

中国海岸带污染问题与防治措施*



吕剑 骆永明 章海波

中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003

摘要 近年来,我国海岸带地区受到不同程度的污染,影响了海岸带地区发展。文章从我国海岸带污染现状、成因、国际管理实践和污染防治措施等方面出发,概要介绍了我国海岸带地区不同介质中污染物的分布状况,提出了污染源控制、生态屏障建设、污染环境生态修复、区域规划等防治措施,以期为我国海岸带地区环境保护和管理政策制定提供思路。

关键词 海岸带, 污染现状, 防治

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.010.006

海岸带人口密集,经济发达,全球一半以上的人口生活在沿海约60 km的范围内,是关乎人类社会发展的极为重要的地球关键带。随着人类活动的加剧,大量污染物通过多种途径被排放到海岸带中,高强度人类活动引起的环境污染已导致海岸带这一地球关键带功能的退化。因此,探究中国海岸带污染现状并提出合理有效的污染控制对策将对保障海岸带生态安全、保证民众健康、维护海岸带地区可持续发展具有重要作用。本文将从中国海岸带污染现状、成因、国际管理实践、污染防治措施等方面进行阐述,旨在为海岸带环境保护及管理提供有效可行的思路。

1 中国海岸带污染现状

1.1 常规污染物污染现状

营养盐、石油类物质及重金属是目前影响我国海岸带地区水体和土壤质量的主要常规污染物。根据近两年的环境状况公报所公布的数据,近年来重度富营养化海域主要集中于辽东湾、长江口、杭州湾、珠江口等近岸区域^[1-3],富营养化引发了浒苔的周期性暴发(图1)。无机氮和活性磷酸盐主要分布在长江口、杭州湾、浙江沿岸、珠江口等近岸区域;石油类则主要分布于辽东湾、广东沿岸、莱州湾、台州湾等近岸区域^[2,3]。海岸带区域近岸沉积物中的铜、硫化物及个别监测点位的砷有超标状况存在^[3];锦州湾、胶州湾、杭州湾、长江口、连云港、海南、香港、珠江口等近岸区域沉积物中的重金属含量较高^[4,5]。2015年,赤潮暴发次

*资助项目:中科院百人计划项目(Y629041021),国家自然科学基金重点及面上项目(41230858, 41671319),中科院海岸带环境过程与生态修复重点实验室项目(1189010002)
修改稿收到日期:2016年9月11日



图1 山东乳山银滩浒苔爆发现场

数和累计面积是近5年来最少的一年，发现35次，累计面积减少2 835 km²^[3]。

1.2 持久性有机污染物污染现状

持久性有机污染物因其在环境中难降解、易于生物富集和较强的生物毒性，一直受到广泛关注。我国

海岸带地区水体、沉积物、沿岸土壤、水生生物体内均有持久性有机污染物检出（表1）。滨海近岸水体有机氯农药和多氯联苯浓度最高分别达854 ng/L和476.9 ng/L，数十倍甚至数百倍于全球其他地区海岸带水体。相应地，有机氯农药和多氯联苯在滨海沉积物中的浓度也显著高于全球其他地区，最大浓度分别达7 350 μg/kg和169.26 μg/kg。滨海沉积物中多环芳烃浓度显著高于美国与亚洲其他国家和地区，低于欧洲地区。

1.3 新型污染物污染现状

海岸带新型污染物污染研究主要涉及到内分泌干扰物、微塑料、药品和个人护理品、全氟化合物及溴代阻燃剂。从表2可以看出我国滨海水体及沉积物中药品/抗生素浓度显著高于其他国家和地区；内分泌干扰物浓度持平或低于其他地区，但入海河流中的内分泌干扰物浓度可高达28 600 ng/L，是重要的污染源。溴代化合物和微塑料在滨海沉积物中的浓度低于亚洲其他国家和地区

表1 全球典型国家和地区海岸带持久性有机污染物污染现状

		中国	美国	欧洲	亚洲**
水体（ng/L）	有机氯农药	1.5—854 ^[6]	<1—20 ^[7]		0.01—0.7 ^{*[8]}
	多氯联苯	35.5—476.9 ^[6]		0.138—0.708 ^[9]	0.07—12.4 ^[8]
	有机氯农药	9.0—7 350 ^{*[10]}	4.2—82.9 ^{*[7]}		0.12—4.7 ^{*[11]}
沉积物/土壤（μg/kg）	多氯联苯	17.68—169.26 ^[12]	<0.245—24.0 ^[7]	2.5—33 ^[9]	2.1—56 ^[11]
	多环芳烃	98.2—4 610.2 ^[13]	1.4—1 102.2 ^[7]	72—18 381 ^[14]	116—987 ^[11]

