

广西海洋科学研究回顾与展望^{*}

Review and Prospect of Research on Guangxi Marine Sciences

陈波¹, 竺利波²

CHEN Bo¹, ZHU Libo²

(1. 广西科学院广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 广西科学院, 广西南宁 530007)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要: 广西海洋科学研究工作起步较慢, 海洋教育也处在起步阶段。自 20 世纪 80 年代以来, 广西海洋科学研究力量主要集中在广西科学院属的广西海洋研究所、广西红树林研究中心、广西北部湾海洋研究中心。这 3 个单位在广西科学院统一领导下, 按照各自的领域和方向开展海洋科学研究工作, 在推动广西重大领域海洋应用基础研究和海洋产业发展中发挥主力军作用, 为广西社会经济建设和海洋事业发展作出了积极贡献。本文回顾了广西这 40 年来在海洋科学研究领域取得的成果, 并结合目前广西海洋科研及海洋教育力量薄弱、科技后备人才匮乏和科研人员偏少的现状, 为“十三五”广西海洋科学研究发展规划的实施提出建设性意见。

关键词: 海洋科学研究 回顾 展望 广西

中图分类号: G122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)01-0001-09

Abstract: The research on Guangxi marine sciences had a slow development, and the marine education was in its infancy. Since the 1980s, the work of Guangxi marine scientific research was mainly done by three subordinate institutes of Guangxi Academy of Sciences, including Guangxi Institute of Oceanology, Guangxi Mangrove Research Center and Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center. Under the unified leadership of the superior department, these three institutes had done many work on marine science research according to their respective research direction, they played an important role in promoting the development of Guangxi marine major field applied and basic research and marine industry, and they also made positive contributions to the construction of social and economic and the development of marine industry in Guangxi. This paper reviewed the achievements that Guangxi had made in the field of marine scientific research over the past 40 years. Combined with the current situation that Guangxi marine scientific research and marine education are weak and lack of reserve scientific and technological talents and scientific research personnel, constructive suggestions were put forward for the implementation of “13th Five-Year” Guangxi marine science research development planning.

Key words: marine scientific research, review, prospect, Guangxi

收稿日期: 2017-07-11

修回日期: 2017-09-11

作者简介: 陈波(1954—), 男, 研究员, 主要从事海洋动力学研究, E-mail: cbgkxxy@163.com.

^{*} 广西重点研发计划项目(桂科 AB16380282)和广西近海海洋环境科学重点实验室项目(GXKLHY15-01)资助。

0 引言

广西海洋科学研究力量主要集中在广西科学院属的广西海洋研究所、广西红树林研究中心和广西北部湾海洋研究中心 3 个单位。除此之外, 还有少数力

量分布在广西水产研究所和广西海洋研究院。广西海洋研究所成立于1978年,是20世纪广西唯一一家海洋科研机构,转制前有固定编制人员165人。其余机构均是2000年后建立,人员均为30人左右。2010年开始,广西新建了一批省级海洋类科研平台,主要有广西海洋生物技术、广西近海海洋环境科学、广西红树林保护、北部湾环境演变与资源利用、广西北部湾海洋生物多样性养护、广西南海珊瑚礁资源与环境等6个重点实验室,以及广西海洋天然产物与组合生物合成化学、广西北部湾海洋灾害研究等2个培育基地。这些科研平台分别依托广西科学院(2个)、钦州学院(2个)、广西大学(1个)、广西海洋研究所(1个)、广西红树林研究中心(1个)、广西师范学院(1个)等单位。

广西海洋教育仍处在起步阶段。2010年以前,广西是我国10多个沿海省市区中唯一没有海洋类高等教育的省区,其他的省市都设置有独立的海洋类大学或在相关大学中设置海洋学院(二级学院),而广西则处于“有海无学”的尴尬境地。2010年后,广西海洋后备人才培养能力逐步获得提高。目前广西涉海学校主要有广西大学、广西民族大学、广西师范学院、钦州学院和桂林电子科技大学等院校,这些院校近年来陆续开设了海洋科学、水产养殖、食品科学与工程、船舶驾驶、轮机管理、船舶工程技术、海事管理和国际航运业务管理等专业。

近10多年来,广西海洋科学研究工作取得了长足进步,尤其在海水养殖与加工方面研发出多项成果应用于生产。例如:广西海洋研究所依托其承担的“方格星虫规模化育苗技术研究”课题,创立了方格星球幼体星虫室内人工诱导变态培育技术、高密度室内分级中间培育技术及池塘中间培育技术;首次探讨方格星虫人工育苗过程中人工代用饵料的投喂技术,并大大提高了幼体变态成活率及中间培育成活率,实现了规模化应用。广西水产研究所依托其承担的“抗特定病原(SPR)南美白对虾的良种选育”课题,选育并建立了SPR南美白对虾新品系,该新品系的生长速度比引进品系提高26.9%,桃拉综合征病毒(TSV)感染存活率为93.4%,比对照品系提高4.3%,生产性能优良,并在合浦、钦州等沿海建立健康养殖示范基地,取得了显著的经济效益和社会效益。广西红树林研究中心依托其承担的“广西北部湾红树林资源环境保护恢复及利用关键技术研究”课题,设计了由红树林、林下滩涂、简易蓄水区、地下管网、通风管道和投饵鱼池构成的地理式红树林生态养殖系统,该系统不仅可以有效防御养殖动物逃逸,而且水体交

换通畅,对红树林生态系统干扰小,为沿海港湾红树林生态环境保护恢复与开发利用及实现可持续发展探索出一条新路子,应用推广前景广阔。广西正五海洋产业股份有限公司依托其承担的“出口水产品深加工关键技术创新与示范”课题,建立了贝类安全净化生产线、冷冻调理食品加工生产线和保活新工艺;同时还建立了“贝类净化技术规范”和产品质量监控体系以及相应企业标准;该课题的实施,对促进广西海洋贝类产业的持续发展起到了良好的示范作用。依靠科技加快海水养殖业发展,广西海洋渔业焕发出新的生机和活力,成为广西海洋经济的主导产业之一。

