

船舶油污水处理

周华兴 傅培南 编

人民交通出版社

5 船

船舶油污水处理

周华兴 傅培南 编

人 民 交 通 出 版 社

1983·北京

内 容 提 要

本书简要介绍了船舶含油污水的来源与危害,油污水的种类与水质水量。着重阐述了油污水物理处理方法的原理,分离技术的演变过程,压舱水、洗舱水处理工艺流程的选择以及油水分离池设计中的有关问题等。

本书可供从事油污水处理、石油化工、给水排水的设计管理人员,环保人员以及大专院校有关专业师生参考。

船舶油污水处理

周华兴 傅培南 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: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 4.875 字数: 104千

1988年5月 第1版

1988年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,500册 定价: 0.76元

前 言

随着海洋石油工业的迅速发展，海上石油运输量不断增加，船舶的数量和吨位也日益增多。船舶向水域中任意排放未经处理的舱底水、压舱水和洗舱水严重地污染江、河、湖、海，远远超过其自净能力，造成危及人类健康、破坏生态平衡和影响水上运输安全的环境问题。有人预言：如果不对海洋污染采取措施，到本世纪末，所有海洋生物都可能濒于灭绝。

为了避免出现上述灾难性后果，国际海事组织IMO首先在法制方面采取一系列措施，从1954年起就不断做出努力，多次制订和修改防止船舶造成海洋污染的公约、规则、协议和建议等。各国政府也相继采取措施制订国内水域环境保护法。我国第五届全国人大常委会于1982年8月通过的《中华人民共和国海洋环境保护法》对此也有明确的规定。这些法制性规定，对于海洋环境保护工作无疑将起积极的作用。但是，光靠法制进行约束只是问题的一个方面，因为船舶的污水毕竟是要排放的，因此更重要的问题仍是如何采取有效措施，对船舶各种污水进行技术处理，使其排放后不再污染海洋，并从污水中回收大量石油，变废为利。有鉴于此，各种型式的污水处理场、污水处理船便应时而生。作者由于工作需要，曾参加了交通系统污水处理场的调查总结，并进行了有关的试验研究。同时收集了国内外有关船舶油污水处理设施方面的资料、试验成果等，深感这些成果散见于各种期刊、文集和专题报告之中，查索不易。为使这些

零散的成果系统完整，便于查阅，将其归纳整理，总结编写在这本小册子中。

船舶污水处理是涉及各个领域的技术问题，范围甚广，这里仅对油污水处理中的物理方法、原理、技术设施以及工艺流程等方面进行总结，也尝试从水力学观点来阐述污水水流的运动过程，水流状态，流速分布等水流内部结构，从而探讨油水分离效果。

在这本小册子编写过程中，大连港务局侯克俭工程师提供了有关污水处理场的资料。武汉水运工程学院刘琴同志对本书提出了不少宝贵的修改建议，谨此表示感谢。

受时间和水平的限制，再加上收集的资料有限，谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

前言	1
第一章 含油污水的来源与危害	1
第一节 油污水的来源	1
第二节 石油入海后的状况	2
第三节 石油污染的危害	3
第二章 船舶油污水的种类和水质水量	5
第一节 油船压舱水	5
第二节 油船洗舱水水量与水质	14
第三节 船舶舱底水水量与水质	17
第三章 重力分离与圆管粗粒化分离原理	19
第一节 一般原理	19
第二节 油粒上浮速度	22
第三节 斜板隔油池的一般计算	28
第四节 油粒在圆管中的运动规律	31
第四章 气浮原理及其设施	50
第一节 气浮原理	50
第二节 气浮的种类及其设备	53
第三节 气浮设备的选择	60
第五章 过滤法的水力特性与过滤的种类及其设施	60
第一节 过滤法的水力特性	60
第二节 过滤的种类及其设施	65
第六章 油水分离技术及其演变过程	69
第一节 平流式隔油池	70

