

中国海洋溢油污染现状及其生态影响研究

王传远¹, 贺世杰², 李延太³, 侯西勇¹, 杨翠云¹

(1. 中国科学院 烟台海岸带可持续发展研究所, 山东 烟台 264003; 2. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025; 3. 山东经济学院 燕山学院, 山东 济南 250014)

摘要: 分析了中国近海溢油污染的现状、污染加剧的背景和原因, 着重探讨了海洋溢油污染的生态危害, 并提出了防治方法与对策。

关键词: 溢油污染; 近海; 生态危害; 防治
中图分类号: X55 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096(2009)06-0057-04

石油及其产品在开采、炼制、贮运和使用过程中进入海洋环境会造成严重污染; 其中溢油污染危害最大, 石油泄漏被称为海洋污染的超级杀手。据统计, 全世界因油轮事故溢入海洋的石油每年约为 39 万 t; 1973 年至 2006 年, 中国沿海共发生大小船舶溢油事故 2 635 起, 其中溢油 50 t 以上的重大船舶溢油事故 69 起, 总溢油量达 37 077 t。近年来中国每年排入大海的石油约 12×10^4 t, 中国近海海域石油的平均质量浓度已达到 0.055 mg/L, 而且污染正日趋加剧^[1,2]。除营养盐之外, 石油烃已成为世界海洋(尤其是浅海)的主要污染物^[3]。石油污染物与常规污染物有所不同, 一旦污染水域或食物链, 进入人体后不易遭到破坏, 并且仍保持它的持久性、累积性、迁移性和高毒性时, 必然危及机体, 表现出致癌性、致变性和致畸性, 严重威胁人类健康。对溢油污染进行治疗, 改善、恢复污染区域的生态环境, 保护海洋环境和海洋资源, 促进可持续发展是世界各国义不容辞的责任。

1 海洋溢油污染状况

中国近岸海域石油污染严重, 20 世纪 80 年代近海石油污染超标率在 10% 左右, 1993 年上升到 37.0%, 到本世纪初, 由于新的环保型工艺的推广和国家控制的加强, 中国近海海域石油烃类入海量由上世纪的逐年上升转入大致平稳的状况(表 1)。目前中国外海环境尚处于良好状态, 但是, 沿岸区环境质量逐年退化, 近海污染范围不断扩大, 重金属污染得到控制; 石油污染由北部海区向南部转移, 营养盐和有机污染呈上升趋势; 突发性污染事件增多, 慢性危害日益暴露, 生态破坏仍在加剧。据中国近岸海域环境质量公报显示, 2007 中国近海海域石油类测值范围为未检出 ~ 0.390 mg/L, 平均质量浓度 0.020 mg/L, 样品超标

率为 3.0%。与 2006 年比较, 近岸海域海水石油类平均浓度和样品超标率基本持平; 四大海区中, 样品平均浓度均基本持平, 超标率除黄海水区有所上升外, 其他海区均略有下降(表 2)。

表 1 2001~2007 年中国近岸海域海水石油类污染

Tab. 1 Petroleum pollution of water in offshore area during 2001~2007 in China

年份	最大值 (mg/L)
2001	1.27
2002	0.97
2003	0.85
2004	0.37
2005	0.28
2006	0.019
2007	0.020

表 2 2006~2007 年中国近岸海域各海区海水石油类污染物超标倍数

Tab. 2 Surpassing times of petroleum pollution in the four major marine regions during 2006~2007 in China

年份	渤海	黄海	东海	南海	全国
2006	6.2	2.5	4.8	1.4	6.2
2007	5.1	5.1	5.1	5.1	6.8

收稿日期: 2008-08-09; 修回日期: 2009-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40806048); 中国科学院知识创新工程重大项目(KK0710AX-026); 中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金”资助项目(AJ0809xx-035); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-224)

作者简介: 王传远(1975-), 男, 山东日照人, 助理研究员, 博士, 主要从事海洋环境和油气地球化学研究, E-mail: wangchy6111@163.com

