

大 亚 湾 海 洋 生 态 文 集

COLLECTIONS OF PAPERS
ON MARINE ECOLOGY
IN THE DAYA BAY
(I)

国家海洋局第三海洋研究所
Third Institute of Oceanography
State Oceanic Administration

海 洋 出 版 社

1989

前 言

大亚湾核电站 (GNPS) 是我国最大的合资企业、国家“七·五”规划的重点工程之一。经多年的筹备, 1986年动工兴建, 两台90万 kW的机组, 将分别于1992年和1993年运行。电站由法国电力公司 (EDF) 做技术保证, 从法国引进设备、技术和管理。

EDF会同法国海洋研究开发中心、法国巴斯德微生物研究所等专家, 初拟了《大亚湾核电站海洋生态零点调查大纲》, 再征求我国 (科学院、高教、水产和海洋局系统) 有关专家的意见, 最后落实定稿。

大纲包括了生态系的三个侧面 (水文与水生生物、底栖生物、渔业) 和冷却水系统设计的生物学和化学参数, 共56个项目74个参数, 包括: 流速、流向、温、盐度、水色、透明度、潮汐和气象; 溶解氧含量及其消耗与产生机制、pH、五项营养盐; 地貌、悬浮体、底质类型、沉积物的有机物含量和沉积物的耗氧量; 异养微生物活性、总细菌量、弧菌、大肠菌群、粪链球菌和亚硫酸盐还原菌; 叶绿素a、脱镁色素和初级生产力; 浮游植物、浮游动物、浮性鱼卵和仔稚鱼、浮游生物中的碳和氮、赤潮和赤潮生物及其效应; 潮间带生物、底栖生物、马尾藻和两种贝类的种群动态; 大亚湾沿岸主要渔港的渔业动态、主要鱼类和虾类的生物学、鱼类和虾类的定点调查。冷却水系统设计参数含污损生物、闸门和滤鼓的堵塞物, 以及和电解海水防污有关的氯的消耗、 NH_4 和Mn的含量分析。

根据上述诸参数, 从生态系的物质循环和能量流通考虑, 阐明大亚湾核电站运行前大亚湾生态系的现状, 即生态零点。以1987年电站处于土建阶段的海洋生态为零点, 进行了周年调查 (逐月、逐季或3天间隔)。

在现场建立8个实验室, 动用了4艘调查船、车, 7个灯标与潜标和1个浮筏; 用许多海洋调查常用的网具和仪器, 也用了安德拉海流计、温度链、旁测声纳、唐纳荧光计、CHN元素分析仪等大型或先进的仪器。取得了近50万个数据, 6个项目13个参数进行了国际互校。经研究, 写成了5册1028页的调查报告和若干专题论文。经23个单位42名专家对成果进行了鉴定 (见附件)。根据专家的意见和许多单位的要求, 将请专家评审后的29篇论文编成本文集。并着手以调查报告为素材, 结合第二年的调查资料, 编写第二集论文。

核电问世30年来, 世界已运行的核电站近500座, 象法国的核电占该国总发电量69%。我国台湾省已经有3座核电在运行, 浙江秦山核电站在兴建中。本文集期望供类似工程作借鉴或参考, 也作为教学和研究部门、渔业生产部门、环保部门参考。敬请读者批评指正。

大亚湾核电站海洋生态零点调查技术组

黄宗国 吴启泉 顾德宇

1988年12月

目 录

海洋环境

大亚湾海水更新速率的初步研究	曾 刚 李 立 (1)
大亚湾表层沉积物的粒度结构与沉积环境	陈 峰等 (7)
大亚湾沉积物有机质、 E_h 、 $Md\phi$ 的分布和氧化-还原沉积环境的划分	黄剑霞 (14)
大亚湾沉积物间隙水中的磷酸根和铵氮的分布与扩散	顾德宇 (19)
大亚湾沉积物中可溶性硅的分布特征	黄剑霞 (25)
大亚湾水质营养状况	暨卫东 黄尚高 (29)
大亚湾水域中 3 种化合态无机氮的分布和变化特征	杨嘉东 (36)

海洋生物

大亚湾沉积物中异养细菌数量与耗氧量的关系	周宗澄 (42)
大亚湾沉积物中异养细菌的分布	姚瑞梅 倪纯治 (46)
大亚湾污损生物和堵塞过滤网的藻类	李传燕 (53)
大亚湾水母类的分类和区系	林 茂 (59)
大亚湾核电站进水口水域水母类的生态	郑成兴 黄宗国 (66)
大亚湾污损生物中多毛类的生态	王建军 (74)
大亚湾岩相潮间带底栖生物的生态	李荣冠等 (82)
大亚湾大鹏澳软相潮间带多毛类的生态	鲁 琳等 (93)
大亚湾苔藓虫的生态	李传燕 (106)
大亚湾毛颚类的分布	戴燕玉 (117)
大亚湾核电站进水口水域浮游桡足类的昼夜垂直移动	林玉辉 连光山 (123)
大亚湾核电站进水口水域糠虾的种类	蔡秉及 (130)
大亚湾核电站进水口水域糠虾的生态	林 盛 黄宗国 (141)
大亚湾棘皮动物的种类组成与数量分布	徐惠州 (148)
大亚湾鱼类区系特征	林双浚等 (153)
大亚湾 5 种中上层鱼类的食性分析	庄世德 (166)
香港海区赤潮对大亚湾鱼类的可能影响	方永强等 (175)
大亚湾养殖浮筏和浮球的污损生物	郑东强等 (179)
大亚湾海流计的污损生物	严颂凯等 (186)

方法与技术

用BSB1020T呼吸器测定海洋沉积物中 BOD_5	黄衍宽 (194)
流量计在浮游生物定量采样中的应用	林玉辉等 (197)
梅氏伊萨克框形拖网在幼鱼采样中的实践	王志远等 (201)

附件：大亚湾核电站海洋生态零点调查（第一年）鉴定意见书

及其评审人员名单

(205)

