

大亚湾核电站附近潮间带生物群落

李荣冠 江锦祥 吴启泉 鲁琳 郑凤武 黄心光

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

提要 根据 1986 年 12 月—1989 年 9 月生态零点调查资料, 使用 PDP-11/34A 型电子计算机, 应用 Bray-Curtis 相似性指数等划分和分析大亚湾潮间带生物群落及其结构特点, 以评价大亚湾核电站投产后对海洋环境的影响。结果表明, 按底质类型大亚湾潮间带生物可划分为岩石相、沙滩和红树林泥滩群落, 且各生态相隐蔽、半隐蔽和敞开断面群落与环境因素密切相关。

关键词 大亚湾 潮间带生物 群落结构

为了评价大亚湾核电站投产后, 由冷却水排出的余热对大亚湾生态、水产和海洋环境的影响, 受法国电力公司 (EDF) 委托, 国家海洋局第三海洋研究所对大亚湾水域进行为期两年的海洋生态零点调查。本文分析了大亚湾潮间带生物群落, 旨在确定核电站运行前该海域的生物群落结构的特点, 为大亚湾核电站投产后对海洋环境的影响提供科学依据。

1 材料与方法

于 1986 年 12 月—1989 年 9 月对大亚湾核电站进行生态调查。根据第二年海洋生态零点调查报告潮间带生物部分资料进行分析¹⁾。按照法国电力公司第二年海洋生态零点调查大纲要求, 于 1988 年 9—10 月和 1989 年 1 月 (分别代表秋冬) 对潮间带 20 条断面 (图 1) 进行生物取样。其中岩石相 11 条 (A1R, A2R, A3R, A4R, A6R, A7R, A8R, A9R, A10R, B1R, B9R), 沙滩 8 条 (A2S, A3S, A4M, A5S, A6S, A10S, B2S, B8S), 红树林泥滩 1 条 (B7M)。每条断面高潮区 (I) 布设 1 个站, 中潮区 (II) 3 个站, 低潮区 (III) 1 个站。每站用 25cm × 25cm 定量框取样 2—8 次, 泥砂样经涡旋分选器和 1mm 套筛淘洗, 同时对各潮区进行定性观察取样。

根据大亚湾潮汐资料, 结合生物的自然分布, 综合 Vaillant (1891) 和 Stephenson 等 (1949) 原则, 将潮间带划分为高、中、低 3 个垂直带。

20 条断面数据使用 PDP-11/34A 型电子计算机和 Bray-Curtis 相似性指数 (CC) 和群落结构的 4 个主要参数 [种类多样性 (H')、种类丰度 (d)、种类均匀度 (J) 和种类优势度 (D)], 分析生物群落结构特点 (李荣冠等, 1989)。5 个参数计算方程为:

$$CC = \frac{2c}{a+b} 100\% \quad (\text{Bray et al., 1957})$$

1) 法国电力公司委托项目。该项目获 1992 年国家科学进步三等奖。李荣冠, 男, 出生于 1951 年 5 月, 助研。

收稿日期: 1993 年 8 月 23 日, 接受日期: 1995 年 1 月 16 日。

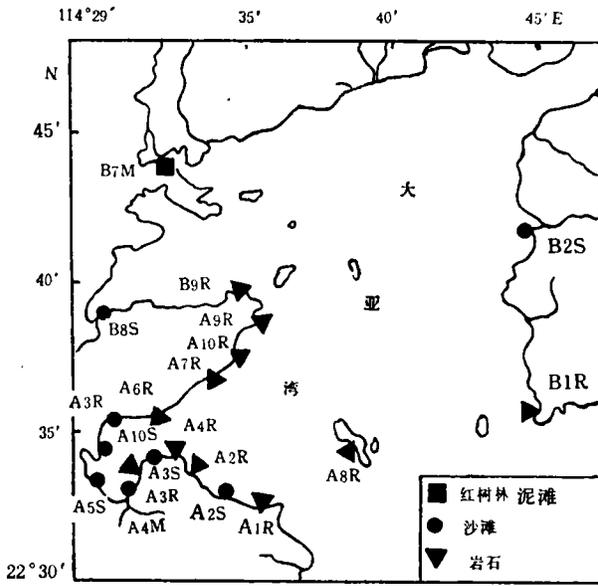


图 1 大亚湾潮间带生物取样断面

Fig. 1 Sampling transections of intertidal benthos in Daya Bay

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i \quad (\text{Shannon et al., 1963})$$

$$d = (S - 1) / \log_2 N \quad (\text{Margalef, 1958})$$

$$J = H' / H_{\max} = H' / \log_2 S \quad (\text{Pielous, 1966})$$

$$D = (N_1 + N_2) / NT \quad (\text{Mcnaughton et al., 1970})$$

式中, S 为样品中的种数; p_i 为第 i 种个体数与总个体数的比值; N 为样品的总个体数; N_1 和 N_2 为第一、二优势种个体数; a 为样品 A 中的种数; b 为样品 B 中的种数; c 为样品 A, B 中的共有种数。

2 结果

2.1 生物群落结构

大亚湾潮间带生物群落,按生态相有岩石相群落、沙滩群落和红树林泥滩群落。这些群落又因所处的位置,受浪、潮汐、潮流水动力作用影响之程度,以及底质沉积物稳定等环境因子作用,又有隐蔽、半隐蔽和敞开断面群落之分 (Dexter, 1969, 1979; Holland, et al., 1976; Jiang et al., 1980; Whitlatch, 1977)。

