

**H AISHANG WUSHUI
CHULI ZHUANGZHI**

海上污水处理装置

黄 昊 吴长虎◎著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

海上污水处理装置

黄 昊 吴长虎 © 著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

海上污水处理装置 / 黄昊, 吴长虎著. —北京:
中国石化出版社, 2017. 6
ISBN 978-7-5114-4524-7

I. ①海… II. ①黄… ②吴… III. ①海水污染-污
水处理设备 IV. ①X55②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 124196 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何
形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市朝阳区吉市口路 9 号
邮编: 100020 电话: (010) 59964500

发行部电话: (010) 59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 8.75 印张 190 千字
2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
定价: 40.00 元

前 言

随着人类活动的范围不断拓展，工业化进程的加速，作为占地球面积71%的大海受到的影响越来越大。人类活动对海上环境包括水体、固体废弃物、大气等影响程度越来越高，海洋污染程度越来越严重。

海洋污染是指人类直接或间接地把物质或能量引入海洋环境，其中包括河口湾，以致造成或可能造成损害生物资源和海洋生物危害人类健康，妨碍包括捕海和海洋的其他适当用途的各种海洋活动，损害海水使用质量和环境。自然界如火山喷发、自然溢油也造成海洋污染，但相比于人为的污染物影响小，不作为海洋环境科学研究的主要对象。就水体而言，人类对海洋的污染日趋严重，海洋污染主要来源于：

(1) 工业生产。陆地上特别是沿江沿海地区工厂排放大量未经处理的污水进入江河、湖泊和海洋。

(2) 城市生产和生活污水未经处理排入江河湖海。

(3) 农耕。人类通过农业活动从土壤中取出物质，又将农药、化肥等添加进去而污染土壤，这些物质流入江河湖海污染水质。

(4) 核电站。沿海核电站将大量的冷却废水排入海洋，而这种废热水的水温较高，这些热水使海洋受到热能污染，水质变坏。

(5) 石油提炼。许多大型炼油厂位于沿海地区，在石油提炼过程中，使部分石油随着废水排入海洋，污染海水。

(6) 油轮泄漏。在石油运输中，有的油轮因产生故障而使石油大量外泄，对所在海区造成严重污染。海上石油钻井平台也会出现石油泄漏的严重事故。

上述海洋各种污染的主要来源和比例大致如下：

(1) 城市污水和农业径流排放占44%；

(2) 空气污染占 33%；

(3) 船舶占 12%；

(4) 倾倒垃圾占 10%；

(5) 海上油、气生产占 1%。

根据污染物的性质和毒性，以及对海洋环境造成的危害方式，主要的污染物有以下几类：

(1) 石油及其产品。包括原油和从原油中分馏出的溶剂油、汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡、沥青等，以及经裂化、催化重整而成的各种产品，主要在开采、运输、炼制及使用等过程中流失而直接排放或间接输送入海；是当前海洋中主要的、且易被感官觉察的量、面广，对海洋生物产生有害影响，并能损害优美的海滨环境的污染物。

(2) 重金属和酸碱。包括铬、锰、铁、铜、锌、银、镉、锑、汞、铅等金属和磷、硫、砷等非金属以及酸、碱等，主要来自工业、农业废水和煤与石油燃烧而生成的废气。这类物质入海后往往是河口、港湾及近岸水域中的重要污染物，或直接危害海洋生物的生存，或蓄积于海洋生物体内而影响其利用价值。

(3) 农药。主要为森林、农田等施用农药随水流迁移入海，或挥发进入大气，经搬运而沉降入海，有汞、铜等重金属农药，有机磷农药，百草枯、蔬菜灭等除莠剂，滴滴涕、六六六、狄氏剂、艾氏剂、五氯苯酚等有机氯农药以及多在工业上应用而其性质与有机氯农药相似的多氯联苯等。有机氯农药和多氯联苯的性质稳定，能在海水中长期残留，对海洋的污染较为严重，并因它们疏水亲油易富集在生物体内，对海洋生物危害甚大。

(4) 有机物和营养盐类。

(5) 放射性污染。主要来自核武器爆炸、核工业和核动力船舰等的排污，有铀-114、钚-239、镅-90、碘-131、铯-137、钆-106、铈-106、铁-55、锰-54、锌-65 和钴-60 等。其中，以镅-90、铯-137 和钚-239 的排放量较大，半衰期较长，对海洋的污染较为严重。

(6) 废热污染。热污染主要来自电力、冶金、化工等工业冷却水的排放，可导致局部海区水温上升，使海水中溶解氧的含量下降和影响海洋生物的新陈代谢，严重时可使动植物的群落发生改变，对热带水域的影响较为明显。