CONTENTS

Marine Environment

- Preliminary Study of Water Renewal Rate in Daya Bay Zeng Gang and Li Li (6)
- Grain-Size Structure of Surface Sediment and Depositional Environment in Daya Bay Chen Feng et al. (13)
- Distribution of Organic Matter, Eh , $Md\phi$ and Division of Oxidation-Reduction Depositional Environment in Daya Bay Huang Jianxia (18)
- Distribution and Diffusion of Phosphate and Ammonium in the Sediment Interstitial Water of Daya Bay Gu Deyu (24)
- Distributional Characteristics of Soluble Silicon in Daya Bay Sediment Huang Jianxia (28)
- Nutrition State of Sea Water in Daya Bay Ji Weidong and Huang Shanggao (35)
- Distribution and Change of Three Chemically Combined Inorganic Nitrogen in Daya Bay Waters Yang Jiadong (41)

Marine Biology

- Relationship between Heterotrophic Bacteria Number and Oxygen Consumption in Daya Bay Sediment Zhou Zongcheng (45)
- Distribution of Heterotrophic Bacteria in Daya Bay Sediments Yao Ruimei and Ni Chunzi (52)
- Biofouling and Filter-Blocking Algae in Daya Bay Li Chuanyan (58)
- Taxonomy and Fauna on the Medusas from the Waters of Daya Bay Lin Mao (65)
- Ecology of Medusa Around Inlet of Nuclear Power Station of Daya Bay Zheng Chengxing and Huang Zanguo (73)
- Ecology on Fouling Polychaeta in Daya Bay Wang Jianjun (81)
- Ecology of Benthos of Rocky Intertidal Zone in Daya Bay Li Rongguan et al. (92)
- Polychaeta Ecology of Soft Intertidal Zone at Dapeng'ao in Daya Bay Lu Lin et al. (105)
- Ecology on Bryozoan in Daya Bay Li Chuanyan (116)

Distribution of Chaetognaths in Daya Bay	Dai Yangyu (122)
Diurnal Vartical Migration of Planktonic Copepods in Waters Around Outlet of Daya Bay Neuclear Power Station	Lin Yuhui and Lian Guangshan (129)
Mysidacea from Inlet Waters of Nuclear Power Station in Daya Bay	Cai Bingji (140)
Ecology of Mysidacea Near Water Inlet of Daya Bay Nuclear Power Station	Lin Sheng and Huang Zongguo (147)
Species Composition and Numerical Distribution of Echinoderm in Daya Bay	Xu Huizhou (152)
Characteristics on Ichthyofauna in Daya BayLiu Shuangdan et al.	(165)
Analysis on Feeding Habits of Five Species of Pelagic Fishes in Daya Bay	Zhuang Shide (174)
Effects of Hong Kong Red Tide on Fishes in Daya Bay.....	Fang Yongqiang et al. (178)
Biofouling of Mariculture Rafts and Floats in Daya Bay	Zheng Dongqiang et al. (185)
Biofouling on Current Meters in Daya Bay.....	Yan Songkai et al. (192)

Methodology & Technology

Determination of BOD ₅ Content in Marine Sediments by Respirometer BSB 1020 T	Huang Yangkuan (196)
Application of Flowmeter in Quantitative Plankton Sampling	Lin Yuhui et al. (200)
Practice of Young Fishes Sampling by Methot Issac Kidd Frame Trawling	Wang Zhiyuan et al. (204)

海洋环境

大亚湾海水更新速率的初步研究^{*}

曾 刚 李 立

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

【摘要】本文探讨了大亚湾的水量平衡, 并对本海区海水更新速率进行初步估算, 以期为大亚湾周围地区的工业建设和环境保护提供参考依据。

一、海区容积

大亚湾为一半封闭山地溺谷型港湾。湾口水深可达20m, 湾内大部分海域水深约10m。计算海域为鹿咀岗—大辣甲(方向东北, 方位 46°)—波沙山角(方向东北东, 方位 87°)以北海域(图1)。采用网格计算, 求得该海域面积为 419km^2 ; 海区平均深度用海图¹⁾的水深点(样本数1705)平均求得为7.3m。根据海图提供的资料及1987年大坑站实测潮汐资料, 平均海平面高程取1.1m。因而海区平均水深为8.4m, 估算平均总纳水量约为 $35.2 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

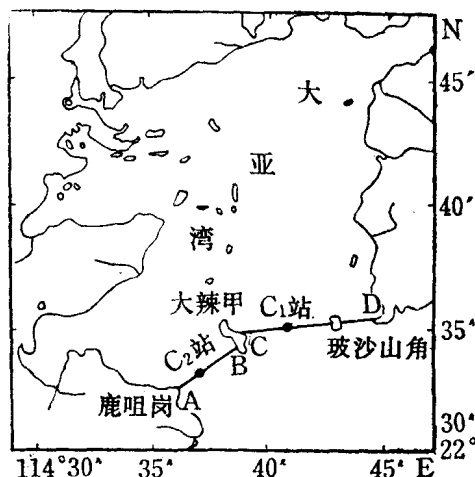


图1 计算海区

二、水量平衡估算

港湾的水量平衡受径流、降水、蒸发、海流和潮汐等诸因素的控制并受其影响而变化, 但其收支在一个不很长的时段内是平衡的。例如, 由于潮汐的规律性, 在一个太阴日内积分后潮汐导致的进、出水量应相互抵消, 因此, 若把大亚湾做为一个封闭海区, 考虑一个太阴日中的水量平衡, 其方程式可表示为:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (1)$$

式中 Q_1 为河流的日径流量, Q_2 为日降水量, Q_3 为湾口余流导致的日流入量, 这三项为海水的日收入量。 Q_4 和 Q_5 为海水的支出量, 其中 Q_4 是海区的日蒸发量, Q_5 是湾口余流导致的日流出量。单位均为 10^8m^3 。估算分冬、夏季进行, 冬季估算时间为1987

