

文章编号:1002-3682(2001)03-0047-07

# 船舶压载水中有害生物的管理与控制

李迪阳<sup>1</sup>, 姜仕倩<sup>1</sup>, 王俊英<sup>2</sup>

(1. 青岛远洋船员学院, 山东 青岛 266071)

(2. 青岛市崂山区环境保护局, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 对由压载水引起的外来生物污染问题进行了较详细的分析。介绍了目前已经应用或正处于研究中的各种对压载水处理方法, 探讨了其优越性及发展前景。

**关键词:** 船舶压载水; 有害生物; 置换; 加热; IMO

**中图分类号:** X55      **文献标识码:** A

## 1 前言

航运业是世界贸易的重要组成部分, 运送着全球 90% 以上的货物量。而压载操作是船舶空载和低负载航行时必须进行的, 是船舶安全航行的必备条件。自 19 世纪 80 年代以来, 开始普遍使用水作为压载物。船舶压载水的作用是对全船压载舱进行注入和排出, 以调整船舶吃水和稳性, 减少船体变形, 减少船体阻力, 降低船体振动, 改善空舱的适航性等。另外, 由于恶劣天气, 船舶可能要向某些压载舱加装压载水; 或由于燃料和淡水的消耗, 也要加装压载水以保证船舶稳性, 所以压载水的使用是船舶安全航行的必备条件。随着航运业的发展, 船舶越造越大, 随之转移的压载水的数量也急剧增加。由于船舶载有的压载水可能来自不同的地点, 它会不可避免地将外来生物带至被排出的水域, 这些外来生物对当地的生态环境已经或正在造成危害, 而且越来越严重。这对当地的生态环境和海洋食物链等的消极影响是短时间内无法消除的。远洋船舶因航线覆盖很大的区域和距离, 其压载水在散播外来生物方面扮演着重要的角色<sup>[1]</sup>。如: 欧洲斑马贝被引进至北美大湖, 造成贝壳疯长, 布满当地水下建筑和管道, 为控制污染和清除这些贝

收稿日期: 2001-08-30

作者简介: 李迪阳(1972-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事船舶防污染方面研究。

壳,美国政府已经花费了数十亿美元;对甲壳类动物有毒的东南亚鞭毛虫 *Gymnodinium* 和 *Alexandrium* 随船舶压载水一起被泵入到澳大利亚水域,严重危害了当地的甲壳类动物养殖业。政府已花费了巨大代价来弥补由它们造成的损失。但这对生态方面和当地食物链等的消极影响却是短时间内无法消除的。

现在人们已经认识到了问题的严重性,在国际海事组织(IMO)的主持下,一些发达国家已经开始着手研究船舶压载水在外来有害生物引进的过程中所产生的负面作用。IMO也已经为防止因压载水及其沉积物的排放而引起的外来有害生物入侵制定了相应指南,要求各成员国在自愿的基础上实行此指南。美国、加拿大、澳大利亚、新西兰和日本都制定了各自的压载水管理和控制对策及方法。防止外来有害生物随压载水传播的强制性规则已在大湖、哈德逊河、智利和以色列实行。但是大多数发展中国家在该问题上重视程度却远远不够。

## 2 船舶压载水中有害生物的危害性

早在1903年,科学家们就注意到,亚洲的一种叫“*Odontella*”的海葵在北海大量出现。这是早期的一个地区的生物被传播到另一个地理隔绝区域的例子。但是直到20世纪70年代,科学家们才真正开始研究这个问题,并认识到在可能含有传染性病菌的水域加装的压载水排放后可能会使其他国家或地区受到这种病菌的危害。但当时各国政府的主要精力都集中在如何防止船舶造成的油污染上,而IMO正在致力于制定MARPOL 73/78公约,人们注意的主要是MARPOL 73/78公约的附则I和附则II,压载水的问题尚未引起世界的关注。到了80年代,随着世界海运的迅速发展,随船舶压载水传播的水生物也越来越多。80年代末,美国、加拿大和澳大利亚成为面临外来有害水生物入侵问题最严重的国家。现在,这一问题也越来越引起世界各国和国际组织的注意<sup>[2~4]</sup>。

