

# 贵州罗甸干田坳晚二叠世生物礁基本特征研究\*

刘冬洋<sup>1)</sup> 喻美芝<sup>1)</sup> Daniel J Lehrmann<sup>2)</sup>

1) 贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳 550025, solomenlau@hotmail.com;

2) Department of Geoscience, Trinity University, San Antonio, TX 78212, USA

**摘要** 通过综合岩相和生物群落特征对贵州罗甸干田坳晚二叠世生物礁进行分析, 将研究区划分出三期造礁旋回。对造礁海绵在三个造礁阶段, 以及礁前砾屑岩的成分面积进行统计, 计算出各阶段的造礁成分组成状况, 还原当时的造礁群落。共鉴定出纤维海绵纲 3 科 4 属, 房室海绵纲 9 科 10 属和硬海绵纲 2 科 2 属。数据表明自始至终纤维海绵纲的小领针海绵属都为造礁群落里的优势生物, 其中 S1 阶段房室海绵纲的多囊腔海绵属种、叠瓦腔海绵属种和泡腔海绵属种为造礁主体; S2 阶段小领针海绵和一纤维海绵未知属种为造礁主体, S3 阶段房室海绵的多囊腔海绵属种占造礁主导地位。统计表明造礁海绵群的分异度由 S1 至 S3 期降低明显。同时着重对本礁点主体的 S2 阶段骨架礁岩各个部分的结构特征进行细致分析, 尤其是 RFC 的形成历史进行探讨, 碳氧同位素测试得到的数据表明 S2 阶段古水温经历了高达 16℃ 左右的波动, 而 RFC 形成时的古水温为 37.86℃, 它是一种高温海水的反映; 最后通过与南盘江盆地同期的紫云礁和茅口期的广西隆林礁进行对比, 揭示它们的成礁模式和演化的异同。

**关键词** 骨架礁岩 纤维海绵 房室海绵 造礁生物群落 胶结物 RFC 古水温

## 1 前言

生物礁岩是生物成因与机械化学成因成岩作用的结合体, 对它的研究需要运用古生物学、沉积学和岩石学手段综合进行探讨。国内对礁的研究主要兴起于川东礁相油气田的发现, 由于起步晚, 国内对生物礁岩的研究相对国外特别是美国瓜德鲁普礁近 100 年的研究 (Flügel, 2004), 从各个方面来说都显不足, 尤其是基础研究不足, 自 90 年代后对二叠纪礁的研究很少, 出现了断层。综合来看国内二叠纪礁研究相对丰富的为三个地区: 川东鄂西地区, 南盘江盆地范围里的广西隆林和贵州紫云等地, 湖南郴县慈利等地的礁。川东礁研究主要以油气储存预测为中心, 其他地区以礁的古生态和礁点古地理分布为主 (陈成生、张继庆, 1991; 杨万容、李迅, 1995; 王永标等, 1997; 陆廷清等, 1998; 姜月华等, 2006; 刘丽静等, 2014)。同时早前有学者对华南二叠纪礁的特征和成礁模式进行过较好的综合分析和总结, 认为华南晚二叠世礁以古孔石藻包覆钙质海绵构成礁的

基本特征 (除慈利外), 与中生代和早古生代的礁大有不同, 礁类型上川东鄂西礁点为陆棚边缘礁和点礁, 湖南郴县慈利礁为盆地内基底断裂隆起的点礁, 余下分布于扬子台地边缘, 为台地边缘礁。

目前国内关于二叠—三叠纪礁的研究, 除了 90 年代左右以范嘉松 (1988), 吴亚生 (1989, 1991), 范嘉松和齐敬文 (1990), 张维和张孝林 (1992) 等人开展的较系统的礁岩分类和古生态研究外, 其后的研究者多以宏观礁相分布和礁发育旋回等研究较多, 古生态方面的较少, 把造礁骨架与胶结物、内沉积物三者有机结合起来进行综合分析的更少, 所以本文试图将以上三者综合起来讨论以还原当时的环境。

笔者研究的罗甸干田坳礁剖面位于沫阳镇东北方向 20° 约 20 km 处的干田坳村东面, 该剖面沿公路出露约 1 km (区域位置如插图 1), 亦即古扬子台地边缘的“大贵州滩”南缘 (GBG)。关于 GBG 出现时间既有认为晚二叠世, 也有认为早三叠世的, 但本研究表明仅发现 GBG 南缘有长兴期礁, 而台地北缘没有, 更支持后一种观点。同时, 由于 GBG 中部边阳向斜断层使其出露良好的二、三叠系地层, 围绕

收稿日期: 2017-01-16

\* Shell International Exploration and Production (46000572) 资助。

GBG 有不少研究者进行了二叠-三叠纪界线、孤立台地演化和出露生物礁外貌等方面的研究(贺自爱等,1980;贺自爱、杨宏,1981;刘建波等,2007;李晓伟等,2012;Lehrmann *et al.*, 2003, 2006;Payne *et*

*al.*, 2006;Li *et al.*, 2011),但着重于该台地的三叠系地层,对更早的二叠系地层的研究很少。所以本研究能补充该台地演化的早期历史,同时丰富晚二叠世的华南生物礁的研究。

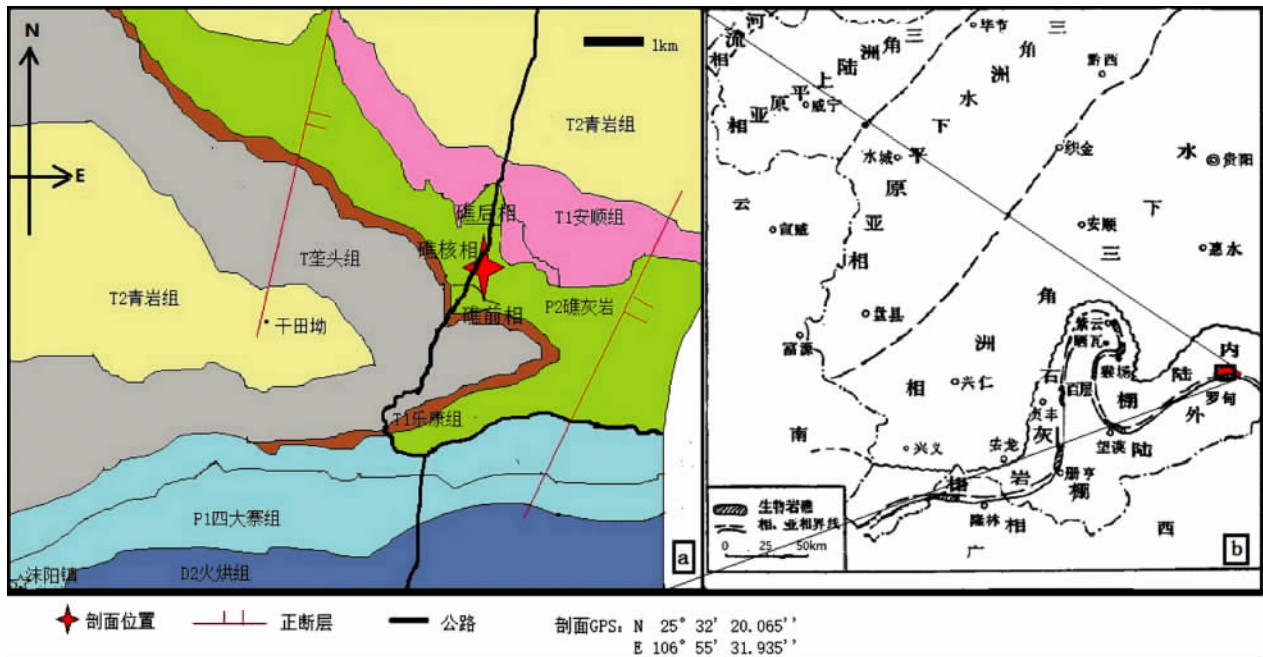


插图 1 贵州罗甸干田坳剖面区域地质图(a),南盘江盆地古地理图(b)(古地理图据 He *et al.*, 1981)

Geologic map of Gantian'ao Section, Luodian, Guizhou (a), and palaeogeographic map of Nanpanjiang Basin (b)(after He *et al.*, 1981)

## 2 礁相划分和生物群落

### 2.1 礁相特征和划分

剖面礁体的空间展布特征如插图 2 所示,出露礁核上部宽约 180 m、测得总厚度约 105.2 m,由岩相和生物群落特征,笔者将此礁点分为三个造礁阶段和七个亚相(如插图 3)。

