

珠江河口水动力环境 研究与探讨

方神光 王少波 高龙华 著



黄河水利出版社

珠江河口水动力环境 研究与探讨

方神光 王少波 高龙华 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

珠江河口水动力环境研究与探讨/方神光,王少波,高龙华著. —郑州:黄河水利出版社,2014.4

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0718 - 8

I. ①珠… II. ①方… ②王… ③高… III. ①珠江 - 河口 - 水动力学 - 研究②珠江 - 河口 - 水环境 - 研究
IV. ①TV882.4 ②X321.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 018991 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:7.625

字数:210 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 4 月第 1 版

印次:2014 年 4 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

珠江河口地区地处我国改革开放的前沿地带,经过近 30 多年的快速发展,经济社会取得了巨大成就,但同时也极大地改变了河口地区的地形地貌和水文自然条件,对河口地区生态环境造成了显著的负面影响,为河口地区的可持续性发展带来了诸多问题。珠江河口地区地形地貌变化多端,河网密布,八口入海,潮汐和径流在此交汇作用,加之人类活动剧烈且频繁,导致河口地区水动力环境复杂多变。由于河口水动力环境与河口防洪排涝、泥沙输运、河口整治、咸潮入侵、陆海物质交换、河口湿地、生物栖息地和生物多样性研究息息相关,是开展各项研究工作的前期基础性研究工作,随着近年来河口地区生态系统退化造成的人类生存环境的恶化,有关珠江河口水动力环境问题的研究成果也逐年增多,但由于河口生态系统的开放性、多样性和复杂性,在河口基础性研究领域方面还急需投入更多更为艰巨的研究和探索工作。

有鉴于此,本书基于大量的河口实测资料和数学模型,对重点关注的珠江河口伶仃洋水域和磨刀门水域的水动力环境特性进行了较为详细的探讨。全书共 7 章。第 1 章中,对珠江河口面临的主要问题和河口治理研究现状进行了总结;分析了伶仃洋水域水动力特性;对国内外河口盐水入侵研究现状进行了回顾;对珠江河口盐水入侵特性及其对河口水动力和水环境的影响进行了阐述。第 2 章中,详细推导了河口二维和三维水动力与盐度数学模型,对河口三维水动力和盐度数学模型进行了初步验证;建立了伶仃洋河口地区二维水动力数学模型,对模型进行了验证。第 3 章和第 4 章,采用实测资料对伶仃洋水域的纳潮演变和水体交换进行了详细分析;基于验证过

的数学模型,对伶仃洋水域各典型断面现状进出潮量和水体交换特性分别进行了计算和分析;详细探讨了珠江河口口门兴建的港珠澳大桥对伶仃洋水域纳潮和水体交换的影响。第5章,基于实测资料分析了磨刀门水道的水动力特性,并对磨刀门水道咸潮入侵影响因素及其对水动力环境的影响进行了总结。第6章,基于磨刀门水道实测盐度资料,对磨刀门水道咸潮入侵特性及其规律进行了详细分析。第7章,采用建立的磨刀门水道三维潮流和盐度数学模型及水质模型,对磨刀门水道水动力特性与盐度分布特性进行了详细分析和探讨,并模拟和分析了咸潮入侵对磨刀门水道污染物输移和扩散的影响。

本书第2~4章由方神光执笔,第1、7章由高龙华执笔,第5、6章由王少波执笔。本书在撰写过程中,得到了珠江水利科学研究院王现方院长、徐峰俊总工、李亮新副院长、谢宇峰副院长、黄胜伟副院长、邓家泉副院长、王琳副院长、陈文龙副院长、吴小明教授、陈荣力教授、张康博士、蓝霄峰硕士、蒋玉玲硕士、彭威硕士、崔丽琴学士等人的关心和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书的出版得到了国家自然科学基金“珠江河口盐水入侵对有机污染物的影响机理研究”(51109232)、广州市科技计划项目-珠江科技新星专项“港珠澳大桥对伶仃洋水域纳潮和水体交换的影响机理研究”(2012J2200076)和广东省自然科学基金“珠江河口盐水异重流对有机污染物的影响机理研究”(10151061101000001)项目的资助。