*表示以滴滴涕计量；**在本文中指代除中国外的亚洲其他国家和地区

表2 全球典型国家和地区海岸带新型污染物污染现状

		中国	美国	欧洲	亚洲**
水体（ng/L）	内分泌干扰物	90.6—28 600 ^{*&} 20.2—269 ^{*#[15]}	3.57—416 ^{*[15]}	35—934 ^{*[15]}	320—2 760 ^{*[15]}
	药品/抗生素	0.08—15 163 ^[16]	18—92.1 ^[17]	BDL—168 ^[18]	<0.06—6.26 ^[19]
	全氟化合物	ND—121 ^[20]		0.99—120 ^[21]	4.2—2 600 ^[20]
沉积物/土壤（μg/kg）	内分泌干扰物	3.6—299 ^{*\$} 59—7 808 ^{*#[15]}	6.99—13 700 ^{*[15]}	1 600—9 050 ^{*[15]}	<10—5 540 ^{*[15]}
	药品/抗生素	<1.95—184 ^[16]	BDL—32.7 ^[17]	BDL—50.3 ^[18]	<0.01—0.47 ^[19]
	全氟化合物	ND—4.31 ^[20]	BDL—1.3 ^[20]	0.25—17.4 ^[21]	BDL—11.0 ^[20]
	溴代化合物	0.3—44.6 ^[22]		1—2 645 ^[23]	0.2—493 ^[22]
	微塑料(个/m ³)	0—132 ^[24]	21—30 个/250 mL ^[24]	1 289 ^[24]	8 205—27 606 ^[24]

*表示以壬基酚计量；&表示入海河流；#表示胶州湾；\$表示胶州湾沉积物；?表示南海滨海沉积物；ND表示未检出；BDL表示低于检出线；**在本文中指代除中国外的亚洲其他国家和地区

及欧洲地区；全氟化合物在水体中的浓度则与欧洲地区持平，且低于亚洲其他国家和地区。整体而言，我国海岸带新型污染物污染更值得关注，特别是抗生素污染，而包括微塑料在内的其他污染物也不应忽视（图2）。



图2 上海三甲港某处滩涂塑料垃圾遍地现状

2 海岸带污染成因分析

2.1 区域发展缺乏科学规划，导致过度及不良空间竞争，资源环境压力大

我国海岸带地区承载了城市化、港口和临海工业区建设、油气开发及养殖等多种功能，导致资源过度开发和不良空间竞争加剧。快速城市化、港口和临海工业园建设导致污染物排放量剧增，海岸带环境承载压力加大。我国沿海地区城市化率基本每年递增一个百分点以上。国家海洋局调查报告显示，蓬莱 19—3 油田溢油事故造成蓬莱 19—3 油田周边及其西北部面积约 6 200 km² 的海域海水污染。

我国是水产养殖大国，自1992年以来，海水产品总产量一直稳居世界首位，当年海水产品 934 万吨，其中海水养殖产量 242 万吨；根据预测，2020 年我国水产养殖产量将达 4 000 万吨以上，产量增加值主要依赖海水养殖。快速发展的海水养殖业对我国滨海湿地、近岸海域等海岸带环境均造成巨大冲击，海水养殖正成为近岸海域重要的污染源。

滨海湿地是海岸带区域截留污染物的最为重要的生

态屏障。然而，我国滨海湿地的保护通常让位于经济开发和区域发展。在过去 50 年中，我国已损失了 53% 的温带滨海湿地、73% 的红树林和 80% 的珊瑚礁。滨海湿地的丧失造成海岸带自净能力的急剧下降。

2.2 区域产业结构不合理，污染排放总量不断增加

我国海岸带区域低端型和资源与能源消耗型产业结构特点并未根本改变，海洋开发利用方式仍然粗放，资源开发利用质量、效率和效益较低的局面仍未扭转。沿海地区工业园建设多是“偏重型”“偏地型”“偏污型”企业，第三产业较少。高耗能、高污染项目必然加剧海岸带资源环境压力，导致大气、水体及土壤污染。近 10 年来，东南沿海地区废水、废气和固体废弃物排放量分别增加 60%、120% 和 190%，对海岸带区域环境质量产生严重威胁。

