



海岸带环境污染控制 实践技术

吴 军 陈克亮 主编
汪宝英 罗 阳
赵由才 王金坑 主审



科学出版社

内 容 简 介

本书分别从城乡生活污水处理及管道铺设、农村生活污水处理及工业污水处理、固体废物减排、点面源污染控制等多个方面,系统地阐述了减少污染物排海的各种工艺和应用实践技术。通过分析近海海域污染的现状,本书特别强调将“减少污染物入海量的各种控制技术”、“防治海洋污染的各种处理工艺”以及“沿海污染控制的实践”有机地结合起来,充分利用海洋环境资源的自净能力,实现陆地与海洋环境容量的平衡,为读者在近海海域污染物的总量控制和减排实践中提供一定的指导。

本书适合于高等院校教学使用,也可供从事环境保护的工程技术人员、国家和地方的环境管理部门的相关人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

海岸带环境污染控制实践技术/吴军等主编. —北京:科学出版社,2013
ISBN 978-7-03-035982-7

I. ①海… II. ①吴… III. ①海岸带-污水处理②海岸带-固体废物处理
IV. ①X703②X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265494 号

责任编辑:韦 沁 / 责任校对:包志虹
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:24 3/4

字数:587 000

定价:89.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

海洋对污染物的承载能力是有限的。在 2002 年至 2006 年的 5 年间,我国全海域未达到清洁海域水质标准的面积约占我国近岸海域总面积的 55%,主要海湾、河口都处于亚健康状态。根据 2008 年国家海洋环境公报,我国近岸海域总体污染程度依然较高。全海域未达到清洁海域水质标准的面积约 13.7 万 km^2 ,污染海域主要分布在辽东湾、渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾、珠江口和部分大中城市近岸局部水域。88.4% 的入海排污口超标排放污染物,部分排污口邻近海域环境污染严重;部分贝类体内污染物残留水平依然较高。

海洋污染具有污染源广、复合性及持续性强、累积效应大且扩散范围大等特点。据统计,我国海洋环境污染物中,陆源入海污染物约占 90%,船舶污染和海洋养殖占了 10%。如环渤海地区常年注入渤海的河流共有 40 余条,很多河流均跨省、市、县域,城市污水和工业废水向这些流域排放,最终汇入渤海;珠江口每年接纳大量未经处理的生活污水、工业废水,排入污水总量超过 20 亿 t,其中约 75% 以上的城镇生活污水未经处理就直接排入海。九龙江是厦门海域的主要入海河流,其主要的人海污染物有:化学需氧物质、无机氮、总磷、石油类、锌、铜等重金属元素及硫化物。大量的氮、磷污染物的排入,导致了近海海域的赤潮频繁发生,成为近海最突出的环境问题之一。2008 年全年发生赤潮 68 次,累计面积 13700 km^2 。赤潮发生次数较 2007 年明显减少,但累计面积比上年增加 2100 km^2 ,赤潮多发区主要集中在东海海域。

海域污染可分为点源污染和面源污染。点源污染是指由于污染物的集中排放引起的海域污染,是可控的污染;面源排放指在径流的淋洗和冲刷作用下,大气、地面和地下的污染物进入海域而造成的污染,其污染源呈面状分布,随机变化大,多为氮、磷等营养物质,是海域污染的主要类型,难以人为控制。面源污染的主要污染源包括化肥流失、水土流失、禽畜养殖、生活污水、农药流失、固体废弃物和城市地表径流等。

沿海地区经济的高速发展、对污染控制的力度不够以及对海域开发缺少整体用海规划等是造成海域环境严重污染的重要原因。海洋污染的“刽子手”一是陆域排污,二是海域开发。沿海一些地方为了发展经济,纷纷建设一些不具备有效污染治理措施的工业生产项目,如化学制浆造纸、化工、印染、制革、炼油等。这些工业生产项目位于海边,直接或者间接地通过管道、沟渠、设施向海域排放污染物,对海洋环境造成了严重的污染。如果解决不了陆上污染物排放超标超量问题,海洋环境问题是无法解决的。

目前消减海洋污染的指导思想是,在“防治结合,以防为主,综合治理”的环保方针指导下,坚持“谁污染,谁赔偿”、“谁开发,谁保护”和海洋及海岸带的开发利用与保护海洋环境协调统一的原则。本书通过分析近海海域污染的现状,将减少污染物入海量的各种控制技术、防治海洋污染的各种处理工艺以及沿海污染控制实践的分析有机地结合起来,充分利用海洋自净能力的环境资源,实现陆地与海洋环境容量的耦合,为近