2.1.1 岩石相群落

大亚湾岩石相的11条断面,根据其群落相似性指数可划分为隐蔽

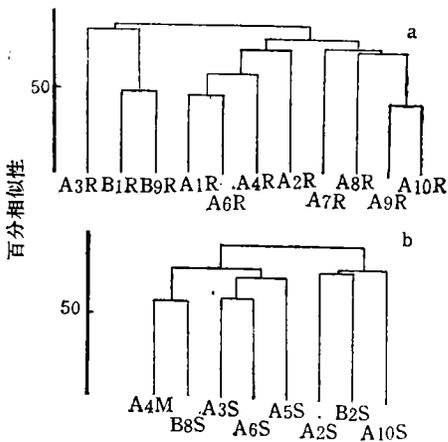


图 2 大亚湾岩石相(a)和沙滩(b)断面群落树状图

Fig. 2 Dendrograms of communities similarity (CC) between rocky (a) and sandy beaches (b) transection in Daya Bay

(A3R)、半隐蔽(B1R, B9R)和敞开型(A1R, A2R, A4R, A6R, A7R, A8R, A9R, A10R)3种断面群落(图 2a)。

2.1.1.1 岩石相隐蔽断面群落 该断面滩面总长约 50m, 总体坡度在 2—3°, 不平坦。由砾石岩块构成, 花岗岩为主, 石英次之。在底层, 温度为 19.00—29.30℃; 盐度为 30.58—31.65。受风浪冲击小。该群落共有 88 个种, 僧帽牡蛎 (*Saccostrea cucullata*)、变化短齿蛤 (*Brachidontes variabilis*) 和小相手蟹 [*Nanosesarma (N.) minutum*] 占绝对优势, 藻类种数和生物量均较少。

高潮区(I)——滨螺-白脊藤壶 (*Balanus albicostatus*) 带 代表种有粒结节滨螺 [*Nodilittorina (N.) radiata*] 和塔结节滨螺 [*N. (N.) trochoides*]。冬季其生物量分别为 7.60g/m² 和 9.60g/m²; 栖息密度分别为 104 个/m² 和 56 个/m²。白脊藤壶在高潮区的下层和中潮区的上界形成一条宽约 35cm 的分布带, 秋、冬两季生物量分别达 140.44 g/m² 和 116.78g/m², 栖息密度达 1166 个/m² 和 904 个/m²。白条地藤壶 (*Euraphia wishersi*) 个体小且数量不少, 在白脊藤壶分布带的上方形成宽约 30cm 的分布带。

中潮区(II)——僧帽牡蛎-变化短齿蛤-小相手蟹-囊藻(*Colponenia sinuosa*)带 该区的优势种僧帽牡蛎形成一条宽约 90—100cm 的分布带, 除上下界较稀少外, 大都重叠生长, 有的厚度可达 20cm, 但压在底层的牡蛎大都窒息死亡。生物量在秋、冬季分别高达 4 846.42g/m² 和 4 484.44g/m², 栖息密度两季分别达 1 109 个/m² 和 1 204 个/m²。变化短齿蛤主要固着于牡蛎间和死壳内, 秋、冬两季的生物量分别达 226.79g/m² 和 945.80g/m², 其密度分别高达 1458 个/m² 和 980 个/m²。小相手蟹的密度在冬季也达到 78 个/m²。囊藻是该群落的一个特征种, 其生物量冬季为 79.87g/m²。本区生物种类繁多, 主要种还有细毛背鳞虫 [*Lepidonotus (L.) tenuisetosus*]、独齿围沙蚕 (*Perinereis cultrifera*)、褐片阔沙蚕 (*Platynereis dumerilli*)、曲线索贻贝 (*Hormomya mutabilis*)、隔贻贝 (*Septifer bilocularis*)、青蚶 (*Barbatia virescens*)、平轴螺 (*Planaxis sulcatus*)、粒花冠小月螺 (*Lunella coronata granulata*)、马氏毛粒蟹 (*Pilumnopus makiana*) 和皱瘤海鞘 (*Styela plicata*) 等。

低潮区(III)——敦氏猿头蛤 (*Chama dunkei*)-覆瓦小蛇螺 (*Serpulorbis imbricata*)-网纹藤壶 (*Balanus reticulatus*)-皱瘤海鞘带 本区的敦氏猿头蛤秋季生物量高达 2 332.33g/m², 栖息密度为 152 个/m²。覆瓦小蛇螺的生物量秋季为 128.24g/m², 密度为 32 个/m²。其中网纹藤壶的栖息密度最大 (384 个/m²)。皱瘤海鞘在本区为斑块分布。习见的种类还有囊皮瓜参 (*Thyone sacellus*)、青蚶、隔贻贝、珠母核果螺 (*Drupa margariticola*)、马氏毛粒蟹等(图 3a)。

2.1.1.2 岩石相半隐蔽断面群落 该类断面受波浪潮流影响不太大。底质由岩礁及岩块组成。底层, 温度在 18.60—29.39℃; 盐度在 30.67—31.80。(图 3b) 该群落结构的重要特征是, 既有隐蔽断面的种类, 如囊藻、敦氏猿头蛤; 也有敞开断面的种类, 如马尾藻、鳞笠藤壶 (*Tectraclita squamosa squamosa*) 等。所不同的是这些种类的生物量和密度均较另两个生物群落低。

