。本文认为滇东南石炭系坝达组为典型的洋盆建造,是孕育右江—南盘江盆地晚古生代洋岛的先行条件,滇东南地区晚古生代地层与桂西、桂西北晚古生代海洋环境是连通的,右江—南盘江盆地晚古生代古地理不是一个干净的大洋,是发育有洋盆、洋脊的多洋岛盆地。

4.2 滇东南多岛洋盆与“南丹型”的关系

泥盆纪“南丹型”沉积首先由王珏、俞昌明在

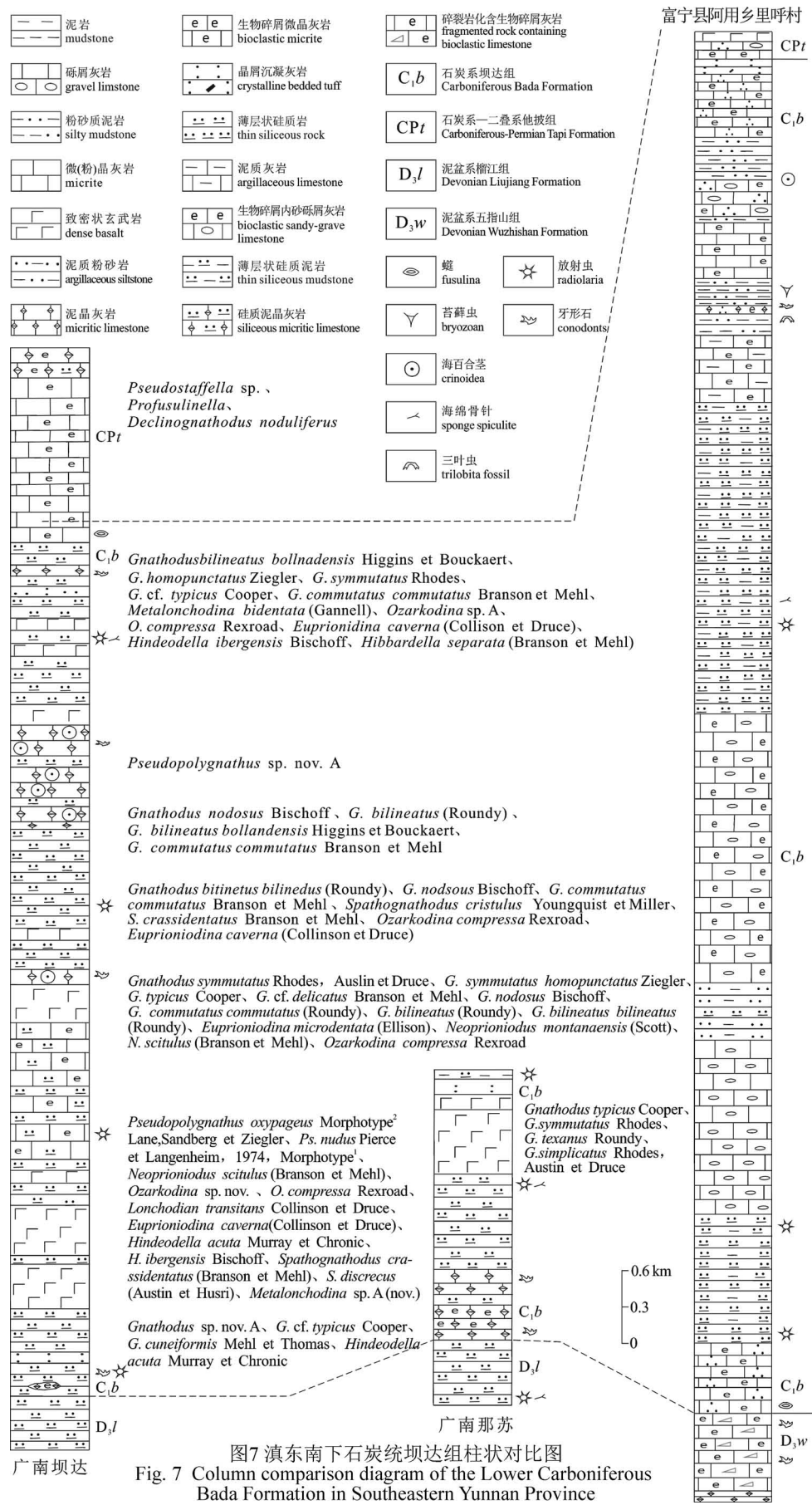


图7 滇东南下石炭统坝达组柱状对比图
Fig. 7 Column comparison diagram of the Lower Carboniferous Bada Formation in Southeastern Yunnan Province

