

学校编码: 10384
学号: 21120051302192

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

船舶压舱水中的藻类、水体理化因子
特征研究及意义

Study on the Characteristics and Significance of the Algae,
Physical and Chemical Factors in Ballast Water

祝 跃

指导教师姓名: 李超 副教授

专 业 名 称: 海洋地质学

论文提交时间: 2007 年 7 月

论文答辩时间: 2007 年 7 月

学位授予时间:

答辩委员会主席: 徐茂泉教授

评 阅 人: 杨守业教授

张玉兰教授

2007 年 7 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：祝跃

2008年7月11日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 3 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：祝跃

日期：2008 年 7 月 11 日

导师签名：李超

日期：2008 年 7 月 11 日

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	i
第一章 绪论.....	1
1.1 生物入侵.....	1
1.2 藻类在海洋生态中的重要性.....	2
1.3 船舶压舱水的排放对海洋生态系统的潜在危害.....	4
1.4 压舱水携带藻类的研究进展.....	8
1.5 本研究的意义和内容.....	9
第二章 外来船舶压舱水及其沉积物中生态因子与藻类的检测.....	11
2.1 引言.....	11
2.2 材料与方法.....	14
2.2.1 压舱水采样方法.....	14
2.2.2 采样时间和船舶.....	17
2.2.3 压舱水的采集与现场处理.....	17
2.2.4 实验室处理与鉴定.....	18
2.2.5 藻类鉴定参考书籍.....	19
2.3 压舱水水质结果与分析.....	19
2.3.1 水温.....	19
2.3.2 盐度.....	20
2.3.3 pH 值.....	20
2.3.4 DO 值.....	20
2.3.5 营养盐.....	21
2.4 藻类鉴定结果与分析.....	23
2.4.1 本次调查发现的藻类及丰度.....	23
2.4.2 主要藻类特征描述.....	25
2.4.3 赤潮藻.....	31
2.5 讨论.....	33
2.5.1 压舱水生态因子对藻类生长的影响.....	33
2.5.2 压舱水水龄与藻类关系.....	34
2.5.3 压舱水来源与藻类丰度关系.....	34
2.5.4 表层与底层压舱水中藻类的差别.....	35
2.5.5 压舱水中的有害、有毒赤潮藻类.....	36

2.5.6 小结.....	38
第三章 压舱水的 CDOM 示踪研究.....	39
3.1 有色溶解有机物 (CDOM) 及其示踪意义.....	39
3.2 远洋压舱水交换 (BWE) 验证方法比较.....	40
3.3 实验方法.....	41
3.3.1 样品预处理.....	41
3.3.2 样品光吸收测定及处理.....	41
3.3.3 样品荧光光谱测定.....	42
3.4 结果与讨论.....	44
3.4.1 样品分类.....	44
3.4.2 压舱水 CDOM 吸收分析比较.....	44
3.4.3 样品荧光分析比较.....	45
3.4.4 CDOM 的吸收和荧光的关系.....	48
3.4.5 各交换地样品盐度比较.....	49
3.4.6 结论.....	50
3.5 小结.....	52
第四章 结论.....	54
4.1 主要研究成果.....	54
4.2 本研究的创新点.....	55
4.3 不足之处及有待进一步解决的问题.....	56
参考文献.....	57
附表.....	66
图版.....	83
参加的科研项目及论文.....	87
致谢.....	88