* 本文承伍伯瑜高级工程师审阅、指正, 特此致谢。

1) 海军航海保证部, 大亚湾, 1968。

年1月1日至1987年3月1日,夏季为1987年7月3日至1987年8月31日,各含58个大阴日。

(一) 降水量 Q_2 和蒸发量 Q_4

降水量及蒸发量的估算结果分别如表1、表2所示:

表1 降水量 Q_2 估算值

季 节	大坑站降水量 (mm)	海区总降水量 (10^8m^3)	日平均降水量 (10^8m^3)
冬 季	20.0	0.084	0.0014
夏 季	663.4	2.780	0.0479

表2 蒸发量的估算值

季节	大坑站20cm蒸 发器的测值(mm)	折算系数 $R^{[1]}$	蒸发量 (mm)	海区总蒸 发量 (10^8m^3)	日平均蒸 发量 (10^8m^3)
冬 季	243.1	0.75	182.3	0.764	0.0132
夏 季	380.0	0.68	258.4	1.083	0.0187

(二) 径流量 Q_1

由于观测资料的限制,径流量估算采用无实测资料时,关于正常年径流折算的水文比拟法^[1]。比拟河流为大鹏半岛西侧的葵冲河,已知葵冲河平均流量为 $0.44\text{m}^3/\text{s}$;枯水期流量为 $0.1\text{m}^3/\text{s}^{[1]}$,葵冲河丰水期流量采用1987年大坑逐日降雨资料²⁾及上述数据估算,其值为 $0.90\text{m}^3/\text{s}$ 。最后用下式估算大亚湾的径流^[1]:

$$Q_{0.1} = \frac{F_r}{F_R} Q_{0.R} \quad (2)$$

式中 $Q_{0.1}$ 及 $Q_{0.R}$ 分别为研究河流及相似河流的流量, F_r 及 F_R 则分别为研究河流和相似河流的径流面积(本文即为研究海域内注入径流的集水面积),径流面积从海图估算,其结果如表3所示:

表3 径流量 Q_1 估算值

季节	估算径流量 (m^3/s)	日平均径流量 (10^8m^3)
冬季	1.3	0.0011
夏季	41.7	0.037

(三) 湾口余流的日平均进、出水量 Q_3 和 Q_5

1. 层次划分和剖面面积的计算 取鹿咀岗—大辣甲—坡沙山角为本文计算的湾口

1) 中山大学环境科学研究所,大鹏湾海域及其沿岸地区的区域环境影响评价和水质规划,1987。

2) 广东水电公司,1986。

断面。根据 C_1 站和 C_2 站冬、夏季实测海流资料，按上、中、下三层分别进行潮、余流分离，得出各站不同层次冬、夏季的平均余流流速和流向。在该断面上，冬季的余流是从 C_2 站（上、中、下层）进入湾内，从 C_1 站（上、中、下层）流出湾外，形成顺时针环流；夏季与冬季截然不同，两站上层的余流都流出湾外，中、下层都流入湾内，形成上、下层反向的“两层流”，流向的变换层次位于海面下 4m 和 9m 之间（4m 和 9m 为上、中层仪器投放水深），因此，根据各站 4m 和 9m 层不同的余流流速、流向值，分别求取法向速度矢量，取不同站两层的法向流速矢量连接与水深（4—9m）交点的平均水深，可得到在 C_1 站约为 7.0m， C_2 站约为 5.8m，也就是

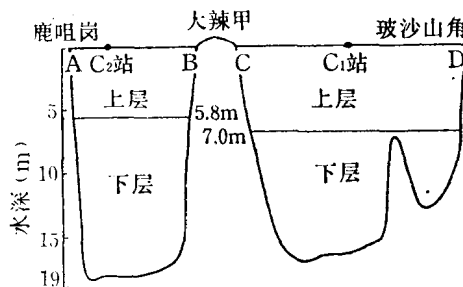


图2 湾口剖面

流向的变换层次大体位置在海面下 C_1 站 7.0m 处， C_2 站 5.8m 处。此外，依据海图在该断面上的水深点（样本数为 17），作出湾口剖面图（图 2）。图中 A、B、C、D 各点都为岸边，可求出 AB 和 CD 的长度，并具体地计算出各站上、下层的剖面面积。

2. 日平均流入量 Q_3 和流出量 Q_5 的计算 日流量是指一周日（本文采用太阴日 24.84h）内海水通过指定断面的水量。将所获得的各站各层次的冬、夏季余流流速流向值，分别求出断面法向流速（本文的下层流速流向取中、下层的平均流速流向值计算），最后求出冬、夏季的日平均流量（表 4）及冬、夏季各分量的估算值综合列成表 5。

表 4 C_1 、 C_2 站日平均流量

季 节	冬 季			夏 季		
	C_1	C_2	合 计	C_1	C_2	合 计
日流出量 ($10^8 m^3$)	1.714	—	1.714	1.541	1.421	2.962
日流入量 ($10^8 m^3$)	—	1.903	1.903	1.202	1.435	2.637

表 5 日平均流量各分量

分 量 ($10^8 m^3$)	Q_1	Q_2	Q_4	Q_3	Q_5
冬 季	0.0011	0.0014	0.0132	1.903	1.714
夏 季	0.037	0.0479	0.0187	2.637	2.962

将各分量代入式（1），考虑到径流量 Q_1 ，降水量 Q_2 和蒸发量 Q_4 的量值都很小，相对本海域的总水量可忽略不计，因此式（1）可简化为：

$$Q_3 = Q_5$$

(3)

将表4中各季的日流量分别代入式(3)得: 冬季 $1.903 \times 10^8 \text{ m}^3 \approx 1.714 \times 10^8 \text{ m}^3$; 夏季 $2.637 \times 10^8 \text{ m}^3 \approx 2.962 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。上述结果说明, 本海域日平均流入量与日平均流出量近似相等, 即余流引起的与外海水交换所导致的日平均进、出水量基本是平衡的。

