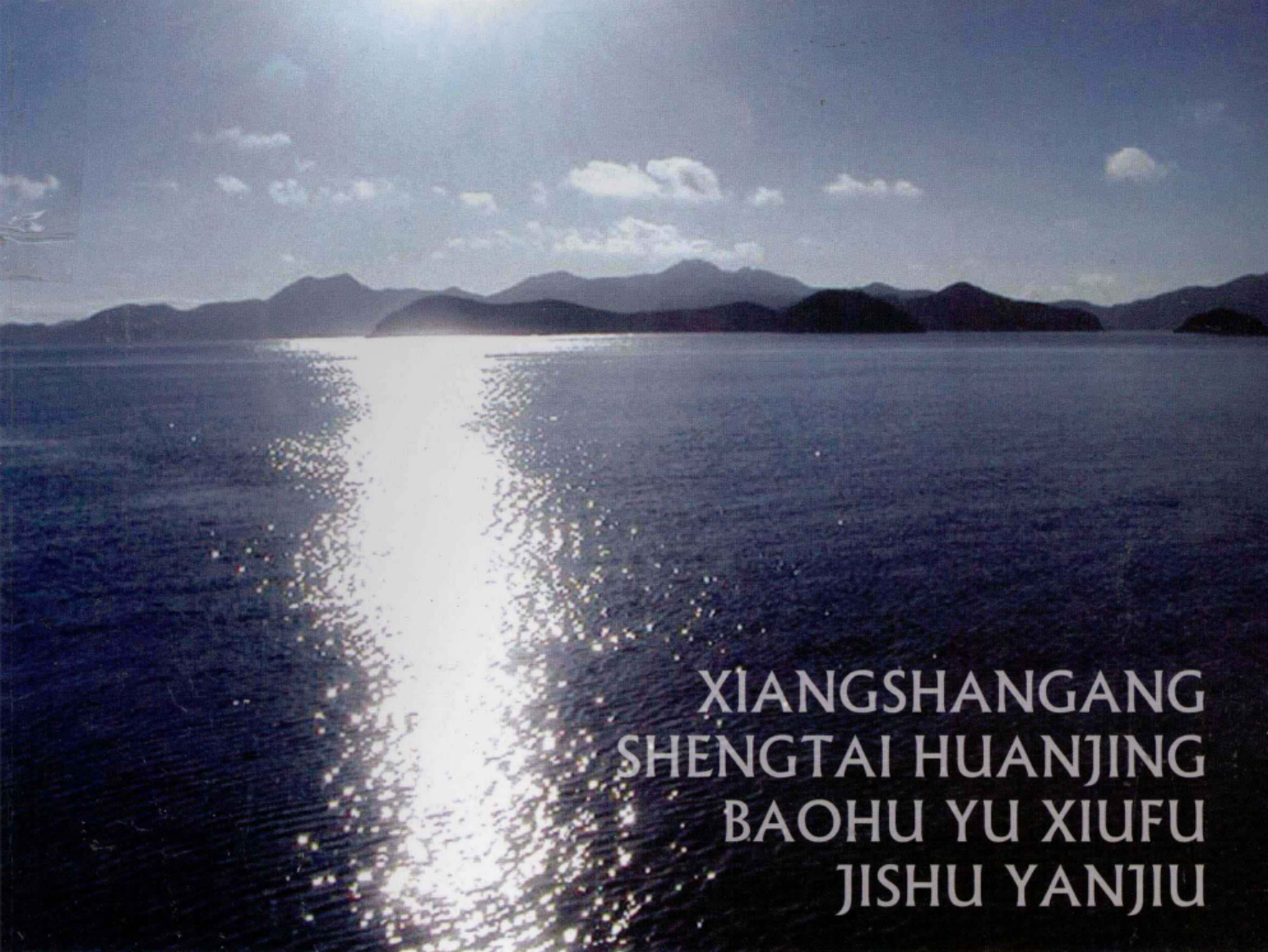




XIANGSHANGANG
SHENGTAI HUANJING
BAOHU YU XIUFU
JISHU YANJIU

象山港生态环境保护与 修复技术研究

尤仲杰 焦海峰 等著



海洋出版社

宁波市自然科学学术著作出版基金资助

象山港生态环境保护与修复技术研究

尤仲杰 焦海峰 等著

海洋出版社

2011·北京

图书在版编目(CIP)数据

象山港生态环境保护与修复技术研究/尤仲杰等著. —北京:海洋出版社,2011.6

ISBN 978-7-5027-8030-2

I. ①象… II. ①尤… III. ①海洋环境:生态环境-环境保护-象山县 IV. ①X321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100570 号

责任编辑:项 翔

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2011年6月第1版 2011年6月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:28.25

