

海 洋
油污染防治技术
HAI YANG
YOU WU RAN FANG ZHI JI SHU
卓诚裕 编著

国防工业出版社

394079

海洋油污染防治技术

卓诚裕 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

DY86/18

图书在版编目(CIP)数据

海洋油污染防治技术/卓诚裕编著. —北京:国防工业出版社, 1996. 8

ISBN 7-118-01542-3

I. 海… II. 卓… III. 油污染: 海洋污染-污染防治
IV. ①X5②X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17868 号



(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{8}$ 179 千字

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 9.20 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

工业生产(如炼油厂、钢铁厂、燃油热电厂等)产生的含油废水、海上设施和船舶在营运期间排放的含油污水或者船舶事故造成的溢油和排油,以及港口、码头油类作业时的泄漏,都是造成海洋油污染的因素,大量的石油和石油产品流入海洋,造成严重污染,危及人类赖以生存的地球上最后一个宝库。因此,防止海洋油污染已引起国际社会以及各国和一些地区的重视。联合国海事组织(IMO)海上环境保护委员会(MEPC)研究和制订了有关法规来防治海洋油污染,世界各国和一些地区也制订相应的国家和地区性的法规、条约来保护本国或地区的水域环境,以防污染。同时,大力开发防油污染技术和设备,治理海上油污染,净化海洋。

自 70 年代起,船舶防油污染技术及相关的设备相继在我国大地上出现,并得到迅速发展,满足了我国船舶装备的需要,对促进防油污染法规的实施和保护海洋环境起到良好作用。作者研制的“油污水分离装置”及“浮油回收装置”分别于 1986 年、1988 年获得国家专利。前者除获国家专利奖励外,1989 年又获得尤里卡国际发明金奖。

海洋油污染,特别是船舶造成的油污染,最早引起人们的关注。本书重点介绍船舶油污染的来源、发生及相应的防治技术和设备。这里介绍的油污染的机理和防治技术的原理、方法、设备,同样适用于其他方面油污染的防治。但愿本书的出版,能为推动船舶油污染防治技术和设备的发展,为防止海洋油污染有所贡献。

“人世间,友谊最珍贵”。最后,对所有为本书出版做出贡献的同事们,对本书参考、引用的资料、文献的作者们表示衷心地感谢。同时,也敬请广大读者对本书的谬误之处不吝批评指正。

李诚书

目 录

第一篇 水循环和油污染	1
第二篇 油污水处理技术	8
第一章 船舶油污水	8
1.1 舱底油污水	8
1.2 压舱油污水	14
第二章 船舶油污水处理方法	21
2.1 重力分离法	22
2.2 聚合法	26
2.3 过滤法	29
2.4 吸附法	29
2.5 空气浮选法	31
2.6 船舶油污水处理的新方法	32
第三章 船舶油污水处理设备	38
3.1 油污水处理设备的技术条件	39
3.2 油污水处理设备的构造	40
3.3 油污水处理设备的型式认可试验	47
3.4 水中含油量的实验室测定	53
3.5 环境试验和洗涤剂试验	57
3.6 舱底油污水处理设备	57
第四章 排水油分浓度的监控	92
4.1 水中油分浓度测定方法	92
4.2 排水油分监控装置	97
第五章 油污水处理船	123
第三篇 溢油污染防治技术	130
第六章 溢油污染	130
6.1 溢油	130

6.2 海洋环境中的溢油	132
第七章 溢油监测技术	138
7.1 溢油量估算及漂移动向的推测	138
7.2 溢油污染监测系统	139
第八章 溢油的治理技术	143
8.1 机械回收法	143
8.2 化学处理法	164
第九章 应急计划	177

附 录

附录一 国际海上溢油应急计划指南	181
附录二 国际应急计划建议大纲	185
附录三 国家海上污染应急计划的结构框架	186
附录四 船上油污应急计划编制指南	193
附录五 船上油污应急计划(格式样本)	202
附录六 船用舱底油污水分离装置国家标准	210
附录七 船用油分浓度计国家标准	210

