

海洋外来有害生物和 病原体防治新技术

白敏冬 张芝涛 薛晓红 著



图书在版编目 (CIP) 数据

海洋外来有害生物和病原体防治新技术/白敏冬, 张芝涛, 薛晓红著. —北京: 海洋出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7344 - 1

I. 海… II. ①白…②张…③薛… III. 海洋生物 - 侵入种 - 防治 - 研究 IV. Q178.53 X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 084810 号

责任编辑: 白 燕 郑 珂

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

北京海洋印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 21.75

字数: 390 千字 定价: 50.00 元

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

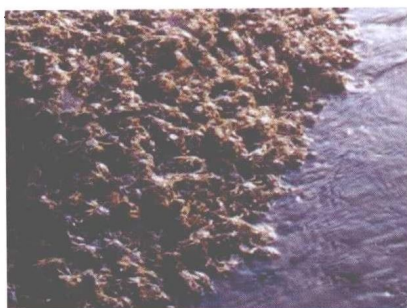
海洋版图书印、装错误可随时退换



彩图1 入侵黑海、地中海的
栉水母 (*Mnemiopsis*属)



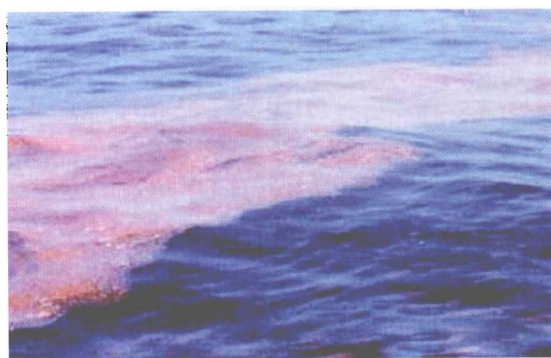
彩图2 欧洲斑马贝入侵北美洲五大湖区
后，又进入城市，阻塞水道滤网



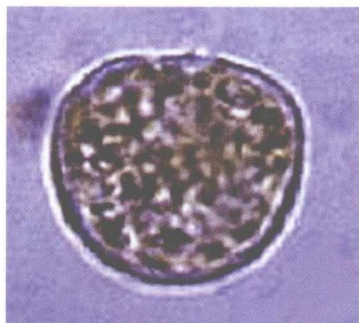
彩图3 中华绒螯蟹大闹英国、
美国海岸



彩图4 入侵南美洲的金贝



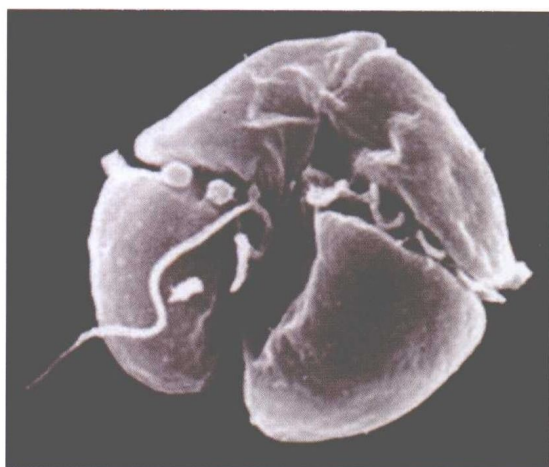
彩图5 2002年5月4日至14日福建霞浦县沿海赤潮



彩图6 微型原甲藻
(*Prococentrum minimum*)



彩图7 链状亚历山大藻
(*Alexandrium catenella*)



彩图8 短裸甲藻 (*Guinardia flaccida*)



彩图9 沙筛贝 (*Mytilopsis sallei*)



