

汪品先. 深水珊瑚林[J]. 地球科学进展, 2019, 34(12): 1222-1233. DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2019.12.1222. [Wang Pinxian. Deep-sea coral forest[J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(12): 1222-1233. DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2019.12.1222.]

深水珊瑚林

汪品先

(同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:2018年在南海发现的深水珊瑚林,为底栖生物乃至碳循环研究弥补了重大空缺。受技术限制,以前深海底栖生物的研究主要局限在沉积覆盖的软基底,以为石质海底是一片贫瘠世界。1990年代中期,应用深潜技术首先在大西洋发现了深海珊瑚礁,为海洋科学开辟了新的研究方向。深海珊瑚包括两类:一类是属于六方珊瑚的石珊瑚,以其文石质的外骨骼形成珊瑚礁;另一类是以柳珊瑚为主的珊瑚林,柳珊瑚属于八方珊瑚,可以形成高镁方解石的骨骼。这些碳酸盐骨骼都能够记录深海的环境变化,是古海洋学研究的绝佳材料。太平洋由于文石补偿面过浅,不利于深水珊瑚礁发育,深水珊瑚林应当普遍发育,可惜至今尚未得到重视,绝大部分海域属于研究空白。通过对深水珊瑚礁和珊瑚林的组成以及分布的介绍,讨论深水珊瑚林在海洋生态学中的重要性及其在古海洋学再造中的意义。

关键词:深海;珊瑚;南海;底栖生物;古海洋学

中图分类号: P735 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8166(2019)12-1222-12

1 引言

2018年春天,在南海深部有个重大发现:在超过千米的深水海底发现了珊瑚林。使用国产载人深潜器“深海勇士号”和加拿大ROPOS遥控深潜器,分别对西沙的深水区和北部的海山进行探索,均在1 000~3 000 m的深海底发现了成片分布的珊瑚林(图1)^[1]。先前大家熟悉的是珊瑚礁,也知道深水里有单体珊瑚,但生长在深海硬基底上的“珊瑚林”,在南海还是首次发现。虽然个别的深水珊瑚标本早就采到过,但成林分布的深水珊瑚在南海、甚至整个热带西太平洋还是首次报道,因为珊瑚林只有通过深潜才能看到。在西沙最为突出的是鞭状的竹节珊瑚 *Lepidisis* sp.(图1中a),主竿高逾2 m,加上蜷曲的活珊瑚部分总长可达4~5 m,宛如园林里的乔木;较矮的扇珊瑚 *Calyptrophora* sp.(图1中b),好比林下的乔木;再配上玻璃海绵(图1中c)等更矮的动物,构

成了一片不可思议的深海园林。

与热带的造礁珊瑚不同,深水珊瑚生活在冷水里,因此也叫冷水珊瑚。但是冷水珊瑚在浅海也可以出现,因此深水珊瑚一定在冷水里,冷水珊瑚却不一定都在深水。在国际学术界,深海珊瑚研究主要于21世纪开始,但是引起研究人员注意的并不是深水珊瑚林,而是大西洋的深水珊瑚礁。本文拟对深水珊瑚做一次比较系统地介绍,先从研究历史、即北大西洋深水珊瑚的研究谈起,然后介绍深水珊瑚林,接着从生态系统和海洋生物泵的角度讨论深水珊瑚、尤其是深水珊瑚林的价值,最后介绍深水珊瑚研究的地质意义,并探讨我国的研究方向。

2 深水珊瑚礁

2.1 深海造礁的石珊瑚

自然科学的众多领域是在欧洲创立的,研究深水珊瑚的源头也在西欧。早在18世纪已经发现深

收稿日期:2019-10-25;修回日期:2019-11-20.

作者简介:汪品先(1936-),男,江苏苏州人,教授,中国科学院院士,主要从事海洋地质与古环境研究. E-mail: pxwang@tongji.edu.cn

水珊瑚,最主要的2种深水“造礁”珊瑚——多孔冠珊瑚 *Lophelia pertusa* 和多眼筛珊瑚 *Madrepora oculata*, 都是生物分类法的创始人——瑞典的林奈 (Carl Linné) 于 1758 年命名的。至于深水珊瑚的海上研究,也可以上溯到 19 世纪,1872—1876 年英国“挑战者号(HMS Challenger)”进行环球科考航行,从深水海底采回来大量珊瑚标本进行描述分类,可惜对其产状一无所知。海洋底栖生物的研究受采样手段限制,直到 20 世纪仍局限在软基底上,即有沉积覆盖的海底^[2],因为无论箱式取样器或是海底拖网都只适用于软质海底。需等到出现深潜技术,载人或者不载人深潜器下至岩石基底的海底面,方能开拓深海珊瑚的研究领域^[3],到现在已经有越来越多的深海技术可以用于研究(例如着底器 lander^[4])。因此,深海珊瑚的研究是 21 世纪海洋新技术的产物。

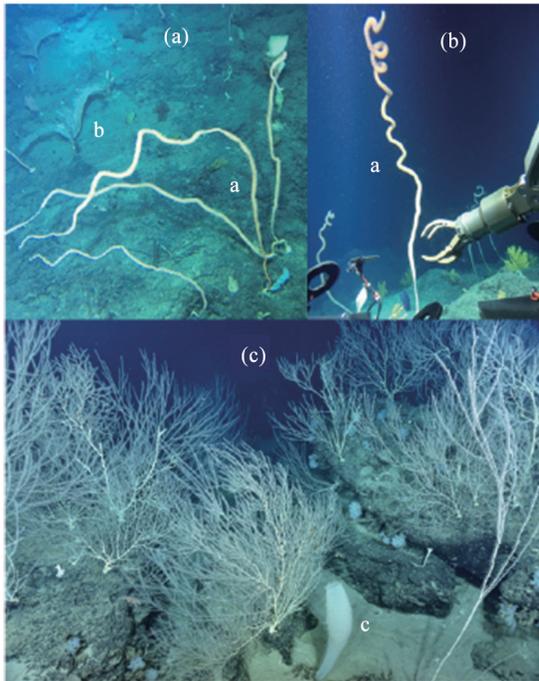


图 1 南海的深水珊瑚林

Fig.1 Deep coral forests in the South China Sea

(a), (b) 西沙深海的珊瑚林 (2018 年“深海勇士号”拍摄);
 (c) 深海盆海山上的珊瑚林 (2018 年“ROPOS”拍摄,周怀阳提供); a 为竹节珊瑚 *Lepidisis* sp.; b 为扇珊瑚 *Calyptrophora* sp.; c 为玻璃海绵

(a), (b) Deep-sea coral forests in the Xisha Islands (photo by HOV "Shenhai Yongshi" in 2018); (c) Coral forests on seamounts of the deep South China Sea basin (photo by ROV "ROPOS" in 2018, provided by Zhou Huaiyang).
 a: Bamboo coral *Lepidisis* sp.; b: Fan coral *Calyptrophora* sp.; c: Glass sponge

深水珊瑚得到重视的直接原因,是 20 世纪晚期的深水捕鱼和海底采油,在北大西洋发现了深水珊瑚礁体。比如 1990 年代在挪威中部岸外水深 220~310 m 处,发现点状分布的深水珊瑚礁,礁体高 30 m、长 500 m、宽 150 m,平均每平方公里有 1.2 个,放射性碳测年表明大约均是 8 000 年以来的产物。这类深水珊瑚礁沿着挪威与爱尔兰西岸大量发育,很可能与海底油气苗相关,于是推测泄出的甲烷会转化为无机碳,有利于冷水珊瑚礁的发育^[5]。类似的深水珊瑚礁在大西洋对岸的加拿大和美国西岸也有分布,水深一般不超过 1 000 m,是大西洋两侧的共同现象。深水珊瑚礁主要由多孔冠珊瑚 *L. pertusa* 组成,其次有多眼筛珊瑚 *Madrepora oculata* 等种。进入 21 世纪,涉及这两类珊瑚的文献数量剧增,反映出深水珊瑚礁研究迅速发展的趋势(图 2)^[6]。