### 2.2 S1 房室海绵纲多囊腔海绵、叠瓦腔海绵和泡腔海绵造礁阶段

可分为三个时期:

S1-1-礁核相-泛殖期-骨架岩,层号 1,海绵骨架岩,可见厚度约 10 m,不见底,岩体浅灰色和浅红色,造礁生物以较大的房室海绵纲的多囊腔、叠瓦腔和泡腔海绵为主,骨架间泥晶填充,包覆生物不发育,居礁生物以粗枝藻和有孔虫为主。

S1-2-礁坪相-顶殖期-漂砾岩,层号 2,厚度约 8.5 m,分布于骨架岩礁顶,岩体灰白色为主,部分情况下偏浅红色,生屑较大呈明显流体搬运状,藻类粘结作用少见,化学沉积为主。化石保存较完整,但方向无序,表明原地或近地堆积。

S1-3-礁核相-泛殖期-骨架岩,层号 3,厚度约 14.2 m,浅灰色海绵骨架岩,造礁生物以纤维海绵纲的小领针海绵和房室海绵纲的叠瓦腔海绵为主,骨架间为泥晶填充,包覆结壳生物较少,居礁生物以腕足、藻类和管壳石为主。

### 2.3 S2 纤维海绵纲小领针海绵、纤维海绵纲未知属造礁阶段

分为二个时期:

S2-1-礁坪相-顶殖期-漂砾岩,层号 4,厚度约 6.5 m,砾屑缺分选,造礁生物极其丰富且较完整。

S2-2-礁核相-泛殖期-骨架岩,层号 5,厚度约 40.5 m,含大量礁角骨架礁岩,主体厚约 16 m,岩体青灰色,富含辐射状纤维状方解石胶结物,造礁生物为纤维海绵,粘结生物为古石孔藻,附礁生物以腕足、管壳石和藻类为主,部分岩体夹内沉积。

此阶段骨架岩见大量的方解石胶结物发育,野外出露胶结物约占礁体面积的 15%—30%。典型的骨架礁岩(如插图 4),可明显分出礁体由骨架海绵、礁角碎块、粘结物、胶结物、内沉积物 5 种基本类型构成。从胶结物上可以看出有五种明显的世代,细细的犬齿状胶结物为第一世代,其紧贴在古石孔

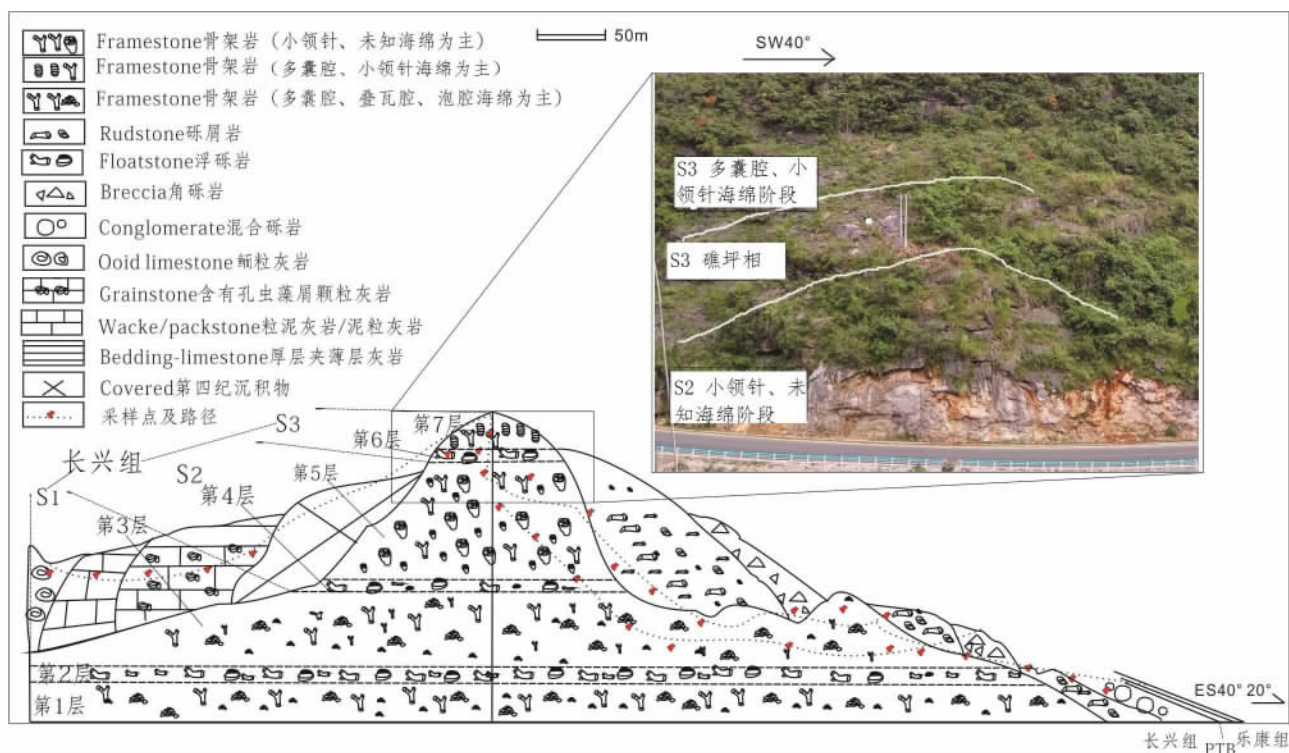


插图2 晚二叠世干田坳礁纵剖面视图

Vertical profiles of Upper Permian Gantian'ao reef

藻上面高仅约 0.2 mm,其余的 4 个世代的为辐射状纤维胶结物(RFC,俗称栉壳状胶结物),每个世代长度不一,第一个偏白色世代长约 8 mm,第二个世代长约 3 mm,偏深灰色,测量表明它 P 含量很高,故应多为有机质残留,第三个世代再次偏白色,长约 3 mm,第四个世代为深灰色,厚约 9 mm,推测当时海水环境为出现二次海水里有机物充足的状况;从放射轴状方解石胶结物礁角缝隙的宽度推测它的形成过程不长,有学者(Lehrmann *et al.*, 2003)认为它代表当时海底物质上涌导致海面海水 Ph 值降低使其中的碳酸盐矿物沉淀结晶加快。最外面为第五世代块状的亮白胶结物,一般认为它形成于大气水潜流渗流和浅埋藏阶段(王生海、范嘉松,1995;黄思静等,2010)。

另外,笔者对此 RFC 海绵骨架岩做了碳氧同位素测试,并计算了用于反映海水盐分状况的 Z 值(白建科,2010), $Z = 2.1048(\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.489(\delta^{18}\text{O} + 50)$ , $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值均为 PDB 标准, $Z \geq 120$  为海相, $Z < 120$  为淡水相。反映古水温状态的 T 值(白建科,2010), $T = 16.9 - 2(\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}) + 0.13(\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}})^2$  式中, T 为温度( $^{\circ}\text{C}$ ); $\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}}$  为  $25^{\circ}\text{C}$  与正磷酸盐反应所得  $\text{CO}_2$  的氧同位素值。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$  是  $25^{\circ}\text{C}$  时与海水处于平衡状态时

$\text{CO}_2$  的氧同位素值,该公式根据 PDB 标准得出。测试数据如表 I。

表 I RFC 海绵骨架岩碳、氧同位素测试数据

 $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  isotope value of each component in RFC framestone

岩石成分	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Z 值	T 值
漂砾岩	-5.249	-1.045	140.2271	21.431
内沉积物	-5.249	-2.275	139.6256	27.1278
块状方解石	-4.458	-3.435	137.3935	32.8609
RFC	-4.235	-4.393	136.456	37.8594
生物骨架	-5.05	-3.558	138.5794	33.4893

样品编号 GT-146,样品由贵州地球化学研究所测试。

Sample NO. GT-146, be processed in Guizhou Institute of Geochemistry. Chinese Academy of Sciences.