我国海水养殖以粗放养殖为主，导致沿海废水直接排放的养殖方式和养殖区仍然普遍存在。

2.3 海岸带污染跨行政区域特征突出，监控及治理难度大

河流是近海污染物的主要输入源。据调查，在引起渤海污染的原因中，陆源污染物占入海污染物总量的 87%，而经河口排入渤海的污染物占陆源污染物的 95%。我国的入海河流中，注入太平洋、印度洋和北冰洋的流域面积约占国土面积 65.2%。如此巨大的流域面积覆盖了众多的行政区划单位。除此以外，我国海岸线北起中朝交界的鸭绿江口，南至中越交界的北仑河口，全长约 181 000 km。这些因素均大大增加了海岸带污染的监控与治理难度。

2.4 环保与法制意识淡薄，相关科学技术薄弱，无法满足区域可持续发展规划及行政调控需要

由于环保与法制意识淡薄，沿海地区超标入海排污及污水直排入海问题突出。2013 年 11 月，我国海洋环境监测部门对 156 个陆源入海排污口进行监测，其中有一半的入海排污口向邻近海域超标排放污水。广西环保厅提供信息显示，沿海的钦州、北海和防城港三市每年约有 3 000 多万吨污水未经处理直接排海。

海岸带可持续发展规划及行政调控均需要建立在对海岸带过程的深入认知及相关科研人才的培养与储备上。我国海岸带学科建设起步晚，科研投入不足，科研基础弱，国内缺乏海岸带学科的相关科学技术人才及培养机构，科技创新对海岸带开发利用的引领和支撑不足。这些均限制了国家在海岸带区域可持续发展规划及行政调控方面的决策能力，从而造成了海岸带区域发展的盲目性，进而引发区域环境污染问题。

3 国际海岸带管理实践

美国是世界上较早开展海岸带规划管理工作的国家之一，1972年美国国会通过了《海岸带管理法案》（CZMA），并于2000年进行了修订，内容涉及到海岸带的生境和生物多样性、灾害、水体质量、依赖性用途、公众可达性及社区发展等领域^[25]。美国强调在海岸带管理工作上由联邦与州之间合作管理，本质上由沿海各州和当地政府贯彻执行；同时还综合多部门数据积极制定海岸环境评估方案^①。

欧盟从1996年开始开展海岸带管理实验项目，制定了相应的海岸带可持续发展指标，并在近年来开始将关注点转向“陆海统筹”的海岸带综合管理上，强调海岸带地区各种活动的协调发展^[26, 27]。

亚太区域因海岸线绵长、海岸带地区广阔，一直以来重视海岸带环境管理，特别是1995年以后亚太各国和地区加强了海岸带管理立法和综合性实践活动。亚太各国和地区以海岸带综合管理（ICZM）为基本理念，逐步开展如海岸带脆弱性评价、先进评价及管理方法在传统海岸带系统中的嵌入研究、政府机构内部协作及政府间合作等多方面多层次的管理实践活动^[28]。

除了政府及联合国外，一些非政府组织如“国际未来地球海岸计划”组织（Future Earth Coasts, FEC）、“红树林行动计划”（MAP）和“自然保护”组织

（TNC）等也在海岸带管理方面发挥着重要作用。

4 我国海岸带污染防治措施建议

4.1 污染源控制

污染源控制是海岸带污染最有效、最经济的防治措施，陆源和海源是海岸带污染的两大来源，而其中以入海河流携带、污水排放及农业面源为主的陆源污染占主导污染源地位，污染源控制应陆海统筹兼顾。

在控制陆源污染方面，需要：（1）从政策上倡导以绿色生产为主的产业布局，积极推广清洁生产工艺，淘汰技术落后、污染严重的企业；（2）加强污水集中处理力度及总量控制强度，综合不同污染物浓度及分布测算入海河流及各海域环境容量，合理制定各海域纳污容量及非点源污染物的削减总量；（3）重视并加强对农业面源污染的有效控制，推广农药、化肥的合理施用技术并提高其利用效率，开发环境友好型农药、化肥；（4）对各陆源污染源进行有效监管，加强区域污染联防联控，加强环境监测并逐步建立完善海岸带环境监测管理系统，强化海岸带环境监控及预警能力。

海源污染控制应：（1）有效监控海上油气平台、船舶及临港产业，严格控制其污染物排放，建立突发性污染（如溢油）事故应急响应机制和处理预案，建设并逐步完善海上污染实时监控、应急监测及相应信息保障系统；（2）加强对海上倾倒活动的动态跟踪监控，严格控制倾倒总量，加大对倾倒行为的执法力度，定期评估倾倒区域环境质量，建立并完善海上倾倒监控管理体系；（3）合理规划管理近海养殖活动，提倡并鼓励生态养殖，严格监管种苗、饲料、药物的投入使用，推动环境友好型饲喂药物的研发，规划并实施近海养殖区的环境监测及生态修复工程。

4.2 生态屏障建设

海岸带地区的生态屏障目前以沿海防护林和滨海湿

① <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/national-coastal-condition-reports>