字数:710千字 定价:98.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

象山港是宁波市重要的港湾，具有独特的地理区位和资源优势，象山港区域的海洋开发与保护，已列入中国海洋 21 世纪议程行动计划，是宁波市建设海洋经济强市的重要组成部分。2006 年年初，宁波市委、市政府明确提出要把象山港建成我国著名的生态型经济港湾和现代海洋产业基地的奋斗目标，并出台了《象山港区域保护和利用规划纲要》和《象山港区域空间保护和利用规划》，将象山港的功能定位为综合经济发展港湾。随着国华宁海电厂、大唐乌沙山电厂、春晓油气田、象山港大桥等一批能源和基础设施的开工建设以及沿港诸多工业园区的规划建设，包括船舶修造、航运、化工、轻工等行业将相继落户象山港，象山港区域迎来了前所未有的发展机遇，但同时海洋生态环境也将面临极大的压力。象山港是半封闭狭长形海湾，水动力条件较弱，自身的环境容量不大，沿港电厂等临港工业和养殖业的迅猛发展，大量污染物进入象山港海域，已经导致港内环境质量下降，局部出现富营养化，赤潮时有发生，建设项目对港湾生态环境的影响已越来越明显。面对更大规模的开发建设，摆在政府管理部门面前的当务之急是提高对港湾生态系统的认识，加强海洋生态系统管理，有效地决策，保证港湾自然生态系统的健康和资源可持续利用。为此，宁波市科技局、宁波市海洋与渔业局于 2006 年立项“象山港海洋生态环境保护与修复技术研究”项目，通过整合宁波市内现有的海洋研究和监测机构：宁波大学、宁波海洋开发研究院、浙江万里学院、国家海洋局宁波海洋监测中心、象山港海洋环境监测站和宁波市海洋与渔业研究院等 6 家单位联合攻关，对象山港海洋资源和海洋生态环境质量现状进行连续调查与变化趋势分析，重点是沿象山港电厂建设运行后海洋环境的趋势性变化，全面分析和掌握自然环境条件、社会经济结构和海洋产业发展对港湾海洋生态结构和环境质量的影响，避免因海洋开发造成的海洋环境和生态系统的破坏，同时创建港湾生态系统管理和生态修复模式。

项目于 2006 年 7 月开始实施，通过 3 年时间的努力，完成了象山港整个港区周年环境数据资料的收集与分析，主要包括海洋水化学、元素地球化学、海洋微生物、海洋浮游生物、鱼卵仔鱼、底栖生物、潮间带生物、渔业资源等的变化规律。并比对了电厂运行后邻近海域海洋生态环境与主港区的差异，系统地研究了电厂对



海洋生态环境的影响；围垦工程对象山港水动力影响研究；选择了适合象山港养殖的具有生态修复功能的大型藻类，以 powersim 为平台构建了坛紫菜生长模型。先后筛选出海带、坛紫菜等藻类用于综合生态修复，构建了海水池塘养殖和网箱综合养殖修复技术体系，开辟了南沙岛生态养殖示范区一处，在象山港内开辟了具有生态修复功能藻类的养殖区，并得到了示范推广。项目取得了初步成果，为最终建立一套高效的、可操作的生态修复新模式和该海域的资源与环境保护提供了理论基础。

本书汇集了3年来6个研究单位的研究成果，全书由焦海峰粗统稿，尤仲杰最终统稿，文稿难免有不足之处，敬请读者批评指正。

本书适于高等院校、海洋与水产部门、环境保护部门人士参考。

著者

2010年10月

Content 目次

第1章 象山港海域生态环境现状调查与评价方法	(1)
1.1 调查站位布设	(1)
1.2 海洋开发利用调查	(2)
1.3 渔业资源调查与分析	(2)
1.4 电厂运行对海洋环境影响调查与评估	(3)
1.5 水动力环境调查与数值模拟	(3)
1.6 生态修复物种的研究与筛选	(4)
1.7 生态养殖模式的研究与示范	(4)
第2章 海洋生态环境	(6)
2.1 海域概况	(6)
2.2 海域水环境特征	(8)
2.3 象山港水质季节变化特征及评价	(14)
2.4 象山港营养盐污染特征及富营养化影响因子的相关性比较	(17)
2.5 象山港海域沉积物质量现状及潜在生态风险分析	(22)
2.6 多种富营养化评价方法在象山港海域的应用及比较	(27)
第3章 初级生产力	(34)
3.1 象山港海域初级生产力的空间分布	(34)
3.2 电厂温排水对附近海域初级生产力的影响	(36)
3.3 初级生产力的差异	(37)
第4章 海洋微生物	(38)
4.1 象山港海域微生物生态学	(38)
4.2 象山港电厂附近海域微生物生态学	(81)
4.3 国华宁海电厂附近海域菌群多样性分析	(106)
4.4 微生物多样性的 DGGE 分析	(116)
第5章 浮游植物	(125)
5.1 材料与方法	(125)
5.2 结果	(125)
5.3 结论	(132)