三、海水交换

(一) 潮汐交换

潮汐是造成海湾海水交换的重要原因之一。若设某海湾的总水量为 Q_0 , 则在一个潮周期内海水的交换率 $\lambda = Q'/Q_0$, 式中 Q' 为一个潮周期内, 涨、落潮期间进、出湾内的水量, 即潮棱体的体积。

假设在一个潮周期期间进入湾内的外海水及湾内海水是在充分混合的基础上进行的, 则可有如下推论:

时间 t (潮周期)	湾内剩余水量 $Q(1 \times 10^8 \text{ m}^3)$
0	Q_0
1	$Q_0 - Q_0 \lambda = Q_0(1 - \lambda)$
2	$Q_0(1 - \lambda) - Q_0(1 - \lambda)\lambda = Q_0(1 - \lambda)^2$
3	$Q_0(1 - \lambda)^2 - Q_0(1 - \lambda)^2 \lambda = Q_0(1 - \lambda)^3$
$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$
t	$Q_0(1 - \lambda)^{t-1} - Q_0(1 - \lambda)^{t-1} \lambda = Q_0(1 - \lambda)^t$

根据上述推论可分别定义湾内海水的“半交换周期¹⁾或99%交换周期”。即湾内海水交换一半或99%所需要的时间为:

$$\frac{Q_0}{2} = Q_0(1 - \lambda)^{t_{0.5}} \text{ 或 } 0.01Q_0 = Q_0(1 - \lambda)^{t_{0.99}}$$

(4)

$$t_{0.5} = \frac{-\lg 2}{\lg(1 - \lambda)} \quad \text{或} \quad t_{0.99} = \frac{-2}{\lg(1 - \lambda)}$$

本海域平均潮差为0.98m, $\lambda = Q'/Q_0 = 0.117$, 代入式(4)并将潮周期折算为天数可得:

$$t_{0.5} = 2.9 \text{ d} \quad t_{0.99} = 19.2 \text{ d}$$

即在充分混合的条件下, 大亚湾汐潮交换一半所需时间为2.9d, 交换99%所需时间为19.2d。

(二) 余流交换

1. 全交换周期 海流观测表明, 冬季大亚湾存在着水平环流, 夏季则有一垂直环流, 该垂直环流不仅存在于湾口, 在海湾北部亦可观测到。假设在同一段时间内余流

1) 姜太良等, 渤海海水半交换周期的初步计算, 1977。

携入湾内的水体完全取代湾内的陈水，则可求出上述环流导致的全交换周期 $\tau_{全}$ ：

$$\tau_{全} = \frac{Q_0}{0.5(Q_3 + Q_5)} \quad (5)$$

根据式(5)计算的冬、夏季日平均进、出水量分别为冬季 $1.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、夏季 $2.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。假如每次交换都是旧水体，根据大亚湾总纳水量可计算出其交换周期冬季为 20.1d，夏季为 13.0d，亦即冬季经过约 20.1d，夏季节约 13.0d 就能够将全部海水更换一次。

2. 半交换周期及 99% 交换周期 参照上述潮汐交换计算方法，假设海水流入量与流出量完全相等， $\lambda = Q'/Q_0$ 为一个太阴日海水的交换率，其中 Q' 为余流在一个太阴日时间内所带走的水量， Q_0 为大亚湾总水量。从而求得：冬季 $\lambda = 0.051$ ，夏季 $\lambda = 0.080$ ，据此可得：

$$\text{冬季 } t_{0.5} = 13.7\text{d}$$

$$\text{夏季 } t_{0.5} = 8.4\text{d}$$

$$t_{0.99} = 90.9\text{d}$$

$$t_{0.99} = 55.6\text{d}$$

即海水交换一半所需的时间在冬季为 13.7d，夏季为 8.4d。海水交换 99% 所需的时间冬、夏季分别为 90.9d 和 55.6d。

四、讨 论

表 6 给出了本海域余流交换及潮汐交换的各种交换周期的估算值。

表 6 余流交换和潮汐交换的各种周期估算值

季 节	海水交换周期 (d)	潮汐交换	余流交换
冬季	全交换周期		20.1
	99% 交换周期	19.2	90.9
	半交换周期	2.9	13.7
夏季	全交换周期		13.0
	99% 交换周期	19.2	55.6
	半交换周期	2.9	8.4

(1) 从估算的方法可知，在潮汐交换周期 $t_{0.5}$ 的估算中假设海水 100% 混合，但实际上混合并不充分，因此 19.2d 略为偏低，其次因本海域的余流呈垂直或水平环流结构，所以进入湾内的海水不可能在水平方向有良好的混合，因此用余流估算的 $t_{0.5}$ 中关于海水 100% 混合的假设是不够确切的，该估算值 90.9 及 55.6 都偏大。由于余流导致的携出湾外的海水，有一小部分被混合或对流带回湾内，所以对余流全交换周期的估算值也略偏低，两者比较，可以认为本海域潮汐交换中 99% 交换周期的估算值有较好的代表性，而余流交换中以全交换周期估算值代表性最好。

(2) 产生大亚湾海水与外海水交换的主要原因是海流的平流输送, 而海流流速的大小, 则决定了海水进退的速率, 流速大, 海水进、退水量大, 交换周期短; 反之, 则交换周期长。本海域冬季的余流较弱, 余流交换比夏季慢, 由于冬季环流呈顺时针水平旋转, 因此流出的海水返回湾内的可能性较大, 这就使冬季的海水交换速度低于估算值。夏季本海域水柱垂直分层明显, 具有上、下反向的“两层流”结构, 上层流出的低盐高温水向下混合比较困难, 所以夏季余流交换速度的估算更接近实际。

(3) 对于潮汐交换, 上述估算结果对冬、夏两季是一致的, 但事实上由于冬季风浪及海面冷却作用都较强, 该季节海水的涡动及对流强烈, 海水几乎呈垂直均匀状态; 夏季则是垂直分层明显。因此, 冬季的潮汐交换影响比夏季的大, 导致的海水更新过程也较快。