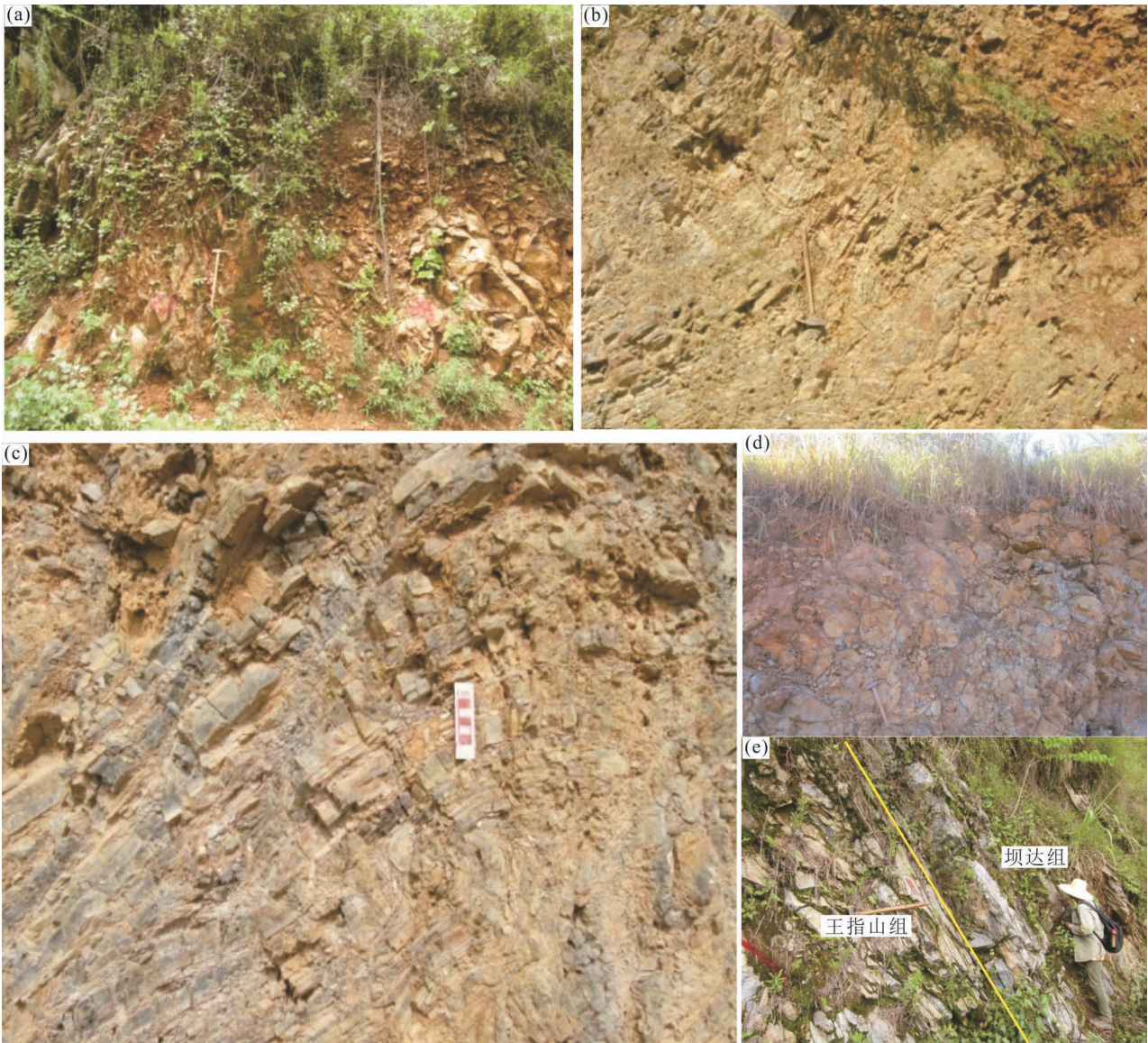


图 8 滇东南里呼地区坝达组野外岩性组合特征

Fig. 8 Field lithologic association characteristics of the Bada Formation in Lihu area, southeastern Yunnan

(a) 杏仁状玄武岩喷发不整合他披组(CPt)之上;(b) 放射虫硅质岩(宏观)特征;(c) 放射虫、海绵骨硅质岩,局部发育顶厚尖棱状褶曲;(d) 枕状玄武岩;(e) 坝达组整合于五指山组之上,五指山组含牙形石,坝达组为砾屑灰岩

(a) amygdaloid basalt erupts unconformably on the Tapi Formation (CPt); (b) radiolarian siliceous rock (macroscopic) characteristics; (c) radiolaria, spongy spicule siliceous rock, locally developed top thick sharp edge folds; (d) pillow basalt; (e) the Bada Formation is integrated on the Wuzhishan Formation, the Wuzhishan Formation occurs conodonts and the Bada Formation is gravelly limestone

1974 年提出,云南省地质矿产局(1990)正式引用。“南丹型”沉积就是台、槽相间(钟铿等,1991),在滇东南地区,这种台、槽相间的古地理格局延续晚泥盆世。坝达一带上泥盆统榴江组中发现了玄武岩、南沙一带上泥盆统五指山组(1:5 万白显等四幅区域地质调查报告划分为革当组)中发现了基性火山岩。榴江组中玄武岩的地球化学特征表明不具备大洋玄武岩的特征,与里呼一带基性—超基性火山熔

