

石油运输 与海洋保护

杨 厚 盛 编



人 民 交 通 出 版 社

石油运输与海洋保护

Shiyou Yunshu Yu Haiyang Baohu

杨 厚 盛 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

随着海运事业的不断发展，特别是在海上石油运输不断增长的情况下，保护海洋不受污染的任务日益紧迫，每个从事环境保护和海上运输事业的人员，都应具有保护海洋不受污染方面的知识。

本书共分七章，着重介绍海洋石油运输中船舶的压舱水、洗舱水、机舱水以及事故溢油等污染的产生、危害、监测、治理等方面的知识。本书可供从事环境保护工作的管理、科研、治理以及水运等方面的人员参考，也可供有关环境保护专业师生学习参考。

石油运输与海洋保护

杨厚盛 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：850×1168 1/32 印张：6.625 字数：171千

1986年2月 第1版

1986年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—560册 定价：1.85 元

目 录

第一章 概述	1
第一节 事故溢油和操作排油	4
一、事故溢油	4
二、操作排油	6
第二节 国际防止油轮污染的规定	8
第三节 我国防止海洋污染的措施	12
第二章 油轮压舱水及机舱水	17
第一节 油轮压载方法及压舱水处理措施	17
一、“装于上部”(LOT)法	17
二、专用压载法	18
三、洗舱压载法	19
四、港口设置压舱水处理设施	19
五、在油轮上设置油水分离器或在港口设置 污水处理船	19
第二节 压舱水的水量和水质	20
一、压舱水的水量	20
二、压舱水的含油量	21
三、压舱水和炼油厂含油废水水质比较	22
第三节 机舱水	30
第三章 油轮洗舱及洗舱废水	31
第一节 油轮洗舱的分类及要求	31
一、油轮洗舱的分类	31
二、洗舱的目的和范围	32
三、油轮洗舱的要求	33
第二节 洗舱工艺	34

一、洗舱设备	35
二、开式循环和闭式循环洗舱	35
三、化学洗涤剂洗舱	35
四、洗舱机	36
五、蒸喷洗舱法和射流洗舱法	37
六、射流清洗的水力计算	37
七、洗舱过程	41
第三节 石油气的排除	43
一、石油气排除的意义和要求	43
二、石油气排除的方法	44
三、舱底油泥的清除	45
四、石油气排除设备	45
五、油轮压载航行洗舱和石油气的排除	46
六、石油气浓度和送风量计算	46
第四节 石油气防爆	48
一、石油气爆炸的原因	48
二、火花产生的原因	50
三、油轮洗舱防爆	50
第五节 洗舱废水	52
一、洗舱水的水量和含油量	52
二、污油舱(污水舱)处理洗舱水	52
第六节 洗舱方法	57
第七节 洗舱站实例	58
一、湛江港洗舱站	59
二、日本濑户内海油轮洗舱站	60
三、迪拜修船厂油轮洗舱站	61
第四章 事故溢油	63
第一节 事故溢油的影响	63
第二节 事故溢油的控制措施和处理方法	65
第三节 溢油回收和处理的设备器材	69

一、围油栏.....	69
二、溢油回收设备.....	77
三、吸油材料.....	90
四、消油剂.....	97
第五章 海洋石油污染的影响.....	108
第一节 石油污染的过程.....	108
第二节 石油污染的危害.....	111
一、对建筑物和疗养区的危害.....	111
二、对海洋生物的危害.....	111
第三节 油污最后的去向.....	116
一、大气的作用.....	116
二、水的作用.....	117
三、淤泥、砂和其它固体物质的影响.....	117
四、海底和海滩上的油污.....	118
五、细菌的作用.....	118
六、自氧化作用和氧化作用的产物.....	119
第六章 含油废水的处理.....	120
第一节 隔油池.....	120
一、隔油池的作用.....	120
二、隔油池的水力特性.....	121
三、油粒上浮速度.....	123
四、重力式油水分离装置.....	124
五、斜板(管)隔油池的计算.....	128
六、斜板隔油池计算实例.....	137
第二节 浮选池.....	139
一、加压浮选.....	139
二、叶轮浮选.....	141
三、曝气浮选.....	142
四、喷嘴浮选.....	143
第三节 过滤法和生物处理法.....	145