回顾广西海洋科学研究工作现状,广西海洋科研队伍体量偏小,科研创新能力不强,高层次科技人才缺乏;涉海院校少,师资水平差,与国内海洋类院校相比相差甚远;海洋调查手段落后,广西至今还没有一艘专业科考船。海洋科学是一门观测科学,国家早已实行空中、水面、海底为一体的立体监测体系,广西要实现从海岸带向北部湾口、东盟沿海各国科考合作的跨越还有很大的距离;海洋科技进步在海洋经济中的地位还有待提高,海洋产业发展中的科技支撑作用仍需加强,与创建海洋大省的目标仍存在较大差距。展望“十三五”发展规划,广西科学院作为广西从事海洋科学研究力量的主体单位,担负着加快海洋经济发展,借助科技创新的推动力把广西建设成一个强大的海洋经济大省的重大责任。

1 广西海洋科学研究工作回顾

1978年,伴随着我国第一个科学春天的到来,广西科学院属广西海洋研究所在北海市正式成立,这标志着广西从此有了唯一一家从事海洋科学研究的机构,结束了广西少数民族沿海省区有海无研究机构的历史。从20世纪80年代初开始,刚成立的广西海洋研究所在人员、实验条件、仪器设备十分不足的情况下就开展了广西北部湾海洋科考工作,开始承担国家下达给广西的海岸带、海岛、海湾等资源综合调查等多项公益任务,这些任务的主要目的是摸清广西近海环境资源的“家底”,为广西海洋开发与保护提供依据。20世纪90年代,根据广西壮族自治区政府科学用、管海的需要,广西海洋研究所作为主要单位参与了广西海洋功能区划、海岛保护规划和海洋环境保护规划等编制工作任务。同时,结合广西海洋渔业产业发展的需求,广西海洋研究所科研工作重点转向广西海水养殖新品种繁育、海水健康养殖技术、海洋生物种质资源与遗传育种等应用示范和推广,为海水养殖业发展提供技术服务。

进入 21 世纪后,国家实行科研院所分类改革,一大批事业类科研院所改制成科技型企业,取消事业性质,广西海洋研究所由原来的事业单位转制为技术开发类企业。同时,根据广西海洋学科布局和发展的需要,从该所人员事业编制中保留 32 名转入广西红树林研究中心,主要从事红树林生态保护研究工作。2012 年,广西壮族自治区机构编制委员会批准成立广西北部湾海洋研究中心(桂编[2012]221 号),其主要职责是开展海洋环境学、海洋动力学、海洋生物学等理论和应用技术方面的研究。从此,广西科学院主管有广西海洋研究所、广西红树林研究中心和广西北部湾海洋研究中心 3 个海洋科研单位。集中了全区 80%海洋科研力量和 50%海洋科研平台的广西科学院,在广西壮族自治区人民政府的统一领导下,按照下属 3 个海洋科研单位各自的领域和方向开展海洋科学研究工作。

从 1978 年至今已有 40 年,40 年风雨前行,广西海洋研究所经历了“事企”改革的阵痛后,更加努力地开展海洋生物应用技术与探索,在推动广西重大领域的海洋应用基础研究和海洋产业关键技术中充分发挥主力军作用,创造出更多能有效服务于广西经济社会发展的重点科研成果。广西海洋研究所建所以来共承担国家和地方科研项目 300 多项,获得各级科技进步奖励 70 多项,其中省部级以上科技进步奖 23 项,出版专著 9 部,发表论文 500 多篇,申请专利 38 件,获得授权专利 18 件。作为主要完成单位参与编写海洋综合管理法规近 10 项,其中,1998 年编制的“广西海洋功能区划”于 2001 年由广西壮族自治区人民政府颁布执行至今,成为广西在实施海洋活动科学指导和开展海洋综合管理过程中,参照执行时间最长的一项地方性管海法规。

1.1 海洋资源公益调查开创广西先河

由于跨国的原因,在北部湾开展海洋资源调查非常困难,所以,覆盖全海湾的水文、生物、化学等专业的调查很少,至今也只有 20 世纪 60 年代初的两次“中越北部湾合作海洋综合调查”:第一次是在 1959 年 12 月—1960 年 12 月;第二次是在 1961 年 12 月—1962 年 12 月。海洋资源“家底”不清,可用数据不多。为此,国家于 1982 年下达了广西海岸带和海涂资源综合调查任务,成立初期的广西海洋研究所作为牵头单位承担了该调查任务。1982—1986 年间,广西海洋研究所组织区内由 12 家单位参与的调查组,对广西海岸带和海涂进行了气候、水文、地质、地貌、土壤、土地利用、海化、浮游生物、潮间带生物、底栖生物、游泳生物、林业、植被、环境保护、测绘和社会

经济等 16 个专业的综合性调查,获得原始数据 145.1 万个,查明了广西沿海自然资源种类和数量分布、环境条件以及沿海地区社会经济状况,为广西沿海的资源开发和经济建设提供了全面、可靠的本底资料 and 科学依据。该项目获得 1988 年度广西科技进步一等奖。20 世纪 90 年代后,广西海洋研究所相继完成了国家下达的广西海岛资源综合调查任务,查明广西共有海岛 679 个,岛屿岸线总长为 549.5 km,总面积 118.06 km²。其中,有居民海岛 14 个,占岛屿总数的 2.17%;无居民海岛 665 个,占岛屿总数的 97.83%。最大的有居民海岛是涠洲岛,陆域面积 24.783 km²。除此之外,广西海洋研究所还完成了广西海湾志等多项海洋基础调查任务,为广西海岛、海湾资源开发利用与保护提供重要依据,这些调查成果分别获得国家海洋局、广西壮族自治区人民政府科技进步奖励。广西海岸带和海涂资源综合调查任务是继“中越北部湾合作海洋综合调查”相隔 20 年之后我国组织的第一次北部湾近海多领域、多专业、多部门参与的综合性调查,开创广西海洋资源公益调查的先河。

进入 21 世纪,广西科学院属广西红树林研究中心先后完成了“中国南部沿海生物多样性管理(UNDP)”“北部湾专项——广西近海海洋综合调查与评价(908 专项)”等重大项目。其中,广西红树林研究中心作为主要单位完成的“广西海岛湿地、植被调查与海岛地质、地貌调查与评价专项(广西 908 专项)”,是国家专项的重要组成部分。广西红树林研究中心还以此为基础进行了海岛湿地及植被资源相关评价,并建立了“数字海洋”基础信息框架。“908 专项”调查全面摸清广西海洋及沿海“家底”,建立现代化的成果展示和管理平台,构建跨部门和跨学科并业务化运行的海洋基础信息集成系统,为全面提高广西的海洋综合管理、海洋开发和保护决策水平奠定坚实基础。