A. 50 t/h 压载水处理试验系统总体结构

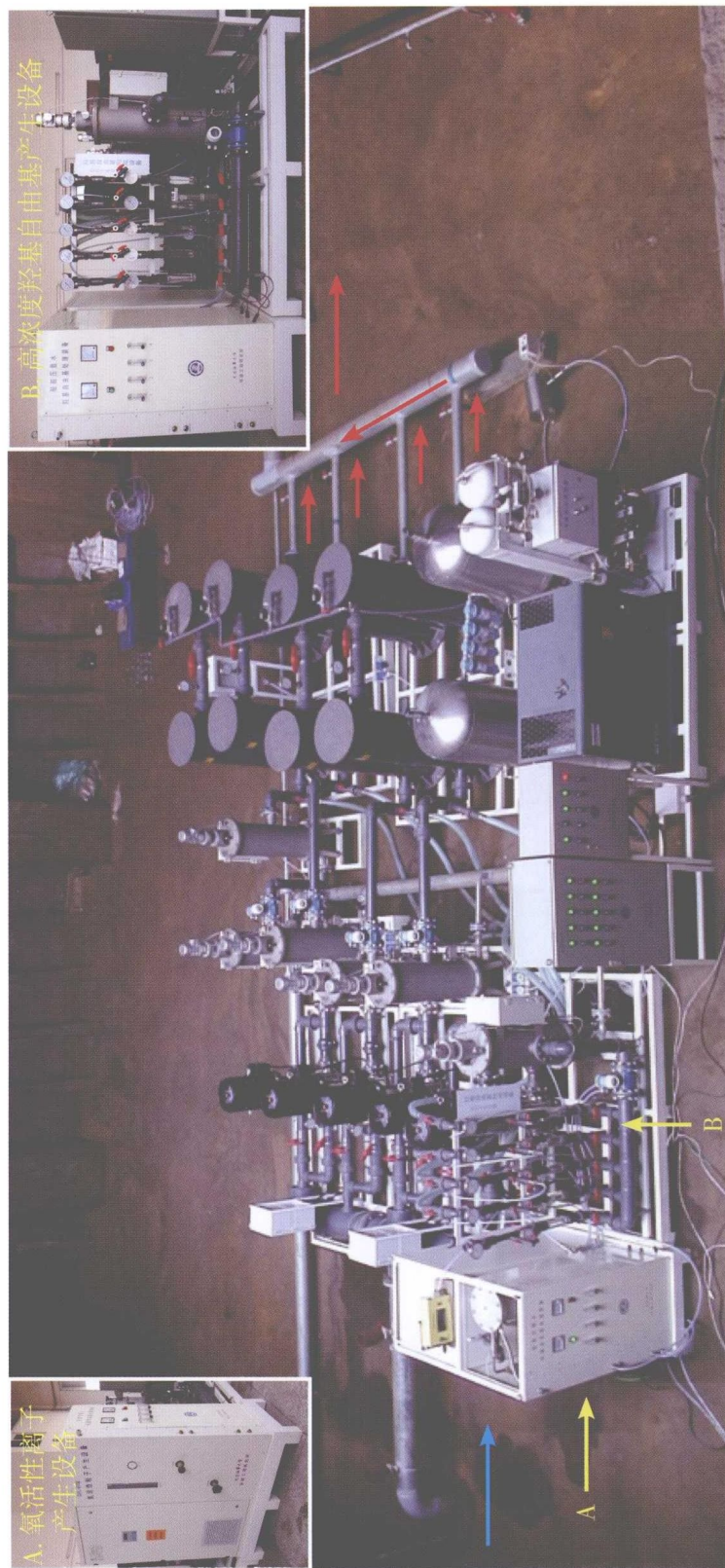


B. 产生及中央控制系统



C. 管路及取样系统

彩图10 实验室 50 t/h 压载水处理试验系统



彩图11 船上处理 250 t/h 船舶压舱水羟基自由基处理系统
(图中蓝色代表压舱水进水方向, 红色代表压舱水处理后出水方向)