CONTENTS

ABSTRACT	I
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 Invasion of exotic species	1
1.2 Importance of algae in marine ecosystem	2
1.3 Potential hazards of ballast water discharge to the marine ecosystem ..	4
1.4 Study of algae via ballast water	8
1.5 Significance and content of the study	9
CHAPTER 2 Survey of algae and nutrilit in ballast water and sediment	11
2.1 Introduction	11
2.2 Materials and methods	14
2.2.1 Sampling procedure of ballast water.....	14
2.2.2 Ships and time for sampling.....	17
2.2.3 Acquisition and field process of ballast water.....	17
2.2.4 Processing and taxonomy in laboratory.....	18
2.2.5 References for taxonomy.....	19
2.3 Ballast water quality test and results	19
2.3.1 Water Temperature.....	19
2.3.2 Salinity.....	20
2.3.3 pH.....	20
2.3.4 DO.....	20
2.3.5 Nutrients.....	21
2.4 Results and analysis of algal taxonomy	23
2.4.1 Composition and cell density of algae.....	23
2.4.2 Species characteristics of partial algae.....	25
2.4.3 Red tide algae.....	31
2.5 Discussion	33
2.5.1 Ecological factors in ballast water and their effect on Algae growth...33	
2.5.2 Relationship between algae and ballast water age.....	34
2.5.3 Relationship between algae and ballast water origin.....	34
2.5.4 Difference of algae in surface and bottom of ballast water.....	35

2.5.5	Harmful and toxic tide algae in ballast water.....	36
2.5.6	Summary.....	38
CHAPTER 3 Tracer Study of CDOM in ballast water.....		39
3.1	Tracer significance of CDOM.....	39
3.2	Compare with the method verifying of BWE.....	40
3.3	Experimental methods.....	41
3.3.1	Sample pretreatment.....	41
3.3.2	Optical absorption determination.....	41
3.3.3	Fluorescence spectrometry.....	42
3.4	Results and discussion.....	44
3.4.1	Sample classification.....	44
3.4.2	Analysis and Comparison of CDOM.....	44
3.4.3	Compare with Fluorescence spectrometry.....	45
3.4.4	Relationship between CDOM and Fluorescence.....	48
3.4.5	Compare with Salinity of ballast water from different origin.....	49
3.4.6	Conclusion.....	50
3.5	Summary.....	52
CHAPTER 4 Conclusion.....		54
4.1	Main research results.....	54
4.2	Innovative points of the study.....	55
4.3	Problems to be further studied.....	56
Reference.....		57
Appendix.....		66
Plates.....		83
Published papers.....		87
Acknowledgements.....		88

摘要

由船舶排放的压舱水所造成的地理性隔离水体间外来有害生物的传播, 已经被世界环境基金会认为是海洋面临的四大威胁之一。本论文通过分析压舱水生态因子; 检测压舱水及其沉积物中浮游植物属种组成、丰度特征, 并与我国近岸海域种群进行对比; 结合国内外研究成果, 探讨浮游植物通过压舱水传播的可能及潜在危害。同时探讨利用 CDOM 的光学特性识别压舱水来源的可行性, 旨在为压舱水检测提供技术支持和理论依据。主要研究结果如下:

1、对比了压舱水及其沉积物的采样方法, 选取使用船舶压舱水和沉积物采集器(专利号: 200510075601.X)采样; 自 2007 年 10 月至 2008 年 4 月共采集进入厦门港的 9 艘国际船舶的 27 个水舱, 共计 30 个水样。

2、测定压舱水各主要生态因子, 并与厦门港区海水比较, 结果表明压舱水的主要生态因子: 温度、盐度、pH 值、DO、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 以及 PO_4^{3-} -P 的数值变化很大, 但均在正常海水的生态因子变化范围之内, 浮游植物依然有存活的可能。

3、通过对 9 艘船舶的 27 个水舱的样品的分析鉴定, 共发现甲藻及孢囊 7 属 9 种: *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech**、*Dinophysis acuminata* Claparede et Lechmann**、*Gonyaulax verior* Sournia*、*Gymnodinium catenatum* Graham**、*Prorocentrum micans* Ehrenberg*、*Prorocentrum* sp.、*Protoperidinium conicum* (Gran) Balech、*Protoperidinium* sp.、*Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich*; 其中 3 种有毒种: *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech**、*Dinophysis acuminata* Claparede et Lechmann**、*Gymnodinium catenatum* Graham**, 3 种有害赤潮种: *Gonyaulax verior* Sournia*、*Prorocentrum micans* Ehrenberg*、*Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich*; 硅藻 37 属 117 种(包括变种和一种休眠孢子)和未定种 48 种, 其中赤潮种 17 属 28 种, 其中新发现的 *Neodelphineis pelagica* 在中国海区还未发现过。