高潮区(I)——滨螺带 该区的代表种为粒结节滨螺和塔结节滨螺。其生物量秋季分别为 13.76g/m² 和 12.88g/m², 冬季为 14.96g/m² 和 6.4g/m²; 栖息密度秋季分

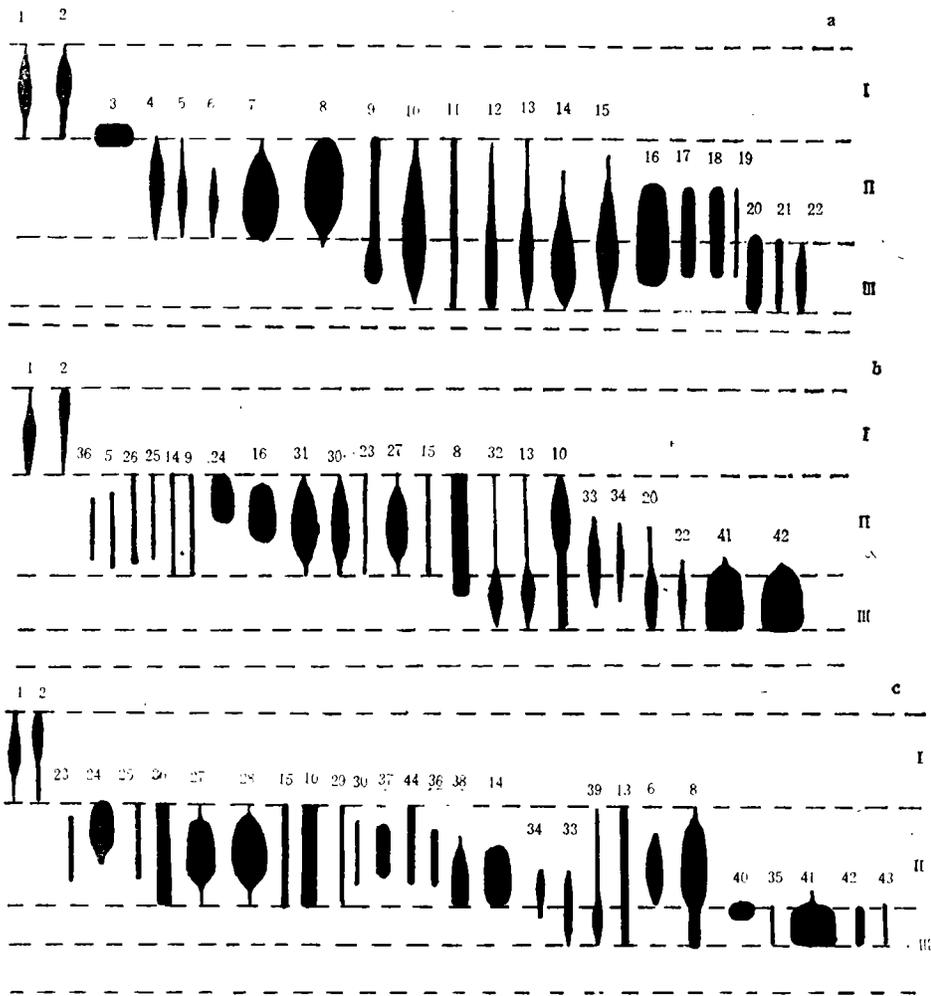


图 3 大亚湾岩石相隐蔽(a)、半隐蔽(b)和敞开(c)群落主要种的垂直分布

Fig. 3 The vertical distributions of main species in the sheltered (a), semisheltered (b) and exposed transection (c) on rocky communities in Daya Bay

1. 粒结节滨螺; 2. 塔结节滨螺; 3. 白脊藤壶; 4. 曲线索贻贝; 5. 平轴螺; 6. 粒花冠小月螺; 7. 僧帽牡蛎; 8. 变化短齿蛤; 9. 隔贻贝; 10. 小相手蟹; 11. 细毛背鳞虫; 12. 独齿围沙蚕; 13. 褐片阔沙蚕; 14. 青蚶; 15. 马氏毛粒蟹; 16. 囊藻; 17. 皱瘤海鞘; 18. 珠母核果螺; 19. 覆瓦小蛇螺; 20. 囊皮瓜参; 21. 网纹藤壶; 22. 敦氏猿头蛤; 23. 嫁蛾; 24. 中华小藤壶; 25. 单齿螺; 26. 粒核果螺; 27. 鳞笠藤壶; 28. 日本笠藤壶; 29. 日本花棘石鳖; 30. 咬齿牡蛎; 31. 棘刺牡蛎; 32. 双管阔沙蚕; 33. 黑凹螺; 34. 银口凹螺; 35. 大马蹄螺; 36. 小石花菜; 37. 铁丁菜; 38. 鹿角海螺; 39. 异形伪沙蚕; 40. 小珊瑚藻; 41. 半叶马尾藻; 42. 亨氏马尾藻; 43. 紫海胆; 44. 渔舟蛭螺。

别为 112 个/m²和 144 个/m², 冬季为 104 个/m²和 80 个/m²。习见种还有龟足 (*Capitulum mitella*) 和海蟑螂 (*Ligia exotica*)。

