

钢质海船的腐蚀原因与防护

颜世文 于全虎

关键词 船舶 海洋环境 腐蚀 防护

0 引言

现代海船船体绝大部分由钢质材料焊装而成。随着世界范围内贸易运输的发展,作为跨国贸易的主要运输工具,海船的建造和保有量不断上升,因此加强对钢质海船的腐蚀机理和防护措施的研究就显得尤为重要。这里重点对海船船体的腐蚀原因进行分析,并提出解决措施。钢质海船船体结构的腐蚀代表了海洋结构物的典型腐蚀,海上平台的腐蚀在一些主要方面与之极其类似。

1 海船船体腐蚀机理分析

船舶是一个庞大的海洋结构物。在海洋环境中,船体的各部分处于各种不同的腐蚀环境之中,主要有以下几个主要腐蚀区域。①全浸区,即海水中的船底区。②飞溅区,这一区域主要指轻、重载水线之间,即海水干湿交替、含氧量充足的水域区。③海洋大气区,即处于海洋大气之中的甲板和上层建筑外部。④内部结构区,如各种舱室等。

1.1 船体水下区域

船体水下部分由于腐蚀介质的作用条件不同,艏部、艉部、船舷和船底的腐蚀情况是不同的。在船体的艏部,海水对壳体产生较大的流体动力作用,特别是对速度较高的船舶,这使得涂层的工作环境十分苛刻。在艏部泡沫翻滚的波浪区,涂层首先遭到破坏。另外,艏部的涂层还经常受到锚链和漂浮物的撞击,从而使涂层破损。船体中部的船舷外壳板表面受到的流体动力作用比艏部小,但是这个区域的涂层在船靠码头时容易因撞击和摩擦而损坏。

在螺旋桨产生的强烈水流的作用下,船艉部壳板和舵叶上遭到明显的局部流体动力作用,在许多情况下会引起结构的冲刷腐蚀破坏。由于船体和铜合金制成的螺旋桨接触,在船艉特别是在端部,发生阳极极化是引起腐蚀破坏的重要因素。另外,螺旋桨周围会产生空泡,由于压力和流动条件的经常变化,空泡会周期性地产生和消失,消失时由于周围高压形成很大的压力差,在靠近空泡的金属表面产生“水锤作用”,常常破坏螺旋桨表面的保护膜,使腐蚀作用继续深入。

在船体底部,由于附着海生物,表面遮盖不均匀,产生氧浓度差电池而引起坑蚀。厌氧菌的活动和海生物死亡腐烂产生的硫化氢也会产生腐蚀作用。海生物的排泄物除了助长腐蚀之外,随其积累还会侵入船底涂膜中,将涂膜破坏,从而造成严重的后果。此外,由于一般钢结构与水翼、声纳罩等不锈钢结构接触,局部的阳极极化也会产生电化学腐蚀。该部位一般采用防污漆与防锈漆配合使用来抗腐蚀,防污漆膜中含有能在海水中缓释的毒料,以减少海生物的存活。

船体结构水下部分的焊缝及焊接热影响区常常发生严重的腐蚀。当焊缝金属的电位低于船外壳板的电位时,焊缝金属成为腐蚀电池的阳极,而面积很大的外壳板成为有效的阴极,这导致焊缝金属的腐蚀速度比外壳板大。另外,焊缝的热影响、残余应力也是诱导腐蚀的重要原因,焊缝部位必须彻底除锈后仔细涂装。

1.2 船体水线区域

水线区的船体外壳处于特别苛刻的环境中,在这个区域,涂层破坏的可能性非常大。除了各种漂浮物撞击和系泊原因破坏涂层外,在港口水面经常存在的石油类泄漏物也会促使涂层破坏,因为船体的这个区域所用的许多涂料都对石油类泄漏物表现出较差的稳定性。另外,这个区域的外壳处于干湿交替条件下,受到水和空气的交变作用,大大增强了

