

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2011.06037

雷州半岛徐闻西岸珊瑚岸礁造礁珊瑚群落结构及其演变

刘苗苗^{1,2}, 沈建伟¹, 王月^{1,2}, 杨红强^{1,2}

(1 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 中国科学院 南海海洋研究所, 广州 510301; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:雷州半岛徐闻西南海岸发育中国陆地最南端的珊瑚岸礁,这也是目前陆地海岸仅存的珊瑚岸礁。该区域内现生石珊瑚以滨珊瑚、蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚、角蜂巢珊瑚、蔷薇珊瑚、扁脑珊瑚、牡丹珊瑚等为优势种,礁栖生物主要以软体动物和节肢动物为主,构成鹿角珊瑚—蜂巢珊瑚—滨珊瑚群落。根据珊瑚生态特征和礁坪发育的地貌特征,可以把徐闻灯楼角岸礁从岸向海分为潮间砂石覆盖带、潮下内礁坪珊瑚碎块沉积带、潮下外礁坪活珊瑚生长稀疏带和潮下礁坪外缘活珊瑚繁盛带。潮下外礁坪和礁坪外缘带以角孔珊瑚为优势种,珊瑚礁区相对海平面和表层海温的变化以及沿岸的富营养物质注入,对珊瑚礁的生长发育起着决定性作用,并从珊瑚礁的发育中可知该区珊瑚礁主要形成于全新世中期。近几年,珊瑚礁覆盖率的调查显示,气候和沿海岸城镇建设及人口增加引起的环境变化导致了本区珊瑚礁优势种的转变,并诱发了群落结构的动态变化。

关键词:造礁珊瑚;群落结构;演变特征;岸礁;雷州半岛

中图分类号:P736.22

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2011)06-0037-09

我国南海北部大陆和海岛沿岸发育有不同规模的珊瑚岸礁,其中广东雷州半岛徐闻西南海岸的珊瑚礁是发育时间最长、保存最好和研究程度最详细的大陆岸礁^[1],而涠洲岛、斜阳岛、海南岛和南海中大小海岛的沿岸珊瑚礁都属于岛屿岸礁^[2],它们的成因不尽相同。大陆边缘和海岛边缘的大部分岸礁礁体主要部分在全新世中期形成,胶结程度差^[2],由于沿海岸城镇建设、人口不断增加和过渡捕捞,造礁珊瑚和附礁生物种类以及造礁珊瑚群落结构都在发生变化,以至与岸相连的礁坪珊瑚已全部死光,被泥沙和乱石覆盖,岸礁的活珊瑚带已远离海岸,高潮时在水下1~2 m。大陆边缘现在有活珊瑚继续生长的礁体仅在雷州半岛徐闻灯楼角西岸发育^[2-4],那里离岸潮下环境造礁珊瑚仍然顽强地生长,礁体向海拓展。进入全新世晚期,气候和环境条件发生变化,冬季表层平均水温的升高应该更有利于珊瑚礁生长和自然恢复,但是全球气候变暖导致夏季热带表层海水温度(SST)过高,特别是近岸人类活动的加剧更加速了雷州半岛西海岸珊瑚礁的

衰减。人类生产活动使得沿岸植被破坏,泥沙运移频繁,水质富营养化和混浊度增高,靠岸和礁坪内带珊瑚礁发育受到制约,死亡珊瑚或珊瑚碎片为主,活珊瑚种类趋少。本文在对徐闻灯楼角西南岸礁水下调查、照相和采样的基础上,通过珊瑚礁中珊瑚种属的确定和珊瑚群落的识别,并结合前人工作所获得的资料,对雷州半岛徐闻灯楼角西岸珊瑚岸礁造礁珊瑚群落结构及演变特征进行了分析研究,认为全球气候变暖、海洋污染和海岸带开发影响了石珊瑚的生存,从而改变了珊瑚礁珊瑚群落的结构,相对海平面变化则控制了珊瑚礁的生态和地貌分带。

1 环境条件

雷州半岛位于中国大陆的最南端,介于南海和北部湾之间,与海南岛隔琼州海峡相望,半岛南北长约140 km、东西宽约60~70 km,面积0.78万km²,是我国第三大半岛^[5],其西南部存在中国大陆岸惟一保存完好的珊瑚礁。该区属热带季风气候,是热带气候的北缘,从世界珊瑚礁分布来看也是较北缘地区^[6]。珊瑚礁区集中分布在徐闻县灯楼角附近,延伸至北部的西连,沿岸线断续分布,长达数十千米、宽200~1 500 m,礁区总面积约143.8 km²^[5](图1)。

基金项目:广东省自然科学基金项目(9251030101000004, 8151030101000015);国家自然科学基金项目(40976030);中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿项目(LYQY200806)