鉴于珠江河口问题的复杂性及作者认识水平所限,书中难免有不妥及错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2013年11月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 引 言	(1)
1.2 珠江河口水生态环境的主要问题	(3)
1.3 河口水生态环境治理和研究现状	(7)
1.4 珠江河口水动力环境特性	(12)
1.5 河口盐水入侵特性及对水环境的影响	(28)
第2章 河口水动力及盐度数学模型	(33)
2.1 数学模型研究概述	(33)
2.2 河口三维水动力和盐度数学模型	(34)
2.3 三维正交曲线 σ 坐标系下的数学模型验证	(50)
2.4 河口二维水动力数学模型	(56)
2.5 混合有限分析法简介	(63)
第3章 珠江河口伶仃洋水域纳潮特性	(74)
3.1 纳潮量计算方法	(74)
3.2 伶仃洋水域纳潮量的历史演变分析	(75)
3.3 伶仃洋水域纳潮量现状分析	(82)
3.4 港珠澳大桥对伶仃洋水域纳潮的影响	(94)
第4章 珠江河口伶仃洋水域水体交换特性	(128)
4.1 水域水体交换研究概述	(128)
4.2 水域水体交换计算方法及水体交换边界选取	(130)
4.3 水域水体交换扩散系数的选取分析	(132)
4.4 伶仃洋水域水体交换特性分析	(135)
4.5 港珠澳大桥对伶仃洋水域水体交换影响分析	(141)

第 5 章 珠江河口磨刀门水道水动力环境特性	(148)
5.1 潮位变化特性	(148)
5.2 典型实测点潮流特性	(159)
5.3 磨刀门水道潮流特性	(163)
5.4 咸潮活动下的磨刀门水道水动力环境及影响因素	(167)
第 6 章 磨刀门水道咸潮入侵特性分析	(175)
6.1 磨刀门水道水系及水环境要素情况	(175)
6.2 咸潮实测资料	(179)
6.3 站点盐度分析	(180)
6.4 磨刀门水道盐水入侵规律探讨	(188)
第 7 章 磨刀门水道水动力和盐度数值模拟及分析	(201)
7.1 磨刀门水道三维潮流和盐度数学模型的建立	(201)
7.2 磨刀门水道水动力和盐度分布特性	(207)
7.3 咸潮入侵对污染物的输移影响特性	(217)
参考文献	(230)

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

珠江河口地区是我国经济社会最为发达的地区之一,得益于河口地区优良的自然地理环境和丰富的河口生态环境资源,但也面临着众多亟待解决的问题,例如:河口的洪、涝、潮、咸、旱、台风等自然灾害;人类活动如采沙造成的水沙重新分配、河势变化、局部洪水位壅高、咸潮入侵等;河道污染严重,水质性缺水问题日益突出,水环境、生态环境趋于恶化;大量滩涂围垦开发和水体严重污染造成生态环境的破坏和经济上的巨大损失等。这些问题对当前珠江河口地区经济社会的可持续性发展形成了显著障碍和制约。入海河口地处海陆交汇处,同时受到径流、潮汐、波浪、泥沙、风等综合影响,其水动力环境十分复杂。一方面表现为河流与潮汐的复杂动力作用;另一方面表现为淡水与咸水的相互作用。由于河水与海水的密度不同,海水常呈现楔形在淡水之下沿河向上游入侵;河水则常呈淡水舌在海面向远方扩散,且咸淡水交汇地带,常引起明显的泥沙堆积作用,形成河口的拦门沙分布。珠江河口前缘东起九龙半岛九龙城,西到赤溪半岛鹅头颈,大陆岸线长 450 多 km。河口由八大入海口门组成,东四口门是虎门、蕉门、洪奇门和横门,注入伶仃洋;西四口门自东向西为磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门,其中磨刀门注入南海,鸡啼门注入三灶岛与高栏岛之间的海域,虎跳门和崖门注入黄茅海河口湾。

珠江水系汇入三角洲后具有“三江汇流、网河密布、八口入海”的独特水动力环境特征。珠江河口八大口门多年平均径流量为 3 260 亿 m^3 ;东四口门径流占珠江河口年径流量的 61%,其中虎门、