一、过滤法	145
二、生物处理法	147
第四节 活性炭吸附法	152
第五节 油泥处理	152
一、油泥脱水	152
二、油泥处理的方法	153
第六节 船舶含油废水处理工艺流程	154
一、处理工艺流程	154
二、工艺流程设计注意事项	155
三、含油废水处理厂设计实例	156
第七节 油水分离器	163
一、油水分离器类型	163
二、设计油水分离器的要求	164
三、国外几种油水分离器	164
四、我国研制的油水分离器	171
第七章 油污染的监测技术	175
一、油分浓度的测定	175
二、海上油污染监测设施	186
附录一 中华人民共和国海洋环境保护法	193
附录二 中华人民共和国防止沿海水域污染 暂行规定(摘录)	200
附录三 海水水质标准(UDC 551·463 GBH 2·3—82)	202
附录四 船舶污染物排放标准(UDC 628·191 : 629·12 GB 3552—83)	204
参考书目	206

第一章 概 述

我们所生活的这个地球，其表面大部分为蓝色的海洋所覆盖。它占地球表面积 $2/3$ 以上，其平均深度大约为 3200m 。沿海的国家达 100 多个，占世界上所有国家的绝大多数。可以说，世界上大多数人的生产和生活的活动都直接或间接地与海洋有关，尤其在航运、水产和供水等方面与海洋的关系更加密切。因此，海洋是人类共同的宝贵财富，大家都应该来爱护它，保护它。

值得注意的是，近几十年来海洋受到愈来愈严重的污染。尤其是第二次世界大战结束以来，海上的油运有了很大的发展，不仅成品油运输量有了很大的增加，而且原油的运输量也有了大幅度的增长。大战之前，原油一般是在产油国精炼，油轮运输的大部分是成品油。后来，由于石油消耗量增长很大，石油运输量也相应地增长了很多。同时，大型的炼油厂相继修建在石油消耗地区，因而导致了海上运输原油大幅度的增长。1954年海上石油运输为 2.5 亿吨，其中成品油仅 1 亿吨，其余为原油。从那时起，石油运输量几乎每年增长 10% ；只有 1975 年的石油运输量下降了约 7.5% 。就这样，在过去的 25 年里，石油的海上运输量增加了 7 倍以上（其中原油增加 10 倍），其统计数字详见表 1-1。

随着石油运输量的增加，世界商业油船队也有很大发展。1954年注册的油轮有 3,450 艘，总载重量约 $37,000,000\text{t}$ ，当时最大的油轮只有 30,000 载重吨；到 1970 年时，注册的油轮已有 7,024 艘，总载重吨已达 $281,596,987\text{t}$ ，同时有 100 多艘油轮的载重量超过 $100,000\text{t}$ 。根据劳埃德船级社 1979 年的统计资料，世界油船队拥有 6,950 艘，总载重量达 $338,277,822\text{t}$ 。

为了满足石油运输增长的需要，同时为了降低运输的成本，油轮也愈来愈大型化。在世界大型船舶中，杂货船只达到 3 万多

世界海上石油运输量

表1-1

年 份	原 油 (百万吨)	成 品 油 (百万吨)	合 计 (百万吨)
1954	150	100	250
1960	305	144	449
1965	566.5	180.5	747
1970	1,033	230	1,263
1974	1,386.8	269	1,655.8
1975	1,276.9	234.7	1,507.6
1979	1,494.7	256.9	1,751.6
1981	1,215.0	267.0	1,482.0

载重吨，客货轮达到8万吨，散货船达到17万吨。而油轮1962年就达到13万吨了，1966年出现了20万吨油轮，1971年又出现了37万吨的油轮，而在1973年油轮竟达到48万吨。近几年来，世界超级大油轮——法国的贝拉姆亚号已达54.1万吨。当贝拉姆亚号装满货物的时候，它的龙骨深入水下28.5m，甲板高出水面7.3m，一艘油轮象一座11层楼高的建筑物。油轮的长度达400m，宽度65m，装载的货物价值5,000万美元，这样一旦油轮发生事故，将会给海洋带来巨大的污染。