海海域污染物的总量控制和减排提供一定的指导和分析。

本书分为综述、污水处理和固体废物处置 3 篇，共 15 章。第一篇为综述；第二篇分别从城乡生活污水处理技术、污水管道铺设、农村生活污水处理及工业污水处理技术几个部分，系统地阐述了减少污水中污染物排海的各种工艺和应用实践；第三篇则详细地介绍了固体废物减排的各种技术和实例，包括生活垃圾分类和可持续填埋技术、垃圾的焚烧工艺、工业固体废物的综合利用、餐厨垃圾的厌氧发酵技术、污泥的处理处置技术、农村废弃物的处理处置技术、面源污染控制技术及海陆环境容量耦合控制技术。本书收集了赵由才教授、王金坑教授课题组成员的相关研究成果，参阅了众多海洋污染研究者的著作，由汪宝英、王金坑、赵由才参与编写第一章；陈克亮、汪宝英、罗阳编写第二章；吴军、叶文飞、罗阳、曹加华、王娟、周文敏、胡静、丁亮编写第三章；汪宝英、宋玉、王明超、甄广印编写第四章；陈克亮、汪宝英、罗阳编写第五章。在此，感谢同济大学环境科学与工程学院赵由才教授及课题组成员、国家海洋局第三海洋研究所王金坑教授、同济大学的叶文飞及朱冠楠为本书的编写提供的帮助和付出的辛勤劳动；同时感谢海洋公益性行业科研专项“入海污染物总量控制和减排技术集成与示范”项目的资助（项目编号：200805065）。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请有关专家和各位读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

目 录

前言

第一篇 综 述

第一章 绪论	3
1.1 近海海域污染现状	3
1.2 海洋自净及近海海域环境容量	7
1.2.1 海洋自净	7
1.2.2 近海海域环境容量	9
1.3 近海海域污染控制	11
1.3.1 海洋环境管理	11
1.3.2 海岸带综合管理	12
1.3.3 海洋污染监测	13
第二章 海岸带与海洋污染	15
2.1 海岸带陆地入海污染物种类与危害	15
2.1.1 入海污染物的分类	15
2.1.2 入海污染物的危害	16
2.2 入海污染物在海洋环境中的迁移转化	28
2.2.1 入海污染物的迁移转化概述	28
2.2.2 石油	31
2.2.3 营养盐	34
2.2.4 重金属	37
2.2.5 有机物	39
2.2.6 放射性物质	40
2.3 海岸带环境的管理	41
2.3.1 入海河流的疏浚	41
2.3.2 污染物总量控制	49
2.3.3 海洋可处置度区域划分	50
2.3.4 海岸带的综合利用	53

第二篇 污 水 处 理

第三章 沿海城镇污水处理	57
3.1 沿海城镇排水	57
3.1.1 沿海城市排污状况	57

3.1.2	沿海城镇排水管网概论	58
3.1.3	沿海城镇排水管网设计优化	60
3.1.4	沿海城镇污水管网的改造和完善	76
3.2	沿海城市污水处理	78
3.2.1	物理处理	78
3.2.2	化学处理	85
3.2.3	活性污泥法	88
3.2.4	生物膜法	117
3.2.5	污泥的处理与处置	124
3.3	沿海农村生活污水处理	137
3.3.1	沿海村镇生活污水问题现状和特点	137
3.3.2	沿海村镇生活污水处理原则	138
3.3.3	沿海村镇污水收集管网建设	139
3.3.4	腐殖填料滤池技术	140
3.3.5	生物/生态组合技术	151
3.3.6	地埋式一体化技术	159
3.3.7	分散式生活污水处理技术工程示范应用情况（江苏）	167
3.4	沿海重污染行业工业废水处理	169
3.4.1	电镀废水处理	169
3.4.2	制药废水处理	187
3.4.3	化工废水处理	200

第三篇 固体废物处置

第四章	沿海城镇固体废物处理	219
4.1	海洋垃圾污染状况	219
4.1.1	海洋垃圾概述	219
4.1.2	海洋垃圾的来源及现状	219
4.1.3	海洋垃圾的危害	220
4.1.4	海洋垃圾的防治措施	220
4.2	沿海城镇固体废物处理	221
4.2.1	沿海城镇固废排放状况	221
4.2.2	沿海城镇固废来源	221
4.2.3	沿海工业固废处理现状	221
4.2.4	建筑垃圾处理技术	226
4.3	城市生活垃圾处理	227
4.3.1	概况	227
4.3.2	生活垃圾预处理技术	230
4.3.3	生活垃圾填埋技术	238