综上所述, 对于大亚湾的海水更新来说, 潮汐和余流的影响都具有同等的重要性, 潮汐和余流所导致的海水交换的强度大致为同一数量级。因此, 可以认为, 在两者共同作用下, 大约每两周左右, 大亚湾内的海水便更新一次。

参 考 文 献

- [1] 南京大学地理系、中山大学地理系, 普通水文学, 人民教育出版社, 1978, 22。
- [2] 曾刚, 厦门港海水交换的初步计算, 海洋通报, 3 (1984), 5: 7—11。
- [3] Ketchum, B.H., The Exchanges of Fresh and Salt Water in Tidal Estuaries, *J.Mar. Res.*, 10 (1951), 18—38。

PRELIMINARY STUDY OF WATER RENEWAL RATE IN DAYA BAY

Zeng Gang and Li Li

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen,)

Abstract

Balance of water volume and the evaluation of the water renewal rate in winter and summer in the Daya Bay, China are discussed. It is shown that effects of tides and residual currents on the water renewal processes are of equal importance. Water in the Daya Bay would be replaced once about every two weeks by open sea water.

Key Words, water renewal rate, tidal current, residual current

大亚湾表层沉积物的粒度结构与沉积环境

陈 峰 杨宝华 宋文隆

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

【摘要】 本文根据大亚湾潮间带81个站和潮下带125个站的粒度分析资料, 讨论了各不同沉积类型的粒度分配特点及粒度结构参数, 并结合水动力条件, 探讨了从潮间带到潮下带直至湾口区等不同环境中, 沉积物的粒度特征。

利用现代沉积物的粒度资料来识别沉积环境、解释搬运和沉积作用的动力状况、了解沉积物来源等, 已经成为沉积学研究的重要方法之一。大亚湾海底现代沉积物的粒度特征是地质地貌、水动力条件、生物和化学等诸因素的综合作用的结果。本文通过对大亚湾206个站沉积物粒度特征进行综合分析, 讨论了本区的物质来源, 同时还探讨了沉积物和沉积环境之间的联系。

一、沉积物类型及其粒度结构特征

沉积物粒度分析和类型划分按《海洋调查规范》¹⁾进行。

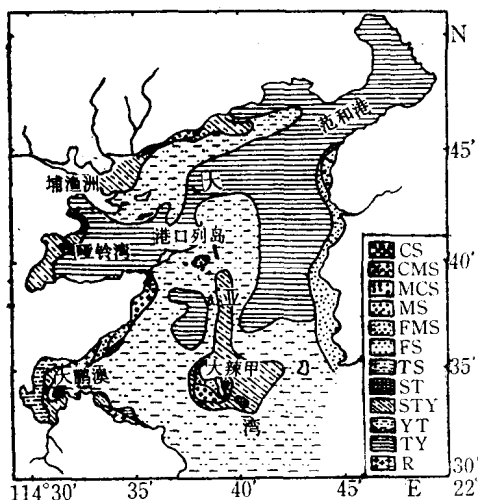


图1 表层沉积物的类型 **

根据规范原则, 本海区表层沉积物可划分出14个类型(图1、2), 从图1可看出它们在海湾的中部多呈片状展布, 而在近岸处多呈条带状展布。其中近岸的分带界限常与等深线平行。现将最主要沉积

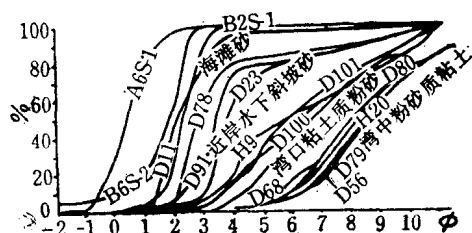


图2 几种沉积物类型的累积曲线

物类型的特征分述如下:

1. 粗砂 (CS) 位于大亚湾顶西北部和大辣甲岛西南侧岸边海域(含潮间带),

* 廖水木、于力、刘静萍等同志参加了资料整理和样品分析工作。

1) 国家海洋局, 海洋调查规范, 1975。

** 其中砾石、砂砾、砂等类型仅分布在局部潮间带狭小范围内, 故图中未标出。

呈零星小片状分布,是本区次要类型。砂级含量为71.40—96.35%,以粗砂为主,样品中含有少量砾石、粉砂和粘土。沉积物分选好,频率曲线呈单峰型,基本上是正态分布,具有很尖的峰度(图3a)。概率曲线具有滚、跳、跳、悬4段式,多具两个跳跃组分,跳跃组分粗端截点在 $0-2\phi$ 之间,细截点在 $4-6\phi$ 之间,双跳跃组分的出现,可能与潮间带海水的往复冲刷有关^[1]。但因该曲线表明粗粒的滚动组分含量较高,可达30—40%,且两个跳跃组分截点位置差别大(图4a),说明与波浪和海流作用有关^[1]。