1938年世界石油产量仅为2.8亿吨，而1971年已增长至24.7亿吨，通过海上运输的为12.8亿吨。石油的生产大部分集中于少数地区，例如1938年中东石油生产仅占世界总产量的4%，而到1971年已增至40%以上，中东地区每年运往西方各国的石油达20亿吨。近年来，运往西方国家的石油，从波斯湾经霍尔木兹海峡每天达800万吨，其中日本进口的80%和法国进口的60%都要从这一地区运出。从中东波斯湾到日本有7,000海里，到英国和美国的距离分别为12,000海里和15,000海里。石油海运路线不仅远，而且集中，因此在石油运输过程中操作排油

和事故溢油也就愈多，对海洋的污染也就愈严重。

海洋的污染来源很多，渠道繁杂。据美国环境委员会 1972 年 7 月提出的调查报告估计，从阿拉斯加运送石油到美国西海岸的狭窄航道中，每隔 20 年就会发生一次重大的溢油事故。1974 年西德汉堡水域共发生油污染事件 83 起。据日本海上保安厅发表的资料统计，油污染事件 1968 年是 238 起，1970 年达 440 起，到 1974 年则猛增为 1985 起。从 1968 年至 1974 年日本海洋污染发生件数的统计数字来看，其中油污染超过 80%，而油以外

每年排到海洋里的油（百万吨）

表 1-2

来 源 (海上运输)	1973年	1978年
装于上部油轮	0.31	0.11
非装于上部油轮	0.77	0.50
干 船 坞	0.25	0.25
码 头	0.003	0.001
舱 底 水	0.50	0.12
油轮事故	0.20	0.30
非油轮事故	0.10	0.10
小 计	(2.133)	(1.381)
近海石油生产	0.2	0.06
沿海炼油厂	0.3	0.06
工业废水	0.3	0.15
城市废水	0.3	0.30
市区排放	0.3	0.40
河流排放 (包括游船的排放)	1.6	1.40
自然漏油	0.6	0.6
雨从大气中清除的尘埃	0.6	0.6
总 计	6.113	4.951

产生的污染，包括各种工业废弃物及污水在海上的倾倒和排放，以及赤潮的发生等，每年不到20%。在海洋油污染中，件数最多的是从船舶排泄的油污水，它占油污染件数的60%。世界各地每年都有许多有关向海洋排放油污量的文件发表，但由于作者的观点不同，这些估计的差别也是很大的。美国国家科学院通过研究估价的1973年和1978年的海洋油污染量，一般认为是比较准确地反应了海洋石油污染情况（见表1-2）。

从表1-2中可以看出，海上运输造成的海洋油污染占总数的1/3。在船舶交通量大的沿岸海域，发生污染的可能性就更大一些，特别是在港内及海峡或港湾邻接地带的污染更为严重。船舶油污对海边设备造成的污染占整个污染的60%。因此，船舶油污对海洋的污染是严重的，造成的损失也是巨大的，它不仅影响了海水的水质，也使海洋环境受到破坏，而且使鱼类及海洋生物也遭受严重的危害。船舶油污的影响，尤其是一些大的溢油事故的发生，对海洋造成的污染后果也是长时间难于消除的。因而船舶的油污已愈来愈引起各国人民的巨大关注和严重不安。

第一节 事故溢油和操作排油

每年流入海洋的石油多达1,000万吨，约占世界石油总产量0.5%。油轮压舱水、洗舱水、机舱水、油轮事故溢油、港口贮油、输油设施的漏泄，和装卸过程中的跑、冒、滴、漏等，是海洋沿岸污染的主要来源。这些污染基本上可以分成两类，一类是无意识的事故溢油，另一类是有意识的操作中的排油。现对这两种油污污染分别叙述如下：

一、事故溢油

据统计，每年有0.1%的油轮（按艘数计算）发生搁浅、碰撞和触礁等事故。全世界每月约10起之多，而且发生率还在逐年增长。一些比较大的溢油事故不仅严重影响了附近沿海的许多