以前有研究者做过 RFC 海绵骨架岩的碳氧同位素测试(王生海、范嘉松,1995),但是没有计算过 Z 值和 T 值,即没有计算过古海水的温度。Z 值数据表明:这是典型的盐度正常海水环境,具体来说 RFC 的盐度最低,漂砾岩的盐度最高,但是总体来说波动不是很大。T 值数据表明:海水的温度经历较大的波动,波动大小达到约  $16.43^{\circ}$ ,这是一个很大的温度变化。具体来说,温度由生物骨架岩成分的  $33.4893^{\circ}$  上升到  $37.8594^{\circ}$  的顶峰后逐渐下降,并最终在漂砾岩中跌到  $21.431^{\circ}$  这样的低温。由表 I 可知,RFC 的温度最高,这种极高温的异常反应正

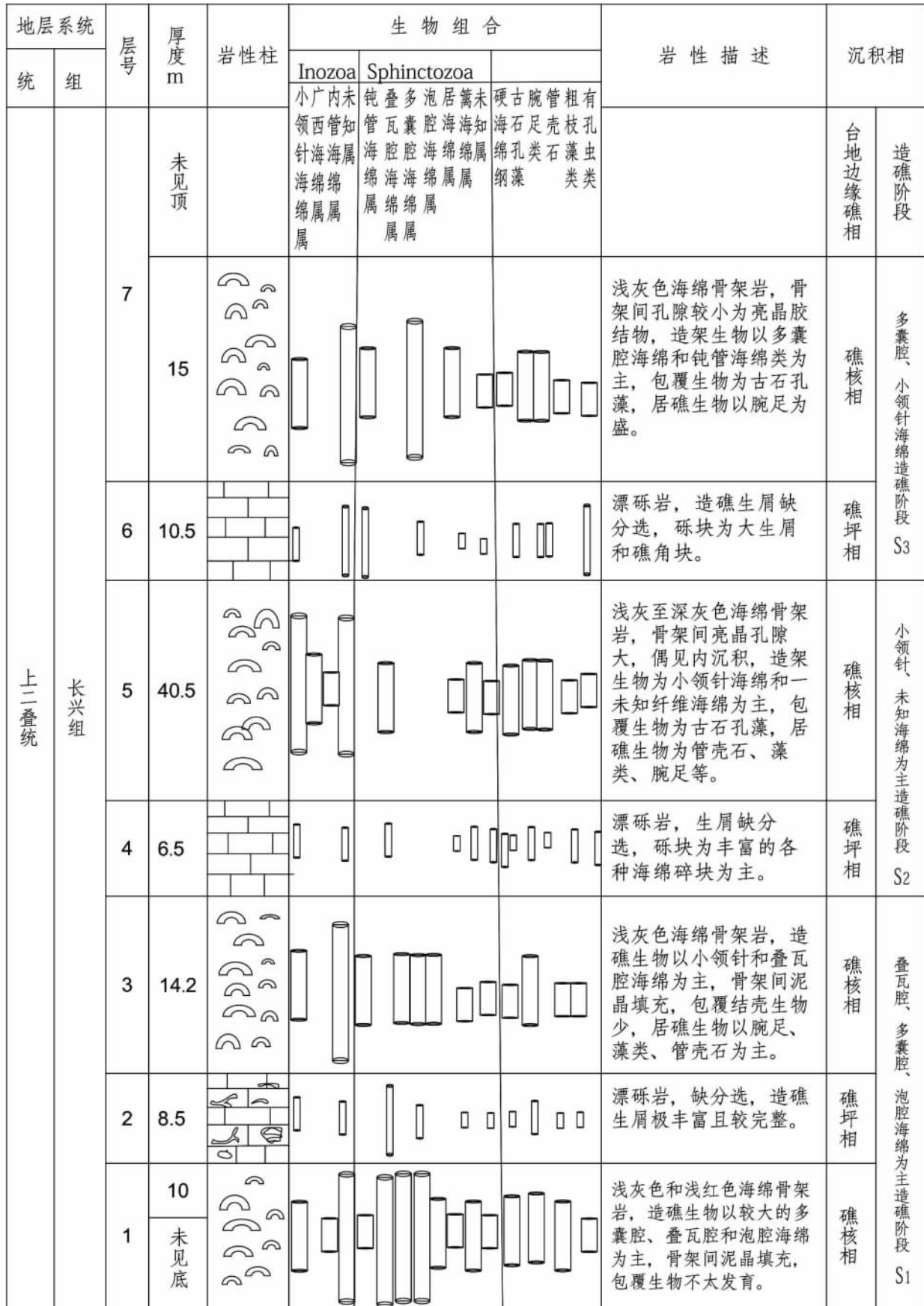


插图 3 干田坳上二叠统长兴组生物礁剖面岩性、生物组分柱状图

Lithology, biological component histogram of the Upper Permian Changxing Formation in Gantian'ao reef



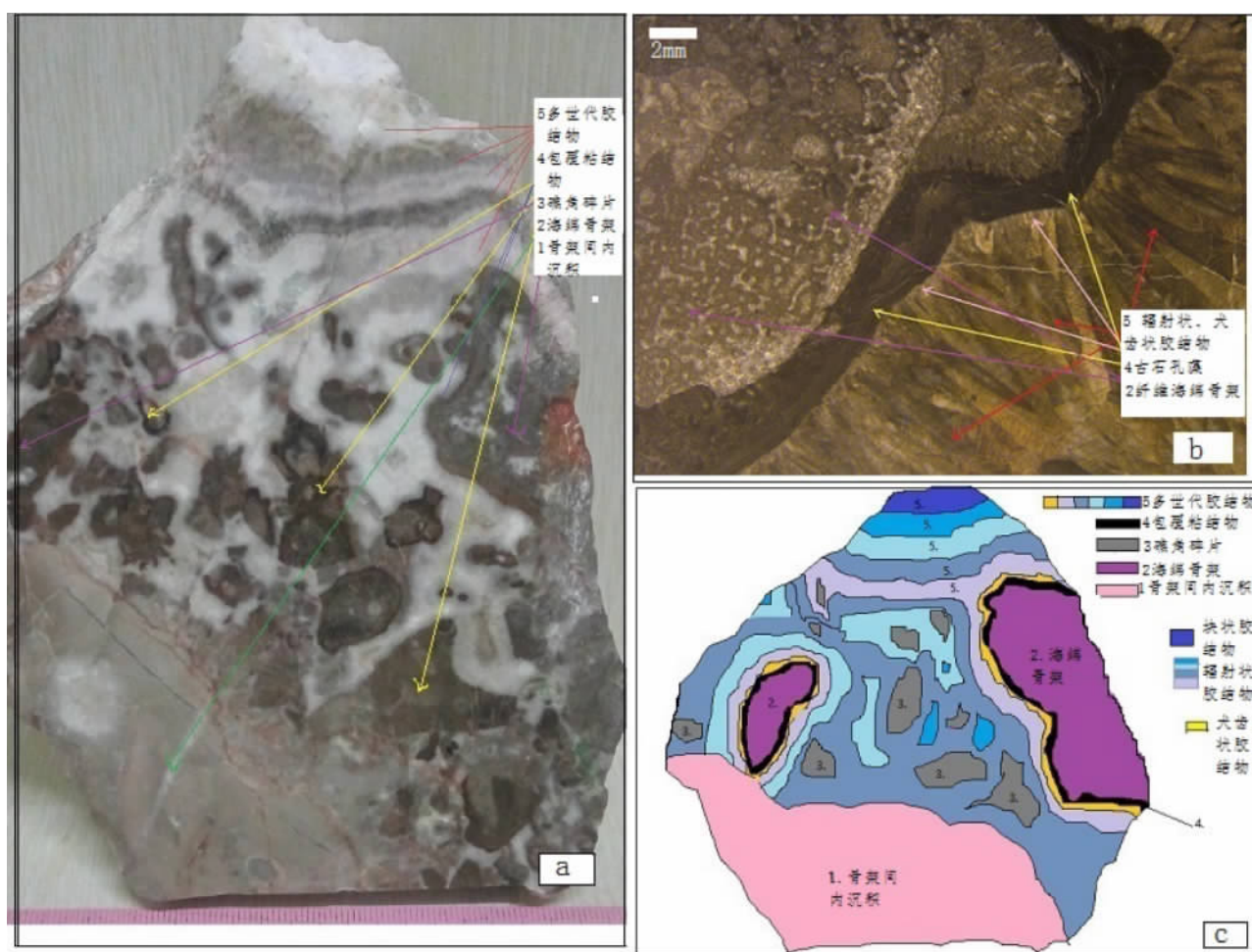


插图4 干田坳剖面 S2-2 阶段骨架礁光面及其薄片和简略素描图

Typical framestone sample of S2-2 stage in Gantian'ao Section photo and its specifics in microscope and sketch drawing