岩(MORB)无相似性和相近性。从里呼基性—超基性火山熔岩所获 U-Pb 同位素年龄值 347 ± 3.9 Ma, 也就是里呼洋脊玄武岩的喷发时限为石炭纪维宪期,与金沙江洋盆(李文昌等,2010)打开时间基本一致。滇东南从早石炭世开始就已经发展成为多岛洋盆环境,一直延续到中三叠世拉丁期,也就是说,滇东南多岛洋盆环境是在晚泥盆世台、槽相间的古地理格局的基础上进一步拉伸发展形成的,是继承

和发展的关系。

4.3 滇东南多岛洋盆与三叠纪生态系关系

中国滇西造山带已经拟定了金沙江洋盆、昌宁—孟连洋、怒江洋盆等(谢静, 2002; 李文昌等, 2010; 刘军平等, 2022c), 但至今未发现与大洋盆地相关的海洋生物群。在右江—南盘江盆地内, 先后发现关岭动物群、兴义动物群、盘县动物群及罗平生物群, 特别是中三叠世安尼期 *Pelsonina* 亚期的罗平—盘县动物群已发现丰富的海生爬行类和鱼类等脊椎动物以及节肢类、双壳类、腹足类及棘皮类等无脊椎动物(郝维城等, 2006; 汪啸风等, 2009; 马乐天等, 2013; 尹超等, 2014; 刘军平等, 2022a, b), 赢得了高度的赞誉(杨瑞东, 2002)。不同学者对右江—南盘江盆地四大动物群进行了种属特征、埋藏条件、生活习性等研究, 但对鱼龙类、鳍龙类、初龙类和原龙且这些海生爬行类都处于生物链的顶端的捕食者的古环境的研究则很少, 且分歧较大。汪啸风等(2009)认为其属于扬子浅海陆棚之局限高盐盆地; 郝维城等(2006)根据晚三叠世关岭生物群中以大量的大型鱼龙如萨斯特鱼龙类(体长可达 10 m)最为瞩目, 认为它们可能更适应在更深的大洋里生活, 但没有对大洋盆地的属性进行界定。滇东南晚古生代除了放射虫硅质岩、泥岩、大洋拉斑玄武岩代表的深水、远洋沉积外, 同样发育晚古生代生物礁、鲕粒、豆粒滩等属于洋岛(龙康组玄武岩)、海山、岛屿浅水沉积, 表明滇东南晚古生代是由深水、远洋沉积与洋岛、海山、岛屿浅水沉积构成的多岛洋盆, 为三叠纪关岭动物群、兴义动物群、盘县动物群及罗平生物群提供了食物、生存空间和娱乐场所。

4.4 南盘江晚古生代大洋板块演化初探

在以往的洋板块地层研究中, 是通过板块缝合线或者俯冲增生杂岩的识别进行。然而, 洋板块地层都是因为受到后期板块碰撞作用或者俯冲作用而肢解显得支离破碎, 而且经过了多期变形变质, 呈构造夹块或者是残片, 无法恢复其原始的堆积层序。滇东南里呼下石炭统坝达组(C_1b)顶底齐全, 分别与上泥盆统五指山组(D_3w)、石炭系一二叠系他披组(CPt)呈整合接触, 在已知的造山带中十分罕见, 而且坝达组(C_1b)岩石轻微变质—不变质, 地层层序保存完整, 且构造现象简单, 总体表现为一个单斜层序。主要为灰黑、灰白色薄层硅质岩、放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩、玄武岩夹凝灰岩、泥晶灰岩、泥岩, 具有典型的硅质岩—玄武岩(凝灰岩)夹泥岩、灰岩组合建造特征, 展现出洋盆地层的内在特征。

因此, 认定下石炭统坝达组(C_1b)地层的洋盆属性具有极其重要的意义。

首先, 研究洋板块地质有助于查明矿床形成分布的时空规律(李廷栋等, 2019), 云南是著名的有色金属王国, 滇东南首当其冲。区内分布着一系列特大—超大型多金属矿产地, 如官厅铅锌矿、白显锰矿、个旧锡矿、木利锑矿、都龙锡钨矿、广南金矿以及邻近的黔西南金矿。