1.2 滨海湿地学研究跃居国内前列

广西滨海湿地资源主要有红树林、珊瑚礁、海草、盐沼和滨海植被等。其中,红树林、珊瑚礁、海草资源是海洋重要生态系统之一,也是我国其它海区少有的典型生态系统。之前由于缺少专业科研机构,广西对此典型生态系统开展的针对性研究少,保护意识不强,破坏现象时有发生。广西科学院属广西红树林研究中心成立于 1991 年,2002 年作为独立法人事业机构,主要从事滨海湿地生态研究,聚焦于红树林、海草床和珊瑚礁典型海洋自然生态系统结构功能、保护恢复与合理利用研究与示范,已在国内和东南亚具有一定的影响力。早在 2005—2010 年国家开展“广西近

海海洋综合调查与评价(广西 908 专项)”中,广西红树林研究中心独立承担并完成了“广西海岛湿地、植被调查”专题和“广西海岛地质、地貌调查”专题。2009 年,广西作为国家海洋局确定的 4 个省级海岛保护规划试点之一,依据《海岛保护法》中有关“国家实行海岛保护规划制度”的规定,并以《全国海岛保护规划》为指导,广西海洋局和广西发展与改革委员会组织编制广西海岛保护规划工作,广西红树林研究中心负责具体编制工作,经过 3 年的努力,于 2011 年完成了《广西海岛保护规划(2011—2020)》,广西壮族自治区人民政府于 2011 年 12 月发布桂政函[2011]328 号文批准实施,为广西海岛保护、开发利用活动和管理提供了依据。2003 年,广西红树林研究中心作为 UNEP/GEF 南中国海多边合作项目红树林专题中国执行机构(2002—2008 年),主持完成了《中国红树林国家报告》和《中国红树林保护行动计划》;作为“中国生态学会红树林专业委员会”“中国太平洋学会红树林海草研究分会”的依托机构,主持起草《全国湿地保护“十三五”工程实施规划》红树林专题;参与国家海洋行业标准《“南红北柳”红树林修复技术指南》和《红树林生态监测技术规程》的编制。广西红树林研究中心于 2007 年加入国际海草监测网,是迄今国内唯一的 SeagrassNet 监测站点;提出了“海草-红树林-盐沼-滨海陆岸植被”海陆过渡带系统恢复的理论与技术体系,规划和指导防城港红沙环建设我国第一个生态海堤;原创的“基于埋管网技术的受损红树林生态保育系统”,作为生态保护与经济效益双赢的绿色发展模式,于 2015 年获得了国家海洋公益性专项支持,建立了我国第一个红树林海草大地标桩生态监测网络。近两年来,广西红树林研究中心连续承担南沙海域珊瑚礁生态调查国家任务,负责完成了总任务量 1/3 的调查任务,为维护我国在南海的权益提供科技服务。2016 年 11 月,国际顶尖科学杂志《自然》登载广西红树林研究中心协助完成的一项重大科研成果——“无脊椎动物 RNA 病毒圈的重新界定”,央视《新闻联播》还为此播发了一则新闻。

1.3 近海环境动力学领域研究多点开花

物理海洋学是所有海洋学科的动力基础。2012 年,广西科学院新成立广西北部湾海洋研究中心,围绕北部湾海洋环境学和海洋动力学进行深入研究,应用物理海洋学的方法合理解释了北部湾环流生成机制、近海污染物产生原因、风暴潮增减水异常变化及其对海洋生态环境造成严重影响等方面存在的一些复杂现象,该研究成果填补了广西物理海洋学领域的多项空白,推动了北部湾浅海动力学的发展。该研究

工作连续获得国家基金委 10 个项目资助,成为广西获得国家基金委资助项目最多的海洋学科。

1.3.1 北部湾环流生成机制

北部湾夏季环流的形式和琼州海峡水输运方向问题长期以来存在争议。一种观点认为在西南风作用下,琼州海峡水交换从西向东;另一种观点则相反。广西北部湾海洋研究中心进一步研究证实夏季粤西沿岸海水通过琼州海峡向西进入北部湾。

1964 年《中越合作北部湾海洋综合调查报告》^[1]中描述,北部湾内冬、春两季为逆时针气旋型环流,秋季受逆时针环流控制,东北部有一顺时针环流;夏季为反气旋型环流。根据南中国海环流图得出:冬季,在东北风影响下,南海海水通过琼州海峡进入北部湾;夏季,在西南风影响下,北部湾水体则通过琼州海峡流向南海。对北部湾来说,经过琼州海峡的水交换是冬进夏出的收支形式。之前,大部分论文都是建立在风生环流的基础上,把风当做主要驱动力。这些论述与中越联合调查结果不谋而合,但许多学者对这种结论存在很大争议。广西北部湾海洋研究中心基于国家基金课题“广西近海环流的特殊现象及其产生机制”的研究结果,以大量调查的资料作为研究和分析依据,采用国际上最先进的三维斜压湍封闭动力学数值模型对广西近海环流进行更细的网格计算和边界条件改造,从实际观测数据和理论计算结果两个方面进行比较,揭示了浅海区海底地形与环流运动之间的响应关系,合理解释了环流的特殊现象及其产生机制,成功解决了 50 年来北部湾的夏季环流结构与机制存在的巨大争议,得出“北部湾北部夏季存在一个气旋式环流,而不是反气旋式环流^[2-6]”的结论。形成这个环流的原因:(1)夏季入海径流量增大,大量淡水在入海口堆积,导致海面由近岸向外海逐渐下降,混合水形成的斜压效应驱使淡水沿越南沿岸向南流出湾口,促使气旋环流形成;(2)夏季西南风向北岸吹刮,使得外海水在广西近岸堆积,岸边海平面高于远岸。按照地转流计算方法,由岸向外海面倾斜的正压效应,将驱使沿岸水向西运动,加强了气旋环流形成;(3)琼州海峡东部南海水持续向西流进入北部湾。这些都科学解释了北部湾北部区域环流产生的机制和物理海洋学的复杂现象,该研究成果进一步丰富了我国浅海物理海洋学的研究内容。