印证这种胶结物的出现是非同寻常的现象。意味着 RFC 的出现确实和高水温有很大的关联性,高温促进了碳酸盐岩的沉淀,促进了碳酸钙的结晶析出。假设早期海绵骨架代表的是当时的正常温度,则该生物礁的海水温度经历了先升再逐步降低的过程。

此阶段造礁海绵生物体里泥质很丰富,推测造礁海绵成长时水动力尚较弱。另外从插图 5.1 明显可以看出条状的粉砂沉积于碎块的礁体和胶结物之下,根据当时的古地理本地区处于水下三角洲相(如插图 1),所以它应是来自当时黔西咸宁一带距离约 200 km 的古陆地三角洲冲积产物。部分骨架礁岩可见明显的粘土(如插图 5.2)包覆于海绵骨架之外,有研究者论及当时峨眉山火山爆发的影响,致火山灰沉积于紫云礁体,此样品似乎佐证这一观点。

同时,礁核里礁角碎块发育,而且和其他未碎的骨架同期被胶结物包围,证明它们是被胶结物同期胶结的。作为礁体的灰岩是很坚固的,关于礁角形成的原因,笔者认为是热带风暴的作用,只有风暴才

有如此大的威力,而且当时礁位于热带,风暴气旋形成的机会多于其他地方,类似于现代的加勒比海地区风暴经常摧毁珊瑚礁。

## 2.4 S3 多囊腔海绵、小领针海绵造礁阶段

分为二个时期:

S3-1 礁坪相-顶殖期-漂砾岩,层号 6,厚度约 10.5 m,造礁生屑缺分选,砾块为大生屑和礁角块。

S3-2 礁核相-泛殖期-多囊腔、小领针海绵骨架岩,层号 7,厚度约 15 m,不见顶,主体厚约 16 m,岩体青灰色,造礁生物以房室海绵纲的多囊腔海绵和纤维海绵纲的小领针海绵为主,相比 S2 阶段,造礁生物纤维海绵变少,多囊腔海绵激增,而原有的房室海绵属种居海绵明显变小。有研究表明自吴家坪期到长兴期晚期有孔虫的个体逐渐变小(宋海军, 2012),晚二叠世腹足个体变小(Payne *et al.*, 2004),此礁体造礁生物纤维海绵和房室海绵的个体变化和这些现象相呼应,表明长兴期晚期生物在礁相也有

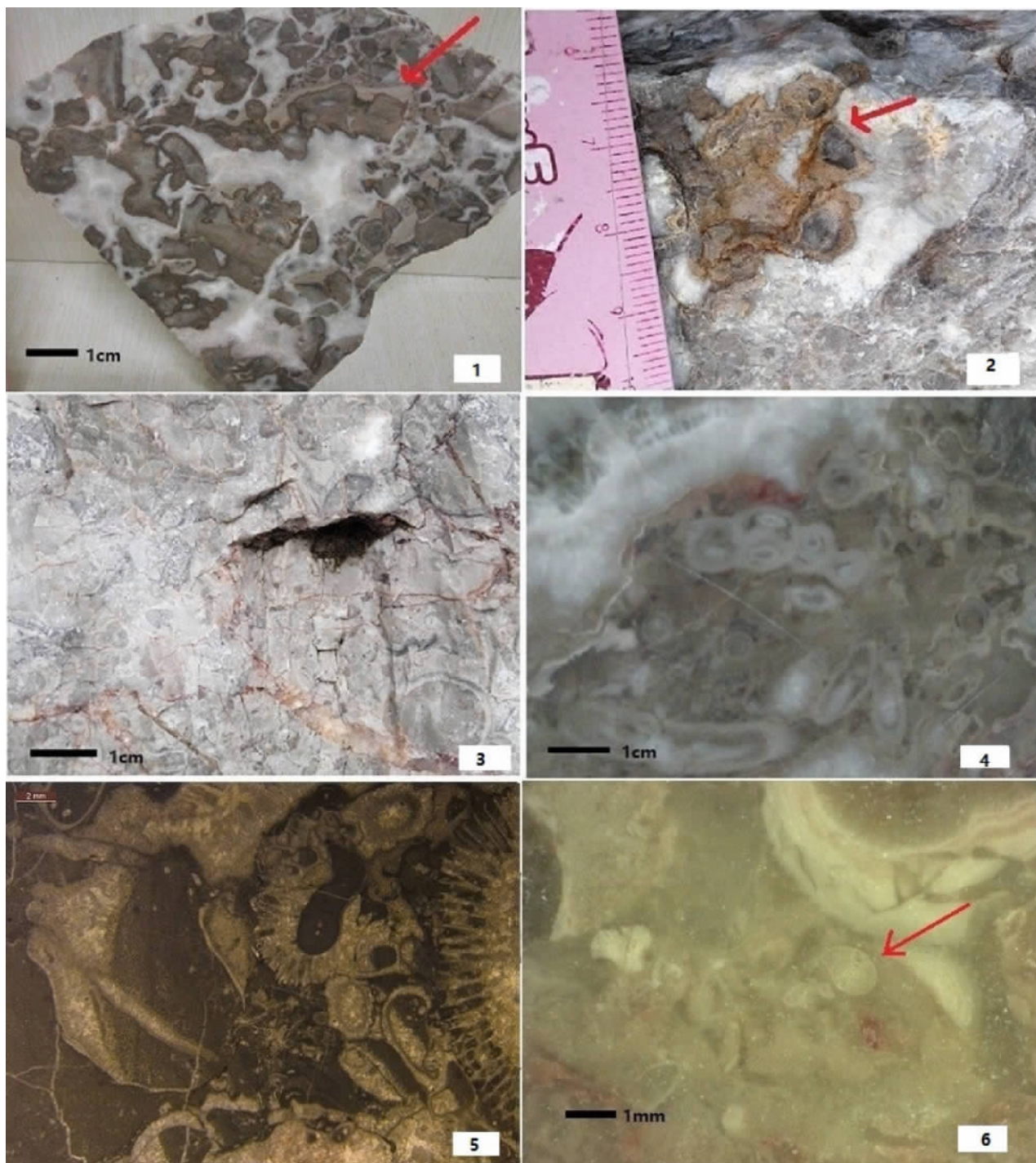


插图 5 贵州罗甸干田坳剖面野外照片及其磨光面和薄片

Outcrop photos of lithologic facies and specimens from Gantian'ao reef in Guizhou, Luodian

1, 2. S2 阶段含礁角骨架岩手样, 1 中红色箭头所指为粉砂, 2 中红色箭头所指为粘土; 3. 礁前砾屑岩野外照片; 4. S3 阶段骨架岩里的小型钝管海绵手样; 5. S2 阶段骨架礁里的附礁生物管壳石; 6. 骨架岩顶部的古纺锤螺 *Paleofusulina*, 红色箭头所指。

1, 2. Hand samples from core reef in S2 stage, red arrow is silt, and clay in 1 and 2; 3. forereef's rudstone; 4. *Amplysiphonella* sample from S3 stage; 5. *Tubiphytes* from core reef in S2 stage; 6. *Paleofusulina* from core reef in S3 stage.