作者简介 颜世文现工作于徐州市船舶检验局;于全虎1997年毕业于华东船舶工业学院制冷与低温工程专业,现工作于江苏省船舶设计研究所。

腐蚀介质的侵蚀性。

1.3 船体水上结构区域

船体水上结构包括干舷、甲板和上层建筑,主要受海洋大气、海水飞沫、雨雪、冲洗甲板时所用的海水以及凝结水的侵蚀。水在各种难以维护的地方长期聚集并存在,也是船体水上结构局部腐蚀破坏的重要原因。

海洋大气中存在大量氯化物,这就加剧了凝结水对结构的侵蚀性。海水飞溅到船体水上结构并干燥后,在表面留下一层吸水的薄盐份层。它使结构表面保持潮湿状态,并促使结构腐蚀。

甲板的形状会影响水在甲板上的集散,在水平甲板上很容易形成难以排水的死角。在具有作业斜坡的甲板上,当用来排除流水的排水孔布置不合理时,也会使水聚集在最低部位。甲板在没有排水沟的部位因集水而造成的腐蚀,通常比排水通畅的部位高3倍以上。甲板上的个别区域如机舱、锅炉的上面,较高的温度将加大聚集在这些区域水的侵蚀性。

当甲板表面铺有甲板敷料时,如果敷料易老化开裂,或者甲板敷料的铺设工艺不当,在使用过程中甲板敷料发生开裂或与甲板表面发生剥离,将会导致甲板敷料下面的钢甲板发生严重的腐蚀破坏。

船体结构在装配制作过程中,通常对钢板采用氧乙炔火焰加热继之以水冷方式来校正钢结构的焊接变形,特别是在船舶上层建筑部位,这种火工校正最为频繁。大量试验和实践证明,火工校正部位的金属组织结构发生了变化,其耐蚀性要比其它部位大大降低。因此,即使表面涂装的涂层膜厚一样,火工校正部位的涂膜比其它部位会更早遭到破坏,腐蚀速度更快。

1.4 船体内部结构区域

工作舱室和居住舱室由于采用专门的拦水及排水措施,可以有效地限制水对船体结构的长期作用,所以一般看不到船体内部结构有明显的腐蚀破坏。但是如果发生积水排泄不畅,如清洗水进入甲板敷料层的下面,也会发生钢结构腐蚀。

浴室、盥洗室、厕所等卫生舱室的侵蚀比较严重,这些地方经常存在100%湿度的空气、凝结水和冲洗水,但此处往往设有良好的抽风、排水设施,可降低腐蚀的发生。

货舱中由于所装载货物的作用,加上冷凝水和积水的作用,涂层往往容易受到破坏,从而造成货舱壁和内底板的腐蚀。

从抗腐蚀方面来讲,最不安全的地方是平时难以维护保养的船体内部结构,如艏尖舱、艉尖舱、机泵舱、污水井、锚链舱等部位。

机舱内底板既受高温高湿作用,同时主机、辅机运转振动和冲击所产生的应力作用也使其腐蚀加剧,特别是锅炉下面的腐蚀更为严重。

锚链舱因锚链夹带泥土和海水,加上其收放时的磨损对涂层的破坏,腐蚀情况也相当严重。

压载水舱和饮用水舱的舱壁在海水和淡水的作用下会受到电化学腐蚀。水舱舱壁在液面部位由于氧气作用,腐蚀更为严重。水舱舱顶由于经常湿润和供氧充足,腐蚀量亦很大。此外由于船舶摇摆而引起水的晃动对围壁有很大冲击,也会引起疲劳腐蚀。