其次, 是对研究右江—南盘江盆地的构造属性的认识有很大作用, 尽管很多研究者对滇东南晚古代洋环境认识比较一致, 但对其构造属性分歧较大。区域上, 吴浩若等(1994a, b, 1997)、王忠诚等(1997)根据广西晚泥盆世到晚石炭世放射虫组合研究, 提出桂西晚古生代存在连续深海沉积以及与之共生的大洋板内玄武岩, 可能代表扬子与印支地块之间有一个宽广的古特提斯洋, 但对古特提斯洋盆属性没有进行界定。郝维城等(2006)根据晚三叠世关岭生物群中以大量的大型鱼龙如萨斯特鱼龙类(体长可达 10 m)最为瞩目, 认为它们可能更适应在更深的大洋里生活, 同样没有对大洋属性进行界定。这两种认识比较接近, 其共同之处是都没有重视右江—南盘江盆地晚古生代的浅水或稳定台地(洋岛、海山、岛屿)沉积, 主要有鲕粒、豆粒灰岩、生物礁灰岩及潮坪沉积等, 滇东南晚古生代地层包括泥盆系古木组、东岗岭组、革当组、石炭系黄龙组、石炭系一二叠系马平组及二叠系未定组(P_2), 与深水盆地沉积一起构建了滇东南多岛洋盆地地质地貌景观, 反应了晚古生代滇东南—黔西南—桂西—桂南的海洋环境是连通的。其次, 右江—南盘江盆地内先后发现了三叠纪关岭动物群、兴义动物群、盘县动物群及罗平动物群, 完好地体现了三叠纪海洋生物的多样性, 只有广阔的多岛洋盆地才能为三叠纪关岭动物群、兴义动物群、盘县动物群及罗平动物群提供食物、生存空间和娱乐场所。诚然, 滇东南多岛洋盆地的边界及构造属性、造山作用、造山时期等都是非常值得进一步探索的前缘问题。滇东南—桂西晚古生代—中生代多岛洋盆地的探索和论证(王忠诚等, 1995; 曾允孚等, 1995; 秦建华等, 1996; 章正军等, 1996; 张世涛, 冯明刚, 1999; 朱炳泉, 1999; 吴浩若, 1999, 2003; 吴根耀等, 2000, 2001; 董云鹏, 彭阳等, 2004; 杜远生等, 2009; 任光明等, 2011), 具有很大的生命力, 必然是中国地质的进步, 至少是右江盆地的石炭纪维宪期—中生代安尼期的古地理环境最合理的诠释。诚然, 滇东南多岛洋盆地的边界及构

造属性、造山作用、造山时期等都是非常值得进一步探索的前缘问题。

5 结论

(1)云南坝达、里呼地区的下石炭统坝达组岩性为灰黑、灰白色薄层硅质岩、放射虫硅质岩、海绵骨针硅质岩、玄武岩夹凝灰岩、泥晶灰岩、泥岩,具有典型的硅质岩—玄武岩—灰岩—泥岩(硅—灰—泥)组合的洋盆沉积建造;认为右江—南盘江盆地晚古生代存在洋脊、洋盆及岛屿、洋岛等组合的多岛洋盆地环境,洋盆演化时限可能从石炭纪维宪期开始到中三叠世安尼期结束。

(2)右江—南盘江盆地多岛洋盆地系统较为完整的体现了三叠纪海洋生物的多样性,只有广阔的多岛洋盆地才能为三叠纪兴义动物群、盘县动物群、罗平动物群及关岭动物群提供食物、生存空间和活动场所。

致谢:在此对1:5万者太幅、底圩幅区域地质调查项目、1:5万白显幅、马街幅、卡房幅、新安所幅区域地质调查项目和1:5万大普弄幅、花甲幅、那佐幅、里往幅区域地质调查项目的工作人员,里呼剖面上泥盆统五指山组牙形石鉴定者董致中、王伟高级工程师,薄片鉴定者陈光艳高级工程师,古生物鉴定者张世涛教授以及审稿专家,一并表示衷心的感谢!

注 释 / Notes

- ① 云南省地质矿产局. 1990. 1:5万者太幅、底圩幅区域地质调查报告.
- ② 云南省地质调查院. 2015. 1:5万白显幅、马街幅、卡房幅、新安所幅区域地质调查报告.
- ③ 云南省地质调查院. 2016. 1:5万大普弄幅、花甲幅、那佐幅、里往幅区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

包佳凤,赵云江,赵巧珍,刘兵,田云,张坤. 2020. 滇东南建水官厅地区中晚二叠世基性—超基性岩墙群的发现意义. 地球科学前沿, 10(3):170~184.

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.

杜远生,黄宏伟,黄志强,徐亚军,杨江海,黄虎. 2009. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义. 地质科技情报, 28(6):10~15.

杜远生,朱杰,顾松竹. 2006. 北祁连肃南一带奥陶纪硅质岩沉积地球化学特征及其多岛洋构造意义. 地球科学,31(1):101~109.

郝维城,孙元林,江大勇,孙作玉. 2006. 盘县动物群研究进展. 北京

大学学报(自然科学版),42(6):817~823.

李廷栋,肖庆辉,潘桂棠,陆松年,丁孝忠,刘勇. 2019. 关于发展洋板块地质学的思考. 地球科学,44(5):1441~1449.

李文昌,潘桂棠,侯增谦,莫宣学,王立权. 2010. 西南“三江”多岛弧盆—碰撞造山成矿理论与勘查技术. 地质出版社:1~107.

李序贵,刘陈明,田素梅,李小军,李维科,张坤. 2020. 云南富宁地区晚二叠世基性火山岩的发现及其构造意义. 地质与勘探, 56(6):1192~1204.

刘本培,冯庆来,方念乔,贾进华,何馥香. 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):129~139.

刘军平,李静,王根厚,孙柏东,胡绍斌,俞赛赢,王小虎,宋冬虎. 2020a. 扬子板块西南缘基性侵入岩锆石定年及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应. 地质论评,66(2):350~364.

刘军平,王晓峰,王小虎,杨爱平,宋冬虎,田素梅,夏彩香,张坤,杨仕潘. 2020b. 滇中甸中地区中二叠世晚期镁铁—超镁铁质岩体特征及其与峨眉山幔柱关系——来自锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学证据. 地质论评,66(5):1284~1298.