第二节	斜板隔油池	73
第三节	斜(平)管式隔油池	76
第四节	斜管管组断面型式、水力特性及有关参数	88
第五节	组合式油水分离装置	91
第七章	船舶油污处理方法和工艺流程的选择	102
第一节	选择的依据和原则	102
第二节	国外常用的工艺流程	103
第三节	国内的船舶油污处理方法和工艺流程的分析比较	105
第四节	工艺流程的选择	112
第八章	油水分离池设计中的有关问题	114
第一节	雷诺数 Re 的计算	114
第二节	隔油池进出口布置型式及其计算	119
第三节	斜板(斜管)隔油池布水栅的合理布置	125
第四节	压舱水贮存罐容量的确定	133
第九章	自动控制和油分浓度的监测	135
第一节	油水分离器排油的自动控制	135
第二节	油分浓度的监测方法与比较	136
附 录		141
一、	船舶油水分离器水力计算举例	141
二、	淡水与海水的运动粘滞系数表	146
三、	水的物理性质	147
四、	世界部分国家含油污水排放标准表	148
参考资料目录		149

第一章 含油污水的来源与危害

第一节 油污水的来源

石油对沿海水域、江河湖泊的污染，范围广，危害大，已引起人们的广泛重视。日本在1969~1971年间，沿海油污染事件占海洋污染事件总数的83%。美国沿海每年发生约一万起污染事件中，有75%是油污染。我国沿海水域与江河湖泊受到不同程度的油污染。如大连湾受到石油污染事件约占各种污染事件总数的一半以上。这些都说明，油污染是十分严重的。

在石油造成对海洋的污染事件中，因船舶原因引起石油污染占的比重较大。据美国有关资料介绍，排入海洋的含油污水，船舶占47%以上，其中油船占28.4%，油驳占1.4%，其它船舶占17.2%。国内以大连港为例，船舶每年排出的油污水约占船舶总吨位的30%，减去该港污水处理场每年回收污油1.2万吨外，各种往来的油船、港口作业船，每年向港内排油2000余吨，各种渔业船排放机舱水百余吨。其次是船舶失事造成大量溢油，1976年一艘油船在大连港区内碰撞，就溢油近千吨。除此，设备失修，误操作等原因引起跑油、冒油事故，每年仍有大量污油排入海中。

鉴于油污水大量排入海洋，超过海洋的自净能力，则该水域就受到严重污染。例如：大连湾内17个海水监测站测得海水平均含油量为1.0毫克/升（1972年统计）。又如1976年对渤海海区作了观测，其中莱州湾、渤海湾每升海水含油量

0.42毫克，比1974年增加了11倍。可见沿海水域石油污染严重的程度已到了非治理不可的时候了。

造成沿海水域与江河湖泊油污染的原因，有下列几个方面：

1.我国有漫长的海岸线，在沿海大陆架蕴藏着丰富的石油资源，随着石油资源的开发、勘探，油田的建立而污染海洋。

2.我国沿海工业发达，城市集中，沿海港口林立，如渤海湾就有七个大型炼油厂，炼油厂排出的油污水污染水域。

3.随着石油运输量的迅猛增长，参与国外贸易市场，相应地建立了油区码头，油船的压舱水、洗舱水不符合标准进行排放。

4.沿海沿江各港口大小船舶数以万计，这些船舶每天将大量的高含油量机舱水向水中排放。

5.意外事故，如油船相撞、触礁等大量货油溢入海域。还有船舶的跑、冒、滴、漏等。

鉴于含油污水排放量的逐年增多，超过了水域的自净能力，使海洋、江河造成污染。

第二节 石油入海后的状况

沿海水域中洁净自然水充氧正常，并含有大量的各种生物，如原生动物、细菌、水生植物和水生动物。它们相互依存，从而构成一个复杂的体系，以保持水域的洁净状态。水体主要通过表面曝气，从大气中获得溶解氧，据英国水污染研究所实验室的研究成果指出：在15℃时，与空气保持平衡的纯水含有10.1毫克/升的溶解氧，溶解氧与温度成反比。利用溶解氧的生物会破坏进入水域的有机物质，因此由于各

种生物和溶解氧的存在，经物理（扩散、稀释），化学（氧化、还原）和生物（分解）等作用，有机物质被分解破坏，使水域恢复到未被污染的程度。但是，海水（或河水等）的自净能力是有限的，随着工业生产的飞跃发展，大量三废排放，已超过海水的自净能力，海洋逐渐被污染，水体中的溶解氧含量严重地减少，从而一些生物将会死亡和驱散。