4.3.4	生活垃圾焚烧技术	254
4.3.5	厨余垃圾处理与利用	274
4.4	农林渔业固体废物处理	282
4.4.1	概述	282
4.4.2	农作物秸秆的资源化利用	286
4.4.3	畜禽粪便的综合利用	292
4.4.4	农业塑料的综合利用	301
4.5	危险废物处置	304
4.5.1	概况	304
4.5.2	危险废物的危害与特点	306
4.5.3	特殊危险废物的处置	307
第五章	面源污染控制	311
5.1	概述	311
5.1.1	面源污染分类、一般特征与危害	311
5.1.2	沿海城镇面源污染控制与管理	313
5.1.3	美国面源污染控制与管理经验	315
5.2	陆域面源污染控制	316
5.2.1	沿海城市面源污染控制	316
5.2.2	沿海乡镇农业面源污染控制	324
5.3	海洋面源污染控制	331
5.3.1	海洋石油污染控制	331
5.3.2	海上养殖污染控制	352
参考文献		371
附录	上海市餐厨垃圾处理管理办法	383

第一篇 综 述

第一章 绪 论

1.1 近海海域污染现状

近海海域 (near coastal seawaters) 指岸边范围内的海域。《近海海域环境功能区划分技术规范 (H/JT82-2001)》中适用的需进行环境功能区划的近岸海域,是指与沿海省 (自治区、直辖市) 行政区域内的大陆海岸、岛屿、群岛相毗连,《中华人民共和国领海及毗连区法》规定的领海外部界限向陆一侧的海域。近岸海域 (alongshore seawater) 指我国领海基线向陆一侧的全部海域,尚未公布领海基线的海域及内海,指-10m等深线向陆一侧的全部海域。

近海海域环境功能区 (environmental function zone in near coastal seawaters) 是指为执行《海洋环境保护法》和《海水水质标准》,环境保护行政主管部门根据海域水体的使用功能和地方经济发展的需要对海域环境划定的按水质分类管理的区域。

近海海域环境功能区划 (environmental function zoning in near coastal seawaters) 是指近岸海域的环境功能按水质类别划定其分界线,确定其水质保护目标,并制订出有效的管理规章。区划前期可把重点放在城镇生活、经济建设和社会发展关系比较密切的人海河口、海湾及其所涉及的岸线附近海域和必要的依托陆域;随着对海域开发程度的加大,再逐步扩展至全部近岸海域。环境功能区控制站位 (monitoring pointing environmental function zone) 是指在可控制范围内能反映环境功能区水质的监测站位。该站位上的水质监测值能基本反映出所控制范围内水质状况,控制范围需根据功能区面积大小、当地的水文状况及监测能力确定。

1984年5月,中央和国务院正式决定开放大连、秦皇岛、天津、青岛、上海、宁波、广州、福州、湛江等14个沿海城市,与深圳、珠海、汕头、厦门4个经济特区一起由北到南成为中国对外开放的前沿地带。沿海开放城市是中国改革开放的先锋城市,也是中国经济社会发展的坚实基础。2006年首批沿海开放城市的地区生产总值达到40449亿元,占全国的19.3%。

近年来,伴随我国沿海地区经济的快速发展,我国近海岸海域的海洋环境质量出现逐渐恶化的趋势。虽然国家和各相关地方政府采取了众多的预防和治理海洋环境污染的措施,但我国海洋环境仍然不容乐观。国家海洋局公布的2009年中国海洋环境质量公报显示,在2009年,全国海域未达到清洁海域水质标准的面积为146980km²,比上年增加7.3%。且河流携带入海的污染物总量较上年有较大增长,有73.7%的人海排污口超标排放污染物 (国家海洋局,2009)。目前,海洋环境污染已成为威胁人类生存和发展的一大隐患。我国近岸海洋生态系统面临的环境污染、生境丧失、生物入侵和生物多样性低等主要生态问题依然存在,海洋生态环境保护与建设处于关键阶段。