作者简介:刘苗苗(1987—),女,硕士生,主要从事海洋地质研究, E-mail: amyliu@scsio.ac.cn

收稿日期:2011-03-20; **改回日期:**2011-11-17. 张光威编辑

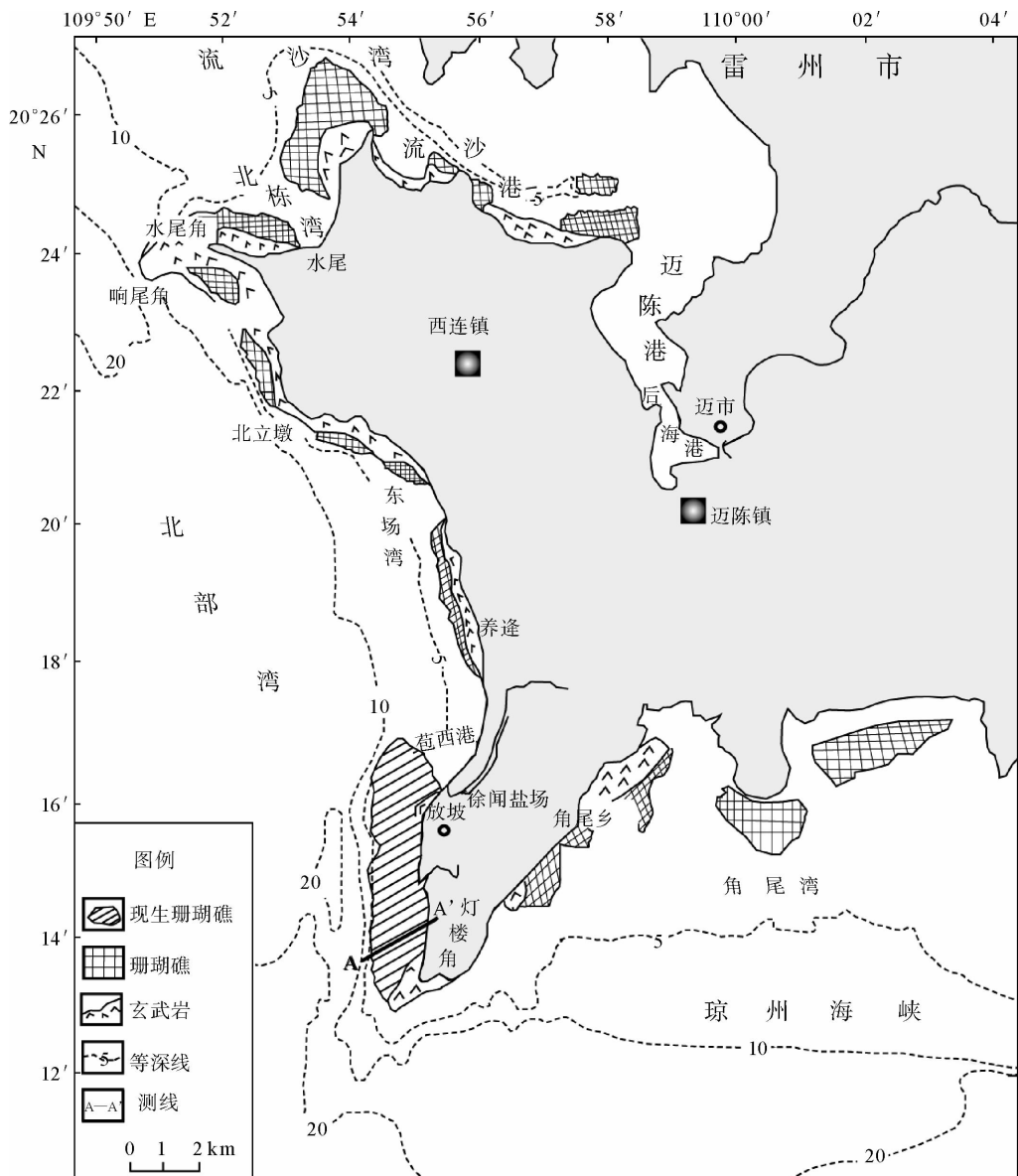


图1 雷州半岛徐闻西部珊瑚岸礁分布

Fig. 1 Distribution of fringing coral reefs along the west coast of Denglujiao, Xuwen County

造礁石珊瑚只能生长在温暖、清澈、低营养盐和正常盐度的海水中^[7]。水温、盐度、海水透明度、溶解氧、基底、海流、波浪、海平面变化等环境因素对珊瑚礁的生长发育有着明显的控制作用。多年来,礁区平均表层海水温度为 25 °C, 平均盐度为 29.14^[3,8]。据调查^[9], 1984—1985 年度本区表层水温冬季受温凉的沿岸水团和冬季风冷空气的影响, 为 17 °C, 垂向上呈上下均匀状态; 夏季为 30 °C, 属暖水。受海峡强混合急水流的影响, 盐度上下呈准均匀状态, 时空变化都很小, 夏季 32, 冬季 32~33^[1]。因沿岸流悬移质泥影响本区, 水质透明度小, 特别是在季风来临、风浪大的时期, 珊瑚生长的水深下界很少有超过 10 m 者^[10]。这里的台风浪一般

较弱, 也较少, 并不会阻碍礁体的发育, 其他理化因素也适合其珊瑚礁群落生长发育。总的来说, 徐闻灯楼角西岸生境条件适合珊瑚生物群落的生长, 为珊瑚礁的发育提供了各种有利条件。

2 岸礁珊瑚礁群落结构特征

珊瑚礁生物群落是种类繁多、适应性良好、稳定的生物群落。本区良好的生境条件为珊瑚礁群落结构的发展提供了基础保障^[11]。

2.1 主要生物组构

本区是中国大陆珊瑚礁发育较完善地区, 据赵

焕庭等^[12]的调查,本区石珊瑚目有 12 科 29 属 56 种和 5 个未定种,占总种数的 57.14%;其他珊瑚虫纲物种有 15 科 31 种和 12 未定种,占总种数的 42.86%。而区内主要造礁石珊瑚种属有:滨珊瑚(*Porites*)、蜂巢珊瑚(*Favia*)、鹿角珊瑚(*Acropora*)、角蜂巢珊瑚(*Favites*)、蔷薇珊瑚(*Montipora*)、菊花珊瑚(*Goniastrea*)、扁脑珊瑚(*Platygyra*)、陀螺珊瑚(*Turbinaria*)、牡丹珊瑚(*Pavona*)、盔形珊瑚(*Galaxea*)、多星孔珊瑚(*Astreopora myriophthalma*)、柳珊瑚科(*Gorgoniida*)等^[4]。其中石珊瑚又可分为造礁格架珊瑚和充填生物物种,如表 1。该表仅列出了主要的造礁石珊瑚。