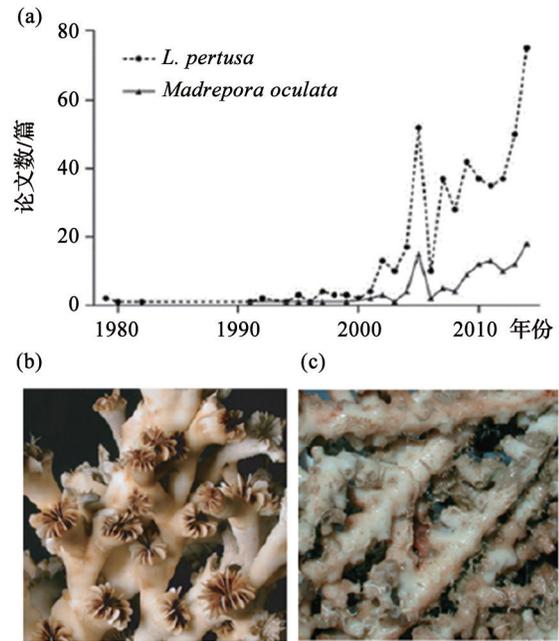


图 2 大西洋深水珊瑚礁研究的迅速发展

Fig.2 Rapid development of the research on Atlantic deep-water coral reefs

(a) 有关论文数量的增长趋势^[6]; (b) 多孔冠珊瑚 *L. pertusa*;
 (c) 多眼筛珊瑚 *Madrepora oculata*^[7]

(a) The increasing trend of the amount of relevant publications^[6];
 (b) *L. pertusa*; (c) *Madrepora oculata*^[7]

2.2 深水珊瑚礁和碳酸盐泥丘

尽管深水珊瑚礁的研究迅速发展,但是其名称一直引起争议。与热带浅水的造礁珊瑚一样,多孔冠珊瑚 *L. pertusa* 之类也分泌碳酸钙形成文石质的外骨骼,在分类上也都是石珊瑚,同属六放珊瑚亚纲,但是深水珊瑚骨骼呈网枝状,结构松散(图 3b, c),和

致密的浅水珊瑚形成的块状礁体明显不同。拿一个深水珊瑚礁来看:活珊瑚形成网枝状的骨架,分布在礁顶(图 3d),往下是死珊瑚的分布区,其中可

以有活的柳珊瑚等生长(见第 3 部分内容)(图 3e),最底部是破碎珊瑚区,同时也有海绵等其他生物分布(图 3f)^[7],与热带浅海致密的珊瑚礁完全不同。

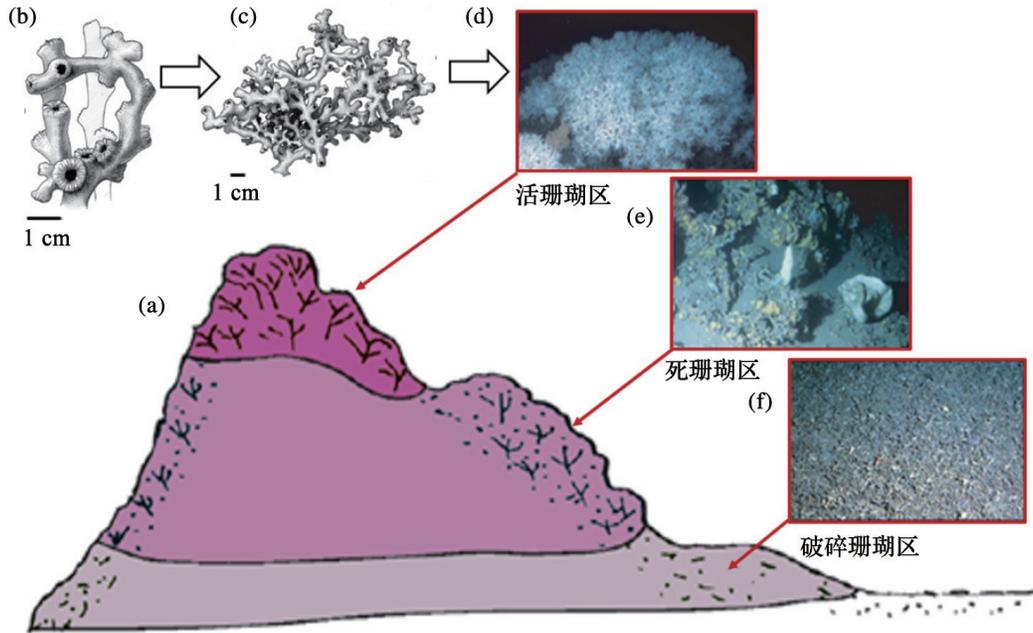


图 3 一座典型的深水珊瑚礁

Fig.3 A typical deep-sea coral reef

- (a)礁体上下分三部分;(b)~(d)“活珊瑚”区(d)由多孔冠珊瑚和多眼筛珊瑚占压倒优势;b和c分别表示多孔冠珊瑚 *L. pertusa* 的个体(b)和群体(c);(e)死珊瑚区种类最多,有活的柳珊瑚和海绵;(f)“破碎珊瑚”区多包壳型海绵^[7]
- (a)The reef is vertically constituted by three parts;(b)~(d)The "living coral zone" (d) dominated by *Lophelia pertusa* and *Madrepora oculata*, and the individual living *L. pertusa* (b) interweaved into a community(c);(e)"Dead framework zone" with diverse species including living gorgonian and sponges;(f)"Coral rubble zone" occupied by encrusting sponges^[7]

由此便出现了分歧。有的作者为了强调与热带珊瑚礁的区别,认为深水珊瑚形成的结构不能称为“礁”,只能叫珊瑚“丘”。不过近年来的研究表明,从生物学角度看,深水珊瑚与浅水珊瑚造成的骨架并没有根本区别,不妨统称为“珊瑚礁”;但是从沉积学角度看却大不相同,深水珊瑚形成的是一种比较松散的堆积体,虽然产生的碳酸盐可以堆到 300 m 高,但是与碳酸盐泥(carbonate mud)一起堆成的丘状隆起,与热带珊瑚礁致密的碳酸盐体明显不同。因此两者都没错:从生物学角度称为深水珊瑚礁,形成的地质体称为“碳酸盐泥丘(carbonate mud mound)”。

将“碳酸盐泥丘”看作沉积体,两者的区别就十分清楚:单个的冷水珊瑚礁体积比较小,年龄只有几千年,在北大西洋就是全新世海侵的产物;而若干个冷水珊瑚礁经过沉积作用改造,和泥质沉积一起形成的“碳酸盐泥丘”比较大,可达数十米高,是

多次冰期旋回里多期冷水珊瑚积累的产物,年龄可以上溯到百万年之久^[8]。两者的关系可用图 4 表示:小圈称珊瑚礁,大圈称碳酸盐泥丘^[9]。

在现代的大洋里,深水碳酸盐泥丘主要分布在大西洋区(图 5)^[9],研究最多的是西欧岸外和美国东南一带^[10]。这类沉积体规模相当大,在海底地形和地震剖面上都有表现,是第四纪地质研究的重要对象。如著名的挪威岸外 200~300 m 深处,沿着冰山带来的冰川砾石条带,形成了几百个 2~30 m 高的冷水珊瑚丘^[7]。最近西非毛里塔尼亚岸外水深 400~500 m 处,也发现有高逾百米、延伸 400 km 的特大型冷水碳酸盐泥丘,这是 12 万年以来的碳酸盐堆积体^[11]。一般来说,碳酸盐泥丘常见于 200~300 m 处,深度在几百米范围内,但也见于 1 000~1 300 m 的海山上,最大深度是 2017 年在爱尔兰岸外水深 1 600 m 处发现的。