自从 20 世纪 90 年代以来,随着我国经济的发展,我国海洋污染问题日益严重。其中,我国近海水质劣于一类海水水质标准的面积,从 1992 年的 10 万 km^2 , 上升到 1999 年的最高值 20.2 万 km^2 , 平均每年以 14.6% 的速度增长。1999 年以后,我国的海洋环保工作初显成效,总体污染状况得到初步改善,污染加重的势头得到遏制,全海域未达到清洁海域水质标准的面积由 1999 年的 20.2 万 km^2 逐年下降到 2004 年的 16.9 万 km^2 , 减少了 16.3% (王森等, 2006)。2007 年我国全海域未达到清洁海域水质标准的面积约 14.5 万 km^2 , 比 2006 年减少 0.4 万 km^2 。2008 年全海域未达到清洁海域水质标准的面积约为 13.7 万 km^2 , 比 2007 年减少了 0.8 万 km^2 。2009 年,全海域未达到清洁海域(符合国家海水水质标准中第一类海水水质的海域)水质标准的面积约为 14.7 万 km^2 , 比 2008 年增加 7.3%。其中,中度污染海域(符合国家海水水质标准中第四类海水水质的海域)和严重污染海域(劣于国家海水水质标准中第四类海水水质的海域)的面积分别为 20840 km^2 和 29720 km^2 , 分别比 2008 年增加 19.6% 和 17.7%, 表明我国海域海水环境质量依然不容乐观(表 1.1)。

表 1.1 2005~2009 年全海域污染情况比较

年份	海域污染面积/ km^2				
	较清洁	轻度污染	中度污染	严重污染	合计
2005	57800	34060	18150	29270	139280
2006	51020	52140	17440	28370	148970
2007	51290	47510	16760	29720	145280
2008	65480	28840	17420	25260	137000
2009	70920	25500	20840	29720	146980

虽然我国海洋环境污染的治理近年来取得了一定成效,但是我国近岸海域污染总体形势仍然严峻。污染海域相对集中在经济发展较快、人口密度较大的海湾沿岸和主要河流的入海口附近,如辽东湾、渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾、珠江口和部分大中城市近岸局部水域。海水中的主要污染物是无机氮、活性磷酸盐和石油类。

我国海域未来几年仍将以营养盐为主要污染物,受污染的海域面积在短期内不会有明显减小,在某些海域污染状况仍将持续处于严重状态,赤潮的发生次数和影响面积在短期内不会得到有效控制,赤潮仍将是主要的海洋灾害。海洋生态所承受的负重仍然非常沉重,需要加大对海洋环境治理的力度,以实现我国海洋经济的持续发展。

20 世纪末以来,由于江河携带大量陆源污染物入海,我国近岸 2/3 的重点海域受到营养盐污染。其中,辽河口、大连湾、胶州湾、长江口、杭州湾、象山湾、三门湾、乐清湾、闽江口、珠江口等海域污染较重,且污染范围不断扩大,大部分河口、海湾以及大中城市邻近海域污染日趋严重。对我国主要入海口海域污染状况研究表明:入海口海域独特的地理位置决定着其直接承受沿海、沿江居民排放的城市生活污水、食品工业废水及残渣、人畜粪便、造纸工业废物等富含有机物质及其他污染物,是污染物最为集中,密度最高的区域。在我国受污染海域中,主要入海口海域污染程度相对严重,主要污染物质是无机氮、磷酸盐、油类以及有机物和重金属。

据国家海洋局发布的《中国海洋环境质量公报》，2006 年监测的入海的主要污染物总量约 1298 万 t，2007 年约 1407 万 t，2008 年约 1149 万 t。2009 年国家海洋局对全国 40 条主要河流实施了污染物入海总量监测，结果显示：全年由河流入海的主要污染物总量为 1367 万 t，比上年增加 218 万 t，其中 COD_{Cr} 1311 万 t，比上年增加 209 万 t，营养盐 47 万 t（其中氨氮 24 万 t、总磷 23 万 t）；石油类 54626t；重金属 33908t（其中铜 3722t、铅 2874t、锌 27027t、镉 226t、汞 59t）；砷 3918t。

2009 年，国家海洋局组织地方海洋行政主管部门对 457 个陆源入海排污口开展监督性监测，并重点监测了 76 个排污口邻近海域的环境质量状况。其中，工业和市政排污口占 67.0%，排污河和其他类排污口占 33.0%。对入海排污口 3、5、8、10 月的监测与评价结果表明，337 个排污口存在超标排污现象，占监测排污口总数的 73.7%。其中，71 个排污口 1 次超标排污；70 个排污口 2 次超标排污；55 个排污口 3 次超标排污；141 个排污口全年 4 次监测均超标。不同类型排污口的超标排放比例依次为：其他类排污口（83.8%）>市政排污口（81.1%）>排污河（78.3%）>工业排污口（58.5%）。

入海排污口排放的主要超标污染物包括总磷、悬浮物、COD_{Cr} 和氨氮，超标排放上述污染物的排污口占监测排污口总数的比例依次为 50.6%、41.1%、40.7% 和 17.7%。

全年对 230 个入海排污口开展了重金属污染物排放状况监测与评价，结果表明：15 个排污口超标排放重金属污染物，主要为工业排污口和排污河；几种主要重金属污染物的超标程度为镉>汞>铅>六价铬>砷。