表 1 雷州半岛徐闻珊瑚礁保护区石珊瑚目名录^[4,12]

Table 1 The list of scleractinian corals in the Xuwen Coral Reef Conservation

石珊瑚中格架珊瑚物种资源	
橙黄滨珊瑚	(<i>Porites lutea</i>)
普哥滨珊瑚	(<i>Porites pukoensis</i>)
扁缩滨珊瑚	(<i>Porites compressa</i>)
大角孔珊瑚	(<i>Goniopora djiboutien-sis</i>)
斯托科斯角孔珊瑚	(<i>Goniopora stokes</i>)
细角孔珊瑚	(<i>Goniopora minor</i>)
稀杯盔形珊瑚	(<i>Galaxea astreata</i>)
丛生盔形珊瑚	(<i>Galaxea fascicularis</i>)
腐蚀刺柄珊瑚	(<i>Hydnophora exesa</i>)
标准蜂巢珊瑚	(<i>Favia speciosa</i>)
美龙氏蜂巢珊瑚	(<i>Favia veroni</i>)
罗图马蜂巢珊瑚	(<i>Favia rotumana</i>)
盾形陀螺珊瑚	(<i>Turbinaria peltata</i>)
秘密角蜂巢珊瑚	(<i>Favite sabdita</i>)
五边角蜂巢珊瑚	(<i>Favite spentagona</i>)
板叶角蜂巢珊瑚	(<i>Favites complanata</i>)
尖丘角蜂巢珊瑚	(<i>Favites acuticollis</i>)
多弯角蜂巢珊瑚	(<i>Favites flexuosa</i>)
粗糙菊花珊瑚	(<i>Goniastrea aspera</i>)
多孔同星珊瑚	(<i>Plesiastrea versipora</i>)
曲同星珊瑚	(<i>Plesiastrea curta</i>)
交替扁脑珊瑚	(<i>Platygyra crosslandi</i>)
中华扁脑珊瑚	(<i>Platygyra sinensis</i>)
精巧扁脑珊瑚	(<i>Platygyra daedalea</i>)
简短圆菊珊瑚	(<i>Montastrea curta</i>)
联合棘星珊瑚	(<i>Acanthastrea hemprichii</i>)

续表

石珊瑚中充填生物物种	
指状蔷薇珊瑚	(<i>Montipora digitata</i>)
伞房鹿角珊瑚	(<i>Acropora corymbosa</i>)
石松鹿角珊瑚	(<i>Acropora seago</i>)
隆起鹿角珊瑚	(<i>Acropora tumida</i>)
膨胀蔷薇珊瑚	(<i>Montipora turgescens</i>)
粗野鹿角珊瑚	(<i>Acropora humilis</i>)
多孔鹿角珊瑚	(<i>Acropora millepora</i>)
佳丽鹿角珊瑚	(<i>Acropora pulchra</i>)
粗糙刺叶珊瑚	(<i>Echinophyllia aspera</i>)

我们以覆盖率最大的种为优势种,它有控制群落和反映群落特征的特点。在此以优势度(Y)来表示。

$$Y = ni * fi / N$$

ni 是第 i 种的个体数, fi 是该种在各站位出现的频率, N 表示每个种出现的总个体数,当 $Y > 0.02$ 时该种为优势种^[11]。通过水下拍摄和观察测量可发现现生珊瑚的优势种主要是滨珊瑚(*Porites*)、块状蜂巢珊瑚(*Favia*)、鹿角珊瑚(*Acropora*)、角蜂巢珊瑚(*Favites*)、蔷薇珊瑚(*Montipora*)、扁脑珊瑚(*Platygyra*)、牡丹珊瑚(*Pavona*)等(图 2、3)。从系统取样的调查结果中知道整个珊瑚礁区活珊瑚的平均覆盖度为 28.9%,在赵焕庭等^[3]的研究剖面中活珊瑚覆盖度最高可达到 39.2%。除石珊瑚之外该区还发育群体海葵目、海葵目、根枝珊瑚目、软珊瑚目、柳珊瑚目和海鳃目 6 目其他珊瑚虫纲,合计 43 种其他珊瑚虫,以软珊瑚目和柳珊瑚目为主^[4]。



图 2 雷州半岛徐闻西岸的滨珊瑚(*Porites*)(A), 牡丹珊瑚(*Pavona*)(B), 扁脑珊瑚(*Platygyra*)(C), 鹿角珊瑚(*Acropora*)(D)
Fig. 2 Pictures of *Porites* (A), *Pavona* (B), *Platygyra* (C), *Acropora* (D)

珊瑚礁群落结构中除了珊瑚虫纲还包含了礁栖植物、礁栖无脊椎动物以及礁栖脊椎动物 3 个生物群落,我们在这里为了测量统计方便,将其统一归称为珊瑚礁区伴生礁栖生物。本区礁栖生物属于印度-西太平洋热带区系性质,在动物地理区划上属于印度-西太平洋暖水区域。据王丽荣等^[10] 2000、2004 年对于该区域的调查,可知该区域大型底栖生物以海绵动物、藻类植物、腔肠动物、环节动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物等七大类群为主。对比 2000 和 2004 年的调查结果(图 4),可以很明显的看出软体动物和节肢动物是优势类群^[10,13]。