中潮区(II)——鳞笠藤壶-棘刺牡蛎 (*Saccostrea echinata*)-囊藻带 鳞笠藤壶大部分分布在该区的中、下界, 其生物量秋、冬两季分别为 1549.87g/m² 和 695.47g/m², 栖息密度为 219 个/m² 和 88 个/m²。无论生物量还是密度均很大。其次为棘刺牡蛎, 生物量冬季可达 704.46g/m², 栖息密度秋季达 88 个/m²。囊藻在该区主要分布在中、下界, 在

冬季可形成约 1m 宽的分布带, 个体大的直径可达 25cm, 生物量冬季为 163.63g/m²。主要的种类还有小石花菜 (*Gelidium divaricatum*)、双管阔沙蚕 (*Platynereis bicanelliculata*)、变化短齿蛤、青蚶、隔贻贝、咬齿牡蛎、嫁蛾 (*Cellana toreuma*)、平轴螺、单齿螺 (*Monodonta labio*)、粒核果螺、小相手蟹、马氏毛粒蟹、囊皮瓜参等。

低潮区(III)——马尾藻-敦氏猿头蛤带 主要有享氏马尾藻 (*Sargassum henslowianum*) 和半叶马尾藻 (*S. hemiphyllum*), 其中半叶马尾藻在冬季的生物量可达 562.40g/m², 占该区总生物量的 49.65%。敦氏猿头蛤的生物量冬季也达到 336.14g/m²。其它习见种尚有褐片阔沙蚕, 阿纹绶贝 [*Mauritia (Arabica) arabica*]、银口凹螺 (*Chlorostoma argyrostoma*)、黑凹螺 (*C. nigerrima*)、小石花菜等(图 3b)。

2.1.1.3 岩石相敞开断面群落 主要由石英、砂岩、泥岩砾石、花岗岩、火山粹屑岩组成, 受波浪冲击和潮流影响大。该群落主要特征之一, 多为固着性、喜浪的种类组成。例如鳞笠藤壶, 日本笠藤壶 (*Tetraclita japonica*)、马尾藻等。

高潮区(I)——滨螺带 本区代表种同样为粒结节滨螺和塔结节滨螺。塔结节滨螺冬季生物量和栖息密度分别达 9.84g/m² 和 552 个/m², 粒结节滨螺也分别有 13.60g/m² 和 264 个/m²。另习见种还有龟足和海蟑螂。

中潮区(II)——日本笠藤壶-鳞笠藤壶-小石花菜-鹿角海萝 (*Gloiopeltis tenax*) 带 主要代表种与以上两种断面中潮区的代表种显然不同。日本笠藤壶冬季的生物量和密度分别可达 2 048.27g/m² 和 371 个/m², 鳞笠藤壶秋季的生物量和密度可高达 3 088.74g/m² 和 437 个/m², 远比半隐蔽断面群落高得多。在日本笠藤壶和鳞笠藤壶个体上尚附着极小的中华小藤壶, 其分布一般较这两种藤壶略高些, 形成一条约 1.5m 的分布带。鹿角海萝和小石花菜在中潮区也可形成较明显的分布带, 两者的生物量在冬季分别为 24.94g/m² 和 67.28g/m²。其它习见种还有铁丁菜 (*Ishige okamurai*)、嫁蛾、渔舟蛭螺、粒核果螺、青蚶、变化短齿蛤、咬齿牡蛎 (*Saccostrea mordax*)、银口凹螺、黑凹螺、单齿螺、日本花棘石鳖 (*Liolophura japonica*)、马氏毛粒蟹和小相手蟹、中华小藤壶、异形伪沙蚕、褐片阔沙蚕等。

值得注意的是, 该群落种类的组成可因断面岩性不同, 有所变动。例如在断面 A2R 中潮区的主要种为铁丁菜, 断面 A4R 和 A9R 为嫁蛾, 都取代了日本笠藤壶和鳞笠藤壶。

低潮区(III)——马尾藻-小珊瑚藻(*Corallina pilulifera*)带 该区种类分布的一个特点是, 藻类种数多, 生物量也大, 覆盖面积多达 70%—80%。该群落 12 种主要藻类中, 以半叶马尾藻生物量最大, 冬季高达 3 502g/m²; 其次有裂叶马尾藻 (*S. lliquastrum*)、享氏马尾藻; 小珊瑚藻尚可形成一条 30—50cm 的分布带。习见种还有大马蹄螺 (*Trochus niloticus*)、阿纹绶贝、银口凹螺、节蝶螺 (*Turbo brunneum*)、紫海胆 (*Anthocidaridaris crassispina*)、霜鹿角珊瑚 (*Acropora pruinosa*) 和蜂巢珊瑚 (*Favia* sp.) 等(见图 3c)。

2.1.2 沙滩群落 沙滩 8 个断面的种类, 应用群落相似性指数 (Bray et al., 1957) 可划分为隐蔽型 (A3S, A4M, A5S, A6S, B8S) 和敞开型 (A2S, A10S, B2S) 两种群落(图 2b)。

2.1.2.1 沙滩隐蔽断面群落 该类断面高潮区为粗中砂、砂和砾砂, 中潮区为中细砂,

低潮区为中细砂,底质相对稳定。该群落的一个重要特征是奥莱彩螺 (*Clithon oualaniensis*) 和纵带滩栖螺 (*Batillaria zonalis*) 的数量相当大,占绝对优势。

高潮区(I)——痕掌沙蟹-角眼沙蟹带 该区种类极为贫乏,主要是痕掌沙蟹 (*Ocyropsis simpsoni*) 和角眼沙蟹 (*O. ceratophthalmus*),且密度极少,平均分别仅 0.08 个/ m^2 和 0.04 个/ m^2 。