1.3.2 近海污染物产生原因

北部湾北部赤潮多发原因是由于海水中存在高浓度的氮磷营养元素,这些元素并非来自广西沿岸的陆源污染,而是通过动力学途径从琼州海峡东部海面输送而来。

近年来,随着沿海工业及养殖业的发展,广西沿海附近水域海水质量有下降趋势,水体富营养化程度增加,几乎每年都有赤潮现象发生。据统计,1995—2012年共发生赤潮13次,其中钦州湾和廉州湾累计发生5次,涠洲岛赤潮发生次数则为8次,占广西近海赤潮总数的61.5%^[7]。赤潮多发区域具有远离陆地和工业污染区的特点。涠洲岛位于北部湾北部,距离最近的广西北海市有37 km之远,岛上没有任何工业设施,周围水域向来以“干净水质”自诩,但该海域却成为赤潮的高发区域。赤潮发生与氮磷营养物质含量有密切关系,因此,研究涠洲岛氮磷营养元素的来源及赤潮形成机制具有重大意义。广西北部湾海洋研究中心通过实施“北部湾北部赤潮发生与动力响应机制研究”课题,在琼州海峡西面、涠洲岛西南侧海域进行为期6个航次的现场大面积调查,并应用FVCOM数值模式计算广西沿海赤潮发生与氮磷营养物质含量的关系,追溯高浓度氮、磷元素来源及传递途径。研究发现,琼州海峡东部水由东向西进入北部湾,与之前的研究结论相吻合^[8-9]。引起涠洲岛赤潮多发的高浓度氮磷营养水体并非来自广西沿岸,而是通过动力学途径从琼州海峡东部海面输送而来,其源头主要是粤西沿岸水域及珠江口。这就科学解释了涠洲岛赤潮发生区域氮、磷营养物质含量高于周围海域的主要原因,首次揭示包括涠洲岛在内的北部湾北部近年来赤潮产生的机制。该成果对琼州海峡东部水进入广西沿海后的影响有了更新的诠释,为广西海洋环境保护提供了重要的动力学依据。

1.3.3 风暴潮增减水异常变化

风暴潮增减水在近岸港湾的强化、分布及极值的出现与台风传入路径、港湾地形、大气重力波及海湾共振有关。

广西沿海是台风的多发区。根据有关文献报道,每年登陆和影响北部湾北部的热带风暴(台风)有2~5个^[10]。而每一次台风入侵都会引发不同程度的风暴潮增水,据统计,从1965—2015年,登陆和影响广西沿海的台风引起水位升高0.5~1.0 m有25次,1 m以上的有16次,2 m及以上的有6次,风暴潮增水造成严重的灾害^[11-12]。风暴潮增减水传入近岸港湾后极值出现及分布发生重大变化,给预警预报带来很大困难。广西近岸台风风暴潮增减水强化机制的问题一直未能从理论上找到依据。广西北部湾海洋研究中心主要基于“广西沿海主要港湾风暴潮增减水及变化机制研究”课题的研究成果,并与20世纪80年代开展的广西沿岸主要港口台风风暴潮特征及其预报模式研究成果相结合,初步建立了各港口台风风暴潮的预

报方程^[13-14]。20世纪90年代,在对广西沿岸台风风暴潮的形成与台风路径和地形的关系、增减水分布规律与强化机制的关系等研究结果^[15-17]进行比较的基础上,根据各港湾的验潮资料,广西北部湾海洋研究中心进一步完善了各港口台风风暴潮的预报方程,分析广西沿海风暴潮增减水的形成原因,采用FVCOM水动力模型、FVCOM-SWAVE波浪模型以及FVCOM-SED泥沙模型,建立潮位、潮流、波浪、海底与风场等多要素耦合、多参数方法的风暴潮模型,大大地提高了广西风暴潮灾害预防研究水平。研究结果表明,入侵台风引起广西沿海风暴潮增减水变化具有明显的区域特点^[18-21]:增水上升快,恰遇天文大潮,产生高水位造成严重灾害;减水时间长,下降慢,无规律可寻;风暴潮增减水在近岸港湾的强化、分布及极值出现与台风传入路径、港湾地形、大气重力波及海湾共振有关。台风风暴潮增减水强化机制理论研究的突破为提高其预报精度作出了重要贡献,填补了区域上的研究空白。

1.3.4 海洋国土流失现象严重

我国北仑河口北侧局部岸段海洋国土流失现象严重的原因,是东南偏东向的河口径流为主要营力之一,同时,越南人为抬高河床,改变水流,加速我国河岸侵蚀也是重要的影响因素。

近年来,在高强度的人类活动和气候变暖双重影响下,我国的海湾生态环境面临一系列重大挑战,生态系统承受巨大的外部压力,资源与环境安全问题日益突出,经济与社会发展之间的矛盾更加显著,严重影响我国海湾地区各种资源的可持续利用。例如,北仑河口自20世纪70年代以来,由于人类活动和自然胁迫的影响,河口的自然环境条件发生变化,深水航道不断向我国偏移,最大偏移量为2.2 km,造成我国一侧海岸冲刷,约1.9 km²滩涂、多个小岛以及水下小沙洲等受到严重的破坏和变迁,约8.7 km²岸滩面积的权属存在争议之地。为此,广西北部湾海洋研究中心针对北仑河口海洋国土资源流失问题展开研究,为我国海洋国土资源保护提供科学依据。广西北部湾海洋研究中心以“产生北仑河口东向侵蚀的动力因子研究”课题实施期间获取的海流、泥沙、风、水深等大量观测资料为基础,采用三维高分辨率非结构网格有限体积潮流与风耦合模式,研究夏季主风向作用下流场分布特征和小尺度涡;用已经取得的流场和风场,计算这个海域波浪场和泥沙分布规律,特别分析各种涡旋所造成的局部冲刷和淤积区;求出局部海域的侵蚀和淤积,了解影响我国海岸不断变迁的主要动力因子,进一步探讨这些动力因子对河口主航道和海

岸的再塑作用,从河口海岸动力学方面探寻河口演变的理论依据。研究发现,位于北仑河口北侧的我国竹山岛沿岸受到明显冲刷、海洋国土流失现象严重的主要原因,是东南偏东向(指向北侧海岸)的河口径流为主要营力之一,稳定的往复潮流加速了北侧海岸的侵蚀再塑作用,同时,越南人为抬高河床,改变水流,加速我国河岸侵蚀。该研究成果为河口北侧整治工程提供了重要的科学依据,被直接应用于国家级北仑河口红树林自然保护区海岸修复实施方案中^[22-26]。