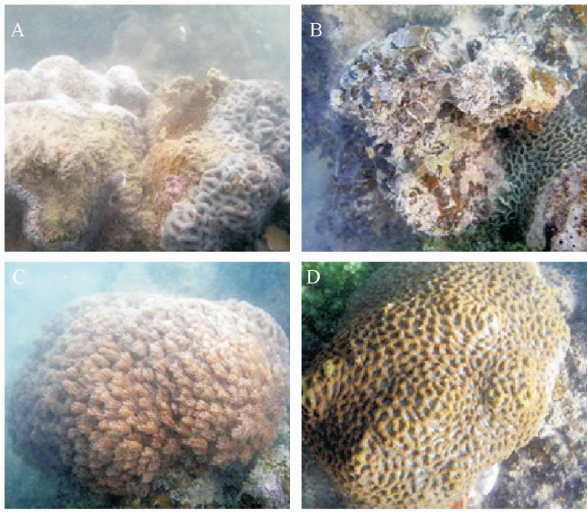


图 3 雷州半岛徐闻西岸的角蜂巢珊瑚

(*Favites*) (A), 薄层珊瑚(*Leptoseris*) (B),

真叶珊瑚(*Euphyllia*) (C), 蜂巢珊瑚(*Favia*) (D)

Fig. 3 Pictures of *Favites* (A), *Leptoseris* (B),

Euphyllia (C), *Favia* (D)

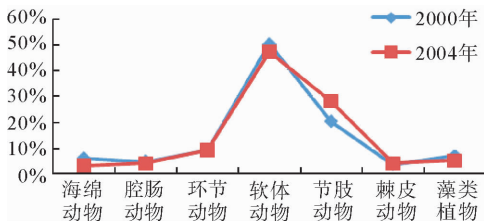


图 4 雷州半岛徐闻西岸大型礁栖生物含量

百分比(据文献^[10,14]绘制)

Fig. 4 The percentage of reef-dwelling macrobenthos associated with scleractinian corals

纵观响尾角底栖生物量优势种是布纹蚶、光石蛭、短石蛭、节蝶螺、马蹄螺、肥大石蛭、粒核果螺、斑点短桨蟹和火红雏蟹等;而在灯楼角岸礁底栖生物

量优势种是布纹蚶、光石蛭、猫爪牡蛎、歧脊加夫蛤、古琴拟口螺、尖角马蹄螺、节蝶螺、疣荔枝螺、斑点短桨蟹、长大刺蛇尾、红角沙蚕和珊瑚藻等^[10,13]。发现在两处布纹蚶、光石蛭、斑点短桨蟹、节蝶螺都为优势种,不过要了解整个徐闻西部地区珊瑚群落底栖生物量还需要大量的水下测量作业。

2.2 造礁石珊瑚分布

徐闻西部海岸区内珊瑚礁和原泻湖内发育,为岸礁和斑礁,向海敞开,沿岸断续分布,绵延总长 37.5 km。仅部分区域礁体面积较大,其余的都较小,长度一般为 0.3~1 km,厚度尚未见超过 4 m。礁体主要发育在玄武岩基底上^[7]。核心礁区主要分布在角尾、西连两乡的沿岸一带海区上^[15]。在礁体微地貌单元,岸礁一般分出平缓的少生长或不长珊瑚的礁坪和珊瑚丛生的礁前向海斜坡 2 个单元^[2]的礁坪外缘,礁坪又可以根据水动力、沉积物特征和珊瑚生长情况分为内礁坪、外礁坪和礁坪外缘(礁坪前缘)。本文根据岸礁礁坪的微地貌特征、沉积物特征、水动力特征和珊瑚生长和生态特征,将徐闻灯楼角西岸的珊瑚岸礁分为 4 个沉积和生态带(图 5):

2.2.1 潮间砂石覆盖带

与岸相连,大部处于潮间带,宽 300~400 m,地貌平坦,礁坪基本被砂石覆盖,没有活珊瑚生长^[8],珊瑚肢体已磨成砂砾级沉积物,偶尔可见到珊瑚断枝和碎块,由几种以上珊瑚个体固结而成的礁块并不多见,偶见的胶结礁块个体也较小,总的来说,珊瑚碎块的含量目估还不足 10%,陆源碎屑含量高达 90%以上。

2.2.2 潮下内礁坪珊瑚碎块沉积带

基本处于潮下,可以延伸到潮间带中下部,宽 200~300 m,主要由复体丛状珊瑚的断枝和复体块状珊瑚的碎块组成,该带又可细分为块状珊瑚碎块混合带和块状珊瑚一角孔珊瑚碎块断枝混合带,前者以橙黄滨珊瑚、十字牡丹珊瑚、蜂巢珊瑚等大型块状珊瑚为特征;后者块状珊瑚个体变小,而鹿角珊瑚含量明显增加^[16]。此处离岸较远,受陆源泥沙影响没有潮间砂石覆盖带大,珊瑚礁块发育也更为完善,从块状珊瑚碎块混合带到块状珊瑚-角孔珊瑚碎块断枝混合带,珊瑚碎块的胶结程度有所增加,碎块含量也逐渐增加,从 70%增长到部分区域的 95%;而陆源碎屑物质也相应的逐渐减少,为 5%~30%。

2.2.3 潮下外礁坪活珊瑚生长稀疏带

潮下,可延伸到低潮线附近,偶尔到潮间带下部,宽 250~280 m,海水透明度较差,抑制了珊瑚的

生长,可见少量普哥滨珊瑚,橙黄滨珊瑚和鹿角珊瑚等小型活珊瑚,复体块状和球状以及复体丛状珊瑚都有出现,覆盖率仅3%~5%^[8]。

2.2.4 潮下礁坪外缘活珊瑚繁盛带

此带向海,位于低潮面以下,水深通常有1.3~4.3 m^[8]。海水清澈,能见度大于2 m,宽150~200 m,几乎全为活珊瑚,珊瑚生长旺盛,以鹿角珊瑚为主。除鹿角珊瑚外,还广泛分布一些大型、块状的复体块状珊瑚,如滨珊瑚、蜂巢珊瑚、扁脑珊瑚和杯形珊瑚等,覆盖率为20%~30%,在放坡西北处珊瑚礁覆盖率达85%^[16]。有些枝状珊瑚已长至低潮面。珊瑚丛中贝类、鱼、虾和蟹类也较多。水深大于4 m的礁前斜坡下部,以活的复体块状珊瑚和一些破碎珊瑚礁块、珊瑚碎块和碎屑堆积为特征,活珊瑚相对少^[8]。