个体趋小的情况, 说明当时海洋环境的不利生态状况是普遍的。

## 2.5 礁前、礁后相

此礁点礁后被覆盖剥蚀较多, 但沿公路也可见礁后的藻类有孔虫泥粒灰岩和礁后沙丘相的鲕粒灰



岩;礁前堆积保存很好,有极厚的生屑砾屑堆积,可分为砾屑岩、角砾岩和混合砾岩三种。

礁前相-角砾岩:间布于礁前数个位置,大块状生屑,极少砾石棱角状的角砾岩。

礁前相-砾屑岩:生屑大多较小且破碎居多,分布极其广泛,部分岩石原生结构破坏严重,生屑多为造礁的纤维海绵碎片,以及管壳状化石和小型刺海绵,化石破损大多较严重而且多混合岩屑和泥质,且后期次生裂隙发育,多数岩石颜色有红色裂隙,腕足化石较多,偶见完整的腕足化石蕉叶贝。

礁前相-混合砾岩:位于礁前斜坡远端,砾石磨圆度大,可见个体极大的海绵个体。

礁后相-泄湖相-藻类有孔虫泥粒灰岩:可见丰富的藻类和孔虫个体以及海绵碎片。

礁后相-沙丘相-鲕粒灰岩:可见鲕粒灰岩,鲕粒较大,平均约2 mm。

综上所述,此礁经历三个明显的发育阶段,一期为房室海绵纲的叠瓦腔、多囊腔和泡腔海绵为主体的造礁阶段,二期为富含辐射状胶结物的纤维海绵纲的小领针海绵和纤维海绵纲一未知海绵属为主体的造礁阶段,三期为多囊腔海绵、小领针海绵为主体的造礁阶段,同时礁后相被覆盖剥蚀较大,礁前相的生屑堆积物被剥蚀较少,极其发育。

## 2.6 生物群落演替特征

造礁生物以钙质海绵为绝对主体,其他造礁生物,仅在S2造礁时期的礁核北侧发现有极少但保存完好的四射珊瑚,另外附礁为主的管壳石极少数情况下也对造礁起一定作用(如插图5.5),没有发现苔藓虫样本。鉴定出纤维海绵纲下3科4属(如插图6.1—6.6)分别为:Peronidellidae科的*Peronidella*小领针海绵属,暂未定科*Guangxinella*广西海绵属和Acoeliidae科*Ramospongia*枝海绵属,Polysiphonellidae科的*Introtubospongia*内管海绵属。房室海绵共鉴定出房室海绵纲下9科10属(如插图7.1—7.8)分别为:Sebagsiidae科的*Amplysiphonella*钝管海绵属和*Polycystocoelia*多囊腔海绵属;Imbricatocoeliidae科的*Imbricatocoelia*叠瓦腔海绵属;Colospongiidae科的*Colospongia*居海绵属;Cryptocoeliidae科的*Cryptocoelia*隐腔海绵属;Crystothalamiidae科的*Cystothalamia*泡腔海绵属;Thaumastocoeliidae科的*Sollasia*索拉斯海绵属;Verticillitidae科的*Phragmocoelia*篱海绵属;Tebagathalamiidae科的*Tebagathalmia*特巴洛海

绵属和Vesicocaulidae科的*Solidothalamia*索利多海绵属;硬海绵(如插图7.5)含量较少,仅鉴定出Tubulisongiidae科下*Tubulispongia*板海绵属和Ceratoporellidae科下*Reticulocoelia*热提库海绵属。

通过统计室内样品和野外总共发现的海绵个体数量,结合个体大小综合计算出三个造礁阶段以及礁前砾屑岩的造礁生物钙质海绵的面积比(如插图8所示)。

S1阶段:纤维海绵纲属种占造礁海绵成分总面积的34.09%,房室海绵占53.41%,构成了造礁的主体,硬海绵占11.36%。其中房室海绵纲的叠瓦腔海绵I占12.5%、泡腔海绵G占11.36%和多囊腔海绵K,纤维海绵纲的小领针海绵A占10.23%,为造礁群落里的优势物种。

S2阶段:纤维海绵纲属种占造礁海绵成分总面积的55.36%,房室海绵占23.21%,前者为造礁的主体,硬海绵占16.07%。其中纤维海绵纲的小领针海绵A占20.37%、广西海绵B占7.41%,为造礁群落里的优势物种。

S3阶段:纤维海绵纲属种占造礁海绵成分总面积的38.10%,房室海绵占57.14%,后者此时取代前者成为造礁的主体,硬海绵仅占4.76%,进一步减少。其中房室海绵纲的多囊腔海绵属K占23.81%,为优势物种。

礁前砾屑岩中:纤维海绵纲属种占构成成分面积的55.88%,为主体部分,由于砾屑物质大多来源于礁体,所以对它的统计也侧面反映了纤维海绵纲物种在造礁期的主导地位,房室海绵占23.52%,硬海绵纲物种此时占20.58%,相比礁核有很大提升,原因可能为很多硬海绵纲物种相比前两者个体较小,更易迁移到礁前堆积。

包覆结壳生物主要为遍布的古石孔藻如插图4.2(黄色箭头),还有部分粗枝藻和拟刺毛藻也起到一定的包覆作用。值得注意的是S2骨架礁岩里的古石孔藻的厚度都要明显比S1和S3阶段要厚,该阶段是古石孔藻类的繁盛时期。

附礁生物主要以腕足类能见度最高,其次为管壳石、粗枝藻、拟刺毛藻、裸松藻、有孔虫和腹足动物。其中在骨架礁的中部层位发现有孔虫古纺锤蠕*Paleofusulina*(插图5.6)。

礁破坏生物(钻孔生物)在所有的标本里都没有观察到,说明此礁点钻孔生物极少。

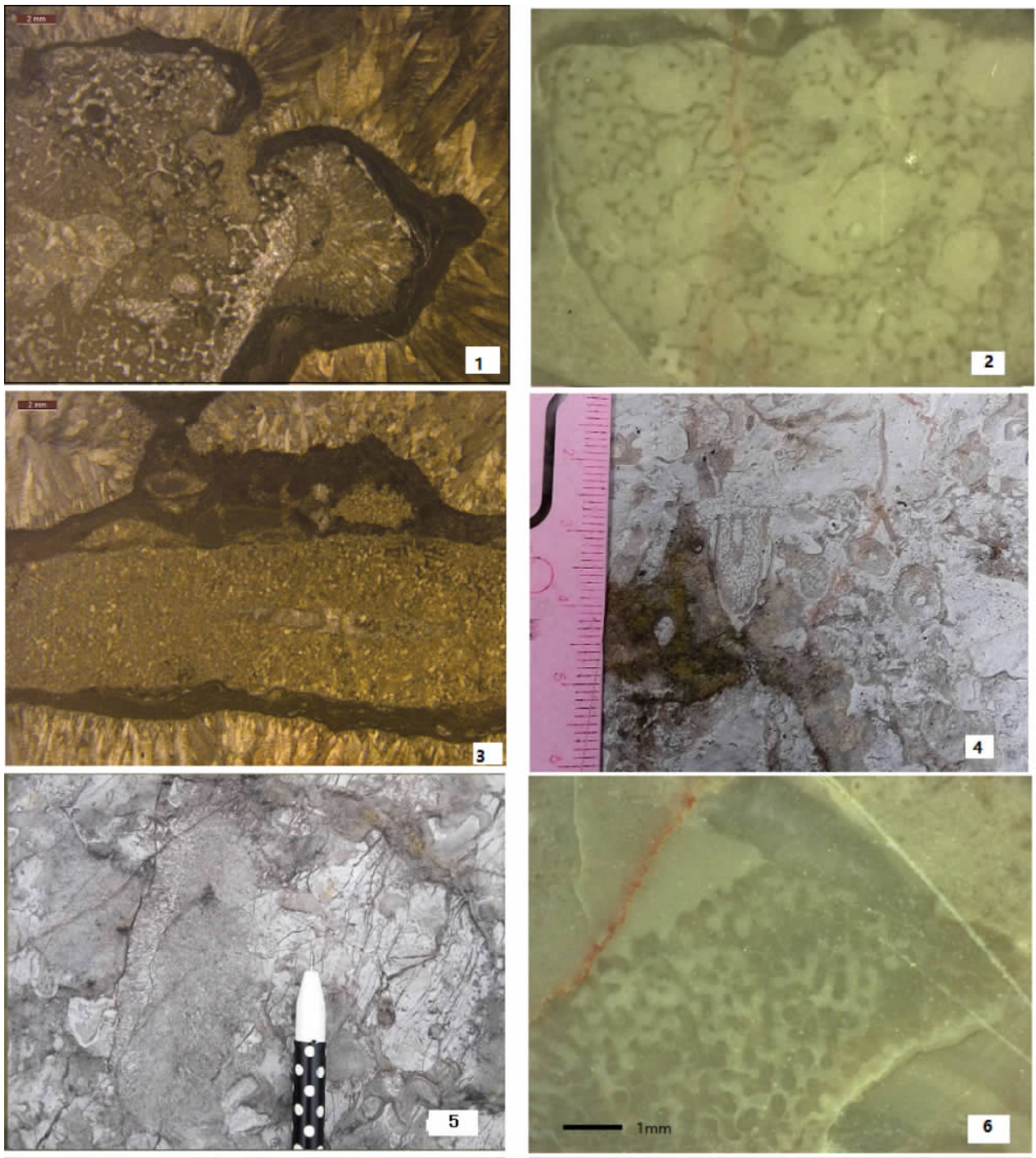


插图 6 干田坳剖面中的纤维海绵和硬海绵样品图片

Inozoans specimen from Gantian'ao reef

1. 纤维海绵纲未知属未定种, 2. 广西海绵属未定种, 3. 小领针海绵属未定种 1, 4. 小领针海绵属未定种 2, 5. 板海绵属未定种, 6. 枝海绵属未定种。  
1. Inozoan gen. et sp. indet., 2. *Guangxinella* sp., 3. *Peronidella* sp. 1, 4. *Peronidella* sp. 2, 5. *Tubulispongia* sp., 6. *Ramospongia* sp..