(7) 其主要污染途径是通过废水、废渣和废气的排入。

在人类生产和生活过程中，产生的大量污染物质原子核不断地通过各种途径进入海洋，对海洋生物资源、海洋开发、海洋环境质量产生不同程度的危害，最终又将危害人类自身，海洋污染的危害主要表现为如下：

- (1) 局部海域水体富营养化；
- (2) 由海域至陆域生物多样性急剧下降；
- (3) 海洋生物死亡后产生的毒素通过食物链毒害人体；
- (4) 破坏海滨旅游景区的环境质量，景观失去应有价值。

上述各种海洋污染有很长的积累过程，不易及时发现，一旦形成污染，需要长期治理才能消除影响，治理费用大，危害波及广，特别是对人体产生的毒害更是难以彻底清除干净。20 世纪 50 年代中期，震惊中外的日本水俣病，是直接由汞这种重金属对海洋环境污染造成的，通过几十年的治理，直到现在也还没有完全消除其影响。“污染易、治理难”，它严肃告诫人们，保护海洋就是保护人类自己。

海洋污染给海洋带来赤潮、恶臭等危害，影响海洋生态，从而直接或间接影响到人类，在如陆地排海的污染水，加上海上活动的设施，如航行船舶、海上的科研和海上钻井平台、钻井船等，这些在海上的直接活动对海洋带来的危害是直接的、严重的危害，尤其是海上石油污染，给海洋生态带来的污染和危害更是直接而难以恢复的。如果这些设施不采取有效的环境保护措施，或者不采取严格的高标准的环境处理设施，必然给人类摇篮、蓝色粮仓——大海，以及人类乃至整个世界，带来巨大的灾难。

鉴于此，在我们对水处理多年的经验和海上处理设施多年的实践基础上，我们研发一系列海上污水处理技术和设施，以期对海洋环境保护作出有效的改进和保护。

目 录

1 海上污水处理装置概况	(1)
1.1 海上污水概述	(1)
1.2 海上污水处理装置目前概况	(5)
1.3 海上污水处理装置的几种工艺	(7)
1.4 海上平台污水处理的现状和问题	(16)
2 FBAF - 电催化氧化污水处理装置	(25)
2.1 FBAF - 电催化氧化污水处理工艺的提出	(25)
2.2 FBAF - 电催化氧化污水处理工艺介绍	(25)
2.3 FBAF - 电催化氧化污水处理工艺特点	(26)
2.4 FBAF - 电催化氧化污水处理工艺适用场合	(28)
3 海上低盐废水 FBAF - 电催化氧化污水处理装置原理和结构	(30)
3.1 概况	(30)
3.2 FBAF 工艺设计	(30)
3.3 电解工艺	(35)
3.4 电催化氧化工艺	(42)
3.5 催化氧化装置原理及说明	(46)
3.6 海上污水装置说明	(60)
3.7 使用效果	(61)
3.8 电解法与电催化氧化工艺对比	(69)
4 海上高盐废水 FBAF - 电解催化氧化污水处理装置原理和结构	(70)
4.1 概况	(70)
4.2 高盐废水的 FBAF 工艺说明	(70)
4.3 高盐废水的催化氧化处理工艺	(71)

5 FBAF – 电催化氧化装置污泥减量化 (72)

5.1 污泥减量化研究意义 (72)

5.2 污泥减量化的理论基础 (73)

5.3 国内外污泥减量技术的研究进展 (74)

5.4 新进展：湿式 – 氧化两相技术(WAO) (84)

5.5 各种减量化技术的优缺点 (84)

5.6 剩余污泥减量化存在的问题 (85)

5.7 FBAF – 电催化氧化污泥减量化原理 (86)

5.8 FBAF – 电催化氧化污泥减量化验证及结论 (92)

5.9 FBAF – 电催化氧化污泥减量化意义 (93)

6 海上 FBAF – 电催化氧化污水处理装置操作及检修维护 (94)

6.1 海上低盐废水 FBAF – 电催化氧化污水处理装置技术条件 (94)

6.2 海上高盐废水 FBAF – 电催化氧化污水处理装置技术条件 (98)

6.3 海上低盐废水 FBAF – 电催化氧化污水处理装置运行说明书 (101)

6.4 海上高盐废水 FBAF – 电催化氧化污水处理装置运行说明书 (115)

参考文献 (126)

1 海上污水处理装置概况

1.1 海上污水概述

近半个世纪以来,随着工业化的发展,全球经济一体化的形成,人们联系的日益密切,作为物流最便捷和经济的航运业,得到飞速发展。船舶作为流动源对环境的污染,特别是对敏感区域(如水源地、自然保护区等)的水环境质量影响,正越来越受到人们的关注和重视。而世界各国对海洋保护特别是对领海和内河的保护意识不断加强,按照国际海事组织(IMO)颁布的MARPOL73/78附则IV——防止生活污水污染规则,针对船舶生活污水排放的各种地方性标准不断出台(如美国Alaska地区、加拿大的圣伦罗斯航道及大湖区、德国波罗的海等),要求对船舶生活污水采取更加有效的处理设施和措施。