在灯楼角珊瑚岸礁往陆地方向的海岸沙丘和沙脊的洼地处偶尔可出露古礁坪的大礁块,说明礁坪向陆还有很大的延伸,但被砂泥质等第四纪堆积物所掩盖(图5,测线位置见图1),总的来看,全新世以来珊瑚岸礁是向海退积的,珊瑚礁基底受构造抬升,而海平面是相对下降的。

2.3 空间结构及异质性

在生物群落中,各个种群占据了不同的空间,使群落具有一定的空间结构,包括垂直结构和水平结构。群落的全球水平分布格局的特点是:不论朝哪个方向远离多样性中心,区系成分都表现出属种平行递减的趋势。造礁石珊瑚属种沿多样性中心向外的递减与分布区海水最低温度梯度呈现一致的趋势^[17]。造礁石珊瑚在垂直分布上的特征是多样性随水深的增加而降低。在造礁石珊瑚生长的水域内,除光照强度随水深而递减,并与造礁石珊瑚随水深增加而种类及覆盖率减少的趋势平行之外,其他

理化因素,如盐度、溶解氧等都几乎是恒定的,表明光照强度是垂直分布下限的限制因子。本区内珊瑚礁群落发育最为繁盛的地带主要集中在水深3~8 m,主要是由水深所导致的温度差异和光照强度所控制,由悬浮物和沉积物导致的低透光率也就间接影响了珊瑚的生长^[6],这是由造礁石珊瑚共生的虫黄藻进行光合作用的需要所决定的^[18-19]。总的来说,区域内呈现出垂直分层不明显、生长带窄的特点。

除水温和光照强度以外,基底条件、盐度、沉积物、水动力因素等区域环境条件的差异,对一定区域内造礁石珊瑚的分布格局和物种多样性也有重要作用,往往是造成群落结构异质性的直接因素^[3]。一般认为,波浪、海流及海面涨落等是造成地区群落分布格局的主要因素;波浪作用过高的地段无造礁石珊瑚,造礁石珊瑚按抵抗波浪冲击能力大小的顺序分布,不同地段的优势种及其多样性有显著差异。琼州海峡的综合海流具有强烈的往复流运动特点,波浪以中小型的台风波浪为主,大浪巨浪少见,这为区域内珊瑚礁的生长发育提供了丰富的营养物质,有利因素大于不利因素。雷州半岛主要造礁石珊瑚对环境胁迫的耐受性由高到低依次为:橙黄滨珊瑚>十字牡丹珊瑚>花鹿角珊瑚>佳丽鹿角珊瑚>强壮鹿角珊瑚^[20],白化死亡温度集中于12~14℃,主要区别在于其在死亡温度的耐受持续时间不同,总的呈现出中-弱的耐受性。因此,大型块状的种类(如滨珊瑚等)在波浪作用较大的地段占优势更易生存,波浪作用小的地段则以分枝纤细(如鹿角珊瑚)或薄叶状等不耐冲击的种类为主,这与本区石珊瑚的水平分布相一致。随着调查深度的开展,有望对于本区现生珊瑚礁群落结构石珊瑚的水平结构进行详细划分,并测量其优势度。

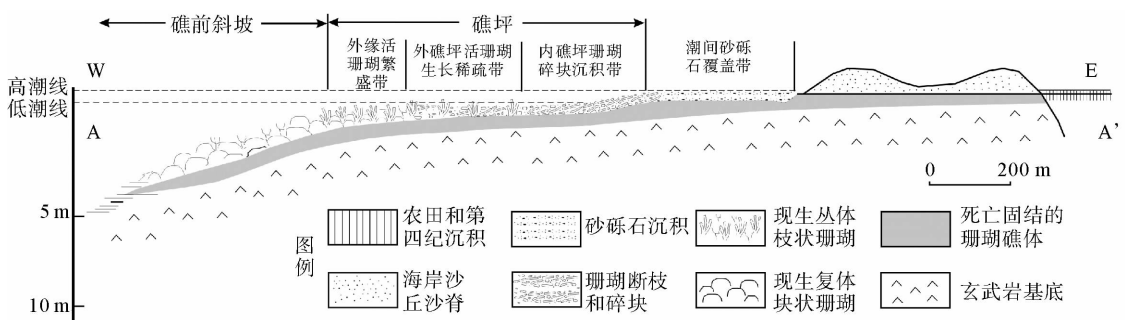


图5 雷州半岛徐闻灯楼角西岸珊瑚岸礁沉积和生态及地貌分带模式剖面

Fig. 5 Cross-section of the fringing reef along the west coast of Dengloujiao, Xuwen County, showing depositional, ecological and geomorphological zoned patterns

3 造礁珊瑚群落的演化

3.1 与地壳升降和海平面变化的响应

水温、盐度、海水透明度等环境因素对珊瑚礁的生长发育有着明显的控制作用。反过来,珊瑚礁的形成发育特征,记录和反映了其形成发育时期的环境信息^[21]。珊瑚礁在热带海域中广泛分布,珊瑚的生长速率高,可以提供月甚至更高分辨率的气候变化记录,特别是基于珊瑚骨骼的 $\delta^{18}\text{O}$ 、Sr/Ca和Mg/Ca等元素比值,直接记录了表层海水温度^[22]。而珊瑚礁表层礁坪的年代结构,在全新世海平面变化研究中发挥的重要作用更是记录过去海平面变化的良好标志^[23]。