2 近海石油污染加剧的背景及原因

海洋石油污染中的突发性输入包括油轮事故和海上石油开采的泄漏与井喷事故,而慢性长期输入则有港口和船舶的作业含油污水排放、天然海底渗漏、含油沉积岩遭侵蚀后渗出、工业民用废水排放、含油废气沉降等^[2]。结合溢油污染原因与途径,分析中国近海溢油污染加剧的背景和原因,笔者认为主要有以下几个方面:(1) 石油进口量持续增长,石油海上运输及港口装卸作业频繁,存在溢漏油的隐患,而油轮的大型化增添了发生重大海上溢油事故的可能性,增大了溢油处理的难度。2007年中国原油进口继续保持10%以上增速,全年进口原油1.6亿t,与上年相比增长12.4%,而海运量占总进口量的95%以上。(2) 中国的油轮以单壳船、小船、旧船居多,油轮船队明显存在规模小、吨位少、船型结构不合理,油轮管理操作人员安全环保意识淡薄和技术水平低等问题,发生灾难性船舶溢油事故的可能性大。(3) 海上油田石油勘探开发中的泄漏和采油废水排放已成为一个重要的污染源。至2007年底,全国共有海上油气田39个,含油污水年排海量约 $1.084 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。(4) 中国每年入海的石油中,陆地污染源排放量最大。随着社会的发展,陆上生产生活含油污水进入海洋的数量有增无减。造成陆源人为海洋石油污染的途径主要有沿海城市的生产生活含油污水直接排放或由城市地表径流携带入海、内陆生产生活含油污水经河流携带入海、含油废气被微粒吸附后经降雨输入海洋以及向海洋倾倒含油垃圾废料等。2007年,中国四个海区中,渤海沿岸超标排放的排污口比例依然最高,达91.0%,黄海87.6%,东海81.4%,南海90.0%。

3 海洋石油污染的危害

石油污染危害海洋资源,影响生态平衡。石油中含有数百种化合物,主要由烷烃、芳香烃及环烷烃组成,约占石油含量的50%~98%,简称为石油烃,其余为非烃类含氧、含硫及含氮化合物^[4]。溢油在海洋环境中主要以漂浮在海面的油膜、溶解分散态(包括溶解和乳化状态)、凝聚态残余物(包括海面漂浮的焦油球以及在沉积物中的残余物)三种形式存在^[5]。溢油,因其物理影响和化学毒性,会导致海岸带初级生产力降低,植物枝叶枯萎,湿地侵蚀^[6],从而严重危害海岸带生态。具体生态影响如下:(1) 影响光合作用。石油污染破坏海洋固有的 CO_2 吸收机制,形成碳酸氢盐和碳酸盐,缓冲海洋pH值,从而破坏了海洋中 O_2 、 CO_2 的平衡;油膜使透入海水的太

阳辐射减弱;分散和乳化油侵入海洋植物体内,破坏叶绿素,阻碍细胞正常分裂,堵塞植物呼吸孔道。以上因素会破坏海洋食物网的中心环节——浮游植物光合作用,进而破坏食物链,导致生物死亡。(2) 毒化作用。芳烃(PAHs)作为海洋环境最严重的有机污染物,广泛分布于海洋环境中,由于其潜在的毒性、致癌性及致畸变作用,对人类健康和生态环境具有很大的潜在危害。石油泄漏到海面,几小时后便会发生光化学反应,生成醌、酮、醇、酚、酸和硫的氧化物等,对海洋生物有很大的危害^[7]。而慢性石油污染的生态学危害更难以评估。由于向海洋排放的含有污油废水的比重大于海水,以及泄漏后的油滴会黏附在海洋悬浮的微粒上沉落海底,这些有毒物质常常沿海底流动,污染了海底的底质和生物等,使生物大量死亡,破坏了海洋的生物多样性。石油污染物进入海洋环境会对水生生物的生长、繁殖以及整个生态系统发生巨大的影响。石油能渗入较高级的大米草和红树等植物体内,改变细胞的渗透性,甚至使其死亡。污染物中的毒性化合物可以改变细胞活性,使藻类等浮游生物急性中毒死亡。当海洋中石油质量浓度在 $10.4 \sim 10.3 \text{ mg/L}$ 时,可以对鱼卵和鱼类的早期发育产生影响^[8]。石油中所含毒稠环芳香烃在平台或排污源附近,生物体受影响的程度比较严重,表现在生理代谢异常、组织生化改变等,从而扰乱物种的生物繁殖,改变生物群落的生态结构和生活特性^[9],有些改变可能是不可逆的或致死性的。烃类经过生物富集和食物链传递能进一步加剧危害,危害人体健康^[10]。据分析,被污染海域内的鱼、虾等生物体内的致癌物浓度明显增高。(3) 消耗海水中的溶解氧,导致海洋生态系统失衡。油膜覆盖影响海水复氧,石油分解,消耗水中溶解氧,造成海水缺氧(据统计,1L石油完全氧化达到无害程度,大约需要4万L的溶解氧)^[11],引起海洋中大量藻类和微生物死亡,厌氧生物大量繁衍,海洋生态系统的食物链遭到破坏,从而导致整个海洋生态系统的失衡。(4) 引发海洋赤潮。在石油污染严重的海区,赤潮的发生概率增加,虽然赤潮发生机理尚无定论,但应考虑石油烃类的影响^[12,13]。研究表明,高浓度石油烃可对海洋浮游植物生长产生抑制作用,低浓度石油烃可产生促进作用^[14,15]。石油污染影响多种海洋浮游生物的生长、分布、营养吸收、光合作用及浮游植物参与二甲基硫(DMS)的产生和循环的过程,可以引发赤潮^[16]。例如,渤海赤潮发生重点水域往往也是石油烃高浓度区,主要包括莱州湾、渤海湾、辽东湾等沿岸水域^[17]。(5) 危害海洋渔业资源,破坏滨海湿地资源。鱼、虾、蟹、龟等一些海洋生物的