1.4 服务地方社会经济建设成效显著

1.4.1 广西海水养殖业的发展

20世纪90年代以来,广西壮族自治区党委、政府决定把海洋水产业做为优先发展的支柱产业纳入全区沿海各级政府行为,并制定了《关于加快开发水产资源大力发展水产业的决定》,明确广西海洋开发的重点是浅海和滩涂的水产养殖。广西科学院属广西海洋研究所认真响应广西壮族自治区党委和政府的号召,积极开展海水养殖苗种繁育与选育,海水健康养殖、营养和饲料等研究,自主研发了方格星虫、文蛤、獾蛤、巴非蛤、方斑东风螺、青蟹、中华乌塘鳢、石斑鱼等人工育苗技术,为推动广西海水养殖业的发展做出了重要贡献。

(1)特色海产品种——方格星虫的人工育苗成功推广

从20世纪90年代启动繁育研究,至2004年在国际上首次突破人工育苗技术难关,最后于2007年实现了人工苗种规模化生产,该技术达到国际领先水平。从2009年开始,广西海洋研究所每年培育方格星虫苗种3500万条以上,推广养殖面积200~300 km²,为北海、钦州、防城港沿海养殖户解决大批量生产种苗。同时,指导沿海养殖户熟练掌握方格星虫人工健康养殖技术,为沿海农民增收致富做出了重要贡献。“方格星虫规模化人工育苗技术研究及养殖推广”项目研究成果先后获2009年广西科技进步二等奖、2013年广西技术发明二等奖和2016年广西科技进步二等奖。

(2)传统养殖品种——文蛤、獾蛤、青蟹、中国鲎等人工育苗成功推广

2000年后,广西海洋研究所利用建立的海水养殖中试基地开展文蛤、獾蛤、青蟹、中国鲎等传统优势养殖品种人工育苗研发及养殖技术推广工作,其中,文蛤、獾蛤苗种规模化生产,年培育獾蛤苗种2亿粒以上,苗种中培成活率高达90%以上、养殖成活率60%以上;中国鲎人工繁殖技术取得突破,2014年成功培育出中国鲎苗种100多万只;青蟹育苗连续10

多年来规模化生产,成为广西沿海最大的种苗供应基地。这些养殖种苗每年大批量供应给广西沿海养殖户,为他们解决了生产上的难题。广西海洋研究所开展的海水养殖品种育苗技术研究开发及推广应用,推动了海水养殖由岸上池塘到浅海滩涂及水域的发展,为广西海水养殖业的发展做出了重要贡献。广西海水养殖业产量超过海洋捕捞产量,广西海洋研究所功不可没。多个养殖品种人工育苗技术研究成果获得相关奖励,其中,“大獾蛤工厂化育苗及人工养殖试验”研究成果获2003年广西科技进步二等奖;“巴非蛤的人工育苗技术研究”成果获2015年广西技术发明三等奖。

1.4.2 广西红树林保护区的建设

广西红树林资源在全国排列前位,是这一地区生态安全的海上绿色屏障。为了保护广西红树林生态系统,国家在广西建立了山口、北仑河两个国家级自然保护区。广西科学院属广西红树林研究中心为保护区的建设、规划和管理做了大量基础性工作,提供了重要的科学依据。

历史上北仑河口潮滩曾生长着3338 hm²的红树林,经过1949年以前的海堤建设毁林、20世纪60年代到70年代的围海造田、1980年与1981年的滥砍滥伐和1997年以后的毁林养虾等4个破坏高峰期后,红树林面积锐减至目前的1066 hm²,我国北仑河口的原生红树林损失68%左右。根据1998年遥感资料分析,在东兴市万尾西南端和越南万柱岛东北端连线之内的水域中,越南红树林面积为1029.87 hm²,占总面积的97.12%;我国红树林面积仅为30.55 hm²,只占总面积的2.88%。北仑河口特殊的地理位置以及红树林的生态功能作用对于维护我国的领土安全和海洋权益具有至关重要的作用。为此,1983年原防城县人民政府批准建立北仑河口竹山脚红树林保护区。保护区的建设需要深入林区开展红树植物种类组成、重要群落类型与特征调研,制作红树植物群落分布图及红树林区土壤类型分布图,确定红树植物分布及其面积、宜林滩涂面积及其斑块分布位置等。广西红树林研究中心围绕这些需求为各个时期保护区的建设方案制订、规划、升级、管理提供技术支撑,经过地方政府主管职能部门的积极争取及广西红树林研究中心提供的技术支持,北仑河口竹山脚红树林保护区于1990年经广西壮族自治区人民政府批准晋升为省级北仑河口海洋自然保护区,之后又于2000年4月经国务院批准晋升为国家级自然保护区,实现了由县级管理向国家级管理的跨越,并成为我国大陆海岸面积最大、保存较为完好的海湾红树林

生态系统的保护区。北仑河口红树林自然保护区于2001年7月加入了中国人与生物圈组织,于2004年6月加入中国生物多样基金会并作为该基金会下属的自然保护区委员会成立的发起单位。

1.4.3 国家的海洋核安全

核能安全问题一直广受社会各界关注,特别是2011年日本福岛核事故发生后,核能的安全使用更成为舆论和公众关注的重点。广西防城港核电站位于防城港市港口区光坡镇红沙村沿岸,建于2010年7月30日,2015年10月25日1号机组并网发电,同年11月核电站临近海域暴发大量球形棕囊藻赤潮,核电生产安全受到严重威胁。为了防止球形棕囊藻赤潮暴发影响核电站循环水过滤系统,广西科学院属广西北部湾海洋研究中心与中国科学院海洋研究所共同承担“防城港核电站一期(2x1000MW)工程取水海域球形棕囊藻赤潮暴发应急治理”任务。广西科学院属广西北部湾海洋研究中心负责赤潮预警监测、赤潮巡视(应急)监测、赤潮应急消除后评估监测、赤潮应急消除行动辅助性工作等。监测发现,调查海域球形棕囊藻细胞丰度呈现稳定上升趋势,核电站取水明渠中球形棕囊藻囊体(直径约30~200 μm)密度已达到11 000个/m³,直径为1~3 mm的囊体密度为3个/m³,已经威胁到核电站循环水系统的安全运行。为了保证核电站取水明渠不受球形棕囊藻囊体堵塞的影响,广西北部湾海洋研究中心积极配合中科院海洋研究所对核电站取水明渠赤潮实施应急治理,有效控制了球形棕囊藻赤潮的生长,保证了取水口循环水系统的正常运行。广西北部湾海洋研究中心科研人员从2015年12月—2016年3月连续4个月战胜寒冷天气、克服晕船困难,每天坚持清晨出海取样,中午将样品送回实验室,下午立刻做检测,晚上出分析报告。在全体人员努力下,一份份核电站取水海域赤潮生物球形棕囊藻预警监测报告被及时、准确、高质量地报送、传递,为做好赤潮灾害应急处置打下了坚实的基础,为防城港核电的生产安全作出了重要贡献。