深水珊瑚在大洋碳酸盐沉积作用中起着很重

要的作用,以美国东南佛罗里达海域为例,在陆坡上每 3 km²就有 1 座深水珊瑚的丘。调查区 12×10⁴ km²就有 40 000 座深水珊瑚丘,以每座 50 m×200 m 面积计算,总面积可达 400 km²,碳酸盐的总量十分可观。相比之下,热带浅水珊瑚礁只是在碳酸盐台地的边缘上发育生长,沿佛罗里达湾也不过 100 km 宽,这样看来“罕见”的冷水珊瑚,在美国东南比热带珊瑚礁的面积大^[12]。但是这类深水珊瑚礁在太平洋海域很少见,南海发现的也不是深水珊瑚礁,而是深水珊瑚林。

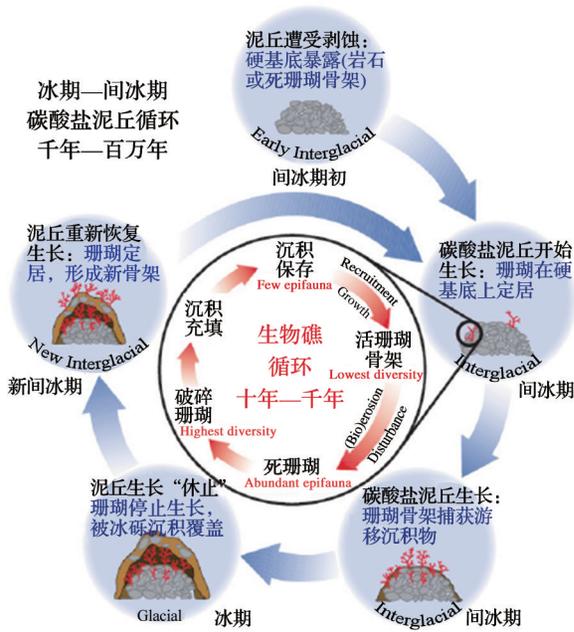


图 4 深水珊瑚礁和碳酸盐泥丘的循环周期^[9]
Fig.4 Periodic cycles of the deep-water coral-reef and carbonate mud-mound^[9]

内圈:深水珊瑚生物礁的循环;外圈:碳酸盐泥丘在冰期旋回中的循环
Inner-circle: The cycling of deep-water coral-reef; Outer-circle: The cycling of carbonate mud-mound during a glacial-interglacial cycle

3 深水珊瑚林

3.1 深海造林的软珊瑚

进入 21 世纪以来深水珊瑚礁的名声大噪,但南海发现的并不是深水珊瑚礁,而是珊瑚林。前文讨论的深水珊瑚礁分布在大西洋,太平洋尚未发现。深水珊瑚林与深水珊瑚礁无论是分类还是形态都不相同:大西洋造“礁”的是石珊瑚,南海造“林”的是软珊瑚,它们是两大类不同的珊瑚。

为什么大西洋有深水珊瑚礁,而太平洋只有珊瑚林?原因在于两者的碳酸盐不同。深水珊瑚林

的软珊瑚骨骼属于高镁方解石,比较抗溶;深水珊瑚造“礁”的骨骼是文石,只有在文石的补偿深度以上才能出现,大西洋文石的补偿深度为 2~3 km,太平洋只有 0.5~1.5 km 深^[13],文石在太平洋比大西洋更容易溶解。

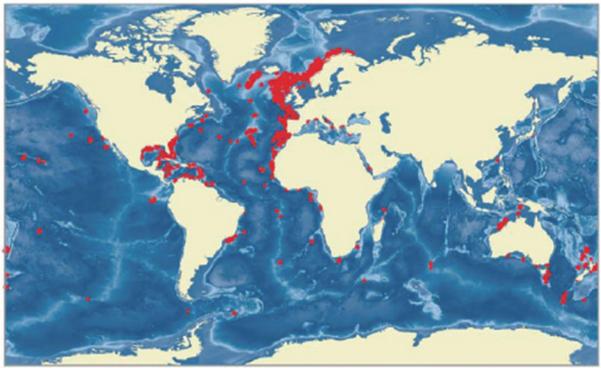


图 5 造礁冷水珊瑚的地理分布^[9]
Fig.5 Geographic distribution of reef-building cold-water corals^[9]

因此,这里说的是两类不同的珊瑚。珊瑚有六放珊瑚和八方珊瑚两个亚纲,两类珊瑚虫腔内的隔膜和触手数目不同:前者是 6 个或 6 的倍数,后者是 8 个。上面讨论的造礁珊瑚,无论是热带浅海还是深水的,都属于六放珊瑚亚纲,但是两者营生的方式不同:浅水的造礁珊瑚有虫黄藻共生,虫黄藻的光合作用为珊瑚提供重要的营养来源;生活在黑暗里的深海造礁珊瑚不可能有虫黄藻,要靠珊瑚虫捕获营养,谋生的能力差得多。六放珊瑚亚纲共 1 400 多种里有一半有虫黄藻共生,包括热带浅海的造礁珊瑚;上面讨论的深水珊瑚属于没有藻类共生的另一半,几乎都是深水种^[14,15](表 1)。

八放珊瑚是深海珊瑚林的主角,但是有些六放珊瑚如具有黑色几丁质骨骼的黑珊瑚类,也是深水珊瑚林的成员,为了突出主题,本文只讨论八放珊瑚。造礁的六放珊瑚产生碳酸钙的外骨骼,属于“石珊瑚”类;而八放珊瑚只能在体内产生细小的骨针,属于“软珊瑚”类,但是有些类型也能形成有机质或碳酸盐的中轴骨。八放珊瑚总共 3 000 多种,大部分属于深水种,没有藻类共生(表 1)^[16]。

分类上八放珊瑚的主体是软珊瑚目(Alcyonacea),也称为柳珊瑚目(Gorgonacea)。珊瑚的分类可能有点混乱,比如上面提到的黑珊瑚现在归为六放珊瑚,但是以前的许多文献里列为八放珊瑚;软珊瑚和柳珊瑚有时也被视为同义名,有时候又分成两个目。本文无意涉足分类学上的纠纷,

在讨论深水珊瑚时不再区分柳珊瑚和软珊瑚。与石珊瑚形成的外骨骼不同,软珊瑚都有由骨片(sclerite)组成的内骨骼,骨片又由有机质的珊瑚硬

蛋白(gorgonin)胶结,这是一种纤维状的蛋白质,质地有点像哺乳类的角,因此不像石珊瑚那样坚硬。

表 1 现代大洋的珊瑚种类^[16]

Table 1 Taxa of corals in the modern Ocean^[16]

亚纲	目	实例	种数	
			总数	水深>50 m
六放珊瑚 Hexacorallia	石珊瑚 Scleractinia	造礁珊瑚	1 488	622
	角珊瑚 Antipatharia	黑珊瑚等	241	182
八放珊瑚 Octocorellia	软珊瑚 Alcyonacea	或称柳珊瑚,含竹节珊瑚、扇珊瑚等	3 159	2 325
珊瑚总计*			5 160	3 356

注:*珊瑚纲还包括其他类型,本表只选其主要3类,因此总数之和小于“珊瑚总计”

一部分种类具有钙质的中轴骨,还可以呈树状分枝,形成海底树木的模样。

软珊瑚有 3 000 多种,文献报道的大西洋常见类型有 *Paragorgia* 和 *Primnoa* 等。*Paragorgia* 大概是最大的软珊瑚,高达 10 m(图 6a);*Primnoa*(图 6b)也可以达到高 2 m、宽 7 m^[10]。这类软珊瑚虽然可以统称为柳珊瑚,但由于颜色和形状各异,常用的俗名很多,通常按其形状或颜色命名,如海扇(sea fan)、海鞭(sea whip)、海竿(sea rod)和海刀(sea blade)等。最为著名的是红珊瑚(*Corallium rubrum*)(图 6c),其骨骼最为致密,加上鲜艳的红色,自古以来就是珍宝,清朝二品官顶戴上的红珠就是它。