第 6 章 浮游动物	(138)
6.1 电厂附近海域浮游动物的群落结构	(138)
6.2 象山港海域浮游桡足类分布及群落结构	(143)
第 7 章 浮性鱼卵和仔鱼	(194)
7.1 调查方法	(195)
7.2 种类鉴定、计数及分析	(195)
7.3 出现频率及丰度的计算	(196)
7.4 种类组成	(196)
7.5 种类组成的季节变动	(197)
7.6 优势种组成及其优势度	(198)
7.7 定性样品中鱼卵和仔鱼的水平分布及出现百分比	(199)
7.8 鱼卵和仔幼鱼数量的季节水平分布与年际变化	(201)
7.9 象山港内鱼卵和仔幼鱼密度的分布特征	(206)
7.10 讨论	(212)
第 8 章 底栖动物	(217)
8.1 海洋大型底栖生物生态学研究进展	(217)
8.2 象山港大型底栖动物生态学	(221)
8.3 象山港大面站位大型底栖动物生物多样性现状	(231)
8.4 象山港大面站位大型底栖动物群落特征	(237)
8.5 象山港大面站位大型底栖动物的功能群	(241)
8.6 铁港春季菲律宾蛤仔苗种区大型底栖生物分布特征	(247)
第 9 章 潮间带生物	(254)
9.1 象山港潮间带生物的种类组成与数量分布	(254)
9.2 象山港潮间带大型底栖动物的群落格局	(263)
9.3 象山港潮间带大型底栖动物的次级生产力	(273)
第 10 章 岛礁经济鱼虾类	(279)
10.1 材料与方法	(279)
10.2 结果与分析	(279)
10.3 讨论	(282)
第 11 章 海洋开发对海洋生态环境的影响	(284)
11.1 海洋开发利用现状	(284)
11.2 围垦工程对象山港水动力的影响	(292)
11.3 电厂运行对海洋生态环境的影响分析	(319)

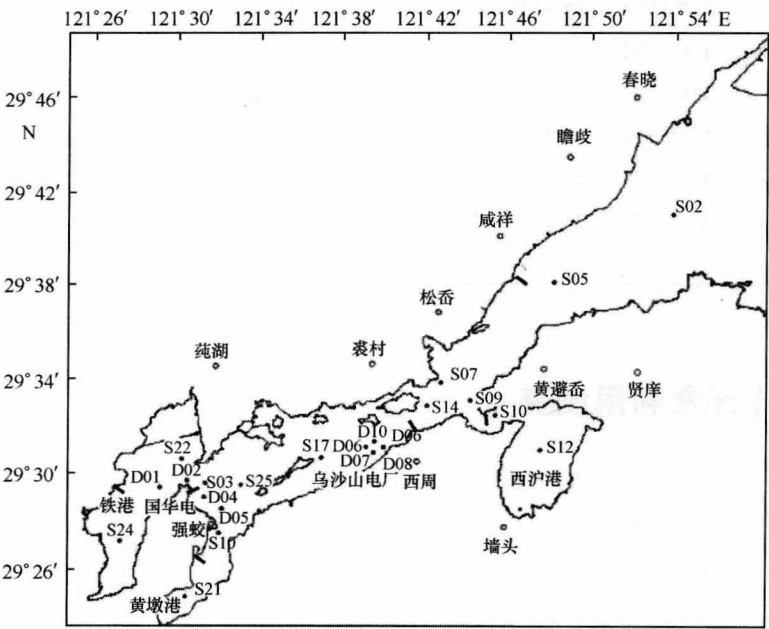
第 12 章 海洋生态修复理论与实践	(359)
12.1 构建经济动物与海藻的复合培养体系研究——以紫菜为例	(359)
12.2 海藻与经济动物复合养殖研究——以紫菜与彩虹明樱蛤为例	(366)
12.3 海洋红藻坛紫菜叶状体的氮营养动力学研究	(371)
12.4 坛紫菜可视化个体生长模型的构建	(376)
12.5 海水围塘生态栽培坛紫菜的技术体系	(384)
12.6 海水养殖围塘中经济海藻栽培试验及其氮磷纠正效应	(386)
12.7 坛紫菜在复合养殖条件下的生长模型	(390)
12.8 生态养殖坛紫菜纠正海水养殖围塘中养殖富营养化的模型	(398)
12.9 海水养殖网箱的生态养殖研究——以紫菜为例	(403)
12.10 象山港海域中定点漂浮物的大型海藻演变	(408)
12.11 海域生态环境修复的大型海藻选择	(413)
12.12 紫菜养殖海域生态环境修复	(419)
12.13 象山港生态环境修复治理探讨	(430)
参考文献	(435)

第 1 章 象山港海域生态环境现状调查与评价方法

1.1 调查站位布设

2006 年 7 月至 2009 年 4 月，每年 1、4、7、11 月分别为春夏秋冬四季共 12 个航次对象山港海域水环境、海域生态环境进行调查、监测与分析。共布设调查站位 23 个，其中大面站 13 个，两家电厂各 5 个站位，监测、调查内容包括水文气象 7 项（水深、水温、透明度、海况、气温、气压、风向风速）、海水水质 17 项（盐度、pH、溶解氧、化学需氧量、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、无机磷、余氯、Chl a、油类、粪大肠菌群、总汞、镉、铅、铜、砷），海洋沉积物、海洋微生物、海洋浮游生物、底栖生物、岛礁鱼类资源等。潮间带生物调查共设断面 6 条，两家电厂温排水影响范围内各 1 条，三个内港各 1 条，大面调查断面 1 条。站位的具体位置和经纬度见图 1.1、表 1.1。

其中，水质环境、浮游生物、微生物和底栖生物调查时间为小潮涨平潮。



注：· 海域调查站位，—潮间带调查站位

图 1.1 象山港海洋生态调查站位布设图

表 1.1 站位及经纬度

站位	经纬度	位置说明
D01	121°29'47.8" 29°29'29.6"	国华宁海电厂附近
D02	121°30'41.1" 29°29'40.6"	国华宁海电厂附近
D03	121°31'14.1" 29°29'38.0"	国华宁海电厂附近