工业化不断推进的这些年以来,为了适应高速发展的经济需要,航运业得到空前发展,然而随着航运和海洋业的发展,海洋环境正急剧恶化,船舶污水直接排放造成的海水污染、原油泄漏等现象屡见不鲜。为了创造绿色的海洋环境,近十多年来,相关国际组织及世界各国都制订了更严格的船舶污水排放法规,以降低及消除船舶污水对海洋环境造成的危害。如国际海事组织(IMO)在2004年,通过了MEPC107.(49)公约取代了旧的MEPC60.(33)公约,在新的执行标准中增加了对含乳化油“C”液的试验要求,进一步推动了船舶油污水处理装置进行技术升级和产品更新的步伐。

船舶产生的污水主要为生活污水(也称黑水)、灰水以及船舶油污水。生活污水主要指船上人员排出的粪便污水和混有粪便污水的其他废水;而灰水是指除黑水以外的船上产生的其他污水,包括淋浴水、洗涤水、厨房废水等。船舶油污水主要包括船舶正常操作过程中产生的含油压载水、含油洗舱水和机舱水,典型的污染物包括燃料、油类、液压机液体、清洁剂和含水膜、发泡剂(AFFF)、油漆和溶剂等。

海洋平台生产过程中由于人员生活在平台上,产生的生产污水对海洋环境构成了较为严重的流动性污染源。工作人员在生活中也产生大量的黑水和灰水,船舶在海洋行驶和使用过程中产生的污水,也随着工业的发展和人类生产和生活的需要不断提高,大量平台在海上常年生产带来的大量的严重的污染源。配置生产污水处理系统就是为了防止由船舶和海洋平台产生的生产污水对航行水域、平台所处水域造成污染,而在船上和平台上设置的特定处理装置。

这些污水对海洋环境的危害具体可见表1-1。

表 1-1 污水对海洋环境的危害

污水种类	危 害
黑水	消耗水中溶解氧，产生赤潮，危及鱼类和大多数水生生物的生存；产生难闻的气味，造成环境不美观的景象，影响海底生物
灰水	产生赤潮；难闻气味，造成环境不美观的景象，影响海底生物
油污水	造成海水污染，降低海洋生物抵抗力，破坏海洋食物链，产生致癌物质

因此，随着航运业和海洋开发的空前发展，海洋环境的污染越来越严重，海洋生态也遭受到越来越严重的破坏。近年来，人们的环保意识的提高和加强，加上环境法律、制度不断完善和加强，执法力度也在不断加强，也凸显出人类对海洋环境保护的日益重视。

海上污水主要为黑水、灰水以及含油污水，另外海上设施作业时产生的废水，本书主要讨论生活产生的污水，对生产废水不做阐述。

1.1.1 海上污水

海上活动日常产生的废水有如下三种：

(1) 黑水。主要指船上、平台人员排出的粪便污水和混有粪便污水的其他废水，其中可能是淡水冲厕，也可能是海水冲厕，目前以海水居多，尤其是远海航行或远海平台。

(2) 灰水。是指除黑水以外的船上产生的其他污水，包括淋浴水、洗涤水、厨房废水等。

(3) 含油污水。主要包括冲洗产生的清洗水，典型的污染物包括油类、清洁剂和含水膜、发泡剂（AFFF）等。

1.1.2 海上污水特点

海上生活污水最早来源于船舶等，后来随着海上石油天然气开采的活动加剧，平台污水排放也成为海上大的污染源。平台上的生活设施和船舶相差不大，很多都是参考中型或大型船舶进行设计的，所以其生活污水排放和特点有很多相似之处或雷同之处，为表述方便，后面的论述，如果没做特殊区分或论述，两者就不做区别阐释，不同之处再做阐述。

1.1.2.1 海上生活污水的水量特征

海上生活排水量和用水量直接相关，但船舶生活用水量的确定没有专门的标准和规范，因此应根据载客量、卫生设备完善程度和船舶所处区域条件，参照建筑给水排水设计规范进行选用。船舶上主要的用水设备有大便器（槽）、小便器（槽）、洗手盆、洗脸盆、淋浴器、洗涤盆、洗衣机等，因此船舶生活用水包括厕所冲洗、盥洗、洗衣、餐饮等。对货船而言，由于船员数量和生活习性是固定的，其生活用水特征类似于居民区；对客船及旅游船舶而言，流动人口远大于固定船员及服务人员，其生活用水具有商业及公共设施的



特征。因此,可参照《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2015)中,有关住宅和其他商业、公共设施生活用水定额及小时变化系数的规定数值进行选取。