油舱内表面的腐蚀根据载油的种类和清洗方法不同,有很大差异。在只用来运输原油的油舱中,腐蚀破坏相对较小。这是因为粘稠的原油油膜对钢板有一定的保护作用,但是在一些含硫分较高的原油中存在的无机硫化物和噻吩、硫酸等有机硫化物也有较大的侵蚀性。此外,原油中一般还混杂有油田咸水,其主要成分为氯化镁,也是强电解质。对于煤油、轻柴油、挥发油和润滑油等成品油,虽然其纯净制品腐蚀性并不强,但因其在精制过程中一般都含有硫酸和水分,在洗涤硫酸时常以氢氧化钠中和,从而生成强电解质硫酸钠,其腐蚀能力较强,所以装载成品油的油舱表面会造成严重的腐蚀破坏。

有些油舱还兼作压载舱使用,压载水和油品相互作用,也有可能造成腐蚀。如果装载重油,空载时钢板表面残留有薄油膜,这层薄油膜对舱壁有一定的保护作用。但是如果装载的是汽油等轻质油类,卸载后由于轻质油易挥发,油舱露出洁净的表面,此时若注入压载水,舱壁就会受到严重的腐蚀。

即使是不兼作压载舱的油舱,由于白天阳光照射可使舱内温度高达70℃以上,从而使内部水蒸气含量增加,夜间冷却后钢板表面结露,此种凝滴为强电解质,可引起钢板的点蚀。在油舱内底板、加热盘管和水平加强板的上表面常可见到较深的坑蚀,就是这种原因造成的。

此外,舱壁加强材等由于所受应力不均匀,同时航行中波浪冲击造成船舶振动、扭曲,在应力最大的部位容易产生局部的应力腐蚀。

1.5 船舶的异常腐蚀——电腐蚀

电腐蚀是指由外来电流引起的腐蚀。在船舶修造过程中,这种外界电流往往很大,引起的腐蚀程度

也十分严重,所以必须引起足够的重视。

电腐蚀破坏有如下特点 ①破坏速度很快,并与船体钢种的好坏关系不大。例如在某些情况下,水下船体实际的局部电流密度可达 5 A/m^2 ,这时腐蚀速度约为 6 mm/年 ,比钢在海水中的自然腐蚀速度高 $40\sim 50$ 倍,在引起船体严重腐蚀的其它因素中没有一种能造成这样高的腐蚀速度。②腐蚀破坏往往集中于船体水下漆膜破损部位、漏涂部位及船壳突出部位和电阻较小的其它部位。③电腐蚀破坏的外形往往呈坑状或穿孔,腐蚀坑内有黑色粉末状铁锈。

产生电腐蚀的主要原因是船舶在码头安装或漂浮修理时,用电的供电线路接线不正确,或在船停泊的水域内有杂散电流。

有些船厂对停靠在码头上的船舶进行电焊时采用了错误的接线法,即将电焊机的负极接在码头上,而不是直接接在被焊船体上,船体和码头之间仅靠钢缆导电。这样电焊时电焊电流从焊机正极经焊枪、船体后,有一部分电流经钢缆、码头进入接地导线返回电焊机负极。另一部分电流则从船体进入江水或海水再经码头进入接地线返回电焊机负极,如图 1 所示。后一部分电流即为引起电腐蚀的电流,它起着电解船体的作用。

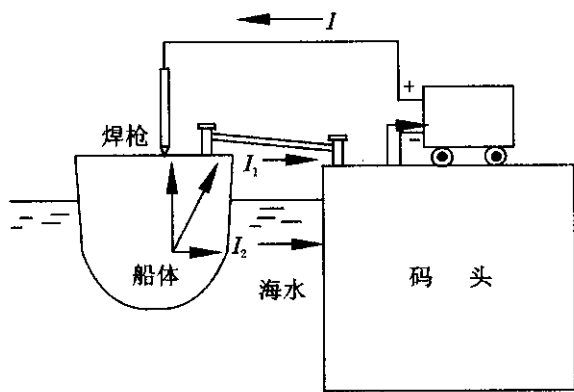


图 1 电焊时负极接码头引起电腐蚀示意图

当船厂水域存在杂散电流电场时,位于该电场的船舶水下船体部分分别被杂散电流阴极极化(电流流入处)和阳极极化(电流流出处),电腐蚀则在阳极极化区发生。如果杂散电流的电场较强,船体水下部分就会发生严重的腐蚀破坏。