第一篇 水循环和油污染

地球上大约有 14 亿 km^3 的水,它占据着地球表面总面积的 70%。任何生态系都是离不开水的,没有水就没有生命。所有生物有机体都含有大量的水分。例如,水母的含水量高达其体重的 95%;人体所含的水分也要占人体体重的 70%;鱼类含水量一般都在体重的 70%至 80%以上。总之,陆上生物其体内水分一般都在其体重的 50%以上。据推测,每生长 1t 重的动物组织,就需要水 10t;而生产 1t 糖或 1t 玉米则需要 1000t 水。

水循环是生态系中最基本的物质循环之一。自然界中的水是在不断地循环着。海洋、湖泊、江河中的水,由于不断的蒸发,使水以水蒸气的形式进入大气层。这些水蒸气在大气层中遇冷后,就凝结成雨、雪、雹、霰等降至地面。有的就在地面直接蒸发,重返大气层;有的则是流入江河、湖泊,最后汇集于海洋,通过蒸发,也返回大气层;还有的则渗入土壤和疏松的岩石层中,变成地下水。渗入土壤中的水,有部分则被植物所吸收,又经植物叶面的蒸腾作用,使植物所吸收的大部分水也返回至大气层中,仅少部分留存于植物体内;动物则是通过直接摄入和吃食植物从外界环境中取得一定量的水分,动物的生理现象又使其把获得的水分释放到外界环境中去。自然界中的水,就是这样往复循环,永不终止。

食物链是生态系进行能量流动的阶梯。在水生态系中,浮游植物通过光合作用,把太阳能变成化学能,将能引入到生态系。然后转移到以浮游植物为生的浮游动物中,经过浮游动物又转移到以浮游动物为生的小鱼体内,大鱼再食小鱼,从而经过小鱼又使能量转移到大鱼。鱼类死亡之后,经水中微生物的分解作用,又把能量分散返回到外界环境中去。当然,生物由于呼吸作用也会把部分能

量逸散到外界环境中去。水中微生物在分解过程中所消耗的氧气则靠浮游植物的光合作用所产生的氧气来补充。浮游植物→浮游动物→小鱼→大鱼,这就是水生生态系的食物链。人是以动、植物为食,居于食物链的顶端。

人类的活动,特别是开发自然的活动,需用大量的水,同时也把含有有害物质(污染物)的废水排入江河和大海(见图 0-1)。这

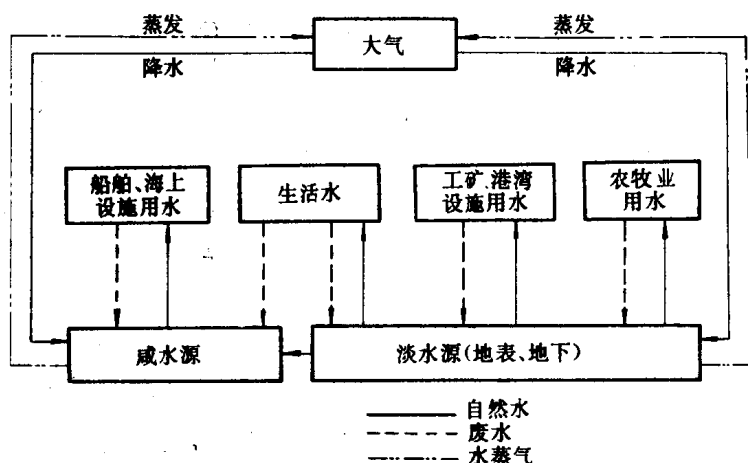


图 0-1 水循环及水污染

些污染物,不但会使水的自然循环复杂化,而且还会随着食物链能量流动而转移,进入生物体内,从而威胁和危及生物的生存,破坏生态平衡。当然,水圈和生存于其中的生物具有一种自净能力,即能通过使污染物的稀释、沉淀、化合、分解等作用,能使污染物不至于造成对生态系的危害,但是,这种自净能力是有一定的限度,称为忍耐力极限。当进入生态系的污染物浓度超过忍耐力极限时,就是通常所说的“污染”以后,生态平衡就被破坏,污染物就会通过食物链不断地转移、循环和富集,最后进入人体或动物体内,危害人类或动物的健康或生长。