南海深水珊瑚林里最为突出的是竹节珊瑚(图 1;图 7a,b)。竹珊瑚是属于 *Isididae* 科的软珊瑚,常见的有 *Acanella*, *Isidella* 和 *Keratoisis* 等属。竹珊瑚的杆像竹子,碳酸盐的杆和枝都被有机质(珊瑚蛋白等)的“节”分段(图 7d),以保证有一定的弹性。活的珊瑚虫生长在群体的上端(图 7c),迎着水流捕食为生。由于外形变化多端,按照外形分类就会引来许多矛盾。比如同一个属,不分枝的被定为 *Lepidisis*,分枝的为 *Keratoisis*,经过分子生物学检验其实是同一个属^[17]。上面说到,红珊瑚之所以成为珍宝是因为碳酸钙的骨骼特别致密,竹节珊瑚杆、枝的碳酸钙也极为致密,因此会被不法商人染红后假冒红珊瑚出售。

竹节珊瑚是全球分布的深水珊瑚,连两极都不例外,分布的深度可超过 4 000 m,都在石质基底上生长。不过在加拿大巴芬湾的北极圈内,深逾 900 m 的泥质基底上也曾发现有密集的竹节珊瑚林,但不清楚是否是原来长在砾石上后来被沉积物覆盖所致^[18]。

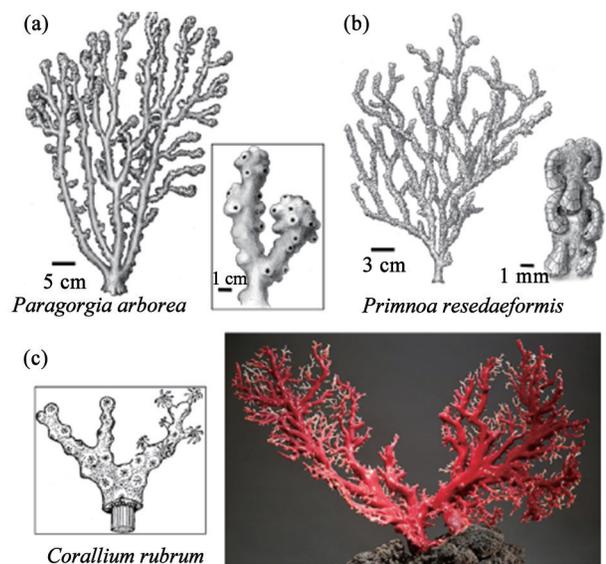


图 6 深水软珊瑚实例

Fig.6 Examples of deep-sea Alcyonacea

(a) *Paragorgia arborea* 的群体与珊瑚虫; (b) *Primnoa resedaeformis* 的群体与珊瑚虫; (c) 红珊瑚 *Corallium rubrum* 的群体与珊瑚虫^[10]

(a) Community and polyp of *Paragorgia arborea*; (b) Community and polyp of *Primnoa resedaeformis*; (c) Community and polyp of the precious coral *Corallium rubrum*^[10]

3.2 深水珊瑚林的分布

无论造礁或者造林深水珊瑚的属种,更确切地应该叫冷水珊瑚,因为其在浅水里也可以分布,关键在于水温。冷水珊瑚生活在 4~12 °C 的低温海水里,并不在乎水深,因此从赤道到极地、从浅水到深海,都有这类冷水珊瑚出现。在高纬度海域这种水温出现在 50~1 000 m 较浅的海域,而在低纬海域则局限于深海,可以达到 4 000 m^[9]。比如竹珊瑚 *Tenuis microspiculata* 与其他冷水珊瑚一起,在南极洲出现在水深 10~45 m 的潮下带^[19];在阿拉斯加

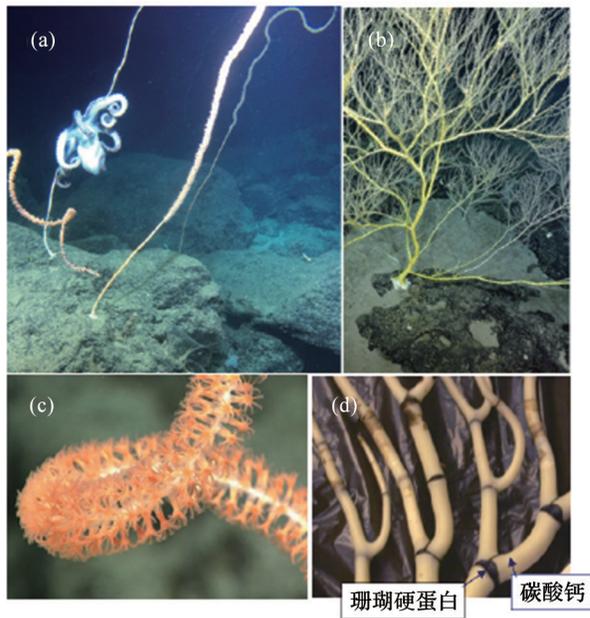


图 7 竹节珊瑚

Fig.7 Bamboo coral

(a) 南海不分枝的竹节珊瑚; (b) 南海海山上分枝的竹节珊瑚(周怀阳提供); (c) 竹节珊瑚上端的活珊瑚虫; (d) 竹节珊瑚下部碳酸盐的干、枝, 由暗色的珊瑚硬蛋白分成竹节状(c, d 选自网页)

(a) Un-branched bamboo coral in the South China Sea; (b) Branched bamboo coral found on a deep-water sea-mount of South China Sea (provided by Zhou Huaiyang); (c) Living polyps at the upper part of a bamboo coral; (d) Carbonate trunks and branches of bamboo corals, divided by dark proteinic gorgonian into bamboo-like pattern (photos in c and d from the internet)

岸外, 柳珊瑚在 100~200 m 最多, 每平方米平均 1.23 个群体, 最高有 3.85 个/m²的珊瑚林^[20]; 更高的密度则见于阿留申群岛的珊瑚林, 每平米上的软珊瑚超过 5 株群体^[10]。

与深水珊瑚礁局限于大西洋不同, 软珊瑚的分布遍及全球, 因此个别的深水珊瑚在各个海洋都可以出现, 但是只有密集分布才能够成“珊瑚林”。深水珊瑚林的分布主要受 3 个条件限制: 硬质的基底, 适宜的海水和足够的食物。硬基底的种类不限, 从深海玄武岩到冰砾都可以, 因此深水海山和深沟断崖都是合适的条件, 尤其因为强烈起伏的地形有利于形成活跃的海流, 从而带来更多的食物。深水珊瑚靠羽状触须捕食, 它们的触须顺着海里水流的方向生长, 这样才能捉到海水流动带来的食物, 主要是小型浮游动物、粪粒和有机质碎屑^[9], 海面降下的海雪是珊瑚食物的主要源头, 但是对于深水珊瑚来说, 悬浮的细颗粒也是重要的食物来源。

软珊瑚的外形与取食的需求相对应。竹节珊

瑚主干依靠分节提供的弹性, 可以迎着水流弯曲, 而生长活珊瑚虫的“竹竿”末端可以旋卷摇曳, 在水流中灵活捕食; 扇珊瑚总是以“扇面”朝向水流, 因此可以凭扇珊瑚的方向判断海水的流向^[7]。所以柳珊瑚有 3 种形状: 双向水流处呈扇状, 湍流处为鞭状或者疏枝状, 单向流处为内凹状。

以加拿大岸外大西洋 200~600 m 的深水珊瑚为例, 比较大的有 2 种常见的软珊瑚: *Paragorgia arborea* (图 6a), 高达 180 cm, 枝比较粗; *Primnoa resedaeformis* (图 6b) 比较小, 最高 86 cm, 枝较细。*P. resedaeformis* 属于疏枝状, 而 *P. arborea* 随着生长从疏枝状变为内凹状。在海底, *P. resedaeformis* 常长在卵石的侧面, *P. arborea* 长在卵石顶面, 其形状与水流对应: *P. resedaeformis* 体积小, 对应于海底的乱流; *P. arborea* 体积大, 已经超越了海底乱石造成乱流的高度, 因而适应于固定的水流方向(图 8)^[21]。