地为主,主体功能在于改善海岸带地区生态环境、抵御自然灾害、截留陆源污染物、改善土壤特别是盐碱土壤生境及涵养水源等方面。海岸带生态屏障的构建对于海岸带营养盐、重金属等造成的污染防控将具有可观的潜力。例如,典型滨海湿地(如热带红树林)能够有效降低进入土壤和海洋的重金属量。

4.3 海岸带污染环境生态修复技术措施

微生物修复措施在海岸带污染治理特别是石油与农药等污染环境修复方面具有重要作用。微生物降解有机污染物具有高效、廉价、无二次污染的优势。

海岸带污染环境的植物修复措施主要通过栽培种植耐盐植物和海洋植物实现。目前已被证实具有较强污染物吸收、降解能力的耐盐植物有海蓬子、碱蓬、芦苇、菊芋、油葵等。海洋植物中可被用于污染修复的主要是海草及大型海藻。其中大型海藻更多地被用于近海养殖特别是鱼类养殖区共生栽培,可有效吸收N、P等营养盐,同时提高养殖经济效益。海草则对重金属具有较高的吸收容量,在海岸带重金属污染修复方面具有一定潜力。

与生物修复等方式相比较,光降解具有受限条件少、应用范围广的优势,被认为是降解去除海岸带近海及土壤中污染物的有效方法之一。

4.4 区域科学规划,实现可持续发展

未来海岸带区域发展需要转变经济增长方式,加强区域科学规划,促进产业结构调整,高度关注区域环境质量和保护问题,重视区域发展和环保法规的制定。要以“一带一路”国家重大战略为契机,大力发展“蓝碳经济”^[29]。要把海岸带科学发展纳入政府绩效考核中,实施可持续发展战略,推行生态补偿机制。同时,要强化海岸带学科的基础科学和关键技术研究,加强海岸带科学研究投入和人才培养储备工作。通过上述多种措施,实现我国海岸带的平稳、安全与健康的可持续发展。

参考文献

1 环境保护部. 2014中国环境质量状况公报. 北京, 2015.

2 国家海洋局. 2014年中国海洋环境状况公报. 北京, 2015.

3 国家海洋局. 2015年中国海洋环境状况公报. 北京, 2016.

4 Pan K, Wang W X. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. *Science of the Total Environment*, 2012, (421-422): 3-16.

5 Wang S L, Xu X R, Sun Y X, et al. Heavy metal pollution in coastal areas of South China: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 76: 7-15.

6 Bao L J, Maruya K A, Snyder S A, et al. China's water pollution by persistent organic pollutants. *Environmental Pollution*, 2012, 163: 100-108.

7 Xu E G, Bui C, Lamerdin C, et al. Spatial and temporal assessment of environmental contaminants in water, sediments and fish of the Salton Sea and its two primary tributaries, California, USA, from 2002 to 2012. *Science of the Total Environment*, 2016, 559: 130-140.

8 Wurl O, Obbard J P. Chlorinated pesticides and PCBs in the sea-surface microlayer and seawater samples of Singapore. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50: 1233-1243.

9 Castro-Jiménez J, Deviller G, Ghiani M, et al. PCDD/F and PCB multi-media ambient concentrations, congener patterns and occurrence in a Mediterranean coastal lagoon (Etang de Thau, France). *Environmental Pollution*, 2008, 156: 123-135.

10 Lin T, Hu Z, Zhang G, et al. Levels and Mass Burden of DDTs in Sediments from Fishing Harbors: The Importance of DDT-Containing Antifouling Paint to the Coastal Environment of China. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43(21): 8033-8038.

11 Pan S, Kadokami K, Li X, et al. Target and screening analysis of 940 micro-pollutants in sediments in Tokyo Bay, Japan. *Chemosphere*, 2014, 99: 109-116.

12 Zhao Q, Bai J, Lu Q, et al. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments/soils of different wetlands along 100-year coastal reclamation chronosequence in the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution*, 2016, 213: 860-869.