石油(原油)是气态、液态和固态的链烷烃和芳香族烃类的天然混合物。石油产品是原油的分馏产物,可分为轻质油和重质油两类。石油和石油产品进入水域以后,由于自然降解而需耗用大量的

氧气,常以 5 天的生化需氧量来表示。生化需氧量(简称为 BOD_5)是表示水中有机污染物在微生物作用下,氧化分解所消耗的氧量。矿物油的生化需氧量是相当高的,如氧化 1mg 的不同类型的烃类,约需要 3~4mg 氧。若以 3.3mg 作为矿物油平均生化需氧量,则完全氧化 1kg 矿物油,约需要 33×10^5 mg 的氧。若石油进入海水中的溶解氧为 8mg/L(海水温度 15℃、盐度 35‰时海水中的饱和值),则完全氧化 1kg 油需 41×10^4 L 海水中的氧,相当于 $1m^2$ 、深为 410m 水柱中的氧量。可见,被油污的水域将会造成局部的嫌氧状态,使水生植物的光合作用遭到破坏,水生动物则因缺氧而死亡,给生态系带来严重的危害。

石油和石油产品还具有一定的毒性,鱼类在极微的浓度下,就会成为油臭鱼。特别是,石油和石油产品对幼鱼和鱼卵的影响更大,在受到油污染的水域中孵出的鱼苗,多数成畸形,生命力很弱,极易死亡。实验室试验表明,在含油量为 0.1mg/L 的海水中,孵出的鱼苗全有缺陷,只能存活 122 天;当含油量降为 0.01mg/L 时,孵出的鱼苗中畸形鱼仍高达 23%~40%;而在正常的情况下,畸形鱼不会超过 7%~10%。据原苏联的统计数据,里海由于遭到石油的严重污染,自 1962 年到 1969 年,海洋动物赖以生存的植物性和动物性浮游生物的产量明显下降,结果使鲑鱼的总产量下降了三分之二,鲷鱼、鲤鱼和梭子鱼等几乎绝迹。海洋的油污染也曾使英国和荷兰海岸每年约有 10 万只到 30 万只海鸟死亡。这一方面是海鸟的羽毛被石油粘结,降低了浮力,使海鸟最后溺水而亡;另一方面是海鸟在用嘴清理被油粘结的羽毛时,把石油和石油产品带入体内,从而引起一系列的病变,最后导致海鸟的死亡。美国马萨诸塞州附近海面发生的一次溢油,曾使三天后在这一地区捕到的鱼,95%是死的,其原因是油堵塞了鱼的鳃部,使鱼呼吸发生困难窒息而死。

被油污染的水域,可使沿岸一带污浊不堪,严重破坏水域周围的自然环境,使一些疗养胜地失去疗养价值。

水面的大量油膜,甚至可能引起火灾,影响水上交通。在原苏

联的伊谢特河和伏尔加河河面,由于漂流着大量的石油,曾因有人不慎把燃着的烟头丢到河中时,引起两场意想不到的大火。在美国的凯霍加河,也因河面积聚很厚的油污和脏物,曾引起一场火苗高达五层楼之高的火灾,毁坏了河上两座铁路桥。

用被油污的水灌溉农田,将会使土壤中的油类增加,油会附着于水稻植株上或渗透到植物体内,直接影响水稻的生长;另一方面,油类覆盖土壤会隔绝氧气供给,促进土壤的还原作用,使水温、地温升高,危害作物的生长发育。如黄瓜、西葫芦等蔬菜类受油危害后,叶片卷曲,植株萎缩,生长缓慢,严重时,地上茎部表皮腐烂,随后植株枯黄而死去。