中潮区(II)——奥莱彩螺-纵带滩栖螺-鳞杓拿蛤 (*Anomalodiscus spuamosus*)-尖头锤稚虫 (*Aonides oxycephala*) 带 奥莱彩螺个体小,其生物量冬季不很高 (38.67g/ m^2) 而密度可达 814 个/ m^2 ,成为该区栖息密度最高者。纵带滩栖螺的数量很可观,生物量冬季达 244.73g/ m^2 ,成为本区最高者。其次为鳞杓拿蛤和尖头锤稚虫。其它主要种尚有红角沙蚕 (*Ceratonereis erythraeensis*)、多鳃卷吻沙蚕 (*Nephtys polybranchia*)、欧努菲虫 (*Onuphis eremita*)、曲畸心蛤 (*Anomalocardia flexuosa*)、加夫蛤 (*Gcfarium pectinatum*)、古氏滩栖螺 (*Batillaria cumingi*)、秀丽织纹螺 [*Nassarius (Reti-cucunassa) festivus*] 和双齿相手蟹 [*Sesarma (Chiromantes) bidens*] 等。

由于该区沉积物类型和组分的不同及其它环境因素的影响,小翼拟蟹守螺 (*Cerithi-dea microptera*) 只在断面 A4M, A6S 和 B8S 出现。

低潮区(III)——纵带滩栖螺-奥莱彩螺-肋蜃螺 (*Umbonium costatum*)-扁平珠网海胆 (*Arachnoides placenta*) 带 优势种为纵带滩栖螺,其生物量和密度秋季分别为 227.84g/ m^2 和 470 个/ m^2 。还有扁平珠网海胆其秋季生物量为 39.66g/ m^2 ,密度为 52 个/ m^2 。奥莱彩螺在该区成较均匀分布,平均密度为 110 个/ m^2 。此外,习见种还有卷旋吻沙蚕 (*Glycera convoluta*)、欧努菲虫、多鳃卷吻沙蚕、古氏滩栖螺、秀丽织纹螺、双齿相手蟹、裸体方格星虫 (*Sipunculus nudus*) 等(图 4a)。

该群落的主要优势种肋蜃螺,秋、冬季的密度分别高达 96 727 个/ m^2 和 14 008 个/ m^2 ,生物量也高达 275.52g/ m^2 和 1 040.80g/ m^2 。这是由于断面 A6S 低潮区沉积物类型为中细砂与其他各断面不同所致。

2.1.2.2 沙滩敞开断面群落 共有 3 条断面,底质主要由砂、粗砂、砾石细砂,粗沙、沙组成。受风浪潮流影响较大,不稳定。该群落特点是,结构简单,种类贫乏、生物量和栖息密度均低。

高潮区(I)——痕掌沙蟹-角眼沙蟹带 痕掌沙蟹和角眼沙蟹为该区的代表种,生物量和密度均很小,在冬季分别仅为 0.25g/ m^2 和 2.86g/ m^2 ;密度分别仅为 0.2 个/ m^2 和 0.08 个/ m^2 。

中潮区(II)——紫藤斧蛤 (*Chion semigranosus*)-方格吻沙蚕 (*Glycera tessellata*)-狄氏斧蛤 (*C. dysoni*) 带 该区的紫藤斧蛤和狄氏斧蛤成零星分布,生物量和密度都很低。紫藤斧蛤冬季的生物量只有 0.70g/ m^2 ,密度仅 3 个/ m^2 ;狄氏斧蛤生物量和密度也仅 0.78g/ m^2 和 1 个/ m^2 。方格吻沙蚕的密度冬季为 4 个/ m^2 ,生物量也很小。另有软疣沙蚕 (*Tylonereis bogoyawleskyi*)、尖锥虫 [*Scoloplos (S.) armiger*] 和膜囊尖锥虫 (*S. marsupialis*) 等。

低潮区(III)——尖锥虫-大竹蛭 (*Solen grandis*)-紫藤斧蛤带 优势种尖锥虫冬季的密度有 248 个/ m^2 ,但生物量却很小 (2.0g/ m^2)。大竹蛭和紫藤斧蛤在滩面只成零