国家，而且震动了世界各国。譬如，1967年3月12万吨的美国油轮“托里·坎尼昂”号在英吉利海峡触礁，断成三截，使10万吨原油散布在100多海里宽的海面上，并随着风浪漂流到英国南岸旅游区，在100多公里长的海滩上堆积了30 cm厚的油层，造成鱼和海鸟的大量死亡，使这一带遭到了所谓“和平时期袭击英国的最大灾难”。为了对付这次严重的污染，英国出动了24艘舰船，2,000多名士兵，还派出了轰炸机，又是喷洒消油剂，又是炸毁沉船残骸，花费了50~60万英镑，还是不能完全解决问题。

更严重的一次大溢油事故，发生在1978年3月16日，当时美国阿莫戈国际石油公司所有的悬挂利比亚旗的“阿莫戈·卡迪兹”号油轮，从波斯湾载运22万吨轻原油，前往荷兰的鹿特丹港，途经法国西北部布列塔尼地区的海面时，因操舵装置发生故障，通过海岸电台要求拖轮救助。西德的一艘8826 kw (12,000马力)的“太平洋”号拖轮前往营救，但因当时海况极坏，风力达10级，浪高3米多，带缆十分困难，前后断缆3次，拖救无效，油轮被迫下锚停泊，因风浪太大，油轮随浪漂流，晚9时狂风巨浪将油轮推向锋利的礁石，其中三个舱被撞破，所载原油开始流向海洋。次日早上4时，油轮被折断成两截，大量原油流出，污染极为严重，到中午原油污染带已长达8 km，沿岸的渔村都可以闻到很难闻的污油气味。事故发生后，法国当局立即组织力量进行抢救，并采取了多种措施，但收效甚微，结果仍有22万吨轻原油全部漂流在法国西北部海面上。这次溢油事故与1967年3月的“托里·坎尼昂”号事故相比，流散的污油是前者的7倍，出事地点要比上次更接近岸边，仅为3~5 km的距离。因此，污油被高高地推上布列塔尼白色的海滩沙丘上，导致无数的鸟和鱼类的死亡，污染了法国贝壳类产量的80%，破坏了布列塔尼兴旺的旅游业、沉重地打击了该地区的经济。事后，美国阿莫戈国际石油公司赔偿3,000万美元，但清除污油及赔偿受害者的费用远远超过该数目。

另一次大的溢油事故发生在1979年7月19日,两艘超级油轮,其中载重量28万吨的利比里亚“大西洋皇后”号与另一艘载重量26万吨的希腊“爱琴上尉”号在加勒比海多巴哥以东19英里的地方相撞,两船共有30万吨油(流入加勒比海,并且发生了火灾,造成有史以来最严重的一次海上油污染事件。1980年2月在希腊的皮洛斯港,载油量10万吨的“阿依里尼斯·谢列涅依特”号爆炸,溢油量也达10万吨。

1973年12月我国大连港,一次油轮碰撞事故,漏油1,400余吨,给该地区水域造成严重污染,虽经有关部门采取紧急措施,清扫和清除油污的影响,但是也带来一定损失。

据日本海难防止协会调查表明,全世界平均每年约有5万吨石油因船舶事故而流入海洋。在港口装卸作业中,由于设备损坏,操作失误,或油轮碰撞系船浮筒造成油管破裂等也会发生事故溢油,据统计,溢油的损失约占总装卸量的0.01%。从1956年至1980年,全世界共发生过溢油量在1,000t以上的油轮事故101次,其中,利比里亚的油轮就占了34次,大约有200万吨的油溢入海中。

二、操作排油

船舶压载航行,进坞修理或更换装油种类时,均会有大量的含油压载水、洗舱水和机舱水排入海中,其总含油量远远超过事故溢油的数量。目前,世界上每年约有80万吨以上石油混在未经处理的压舱水里排入海洋,近些年来尽管有75%的油轮采用“装于上部”(LOT)法来减少压舱水排出的含油量,但一般6万吨的油轮在一次压载航行中仍有2.1吨的石油排入海中。采用“装于上部”方法的油轮,每年排入海中的石油总量仍可达25万吨。美国海军舰船每年从压舱水中排出的油污就有1万吨以上。