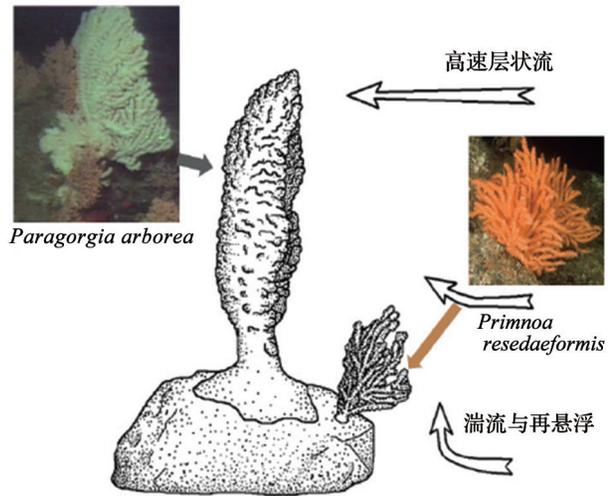


图 8 两种深水软珊瑚群体形态对水流的适应 (据参考文献[21]修改)

Fig.8 Schematic illustration of two orientation types of deep-sea Alcyonacea in local flow conditions (modified after reference[21])

4 深水珊瑚生态系统

深水珊瑚群的发现改变了人类对海洋生态系统的理解。如果说深水珊瑚礁的分布范围主要局限于大西洋, 那么深水珊瑚林却在全大洋普遍发现, 从而为深海在热液、冷泉之外又增添了一种更为普遍的海底生态系统。它们主要依靠源自上层的有机物为生, 加上能够固着的基底和活跃的水流这两个必要条件, 因此在营养丰富、地形复杂的海山、峡谷等区广泛发育。固着生活的冷水珊瑚群落

与陆地的园林颇为相似,也像陆地树林那样为活动的动物提供了栖居地。不同的是形态,冷水珊瑚群体可以像竹珊瑚那样成杆状或者鞭状,以一维几何形态在流水中游转,或者像扇珊瑚那样呈二维几何形态迎流招展,因此很少有像陆地树木那样呈三维形态,这样有利于在流水中立足。

作为 21 世纪深海生物学的重要突破,深水珊瑚群的发现归功于新技术的应用。地球上的生境 90% 以上在海里,而除了大陆架,88% 的海域水深超过 1 000 m,因此人类关于海洋生物的知识主要来自海岸和浅海生态系,至于深海海底,研究过的只约占 0.0001%^[22]。200 m 以下的深海一片漆黑,在软基底上的深海底栖生物还可以用沉积取样的方法调查,而对硬基底的深海只能依靠拖网或者推想。但即便是软基底,靠沉积采样的方法也只是“瞎子摸象”,只有深潜观测才会发现真面目。比如新西兰的 Kaikoura 海沟采用新技术 Van Veen grab 抓样调查,发现 900~1 000 m 海域有丰富的海参、多毛类蠕虫和海胆等动物,居然平均每平方米就有 516 个,比超过 500 m 的深海丰度高出 10 倍之多^[23]。深水珊瑚群也是一样,正是载人或不载人深潜器的运用,方才揭示了海洋生态系统研究中的这个重要的遗漏环节。

深潜技术发现的“深水珊瑚林”,与陆上的树林有许多相似之处。竹节珊瑚之类高达数米的珊瑚群体,有时还分支分叉,相当于树林里的乔木;高度不过几十公分的扇珊瑚之类,相当于陆上的灌木;而更矮的珊瑚和苔藓虫、玻璃海绵等,类似于陆上的草本植物。此外还有一类不属于软珊瑚的八放珊瑚叫做海鳃(*Penattula*),在羽状的群体下端还有个短柄,可以插在泥沙中固定,因此往往在软基底上密集分布,宛如陆地上的秧田。

无论是深水珊瑚礁或者深水珊瑚林,都为更多的动物提供了栖居的家园。深水珊瑚群在海底构筑了三维的生态空间,为众多活动的动物提供了深海生境。举例来说,大西洋东北的 *L. pertusa* 珊瑚礁上就有 1 300 种生物生活^[9]。珊瑚林也一样,既为鱼类提供了孵育生长的海底,又为游泳和爬行的海洋动物提供了栖居地,包括章鱼、海星、蛇尾类和节肢动物等,就如陆地树林是鸟兽的家园一般(图 9)。这种动物群十分多样但是采样很少,被喻为“遭遗忘的底栖生物”^[24]。

其实深海造林的动物不仅有珊瑚,海绵和苔藓虫等也都有贡献^[25],只是不如珊瑚那样突出。现

在,学术界正式提出了“海洋动物林”的新概念:陆地上有植物林,海底下有动物林,而且是全球分布的动物林,甚至于南极海底也会有“海绵场(sponge ground)”^[26]。当然,“海洋动物林”无论分布和种类都极不均匀,而且随着生命演化的变更,如今海洋中的珊瑚扮演着主角。按照美国的提法,“深水珊瑚”是指无虫黄藻共生的石珊瑚和软珊瑚,分布在 50~6 000 m 深处,已知的有 3 300 种以上^[15]。海山由于其硬质基底、水流加速、生产力高,是深水珊瑚发育的理想地点^[27]。而海底油气苗有利于冷水珊瑚礁的发育,有助于在大西洋东北油区附近的发育^[5]。



图 9 艺术家笔下的深水珊瑚林生态系统^[10]

Fig.9 The deep-sea coral forest ecosystem in the work of artists^[10]

P. arborea 等软珊瑚组成的珊瑚林为蛇尾类和鱼类提供了栖居地

The coral forest of *P. arborea* and others provides habitat for brittle stars and fish

总之,技术发展促进了深海探索,发现深海裸露的岩石不只是风化剥蚀的对象,更是生长繁衍特殊而被忽视的生态系统。深水珊瑚林的发现,拓展了海洋生物泵的概念,上层海洋产生的有机质,原来还可以通过珊瑚虫的捕食输入深海底,从而增加了浮游—底栖生物耦合的途径。不仅如此,“海洋动物林”也改变了海底的环境。就像树林改变大气边界层一样,珊瑚之类的固着生物把海底向上抬高了几米、几十米,不但改变了海底的流场,也为游泳和爬行的海洋动物抬高了海底的立足点,提供了“瞭望塔”,让它们摆脱泥沙淤积、氧气不足而拥挤的底面环境^[28];与此同时,也改变了海底的水流和生物地球化学性质^[29]。

5 深水珊瑚的地质意义

深水珊瑚礁、珊瑚林的发现是地质界的一大福音,既为深海古环境再造提供了无可替代的高分辨率记录,又为理解地质时期生命与地球过程耦合的重要环节提供了现代样本。底栖动物造礁、造“林”,应当是地质历史的“常情”,只是地质界识悟太晚。追溯起来,“海洋动物林”在寒武纪大爆发前已经出现,叶子模样的渗养生物(osmotrophs)可以在前寒武纪的海底上竖起 2 m 之高,以便在刚开始有氧的海底直接以溶解有机碳为生,可惜这类“埃迪卡拉动物群”只有印模化石,难以进行深入分析^[30,31]。后来的海洋里造礁生物变多,从寒武纪早期的古杯海绵到白垩纪的固着蛤、厚壳蛤,以及古生代各种各样的珊瑚。海底造林的动物也极其多样,也许最为出彩的是中晚古生代的海百合。

深水珊瑚在地质研究上很重要,是因为其为古气候和古海洋学的载体。1 000 m 左右的深度相当于陆坡上部,历来是海底沉积不稳定的水域,生活在相应深度而又能留下碳酸盐骨骼的深水珊瑚,生长慢、寿命长,是无可替代的研究材料,可以为千米深水提供数千年的环境历史。软珊瑚主干的钙质骨骼近圆柱形,生长缓慢,在切面上留有环轮,和树木年轮一样适用于古气候分析^[32]。尤其是竹节珊瑚,骨骼既有碳酸钙又有有机质,可用来同时分析深水和表层的水温、营养等多种环境指标^[33]。