该类型沉积物与广东的雷琼地区海滩砂曲线形态近于相似^[1],样品中还含有贝壳碎片和珊瑚碎屑,是水动力较强的沉积环境产物。

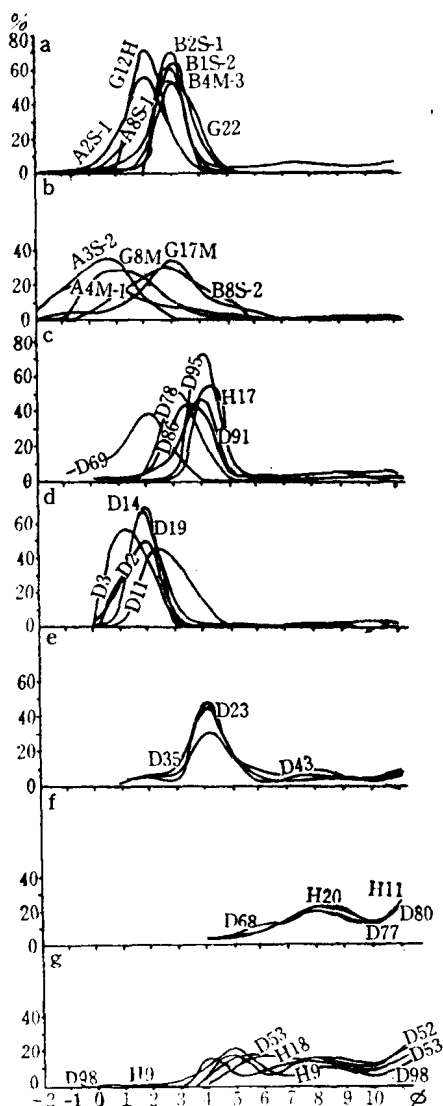


图3 沉积物典型粒度的频率曲线

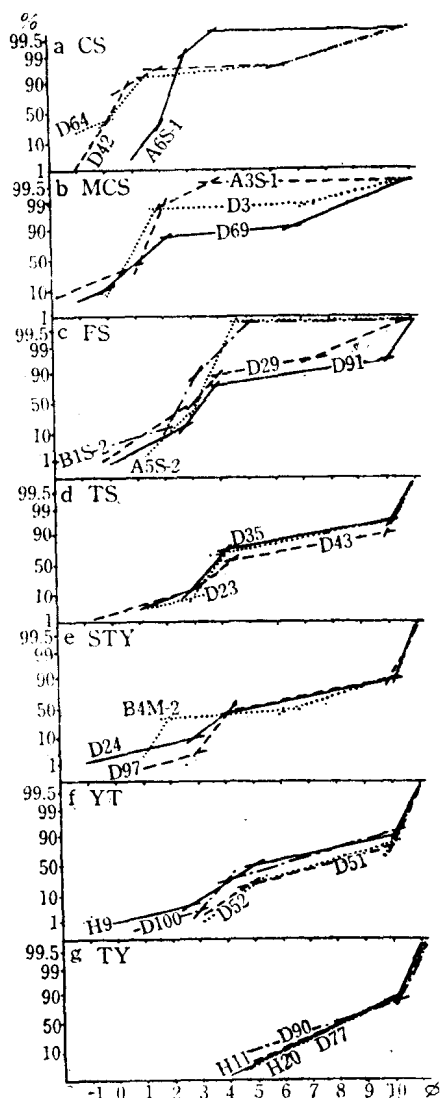


图4 沉积物典型概率的累积曲线

1) 同济大学海洋地质系, 粒度资料的处理和应用, 1977。

2. 粗中砂及中粗砂 (CMS、MCS) 呈零星片状分布于大鹏澳北侧近岸、平海半岛牛头角—尊洲岛之间和港口列岛南部海域,也是本区次要类型。砂级含量在76.44%以上,以中砂和粗砂为主,两者呈等量混合,同时含有少量砾石、粉砂和粘土。沉积物分选好,频率曲线呈单峰型,小部分潮间带样品为正偏态,峰度稍尖,而大部分潮下带样品为负偏态,峰度稍宽(图3a、b、d)。概率曲线具有滚、跳、跳、悬4段式和跳、跳、悬3段式(图4b),该类型跳跳组分占40%以上,粒度区间为0—8 ϕ ,同样受到双向海水冲刷作用。中粗砂一般也是在水动力较强的地方沉积。

3. 细砂 (FS) 位于大亚湾东侧近岸和环绕大辣甲岛四周海域,呈带状分布,是本区第四种主要类型,但出露面积不大。砂级含量在73.36—99.26%,均为细砂,含有一定数量的粘土和粉砂。沉积物分选很好至好,频率曲线呈单峰型,其中潮间带的样品峰型狭而尖,粗端头部有一定展宽,水下岸坡的样品峰型稍宽并细端尾部有展宽,正偏态至负偏态(图3c)。概率曲线具有滚、跳、跳、悬4段式(图4c),滚动组分含量不高,一般为10%左右,在潮间带样品悬浮组分的含量很低,不超过1%,而近岸斜坡样品悬浮组分的含量较高,可达15%,两个跳跃组分的截点位置在3—4 ϕ 间变化。这些特征与波浪及海流的作用相一致,破浪保持沉积界面的动荡,而海流把悬浮物质冲洗掉,并向海中扩散^[2]。该类型沉积特征正好与接受大亚湾强浪向(西南向浪)的动力环境是吻合的。

4. 粉砂质砂 (TS) 位于大亚湾西岸的大鹏澳顶近岸海域,也是本区次要类型之一。砂级的含量在43.29—63.04%间,以细砂为主,粉砂级含量为25.23—37.94%,粘土级含量为11.05—17.75%。分选好至中等,频率曲线呈单峰型,但粗端头部和细端尾部的粒级都有不同程度的展布,特别是在近岸河口处海域因物源相对丰富,故细端尾部展布比较明显,呈正偏态(图3e)。概率曲线具有跳、跳、悬、悬4段式,双跳跃组分的出现,说明该沉积类型虽然不处于潮间带,因水深不大且又与潮间带连接,故仍然接受海水的往复流搬运作用。但双跳跃组分的第二组跳跃组分的直线平缓且粒径的跨度变化较大(4—10 ϕ),并远小于跳跃的临界的粒径3.32 ϕ ,表明水动力条件较弱(图4d)。

5. 砂-粉砂-粘土 (S-T-Y) 主要分布在大亚湾中南部海域、亚铃湾北侧的埔渔洲附近和大鹏澳顶的近岸海域,分布面积约占整个海区1/10,是区内第三种主要类型。本沉积物中的砂、粉砂和粘土级的含量均大于20%。沉积物分选中等至差,频率曲线呈多峰型但均有一个稍较明显的主峰,在潮间带以负偏态为主;在浅海区以正偏态为主(图3g)。这种沉积物是在多种动力条件下堆积而成的,物质来源也是多方面的。概率曲线具有跳、跳、悬、悬4段式,悬浮组分含量较高,约在50%左右,分选性很差(图4c)。