刘军平,莫雄,孙载波,胡绍斌,曾文涛,关奇,王伟. 2022a. 滇中安宁地区海口组鱼类化石的发现及对海西运动的约束[OL]. 中国地质. [2023-01-16] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1208.012.html>.

刘军平,赵江泰,孙载波,莫雄,孙志明,曾文涛. 2022b. 扬子西南缘古元古界亮山组圆盘状化石的发现及其环境意义. 地质论评, 68(1):281~286.

刘军平,宛胜,田素梅,王伟,包佳凤. 2022c. 滇西云县地区中二叠世火山岩的发现及其对昌宁—孟连古特提斯洋俯冲作用的约束. 地质学报,96(3):942~953.

马乐天,季承,孙作玉,杨鹏飞,邹晓东. 2013. 贵州兴义三叠纪海生爬行动物群的地层分布及其生物多样性. 地层学杂志,37(2):178~184.

潘桂棠,肖庆辉,张克信,尹福光,任飞,彭智敏,王嘉轩. 2019. 大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义. 地球科学,44(5):1544~1561.

彭阳,胡贵昂,陆刚,章雨旭,乔秀夫. 2004. 桂西北晚古生代地层中的沉积灰岩墙研究进展. 地质论评,50(6):613~620.

秦建华,吴应林,颜仰基,朱忠发. 1996. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化. 地质学报,70(2):99~107.

任光明,王鹏,张林奎,张斌辉,戴婕. 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.

史晓颖,侯宇安,帅开业. 2006. 桂西南晚古生代深水相地层序列及沉积演化. 地学前缘,13(6):153~166.

汪啸风,陈孝红,程龙,王传尚,Bachmann G H,Sander M,Hagdorn H. 2009. 关岭及相关生物群沉积与生态环境的探讨. 古生物学报,48(3):509~526.

王忠诚,吴浩若,邝国敦. 1995. 广西晚古生代硅岩的地球化学及其形成的大地构造环境. 岩石学报,11(4):449~455.

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的环境. 岩石学报,13(2):260~265.

吴根耀,马力,钟大赉,吴浩若,季建清,邝国敦,徐克定. 2001. 滇桂交界区印支期增生弧型造山带:兼论与造山作用耦合的盆地演化. 石油实验地质,23(1):8~18.

吴根耀,吴浩若,钟大赉,邝国敦,季建清. 2000. 滇桂交界区古特提斯的洋岛和岛弧火山岩. 现代地质,14(4):393~400.

吴浩若,邝国敦,咸向阳,李曰俊,王忠诚. 1994a. 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.

吴浩若,咸向阳,邝国敦. 1994b. 广西南部晚古生代放射虫组合及其地质意义. *地质科学*,29(4):339~345.

吴浩若,邝国敦,王忠诚. 1997. 广西晚古生代构造沉积背景的初步研究. *地质科学*,32(1):11~18.

吴浩若. 1999. 放射虫硅质岩对华南古地理的启示. *古地理学报*,1(2):28~35.

谢静. 2002. 滇西北金沙江带和滇东南建水火山岩地球化学特征及古特提斯演化. 导师:朱炳泉、常向阳. 广州:中国科学院院士研究生学位论文:1~87.

杨瑞东. 2002. 古生物王国的明珠——贵州关岭动物群. *化石*,3:10~11.

吴浩若. 2003. 晚古生代—三叠纪南盘江海的构造古地理问题. *古地理学报*,5(1):63~76.

殷鸿福,吴顺宝,杜远生,彭元桥. 1999. 华南是特提期多岛洋体系的一部分. *地球科学*,24(1):1~12.

尹超,郝维城,季承,江大勇,孙作玉. 2014. 盘县—罗平动物群——中三叠世初期生物复苏、辐射的标志性生物群. *地层学杂志*,38(3):328~335.

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社:114~166.

云南省地质矿产局. 1995. 云南岩相古地理图集. 昆明:云南科技出版社:78~159.

云南省地质矿产局. 1996. 云南省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社:177~194.

曾允孚,刘文均,陈洪德,郑荣才,张锦泉,李孝全,蒋廷操. 1995. 华南右江复合盆地的沉积构造演化. *地质学报*,69(2):113~124.

张克信,冯庆来,何卫红. 2015. 中国洋板块地层研究进展. *中国古生物学会第28届学术年会论文摘要集*.

张克信,何卫红,徐亚东,张雄华,宋博文,寇晓虎,王国灿. 2021. 论从俯冲增生杂岩带中重建洋板块地层主要类型与序列:以青藏特提斯二叠系为例. *沉积与特提斯地质*,<https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.02016>

张世涛,冯明刚. 1999. 滇东南地区泥盆纪沉积地质学研究. *云南地质*,18(4):382~391.

章正军,丁俊,赵珉. 1996. 滇东南及邻区晚古生代—中生代沉积盆地演化及微细粒型金矿成矿作用分析. *云南地质*,15(3):282~289.

赵长江,包佳凤,赵巧珍,朱勋早,田素梅,刘军平,徐桂香,赵艳梅. 2020. 滇东南个旧地区下三叠统卡房组的建立意义. *地球科学前沿*,10(2):121~139.