行为,例如觅食、归巢、交配、迁徙等,都是靠某些烃类来传递信息的;但是油膜分解所产生的某些烃类可能与海洋动物的化学信息和化学结构相同或类似,从而会影响到这些动物的正常行为。例如,油污会改变某些鱼类的洄游路线。海水中油的质量浓度为 0.1 mg/L 时,孵出的鱼苗大都有缺陷;海洋石油污染使石油黏附在鱼卵和鱼腮上,使鱼类大量死亡^[18]。中国在近岸海域实施的贻贝监测计划结果显示,2007 年中国近岸海域铅、镉、砷、石油烃和滴滴涕在部分贝类体内的残留水平出现超海洋生物质量一类标准的现象,其中长江口、广西、莱州湾和渤海湾近岸海域贝类体内的石油烃残留水平均呈现上升态势。许多海鸟也因为翅膀黏附石油而不能飞行或在海中浮游以及食用被石油污染的鱼虾而生病死亡。

4 溢油污染的防治对策

严重的海洋石油污染对一个国家生态环境、经济发展等有着不可估量的影响。为此,应从预防-监测-应急处理等环节加大工作力度,积极采取预防措施和解决办法,降低海洋的油污染,保护海洋生态环境。(1) 预防。本着“预防为主”的原则,防治海洋石油污染的重点应放在污染源的控制上。首先,要重点控制陆地污染源;其次要加强对海上船舶排污、石油平台排污和海洋倾废活动的管理。再次,应大力提高石油的勘探、开采、运输等综合治理的技术,并努力改进生产工艺,提高石油的生产和使用效率,对工业排放进行无害化处理。另外,石油运输部门要定期对运输设备进行检查,严格实行油轮使用期限制度,在运输设备上逐渐淘汰单壳油轮,改用双壳油轮运输,以减少石油泄漏的可能性。(2) 监测管理。一方面,加强海洋环保宣传教育,提高环保意识,形成海洋环境保护的良好社会氛围;另一方面,要完善法规体系,加强制度建设和立法监督,加大执法力度,坚决依法治理和保护海洋环境。要建立健全海洋环境污染的监测、监视系统和溢油监视网系,重点做好石油作业港区(码头)周边水域、主航道经过的海域、海上油田作业海域及海洋倾废的环境监控,及时掌握石油污染状况的信息,监督处理违法行为和环境异常现象;要建立海上执法监察队伍,重视执法检查。 (3) 综合治理,加强技术研究。对海洋石油污染综合治理应包括石油勘探、开采、运输、加工、贮存、使用、污染治理各个环节,同时还要进行新能源的开发研究,尽量减少石油的使用。另外,要重视溢油应急技术和油污染处理技术的开发与产品研制,建立应急机制和应急物资储备机制。再次,要加强石油运输压舱水排放处理前的石油净化处理;对

海洋石油污染的处理方法、吸油材料和吸油技术等进一步研究,寻找清除石油、回收利用等的新技术,防治海洋石油污染的危害。(4) 加强国际合作,做好监测预警。应充分利用科学技术对海洋石油污染实行实时动态监控,建立一个国家、地区乃至全球的油污防备和反应系统,加快海洋污染预警系统的开发和使用。