4、研究了样品中有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光光谱特征, 对各压舱水样的 CDOM 进行光吸收测定, 通过非线性回归拟合吸收系数 $a(280)$ 和光谱斜率 S 值。同时, 分析不同航线船舶压舱水的 CDOM 三维荧光光谱

(EMMs) 特征, 结合其他指标 (如盐度等), 综合判断压舱水的交换是否符合国际公约的远洋交换 (BWE) 之规定。

关键词: 压舱水; 外来生物; 藻类; 生态因子; 有色溶解有机物

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

The harmful species isolated in different geographical zone can spread to other sea areas by the ballast water discharged from the international ships have been considered as the one of the four most serious threats by the World Environment Foundation. Ecological factors of ballast water are analysed and the species diversity and the abundance characteristics of phytoplankton from the ballast water and sediment are investigated. These results are compared with those of China sea areas in shore. Combining with the latest research progresses in this field, the potential danger and the possibility of the exotic phytoplankton spread through ballast water are discussed in the paper. What is more, the feasibility of identifying the source of ballast water using CDOM absorption and fluorescence characteristics are also explored, which can provide one technique support method and theory foundation for ballast water source identification. The major results were as follows:

1, Comparing the current sampling methods of ballast water and sediment, we select a new ballast water and sediment sampler (Patent NO. 200510075601.X) to collect thirty ballast water samples from twenty-seven ballasts of nine international ships during the period of October, 2007 to April, 2008.

2, The ecological factors of these ballast water samples are tested, which is compared with those of Xiamen Harbor sea water. The results show that the numerical value of major ecological factors, including water temperature, salinity, pH, DO, NO_3^- -N, NH_4^+ -N and PO_4^{3-} -P have great variable range, but are still in the range of ecological factors of normal sea water.

3, Seven genera of dinoflagellate and cysts including three toxic species and three harmful red tide causative species were identified: *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech**、*Dinophysis acuminata* Claparede et Lechmann**、*Gonyaulax verior* Sournia*、*Gymnodinium catenatum* Graham**、*Prorocentrum micans* Ehrenberg*、*Prorocentrum* sp.、*Protoperidinium conicum* (Gran) Balech、*Protoperidinium* sp.、*Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich*. 117 diatom species

including variable speices and cysts belonging to 37 genera were identified and 48 unidentified diatom species were observed. Among the diatom species,28 speices belonging to 17 genera are the red tide species. It is worth to be noticed that *Neodelphineis pelagica* is firstly recorded in China sea area.

4, We have studied the Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) characteristic of the ballast water samples. Use the CDOM tracing method: analysis light absorption of the sample's CDOM from various ballast tanks water, fit absorption coefficient $a(280)$ and spectrum slope S value through misalignmen return. At the same time, the analysis CDOM's three dimensional fluorescence spectrum (EMMs) characteristics from different route ships' ballast, unifies other targets (for example salinity and so on), could judge ballast water exchange ment (BWE) whether or not do conform to the international convention open sea exchange articles.

Key words: ballast water; exotic species; algae; ecological factors; CDOM

第一章 绪论

1.1 生物入侵

在生物自然演化过程中,由于河流、山脉、海洋和沙漠这些天然屏障的阻隔,不同的生物往往仅局限于一定的区域内生息演化。然而,近几百年来,随着航海、航天工具的使用,全球性贸易、境外旅游等活动的日益加强,越来越多的生物可以借助于人类的活动而跨越原来的天然屏障,远涉重洋到达新的栖息地,繁衍扩散,形成生物入侵。生物入侵所带来的巨大经济损失以及对生态系统的稳定性和物种生存的自然平衡所造成的破坏和长期的威胁,是越来越引起政界、学术界和社会公众所关注的生态学问题,甚至被认为是 21 世纪一个最主要的环境问题之一^[1]。外来生物入侵不仅动摇农业基础、削弱粮食安全,而且破坏生态环境、威胁人类健康,甚至引发社会恐慌与人类灾难;同时,生物入侵还是造成物种灭绝,破坏生物多样性的重要原因之一。2006 年 3 月,联合国《生物多样性公约》组织发表报告说,全球因生物入侵造成的经济损失高达数千亿美元。