蕉门、洪奇门和横门分别占 24.5%、16.8%、7.2% 和 12.5%；西四口门占年径流量的 39%，其中磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门分别占 26.6%、4.0%、3.9% 和 4.5%。从输沙量来看，珠江河口多年平均悬移质输沙量为 7 024 万 t，东四口门和西四口门分别占总输沙量的 56.8% 和 43.2%；磨刀门径流和输沙分配比例最大，是珠江泄洪排沙的主要口门。珠江河口潮汐主要是不正规半日混合潮型，一年中夏潮大于冬潮，最高潮位、最低潮位分别出现在春风和秋分前后，且潮差最大，夏至、冬至潮差最小。因受汛期洪水和风暴潮的影响，最高潮位一般出现在 6~9 月，最低潮位一般出现在 12 月至次年 2 月。受人类活动和人文环境变化影响，近 30 年来口门站高低潮位都有抬高趋势。珠江河口属亚热带海洋性季风地区，根据赤湾站统计资料，全年盛吹偏东风，E 向风频率为 23.4%，SE 向风频率为 14.2%，实测最大风速达 30 m/s。赤湾海区波浪以风浪为主，出现最多的是 S 向，其次是 N 向，再次为 ENE 向；风浪的年平均波高为 0.2 m，最大波高为 1.2 m，出现在 10 月。

河口区是河流与海洋的交汇地带，咸潮活动是河口水动力环境最为典型的特征之一。盐度分布是径流、重力环流、扩散流相互作用平衡的结果。重力环流源于高盐水自底部向河口上游深入过程，从而使得等盐度线分布展平而形成分层反向流动；扩散流则是潮汐抽吸、剪切扩散以及其他过程的结果。河口地区各种动力因素和地形的相互耦合作用，常常使混合过程异常复杂，从而控制盐度分布的时空变化。潮汐潮流是咸潮活动的“动力源”，潮流对盐水的对流输运，潮汐引起的紊动混合，潮汐与地形共同作用引起的“潮汐捕集”和“潮汐抽送”，使珠江河口盐度受潮汐涨落的日变化和大小潮变化控制。在珠江河口，由于洪、枯季入海径流量的巨大差异，以及各口门地理位置和地形特征不同，导致不同季节和不同区域河口盐水入侵规律不同。以伶仃洋为例，该河口湾呈现宽而浅的喇叭状、三滩两槽、西滩大而浅的地形分布格局，含盐度分布呈现东高西低和 S 形北东—南西走向。一般情况下，枯季高潮时，30‰ 的含盐等值线可伸入

到内伶仃岛以北的东槽,2‰的含盐等值线则几乎可上溯至各东四口门,尤其是潮势较强的虎门水道,可上溯至大虎以上,黄埔最大含盐度曾达9‰;汛期高潮时,海区含盐度小于20‰,2‰的含盐等值线下移至深圳永福—淇澳岛一线。对输水和水沙最大的磨刀门口门,则无论枯、汛期,咸淡水都呈现显著的分层现象,盐水楔运动明显。

珠江河口所处地理环境、地形地貌、径流分配、潮汐及盐水入侵等特征共同塑造了其独特的河口水动力环境,从而对水环境和水生生态产生影响。近些年来,伴随经济高速发展的同时,区域内水污染也日趋严重。珠江口门的延伸、水域的围垦、大型涉水工程的建设等人类活动,都直接减少了珠江口的纳潮量和水体交换能力,改变了珠江口水动力环境特性,进而影响到河口污染物的输运和扩散、水体盐度、水域环境容量、水生物栖息地、水生物的种群和数量等。珠江河口地区近30年经济迅速发展的同时,水生态环境的恶化已对区域经济社会的可持续性发展构成了显著的影响和制约;鉴于珠江河口治理和开发中出现问题的复杂性,深入开展珠江河口水动力环境方面的基础研究工作,有助于理解珠江河口水动力作用的机制,探寻复杂表象下的根本原因,为人水和谐的河口治理和保护提供科学依据。

1.2 珠江河口水生态环境的主要问题

河口地区是我国经济最发达的地区,在国民经济中占有十分重要的地位,目前,河口地区的经济在全国国民经济中占有50%以上的比重,仅长江和珠江三角洲的国民生产总值就约占全国的1/4。珠江河口伶仃洋海域沿岸经济区由三大城市群组成,北部为广州市和佛山市,东部有深圳市、东莞市和惠州市,西部有珠海市和中山市等,总面积约41 698 km²,约占广东全省面积的23%。另外,还有位于伶仃洋东岸的香港和西岸的澳门两个特别行政区。经过30多年的发展,该地区人口密集、经济发达,成为我国最具活力的地区之一。但是,伴随该区域经济快速发展的是人类活动对河口自然生态环境的超强度索