### 3 讨 论

#### 3.1 礁相和生物群落演替

该礁点和同位于古南盘江盆地的紫云和广西隆

林二叠纪礁对比(如下表 II):在骨架礁的造礁成分方面,本礁点经历三期群落演替,总体来说以纤维海绵为主体,约占造礁的 34.78%—62.16%,特别是在第一期、二期的造礁期都以纤维海绵为主,房室海绵为辅;仅在第三期造礁期房室海绵占到造礁主导



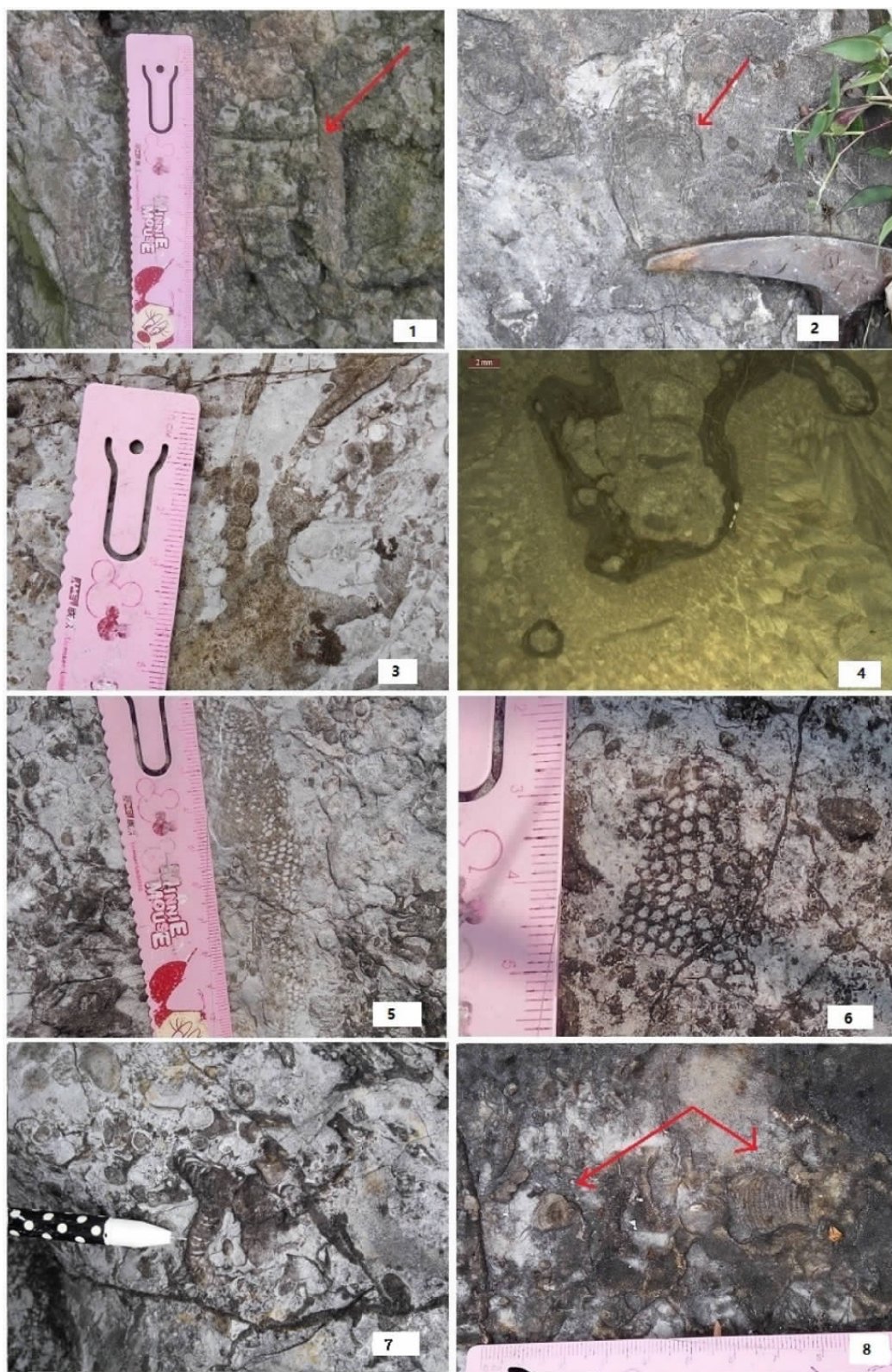


插图7 干田坳剖面中的房室海绵野外照片

Sphinctozoan specimens from Gantian'ao reef

1. 钝管海绵属未定种 1, 2. 钝管海绵属未定种 2, 3. 居海绵属未定种, 4. 索拉斯海绵属未定种, 5. 叠瓦腔海绵属未定种, 6. 泡腔海绵属未定种, 7. 多囊腔海绵属未定种, 8. 篱海绵属未定种。

1. *Amplysiphonella* sp. 1, 2. *Amplysiphonella* sp. 2, 3. *Colospongia* sp., 4. *Sollasia* sp., 5. *Imbricatocoelia* sp., 6. *Cystothalamia* sp., 7. *Polycystocoelia* sp., 8. *Phragmocoelia* sp..