续表

站位	经纬度		位置说明
D04	121°31'12. 2"	29°29'11. 8"	国华宁海电厂附近
D05	121°31'48. 0"	29°28'48. 2"	国华宁海电厂附近
D06	121°39'36. 8"	29°31'5. 9"	大唐乌沙山电厂附近
D07	121°39'46. 4"	29°30'56. 7"	大唐乌沙山电厂附近
D08	121°39'50. 3"	29°31'15. 1"	大唐乌沙山电厂附近
D09	121°39'57. 1"	29°31'2. 5"	大唐乌沙山电厂附近
D10	121°40'26. 3"	29°31'19. 4"	大唐乌沙山电厂附近
S02	121°54'14"	29°40'51"	出海口
S05	121°48'14"	29°38'7"	出海口
S07	121°42'41"	29°33'53"	网箱养殖区附近
S09	121°44'15"	29°33'2"	西沪港与主港交汇处
S10	121°45'25"	29°32'31"	西沪港（周边对虾养殖区）
S12	121°47'18"	29°31'12"	西沪港（周边网箱养殖区）
S14	121°42'14"	29°32'50"	滩涂养殖区附近
S17	121°36'52"	29°30'39"	象山港中部
S19	121°32'0"	29°27'32"	黄墩港与主港交汇处
S21	121°30'22"	29°24'47"	黄墩港顶部，实测 121°30'34. 7" 29°24'56. 6"
S22	121°30'16"	29°30'36"	网箱养殖区附近
S24	121°27'27"	29°26'58"	铁港，实测 121°28'02. 1" 29°27'48. 9"
S25	121°32'01. 3"	29°29'17. 3"	铁港，黄墩港与主港交汇处

1.2 海洋开发利用调查

海洋开发利用调查主要是象山港区域海水养殖现状调查及象山港海域历年来围垦项目调查。海水养殖现状调查实地走访养殖经营户、各乡镇和县（市、区）渔业主管部门，养殖区GPS定位，调查养殖区地理位置、养殖面积和规模、数量、产量、种类，生长周期、养殖效益等。广泛收集包括地方志在内的文献资料，了解象山港围涂历史。象山港围涂始于宋庆历年间（1041年），但是真正的较大规模的围涂还是在新中国成立以后，特别是在20世纪60年代以后，近些年新建、续建的围涂工程相对来说比较大，如奉化红胜海塘续建、鄞州大嵩围涂（瞻岐围垦）、北仑区梅山七姓涂围涂工程、北仑区梅山泄洪区围涂工程和北仑区洋沙山围涂工程，从相关部门收集了这些工程的拐点坐标。

1.3 渔业资源调查与分析

象山港是多种海洋生物繁殖、索饵、生长栖息的优良场所，港内形成各种有经济价值的水产资源集中分布区，以礁屿为洄游生息的鱼虾类资源较为丰富。为保护岛礁鱼类越冬与繁殖，

结合象山港火力电厂的运行,进行了岛礁鱼虾类组成的初步调查。调查海区为白石山—铜山—横山岛周边海域,以地笼网为主要的调查工具,逐日登记产量,每3 d用福尔马林浸泡固定1.0 kg 渔获物,统计渔获物种类、重量、主要经济鱼虾类的组成。

鱼卵和仔、稚、幼鱼阶段是鱼类生命周期中最为脆弱的时期,具有随海流的漂移性和对海洋环境的敏感性,海洋环境因素的细微变化将对其发育、生长直至种群的补充产生强烈的影响,这一阶段其成活率的高低、剩存量的多寡将决定鱼类补充群体资源量的丰歉。对象山港不同海域的23个站位进行了为期3年的鱼卵、仔稚鱼的拖网采样,总结了2007年1月至2009年4月每年四个季度,共10个航次的调查资料,定量分析样品采用浅水I型浮游生物网(口径50 cm、长145 cm、网目孔径0.505 mm)由底层至表层进行垂直拖曳。定性分析样品采用浅水II型浮游生物网(口径31.6 cm、长140 cm、网目孔径0.160 mm),进行表层水平拖网10 min,拖网速度大约为3.0 n mile/h。结合象山港调查的历史资料,对港内鱼卵、仔稚幼鱼的种类组成与数量分布及其动态变化进行了科学的分析,为客观评估热电厂建立后港内的鱼类资源状况提供了可靠的基础数据。

1.4 电厂运行对海洋环境影响调查与评估

电厂在带动社会经济发展的同时,也给周边环境造成了巨大的压力,这已得到了国内外研究者的普遍共识,诸如温升、DO、非离子态氨、余氯以及痕量元素等环境因子的变化及其对生态环境的影响逐渐得到广泛的关注。本研究结果表明,电厂产生的各类胁迫因素对生态资源的影响非常广,从微型生物、浮游生物、大型游泳生物、底栖生物至潮间带生物,其分布数量和栖息密度均在一定范围内产生波动。