针对电腐蚀产生的原因,在船体焊接施工时,应将电焊机负极通过电缆直接与被焊船体连接,该电缆应具有足够的横截面积和完好的绝缘。电焊机负极与码头应完全绝缘,最好将焊机放置在被焊船舶上,从而彻底切断引起电腐蚀的电流回路,如图 2 所示。同时应尽可能减少船厂水域内的杂散电流。

2 海船船体腐蚀的防护

船舶在海洋环境中的腐蚀,其本质是电化学过程。船体结构采用何种防腐措施,应综合考虑环境条件、结构部位、使用期限、施工维护可能及经济技术效果等因素来确定。一般来说,除了在材料和结构设计方面作必要考虑外,船体整个结构应采用涂层防护。各部位所用漆种配套有所不同,对化学品船的液货舱等特殊部位要采用特殊材料或特涂。浸水部位除采用涂层防护外,还应采用阴极保护,并且在船舶修造过程中注意避免一些异常腐蚀,如电腐蚀。此外在船舶设计过程中应考虑腐蚀余量。

目前常用的阴极保护有牺牲阳极保护、外加电流的阴极保护等方法。

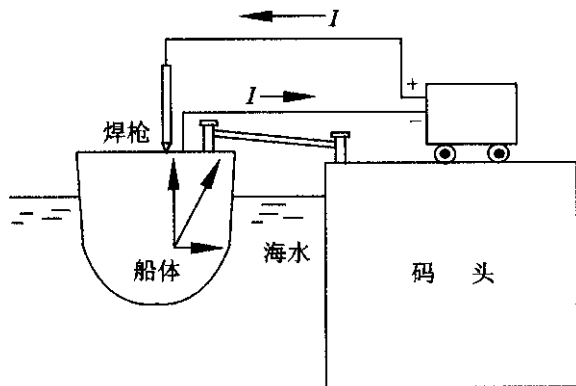


图 2 焊接正确接线示意图

2.1 牺牲阳极保护

常规牺牲阳极保护法,就是采用一种比船体金属化学性更活泼的金属或合金(一般为锌阳极)和被保护的船体连接在一起,依靠该金属或合金不断地腐蚀溶解所产生的电流,使船体得到阴极极化而受到保护。由于锌极在保护船壳的过程中逐渐被消耗,释放的保护电流越来越小,且输出的电流不能加以控制,不能响应连续变化的腐蚀条件,保护功能也就越来越差,当接近进坞时,几乎失去保护作用。此外锌极对螺旋桨几乎没有任何保护作用,原因是在桨上无法安装锌板。锌极每次进坞时都必须更换。

2.2 外加电流的阴极保护

外加电流的阴极保护,则是将直流电源通过辅助阳极对被保护船体施加保护电流,使之成为阴极获得极化而免受腐蚀。具体方法是按一定的规律,在船的左右舷某些位置上安装永久的主应式辅助阳极和参比电极,把它们都连接到恒电位仪上,让参比电极连续监测船体电位,如图 3 所示。根据理论和大量的实践证明,在 pH 值约为 0.82 的海水中,相对于锌电极,钢铁的保护电位正常值为 250 mV 。如果

船体电位超过这一正常值 ,船体将发生腐蚀。参比电极对船体电位的监测是连续的 ,一旦船体电位有升高的趋势 ,就将信息反馈给恒电位仪 ,恒电位仪向辅助阳极输出一定量的补偿电流 ,这样船体电位将始终保持在正常范围内 ,腐蚀现象就不会发生。