钟铿,吴怡,殷保安. 1991. 广西的泥盆系. 武汉:中国地质大学出版社:3~7,181~195.

Bao Jiafeng, Zhao Yunjiang, Zhao Qiaozhen, Liu Bing, Tian Yun, Zhang Kun. 2020&. The Significance of Discovery on the Basic-Ultrabasic Dike Swarms of Mid-Late Permian in Jianshui Guanting Area, Southeast Yunnan. *Advances in Geosciences*, 10(3):170~184.

Du Yuansheng, Zhu Jie, Gu Songzhu. 2006&. Sedimentary Geochemistry and Tectonic Significance of ordovician Cherts in Sunan, North Qilian Mountains. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 31(1):101~109.

Du Yuansheng, Huang Hongwei, Huang Zhiqiang, Xu Yajun, Yang Jianghai, Huang Hu. 2009&. Basin Translation from Late Palaeozoic to Triassic of Youjiang Basin and Its Tectonic Significance. *Geological Science and Technology Information*, 28(6):10~15.

Hao Weicheng, SunYuanlin, Jiang Dayong, Sun Zuoyu. 2006&. Advance in Studies of the Panxian Fauna. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 42(6):817~823.

Isozaki Y, Maruyama S, Furuoka F. 1990. Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, 181:179~205.

Koji W, Ian M. 2005. Ocean Plate Stratigraphy in East and Southeast Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*,24(6):679~702.

Kusky T M, Windley B F, Safonova K, Wakabayashi J, Polat A, Santosh M. 2013. Recognition of ocean plate stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion. *Gondwana Research*, 24:501~547.

Li Wenchang, Pan Guitang, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Wang Liquan. 2010#. *Metallogenic Theory and Exploration Technology of Sanjiang Multi Arc Basin Collision Orogeny in Southwest China*. Geological Publishing House,1~107.

Li TingDong, Xiao Qinghui, Pan Guitang, Lu Songnian, Ding Xiaozhong, Liu Yong. 2019&. A Consideration about the Development of Ocean Plate Geology. *Earth Science*, 44(5):1441~1449.

Liu Junping, Li Jing, Wang Genhou, Sun Baidong, Hu Shaobin, Yu Saiying, Wang Xiaohu, Song Donghu. 2020a&. Geochemistry and U-Pb age of zircons of mafic intrusion in the southwestern margin of the Yangtze plate: Response to breakup of the Columbia supercontinent. *Geological Review*,66(2):350~364.

Liu Junping, Wang Xiaofeng, Wang Xiaohu, Yang Aiping, Song Donghu, Tian Sumei, Xia Caixiang, Zhang Kun, Yang Shipan. 2020b&. Characteristics of the late Middle Permian mafic-ultramafic rocks in Dianzhong area, central Yunnan, and their relationship with the Emei Mantle Plume——Evidence from zircon U-Pb age and petrogeochemistry. *Geological Review*, 66(5):1284~1298.

Liu Junping, Song Sicun, Wang Wei, Tang Feng, Li Jing, Duan Xiangdong, Wang Xiaohu, Sun Baidong, Yu Saiying, Hu Shaobin, Duan Wenting. 2020. Protoconodont fossils for refining the Cambrian bottom and the contribution to shale gas formation along the southwest margin of Yangtze Block, China *Geology*, 3:558~566.

Liu Junping, Tian Sumei, Zhu Xunzao, Ma Jinhua, Li Jing, Hu Shaobin, Yu Saiying,Zhang Hu, She Zhongming, Li Xugui. 2021. Discovery of rhyolitic tuffaceous slate in the southwestern margin of Yangtze Craton:Zircon U-Pb ages (2491 Ma) and tectonic—thermal events, *China Geology*, 4:616~629.

Liu Junping, Mo Xiong, Sun Carrier, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Guan Qi, Wang Wei. 2022a&. Discovery of the fish fossils from Haikou Formation in Anning area of central Yunnan and its constraints on Hercynian movement[OL]. *Geology in China*. [2023-01-16] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1208.012.html>.

Liu Junping, Zhao Jiangtai, Sun Zaibo, Mo Xiong, Sun Zhiming, Zeng Wentao. 2022b&. Discovery and environmental significance of the discoid fossil from the Paleoproterozoic Liangshan Formation in southwestern Margin of Yangtze. *Geological Review*, 68(1):281~286.

Liu Junping, Wan Sheng, Tian Sumei, Wang Wei, Bao Jiafeng. 2022c&. Discovery of the Middle Permian volcanic rocks in the Yunxian area, western Yunnan and constraints on subduction of the Changning—Menglian Paleo-Tethys Ocean. *Acta Geologica Sinica*, 96(3):942~953.