通过温排水的热冲击效应实验以及各种水生生物对温度的耐受性,综合验证温排水对水生生物存活及生长的影响。调查了电厂周边海域的水环境、沉积物环境等的变迁规律,并对象山港3年间水环境、沉积物环境状况,评价电厂运行给环境造成的压力程度及范围。从海洋生态学方面(如浮游植物、浮游动物、底栖生物)评述了电厂的开发对生态环境的影响。

以海洋生物指数(AMBI)法对象山港生态系统健康状况评估发现,象山港不同采样站位的AMBI系数略有不同,大面站的AMBI系数变化范围为1.829~4.844,平均值为3.160,大唐乌沙山电厂附近站位的AMBI系数变化范围为1.714~4.344,平均值为2.873,国华宁海电厂附近站位的AMBI系数变化范围为1.488~3.447,平均值为2.443。象山港底栖动物扰动等级均处于轻度扰动和中度扰动之间,底栖动物群落均处于失衡——向污染过渡和被污染状态。

1.5 水动力环境调查与数值模拟

收集了3个航次的潮位、水流、盐度及泥沙等资料,其中包括2002年8—9月航次、2003年11—12月航次和2004年10月航次。浙江海洋908项目涉及象山港水动力和泥沙观测,2006年12月和2007年8月开展了冬季航次。通过分析研究这些现场观测数据,发现其中揭示的规律性基本相似,又因为2003年的资料最为齐全完整,故最终选择其作为模型验证资料。

选用的原始POM模型(普林斯顿海洋模式)采用固定边界,没有使用动边界技术。而象



山港这样具有广阔潮滩和大潮差的区域明显有别于开阔海区而成为依赖潮位变化的复杂系统,对其进行数值模拟时,采用固定边界将无法体现近岸水域露漫滩的影响。因此,借鉴 Burchard 等人 2004 年的工作,首先在 POM 模型中引入一种较为自然的动边界处理技术。此外,还为 POM 模型添加合适的污染物、悬浮泥沙输运等模块,使整个模型系统满足项目研究的需要。我们利用等角投影法生成整个计算区域的正交曲线网格,并根据 1963 年、2003 年和 2010 年象山港岸线和底形资料分别确定网格点水深,水平网格总数为 501 个 $\times$ 151 个,最小网格间距为 89 m。由于沿岸有大小溪流 95 支,且季节性变化强,很难收集全这些径流资料,所以最终没有考虑盐度的影响。针对 2003 年模型,利用 2003 年 11 月得到的水文、泥沙观测资料对其开展了有效验证,达到了模式验证应满足的精度要求。

利用分别针对 1963 年、2003 年和 2010 年岸线与地形建立起来的区域模型,开展了一系列模型试验,并使用得到的模拟计算结果对 1963—2003 年和 1963—2010 年两个时段的总围垦对象山港纳潮量、流场、水交换能力、泥沙运动和潮位的累积影响来评价,得到了一些有益的结论。在实际研究中,考虑上游淡水输入的试验,发现考虑盐度会对计算结果,特别是水交换速度会有些影响,但一定不会对结论产生本质影响。

1.6 生态修复物种的研究与筛选

通过将紫菜叶状体与常见单胞藻、卤虫和桡足类等饵料动物、鱼苗进行复合培养。研究表明紫菜对单胞藻的生长有一定抑制作用,使单胞藻的密度增加较缓慢,而单胞藻对紫菜叶状体的影响较弱。把卤虫加入到高密度的饵料藻中,卤虫的成活率明显降低,其生长受到高密度饵料藻的影响,而紫菜叶状体能够提高卤虫的成活率。把鱼苗加入到经过紫菜叶状体预培养的赤潮异湾藻中,能够提高鱼苗的成活率,表明了紫菜叶状体对有毒藻类的毒性减轻有一定效果。因此,可利用紫菜叶状体来改善培养的环境,改善水质,降低环境的富营养化,构建坛紫菜的复合培养体系。

采用紫菜等经济海藻在海水养殖围塘中进行复合养殖,利用大型藻类对无机氮、磷元素吸收同化的作用进行海水环境的生物修复,以生态修复实现水产养殖可持续发展。经过紫菜养殖,海水养殖围塘中总无机氮的水平从 956.94 $\mu\text{g/L}$ 下降至 108 $\mu\text{g/L}$,总无机磷的水平从 19.96 $\mu\text{g/L}$ 下降至 2 $\mu\text{g/L}$,氨氮、磷酸盐、亚硝基氮、硝基氮的浓度分别比起始水平下降了 84%, 89%, 80%, 95%。水质的氮磷指标可以达到一类海水标准。本研究结果表明,海水养殖围塘等氮磷排放污染源完全可以通过藻类混合养殖的模式加以清除,实现海水养殖围塘的氮磷零排放。

通过大量的相关实验与资料的总结,提出了海洋生态环境修复的大型海藻选择的原则,就可供备选的红藻、褐藻和绿藻的种类进行分析,从社会生态与经济效益等方面归纳了优先列入备选的种类。

1.7 生态养殖模式的研究与示范

海水养殖围塘生态栽培经济海藻(以紫菜为例)的技术,解决在海水养殖围塘能否养殖经

济海藻，如何养殖的问题，形成生态修复的技术规范。根据对海水养殖网箱中海藻、贝类与鱼类的生理生态的试验，海水养殖网箱生态栽培紫菜的方法，并就具体实例进行了实际验证，比较了水环境因子的检测结果，提出了养殖网箱生态修复的技术体系，认为生态修复具有明显的优势。