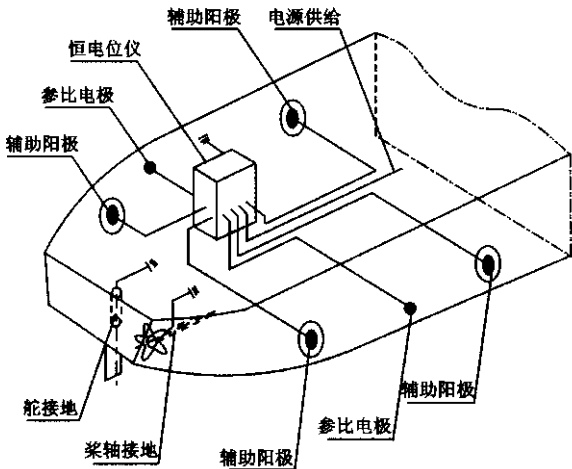


图3 外加电流的阴极保护装置布置图

3 海船的其它腐蚀

船舶中除了以上所述船体的腐蚀外 ,还存在其它一些腐蚀现象 ,这些腐蚀往往在其它非海洋环境中也会发生。如以海水作冷却介质的热交换设备中 ,除了海水的电化学腐蚀外 ,还会发生冲击腐蚀 ;粮库中米、面、蔬菜等产生的 CO₂ 加上潮气共同造成的腐蚀 ;冷藏库中由于低温 ,湿度达到饱和产生大量水分 ,而水分中又含有 O₂ 和 CO₂ 造成的腐蚀等等 ,这里不再赘述。

4 结束语

船舶腐蚀造成的危害极大 ,不但在经济上造成巨大损失 ,甚至会造成重大安全事故。但有理由相信 ,随着新材料、新技术、新工艺的不断发展出现 ,必将会大大降低和延缓腐蚀的发生。

参考文献

1 (英) Nigel Warren 著. 吴敏, 张义译. 船舶中的金属腐蚀. 北京: 国防工业出版社, 1987
2 焦玉斌, 朱文博. 外加电流的阴极保护在德国集装箱船上的应用. 江苏船舶, 1998(5)

(上接第 17 页)

或 $\frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} + v} \geq 3.25\sqrt{d}$

式中 v ——船舶航速
根据以下方程式:

$$\begin{aligned} 1.75\sqrt{d} &= \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} - v} \\ 3.75\sqrt{d} &= \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} - v} \\ 1.75\sqrt{d} &= \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} + v} \\ 3.75\sqrt{d} &= \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} + v} \end{aligned}$$

可以制出 v 和 $\sqrt{\lambda}$ 的关系曲线 I、II、III、IV ,如图 2 所示。这些曲线是通用的 ,不受船舶类型和吃水的限制。在已知 λ 和 d 的情况下 ,可以在曲线上求出相应的速度值 $v_1、v_2、v_3、v_4$ 。

顺浪航行时 ,应使 $v \leq v_1$ 或 $v \geq v_2$ 。
顶浪航行时 ,应使 $v \leq v_4$ 或 $v \geq v_3$ 。

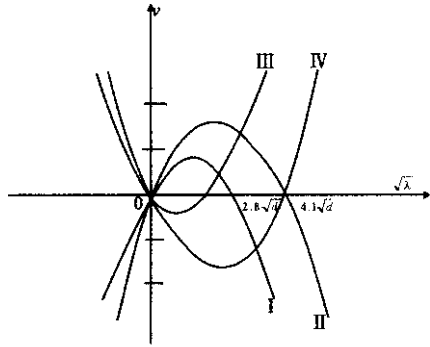


图2 $v - \sqrt{\lambda}$ 曲线图

因此 ,从船舶稳性观点来看 ,在大风浪中船舶操纵应作如下选择 ,即 $\lambda < 8d_0$ 或 $\lambda > 17d_0$ 时 ,宜采取顶浪航行 $8d_0 < \lambda < 17d_0$ 宜采取顺浪航行。在同样可以采取顺浪航行和顶浪航行的情况下 ,宜采取顶浪航行 ,以争取较小的稳性丧失持续时间。