- Liu Junping, Yin Wei, Yang Shipan, Zhao Jiangtai, Zeng Wentao, Tang Feng, He Shijun, Li Weike. 2023. Response to the Lomagundi—Jatuli Event at the southwestern margin of the Yangtze Block: Evidence from the carbon and oxygen isotopes of the Paleoproterozoic Yongjingshao Formation, China Geology. 6:50~60.
- Li Xugui, Liu Chenming, Tian Sumei, Li Xiaojun, Li Weike, Zhang Kun. 2020&. Discovery and tectonic significance of Late Permian basic volcanic rocks in the Funing area, Yunnan Province. Geology and Exploration, 56(6):1192~1204.
- Ma Letian, Jicheng, Sun Zuoyu, Ynag Pengfei, Zou Xiaodong. 2013&. Biodiversity and Stratigraphic Distribution of the Triassic Xingyi Marine Reptile Fauna, Guizhou Province. Journal of Stratigraphy, 37(2):178~184.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Zhang Kexin, Yin Fuguang, Ren Fei, Peng Zhimin, Wang Jiaxuan. 2019&. Recognition of the Oceanic Subduction—Accretion Zones from the Orogenic Belt in Continents and Its Important Scientific Significance. Earth Science, 44(5):1544~1561.
- Peng Yang, Hu Guiang, Lu Gang, Zhang Yuxu, Qiao Xiufu. 2004&. Progress in Studying on Limestone Dikes in Late Paleozoic Strata in Northwestern Guangxi. Geological Review, 50(6):613~620.
- Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yan Yangji, Zhu Zhongfa. 1996&. Hercynian—Indosinian sedimentary—Tectonic Evolution of the Nanpanjiang basin. Acta Geologica Sinica, 70(2):99~107.
- Ren Guangming, Wang Peng, Zhan Linkui, Zhang Binhui, Dai Jie. 2011&. Discussion Deochemical Characteristics and Sedimentary Environment of the Frasnian Radiolarian Chert in Southeastern Yunnan. Geological Review, 57(4):505~514.
- Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong, Cheng Long, Wang Chuanshang, Bachmann G H, Sander M, Hagdorn H. 2009&. Sedimentary and Palaeoecological Environments of the Guanling and Related Biotas. Acta Palaeontologica Sinica, 48(3):509~526.
- Wang Zhongcheng, Wu Haoruo, Kuang Guodun. 1995&. Geochemistry and Origin of Late Paleozoic Cherts in Guangxi and Their Explanation of Tectonic Environments. Acta Petrologica Sinica, 11(4):449~455.
- Wang Zhongcheng, Wu Haoruo, Kuang Guodun. 1997&. Characteristics of the Late Paleozoic Oceanic Basalts and Their Eruptive Environments in West Guangxi. Acta Petrologica Sinica, 13(2):260~265.
- Wu Genyao, Wu Haoruo, Zhong Dalai, Kuang Guodun, Ji Jianqing. 2000&. Volcanic Rocks of Paleotethyan Oceanic Island and Island-Arc Bordering Yunnan and Guangxi, China. Geoscience—Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 14(4):393~400.
- Wu Genyao, Ma Li, Zhong Dalai, Wu Haoruo, Ji Jianqing, Kuang Guodun, Xu Keding. 2001&. Indosinian Turkic-Type Orogen Bordering Yunnan and Guangxi; With Reference to Coupled Basin Evolution. Petroleum Geology & Experiment, 23(1):8~18.
- Wu Haoruo, Xian Xiangyang, Kuang Guodun. 1994a&. Late Paleozoic radiolarian assemblages of southern Guangxi and its geological significance. Scientia Geologica Sinica, 29(4):339~345.
- Wu Haoruo, Kuang Guodun, Xian Xiangyang, Li Yuejun, Wang Zhongcheng. 1994b&. Preliminary discussion on Late Paleozoic radiolarian siliceous rocks in southern Guangxi and Paleotethys in Guangxi. Chinese Science Bulletin, 39(9):809~812.
- Wu Haoruo, Kuang Guodun, Wang Zhongcheng. 1997&. Preliminary Study on Late Paleozoic Tectonic Sedimentary Settings in Guangxi. Scientia Geologica Sinica, 32(1):11~18.
- Wu Haoruo. 1999&. Enlightenment of Radiolarian Siliceous Rocks on Palaeogeography of South China. Journal of Palaeogeography, 1(2):28~35.
- Wu Haoruo. 2003&. Discussion on Tectonic Palaeogeography of Nanpanjiang Sea in the Late Palaeozoic and Triassic. Journal of Palaeogeography, 5(1):63~76.
- Xie Jing. 2002#. Geochemical Characteristics of the Paleozoic Volcanic Rocks in the Jinshajiang Zone, NW Yunnan and Jianshui, SE Yunnan, and Evolution of Paleo-Tethys. Advisor: Zhu Bingquan, Chang Xiangyang. Guangzhou: Master's graduate thesis of Chinese Academy of Sciences: 1~87.
- Yang Ruidong. 2002#. Pearl of the Ancient Biological Kingdom—Guanling Fauna. Fossil, 3:10~11.
- Yin Chao, Hao Weicheng, Ji Cheng, Jiang Dayong, Sun Zuoyu. 2014&. The Panxian and Luoping Faunas—Implications for the Triassic Recovery from End-Permian Mass Extinction. Journal of Stratigraphy, 38(3):328~335.
- Yin Hongfu, Wu Shunbao, Du Yuansheng, Peng Yuanqiao. 1999&. South China Defined as Part of Tethyan Archipelagic Ocean System. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 24(1):1~12.
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990#. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House: 114~166.
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1995#. Atlas of the Sedimentary Facies and Palaeogeography of Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press: 78~159.
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1996#. Rock strata in Yunnan Province. Wuhan: China University of Geosciences Press: 177~194.
- Zeng Yunfu, Liu Wenjun, Chen Hongde, Zheng Rongcai, Zhang Jinquan, Li Xiaoquan, Jiang Tingcao. 1995&. Evolution of Sedimentation and Tectonics of the Youjiang Composite Basin, South China. Acta Geologica Sinica, 69(2):113~124.
- Zhao Yunjiang, Bao Jiafeng, Zhao Qiaozhen, Zhu Xunzao, Tian Sumei, Liu Junping, Xu Guixiang, Zhao Yanmei. 2020&. The Significance of the Kafang Formation in Lower Triassic Series Would be Established in Gejiu Area, Southeast Yunnan. Advances in Geosciences, 10(2):121~139.
- Zhang Kexin, Feng Qinlai, He Weihong. 2015#. Research Progress of Ocean Plate Strata in China. The 28th Annual Conference of the Palaeontological Society of China.
- Zhang Kexin, He Weihong, Xu Yadong, Zhang Xionghua, Song Bowen, Kou Xiaohu, Wang Guocan. 2021&. Reconstructed main types and sequences of Oceanic Plate Strata based on subduction—accretionary complex; Taking Tethyan Permian of the Qinghai—Tibetan Plateau as an example. Sedimentary Geology and Tethyan Geology. <https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.02016>.
- Zhang Shitao, Feng Minggang. 1999&. A Study on the Devonian Sedimentology of Southeast Yunnan. Yunnan Geology, 18(4):382~391.
- Zhang Zhengjun, Ding Jun, Zhao Min. 1996&. An Analysis of the Late Paleozoic—Mesozoic Evolution of Sedimentary Basin and the Metallogenesis of Micrograined Au in SE Yunnan and Its Adjacent Area. Yunnan Geology, 15(3):282~289.
- Zhong Keng, Wu Yi, Yin Baoan. 1992&. Devonian of Guangxi. Wuhan: China University of Geosciences Press: 3~7, 181~195.