关于生物入侵(biological invasion)的定义,学术界仍然存在争议,没有形成统一的认识。早在 1958 年,Elton(1958)^[2]认为生物入侵是指“某种生物从原来的分布区域扩展到一个新的、通常也是遥远的地区,在新的区域里,其后代可以繁殖、扩散并维持下去”。而英国当代研究生物入侵的权威Williamson^[3]则认为生物入侵是指“生物物种进入一个进化史上从未分布过的新地区,不考虑以后该种是否永远定居”。王伯荪等则认为入侵的本质在于对经济、环境、社会和人类健康产生的危害,所以生物入侵是指外来种在某地区定居、繁衍、扩散,并造成危害^[4]。虽然仍没有统一权威的定义,但在实践中生物入侵一般是指物种进入到其自然分布及扩散潜力以外的区域中存活、繁衍、扩散,并对当地的经济、环境、人类健康造成损失或危害的现象。

外来种(exotic species, alien species)或称非本地种(non-native species)、非土著种(non-indigenous species),依照世界自然保护联盟(IVCN)物种生存委员会(SSC)2000 年给予的定义,指那些出现在其过去或现在的自然分布范围及扩散潜力以外(以在其自然分布范围以外,或在没有直接或间接引入,或人类照顾之下而不能存在)的物种、亚种或以下分类单元^[5]。入侵种(invasive species)或称外来入侵种(exotic/alien invasive species),被 1999 年 2 月美国白宫发表的总统令定

义为“已引起或很可能引起对经济、环境和人类健康产生危害的外来种”^[6]。

我国外来物种入侵的情况已经十分严重。由于地域辽阔,气候、地理类型多样,来自世界各地的大多数外来物种都可能在我国找到合适的栖息地。据农业部最新统计,目前,入侵我国的外来物种多达 400 多种,在国际自然保护联盟公布的全球 100 种最具威胁的外来生物中,我国有 50 余种。给我国造成的经济损失每年为 1198.76 亿元,占国内生产总值的 1.36%。近 10 年来,新入侵我国的外来有害生物至少有 20 余种,平均每年递增 1~2 种^[7]。国家环保总局公布的信息显示,我国部分危害严重的外来物种包括:紫茎泽兰、薇甘菊、空心莲子草、豚草、毒麦、互花米草、飞机草、凤眼莲、蔗扁蛾、湿地松粉蚧、美国白蛾、非洲大蜗牛、福寿螺和牛蛙等。

例如:1901 年,凤眼莲,俗称水葫芦,从原产地南美洲引入中国,被人们栽在水池里观赏,和人们相安无事。上世纪 50 年代,它被作为优良的青饲料,在全国推广种植,迅速扩散到珠江流域、长江三角洲水网和云南滇池等地滋生繁衍。凤眼莲很快就成为入侵地的优势水生植物,泛滥成灾:它的茂密植株遮蔽了阳光,夺去了水中的养分和氧气,使许多原生物种消亡,它的疯长还阻塞了河流航道。目前,我国每年用于治理凤眼莲灾害的直接费用都在 5 亿元以上,仅上海市一年就要从水体中打捞出 80 万吨水葫芦^[8],间接经济损失无法估量。