- 13 Li X, Hou L, Li Y, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon in intertidal sediments of China coastal zones: Concentration, ecological risk, source and their relationship. *Science of the Total Environment*, 2016, 566-567: 1387-1397.
- 14 Culotta L, De Stefano C, Gianguzza A, et al. The PAH composition of surface sediments from Stagnone coastal lagoon, Marsala (Italy). *Marine Chemistry*, 2006, 99: 117-127.
- 15 Fu M, Li Z, Gao H. Distribution characteristics of nonylphenol in Jiaozhou Bay of Qingdao and its adjacent rivers. *Chemosphere*, 2007, 69: 1009-1016.
- 16 Chen H, Liu S, Xu X R, et al. Antibiotics in the coastal environment of the Hailing Bay region, South China Sea: Spatial distribution, source analysis and ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 95: 365-373.
- 17 Klosterhaus S L, Grace R, Hamilton M C, et al. Method validation and reconnaissance of pharmaceuticals, personal care products, and alkylphenols in surface waters, sediments, and mussels in an urban estuary. *Environment International*, 2013, 54: 92-99.
- 18 Moreno-González R, Rodríguez-Mozaz S, Gros M, et al. Seasonal distribution of pharmaceuticals in marine water and sediment from a mediterranean coastal lagoon (SE Spain). *Environmental Research*, 2015, 138: 326-344.
- 19 Bayen S, Estrada E S, Juhel G, et al. Pharmaceutically active compounds and endocrine disrupting chemicals in water, sediments and mollusks in mangrove ecosystems from Singapore. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 109: 716-722.
- 20 Wang T, Lu Y, Chen C, et al. Perfluorinated compounds in estuarine and coastal areas of north Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62: 1905-1914.
- 21 Pico Y, Blasco C, Farré M, et al. Occurrence of perfluorinated compounds in water and sediment of L'Albufera Natural Park (València, Spain). *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, 19: 946-957.
- 22 Li Y, Lin T, Chen Y, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments of the coastal East China Sea: Occurrence, distribution and mass inventory. *Environmental Pollution*, 2012, 171: 155-161.
- 23 Vane C H, Ma Y J, Chen S J, et al. Increasing polybrominated diphenyl ether (PBDE) contamination in sediment cores from the inner Clyde Estuary, UK. *Environmental Geochemistry and Health*, 2010, 32: 13-21.
- 24 周倩, 章海波, 李远, 等. 海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展. *科学通报*, 2015, 60: 3210-3220.
- 25 USA Congress. Coastal Zone Management Act of 1972 (Amended through P.L. 106-580, 2000). Washington D.C.: USA Congress, 1972 & 2000.
- 26 Deboudt P, Dauvin J C, Lozachmeur O. Recent developments in coastal zone management in France: The transition towards integrated coastal zone management (1973—2007). *Ocean & Coastal Management*, 2008, 51(3): 212-228.
- 27 Sorensen J. The international proliferation of integrated coastal management efforts. *Ocean & Coastal Management*, 1993, 21: 45-80.
- 28 Harvey N (eds). *Global Change and Integrated Coastal Management: The Asia-Pacific Region*. Netherland: Springer, 2006: 39-66.
- 29 陆琦, 彭科峰. 焦念志院士: 以“蓝碳计划”助推“海上丝路”. [2016-7-28]. <http://news.sciencenet.cn/html-news/2015/3/316107.shtml>

Coastal Zone Pollution and Its Prevention and Treatment Measures in China

Lu Jian Luo Yongming Zhang Haibo

(Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research,
Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract Known as an important Earth's critical zone, the coastal zone is dramatically influenced by the anthropogenic activities. The coastal zone holds important strategic position due to its close relationship with the development of human society. In recent years, the coastal areas in China have been polluted with varying degrees to affect the development of these regions. This paper focuses on the current situation of coastal zone pollution in China including pollutant distribution in different coastal media, pollution causes, international coastal management practices, and the pollution prevention and treatment measures. This paper aims at providing feasible and effective ideas on the environmental protection and management policy making for the coastal zone in China.

Keywords coastal zone, current pollution situation, prevention and treatment

吕 剑 中科院烟台海岸带所研究员，博士生导师。现任国际未来地球海岸计划组织东亚区域中心负责人，国际水协会（IWA）工业水预处理专家组成员。主要从事海岸带水资源与水环境的研究。主持或参与中科院“百人计划”项目、国家自然科学基金项目、美国国立食品与农业研究院基金项目、水专项与中科院重点实验室项目等科研项目10余项。
E-mail: jlu@yic.ac.cn

Lu Jian Professor of Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences; Ph.D. supervisor; the coordinator of the East Asia Node of International Future Earth Coasts (FEC) Project; the committee member of the IWA specialist group of pretreatment of industrial waste waters. His recent work has focused on coastal water resource and environment. Dr. Lu has headed or participated in more than 10 (inter) national research projects funded by Hundred-Talent Program of Chinese Academy of Sciences (CAS), National Natural Science Foundation of China, American National Food and Agriculture Research Institute (NIFA), the National Water Pollution Control and Treatment Science and Technology Major Project, Research Program of CAS Key Laboratory, and so on. E-mail: jlu@yic.ac.cn