平台生活用水量相对船舶有不同之处,平台上由于长期固定使用,平台上的淡水等都是由补给船供给,但是由于人员长期在上面生活、加上生产任务紧,在人性化设计上面有很多改进,舒适性上有所改进。其人均淡水比船舶提高,产生的生活污水量比较高。其他并无太多不同。

和城市生活污水一样,海上生活污水的产生和排放通常是不稳定的,因此其流量也不稳定。所不同的是,海上人数比城市少得多,这意味着船舶或平台生活污水水力流动的变化比城市大得多。因此,城市中每一个人的排泄对处理装置的水力负荷变化不存在重要的影响,但对人数较少(尤其是货轮及小艇)的船舶和平台却有重要的影响。这个参数的大幅度变化使船舶、平台污水处理问题复杂化。根据在货轮 21006 上的实船调查,每日的最大时污水量出现在约 7:00~8:00,其污水量可达 50L/h,与日污水量 250L/d 之比,可得时变化系数为 4.8。可见,对于船舶、平台而言,尤其是人数较少的货轮、平台,生活污水量在一天中波动较大,而且会出现某段时间(如夜间)无污水排放的情况,所以相应于海上污水处理设施的水力负荷变化较大。因此,为保证海上污水处理设施的稳定运行,进行流量调节是必要的。就海上生活污水处理而言,无论采用何种处理方法,生活污水量越少,无疑对处理是有利的。因此,如果要对海上设施尤其是大型客轮或游轮、平台的生活污水进行处理,首先必须对其冲洗机制进行改进,并尽可能采用节水型的减量冲洗方式。

1.1.2.2 海上生活污水的水质特征

海上设施产生的生活污水,尤其是粪便污水中含有大量的有机物,对其污染程度的定量可用 BOD_5 污染负荷量进行描述。中国《室外排水设计规范》(GB 50101—2005)指出,城市污水的设计水质,在无资料时,生活污水的 BOD_5 按 25~50g/(人·d),SS 按 40~65g/(人·d) 计算。上述生活污水为综合排水,包括粪便污水和杂排水,而粪便和杂排水的负荷量也有较大差异。通常,国内船舶及平台大多采用分开排泄的排水系统,而目前国内船舶及平台生活污水处理装置的设计均参考城市生活污水水质,每人每天污水量和处理装置进水指标等参数几乎都相同。事实上,不同生活污水的污染指标是不一样的,船舶生活污水有其自身的特点,由于海上设施卫生系统排泄周期较短,排放的污水比城市排水系统更为新鲜(分解较少),因此污染负荷较高。另外,不同船型和卫生设备类型及排水系统形式,所排放的生活污水水质也有较大差异。

有资料介绍柴油机货船上每人每天用水量及 BOD_5 负荷量平均值见表 1-2。由表可知,每人每天产生的 BOD_5 为 48g,其中粪便所构成的 BOD_5 占较大比例。各单元所耗水量不同,各种污水的排放浓度也有较大差异,其中粪便污水 BOD_5 浓度高达 670mg/L,但当组合排泄时综合污水 BOD_5 浓度仅为 250mg/L。因此,船舶生活污水污染物浓度和所采用的卫生设备类型及排水系统形式有直接关系。

表 1-2 每人每天用水及 BOD_5 负荷

指 标	厨 房	洗 澡	洗衣机	厕 所	总 计
用水量/L	50	100	10	30	190
BOD_5/g	17	7	4	20	48
$BOD_5/(g/L)$	330	70	350	670	250

德国一些研究机构在进行船舶生活污水处理设计时,参考 ATV (污水工程联合会) 针对小型污水处理装置的设计规定,所采用的生活污水污染负荷量等参数见表 1-3。

表 1-3 德国生活污水每人每天排水量及 BOD_5 负荷量

指 标	厨 房	医 院	洗 浴	洗 衣	厕 所	总 计
用水量/L	10	10	100	20	10	150
BOD_5/g	20	2	15	4	50	91
$BOD_5/(g/L)$	2000	200	150	200	5000	607

另外一个值得注意的问题是,中国《室外排水设计规范》(GB 50101—2005)所推荐的生活污水污染负荷量数据,是基于 1990 年以来全国 37 个污水处理厂的设计资料汇总分析得出的,而此值和居民的饮食结构、生活习惯及生活水平有直接关系。就船舶而言,船员尤其是在远洋货轮上,其生活水平高于一般居民,因此相应的污染负荷量会更高些。而由于缺乏相关数据,盲目搬用其他类型生活污水的设计参数,是目前中国船舶生活污水处理装置存在的一个突出问题。

综上所述,海上生活污水相对其他生活污水不同,有自己的特点:

(1) 冲击性大。平台污水的产生和排放通常是不稳定的,时间变化系数较大,高峰在 6:00~9:00, 11:00~13:00, 17:00~21:00。

(2) 污水系统排泄周期比较短,排放的污水比城市排水系统更为新鲜(分解较少),因此污染负荷较高。

(3) 成分复杂、水质波动大,黑水污染物浓度高,冲洗废水和洗衣废水污染物成分复杂,有化学油脂和洗涤剂、清洗剂等不易降解的化学物质,厨房废水高浓度、含油量大等。

(4) 采用海水冲厕时污水含盐量高,嗜盐微生物活性低、不易成活。

(5) 低盐生活污水水质如下:

①生活污水水质指标为: COD_{Cr} : 200~1200mg/L; BOD_5 : 150~600mg/L。

②氨氮根据经验值确定为: 20~60mg/L。

(6) 高盐生活污水水质如下:

①生活污水水质指标为: COD_{Cr} : 100~500mg/L; BOD_5 : 50~300mg/L。

②氨氮根据经验值确定为: 15~50mg/L。



1.2 海上污水处理装置目前概况

按照 MARPOL73/78 附则 N《船舶生活污水防污染规则》的规定,除非特殊情况,禁止船舶等直接向海域排放生活污水。船舶必须安装符合相应标准的生活污水处理装置,这涉及到 3 类船用卫生设备 (Marine Sanitation Device, 简称 MSD),参考美国海岸警备队 (USCG) 颁布的指导 MSD 设计和建造的条例 (33CFR159),分别为 MSD-1 贯流型装置 (粉碎和消毒装置)、MSD-2 贯流型装置 (有机污染处理,如生化或物化系统) 和 MSD-3 无排放型装置 (集污柜)。由于 MSD-1 和 MSD-2 型装置较为简单,目前国内外针对船舶生活污水处理的研究,主要集中在 MSD-3 型装置的研制和开发。从船舶生活污水处理的管理要求和港口接收设施现状,以及国际上认同的发展趋势来看,船舶生活污水的就地处理达标排放,也就是将污染在船上消除是未来的主导思路。这也要求开发性能可靠、操作简便的 MSD-3 型装置。

1.2.1 国外研究进展

国外进行船舶生活污水处理工艺及技术的研究,开始于 20 世纪 60 年代末期,以美国和日本为代表,目前开展此项研究工作的仍是最早加入附则 N 的一些国家,如美国、日本、英国、法国、德国、希腊、荷兰和丹麦等。从船舶生活污水处理工艺的发展过程来看,其基本上沿用岸上水处理技术,尤其是城市生活污水的处理技术,并随着水处理技术的发展而不断革新。目前,比较流行的处理装置所采用的工艺主要有生物法 (活性污泥法、生物膜法和膜生物法)、物化法 (混凝沉淀及吸附过滤等)、电化学法等。尽管从船舶生活污水的水质特性来看,解决这一问题似乎不存在技术上的难度,但到目前为止仍没有一种公认的理想工艺。这也是 1998 年至今美国海军研究局 (ONR) 欧洲处每年都资助召开海洋环境会议,就船舶防污染及海洋环境保护问题在美国和欧洲国家之间进行政策和技术交流的原因。

近年来,国际上的研究方向以强化生物处理工艺流程及处理效率为主,比较典型的就是结合膜分离技术而形成的膜生物法工艺 (MBR)。如 1998 年 Rachel Jacobs 报道了美国海军环境质量部针对 75 人的军舰,采用曝气预处理、管状膜固液分离以及紫外消毒工艺进行船舶灰水处理的实验室模型实验情况 E61;1993 年联邦德国国防部开始资助进行船舶生活污水处理装置的改进研究,1994~1999 年在陆上进行了采用膜生物工艺的不同处理装置的实验研究,如德国 WABAG ESMIL 公司 1998 年模拟实船条件,采用浸渍型膜生物反应器 (SMBR) 处理船舶生活污水,进行了 9 个多月的实验。2000 年德国海军安装了首台 MBR 船舶生活污水处理装置并进行了实船实验。同年,联邦德国教育与研究部资助进行一项叫做“MEMROD (Membrane Reactor Operation Device)”的研究项目,目的是将船舶所产生的灰水、黑水以及舱底含油废水集中到一个 MBR 处理后达标排放 181;2001 年英国多年从事船舶生活污水处理装置生产的 Hamworthy 公司,也对其产品进行了工艺升级,



研制开发出 MBR 系列装置；荷兰 Triquabv 公司开发的“MEMTriq (r) Marine”船用装置，采用了外置的管状膜。另外，还有物理化学法和电化学法，如美国 Severn Trent De Nora 公司自 1980 年以来就从事 Omni pure 系列电解法船舶生活污水处理装置的生产和销售，该装置利用海水混合污水电解产生次氯酸钠、二氧化氯等氧化剂杀菌，并对有机物进行氧化分解。