从地质学看来,深海珊瑚礁本身就是一种地质体,因此使用多波束回声测深仪进行海底地形的高分辨率扫描,使用三维地震剖面识别碳酸盐泥丘,都是探索深海珊瑚礁的常用手段^[34]。挪威岸外 200~300 m 深处,有几百个 2~30 m 高的冷水珊瑚丘沿着冰迹沙砾带分布,都是末次冰期后深海珊瑚礁生长的产物^[7]。这类由 *L. pertusa* 组成的深水珊瑚礁在大西洋东北广泛分布,图 10 就是大西洋东北的海底地形(图 10a, b)和水下照片(图 10c)的实例。

地质界格外注意大西洋东北的深水珊瑚礁密集分布区,这里爱尔兰西南单独一个 Porcupine Seabight 海盆就有 2 000 个珊瑚礁泥丘,是什么机制导致深水珊瑚礁的大量发育? 目前有 2 种假说——内因说和外因说。内因说强调珊瑚礁和深部油气的关系:这里的珊瑚礁不但发育在含油气地层之上,附近还有油苗活动。于是产生了假说:来自深层的烃类流体运移促使珊瑚礁开始发育,加上甲烷菌氧化作用能提高碱度,有利于碳酸岩丘的形成^[5]。

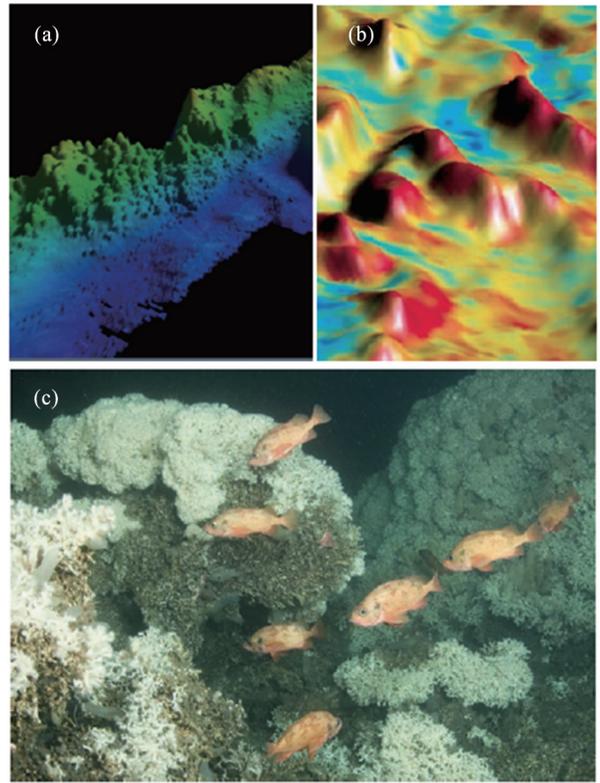


图 10 运用多波束回声测深仪探索北大西洋的 *L. pertusa* 深水珊瑚礁

Fig.10 Applying multi-beam echo sounder to explore the *L. pertusa* deep-sea coral reefs in the North Atlantic

- (a) 多波束地形图揭示挪威岸外的珊瑚礁泥丘; (b) 苏格兰岸外的珊瑚礁泥丘; (c) 挪威岸外的 *L. pertusa* 深水珊瑚礁照片^[10]
- (a) Coral-reef mud-mounds along the Norwegian shore revealed by multi-beam topography; (b) Coral-reef mud-mounds offshore Scotland; (c) A photo of *L. pertusa* deep-sea coral reef offshore Norway

外因说强调海流:这里的珊瑚礁发育在 2 个分层海水的界线附近,上有北流的东北大西洋暖水,下有高盐的地中海外流水,底流强劲、营养丰富,这种海流格局的形成才是深水珊瑚发育的原因。2005 年,大洋钻探 IODP 307 航次在爱尔兰西岸外钻探冷水珊瑚礁,对 2 种假说进行了检验(图 11)^[35]。结果发现冷水珊瑚礁开始形成于 195 万年前,以后的发育又与冰期旋回相对应,但是未能检测出珊瑚礁有加强的微生物活动。因此,大洋钻探的结果支持冰期旋回控制的外因假说,否定了与油气运移相关的内因假说^[36]。关于 IODP 307 航次十多年前就有报道^[37],此处不再重复;需要介绍的倒是 20 多年前大洋钻探的 ODP 182 航次。

本文主题是深水珊瑚礁和珊瑚林,但是在地质历史上多种门类都可以在海底形成碳酸盐结构进入地层,并非珊瑚独有的专利。澳大利亚南岸外的

大澳大利亚湾 (Great Australian Bight), 在陆坡顶部地层里就有由苔藓虫组成的碳酸盐泥丘, 1998 年大洋钻探 ODP 182 航次在这里钻探了 9 个站位, 取了 3 500 m 岩芯^[38], 发现 150 m 地层里记录了将近 30 万年来的苔藓虫碳酸盐泥丘的发育史。这里有枝状、扇状和块状等多种多样的苔藓虫 (图 12c), 像珊瑚一样形成碳酸盐泥丘 (图 12b)。每层苔藓虫碳酸盐的厚度为 5~10 m, 反映了碳酸盐泥丘的形成受生长窗口的限制: 窗口的上限是波浪破碎的底界, 下限是贫养南极中层水的顶界 (图 12a)。冰期时亚热带辐合带北移, 亚南极模态水带来的营养物使这里出现高生产力; 间冰期来临时水团发生变化, 苔藓虫礁的生长难以为继, 碳酸盐泥丘堆积便告中断。大洋钻探的岩芯取得了更新世多个冰期的记录, 但是这类苔藓虫礁在今天已经不再出现^[39]。可见, 苔藓虫提供的古海洋学信息, 并不亚于珊瑚礁。

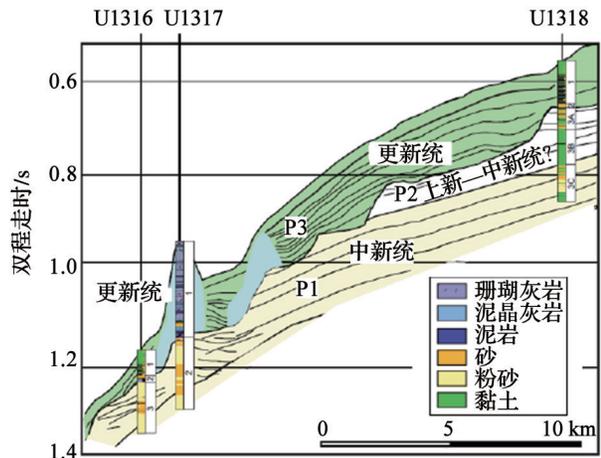


图 11 大洋钻探 IODP 307 航次在爱尔兰西岸外钻探冷水珊瑚礁^[36]

Fig.11 International Ocean Drilling Program Expedition IODP 307 drilled the cold-water coral reefs off the western coast of Ireland^[36]