根据入海排污口的污染物排放状况及邻近海域功能区的环境保护要求，对 457 个入海排污口各月排污状况综合等级的评价结果表明，3 月入海排污口的超标排放比例最高，排污状况等级为 A 级和 B 级的排污口所占比例也最高；沿海各省（自治区、直辖市）中，浙江、江苏和广西入海排污口的总体排污状况最为严重。

陆源污染物大量排放，致使近海海域污染日益严重，生态环境不断恶化；渔业资源日渐枯竭，生物多样性锐减；海域功能明显下降，资源再生和可持续发展利用能力不断减退（催姣，2008）。

海洋生态监控结果显示，除广西北海、北仑河口、海南东海岸、西沙珊瑚礁 4 处监控区为生态系统健康外，全国其他海域均为亚健康或不健康状态，且变化趋势基本稳定。曾有意大利的《亚洲新闻》撰文描述了我国渤海海域的严重污染情况：“渤海岸边被红色的海带淹没了，不断污染着海水，导致许多水生物种的丧生。”该文中的渤海海域星云图（如图 1.1 所示）将渤海的污染问题毫不留情地暴露在世人面前，图中黑色部分为重度污染区域。

海岸带滨岸区是人类居住、农业、工业和旅游用地，也是渔业等海上活动基地，一般经济比较发达；特别是近年来海岸带地区发展较快，使得海岸带规划和管理中存在盲目性和不合理性。在污染负荷总量中，点源污染的比重相对较大，而工业废水和生活污水是点源污染的重要来源。在污染负荷总量中，有 80% 以上的耗氧有机物、N 和 P 来自于工业废水和生活污水。面源污染在污染负荷总量中也占据一定比重。市郊农业、畜禽养殖业和浅海养殖业产生的污水直接排海，对近岸海域水环境质量造成很大影响。上



图 1.1 渤海海域污染情况星云图（引自《亚洲新闻》）

述工业、城市生活、旅游业、农业、畜禽养殖业和浅海养殖业构成了近海海域污染涉及的六大行业，如图 1.2 所示。面源污染中还应包括大气沉降、城市地表径流等诸多其他方面，但是这些在污染负荷总量中所占的比重很小。