福建是我国海岸线最长的省份,由于水产业发达而被称为“蓝色宝库”。从上世纪 60 年代起,出于防浪护堤、保护滩涂的考虑,福建开始从国外引种互花米草,并于 80 年代推广。但是,恣意生长的互花米草,如今已“霸占”福建省约 2/3 的海滩,极大地破坏了生态环境^[9]。

近年来,生态系统灾害频繁爆发,对农林生产造成严重损害。松材线虫、湿地松粉蚧、美国白蛾等林业入侵害虫严重发生,危害面积每年达 150 万 hm^2 ;稻水象甲、非洲大蜗牛、美洲斑潜蝇等农业入侵害虫每年超过 140 万 hm^2 ;豚草、飞机草、水葫芦、大米草等肆意蔓延,已到难以控制的局面。

鉴于生物入侵的严重性,为更好的控制生物入侵,应对其入侵途径、扩散机制做深入细致的研究。

1.2 藻类在海洋生态中的重要性

海洋浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者,因为能够直接从海

水中吸取营养元素，利用光合作用，自己制造有机物，参与海水中C、N、P等元素的循环。浮游植物也是海洋生物资源的重要组成部分，具有种类多、数量大、繁殖快等特点，在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着极其重要的作用。它们的盛衰直接或间接的影响着整个海洋生态系的生产力，因此，海洋浮游植物与渔业资源、水产养殖、环保、地质等密切相关^[10]。

海洋浮游植物主要包括：原核细胞型生物的细菌和蓝藻；真核生物的单细胞藻类，如硅藻、甲藻、绿藻、金藻、黄藻等。本文主要探讨硅藻和甲藻。海洋硅藻是近海海洋浮游植物的主要类群，数量和种类都可以占90%以上，它们是近海初级生产力的主要贡献者，是浮游动物的主要食物来源，它们的丰欠决定着近海初级生产力的大小，并通过食物链最终影响着渔业产量，因此，硅藻在近海生态系统中具有非常重要的地位。甲藻也是海洋浮游植物的重要组成部分之一，一般而言，热带海洋甲藻种类多，寒带种类少，但数量后者较大。外海种类大多为裸体的甲藻，而沿岸种类多为具有甲板组成的外壳^[10]。硅藻和甲藻都是主要的赤潮生物门类。

赤潮(Red Tide)是指一些海洋微藻、原生动物或细菌等在适当的海洋环境下大量繁殖，并危害到人体健康或海洋生态环境的事件。由于一般称藻类大量繁殖的现象为藻华(Algal Bloom)，因此科学界称赤潮为有害藻华(Harmful Algal Blooms)，或简称为HABs^[11]，也有称为有害赤潮(Harmful Red Tide)^[12、13]。

赤潮的危害形式主要有三种：(1)有些赤潮藻能产生毒素，贝类和鱼类进食赤潮藻后毒素在体内累积，人食用时中毒，严重的能导致死亡；(2)有些赤潮藻的毒素对人类生命不构成威胁，但却危害鱼类等海洋生物；(3)有些赤潮藻虽然不产生毒素，但过度繁殖，对鱼鳃造成堵塞或机械损伤，还会由于赤潮藻死亡腐烂时大量耗氧而使海洋生物窒息死亡。第三种情况往往伴有泡沫和浮垢，有的为红褐色，因此称为赤潮。以上三种危害往往可能同时发生，它们使得海洋生物的生存环境遭到破坏，海洋生态系统失衡恶化，渔业资源和海产养殖业受损，并威胁滨海旅游业和人民的生命安全^[14]。

海洋浮游微藻是引发赤潮的主要生物，在4000多种海洋浮游微藻中已知有260多种可形成赤潮，其中有70多种可产生毒素。分布于中国沿海的赤潮生物有148种(其中43种曾引发过赤潮)，分别隶属甲藻20个属70个种，硅藻22个

属 65 个种，蓝藻 2 种，金藻 4 种，针胞藻 3 种，绿色鞭毛藻 2 种，隐藻和原生动物各 1 种^[15-17]。另外，在我国沿海已发现了 20 多种赤潮生物的孢囊。