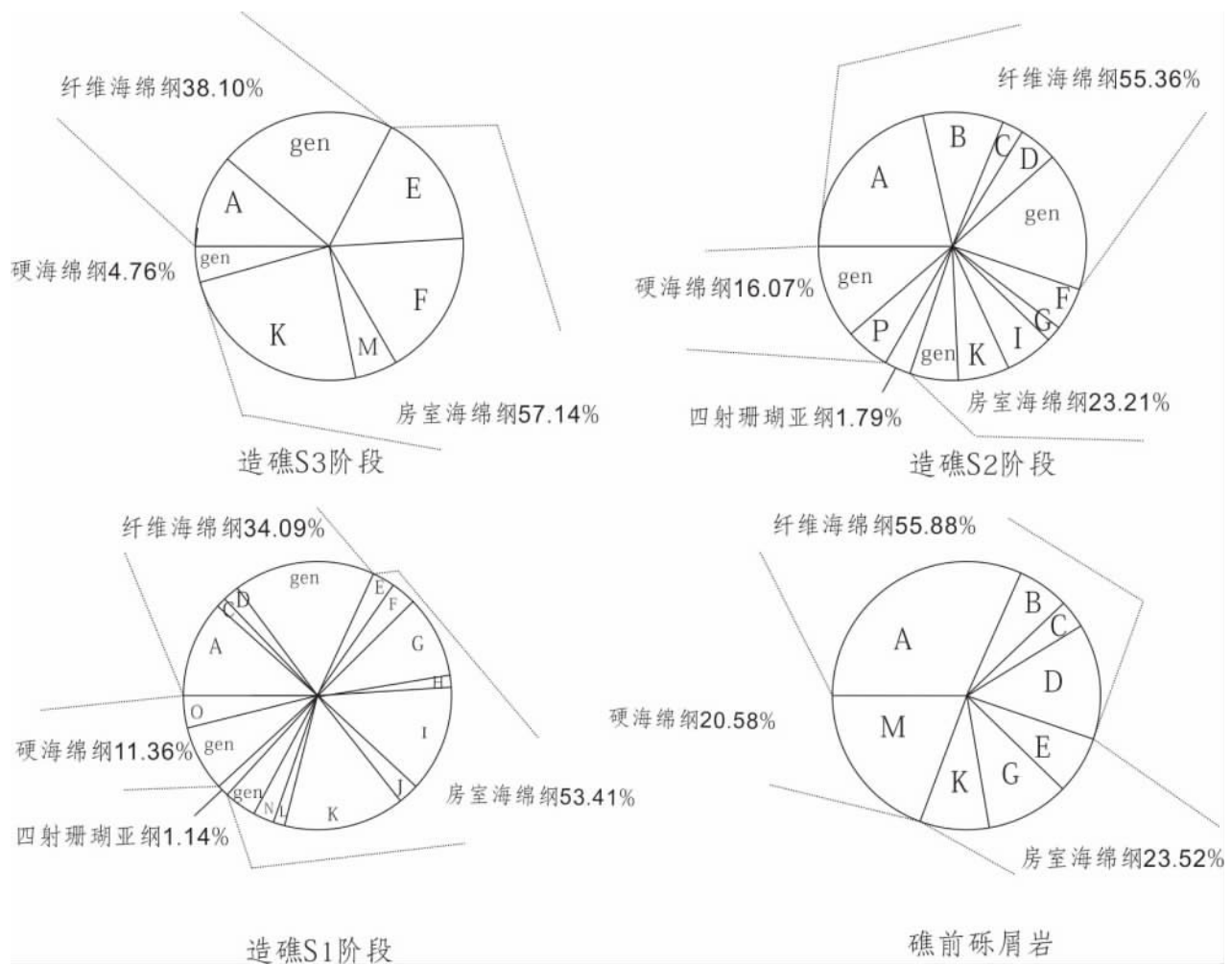


插图 8 造礁海绵在不同造礁时期以及礁前砾屑岩里所占的面积比重图

Divisions of reef building sponges in different stages and lithofacies in Gantian'ao reef

A—D. 纤维海绵纲: A. 小领针海绵属未定种, B. 广西海绵属未定种, C. 枝海绵属未定种, D. 内管海绵属未定种; E—N. 房室海绵纲: E. 钝管海绵属未定种, F. 居海绵属未定种, G. 泡腔海绵属未定种, H. 隐腔海绵属未定种, I. 叠瓦腔海绵属未定种, J. 篱海绵属未定种, K. 多囊腔海绵属未定种, L. 索拉斯海绵属未定种, M. 索利多海绵属未定种, N. 特巴格海绵属未定种; O—P. 硬海绵纲: O. 板海绵属未定种, P. 热提库海绵属未定种. gen 表示属未定。

A—D. Inozoa; A. *Peronidella* sp., B. *Guangxinella* sp., C. *Ramospongia* sp., D. *Introtubospongia* sp.; E—N. Sphinctozoa; E. *Amplysiphonella* sp., F. *Colospongia* sp., G. *Cystothalamia* sp., H. *Cryptocoelia* sp., I. *Imbricatocoelia* sp., J. *Phragmocoelia* sp., K. *Polycystocoelia* sp., L. *Sollasia* sp., M. *Solidothalamia* sp., N. *Tebagathalmia* sp.; O—P. Sclerospongiae; O. *Tubulispongia* sp., P. *Reticuloceelia* sp. gen; undetermined genus.

地位。据吴亚生(1989)的数据茅口期广西隆林以硬海绵为主体约占造礁成分的 50%,而在本礁点和紫云硬海绵都是造礁的次要组成,据林启祥(1992)的数据同期紫云以房室海绵为主占造礁成分的 40%—60%。

由隆林和紫云及本区的比较,可见从茅口期到长时期硬海绵的衰退和纤维海绵、房室海绵的扩张,而紫云和本区的差异可能和古地理位置、洋流等有关。

### 3.2 干田坳礁的环境揭示

如前述,此骨架礁岩特征里提到的 S2 期骨架里富泥晶填充,说明当时礁体生长水动力条件不强;而富有礁角碎块是礁体早期成岩阶段后被打碎的结果,这种强大的破坏礁体的力量极有可能是热带暴风雨的产物,而 S2 期里极发育放射轴状胶结物 RFC 是高温海水的产物,高水温加速碳酸钙的沉淀结晶;S2 期骨架岩里的粘土的发现和紫云报道的一致(范广慧,2014),与当时晚二叠世火山爆发的火山灰降落有关;而此骨架岩里粉砂的出现,是陆源物质

到达的产物和晚二叠世的海退相呼应。

## 4 结 论

### 1) 贵州罗甸干田坳发育的为规模较大的晚二叠

表 II 二叠纪南盘江盆地北部礁点礁相和造礁成分比较

Lithology, biological component of Permian reefs in northern Nanpanjiang Basin

比较项目	贵州罗甸干田坳礁	贵州紫云礁	广西隆林礁
礁相特征	晚二叠世发育三期礁核相：一期为房室海绵骨架岩，骨架间泥晶填充，厚约 33.2 m(不见底)。二期富亮晶胶结物的纤维海绵骨架礁岩，厚约 102 m，礁后相较少出露，礁前砾屑岩面积广厚度大；三期为多囊腔、小领针海绵骨架礁岩，厚约 15 m		
	晚二叠世发育二期类型的礁核：一期大型房室海绵泥晶填充骨架礁岩厚约 82 m；二期亮晶胶结物填充的纤维海绵骨架礁岩约 16 m；有很薄礁后相 11.37 m；礁前角砾岩和异地丘相生屑岩不发育		
	晚二叠世发育分四个期次的骨架岩相和礁坪相：一期三期为正常骨架礁岩，二期隆起为陡崖，四期为多非原地的礁坪相		
	均发育富亮晶胶结物的纤维海绵骨架礁礁间均见粘土层及粉砂沉积		
同	纤维海绵为第二期造礁主体，造礁成分上约占 34.09%—55.38%，房室海绵占 60%—80%，纤维海绵和硬海绵为辅		
	为第一、三期造礁主体，约占 23.21%—57.14%，硬海绵约占 4.76%—16.07%		
	硬海绵为造礁主体，造礁成分上约占 50%，纤维海绵和房室海绵约占 20%—30%		

亮晶骨架岩，造礁生物以多囊腔海绵、小领针海绵为主。本礁的造礁海绵的属种分异度由 S1 期至 S3 期逐渐降低，说明晚二叠世造礁海绵群落生态系统的逐渐衰退。

2) 本礁点房室海绵和纤维海绵相辅相成，二者在造礁过程中都不占绝对优势，共同构成造礁的主体；硬海绵在整个造礁时期都较少，为辅助造礁成分；本礁点的造礁生物成分和同期同属南盘江盆地地区的紫云及广西隆林的区别较大，这说明造礁的复杂性。

3) 成岩历史表明有过少量的火山灰粘土和粉砂沉积，说明晚二叠世火山喷发的火山灰影响到礁，但因为距离的原因影响不大，粉砂沉积说明当时海退的影响，陆源物质沉积影响加大。

4) 礁核前方砾屑岩极其发育，表明当时礁体的规模巨大，推测此地应该有相当大的原地骨架礁礁体尚未出露，当前出露的骨架礁岩只是小部分。

5) RFC 形成于一个较短的地质时间(数十万年以内)，富 RFC 的骨架礁岩说明除了水动力强，还是高温海水的产物，碳氧同位素计算出的 T 值指示它形成时的温度高达 37.86℃，这种高温导致生物礁生态系统的生产力下降。另外它常出现在造礁旋回的礁顶部位(紫云礁、西德克萨斯瓜德鲁普山二叠世礁均有如此现象)，侧面印证它代表生物礁一个造礁旋回的发育末期。

世骨架礁，此骨架礁分三期发育阶段：S1 期为泥晶骨架岩造礁生物，以房室海绵纲的叠瓦腔、多囊腔、泡腔海绵为主；S2 期以富 RFC 和礁角碎块的亮晶骨架岩为最主要特征，造礁生物以小领针海绵和纤维海绵纲一未知属为主；S3 期为骨架间孔隙较小的

致谢 感谢两位匿名评审专家提出的宝贵修改意见。

## 参 考 文 献 (References)

- Bai Jian-ke(白建科), 2010. Carbonate Microfacies Analysis on the Horizon Bearing Luoping Biota and Its Palaeogeographic Environment. Chengdu: Chinese Academy of Geological Science, 1—92(in Chinese).
- Chen Cheng-sheng(陈成生), Zhang Ji-qing(张继庆), 1991. Diagenetic history and reservoir information of the Upper Permian Changxing Formation calcisponge reef in eastern Sichuan and western Hubei. Acta Sedimentologica Sinica(沉积学报), 9(2): 44—54(in Chinese).
- Lehrmann D J, Payne J L, Sharon V F, Dillett P M, Wang Hong-mei, Yu You-yi, Wei Jia-yong, 2003. Permian-Triassic boundary sections from shallow-marine carbonate platforms of the Nanpanjiang Basin, South China: Implications for oceanic conditions associated with the end-Permian Extinction and its aftermath. PALAIOS, 18: 138—152.
- Lehrmann D J, Ramezani J, Bowring S A, Martin M W, Montgomery P, Enos P, Payne J L, Orchard M J, Wang Hong-mei, Wei Jia-yong, 2006. Timing of recovery from the end-Permian extinction: Geochronologic and biostratigraphic constraints from South China. Geology, 34(12): 1053—1056.
- Fan Guang-hui(范广慧), 2014. Evolution of Late Permian Reef Communities and Its Response to Episodic Volcanic Activities—