工业生产(如炼油厂、钢铁厂、燃油热电厂等)产生的含油废水、水上和海上设施以及船舶在营运期间排放的含油污水、或船舶事故造成的溢油和排油,这些都是石油和石油产品流入江河和海洋的主要因素。其次,港口、码头设施石油和石油产品的泄漏也是油污染的重要来源。据估计,每年因人类活动进入海洋的石油约达1000万t左右,约占世界石油总产品的5%。

世界石油产量正在大幅度增长,其中约有60%以上石油靠海上运输。日本进口的石油约有95%是靠海运。目前,世界共有油轮4000多艘,其中20万吨级以上超级油轮约700多艘。因此,船舶在营运期间所排放的废油及油性混合物也日益增多,如舱底油污水、油泥、燃油舱的脏压舱水、油船的货油舱脏压舱水及洗舱水、输油管及连接部位的漏油、油船或油柜进出油管漏油等等(见表0-1),再加上船舶失事而造成的石油溢漏,使大量石油和石油产品流入海洋,海洋的油污染已成为非常严重的问题。

海洋是人类开发的最后一个宝库。保护海洋资源,防止海洋的油污染得到世界各国的普遍重视。早在1954年,政府间海事协商组织(缩写为IMCO,现改名为国际海事组织,缩写为IMO)已经制订过国际公约,即《1954年国际防止海上油污公约》。此后,于1962年、1969年又作了修正,提出了更严格的要求。在1973年又在上述公约和修正案的基础上制订了《1973年国际防止船舶造成

表 0-1 船舶产生的废油及油污水

来源	种类	部位	产生量
全船	舱底水	机舱 泵舱	与船型、船龄、主辅机种类及大小有关
	校正油	机舱 泵舱	平均为燃料消耗量的 0.1%~0.3%
	油泥	机舱	燃油及滑油柜底部沉积的油性固状物； 燃油及滑油柜清洗时产生的油性固状物(与柜的形状、结构、油的种类、清洗方法、锈蚀程度有关)
油船	脏压舱水	货油舱、 大容量 燃油舱	通常为总吨位的 20% 左右(与海域气象状况及港湾状况有关)
	油舱洗舱水	货油舱、 燃油舱、 滑油舱	进坞前洗舱时,一般为总吨位的 12.5%(开式循环)、 或洗舱室容量的 10%
远洋船	污水舱的水	污水舱	通常为总吨位的 2%(其中 10%~15%是铁锈、砂等固状物)
	油泥	机舱	通常为总吨位的 0.007%~0.008%(一年)(其中油分 10%~30%,氧化铁 30%~40%)

污染公约》，1978 年又通过了《国际防止船舶造成污染公约的 1978 年议定书》，这是当今国际社会签订的两个重要的为保护海洋环境的国际公约，通常称为 MAPOL《1973/1978 国际防污染公约》。该公约对船舶排放油性压舱水及舱底水作出严格的规定：

对于油船，满足下列条件，可以在海上排放油性压舱水：

(1)船舶在航行中；

- (2) 船舶在非特定海区, 远离海岸 50n mile 以上;
- (3) 排水中含油量不得超过 100ppm;
- (4) 油量瞬间排放率不得超过 $60\text{L}/\text{n mile}^{\text{①}}$;
- (5) 每次排油总量不得超过船舶总载货量的 $1/15000$, 新船则不得超过 $1/30000$;
- (6) 排水油分监控装置在正常工作。

据此, 油船在海上排放油性压舱水的数量就受到排水中含油量的约束, 两者的关系可见图 0-2 所示。

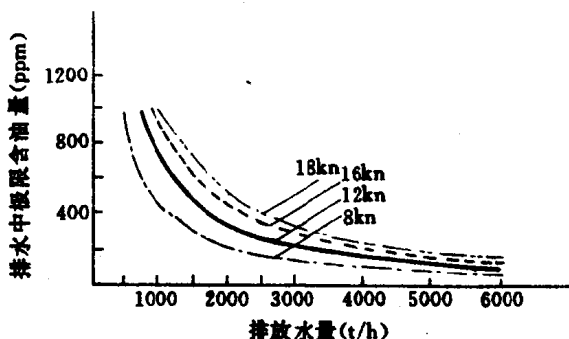


图 0-2 油船排放污水量与其极限含油量关系

油船和 400 总吨及以上非油船, 满足下列条件可以在海上排放舱底油污水:

- (1) 船舶在航行中;
- (2) 船舶在非特定海区^②。离岸 12n mile 以外, 排放水中含油量不超过 100ppm; 离岸 12n mile 以内, 则排水中含油量不得超过 15ppm;
- (3) 排水油分监控装置在正常运行;

为了维护本国的权益, 各国都对在港船舶排放油污水作了更严格的规定。通常规定在港船舶排放油污水时, 其含油量应在 10ppm~5ppm 之下。有的国家甚至不准船舶在港内排放油污水。

① 现修改为 $30\text{L}/\text{n mile}$ 。

② 现修改为一律不得超过 15ppm。

我国政府颁布的《环境保护法》及《中华人民共和国防止沿海水域污染暂行规定》也作了相应的规定,在港船舶不准排放含油量超过10ppm的油污水。

由此可知,船舶产生的油污水(舱底水、压舱水、洗舱水等)未经处理是不准向舷外任意排放。150总吨及以上的油船、400总吨及以上的非油船都必须装设舱底油污水处理设备,油船还必须采取相应的措施来处理其压舱水或洗舱水,然后才能向舷外排放。

自50年代起,船舶油污水处理设备及防止船舶事故性漏油、溢油的设备相继诞生,而且发展很快,特别是《73/78国际防污染公约》的生效,更促进其发展。随着防止船舶油污染技术的不断提高,可以预见,人们一定能在开发海洋资源的同时,也能保护令人神往的海洋自然环境。

第二篇 油污水处理技术

第一章 船舶油污水

船舶所产生的油污水,主要有机舱舱底油污水;燃油舱或油船货油舱作为压载舱时所产生的压舱油污水;油柜或油舱清洗时所产生的洗舱油污水等,俗称“三水”。这类油污水除含有石油和石油产品之外,还含有固体物质和固状悬浮物。因此,它是属于悬浮液和乳浊液所组成的一种混合液。如果混有清洗剂,则成了一种乳化液。

1.1 舱底油污水

聚集于船舶机炉舱舱底污水井内的油污水,主要来源于机、炉舱的油、水管路漏洩;船舶尾轴漏水;日用油柜和污油柜的疏水;蒸汽的凝水和舱壁的露水;锅炉及造水机的疏水;滑油及燃油设备、滤器的洗涤水;花铁板的洗涤水以及船员的洗涤水等。船上使用的各种油类也通过管路及其附件的洩漏和在拆卸、修理过程中的漏油等等。这些水和油最后都进入舱底,汇集于舱底的污水井内或污水沟内,形成一种含有船舶所使用的各种油类和固体杂质等的油水混合液。

舱底油污水的数量与船舶新旧程度(船龄)、船舶吨位的大小、船舶主机功率的大小、船舶的营运状态(航行或停泊)、船舶动力装置的类型等有关。一般来说,新船比旧船的舱底水少,停泊期间要

比航行期间舱底水少,小船比大船的舱底水少,以柴油机为动力的船舶比蒸汽动力船舶的舱底水少。有人估计,一艘船,每年平均产生的舱底水约为该船总吨位的 10%。航行中,平均每天约为 3~10t;停泊期间,每天约为 0.5~3t。表 1-1、表 1-2 和表 1-3 列出对一些船舶舱底水发生量的调查统计资料。

舱底水的水质情况是很复杂的,非但不同的船舶不一样,即使同一艘船舶,不同舱室、不同时刻,差别也是很大的。

表 1-1 旧船舱底水量

船舶吨位(t)	舱底水量(t/d)
1500	3.0
1500~4000	8.0
4000~10000	20.0
10000~25000	30.0
>25000	60.0