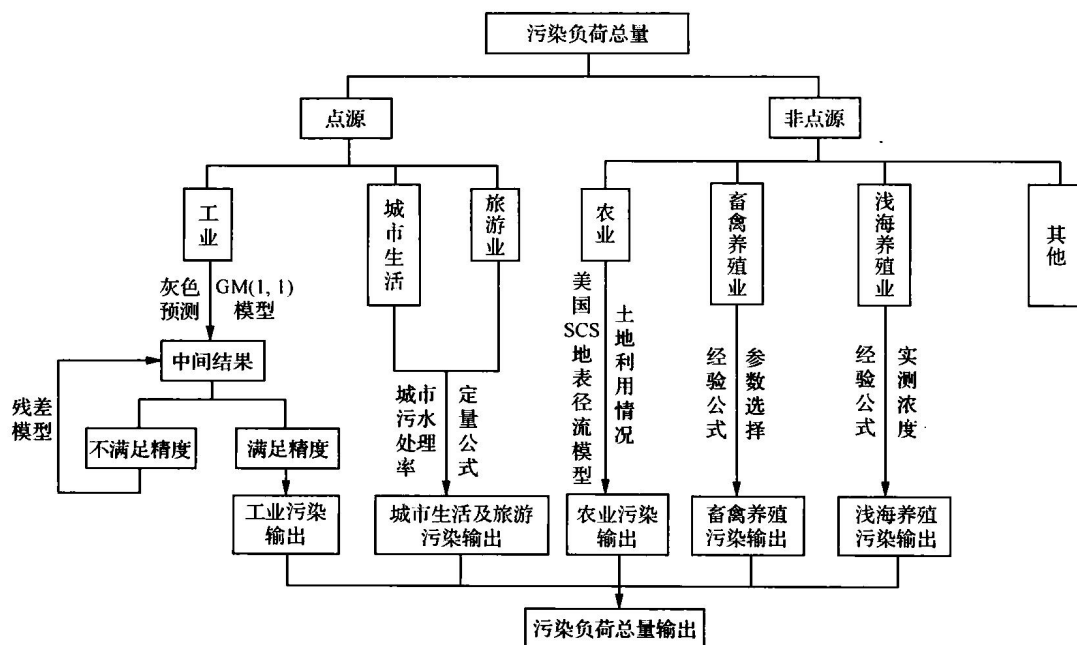


图 1.2 海岸带污染负荷构成图（引自王红莉等，2005）

1.2 海洋自净及近海海域环境容量

1.2.1 海洋自净

海洋自净是一个错综复杂的自然变化过程，自净能力越强、净化速度越快。净化速度一般表示为浓度下降率或与污染物有关参数的变化率。影响自净能力的因素很多，主要有地形、海水的运动、温度、盐度、酸碱度（pH）、氧化还原电位（Eh）、生物丰度以及污染物本身的性质、浓度等。海洋自净过程按其发生机理可分为：物理净化、化学净化和生物净化。3种过程相互影响，同时发生或相互交错进行。一般说来，物理净化是海洋自净中最重要的过程。

1.2.1.1 物理净化

物理净化主要是通过稀释、扩散、吸附、沉淀或气化等作用而实现的自然净化。海水的快速净化主要依靠海流输送和稀释扩散。在河流入海口和内湾，潮流是污染物稀释扩散最持久的营力。如随河流径流携入河流入海口的污水或污染物，随着时间和流程的增加，通过水平流动和混合作用（主要是湍流扩散作用）不断向外海扩散，使污染范围由小变大，浓度由高变低，可沉性固体由水相向沉积相转移，从而改善了水质。据初步计算 1972~1980 年排入大连湾的石油约 17 万 t，砷约 1.2 万 t，COD 约 67 万 t（COD 为化学需氧量，代表有机物在水体中的浓度）。这些污染物在物理净化作用下，约有油 10.5 万 t，砷 1 万 t，COD 约 67 万 t 输送出湾外，其扩散系数达 $1.2 \times 10^5 \sim 3.8 \times 10^6$ 。

在河流入海口近岸区，混合和扩散作用的强弱直接受河流入海口地形、径流、湍流和盐度较高的下层水体卷入的影响（见图 1.3）。另外，污水的入海量、入海方式和排污口的地理位置，污染物的种类及其理化性质（比重、形态、粒径等）和风力、风速、风频率等气象因素对污水或污染物的混合和扩散过程也有重要作用。

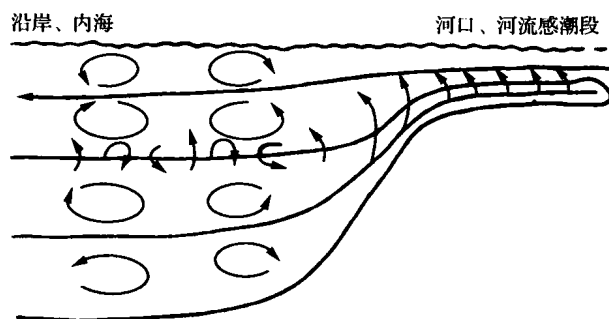


图 1.3 沿岸、内海海水运动模型

根据排污方式，污染物的扩散过程通常可选用下列几种简化扩散模型来模拟：

(1) 连续排污的三维湍流扩散模型。设连续排污点源位于海面，污水排放速率为 I （单位： m^3/s ），而污染物质在水平和铅直方向上的湍流扩散系数 K_1 （单位： m^2/s ）为一恒量，则在平流输送可以忽略的情况下，污染物质的浓度 C （单位： kg/m^3 ）的分布

可近似地按下式计算。

$$C(r) = C_0 \{1 - \exp[-I/(2\pi K_1 r)]\}$$

式中, r 为以排污点源为中心的径向距离, m; C_0 为排污点源 ($r=0$) 处的污染物质浓度, kg/m^3 。

(2) 连续排污的二维湍流扩散模型。在自然状态下, 海水铅直稳定层结的浮力效应在很大程度上抑制了铅直方向上的湍流扩散过程。因此, 在深度较大的海区中, 污染物质的扩散仅限于受风浪等搅拌混合作用的上混合层; 而在较浅的海区中, 由于风力的搅拌作用和底摩擦作用, 海面至海底的整个水层基本上呈铅直均匀状态。在这种情况下, 污染物质的扩散可近似地作为二维 (水平) 湍流扩散过程来处理。设水平湍流扩散系数 K_2 为一恒量, 水平流动的平流输送效应可以忽略不计, 则在距离排污点源 r (单位: m) 处的污染物质浓度 C 可近似地按下式计算。

$$C(r) = C_0 [1 - (r/r_0)^\alpha]^\alpha = I/(2\pi K_2 r), \quad r_0 = \left(\frac{It}{\pi z} \cdot \frac{\alpha + 2}{\alpha} \right)^{1/2}$$