取和干预,河口地区丰富的自然资源在给人类带来诸多益处的同时,也由于人类活动的破坏带来了一系列严重的生态环境问题。

1.2.1 河口污水排放造成水体污染严重

珠江河口海域是我国近岸污染最严重的海域之一,据不完全统计,每年大量未经处理的生活污水、工业废水直接或间接排入珠江河口的超过 20 亿 t,大量的污染物日积月累,致使珠江河口海域水质普遍超出三类海水水质标准。2003 ~ 2005 年广州市海洋地质调查局对珠江三角洲近岸海域海洋地质环境进行了调查,调查结果表明珠江河口附近海域海水中无机氮、 NH_4^+ 、pH 值、 PO_4^{3-} 、Pb、硫化物、石油类达到了重污染级,其中重金属 Pb、无机氮、石油类几乎 100% 超标。珠江河口成为仅次于渤海湾的全国第二大重点污染海域。污水的无序排放严重恶化了伶仃洋河口地区的水环境,给渔业资源和生产造成重大的经济损失,威胁河口生物的生存。国家一级保护动物“白海豚”已不再见,著名的沙井蚝和中华对虾面临消失的危险,栖息于珠江河口的 19 种经济鱼类和 25 种虾类出现大量死亡。海湾水域的污染导致赤潮越来越严重,每年约发生 7 次。近年来发生赤潮的频率越来越高,持续的时间延长,危害程度加大,造成的经济损失巨大,1998 年珠江河口发生特大赤潮,造成 3.5 亿元的经济损失。

1.2.2 咸潮上溯严重影响河口水生态环境和供水安全

近些年,随着珠江河口联围筑堤和航道整治,导致河口拦门沙的退化和消失,咸潮入侵逐年加重,由此对珠江河口生态环境及生物资源的生存环境造成重大影响。研究显示,海水盐度对红树林及海洋生物生长发育及生理活动有着多方面的影响,是海洋生态的基础环境因子。海水盐度升高对海洋生态与气候变暖、气温升高对陆地生态一样有着深层次的巨大影响。海水中盐度的变化对海洋生物有着非常重要的影响。多数无脊椎动物和原始鱼类(如鲨和鳐)血液和体液的含盐量约等于海水的平均盐度;硬骨鱼类血液中盐浓度仅是

周围海水盐度的 30% ~ 50%。海洋生物为维持正常的生理、生化活动必须要保持体内相对稳定的盐浓度和水分,因此伶仃洋河口地区海水盐度的变化对近海生态环境影响巨大。同时,珠江河口地区分布着广州和深圳等众多重要城市,目前香港供水水源的 70% 以上来自东江下游干流河道跨流域调水,澳门供水水源则全部来自三角洲磨刀门水道。随着珠江河口地区人口和产业的高度聚集,社会经济用水不断增长,而水环境日益恶化,水质型缺水问题日益突出。尤其是近年来珠江河口地区咸潮发生频率越来越高,咸潮上溯的影响范围也愈来愈广,咸潮上溯影响程度也越来越严重,持续的时间也越来越长,对澳门和珠江三角洲地区居民和大量工业企业的供水安全构成了严重的威胁,供水安全问题已成为制约河口地区社会发展和社会稳定的关键因素。

1.2.3 水利工程建设对河口生态系统的胁迫效应巨大

珠江河口滩涂湿地处于海洋、淡水、陆地间的过渡区域,是一个活跃的生态系统,它以其自身的生态优势维系大量的水生生物和植物的生存发育。区域内自然资源、自然环境和人类开发活动的相互作用最活跃,是典型的生态环境脆弱区域。珠江河口红树林湿地不仅可以除去水中的磷和吸收环境中的重金属,起到净化水体的特殊作用和价值,而且是河口生物种聚集地,咸淡水交叠环境的鱼、虾、蟹、贝类资源十分丰富,栖息红树林的鹭科、鸭科等鸟类达 100 多种。另外,珠江河口红树林湿地是候鸟从大洋洲到北亚迁徙往返的重要一站,广阔的滩涂和丰富的底栖动物为它们提供休息活动的场所和食物,到此落脚的鸟类最多年份达 20 万只以上。