自桂州海侵期起,在热带季风气候条件下,温盐适合,在沿岸潮间带和潮下带上的浅水岩坡上造礁珊瑚繁生,并形成珊瑚岸礁,雷州半岛与海南岛被海水分隔,形成了本区基本轮廓^[1]。在2000年的灯楼角西侧内礁坪坑剖面中,发现整个剖面是以原角孔珊瑚为优势,各层覆盖率在90%以上,长势好表明出当时的环境很适合珊瑚礁发育,可能相当于现在的西沙海水环境^[3]。余克服等^[24-25]对这里独特发育的角孔珊瑚礁研究显示,7 500~7 000 aBP海平面在波动中上升,于7 300 aBP前达到现在的高程,7 000 aBP时的海平面比现在高1.8 m;新近对雷州半岛块状滨珊瑚发育成的微环礁的研究显示,7 050~6 600 aBP海平面比现在高171~219 cm,这一期间存在至少4次百年尺度的海平面波动,波动幅度为20~40 cm^[26]。本区角孔珊瑚形成的具有9层结构的“雷州事件”剖面,清楚地给出了因为海平面短暂下降导致珊瑚礁出露、磨蚀的证据^[27]。

综上,再结合赵焕庭等^[5]的研究可知在6 670~6 460 aBP期间,地壳相对下沉,相对沉降速率为9.4 mm/a,发生了4次气候变冷;6 310~6 460 aBP,地壳仍持续下降,相对沉降速率为3.8 mm/a;之后的150 a,地壳仍持续下降,相对沉降速率为5.9 mm/a;直到6 200 aBP,地壳才开始相对抬升,其相对平均抬升率为0.05 mm/a。到全新世中期才处于相对稳定状态,近数十年是轻微下降区^[28]。但是,总的来说在全新世雷州半岛西南部的构造升降量远小于该区珊瑚礁的抬升量,所以,珊瑚礁的抬升是以水动型作用为主的,进一步论证了该区珊瑚礁是形成于全新世中期的高海平面时期^[22],并控制了区域性珊瑚礁生物地貌的发育模式与形态。

3.2 群落优势种转变

从珊瑚礁种类来说东西岸礁坪均以角孔珊瑚为主,礁坪向外逐渐过渡到以滨珊瑚为主,其他珊瑚有蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚、盔形珊瑚、牡丹珊瑚等,虽然种属相同,但是,物种数上东岸地区低于西岸,这与水质清晰度以及动力差异有一定的关系,但这些珊瑚礁均生长在玄武岩砾石滩之外侧^[5]。而现生珊瑚中角孔珊瑚、滨珊瑚仍为优势类群,反映了徐闻珊瑚礁环境突变不是特别大。因为滨珊瑚排除沉积物能力差,所以,此处滨珊瑚被大量取代,在一定程度上说明曾有海域沉积物量突增的现象。蔷薇珊瑚、刺柄珊瑚等反映水体环境浑浊的珊瑚以及低光环境下生存的陀螺珊瑚的出现,也在一定程度上指示了沉积物出现所导致的水体浑浊透明度差,这可能与现代海岸带的开发所引起的泥沙入海以及全球变暖有关。

现在地壳属于相对稳定时期,表层海水温度在近40 a呈上升趋势,上升率为0.2~0.25 °C/10 a,略低于同期全球平均上升率^[19],近10 a来尤为明显。但是,近40 a来各季节的SST变化趋势不一致,夏秋两季未出现持续倾向性变化,春季下降,下降率为0.25 °C/10a,冬季上升,上升率为0.27 °C/10a。冬季SST上升使本区潮下带珊瑚礁生态系统得以维持。从大堡礁的白化事件中可知高温是引起珊瑚白化死亡的主因^[29-30],但在此次的潜水照片观测中见到了先前已白化的鹿角珊瑚重新生长,可知现在属于适宜温度期。而该区是强潮流区,水体流动、交换和混合频繁,使沿岸水温夏季不致过热,冬季不致过冷,这是本礁区珊瑚生长最根本的、长期有利的自然条件。因此,本区珊瑚将持续繁生,岸礁继续增长。

而从近几年的调查报告我们可以发现,2000年调查石珊瑚种属为8科25种(3个未定种)^[13],2001年为11科33种^[15],实际增加了2科17种。2002年为12科39种3个未定种^[13],2004年石珊瑚目调查为9科17属26种^[10],比之前增加了3属18种和一个未定种。累计本区现有12科56种和5种未定种^[12]。虽然可能和调查深度有关,但是,每次调查都会发现新的未定名种和稀有种属,再加之本区自列为珊瑚礁保护区之后人为破坏程度明显减少,区域内的地壳活动较为沉静,海水温度适宜等多方面条件,并且在实际潜水作业时也发现了已白化的珊瑚有再生的现象,所以,我们可以大胆推测本区已从生态破坏期逐渐转变为生态恢复期,为本区海洋生

物资源可持续发展提供了新的机遇。

4 结论

(1)雷州半岛徐闻西岸珊瑚礁区水质、温盐、溶解氧等理化因素适合珊瑚礁生长发育,现生珊瑚礁中以滨珊瑚、块状蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚、角蜂巢珊瑚、蔷薇珊瑚、扁脑珊瑚、牡丹珊瑚等为主要优势种;

(2)珊瑚礁主要沿岸线分布,但珊瑚礁主体已远离海岸,根据研究区珊瑚礁的微地貌分异、沉积物特征、水动力因素和珊瑚生长生态特征,将徐闻灯楼角西岸珊瑚岸礁划分为潮间砂石覆盖带、潮下内礁坪珊瑚碎块沉积带、潮下外礁坪活珊瑚生长稀疏带以及潮下礁坪外缘活珊瑚繁盛带4个生态沉积带。

(3)研究区珊瑚礁群落结构的垂直结构分带并不明显,生长带窄。沿多样性中心向外递减并呈现出与海水最低温度梯度的一致性。而水平结构分带则主要呈现在由陆向海鹿角珊瑚—蜂巢珊瑚—滨珊瑚珊瑚群落特征上。