6. 粘土质粉砂 (YT) 位于大鹏澳口、大亚湾口、港口列岛周围和大亚湾西北部海域,是本区最主要的类型之一,分布面积约占全区1/2。样品中粉砂级含量为45.37—68.50%,粘土级含量为21.13—49.15%,砂级含量为0.85—19.60%。分选中等,频率曲线以双峰曲线型为主,在水动力条件稍强的湾口区有一个较明显主峰,在水动力

条件平静的海域曲线峰型平缓(图3g), 呈很正偏态为主; 而处在水动力稍强的海底地形狭窄处呈很负偏。概率曲线具有跳、悬、悬3段式和跳、跳、悬、悬4段式两种形态, 但两种形态的悬浮组分含量均大于50%, 滚动组分缺失(图4f)。

7. 粉砂质粘土(TY) 位于大亚湾东部、范和港和哑铃湾海域, 也是本区出露面积较大(约占全区面积1/3)的主要类型之一。沉积物中粘土级含量为47.00—62.02%, 粉砂级含量36.87—48.41%, 同时还含少量砂。沉积物分选中等, 频率曲线多呈平缓的不明显双峰或多峰形态, 正偏态(图3f)。概率曲线具有悬、悬两段式, 其中第二组悬浮组分斜率大, 分选性优于第一组, 且含量大(约10%左右), 粒度集中, 说明水动力微弱, 沉积环境平静(图4g)。

二、沉积物粒度参数和环境意义

为了进一步了解沉积物的特征, 以便由沉积物粒度来判别环境, 每个样品都用图解算法中的 ϕ 值的四分位测定法, 求出中值粒径($Md\phi$)、 ϕ 值四分位离差($QD\phi$)、 ϕ 值四分位偏态($SK\phi$)等参数。

(1) 从大亚湾中值粒径 $Md\phi$ 等值线图(图5)看出: $Md\phi$ 等值线基本平行于岸线, $Md\phi$ 值向湾中方向递增; 近岸等值线密集, 梯度大, 向湾中方向梯度递减; $<4\phi$ 的砂质带等值线直逼大亚湾东岸、西岸(大鹏澳)和大辣甲岛周围水深5m以浅的近岸斜坡带, 而7 ϕ 、8 ϕ 等值线占据大亚湾大部分海域。

上述 $Md\phi$ 等值线分布特点, 说明大亚湾沉积物以细颗粒物质为主, 并具有近岸粗、湾中细、湾口稍粗的粗细分布的总格局。反映了大亚湾沉积物主要来源于周边陆域和由岸向海搬运过程, 近岸因受沿岸流、波浪作用比较强烈, 陆源物质在岸边经过反复搬运和分选作用而沉积了与水动力相宜的粗粒物质, 离岸较远的海湾中部随着水深增加和水动力的减弱而沉积细粒物质, 尤其范和港和哑铃湾为中值粒径高值区, 是大亚湾水动力最微弱、沉积环境最稳定海区。

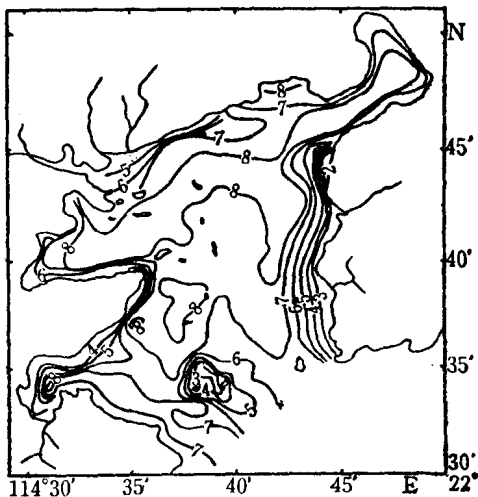


图5 沉积物中值粒径等值线分布

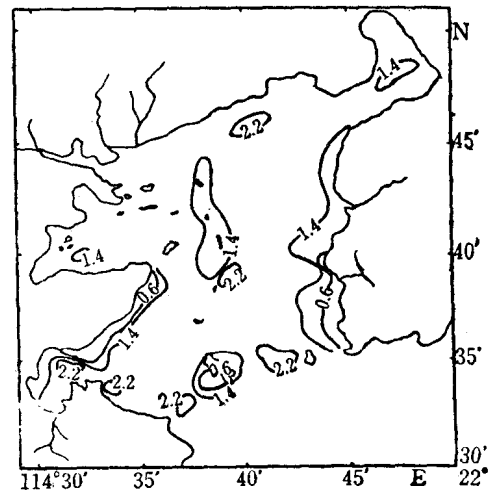


图6 沉积物 $QD\phi$ 等值线分布

(2) ϕ 值四分差指示沉积物粒度分选程度 (>0.6 为分选很好, $0.6-1.4$ 为分选好, $1.4-2.2$ 为分选中等, $2.2-3.0$ 为分选差, >3.0 为分选很差)。从 $QD\phi$ 等值线图 (图 6) 看出: $QD\phi$ 值小于 1.4、以砂粒沉积物为主的大亚湾东侧和大鹏澳西北侧的近岸海域、大辣甲岛西南方海域以及潮间带沙滩, 分选好至很好。 $QD\phi$ 值大于 2.2, 分选差的沉积物, 仅以零星斑状出现在大亚湾和大鹏澳的口部, 以及范和港、埔渔洲等地潮间带泥滩。其余广大海域 $QD\phi$ 值介于 1.4—2.2 之间, 分选皆属中等。沉积物分选程度这种分布特点表明大亚湾水动力条件的强弱和物源的差异。在水动力活跃, 物质来源单一的海域和潮间带, 分选好至很好; 在潮流作用和物质来源呈多向性的湾口区海域, 分选差; 广大海域因水动力和物源均较稳定, 分选中等。