石油的比重比水轻。石油的比重为 $760\sim 900$ 公斤/米³，海水的比重为 $1020\sim 1030$ 公斤/米³，石油入海后大都浮在水表面，并随风向、潮流逐渐扩散。以入海后的成品油为例：起始油膜较厚，呈褐色，随着扩散出现光亮虹色，再扩散成银白色薄膜。每升石油可扩散面积为 $1000\sim 10000$ 平方米，再扩散、油膜四周破裂，被分解、轻质分挥发，重质分同悬浮物沉降海底。所以分散在海水中的油分被蒸发、氧化以及微生物的分解等作用，逐步消失，海水净化。

当海水在常温条件下，被分解后的油分约三分之一被细菌类微生物吃掉，余下的油分被氧化等作用分解。据初步试验，当气温为 23°C ，海水水温为 22°C ，风力四级，海水的pH值为7的条件下，向海水中投入经油船压舱水回收的 41°C 的污油（为大庆原油）5公斤，污油很快就结成块状，以粒状分散油随风向、潮流扩散与稀释，扩散的速度平均为330米/时，二天内就被扩散分解净化。这说明海水是有一定自净能力的。

第三节 石油污染的危害

石油进入海洋后，超过海水自净能力，就造成海洋污染，它不仅碍观赏，还将形成以下各种严重危害。

1. 石油对水产资源的危害 沿海水域受到石油污染，水

产资源明显减退，鱼产量急剧下降。黄花鱼、带鱼、对虾等大幅度减产。天津蛏头沽的蛏子，北塘口的银鱼、籽蟹，大连港、胶州湾的海蟹、海蜇、银鱼已近绝迹。胶州湾二万六千亩滩涂养殖面积污染了百分之四十。养殖和捕捞的鱼、贝类、海藻等，体内积累了石油碳氢化合物，食用时有油臭味，降低了经济价值。如大连湾的海生物——贻贝，四年间损失12000多吨，价值270万元。

当油膜和油块粘住鱼卵和幼鱼时，将会使其死亡，即使孵出来的幼鱼勉强活下来，而大多数变成畸形。浮在海水表面的石油，因油膜隔绝大气中供给的溶解氧，也会使海生物因缺氧而死亡。加上细菌对石油分解过程要消耗大量的溶解氧，所以大规模的油污染，使海水缺氧海生物不能生长、海水变臭。

2.石油污染对人类的危害 石油中的毒物能积累于鱼类或贝类等体内，从而使海洋食物链和人类食物来源中混入致癌物质（三四苯并茚），对人类健康有很大影响，有的人吃了油污染的海产品后，发生腹泻、恶心、头晕等症状。

3.石油污染对水工建筑的危害 码头和水工建筑物上粘附大量原油油污，影响使用寿命及维修工作。

4.石油对海水浴场、风景优美的海滨疗养地区的危害 石油飘浮岸上，便粘附在岩石和海滩卵石、碎片、砂子表面，形成油垢或油皮，而令人厌恶，破坏了海滨的使用价值，恶化了海岸的自然环境。我国北戴河、青岛、大连等避暑胜地、疗养游览风景区受到不同程度的油污染，给疗养和旅游业带来巨大损失。

简言之，沿海水域与江河湖泊受石油污染的危害是多方面的，是严重的，必须采取有效治理措施，缩小污染源以改善环境。

第二章 船舶油污水的 种类和水质水量

船舶油污水包括油船压舱水、洗舱水和舱底水。在研究或选择船舶油污水净化技术时，必须了解船舶油污水的水质水量，因为水质和排放标准决定着处理方法、工艺流程和技术设施的选择。而水量和船舶排水能力决定着处理设施的规模、贮存量和处理能力等。所以了解水质水量，才能研究和采用适当的方法和技术，选择相应的工艺流程，以便经济、合理地处理船舶油污水。

第一节 油船压舱水

一、压舱水量

油船卸完原油后，为确保安全航行，需压载一定数量的水量。压载的水量与油船的构造、船型、大小、航线及天气等情况有关。根据我国青岛、大连和秦皇岛三港油区污水处理场一年（1976年）运转的调查，油船所载压舱水量见表2-1。油船最大压载量占载重量的40%左右，（个别占52%），而多数占30%左右，最小压载量仅占其载重量的3~5%。

（个别情况，油船有的航次不向岸上排压舱水）。从表2-1的资料统计表明，压舱水量占船舶载重量的平均值为：本国油船为10%左右，外国油船为20%左右。从上表看出，平均压载水量是偏低的，尤其是本国油船，原因是为了减少在港