(4)珊瑚礁的形成发育主要受控于环境变化,研究区珊瑚礁主要形成于全新世中期的海平面时期,后期的珊瑚礁的发育演化和地貌格局,则主要受气候变化和构造活动引起的相对海平面变化影响;而现今的气候和沿海城镇建设及人口增加引起的环境变化导致了研究区珊瑚礁优势种的转变,并诱发了群落结构的动态变化。

(5)研究区珊瑚礁群落结构从全新世到现在发生了很大的变化,总体是由全新世的角孔珊瑚优势种转变为现今的鹿角珊瑚优势种,滨珊瑚作为优势种的地位逐年减弱,这些变化都在一定程度上说明了全球气候变暖和人类活动对珊瑚礁衰减的显著影响,并在一定程度上指示了环境因素的改变。

参考文献(References)

[1] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 徐闻珊瑚礁[M]. 广州:广东科技出版社,2009. [ZHAO Huanting, WANG Lirong, SONG Chaojing, et al. Xu wen Coral Reefs[M]. Guangzhou:Guangdong Science and Technology Publishing House, 2009.]

[2] 宋朝景,赵焕庭,王丽荣. 华南大陆沿岸珊瑚礁的特点与分析[J]. 热带地理,2007,27(4):294-299. [SONG Chaojing, ZHAO Huanting, WANG Lirong. Characteristics of the coral reefs along continental coast of South China[J]. Tropical Geography, 2007,27(4):294-299.]

[3] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 雷州半岛灯楼角珊瑚岸礁的特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(2):35-40. [ZHAO Huanting, WANG Lirong, SONG Chaojing, et al. features of

fringing reef at DengLoujiao, Leizhou Peninsula [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2002,22(2):35-40.]

[4] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景. 徐闻县西岸珊瑚礁存在与发展的条件[J]. 热带地理,2008,28(3):234-241. [ZHAO Huanting, WANG Lirong, SONG Chaojing. Existing and developing conditions of coral reef on the west Xuwen County [J]. Tropical Geography, 2008,28(3):234-241.]

[5] 李志强. 雷州半岛海岸带生态环境脆弱性初探[J]. 资源开发与市场,2008,24(10):905-907. [LI Zhiqiang. Study on ecological environment vulnerability of coastal zone in Leizhou Peninsula [J]. Resource Development and Market, 2008,24(10):905-907.]

[6] 牛文涛,徐宪忠,林荣澄,等. 沉积物对珊瑚礁及礁区生物的影响[J]. 海洋通报,2010(1):106-112. [NIU Wentao, XU Xianzhong, LIN Rongcheng, et al. Effects of sedimentation on coral reefs and reef organisms [J]. Marine Science Bulletin, 2010(1):106-112.]

[7] 詹文欢,朱照宇,姚衍桃,等. 南海西北部珊瑚礁记录所反映的新构造运动[J]. 第四纪地质,2006,26(1):77-84. [ZHAN Wenhuan, ZHU Zhaoyu, YAO Yantao, et al. Neotectonic movement recorded in coral reefs in the northwestern South China Sea[J]. Quaternary Sciences, 2006,26(1):77-84.]

[8] 赵焕庭,宋朝景,王丽荣,等. 雷州半岛灯楼角珊瑚礁初步观察[J]. 海洋通报,2001,20(2):87-91. [ZHAO Huanting, SONG Chaojing, WANG Lirong, et al. Preliminary study on the coral reef in Leizhou Peninsula [J]. Marine Science Bulletin, 2001,20(2):87-91.]

[9] 徐锡祯,陈特固,何洪钜. 粤西岸段海洋水温专业调查报告[M]. 1986. [XU Xizhen, CHEN Tegou, HE Hongju. Report of Ocean Temperature in the West Bank of Guangdong[M]. 1986.]

[10] 王丽荣,陈锐球,赵焕庭. 徐闻珊瑚礁自然保护区礁栖生物初步研究[J]. 海洋科学,2008,32(2):56-62. [WANG Lirong, CHEN Ruiqiu, ZHAO Huanting. A preliminary study on coral-associated communities in the Xuwen coral reef conservation [J]. Marine Science, 2008,32(2):56-62.]

[11] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社,2006. [SHEN Guoying, SHI Bingzhang. Marine Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006.]

[12] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 广东徐闻县西部沿岸海域的珊瑚虫纲物种[J]. 台湾海峡,2009,28(3):405-409. [ZHAO Huanting, WANG Lirong, SONG Chaojing, et al. Anthozoa species in western littoral waters of Xuwen County, Guangdong Province [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009,28(3):405-409.]

[13] 王丽荣,陈锐球,赵焕庭. 琼州海峡岸礁潮间带生物[J]. 台湾海峡,2003,22(3):286-294. [WANG Lirong, CHEN Ruiqiu, ZHAO Huanting. Organism in intertidal zone of fringing reef at Qiongzhou Straits [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003,22(3):286-294.]