### 2.1 在美国五大湖区的危害

在美国、加拿大的五大湖区,外来水生物被传播到大湖区可追溯到1959年圣劳伦斯海路开通之时。由于该海路的开通,大量远洋船舶蜂拥而至,外来水生物和病原体也就随之入侵。到1996年已有130种水生物被证明是通过航运活动传入的。在大湖区造成危害最大的当数斑马贝(*Zebra Mussel*)。斑马贝原产于黑海一带。人们确信它是在20世纪80年代通过船舶航运活动传入大湖区的。由于大湖区的环境适合此种生物的生存繁殖,于是斑马贝的数量迅速增加以至于对环境造成了危害。斑马贝与当地的原有鱼类争夺食物,影响当地鱼类的种群数量,同时大量的斑马贝聚集造成了发电厂和其他工厂的水下进水管堵塞,使进水变慢甚至完全堵死,对工业生产构成了威胁。1990年美国政府拨款1000万美元来清理这些构成危害的斑马贝,到现在已花费了10亿美元。

其次,自欧洲入侵大湖区的水生物当属圆虾虎鱼。圆虾虎鱼最早出现在大湖区是在1990年,虽然虾虎鱼是一个大家族,在世界范围内分布相当广泛,但在此之前,大湖区从

未见过这种动物。圆虾虎鱼是一种好斗的杂食性鱼类,它们对在岩石和沙粒中的产卵处所的强烈保护行为限制了其他鱼类的繁殖活动。圆虾虎鱼发达的触觉器官使其能够探测水流情况并可在完全黑暗的地方觅食。这也影响了具有同样习性的鱼类在此类处所的生存。圆虾虎鱼繁殖力极强,一只雌鱼可在夏天反复产卵,且每次产卵可多达5 000个。

斑马贝和圆虾虎鱼等外来水生物在大湖区的大量繁殖侵占了其他物种的生产基床,同时也侵占了其他以相同食物生存的动物的食物来源。据有关报道,5 a内大湖区的原生物种群已减少了近50%。

## 2.2 在澳大利亚水域的危害

澳大利亚每年向国外市场出口大量矿石。来澳大利亚装运矿石的散货船大部分是空载到达(船上载有大量的压载水)。重载离开。每年来自世界300多个港口的近10 000艘船舶将大约15亿t压载水排放到澳大利亚的64个国际港口水域内。80年代末,一种侵入到澳大利亚水域的叫做毒性腰鞭毛虫的藻类生物引起了人们的关注。这种生物对澳大利亚沿岸的贝类养殖业造成了严重的危害。目前已广泛分布在墨尔本附近的海域。据估计,这种腰鞭毛虫主要是经船舶压载水从日本和东南亚地区传入的。

毒性腰鞭毛虫并不是入侵澳大利亚的唯一有害水生物。澳大利亚在1990年提交国际海事组织的一份文件中就列举了在澳大利亚发现的十几种外来水生物。例如,来自日本和东北亚的黄鳍虾虎鱼和条纹虾虎鱼,来自日本、韩国和中国的真鲈,来自阿拉伯海的海鳊,来自智利的无脊椎水栖甲虫,及来自日本、阿拉斯加的北太平洋海星等。1997年据澳大利亚检疫局(AQIS)估计,被传播到澳大利亚水域的外来生物已达170种以上。造成了重大的经济损失,留下巨大的隐患。

## 2.3 包括中国的发展中国家

虽然目前来自发展中国家的有关压载水造成危害和病原体传播的材料和报道尚不太多,但这并不意味着发展中国家受到的影响比发达国家小。其中原因之一是发展中国家缺乏充足的资金来进行调查和研究。