表2-1

港 别		青 岛		大 连		秦 皇 岛	
船 舶 类 别		本国油船	外国油船	本国油船	外国油船	本国油船	外国油船
船 舶 艘 次		66	39	20	131	127	4
船舶吨位(万吨)		1.5~2.5	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~3.5	1.5~2.0	1.5~2.0
压 舱 水 量 (吨)	最 大 值	6500	4500	7000	10000	6000	8500
	最 小 值	500	1000	500	1000	500	3100
	平 均 值	1700	3100	2700	5000	1600	6000
占 载 重 量 %	最 大 值	41	23	47	52	30	43
	最 小 值	3	5	3	5	3	20
	平 均 值	10	15	17	21	9	31

停泊时间，一般尽量少向岸上排压舱水或带回一部分水等，另外采用专用压载舱。甚至有的船舶到港之前，在公海上已将压舱水排一部分入海。

对于国内外有关压舱水水量统计分析的资料分述于下：

国内据“油船压舱水调查初步成果报告”及“交通部油船压舱水调查组”于1974年对上海海运局8艘1.5~2.0万吨级大庆号油船，共22艘次调查资料进行分析结果为1.5~2万吨级油船压舱水水量一般为载重量20~30%，最大为40%。铁道部建厂工程局勘测设计处在“船舶含油污水处理”一文中提出油船在一般情况为载重量的24%，最大为44%。在水运科技动态的“海洋的石油污染及其对应措施”一文中介绍^[23]；好天气时压舱水通常为载重量的25%，坏天气时达40%。

国外据日本“近代港湾”的资料介绍，油船在好天气时压舱水量一般为载重量的25%，坏天气为40%。英、美两国的有关资料介绍为40~50%。苏联资料介绍，压舱水约为载

重量的 $1/3 \sim 1/2$ ，并提出下列数据见表2-2。

表2-2

油船吨级 (万吨)		6	10	21	25
压舱水水量为载重量的%	好天气	25	25	21.5	19.2
	坏天气	41.8	40.0	38.0	36.5

由上述资料的统计结果表明，在一般气象条件下，压舱水占载重量的20%左右，在恶劣气象条件下，占载重量的40%左右，特殊情况下甚至达载重量的50~60%。

随着国际防止船舶造成污染公约的修订（1973年）和我国防止沿海水域污染暂行规定的试行，未经处理的压舱水不能在公海排放，所以近几年来，外国油船开始安装处理量较大的油水分离装置，处理量约300吨/时，亦有为400吨/时。有的还采用“装于上部法”即将含油压舱水或洗舱水等集中于一个或两个舱内，使其静止，经过一段时间后，油粒逐渐浮在水面上，油船下部的水，其含油量则大为减少，便将下部的水排出船外。而浮在水上的残油则留在舱内，下航次装载同品种货油时，即装在此残油上面。另外新建油船采用专用压载舱等。故今后压舱水量有减少的趋势。

二、压舱水的排放量

油船压舱水的排放量，是污水处理场设计和使用方面必须考虑的一个重要参数。排水量的大小，取决于油船的货油泵台数及其排量。根据我国油船和外国油船的统计，见表2-3。一般2万吨级油船货油泵排量为500~800米³/时，5~10万吨级油船排量为1000~2000米³/时，最大货油泵排量达3000米³/时。表2-3是青岛、大连和秦皇岛三港污水处理场运转一年的统计资料，我国目前拥有1.5~2.0万吨级油船，

一般设有货油泵 2~4 台，每台排量 350~700 米³/时。压舱水排放时，根据当时的情况，用一台或两合作业。表 2-3 是根据油船每次排压舱水的时间和排量计算出来的。

表 2-3

港 别		青 岛		大 连		秦 皇 岛	
船 船	类 别	我国油船	外国油船	我国油船	外国油船	我国油船	外国油船
	艘 次	66	39	20	131	127	4
	吨位(万吨)	1.5~2.5	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~3.5	1.5~2.0	1.5~2.0
	排水量	650	800	1300	1400	1300	1000
(米 ³ /时)	最大值	170	160	—	—	300	600
	平均值	420	500	520	720	530	830