Correlation of Carboniferous Bada Formation in southeastern Yunnan and evolution of Nanpanjiang Ocean Plate in Late Paleozoic

ZHAO Yunjiang^{1,3)}, BAO Jiafeng^{1,3)}, LI Weike¹⁾, HE Shijun⁶⁾, LIU Junping^{1,2,3)},
ZHAO Qiaozhen⁴⁾, TIAN Yinggui⁵⁾, WANG Xiaolin¹⁾

1) *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, 650216;*

2) *School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083;*

3) *Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, MNR, Kunming, 650051;*

4) *The Third Nonferrous Geology Corps of Guizhou Province, Zunyi, Guizhou, 563000;*

5) *Yunnan Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Kunming, 650051;*

6) *The Second Geological Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou, 350108*

Objectives: Late Paleozoic marine (Oceanic island) basalt in western Guangxi was discovered in Youjiang Basin at the end of last century, which has also been reported recently. The basalt of ocean basin and ocean ridge is the precondition to judge the existence of ocean island.

Results: Through 1 : 50000 regional geological survey and profile study, The Lower Carboniferous Bada Formation (C1b) in the Bada and Lihu areas of southeast Yunnan is mainly composed of grayish black and grayish white thin bedded siliceous rocks, radiolarian siliceous rocks, spongy spicule siliceous rocks, basalt with tuff, micritic limestone and mudstone, with typical ocean basin sedimentary construction composed of siliceous rocks basalt limestone mudstone, including conodonts, trilobites, etc.

Conclusions: The basic—ultrabasic lavas erupted on the Tapi Formation have obvious characteristics of oceanic tholeiite. Therefore, the division and correlation of the Bada Formation provides an important basis for the study of the Late Paleozoic—Middle Triassic island ocean basin environment in the Youjiang Basin, and is of great scientific significance for the study of the splicing process between the Cathaysian orogenic belt and the Yangtze Block.

Keywords: Radiolarian—spongy spicule silicalite; Ocean basin construction; Bada Formation; Early Carboniferous epoch; Ocean plate stratigraphy; Lihu area of Southeast Yunnan

Acknowledgements: This paper is the achievements of Yunnan Technological Innovation Talent Training Object Project (No. 202305AD160031), regional geological survey of 1 : 50000 Wanshoushan sheet, etc. (No. D201904), regional geological survey of 1 : 50000 Dazhuang, Fabiao, Ditu, and Dianzhong sheet in Yunnan Province (No. D202207)

First author: ZHAO Yunjiang, male, born in 1972, senior engineer, is engaged in regional geological investigation and research; Email: ynddyqdszyj@163.com

Corresponding author: LIU Junping, male, born in 1983, senior engineer, doctoral graduate students, is engaged in regional geological and structural geological investigation and research; Email: 271090834@qq.com

Manuscript received on: 2022-09-01; Accepted on: 2023-01-03; Published online on: 2023-02-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2023.02.012

Edited by: LI Ming