2 “十三五”广西海洋科学研究展望

广西海域区位优势,东邻粤、琼,西接越南,南出西太平洋,北靠大西南,拥有我国西南区域最便捷的出海通道,自汉朝以来就是“海上丝绸之路”始发港之一,长期发挥着我国开放合作、与世界对接的重要门户作用。近年来,党中央和国务院高度重视广西沿海的社会经济发展,批准成立“广西北部湾经济区”。“十三五”期间,国家赋予广西构建面向东盟的国际大通道,打造西南中南地区开放发展新的战略支点,形广西科学 2018年2月 第25卷第1期

成21世纪海上丝绸之路与丝绸之路经济带有机衔接的重要门户“三大定位”的明确定位。2017年4月,习近平总书记在广西考察时指出,广西有条件在“一带一路”建设中发挥更大作用。同年10月,党的十九大报告又提出了“坚持陆海统筹,加快建设海洋强国”的重要论述。国家的战略定位及十九大重要论述为海洋科技创新提供了新坐标,同时也对广西海洋经济建设提出了更高和更为迫切的要求。广西海洋事业迎来了重大发展机遇。广西优势在海,希望在海,潜力在海。北部湾、南海的广阔海洋,正是广西乘“一带一路”东风大有可为的战略空间,更是经济社会可持续发展的资源优势。作为广西海洋研究的主要科研机构,我们深感肩上责任之重大。因此,在海洋科学研究方面必须以提升海洋科技水平和自主创新能力为核心,整合海洋科技发展资源,加大科技投入,重视海洋教育和海洋基础科学研究,组织海洋关键技术攻关,发展海洋高新技术,不断提高海洋开发和海洋服务领域的技术水平。加快引进和培养科研、开发和管理的各类人才,健全海洋人才培养和使用制度,提高科技对海洋事业发展的贡献率。就目前而言,广西与全国其他沿海省份相比,海洋科技力量相对薄弱,创新能力不强;海洋经济总量偏小,海洋产业层次较低;海洋教育仍处于起步阶段,海洋高素质人才队伍匮乏。当务之急,要努力争取国家的支持,在广西北部湾建设具有国内一流、国际极具竞争力和吸引力的海洋科研机构,打造海洋科技创新团队,以服务海洋强国战略和“一带一路”战略,做好北部湾海洋这篇大文章,更好地服务广西“向海经济”的发展需求。同时,广西科学院作为广西海洋研究的主要科研机构,在“十三五”期间要认真制订新的发展规划,确立新的建设目标。2016年7月和9月,广西壮族自治区党委、政府主要领导先后与广西科学院负责人座谈时指出:科研院所要以习近平总书记重要讲话精神为指引,找准定位、明确目标,紧密结合广西的资源禀赋、区位优势、产业发展,力争在一些优势领域取得新的重大突破,成为具有鲜明特色、先进水平和较大影响力的地方一流科研院所。要在推动广西产业发展和重大领域科技创新中充分发挥主力军作用,加快建立产学研紧密合作的现代科研院所制度,加快科技成果转化工作,创造出更多有效服务经济社会发展的重点科研成果,真正使科技创新成为引领广西发展的第一动力。我们要全面贯彻落实广西壮族自治区领导的讲话精神,以服务广西经济社会发展为己任,以提供创新科技支撑和服务为目标,努力为广西的“三个定位”战略目标发挥科技先锋队的作用。通过科技创新能力和

核心竞争力的提升,建设具有鲜明特色、先进水平、较大影响力的地方一流科研院所。在海洋科学研究方面:

(1)整合广西科学院全院海洋科学研究力量

海洋科学研究是广西科学院的传统优势学科,也符合北部湾海洋生态保护与海洋经济发展的需求,尤其在红树林生态保护与生态经济方面的研究已具有国际水平,在北部湾海水养殖新品种培育和海洋环境动力学方面在全区乃至国内均有一定影响。但目前广西科学院海洋科学研究分属于广西北部湾海洋研究中心、广西海洋研究所和广西红树林研究中心,这3个单位的体量均很小,科研人员总共不足80人,其中海洋研究所还是转制院所。为保证广西科学院传统优势学科的发展,持续为广西北部湾海洋生态保护与海洋经济的发展作贡献,拟以广西红树林研究中心为基础,组建“广西北部湾海洋生态与经济技术研究所”。整合后广西科学院从事海洋科学研究的科研人员数量将达到150人左右,研究方向也将在原来的基础上进一步拓展,建成具有一定人员规模、特色鲜明、研究水平地方一流的科研院所。

(2)建立中国-东盟海洋科技合作联合研究中心

在国家实施“一带一路”战略背景下,中国和东盟国家的科技合作已成为潮流。建立中国-东盟海洋科技合作联合研究中心符合中国和东盟国家的社会发展需要,也是落实“中国和东盟海上合作伙伴关系”的一个重要环节。广西是中国唯一海陆都与东盟国家接壤的省区,也是中国面向东盟经济和科技合作的门户、前沿和桥头堡。广西科学院位于首府南宁市,具有良好的区位优势,提出成立中国-东盟海洋科技合作联合研究中心,可以联合国内和东盟国家主要海洋科研院所,充分发挥广西在海洋技术、人力资源、海洋设备、数据共享等方面的区位优势,更有效地推进中国-东盟海上科技交流和合作研究。同时,通过中国-东盟海洋科技合作联合研究中心平台,与东盟海洋科学界建立务实高效、充满活力的新型海洋科技合作伙伴关系,共享海洋科技发展成果,通力合作,促进区域海洋经济可持续发展。目前,广西壮族自治区发展与改革委员会发布的桂一带一路办发[2016]12号文已经批准将“建立中国-东盟海洋科技合作联合研究中心”列入2017年度推进项目,广西科学院正着手计划推进加快建设。