式中, z 为上混合层的深度或水质铅直均匀的浅水区域深度, m; t 为污染物质的排放时间, s。

(3) 瞬间排污的二维湍流扩散模型。对于瞬间排放的点源扩散, 通常可近似地作为二维 (水平) 湍流扩散问题来处理。如设水平湍流扩散系数 K_2 为一恒量, 并且平流输送效应可以忽略不计, 则在距离排放点 r (单位: m) 处的污染物质的浓度可近似地按下式计算:

$$C(r, t) = \frac{VC_1}{4\pi K_2 t z} \exp[-\pi r^2/(4\pi K_2 t)]$$

式中, V 为瞬间排放物的体积, m^3 ; C_1 为污染物质的浓度, kg/m^3 ; t 为自排放瞬间起算的时间, s。

在上述几个简化模型中, 湍流扩散系数的量值与海面的风力、海浪、海流 (包括潮流)、水深、海水层结状况以及岸界和海底地形等因素有密切关系, 因此, 须按具体情况而定。观测和实验结果表明, 在大多数情况下, 湍流扩散系数的量值范围一般为 $1 \sim 100 \text{m}^2/\text{s}$ 。

研究物理净化的方法通常采用现场观测和数值模拟方法。近年, 欧美、日本和中国学者曾分别对布里斯托尔湾和塞文河流入海口、切萨皮克湾、大阪湾、东京湾、渤海湾和胶州湾等作了潮流和污染物扩散过程的数值模拟。

1.2.1.2 化学净化

化学净化主要由海水理化条件变化所产生的氧化还原、化合分解、吸附凝聚、交换和络合等化学反应实现的自然净化, 如有机污染物经氧化还原作用最终生成二氧化碳和水等。汞、镉、铬、铜等金属, 在海水酸碱度和盐度变化影响下, 离子价态可发生改变, 从而改变毒性或由胶体物质吸附凝聚共沉淀于海底。海水中含有的各种配合体或螯合剂也都可以与污染物发生络合反应, 改变它们的存在状态和毒性。离子价态的变化直接影响这些金属元素的化学性质和迁移、净化能力。影响化学净化的因子有 pH、Eh、温度和海水中化学组分及其形态等, 如大多数重金属在强酸性海水中形成易溶性化合

物, 有较高的迁移能力; 而在弱碱性海水中易形成羟基络合物如 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 、 $\text{Pb}(\text{OH})^+$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ 等形式沉淀而利于净化。一般说来, 可溶性的化学物质净化能力较弱, 难溶性物质因其易沉入底质而净化能力较强。

1.2.1.3 生物净化

生物净化指微生物和藻类等生物通过其代谢作用将污染物质降解或转化成低毒或无毒物质的过程, 如将甲基汞转化为金属汞, 将石油烃氧化成二氧化碳和水。微生物在降解有机污染物时, 要消耗水中的溶解氧。因此, 可根据在一定期间内消耗氧的数量多少来表示水体污染的程度。目前已知微生物能降解石油、有机氯农药、多氯联苯以及其他各种有机污染物, 其降解速率因微生物和污染物的种类和环境条件而异; 还有多种类微生物可以转化汞、镉、铅、砷等金属。

1.2.2 近海海域环境容量

由于海洋辽阔, 自净能力较大, 人们一直把它看成是最大的天然净化场所, 任意向海洋中倾废或排污的行为屡禁不止。然而, 海洋的自净能力是有限的, 为了合理利用海洋环境自净功能、保护和改善海洋环境、研究和掌握海洋环境自净机理, 确定海洋的环境容量是海洋环境科学研究的一项重要任务。

环境容量是在人类生存和自然生态系统不致受害的前提下, 某一环境所能容纳的污染物的最大负荷量; 或一个生态系统在维持生命机体的再生能力、适应能力和更新能力的前提下, 承受有机体数量的最大限度。环境容量包括绝对容量和年容量两个方面, 绝对容量是指某一环境所能容纳某种污染物的最大负荷量; 年容量是指某一环境在污染物的积累浓度不超过环境标准规定的最大容许值的情况下, 每年所能容纳的某污染物的最大负荷量。环境管理中实行污染物浓度控制, 法令规定了各个污染源排放污染物的容许浓度标准, 但没有规定排入环境中的污染物的数量, 也没有考虑环境净化和容纳的能力。这样, 在污染源集中的城市和工矿区, 尽管各个污染源排放的污染物达到(包括稀释排放而达到的)浓度控制标准, 但由于污染物排放的总量过大, 仍然会使环境受到严重污染。因此, 在环境管理上开始采用总量控制法, 提出了环境容量的概念, 把各个污染源排入某一环境的污染物总量限制在一定的数值之内, 不超过环境可容纳的污染物总量范围(王修林、李克强, 2006)。