1.2.2 国内研究情况

国内针对船舶生活污水处理装置的研制开始于 20 世纪 70 年代末期，以上海船舶设备研究所为代表，该所自 1977 年开始研制 WCC 型再循环式生活污水处理装置以来，已先后开发了物理 - 化学法处理生活污水的 WCF 型系列装置，具有粉碎、消毒、贮存功能的 WCB 型系列贮存柜，以及生化法处理生活污水的 WCH - (T) 型生活污水处理装置，又于 1990 年研制开发了与生活污水真空收集系统（每人每天产生污水量仅 10L）相配套的处理高浓度生活污水的 WCV 型二级生化处理装置。其他还有引进国外设备并吸收转化开发的相关船舶生活污水处理装置，如南京绿洲机器厂的 ST 系列（从英国 Hamworthy 公司引进）和重庆大晃康达环保公司的 SBT 系列（从日本大晃机械工业株式会社引进）。

虽然这些设备均通过了船检部门的型式认可，但在实际使用过程中所出现的比较集中的问题是：处理装置体积较大，耐冲击负荷能力差，处理效果不稳定，操作维修不方便，加之监管不严，很多设备闲置不用。

国内针对船舶污染的研究，以舱底含油废水及溢油污染对策为主，而不重视船舶生活污水污染防治技术研究。1994 年交通部也曾立项“大型客轮生活污水处理技术的研究”，由西安公路交通大学承担，课题组完成了实验室的工艺研究，之后在进行工业性应用过程中，由于缺乏配套资金支持，加上相应管理体系及法律法规不健全，实船实验研究没有再深入进行。其他由政府资助而开展的研究工作未见报道。整体而言，国内针对船舶生活污水处理技术的研究，主要是处理装置的研制开发，由于仅仅着眼于市场需求和管理要求，缺乏基础研究而忽略了船舶生活污水的特性和船舶的环境特点，盲目追求体积小、造价低，只注重装置本身而不重视技术要求，因此往往流于形式。

1.2.3 海上设施污水处理最新进展

目前，海上污水处理装置，包括平台和船舶，基本上都沿用船舶的污水处理设备和工艺：目前所用的系统中所利用的方法有生物处理、电化学处理、物理 - 化学处理、真空抽吸污水、蒸馏浓缩、将固体粉碎同污水搅混后消毒污水以及电动机械处理方法，其中最常用的方法是生物处理和物理 - 化学处理。但是，采用生物处理方法的装置较为笨重，实际上对于内河船舶是不适用的。在利用物理 - 化学方法的装置中，采用各种化学药品使污水澄清和化为无害，这显然使装置的管理复杂化并要求设有专门的服务机构来为船舶供应化学药品。

我国海上污水基本沿用船舶污水处理工艺和装置，所以较多的采用生化法污水处理工



艺。船舶、平台上生活污水一般采用生化法处理；灰水和压舱水则较多采用直接排出舷外，但在一些零排放要求的特殊海域内常采用生活污水粉碎消毒储存柜处理，然后将处理后的污水残渣排至开式海区或通岸接头。

使用淡水作为海上设施：船舶或平台，其排放的低盐污水处理采用传统的接触氧化的工艺已基本淘汰，只有很多老船还在用，平台已基本不用；在新的船舶和平台上采用膜生物法的较多，低盐污水场合采用电解法的不多，因为目前的电解法基本是采用电解海水产生次氯酸钠进行污水分解；含盐废水基本采用膜生物法工艺和国外引进的电解工艺进行处理。采用基本生活污水处理设备采用生物处理加膜生物反应器工艺，处理黑水和灰水混合废水。黑水先进入生活污水处理装置，经过调质预处理后再和灰水混合，经过一级生物处理、沉淀、二级生物处理、再进入 MBR 膜柜，出水经抽吸后由紫外线消毒后外排。产生的污泥进入污泥池。污泥池定期排泥。设备膜组件需要定期化学清洗。

目前，海上电化法工艺更多是采用电解海水，利用钛电极等电极进行海水电解、电絮凝，利用产生氧化剂对污水中有机物进行氧化分解，同时产生大量氢气，这是一个隐患也是电解法的一个弊病。如果电絮凝时阳离子产生并和有机物等反应，会有一定絮状物或沉淀产生。加上高电流电极工作产生大量的电极消耗和黏泥，导致极板钝化或者失效，经常需要进行化学清洗，产生较多的酸碱废水，设备因此无法连续运行。

1.3 海上污水处理装置的几种工艺

经过对海上污水处理的考察、调研，目前在海上，如船舶和平台，主要采用如下几种工艺：①传统接触氧化污水处理工艺；②膜生物法污水处理工艺；③物理化学法处理工艺；④电解法污水处理工艺。