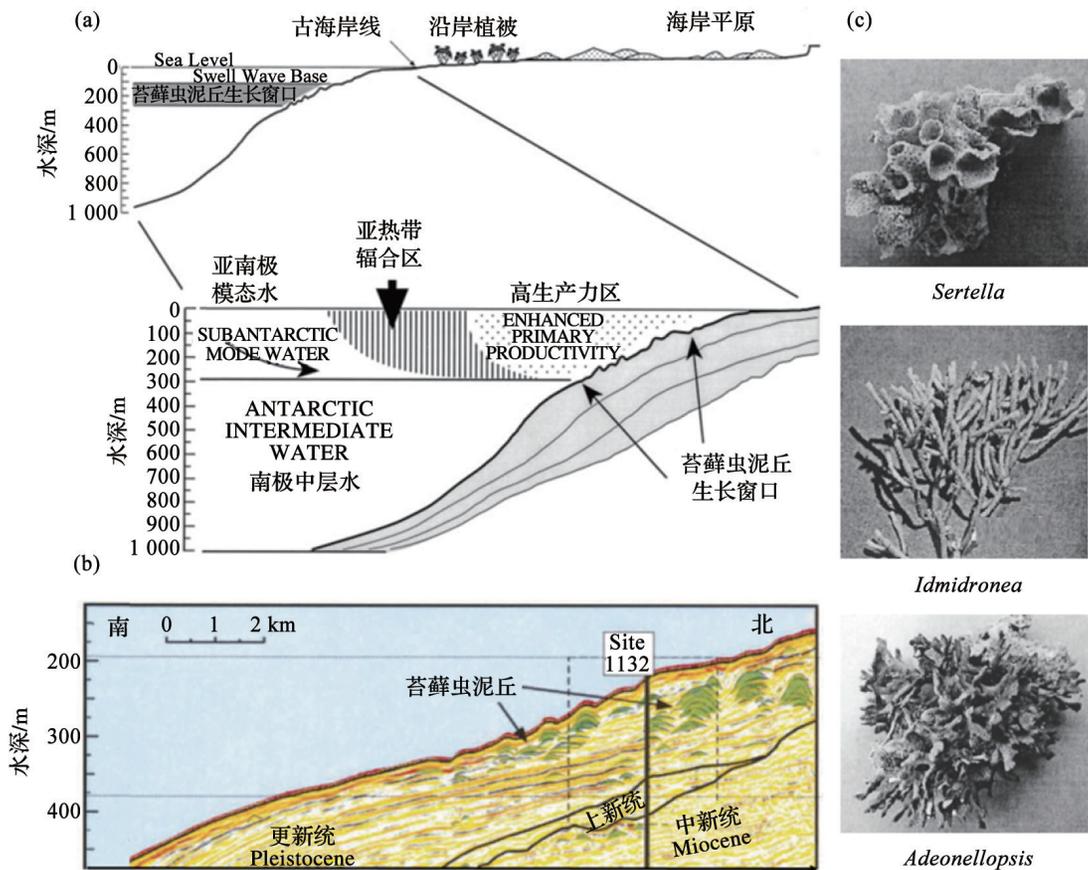


图 12 大洋钻探 ODP182 航次在大澳大利亚湾揭示的更新世苔藓虫碳酸盐泥丘

Fig.12 Ocean Drilling Program Leg ODP 182 revealed the Pleistocene bryozoan carbonate mud-mount in the Great Australian Bight

(a) 苔藓虫碳酸盐泥丘的生长窗口; (b) ODP 1132 井地震剖面显示的苔藓虫碳酸盐泥丘的地层分布; (c) 形成碳酸盐泥丘的几种主要苔藓虫^[39]
 (a) Living window for bryozoan carbonate mud-mount; (b) Stratigraphic distribution of bryozoan carbonate mud-mount at Site ODP 1132 revealed by seismic profile; (c) Major bryozoan taxa forming the carbonate mud-mount^[39]

6 结语:深水珊瑚的研究

南海深水珊瑚林的发现,把我们的注意力引向了深海海底的底栖生物。人们对深海珊瑚并不陌生,因为许多深水珊瑚的群体在百米上下的浅水里也有零星出现,只是不能像在深海那样成礁、成林。这些类型实际上是冷水珊瑚,并不限于深海,因而作为海洋药物或者珍宝,早已为社会知晓。21 世纪深潜技术的应用,发现深海珊瑚构成了全球分布的底栖生物群,提供了深海气候环境变迁的珍贵档案,引起了学术界极大的重视;只是受技术手段的限制,研究主要限于欧美岸外和澳大利亚、新西兰一带,大部分发展中国家岸外属于研究的空白。

与此同时,深水珊瑚林也正在成为海洋环境保护的新命题。深水珊瑚生长极其缓慢,却是很容易受到破坏的脆弱生态系统。现在的渔业技术不断更新,并且向深海远洋发展,所采用的破坏型技术直接损害着深海珊瑚群;再说全球变暖引起海水“酸化”,尤其不利于文石骨骼珊瑚礁的发育^[40,41]。为此,欧美各国近年来分别立项开展调查研究。比如美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)设立了“深海珊瑚研究与技术计划(Deep Sea Coral Research and Technology Program)”,每年用大约 250 万美金对其各个海区的深水珊瑚进行调查监察^[42]。深海珊瑚也引起了联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)的注意,由其麾下的世界保护监测中心(World Conservation Monitoring Centre, UNEP-WCMC)发布报告,呼吁各国主管部门加以注意^[7]。

深水珊瑚也是国际学术界的新兴热点。进入 21 世纪以来,欧美学者已经组织了 7 届“深海珊瑚国际研讨会(International Symposium Deep-Sea Corals)”,先后在加拿大 Halifax(2000 年)、德国 Erlangen(2003 年)、美国 Miami(2005 年)、新西兰 Wellington(2009 年)、荷兰 Amsterdam(2012 年)、美国 Boston(2016 年)和哥伦比亚 Cartagena(2019 年)举办,一般 200 人的规模,范围从地质、生物到管理,也在 *Deep-Sea Research* 等学报发表专辑^[43],但参加者主要来自西欧、北美和新西兰,很少有亚洲人。

南海深水珊瑚林的发现,应当唤起我国学术界的注意。一方面要抓紧利用深海珊瑚的骨骼开展分析,为南海提供中层水和深层水的高分辨率古海洋学信息,补上以往研究中的缺口;另一方面要对深水珊瑚林的生态系统进行调查研究,设立地质和

生物相结合的跨学科项目,尤其是要采用高新技术调查深海珊瑚林的分布格局。载人深潜是深水珊瑚研究的必要手段,同时为了扩大调查面积、提高调查效率,尚待使用 ROV 和 AUV 开展大面积的观察。国外开始采用模拟分析的技术,根据生长深海珊瑚林的地质和水文等自然条件进行分析,预测深水珊瑚林的分布与种类^[44],也值得我们借鉴。可以预期,一旦我国有关部门做出决定,通过跨部门、跨学科的合作,定能带动国际学术界,使南海成为西太平洋深水珊瑚林研究的制高点。

参考文献(References):

- [1] Li J R, Wang P X. Discovery of deep-water bamboo coral forest in the South China Sea [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 15 453. DOI:10.1038/s41598-019-51797-3.
- [2] Gage J D. Benthic biodiversity across and along the continental margin: Patterns, ecological and historical determinants, and Anthropogenic threats [C]// Wefer G, Billett G, Hebbeln D, et al. *Ocean Margin Systems*. Springer-Verlag, 2002:307-321.
- [3] Taviani M, Angeletti L, Canese S, et al. The "Sardinian cold-water coral province" in the context of the Mediterranean coral ecosystems [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2017. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.12.008.
- [4] Lavaleye M, Duineveld G, Bergman M, et al. Long-term baited lander experiments at a cold-water coral community on Galway Mound (Belgica Mound Province, NE Atlantic) [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2017, 145: 22-32.
- [5] Hovland M, Mortensen P B, Brattegard T, et al. Ahemotypic coral banks off mid-Norway: Evidence for a link with seepage of light hydrocarbons [J]. *Palaios*, 1998, 13: 189-200.
- [6] Arnaud-Haond S, van den Beld I M J, Becheler R, et al. Two pillars of cold-water coral reefs along Atlantic European margins: Prevalent association of *Madrepora oculata* with *Lophelia pertusa*, from reef to colony scale [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2017, 145: 110-119.
- [7] Freiwald A, Fossa J H, Grehan A, et al. Cold-Water Coral Reefs: Out of Sight—No Longer Out of Mind [R]. UNEP-WCMC Biodiversity Series 22, 2004.
- [8] Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: Concepts and categories [J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58:163-231.
- [9] Roberts J M, Wheeler A J, Freiwald A. Reefs of the deep: The biology and geology of cold-water coral ecosystem [J]. *Science*, 2006, 312:543-547.
- [10] Roberts J M, Wheeler A, Freiwald A, et al. *Cold-Water Corals: The Biology and Geology of Deep-Sea Coral Habitats* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [11] Wienberg C, Titschack J, Freiwald A, et al. The giant Mauritanian cold-water coral mound province: Oxygen control on coral mound formation [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2018,