(3) 偏态是量度沉积物频率曲线对称性即粒径平均值与中值相对位置的一个参数 (0.3 为很正偏态, 0.1 为正偏态, 0 为正态, -0.1 为负偏态, -0.3 为很负偏态)。从大亚湾沉积物偏态 $SK\phi$ 等值线图 (图 7) 看出: 除大亚湾东侧和大鹏澳西北侧近岸海域以及潮间带一些分选很好的细砂、中细砂, 其 $SK\phi = 0$ 、频率曲线呈正态分布以外, 其余频率曲线多呈不对称分布, 因偏离方向不同而划分为正偏态和负偏态。大亚湾沉积物频率曲线多呈正偏态, 沉积物以细组分为主, 即细偏, 反映沉积环境比较稳定。频率曲线呈负偏态的主要出现在潮间带沙滩, 如大亚湾东岸、北岸的中细砂、细砂和中粗砂; 其次是大鹏澳口部、大亚湾口部和中央列岛等海域的中粗砂和细砂, 沉积物以粗组分为主, 即粗偏, 反映沉积环境比较活跃。

(4) 从 $QD\phi$ 对 $SK\phi$ 散点图 (图 8) 可看出: 一组分选很好至好的, 接近于正态分布, 偏态值小, 呈窄尖单峰曲线型的沉积物, 它们主要集中在潮间带及近岸处分布; 另一组分选好至中等, 以正偏态值为主且偏态值稍大, 呈宽平双峰曲线型的沉积物, 主要分布在大亚湾东部、哑铃湾和范和港的中心海区; 最后一组为分选中等

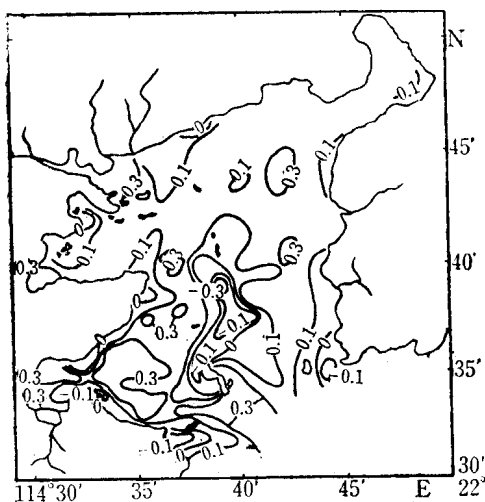


图 7 沉积物偏态 $SK\phi$ 等值线分布

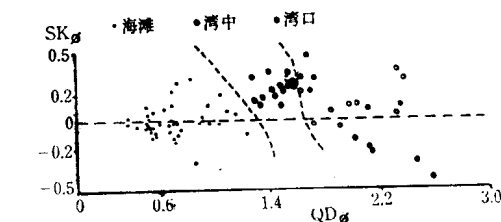


图 8 沉积物 $QD\phi$ 对 $SK\phi$ 散点图

至差, 偏态值变化颇大, 从很正偏至很负偏, 并以峰态多呈不明显双峰或多峰曲线型的沉积物, 主要分布在湾口及海底地形狭窄的海区。

三、结 语

(1) 大亚湾沉积物粒度特征依赖于沉积环境, 并与一定水动力条件相适应。其粒

度特征明显地反映以下环境特点:第一,当概率累积曲线中主体均由两个跳跃组分构成,与波浪和潮流相互作用带曲线类似,累积曲线是竖直的,频率曲线为尖陡单峰形态且多呈对称或近对称或负偏态分布,颗粒较粗,分选性良好时,则反映了它们是在冲刷和双向底流反复作用的结果,应属于水动力因素比较活跃的潮间带及近岸水下斜坡的沉积环境,即潮间带沉积区。第二,当概率累积曲线为双悬浮组分构成,且第二组悬浮组分分选性优于第一组分,累积曲线斜率很缓,频率曲线多呈平缓的不明显双峰,多呈正偏态分布,颗粒较细,分选性中等时,则反映了它们是在潮差小,流速缓慢($2\text{cm/s}^{[1]}$)稳定的半封闭性浅海湾内沉积环境,即湾中沉积区。第三,当概率累积曲线为双跳跃和双悬浮组份构成,累积曲线为斜立式,频率曲线为平缓双峰或多峰,呈很正偏至很负偏态,颗粒粗细不均,分选中等至差时,则反映了物源多向性(可能有部分物质来源于外海),水动力稍强的湾口区过渡性质的沉积环境,即湾口沉积区。

(2)大亚湾海底主要沉积类型为粘土质粉砂和粉砂质粘土。沉积物中有机质含量较高,平均含量达 $1.55\%^{[2]}$,沉积物中所见生物贝壳主要为毛蚶、扇贝、花蛤、牡蛎、花螺和珊瑚等为现代习见的种属,生物活体为海星、海胆、海参、沙蚕、文昌鱼和独脚蟹等³⁾。因此,从沉积物粒度特征、有机质含量、生物组份等来看,都和现代水深、水动力条件相适应,所以它是现代沉积环境产物^[3]。

(3)在大亚湾岸边、小河口附近,由于直接承受着风浪对海岸的冲刷物和诸小河流输入的泥砂,沉积物较粗,为砂砾、粗砂、细砂等。细粒物质在潮流、海流等海洋动力作用下,向海湾中部扩散,这种由岸边向海湾中部沉积物由粗变细的现象既符合沉积物分异规律,又表明沉积物主要来源于近岸陆域。

参 考 文 献

- [1] Visher, G. S., Grain-Size Distributions and Dispositional Processes, *Jour. Sed. Petrology*, 39 (1969), 3, 1074—1106.
- [2] 成都地质学院陕北队编,沉积岩(物)粒度分析及其应用,地质出版社,1976,55—65。
- [3] 陈俊仁,南海北部内陆架表层沉积物沉积环境的讨论,海洋地质与第四纪地质, 3 (1983) 2, 27—35。

1) 李立等,大亚湾的水文与气象,1988。

2) 柯经堂,大亚湾底质中的有机质,1988。

3) 杨宝华等,大亚湾表层沉积物采样记录表,1988。