这四种工艺在不同场合和时期，针对不同时期的环保排放标准和要求，起到一定的效果和作用。至于最早的 ST 型船用生活污水处理装置是生物化学处理方式（活性污泥法）的污水净化装置，该装置采用延时曝气（完全氧化）法，利用好气性细菌处理生活污水，其占地大，处理效率低，基本被淘汰，这里就不做介绍。其他工艺分别介绍如下：

1.3.1 传统接触氧化污水处理工艺

生化法的典型代表是 WCB 型生活污水处理装置，工艺流程如图 1-1 所示：

其装置如图 1-2 所示。该类装置采用生物接触氧化的原理处理生活污水，主要由粉碎室、两级生物接触氧化室、沉淀室和消毒室等腔室组成。其主要工作流程为：由卫生间便池来的污水进入装置收集粉碎室；大颗粒悬浮固体物质，经过粉碎泵粉碎细化后，依次经格栅进入两级生物接触氧化室，在两级氧化室内，好氧菌附着在填料表面上生长，形成生物膜，在充氧的条件下，消解污水中的有机污染物，变成无害的二氧化碳和水，同时好氧菌得到繁殖；有机物得到进一步消解；经好氧处理后的污水进入沉淀室，沉积的污泥再被定期回流到接触氧化室作为菌种繁殖和再处理；而经过澄清处理过的污水最后进入消毒室

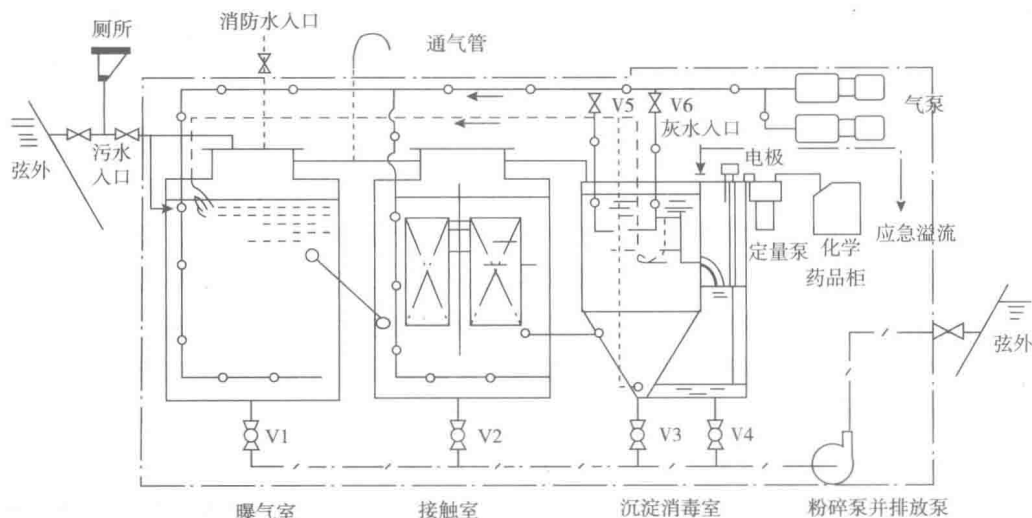


图 1-1 WCB 型生活污水处理装置工艺流程图

用含氯药品杀菌，然后由该室的液位系统控制经排放泵排放至舷外。该装置具有耐腐蚀性强、结构紧凑、安装方便等特点，同时消除污染物彻底，对环境造成二次污染概率较小，排放水符合 IMO 公约和我国规定的排放标准。但是该类装置也存在一些不足，主要包括有：

(1) 该类装置采用重力式沉淀，一旦船舶、平台处于摇摆、倾斜状态，就使得固液分离效果不佳，影响处理排放水水质。

(2) 由于微生物的浓度低，使得污水耐有机负荷和水力负荷的冲击能力较差；易发生污泥膨胀等现象。

(3) 装置体积较大，操作管理复杂，能耗较高，有时运行不够稳定。

(4) 操作维修不方便，需要定期清掏。

(5) 出水水质不稳定，尤其是含有海水的废水。

因此，此工艺目前逐渐被淘汰。

1.3.2 物理化学法处理工艺

物理化学法处理工艺比较典型的是 WSH 型生活污水处理装置，采用物理化学方式进行污水处理。该装置完全实现自动操作，可用于无人机舱，污水的净化质量符合国际公约要求的排放标准。