- 185: 135-152.
- [12] Paull C K, Neumann A C, am Ende B A, *et al.* Lithoherms on the Florida-Hatteras slope [J]. *Marine Geology*, 2000, 166: 83-101.
- [13] Berger W H. Deep-sea carbonate; Pteropod distribution and the aragonite compensation depth [J]. *Deep Sea Research*, 1978, 25(5): 447-452.
- [14] Cairns S D. A brief history of taxonomic research on azooxanthellate Scleractinia (Cnidaria: Anthozoa) [J]. *Bulletin of the Biological Society of Washington*, 2001, 10: 191-203.
- [15] Cairns S D. Deep-water corals: An overview with special reference to diversity and distribution of deep-water scleractinian corals [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 81(3): 311-322.
- [16] Roberts J M, Cairns S D. Cold-water corals in a changing ocean [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2014, 7: 118-126.
- [17] France S C. Genetic analysis of bamboo corals (Cnidaria: Octocorallia: Isididae): Does lack of colony branching distinguish *Lepidisis* from *Keratoisis*? [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 81(3): 323-333.
- [18] Neves B M, Edinger E, Hillaire-Marcel C, *et al.* Deep-water bamboo coral forests in a muddy Arctic environment [J]. *Marine Biodiversity*, 2015, 45: 867-871.
- [19] Song J-I, Hwang S-J, Moon H, *et al.* Taxonomic study of sub-order calcaxonia (Alcyonacea: Octocorallia: Anthozoa) from King Sejong Station, Antarctic [J]. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 2012, 28(2): 84-96.
- [20] Stone R P. Coral habitat in the Aleutian Islands of Alaska: Depth distribution, fine-scale species associations, and fisheries interactions [J]. *Coral Reefs*, 2006, 25: 229-238.
- [21] Mortensen P B, Buhl-Mortensen L. Morphology and growth of the Deep-water gorgonians *Primnoa resedaeformis* and *Paragorgia arborea* [J]. *Marine Biology*, 2005, 147(3): 775-788.
- [22] Tittensor D P, Baco A R, Brewin P E, *et al.* Predicting global habitability for stony corals on seamounts [J]. *Journal of Biogeography*, 2009, 36: 1111-1128.
- [23] De Leo F C, Smith C R, Rowden A A, *et al.* Submarine canyons: Hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 277: 2783-2792. DOI: 10.1098/rspb.2010.0462.
- [24] Frutos I, Brandt A, Sorbe J C. Deep-sea suprabenthic communities; The forgotten biodiversity [C] // Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Marine Animal Forests. The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer, 2017: 475-503.
- [25] Maldonado M, Aguilar R, Bannister R J, *et al.* Sponge grounds as key marine habitats: A synthetic review of types, structure, functional roles, and conservation concerns [C] // Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Marine Animal Forests. The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer, 2017: 145-183.
- [26] Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Animal forests of the world: An overview [C] // Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Marine Animal Forests. The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer, 2017: 1-28.
- [27] Etnoyer P J. Box 7: Deep-sea corals on seamounts [J]. *Oceanography*, 2010, 23(1): 128-129. DOI: 10.5670/oceanog.2010.91.
- [28] Arntz W E. Marine animal forests; Foreword [C] // Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Marine Animal Forests. The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer, 2017: vii-x.
- [29] Guizien K, Ghisalberti M. Living in the Canopy of the animal forest; Physical and biogeochemical aspects [C] // Rossi S, Bramanti L, Gori A, *et al.* Marine Animal Forests. The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer, 2017: 507-528.
- [30] Narbonne G M, Laflamme M, Greentree C, *et al.* Reconstructing a lost world: Ediacaran rangeomorphs from Spaniard's Bay, Newfoundland [J]. *Journal of Paleontology*, 2009, 83: 503-523.
- [31] Ghisalberti M, Gold D A, Laflamme M, *et al.* Canopy flow analysis reveals the advantage of size in the oldest communities of multicellular eukaryotes [J]. *Current Biology*, 2014, 24: 305-309.
- [32] Sherwood O A, Heikoop J M, Sinclair D J, *et al.* Skeletal Mg/Ca in *Primnoa resedaeformis*: Relationship to temperature? [C] // Freiwald A, Roberts J M. Cold-water Corals and Ecosystems. Springer-Verlag, 2005: 1061-1079.
- [33] Roark E B, Guilderson T P, Flood-Page S, *et al.* Radiocarbon-based ages and growth rates of bamboo corals from the Gulf of Alaska [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L04606. DOI: 10.1029/2004GL021919.
- [34] Roberts J M, Brown C J, Long D, *et al.* Acoustic mapping using a multibeam echosounder reveals cold-water coral reefs and surrounding habitats [J]. *Coral Reefs*, 2005, 24: 654-669.
- [35] Ferdelman T G, Kano A, Williams T, *et al.* IODP Expedition 307 Drills cold-water coral mound along the Irish continental margin [J]. *Scientific Drilling*, 2006, (2): 11-16.
- [36] Kano A, Ferdelman T G, Williams T. The pleistocene cooling built challenger mound, a deep-water coral mound in the NE Atlantic: Synthesis from IODP Expedition 307 [J]. *The Sedimentary Records*, 2010, 8(4): 4-9.
- [37] Li Xianghui, Chen Yunhua, Xu Baoliang, *et al.* A review of Cenozoic deep sea cold-water carbonate mounds and preliminary results of carbon and oxygen isotopes from IODP 307 [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(7): 666-672. [李祥辉, 陈云华, 徐宝亮, 等. 新生代深海冷水碳酸盐泥丘成因及 IODP 307 航次初步研究结果 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 666-672.]
- [38] Feary D A, Hine A C, Malone M J, *et al.* Great Australian Bight: Cenozoic Coolwater Carbonates [R]. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, 2000: 182.
- [39] James N P, Feary D A, Betzler C, *et al.* Origin of Late Pleistocene Bryozoan Reef Mounds: Great Australian Bight [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2004, 74(1): 20-48.
- [40] Guinotte J M, Orr J, Cairns S, *et al.* Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4: 141-146.
- [41] Frank N, Freiwald A, Lopez Correa M, *et al.* Northeastern At-

- lantic cold-water coral reefs and climate [J]. *Geology*, 2011, 39:743-746.
- [42] Hourigan T F, Etnoyer P J, Cairns S D. The State of Deep-Sea Coral and Sponge Ecosystems of the United States [R]. NOAA Technical Memorandum NMFS-OHC-4. Silver Spring, MD, 2017:467.]
- [43] Mienis F, van Weering T C E. Introduction: Proceedings ISD-SC5 [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 99: 1-5.
- [44] Edinger E N, Sherwood O A, Piper D J W, *et al.* Geological features supporting deep-sea coral habitat in Atlantic Canada [J]. *Continental Shelf Research*, 2011, 31: S69-S84.

Deep-Sea Coral Forest

Wang Pinxian

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The discovery of deep sea coral forests in the spring of 2018 filled a significant gap in the benthos research and even in carbon cycling in the South China Sea. Previously, the researches of deep-sea benthos were restricted to the sediment-covered soft bottom due to the technical limitations, and the rocky hard bottom was believed to be barren of life. Using submersible technique in the mid-1990s, deep-water coral reefs were first discovered in the Atlantic Ocean, which opened a new research direction in marine sciences. Two groups of deep sea corals have been recognized: scleractinian hexacorals and gorgonian octacorals. The aragonite skeleton of the former group build up deep sea coral reefs, while the latter make up deep sea coral forests with high-Mg calcite skeleton in many gorgonian corals. All kinds of carbonate coral skeletons can record environment changes of the deep sea and provide excellent material for high-resolution paleoceanography. Although the development of deep sea coral reefs in the Pacific Ocean is hampered by its extremely shallow aragonite compensation depth, deep sea coral forests are ubiquitous in the ocean. Up to now, most parts of the Pacific have not yet explored in this respect, and deep sea corals remain outside the research scope. The present paper is a literature review and calls for attention to the deep sea forests. It starts with the composition and distribution of deep sea coral reefs and forests, followed by discussions on the significance of deep sea coral forests in marine ecology and in paleoceanographic reconstructions.

Key words: Deep sea; Coral; South China Sea; Benthos; Paleoceanography.