彩图12 “育龙号” 船舶



彩图13 装在“育龙号”舱内250 t/h 的压载水全套处理设备



彩图14 在处理系统管路中取样



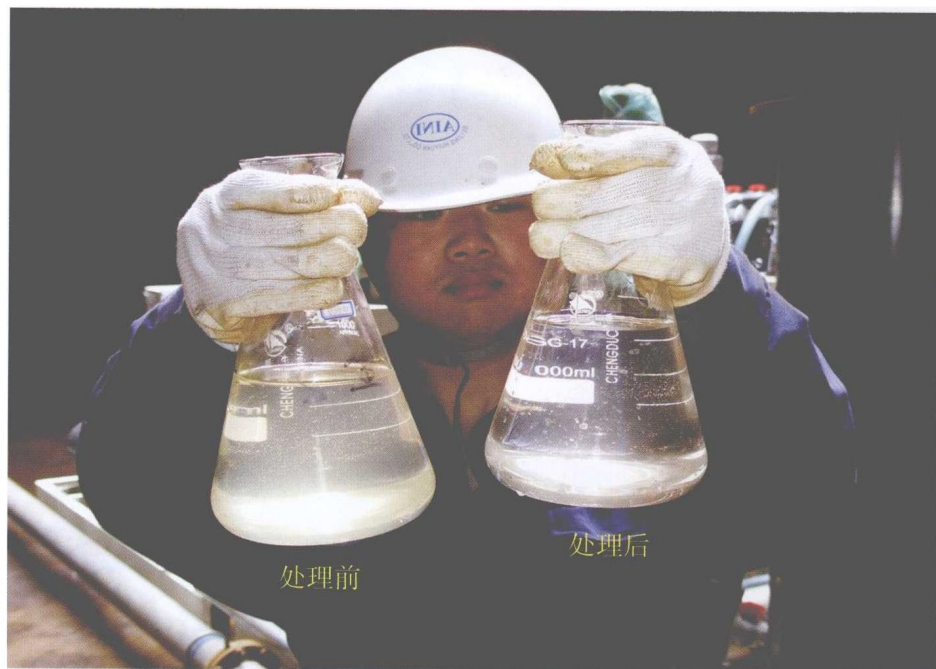
彩图15 在压载水舱中取样



彩图16 现场进行水质分析



彩图17 现场进行浮游生物分析



彩图18 压载水处理前与处理后的对比

前 言

海洋外来生物入侵性传播是海洋生态环境面临的四大威胁之一。海洋外来有害生物和病原体在新的适宜生存环境中的异常繁殖,会对近岸海域的生态系统带来灾难性破坏,甚至导致本地土著物种的灭绝,严重威胁海洋生态系统的安全。船舶压载水的给排过程是造成地理性隔离水体间海洋有害生物和病原体传播的最主要途径,已确认有 500 多种海洋有害生物和病原体是由船舶压载水传播的,给全球经济造成的损失以每年近百亿美元的速度递增。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》将“海洋生态与环境保护”列入“环境”重点领域中的优先主题。2004 年国际海事组织 (IMO) 通过了《船舶压载水和沉积物控制与管理国际公约》(International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments, 以下简称《压载水公约》),制定了严格的压载水 D-2 排放标准: $10\ \mu\text{m} \leq \text{体长} < 50\ \mu\text{m}$ 的海洋生物少于 10 个/mL,大肠杆菌少于 250 cfu/100 mL,肠道球菌少于 100 cfu/100 mL,规定 2010 年后强制执行。因此,如何安全有效治理船舶压载水成为目前国际海洋环境研究中的难点和热点之一。

本书是在总结国家科技支撑计划重点项目“远洋船舶压载水羟基自由基工程化处理技术开发”(2006BAC11B06),国家自然科学基金重点项目“高气压强电场电离气体方法及应用基础研究”(60031001),国际科技合作重点项目“羟基自由基杀灭船舶压载水外来入侵生物的研究”(2005DFA20800),国家重大基础研究前期研究专项“强氧化游离基杀灭海洋有害微生物的基础研究”(2002CCC00900),国家自然科学基金项目“气体电离放电治理外来微生物入侵性传播研究”(60371035)等研究成果的基础上撰写的。其中第一章、第二章由白敏冬、张芝涛撰写,第三章、第四章及附录由杨波、薛晓红撰写,第五章、第六章由薛晓红、杨波撰写,第七章由白敏冬、杨波撰写,第八章由薛晓红、白敏冬撰写,第九章由白敏冬、薛晓红撰写,第十章由白敏冬、张芝涛撰写,第十一章由张芝涛、白敏冬撰写,第十二章由白敏冬、薛晓红撰写,第十三章由张芝涛、杨波撰写;本书的汇总工作是由薛晓红、杨波完成的。本书针对防治海洋外来生物入侵性传播和保护近岸海域生态安全的国家重大需求,遵循国际化学前沿

“绿色化学”的原则，在绿色友好的常温、常压、无催化剂条件下，利用大气压强电场电离放电的物理手段，将 O_2 和 H_2O （电离能：12.5 eV）电离、离解，重新排列组合生成羟基自由基（ $\cdot OH$ ），注入到排放压载水的主管路中杀灭有害水生生物和病原体。杀灭时间不超过 6 s，羟基自由基致死阈值不超过 0.63 mg/L，杀灭效率约为 100%，处理成本为每吨水 3 分钱，处理后的船舶压载水达到《压载水公约》D-2 排放标准，剩余羟基自由基分解成 O_2 、 H_2O ，对港口海域无任何负面环境效应。本书的研究成果攻克了船舶在输送压载水的过程中杀灭外来有害生物的国际性难题，为开拓全球航运市场提供了技术支撑。

本书可供相关学科研究工作者参考，希望本书的出版能对海洋有害生物和病原体入侵性传播灾害的防治有所贡献。本书涉及气体放电物理学、等离子体物理学、海洋生物学、化学等学科的最新理论和技术，是多学科交叉的研究课题，涉及的知识面广，加上撰写人员水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