钢质海船的腐蚀原因与防护

作者: [颜世文](#), [于全虎](#)
作者单位: [颜世文\(徐州市船舶检验局\)](#), [于全虎\(江苏省船舶设计研究所\)](#)
刊名: [江苏船舶](#)
英文刊名: [JIANSU SHIP](#)
年, 卷(期): 2003, 20(3)
被引用次数: 4次

参考文献(2条)

1. [Nigel Warren](#), [吴敏](#), [张义](#) 船舶中的金属腐蚀 1987
2. [焦玉斌](#), [朱文博](#) 外加电流的阴极保护在德国集装箱船上的应用 1998 (05)

相似文献(10条)

1. 会议论文 [张志强](#) 预防营运船舶污染海洋环境的措施 2008

本文主要介绍了营运船舶给海洋环境带来的污染问题。并分析污染的几种原因。提出预防营运船舶污染海洋环境的几点措施。只要采取有效措施控制船舶营运中人为因素造成的污染, 海洋环境将会大为改善。

2. 学位论文 [白洋](#) 防止船舶污染海洋环境的法律制度研究 2007

随着海上贸易的繁盛和航运业的发展, 船舶营运造成了海洋环境的污染和海洋资源的严重破坏。在此背景下, 防止船舶污染海洋的法律制度受到国际社会和各海洋国家的普遍关注, 并得到不断发展和完善。本文旨在研究防止船舶污染的国际法律制度和我国国内法律制度, 探索出其发展历程、存在问题和问题改进的方法。

文章首先分析了防止船舶污染的国际法律制度的演变过程及发展背景, 在此基础上提出防止船舶污染的国际法律制度存在的缺陷, 然后提出防止船舶污染的国际法律制度的改进方向。最后, 分析我国国内立法及存在的不足, 提出改进我国国内立法的建议。

本文中提出, 防止船舶污染的国际公约内容随着污染形势的变化而不断改进, 但是仍存在着诸多问题, 如船体结构、船员素质、排污标准等方面的标准不够严格, 国际法律制度统一化程度不深, 不能很好地体现环境保护的可持续发展原则等。而在我国国内法中体现防止船舶污染的制度也比较少, 规定比较原则化, 很多规定与已经加入的国际公约不一致。论文通过运用比较、例证的方法, 提出改进措施, 如扩大船舶油污赔偿责任、加强船员素质的提高和船体结构的改造、把“可持续发展”理念引入防止船舶污染法律制度中等。

本文共分为六部分。前言部分主要介绍了论文研究的背景、国内外研究现状及立法研究的意义; 第一部分介绍了船舶污染的概念、特征、危害和船舶污染法律制度框架; 第二部分详细分析了防止船舶污染的国际法律制度的发展历程、现状和存在的不足; 第三部分主要是针对防止船舶污染的国际法律制度存在的问题提出改进和建议; 第四部分就我国的防止船舶污染的法律制度进行介绍, 分析了防止船舶污染的国内法框架、加入的有关国际船舶油污公约, 并对其发展历程和存在的缺陷进行分析。第五部分介绍了改进我国船舶污染立法的设想。

本文对防止船舶污染的国际法律制度、我国国内立法和其他国家防止船舶污染的法律制度进行了系统的探讨, 在此基础上提出了防止船舶污染国际法律制度和我国国内法改进建议。这些研究对防止船舶污染起到积极作用, 具有重要意义。

3. 会议论文 [季运军](#), [韩光民](#) 联合国海洋法公约与我国防治船舶污染海洋环境 2005

在人类开发和利用海洋的二十一世纪, 保护海洋环境, 防止污染海洋环境已成为人类共同遵守的准则。陆地和海上影响海洋环境的污染源很多, 其中一个严重的流动污染源是海上运输船舶。本文结合《联合国海洋法公约》和国内相关法规, 对如何防治船舶污染我国海洋环境作一些探讨。