[14] 王丽荣,赵焕庭,覃朝锋. 雷州半岛灯楼角热带海岸的景观生态分类[J]. 海洋通报,2004,23(1):50-57. [WANG Lirong, ZHAO Huanting, QIN Chaofeng. Landscape ecological

- classification of tropical coast of Denglouliao, Leizhou Peninsula in Guangdong Province [J]. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23(1): 50-57.]
- [15] 卢伏胜, 何秀林, 陈春亮, 等. 广东徐闻西部沿岸海区“珊瑚类”的物种及其分布[J]. *台湾海峡*, 2003, 22(4): 445-448. [LU Huosheng, HE Xiulin, CHEN Chunliang, et al. Species distribution of corals from western littoral sea area of Xuwen Guangdong [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2003, 22(4): 445-448.]
- [16] 余克服, 钟晋梁, 赵建新, 等. 雷州半岛珊瑚礁生物地貌带与全新世多期相对高海平面[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(2): 27-33. [YU Kefu, ZHONG Jinliang, ZHAO Jianxin, et al. Biological-geomorphological zones in a reef area at Southwest Leizhou Peninsula unveiled multiple sea level high-stands in the Holocene [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2002, 22(2): 27-33.]
- [17] 邹仁林, 陈映故. 珊瑚及其药用[M]. 北京: 科学出版社, 1989. [ZOU Renlin, CHEN Yinggu. *Coral and Medicinal* [M]. Beijing: Science Press, 1989.]
- [18] Schlichter D, Fricke H W, Weber W. Light harvesting by wavelength transformation in symbiotic coral of the Red-Sea twilight zone[J]. *Marine Biology*, 1986, 91: 403-408.]
- [19] 于攀登, 邹仁林. 造礁石珊瑚群落结构研究的概况、问题和前景[J]. *生物多样性*, 1995, 3(1): 26-30. [YU Pandeng, ZOU Renlin. General situation, problems and prospects of studies on scleractinian coral community structure [J]. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3(1): 26-30.]
- [20] 李淑, 余克服, 施祺, 等. 造礁石珊瑚对低温的耐受能力及相应模式[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2289-2295. [LI Shu, YU Kefu, SHI Qi, et al. Low water temperature tolerance and responding mode of scleractinian corals in Sanya Bay [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9): 2289-2295.]
- [21] 詹文欢, 张乔民, 孙宗勋, 等. 雷州半岛西南部珊瑚礁生物地貌研究[J]. *海洋通报*, 2002, 21(5): 54-60. [ZHAN Wenhuan, ZHANG Qiaomin, SUN Zongxun, et al. Study on biogeomorphology of coral reefs in southwestern Leizhou Peninsula [J]. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(5): 54-60.]
- [22] Mitsuguchi T, Matsumoto E, Abe O, et al. Mg/Ca thermometry in coral skeletons[J]. *Science*, 1996, 274: 961-963.]
- [23] Antonioli F, Chemello R, Imbrota S. Dendropoma lower inter-tidal reef formations and their palaeoclimatological significance, NW Sicily [J]. *Marine Geology*, 1999, 161(2-4): 155-170.]
- [24] Yu K F, Zhao J X, Liu T S, et al. High-frequency winter cooling and reef coral mortality during the Holocene climatic optimum[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 224(1-2): 143-155.]
- [25] Yu K F, Liu D S, CHEN T G, et al. High-frequency climatic oscillations recorded in a Holocene coral reef at Leizhou Peninsula, South China sea[J]. *Science in China: Series D*, 2002, 45(12): 1057-1068.]
- [26] Yu K F, Zhao J X, Dong T. Microatoll record for large century-scale sea-level fluctuations in the mid-Holocene [J]. *Quaternary Research*, 2009, 28(1): 127-134.]
- [27] 余克服, 陈特固. 南海北部晚全新世高海平面及其波动的海滩沉积证据[J]. *地学前缘*, 2009, 16(6): 138-145. [YU Kefu, CHEN Tegou. Beach sediments from northern South China Sea suggest high and oscillating sea level during the late Holocene [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6): 138-145.]
- [28] 张虎男. 关于修建琼州海峡海底隧道可行性的探讨[J]. *热带地理*, 1984, 4(4): 193-204. [ZHANG Hunan. Study of the feasibility about construct Qiongzhou Channel tunnel [J]. *Tropical Geography*, 1984, 4(4): 193-204.]
- [29] Bellwood D R, Hughes T P, Folke C, et al. Confronting the coral reef crisis[J]. *Nature*, 2004, 429: 827-833.]
- [30] Thomas C D, Cameron A, Green R E, et al. Extinction risk from climate change[J]. *Nature*, 2004, 427: 145-148.]

REEF-BUILDING CORAL COMMUNITY AND EVOLUTIONARY CHARACTERISTICS OF THE FRINGING REEFS ON THE WEST COAST OF XUWEN COUNTY, LEIZHOU PENINSULA

LIU Miaomiao^{1,2}, SHEN Jianwei¹, WANG Yue^{1,2}, YANG Hongqiang^{1,2}

(1 South China Sea Institute of Oceanology, CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology,
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Fringing reefs are well developed on the southwest coast of Xuwen County at the Leizhou Peninsula, southernmost tip of China mainland. They are the only fringing coral reefs remaining on the coast of the mainland. Living corals in the fringing coral reefs consist of *Porites*, *Favia*, *Acropora*, *Favite*, *Montipora*, *Platygyra* and *Pavona*, dominated by *Acropora-Favia-Porites* community. Molluscs and arthropods are the main dwelling organisms. According to the coral ecology and reef-flat topographic features, the Dengloujiao fringing reef on the west coast of Xuwen County can be divided into 4 zones from the shore to the sea: 1) the intertidal zone covered by sand and gravel, 2) the subtidal inner reef-flat with coral fragment and bioclast deposits, 3) the subtidal outer reef-flat with sparse living corals, and 4) the subtidal reef-flat rim of living corals. *Goniopora* is the dominant species in subtidal outer reef-flat and reef-flat rim. Relative sea-level changes, sea surface temperature variations and coastal eutrophication influx significantly affect the growth of coral reefs. The fringing coral reefs are primarily formed in the mid-Holocene based on the analysis of reef development and evolution. Recent surveys on the coral reefs indicate that the environmental changes caused by climate changes, coastal civil construction and population increase resulted in the changes in dominant coral species in reefal area, and the dynamic changes in the coral community.

Key words: reef-building coral; community structure; evolution characteristics; fringing reef; Leizhou Peninsula