新中国成立以来,为解决伶仃洋河口地区防洪、防潮问题,开展了大规模的联围筑闸工程,阻断了河网水域之间水生生物的正常流动;江河堤防、港口码头等大量混凝土工程使水生植物难以生长,水生动物难以栖息;大型水电站和枢纽工程阻断了洄游鱼类到内河产卵水域的路径,对鱼类资源影响深远。例如,洄游性鱼类鲮鱼,20 世

纪 50 年代在磨刀门的每网捕获量为 20 ~ 25 kg, 90 年代后只有 0.5 ~ 1.0 kg。此外, 珠江流域内近 9 000 座水库还改变了天然输沙量和径流量的情势, 使得以生物多样化为特征的河口滩涂湿地面临萎缩退化的危险, 对潮间带和浅水滩涂水生物栖息地造成影响。基础建设的迅速发展同时也引发了对河口地区的大量采沙活动, 这直接造成河口地区地形地貌的显著变异, 改变了河口的自然演变规律, 破坏了底栖生物的种群和数量。

尤其对滩涂的侵占以及河口治理和管理工作相对滞后, 引发了滩涂资源过度开发利用和滩涂湿地保护极不协调的矛盾, 导致大量滩涂湿地和河口红树林的减少。据不完全统计, 1950 ~ 1999 年间来珠江河口开发利用滩涂资源共 6.0 万 hm^2 , 其中 1950 ~ 1980 年开发利用 1.9 万 hm^2 , 1981 ~ 1989 年为 1.5 万 hm^2 , 1990 ~ 1999 年为 2.6 万 hm^2 。珠江河口滩涂湿地和红树林的减少不仅削弱了河口地区防洪纳潮和抵御台风风暴潮的能力, 而且严重影响了河口生态功能, 特别是对珠江河口地区自然资源的可持续利用影响尤为重大。

1.2.4 水环境变异对河口生态系统影响显著

珠江河口水环境的变异引起原有水生生物栖息繁衍场所的锐减, 改变和破坏了水生生物的生存环境, 导致河口生物多样性的减少和水生态种群的生存危机。1980 ~ 2000 年间, 水生生物发生很大的变化, 冬季浮游植物种类由 158 种下降到 97 种, 浮游植物生物量由 1 711 万 ind/m^3 下降到 100 万 ind/m^3 ; 夏季浮游动物种类由 133 种下降到 16 种, 浮游动物生物量由 2 339 mg/m^3 下降到 69 mg/m^3 ; 潮间带生物物种减少十分明显, 生物平均生物量由 1 207 g/m^3 下降到 370 g/m^3 , 平均栖息密度从 88 735 ind/m^3 下降到 8 478 ind/m^3 ; 底栖生物平均栖息密度从 342 ind/m^3 下降到 153.33 ind/m^3 ; 浮游动物年平均生物量逐年减少。处于高级营养级类群中的鱼类也受到水环境变异的影响, 近年珠江河口的渔获率已从 1983 年的 251 kg/h 锐减至不到原来的 1/6。

可见,珠江河口渔业资源衰退的严重程度,鱼、蟹、贝栖息繁衍场所锐减,珍稀动植物生存受到严重威胁。环境的恶化使不少珍稀濒危野生动植物生存受到严重威胁,如国家一类重点保护野生动物中华白海豚,现在已变得十分稀少。珠江三角洲沿岸的红树林面积逐年锐减,红树林滩涂面积仅存原有的 1/4,而且红树林的外貌和结构都变得简单,有些珍贵树种消失了,防潮护岸的功能也大为减弱,众多的湿地生态系统遭到人为破坏,珠江河口海域的生产力大幅下降。