白敏冬

2010 年 5 月

目次

第一章 概述	(1)
第一节 船舶压载水是造成海洋水生生物入侵的主要途径	(1)
第二节 海洋外来有害水生生物、病原体入侵肆虐各海域	(2)
第三节 我国面临着严重的海洋生物入侵的威胁	(3)
第四节 国际极大关注海洋生物入侵性传播灾害	(4)
第五节 国际治理船舶压载水生物入侵的研究进展	(6)
第六节 我国控制海洋生物入侵的研究现状	(8)
第七节 防治海洋生物入侵的绿色强氧化剂——羟基自由基	(9)
第八节 国际制取羟基自由基的研究现状和发展趋势	(10)
第二章 国际控制和管理压载水有害生物入侵性传播的动态	(12)
第一节 各国控制和管理压载水的研究动态	(12)
第二节 沿海国家组织的控制和管理的动态	(20)
第三节 控制海洋生物入侵性传播研究的国际网络化	(21)
第四节 控制和管理压载水专利情报分析	(22)
第三章 控制和管理压载水的必要性	(30)
第一节 压载水的定义	(31)
第二节 压载水舱的结构	(31)
第三节 控制和管理压载水的必要性和重要性	(32)
第四节 《压载水公约》现状	(35)
第四章 国际控制和管理压载水的方法	(43)
第一节 机械法	(43)
第二节 物理法	(48)
第三节 化学法	(52)

第四节	生物法	(57)
第五节	管理措施方法	(58)
第六节	几个研究案例	(59)
第五章	有害入侵物种及其对生态环境的影响	(78)
第一节	植物	(78)
第二节	动物	(81)
第三节	病原体	(89)
第六章	压载水中微小生物的特征及羟基自由基的生化影响	(91)
第一节	微生物的分类	(91)
第二节	微生物的五大共性	(91)
第三节	单细胞藻类和原生动物	(96)
第四节	羟基自由基致死微生物	(99)
第五节	羟基自由基在生物化学方面的影响	(100)
第七章	生物个体及生化检测方法	(108)
第一节	生物个体的检测方法	(108)
第二节	生物分子的检测方法	(109)
第八章	羟基自由基对水质的影响及检测方法	(117)
第一节	羟基自由基对水质指标的影响	(117)
第二节	水质的检测方法	(119)
第九章	治理压载水的绿色化学	(124)
第一节	世界各国推进绿色化学研究	(125)
第二节	绿色化学原则	(128)
第三节	绿色化学的研究内容	(137)
第四节	绿色化学设计	(142)
第十章	治理压载水的高级氧化技术	(144)
第一节	羟基自由基的高级氧化特性	(144)

第二节	高级氧化技术研究现状·····	(147)
第三节	激励水/高浓度臭氧产生羟基自由基的方法·····	(154)
第四节	气体电离放电产生羟基自由基的方法·····	(160)
第五节	羟基自由基化学反应·····	(167)
第六节	高级氧化设计·····	(168)
第七节	治理压载水的高级氧化设计方案·····	(170)
第十一章	建立强电场电离放电方法及应用·····	(172)
第一节	气体电离放电研究现状·····	(173)
第二节	建立强电场电离放电方法·····	(175)
第三节	等离子体化学·····	(180)
第十二章	羟基自由基处理压载水实验研究·····	(190)
第一节	实验室实验·····	(190)
第二节	模拟试验·····	(225)
第三节	中试试验·····	(234)
第十三章	零污染羟基自由基治理压载水不是梦想·····	(244)
第一节	引起我国政府极大关注·····	(244)
第二节	获得的奖励及知识产权保护·····	(246)
第三节	各大新闻媒体的报道·····	(246)
附录 ·····	·····	(254)
附录一	《压载水公约》·····	(254)
附录二	压载水管理系统认可指南(G8 导则)·····	(278)
附录三	使用活性物质压载水管理系统认可程序(G9 导则)·····	(300)
参考文献 ·····	·····	(311)