油轮的洗舱污水对海洋的污染也很严重。1975年仅按30%的油轮在坞修前自行清洗,洗舱水排油量达30万吨。在更换装油品种时,或为了用清洁水压载时都要清洗油轮。据估计每年仅油轮

洗舱和压舱水所包含的石油就超过 300 万吨。

船舶机舱的各个阀门或管道中漏出的油污，都从污水管排入海洋，油轮每年由舱底水排出的油污达10万吨。

据统计，1969年日本的远洋和沿海船舶每天排出含油废水约有 5 万吨。其中压舱水、洗舱水及舱底水所占比例大致为 80 : 10 : 10。1964年在日本沿海船舶排油总量约 5 万吨，1972年达14万吨，1975年达到18万吨。地中海沿岸14个装卸油港中，只有 5 个具有回收油污设备，多数油船直接向地中海海域排放油污水，估计每年约有10万吨石油流入地中海，已引起地中海沿岸国家的严重关注。

码头的油库、输油管及阀门等港湾设施的漏油，也是一个污染的来源。英国最大的油港来尔福港是西方国家同类港口中控制油污染较好的港口，但在 1966 年石油总吞吐量为 2,800 万吨的情况下，就发生油污染事件 78 起，共漏油 3 万吨。美国港口设施一次漏油15吨以上的事件每年都在增加。

此外，近年来世界各地海上钻探和开采石油十分活跃，也是造成海洋污染来源之一。1969年 1 月美国加利福尼亚州圣巴巴拉海底油田（距岸10海里），因原油喷出压力过大造成了地质断裂，每天约有 100 吨原油喷出。虽经采取封闭措施，但直到第二年，每天仍有 2 吨左右的原油流入海中。我国随着开发海底油田规模日益扩大，溢油事故也会有所增加，应引起有关方面的注意。

世界上许多国家为了控制石油污染本国水域，而颁布了一系列的法规。美国国会通过的“美利坚合众国联邦水污染控制法”，其中规定“美国的政策不允许将石油排放到邻接海岸线的美国通航水域或毗连区水域之内”。日本 1970 年防止海上污染法规定“在距日本海岸50海里以内，禁止油污染日本水域。在距港口10公里以内，禁止排放和倾倒压舱水、废油、灰渣及其他废物”。新加坡1971年防止海上污染法规定，“在新加坡领海内，禁止所有船舶排放污染性的物质。悬挂新加坡旗的船舶，在领海

界限以外，也禁止排放污染性的物质”。“对排放油类或油性混合物，罚款最少 500 新加坡元，最多 2000 新加坡元，或监禁 2 年，或二者兼有。”

为了防止油轮对地中海污染，1975 年 16 个地中海国家在马耳他开会，已就在地中海海区成立一个防止油污染的区域中心达成了协议。

第二节 国际防止油轮污染的规定

对于船舶造成的海洋石油污染问题，早在第一次世界大战之后就已引起有关方面的注意。1921 年在英国召开了船主、石油公司和港口当局代表会议来研究这一问题。1926 年在美国华盛顿又召开了国际会议，会上曾提出建立禁止排放石油的海区和近岸区，以及装备船上净化装置等建议，但当时未被普遍接受。1934 年国际上再次提出禁止污染沿岸区的问题，但再次被搁置。直到 1954 年才在英国伦敦召开的国际会议上制定了防止海洋石油污染的国际公约。公约的要点是：油轮不得在距最近陆地 50 n mile 内排放含油 100mg/L 以上的废水；在整个航程中，瞬时排油量不超过 60L/n mile；压载航行中排出的油量不超过其载重量的 1/15000。1958 年这一公约生效，并为第一批 10 个国家所接受。1959 年联合国中建立了“政府间海事协商组织”（IMCO）（从 1982 年 5 月 22 日起该组织改名为“国际海事组织”，简称 IMO），兼负监督公约实施的责任。1962 年该公约作了修订，禁止 20,000 总吨以上的海船在任何海域排放含油 100 mg/L 以上的废水。1967 年这一修订条文生效。1969 年对条例作了更严格的补充，规定港口和石油公司在卸油和炼油地点必须建立废油处理装置，接受船上的污油，同时建议在船上设置防污装置等，从而将操作中排油降低到最小限度。1971 年秋，又通过了限制油轮体积的条例，用来防止事故性的大量溢油。要求即使相邻两舱全部损坏，对于载重 42 万吨以下的油轮流出油不超过 30,000t，100 万