1.2.5 缺少针对河口湾生态系统健康和治理工程效果的评估指标体系

生态系统的健康与生物多样性紧密相连,生物多样性是地球上生命经过几十亿年发展进化的结果,是人类赖以生存的物质基础。然而,随着人口的迅速增长,人类经济活动的不断加剧,作为人类生存最为重要的生物多样性受到了严重的威胁。海洋蕴藏着丰富的海洋生物资源,是人类重要的食物来源,每年为全球人类提供了 22% 的动物蛋白。但由于人类对海洋资源的开发利用强度日益加剧,过度捕捞、生境丧失、环境污染、生态入侵、海水养殖单一化使海洋生物多样性受到严重威胁,大批物种正在急剧减少乃至绝灭。然而,我们对于生物多样性受威胁的程度、原因等又缺乏了解,生物多样性动态变化的监测几近空白,由于各河口生态系统的复杂性和开放性,尚缺少一套统一的针对不同类型河口开展生物多样性和生态系统健康评估的指标体系。因此,针对伶仃洋河口湾,极有必要采取跨行业和跨学科合作的方式,组织各部门的科研力量,建立针对该海湾的生态系统评估指标体系,不仅能分析和评估该海湾生态系统的健康状况,而且可用来指导开展的生态治理和恢复工作的方向。

1.3 河口水生态环境治理和研究现状

世界上大多数国家的人口和经济发达地区都处在河口地区,各

国河口都经历了由于人口增长和人类活动加剧造成的各种生态环境问题,包括河口地区的沉降、水质恶化、咸水入侵、生物栖息地的破坏、渔业等生物资源锐减以及整体生态系统的退化等。其中,河口地区的人类活动主要指滩涂围垦、河口采沙、航道疏浚、港口工程建设、河口地区排污以及商业捕捞等,这些活动在近 100 年内对河口的地形地貌、水动力和泥沙环境、水质、咸潮入侵产生了重大影响,由此引发了河口海域生态系统的急剧退化及生物资源的锐减,对包括我国在内的全世界人类社会的安全和可持续发展构成了严峻挑战,成为各国科学家积极探索和应对的主要课题。

河口地区的地形地貌和水动力环境是在过去千万年的演变中逐渐形成的,李春初^[1]对河流优势型、潮汐优势型、波浪优势型三大河口类型体系的自动调整作用及其地貌特征形成机制进行了阐释,指出河口的功能会通过体系内部各要素如流速、比降、水深、河口宽度以及泥沙组成等的不断调整并表现出某种特定的最优形态,以适应和满足河流和海洋两个方向上能量的输入、传递和输出。戴志军等^[2]指出沉积、生物、化学特性也是河口的重要特征要素,因为河口污染物的扩散及自净、河口生态物种和环境突变都与河口系统有内在的联系。有史以来珠江三角洲的发展可以归纳为泥沙持续在口门外堆积、海岸线不断向海推移、出海河道不断延伸、口门相应外移、河口湾逐渐淤积的过程。100 多年来,人工促淤围垦、联围筑闸,加快了河口三角洲的淤长和海岸线演变的速度。因此,近些年来河口滩涂围垦及港口码头等涉水工程的建设是导致河口地区地形地貌迅速发生变化的主要原因。河口地形地貌变化的直接体现是,河口生态湿地面积迅速萎缩。长江河口、黄河河口、辽河河口在一定时期都出现过不同程度的围垦。据统计,1978 ~ 2002 年,长江河口围海造地面积达 3.4 万 hm^2 ^[3]。黄河三角洲地区由于围滩造田,造成滩涂底栖动物多样性降低,使迁徙鸟类的栖息地和饵料受到破坏;乱捕滥挖,直接导致湿地动植物资源减少,破坏了湿地环境^[4]。20 世纪 80 年代以来,辽河三角洲湿地由于大面积围垦,原有湿地面貌发生很大

变化,自然湿地面积大量减少,稻田等人工湿地逐渐增加^[5]。人类围垦活动除了直接造成湿地面积减少外,还会造成湿地生境质量变差,生物多样性下降,湿地生态功能减退^[6]。大多河口湿地处于东部沿海,土地压力大,土地需求紧迫,在各种因素作用下,对河口湿地的围垦活动持续不断。