(3)加强海洋生态环境保护与养殖示范基地建设

在整合广西科学院海洋研究力量的同时,加强广西科学院海洋生态环境保护与养殖示范基地的建设,更好地为海洋生态文明建设和海洋产业发展提供更

多的技术服务。按照广西壮族自治区发展与改革委员会发布的桂发改投资[2017]989号文的要求,为加强广西海洋环境保护能力建设,提高广西海洋灾害风险预警预测及评估综合能力,通过开展监测为海洋环境保护技术提供科学依据,积极推进“广西防城港海洋生态环境保护试验基地”建设进程,提升广西科学院在环境监测及灾害风险预警预测及评估能力;开展红树林生态保护与示范国际合作平台建设,拟与越南海岛海洋局合作,在越南北方建立“中国-越南红树林可持续利用与保育示范区”;与世界自然保护联盟(IUCN)、联合国开发计划署(UNDP)等国际组织合作,在广西红树林研究中心建立“中国-东盟滨海湿地保育技术培训中心”;争取北海市政府的大力支持,推动北海国家(海洋)农业科技园“红树林生态保育与生态经济基地”建设,将该基地建设成在红树林生态保护与经济发展方面的国际研究平台;完善北海市竹林海水养殖基地建设,将该基地打造成集育苗、中培和养殖示范于一体的“北部湾海水养殖示范基地”“全国现代渔业种业示范场”和“农业部水产健康养殖示范场”,建设成为在国内及东盟一流的海水养殖研究基地,更好地服务广西和东盟沿海国家传统海水养殖业发展。

海洋是人类发展的出路所在。在陆地资源开发余地越来越少,人口、资源、环境压力越来越大的今天,面向海洋寻找出路成为全人类的共同选择,也许是唯一的选择,广西为有这片海而骄傲,且已经充分认识到,时至今日,这片海带给广西的不仅是一种诸如“兴盐渔之利,得舟楫之便”的传统认识,它还与广西的经济发展和国家战略实施息息相关,是一块我们赖以生存的蓝色国土。而我们,作为广西从事海洋科学研究的机构,更应把握机会,加速海洋经济发展,借助科技创新的推动力,把广西建设成一个强大的海洋经济大省。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 中越合作北部湾海洋综合调查报告[R]. 北京: 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室, 1964.
Scientific and Technical Committee of the People's Republic of China Ocean Group Integrated Marine Investigation Office. Sino-Vietnamese cooperation Beibu Gulf marine comprehensive investigation report[R]. Beijing: Scientific and Technical Committee of the People's Republic of China Ocean Group Integrated Marine Investigation Office, 1964.
- [2] 夏华永,殷忠斌,郭芝兰,等. 北部湾三维潮流数值模拟[J]. 海洋学报, 1997, 19(2): 21-31.
XIA H Y, YIN Z B, GUO Z L, et al. A three-dimension-

- al numerical simulation of Beibu Gulf[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1997, 19(2):21-31.
- [3] 夏华永,李树华,侍茂崇. 北部湾三维风生流及密度流模拟[J]. *海洋学报*, 2001, 23(6):11-23.
XIA H Y, LI S H, SHI M C. A 3-D numerical simulation of wind-driven currents in the Beibu Gulf[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(6):11-23.
- [4] 高劲松,陈波,侍茂崇. 北部湾夏季环流结构及生成机制[J]. *中国科学:地球科学*, 2015, 45(1):99-112.
GAO J S, CHEN B, SHI M C. Summer circulation structure and formation mechanism in the Beibu Gulf[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2015, 58:286-299. DOI:10.1007/s11430-014-4916-2.
- [5] 陈波,李培良,侍茂崇,等. 北部湾潮流残余流和风生海流的数值计算与实测资料分析[J]. *广西科学*, 2009, 16(3):346-352.
CHEN B, LI P L, SHI M C, et al. Numerical computation and analysis of observational data of tide-induced residual currents and wind-driven currents in Beibu Bay[J]. *Guangxi Sciences*, 2009, 16(3):346-352.
- [6] 高劲松,陈波. 北部湾冬半年环流特征及驱动机制分析[J]. *广西科学*, 2014, 21(1):64-72.
GAO J S, CHEN B. Analysis on characteristics and formation mechanism of the winter boreal circulation in the Beibu Gulf[J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 21(1):64-72.
- [7] 侍茂崇,陈波. 涠洲岛东南部海域高浓度氮和磷的来源分析[J]. *广西科学*, 2015, 22(3):237-244.
SHI M C, CHEN B. Tracking the source of high concentration nitrogen and phosphorus water in the southeast of Weizhou Island[J]. *Guangxi Sciences*, 2015, 22(3):237-244.
- [8] 杨士瑛,陈波,李培良. 用温盐资料分析夏季南海水通过琼州海峡进入北部湾的特征[J]. *海洋湖沼通报*, 2006(1):1-7.
YANG S Y, CHEN B, LI P L. A study of the characteristics of water transport from the South China Sea into Beibu Bay via the Qiongzhou Strait in summer in terms of temperature and salinity data[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006(1):1-7.
- [9] 陈波,严金辉,王道儒,等. 琼州海峡冬季水量输运计算[J]. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(3):357-364.
CHEN B, YAN J H, WANG D R, et al. The transport volume of water through the Qiongzhou Strait in the winter season[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, 37(3):357-364.
- [10] 吴兴国. 五十年来影响广西的热带气旋统计特征分析[J]. *广西气象*, 1998, 19(4):75-79.
WU X G. Analysis of the statistical characteristics of tropical cyclones influence Guangxi in the past 50 years[J]. *Journal of Guangxi Meteorology*, 1998, 19(4):75-79.
- [11] 陈宪云,陈波,刘晖. 广西沿海风暴潮灾害及防治对策[J]. *海洋湖沼通报*, 2013(4):17-23.
CHEN X Y, CHEN B, LIU H. Guangxi coastal storm surge disasters and countermeasures[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(4):17-23.
- [12] 陈宪云,刘晖,董德信. 广西主要海洋灾害风险分析[J]. *广西科学*, 2013, 20(3):248-253.
CHEN X Y, LIU H, DONG D X. Analysis of Guangxi marine disaster risk[J]. *Guangxi Sciences*, 2013, 20(3):248-253.
- [13] 陈波. 广西南流江三角洲海洋环境特征[M]. 北京:海洋出版社, 1997.
CHEN B. The marine environment characteristics of Nanliu River Delta in Guangxi[M]. Beijing: China Ocean Press, 1997.
- [14] 李树华,陈文广,陈波,等. 广西沿海台风暴雨潮数值模拟试验[J]. *海洋学报*, 1992, 14(5):15-25.
LI S H, CHEN W G, CHEN B, et al. A numerical simulation experiments of storm surge in Guangxi coast[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 14(5):15-25.
- [15] 陈波,董德信,陈宪云,等. 历年影响广西沿海的热带气旋及其灾害成因分析[J]. *海洋通报*, 2014, 33(5):527-532.
CHEN B, DONG D X, CHEN X Y, et al. Analysis of tropical cyclones affecting Guangxi coast over the years and their disaster causes[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(5):527-532.
- [16] 陈波,邱绍芳. 广西沿海港湾风暴潮增减水与台风路径和地形效应的关系[J]. *广西科学*, 2000, 7(4):282-285.
CHEN B, QIU S F. Impacts of typhoon course and landform on water level fluctuation in the coastal bays in Guangxi[J]. *Guangxi Sciences*, 2000, 7(4):282-285.
- [17] 陈波. 北海港多年一遇风暴潮增减水极值推算[J]. *广西科学院学报*, 2000, 6(3):12-15.
CHEN B. Reckoning of extremal water level fluctuation caused by storm surge in every years in Beihai Port[J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2000, 6(3):12-15.
- [18] 陈波,侍茂崇. 廉州湾风暴潮的数值模拟[J]. *海洋通报*, 2001, 20(3):88-92.
CHEN B, SHI M C. A numerical simulation of storm surge in Lianzhou Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2001, 20(3):88-92.
- [19] 陈波,魏更生. 广西沿海风暴潮的数值计算研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2002(2):1-8.
CHEN B, WEI G S. Numerical calculation of storm surges near Guangxi coast[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2002(2):1-8.
- [20] 陈波,侍茂崇,郭佩芳,等. 北部湾北部潮流谱分析和余流特征研究[J]. *广西科学*, 2014, 22(1):54-63.
CHEN B, SHI M C, GUO P F, et al. Analysis of tidal current spectrum and study of residual current in northern Beibu Gulf[J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 22(1):54-63.
- [21] 陈波,SHI M C, CHEN X Y, et al. Water level fluctuations in Guangxi near coast caused by typhoons in South China Sea[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2016, 39(1):12-29.
- [22] 陈波,邱绍芳. 河流动力及海洋动力对北仑河口河槽演变的影响[J]. *广西科学*, 1999, 6(3):227-230.
CHEN B, QIU S F. Effects of river and marine dynamic on the succession of riverbed in the estuary of Beilunhe[J]. *Guangxi Sciences*, 1999, 6(3):227-230.