将大型藻类坛紫菜引入海水围塘进行复合养殖，初步解决了目前浙江沿海海水围塘中水质严重富营养化、养殖动物的健康生长与海水养殖可持续发展等问题，具有十分积极的作用。本书建立了一个虾藻贝复合养殖的生态模型，用于改善养殖过程中富营养化的问题，并将此模型简化以利于实际应用，再将其应用于建立具有可操作性强、适宜于大规模技术推广的海水围塘坛紫菜与经济动物的复合养殖新模式。在此模式下，实现排放海水的“氮磷无负荷”，即排放的水与外部海水的氮磷指标基本上保持一致。

选择了象山港海域定点漂浮物上的大型海藻群落作为研究对象，研究浅海定点漂浮物上的大型海藻群落种类组成的季节差异，各季节群落中均以不同种类的丰富程度，比较在4个季节群落中生物量的变化，不同季节群落的物种优势度序列的差异。

通过连续测量浙江紫菜栽培区在栽培期内水体的N、P浓度以及其他环境指标，与非紫菜栽培区进行比较分析。根据现场的动态观测结果，比较非紫菜栽培区与紫菜栽培区的四项营养盐指标，特别是紫菜栽培区的氨氮与磷酸盐的含量下降情况。观察紫菜的栽培是否能够改善海洋环境，特别是海水中过量的氮、磷生源要素具有显著的生态纠正效应。

(焦海峰、尤仲杰、严小军执笔)

第2章 海洋生态环境

2.1 海域概况

象山港位于我国大陆海岸线的中部，浙江省中部偏北沿海，北纬 $29^{\circ}24' \sim 29^{\circ}48'$ ，东经 $121^{\circ}25' \sim 122^{\circ}03'$ ，是宁波市东南沿海一个半封闭式的深水港湾。象山港沿东北—西南向伸入内陆，跨越北仑、鄞州、奉化、宁海、象山5个县（市、区），港域纵深长约60 km，口门宽度约20 km，港内一般宽度为3~8 km，港中有3个内港，分别为西沪港、黄墩港和铁港，港区总面积563.3 km²，其中海域面积391.76 km²，滩涂面积171.53 km²。港内有大小岛屿59个（2007年无居民海岛调查数据），海岛总面积约10 km²。

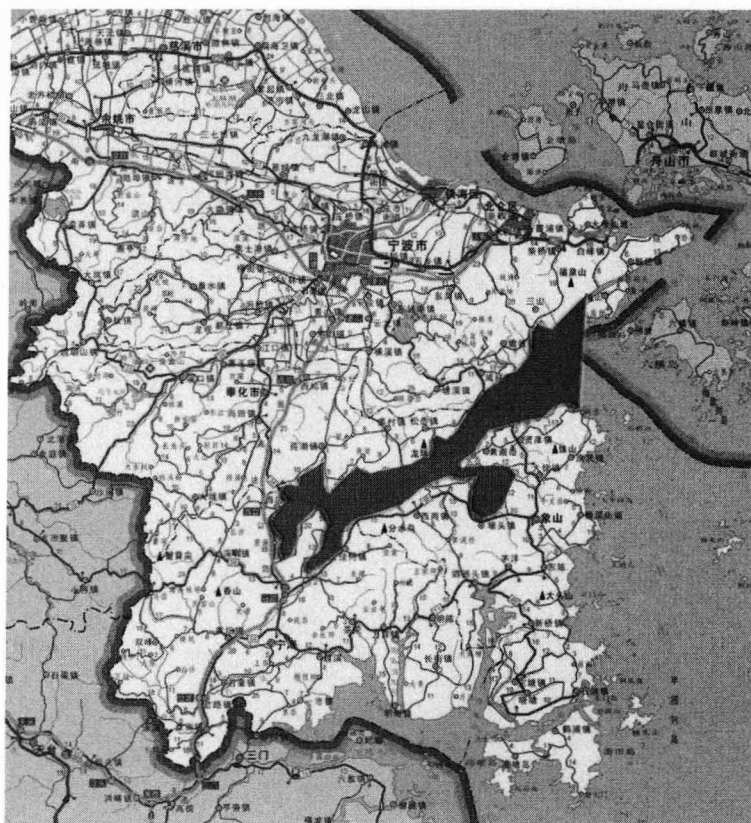


图2.1 象山港位置图

2.1.1 地形地貌

象山港是一个循东北向的向斜断裂谷发育起来的潮汐通道，后被北东向断裂利用和改造成“S”形。象山港三面环山，陆域地形属典型的低山丘陵地区，海岸曲折，沿岸岸滩淤涨缓慢，大小港湾发育，基岩岬角与潮滩相间分布。基岩海岸主要由酸性凝灰岩夹火山岩等组成，由于

受风浪影响较小,这些基岩海岸或岩滩海蚀地貌不发育。淤泥质海岸主要由粉沙质黏土构成,口门段北岸滩涂比较平坦,内湾由于岛屿众多,有较大淤泥滩分布,呈放射状潮沟发育。由于象山港是狭长型港湾,其内湾顶端掩护条件好,水色较清,淤积甚微,沿岸滩涂稳定;在内港和潮流弱的岸段有不同程度的潮滩涂发育;在口门段由于潮流流速小,波浪不大,岸滩涂也较稳定。