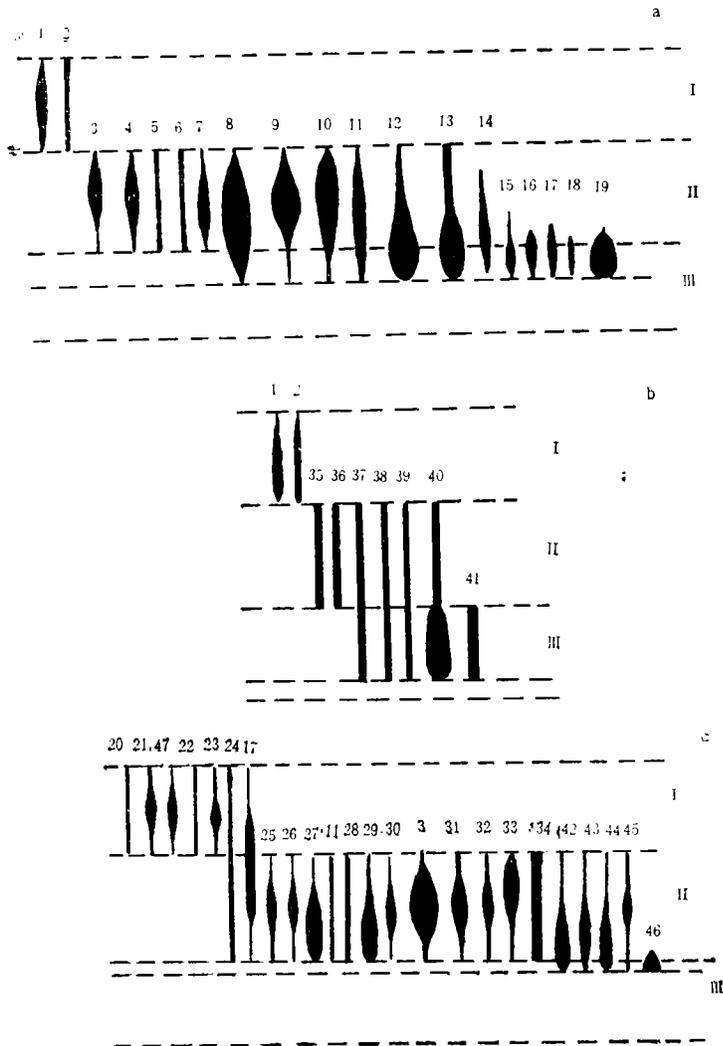


图 4 大亚湾沙滩隐蔽(a)、敞开(b)和红树林泥滩(c)群落主要种的垂直分布

Fig. 4 The vertical distribution of main species on communities in sheltered (a), exposed (b) of sandy beaches and mud-mangrove (c) in Daya Bay

- 1.痕掌沙蟹; 2.角眼沙蟹; 3.小翼拟蟹守螺; 4.多鳃卷吻沙蚕; 5.鳞杓拿蛤; 6.曲奇心蛤; 7.加夫蛤; 8.奥莱彩螺; 9.尖头锤稚虫; 10.红角沙蚕; 11.欧努菲虫; 12.纵带滩栖螺; 13.扁平珠网海胆; 14.古氏滩栖螺; 15.秀丽织纹螺; 16.裸体方格星虫; 17.双齿相手蟹; 18.卷旋吻沙蚕; 19.肋蛞蝓; 20.单叶沙蚕; 21.六肾拟无吻蛞; 22.角眼切腹蟹; 23.长足长方蟹; 24.琥珀刺沙蚕; 25.异蚓虫; 26.拟异蚓虫; 27.亮樱蛤; 28.美米列虫; 29.厥目革囊星虫; 30.革囊星虫; 31.珠带拟蟹守螺; 32.红树拟蟹守螺; 33.弧边招潮; 34.淡水泥蟹; 35.方格吻沙蚕; 36.膜囊尖维虫; 37.软疣沙蚕; 38.狄氏斧蛤; 39.紫藤斧蛤; 40.尖锥虫; 41.大竹蛭。

星分布, 大竹蛭的生物量冬季仅 $0.84\text{g}/\text{m}^2$, 密度 $16\text{个}/\text{m}^2$ 。紫藤斧蛤秋季的生物量为 $3.13\text{g}/\text{m}^2$, 密度仅 $6\text{个}/\text{m}^2$ 。习见种有狄氏斧蛤、软疣沙蚕等(图 4b)。

2.1.3 红树林泥滩群落 大亚湾红树林区 B7M 断面, 底质为粉砂质泥、粘土质粉砂和粉沙质沙, 相对稳定。在高潮区和中潮区中上界覆盖茂盛的红树林, 如秋茄 (*Kandelia candel*)、白骨壤 (*Avicennia mariana*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、木榄 (*Br-*

uguiera gymnorrhiza) 和海漆 (*Excoecaria agallocha*) 等, 树高一般 2m。该群落的一个重要特征是, 在中潮区小翼拟蟹守螺占绝对优势。

高潮区(I)——中国绿螂 (*Glauconme chinensis*)- 双齿相手蟹-角眼切腹蟹 (*Tmehypocoelis ceratophora*) 带 该群落高潮区的种类较沙滩和岩石岸丰富。除代表种中国绿螂、双齿相手蟹和角眼切腹蟹外, 尚有琥珀刺沙蚕 (*Neanthes succinea*)、单叶沙蚕 (*Namalycastis aibiuma*)、长足长方蟹 (*Metaplax logipes*)、六肾拟无吻螈 (*Pararhynchite hexorenale*) 等。该区的生物量和栖息密度均不大, 琥珀刺沙蚕也仅 20 个/m²。此外, 在红树上尚有较耐干燥的黑口滨螺 [*Littoraria (Palastorina) melanostoma*] 等。