我国的许多商业海港附近都有大量的海产养殖场。来自世界各地的商船每年将大量的压载水排放到这些港口水域中,肯定对我国沿海水域的生态环境产生一定的影响。另一方面,由于大量的陆源污染物被排放到海中,我国已成为赤潮的多发区。平均纪录的赤潮多达十余次,平均每年损失达5亿元人民币以上。由于我国沿海航运活动日益繁忙,船舶如果在赤潮区域加装压载水,就会成为赤潮生物的传播载体<sup>[5]</sup>。这种影响及其破坏力必将随时间的推移而显现、扩大。如果不对此加以重视、研究、解决,其多米诺骨牌效应一旦出现,不但将对我国18 000多公里海岸线区域及沿江、沿河流域的生态环境造成大的负面影响。而且将会波及世界各地水域,构成危害且造成损失。

## 2.4 压载水造成危害的途径

压载水造成有害水生物和病原体传播所产生的危害主要有2个方面:(1)对公众健

康的危害。因为船舶在河口、浅水区和邻近污水排放处加装的压载水很可能含有一些致病的细菌和病毒,例如霍乱和伤寒等。这些细菌和病原体能直接危及人们的健康,也可能进入并存活于某些水生物体如蛤、蚌、牡蛎及其他贝类中,人吃了也存在发病的可能,特别是在医疗保健条件差的地区。对于某些发展中国家更是如此。前面提到的腰鞭毛虫也会通过鱼类对人类健康造成危害。(2)某些随船舶压载水排放到新地点的水生物,虽然本身并无毒性,但由于其数量的迅速增长及其固有的生存能力和习性会影响当地水生物的生存环境而导致对当地生态环境和生物多样性的破坏。例如侵入大湖区的斑马贝和侵入黑海的水母就是如此。

船舶压载水造成有害水生物和病原体的传播已引起许多国家和国际组织的关注。人们开始研究通过什么样的管理、控制和处理方式能够消除或减少这种有害水生物和病原体的传播。

### 3 船舶压载水的管理与控制

#### 3.1 控制有害压载水的3个途径

(1)离港前。如果在港口附近注入压载水,就要尽量防止或减少水生物进入船舶。

(2)航行途中。可用船上设备或更换压载水除去有害生物。

(3)靠港时。尽量防止排放含有害生物压载水,以免造成危害。

生物学家现在还不能确定什么水平的压载水控制措施是有效的,现有的控制外来有害生物入侵指南中也没有确定可接受的危险程度。还没有一种普遍适用的方法能完全阻止外来有害生物随压载水的入侵。现有的方法在安全性、环保性、技术可行性、实用性、和投资费用等方面均有其局限性。但是,还是有一些能减少外来生物随压载水传播的途径。

#### 3.2 船舶压载水处理方法

3.2.1 置换法 该方法的应用要求是:船舶在航行途中的水深 500 m 以上,距岸超过 200 n mile 或离岸航行超过 48 h 的航程处,对在港口水域或沿海加入的压载水,通过逐一更换法或用 3 倍于舱容水量注入顶出法更换成大洋海水,来达到减少船舶压载水传播外来生物的危险。生活在淡水、河口以及绝大部分浅海中的生物不可能在深海环境中生存下去。同样,深海压载水中的海洋生物被排入淡水、河口或浅海环境中也不能生存。更换压载水可采用 2 种方法:(1)把在港口、河口或近海水域中注入的压载水全部排出,直到把压载水排空为止。然后用深海海水重新加满。(2)把深海海水从压载舱底泵入使压载水从舱顶连续不断地溢出,直到更换掉足够压载水量以减少仍停留在舱中的目标生物数目。IMO 和大部分国家、地区都是使用在深海或公海更换压载水来处理压载水。这种方法具有比较明显的缺陷。因为该操作可能不利于船舶的安全——特别是在某些恶劣天气和海况下,也不利于船舶的结构和稳性。更重要的一点是,它并不能完全防止

外来物种的引入。“NOBOB”(no ballast on board)船舶造成严重危害的可能性是比较大。研究出能100%地杀死压载水中的有害生物的措施应该是我们的长远目标<sup>[6]</sup>。