近年来，赤潮的频度、强度和地理分布面积都在增加。20 世纪 70 年代亚历山大藻 (*Alexandrium catenella* 及 *A. tamarense*) 仅在欧洲、北美及日本的温带海域出现，但在 90 年代就扩展到了南半球。链状裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*) 以前只在美国加利福尼亚有记载，目前已传到中国、日本及西班牙等地，并在西班牙东北海域发生赤潮。以前只在东南亚海域中发生的马哈马梨甲藻 (*Pyrodinium bahamehse*)，1987 年在危地马拉发生赤潮，并造成因误食含有此种毒藻的贝类而致 26 人死亡的事件^[18]。

近年来我国赤潮的出现越来越频繁，1990~1999 年，我国近海累计发现赤潮 200 余起，平均每年 20 起 (图 1-1)。2000 年发生赤潮 29 起；2001 年达 77 起，且范围显著扩大；2002 年发现 79 起；2003 年 119 起；2004 年 96 起；2005 年 82 起，但有毒藻类引发赤潮次数增多，面积大幅增加；2006 年 93 起；2007 年 82 起^[9, 18-24]。

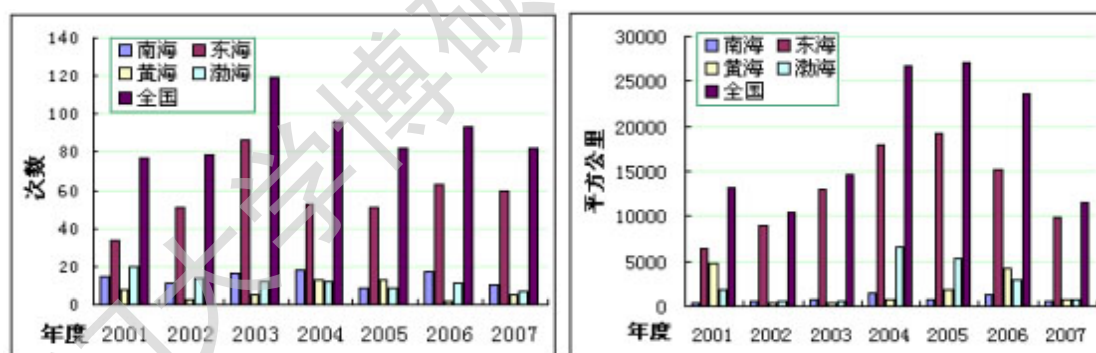


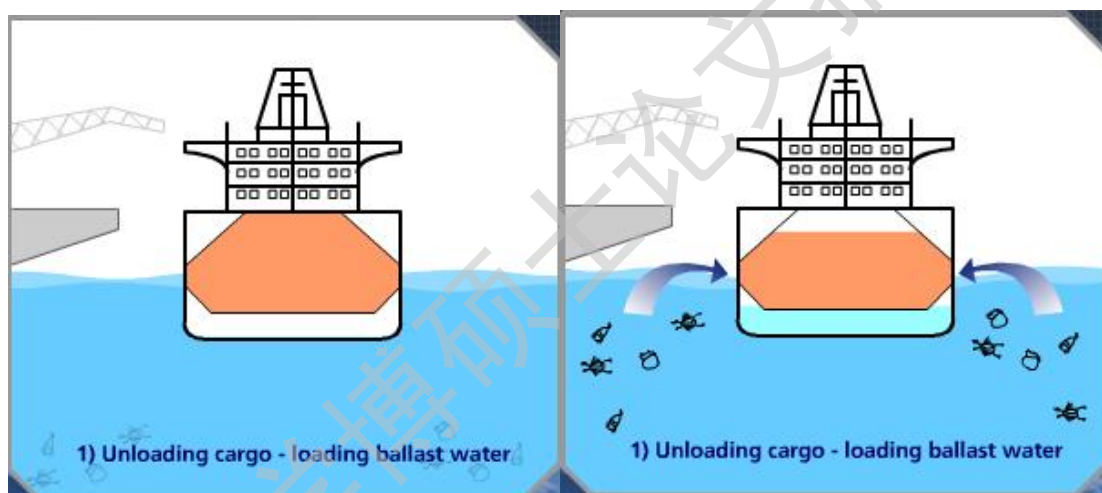
图 1-1 2001~2007 全国赤潮发生次数及面积^[9]