象山港表面沉积物以泥质沉积为主,内湾主要为分选好、中等的灰黄色砂质黏土,口门段主要为分选中等的灰黄色黏土质粉砂,水道底部则多为分选差的砂、贝壳砂、粉砂和黏土。

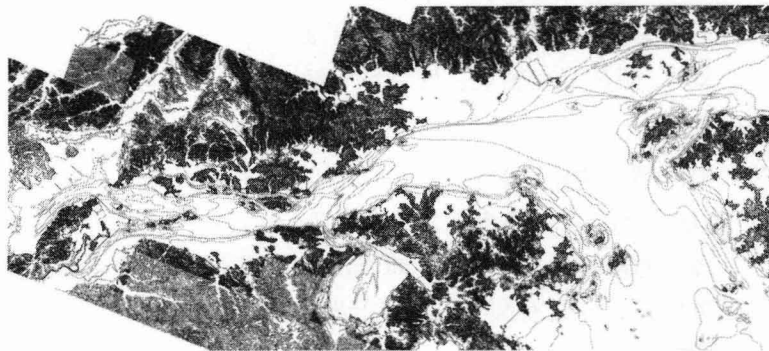


图 2.2 象山港地形图

2.1.2 气候

象山港属欧亚大陆东部的亚热带季风区,暖湿多雨,四季分明,冬夏季风交替显著;年平均气温 $16.2 \sim 17.0^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 38.8°C , 极端最低气温 -7.5°C , 年平均日照 $1\,904 \sim 1\,999\text{ h}$, 年平均降水量 $1\,239 \sim 1\,522\text{ mm}$, 一年中有两个相对干季和湿季, 3—6 月和 9 月为相对湿季, 7—8 月和 10 月至翌年 2 月为相对干季, 年蒸发量 $1\,417 \sim 1\,503\text{ mm}$; 年平均风速 3.8 m/s , 9 月至翌年 3 月以西北和西风为主, 4—8 月以东南和南风为主, 年平均静风出现率 11%; 主要灾害性天气有台风、暴雨、洪涝、高温、干旱、强冷空气以及局部冰雹、龙卷风等。

2.1.3 海洋水文

象山港潮汐属于不正规半日潮,涨潮历时大于落潮历时,落潮流速大于涨潮流速,基本属往复流,平均流速 $0.5 \sim 1\text{ m/s}$, 口门附近平均落潮流速约 1 m/s , 港中、港底只有 $0.5 \sim 0.6\text{ m/s}$ 。港内平均潮差为 $2.7 \sim 3.3\text{ m}$, 大潮平均潮差为 4.1 m , 小潮平均潮差为 2.1 m , 最大潮差可达 5.7 m 以上,属强潮海区。波浪以涌浪为主,年均浪高 0.4 m , 年均周期 4.5 s , 最大周期 13.1 s ; 年最大浪高 1.7 m , 各月平均浪高为 $0.3 \sim 0.5\text{ m}$, 各月最大浪高为 $0.9 \sim 1.7\text{ m}$ 。

象山港海水透明度一般在 1 m 左右,最小 0.1 m , 最大可达 2.8 m , 透明度变化与季节、潮流和风浪等有关,海水平均水温 16.4°C , 8 月最高,平均水温可达 $26.5 \sim 27^{\circ}\text{C}$, 1 月最低平均水温在 $3 \sim 7.2^{\circ}\text{C}$; 海水平均盐度 $21.3 \sim 29.11$ 。

2.1.4 海洋资源

2.1.4.1 海洋渔业资源

象山港自然环境优良,是各种有经济价值的水产资源集中分布区,是名副其实的具有国家



级意义的“大鱼池”，也是浙江乃至全国海水增养殖的重要基地，极具开发潜力。象山港及其附近海域渔业资源种类多、蕴藏量丰富、渔汛期长。主要经济鱼类有鲳鱼、马鲛鱼、鳗鱼等。本区域的潮间带海洋生物资源也很丰富，潮间带平均总生物量达 107 g/m^2 。优势经济种有菲律宾蛤仔、泥螺、彩虹明樱蛤（海瓜子）、四角蛤蜊等，均可作人工养殖或自然增殖种类。此外，海洋藻类资源也比较丰富，如象山港内的紫菜和浒苔（苔条）等。

2.1.4.2 海岛资源

象山港海域 500 m^2 以上无居民岛屿 59 个，岛屿总面积约 10 km^2 。岛屿主要分布于宁海县境内的强蛟镇白石山—中央山—横山一带和奉化市的缸爿山—南沙岛—悬山岛，缸爿山为港内最大岛屿，面积约 3 km^2 。港内岛屿植被良好，环境静谧宜人，具有滨海旅游开发价值。

2.1.4.3 滩涂资源

滩涂资源是象山港区域一项重要的自然资源，自北仑峙头角至钱仓约 270 km 的岸线范围内，共有海涂 171.3 km^2 ，约占宁波市海涂总量 960.7 km^2 的 17.8% ，比较集中地分布在铁港、西沪港、黄墩港内，滩涂宽度一般为 $200 \sim 1000 \text{ m}$ ，坡度在 $8\% \sim 2\%$ 。港内滩涂具有养分含量丰富、气候条件适宜的特点，非常有利于发展水产养殖。