4. 期刊论文 [卢日玩](#) 浅析船舶污染海洋环境及应对措施 -珠江水运2010(6)

近几十年来, 船舶污染海洋环境的问题日益突出, 防治水体污染、保护海洋环境已成为全球性的重要课题, 备受国际社会关注。目前在我国, 愈来愈多的新技术和新措施都被陆续应用于防治水体污染。本文将从船舶污染海洋环境的原因进行浅析, 针对性地阐述防治船舶污染海洋环境的措施。

5. 学位论文 [张秋红](#) 论我国防止船舶油污污染海洋环境的法律制度 2008

海上油污是海洋环境的重要污染源, 不仅会给国家和人民造成重大的物质损失而且还会给海洋生态环境和自然资源造成极大的危害。船舶航行过程中发生的油污事件对海洋生态环境造成的污染损害更是不可估量的。近年来发生了多起重大的船舶油污事故, 1987年到1996年10年间, 世界上共发生了溢油事故1, 856起, 平均每年186起, 相当于每两天发生一起。随着海洋航运业的发展, 潜在的船舶油污事故也在不断增加, 因此如何防止船舶油污污染对于保护海洋生态环境是极其重要的。

从法律上讲, 就是要完善防止船舶油污污染海洋环境的法律制度。目前国际上已经建立了较为完善的防止船舶油污的国际公约, 我国加入了《73/78防污公约》, 《1990年国际油污防备、反应和合作公约》(OPRC 90公约), 《1969年民事责任公约》和《1971年基金公约》, 还加入了《1992年民事责任公约》, 而1992年基金公约仅对我国香港地区有效。我国国内有关防止船舶油污污染海洋环境的法律主要包括《环境保护法》, 《海洋环境保护法》, 《防止船舶污染海域管理条例》, 《中华人民共和国海上交通安全法》, 以及交通部海事局制定各项规则等。可以说, 我国防止船舶油污污染海洋环境的法律制度是相对完善的。但不能否认, 与国外一些国家如美国、加拿大等国家相比, 我国还存在一定的差距。就我国有关的法律现状来看, 其中《环境保护法》和《海洋环境保护法》的规定非常原则, 执行性不强。法律制度仍然存在不太合理的方面, 主要表现在防污文书、防污设施以及油污应急反应制度等方面执行力度不够, 船舶油污损害赔偿方面等存在需要完善的方面, 我国载重2000吨以上的国际航线的船舶已经按照公约的要求建立了强制保险, 有些地方法规也规定了沿海航线的船舶建立船舶强制保险, 但是载重2000吨以下的国际航线的船舶以及沿海航线的船舶还没有在全国范围内建立起来。由于我国没有加入1992年基金公约, 国内的油污基金还没有建立起来, 但《油污基金管理办法》即将出台, 我国也将建立起国内的油污基金, 因此我国的油污损害赔偿体系即将建立。

因此, 本文从讲述我国船舶油污的损害和船舶油污现状入手, 介绍了我国加入的有关船舶油污方面的国际公约以及我国国内相关的立法, 分析了我国防止船舶油污污染海洋环境的法律体系、法律制度及存在的问题, 同时讲述了国际公约、美国和加拿大等国家油污方面的值得借鉴的做法, 针对以上存在的问题, 提出了对我国防止船舶油污污染海洋环境的法律体系以及防污设施、防污文书、油污应急反应、船舶油污强制保险和油污基金等完善的建议。

6. 期刊论文 [王德才](#), [曾令泉](#), [Wang Decai](#), [Zeng Lingquan](#) 论防治船舶污染海洋环境 -中国水运(学术版) 2006, 6(8)

从船舶污染海洋的角度, 分析了船舶造成海洋污染的种类及原因, 提出了构建法律体系、建立反应机制、增强环保意识、完善接受设备、加强监管鉴定等措施防止船舶污染海洋环境。