- Evidence from Ziyun in Guizhou Province. Wuhan: China University of Geosciences. 1—74(in Chinese).
- Fan Jia-song(范嘉松), 1988. Some problem on the research of ancient organic reef, with reference to the types of the Permian reef in southwestern China. *Oil & Gas Geology(石油与天然气地质)*, **9**(1): 46—55(in Chinese).
- Fan Jia-song(范嘉松), Qi Jing-wen(齐敬文), 1990. Permian Reef in Longlin, Guangxi. Beijing: Geological Publishing House. 1—128(in Chinese).
- Flügel E, 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks—Analysis, Interpretation and Application*. Berlin Heidelberg: Springer. 1—976.
- He Zi-ai(贺自爱), Yang Hong(杨宏), 1981. The Nature of the upper Permian bioherms of Guizhou and their traces. *Oil & Gas Geology(石油与天然气地质)*, **2**(1): 1—10(in Chinese).
- He Zi-ai(贺自爱), Yang Hong(杨宏), Zhou Jing-cai(周经才), 1980. The Middle Triassic reef in Guizhou Province. *Scientia Geologica Sinica(地质科学)*, **3**: 256—264(in Chinese).
- Huang Si-jing(黄思静), Wang Chun-mei(王春梅), Tong Hong-peng(佟宏鹏), Huang Ke-ke(黄可可), 2010. Radial fibrous cement of reefal framestone of Permian Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin. *Lithologic Reservoirs(岩性油气藏)*, **22**(3): 9—15(in Chinese).
- Jiang Yue-hua(姜月华), Yue Wen-zhe(岳文浙), Liu Zu-han(柳祖汉), Yang Meng-da(杨孟达), Jin Shan-yu(金善鹂), Wu Jin-yun(伍金云), 2006. An application of carbon and oxygen isotopes to late Permian reef diagenesis in Hunan Province. *Geologic Review(地质论评)*, **46**(2): 190—196(in Chinese).
- Li Fei, Yan Jia-xin, Algeo T, Wu Xia, 2011. Paleooceanographic conditions following the end-Permian mass extinction recorded by giant ooids (Moyang, South China). *Global and Planetary Change*, **105**(2): 102—120.
- Li Xiao-wei(李晓伟), Yu Mei-yi(喻美艺), Lehrmann D L, 2012. Factors controlling carbonate platform asymmetry: Preliminary results from the Great Bank of Guizhou, an isolated Permian-Triassic platform in the Nanpanjiang Basin, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **315-316**: 158—171.
- Lin Qi-xiang(林启祥), 1992. Nature and evolution of the Late Permian reef in Ziyun, Guizhou Province. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences(地球科学——中国地质大学学报)*, **17**(3): 301—307(in Chinese).
- Liu Jian-bo(刘建波), Ezaki Y, Yang Shou-ren(杨守仁), Wang Hai-feng(王海峰), Adachi N, 2007. Age and sedimentology of microbialites after the end-Permian mass extinction in Luodian, Guizhou Province. *Acta Paleogeographica Sinica(古地理学报)*, **9**(5): 473—486(in Chinese).
- Liu Li-jing(刘丽静), Jiang Hong-xia(姜红霞), Wu Ya-sheng(吴亚生), Cai Chun-fang(蔡春芳), 2014. Community replacement sequences and paleoenvironmental changes in reef areas of South China from Late Permian to Early Triassic exemplified by Panlongdong section in northeastern Sichuan Basin. *Science China: Earth Sciences(中国科学-地球科学)*, **44**(4): 617—633.
- Lu Ting-qing(陆廷清), Wen Ying-chu(文应初), Qiang Zi-tong(强子同), Fan Jia-song(范嘉松), 1998. Reef-building model of Permian sponge reefs in South China. *Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报)*, **37**(4): 513—516(in Chinese).
- Payne J L, Lehrmann D J, Wei Jia-yong, 2004. Large Perturbations of the carbon cycle during recovery from the end-Permian Extinction. *Science*, **305**: 506—509.
- Payne J L, Lehrmann D J, Wei Jia-yong, Orchard M J, Schrag D P, Knoll A H, 2006. Environmental and biological controls on the initiation and growth of a Middle Triassic (Anisian) reef complex on the Great Bank of Guizhou Province, China. *Palaaios*, **21**: 325—343.
- Song Hai-jun(宋海军), 2012. Extinction and Recovery of Foraminifera and Calcareous Algae during the Permian-Triassic Transition. Wuhan: China University of Geosciences. 1—235 (in Chinese).
- Wang Sheng-hai(王生海), Fan Jia-song(范嘉松), 1995. Cementation of the Permian reef in Ziyun County, South Guizhou, China. *Scientia Geologica Sinica(地质科学)*, **30**(1): 54—62 (in Chinese).
- Wang Yong-biao(王永标), Xu Gui-rong(徐桂荣), Lin Qi-xiang(林启祥), 1997. Paleoecologic relations between coral reef and sponge reef of late Permian in Cili area, west Hunan Province. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences(地球科学-中国地质大学学报)*, **22**(2): 136—138(in Chinese).
- Wu Ya-sheng(吴亚生), 1989. The Early Permian organic reefs, Longlin County, Guangxi Province. *Geologic Review(地质论评)*, **35**(1): 52—59(in Chinese).
- Wu Ya-sheng(吴亚生), 1991. *Organisms and Communities of Permian Reef of Xiangbo, China*. Beijing: China Building Industry Press. 1—194.
- Yang Wan-rong(杨万容), Li Xun(李迅), 1995. Permian reef types and controlling factors of reef formation in South China. *Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报)*, **34**(1): 67—75(in Chinese).
- Zhang Wei(张维), Zhang Xiao-lin(张孝林), 1992. Permian Reefs and Palaeoecology in South China. Beijing: Geological Publishing House. 1—157(in Chinese).

## LITHOFACIES AND PALAEOECOSYSTEM OF AN UPPER PERMIAN REEF AND ITS IMPLICATION IN PALAEOENVIRONMENT, IN GANTIAN'AO, LUODIAN, GUIZHOU PROVINCE, SOUTH CHINA

LIU Dong-yang<sup>1)</sup>, YU Mei-yi<sup>1)</sup> and Daniel J LEHRMANN<sup>2)</sup>

1) College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China, solomenlau@hotmail.com;

2) Department of Geoscience, Trinity University, San Antonio, TX 78212, USA

**Key words** Permian reef, ecosystem, framestone, Inozoan, Sphinctozoan, reef guild, RFC

### Abstract

In the late Permian there are plenty of radial fibrous cements (RFC) rich framestone developed in South China, and in Gantian'ao we found especially well preserved framestone reef outcrop. Based on the lithofacies and biological community analysis, we divided it to three stages: through all the history *Peronidella* is the dominant sponge in reef building, in stage 1 micrite framestone *Peronidella* and *Imbricatocoelia* are the dominant sponge, in stage 2 *Peronidella* and *Guangxinella* are the dominant sponge, however in stage 3 *Polycystocoelia* became the dominant sponge in reef building. In all three stages, the Sclerosponge

is very rare here, compared to the reef in Longlin, Guangxi. The ecosystem is different to Ziyun's reef even though it is so close. The encrustation in here is mainly *Archaeolithoporella*, the same as other reefs in South China at this time. By studying the history of the framestone here, especially the radial fibrous cements (RFC). Per  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotope data we found that RFC's contemporary temperature is as high as  $37.86^\circ\text{C}$ , we prefer to infer that RFC is an indication of high temperature marine water that incurred the accelerated process of calcite's saturation and the RFC rich framestone is a symbol of hostile seawater, as well as the last phase of a reef ecosystem.