其工艺流程如图 1-3 所示：

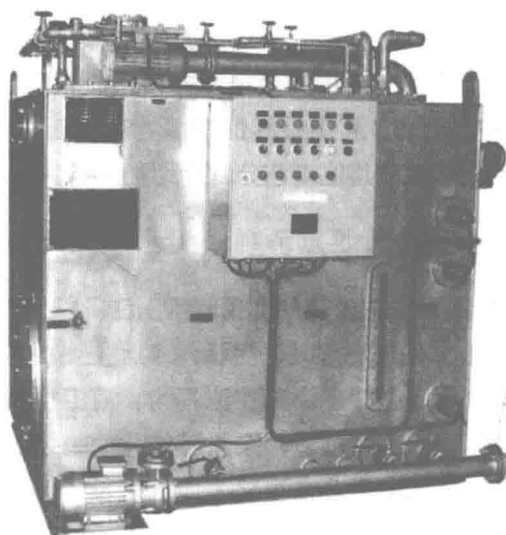


图 1-2 WCB 生化法船用生活污水处理装置

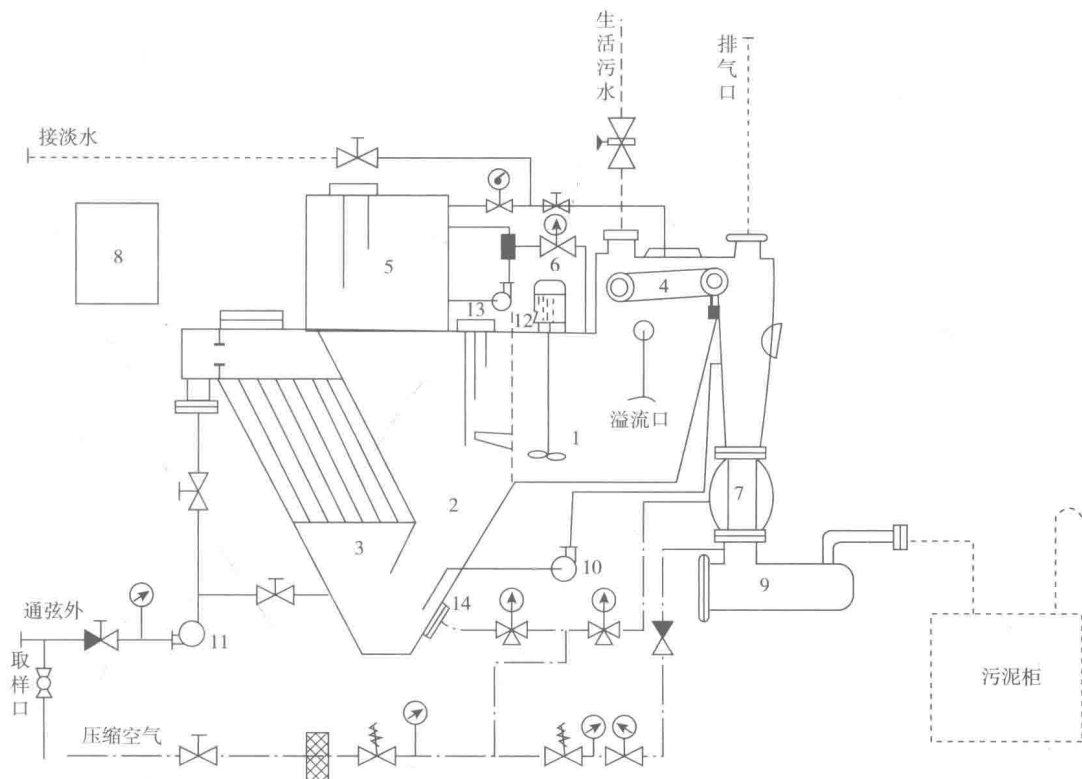


图 1-3 WSH 型生活污水处理装置工艺流程图

1—混合箱；2—絮凝箱；3—沉淀箱；4—机械分离器；5—絮凝剂储存柜；6—搅拌器；7—夹紧器；
8—控制箱；9—污泥箱；10—污泥泵；11—排出的泵；12—药剂泵；13—液位电极；14—振动器

WSH 型生活污水处理装置用氢氧化钙做絮凝剂的优点：

- (1) 除絮凝外，并降低了污水中的 SS 指标。
- (2) 絮凝作用消除了大量的有机物，使 BOD 值大大降低。
- (3) 氢氧化钙本身有杀菌作用。

此工艺的缺点也很明显：

- (1) 污泥量大，化学药剂投加导致大量污泥的产生。
 - (2) 出水无法满足当前的排放标准。
 - (3) 大量的污泥储存和处理，势必引起成本的增加，也给船舶和平台带来大量的工作和不方便。
 - (4) 操作维护费用较高，而且需要大量的化学药品，也带来不安全的因素。
- 因此，此工艺目前应用越来越少，以前建造的基本被改造和升级、替换。

1.3.3 膜生物法污水处理工艺

膜生物反应器 (Membrane Bio-Reactor, 简称 MBR) 是 20 世纪末发展起来的水处理高新技术，它将膜分离技术与生物处理有机地结合起来，主要应用于污水处理领域。2000