中潮区(II)——小翼拟蟹守螺-珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)-拟安氏方格星虫 (*Sipunculus angasoides*)带 优势种小翼拟蟹守螺的生物量和密度均最大, 从中潮区上界至中部形成一条宽约 2m 的分布带, 秋季分别高达 201.11g/m² 和 288 个/m²。其次为珠带拟蟹守螺, 冬季生物量和密度也有 81.81g/m² 和 97 个/m²。另外拟安氏方格星虫的数量也可观, 秋季生物量和密度分别有 16.48g/m² 和 16 个/m²。其它主要种还有厥目革囊星虫 (*Phascolosoma scolops*)、拟异蚓虫 (*Parheteromastus tenuis*)、异蚓虫 (*Heteromasrus* sp.)、欧努菲虫、美米列虫 (*Melinna aberrans*)、亮樱蛤 (*Nitido-tellina nitidula*)、角蛤 (*Angulus* sp.)、红树拟蟹守螺 (*Cerithidea rhizophorarum*)、弧边招潮 [*Uca (Deltuca) arcuata*]、淡水泥蟹 (*Ilyoplax tansuiensis*) 和刺锚参 (*Protankyra* sp.)、革囊星虫等。琥珀刺沙蚕、双齿相手蟹, 可自高潮区分布延伸至此。在红树茎根处尚发现有僧帽牡蛎、变化短齿蛤、锦蜒螺 [*Nerita (Amphinerita) polita*] 和石磺 (*Onchidium verruculatum*) 等。固着在高潮区下界红树茎杆上的白脊藤壶也可延伸到中潮区上界, 形成明显的交替分布。

低潮区(III)——刺锚参-刀明樱蛤 (*Moerella culter*)-角蛤带 主要种类有刺锚参、刀明樱蛤和角蛤。习见种还有背蚓虫 (*Notmastus latericeus*)、拟安氏方格星虫等。

表 1 大亚湾潮间带各群落 3 个潮区代表种的比较

Tab. 1 The comparison of representative species of various communities in three tide zones in Daya Bay

群 落		高潮区 (I)	中潮区 (II)	低潮区 (III)
岩 石	隐 蔽	滨螺-白脊藤壶	僧帽牡蛎-变化短齿蛤-小相手蟹-囊藻	敦氏猿头蛤-覆瓦小蛇螺-网纹藤壶-皱瘤海鞘
	半隐蔽 敞 开	滨螺 滨螺	鳞笠藤壶-棘刺牡蛎-囊藻 日本笠藤壶-鳞笠藤壶-小石花菜-鹿角海萝	马尾藻-敦氏猿头蛤 马尾藻-小珊瑚藻
沙 滩	隐 蔽	痕掌沙蟹-角眼沙蟹	奥莱彩螺-纵带滩栖螺-鳞杓拿蛤-尖头锤稚虫	纵带滩栖螺-奥莱彩螺-肋蛆螺-扁平珠网海胆
	敞 开	痕掌沙蟹-角眼切腹蟹	紫藤斧蛤-方格吻沙蚕-狄氏斧蛤	尖锥虫-大竹蛭-紫藤斧蛤
红树林泥滩		中国绿螂-双齿相手蟹-角眼切腹蟹	小翼拟蟹守螺-珠带拟蟹守螺-拟安氏方格星虫	刺锚参-刀明樱-角蛤

角蛤、刺锚参和拟安氏方格星虫从低潮区向上可分布至中潮区中、下界(图 4c)。

2.1.4 群落的代表种 以上分析表明各群落在 3 个潮区的代表种是不同的(表 1)。

2.2 群落的主要参数 大亚湾潮间带生物群落结构的 4 个参数值, 在不同生态相和不同类型群落中有所不同(表 2)。

表 2 大亚湾潮间带群落结构的 4 个主要参数

Tab. 2 Four main indices of community structure (H' , J , d , D) in intertidal zone, in Daya Bay

生态相	开敞程度	H'		J		d		D			
		秋	冬	秋	冬	秋	冬	秋	冬		
岩石岸	隐蔽 A3R	3.51	3.68	0.62	0.85	4.44	4.43	47.51	47.78		
	半隐蔽	B1R	2.16	1.65	0.65	0.36	1.21	2.36	69.49	80.98	
		B9R	3.31	3.94	0.74	0.74	2.58	4.44	42.76	38.49	
	敞开	A1R	3.31	3.59	0.70	0.75	3.20	2.97	50.45	44.44	
		A2R	2.77	2.17	0.77	0.61	1.79	1.38	52.85	70.28	
		A4R	1.89	2.30	0.40	0.51	2.51	2.28	80.38	72.96	
		A6R	2.95	2.32	0.58	0.56	3.67	1.74	42.28	69.04	
		A7R	3.42	2.45	0.62	0.56	4.84	2.26	56.15	65.87	
		A8R	2.64	3.29	0.66	0.71	1.79	2.45	61.38	37.44	
		A9R	1.61	3.36	0.54	0.75	0.85	2.43	81.54	39.04	
A10R		1.93	0.32	0.61	0.10	1.06	8.28	73.94	97.55		
沙滩	隐蔽	A3S	2.75	3.20	0.52	0.52	4.48	7.74	65.47	64.77	
		A4M	3.07	3.60	0.52	0.62	5.86	5.91	58.65	51.51	
		A5S	4.99	4.26	0.88	0.82	7.69	5.19	25.25	32.71	
		A6S	0.12	0.85	0.02	0.10	2.40	3.56	99.37	92.73	
		B8S	3.64	3.10	0.58	0.63	8.28	3.62	52.84	55.73	
	敞开	A2S	1.88	1.58	0.81	1.00	1.26	1.26	66.67	66.67	
		B2S	2.41	2.09	0.93	0.48	1.67	2.73	50.00	75.20	
		A10S	2.58	1.37	1.00	0.86	1.93	0.86	33.33	80.00	
		红树林泥滩	B7M	2.68	1.81	0.52	0.46	4.46	1.93	67.46	83.66