7. 学位论文 [陈伟](#) 基于实测海洋环境数据库的集装箱船耐波性预报研究 2009

如何评价一艘船舶、特别是一个新的船舶设计是否具有好的耐波性已经成为船舶研究及设计人员需要去研究和解决的一个重要课题。过去，船舶的设计主要侧重船舶在静水中性能的研究，主要考察静水中快速性指标。但是经过大量的事实表明，静水中具有优良快速性的船舶，在风浪中的航行性能未必优良。我们知道，船舶最终是要航行在大海中的，因此，考察船舶的耐波性能应该结合其航行的实际海洋环境，主要考察它在实际的海洋环境中的性能。长期以来，船舶在风浪中航行时主要依靠一些气象航路服务指南和船长们的经验，形成一套所谓的“经验航法”，然而由于没有理论指导，有时会出现一些致命的失误导致一些灾难性的后果。从这一方面说也急需深入考察船舶在实际的海洋环境中的性能。但是由于在实际航行中，影响船舶耐波性的因素很多，不是单因素的影响，而是所有因素共同作用的结果，因此必须在综合考虑各种耐波性因素影响的基础上，寻找科学的耐波性综合评价方法，才能对船舶的设计与航行做出正确的指导。本文在利用已有的耐波性理论预报研究成果的基础上，开展了船舶在实海域中长期性能预报和船舶耐波性指标及其应用的研究工作。首先，从船舶在波浪上的运动机理出发，在线性化假设下，把船舶的运动看作普通的刚体运动，在切片理论的基础上，按照牛顿第二定律建立了船舶在规则波中的运动响应方程组，求出了船舶在规则波中的六个自由度的运动幅值响应函数；然后利用平稳随机过程的线性系统理论和ITTC关于海浪谱的描述建议，求解出了船舶在随机海浪中的各种耐波性因素的运动响应谱密度函数；接着利用数理统计学的知识求出了各个耐波性因素的有义值随船舶航向、航速变化曲线，从而找出船舶的航态与其运动性能的关系；然后，结合海洋环境数据库的海浪资料，按照相关理论，对船舶在其航行路线上进行了长期性能预报计算以及分析，得到了具有指导意义的结论；最后，介绍了全面反映船舶耐波性品质的综合评价指标（船舶作业时间百分数）的计算方法，并结合海洋环境数据库的海浪资料，对船舶在其航行路线上的作业时间百分数进行了计算和分析，同样得到了具有指导意义的结论。

8. 期刊论文 [龙衍](#). [Long Yan](#) 保护海洋环境防治船舶污染 -中国水运（理论版）2006, 4 (7)

现在海洋环境日益恶化,保护海洋环境已经是非常紧急的事情.本文结合现代船舶对海洋环境所造成的污染,从海事行政管理的角度提出了相关意见.

9. 会议论文 [宋家慧](#) 防止船舶污染海洋环境系统工程研究初探 1999

该文通过对国内外三十年来重大船舶溢油事故的分析,论述了船舶航行安全与防污染的关系,工提出了“保障航行安全、溢油应急救助、污染损害赔偿”的“防、救、赔”三五一节的船舶防污染的系统工程新概念。

10. 期刊论文 [宋金平](#). [陈占刚](#) 防治船舶污染保护海洋环境 -中国水运（下半月）2008, 8 (8)

保护海洋环境不仅是航运自身发展的需要,更是人类生存与发展的需要.本文讨论船舶海洋污染的类型及危害,提出当前防治船舶污染,保护海洋环境的措施。

引证文献(2条)

1. [冯福璋](#) 深海资源开采系统球铰硬管接头的设计及系统横向运动分析[学位论文]博士 2006

2. [刘磊](#) 船体阴极保护电位分布研究[学位论文]硕士 2006

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jscb200303006.aspx

授权使用: 重庆市图书馆(cqstsg), 授权号: 505c2619-a53c-4122-a7e8-9ea2015c6676

下载时间: 2011年3月10日