2.1.4.4 旅游资源

象山港自然景观资源和人文景观资源都十分丰富。其自然景观的特点可概括为山清水秀、海岛风光、海产丰富、渔乡风情。由于其独特的地理特征，港内长年风平浪静，潮流流速很小，海水偎依群山间，山光水色相辉映。水质清澈，含沙量低，能见度高，为浙江近陆海域中少见。港内岛屿植被良好，环境静谧宜人，如悬山、凤凰山、横山、白石山、中央山等，均具有特别的旅游开发价值。尤其是横山岛，由于一直受到保护，岛上苍松翠柏，古木参天，意境清凉幽静，是不可多得的海洋生态旅游景点。象山港区域的人文景观同样丰富多彩，强蛟镇的古民居群、尤氏古祠，横山岛南道头的普南禅院和山岙中的镇福庵，历史久远，建筑精致，具有较高的研究和观赏价值。

2.1.4.5 航道、岸线资源

象山港口门宽约为 20 km ，向东北经佛渡水道与舟山及外海海域毗连；主航道中心线长约 60 km ，岸线曲折，深水岸线丰富。港内水深一般为 $10 \sim 20 \text{ m}$ ，中部的湖头渡至大对山段水深达 $20 \sim 50 \text{ m}$ ；港内风平浪静，是各类船舶避风抛锚的理想之地；港区涨潮慢、无淤积、航道宽阔、暗礁少、潮差 5.4 m ，万吨级船舶可不候潮而自由出入。象山港区有深水岸线 28 km ，年吞吐能力接近 1 亿吨（为储备岸线）。

（焦海峰、尤仲杰执笔）

2.2 海域水环境特征

前人曾对象山港进行过相关的调查研究，研究对象多侧重于增养殖区及赤潮监控区，研究方向多集中于海域环境质量分析、营养盐状况分析等。郑云龙等根据 1994—1998 年历史调查资料对象山港赤潮监控区的水质状况作了综合分析，象山港整个港湾水质处于严重富营养化状

态。蔡燕红等对象山港增养殖区 1999—2001 年的养殖环境进行综合评价,养殖区水质营养盐超标严重。但港区内水环境变迁规律的研究却鲜有报道。

本项目综合考虑象山港主港航道区、增养殖区及赤潮监控区,以及电厂对水环境状况的影响,对象山港开展了为期 3 年的综合调查,为象山港生态环境的保护以及合理评价电厂对海域生态环境的影响奠定了理论基础。

2.2.1 海域水化学特征

2.2.1.1 水温

象山港海域水温变动范围为 $6.7 \sim 33.0^{\circ}\text{C}$,最大测值和最小测值分别出现在 200707 航次的港中部和 200801 航次的港顶部。

从季节变化看,象山港海域水温随季节变化显著,冬季水温平均值为 10.2°C ,春季水温平均值为 15.8°C ,夏季水温平均值为 29.8°C ,秋季水温平均值为 18.9°C ,年水温平均值为 18.6°C 。

2.2.1.2 透明度

象山港海域透明度变动范围为 $0.2 \sim 2.0 \text{ m}$,最大测值出现在 200707 航次的港口部,最小测值出现在 200608、200701、200811 航次的港口部,与当时的潮汐运动有关。总体上看,3 年来透明度呈缓慢下降趋势。

2.2.1.3 盐度

象山港海域盐度变动范围为 $14.34 \sim 29.38$,最大测值出现在 200707 航次的港中部,最小测值出现在 200904 航次的港顶部,受黄墩港颜公河入海口陆源径流的影响显著。

盐度随季节变化较为显著。春季盐度平均值为 25.37,夏季为 28.01,秋季为 22.94,冬季为 25.10,年平均值为 25.57。盐度由港口部向港顶部递减的趋势较为明显,港口部平均值为 26.28,港中部为 25.95,港顶部为 24.28。

2.2.1.4 pH

海域 pH 变动范围为 $7.72 \sim 9.00$,最大测值出现在 200901 航次的港顶部,与赤潮暴发有关;最小测值出现在 200608 航次的港顶部,与受到陆源径流影响有关。

pH 由港口部向港顶部递减的趋势较为明显,港口部平均值为 8.10,港中部为 8.05,港顶部为 8.01。

2.2.1.5 DO

海域 DO 变动范围为 $3.20 \sim 10.23 \text{ mg/L}$,最大测值出现在 200904 航次的港中部,最小测值出现在 200608 航次的港口部。

季节变化较为显著,春季 DO 平均值为 7.89 mg/L ,夏季为 5.58 mg/L ,秋季为 7.33 mg/L ,冬季为 8.05 mg/L 。相对而言,夏季较低,冬季较高,春秋居中,这与水温的季节变化有关。

2.2.1.6 COD

海域 COD 变动范围为 $0.13 \sim 4.90 \text{ mg/L}$,最大测值出现在 200901 航次的港顶部,与赤潮暴发有关;最小测值出现在 200701 航次的港中部。象山港海域 COD 随季节变化不明显,空间分布差异也不明显。