岩石相隐蔽断面群落 H' 值为 3.51—3.68; 半隐蔽断面群落为 1.65—3.94; 敞开断面群落为 0.32—3.59。可见, 敞开断面群落的 H' 值分布范围较大, 其次是半隐蔽断面群落。敞开断面群落 H' 值变幅大, 主要与该群落所处的断面的理化因子特别是岩性有关。在花岗岩等固着基较牢固的断面以及浪击度稍小的断面, 群落的种类较多; 而在较松和浪击度较大的断面, 种类相对较少。另一方面, H' 值的变化与群落中种间个体分配的均度有关, 即在相同种数下, J 值愈大 H' 值亦愈高。断面 A10R 的 H' 值最低, 冬季仅 0.32, 这是因为该断面低潮区大量的端足类所致, 其密度可高达 8 800 个/ m^2 , D 值高达 97.55, J 值却下降至 0.10。

沙滩隐蔽断面群落 H' 值为 0.12—4.99; 敞开断面群落为 1.37—2.58。显见, 隐蔽断面群落的 H' 值变幅较大。此仍与群落所处的断面沉积物类型有关, 在细砂特别含泥质沙的断面中, 种数相对较多, H' 值相应增高; 但又可因某些种类个体数的大量发展, J

值下降导致 H' 值下降。如断面 A6S 的 H' 值秋季最小, J 值也最小, 仅 0.2, 相反 D 值高达 99.37。这是由于该断面肋帽螺在秋季的密度高达 96 272 个/ m^2 所致。断面敞开类型群落的种数虽少, 但因种间个体分配较均匀, 故 H' 值分布范围较少。

3 结语

大亚湾潮间带生物群落按生态相、大体可划分为岩石相、沙滩和红树林泥滩 3 种类型群落; 按生物群落的结构特点与海岸环境特征的关系来划分又可分为隐蔽型群落、半隐蔽型群落和敞开型群落, 且各生态相群落结构和各潮区代表种也不尽相同。在隐蔽和半隐蔽群落中, 结构复杂; 敞开型群落结构相对简单。群落间的差异性受多种海洋理化环境因素的影响, 但对群落结构起主导作用的主要有: 底质类型、风浪、潮汐和潮流等水动力因素。

参 考 文 献

- 李荣冠等, 1989, 大亚湾岩相潮间带底栖生物的生态, 大亚湾海洋生态文集 (1), 海洋出版社(北京), 82—92。
- Bray, J. R., Curtis, J. T., 1957, An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin, *Ecol. Monogr.*, **27**:325—349.
- Dexter, D. M., 1969, Structure of an intertidal sandy beaches community in North Carolina, Chesapeake, *Science*, **10**:93—98.
- Dexter, D. M., 1979, Community structure and seasonal variation in intertidal Panamanian sandy beaches, *Est. Coas. Mar. Sci.*, **9**:543—558.
- Holland, A. F. & Polgar, T. T., 1976, Seasonal changes in the structure of an intertidal community, *Mar. Bio.*, **37**: 341—348.
- Jiang, J. X. & Zhou, Q. L. 1980, A preliminary survey of the rocky intertidal community along Tolo Harbour, Hong Kong, Proceedings of the First international Marine Biological Workshop; the Marine Flora and Fauna of Hong Kong and Southern China, Hong Kong University Press (Hong Kong), pp. 673—686.
- Margalef, D. R., 1958, Information theory in ecology, *Gen. Sys.*, **3**: 36--71.
- Mcnaughton, S. J. & Wolf, L. L., 1970, Dominance and the niche in ecological systems, *Science*, **167**: 131—139.
- Pielous, B. C., 1966, The use of information theory in the study of ecological succession., *J. Theor. Biol.*, **10**:370—383.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. W., 1963, The mathematical theory of communication, University of Illinois Press (Urbana), pp. 117.
- Stephenson, T. A. & Stephenson, A., 1949, The universal feature of zonation between tidemarks on rocky coasts, *J. Ecol.*, **37**(2):289—305.
- Vaillant, L., 1891, Nouvelles études sur les zone littorales, *Ann. Nat zool.*, **120**:39—50.
- Whitlatch, L. B., 1977, Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos inhabiting the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts, *Biol. Bull.*, **152**: 275—294.

COMMUNITIES OF INTERTIDAL BENTHOS NEAR THE DAYA BAY NUCLEAR POWER STATION

Li Rongguan, Jiang Jinxiang, Wu Qiquan, Lu Lin,
Zheng Fengwu, Huang Xinguang
(Third Institute of Oceanography, SOA., Xiamen 361005)

ABSTRACT

This paper is based on data obtained in a Dec. 1986 to Sept. 1989 marine ecological survey of Daya Bay intertidal benthos. A PDP-11/34A computer was used, and Bray-Curtis' similarity index, Shannon-Weaver's species diversity index (H'), Margalef's species richness (d), Pielous's species evenness (J) and Mcnaushton's species dominance index (D) were applied to analyze the communities and the features of the structure of intertidal benthos near the Daya Bay nuclear power station and appraise its effects on the marine environment. The results showed that the intertidal benthos in Daya Bay could be divided into rocky, sandy beach and mud-mangrove communities according to the substrate forms, and could also be divided into sheltered, semisheltered and exposed communities based on the effects of the wind-waves, tide and tidal stream. The representative species of communities were different in the high, middle and low tide zones. Marine environment factors affected the intertidal benthos in Daya Bay, but the main causes for differences among communities were the substrate form and hydrodynamic factors of the wind waves, tide and tidal stream.

Key words Daya Bay Intertidal benthos Community structure