表 1-2 近年来建造的船舶舱底水量

船舶吨位(t)	调查船数量(艘)	舱底水量(L/d)	
		航 行	停 泊
<100	36	11.8	7.5
100~500	20	452.7	115.7
500~1000	38	325.4	52.5
1000~5000	116	2064.9	469.9
5000~10000	90	3408.5	1132.6
10000~30000	43	2705.0	1424.6
30000~100000	44	4044.3	1926.1
>100000	19	3052.6	2421.0

表 1-3 港作船队的舱底水量

船型	功率(kW)	调查船数量(艘)	舱底水量(t/年,艘)
拖轮	294(400 马力)	7	30
拖轮	1230(1670 马力)	1	40
拖轮	440(600 马力)	1	30
拖轮	720(980 马力)	2	30
拖轮	176(240 马力)	1	20
起重船	主 735(1000 马力) 辅 95(130 马力)	1	30
起重船	主 370(500 马力) 辅 85(115 马力)	1	30
起重船	35(48 马力)	1	15
锚链	88(120 马力)	1	15
交通艇	220(300 马力)	1	30
交通艇	352(480 马力)	1	30
交通艇	30(40 马力)	1	15
交通艇	176(240 马力)	1	20
挖泥船	主 530(720 马力) 辅 80(110 马力)	1	30
挖泥船	98(130 马力)	1	20
挖泥船	98(130 马力)	1	15
油 驳	60(80 马力)	1	30
油 驳	30(40 马力)	1	30
打桩船	主 268(365 马力) 辅 11(15 马力)	1	30
注:一年工作按 125 天计。			

舱底油污水中主要混有燃料油、柴油、润滑油,有人统计,主要成分是润滑油,约占 70%。实船测得的舱底水表面浮油层性质如

表 1-4 舱底水表面浮油层

船 型		甲 船		乙 船	
舱 室		发电机舱	主机舱	锅炉舱	主机舱
表 层	密度(15/4℃)	0.874	0.883	0.938	0.879
	闪点(℃)	205	215	98	178
	粘度(雷氏,s/50℃)	97	242	1280	248
油	种 类	除重油外	润滑油	重油	润滑油

表 1-4 所示。

近年来,界面活性剂被作为添加剂加入燃油和润滑油之中。一般的洗涤剂也含有这类界面活性剂。船员在清洗增压器等机件或洗手时,常使用洗涤剂,从而将界面活性剂带入舱底水中。界面活性剂会使油滴微细化,使油粒直径小到 $1\mu\text{m}$ 以下,给油、水分离带来困难(见图 1-1)。

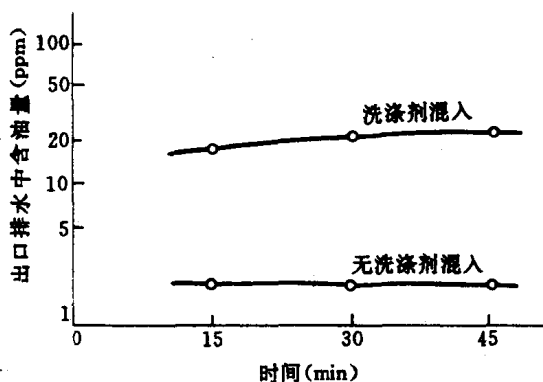


图 1-1 界面活性剂对油水分离的影响

进入舱底的空气压缩机的疏水,也是一种难以处理的油污水。这类油污水呈白色,含油量约为 $30000\text{ppm} \sim 50000\text{ppm}$ 之间,而且油滴直径极小,用显微镜观察大部分在 $0.7 \sim 0.8\mu\text{m}$ 之间。这种疏水即使用滤布、凝聚剂、活性炭吸附等物理方法反复处理,其油分浓度也只能从 $30000\text{ppm} \sim 50000\text{ppm}$ 降到 1000ppm 左右。这类污水是一种负离子倾向极大的乳化液,以物理方法为基础的油污