1.3 船舶压舱水的排放对海洋生态系统的潜在危害

船舶运输是全球物流链中的重要一环，国际贸易中的货物 80% 以上是经过船舶转运的。据国际海事组织(IMO)提供的数据,截至 2004 年底,全世界商船数量达到 46 000 艘,货物年运量达到 67.6 亿吨^[25]。

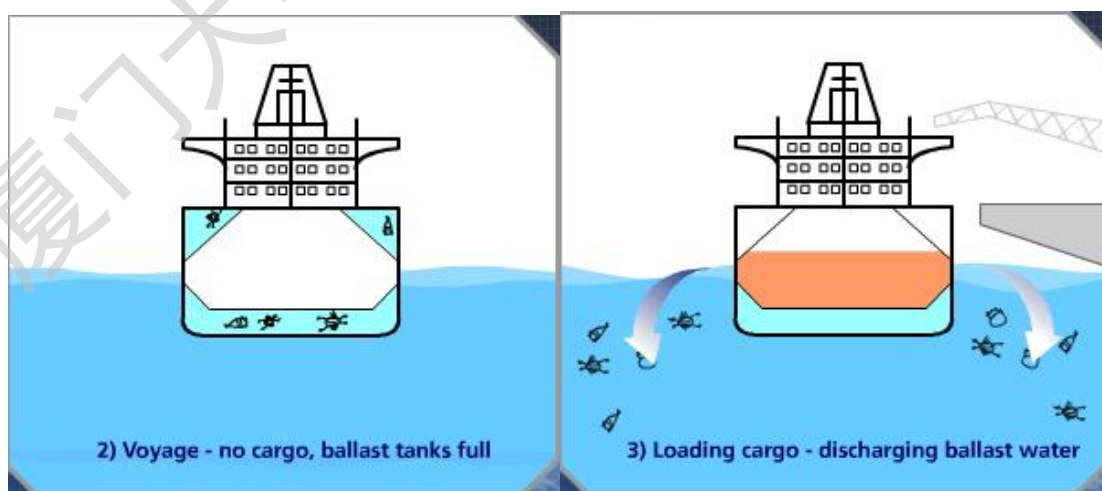
船舶压舱水也称压载水(ballast water)，是指船舶为稳定重心，提高发动机效率，使船舶处于适航状态，在船舶压舱水舱或空货舱注入的适量水体及其悬浮

物质。船舶根据需要,对全船各压载舱或空货舱注入或排出压舱水,以达到调整船舶的吃水和船体纵、横向的平稳及安全的稳心高度、减少船体变形、降低船体振动、改善空舱适航性等目的^[26-28]。压舱水沉积物系指从船舶压舱水中沉淀的物质^[27]。压舱水的来源一般是港口、河流或海洋。在不同航行条件下压舱水质量一般占船舶最大排水量的 30%~60%之间^[28]。人类社会长期航海历史中使用的是木质船舶,航运中一旦需要压舱,通常因地制宜地使用石块、泥沙和货物等等。后来随着蒸汽机的发明使用,钢材取代木材,船舶载重量不断变大,航速越来越快,自 19 世纪 80 年代开始普遍使用水作为压载物至今,压舱水已成为现代航运中船只装卸货物与航行过程中稳定与平衡的基本安全保证^[25]。



(1) 船舶满载

(2) 卸货、加载压舱水



2) Voyage - no cargo, ballast tanks full

3) Loading cargo - discharging ballast water

(3) 船舶空载

(4) 装货、排出压舱水

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库