环境容量一般可以分为 3 个层次: ① 生态的环境容量, 生态环境在保持自身平衡下允许调节的范围; ② 心理的环境容量, 合理的、游人感觉舒适的环境容量; ③ 安全的环境容量, 极限的环境容量。“十五”期间, 我国开始编制国家环境容量指标, 国家环保总局制定环境容量总额, 然后按年度分配给各省市, 各省市再往各地市分解; 同时, 每年环境容量指标都往下削减。污染物的排放必须控制在环境的绝对容量和年容量之内, 才能有效地消除或减少污染危害。

海洋环境容量是在充分利用海洋的自净能力和不造成污染损害的前提下, 某一特定海域所能容纳的污染物质的最大负荷量, 该容量的大小即为特定海域自净能力强弱的指标。海洋环境容量由日本环境厅于 1968 年首先提出, 是在海洋环境管理中实行对个别

污染物排放浓度的控制过渡为污染物总量控制的标志。排入某一海域的污染物如果只规定各个污染源容许排放污染物的浓度,而不考虑环境的最大负荷量,则有可能各个排放点污染物的排放量虽然符合标准,但特定海域的污染物总量却可能超过标准,造成污染损害。倘若将流入某一海域的污染物总量限制在允许容纳量之内,并在此总量下限制来自各种排放源的污染物负荷量,就可以使海域环境质量维持良好状态。海洋环境容量将海洋环境容纳污染物的能力与允许污染源排放的量联系起来,由此确定允许排海的污染物总量及处理程度,达到防止海洋污染的目的,是污染物排海总量控制的关键。

污染物进入海洋后,在海水中进行复杂的物理、化学和生物反应,并不断被稀释、吸收、沉降或转化。影响海洋污染物变化的海洋学和生态学过程非常复杂,主要因素有海岸地形、水文条件、水中微生物的种类数量、海水温度、溶氧以及污染物的性质和浓度等。在某一特定海域内,根据污染物的地球化学行为计算环境容量的方法,因污染物不同而异,一般有以下几种(王修林、李克强,2006):

(1) 以化学需氧量(COD)或生化需氧量(BOD)为指标计算污染负荷量,通常采用数值模拟中的有限元法和有限差分法,即通过潮流分析计算 COD 浓度场。

(2) 重金属的污染负荷量以其在底质中的允许累积量 M_1 表示。即

$$M_1 = (S_i - S_0) \cdot A \cdot B \cdot W_0$$

式中, S_i 为底质中重金属的标准值; S_0 为底质中重金属的本底值; A 为重金属在底质中扩散面积; B 为底质的沉积速率; W_0 为底质的干容量。

(3) 轻质污染物(如原油)的环境容量 M_2 则通过换算水的交换周期求得。即

$$M_2 = \frac{1}{T} q \cdot S'_1 + C$$

式中, T 为海水交换周期; q 为某海域水深 1~2m 的总水量(油一般漂浮于 1~2m 水深); S'_1 为海水中油浓度的标准值; C 为同化能力(指化学分解和微生物降解能力)。

海域的标准自净容量计算需要多年研究工作的积累,一般通过污染物在多介质海洋环境中的迁移转化模型进行计算,继而通过规划海域的污染物蓄存量(M) 获得该海域的环境容量。中国海洋大学王修林教授课题组应用基于污染物在多介质海洋环境中迁移—转化箱式模型的标准自净容量法,分别计算了渤海溶解无机氮(DIN)、总溶解磷(TDP)、石油烃、Pb(II) 污染物的基准海洋环境容量,如表 1.2 所示。

表 1.2 渤海主要化学污染物基准海洋环境容量和水物理迁移环境容量

(单位: 10^4 t/a)

污染物	基准海洋环境容量				基准水物理迁移环境容量			
	一类	二类	三类	四类	一类	二类	三类	四类
DIN	74	95	125	158	12*	18*	24*	31*
营养盐 TDP/ $\text{PO}_4\text{-P}$	5.4/4.8	8.3/7.5	9.3/8.4	13.8/12.6	/0.9*	/1.8*	/1.8*	/2.8*
石油烃	9.5		57	95	3.5*		21*	35*
COD	440*	660*	880*	1100*	120*	180*	240*	300*
重金属 Pb(II)	0.48	2.4	4.8	24	0.07*	0.37*	0.73*	3.67*

注: * 为估算结果; 数据引自王修林、李克强, 2006。