3.2.2 有很好应用前景的方法 这3种方法由于研究的时间较早,相对比较成熟。

(1)过滤法:在压载操作过程中可以通过使用船上的过滤系统把一定大小的生物从压载水中分离出来,从而起到防止和减少有害生物吸入的作用,省去了压载水更换和进一步的各种处理。但是为了实现比较完全的过滤,还需要做一些更为细致的工作。因为压载水注入和排出时的高流速和高流量,对处理设备提出了很高的要求。并且,当需从压载水除去的生物和颗粒尺寸变小时,过滤系统的复杂程度和成本也会相应提高。过滤出来的物质可以集中储存在船上再用岸上设备进行进一步处理,如果规则允许,也可以排回水中。过滤系统可选用网状过滤器或较厚介质的过滤器<sup>[7]</sup>。

(2)化学处理方法:化学处理方法的最大优点就是使用方便。直接把它加入到压载水中或从海水中电解产生。这2种方法都已在船上有所应用,只不过还没用于压载水处理上。在压载操作中,和压载泵并联的化学喷射泵能周期性向压载水中加入定量的液态混合杀虫剂。泵系所产生的紊流能保证杀虫剂和压载水及沉积物较充分的混合,从而对目标生物发挥作用。但该方法容易产生二次污染,且使用杀虫剂存在以下4个弊端:1)药剂投入压载水后会被排入到大海中,有可能产生新的危害(二次污染)。有害生物量一般是不确定的,所以,注入多少杀虫剂将是困难所在。注入多了,产生二次污染;注入量不足,则达不到除去有害生物的目的。2)对某些生物的处理效果还未知。不同海域,海生物的种类也不同,故处理效果不确定。3)在船上,化学品的保管安全问题。4)在某些地区使用杀虫剂必须和当地的排放法规相一致。

现在比较经济的解决方法是有选择的使用杀虫剂来杀死特定的目标生物。长期的研究表明,氯气是一种比较有效的化学药剂。现在,有关方面正在研究把它应用到对压载水的处理上。

(3)加热处理:高温加热经常用于对水进行消毒。可利用船舶推进器和冷却系统产生的废热来对压载水进行加热处理。即推进系统和船上设备产生的余热可用来提高水温,且不会产生化学副产品和残余物。这需要另外安装一些辅助管路以便使压载水能通过现有的热交换器。为杀死大部分的生物,压载水需被加热到35~45℃的范围内。还要在此温度下保持一定时间。有关方面正在进行研究,以确定杀死或使特定生物失去活力的温度和所需时间之间关系。

一系列的制约因素使加热法的应用受到某些限制:1)航程时间。航线过短则不能把水加热到所需温度或不能保持所需时间。2)处理压载水时所需的流量。余热热源所能提供的能量是有限的。这样,处理压载水时的流量就有所限制。3)平均水温。如果在寒带或冬季水温较低时,加热处理所需热量输入就会增加。还有一个需要注意的问题就是,必须考虑到高温压载水通过舱壁向外界的散热,因为这会消耗掉相当一部分热量。在某些特殊情况下(例如主机工作在部分负荷工况下)有可能热源热量供应不足,不能把压

载水加热到所需温度,影响加热法的有效性。4)对不同目标生物的不同处理。高级生物,比如鱼类,要比微生物更容易被高温杀死。因此,还需进一步研究加热处理法与特定生物之间的关系<sup>[8]</sup>。

3.2.3 比较有前景的方法 臭氧、电子脉冲和等离子脉冲技术用于压载水处理比较安全、有效。但它们现在还不能马上投入应用<sup>[9]</sup>。

臭氧技术:臭氧是一种用于饮用水和工业水处理的氧化性杀虫剂。由于使用氯气会产生环境问题,因而人们增加了对臭氧的使用。

电子脉冲和等离子脉冲技术:电子脉冲和等离子脉冲技术的作用方式相似。对生物的破坏就是基于由电子脉冲和等离子脉冲技术所产生的 X 射线和高能紫外线放射而产生的水和电子的反应,由此产生的穴蚀也可杀死生物。它们不产生有毒化学残余物,但会产生气态分解产物二氧化碳。电子脉冲和等离子脉冲技术用在船上的话,其费用会比较高。