(下转第 14 页 Continue on page 14)

- LUO F. Suspended sediment movement equation and its near-end sediment flux[D]. Nanjing: Hohai University, 2008.
- [11] 李瑞杰, 罗锋, 朱文谨. 悬沙运动方程及其近底泥沙通量[J]. 中国科学: E 辑: 技术科学, 2008, 38(11), 1995-2000.
- LI R J, LUO F, ZHU W J. Suspended sediment transport equation and its near-end sediment flux[J]. Science in China: Series E: Technological Sciences, 2008, 38(11), 1995-2000.
- [12] EINSTEIN H A, KRONE R B. Experiments to determine modes of cohesive sediment transport in salt water[J]. Journal of Geophysical Research, 1962, 67(4): 1451-1461.
- [13] PARTHENIADES E, CROSS III R H, AYORA A. Further results on the deposition of cohesive sediments [J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1968, 43(2): 1469.
- [14] PARTHENIADES E. The present state of knowledge and needs for future research on cohesive sediment dynamics [C]//3rd International Symposium on River Sedimentation, School of Engineering, the University of Mississippi, University, 1986: 3-25.
- [15] MEHTA A J. On estuarine cohesive sediment suspension behavior[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 1989, 94(C10): 14303-14314.
- [16] MEHTA A J, PARTHENIADES E. An investigation of the depositional properties of flocculated fine sediments[J]. Journal of Hydraulic Research, 1975, 13(4): 361-381.
- [17] NOWELL A R M, JUMARS P A, SELF R F L, et al. The effects of sediment transport and deposition on infauna: Results obtained in a specially designed flume [M]. LOPEZ G R, TAGHON G L, LEVINTON J S (eds.). Ecology of marine deposit feeders. New York: Springer-Verlag, 1989: 247-268.
- [18] PARTHENIADES E. Erosion and deposition of cohesive soils[J]. World Journal of Biological Psychiatry the Official Journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry, 1965, 1(4), 190-192.
- [19] 刘金贵. 近岸泥沙输运工程及其三维数值模拟研究 [D]. 南京: 河海大学, 2010.
- LIU J G. Study on sediment transport engineering and three-dimensional numerical simulation of nearshore [D]. Nanjing: Hohai University, 2010.
- [20] WINTERWERP J C, VAN KESTEREN W G M. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment [M]. New York: Elsevier Science, 2005.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 9 页 Continue from page 9)

- [23] 陈波, 邱绍芳. 北仑河口河道冲蚀的动力背景[J]. 广西科学, 1999, 6(4): 317-320.
- CHEN B, QIU S F. Dynamics background of riverbed erosion in the Beilunhe Estuary[J]. Guangxi Sciences, 1999, 6(4): 317-320.
- [24] 陈波, 邱绍芳. 北仑河口动力特征及其对河口演变的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 2000, 20(1): 39-44.
- CHEN B, QIU S F. A preliminary analysis on the dynamics characteristics of the marine natural environment at the Beilunhe Estuary[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2000, 20(1): 39-44.
- [25] 邱绍芳, 陈波, 何碧娟. 广西沿岸两大入海河口区域的环境变化与水流动力影响分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003(3): 24-29.
- QIU S F, CHEN B, HE B J. An analysis of the environmental change and effect of flow dynamics in two large estuary districts along Guangxi Province[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2003(3): 24-29.
- [26] 陈宪云, 董德信, 郭佩芳, 等. 北仑河口北冲西淤形成与环境因素的影响分析[J]. 海洋通报, 2014, 33(6): 19-24.
- CHEN X Y, DONG D X, GUO P F, et al. Analysis on environmental factors affecting the formation of north scouring and west siltation in Beilunhe Estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(6): 19-24.

(责任编辑: 陆 雁)