5 结论和展望

中国海域总体污染形势依然严峻,近岸海域污染状况仍未得到根本改善。海水中的主要污染物是无机氮、活性磷酸盐和石油类。2007 年中国近岸海域海水石油类实测值质量浓度为未检出~0.360 mg/L,平均质量浓度为 0.019 mg/L,超标率为 2.9%。溢油污染具有突发性、严重性、难处理性等特点。溢油污染会影响光合作用,具有强烈的毒化作用,会消耗海水中的溶解氧,导致海洋生态系统失衡,引发海洋赤潮,并危害海洋渔业资源,破坏滨海湿地资源。防治海洋石油污染,保护海洋环境及资源已成为当务之急。

目前,海洋植物(包括绿色大型植物、大型藻类、浮游植物等)的石油烃归宿和生物学效应的研究远少于海洋微生物和海洋动物的研究,这方面的工作是研究海洋生态系变化的一个重要组成部分,应予以重视和加强。另外,为了快速准确确定溢油源,保护海洋环境,维护受损者的合法利益,需进一步加强油指纹分析,特别是溢油风化的研究工作,不断提高油指纹分析能力和油指纹鉴别能力。

参考文献:

- [1] 陈尧. 中国近海石油污染现状及防治 [J]. 工业安全与环保, 2003, 29(11): 20-24.
- [2] 郭志平. 我国近海面临的石油污染及其防治 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2004, 23(3): 269-272.
- [3] 赵云英, 杨庆霄. 溢油在海洋环境中的风化过程 [J]. 海洋环境科学, 1997, 16(1): 45-52.
- [4] 张厚福. 石油地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [5] 李言涛. 海上溢油的处理与回收 [J]. 海洋湖沼通报, 1996, 1: 73-83.
- [6] Ko J Y, Day J W. A review of ecological impacts of oil and gas development on coastal ecosystems in the Mississippi Delta [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2004, 47: 597-623.
- [7] Prince R C, Carrett R M, Bare R E, et al. The roles of photooxidation and biodegradation in long-term weathering of crude and heavy fuel oils [J]. *Spill Science & Technology Bulletin*, 2003, 8(2): 145-156.

研究报告 REPORTS

- [8] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 南海渔业生态环境与生物资源的污染效应研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [9] 黄韧, 杨丰华, 程树军. 海洋石油勘探开发污染物对海洋生物的影响与生物监测的研究进展 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(4): 71-76.
- [10] Pérez-Cadahá B, Lafuente A, Cabaleiro T, *et al.* Initial study on the effects of Prestige oil on human health [J]. *Environment International*, 2007, 33(2): 176-185.
- [11] 国家海洋局. 海洋环境保护与监测 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [12] 程振波. 渤海饵料生物培养 [M]. 北京: 农业出版社, 1992. 69-75.
- [13] 王伟杰, 吴长江. 我国海洋石油污染对渔业的危害及其防治 [J]. 海洋信息, 1993, 3: 25-27.
- [14] D'Adamo R, Pelosi S, Trotta P, *et al.* Bioaccumulation and biomagnification of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms [J]. *Marine Chemistry*, 1997, 56(1-2): 45-49.
- [15] 张蕾, 王修林, 韩秀荣, 等. 石油烃污染物对海洋浮游植物生长的影响——实验与模型 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 804-810.
- [16] 王修林, 李国强. 渤海主要化学污染物海洋环境容量 [M]. 北京: 科学出版社, 2006. 112-113.
- [17] 沈南南, 李纯厚, 王晓伟. 石油污染对海洋浮游生物的影响 [J]. 生物技术通报, 2006(增刊): 95-99.
- [18] Commendatore M G, Esteves J L. An assessment of oil pollution in the coastal zone of Patagonia, Argentina [J]. *Environmental Management*, 2007, 40(5): 814-821.

Study on the state and ecological effect of spilled oil pollution in Chinese Coastal Waters

WANG Chuan-yuan¹, HE Shi-jie², LI Yan-tai³, HOU Xi-yong¹, YANG Cui-yun¹

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, the Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China; 3. College of Yanshan, Shandong Economic University, Jinan 250014, China)

Received: Aug. 9, 2008

Key words: coastal waters; spilled oil pollution; ecological damage; prevention and cure

Abstract: With oil import increasing and development of the sea transportation year by year, the accidents of spilled oils take place frequently, which made the pollution of coastal waters more and more serious. In this paper, the background and state of spilled oil pollution in Chinese coastal waters at the beginning of this century are described. The marine ecological damage of spilled oil is also discussed in detail. Some steps and strategies on preventing and controlling the oil pollution at present and in the future are put forward.

(本文编辑:康亦兼)