第一章 概 述

海洋是生命的重要支持系统，在调节气候变化、提供可再生资源和维持全球生态平衡中起着重要作用。当今人类可持续发展与生存的三大主题，即水资源、食品和气候变化均与海洋环境休戚相关。海岸带是陆海相互作用的过渡带，有着丰富的自然资源，是人类可持续发展的“黄金地带”，又是世界人口最为集中、经济活动最为频繁、对环境产生最大压力的地区。海岸带的生态系统脆弱，对全球变化相应敏感，受环境污染、资源破坏、赤潮灾害频发、外来物种入侵等因素影响，生态安全遭到威胁。加强海洋生态与环境保护技术研究，发展近海海域生态与环境保护、修复及海上突发事件应急处理技术，已被列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要》“环境”重点领域中“海洋生态与环境保护”的优先主题；30 万 t 矿石和原油运输船、万标箱以上集装箱配套装备，被列入《国家“十一五”规划纲要》装备制造业振兴的重点“大型船舶装备”中。

第一节 船舶压载水是造成海洋水生生物入侵的主要途径

外来有害生物入侵性传播造成的灾害，已被全球环境基金组织（GEF）认定为海洋面临的四大威胁之一。2003 年，美国著名的独立海洋专家委员会（Pew Oceans Commission）发布了一份题为“美国海洋生态环境——历数海域变迁”的研究报告，认为最迫切需要解决的问题是生物入侵等原因造成的海岸带生态环境危机。船舶排放的压载水是造成地理性隔离水体间有害生物传播的最主要途径。每年全球船舶携带的压载水约为 100 亿 t，一艘载重为 10 万 t 的货船携带的压载水量可达 5 万 ~ 6 万 t，平均每立方米压载水有浮游动植物 1.1 亿个、细菌 1×10^3 亿个、病毒 1×10^4 亿个，每天全球压载水中携带的生物有 3 000 ~ 4 000 种，仅在一个压载水舱中就有存活腰鞭毛虫胞囊 3 亿个，舱底的沉积物中浮游植物孢子有 22 500 个/cm³。到目前为止，已确认 500 种左右的生物物种是由船舶压载水传播

的。与自然海洋生态环境相比,船舶压载水是一种特殊环境下的生态系统,经压载水驯化并存活生物往往具有极强的生命力和竞争力。它们一旦被释放到自然海洋环境中,可能产生不可控制的“雪崩式”繁殖,对土著物种造成极大的冲击,甚至引起本地物种灭绝,引发一系列生态灾害。事实表明,船舶压载水是导致全球范围内海洋生物多样性破坏的主要原因之一,也是造成有害寄生虫和病原体大面积迅猛传播的重要途径之一。入侵物种给全球经济带来巨大损失,据不完全统计,这种损失每年以近百亿美元的速度递增。

随着我国经济的快速增长和国际贸易的不断发展,各大港口吞吐量直线上升,正在不断加剧海洋入侵生物的传播,使近岸海域的水生生物种群产生严重失衡,威胁我国生物多样性与海洋生态环境,已对我国近岸生物栖息环境造成灾难性的破坏,引起原有生物物种的消失,产生巨大的经济损失。然而,迄今为止,人们对船舶压载水的环境特征和这种特有生态系统的生物类群特征并不了解,外排船舶压载水对近岸海域生态系统的影响过程、胁迫机理更是知之甚少、很难采取有效措施防治外来生物入侵,保证生态安全。因此,研究船舶压载水外来生物入侵的防治措施、生态学机制、环境效应已成为保护海洋生态安全、维持生态系统平衡、促进海洋资源的可持续利用、支持经济快速发展的重大科学命题。

第二节 海洋外来有害水生生物、病原体 入侵肆虐各海域

20 世纪 70 年代北美水母 (comb jelly) 侵入黑海,嗜食浮游生物、鱼卵及鱼苗,给凤尾鱼和鲱鱼养殖业带来了灭顶之灾。1990 年,美国的栉水母 (*Mnemiopsis* 属,彩图 1) 侵入黑海,吞噬了那里大量的浮游生物,致使黑海鱼苗几乎枯竭,不久这种栉水母又入侵了地中海。1999 年有考察报告中证实,栉水母已经入侵到了里海,到 2000 年它的密度达到了 $100 \text{ 个}/\text{m}^3$,破坏了当地的生态系统,并给经济带来了严重的损失,导致里海生态系统的彻底崩溃。目前有 450 种生物物种入侵地中海,其中半数以上是通过压载水传播的。1997 年,澳洲检疫局 (AQIS) 估计超过 172 种生物侵入澳大利亚海域,大部分是通过压载水传播的,仅腰鞭毛虫 (dinoflagellate) 就造成 8 000 万美元的损失,其毒素通过贝类进入人类的食物链,影响人类健康,反过来重挫澳洲近岸水产养殖业。入侵德国海域的外来生物约有 100 种,其中一半以上是通过压载水传播的。自从斑马贝 (zebra