吨的油轮流出油不超过 40,000t。1973 年又制订了新的国际防止船舶造成污染公约(简称防污公约),对于船上含油废水的排放条约的规定是:

1. 必须在航行中排放;
2. 每海里瞬间排放废水中的含油量要小于 60L;
3. 机舱水排放废水中的含油量要小于 100mg/L;
4. 所排出的油应小于货油总量的 $1/15000$, 对于 150 t 以上的新油轮, 一次排出的油量为货油总量的 $1/30,000$;
5. 距离最近陆地 50 n mile 以上。

另外, 1973 年公约还规定了一些关于船舶建造和设备的要求, 以防止因操作而误排的油和在油轮出现事故时减少油的外溢。这些要求概括如下:

1. 油轮必须装有排油和监控设备, 并有可连续记录排放的记录装置;

2. 任何 400 总吨以上的船舶必须装有油水分离设备或者过滤系统。

3. 油轮必须有适当的污水舱, 其能力应能容纳洗舱水、废油和剩余压载水;

4. 载重 70,000t 以上的新油轮必须有能力充足的专用压载舱, 使其能够在不使用油轮压载的情况下安全航行, 特别恶劣的天气除外;

5. 保留了 1954 年公约的 1971 年修正案中关于油舱排列和限制油舱大小的要求;

6. 制订了新的分舱和破损稳性衡准, 以保证油轮在根据其长度规定的舷或底破损后不致于沉没。

1973 年防污染公约及其 1978 年议定书规定, 公约至少要有 15 个国家接受, 而且这些国家的船舶吨位不少于世界商船总吨位 50% 的情况下, 并经 12 个月后方能生效。1982 年 10 月 1 日, 意大利参加了该防污公约, 使参加国达到法定数, 在这之前参加防污公约的 14 个国家的商船吨位已超过世界商船吨位总数的一半, 因

此，防污公约已于1983年10月2日生效。

由于1976年至1977年冬天，美国沿海及附近水域出现了一系列的油轮事故，美国于1977年3月份要求海协采取国际行动以促进油轮安全和防止海上污染。经过海协各技术委员会的紧张准备之后，海协于1978年2月份召开了关于油轮安全和防止污染的国际会议，会议通过了1974年国际海上人命安全公约的1978年议定书（即安全议定书）和与1973年国际防止船舶造成污染公约的1978年议定书（即污染议定书）。

安全议定书的附件规定了关于改进舱机控制系统，所有10,000总吨以上的船舶配备两个雷达，20,000载重吨以上的油轮安装惰气系统的要求。某些现有的低于40,000载重吨的油轮除外。

污染议定书附件中规定（见表1-3），特别要求油轮要有专用压载舱（SBT），清洁压载舱（CBT）或原油洗舱系统（COW）。具体要求如下：

1. 所有载重量为20,000和20,000吨以上的新油轮必须有处于保护位置的专用压载舱和原油洗舱；

2. 所有载重量为30,000和30,000吨以上的新成品油运输船必须有处于保护位置的专用压载舱；

3. 所有载重量为40,000和40,000吨以上的现有油轮必须有专用压载舱和清洁压载舱或原油洗舱；

4. 所有载重量为40,000和40,000吨以上的现有成品油运输船必须有专用压载舱或者清洁压载舱。

上述3、4中所指的清洁压载舱是指把合适的货舱只用作清洁压载。这种系统在议定书生效2年后用于70,000和70,000载重吨以上，生效4年后用于40,000和40,000以上但不足70,000载重吨的现有油轮，作为临时措施。

我国政府代表在历次关于防止海洋污染的国际会议上一再申明：各沿岸国有权根据自己的具体条件，确定相应的防污措施和规则；各国应当履行对自己国内海洋倾废管理的责任；在充分尊