#### 3.2.4 其它方法

(1)紫外线处理:紫外线照射能使细胞核酸产生光化学反应。使 DNA 不能正常复制,生物组织不能进行细胞分裂。这对于生命期很短的微生物来说意味着经过处理后生物数量将大大减少。如果时间足够长甚至可以杀死所有生物。但水中的悬浮物质对其作用效果会产生很大影响。因为这些物质会吸收和屏蔽掉紫外线。

(2)磁化处理:磁化处理对杀死钙质甲壳类无脊椎动物比较有效,尤其是斑马贝。美国大湖区已把它应用于对斑马贝的处理上。

(3)脱氧处理:去氧对鱼类、无脊椎动物幼虫、好氧菌是致命的,但对厌氧菌、孢子等则无能为力。

(4)生物技术:目前对使用生物技术来去除或减少压载水和沉积物中水生物的研究还只是停留在理论上。加入新的物种对压载水中可能存在的多种多样的微生物和植物也许不会有太大效果。而且新加入物种的转移和释放也是一个问题。基因工程也同样如此。

(5)防污镀层:现在人们并不认为使用防污镀层是控制外来生物入侵的合适的方法。因为压载舱表面及其附着物只是问题的一小部分。压载水是生物的悬浮液,为防止船舶外来生物,必须对压载水进行处理。镀层可能是毒性很大的材料,会向水中排出致命的化学物质。这种镀层寿命很短,处理过的压载水可能有毒,因此在排放前还需进行处理。

## 4 结 语

各种技术应用到船舶时,应注意到,不同的场合,要求也就不同。船上的空间和能源供应是有限的,被处理的压载水流量是非常大的,要考虑到船舶和船员的安全。我们需

要一些标准对这些方法进行评价。这些标准应包括:安全性、有效性、商业实用性、能量消耗、化学残余物、再循环性、投资费用、设备复杂性、维修和保养费用、监测难易度。在上述的方法中,应用前景较好的方法是物理分离、使用杀虫剂和加热法。最新技术则是将几种方法结合起来适用。从而能发挥各自的优点,互相弥补缺陷。

### 参考文献:

- [1] 赵殿荣. 船舶压载水和有害生物[J]. 船舶安全与防污, 1999, (1).
- [2] 国家防止外来物种入侵的 1996 年决[EB/OL]. <http://www.nemw.org/nisa.htm>.
- [3] 入侵大湖的有害水生物种[EB/OL]. <http://www.glc.org/projects/ans/anspanel.html>.
- [4] 澳大利亚压载水指南[EB/OL]. <http://www.dpie.gov.au/aqis/homepage/imadvice/bguidaus.html>.
- [5] 张硕惠. 控制船舶压载水传播外来生物的立法及相关问题的探讨[J]. 交通环保, 1999, (5).
- [6] Armstrong G. An analysis of flow-through ballast water exchange[J]. *Marine Engineering Review*, 1999. 5.
- [7] NRC. Stemming the Tide: Controlling Introduction of Nonindigenous Species by Ships' Ballast Water[C]. Committee on Ships' Ballast Water, Washington, DC, 1996.
- [8] Heat Treatment Solution for Infected Ballast Water[J]. *The Motor Ship*, 1997.
- [9] 马宝生. 船舶压载水处理与有害生物[J]. 大连海事大学学报, 2000.

## MANAGEMENT AND CONTROL OF HARMFUL ORGANIZMS IN SHIP BALLAST WATER

LI Di-yang<sup>1</sup>, JIANG Shi-qian<sup>1</sup>, WANG Jun-ying<sup>2</sup>

(1. Qingdao Ocean-going ship's Crew College, Qingdao 266071, China)

(2. Laoshan District Environmental Protection Bureau, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** The pollution problem caused by the exotic organisms in the ship ballast water is analysed in detail, and the advantages and developing prospects of different ballast water treatment methods are explored.

**Key words:** ship ballast water; harmful organism; replacement; heating; IMO