导致湿地退化的另一主要因素是河道上兴建的大型水利工程,这些工程在防洪、灌溉、发电等方面带来正面效应,但其对生态环境的影响却是不容忽视的^[7]。修建水库和堤防,拦截水源使得河口湿地与周围的水利联系减少甚至中断,湿地变干、萎缩,使地表盐分难以向下游排泄而加剧湿地盐碱化^[8]。黄河近年来断流频繁,下游生态环境条件恶化主要与黄河干流上梯级水利枢纽的建设有关^[9]。珠江流域已建水库总库容超过 $46 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的电站枢纽水库,水库改变了天然输沙量和径流量,成为珠江河口滩涂湿地萎缩退化的重要原因之一^[10]。辽河河口红海滩地退化也与一些水利工程的建设密切相关,红海滩的主要植被是翅碱蓬,其生长的主要限制因子是盐分,由于拦海大堤的修筑,入海淡水减少,物质沉积使滩涂面积增加,幅度延伸,适宜翅碱蓬生长的范围逐渐缩小^[11],高处土壤积盐加快,翅碱蓬不能生长;一些地势较低的渍涝滩涂的边缘因潮水淹没过深或淹没时间过长,翅碱蓬逐渐枯萎死亡^[12]。此外,在气候干旱的年份,辽河河口拦河大闸关闸断水,没有足够淡水补充,使得河口海水盐度升高,由于翅碱蓬生长区吸附和渗透了大量的潮汐海水,加上土壤水分蒸发,使地表积盐,造成盐渍化,超出了翅碱蓬生长的耐盐极限,从而引起翅碱蓬群落退化死亡^[13]。

河口地形地貌的变化及水利工程对河口湿地退化的影响,最根本的原因是由于围垦及水利工程建设等改变了流域的水文、水动力及水沙输移环境条件,从而影响到流域内的生态环境。美国佛吉尼亚州国土保护部门的杰森·爱尔克逊(Jason Ericson)及其研究人员指出,68%的河口三角洲主要是由于河口泥沙缺失而导致的下沉。陈吉余等^[14]指出,河口及其邻近岸段是促淤造地的重要地区,有的

河口治理与围涂相结合,有的河口疏浚和围垦相结合,但河口在涨落潮流路变异时所带来的冲淤变异往往导致较大的灾害,必须对其进行水沙运动规律和自然适应性的基础研究,必须在促淤造陆和湿地保护之间进行权衡。

河口地区滩涂和湿地的萎缩直接改变了海域的地形地貌及水动力边界条件,造成的另一个影响是海湾纳潮和水体交换发生变化。纳潮量是海湾环境评价的重要指标,其大小反应了海湾的自净能力,决定了海湾与外海的交换强度,对海湾环境、生态及冲淤等方面意义重大^[15]。研究分析显示^[16,17],从1978~2007年,伶仃洋水域面积缩小了约253.83 km²,近30年间,伶仃洋水域纳潮量减少了约11.79%;纳潮量的大幅度减少无疑直接削减了伶仃洋河口湾水域的水环境容量,进一步降低了该海域生态系统的自净能力和承载能力。因此,在对伶仃洋海域生态环境的综合治理中,急需就该方面开展更多的研究和探索工作。

伶仃洋河口地形地貌及水动力和水沙环境的变化导致的另一个重要变化因素是咸潮入侵规律发生的变异,从而影响到海湾水体的理化性质和生态系统。从区域水文变化来看,近年来伶仃洋河口及上游区域干旱比较严重,淡水流入急剧减少,同时伴随天文大潮的出现^[18],导致2004年冬至2005年春珠江三角洲爆发了42年来最严重的咸潮入侵^[19]。同时,近年来的河道采沙、航道整治、滩涂围垦、口门延伸和拦门沙的消失进一步加剧了伶仃洋河口咸潮入侵的趋势,海域海水含盐度升高的趋势影响到海水水质的各个要素,通过对2005年年初珠江河口特大咸潮入侵期采样点的盐度和COD等要素分析显示^[19],盐度的升高改变了入海河口段的理化环境,水体中的铵盐硝化作用被抑制并上移。俞鸣同^[20]对闽江口河口盐水楔的活动进行了研究,指出在水体锋面上悬移质活跃,生物群落复杂。崔莹等^[21]在研究长江口南港水域COD和营养盐分布的时候发现,除NH₄-N外,其他营养盐与盐度呈现良好的负相关性,COD的分布呈现口内高、口外低的特征。因此,已有相关研究显示,咸潮入侵直接