三、压舱水的水质

油船压舱水有海水或淡水，或二者兼有。在航行中，水与未卸净的剩余油混合。压舱水中主要含油和泥，还有极微量的酚及其它。油舱卸油后，舱内壁残存油量约为载量的 2~5%，有的高达 0.5~1%。含油量一般为 3%，即 3000 毫克/升。如大连港油区，从 1974 年 12 月至 1975 年 8 月，共接受压舱水 95 万吨，回收原油 3495 吨，平均压舱水含油量为 3.7%。

按油在污水中存在的状态，一般分为浮上油、分散油和乳化油三种。

浮上油：浮在水面或很快能浮到水面的油块以及较大直径的油粒，此种油占压舱水含油量的绝大部分。

分散油：油粒直径较小，一般在几十微米到数百微米，分散在水中，经过一定时间的静置，其中粒径较大的油粒能

浮上水面。若采用油水分离器、吸附过滤等装置可使油水分离。

乳化油：油粒粒径一般在10微米以下，在水中形成乳化状态，一般用物理方法。如依靠静置方法就不易分离。通常，在加热、洗涤、使用界面活性剂和机械搅拌（用离心泵）时易生成乳化油。

压舱水的油污水与洗舱水、舱底水以及炼油厂的油污水相比，乳化程度低。而且油的品种单纯，不如舱底水的含油量高而复杂。

另外油船货油泵多采用蒸汽往复泵、该泵与齿轮泵或离心泵比较，不易使油水乳化。

压舱水含油量虽然高达3000毫克/升，但绝大部分是浮上油和分散油，乳化油含油很小，故处理较容易。

根据交通部水质水量调查组对原油压舱水分层取样化验，其含油量见表2-4，从该表看出，除去在水面上的浮上油

表2-4

平均含油量 (毫克/升) 取样平均深度		平均统计数 (毫克/升)					平均值 毫克/升
		1	2	3	4	5	
表层	水面下0.3米	23.5	11.8	9.6	8.6	18.5	14.4
0.2H	2.1~2.4米	13.3	5.7	8.8	7.9	10.4	9.2
0.4H	4.1~4.8米	21.3	23.8	8.3	10.3	6.3	14.0
0.6H	6.2~7.2米	18.8	14.2	5.0	5.8	10.2	10.8
0.8H	8.3~9.6米	15.8	19.0	7.4	9.1	14.5	13.2
底层	地板上0.3米	16.2	10.7	6.5	10.3	12.1	11.2
平均值(毫克/升)		18.2	14.2	7.6	8.7	12.0	12.1

备 注 1. H表示油船压舱水的水深。
2. 序号1~5表示油船在航行中每隔一定时间取样一次，共取5次。

外,分散油和乳化油的含量在25毫克/升以下的占92%, 20毫克/升以下的占83%, 15毫克/升以下的占72%, 10毫克/升以下的占52%, (此百分数是按实测值总数统计的,其中有大于25毫克/升的,而表2-4中数据是实测值的平均值), 总平均含油量为12.1毫克/升。

如果压舱水排到岸上处理,需经过一次用泵,与在油舱内测定的情况相比,乳化程度要高些,但与洗舱水和舱底水相比,乳化程度还是低的。

根据交通部调查组在青岛黄岛油区活水处理场化验数据,油船压舱水由船上排入一个长30米、宽10米、水深3米的平流式隔油池内、污水在池内停留约1小时,浮上油和部分分散油被隔出,该池出口处水的含油量在50毫克/升以下,平均含油量在18.8毫克/升,见表2-5。由此可见,原油压舱水无论在船上或排到岸上其乳化程度是不高的,也是不难处理的。

表2-5

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
含 油 量	7.8	9.2	21.0	41.4	7.3	6.2	7.6	18.8	34.0	25.9	25.7	27.0
(毫克/升)	7.6	6.5	26.7	44.9	5.6	7.8	7.5	16.2	34.7	35.3	30.0	24.2
平均含油量 (毫克/升)	18.8											
备 注	序号1~12是每隔一定时间,取样一次。而每一次取两个水样。											

四、压舱水的含泥量

油船压舱水的含泥量,也是污水处理场设计中一个主要参数。它关系到除油、除泥方法,设备以及处理设施规模等。泥沙来自泵入油船的压舱水,该水有海水和淡水(江河